

物性研究所短期研究会
「量子物質研究の最前線」

6階大講義室

12月8日			氏名	所属	講演題目
	座長		榑原俊郎	物性研	
9:50		所長挨拶	瀧川 仁	物性研	はじめに
10:00	R1	レビュー(実)	野原 実	岡山大自然科学	化学を活用した量子物質開発
10:35	G1	一般(実)	関真一郎	理研 CEMS、 JST さきがけ	キラリティと強磁性
11:05	G2	一般(理)	辻 直人	理研 CEMS	電子格子強結合超伝導体における集団振幅モード
11:35	G3	一般(理)	森本高裕	UC Berkeley	Topological aspects of nonlinear optical effects
12:05		昼食			
	座長		押川正毅	物性研	
13:25	R2	レビュー(理)	求 幸年	東大物工	数値実験で観る磁性体の新しい量子物性
14:00	G4	一般(実)	佐藤琢哉	九大理	直線・円偏光パルスを用いたマグノンのコヒーレント制御
	G5	一般(理)	江澤雅彦	東大物工	From topological physics to topological materials and devices
15:00	G6	一般(理)	山地洋平	東大工	強相関電子系のトポロジカル量子相と非平衡緩和現象
15:30		休憩			
	座長		広井善二	物性研	
16:00			瀧川 仁	物性研	物性研の現状と将来計画について
16:20	C1	コメント	石田憲二	京大理	
16:30	C2	コメント	三宅和正	トヨタ理研	
16:40	C3	コメント	田島節子	阪大理	
16:50	C4	コメント			
17:00	D1	全体討論			全体討論 30分
17:30					
12月9日					
	座長		有馬孝尚	東大新領域	
8:55	R3	レビュー(理)	有田亮太郎	理研 CEMS	スピン軌道相互作用を用いた強相関物質設計
9:30	G7	一般(理)	中村和磨	九工大工	第一原理多体摂動計算に基づく物性研究
10:00	G8	一般(理)	伏屋雄紀	電通大	マルチバンド k.p 理論に基づく結晶スピン軌道結合効果の研究
10:30		休憩			
	座長		鈴木博之	物性研	
11:00	G9	一般(実)	青木 大	金研、CEA-Grenoble	f 電子系化合物の純良単結晶育成と強磁性超伝導の最近の進展
11:30	G10	一般(理)	大槻純也	東北大理	重い電子系における遍歴・局在双対性と超伝導
12:00	G11	一般(理)	渡辺真仁	九工大工	局所相関と電荷移動がもたらす新しい量子現象
12:30		昼食			
	座長		三宅和正	トヨタ理研	
13:55	R4	レビュー(実)	花栗哲郎	理研 CEMS	STM/STSによる量子物質の電子状態解析
14:30	G12	一般(実)	賀川史敬	理研 CEMS	急冷を用いた新奇準安定電子相の開拓と制御
15:00	G13	一般(実)	石渡晋太郎	東大物工	特異なバンドを有する新奇磁性体における巨大外場応答の観測
15:30	G14	一般(実)	陰山 洋	京大工	混合アニオン酸化物の化学と物理



キラリティと強磁性

関真一郎 理研 CEMS、JST さきがけ

右手系と左手系の区別のあるキラルな対称性に属する物質は、光学活性に代表されるような特徴的な物性を示すことが知られており、古くから新奇な機能を実現するための舞台として研究されてきた。特に近年、磁気スキルミオンと呼ばれるトポロジカルに安定なスピンの渦構造が、キラルな磁性体中で存在しうることが発見され、大きな注目を集めている[1-3]。磁性体中のスキルミオンは、直径数~数百ナノメートルの粒子としての性質を持ち、また様々な外場でその運動を制御できる可能性が提案されていることから、高密度・低消費電力な磁気記憶・演算素子のための次世代情報担体の有力候補と考えられている。従来、スキルミオン観測の報告は、B20 構造の合金(MnSi, FeGe, Fe_{1-x}Co_xSi)のみに限られていた。これらの物質は基本的に金属であることから、特に伝導電子との相関・輸送特性の観点から研究が行われ、電流によるスキルミオンの制御が可能であることがわかっている。

