

物性研だより

BUSSEIKEN DAYORI

第 60 巻

第 4 号

2021 年 1 月

真核生物の祖先に最も近縁なアスガルド古細菌の持つ、
新奇光受容タンパク質の機能を解明

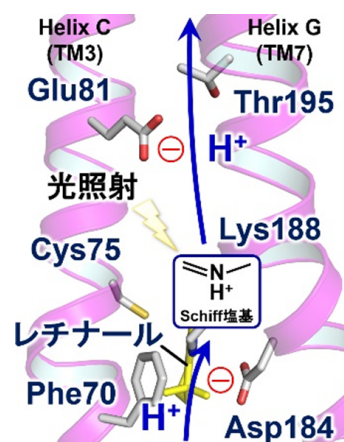
5d遷移金属化合物の示す「多極子秩序」の観測に成功

創発電磁場によるインダクタ
ーインダクタの微細化に向けた新原理の実証ー

反強磁性電子と共生する高温超伝導電子
～ 銅酸化物高温超伝導体に潜む30年来の未解決問題に終止符～

機械学習を用いた薄膜作製プロセスの高速化

自己組織化液晶高分子膜の水処理機能：
選択的なイオン透過性を支配する水の水素結合構造



東京大学 物性研究所

THE INSTITUTE FOR SOLID STATE PHYSICS
THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright ©2020 Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo. All rights Reserved.

ISSN 0385-9843

contents

- 1 真核生物の祖先に最も近縁なアスガルド古細菌の持つ、新奇光受容タンパク質の機能を解明

井上 圭一

- 4 35d 遷移金属化合物の示す「多極子秩序」の観測に成功 平井 大悟郎、廣井 善二

- 8 創発電磁場によるインダクタ ーインダクタの微細化に向けた新原理の実証ー

横内 智行、大谷 義近

- 11 反強磁性電子と共生する高温超伝導電子

～銅酸化物高温超伝導体に潜む 30 年来の未解決問題に終止符～

國定 聡、小濱 芳允、近藤 猛

- 13 機械学習を用いた薄膜作製プロセスの高速化

大久保 勇男、侯 柱鋒、Mikk Lippmaa

- 16 自己組織化液晶高分子膜の水処理機能：

選択的なイオン透過性を支配する水の水素結合構造

渡邊 隆甫、宮脇 淳、山添 康介、原田 慈久

- 19 光科学技術研究振興財団 畫馬輝夫光科学賞の受賞について

井上 圭一

- 21 第 14 回日本物理学会若手奨励賞 (領域 8) を受賞して

平井 大悟郎

- 24 令和 2 年度 物性研究所一般公開の報告

常次 宏一

- 30 【物性研究所談話会】

- 31 【物性研究所セミナー】

- 【物性研ニュース】

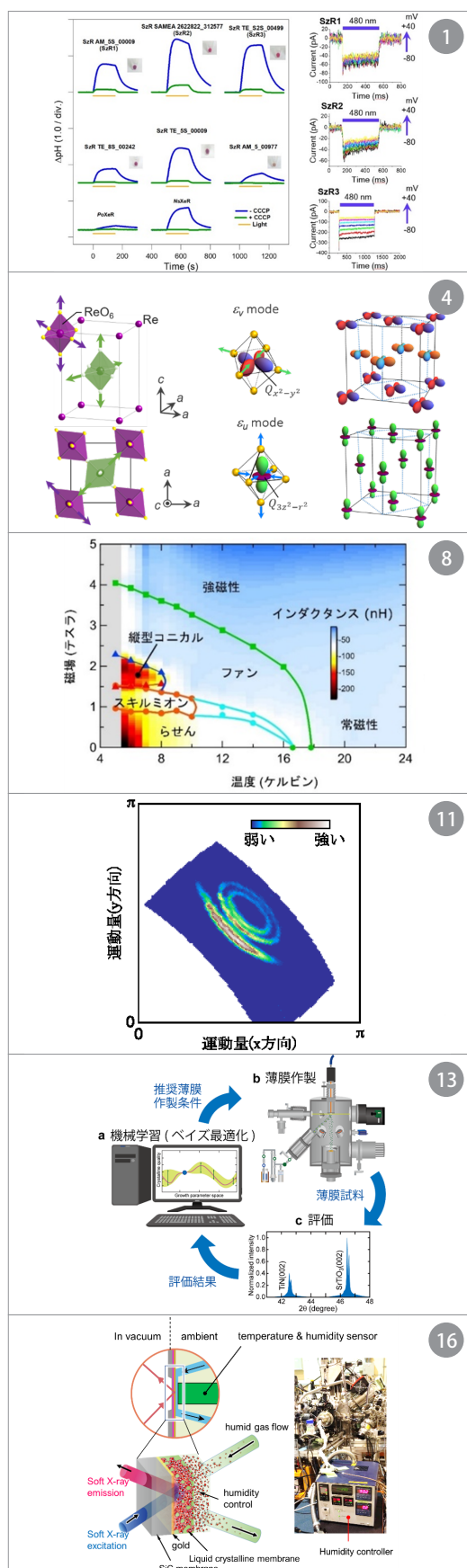
- 34 ○人事異動

- 35 ○東京大学物性研究所研究員 (若手) の公募について

- 37 物性研だより第 60 巻目録 (第 1 号～第 4 号)

編集後記

物性研だよりの購読について



真核生物の祖先に最も近縁なアスガルド古細菌の持つ、新奇光受容タンパク質の機能を解明

機能物性研究グループ 井上 圭一

研究の背景

私たちヒトを含む動物や、植物などは細胞の中に遺伝情報をコードした DNA を包む核を持ち、真核生物と呼ばれる。一方で大腸菌など原始的な生物は細胞内に核を持たず原核生物と呼ばれ、地球の歴史上、どの様にして原核生物から真核生物が生まれたのかはいまだに大きな謎とされている。

その中で、近年アスガルド古細菌と呼ばれるグループの原核生物が、ゲノム配列の比較から真核生物に最も近いことが明らかとなってきた。しかし一般にアスガルド古細菌は光や酸素の届かない海底や湖底の泥の中に生息していることから、どの様にして多くの真核生物が棲む、光や酸素のある環境に進出できたのか、その進化的なプロセスが不明であった(図1)

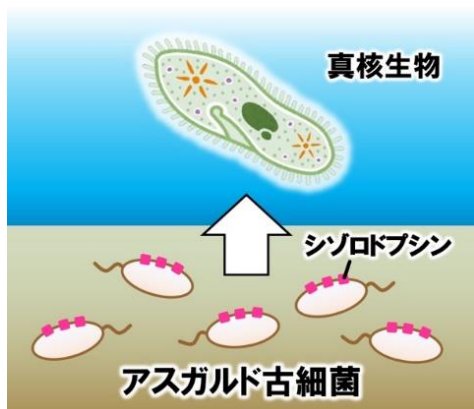


図1 最初の真核生物は、太古の地球上でアスガルド古細菌に近縁な原核生物から進化したと考えられている。一方で既知のアスガルド古細菌は全て酸素のない、海底や湖底の泥の中に棲息しており、どのようにして、太陽の光や酸素が豊富な環境に棲む真核生物へ進化したのかはわかっていない。

2019年初め、我々の共同研究者であるチェコ科学アカデミーの Rohit Ghai 博士らのグループが、ルーマニアから新たに発見されたアスガルド古細菌の遺伝子情報を調べたところ、光のエネルギーを使ってさまざまな生理機能を発揮するロドプシン(注1)の中で、これまでにないタイプのものをこれらのアスガルド古細菌が持つことが明らかとなった(Bulzu et al., *Nat. Microbiol.* 4, 1129-1137 (2019))。この新しいタイプのロドプシンはシゾロドプシンと名付けられたが、具体的に光でどのような機能を発現するのか明

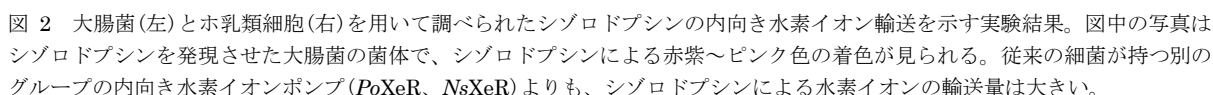
らかになっておらず、アスガルド古細菌が一体何のためにシゾロドプシンを使って光を利用しているのかはよくわかっていなかった。

研究の内容

そこで今回我々は、名古屋工業大学生命大学院工学研究科・神取秀樹教授、角田聡特任准教授、イスラエル工科大学・Oded Béjà 教授、チェコ科学アカデミー・Rohit Ghai 教授、名古屋大学大学院理学研究科(兼・自然科学研究機構生命創成探究センター(ExCELLS)客員教授)・内橋貴之教授、(自然科学研究機構 生命創成探究センター(ExCELLS)・渡辺大輝特任助教・らの研究グループと共に、シゾロドプシンの機能を調べるため、大腸菌やホ乳類の細胞にその遺伝子を導入し、タンパク質を大量に発現させることを試みた。その結果大腸菌の細胞中に大量のシゾロドプシンを発現させることに成功した。そしてその機能を解析したところ光を照射すると細胞内に水素イオンを輸送する、内向き水素イオンポンプ機能を持つことが明らかとなった(図2)。

この様に光で細胞内に水素イオンを輸送するロドプシンは、近年深海などで見つかった、古細菌とは進化的に遠く離れた一部の細菌でのみ知られていましたが(Inoue et al., *Nat. Commun.* 7, 13415 (2016))、この発見により真核生物に進化する直前のアスガルド古細菌も、光を使って細胞内に水素イオンを取り込んでいることが初めて示唆された。またさらにシゾロドプシンは海洋に広範に棲む未知の微生物グループにもあることが本研究の中で見いだされた。

次に、研究グループはシゾロドプシンがどのようにして光エネルギーを使って、細胞内へ水素イオンを運ぶのか、その分子メカニズムを明らかにするために、タンパク質を精製してその性質を詳細に調べた。その結果、アスガルド古細菌のシゾロドプシンは主に 557 nm の光を、海洋性微生物のものは 542 nm の光を吸収することが示され、棲息する環境や生物種によって利用する光の波長(色)が異なることが示唆された。またさらに分子全体の構造を高速原子間力顕微鏡で観察したところ、同一の3つの分子が集まった三量体構造を持つことが明らかとなった。



オンの移動に関わることが示唆されており、今回の研究では少なくとも4つのアミノ酸が特に重要な役割を持つことが、アミノ酸改変体タンパク質を用いた実験で示された。

本研究は、アスガルド古細菌が真核生物への進化の過程において、太陽光と酸素のある環境へ進出する際に、独自の光駆動型の内向き水素イオンポンプロドプシンを持つようになったことを示唆しており、今後は、本来のアスガルド古細菌の中で細胞の内向き水素イオン輸送がどのような役割を果たすのか、その解明に向けた研究が必要になると考えられる。

図3 本研究で明らかになったシズロドプシンの分子内部における水素イオン(H^+)輸送メカニズム。

謝辭

本研究は、日本学術振興会(JSPS)科学研究費助成事業、科学技術振興機構(JST)戦略的創造研究推進事業(さががけ「新規光受容タンパク質が先導する新しいオプトジェネティクス(研究者：井上 圭一)」、CREST「細胞内二次メッセンジャーの光操作開発と応用(研究代表者：神取 秀樹)」、さががけ「新規酵素型ロドプシンを用いた視覚再生の挑戦(研究者：角田 聡)」)による支援を受けて行われました。

掲載論文：K. Inoue, S. P. Tsunoda, M. Singh, S. Tomida, S. Hososhima, M. Konno, R. Nakamura, H. Watanabe, P.-A. Bulzu, H. L. Banciu, A.-Ș. Andrei, T. Uchihashi, R. Ghai, O. Bèjà & H. Kandori. “Crystal structure of heliorhodopsin.” *Nature* (2019) **574**, 132-136.

