

# 物性研究所セミナー

**標題:** Phase transitions and critical states of monitored quantum systems

**日時:** 2021年11月1日(月) 午前10時~午後0時

**場所:** Zoom 開催

**講師:** Ehud Altman

**所属:** UC Berkeley

**要旨:**

In a closed system, thermalization occurs through unitary evolution, which encodes information in increasingly nonlocal degrees of freedom. Recent work on random quantum circuits has clarified how this non-local encoding is affected by an external observer: at a critical measurement rate the system undergoes a phase transition from an encoding state with volume law entanglement to an area law state. I will review the current understanding of the transition using a mapping to statistical mechanics models and use this description to predict two new phenomena. First, I will argue that large scale entanglement, with sub-volume critical power law scaling, is left in the monitored system when it is coupled to a decoherence channel at its edge. Second, I will show that the capacity of certain quantum circuits to facilitate quantum teleportation over infinite distances has a critical onset at a finite time.

Chair: Yuki Motome

This event is jointly organized by the Korea Institute for Advanced Study and the University of Tokyo. “Correlated Electrons Virtual International Seminars (CEVIS)” <https://sites.google.com/view/cevis2020/home>

**標題:** 多端子ジョセフソン接合におけるワイル特異点の操作とトポロジカル相転移の制御

**日時:** 2021年11月11日(木) 午後2時~午後3時

**場所:** Zoom 開催

**講師:** 横山 知大

**所属:** 大阪大学大学院基礎工学研究科

**要旨:**

ジョセフソン接合は、超伝導体間の位相差が物理量に現れる、量子力学の最も重要な研究対象の1つである。接合を3つ以上の超伝導体に拡張した多端子ナノ構造の場合、物理量は2つ以上の位相差の全てに対して周期的である。我々は接合の準粒子状態が位相差空間においてエネルギーバンドを形成するとみなすことで、この多端子接合を人工物質として提案する。特に、そのバンドにワイル特異点が創発することを明らかにした[1]。多端子ジョセフソン接合におけるワイル特異点の検出[2]や、回路化による特異点創出[3]、量子ビットへの応用[4]などが提案されているが、特異点が発現されるナノ構造の具体的な条件など、未解明な課題が多く残されている。本研究では、ナノ構造に量子ポイントコンタクト構造などによる電子伝導制御を想定することで、ワイル特異点の発現条件や発現するパラメータ領域、トポロジカル相の相転移を議論する。トポロジカル相転移はワイル特異点の対消滅・対生成を伴う。ナノ構造の場合、広い外部パラメータ制御が可能であり、ゲート電圧や外部磁場によるワイル特異点の移動、周期的な対消滅・対生成が可能である。その際、ゲート電圧の領域に応じて、2つの特異点による対消滅・対生成と、4つの特異点に関与した対消滅・対生成が得られる。さらに、後者は第一ブリュアン領域の特異点のみが関与する場合と隣接するブリュアン領域の特異点も寄与する場合に分類される。これらの特徴は新たなトポロジカル相の分類を示唆し、「動的なトポロジー」の分類という概念を提示する。



- [1] T. Yokoyama and Yu. V. Nazarov, PRB 92, 155437 (2015).
- [2] R.-P. Riwar, et al., Nat. Commun. 7, 11167 (2016).
- [3] V. Fatemi, A. R. Akhmerov, and L. Bretheau, PR Research 3, 13288 (2021).
- [4] Y. Chen and Yu. V. Nazarov, PRB 103, 045410 (2021).

