

# 物性研究所セミナー

標題：LASOR セミナー/ナノサイエンスセミナー：Nanoscale optical control of coherent electron waves from a nano-tip and their outlook

日時：2018年7月6日(金) 午後1時30分～午後2時30分

場所：物性研究所本館6階 第2セミナー室(A612)

講師：Dr. Hirofumi Yanagisawa

所属：Ludwig-Maximilians University, D-85748 Garching, Germany

要旨：

In this presentation, we will overview our work on laser-induced electron emission from a tungsten tip. In particular, we will focus on optical control of electron emission sites on a scale of nanometers and their application for optical control of Young's electron interference.

Illuminating a sharp metallic tip with femtosecond laser pulses produces spatially and temporally confined electron pulses by plasmonic effects at the tip apex [1]. We have found that these plasmonic effects induce asymmetric electron emissions from the tip apex as schematically shown in Fig. 1. They also allow one to select the electron emission sites on a nanometer scale by changing the laser polarization [2]. Using this technique, we can manipulate electron emissions within their coherence time and area, which then enables us to control coherent electron emission in time and space. In a demonstration, we realized optical control of Young's electron interference [3]. The interference emerged between the two adjacent electron beams. The intensity of the interference could be successfully controlled by changing the laser polarization and intensity. The underlying physics that drove the interference was revealed by measuring the energy spectra [4, 5] and also by simulating the temporal evolution of the electron waves by solving a two-dimensional time-dependent Schrödinger equation [3]. Using a site-selective coherent electron source, we expect to create time-resolved electron holography with a possible time resolution in attoseconds.

In this presentation, we will overview our work on laser-induced electron emission from a tungsten tip. In particular, we will focus on optical control of electron emission sites on a scale of nanometers and their application for optical control of Young's electron interference.

## References

1. P. Hommelhoff, et. al., Phys. Rev. Lett. 96, 077401 (2006).
2. H. Yanagisawa, et. al., Phys. Rev. Lett. 103, 257603 (2009).
3. H. Yanagisawa, et al. Sci. Rep. 7, 12661 (2017).
4. H. Yanagisawa, et al. Phys. Rev. Lett. 107, 087601 (2011).
5. H. Yanagisawa, et al. Sci. Rep. 6, 35877 (2016).







5. K. Kamiya, T. Baba, M. Boero, T. Matsui, S. Negoro, Y. Shigeta, "A Nylon-oligomer Hydrolase Promoting Cleavage Reactions in Unnatural Amide Compounds", *J. Phys Chem. Lett.* 5, 1210-1216 (2014).
6. K. Kamiya, Y. Shigeta, "First-principles Molecular Dynamics Studies on the Atomistic Behavior of His503 in Bovine Cytochrome c Oxidase", *Biochim. Biophys. Acta*, 1807, 1328-1335 (2011).

標題：ナノサイエンスセミナー：Quantum Molecular Machines

日時：2018年8月3日(金) 午後1時30分～午後2時30分

場所：物性研究所本館6階 第2セミナー室(A612)

講師：Prof. Saw-Wai Hla

所属：Ohio University and Argonne National Laboratory, USA.

要旨：

One of the goals of nanotechnology is to develop complex molecular machines that can be operated in a solid-state environment. This talk will present molecular motors and molecular linear transport devices operating in the quantum regime on materials surfaces. Fundamental operations of these machines are investigated in an atomically clean environment using low temperature scanning tunneling microscopy, and molecular manipulations[1], [2]. These investigations reveal how charge and energy transfer are taken place within single molecule machines and molecular networks. Moreover by introducing dipole active components in the rotor arms, communication among the molecular motors can be introduced. Synchronization of the motors can be achieved depending on the symmetry of the molecular assemblies and the strength of the electric field. Furthermore, individual molecular motors can be charged using the inelastic tunneling scheme. For a comparison with spintronics of molecular machines, we will also present anomalous Kondo resonance observed for the magnetic molecules adsorbed on graphene nanoribbons [3]. For the linear transport, the development of molecular hoverboards and molecular cars for a control transport at the nanoscale will be presented.

