

物性研だより

BUSSEIKEN DAYORI

第 65 卷

第 3 号

2025 年度

電子の地図が決めていた、“渦”のサイズ
—世界最小スキルミオンの誕生メカニズムを解明—

柔軟性と秩序性を両立した新有機常磁性体を開発
—フレキシブルデバイスへの応用に期待—

プロメテ古細菌から高感度な光駆動水素イオンポンプを発見
—真核生物の出現に関わる古細菌による新たな光利用—

新鉱物・アマテラス石の命名について



東京大学 物性研究所

THE INSTITUTE FOR SOLID STATE PHYSICS
THE UNIVERSITY OF TOKYO

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

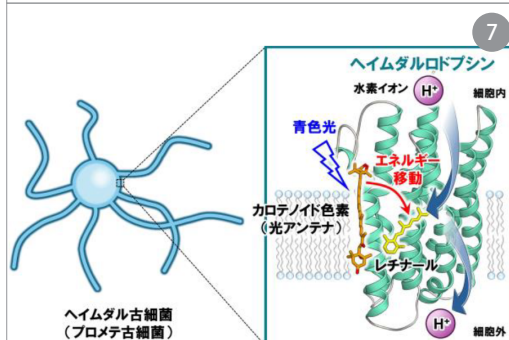
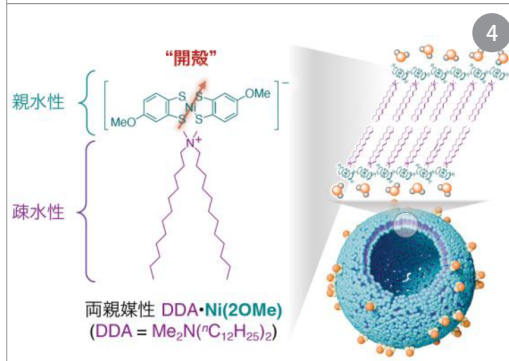
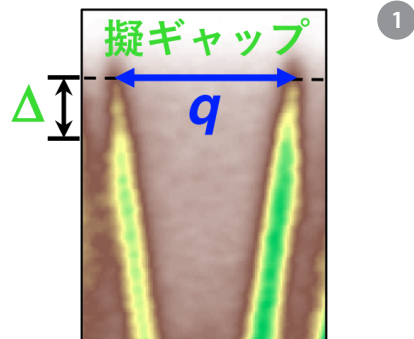
ISSN 0385-9843

contents

- 1 電子の地図が決めていた、“渦”のサイズ
—世界最小スキルミオンの誕生メカニズムを解明—
Yuyang Dong、木下 雄斗、徳永 将史、近藤 猛
- 4 柔軟性と秩序性を両立した新有機常磁性体を開発
—フレキシブルデバイスへの応用に期待— 藤野 智子、森 初果、原田 慈久
- 7 プロメテ古細菌から高感度な光駆動水素イオンポンプを発見
—真核生物の出現に関わる古細菌による新たな光利用— 井上 圭一
- 10 新鉱物・アマテラス石の命名について 浜根 大輔
- 13 科学技術分野の文部科学大臣表彰(若手科学者賞)を受賞して 川畑 幸平
- 15 理学系研究科研究奨励賞を受賞して 小川 宏太郎
- 16 「日本物理学会(領域 8) 学生優秀発表賞」を受賞して 湯池 宏介
- 18 日本物理学会 学生優秀発表賞を受賞して 石井 智博
- 19 日本物理学会学生優秀発表賞(領域 4)を受賞して 佐野 涼太郎
- 20 日本表面真空学会 若手学会賞を受賞して 田中 駿介
- 22 日本物理学会若手奨励賞を受賞して 土師 将裕
- 23 「LEES2025」Best Poster Presentation Award を受賞して 室谷 悠太
- 24 SCES 2025 Poster Award を受賞して 小島 慶太
- 25 第 38 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム(JSR2025)
における学生発表賞の受賞について 山口 寛月
- 26 物性研に着任して 古府 麻衣子
- 28 物性研を退任して 山室 修

【ISSP ワークショップ】

- 31 ○「固体物質・材料研究の現在と未来」開催報告
- 34 第 70 回物性若手夏の学校開催報告 高間 俊至
- 39 【物性研究所談話会】
- 41 【物性研究所セミナー】
- 【物性研ニュース】
- 55 ○東京大学物性研究所人事異動一覧
- 56 ○東京大学物性研究所特任研究員公募について
物性研だよりの購読について



電子の地
——世界最

(附属極限コヒーレント光科学研究センター) 近藤 猛

スキルミオンの源
“らせんスピン”
のメカニズムは？

横らせんスピン

縦らせんスピン

スキルミオン

大きさ λ

図1: らせんスピン構造の重ね合わせによって形成されるスキルミオン格子
電子スピンの空間的にらせん状に回転しながら縦横に並ぶ“らせんスピン”は、スキルミオン形成の基本単位である。しかし、その発生メカニズムは、重要であるにも関わらず未解明だった。

〈研究の内容〉

空間反転対称性をもつ磁性金属 GdRu_2Si_2 では、電子スピ
ンがらせん状に回転しながら整列する「らせんスピン」が
上下 2 方向から重なり合い、規則正しいスキルミオン格子
を形成することが知られている (図 1)。しかし、このらせん
スピンそのものがどのような電子の動きによって生み出さ
れるのかは未解明であった。本研究グループは、放射光を
用いた角度分解光電子分光 (ARPES) によって、 GdRu_2Si_2
内部の電子構造、すなわち電子のエネルギーと運動量の関
係を可視化することに成功した [2]。特に、最もエネルギ
ーが高く伝導に寄与する電子だけを抽出して描かれるフェ
ルミ面に注目した結果、特定の方向に沿って平行に伸び
る「フェルミ面ネスティング構造」が観測された (図 2)。
ネスティングとは、フェルミ面上の異なる部分がある運動
量ベクトルで重なり合う現象であり、このとき電子はその
ベクトルに対応する周期で集団的な揺らぎを形成する。こ
の電子の協調的運動により、伝導電子が離れたスピン同士
を“キャッチボール”するように結びつける「RKKY 相
互作用」が強まり、らせん状のスピン構造が誘起されるこ
とが分かった。

さらに詳細に解析すると、ネスティングで結ばれるフェルミ面の両端部分において、電子のスペクトル強度が著しく弱まる「擬ギャップ」が形成されていることが明らかになった。これは、電子がスピン秩序と強く相互作用し、ある運動量領域で電子密度が部分的に減少したことを意味し

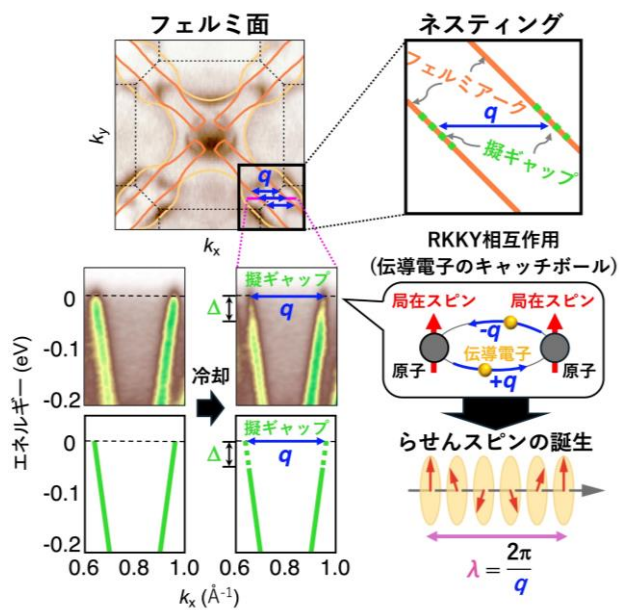


図2：光電子分光による電子構造の可視化と、らせんスピン形成機構の解明

世界最小スキルミオンが発現する磁性体 GdRu_2Si_2 において、放射光を用いた光電子分光により電子の運動量とエネルギーの関係を測定した。観測されたフェルミ面には、特定の運動量 \mathbf{q} に対応するネスティング構造が存在し、その方向に沿って擬ギャップとフェルミアークが形成されていた。この現象は、伝導電子が特定の \mathbf{q} ベクトルでスピンと強く相互作用することを意味し、RKKY 相互作用によって、らせん状のスピン構造が自発的に形成される機構を実験的に裏付けるものである。重要なことに、らせんスピンを生む伝導電子の運動量 \mathbf{q} がスキルミオンの大きさを決定していることが分かった。

ている。その結果、フェルミ面は閉じた輪の形を保てず、途中で途切れたように見える「フェルミアーク」と呼ばれる状態を形成していた。こうしたネスティング、擬ギャップ、フェルミアークの一連の現象は、電子とスピンの強く結合した結果生じるらせんスピンの実験的証拠となる。特に、ネスティングの運動量ベクトルの長さが、これまで共鳴 X 線散乱(RXS)実験で報告されてきたスキルミオン格子の周期とほぼ完全に一致していることから、スキルミオンのサイズは電子構造に刻まれたネスティングの波長によって決定されていることが分かった。

この電子構造と磁気構造の対応は、スキルミオン形成の理解に新たな地平を開くものである。結晶構造のねじれ(Dzyaloshinskii-Moriya 相互作用)ではなく、電子の運動そのものがスピン秩序を駆動していることを実験的に立証した初めての実験結果となった。さらに本研究では、磁場や温度といった外的条件に応じて、らせんスピン秩序が柔軟に変形・再構築される様子を磁気ドメイン観察によって明らかにした(図 3)。冷却後に自然形成されるドメイン構造は、パルス磁場の印加によって一度崩壊するが、その後の温度変化によって可逆的に元の状態へと再生する。この

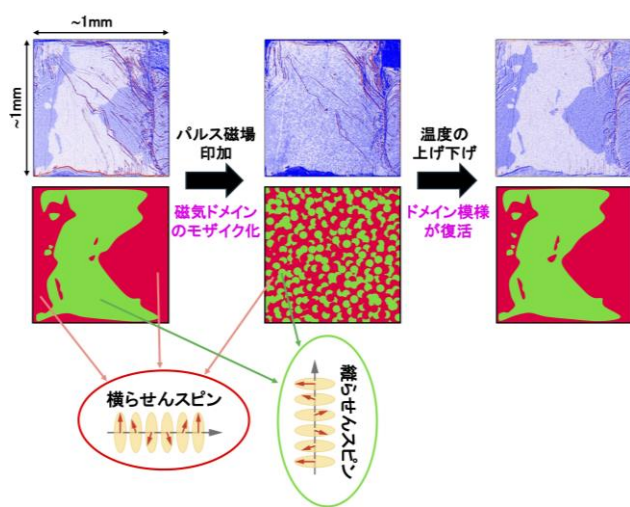


図 3：無磁場下で観測された、らせん状スピン秩序の磁気ドメイン構造とその柔軟な応答性

GdRu₂Si₂において、外部磁場が存在しない状態(無磁場下)で形成される磁気ドメイン構造の変化を示している。左図は、冷却後に自然に形成された磁気ドメイン構造である。パルス磁場の印加により、磁気ドメインは、中央図のようなモザイク状に細分化される。しかし、その後の温度制御によって右図のように元のドメイン構造が可逆的に復元されることが分かった。このドメイン構造は、横らせんスピン構造および縦らせんスピン構造がそれぞれ発達した領域に対応している。スキルミオンは通常、外部磁場下でこれら 2 種類のらせんスピンの重なり合うことにより発現するが、本図のような柔軟で可逆的ならせん磁性の挙動は、スキルミオン磁性体ならではの高い操作性と機能性を物語っている。

挙動は、スキルミオン磁性体特有のしなやかな磁気応答性を示しており、磁気構造の操作性と安定性を両立させる要因が電子構造に根ざしていることを強く示唆している。

以上の成果により、世界最小スキルミオンを生み出す磁性メカニズムとその大きさが、電子構造によって決定されることを明らかにした。本研究は、電子構造と磁気秩序の因果関係を直接描き出し、スキルミオンを電子構造の設計によって制御できる可能性を実験的に提示したものである[2]。

〈今後の展望〉

本研究は、「スキルミオンはなぜ生まれるのか?」という根本的な問いに対し、結晶の構造ではなく電子の動き、すなわち電子構造が決定的な役割を担うことを初めて明らかにした。これまでスキルミオン材料の開発は「結晶構造の工夫」に依存してきたが、今後は「電子構造をデザインする」という、より精密かつ戦略的なアプローチが主流になると考えられる。電子の運動量空間を読み解き、フェルミ面を自在に設計できれば、スキルミオンのサイズ・柔軟性・安定性までも意図的に制御することが可能となる。第一原理計算と光電子分光を組み合わせ、“ネスティングをもつフェルミ面”を備えた新たな磁性物質を発見することで、超高密度・超省エネのスキルミオンデバイス実現への道が大きく拓かれると期待される。さらに、電場や光でスキルミオンを自在に操作する技術が確立されれば、次世代スピントロニクス素子や量子情報処理デバイスの開発にもつながる。電子の地図を手に、スキルミオンが切り拓く物質科学の新たな未来が予想される。

謝辞：

本研究は、大阪大学の越智正之准教授、東京都立大学の松田達磨教授、北海道大学の速水賢教授、スタンフォード放射光施設の橋本信氏らとの共同研究として行われました。この場をお借りして御礼申し上げます。

〈参考文献〉

- [1] N. D. Khanh et al., *Nat. Nanotechnol.* **15**, 444-449 (2020).
- [2] Y. Dong et al., *Science* **388**, 624-630 (2025).

柔軟性と

附属極限コヒーレント光科学研究センター 原田 慈久

研究の背景

近年、IoTの急速な発展に伴い、ウェアラブルデバイスをはじめとするさまざまなデバイスに応用可能な、外部刺激に応じて構造変化する柔軟な磁性材料へのニーズが高まっている。従来、分子性常磁性体は、平面的な分子が積み重なった結晶構造を持ち、分子間の相互作用によって特異な磁気特性を示すことが知られている。しかし一般的に、柔軟性と秩序性は相反する性質であり、秩序性の高い常磁性単結晶は本質的に「硬い」性質をもつため、両者を両立させることは困難であった。

研究の内容と成果

本研究では、柔軟性と秩序性を両立する超分子の設計原理を応用し、新たな分子性常磁性体の開発に取り組んだ。具体的には、水になじむ部分と油になじむ部分を併せ持つ両親媒性を示す d/π 共役系のイオン性分子を新規に設計・合成した。本設計は森研究室で開発している中性錯体（論文 1,2）の前駆体であるラジカルアニオンの対カチオンに長鎖アルキル基からなる疎水性部を導入することで、両親媒性構造を構築できることに着想を得たものである。合成したこの分子を水中に分散させた結果、分子同士が規則正しく配列し、カプセル状の膜構造が自発的に形成されることを発見した(図 1)。

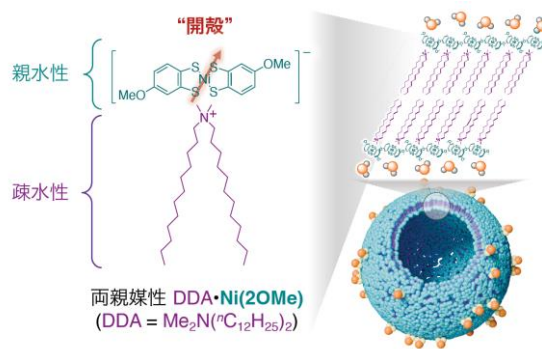


図 1：柔軟性と高秩序性を両立する分子性常磁性体の模式図。
(左)本研究で設計・合成した両親媒性 d/π 共役系分子の構造。赤い矢印がスピンを示す。(右上)分子が水中で自己組織化して形成される二重膜構造の模式図。(右下)二重膜がさらに凝集し、球状のカプセル構造を形成する模式図。オレンジ色の分子は水分子である。

この構造体は、小角 X 線散乱による解析とその厚み方向の電子密度分布により、高い秩序性を維持した二重膜構造 (図 2 左上) であることが明らかとなった。さらに、電子スピン共鳴スペクトルからは、スピン間に一方向に対してのみ強い相互作用が認められ、他の方向では顕著な相互作用が乏しいことから、一軸的な磁気異方性をもつことが示唆された。加えて、この構造体は、温度変化に応じて大きく構造を変化させる柔軟性を兼ね備えていることがわかった。65 °C 以上に加熱すると二重膜構造は解離し (図 2 中央下)、

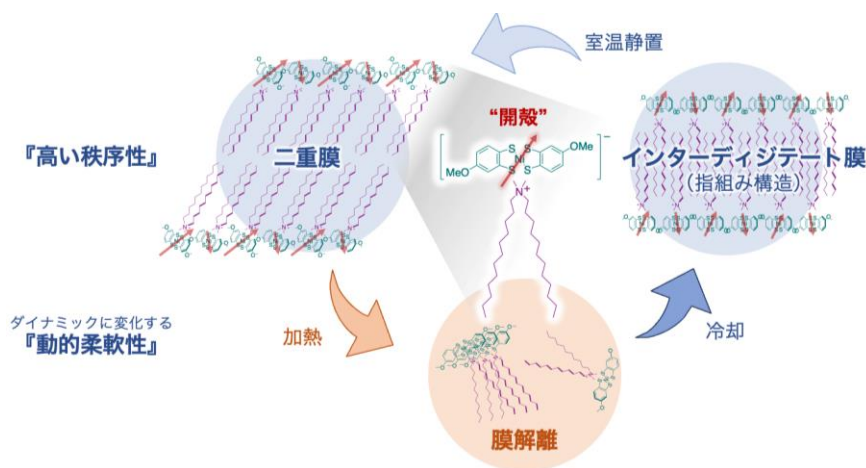


図 2: 柔軟性と秩序性を両立する分子性常磁性体。水中で温度に伴い構造が変化した。

逆に 30 °C 以下まで冷却すると、元の構造とは異なる、インターディジテート膜 (指組み構造、図 2 右上) を形成することが、小角 X 線散乱スペクトルの解析からわかった。マクロスケールでは、球状 (図 3 左下) あるいは楕円球状 (図 3 右下) の構造体として観測され、室温で数時間静置すると元の二重膜構造へと回復する特異な動的挙動を示した。興味深いことに、一軸異方的な磁性は二重膜、インターディジテート膜の両方で共通して観測され、異なる膜構造を

とりながらも、スピン間に働く相互作用には共通性が認められた。このような分子間相互作用に基づく秩序性は、磁気特性の制御において極めて重要な要素である。

今回の成果は、柔軟性と秩序性を両立させた分子性常磁性体の設計指針を初めて示したものであり、特に、スピンをもつ平面分子が規則正しく並んだ分子性常磁性体において、動的な膜構造変化を示した初めての例である。

