

物性研だより

BUSSEIKEN DAYORI

第 65 卷

第 1 号

2025 年度

擬一次元量子反強磁性体の磁区パターンを光で可視化

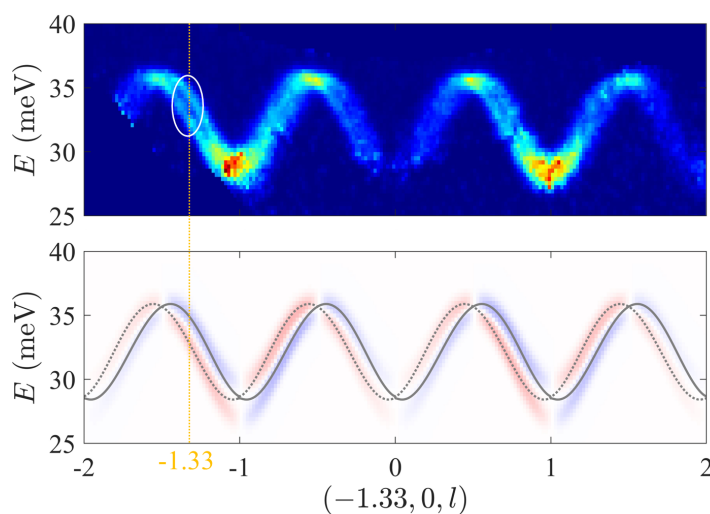
電子線レジストの超高スループット潜像イメージング

近藤絶縁体における複合フェルミオンの観測

新しい概念の磁性体を実験的に検証
—中性子散乱実験による交替磁性体の観測—

カイラル反強磁性体による新規スピントルクダイオード効果

電気が流れる交互積層型電荷移動錯体の実現
—常識を覆す、大量合成可能な新種の有機伝導体材料—



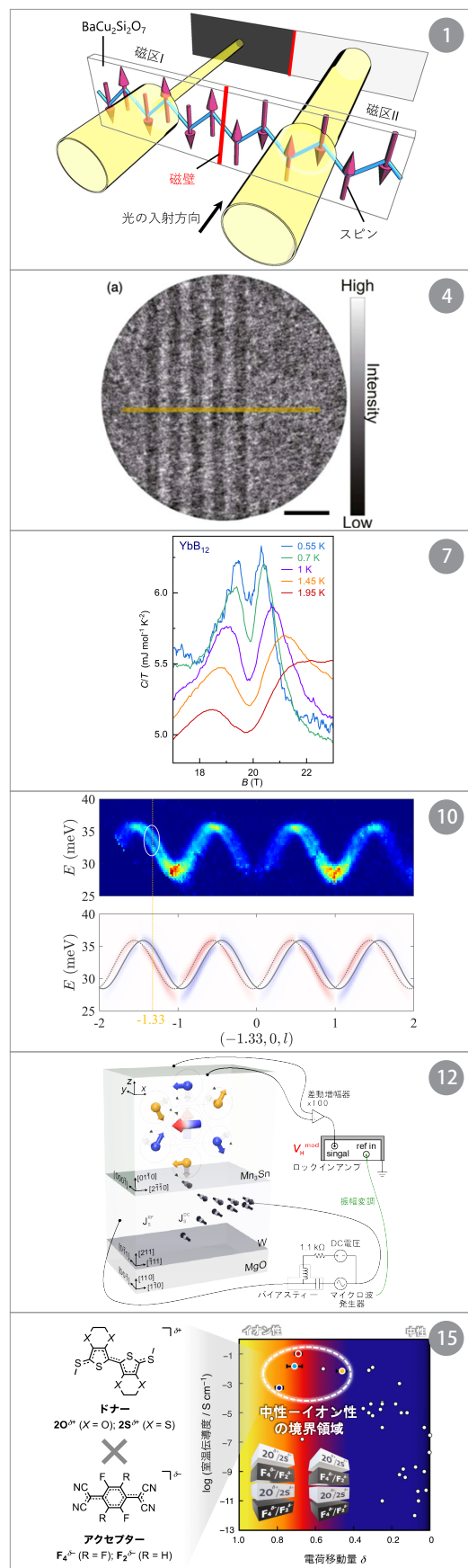
東京大学 物性研究所

THE INSTITUTE FOR SOLID STATE PHYSICS
THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright ©2025 Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo. All rights Reserved.

ISSN 0385-9843

contents



1	擬一次元量子反強磁性体の磁区パターンを光で可視化	木村 健太
4	電子線レジストの超高スループット潜像イメージング	藤原 弘和、谷内 敏之
7	近藤絶縁体における複合フェルミオンの観測	小濱 芳允、Zhuo Yang (楊 卓)
10	新しい概念の磁性体を実験的に検証 —中性子散乱実験による交替磁性体の観測—	Zheyuan Liu, 益田 隆嗣
12	カイラル反強磁性体による新規スピントルクダイオード効果 坂本 祥哉、甲崎 秀俊、志賀 雅亘、浜根 大輔、三輪 真嗣、野本 拓也、有田 亮太郎、肥後 友也、中辻 知、日比野 有岐、山本 竜也、田丸 慎吾、野崎 隆行、薬師寺 啓、小谷 佳範、中村 哲也	
15	電気が流れる交互積層型電荷移動錯体の実現 —常識を覆す、大量合成可能な新種の有機伝導体材料—	藤野 智子、森 初果
18	2024 IUPB Finsen Lecture Award の受賞について	井上 圭一
19	先進外科治療学術集会における東京大学物性研究所の施設表彰を受けて： 先進外科治療における基礎工学成果を背景としての日本製品の復権を目指して	大平 猛
21	Werner Meyer-Ilse Memorial Award を受賞して	島村 勇徳
22	シンポジウム「テラヘルツ科学の最先端 XI」で優秀学生発表賞を受賞して	白井 亜美
23	分子科学会優秀ポスター賞を受賞して	永盛 寛之
25	The 10th International Symposium on Surface Science(ISSS-10) における Student Prize および NIMS-award symposium における Best Poster Award を受賞して	岡崎 淳哉
26	日本物理学会学生優秀発表賞を受賞して	愛敬 公太
27	凝縮系科学賞を受賞して	井手上 敏也
28	物性研を退任して	上床 美也
30	令和 6 年度 物性研究所一般公開の報告	岡崎 浩三
	【物性研究所短期研究会】	
34	○「新物質開発・システム創成研究の最前線：分子・クラスターがもたらす物性と機能」開催報告	
37	○「ガラスに関連する分野の最先端研究」報告	
43	○「強相関物質研究の展望」 (Correlated Quantum Materials + beyond: Symposium) 開催報告	
	【日米協力事業「中性子散乱」ワークショップ】	
49	○原子炉中性子科学の最前線 ～日米協力事業「中性子散乱」プログラムの今後を見据えて～ Frontier of Neutron Science in Research Reactor ～Future Perspective of US-Japan Cooperative Program on Neutron Scattering～	
	【ISSP 国際ワークショップ】	
52	○「Materials Science of Solids and Surfaces using Radiation Field Controlled in Time and Space Domain (時間・空間領域で制御された輻射場による固体と表面の物性科学)」の報告	
	【ISSP ワークショップ】	
55	○ISSP Women's Week 2024 研究交流会	
57	【物性研究所談話会】	
59	【物性研究所セミナー】	
	【物性研ニュース】	
74	○東京大学物性研究所人事異動一覧	
	編集後記	
	物性研だよりの購読について	

擬一次元量子反強磁性体の磁区パターンを光で可視化

大阪公立大学・大学院工学研究科・木村 健太
(2024 年度物性研究所客員准教授)

研究の背景と経緯

近年の磁性研究のキーワードとして、「反強磁性体」と「量子揺らぎ」が挙げられます。反強磁性体は、ミクロな磁石である電子のスピンを互いに反対向きに並べようとする力、すなわち反強磁性相互作用が支配的に働く物質のことです。通常反強磁性体では、磁気転移温度以上ではスピンの向きはバラバラですが、磁気転移温度以下になると、隣り合う電子スピンは全体の磁化を打ち消し合うように秩序化します。このとき、例えば図 1 のように、スピンの向きが **down-up** と並んだ磁区 I と、スピンの向きが **up-down** と並んだ磁区 II は、同じエネルギーをもちます。そのため、これらの磁区は一つの試料内にランダムに混在すると考えられます。しかし、磁区 I と II を外場で上手く操作し、何らかの方法で区別して読みだすことができれば、情報記憶担体として利用できます。磁化をもたない反強磁性体は、強磁性体で問題となる漏れ磁場や反磁場の影響を受けないため、素子の高集積化が期待できます。このような期待から、反強磁性体は次世代のエレクトロニクス材料として活発な研究がなされています[1,2]。

一方、量子揺らぎは、電子の量子力学的な性質に起因する揺らぎで、熱揺らぎが消失する絶対零度においても残存します。量子揺らぎが顕在化することで、特異な物性を示す磁性体はいくつも知られています。スピン量子数の小さ

な ($S = 1/2$ や 1) 磁性イオンが鎖状に配列している擬一次元量子反強磁性体はその代表例であり、量子スピン液体やトポロジカルスピン励起といった特異な量子現象を示すために活発な研究がなされています。また、スピン鎖の間に弱い相互作用がある場合、その相互作用の大きさで決まる非常に低い温度において、スピンは秩序化します。ところが、通常反強磁性体とは異なり、スピンの量子揺らぎが顕在化するため、個々のスピンの秩序成分は著しく抑制されています。したがって擬一次元量子反強磁性体は、反強磁性磁区と量子揺らぎの関連性を探究するのに適していると考えられます。しかし、磁気転移温度が低く、かつスピンの秩序化成分が小さいことから、従来用いられてきた手法で擬一次元量子反強磁性体の磁区を観察することは難しいと予想され、これまで報告されていませんでした。

研究の内容

本研究[3]では、最も代表的なスピン $1/2$ 擬一次元量子反強磁性体の一つである $\text{BaCu}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ [4]における反強磁性磁区の可視化に挑みました。 $\text{BaCu}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ は最小のスピン量子数 ($S = 1/2$) をもつ銅イオン (Cu^{2+}) がジグザグの鎖状に並んでいます[図 2(a)]。 $T_N = 9.2 \text{ K}$ 以下で反強磁性秩序が現れますが、その秩序化モーメントは $\text{Cu}^{2+} 1$ 個あたり $0.1\mu_B$ と大変小さいものです。可視化には、私たちが 2020 年に世界に先駆けて報告した方向二色性に基づく手法[5]を用いました。方向二色性とは、光の伝搬方向や磁気秩序変数の符号を反転することで光吸収が変化する現象です。そのため、図 1 に示すように、反強磁性ドメインパターンは透過光の強度の違いとして可視化されます。方向二色性が生じるためには、物質の空間反転対称性と時間反転対称性の両方が破れている必要があります。今回用いた $\text{BaCu}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ では、 Cu^{2+} のジグザグ配列とスピンの反平行配列の組み合わせることで対称性の要件が満たされ、方向二色性が発現すると考えました。以下の実験では、益田隆嗣教授グループによって浮遊帯域法で合成された $\text{BaCu}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ の単結晶を用いました。

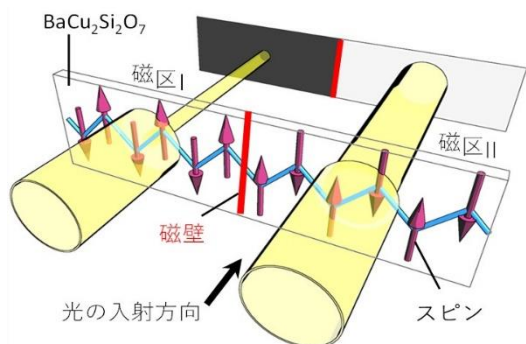
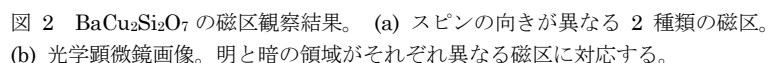


図 1 方向二色性による反強磁性磁区の可視化の概念図。磁壁で隔てられた磁区 I と磁区 II は異なる光透過率をもつため、明暗のコントラストとして可視化できる。



まとめと今後の展開

量子揺らぎが顕在化する擬一次元量子反強磁性体の磁区パターンについて、方向二色性を原理とした光学的手法で可視化できることが分かりました。本研究では電場により磁壁が動くことも運動前後の画像の比較から明らかになりましたが、今回用いた光学顕微鏡による観察は非常に簡便かつ短時間で済むため、今後、磁壁が動いている様子をリアルタイムで可視化することも期待されます。

反強磁性体は、従来の強磁性体よりも磁気的な外乱に強く、素子の高密度化や高速動作が可能といった特徴があるとされ、次世代メモリなどへの活用が期待されています。そのような用途では、磁区や磁壁の性質を理解することが重要になります。今回の観察手法をさまざまな擬一次元量子反強磁性体に適用することで、量子揺らぎが反強磁性磁区の形成や磁壁の運動に与える影響についての新たな知見が得られ、反強磁性体を用いた次世代エレクトロニクスの設計に役立つと期待されます。

謝辭

本研究は、東京大学大学院新領域創成科学研究科の諸見 里 真人大学院生、三宅 岳志大学院生(研究当時、東京大学物性研究所)、東京大学物性研究所の益田 隆嗣教授、東京大学大学院工学系研究科の木村 剛教授との共同研究です。また、本研究は、科学研究費助成事業 新学術領域研究「量子液晶の物性科学」(JP19H05823)、科学研究費助成事業 (JP19H01847、JP21H04436、JP21H04988、JP24K00575)、文部科学省科学技術人材育成費補助金(卓越研究員事業)、村田学術振興財団、池谷科学技術振興財団の助成のもと行われました。

参考文献

- [1] V. Baltz, A. Manchon, M. Tsoi, T. Moriyama, T. Ono, and Y. Tserkovnyak, *Rev. Mod. Phys.* 90, 015005 (2018).
- [2] N. Hedrich, K. Wagner, O. V. Pylypovskiy, B. J. Shields, T. Kosub, D. D. Sheka, D. Makarov, and P. Maletinsky, *Nat. Phys.* 17, 574 (2021).
- [3] M. Moromizato T. Miyake, T. Masuda, T. Kimura, and K. Kimura, *Phys. Rev. Lett.* 133, 086701 (2024).
- [4] M. Kenzelmann, A. Zheludev, S. Raymond, E. Ressouche, T. Masuda, P. Böni, K. Kakurai, I. Tsukada, K. Uchinokura, and R. Coldea, *Phys. Rev. B* 64, 054422 (2001).

- [5] K. Kimura and T. Kimura, APL Mater. 11, 100902 (2023).



ることから、構造 2 は ZEP520A を構成するポリマーの主鎖(C-C 結合)に起因するものであると推測できます。すると、電子線照射による構造 2 の強度減少は、主鎖切断による C-C 結合の減少によるものと解釈することができます。

図 1(a)の PEEM 像では、潜像コントラストの他に、一見ノイズにも見える規則性のないコントラストも観測されました。しかし、このコントラストは、laser-PEEM の電子光学系の焦点を変えると「ボケる」ことから、試料由来の本質的なコントラストであることが確認されています。このコントラストの起源を調査するために、非露光領域において顕微光電子分光を行なった結果を図 2(a),(b)に示します。光電子エネルギー分布から、この規則性のないコントラストは $E-E_{vac} \sim 0.15$ eV 付近の電子状態で形成されていることがわかります。実際に $E-E_{vac} \sim 0.15$ eV でエネルギーフィルターした PEEM 像(図 2(c))では、100 nm 程度のサイズのコントラストがより強調されました。

一方、Pos.1 と Pos.2 において抽出した光電子エネルギー分布において、ほとんど強度差がない $E-E_{vac} \sim 1.25$ eV でエネルギーフィルターした PEEM 像から興味深い結果が得られました。図 2(d)から、図 2(c)で見られたコントラストよりもさらにサイズの小さなコントラストが存在することがわかります。上述の化学結合の考察を踏まえると、これらの結果は、C-C 結合と、C-Cl 結合は異なる不均一性をもつことを示唆しています。我々の高分解能 laser-PEEM によって、レジストには 2 種類の化学的不均一性が潜んでいることを初めて解明することに成功しました。

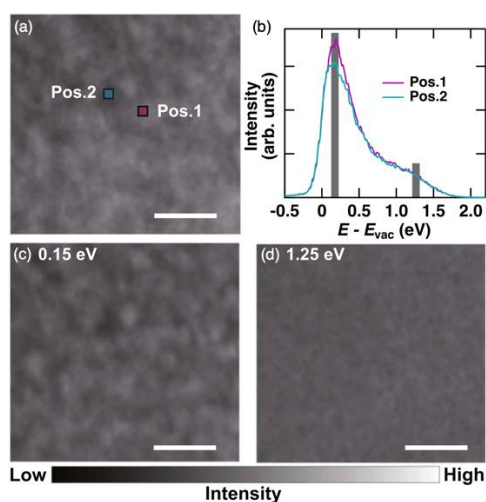


図 2: (a) 非露光領域の全電子収量 PEEM 像。(b) (a)中の Pos.1(マゼンタ) および Pos.2(シアン) で解析した光電子エネルギー分布。(c), (d) それぞれ $E-E_{vac} = 0.15$ eV および 1.25 eV でエネルギーフィルターした PEEM 像。スケールバーは全て 500 nm。

次に、他の顕微手法との測定のスループットを比較します。図 3 に laser-PEEM、AFM、SEM の観察結果と観察時間を示します。それぞれの像は同等の画素数、解像度になるように測定条件を設定して取得しました。

	潜像	現像後パターン
試料断面	露光領域 Si基板	Si基板
Laser-PEEM	像 2 μ m	EBレジスト Si基板
時間	5秒	1秒
AFM	像 103 nm	100 nm
時間	410秒	2050秒
SEM	像なし	像
時間	-	1.64秒

図 3: laser-PEEM、AFM、SEM で観察した潜像および現像後パターンとそれぞれの測定時間。

まずは潜像観察で比較します。レジストに電子線を照射すると膜がシュリンクすることが知られており、AFM は膜厚の減少部分を潜像パターンとして可視化することができます。SEM での潜像観察は、SEM が化学敏感性に乏しいことに加え、SEM 観察そのものが EB 露光になり潜像を消失させるので、ここでは SEM 像を示していません。潜像観察では、laser-PEEM は AFM よりも、すでに 80 倍以上速く観察可能であることがわかります。さらに、技術的に励起光のスポットサイズを径 10 μ m (観察視野のサイズ)、出力を 1 W に設定することが可能なため、laser-PEEM はさらに 30,000 倍のスループットが実現可能です。

次に現像後パターン観察で比較します。laser-PEEM の測定時間は SEM の測定時間と同程度であることがわかります。上述のレーザーの最適化により、laser-PEEM のスループットは SEM のそれよりも 30,000 倍程度高くなるポテンシャルを持つと言えます。SEM は半導体製造における検査装置としてすでに大きな市場を形成している高速検査手法です。SEM のスループットを大きく上回る

今後の課題は2点あり、1点目は検出器系の改良です。今回示したスルーボットの理論値を達成する上でのボトルネックは検出器系(MCP+蛍光スクリーン)です。これにダメージを与えないように、現状では単位時間あたりの光電子強度を抑える必要があり、この検出器系の改良または脱却が必要です。2点目はフォトレジストでの潜像イメージングです。フォトレジストは電子線レジストよりも市場規模が大きく、より重要な材料です。フォトレジストでも電子線レジスト同様、露光部分では化学変化が生じるため、laser-PEEM による潜像イメージングが可能であると考えられます。今後、実証実験を進める予定です。

本研究では、**laser-PEEM** を用いて電子線レジストに描画された潜像の可視化、および他手法とのスループット比較を行いました。**ZEP520A** に形成された **LS** パターンの潜像を可視化することに成功し、潜像を可視化可能な **AFM** よりもはるかに高いスループットで観察できることを示しました。さらに、現像後パターンの観察では、すでに半導体製造で大きな市場を形成している **SEM** よりも **30,000** 倍高いスループットで検査可能であるポテンシャルがあることを示しました。また、潜像の他に、レジストに内在する 2 種類の化学的な不均一性があることを示唆するコントラストを観測することに成功しました。これらの成果は、先端リソグラフィ技術開発を加速するだけでなく、検査工程の高速化やレジスト材料の高解像度化にも貢献するものと期待されます。

- [1] S. Mukesh *et al.*, Electronics **11**, 3589 (2022).
- [2] 例えば J. Torok *et al.*, J. Photopolym. Sci. Technol. **5**, 625 (2013).
- [3] H. Fujiwara *et al.*, Appl. Phys. Express **17**, 086505 (2024).
- [4] T. G. Oyama *et al.*, Appl. Phys. Express **5**, 036501 (2012).

