

物性研だより

BUSSEIKEN DAYORI

第58巻

第4号

2019年1月

元素選択的な非線形光学応答の検出に成功
X線自由電子レーザーによる高調波発生

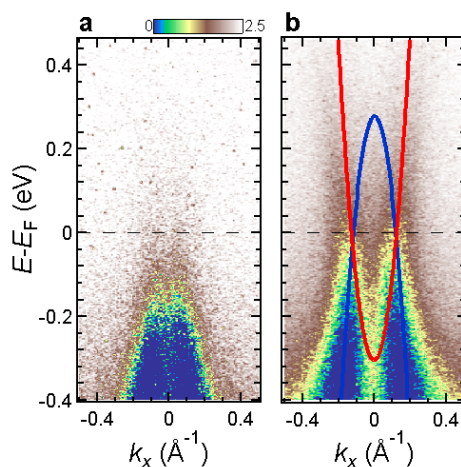
強磁場中で重い電子を発見：
近藤絶縁体の磁場中電子状態を解明

量子効果で10倍以上の磁気熱電効果を室温で実現
～新しい熱電変換、環境発電への応用へ期待～

カゴメ格子におけるスピン熱ホール効果

α -ZrCl₃における創発SU(4)対称性と量子スピン軌道液体

電子と正孔が結合した絶縁体において実現した
光誘起半金属状態



東京大学 物性研究所

THE INSTITUTE FOR SOLID STATE PHYSICS
THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright ©2018 Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo. All rights Reserved.

ISSN 0385-9843

contents

- 1 元素選択的な非線形光学応答の検出に成功
X線自由電子レーザーによる高調波発生 松田 巖、赤井 久純

- 4 強磁場中で重い電子を発見：近藤絶縁体の磁場中電子状態を解明
松田 康弘、寺島 拓、小濱 芳允

- 7 量子効果で 10 倍以上の磁気熱電効果を室温で実現
～新しい熱電変換、環境発電への応用へ期待～ 酒井 明人、中辻 知

- 10 カゴメ格子におけるスピン熱ホール効果 山下 穰、川島 直輝

- 13 α -ZrCl₃ における創発 SU(4) 対称性と量子スピン軌道液体 山田 昌彦

- 15 電子と正孔が結合した絶縁体において実現した光誘起半金属状態 岡崎 浩三

- 18 パブロフスキー賞を受賞して 嶽山 正二郎

- 20 平成 30 年度 物性研究所一般公開の報告 廣井 善二

【ISSP ワークショップ】

- 25 ○「スピン軌道強結合伝導系におけるサイエンスの新展開」報告
- 28 ○第 63 回物性若手夏の学校開催報告 丸山 玄徳

【物性研究所談話会】

【物性研究所セミナー】

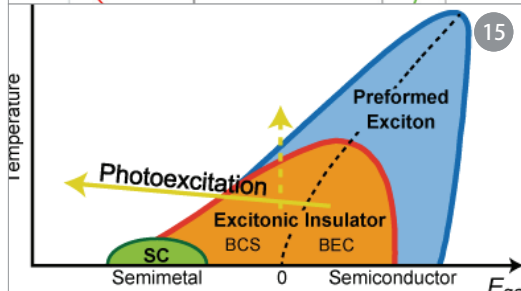
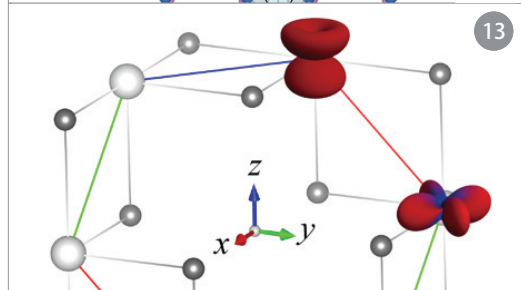
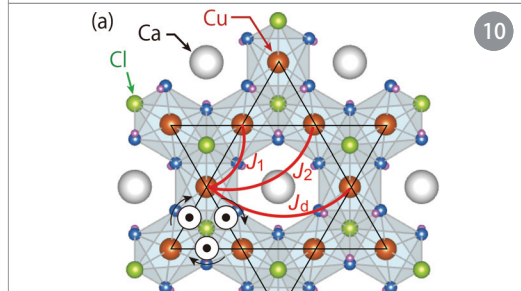
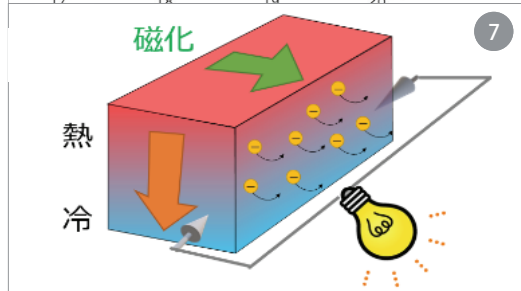
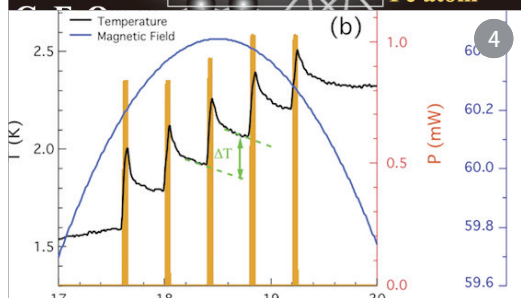
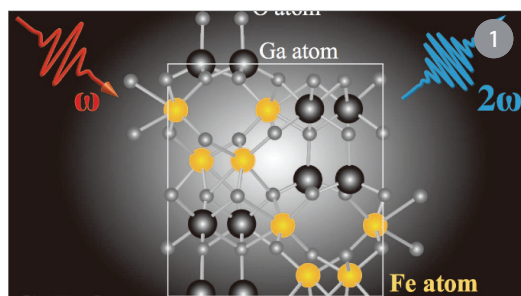
【物性研ニュース】

- 43 ○人事異動
- 45 ○東京大学物性研究所教員公募について

【その他】

- 49 ○物性研だより第 58 巻目録(第 1 号～第 4 号)

編集後記



元素選択的な非線形光学応答の検出に成功

X線自由電子レーザーによる高調波発生

物性研究所 松田 巖、赤井 久純

1. はじめに

近年のレーザー光源開発により、これまでにない光学応答がさまざまな物質で観測されている。レーザー開発では特に短波長化が最近著しく進展しており、X線自由レーザー施設 SPring-8 Angstrom Compact Free Electron Laser (SACLA) などでは軟 X 線～X 線領域の光が利用できる。この波長領域は物質を構成する原子の内殻電子のエネルギー準位に相当しており、吸収分光では物質の吸収端と呼ばれる。この共鳴効果を用いると元素選択的に光物性実験を実施することができ、X 線吸収微細構造、広域 X 線吸収微細構造や共鳴 X 線散乱などの実験法はこれまで物質科学の発展に大きく貢献してきた。

一方、レーザーを用いると光と物質の非線形光学効果も観測でき、物質中の特殊な秩序や物質界面など、従来の光学実験では視ることのできなかった信号を検出することができる。しかし実際の観測で主に使われている基本波の波長領域はまだ可視光～赤外線である。そのため、さらに短い波長領域での非線形光学効果の研究はまだ未開拓であった。X 線自由電子レーザーは大強度と超短パルス性を有しており、さらに物質吸収端に合わせたエネルギーの光を調整できる。そのため本光源を用いれば、図 1 のような元素選択的な非線形光学の測定が期待でき、反転対称性が破れた環境情報と組み合わせた高度な物性実験が可能である。

2. 実験結果と議論

我々は、軟 X 線レーザーを用いて代表的な非線形光学効果である第 2 次高調波発生について検証した。実験は SACLA 施設の軟 X 線自由電子レーザー(SXFEL)ビームライン BL1 で行った。試料は反転対称性が破れた GaFeO₃ 結晶を用いた。図 2 のように入射した光(振動数 ω) に対する第 2 次高調波(2ω) のエネルギーが物質吸収端(内殻軌道と非占有バンドのエネルギー差)に相当する時、共鳴効果で第 2 次高調波発生(Second Harmonic Generation, SHG)が増強されることが期待される。

図 3(A)はビームライン及び測定システムの全体図である。測定系は反射配置をとり、試料からの光は分光器を通してマイクロチャンネルプレート(MCP)で検出される。

図のように MCP の位置によって、基本波(ω)と第 2 次高調波(2ω)の強度 I_{ω} と $I_{2\omega}$ を区別して測定した。図 3(B)は GaFeO₃ 結晶の Fe 3p 吸収スペクトルであり、これによると Fe 3p の吸収端は光エネルギー 55 eV 付近にあるので SXFEL の光エネルギーをこの半分に設定する。入射光のエネルギーを $\hbar\omega = 27.5$ eV として、入射強度 I_0 に対して、 I_{ω} と $I_{2\omega}$ をプロットすると図 3(C)と(D)のようになり、 I_{ω} では比例するが $I_{2\omega}$ では非線形な依存性が見られる。また吸収端より低い光エネルギー ($2\hbar\omega = 53$ eV, $\hbar\omega = 26.5$ eV) では、 $I_{2\omega}$ の強度は大幅に小さくなる。図中の点線は I_0^β に比例する関数でフィッティングしたもので、 I_{ω} では指数は $\beta = 1.0$ ($\hbar\omega = 27.5$ eV) であるのに対して、 $I_{2\omega}$ では $\beta = 1.8$ ($2\hbar\omega = 55$ eV), $\beta = 2.0$ ($2\hbar\omega = 57$ eV), $\beta = 2.0$ ($2\hbar\omega = 59$ eV) となり、軟 X 線領域での GaFeO₃ 結晶からの SHG 光の検出を意味する。

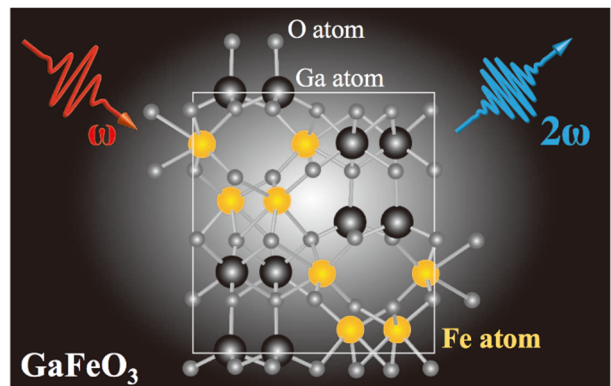


図 1 GaFeO₃ 結晶における軟 X 線非線形光学効果の様子。入射した光(振動数: ω) に対して、その第 2 次高調波の光(2ω) が構成する Fe 原子の内殻共鳴で増大して発生する[1]。

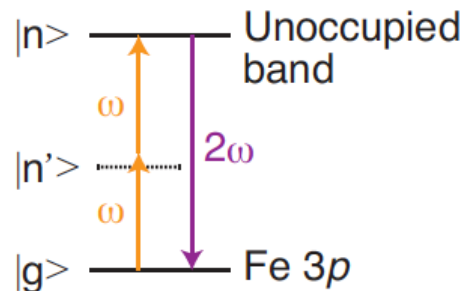


図 2 GaFeO₃ 結晶の SHG 発生におけるエネルギーダイアグラム。アルファベットの $g, n',$ と n はそれぞれ基底状態、中間状態、励起状態に対応する[1]。

謝辞

本研究は国立研究開発法人科学技術振興機構「X線自由電子レーザー施設重点戦略課題推進事業」と公益財団法人ひょうご科学技術協会「学術研究助成事業」のご支援で実施することができました。

参考文献

- [1] Sh. Yamamoto, T. Omi, H. Akai, Y. Kubota, Y. Takahashi, Y. Suzuki, Y. Hirata, K. Yamamoto, R. Yukawa, K. Horiba, H. Yumoto, T. Koyama, H. Ohashi, S. Owada, K. Tono, M. Yabashi, E. Shigemasa, S. Yamamoto, M. Kotsugi, H. Wadati, H. Kumigashira, T. Arima, S. Shin, and I. Matsuda, *Phys. Rev. Lett.* **120**, 223902 (2018).
- [2] R. K. Lam, S. L. Raj, T. A. Pascal, C. D. Pemmaraju, L. Foglia, A. Simoncig, N. Fabris, P. Miotti, C. J. Hull, A. M. Rizzuto, J.W. Smith, R. Mincigrucci, C. Masciovecchio, A. Gessini, E. Allaria, G. De Ninno, B. Diviacco, E. Roussel, S. Spampinati, G. Penco, S. Di Mitri, M. Trovò, M. Danailov, S. T. Christensen, D. Sokaras, T.-C. Weng, M. Coreno, L. Poletto, W. S. Drisdell, D. Prendergast, L. Giannessi, E. Principi, D. Nordlund, R. J. Saykally, C. P. Schwartz, *Phys. Rev. Lett.* **120**, 023901 (2018).