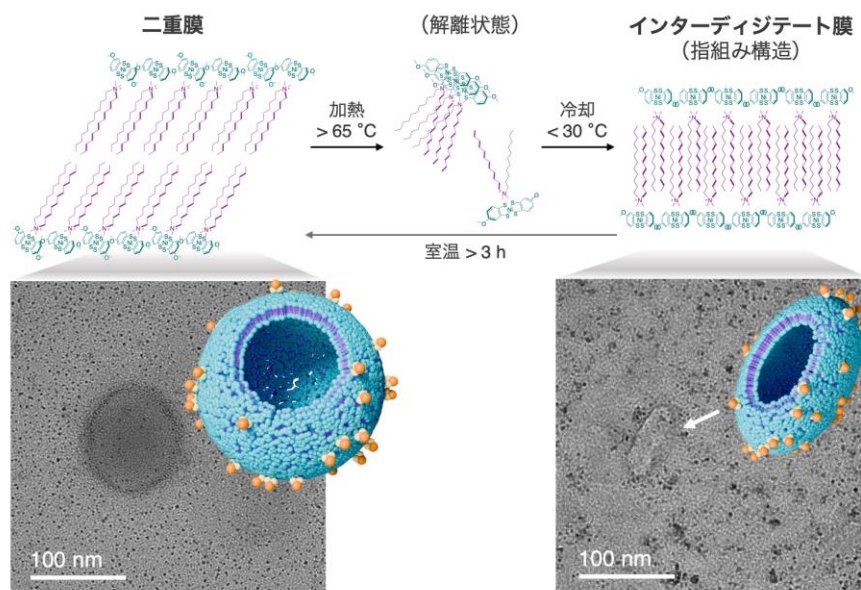


図 3 : (上) 球状カプセル内の二重膜の温度変化に対応する動的な構造変化の模式図。二重膜 (左上) を加熱すると膜が解離し (中上)、冷却するとインターディジテート膜 (右上) を形成するが、時間経過とともに元の二重膜 (左上) に戻る。(下) 加熱前 (左) と加熱直後 (右) の構造体の透過電子顕微鏡像。オレンジ色の分子は水分子である。

まとめと今後の展望

本成果は、柔軟で磁性を制御できるソフトな分子性常磁性体の開発を加速させ、フレキシブルデバイスなどの幅広い分野の応用につながることを期待される。また、本研究で用いた物質は単一分子量材料で構成されており、ソフトマター設計に関する重要な構造的・機構的知見を提供する。さらに、スピントロニクスへの応用や、ナノメディシン分野への応用、ソフト伝導体など、多岐にわたる分野における電子機能の多様化にも貢献するなど、ソフトマテリアル科学における重要な進展をもたらすことが期待される。

謝辞

本研究成果は、森研究室の伊藤雅聡氏 (研究当時)、原田研究室の倉橋直也博士 (研究当時)、木内久雄助教 (研究当時) のほか、東京理科大学の菱田真史准教授、分子科学研

究所の中村敏和チームリーダー、浅田瑞枝博士、物質・材料研究機構の原野幸治主幹研究員、大池広志主任研究員、大阪公立大学の牧浦理恵准教授、武野カノクワン博士、立教大学の横森創助教 (研究当時) との共同研究によるものである。本研究は、日本学術振興会 科学研究費 (JP19H05717、JP19H05715、JP20H05206、JP21K05018、JP22H04523、JP22H00106、JP23H04874、JP23K17865、JP23KK0255、JP23K22435、JP23H04861、JP24K01301)、Core-to-core プログラム (JPJSCCA20240001)、MEXT 「マテリアル先端リサーチインフラ」 事業 (JPMXP1224MS1096)、科学技術振興機構 (JST) 戦略的創造研究推進事業 さきがけ (JPMJPR22Q8、JPMJPR21Q2)、公益財団法人内藤記念科学記念財団、池谷科学技術振興財団、花王芸術・科学財団の支援により実施されました。

掲載論文

Fujino, T.*; Hishida, M.*; Ito, M.; Nakamura, T.; Asada, M.; Kurahashi, N.; Kiuchi, H.; Harada, Y.; Harano, K.; Makiura, R.; Takeno, K. J.; Yokomori, S.; Oike, H.; Mori, H. Macroscopic Structural Transition of Nickel Dithiolate Capsule with Uniaxial Magnetic Anisotropy in Water, "Macroscopic Structural Transition of Nickel Dithiolate Capsule with Uniaxial Magnetic Anisotropy in Water," *Advanced Science* **2025**, *15*, 3028.

参考文献

- (1) Ito, M.; Fujino, T.*; Zhang, L.; Yokomori, S.; Higashino, T.; Makiura, R.; Takeno, K. J. Ozaki, T.; Mori, H.* Ambipolar Nickel Dithiolene Complex Semiconductors: from One- to Two-dimensional Electronic Structures based upon Alkoxy Chain Lengths, *J. Am. Chem. Soc.* **2023**, *145* (4), 2127–2134. "Supplementary Cover."
- (2) Ito, M.; Fujino, T.*; Higashino, T.; Hishida, M.; Mori, H.* Distinct Hole and Electron Transport Anisotropy in Ambipolar Nickel Dithiolene-based Semiconductor. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2025**, e202512609.

プロメテ古細菌から高感度な光駆動水素イオンポンプを発見 —真核生物の出現に関わる古細菌による新たな光利用—

物性研究所・機能物性研究グループ 井上 圭一

研究概要

真核生物(注 1)の共通祖先に最も近い現生生物種の一つであるヘイムダル古細菌が、カロテノイド色素(注 2)を用いて、高効率に太陽光のエネルギーを捉えることで、それを元に水素イオン(H^+)を輸送し、化学エネルギーへと変換するタンパク質である「ヘイムダルロドプシン」を持つことを明らかにしました。

本研究では先端的なレーザー技術を用いた分光計測により、ヘイムダルロドプシンのカロテノイド色素が光アンテナとして光を捉え、そのエネルギーを H^+ 輸送に利用することを世界で初めて明らかにしました(図 1)。また X 線結晶構造解析によって、多様なカロテノイド色素の結合に適した独自の構造を捉えることにも成功しています。これまでヘイムダル古細菌が高効率で光を捉え、自身の生育に役立っているという事実は全く知られておらず、生命の進化を考える上で重要な、この種のこれまでにない新たな一面を明らかにした点で本研究成果は大きな学術的意義を有します。またヘイムダルロドプシンはルテインなど、ヒトの体内にも存在するカロテノイドを利用することから、新たな生体分子ツールとして、今後高感度な視覚再生や、光を用いた神経疾患治療技術の開発に役立つことが期待されます。

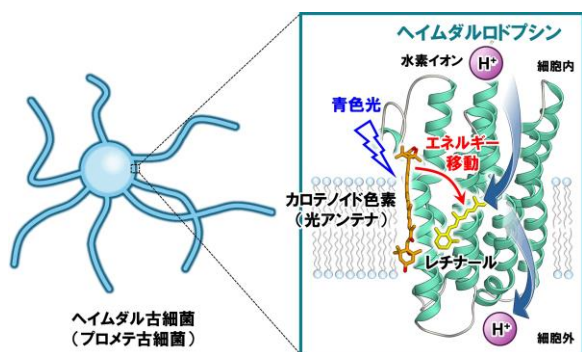


図 1: カロテノイド色素を使い、高感度で光を捉えるヘイムダル古細菌のロドプシン

研究の背景

微生物ロドプシン(注 3)は、ビタミンAの類縁体であるレチナールを使って太陽光を捉え、そのエネルギーを使っ

て細胞の中から外へ H^+ を輸送するタンパク質です。これにより細胞内と外との間で H^+ の濃度勾配が形成され、細胞のエネルギー通貨であるアデノシン三リン酸(ATP)の合成などが駆動されます。これまでに微生物ロドプシンは、海洋や河川、湖沼、土壌などの多様な環境中に幅広く生息する細菌や古細菌(アーキア)が持つことが知られており、特に海洋では藻類などが行う光合成に匹敵する、莫大な太陽光エネルギーが微生物ロドプシンを介して微生物の生存に用いられていることが近年の研究で明らかになっています。

一方、古細菌の中でヘイムダル古細菌は、我々ヒトを含む真核生物の共通祖先となった太古の古細菌に最も近縁な現生生物種であるとされ、生命の進化を考える上で、極めて重要な種として注目されているプロメテ古細菌の一つに分類されます。しかし、細胞の単離が困難なことなどから、ヘイムダル古細菌の生態の大部分は不明であり、真核生物へ至るプロセスを理解する上で大きな問題となっています。

研究の内容と成果

本研究では、これまで海や湖の底の泥などの中に生息すると考えられていたヘイムダル古細菌の一部が、太陽光が豊富に利用できる世界中の海域の海水中に浮遊しながら生息していること、さらにこれまで知られていなかったタイプの微生物ロドプシン(ヘイムダルロドプシン)を持つことを見いだしました(図 2)。

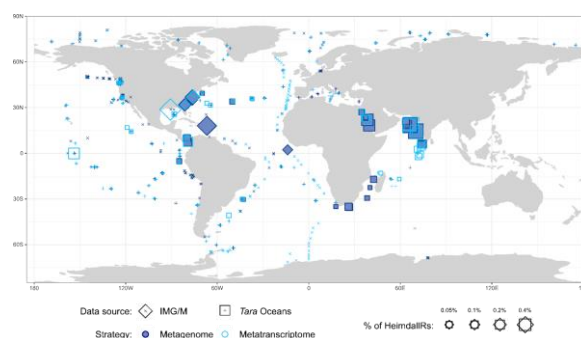


図 2: ヘイムダルロドプシンの世界的分布。四角および菱形で示された海域でヘイムダルロドプシンを持つヘイムダル古細菌が発見された。

Figure 1: UV-Vis absorption spectra of Ru(II) and Pt(II) complexes.

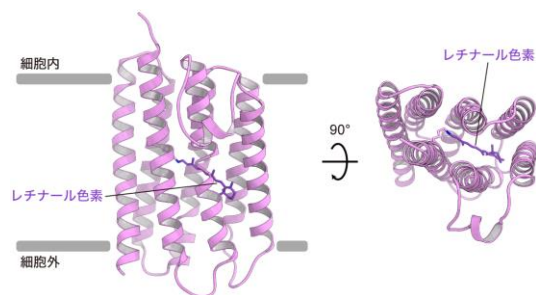
Left Graph: Ru(II) Complexes (ルテイン)

Wavelength (nm)	425 μ M	460 μ M	465 μ M	480 μ M
425	2.9	2.8	2.7	2.6
460	2.8	2.7	2.6	2.5
465	2.7	2.6	2.5	2.4
480	2.6	2.5	2.4	2.3

Right Graph: Pt(II) Complexes (フコキサンチン)

Wavelength (nm)	440 μ M	460 μ M	480 μ M	490 μ M
440	2.8	2.7	2.6	2.5
460	2.7	2.6	2.5	2.4
480	2.6	2.5	2.4	2.3
490	2.5	2.4	2.3	2.2

さらに、エネルギー移動のより詳細な分子メカニズムを明らかにするため、X線結晶構造解析によって、ヘイムダルロドプシンの三次元構造が原子レベルで決定されました(図4)。その結果、ヘイムダルロドプシンが多様なカロテノイド色素の結合に適した、独自の凹凸構造を表面に有していることが明らかになりました。



Year	Percentage
2008	~18%
2009	~16%
2010	~14%
2011	~12%
2012	~14%

今回の研究成果は、生命の進化を考える上で重要な存在であるヘイムダル古細菌が、カロテノイド色素を有する微生物ロドプシンを独自に獲得することで、極めて巧みに光を利用できるようになったという新たな事実を明らかにしました。また、多様なカロテノイドをアンテナとして利用できるヘイムダルロドプシンを活用することで、網膜色素変性症などの疾患に対する高感度な視覚再生や、光を用いて神経細胞のイオンバランスを制御する形の神経疾患治療などの医療技術への応用による社会への波及効果と、古細菌から真核生物への進化の道筋の解明に向けた、さらなる研究の発展に寄与することが期待されます。

物性研だより第 65 巻第 3 号 8

†共筆頭著者、*責任著者 “Light-harvesting by antenna-containing rhodopsins in pelagic Asgard archaea” (2025) *Nature Microbiology*, **10**, No. 6, pp. 1484-1500

細胞内に細胞核を持つ生物種の総称。生物全体は細菌、古細菌(アーキア)、真核生物の三つに分類され、遺伝学研究から、真核生物は 20 億年ほど前に、ヘイムダル古細菌が属するプロメテ古細菌に近縁な古細菌の一部から進化したと考えられています。

主に 400~500 nm の波長の光を吸収し、黄色、橙色、赤色を示す天然色素群。

7 回膜貫通型の光受容タンパク質であり、ビタミンAの類縁体であるレチナール色素と結合しています。これら微生物ロドプシンはレチナール色素を用いて太陽光を捉え、その光エネルギーを使って主に細胞内外への水素イオンを含むさまざまなイオンの輸送を行います。そして、微生物ロドプシンは細菌、古細菌（アーキア）、真核微生物のほか、巨大ウイルスにまで広く分布することが知られています。

新鉱物・

物質設計評估施設電子顕微鏡室 浜根 大輔

新種の発見とは、自然界にひそむ未知を切り開く貴重な成果であり、発見者は新種に新しい名前を与える。ただし鉱物学では命名の自由は広くなく、名称の妥当性については厳格な審査が課され、関係性に乏しい誇張的な名称は決して認められることはない。それでも私たちは、新種の鉱物(新鉱物)に対して、日本神話を代表する女神・天照大神の名を冠した「アマテラス石(学名: Amaterasuite)」を命名することを決断した。そしてこの命名は、国際鉱物学連合の新鉱物・命名・分類委員会から正式に承認されるに至った[1]。

これは突飛な命名に見えるだろうが、承認に至ったということは、命名の理と背景が認められたということでもある。本稿では、アマテラス石という名が生まれた、その舞台裏を紹介したい。

日本には、自国を象徴する「国〇」と呼ばれるシンボルが数多く存在する。たとえば、国旗(日章旗)、国歌(君が代)、国鳥(キジ)、国蝶(オオムラサキ)、国花(桜・菊)などは耳にしたことがあろう。しかし、法令で制定されている国旗と国歌を除けば、これらはいずれも学術機関や関連団体による選定を契機として、もしくは慣習によって社会に受け入れられ、やがて定着したシンボルである。この流れを意識してか、日本鉱物科学会もまた「国石」選定事業を立ち上げた[2]。



図 1. 日本鉱物科学会より国石として選定されたヒスイ。左は新潟県糸魚川市の海岸で、右は岡山県新見市大佐山の山中で採集されたヒスイ。ヒスイとはヒスイ輝石(Jadeite: $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$)という鉱物、またはヒスイ輝石が集合した岩石を指す。画像幅は約 15cm。

2016年9月24日、金沢大学で開かれた日本鉱物科学会総会において、岩石や鉱物の専門家らによる投票の結果、日本の国石はヒスイと定められた(図1)。そしてその瞬間に、「もし国石から新鉱物が発見されたなら、その命名はどうあるべきか」という問いが生まれた。数年後、その問いに答えを示す時が、私たちのもに訪れることとなった。実際に、国石ヒスイから新鉱物を発見してしまった(図2)。



図 2. アマテラス石(黒緑色部)を含む鉱物集合体。褐色部はルチル(TiO_2)、あざ色部はタウソン石(SrTiO_3)。画像幅は約 2mm。

見いだされた新鉱物は、岡山県新見市大佐山のヒスイから産出したもので、その化学組成は $(\text{Sr}, \text{Ba})_4\text{Ti}_6\text{Si}_4\text{O}_{23}(\text{OH})\text{Cl}$ と、これまでに例のないものであった。加えて、結晶構造にも注目すべき特徴がある。その単位胞には、互いに対をなす二種類の原子配置が存在し、一方が現れるともう一方は隠れるという関係性をもっていたのである。言い換えれば、この新鉱物の構造には二面性という特異な性格が備わっていた(図3)。

新鉱物の特徴を整理すると、第一に国石から産出したという象徴性、第二に結晶構造に頼れる二面性である。新鉱物の命名とその審査では関連性が重視されることから、産地名や鉱物学に貢献した人物の名を冠するのが通例となっている。ところが今回に限っては、象徴性の観点からは産地名では重みに欠け、人名を採用すれば二面性という特徴が思わぬ誤解を招きかねなかった。

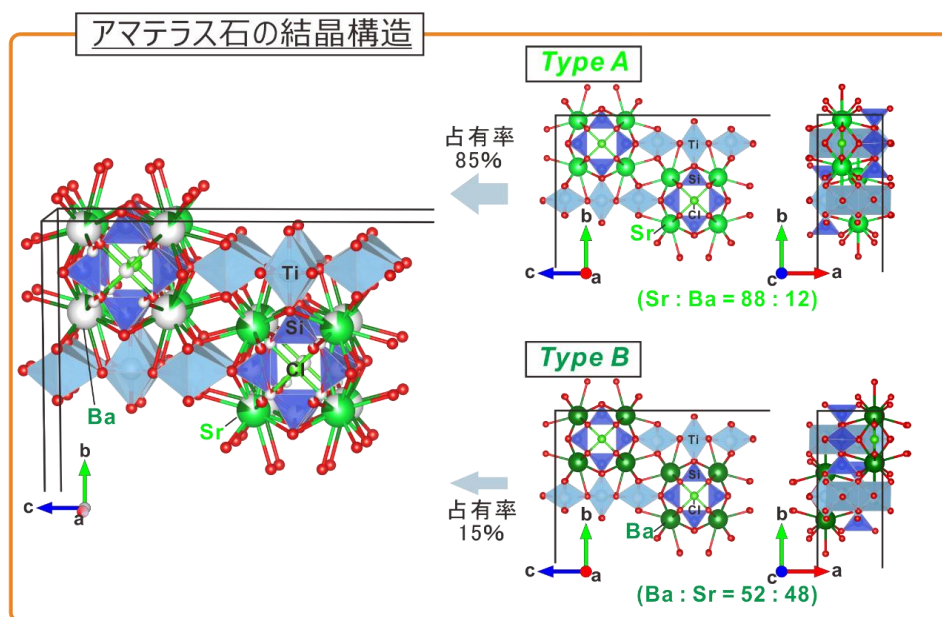


図 3. アマテラス石の結晶構造(一部抜粋)。この鉱物には対をなす二種類の原子配置の単位胞が存在する。特徴的なのは、A 型が現れるときには B 型は存在せず、B 型が現れるときには A 型が消えるという、二面性である。ただし構造解析では、単一結晶(シングルグレイン)内におけるそれぞれの出現割合や、各型における Sr/Ba 比が、X 線結晶学的な占有率として数値化される。出力された CIF ファイルを専用のソフトウェア[3]で可視化すると、図のように表現される。

そこで、象徴性を前面に押し出すかたちで「日本石」という案が浮上した。しかし、構造解析を担った研究者からは、二面性を命名に活かさないことへの惜しみの声が漏れ、日本石では決着しなかった。

では、二面性に注目したとき、どのような連想が可能だろうか。物質科学の分野では、双面神ヤヌスになぞらえた概念がしばしば登場する。ヤヌス粒子などはその代表例だろう。私たちの議論においても、名称の候補として「ヤヌス石」が挙がった。しかしながら、ヤヌスはローマ神話に登場する異国の神であり、日本の国石から生まれた新鉱物にその名を冠することは、象徴性の点でそぐわない。結果として、この案もまた退けられた。

もともと、こうした検討を通じて重要な示唆が得られた。すなわち、象徴性を際立たせるうえで、神話は極めて親和性が高いということ。こうして私たちの思考は日本神話へと向かうことになった。

日本神話には八百万の神が登場するが、そのなかでも天照大神は、諸氏の氏神を超える最高神として位置づけられ、まさに象徴的な存在として広く知られている。そして、神の靈魂には荒魂(あらみたま)と和魂(にぎみたま)という二つの側面が宿っており、日本神話では、荒ぶるときもあれば穏やかなときもあるなど、同一の神とは思えぬほどの対

称的な物語が数多く描かれている。これはまさしく二面性という概念に通じるものである。こうして、新鉱物に備わった二つの特徴、日本の国石に由来する象徴性と、結晶構造に顕れる二面性は、天照大神の名を冠することで統合され、命名の根拠となったのである。

なお、新鉱物の和名は「アマテラス石」とカタカナで表記する。これは、漢字で表記すると「天照石」となり、誤って「てんしょうせき」と読まれるおそれがあるためである。

このようにして、アマテラス石の名称とその由来はついに定まった。ただし、このような背景や物語性を、ほぼ外国人で構成される国際鉱物学連合の新鉱物・命名・分類委員会がどう受け止めるのか。正直ちょっと、いや、けっこう不安だったと言っていい。それでも、委員長から真っ先に Nice Name! との称賛をもらえたことで、これはいけるかなと思えた。そして審査を経て、最終的に正式な承認を得ることができたのである[1]。

こうして私たちは、実に大それた命名を成しとげた。海外でも神話にちなんだ鉱物名はわずかしかない。しかし、そうした例はいずれも、神話の物語と鉱物の特徴とが見事に呼応している。こうして見ると、命名とは単なる名札づけではなく、学術的な正統性と文化的な意味づけとが重なり合うことで導かれる、ひとつの自然な帰結なのだろう。

これからどこかで、なにかしらの鉱物名を目にすることがあったら、その背後にある物語へ、少しでも思いを巡らせてもらえたらうれしい。その名前には、発見者の思い、鉱物の特性への洞察、あるいは地域や文化の記憶が映し出されているだろう。やがてひとつの鉱物の名をきっかけに、鉱物という存在そのものへ関心が芽生え、その好奇心が広がっていく。そうになると、いいな。

- [1] Nishio-Hamane et al. (2025) *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 120, 021.
- [2] 土山明ほか(2019)日本の国石「ひすい」, 成山堂書店, pp.240.
- [3] Momma and Izumi (2011) *Journal of Applied Crystallography*, 44, 1272.