近藤絶縁体における複合フェルミオンの観測

物性研究所・附属国際超強磁場科学研究施設・小濱 芳允、Zhuo Yang (杨 卓)

昨年、グラファイトにおける比熱のダブルピーク構造について物性研だよりに寄稿した[1,2]。グラファイトはランダウ量子化現象により電子状態密度に急峻な微細構造を有し、これが比熱の磁場依存性にダブルピーク構造を引き起こす(図 1a)。この比熱のダブルピーク構造は電子状態密度がフェルミ統計に従う自由電子(フェルミオン)で構成されていることを起源とし、電子状態密度に急峻な微細構造を持つ CeRu_2Si_2 や UCoGe などの金属化合物でも観測される[2]。本研究ではこのような金属ではなく、低温で絶縁体の性質を示す YbB_{12} において比熱のダブルピーク構造を発見した(図 1b[3])。 YbB_{12} は近藤絶縁体と呼ばれる物質であり、自由電子を有さない本物質においてフェルミオンに関連する物性が発現するとは思えない。しかし負の電荷を持つ電子(フェルミオン)がホールの電荷成分(ボソン)と結合し、「電荷中性のエキシトン」という熱は運ぶが電荷を運ばないフェルミオンになるという理論が存在する[4]。この電荷中性の粒子は絶縁体でも存在し、自由電子のようにフェルミ統計に従う物性を示す。このような複数の粒子が結合した複合準粒子は原子核物理学や量子ホール効果などでは基本的な概念であり、近年の物性物理分野ではキメラ準粒子というキーワードにより統一的理解が進んでいる。本研究はこのような未観測粒子を強磁場熱測定で検出した例と考えられ、本稿ではこの詳細を紹介させていただく。

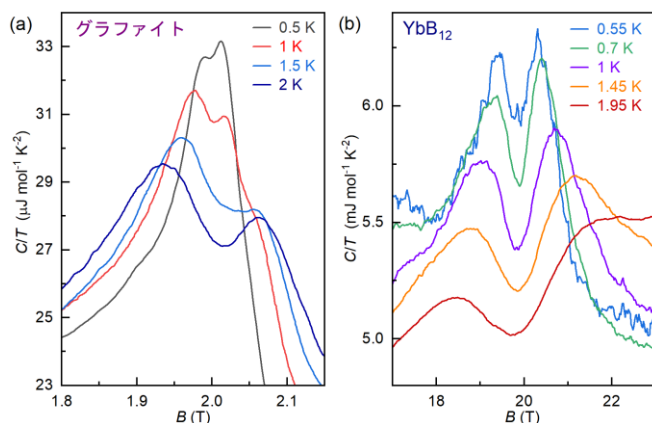


図 1:(a)グラファイトおよび(b) YbB_{12} における比熱の磁場依存性

近藤効果と呼ばれる遍歴電子と局在電子の混成により、低温領域で YbB_{12} は電子バンド構造にギャップを有する絶縁体となる。この温度降下により誘起される YbB_{12} の電子状態は、近年でも特殊な表面状態の観測など様々な研究が進んできた[5,6]。一方で近藤効果を磁場で抑制することで、 YbB_{12} は大きくその性質が変化する(図 2)。

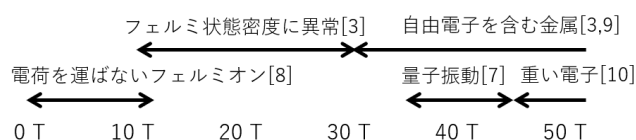


図 2：低温における YbB_{12} の電子状態の磁場変化

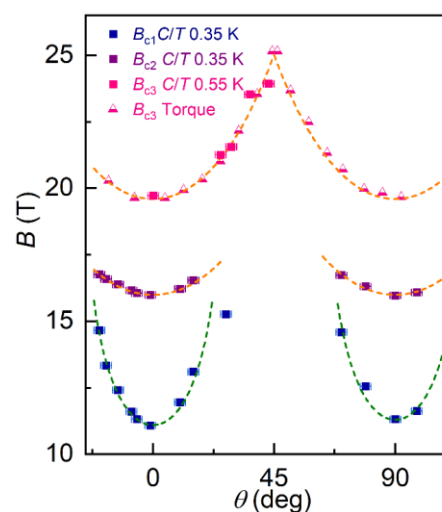
この磁場下挙動が特に注目され始めたのは、絶縁体とされていた 35T 以上の磁場領域で自由電子の特徴である量子振動が観測されたことがきっかけであろう[7]。その後の熱伝導と電気抵抗測定の対比実験により、12T 以下の低磁場領域で熱は運ぶが電荷を運ばないフェルミオンの存在が示唆され[8]、この特殊なフェルミオンが量子振動の起源と考えられた。しかし近年になり 30T 付近でホール効果に異常が観測され(図 3a) [3,9]、さらに 45T 以上の強磁場領域では重い電子状態となることも判っている[10]。このように YbB_{12} の電子構造は大きく磁場変化する。特にホール効果に異常が現れる 30T はリフシッツ転移に対応し、より強磁場では自由電子が存在していると解釈された[9]。この自由電子の存在により、低磁場領域の熱は運ぶが電荷を運ばない特殊なフェルミオンが強磁場領域における量子振動現象の起源と断定できない状況となっていた。

我々は YbB_{12} の強磁場下における電子状態を包括的に調査すべく、CEA-Grenoble の Christophe Marcenat 博士(2024 年 3 月から外国人客員所員として小濱研に 2 か月滞在)、Thierry Klein 教授らと共に超高精度の AC 比熱測定(図 3c)、パルス磁場下の磁気熱量効果(図 3b)、そしてホール効果(図 3a)を測定した。図 1b と図 3c に示すように、比熱測定では複数のダブルピーク構造が $B_{c1} = 11$ 、 $B_{c2} = 16$ 、 $B_{c3} = 19.8$ 、 $B_{c4} = 30$ T で観測された。これらの臨界磁場は磁場印可角度により変化し、図 4 に示されるように

Figure 1 consists of three vertically stacked panels (a, b, c) sharing a common x-axis representing the magnetic field B in Tesla (T), ranging from approximately 5 to 35 T. Panel (a) shows the Hall resistivity ρ_{xy} in $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$ as a function of B at 0.65 K . The data points (brown circles) show a decreasing trend with a slight change in slope around $B \approx 10\text{ T}$ and $B \approx 15\text{ T}$. Panel (b) shows the inverse temperature $1/T$ in K^{-1} as a function of B at 0.7 K . The red curve shows two distinct peaks at $B \approx 19\text{ T}$ and $B \approx 31\text{ T}$. Panel (c) shows the specific heat C/T in $\text{mJ mol}^{-1}\text{ K}^{-2}$ as a function of B at 0.7 K . The blue curve shows several features: a small peak at $B \approx 10\text{ T}$, a dip at $B \approx 15\text{ T}$, a peak at $B \approx 19\text{ T}$, a dip at $B \approx 23\text{ T}$, and a large peak at $B \approx 31\text{ T}$. Vertical lines and arrows indicate magnetic phase boundaries: B_{c1} (red arrow at $B \approx 10\text{ T}$), B_{c2} (purple arrow at $B \approx 15\text{ T}$), B_{c3} (orange arrow at $B \approx 19\text{ T}$), and B_{c4} (green arrow at $B \approx 31\text{ T}$). The text $B \parallel [0\ 0\ 1]$ is located in the bottom right of panel (c).

フェルミ状態密度における急峻な微細構造の物理的起源として、先に紹介した電荷中性のエキシトン(複合フェルミオン)の量子振動が挙げられる[4]。実際に、図3cにあるように比熱異常が磁場印可で大きくなる振る舞いや、60Tを量子極限と考えた時の臨界磁場($60/n$; $n=2-5$)が観測さ

本研究では、強磁場熱測定により特殊なフェルミオンで構成された状態密度の観測に成功した。教科書的な量子振動現象を示すグラファイトと類似する振る舞いが、近藤絶縁体の YbB_{12} で観測できるのは誠に驚きであった。



Government	Percentage of respondents who believe that the current government is doing a good job of handling the COVID-19 crisis
Current government	~15%
Previous government	~45%

YbB₁₂ の物理の全貌解明とはならなかったが、本研究は YbB₁₂ の複雑な磁場応答を観測した論文として、特殊な複合準粒子の理解に貢献していくと考えられる。

謝辞

この成果はグルノーブルの定常強磁場グループ、コーネル大の理論グループ、そして強磁場コラボラトリを通じて東北大・金属材料研究所の定常強磁場グループの助けを借りている。この機会に感謝を申し上げたい。

参考文献

- [1] 小濱芳允 and Zhuo Yang, 物性研だより第 64 巻 第 1 号 2024 年度
- [2] Z. Yang, B. Fauqué, T. Nomura, T. Shitaokoshi, S. Kim, D. Chowdhury, Z. Pribulová, J. Kačmarčík, A. Pourret, G. Knebel, D. Aoki, T. Klein, D. K. Maude, C. Marcenat, and Y. Kohama, *Nat. Commun.* **14**, 7006 (2023). Editor's Highlighted
- [3] Z. Yang, C. Marcenat, S. Kim, S. Imajo, M. Kimata, T. Nomura, A. Muer, D. K. Maude, F. Iga, T. Klein, D. Chowdhury, and Y. Kohama. *Nat. Commun.* **15**, 7801 (2024).
- [4] D. Chowdhury, I. Sodemann, and T. Senthil, *Nat. Commun.* **9**, 1766 (2018).
- [5] M. Okawa, Y. Ishida, M. Takahashi, T. Shimada, F. Iga, T. Takabatake, T. Saitoh, and S. Shin, *Phys. Rev. B* **92**, 161108(R) (2015).
- [6] K. Hagiwara, Y. Ohtsubo, M. Matsunami, S. Ideta, K. Tanaka, H. Miyazaki, J. E. Rault, P. Le Fèvre, F. Bertran, A. Taleb-Ibrahimi, R. Yukawa, M. Kobayashi, K. Horiba, H. Kumigashira, K. Sumida, T. Okuda, F. Iga, and S. Kimura. *Nat. Commun.* **7**, 12690 (2016).
- [7] Z. Xiang, Y. Kasahara, T. Asaba, B. Lawson, C. Tinsman, Lu Chen, K. Sugimoto, S. Kawaguchi, Y. Sato, G. Li, S. Yao, Y. L., F. Iga, John Singleton, Y. Matsuda, and Lu Li, *Science* **362**, 65–69 (2018).
- [8] Y. Sato, Z. Xiang, Y. Kasahara, T. Taniguchi, S. Kasahara, L. Chen, T. Asaba, C. Tinsman, H. Murayama, O. Tanaka, Y. Mizukami, T. Shibauchi, F. Iga, J. Singleton, Lu Li, and Y. Matsuda. *Nat. Phys.* **15**, 954–959 (2019).
- [9] Ziji Xiang, Kuan-Wen Chen, Lu Chen, Tomoya Asaba, Yuki Sato, Nan Zhang, Dechen Zhang, Yuichi Kasahara, Fumitoshi Iga, William A. Coniglio, Yuji Matsuda, John Singleton, and Lu Li, *Phys. Rev. X* **12**, 021050 (2022).
- [10] T. T. Terashima, Y. H. Matsuda, Y. Kohama, A. Ikeda, A. Kondo, K. Kindo and F. Iga, *Phys. Rev. Lett.* **120**, 257206 (2018).
- [11] A. Azarevich, N. Bolotina, O. Khrykina, A. Bogach, E. Zhukova, B. Gorshunov, A. Melentev, Z. Bedran, A. Alyabyeva, and M. Belyanchikov, *Chin. Phys. Lett.* **39**, 127302 (2022).
- [12] R. Kurihara, A. Miyake, M. Tokunaga, A. Ikeda, Y. H. Matsuda, A. Miyata, D. I. Gorbunov, T. Nomura, S. Zherlitsyn, J. Wosnitza, and F. Iga, *Phys. Rev. B* **103**, 115103 (2021).



——中性子散乱実験による交替磁性体の観測——

物性研究所 中性子科学研究施設 Zheyuan Liu, 益田 隆嗣

〈研究の背景〉

磁性体のミクロな構造は、スピンの向きが平行に整列した強磁性体(図 1(a)上図)と、スピンの向きが反平行に整列した反強磁性体(図 1(b)上図)の二つに分類されてきました。ところが最近、第三の磁性体として「**交替磁性体**」が提案されました[1]。「スピン周辺の結晶構造まで含めた対称性により磁性体を分類する」という新しい概念を導入することで現れた新しい磁性体です。反強磁性体の場合、隣接するスピン周辺の結晶構造は同じですが、交替磁性体の場合は図 1(c)上図のように異なります。左下の赤い矢印で示されている上向きスピンの周囲の結晶構造(簡略して灰色のダイヤで表されています)と、左上(もしくは右下)の青い矢印で記されている下向きスピンの周囲の結晶構造は、そのままでは重なりません。90 度回転させることによって初めて重なります。このように、そのままずらしただけでは重ならず、回転させることによって重なるような対称性を持つ結晶構造をもち、かつスピンの向きが反平行に配列している磁性体が、**交替磁性体**として分類されました。

このように新しく分類された交替磁性体では、時間反転対称性が破れており、電子バンド構造のスピンの偏極分裂[2]や磁気ピエゾ効果[3]、X線磁気円二色性[4]など興味深い物理現象が観測されてきました。カイラルマグノンも時間反転対称性の破れにより現れる物理状態の一つであり[5]、マグノンスピン流を運ぶことができる準粒子として興味を集めています。従来、強磁性体のカイラルマグノンが注目されてきましたが、デバイスとして見ると、低周波数(GHz)でしか動作しないという課題があります。また、有限の磁化を持つため、望ましくない漏れ磁場もあります。一方、反強磁性体では、高周波数(THz)での動作が期待されていますが、マグノンのカイラリティが完全に打ち消しあって(図1(b)下図参照)スピン流を運ばないため、デバイスとして動作させることは困難です。これらに対し、交替磁性体は強磁性体と反強磁性体の利点を兼ね備えています。交替磁性体のマグノンは高周波数で大きくカイラル分裂することが理論的に予想されています(図1(c)下図参照)。反強磁性体のようにスピン配列が反平行となっていて磁化が

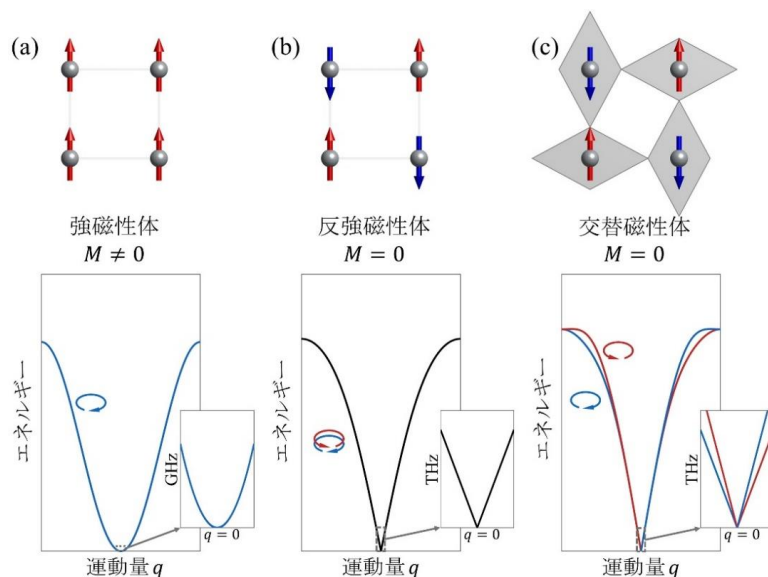


図 1 (a) 強磁性体(第一の磁性体)、(b) 反強磁性体(第二の磁性体)、(c) 交替磁性体(第三の磁性体)におけるスピン構造(上)とマグノンのエネルギーと運動量の関係「分散関係」(下)の概略図。 M は磁化を示します。分散関係に描かれている赤と青の矢印付き回転円は、各々異なるカイラリティを表しています。

ゼロであり、漏れ磁場の心配がないにもかかわらず、磁化が有限の強磁性体のようなカイラルマグノンを有している点で新しいのです。このため、交替磁性体のマグノンを直接観察することは、その物質が交替磁性を有するか否かの判定のためと、デバイス応用の可能性を探るための両方の意味で重要です。交替磁性体の候補物質は数多くありますが、これまでマグノンの観測には成功していませんでした。

〈研究の内容〉

わたしたちは、交替磁性のマグノン分散を観測するために、交替磁性候補物質 **MnTe** の良質な大型単結晶を合成しました。この物質は、磁性が観測されやすい **Mn** イオンを含んでおり、かつ、交替磁性の特徴の一つである電子バンドのスピンの分裂が光電子分光実験で報告されていたため、マグノンのカイラル分裂の観測にも適切であろうと予想しました。さらに研究グループは、大強度陽子加速器施設 **J-PARC** 物質・生命科学実験施設 **MLF** の **HRC** 高分解能チョッパー分光器を用いて非弾性中性子散乱実験を行いました。結晶の評価には研究用原子炉 **JRR-3** の **HODACA** 分光器も用いられました。

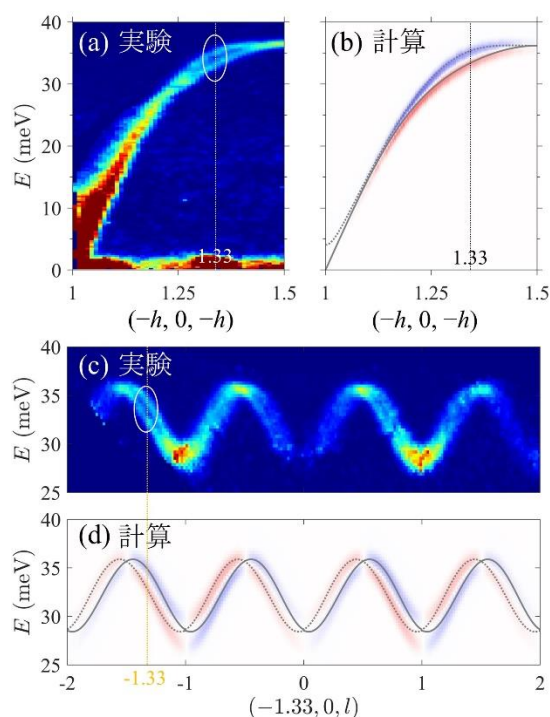


図2 (a)&(c) **MnTe** の中性子スペクトル。それぞれ異なる運動量領域を示していますが、(a)の $h = 1.33$ と(c)の $l = -1.33$ は同じ運動量 $(-1.33, 0, -1.33)$ となっています。この運動量では約 2 meV のマグノン分裂が観測されています。(b)&(d) 計算されたマグノンのカイラリティ。赤色と青色は各々異なるカイラリティを持つマグノンを示しています。灰色の実線および破線は計算されたマグノン分散を示しています。

観測された中性子スペクトルを図 2(a)および(c)に示します[6]。図 2(a)では、 $E = 30 \text{ meV}$ 以上の高エネルギーで、白丸で示されているように約 2 meV のマグノン分裂が観測されました。一方低エネルギーの小さな運動量領域の周りのマグノン分散は、反強磁性体に似て、直線的に立ち上がっています。これらは、交替磁性体の存在を示す重要な証拠です。図 2(c)は、別な運動量領域での高エネルギースペクトルですが、分裂したマグノン分散が運動量軸に沿って交替に伝播している様子が明瞭に観測されました。計算されたマグノン分散を、図 2(b)および(d)で黒い実線と点線で示します。計算は観測された中性子スペクトルを完全に再現しました。さらに、異なるカイラリティを赤色と青色で表すと、低エネルギーでは二つのカイラリティが打ち消しあって無色となっていますが、高エネルギーでは二つのマグノンは異なるカイラリティを有し、青色と赤色が明瞭となっています。図 2(d)ではカイラリティが交替的に変化することが確認されました。これらのことから、観測されたマグノンはマグノンスピンを運ぶカイラルマグノンであることが明らかとなりました。

〈今後の展望〉

交替磁性体は、新しい概念の磁性体です。本研究でカイラルマグノンの存在が実証されたことから、マグノンスピンの生成をもたらすことが明らかとなりました。今後、様々な交替磁性体での研究が進むことで、より高速で効率的な電子デバイスが実現し、我々の日常生活にも大きな変革をもたらすことが期待されます。

- [1] L. Šmejkal, J. Sinova, and T. Jungwirth, *Phys. Rev. X* **12**, 031042 (2023).
- [2] T. Osumi *et al.*, *Phys. Rev. B* **109**, 115102 (2024), J. Krempaský *et al.*, *Nature* **626**, 517 (2024), S. Lee *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **132**, 036702 (2024),
- [3] T. Aoyama *et al.*, *Phys. Rev. Mater.* **8**, L041402 (2024).
- [4] A. Hariki *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **132**, 176701 (2024).
- [5] M. Naka *et al.*, *Nat. Commun.* **10**, 4305 (2019), L. Šmejkal *et al.*, *PRL* **131**, 256703 (2023).
- [6] Z. Liu *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **133**, 156702 (2024).

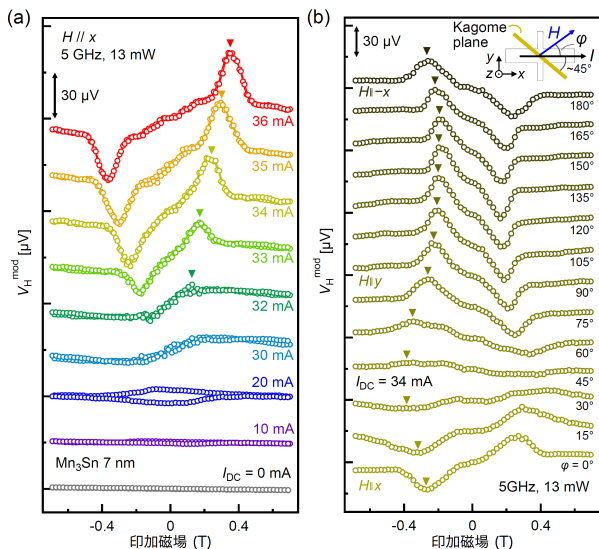


図 2 (a)マイクロ波印加下の DC ホール電圧の DC 電流と印加磁場依存性。(b)磁場角度依存性。

的に偏極した状態(以下、八極子偏極)として解釈される。この八極子偏極は、強磁性体における磁化に相当し、巨視的に時間反転対称性を破るため、強い強磁性的応答を示すことで知られている。近年、我々はカゴメ面が直立した Mn_3Sn を W の上にエピタキシャル成長させる技術を開発し、電気的な八極子偏極の完全反転[3]、トンネル磁気抵抗効果[4]、X 線磁気円二色性[5,6]などを実証してきた。この二層膜では、 W のスピントルク効果を利用してカゴメ面(Easy-plane)に垂直なスピンを注入することができる。すると、前述した機構によって八極子偏極が面内で回転する「カイラルスピン回転」が起こる[7]。そこで、我々はこの二層膜を用いることで、反強磁性体に特有の高周波動作性能と、強磁性体に匹敵する大きな電気応答を組み合わせた「反強磁性スピントルクダイオード効果」の実現が期待できると考えた。これを検証するため、 $\text{W}/\text{Mn}_3\text{Sn}$ の単結晶二層膜を分子線エピタキシー法で作製し、直流電流とマイクロ波電流を同時に印加して、直流の整流ホール電圧を検出する実験を行った(図 1(c)) [8]。

【実験結果の概要】

まず、5 GHz、13 mW のマイクロ波印加下において、直流電流を変えながら磁場を掃引して得られた整流ホール電圧を図 2(a)に示す。直流電流が 30 mA 以下においては、特徴的な構造が見られないのに対し、32 mA 以上ではある磁場でピークが出現することがわかった。この電流値は、八極子偏極の反転およびカイラルスピン回転の閾値電流と一致する。また、このピークは DC 電流を大きくすると高磁場側にシフトしていく特徴的な振る舞いを示す。図 2(b)

は、DC 電流を 34 mA に固定し、印加する磁場の方向を変えながら測定した結果である。図から見て取れるように、カゴメ面の持つ対称性を反映し、ピーク磁場の位置が 2 回対称性を示すことがわかった。これらのことは、観測されたピークが Mn_3Sn の八極子偏極のダイナミクスを反映した整流現象、すなわち「スピントルクダイオード効果」であることを示唆している。さらに、数値計算はこの振る舞いをよく再現し、カイラルスピン回転が磁場によって抑制され、止まりかけた状態においてマイクロ波電流が印加されると、カイラルスピン回転が効率的に変調を受け、整流信号を生むことがわかった。

最後に、当初の目的であった周波数依存性を調べた結果を図 3 に示す。30 GHz まで周波数を変えて実験を行ったところ、整流ホール電圧はほとんど周波数に依存しないことがわかった。数値計算の結果も実験をよく再現している。この振る舞いは強磁性体において、整流信号が周波数に反比例して減少するのとは本質的に異なるものである。

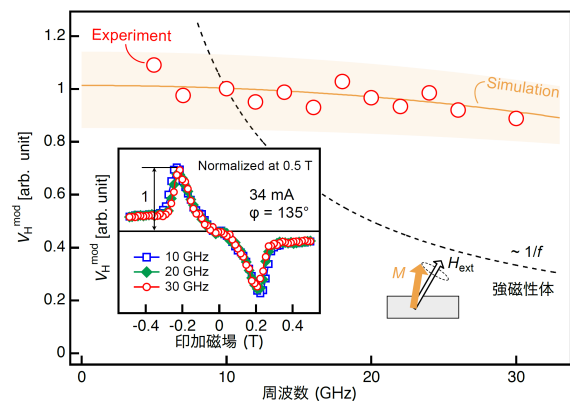


図 3 整流ホール電圧の周波数依存性。強磁性体では典型的には信号が反比例するのとは異なり、30 GHz まで信号が安定している。

【まとめと展望】

本研究では、高周波電流を直流電圧にスピンを介して変換する「スピントルクダイオード効果」を反強磁性体で初めて実証した。特に高周波帯域での安定性は、反強磁性体特有の現象であり、新奇材料であるカイラル反強磁性体のスピントロニクスデバイス応用に期待を与えるものである。