(注1) ロドプシン

動物から細菌などの微生物まで、幅広い生物種の細胞膜上に存在し、太陽光を吸収して様々な生物学的機能を発現するタンパク質。動物の持つロドプシンは視覚など光に関わるシグナル伝達を行う受容体であるのに対し、微生物の持つロドプシンの多くは光のエネルギーを使ってイオンを輸送する。従って、その機能は互いに大きく異なり、また進化的にも全く別系統であるにも関わらず、光を吸収するために共にビタミンAの誘導体であるレチナール色素をタンパク質内部に結合し、7本の膜を貫通するらせん(ヘリックス)からなるタンパク質構造を持つなど多くの共通点がある。

(注2) アシドーシス

ヒトの血液は通常中性付近に保持されているが、何らかの原因で血液が酸性化する疾患。酸性化すると血中に大量の水素イオンが生じ、組織や細胞へ障害をもたらすことがある。



5d 迁移金

物質設計評価施設 平井 大悟郎、廣井 善二

概要

原子番号の大きな元素中の電子にはスピン軌道相互作用が強く働き、スピンと軌道の自由度が結合した結果、それらを含む化合物において多極子の秩序が形成されることがあります。多極子の秩序はこれまで 4f 電子系を中心に研究が行われてきましたが、最近、5d 電子系でも多極子が実現する可能性が議論されています。私たちは、多極子秩序を示す有力な候補物質 $\text{Ba}_2\text{MgReO}_6$ の純良な単結晶を育成し、放射光を使った精密な回折実験を行うことで、d 電子系における多極子秩序を観測することに成功しました[1]。観測された四極子秩序は、理論的に予言されていたパターンと部分的に一致しており、 $\text{Ba}_2\text{MgReO}_6$ が理論と対応するよいモデル物質であることが分かりました。今回の観測と理論の比較、磁場中での振る舞いや励起状態などを詳細に調べることで、今後、スピンと軌道が結合した d 電子の振る舞いのより深い理解につながると期待されます。

d 電子系の多極子秩序

電子は軌道とスピンの自由度を持っており、孤立した電子ではこの2つの自由度の間にスピン軌道相互作用が働きます。しかし、電子が結晶中に入ると周りのイオンからのクーロン反発(結晶場)によって状況が変わります。軌道の広がりが比較的大きい3d軌道では、結晶場分裂によって軌道の縮退が解け、軌道角運動量はほとんど消失(Quench)してしまい、スピンの自由度しか残りません。一方、原子核の近くに局在している4f電子は結晶場の影響を受けにくく、さらに3d電子系よりもスピン軌道相互作用が強いいため、スピンと軌道が結合した電子状態を取ります。スピン角運動量 S と軌道角運動量 L が結合し、全角運動量 J で表されるこの状態では、スピン(双極子)の秩序以外にも、より高次の多極子秩序が形成される可能性があります。このような理由から、これまで多極子の物理は4f電子を持つ物質系を中心に発展しており、実験的にも理論的にも4f電子の多極子物理はほぼ確立されています。これに対して、結晶場の影響を強く受けてしまうd電子系では、多極子秩序の形成はほとんど議論されてきませんでした。しかし近年、5d電子系の化合物でスピンと軌道が

結合した J で表される電子状態が実現していることが観測され[2]、 d 電子系でも多極子の物理が展開できる可能性が示されました。さらに $5d$ 電子系の多極子秩序には、 $4f$ 軌道と比べて空間的に広がっている $5d$ 軌道の性質を反映する新規な物性が期待されると考えています。

d 電子系の多極子秩序研究の発端となったのは、オスミウム(Os^{7+})イオンを含む立方晶の化合物 $\text{Ba}_2\text{NaOsO}_6$ でした。 $\text{Ba}_2\text{NaOsO}_6$ は、磁気転移温度 6.8 K で強磁性を示す絶縁体ですが、その特殊な磁気異方性がまず注目を集めました。立方晶の強磁性体では普通、結晶の[100]または[111]方向が磁気容易軸になりますが、 $\text{Ba}_2\text{NaOsO}_6$ では磁気容易軸は[110]方向でした[3]。その後、 $\text{Ba}_2\text{NaOsO}_6$ の強磁性を、多極子の秩序によって安定化される特異な磁気構造を考えると説明できるという理論提案がなされました[4]。この理論によると、 $J = 3/2$ 状態の電子は四極子秩序を形成し、さらに低温でスピン同士の角度が約 90 度傾いている傾角反強磁性を示します。この傾角反強磁性は、 $\text{Ba}_2\text{NaOsO}_6$ で観測された[110]磁気容易軸と比較的小さい飽和磁化を再現することができます。2017 年、 $\text{Ba}_2\text{NaOsO}_6$ の単結晶を使った詳細な NMR 測定によって、理論で予想された通りの特異な傾角反強磁性の形成が明らかになりました[5]。NMR 測定では、磁気秩序相と常磁性相の間に未知の中間相があることが示唆され、四極子秩序相ではないかと議論されています。しかし、 $\text{Ba}_2\text{NaOsO}_6$ において、四極子秩序相の明確な証拠は今のところ得られていません。

多極子を示す有力候補 $\text{Ba}_2\text{MgReO}_6$

このような状況のなか、私たちは $\text{Ba}_2\text{NaOsO}_6$ 以外のモデル物質を探すことにしました。候補物質に必要なポイントは 2 つあります。1 つは、遷移金属が正八面体配位されていることによりスピンと軌道が結合した電子状態が実現されていること、もう 1 つは遷移金属イオン同士が十分に離れていて d 電子が局在していることです。この 2 つの条件を満たすダブルペロブスカイト化合物に着目しました。 $\text{Ba}_2\text{NaOsO}_6$ もダブルペロブスカイト(図 1)であり、ペロブスカイト(組成 ABO_3)の B サイトイオンが、秩序化した 2 種

類のイオンで置換された構造を持ちます。 $\text{Ba}_2\text{NaOsO}_6$ の場合、 $5d$ 電子を 1 つだけもつ Os^{7+} イオンは、酸素によってできた正八面体の中心にいます。スピン軌道相互作用が強い極限では、 d 電子は多極子自由度をもつ $J = 3/2$ という四重に縮退した電子状態となります。B サイトのイオンの秩序によって、 Os^{7+} イオン同士は十分に離れており、局在した $5d$ 電子が多極子の秩序を形成できる条件がそろっています。ここで、私たちは遷移金属イオンとして、 Os^{7+} イオンと同様に $5d$ 電子を 1 つだけもつレニウム (Re^{6+}) イオンに着目しました。 Os^{7+} イオンよりも価数が 1 つ小さいことで、対となる B サイトイオンの化合物の選択肢が大きく広がるからです。

ます。こちら、もしスピン $1/2$ の自由度しかなければ、 $R \ln 2$ しかエントロピーは放出されませんが、 $\text{Ba}_2\text{MgReO}_6$ では倍の $R \ln 4$ に近いエントロピーが観測されました。これは、スピンと軌道が結合し 4 重に縮退した $J = 3/2$ に期待されるエントロピーです。つまり、 $\text{Ba}_2\text{MgReO}_6$ の高温の常磁性状態では多極子自由度をもつ $J = 3/2$ 状態が実現していることがわかりました。比熱測定を行うと、磁気転移よりも高温の 33 K において、何らかの相転移を示唆するピークが観測されました。磁化測定の結果、33 K から 18 K の間は常磁性であることが分かっているので、33 K で形成される秩序は磁気的な秩序でない、四極子の秩序がもっとも有力であると考えました。

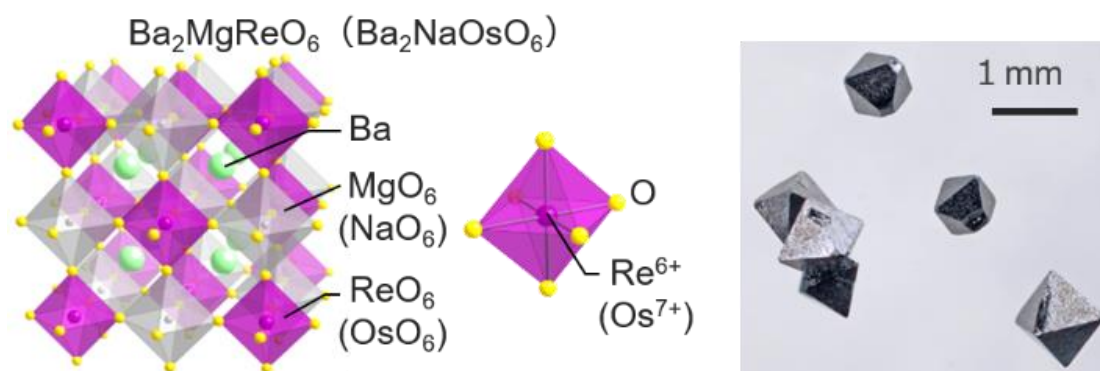


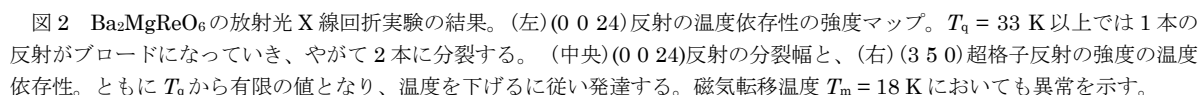
図 1 (左) ダブルペロブスカイト化合物 $\text{Ba}_2\text{MgReO}_6$ ($\text{Ba}_2\text{NaOsO}_6$) の結晶構造と (右) 合成した単結晶の写真。 Re^{6+} (Os^{7+}) と Mg^{2+} (Na^+) イオンのまわりに 6 つの酸素が正八面体型に配位しており、岩塩型に秩序した ReO_6 と MgO_6 の八面体が頂点を共有することで三次元構造を形成している。