**標題** : Detecting ultrafast dynamics in correlated materials by laser-based photoelectrons

**日時** : 2021 年 11 月 15 日(月) 午前 10~午後 0 時

**場所** : Zoom 開催

**講師** : Kyoko Ishizaka

**所属** : The University of Tokyo

**要旨** :

In strongly correlated systems, electron, spin, and phonon degrees of freedom are intricately intertwined, and various symmetry breaking phenomena occurs. These systems exhibit condensed states reflecting the interactions, thereby acquiring peculiar anisotropy and/or hierarchical structures which show unique dynamics in non-equilibrium states. Recently we have been working on observations of these dynamics by using new measurement techniques such as time- & angle-resolved photoelectron spectroscopy and ultrafast electron microscopy. In this talk, I will introduce our recent works on nematic iron-based superconductor FeSe and trimer-ordered “charge-density-wave” material VTe<sub>2</sub>. In FeSe, through the time-, energy-, momentum- and orbital-resolved photoelectron spectroscopy, we detected the ultrafast dynamics of the Fermi surface anisotropy, and found the short-lived nematic oscillation appearing right after the strong perturbation by light [1]. In VTe<sub>2</sub>, we first clarified the electronic structure and found that the trimer formation is intimately related with the band inversion and the Dirac surface state located at the Brillouin zone boundaries [2]. In addition, by using the ultrafast electron diffraction and imaging, we found the peculiar phononic responses related to the trimer dissolution by optical irradiation [3], suggesting the possibility of ultrafast control of band inversion.

- [1] T. Shimojima, KI et al., Nat. Commun. 10, 1946/1-6 (2019).
- [2] N. Mitsuishi, KI et al., Nat. Commun. 11, 2466/1-9 (2020).
- [3] A. Nakamura, KI et al., Nano Lett. 20, 7, 4932–4938 (2020).
- [4] T. Shimojima, KI et al, Sci. Adv. 7, eabg1322/1-8 (2021).

Chair: Masaki Oshikawa

This event is jointly organized by the Korea Institute for Advanced Study and the University of Tokyo. “Correlated Electrons Virtual International Seminars (CEVIS)” <https://sites.google.com/view/cevis2020/home>

**標題：高輝度 X 線光源を利用した細胞試料の顕微イメージング**

**日時：2021 年 11 月 18 日(木) 午前 10 時～午前 11 時 30 分**

**場所：Online**

**講師：木村 隆志**

**所属：物性研究所・極限コヒーレント光科学研究センター**

**要旨：**

短い波長、高い透過能、物質との様々な相互作用といった特徴を活かした X 線による分析は、結晶構造解析を代表として生物学においても幅広い応用がなされている。特に高輝度を特徴とする放射光 X 線を利用した実験では、微小な細胞やその内部構造からのシグナルを検出する顕微イメージングも比較的容易に行うことが可能になる。

講演者はこれまで第三世代放射光施設である SPring-8 や X 線自由電子レーザー施設の SACLA を利用した、X 線顕微イメージングの開発に従事してきた。技術として X 線領域で利用可能な超精密ミラー光学系の作製・応用に強みを持っており、X 線自由電子レーザーのフェムト秒パルスを利用した生細胞のシングルショットイメージング技術の開発や、SPring-8 BL07LSU 東京大学放射光アウトステーション物質科学ビームラインでの新規 X 線顕微イメージングシステムの立ち上げ・評価などに取り組んでいる。

本発表では、特にこうしたミラー光学系を利用した顕微イメージング技術に焦点を当て、SACLA や SPring-8 の成果などの実例を交えながら、目指している方向性など今後の展望も踏まえて講演を行う。

**標題：強磁場と中性子散乱で探る三角格子量子反強磁性体の基底状態と素励起**

**日時：2021 年 11 月 19 日(金) 午前 11～午後 0 時**

**場所：Zoom 開催**

**講師：田中 秀数**

**所属：東京工業大学理学院**

**要旨：**

スピンの大きさが  $1/2$  で、最近接交換相互作用のみを持つ 2 次元三角格子 Heisenberg 反強磁性体 (TLHAF) のゼロ磁場での基底状態は長年の理論研究から Resonating-valence-bond (RVB) のようなスピン液体ではなく、 $120^\circ$  構造の秩序状態になることが知られている[1]。しかし、秩序モーメントの大きさは全モーメントの 40%程度であり、大きな量子揺らぎが残っている。スピン  $1/2$  TLHAF では量子揺らぎによって飽和磁化の  $1/3$  にプラトーが生ずる事が理論的に知られている[2]。本講演では、まずスピン  $1/2$  TLHAF に近い  $\text{Ba}_3\text{CoSb}_2\text{O}_9$  で行われた  $1/3$  磁化プラトーを含む磁場中量子相転移の研究について紹介する。 $\text{Ba}_3\text{CoSb}_2\text{O}_9$  では弱い容易面型異方性と弱い三角格子面間相互作用のために純粋な 2 次元系では見られない多彩な量子相転移が磁場中で起こることが分かった[3-5]。

