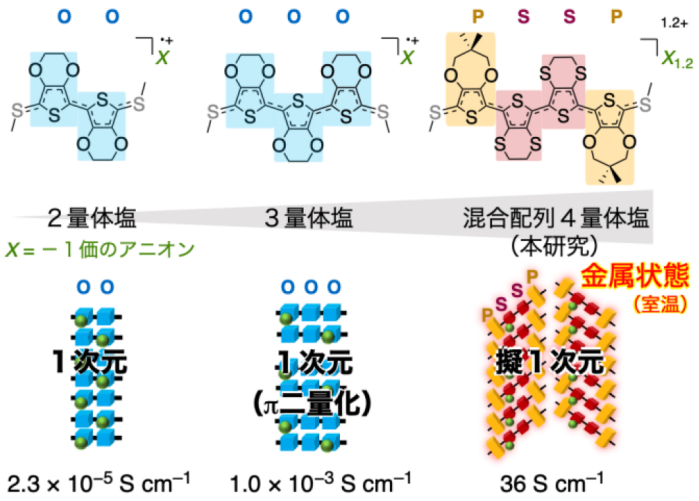
物性研だより

BUSSEIKEN DAYORI

第 63 巻
第 3 号
2023 年度

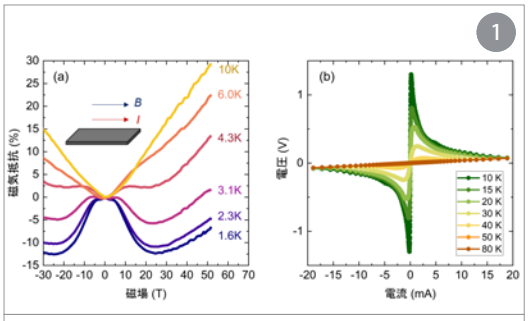
- 有機物質によるトポロジカル絶縁体の発見と その特異な物性の観測
- 中性子散乱による時間反転対称性の 破れた非共面的反強磁性磁気構造の研究
- 強磁性スピネル物質$HgCr_2Se_4$は 磁性ワイル半金属か？　磁性半導体か？
- エネルギーロスの小さなPd_2MnGaメタ磁性形状記憶合金の開発
- 室温以上で金属化する高伝導オリゴマー型有機伝導体を開発 ― 電子機能性を制御する新コンセプトによる 有機電子デバイス開発の技術革新に期待 ―

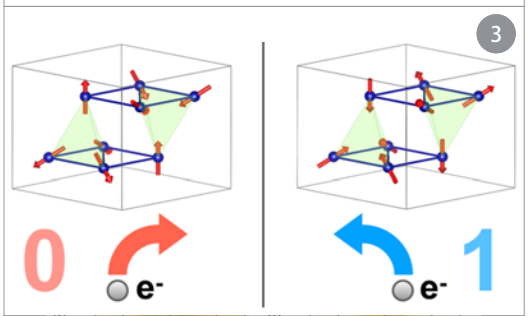


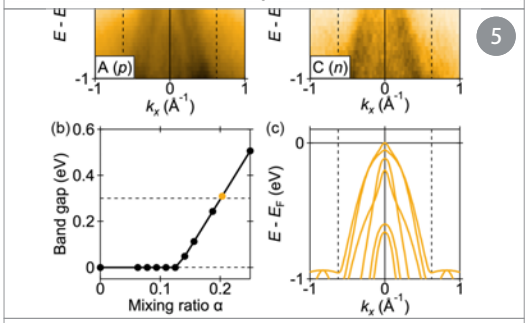
東京大学 物性研究所
THE INSTITUTE FOR SOLID STATE PHYSICS
THE UNIVERSITY OF TOKYO
Copyright ©2023 Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo. All rights Reserved.
ISSN 0385-9843

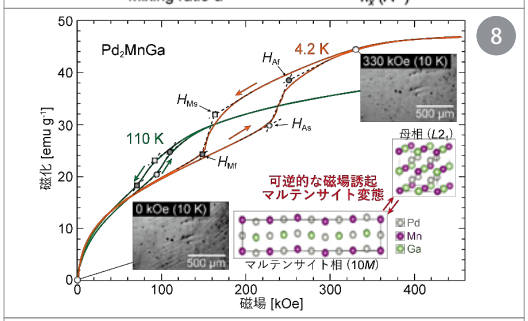
第 63 巻
第 3 号
2023 年度

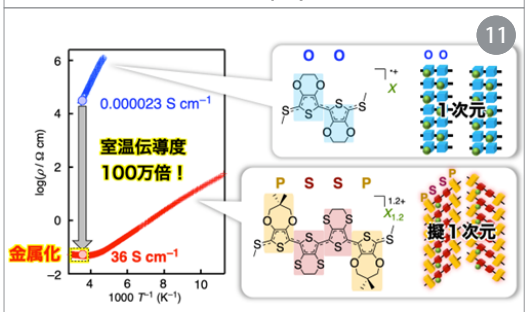
contents

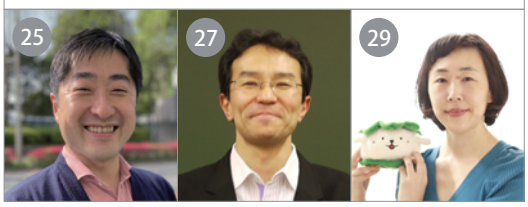












1 有機物質によるトポロジカル絶縁体の発見とその特異な物性の観測
野本 哲也、今城 周作、小濱 芳允

3 中性子散乱による時間反転対称性の破れた非共面的反強磁性磁気構造の研究
中島 多朗、高木 里奈

5 強磁性スピネル物質 $HgCr_2Se_4$ は磁性ワイル半金属か？　磁性半導体か？
田中 宏明、明石 遼介、松永 隆佑、近藤 猛、黒田 健太

8 エネルギーロスの小さな Pd_2MnGa メタ磁性形状記憶合金の開発
伊東 達矢、許 晶、大森 俊洋、貝沼 亮介

11 室温以上で金属化する高伝導オリゴマー型有機伝導体を開発
—電子機能性を制御する新コンセプトによる有機電子デバイス開発の技術革新に期待—
小野塚 洸太、藤野 智子、森 初果、吉見 一慶、尾崎 泰助

14 第 17 回日本物理学会若手奨励賞（領域 3）を受賞して　野村 肇宏

16 日本物理学会若手奨励賞を受賞して　石川 孟

17 分子科学会優秀ポスター賞・日本物理学会学生優秀発表賞を受賞して　伊藤 雅聡

18 日本物理学会学生優秀発表賞を受賞して　菊地 帆高

20 「日本物理学会（領域 8）学生優秀発表賞」を受賞して　池野辺 寿弥

21 INTERMAG 2023
Best Student Presentation Award Finalist & Best 2023 Lightning Talk Award
Nico Daniel BUDAI

23 IHPCI ソフトウェア賞の受賞について　川島 直輝

25 物性研に着任して　橋坂 昌幸

27　山浦 淳一

29　林 久美子

【ISSP ワークショップ】
31 ○Metastability from an Interdisciplinary Perspective
33 ○パルス強磁場における物性測定技術の最前線
36 ○「新物質研究の最前線：特徴的なアプローチが導く新物性・新機能」開催報告
38 【物性研究所談話会】
40 【物性研究所セミナー】
24 【物性研ニュース】
49 ○東京大学物性研究所人事異動一覧
51 ○東京大学物性研究所教員公募について
59 ○東京大学物性研究所特任研究員公募について
61 ○東京大学物性研究所の客員教授（准教授）公募のご案内
編集後記
物性研だよりの購読について

有機物質によるトポロジカル絶縁体の発見とその特異な物性の観測

物性研究所・附属国際超科学研究施設　　野本 哲也　今城 周作　小濱 芳允

[研究背景]

トポロジカル絶縁体は、絶縁体のバルクと金属的な表面/エッジ状態を有する特殊な物質です。トポロジカル絶縁体の持つ表面金属状態は時間反転対称性の保護により不純物などに対して堅牢であることに加え、散逸の無いスピン流といった物性が現れることから、新しいエレクトロニクス・スピントロニクス材料としての期待が持たれています。一般に、トポロジカル絶縁体状態は元素の持つ強いスピン—軌道相互作用(SOC)によってバンド反転が起こる際に生じるため、これまでに報告されているトポロジカル絶縁体はその多くが SOC の強い重元素を含んでいます。逆に、SOC の弱い有機物質ではトポロジカル絶縁体状態の発現は非常に困難であるとされてきました。理論上の候補物質としては、共有結合性有機構造体(COF)[1]や有機金属構造体(MOF)[2]、有機電荷移動錯体[3]などが有機物質ベースのトポロジカル絶縁体として提案されていますが、実験的な報告例はこれまでありませんでした。

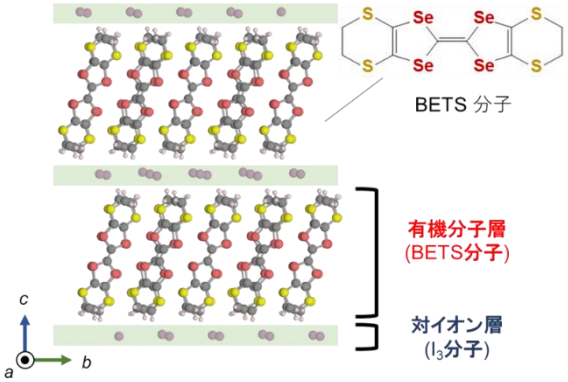


図 1　α-$(BETS)_2I_3$ の結晶構造

本研究では、有機トポロジカル絶縁体候補物質の一つである有機電荷移動錯体 α-$(BETS)_2I_3$(図 1)を対象とした物性研究を行いました。本物質は室温では金属であり、低温では絶縁体に変化することが以前から知られていましたが[4]、この絶縁化の起源は未解明の問題でした。近年の理論研究では、この物質の低温相は電子の多体効果(強相関性)に由来する新しいタイプのトポロジカル絶縁体状態ではないかという提案がなされており[5]、実験による検証が求められてきました。一般的なトポロジカル絶縁体の研究では、角度分解光電子分光法(ARPES)や走査トンネル顕微鏡(STM)などを利用してトポロジカル表面状態の検出・議論を行いますが、有機物質は劈開性の悪さや試料劣化などの問題により通常測定が困難です。そこで、輸送特性や強磁場下の磁場応答性の観察により本物質の電子状態について考察しました。

[研究内容]

まず本物質の電気抵抗の温度依存性と端子配置による違いなどを調べました。図 2(a)に抵抗測定の概略図を示します。表面状態を調べるため、外部から電流を加えてその間の電圧を読みとる通常の抵抗測定(図 2①)に加えて、表面伝導の効果が強く表れる結晶の裏面(図 2②)や電流端子の外側(図 2③)に配置された端子による抵抗測定も併せて行いました。通常の絶縁体の場合、電気抵抗は温度の低下と共に指数関数的に上昇しますが、この物質では 10-40K の領域で凹状の異常が観測され、極低温では抵抗上昇が緩やかになっていきます(図 2(b))。また、端子配置②および③の測定では 10K 以下で抵抗が一定値に飽和するような温度依存性が観測されました。電気抵抗が低温で飽和する挙動は表面に金属伝導が存在する物質に見られる特徴であり[6]、本物質の低温電子状態がトポロジカル絶縁体であることを示唆しています。

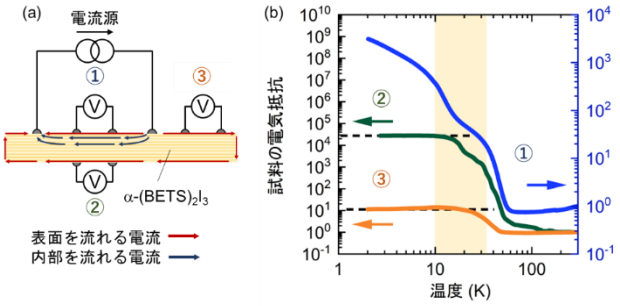


図 2　電気抵抗測定の概略図と抵抗値の温度依存性
(a)抵抗測定における端子配置。①: 通常の抵抗測定。試料に電流を流して電流端子間の電圧を測定する。トポロジカル絶縁体の場合、伝導的な表面の抵抗と絶縁体である内部の抵抗の合成抵抗が得られる。②および③: 表面伝導が存在する場合、結晶表面を回り込むように電流が流れる。この経路に沿って抵抗を測定すると表面伝導の寄与が強く観測される。(b)三つの端子配置で観測した電気抵抗の温度依存性。図中の抵抗値は室温での値で規格化したもの。

次に有機トポロジカル絶縁体に特徴的な物性を観測するため、電気伝導性に対する外場の影響を調査しました(図 3)。まず、磁場と電流が平行になるように印加した際に、磁場の自乗に比例する巨大な負の磁気抵抗が観測されることが分かりました(図 3(a))。これは“カイラル磁気異常効果”と呼ばれる量子異常の特徴とよく似通っており[7]、物質中に相対論的な質量 0 の粒子(カイラルフェルミオン)が存在することを示唆する結果です。従って本物質が有する低温のバンド構造は、Dirac-cone 型のバンド分散上に非常に小さなバンドギャップが開いた状態にあると推測することが出来ます。また、本物質の電流－電圧特性は高電流領域でオームの法則に従わず、電流の増加と共に電圧が減少する負性微分抵抗が観測されることが分かります(図 3(b))。これは電流を印加することでバルクの絶縁体状態が壊れ、全体が金属の状態へとスイッチングする(巨大非線形伝導性)ことを表しています。このような電流による金属－絶縁体スイッチングは、強相関性によって絶縁化した物質においてしばしば観測される挙動であり[8]、本系の絶縁化機構にも電子相関が関与していることを示唆している結果であると言えます。

これらの特異な外場応答性は通常の無機物質におけるトポロジカル絶縁体では観測されない特徴であり、トポロジカル絶縁体状態の発現機構や電子状態が従来のものとは大きく異なっていることを示唆しています。加えて、有機トポロジカル絶縁体が外場によって物性制御可能なトポロジカル材料として有望であることを示しています。

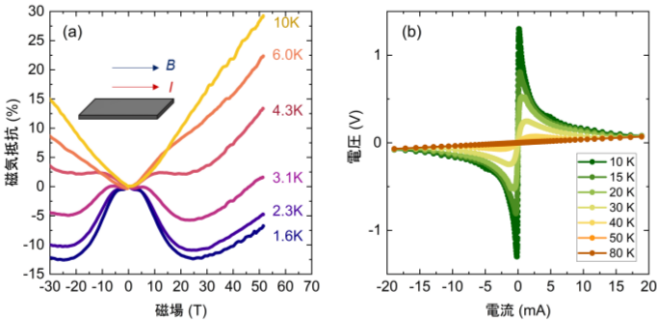


図 3　α-(BETS)$_2$I$_3$ の特異な磁場・電場応答性
(a)低温における磁気抵抗効果。電流と平行になるように磁場を印加すると、カイラル磁気異常効果による負の磁気抵抗効果が観測される。(b)電流－電圧特性の温度変化。低温絶縁相では電流－電圧測定がオームの法則に従わず、電流が増加すると電圧が減少する。

まとめ

今回の結果は、理論上の存在であった有機トポロジカル絶縁体が存在していることを初めて示したという点で重要な成果であり、トポロジカル絶縁体が実現するメカニズムの解明に向けて重要な知見を与えます。また、磁場や電場といった外部パラメータによってその物性が劇的に変化するという、デバイス材料として魅力的であるという新たな側面も明らかにしました。有機物質からなる有機導体や有機半導体は軽量で安価、柔軟性に優れるといった特徴を持ち、現在でもさまざまな電子部品に応用されています。本研究によって得られた知見を元にさらに多くの有機物質でトポロジカル絶縁体を実現できれば、トポロジカル物質の産業応用が飛躍的に進展することが期待されます。

謝辞

本研究は、大阪大学大学院・理学研究科の圷広樹氏、中澤康浩氏との共同研究で行われました。また、本研究は日本学術振興会・科学研究費[課題番号:18J20362、21K20347、22H00104]等の助成を受けて行われました。

参考文献

[1] Z. F. Wang, N. Su, and F. Liu, *Nano. Lett.* **13**, 2842 (2013).
[2] Z. F. Wang, Z. Liu, and F. Liu, *Nat. Commun.* **4**, 1471 (2013).
[3] S. Kitou et al., *Phys. Rev. B* **103**, 035135 (2021).
[4] M. Inokuchi et al., *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **68**, 547 (1995).
[5] D. Ohki, K. Yoshimi, and A. Kobayashi, *Phys. Rev. B* **105**, 205123 (2022).
[6] Y. S. Eo et al., *Phys. Rev. Appl.* **9**, 044006 (2018).
[7] H. B. Nielsen and M. Ninomiya, *Phys. Lett. B* **130**, 389 (1983).
[8] F. Sawano et al., *Nature* **437**, 522 (2005).

中性子散乱による時間反転対称性の破れた非共面的反強磁性磁気構造の研究

中性子科学研究施設　　中島 多朗
凝縮系物性研究部門　　高木 里奈

物質中の磁気モーメントが自発的に同じ方向に揃う現象である「強磁性」は、我々にとってとても身近な現象であり、固体物理としても本質的に重要なテーマです。一番身近な強磁性体としては冷蔵庫のドアにくっつくマグネット(永久磁石)が挙げられるかもしれませんし、応用としてはモーターなどの動力装置やハードディスクなどの情報記憶装置まで、幅広く使われています。まさに、私たちの暮らしを支えている物性現象の一つと言えると思います。この強磁性という現象を特徴づける性質に「時間反転対称性の破れ」というものがあります。物質中の磁気モーメントは円電流と等価であり、図 1 のように上向きの磁気モーメントが生じている状態に対して時間反転の操作を行うと、電流が逆向きに流れることになり、磁気モーメントの向きが反転します。よって、物質全体で自発磁化が生じている状態は、マクロに時間反転対称性が破れていると考えることができます。強磁性と時間反転対称性の破れは一対一に対応するかのように思えますが、近年の固体物性では「時間反転対称性は破れているが単純な強磁性ではない」という変わった磁気秩序が大きな注目を集め、盛んに研究されています。物性研だよりの読者の皆様であればよくご存知かと思いますが、この研究の代表例としては、中辻先生らによるカゴメ格子磁性体 Mn_3Sn の研究[1]がよく知られています。この系はカゴメ格子上で磁気モーメントが逆 120 度構造をとって配置することにより時間反転対称性が破れ、非常に小さな一様磁化にもかかわらず、強磁性体に匹敵するような大きなホール効果を示すことが報告されました。一様磁化が小さいということは応用上も利点があり、漏れ磁場や反磁場の影響を受けずに微細素子を製作可能であり、強磁性における一様磁化の up, down に相当する 2 つの状態を電気的に区別できるため、新たな情報記憶担体としても活用できる可能性が指摘されています。

このような新しい物性現象を開拓していく上で、物質のバラエティを広げていくことは非常に重要です。東京大学工学系物理工学専攻の高木寛貴さん(修士課程(当時))、高木里奈助教(当時)、関真一郎准教授らのグループは、反強磁性体でありながら巨大なホール効果を示す三角格子磁性体 $CoTa_3S_6$ を発見し、良質な単結晶を育成されました。そしてその磁気構造を決定するために、この物質の中性子散乱に関する共同研究がスタートしました。この $CoTa_3S_6$ という物質の磁気構造については 1980 年代に磁気変調波数を報告した論文[2]があったのですが、その論文上では実験データも十分に示されておらず、具体的な磁気構造を推測するのは難しい状況でした。そこで我々は J-PARC の物質生命科学実験施設(MLF)に設置された中性子回折装置 TAIKAN(BL15)を用いて単結晶中性子回折測定を行ったところ、過去に報告されていた磁気変調ベクトルとは異なり、三角格子の対称性のもとで等価な $\boldsymbol{q}$=(1/2,0,0), (0,1/2,0), (1/2,−1/2,0)という磁気変調ベクトルで表される逆空間上の位置に磁気反射が現れることを見出しました。

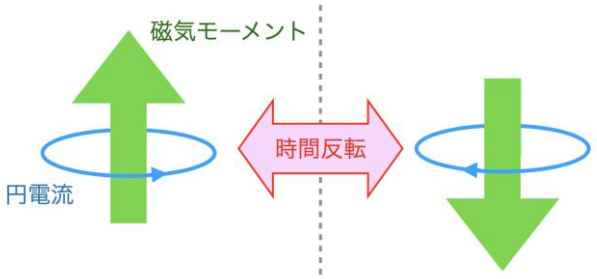


図 1: 物質中の磁気モーメントと等価な円電流を表した模式図。時間反転の操作によりモーメントの方向が反転する。

ここからさらに一歩すすんで、磁気変調の方向だけではなく各原子位置のスピンの方向を決定するために、我々は東海村の研究用原子炉 JRR-3 に設置された偏極中性子三軸分光器 PONTA で実験を行いました。中性子散乱でスピンの方向を決定する方法としては、数多くの磁気反射を測定しその強度を計算値と比較する方法が一般的ですが、今回用いた偏極中性子散乱法はそれと異なり、スピン偏極した中性子を試料に入射し、散乱された中性子のスピン状態を解析することで、中性子スピンの偏極方向に並行・垂直な磁気モーメントの成分を分けて観測できるという特徴を持っています。今回は結晶の c 軸方向に偏極した中性子を

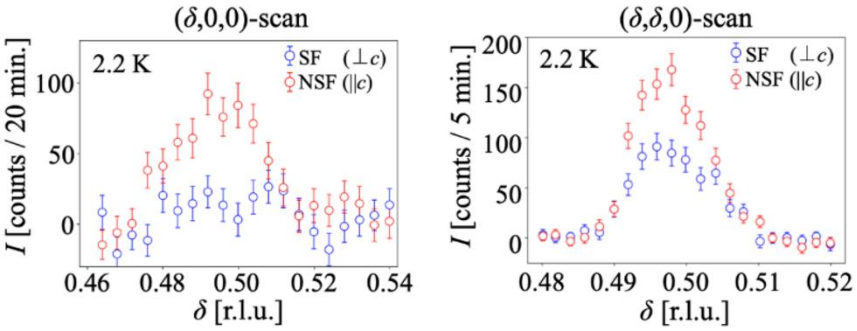


図 2: PONTA 分光器で観測された $CoTa_3S_6$ の偏極中性子散乱プロファイル。(Ref. [3]より引用.)

入射し、磁気散乱の過程で中性子のスピンが反転したもの(Spin-flip(SF)散乱)と反転しないもの(Non-spin-flip (NSF)散乱)を観測したところ、図 2 のように、逆空間の(1/2,0,0)という点では NSF 散乱のみが、(1/2,1/2,0)という点では NSF と SF 散乱の両方が観測されました。この結果を結晶の対称性から考察した磁気構造モデルと比較して考えると、この物質の磁気構造は図 3 に示したように Co の磁気モーメントが非共面的に配列したものであることが分かりました。これは、磁気単位胞内の Co 原子によって作られる 2 つの四面体について、一つは磁気モーメントが全て四面体の内部を向き、もう一方は全て外側を向くという「all-in-all-out」型の配列になっています。二つの四面体の all-in と all-out の関係を反転させたものが左右に並べて描かれていますが、両者は単純な並行移動では重なり合わず、磁気モーメントの向きを反転させる時間反転対称性によって重なり合います。これはまさに冒頭で紹介した時間反転対称性の破れた反強磁性構造であり、両者は逆符号のホール効果を示します。

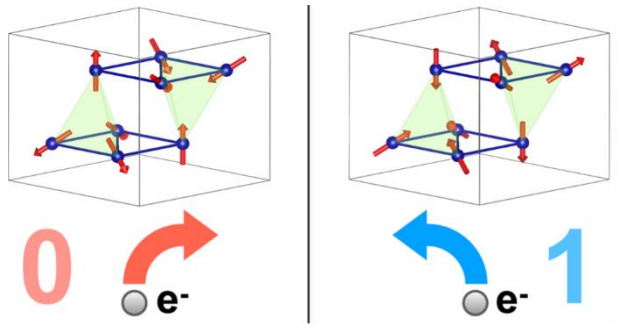


図 3：$CoTa_3S_6$ の基底状態における all-in-all-out 型磁気構造の模式図。左右の図は時間反転対象操作に対応した二つの磁気ドメイン。それぞれが逆符号のホール効果を生じるため、この二つを「0」と「1」に対応させることで情報を記録することができる。(Ref. 3 のプレスリリース記事

(https://www.t.u-tokyo.ac.jp/hubfs/press-release/2023/0421/002/text.pdf)より引用)

この研究は関先生らによって論文にまとめられ、最近 Nature Physics 誌に掲載されました[3]。今後このような研究が活発化し、反強磁性体のスピン配列の対称性を実験的に決定することが求められる場面が多くなってくると思いますが、そのような目的には今回用いた偏極中性子散乱が非常に有効です。また、中性子散乱は磁気モーメントの静的な秩序構造だけでなくその揺らぎや集団励起を観測することも得意ですから、今後それを活かしてこの新しい磁気秩序ならではのスピンダイナミクスの研究を進めていくことも重要であると考えています。

参考文献：

[1] S. Nakatsuji *et al.*, Nature **527** 7577 (2015).

