

# j フェルミオン伝導物質の開発

野原実

岡山大学異分野基礎科学研究所

局在電子系においてスピン軌道結合が強い場合、全角運動量  $j$  が良い量子数になる。例えば、オレンジ色に輝くナトリウム D 線の分裂は 3p 軌道が  $j = 3/2$  と  $j = 1/2$  へ分裂したことに起因するし、X 線回折実験で用いる Cu 特性 X 線の  $K\alpha_1$  と  $K\alpha_2$  への分裂は 2p 軌道が  $j = 3/2$  と  $j = 1/2$  へ分裂していることによる。局在 4f 電子についても同様だが、そこで現れる物理は豊かである。例えば  $\text{PrTM}_2\text{Zn}_{20}$  では、 $\text{Pr}^{3+}$  の  $J = 5$  状態が結晶場分裂し、基底状態が純粋な電気四極子を持つ  $\Gamma_3$  になる。ここでは、四極子秩序や四極子近藤効果などが見出されている [1]。

さて、これらの電子は全角運動量  $j$  を保持したまま遍歴することができるだろうか。単純には、原子核からの束縛を離れた電子はスピン角運動量  $s = 1/2$  を担って運動すると考えられる。スピン軌道相互作用は、このスピンをある方向にロックする。一方、強束縛近似では、伝導電子の波動関数は、ブロッホの定理に従うように、原子軌道の線型結合から作られるので、伝導電子が  $j$  の情報を保持すると思われる。実際、池田らは  $\text{URu}_2\text{Si}_2$  のフェルミ面を  $j = 5/2$  の異なる  $j_z$  成分で色分けし、フェルミ面が場所によって異なる  $j_z$  成分を持つこと、さらにネスティングによって 32 極子の感受率が増大すること、すなわち  $\text{URu}_2\text{Si}_2$  の隠れた秩序の正体が 32 極子秩序である可能性を指摘している [2]。鉄系超伝導体では、 $j$  ではなく 1 によるフェルミ面マッピングが行われている。実際は軌道角運動量が凍結しているので、 $d_{xy}$ ,  $d_{yz}$ ,  $d_{zx}$  軌道成分によるマッピングである [3]。

それでは、スピン軌道結合が大きい 5d 遷移金属や 5p, 6p 電子を持つ Te や Bi などの重元素を含む化合物においても、5f 電子系に類似した、伝導する  $j$  フェルミオンが存在するだろうか。さらに、遷移元素や典型元素の化学の特徴である共有結合性を活かした物質開発を進めることで、f 電子系とは異なる量子伝導や超伝導を見出すことができるだろうか。本講演では、その手がかりとなる物質を紹介する。

1. 単体 Te : ブリルアンゾーンの H 点近傍に  $j_z = +3/2$  と  $j_z = -3/2$  のホールポケットが存在し、これに起因して電流誘起の磁化が観測されている [4]。
2. ハーフホイスラー合金  $\text{YPtBi}$  : トポロジカル半金属で、 $\text{HgTe}$  と同様、Bi 6p 軌道に由来した  $j = 3/2$  の価電子帯バンドと伝導体バンドが  $\Gamma$  点で接している。0.8 K で超伝導を示し [5]、 $j = 3/2$  フェルミオンの電子対形成が理論的に提唱されている [6]。同じ対称性 ( $F-43m$ ,  $T_d^2$ , #216) を持つ  $\text{CaAuBi}$  や  $\text{Li}_2\text{AuBi}$  など同様のバンド構造を持つ。
3. ウルマナイト構造  $\text{PdAsS}$  ( $P2_13$ ,  $T^4$ , #198) とパイライト構造  $\text{PtSb}_2$  ( $Pa-3$ ,  $T_h^6$ , #205) : R 点に 6 重縮退したバンドを持つ。非共形空間群の対称性によって  $j = 5/2$  フェルミオンが創発したのと考えられる [7]。

## 参考文献

- [1] T. Onimaru and H. Kusunose, J. Phys. Soc. Jpn. **85**, 082002 (2016).
- [2] H. Ikeda et al. Nature Physics **8**, 528 (2012).
- [3] 例えば S. Onari and H. Kontani, Phys. Rev. Lett. **109**, 137001 (2012).
- [4] T. Furukawa, Y. Shimokawa, K. Kobayashi, and T. Itou, Nature Commun. **8**, 954 (2017).
- [5] Y. Nakajima et al., Science Advances **1**, e1500242 (2015).
- [6] P. M. R. Brydon et al. Phys. Rev. Lett. **116**, 177001 (2016).
- [7] B. Bradlyn et al. Science **353**, aaf5037 (2018).