果を量子力学的に抑制できるためである。近藤束縛状態では、遍歴電子集団と局在 f 電子がスピンスिंगレット状態を形成するが、十分強い磁場下ではトリプレットなどの磁気状態がより安定となり近藤効果が効かなくなると期待される。実際、典型的な近藤絶縁体の 1 つである YbB_{12} では、約 50 T の磁場で絶縁体状態が壊れて金属化が起こるなど顕著な磁場効果が発見されている[3]。しかしながら、この磁場誘起金属状態が果たして近藤効果が壊れた通常金属なのか、または、近藤効果の残った重い電子金属なのかは、基本的な問いであるにもかかわらず、磁場誘起金属相の発見から 30 年にわたり不明であった。その理由は、50 T が定常磁石では達成不可能な磁場であったため、検証するための実験が不可能であったためである。今回、最近可能となったパルス強磁場中の比熱測定技術を用いることで、 YbB_{12} の磁場誘起金属相が「重い電子金属」であることを明らかにすることに成功した[4]。

【実験方法】 実験はパルス幅 35 ms の非破壊型のパルス磁石を用いた。時間幅 $\Delta t = 80 \mu\text{s}$ の熱パルス $\Delta P [\text{mW}]$ で生じる試料の温度上昇 $\Delta T [\text{K}]$ を 400 μs 後に計測することで、磁場中の試料の熱容量 $(\Delta P \times \Delta t) / \Delta T$ を求めることができる。図 1 には、ゼロ磁場と 60.1 – 60.4 T での測定結果を時間の関数で示してある[4]。磁場のパルス頂上付近で実験することで、測定時の磁場の変化率を 1% 以下程度にすることが可能である。磁場方向は単結晶の [001] 方向に平行である。

このような高速の熱測定は最近まで不可能であったが、ヒーターや温度計の薄膜化などの計測システムの開発によって実現した[5]。ミリ秒領域のパルス強磁場中での様々な熱測定が行われるようになったことは、最近のパルス磁場中計測技術の大きな発展の 1 つである。

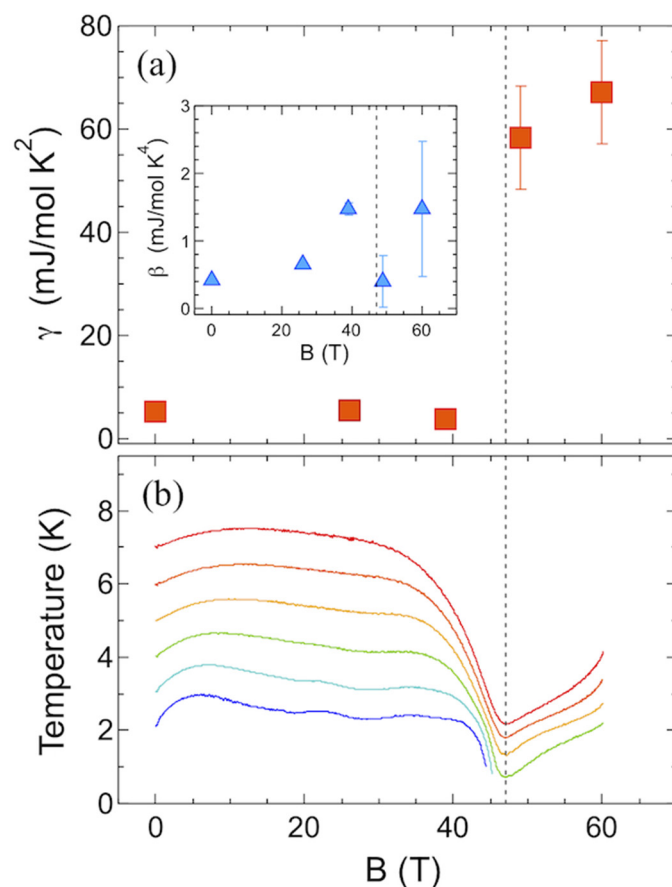


図 2. (a) $C = \gamma T + \beta T^3$ を用いて実験結果から得られた YbB_{12} の電子比熱係数 γ の磁場依存性。挿入図は、同様にして得られた β の磁場依存性。(b) 比熱測定とは独立に測定した YbB_{12} 磁気熱量効果の結果。点線は [001] 方向に磁場をかけたときの相転移磁場を示す。



量子効果で 10 倍以上の磁気熱電効果を室温で実現

～新しい熱電変換、環境発電への応用へ期待～

量子物質研究グループ 中辻研究室 助教 酒井 明人、教授 中辻 知

(1) はじめに

近年、物質中のトポロジーが物性に重要な役割を果たすことが理解され始めています。トポロジーには KT 転移やスカーミオンに代表される実空間(磁気構造など)のトポロジー、量子ホール系やトポロジカル絶縁体などに代表される波数空間(電子構造)のトポロジーなどがあります。これらはトポロジーを由来とした特異な物性を示し、磁気メモリを始め次世代デバイスにつながる可能性を秘めています。特に、磁気秩序により縮退の溶けたディラックコーン(=ワイル点)を持つワイル磁性体は、ワイル点周りの巨大なベリー曲率による巨大な非対角応答(異常ホール効果、異常ネルンスト効果、カー効果等)を示し、大変注目を集めています[1-4]。その中でも、異常ネルンスト効果は熱流に垂直方向に発電するというこれまで研究されてきた(ゼーベック効果に基づく)熱電変換にはなかった特徴を持つため、薄膜化や大面積化が容易であり新たな熱電デバイスにつながる可能性があります[5]。以下本稿では立方晶ホイスラー化合物 Co_2MnGa において発見された巨大な異常ネルンスト効果についてご紹介します[6]。

(2) 研究の背景

工場や自動車から出る熱を始め、空調や給湯など家庭から出る熱、太陽や地熱など自然界の熱に至るまで、私たちの周りには様々な熱が利用されずに存在しています。これらの熱を電気に変換して利用することは省エネ社会の実現のため、あるいはIoT社会の自立電源確保のため非常に重要であり、世界中で研究が行われています。その中でも熱電変換素子を用いた熱発電と呼ばれる方法は、タービンなど大型の装置を用いる方法に比べ小型で静音、メンテナンスフリーなどの利点を持ち、様々な潜在的用途が考えられています。しかし、既存の非磁性半導体を用いる熱電変換素子は発電方向が温度差の方向と同じであるため(ゼーベック効果)、立体的で複雑な構造になり(図 1a, c)、大型化や高集積化に伴う製造コストに問題を抱えています。一方、磁性体の異常ネルンスト効果は温度差の方向に垂直に発電するため、立体構造は不要で、テープ化などにより熱源に沿った大面積の発電が容易です(図 1 b, d)。しかしこ

れまで知られている異常ネルンスト効果は非常に小さく、熱電応用からは非常に遠いと考えられてきました。

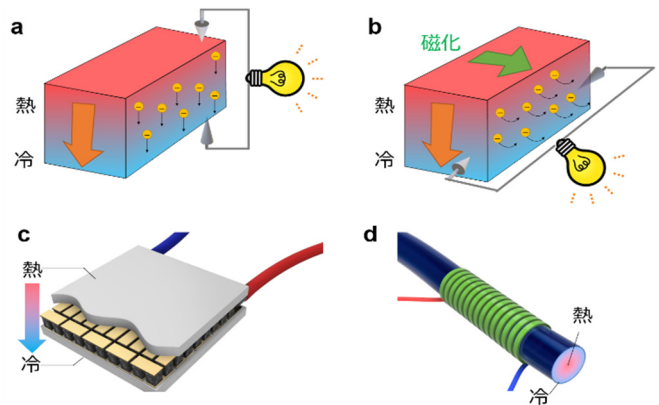


図 1. 従来の熱電変換技術(ゼーベック効果, a, c)と磁性体を用いた新技術(異常ネルンスト効果, b, d)の違い

(3) 研究内容と成果

本研究では強磁性金属間化合物 Co_2MnGa (図 2a)が、過去に知られている最高値より 10 倍以上大きな異常ネルンスト効果を室温で示すことを明らかにしました(図 2b)。この値は室温以上の高温ではさらに上昇します(図 2c)。広い温度範囲をカバーするため、様々な温度の熱源で発電が可能です。また製造コストが安く、無毒な材料でできており、耐久性、耐熱性にも優れているため様々な場所で利用可能です。

本研究で発見された巨大な異常ネルンスト効果はワイル点と呼ばれる電子構造のトポロジーと密接に関係しています。第一原理計算によって図 3a のようなワイル点がフェルミ面近くにあることがわかりました。実験的にも、ワイル点が存在する有力な証拠となるカイラル異常と呼ばれる現象が観測されました。このようなワイル点が存在すると一般に異常ホール効果や異常ネルンスト効果が大きくなるということが知られていますが、今回の結果はそれだけでは説明できないほど大きな増大でした。

計算を行うと、異常ネルンスト効果を大きくするには、ワイル点を作っているバンドの状態密度も同時に大きくす

また本研究は、科学技術振興機構(JST)戦略的創造研究推進事業 チーム型研究(CREST)「微小エネルギーを利用した革新的な環境発電技術の創出」研究領域(研究総括：谷口研二、研究副総括：秋永広幸)における研究課題「トポロジカルな電子構造を利用した革新的エネルギーハーヴェスティングの基盤技術創製」課題番号 JPMJCR15Q5(研究代表者：中辻知)並びに文部科学省 科学研究費補助金新学術領域(研究領域提案型)「J- Physics：多極子伝導系の物理」課題番号 15H05882(研究代表：播磨尚朝)における研究計画班「A01: 局在多極子と伝導電子の相関効果」課題番号 15H05883(研究代表者：中辻知)の一環として行われました。関係者各位に深く御礼申し上げます。

- [1] S. Nakatsuji, N. Kiyohara, T. Higo, *Nature* **527**, 212–215 (2015).
- [2] K. Kuroda, T. Tomita et al., *Nature materials* **16**, 1090–1095 (2017).
- [3] M. Ikhlas, T. Tomita, T. Koretsune, M.-T. Suzuki, D. Nishio-Hamane, R. Arita, Y. Otani and S. Nakatsuji, *Nature Physics* **13**, 1085–1090 (2017).
- [4] T. Higo, H. Man, D. B. Gopman, L. Wu, T. Koretsune, O. M. J. van 't Erve, Y. P. Kabanov, D. Rees, Y. Li, M.-T. Suzuki, S. Patankar, M. Ikhlas, C. L. Chien, R. Arita, R. D. Shull, J. Orenstein and S. Nakatsuji, *Nature Photonics* **12**, 73–78 (2018).
- [5] Y. Sakuraba et al. *Appl. Phys. Express* **6**, 033003 (2013).
- [6] A. Sakai, Y. P. Mizuta, A. A. Nugroho, R. Sihombing, T. Koretsune, M.-T. Suzuki, N. Takemori, R. Ishii, D. N.-Hamane, R. Arita, P. Goswami and S. Nakatsuji, *Nature Physics*, **14**, 1119–1124 (2018).



ミス石においてカゴメ面間に入っていた Zn イオンに対応する Ca イオンが同じカゴメ面内に位置するため、カゴメ面間の相互作用が弱まり、より二次元性の良いスピン系が形成される②Ca イオンのイオン半径は Zn イオンや Cu イオンのそれよりも大きく、ハーバートミス石で問題になっている Zn と Cu 間のサイトミキシングの問題が起きないという 2 つの利点がある。実際、第一原理計算によると反強磁性的な最近接相互作用 $J_1/k_B \sim 52$ K (k_B はボルツマン定数) が第 2 近接以降の他の相互作用よりも十分大きいことが示されている[10]。先行研究から $T^* \sim 7$ K に相転移があることが比熱[9]や NMR[13]の測定から示されており、 T^* より低温では長距離磁気秩序が形成されていると考えられている。一方、 $T^* < T < J_1/k_B$ の広い温度範囲でスピン相関の発達したスピン液体状態が現れることが期待される。

実験結果

観測された熱ホール効果を図 2 に示す。図 2(a) は熱流に対して垂直な横方向温度差 $\Delta T_y = T_{L1} - T_{L2}$ (図 1(c) の実験配置図参照) の磁場依存性を示している。図からわかるように磁場に対して反対称な成分が明瞭に観測されていることが分る。これを反対称化して $\Delta T_y^{Asym}(H) = \Delta T_y(+H) - \Delta T_y(-H)$ を求め、熱ホール伝導率 $\kappa_{xy}(H)$ を求めたものが図 2(b) である。図 2(b) に示されているように $T > T^*$ では線形の磁場依存性を持つ κ_{xy} が観測された。一方、 $T < T^*$ では急速に κ_{xy} が減少し、4 K 以下では非線形な磁場依存性が観測された。これは磁気転移によって素励起が変化したことによる影響が観測されたと考えられる。

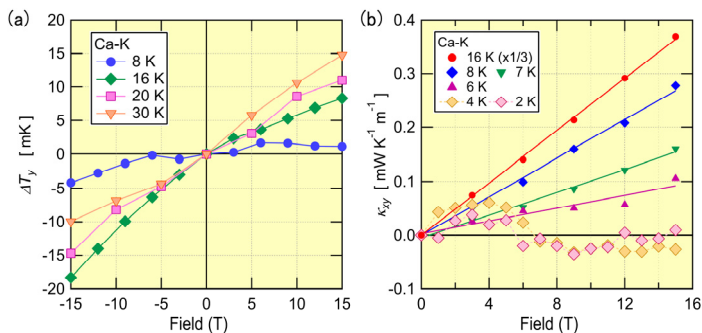


図 2 Ca カペラサイト石で観測された熱ホール温度差 $\Delta T_y = T_{L1} - T_{L2}$ の磁場依存性(a)と熱ホール伝導率 $\kappa_{xy} = \frac{\kappa_{xx}(H)\Delta T_y^{Asym}(H)L}{\Delta T_x(H)w}$ (ここで $\kappa_{xx}(H)$ は縦熱伝導率、 L と w はそれぞれ $T_{High} - T_{L1}$ 間と $T_{L1} - T_{L2}$ 間距離)の磁場依存性(b)。

図 2(b) の $T > T^*$ のデータを線形フィットして求めた κ_{xy}/TB の温度依存性を示したのが図 3(a) である。 κ_{xy} は ~ 60

K 以下の温度から現れ始め、20 K 弱のところにピークを示した後に急激に減少する温度依存性を示した。図 3(a) では先行研究におけるボルボサイト石における結果[3]と一緒に示してある。この 2 つの物質で κ_{xy} の符号は逆であるが、絶対値と温度依存性は非常に良く似た振る舞いを示している。ボルボサイト石の縦熱伝導率 κ_{xx} は Ca カペラサイト石のそれよりも一桁以上も大きいことを考えると、非常に良く似た κ_{xy} が両物質で観測されたこの実験結果は、 κ_{xy} の起源が κ_{xx} の大部分を占めるフォノンではなく、スピンによる共通の熱ホール効果の存在を示唆していると考えられる。