私たちは、過去の報告をもとに物質をスクリーニングし、いくつかの有望な物質については粉末試料の評価を行うことで、 $\text{Ba}_2\text{MgReO}_6$ が四極子秩序を示す有力な候補物質であることを突き止めました[6]。 $\text{Ba}_2\text{MgReO}_6$ は磁気転移温度の 18 K 以下で、 $\text{Ba}_2\text{NaOsO}_6$ と同様に強磁性を示す絶縁体となります。強磁性モーメントの大きさは $\text{Ba}_2\text{NaOsO}_6$ と同程度であったため、同じような磁気構造を持っている可能性が高いと考えました。スピンと軌道が結合した電子状態である証拠も磁化と比熱の測定から得られました。一つめの証拠は、常磁性状態の磁気モーメントの大きさです。もし軌道角運動量が消失しておりスピンの自由度しか残っていない場合、磁気モーメントは $1.73 \mu_B$ になるはずですが、実験的に観測された磁気モーメントは $0.68 \mu_B$ と半分以下の大きさでした。これは、軌道モーメントがスピンを打ち消しているためだと考えられ、有限の軌道角運動量がスピンと結合していることを示しています。もう一つは、比熱から求められた相転移の際に放出されるエントロピーで、電子がどれだけの自由度を有しているかの指標となり

超精密回折実験による四極子秩序の観測

私たちは、 $\text{Ba}_2\text{MgReO}_6$ において四極子秩序が形成されているという状況証拠を得たので、放射光を使った回折実験によって、その秩序パターンを決定することにしました。四極子モーメントは電子の異方的な分布なので、電子格子相互作用を通して格子の変形を引き起こします。また、予想される四極子モーメントはそれぞれ固有の格子歪を誘起するので、四極子秩序の形成に伴う格子の変形を詳細にとらえることが出来れば、四極子秩序パターンを決定することが可能です。しかし、一般に四極子秩序に伴う格子変形は極めて小さくて観測が困難です。実際、 $\text{Ba}_2\text{MgReO}_6$ の粉末試料に対する過去の回折実験では構造の変化は観測されていませんし、私たちが実験室の X 線回折装置で行った測定でも構造の変化をとらえることはできませんでした。そこで、放射光 X 線を使い $\text{Ba}_2\text{MgReO}_6$ の結晶構造を 1 兆分の 1 メートルという超高精度で測定することで、四極子秩序の観測を目指しました。

超高精度の測定を行うためには、測定に耐えうる非常



測定の結果、四極子秩序の転移温度 $T_q = 33 \text{ K}$ において、極めて小さい結晶構造の変化を観測しました。まず、図 2 に示すように、X 線回折パターンで特定のピークが分裂し

Figure 1 illustrates the crystal structure and vibrational modes of ReO_3 . (a) 3D unit cell showing ReO_6 octahedra (purple) and Re atoms (pink). (b) 2D projection of the unit cell. (c) ε_V mode showing $Q_{x^2-y^2}$ distortion. (d) ε_U mode showing $Q_{3z^2-r^2}$ distortion. (e) 3D unit cell with phonon modes. (f) 3D unit cell with phonon modes.

Year	Percentage (%)
2008	~75
2009	~70
2010	~65
2011	~60
2012	~65

驚くべきことに、支配的である $Q_{x^2-y^2}$ モーメントの反強
 的秩序は、理論計算によって提案された四極子秩序のパ
 ターンと一致していました。この理論では、スピン軌道相
 互作用の強い極限で、ダブルペロブスカイト構造をもつ物
 質の電子間に働く相互作用を考慮しています。この理論と
 実験の一致は、 Ba_2MgReO_6 が理論をよく再現する d 電子
 系多極子秩序のモデル物質であることを示しています。今
 後、電子格子相互作用や量子揺らぎなど、理論で考慮され
 ていない効果を取り入れることで、実験で得られたパター
 ンが再現できるのではないかと考えています。

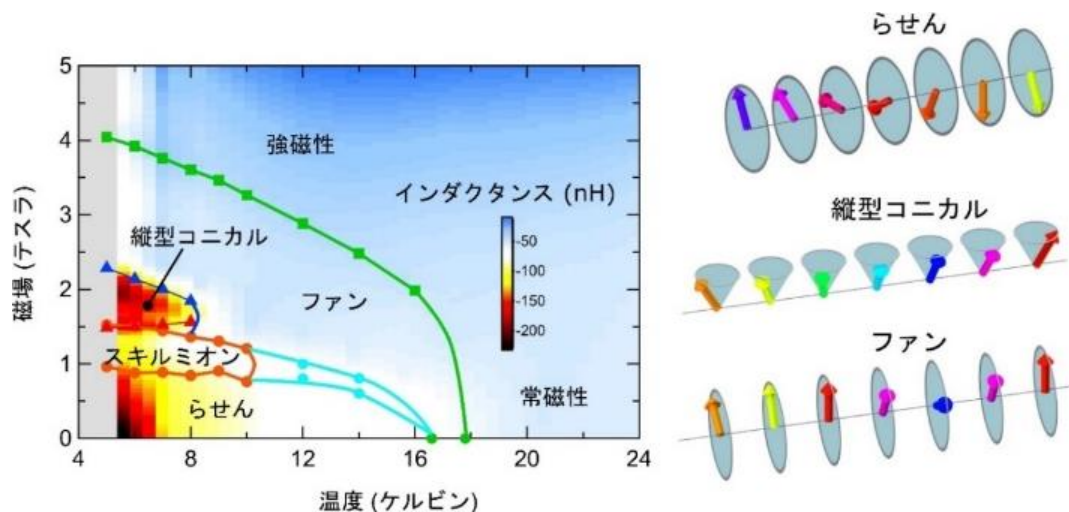


図 2 観測されたインダクタンスと磁気構造の模式図：(左)温度と磁場に対する磁気構造とインダクタンスの大きさを示すグラフ。インダクタンスが、らせん磁気構造相や縦型コニカル磁気構造相といった非共線的な磁気構造で大きな値を示す。水色の線で囲まれた領域は、磁気構造がまだ解明されていない相を示す。緑の線は、ファン相と強磁性相の境界を示す。(右)非共線的な磁気構造の模式図。

さらに、電流の値や周波数などを系統的に変化させ、インダクタンスの値を評価した。その結果、インダクタンスの値は、デバイ型の周波数依存や非線形な電流依存性を示すことが分かった。これらは磁気構造の電流駆動に特徴的な振舞であり、今回観測されたインダクタンスが、らせん磁気構造の電流駆動によって生じた創発インダクタンスであることを強く示唆している。加えて、さまざまな大きさの試料を作製し、インダクタンスと素子の大きさの関係を調べた。その結果、創発インダクタンスの理論で予測した通り、素子の大きさを小さくすると、インダクタンスの値が増大することが分かった(図 3)。この従来のコイルにおけるインダクタンスとは反対の素子サイズ依存性から、創発インダクタンスがインダクタの微細化に有望であると考えられる。

まとめと展望

本研究では、創発電磁場を用いたインダクタの新原理を実証した。この現象は今回対象とした物質 $\text{Gd}_3\text{Ru}_4\text{Al}_{12}$ に限らず、らせん磁気構造や強磁性磁壁といった非共線的な磁気構造を持つさまざまな磁性体において生じるはずである。今後、物質探索を進めていくことで、室温で動作可能な創発インダクタの応用につながると期待できる。

また、今回観測されたインダクタンスの符号は負であった。負のインダクタンスは、無線通信などで使用される高周波回路などへの応用が提唱されている。しかし、古典電磁気学に由来する従来のインダクタンスでは、負のインダクタンスはエネルギー的に不安定であることから、単一素子として負のインダクタの実現は困難であった。一方で、創発インダクタンスの原理では、正と負どちらの値でも取

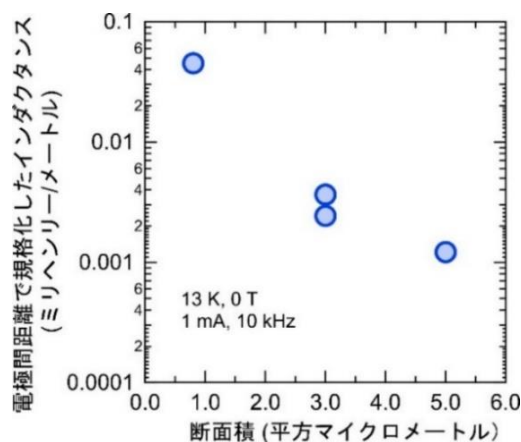


図 3 素子の断面積に対する電極間距離で規格化したインダクタンスの変化：インダクタンスの値は、電極間距離に比例するため、電極間距離で規格化したインダクタンスで比較している。断面積が小さくなるにつれて、規格化したインダクタンスの値が増大する。

ることができるため、負のインダクタンスを持つインダクタの実現への展開も期待できる。

謝辞

本研究は、理化学研究所創発物性科学研究センターの十倉好紀グループディレクター、永長直人グループディレクター、賀川史敬ユニットリーダー、マックス・ヒルシュベルガーユニットリーダーとの共同研究によるものです。また本研究は、科学技術振興機構(JST)戦略的創造研究推進事業 CREST「ナノスピン構造を用いた電子量子位相制御(研究代表者：永長直人)」、日本学術振興会(JSPS)科学研究費補助金若手研究「トポロジカルスピン構造での実空間ベリー位相起源の高効率スピン電荷変換現象の開拓(研究代表者：横内智行)」、同特別研究員奨励費「トポロジカル量子物質の物質開発と新規量子輸送現象の開拓(外国人特別研究員：Max Hirschberger)」、フンボルト財団による支援を受けて行われました。

- [1] D. Xiao, M.-C. Chang, & Q. Niu, Rev. of Mod. Phys. **82**, 1959 (2010).
- [2] S. E. Barnes, & S. Maekawa, Phys. Rev. Lett. **98**, 246601 (2007).
- [3] N. Nagaosa, Jap. J. Appl. Phys. **58**, 12090 (2019).
- [4] T. Yokouchi *et al.*, Nature **586**, 232 (2020).
- [5] M. Hirschberger *et al.*, Nat. Commun. **10**, 5831 (2019).