【謝辞】

本研究は、東京大学物性研究所の物質合成・評価施設、電子顕微鏡室、量子物質ナノ構造ラボ、SPRING-8 の BL23SU(2022A1072)を利用して行われました。本研究は、JSPS 科研費 (JP19H05825、JP21H04437、JP22H

00290、22H04964、23H01833、24H02234)、JST-CREST (JPMJCR18T3)、JST-Mirai Program(JPMJMI20A1)、JST-PREST(JPMJPR20L7)、X-NICS(JPJ011438)、JST-ASPIRE(JPMJAP2317)、Spin-RNJ の支援により実施されました。

【参考文献】

- [1] A. A. Tulapurkar *et al.*, Nature **438**, 339-342 (2005).
 - [2] S. Miwa *et al.*, Nat. Mater. **13**, 50-56 (2014).
 - [3] T. Higo *et al.*, Nature **607**, 474-479 (2022).
 - [4] X. Chen *et al.*, Nature **613**, 490-495 (2023).
 - [5] S. Sakamoto *et al.*, Phys. Rev. B **104**, 134431 (2021).
 - [6] S. Sakamoto *et al.*, Phys. Rev. B **110**, L060412 (2024).
 - [7] Y. Takeuchi *et al.*, Nat. Mater. **20**, 1364-1370 (2021).
 - [8] S. Sakamoto *et al.*, Nat. Nanotechnol. (2024).
- <https://doi.org/10.1038/s41565-024-01820-0>

電気が流れる交互積層型電荷移動錯体の実現 —常識を覆す、大量合成可能な新種の有機伝導体材料—

物性研究所・凝縮系物性研究部門 藤野 智子・森 初果

研究の背景

有機伝導体の材料研究は、単結晶による構造－物性相関研究によって豊富な知見が蓄積されてきたにも関わらず、いまだ基礎研究の段階にありデバイス研究との間に隔たりがある。有機伝導体単結晶が溶液加工性に乏しく、また大量合成に不向きであったためである。こうした隔たりを繋ぎうる次世代材料として、電子の豊富なドナー分子と電子の不足したアクセプター分子とで形成される電荷移動錯体への期待が高まっている。電荷移動錯体は、ドナーとアクセプターが交互に積層した「交互積層型」とドナーとアクセプターが分離して積層した「分離積層型」に分類される。分離積層型錯体においては、金属状態を含む高い伝導性を示す錯体が見つかったが、比較的合成しやすい交互積層型電荷移動錯体は、一般的に電気が流れにくいと考えられていた。こうした伝導性の低さは、ドナーからアクセプターへ移動する電子の量を示す電荷移動量 δ が、0～0.4の中性領域、もしくは $\delta > 0.75$ のイオン性領域にあることで、電荷輸送に携わる実効的なキャリアが少ないことに由来する(図 1b)。中性－イオン性の境界領域にある電荷移動錯体を合成すれば電気がよく流れるのではないかと期待されてきたものの、そうした錯体は数十年にわたって実現されずにいた。

研究の内容と成果

森研究室では、電子の豊富なドナー分子としてドーブ型ポリ(3,4-エチレンジオキシチオフェン)(PEDOT)のオリゴマーモデルを近年開発している(論文 1–6)。最短の2量体ドナー(図 1a 中 **2O**)およびその酸素/硫黄原子置換体(図 1a 中 **2S**)が、電子不足なアクセプターであるフッ素置換テトラシアノキノジメタン類(図 1a 中 **F₄** と **F₂**)に対して、中性－イオン性の境界領域の錯体を構築するのに理想的な電子構造をもっていることに気がついた。こうした境界領域を実現するには、ドナーの最高占有分子軌道(HOMO)とアクセプターの最低非占有分子軌道(LUMO)の間での小さなエネルギー差をもつことが必須であると予想されてきており、**2O/2S** ドナーと **F₄/F₂** アクセプターの組み合わせは、そうした条件をよく満たす(図 2b 左)。さらに電荷移動後の分子軌道形態の対称性もよく一致しており(図 2b 右)、両軌道が強く混成した良導性のキャリアの伝導経路の実現が期待された(図 1c)。

ドナー**2O** および新規合成した **2S** と、アクセプター**F₄** および **F₂** とを有機溶媒中でそれぞれ混合し、数日かけて濃縮したところ、4 種の針状の電荷移動錯体単結晶が得られた。X線単結晶構造解析から、いずれの錯体もドナーとアクセプターが交互に等間隔で積層した一次元構造を示した。

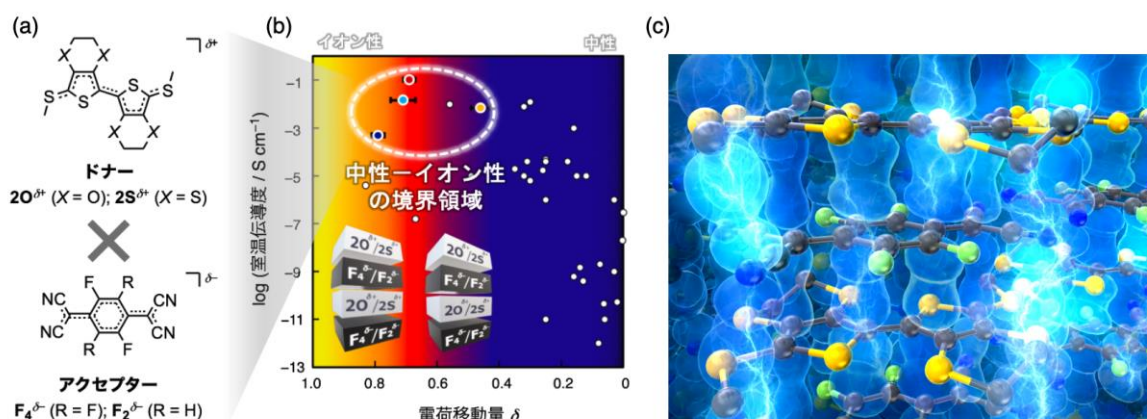


図 1 : (a) 本研究で開発した錯体の構造。(b) 1 次元交互積層型電荷移動錯体の単結晶の示す電荷移動量と室温伝導度。(c) 高伝導性錯体の模式図。ドナーとアクセプターの軌道混成の形成によって、これまで電気がほとんど流れないとされてきた交互積層型電荷移動錯体の高伝導化に成功 (サイエンスグラフィックス(株))。

本研究成果は、亀山亮平博士、小野塚洸太博士、松尾一輝氏、出倉駿特任助教(研究当時)、吉見一慶氏、分子科学研究所の中村 敏和チームリーダー、東京大学新領域創成科学研究科の宮本辰也助教(研究当時)、郭紫荊氏、岡本博教授、鬼頭俊介助教、有馬孝尚教授、リガク株式会社佐藤寛泰氏、岡山理科大学の山本薫教授、名古屋工業大学の高橋聡教授、名古屋大学の澤博教授、高輝度光科学研究センターの中村唯我研究員との共同研究によるものである。本研究は、JST 戦略的創造研究推進事業さきがけ「物質探索空間の拡大による未来材料の創製」(研究総括：陰山洋、研究者：藤野智子、課題番号：JPMJPR22Q8)、JSPS 科学研究費助成事業(研究代表者：藤野智子、課題番号 JP21K05018；研究代表者：森初果、課題番号：JP18H05225/JP21K18597/JP22H00106；研究代表者：岡本博、課題番号:JP21H04988；研究代表者：出倉駿、課題番号:JP20K15240；研究代表者：吉見一慶、課題番号:JP22K03526/21H01041)、MEXT 科学研究費助成事業新学術領域研究：「水圏機能材料：環境に調和・応答するマテリアル構築学の創成」(研究代表者：藤野智子、課題番号：JP20H05206/JP22H04523)、「ハイドロジェノミクス」(研究代表者：森初果、課題番号：JP18H05516：A03-2)、MEXT「マテリアル先端リサーチインフラ」事業(課題番号：JPMX1222MS1002)、公益財団法人 内藤記念科学記念財団(研究代表者：藤野智子)、池谷科学技術振興財団研究助成(研究代表者：藤野智子)、花王芸術・科学財団(研究代表者：藤野智子)、野口遵研究助成金(研究代表者：出倉駿)の支援により実施されました。なお、本研究は出光興産(株)との共同研究により行われました。

Fujino, T.*; Kameyama, R.; Onozuka, K.; Matsuo, K.; Dekura, S.; Miyamoto, T.; Guo, Z.; Okamoto, H.; Nakamura, T.; Yoshimi, K.; Kitou, S.; Arima, T.; Sato, H.; Yamamoto, K.; Takahashi, A.; Sawa, H.; Nakamura, Y.; Mori, H.* "Orbital hybridization of donor and acceptor to enhance the conductivity of mixed-stack complexes" *Nature Communications*, **2024**, *15*, 3028.

(1) Kameyama, R.; Fujino, T.*; Dekura, S.; Kawamura, M.; Ozaki, T.; Mori, H.* *Chem. Eur. J.* **2021**, *27*, 6696.

(2) Kameyama, R.; Fujino, T.*; Dekura, S.; Mori, H.*

- Phys. Chem. Chem. Phys.* **2022**, *24*, 9130.
- (3) Kameyama, R.; Fujino, T.*; Dekura, S.; Imajo, S.; Miyamoto, T.; Okamoto, H.; Mori, H.* *J. Mater. Chem. C* **2022**, *10*, 7543.
- (4) Onozuka, K.; Fujino, T.*; Kameyama, R.; Dekura, S.; Yoshimi, K.; Nakamura, T.; Miyamoto, T.; Yamakawa, T.; Okamoto, H.; Sato, H.; Ozaki, T.; Mori, H.* *J. Am. Chem. Soc.* **2023**, *145*, 15152.
- (5) Fujino, T.*; Kameyama, R.; Onozuka, K.; Kazuki, M.; Dekura, S.; Yoshimi, K.; Mori, H.* *Faraday Discuss.* **2024**, *250*, 348.
- (6) Onozuka, K.; Fujino, T.*; Miyamoto, T.; Yamakawa, T.; Okamoto, H.; Akiba, H.; Yamamuro, O.; Kayahara, E.; Yamago, S.; Oike, H.; Mori, H.* *J. Mater. Chem. C* **2024**, *12*, 13956.

2024 IU

機能物性研究グループ 准教授 井上 圭一

この度、2024 IUPB Finsen Lecture Award を受賞いたしましたので、ここにご報告いたします。この賞は、光科学分野において、画期的な成果または同様の業績を達成した有望な研究者に授与されるもので、国際光生物学協会 (International Union of Photobiology) の Executive Committee の審査によって選出され、5年ごとに開催される International Congresses on Photobiology にて授賞式が執り行われます。

今回の受賞理由となった研究の主な対象であるロドプシンは、レチナール色素を発色団とする、細菌から動物まで幅広い生物が持つ、光受容型の膜タンパク質です。私たちは、光を吸収したロドプシンが、どの様に多様な生理機能を生み出すのか、物理化学、構造生物学、電気生理学、生物情報学、理論科学など、異なる学問領域の手法を融合させた研究を多様な分子に対して行うことで、それらのメカニズムを詳細に明らかにしてきました。一方で、近年のゲノム・メタゲノム解析技術の進展に伴って、多様な生物のゲノム上に無数に存在することが明らかとなってきたロドプシン遺伝子の中から、特に新奇な配列を持つものに着目することで、外向きナトリウムポンプ型ロドプシンや内向きプロトンポンプ型ロドプシン、カロテノイド結合型ロドプシン、イオンチャネル制御型ロドプシン、さらには第3のロドプシンファミリーであるヘリオロドプシンなど、新しい機能や物性を持つロドプシンを多数発見しました。加えて、機械学習などの先端技術を取り入れながら、これら自然界のロドプシンのアミノ酸配列を改変することで、オプトジェネティクス(光遺伝学)における神経操作や視覚再生医療などで、高い有用性が期待される、新機能を持つ分子やより機能性が向上した分子の開発にも成功しています。その他にも、本賞について国際光生物学協会への推薦を執り行っていたいただいた日本光生物学協会(Photobiology Association of Japan, PAJ)への長年の貢献などが認められ、今回の受賞に至りました。本受賞は日本人としては32年ぶり、2例目のものとなります。

そして、2024年8月27日にオーストラリア・パースで開催された18th International Congresses on Photobiologyにおいて、授賞式と共に貴重な講演の時間を設けていただ

き、多数の参加者の方々に、これまでの私たちの研究を紹介する機会を与えていただきました。また講演後は多くの方から質問や議論をいただき、とても素晴らしい経験をさせていただきました。

今回の受賞に至る数多くのロドプシン研究は、私一人では到底達成し得るものではなく、これまで指導教官や上長としてご指導・ご鞭撻をいただいた先生方、研究室のメンバー、数多くの共同研究者の皆様、推薦をいただいた日本光生物学協会、ならびに本賞に選出いただいた国際光生物学協会 **Executive Committee Member** の皆様に、この場を借りて深く御礼申し上げます。またこれを励みに、今後引き続き物性研から、より新たな光生物学研究を発信していきたいと考えています。



先進外科治療学術集会における東京大学物性研究所の施設表彰を受けて：先進外科治療における基礎工学成果を背景としての日本製品の復権を目指して

極限コヒーレント光科学研究センター 原田研究室大平開発ユニット ユニット長 大平 猛

日本の外科医学会は現在、新しい先進医療に向けてのシーズの創出に苦しんでいる。日本初のロボティクス技術は存在するものの、全外科関連医療にて開発された治療機器や創薬においても、かつて世界ランキング 10 位以内に名を連ねていた日本企業はランク外となり、世界に先駆けて手先が器用な日本医師の技術を背景に首位を独走し全世界市場の 80%を維持していた内視鏡機器でさえ、世界の追撃を許す状況になっている。原因として日本が創出した工学基礎技術・工学素材およびユニークな制御技術が実臨床を含む社会実装に繋がらず、結果として、医療業績による営業利益が国内にて還流せず海外に流出する結果となり、それに伴い国内開発資金も枯渇するという負のスパイラルに没入する状態となったと考えている。海外製品の国内流入は、日々様々な病院や大学診療の現場にて実感していたが、私たち研究開発の人間がより具体的な形で強い危機感を抱くようになったのは、各外科領域を代表する学会において最新テクノロジーとその応用の学会発表・論文化の新規創出シーズが先細り、学会運営が立ち行かなくなるという現状に直面したからに他ならない。そこで、治療方法の基礎となる新素材を創出し得る部門として、日本が病んでいる医療分野においてその能力を最大限に発揮することで、新規医療材料およびその応用機器と新規制御システムと新規治療法の活動を東京大学物性研から始めようとしての多種多様シーズ成果を先端低侵襲外科治療学術集会における学会報告に集中させ、その可能性を試す事を思い立った。新システム構築には東京大学が保有するスーパーコンピューター・量子コンピューターによる異次元の巨大制御システムの構築も国策の流れに自然に乘る形での模索するに至った。まず国内で上記のニーズに合致した学術集会として従来の広大な傷を伴う開胸・開腹・開心術と対象となる小切開・少ポート数の低侵襲・美容ニーズをも満たす先進外科集会として Reduced Port Surgery meeting に上記目的に合致する内容・ボリュームにて演題を設定し、東京大学物性研として施設提案する事とした。演題として提出する分野は 3 領域とし、1：傷病者に対し病態に積極的に関与するエネルギーデバイス用素材開発、2：傷病者の病態に配慮し同じ結果を低侵襲で達成するための防御因子素材開発、

3：最後に 1・2 で創造される新機器・新治療をシステムとして統合し機能するユニットを完成させるための制御技術と世界最高水準のデータ処理システムの構築である。

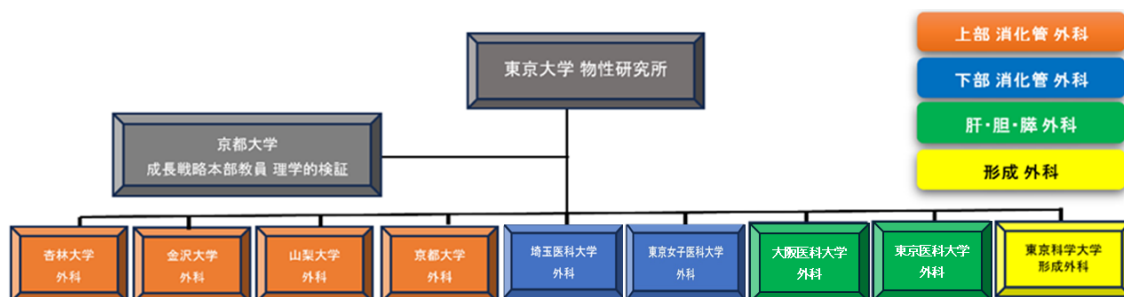
3 領域の具体的な例として、エネルギーデバイスではレーザー・超音波・高周波を中心としたパワーデバイスと、その制御回路・保護システムが挙げられる。保護システムとしては、手術に使う素材機器の金属製あるいはポリマー製の特性、さらに切開線上に使う水の物性や、水中に特殊なナノサイズのカスを内包したマイクロバブル、ナノバブルに帯電性を付加する「帯電性マイクロナノバブル技術」を用いる手術手法を前臨床試験まで進め演題とする事が候補として挙がった。また、機器のコーティングやメッキなどに間接的に特殊物性を与えるマイクロナノバブルを使用して、表面インピーダンスをランダムに変化させることで、新たな半導体的特性を引き出し、悪性細胞の焼灼や出血を伴う部位の凝固性能を評価するというテーマを立案し前臨床試験を行う事も学術発表候補として選定した。

さらに、Reduced Port Surgery において東京大学物性研究所が新たに提案した新素材や、その新素材を使ったプロテクター、あるいは特殊なエネルギー投射能力を有するデバイスの機能評価や手術手法の技術的成熟度を客観的に評価するため、外科治療機器の座標をデジタルトラッキングするシステムデータ、使用する外科医の脳波データ、手術中の臓器挙動トラッキングデータ、および外科医の体内からの分泌物(具体的には唾液内のストレスホルモン)を四次元的に解析し、Artificial Intelligence (AI) にて一定の傾向を見出し演題内容とした。データ処理システムには外科医療への東京大学の持つ量子コンピューター技術活用も模索した。新たな物性や新素材による効果を有する手術や洗浄用手技、それらの有用性を従来の統計手法と最新の統合的統計解析手法で客観的に評価し、画像生成型 AI で描画することにより、外科経営学会などで提示できる演題としてまとめた事も今回の受賞に貢献する事となった。

これまでに記載してきた内容を 1 つ 1 つ演題化していくと、気付けば 10 演題ほどになっており、それぞれ一見ま

本取り組みに立ち止まるという状況は許されず、次なる他分野外科領域・日本国内多施設への東京大学物性研究所からの発信新シーズとして、新規開発物性を有する素材由来の帯電性微細気泡に焦点を当て、多施設間共通試験の提案を東京大学物性研究所が行い、ハードルが高いとして国内医療機器メーカーが尻込みする厚生労働省の薬機法を他分野で通過させる事を新規目的として設定する事が出来た。上記計画を実行性あるプロジェクトとするインフラとして下図に示す多施設連携体制を構築する事が出来た。東京大学物性研究所がエネルギーデバイス、保護デバイス、制御

新シーズである帯電性マイクロナノバブル水技術を含む先端細径ロボットユニットに対して、東京大学が保有する高度コンピューティング技術、量子コンピューター利用を視野に入れ、新チームの構築中である。私は消化器一般外科の専門医として活動しながらも活動の場を、形成外科領域、婦人科領域、内科の免疫アレルギー領域へと学会活動を広げている。今年度からは未知の領域に、最新の有機物・無機物融合の新素材を投入し、不可能と考えられてきた再生医療および新物性機器と生体組織の統合ユニットを、東京大学が保有する最先端のスーパーコンピューターや量子コンピューターを駆使して制御することで社会実装し、日本全体の多くの医学学会を活性化すべく取り組んでいきたいと考えている。



Year	Percentage
2020	~75%
2021	~70%
2022	~65%
2023	~60%
2024	~55%
2025	~50%
2026	~45%
2027	~40%
2028	~35%
2029	~30%
2030	~25%
2031	~20%
2032	~15%
2033	~10%
2034	~5%
2035	~5%
2036	~5%
2037	~5%
2038	~5%
2039	~5%
2040	~5%
2041	~5%
2042	~5%
2043	~5%
2044	~5%
2045	~5%
2046	~5%
2047	~5%
2048	~5%
2049	~5%
2050	~5%

Werner Meyer-Ilse Memorial Awardを受賞して

極限コヒーレント光科学研究センター 原田研究室
特任助教 島村 勇徳

2024 年 8 月 12 日から 16 日にかけて、スウェーデンの
ルンド大学で 16th International Conference on X-Ray
Microscopy (XRM2024)が開催されました。本学会にて、
Werner Meyer-Ilse Memorial Award(以下 WMI 賞)を受
賞しました。本賞の対象は、以下 3 つの条件を満たす者です。
即ち、①X 線顕微鏡の技術・応用において飛躍的な成果をあ
げ、②隔年開催される XRM 学会で口頭発表を行い、③博士
号取得見込みあるいは取得後 2 年以内の研究者、です。

WMI 賞は、1999 年に逝去された Werner Meyer-Ilse
博士に端を発します。当時 XRM'99 のプログラム委員長で
あり、米国の Lawrence Berkely National Laboratory で
の X-ray microscopy program (X 線顕微鏡が複数関わる研
究ユニット)のリーダーだった博士は、会議が始まる数日
前に交通事故で亡くなりました [1]。博士の功績を称え、
1999 年に WMI 賞が創設され、以来、2024 年で 12 回目
の授与となります。これまで 17 名が受賞し、うち日本人
は 1 名でした。歴代の受賞者は、X 線顕微鏡を扱う身とし
て馴染みがある方々ばかりです。図 1 に示すメダルには、
博士の似顔絵が刻まれています。その顔は、これら先人の
ように受賞後に活躍できるかと優しく問われているよう
で、より一層、身が引き締まる思いです。

今回評価いただいた研究は、「色収差のない軟 X 線
プローブと超小形 Kirkpatrick-Baez ミラーに関する研究」
です。本研究では、光学設計と作製手法の観点から新たな
X 線集光素子を開発し、神経細胞中の元素量と濃度の分析
に応用しました [2]。X 線顕微鏡の技術開発・応用研究の
双方を組合せた例はあまりなく、候補者の中でも異色だ
ったと感じます。

軟 X 線は、生体物質を構成する軽元素・軽金属の電子と
相互作用し、原子・分子に関わる電子の情報を可視化でき
ます。電子情報を局所的に解析するには、軟 X 線を微細な
点に集め、その近傍で試料をスキャンします。この集光点
はプローブと呼ばれ、大きさは回折限界値まで小さくでき
ます。しかし、回折限界値に迫る微細さをプローブ強度と
共に実現することは、困難でした。

本研究では、軟 X 線集光ミラーを新たに開発しました。

集光ミラーは全反射現象を用いて入射 X 線を集めるため、
プローブ位置が波長に依存しません。集光効率が良く、プ
ローブ強度を高くできます。しかし、回折限界となる微細
な集光プローブを形成するには、ミラー表面をナノスケ
ールで滑らかに作製しつつ、急峻な反射面(曲率半径で
0.16 m 程度)も実現する必要があります。スケールが異な
る厳しい作製精度が満たせず、軟 X 線集光ミラーによる回
折限界集光は極めて困難でした。そこで、厳しい作製精度
ながらも、集光性能自体は作製誤差にロバストな設計を提
案し、ミラー長と焦点距離を最小 2 mm とコンパクトにし
ました。光子エネルギー 0.3 から 2 keV の軟 X 線域でその
集光性能を評価し、軟 X 線の回折限界集光を実現しました。
形成された集光プローブを用いて、従来強度が不足して困
難だった軟 X 線蛍光顕微観察をナノスケールで行い、化学
固定された神経細胞中の元素分布を濃度・量の点で可視化
しました。特に軽元素で構成される試料の厚みや元素濃度
は、唯一、提案手法でのみ分析できます。これらの成果は、
超伝導・新型トランジスタ等の先端材料やデバイスの評価に
も応用できると考えており、更なる発展を目指しています。

物性研構成員含む共同研究者の方々のご協力無しでは、
このような分野横断的な研究は実現できませんでした。ま
た、会議参加に当たり、丸文財団より助成を受けました。
ここに記してお礼申し上げます。



図 1 贈賞された、Meyer-Ilse 博士の肖像入メダル

[1] Synchrotron Radiat. News, 12, 42 (1999).

