

# 磁場に鈍感な重い電子系化合物 $\text{SmTa}_2\text{Al}_{20}$ で見出された コーラー則の破れと修正コーラー則の成立 (3次元立方晶電子系で初めて)

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

近年、Sm イオンを含む化合物において、「磁場の影響を受けない」特徴をもつ重い電子状態や秩序状態が見出され、盛んに研究されています。我々の研究グループは、その先駆けとなった  $\text{SmOs}_4\text{Sb}_{12}$  の重い電子状態[1]や、 $\text{SmT}_2\text{Al}_{20}$  化合物群 (図 1) における多数の特徴的振る舞いを発見してきました[2,3]。Sm イオンは、結晶中で、その環境に応じて、磁場に敏感に振る舞う場合と、磁場に鈍感に振る舞う場合があります。この二面性を理解するためには、Sm イオンの持つ f 電子が結晶中でどのような状態にあるのか調べていく必要があります。

今回我々は、 $\text{SmTa}_2\text{Al}_{20}$  に着目し、結晶中の電子の流れの特徴 (電子輸送特性) を磁場中で詳細に調べました。この化合物は、図 2 に示すように、電気抵抗率  $\rho$  が明瞭な磁場に鈍感な  $-\log T$  依存性を示します[3]。この対数温度依存性は、近藤効果が発現していることを示しています。磁場中で抑制されてしまう従来型のものとは性質が異なりますので、何か磁場に鈍感なメカニズムが働く非従来型の近藤効果が発現しているものと考えられます。

$\text{SmTa}_2\text{Al}_{20}$  の磁気抵抗の磁場依存性を、コーラー・プロットと呼ばれる  $\Delta\rho/\rho(0)$  対  $\mu_0 H/\rho(0)$  ( $\Delta\rho \equiv \rho(H) - \rho(0)$ ) のグラフにして図 3 に示します[4]。従来型の近藤効果で期待される負の磁気抵抗 (磁場増大とともに抵抗が減少する振る舞い) が全く見られません。磁場中でローレンツ力により伝導キャリアが流れにくくなる正常磁気抵抗 (ほぼ  $H^2$  に比例して増大) が、すべての温度領域で顕著に見られます。温度を変化させても、コーラー則 (Kohler's rule) と呼ばれるスケーリング

$$\Delta\rho/\rho(0) = F(\mu_0 H/\rho(0)) \quad (1)$$

が成り立つ場合には、図 3 において測定値が同一曲線上にのることになります。しかし、 $\text{SmTa}_2\text{Al}_{20}$  では、 $\rho$  が  $-\log T$  依存性を示す広い温度領域で、温度低下とと

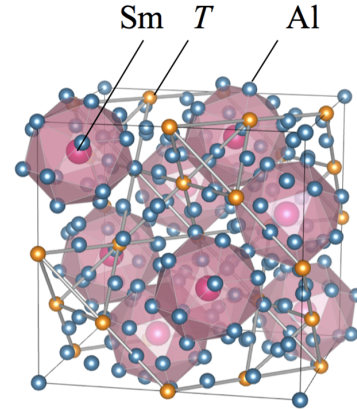


図 1  $\text{SmTa}_2\text{Al}_{20}$  の結晶構造 (T は遷移金属)

