

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名

新しい量子自由度・軌道の動的構造の解明

2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）

研究代表者	遠藤 康夫	東北大学金属材料研究所 教授
主たる研究参加者	水木 純一郎	日本原子力研究所関西研究所 研究部長
	山田 和芳	京都大学化学研究所 教授
	前川 禎通	東北大学金属材料研究所 教授
	村上 洋一	東北大学大学院理学研究科 教授
	小池 洋二	東北大学大学院工学研究科 教授
	廣田 和馬	東北大学大学院理学研究科 助教授

3. 研究内容及び成果

研究グループ

量子構造研究 (I) グループ (東北大・理)	グループリーダー	廣田和馬*
量子構造研究グループ (II) (京大化研)	グループリーダー	山田和芳**
量子励起研究グループ (東北大・金研)	グループリーダー	遠藤康夫***
物質探索研究グループ (東北大・工)	グループリーダー	小池洋二
放射光研究グループ (原研・関西研)	グループリーダー	水木純一郎

*遠藤の配置換えによるグループリーダーを交代した。

**山田教授転出による措置

***遠藤の配置換えで前川教授から交代する。

量子構造グループI

本研究グループでは、単に軌道自由度が磁性や伝導に及ぼす影響だけではなく、軌道自由度そのものが主役となる相転移現象に着目し、(1) 軌道自由度が他の自由度と強く結びついた系 (3d遷移金属酸化物)、(2) 軌道自由度間の相互作用によって秩序化する系 (4f希土類化合物) について、物質合成・中性子散乱・共鳴X線散乱を組み合わせて研究を遂行した。

量子構造グループII

本研究グループでは、強相関電子系の典型物質である「銅酸化物高温超伝導体の物理的理解」という基本構想を基に銅酸化物とその関連物質の磁気励起や磁気秩序を主として研究してきた。本研究で得られた重要な成果は、超伝導状態と磁気励起や磁気秩序状態の共存あるいは競合を、高純度な単結晶育成と中性子散乱法による系統的な研究でその概要を明らかにし、この分野の今後の研究の方向性を示したことにある。

量子励起グループ

絶縁体の特徴付けるものが価電子バンドと伝導バンドを隔てるエネルギー・ギャップである。このエネルギー・ギャップの値とその波数依存性はその絶縁体としての性質を決める。本研究グループでは新しい電子構造の研究手段である放射光X線を電子の軌道秩序及び軌道励起に用いるための理論を構築し、銅酸化物及びマンガン酸化物の実験結果に適用した。これに附随して酸化物以外でも、従来バンド絶縁体と見なされて来た系を見直してモット絶縁体物質の探索を行い、例えばNiS₂は局在した磁気モーメントが典型的なフラストレーション効果を示すことを見出した。

物質探索グループ

本研究グループは、遷移金属酸化物を中心として、電荷・スピン・軌道が主役を演ずると予想される物質群の探索とそれらの単結晶育成を担当した。電荷とスピンのストライプ秩序を示す銅酸化物や、スピンの大量の

熱を運ぶ物質の探索と大型単結晶の育成、および、新超伝導物質の探索を行った。銅酸化物高温超伝導体における「1/8異常」の普遍性を実証し、電荷とスピンの動的ストライプ秩序と高温超伝導の発現機構との関連性を追求した。これに附随して、銅酸化物でスピンエントロピー効果や新しい超伝導物質を発見した。

放射光研究グループ

本研究グループでは、放射光X線を利用して軌道秩序観測手法として共鳴X線散乱法の開発を進めてきた。既存の反強軌道だけに止まらない共鳴X線散乱による軌道秩序観測の法則化に向けて新しい研究成果を出すことが出来た。尚、この実験は主として高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・Photon Factoryで行われ、ブルックヘブン国立研究所・NSLSでも副次的に研究が行われた。

