

銅酸化物高温超伝導体における新しいタイプの臨界点

[1] 要旨

銅酸化物超伝導体が高温超伝導を示すメカニズムは未だなお明らかとなっていないが、1つの手がかりとして考えられているのが、超伝導転移温度よりも高温でフェルミ面の一部が消失する擬ギャップ現象である。本研究では、この擬ギャップ現象が電子系の回転対称性が破れた“擬ギャップ相”への相転移である実験的証拠が得られた。この擬ギャップ相が消失する臨界点付近においては電子系が回転対称性を破ろうとする揺らぎが大きくなっていることから、高温超伝導をもたらすメカニズムと関係している可能性が議論されている。

[2] 本文

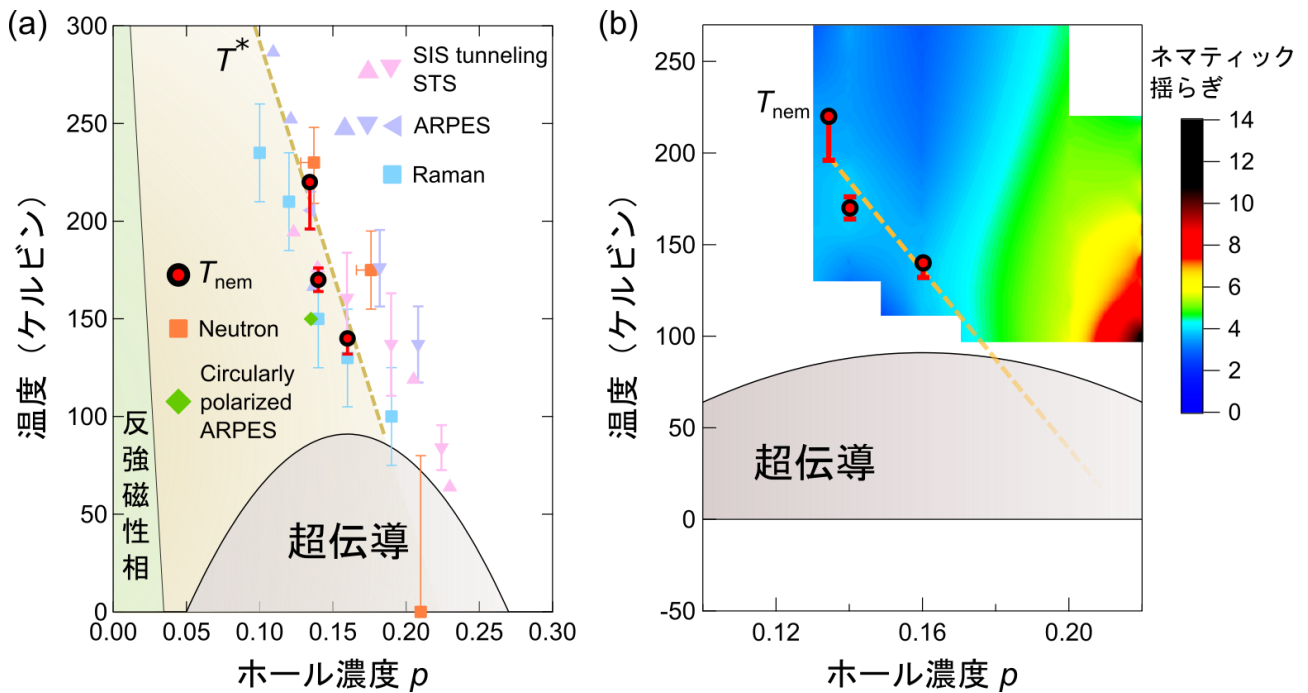
超伝導は固体中の電子が示す劇的な量子現象である。超伝導状態における電気抵抗の消失は、我々が量子効果をはっきりと確認できる非常に魅力的な現象であり、エネルギー損失なく電流を流せるという点においては工学的応用の観点からも注目に値する。中でも、1986年に発見された銅酸化物超伝導体は、これまでに報告された超伝導体の中でも高い超伝導転移温度をもつ物質群であり、発見から間もない1987年のノーベル賞につながった。今後更に高温で超伝導を示す物質を探索する上で銅酸化物における高温超伝導発現機構を理解することは大変重要であるが、超伝導を理解する基本的枠組みであるBCS理論ではその高い転移温度を説明することは難しく、発見から30年以上経った今もその発現機構は未解明となっており、現代固体物理学の中心的課題となっている。

