

# カイラル構造相転移物質における電子物性の量子ビーム散乱研究

## Quantum Beam Scattering Study on Electronic State in Materials Exhibiting Chiral Crystal Structure Transformation

茨城大学フロンティアセンター・茨城大学院理工 岩佐和晃

トポロジカル電子状態を発現する物質の研究が進展している[1]。結晶構造に反転対称性がない物質中では、電子の運動量に対するエネルギーは線形となり、あたかも質量がない粒子のように振る舞う Dirac/Weyl 電子が現れるとされる。さらに近藤半金属物質での Weyl 電子状態の実現や[2]、反転対称性がない結晶構造相転移が極低温に抑制された超伝導体でのクーパー電子対の偶奇対称性変化が提案されている[3, 4]。本研究では、このようなカイラル対称構造に相転移する物質群を見出し、その対称性に起因する電子物性研究を行った。

$R_3T_4Sn_{13}$  ( $R =$  希土類元素、 $T =$  Co, Rh, Ir) は 1980 年代に合成が報告された金属化合物である[5]。 $R =$  La 系は約 3 K 以下で BCS 超伝導体、 $R =$  Ce 系は重い電子系金属と考えられていた[6, 7]。一方、結晶構造の相転移が指摘されたものの、その精密な検証は行われておらず、電子物性の十分な理解には至っていなかった。そこで我々は  $R_3T_4Sn_{13}$  を独自に合成し、量子ビーム（中性子・放射光 X 線）散乱実験をおこない、結晶構造・磁気状態等を明らかにする研究を進めた。

精密構造解析の結果、 $La_3T_4Sn_{13}$ ,  $Ce_3T_4Sn_{13}$  において、 $T =$  Co, Rh, Ir それぞれ 160, 350, 600 K で構造相転移を示し、高温相  $Pm\bar{3}n$  から低温相  $I2_13$  の反転対称性のないカイラル対称構造に変化することを発見した [8–11]。 $Ce_3T_4Sn_{13}$  ( $T =$  Co, Rh, Ir) の中性子散乱実験・光電子分光・比熱測定結果から、本来 Ce イオンに局在する  $4f$  電子の一部が近藤効果によって伝導電子となり、かつ幾何学的フラストレーション効果も相まって、通常の希土類金属化合物で見られる磁気秩序が生じないことを見出した [11, 12]。そのような状態において、反転対称性の破れによって保護されたトポロジカル電子が形成され、Weyl-Kondo 半金属状態が実現している可能性を指摘できる[13]。超伝導体  $La_3T_4Sn_{13}$  のカイラル対称構造への相転移は  $T$  サイトへの Ru 置換によって抑制される。それとともに超伝導転移温度が二倍程度に増大する現象が観測され、反転対称相が極低温に抑制された構造相転移量子臨界点近傍で超伝導が安定化すると言える[14]。これは銅酸化物超伝導体などにみられた反強磁性相が抑制された量子臨界点での超伝導相の安定と類似した現象であり、上記のクーパー対における偶奇対称性の変化をともしることが期待できる。

本研究は、茨城大院理工、高エネルギー加速器研究機構（物構研）、J-PARC センター、総合科学研究機構、Laboratoire Léon Brillouin、Institut Laue-Langevin、東京大学物性研究所、東京都立大学などとの共同研究である。山田科学振興財団のご支援に改めて感謝申し上げます。

### 【参考文献】

- [1] 例えば B.-J. Yang and N. Nagaosa, Nat. Commun. 5, 4898 (2014). [2] S. Dzsaber et al., PRL 118, 246601 (2017). [3] Y. Wang et al., PRB 93, 134512 (2016). [4] V. Kozii and L. Fu, PRL 115, 207002 (2015). [5] G. P. Espinosa, Mat. Res. Bull. 15, 791 (1980). [6] A. Ślebarski et al., PRB 88, 155122 (2013), J. Alloys Comp. 615, 921 (2014). [7] E. L. Thomas et al., J. Solid State Chem. 179, 1642 (2006). [8] Y. Otomo et al., PRB 94, 075109 (2016). [9] K. Suyama et al., PRB 97, 235138 (2018). [10] S. Nakazato et al., JPS Conf. Proc. 30, 011128 (2020). [11] K. Iwasa et al., J. Phys. Soc. Jpn. 90, 124701 (2021). [12] K. Iwasa et al., PRB 95, 195156 (2017). [13] K. Iwasa et al., in preparation. [14] K. Iwasa et al., International Conference on Strongly Correlated Electron Systems SCES2020/21, Oral parallel session F4A (Unconventional superconductivity).