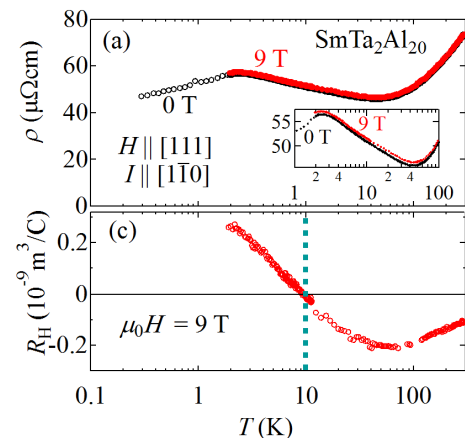


図 2 抵抗率  $\rho$  とホール係数  $R_H$  の温度依存性

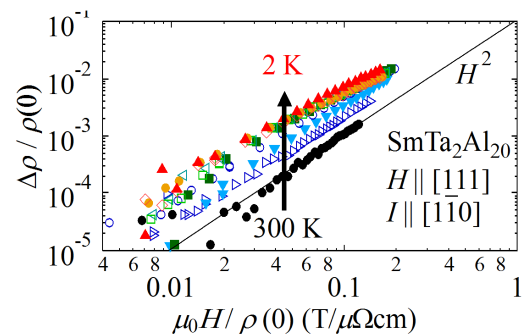


図 3 磁気抵抗のコーラー・プロット。温度を下げると磁気抵抗が増大し続けており、コーラー則からのずれが顕著であることがわかる[4]。

もに $\Delta\rho/\rho(0)$ が一桁も増大することがわかりました。この振る舞いは、コーラー則からのずれ (deviation from Kohler's rule: DKR) と呼ばれます。Sm イオンの持つ f 電子が関与する非従来型の近藤効果の発達に伴い、準粒子が形成され、その散乱が徐々に異方的になっていく状況を反映しているものと解釈できます (フェルミ面上の平均自由時間 $\tau$ が大きな波数  $k$  依存性を持つ)。

次に、磁気抵抗とホール抵抗の関係を整理する修正コーラー・プロット $\Delta\rho/\rho(0)$ 対  $\tan^2\theta_H$ を図 4 に示します ( $\theta_H$  はホール角と呼ばれ、 $\tan\theta_H=\rho_H/\rho$ で定義される。 $\rho_H=R_H H$  はホール抵抗率。)  $R_H(\theta_H)$  がゼロとなる 10 K 近傍の温度領域を除き、高温と低温の広い温度領域の実験データが、同一直線上によくのっていることがわかりました。このスケーリングは、**修正コーラー則 (Modified Kohler's rule)** と呼ばれ、

$$\Delta\rho/\rho(0) = \zeta \tan^2\theta_H \quad (2)$$

で表現されます ( $\zeta$ は、修正コーラー則を特徴づける比例定数)。

強相関電子系におけるコーラー則からのずれと 修正コーラー則の成立は、これまでに銅酸化物高温超伝導体や重い電子系超伝導体  $CeTlIn_5$  においてのみ観測されています[5,6]。量子臨界点近傍に位置するこれらの電子系では、磁気揺らぎが強く発達したホットスポットがフェルミ面上に存在し、電気伝導を支配するコールドスポット近傍のキャリアがその影響を受けて (バックフロー効果)、このような特異な電子輸送現象がもたらされるものと理論的に解釈されています[7]。

SmTa<sub>2</sub>Al<sub>20</sub> における本研究成果は、**3 次元系立方晶化合物では初めての修正コーラー則成立の発見**となります。このことは、上述の性質がこれまで考えられてきたように、2 次元電子系あるいは準 2 次元電子系に限られたものではなく、強相関電子系に普遍的に発現しうる電子輸送現象であることを示唆しています。

#### 参考文献

- [1] S. Sanada *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **74**, 246 (2005).
- [2] R. Higashinaka *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **80**, 093703 (2011).
- [3] A. Yamada *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **82**, 123710 (2013).
- [4] A. Yamada *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **84**, 103701 (2015).
- [5] J. M. Harris *et al.*, Phys. Rev. Lett. **75**, 1391 (1995).
- [6] Y. Nakajima *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **76**, 024703 (2007).
- [7] H. Kontani, Rep. Prog. Phys. **71**, 026501 (2008), H. Kontani, J. Phys. Soc. Jpn. **70**, 1873 (2001).

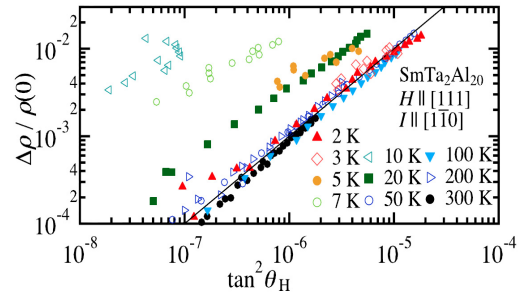


図 4 磁気抵抗とホール抵抗の関係を整理した修正コーラー・プロット。ホール係数 (ホール角) がゼロとなる 10 K 近傍を除き、磁気抵抗は同一直線上にスケールされる。修正コーラー則が成立していることがわかる。