[2] S. S. P. Parkin *et al.*, *J. Phys. C: Solid State Phys.* **16,** 2765 (1983).

[3] H. Takagi *et al.* Nat. Phys. **19**, 961-968 (2023).

強磁性スピネル物質 $HgCr_2Se_4$ は磁性ワイル半金属か？磁性半導体か？

極限コヒーレント光科学研究センター　田中 宏明
量子科学技術研究開発機構 高崎量子応用研究所　明石 遼介
極限コヒーレント光科学研究センター　松永 隆佑
極限コヒーレント光科学研究センター　近藤 猛
広島大学 大学院先進理工系科学研究科　黒田 健太

要旨

固体結晶中の電子は、結晶の並進対称性に由来する波数で特徴づけられる。電子のエネルギーと波数の関係を表すバンド分散は、固体結晶の性質を議論する基盤であるため非常に重要である。そのバンド分散を実験的に直接観測できるのが、角度分解光電子分光法(angle-resolved photoemission spectroscopy, ARPES)である。

本研究[1]は、強磁性スピネル $HgCr_2Se_4$ のバンド分散を ARPES により観測した結果を報告するものである。$HgCr_2Se_4$ は、2 つのバンド分散が 3 次元波数空間の 1 点で交わるワイル点を持つ「ワイル半金属」であることが理論的に提案されていた物質であり[2]、この提案はワイル半金属の中で最初期の研究として広く知られている。しかし、本研究で我々は、ARPES により $HgCr_2Se_4$ のバンド分散を観測することに成功し、予測されていたワイル点が現れないことを見出した。また、電気伝導測定・赤外領域の吸収分光測定・先行研究より精密なバンド計算によって、この結果を裏付けることにも成功した。

研究背景(1): ワイル半金属

2 つのバンドが交差している時、一般的には有限の飛び移り積分によって波動関数が混成しエネルギーギャップが開く。ギャップが開かずワイル点を生じるメカニズムは、次のように説明される[3]。近接した 2 つのバンドのみを考えると、そのハミルトニアンは 2×2 行列であり単位行列・パウリ行列の線形結合で表せる。線形結合係数は波数の関数であり、3 つのパウリ行列に掛かる係数がすべてゼロになるところはバンドが縮退するが、3 次元波数空間であれば自由度が 3 あるため条件を満たす点が存在しうる、ということである。このような偶然縮退に由来するワイル点以外にも、対称性に由来して高対称点でバンドが縮退することもある。

ワイル半金属は、フェルミ準位付近の価電子バンドにワイル点がある物質であり、特にワイル点に由来して特異な物性を示すものが注目を集めている。磁性を持ち時間反転対称性を持たないワイル半金属の場合、波数空間の仮想磁場（ベリー曲率[4]）に由来する異常ホール効果がその代表例である。ワイル点でベリー曲率は発散するため、価電子帯にあるワイル点は異常ホール伝導度を大きくすることが期待される。実際、大きな異常ホール効果を示す物質で価電子帯にワイル点を持っていることが報告されてきた[5-8]。

研究背景(2): $HgCr_2Se_4$ のバンド分散

$HgCr_2Se_4$ は強磁性スピネル物質であり、そのバンド分散は上に凸の形状をしたホールバンドと下に凸の形状をした電子バンドを持つ。先行研究ではこれらのバンドがフェルミ準位付近で交差しワイル点を生じると予測されており[2, 図 1(a)]、異常ホール効果を示すことも報告されている[9]。しかし、異常ホール効果の温度依存性などから、ベリー曲率由来ではなく不純物による散乱由来ではないかという研究もある[10, 11]。さらに、過去に遡ればこの物質はホールバンドと電子バンドの間に直接ギャップがある磁性半導体あるいは絶縁体として扱われており[12]、赤外吸収分光によりバンドギャップが 0.3~0.8 eV 程度であり温度に大きく依存することが報告されている[13]。このように、$HgCr_2Se_4$ はバンドギャップを持つ半導体[図 1(b)]であるかバンドギャップが閉じたワイル半金属であるかが決着しておらず、ARPES によるバンド分散の直接観測が待ち望まれていた。

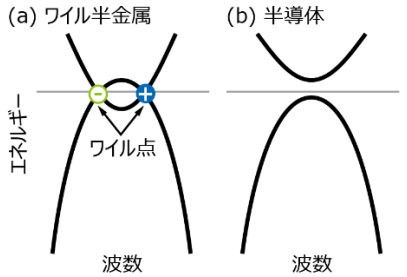


図 1: $HgCr_2Se_4$ について予測されてきたバンド分散の模式図。(a) ワイル半金属の場合。(b) 磁性半導体の場合。

本研究の成果

我々はまず $HgCr_2Se_4$ 単結晶試料に対し電気伝導測定および赤外吸収分光測定を行い、先行研究[13, 14]と同様の振る舞いが再現できることを確認した。電気抵抗率の温度依存性から磁性半導体としてのキャリアタイプを決めることができ、*p* 型および *n* 型の両方について ARPES 測定を SPring-8 軟 X 線固体分光ビームライン BL25SU で行った。結果は図 2(a)の通りであり、どちらのキャリアタイプでもホールバンドのみが観測され、電子バンドは観測されなかった。マクロ物性測定の結果も踏まえ、$HgCr_2Se_4$ は磁性半導体であると実験的に示すことができた。

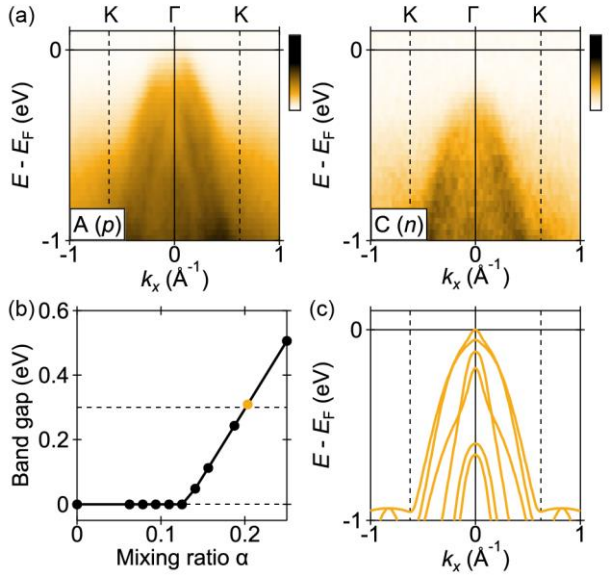


図 2: 本研究の成果。
(a) *p* 型および *n* 型試料に対する ARPES 測定の結果。
(b) HSE06 ハイブリッド汎関数の混合比 α とバンドギャップの関係。
(c) 図(b)オレンジ色の点に対応する条件で計算したバンド分散。

続いて、先行研究の計算では $HgCr_2Se_4$ が半金属であると予測された要因の考察を行った。昨今、密度汎関数理論 (density functional theory, DFT) [15, 16]に基づく電子状態計算が広く行われており、交換相関エネルギーの計算法には例えば一般化勾配近似 (generalized gradient approximation, GGA)がある。GGA より精密な計算手法として様々なハイブリッド汎関数が考案されており、それらは分子に対する計算で全エネルギーや原子間距離の再現性がテストされている[17]。固体の DFT 計算で得られるバンド分散は Kohn-Sham 系のものであり実際のバンド分散との対応に議論の余地はあるが、GGA を用いて得られるバンドギャップは実験値より小さくなる傾向にあり、ハイブリッド汎関数の方が実験値に近いバンドギャップを与えるということが報告されている[18]。本研究では、HSE06 ハイブリッド汎関数[19]を用いてバンド分散の計算を行った。HSE06 は GGA の一種である PBE 汎関数[20]に Hartree-Fock 交換エネルギーを混合しており、混合比 α は 0.25 程度が標準値とされている。α を 0 から 0.25 の範囲で変化させると、α>0.12 のときバンドギャップが開くことが分かった[図 2(b)]。低温でのバンドギャップの実験値 0.3 eV を再現するような α の条件[図 2(b)オレンジ色の点]でバンド分散を計算すると図 2(c)のようになり、ARPES で得られたバンド分散を良い一致を示した。ワイル点の存在を予測した $HgCr_2Se_4$ のバンド計算[2]では PBE 汎関数が用いられており、先行研究ではバンドギャップが過小評価されていたためにワイル点を持つ半金属状態が得られた、と考えられる。

まとめ

本研究では、磁性ワイル半金属候補物質として広く知られていた強磁性スピネル $HgCr_2Se_4$ のバンド分散を ARPES で観測することに成功し、その電子状態が半導体的であることを直接的に明らかにした。理論計算による予測と実験結果の違いには、GGA に基づく汎関数でバンドギャップを過小評価する傾向が影響していると考えられる。ハイブリッド汎関数を用いた電子状態計算で適切にパラメータ調整を行うことで、実験で得られたバンドギャップ・バンド分散ともに再現することができた。

謝辞

本研究で用いた単結晶試料は、ロシア科学アカデミー Prof. Oleg E. Tereshchenko および Dr. Andrei V. Telegin らの研究グループから提供いただきました。物性評価のためのラウエ測定・赤外吸収分光測定・電子状態計算は物性研究所附属物質設計評価施設の設備をお借りして実施しました。ARPES 測定は SPring-8 BL25SU および UVSOR BL5U にて行いました。研究に協力してくださった皆様に、この場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

[1] H. Tanaka *et al.*, Phys. Rev. Lett. **130**, 186402 (2023).
[2] G. Xu *et al.*, Phys. Rev. Lett. **107**, 186806 (2011).
[3] N. P. Armitage *et al.*, Rev. Mod. Phys. **90**, 015001 (2018).
[4] M. V. Berry, Proc. R. Soc. London, Ser. A **392**, 45 (1984).
[5] S. Nakatsuji *et al.*, Nature **212**, 527 (2015).
[6] K. Kuroda *et al.*, Nat. Mater. **16**, 1090 (2017).

[7] E. Liu *et al.*, Nat. Phys. **14**, 1125 (2018).
[8] D. F. Liu *et al.*, Science **365**, 1282 (2019).
[9] T. Guan *et al.*, Phys. Rev. Lett. **115**, 087002 (2015).
[10] S. Yang *et al.*, Phys. Rev. Lett. **123**, 096601 (2019).
[11] S. Li and A. Levchenko, Phys. Rev. Lett. **124**, 156802 (2020).
[12] P. K. Baltzer *et al.*, Phys. Rev. Lett. **15**, 493 (1965).
[13] T. Arai *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **34**, 68 (1973).
[14] L. Goldstein *et al.*, J. Appl. Phys. **49**, 1474 (1978).
[15] P. Hohenberg and W. Kohn, Phys. Rev. **136**, B864 (1964).
[16] W. Kohn and L. J. Sham, Phys. Rev. **140**, A1133 (1965).
[17] M. Ernzerhof and G. Scuseria, J. Chem. Phys. **110**, 5029 (1999).
[18] M. Marsman *et al.*, J. Phys.: Condens. Matter **20**, 064201 (2008).
[19] J. Heyd *et al.*, J. Chem. Phys. **118**, 8207 (2003), *ibid.* **124**, 219906 (2006).
[20] J. P. Perdew, *et al.*, J. Chem. Phys. **105**, 9982 (1996).

エネルギーロスの小さなPd_2MnGaメタ磁性形状記憶合金の開発

日本原子力研究開発機構 J-PARC センター　伊東 達矢
東北大学 工学研究科　許 晶、大森 俊洋、貝沼 亮介

研究背景

形状記憶合金はマルテンサイト変態と呼ばれる無拡散の構造相変態を利用した機能性材料の一種である。これらの材料はマルテンサイト相の状態で変形を与えた後、温度変化などにより母相に相変態させることで元の形状へ戻ることが可能である。この性質は形状記憶効果と呼ばれている。相変態を利用することで数%もの巨大な可逆的ひずみを得ることができ、センサーやアクチュエーターなどに実用化されている。

特に外部磁場により相変態が生じる形状記憶合金は、メタ磁性形状記憶合金と呼ばれている。これらの材料は母相とマルテンサイト相の自発磁化の大きさが異なり、磁場を印加した時のゼーマンエネルギー差を駆動力として相変態が生じる。温度変化による形状記憶合金と比較してより高速な駆動が期待されており、2006 年に Ni–Co–Mn–In 合金において 2.9%もの巨大な磁場誘起形状記憶効果が発見されて以来[1]、広範な研究が行われるようになった。

しかし、メタ磁性形状記憶合金にはマルテンサイト変態に伴うエネルギーロスが大きいという問題点がある。これにより、動作時のエネルギー効率が低下し、必要な外部磁場の増大を引きおこす。そのため、エネルギーロスを低減する試みが数多く行われてきた。特に、典型的なメタ磁性形状記憶合金である Ni–Mn 基合金を中心として研究が行われてきたが、これまでに報告された合金のエネルギーロスは小さくとも 5 J/mol 程度[2]であった。熱駆動の形状記憶合金(磁場では駆動できない)では Ti–Ni–Fe 合金において 0.3～1.0 J/mol[3]とエネルギーロスの小さな相変態が得られているが、メタ磁性形状記憶合金に限るとエネルギーロスの大きな材料しか得られていなかった。

本研究では、Ni を同族元素の Pd で置換した Pd_2MnGa 合金において初めて相変態によるエネルギーロスの小さなメタ磁性形状記憶合金(約 0.3 J/mol)を発見した。これは筆者が東北大学の博士課程に在籍していた間の研究成果であり、Advanced Science 誌に掲載され、プレスリリースが行われた[4–6]。ここでは、その内容について紹介する。

研究の内容と成果

各純金属を溶解することにより Pd_2MnGa 合金を作製した。アルゴン雰囲気中 1473 K で 1～3 日間の溶体化熱処理を施したのち、氷水の中に焼き入れた。溶体化材は $B2$ 構造を有し、ネール温度 198 K の反強磁性材料であったが、6 K まで冷却してもマルテンサイト変態を示さなかった[7]。焼き入れた試料に 573 K で 3 日間の時効熱処理を施すと、低温で磁化の上昇が見られた。走査型透過電子顕微鏡観察により、時効材は $B2$ 構造から $L2_1$ 構造へと規則化していることが分かった。この規則化により、磁性原子である Mn の原子間距離が bcc の第 2 隣接から第 3 隣接間距離へ変化し、磁化が大きくなったと考えられる。キュリー温度は 137 K であった。更に冷却を行うと、127.4 K から相変態による磁化の急激な低下が確認された。組織観察や結晶構造解析により、冷却に伴い $10M$ 構造へのマルテンサイト変態が生じていることが明らかとなった。

続いて、時効熱処理を施した試料について、パルス強磁場下での磁化測定および組織観察を物性研の共同利用として行った。その結果を図 1 に示す[4]。マルテンサイト変態温度以下で磁化測定を行うと、磁化曲線にヒステリシスが見られた。これは磁場誘起マルテンサイト変態の存在を示唆している。そこで、10 K において、ハイスピードカメラを利用したパルス磁場中の組織観察を行った。磁場を印加するのに伴い、マルテンサイト相を示す表面起伏が消失し、磁場による母相への逆変態が観察された。更に、磁場の減少過程で表面起伏が再び現れた。これより、可逆的な磁場誘起マルテンサイト変態が生じていることが示された。更に、東北大学金属材料研究所附属強磁場超伝導材料研究センターにおいて 50 kOe までのその場 X 線回折実験を行い、磁場を印加することでマルテンサイト相から母相へと結晶構造が変化することを確認した。以上の結果から、磁性、組織、結晶構造の観点から磁場により逆マルテンサイト変態が生じていることを確認した。これにより、Pd_2MnGa 合金がメタ磁性形状記憶合金の一種であることが分かった。

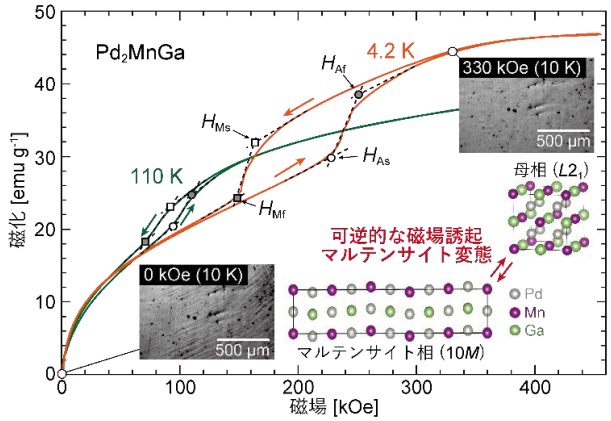


図 1: パルス磁場下における磁化曲線と組織観察結果[4]。マルテンサイト変態温度(127.4 K)より低い温度で測定した磁化曲線にヒステリシスが見られ、相変態の存在が示唆された。10 K におけるパルス磁場下での組織観察結果を図中に示す。磁場の印加に伴いマルテンサイト相を示す表面起伏が消失し、母相への逆変態が観察された。磁場が低下すると再び表面起伏が現れており、可逆的な磁場誘起マルテンサイト変態が生じていることが明らかとなった。H_{Ms} および H_{Mf} はマルテンサイト変態開始・終了磁場を、H_{As} および H_{Af} は逆マルテンサイト変態開始・終了磁場をそれぞれ示している。

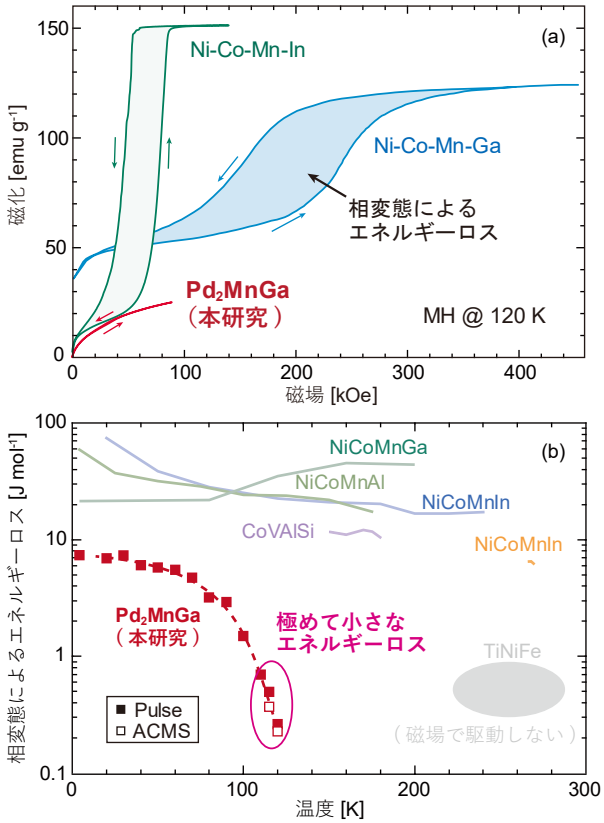


図 2: (a) 磁化曲線を代表的な Ni–Mn 基メタ磁性形状記憶合金と比較した結果[4]。ヒステリシスループの面積がエネルギーロスに相当するが、Pd_2MnGa 合金の面積は極めて小さい。(b) エネルギーロスを他のメタ磁性形状記憶合金と比較した結果[4]。磁場では駆動しないが、エネルギーロスの小さな形状記憶合金として知られる Ti–Ni–Fe の結果も合わせて示している。Pd_2MnGa 合金の相変態によるエネルギーロスは既存のメタ磁性形状記憶合金と比較して極めて小さい。

今回測定した磁化測定の結果を、既存の Ni–Co–Mn–In[8]および Ni–Co–Mn–Ga[9]メタ磁性形状記憶合金と比較した結果を図 2(a)[4]に示す。いずれの結果も物性研のパルスマグネットを利用して測定されたものである。磁化曲線のヒステリシスの面積は相変態によるエネルギーロスに相当するが、Pd_2MnGa 合金の面積は他の Ni–Mn 基合金と比較して極めて小さいことが分かる。各温度のエネルギーロスの大きさを算出し、温度に対してプロットした結果を図 2(b)に示す[4]。本研究で発見された Pd_2MnGa 合金のエネルギーロスは 120 K において 0.3 J/mol 程度であり、既存のメタ磁性形状記憶合金と比較して極めて小さい。

Pd_2MnGa 合金のマルテンサイト変態のエネルギーロスが小さい要因の一つとして、母相/マルテンサイト相間の格子整合性の良さが挙げられる。マルテンサイト変態の格子整合性を表すパラメータとして、変形テンソルの中間固有値である λ_2 の値がしばしば用いられる[10]。この値が 1 に近いほどヒステリシスが小さくなると考えられている。得られた格子定数より λ_2 の値を計算したところ 1.0015 であり、既存の Ni-Mn 系合金と比較しても極めて 1 に近い値であることが分かった。従って、母相とマルテンサイト相の優れた格子整合性が小さなエネルギーロスに繋がったと考えられる。

最後に、磁気アクチュエーターとしての応用可能性を探るべく、PPMS の Dilatometer オプションを使用して磁場誘起ひずみの測定を行った。その結果を図 3 に示す[4]。印加磁場と平行方向の長さを測定した。その結果、磁場誘起マルテンサイト変態を利用することで 0.26%もの巨大な磁場誘起ひずみが得られた。この値は、巨大磁歪材料として知られる Terfenol-D に匹敵する大きさ[11]であり、アクチュエーターとしての応用が期待できる。温度によって得られる磁場誘起ひずみの大きさが変化したのは、マルテンサイト相の格子定数の温度依存性が大きいためであると考えられる。今回の測定は無応力下での測定だったため、図 1 の組織写真でも見られるように、マルテンサイト相がマルチバリアントの状態であったと推察される。変態温度前後の格子定数を用いた計算より、変態ひずみは最大 0.76%と算出された。従って、応力下のシングルバリアント状態では更に大きな磁場誘起ひずみを得ることが期待できる。