SPring-8 BL-11XUにX線非弾性散乱装置を設計・製作し、高分解能を持つ世界最高の装置を完成させた。これを利用して電子の属性であるスピン、軌道、電荷の自由度が複雑に絡む新奇な物性・機能を出現しているペロブスカイト型マンガン酸化物の電子励起の観測と解析に成功した。

4. 事後評価結果

4-1. 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況

著しく多彩な電子物性を示す遷移金属化合物等のいわゆる強相関電子系物質について、これまでの電子スピン自由度に加えて、電子軌道運動の自由度を観測対象として動的構造解析を世界に先駆けて行い研究手法を確立することを意図して、原研JRR3での中性子散乱、Spring8 および高エネルギー加速研究機構の放射光施設でのX線散乱実験を行なう他、ブルックヘブン国立研究所・NSLS やラザフォード・アップルトン研究所等の海外の設備を利用して実験を行なうと共に、得られた結果の理論付けを行なった。それらの研究成果は論文発表193件、学会発表633件(内訳:招待講演・口頭講演(国内243件、海外132件)ポスター発表(国内146件、海外112件))で外部に公表した。本研究で取得した主要な新しい知見を以下に列挙する。

1. 射光共鳴X線散乱を利用して「軌道」の秩序状態の直接的検出法の実験と理論を確立した。
2. 共鳴X線非弾性散乱の実験方法を世界に先駆けて開発し、モット絶縁体であるLaMnO₃及びホール注入した超巨大磁気抵抗効果を示すMn酸化物の電子励起の観測に成功した。
3. 低ドーパのLa_{2-x}Sr_xCuO₄の中性子散乱実験に依る磁気励起スペクトルのホール量依存性から、この系の電子相図を実験的に明らかにした。
4. 高温超伝導発現機構解明に欠かせない電子相分離の概念の妥当性を実験的に明らかにした。
5. Mnペロブスカイト酸化物の磁気的性質に関わる「軌道」とスピンの相関を実験的に明らかにした。

これらの成果は、非常に基礎学問的であると共に地味であることから、一般的評価を得る迄には暫くの時間を要すると見られる。が、この方面での先駆的成果として、また実験的に精度の優れた成果として、将来高い評価を得て行くものと思われる。

4-2. 成果の戦略目標・科学技術への貢献

量子自由度「電子軌道」の動的解明という研究課題の目標は、強相関電子系の物理という大きな流れの中で、中性子線やX線放射光を駆使してスピン、格子振動、電子などの低エネルギー励起を実験的に直接捉えて、多電子間相互作用の結果決定する「空間的電荷配置」という自己組織形成を明らかにして行くことにある。この線に沿って本研究では、酸化物高温超伝導や超巨大磁気抵抗効果等の新奇な電気伝導現象を示す銅やマンガンなどの遷移金属酸化物が電子間相互作用の結果として「電子相分離」を起こしていることを、数々の実験結果を通して提示して来た。従来の教科書には書かれていないこの新しい概念が定着するには時間が掛かると思うが、強相関電子系の「電子相分離」を成分組成等の調整で物性を自由に制御できる様になれば、新規のエレクトロニクス技術創成の時代が来る可能性が有る。

4-3. その他の特記事項

本研究では、強相関電子系の動的秩序形成の解明という目標に恰好の超大型設備として世界最強の光源を持つSpring8 に着目し、ビームラインBL11(XU)に設置する放射光非弾性散乱装置の設計と建設を行ない、放射光エネルギーとしてK吸収端に相当する約10keVの入射光に対して0.1eVの分解能を有する世界最高性能の測定系を完成させた。この装置は、今後とも引き続き強相関電子系の研究に役立つ他に、酵素タンパク質など医学・生物系研究試料の構造解析にも利用すれば、その高性能さゆえに、その価値は更に高まることと思われる。

This page updated on September 12, 2003
Copyright(C)2003 [Japan Science and Technology Corporation](#)