

SmPt₂Si₂で見出された「無秩序磁気モーメントを含む磁気秩序状態」

希土類イオンを含む金属間化合物の多彩な振る舞いは、主に、伝導電子を媒介として 4f 電子が持つ磁気モーメントをそろえようとする RKKY 相互作用と、その磁気モーメントを伝導電子スピンの遮蔽し非磁性一重項状態を形成しようとする近藤効果の拮抗により説明されてきた。前者が優勢であれば磁気秩序が現れ、後者が前者に打ち勝つと、f 電子が伝導電子との混成を通じて遍歴性を獲得し、大きな準粒子有効質量を持って結晶中を動き回る「重い電子状態」が現れると理解されている。このような f 電子系の状態を温度と混成強度をパラメータにしてグラフ化したドニアック相図は、この状況をうまく表現している。しかし、現実の物質は、結晶構造の多様性が示すように複雑であり、ドニアック相図で無視されている要素を取り込んで多彩な現象の理解を系統的に広げていくことは、f 電子強相関電子系の物理において今後の重要な課題であろう。

最近、首都大学東京大学院理工学研究科の研究グループは、SmPt₂Si₂ の単結晶育成に成功し、その低温磁性を初めて明らかにした。その中で最も注目すべき点は、上述のドニアック相図に現れる 2 つの相の性質を合わせ持つ、ハイブリッド型の反強磁性秩序状態（転移温度は $T_N=5\text{K}$ ）の発見である。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 2014 年 11 月号に掲載された。

SmPt₂Si₂ は、体心正方晶型の結晶構造を持つ（図 1（左）の内挿図）。常磁性状態において、磁場を c 軸方向に印加した場合の磁化率 χ_c の温度依存性はキュリーワイス則に良く従うが、 a 軸方向の磁化率 χ_a は温度依存性をほとんど示さない。Sm イオンが持つ磁気モーメントは c 軸方向のみを向くことができる強いイジング性を持っていることがわかる。磁化率 χ_c が 5K に小さなカusp 構造を示すことから、これが反強磁性転移であることがわかる。しかし、反強磁性状態にある 3K 以下で、再度、磁化率 χ_c がキュリーワイス則に従う温度依存性を見せながら、温度降下と共に上昇する振る舞いは異常である。イジング性を持つ従来型の反強磁性状態ならば、 $T=0$ で $\chi_c=0$ となるように磁化率が減少するはずである。3K 以下のキュリー一定数が常磁性状態の 70% であることから、同程度の割合

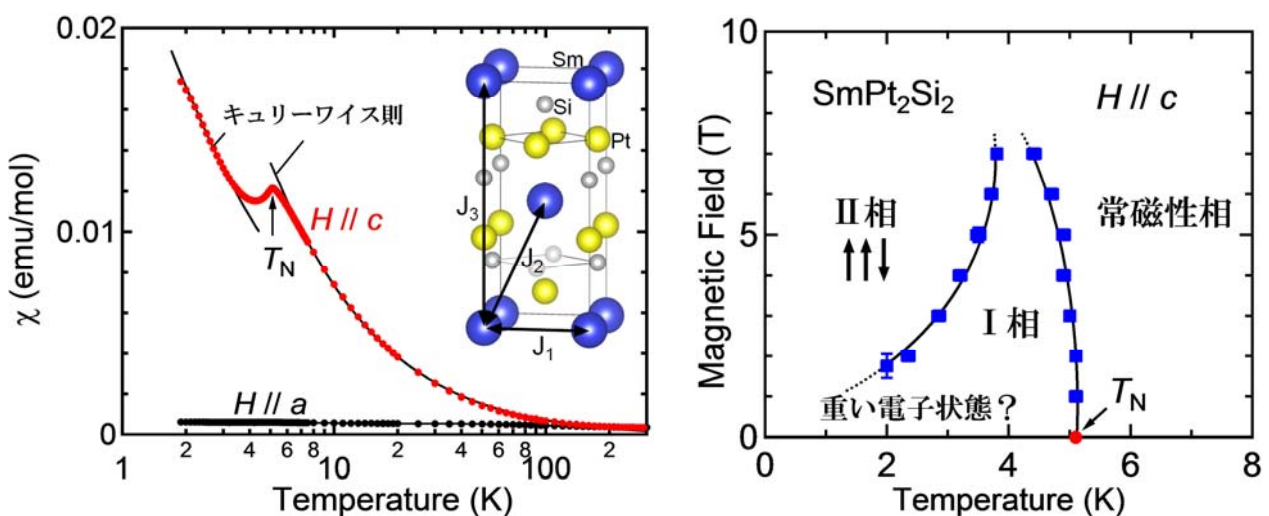


図 1（左）SmPt₂Si₂ の磁化率の温度依存性。結晶構造を内挿図として示す。（右） c 軸方向に磁場を印加した場合の磁場-温度相図。

の Sm 磁気モーメントが、反強磁性状態において十分に秩序化せず、揺らいだままになっているものと考えられる。さらに、低温における電子比熱係数は $350 \text{ mJ/K}^2\text{mol}$ に達しており、重い電子状態の形成を示唆している。この反強磁性状態に磁場を印加すると、メタ磁性を経て、磁場誘起相（図 1（右）の II 相： $\uparrow\uparrow\downarrow$ の単純な磁気構造を持つことが推測されている）へ移行するが、そこでは電子比熱係数が大きく減少する。

このような揺らぐ磁気モーメント（部分無秩序状態にある）を含む反強磁性状態が SmPt_2Si_2 に現れた原因として、Sm イオン間に働く磁氣的相互作用の幾何学的フラストレーションの効果が考えられる。図 1 の内挿図が示すように、Sm イオン間には複数の互いに拮抗する反強磁性的相関が働いている可能性が高い（類似した結晶構造を持つ UPd_2Si_2 においても、フラストレーションに起因すると考えられる磁化率の低温上昇が観測されている）。

近藤効果と RKKY 相互作用が拮抗する所に、さらに幾何学的フラストレーションが導入された三つ巴の系にはどのような強相関状態が発現するのかは、未解明の重要な問題である。実験的には、 CePdAl や UNi_4B がその候補物質として研究されている。最近の求らの理論計算は、近藤効果により磁気モーメントが遮蔽され近藤一重項を形成したイオンと磁気秩序したイオンが、それぞれ互いに入れ子になる副格子を形成する可能性を示している。前者の「近藤副格子」においては、近藤効果により重い有効質量を獲得した準粒子の形成が期待できるだろう。 SmPt_2Si_2 に現れた磁気秩序状態は、まさにこのような複合状態かもしれない。

原論文

[Possible Existence of Partially Disordered Sm Ions in Magnetically Ordered State of Ising Magnet \$\text{SmPt}_2\text{Si}_2\$: A Single Crystal Study](#)

[Kengo Fushiya, Tatsuma D. Matsuda, Ryuji Higashinaka, Kazuhiro Akiyama, and Yuji Aoki: J. Phys. Soc. Jpn. 83 113708 \(2014\).](#)

問合せ先：伏屋健吾（首都大学東京大学院理工学研究科）
松田達磨（首都大学東京大学院理工学研究科）
青木勇二（首都大学東京大学院理工学研究科）