

「極限環境状態における現象」

平成8年度採択研究代表者

佐藤 正俊

(名古屋大学大学院理学研究科 教授)

「低次元異常金属の開発」

1. 研究実施の概要

強く相互作用する(強相関)電子系をもつ多元遷移金属化合物を念頭に、従来にはない物性・機能を見い出すべく、多数の物質群を合成した。さらにその物質評価と詳しい物性研究を通してその電子系のおりなす物性現象のひとつひとつの意外性を明瞭にした。また銅酸化物高温超伝導体の異常物性と超伝導の起源について実験側から統一的描像を打ち出すとともに、それと密接に関連した理論的記述を行い、この強相関電子系の典型例ともいえる系の正しい取扱いに対して先鞭をつけた。これは「異常金属物性学」の構築全体に対しても大きな一歩である。

2. 研究実施内容

強相関電子系の「異常金属物性学」の構築作業として、互いに密接に関係する次のような研究を進めた。

(i) 最も典型的物質系である銅酸化物高温超伝導体の異常物性および超伝導の起源について、広汎な種類の実験データをもとにその物理的描像を明確にする相図を作成してきた。さらに超交換相互作用を取り入れることができるように構成された $1/N$ 展開理論により、その相図の特徴を再現することもできた。これは今後高温超伝導体のみならず異常金属全体を物理学的観点から取り扱っていくうえでの大きな礎石となりうるものである。

(ii) 銅酸化物の物性の異常性・新奇性はモット絶縁相と金属相との境界付近においてみられる active な磁性と擬ギャップ形成(すなわち電子スピン一重項対形成)とにその origin が見られる。これらに関連した物質系として本研究グループではこれまで層状化合物 $\text{BaCo}_{1-x}\text{Ni}_x\text{S}_2$ のモット金属・絶縁体転移や2次元スピンギャップ系 CaV_4O_9 、その他多くの物質を取り上げて、新奇な物性を開拓するとともに、高温超伝導体の異常物性を理解する重要な情報をとり出してきた。

本年度はモット金属・絶縁体転移をもつ新しい物質 $\text{R}_{2-x}\text{Bi}_x\text{Ru}_2\text{O}_7$ ($\text{R}=\text{Y}$ および Sm 、 Eu 等の稀土類元素) をとり上げ、その磁性と輸送特性、熱特性に見られる種々の異常を発掘した。この系が3次元系でありながら多くの異常が金属・

絶縁体転移に関して見られるのはこの系がいわゆるスピンプラストレーションをもつゆえに、低温で磁氣的に order しないゆらぎの大きい系として、2次元系である銅酸化物とよく似た特徴を有するからである。その他スピンギャップをもつ一次元量子スピン系 CuNb_2O_6 や AV_2O_7 (A=Na, Li) のスピンギャップの起源、磁性や低温での熱的特性等を明らかにした。これは銅酸化物の挙動を理解するうえでも重要な役割を果たした。

(iii) 強相関電子系研究に必要な物質系の合成、評価を常に並行して進め、多くの物質について、多岐にわたる成果を発表した。本年度とりあげた物質系全てについては詳述できないので、ここでは物質名のみをあげる。

- AV_2O_5 (A=Na, Li) 電荷秩序のある 1次元スピンギャップ系
 - AV_3O_7 (A=Sr, Ca) 2次元量子スピン系
 - ACuCl_3 (A=K, Tl) スピンギャップのある 1次元スピン系
 - $\text{BaCo}_{1-x}\text{Ni}_x\text{S}_2$ 2次元層状モット転移系抵抗の巨大圧力効果がある
 - $\text{Sr}_{14-x} \text{Ca}_x \text{Y}_y \text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ スピンギャップをもつスピン梯子系
 - $\text{LaCuO}_{2.5}$ スピン梯子系
 - $\text{Rb}_2\text{M}_3\text{S}_4$ (M=Ni, Pd) カゴメ格子構造をもつ 2次元系
 - CuNb_2O_6 スピンギャップをもつ 1次元量子スピン系
 - $\text{R}_{2-x}\text{Bi}_x\text{Ru}_2\text{O}_7$ (R=Y および稀土類元素) モット転移をもつスピンプラストレーション系
 - $\text{R}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ (R=稀土類元素) スピンプラストレーションのある系
 - R_2GaSbO_7 (R=稀土類元素) スピンプラストレーションのある系
 - $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+y}$ 高温超伝導体。中性子散乱による磁気励起や擬ギャップ研究に重要な役割
 - $\text{R}_{1-x}\text{Pr}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+y}$ 高温超伝導体における Pr の超伝導抑制機構研究
(R=稀土類元素)
 - $\text{SrV}_3\text{O}_7, \text{CaV}_3\text{O}_7$ 2次元量子スピン系、反強磁性体
- その他