一方で、発表者らは最近、キラルな構造を伴う強磁性絶縁体 Cu₂OSeO₃ において、スキルミオンが発現することを発見した。さらに詳細な誘電測定を行った結果、この物質のスキルミオン相では有限の電気分極が誘起されていることがわかった[4-5]。本物質では、スキルミオン粒子の1つ1つがローカルな電気双極子を運んでいると考えられ、ジュール発熱を伴わない、電場によるスキルミオン粒子の制御が可能であることが強く期待される。実際に、振動電場によるスキルミオンの共鳴駆動や、静電場によるスキルミオンの安定性制御に成功している[6-8]。

また、キラルな強磁性体は、磁化方向に伝播する準粒子流に対してダイオード特性を示すことが一般的に期待される。Cu₂OSeO₃ において実際に、光(マイクロ波)やスピン波に対して、非常に大きなダイオード効果が現れることを発見した[6-9]。上述の現象は、いずれも結晶構造のキラリティがスピン軌道相互作用を通じて磁性に影響を与えた結果生じたものであり、本講演ではこうしたキラリティと強磁性の関わりについて総合的に議論したい。

- [1] S. Muhlbauer *et al.*, *Science* **323**, 915 (2009).
- [2] X. Z. Yu *et al.*, *Nature* **465**, 901 (2010).
- [3] “Skyrmions in Magnetic Materials”, S. Seki and M. Mochizuki, Springer (2015).
- [4] S. Seki *et al.*, *Science* **336**, 198 (2012).
- [5] S. Seki *et al.*, *Phys. Rev. B* **86**, 060403(R) (2012).
- [6] M. Mochizuki and S. Seki, *Phys. Rev. B* **87**, 134404 (2013).
- [7] Y. Okamura *et al.*, *Nature Comm.* **4**, 2391 (2013).
- [8] Y. Okamura *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **114**, 197202 (2015).
- [9] S. Seki *et al.*, arXiv: 1505.02868.



Topological aspects of nonlinear optical responses

T. Morimoto¹, N. Nagaosa^{2,3}

¹ Department of Physics, University of California, Berkeley

² RIKEN Center for Emergent Matter Science (CEMS)

³ Department of Applied Physics, University of Tokyo

There are a variety of nonlinear optical effects including higher harmonic generations, photovoltaic effects, and nonlinear Kerr rotations. A recent remarkable progress in the photovoltaic effect is the high efficiency solar cell action in perovskite oxides without inversion symmetry. In this case, the noncentrosymmetric crystal structure replaces the role of artificial structures such as p-n junctions in conventional solar cells. One of the proposed mechanisms for this phenomenon is so called “shift-current” which is supported by a band structure lacking inversion symmetry and is related to the Berry connection of Bloch wavefunctions. Motivated by these, we explore topological aspects of the nonlinear optical responses [1]. To this end, we employ the Keldysh method combined with the Floquet formalism, where effective band structures can be defined under an electric field periodic in time and provides a concise description of nonequilibrium steady states. This enables us to describe the shift-current, nonlinear Kerr rotation, and the photo-induced change in the order parameters in a unified fashion. We connect these nonlinear optical responses to topological quantities involving the Berry connection and the Berry curvature. It is found that vector fields defined with the Berry connections in the space of momentum and/or parameters govern the nonlinear responses. We also discuss how the shift current is affected by the electron-electron interaction, including the formation of excitons.

[1] T. Morimoto and N. Nagaosa, arXiv:1510.08112.

数値実験で観る磁性体の新しい量子物性

求 幸年 東京大学大学院工学系研究科

遷移金属や希土類元素を含む化合物及び分子性導体などに現れる強相関電子系は、新規な量子現象の源泉として、実験・理論両面からの精力的な研究対象であり続けている。こうした系のとりわけ興味深い点は、電子のもつ電荷・スピン・軌道の自由度の間に働く相互作用が競合することによって、異なる量子状態がエネルギー的に拮抗しうる点である。このような状況では、量子揺らぎや熱揺らぎ、電場・磁場・圧力といった外場などの微小な擾乱によって、新しい量子状態や相転移現象、それらに伴う非自明な応答が現れる。また多くの場合、電子の遍歴性と局在性のはざまにおいて、原子サイズからナノスケール程度で起きる現象が支配的となる。このため、こうした複雑で興味深い量子現象を解明するためには、運動量空間と実空間描像の境界領域を取り扱う必要がある。近年、実験・理論ともにさまざまな発展が見られているが、特に理論面では、計算機とアルゴリズムの飛躍的な進化に伴い、数値シミュレーションが果たす役割が急速に増大している。