磁気励起には基底状態と素励起の特徴が反映される。スピン  $1/2$  TLHAF の磁気励起は線形スピン波理論の結果から大きく異なることが知られているが、理論的コンセンサスは単一マグノン励起に限られている。逆格子空間の K 点 (三角構造の磁気秩序に対応する波数ベクトルの点) 近傍の単一マグノン励起は線形スピン波理論と一致するが、波数ベクトルが K 点から離れると、励起エネルギーは線形スピン波理論の結果よりも急速に低下し、分散関係には M 点で roton-like minimum と呼ばれる極小が現れることが知られている[6]。本講演の後半では中性子散乱で得られた  $\text{Ba}_3\text{CoSb}_2\text{O}_9$  [7] と  $\text{Ba}_2\text{CoTeO}_6$  [8] の磁気励起を紹介し、両物質の磁気励起からスピン  $1/2$  TLHAF に共通する普遍的な磁気励起スペクトルを示す。最近の理論研究から、RVB 的状態からのスピノン励起を考えると実験で得られた磁気励起の特徴をある程度説明できることが分かってきた[9]。これは基底状態が秩序状態であっても、揺らぎとして RVB 状態が残っていることを示している。

[1] 例えば S. R. White and A. L. Chernyshev, PRL 99, 127004 (2007).



- [2] 例えば D. J. J. Farnell et al. J. Phys.: CM 21, 406002 (2009), T. Sakai and H. Nakano, PRB 83, 100405 (2011), C. Hotta et al. PRB 87, 115128 (2013).
- [3] Y. Shirata et al., PRL 108, 057205 (2012), T. Susuki et al., PRL 110, 267201 (2013), K. Okada et al. unpublished data.
- [4] G. Koutroulakis et al., PRB 91, 024410 (2015).
- [5] D. Yamamoto et al., PRL 114, 027201 (2015).
- [6] 例えば W. Zheng et al., PRB 74, 224420 (2006).
- [7] S. Ito et al., Nat. Commun. 8, 235 (2017).
- [8] Y. Kojima et al., preprint.
- [9] F. Ferrari and F. Becca, PRX 9, 031026 (2019), C. Zhang and T. Li, PRB 102, 075108 (2020).

**標題** : Wave function geometry and anomalous Landau levels of flat bands

**日時** : 2021 年 11 月 29 日(月) 午前 10~午後 0 時

**場所** : Zoom 開催

**講師** : Bohm Jung Yang

**所属** : Seoul National University

**要旨** :

Semiclassical quantization of electronic states under magnetic field describes not only the Landau level spectrum but also the geometric responses of metals under a magnetic field. However, it is unclear whether this semiclassical idea is valid in dispersionless flat-band systems, in which an infinite number of degenerate semiclassical orbits are allowed. In this talk, I am going to show that the semiclassical quantization rule breaks down for a class of flat bands including singular flat bands [1-5] and isolated flat bands [6]. The Landau levels of such a flat band develop in the empty region in which no electronic states exist in the absence of a magnetic field. The total energy spread of the Landau levels of flat bands is determined by the quantum geometry of the relevant Bloch states, which is characterized by their Hilbert–Schmidt quantum distance and fidelity tensors. The results indicate that flat band systems are promising platforms for the direct measurement of the quantum geometry of wavefunctions in condensed matter.

- [1] J. W. Rhim and B. -J. Yang, “Classification of flat bands according to the band-crossing singularity of Bloch wave functions”, PRB 99, 045107 (2019)
- [2] J. W. Rhim, K. Kim, B. -J. Yang, “Quantum distance and anomalous Landau levels of flat bands”, Nature 584, 59-63 (2020)
- [3] Y. Hwang, J. Jung, J. W. Rhim, B. -J. Yang, “Wave function geometry of band crossing points in two-dimensions”, PRB 103, L241102 (2021)
- [4] Y. Hwang, J. W. Rhim, B. -J. Yang, “Flat bands with band crossing enforced by symmetry representation”, PRB 104, L081104 (2021); PRB 104, 085144 (2021)
- [5] J. W. Rhim and B. -J. Yang, “Singular flat bands”, Advances in Physics X, 6:1, 1901606 (2021)
- [6] Y. Hwang, J.-W. Rhim, B.-J. Yang, “Geometric characterization of anomalous Landau levels of isolated flat bands”, Nature Communications 12, 6433 (2021)