科学技術分野の文部科学大臣表彰（若手科学者賞） を受賞して

物性理論研究部門 川畑 幸平

受賞にあたって、共同研究者および支えてくださった多くのみなさまに感謝します。また、本賞に推薦していただいた物性研究所のみなさまにも感謝します。ここでは、受賞に至った研究を進める過程で、これまでの私に物性理論の世界がどのように見えてきたか、まだ「若手科学者」と呼ばれるあいだに書き残しておきます。

＊

2000年代中頃以降、世界の物性理論の主要な課題はトポロジカル相の理解であった。私の大学院入試直後の2016年秋にノーベル物理学賞が物質のトポロジカル相の理論に与えられ、その後の2017年秋の日本物理学会(岩手大)では Haldane 現象のシンポジウムで田崎晴明先生(学習院大理)や押川正毅先生(東大物性研)らが魅力的な講演をされた。そのころは、もともと考えられていた内部対称性に守られたトポロジカル絶縁体・超伝導体の理解は基本的には確立したものとされ、結晶対称性に守られたトポロジカル相をどのように理解して分類するかという問題に研究の焦点が移っており、高次トポロジカル絶縁体のような新しい物質相が提案されていた。この分野では、塩崎謙先生(京大基研)と渡辺悠樹先生(東大物工)の二人を筆頭に、国内でも優れた若手研究者が目の前で活躍しており、鋭い理論を自分も作ってみたいと、大きな刺激を受けた。これらの進展は興味をもって勉強したが、すでに高い数理技術が要求されており、研究を始めたばかりの大学院生が寄与できるのか疑問だった。

同時期に、非平衡下にあるトポロジカル相の理解にも大きな進展があった。それまで平衡下にあるトポロジカル相の静的な性質が研究されてきたが、外場などによって周期駆動された非平衡状態に特有のトポロジカル現象の可能性が指摘され、理解が進んでいた。非平衡物理の重要性は統計物理の枠内で学部生のころからよく認識して勉強していたが、固体電子系の物性現象においても重要になりうるという考え方は新鮮だった。ただし、周期駆動系のトポロジカル相の研究は当時でもある程度成熟しており、基本的な理解はすでに構築されているように思われた。むしろ、非

平衡とは平衡でないことを意味するだけなので、周期駆動系以外の意味での新しい非平衡トポロジカル相が論理的には存在するのではないかと考えた。

そうしたなかで関心をもったのは、粒子やエネルギーの散逸をとまなう非平衡開放系におけるトポロジカル相であった。トポロジカル相の特徴としてしばしば挙げられるのは、デコヒーレンスに対する安定性である。しかし、文献を読んでも乱れを加えたときにトポロジカル相が安定であることを示しているだけであり、実際に外部環境への散逸過程を取り入れてデコヒーレンスが起きたときの安定性を調べた研究はほとんどなかった。量子開放系の理論をもとにすると、デコヒーレンスが起きると古典化した混合状態に遷移し、トポロジカル相の性質は損なわれるのではないかと素朴には考えられた。これは、量子開放系の理論と物性理論というふたつの理論体系のあいだに隔たりがあることを意味しているように思われ、理論的に非自明な何かの存在を直観した。

開放系を考えたときに生じる最も基本的な変化は、系を記述する演算子がエルミート性(あるいはユニタリー性)を失うことである。通常は系が孤立していることに由来してエルミート性が満たされるが、環境と結合して系が開放するとエルミート性が失われる。当時でも、トポロジカル絶縁体を記述する個別の模型に非エルミートな摂動を加えたときにどのような変化が生じるか調べた研究は、おもに原子分子光物理の領域でいくつかあった。しかし、私にとって重要だったのは、開放系を構成する本質的な要素である非エルミート性のもとで対称性をどのように定式化するか、またそれを踏まえてトポロジカル相をどのように定義して分類するか、といった理論体系の基本的な問題であり、それを正面から考えた研究はなかった。この問題に共同研究者と数年間かけて取り組み、ひとまとまりの理論を作ったのが、今回の受賞に至った成果であった。なお、物性物理のなかで非平衡現象を考える面白さと重要性は、現在では常識となり、とくに若い世代にはひろく受け入れられているが、20年以上前には物性物理と非平衡物理はもっと隔絶していたはずである。そのような状況で、平衡状態では生じえない物性現象を非平衡下で探究するという新しい考

私が上記の研究に取り組んでいたのと同時期に、2 層のグラフェンを特定のひねり角で重ねたときに多体相互作用に起因する絶縁相と超伝導相が生じるという実験結果が報告され、理論・実験の両面で爆発的に研究が進んだ。理論的には、多体相互作用が本質となる強相関電子系の問題であるが、同時にトポロジカル相の理解が前提として要求されるものであった。トポロジカル相の研究は、一過性の流行にすぎないと敬遠した研究者も当初は多くいたと聞かが、分野の基本的な技術へと昇華されていく過程を見たような気がした。

世界を見渡すと、これまで物性物理の問題とみなされてこなかった対象が新たな研究領域としてつぎつぎと立ち現れ、同時にこれまで物性研究者が使ってこなかった技術(数学)が不可欠となっている。そのなかで、各理論家が自身の独創性をどのように世界に示すかが問われているように思う。とくに、物質の相の特徴づけや分類といった物性物理の根幹をなす問題に、高エネルギー物理や量子情報科学で培われてきた概念が本質的となりうることも広く理解され、それにともなって従来以上に高い数理技術が要求されている。何を物質とみなすか、という基準すらゆらいでいる。もちろん世界の流行に安直に追随するべきではないが、世界の進展をよく理解したうえで参入しないのと、世界の進展についていけないだけなのは違う。私個人としては、現代の物性理論分野は、高い技術を身につけ、どこまで自由に理論を構築できるか、理論家としての力を見せる格好の舞台であるように感じる。がんばりたい。

理学系研究科研究奨励賞を受賞して

極限コヒーレント光科学研究センター 松永研究室 博士課程1年 小川 宏太郎

2025年3月24日に本郷キャンパスの小柴ホールで開催された学位記授与式において、令和6年度理学系研究科研究奨励賞を受賞いたしました。同賞は東京大学大学院理学系研究科の修士課程の学生として学問研究に励み、優れた業績を挙げたものに授与されるものです。このような栄誉ある賞を頂くことができ、大変光栄に存じます。受賞対象となった研究は「空間光変調器を用いたマルチテラヘルツ帯偏光波形整形及び二色逆回り円偏光パルス生成法の開発」です。以下ではこの場をお借りして、受賞対象となった研究内容について説明いたします。

近年、高強度な中赤外光やテラヘルツ光を使って物質の性質を高速に制御する研究が盛んに行われています。近年では円偏光のカイラリティを利用して物質のトポロジを制御するフロッケ・エンジニアリングに向けて数多くの理論的な提案が報告されており、実験による検証が進められています。さらに最近では、逆回りの二つの円偏光を組み合わせた二色逆回り円偏光と呼ばれる偏光状態によって、物質の回転対称性そのものを自在に変える新しい可能性も見えてきました。

こうした研究を進める上で特に重要なのが、マルチテラヘルツ帯(10–70 THz、波長4–30 μm)の光です。この帯域の光は、物質の実励起による損傷を避けながらの電子の高速なコヒーレント制御ができます。しかし、マルチテラヘルツ帯の広帯域な位相変調素子の不足などの理由から長らくマルチテラヘルツ光の偏光制御は未開拓領域であり、特に二色逆回り円偏光の生成はこれまで実現できていませんでした。

そこで、本研究では近赤外パルスを波形整形し、偏光と位相を十分に整えてからマルチテラヘルツ光へと波長変換するというアプローチを取りました。ここで重要になるのが、波長変換時に非線形光学結晶として利用したGaSeが面内に持つ三重回転対称性に由来する偏光選択則です。これによって、近赤外パルスの偏光と位相を制御することで、パルス内差周波発生過程において必要な周波数成分のみを発生させることが可能となります。このような手法を用いて生成したパルスは、電場の軌跡の成す向きや形状、回転対称性やヘリシティなどの様々なパラメーターをプログラ

マブルに操作可能で、自在な制御を実証しました。

さらに本研究では、マルチテラヘルツ電場の広帯域電気光学サンプリングにおいて課題となっていた電気光学結晶のフォノン応答を補正する新しい解析手法を独自に構築し、その有効性を実験的に実証しました。マルチテラヘルツ帯の電気光学サンプリングによく用いられるGaSeは、7 THz周辺にフォノンとの共鳴をもつため、検出感度の周波数特性に歪みを生じます。この影響を補正するために、低周波極限で非線形感受率におけるフォノンと電子の寄与の比を表すFaust-Henry係数をテラヘルツ分光によって評価することで、電気光学サンプリングにおける複素応答関数を決定し、これを用いた補正を行いました。本成果は、テラヘルツからマルチテラヘルツ帯にまたがる超広帯域電気光学サンプリングの実現に直結するものです。

最後に、本研究は神田夏輝元助教(現理化学研究所・ISSPリサーチフェロー)、室谷悠太助教、田中駿介元助教(現産総研)、吉信淳教授、松永隆佑准教授のご協力のもとに遂行いたしました。この場を借りて感謝を申し上げます。



「日本物理」

物質設計評価施設

岡本研究室 博士課程1年 湯池 宏介

この度、2025 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「六方晶 Zr_6MBi_2 の合成および超伝導」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。超伝導の中でも、特に d 電子が超伝導を担う場合、銅酸化物超伝導や鉄系超伝導に代表されるように、強相関に由来する特異な超伝導状態が発現する場合があります。

本研究では、 Zr_6MBi_2 (M は遷移金属)に着目しました。同じ結晶構造をもつ Sc_6MTe_2 は Sc と M の d 電子が超伝導を担い、7 種類の遷移金属 M ($M = \text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni}, \text{Ru}, \text{Rh}, \text{Os}, \text{Ir}$) の場合に超伝導を示すことが報告されています[1]。その後 Zr_6MTe_2 系[2,3]や Zr_6MSb_2 系[4]でも超伝導が見つかりましたが、当時合成報告が 100 種類以上ある A_6MX_2 系の中で、超伝導報告は 10 件しかありませんでした。そこで私は Sc サイトと Te サイトをそれぞれ Zr と Bi に置換した Zr_6MBi_2 (M は遷移金属)でも超伝導が発現するのではないかと考え、合成を試みました。

以下に本成果が得られるまでの経緯を記します。本研究は修士 1 年の時、指導教員の岡本先生から、「612 系っていう面白い物質群があって、超伝導開拓をしてみないか」と勧められたのがきっかけでした。当時全く分野の異なるプラズマの研究室から移動してきたばかりだった私は、そもそも超伝導とはどのような現象か、電子物性とは何か、など基礎的なところから勉強し直す必要があり、それらの勉強と並行しながら実験をおこないました。まずは先行研究通り Sc_6MTe_2 を合成し、問題なく超伝導が測定できることを確認するところからです。どれも初めて触れる装置になるので、合成に使うアーク炉や試料の整形に使うダイヤモンドカッター、測定に使う PPMS、MPMS の使用方法に慣れるまで 4 か月のはかかりました。

9 月に入り、とりあえず Zr_6MBi_2 ($M = \text{Ru}, \text{Rh}, \text{Ir}$) の合成、測定にとりかかります。アーク合成した試料の粉末 XRD データからは 612 のみのピークが得られて一安心し

ました。電気抵抗率を測ると、Ru 試料は 5 K、Ir 試料でも 5 K で超伝導が観測されました。Rh の場合は 10 K 越えを観測して盛り上がりました。もちろん磁化測定でも 100%を大きく上回る超伝導体積分率が得られ、バルク超伝導だと確信していました。

様子がおかしくなったのは比熱を測定した際です。Rh や Ir ではあきらかに比熱のとびが小さく、Ru では T_c 付近の温度で二段の大きなとびが観測されました。原因がわからず困惑しながらも、とりあえず SEM・EDX を見てみようということになりました。実際に試料を観察してみたところ、XRD では見えないアモルファスの Zr 固溶体などの不純物が確認できました。その後アモルファス Zr 固溶体が 5 K、微量不純物の Zr_2Rh が 11.3 K の超伝導であることがわかり、XRD、電気抵抗率、磁化率のデータが一気に信用できなくなりました。

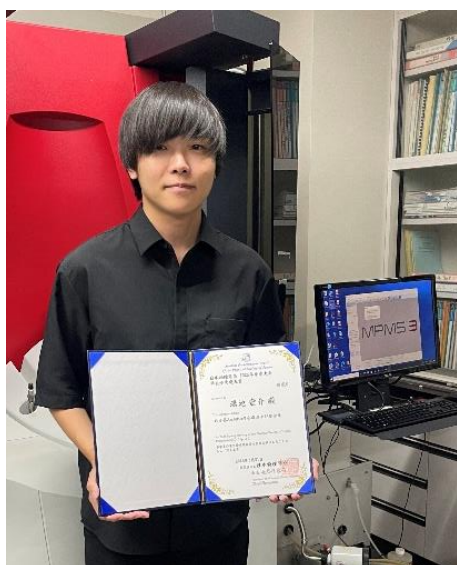
Ru の時に Zr 固溶体と同じくらいの T_c でバルクっぽい超伝導が見えていたので、ここからは Ru に絞ってさらに研究を進めました。Zr₆RuBi₂ の物性を明らかにするためには Zr 固溶体を取り除く必要がありますが、それは非常に困難な作業でした。SEM データをみると、Zr 固溶体は 612 相と共晶を形成していることがわかりました。つまり、アークでは Zr 固溶体を取り除くことができません。様々な原料条件、アーク条件、アニールの温度、時間条件を調整し続け、ようやく Zr 固溶体の除去に成功しました。その具体的な仕組みについては、面白いと思うのでぜひ論文を読んでみてください。最終的に、Zr₆RuBi₂ と Zr₆FeBi₂ がそれぞれ $T_c = 4.9, 1.4$ K のバルク超伝導であることを明らかにしました。[5]

本記事が、研究がうまくいかず挫折しかけている学生にとって少しでも参考になりましたら幸いです。Zr 固溶体がどうしても除去できず、全てを諦めかけていた私に岡本先生が「もう少しだけやってみよう」と激励してくださなければ、この成果は得られませんでした。惜しいところで研究を諦めかけている皆さま、「もう少しだけ」続けてみませんか。

本研究に際して、岡本佳比古教授、廣井善二教授、山浦淳一准教授、大熊隆太郎助教、小島慶太特任研究員、元物性研究所特任研究員の森山広大博士、電子顕微鏡室の浜根大輔技術専門職員など多くの方々のお力添えをいただきました。この場を借りて感謝申し上げます。

参考文献：

- [1] Y. Shinoda *et al.* J. Phys. Soc. Jpn. **92**, 103701 (2023).
- [2] H. Matsumoto *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **93**, 23705 (2024).
- [3] K. Yuchi *et al.* J. Phys. Soc. Jpn. **94**, 085001 (2025).
- [4] R. Matsumoto *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **93**, 065001 (2024).
- [5] K. Yuchi *et al.* J. Phys. Soc. Jpn. **94**, 013701 (2025).
(今回の受賞に関連する論文)



日本物理学会学生優秀発表賞(領域 4)を受賞して

物性理論研究部門 助教 佐野 涼太郎

このたび、日本物理学会 2025 年春季大会にて学生優秀発表賞(領域 4)を受賞いたしました。本賞は、学生による優れた研究発表を奨励することを目的として設けられたものであり、このような荣誉ある賞をいただけたことを大変光栄に思います。受賞対象となった発表は、「DNA 二重らせんに沿った可変領域ホッピング伝導によるカイラリティ誘起スピン選択性」です。以下に、研究の概要をご紹介します。

「カイラリティ」とは、右手と左手のように鏡に映しても重ね合わせることができない性質を指します。このカイラリティは、DNA をはじめとする生体分子がもつ基本的な構造であり、近年では物質の電氣的・磁氣的な性質とも深く関わるようになってきました。なかでも注目されているのが、カイラリティ誘起スピン選択性(CISS)と呼ばれる現象です。これは、有機分子のようにスピン軌道相互作用が弱い材料であっても、左右のカイラリティに応じて電子スピンの向きを選び分けることができるという驚くべき性質を示します[1]。磁石や重金属を用いずに、カイラリティのみでスピンを制御できることから、新しいスピントロニクス技術の基盤としても世界的に関心が高まっています[2]。しかしながら、「なぜカイラルな構造が高いスピン選択性を生み出すのか」という根本的なメカニズムは、いまだ十分に解明されていません。

