

## 4f・5f 電子系研究の最近の展開と $\mu$ SR

### $\mu$ SR to the Light of Recent Progress in the Study of 4f- and 5f-Electron Systems

網塚 浩・北海道大学 大学院理学研究院 物理学部門

希土類やアクチノイド元素を含む 4f・5f 電子系化合物が示す「重い電子」状態の研究において、 $\mu$ SR は NMR や中性子散乱と相補的な微視的情報を与える実験手段として活用され、様々な異常物性を理解する上で重要な役割を担ってきた。第一に、物質中の弱い内場を敏感にかつゼロ磁場下で観測できるという $\mu$ SR 手法の特徴は、磁化や中性子回折の実験から重い電子系物質にしばしば見出される弱い磁性の起源を見極める上で大きな利点となり、例えば  $\text{URu}_2\text{Si}_2$  の磁性-非磁性相分離などがこれにより明らかとなった。また、 $\mu$ SR はロンドン磁場侵入長の大きさと温度変化を測定できる数少ない手法の一つであり、超伝導体積分率や超流体密度、スピン磁化率など重い電子系に現れる多様な超伝導状態の理解を深めるための有益な情報をもたらしてきた。さらに、局所磁気プローブであるという利点によって、f 電子系の量子臨界点近傍における（非フェルミ液体異常とも密接に関係する）磁気揺らぎや磁気秩序相の空間的な発達の様子が様々な物質系において明らかとなっている。

4f・5f 電子系の研究に関する最近の話題のひとつは、従来の磁気双極子による秩序とその量子ゆらぎ（近藤効果）だけではなく、高次多極子の自由度が f 電子物性においてかなり普遍的に重要な役割を担っていることがわかってきたことである。電気四極子が反強的に秩序し得ることについては、すでに多くの系で確証が得られており、現在、議論はさらに高次の多極子（磁気八極子、32 極子、128 極子、電気 16 極子、64 極子など）の秩序や相関へと進展している。高次多極子を実験で捉えるのは一般に難しいが、ここでもミュオンは、そのスピン 1/2 粒子としての特徴を活かして、電気多極子についてはゼロ検出、また磁気多極子については高感度の内場検出によって、基底状態や磁気揺らぎの同定に貢献している。f 電子系のもう一つのトピックスは、強磁性と超伝導との共存の発見である。これはなぜか全てウラン系で見つかっている。物質開発と基礎研究で日本がリードしているにもかかわらず、J-PARC ではウランを扱えないため、中性子や $\mu$ SR を用いて自国で研究を進展させられないのは非常にもったいない話である。f 電子系物理の最近の展開と $\mu$ SR の役割を概観し、新規 S ラインへ寄せる期待について述べたい。