反強磁性電子と共生する高温超伝導電子

～ 銅酸化物高温超伝導体に潜む 30 年来の未解決問題に終止符 ～

極限コヒーレント光科学研究センターA、国際超強磁場科学研究施設 B

國定 聡 A、小濱 芳允 B、近藤 猛 A

概要：

高温超伝導は、20 世紀後半の物理学の最も重要な発見の一つである。高温超伝導が 1986 年に発見されて以来、その超伝導発現機構の解明に向けた研究が世界中の研究者によって競って行われてきたが、未だその統一した解釈は得られていない。中でも最も基礎的かつ重要な問題が、「モット絶縁体を形成する反強磁性電子と、キャリア注入により形成される高温超伝導電子との関係」である。銅酸化物高温超伝導体の超伝導は、モット絶縁体である反強磁性銅酸化物にキャリアを注入することで発現する。その際に、「反強磁性を乱さずに超伝導電子を形成できるのか」、はたまた「超伝導電子の形成には反強磁性を乱すことを前提とするのか」、の 2 択で大きな論争となっていた。それらの特徴付けるのが、「小さなフェルミ面」および「大きなフェルミ面」(図 2)である。しかし、これまでの研究では、一部が消失したアーク状のフェルミ面のみが観測されており、「小さなフェルミ面」か「大きなフェルミ面」のどちらかを決定できずにいた。本研究で我々は、構造的に平らでかつ電荷分布が均一で綺麗な超伝導結晶面を内部にもつ多層型の銅酸化物高温超伝導体(図 1b)に着目し、高いエネルギー分解能を持つ角度分解光電子分光(ARPES)を用いた電子構造の精密測定、および強磁場を用いた量子振動測定を行うことで、モット絶縁相ごく近傍に於いて形成される小さなフェルミ面の初観察および、反強磁性と高温超伝導の共存を解明した[1]。

実験結果：

本研究では、レーザー光源を用いて高分解能を実現した物性研究所の ARPES 装置と、Diamond Light Source (イギリス)の放射光 ARPES 装置を用いて多層型銅酸化物高温超伝導体の電子構造を観察し、また、物性研究所の国際超強磁場科学研究施設によってその量子振動測定を行った。

銅酸化物高温超伝導体の超伝導は、電荷供給層から超伝導面(CuO_2 面)へキャリアが注入されることで発現する。これまでの研究では、 CuO_2 面が 1 枚または 2 枚ある構造的にシンプルな物質が研究の主な対象であった[図 1(a)]。

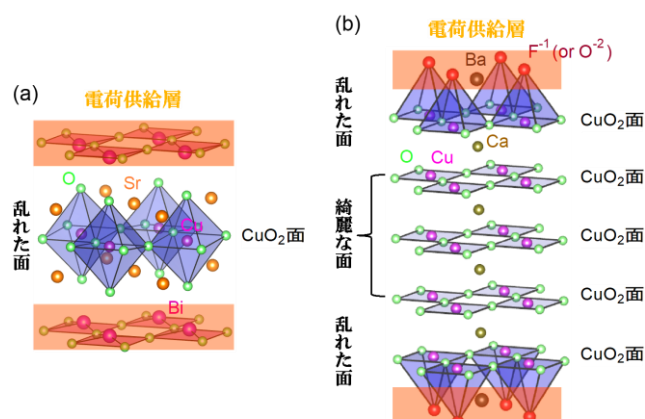


図 1. 銅酸化物高温超伝導体の結晶構造 (a) これまで研究されてきたシンプルな構造を持つ 1 層型銅酸化物高温超伝導体(例として $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+x}$)。 (b) 本研究で対象とした 5 層型銅酸化物高温超伝導体 $\text{Ba}_2\text{Ca}_4\text{Cu}_5\text{O}_{10}(\text{F},\text{O})_2$ 。

これらは合成し易い利点がある一方、結晶構造において電荷供給層が超伝導面に直接接する影響から、構造的な歪みが生じ、またキャリア注入に伴うランダムな元素置換により電荷分布が不均一となる「乱れた超伝導面」が形成されることが指摘されていた[2]。それを解消するため本研究では、 CuO_2 面を 5 枚持つ多層型物質に着目した(図 1b)。この物質は、電荷供給層に隣接しない内側に配置された CuO_2 面を有する。この内側の CuO_2 面は、構造的に平らになると同時に、電荷供給層がもたらす空間的に不均一なキャリア注入や欠陥の影響から外側の CuO_2 面によって保護されているため、理想に近い極めて「綺麗な超伝導面」として機能することが期待される。

本研究で ARPES により直接観察した 5 層型銅酸化物高温超伝導体のフェルミ面を図 2(b) に示す。3 枚見えるフェルミ面の内、(0,0) に近いものは、従来より他の銅酸化物高温超伝導体でも観察されてきたフェルミアーク状の構造を持つ。一方、他二枚のフェルミ面は小さなフェルミ面であり、これまで他の物質では観察できずにいた。これらは、ブリルアンゾーン中の $(\pi,0)$ - $(0,\pi)$ ライン(つまり反強磁性ゾーン境界)を境に折り返されていることから、反強磁性モット絶縁体にキャリアを注入して出現した小さな

機械学習を用いた薄膜作製プロセスの高速化

物質・材料研究機構 大久保 勇男、侯 柱鋒*

東京大学 物性研究所 Mikk Lippmaa

*現 中国科学院

はじめに

我々は日常の生活において、五感を通して得る情報から、対象を分類する能力や、事象の背後にある規則性を獲得し、様々な状況に対応している。これらに匹敵する能力を、コンピュータに与えることを目指したものが「機械学習」である。今日、この「機械学習」は、社会の様々な場所に導入され、その活躍の場は広がり続けている。しかし、最先端の科学技術研究を行う研究所や大学の実験室を見ると、アナログ的な現場が少なくない。最先端研究を支えている、時間と労力を必要とする、地道な繰り返しを伴う実験・作業の全部もしくは一部でも、この「機械学習」で置き換えることであれば、研究活動の効率化と短縮化を促すことが期待できる。

厚さがサブナノメートルから数百ナノメートルの薄膜試料は、基礎研究のみならず電子産業等をはじめとする種々の分野で幅広く利用されており、現在、薄膜作製プロセスは、重要な物質・材料作製手法の一つとなっている。所望の特性を示す薄膜試料を作製するためには、複数種ある薄膜作製パラメータを最適化し、その最適な組み合わせを見出すプロセスが不可欠である。また、その再現性も重要で、時々刻々変化する装置のコンデションに合わせて、定期的に薄膜作製パラメータの見直しが求められる。使途・目的により異なるが、最適な薄膜作製パラメータの組み合わせを決定するために、膨大な回数(数十回から百回程度)の薄膜作製実験を必要とされることも珍しくない。このため、薄膜作製パラメータ最適化プロセスの高効率化は、研究開発や生産工程における労力と時間の低減化、再現性の確保・向上を達成する上で、切実な課題の一つである。

本稿では、遷移金属窒化物の新物質開拓研究のために新規開発した有機金属分子線エピタキシー装置を用いた窒化チタン(TiN)薄膜作製実験に、機械学習の1つであるベイズ最適化手法を用いた研究[1]について紹介する。

研究内容

TiN 薄膜の作製は、独自開発した有機金属分子線エピタキシー装置[1]を用いて行った。安定した原料供給が困難な高融

点・低蒸気圧金属である Ti の原料として有機金属分子・TDMAT(tetrakis dimethylamino titanium, $\text{Ti}[\text{N}(\text{CH}_3)_2]_4$)を供給し、プラズマソースから供給される励起窒素原子種との基板上での反応を経て、TiN 薄膜が形成される。

薄膜作製パラメータの推定には、物質・材料研究のために開発されたベイズ最適化計算コード COMBO (COMmon Bayesian Optimization Library)[2]を用いて行った。この研究では、ベイズ最適化の目的関数として、TiN 薄膜の X 線回折測定で得られる、規格化された TiN(002)面の X 線回折強度 I_{norm} ($I_{\text{norm}} = I_{\text{TiN}(002)}/I_{\text{基板}}$, ここで d は TiN 薄膜の膜厚)を用いた[3]。 I_{norm} の値は、薄膜の結晶化度と結晶性を表しており、高品質エピタキシャル薄膜を得るための目的関数として適当な値である。薄膜成長制御における thermodynamics と kinetics に関係する 4 つの薄膜作製パラメータ (①薄膜成長温度[基板温度]、②Ti の原料である TDMAT 供給圧力、③④励起窒素原子種を供給するプラズマソースのパワーと窒素ガス供給量)をベイズ最適化により、目的関数である I_{norm} が最大になるように推定を行った。一連の実験は、図 1 に示すように、本研究で得られる実験データのみを用いてベイズ最適

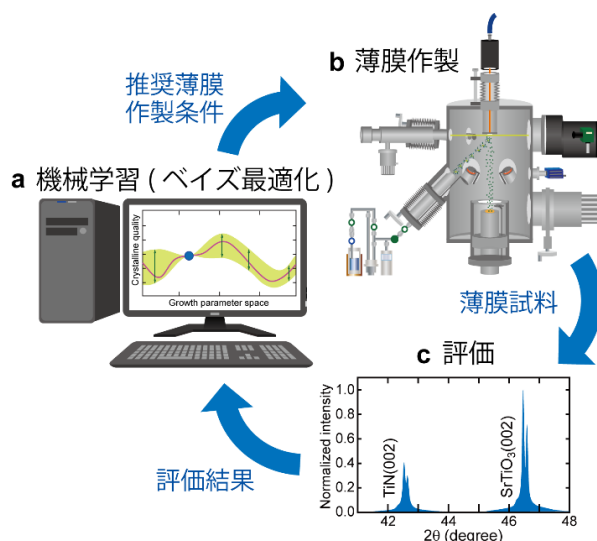
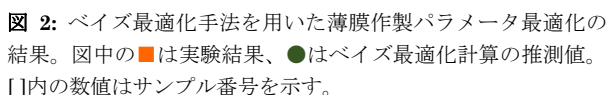


図 1: Closed-loop operation による薄膜作製パラメータ最適化の概念図。

ベイズ最適化手法で推定した薄膜作製条件で作製した TiN 薄膜は、図 1c に示されているように、エピタキシャル薄膜であった。薄膜成長中の反射高速電子線回折像は、ストリークで菊池線も確認され、高い結晶性の薄膜であることが示された。格子定数はバルクとほぼ同等の値であった[1]。薄膜の品質評価のために、これらのエピタキシャル TiN 薄膜の電気抵抗の温度依存(ρ -T)を測定した(図 3)。TiN は 5 K 前後で超伝導転移することが知られており、最