DNA のように強く乱れた分子鎖では、電子はバンドを形成せず、局在した状態間を熱的に跳び移るホッピング伝導によって電流が流れます。特に低温領域では、電子はエネルギー的に有利な経路を選びながら空間的に離れたサイト間を遷移する、いわゆる可変領域ホッピング(VRH)が支配的になります[3,4]。この過程で重要となるのがフォノンの存在です。ホッピング遷移では電子の移動前後でエネルギーが一致しないため、フォノンが電子の跳び移りに必要なエネルギーを吸収あるいは放出することでその差分を補償します。したがって、ここではフォノンは単なる散乱源ではなく、可変領域ホッピング伝導そのものを成立させるのに本質的な役割を果たしています。

本研究では、CISS の新しい起源として、電子スピンとカイラルフォノンとの相互作用[5]に着目しました。フォ

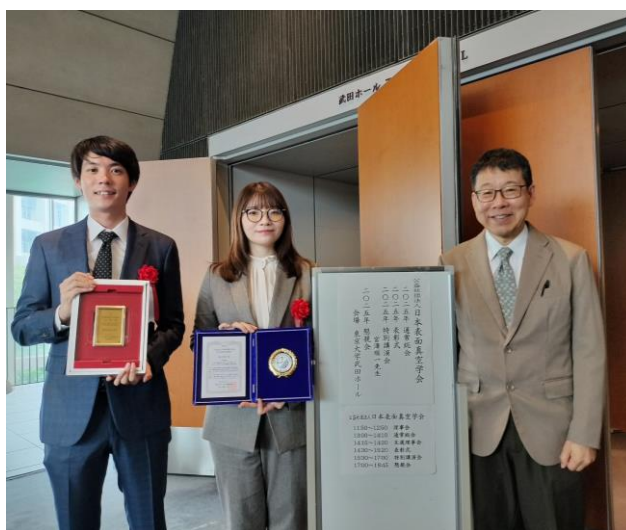
ノンは結晶や分子の振動の量子ですが、カイラルフォノンは回転を伴う特殊な振動モードであり、角運動量を有しています[6,7]。特に DNA のようならせん構造を持つ分子では、このカイラルフォノンが自然に現れます。そこで我々は、VRH 伝導過程に不可欠なフォノンが角運動量を持つ場合、その回転運動が電子スピンと結びつくことでホッピング遷移確率にスピンの非対称性が生じ、結果としてスピン選択性が誘起されると考えました[8]。この枠組みにより、CISS 現象を「フォノンの角運動量」という動的な観点から説明する手掛かりを得ました。さらに、DNA 二重らせんを強く乱れた 1 次元電子系としてモデル化した理論解析の結果、温度の低下に伴ってスピン選択性が増強されることを明らかにしました。これは、温度が下がるほどホッピング距離が伸び、フォノンを介したエネルギー補償が支配的になる VRH の特性と整合しています。加えて、近年実験的にも報告されている反平行スピン対[9]が DNA 両端に形成されることを数値的に確認し、対称性の議論を通じて、これがオンサーガーの相反定理を破りうることを示しました。これらの成果は、DNA 二重らせんに沿ったスピン伝導における乱れとカイラルフォノンの協奏を浮き彫りにし、CISS の理解を静的カイラリティから動的カイラリティへと拡張するものであると期待されます。

本研究の遂行および講演を行うにあたり、加藤岳生准教授をはじめ、お世話になった多くの方々に、この場を借りて心より感謝申し上げます。

- [1] B. Göhler *et al.*, *Science* **331**, 894 (2011).
- [2] B. P. Bloom *et al.*, *Chem. Rev.* **124**, 1950 (2024).
- [3] P. Tran *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **85**, 1564 (2000).
- [4] Z. G. Yu and Xueyu Song, *Phys. Rev. Lett.* **86**, 6018 (2001).
- [5] T. Funato *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **132**, 236201 (2024).
- [6] J. Kishine *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **125**, 245302 (2020).
- [7] H. Tsunetsugu and H. Kusunose, *J. Phys. Soc. Jpn.* **92**, 023601 (2023).
- [8] R. Sano and T. Kato, arXiv:2404.19000 (2024).
- [9] R. Nakajima *et al.*, *Nature* **613**, 479 (2023).

文 献

- 1) S. Tanaka, Y. Murotani, S.A. Sato, T. Fujimoto, T. Matsuda, N. Kanda, R. Matsunaga and J. Yoshinobu : Appl. Phys. Lett. 122, 251101 (2023).
- 2) R. Kameyama, S. Tanaka, Y. Murotani, T. Matsuda, N. Kanda, R. Matsunaga and J. Yoshinobu : Opt. Lett. 49, 3978 (2024).



吉信先生と吉信研研究員の亀山さんとともに受賞式会場での一枚。左が著者



日本物理

ナノスケール物性研究部門 助教 土師 将裕

この度、日本物理学会より、第19回(2025年)日本物理学会若手奨励賞(領域 9)を受賞いたしました。受賞対象となった研究は「走査トンネル顕微鏡による表面磁性の静的・動的特性の研究」です。本賞は、将来の物理学を担う優秀な若手研究者の研究を奨励するため、優れた研究を行なった若手研究者に贈られる賞であり、このような栄誉ある賞を受賞いたしましたことを誠に光栄に存じます。

本研究では、走査トンネル顕微鏡(STM)およびスピン偏極 STM を駆使し、表面における磁性の静的および動的特性を原子スケールで観察・解析する手法を高度に発展させ、表面磁性のミクロな理解に貢献いたしました。以下に対象研究の概要を紹介いたします。

1. カイラル磁性の実証的検出[1,2]

タングステン基板上に成長させた Mn 薄膜において、スピン偏極 STM を用い、磁気構造のらせん性とそのカイラリティを明瞭に可視化しました。外部磁場により探針磁化方向を制御するアプローチを取り入れ、カイラルな磁気秩序が形成されていることを実証しました。この成果は、磁気デバイスにおける駆動方向制御の観点からも極めて重要です。

2. 強磁性 STM 探針の新規製法と実用性の確立[3]

従来難しかったスピン偏極 **STM** 探針の作製について、電気化学エッチングを用いてバルク強磁性材料から直接探針を作る手法を取り入れました。これにより、実験者の熟練度に依存せず、安定かつ高再現性で測定が可能となり、今後の応用研究への道を大きく開きました。

3. 量子スピン制御への応用展開[4,5]

電子スピン共鳴 **STM** (ESR-STM) に高周波パルス技術と位相制御系を導入することで、表面吸着原子スピンの量子的な操作・読み出しに成功しました。特に、ラビ振動やスピンの回転位相制御を実現し、スピン量子ビットの普遍的制御に道を拓きました。この成果は、量子情報処理分野への **STM** 応用を切り開くものです。

以上のように、磁性のミクロ構造理解に新たな視点を提供し、スピントロニクスや量子情報科学などの発展に寄与する成果であることが評価されました。

これらの研究は、多くの共同研究者の方々の支えをいただきながら進めてきた研究です。長谷川幸雄教授をはじめとした長谷川研究室のメンバー、吉田靖雄准教授（金沢大学）、Soo-hyon Phark 博士および Andreas



Heinrich 教授をはじめとする Center for Quantum Nanoscience (韓国基礎科学研究所) の皆様を含む、すべての共同研究者に心より感謝申し上げます。

- [1] M. Haze, Y. Yoshida, and Y. Hasegawa, “Role of the substrate in the formation of chiral magnetic structures driven by the interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction” *Phys. Rev. B* **95**, 060415(R) (2017).
- [2] M. Haze, Y. Yoshida, and Y. Hasegawa, “Experimental verification of the rotational type of chiral spin spiral structures by spin-polarized scanning tunneling microscopy” *Sci. Rep.* **7**, 13269 (2017).
- [3] M. Haze, Y. Yoshida, H.-H. Yang, K. Asakawa, N. Watanabe, R. Yamamoto, and Y. Hasegawa, “Bulk ferromagnetic tips for spin-polarized scanning tunneling microscopy”, *Rev. Sci. Instrum.* **90**, 013704 (2019).
- [4] Y. Wang*, M. Haze* (*equally contributed), H. T. Bui, W.-h. Soe, H. Aubin, A. Ardavan, A. J. Heinrich and S.-h. Phark, “Universal quantum control of an atomic spin qubit on a surface”, *npj Quantum Inf.* **9**, 48 (2023).
- [5] Y. Wang, Y. Chen, H. T. Bui, C. Wolf, M. Haze, C. Mier, J. Kim, D.-J. Choi, C. P. Lutz, Y. Bae, S.-h. Phark and A. J. Heinrich, “An atomic-scale multi-qubit platform”, *Science* **382**, 87 (2023).

「LEES2025」 Best Poster Presentation Award を受賞して

極限コヒーレント光科学研究センター 松永研究室 助教 室谷 悠太

2025 年 6 月に韓国・釜山で行われた国際会議「Low-Energy Electrodynamics in Solids 2025 (LEES2025)」にて、Best Poster Presentation Award を受賞しました。授賞式は 2025 年 6 月 27 日に学会会場で行われ、その様子を収めた写真が会議のホームページ[1]に掲載されています。……が、私は受賞したことを知らず、飛行機の時間を優先してしまったため、写真に私の姿はありません。授賞式に出ていたら時間通りに空港に着けたか怪しいところではありますが、主催者の方々には申し訳なく思います。ともあれ、テラヘルツ分光の分野で昔から名前を聞いていた国際会議に初めて参加でき、そこで望外の賞を受賞できたことは大変嬉しく、光栄に思っています。

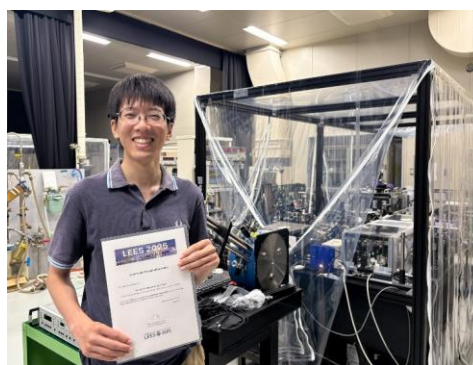
受賞対象となった発表のタイトルは「Electric field-induced Berry curvature as an origin of light-induced anomalous Hall effect (光誘起異常ホール効果の起源となる電場誘起ベリー曲率)」です。光誘起異常ホール効果は、円偏光を照射した物質にバイアス電場を印加すると、バイアス電場と直交する向きに電流が流れるという現象です。この現象は意外と複雑で、物質の個性と直結したさまざまなメカニズムが存在すると考えられています。ディラック半金属という物質群では、円偏光によって時間反転対称性が破れることで、フロッケ・ワイル半金属という新しいトポロジカル相が生じ、異常ホール効果を発現するというメカニズムが理論的に提唱されていました。しかし私たちの実験により、実際にはバイアス電場による空間反転対称性の破れの方が重要であり、それによって許容された光起電力効果がホール電流を生成する主因であるということが分かりました[2]。この実験的研究については過去の国際会議でポスター賞を受賞しています[3]。今回の発表は、この現象について理解を深め、理論的な記述に成功したという内容になります。

注目したのは、ベリー曲率と呼ばれる量の物理的意味です。ベリー曲率はブロッホ波動関数の曲がり具合を表す幾何学的な量であり、波数空間の各点においてエネルギーバンドごとに定義されています。しかし、これを自分以外のバンドからの寄与という形に分解してやると、なんとバンド間遷移の円二色性を表す量になることが分かりました。

つまりベリー曲率は波数空間における円二色性と密接な関係を持っています(個人的には、「曲率」より「円二色性」の方がずっと理解しやすい概念です)。この円二色性が空間反転対称性の破れと結びつけば、円偏光照射による光電流生成が許容されることになります。今回の研究では、ディラック半金属で見られた光誘起異常ホール効果を、バイアス電場によって生成されたベリー曲率つまり円二色性の帰結として表現することに成功しました。この研究成果は、本稿執筆時点(2025 年 9 月)では 2 本の arXiv に分割されてしまっていますが[4]、査読の状況から見て、いずれ 1 本の論文に統合される見込みです。理論研究にご協力いただいた大学院生の藤本知宏さん及び松永隆佑准教授に感謝申し上げます。

今回の国際会議では、松永研究室に所属する 3 人の大学院生と同道しましたが、彼らの中、またそれ以外の研究室メンバーにも、光誘起異常ホール効果の研究を進めている方々がいます。みな驚くほど深く掘り進め、実験・理論の両面から新しい物理を次々と見つけ出しています。彼らの研究を通じて見えてくる固体物性の地平にもぜひご期待ください。

- [1] シンポジウム公式ページ <https://lees2025.org/>
- [2] Y. Murotani *et al.*, Phys. Rev. Lett. **131**, 096901 (2023).
- [3] 室谷悠太、物性研だより第 63 巻、19 頁 (2023).
- [4] Y. Murotani *et al.*, arXiv:2505.06078; *ibid.*, arXiv:2505.07189.



帰国後、実験室にて

第38回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム(JSR2025)における学生発表賞の受賞について

極限コヒーレント光科学研究センター

松田巖研究室 博士後期課程2年 山口 寛月

1月10日(金)~12日(日)につくば国際会議場(エポカルつくば)で開催された、『第38回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム(JSR2025)』にて口頭発表を行い、同発表に対して学生発表賞を受賞した。受賞対象となった発表は「軟X線吸収分光による大面積HBシートの電子状態評価」である。なお、受賞対象となった研究内容は以下の共同研究者と行い、連名で発表した。ここに厚く御礼申し上げる。新部正人博士、Zhang Xiaoni 博士、鷺見寿秀博士、宮本将成氏、辻川タ貴助教、Yin Heming 氏、Tang Jingmin 助教、堀尾眞史助教、安藤康伸准教授、山浦淳一准教授、中村永研氏、田中清尚准教授、近藤剛弘教授、松田巖教授。以下に受賞対象となった研究内容を紹介する。

ホウ化水素(HB)シートはホウ素と水素から成る原子層物質であり、ホウ素が六員環状に同一平面内に配置し、その上下に水素が結合することで安定な構造として存在する[1, 2]。HBシートは紫外線照射による水素放出特性[3]やC-C結合形成触媒[4]としての機能性が報告されている他に、単層で半金属的なバンド構造を示すことが報告されている[5]。これはつまりグラフェンのように電子輸送材料としての活用が可能であることが期待される。よく知られた原子層物質であるグラフェンや遷移金属ダイカルコゲナイドといった物質はバルク結晶からの剥離や超高真空環境下での基板上への合成といった方法によって二次元状の試料を得る。一方、HBシートは溶液中での化学反応によって金属ホウ化物粉末を母物質として得ることができる[2]。本手法によって得られるHBシートは、ミクロにはシート状をしているものの、マクロには粉末状をしていることから、触媒をはじめとする化学的応用には向いている一方で、物理的な興味である二次元系の電子輸送応用としては適した形状として得られない問題があった。こうした点から、本研究では電子輸送物質として活用できるように、HBシートをマクロスケールでシート状として得ることを目的とした。詳細な内容は既に論文として発表している[6]ため、ここでは大面積HBシートの合成と軟X線分光に関連する部分について簡潔に記す。

先行研究同様の合成方法でHBシート粉末を得たのちに、少量のアセトニトリル溶媒を加えることで、粘性の高いHBシート含有溶液が得られることを発見した。溶液の粘度は溶媒を加える量によって調整することができ、粘度に応

じて試料瓶壁面やSi基板上、さらには金網の上に塗り広げることが可能である。この状態で加熱処理を行い、溶媒を揮発させることによって様々な基板上にHBシートを得た。加えて、試料瓶壁面に得られたシートは剥がすことが可能であり、自立シートとして得ることができた。

このようにして得られた試料のうち、Ni金網上に用意したHBシート試料について、放射光施設UVSORのビームラインBL5Bで軟X線吸収分光を行った。表面敏感な収量法である全電子収量法とバルク敏感な収量法である透過法の二通りの手法でスペクトルを得た。軟X線領域で固体試料を測定する場合、よく用いられるバルク敏感な収量法は蛍光収量法である。これは軟X線領域ではX線の透過性が低いため、この波長領域の光を試料中で透過させるには非常に薄い試料を用意する必要があるためである。本研究で得られたNi金網上のHBシート試料では、ホウ素のK吸収端領域において透過法でスペクトルを得ることができた。

実験によって得られたスペクトルと理論計算によって得たスペクトルを比較したところ、フェルミエネルギー近傍の電子は p_z (HBシートの二次元構造に対して面直)方向に分布していることが分かった。これはHBシートの電子ポケットバンドの波動関数が p_z 方向に広がっていることと一致する結果であった。この波動関数の分布は三中心二電子結合を有する最も簡単な分子であるジボラン(B_2H_4)の最低空軌道(LUMO)が、結晶の並進対称性によって面内方向に広がったと解釈することができる。以上のことから、HBシートにおけるフェルミエネルギー直上の電子分布は π^* 的であり、面直方向に広がりを持つ。これはフェルミエネルギー直上の伝導帯においてグラフェンのような電子分布を有することを意味するため、電子輸送物質として活用できることを支持する。

参考文献

- [1] T. A. Abtew *et al.*, Phys. Rev. B **83**, 094108 (2011).
- [2] H. Nishino *et al.*, J. Am. Chem. Soc. **139**, 13761 (2017).
- [3] R. Kawamura *et al.*, Nat. Commun. **10**, 4880 (2019).
- [4] T. Goto *et al.*, Commun. Chem. **5**, 118 (2022).
- [5] I. Tateishi *et al.*, Phys. Rev. Mater. **3**, 024004 (2019).
- [6] K. Yamaguchi *et al.*, Phys. Rev. Mater. **8**, 074005 (2024).

