

「極限環境状態における現象」

平成9年度採択研究代表者

遠藤 康夫

(東北大学金属材料研究所 教授)

「新しい量子自由度・軌道の動的構造の解明」

我々は先ず半導体を超える電子制御技術を可能にする未知のテクノロジーの一つとして、強相関電子系物質の基本概念(パラダイム)の構築を目指す。例えばこの系の物質は電子の動き(モビリティ)が環境に敏感に反応して劇的に変化する相転移現象などが次世代の多機能素子の材料として応用される可能性をもっている。この相転移機構は原理的に従来の独立電子を対象にした概念を超えるものであろう。

我々は強い相関効果によって局在する傾向にある電子は結合電子のように空間的に異方的な広がりを持つが、これを新しい自由度「軌道」と定義する。軌道は結晶格子の空間対称性に強く依存し、直接観測による動的な解析が不可欠である。しかも電子間の斥力やスピン自由度に依る相関効果などの相互作用を観ることに繋がる。このプロジェクトでは、軌道の直接観測を目的とした放射光 X 線非弾性散乱と、従来我々が行って来たスピンや格子などの自由度の運動を観る為の中性子非弾性散乱とを結合させて、強相関電子系のマイクロな運動を総合的に観察することで、新奇な物性の機構解明に新局面を持ち込む。

1. 研究実施の概要

共鳴 X 線非弾性散乱の理論から始まって、Spring8 のビームラインに完成した放射光 X 線の高分解能非弾性分光装置を使って、100 meV のエネルギー分解能で 10 eV までの $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ の電子励起の観測を共鳴散乱の手法で検出に成功した。この装置は設計通りの世界最高級の性能を持つことを確認したことを報告しておきたい。同時に $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$ の複雑な磁気相図とその磁気特性が軌道自由度が誘引したことを中性子散乱研究で明らかにし、CMR 機構の解明に新しい切り口を与えた。 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ を初めとする銅酸化物高温超伝導体の磁気励起や格子振動による中性子非弾性散乱研究を続け、電荷ストライプの形成に伴う異常や強い電子格子相互作用の存在を見つけることに成功したことも大きな成果である。

2. 研究実施の内容

最近の凝集体物理学の最大の興味は、次々に発見される新奇な相転移現象の謎解きであろう理論的に表現すると対称性の破れとそれに伴う素励起という基本概念の構築と言うことになる。このような新奇な現象を与える実際の物質の中でも、遷移金属酸化物は主役を担う 3d 電子軌道の自由度の対称性の破れがその物性を支配することに最近特に注目されている。ここで定義する電

子軌道自由度は電子の原子内での空間的分布(広がり)の量子化した量を指す。この軌道自由度が磁性や電気伝導を始めてとして、規則相や CMR で代表される新奇な現象を導く物質のマイクロ構造の機構を明らかにすることが、この研究課題である。中性子線や放射光 X 線散乱を駆使して、主として遷移金属酸化物の電子軌道が誘発する相転移と素励起の構造解析を行い、マイクロ機構解明を目指す。Mn ペロブスカイト酸化物における電子軌道の素励起の物理を理論的に明らかにし、ラマン散乱や共鳴 X 線非弾性散乱の原理を導き、この指導原理に従った実験結果の理論的解釈を行った。

特に後者においては Spring8 の BL11 のビームポートで昨年度に完成した高分解能の X 線非弾性散乱装置を使って、世界で始めて LaMnO_3 単結晶の電子励起の観測に成功した。電子励起スペクトルは主として下から 2.5, 8, 12.5 eV の3つのエネルギーにピークを持ち、エネルギー分散は殆ど無い。また散乱強度はモーメントに依存するモードもあるが、散乱強度が散乱ベクトルの周りの角度 (Azimuthal Angle) でサイン関数的に振動する特徴が見いだされたのが特筆すべきことである。(図1、2参照) La を Sr で置換してホールを注入することに依って絶縁相から金属相に転移を起こすと CMR 効果が発現することが知られているが、この相転移と電子励起との相関関係の研究が当面の実験目標である。現状で言えることは磁気相転移や構造相転移では電子励起は特に著しい変化を示さないが、2.5 eV 付近の非弾性散乱成分として見られる電子励起はドーピングに依って低励起エネルギー成分の強度が増し、その結果散乱エネルギー幅が増加する変化として捉えられる。低温になるほど強度やスペクトルが顕著になる温度変化も見えている。