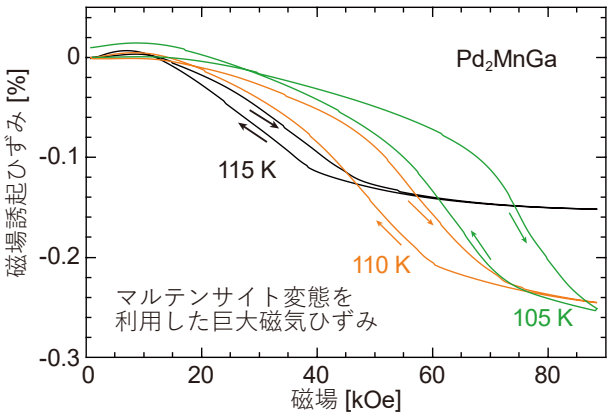


図 3: Pd_2MnGa 合金における磁場誘起ひずみ[4]。磁場誘起マルテンサイト変態に由来する最大 0.26%もの巨大なひずみが得られた。

まとめと展望

本研究では Pd_2MnGa 合金において、$L2_1$ 構造から 10*M* 構造のマルテンサイト変態が初めて発見された。本合金は外部磁場により駆動できるメタ磁性形状記憶合金の一種であり、相変態によるエネルギーロスが既存材料と比較して極めて小さいことが明らかとなった。これは母相とマルテンサイト相の優れた格子整合性に由来すると考えられる。磁場誘起マルテンサイト変態を利用した 0.26%もの巨大磁場誘起ひずみが得られ、省エネルギーな機能性材料としての応用が期待できる。物性研の共同利用によるパルス磁場下での磁化測定および組織観察は、これらの現象を理解する大きな助けとなった。

しかし、なぜ Ni を Pd で置換することで格子整合性に優れたマルテンサイト変態が得られ、エネルギーロスが小さな合金が得られるのか、その詳細なメカニズムは明らかとなっていない。今後本合金に関する理解が更に進展し、新たな省エネルギー機能性材料の開発の足掛かりとなることを期待したい。

謝辞

本研究成果は、東京大学物性研究所 徳永将史 准教授、三宅厚志 助教(研究当時、現所属：東北大学金属材料研究所 准教授)、木下雄斗 特任助教、東北大学金属材料研究所 長迫実 助手、高橋弘紀 助教との共同研究によるものである。本研究は、JST 創発的研究支援事業(課題番号：JPMJFR203B)の一環として行われた。パルス磁場下での磁化測定および組織観察は東京大学物性研究所の共同利用課題として実施された。高磁場中その場X線回折実験は東北大学金属材料研究所附属強磁場超伝導材料研究センターの共同利用課題(プロポーザル番号：20H0201)として実施された。SQUID による磁化測定は東北大学金属材料研究所極低温科学センターにて行われた。

参考文献

[1] R. Kainuma *et al.*, *Nature*, **439** (2006) 957–960
[2] X. M. Sun *et al.*, *Phys. Rev. Mater.*, **3** (2019) 034404
[3] I. Aaltio *et al.*, *J. Alloy. Compd.*, **780** (2019) 930–936
[4] T. Ito *et al.*, *Adv. Sci.*, **10** (2023) 2207779
[5] https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2023/06/press20230613-03-pd.html
[6] https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/news2.html?pid=19179
[7] T. Ito *et al.*, *J. Alloys Compd.*, **805** (2019) 379–387
[8] W. Ito *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **92** (2008) 021908
[9] T. Kihara *et al.*, *Scr. Mater.*, **181** (2020) 25–29
[10] J. Cui *et al.*, *Nat. Mater.*, **5** (2006) 286–290
[11] A. E. Clark, in *AIP Conf. Proc.*, **18** (1974) 1015–1029

室温以上で金属化する高伝導オリゴマー型有機伝導体を開発

―電子機能性を制御する新コンセプトによる有機電子デバイス開発の技術革新に期待―

物性研究所・凝縮系物性研究部門　　小野塚洸太、藤野 智子、森 初果
物性研究所・附属物質設計評価施設　　吉見 一慶、尾崎 泰助

研究の背景

有機物からなる有機伝導体材料は、現在主流のシリコンや銅や金をはじめとした金属に代表される無機半導体にはない柔軟性や溶液加工性といった特徴を持つことから注目を集める材料群である。なかでも doped poly(3,4-ethylenedioxythiophene) (PEDOT)に代表される導電性高分子は、その合成の容易さと高い導電性から広く実用されている有機伝導体材料である。[1]しかしながら、高分子材料は、合成時によって生じる大きな分子量分布を有するため、伝導機構の解明や機構に基づいた設計設計が困難である。本研究では、これら課題を解決するためにオリゴマーに着目した。オリゴマーは、3 つの要素(末端基、単量体の配列、鎖長)から、高い分子設計自由度を有している。加えて、単結晶作製可能な分子量領域であることから、固体中における詳細な構造情報が取得可能であり、伝導機構の解明、材料設計が可能である。

これまでに森研究室では、3,4-Ethylenedioxythiophene (EDOT, **O**)オリゴマー塩 ***n*O・*X*** に関して検討してきた。[2), 3), 4)]EDOT2 量体 **2O・*X*** (*X* = BF_4, ClO_4, PF_6) は 1 eV に及ぶバンド幅(***W***)を有する一方で、その室温抵抗率は 10^3–10^5 ohm cm と高く、Mott 絶縁体状態であることが示唆された。[3)]Mott 絶縁体状態から逸脱、伝導率を向上させるために、キャリア間でのクーロン相互作用(***U***)軽減に関する 2 つの戦略をこれまで報告している。1 つ目は、1/2 占有状態からのバンドフィリング変調である。[4)] 2 つ目の戦略は、鎖伸長による ***U*** の低減効果である。これまで、鎖伸長化を目指して 3 量体塩 **3O・PF_6(CH_2Cl_2)**が合成され、その抵抗率は **2O・** PF_6 と比べ一桁程度の低下が確認された。しかしながら積層二量化が室温から観測され、バンド絶縁体であった。[3)]以上の結果から、オリゴマー型有機伝導体の高伝導度化、金属状態の実現には、共役系拡大やバンドフィリング変調による ***U*** の軽減と電子構造の次元性向上による積層二量化の抑制が挙げられる。

研究の内容と成果

U の減少には、オリゴマーの鎖長の拡大が有効であるが、EDOT 単一ユニットからなるオリゴマーは、酸化に対する不安定性、溶解性の問題から溶解性補助基の導入なしに長鎖オリゴマーを合成することは困難であった。そこで本研究では、混合配列、つまり 3,4-Ethylenedithiothiophene／3,4-(2',2'-Dimethylpropylenedioxy)thiophene(**S** ／ **P**) を活用し、固体中での分子間相互作用を阻害する溶解性補助

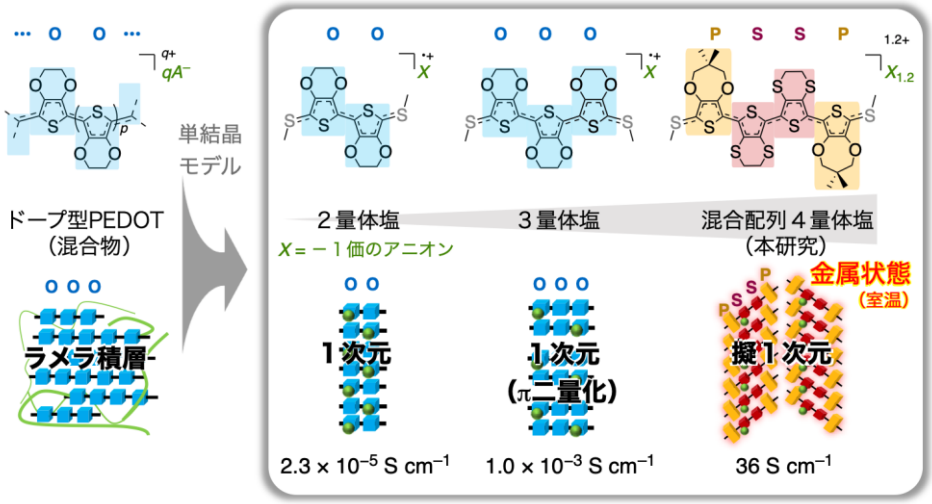


図 1： ドープ型 PEDOT をモデルとした単結晶性オリゴマー型伝導体の構造と室温伝導度

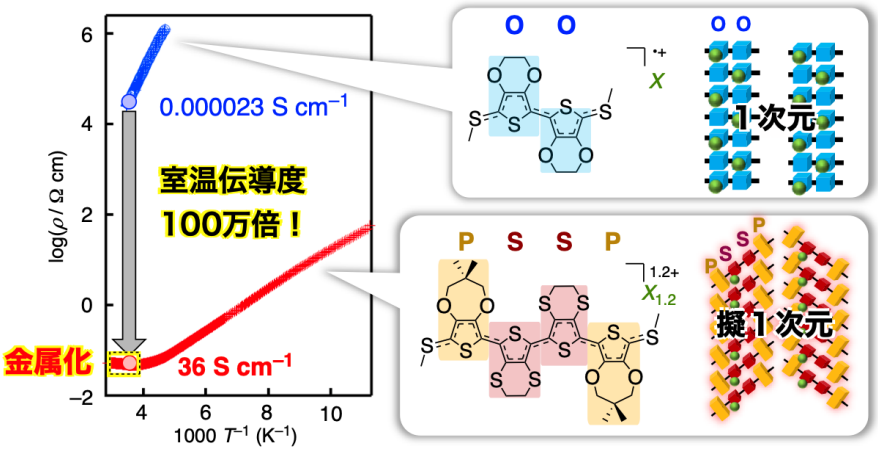


図 2 : 2O・(PF$_6$)と 4PS・(PF$_6$)$_{1.2}$(solvent)$_m$ の構造(右)とその抵抗率の温度依存性(左)。

基の導入なしに長鎖したオリゴマー設計し、新規に合成した。中性の **4PS (P-S-S-P)** では、共役系の切断されたねじれ構造をとる **S-S** 構造を中央部に導入することで、安定性・溶解性を付与することができる。このねじれ構造は酸化によって解消される。また、嵩高いユニット **P** を両末端に導入することで、電子構造の次元性の向上による二量化の抑制、過剰アニオンが存在できる空間を創出によるバンドフィリング変調を達成した(図 1)。**4PS** の合成は、**P** に Tributyltin を導入し、これとジブロモ化した **S** ユニット二量体とのクロスカップリング反応、メチルチオ化により、**4PS** を S ユニット 2 量体から 5 段階の総収率 23% の収率で合成した。

続いて、**4PS** に対する定電流電解酸化法により酸化することで **4PS**・(PF$_6$)$_{1.2}$(solvent)$_m$ の単結晶を作製した。ICP、EDX、元素分析から、組成はドナーとアニオンが 1 : 1.2 であった。このことから、**4PS**・(PF$_6$)$_{1.2}$(solvent)$_m$ は 1/2 占有状態からホープドープされていると考えられる。加えて結晶中、ドナー同士が傾斜しながら等間隔に π 積層しており、積層二量化は確認されなかった。バンド計算を行ったところ、主に積層方向にバンド分散した擬 1 次元的なバンド構造(W = 0.41 eV)が得られ次元性の獲得が確認された。積層方向に対する室温抵抗率は 36 S/cm と **2O**・PF$_6$ と比べて 6 桁小さい値であった。室温から 67 K の範囲では半導体的挙動が観測されたが、280 K 以上の高温領域では、金属的な伝導挙動が確認された(図 2)。室温において IR 反射スペクトルを測定すると、低エネルギー領域において立ち上がるプラズマエッジが観測され、光学測定の結果からも室温付近において金属状態であることが確認された。本研究は、単結晶性 EDOT 系オリゴマー型有機伝導体で、金属状態が確認された初めての例である。

まとめと今後の展望

本発表の結果は、オリゴマーの特徴である分子設計自由度であるユニットの種類および配列によって、固体状態における立体空間と電子機能を制御できることを実証したものであり、伝導体材料開発における新しいコンセプトを実現したものである。このコンセプトによって、有機伝導体材料開発における新たな潮流が生まれることが予期される。さらにこうした、構造が明確で、分子設計度に優れ、レアメタルフリーで安価な原料から合成できる新種の伝導体材料の実現は、有機電子デバイス開発の技術革新をもたらしうるものと考えられる。

謝辞

本研究成果は、亀山亮平大学院生(研究当時)、出倉駿特任助教(研究当時、現: 東北大学助教)、分子科学研究所、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、宮本辰也助教、山川貴士大学院生、岡本博教授、リガク株式会社佐藤寛泰研究員の共同研究によるものである。本研究は、JST 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 森初果、課題番号：JP16H04010/JP17K18746/JP21K18597/JP22H00106；研究代表者 藤野智子、課題番号 JP21K05018；研究代表者 出倉駿、課題番号:JP20K15240)、JSPS 特別研究員(研究者：小野塚洸太、課題番号: JP23KJ0577)、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（代表代表者：出倉駿）、科学技術イノベーション創出に向けた大学フェローシップ創設事業（研究代表者：小野塚洸太）の支援により実施されました。

掲載論文

K. Onozuka, T. Fujino*, R. Kameyama, S. Dekura, K. Yoshimi, T. Nakamura, K. T. Miyamoto, T. Yamakawa, H. Okamoto, H. Sato, T. Ozaki, H. Mori* "Metallic State of a Mixed-Sequence Oligomer Salt That Models Doped PEDOT Family" (2023) *Journal of the American Chemical Society*, **145**, 15152–15161.

参考文献

(1) Groenendaal, L.; Jonas, F.; Freitag, D.; Pielartzik, H.; Reynolds, J. R. Poly(3,4-Ethylenedioxythiophene) and Its Derivatives: Past, Present, and Future. *Adv. Mater.* **2000**, *12* (7), 481–494.

(2) Kameyama, R.; Fujino, T.; Dekura, S.; Kawamura, M.; Ozaki, T.; Mori, H. The Simplest Model for Doped Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) (PEDOT): Single-Crystalline EDOT Dimer Radical Cation Salts. *Chem. Eur. J.* **2021**, *27* (22), 6696–6700.

(3) Kameyama, R.; Fujino, T.; Dekura, S.; Mori, H. Conjugation Length Effect on the Conducting Behavior of Single-Crystalline Oligo(3,4-ethylenedioxythiophene) (*n*EDOT) Radical Cation Salts. *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2022**, *24* (16), 9130–9134.

(4) Kameyama, R.; Fujino, T.; Dekura, S.; Imajo, S.; Miyamoto, T.; Okamoto, H.; Mori, H. Band-Filling Effects in Single-Crystalline Oligomer Models for Doped PEDOT: 3,4-Ethylenedioxythiophene (EDOT) Dimer Salt with Hydrogen-Bonded Infinite Sulfate Anion Chains. *J. Mater. Chem. C* **2022**, *10* (19), 7543–7551.

第 17 回日本物理学会若手奨励賞(領域 3)を受賞して

現　東京電機大　講師
元　国際超強磁場科学研究施設 小濱研究室　助教　野村 肇宏

この度、第 17 回日本物理学会若手奨励賞(領域 3)を受賞する栄誉に恵まれました。受賞対象は「酸素の超強磁場物性に関する研究」です。私にとっては物性研での修士課程から継続的に取り組んできた課題で、指導教員であった松田康弘教授、研究を任せてくださった岡山大学の小林達生教授をはじめ、多くの方々にお世話になりました。この場を借りて感謝申し上げます。

この研究は小林教授らによる「低次元吸着酸素の強磁場物性」に端を発しています[1]。酸素はスピン量子数 $S = 1$ を有する分子磁石であり、低次元に規則正しく並べれば量子スピン系物質を設計・構築することができます。しかしながら、吸着酸素分子の磁化過程は単純なスピン模型では説明できず、交換相互作用パラメータが磁場で変化する、すなわち酸素分子が磁場で動いていることを示唆するものでした。小林教授は、酸素分子の磁場中再配列がバルクの固体酸素で起きれば磁場誘起の構造相転移になるはずだ、というメタ的直感から固体酸素の強磁場研究を着想しました。単元素固体の構造が磁場で変化する相転移は他に例がなく、物性物理に関して全くの無知であった私にも、この研究テーマが重要かつ挑戦的なものであることが理解できました。

固体酸素の物性は 1970-1980 年台にかけてウクライナを中心とするソビエト連邦で精力的に研究され、Freiman 教授らによって 2004 年には 228 ページにも及ぶレビュー論文が報告されていました[2]。パルス強磁場を用いた先行研究は、1985 年に大阪大学の伊達教授らによって 50 テスラまでの磁化曲線が報告されており[3]、飽和に必要な磁場は 400 テスラ級であることが明らかになっていました。2011 年、大学院生であった私に課された課題は、固体酸素に 100 テスラ以上の超強磁場を印加した際の応答を調べ、相転移の有無を検証するというものでした。超強磁場では破壊がつきものですが、酸素なら無限にあるのだからとりあえずやってみよう、という雰囲気でした。

研究を開始してすぐに、超強磁場研究の大部分は物理ではなくエンジニアリングであることを理解しました。試料周りのセットアップは金属を使うことができず、全てプラスチックで自作する必要があります。一巻きコイル法は試料を破壊しないことがウリですが、実際にはクライオスタット等に破損はつきもので、実験≒修理と言っても過言ではありません。そのため、必然的に旋盤・フライス盤といった工作技術に加え、”低温接着剤ソムリエ”としての知識を身につける必要がありました。相転移を発見するまでに 17 ヶ月を要しましたが、当時の自分にとっては長い見習い期間のように感じたのを覚えています。

固体酸素の磁場誘起相転移にはおよそ 120 テスラ以上の磁場を要し、40 テスラにも及ぶヒステリシスを伴います[4]。この巨大なヒステリシスは、構造相転移がパルス磁場の時間スケール(マイクロ秒)にぎりぎり追随していることを示唆しています。磁場発生時間は装置固有のものであることから、酸素の相転移に足りたことは幸運という他ないと思います。

固体酸素の相転移を見つけた後、液体酸素でも同様の相転移が期待できると考え、2015-2021 年にかけて研究を行いました[5]。圧力誘起の液体-液体相転移はこれまで多数報告がありますが、磁場誘起の液体-液体相転移は議論すらなされてきませんでした。この仮説を検証するために、ドイツの強磁場施設で Zherlitsyn 博士と共同で 90 テスラまでの超音波測定を行いました。得られた結果は、磁場印加によって液体酸素の局所構造が不安定化することを示唆しており、100 テスラ以上の磁場領域に存在する液体-液体相転移の前駆現象のように見えます。帰国前後で、一巻きコイル法を用いた光吸収、磁化、超音波、磁気膨張の測定を行いましたが、相転移を決定づける実験結果は得られませんでした。この理由は、磁場継続時間が短すぎるため試料セル内圧を逃すことができず、定積条件の実験になってしまったことが原因と考えています。将来、ミリ秒の 120 テスラ磁場が実現された折には、もう一度挑戦してみたいと考えています。

ドイツでのポスドク期間に、ポーランドでの国際会議 International Conference on Cryocrystals and Quantum Crystals (CC 2018)に講演者として招待されました。Freiman 教授とお話しする夢も叶い、写真撮影にも応じ

ていただきました(図)。Freiman 教授は酸素が磁場で相転移する論文に大きな衝撃を受けたとおっしゃってくださいました。2018 年に revisited として発行された固体酸素のレビュー論文では我々の研究成果が大きく取り上げられており[6]、酸素研究の歴史に名を刻めたことを心から嬉しく思います。

図：Freiman 教授との写真、2018 年 8 月 27 日 Wroclaw にて

[1] R. Kitaura, T. C. Kobayashi *et al.*, Science 298, 2358 (2002).

[2] Yu. A. Freiman and H. J. Jodl, Phys. Rep. 401, 1 (2004).

[3] C. Uyeda, K. Sugiyama, and M. Date, J. Phys. Soc. Jpn. 54, 1107 (1985).

[4] T. Nomura, Y. H. Matsuda, T. C. Kobayashi *et al.*, Phys. Rev. Lett. 112, 247201 (2014).

[5] T. Nomura, Y. H. Matsuda, T. C. Kobayashi *et al.*, Phys. Rev. B 104, 085206 (2021).

[6] Yu. A. Freiman, H. J. Jodl, and Y. Crespo, Phys. Rep. 743, 1 (2018).

日本物理学会若手奨励賞を受賞して

東京大学物性研究所　附属国際超強磁場科学研究施設　金道研究室　助教　石川 孟

第 17 回(2023 年)日本物理学会の若手奨励賞 領域 3(磁性)を受賞いたしました。この場を借りて共同研究者の皆様に感謝いたします。この賞は将来の物理学を担う優秀な若手研究者の研究を奨励し、学会をより活性化するために設けられた賞で、領域ごとに毎年2-3名が受賞します。歴代の受賞者を見ると多くの物性研助教の方々が受賞しており、物性研と関係の深い賞といえます。今年 35 歳でサッカー選手なら引退する年齢ですが、ありがたいことに若手として表彰していただきました。

受賞対象となった研究は”量子磁性体の配位子場制御による新奇相開拓”です。私は新物質開発を基盤とした物性研究を行っており、特に新しい量子磁性体や超伝導体の開発に取り組んでいます。物質開発では物理的な興味に加え、面白い結晶構造、珍しい原子価数、特徴的な合成法といった化学的な視点も重視しています。受賞対象となった 3 つの論文では、磁性体において磁性イオンの周りにある配位子を通じて磁気状態を制御し、その結果さまざまな量子磁気状態を発見した点を評価していただきました。

1 つ目の論文では、カゴメ格子磁性体 volborthite の大型単結晶の合成に成功し、物性研のパルス強磁場を用いた磁化測定を行い 1/3 磁化プラトーと複数の磁場誘起相転移を発見しました。これらの磁気状態は粉末試料では観測されなかったもので、単結晶試料で初めて発見されました。系統的な研究により、単結晶では粉末試料に比べて磁性 Cu イオンの周りの配位環境の乱れが大幅に減っていることが分かりました。本研究によって volborthite では単純なカゴメ格子からのずれが大きいことが明確になり、カゴメ格子に特有な磁性の研究対象ではなくなってしまいましたが、1/3 プラトー近傍に現れる磁気相においてスピンネマティック状態が実現しているのではないか、という方向に研究が大きく進展しました。

2 つ目と 3 つ目の論文では、スピン軌道相互作用の強いハロゲン化物磁性体において、理想的なスピン軌道結合状態を実現し、その磁性を観測しました。これまでスピン軌道結合系の磁性は主に酸化物で研究されてきました。酸化物では配位酸素と磁性イオンの軌道混成が強く、スピン軌道相互作用の効果が実効的に弱められるという問題がありましたが、イオン性の高いハロゲン配位子を用いることでその問題が解決され、新しい研究の舞台を提案することができました。2 つ目の論文では、タンタル塩化物において電子の軌道とスピン磁気モーメントがほぼ完全に打ち消しあったイオン状態を実現し、低温で多極子自由度の秩序化を観測しました。3 つ目の論文では、三ヨウ化サマリウムにおいて Γ_7 多極子が二次元ハニカム格子に並ぶという、スピン液体の実現が期待される状況が具現化していることを示しました。0.1 ケルビンまで磁気秩序が観測されておらず、基底状態に興味がもたれます。

以上の研究は物性研での学生時代、ドイツ Max Planck 固体研究所とシュトゥットガルト大でのポスドク時代、現所属の物性研強磁場施設での成果です。所属したグループや研究所の皆様に感謝したいと思います。今後も物性や強磁場コミュニティの発展に寄与できるような面白い物質を発見できるよう研究を続けていきたいと思います。

受賞論文

1. "One-Third Magnetization Plateau with a Preceding Novel Phase in Volborthite" H. Ishikawa, M. Yoshida, K. Nawa, M. Jeong, S. Krämer, M. Horvatić, C. Berthier, M. Takigawa, M. Akaki, A. Miyake, M. Tokunaga, K. Kindo, J. Yamaura, Y. Okamoto, and Z. Hiroi, Physical Review Letters 114, 227202 (2015).
2. "Ordering of hidden multipoles in spin-orbit entangled $5d^1$ Ta chlorides", H. Ishikawa, T. Takayama, R. K. Kremer, J. Nuss, R. Dinnebier, K. Kitagawa, K. Ishii, and H. Takagi, Physical Review B 100, 045142 (2019).
3. "SmI_3: $4f^5$ honeycomb magnet with spin-orbital entangled Γ_7 Kramers doublet", H. Ishikawa, R. Kurihara, T. Yajima, D. Nishio-Hamane, Y. Shimizu, T. Sakakibara, A. Matsuo, and K. Kindo, Physical Review Materials 6, 064405 (2022).