物性研に

中性子科学研究施設 古府 麻衣子

2025 年 1 月 1 日付で中性子科学研究施設に着任いたしました、古府麻衣子(こふまいこ)と申します。私が物性研に所属するのは今回で 3 回目になります。物性研の皆様にはこれまで大変お世話になってきましたが、改めて自己紹介をさせていただきたいと思います。

私は、東北大学理学部物理学科の4年次に中性子・X線散乱研究室(遠藤康雄研究室)に配属され、研究活動をスタートしました。当時遠藤研の助教授だった廣田和馬先生と遠藤研卒業生である多元物質科学研究所野田研究室の木村宏之先生の指導のもと、銅酸化物高温超伝導体の中性子散乱研究を行いました。実験には、研究用原子炉 JRR-3 に設置された三軸分光器を使っていました。博士課程1年次のときに廣田先生が物性研に異動され、私も受託学生として約2年間、物性研で過ごしました。遠藤研ではミニサッカーゲームが研究室内でできるほど学生がいて、とてもにぎやかでしたが、物性研中性子研究施設の学生は少なかったのも、友達ほしさにいろいろな研究室に入り浸っていました。先生方には迷惑な存在だったかもしれませんが、研究スタイル(日々の過ごし方)の多様性を実感したり、同級生達の頑張る姿勢に刺激を受けたりと、貴重な時間だったと思います。

卒業後は、高エネルギー加速器研究機構(KEK)の博士研究員となりました。当時、KEK にはパルス中性子施設(KENS)がありましたが、J-PARC 建設を目前に控え、ビーム運転を停止することになっていました。ビーム運転最後の日の「終わりの始まり」のような独特の雰囲気は今でも記憶に残っています。J-PARC が現実のものとなった今でも、ときどきその光景が思い浮かびます。その後、米国バージニア大学の Senghun Lee 教授研究室のポスドクになり、高温超伝導体や量子スピンドायマーの研究を行いました。ほぼ毎月、米国国立標準技術研究所(NIST)の中性子散乱施設に行って、数えきれないくらい実験をしました。英語があまり得意でなかったのも、いろいろ苦労もありましたが、若さと勢いで乗り切ったような気がします。

KEK とバージニア大での 4 年間のポスドクを経て、物性研中性子科学研究所山室研究室の助教となり、それまで研究してきた強相関電子系や量子スピン系の研究とは大

大きく異なる分野に足を踏み入れることになりました。大きな配置エントロピー効果によって液体状態が安定化するイオン性物質のイオン液体、金属中を水素が液体のように拡散するパラジウム水素化物、1 分子がナノ磁石のように振る舞う単分子磁石などの研究を行いました。この世界には多種多様な物質が存在しているのだと痛感しました。これらの物質を研究するにあたり、それまで使用したことのない中性子散乱装置や手法を経験し、中性子散乱の専門家として幅が広がったと思います。一方、一見全く違う物質でも、随所に共通点があることを実感したのもこの期間でした。例えば、水素の振動準位と磁性イオンの結晶場準位は同様に扱えますし、マクロに単一の相であってもミクロでは不均一にあるような状態は液体・ソフトマターに限らず、電子系にもあります。物理現象や法則に普遍性があるのは当然と言えばそれまでですが、頭の良くない私にとっては、いろいろな系を研究することによって得られた実感でした。

山室研で7年半過ごした後、原子力機構 J-PARC センターの研究員になりました。物質・生命科学実験施設の AMATERAS という装置のビームライン担当者をしていました。AMATERAS は高性能の汎用ダイナミクス装置で、広いダイナミックレンジで物質の素励起や拡散・緩和現象を調べることができます。学生の頃には想像できなかったようなクオリティのデータが取れることに感動したことも度々ありました。KEK のポストドク時代に感じた夜明けの予感が、このように結実したのだと、感慨深い気持ちになりました。建設に関わった方々には敬意しかありません。J-PARC での約8年間、多くのことを経験しましたが、最も有意義だったのは、装置への理解が深まったことだと思います。

このように、私は中性子施設の拠点を転々としてきました。最初から目指していたわけではありませんが、中性子を用いた物性研究をずっとしています。多岐にわたる物質系を研究してきたので、「何が専門なのか？」と聞かれることもあります。「中性子散乱です」と答えています。中性子で測って面白そうなものは何でも測るというスタンスで研究しています。これまで中性子で測定するのは難し

いて考えられてきた系、例えば表面状態などにもチャレンジして、いつか、誰も取ったことがないデータを見てみたいです。物性研の皆さんとのコラボも積極的に進めたいと思っていますので、どうぞよろしくお願いいたします。

私が研究を続けていられるのは、中性子コミュニティの
見えないサポートがあったからだと思っています。これか
らは、コミュニティに育ててもらった恩を何らかの形で返
したいと考えています。現在、中性子施設の新設、拡張、
アップグレードなどが計画されており、この 10 年間で大
きな動きが予想されます。中性子科学の未来が良い方向に
進むために微力ながら頑張ります。

今年は着任直後ということもあり、東海村にすることが多いですが、来年度からは柏での存在確率も上がると思います。見つけたら、気軽に話しかけていただけると嬉しいです。もともと大阪出身で、お好み焼き屋でバイトしていたこともあり、お好み焼きやたこ焼きを作るのが得意なので、機会があれば振る舞いたいと思っています。

物性研を退任して

山室 修

私が物性研の附属中性子科学研究施設に採用されたのは2004年の2月、その後21年の月日が過ぎ去り、2025年3月に無事定年退職となりました。だいぶん遅くなりましたが、せっかくこのような記事を書く機会を頂いたので、21年間を振り返るとともに、中性子科学研究施設と物性研への期待や、自分自身の現在について少し書きたいと思います。

私は物性研に来る前は大阪大学に勤めていたのですが、大阪生まれ大阪育ち大阪大好き人間だったので、まさか関東に移り住むとは考えたこともありませんでした。それに、自分の研究分野(ガラスとか水とか)は日本の物性物理学ではマイナーな分野であり(世界ではそうではありません)、中央?で王道?を行く人達とは一線を画したアウトロー的スタイルをよしとしていたので、東大物性研はあり得ない選択でした。しかし、阪大を出なければならぬ状況と、中性子散乱と熱測定を同時にできる環境を考え、物性研に応募することを決断しました。

しかし、実際に来てみると、中性子のメンバー以外はスピングラスを研究されていた高山一先生を少し知っていたぐらいで、知らない所員の方々ばかりで、かなりの場違い感、疎外感を感じました。物性研での最初の1年間の仕事は、私が来る前から止まっていた中性子非弾性散乱装置AGNES(当時は鉄くず扱いでした)の再立上げでした。大阪からたくさん持ってきた熱量計などの装置は柏に置きっぱなしにし、東海村で朝から晩まで技術職員や多数の関連業者と油・埃まみれになって働きました。結局、装置の50%以上を作り直すことになったのですが、その甲斐あってS/N比がかつての30倍以上改善した装置が立ち上がりました。このたいへんな時期に一緒に仕事をしてくれた物性研ポストドクの稲村泰弘氏(その後J-PARCへ転出)、鈴木浩一氏(AISTへ転出)、秘書の吉岡由紀さんには心から感謝しています。その後も5年間は助教が採用できまませんでしたので、多くの時間は東海村でのユーザー対応に追われていました。とは言え、理学系研究科物理学専攻から学生も少しずつ来るようになりましたし、物性研ポストドク以外にもCRESTなどの研究費でポストドクを雇用できたので、研究室が少しずつ機能するようになってきました。こ

の頃のポストドクは、守屋映祐氏(東大工へ転出)、山田武氏(CROSSへ転出)、辰巳創一氏(東工大へ転出)です。物性研在職中に、守屋氏はイオン液体、山田氏はMOF型プロトン伝導体、辰巳氏は蒸着法で作成した単純分子ガラスを研究しました。

研究室が本格的に動き出したのは、2009年に助教の古府麻衣子氏が米国バージニア大学から着任した後です。古府氏はもともと超伝導や量子スピン系の研究者でしたが、物理学全般(とくに中性子散乱)に幅広い知識があり、試料作成なども得意としていましたので、山室研の研究にすぐに馴染ってくれました。彼女は、イオン液体や金属水素化物において目覚ましい成果をあげ、多くの論文を発表しました。また、この頃には、名越篤史氏(東工大へ転出)、中田克氏(東レリサーチへ転出)もポストドクとして研究室に加わりました。名越氏はイオン液体、中田氏は水・アルコール系の研究に携わりました。この当時の秘書さんは後藤明子さんで、研究室事務以外に、JRR-3の共同利用旅費の仕事でも活躍してくれました。

順調だった山室研ですが、2011年3月に山室研だけでなく世の中を変える大事件が起きました。それは東日本大震災です。この後、JRR-3は10年間停止することになるのですが、あと1、2年で動くとか、永久停止するとかの情報(うわさ)が飛び交っていたため、どういう長期の研究プランを立てるべきなのか悩みました。それに、ちょうどこの頃、国内外の大学からの誘いも複数あったので、本当に人生の分かれ道だったと思います。結局は、国からたくさん頂いた震災復興費によりAGNESの高度化も進めながら(中性子強度が8倍になりました)、J-PARCや海外施設の装置を積極的に使って中性子の研究を続けるという選択をしました。これが正しかったかどうかは今でもよく分かりません。

この頃は研究費がそれなりにあったことに加え、当時の施設長の柴山先生がJRR-3の共同利用旅費を使って海外実験支援システムを作られたので、年に4-5回ぐらいの頻度で海外実験(米NIST、英ISIS、独MLZなどへ)に行きました。おかげで学生やスタッフと一緒に十分な中性子散乱データを取得できましたし、海外の研究者や施設とも強

いコネクションができました。この時期に秋葉宙氏(後に助教に昇格)、根本文也氏(KEKに転出)がポスドクに着任し、金属ナノ粒子(特に水素吸着系)、液晶性イオン液体などに関して多くの成果を上げました。また、長年研究室を牽引してきた古府助教が J-PARC に転出しました。その後、彼女は J-PARC で主任研究員まで昇格し、現在は教授として物性研に戻ってきています。

次の私にとっての大きな出来事は、JRR-3 の運転再開と施設長になったことです。運転再開がほぼ確実になった 2018 年ごろから始めたのは、JRR-3 大学共同利用のルール作りです。福島事故などもあり、原子力に対する世の中の目は非常に厳しくなっていましたし、安全に対する考え方も、震災前とは全く変わり、異常に厳しくなっていました。そして何よりも、JRR-3 を運営する日本原子力研究開発機構(JAEA)で、大学共同利用を行っていた頃を知るスタッフがほとんど居なくなっていました。安全の話をするためには、まず JAEA 保安管理部が相手になるのですが、当時の彼らの安全管理基準は、工事と作業に関することばかりで、「実験」という単語は膨大なページ数のルール集に含まれていませんでした。これが JRR-3 共同利用再開のスタート地点でした。これに対して、我々にとって一番身近な部署である利用施設管理課と何 10 回も打合せを重ね、約 3 年間で共同利用実験が可能な安全管理基準ができました。この安全管理基準では、何でも厳しく制限するのではなく、様々な実験操作のリスク評価に応じた安全管理のルールになっています。まだ不十分なこともあります。一般の研究者が普通に実験できるようになっていると思います。

震災前には J-PARC はまだ動き出したばかりでしたが、現在は J-PARC が日本の中性子社会の中心です。昔の JRR-3 のパワーユーザーの多くは、10 年間の停止期間中に、J-PARC に吸収(?)されたり、中性子散乱研究自体から離れてしまったりしていました。そのユーザーを JRR-3 に呼び戻すことにも注力しました。東北大などの大口には直接説明に行きましたし、何度も研究会・説明会などを開きました。また、10 年間で中性子社会の情勢の変化に追いつくため、KEK 放射光(PF)とのマルチビーム課題、博士課程の大学院生が研究代表者(PI)として応募できる学生課題、外国人が PI として応募できる国際課題、企業ユーザーが PI として応募できる産業利用課題を順に立ち上げました。これらは現在のユーザ数と研究分野の拡大に役立っていると思います。

自分自身の研究としては、ガラス・過冷却液体の研究、

特に低温蒸着法を用いた単純な分子性物質のガラス転移の研究を長年行ってきました。ガラス転移とは、物質のミクロな運動がガラス転移温度(T_g)で凍結する現象のことで、不規則系物理学における最大の未解明問題とされています。大阪時代は主に、多くのガラス形成物質の熱容量を断熱型熱量計で測定し、 T_g 以上の過剰熱容量から構造エントロピーや協同的再配置領域(CRR)(これがガラス転移を支配すると言われている)を求める仕事をしていました。物性研に来てからは、中性子と放射光 X 線の回折実験から、二体分布関数(PDF)や逆モンテカルロ(RMC)モデリングを通して、液体・ガラスの短・中距離構造の解析を積極的に行いました。最近になってようやく、熱測定から得られた CRR につながりそうな分子配向相関が見えてきています。また、ガラス転移と並んで重要なテーマであるボゾンピーク(ガラス特有の低エネルギー励起)についても、中性子非弾性散乱と低温熱容量から得られる振動状態密度を通して、その起源に関わる重要な結果が得られています。

日本のガラス分野のまとめ役の仕事もかなりやってきました。一つはガラス関連の短期研究会を、20 年以上にわたって 2-3 年に 1 回(これまでに合計 8 回)行ってきたことです。無料の広い会場(6 階大講義室)と旅費サポートがある短期研究会のシステムは本当にありがたかったです。この研究会は、国内最大のガラス関連の研究集会として、毎回様々な分野(ガラス転移理論から生体や食品まで)から 150 人程度の研究者を集め、最先端の議論と分野間交流を支援してきました。この研究会の集大成として、2023 年には、物性研の国際ワークショップとして、9IDMRCS (9th International Discussion Meeting on Relaxations in Complex Systems)を幕張メッセで開催しました。これは 4 年に 1 度開催される世界最大のガラス分野の国際会議で、ヨーロッパ以外で開催されるのは日本が初めてでした。この Chair の仕事(コロナで 2 度延期したため、結局 5 年間ぐらいうちやっていた)を施設長と同時にこなすのは、本当に大変だったのですが、山室研のスーパー秘書の本田裕子さんを中心に、短期研究会の主要メンバーからなる国内組織委員の尽力により、成功裏に終わりました(参加者：外国人 357 名、日本人 264 名、発表数：611 件、企業ブース 22 件)。運営面および経済面で大きな支援を頂いた幕張メッセ、千葉国際コンベンションビュロー、千葉県、千葉市、観光庁、さらに多くの協賛学協会と協賛企業の皆様にも心から感謝しています。

考えてみると、最後の 5 年間ぐらいは施設長業務、共同利用サポート、上記会議の準備に要する時間が全体の 9 割

ぐらいで、自分自身の研究はあまりできず、論文を書く時間もほとんどありませんでした。学生は最終年度まで4人残ってくれましたが、彼らにもかなり迷惑をかけたことを申し訳なく思います。日本ではどうしても年寄りが最後にマネージメントの仕事をするこゝになりがちですが、欧米のようにマネージメント専門の人を育成するとか、少なくともマンパワーを増やし、できる限りマネージメント仕事を分散して、研究者が定年退職まで本来の研究・教育に従事できるようにすべきだと思います。

最後に、これからの中性子科学研究施設と物性研に望むことを述べたいと思います。現在の施設は、中性子散乱装置の維持管理や共同利用実験のサポートだけでなく、課題採択を含めた全国共同利用に関わる業務から利用者宿舍の運営まで全てをやっています。そのため、スタッフ(特に助教やポスドク)が十分な研究時間を確保することができず、研究成果の創出が遅れがちで、ひいてはキャリアアップが遅れることにつながっています。これを変えるためには、現在は複数の施設(JRR-3(物性研)、JRR-3(JAEA)、J-PARC(KEK, JAEA, CROSS)など)が独自で行っている共同利用業務を一つにまとめ、日本全体で効率が良いシステムを構築することが必要だと思います。それぞれの組織の役割や性格を考えると容易ではないでしょうが、これが実現すれば、課題申請が複雑すぎて良く分からない(だから申請する気がしない)というユーザーの苦情も解消されますし、目的に応じて適切な装置での実験ができますし、最終的には日本の中性子科学全体の発展につながると思います。物性研については、批判を承知で書きますが、今の制約が多く、かつ不明瞭な人事のシステムを変えていくべきだと思います。助教が所員、学生が助教に昇格できないルールを撤廃し、誰でもが普通に応募できる公募にすべきだと思います。特に中性子のように専門性が高く、かつ日本で中性子の研究室が激減している現状では、今のままでは、物性研の研究レベルを下げるだけでなく、優秀な若手が行き場をなくしてしまいます。これはコミュニティー全体に対しても大きなマイナスです。

私は現在、理化学研究所の一研究員として勤務しています。マネージメント系の仕事のオファーもあったのですが、それらは全てお断りし、最後の数年間は研究と論文執筆に集中する道を選択しました。理研の中の開拓研究所・小林固体化学研究室というところに所属しており、研究室メンバーとイオン伝導体などの新しい仕事をするとともに、これまでの専門である中性子散乱、熱測定、ガラスの研究も続けています。相変わらず忙しい日々ですが、非常に楽し

くやっています。物性研にも実験のため頻繁に現れていまずので、姿を見かけても、「退職した人がまだ…」とは思わず、ぜひ気軽に声をかけてやって下さい。

ISSP ワークショップ

「固体物質・材料研究の現在と未来」開催報告

物性研究所 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開催

日 時：2025 年 6 月 24 日 10 時 ～ 6 月 25 日 16 時

提案者：石渡 晋太郎（大阪大学）、岡本 佳比古（東京大学）、陰山 洋（京都大学）、堀毛 悟史（京都大学）、
山浦 淳一（東京大学）

固体物質や固体材料の研究は、化学、材料科学、物性物理学、地球科学などの幅広い分野にまたがり、日々新たな発見が生まれています。しかし、その全体像を把握するのは困難です。そこで、各分野において固体物質や固体材料に関する研究を進める研究者が一堂に会し、意見交換や情報共有を行う場を提供する ISSP ワークショップを開催しました。本ワークショップは、放射光や中性子などの大型施設や産業応用との接点をつくり、固体物質・材料研究の将来の方向性を探る機会になると同時に、物性研構成員と分野横断的な研究者間とのネットワーク形成を促進することも目的としました。ワークショップでは、電子物性、量子ビーム、分子性物質、高压科学、計算科学、マテリアルズ・インフォマティクス、触媒など幅広い分野で活躍する第一線の研究者に講演いただき、参加者が分野横断的な視点から将来を展望できる機会となりました。

今回のワークショップは、第 7 回固体化学フォーラム研究会としても位置付けられました。固体化学フォーラム (SSCF, Solid State Chemistry Forum) は 2015 年に設立され、固体物質・材料研究の推進およびコミュニティの形成を目的として活動してきました。物性研究所のメンバーは、その活動において重要な役割を果たしており、今回は第 1 回研究会以来、約 10 年ぶりの物性研究所での開催となりました。

研究会には 110 名を超える多くの方の参加登録がありました。大学の前期の授業期間中ということもあり、全日程の参加が難しい方もいましたが、会場では活発な討論が交わされました。研究会の初日は、提案者の一人である岡本による趣旨説明と廣井所長の挨拶があった後、東北大学宮坂等先生による低次元分子磁性体に関する招待講演から始まりました。その後、金属錯体、分子性物質、低次元材料、金属酸化物、イオン結晶など、多様な物質を対象とし

た電子物性、形状制御、超伝導特性、イオン伝導性、化学反応や触媒特性などの研究成果が紹介されました。夕方には大講義室の前のスペースで 63 件のポスター講演が行われ、活発な討論が行われました。質の高い研究を基に興味深い成果を報告するポスターが多かったこと、また、ほとんど全ての参加者にポスター講演に参加いただいたことから、約 2 時間設定されたポスター講演の時間内に全てのポスター講演に参加し、講演者と議論するのは難しい状況でした。しかし、ポスターセッションの活発さは本ワークショップにおいて評判が良かった点の一つであり、今後の研究会においても同様に、活発な交流を促す工夫が必要と感じられました。