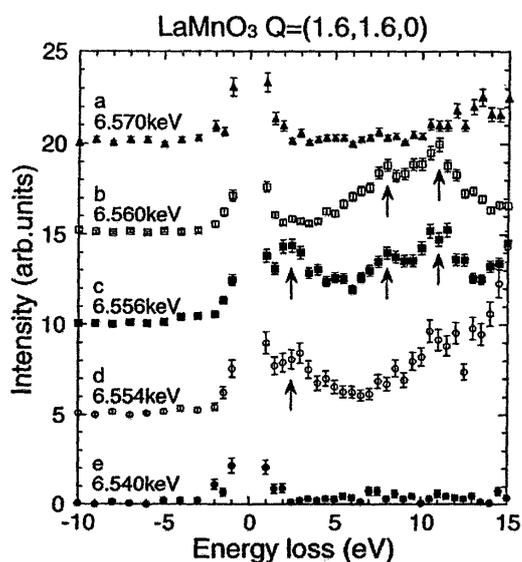


図1 LaMnO_3 の共鳴 X 線非弾性散乱スペクトル ($T=300\text{K}$) 2.5, 8, 12.5 eV にピーク構造が見える。

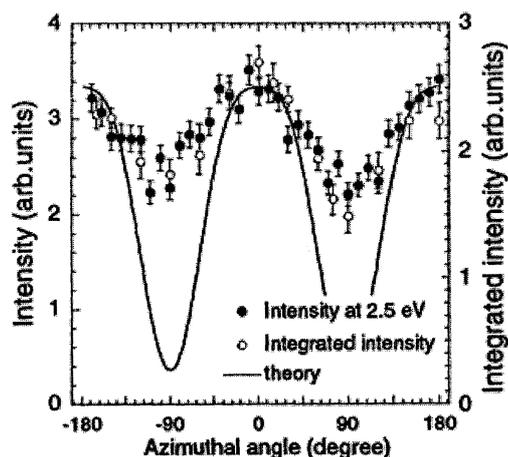


図2 LaMnO_3 の共鳴 X 線非弾性散乱 azimuthal angle (散乱ベクトル周りの角度) 依存性、サイン関数の角度依存性が見られる。

中性子散乱によるスピン励起の研究も続けているが、スピン励起から、例えば3次元反強磁性体である LaMnO_3 が、2次元強磁性のスピン波励起が見つかった。これは軌道自由度が結晶の2次元面内で異方的な軌道整列を反映したもので、軌道整列の間接検証でもある。この手法を用いて複雑な相転移を起こす $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$ で表される2層 Mn ペロブスカイト結晶のスピン波素励起と軌道状態の相関を研究した。そこで判明したことは複雑な規則相は統べて軌道状態が絡むこと、また複雑な相転移、相分離や2相共存など複雑な現象が実験的に明らかにされた。実験結果の1例を示しておく(図3)。

この研究プロジェクトでは銅酸化物高温超伝導体の発現機構、特に電子の強い相関に依る電荷とスピンとの分離の問題の追求も行ってきた。単層超伝導体の $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ では La を Sr で置換して CuO_2 層にホールを注入すると $x = 0.05$ 付近で金属への転移が起こり、同時に超伝導が発現することが知られている。超伝導発現と磁性(2次元反強磁性)との関連の解明が研究の第1期であるとするなら、第2期は明らかに金属転移(電荷の移動)と反強磁性のドーピング依存性との関連性と勿論、高温超伝導発現機構の根源的な解明にどう結び付けるかと言う取り組みであろう。その中で我々の今年度の研究結果を総括すると画期的な進展があったと思っている。