- [1] Y. Zhang, H. Kersell, R. Stefak, J. Echeverria, V. Iancu, U.G.E. Perera, Y. Li, A. Deshpande, K.-F. Braun, G. Rapenne, C. Joachim, and S.-W. Hla. Simultaneous and coordinated rotational switching of all molecular rotors in a network, *Nature Nanotechnology* 11, 706 (2016).
- [2] U.G.E. Perera, F. Ample, H. Kersell, Y. Zhang, G. Vives, J. Echeverria, M. Grisolia, G. Rapenne, C. Joachim, and S.-W. Hla. Controlled clockwise and anticlockwise rotational switching of a molecular motor, *Nature Nanotechnology* 8, 46 (2013).
- [3] Y. Li, A. Ngo, A. DiLullo, K.Z. Latt, H. Kersell, B. Fisher, P. Zapol, S.E. Ulloa, and S.-W. Hla. Anomalous Kondo resonance mediated by semiconducting graphene nanoribbons in a molecular heterostructure, *Nature Communications* 8, 946 (2017).





一方で、分子線エピタキシー法(MBE)と呼ばれる薄膜成長技術が近年注目を集めており、高純度の薄膜や人工超格子などの作製が行われている[1]。この技術を用いれば、STM 測定に適した原子レベルで平坦な表面を容易に得ることができ、STMを用いた重い電子系化合物研究が加速されることが期待できる。

そこで本研究では、MBE によって成長させた重い電子系化合物である CeCoIn5 及び CeRhIn5 薄膜のその場 STM 観察を行った。講演ではまず、非従来型超伝導体である重い電子系超伝導体 CeCoIn5 中の不純物効果[2]についての講演を行う。次に、重い電子系反強磁性体 CeRhIn5 における c-f 混成状態[3]についての講演を行う。

#### References

- [1] M. Shimozawa et al., Rep. Prog. Phys. 79, 074503 (2016).
- [2] M. Haze et al., J. Phys. Soc. Jpn. 87, 034702 (2018).
- [3] M. Haze et al., submitted.

#### 標題：中性子セミナー：中性子散乱で観る創発スピン構造

日時：2018年9月7日(金) 午後3時30分～午後4時～30分

場所：物性研究所本館6階 第2セミナー室(A612)

講師：富安 啓輔

所属：東北大学大学院理学研究科

#### 要旨：

「スピン構造」は基礎科学的な魅力と応用的な可能性を併せ持つ多彩な物性の源である。金属絶縁体転移・巨大磁気抵抗・トポロジカル効果・スピントロニクス現象は、その代表と言える。スピン構造は、動的と静的、短距離と長距離に大きく分類され、そのいずれの観測にも中性子散乱法は大きな役割を果たしている。

本セミナーでは、フラストレーションやスピנקロスオーバーにより生成される「スピン分子」と呼ばれる動的短距離スピン構造体と「all-in all-out」と呼ばれる静的長距離スピン構造体を観測した研究を紹介する。前者はパルス中性子源のチョッパー分光器を、後者は定常中性子源の粉末回折計と三軸分光器を用いておこなった。

「スピン分子」とは、1 nm 程度の分子のような形状を持つ磁気的な素励起のことである。我々は、スピン分子を、局在スピン系 MgCr2O4、遍歴スピン系 LiV2O4、局在と遍歴の狭間に位置づけられる LaCoO3 において観測して来た [1-3]。最近では、スピン分子はトポロジカルチャージという新たな基礎概念で記述されること、異常なマクロ物性(断熱・防音機能)の生成源として熱制御の応用シーズになりうることも報告されている[4,5]。

「All-in all-out」とは、スピンの自らの属する正四面体の中心方向のみ、あるいは、その反対方向のみを向いた磁気構造のことである。例えば、Nd2Ir2O7 等のパイロクロアについて、3次元トポロジカル Weyl 半金属ないしは近傍物質である証拠として理論的に提唱され、実験的にも温度や磁場誘起の金属絶縁体転移や磁気ドメイン導電現象を生み出す基礎構造を与える [6]。しかしながら、その中性子実験は、(1) Ir の磁気モーメントが小さい ( $< 0.3 \mu\text{B}$ )、(2) 磁気伝播ベクトルが (0, 0, 0) である、(3) 二つの磁性元素からなるパイロクロアの磁気構造決定は相当数のパラメータを含む最適化問題になる、という困難が重なり、不可能だと思われていた。我々がこの問題をいかに解決したか、最新の数理情報科学と中性子実験の融合により、all-in all-out 磁気構造の最終決定に至るまでをお話しする [7]。

最後に、今後の中性子研究の展望について述べる。

- [1] KT et al., PRL 101, 177401 (2008); PRL 101, 177401 (2013).
- [2] KT et al., PRL 110, 077205 (2014).
- [3] KT et al., PRL 119, 196402 (2017); KT et al. (submitted).
- [4] T. Mizoguchi et al., PRL 119, 077207 (2017); arXiv:1806.08534.
- [5] T. Watanabe et al., PRB 86, 144413 (2012); H. Zhou et al., PRB 87, 174436 (2013).