二日目は、九州大学 多田朋史先生の計算機シミュレーションを用いた無機固体材料探索に関する招待講演から始まり、マテリアルズ・インフォマティクス、原子層物質、超伝導、放射光、中性子散乱、フォノン物性、結晶構造予測などの講演が続きました。最後に優秀ポスター賞が授与され、物性研究所の元所員である上田寛先生のご挨拶をもってワークショップは閉会しました。

今回の ISSP ワークショップでは、固体物質や固体材料研究の最前線に触れるとともに、これらの研究に関わる分野に多数の若手の大学院生や研究者が存在し、若手を中心に活発な研究が行われていることを認識できました。将来有望な若手の成長において物性研究所が果たしうる役割の大きさを改めて感じ、このような研究会を継続的に開催する意義を再確認する機会となりました。このような有意義な ISSP ワークショップを無事に開催できたことを、全ての参加者と、研究会の運営に携わった全ての方に感謝申し上げます。

6月24日(火)

10:05-10:10 所長挨拶（物性研所長 廣井 善二）

10:10-10:40 宮坂 等 (東北大学)

「低次元分子磁性体における物質輸送と磁気制御」

「化学処理による遷移金属ダイカルコゲナイドのリコンフィギュレーション」

「ジャイロイド構造に着目した物性開拓」

「時間分解電子顕微鏡法で迫るクラスター・触媒における構造揺らぎ」

13:15-13:45 下山 淳一 (青山学院大学)

「固体化学的視点から見た超伝導材料の進化」

「固体と水素の電子的及び酸塩基相互作用」

「結晶性多孔体を用いた多価イオン伝導体の開発」

「イルメナイト型バナジウム酸化物の構造物性研究」

15:35-16:05 鍵 裕之 (東京大学)

「高温・高圧下での鉄の水素化反応: 地球核の化学組成解明に向けて」

「有機一次元モット絶縁体における圧力誘起スピンパイエルス電荷
秩序相転移」

「酸素欠損酸化物と水素ガスとの反応による酸水素化物の合成」

17:10-19:00 ポスター講演 (奇数コアタイム 17:10-18:00、偶数コアタイム 18:05-18:55)

Session 4 座長：石渡 晋太郎

「無機固体材料の配置探索問題における最近の発展について」

「自律材料探索」

「生成 AI を利用した材料研究の可能性: 分子設計とアイデア生成」

11:15-11:45 松田 巖 (東京大学)

「先端 X 線分光で探る新たな原子層物質」

「トポロジカル/2.5次元量子物質の開拓」

「固体中の電子が示す相転移」

14:00-14:30 古府 麻衣子 (東京大学)

「中性子散乱で観るスピングラスの磁気励起」

「構造量子臨界点で見られる周期/非周期構造の共存と物性」

「放射光 X 線回折で可視化する結晶性固体中の価電子軌道」

「数理結晶化学」

15:50-16:00 おわりに

ポスター賞受賞者 (敬称略)

● 最優秀賞

名古屋大学 久保 泰星 3D- Δ PDF 解析を用いた RuX (X = P, As)系に生じる短距離秩序の観測

● 優秀賞

東京科学大学 岡野 朋博 人工的な有機・無機ハイブリッド型キラル半導体の開発とキラル系における光電流物性の開拓

東京農工大学 吉良 春希 ヘテロ d 電子系ハーフメタル NiIrO_3 の合成と物性評価

東京大学 小島 慶太 NbSeI の軌道無秩序非磁性絶縁体状態

- 物質設計評価施設賞

東京科学大学 Lee Koomok $\text{BiFe}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{O}_3$ ナノドットにおける電場印加によるトポロジカルおよび磁気ドメイン構造の変化

東京大学 山田 詩音 新規欠損スピネル化合物 AlNb_4Se_8 の構造と物性

大阪大学 小林 康仁 ルチル型層状ホモロガス系列 $\text{Na}(\text{PtO}_2)_{2n+1}$ における電子状態の探索

芝浦工業大学 西岡 杏 LnInO_3 (Ln:La-Lu)の常圧及び高压合成とその結晶構造

名大院工 大橋 翼 高強度 X 線照射による CuIr_2S_4 の逐次相転移現象

集合写真



第 70 回

京都大学基礎物理学研究所

修士2年 高間 俊至

1. はじめに

物性若手夏の学校(夏学)は、物性物理学のあらゆる分野の研究に携わる大学院生や若手研究者が集う、日本最大規模のサマースクールである。これまでの夏学は、著名な講師陣による基礎から最先端の内容までをカバーした講義および集中ゼミという学習の場、学会形式の口頭発表およびポスターセッションという研究発表の場、分野や学年、また参加者・講師の別なしに自由に議論する交流の場という三つの場を提供することにより、若手研究者の養成を行うことを目的として開催されてきた。記念すべき第 70 回となる今年度の夏学では、新たに「企業ブース・企業講演」を設け、物性物理学と社会の連関を考察する舞台を整えた。

第70回物性若手夏の学校は2025年7月29日から8月2日までの5日間、滋賀県高島市の白浜荘にて対面で開催され、海外大所属者を含む学生245名、講師の先生方として18名の総勢263名が参加した。会期中には台風の急接近という試練もあったが、それすら「非自明」というキャッチコピーにふさわしい記憶を残した。

2. 各企画の紹介

第 70 回物性若手夏の学校は、最終的に以下のプログラムの通りに実施された。7 月 30 日夜から 7 月 31 日にかけて台風が急接近したため、中部地方以東からの参加者が帰宅困難者となるおそれが生じた。そこで、7 月 31 日夕方の途中帰宅に伴う機会損失を最小限に抑えるべく、一部プログラムの順序変更を行った。変更前のプログラムは <https://cmpss.jp/program.php> にて公開している。結果的に台風の進路は外れ、8 月 2 日の帰宅への影響はなかったものの、7 月 31 日に 13 名が途中帰宅となった。以下では、各企画の開催概要を報告する。

表 1. 開催プログラム

	7 月 29 日	7 月 30 日	7 月 31 日	8 月 1 日	8 月 2 日
午前		講義 (9:15-11:45)	ポスターセッション (9:15-11:30)	講義 (9:15-11:45)	帰宅
午後 1	開校式・ ハラスメント講習 (15:00-16:00)	集中ゼミ 1 (13:00-16:00)	集中ゼミ 2 (13:00-16:00)	企業講演・企業ブース (13:00-16:00)	
午後 2	グループセミナー (16:45-18:45)	分科会 (16:15-19:15)	ポスターセッション・ 企業ブース (17:00-19:15)	講義 (16:30-19:00)	
夜	懇親会 (20:30-22:30)	懇親会 (20:30-22:30)	懇親会・座談会 (20:30-22:30)	懇親会 (20:30-22:30)	

2.1. 講義・集中ゼミ

今回の開催では、6名の講師による講義と、12名の講師による集中ゼミが行われた(図 1-(a), (b).)。招待講師の氏名と講義タイトルに関しては、次ページの表 2 を参照されたい。

講義は 2.5 時間 × 3 コマ(計 7.5 時間) で構成され、同時並行で 6 つの教育的講演が実施された。参加者はそのうち 1 つを選択して受講し、物性物理学に関する基礎から応用に至る幅広い内容を学んだ。

集中ゼミは、講師 1 人あたり 3 時間の講演を通して最先端の研究動向を幅広く理解することを目的として実施された。プログラムは 2 日間にわたり、各日 6 分野に分かれて開講され、参加者は各日 1 分野を選択して聴講した。これにより、専門領域を深めつつ隣接分野への理解を広げる機会が提供された。

台風の影響により講義のスケジュール変更を余儀なくされたが、講義・集中ゼミについては当初計画されていた全てのコマ数を過不足なく実施することができた。7 月 31 日に帰宅した参加者の機会を補うため、講義をオンライン配信し、録画も共有した。

表 2. 講義・集中ゼミの講師氏名(敬称略) と講義タイトル

講義	タイトル
中島 秀太 (大阪大)	中性原子量子コンピュータの基礎 —量子エレクトロニクス概論—
古崎 昭 (理化学研究所)	トポロジカル絶縁体・超伝導体の分類理論
大原 繁男 (名工大)	結晶の対称性と物性
畠山 哲央 (東京科学大)	理論生物物理学入門
中川 大也 (東京大)	開放量子系の非平衡物性物理
田島 裕康 (九州大)	非対称性のリソース理論の最近の発展：基礎と応用
集中ゼミ	タイトル
笠 真生 (プリンストン大)	量子多体系におけるエンタングルメント
松井 千尋 (東京大)	量子系の対称性と非熱化現象
松永 悟明 (北海道大)	低次元導体の電子物性
足立 景亮 (理化学研究所)	タンパク質相分離の凝縮系物理
Tan Van Vu (京都大)	最適輸送理論を用いた非平衡物理の探究
中田 芳史 (京都大)	量子カオスと量子情報 —複雑な時間発展と情報復元の非自明な関係—
永井 佑紀 (東京大)	機械学習と物性物理学：AI は何ができ何ができないのか
古谷 峻介 (埼玉医科大)	量子臨界点から眺める量子スピン鎖のトポロジー
好田 誠 (東北大)	半導体の永久スピン巡回状態とその応用
谷 茉莉 (京都大)	ひもやシートが作り出すかたちと力学
曽根 和樹 (筑波大)	トポロジカルアクティブマター：生物と固体物理の協奏
竹森 那由多 (大阪大)	量子情報科学と物性物理

2.2. 分科会

参加者の発表の場の1つとして、分科会が実施された(図2)。分科会では、主に大学院生からなる若手参加者が口頭発表を行い、参加者間の質疑応答を通じて自身の研究紹介・議論を行った。発表形式は日本物理学会に準じ、10分間の講演と5分間の質疑応答で構成された。分科会では参加者245名のうち99名が発表を行った。分科会は台風の影響もなく、当初予定していた通りに実施された。

分科会当日は発表者と聴衆の間で活発な議論が行われ、分野の垣根を越えて知見や関心を共有する場となった。また、参加者の投票によって発表部門ごとに最優秀発表賞の表彰を行った。表彰者はウェブページ (<https://cmpss.jp/index.php>) にて公開している。

2.3. ポスターセッション

もう1つの発表の場とは、ポスターセッションのことである(図3)。ポスターセッションでは、参加者がA0サイズのポスターを用いて自身の研究成果を発表した。発表者は127名にのぼり、分科会に比べて一層詳細かつ双方向的な議論が展開された。台風の急接近に対応するため、中部地方以東から参加していた発表希望者全員を7月31日の午前中の枠に配置し、当初の予定より短縮しての開催となったが、各発表者が十分な時間(120分間)を確保して発表を行った。

同年代の若手研究者同士による発表であったことから、学会や他の研究会と比較しても遠慮の少ない活発な雰囲気が生まれ、率直な意見交換や研究上の疑問の共有が行われた。また、参加者による投票を通じて全分野合同の優秀ポスター賞を選出・表彰した。その結果は公式ウェブページ (<https://cmpss.jp/index.php>) にて公開している。

2.4. グループセミナー

参加者の交流の場として実施されたグループセミナーでは、学年・専門分野を問わずランダムに集められた4人が、自身の研究分野について自由な形式で紹介し合った(図4)。30分という限られた持ち時間の中で専門外の仲間に自身の研究を伝えるこの企画を通じて、参加者は自身の理解を試すとともに、物性物理学という共通項を足がかりとした交流を楽しんだ。開校式の直後に行われたこの企画により参加者同士の初対面の緊張感が和らぎ、交流のきっかけとして非常に上手く機能していたように思う。

2.5. 懇親会・座談会

参加者のさらなる交流の場として毎夜開催された懇親会では、約250名が集まり、飲食を共にしながら交流を深めた(図5)。同年代の物性物理学徒が、分野を問わずこれほどの大人数で一同に会する機会は貴重である。ここで研究室の垣根を越えて培われた人的ネットワークが、参加者の今後の研究活動において活かすことを願ってやまない。

また、講師がパネリストとして登壇した座談会では、研究生活の実際や研究者としてのキャリア形成などについて、参加者から寄せられた質問に講師が先輩研究者の立場から回答し、活発なパネルディスカッションが行われた。参加者にとっては、日常的には得難い「研究者のリアル」に触れることのできる貴重な機会となった。

2.6. 企業ブース・企業講演

第70回にして初の試みとなる企業ブース・企業講演は、参加者にとって、通常の大学院生活や就職活動では触れること

の少ない視点から物性物理学と社会とのつながりを考える、非常に有意義な機会となった(図 6-(a), (b))。

2 日間にわたり設置された企業ブースには、物性物理学に関連する 8 社に出展していただいた。初日(7 月 31 日)は当初の予定通りポスターセッションと併設であったが、2 日目(8 月 1 日)には台風の影響によりスケジュールを調整し、企業ブース単独での開催とした。実験機器の開発・製造から量子コンピュータ関連のソフトウェア開発まで、多様な分野の企業の方々と対面で話を伺えたことは、参加者にとって非常に貴重な経験となった。

また、企業講演では 2 社に登壇していただいた。スケジュール変更を経て講演枠を独立させたことで、途中帰宅者を除いた参加者全員が集中して聴講する機会となった。内容は、企業における学術的な研究活動に焦点を当てた講演と、ビジネスの実務的な知見に焦点を当てた講演とが対照的であった。参加者にとっては自身のキャリアを深く考える契機となり、今後の研究や進路選択に大きな示唆を与える時間となった。

さらに、こうした交流の中から参加者・企業間の共同研究や産学連携に向けた具体的な議論も始まりつつあった。企業ブース・講演が単なる情報提供の場にとどまらず、今後の研究活動へと発展する可能性を秘めた場となったことも特筆すべき成果といえよう。

3. 総括

第 70 回物性若手夏の学校は、規模拡大と新企画の導入を同時に進めつつ、台風の影響はあったものの、予定していた全プログラムを完了した。従来の「学習・発表・交流」という三本柱に、企業ブース・企業講演を核とする産学連携の新基軸を組み込み、夏学の価値提案を一段引き上げた点は大きい。運営面では、刻々と変わる気象条件に応じたプログラムの再編や動線の見直しを実施し、安全確保と学術的有益性の両立を図った。この経験を引き継ぎ、開催期間中の非常事態対策をより頑強なものにすることで、参加者にとってより安全な夏学運営を実現していきたい。

他方、プログラム密度の高さに起因する自由時間の少なさ、参加分野の理論偏重といった改善すべき課題も明らかになった。昨今の物性物理学研究のさらなる多様化・深化に伴い、より多様なバックグラウンドが交差する設計、さらなる交流を促すための自由時間の確保、発表形式のバランス調整など、多様性をより尊重した夏学の再設計が求められていると感じる。オンライン配信の柔軟な併用、講義・集中ゼミのアーカイブ化なども、夏学の裾野を広げる際に有効であろう。

まとめると、第 70 回は夏学がより発展的な段階へ移行する「非自明」な相転移を実現した回だと言える。この新たな相の安定性は次期準備局に託したいと思う。次回のみならず以降の全ての夏学準備局が、第 70 回で得られた成果と反省を資源として、若手研究者にとっての「学び・発信し・つながる」基盤を持続的に強化してゆくことを期待したい。

4. おわりに

ご多忙の中ご講演を引き受けてくださった講師の先生方に心より感謝申し上げます。また、第 70 回夏学を開催する上で京都大学基礎物理学研究所・東京大学物性研究所・材料科学技術振興財団・東北大学金属材料研究所・公益財団法人中辻創智社・協賛企業・個人協賛の方々からのご支援、日本物理学会とのご共催、ならびに応用物理学会・日本化学会からのご後援をいただきました。準備局一同、厚く御礼申し上げます。さらに、東京大学物性研究所にはハラスメント相談員を派遣していただきました。夏学の健全な運営に多大なるご協力を賜ったことに深く感謝申し上げます。

最後に、今年の夏学を大いに盛り上げてくださった参加者の皆様、および約 1 年にわたる準備局スタッフの皆様の多大なる献身に深く感謝申し上げます。ありがとうございました。そして、お疲れ様でした。

物性研究

所属 : Princeton University

物性研究

- [1] K. Fujii and K. Nakajima, Phys. Rev. Applied 8, 024030 (2017).
- [2] K. Kobayashi, K. Fujii, N. Yamamoto, PRX Quantum 5, 040325 (2024).
- [3] K. Kobayashi and Y. Motome, arXiv:2308.00898 (to appear in SciPost Phys.).
- [4] K. Kobayashi and Y. Motome, Nat. Commun. 16, 3871 (2025).

標題：X線レーザーによるエキゾチックな物質状態の生成と応用

日時：2025 年 7 月 9 日(水) 午後 2 時～午後 3 時

場所：物性研究所本館 6 階 第 4 セミナ一室 (A614)

講師：井上 伊知郎

所屬：新領域物質系專攻

要旨：

X線と物質との相互作用は非常に弱く、X線計測は試料の状態を変えない「非破壊測定」として広く利用されてきた。しかし、X線自由電子レーザーの登場によって、物質中の電子励起や緩和と同程度の時間幅（フェムト秒）を持つ高強度X線パルスが利用可能となり、この前提は必ずしも成立しない状況が生まれている。本発表では、X線レーザーが引き起こす物質中の電子状態や構造の超高速変化[1]について紹介した。また、この過渡的な状態変化を利用したX線光学素子の開発についても触れた[2]。最後に、大強度X線照射と無損傷計測を両立させるために行っている、アト秒X線自由電子レーザーを用いた研究[3]についても紹介した。

- [1] I. INOUE ET AL., PRL 126, 117403 (2021), PRL 128, 223203 (2022), PRL 131, 163201 (2023), OPTICA 12, 530 (2025).
- [2] I. INOUE ET AL, PRL 127, 163903 (2021), T. M. LINKER ET AL., ACCEPTED TO NATURE.
- [3] I. INOUE ET AL., OPTICA 12, 309 (2025), ARXIV:2506.07968. J. YAN ET AL., NATURE PHOTON. 18, 1293 (2024).

標題：Large-scale first-principles DFT calculations on metallic nanoparticle catalysts

日時：2025 年 7 月 18 日(金) 午後 4 時～午後 5 時

場所：物性研究所本館 6 階 第 5 セミナ一室 (A615)

講師：Dr. Ayako Nakata

所属 : National Institute for Materials Science (NIMS)

要旨：

Controlling the shape and size of metallic nanoparticles (NPs) is a crucial challenge in catalyst development. Miniaturization of the NPs can enhance catalytic activity and reduce the usage of noble metal, while extremely small particles (e.g., sub-nano particles) have distinct differences electronic structures and stabilities compared to larger “nano” particles.

First-principles density functional theory (DFT) calculation is a powerful tool for investigating atomic and electronic structures of materials, but conventional DFT applications have been limited to small systems, comprising tens to hundreds of atoms due to significant computational costs. In this study, using our large-scale DFT calculation method in the CONQUEST code [1], we investigate the size and site dependencies of atomic and electronic structures in metallic NPs of a few nanometers in diameter, which is comparable to particle sizes in practical applications.

