

研究会番号：YITP-W-14-13

研究会「多自由度電子状態と電子相関が生み出す新奇超伝導の物理」報告

開催日時：2014 年 10 月 21 日～2014 年 10 月 22 日

開催場所：京都大学基礎物理学研究所 パナソニック国際交流ホール

参加者数：76 名

[研究会の目的・趣旨]

1986 年の銅酸化物高温超伝導体の発見によって、人類は、少数自由度の驚くほど単純なハミルトニアンで記述される電子系が強相関多体効果によってきわめて高い温度で超伝導転移を起こしうることを学んだ。爾来、少数自由度の強相関電子系における超伝導は物性物理学における最も中心的なテーマの一つとなっている。

一方、2008 年の鉄系超伝導体の発見は、高温超伝導という特異的な現象が銅酸化物だけにおける偶然の産物ではなく、適切な条件が揃えば一般の系で実現しうるということを明らかにしたという重要な歴史的意義を持つ。この発見によって、高温超伝導の発現機構に関連してこれまで十分にスポットライトが当たっていなかった問題にもあらためて強い光が投げかけられることにもなった。たとえば、鉄系超伝導体の超伝導発現機構を議論する上で軌道の自由度という要素は無視できないものになっており、軌道の自由度がスピンの自由度とどのように競合、協奏するかは今日最もホットな話題の一つとなっている。

ハミルトニアンを構成するフェルミオンの自由度の高さが強相関効果と絡み合っどどのような状況下で高温超伝導の発現にもっとも有効に働きうるかという問題は、鉄系超伝導体に限らず、より広い物質群についても一般的に成立する興味深い問題である。バンド幅に比べてきわめて高い超伝導転移温度をもつ重い電子系は本質的に多軌道系であるし、 p 電子系でもっとも高い温度で超伝導転移をおこすフラーレン系も高い対称性をもつ強相関縮退軌道系である。多軌道系の超伝導は転移温度の高さという観点だけでなく、ルテニウム酸化物における三重項超伝導に代表されるように、従来型超伝導体には見られないエキゾチックな性質を持つこともある。鉄系超伝導に限らず、多自由度強相関系における超伝導は理論、実験とも研究の進展のスピードが著しく速い。新物質の合成、新奇超伝導の発見が相次ぐ中、異なる物質群の間では共通する問題も多い一方で研究者の間で最新の情報の共有が困難になっている。

このような状況を踏まえ、日本国内で鉄系超伝導体をはじめとする多自由度強相関電子系の理論研究で成果を挙げている第一線の研究者を集め、最近の成果について討論するとともに、実験研究者の講演も織り交ぜて今後の多自由度強相関電子系の超伝導研究の方向性について議論するための研究会を開催した。「多自由度電子状態」というキーワードは、2011 年から 2013 年まで開催した「鉄系高温超伝導の物理」に関わる一連の基研研究会(2011

年6月, 2012年6月, 2013年10月)を通じてクローズアップされてきたものである。本提案研究会では、鉄系超伝導体も含めたより幅広い物質群において、このキーワードが果たす役割について活発な議論がかわされた。

[研究会の内容]

研究会では、76名の参加者を得て、25分講演21件、15分講演12件、ポスター講演12件の計45件の講演が二日間にわたって行われた。初日の午前中ははじめに鉄系超伝導体の122系のARPESに関する講演が2件、ついでFeSeに対する電子輸送現象、熱電係数、常磁性帯磁率、磁場侵入長といったバルク特性、走査トンネル顕微鏡による準粒子干渉測定に関する講演が2件あった。FeSe系は最も単純な鉄系超伝導体であるが、そのフェルミ面の形状は第一原理バンド計算と比べるとはるかに小さく、今後の理論研究の発展による解決が求められるところである。さらに11系の相分離を抑制したエピタキシャル薄膜の作成の報告が1件あった。

休憩をはさみ、鉄系超伝導体に対する核磁気共鳴に関する発表が2件あった。構造と磁性、軌道秩序の関係が1111系、122系、11系の三者でどのような類似性があり、また相違性があるかが議論された。次いで122系に対して電子線照射によって点欠陥を導入し不純物効果を調べることで超伝導ギャップ構造を調べたり、超伝導相内の量子臨界点の制御を行う実験研究の報告がなされた。さらにSbドーピング122型超伝導体、梯子型化合物についての講演がそれぞれ一件ずつなされた。

