

科学研究費補助金（学術創成研究費）公表用資料  
〔事後評価用〕

平成15年度採択分

平成20年 3月31日現在

研究課題名（和文） 多元融合領域の新物質相  
研究課題名（英文） New Phase of Matter in Multidisciplinary Approach  
研究代表者  
氏名 北岡 良雄 (Kitaoka Yoshio)  
所属研究機関・部局・職 大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授



研究の概要：

世界最先端多重極限環境下の精密物性測定技術、強相関電子系新物質創製技術、超高压発生および物性測定技術、軟x線放射光によるバルク敏感電子状態測定技術、配列ナノ空間新電子相創製技術を有する実験グループおよび理論解析・新物質設計グループがもっている国際的に高水準の研究能力を結集し、電子状態の次元性（1次元、2次元、3次元）効果、特異な格子構造（三角格子、カゴメ格子など）に起因する相互作用がせめぎ合うフラストレーション効果、物理環境の多元化（配列ナノ空間、超高压、強磁場、極低温）効果によって、発現する予測を超えた未開の「多元融合領域の新物質相」の発見と現象の解明を行う。

研究分野： 数物系科学

科研費の分科・細目： 物理学・物性II

キーワード： 強相関系、磁性、高温超伝導、量子相転移

1. 研究開始当初の背景

1980年代に次々と発見された重い電子系超伝導体や1986年に発見された銅酸化物高温超伝導体の研究によって、従来は別の物理現象と考えられていた磁性と超伝導は実は深い関連をもつことが理解されることとなり、磁性と超伝導の境界領域にフロンティアが広がった。我々の予想を越えた、磁気モーメントが平行に揃った電子対の形成によって起る固体電子系では初めての「スピン三重項超伝導相」や「反強磁性と超伝導のミクロな融合相」などの新物質相が発見された。

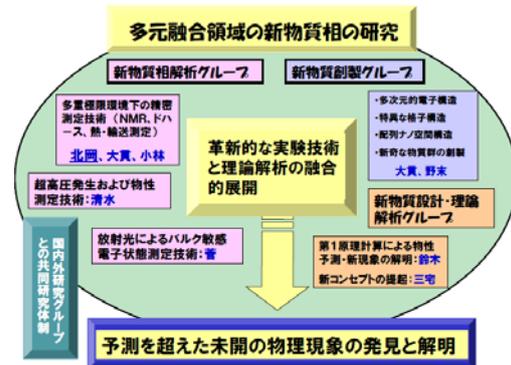
2. 研究の目的

革新的な実験技術によって、電子状態の次元性（1次元、2次元、3次元）効果、特異な格子構造（三角格子、カゴメ格子など）に起因する相互作用がせめぎ合うフラストレーション効果、物理環境の多元化（配列ナノ空間、超高压、強磁場、極低温）効果によって、予測を超えた未開の新物質相の発見と現象の解明を行う。「物質科学研究のフロンティア」をさらに押し広げつつ、共通する物理概念の深化を通じて「物性物理学における未踏の学術創成」を目指す。

3. 研究の方法

新物質創製グループから提供された多彩な新物質を新物質相解析グループが有する多重極限環境下の精密測定（NMR、ドハ

ース、熱・輸送測定）技術、超高压下測定技術、放射光によるバルク敏感で電子状態測定技術によって新物質の物性を解明し、理論グループが現象を解析する。



4. 研究の主な成果

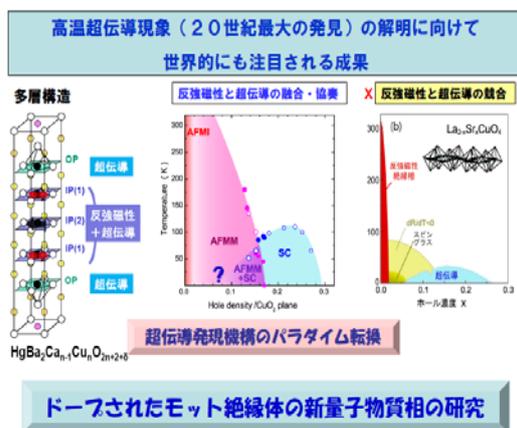
(1) 重い電子系反強磁性体の圧力誘起超伝導の相図の微視的解明

① CeIn<sub>3</sub>の反強磁性相と常磁性相との境界領域で起る超伝導は、異方的であること、量子臨界点はなく反強磁性から常磁性へは1次転移的であること、超伝導は反強磁性相と常磁性相の両相で発現すること、1次転移が起こる臨界圧力の常磁性相においてT<sub>c</sub>が最大となることを発見した。②反強磁性CeRhIn<sub>5</sub>の磁気臨界点近傍で超伝導状態とのミクロな共存相を世界に先駆けて示した。