まとめと今後の展望

物性研だより第 60 巻第 4 号 14

謝辭

本研究は、物質・材料研究機構 相澤 俊、知京豊裕、森 孝雄、東京大学 津田宏治、Jiyeon N. Lee との共同研究により行われました。また本研究は、科学技術振興機構 (JST) 戦略的創造研究推進事業 さきがけ 研究領域「理論・実験・計算科学とデータ科学が連携・融合した先進的マテリアルズインフォマティクスのための基盤技術の構築」(研究総括：常行 真司) 研究課題「第一原理計算・インフォマティクス主導型新物質開拓 (研究者：大久保 勇男)」(No. JPMJPR15N1)、科学技術振興機構 イノベーションハブ構築支援事業「情報統合型物質・材料開発イニシアティブ」、JST 未来社会創造事業 探索加速型「共通基盤」領域研究開発課題「Materials Foundry のための材料開発システム構築とデータライブラリ作成 (研究開発代表者：知京 豊裕)」(No. JPMJMI18G5)、JST 未来社会創造事業 研究課題「磁性を活用した革新的熱電材料・デバイスの開発 (研究開発代表者：森 孝雄)」(No. JPMJMI19A1)等の一環として行われました。

References

- [1] I. Ohkubo, Z. Hou, J. N. Lee, T. Aizawa, M. Lippmaa, T. Chikyow, K. Tsuda, and T. Mori, *Mater. Today Phys.* **16**, 100296 (2021).
- [2] T. Ueno, T. D. Rhone, Z. Hou, T. Mizoguchi, and K. Tsuda, *Materials Discovery* **4**, 18–21 (2016).
- [3] I. Ohkubo, H. M. Christen, S. V. Kalinin, G. E. Jellison, Jr., C. M. Rouleau, and D. H. Lowndes, *Appl. Phys. Lett.* **84**, 1350–1352 (2004).
- [4] K. Kawaguchi, L. P. Kaelbling, and T. Lozano-Pérez, *Advances in Neural Information Processing Systems* **28**, 2809–2817 (2015).
- [5] C. Li, D. R. de Celis Leal, S. Rana, S. Gupta, A. Sutti, S. Greenhill, T. Slezak, M. Height, and S. Venkatesh, *Sci. Rep.* **7**, 5683 (2017).
- [6] A. Shearrow, G. Koolstra, S. J. Whiteley, N. Earnest, P. S. Barry, F. J. Heremans, D. D. Awschalom, E. Shirokoff, and D. I. Schuster, *Appl. Phys. Lett.* **113**, 212601 (2018).
- [7] W. Spengler, R. Kaiser, A. N. Christensen, and G. Müller-Vogt, *Phys. Rev. B* **17**, 1095–1101 (1978).

能性を調べるために、 MgSO_4 と NaCl の水和水、水処理膜中の水が、それぞれ純水と比べてどの程度構造を変化させるかを軟 X 線発光分光で詳細に調べた[5]。

水の軟 X 線発光分光を測定する場合、O 1s 内殻を軟 X 線で叩き出し、生成された正孔を価電子が埋める際の発光を捉える。液体の水を測定すると、図 2 の青線で示すように、水分子の持つ価電子の 3 つの 2p 軌道 ($1b_1$, $3a_1$, $1b_2$) のうち、 $1b_1$ 軌道のみが分裂する不思議なスペクトルが得られる。この起源については十数年にわたって議論されており、いまだに決着をみていない[6]が、我々は温度や偏光依存性、固液界面の水など、長年蓄積してきた軟 X 線発光のデータから、低エネルギー側の成分 ($1b_1'$) は水素結合の発達した環境にある水、高エネルギー側の成分 ($1b_1''$) は逆に水素結合の切れた、あるいは強く歪んだ成分に対応すると解釈している。価電子が分裂する主な要因は、励起する O 1s 内殻準位のエネルギーが水素結合環境に応じてシフトするためであり、 $1b_1$ のみが分裂して見えるのは、水分子の分極と直交する p_z 軌道 (非共有電子対) であるため水素結合の影響を受けにくく、逆に内殻のシフトを敏感に拾えるためである。水の水素結合環境の変化は、主にこの分裂した 2 つの $1b_1$ ピークの強度比として表れる。図 2 の緑線は、液晶高分子膜の構成要素として含まれるエーテル酸素の価電子成分、黒線は膜中に取り込まれた水の信号を示している。正確には、黒線には液晶高分子膜上に堆積した液体の水の成分も含まれているが、この界面水の寄与はほぼ青線と同じであることを、詳細な湿度依存測定によって確かめている。この結果から、液晶高分子膜中の水は、 $1b_1''$ ピークが $1b_1'$ ピークよりも相対的に強く、全体的に純

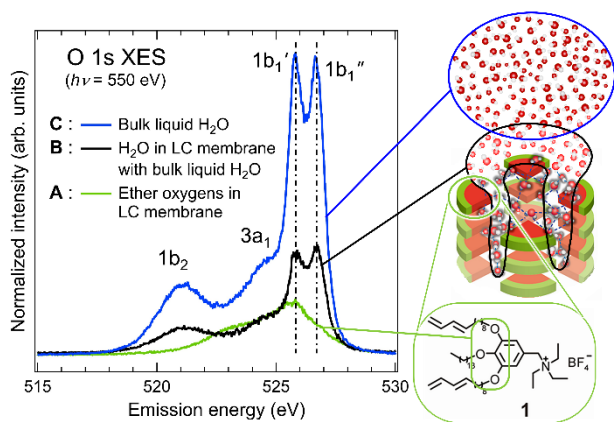


図 2 O 1s 内殻励起発光 (XES) スペクトル (A、緑) 液晶高分子膜中のエーテル酸素原子、(B、黒) 純水 (H_2O) と LC 膜中の H_2O 、(C、青) 純水のみ (H_2O)。各スペクトルに対応する酸素原子を右図に示す。[5]

水よりも水素結合が歪んでいることがわかった。次に、イオン透過率の異なる MgSO_4 と NaCl の水溶液についても同様に軟 X 線発光分光測定を行い、各イオンの水和水が作る水素結合を調べた。これを純水からの変化として捉えるため、液晶高分子膜細孔中の水、 MgSO_4 、 NaCl 水溶液、純水のそれぞれについて、発光スペクトルを積分強度で規格化した上で、液晶高分子膜細孔中の水、 MgSO_4 、 NaCl 水溶液のスペクトルから純水のスペクトルを差し引くという手続きを行った結果を図 3 に示す。この結果から、 MgSO_4 の方が、 NaCl よりもずっと液晶高分子膜細孔中の水に近い水和水の構造を持つこと、すなわち、水和されたイオンが細孔の中で安定に存在できることがわかった。これは、イオンを取り巻く水和水の水素結合構造が細孔中で安定に存在できる場合には、水和水をまとったイオンが透過しやすく、水和水の水素結合構造が細孔中と異なる場合には、イオンもろとも透過しないという可能性を示している。その理由として、細孔中の水とイオンの水和水が混合する際の自由エネルギーが、お互いの水素結合構造が類似している場合に最も安定化することが考えられるが、この解釈の是非は今後の計算科学の進展に委ねなければならない。また実用の観点からは、水和水の水素結合構造は塩の濃度による違いが小さい (図 3) ため、水素結合構造の整合

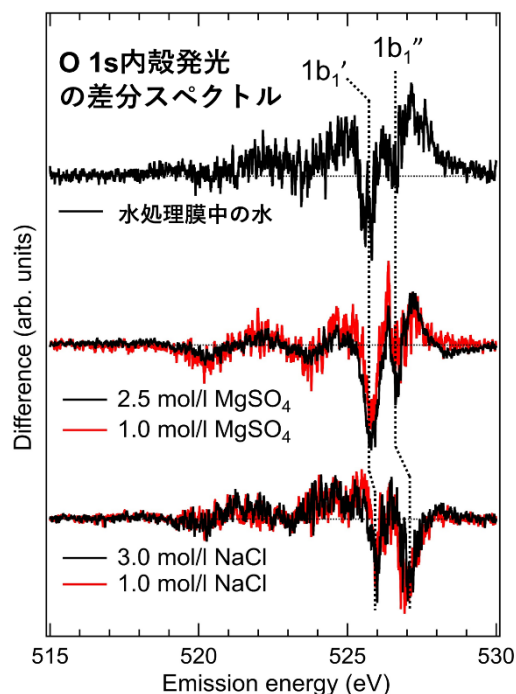


図 3 (上) LC 膜中の H_2O 、(中) MgSO_4 水溶液 (1.0 mol/L、2.5 mol/L) の水和水、(下) NaCl 水溶液 (1.0 mol/L と 3.0 mol/L) の水和水について、それぞれの純水からの水素結合変化を表す差分スペクトルの比較。[5改]

まとめと今後の展望

謝辭

- [1] M. A. Shannon, P.W. Bohn, M. Elimelech, J. G. Georgiadis, B. J. MariÇas, A. M. Mayes, *Nature* 452, 301–310 (2008).
- [2] J. R. Werber, C. O. Osuji, M. Elimelech, *Nat. Rev. Mater.* 1, 16018 (2016).
- [3] M. Henmi, K. Nakatsuji, T. Ichikawa, H. Tomioka, T. Sakamoto, M. Yoshio, T. Kato, *Adv. Mater.* 24, 2238–2241 (2012).
- [4] T. Sakamoto, T. Ogawa, H. Nada, K. Nakatsuji, M. Mitani, B. Soberats, K. Kawata, M. Yoshio, H. Tomioka, T. Sasaki, M. Kimura, M. Henmi, T. Kato, *Adv. Sci.* 5, 1700405 (2018).
- [5] R. Watanabe, T. Sakamoto, K. Yamazoe, J. Miyawaki, T. Kato, Y. Harada, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 59, 23461–23465 (2020).
- [6] a) J. Niskanen, M. Fondell, C. J. Sahle, S. Eckert, R. M. Jay, K. Gilmore, A. Pietzsch, M. Dantz, X. Lu, D. E. McNally, T. Schmitt, V. V. da Cruz, V. Kimberg, F. Gel'mukhanov, A. Föhlisch, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 116, 4058 (2019).; b) L. G. M. Pettersson, Y. Harada, A. Nilsson, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 116, 17156 (2019).; c) J. Niskanen, M. Fondell, C. J. Sahle, S. Eckert, R. M. Jay, K. Gilmore, A. Pietzsch, M. Dantz, X. Lu, D. E. McNally, T. Schmitt, V. V. da Cruz, V. Kimberg, F. Gel'mukhanov, A. Föhlisch, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 116, 17158 (2019).