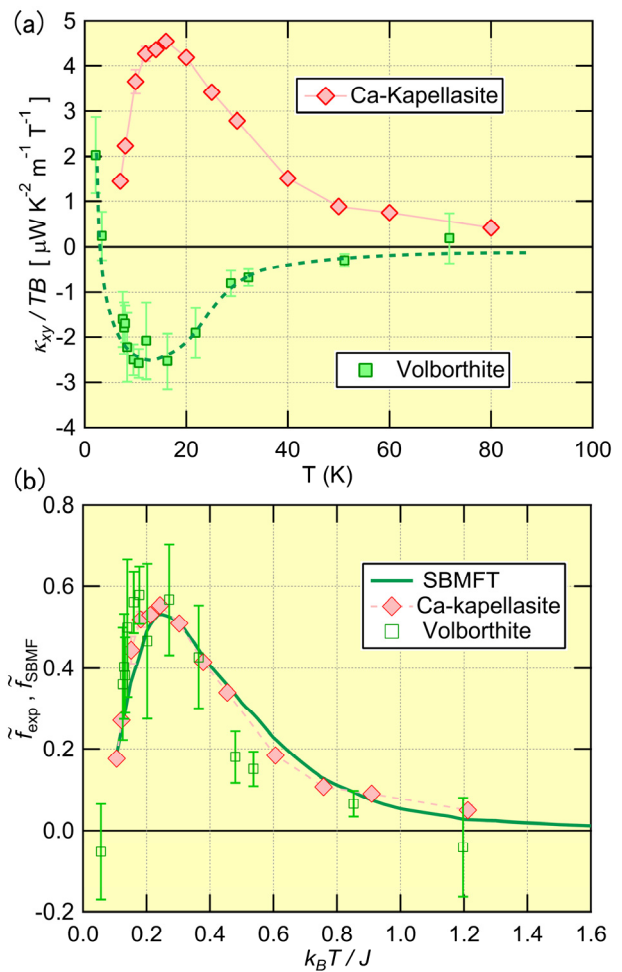


図 3 熱ホール伝導率を温度と磁場で割った κ_{xy}/TB の温度依存性(a)と規格化された熱ホール伝導率の温度依存性(b)。ボルボサイト石における先行研究[3]の結果を両方の図に、SBMFT 法を用いた計算結果を図(b)の実線を表示している。Ca カペラサイト石とボルボサイト石の実験結果に用いたフィッティングパラメタはそれぞれ $(J/k_B, D/J) = (66, 0.12)$ 、 $(60, -0.07)$ である。

この共通の温度依存性を理解するために我々は Schwinger-boson mean field theory (SBMFT) と呼ばれる

α -ZrCl₃における創発 SU(4)対称性と量子スピン軌道液体

量子物質研究グループ 押川研究室 博士課程二年 山田 昌彦

4 という数字は自然界のあらゆる場面に現れる。DNA の塩基配列は4種類のくみ合わせからなり、物理学の基本法則も電磁気力、弱い力、強い力、そして、重力の4つの力で記述される。ここで、数字が4であることは根源的に重要である。塩基が4種類なければ3個の塩基のくみ合わせで全てのタンパク質を網羅できない。閉じ込められた強い力が何百もの原子核を生み、弱い力も周期表の多様性の源である。そして電磁気力が長距離でも弱く引きつけなければ原子は安定化せず、さらに弱いエネルギースケールに重力がなければ、我々はこの地球の上に立つことができない。つまり、世界が約100種類の元素から構成され、それで無数の細胞や生命が形づくられ、我々が食べたり考えたりできるのは、たまたまこれらの数が4だったからである。4という数はこの世界がたしかにこのようである一つの理由であり、この世の全ての多様性の源である。ここに4という数字の「くみ合わせ数学的な」魅力がある。

炭素の配位数が4であること、ガリレオが見つけた木星の衛星が4つであること。そして何より、この時空は4次元であり、4次元ユークリッド空間には非可算無限個の微分構造が存在すること、これらのあるものは偶然で、またあるものは必然であろう*。古代ギリシャの時代から多くの思想家、数学者を魅了してきたこの数字について全てを語ることはここではできない。ただ、これからのストーリーに関わる(これもまた多くの数学者を悩ませた)四色問題だけ軽く触れておこう。四色問題とは任意の平面グラフの各サイトは4色で塗り分けられる(図1)という仮説で、大昔から地図職人には経験的に知られていたが長らく証明

されなかった問題である。この問題は1976年にコンピュータを用いて「証明**」され、一応の解決を見ることになった。

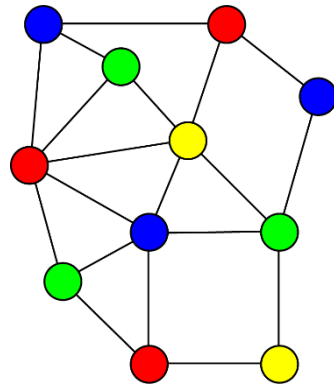


図1 任意の平面グラフは四色で塗り分けられる。この問題は簡単だが世界地図のレベルになると塗り分けを見つけるのは大変である。

四色問題は古典統計物理学のレベルでも多くの物理的示唆を与える。主張を物理的に言いかえると、任意の(周期境界条件でない)2次元格子上の4-state Potts 反強磁性体は少なくとも1つ以上の基底状態を持つということである。さらに、符号を逆にした4-state Potts 強磁性体そのものも、1次転移と2次転移の境界上に存在しそれ自体興味深い古典模型であることと合わせると、その量子版であるSU(4)ハイゼンベルク模型はさらに豊かで多様な物理を含んでいることが容易に想像できる。

SU(4)ハイゼンベルク模型とは、スピニアップとダウンからなるSU(2)ハイゼンベルク模型を4色へと拡張したものである。この模型が面白いのは対称性の高い、多くの格子

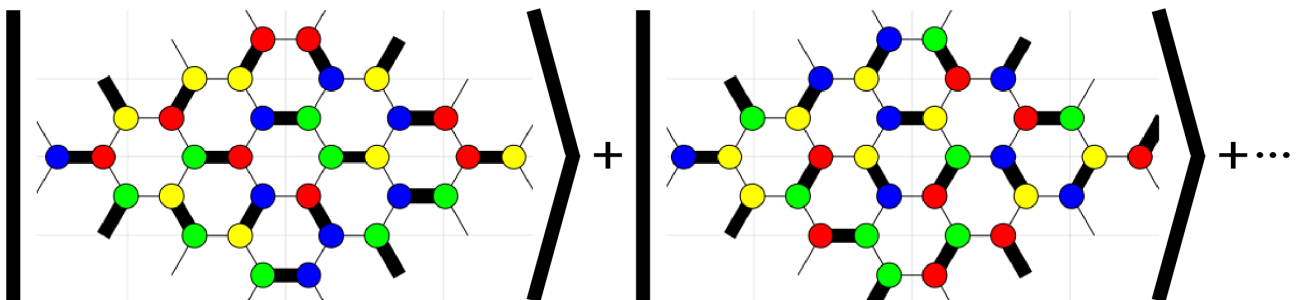


図2 ランダムに生成されたSU(4)ハイゼンベルク模型における共鳴原子価結合(RVB)状態の波動関数のイメージ



電子と正孔が結合した絶縁体において実現した光誘起半金属状態

極限コヒーレント光科学研究センター 岡崎 浩三

光を用いて物質の性質を自在に操る、というのが固体物理学における目標の一つとなっている。これによって超高速で環境に優しい光デバイスが実現できると考えられるからである。しかしながら、単に熱平衡状態における高温相に対応する高エントロピー相ではない相への光誘起相転移の実現は一般には難しい。本研究では、励起子絶縁体と呼ばれる相を含む $\text{Ta}_2\text{Ni}(\text{Se}_{1-x}\text{S}_x)_5$ において時間・角度分解光電子分光 (time- and angle-resolved photoemission spectroscopy, ARPES) という手法を用いて光誘起絶縁体-金属転移の直接観測を実現した[1]。また、この系の動的性質からは、金属相への転移の時間スケールに励起子関連の遮蔽効果が果たす重要な役割を決定することができた。直接ギャップ型の励起子絶縁体において思いがけなく観測された非平衡金属状態は、電子-正孔結合系における光によるバンド制御という技術確立に向けた新たな道を切り拓くものと期待される。

研究背景

励起子絶縁体

半金属やバンドギャップが小さい半導体では、価電子帯の正孔と伝導帯の電子が、クーロン相互作用の遮蔽が弱いことによる束縛状態、すなわち励起子状態を形成することがある。励起子は電子と正孔の結合の強さが弱いか強いかによって、Bardeen-Cooper-Schrieffer (BCS) 型、もしくは Bose-Einstein 凝縮 (BEC) 型に凝縮することがある。このような基底状態は、“励起子絶縁体”と理論的に予言されている[2]。図 1a は、理論的に予言されている励起子絶縁体の相図を本研究や最近の研究の進展に従って一部改変したものである。最も典型的な励起子絶縁体の候補物質として、 $1T\text{-TiSe}_2$ という物質が挙げられる[3,4]。この物質は、価電子帯の頂上と伝導帯の底が Brillouin zone 内の異なる場所に位置する間接型のバンド構造を持つ半金属であるが、 $2 \times 2 \times 2$ の格子歪みを伴う電荷秩序相転移を示すことで、電子と正孔が結合して図 1a における BCS 型の励起子絶縁体になると考えられている。しかしながら、間接型のバンド構造を持つ物質では励起子絶縁体となる際に電荷秩序形成によるバンドの折り畳みが必要になってしまうこ

とから、その基底状態が励起子絶縁体相であるのか電荷秩序相であるのかの判別が本質的に難しい。また、間接型のバンド構造は将来的な応用を見据えた“光による制御”という観点からも不利であると考えられる。

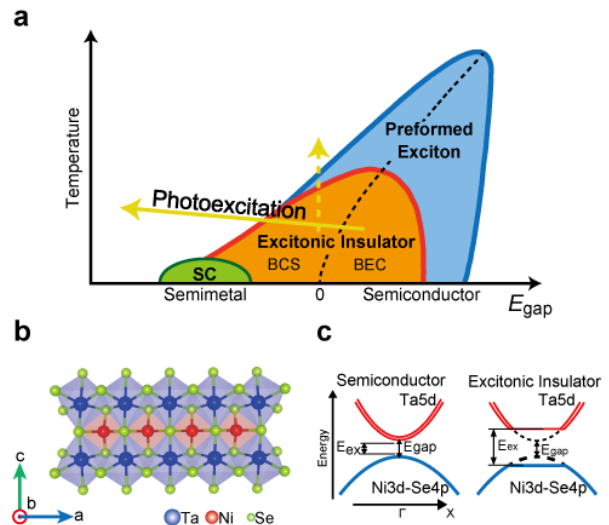


図 1. 励起子絶縁体の相図と Ta_2NiSe_5 の結晶構造と電子構造 a. 励起子絶縁体の相図. b. Ta_2NiSe_5 の結晶構造. c. バンド構造のポンチ絵.

一方、本研究で対象とした Ta_2NiSe_5 は、唯一の BEC 型励起子絶縁体の候補と考えられており、図 1b に示すように a 軸方向に伸びた Ni の鎖 1 本と Ta の鎖 2 本からなる擬一次元結晶構造を持つ。価電子帯は Ni 3d 軌道と Se 4p 軌道の混成軌道、伝導帯は Ta 5d 軌道から成り、高温では直接ギャップを持つ半導体となる[5-7]。328 K で高温相の斜方晶から低温相の単斜晶へと構造相転移を起こすが、 $1T\text{-TiSe}_2$ のような電荷秩序は示さない。一方、角度分解光電子分光 (ARPES) からは価電子帯のバンドの顕著な平坦化が確認されることから、BEC 型の励起子絶縁体相の証拠と考えられている[8-11]。このような電子構造を模式的に示したのが図 1c である。

バンドギャップの起源の分類

本研究の当初の目的は、ARPES という手法を用いて Ta_2NiSe_5 が励起子絶縁体である証拠を得ることであった。

ということが強く示唆される。対照的に、通常の半導体と考えられる Ta_2NiSe_5 ではその時間スケールは時間分解能程度に速く、励起強度依存性を示さない。以上の結果から、 Ta_2NiSe_5 が励起子絶縁体であるという証拠が得られたと考えられる。

光誘起金属相

さらに我々は、TARPES スペクトルの時間変化を詳細に調べることで励起子絶縁体である Ta_2NiSe_5 がポンプ光を照射することで金属化することを見出した。図 3 は励起密度 1.56 mJ/cm^2 で励起した際の、励起前後での TARPES スペクトルの時間変化を示している。励起前のスペクトルでは励起子絶縁体特有の平坦バンドが確認できるのに対し、励起後のスペクトルでは、赤と青の放物線で示すようにフェルミ準位を横切る電子バンドと正孔バンドが現れていることがわかる。これは光励起によって金属化したことの紛れも無い証拠と考えられる。さらに、熱平衡状態では Ta_2NiSe_5 には高温においても金属相が存在しない[14]ことから、我々が発見した光誘起金属相は熱平衡状態では存在し得ない、光誘起特有の相であると言える。

この光誘起絶縁体-金属転移のメカニズムと、この光誘起相転移の実現が Ta_2NiSe_5 の基本物性にどのように関係しているか等のより詳細な議論については文献[1]を参照して頂きたい。我々の成果は、絶縁体を金属に、金属を超伝導体にするなど、光で物性を自在に制御するという究極の目標実現への確かな礎になると考えている。

謝辞

本研究は以下の方々(小川 優、鈴木 剛、山本 貴士、染谷 隆史、道前 翔矢、渡邊 真莉、魯 楊帆、野原 実、高木 英典、片山 尚幸、澤 博、藤澤 正美、金井 輝人、石井 順久、板谷 治郎、溝川 貴司、辛 埴 各氏)との共同研究である。また、文部科学省国家課題対応型研究開発推進事業「光・量子融合連携研究開発プログラム」、JSPS 科研費基盤研究(JP25220707, JP26610095)の助成のもとに行われた。ここに感謝申し上げます。

参考文献

[1] K. Okazaki *et al.*, Nat. Commun. **9**, 4322 (2018).
[2] M. F. Mott, Philos. Mag. **6**, 287 (1961).
[3] H. Cercellier, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **99**, 146403 (2007).
[4] C. Monney *et al.*, Phys. Rev. B **79**, 045116 (2009).

[5] F. J. Di Salvo *et al.* J. Less Common Metals **116**, 51 (1986).
[6] S. Sunshine and J. Ibers, Inorg. Chem. **24**, 3611 (1985).
[7] A. Nakano *et al.*, IUCrJ **5**, 158 (2018).
[8] Y. Wakisaka, *et al.* Phys. Rev. Lett. **103**, 026402 (2009).
[9] T. Kaneko, T. Toriyama, T. Konishi, and Y. Ohta, Phys. Rev. B **87**, 035121 (2013).
[10] K. Seki *et al.*, Phys. Rev. B **90**, 155116 (2014).
[11] Y. Wakisaka *et al.*, J. Supercond. Nov. Magn. **25**, 1231 (2012).
[12] T. Rohwer *et al.*, Nature **471**, 490–493 (2011).
[13] S. Hellmann *et al.*, Nat. Commun. **3**, 1069 (2012).
[14] Y. F. Lu *et al.*, Nat. Commun. **8**, 14408 (2017).