分子科学会優秀ポスター賞・日本物理学会学生優秀発表賞を受賞して

凝縮系物性研究部門 森研究室 博士後期課程 2 年　　伊藤 雅聡

去る 2022 年 9 月に慶應義塾大学で開催された第 16 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。また、2023 年 3 月にオンラインで開催された 2023 年日本物理学会春季大会にて口頭発表を行い、日本物理学会学生優秀発表賞(領域 7)をいただくことができ、大変光栄に思います。受賞対象となった発表は、大気安定な d/π 共役系アンバイポーラ半導体材料の開発に関するものであり、以下、この内容を簡単にご紹介させていただきます。

有機太陽電池をはじめとした有機エレクトロニクスデバイスの発展を担う次世代型の半導体材料として、プラスの電荷をもつキャリア(正孔)を伝導する p 型半導体と、マイナスの電荷をもつキャリア(電子)を伝導する n 型半導体のどちらとしても機能する「アンバイポーラ半導体」が注目されています。しかし、このアンバイポーラ半導体の特性を大気下でも安定に発現する材料の実現は難しく、こうした特性の観測はこれまで、別々の p 型半導体と n 型半導体から成る複合材料や一部のポリマー材料などに限られていました。また、複合材料においては界面におけるキャリア伝導効率の低下が、ポリマー材料においては伝導機構の解明や性能向上に必要である詳細な構造情報の把握が困難である点が、依然として課題となっていました。そこで本研究では、d/π 共役系分子であるニッケルジチオレン錯体に着目し、この骨格に適切な置換基を組み合わせることによって、大気安定かつ、複合材料やポリマー材料における障害をクリアする単一成分・低分子型材料を設計しました。合成した錯体群は、詳細な構造的分析と高秩序層の形成を可能にする高い結晶性を共通して示しました。単結晶 X 線構造解析の結果、置換基のわずかな伸長による分子形状の微細な変化に伴い、分子積層構造が劇的に変化することが見出されました。この分子積層構造の変化により、隣接分子間における有効な相互作用が結晶中の 2 方向で形成可能となることが理論計算から示され、実デバイスにおける安定的なキャリア伝導を可能とする 2 次元的なキャリア伝導パスの確保が示唆されました。また、置換基のわずかな伸長は有機溶媒への溶解性に基づく薄膜加工性の向上ももたらし、実際に溶液塗布プロセスを適用して作製した結晶性薄膜を用いた電界効果トランジスタ(FET)の特性評価においては、アンバイポーラ型の電荷輸送特性を大気下でも安定的に観測することに成功しました。本研究成果は、アンバイポーラ半導体材料の性能向上に向けた新たな分子設計指針を与えるものであり、次世代型有機エレクトロニクスデバイスの発展や、溶液プロセスを用いた簡便かつ低コストなデバイス製造の実現に対する貢献が期待されます。

本発表にあたり、森研究室の森初果教授、藤野智子助教のほか、物質設計評価施設の尾崎泰助教授、産業技術総合研究所の東野寿樹主任研究員、大阪公立大学の牧浦理恵准教授をはじめとする、分野を跨る多くの方々のご協力ならびにご指導を頂きました。この場をお借りしまして、心より御礼申し上げます。

参考文献

M. Ito, T. Fujino*, L. Zhang, S. Yokomori, T. Higashino, R. Makiura, K. J. Takeno, T. Ozaki, H. Mori*, *J. Am. Chem. Soc.*, **145**, 2127-2134 (2023).

日本物理学会学生優秀発表賞を受賞して

中性子科学研究施設　益田研究室　　菊地 帆高

この度、2023 年 3 月に開催された日本物理学会春季大会(領域 10)にて、学生優秀発表賞を受賞いたしました。受賞対象となった発表は「高効率三軸分光器 HODACA の現状」です。この賞は、物理学会大会において優れた講演を行った学生に授与されます。博士課程修了間際でこのような賞をいただくことができ大変うれしく思っています。以下、研究内容についてご紹介いたします。なおこの研究内容は筆者の博士論文の主要研究です。

現在中性子散乱は、物理学、化学、材料科学、工学などの幅広い分野において有用な実験手法となっています。物性物理学においてはダイナミクス研究に用いられています。物質中の原子やスピンの集団運動の固有状態は波数 q とエネルギー E で記述されます。この分散関係を非弾性散乱(INS)分光器により測定することで、物質のダイナミクスを明らかにすることができます。

三軸分光器(TAS)は 1950 年代に開発されてから現在に至るまで INS 実験に利用されており、汎用的かつ重要な分光器としての地位を築き上げてきました。TAS は、アナライザと検出器の 1 対を用いることで、任意の q-E 空間の 1 点において高い S/N 比で測定することが可能です。この TAS の発展形として、アナライザと検出器の対の数を増やし、広い q-E 空間における効率的測定を可能とした多重型 TAS 分光器があります。現在、様々なコンセプトを持つ多重型 TAS 分光器の設計・建設・運用が世界的に行われており多大な成果を挙げています[1,2]。

そこで多重型 TAS 分光器の設計、研究用原子炉 JRR-3/C1-1 ビーム孔への建設・運用を本研究の目的としました。C1-1 ビーム孔には TAS が設置されているため、モノクロメータと試料台は新分光器と共用することにしました。新分光器は I.Zaliznyak 博士らによって提案された Inverse Rowland Inelastic Spectrometer(IRIS)型を選択しました[3]。装置名は HOrisontally Defocusing Analyzer Concurrent data Acquisition の頭文字をとり、HODACA としました。

HODACA では、ローランド円を利用したアナライザ群による“反”集光により、散乱面における中性子を効率的に収集します(図 1 参照)。試料から散乱された中性子は、

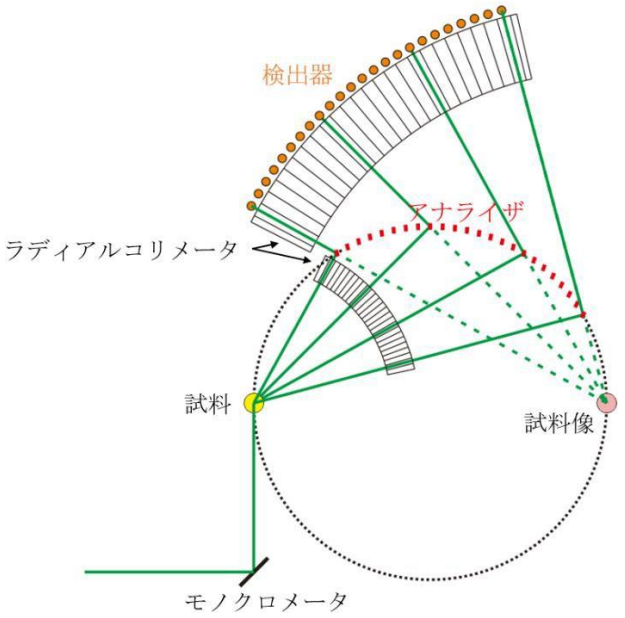


図 1 HODACA 分光器の模式図。緑線は中性子の飛行経路を示す。

ローランド円の円周上に設置されたアナライザ群によって一定の角度で反射されます。円周角の定理により、反射後の中性子光路は、円周上にある試料像を光源として、広がっていくもの(反集光)として作図されます。反射後の中性子は、試料像を中心として配置された検出器群により検出されます。アナライザ群の前後に中性子の混線(クロストーク)を抑制するラディアルコリメータを設置することにより、バックグラウンドの効率的な低減が期待されます。この原理により HODACA は等 E 面での広い q 空間における高 S/N 測定を可能とします。

これを C1-1 ビーム孔に設置するためモンテカルロシミュレーションを用いて最適化を行いました。その結果、図 1 に示すようにアナライザと検出器の対を 2 度間隔に 24 対配置したモデルが最もコンパクトかつ低バックグラウンドを実現することが明らかになりました。加えて各アナライザと検出器の対は TAS とほぼ同程度の強度と分解能を有することも示されました。これにより、HODACA 分光器は TAS の 24 倍の測定効率を持つことが結論付けられました。

図 2　JRR-3 に設置された HODACA の写真。

HODACA を C1-1 ビーム孔に設置し、フラストレート磁性体 $CsFeCl_3$ を用いた INS 実験を行いました。本物質は Fe^{2+}イオン($S = 1$)の強磁性鎖が三角格子を形成する物質として古くから知られており、拡張スピン波理論によって分散関係が正確に記述されています[4]。図 3 は HODACA を用いて測定された INS スペクトルを示しています。図 3(a)は $CsFeCl_3$ の弾性散乱部分のスペクトルを示し、本物質のブラッグピークが正確に測定されています。図 3(b)は c^*方向の INS スペクトルを示しています。図中の白線は先行研究によって計算された分散関係を表しています。HODACA によって測定された分散関係が先行研究の計算曲線によって再現されました。以上のことから HODACA によってスペクトルが正確に測定されることが示されました。今後の課題としてさらなるバックグラウンドの削減、解析用ソフトウェアの改良が挙げられます。

本研究及び講演を行うにあたり、益田隆嗣先生、浅井晋一郎先生、I. Zaliznyak 博士、L. Harriger 博士、中島多朗先生、佐藤卓先生(東北大多元研)をはじめとした多くの皆様よりご支援いただきました。この場をお借りして厚くお礼申し上げます。

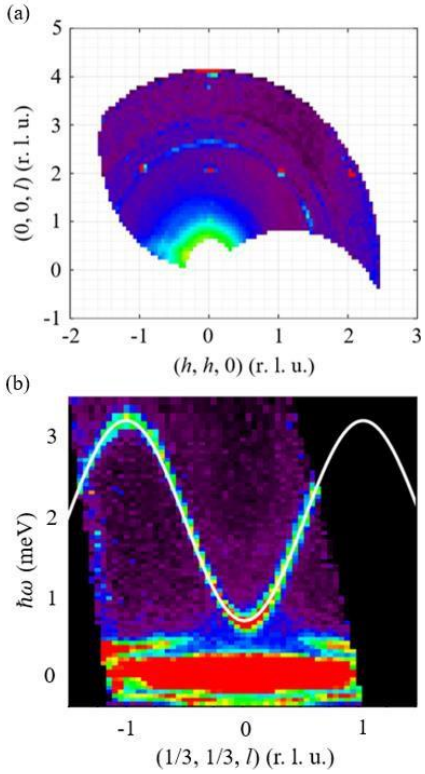


図 3　HODACA によって測定された $CsFeCl_3$ の弾性散乱部分(a)と c^*方向の INS スペクトル(b)。(b)内の白線は先行研究[4]による計算曲線。

参考文献

[1] J. A. Rodriguez, *et al.*, Meas. Sci. Technol. **19**, 034023 (2008).

[2] O. Sobolev, *et al.,* Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A **772**, 63 (2015).

[3] L. Harriger and I. Zaliznyak, 2015 NCNR Annual Report, **1202**, 46 (2016).

[4] L. Stoppel, *et al.,* Phys. Rev. B, **104**, 094422 (2021).

「日本物理学会(領域 8)学生優秀発表賞」を受賞して

廣井研究室 博士課程 1 年　　池野辺 寿弥

この度、2023 年日本物理学会(領域 8)学生優秀発表賞を受賞しました。この賞は日本物理学会大会における大学院生又は学生会員の優秀な学会発表に対して授与されます。数多くの研究が行われている中で、このような栄えある賞を賜り、大変光栄に思います。

受賞対象となった口頭発表題目は「ノーダルライン半金属 NaAlSi における表面超伝導の検証」です。超伝導は転移温度以下で電気抵抗がゼロになる現象です。この性質により発熱の問題なく大きな磁場を発生できるので、MRI やリニアモーターカーなどに実用化されています。これまで超伝導は、結晶全体が 1 つの超伝導状態を示す系が研究されてきました。一方、近年トポロジーという観点から結晶表面だけ異なる電子状態をとる物質の存在が明らかになっています。内部(バルク)が絶縁体、表面が金属であるトポロジカル絶縁体がその代表的な例です。この類推から表面状態が自発的に超伝導を発現する「表面超伝導」が理論的に予測されていましたが、これを明確に実現する物質は発見されていませんでした。

本研究では、理論的にバルクが半金属、表面が金属であると指摘されているノーダルライン半金属 NaAlSi に着目し、電気抵抗測定と磁気トルク測定を行った結果、バルク超伝導と共存する表面超伝導の兆候を観測することに成功しました。さらに観測した表面超伝導は、バルク超伝導よりも磁場に対して壊れにくい性質を有していることも明らかになりました。

折角の機会ですので、以下に本成果が得られるまでの経緯を記します。ご参考になれば幸いです。本研究は修士 1 年で廣井研に入った際に、「NaAlSi に表面超伝導がありそうだから検証してみたら」と廣井先生に勧められたのが始まりでした。超伝導体が大好きな私はウキウキで研究に取り組んだのを覚えています。最初は結晶側面に表面超伝導があると信じて検証を試みました。すぐに奇妙なデータが得られ、それを M1 秋に日本物理学会で口頭発表できました。俺すごっ、と思いましたが、結局データが変すぎて解釈できませんでした。

次に結晶上面の表面超伝導を検証することにしました。すぐに面白そうなデータを観測しましたが、再現性が取れない問題に直面します。徹夜で 16 個測定して全滅した朝、測定後の泡を吹いた結晶が朝日に照らされて輝く姿をボーっと眺めてる時間は、昨年の絶望オブザイヤーです。

その後、「NaAlSi は一旦諦めよう」と廣井先生に告げられました。先生が凄いのは、代わりに別の候補物質 KMgBi を提示してくれた事です。私はフリスビーを投げられた犬のように直ぐ KMgBi に飛びつきました。結果として KMgBi に表面超伝導は無かったのですが、この時の測定で学んだ電流値依存性などを NaAlSi の実験に取り入れる事で、実験の再現性が向上し、表面超伝導の兆候を観測できるようになりました。このように紆余曲折を経て本成果に辿り着きました。本記事が研究に絶望している学生さんにとって少しでも参考になりましたら大変幸いです。修士 2 年間、様々なデータを取り続けて、それを基に廣井先生と議論する時間が大変楽しかったです。博士課程では私が発想した物質で様々な方々を巻き込んで成果を出せるよう精進致します。

本研究は廣井善二教授、東北大多元研の山田高広教授、廣井研元助教の平井大悟郎さん、岡本佳比古教授、X 線室元助教の矢島健さん、NIMS の宇治進也特別研究員、鴻池貴子主任研究員、服部裕也研究員、寺嶋太一グループリーダーなどの多くの方々のお力添えのおかげです。この場を借りて感謝申し上げます。

INTERMAG 2023
Best Student Presentation Award Finalist & Best 2023 Lightning Talk Award

Nico Daniel BUDAI, D2, Otani Laboratory

The INTERMAG is a leading international conference encompassing all aspects of fundamental and applied magnetism. Scientists and engineers from various fields worldwide are participating and contributing to the technical sessions. The program includes oral and poster presentations, invited talks and symposia, tutorial sessions, and exhibits. This year, the conference was held from May 15 to May 19, 2023, in Sendai, famously known as the "City of Green", boasting a captivating natural environment, delightful cuisine, and distinctive hot springs. The conference is jointly sponsored by the IEEE Magnetics Society and the Magnetics Society of Japan.

The IEEE Magnetics Society established an award to promote students in research and recognize excellence in graduate studies in the field of magnetism, known as the Best Student Presentation Award, in which I participated.

The Lightning Talk is a new format organized by the IEEE Magnetics Society Young Professionals. It falls under the category of 'Special Sessions'. The idea behind it is to present your research understandably to an audience outside of your field within three minutes. The talks are given by young professionals in magnetism (from Postdocs to Asst. Professors and industry), followed by audience feedback and a panel discussion.

It was my first time joining an international conference and giving my first oral presentation; consequently, I was nervous about it. However, being chosen as one of the 'Best Student Presentation Finalists' was a great honor and filled me with pleasant memories of my first-ever oral presentation. It motivated my research and made me look forward to future conferences and presentations!

The Young Professionals Lightning Talk is a unique format where the presenting skill, instead of the content of the research, is in the foreground. I understandably conveyed my research to the audience, which granted me the 'Best 2023 Lightning Talk Award'. I am pleased about this and immensely enjoyed this different kind of format.

Figure 1: Me (Nico Budai) holding the awarded certificates at ISSP.

In the following, I want to give a brief introduction to my study.

We have recently developed a magnetic imaging technique based on atomic force microscopy (AFM) and the anomalous Nernst effect (ANE). The sample to be investigated is heated by a parallel wire, which raises its temperature. If the AFM-tip touches the surface of the heated sample, a local vertical temperature gradient, ∇T_z, is induced (the AFM-tip works here as a heat sink) below the tip-contact area. Due to the magnetization dependence of the anomalous Nernst effect, given by

$$\boldsymbol{E}_{ANE} = S_{ANE} \cdot (\boldsymbol{m} \times \nabla T),$$

and the locally induced temperature gradient, the magnetization direction (or anomalous Nernst effect) of the touched point on the sample surface can be detected accurately. Figure 2(a) shows the schematics of the technique.

We applied our method to the Weyl ferromagnet Co_2MnGa, famous for exhibiting a very high anomalous Nernst effect among metals [1]. In Figure 2(b), the topographical image of our device, including the heating wire, can be seen. The sample itself is indicated with a white box.

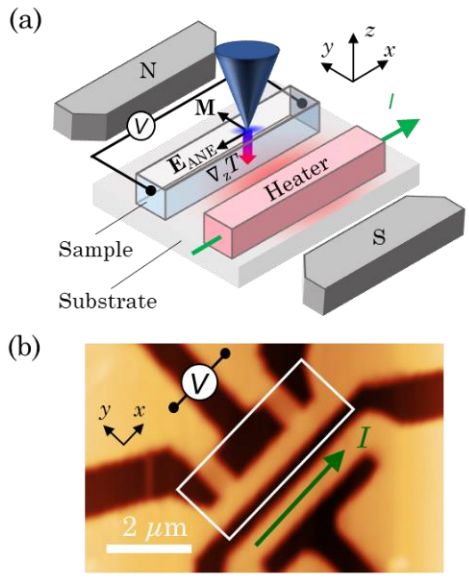


Figure 2: (a) Schematics of the proposed magnetic imaging technique. (b) Topographical image of the sample obtained by standard AFM measurement.

We can scan under different external magnetic fields, which allows us to investigate the change in the sample's magnetization during this process. As indicated in Figure 3, a clear change in magnetic contrast from +134 mT to -134 mT can be seen. Here, red means a positive measured voltage, and blue represents a negative one, which resembles a positive and negative magnetic field. At -5 mT, even a clear domain wall (transition from red to white to red in the middle of the wire) can be determined [2].

Our technique provides a sub-100 nm spatial resolution and does not rely on net magnetization, making it a promising candidate in materials science. Especially for non-collinear antiferromagnets such as Mn_3Sn, this magnetic imaging technique is applicable, enabling a way to determine their magnetic properties easily.

At this point I want to thank all the co-authors who contributed to my work, without them I would not have been able to receive the awards nor develop the magnetic imaging method. Special thanks to Hironari Isshiki, who is my technical supervisor and assistant professor, and Professor Yoshichika Otani, as my academic supervisor, for the huge support throughout the work and the preparation for the conference. I am also very thankful for

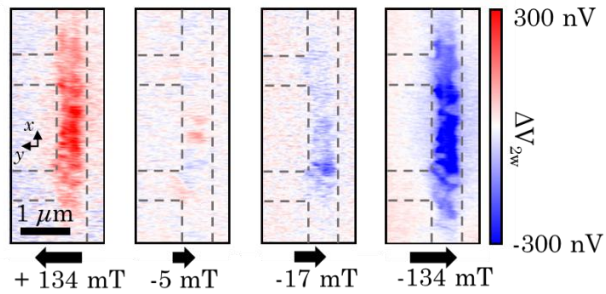


Figure 3: Results of the magnetic imaging on Co_2MnGa under different external magnetic fields.

Ryota Uesugi's, Zheng Zhu's, Tomoya Higo's and Professor Satoru Nakatsuji's support in the sample fabrication and the very valuable discussions.

References

[1] A. Sakai et al., *Nature Physics* **14**, 1119–1124 (2018)
[2] **N. Budai** et al., *Appl. Phys. Lett.* **122**, 102401 (2023)

HPCI ソフトウェア賞の受賞について

物質設計評価施設　　川島 直輝

大型計算機室、計算物質科学研究センターのメンバーが以下のとおり HPCI ソフトウェア賞を受賞しました。授賞式は 5 月 19 日に HPCI コンソーシアム総会に先立ってオンラインで行われました。賞の名称、対象団体名、対象プロジェクト名、受賞者は以下のとおりです。受賞者のみなさま、おめでとうございます。

- 普及部門・最優秀賞　計算物質科学ソフトウェア普及チーム
  - MateriApps プロジェクト/PASUMS プロジェクト
    - 受賞者(MateriApps)：井戸 康太(物性研)、福田 将大(物性研)、笠松 秀輔(山形大学)、三澤 貴宏(北京量子信息科学研究院(現：物性研))
    - 受賞者(PASUMS)：本山 裕一(物性研)、河村 光晶(東大情報基盤センター)、吉見 一慶(物性研)
- 開発部門・最優秀賞　mVMC 開発者チーム
  - ソフトウェア名：mVMC
    - 受賞者：井戸 康太(物性研)、森田 悟史(物性研(現：慶應大学))、吉見 一慶(物性研)、本山 裕一(物性研)、河村 光晶(東大情報基盤センター)、Ruquing Xu(東大物理学専攻)、三澤 貴宏(北京量子信息科学研究院(現：物性研))
- 開発部門・優秀賞　HΦ 開発者チーム
  - ソフトウェア名　HΦ
    - 受賞者：河村 光晶(東大情報基盤センター)、吉見 一慶(物性研)、三澤 貴宏(北京量子信息科学研究院(現：物性研))、井戸 康太(物性研)、本山 裕一(物性研)、山地 洋平(物材機構)

この賞は、一般社団法人 HPCI コンソーシアム(HPCIC)が「大規模計算などの計算科学分野の発展に貢献したソフトウェアのうち特に有益と認められたソフトウェアの開発者・団体、あるいは普及に貢献した者・団体を奨励するために」(HPCIC のウェブページより)設立した賞であり、若手研究者が授賞の対象となっています。これまで、ソフトウェア開発は、その応用としての学術論文によってのみ評価されてきていましたが、ソフトウェア開発が高度化し、計算科学の黎明期と比較してはるかに専門性が高くなってきています。この賞の創設にあたっては、ソフトウェア開発自体にスポットをあてた評価が必要であるとの認識が背景にありました。今年度が第 1 回であり、特に記念すべき受賞といえるでしょう。この賞には、開発に対する賞だけでなく、ソフトウェア開発環境の整備や普及などの活動に対するものもあり、前者は「開発部門」、後者は「普及部門」として個別に審査されます。今回は、普及部門 1 件、開発部門 5 件(最優秀賞 1、優秀賞 1、奨励賞 3)の合計 6 件に対して授賞があり、このうちの 3 件について物性研の若手研究者や開発時に物性研スタッフであった方々が中核的な役割を果たしています。

物性科学における計算科学は研究対象や計算手法の多様性から、研究者による多様なオリジナルコードが開発されてきましたが、物性研では、ソフトウェアの可用性を高めるためにいろいろな取り組みをしてきています。2013 年に、物質材料研究で用いられるソフトウェアを紹介するポータルサイト MateriApps を立ち上げました。当初は、物性研が分子研、金研と協力して運営する体制でしたが、現在は、物性研の計算物質科学研究センターの事業として運営しています。現在で月間ページビュー数が 2 万件前後と、この種のウェブサイトとしては注目度の高いサイトとなっています。2015 年からは、物質設計評価施設の事業として、公募によるソフトウェア開発・高度化プロジェクト(PASUMS)を推進してきています。このプロジェクトの眼目は、これまでおもに開発者とその周辺でしか利用されてこなかった優れたソフトウェアをできるだけ広い範囲の研究者に利用してもらうことであり、着実に成果をあげつつあります。今回は MateriApps と PASUMS の二つの取り組みに参加した若手研究者に対して普及部門最優秀賞が授与されました。