光科学技術研究振興財団 晝馬輝夫光科学賞の受賞について

機能物性研究グループ 井上 圭一

この度、第2回晝馬(ひるま)輝夫 光科学賞を受賞させていただきましたので、ここにご報告いたします。この賞は、平成31年度に公益財団法人 光科学技術研究振興財団より創設された、日本の光科学の基礎研究や光科学技術の発展に貢献する研究において、独自に独創的な研究業績をあげた研究者個人に与えられるもので、今回の受賞の対象となった研究業績は「新奇な微生物型ロドプシンの光機能およびその光反応メカニズム」についてのものでした。

すでに所内の講演会やセミナーなどでお話をさせていただき、ご存知いただいている方も多いと思いますが、私が主な研究対象とするロドプシンは、細胞の脂質膜上に存在する膜タンパク質の一種で、ビタミンAの誘導体であるレチナールと呼ばれる色素を持ち、ヒトの体の中では視覚の初期過程である、光子の補足に関わる光受容素子としてはたります。また1971年に、高度好塩古細菌から発見されたバクテリオロドプシンは、細胞内から細胞外へ H^+ を輸送する機能を持ちます。そしてこれらのロドプシンは生物の光化学反応を調べるためのモデル系として、様々な分光研究の対象となり、分光手法の発展にも大きく貢献してきた歴史を持ちます。

一方、近年のゲノム解読技術の進展により、様々な生物種のゲノムから、新たなロドプシン遺伝子が発見されるようになりました。しかしその中で、特に多様性の大きい微生物タイプのロドプシンにおいて、バクテリオロドプシンなどとは配列が大きく異なり、分子機能の予測が困難なものが数多く含まれていました。

そこで私たちは大腸菌やホ乳類細胞などを用いて、これら機能未知のロドプシンのタンパク質を発現し、その光機能を調べることを可能としました。それにより光で細胞の中から外へナトリウムイオン(Na^+)を輸送するナトリウムポンプ型ロドプシン¹や、バクテリオロドプシンなど一般的なプロトンポンプとは輸送の方向が逆転した内向きプロトンポンプ型ロドプシン²を見出しました。そしてさらに、これらのタンパク質を精製し、時間分解レーザー分光計測や振動分光計測、X線結晶構造解析を行うことで、多様なイオン輸送メカニズムについても詳細に明らかとなりました。

また近年では、既知の動物および微生物ロドプシンのい

ずれとも異なる、第3のグループであるヘリオロドプシン³や真核生物の最終共通祖先に最も近縁な現生の原核生物であるアスガルド古細菌の持つ新奇な内向きプロトンポンプ型ロドプシンであるシジロドプシン⁴を見出し、ロドプシンの多様性とその機能性の広がりには留まることを知りません。そして、今後はこれらの分子についても、さらなる研究を物性研から発信していきたいと思っています。

残念ながら新型コロナウイルス感染拡大防止のため、本賞の贈呈式および受賞講演は中止となりましたが、写真の様にとても立派な賞状楯と賞牌を贈呈いただきました。この様な素晴らしい賞をお贈りいただきました光科学技術研究振興財団には改めて感謝申し上げます。また本受賞に至ったこれまでの研究は、指導教官や上長としてご指導・ご鞭撻をいただいた先生方、研究室のメンバー、数多くの共同研究者のご協力なくしては決して為し得ない物であり、お世話になりました全ての方々に、この場を借りて深く御礼申し上げます。



1. "A light-driven sodium ion pump in marine bacteria"
K. Inoue, H. Ono, R. Abe-Yoshizumi, S. Yoshizawa, H.
Ito, K. Kogure & H. Kandori. *Nat. Commun.* (2013) **4**,
1678.
2. "A natural light-driven inward proton pump" K.
Inoue, S. Ito, Y. Kato, Y. Nomura, M. Shibata, T.
Uchihashi, S. P. Tsunoda & H. Kandori. *Nat. Commun.*
(2016) **7**, 13415.
3. "A distinct abundant group of microbial rhodopsins
discovered using functional metagenomics" A.
Pushkarev, K. Inoue, S. Larom, J. Flores-Urbe, M.
Singh, M. Konno, S. Tomida, S. Ito, R. Nakamura, S.
P. Tsunoda, A. Philosof, I. Sharon, N. Yutin, E. V.
Koonin, H. Kandori & O. Béjà. *Nature* (2018) **558**,
595–599.
4. "Schizorhodopsins: A family of rhodopsins from
Asgard archaea that function as light-driven inward
H⁺ pumps" K. Inoue, S. P. Tsunoda, M. Singh, S.
Tomida, S. Hososhima, M. Konno, R. Nakamura, H.
Watanabe, P. A. Bulzu, H. L. Banciu, A. Andrei, T.
Uchihashi, R. Ghai, O. Béjà & H. Kandori. *Sci. Adv.*
(2020) **6**, eaaz2441.

第14回日本物理学会若手奨励賞(領域8)を受賞して

物質設計評価施設 平井 大悟郎

この度、第14回日本物理学会若手奨励賞(領域8)を受賞する栄誉に恵まれました。受賞の対象となった研究課題「5d 遷移金属化合物の物質開発と強相関電子物性の開拓」は、2015年に物性研に着任してからスタートした研究で、これまで5年間取り組んできた研究成果を評価していただきました。廣井善二先生をはじめとして、お世話になったすべての方々にこの場を借りて深く感謝申し上げます。

5d 遷移金属化合物は、周期表の第6周期にある遷移元素(5d 元素)を含む物質群です。周期表のだいぶ下の方にあるので、5d 元素にどのような元素があるのかを全て思い浮かべることができる人は少ないのではないのでしょうか。有名なものは白金(Pt)や金(Au)で、化合物をつくるイメージはあまりないと思います。実際、白金や金は反応性が低く、時間を経ても変化しない性質から、宝飾品として重宝されていますし、実験に使う反応容器などとしても利用されます。また、これらの金属の稀少性も私たちの心を惹きつける理由の一つでしょう。5d 元素は銅や鉄といった3d 元素と比較すると、地殻における存在率は圧倒的に小さく、レアメタルとして知られています。反応性の低さと稀少性のため、天然に産出する化合物はもちろんのこと、これまでに合成された5d 遷移金属化合物の数も非常に限られています。逆に言えば、5d 遷移金属化合物の物質開発には、広大な未開拓の領域が存在しているということになります。

物質の報告例が少ないため、物性という観点でも5d 遷移金属化合物はあまり注目されてきませんでしたが、近年、5d 化合物の物性が次々と明らかになり、多くの研究が行われるようになってきています。2009年に、私が学位を取得した東京大学新領域創成科学研究科の高木英典先生(現マックスプランク研究所)のグループは有馬孝尚先生(東大新領域)のグループと協力して、5d 元素のイリジウム(Ir)を含む化合物において、スピンと軌道が結合した電子状態を実験的に明らかにしました。その後、この電子状態をうまく利用した Kitaev スピン液体などの研究が花開いています。私が物性研に着任した2015年頃には、これまで強相関電子物性研究の中心的舞台であった3d や4f 電子系とは異なる、ユニークな物性が5d 電子系で現れると

いうことが認識されるようになっていました。

私はそのような状況において5d 遷移金属化合物の物質開発を行い、レニウム(Re)を含む化合物において多極子[1]、量子磁性[2]、多色性[3]という性質を示す物質を見出し、その結果をまとめた3編の論文が今回の受賞対象論文となりました。

私は物性研に着任したとき、最初に、Re 化合物を研究すると決めました。5d 化合物の研究は世界中で行われるようになっていましたが、比較的合成が簡単なIrの化合物に研究が集中していました。廣井研が過去に $\text{Cd}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ という超伝導体の研究を行っており、合成設備が整っているということも一つの理由ですが、やっている人が少ないから新しい「もの」に出会う確率が高いだろうと考えたからです。また、物性研に来る前にプリンストン大でポストドクをした時、R. Cava 先生から「君はタングステン(W)をやって欲しい」と言われたことが頭の片隅にあったのかもしれない。なら、次は周期表でお隣のReにしようかと。

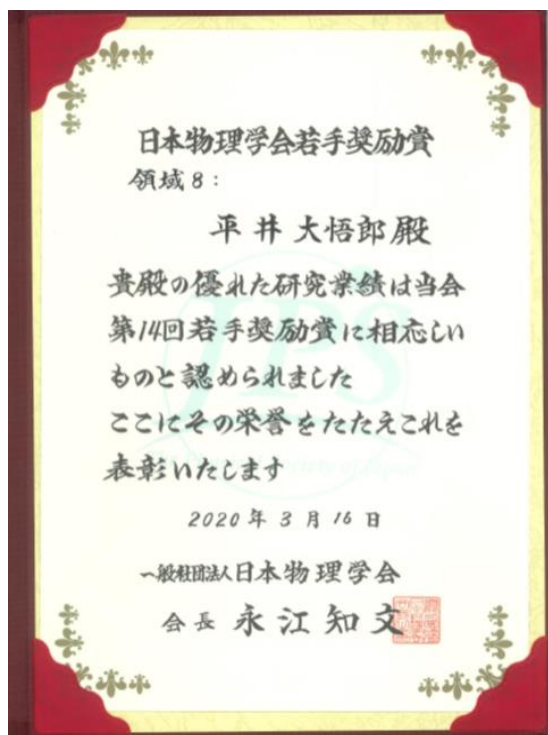
廣井研は、合成設備は整っていましたが、 $\text{Cd}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ の研究が行われていたのは2000年ごろだったため、合成のノウハウなどは手探りで研究を始めました。始めてみるとRe 化合物が非常にユニークであることがわかりました。合成の原料に使う単純な酸化物でも Re^{7+} の Re_2O_7 、 Re^{6+} の ReO_3 、 Re^{4+} の ReO_2 と様々な価数をとるものが存在します。性質もバラバラで、薄緑で透明な Re_2O_7 は、空気中の水分を吸ってすぐに「べちゃべちゃ」になり、熱すると100℃ちょっとで昇華します。 ReO_3 は鮮やかな赤色の金属で、非常に良い伝導性を示します。 ReO_2 もよい金属伝導を示しますが、こちらは地味な灰色の粉です。この中で Re_2O_7 がもっとも手に入りやすい試薬ですが、実験を始めるとアンブルに入った高純度の試薬でも水分を含んでいることがわかりました。そこで、低温で昇華する性質を利用して試薬を精製し、自前で純良性のよい原料を用意しました。この原料を使い合成した高品質な試料があってこそ、今回受賞に至った研究を成し遂げることができました。