こうした潮流の中、我々の研究グループでは、複雑な系の本質を捉えた有効モデルに対する大規模数値シミュレーションを軸とした研究を推進してきた。このような研究では、単に自然現象を再現するだけではなく、それらの背後にある普遍的な物理を抽出するとともに、新しい現象を予言することが重要となる。本講演では、最近の研究内容から以下の2つのトピックを取り上げて議論する。すでに得られている成果を紹介するだけでなく、現在進行中の予備的な計算内容も示すことで、今後の研究展開を重視した議論を行いたい。



ピン波の波数分布が光パルススポット形状で決まることが明らかになった。それを利用してスピン波の伝播方向が制御できることを理論的・実験的に実証した[2]。

[1] T. Satoh *et al.*, *Nature Photon.* **9**, 25 (2015).

[2] T. Satoh *et al.*, *Nature Photon.* **6**, 662 (2012).

From Topological Physics to Topological Materials and Devices

Motohiko Ezawa *Department of Applied Physics, University of Tokyo*

トポロジーの概念が近年の物性物理の新たな発展の原動力となっている。今後の課題はトポロジカル物質の探索やデバイスへの応用である。現在までの私の研究成果の概要と将来への展望をのべる。特に、(1)トポロジカル原子層物質、(2)三次元ハニカム格子、(3)磁気スキルミオン、の物理とデバイスへの応用について紹介する。

(1)トポロジカル原子層物質のエッジ状態にはトポロジカル安定性がある。これを用いたトポロジカル・トランジスターを提案し、トポロジカル・エレクトロニクスを議論する[1]。特に、トポロジカル・トランジスターのコンダクタンスが乱れに対してロバストである事を示す。また、完全スピンフィルターや巨大磁気抵抗デバイスを提案する[2]。更に、第5族関連の新奇原子層物質の電気的特性について第一原理計算の結果を述べる[3]。

(2)Hyperhoneycomb 格子や stripy-honeycomb 格子を含む一般的な三次元ハニカム格子を定義する。先ず、エッジ状態等の解析解を用いて、完全平坦バンドが出現する事を示す[4]。特にループ・ノードを持つ半金属が一般的に実現する事や、反強磁性秩序存在下でポイント・ノードを持つ半金属が実現する事を示す[4]。更に、一般的な三次元格子のキタエフ・スピン液体模型の相図を解析的に決定し、磁場中で実現するワイル・スピン液体についても議論する[5]。

(3)磁気スキルミオンの最大の特徴は、トポロジカル安定性が存在するにも関わらず、生成消滅をコントロールできることである。先ず、スキルミオンと磁壁が相互に変換できる事を示す[6]。また、反強磁性結合した二層スキルミオンではスキルミオン・ホール効果が完全に抑制されて電流下で直進する事を示す[7]。更に、「トポロジカル非平衡散逸構造スキルミオン」という新奇な概念を導入し、その生成消滅機構をブロッホ点と格子構造から説明する。応用として、磁気スキルミオンを用いた論理回路を提唱する。

[1] M. Ezawa, *Appl. Phys. Lett.* **102**, 172103 (2013).

[2] S. Rachel and M. Ezawa, *Phys. Rev. B* **89**, 195303 (2014).

[3] C. Kamal, A. Chakrabarti and M. Ezawa, in preparation.

[4] M. Ezawa, *cond-mat/arXiv:1511.03336*.

[5] M. Ezawa, in preparation.

[6] Y. Zhou and M. Ezawa, *Nature Communications* **5**, 4652 (2014).

[7] X. Zhang, Y. Zhou and M. Ezawa, *Nature Communications* (2015).