一方、開発部門の最優秀賞、および優秀賞は、ともに PASUMS 事業の対象となったソフトウェア開発・高度化に参加した若手研究者に対して授与されました。最優秀賞の対象となった mVMC、優秀賞の対象となった HΦ ともに強相関電子系のモデル計算に関するソフトウェアです。mVMC は変分モンテカルロ法と呼ばれる手法に基づくプ

ログラムがその中核になっており、適用範囲の広い方法としては扱える系のサイズが非常に大きいという利点があります。教科書的には少数のパラメータで記述される変分関数が多いところ、mVMC で用いられる変分波動関数では、系の自由度と同じオーダーの個数のパラメータを含んでおり、従来の変分計算で到達できなかった高精度の計算に成功しており、強相関電子系に対する最有力の計算手法の一つとなっています。一方、HΦ は、数値対角化のソフトウェアであり、計算可能なサイズの計算に関しては、数値的に厳密であることが保証されている答えをえることができるという意味でスタンダードな計算手法です。そのような手法に基づく計算プログラムとしては、東工大の西森教授が作成された TITPACK が以前は広く利用されていましたが、大規模並列計算機の登場以前に開発されたコードであったため、並列化対応されておらず、PASUMS 立ち上げ当時すでに標準的であった並列計算機の性能を十分に引き出せなくなっていました。この問題を克服してあらたに広く利用される数値対角化コードを開発しよう、というのが HΦ の原点であり、HΦ は PASUMS プロジェクトで開発されたコードの第一号となりました。

今回の受賞は物性研のソフトウェア開発に対する取り組みが、物性科学の分野を超えて高く評価されたものとして、大変喜ばしいものです。物性研が、ソフトウェアの普及を目的として開発に専従するすぐれたスタッフを配置している国内でも数少ない研究機関であり、そのことが今回の受賞の背景にあることを申し添えて、結びとしたいと思います。

トロフィー(左から HΦ，マテリアップス・PASUMS，mVMC)

物性研に着任して

ナノスケール物性研究部門　　橋坂 昌幸

2023 年 4 月 1 日付でナノスケール物性研究部門准教授に着任いたしました、橋坂昌幸と申します。伝統ある物性研で研究・教育に携わることを大変光栄に存じますと共に、身の引き締まる思いです。

私は京都大学 大学院理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻で研究生活をスタートしました。修士課程の指導教員は現在、名古屋工業大学で教鞭をとっておられる壬生攻先生で、化学研究所の小野輝男先生と一体的に研究室を運営されていました。最初の研究テーマは PLD 法による強磁性絶縁体ペロブスカイト型酸化物の薄膜作製、およびこの薄膜を用いたスピントロニクス素子の作製でした。目的は、強磁性絶縁体を障壁とするトンネル素子のスピンフィルタ効果を確認することでした。トンネル効果は量子力学の教科書ではせいぜい数ページ程度で説明されますが、実際に新しい素子を作るには膨大な労力が必要です。当初はまずこのことに驚き、新しい物理現象を次々と観測することを思い描いていた私は、肩透かしを食らったような気持ちになったのを覚えています。ところが研究を始めてみると、各装置の動作原理、試料作製プロセス、測定手法など、実験のあらゆるディティールが論理的かつ精緻に組み上げられていることが分かり、実験の面白さにのめり込みました。

博士課程に進学して研究を続けようと考えていたところ、修士 2 年になる時に壬生先生が名古屋工業大学に転出されました。修士の間はスピンフィルタの研究を続けたのですが、博士課程から研究テーマを変え、小野研究室に准教授として着任された小林研介先生にご指導いただいて、半導体メゾスコピック系の研究を行うことになりました。

小林先生のご計画は、電流のゆらぎ(つまりノイズ)を定量的に評価し、キャリアの有効電荷など、通常の電流測定では得られない情報を取得するための実験ツールとして確立しようというものでした。電流ゆらぎ測定は1997年に分数量子ホール系における分数電荷の観測に用いられ、1998年にLaughlin, Störmer, Tsui各氏がノーベル物理学賞を受賞する契機となりました。私が博士課程に進学した当時はこの測定技術を持つグループは世界でもごく少数で、挑戦的な課題でした。しかも当時の小野研究室には半導体試料作製や希釈冷凍機での測定のノウハウが無く、実験の大部分を新規に立ち上げる必要がありました。大変な計画だと分かると俄然やる気が出て、小林先生や後輩達と共に、寸暇を惜しんで実験に没頭しました。色々と手探りで失敗が多く、効率は悪かったと思いますが、温かく見守ってくださった小野先生、葛西伸哉助教のおかげもあり、何とか博士3年目の12月に最初の論文が出版され、学位をいただくことができました。

卒業後、東京工業大学の藤澤利正先生の研究室で助教を勤めました。藤澤先生は半導体量子ビットで優れた業績をあげられており、学生時代の憧れの研究者でした。東工大で新しく研究室を主宰されるということで助教の公募があり、記念受験のつもりで応募したところ、採用の幸運に恵まれました。藤澤研究室は元気な学生が多く、研究室の立ち上げから楽しく仕事をさせていただきました。助教の8年間、理論提案を深く考察し、自らも仮説を立てて精密な実験に取り組む藤澤先生の方法を身近で学ばせていただき、30代後半でようやく自分の研究スタイルが確立できたように思います。初めてハイインパクトジャーナルに第一著者として論文を発表できたのもこの頃です。

その後は NTT 物性科学基礎研究所の村木康二博士、熊田倫雄博士のチームで約 5 年半、研究員として勤めました。企業の研究所は大学とは様々な点で違いがあり、大変良い経験を積ませていただきました。中でも、広い世代の社会人研究者と共に机を並べて研究し、仲間と呼べる関係になれる点が最も貴重で印象的な体験でした。さらに、NTT 物性研にはノーベル賞受賞者の von Klitzing 先生のような著名研究者と繋がりがある方が多く、これらの方々を通じて、40 歳前後になって初めて自分の周りに人脈が広がっていく感覚を味わいました。NTT 所属時に形成された所内外の人の繋がりは、研究者として極めて大きな財産になったと感じています。

こうして振り返ると、偶然に左右されながらも重要なタイミングで幸運に恵まれ、研究者として様々な経験を積むチャンスをいただいて来たことがわかります。同時に、30 代後半で研究スタイル確立、40 歳前後で人脈形成ということで、ずいぶん遅々とした歩みだったようにも感じます。こうした経歴を踏まえて、私の強みは、じっくりと課

題に取り組み、良い成果、良い環境を作る体験をしてきたことだと思います。これが本物の能力になっているのかどうかは、これからの研究室の運営、そしていかに物性研に貢献できるかということで試されると考えています。物性研が世界をリードする研究拠点としてますます発展していくよう、精一杯努力する所存です。どうぞよろしくお願いいたします。

物性研に着任して

附属物質設計評価施設　　山浦　淳一

2023 年 4 月 1 日付けで附属物質設計評価施設准教授に着任しました。これまでの研究を紹介するとともに、現状や今後の予定などをお話しできればと思います。

私と物性研との関わりは古く、六本木時代にまで遡ります。当時、自身で作製した分子性導体の単結晶を携え、東京工業大学の大学院時の恩師である榎敏明先生と共に、毛利先生の研究室に設置されていたキュービックアンビル装置を用いた高圧抵抗率の実験にやってきました。当時の榎先生は非常にアクティブで、研究相談中にいきなり知り合いの先生に電話をかけたかと思うと、じゃあ来週実験に行きましょうということがしばしばありました。この時も右も左もわからない状態で、見たことも聞いたこともない場所にいきなり連れてこられ、毛利先生と少しお話ししたかと思うと、じゃあ後はよろしくと去って行ってしまい、初めて見る装置を前に呆然としたことを今でも覚えています。実験は現日大の高橋先生の協力を得て何とかうまくいったのですが、さらなる衝撃は帰り道にありました。ほぼ終電となりかけた時間に日比谷線の六本木駅から帰宅したのですが、当時はバブル真っ盛り、六本木交差点にあったアマンド前は外国人で埋め尽くされた路上ディスコ状態で、意味もなくハイタッチしながら人の波をかき分け、ようやく電車に乗れるといった有様でした。その時の自分は研究室に泊まり込んで休日もなく実験する真面目な学生でしたので、あまりに煌びやかな世界に心底驚いたものでした。

さて、時は少し経ち今度は物性研のスタッフとして運営に関わる機会をいただきました。当時できたばかりの物質設計評価施設 X 線測定室の助手として、現名大の澤先生の後任という形で採用していただきました。大学院時代は、結晶作製、装置製作、各種計測が本業で、結晶構造解析は結晶学の大家である大橋先生の研究室で数回ほど教わったのみという状態でしたが、澤先生から装置のセットアップのイロハを細かく教えていただき何とか全国共同利用を進めることができました。着任時は柏移転まで数年の状態でしたが、実質的な助手状態であった加藤礼三先生の研究室の学生とともに、六本木、西麻布と数百店というレベルでランチに出かけたのは今でも心に残る思い出です。

柏移転後は、頼みの加藤先生も理研に異動してしまい、独力で研究を続ける日が続きます。幸い、柏移転バブルで今では到底買うことのできない特殊設計の迅速低温高圧 X 線回折計とヘリウム吹付冷却可能な最新鋭の CCD 型 X 線回折計を購入することができました。それにより、様々な研究者の方と全国共同利用研究、所内利用研究を進めることができ、多くの成果を残すことができました。助教時代後半は、廣井研究室の実質的なスタッフ状態となり、学生とともにパイロクロア酸化物を中心とした結晶作製、基礎物性、構造物性などの研究を楽しく進めさせていただきました。無機化合物の合成はこの時初めてでしたが、学生時の分子性結晶作製の経験を生かして種々の純良単結晶を合成することができ、自分の研究だけでなく多くの方との共同研究を進めることができました。量子ビームを用いた構造物性研究もこのころから本格化し始め、結構な頻度で SPring-8 へ実験に行くようになりました。特に、$Cd_2Os_2O_7$ パイロクロアにおける隠れた磁気秩序を共鳴 X 線磁気散乱で決定した実験は思いで深いものになりました。単に実験と解析がうまくいったというだけでなく、東日本大震災直後の余震が続く中にマシンタイムをアサインされ、関西との温度差に絶望しつつ準備し、現場でも冷凍機のコンプレッサーが止まってしまったのを自力でバイパス手術して直して何とかうまくいったという面もあるからです。修復直後に現東北大の大串先生と肩を組んで撮影した写真には、これ以上にない満面の笑みが写っていました。

当時の研究は、周囲の先生方の協力を得てそれなりに上手く行っていたと思います。一方で苦労したのが、次へのステップアップです。原因は様々考えられますが、途中で分野が変わった、構造物性というやや狭い分野、公募を出し始める時期が遅かった、講義を全くやっていない、自分自身の力不足など挙げだしたらきりがありません。ただ講義経験は現在どの公募でも求められるものであり、所としても何らかの算段が必要なのではないかと思っています。

さて、任期も過ぎて(当時は紳士協定)半ば諦めの境地に陥りつつも面接まで通った公募では全力で発表に臨んでいました。それが功を奏したのか、高エネルギー加速器研究機構の村上洋一先生の勧めで、2012 年にスタートした元素戦略プロジェクト＜研究拠点形成型＞電子材料領域の特

任准教授として採用していただきました。ただ所属は東京工業大学の元素戦略研究センター、本務先は高エネ機構物質構造科学研究所といった少し変わった形になりました。プロジェクトリーダーは透明酸化物半導体 IGZO を世に送り出した細野秀雄先生でした。細野先生はその真摯な研究姿勢ゆえ厳しい言葉を投げかけるときがありますが、全力で科学に向き合う姿勢に大変な感銘を受けました。成果報告会は、まさに道場といった感じで無限に議論が続き時間通りに終わることは一度もなかったです。元素戦略での仕事は、超伝導体、誘電体、半導体、蛍光体、磁性体といった基礎から応用まで広がる幅広い材料に対する構造物性研究でした。手法も単結晶X線回折中心から、放射光や中性子を用いたマルチプローブ・マルチスケール構造解析へと進化していきました。この過程で多くの量子ビームサイエンティストの方々に、測定や解析、議論でお世話になりました。このプロジェクトで得られた一番のものは、物質と人脈の幅が大きく広がったことと考えています。これにより、強相関系一辺倒であった自分の視野が大きく広がり、かつ、やる気があれば専門にこだわる必要もないのだと気づかされた点も大きいです。

その後、時のめぐりあわせと不思議な力に導かれ柏の地に戻ってくることになりました。現在の状況ですが、X 線測定室を立ち上げつつ、3 年後に引き継ぐことになっている廣井研実験室の環境整備も行っているところです。学生やスタッフが来るのは来年以降になりますが、ゼミ等は廣井研、岡本研と共通で進めており、元素戦略時の極小規模研究室とは様変わりした雰囲気を味わっています。まだ看板はありませんが、構造解析全般についてのアドバイスを行う構造解析万相談所も開設中です。また、放射線取扱主任者として野澤技術専門職員からの放射線管理の引継ぎも進めています。研究テーマとしては、今までの J-PARC、SPring-8、PF を利用した経験を活かして多様な量子ビームを駆使した解析が容易にできるシステムを構築し、様々物質の機能発現機構を解明する仕事を進めていく所存です。また元素戦略の後継的なプロジェクトである、智慧とデータが拓くエレクトロニクス新材料開発拠点(D2MatE)にも引き続き参加し、DX を駆使した応用材料評価にも関わっていく予定です。

色々書きすぎて退職時の話みたいになってしまいました。ここに来るまで大変多くの先生方、スタッフ、学生さんたちに助けられています。お名前を挙げていない方、着任の挨拶ができないままになってしまっている先生方も沢山おられます。これからも高所からアドバイスいただければ幸いです。最後に若手の皆さんにメッセージを送りたいと思います。自分の経験から物性研は研究者のパラダイスだと思っています。アカデミックに残るにせよ企業等に行くにせよ、皆さんの今後の人生で最も自由に制限なく好きなことができる極めて貴重な時間を過ごしていると断言できます。是非とも Game change material を見つけるべく互いに頑張りましょう。長々と書いてきましたが、本稿をきっかけに皆様と様々な形で共同研究を進めて行くことができれば幸いです。

物性研に着任して

機能物性研究グループ　林　久美子

2023 年春、教授としての新たなスタートとともに、生物物理計測の研究室を誕生させる運びとなった。従来の物性物理学の対象に加えて、細胞内のタンパク質や小器官の物性を扱っていく予定である。東北大学の工学研究科応用物理学専攻で助教、准教授として 10 年以上の時間を過ごし、東北大学の多元研に生物系の研究室があることを知っているため、物質科学分野の潮流として物性研が生物物理研究に関心を向けることは学問の進化として自然な展開であると感じている。

私は学生時代、佐々真一先生の下（当時駒場、現在京大理物）、特に非平衡統計力学の理論について学び、そこで学位も取得した。物理学会においては物性基礎論（領域 11）での活動が中心で、鈴木増雄先生の弟子世代にあたる金子邦彦先生や田崎晴明先生の研究室の人たちとの交流で成長することができた。また、物性研で交換モンテカルロ法を開発した福島孝治先生の研究室も駒場の同じ建物内にあり、毎日のように最先端の統計力学研究に触れることで、学生時代に研究者としての基盤を築くことができた。

私は筆頭著者として 8 本の学位論文を執筆したが（けっこう頑張った）、その後、研究が伸び悩んでしまい、自分の限界を感じるようになった。そこで立ち止まっても仕方がなかったので、ポスドク時代には異なる研究環境を求め、Felix Ritort 先生の研究室（バルセロナ大）と野地博行先生の研究室（当時阪大産研、現在東大）などで非平衡統計力学の理論を生物実験に応用する研究に従事した。その経験が生物実験への転向の道へと導いた。新しいことを学び、新たな研究を手掛けることで、停滞感を打破したかった。元々私は、学際的な研究を重視する駒場で学び、そのため、一見大胆に見える分野転向も、私にとっては自然な流れだった。結果として「理論と実験」は私を語る上でのキーワードになり、現在に至るわけである。着任後の兼担先は、新領域創成科学研究科の複雑理工学専攻に決まったが、この学際的領域は私のキャリアと合致していると感じている。データ駆動科学や機械学習が盛んなこの専攻で、データ駆動科学を生物物理や非平衡統計力学の研究に吸収して、物性研着任を機に、研究を新たなステージへと進ませたい。

この記事を書くにあたり、物性だより第63巻1号（2023年度）に掲載された森先生の「所長退任にあたって」と廣井先生の「所長就任にあたって」の記事を拝読した。第四世代の物性研において、私の研究室がスモールサイエンスとして果たせる役割について、考えさせられる記事だった。スモールサイエンスは、その多様性を活かして新しい発見や技術の進展を期待させるものである。女性 PI の参画の拡大、データ駆動科学の実践など、多岐にわたる分野での貢献の機会があればと考えている。私の研究室は、生物分野に加えて医学分野との共同研究も進めているので、物性研とこれまで関わりの薄かった研究機関を取り込み、共同研究プロジェクトへと導くことが、現段階での私の任務と考えている。第四世代の物性研の私のイメージは、物質科学をキーワードに「ビッグサイエンスとしての大規模施設と多岐にわたるスモールサイエンスを共存」させ、「それぞれが相互補完する形で協力し合う」というもの。ビッグサイエンスとスモールサイエンスの双璧の関係性が、物性研の新しい時代を牽引する可能性を感じている。そのような双璧を実現可能な附置研は希少だと思う。その特性を活かすために新設された横断型の研究グループである機能物性研究グループは、大変意義深いグループだと思う。私の研究室も同グループのメンバーとして、第四世代の物性研に貢献したい。廣井先生の記事で「学問の細分化に伴う群雄割拠の時代に合って物性研の求心力が低下している」とのご指摘があった。現在、日本が世界の先頭を走ってきた時代が変わり、変革の時代に、多くの国々との対等な協力関係が益々重要になっていると考えている。僭越ながら、物性研も、この流れを受けて、自らの立ち位置を再考する必要があるかもしれない。従来の大規模施設との共同研究はもちろんのこと、これまでの連携が薄かった研究機関や新たな分野との多様な協力関係が求められていくように感じている。

生物物理分野での位置付けにおいて、井上圭一先生や野口博司先生の研究室と協力し、「物性研特有の生物物理学」の方向性を探求していきたい。物性研の存在感を生物物理学会にしっかりと定着させたい。東大は学際的研究の先駆者であり、阪大と同じく生物物理研究が非常に活発な場所の一つである。そこで、本郷・駒場の生物物理研究室との

連携をさらに強化し、学生たちに、人の交流が豊富な刺激的な研究環境を提供したいと考えている。

最後に、男女共同参画に関する考察をしたい。ISSP WOMEN's WEEK の取り組みは非常に評価できるものだと感じている。現代では、各国の大統領や首相、さらに金融機関の中央銀行でさえも女性のトップが誕生している。特に金融界での女性のリーダーシップは画期的であると思う。しかし、日本では日銀総裁が常に男性、夫婦別姓制度の実現が進まない、家事や育児が女性の役割と見られる現状が続いている。これは日本の長い歴史や文化が影響しているのかもしれない。奈良時代には持統天皇のような優れた女性リーダーが存在し、平安時代には女性の財産権も認められていた。しかし、武士の時代に入ると、男尊女卑の価値観が強まったように感じる。戦時中は男性の力が必要とされる時代だったので(キングダムの楊端和様や羌瘣でない限り)仕方がなかったのかもしれない。私自身、この長い歴史や文化を前にどのように対峙していけばいいのか、常に迷いを感じている。日本における女性の役割や働き方の改善については、悲観的な見方をしてきた。そういう状況で、物性研のような男性が多い研究機関が女性研究者を支援する姿勢を見せることに、非常に励まされている。私のような悲観的な考えを持つ人間にも、再び考え直すきっかけを与えてくれるので、ISSP WOMEN's WEEK の取り組みを継続してほしいと願っている。

ISSP ワークショップ
Metastability from an Interdisciplinary Perspective

【日時】2023 年 7 月 4 日（火）10:00-17:00
【会場】東京大学　柏キャンパス物性研究所 A 棟 6 階 A632 大講義室および Zoom
【世話人】岡　隆史（物性研）、髙木 里奈（物性研）、大池 広志（JST さきがけ、工学系研究科）
【URL】https://sites.google.com/view/metastability

準安定状態は、物理や化学のさまざまな分野に関連しているが、その言葉から連想される事象は研究者によって異なると思われる。固体物理においては、光励起された電子が形成する準安定状態に関する研究が盛んに行われている。また、温度・圧力・磁場などの熱力学パラメータの関数として相転移を実現する際に、準安定状態はパラメータの掃引の履歴としてしばしば観測される。ガラスについては、結晶を最安定状態としてガラスを準安定状態と見なすことができ、ガラス状態の遅い緩和を担う局所構造を準安定状態として捉えることもできる。固体化学や冶金学の物質合成においては、トポケミカル反応や急冷などを用いることで、最安定状態としては実現しない準安定物質が実現されている。これらの研究には分野を超えた共通の考え方があることが期待されており、準安定状態をテーマとした異分野交流が徐々に活発になっている。しかし、物質の準安定状態を物理の観点から理解・予測することは、多体系の非平衡現象が絡んだ難問である。また、準安定状態の研究が多様な分野に跨っていること自体が、現象の普遍性の追究を難しくする要因になっていると考えられる。

このような背景の中、本ワークショップでは、準安定状態に関する以下の 2 つの根本的な疑問を意識しながら、異分野交流を行った。一つ目の疑問は、準安定状態の存在を物理学の基本法則からどのように理解するかということである。準安定状態は現象論的にはエネルギーランドスケープのローカルミニマムとして表現されるが、エネルギーランドスケープの縦軸と横軸が曖昧なまま議論が進められることが多い。もう一つの疑問は、準安定状態をどのように予測・設計するかである。準安定物質の合成や準安定状態の生成は、経験則や試行錯誤に基づいていることが多く、第一原理的に予測可能な範囲を広げることが課題である。

7 名の講演者を招待し、光・熱・磁場・歪みによって誘起される準安定状態の研究や、第一原理計算とデータ科学に基づいた準安定物質の一般則についての講演が行われた。現地参加者は 15 名、オンラインでの参加者は 30 名程度であり、昼食や講演後も活発な議論が続き、共同研究のアイディアが次々と生まれた。ワークショップ終了後は、一部の参加者で国際超強磁場科学研究施設の見学を行い、物性実験に馴染みがない参加者にも最先端の物性実験の環境を紹介することができた。

本ワークショップの総括：招待講演者は普段異なる分野で研究を行っているものの、準安定状態をキーワードとすることで、物理と化学の両方に跨った議論を活性化することができた。特に現地参加者を中心に活発な議論ができたことにより、参加者間の共同研究や次回以降の研究会など、今後の研究の発展へと繋がることが期待される。一方で、準安定状態の理解を深めて行くためには、ガラスや非平衡量子系など、すでに物理の議論が活発に行われている分野との繋がりが重要であると感じた。また、固体化学の研究者を中心に行われている準安定物質の研究会と合同で開催することができれば、多様な物質へと研究会のスコープを広がることが期待される。このような分野の広がりを踏まえたうえで、準安定状態に関するワークショップを継続することを検討する。

【謝辞】　廣井善二所長にオープニング講演を行っていただきました。この場をお借りして、皆様に深く感謝申し上げます。

1, Opening remarks,

2, Hiroshi Oike, University of Tokyo, "Similarity of metastable states formed by atoms and electrons"