- [6] D. Pesin et al., Nat. Phys. 6, 376 (2010); X. Wan et al., PRB 83, 205201 (2011); Y. Yamaji et al., PRX 4, 021035 (2014); K. Matsuhira et al., JPSJ 76, 043706 (2007); JPSJ 80, 094701 (2011); Z. Tian et al., Nat. Phys. 12, 134 (2015); H. T. Hirose et al., Sci. Rep. 7:42440 (2017).
- [7] KT et al., JPSJ 81, 034709 (2012); KT et al. (submitted) (特許出願手続き中, 山形大 2017-081).

**標題：中性子セミナー：磁性体におけるボルテックスの中性子散乱研究**

**日時：2018年9月7日(金) 午後1時30分～午後2時30分**

**場所：物性研究所本館6階 第2セミナー室(A612)**

**講師：左右田 稔**

**所属：理化学研究所 創発物性科学研究センター**

**要旨：**

近年、トポロジーに起因する新奇物性が注目されている。トポロジカルな磁性体として、スピンのボルテックスのように螺旋配列を形成している磁気スキルミオン等が挙げられ、基礎・応用両面において精力的に研究されている。本セミナーでは、3種類のボルテックス (1) フラストレーション磁性体における Z2-ボルテックス、(2) 超伝導体におけるボルテックス格子、(3) 磁気スキルミオンを取り上げる。様々なボルテックス格子の構造、ダイナミクスを中性子散乱によって観測し、トポロジカルな物性の総合的な解明を目指している。

幾何学的フラストレーションをもつ磁性体では、Z2-ボルテックスに起因するトポロジカル転移が理論的に予想されている。スピンのカイラリティと密接に関係する Z2-ボルテックスでは、理論研究より特徴的な中性子散乱実験結果、(a) 低温でも有限な磁気相関長、(b) 磁気ブラッグ点を結ぶライン状の磁気散漫散乱、(c) 転移温度付近で磁気散漫散乱の強度が最大、が期待される。さらに中性子非弾性散乱実験では、セントラルピークが観測される。我々はカゴメ格子と三角格子が積層するフラストレーション磁性体 R<sub>Ba</sub>Co<sub>4</sub>O<sub>7</sub>、R<sub>Ba</sub>Fe<sub>4</sub>O<sub>7</sub> の中性子実験を行い、特徴的なライン状の磁気散漫散乱を観測した。Y<sub>Ba</sub>Co<sub>4</sub>O<sub>7</sub> の中性子実験結果は、先に上げた(a)-(c)と一致した結果となっており、Z2-ボルテックスが期待される。類似構造をもつ Lu<sub>Ba</sub>Co<sub>4</sub>O<sub>7</sub> や Ca<sub>Ba</sub>Fe<sub>4</sub>O<sub>7</sub> 等に対して非弾性実験も含めた中性子散乱実験も行っており、Z2-ボルテックスの可能性を議論する。セミナーでは、別のボルテックスに注目した研究として、超伝導体におけるボルテックス格子や磁気スキルミオンの最近の中性子研究結果等についても述べる。

**標題：理論インフォーマルセミナー：冷却原子系における非エルミート近藤効果**

**日時：2018年9月25日(火) 午後4時～午後5時**

**場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室(A615)**

**講師：中川 大也**

**所属：理化学研究所 創発物性科学研究センター**

**要旨：**

近藤効果は、固体電子系における代表的な量子多体効果のひとつであり、強相関系の理解において重要な役割を果たしている。これまでに磁性不純物を含んだ金属や f 電子系化合物のほか、量子ドットなどの人工量子系においても観測がなされているが、近年、真空中にトラップされた冷却原子気体において近藤効果を実現しようという試みが理論・実験共に精力的に行われている[1,2]。冷却原子気体で近藤効果を実現することの強みとして、その制御性の高さによって強相関量子多体系のクエンチダイナミクスなどの非平衡現象を観測できることや、固体電子系とは違った特性により従来は考えられなかったような新たな近藤効果が実現できることなどが挙げられる。本セミナーでは、冷却原子系における近藤効果の実現が、通常の物性物理の範疇を超えた、「非エルミートハミルトニアンによって記述される量子多体問題」を与えることを提案する[3]。ごく最近、冷却原子気体での近藤模型の実験的な実現が報告された[2]。この実験においては未だ近藤効果の観測には至っていないが、フェルミオンと不純物の間の非弾性散乱に起因する原子のロスが報告されている。この