精密な圧力制御を行った圧力-温度相図の研究から反強磁性相、超伝導相、両者の共存相、常磁性・常伝導相が出会う四重境界点を発見した。③結晶反転対称性のない重い電子系反強磁性超伝導体 CeIrSi<sub>3</sub> において圧力印可で T<sub>c</sub>=1.6K まで上がるのは背景の強い反強磁性揺らぎがあることに起因することを示した。CePt<sub>3</sub>Si はこれまでの異方的超伝導体とは異なる新奇なギャップ構造を持つことを示し、s 波スピン 1 重項と p 波 3 重項が混成した可能性が高いことを示唆した。④反強磁性臨界点近傍に居ると思われる CeNi<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub>, 重い電子系異方的超伝導体, Ce<sub>2</sub>RhIn<sub>8</sub> 系の磁気ゆらぎと超伝導発現の相互関係を明らかにした。

(2) 銅酸化物高温超伝導体の新しい電子挿入

五層型銅酸化物高温超伝導体(下図左)において系統的な NMR を行い、反強磁性転移温度(ネール温度)、および超伝導転移温度をキャリア濃度に対する新しい電子相図を明らかにした(下図中)。この相図の特徴は、反強磁性絶縁体にホールをドーブしていくと反強磁性金属状態で超伝導が発現し、一様に混ざった両者の融合相が 16%まで存在すること、反強磁性磁気秩序が消失して、ホール濃度が 20%を超えると、最高の T<sub>c</sub> が発現することを示している。これまで多くの実験手法によって確立されてきた La<sub>2-x</sub>Sr<sub>x</sub>CuO<sub>4</sub>(LSCO)系(下図右)や YBCO<sub>6+x</sub>(YBCO) の相図とは一線を画すものとなっている。この事実を鑑みると、高温超伝導は反強磁性と「競合」しているというよりも、「協奏・協力」していると考えられる。この銅酸化物高温超伝導の起源は「反強磁性を生み出すものと同一のもの」、つまり反強磁性を生み出す超交換相互作用(J)と考えることではないかというのが我々の実験からの結論である。これら一連の研究の発展が高温超伝導現象の機構解明へ向けてのブレークスルーとなることが期待される。



5. 得られた成果の世界・日本における位置づけとインパクト

本研究によって、反強磁性と超伝導が少量のホールドーピングや加圧によって、反強磁性秩序は反強磁性と超伝導のミクロに均一な融合相を経て、超伝導相へと連続的に移り変わることが発見された。超伝導は反強磁性と「競合」しているというよりも、「協奏・協力」していることが本研究によって初めて明らかとなった。なかでも銅酸化物高温超伝導の起源は「反強磁性を生み出すものと同一のもの」、つまり反強磁性を生み出す超交換相互作用である可能性が高いことを本研究は示した。これら一連の研究の発展が高温超伝導現象の機構解明へ向けてのブレークスルーとなり、長年の物理学上の重要課題であった「高温超伝導現象の解明」に繋がることが期待できる。結果として、「強相間効果」に起因する磁氣的相互作用を起源とする「新しい超伝導のパラダイム」に基づいて、新高温超伝導物質を探索する指針となる波及効果をもつ。

6. 主な発表論文

- M. Yashima, S. Kawasaki, H. Mukuda, **Y. Kitaoka**, **Y. Onuki** (他 2 名), Phys. Rev. B **76**, 020509(1-4)(R) (2007).
- Y. Kitaoka**, H. Mukuda, M. Yashima, and A. Harada; J. Phys. Soc. Jpn. **76**, 051001(1-15) (2007).
- D. Aoki, Y. Haga, T. D. Matsuda, N. Tateiwa, S. Ikeda, Y. Homma, H. Sakai, Y. Shiokawa, E. Yamamoto, A. Nakamura, R. Settai and **Y. Onuki**; J. Phys. Soc. Jpn. **76** 063701(1-4) (2007).
- Alexander T. Holmes, Didier Jaccard, **Kazumasa Miyake**, J. Phys. Soc. Jpn. **76**, 051002-1-10 (2007).
- M. Yano, A. Sekiyama, H. Fujiwara, T. Saita, S. Imada, T. Muro, **Y. Onuki**, **S. Suga**, Phys. Rev. Lett. **98**, 036405-1-4 (2007).
- H. Mukuda, M. Abe, Y. Araki, **Y. Kitaoka**, A. Iyo (他 4 名), Phys. Rev. Lett. **96**, 087001(1-4) (2006).
- S. Kawasaki, M. Yashima, Y. Mugino, H. Mukuda, **Y. Kitaoka**, H. Shishido and **Y. Onuki**, Phys. Rev. Lett. **96**, 147001(1-4) (2006).
- S. Kawasaki, M. Yashima, Y. Mugino, H. Mukuda, **Y. Kitaoka**, H. Shishido and **Y. Onuki**, Phys. Rev. Lett. **96**, 147001(1-4) (2006).
- Shinji Kawasaki, Guo-qing Zheng, Hiroki Kan, **Yoshio Kitaoka**, **Yoshichika Onuki**, Phys. Rev. Lett. **94**, 037007 (1-4) (2005).
- Y. Kitaoka**, S. Kawasaki, T. Mito and Y. Kawasaki; J. Phys. Soc. Jpn. **74**, 186-199 (2005).