3, Kodai Niitsu, National Institute for Materials Science, “A new concept of viscosuperelasticity for thermally activated martensitic transformations”

4, Wenhao Sun, University of Michigan, “Predicting the synthesis and synthesizability of metastable materials”

5, Motoaki Hirayama, University of Tokyo, “First-principles material design for topological and strongly correlated electron systems”

6, Yuta Murakami, RIKEN CEMS, “Metastable states in photo-doped strongly correlated systems”

7, Keisuke Matsuura, Tokyo Institute of Technology, “Control of metastable states in materials with low-temperature hysteresis broadening”

8, Hiroko Tokoro, University of Tsukuba, “Development of functionality originated from thermodynamic bistability”

9, Akihiko Ikeda, University of Electro-Communications, “Metastability in phase transitions at above 100 T”

10, Free discussion & Closing remarks

ISSP ワークショップ

パルス強磁場における物性測定技術の最前線

https://ymatsuda.issp.u-tokyo.ac.jp/workshop/2023/workshop2023.html

附属国際超強磁場科学研究施設　　松田 康弘

【日程】2023 年 6 月 22 日（木）、23（金）

【場所】物性研究所本館 6F 大講義室、物性研究所 C 棟

【研究会提案者】金道浩一、徳永将史、小濱芳允、萩原政幸、鳴海康雄、野尻浩之、淡路智、木村尚次郎、松田康弘

パルス磁場は定常的には不可能な強磁場発生が可能であり、物質材料研究において重要な役割を果たしている。パルス磁場中の物性実験においては瞬間的なシングルショット測定が必要となるため測定技術に工夫が必要であるが、近年の測定技術開発によって、従来困難であった様々な測定が 60 テスラから 600 テスラの強磁場領域で可能となっている。 これらの技術を応用すれば、磁場誘起相転移などの興味深い現象の発見が期待される。その一方で、パルス磁場の経験がない研究者にとってパルス磁場実験は技術的にハードルが高く、強磁場利用機会を実質的に制限する要因となっている可能性がある。本ワークショップは、最近開発されたパルス磁場中測定技術について応用例とともに紹介し、今後の研究展開について様々な専門性を持つ研究者と議論することを目的とした。さらにそれに加え、パルス磁場実験技術の入門的な講演を実技も含めて企画し、パルス磁場利用の促進をはかった。開催形態は講義のみハイブリッドとし、現地参加は実技の実施のために参加人数を制限した。

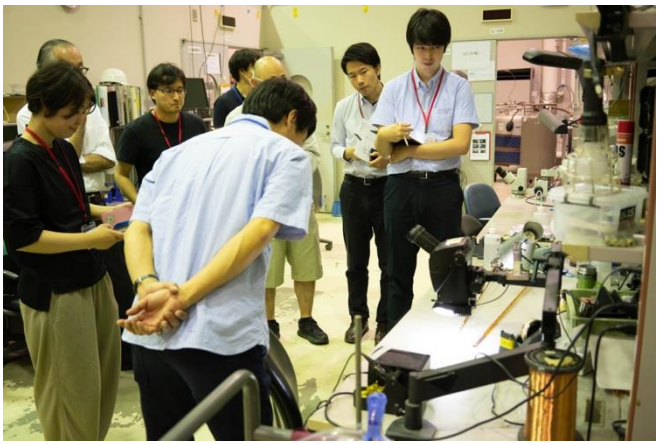
当日、廣井所長には冒頭にご挨拶を頂き、そのまま午前中の講義部分を聴いて頂けた。最近の強磁場測定技術開発における若手研究者のアクティビティを把握頂けたことは意義深かった。その後、金道施設長の挨拶でも近年の測定技術の発展、高度化が言及された。

講義は、マグネットや磁場発生技術についての説明とその下で可能となる基本的な測定技術について、非破壊型、破壊型、それぞれについて紹介された。それに引き続き、熱測定、磁気熱量効果と磁化の同時測定、超音波測定、歪み測定、偏光イメージング、テラヘルツ分光、などの最先端技術について詳しい説明があり、それぞれの講演において多くの質問があり、活発な議論が行われた。

講義に引き続き、午後からC棟の実験室に移動し、非破壊型、破壊型、それぞれのマグネットを用いた実習を行った。非破壊型は、磁気抵抗または分極、破壊型は磁化またはファラデー回転、それぞれから、一種類ずつ、参加者が非破壊と破壊の両方の実験を実習できるようにした。実習は若手中心に 26 名が参加し、同時に４箇所（実習参加者 6 ~7 人）での実施だったが、程よい規模であった。今回、本格的な実験での実習企画ははじめての試みであったが、今後の参考になると思われる。参加者からは、大変楽しく、今後の研究展開を考える上でためになったとの感想が多く寄せられた。パルス強磁場の研究の裾野を広げるための方策として、このような実習を組み込んだ技術セミナーや講演会、交流会などが有効であると実感され、今後もさらに工夫しながら企画していくことを関係者で合意した。

参加者数

現地　　48（うち実習参加者 26 人）　　講義部分でのオンライン参加 36



パルス強磁場における物性測定技術の最前線

プログラム

6/22（木）　講義　6F 大講義室

座長：松田 康弘　東大物性研

9:00-9:05	所長挨拶	廣井 善二　東大物性研
9:05 -9:10	はじめに	金道 浩一　東大物性研
9:10 -9:30	非破壊型パルスマグネットを使った物性研究: スタッフとユーザーの立場から	石川 孟　東大物性研
9:30 - 9:50	破壊型パルスマグネットを用いた 物性研究	石井 裕人　東大物性研
9:50-10:10	パルス磁場中での精密熱測定	今城 周作 東大物性研

休憩

座長：徳永 将史　東大物性研

10:30 -10:50	パルス磁場中での磁化測定と試料温度の同時測定	三宅 厚志 東北大金研
10:50 - 11:10	パルス強磁場下における超音波測定	野村 肇宏 東京電機大
11:10 - 11:30	FBG 入門：パルス磁場下におけるファイバーブラッグ グレーティング（FBG）を用いた磁歪計測について	池田 暁彦　電通大
11:30 - 11:50	パルス強磁場下における偏光顕微イメージングおよび テラヘルツ分光	木下 雄斗 東大物性研
11:50 – 11:55	まとめと実習の説明	松田 康弘　東大物性研
11:55 – 12:05	写真撮影	

実習　13:00 ~　18:30　　C 棟

＜非破壊実験デモ＞
A1　mid pulse　　磁気抵抗　担当：小濱芳允（東大物性研）、下起敬史（東大物性研）
A2　mid pulse　　分極　　担当：三宅厚志（東北大金研）、木下雄斗（東大物性研）

＜破壊実験デモ＞
B1　横型 STC　ファラデー回転　担当：野村肇宏（東京電機大）、Yang Zhuo（東大物性研）
B2　縦型 STC　　磁化　　担当：石井裕人（東大物性研）、周 旭光（東大物性研）

4 ヵ所同時進行

13:00 - 15:30　前半　　A or B
休憩
16:00 - 18:30　後半　　A, B 入れ替え

19:00　懇親会　　県民プラザ内　：さわやかテラス　（物性研から徒歩 15 分）

6/23（金）　実習　9:00 - 11:30　　C 棟

A（非破壊）、B（破壊）プログラムそれぞれについて、担当者の指示に従って実習を継続。

・Q＆A
・データ整理
・後片付け
・アンケート提出

ISSP ワークショップ

「新物質研究の最前線：特徴的なアプローチが導く新物性・新機能」開催報告

附属物質設計評価施設　岡本 佳比古

形式：東京大学 物性研究所 大講義室における対面方式と、ZOOM によるオンライン方式のハイブリッド開催
日時：2023 年 5 月 15 日 13 時～5 月 16 日 15 時半
提案者：岡本佳比古（東大物性研）、井手上敏也（東大物性研）、山浦淳一（東大物性研）、陰山洋（京大工）

物質を扱う研究にとって、これまでにない新物質や新材料発見がもたらすインパクトが大きいということは、論をまたないと思われます。新しい物質や材料では、いままでにない性質、現象、機能が発現し得て、これらが合成、計測、理論にいたる広範囲で学問を発展させるとともに、次世代の人材育成も促進します。現在、例えば強相関電子系の分野では鉄系超伝導体の研究が落ち着きをみせ、次のブレークスルーを待っている段階にあるかもしれません。現状を打破するために、各研究者によって新しい合成法や、データ科学などに基づく新しい物質探索法、物質から新たな一面を引き出すようなユニークな手法が試みられ、実際に多くの発見が今も続いています。グラフェンをねじって積み重ねることで現れる強相関電子相や、二酸化ハフニウム薄膜における強誘電性、超高圧下における水素化物高温超伝導などは、最近の新物質研究に現れたイノベーションといえます。しかし、このようなイノベーションが、物質を扱う幅広い研究分野のどの分野で生まれているのか、全体像を把握することは容易ではありません。なぜかというと、このような新物質・新材料の研究が、どちらかというと出口となる機能や現象、対象とする物質系によって切り分けられ、整理されることが多いためです。

そこで、さまざまな分野に点在する、広い意味での「新物質」に関連する最近の物質研究に焦点を当てたワークショップを、2023 年 5 月 15 日と 16 日に、物性研究所大講義室と ZOOM を用いたオンラインのハイブリッド方式により開催しました。革新的な物質合成法や新物質・新材料の合成手法、既存の物質から新たな一面を引き出すような独自の手法を用いて、最先端の物質研究を遂行されている第一線の研究者に講演いただくことで、ワークショップの参加者が、最近の物質研究に生み出されている新たな手法、アプローチ、着眼点や方向性を把握できることを目指しました。物質設計評価施設が、今後どのようにして真に新しい物質創製に寄与できるか、果たすべき役割や方向性についての意見交換を行うことも本ワークショップの重要な目的となっていて、そのためのセッションも設定されました。

ワークショップには145名もの多くの方の参加登録があり、45 名に現地参加いただきました。ワークショップの当日は、新型コロナウイルス感染症による各種の制限が緩和する過程にあり、例えば大講義室の人数制限がちょうど解除されたタイミングでの開催でした。もう少し後日の開催であれば、より多くの方に現地で参加いただけた可能性もありましたが、それでもかなりの数の方に現地参加いただき、活発な議論が行われました。一方で、オンライン参加された方を見渡すと、海外で研究されている日本人の研究者など、対面のみの研究会では参加が難しかっただろう方のお名前も多く見受けられ、ハイブリッド開催の有効性も強く感じました。本ワークショップの講演は、若手からシニアの先生まで全て招待講演の形で行われましたが、どの講演も素晴らしい成果で非常に面白く、また、今後の物質研究にとって多くの示唆に富む内容であり、参加者にとって有意義なワークショップとなったのではないかと期待します。講演いただいた先生方に、改めて感謝申し上げます。なかでも、特別セッションにおいて、素晴らしい特別講演をいただいた八木健彦先生、有意義なコメントをいただいた十倉好紀先生、有馬孝尚先生、松平和之先生には心より御礼申し上げます。八木先生のご講演では、高圧分野における、過去から現在に至る研究の発展がいかに著しいものであったか、また、その研究の発展とコミュニティの協力体制や物性研の共同利用との関係を、感じ取ることができました。十倉先生のコメントは、物質設計評価施設へのコメントという形でいただいたものでありながら、その次元を超えた大変貴重なものであり、これからの物質研究や物性研究を担う全ての研究者へのメッセージでもあったと理解しています。私を筆頭にワークショップの進行に拙い点がみうけられ、参加者の皆様にはご迷惑をおかけしましたが、このような有意義なワークショップを開催できたことを、全ての参加者とワークショップの運営に携わっていただいた皆様に改めて御礼申し上げます。

プ ロ グ ラ ム

5 月 15 日（月）13:00-17:55
はじめに　岡本 佳比古
所長挨拶　廣井 善二

セッション１　　座長：山浦 淳一
陰山 洋（京都大学）　“応力を利用した新物質探索と制御”
有馬 孝尚（東京大学）　“メリライト型化合物におけるリエントラント反強磁性転移”
荻野 拓（産業技術総合研究所）　“多元系層状化合物の単結晶育成”
岡本 佳比古（東京大学）　“新奇 d 電子系物質の開拓”

セッション２　　座長：岡本 佳比古
大場 史康（東京工業大学）　“第一原理計算による窒化物･酸化物半導体の設計と新材料開拓”
榮永 茉利（大阪大学）　“高圧力がつくる水素化合物の高温超伝導”
小正路 崚太郎（東京大学）　“最密球充填構造と四元系水素化物の網羅的探索”
山田 高広（東北大学）　“ナトリウムを含む極性金属間化合物の合成と特性評価”
十倉 好紀（理化学研究所/東京大学）　“Complex tellurides and interface engineering for topological quantum materials”

5 月 16 日（火）
セッション３　　座長：大熊 隆太郎
安田 憲司（マサチューセッツ工科大学）“積層制御による二次元強誘電体の設計”
井手上 敏也（東京大学）　“ファンデルワールスナノ物質における対称性制御と非線形伝導”
島崎 佑也（理化学研究所）　“電気制御された半導体モアレ格子系における物性探索”

特別セッション「物性研究所　附属物質設計評価施設の将来展望」座長：岡本 佳比古
八木 健彦（東京大学名誉教授）　“物性研と超高圧科学の発展”
岡本 佳比古（東京大学）　“物質設計評価施設の紹介と今後の役割について”
山浦 淳一（東京大学）　“物質設計評価施設の紹介と構造物性研究”
コメント

セッション４　　座長：井手上 敏也
山本 浩史（分子科学研究所）　“構造キラリティに基づく新物性探索”
飯村 壮史（物質・材料研究機構）　“半導体および電気化学機能の化学”
石川 孟（東京大学）　“アニオン遷移金属を有するヨウ化物超伝導体の開拓”
石渡 晋太郎（大阪大学）　“計算・情報科学を活用した準安定ペロブスカイト型酸化物の高圧合成”

おわりに

初日（左）と二日目（右）のワークショップ会場の様子

物性研究所談話会

標題：マルチスケール・マルチプローブ構造解析による多彩な物性研究
日時：2023 年 7 月 5 日(水) 午後 4 時～午後 5 時
場所：物性研究所本館　大講義室（A632）・Online 同時開催
講師：山浦 淳一
要旨：

新しい物質を取り扱う時、多くの固体物性研究者はまず結晶構造を描いてみることだろう。次に考えるのは、構造をよく見てどのような相互作用がありそうか、対称性は高いか低いか、よく見る形か珍しいかなどを考え、これから自分が見ることになる（もしくは観測した）物性現象に思いを巡らすだろう。講演者は、この物質研究の基本情報である構造を極めることで、物質の真の姿を知ることを追求している。近年の材料研究は、複雑化階層化しており、単純な構造だけでなく、様々な情報を複合的に理解する必要がでてきている。そのため実験室系だけでなく、放射光 X 線、中性子などの量子ビームを用いたマルチスケール・マルチプローブ構造解析を行い、バルクから薄膜まで様々な形態をとる幅広い材料を対象に、結晶構造、電子密度、ドメイン構造、磁気構造、ナノ構造、励起状態を統合的に解釈することを進めている。講演では、超伝導体と誘電体に対する結果を中心に、マルチプローブ測定ならではの結果を紹介する。また、通常の研究発表に加えて、発見の経緯や考え方、測定技術に触れることで、研究の特性特色も知っていただき、これからの共同研究の礎としたい。講演では、マルチモーダル構造物性研究を中心とした将来展望に触れるとともに、共同利用を担当する附属物質設計評価施設 X 線測定室における未来像も提示した。

【講師紹介】

山浦先生は令和 5 年 4 月に物質設計評価施設に着任され、X 線や中性子などの様々な量子ビームを多角的に活用した機能性材料の構造物性研究に取り組まれています。本日の講演では特に、超伝導体や誘電体の構造についてマルチプローブ測定によって得られた成果をご紹介いただけました。

標題：分数量子ホール系の素励起
日時：2023 年 7 月 5 日(水) 午後 3 時～午後 4 時
場所：物性研究所本館　大講義室（A632）・Online 同時開催
講師：橋坂 昌幸
要旨：

分数量子ホール（FQH）効果は、2 次元電子系のホール伝導度が垂直磁場中で e2/h を単位とする有理分数値に量子化する現象である。FQH 系は典型的な量子多体系で、そのバルク領域における最小の励起（素励起）は、分数電荷とエニオン統計（ボーズ統計・フェルミ統計のいずれとも異なる量子統計）を持つ準粒子・準正孔の生成である。また FQH 系は 2 次元トポロジカル系で、その試料端には内部のトポロジカル秩序を反映した 1 次元エッジ状態が現れる。エッジ状態は 1 方向の伝導特性を持つ 1 次元電子系であり、それ自体がカイラル朝永ラッティンジャー液体と呼ばれる量子多体系として振る舞う。

2 次元空間でエニオンの位置を交換した状態は、元の状態と量子力学的に区別できる。この組み紐操作（ブレーディング）を量子ゲートとして用いることで、エラー耐性を有するトポロジカル量子計算を実現できる可能性がある。2020 年に FQH 準粒子のエニオン統計性が実験で観測されたことをきっかけに、新しい量子情報技術研究のプラットフォームとして、FQH 効果の研究が世界的に活性化している。

本講演では、準粒子が持つ分数電荷の計測実験、エッジ状態のカイラル朝永ラッティンジャー液体的性質の評価実験に

ついて紹介する。これらの実験は、FQH 系においてエニオンをどうやって生成・輸送・観測するかについて、基礎となる知見を与える。FQH 系を用いたトポロジカル量子計算に関する理論提案を参照しながら、FQH 効果研究の現状と今後の課題について議論した。

【講師紹介】

橋坂先生は令和 5 年 4 月にナノスケール物性研究部門に着任され、精密な電気伝導測定技術、およびナノ加工技術を用いて、物質中の量子輸送現象についての実験的研究をされています。本講演では特に、分数量子ホール系における準粒子が持つ分数電荷の計測実験等についてご紹介いただけました。

物性研究所セミナー

標題：Feasibility study of quantum spin liquid in extensions of the Kitaev model
日時：2023 年 6 月 16 日(金) 午後 4 時～午後 5 時
場所：物性研究所 6 階第 5 セミナー室（A615）及び Online
講師：Dr. Kiyu Fukui
所属：Department of Applied Physics, The University of Tokyo
要旨：

The Kitaev model provides us with a rare example of exact quantum spin liquid (QSL) states in more than one dimension. While it is very important to explore new platforms for realizing the Kitaev QSL theoretically, extensions of the model make it no longer solvable and numerical calculations are challenging. Here we address the feasibility of the Kitaev QSL for three extensions of the model, by using the pseudofermion functional renormalization group method.

The first one is the extension to higher-spin systems [1]. We clarify the ground-state phase diagrams of the spin-S Kitaev-Heisenberg model systematically by changing the ratio between the Kitaev and Heisenberg interactions and the length of spin S. We find that the Kitaev QSL regions remain stable for $S < 2$, whereas the regions are quickly shrunk while increasing S.

The second one is the extension to three-dimensional (3D) systems [2]. Studying the Kitaev-Heisenberg model defined on a 3D hyperhoneycomb lattice, we show that the ground-state phase diagram is similar to the two-dimensional honeycomb case. Our results respect the four-sublattice symmetry inherent in the model, which was violated in the previous study.

The last one is for ultracold polar molecules trapped in an optical lattice [3]. We study a model proposed as an implementation of the Kitaev-type interactions, and clarify that the ground state is magnetically ordered. We also unravel how the Kitaev QSL is destabilized by the long-range interactions originating from the dipole interactions between polar molecules.

[1] K. Fukui, Y. Kato, J. Nasu, and Y. Motome, Phys. Rev. B 106, 174416 (2022).
[2] K. Fukui, Y. Kato, and Y. Motome, J. Phys. Soc. Jpn. 92, 064708 (2023).
[3] K. Fukui, Y. Kato, J. Nasu, and Y. Motome, Phys. Rev. B 106, 014419 (2022).
If you wish to participate online, please register here.

標題：Topological gap labeling in moire quasicrystals
日時：2023 年 6 月 23 日(金) 午後 4 時～午後 5 時
場所：Online and Lecture Room A632 , ISSP（Hybrid）
講師：Prof. Mikito Koshino
所属：Department of Physics, Osaka University
要旨：

Twisted 2D materials, consisting of rotationally stacked layers, can generally beregarded as quasi-periodic systems (quasicrystals)in that the systems have multipleperiodicitiesincommensurate with each other.Here we present a novel approach to characterizing energy gaps in 2D quasi-periodicsystems using a set of second Chern numbers. Theses numbers correspond to quantized Hall conductivity in a 4D system, which isconnected tothe original 2D quasicrystal

through a process of dimensional reduction. We apply the theory to hBN/graphene/hBN superlattice, where we find thattheelectronic spectrum exhibits fractal minigaps, and each of them is uniquely labeled bysix second Chern numbers. We also consider the bulk-edge correspondence in this system, and discover that thenumber of edge-states bands per unit length is determined by the second Chern numbersassociated with the gap.

[1] M. Koshino, H. Oka, Phys. Rev. Research 4, 013028(2022).
[2] H. Oka and M. Koshino, Phys. Rev. B 104, 035306 (2021).

標題：結晶構造探索手法およびソフトウェア開発
日時：2023 年 6 月 29 日(木) 午後 1 時～午後 2 時
場所：物性研究所 本館 6 階第 5 セミナー室(A615 号室)及び Online（Hybrid）
講師：山下 智樹
所属：長岡技術科学大学
要旨：

第一原理計算等を利用して安定構造を予測する手法は結晶構造探索（英語では crystal structure prediction: CSP）と呼ばれ、様々な分野における新物質・材料設計の基盤ツールとして期待されている。特に近年は、計算機能力の発達と機械学習をはじめとする情報科学的手法の適用の流れを受け、様々な探索アルゴリズムが提案されている。我々はベイズ最適化を用いた探索アルゴリズムの開発を皮切りに機械学習を用いた選択型アルゴリズムを開発した[1, 2]。また、誰でも簡単に結晶構造探索が行えるよう、Python 製プログラムの CrySPY をオープンソースソフトウェアとして公開している[3, 4]。CrySPY は VASP や Quantum ESPRESSO などの外部の第一原理計算ソフトおよび原子間ポテンシャル計算ソフトと連携することで結晶構造探索が可能であり、探索アルゴリズムとしてランダムサーチや進化的アルゴリズムをはじめ、機械学習を利用した選択型アルゴリズムが利用できる。各種アルゴリズムの探索効率やその実用性、結晶構造探索の難しさ、そして最近の開発状況や取り組みについて紹介した。

[1] T. Yamashita et al., Phys. Rev. Mater. 2, 013803 (2018).
[2] K.Terayama et al., npj Comput. Mater. 4, 32 (2018).
[3] T. Yamashita et al., Sci. Technol. Adv. Mater. Meth. 1, 87 (2021).
[4] https://github.com/Tomoki-YAMASHITA/CrySPY.

標題：ジャイロトロンを用いた金属磁性薄膜のサブ THz スピンダイナミクス評価
日時：2023 年 7 月 7 日(金) 午前 11 時～午後 0 時
場所：Online
講師：森山 貴広
所属：名古屋大学工学研究科
要旨：

反強磁性体やフェリ磁性体のテラヘルツ応答性の評価は古くから行われているが、そのほとんどがバルク結晶を対象としたもので、薄膜を対象とした評価はほとんど行われていない。テラヘルツで動作する反強磁性体・フェリ磁性体を用いたスピンデバイスは、近年発展が目覚ましい情報通信処理分野や超高速エレクトロニクスにおける次世代デバイスとして期待されており、デバイス応用に資する薄膜材料のテラヘルツ特性評価が急務になっている。本講演では、ジャイロトロンを利用したサブテラヘルツ帯における磁性薄膜の磁化ダイナミクスの測定結果について紹介した。

標題： Interplay of the electric dipoles and lattice degree of freedom in the triangular lattice Mott insulator κ-(BEDT-TTF)2Cu2(CN)3

日時： 2023 年 7 月 11 日(火) 午前 11 時～午後 0 時

場所： 第 5 セミナー室（A615）及び Online

講師： Prof. Natalia Drichko

所属： The Johns Hopkins University

要旨：

Molecular BEDT-TTF-based Mott insulators are unique S=1/2 triangular lattice antiferromagnets, where the electrons, which carry spin, can also produce an on-site electric dipole moment[1].

