

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名：鉄ニクタイト系超伝導研究と物質開拓

2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）：

研究代表者

佐藤 正俊（名古屋大学 名誉教授）

主たる共同研究者

大野 義章（新潟大学 教授）

3. 研究実施概要

本研究課題では、鉄系での超伝導機構が、銅酸化物等によく知られたスピン揺らぎ機構か、それとも多バンド系であることに由来した新しい機構かを明らかにすることを目的とした。そこで、逆格子空間内の点 Γ と M の周りにある離れたフェルミ面上での超伝導オーダーパラメーター (Δ) が、異なる符号を持つ (S_{\pm} 対称性) であればスピン揺らぎ機構が、同一符号 (S_{++} 対称性) なら新規機構が働いていると考えられることから、超伝導の対称性を検討するため、この符号変化を反映する3種類の物理量、超伝導転移温度 T_c 等への不純物効果、中性子磁気非弾性散乱スペクトル $\chi''(Q, \omega)$ 、NMR 縦緩和率 $1/T_1$ を調べた。その結果、非磁性不純物による pair breaking effect を確立したほか、大型単結晶作成を通じた中性子散乱実験やNMR測定の結果の考察を通して、 S_{++} 対称性が実現している可能性が高いことを示し、新規な超伝導機構が存在することを指摘した。これに呼応して、軌道-格子結合を基本にした超伝導機構を提唱した大野グループ（新潟大）が、H22年度の途中から本チームに加わった。格子系の挙動を確認する目的で超音波測定を行い、構造相転移温度 T_S および超伝導転移温度 T_c まで続く弾性定数 C_{66} モードの巨大なソフト化や、電子ドーピング系で常に $T_S > T_N$ （磁気秩序温度）となる実験からの相図の再現や軌道揺らぎを媒介として S_{++} 波超伝導が実現することを示した。これらの研究成果に基づき、鉄系で格子-軌道結合が新規な超伝導をもたらしている可能性をさらに深く追究すべく、それに関する多くの実験的証拠と理論的考察とを進めた。中性子散乱実験やNMR結果の考察から、間接的証拠の蓄積に加え、具体的にわかりやすい情報を得るための微視的手がかりをいくつか見出した。

4. 事後評価結果

4-1. 研究の達成状況及び得られた研究成果

本研究課題では、次のような成果が得られた。

①非磁性不純物による T_c 抑制速度の測定による S_{\pm} 対称性の識別

S_{\pm} 対称性に対して見られるはずの、“非磁性不純物による超伝導対破壊効果”が見られないことを、特にLa1111系について最初に実験的に指摘し、多くが主張する S_{\pm} 対称性よりむしろ S_{++} 対称性の可能性が高いと結論付けた。さらに、磁気・輸送特性に関する多様な実験データを提出し、その結論を支持する傍証をも提示した。

②中性子散乱やNMR、超音波測定による超伝導対称性の吟味

概要：中性子散乱で見られる磁気励起スペクトル $\chi''(Q, \omega)$ や、NMR ($1/T_1$)- T 曲線にも S_{++} と S_{\pm} の対称性

を識別する特徴が現れるはずであるが、その実験結果は、当初、 S_2 対称性の証拠とみなされた観があったが、物質の特徴を正確に考慮に入れた考察によって、むしろ軌道-格子結合がその発現に役割を果たす S_{4v} 波超伝導が実現している可能性が高いことを指摘した。

③ 超音波実験による格子系の挙動の解明

超音波測定から、縮重したふたつの 3 d 軌道を持つ電気四極子（軌道）の揺らぎ（軌道揺らぎ）と結びつく弾性定数 C_{66} にだけに巨大ソフト化を観測した。この C_{66} のソフト化は、パルス強磁場（60T）中でも頑強に変化しない。これをもとに、非磁性の電気四極子揺らぎが超伝導発現に役割を果たしている可能性を指摘した。

4-2. 総合的評価

1111 構造鉄系超伝導体の超伝導状態の対称性が s_{+2} であるとするモデルが、この研究分野のコンセンサスになりつつあるときから、NMR の $1/T_1$ の測定、および電子状態計算をベースにした理論解析などをよりどころにして、臨界温度に対する不純物効果と自身のグループの NMR 実験結果から一貫して s_{+2} ではなくて s_{+4} であることを主張してきた。中性子非弾性散乱の磁気励起スペクトル $\chi''(\mathbf{Q}, \omega)$ に見られるピークの形状がやはり s_{+4} を支持すること、 $1/T_1$ の超伝導転移温度直下のコヒーレンスピークが存在しないことが必ずしも s_{+4} と矛盾しないこと、など着々と実験的および理論的証拠を積み重ねた。最近の超音波吸収の実験における弾性定数 C_{66} のソフト化と、その理論的裏付けの軌道揺らぎ効果による超伝導の対称性が s_{+4} となることの指摘などにより、少なくとも 1111 系の超伝導対称性が s_{+4} である可能性を支持する見解が確実に増大している。銅酸化物超伝導体には見られない軌道揺らぎの効果は鉄系超伝導体の新しい物理として非常に興味深い。確固たる独自の見解に基づき、鉄系超伝導研究にこのような新しい展開をもたらした佐藤氏の功績は高く評価される。