

異方的超伝導体の対称性とトポロジー

柳瀬陽一 / 京都大学 理学研究科 教授



やなせ・よういち

超伝導の研究においては、一粒子励起ギャップの波数依存性、すなわち超伝導ギャップ構造の理解が重要です。ギャップ構造は超伝導の対称性や発現機構と密接に関連しています。また、様々な測定手法によりギャップ構造を観測することができます。そのため超伝導分野の実験研究では、ギャップ構造を同定し、そこから秩序変数の対称性と超伝導発現機構を明らかにする戦略が長く採用されてきました。理論と実験が相乗的に進歩するうえで、超伝導体のギャップ構造を正確に知ることができる理論の構築は極めて重要です。

従来の理論として、Sigrist-Ueda らによって完成された群論的分類学 [1] が良く知られています。これは、超伝導秩序変数を結晶点群によって分類し、そこから超伝導ギャップ構造を推定するものです。しかし、「推定する」と書いたように、これは厳密な結果ではありません。実際、その例が幾つか知られています。そこで私達は、対称性とトポロジーに基づいて超伝導ギャップ構造の厳密な分類を行いました。

【A】ブリルアンゾーンの対称面上での超伝導ギャップの分類 [2,4]

対称性に保護されたラインノードを網羅的に分類しました。常磁性体・強磁性体・反強磁性体の全てについて、ラインノードが現れる空間群対称性と超伝導対称性の組み合わせを示しました [2]。Sigrist-Ueda 理論では示せない非共型空間群に守られたラインノード [3] もこの分類に含まれています。トポロジカルな保護と表面状態についても明らかにしました [4]。対称性に守られたラインノードの分類は完成したと考えられます。

【B】ブリルアンゾーンの対称線上での超伝導ギャップの分類 [2,5]

従来、超伝導ギャップ構造を決定する要因として、秩序変数の対称性とフェルミ面のトポロジー

1973年福岡県生まれ。2000年京都大学理学研究科物理学・宇宙物理学専攻博士課程中退。2001年論文博士(理学)。2000年より東京大学理学系研究科助手、2007年より同助教、2009年より新潟大学理学部准教授、2015年より京都大学理学研究科准教授を経て2020年同教授。かつての趣味は、オリエンテーリング、自転車、トレイルランニング、沢登りなど。現在は子育てを趣味とする日々。

が考えられてきました。私達はこれらに加えて電子波動関数の角運動量 J_z が決定的な役割をする例があることを示し、量子数 J_z を含む分類表を作成しました。さらに、分類表に現れる全てのノードがトポロジカルに保護されていることを示しました。分類結果に基づいて UPT_3 の超伝導ギャップ構造を議論し、 J_z によってワイル点の構造が異なることも示しました。他に、 UBe_{13} 、 $SrPtAs$ 、 MoS_2 、 $PrOs_4Sb_{12}$ などのギャップ構造についても考察を行っています。

本研究は主に角田峻太郎氏(京都大学D3)が行ったものです。また、塩崎謙、野本拓也、小林伸吾、佐藤昌利の各氏との共同研究の成果です。

[1] M. Sigrist and K. Ueda, Rev. Mod. Phys. **63**, 239 (1991).

[2] Shuntaro Sumita and Youichi Yanase, Phys. Rev. B **97**, 134512 (2018).

[3] M. R. Norman, Phys. Rev. B **52**, 15093 (1995).

[4] Shingo Kobayashi, Shuntaro Sumita, Youichi Yanase, Masatoshi Sato, Phys. Rev. B **97**, 180504(R) (2018).

[5] Shuntaro Sumita, Takuya Nomoto, Ken Shiozaki, Youichi Yanase, Phys. Rev. B **99**, 134513 (2019).