

放射光・中性子を用いた強相関電子自由度秩序の研究



● 研究代表者

村上 洋一 物理学専攻・教授
Youichi Murakami

● メールアドレス…murakami@iiyo.phys.tohoku.ac.jp

● 専門分野…構造物性物理

● 主な研究課題…
 ・共鳴X線散乱による電荷・軌道秩序とその励起状態の研究
 ・放射光X線・中性子線を用いた新しい測定手法の開発

● 研究目的

凝縮系物質の物性においては、電子の振る舞いが重要な役割を担っている。物質内の電子は、莫大な数の原子核や他の電子と相互作用をすることにより、超伝導や強磁性などの多彩な特性を系に生じさせる。我々は放射光X線と中性子線を相補的に利用することにより、電子がもつ自由度である電荷・スピン・軌道の秩序状態の観測からその物性を理解しようとしている。

本研究の目的は、系の空間サイズや次元性を制限したり、強い乱れを導入したりすることによって生じる、電子自由度の新しい秩序状態を探索することである。強い相関を持つ電子が、このような特殊環境下に置かれるとき、通常的环境下での秩序相とは異なった新奇な量子力学的秩序相が実現される可能性がある。これらの秩序相において静的かつ動的構造を研究するために、放射光X線と高輝度中性子線を駆使する。

● 研究内容

本研究では、電子の置かれる特殊環境の種類により下記のような具体的な研究テーマを設定して研究を進める。放射光X線散乱実験と中性子散乱実験は、それぞれPhoton Factory (筑波)、SPring-8 (播磨)と原研(東海)、KENS(筑波)にある共同利用施設を利用して行われる。

(1) 遷移金属酸化物の薄膜・人工超格子における電子自由度秩序構造(2次元系)

電荷・軌道・スピンの相転移を示すと考えられる質の高い薄膜の作成が可能になってきた。本研究では、放射光X線を利用することによりその秩序構造の決定を行う。一方、2種類の酸化物を交互積層させることにより原子層単位で制御された人工超格子も作成されるようになり、その界面の電子状態に興味が集まっている。これらの表面・界面

での電荷移動による新しい秩序状態の探索を行っていく。

(2) 遷移金属酸化物ナノ結晶の電子自由度秩序構造(3次元有限サイズ系)

ゼオライトなどの細孔中で遷移金属酸化物などの結晶を成長させることにより、ナノサイズの大きさを持つ強相関電子系が作成できるようになってきた。本研究では、新奇物性を示すナノ結晶酸化物の探索を行い、その電荷・軌道・スピン秩序構造を調べる。ナノ結晶においてはほとんどが表面であることから、上記の課題と密接な関連性を持つ。

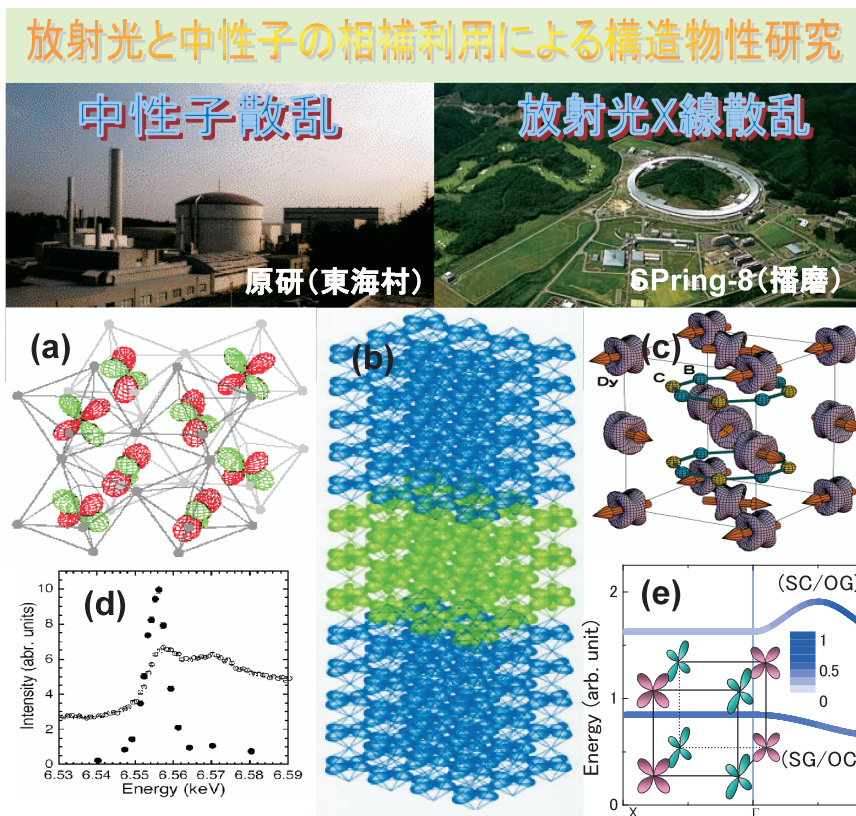
(3) 強く乱れた系における電子自由度秩序構造(相分離系・希釈系)