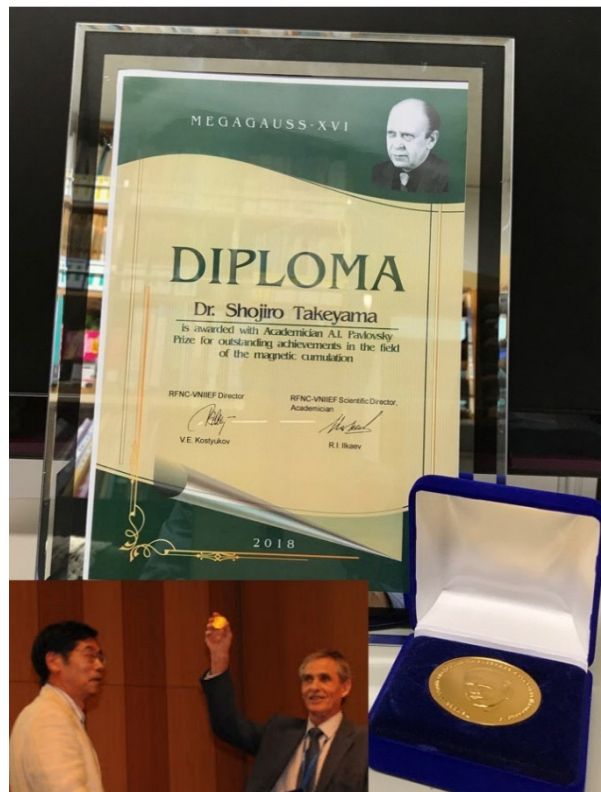
置完了したものの、海外調達したコンデンサ電源部には深刻な問題が次々に発生し、その修復に先が見えない壮絶な戦いに数年を費やすことになりました。しかしながら、2018 年になってほとんどのトラブルを解決するに至り、遂に、新規導入した電磁濃縮装置を用いて 2018 年 4 月 1200 T の磁場発生に成功しました[4]。

本装置は磁場の世界記録を更新するために開発したのではなく、あくまで、物性計測を高い精度で行い、超強磁場極限で創発する未知の物性探索をおこなうために造ったものです。パルス磁場では、最高記録磁場の 1 割減で物性計測が可能です。一卷きコイル超強磁場発生装置では 300 T の最高磁場が報告されていますが、物性計測は 200 T くらいが限界です。この経験則は非破壊のパルス磁場でもあてはまります。高精度の物性計測にはそれなりのボア (最低 10 mm 径) が必要なためです。同様に、1000 T での高精度物性計測を可能とするには、1100 T の最高磁場発生のハードルを越える必要がありました。新装置は 1200 T 発生できたわけですので、正に余裕で 1000 T で物性研究を可能とする装置が完成したと言えます。

この装置をどのように活用するかは、私がこの 3 月で退職するにあたり、正に「次世代」の研究者に委ねることになります。大変な怪物を物性研に残していくこととなりますが、この怪物装置から素晴らしい研究成果が創出されんこと、そして、それが物性研の発展に少しでも役立ってくれんことを願いつつ物性研を後にさせていただきます。

参考文献

- [1] A copper-lined magnet coil with maximum field of 700T for electromagnetic flux compression: S. Takeyama and E. Kojima, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **44** (2011) 425003(1-8).
- [2] Note: An approach to 1000 T using the electromagnetic flux compression: D. Nakamura, H. Sawabe and S. Takeyama, *Rev. Sci. Instrum.* **89** (2018) 016106-3.
- [3] Magnetic Phases of a Highly Frustrated Magnet, $ZnCr_2O_4$, up to an Ultrahigh Magnetic Field of 600 T: A. Miyata, H. Ueda, Y. Ueda, H. Sawabe and S. Takeyama, *Phys. Rev. Lett.* **107** (2011) 207203(1-5).
- [4] Record indoor magnetic field of 1200 T generated by electromagnetic flux-compression: D. Nakamura, A. Ikeda, H. Sawabe, Y. H. Matsuda and S. Takeyama, *Review of Scientific Instruments* **89** (2018) 095106-7.



平成 30 年度 物性研究所一般公開の報告

一般公開委員長 廣井 善二

平成 30 年度東京大学柏キャンパス一般公開「柏でわくわく知の探検」が、10月26日(金)および10月27日(土)の2日間で開催されました。天候にも恵まれ、2日間の来場者が11,000人を越える盛況となりました。物性研究所の一般公開は、「小さな物質 大きな発見」というキャッチフレーズで実施されました。図1のパンフレットにあるように、11件の企画展示とガイドツアー、サイエンス・カフェがあり、今年度初めての試みとして体験ツアーも実施し、3,500人を越える方々にご来場いただきました。また、昨年度に引き続き、いくつかの企画展示でクイズに答えて正解するともらえるスタンプを4つ以上集めると、物性研オリジナルグッズ(物性犬ルービックキューブ)がもらえるクイズラリーも実施しました。

図2は、ガイドツアーと体験ツアーのご案内です。ガイドツアーは、所員や助教がツアーガイドを務め、専門的な説明も交えながら企画展示を案内します。1つ目のコース

テーマは「極限の世界を探検しよう」です。大型実験施設を中心とし、光や強磁場、高圧など、極限環境での現象を知っていただくコースとなりました。2つ目のコースは「物質を楽しもう」というテーマで行われました。様々な物質について身近な体験を通じて知っていただくコースとなりました。2日間で合計48人にご参加いただき、来場者からは、「楽しかった」「わかりやすかった」といった感想を多くいただきました。

今年度初の試みであった体験ツアーは、通常の企画展示やガイドツアーでは物足りない人向けに、世界最高の強磁場を発生する瞬間を体験してもらう「強磁場コース」と、ダイヤモンドを使って水を圧縮して出来る高圧氷を見てもらう「高圧コース」の2つのコースを設定しました。実際にその研究を行っている人による説明を交えながら、実験の様子を体験していただきました。各回定員をこえる参加希望をいただき、大好評でした。

物性研では、
 不思議な量子現象を示す超伝導体、電荷やスピンを制御するエレクトロニクス材料、柔らかくて強靱なポリマーなど、いろいろな物質を作り、新しい現象や物質の機能を最大限に引き出す研究をしています。
 そのための実験設備は、世界一強い磁場、原子が見える顕微鏡、超高速・超高精度なレーザーなど比類のないものばかり。
 そんな研究施設を大公開します。研究者たちが実際に使っている実験施設や装置を見て、体験してください。

10/26 (金) 27 (土) 10:00~16:30

物性研 ガイドマップ
 小さな物質 大きな発見

無料シャトルバス時刻表 TX 柏の葉キャンバス駅行き

10時	35 45 55
11時	05 15 25 35 45 55
12時	05 15 25 35 45 55
13時	05 15 25 35 45 55
14時	05 15 25 35 45 55
15時	05 15 25 35 45 55
16時	05 15 25 30 35 40 45 50 55
17時	00 05 10

27(土) 特別委員会 サラライト会場
 13:00 13:40 中野 隆雄 (東京大学) 講演「セラライト」
 13:45 14:15 中野 隆雄 (東京大学) 講演「セラライト」
 14:20 15:00 中野 隆雄 (東京大学) 講演「セラライト」

27(土) 特別委員会
 13:00 13:40 中野 隆雄 (東京大学) 講演「セラライト」
 13:45 14:15 中野 隆雄 (東京大学) 講演「セラライト」
 14:20 15:00 中野 隆雄 (東京大学) 講演「セラライト」

世界最強 マグネット その1 その2
世界一強い光 17
ダイヤモンド 超伝導実験
宇宙空間 13000kmの高さ
物性研 A棟
カブリ/EDM
27(土) 特別委員会 サラライト会場
ショップ・カフェテリア
正門
守衛所
新研究棟
食堂・ショップ
シトルバス乗り場
シトルバス降り場
総合案内・図書館
大気海洋研
シトルバス乗り場
シトルバス降り場

@UTokyo_issp 不定期つぶやき
 www.issp.u-tokyo.ac.jp
 〒277-8581 千葉県柏市柏の葉5-1-5

東京大学 物性研究所
 THE INSTITUTE FOR SOLID STATE PHYSICS
 THE UNIVERSITY OF TOKYO

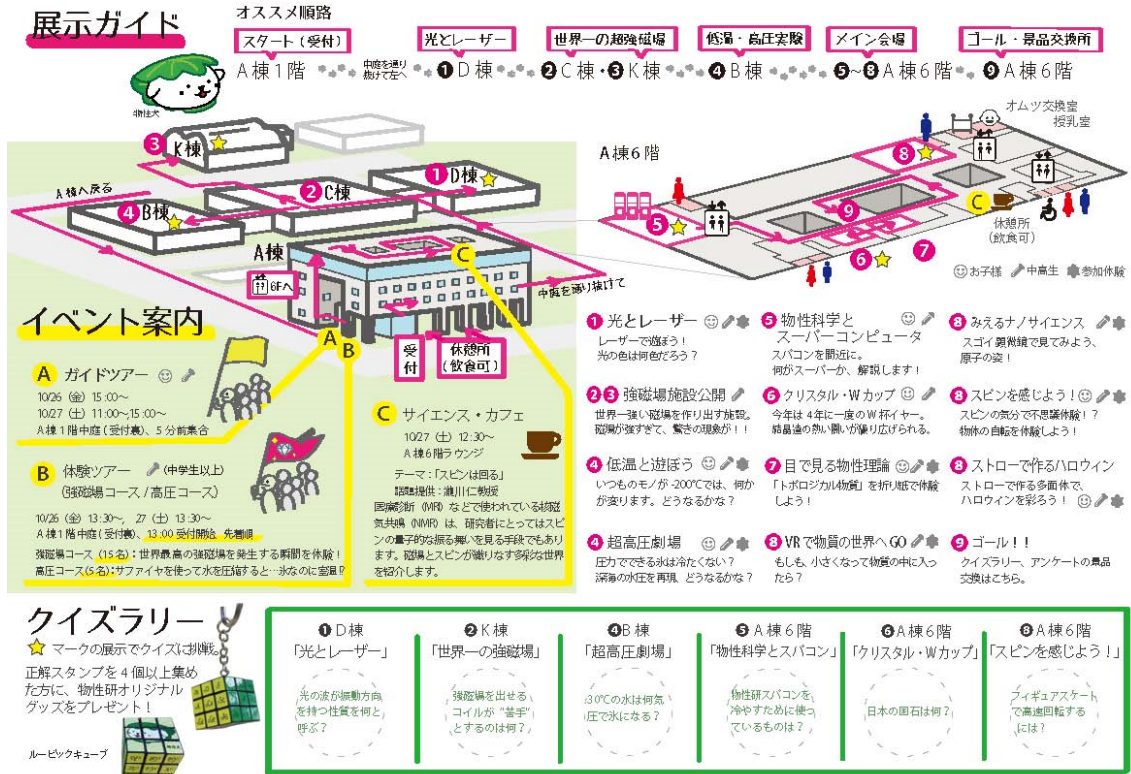


図1 物性研一般公開ガイドマップ

物性研究所 一般公開 ガイド・体験ツアー2018

ようこそ京大物性研究所へ。
物性研究所のスタッフが最先端の研究現場へご案内いたします。

【ガイドツアー】 (各1時間程度)
 開始時刻: 10月26日(金) 15:00
 10月27日(土) 11:00, 15:00
 集合場所: 物性研究所A棟1階中庭(受付裏)

「極限の世界を探検しよう」コース

- 光とレーザー (極限コヒーレント光科学研究センター) レーザーで遊ぼう! 光の色は何色だろう?
- 3 強磁場施設公開 (国際超強磁場科学研究施設) 世界一強い磁場を作り出す施設。磁場が強すぎて、驚きの現象が!!
- 4 超高压劇場 (上床研究室) 圧力のできる氷は冷たくない? 深海の氷圧を再現、どうなるかな?

「物質を楽しもう」コース

- 物性科学とスーパーコンピュータ (計算物質科学研究センター) スパコンを間近に。何がスーパーか、解説します!
- 7 目で見える物性理論 (物性理論研究部門) 「トポロジカル物質」を折り紙で体験しよう!
- 8 みえるナノサイエンス~デバイス・触媒表面~ (表面物性グループ) スコイ顕微鏡で見てみよう、原子の姿!

【体験ツアー】 対象: 中学生以上
 開始時刻: 10月26日(金) 13:30 ※各回13:00受付開始
 10月27日(土) 13:30
 集合場所: 物性研究所A棟1階中庭(受付裏)

強磁場コース ※各回15名程度 (先着順) 世界最高の強磁場を発生する瞬間を体験!

高圧コース ※各回5名程度 (先着順) サファイヤを使って水を圧縮すると…水なのに至る??

ISSP Open House 2018 Guided Tours · Experience Tours

Welcome to ISSP. Come and join our exciting guided tours to see the frontiers of science research at ISSP!

【Guided Tours】 (Tour Duration: approx. 60 min)
 Departing Time: Friday, October 26: 15:00
 Saturday, October 27: 11:00, 15:00
 Starting Place: ISSP Main Bldg. Courtyard (Behind the Reception Desk)

“Extreme World” Courses

- 1 Light and Laser (Laser and Synchrotron Research Center)
- 2,3 Generators of strong magnetic fields (International MegaGauss Science Laboratory)
- 4 High Pressure Theater (Uwatoko Laboratory)

“Enjoy Material” Courses

- 5 Materials Science and Supercomputer (Center of Computational Materials Science)
- 7 Visual Condensed Matter Theory (Division of Condensed Matter Theory)
- 8 Nanoscience for surfaces of devices and catalysts (Division of Nanoscience)

【Experience Tours】 For middle-schoolers and older
 Departure Time: 13:30 each day (Fri. & Sat. Oct. 26&27)
 Starting Place: ISSP Main Building Courtyard (Behind the Reception Desk)

HMF Science (15 people / tour)
 The world-record high-magnetic field was recently established by the destructive-type pulsed magnet in ISSP MegaGauss Laboratory. Feel The field!