スピン軌道相互作用を用いた強相関物質設計

有田亮太郎 理化学研究所創発物性科学研究センター

物質の個性を忠実に反映する第一原理計算の強みをいかして様々な量子状態の制御、新機能物質の理論設計を目指すことは量子物質研究が進むべき重要な方向の一つである。本講演では、強相関電子系における多様な特異状態の起源となるスピン軌道相互作用を活用した物質設計の可能性について我々の最近の二つの研究を紹介する。

固体における相対論効果の重要な発現の一つにジャロシンスキー・守谷相互作用 D がある。第一原理計算から連続スピンモデルを導出し、 D の符号や大きさを精密に見積もることができれば、カイラル磁性体の磁気構造や磁壁の運動を自在に設計する可能性が開け、非常に興味深い。一方、第一原理計算から連続モデルを導出する方法は、Hubbard 模型などの格子モデルを導出する場合と異なり、必ずしも確立していない。そこで最近、我々は非経験的に D を見積もる方法を構築した[1]。この方法ではバンド構造の詳細と D の関係を明らかにすることができ、電子状態にどのような摂動を加えれば D がどのように変化するかが調べられるようになる。講演ではこの方法をスキルミオンの大きさや helicity が変化することが報告されている[2] $\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Ge}$ に適用した結果を紹介し、先行研究[3,4]との比較を行った上でスキルミオン結晶エンジニアリングの可能性を議論する。

スピン軌道相互作用の存在下では、電子状態においてベリー曲率が様々な構造を取りうる。このことを利用して物質に興味深い輸送特性を付与することができる。そのひとつの例として、最近 Mn_3Sn [5]および Mn_3Ge [6,7]で話題となっている反強磁性体における巨大な異常ホール効果について議論する。どの磁気点群に属する磁性体においてどのような構造のベリー曲率があらわれるかという群論的な解析に基づき、巨大な異常ホール効果を示す反強磁性体を実現する必要条件について考察する[8]。

- [1] T. Kikuchi, T. Koretsune, R. Arita and G. Tatara, in prep.
- [2] K. Shibata *et al.*, Nature Nanotech., 8 723 (2013).
- [3] T. Koretsune, N. Nagaosa and R. Arita, Scientific Reports, 5 13302 (2015).
- [4] J. Gayles *et al.*, Phys. Rev. Lett., 115 036602 (2015).
- [5] S. Nakatsuji, N. Kiyohara, N. Higo, Nature doi:10.1038/nature15723 (2015).
- [6] N. Kiyohara and S. Nakatsuji, arXiv:1511.04619.
- [7] K. Nayak *et al.*, arXiv:1511.03128.
- [8] M-T. Suzuki, T. Koretsune and R. Arita, in prep.

第一原理多体摂動計算に基づく物性研究

中村和磨 九州工業大学大学院工学府基礎科学研究系

多体摂動論は、場の量子論に基づき、無限自由度を対象とする物性研究において積極的に利用されてきたが、計算コスト大のため、第一原理計算の取り組みの中では、中心的手法ではなかった。近年の計算機進展に伴い、大規模計算が可能となり、第一原理多体摂動論を用いた研究は少しずつ盛んになっている。特に、密度汎関数計算が不十分な定量的記述を与える問題について、多体摂動論による定量的改善が期待されている。

第一原理計算の範疇で多体摂動計算を実行する場合の代表的近似が、誘電関数に対する乱雑位相近似と自己エネルギーに対する GW 近似である。これらの近似の下で評価されたスペクトル関数について膨大な研究報告があり、現在では、準粒子エネルギーのようなスペクトル量について良い定量精度があることが知られている。一方、スペクトルの中に現れるサテライト構造については、あまり定量性がないことも確かめられている。サテライト構造は、系内の電子相関と密接



本研究のアプローチは、ビスマスでの象徴的な事例に留まらず、スピン軌道相互作用が本質的な物質系の研究に新たな方向性をもたらすものである。その一例として、熱電材料 PbTe とトポロジカル結晶絶縁体 SnTe の混晶系における M_{Zc} の計算結果も紹介する。

-
- ¹ G. E. Smith, G. A. Baraff, and J. M. Rowell, Phys. Rev. **135**, A1118 (1964).
 - ² V. S. Édel'man, Adv. Phys. **25**, 555 (1976).
 - ³ S. G. Bompadre, C. Biagini, D. Maslov, and A. F. Hebard, Phys. Rev. B **64**, 073103 (2001).
 - ⁴ Z. Zhu, B. Fauqué, Y. Fuseya, and K. Behnita, Phys. Rev. B **84**, 115137 (2011).
 - ⁵ Y. Fuseya, Z. Zhu, B. Fauqué, W. Kang, B. Lenoir, and K. Behnia, Phys. Rev. Lett. **115**, 216401 (2015).

