

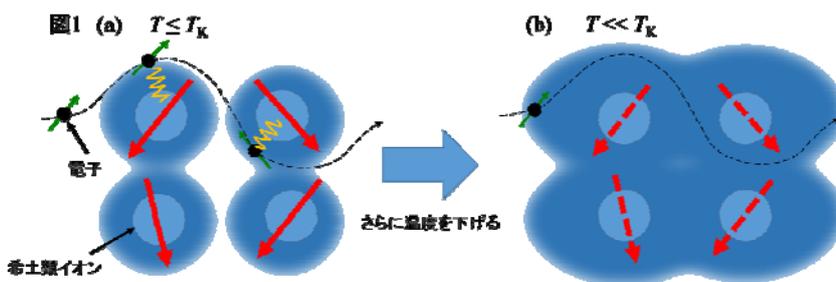
PRESS RELEASE (2021/02/09)

**重い電子状態の形成・成長過程の直接観測に希土類化合物において初めて成功  
～近藤効果の温度変化を視る点接合分光法を確立～**

九州大学大学院工学研究院の河江達也准教授、志賀雅亘研究員(元工学府博士課程学生、日本学術振興会特別研究員、現：東京大学物性研究所特任研究員)、稲垣祐次助教の研究グループは同大学院理学研究院の和田裕文教授、光田暁弘准教授、福岡工業大学の丸山勲准教授らと共同で、希土類物質中の  $f$  軌道電子が伝導電子と相互作用して重い電子状態を形成する過程で誘起するフェルミ面近傍における電子状態の変化を直接観察することに初めて成功しました。

希土類元素は強力な永久磁石の構成材料になるなど、その化合物が示す多彩な性質は様々な先端科学分野で利用されています。このような希土類化合物の特性は、 $f$  軌道の不対電子が電気伝導を担う伝導電子と量子力学的な相互作用をすることに起因しています。特に電子の量子性が顕著に現れる低温下では、この相互作用によって、近藤効果※1 や重い電子状態※2 などの様々な量子現象が発現することが知られています。一方、電子状態密度測定などの微視的な手法を用いた、重い電子状態の形成・成長過程に関する研究報告は限られていました。そこで、研究グループは、Eu 系では例外的に低温において非整数の価数を持ち重い電子状態の形成が報告されている  $\text{EuNi}_2\text{P}_2$  に注目し、点接合分光法を用いて電子状態密度測定を行いました。その結果、温度の低下に伴い点接合分光信号が大きく変化し、電子状態密度が変移して行くことを見出しました。この温度依存性について理論計算を用いた詳細な解析を行ったところ、信号の変化は温度低下に伴い近藤効果によって遮蔽された各格子点上の希土類イオンの電子雲が結晶全体に広がり重い電子状態へ移行したと考えることで、よく理解できることが分かりました(図1(a)→(b))。つまり、点接合分光法を用いたフェルミ面近傍の電子状態密度の測定という微視的観点より、温度低下に伴う  $\text{EuNi}_2\text{P}_2$  の重い電子状態の形成・成長過程の詳細が明らかになりました。

本研究は科学研究費(課題番号：25220605, 25287076, 26600102, 19J12194)の支援を受けました。本研究成果は米国物理学会発行の学術誌Physical Review Bの速報版である Letter(旧Rapid Communications)のオンライン版に2021年1月25日(月)付で公開されました。(DOI：10.1103/PhysRevB.103.L041113)



(図1) (a)近藤効果の模式図。近藤温度( $T_K$ )以下では、希土類イオン ( $f$  軌道電子) と伝導電子 (黒丸) の量子力学的な相互作用により、希土類イオンの磁気モーメント (赤矢印) が遮蔽され電子雲を形成する。

(b)重い電子状態の模式図。温度が  $T_K$  より十分低温では、近藤効果による遮蔽により電子雲を形成した各格子点上の希土類イオン間に一様性が出現・成長し、その間を動き回る伝導電子の有効質量が増加する。

**研究者からひとこと：**重い電子系物質の研究は主に電気抵抗、比熱、磁化測定などを中心に実験が行われて来ました。一方、重い電子物質の電子状態密度の測定はこれまであまり実施されていませんでした。今回、新たに点接合分光実験装置を開発し重い電子物質の電子状態密度の測定が可能となりました。今後、様々な物質に応用して研究を発展させて行こうと計画しています。

【お問い合わせ】 工学研究院エネルギー量子工学部門 准教授 河江達也  
TEL:092-802-3521 FAX:092-802-3501  
Mail: t.kawae.122@m.kyushu-u.ac.jp

## 【用語解説】

- ※1 近藤効果：磁性不純物が伝導電子と磁気的に結合し非磁性状態を作る現象で、近藤淳氏により理論的に説明される。近藤効果が出現した際には近藤共鳴と呼ばれる特徴的な状態がフェルミ面近傍に出現し電子状態密度が変化する。
- ※2 重い電子：物質中の伝導電子の有効質量が大きくなる現象。伝導電子と  $f$  軌道電子の量子力学的な相互作用に起因する。

## 【論文情報】

掲載誌 : Physical Review B  
タイトル : Evolution of lattice coherence in the intermediate-valence heavy-fermion compound EuNi<sub>2</sub>P<sub>2</sub> studied by point contact spectroscopy  
共著者 : Masanobu Shiga, Isao Maruyama, Kengo Okimura, Takuro Harada, Takuya Takahashi, Akihiro Mitsuda, Hirofumi Wada, Yuji Inagaki, and Tatsuya Kawae  
DOI : <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.103.L041113>

## 【問合せ先】

<研究に関すること>

九州大学大学院工学研究院 准教授 河江 達也

TEL : 092-802-3521 Mail : t.kawae.122@m.kyushu-u.ac.jp

<報道に関すること>

九州大学 広報室

TEL : 092-802-2130 Mail : koho@jimu.kyushu-u.ac.jp