$\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ の $x = 0.02$ までは3次元反強磁性相が安定に存在すると考えられていた電子相図は間違いで、Sr を入

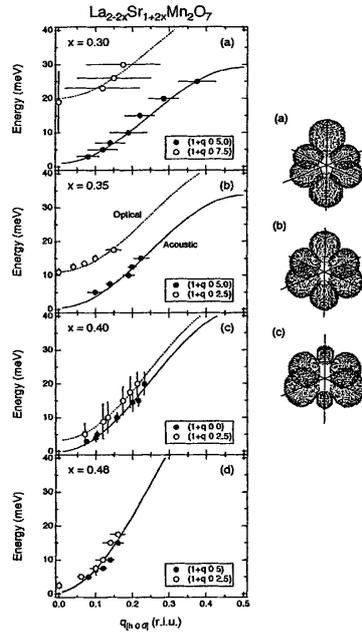


図3 $\text{La}_{2+2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$ のスピン波の分散関係 ($T = 10\text{K}$) x 依存性が顕著に見られる。この図から見積もられた Mn 軌道の図

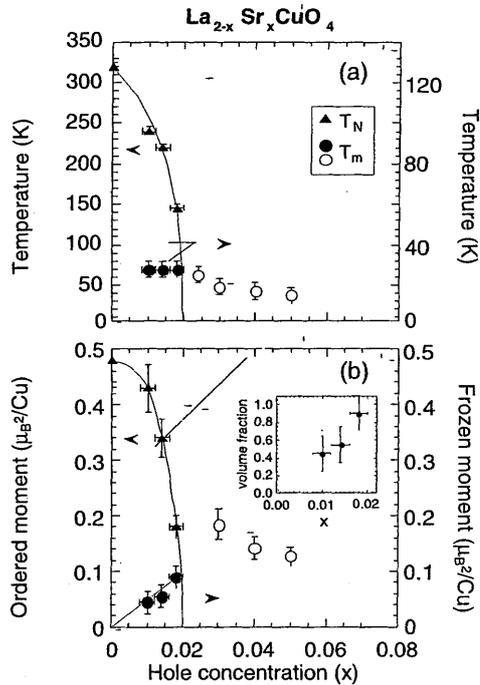


図4 (a) $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ のネール点(T_N)、ストライプ転移点(T_m)の依存性
(b) 磁気モーメントの x 依存性

れると低温で相分離することが実験的に明らかにされた。また、 $x = 0.05$ 付近で起こる金属転移は1次転移であり、その辺でスピン構造の変位を伴っていることを昨年度までの研究で明らかにされたが、一連の研究から $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ 系では少なくとも Sr ドープの結晶では電子状態は共存相として理解すべきであるという結論を提供することが出来た。その中で例えば $x = 0.02, 0.05, 0.125$, 或いは 0.15 等の特位点で特定の相の存在が示唆される。これは例えば $\text{La}_2\text{CuO}_{4+y}$ と表現される過剰酸素を注入して金属化を進めるとマクロに相分離が見られることと対比出来る。Sr 置換で金属化する場合との違いは注入されたホールの周りのポテンシャルの大きさと、前者では相分離がマイクロに止まるのに対して後者ではマクロな相分離が見られる。何れにしても $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ の電子相図は新しく描き替えられる。(図4) 希薄な Sr 領域での高温の金属的な伝導が低温では半導体的挙動にクロスオーバーするのは電荷が一次元的なストライプ状に並ぶ事象が反映したものであるが、この電荷ストライプは今の処スピンストライプとして実験的に捉えられている。スピンストライプは CuO_2 格子の斜方向(diagonal)に並んでいることも判っているが、このストライプ模様の幅がホール量に反比例して短くなることも、電荷ストライプがスピンストライプを誘発していることは略間違い無いと思う。この件に関していうと $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$ や $\text{La}_{1.875}(\text{Sr}_{1-x}\text{Ba}_x)_{0.125}\text{CuO}_4$ では電荷ストライプによる格子変形の直接観測に成功している。

