

工学研究科 電子工学専攻 集積機能工学研究室

鈴木 実、掛谷 一弘、山田 義春

超伝導体における物理現象の理解を通じた革新的デバイスの開発

私たちの研究室では、電気抵抗がゼロとなる超伝導体、磁石の性質が顕著となる磁性体を舞台として繰り広げられる電子の量子力学的な性質を実験により注意深く観察し、その背後に潜む自然の普遍性を探り当てて将来のデバイス創成につながる研究を行っています。

現代生活において不可欠な集積回路素子の開発には固体中での電子の振る舞いを理解しなければいけません。現在の固体デバイスは電子と原子の量子力学的な相互作用から記述される原理に従っています。一方、超伝導や磁性などの現象では電子同士の量子力学的な相互作用(電子相関)が重要な役割を果たしています。電子同士が強く相互作用する物質(強相関電子系)においては、未解決で興味深い問題は至るところにあり、あたかも自然が私たちに挑戦を挑んできているようです。このような、一見複雑な現象を「物理学」という言葉を使って自然と対話しながら簡潔に理解し、持続可能な社会の形成へ貢献することが私たちの研究目標です。

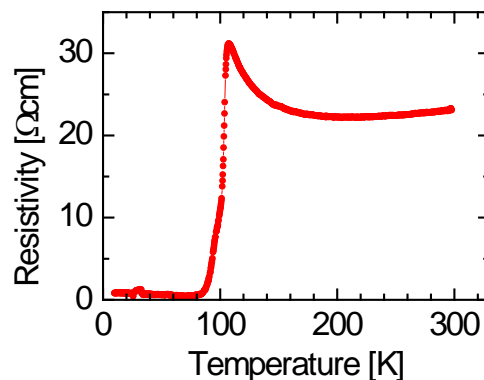
超伝導は目に見える永久運動

皆さんは「永久機関」をご存じでしょうか？一旦動き始めると永久に動力を生み続ける夢のような装置のことを指します。永久機関は近世の科学者たちにとって錬金術と共に重要な研究対象でしたが、永久機関は熱力学第一法則により否定されています。では、「永久運動」はどうでしょうか？理論的には可能ですが、すくなくとも我々が目にすることは不可能です。でも実を言うと、電流の担い手である電子が活躍するミクロの世界ではこのような永久運動は常に起こっていますが、ただ小さすぎて肉眼で見えないだけなのです。ところが、超伝導体の内部では電子が永久運動を行っている様子を見ることが出来ます。

超伝導体で電気抵抗がゼロになるのは、人間が観測している時間中に電流が減衰しなかったことが根拠となっています。最近の正確な測定により 100 億年以上も電流が減衰しないことが確かめられています。まさに電子の永久運動に他なりません。なぜこのような不思議なことが起きるのでしょうか？超伝導は電子が歩みを揃えて行進する同期現象というイメージで理解されます。しかしながら、超伝導を本当に理解することは大変挑戦的なことです。1911年にオランダのカマリン・オンネスが 4.2 ケルビンで水銀が超伝導になるのを発見して以降、超伝導の研究は 10 余名のノーベル賞受賞者を輩出している事実は超伝導研究の魅力、すなわち超伝導現象に見られる美しさと普遍性を象徴しているといえます。

研究活動: 高温超伝導量子ビット素子およびテラヘルツ光源

私たちは日々、高温超伝導体などを使って量子ビットやテラヘルツ波光源について研究を進めています。量子ビットは量子計算機の実現、テラヘルツ光源は低消費電力超高速通信への応用が期待されています。1 つの電子と原子の相関で物理が記述される半導体デバイスは、現在の繁栄をもたらしました。電子相関が表に出る強相関電子デバイスの開発は次の技術革命を起こすと信じています。何か新しいものを作るにはまず自然を理解する必要があります。そのための言葉や作法として私たちは数学や物理学・化学を学ぶのです。皆さんも私たちと一緒に、20 世紀の人類が夢みたデバイスの開発に立ち向かい歴史が動く瞬間を経験しましょう。



ビスマス系高温超伝導体の電気抵抗の温度依存性。100 ケルビン前後で超伝導転移が起きている。c 軸方向に 1 単位胞だけ取り出して測定している。