Chair: Gil Young Cho

This event is jointly organized by the Korea Institute for Advanced Study and the University of Tokyo. “Correlated Electrons Virtual International Seminars (CEVIS)”

標題：Loops in classical and quantum statistical-mechanical models

日時：2021年12月3日(金) 午後4時～午後5時

場所：Zoom 開催

講師：Prof. Naoki Kawashima

所属：ISSP, The University of Tokyo

要旨：

Various statistical-mechanical systems can be represented in terms of loop graphs. A classical example is the low-temperature expansion of the Ising model in two dimensions, which is identical to the simplest (i.e., mono-color) loop gas model. Quantum many-body systems may also be represented by a loop gas. As is well-known, the D-dimensional XXZ quantum spin model, for example, can be mapped, through the path integral representation, to a (D+1)-dimensional classical loop gas model, which is the basis of quantum Monte Carlo method. A few years ago, we found [1] that the Kitaev spin liquid on a honeycomb lattice is adiabatically connected to a quantum state represented by a 2D (not 3D) classical mono-color loop gas. This is consistent with the Ising CFT characterizing the 2D Dirac electrons. Recently, we found [2] another 2D quantum system that has a representation as a 2D classical loop gas model. Every loop in this classical system has two colors. Accordingly, this system exhibits the KT transition.

[1] Hyun-Yong Lee, Ryui Kaneko, Tsuyoshi Okubo, Naoki Kawashima: Phys. Rev. Lett. 123, 087203 (2019).

[2] Hosho Katsura, Naoki Kawashima, Satoshi Morita, Akinori Tanaka and Hal Tasaki: Phys. Rev. Res. 3, 033190 (2021).

標題：Heat-Driven Electron-Motion in a Nanoscale Electronic Circuit

日時：2021年12月10日(金) 午後2時～午後3時

場所：Zoom 開催

講師：高田 真太郎

所属：産業技術総合研究所 (AIST)

要旨：

Nanoscale electronic circuits play important roles in current quantum technologies. Even when the circuits are electrically isolated, electrons in nearby circuits may interact with each other by exchanging energy and momentum. Interactions in coupled nanoscale circuits were investigated in the past with the so called drag experiment [1]. In particular, an interesting behaviour was observed when investigating adjacent but electrically isolated quantum point contacts (QPCs) that are nearly pinched [2]. When one QPC is biased with a voltage of about 1 mV or larger, a current with opposite direction is introduced in the other, unbiased QPC. As explanation of this counter-flow, asymmetric phonon-induced excitation of electrons between the two reservoirs of the drag QPC was suggested. However, a detailed understanding of the process has not been obtained yet.

In this talk, I will present our recent study investigating the interactions in a pair of neighboring one-dimensional wires, which are electrically isolated and equipped with a potential barrier at different positions, by drag-type measurements [3]. Our results corroborate the interpretation of previous experimental studies [2] and highlight the importance of geometry for the direction of the phonon-induced current. Our measurement data furthermore indicates



that heat-driven electron motion is strongly affected by electron-scattering within the drive wire. Since a potential barrier is one of the key elements in quantum electronic circuits, our results will provide useful information for quantum operations in nanocircuits in particular for quantum circuits containing a potential barrier. In the end of the talk, I will also introduce the results on the induced charge in a charge-pulse injection setup rather than in a DC setup discussed above and talk about the perspectives of such a pulse setup for electron quantum optics experiments.

#### References

- [1] B. N. Narozhny, and A. Levchenko, Rev. Mod. Phys. 88, 025003 (2016).
- [2] V. S. Khrapai, et al., Phys. Rev. Lett. 99, 096803 (2007).
- [3] S. Takada et al., J. Phys. Soc. Jpn. 90, 113707 (2021).