最近、この電荷ストライプの存在に関して、電荷ストライプ形成と高温超伝導発現とを結び付ける考え方があり $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ では電荷が規則的に並ぶ状態では無く、むしろ電荷の揺らぎにストライプ構造があるという大胆な提案が世の中を騒がせている。例えば格子振動にその効果が顕われているとの報告が出されている。我々は detwin 結晶を用いて格子振動からの中性子散乱を行った結果、このような顕著なことは起こっていないことを確認した。然し乍ら、 CuO_2 面の酸素イオンの Cu 方向への伸縮振動に強い振動モードのエネルギーシフトが観測された。これは非常に大きなシフトで強い電子格子相互作用の存在を示唆するものである。その他 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ のスピン励起スペクトルが Sr の濃度に関係なくスケール則が導かれることを実験的に示すことが出来た。

以上、今年度の成果をまとめると次のようになる。共鳴 X 線非弾性散乱の理論から始まって、Spring8 のビームラインに完成した放射光 X 線の高分解能非弾性分光装置による、 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ の電子励起の観測を共鳴散乱の手法で検出に成功した。この装置は設計通りの性能を発揮したことを報告しておきたい。 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ を初めとする銅酸化物高温超伝導体の磁気励起や格子振動による中性子非弾性散乱研究を続け、電荷ストライプの形成に伴う異常や強い電子格子相互作用の存在を見つけることに成功したことも大きな成果である。

3. 研究実施体制

(1) 量子構造研究グループ(I)

① 研究分担グループ長名(所属、役職)

廣田和馬 東北大学大学院・理学研究科 助教授

② 研究項目 量子(自由度)構造研究

(2) 量子構造研究グループ(II)

① 研究分担グループ長名(所属、役職)

山田和芳 京都大学・化学研究所 教授

② 研究項目 量子(自由度)構造研究

(3) 量子励起研究グループ

① 研究分担グループ長名(所属、役職)

遠藤康夫 東北大学・金属材料研究所 教授

② 研究項目 磁気励起研究

(4) 物質探索研究グループ

小池 洋二 東北大学大学院・工学研究科 教授

② 研究項目 物質探索研究

(5) 放射光研究グループ

水木純一郎 日本原子力研究所関西研究所 グループリーダー

② 研究項目 放射光研究

4. 研究成果の発表

(1) 論文発表(公開を考えています。)

- Examination of spin fluctuations with in the MnO_2 layers in a bilayer manganite $\text{La}_{1.1}\text{Sr}_{1.9}\text{Mn}_2\text{O}_7$
M. Kubota, H. Yoshizawa, H. Fujioka, K. Hirota, Y. Moritomo and Y. Endoh J. Phys. Chem. Solids, **62**(2001)317-319
- Two different types of pseudogaps in high- T_c superconductors T. Takahashi, T. Sato, T. Yokota, T. Kamiyama, Y. Naitou, T. Mochiku, K. Yamada, Y. Endoh and K. Kadowaki
J. Phys. Chem. Solids, **62**(2001)41-45
- High-field ESR measurements of CoS_2 M. Yoshida, K. koyama, H. Hiraka, Y. Endoh and M. Motokawa Physica B, **294-295**(2001)145-148
- Convergent-Beam Electron Diffraction Study of the Low-Temperature Ferromagnetic Insulator Phase of $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ ($x=0.11, 0.12$)
K. Tsuda, M. Tanaka, K. Hirota and Y. Endoh J. Phys. Soc. Jpn., **70**(2001)1010-1014
- Para-to ferromagnetic phase transition of CoS_2 studied by high-resolution photomission spectroscopy T. Takahashi, Y. Naitoh, T. Sato, T. Kamiyama, K. Yamada, H. Hiraka, Y. Endoh M. Usuda and N. Hamad Phys. Rev. B, **63**(2001)0944151-0944155
- Magnetic Diffuse Scattering in the CMR Manganite $\text{Sm}_{0.55}\text{Sr}_{0.45}\text{MnO}_3$ H. Hiraka, K. Hirota, Y. Endoh, Y. Tomioka and Y. Tokura J. Phys. Soc. Jpn., **70** Suppl. A(2001)88-90
- Neutron-Scattering Study of Incommensurate Elastic Magnetic Peaks in $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_4$ ($x\sim 0.21, y\sim 0.01$)
H. Kimura, K. Hirota, M. Aoyama, T. Adachi, T. Kawamata, Y. Koike, K. Yamada and Y. Endoh J. Phys. Soc. Jpn., **70** Suppl. A(2001)52-54

