

## 【基盤研究(S)】

理工系 (数物系科学)



研究課題名 直流電場・電流：強相関電子系の新しい制御パラメータ

京都大学・大学院理学研究科・教授

まえの よして  
前野 悦輝

研究課題番号：17H06136 研究者番号：80181600

研究分野：数物系科学

キーワード：強相関系

### 【研究の背景・目的】

強相関電子系特有のモット絶縁相を金属化させる制御パラメータとして、これまで元素置換や圧力印加が広く用いられ、高温超伝導・超巨大磁気抵抗・スピン三重項超伝導など新奇な現象を生んできた。

本研究の目的は、強相関多体効果の本質を顕在化させる新しい制御パラメータとして直流電場・電流の有効性を確立するため、主に定常電流下の非平衡状態が創り出す新現象を明らかにするとともに、その機構の理解を進めることにある。

研究対象の中心はモット絶縁体  $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$  で、我々が最近発見した直流電流の下で創発する特異な磁性や金属状態など、平衡状態では実現しない電子状態の理解を深める。また、他のモット絶縁相酸化物で同様の非平衡・非線形現象を探索することで、これらの新現象の特質と一般性を明らかにする。

本研究を通じ、強相関物質の非平衡定常状態で生まれる創発現象の研究展開の世界的先駆けを目指す。

### 【研究の方法】

第一に、主対象の 4d 電子系ルテニウム酸化物  $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$  について、電場誘起の絶縁体・金属転移、そして電流誘起の特異な磁性の詳細とメカニズムを明らかにする。絶縁体・金属転移については、フォノンや構造不安定性の役割を明らかにする。特異な磁気状態については、岡らの理論の適用を吟味する実験事実を得るため、電流や磁場の方向依存性（異方性）を含めて、電流を制御パラメータとする物性相図を構築する。また、類縁の  $\text{Ca}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$  での電流誘起磁性についても、その詳細を明らかにする。

第二に、3d・5d 電子系の酸化物の中で、エネルギーギャップが比較的小さなモット絶縁体を選び、直流電場・電流の効果を明らかにする。本研究では、

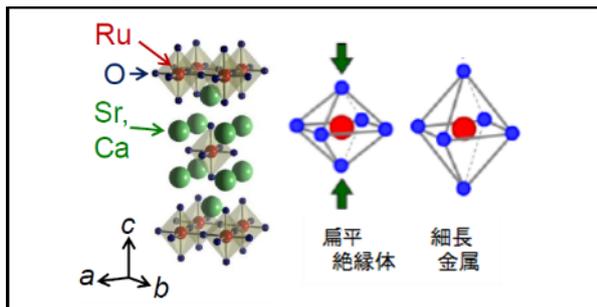


図1  $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$  のモット絶縁相と金属相の結晶構造

電流下での光電子分光も含む実験データ集積と理論構築と同時に、国内外の共同研究により、フォノン不安定性解明、走査型プローブによる局所ダイナミックスの研究に加え、ポンプ・プローブ分光による高速緩和過程と本研究の主題である直流効果の比較も進める。

### 【期待される成果と意義】

定常電流のオン・オフによって物質の導電性や磁性を顕著に制御できることは、電子間の相互作用の強い強相関電子系の本性を利用した画期的な非平衡現象である。従来の制御パラメータでは誘起出来なかった電子状態を誘起できる可能性がある。特異な磁性や超伝導をはじめとする新奇電子相が期待でき、様々な物質への波及効果も見込める。直流電流印加という最も身近な非平衡状態を利用して、モット絶縁体から新奇な性質を引き出せることは、物性科学の基礎にとってはもちろん、デバイス応用にとってもインパクトの大きい示唆的な方向性といえる。

これまで用いられてきた組成制御や圧力印加に加え、「直流電場・電流」という新しい物性制御パラメータの有効性を実証することで、我が国での発見からの新たな分野創造につながるという大きな意義が期待できる。

### 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- “Electric-field-induced metal maintained by current of the Mott insulator  $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$ ”, F. Nakamura, M. Sakaki, Y. Yamanaka, S. Tamaru, T. Suzuki, Y. Maeno, *Sci. Rep.* **3**, 2536 (1-6) (2013).
- “Current-induced strong diamagnetism in the Mott insulator  $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$ ”, C. Sow, S. Yonezawa, S. Kitamura, T. Oka, K. Kuroki, F. Nakamura, Y. Maeno, *arXiv*: 1610.02222 (2016).

### 【研究期間と研究経費】

平成29年度－33年度 159,000千円

### 【ホームページ等】

[http://www.ss.scphys.kyoto-u.ac.jp/kibanS\\_h29-33/index.html](http://www.ss.scphys.kyoto-u.ac.jp/kibanS_h29-33/index.html)