**標題：不均一系における物質輸送への分子シミュレーションからのアプローチ**

**日時：2021年12月10日(金) 午後4時～午後5時**

**場所：Zoom 開催**

**講師：岡崎 進**

**所属：大学院新領域創成科学研究科**

**要旨：**

溶液などの均一媒体中における物質輸送、拡散については、長い伝統の下に実験的、理論的に様々な取り組みがなされ、方法論的にもまた物理化学的描像としても十分に理解が進み、ほぼ完成形に近いものとなっている。一方で、たとえば複雑な形状を持った電極界面など工業的に重要な不均一系における物質輸送は、その複雑さから十分な理解には至っておらず、解析手法についても理論、シミュレーションのいずれについても十分には確立されていないのが現状である。本研究においては、これまで計算科学的に解析が困難であった不均一系の物質輸送にアプローチするために、分子動力学計算に基づいて作成した輸送される分子の位置に依存する拡散係数と自由エネルギーから、動的モンテカルロ法を用いて物質の長距離拡散を記述するひとつの方法論を提案する

**標題：超強磁場下における強相関半導体の半導体-金属転移**

**日時：2021年12月16日(木) 午前10～午前11時**

**場所：Zoom 開催**

**講師：中村 大輔**

**所属：理化学研究所 創発物性科学研究センター**

**要旨：**

東京大学物性研究所附属国際超強磁場科学研究施設では、一巻きコイル法および電磁濃縮法を用いた100テスラを超える超強磁場の発生および超強磁場下での物性計測という特色ある研究を行なっている。特に電磁濃縮法に関しては、発生できる磁場強度に関してここ10年の間に飛躍的な進歩があり、現在では1200テスラまでの磁場発生が可能となっている[1]。また、より簡便に実験を行うために電磁濃縮装置を2台に増設し、1台は400テスラ程度までの最大磁場強度に抑えた設計とすることで、装置のメンテナンスが少なくユーザーが繰り返し実験をしやすような磁場環境を整えている。今回のセミナーでは、測定温度を変えた繰り返し実験によって超強磁場領域における温度-磁場相図を決定した研究の例として、強相関半導体の磁気抵抗測定に関する結果を紹介する。

強相関半導体 FeSi および SmB6 では、電子相関効果によって低温で数十 meV のエネルギーギャップが開き、半導体的な輸送特性を示す。特に SmB6 では、トポロジカル表面状態の存在が近年提唱されており、興味を持たれている[2]。超強磁場下では、ゼーマン効果によるエネルギーバンドのシフト量が半導体のエネルギーギャップに匹敵するため、磁場

誘起の半導体-金属(S-M)転移が生じる。さらに、インギャップ状態の電子構造を反映した磁気抵抗の変化を観測することが可能である。しかし、超強磁場領域では電磁ノイズとの干渉が生じやすい電気抵抗測定はあまり行われてこなかった。そこで、ノイズ除去に最も効果的なのは高周波のプローブ信号を用いてノイズ成分をフィルタリングすることであることを考慮し、500MHz-1GHz 領域の非接触電気伝導度計測手法を開発することによって高精度かつ信頼性の高い磁気抵抗測定を可能にした[3]。その結果、FeSi では 270 テスラにおいて S-M 転移が生じることが明らかになった[4]。また、SmB6 では、190 テスラで S-M 転移を示すとともに、トポロジカル表面状態とは異なる特徴的な低温相が存在することが初めて明らかになり、特徴的な準粒子励起が生じていることが示唆される結果が得られた[5]。

講演では、強磁場へビユーザーが自分の研究室で使用できる省コスト・省スペースの強磁場発生装置の例として、現在理化学研究所において製作中である、ミニパルスマグネットを用いた 30 テスラ級強磁場発生装置に関する話題も提供したい。

[1] D. Nakamura et al., Rev. Sci. Instrum. vol.89, p.095106 (2018).

[2] D. J. Kim et al., Sci. Rep. vol.3, 3150 (2013).

[3] D. Nakamura et al., Meas. Sci. Technol. vol.29, p.035901 (2018).

[4] D. Nakamura et al., Phys. Rev. Lett., vol.127, p.156601 (2021).