The interplay of the charge and spin degrees of freedom in κ-phase BEDT-TTF based salts is studied already for about a decade. κ-(BEDT-TTF)2Cu2(CN)3 is the most studied material of thisgroup, which was the first proposed triangular S=1/2 spin liquid candidate[2.3], but recently a low-temperature singlet state is suggested by some measurements[4]. There are still unsolved questions: Does κ-(BEDT-TTF)2Cu2(CN)3 develop charge disproportionation? How does it influence the spin degree of freedom? Can we control charge and spin degrees of freedom and their coupling by external stimuli?

Raman scattering spectroscopy is known to be a practical tool to study these problems, allowing to probe in one measurement the charge degrees of freedom by charge sensitive vibrations of ET molecule, magnetic excitations, and lattice phonons.

In our recent experiments we followed the behavior of lattice modes as well as charge sensitive vibrations in κ-(BEDT-TTF)2Cu2(CN)3 down to low temperatures. The analysis of the line shape of the charge sensitive molecular vibration shows a Gaussian line shape with broadening on cooling, pointing on the developing fluctuating charge disproportionation with disordered charge below approximately 40 K. Lattice modes respond to this change in the charge degree of freedom on BEDT-TTF molecule by an increase of intensity, which is a function of polarizability. Below approximately 20 K lattice modes associated with the BEDT-TTF vibrations signal the new changes: intensity starts to drop, an extra mode becomes active at 37 cm-1 in (b, c) scattering channel, in (c, c) channel BEDT-TTF lattice modes broaden considerably. We discuss how the observation suggest charge freezing and scattering of phonons on charge or spin-charge excitations.

1. N. Hassan, S. Cunningham, M. Mourigal, E. I. Zhilyaeva, S. A. Torunova, R. N. Lyubovskaya, J. A. Schlueter, and N. Drichko, Science, 360, 1101 (2018).
2. Y. Shimizu, K. Miyagawa, K. Kanoda, M. Maesato, and G. Saito, Phys. Rev. Lett, 91, 107001 (2003).
3. S. Yamashita, Y. Nakazawa, M. Oguni, Y. Oshima, H. Nojiri, Y. Shimizu, K. Miyagawa, and K. Kanoda, Nature Physics 4, 459 (2005).
4. B. Miksch, A. Pustogow, M. J. Rahim, A. A. Bardin, K. Kanoda, J. A. Schlueter, R. Hubner, M. Scheffler, and M. Dressel, Science 372, 276 (2021).

標題：Semiclassical ground state analysis of a two-dimensional trimerized quantum magnet
日時：2023 年 7 月 19 日(水) 午後 4 時～
場所：Online and Lecture room A615, ISSP (Hybrid)
講師：Dr. Yoshitomo Kamiya
所属：Shanghai Jiao Tong University
要旨：

In a quantum spin trimer system with half-integer spin, each trimer has a spin-1/2 responsible for magnetism and a pseudospin-1/2 responsible for electric polarization and scalar chirality, and their interplay is expected to induce a variety of different phases and multiferroic phenomena [1]. Although there are few experimental realizations compared to the well-studied quantum spin dimer systems, trimer systems have been realized in the so-called breathing kagome lattice and organic magnetic materials based on molecular magnets. In this informal talk, we will discuss our ongoing study of magnetization processes in the trimerized triangular lattice Heisenberg model using a semiclassical approach [2]. Despite only nearest-neighbor interactions, a series of incommensurate phases with field-dependent wavelengths are suggested over a wide range of external fields. Interestingly, the instability of a 1/3 magnetization plateau may be caused by a mechanism completely different from the well-known magnon BEC.

References:

[1] Y. Kamiya and C. D. Batista, Phys. Rev. Lett. 108, 097202 (2012).
[2] Z. Zhang and Y. Kamiya, in preparation.

標題：熱パルスを用いた急冷法による準安定電子相の開拓
日時：2023 年 7 月 21 日(金) 午前 11 時～午後 0 時
場所：Online
講師：大池 広志（さきがけ 専任研究者）
所属：物性研究所
要旨：

ガラス、ダイヤモンド、マルテンサイトなどは、自由エネルギー最小ではないにも関わらず安定に存在する準安定相の代表例である。このような準安定相は身の回りに数多く存在している一方で、物質中で相互作用する電子系の研究においては準安定相の存在はあまり注目されて来なかった。その背景には、電子は量子トンネルしながらフェムト秒スケールで運動するため、準安定相から最安定相にすぐに変化するだろうという推測があるように思われる。しかし、電子が多体的に相互作用したときの集団運動のダイナミクスは非自明であり、準安定相に留まる可能性も考えられる。本講演では、熱パルスを用いた急冷法によって、準安定磁気スキルミオン相や準安定超伝導相などの準安定電子相を開拓した研究を紹介する。これらの熱パルスによる研究成果を基に、超強磁場の実験で用いられるようなパルス磁場による準安定相の開拓の可能性についても言及した。

標題：ラマン分光法により明らかになった、 チャネルロドプシンのチャネル開閉メカニズム / Research on cathodes of lithium-ion batteries by synchrotron soft X-ray spectromicroscopy

日時：2023 年 7 月 24 日(月) 午後 1 時～午後 3 時

場所：Online

講師：（1）柴田 佳成 氏　（2）Zhang Wenxiong **氏**

所属：物性研究所　井上研究室　原田研究室

要旨：

講師（1）：柴田 桂成 氏

題目：ラマン分光法により明らかになった、チャネルロドプシンのチャネル開閉メカニズム

概要：

チャネルロドプシン(ChR)は、7 本の膜貫通ヘリックスと発色団であるレチナールから構成される。ChR は光吸収に伴い光サイクル反応を示し、光受容イオンチャネルとして機能するため、光遺伝学の中心的なツールとして注目されている。しかし、チャネル開閉機構は未解明である。そこで我々は、チャネル開閉機構の解明を目的に、代表的な ChR である C1C2 におけるレチナールの構造を、時間分解ラマン分光法を用いて測定した。すべての光中間体における測定を行った結果、チャネル開状態においてレチナールが高度にねじること、そしてレチナールのねじれとプロトン化が、チャネル開閉を制御していることを明らかにした。

講師（2）：Zhang Wenxiong **張 文雄 氏**

題目：Research on cathodes of lithium-ion batteries by synchrotron soft X-ray spectromicroscopy

概要：

Lithium-ion batteries (LIBs) are attracting attention as a promising technology to realize a low-carbon society. The performance of LIBs was mainly determined by the active materials of the cathode and anode. To fully understand the physical properties of cathode materials, it is essential to obtain the surface and bulk information on cathode materials and a better understanding of the electronic structure based on the Li-ion intercalation/deintercalation reactions. Synchrotron radiation facilities offer advanced capabilities for studying the chemical and electronic structure of cathode materials at high spatial and energy resolutions. By combining soft X-ray microscopy with spectroscopic techniques, it becomes possible to correlate local structural changes with the electronic and chemical properties of the cathode materials.

This report will elucidate the surface electronic structure of the prototypical LiCoO2 cathode particle by surface-sensitive microscopic resonant X-ray photoemission spectroscopy using 3DnanoESCA [1]. Meanwhile, the chemical-state changes of the individual LiCoO2 particles after the charging will be explained by bulk-sensitive microscopic absorption spectroscopy using scanning transmission X-ray microscopy (STXM) [2]. In addition, the air-oxidation nature of the olivine-type LiFe0.6Mn0.4PO4 nanowires with carbon sheath will be demonstrated by STXM [3]. Overall, synchrotron soft X-ray spectromicroscopy provides a powerful toolset for understanding the Li-ion intercalation/deintercalation mechanism of cathode materials in LIBs. It allows researchers to obtain detailed elemental, chemical, and structural information with high spatial resolution, enabling the development of more efficient and durable battery materials.

[1] Z. Wenxiong et al., CrystEngComm, 25, 183-188 (2023).

[2] Z. Wenxiong et al., Sci. Rep., 13, 4639 (2023).

[3] Z. Wenxiong et al., J. Electron Spectrsc. Relat. Phenom., 266, 147338 (2023).

標題：Generalized Skyrmions in spin-1 quantum magnets
日時：2023 年 7 月 28 日(金) 午後 4 時～
場所：物性研究所本館 6 階 第 5 セミナー室 (A615)
講師：Dr. Yutaka Akagi
所属：Department of Physics, Graduate Scholl of Science, The. University of Tokyo
要旨：

Skyrmions, which are representative of topological magnetism, have been studied intensively around the world since the successful direct observation of them in 2009. One of the reasons for the present interest in Skyrmions is that they are robust against perturbations owing to their nontrivial topology of spin configuration and are expected to lead to the development of magnetic storage devices with ultra-high density and ultra-low power consumption. On the other hand, in most studies on Skyrmions over the past decade, spins have been treated classically.

In such a trend, we studied topological magnetism in spin-1 quantum magnets. Using homotopy analysis and a numerical optimization technique, we have discovered a new type of Skyrmions (solitons) with emergent interactions in the S=1 bilinear biquadratic (BBQ) model on a triangular lattice at a global SU(3) symmetric point [1]. Recently, through interdisciplinary collaboration, we introduced a generalized Dzyaloshinskii- Moriya (DM) interaction to the S=1 BBQ model and constructed a stable isolated generalized (CP2) Skyrmion solution analytically [2]. By further investigation, we have also numerically found that generalized (CP2) Skyrmion crystals are stabilized as the ground state in S=1 quantum magnets with the generalized DM interaction [3].

The generalized Skyrmions show a nontrivial structure of not only dipole moments but also quadrupole moments and thus have no counterpart in the classical spin systems. In this seminar, we will discuss these generalized Skyrmions in detail.

[1] H. T. Ueda, Y. Akagi, and N. Shannon, Phys. Rev. A. 93, 021606(R) (2016).
[2] Y. Akagi, Y. Amari, N. Sawado, and Y. Shnir, Phys. Rev. D 103, 065008 (2021).
[3] Y. Amari, Y. Akagi, S. Gudnason, M. Nitta, Y. Shnir, Phys. Rev. B 106, L100406 (2022).

標題：生体膜のトポロジー変化：粗視化模型から何が分かるか？
日時：2023 年 7 月 31 日(月) 午後 4 時～午後 5 時
場所：物性研究所 本館 6 階第 5 セミナー室(A615 号室)及び Online
講師：Prof. Marcus Müller
所属：ゲッティンゲン大学
要旨：

The separation of an inside from an outside lies at the very heart of cellular life, and the organization of living organisms into cells and sub-cellular compartments is required for a large number of biological functions. This compartmentalization is maintained by lipid bilayers and undergoes frequent but carefully regulated topological changes, such as pore formation, fusion, and fission. Changes of membrane topology are involved in a variety of basic, cellular processes and require lipid rearrangements and transient formation of non-bilayer intermediate structures driven by curvature stress. We study the mechanisms of these processes by coarse-grained models, obtaining the minimum free-energy path via self-consistent field theory.

Division of intracellular organelles culminates with the scission of a highly constricted membrane neck. During fission, the tube first partially collapses into a worm-like micelle or hemifission (HF) intermediate, which then ruptures, resulting in two capped tubes. When unaided, the free-energy barriers for such remodeling can be prohibitively high,

so biological systems employ proteins as catalysts. Simply constricting the membrane aids the initial partial collapse, however, dynamin — a common fission protein — also inserts itself between head groups, distorting the membrane. Our results suggest that this distortion plays a critical role in reducing the free energy barrier to fission.

Fission often correlates with additional membrane wrapping, e. g. by the endoplasmic reticulum (ER) or the extra membrane of the mitochondrion. Such a wrapping plays a vital role in proteome and lipidome organization, yet its impact on the free-energy landscape of the fission process has largely remained unexplored. We investigate the stress-induced instabilities brought about by membrane wrapping in a simple double-membrane tubular system. We find that an outer membrane facilitates an alternative pathway for the fission of the inner tube at physiologically relevant membrane tensions. This alternative pathway results from a transient contact between the membranes of the inner and outer tube. A detailed study of the fission pathways in a double-membrane tubular system reveals the topological complexity of the process, resulting both in leaky and leakless intermediates.

標題：Disordered phases and Anderson transitions in non-Hermitian physics
日時：2023 年 8 月 25 日(金) 午後 4 時～午後 5 時
場所：Seminar Room 5 (A615), Hybrid
講師：Zhenyu Xiao
所属：Peking University
要旨：

Disordered non-Hermitian systems and Anderson transitions have received significant attention in recent studies. Before investigating non-Hermitian systems, we will review the application of random matrix theory, and Anderson transitions in closed quantum systems. Subsequently, we will demonstrate that the non-Hermitian random matrix theory can describe the complex spectra of non-integrable systems [1], wherein symmetry plays a pivotal role. Furthermore, we establish a correspondence between of Anderson transitions in non-Hermitian and Hermitian Hamiltonians [2]. It not only enables the reuse of existing knowledge but also inspires the exploration of Hermitian Anderson transitions. As an example, a non-Hermitian system without reciprocity can be mapped to a Hermitian counterpart featuring a weak topological index, which exhibits a “quasi-localized” phase and a new universality class of Anderson transitions [3].

Reference:

[1] Z. Xiao et al., Phys. Rev. Research 4, 043196 (2022).
[2] X. Luo et al., Phys. Rev. Research 4, L022035 (2022).
[3] Z. Xiao et al., arXiv:2211.09999 (to appear in Phys. Rev. Lett.).

標題：分散関係計測データに対するベイズパラメータ推定
日時：2023 年 9 月 1 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 号室)及び Online
講師：片上 舜
所属：東京大学大学院 新領域創成科学研究科
要旨：

本研究では分散関係スペクトルデータから格子モデルパラメータをベイズ推定に基づき分布推定を行う。分散関係は中性子や X 線を用いた非弾性散乱実験などで計測され、エネルギー輸送に関する性質や物理パラメータを解析する研究が多

く行われている。ここでは、分散関係計測データからベイズ推論およびレプリカ交換モンテカルロ法を用いて、格子モデルパラメータを推定する手法を提案する。また、提案手法を従来の解析手法と人工データを用いて比較し、手法の有効性を示す。人工データは体心立方格子モデルから得られた分散関係を中心とするローレンチアンの重ね合わせで強度を記述し、ポアソン過程に従って生成した。人工データ解析から、提案手法は格子モデルのモデルパラメータを信頼度付きで評価できる分布推定を可能とし、更に従来解析に比べて 1/100 程度の計測時間で適切な推論できることを示唆した。

標題：Photoredox organic transformations in water using Host-Guest Chemistry
日時：2023 年 9 月 11 日(月) 午後 3 時～午後 4 時 30 分
場所：物性研究所本館 6 階 第 5 セミナー室 (A615)
講師：Prof. Jyotishman Dasgupta
所属：Department of Chemical Sciences, Tata Institute of Fundamental Research, Mumbai, INDIA
要旨：

Enzymes are proteins that catalyze non-spontaneous organic reactions in physiological conditions. Remarkably the water-insoluble organic substrates are usually encapsulated in hydrophobic protein cavities, which constitute reaction hotspots in enzymes. We have devised a new catalytic photoredox paradigm using water-soluble cationic nanocages [1] that mimic the enzyme cavity while providing a modular host-guest photoactivation strategy. [2, 3] Through the potent combination of light activation and substrate pre-organization in water, we demonstrate facile yet selective aerobic oxidation of hydrocarbon C-H bonds under ambient conditions using proton-coupled electron transfer (PCET). [2, 4, 5, 6] In fact we have recently shown that we can translate this concept to all-organic nanocages. [7] The success of our designed artificial photoenzyme hints at the crucial role of electric fields in driving reactions within nanospaces.

[1] M. Fujita; Nature 1995, 378, 469–471.
[2] R. Gera, A. Das, A. Jha and J. Dasgupta*; J. Am. Chem. Soc. 2014, 136, 15909.
[3] A. Das, A. Jha, R. Gera and J. Dasgupta*; J. Phys. Chem. C 2015, 119, 21234–21242.
[4] A. Das, I. Mandal, R. Venkatramani, J. Dasgupta*; Science Advances 2019, 5, 2, eaav4806.
[5] S. Paul, A. Das and J. Dasgupta*; submitted
[6] S. Ghoshal, A. Das, D. Roy, and J. Dasgupta*; under revision
[7] D. Roy, S. Paul, and J. Dasgupta*; submitted

標題：A new old triangular lattice quantum magnet
日時：2023 年 9 月 12 日(火) 午後 2 時～午後 3 時
場所：物性研究所本館 6 階 第 5 セミナー室 (A615)**及び** Online
講師：Prof. Andrey Zheludev
所属：ETH Zurich, Switzerland
要旨：Abstract：

The distorted triangular lattice has long served as a vehicle for importing exotic one-dimensional physics into two dimensions. Using neutron diffraction and high-resolution neutron and THz spectroscopies we study the realization of this model in Cs2CoBr4, which additional features bond-dependent XY-anisotropy. At wave vectors where interchain interactions cancel out at the mean field level, the excitations are reminiscent of Zeeman ladders of bound kinks in individual chains. Elsewhere in the Brillouin zone the true two-dimensional structure and propagation of these modes are revealed. In applied magnetic fields the system goes through a zoo of peculiar phases. One is an incommensurate

spin density wave phase similar to that in spin-chains, where it is caused by spinon Fermi surface nesting and has a field-dependent propagation vector. Another is a fan-type structure, or what remains of a transverse-polarized helix in XY geometry, with the propagation vector set by the frustration ratio alone. Additional commensurate phases and extremely strong magneto-elastic effects are observed.

[1] L. Facheris, S. D. Nabi, A. Glezer Moshe, U. Nagel, T. Rõõm, K. Yu. Povarov, J. R. Stewart, Z. Yan, A. Zheludev, Confinement of fractional excitations in a triangular lattice antiferromagnet, Phys. Rev. Lett. 130, 256702 (2023).

[2] L. Facheris, K. Yu. Povarov, S. D. Nabi, D. G. Mazzone, J. Lass, B. Roessli, E. Ressouche, Z. Yan, S. Gvasaliya, A. Zheludev, Spin Density Wave vs. Fractional Magnetization Plateau in a Triangular Antiferromagnet, Phys. Rev. Lett. 129, 087201 (2022).

[3] K. Yu. Povarov, L. Facheris, S. Velja, D. Blosser, Z. Yan, S. Gvasaliya, A. Zheludev, Magnetization plateaux cascade in the frustrated quantum antiferromagnet Cs2CoBr4, Phys. Rev. Research 2, 043384 (2020).

標題：Tunable quantum interferometer of correlated moiré electrons

日時：2023 年 9 月 13 日(水) 午後 2 時～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：Shuichi Iwakiri

所属：ETH Zürich Nanophysics group (Prof. Klaus Ensslin)

要旨：

Magic angle twisted bilayer graphene (MATBG) exhibits a variety of gate-tunable correlated states, including superconductor and correlated insulator. Towards the understanding of charge, spin, and orbit nature of superconductivity and the coherence of moiré electrons, gate-defined devices such as Josephson junctions [1] and SQUIDs [2] have been realized. However, the complementary and fundamental coherence effects, namely the Little-Parks effect in superconducting and the Aharonov-Bohm effect in the normal conducting ring have yet to be observed.

Here, we develop a gate-defined ring in which a superconducting or normal conducting loop is surrounded by a correlated or band insulator [3]. This enables a direct observation of the Little-Parks effect in the superconducting phase diagram as a function of density and magnetic field, confirming the effective charge of 2e. We also determine the coherence length of normal conducting moiré electrons exceeding a few microns at 50 mK via the Aharonov-Bohm effect. Surprisingly, we find a regime that exhibits h/e-periodic oscillations but accompanied by a superconducting-like nonlinear transport. This work provides a new device platform in MATBG and tunable 2D materials, in general, to unravel the nature of superconductivity and other correlated states.

[1] F. de Vries et al., Nat. Nanotechnol. 16, 760–763 (2021).

[2] E. Portolés, S. Iwakiri, et al., Nat. Nanotechnol. 17, 1159–1164 (2022).

[3] S. Iwakiri, A. Mestre Torà, et al., submitted.