[2] T. Shimamura *et al.* Nat. Commun. 15, 665 (2024).

極限コヒーレント光科学研究センター 松永研究室 博士課程1年 白井 亜美



分子科学会優秀ポスター賞を受賞して

凝縮系物性研究部門 森研究室 修士2年 永盛 寛之

去る2024年9月に京都大学にて開催された第18回分子科学討論会にてポスター発表を行い、分子科学会優秀ポスター賞を受賞する栄誉に与りました。受賞対象となった発表は、森研究室でかねてより研究されてきたEDOT系オリゴマー伝導体の電子構造をSeebeck効果により調べたというものです。以下でこの内容をご紹介させていただきます。

物質に印加した温度勾配の大きさに比例して起電力が生じる現象であるSeebeck効果では、その物質の電子構造を反映した熱起電力が生じることが知られています。このためHall効果測定と相補的に、伝導キャリアの情報を引き出す測定手法としても有用です。また通常であれば散逸してしまう熱エネルギーを直接的に電気エネルギーに変換できることから、Seebeck効果はエネルギーハーヴェスティングの文脈で注目を集めてきました。しかし一般に電気伝導度とSeebeck係数は原理的にトレードオフの関係にあり、優れた熱電変換材料の物質設計は難しいとされてきました。その中で最も実社会での応用が検討されてきた導電性高分子の1つとして知られるPEDOT:PSS[poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(4-stylenesulfonate)][1]は、本来トレードオフであるはずの高い電気伝導度と顕著な熱電特性の両者を有していますが、その起源は明らかとなっていないませんでした。これは高分子系特有の分子量分散、つまり鎖長の揃ったポリマーを取り出して単結晶を得ることが困難であったことが背景にあります。そこで森研究室ではこれまで6量体から18量体の分散があるPEDOTの単量体を有機合成のパワー(!)で二量体、三量体、四量体...と1つずつEDOT系オリゴマー伝導体として合成していき、それぞれの鎖長で電荷移動塩として結晶を得ることによりPEDOT系における特異な物性の起源を電気特性を中心に明らかにしてきました[2-6]。これまで森研究室で積み重ねられた研究成果によりEDOT系オリゴマー伝導体の電気伝導度は、モット絶縁体状態から室温付近での金属状態にまで飛躍的に向上してきており、ついにPEDOT:PSSが有する物性の起源に迫る準備が整ってきました。というのも電気伝導度と熱電特性の両者が優れた系にアプローチする上で、電気伝導度が高いことは前提条件

となるからです。

以上の背景を踏まえて、弊所の金道研究室で特任助教をされている今城 周作博士との共同研究で、私はEDOT系オリゴマー伝導体におけるSeebeck係数の温度依存性を測定しました。ここでは今回のポスター発表で中心となった3量体塩[5]と4量体塩[6]における成果について述べさせていただきます。まず3量体塩についてですが、本物質は室温で高い伝導度を示しており、活性化エネルギーの小さな半導体的な電気特性が報告されています。この3量体塩においてSeebeck係数が広い温度範囲で正の値で得られました。一方で4量体に関しては室温以上で金属的、そしてそれ以下で半導体的な挙動を示すことが報告されています。この4量体塩では全温度領域でSeebeck係数が正の値で得られました。単純な1次元バンドから考えると、オリゴマー伝導体はその組成から3量体、4量体の塩とも負の値であることが予想されます。しかし結晶構造を調べると、3量体塩では分子が2量化して1次元的に積層しており、バンドは上部バンドと下部バンドに分かれ、下部バンドのフェルミエネルギー付近でのバンド分散を反映して、正のSeebeck係数が得られていると考えられます。その一方で4量体塩については、結晶構造解析より分子積層方向の2量化は見られず、分子内分極により半導体化していることが明らかとなっており、その効果を反映したSeebeck係数を考える必要があります。

そして最後に室温におけるEDOT系オリゴマー伝導体の熱電特性を検討したところ、3量体塩においてPEDOT:PSSと遜色ないSeebeck係数が得られており、熱電変換材料の最大出力の指標であるパワーファクターは有機系材料としてトップクラスの値となっていることが明らかになりました。このパワーファクターの値に関してPEDOT:PSSと比較してみると値にして1桁ほどの開きがありましたが、これは電気伝導度で差が開いているためだと考えられます。今後はEDOT系オリゴマー伝導体に対してバンドフィリング変調を行って系統的に熱電特性を探索することにより、PEDOT:PSSが有する物性の起源に迫れればと考えています。

The 10th International Symposium on Surface Science(ISSS-10)におけるStudent PrizeおよびNIMS-award symposiumにおけるBest Poster Awardを受賞して

ナノスケール物性研究部門 長谷川研究室 修士課程2年 岡崎 淳哉

この度、2024年10月に北九州市にて開催された The 10th International Symposium on Surface Science(ISSS-10)の Student Prize、及び同年11月につくば市にて開催された NIMS-award symposium の Best Poster Award を受賞させていただきました。それぞれの国際会議、シンポジウムにて優れたポスター発表を行った学生/若手研究者に授与される賞です。

受賞対象となった研究は「Structures and surface conductivity on dense Pb monolayer formed on Si(111) studied by low temperature scanning tunneling microscopy/potentiometry(低温走査トンネル分光/ポテンシオメトリによるSi(111)上の高密度Pb単原子層での構造と電気伝導評価)」です。

近年、単原子層からなる2次元超伝導体が盛んに研究されていますが、2次元超伝導体では、乱れがその物性に大きな影響を与えることが知られており、単原子層の場合には基板表面の原子ステップが乱れとして働きます[1]。しかし、個々のステップによる乱れを電気伝導の観点から評価した研究は、測定の難しさ故にほとんど行われていませんでした。そこで我々は、低温走査トンネルポテンシオメトリ(LT-STP)を用いて表面電気伝導を測定することで単原子ステップの抵抗を測定し、超伝導特性との関連を評価することに成功しました。

走査トンネルポテンシオメトリとはSTMをもとにした測定手法[2]で、試料表面に電流を流した状態で、表面構造とそれに対応する電位分布像をナノスケールの空間分解能と μV レベルの電位分解能で得られる手法です。これにより試料表面の局所的な電気抵抗を電位変化として評価することが可能となります。

我々はSi(111)基板上のいくつかのPb再構成表面でLT-STP測定を行いました。Pb/Si(111)はPbの被覆量に依存して多様な再構成表面を示し、それらの中には2次元超伝導を示すものも報告されています。STMによるステップ近傍での渦糸の振る舞いから、単原子ステップが乱れとして超伝導に与える影響は表面構造に依存することが報告されています[3]。本研究では、 $\sqrt{3}\times\sqrt{7}$ 表面(被覆量: 1.2 monolayer (ML))とstriped incommensurate (SIC) 表面(被覆量: $4/3$ ML)についてLT-STP測定を行いました。

これらの系は2次元超伝導を示し、渦糸の振る舞いから、ステップによる表面電子状態の分断強度が $\sqrt{3}\times\sqrt{7}$ 表面では強く、SIC表面では弱いと考えられています。これはステップが、 $\sqrt{3}\times\sqrt{7}$ 表面では大きな抵抗として、SIC表面では小さな抵抗として働くことを示唆するものです。

LT-STP測定の結果、 $\sqrt{3}\times\sqrt{7}$ 表面ではステップでの電位の段差が観測され、その解析から1本のステップの抵抗は $160\pm 70\text{ nm}$ のテラスの抵抗に相当することが判明しました。一方では、SIC表面ではステップの抵抗は計測誤差以下で極めて小さいことを初めて明らかにしました。これは、先行研究での渦糸研究から示唆される傾向と一致しています。さらに本研究は、ステップによる電子状態の分断強度を電気抵抗という形で定量的に評価することに成功しました。現在は同じくPb再構成表面である $\sqrt{3}\times\sqrt{43}$ 表面についてLT-STP測定を進めており、今後は磁場印加下での測定や磁性探針を組み合わせることでSTP法を発展させていく計画です。

本研究は日頃よりご指導いただいている長谷川幸雄教授、土師将裕助教、浜田雅之技術専門職員をはじめとする、本研究にご協力頂いた皆様のおかげで実現できました。この場をお借りして、心より感謝申し上げます。



参考文献

- [1] Y. Sato *et al.*, Phys. Rev. Lett. **130**, 106002 (2023).
- [2] M. Hamada and Y. Hasegawa, Phys. Rev. B **99**, 125402 (2019).
- [3] S. Yoshizawa *et al.*, Phys. Rev. Lett. **113**, 247004 (2014).

日本物理

極限コヒーレント光科学研究センター 松永研究室 修士1年 愛敬 公太

この度、2024 年 9 月に北海道大学で開催された日本物理学会秋季大会にてポスター発表を行い、学生優秀発表賞(領域 5)を受賞する栄誉に与りました。多くの方々のご協力のもと、このような賞をいただき大変光栄に思います。

対象となった発表は「Yb:KGW フェムト秒レーザーによる第二および第三高調波発生の最適化と分散の影響」です。近年、高強度超短パルスレーザーを用いた超高速分光実験が様々な物質に対して行われ、大きな成功を収めています。そのような実験において、光電場の強度に強く依存する新奇な非線形現象を引き起こしたり、物質中における微小な応答を精度よく捉えたりするためには、光パルスの強度だけでなくその安定性も非常に重要となります。そのため、最近では高い強度と優れた安定性を備えた Yb:KGW ベースの近赤外超短パルスレーザー（中心波長 1030 nm）が注目されています。この光源を活用して幅広い物質における光応答の測定を行うためには、その強度と安定性を保つような波長変換が必要です。しかし、とくに高強度レーザーの波長変換においては、過程の非線形性によって生じるパルス強度の不安定化や、後方変換（目的とする波長変換の逆過程）による変換効率の低下が課題となることが知られていました。

そこで本研究では、Yb:KGW フェムト秒レーザーからの第二高調波(可視光)および第三高調波(紫外光)の発生に着目し、基本波パルスのもつチャープと非線形光学結晶の位相整合条件を高精度に制御して、実験とシミュレーションによって波長変換の振る舞いを調べました。その結果、波長変換の進行に理想的な状況に近い場合ですら、高強度域においては後方変換を引き起こすような種々の効果が現れることが示唆されました。また理論計算から、2つの制御パラメータの後方変換に対する効果はともに光電場間の相対位相を通して理解できることもわかりました。これを受けて、チャープと位相不整合を適切に組み合わせることにより、多段階波長変換の効率向上と波長変換パルスの安定化が可能であることを提案しました。実験においても第三高調波の発生効率の向上や基本波以上の安定性をもつ高調波パルスの発生に成功し、高強度域で不可避である後方変換を上手く利用すれば波長変換を改善できることを実証

しました。本研究で得られた知見は高強度レーザーの波長変換において広く応用可能であると期待され、光誘起物性の高精度測定をさまざまな物質で行ううえで重要なものと考えられます。私自身、得られた高強度・高安定な紫外パルスを用いた物性の精密分光測定を早速進めています。

本研究のテーマとなった波長変換は、過去に詳細な研究が行われてきた分野でもあります。近年普及したYb:KGW レーザーを用いることでパルス安定性という視点を加え、また変換効率が非自明な振る舞いを示す高強度域を調べたことが新たな発見につながりました。この場をお借りしまして、本研究で大変お世話になった室谷悠太助教、藤本知宏氏、そして松永隆佑先生に深く感謝申し上げます。



凝縮系科学賞を受賞して

凝縮系物性研究部門 井手上 敏也

この度、第 19 回凝縮系科学賞を受賞致しました。本賞は、凝縮系科学に従事する若手研究者を奨励することを願い、秋光純先生と福山秀敏先生が私費を投じて 2006 年に創設された賞です。今回の受賞は文献[1]～[3]を始めとした研究成果が評価されたものです。授賞式は 11 月 26 日に神戸大学で行われた第 18 回物性科学領域横断研究会(領域合同研究会)において行われました。この場を借りて、共同研究者である岩佐義宏氏、十倉好紀氏、永長直人氏、濱本敬大氏、越川翔太氏、江澤雅彦氏、清水直氏、金子良夫氏、Feng Qin 氏、Wu Shi 氏、吉田将郎氏、Alla Zak 氏、Reshef Tenne 氏、喜々津智郁氏、井ノ上大嗣氏、橋爪大輔氏、赤松孝俊氏、Ling Zhou 氏、Yu Dong 氏、北村想太氏、吉井真央氏、Dongyang Yang 氏、恩河大氏、中川裕治氏、渡邊賢司氏、谷口尚氏、Joseph Laurienzo 氏、Junwei Huang 氏、Ziliang Ye 氏、森本高裕氏、Hongtao Yuan 氏、およびその他すべての関係者の皆様に感謝申し上げます。

受賞対象となった研究は「空間反転対称性の破れたファンデルワールスナノ結晶における整流応答現象の開拓」です。多彩な制御性を持つファンデルワールス結晶のナノ試料において、対称性の破れに着目して様々な特徴的整流現象(電流が一方方向に流れやすく、逆方向には流れにくい物性)を開拓した一連の研究になります。詳細な研究内容に関しては、以前「本多記念研究奨励賞を受賞して」の記事内で紹介したものと重複しますので本記事では割愛して、ここでは授賞式や第 18 回物性科学領域横断研究会に参加した際に感じたこと等をご報告したいと思います。

物性科学領域横断研究会は物性科学に関連した新学術領域研究や学術変革領域研究(A)および学術変革領域研究(B)が合同で開催する研究会で、2007 年から始まり今回 18 回目を迎えます。Web ページに「各領域の研究内容を専門外の研究者や大学院学生に対し解説し、領域間のシナジー効果を高めると共に、物性科学のホットな話題を 2 日間で概観することを目的とします」とある通り、様々な物性領域の研究者から各領域のホットトピックスや個々の研究内容のエッセンスを分かりやすく解説していただき、様々な知見や潮流を学ぶと同時に大いに刺激を受けた研究会でした。また、様々な物性領域の先生方と意見交換や交流ができる貴重な機会にもなりました。このような分野を横断し

た研究会が長年続いているということは大変すばらしいことだと思います。

新学術領域研究や学術変革領域研究といったグループ型の研究は、バックグラウンドや興味、専門分野等が異なる研究者が集まってインタラクションや共同研究を行うことでシナジー効果や予期せぬ研究展開等が期待できるところが、個人型研究プロジェクトとは異なる点であり大きな魅力だと思います。私自身もこれまでいくつかの新学術領域研究や学術変革領域研究に参加させていただいた経験があり(あるいは現在進行形で参加させていただいているプロジェクトがあり)、そこで得られた視点や考え方、人脈等は、新しい研究テーマのアイデアの芽になったりあるいは別のプロジェクトの共同研究者となったりして大きな財産となっています。最近の物性科学領域の潮流を見ても、このようなグループ型の研究というもの的重要性が増してきているのを感じています。本受賞を励みに、今後ともこのようなグループ型の研究プロジェクトに積極的に参加して、少しでも物性科学領域に貢献していければと考えております。



授賞式の写真

(右は賞の創設者の一人である秋光純先生)

- [1] T. Ideue *et al.*, “Bulk rectification effect in a polar semiconductor” *Nature Physics* **13**, 578 (2017).
- [2] F. Qin *et al.*, “Superconductivity in a chiral nanotube” *Nature Communications* **8**, 14465 (2017).
- [3] T. Akamatsu *et al.*, “A van der Waals interface that creates in-plane polarization and a spontaneous photovoltaic effect” *Science* **372**, 68 (2021).

物性研を

上床 美也

埼玉大学から 2001 年 4 月 1 日に着任し、あっという間に 23 年が経過し、去る 2024 年 3 月 31 日、無事に定年退職を迎える事ができました。気が付けば、既に一年が経とうとしています。着任した当時が昨日の出来事のように思い出され、月日の流れの速さを改めて実感させられているこの頃です。退職後は、非常勤として茨城県東海村一般財団法人総合科学研究機構(CROSS)：サイエンスコーディネータ、東北大学材料科学高等研究所(AIMR)折茂研究室：特任教授、東京大学新領域創成科学研究科芝内・橋本研究室：特任研究員として、また、東京都市大学：客員教授として糸井研究室にお世話になっています。

物性研究所では、極限環境下での物性研究をテーマに、特に低温・高圧下での物性測定を中心に研究を行ってきました。私が高圧下物性測定に出会ったのは、広島大学岡本・藤井研究室の学生時代でした。当時、低温液化室実験室の隣の研究室において高圧下での電気抵抗や磁化測定が行われていましたが、所属研究室では、高圧が研究に取り入れられることはありませんでした。しかし、縁あって1988年熊本大学巨海研究室の助手として高圧に関係する研究に携わることになりました。熊本大学では研究室の立ち上げの最中であり、私の最初の仕事は、定荷重式ピストンシリンダー型圧力発生装置の立ち上げでした。これまで全く圧力装置に触れたことはありませんでしたが、業者から送られてきた各種部品を図面通りに組み立て、測定用の配線を行い、測定プログラムを作成して、何とか測定が出来る状態にまで漕ぎ着けました。これまで圧力効果が物性研究において如何に有効か？について考えたこともなかった全くの素人でしたが、測定して見ると意外に変化に富んだ測定結果が得られ、また、各圧力とともに連続的に変化する DATA を見るとなんとなく研究を行っている気になったことを覚えています。試料を1回セットし、トラブル無く一連の測定が1-2週間で終わると、論文になるような結果が得られることもありました。学生時代に行っていた試料作製(探索)を基礎とした研究に比べ、効率的に研究が進められるように感じ(錯覚?)させられ、気がつけば退職の年まで圧力効果の研究を続けていました。

以下では、物性研での研究生活を少し振り返って見たいと思います。私が毛利研究室を引き継ぐ形で物性研に着任した 2001 年は、物性研が六本木から柏に移転してまだ 2 年目でした。研究所の周囲は、まだ十分整備されておらず、埃っぽく、水たまりも多い環境でした。つくばエクスプレスも開通しておらず、本郷キャンパスでの会議や授業は半日がかかりで、柏駅を経由して行くような状態でした。幸い、住居に関しては、事務方のご尽力により近くの宿舎に入居することが出来、研究三昧の生活が満喫できる環境となりました。研究室には、毛利研究室から引き継いだ、希釈冷凍機、20 T マグネット、キュービック圧力発生装置など、当時の最高水準の装置が揃っていました。これらの装置を如何に活用し、目差す研究をどのように進めるか？模索していたように思います。特に興味があったのは、磁気秩序をはじめとした各種相転移が圧力効果によりどのような過程を経て消失するか？また、その際の電子状態はどのように変化するか？を検証することでしたが、気が付くと、いつの間にか退職の日を迎えていました。その間、研究室スタッフとして、助教：藤原直樹氏（現：京都大学教授）、森多美子氏、東堂栄氏、辺土正人氏（現：琉球大学教授）、松林和幸氏（現：電気通信大学教授）、岡田卓氏（現：アメリカ宝石協会）、郷地順氏（現：株式会社アイエスエイ）、技術職員・研究支援員：宗像孝司氏（現：CROSS 研究員）、松本武彦氏、中澤和子氏、メリケ・アブリーズ氏、長崎尚子氏（現：物性研北川研研究支援員）、秘書：加藤真里子氏、川畑絵美氏、菱沼有美氏、および、大学院学生、学術研究員、客員所員の方々とともに研究を進められたことは、とても幸運でありました。ここに感謝いたします。

研究の思い出話に戻ります。2000 年頃、ピストンシリ
ンダー型圧力発生装置では、2 GPa 程度の圧力しか発生で
きませんでした。しかし、この程度の圧力では、多くの物
質においてその秩序相を消失させることは出来ませんでした。
そこで発生圧力を 4 GPa 程度(約 2 倍)まで引き揚げ
ることを目指し、松本武彦氏(NIMS(当時))が開発された
NiCrAl 合金を用いたハイブリッド式圧力発生装置の開発
を行い、4 GPa(常用 3 GPa 程度)程度までの高圧下物性測

4 GPa 以上の高い圧力下での極低温物性測定を行うために、ダイヤモンドアンビル(DAC)、ブリッジマンアンビル(BAC)およびクランプ式マルチアンビル圧力発生装置(PMAC)の開発を行いました。圧力(P)は、圧力発生面積をS、力をFとすると、 $P=F/S$ で表されます。高い圧力を発生するためには、Sを小さくし、Fを大きくすることにより実現できます。しかし、DACやBACの装置開発においては、Sが極端に小さくなるため、試料セットにおいて個人の技術(技量)に依存するところが大きく、23年間の研究において10 GPa以上での高圧・極低温での測定に成功したのは、2人の学生にとどまり、開発は途中でストップしてしまいました。一方、研究室には12 GPa程度まで発生可能な、キュービックアンビル圧力発生装置(CAC)がありましたが、2 K以下の測定が出来ませんでした。これを克服するために極低温・10 GPa以上での物性測定を可能とするクランプ式CACの開発を行い、15 GPa程度の圧力下で10 mKまでの物性測定を可能としました。これに気を良くし、6-8 マルチアンビル圧力発生装置(68MAC)の開発を行い、2022年頃に20 GPa程度の圧力下での測定に成功しました。さらにクランプ式68MAC装置(P68MAC)の開発に成功し、希釈冷凍機と組み合わせることにより、20 GPaでの極低温物性測定が可能となりました。

