

SmPt₂Si₂における「揺らぐ磁気モーメント」を含む磁気秩序状態

首都大学東京大学院 理工学研究科 物理学専攻 電子物性研究室

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、 $4f$ 電子が持つ磁気モーメントをそろえようとする伝導電子を媒介とした Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida (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ました。前者が優勢であれば磁気秩序が現れ、後者が前者にかろうじて打ち勝つと、 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ます。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ます。

私たちは、Sm (サマリウム) イオンを含む金属間化合物 SmPt₂Si₂ の単結晶育成に成功し (図 1)、その低温磁性を初めて明らかにしました[1]。この成果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」が転移温度 $T_N=5$ K 以下で見出されたことです。

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いますが、 a 軸方向の磁化率 χ_a は温度依存をほとんど示しません (図 2)。このことから、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りました。磁化率 χ_c が 5 K 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りました。しかし、反強磁性状態にある 3 K 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を見せながら、温度降下と伴に上昇する振る舞いは異常です。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だからです。3 K 以下のキュリー定数

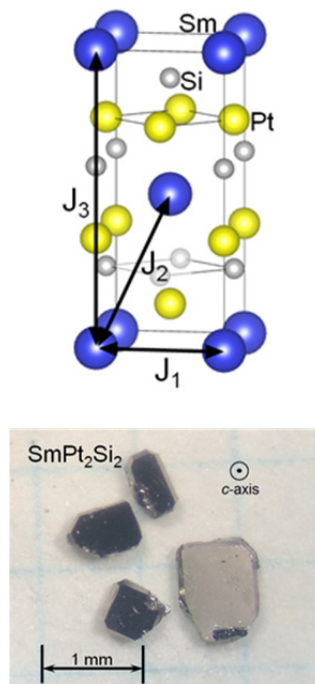


図 1 SmPt₂Si₂ の結晶構造 (体心正方晶型) と初めて育成に成功した単結晶試料の写真。

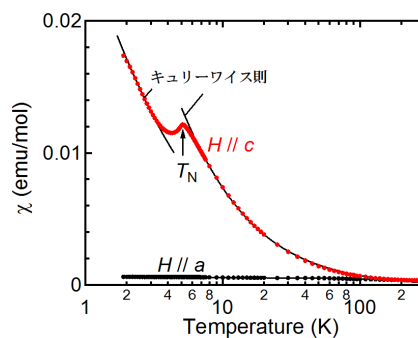


図 2 SmPt₂Si₂ の磁化率の温度依存性。

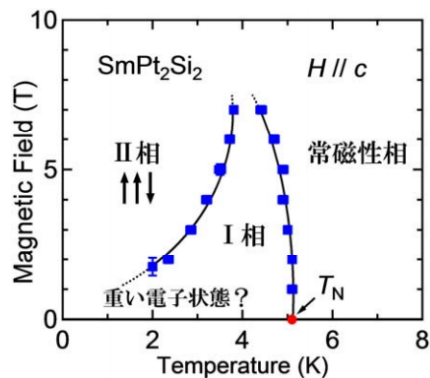



図 3 c 軸方向に磁場を印加した場合の磁場-温度相図。

が常磁性状態の 70%であることから、同程度の割合の 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ます。

一方、低温における電子比熱係数(動き回る伝導電子の有効質量に比例するものと考えられる)は $350 \text{ mJ/K}^2 \text{ mol}$ もの大きな値に達しており、重い電子状態の形成を示唆しています。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 3 の II 相: $\uparrow\downarrow$ の単純な磁気構造を持つことが推測されています) へ移行しますが、そこでは電子比熱係数が大きく減少しています。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ます。図 1 の結晶構造が示すように、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考えられます。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す。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ます。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ます。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でしょう。 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ません。

参考文献

- [1] K. Fushiya *et al.*, *J. Phys. Soc. Jpn.* **83** 113708 (2014). 
- [2] Sm イオンの磁性は不思議な特徴を持ちますが、十分な理解に至っておらず、現在盛んに研究されています。参照 : R. Shiina, *JPSJ News Comments* **11**, 15 (2014).