HP Science (5 people / tour)
 A hands-on high-pressure experiment. Water freezes at room temperature under high pressure by using a sapphire anvil cell.

【体験ツアー】 対象: 中学生以上
 開始時刻: 10月26日(金) 13:30 ※各回13:00受付開始
 10月27日(土) 13:30
 集合場所: 物性研究所A棟1階中庭(受付裏)

※①等の数字は、各企画の部屋番号に対応しています(物性研ガイドマップを参照)

図2 ガイドツアー・体験ツアーちらし



図5 低温と遊ぼう



図6 ストローで作るハロウィン



図7 目で見る物性理論



図8 光とレーザー



図9 クリスタル・Wカップ



ISSP ワークショップ

「スピン軌道強結合伝導系におけるサイエンスの新展開」報告

日時：平成 30 年 11 月 12 日(月)～平成 30 年 11 月 13 日(火)

場所：物性研究所本館 6 階 大講義室 (A632)

提案者：徳永将史（物性研）、廣井善二（物性研）、松田 巖（物性研）、伏屋雄紀（電通大）

スピン自由度を介した物性制御は固体物理の様々な分野に共通する根源的課題である。スピン軌道結合の強い元素を含む物質では、電子への磁場効果あるいは各電子スピンの周囲への影響が巨大化される場合がある。強いスピン軌道結合の効果が顕著に現れる伝導系物質の代表例として知られるビスマスは、古くから研究をつくされてきた物質であるが、近年の様々な物性計測・極限環境・微細化技術および理論の発展によって、この物質に関連した新しいサイエンスの展開が様々な分野で生じている。

本ワークショップではビスマスや IV-VI 族半導体など基礎物性の良く知られている物質群を用いて新しいサイエンスを展開しているバルク物性、表面物性、スピントロニクスなど多分野の先端研究者が一堂に会して議論を行い、強スピン軌道結合系伝導体の物理に関して総合的かつ根源的な理解を深めることを目的として開催された。それと同時に、強いスピン軌道結合を持つ新しい伝導系物質におけるサイエンスの展開についても情報を共有し、今後の発展の方向性について議論する場を設けた。

ワークショップは 11 月 12 日と 13 日の 2 日間で開催され、参加者は初日 67 名（うち学内者 30 名）、2 日目 55 名（うち学内者 25 名）であった。初日は理論研究者によるス

ピン軌道結合とスピン軌道相互作用に関連した基礎的な事項の解説から始まり、続いて Bi 系物質および PbTe 関連物質を中心としたバルク物性の諸問題について最新の報告がなされた。2 日目には表面状態から見た Bi および $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ のトポロジーに関する報告があり、これまでのバルク物性の結果から信じられてきた描像に対する疑問が提案された。 d 電子・ f 電子系のセッションではスピン軌道相互作用による自発的対称性の破れや j が $3/2$ を超えた系での振る舞いにおける物性についての提案が行われた。スピントロニクス・ナノのセッションではビスマスにおけるスピンホール効果やビスマスナノワイヤーにおける熱電特性における最新の研究動向や現状での課題に関する報告があった。各セッションの終わりに設けたディスカッションの時間には分野を超えた研究者による活発な意見交換があり、予定されたスケジュールを大きく超過して多くの議論が展開された。

このワークショップを契機として分野横断的な研究の発展につながれば幸いです。またワークショップにご参加いただいた皆様ならびに運営にご協力いただいた提案者と関連研究室の皆様、この場を借りて御礼を申し上げます。



10 : 40 coffee break

[Session 4] d 電子, f 電子系のスピン軌道結合効果

10 : 55 広井善二 (東大物性研)

スピン軌道結合金属 $\text{Cd}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ における遍歴多極子秩序

11 : 15 野原実 (岡山大理)

j フェルミオン伝導物質の開発

11 : 35 神戸振作 (原研)

重い電子系 URu_2Si_2 の異方的 g -factor と超伝導、ハイブリッド多極子秩序

11 : 55 求幸年 (東大物工)

スピン軌道結合によるトポロジカル物性設計

12 : 15 ディスカッション

12 : 30 昼食

[Session 5] スピントロニクス・ナノ

13 : 30 白石誠司 (京大工)

ビスマス系材料を用いたスピントロニクス

13 : 35 長谷川靖洋 (埼玉大工)

単結晶 Bi ナノワイヤーの作製と物性測定

14 : 15 秋山了太 (東大理)

トポロジカル結晶絶縁体の電子物性評価とその応用

14 : 35 Pham Nam Hai (東工大)

超高性能純スピン流注入源としての BiSb トポロジカル絶縁体

14 : 55 ディスカッション

15 : 15 伏屋雄紀 (電通大基盤理工)

おわりに



3. ポスターセッション

オーソドックスな壁に貼られたポスターで発表を行う形で、2日に渡ってポスターセッションを行いました。全参加者のおよそ半分が発表を行った。過半数の参加者が修士一年生ということもあり、話し手と聞き手の距離が近く、会場では学会とは異なりいたるところで白熱した議論がなされていました。専門外との交流も多く見られ、またセッション時間外でもポスターを用いての活発な議論が行われました。

6つの分野(量子情報・光物性、磁性、超電導、強相関電子系、生物物理・ソフトマター、統計力学)に別れ、分野ごとに7~9名が決められた時間での口頭発表と質疑応答を行った。専門分野に近い学生だけでなく、専門外の学生からも多くの質問がなされ、さらに企画終了後も継続して議論がなされるなど活発な意見交換がなされました。



左図：実際の授業風景



右図：ポスターセッションの様子

4. フリーセッション

昨年度第62回から導入されたフリーセッションが、今年も開催された。フリーセッションは本夏の学校のあらかじめ決められたプログラム外での議論も、活発に行いたいとの声が多かったため設けられたプログラムです。会場では他の人の発表を聞き、自分の研究に活かせるのではないかと考えた多くの人が個々人でアポを取り議論を行うなどより自由な意見交換が行われておりました。多くの参加者が一堂にし、様々な発表・議論を行った。ポスターを用いた議論、口頭発表のより深い議論などに加え、フリーセッションに向けた個人企画を用意してきた参加者も見受けられ、会場は活気に包まれていました。

5. 座談会、懇親会

交流の機会として座談会・懇談会が行われた。座談会においては、参加者から募った質問が講師に投げかけられ、普段は聴きづらい話題について交流が行われました。日常的な悩みから、研究における悩みに至るまで、参加者にとっての目標でもある講師の意見を伺うことができました。会場からも追加で質問がなされるなど大いに盛り上がった。懇談会では一方、講師と学生の対話や、学生間の議論も行われた。懇談会の時間に研究内容に関する議論を継続している姿も見られ、交流の場にとどまらない時間となりました。

6. 総括

物性物理分野に関連する多くの若手研究者が一堂に会して、議論、交流ができる貴重な機会になったと考えられました。実際、参加者の多くからそのような感想をいただき、また普段他の大学の集中講義等に参加しない人には今後参加するきっかけに、地理的な理由で参加できない人には様々な分野ふれる機械になったという声をいただき参加者の方々も満足いただけたようでした。また今年は今話題の Youtuber、予備校のノリで学ぶ「大学の数学・物理」(通称:ヨビノリ)のたくみ氏にも参加いただきました。これを気に全国の物性物理を学ぶ様々な方に夏学を知っていただき足を運んでいただく機械になればと思っております。(実際の様子もぜひ QR コード、リンク先の youtube の動画よりご覧ください。)



物性研究所談話会

標題：On Ising's model of ferromagnetism

日時：2018年12月5日(水) 午後4時～午後5時

場所：物性研究所本館6階 大講義室(A632)

講師：Prof. N. Peter Armitage

所属：The Johns Hopkins University

要旨：

The 1D Ising model is a classical model of great historical significance for both classical and quantum statistical mechanics. Developments in the understanding of the Ising model have fundamentally impacted our knowledge of thermodynamics, critical phenomena, magnetism, conformal quantum field theories, particle physics, and emergence in many-body systems. Despite the theoretical impact of the Ising model there have been very few good 1D realizations of it in actual real material systems. However, it has been pointed out recently, that the material CoNb_2O_6 , has a number of features that may make it the most ideal realization we have of the Ising model in one dimension. In this talk I will discuss the surprisingly complex physics resulting in this simple model and review the history of "Ising's model" from both a scientific and human perspective. In the modern context I will review recent experiments by my group and others on CoNb_2O_6 . I want to give some perspective about how those of interested in the physics of condensed matter can go searching for material systems that are realizations of particular Hamiltonians. And I will show how low frequency light in the THz range gives unique insight into the tremendous zoo of phenomena arising in this simple material system. It is remarkable that in a system as simple as this quasi-1D chain, analogies to phenomena and mathematical structures as diverse as quark confinement, quantum number fractionalization, Majorana fermions, Airy functions, and a 248 dimensional Lie algebra(!) can be found.

【講師紹介】

Armitage 先生は、スピン系・超伝導・トポロジカル物質などの様々な物質群を対象として、主にテラヘルツ電磁応答を活用してその基底状態の応答を明らかにしてきた世界的に著名な研究者です。Ising モデルの歴史的背景や、このシンプルなモデルから生まれる最新の研究トピックまで講演していただく予定です。是非、皆様ご参加ください。Armitage 先生は来年2月末まで物性研に滞在します。



物性研究所セミナー

標題：LASOR セミナー：理論セミナー：Multistep nonradiative decay pathways of biomolecules

日時：2018年11月6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：山崎 馨

所属：東北大学金属材料研究所

要旨：

Nonradiative decay (NRD) processes such as internal conversion (IC) and intersystem crossing (ISC) govern photo-functionality of living systems such as the photostability of the DNA, phototaxis, visual perception etc. Understanding this complex NRD pathways of biomolecules should help us develop bio-inspired photo-functional materials. In this talk, we will share our recent theoretical works on the multistep NRD pathways of biomolecules in gas phase with the aids of pump-probe experiments:

(1) Structure dependent photoisomerization routes of cinnamate based sunscreens^{1,2}

We found that the structural isomers of cinnamate based sunscreens undergo *trans* → *cis* photo-isomerization under UV irradiation but differ in the isomerization pathway (ISC or IC) ^{1,2}. These results suggest that controlling the substitution position is essential to design the cinnamate based photo-functional materials.

(2) Ultrafast nonadiabatic cascade of XUV excited caffeine molecule³

We also found the XUV excited caffeine molecule undergoes a nonadiabatic cascade via ~100 highly correlated mono-cationic states. These results show that both nonadiabatic coupling and electron correlation are the keys for ultrafast reaction dynamics in the highly-correlated electronic excited states.

References :

[1] K. Yamazaki, S. Maeda*, M. Ehara*, T. Ebata* et al., *J. Phys. Chem. Lett.* 7, 4001 (2016).

[2] S. Kinoshita, K. Yamazaki*, M. Ehara*, T. Ebata* et al., *Phys. Chem. Chem. Phys.* 20, 17583 (2018).

[3] A. Marciniak, K. Yamazaki*, F. Lépine* et al., *J. Phys. Chem. Lett.*, submitted (2018).

*Corresponding authors

標題：理論セミナー：Augmented multipoles and their applications

日時：2018年11月9日(金) 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：Hiroaki KUSUNOSE

所属：Meiji University

要旨：

Magnetic dipole is a source of magnetism, and an electric charge and quadrupole are responsible for charge and orbital orderings, respectively. Such fundamental degrees of freedoms, described by electronic multipoles in general, play important roles in phase transitions and emergent responses under their orderings with broken symmetry. So far,

multipoles are mainly discussed within single species of orbital at single site, in which only even-parity multipoles can be activated [1].

Recently, we generalize a concept of electronic multipoles in two ways: (i) a cluster multipole, which is defined in sublattice systems [2]; a particular alignment of magnetic/electric dipoles in a cluster can be regarded as an inter-atomic multipole, and (ii) a hybrid multipole, which is defined in multi-orbital systems. These extensions allow us to consider odd-parity multipoles, and electric/magnetic toroidal type of multipoles in addition to ordinary electric/magnetic multipoles, which are essential for cross-correlated phenomena such as magneto-electric, magneto-elastic responses, current-induced magnetization (Edelstein effect) and so on [3].

I will talk about the concept of augmented multipole, and peculiar electromagnetic responses under their spontaneous orderings [4].

A series of works has been done in collaboration with S. Hayami, Y. Yanagi, Y. Motome, M.-T. Suzuki, R. Arita, T. Nomoto, M. Yatsushiro, M. Naka, and H. Seo. These works were supported by JSPJ KAKENHI Grants Numbers 15K05176, 15H05885 (J-Physics), and 16H06590.

References:

- [1] Y. Kuramoto, H. Kusunose, and A. Kiss, J. Phys. Soc. Jpn. 78, 072001 (2009), and references therein.
- [2] S. Hayami, H. Kusunose, and Y. Motome, J. Phys.: Condens. Matter 28, 395601 (2016), and references therein.
- [3] S. Hayami and H. Kusunose, J. Phys. Soc. Jpn. 87, 033709 (2018).
- [4] S. Hayami, M. Yatsushiro, Y. Yanagi, and H. Kusunose, Phys. Rev. B (in press), and references therein.