We optimized the structures of the NPs with diameters ranging from 0.5 nm (13 atoms) to 5.5 nm (3871 atoms) and found that the electronic structure of the NPs becomes metallic when particle sizes become larger than about 2 nm. Clear site dependence of local density of states was found in large NPs, particularly for atoms at the vertex and in the

(111) face. To analyze massive data calculated for large systems efficiently, we have proposed a method for quantitatively and systematically comparing differences in local electronic structures in large systems by statistical analysis [2]. With this method, we analyzed the interactions between the NPs and the oxide substrate, summarizing which atom in the NP is affected by the substrate how largely. The relationship between the analyzed results and the catalytic properties were also investigated.

[1] A. Nakata, D. R. Bowler, T. Miyazaki, J. Phys. Soc. Jpn. 91, 091011 (2022).

[2] S. Li, T. Miyazaki, A. Nakata, Phys. Chem. Chem. Phys. 26, 20251 (2024).

標題：A universal model of Floquet operator Krylov Space

日時：2025 年 7 月 24 日(木) 午前 10 時～午後 0 時

場所：物性研究所本館 6 階 第 5 セミナー室 (A615)

講師：Aditi Mitra

所属：New York University

要旨：

Recursion methods such as Krylov techniques map complex dynamics to an effective non-interacting problem in one dimension. We show that the operator Krylov space for Floquet dynamics can be mapped to the dynamics of an edge operator of the one-dimensional Floquet inhomogeneous transverse field Ising model (ITFIM), where the latter, after a Jordan-Wigner transformation, is a Floquet model of non-interacting Majorana fermions, and the couplings are angles that we dub the Krylov angles. We present an application of this showing that a moment method exists where given a stroboscopic autocorrelation function, one can construct the corresponding Krylov angles, and from that the corresponding Floquet-ITFIM. Consequently, when no solutions for the Krylov angles are obtained, it indicates that the autocorrelation is not generated by unitary dynamics. We relate our approach to those developed using orthogonal polynomials on the unit circle. We present several applications such as the study of stable m-period dynamics as well as decaying dynamics in chaotic systems.

標題：キラリティが駆動する有機超伝導体の巨大スピン軌道物性

日時：2025 年 7 月 29 日(火) 午後 3 時～午後 4 時

場所：物性研究所本館 6 階 大講義室 (A632)

講師：佐藤 拓朗 氏

所属：分子科学研究所

要旨：

スピン軌道相互作用が空間反転対称性の破れと結びつくとき、物質中の電磁気応答に非相反性が誘起される。このスピン軌道相互作用に基づいた解釈は、ポーラーな系の非相反応答をよく記述できるが、同じく反転対称性を破る系であるキラルな空間群に対しては、その非相反応答を説明しきれないことが分かっている。キラルな有機分子中で観測されたキラル誘起スピン選択性 (Chirality-induced spin selectivity : CISS) はその典型例であり、スピン軌道相互作用が無視できるほど小さい有機系であるにも関わらず、無機系を凌駕するほどの巨大なスピン偏極流が生成される [1]。このことから、キラリティに固有な有効スピン軌道相互作用の存在が強く示唆されているものの、それを定量的に検証した実験は非常に限られている。

本セミナーではキラルな結晶構造を有する有機超伝導体 κ -(BEDT-TTF)₂Cu(NCS)₂ における非相反電荷応答に着目し、キラリティによって駆動される巨大有効スピン軌道相互作用を実証した実験結果を紹介する [2]。CISS 効果一般の現状を整理しつつ、有機キラル超伝導における最新の実験と今後の展望について議論した。

[1] R. Naaman, et al., Nat. Rev. Chem. 3, 250 (2019).

[2] T. Sato, et al., Phys. Rev. Res. 7, 023056 (2025).

標 題 : Fast and high-fidelity transfer of edge states via dynamical control of topological phases and effects of dissipation

日時 : 2025 年 7 月 30 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 : Hideaki Obuse

所属 : Hokkaido University

要 旨 :

Topological edge states are robust against symmetry-preserving perturbations and noise, making them promising for quantum information and computation, particularly in topological quantum computation through braiding operations of Majorana quasiparticles. Realizing these applications requires fast and high-fidelity dynamic control of edge states. In this work, we theoretically propose a high-fidelity method for transferring topological edge states by dynamically moving a domain wall between two regions of different topological numbers in one dimension. This method fundamentally relies on Lorentz invariance and relativistic effects, because the moving the domain wall at a constant speed is described by a mass term with the uniform linear motion in the Dirac equation. We demonstrate effectiveness of our method in transferring edge states with high fidelity using a one-dimensional quantum walk with two internal states, which is feasible with current experimental technology. We also investigate how bit-flip and dephasing dissipation to environment affects transfer efficiency. Remarkably, bit (dephasing) dissipation does not affect the efficiency at slow (fast) transfer limits, which can be explained by the relativistic effects on the edge states.

Reference:

Y. Kanda, Y. Fujisawa, K. Yakubo, N. Kawakami, and H. Obuse, arXiv:2505.16606

標 題 : 強磁場が切り開くレーザー核融合プラズマの新展開

日時 : 2025 年 7 月 31 日(木) 午前 11 時～午後 0 時

場所 : Online

講師 : 藤岡 慎介 教授

所属 : 大阪大学レーザー科学研究所

要 旨 :

核融合プラズマと磁場は不可分の関係である。国際熱核融合実験炉 ITER に代表される磁場閉じ込め方式では、強力な磁場を「かご」として用い、高温・高密度プラズマを長時間保持してエネルギーを取り出す。一方、レーザー核融合(ICF)の世界では、プラズマ圧が磁場圧をはるかに上回るため、長らく磁場は重要視されてこなかった。しかし近年、米国 NIF での点火・燃焼実証を契機に、電子やアルファ粒子のエネルギー輸送を強磁場で制御し、熱閉じ込めを強化する「磁化レーザー核融合(Magnetized ICF)」が脚光を浴びている。磁場により熱損失が抑制されれば、レーザーエネルギーからプラズマへの変換効率が飛躍的に向上し、フュージョンエネルギー実用化への道筋を大きく短縮できる可能性がある。本講演では、強磁場とレーザー核融合プラズマの相互作用を軸に、点火領域で期待される磁場効果の理論的背景、パルス電流コイルやレーザー駆動磁場などによる強磁場発生技術の進展、熱閉じ込めとアルファ粒子閉じ込めの実験的検証などの、最新の研究動向を概観した。強磁場がもたらす次世代フュージョンエネルギー開発に向けた新たな展望と課題を共有した。

標題：Simulation and Applications of Acoustoelectric Effects in SAW Devices

日時：2025 年 8 月 4 日(月) 午前 10 時～午後 0 時

場所：物性研究所本館 6 階 第 5 セミナー室 (A615)

講師：Prof. Wei Luo

所属：華中科技大学

要旨：

The acoustoelectric effect refers to the electron-phonon interactions between the electronic charge carriers in the semiconductor and the SAW phonons, which results in acoustic velocity change and attenuation. This effect plays a crucial role in various applications within SAW devices, including gas sensing, optoelectronic detection, and integrated devices for surface acoustic wave filtering and amplification. This lecture provides a detailed overview of the research conducted by our team in the realm of acoustoelectric effects, encompassing precise modeling techniques, the design and fabrication of high-performance SAW gas and UV sensors, and the development of a novel, highly sensitive PT gas sensor based on engineering acoustic wave losses. Finally, we offer insights into potential future directions and trends in this research field.

Biography

Wei Luo received the B.S. degree in electronic science and technology and the Ph.D. degree in microelectronics and solid state electronics from the Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, China, in 2004 and 2009, respectively. From 2009 to 2012, he was a Postdoctoral Fellow in the Department of Electrical and Information Engineering, Huazhong University of Science and Technology. In 2012, he joined the School of Optics and Electronic Information, Huazhong University of Science and Technology. From 2014 to 2016, he was a visiting scholar in the University of Michigan, Ann Arbor, USA. He is currently a Professor and assistant Dean of the School of Integrated Circuits, Huazhong University of Science and Technology. His research interests include high-frequency acoustic MEMS sensors for application in harsh environment, intelligent microsystems.

標題：Misfit compounds as a platform for engineering doping, charge density waves and Ising superconductivity

日時：2025 年 8 月 18 日(月) 午後 3 時～午後 4 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. Tristan Cren

所属：Institut des NanoSciences de Paris, Sorbonne University and CNRS, Paris, France

要旨：

In the current quest of superconducting materials which combine two-dimensionality and strong spin-orbit coupling, transition metal dichalcogenides (TMD) misfit materials appear as extremely promising. They are constituted by sandwiching rocksalt layers, such as LaSe, and TMD layers, such as NbSe₂. TMD misfits are a new platform that allows achieving unprecedented high doping levels in TMD materials [1, 2]. We will show how we have succeeded adjusting finely the chemical potential over a very wide range in NbSe₂ using a Pb_xLa_{1-x} rocksalt, and how this can be used for stabilizing several charge density waves orders (2×2 , 3×3) and tuning the superconducting transition temperature over a wide range [2]. Superconductivity in these compounds exhibits a huge in-plane critical field which is much higher than the paramagnetic limit [3, 4, 5] due to a very strong Ising spin-orbit coupling. We will show some hint of non-conventional pairing in misfit compounds.

References:

- [1] Raphaël T. Leriche et al., *Advanced Functional Materials* 31, 2007706 (2021).
- [2] L. Zullo, G. Marini, T. Cren, M. Calandra, *Nano Letters* 23, 6658 (2023).
- [3] P. Samuely et al., *Physical Review B* 104, 224507 (2021).
- [4] T. Samuely et al., *Physical Review B* 108, L220501 (2023).
- [5] L. Engström, L. Zullo, T. Cren, A. Mesaros, P. Simon, *arXiv:2504.20775* (2025).

標題：三次元ベクトル強磁場と FIB 微細加工を用いた物性研究

日時：2025 年 8 月 22 日(金) 午前 11 時～午後 0 時

場所：Online

講師：木俣 基 研究副主幹

所属：日本原子力研究開発機構

要旨：

磁場の角度を精密に制御することは、磁性体や超伝導体における異方的応答の解明に極めて重要です。私たちはこれまで、東北大学金属材料研究所における定常強磁場に二軸回転機構を組み込み、20 テスラを超える強磁場を任意の方向に印加できる「三次元ベクトル強磁場」環境を構築してきました。この装置を活用し、さまざまな量子物質の研究を展開しています。

本セミナーでは、その応用例として、スピン三重項超伝導体 **UTe₂** における角度依存磁気抵抗振動(AMRO)測定の結果を紹介しました。**AMRO** は、擬二次元伝導体において面間方向の電気抵抗が磁場の角度に対して周期的に変化する現象であり、これを結晶の全方位で測定することで、フェルミ面の詳細な形状を明らかにできます。**UTe₂** の実験では、こうした手法を用いて、擬二次元的なフェルミ面の構造を精密に決定することに成功しました。

さらに時間が許せば、FIB (Focused Ion Beam) による微細加工技術を活用し、単結晶微細デバイスで測定した非相反磁気抵抗の角度依存性からフェルミ面のスピンの偏極状態（スピントクスチャ）を明らかにした研究や、25T-CSM 用の希釈冷凍機の導入状況など、最新の技術的取り組みについてもご紹介しました。

標題：Quantum Dynamics in Complex Molecular Systems & Chiral Phonons in the CISS Effect

日時：2025 年 9 月 12 日(金) 午後 2 時～午後 3 時

場所：物性研究所本館 6 階 第 5 セミナ一室 (A615)

講師：Dr. Hanggai Nuomin

所属: Duke University

要旨：

Part I: Quantum Dynamics in Chemical Systems

As chemistry increasingly probes ultrafast and complex processes, capturing quantum effects such as coherence and entanglement becomes crucial. I introduce new computational methods—building on tensor network algorithms, path integral resummation, and quantum master equations that enable accurate simulations of quantum dynamics in electronically and environmentally rich settings. Applications to electron and energy transfer in *multi-acceptor* systems illustrate how molecular structure and environmental coupling shape chemical reactivity, with implications for catalysis, materials, and biology.

Part II: Chiral Phonons and the CISS Effect

The chiral induced spin selectivity (CISS) effect produces spin polarization without strong spin-orbit coupling, raising

the question of its microscopic origin. I present a tight-binding helical model showing how directional current flow can generate chiral phonons carrying angular momentum. An analysis of the Berry potential in a current-carrying Born-Oppenheimer Hamiltonian shows that these current-induced chiral phonons mirror the symmetry properties of the CISS effect. This connection suggests that chiral phonons may contribute to the observed spin selectivity.

標題：Nonlinear vibrational spectroscopy of aqueous surfaces and interfaces using spectral maps

日時：2025 年 9 月 24 日(水) 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 (Hybrid)

講師 : Prof. Amalendu Chandra

所属：東京科学大学

要旨：

We will present our recent theoretical work on nonlinear vibrational spectroscopy of aqueous surfaces and interfaces using a combination of techniques involving molecular dynamics simulations, quantum chemical calculations and theories of nonlinear vibrational spectroscopy. The calculations are based on use of spectral maps for various quantities that are obtained from quantum chemical calculations considering electric field as the primary order parameter. Specifically, we will present calculations of one-dimensional and two-dimensional vibrational sum frequency generation (1D-VSFG and 2D-VSFG) spectroscopy of aqueous surfaces and interfaces of different kinds [1-3]. The results of various dynamical features of the 2D-VSFG spectra will be connected to various underlying dynamical modes of the hydrogen-bonded and non-hydrogen-bonded OH groups of surface and interfacial water [3]. Some preliminary results will also be discussed using machine learning methods where, in addition to electric field, other structural descriptors are also considered for obtaining the spectral maps [4].

References:

- 1.B. Das and A. Chandra, Phys. Chem. Chem. Phys. 24 , 7374-7386 (2022).
- 2.B. Das and A. Chandra, ChemPhysChem 24, e202200604 (2022).
- 3.R. Malik, Abhilash Chandra, B. Das and A. Chandra, J. Phys. Chem. B 127, 10880-10895 (2023).
- 4.S. Poddar, R. Malik, B. Das and A. Chandra, to be published.

標題：重い電子系物質で観測された室温でも安定な磁気形状記憶効果

日時：2025 年 10 月 2 日(木) 午後 1 時 30 分～午後 2 時 30 分

場所：東北大学金属材料研究所強磁場超伝導材料研究センター会議室での対面および Online

講師：三宅 厚志 准教授

所属：東北大学金属材料研究所

要旨：

重い電子系物質 CeSb_2 において、室温でも安定な磁気形状記憶効果を発見した[1]。

この物質は強磁場を印可することで磁化容易軸が切り替わり、その記憶が室温でも保持される。

さらに、磁場印加方向を変えることで容易軸方向を繰り返し切り替えることができる。

この変化は磁歪や偏光顕微鏡観察から結晶軸の変化を伴うことも明らかになった。

磁気異方性が大きな Ce 原子が特徴的な「パンタグラフ」構造を有しており、 Ce 原子間距離を保ったままパンタグラフの伸縮により軸切り替えが起きていると考えられる。

PrSb_2 や NdSb_2 でも同様の現象を観測している。

本セミナーでは、それらの結果を紹介するとともに、類似の記憶効果を有するメタ磁性形状記憶合金や $\text{RCu}_2(\text{R})$ (R: 希土類) と比較を行い、 RSb_2 での磁気形状記憶効果を議論した。

[1] A. Miyake et al., J. Phys. Soc. Jpn. 94, 043702 (2025).

標題：マグノン誘起ブリルアン散乱における光渦発生を観測

日時：2025 年 10 月 10 日(金) 午後 1 時 30 分～午後 2 時 30 分

場所：物性研究所本館 6 階 第 2 セミナー室 (A612)

講師：久富 隆佑

所属：京都大学化学研究所 材料機能化学研究系

要旨：

光は物質と相互作用することによりその性質を変化させます。とくに物質中の素励起による光の性質変化は、ブリルアン散乱として理解されています。今回我々は強磁性体中の素励起マグノンが誘起するブリルアン散乱によって、光の持つ軌道角運動量が変化し光渦が発生することを見出しました [1]。さらに、その変化が光と物質全体の角運動量保存を満たすように発生していることも確認しました。本セミナーでは、本現象の発見の経緯と詳細について説明しました。

[1] R. Hisatomi et al., arXiv:2505.03152

標題：From submission to publication in a high impact journal – discussion with a Nature Nanotechnology editor

日時：2025 年 10 月 16 日(木) 午前 9 時 25 分～午前 9 時 50 分

場所：物性研究所本館 6 階 大講義室(A632)

講師：Benjamin Heinrich

所属：Nature Nanotechnology

要旨：

This seminar provides insights into the world of academic publishing from the perspective of Benjamin Heinrich, a senior editor at Nature Nanotechnology, one of the leading journals in the field of nanoscience and nanotechnology. The session discusses the scope and breath of Nature Nanotechnology and aims to demystify the publishing process, from manuscript submission over peer review to publication.

The discussion will cover:

- Criteria for article selection: Understand what editors (or researchers beyond your immediate field) look for in an article.
- Defining novelty: All research is new, but the degree of novelty varies. What are critical factors for publication in high-impact journals?
- Path to editorship: The qualifications and experiences that can help you become an editor.
- A day in the life: A look at the typical daily tasks and responsibilities of a Nature Nanotechnology editor.
- Questions and informal discussion are appreciated.

標題：Manipulation of single polarons at atomic scale

日時：2025 年 10 月 23 日(木) 午前 11 時～

場所：物性研究所本館6階 第6セミナー室 (A616) & Online

講師：Prof. Ying-Shuang Fu

所属: Huazhong university of science and technology, China

要旨：

Short Biography:

Ying-Shuang Fu is a physics professor affiliated with Huazhong University of Science and Technology in China. He earned his Ph.D. from the Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences in 2008. From 2008 to 2014, he worked as a postdoctoral researcher at Hamburg University and RIKEN, respectively. Since 2014, he has been a professor in the School of Physics at Huazhong University of Science and Technology. He has focused on the study of correlated states in low-dimensional quantum systems using molecular beam epitaxy and spectroscopic- imaging scanning tunneling microscopy under ultralow-temperature and high-magnetic-field conditions. During the recent five years, he has published 36 papers as a corresponding author, including Phys. Rev. Lett. (1), Phys. Rev. X (1), PNAS (1), Nat. Commun. (7), JACS (5), etc.