非弾性散乱を量子開放系として定式化することにより、近藤相互作用の係数が複素数で与えられる、非エルミート近藤模型を導出することができる。この非エルミート近藤模型をくりこみ群を用いて解析することにより、通常のエルミートな系では現れることのない(具体的には、量子不純物系の  $g$ -定理を破る)新奇なくりこみ群フローと、それに付随した量子相転移が現れることを示す。また、われわれは、この非エルミート近藤模型の厳密解を Bethe 仮設法を用いて導いた。厳密解の示す量子相転移線はくりこみ群による結果とよく一致する。

Reference:

- [1]A. V. Gorshkov et al., Nat. Phys. 6, 289 (2010).
- [2]L. Riegger et al., Phys. Rev. Lett. 120, 143601 (2018).
- [3]M. Nakagawa, N. Kawakami, and M. Ueda, arXiv:1806.04039.

**標題：極限コヒーレント光科学セミナー：スパースモデリングを活用したコヒーレント軟 X 線回折イメージング**

日時：2018 年 9 月 28 日(金) 午前 10 時～午前 11 時 30 分

場所：物性研究所本館 6 階 第一会議室(A636)

講師：山崎 裕一

所属：国立研究開発法人 物質・材料研究機構(NIMS)

要旨：

コヒーレント軟 X 線回折磁気イメージング(CDI) 法は、集光レンズを用いずにナノメートルスケールの磁気構造を実空間観測できる手法である。観測された回折図形からホログラフィー法や位相回復アルゴリズム法によって位相情報を回復し実空間像を再構成することができる。我々は、ナノメートルスケールのトポロジカル磁気構造体である磁気スキルミオンに着目し、CDI 法による実空間観測することに成功している[1]。しかし、本手法は高精度の実空間像を観測するために長時間の計測が必要であり、磁気構造の高速な時間変化を観測することは難しい。そこで、計測対象のスパース性に関する事前情報を取り込んだ新しい位相回復アルゴリズムを考え、低精度な計測データからも効率よく情報抽出できる解析手法を開発している。

本セミナーでは、コヒーレント軟 X 線回折磁気イメージングの最近の進展とスパースモデリングを活用した位相回復アルゴリズムについて紹介する。

- [1] V. Ukleev, Y. Yamasaki, et al., QUANTUM BEAM SCIENCE 2, 3[1] (2018)

**標題：理論セミナー：Lattice model constructions for gapless domain walls between topological phases**

日時：2018 年 10 月 2 日(火) 午後 4 時～

場所：物性研究所本館 6 階 第 5 セミナー室(A615)

講師：Prof. Shuo YANG

所属：Department of Physics, Tsinghua University

要旨：

Lattice models of gapless domain walls between twisted and untwisted gauge theories of finite group  $G$  are constructed systematically. As simple examples, we numerically studied the gapless domain walls between twisted and untwisted  $Z_N$ (with  $N < 6$ ) gauge models in 2+1D using the state-of-art loop optimization of tensor network renormalization algorithm. We also studied the physical mechanism for these gapless domain walls and obtained quantum field theory descriptions that agree perfectly with our numerical results. By taking the advantage of the systematic classification and construction of twisted gauge models using group cohomology theory, we systematically construct general lattice models to realize gapless domain walls for arbitrary finite symmetry group  $G$ . Such constructions can be generalized

into arbitrary dimensions and might provide us a systematical way to study gapless domain walls and topological quantum phase transitions.

標題：量子物質セミナー：Axion electrodynamics and the quantized topological magnetoelectric effect in topological insulators

日時：2018年10月16日(火) 午後1時30分～午後3時

場所：物性研究所本館6階 第一会議室 (A636)

講師：Prof. N. Peter Armitage

所属：The Johns Hopkins University, USA

要旨：

Topological insulators have been proposed to be best characterized as bulk magnetoelectric materials that show response functions quantized in terms of fundamental physical constants. Here we lower the chemical potential of three-dimensional (3D) Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> films to 30 meV above the Dirac point, and probe their low-energy electrodynamic response in the presence of magnetic fields with high-precision time-domain terahertz polarimetry. For fields higher than 5 T, we observed quantized Faraday and Kerr rotations, whereas the DC transport is still semi-classical. A non-trivial Berry phase offset to these values gives evidence for axion electrodynamics and the topological magnetoelectric effect. The time structure used in these measurements allows a direct measure of the fine structure constant based on a topological invariant of a solid-state system. I'll also discuss our most recent measurements on topological insulator single crystals that give evidence for a half quantized Hall effect on the TI surfaces.

Ref. L. Wu et al., Science 354, 1124 (2016).