f 電子系化合物の純良単結晶育成と強磁性超伝導の最近の進展

青木 大 東北大金研、CEA-Grenoble

ウラン化合物の物性を担う 5f 電子は、4f 電子の局在と 3d 電子の遍歴の中間的な性質を示す。またスピン軌道相互作用が大きい。このため電子相関が強く、多彩な物性物理の宝庫として知られている。たとえば、秩序パラメータが非自明な「隠れた秩序」、非フェルミ液体、多極子秩序、強磁性量子臨界現象、磁性と共存する超伝導など魅力的でバラエティに富んだ物性が知られている。なかでも、ここ最近、強磁性と超伝導が共存するウラン化合物が見つかって注目を集めている。

これまで、強磁性と超伝導はお互いに相反する物理現象だと考えられて来た。強磁性による強い内部磁場が超伝導の電子対(クーパー対)を破壊するからである。過去に、Matthias や Fischer らによって ErRh₄B₄ やシェブレル相の化合物について、強磁性と超伝導の共存/競合が研究されたことがある。しかし、これらは、磁性を担う 4f 電子と伝導電子が別物であり、強磁性と超伝導は本質的に競合している。

一方、ウラン化合物で発見された強磁性超伝導体 UGe₂, URhGe, UCoGe は、5f 電子が強磁性を担うとともに、結晶中を遍歴して伝導を担っている。すなわち、同じ 5f 電子が強磁性と超伝導の両方を担っているのである。したがって、強磁性と超伝導は微視的に共存している。

このような超伝導は、従来の BCS 理論では説明ができない。新しい超伝導発現機構が実現している。強磁性超伝導体では、これまでのスピン一重項によるクーパー対(↑↓)ではなく、スピン三重項の平行スピン対(↑↑あるいは↓↓)が超伝導を担っている。新しい超伝導発現機構に加えて、さらに驚くべきほど高い超伝導臨界磁場を持つこともわかって来た。

URhGe, UCoGe の磁化困難軸に磁場を加えると、強磁性キュリー温度が磁場増大とともに下がってくる。減少したキュリー温度がゼロになる近傍で、磁場誘起超伝導あるいは磁場強化型の超伝導が現れるのである。通常、超伝導の上部臨界磁場 H_{c2} は、クーパー対のゼーマン分裂に起因するパウリリミットによって決まっている。URhGe, UCoGe の場合、0.5T あるいは 1T 程度である。一方、強磁性超伝導の磁場誘起超伝導、磁場強化型超伝導の臨界磁場はその数十倍である。

このように磁場に強い奇妙な超伝導の出現は、新しい超伝導発現機構と強磁性の揺らぎが密接に絡み合った結果として理解できる。また、最近、純良単結晶育成に成功し、ドハース・ファンアルフェン効果や熱電能の量子振動効果の測定によって、フェルミ面の揺らぎも超伝導を強化する重要な役割を果たしていることが分かって来た。本講演では、これらの最新の実験結果について説明する。また、物性研との共同研究に得られた最近の結果や 5f 電子系以外の純良単結晶育成と精密物性測定についても紹介したい。



局所相関と電荷移動がもたらす新しい量子現象

渡辺真仁 九工大

近年、重い電子系物質 YbRh_2Si_2 [1]や $\beta\text{-YbAlB}_4$ [2]などの常磁性金属相において、スピンゆらぎの量子臨界現象の枠組みに従わない、非従来型の量子臨界現象が観測され、強相関電子系における大きな問題となっている。最近、 Yb や Ce の臨界価数ゆらぎが新しいタイプの量子臨界現象を引き起こすことが理論的に示され[3]、これらの非従来型の量子臨界現象を統一的に説明する機構として注目を集めている[4]。価数ゆらぎとは、 f 電子と伝導電子の間の電荷移動のゆらぎであるが、 f 電子の強い局所相関の効果と相まって新しい量子現象を引き起こすことがわかってきた。本講演ではその研究の発展を紹介する。