Abstract:

Polarons are composite quasiparticles comprising an excess electron or hole surrounded by local lattice distortions—an effect driven by anti-adiabatic displacements of adjacent ions arising from strong electron-phonon coupling. These quasiparticles play a pivotal role in a broad range of physicochemical processes, influencing charge transport, superconductivity, colossal magnetoresistance, surface reactivity, thermoelectricity and multiferroicity, among others. Traditionally, polarons have been studied using ensemble-averaged techniques. Investigating single polarons at the atomic scale is critical to unraveling the correlated electron-phonon mechanisms underlying polaron formation, which however remains a longstanding challenge. In this talk, I will present our recent research on the discovery and manipulation of individual polarons in monolayer atomic and molecular crystals. Our works encompass single polarons and multipolarons, and have identified several novel polaron types, including van der Waals polarons in Sb_2O_3 , spin-flip polarons in MnTe , and Jahn-Teller polarons in molecular magnet. Additionally, we have leveraged polaron manipulation to uncover new correlated states, including a Hubbard-type Coulomb blockade effect and a phason-polaron effect in one-dimensional nanowires. Our studies open a new avenue for exploring polarons and are expected to inspire efforts to harness polaron behavior for tailoring diverse physicochemical processes.

標題：From pairs to quadruplets: a new class of electron condensates

日時：2025 年 10 月 23 日(木) 午後 4 時～午後 5 時

場所：物性研究所本館 4 階セミナ一室 (A424)

講師 : Dr. Ilaria Maccari

所属：ETH Zürich

要旨：

Recent experimental results have revealed signatures of unconventional electron condensates that go beyond the standard Cooper pair paradigm.

In multicomponent and unconventional superconductors, the proliferation of topological phase excitations can indeed destroy the phase coherence among Cooper pairs while preserving coherence among pairs of Cooper pairs. The resulting beyond-mean-field phases are characterized by a four-electron order parameter and accompanied by spontaneous symmetry breaking.

In this talk, I will discuss recent theoretical and experimental advances on electron quadruplet condensates in multiband superconductors and twisted bilayer graphene, and present new results on possible electron quadruplets emerging from a nematic superconducting ground state.

標題：Exploring the Magnetism of Hexagonal Perovskites

日時：2025 年 10 月 29 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：Professor Patrick Woodward

所属：Department of Chemistry and Biochemistry, Ohio State University

要旨：

Hexagonal perovskites share the ABX₃ stoichiometry and cation coordination environments of the more widely studied “cubic” perovskite family, but unlike their cubic counterparts, hexagonal perovskites feature face-sharing linkages between metal-centered octahedra. When transition-metal ions occupy these sites there can be sufficient overlap of d-orbitals on neighboring metals to form metal-metal bonds. In such cases the clusters of face-sharing octahedra can be treated as having an electronic structure akin to a molecule. In this talk I will discuss the structure, bonding, and magnetism of various oxide and chloride hexagonal perovskites. Depending on the identity of the cations that occupy the octahedral holes and the nature of the anion, various degrees of metal-metal bonding occur. Furthermore, by controlling the composition we can magnetically isolate the face-sharing clusters to accentuate the molecule-like behavior. In such instances the frustrated triangular network that is characteristic of hexagonal perovskites can lead to exotic low temperature magnetic phenomena, such as quantum spin liquids. Alternatively, we can the face-sharing clusters can be linked by octahedra containing magnetic ions, in which case strong superexchange interactions lead to high-temperature magnetic ordering.

標題：Low-energy optical sum-rules

日時：2025 年 10 月 29 日(水) 午後 1 時～午後 2 時

場所：物性研究所本館 6 階 第 6 セミナー室 (A616)

講師：Dr. Dan Mao

所属：Paul Scherrer Institut (PSI)

要旨：

The superconducting properties of materials are inherently rooted in the quantum mechanical wavefunctions of electrons and the interactions that govern their behavior. However, our understanding of superconductivity in the regime of extremely narrow electronic bands remains elusive due to the lack of a comprehensive microscopic theory. I will present a novel theoretical framework for computing a critical fundamental characteristic - the superconducting phase stiffness - without relying on the conventional Bardeen-Cooper-Schrieffer (BCS) approximation, which is not applicable to narrow-band superconductivity. Without prior knowledge of the underlying pairing symmetry, our method can give an upper bound on the superconducting phase stiffness, which is related to the superconducting transition temperature in 2D.

Furthermore, we find a relationship between the superconducting phase stiffness and the optical absorption, which leads to the discovery of the so-called projected optical sum rule, which puts fundamental constraints on how much light the system can absorb. I will discuss two types of projected optical sum rule: the f-sum rule and the Souza-Wilkens-Martin sum rule. While the connection between quantum geometry and optical absorption is well-established

in the non-interacting limit, whether an analogous connection can be established for the low-energy projected optical sum rules in strongly interacting systems remains an open question.

From the study of twisted bilayer graphene and fractional Chern insulators, we obtain non-perturbative results on the projected optical sum rules, pointing out the intriguing interplay between the “many-body” quantum geometry, symmetry and topology.

標題：Ferroic behavior of 2D materials

日時：2025 年 10 月 31 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 (Hybrid)

講師：Salvador Barraza-Lopez 氏

所属：University of Arkansas & ISSP, The University of Tokyo

要旨：

Until a decade ago, people believed that ferroelectricity should not exist on materials below a certain critical thickness (of a few nanometers) due to depolarization fields induced at exposed faces. Furthermore, most known ferroelectrics were insulators. Nevertheless, members of a family of binary orthorhombic (layered) materials were known to be antipolar (i.e., they have intrinsic electric dipoles changing orientation among consecutive layers). The ground state of a single monolayer of those materials is degenerate. Structural degeneracies give rise to domains and structural transformations at finite temperature [1,2] and those materials are 2D ferroelectrics [3]. This field became further invigorated by the observation that intrinsic electric dipoles can be created by rotating successive monolayers, and also by the observation of ferroelectricity in elemental materials [4]. Currently, the field is gearing toward (i) the creation of multiferroic 2D materials by the adequate stacking of 2D magnets [5], (ii) the discovery of novel ferroic orders and their intercouplings, (iii) and toward coupling ferroic orders to other orders such as superconductivity.

[1] M. Mehboudi, et al., Nano Letters **16**, 1704 (2016).

[2] M. Mehboudi, et al., Physical Review Letters **117**, 246802 (2016).

[3] S. Barraza-Lopez, et al., Reviews of Modern Physics **93**, 011001 (2021).

[4] G. G. Naumis, S. A. Herrera, S. P. Poudel, H. Nakamura, S. Barraza-Lopez. Reports on Progress in Physics **87**, 016502 (2024).

[5] S. P. Poudel, et al., Physical Review B **107**, 195128 (2023).

標題：亜酸化銅励起子の基礎物性の理論計算：「歪誘起エネルギーシフト」と「スピン転換機構」

日時：2025 年 11 月 4 日(火) 午後 1 時～午後 2 時

場所：物性研究所本館 6 階 第 2 セミナー室 (A612)

講師：灰田 悠希

所属：東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻

要旨：

亜酸化銅(Cu₂O)単結晶中の励起子ボース・アインシュタイン凝縮(BEC)は、多体ボース粒子の開放系における BEC を理解するための格好の舞台である。2022 年に、希釈冷凍機による冷却を通じて温度 100 mK 台の 1s パラ励起子集団が生成され、歪トラップ中で安定な BEC が実現された[1]。この際、1s-2p 吸収イメージングにより、凝縮体自体の信号が初めて観測された。現在、1s-2p 吸収イメージの時間分解測定を通じて、凝縮体の形成・緩和ダイナミクスを調べる実験が進行中である。しかし、このような実験から励起子 BEC の本質に迫るには、励起子の基礎物性の徹底的な理解が前提となる。この観点から、私は以下 2 テーマに取り組んできた。

標題：Magneto-optical detection of time-reversal symmetry breaking in antiferromagnets

日時：2025 年 11 月 6 日(木) 午前 11 時～午後 0 時

場所：物性研究所本館 6 階 第 5 セミナー室 (A615)

講師：Veronika Sunko

所属：Institute of Science and Technology Austria

要旨：

Optical probes are naturally well suited to detecting broken symmetries, including time-reversal symmetry (T), and are frequently used in this way, for example, to map ferromagnetic domains. But the conditions under which optics can detect T - breaking in antiferromagnets with no net magnetization are far more subtle. The key distinction is whether the effect of T can be undone by a simple translation ($S_{(1/2)}$); if it can, the product $TS_{(1/2)}$ is a symmetry of the system and T-breaking is usually invisible to bulk probes. In contrast, antiferromagnets that do not preserve $TS_{(1/2)}$ display a range of T- breaking phenomena, such as the magnetoelectric and piezomagnetic effect.

But what exactly does “bulk” mean? And more specifically, are optical probes “bulk” : can they detect T-breaking in $TS_{(1/2)}$ - invariant antiferromagnets? We address these questions by directly comparing two antiferromagnets: EuIn_2As_2 that breaks in $TS_{(1/2)}$ and MnBi_2Te_4 that does not. In the first case, we show how an unconventional optical probe, linear magneto-birefringence, can reveal symmetry breaking invisible to more standard measurements. In the second, we demonstrate how perhaps the most standard optical probe of magnetism, reflection circular dichroism, can in fact detect antiferromagnetism even when $TS_{(1/2)}$ is preserved.

Together, these experiments demonstrate both the power and the versatility of optics as a probe of symmetry breaking in quantum materials.

標題：Majorana-Based Topological Qubits: A Path to Fault-Tolerant Quantum Computing

日時：2025 年 11 月 7 日(金) 午後 4 時～午後 5 時

場所：物性研究所本館 6 階 第 5 セミナー室 (A615)

講師：Dr. Bela Bauer

所属：Microsoft Station Q

要旨：

Microsoft’s tetron qubit—built from hybrid superconductor-semiconductor nanowires hosting pairs of Majorana zero modes—marks a key advance in topological quantum computing. This talk presents the latest experimental results, including the first demonstration of two distinct fermion parity measurements in a Majorana-based system. It also outlines our roadmap from single tetrons to multi-qubit arrays capable of quantum error correction, charting a concrete path toward scalable, reliable quantum computation.

標題：Uncovering signals of the Sordi transition in the doped κ -(BEDT-TTF) $_4\text{Hg}_{2.89}\text{Br}_8$

日時：2025 年 11 月 11 日(火) 午前 10 時～午前 11 時

場所：物性研究所本館 6 階 第 5 セミナー室 (A615)

講師：Mr. Pierre-Olivier Downey

所属：Physics department of Université de Sherbrooke and Quantum Institute

要旨：

The first report that doping a Mott insulator reveals a first-order transition between the pseudogap and a correlated Fermi liquid [1] has triggered intensive research. It was predicted that this transition could be at the origin of many of the surprising properties of doped cuprates, such as the fall in the Knight shift.

However, this transition has never been directly observed experimentally. Furthermore, many have suggested that

the transition might be an artifact of numerical methods, such as the small clusters in cluster dynamical mean field theory, or of clusters that favor antiferromagnetic fluctuations.

Following the recent proofs that the transition still exists with larger clusters without antiferromagnetic fluctuations [2,3], we used the dynamical cluster approximation to propose experiments for the 11% doped organic superconductor κ -(BEDT-TTF)₄Hg_{2.89}Br₈ [4]. Using the concept of Widom lines, namely of crossover lines originating from the Sordi transition, we predicted that both the resistivity and the Seebeck coefficient should exhibit detectable signals of the transition at 11% doping, representing the first-ever observation of a consequence of the Sordi transition in a doped spin liquid.

In collaboration with Prof. Kazushi Kanoda and Dr. Hiroshi Oike, we now report preliminary evidence consistent with this scenario, including a resistivity crossover and a Seebeck coefficient feature that may correspond to the predicted Widom line. These results suggest that κ -(BEDT-TTF)₄Hg_{2.89}Br₈, could provide a unique platform to observe the fingerprints of the Mott-driven Sordì transition in real materials.

References

- [1]. G. Sordi et al. Phys. Rev. Letters, 104, 226402, 2010.
- [2]. P.-O. Downey et al. Phys. Rev. B, 107, 125159, 2023.
- [3]. P.-O. Downey et al. Phys. Rev. B, 110, L121109, 2024.
- [4]. H. Oike et al. Nat. Comm. 8, 756, 2017.

標題：Sim2Real マテリアルインフォマティクスによる生分解性高分子設計：MD データベースと転移学習の融合に向けて

日時：2025 年 11 月 12 日(水) 午後 4 時～午後 5 時

場所：Online 及び物性研究所 6 階第 5 セミナー室 (A615)

講師：篠田 恵子

所属：統計数理研究所

要旨：

近年、マテリアルインフォマティクス(MI)の進展により、実験・シミュレーション・機械学習を統合した材料設計が注目されている。本研究では、生分解性高分子材料を対象として、分子動力学(MD)によるデータベース構築と、機械学習による物性・生分解性予測を連携させる **Sim2Real** 型アプローチを目指している。まず、ポリエステル系化合物を題材に、複数物性(**Tg** など)を同時学習するマルチタスク事前学習モデルを構築し、特徴抽出型の転移学習により生分解性(二値分類)を予測した。今後は、富岳を用いて得られるセルロース誘導体の **MD** シミュレーションデータをソースとして活用し、実験的生分解性との対応を通じて、仮想設計空間から実材料設計への橋渡しを目指す。本講演では、高分子 **MI** の理論的基盤と **Sim2Real** 転移の展望について議論する。

標題：空間反転対称性の破れた磁性体における磁場応答

日時：2025 年 11 月 12 日(水) 午前 11 時～午後 0 時

場所：Online

講師：木村健太 准教授

所属：大阪公立大学工学研究科

要旨：

空間反転対称性が破れた磁性体では、電気磁気効果や非相反光学応答など、多彩な電磁応答が現れることが知られている。本セミナーでは、講演者らがこれまで開発してきた空間非対称磁性体を例に、「強磁場」下での測定によって「弱磁場(ゼロ磁場)」領域の物性を読み解いた研究を紹介する。また、磁気特性の磁場応答を、誘電特性や光応答を調べることによって明らかにした最近の研究についても取り上げる。さらに、40 代前半の研究者として、子育てと研究を両立する中で感じてきたことについても話す。

東京大学

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

R7.8.16	HUH SOON SANG	附属極限コヒーレント光科学研究センター	助教	東京大学物性研究所 特任研究員より
R7.9.1	小野 清志郎	物性理論研究部門	助教	理化学研究所 数理創造プログラム基礎科学特別研究員より
R7.10.1	島崎 佑也	ナノスケール物性研究部門	准教授	東京大学大学院研究科附属量子相エレクトロニクス研究センター 特任准教授より
R7.10.1	PYATENKO ELIZAVETA	附属極限コヒーレント光科学研究センター	助教	大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構(KEK) 研究員より
R7.11.1	松井 一樹	附属国際超強磁場科学研究施設	技術専門職員	東京大学物性研究所附属国際超強磁場科学研究施設 特任研究員より

R7.10.1	原田 慈久	ビジュアルイズ CPS 寄付研究部門	特任教授	本務:附属極限コヒーレント光科学研究センター 教授 期間:令和7年10月1日～令和8年3月31日
---------	-------	--------------------	------	---

R7.6.30	木内 久雄	附属極限コヒーレント光科学研究センター	助教	エネルギー・環境材料研究センター 電池材料分野 電池材料解析グループ 主任研究員へ
R7.9.30	鈴木 剛	附属極限コヒーレント光科学研究センター	助教	大阪大学 大学院生命機能研究科 准教授へ

東京大学

特任研究員（特定有期雇用教職員） 1 名

物性研究所附属物質設計評価施設（大型計算機室）

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)

変更の範囲：変更がある場合には、本学の指定する場所に限る。ただし、配置換又は出向を意に反して命じられることは原則としてない。

次の(1)、(2)に関する業務を実施する。(1)内閣府ムーンショット型研究開発事業の目標 10「2050 年までに、フュージョンエネルギーの多面的な活用により、地球環境と調和し、資源制約から解放たれた活力ある社会を実現」の中の研究開発プロジェクト「超次元状態エンジニアリングによる未来予測型デジタルシステム」において、研究課題「デジタルプラットフォームの構築と有用性実証」に従事する。本研究課題は研究開発プロジェクトの基盤となるソフトウェア群（デジタルプラットフォーム）の構築を主な目標とし、そのためのソフトウェア開発、データベースの設計・管理、大規模データの処理などに取り組む。また、本プラットフォームを活用した、核融合分野に関連するマテリアルズインフォマティクスなどの応用研究にも携わる。(2)物性研究所のソフトウェア開発・高度化プロジェクトにおいて、ソフトウェアの開発・公開・利用促進に関する業務を一部支援する。

変更の範囲：配置換え、兼務又は出向を命じることがある。ただし、意に反して命じられることは原則としてない。

着任時点で博士の学位を有する者。

Python や C++, Fortran などのプログラミング経験、科学技術計算や機械学習に関する経験が望ましい。共同作業による事業推進と応用研究の両方に意欲的に取り組める者の応募を歓迎する。

令和8年4月1日以降のなるべく早い時期

採用日～令和9年3月31日

更新する場合があります。更新する場合は、年度ごとに行う。

更新は、予算の状況、従事している業務の進捗状況、契約期間満了時の業務量、勤務成績、勤務態度、健康状況等を考慮のうえ判断する。ただし、更新回数は3回、在職できる期間は令和12年3月31日を限度とする。

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）

令和7年12月26日(金)必着

※ただし、適任者が決まり次第締め切ります。

○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）

○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）

○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

編集後記

今号では、3 件の研究成果と新鉱物の命名についての記事があります。物性研だよりでは、その研究過程におけるエピソードを語って頂けることがあります。アマテラス石（表紙写真）という大それた命名の経緯も大変面白いので是非ご覧下さい。最初の研究成果では、光電子分光による「電子の地図」から、スキルミオンのメカニズムが電子構造に由来することを綺麗に説明されています。2 件目は、分子を設計どおりに合成できる高い技術力に基づいた新しい分子磁性体の開発の成果です。3 件目は、物性研だよりの常連の井上先生のロドプシンの研究で、大分慣れてきましたが、生命が獲得した機能の不思議と、そこにある物理的（？）な仕組みには感嘆するところです。

今号でも多くの受賞記事が掲載されていますが、川畑先生の受賞記事では、物性物理の新たな研究領域というか、そのものを見直す提案がされています。

また、行く人来る人ではありませんが、山室先生の退任と古府先生の着任のご挨拶があります。山室先生の記事では、物性研の中に新しい分野を持ち込まれたご苦勞を語られている一方で、古府先生では、強相関係のバリバリ固体物理からイオン液体へと大きく異なる分野を移った中で、一見全く違う物質の間の共通点を実感され、物理現象や法則に普遍性について語られています。それにもまして、金道先生とのお好み焼き対決が楽しみなところです。

この編集後記を書いているのは、令和 8 年度からの物性研の第 4 世代への改組の準備がほぼまとまった 2025 年 12 月初旬ですが、皆様のお手元に届く頃には、東大については国際卓越研究大学の採択の結果、そして、物性研の第 18 代所長が決まっています。果たして、、

鈴木 博之

物性研だよりの購読について

物性研だより発行のメール連絡を希望される方は共同利用係まで連絡願います。

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

記

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

変更連絡先：東京大学物性研究所共同利用係

〒277-8581 柏市柏の葉 5-1-5

メール：issp-kyodo@issp.u-tokyo.ac.jp