

電子の多極子秩序と揺らぎにおける階層構造



● 研究代表者

倉本 義夫 物理学専攻・教授

Yoshio Kuramoto

● メールアドレス…kuramoto@cmpt.phys.tohoku.ac.jp

● 専門分野…物性理論

● 主な研究課題…

- 中性子散乱と放射光X線散乱による多極子秩序と励起構造の解明
- 軌道・多極子相転移に伴う物性変化とその階層性解明
- 多極子・伝導電子相互作用効果の解明

● 研究目的

固体内電子の秩序状態として、磁気双極子や電気双極子のもたらす強磁性や強誘電性などは古くから調べられている。最近、双極子より高次のモーメントが関与する秩序とその揺らぎの重要性が認識されている。多極子が関与する最も単純な例は、縮退した固体内電子軌道の秩序化である。これは四極子秩序とみなせる。より複雑な例として、磁気八極子が秩序化する可能性が実験的・理論的に研究されている。多極子秩序が双極子や四極子の秩序より高温で実現する機構は未だ不明である。私たちのグループの目的は、電子の多極子自由度をカギとして、遷移金属化合物から希土類・アクチノイド化合物にいたる凝縮系を、実験と理論の密接な協力により研究し、固体内電子の階層的動力学構造を明らかにすることである。

● 研究内容

多極子の動力学は、結晶場やスピン軌道相互作用の大小によって、様々なエネルギー尺度を持ち、豊かな階層構造を持っている。また多極子自由度は、隠れた秩序パラメータとして奇妙な相転移を担い、より観測しやすい磁性や超伝導も実際には陰で支配している可能性もある。多極子の物理を以下の具体的課題を通じて研究する。

(1) 多極子秩序の中性子散乱やX線散乱による観測

東北大学理学研究科が日本原子力研究所に設置する偏極中性子分光器の高性能化を

進める。またSPring-8と筑波の放射光も用いて、充填スクッテルダイト・希土類ボロカーバイド・希土類ヘキサボライド・遷移金属酸化物などの電子軌道・磁気構造・結晶構造をミクロな手法で観測する。

(2) 多極子秩序における励起スペクトル解明

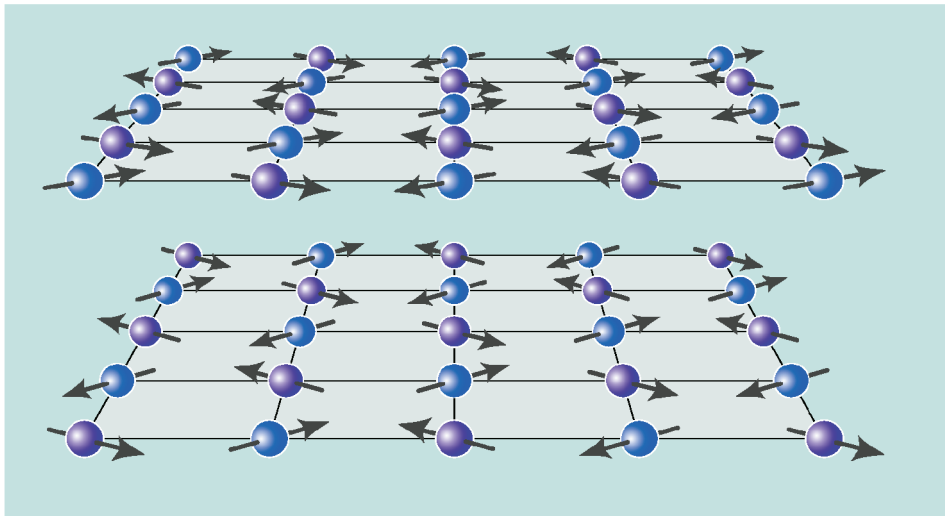
希土類ボロカーバイド系を中心に、多極子の絡んだ異常な磁気構造、磁気散漫散乱、帯磁率異常、さらに格子軟化などを測定し、電子構造との関連を明らかにする。中性子分光法は磁気モーメントの時空相関の測定に最適な手法だが、多極子の励起を中性子で観測するのは容易ではない。しかし我々は、希土類での強いLS結合に注目し、多極子励起の直接観測をめざす。このために、大型単結晶作成を行い、これと平行して中性子集光技術を開発し、大強度中性子分光を可能にする。

(3) 多極子自由度と伝導電子の相互作用効果の解明

軌道自由度がある系では、伝導電子との相互作用に軌道の偏極や揺らぎの要素が加わり、特異な性格を持つフェルミ液体や非フェルミ液体状態が生じる可能性がある。ある種の遷移金属化合物で新たに発見された重い電子状態や、希土類・アクチノイド化合物で生じる多くの異方的超伝導は、多極子自由度と伝導電子の相互作用によって実現している可能性がある。これを解析的・数値的手法を駆使した微視的理論により解明する。

研究分担者 小野寺秀也 (物理学専攻・教授) 岩佐 和晃 (物理学専攻・助教授)
 大山 研司 (物理学専攻・金属材料研究所・助教授)
 楠瀬 博明 (物理学専攻・助手) 東方 綾 (物理学専攻・助手)

研究協力者 Hao Lijie (物理学専攻・日本学術振興会外国人特別研究員)
 Annamária Kiss (物理学専攻・COE研究員)



CeB₆の基底状態におけるIII相と呼ばれる多極子秩序状態。矢印は磁気モーメントの方向を示す。また異なる色の球は、形状の異なる波動関数が交互に配列した軌道秩序を形成していることを示す。絶対温度が2度以上になると、磁気モーメントは乱雑になり、軌道秩序だけが残る(II相)。II相とIII相の秩序状態は、実際に中性子散乱とX線散乱で確認されている。また、Ceの代わりにLaをドーピングすると、II,III相への相転移温度が低下し、新たにIV相と呼ばれる中間相が1度付近に出現する。IV相では、磁気モーメントの超格子は観測されていない。この相が八極子秩序である可能性が我々により指摘された。弾性定数の異常や一軸性圧力下の磁化測定結果は、この可能性を支持している。

● 代表的な発表論文

- 1) Lattice Distortion and Octupole Ordering Model in Ce_xLa_{1-x}B₆,
K. Kubo and Y. Kuramoto, J. Phys. Soc. Jpn. **72**, 1859 (2003).
- 2) Magnetic Phase Diagrams with Possible Field-Induced Antiferroquadrupolar Order in TbB₂C₂,
K. Kaneko, H. Onodera, H. Yamauchi, T. Sakon, M. Motokawa and Y. Yamaguchi, Phys. Rev. B **68**, 012401 (2003).
- 3) Evidence for Magnetic-Field-Induced Quadrupolar Ordering in the Heavy-Fermion Superconductor PrOs₄Sb₁₂,
M. Kohgi, K. Iwasa, M. Nakajima, N. Metoki, S. Araki, N. Bernhoeft, J-M. Mignot, A. Gukasov, H. Sato, Y. Aoki and H. Sugawara, J. Phys. Soc. Jpn. **72**, 1002 (2003).
- 4) Spin-Orbital Wave Excitations in Orbitally Degenerate Exchange Model with Multipolar Interactions,
H. Kusunose and Y. Kuramoto, J. Phys. Soc. Jpn. **70**, 3076 (2001).
- 5) Antiferroquadrupolar Ordering and Magnetic Properties of the Tetragonal DyB₂C₂ Compound
H. Yamauchi, H. Onodera, K. Ohoyama, T. Onimaru, M. Kosaka, M. Ohashi and Y. Yamaguchi, J. Phys. Soc. Jpn. **68**, 2057 (1999).