標題：理論セミナー：量子異常による輸送現象の準古典極限における一般論

日時：2018年11月12日(月) 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：石塚 大晃

所属：東京大学 工学系研究科 物理工学専攻

要旨：

ワイル半金属の提案・発見はワイル粒子の物理の実験的検証を可能とするとともに、ワイル電子系に特有の新しい機能が実現できる可能性がある。こうしたワイル電子に特有な現象の代表例として、ワイル粒子の電磁応答におけるカイラル量子異常がある[1,2]。カイラル量子異常は、実験的には磁気抵抗を生じることが予想されており[2,3]、実際に近年、ワイル/ディラック半金属の候補物質において理論の予想と矛盾しない磁気抵抗が観られている。一方で、こうした物質の多くはワイル・コーンに傾きやワーピングがあるなど、理想的なワイル電子とは異なる。中でも Cd3As2 はフェルミ面がディラック・ノードから大きく離れ、全てのディラック・ノードが一つのフェルミ面に含まれている。にも拘らず、これまでの予想に反して、量子異常と矛盾しない負の縦磁気抵抗が観測されている[4]。

こうした実験の進展もあり、量子異常と関連した磁気抵抗の理論研究が近年盛んに行われているが、量子異常と関連した磁気抵抗の計算式は複雑で、その一般的性質を理解するには至っていない。我々は最近、Son らによって提案された準古典論を一般化・再定式化することで、準古典極限においては量子異常と関連した磁気抵抗が Berry 曲率 $\Omega \mathbf{k}$ を用いて定義されるベクトル $\mathbf{W} \mathbf{k} \equiv \Omega \mathbf{k} \times (\mathbf{v} \mathbf{k} \times \mathbf{B})$ を観ることで直観的に理解できることを見出した[5]。本セミナーでは、この $\mathbf{W} \mathbf{k}$ に基づく定式化を紹介し、この形式を用いることで上述の CdAs の磁気抵抗の頑健性[6]や type-II ワイル半金属における磁気抵抗の一般的性質[5]が直感的に観てとれることを議論する。

- [1] A. Vilenkin, Phys. Rev. D 22, 3080 (1980).
- [2] M. Nielsen and M. Ninomiya, Phys. Lett. B 130, 390 (1982).
- [3] D.-T. Son and B. Z. Spivak, Phys. Rev. B 88, 104412 (2013).

- [4] S. Nishihaya et al., Phys. Rev. B 97, 245103 (2018).
[5] H. Ishizuka and N. Nagaosa, preprint (arXiv: 1807. 08147).
[6] H. Ishizuka and N. Nagaosa, preprint (arXiv: 1808. 09093).

標題：国際強磁場科学セミナー：2018 年度 第 2 回：Calorimetric measurements in extreme conditions of magnetic field

日時：2018 年 11 月 12 日(月) 午後 2 時～

場所：物性研究所本館 6 階 第 2 セミナー室(A612)

講師：Prof. Christophe Marcenat

所属：CEA-Grenoble (France)

要旨：

I will present recent improvements of modulation calorimetry technique. Such improvements leads to both a very high relative sensitivity (typically $1:10^4$) and a very good absolute accuracy ~ 1 to 3%. I will illustrate the new possibilities of these instrumental innovations using recent results on superconducting cuprates, on graphite in the ultra quantique limit and on Lifschitz transitions in UCoGe.

標題：理論インフォーマルセミナー：Modelling finite temperature effects in rare-earth/transition-metal magnets from first principles

日時：2018 年 11 月 13 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：Dr. Christopher E. Patrick

所属：University of Warwick, UK

要旨：

The unrivalled hard magnetic properties of rare-earth/transition-metal (RE-TM) compounds have inspired decades of research aimed at understanding the physics underlying their excellent performance. From the theoretical point of view these materials present a number of challenges, particularly to first-principles methods based on density-functional theory [1], due to (a) the complicated interplay of the itinerant d-band and highly-localized 4f electrons, (b) the ferrimagnetic nature of most RE-TM compounds and (c) the importance of temperature in realistic operating conditions. Here I will present some of our work modelling these compounds, including use of the self-interaction correction to model the RE-4f electrons [2], the importance of including ferrimagnetic effects when comparing to experimental measurements of magnetic properties [3], and our attempts to capture the competition between RE and TM magnetic anisotropy at high temperature which can lead to spin reorientation transitions.

[1] B. L. Gyorffy et al., J.Phys. F 15, 1337, (1985).

[2] C. E. Patrick and J. B. Staunton, Phys. Rev. B 97, 224415 (2018).

[3] C. E. Patrick et al., Phys. Rev. Lett. 120, 097202 (2018); C. E. Patrick et al., J. Phys.: Condensed Matter 30, 32LT01 (2018).

*This work was performed as part of the PRETAMAG project, led by Professor J. B. Staunton. PRETAMAG is funded by the United Kingdom Engineering and Physical Sciences Research Council, grant number EP/M028941/1.

標題：LASOR セミナー：Nanomagnetism using polarised soft X-rays

日時：2018年11月14日(水) 午後4時～

場所：物性研究所本館6階 第一会議室(A636)

講師：Sarnjeet S. Dhese

所属：Diamond Light Source

要旨：

Nanomagnetism and spintronics are ubiquitous in our everyday lives so that manipulating magnetic order on ever smaller and faster scales has been a huge endeavour over the past few decades. With the advent of low-emittance third generation synchrotron sources, producing brilliant polarised x-rays, unprecedented site and element-selective insights have been gained into nanomagnetism. At the Diamond Light Source synchrotron, electron microscopy combined with polarised x-ray spectroscopies allows high-resolution imaging of strain and electrical effects on nanomagnetism. In this talk, recent results using PhotoEmission Electron Microscopy (PEEM) combined with X-Ray Absorption Spectroscopy (XAS), X-Ray Magnetic Linear Dichroism (XMLD) and X-Ray Magnetic Circular Dichroism (XMCD) will be presented.

Antiferromagnetic spintronics aims to exploit zero net magnetic moment materials as efficient generators, detectors and transmitters of spin current. PEEM, with magnetic contrast arising from XMLD, has been employed to directly image changes in the antiferromagnetic domain structure of CuMnAs [1] after electrical rotation of the magnetic moments. The XMLD-PEEM images are correlated with in situ Anisotropic Magnetoresistance transport measurements [2,3].

XMLD-PEEM imaging has also been used to directly visualise the antiferromagnetic domain structure of epitaxial (111)-oriented BiFeO₃ (BFO) films. Angle-dependent XMLD-PEEM images are combined to reveal a sub-micron network of antiferromagnetic domains (see Figure 1) that are coherently coupled to monoclinic domains. The magnetoelastic coupling is found to stabilise the antiferromagnetic domain structure, providing a possible pathway towards strain-engineering multiferroic domains in (111)-oriented BFO films [4].

Finally, I will explore electrical switching of perpendicular magnetism in Ni films grown on BaTiO₃ ferroelectric substrates. XMCD-PEEM maps of the in-plane and out-of-plane magnetization reveal a reversible transformation of the out-of-plane magnetization in the Ni films under voltage control [5].

[1] P. Wadley et al., Nat. Nanotechnol. 13, 362 (2018).

[2] M. J. Grzybowski et al., Phys. Rev. Lett. 118, 057701 (2017).

[3] P. Wadley et al., Science 351, 587 (2016).

[4] N. Waterfield-Price et al., Phys. Rev. Lett. 117, 117601 (2016).

[5] M. Ghidini et al., Adv. Mater. 27, 1460 (2015).



標題：ナノサイエンスセミナー：ダイヤモンドの NV 中心を用いた単一スピンレベルでの ESR 法

日時：2018 年 11 月 16 日(金) 午後 1 時 30 分～午後 3 時

場所：物性研究所本館 6 階 第 2 セミナー室(A612)

講師：高橋 晋

所属：Department of Chemistry and Department of Physics & Astronomy University of Southern California, Los Angeles, California, USA

要旨：

Nuclear Magnetic Resonance (NMR)や Electron Spin Resonance (ESR)法などの磁気共鳴法は、固体、溶液等の試料の形状を問わず非接触、非破壊測定ができ、原子レベルでの構造決定や原子・分子を取り巻く微視的環境を理解できることから、生体分子の立体構造や固体の磁性研究などに幅広く利用されている。しかし、RF 波やマイクロ波を検出することによって行われる従来の MR 法は、信号検出感度が低く、例えば、通常常温下で ESR の観測を行うには 1010 以上のスピンが必要である。しかし、信号検出感度を大幅に向上することができれば、生体細胞内等生体条件下における磁気共鳴法を用いた分子構造解析や構造変化の観測などを単一分子レベルで行うことが可能になるなど多くの応用が考えられる。

Nitrogen-vacancy (NV)中心は、窒素原子と隣合った空孔から成るダイヤモンド格子の中に存在する常磁性不純物であり、高感度かつ常温動作可能な磁気センサーとしての応用が期待されている。本発表では NV 中心のユニークな物性やスピン感度を大幅に向上させる NV 中心を用いた ESR (NV-ESR) 法の手法及び最近の我々の実験について議論する。

標題：極限コヒーレント光科学セミナー：フェムト秒レーザーで開拓する(したい)インフレーション仮説の検証

日時：2018 年 11 月 19 日(月) 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：松村 知岳

所属：東京大学 Kavli IPMU

要旨：

宇宙マイクロ背景放射(Cosmic Microwave Background = CMB)の観測は、標準宇宙論を確立する上で大きな役割を果たしてきた。一方で、標準宇宙論の枠内で説明できない問題として宇宙の構造の種、地平線問題、平坦問題などが残っている。インフレーション仮説はこれらの問題を一挙に解決する理論として提唱されている。この理論はこれまでの観測と矛盾はないが直接の検証には至っていない。インフレーションは宇宙が始まって 10^{-38} 秒後の事象であるが、インフレーション由来による原始重力波により CMB 偏光に対して特殊な空間パターン(B モード)を残すため、宇宙観測により実験的に検証が可能である。この観測の実現に向けて観測機器の開発を行なっている。特に IPMU では観測の鍵となる偏光変調器の開発を進めている。本講演では、インフレーションを含む初期宇宙論、また CMB 偏光観測を光学の観点を含めて紹介する。また、その中でも特にレーザーを用いたサファイア波長板の広帯域反射防止モスアイ加工を紹介する。

標題：理論セミナー：密度汎関数理論と溶液理論を用いた電極電位と電荷移動反応の研究

日時：2018 年 11 月 20 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：春山 潤

所属：東京大学 物性研究所

要旨：

エネルギー問題の解決に向けて燃料電池や Li イオン電池など電気化学反応を利用したデバイスの開発が盛んに行われている。電極電位は電気化学反応を理解するために導入された概念であり、電気化学の実験結果を解釈するためには電極

電位をもとに考える。しかし、電極電位をうまく現すために本質的に Grand canonical な系を扱わなくてはならないため、物質計算科学的に困難を伴うことが知られていた。

我々は密度汎関数法の計算に溶液理論を組み合わせた方法(ESM-RISM法)を用いることで、電極電位と電子化学ポテンシャルを対応させることが可能であることを示した。[1] セミナーでは ESM-RISM 法 [2] の内容を簡単に説明し、時間があれば応用事例として Li イオン電池のグラファイト界面の電荷移動反応 [3] の解析結果を紹介する。

[1] J. Haruyama, T. Ikeshoji, and M. Otani, Phys. Rev. Mater. 2, 095801 (2018).

[2] M. Otani and O. Sugino, Phys. Rev. B 73, 115407 (2006); S. Nishihara and M. Otani, Phys. Rev. B 96, 115429 (2017).

[3] J. Haruyama, T. Ikeshoji, and M. Otani, J. Phys. Chem. C 122, 9804 (2018).

標題：理論インフォーマルセミナー：第一原理計算と遺伝アルゴリズムを用いた構造探索法による新物質探索；新奇電子化合物（エレクトライド）への応用

日時：2018年11月21日(水) 午後1時30分～午後2時30分

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室(A615)

講師：多田 朋史

所属：東京工業大学元素戦略研究センター

要旨：

本発表では、遺伝アルゴリズムを用いた結晶構造探索アプローチのうち、VASP等の第一原理計算を電子状態計算ソルバーとして用いることのできる USPEX を利用した新物質探索について紹介する。本手法はすでに多くの適用事例が報告されており、中でも実験的に困難とされる超高压条件下での新物質の発見や同定等は、この手法の適用範囲の広さを物語っている。本発表は、常圧または標準的高圧下における新物質探索に絞った内容となっているが、近年さまざまな方面で注目されはじめている電子化合物(エレクトライド)の新規探索について紹介する。本手法により新たにリン化合物系エレクトライドが見出され、後に合成、結晶構造解析、物性計測を経てその存在が実験的にも確認された。なお、物性に関しては上記計算と計測とで異なる電子状態を示したが、この差異により(無機系)エレクトライドが強相関化合物群としても出現しうる最初の報告例となった。この結果に関する USPEX の構造探索の妥当性であるが、結晶構造変化に由来するエネルギースケールは、強相関性発見のエネルギースケールに比べると大きいとため、標準的第一原理計算から予測された結晶構造から、新しい強相関物質の発見へとつながる可能性は十分にあり、本研究はその一例を示した結果としても十分に意味のある成果であろう。

標題：量子物質セミナー：Collinear Anomalous Hall Antiferromagnets

日時：2018年12月5日(水) 午前11時～午後0時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室(A615)

講師：Dr. Hua Chen

所属：Department of Physics, Colorado State University

要旨：

It is now well established both theoretically and experimentally that the anomalous Hall effect (AHE) can exist in certain noncollinear antiferromagnets with vanishing total magnetization. Using similar symmetry arguments, we propose that the AHE and many related properties such as magneto-optical Kerr effect, anomalous Nernst effect, orbital magnetization, etc., can also exist in many collinear antiferromagnets with symmetry-allowed spin canting. Similar to the noncollinear case, these AHE-related effects will still be finite when the net spin magnetization vanishes. We give two classic examples, NiF₂ and α-Fe₂O₃, corresponding to different mechanisms for spin canting, i.e.



single-ion anisotropy and Dzyaloshinskii-Moriya interaction. Although these two materials are good insulators and may not be easily doped in order to measure the AHE, the discussion is general and can be applied to many other canted antiferromagnets. We construct minimal models with spin-orbit coupling terms compatible with these canting mechanisms and discuss the similarities and differences between the collinear and the noncollinear cases.