[5] D. Nakamura et al., submitted.

**標題：第一原理計算を用いた Li 挿入グラファイトの熱力学的解析と Pt(111)/単層氷構造の研究/Sachdev-Ye-Kitaev 模型とその変形模型のダイナミクス**

**日時：2021 年 12 月 16 日(木) 午前 10~午前 11 時 30 分**

**場所：Online**

**講師：春山 潤、沼澤 宙朗**

**所属：物性研究所・機能物性研究グループ**

・春山潤助教セミナー「第一原理計算を用いた Li 挿入グラファイトの熱力学的解析と Pt(111)/単層氷構造の研究」

**【概要】**

我々の研究室では Li イオン電池・燃料電池の電荷移動を伴う反応を理解することを目指して研究を進めている。今回の発表では Li 挿入グラファイト安定構造の熱力学的な解析と、Pt(111)/単層氷構造の研究について報告する。グラファイトに関してはオペランド放射光 X 線回折測定の解析結果を基に提案された高ステージ Li 挿入グラファイトの構造に着目して議論する。また Pt(111)/単層氷は電子線・X 線・STM 等によって明らかにされた吸着水や氷の配向構造と第一原理計算との整合性を検討する[2]。

[1] J. Haruyama, S. Takagi, K. Shimoda, I. Watanabe, K. Sodeyama, T. Ikeshoji, and M. Otani, J. Phys. Chem. C, in revision.

[2] 春山潤、杉本敏樹、杉野修、“第一原理計算を用いた Pt(111)表面の単層氷構造の研究”、2021 年日本表面真空学会学術講演会



・沼澤宙朗特任助教セミナー「Sachdev-Ye-Kitaev 模型とその変形模型のダイナミクス」

【概要】

Sachdev-Ye-Kitaev (SYK)模型は、強結合系でありながら解くことができ、また量子ブラックホールの玩具模型になっていることから物性物理と高エネルギー物理の両者の観点から興味深い模型である。その変形模型の解析は、強結合多体型の量子ダイナミクスやワームホールなどとの関連から重要な問題となっている。本講演では、SYK 模型の導入と背景の説明をした後、SYK 模型やその変形模型における量子クエンチや量子カオスについての発表者の研究を紹介する。

**標題：スピン吸収法で測定された Co<sub>2</sub>MnGa の side-jump 機構によるスピンホール効果**

**日時：2021 年 12 月 23 日(木) 午後 0 時 15 分～午後 1 時 15 分**

**場所：Zoom 開催**

**講師：一色 弘成**

**所属：ナノスケール物性研究部門 大谷研究室**

**要旨：**

スピンホール効果はスピン-軌道トルクの発現に不可欠な純スピン流の生成に利用できるため、スピントロニクスにおいて要となる現象である。そのため、効率的なスピンホール効果を示す物質の探索が長年行われてきた。最近、バンド構造のベリー曲率に起因する巨大な異常ホール効果・異常ネルンスト効果を示すワイル強磁性体 Co<sub>2</sub>MnGa において、大きなスピンホール効果が報告された[1]。しかし、その発現メカニズムは未解明である。

本研究では、L21 構造と B2 構造が混在した Co<sub>2</sub>MnGa の正・逆スピンホール効果を、非局スピンバルブ素子を用いたスピン吸収法によって測定した。先行研究[1]とは異なり、熱効果による信号を取り除くと、正・逆スピンホール効果の間にオンサーガの相反関係が成り立つことがわかった。そのスピンホール角は室温で  $\theta = -0.5$  という巨大な値になるが、温度が下がるにつれて急激に小さくなり 50 K 以下ではほぼゼロになる。現象論的な解析の結果、この非常に特徴的な温度依存性を示す Co<sub>2</sub>MnGa スピンホール効果は、主として外因性機構の side-jump 機構によって生じていることがわかった。

[1] L. Leiva et al., Phys. Rev. B. 103, L041114 (2021).

