

第 14 回凝縮系科学賞を受賞して

凝縮系物性研究部門 橋高 俊一郎

この度、第 14 回凝縮系科学賞を受賞する荣誉に恵まれました。本賞は凝縮系科学に従事する優れた若手研究者を奨励することを願い、青山学院大学(現 岡山大学特任教授)の秋光純教授と東京理科大学の福山秀敏教授が私費を投じて 2006 年に創設された賞です。受賞対象者は、「物理・化学・材料科学にわたる、広い意味での凝縮系科学の研究に従事する若い研究者(博士学位取得後 10 年以内の者)」で、毎年、実験系・理論系各 1 名が選出されます(該当者無しの場合も有)。物性研からは第 1 回に中辻知氏、第 6 回に北川健太郎氏が受賞されています。今回、受賞の対象となった研究課題は「極低温精密比熱測定による超伝導ギャップ構造の決定」です。0.06 K 以下の極低温まで比熱の磁場角度依存性を高精度に測定できる世界最高水準の装置を完成させ、それを用いて様々な非従来型超伝導体のギャップ構造を解明したことが主な受賞理由です。中でも CeCu_2Si_2 ($T_c = 0.6$ K) と Sr_2RuO_4 ($T_c = 1.5$ K) の超伝導対称性について、従来の見方に再考を迫る実験事実を明らかにした点が高く評価されました。 CeCu_2Si_2 に関する研究成果は物性研だより第 57 巻第 2 号(2017)の「第 11 回日本物理学会若手奨励賞を受賞して」で紹介しましたので、本稿では Sr_2RuO_4 の研究成果についてご紹介したいと思います。

Sr_2RuO_4 は、銅酸化物高温超伝導体と同じ層状ペロブスカイト構造を持つルテニウム酸化物超伝導体として 1994 年に報告されました。その発見からまもなく、NMR ナイトシフトやスピン偏極中性子散乱の実験から超伝導状態でスピン磁化率が変化していない可能性が指摘され、大変珍しいスピン三重項超伝導体の有力候補として大きな注目を集めるようになりました。その超伝導状態では時間反転対称性も破れていることが様々な実験から示唆され、クーパー対の軌道部分が $k_x + ik_y$ のカイラル p 波超伝導が実現していると長年期待されてきました。 Sr_2RuO_4 は 3 つの円筒状のフェルミ面を持ち、低温物性もフェルミ液体的と比較的シンプルな系であることから、理論研究も活発に行われ、本物質を舞台に「スピン三重項超伝導の物理」が大きく発展してきました。

一方で、スピン三重項超伝導の枠組みでは理解できない現象もいくつか報告されていました。その一つが ab 面に

正確に磁場をかけた際に上部臨界磁場が低温で強く制限され、超伝導一次相転移が生じる現象です。パウリ常磁性効果と良く似ていますが、スピンの磁場方向に偏極できるスピン三重項超伝導状態ではそのような対破壊現象は期待できません。二つ目の問題は、超伝導ギャップ構造です。単純にはカイラル p 波は円筒状フェルミ面にノードを持たないはずですが、ラインノードの存在を示唆する実験結果が複数報告されていました。こうした問題に対して、我々のグループでは 2014 年に極低温磁化測定から一次相転移において明確な磁化の飛びが伴うことを突き止めました。通常の軌道効果だけでは、このように大きな磁化の飛びは期待できないため、パウリ常磁性効果でスピン磁化が変化すると解釈の方が自然です。さらに、2018 年には低磁場領域において極低温比熱が磁場の $1/2$ 乗に比例して上昇すること(ラインノードの存在を強く支持)、面内回転磁場で観測される 4 回対称の比熱振動が $0.04T_c$ (60 mK) の極低温まで低磁場では符号を変えずに観測されることを明らかにしました。本結果は、異方的なフェルミ速度を持つフェルミ面に水平ラインノードが備わっていれば自然に説明することができます。その超伝導ギャップ構造はカイラル p 波超伝導とは相容れないため、従来の有力説に強い疑問を呈する内容で論文にまとめました [受賞対象論文 3]。水平ラインノードはスピン三重項超伝導と相性が悪く、パウリ常磁性効果に酷似した現象も考慮すればスピン一重項超伝導であることが有力です。実際に、その翌年の 2019 年、米国の研究グループにより Sr_2RuO_4 の超伝導状態で NMR ナイトシフトが実は減少することが実験から明らかにされ、現在ではスピン一重項超伝導の可能性が活発に議論されるようになってきました。こうした研究発展へのユニークな貢献が評価されて、今回の受賞に至りました。

振り返れば、私と Sr_2RuO_4 の付き合いも早 15 年になりました。出会いは 2004 年で、発見者である前野悦輝教授の研究室に 4 回生として加わり、 Sr_2RuO_4 の一軸性圧力効果を卒業研究テーマに選んだことがきっかけです。このときの卒業研究を皮切りに、異方的圧力下の Sr_2RuO_4 では T_c が 3 K にまで倍増した超伝導状態が安定化することを実証し、数年後に論文にまとめて発表しました。実は、