標題：量子物質セミナー：Kitaev量子スピン液体における熱輸送特性と磁場効果

日時：2018年12月10日(月) 午前11時～午後0時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室(A615)

講師：那須 謙治

所属：横浜国立大学 大学院工学研究院

要旨：

極低温まで磁気秩序を示さない量子スピン液体は P. W. Anderson による理論提案以降、およそ半世紀にわたって磁性物理学の主要な研究テーマのひとつである。その中でも近年、厳密に量子スピン液体を基底状態にもつKitaevモデル[1]が注目を集めており、さらに、スピン軌道相互作用の強い絶縁磁性体はその候補物質となり得ることから[2]、実験理論共に精力的な研究が行われている。量子スピン液体の顕著な特徴として分数励起の存在を挙げることができ、Kitaev量子スピン液体においては、量子スピンのマヨラナ準粒子と Z_2 ゲージ場へと分数化することが知られている。これらの分数準粒子がどのように熱力学量や励起構造に現れるかを明らかにすることは、量子スピン液体の存在を実験的に示す重要な証拠になりうる。

本研究では、Kitaev量子スピン液体に内在する分数準粒子が生み出す輸送特性及びごく最近活発に研究がなされている磁場効果を明らかにするために、可解なKitaevモデルを出発点として熱伝導度を計算し、さらにその磁場依存性を調べた。まず、磁場が小さいときの摂動的なアプローチを用いて有限温度の熱伝導度を計算した。その結果、有効磁場によって生じるマヨラナ準粒子系のトポロジカルな変化と Z_2 ゲージ場の揺らぎが、特異な熱ホール伝導度の温度変化を生み出すことを示し[3]、この計算と実験結果との比較を行った[4,5]。さらに摂動的な扱いを超えて磁場を強くしたときに、非自明なトポロジカル転移が生じることも明らかにした[6]。

[1] A. Kitaev, Ann. Phys. (N. Y.) 321, 2 (2006).

[2] G. Jackeli and G. Khaliullin, Phys. Rev. Lett. 102, 017205 (2009).

[3] J. Nasu, J. Yoshitake, and Y. Motome, Phys. Rev. Lett. 119, 127204 (2017).

[4] Y. Kasahara et al., Phys. Rev. Lett. 120, 217205 (2018).

[5] Y. Kasahara et al., Nature 559, 227 (2018).

[6] J. Nasu, Y. Kato, Y. Kamiya, and Y. Motome, Phys. Rev. B 98, 060416(R) (2018).

標題：量子物質セミナー：Theory of Multipolar Kondo Materials

日時：2018年12月12日(水) 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：Yong-Baek Kim

所属：Department of Physics, University of Toronto

要旨：

The standard Doniach phase diagram of Kondo materials or heavy fermion systems often assumes Kramers-doublet local moments coupled to conduction electrons. On the other hand, there exist a class of materials, where the local moments carry multipolar moments due to their non-Kramers nature. In this talk, I will describe a theory of Kondo

materials with multipolar local moments using the example of $\text{PrTi}_2\text{Al}_2\text{O}_{10}$ and $\text{PrV}_2\text{Al}_2\text{O}_{10}$ systems. Here the local moments at Pr sites carry quadrupolar and octupolar moments. I will present a general Landau theory for the multipolar ordering in such systems. Further, I will explain how magnetostriction, the length change of the system upon the application of external magnetic field, can be used as a power tool to detect multipolar ordering.

If time permits, I will also describe recent theoretical progress in understanding the multipolar Kondo problem, where new renormalization group fixed points may be found.

標題：ナノサイエンスセミナー：Structural reconstructions and emerging interface spin textures at (111)-oriented epitaxial perovskite interfaces

日時：2018年12月17日(月) 午後1時～午後2時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室(A615)

講師：Prof. Thomas Tybell

所属：Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 7491, Norway

要旨：

Perovskite oxides are technologically interesting because of their strong structure–property coupling, with interesting functional properties ranging from ferromagnetism, ferroelectricity to high-temperature superconductivity. Here I will give an overview of our work on synthesis of atomically smooth (111)-oriented oxides and discuss the effect of crystalline facets on their physical properties. Of special interest are structural effects at epitaxial interfaces promoting novel functional properties. To address this question (111)-oriented epitaxial heterostructures of antiferromagnetic (AF) LaFeO_3 and ferromagnetic $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ are used as a model system. To probe the interface spin texture, we rely on a combination of soft x-ray spectroscopy, neutron reflectometry, magnetometry, TEM, and DFT investigations. By increasing the LaFeO_3 thickness, a change from out-of-plane to in-plane AF spin axis takes place above 16 d111-layers, below which a magnetic interface reconstruction with a net switchable Fe moment of LaFeO_3 is observed when deposited on SrTiO_3 . By using orthorhombic substrates, the magnetic anisotropy of the reconstructed interface can be controlled, from 6-fold when deposited on cubic SrTiO_3 to 2-fold. In the presentation I will especially focus on the importance of the interplay between local AF order and concurrent structural reconstructions at interfaces to establish a magnetic reconstruction, opening for tuning the AF-spin texture by interface engineering.

References:

Phys. Rev. Materials 2, 014404 (2018).

J. Phys.: Cond. Matter 30, 255702 (2018).

J. of Appl. Phys 124, 185301 (2018).

Phys. Rev. B 96, 094109 (2017).

APL Materials 5, 086107 (2017).

Phys. Rev. B. 95, 064109 (2017).

Phys. Rev. B 94, 201115 (2016).

Crystal Growth and Design 16, 2357 (2016).

APL Materials 3, 062501 (2015).

J. of Appl. Phys. 113, 183512 (2013).



標題：理論インフォーマルセミナー：Emergent O(4) Symmetry and Signatures of Deconfined Quantum Critical Point in Shastry-Sutherland Lattice Material SrCu₂(BO₃)₂

日時：2018年12月18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：Jong Yeon LEE

所属：Harvard University

要旨：

We study the possibility of a deconfined quantum phase transition in the two dimensional Shastry-Sutherland spin model, using both numerical and field theoretic techniques. We argue that the quantum phase transition between a two fold degenerate plaquette valence bond solid (pVBS) order and Neel order may be described by a deconfined quantum critical point (DQCP) with emergent O(4) symmetry.

Further, using the infinite density matrix renormalization group (iDMRG) numerical technique, we verify the emergence of an intermediate pVBS order, between the dimer and Neel ordered phases. By analyzing the correlation length spectrum for different orders, we provide evidence for deconfinement and emergent O(4) symmetry at the phase transition between the pVBS and Neel orders. Such a phase transition has been reported in the recent pressure tuned experiments in the Shastry-Sutherland lattice material SrCu₂(BO₃)₂. The non-symmorphic lattice structure of the Shastry-Sutherland compound leads to extinction points in the scattering, at which we predict sharp signatures for DQCP in both phonon and magnon spectra associated to the spinon continua. Our result would guide the experimental search for DQCP in quantum magnets.

標題：中性子セミナー：Solid Transformation and Post-synthetic Modification on Metal-Organic Frameworks

日時：2018年12月19日(水) 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：Prof. Ming-Hua Zeng

所属：Hubei University

要旨：

The chemistry of metal-organic frameworks has experienced an almost unparalleled growth in the past two decades driven by their rich functions cover a wide range and potential industry applications as high-capacity adsorbents. The talk will introduce different ways to rationally modify the structure and function of a MOF with established structure through three main parts: (1) Some interesting MOFs exhibits good stability, high loading and quick uptake of iodine. After iodine inclusion, the resulting guest changed MOFs process fascinating properties in conductivity and nonlinear optical properties. (2) Tandem post-synthetic reactions were applied to well modify the structure of precursor MOFs, leading either entirety or surface modification as well as great changes in sorption and magnetic behaviors. (3) A sequential perturbative approach to unrestraint metal coordinative environment in MOF crystals was built and thus enabling the glass formation under mild condition and reticular tuning of glass properties. The new strategies would provide useful guidelines for screening functional glass from the abundant databases of MOFs, which may open an area of research with fundamental and applied importance.

標題：極限コヒーレント光科学セミナー：マイクロ・ナノバブルの観測と結晶化促進効果

日時：2018年12月19日(水) 午後2時10分～午後3時40分

場所：物性研究所本館6階 第一会議室(A636)

講師：内田 努

所属：北海道大学 大学院工学研究院 応用物理学部門

要旨：

マイクロ・ナノバブル(MNB)は、1mm以下の径を持つ微細気泡の総称である。このMNBを水溶液中で発生させて、動植物の生育を促進したり殺菌したりする技術が近年開発されている。水中に浮遊するMNB(Bulk MNB)は一般に浮力が小さく、数十mVの負の表面電荷(とポテンシャル)を持つことから、気泡同士が反発して合着しづらく、液相中に長期間滞留することができると考えられている。しかしラプラス圧が高く気液界面が大きいため、気体を液相中に高効率に溶解させることができると同時に消滅速度が速いとも考えられている。そのため、Bulk MNBが安定に存在できるか否か自身が研究対象となっている。そこで、Bulk MNBを観測することを目的に、凍結切断レプリカ法を開発した1)2)。この手法は通常の光散乱法と異なり、不純物を含む系での測定も可能である1)3)。またMNB含有水が、ガスハイドレートの結晶化促進効果があることを見出した4)5)。

Reference

- 1) T. Uchida et al., Transmission electron microscopic observations of nanobubbles and their capture of impurities in wastewater, *Nanoscale Res. Lett.* 6 (2011) 295.
- 2) T. Uchida et al., Effect of NaCl on the Lifetime of Micro- and Nanobubbles, *Nanomaterials* 6 (2016) 31.
- 3) T. Uchida et al., Ultra-Fine Bubble Distributions in a Plant Factory Observed by Transmission Electron Microscope with a Freeze-Fracture Replica Technique, *Nanomaterials* 8 (2018) 152.
- 4) T. Uchida, K. Yamazaki, and K. Gohara, Generation of micro- and nano-bubbles in water by dissociation of gas hydrates, *Korean J. Chem. Eng.* 33 (2016) 1749.
- 5) T. Uchida et al., Gas Nanobubbles as Nucleation Acceleration in the Gas-Hydrate Memory Effect, *J. Phys. Chem. C* 120 (2016) 26620.

標題：理論インフォーマルセミナー：IPMU 共催・理論インフォーマルセミナー：Symmetric gauge theories and Lieb-Schultz-Mattis-type constraints

日時：2018年12月27日(木) 午前11時～午後0時

場所：IPMU セミナー室 B

講師：Xu YANG

所属：Boston College

要旨：

It is known that certain symmetric gauge theories can only exist on the surface of a higher dimensional symmetry protected topological (SPT) state, in which case the symmetric gauge theory is termed anomalous. The anomaly class of such a gauge theory is represented by the bulk SPT index. Given an anomaly class, what kinds of symmetric gauge theories are allowed? Based on physical arguments and tensor-network constructions, we point out a sharp mathematical relationship between the symmetry properties of Abelian gauge theories and the anomaly class: the cup product. When the physical system hosts Lieb-Schultz-Mattis-type constraints, which is a specific type of anomaly class, our result sharply determines the physically allowed symmetric gauge theories as the preimage of the cup product. Various examples are given as an application, including the computation of physically allowed skyrmion

quantum numbers in various Neel states in 2+1D, and gauge charge/monopole projective representations in U(1) quantum spin liquids in 3+1D.

標題：量子物質セミナー：結晶点群の下での多極子の分類と交差相関物性

日時：2018年12月28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5セミナー室(A615)

講師：速水 賢

所属：北海道大学大学院理学研究院物理学部門

要旨：

固体中の電子は結晶場やスピン軌道相互作用といった様々な要因により、異方的な電荷分布や磁荷分布を示す。このような異方性は電気多極子や磁気多極子といったミクロな多極子自由度によって特徴づけられ、それらの秩序状態が示す電氣的・磁氣的性質や集団現象に関する研究が長年にわたって精力的に行われてきた[1-3]。こうした多極子は空間・時間反転対称性の有無に応じて電気・磁気・磁気トロイダル・電気トロイダルという、4種類の多極子に分類することができる。一方で近年、こうした多極子の概念は、クラスター空間、混成軌道空間、波数空間といった部分空間において拡張されており、電気磁気効果や異常量子ホール効果などの様々な物性を理解するのに用いられている[4,5]。しかし、磁気トロイダル多極子や電気トロイダル多極子の微視的な表式は最近になってようやく得られたばかりであり[6]、微視的な立場からの系統的な解析はほとんど行われていないのが現状である。

本研究において我々は、32の結晶点群の元で活性化する多極子自由度とそれらがもたらす物性を網羅的に調べた[7]。まず、実空間および波数空間における多極子の微視的枠組みを求めることにより、4種類の多極子がどのような結晶点群や基底関数において存在するかを明らかにした。さらに、電気磁気効果やスピンホール効果における応答テンソルの性質を多極子の視点からまとめた。講演では4種類の多極子がどのような結晶点群の下で活性化するのかを示すとともに、これらの多極子がもたらす電子状態や交差相関物性を具体例を挙げながら議論する。

[1] P. Santini, S. Carretta, G. Amoretti, R. Caciuffo, N. Magnani, and G. H. Lander, *Rev. Mod. Phys.* 81, 807 (2009).

[2] Y. Kuramoto, H. Kusunose, and A. Kiss, *J. Phys. Soc. Jpn.* 78, 072001 (2009).

[3] H. Kusunose, *J. Phys. Soc. Jpn.* 77, 064710 (2008).

[4] S. Nakatsuji, N. Kiyohara, and T. Higo, *Nature (London)* 527, 212 (2015).

[5] M.-T. Suzuki, T. Koretsune, M. Ochi, and R. Arita, *Phys. Rev. B* 95, 094406 (2017).

[6] S. Hayami and H. Kusunose, *J. Phys. Soc. Jpn.* 87, 033709 (2018).

[7] S. Hayami, M. Yatsushiro, Y. Yanagi, and H. Kusunose, *Phys. Rev. B* 98, 165110 (2018).