- Phase Separation in Oxygen Doped $\text{La}_2\text{CoO}_{4+d}$ K. Nakajima, T. Sawada, K. Kakurai and Y. Endoh
J. Phys. Soc. Jpn., **70** Suppl. A(2001)61-63
- Aitiferro-quadrupole ordering of CeB_6 studied by resonant x-ray scattering H. Nakao, K. Magishi, Y. Wakabayashi, Y. Murakami, K. Koyama, Y. Endoh and S. Kunii J. Phys. Soc. Jpn., **70** (2001)1857-1860
- Cu-site-substitution effects on the 1/8 anomaly in the high- T_c cuprates and on the anomaly at $x=0,1,2$ in $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$
Y. Koike, M. Akoshima, M. Aoyama, K. Nishimaki, T. Kawamata, T. Adachi, T. Noji, M. Kato, I. Watanabe, S. Ohira, W. Higemoto, K. Nagamine, K. Kimura, K. Yamada and Y. Endoh
Physica C, **357-360** (2001)82-88
- Neutron Scattering Studies on Lightly-Doped $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$
M. Matsuda, R. J. Birgeneau, Y. Endoh, M. Fujita, H. Hiraka, M. A. Kastner, G. Shirane, S. Wakimoto and K. Yamada
J. Phys. Soc. Jpn., **70** Suppl. A(2001)46-48
- An Inelastic X-ray Scattering Spectrometer for Materials Science on BL11XU at SPring-8
T. Inami, T. Fukuda, J. Mizuki, H. Nakao, T. Matsumura, Y. Murakami, K. Hirota and Y. Endoh
Nucl. Inst. Methods Phys. Res. A, **467-468**(2001)1081-1083
- Possible stripe ordering at $X=0.21$ in $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_4$
Y. Koike, M. Aoyama, T. Adachi, M. Akoshima, T. Kawamata, I. Watanabe, S. Ohira, W. Higemoto, K. Nagamine, H. Kimura, K. Hirota, K. Yamada and Y. Endoh
Physica C, **364-365** (2001)562-566
- Spin Dynamical Properties and Orbital States of the Layered Perovskite $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{MnO}_7(0.33)x<0.5$
K. Hirota, S. Ishihara, H. Fujioaka, M. Kubota, H. Yoshizawa, Y. Moritomo, Y. Endoh and S. Maekawa
Phys. Rev. B, **65** (2002)064414(10)
- Vertical boundary at $x \sim 0.11$ in the structural phase diagram of the $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ system ($0.08 \leq x \leq 0.125$)
D. E. Cox, T. Iglesias, E. Moshopoulou, K. Hirota, K. Takahashi, and Y. Endoh
Phys. Rev. B **64** (2001) 024431-1-9.
- Study of the e_g Orbitals in the Bilayer Manganite $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$ by using Magnetic Compton-Profile Measurement
Koizumi, S. Miyaki, Y. Kakutani, H. Koizumi, N. Hiraoka, K. Makoshi, N. Sakai, K. Hirota, and Y. Murakami Phys. Rev. Lett **86** (2001) 5589-5592.
- Neutron scattering studies of Zn-doped $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$
K. Hirota

Physica C **357–360** (2001) 61–68.