銅酸化物超伝導体は高温超伝導のみならず、それより高温の常伝導状態においても擬ギャップ現象と呼ばれる特異な電子状態を示すことが知られていた(図1(a))。この擬ギャップ現象はフェルミ面の一部が消失するというものであり、銅酸化物高温超伝導体のほとんどの系で観測されることから、高温超伝導のメカニズムと何らかしらの関係があるのではないかと考えられてきた。擬ギャップ現象の理解に向けてこれまで様々な研究が行われており、最近では対称性の破れを伴う“擬ギャップ相”への相転移を示唆する実験結果が多数報告されている。しかしながら、擬ギャップ相が実際にどのような対称性が破れた電子状態であるのかは未だ明らかとなっていなかった。

最近、東京大学、弘前大学、京都大学の共同研究グループは、銅酸化物高温超伝導体 $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ において試料に一軸歪みを加えた際の電気抵抗率の変化である弾性抵抗率の測定を系統的に行った。この弾性抵抗率は電子系の回転対称性の破れに敏感であることが知られており、測定の結果、擬ギャップ現象が回転対称性の破れを伴う“擬ギャップ相”への相転移であることが明らかとなった。加えて、擬ギャップ相への相転移が消失する臨界点付近においては回転対称性を破ろうとする揺らぎが非常に増大していることを見出した。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 *Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)* の 2020年6月号に掲載された。

近年、固体中の電子が並進対称性の破れを伴わずに回転対称性を破って秩序化した状態は、電子系が集団としてある種の向きを持ったものとみなせ、液晶におけるネマティック状態との類推から電子ネマティック秩序と呼ばれている。この電子ネマティック秩序は最近鉄系超伝導体など様々な超伝導体において実現していることが明らかになりつつあり、本研究は銅酸化物超伝導体の擬ギャップ相が一種の電子ネマティック秩序であることを示すものである。この擬ギャップ相が消失する臨界点付近においては、回転対称性を破ろうとする揺らぎ(ネマティック揺らぎ)が強くなっている(図1(b))。この臨界点付近においても超伝導転移温度は70 Kと高いことから、強いネマティッ

ク揺らぎが高温超伝導と関係している可能性がある。これは銅酸化物における高温超伝導発現機構の解明に向けて新たな視点を提供するものといえ、今後更なる研究展開が期待される。



(図 1) 銅酸化物高温超伝導体 $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ のホール濃度 p に対する電子状態の相図。

(a) 本研究で得られた電子系の回転対称性の破れが生じる温度 T_{nem} と他の測定で見積もられた擬ギャップ温度 T^* の比較。 T_{nem} と T^* がおおよそ一致していることがわかる。

(b) 弾性抵抗率の測定から得られたネマティック揺らぎの大きさをカラープロットで示した図。擬ギャップ相が消失し $T^* \sim 0$ となる臨界点 $p \sim 0.22$ 付近においてネマティック揺らぎが強くなっていることがわかる。

原論文 (5月15日公開済)

[Divergent Nematic Susceptibility near the Pseudogap Critical Point in a Cuprate Superconductor](#)

K. Ishida, S. Hosoi, Y. Teramoto, T. Usui, Y. Mizukami, K. Itaka, Y. Matsuda, T. Watanabe, and T. Shibauchi, *J. Phys. Soc. Jpn.* **89**, 064707 (2020).

<情報提供：石田浩祐、芝内孝禎（東京大学大学院新領域創成科学研究科）>