**標題：連続時間測定下の近藤効果**

**日時：2021 年 12 月 24 日(金) 午後 2 時～午後 3 時**

**場所：Zoom 開催**

**講師：長谷川 雅大**

**所属：慶應義塾大学 理工学部**

**要旨：**

近年、注目系と環境系間の散逸過程をコントロールすることが可能となり、適切に制御された散逸を用いて新しい物理現象を発現させる技術（散逸エンジニアリング）が非平衡統計力学分野で盛んに研究されている。特に、量子測定による反作用は、散逸エンジニアリングとして取り扱うことができる興味深い物理の一つで、量子多体系に対して量子測定を行うことで生み出される新しい物理現象が注目を集めている[1]。本研究では、半導体界面上の量子系に散逸エンジニアリングの考え方を導入し、近藤効果に対する量子測定効果を議論する。近藤状態は、不純物準位に立つ局在スピンを打ち消すように伝導帯準位に逆向きのスピが集まるスピシングレット状態で、不純物準位に電子が一つだけ存在する状態である。電子が不純物準位に 0 個あるいは 2 個存在する状態は、近藤効果を妨げる存在であり、通常は強い電子間斥力によって抑制される。本研究では、近藤状態に対して不純物準位に電子が 1 個存在する状態への局所的な射影測定を連続時間で行った場合に、量子測定の反作用が近藤状態に与える効果を考察する。



本研究では量子測定が近藤効果に与える効果を定性的に明らかにし、量子測定下での実効的な近藤温度を導出するため、不純物準位に電子が1個存在する状態への射影測定が作用するアンダーソン不純物模型を解析した。手法として、量子測定下に拡張されたケルディッシュ形式[2]と非ユニタリー変換に拡張したシュリーファー・ウルフ変換を組み合わせ、有効ハミルトニアンとして非エルミート近藤模型を導出し、摂動論を用いて量子測定下の近藤効果を評価した。本講演では、以上の手法から得られた、(i) 量子測定が近藤効果の特徴の一つである近藤共鳴ピークが減じさせる効果をもつこと、(ii) 非ユニタリー変換によって導出された非エルミート近藤模型が示す近藤温度への量子測定効果の依存性の2つの結果について議論する[3]。

[1] M. Nakagawa, N. Kawakami, and M. Ueda, Phys. Rev. Lett. 121, 203001 (2018).

[2] L. M. Seiberer, M. Buchhold, and S. Diehl, Rep. Prog. Phys. 79, 096001 (2016).

[3] M. Hasegawa, M. Nakagawa, and K. Saito, arXiv:2111.07771 (2021).

**標題：強磁場と異方性による三角格子反強磁性体の多彩な磁気相と圧力による量子性の制御**

**日時：2022年1月19日(水) 午後4時～午後5時**

**場所：Zoom 開催**

**講師：山本 大輔 准教授**

**所属：日本大学 文理学部 物理学科**

**要旨：**

磁性体などの固体物質の性質は、主に自然界の化学合成のルールに従った組成（結晶構造やスピン量子数など）によって決定する。したがって新奇な機能を持つ物質を作成するためには、経験的な指導原理の下で偶発的に良い組み合わせを探し出す必要がある。一方で強磁場や圧力の印加は、既存の固体物質の性質を能動的に変化させる数少ない外的な手段である。特に、多数の異なる磁気状態がエネルギー的に準縮退しているフラストレート磁性体では、磁気基底状態の選択に対する磁場や圧力の影響が相対的に大きくなる。

フラストレート磁性の典型例である三角格子反強磁性体では、分子場解析において磁化過程に非自明な無限縮退が現れてしまうため、古典的な計算では低温磁気状態が一意に決定できない。したがって、小さな量子揺らぎや異方性が状態決定に本質的に重要な役割を果たし、その結果として磁化の値が飽和値の1/3に量子化された「磁化プラトー[1]」や、強磁場・異方性・量子揺らぎの3者の協奏によって生まれる「 $\Psi(\pi\text{-coplanar})$ 状態[2]」などの非自明な磁気相が現れる。また、Ba<sub>3</sub>CoSb<sub>2</sub>O<sub>9</sub> [3]のような擬二次元物質においては、非常に小さな面間相互作用が新たな磁場誘起量子相転移を引き起こすことが分かっている[4]。