東京大学物性研究所人事異動一覧

【研 究 部 門 等】

発令日	氏 名	部門・施設名等	職 名	備 考

〈 採 用 〉

R5.5.1	宮田 敦彦	附属国際超強磁場科学研究施設	准教授	ヘルムホルツ協会研究センター強磁場研究所研究員より
R5.7.1	川畑 幸平	物性理論研究部門	准教授	プリンストン大学物理学科 ムーア財団フェローより

【事 務 部 門 等】

発令日	氏 名	部門･施設名等	職 名	備 考

〈 転 出 〉

R5.5.1	嶋村 裕子	附属図書館柏地区図書課資料管理チーム	主任 (物性研究所図書室)	国文学研究資料館管理部学術情報課情報サービス係 主任へ

〈 転 入 〉

R5.5.1	石田 唯	附属図書館柏地区図書課資料管理チーム	主任 (物性研究所図書室)	社会科学研究所図書チーム主任から

東京大学物性研究所教員公募について

１．職名および人数

特任助教　１名

２．所属

物性研究所附属国際超強磁場科学研究施設

３．就業場所

物性研究所柏キャンパス（千葉県柏市柏の葉 5-1-5）

４．公募内容

宮田研究室では、強磁場下での磁気光学及びテラヘルツ分光測定の開発とそれを用いた物性研究を行っている。本公募では、宮田敦彦所員と協力して強磁場下における磁気光学実験の新たな測定手法を開拓し、更に国内外の共同利用研究に積極的に取り組む若手研究者を募集する。

５．応募資格

博士号または同等の資格を有する、または着任までに取得見込の方

６．契約期間

採用決定後なるべく早い時期より令和 10 年 3 月 31 日までとする。

７．更新

更新はありません。

８．試用期間

採用された日から 14 日間（東京大学教職員就業規則第 8 条による）

９．応募締切

令和 5 年 10 月 27 日（金）必着

10．提出書類

（イ）応募の場合

○履歴書（東京大学統一履歴書（https://www.u-tokyo.ac.jp/ja/about/jobs/r01.html）を用いること）

○業績リスト（特に重要な論文に○印を付けること）

○主要論文の別刷（3 編、コピー可）

○研究業績の概要（A4 用紙 2−3 枚程度）

○研究計画書（A4 用紙 2−3 枚程度）

○応募者についての推薦書、または、意見書（作成者から書類提出先へ直送）

（ロ）推薦の場合

○推薦書

○履歴書（東京大学統一履歴書（https://www.u-tokyo.ac.jp/ja/about/jobs/r01.html）を用いること）

○業績リスト（特に重要な論文に○印を付けること）

○主要論文の別刷（3 編、コピー可）

○研究業績の概要（A4 用紙 2−3 枚程度）

○研究計画書（A4 用紙 2−3 枚程度）

11．提出方法

郵送または電子メール

提出先：〒277-8581 千葉県柏市柏の葉 5-1-5　東京大学物性研究所総務係

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

○郵送の場合

「物性研究所附属国際超強磁場科学研究施設（宮田研究室）特任助教応募書類在中」、又は「物性研究所附属国際超強磁場科学研究施設（宮田研究室）特任助教推薦書類在中」の旨を朱書し、簡易書留等配達状況が確認可能な方法で送付すること

○電子メールの場合

空の電子メールを件名「物性研究所附属国際超強磁場科学研究施設（宮田研究室）特任助教応募」にて上記提出先に送付し、その後返信される電子メールに記載された書類提出先フォルダに応募書類一式をアップロードすること（応募の場合、推薦書または意見書は、作成者から書類提出先へ直送のこと）

※勤務日 2〜3 日以内に返信メールが届かない場合には総務係へご連絡ください。

12. 照会先

提出手続きに関する問い合わせは提出先に、それ以外は下記まで問い合わせること

東京大学物性研究所　附属国際超強磁場科学研究施設　准教授　宮田 敦彦

e-mail: a-miyata@issp.u-tokyo.ac.jp

13. 募集者名称

国立大学法人東京大学

14. 就業時間

専門業務型裁量労働制により、1 日 7 時間 45 分勤務したものとみなされる。

15. 休日

土・日、祝日、年末年始（12 月 29 日〜1 月 3 日）

16. 休暇

年次有給休暇、特別休暇等

17. 賃金等

学歴・職務経験等を考慮して決定。

諸手当：通勤手当（原則 55,000 円まで）のほか、本学の定めるところによる。

18. 加入保険

文部科学省共済組合、雇用保険

19. その他

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

○東京大学は男女共同参画を推進しており、女性の積極的な応募を歓迎します。

○外為法等の定めにより、国外機関との兼業や外国政府等からの多額の収入があり、本学における研究上の技術の共有が制限される場合には、本学教職員としての職務の達成が困難となる可能性があります。そのため、着任後の兼業等については、本学における研究上の技術の共有に支障のない範囲に留める必要があります。

○提出書類等は返却しませんので、了解の上、応募または推薦してください。また、履歴書は本公募の用途に限り使用し、個人情報は正当な理由なく第三者への開示、譲渡及び貸与することは一切ありません。

○受動喫煙防止措置の状況は屋内原則禁煙（喫煙場所設置）です。

令和 5 年 8 月 3 日

東京大学物性研究所長　　廣井　善二

東京大学物性研究所教員公募について

1．職名および人数

特任助教　1名

2．所属

東京大学物性研究所極限コヒーレント光科学研究センター

3．就業場所

東京大学物性研究所柏キャンパス（千葉県柏市柏の葉 5-1-5）

4．公募内容

松田巌研究室では、新たな原子層の開拓と量子ビーム(X 線、陽電子線、電子線)を用いた表面物性の研究をおこなっている。本公募では、研究室が参画する JST CREST 課題「2 次元ホウ素未踏マテリアルの創製と機能開拓」をもとに松田巌教授と協力して軽元素を中心とした原子層の革新的な合成法を開拓し、さらに本物質群の構造及び電子状態の研究を進めることができる若手研究者を募集する。原子層合成及び量子ビーム計測の両方の実験技術を有し、東京大学大学院生の研究教育にも意欲的であることが望ましい。

5．応募資格

博士号または同等の資格を有する、または着任までに取得見込の方

6．契約期間

採用決定後なるべく早い時期より令和 9 年 3 月 31 日までとする。

7．更新

更新はありません。

8．試用期間

採用された日から 14 日間（東京大学教職員就業規則第 8 条による）

9．応募締切

令和 5 年 10 月 31 日（火）必着

10．提出書類

（イ）応募の場合

○履歴書（東京大学統一履歴書（https://www.u-tokyo.ac.jp/ja/about/jobs/r01.html）を用いること）

○業績リスト（特に重要な論文に○印を付けること）

○主要論文の別刷（3 編、コピー可）

○研究業績の概要（A4 用紙 2−3 枚程度）

○研究計画書（A4 用紙 2−3 枚程度）

○応募者についての推薦書、または、意見書（作成者から書類提出先へ直送）

（ロ）推薦の場合

○推薦書

○履歴書（東京大学統一履歴書（https://www.u-tokyo.ac.jp/ja/about/jobs/r01.html）を用いること）

○業績リスト（特に重要な論文に○印を付けること）

○主要論文の別刷（3 編、コピー可）

○研究業績の概要（A4 用紙 2−3 枚程度）

○研究計画書（A4 用紙 2−3 枚程度）

11. 提出方法

郵送または電子メール

提出先：〒277-8581 千葉県柏市柏の葉 5-1-5　東京大学物性研究所総務係

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

○郵送の場合

「物性研究所極限コヒーレント光科学研究センター（松田巌研究室）特任助教応募書類在中」、又は「物性研究所極限コヒーレント光科学研究センター（松田巌研究室）特任助教推薦書類在中」の旨を朱書し、簡易書留等配達状況が確認可能な方法で送付すること

○電子メールの場合

空の電子メールを件名「物性研究所極限コヒーレント光科学研究センター（松田巌研究室）特任助教応募」にて上記提出先に送付し、その後返信される電子メールに記載された書類提出先フォルダに応募書類一式をアップロードすること（応募の場合、推薦書または意見書は、作成者から書類提出先へ直送のこと）

※勤務日 2～3 日以内に返信メールが届かない場合には総務係へご連絡ください。

12. 照会先

提出手続きに関する問い合わせは提出先に、それ以外は下記まで問い合わせること

東京大学物性研究所　極限コヒーレント光科学研究センター　教授 松田 巌

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

13. 募集者名称

国立大学法人東京大学

14. 就業時間

専門業務型裁量労働制により、1 日 7 時間 45 分勤務したものとみなされる。

15. 休日

土・日、祝日、年末年始（12 月 29 日～1 月 3 日）

16. 休暇

年次有給休暇、特別休暇等

17. 賃金等

学歴・職務経験等を考慮して決定。

諸手当：通勤手当（原則 55,000 円まで）のほか、本学の定めるところによる。

18. 加入保険

文部科学省共済組合、雇用保険

19. その他

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

○東京大学は男女共同参画を推進しており、女性の積極的な応募を歓迎します。

○外為法等の定めにより、国外機関との兼業や外国政府等からの多額の収入があり、本学における研究上の技術の共有が制限される場合には、本学教職員としての職務の達成が困難となる可能性があります。そのため、着任後の兼業等については、本学における研究上の技術の共有に支障のない範囲に留める必要があります。

○提出書類等は返却しませんので、了解の上、応募または推薦してください。また、履歴書は本公募の用途に限り使用し、個人情報は正当な理由なく第三者への開示、譲渡及び貸与することは一切ありません。

○受動喫煙防止措置の状況は屋内原則禁煙（喫煙場所設置）です。

令和 5 年 8 月 3 日

東京大学物性研究所長　　廣井　善二

東京大学物性研究所教員公募について

１．職名および人数

特任助教　１名

２．所属

物性研究所附属極限コヒーレント光科学研究センター

３．就業場所

東京大学物性研究所柏キャンパス（千葉県柏市柏の葉 5-1-5）

４．公募内容

板谷研究室では、高強度極短パルスレーザーの開発と高次高調波発生による短波長光の物性応用に関する研究を行っている。本公募では、放射光、フェムト秒レーザー、軟Ｘ線アト秒レーザー等を用いて溶液系の光化学反応ダイナミクスに関する実験的研究を行い、レーザー高調波の共同利用と大学院生の教育にも貢献できる若手研究者を募集する。

５．応募資格

博士号または同等の資格を有する、または着任までに取得見込の方

６．契約期間

令和 6 年 4 月 1 日～令和 9 年 3 月 31 日

７．更新

更新はありません。

８．試用期間

採用された日から 14 日間（東京大学教職員就業規則第 8 条による）

９．応募締切

令和 5 年 10 月 31 日（火）必着

10．提出書類

（イ）応募の場合

○履歴書（東京大学統一履歴書（https://www.u-tokyo.ac.jp/ja/about/jobs/r01.html）を用いること）

○業績リスト（特に重要な論文に○印を付けること）

○主要論文の別刷（3 編、コピー可）

○研究業績の概要（A4 用紙 2−3 枚程度）

○研究計画書（A4 用紙 2−3 枚程度）

○応募者についての推薦書、または、意見書（作成者から書類提出先へ直送）

（ロ）推薦の場合

○推薦書

○履歴書（東京大学統一履歴書（https://www.u-tokyo.ac.jp/ja/about/jobs/r01.html）を用いること）

○業績リスト（特に重要な論文に○印を付けること）

○主要論文の別刷（3 編、コピー可）

○研究業績の概要（A4 用紙 2−3 枚程度）

○研究計画書（A4 用紙 2−3 枚程度）

11．提出方法

郵送または電子メール

提出先：〒277-8581 千葉県柏市柏の葉 5-1-5　東京大学物性研究所総務係

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

○郵送の場合

「物性研究所附属極限コヒーレント光科学研究センター（板谷研究室）特任助教応募書類在中」、又は「物性研究所附属極限コヒーレント光科学研究センター（板谷研究室）特任助教推薦書類在中」の旨を朱書し、簡易書留等配達状況が確認可能な方法で送付すること

○電子メールの場合

空の電子メールを件名「物性研究所附属極限コヒーレント光科学研究センター（板谷研究室）特任助教応募」にて上記提出先に送付し、その後返信される電子メールに記載された書類提出先フォルダに応募書類一式をアップロードすること（応募の場合、推薦書または意見書は、作成者から書類提出先へ直送のこと）

※勤務日 2〜3 日以内に返信メールが届かない場合には総務係へご連絡ください。

12. 照会先

提出手続きに関する問い合わせは提出先に、それ以外は下記まで問い合わせること

東京大学物性研究所　附属極限コヒーレント光科学研究センター　准教授　板谷 治郎

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

13. 募集者名称

国立大学法人東京大学

14. 就業時間

専門業務型裁量労働制により、1 日 7 時間 45 分勤務したものとみなされる。

15. 休日

土・日、祝日、年末年始（12 月 29 日〜1 月 3 日）

16. 休暇

年次有給休暇、特別休暇等

17. 賃金等

学歴・職務経験等を考慮して決定。

諸手当：通勤手当（原則 55,000 円まで）のほか、本学の定めるところによる。

18. 加入保険

文部科学省共済組合、雇用保険

19. その他

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

○東京大学は男女共同参画を推進しており、女性の積極的な応募を歓迎します。

○外為法等の定めにより、国外機関との兼業や外国政府等からの多額の収入があり、本学における研究上の技術の共有が制限される場合には、本学教職員としての職務の達成が困難となる可能性があります。そのため、着任後の兼業等については、本学における研究上の技術の共有に支障のない範囲に留める必要があります。

○提出書類等は返却しませんので、了解の上、応募または推薦してください。また、履歴書は本公募の用途に限り使用し、個人情報は正当な理由なく第三者への開示、譲渡及び貸与することは一切ありません。

○受動喫煙防止措置の状況は屋内原則禁煙（喫煙場所設置）です。

令和 5 年 8 月 10 日

東京大学物性研究所長　　廣井　善二

東京大学物性研究所教員公募について

１．職名および人数

助教　１名

２．所属

物性研究所機能物性研究グループ（林研究室）

３．就業場所

物性研究所柏キャンパス（千葉県柏市柏の葉 5-1-5）

４．公募内容

林所員と協力して、データ駆動科学を利用した生物物理研究を推進する研究者を募集する。ベイズ推定や機械学習などデータ駆動科学研究の経験を有しており、大学院学生の指導や国際共同研究にも意欲のある方を希望する。なお、バイオ系での研究経験は問わない。

５．応募資格

博士号または同等の資格を有する、または着任までに取得見込の方

６．契約時期

採用決定後なるべく早い時期

７．任期

任期は 5 年とする。ただし、再任は可とし 1 回を限度とする。

８．試用期間

採用された日から 14 日間（東京大学教職員就業規則第 8 条による）

９．応募締切

令和 5 年 11 月 13 日（月）必着

10．提出書類

（イ）応募の場合

○履歴書（東京大学統一履歴書（https://www.u-tokyo.ac.jp/ja/about/jobs/r01.html）を用いること）

○業績リスト（特に重要な論文に○印を付けること）

○主要論文の別刷（3 編、コピー可）

○研究業績の概要（A4 用紙 2−3 枚程度）

○研究計画書（A4 用紙 2−3 枚程度）

○応募者についての推薦書、または、意見書（作成者から書類提出先へ直送）

（ロ）推薦の場合

○推薦書

○履歴書（東京大学統一履歴書（https://www.u-tokyo.ac.jp/ja/about/jobs/r01.html）を用いること）

○業績リスト（特に重要な論文に○印を付けること）

○主要論文の別刷（3 編、コピー可）

○研究業績の概要（A4 用紙 2−3 枚程度）

○研究計画書（A4 用紙 2−3 枚程度）

11．提出方法

郵送または電子メール

提出先：〒277-8581 千葉県柏市柏の葉 5-1-5　東京大学物性研究所総務係

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

○郵送の場合

「物性研究所機能物性研究グループ（林研究室）教員応募書類在中」、又は「物性研究所機能物性研究グループ（林研究室）教員推薦書類在中」の旨を朱書し、簡易書留等配達状況が確認可能な方法で送付すること

○電子メールの場合

空の電子メールを件名「物性研究所機能物性研究グループ（林研究室）教員応募」にて上記提出先に送付し、その後返信される電子メールに記載された書類提出先フォルダに応募書類一式をアップロードすること（応募の場合、推薦書または意見書は、作成者から書類提出先へ直送のこと）

※勤務日 2〜3 日以内に返信メールが届かない場合には総務係へご連絡ください。

12. 照会先

提出手続きに関する問い合わせは提出先に、それ以外は下記まで問い合わせること

東京大学物性研究所 機能物性研究グループ 教授 林久美子

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

13. 募集者名称

国立大学法人東京大学

14. 就業時間

専門業務型裁量労働制により、1 日 7 時間 45 分勤務したものとみなされる。

15. 休日

土・日、祝日、年末年始（12 月 29 日〜1 月 3 日）

16. 休暇

年次有給休暇、特別休暇等

17. 賃金等

学歴・職務経験等を考慮して決定。昇給制度あり

諸手当：賞与（年 2 回）、通勤手当（原則 55,000 円まで）のほか、本学の定めるところによる。

18. 加入保険

文部科学省共済組合、雇用保険

19. その他

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

○東京大学はダイバーシティ及び男女共同参画を推進しており、女性や海外の方からの積極的な応募を歓迎します。

○外為法等の定めにより、国外機関との兼業や外国政府等からの多額の収入があり、本学における研究上の技術の共有が制限される場合には、本学教職員としての職務の達成が困難となる可能性があります。そのため、着任後の兼業等については、本学における研究上の技術の共有に支障のない範囲に留める必要があります。

○提出書類等は返却しませんので、了解の上、応募または推薦してください。また、履歴書は本公募の用途に限り使用し、個人情報は正当な理由なく第三者への開示、譲渡及び貸与することは一切ありません。

○受動喫煙防止措置の状況は屋内原則禁煙（喫煙場所設置）です。

令和 5 年 8 月 1 日

東京大学物性研究所長　　廣井　善二

東京大学物性研究所特任研究員公募について

1．職名および人数

特任研究員　1名

2．所属

物性研究所物質設計評価施設・川島研究室

3．就業場所

物性研究所柏キャンパス（千葉県柏市柏の葉 5-1-5）

4．公募内容

研究室スタッフと協力して、物性研究の数値的方法論や計算プログラムの開発とそれを応用した物性研究を行う。

5．応募資格

着任時点で博士の学位を有する者

6．契約時期

令和 5 年 10 月 1 日（土）以降令和 6 年 4 月 1 日（月）以前のなるべく早い時期

7．任期

2 年間

8．試用期間

採用された日から 14 日間（東京大学教職員就業規則第 8 条による）

9．応募締切

令和 5 年 11 月 30 日（木）必着

※ただし、令和 5 年 8 月 17 日（木）までの応募分はまとめて選考いたします。令和 5 年 8 月 17 日（木）以降の応募についてはその都度選考し、適任者があり次第募集を締め切ります。

10．提出書類

○履歴書（東京大学統一履歴書（https://www.u-tokyo.ac.jp/ja/about/jobs/r01.html）を用いること）

○これまでの研究業績の概要と今後の研究計画（A4 用紙 2 枚程度）

○研究業績一覧（特に重要な論文に○印を付けること）

○応募者についての意見を聞ける方（2 名）の氏名、所属、連絡先

11．提出方法

郵送または電子メール

提出先：〒277-8581 千葉県柏市柏の葉 5-1-5　東京大学物性研究所総務係

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

○郵送の場合

「物性研究所物質設計評価施設（特任研究員）応募書類在中」の旨を朱書し、簡易書留等配達状況が確認可能な方法で送付すること

○電子メールの場合

空の電子メールを件名「物性研究所物質設計評価施設（特任研究員）」にて上記提出先に送付し、その後返信される電子メールに記載された書類提出先フォルダに応募書類一式をアップロードすること

※勤務日 2～3 日以内に返信メールが届かない場合には総務係へご連絡ください。

12. 照会先

提出手続きに関する問い合わせは提出先に、それ以外は下記まで問い合わせること

東京大学物性研究所　物質設計評価施設　教授　川島 直輝

Email：kawashima@issp.u-tokyo.ac.jp

13. 募集者名称

国立大学法人東京大学

14. 就業時間

専門業務型裁量労働制により、1 日 7 時間 45 分勤務したものとみなされる。

15. 休日

土・日、祝日、年末年始（12 月 29 日～1 月 3 日）

16. 休暇

年次有給休暇、特別休暇等

17. 賃金等

月額 30～35 万円程度（年齢、経験年数等により異なる）

諸手当：通勤手当（原則 55,000 円まで）のほか、本学の定めるところによる。

18. 加入保険

文部科学省共済組合、雇用保険

19. その他

○東京大学は男女共同参画を推進しており、女性の積極的な応募を歓迎します。

○外為法等の定めにより、国外機関との兼業や外国政府等からの多額の収入があり、本学における研究上の技術の共有が制限される場合には、本学教職員としての職務の達成が困難となる可能性があります。着任後の兼業等については、本学における研究上の技術の共有に支障のない範囲に留める必要があります。

○応募書類等は返却しませんので、了解の上、応募してください。また、履歴書は本応募の用途に限り使用し、個人情報は正当な理由なく第三者への開示、譲渡及び貸与することは一切ありません。

○受動喫煙防止措置の状況は屋内原則禁煙（喫煙場所設置）です。

令和 5 年 7 月 18 日

東京大学物性研究所長　　廣井　善二

東京大学物性研究所の客員教授（准教授）公募のご案内

本研究所において、テーマ（分野）「限定型」およびテーマ（分野）自体を提案いただく「提案型」の客員教授（准教授）を下記のとおり公募します。

記

Ⅰ．公募の区分

１．「限定型」

（１）テーマ（分野）

a：局所分光による量子物質の新奇物性探索

b：電気磁気効果を示す物質の中性子散乱研究

（２）公募人員

a, b, ：准教授１名

（３）期間

a, b, ：通年　　令和６年４月１日～令和７年３月 31 日

（４）研究条件

① 研究室の供用、その他可能な範囲で研究上の便宜を図ります。

② 研究費として通年で最大 100 万円（理論 50 万円）、および本研究所との間の往復旅費、滞在費を支給します。

③ なるべく多くの時間を本研究所における研究活動に充てることを推奨します。

２．「提案型」

（１）テーマ（分野）

応募者自らテーマ（分野）を提案ください。

（２）公募人員　　教授または准教授　4～5 名

（３）期　　間　　通年または半期

通年　　令和６年４月１日～令和７年３月31日

半期（前期）令和６年４月１日～令和６年９月30日

半期（後期）令和６年10月１日～令和７年３月31日

（４）研究条件

① 研究室の供用、その他可能な範囲で研究上の便宜を図ります。

② 研究費として通年で最大 100 万円（理論 50 万円）、および本研究所との間の往復旅費、滞在費を支給します。

③ 滞在日数は半期で１ヶ月以上を目途とします。

Ⅱ．公募締切

令和５年 12 月８日（金）（必着）

Ⅲ．提出書類

（イ）「限定型」の場合

① 推薦書または意見書（作成者から書類提出先へ直送）

② 履歴書（下記 URL より東京大学統一履歴書フォーマットをダウンロードのうえ、作成すること）

https://www.u-tokyo.ac.jp/ja/about/jobs/r01.html

③ 業績リスト、主要論文の別刷５編

④ 研究計画書（本研究所滞在可能期間の推定を含む）

（ロ）「提案型」の場合

① 推薦書または意見書（作成者から書類提出先へ直送）

② 履歴書（下記 URL より東京大学統一履歴書フォーマットをダウンロードのうえ、作成すること）

https://www.u-tokyo.ac.jp/ja/about/jobs/r01.html

③ 業績リスト、主要論文の別刷５編

④ テーマ（分野）および具体的研究計画

⑤ 以下の４点について記載したもの

・通年か半期の別

・本研究所における受入研究室所員（必ず事前に受入所員と連絡を取ってください。）

・その他、研究関連所員名（複数も可）および関連所員との事前打合せに関する記述

・予定滞在日数

・必要研究経費（概算）

Ⅳ．書類提出方法　　郵送又はメール送付

郵　送　「客員教授（准教授）応募書類在中」または「客員教授（准教授）推薦書（意見書）在中」と朱書きし、**書留にて郵送**してください。

メール　件名は「客員教授（准教授）応募」または「客員教授（准教授）推薦書（意見書）」とし、総務係までメールを送付し、その後返信される電子メールに記載された書類提出先フォルダに応募書類一式をアップロードしてください。

※2～3 日以内に返信メールが届かない場合には総務係へご連絡ください。

Ⅴ．書類提出先及び問い合わせ先

〒277-8581　千葉県柏市柏の葉 5-1-5　東京大学物性研究所総務係

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

Ⅵ．注意事項

応募に際しては本研究所所員とあらかじめ連絡を取ってください。また、本研究所における各種制度と連動させるために、申請する客員所員の着任期間において、研究会（短期研究会、ワークショップ）への提案や連携、国際連携制度（外国人客員所員、外国人客員研究員、国際共同研究等）との連携を取ることを推奨しております。制度の諸情報については、研究戦略室にお問い合わせ下さい（研究戦略室 e-mail : rso@issp.u-tokyo.ac.jp）。

Ⅶ．選考方法

東京大学物性研究所人事選考協議会の審議に基づき、物性研究所教授会で決定します。

令和 5 年 9 月 19 日

東京大学物性研究所長　　廣井　善二

編　集　後　記

夏前の天気予報では、今年の夏はいつまでも残暑が厳しいと盛んに予報されていたにも関わらず、本稿を書いているここ最近は夜にはうっすらと寒さを感じるようになり、季節の移ろいを実感しています。さて、今回の物性研だよりでは、5 件の研究紹介記事が掲載されており、1 件目の記事では、理論的に予測されていた有機トポロジカル絶縁体について、初めてその存在と特異な物性を明らかにされたという、とてもエキサイティングな結果が報告されています。2 件目では偏極中性子散乱法によって、三角格子磁性体 $CoTa_3S_6$ の時間反転対称性が破れた反強磁性構造を明らかにした研究が、3 件目では角度分解光電子分光法（ARPES）と精密なバンド計算などによって、ワイル半金属であると提唱されていた $HgCr_2Se_4$ が実際には磁性半導体であることを明確に示した研究が、それぞれ紹介されています。また 4 件目では、Pd_2MnGa 合金が、従来の材料と比べて、極めてエネルギーロスの小さいメタ磁性形状記憶合金としてはたらくことが、5 件目では従来よりも室温での電気伝導度が 100 万倍高い、初めてのオリゴマー型有機伝導体の開発されたことが解説されていて、いずれも興味深い内容となっています。また今回は、今年度新たに着任された 3 名の所員の先生方の「物性研に着任して」の記事が掲載されています。そこでは、これまでに皆様様々なご経験を積まれる中で、世界で自分だけの研究スタイルを確立し、さらに物性研で新しいサイエンスを展開されることへの強い意欲が述べられていて、特に若い研究者や学生の方々には、ご自身の進むべき道を考える上でとても参考になると思いますので、ぜひご一読いただければ幸いです。

井　上　圭　一

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