- Neutron Diffraction Study of the Irreversible R-M_A-M_C Phase Transition in Single Crystal Pb[(Zn_{1/3}Nb_{2/3})_{1-x}Ti_x]O₃
K. Ohwada, K. Hirota, P. W. Rehrig, P. M. Gehring, B. Noheda, Y. Fujii, S.-E. Eagle Park and G. Shirane:
J. Phys. Soc. Japan **70** (2001) 2778–2783.,
- Observation of the antiferroquadrupolar order in DyB₂C₂ by resonant x-ray scattering
T. Matsumura,
Phys. Rev. B **65** (2002) 094420:1–11.
- Neutron diffuse scattering from polar nanoregions in the relaxor PbMg_{1/3}Nb_{2/3}O₃
K. Hirota, Z.-G. Ye, S. Wakimoto, P. M. Gehring, and G. Shirane: “
Phys. Rev. B **65** (2002) 104105:1–7.
- Electron dynamics in Nd_{1.85}Ce_{0.15}CuO₄: Similarities to hole doped cuprates
E.J. Singley, D.N. Basov, K. Kurahashi, T. Uefuji and K. Yamada
Phys. Rev. B **64** (2001) 2244503.
- mSR study of magnetic properties of Nd_{2-x}Ce_xCuO₄ around a boundary between the magnetically ordered state and superconducting state
Watanabe, T. Uefuji, K. Kurahashi, M. Fujita, K. Yamada, K. Nagamine, Physica C **357–360**(2001) 212–215.
- Superconducting Anisotropy in Nd_{1.85}Ce_{0.15}CuO₄ Single crystals
N. Yamamoto, T. Ishida, K. Okuda, K. Kurahashi, K. Yamada, Physica C **357–360**(2001) 298–301.
- Coexistence of Antiferromagnetic Ordering and High-T_c Superconductivity in Electron-Doped Superconductor Nd_{2-x}Ce_xCuO₄
T. Uefuji, T. Kubo, K. Yamada, M. Fujita, K. Kurahashi, I. Watanabe, K. Nagamine, Physica C **357–360** (2001) 208–211.
- Static magnetic correlation in the vicinity of the insulator–superconductor phase boundary in La_{2-x}Sr_xCuO₄
M. Fujita, K. Yamada, H. Hiraka, S.-H. Lee, P.M. Gehring, S. Wakimoto, G. Shirane
Phys. Rev. B **65** (2002) 064505(7).
- Freezing of a stripe liquid
S.H. Lee, J.M. Tranquada, D.J. Buttrey, K. Yamada, Q. Lee, S. -W. Cheong Phys. Rev. Lett. **88** (2002) 126401.
- Effect of structural symmetry on the magnetic and superconducting properties in La_{1.875}Ba_{0.125-x} Sr_xCuO₄
H. Goka, M. Fujita, Y. Ikeda, K. Yamada, Physica C **357–360** (2001) 256–259.
- Orbital and Charge Ordering in La_{1-x}Sr_{1+x}MnO₄ (0.4 < x < 0.5)