$\text{Ca}_3\text{ReO}_5\text{Cl}_2$ は、光学特性以外でも驚かせてくれました。その Re^{6+} イオンは $5d$ 電子を 1 つ持っており、絶縁体なので局在磁性を示します。結晶構造から考えると、 Re は三次元的に配列しているため、単純な反強磁性秩序ができていのだろうと思い磁化率の測定を行いました。ところが、予想に反して明確な磁気転移が観測されず、低次元磁性体に特徴的なブロードなピークが現れました。この低次元磁性にも複合アニオン配位が重要な役割を果たしています。低対称配位子場によって電子が d_{xy} 軌道を選択的に占有することで、電子間の磁気相互作用が 2 次元的になります。そしてできた 2 次元三角格子の幾何学的フラストレーションの効果によりさらに次元性が低下し、あたかも 1 次元磁性体のような振る舞いを示すことがわかりました [2]。 $5d$ 電子系の特徴は強いスピン軌道相互作用だと上で述べまし

$\text{Ca}_3\text{ReO}_5\text{Cl}_2$ の多色性のように、物質合成をしていると思いがけない物質との出会いがあります。このような偶然の出会い、物質開発の醍醐味ですし、私の大きなモチベーションとなっています。新物質・新現象との出会いは、瞬間的な感動だけでなく、その後、研究を進める過程で、新しい測定手法、研究領域、そして共同研究者との出会いという継続的な楽しさを与えてくれました。私は物性研に着任してから 6 年間、**Re** 化合物から多くのことを学びました。最近でも次々に面白いものが見つかり、まだまだ **Re** から離れられそうにありません。今後も今回の受賞を励みに、「新しい物質が物性物理の新しい領域を作る」という信念のもと、面白い性質を持った新しい物質を発信していくことで、物質科学の発展に貢献していきたいと考えております。

- [1] "Successive Symmetry Breaking in a $J_{\text{eff}} = 2$ Quartet in the Spin Orbit Coupled Insulator $\text{Ba}_2\text{MgReO}_6$ "
D. Hirai and Z. Hiroi, J. Phys. Soc. Jpn. **88**, 064712 (2019).
- [2] "One dimensionalization by Geometrical Frustration in the Anisotropic Triangular Lattice of the $5d$ Quantum Antiferromagnet $\text{Ca}_3\text{ReO}_5\text{Cl}_2$ "
D. Hirai, K. Nawa, M. Kawamura, T. Misawa, and Z. Hiroi, J. Phys. Soc. Jpn. **88**, 044708 (2019).

- [3] " 'Visible' $5d$ Orbital States in a Pleochroic Oxychloride",
D. Hirai, T. Yajima, D. Nishio-Hamane, C. Kim, H. Akiyama, M. Kawamura, T. Misawa, N. Abe, H. Arima, and Z. Hiroi, J. Am. Chem. Soc. **139**, 10784 (2017).



令和 2 年

一般公開委員会委員長 常次 宏一

東京大学柏キャンパスは例年、10 月後半の金曜日と土曜日の 2 日間一般公開を実施しており、1 万人を超える来場者に研究活動の成果を見て頂いております。令和 2 年度は新型コロナウイルスの感染拡大に配慮してオンラインで開催することとなり、各部署の都合に合わせて全体としての開催期間は 10 月 17 日(土)から 31 日(土)の 15 日間としました。物性研究所では、ウェブ上に仮想現実(VR)空間「バーチャル物性研」を構築してその中でポスターや動画による実験・研究紹介のコンテンツ配信を行い、さらに

24 日(土)にはいくつかの動画・ライブ中継を行いました。なお、オンライン開催となったため柏から離れた SPring-8 の軌道放射物性研究施設の展示公開が今回はじめて可能になりました。アクセス数は 24 日(土)の 1214 を最高として、15 日間全体では 3825 という過去数年の一般公開の物性研究所への来所者平均を少し超える数字になりました。このオンライン公開は東京大学の学内広報 no.1540(11 月 24 日)の表紙を飾り、広く成果が知られることになりました。



2020 バーチャル 物性研究所

— オンライン一般公開 2020.10.24 —

デモ実験 —ライブ配信—

- | | |
|-------------|---|
| 10:00~11:00 | 強磁場施設公開(A)
新しく作ったポータブル強磁場発生装置のコイルテスト |
| 11:45~12:45 | 強磁場施設公開(B)
非破壊型パルスマグネットによる強磁場発生テスト
ここでしか見れないリアルな実験をライブ中継 |
| 11:50~12:20 | LASOR公開実験(1)
データってどうなってるの ～顕微鏡で見てみよう～ |
| 13:00~13:30 | 空から体験、SPRING-8! |
| 13:30~14:30 | 強磁場施設公開(C)
強磁場施設公開(B)より強い磁場に挑戦 |
| 14:30~15:00 | LASOR公開実験(2)
データってどうなってるの ～顕微鏡で見てみよう～ |
| 15:00~16:00 | 強磁場施設公開(D)
驚きの試み! レゴで物性研をつくる |

プチトーク —15分の短め研究紹介—

- | | |
|-------------|-----------------------------|
| 10:00~10:15 | プチ学生カフェ 化学編 |
| 10:20~10:35 | 弱い磁石がだめなら超強い磁石を使えばいいじゃない |
| 10:40~10:55 | 水素を運ぶ有機物
～小さな分子のパケツリレー!～ |
| 13:45~14:00 | 物質を観る・識る・創る |
| 14:05~14:20 | プチ学生カフェ 物理編 |
- そのほか、Webで体験・参加や実験・研究動画など盛りだくさんです

バーチャル物性研



物性研が丸ごとVR空間になりました!
バーチャル物性研から、各研究室の企画・イベントに参加できます。

サイエンスカフェ

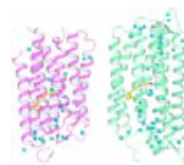
ミクロな世界のはたらきもの、タンパク質の世界

タンパク質の面白い性質や、どのように生き物の生活を支えているのかについて、最新のタンパク質研究なども合わせて紹介します。

日時 10月24日(土)
11:00~11:40



<講演者> 東京大学 物性研究所
井上浩一准教授



アクセス方法

URLもしくはQRコードでアクセスできます

<http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/openlab/>



東京大学柏キャンパス一般公開

日時 2020.10.17(土)~31(土)

東京大学 柏キャンパス一般公開2020はオンラインでの開催となります。



<主催> 東京大学 物性研究所



オンライン開催という未経験の形式において、どうすればうまく研究紹介ができるか議論を重ねました。例年の一般公開では、来所者にはまず本館1階ロビーで受付を済ませて各展示室を訪問してもらいます。その雰囲気を出すためにVR空間にバーチャル物性研を作りましたが、これは大学院生が本館の構造を細部まで忠実に再現した力作です。参加者は、一般公開のホームページのバナーをクリックして入ると物性犬の-avatarになって仮想空間を動き回ることができるようになり、バーチャル物性研の西南の入口か

ら入って階段を上がると6階大講義室の展示スペースへ導かれる設計になっています。展示スペースはライブ配信する「サイエンスカフェ」などの各企画のコーナーに分けて、参加者に動画やポスターなどの研究紹介を楽しんでもいただきました。例年実施しているスタンプラリーも、この展示スペースの8箇所クイズに回答する形式で行い、景品として物性犬がデザインされた壁紙(PC用とスマートフォン用)をダウンロードしていただきました。

開への参加がありました。ドローンによる施設の空撮動画は迫力があり非常に印象的であり、研究者インタビューコーナーなど研究者を身近に感じさせる工夫が盛り込まれた緻密な企画でした。電子顕微鏡実験は素人離れした高い完成度の構成に仕上げられ、公開した実験風景は視聴者を魅了しました。強磁場施設公開は現場での長時間動画配信に挑戦し、ライブならではの臨場感がネット上を大いに盛り上げました。

例年は6階ラウンジで開催しているサイエンスカフェもライブ配信で行い、機能物性研究グループの井上所員によるタンパク質についての面白いお話がありました。鈴木URAの企画のもと井上所員と実験室の永田助教の見事な連携により進行し、さらにYouTube配信へのコメントにリアルタイムで回答するなど、例年と一味違った臨場感の充実した企画となりました。サイエンスカフェの小型版として15分間のプチトークを5回配信し、所内の助教および大学院生にご自身の研究につながる内容や研究生活につ

いて語っていただきました。これらは動画編集を駆使した録画とライブ配信で実施されました。一般視聴者に研究内容や研究者を身近に感じていただけるように各講演者は試行錯誤を重ねて周到な準備を行い、面白かった！とのコメントを多くの視聴者からいただきました。これらのライブ企画の内容や見どころの告知として広報室と連携したTwitter 配信を数十件行うことにより、時間帯に依らず多くの方に視聴いただくことができました。講演者は以下の方々です。(敬称略、括弧内研究室所属)

プチ学生カフェ化学編	亀山亮平（森）、高橋香南子（廣井）
弱い磁石がダメなら超強い磁石をつかえばいいじゃない	今城周作（金道）
水素を運ぶ有機物 ～小さな分子のバケツリレー！～	出倉駿（森）
物質を観る・識る・創る	矢島健（X線）
プチ学生カフェ物理編	Nan Tang（中辻）、磯前貴央（中辻）

🕒 10:00～10:15

ブチ学生カフェ 化学編
 亀山 亮平・高橋 香南子
 研究生生活ってどんなかんじ？どうして大学院に進学したの？いろんな疑問に現役大学院生がお答えします。

ライブ配信中

🕒 10:20～10:35

弱い磁石がだめなら超強い磁石を使えばいいじゃない
 今城 周作 特任助教
 温度によって水が水蒸気や氷へ変化するように、磁場の強さによって物の性質を変えられる場合があります。ここでは世界最高レベルの超強磁場を発生させる磁石を使って色々な物質の性質を変化させる研究について紹介します。

🕒 10:40～10:55

水素を運ぶ有機物～小さな分子のバケツリレー！～
 出倉 駿 特任助教
 最近注目の水素自動車の動力源になっている「水素燃料電池」の中では、「水素」が一極から十極まで運ばれていきます。ここでは、水素を運ぶ個性的な有機分子と、分子が健気に水素をバケツリレーで運ぶ現象の研究についてお話しします。

ライブ配信中

🕒 13:45～14:00

物質を観る・識る・創る
 矢島 健 助教
 私たちの日常生活を支える物質は、様々な種類の原子が規則正しく並ぶことでなりたっています。では、新しい物質はどのようにして生み出されているのでしょうか？ここでは、そんな物質科学の世界についてお話しします。

🕒 14:05～14:20

ブチ学生カフェ 物理編
 Nan Tang・磯前 貴央
 研究生生活ってどんなかんじ？どうして大学院に進学したの？いろんな疑問に現役大学院生がお答えします。

動画配信に加えて、例年の展示に近いやりかたでの常設展示もウェブ上で実施しました。VR 空間の展示スペースの各コーナーの壁にポスターやディスプレイが配置されていて、参加者のアバターが近づくとその中身の説明が始まります。内容はムービーや対話型コンテンツも利用してオンラインの利点を活かすように工夫されていました。ほとんどの企画で外部発注に頼らず企画者自ら動画編集を行いました。当初の予想を大きく上回る力作が多数見られま