日本には、「終わり良ければ全て良し」という言葉があります。これまでの不出来を全て帳消しにしてくれるような魔法の言葉であり、好きな言葉の 1 つです。23 年間お世話になった皆様に心より感謝いたします。物性研究所の今後のますますの発展を祈っております。

令和 6 年度 物性研究所一般公開の報告

一般公開委員会委員長 岡崎 浩三

本年度の物性研究所一般公開は、昨年と同じ「探し出せ！『もの』のなかのすごいもの」のキャッチコピーのもと、2024年10月25日(金)、26日(土)に行われた。コロナ禍の3年間はオ



図1：本館入口にて
チーバくんと物性犬

ンラインで開催されたが、本年度は昨年度に引き続き現地開催で行われ、最先端の研究の現場をご覧ください。絶好の機会となった。天候にも恵まれ、25 日 1,325 人、26 日 1,745 人、駅前ブース 50 人、計 3,120 人の方々にご来場いただき、昨年同様の大盛況となった(図 1)。

研究室企画は昨年より 1 件多い 11 件のイベントがあった。文末にその一覧を掲載した。このうち、

- ①「誰でもプログラミング」(林研究室)
②「国際物理オリンピック 2023 実験課題に挑戦！」
(山下研究室)

は体験型の企画で、体験時間があらかじめ決められていた(図2)。他の9件についてはガイドマップ(図3)に従い、C棟、K棟、D棟、本館6階の順に回れるように配置されていた。これら9件の企画はそれぞれ、C棟、K棟で実施されたのが、



図 2：体験型企画①「誰でもプログラミング」②「国際物理オリンピック 2023 実験課題に挑戦！」のようす

- ③「スーパー強磁場ラボ大公開」(国際超強磁場科学研究施設)
- D棟で実施されたのが、
- ④「光とレーザー」(極限コヒーレント光科学研究センター)
- 本館6階で実施されたのが、
- ⑤「物性科学とスーパーコンピュータ」(大型計算機室)
- ⑥「感じる電磁波」(軌道放射物性研究施設)
- ⑦「量子物質で遊ぼう」(井手上・長田・森研究室)
- ⑧「小さな磁石の秘密」(三輪・橋坂・大谷研究室)
- ⑨「いきものと光の関係を知ろう」(井上研究室)
- ⑩「ミクロの世界の旅人〜中性子〜」(中性子科学研究施設)
- ⑪「不思議なジグソーパズルから新しい物質を探る」
(物性理論研究部門)

であつた。

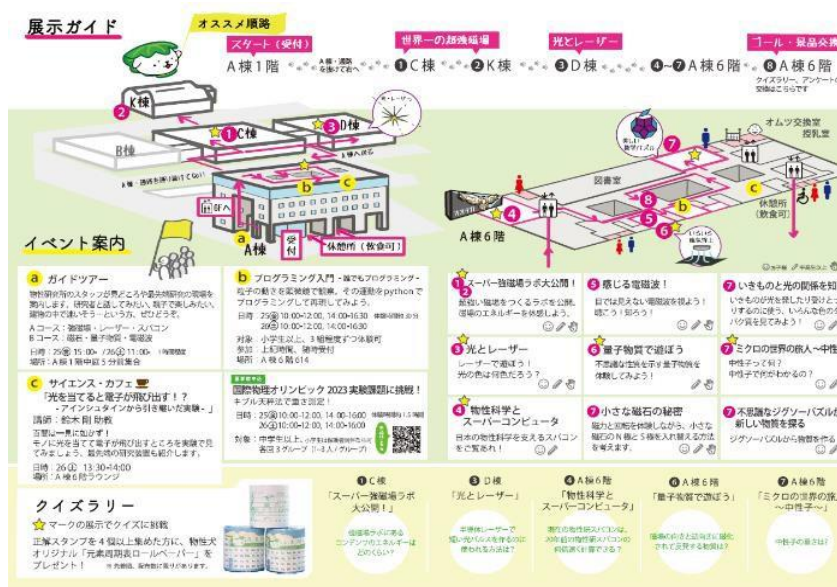


図3：物性研ガイドマップ

また、C 棟の③「スーパー強磁場ラボ大公開」、D 棟の④「光とレーザー」、A 棟 6 階の⑤「物性科学とスーパーコンピュータ」⑦「量子物質で遊ぼう」⑩「ミクロの世界の旅人～中性子～」の 5 件についてはクイズラリーの対象になっており、クイズに挑戦して正解スタンプを 4 個以上集めた参加者には物性犬オリジナル「元素周期表ロールペーパー」(図 4)がプレゼントされた。昨年度のクイズラリーの景品は物性犬 10 周年のマグネットだったが、今回は脱プラスチックの取り組みのために元素周期表の学習にも役立つロールペーパーが選ばれ、多くのクイズラリー参加者に好評だった。



図4：クイズラリーの景品、物性犬オリジナル「元素周期表ロールペーパー」

例年行われているサイエンスカフェは筆者研究室の鈴木剛助教が担当し、A 棟 6F ラウンジで土曜日 13:30～14:00 に開催された。「光を当てると電子が飛び出す！？-アインシュタインから引き継いだ実験-」という演題で、有名なアインシュタインの光量子仮説によって説明された光電効果に基づく光電子分光実験について、実験室からのオンライン接続による実演も交えて様々な年代の参加者にもわかりやすい説明がなされた(図 5)。



図 5：サイエンスカフェの様子とパンフレット

また、昨年度には無かった試みとして、コロナ禍前の一般公開では行われていた物性研スタッフによるガイドツアーを再開させた。25 日 15:00 からと 26 日 11:00 からの計 2 回実施され、A 棟 1 階の中庭に集合し、2 コースに分かれて物性研スタッフ(所員、助教)が各研究室企画を案内した。A コースは③「スーパー強磁場ラボ大公開」、④「光とレーザー」、⑤「物性科学とスーパーコンピュータ」、B コースは⑥「感じる電磁波」、⑦「量子物質



図 6：ガイドツアーの様子

で遊ぼう」、⑧「小さな磁石の秘密」のそれぞれ 3 企画を所要時間 1 時間程度で案内した。久々のガイドツアー実施ということで、25 日の実施時には若干の混乱があったが、26 日には概ね改善されたと考えている。とは言え、来年度以降については実施方法の変更など改めて検討することとなった。

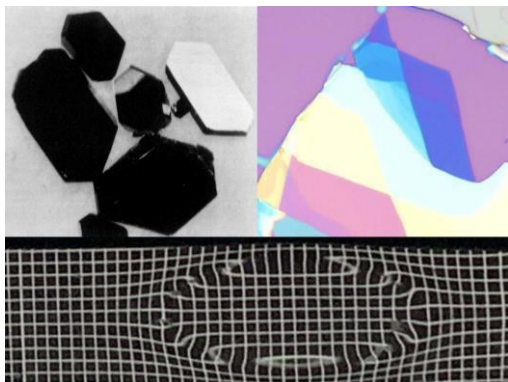
一般公開の同時開催イベントとして、女子中高生向けイベント「未来をのぞこう！」も開催された。物性研では、「物性研究最前線ツアー」と題して物性研の一般公開を大学院生が案内した。また、見学ツアーの後には大学院生・研究者とのランチ懇談会で進学や理系のお仕事についての懇談が行われた。



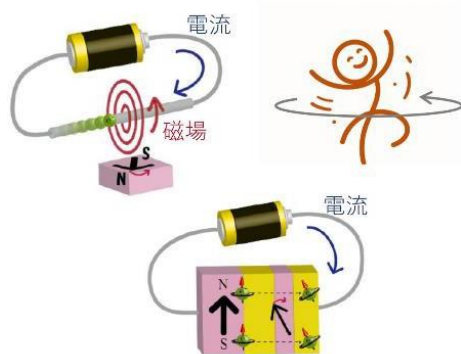
図 7：「未来をのぞこう！」のポスター

コロナ禍 3 年間のオンラインでの一般公開実施の後、昨年から現地開催が再開された。昨年も感じたことではあるが、その 3 年間に一般公開現地開催に関するノウハウがかなり失われてしまっていたことを改めて痛感した。特に今年は、事務長、副事務長、総務係長が代わるなど事務部に多くの異動があったこともあり、正直無事開催できるのかどうか不安もあった。そうした中であっても、菅原副事務長には準備を主導して頂き、福岡事務長、総務係の皆様、ウェブサイトやガイドマップを作成して頂いた広報室の餅田さん、サイエンスカフェを企画して頂いた研究戦略室の鈴木 URA、一般公開委員の渋谷さん、田中助教、ボランティアに参加して頂いた学生や職員の皆さんほか多くの方々に支えられ、今回も物性研一般公開は成功裏に終わったと考えている。26 日の夕方には参加して頂いた学生、職員の労をねぎらうためにカフェテリアで打ち上げパーティーが開催された。

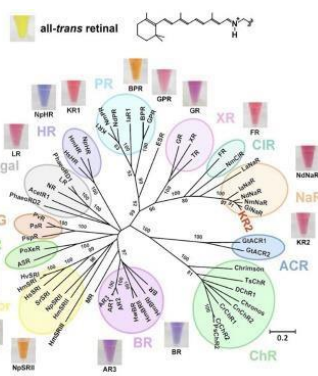
一般公開開催後に行われた一般公開委員会では、今回の実施における反省点について議論された。そこで特に、ガイドツアーの実施方法、会場案内のアルバイトや案内図の配置、昼の休憩時にはクイズラリーの対応が難しい事への対応などが検討された。また、会場案内図の配置についてはこれまで広報室の方々に多大な負担をお掛けしてしまっていたことが発覚した。これらの改善点については次期委員長の益田所員に対応して頂くことになるが、私自身も一所員として対応し得ることは協力したいと考えている。



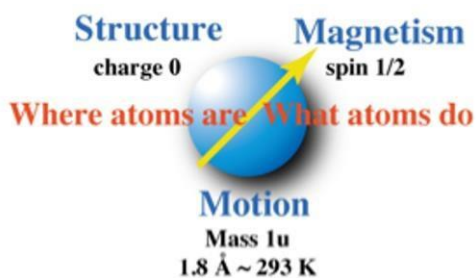
⑦量子物質で遊ぶ(井手上・長田・森研究室)
～不思議な性質を示す量子物質を体験してみよう！



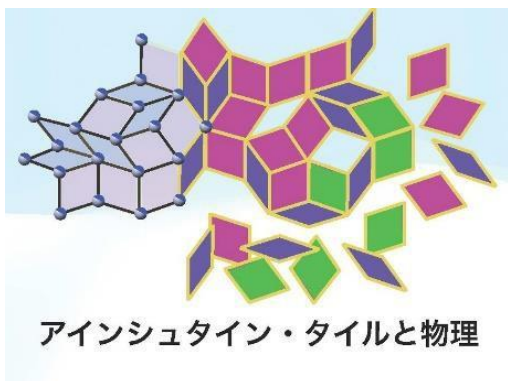
⑧小さな磁石の秘密(三輪/橋坂/大谷研究室)
～磁力と回転を体験しながら、小さな磁石の N 極と S 極を入れ替える方法を考えます



⑨いきものと光の関係を知ろう(井上研究室)
～いきものが光を発したり受けとったりするのに使う、
いろんな色のタンパク質を見てみよう！



⑩ミクロの世界の旅人～中性子～
(中性子科学研究施設)
～中性子って何？中性子で何がわかるの？



アインシュタイン・タイルと物理

⑪不思議なジグソーパズルから新しい物質を探る
(物性理論研究部門)
～ジグソーパズルから物質を作る！？

「新物質開発・システム創成研究の最前線：分子・クラスターがもたらす物性と機能」開催報告

提案者：芥川 智行（東北大学）、草本 哲郎（大阪大学）、瀧宮 和男（東北大学）、山本 浩史（分子科学研究所）、井手上 敏也（東京大学）、岡本 佳比古（東京大学）、高木 里奈（東京大学）、三輪 真嗣（東京大学）、森 初果（東京大学）、山浦 淳一（東京大学）

今回の短期研究会では、分子・クラスター系が関わる分野における最近の際立った研究成果を把握できただけでなく、若手や中堅の研究者に、物性分野の将来を担う有力な人材が多く存在することを確認できました。また、分子・クラスター系を研究対象とする幅広い分野の研究者に対して、物性研究所の認知度が高まるきっかけの一つともなっただろうと感じました。無機結晶固体を研究対象とする筆者の

プログラム

13:00-13:05	はじめに	(物性研 岡本 佳比古)
13:05-13:10	所長挨拶	(物性研所長 廣井 善二)

13:10-13:35	山本 浩史 (分子科学研究所)	「キラル物質によるスピン偏極制御」
13:35-14:00	坪 広樹 (大阪大学)	「極性有機伝導体」
14:00-14:25	白旗 崇 (愛媛大学)	「テトラチアペンタレン系分子性導体の新展開」

14:45-15:10	谷口 耕治 (東京工業大学)	「イオン挿入制御を介した有機・無機ハイブリッド化合物のスピ ン物性開拓」
15:10-15:35	石川 孟 (東京大学)	「磁気電気二重ハイパーオクタゴン MOF」
15:35-16:00	堀井 洋司 (奈良女子大学)	「分子をもとにした磁気・電子・運動機能材料の構築」

16:20-16:45	西内 智彦 (大阪大学)	「嵩高い芳香環を密集させた π クラスターの創出と機能探索」
16:45-17:10	芥川 智行 (東北大学)	「分子集合体ダイナミクスを利用した機能性材料の創製」
17:10-17:35	竹原 陵介 (東京工業大学)	「有機物質における分子ダイナミクスと熱輸送の相関」
17:35-18:00	出倉 駿 (東北大学)	「有機スルホン酸塩における結晶中分子運動と無水プロトン伝導」

9:30- 9:55	宮島 大吾 (香港中文大学)	「平面性非芳香族性化合物の可能性」
9:55-10:20	井口 弘章 (名古屋大学)	「分子性導体を基盤としたナノ多孔体の開発」
10:20-10:45	湊 拓生 (広島大学)	「異種金属多核構造の精密逐次合成と磁気特性制御」

11:05-11:30	坂本 良太 (東北大学)	「分子低次元系の新展開」
11:30-11:55	宮田 耕充 (東京都立大学)	「遷移金属カルコゲナイドの構造制御と機能」
11:55-12:20	加藤 俊顕 (東北大学)	「ヤヌス原子層材料の創成と応用」

13:20-14:40 ポスター講演

14:45-15:10 焼山 佑美 (大阪大学)

「曲面 II 共役分子を基盤とした誘電応答性材料開発」

「多元素ナノ物質開発とその触媒応用」

「合成未踏天然物への挑戦を契機とする新規物質変換法の開発」

16:20-16:45 阿波賀 邦夫 (名古屋大学)

「固体電気化学プロセスを利用した分子・クラスターの機能開拓」

「キラルファンデルワールス超格子の創製とキラル物性の開拓」

「高移動度有機半導体への分子科学的アプローチ」

Session 8 座長：藤野 智子

9:30- 9:55 嘉部 量太 (沖縄科学技術大学院大学)

9:30- 9:55 嘉部 量太 (沖縄科学技術大学院大学) 「有機材料中の電荷蓄積と光機能」

「開殻分子系物質を基とするスピン相関発光機能の創出」

「励起一重項と三重項のエネルギーが逆転した有機 EL 材料」

11:05-11:30 田中 隆行 (京都大学)

「アザ[n]ヘリセンの系統合成がもたらす物性と機能」

「分子界面を使った新たな有機光エレクトロニクス」

「一次元らせんマテリアルによる新規光デバイス機能」

Session 10 座長：草本 哲郎

13:30-13:55 上田 顕 (熊本大学)

「純有機中性分子を基盤とした新しい分子性導体の開発」

13:55-14:20 秋山 みどり (京都)

「多フッ素化キュバンの合成と構造・物性の開拓」

14:20-14:45 藤野 智子 (東京大学)

「オリゴマー型伝導体：分子軌道の設計による伝導性制御」

15:05-15:30 高木 里奈 (東京大学)

「単一分子性導体における多軌道強相関電子相の解明」

15:30-15:55 原口 祐哉 (東京農工大学)

「クラスターモット絶縁体の量子スピン液体再考」

15:55-16:20 今城 周作 (東京大学)

「**n-d 混成と分子自由度が生むポメランチュク電子**」

16:20-16:30 おわりに

集合写真



「ガラスに関連する分野の最先端研究」報告

日 時：2024 年 10 月 30 日(水) ～ 11 月 1 日(金)

場 所：東京大学物性研究所 柏図書館メディアホール

提案者：辰巳 創一（京都工芸繊維大学）、古府 麻衣子（日本原子力研究開発機構）、山室 修（東京大学物性研）、
池田 昌司（東京大学大学院総合文化研究科）、齋藤 真器名（東北大学理学研究科）、川崎 猛史（名古屋大学大
学院理学研究科）、秋葉 宙（東京大学物性研）

URL: https://www.cis.kit.ac.jp/~phys/ISSP_glass_2024.html

ガラス転移温度(T_g)で非晶質な構造を保ったまま流動性を失いガラス状態へと遷移するガラス転移は様々な物質系に遍在している。応用面でも、長期に安定な記憶媒体、吸収されやすい薬剤の開発、低温での生体物質の保護機構の解明などガラス状態が関係する現象は多岐にわたっており、ガラス状態およびガラス転移の機構の解明は、現代社会をより豊かにする上で欠かせない要素である。

関連分野として、アクティブマター、生体内流動、蛋白質、粉体、スピングラス、電荷ガラスのような遅いダイナミクスを持つ系の性質をガラス研究の知見を援用して理解しようという試みも近年では増加している。ガラス自身の物性も、ボゾンピークのような問題に加え、エイジングや結晶化も再注目されている。

本研究会は国内最大規模のガラス関係の研究集会として、20 年以上にわたり物性研にて開催しているものである。前回(2021 年)はオンラインでの開催であったため、対面としては 2018 年以来 6 年ぶりの開催となった。ガラスに関わる実験、理論、数値計算の研究者、さらにはアクティブマター、蛋白質、粉体、電子系ガラスなどの周辺分野の研究者が一同に会した。研究会としてアクティブガラス、電子ガラスのような新しい潮流にも焦点をあて、ガラス研究の将来像を描き出すことを目指した。

本研究会の特徴として、講演者の大部分を一般募集することが挙げられるが、おかげさまで、口頭発表 42 件、ポスター発表 28 件の発表をしていただくことができた。登録していただいた参加者数は 10 月 30 日 69 名、10 月 31 日 81 名、11 月 1 日 71 名であった。来聴者も多数参加し、すべての講演で活発な討論が交わされた。主催者として深く感謝したい。

本講演会では特別講演として、3 名の方に特別講演をお願いした。実験研究から内外のガラス研究を牽引されてきた山室修氏に分子ガラスの熱力学・構造についてお話しいただいた。理論研究からは近年のジャミング転移研究の著

しい発展に貢献されている川崎猛史氏に、ジャミング転移に見られる臨界的振る舞いの概説と多様な非線形応答についての解説をいただいた。また、鹿野田一司氏には結晶性固体内における電子ガラスについて、通常のガラスとの類似性・相違について概説いただいた。一般講演セッションでは、さまざまな分野の研究者に講演していただいた。通常は、参加する学会の異なる研究者が集まることにより、多彩な刺激にみちた研究会になったことと思う。

最後になるが、本ワークショップの準備段階で、多くの方のお世話になった。特に、旅費・宿泊の事務全般を担当していただいた山室研秘書の本田裕子さん、当日の受付で手伝っていただいた伊東順子さん、当日にマイク係、会場の設営などで働いていただいた学生スタッフ各位にこの場を借りて深く感謝したい。

日頭発表プログラム:

10月30日(水)

10:30～10:45 所長挨拶（廣井 善二）・趣旨説明（辰巳 創一）

10:45~12:00 特別講演 1

PL1. 山室 修(東大物性研)

「分子ガラスの熱力学、構造、フォノン」

PL2. 川崎 猛史(名大・物理)

「ジャミング転移と多様な非線形レオロジーの統一的理解」

12:00～13:00 昼休み

13:30~14:40 ガラス転移 1

GT1. 田中 肇(東大先端研)

「ガラス形成液体における遅いダイナミクスと協同性の構造的起源」

GT2 金鋼(阪大基礎工)

「深層学習によるガラスの特徴量抽出」

GT3. 柳島 大輝(京大理)

「局所ビリアル応力均一化(VHG)による超安定ガラスの形成・VHG法の改良」

GT4. 古川 亮(東大生研)

「過冷却液体における Stokes-Einstein 則の破れについて」

14:40～14:50 コーヒーブレイク

14:50～16:30 ジャミング 1

JB1. 桂木 洋光(阪大理)

「磁石粒子を用いた二分散性粒子系配置の様な無秩序化」

JB2. 早川 尚男(京大基研)

「潤滑と摩擦のクロスオーバーによる非線形レオロジー」

JB3. 大槻 道夫(阪大基礎工)

「粉体流動におけるジャミング転移」

JB4. Kianoosh Taghizadeh (京産大)

[Particle networks in granular mixtures by X-ray tomography]

16:30～16:40 コーヒーブレイク

16:40~18:20 ガラス転移 2

GT5. 吉野 元(阪大 CMC)

「空間変化するガラス物性を記述する第一原理的平均場理論の構築」

GT6. 西川 宜彦(北里大)

「格子ガラス模型の協同的な緩和ダイナミクスと熱力学的性質の関係」

GT7. 齋藤 一弥(筑波大 CCS)

「マクロに縮退した最安定相に相転移するスピンモデル」

GT8. 小田垣 孝(科教総研)

「ガラス形成物質の温度変化後のエージングについて」

10月31日(木)

9:00~9:45 特別講演 2

PL3. 鹿野田 一司(東大新領域)

「有機三角格子物質に実現する電子のガラス」

9:45~10:35 電子・スピンガラス 1

P7. 古野 伊吹(京工繊大)
「超安定蒸着フェノールフタレインガラスの熱特性」

P8. 山口 智之(京工繊大)
「 α -methyl styrene 系におけるダイマー・ポリマー混合系のガラス転移のポリマー分子量依存性」

P9. 高山 宗一郎(京工繊大)
「超安定蒸着フェノールフタレインガラスの表面構造」

P10. 佐々木 海渡(東海大理)
「ポリアモルフィック転移前後でのマンニトールの β 緩和」

P11. Min Liu (東大総文)
「Study of relations between low-frequency localized vibrations and static structures in glasses via deep learning」

P12. 佐々木 勇人(阪大宇宙地球)
「液面浮遊粒子層のシアジャミング:スロー地震のメカニズム理解を目指して」

P13. 能登 滉太(京大基研)
「拡張されたヘッセ行列法による不安定モードの記述」

P14. 名越 篤史(国士大理工)
「シリカ細孔の形状に依存したトリステアリンの結晶化挙動」

P15. 樋口 将馬(東海大理)
「氷結フルクトース水溶液の誘電緩和と氷構造の関係」

P16. 小田垣 孝(科教総研)
「SAP を説明する一つの現象論」

P17. 山室 憲子(東京電機大)
「架橋デキストランゲル Sephadex G-25 に吸着・内包した水の凍結・融解挙動」

P18. 高松 宣道(東大物性研)
「DNA オリガミ製ナノスプリングを用いた Kinesin-3 モータータンパク質 KIF1A の力計測」

P19. 後藤 頌太(阪大院基礎工)
「トポロジカルガラスの起源解明：環状高分子へのパーシステントホモロジー解析」

P20. 荒井 祐嘉(東海大理)
「氷結した高分子水溶液中の氷結晶構造と氷の緩和」

P21. K.P Safna Hussan (東海大理)
「Formulation and Evaluation of Amorphous Solid Dispersions of Erlotinib HCl」