本セミナーでは、上述した理論的な既知事項（最近の発見を含む）を実験結果と絡めて紹介し、さらに圧力の印加による磁性体の量子性の制御に関する我々の最新の研究成果[5]について論じる。磁性体を構成する磁性イオンのスピン量子数Sは、その物質の量子性の強さに直結する量である。我々は、神戸大学分子フォトサイエンス研究センターにおける結合スピン鎖三角格子反強磁性体 CsCuCl<sub>3</sub> に対する圧力下磁気測定実験と、理論解析による磁気パラメータフィッティングおよび有効2次元模型によるマッピングを行い、スピン量子数Sを圧力によって実効的に制御できる可能性を示した。このことは、結合スピン鎖物質への圧力印加によって、2次元フラストレートスピン模型の物理を量子性の能動的な制御下でシミュレートできるという画期的なアイデアをもたらす。

[1] A. V. Chubukov and D. I. Golosov, J. Phys. 3, 69 (1991).

[2] D. Yamamoto et al., PRL 112, 127203 (2014); PRB 96, 014431 (2017).

[3] Y. Shirata et al., PRL 108, 057205 (2012); T. Susuki et al., PRL 110, 267201 (2013).

[4] D. Yamamoto et al., PRL 114, 027201 (2015).

[5] D. Yamamoto et al., Nat. Commun. 12, 4263 (2021).



**標題**：X 線磁気円二色性で見るスピントロニクス薄膜

**日時**：2022 年 1 月 20 日(木) 午後 0 時 15 分～午後 1 時 15 分

**場所**：Zoom 開催

**講師**：坂本 祥哉

**所属**：量子物質研究グループ 三輪研究室

**要旨**：

強磁性体や反強磁性体を用いた磁性薄膜は、スピントロニクスの発展に伴いその重要性を増している。我々は、分子線エピタキシー法を用いてよく制御された磁性薄膜を成膜し、放射光を用いた X 線磁気円二色性(XMCD)によってその性質を調べてきた。本セミナーでは、Fe/MgO 界面とカイラル反強磁性体 Mn3Sn 薄膜に対して行なった最近の XMCD の研究を紹介する。

Fe/MgO 界面は大きな垂直磁気異方性とトンネル磁気抵抗効果を示し、スピントロニクス応用の要である。本研究では、Fe/MgO 界面の再表面の Fe がどのように振る舞うかを深さ分解 XMCD 法によって調べ、界面において通常の理論よりも大きな軌道磁気モーメントの増強を観測した[1]。

Mn3Sn は反強磁性体にもかかわらず、異常ホール効果などの大きな強磁性体的な応答を示す物質として注目されている。これは Mn3Sn のスピンの逆三角格子構造をとることに起因するが、その帰結の一つとして有限の XMCD が観測されることが提唱されていた。本研究では、Mn3Sn の薄膜を成膜し、実際に有限の XMCD の観測に成功した[2]。

[1] S. Sakamoto et al., submitted

[2] S. Sakamoto et al., Phys. Rev. B 104, 134431 (2021)

**標題**：Nonequilibrium quantum many-body systems: Lieb-Robinson bound, entanglement dynamics and topological phases

**日時**：2022 年 1 月 27 日(木) 午後 4 時～午後 5 時

**場所**：Zoom 開催

**講師**：Dr. Zongping Gong

**所属**：Max Planck Institute

**要旨**：

In this seminar, we give a topical review on nonequilibrium quantum many-body systems from a quantum-information point of view. To be specific, we will primarily focus on closed and locally interacting systems. Some related experiments and open problems will be mentioned for each topic.

First, we review the well-known Lieb-Robinson bound, which sets the speed limit on quantum-information propagation, and some recent progress on its generalization to long-range systems. We will see how this bound can be useful for proving some nonequilibrium and even equilibrium properties implied by locality.

Then, we review the small-incremental entangling conjecture proposed by Kitaev and its application to many-body systems, leading to an area law for entanglement generation rate. We will also review a recently established phenomenological theory for coarse-grained entanglement dynamics in chaotic systems.

Finally, we review the quantum-information perspective on topological phases at equilibrium and will see how it can be naturally generalized to unitary dynamics. We will also talk about some recent progress on nonequilibrium topological phases, including their classifications and dynamical properties.