- Y. Wakabayashi, Y. Murakami, Y. Moritomo, I. Koyama, H. Nakao, T. Kiyama, T. Kimura, Y. Tokura, and N. Wakabayashi,
 J. Phys. Soc. Jpn. **70** (2001) 1194–1197.
- Resonant X-ray-scattering study of Octahedral Tilt Ordering in LaMnO_3 and $\text{Pr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$
 M. v. Zimmermann, C. S. Nelson, Y.-J. Kim, J. P. Hill, Doon Gibbs, H. Nakao, Y. Wakabayashi, Y. Murakami, Y. Tokura, Y. Tomioka, T. Arima, C.-C. Kao, D. Casa, C. Venkataraman, Th. Gog,
 Phys. Rev. B **64** (2001) 064411:1–9
- X-ray Resonant Scattering Studies of Charge and Orbital Ordering in $\text{Pr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$
 M. v. Zimmermann, C. S. Nelson, J. P. Hill, Doon Gibbs, M. Blume, D. Casa, B. Keimer, Y. Murakami, C.-C. Kao, C. Venkataraman, T. Gog, Y. Tomioka and Y. Tokura,
 J. Magn. Mater. **233** (2001) pp. 31–37.
- X-ray resonant scattering studies of orbital and charge ordering in $\text{Pr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ M.V. Zimmermann, C.S. Nelson, J.P. Hill, D. Gibbs, M. Blume, D. Casa, B. Keimer, Y. Murakami, C.-C. Kao, C. Venkataraman, T. Gog, Y. Tomioka, and Y. Tokura
 Phys. Rev. B **64** (2001) 195133:1–17
- Orbital correlations in doped manganites
 J.P. Hill, C.S. Nelson, M.V. Zimmermann, Y.-J. Kim, D. Gibbs, D. Casa, B. Keimer, Y. Murakami, C. Venkataraman, T. Gog, Y. Tomioka, Y. Tokura, V. Kiryukhin, T. Y. Koo, S. -W. Cheong
 Appl. Phys. A **73** (2001) 723–730.
- Charge and Spin in Low-Dimensional Cuprates S. Maekawa and T. Tohyama
 Rep. Prog. Phys. **64**, (2001) 383–428
- Theoretical Study of Orbital Ordering/Fluctuation and Resonant X-ray Scattering in Manganites
 S. Ishihara and S. Maekawa
 J. Mag. Mag. Matr., **226–230** (2001) 908–910
- Theory of Resonant X-ray Scattering as a Probe to Detect the Orbital Orderings and Excitations in CMR Manganites S. Ishihara and S. Maekawa
 J. Mag. Mag. Matr. **233** (2001) 21–30.
- Spin-polarized tunneling and spin injection in superconductor-ferromagnet junctions
 S. Maekawa, S. Takahashi and H. Imamura
 J. Mat. Sci. Eng. B **84** (2001) 44–48.
- Resonant Inelastic X-ray Scattering from Charge and Orbital Excitations in Manganites.
 H. Kondo, S. Ishihara, and S. Maekawa
 Phys. Rev. B **64** (2001) 014414. [Erratum: **64** (2001) 179904]
- Temperature Dependence of Spin Correlation and Charge Dynamics in Stripe Phase of High-Tc Superconductors.