最近、 f 電子の強い局所相関の効果を取り入れた上で、臨界価数ゆらぎのモード結合理論の枠組みが作られた[3]。その結果、運動量空間でほとんど分散をもたない局所的な臨界価数ゆらぎのモードが出現し、磁化率 χ や電気抵抗率 ρ 、電子比熱係数 C/T や核磁気緩和率 $(T_1T)^{-1}$ などの物理量に新しいタイプの量子臨界性が現れることが示された[3]。実験的にも1次の価数転移と臨界点の存在が、 YbRh_2Si_2 [5]や $\alpha\text{-YbAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{B}_4$ [6]、 YbNi_3Ga_9 [7]で示唆されている。

また、 $\beta\text{-YbAlB}_4$ の磁化率 χ が温度と磁場の比 T/B の4桁以上にわたって1つのスケーリング関数で表される新奇な振る舞いが発見された[8]。磁場下での価数ゆらぎのモード結合理論の枠組みを構築して解析を行った結果、 Yb の価数転移の量子臨界点近傍で、臨界価数ゆらぎの特徴的溫度 T_0 が測定最低溫度と同程度か、低い場合には、価数帯磁率および磁化率に T/B スケーリングの振る舞いが出現することがわかった[9]。これにより、 $\beta\text{-YbAlB}_4$ の各物理量が示す非従来型の量子臨界現象と T/B スケーリングが統一的に説明されることがわかった[9]。

最近、重い電子系準結晶 $\text{Yb}_{15}\text{Al}_{34}\text{Au}_{51}$ の常圧および圧力下で、上記と共通の量子臨界性が観測された[10]。準結晶と近似結晶の基本格子構造を構成する Yb-Al-Au クラスターについて理論解析を行った結果、 Yb の価数転移の量子臨界点が基底状態相図上で斑点状に出現し、量子臨界領域が互いに重なり合っって広大な量子臨界領域が出現することを見出した[11]。これにより、圧力に対してrobustな量子臨界性が臨界価数ゆらぎの観点から自然に説明されるとともに、圧力や磁場を制御することなしに量子臨界性が発現している謎に対する知見が得られた[11,12]。

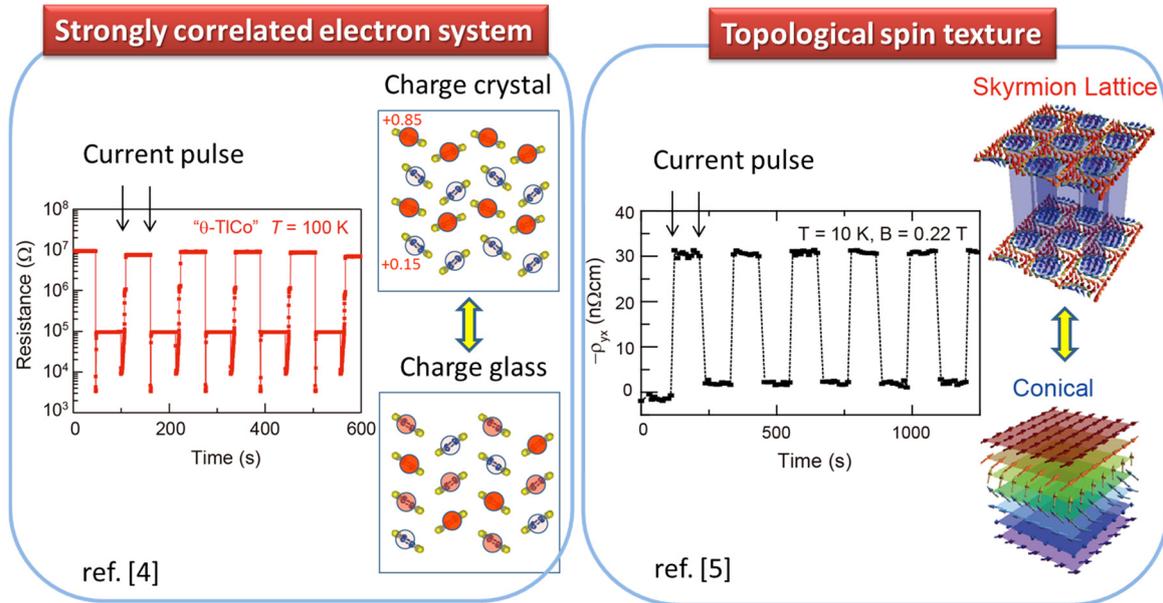
これらの結果は、 Yb の臨界価数ゆらぎが強い局所性をもつために、格子が周期性をもつか、準周期性をもつかにはよらない可能性を示唆しており、 Yb の価数ゆらぎを起源として新しい普遍性クラスが形成されている可能性が高いと考えられる。講演では、局所相関と電荷移動がもたらす新しい量子現象を紹介し、将来展望を議論する。