P22. 野地 隼平(東大物性研)
「濃厚コロイド懸濁液の緩和過程における近接場の流体力学的な相互作用」

P23. 小林 拓矢(埼玉大理)
「ESR 測定による θ -(BEDT-TTF) $2\text{RbZn}(\text{SCN})_4$ の電荷ガラス状態と電荷結晶化の研究」

P24. 椎橋 裕樹(埼玉大理)
「 θ -(BEDT-TTF) $2\text{RbZn}(\text{SCN})_4$ の電荷ガラス状態と電荷結晶化に対する不純物効果」

P25. 柳沢 直也(東大総合文化)
「分子量が極めて多分散な線状高分子 PEG 水溶液のシアシニング」

P26. 佐藤 駿(東大物性研)
「金属—有機構造体 MIL-101 に吸蔵されたアセトニトリルおよび Mg 電解質の中性子準弾性散乱と熱容量」

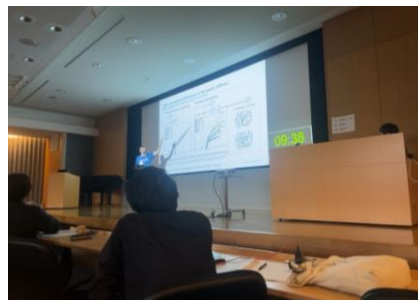
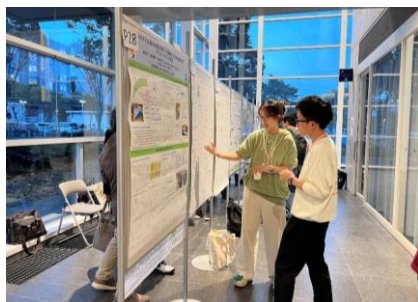
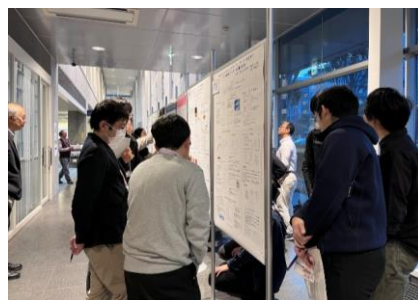
P27. Menghan Zhang (東大物性研)
「Structure and Dynamics of Amorphous Methane Hydrate」

P28. 秋葉 宙(東大物性研)
「中性子分光器 AGNES を用いた強靱性および紫外線応答性ポリマーガラスの研究」

集合写真



個別写真



「強相関物質研究の展望」(Correlated Quantum Materials + *beyond*: Symposium) 開催報告

物性研究所 物性理論研究部門 常次 宏一

形式：東京大学物性研究所 大講義室における対面方式

日時：2024 年 11 月 25 日 9:30～26 日 17:10

提案者：常次 宏一（物性研究所、代表）、求 幸年（東京大学）、柳瀬 陽一（京都大学）、大槻 純也（岡山大学）、
野村 悠祐（東北大学）、岡本 佳比古（物性研究所）

物性研究所では理論系所員を中心として 2006 年より毎年、滞在型国際ワークショップを開催しています。コロナ禍による中断を経て再開され、本年度は 11 月 18 日から 2 週間の会期でワークショップ “Correlated Quantum Materials + *beyond*” (CQM+b2024) が開催され、強相関系に関する最先端の理論研究成果が討議されました。本短期研究会「強相関物質研究の展望」は、そのシンポジウム部分を成す国際会議として英語で開催され、ワークショップの海外参加者と国内の実験および理論研究者が強相関系の物性科学の最新研究成果を集中的に議論することにより、当該分野の将来の発展の方向性が探究されました。

本短期研究会のテーマは強相関物質における磁性や超伝導などの新奇量子相の物性が中心的なものです。伝統的に多くの研究がなされてきた熱平衡物性に加えて、新しい展開として 2 つの方向性に注目しました。1 つは強相関量子多体系としてのダイナミクスや非平衡現象であり、もう 1 つは機械学習をはじめとするデータ科学的アプローチを用いた研究です。後者については第一原理計算分野の新物質開発のためのマテリアルズ・インフォマティクスがよく知られていますが、本研究会では量子多体系のダイナミクスや特性値最適化に関する理論研究や、ベイズ推定を用いた実験データ解釈など今後の発展が期待される成果が発表され、聴衆の注目を集めました。非平衡およびダイナミクスに関する研究では、キャビティ系の非線形光学やテラヘルツ光を用いた反強磁性体のスピンスイッチ、さらには高調波分光をはじめとするいくつかの興味深い研究成果が発表され活発な討議が行われました。また熱平衡物性においても、強相関物質のスピンと軌道自由度が結合して形成する多極子自由度が表す交差応答をはじめとする多彩な物性や、近年大きな注目を集め急速に研究が進展している交替磁性体(altermagnets)、スピン液体に関連するカゴメ反強

磁性体やキタエフ模型物質などのさまざまなトピックスが実験と理論の両面から活発に議論されました。なお各発表内容などの詳細は下記の研究会ホームページを参照してください。

<https://sites.google.com/g.ecc.u-tokyo.ac.jp/cqmb2024/symposium/>

<https://sites.google.com/g.ecc.u-tokyo.ac.jp/cqmb2024/> (滞在型ワークショップ)

本短期研究会では 2 日間の会期中に 28 件の口頭発表が行われ、その中の 7 件は海外招待講演者、15 件は国内招待講演者によるものでした。1 日目夕方のポスターセッションでは 52 件の発表が行われ、その中の 9 件は海外からの一般参加者が行ないました。参加者数は 1 日目が 92 名、2 日目が 86 名の合計 178 名にのぼり、2 日間を通じて国内外の研究者の間で活発な議論が行われました。

本研究会の開催にあたって多くの方からご協力をいただきました。物性研究所の共同利用係・総務係・経理係などの事務部および国際交流室の方々にお礼を申し上げます。理論系研究室の秘書の皆さん、なかでも辻さんと鈴木さんには準備段階から会期中および終了後まで特にお世話になりました。最後となりましたが深く感謝いたします。

プログラム

(#: 招待講演)

○ 11 月 25 日 (月)

9:30 Opening: Welcome address by the ISSP director Zenji Hiroi

Dynamical and non-equilibrium properties 1 (chair: Hirokazu Tsunetsugu)

9:40 **Martin Claassen** (Univ. of Pennsylvania)[#],

Ultrafast and Cavity Electrodynamical Control of Optical Nonlinearities in Correlated Quantum Materials

10:05 **Hideki Hirori** (Inst. Chemical Research, Kyoto Univ.)[#],

Non-thermal and Ultrafast Spin Switching in Antiferromagnets by a Strong THz field

Dynamical and non-equilibrium properties 2 (chair: Markus Schmitt)

10:45 **Yuta Murakami** (CEMS, RIKEN)[#],

High-harmonic generation in strongly correlated systems

11:10 **Atsushi Ono** (Dept. Physics, Tohoku Univ.)[#],

High harmonic spectroscopy of a topological spin texture

11:35 **Seung-Sup Lee** (Seoul National Univ.)[#],

Hundness in twisted bilayer graphene: correlated gaps and pairing

Altermagnets (chair: Yukitoshi Motome)

13:00 **Makoto Naka** (Tokyo Denki Univ.)[#],

Spin splitting and cross correlation in altermagnets

13:25 **Judit Romhányi** (Univ. California, Irvine)[#],

Collinear Altermagnets and their Landau Theories

13:50 **Hikaru Watanabe** (Dept. Phys., Univ. Tokyo)[#],

Symmetry approach to spin-orbit-coupling-free responses in antiferromagnets

14:15 **Zheyuan Liu** (ISSP, Univ. Tokyo),

Chiral split magnon in altermagnetic MnTe

Multipoles and higher-order correlation (chair: Junya Otsuki)

14:50 **Chisa Hotta** (Dept. Basic Sci., Univ. Tokyo)[#],

Amplitude-waves of magnetic moments due to dipole-quadrupole hybridization

15:15 **Takahiro Onimaru** (Hiroshima Univ.)[#],

Incommensurate modulation and anisotropy in an effective spin-1/2 zigzag chain

15:40 **Hiroaki Ishizuka** (Inst. Science Tokyo),

Sign-reversal and non-monotonicity of chirality-related anomalous Hall effect in highly conductive metals

16:00 – 18:00 Poster Session

○ 11 月 26 日 (火)

Machine learning and new approaches (chair: Yusuke Nomura)

9:00 **Markus Schmitt** (Univ. Regensburg)[#],

Neural quantum states to simulate dynamics of correlated matter

9:25 **Koji Inui** (ISSP, Univ. Tokyo),

Inverse Hamiltonian design of highly entangled quantum many-body systems

9:45 **Masanobu Shiga** (Dept. Appl. Quantum Phys., Kyushu Univ.)[#],
Precise analysis of point-contact spectra in heavy Fermion compound CeRu₂Si₂ using Bayesian inference

Kagome metals and superconductors (chair: Chisa Hotta)

11:15 **Rina Tazai** (YITP, Kyoto Univ.)[#],
Quantum phase transitions in kagome metals AV_3Sb_5 : time-reversal and inversion symmetry

Strong correlation and superconductivity (chair: Judit Romhányi)

13:25 **Hidekazu Mukuda** (Grad. School Eng. Sci., Osaka Univ.)[#],
NMR/NQR study in Multilayered Nickelates $La_3Ni_2O_{7-\delta}$ and $La_4Ni_3O_{10-\delta}$

Spin-orbit coupling and strong correlation 1 (chair: Yoshihiko Okamoto)

Spin-orbit coupling and strong correlation 2 (chair: Cristian Batista)

16:20 **Ryutaro Okuma** (ISSP, Univ. Tokyo)[#],
Compass model physics on the hyperhoneycomb β -Na₂PrO₃

17:05 Closing

P01 **Yoshito Watanabe** (Univ. Cologne),
Revealing dynamics of hidden sectors with non-linear spectroscopy

P03 **Kazuma Saito** (Dept. Appl. Phys., Tokyo Univ. Sci.),
Gapless superconductivity in quasicrystals and its topological phase transition

- P04 **Ting-Tung Wang** (Univ. Hong Kong),
An analog of topological entanglement entropy for mixed states
- P05 **Menghan Song** (Univ. Hong Kong),
Entanglement entropy in quantum phase transitions
- P06 **Kohei Hattori** (Dept. Appl. Phys., Univ. Tokyo),
Effect of Collective Spin Excitations on Photocurrent Response in Antiferromagnetic Dirac Semimetals
- P07 **Yugo Takahashi** (Dept. Phys., Osaka Univ.),
Floquet engineering of superconducting pair formation in a doped band insulator
- P08 **Gakuto Tomitaka** (Kyushu Inst. Tech.),
First-Principles Study of Thermoelectric Properties of One-Dimensional Telluride Ta_4SiTe_4
- P09 **Hajime Ishikawa** (ISSP, Univ. Tokyo),
Superconductivity and structural anomalies in layered iodides La_2IRu_2 and La_2IOs_2 featuring Ru and Os honeycomb lattice
- P10 **Takuya Nagashima** (Dept. Adv. Mat. Sci., Univ. Tokyo),
Superconducting gap structure of kagome superconductor AV_3Sb_5 ($A = \text{K, Rb, Cs}$)
- P11 **Keisuke Kadohiro** (Kyushu Inst. Tech.),
Observation of Current-induced Lattice Distortion in Spin-orbit Coupled Iridium Oxide $\text{Ca}_5\text{Ir}_3\text{O}_{12}$
- P12 **Daemo Kang** (Dept. Appl. Phys., Univ. Tokyo),
Ginzburg-Landau Simulations and Angular Momentum Transfer in a Superconductor Illuminated by an Optical Vortex Beam
- P13 **Hikaru Goto** (Dept. Appl. Phys., Tokyo Univ. Sci.),
Cavity-induced Chern insulating phase in kagome system
- P14 **Yuma Hirobe** (Dept. Phys., Kyoto Univ.),
Quantum geometric effects on unconventional superconductivity
- P15 **Keito Hara** (Dept. Phys., Kyoto Univ.),
Current-induced spin current in chiral-structure superconductors
- P16 **Jun Takahashi** (ISSP, Univ. Tokyo),
The Power and Complexity of Sign-Problem Curing with Clifford Circuits
- P17 **Ryo Makuta** (Dept. Basic Sci., Univ. Tokyo),
Spin-orbit coupled Hubbard skyrmions
- P18 **Hidehiro Saito** (Dept. Basic Sci., Univ. Tokyo),
Engineering exact quantum many-body ground states in 1D and 2D
- P19 **Shun Okumura** (Dept. Appl. Phys., Univ. Tokyo),
Longitudinal current-induced instability of magnetic skyrmion strings
- P20 **Masahiro Takahashi** (Dept. Mat. Eng. Sci., Osaka Univ.),
 Z_2 flux binding to higher-spin impurities in the Kitaev spin liquid: mechanisms and implications
- P21 **Kazuki Okigami** (Dept. Appl. Phys., Univ. Tokyo),
Exploring topological spin order by inverse Hamiltonian design: A new stabilization mechanism for square skyrmion crystals
- P22 **Seiichiro Onari** (Dept. Phys., Nagoya Univ.),
3D CDW orders by the paramagnon-interference mechanism in kagome metals
- P23 **Musashi Kato** (Dept. Phys., Kyoto Univ.),
Effects of interactions on exceptional points in bosonic systems

P24 **Ken Inayoshi** (Saitama Univ.),
Nonequilibrium Green's function method with quantum tensor trains

P25 **Takeru Ito** (Fac. Sci. Tech., Tokyo Univ. Sci.),
Thermoelectric properties of the quasi-two-dimensional Fermi liquid material Sr_2RuO_4 -Ru eutectic system

P26 **Junha Kang** (Seoul National Univ.),
Quantum geometric bound for saturated ferromagnetism

P27 **Naoya Ohta** (Dept. Phys., Tohoku Univ.),
High magnetic field effect on excitonic phase in the two-orbital spinless Hubbard model

P28 **Ryota Suzuki** (Fac. Sci. Tech., Tokyo Univ. Sci.),
Measurement of the electrical resistivity in low-layered correlated oxide $\text{Ca}_{3-x}\text{Bi}_x\text{Co}_4\text{O}_9$ and estimation of the performance as a transparent conducting oxide

P29 **Joji Nasu** (Dept. Phys., Tohoku Univ.),
Formulation of spin Nernst effect for spin-nonconserved insulating magnets

P30 **Yuta Shigedomi** (Dept. Phys., Kyoto Univ.),
Non-Hermitian Skin Effect under Light Irradiation in 2D Superconductors

P31 **Huang Jianxin** (Dept. Phys., Univ. Tokyo),
Anomalous quantum transport phenomena of orbital textures in kagome metal with multiple quantum phases

P32 **Hikaru Takeda** (ISSP, Univ. Tokyo),
Magnetic properties of a metal-organic framework with the hyperoctagon lattice investigated by ^{13}C -NMR

P33 **Nanse Esaki** (Dept. Phys., Univ. Tokyo),
Spin Nernst and thermal Hall effects of topological triplons in quantum dimer magnets on the maple-leaf and star lattices

P34 **Jin Matsuda** (Dept. Appl. Phys., Univ. Tokyo),
First-principles study of spin-orbit coupling-free responses in exotic collinear antiferromagnet

P35 **Seigo Nakazawa** (Dept. Phys., Nagoya Univ.),
Origin of quasiparticle-interference chirality in loop-current order of kagome metals

P36 **Naoya Iwahara** (Chiba Univ.),
Vibronic order and RIXS spectra of cubic $5d^1$ compounds

P37 **Jian Yan** (ISSP, Univ. Tokyo),
Doping tunable Fermi surface and topological Hall effect in axion insulator candidate EuIn_2As_2

P38 **Rico Pohle** (IMR, Tohoku Univ.),
Spin Nematics Meet Spin Liquids: Exotic Phases in the Spin-1 Bilinear-Biquadratic Model with Kitaev Interactions

P39 **Junseo Jung** (Seoul Nat. Univ.),
Quantum Geometry and Landau Levels of Quadratic Band Crossings

P40 **Francesco Parisen Toldin** (RWTH Aachen Univ.),
Numerical studies of critical behavior in the presence of boundaries and defects

P41 **Kanta Kudo** (Dept. Phys., Kyoto Univ.),
Fluctuation and quantum geometric effect in bilayer Lieb lattice

P42 **Zhi-Yao Ning** (ISSP, Univ. Tokyo),
Quantum phase transition and composite excitations of antiferromagnetic quantum spin trimer chains in a magnetic field

P43 **Daisuke Inoue** (Dept. Phys., Nagoya Univ.),
Paramagnon Interference Mechanism for CDW-SDW coexisting states in nickelate superconductor $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$

P44 **Youchi Yamakawa** (Dept. Phys., Nagoya Univ.),
Charge order in Cr-based Kagome superconductor: unified understanding with V-based Kagome superconductors

P45 **Feng-Feng Song** (ISSP, Univ. Tokyo),
Interplay Between Stripe Order and Superconductivity in a Modulated XY Model

P46 **Rintaro Eto** (Dept. Appl. Phys., Waseda Univ.),
Resummed Topological Magnons in Honeycomb Ferromagnets

P47 **Kazuki Yamamoto** (Dept. Phys., Osaka Univ.),
Geometric phase effects in dipole superfluids: vortex lattices and singular domain walls

P48 **Hiroki Yoshida** (ISSP, Univ. Tokyo),
Verification of the spontaneous thermal Hall effect in kagome superconductor using micro-Hall array

P49 **Arata Tanaka** (Hiroshima Univ.),
Strange metal and pseudogap states in cuprate superconductors in relation to van Hove singularity and antiferromagnetic fluctuations

P50 **Rui Sakano** (Keio Univ.),
Theory and Experiment of Nonlinear Current and Current Noise through Kondo Dot with Magnetic Fields

P51 **Jing Zhou** (Inst. Phys., Chinese Acad. Sci.),
Transient selection of competing order in frustrated spin Peierls systems after a quench

P52 **Chengkang Zhou** (Univ. Hong Kong),
Ground state and low energy spectrum of Kagome antiferromagnet YCu_3Br/Cl



图 1 集合写真



図2 口頭発表セッション



図3 懇談会

日米協力事業「中性子散乱」ワークショップ 原子炉中性子科学の最前線

～日米協力事業「中性子散乱」プログラムの今後を見据えて～

Frontier of Neutron Science in Research Reactor
～Future Perspective of US-Japan Cooperative Program on Neutron Scattering～

日 時：2024/9/4-9/5

会 場：日本原子力機構 JAEA Tokai Mirai Base

世話人：益田隆嗣（東京大学物性研究所）、佐藤卓（東北大学多元物質科学研究所）、金子耕士（日本原子力研究開発機構、物質科学研究センター）、Adam Aczel（オークリッジ国立研究所）、Matthias Frontzek（オークリッジ国立研究所）

実行委員：川北至信（日本原子力研究開発機構、J-PARC センター）、中島健次（日本原子力研究開発機構、物質科学研究センター）、金子耕士（日本原子力研究開発機構、物質科学研究センター）、山室修（東京大学物性研究所）、益田隆嗣（東京大学物性研究所）

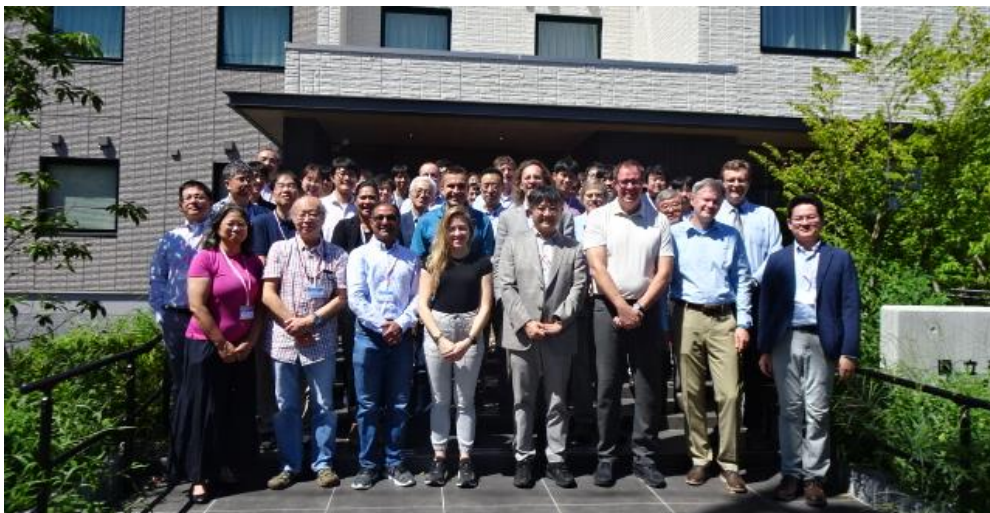
URL: <https://sites.google.com/view/us-japan-workshop-2024/%E3%83%9B%E3%83%BC%E3%83%A0>

主催：東京大学物性研究所 共催：日本原子力研究開発機構、物質科学研究センター

研究用原子炉 JRR-3 が運転再開してから 3 年が経過し、多くの研究成果が創出されるとともに、装置の開発およびアップグレードが大幅に進展した。たとえば、日米協力事業「中性子散乱」プログラムの下で建設された冷中性子多重型三軸分光器 HODACA は、昨年度に試運転を完了し、今年度からユーザー実験に提供されている。さらに、4 軸回折計 FONDER および三軸分光器 GPTAS における 2 次元位置検出器開発の試み、三軸分光器 TAS-2 における高エネルギー中性子実験を可能とするホットプレス Ge モノクロメーターの開発、日本原子力研究機構(JAEA)の各種中性子装置における様々な試料環境機器の導入など、実験技術面で多くの進歩があった。一方、オークリッジ国立研究所では、ベリリウム反射体の交換時期に次世代三軸分光器 MANTA の建設と既存装置の再配置が計画されている。さらに、西日本では、JAEA、京都大学、福井大学が先導する新試験研究炉の建設計画が進んでいる。このように、中性子研究環境が大きく変化する状況下において、装置開発のノウハウを共有することは重要である。

こうした背景のもと、本ワークショップでは、中性子散乱を用いた固体物理・ソフトマター研究と中性子散乱装置開発について議論するために、日米から 21 名(米国 11 名 日本 10 名)の講演者を招待した。各講演では、各分野での最先端の話題が取り上げられ、活発な議論がなされた。ポスターセッションも開催され、主に若手研究者による 33 件(米国 9 件、日本 24 件)の発表がなされた。

本ワークショップでは、若手の中性子散乱研究者との交流にも力点を置いた。米国では、政府の方針により、いくつかの大学に中性子散乱の拠点を構築し、オークリッジ国立研の研究用原子炉 HFIR と中性子核破砕源(SNS)の成果最大化を目指した経緯があった。これを反映して若手の中性子散乱研究者が多く活躍している。これに対し日本では、研究用原子炉 JRR-3 と中性子核破砕源 J-PARC MLF が運営され、数多くの成果は上がっているものの、若手研究者の数では米国にやや劣ることが明らかとなった。若手研究者育成は、日本の中性子散乱界の課題と言える。



9 月 4 日 (水)

9:00-9:05 Welcome remark (Osamu Yamamuro)

9:05-9:10 Explanation of scope of workshop (Takatsugu Masuda)

Session 1: Hard and soft matter sciences

Chair: Takatsugu Masuda, ISSP

9:10-9:40 Masaaki Sugiyama, Kyoto Univ.