午後からは、水素ドーピングLa1111系の実験の講演のあと、理論の講演が4件あった。スピン揺らぎ機構による $s\pm$ 波超伝導において実空間描像と波数空間描像の協力が重要であること、軌道揺らぎシナリオで熱起電力の面内異方性が説明できること、 $d\cdot p$ クーロン斥力によって波数ゼロの軌道揺らぎが増強される一方、反強磁性揺らぎとうまくすみ分けて不純物に強い $s\pm$ 波が実現すること、といった議論がなされた。また、変分モンテカルロ法に基づく研究成果も報告され、電荷感受率と超伝導の安定性の間に興味深い一対一の関係があることが議論された。その後ポスター講演があり、活発な議論がなされた。

二日目の午前中は、主として重い電子系に関する講演があった。まず、局所的な空間反転対称性の破れに起因するスピン軌道相互作用と電子系の内部自由度の協力による非従来型超伝導についての講演があった。次いで、四極子秩序と超伝導の関係で注目を集めている $\text{PrT}_2\text{Al}_{20}(\text{T}=\text{Ti}, \text{V})$ について最近の実験についての報告があった。さらに重い電子系の超伝導について長い歴史をもつ CeCu_2Si_2 の超伝導ギャップ関数についての理論研究の報告があり、最後に URu_2Si_2 におけるカイラル超伝導の可能性についての議論が実験の立場からなされた。

休憩をはさみ、銅酸化物高温超伝導体についてのセッションがもたれた。まず擬ギャップ領域で観測され、最近話題となっている電荷密度波の起源についての理論研究の報告がなされた。ついで共鳴非弾性X線散乱による高エネルギー磁気励起に関する理論研究、超

伝導ギャップ関数の周波数方向の構造を隠れたフェルミオンを導入することで理解する研究についての講演があった。セッションの最後には、最近の高圧下輸送特性の実験研究の成果について講演があった。

二日目午後前半には、混合アニオン配位を有する Ti 系の超伝導体についての実験研究、BiS₂超伝導体に対する理論計算、YNi₂B₂C 超伝導体の dvH 振動の実験研究の報告があった。セッションの最後には軌道縮退模型において、斥力から s 波超伝導がどの状況で実現するかについての報告があった。

研究会最後のセッションははじめに Ru 系超伝導体に対する汎関数繰り込み群による解析の結果についての報告があり、次いで、Ir 酸化物における超伝導の可能性についての理論研究の発表が 2 件あった。最後の 3 つの講演は炭素系超伝導体に関するもので、まずフラーレン超伝導体の理論と実験の講演があり、ついでナフタレンをベースとした新しい芳香族超伝導体の可能性についての講演があった。

幅広い物質に対して超伝導研究が日々発展しつつあることをあらためて感じることができた充実した研究会となった。超伝導にテーマをしぼり、第一線で活躍する国内の研究者たちを一同に集めて集中的に議論できる研究会は現在、基研研究会のみであり、その意味でも大変貴重な機会であった。今回の研究会のキーワードは電子の多自由度と関連の「協奏」であったが、様々な物質において多様な形で実現する「協奏」の可能性が示されたことは大変有意義であったといえる。

なお、研究会プログラムおよび講演のアブストラクトは下記 web ページの「プログラム & アブストラクト」欄から閲覧できる。

<http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/ws/2014/super2014.ws/>

リンクが切れている場合は以下のページから検索頂きたい。

<http://www.yukawa.kyoto-u.ac.jp/contents/seminar/startsearch.php>

[世話人]

有田 亮太郎 (理化学研究所 CEMS) (代表)、

黒木 和彦 (大阪大学大学院理学研究科)

池田 浩章 (立命館大学理工学部)

大野 義章 (新潟大学大学院自然科学研究科)

紺谷 浩 (名古屋大学大学院理学研究科)

遠山 貴己 (東京理科大学理学部)

松田 祐司 (京都大学大学院理学研究科)