- Y. Shibata, T. Tohyama, and S. Maekawa
Phys. Rev. B **64** (2001) 054519.
- Effect of Charge Stripes on Electronic and Magnetic Properties in High-Tc Cuprates Y. Shibata, T. Tohyama and S. Maekawa
J. Phys. Chem. Solids **62** (2001) 269–271.
 - Effect of Four-Spin Interaction on Magnetic Excitation in Ladder and 2D Insulating Cuprates Y. Mizuno, T. Tohyama and S. Maekawa
J. Phys. Chem. Solids **62** (2001) 273–276.
 - Magnetic Excitations from the Edge-Sharing CuO₂ Chains in Ca₂Y₂Cu₅O₁₀ M. Matsuda, H. Yamaguchi, T. Ito, C. H. Lee, K. Oka, Y. Mizuno, T. Tohyama, S. Maekawa and K. Kakurai
Phys. Rev. B **63** (2001) 180403(R).
 - Observation of Orbital Ordering in Correlated Electron Systems by Synchrotron Radiation (in Japanese) S. Ishihara and S. Maekawa
J. Crystallographic Soc. Jpn. **43** (2001) 169–174.
 - Study of Mott-gap by Resonant Inelastic X-ray Scattering (in Japanese) S. Maekawa, K. Tsutsui, T. Tohyama and S. Ishihara
BUTSURI **56** (2001)35–38.
 - Effect of the Quantum Domain Wall on conductance Quantization and Magnetoresistance in Magnetic Point Contacts H. Imamura, S. Takahashi and S. Maekawa
J. Mat. Sci. Eng. B **84** (2001) 107–113.
 - Effect of nonmagnetic impurities on stripes in high-Tc cuprates. T. Tohyama, M. Takahashi and S. Maekawa
Physica C **357–360** (2001) 93–95.
 - Roles of Electron Correlation and Orbital Degree of Freedom in Manganese Oxides. S. Ishihara, S. Okamoto and S. Maekawa
Trans. Mat. Res. Soc. Jpn. **26** (2001) 963–966.
 - Vanishing Hall Constant in the Stripe Phase of Cuprates P. Prelovsek, T. Tohyama and S. Maekawa
Phys. Rev. B **64** (2001) 052512(4).
 - Electronic States in the Antiferromagnetic Phase of Electron-Doped High-Tc Cuprates. T. Tohyama and S. Maekawa
Phys. Rev. B **64** (2001) 212505(4).
 - Effects of Spin and Orbital Degeneracy on Thermopower of Strongly Correlated Systems. W. Koshibae and S. Maekawa

Phys. Rev. Lett. **87** (2001) 236603

- Nonlinear Optical Response in Mott Insulators.

T. Tohyama and S. Maekawa

J. Luminescence **94-95** (2001) 659-662

- Cu-site-substitution effects on the 1/8 anomaly in the high- T_c cuprates and on the anomaly at $x = 0.21$ in $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$.

Y. Koike, M. Akoshima, M. Aoyama, K. Nishimaki, T. Kawamata, T. Adachi, T. Noji, M. Kato, I. Watanabe, S. Ohira, W. Higemoto, K. Nagamine, H. Kimura, K. Hirota, K. Yamada and Y. Endoh.

Physica C **357-360** (2001) 82-88.

- Electrochemical intercalation of lithium in layered niobates $\text{AB}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$ ($A = \text{K, Rb, Cs}$; $B = \text{Ca, Sr}$) and their superconductivity.

I. Nagai, Y. Abe, M. Kato, Y. Koike and M. Kakihana.

Physica C **357-360** (2001) 393-396.

- Antiferromagnetic ordering in the single-crystal $\text{Cu}_3\text{B}_2\text{O}_6$.

K. Kudo, T. Noji and Y. Koike.

Journal of the Physical Society of Japan **70** (2001) 935-938.

- Thermal conductivity of the two-dimensional spin-gap system $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ in magnetic fields.

K. Kudo, T. Noji, Y. Koike, T. Nishizaki and N. Kobayashi. Journal of the Physical Society of Japan **70** (2001) 1448-1451.

- Possible stripe ordering at $x = 0.21$ in $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_4$.

Y. Koike, M. Aoyama, T. Adachi, M. Akoshima, T. Kawamata, I. Watanabe, S. Ohira, W. Higemoto, K. Nagamine, H. Kimura, K. Hirota, K. Yamada and Y. Endoh.

Physica C **364-365** (2001) 562-566.

- Crystal growth, transport properties, and crystal structure of the single-crystal $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$ ($x = 0.11$).

T. Adachi, T. Noji and Y. Koike.

Physical Review B **64** (2001) 144524 1-7.

- 複合金属水酸化物前駆体法による銅酸化物 A-Cu-O (A :アルカリ土類金属) の低温合成.

長井一郎, 加藤雅恒, 小池洋二.

固体物理 **36** (2001) 777-784.

- Bi系・Y系高温超伝導体における1/8異常とストライプ.

阿子島めぐみ, 小池洋二, 渡邊功雄.

固体物理 **37** (2002) 169-181.

- (2) 特許出願

なし