Ordered Multi-reaction in Kai clock system

9:40-10:10 Eleanor Clements, ORNL

Uncovering Incommensurate Magnetism in Metallic Antiferromagnets Via Neutron Diffraction

10:10-10:40 Taro Nakajima, ISSP

Polarized and unpolarized neutron scattering studies on antiferromagnetic orders with multiple q-vectors

10:40-11:10 Masaaki Matsuda, ORNL

Magnetic Structures and Excitations in Multiferroic BiFeO₃ - High Magnetic Field and Polarized Neutron Studies

11:10-11:30 Coffee break

Session 2: Triple axis spectroscopy

Chair: Matthias Frontzek, ORNL

11:30-12:00 Takatsugu Masuda, ISSP

Current status of HODACA spectrometer

12:00-12:30 Adam Aczel, ORNL

Triple Axis Spectroscopy Upgrades at HFIR

12:30-13:30 Lunch

JRR-3 & J-PARC Tour (for US visitors)

14:00-15:30 JRR-3 Tour

15:30-17:00 J-PARC Tour

17:30-19:30 Poster Session with Banquet

9 月 5 日 (木)

Session 3: Neutron scattering instrumentation and capabilities

Chair: Shinichiro Asai, ISSP / Kazuhiro Nawa, IMRAM

9:00-9:30 Taku J Sato, IMRAM

Development of the Large Curved Two-Dimensional Neutron Position Sensitive Detector

9:30-10:00 Clarina dela Cruz, ORNL

Neutron Diffraction Upgrades at HFIR

10:00-10:30 Koji Kaneko, JAEA

Polarize neutron on TAS-1: restoration and future

10:30-11:00 Fankang Li, ORNL

Advanced Polarization Techniques at HFIR

11:00-11:20 Coffee break

Session 4: High Pressure Neutron Scattering

Chair: Eleanor Clements, ORNL

11:20-11:45	Yan Wu, ORNL
	High-pressure neutron scattering at ORNL
11:45-12:10	Yoshiya Uwatoko, CROSS
	Development high pressure cell for neutron diffraction
12:10-12:20	Photo session
12:20-13:40	Lunch
Session 5: Soft Matter and Biological Science and Instrumentation	
	Chair: Tatsuro Oda, ISSP / Ken Morishima, Kyoto Univ.
13:40-14:05	Sai Venkatesh Pingali, ORNL
	Neutron Scattering Studies of Biological Systems at HFIR
14:05-14:30	Takayuki Kumada, JAEA
	Spin-contrast-variation at JRR-3 and J-PARC
14:30-14:55	Lilin He, ORNL
	Advancing Soft Matter and Energy Research: Capabilities of the GP-SANS Instrument
14:55-15:20	Koichi Mayumi, ISSP
	SANS Studies on Nano-Structure of Soft Materials
15:20-15:45	Volker Urban, ORNL
	Bio/Soft Matter Neutron Scattering at ORNL with Examples from Lipid Membrane Research
15:45-16:05	Coffee break
Session 6: Quantum Materials Science and Instrumentation	
	Chair: Fankang Li, ORNL
16:05-16:30	Osamu Yamamuro, ISSP
	Recent Scientific Results Produced by Upgraded AGNES
16:30-16:55	Igor Zaliznyak, BNL
	Magnetism and Dirac Fermions in Layered A/RMnX ₂ Semimetals
16:55-17:20	Yukinobu Kawakita, J-PARC
	Science with pulsed neutron at MLF, J-PARC
17:20-17:45	John Tranquada, BNL
	Magnetic Order and Magnetoresistance in EuAuSb
17:45-17:50	Closing

「Materials Science of Solids and Surfaces using Radiation Field Controlled in Time and Space Domain (時間・空間領域で制御された輻射場による固体と表面の物性科学)」の報告

イメージングとその物理的機構について議論した。これらの講演から、時間・空間領域における輻射場の制御によって光電子分光が物性物理の実験手法として更なる発展を遂げ、物質表面や低次元物質、さらには半導体デバイスの評価にまでその応用が広がっていることを窺い知ることができた。

10月30日のセッション3は「SPM coupled with photon」と題し、主にレーザー分光や光検出技術と走査トンネル顕微鏡 (STM) を組み合わせた最先端研究に関して6つの講演が行われた。Wilson Ho 氏 (米国・カリフォルニア大アーバイン校) によるキーノート講演では、THz パルスと STM を組み合わせた fs-THz-STM 装置による単一分子の超高速ダイナミクス計測に関して詳細な紹介が行われた。塩足亮隼氏 (ドイツ・フリッツハーバー研) は、半導体表面上の単一分子など、これまでの測定対象を超えた探針増強ラマン分光 (TERS) 測定について紹介した。桑原裕司氏 (大阪大) は、STM 発光や TERS を駆使してキラリティを有する分子の光学特性を単分子レベルで調べる挑戦的研究について紹介した。武内修氏 (筑波大) は、超短パルスレーザーを用いた光ポンププローブ法と局所プローブ顕微鏡法を組み合わせたシステムの開発と、それを用いたキャリア再結合ダイナミクスの局所・超高速観測について発表した。熊谷崇氏 (分子研) は、近接場光学顕微鏡を用いた遷移金属ダイカルコゲナイドや酸化バナジウムなどの機能性ナノ材料の光学特性の精密計測について講演した。最後に、久保敦氏 (筑波大) が表面プラズモン波束の超高速ダイナミクス研究について報告した。

10月30日のセッション4「Operando spectroscopy of materials」では、物質が実際に機能している様子をそのまま (オペランド) 観察する分光実験を主題として4つの講演が行われた。まず Hendrik Bluhm 氏 (ドイツ・フリッツハーバー研) によるキーノート講演が行われ、気液界面の XPS 測定によるイオンや界面活性剤分子の挙動を明らかにした研究が紹介された。続いての豊島遼氏 (東京大) の講演では、Pt 薄膜ガスセンサーの機能時における電気伝導測定と固気界面状態の雰囲気光電子分光実験の結果が発表された。小板谷貴典氏 (京都大) の講演では雰囲気光電子分光法と偏光変調赤外反射吸収分光法の2つのオペランド実験が解説され、それらを組み合わせた銅ベース触媒の固気界面における CO₂ 活性化の研究が紹介された。前田修孝氏 (九州大) の講演では、変調励起赤外分光による CO₂ 水素化のオペランド実験の発表があった。これらのフロンティア研究はいずれも複雑な現象を取り扱っているにも関

わらず、高精度なオペランド実験データが再現性良くかつ複合的に得られており、その結果、素過程の1つ1つが明らかにされていた。

セッション5では「Spin detection and control in atomic scale」と題し、基板表面上の単一原子によるスピンに関する3つの講演が行われた。単一原子のスピン状態を計測し、その機構を解明するとともに、スピン状態を制御しようと試みる最先端研究の紹介があり、活発な議論がなされた。最初の米田忠弘氏 (東北大) によるキーノート講演では、氏がこれまで研究を進めてきた Tb フタロシアニン-ダブルデッカー分子内の、単一の Tb 原子由来のスピン共鳴信号を STM 探針により検出する (電子スピン共鳴 (ESR)-STM) という画期的な研究成果について紹介があった。他にも、スピン偏極トンネリングや近藤共鳴・スピン反転非弾性トンネルの信号検出など、STM を用いた単一スピン評価についても成果が述べられた。次の Massine Kalei 氏 (韓国・IBS 量子ナノ科学センター) は、f 電子がスピンを担う希土類元素の一つである Nb 原子について、放射光による磁気円二色性 (XMCD) や吸収分光の解析によって、単一原子でのスピン状態や各軌道の占有率を正確に評価し、さらにクラスター化や基板の入れ替えに対して如何に変化するかを評価できることを示した。土師将裕氏 (物性研) は、3d 元素である単一 Ti 元素のスピン状態を ESR-STM を駆使することで制御できることを示している。スピン共鳴を駆動するマイクロ波をパルス状に印加することでスピン状態を制御したり、原子マニピュレーションにより近接させた2個の Ti 原子を結合させ、2量子ビット間での演算を実現するなど興味深い研究成果が紹介された。この日の夕方には、全部で34件のポスター発表が行われ、活発な議論が交わされた。

10月31日のセッション6は「Advanced light source and nonlinear optical phenomena in materials」で、まずキーノート講演として廣理英基氏 (京都大) より、反強磁性スピンのテラヘルツ高速制御に関する発表があった。試料表面に取り付けたメタマテリアルにより電磁場を時空間的に制御し、瞬時的かつ局所的に3テスラを超える極めて強力なテラヘルツ磁場を発生させることに成功し、それを用いて室温で反強磁性磁化の高速制御に成功した画期的な成果が示され、その機構について議論がなされた。また、新規光源を用いた非線形応答の研究に関して、室谷悠太氏 (物性研) がディラック半金属の制御、田中駿介氏 (物性研) が新たなテラヘルツ電場検出手法の開発と表面分光への応用、堀尾眞史氏 (物性研) が X 線自由電子レーザーによる2

<https://yoshinobu.issp.u-tokyo.ac.jp/2024Oct> ISSP WS Abstract v4.pdf



普段は別々の専門分野で発表や討論を行なっている研究者間で、たいへん活発な質疑応答が行われた。若手研究者や大学院生が中心のポスターセッションはレベルが高く、活発に議論が行われてた。また、海外の大手研究者が熱心

に講演メモをとり質問をしていた姿が印象的であった。ワークショップ後に、海外の招待講演者から「I would like to thank you from the bottom of my heart for the invitation to the workshop and the excellent organization, I learned a lot and enjoyed the talks and discussions tremendously!」というメールをいただいた。異なる分野の最先端研究を直接聞くことにより、参加者の多くは大きな刺激を受けた。

本ワークショップは、物性研究所「ISSP 国際ワークショップ」、JST-CREST「革新的反応」研究領域の「国際強化支援策」および NINS「2024 年度共創戦略統括本部先端光科学研究プロジェクト」の支援を受けた。これらにより、国内外から多くの研究者を招待することができた。最後に、セッションの初めにご挨拶と物性研の紹介をしていただいた廣井所長、ワークショップの運営に大きな貢献をしていただいた物性研究所のスタッフ(教職員、事務補佐員)と大学院生の皆様に感謝したい。

(文責：ワークショップ世話人全員)



ワークショップにおける集合写真(2024年10月30日)

ISSP ワークショップ

ISSP Women's Week 2024 研究交流会

[期 間] 2024 年 12 月 3 日(火)～2024 年 12 月 4 日(水)

[提案者]

実行委員：中島多朗(代表)、井手上敏也、川畑幸平、長谷川幸雄、松田巖、宮田敦彦、山浦淳一

学生実行委員：白井亜美、渡我部りさ、渡辺 凌真、原 正彦、山岡良太

(所属は全員が東京大学物性研究所)

[主 催] 東京大学物性研究所

[協 賛] 日本学術振興会 学術変革領域研究(A)「1000 テスラ超強磁場による化学的カタストロフィー：非摂動磁場による化学結合の科学」

[ご支援] 本年度の企画はキオクシアホールディングス㈱の理系女性活躍推進活動にご支援いただきました。

物性研究所では、理工系の研究分野で現在少数である女性研究者のより一層の活躍及び割合増加をサポートするため、2021 年度より ISSP Women's week というイベントを開催してきました。今年度も 11 月末から 12 月上旬の期間を ISSP Women's week 2024 とし、その期間内の 2 日間で「研究交流会」を開催しました。この研究交流会は毎年工夫を凝らして開催されており、昨年度からは女性だけではなく男性の講演者も登壇し、広い視点から男女共同参画について議論が交わされました。これを踏まえて、今年度の研究交流会を開催する上で何を重点とするかについて年度はじめに実行委員会で議論したところ、「男性の講演者に登壇してもらうことを継続すること」「ダイバーシティの観点から外国籍の講演者を入れること」「学生が主体性を持って参加してくれるような企画をつくること」が挙がりました。これを踏まえて作成されたのが下記に示された今年度のプログラムです。8 名の招待講演者の皆様には、ご自身の研究テーマ、これまでのご自身の経験、男女共同参画・ダイバーシティ推進などにおける各大学・研究機関での取り組みなどをご紹介頂き、どの講演も非常に興味深く、質疑応答も含めて大変盛り上がりしました。

また、今年度のプログラムの目玉は「学生主催パネルディスカッション」でした。この企画のために、物性研内の大学院生 5 人が学生実行委員として参加してくれました。この 5 人と実行委員長の中島で事前に 2 回の学生実行委員会を開き、1 日目の後半の企画を考えました。当初実行委員長の私からは学生が登壇し自身の研究や男女共同参画に関わる要望などを話すような(無難な?)フォーマットを一例として提案しましたが、学生実行委員の皆さんは非常に意欲的で、招待講演者の先生方に直接質問をぶつけるパネルディスカッションや、テーマ毎に分かれたポスターボードの前に集まって直接対話する形式のディスカッションがしたいという意見が出され、実際にそのようなディスカッション中心の企画となりました。また、パネルディスカッ

ションのテーマは一般から広く募集したいという意見が出て、質問を投稿するための Web フォームも作成し、柏キヤンパスのカフェテリアにもポスターを出すなどしました。当日も 5 人の学生実行委員が順にマイクを持ってパネルディスカッションを仕切り、自らテーマを提示してパネラーになってくださった招待講演者の先生方と白熱した議論を繰り広げていました。その姿は聴衆として参加した他の学生たちにとっても刺激になったことと思います。

また、ISSP Women's week はこの 2 日間の研究交流会だけでなく、それに近い日程で開催された部門・施設セミナーなど物性研主催・共催のイベントに女性講師を積極的に招待する期間にもなっています。今年度も各部門・施設等にご協力いただき、下記に示すような多くの女性講師セミナーが開催されました。本来男女共同参画やダイバーシティという言葉は女性だけを指すものではなく、組織を構成する全員が意識すべきものですが、現時点では日本の物性研究コミュニティではまだまだ女性が少数であることから、このような期間を設けてコミュニティ全体としてこの問題を意識して改善に向けて取り組んでいく機会としていければと思います。

最後になりましたが、研究交流会や Women's week 全体を支えてくださった多くのスタッフの皆様、そしてご支援いただいたキオクシアホールディングス㈱と日本学術振興会 学術変革領域研究(A)「1000 テスラ超強磁場による化学的カタストロフィー：非摂動磁場による化学結合の科学」に深く感謝申し上げます。このイベントの準備のため、年度はじめから 3 回の実行委員会を開催してきましたが、そのすべてについて、所員は自由に参加聴講可能としました。実行委員ではないにもかかわらず参加してくださった先生方、特に複数回にわたって参加して重要なお意見を頂きました林久美子先生と高木里奈先生にもこの場を借りてお礼申し上げます。

物性研究

標題：Emergent physics in moiré materials

日時：2025 年 1 月 30 日(木) 午後 3 時

場所：物性研究所本館 6 階 大講義室 (A632)

講師：越野 幹人 大阪大学 大学院理学研究科

要旨：

Moiré two-dimensional materials, formed by stacking 2D crystals with a lattice mismatch, exhibit significant transformations in their electronic and phononic properties due to interference patterns in their atomic arrangements. These transformations give rise to various emergent phenomena absent in the original materials, such as superconductivity and even a fractional quantum Hall effect in the absence of a magnetic field. In this talk, I will provide an overview of the current research landscape in moiré-stacked 2D materials, including recent experimental and theoretical advances. I will introduce the basic continuum theories that describe moiré electronic systems and highlight recent developments in a variety of moiré 2D materials, quasiperiodic systems, and moiré phonons, which exhibit properties distinct from those of conventional atomic crystals.

【講師紹介】

越野幹人氏は、2003 年に東京大学で学位を取得後、東京工業大学、東北大学を経て、2016 年に大阪大学教授に就任されました。それ以来、二次元物質やトポロジカル物質の研究に精力的に取り組まれています。初期の研究では、単層および多層グラフェンに関するバンド構造や電気伝導の分野で先駆的な論文を発表し、現在の理論的標準を築く礎を築かれました。また、本講演のテーマであるモアレ物質に関しても、草創期から理論的な開拓に大きく貢献され、現在のブレイクスルーを支える一端を担われています。これらの卓越した業績により、2019 年には久保亮五記念賞および日本学術振興会賞を受賞されるなど、その功績が高く評価されています。談話会では、モアレ物質研究の最前線について、越野氏よりご講演いただきました。

物性研究

In this talk, I will introduce our theoretical studies based on effective models for correlated electrons in k-type organic compounds [1] and perovskite-type transition metal compounds [2]. In these systems, the dimeric molecular arrangements and the GdFeO₃-type lattice distortions, respectively, play the role of the crystallographic setting for altermagnetism. We show that antiferromagnetic orderings give rise to the non-relativistic spin splitting, owing to anisotropic sublattice dependent (and thus spin dependent) electron hoppings, and its consequent spin current generation, and the anomalous Hall effect in the presence of the spin-orbit coupling. Recent developments will also be discussed.

- 外部からのエネルギー注入がある非平衡開放系では、一般に作用反作用の法則が破れた非相反相互作用が生じうる。実際、脳科学、生態学、生物系からロボティクスに至る幅広い非平衡系で普遍的に非相反相互作用は現れることが知られている。近年、この非相反相互作用により巨視的物理量が「追いかけてこ」をする時間結晶相へと相転移することが見出され注目を集めている[1]。本発表では、非相反相互作用/相転移を固体電子系で光誘起する方法を提案する[2]。具体的には、金属強磁性体の局在スピン間相互作用の素過程に光によりエネルギー注入することにより、非相反 **RKKY** 相互作用

を及び非相反相転移を引き起こす方法を提案した。

[1] M. Fruchart*, R. Hanai*, et al., Nature 592, 363 (2021).

[2] R. Hanai, D. Ootsuki, and R. Tazai, arXiv:2406.05957 (2024).

標題：Quantum geometric properties and anomalous Hall effects in twisted TMDs

日時：2024 年 11 月 26 日(火) 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. Wang Yao

所属：The University of Hong Kong

要旨：

Abstract: This talk will discuss quantum geometric properties of electrons in homobilayer semiconductors arising from the layer pseudospin when twisting introduces its texture in real and momentum spaces. In small angle twisted transition metal dichalcogenides (TMDs), real-space Berry curvature from the moiré-patterned layer pseudospin texture realizes an effective magnetic field that underlies the emergence of quantum anomalous Hall (QAH) effects recently observed in t-MoTe₂. We show an intrinsic dipole Hall effect in both the ferromagnetic and antiferromagnet QAH states at integer fillings of the moiré, which leads to a novel magnetoelectricity. This allows contact-free detection of the topological transitions to QAH states, signified by a sudden sign switch of the magnetoelectric susceptibility. I will also discuss a bipartite limit of the fluxed three-orbital tight-binding model we initially proposed for twisted TMDs, featuring a singular flatband with band touching, where DMRG and ED calculations surprisingly reveal fractional QAH phases at its fractional fillings. Gapping the touching point turns singular flat band into a Chern band, but counter-intuitively, the fractional QAH phase gets quenched, which may be attributed to the variation in Berry curvature distribution upon the gap opening. If time allows, I will also briefly cover linear and nonlinear responses of quantum geometric origins from momentum space layer texture.

標題：テラヘルツ電場駆動 STM と STM 発光分光法の融合による新規分光手法の開拓

日時：2024 年 11 月 27 日(水) 午後 1 時 30 分～午後 3 分

場所：D 棟 D120

講師：木村 謙介

所属：理化学研究所

要旨：

単一分子を可視化できる走査トンネル顕微鏡(STM)に発光検出技術を組み合わせることで、STM のトンネル電流を励起源とした発光測定が可能であり、原子スケールの高い空間分解能で光学特性を調べることが可能である[1-2]。一方で、励起源として用いられるトンネル電流は電気回路により定常的に流れていることから、STM 発光測定の時間分解能は限られてきた。そこで、我々はシングルサイクルテラヘルツ(THz)パルスを用いて STM のトンネル電流を超高速に駆動する技術に注目し[3-4]、THz-STM と STM 発光の融合による新規分光手法の開発に取り組んできた[5]。本講演では、THz 電場駆動トンネル現象により単一分子を励起して、分子からの蛍光を検出することに近年成功したので紹介した。

[1] H. Imada, et al., Nature 538, 364 (2016).

[2] K. Kimura, et al., Nature 570, 210 (2019).

[3] T. L. Cocker, et al., Nat. Photon. 7, 620 (2013).

[4] K. Yoshioka, et al., Nat. Photon. 10, 762 (2016).

[5] K. Kimura, et al., ACS photon. 8, 982 (2021).

標題：Quantum criticality and emergent Lorentz symmetry in non-Hermitian Dirac materials

日時：2024年11月27日(水) 午後1時～午後2時

場所：物性研究所本館 6 階 第 6 セミナー室 (A616) および Online (ハイブリッド開催)

講師：Prof. Bitan Roy

所属 : Lehigh University, PA, USA

要旨：

From the Standard model for elementary particles to various quantum crystals, such as graphene, the dynamics of underlying fermionic degrees of freedom is governed by the Dirac Hamiltonian that manifestly preserves the Lorentz symmetry. In this talk, first I will propose a general construction of the Lorentz invariant Dirac operator in non-Hermitian (NH) systems, featuring two velocity parameters v_H and v_{NH} , associated with the Hermitian and anti-Hermitian components of such operators, respectively. I will show that in such noninteracting systems, all the observables, such as the energy spectrum, density of states, and frequency dependent optical conductivity and shear viscosity are governed by an effective Fermi velocity $v_F = (v_H^2 - v_{NH}^2)^{1/2}$. Next, I will consider interactions between NH Dirac quasiparticles and bosonic degrees of freedom, such as (a) the scalar order-parameter fluctuations mediated by short-range Hubbard-like repulsions, yielding Yukawa interactions and (b) relativistic helical photons, giving rise to NH quantum electrodynamics. In both scenarios, although the system primarily loses the Lorentz symmetry at the lattice or ultraviolet scale, it gains a NH Lorentz symmetry through various quantum corrections in the deep infrared regime in terms of a unique terminal velocity for all the participating degrees of freedom, generically tagged as the speed of light. If time permits, I will show such a generic outcome for spin-3/2 NH birefringent Dirac fermions toward the end of the talk.