ここで(i)についてのみさらに詳述することにしたい。実験例から多くの事実にもとづいて提案している相図が図 1(a)に示されている。(ここでは δ はモット絶縁相にドーパされた正孔濃度) この図の中に現れる特徴的溫度 T_0 、 T_{SG} 、 T_c はそれぞれ帯磁率が最大となる溫度、NMR 縦緩和率 $1/T_1 T$ が最大となる溫度および超伝導転移溫度である。ここで溫度の降下の際、反強磁性相関の強くなる T_0

付近から超伝導電子対と同じ対称性をもつ電子対ができはじめ、結果としてスピン擬ギャップをもった異常金属相が姿を現わし、 T_{SG} 付近ではその singlet 対相関が反強磁性相関を dominate する。さらに温度を下げると $T=T_c$ で超伝導秩序へと成長するというのが実験的に描く超伝導メカニズムである。このような描像は最近当研究チームにおいてなされたスピンゆらぎを考慮した理論からも基本的に support されることがわかってきた。図 1(b)に理論的に得られた相図を示すが実験から得られていたものとほぼ共通の特徴が再現されている。この結果は超伝導電子対の形成が反強磁性相関に裏打ちされたスピンのゆらぎを媒介として生じること、さらには超伝導電子対の形成（擬ギャップの形成）によって反強磁性ゆらぎが抑制されていくことの双方の効果を同時に考慮することによって得られる。図 2 にその概念図を示しておく。

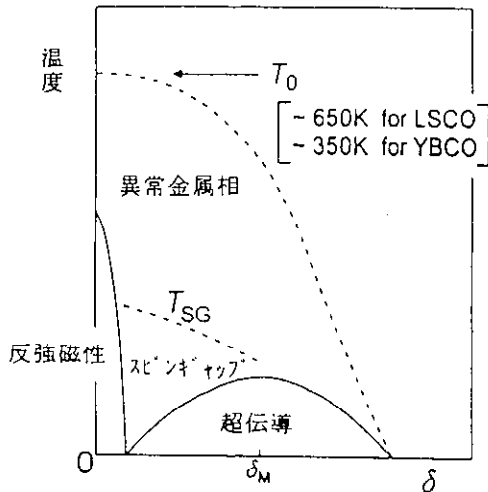


図 1(a) 銅酸化物の相図 (実験)

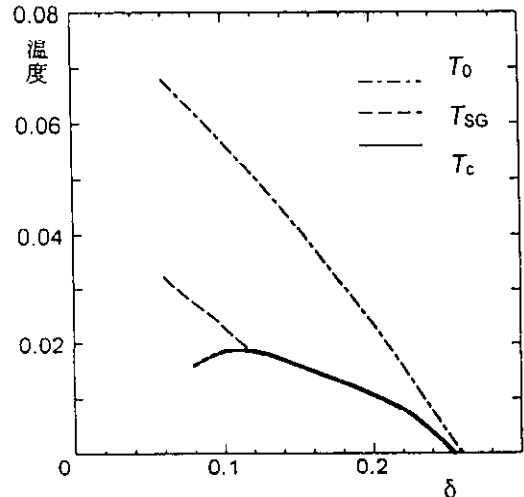


図 1(b) 銅酸化物の相図 (理論)