本講演の内容は三宅和正フェロー(豊田理研)およびSPring-8長期利用課題(課題番号:0046)の実験メンバーとの共同研究に基づいている。

- [1] O. Trovarelli *et al.*, PRL **85** (2000) 626.
- [2] S. Nakatsuji *et al.*, Nature Phys. **4** (2008) 603.
- [3] S. Watanabe *et al.*, PRL **105** (2010) 186403.
- [4] 渡辺真仁, 三宅和正, 固体物理 **47** (2012) 511.
- [5] S. Kambe *et al.*, Nature Phys. **10** (2014) 840.
- [6] 久我健太郎 他, 物理学会 2014年3月28aBE-6.
- [7] K. Matsubayashi *et al.*, PRL **114**(2015) 086401.
- [8] Y. Matsumoto *et al.*, Science **331** (2011) 316.
- [9] S. Watanabe *et al.*, JPSJ **83** (2014) 103708.
- [10] K. Deguchi *et al.*, Nature Mat. **11** (2012) 1013.
- [11] S. Watanabe *et al.*, JPSJ **82** (2013) 083704.
- [12] S. Watanabe *et al.*, J. Phys.: Conf. Ser. **592** (2015) 012087.



- [1] F. Kagawa, *et al.*, Nat. Phys. **9**, 419 (2013).
 [2] T. Sato, *et al.*, Phys. Rev. B **89**, 121102(R) (2014).
 [3] T. Sato, *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **83**, 083602 (2014). [4] H. Oike, *et al.*, Phys. Rev. B **91**, 041101(R) (2015).
 [5] H. Oike, *et al.*, Nat. Phys., doi:10.1038/nphys3506 (2015).
 [6] 賀川、大池、佐藤、固体物理 12 月号掲載予定 (2015)



特異なボンドを有する新奇磁性体における巨大外場応答

石渡晋太郎 東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻

Fe⁴⁺や Co⁴⁺などの異常高原子価 3d 遷移金属イオンを含む酸化物は、非常に強い d-p 混成を有しており、d 電子だけでなく酸素 p ホールが絡んだ新奇な量子物性を示す。多彩ならせん磁気秩序を示す SrFeO₃はその好例であり[1]、磁気基底状態は、Ba 置換による Fe-O ボンドの伸張によって非常に敏感に変化する事が報告されている[2]。これらの実験事実は、異常高原子価酸化物における様々な磁気秩序の競合状態を反映したものであり、立方晶ペロブスカイトのようなシンプルな格子系であっても、d-p 混成の大きさを支配するボンド長を制御することで、新奇な磁気秩序が見いだされる可能性があることを示唆している。しかしながら、合成の困難さに理論的な取り扱いの難しさも相俟って、物質・物性開拓やその微視的メカニズムの解明は遅れている。

我々は、室温強磁性を示す立方晶ペロブスカイト型酸化物 SrCoO₃[3]に着目し、Ba 置換による Co-O ボンドの伸張がもたらす磁性の変化を系統的に調べた。その結果、強磁性状態は Ba 置換によって系統的に抑制され、x=0.35 という臨界組成近傍で反強磁性状態に置き換わることが分かった。次にこの系において化学置換によってもたらされた磁気基底状態の変化が、Co-O のボンド長の変化に支配された本質的な振る舞いであることを確かめるため、強磁性消失後の x=0.4 という組成に対して圧力下の磁気測定を行ったところ、わずか 0.7 GPa の圧力で明確に強磁性が復活するという結果が得られた。さらに Ba 置換による負の化学圧と正の物理圧がもたらす磁気転移温度の変化が、格子定数によってスケールされることが明らかとなった。また、Ba 置換によって見いだされた新奇な磁気秩序相の詳細を調べるため、単結晶試料を用いた中性子散乱を行ったところ、SrFeO₃と同様な[111]方向に伝搬ベクトルをもたせぬ磁性状態が実現していることが