References:

V. Juricic and B. Roy, Communications Physics 7, 169 (2024)

Sk A. Murshed and B. Roy, Journal of High Energy Physics 2024, 143 (2024)

Sk A. Murshed and B. Roy, arXiv:2407.18250

標題：有機磁性体の磁気格子設計と量子磁気状態

日時：2024年11月28日(木) 午前11時～午後0時

場所：Online

講師：細越裕子教授

所属：大阪公立大学

要旨：

有機化合物の π 電子スピンは、電子スピンの量子力学的性質が顕著に表れる特徴を持つ。スピン密度が、 π 共役系を介して分子全体に広がる特徴を利用して、結晶中のスピン空間構造を制御できる。本セミナーでは、こうした背景とともに、最近の研究成果として、次近接相互作用を持つ反強磁性スピンラダーの温度-磁場相図とスピン液体相、飽和磁場近傍に現れる非自明磁気相、フラストレート二次元磁性体の磁場中磁気状態などを紹介した。

また、ライフステージを振り返り、男女共同参画推進事業との関わりなどについても触れた。

標題：Altermagnetism from electronic correlations

日時：2024年12月5日(木) 午後3時30分～午後4時30分

場所：Online

講師：Sonia Haddad 氏

所属 : Faculte des Sciences de Tunis, Universite Tunis El Manar

要旨：

Altermagnetism has recently been proposed as a third class of magnetic materials.

Altermagnetic materials are characterized by a vanishing net magnetic moment and a spin polarized electronic band structure.

Their symmetry in principle allows for the existence of an anomalous Hall effect. Altermagnetic materials are characterized by a vanishing net magnetic moment and a spin polarized electronic band structure.

In this talk, we introduce a model with altermagnetism in which the emergence of an anomalous Hall effect is driven by interactions.

This model is grounded in a modified Kane-Mele framework with antiferromagnetic spin-spin correlations.

Quantum Monte Carlo simulations show that the system undergoes a finite temperature phase transition governed by a primary antiferromagnetic order parameter accompanied by a secondary one of Haldane type. The emergence of both orders turns the metallic state of the system, away from half-filling, to an altermagnet with a finite anomalous Hall conductivity [1]. A mean field ansatz corroborates these results, which pave the way into the study of correlation induced altermagnets with finite Berry curvature.

[1] Sato et al., Phys Rev. Lett. 133, 086503 (2024)

標題: Emergence of a Fermi-surface in the current-driven Hidden state of 1T-TaS2

日時：2024年12月6日(金) 午後3時

場所：物性研究所本館 6 階 第 5 セミナー室 (A615)

講師：Amit Kanigel 氏

所属：Technion-Israel Institute of Technology

要旨：

We investigate the nature of the metallic metastable state in 1T-TaS₂. Using micro-ARPES, we measure the spatially-dependent modifications of the electronic structure of the sample following a short current pulse. We observe that, in some regions of the sample, a Fermi surface emerges, while other regions remain gapped. A detailed study of the band structure in these different regions suggests that the metallic parts are in a state similar to the nearly commensurate charge density wave (NC-CDW) state, where the gaps are suppressed and a band crosses the Fermi level. Furthermore, we find that the metallic and insulating regions of the sample exhibit different dispersions normal to the planes. This observation is consistent with a scenario in which the current pulse breaks the star-of-David dimers present in the commensurate charge density wave (C-CDW) state.

標 題：鉄系超伝導体 Fe(Se,Te)薄膜ヘテロ構造における超伝導ダイオード効果の観測

日 時：2024 年 12 月 12 日(木) 午前 11 時～午後 0 時

場 所：Online

講 師：塩貝純一准教授

所 属：大阪大学大学院理学研究科

要 旨：

薄膜の表面・界面では、空間反転対称性の破れに起因する新奇な量子現象やスピン機能が発現する。

超伝導体を含む薄膜積層構造で観測される超伝導ダイオード効果はその好例である。この効果は量子磁束の非相反伝導現象に由来すると考えられるが、その起源については、構造の反転対称性の破れに起因するスピン軌道相互作用、試料構造のマクロな非対称性、試料内や試料端の非対称な欠陥等が提案されており、これまで様々な超伝導物質や試料構造を用いた研究が精力的に進められている。本セミナーでは、磁場中の超伝導臨界電流と高調波抵抗の二つの測定を通して、Fe(Se,Te)/FeTe 薄膜ヘテロ構造における超伝導ダイオード効果の起源について議論した。

標 題：Tensor tree learns hidden relational structures in data to construct generative models

日 時：2024 年 12 月 13 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：原田 健自

所 属：京都大学大学院 情報学研究科

要 旨：

Generative modeling is a significant machine learning technique that constructs the probability distribution of a dataset, owing to its wide range of applications across various problems. Recently, there has been extensive research into generative modeling on quantum computers, referred to as Born machines [1-8]. This approach utilizes the output of projective measurement of quantum states for stochastic samplings.

We propose a general method for constructing a generative model based on the tree tensor network within the Born machine framework [9]. The core idea is to optimize the tree structure dynamically to minimize the bond mutual information. We demonstrate potential applications with four examples:

- (1) Random bit sequences with long-range correlation
- (2) Images of handwritten digits from the QMNIST dataset
- (3) Bayesian networks
- (4) Stock price fluctuations in the S&P 500

Our method significantly enhances performance and reveals hidden relational structures in the target data, paving the way for future improvements and advancements.

[1] Z.Y. Han, J. Wang, H. Fan, L. Wang, and P. Zhang. Physical Review X, 8, 031012 (2018).

[2] J.-G. Liu and L. Wang. Physical Review A, 98, 062324 (2018).

[3] M. Benedetti, D. Garcia-Pintos, O. Perdomo, V. Leyton-Ortega, Y. Nam, and A. Perdomo-Ortiz. npj Quantum Information, 5, 45 (2019).

[4] S. Cheng, L. Wang, T. Xiang, and P. Zhang. Physical Review B, 99, 155131(2019).

[5] B. Coyle, D. Mills, V. Danos, and E. Kashefi. npj Quantum Information, 6, 60 (2020).

[6] M. Benedetti, B. Coyle, M. Fiorentini, M. Lubasch, and M. Rosenkranz. Physical Review Applied, 16, 044057 (2021).

[7] M.S. Rudolph, J. Miller, D. Motlagh, J. Chen, A. Acharya, and A. Perdomo-Ortiz. Nature Communications, 14, 8367 (2023).

- [1] Lu, Xiaobo, et al. Nat. Comm. 11.1 (2020): 4724.
- [2] Gu, Yiqing, et al. Physical Review Letters 132.24 (2024): 246702.
- [3] Forslund, Ola Kenji, et al. arXiv preprint arXiv:2111.06246 (2021).
- [4] Ge, Yuqing, et al., in preparation.
- [5] Forslund, Ola Kenji, et al. arXiv preprint arXiv:2210.17455 (2022).
- [6] Moriya, Tôru. Physical review 120.1 (1960): 91.

物性研だより第 65 巻第 1 号 66

Additionally, we discuss the notable connection between frustration-free systems and Markov processes. It is known that Markov processes which describe standard relaxation to equilibrium states can be mapped onto frustration-free systems. The inequality , long recognized but unproven in non-equilibrium statistical physics, finds a rigorous foundation through our quantum framework.

[3] K. Nakagawa et al., under review.

showed that the Mermin-Wagner-Hohenberg theorem is respected within this approach, i.e., symmetry breaking only occurs in the Ising sector. Finally, we also determined the critical value above which this phenomenon occurs to be $N \sim 15$.

標題：強磁場下における偏光顕微観察装置の開発と応用

日時：2025 年 1 月 24 日(金) 午前 11 時～午後 0 時

場所：Online

講師：木下雄斗 特任助教

要旨：

磁場中における偏光顕微観察は、物性分野のみならず、生物、材料科学など幅広い分野への応用が期待される。一方で、磁場印加に用いるマグネットへの制約が大きく強磁場下における偏光顕微観察についてはそれほど行われてこなかった。我々は対物レンズを既存の強磁場印加用マグネット内の試料空間に直接挿入することで定常およびパルス強磁場中で偏光顕微観察可能な装置を開発した。また装置の拡張として長焦点レンズを利用した広視野における観察や磁気冷凍を用いた低温イメージング、圧力下イメージングなどにも取り組んでいる。講演では装置の概要と実際の観察結果について紹介した。

標 題：超伝導接合における完全計数統計の理論

日時：2025 年 1 月 29 日(水) 午後 1 時～午後 2 時

場所：物性研究所本館 6 階 第 4 セミナ一室 (A614)

講師：田仲 由喜夫

所属：名古屋大学大学院

要旨：

電流の相関により生じるノイズは、メゾスコピック系を研究するための重要な情報を与え、コンダクタンスだけでは得られない知見を明らかにする。例えば、ノイズ測定は、従来の超伝導体の輸送キャリアが電荷 $2e$ を持つことを示している[1]。既存の理論では、従来型超伝導体のトンネル接合におけるゼロ温度ショットノイズに焦点が当てられており、ここでは準粒子とクーパー対のトンネル効果によって伝導特性が決定される。また電流の高次の相関の計算を可能とする完全係数統計の理論は従来型超伝導体接合に対して確立していた[2]。一方、非従来型超伝導体においては、通常の準粒子とクーパー対のトンネル効果に加えて第 3 のタイプの電荷輸送の担い手となる表面アンドレーエフ束縛状態 (SABS) が存在する[3]。系を記述するハミルトニアンの特異なトポロジカル不変量に由来する SABS を有する非従来型超伝導体はトポロジカル超伝導体となることが知られている[4,5]。

本発表では、非従来型超伝導体/常伝導金属接合における、完全係数統計の理論を紹介した[7]。この理論においては、SABS に加えて熱雑音がファノ因子（ノイズパワーの電圧微分とコンダクタンスの比）に及ぼす影響が自然に取り入れられているという特徴がある。SABS が分散をもたないフラットバンド零エネルギー状態になるか分散を有するかによって、ファノ因子の温度・電圧依存性に特徴的な違いが表れることが明らかになった[7]。

- [1] Y. M. Blanter and M. Büttiker, Phys. Rep. 336, 1 (2000).
- [2] W. Belzig and Y. V. Nazarov, Phys. Rev. Lett. 87, 067006 (2001).
- [3] S. Kashiwaya and Y. Tanaka. Rep. Prog. Phys. 63, 1641 (2000).
- [4] M. Sato, Y. Tanaka, K. Yada, and T. Yokoyama, Phys. Rev. B 83, 224511 (2011).
- [5] Y. Tanaka, M. Sato, and N. Nagaosa, J. Phys. Soc. Jpn. 81, 011013 (2012).
- [6] 超伝導接合の物理 田仲由喜夫(名古屋大学出版会)2021 年
- [7] T. Kikkeler, A. Golubov, F.S. Bergeret, and Y. Tanaka, arXiv:2411.02011 (2024).

標題 : Dynamics with Simultaneous Dissipations to Fermionic and Bosonic Thermal Reservoirs

日時 : 2025 年 1 月 31 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 : Arguelles Elvis Flaviano

所属 : 東京大学物性研究所

要旨 :

Open systems evolve over time interacting with fermionic or bosonic reservoirs representing electrons in electrodes, lattice vibrations or electromagnetic fields. These reservoirs act as energy dissipation channels and sources of fluctuations that affect the dynamics. In electrochemical systems, the dynamics occurs under a moderate non-equilibrium condition influenced by a delicate balance of the multiple reservoirs. A critical property for characterizing such systems is the rate at which energy and charge are exchanged with the reservoirs, which can be investigated in principle using a microscopic-like theory based on the Langevin equation by incorporating the fluctuations and dissipation. The effect of multiple reservoirs, however, has received limited attention.

In this talk, we present a reformulation of the particle dynamics using the influence functional path integral [1] framework, which yields without phenomenological assumptions, a quasiclassical Langevin equation that incorporates non-Markovian effects of bosonic and fermionic reservoirs. As an example of the fermionic reservoir, we consider electrons in a metal electrode, where the dissipation of particle energy occurs via electron-hole pairs excitations giving rise to electronic friction. An explicit expression for the local dissipation kernel (Markovian kernel) is given in the limit of slow particle motion [2] providing a way to calculate the energy transfer rate through stochastic simulations. For demonstration purposes, we applied the framework to prototypical electrochemical systems [3] where a hydrogen (H) atom moves in contact with a metal electrode and solvent modes. We explore the interplay of the reservoirs using two scenarios: (1) quantum vibrational relaxation of a hydrogen (H) confined on a metal surface and (2) solvated electrochemical proton discharge.

[1] R. P. Feynman and F. L. Vernon, Ann. Phys. 24, 118 (1963).

[2] E. F. Arguelles and O. Sugino, J. Chem. Phys. 160, 144102 (2024).

[3] E. F. Arguelles and O. Sugino, in preparation.

標題 : Spin pumping without quasiparticles

日時 : 2025 年 2 月 3 日(月) 午後 2 時~午後 3 時

場所 : Seminar Room 5 (A615), 6th Floor, ISSP and Online

講師 : Dr. Xiao-Tian Zhang

所属 : University of the Chinese Academy of Sciences

要旨 :

Spin pumping effect is a sensitive and well-established experimental method in two-dimensional (2D) magnetic materials. In this talk, we focus on the exotic case that strong interactions render Landau's quasiparticle not well-defined and the correlated system near a quantum critical point becomes a non-Fermi liquid(NFL) metal. We study the spin pumping effect of the NFL metal where the spin angular moments are not carried by any quasiparticles. We propose that spin pumping effect can be a valuable probe for NFL behaviors at the 2D interface of magnetic heterostructures. We show that the conventional Gilbert damping mechanism becomes invalid in the low-temperature regime, where it exhibits a power-law divergent ferromagnetic resonance (FMR) modulation; Whereas, at finite temperatures, Gilbert damping is restored. In both regimes, the non-quasiparticle nature of the NFL metal can be

extracted from experimentally measurable FMR modulation signals. If time allows, we will briefly mention our works on the NFL, including a novel type of NFL arises from a magnetic heterostructure, and more importantly, the strange metal transport that is relevant to the high-Tc cuprate superconductor and twisted bilayer graphene.

Xiao-Tian Zhang (张啸天) earned his bachelor's degree from the College for Gifted Youngs at the University of Science and Technology of China in 2013. He then pursued his PhD at the International Center for Quantum Materials, Peking University, under the supervision of Prof. Ryuichi Shindou, graduating in 2019. From 2019 to 2022, he worked as a postdoc in Prof. Gang Chen's group at the University of Hong Kong. In 2022, he joined the Kavli Institute for Theoretical Sciences at UCAS, as a Director's Postdoctoral Fellow and Special Research Assistant (a.k.a. Assistant Researcher).

日時：2025 年 2 月 5 日(水) 午後 4 時～午後 5 時

講師 : Dr. SangEun Han

要旨：

References:

標題 : Fascinating Molecular Nature of Organic Semiconductors – Photoconversion Driven by Molecular Structure and Orientation

講師 : Prof. Ji-Seon Kim

要旨：

flexibility in the tuning of their electronic and optical properties. In particular, the development of small molecule-based non-fullerene acceptors has enabled organic photoconversion devices such as photovoltaics and photodetectors to show remarkable improvements in device efficiency. Although promising, there is still a lack of fundamental understanding of the impact of molecular structure and orientation on photophysical processes critical for device performance.

In this talk, I will discuss the molecular perspectives of organic semiconductors for high performance photoconversion devices. First, I will show the molecular-structure dependent photostability, with a focus on molecular planarity, rigidity, and end groups [1, 2]. Second, I will show the molecular orientation-dependent energy level shifts, demonstrating the impact of molecular quadrupole moments on thin film energetics and thereby on free charge generation [3-5]. Finally, I will discuss how the minor modification of sidechains affects the structural relaxation dynamics via strong electron phonon coupling and hence the excited states formation upon photoexcitation [6]. These results provide key fundamental understanding of molecular semiconductors.

References

- [1] Luke et al., (2023) “Key molecular perspectives for high stability in organic photovoltaics”, NATURE REVIEWS MATERIALS, doi:10.1038/s41578-023-00606-5
- [2] Luke et al., (2022) “Strong Intermolecular Interactions Induced by High Quadrupole Moments Enable Excellent Photostability of Non - Fullerene Acceptors for Organic Photovoltaics” , ADVANCED ENERGY MATERIALS, 2201267. doi:10.1002/aenm.202201267
- [3] Fu et al., (2023) “Molecular orientation-dependent energetic shifts in solution processed non-fullerene acceptors and their impact on organic solar cell performance”, NATURE COMMUNICATIONS, 14, 1870, doi:10.1038/s41467-023-37234-0
- [4] Park et al., (2023) “The State-of-the-Art Solution-Processed Single Component Organic Photodetectors Achieved by Strong Quenching of Intermolecular Emissive State and High Quadrupole Moment in Non Fullerene Acceptors”, ADVANCED MATERIALS, doi:10.1002/adma.202306655
- [5] Rana et al, (2024) “Octupole Moment Driven Free Charge Generation in Partially Chlorinated Subphthalocyanine for Planar Heterojunction Organic Photodetectors”, NATURE COMMUNICATIONS, 15(1), 5058. doi:10.1038/s41467-024-49169-1
- [6] Pagano et al., (2024) “Slow vibrational relaxation drives ultrafast formation of photoexcited polaron pair states in glycolated conjugated polymers”. NATURE COMMUNICATIONS. 15(1). 6153. doi:10.1038/s41467-024-50530-7

標題 : Spinon Singlet in Quantum Colored String: Origin of d-Wave Pairing in a Partially-Filled Stripe

日時：2025 年 2 月 7 日(金) 午後 2 時～午後 3 時

場所：物性研究所本館 6 階 第 5 セミナ一室 (A615)

講師：Prof. Xuefeng Zhang

所属：Chongqing University

要旨：

Although both experimental observations and numerical simulations have reached a consensus that the stripe phase is intertwined with superconductivity in cuprates, the microscopic mechanism behind d-wave pairing in the presence of stripes remains unclear. Using the effective theory of quantum colored strings, we derive the wavefunction in Fock space. Our results show that two spinons with opposite chiralities tend to pair into a spinon singlet, which in turn facilitates the formation of negative pair-pair correlations between distant x-bonds and y-bonds, a hallmark of the d-

wave pairing pattern. The same pair-pair correlation pattern is observed across various models, as confirmed by large-scale density matrix renormalization group calculations. Based on these results, we conclude that the spinon singlet is the origin of d-wave superconductivity in a fluctuating, partially-filled stripe, and this mechanism may also extend to multi-stripe configurations.

Reference:

[1] arXiv:2412.04379

[2] arXiv:2406.01980

標題：多面体に基づく結晶構造デザイン

日時：2025 年 2 月 7 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) 及び ZOOM (Hybrid)

講師：横山 智康 氏

所属：パナソニック ホールディングス株式会社

要旨：

材料物性を決定する根源的なパラメータは、組成と構造である。組成設計は、ドーパント元素の選択や代替材料の開発など、多くの分野で成功を収めてきた。これは、周期表によって望ましい組成を特定することに起因する。一方、構造設計、特に結晶材料における構造設計は、組成設計よりも難しい。このような困難は、イオン伝導性、誘電性、磁性など、結晶構造に強く影響される物性の理解を妨げている。

こうした現状を踏まえ、結晶構造設計の実現のためには、まず結晶構造における最小単位を定義する必要があると考え、それを多面体と定義した。なぜなら、結晶構造は周期的に繰り返される単位の集合体であり、各単位は空間を隙間なく埋め尽くす多面体の頂点に配置された原子で構成されているからである。金属結晶だけでなく、イオン結晶も多面体に基づいて考えることができる。負に帯電したアニオンから成り立つ構造をフレームワークとし、そのフレームワークを構成する多面体の中心サイトに正に帯電したカチオンが配置されている構造としてイオン結晶を捉えることができる。よって、元素を制御し組成をデザインするように、多面体を制御し結晶構造をデザインすることで、効率的な材料開発を実現できると考えた。

そこで本発表では、四面体に基づいたイオン伝導体の設計[1]と、グラフ理論による多面体から結晶構造生成[2]の二つの事例に関して紹介した。

[1] T. Yokoyama, et al., arXiv, 2407.02838 (2024).

[2] T. Yokoyama, et al., *Cryst. Growth Des.*, **24** (2024) 2168–2178.

東京大学

発令日	氏 名	部門・施設名等	職 名	備 考
-----	-----	---------	-----	-----

R6.10.21	HERBUT IGOR	量子物質研究グループ	特任教授	サイモンフレーザー大学 教授から
R6.12.8	Lu Yuanming	量子物質研究グループ	特任教授	オハイオ州立大学 教授から
R7.1.1	古府 麻衣子	附属中性子科学研究施設	教授	日本原子力研究開発機構 J-PARC センター物質・生命科学ディビジョン中性子利用セクション 主任研究員から
R7.1.5	Zhao Zhigang	附属極限コヒーレント光科学研究センター	特任教授	山東大学情報科学工学研究科 教授から

編集後記

物性研は1957年に設立後、1980年と1998年に組織改編が行われたあと、25年以上も大規模な組織改編がありませんでした。現在、第4世代とも言える組織づくりの準備が進んでおり、来年度には模様替えがされる予定です。また、東京大学の本体についても国際卓越研究大学の議論が進んでおり、大きな変革の時期を迎えようとしています。

今号では6件の研究成果があり、最初は、2024年の客員所員であった木村先生が開発された、方向二色性に基づいた手法での擬一次元量子反強磁性体の磁区の観測です。2件目は、物性研で藤原・谷内先生が開発を続けられているレーザー励起光電子顕微鏡で、その強みを遺憾なく発揮したレジストの潜像のイメージングの研究です。3件目には、近藤絶縁体として長い歴史をもつ YbB_{12} での磁場中での複合フェルミオンの観測で、 YbB_{12} の物理解明は未だ未だ先になりそうです。4件目には、最近のホットトピックスである交替磁性体での、その検証となる中性子によるカイラリティの観測です。5件目には、物性研だよりでは常連となっている Mn_3Sn で、カゴメ格子のc面を直立させたエピタキシャル成長をおこなうという離れ業(?)による、新規のスピントルクダイオード効果の実証の成果です。6件目は、低分子と高分子の間に位置するオリゴマーでの電荷移動をコントロールすべく開発の成果で、読んでみると「気がついた」「驚くべきことに」など、その開発の過程の様子がうかがえます。

今号には、上床先生の退職の記事もあります。高圧の研究室出身でなく、助手から高圧の研究を始められたこと、あの極小空間での職人技の端子付けを成功した学生が2人しか居なかったことなど、高圧の開発の歴史とともにエピソードが詰まっています。他にも受賞や研究会など、是非ご一読頂ければと思います。

鈴木博之

物性研だよりの購読について

物性研だより発行のメール連絡を希望される方は共同利用係まで連絡願います。

また、物性研だよりの送付について下記の変更がある場合は、お手数ですが共同利用係まで連絡願います。

記

1. 送付先住所変更（勤務先⇔自宅等）
2. 所属・職名変更
3. 氏名修正（誤字脱字等）
4. 配信停止
5. 送付冊数変更（機関送付分）
6. メール配信への変更

変更連絡先：東京大学物性研究所共同利用係

〒277-8581 柏市柏の葉 5-1-5

メール：issp-kyodo@issp.u-tokyo.ac.jp