磁性イオンを非磁性イオンでパーコレーション濃度まで希釈して得られる強く乱れた系では、軌道状態のネットワークがフラクタル構造を持つ構造が実現する可能性がある。共鳴X線スペックル散乱によりこの構造の空間・時間相関を調べる。さらに、この構造に特徴的なエネルギー・波数構造を持つ励起状態の探索を、共鳴X線非弾性散乱や高輝度中性子非弾性散乱を駆使して行っていく。

(4) 強磁場・超高压下における電子自由度秩序(極限条件下)

零磁場・常圧における電子自由度秩序も、十分に強い磁場・圧力下では無秩序状態になると予想されるが、適切な外場の強さにおいては新しい秩序構造を持つ可能性がある。放射光とパルス磁場を組み合わせることによって $H=30\text{T}\sim 40\text{T}$ でのX線回折実験が可能になり、一方ダイヤモンドアンビルセルを用いることにより $P=50\text{GPa}$ 程度までの超高压下でのX線回折実験が可能である。これらの装置を用い極限条件下での新しい秩序相の探索を行う。

研究分担者 石原 純夫 (物理学専攻・助教授) 松村 武 (物理学専攻・助手)
中尾 裕則 (物理学専攻・助手)
研究協力者 吉良 弘 (物理学専攻・COE研究員)



放射光と中性子を相補的に利用して決定された軌道とスピンの秩序状態
(a) YTiO_3 の軌道秩序状態 (b) 2種類の違う軌道秩序状態を持つマンガン酸化物の交互積層からなる人工超格子 (c) DyB_2C_2 の軌道・スピン秩序状態 (d) LaMnO_3 の軌道秩序状態からの共鳴X線散乱 (e) YVO_3 において計算された軌道波による中性子非弾性散乱強度

● 代表的な発表論文

- 1) Orbital Wave and its Observation in Orbital Ordered Titanates and Vanadate, S. Ishihara, Phys. Rev. B **69**, 075118 (2004).
- 2) Resonant X-ray Scattering in Perovskite Manganite Superlattice - Observation of "Orbital Superlattice" - T. Kiyama, Y. Wakabayashi, H. Nakao, H. Ohsumi, Y. Murakami, M. Izumi, M. Kawasaki, and Y. Tokura, J. Phys. Soc. Japan **72**, 785 (2003).
- 3) Quantitative determination of the atomic scattering tensor in orbitally ordered YTiO_3 by using a resonant x-ray scattering technique, H. Nakao, Y. Wakabayashi, T. Kiyama, Y. Murakami, M. v. Zimmermann, J. P. Hill, Doon Gibbs, S. Ishida, Y. Taguchi, and Y. Tokura, Phys. Rev. B **66**, 184419 (2002).
- 4) Observation of the antiferroquadrupolar order in DyB_2C_2 by resonant x-ray scattering, T. Matsumura, N. Oumi, K. Hirota, H. Nakao, Y. Murakami, Y. Wakabayashi, T. Arima, S. Ishihara and Y. Endoh, Phys. Rev. B **65**, 094420 (2002).
- 5) Direct Observation of Charge and Orbital Ordering in $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{1.5}\text{MnO}_4$, Y. Murakami, H. Kawada, H. Kawata, M. Tanaka, T. Arima, Y. Moritomo, and Y. Tokura, Phys. Rev. Lett. **80**, 1932 (1998).