人事異動

【研究部門等】

○平成 30 年 8 月 31 日付け
(任期満了)

氏名	所属	職名	備考
HICKS CLIFFORD WILLIAM	量子物質研究グループ	特任教授 (客員Ⅲ種)	マックス・プランク固体化学物理研究所(ドイツ) グループリーダーへ

○平成 30 年 9 月 1 日付け
(採用)

氏名	所属	職名	備考
春山 潤	機能物性研究グループ	助教	産業技術総合研究所 博士研究員から

平成 30 年 9 月 3 日付け
(採用)

氏名	所属	職名	備考
高橋 晋	ナノスケール物性研究部門	特任教授 (客員Ⅲ種)	南カリフォルニア大学 准教授から
DRICHEKO NATALIA VLADMIROVNA	量子物質研究グループ	特任教授 (客員Ⅲ種)	ジョブホプキンス大学 研究准教授から

○平成 30 年 10 月 1 日付け
(採用)

氏名	所属	職名	備考
出倉 駿	凝縮系物性研究部門	特任助教	京都大学大学院理学研究科化学専攻 教務補佐員 から

(兼務)

氏名	所属	職名	備考
藤堂 眞治	附属計算物質科学研究センター	教授	本務：東京大学大学院理学系研究科 期間：平成 30 年 10 月 1 日～平成 31 年 3 月 31 日

○平成 30 年 11 月 30 日付け
(辞職)

氏名	所属	職名	備考
笠松 秀輔	附属物質設計評価施設	助教	山形大学 助教へ

○平成 30 年 12 月 7 日付け

(任期满了)

氏 名	所 属	職 名	備 考
高 橋 晋	ナノスケール物性研究部門	特任教授 (客員Ⅲ種)	南カリフォルニア大学 准教授へ

東京大学物性研究所教員公募について

下記により特任准教授の公募をいたします。適任者の推薦、希望者の応募をお願いいたします。

記

1. 研究部門名等および公募人員数

社会連携研究部門（データ統合型材料物性研究部門）特任准教授 1 名

2. 研究内容

物性研では「実験と数値計算をデータ科学的手法によって統合し、電子関連の理解に基づいて、革新的な機能を持つ材料の物性予測・探索手法を開発する」ことを目的とする社会連携部門（協力企業：トヨタ自動車（株））を平成 31 年 4 月に創設する予定である。本公募では、新部門の中核となり、他の部門内スタッフや協力企業の研究者と協力し、新部門の趣旨・目的を自ら高度に達成する意欲のある人材を求める。

3. 応募資格

博士号取得済みの方。

4. 任 期

平成 3 4 年 3 月 3 1 日まで。ただし、年度末ごとに更新する。

5. 公募締切

平成 3 1 年 4 月 2 6 日（金）必着

6. 着任時期

採用決定後なるべく早く

7. 提出書類

- 履歴書（大学入学以降；略歴で可）
- 業績リスト（特に重要な論文に○印をつけること）
- 主要論文の別刷（5 編以内、コピー可）
- 研究業績の概要（2 0 0 0 字程度）
- 研究計画書（2 0 0 0 字程度）
- 所属長等による応募者本人についての意見書（作成者から書類提出先へ直送）

8. 書類提出方法 郵送又はメール送付

郵 送：「社会連携研究部門（データ統合型材料物性研究部門）特任准教授応募書類在中」、又は「推薦書在中」の旨を朱書し、簡易書留等配達状況が確認可能な方法で送付すること。

メール：件名は「社会連携特任准教授応募」とし、総務係までメールを送付すること。総務係から書類送付先フォルダを連絡するので、そちらに応募書類一式を保存すること。

9. 書類提出先

〒277-8581 千葉県柏市柏の葉 5 丁目 1 番 5 号

東京大学物性研究所総務係

電話 04-7136-3207 e-mail : issp-jinji@issp.u-tokyo.ac.jp

10. 本件に関する問い合わせ先

東京大学物性研究所 機能物性研究グループ 教授 杉野 修

e-mail : sugino@issp.u-tokyo.ac.jp

11. 選考方法東京大学物性研究所教授会の議を経て、審査決定します。ただし、適任者のない場合は、決定を保留します。

12. その他

東京大学は男女共同参画を推進しており、女性の積極的な応募を歓迎します。なお、お送りいただいた応募書類等は返却いたしませんので、ご了解の上お申込み下さい。また、履歴書は本応募の用途に限り使用し、個人情報とは正当な理由なく第三者への開示、譲渡及び貸与することは一切ありません。

平成 31 年 3 月 8 日

東京大学物性研究所長 森 初果



東京大学物性研究所教員公募について

下記により助教の公募をいたします。適任者の推薦、希望者の応募をお願いいたします。

記

1. 研究部門名等および公募人員数

ナノスケール物性研究部門（リップマー研究室）助教1名

2. 研究内容

リップマー教授とともに、パルスレーザー堆積法による酸化物薄膜の合成、新材料開発、薄膜物性評価、プローブ顕微鏡やイオン散乱手法を用いた表面物性評価、そして材料評価に向けたデバイス作製に関連する物性研究を推進する。特に、光触媒の非平衡キャリアダイナミクス、ヘテロ界面を用いた低次元電子構造、AIを取り入れた先端薄膜合成手法の開発に関連する分野を見据えており、薄膜に限らず、様々な酸化物試料の合成経験を有する研究者を歓迎する。エピタキシャルな酸化物結晶における新しい物性研究を展開するだけでなく、物性研究所が有するユニークな装置を用いて、研究所内外との共同研究にも意欲的に取り組む研究者を希望する。

3. 応募資格

博士号取得あるいは2019年10月までに取得見込みの方。

4. 任 期

任期5年、再任可。ただし、1回を限度とする。

5. 公募締切

2019年5月10日（金）必着

6. 着任時期

採用決定後なるべく早く

7. 提出書類

(イ) 推薦の場合

- 推薦書
- 履歴書（写真添付、学歴、職歴等）
- 業績リスト（特に重要な論文に○印をつけること）
- 主要論文の別刷（3編程度、コピー可）
- 研究業績の概要（A4用紙2ページ以内）
- 研究計画書（A4用紙2ページ以内）

(ロ) 応募の場合

- 履歴書（大学入学以降；略歴で可）
- 業績リスト（特に重要な論文に○印をつけること）
- 主要論文の別刷（3編程度、コピー可）
- 研究業績の概要（A4用紙2ページ以内）
- 研究計画書（A4用紙2ページ以内）
- 指導教員等による応募者本人についての意見書
（作成者から書類提出先へ直送）

8. 書類提出方法 メール送付

件名は「リップマー研究室助教応募」とし、総務係までメールを送付すること。総務係から書類送付先フォルダを連絡するので、そちらに応募書類一式を保存すること。

9. 書類提出先

〒277-8581 千葉県柏市柏の葉5丁目1番5号

東京大学物性研究所総務係

電話 04-7136-3207 e-mail : issp-jinji@issp.u-tokyo.ac.jp

10. 本件に関する問い合わせ先

東京大学物性研究所 ナノスケール物性研究部門 教授 リップマー ミック

電話 04-7136-3315 e-mail : mlippmaa@issp.u-tokyo.ac.jp

11. 選考方法

東京大学物性研究所教授会の議を経て、審査決定します。ただし、適任者のない場合は、決定を保留します。

12. その他

東京大学は男女共同参画を推進しており、女性の積極的な応募を歓迎します。なお、お送りいただいた応募書類等は返却いたしませんので、ご了解の上お申込み下さい。また、履歴書は本応募の用途に限り使用し、個人情報とは正当な理由なく第三者への開示、譲渡及び貸与することは一切ありません。

平成 31 年 2 月 25 日

東京大学物性研究所長 森 初果



物性研だより第 58 巻目録 (第 1 号~第 4 号)

第 58 巻第 1 号 2018 年 4 月

所長就任にあたって	森 初果	1
所長退任にあたって	瀧川 仁	3
時間分解磁気円偏光二色性測定によるスピンの超高速ダイナミクス観測	田久保 耕	5
量子ドットの近藤効果を引き起こす磁気モーメントの探索	阪野 暁	8
極限超強磁場下の高精度電気伝導度計測技術の開発		
一銅酸化物高温超伝導体研究に新たな一歩	中村 大輔	10
強磁場研究会ポスター発表賞を受賞して	野村 和哉	12
強磁場研究会ポスター発表賞を受賞して	佐藤 和樹	14
第 9 回強磁場フォーラム三浦奨励賞を受賞して	池田 暁彦	15
日本中性子科学会第 17 回年会学生ポスター賞を受賞して	林田 翔平	17
物性研に着任して	井上 圭一	18
	三輪 真嗣	19
	河村 光晶	20
	浅井 晋一郎	21
	神田 夏輝	22
	今城 周作	23
	木下 雄斗	24
外国人客員所員を経験して	Mario Novak	25
客員所員を経験して	瀧本 哲也	26
	萩田 克美	27
	吉田 鉄平	29

【物性研究所短期研究会】

○The 9th APCTP Workshop on Multiferroics の報告	30
----------------------------------------------	----

【物性研究所談話会】	33
------------	----

【物性研究所セミナー】	35
-------------	----

【物性研ニュース】

○人事異動	44
-------	----

○平成 29 年度外部資金の受入について	47
----------------------	----

編集後記

物性研だよりの購読について

第 58 巻第 2 号 2018 年 7 月

「トポロジカル絶縁体に付与した光情報の持続時間を飛躍的に長くすることに成功」	石田 行章、辛 埴	1
分子を使った乱れの設計により量子スピン液体を実現	山口 博則	4
π 電子とプロトンの連動による新しい量子液体状態の発見	下澤 雅明、上田 顕、山下 穰、森 初果	6
ゼロギャップ半導体における非常に強い電子間相互作用の観測	大槻 匠、中辻 知、リップマー ミック	9
ディラック半金属 Cd_3As_2 薄膜における量子ホール効果の観測	打田 正輝、徳永 将史	11
スピン流の雑音から情報を引き出す ～スピン流高効率制御に向けた新手法～	加藤 岳生	14
FeSe におけるネマティックドメインにセンシティブな超伝導ギャップ異方性	岡崎 浩三	16
反強磁性金属における巨大な磁気光学カー効果と磁気八極子ドメインの直接観察	肥後 友也、中辻 知	19



日本中性子科学会第 15 回技術賞を受賞して	益田 隆嗣	23
仁科記念賞「トポロジカル量子物性物理学の創始」、 朝日賞「トポロジーの物性物理学への導入」を受賞して	甲元 真人	26
文部科学大臣表彰若手科学者賞を受賞して	近藤 猛	34
第 23 回日本物理学会論文賞を受賞して	酒井 明人、中辻 知	35
平成 29 年度日本化学会学術賞を受賞して	森 初果	36
第 12 回(2018 年)日本物理学会若手奨励賞(領域 9)を受賞して	黒田 健太	38
平成 30 年度文部科学大臣表彰科学技術賞を受賞して	廣井 善二	40
文部科学大臣表彰若手科学者賞を受賞して	和達 大樹	41
外国人客員所員を経験して	Ying RAN	42
【物性研究所短期研究会】		
○「新世代光源で切り拓く物質科学と生命科学の融合領域」の報告		43
○物性研究所スパコン共同利用・CCMS 合同研究会「計算物質科学の今と未来」報告		46
○ガラス転移と関連分野の最先端研究		51
○量子情報・物性の新潮流 ー量子技術が生み出す多様な物性と情報処理技術ー		59
【物性研究所談話会】		63
【物性研究所セミナー】		65
【物性研ニュース】		
○人事異動		76
編集後記		

第 58 巻第 3 号 2018 年 10 月

室内発生世界最高磁場 1200 テスラの記録	嶽山 正二郎	1
強磁場から見たトポロジカルなスピン構造が織りなす創発磁気モノポール物性	金澤 直也、藤代 有絵子、十倉 好紀 三宅 厚志、三田村 裕幸、徳永 将史	4
軟 X 線で決定する物質のバンドトポロジー		
ートポロジーは見かけより中身が大事ー	黒田 健太、近藤 猛	7
Topological superconductivity in iron-based superconductors	ZHANG Peng, 辛 埴	9
平衡状態の量子もつれが示す普遍的な法則	杉浦 祥、中川 裕也、藤田 浩之、渡邊 正隆	11
バルク結晶と薄膜結晶で異なるスピン状態を直接観測		
～スピン状態の判別に有効な計測手法を確立～	横山 優一、和達 大樹	14
プラズモン励起で測る量子ホール効果のエッジ状態	遠藤 彰、勝本 信吾	16
固体結晶からの高次高調波発生に伴う偏光分解測定		
～高調波の偏光に電子状態の異方性が映し出されることを実証～	石井 順久、板谷 治郎	19
市村学術賞、船井学術賞を受賞して	三輪 真嗣	22
NESMCQ18 Poster prize を受賞して	長谷川 雅大	24
第 11 回分子科学会奨励賞を受賞して	上田 顕	26
外国人客員所員を経験して	Clifford HICKS	28
【物性研究所談話会】		29
【物性研究所セミナー】		31
編集後記		



第 58 卷第 4 号 2018 年 1 月

元素選択的な非線形光学応答の検出に成功

X 線自由電子レーザーによる高調波発生	松田 巖、赤井 久純	1
強磁場中で重い電子を発見：近藤絶縁体の磁場中電子状態を解明	松田 康弘、寺島 拓、小濱 芳允	4
量子効果で 10 倍以上の磁気熱電効果を室温で実現		
～新しい熱電変換、環境発電への応用へ期待～	酒井 明人、中辻 知	7
カゴメ格子におけるスピン熱ホール効果	山下 穰、川島 直輝	10
α -ZrCl ₃ における創発 SU(4) 対称性と量子スピン軌道液体	山田 昌彦	13
電子と正孔が結合した絶縁体において実現した光誘起半金属状態	岡崎 浩三	15
パブロフスキー賞を受賞して	嶽山 正二郎	18
平成 30 年度 物性研究所一般公開の報告	廣井 善二	20
【ISSP ワークショップ】		
「スピン軌道強結合伝導系におけるサイエンスの新展開」報告		25
第 63 回物性若手夏の学校開催報告	丸山 玄德	28
【物性研究所談話会】		31
【物性研究所セミナー】		33
【物性研ニュース】		
○人事異動		44
○東京大学物性研究所教員公募について		48
【その他】		
物性研だより第 58 巻目録（第 1 号～第 4 号）		52
編集後記		



編集後記

「物性若手夏の学校開催報告」もしかしたら、いつもは読み飛ばしてしまわれているかもしれませんが、是非読み進んで頂き、QR コードのリンク先の動画をご覧下さい。今の夏の学校の雰囲気を感じて頂けるかと思います。私も昔に参加したことがあります、あ
のときよりも充実した内容と参加者の意識の高さを感じます。ただ講師の方は昔も熱かつ
たですね。流石、有名な Youtuber です、楽しく見れる動画です。

今回は、研究成果については比較的バランスがとれた感じになっていると思います。博士課程の山田氏の記事では、初めて“4”という数字について考えさせられました。最初の松田巖先生の記事は、X 線自由電子レーザーを用いた成果についてですが、もう 10 年以上前に私が当時の総合科学技術会議に出向していた際に、この X 線自由電子レーザーの計画が上がってきたことを思い出しました。そこでの逸話は長くなるので紹介しませんが、時代は変わって、今は次世代放射光の計画が動き出し、その成果も早く物性研だよりでご紹介できる日を楽しみにしたいです。

鈴木博之