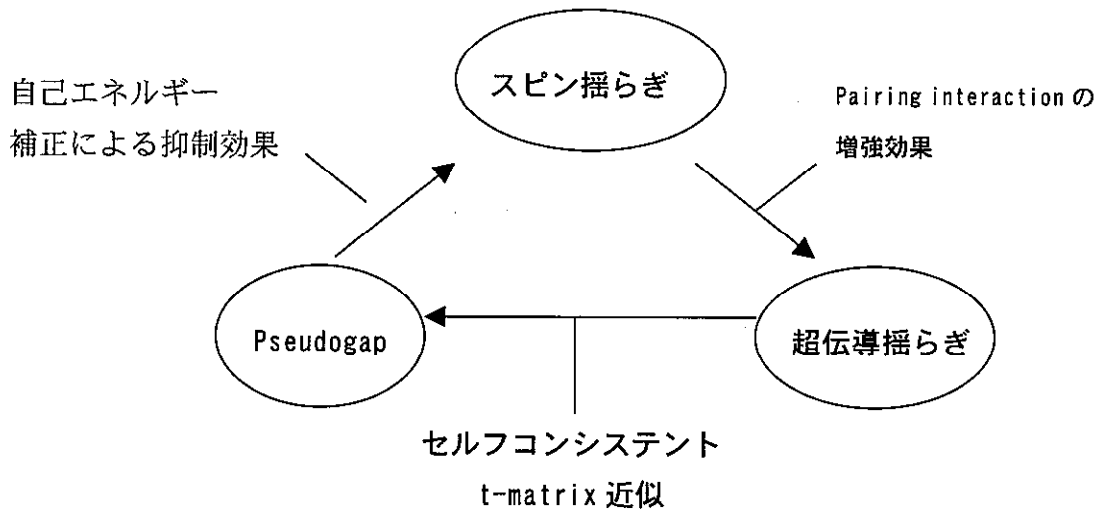


図 2

3. 主な研究成果の発表 (論文発表)

- T. Fukamachi, Y. Kobayashi, M. Kanada, M. Kasai, Y. Yasui and M. Sato
NMR Studies on Spin-Gap Behavior of Monoclinic CuNb_2O_6
J. Phys. Soc. Jpn. **67** (1998) 2107-2111.
- T. Nishikawa, M. Kato, M. Kanada, T. Fukamachi, K. Kodama, H. Harashina
and M. Sato.
Specific Heat of Quasi-One-Dimensional Spin 1/2 System CuNb_2O_6
J. Phys. Soc. Jpn. **67** (1998) 1988-1993.
- H. Harashina, H. Sasaki, K. Kodama, M. Sato, S. Shamoto, K. Kakurai and M.
Nishi
Pseudo Gap Formation Studied by B_{2u} Phonon Measurements
J. Phys. Soc. Jpn. **67** (1998) 3216-3223.
- M. Kanada, H. Harashina, S. Tanaka, T. Fukamachi, Y. Kobayashi and M.
Sato
On the Magnetic Properties of Systems with Low Dimensional Linkage of VO_5
Pyramids
J. Phys. Soc. Jpn. **67** (1998) 2904-2909.
- F. Hayashi, E. Ueda, M. Sato, K. Kakurai and M. Nishi
Anisotropy of the superconducting Order Parameter of $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$ Studied
by STM/STS
J. Phys. Soc. Jpn. **67** (1998) 3234-3239.
- K. Kodama, H. Harashina, H. Sasaki, M. Kato, M. Sato, K. Kakurai and M.
Nishi
Neutron Scattering Study on the Quasi-One-Dimensional Spin-Gap System
 CuNb_2O_6
J. Phys. Soc. Jpn. **68** (1999) 237-241.
- H. Sasaki, H. Harashina, K. Kodama, M. Sato, S. Shamoto, M. Nishi and K.
Kakurai
Neutron Scattering Study on Metal-Insulator Transition of BaCoS_2 Induced by
External Pressure and by Ni-Doping
J. Phys. Soc. Jpn. **67** (1998) 4235-4242.
- Y. Kobayashi, T. Fukamachi, M. Kanada, H. Harashina, S. Tanaka and M.
Sato
 ^{51}V -NMR Studies on the Spin Dynamics of $S=1/2$ Zig-Zag Chins of VO_5
Pyramids

- J. Phys. Soc. Jpn. **68** (1999) 273-278.
- S. Taniguchi, M. Kato, K. Kodama, Y. Kobayashi and M. Sato
Effects of Short Range Spin Correlation on ESR Lines of Low Dimensional
Antiferromagnetic and Spin-Gapped Systems
J. Phys. Soc. Jpn. **68** (1999) 2118-2127.
- Y. Yasui, H. Sasaki, M. Sato, M. Ohashi, Y. Sekine, C. Murayama and N. Mori
Study of Pressure-Induced Mott Metal-Insulator Transition of BaCoS_2
J. Phys. Soc. Jpn. **68** (1999) 1313-1320.
- M. Kato, S. Yoshii and M. Sato
On the Magnetic State of Monoclinic- $\text{Cu}_{1-x}\text{A}_x\text{Nb}_2\text{O}_6$ (A=Zn, Co and Ni)
J. Phys. Soc. Jpn. **68** (1999) 2040-2045.
- J. Takeda, J. Sakurai, A. Nakamura, M. Kato, Y. Kobayashi and M. Sato
Thermal Conductivity of $\text{BaCo}_{1-x}\text{Ni}_x\text{S}_2$ (A=Zn, Co and Ni)
J. Phys. Soc. Jpn. **68** (1999) 1602-1606.
- T. Fukamachi, Y. Kobayashi, A. Nakamura, H. Harashina and M. Sato
NMR Studies on $\text{Rb}_2\text{M}_3\text{S}_4$ (M=Ni and Pd) with the Kagome Lattice
J. Phys. Soc. Jpn. **68** (1999).

他9件