した。シミュレーション体験の展示や危険なため普段は公開できない高圧・光・レーザー実験を間近で撮影した迫力ある動画、ドローンによる爽快な空撮、タンパク質や有機結晶の物性・育成過程に迫った心踊らされる動画など多数のコンテンツが公開されました。スパコンの展示では、テレビゲームのプレイ画面を見ながら昨年新しく導入されたスパコンについての知識を得るという形式が印象に残っています。常設展示の企画と実施研究室を以下にまとめます。

物性科学とスーパーコンピュータ	尾崎研
コンピューターでみる結晶と物性	尾崎研
光で働くさまざまなタンパク質	井上研
自作高強度レーザーの中身を覗いてみよう	板谷研
オンライン高圧実験	上床研
水滴と不思議な模様	小林研
オンラインでレーザーを作ろう	小林研
強磁場施設公開 オレらの1日	強磁場
空から体験、スプリング8！	放射光
結晶育成部屋	森研
物性の起源を光で探る！	近藤研・岡崎研
データってどうなってるの ～顕微鏡で見てみよう～	近藤研・岡崎研
“力” カーシャッター	松永研
物質の原理を解き明かせ！	杉野研

最後に一般公開に関わってくださったすべての方に感謝いたします。まず、一般公開に参加くださった皆様、および素晴らしい企画を数多く実施してくださった所内関連研究室の皆様に心よりお礼を申し上げます。企画および運営実施に携わってくださった方々は、今回は特にオンライン開催となったため、過去の経験の蓄積によって確立されていたルーチンが使えず、多くの作業手順を最初から立ち上げる必要が生じ、量のみならず質的にも例年より大きな負担をおかけすることになってしまいました。特に一般公開委員会の実行部隊の中心となった若手を中心とした方々の献身的な努力がなければ一般公開は実現できませんでした。藤野委員は、企画、実施の両面で中心的な活躍をしてくださいましたし、向井委員もそのサポートを頑張ってくださいました。副委員長の小林所員は **VR 空間構築**を提案してくださり、研究室の学生の佐藤君、遠藤君、石塚君は膨大なプログラミング作業を経て素晴らしいバーチャル物性研

物性研究所談話会

標題：令和 2 年度 客員所員講演会

日時：2020 年 11 月 12 日(木) 午前 10 時～午前 11 時 45 分

場所：ZOOM 開催

要旨：

- | | |
|-------------|---|
| 10:00-10:05 | 所長挨拶（森 初果：物性研究所長） |
| 10:05-10:25 | 樋山 みやび（群馬大学）
「ホタル生物発光研究－物性研共同利用からの発展」 |
| 10:25-10:45 | 田中 秀数（東京工業大学）
「三角格子及び籠目格子量子反強磁性体における磁気励起の構造」 |
| 10:45-11:05 | 今中 康貴（国立研究開発法人 物質・材料研究機構）
「超強磁場における半導体、半金属のサイクロトロン共鳴」 |
| 11:05-11:25 | 高山 あかり（早稲田大学）
「対称性の破れた原子層構造における新奇物性解明の研究」 |
| 11:25-11:45 | 本山 岳（島根大学自然科学研究科）
「圧力下点接合分光測定の開発と CeCoIn5 における超伝導ギャップの圧力依存性」 |

物性研究

HW and H. C. Po, arXiv:2009.04845.

要旨：

固体表面に吸着した水分子の配向(水素の H-up/H-down 配置)は、水分子凝集系の物性や化学的特性に大きな影響を及ぼすため本質的に重要な構造情報である。私達は、二次の非線形光学効果に基づく和周波発生(SFG)分光法を基軸とする実験的アプローチをとり、特に、「二次非線形感受率($\chi(2)$)の虚部($\text{Im } \chi(2)$)のスペクトルが水分子の H-up/H-down 配向と直接的な相関を持つ」というユニークな特徴に着眼した研究を展開してきた。その結果、ある種の固体表面上の水分子吸着系においては異方的な配向秩序が創発され得ることや、さらに水分子が多数凝集した結晶氷の表面においては“表面の低配位性”に起因したバルクにはない特異な水素結合構造が発現すること等が明らかになってきた。本セミナーでは、こうした固体・氷表面上の水分子が織りなす水素結合の様々な構造・物性について紹介する。

要旨：

カイラル磁性体中の強磁性的マグノンやフォノンは非相反伝搬を示すことが知られている[6,7]。これは、DM 相互作用により分散曲線が波数空間で対称点からずれること、またマグノンとフォノンの磁気弾性結合によって説明される。我々は、ブリルアン光散乱分光により、カイラル磁性体中のヘリマグノンも非相反性を示すこと、またフォノンイメージング

分光により、高周波の弾道フォノンが比較的大きな磁気カイラル非相反を示すことを見出した。

- [1] Y. Tokura & N. Nagaosa, *Nature Commun.* 9, 3740 (2018).
- [2] T. Morimoto & N. Nagaosa, *Sci. Adv.* 2, e1501524 (2016).
- [3] M. Sotome et al., *PNAS* 116, 1929 (2019), *Appl. Phys. Lett.* 114, 151101 (2019).
- [4] 小川 他、*日本物理学会誌* Vol. 75, No. 3, 2020.
- [5] S. Toyoda et al., *Phys. Rev. Lett.* 115, 267207 (2015), *Phys. Rev. B* 93, 201109 (2016).
- [6] S. Seki et al., *Phys. Rev. B* 92, 184419 (2015).
- [7] T. Nomura et al., *Phys. Rev. Lett.* 122, 145901 (2019).

人事

○令和2年11月1日付け
(採用)

○令和2年11月1日付け
(採用)

○令和2年11月9日付け
(採用)

○令和2年11月9日付け
(採用)

東京大学物性研究所研究員(若手)の公募について

このたび、東京大学物性研究所では、下記の要領で若手研究員を公募します。つきましては、関係各位に広くお知らせいただくとともに適任者の推薦および応募について、よろしくお取り計らいくださるようお願いいたします。

記

1. 公募職種：特任研究員
2. 公募人員：若干名
3. 職務内容：物性科学における実験的または理論的研究
4. 応募資格：次の3条件を満たしている者
 - (1) 博士号または同等の資格取得後5年程度までの者、または、着任時までに取得が確実に見込まれる者
 - (2) 着任予定時に主たる職、大学院生および研究生等の身分を有しないこと
 - (3) 希望する物性研究所所員（教授または准教授）と事前に連絡を取り、所員の同意の上で研究計画等の作成を行うこと。希望する所員の受け入れ許可がない場合には応募は受け付けない。なお複数の研究室にまたがる研究テーマに取り組む場合には、主たる受け入れ所員を指定すること。
5. 任期：原則として2年間、その後、状況によっては再応募を認める。ただし、延長期間は1年間とし、再応募は1回のみとする。
6. 勤務態様・手当・給与等：
 - 週5日、裁量労働制（週当たり38時間45分相当）
 - 雇用保険・文部科学省共済組合に加入、通勤手当有
 - 給与は「東京大学年俸制給与の適用に関する規則」に定める第4条、第5条及び第6条による（年額約430万円程度）
7. 選考方法：選考委員会が提出書類、および、受け入れ所員に対する面接に基づき選考する
8. 提出書類：
 - (1) 履歴書
下記URLにある東京大学統一履歴書フォーマットに基づき、作成すること
<https://www.u-tokyo.ac.jp/ja/about/jobs/r01.html>
 - (2) 発表論文リスト
 - (3) 主な論文別刷り（3編以内）
 - (4) これまでの主な業績のまとめ（2000字以内）
 - (5) 受け入れ研究室での期間内における研究計画（2000字以内）
 - (6) 指導教員または推薦者による本人に関する意見書
9. 公募締切：2021年3月31日（水）必着
10. 採用予定日：2021年9月1日から2022年2月末日までに着任すること
11. 書類提出方法：
 - 郵送又は電子メール送付
 - 郵送：「物性研究所研究員（〇〇研究室）応募」と朱書き、簡易書留等の配達状況が確認可能な方法で送付すること。受け入れ所員名の記載が無い場合には不受理。
 - 電子メール：件名を「物性研究所研究員（〇〇研究室）応募」とし、応募の旨を総務係までメールで知らせること。その後、返信にて指定された書類送付先フォルダに応募書類一式を保存すること。
12. 書類提出先：
 - 〒277-8581 千葉県柏市柏の葉5丁目1番5号
 - 東京大学物性研究所総務係
 - 電話 04-7136-3591 e-mail issp-jinji@issp.u-tokyo.ac.jp
13. 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する。なお、送付された応募書類等は返却しないので、了解の上、申し込むこと。履歴書等の個人情報は本公募の用途に限り使用し、第三者への開示、譲渡及び貸与することはない。

Postdoctoral researcher positions at the Institute for Solid State Physics (ISSP), The University of Tokyo

1. Job title: postdoctoral researcher

2. Number of open positions : a few

3. Job description: experimental or theoretical research in materials science

4. Qualifications and requirements :

(1) Applicant must have a PhD or equivalent degree that was received within the last 5 years or so, or is going to obtain it before the start date.

(2) On the start date of appointment, the applicant has neither a main job nor status as a graduate student, postdoc, etc.

(3) Applicant has to choose an appropriate host faculty member (either professor or associate professor) at ISSP and develop an appropriate research plan by consulting the host researcher before document submission. Research topics that span more than one laboratory at ISSP are also welcome, but the applicant has to identify one particular host. An application without a host researcher at ISSP will be excluded from the selection.

5. Employment period:

Two years. It is possible to apply for a one-time, one-year extension.

6. Working hours, salary, etc. :

5 days a week (equivalent to 38 hours 45 minutes). The contract includes unemployment insurance, health insurance, and a commuting allowance. The annual gross salary is approximately JPY 4.3 million.

7. Selection:

Selection is based on the application documents submitted. Moreover, the host faculty member is interviewed by the Judging Committee.

8. Application documents:

(1) Curriculum Vitae

The official format of The University of Tokyo (<https://www.u-tokyo.ac.jp/en/about/jobs.html>) must be used.

(2) List of Publications

(3) Reprints of up to three major publications

(4) Description of past research and main achievements within 2 pages of the A4 or letter size

(5) Research plan at ISSP within 2 pages of the A4 or letter size

(6) A reference letter by your academic supervisor or recommender.

9. Application deadline: 17:00 (JST) on March 31, 2021.

10. Start date: between September 1, 2021 and February 28, 2022.

11. How to apply:

Send an empty e-mail with the subject line of “Application for PD (the name of the host faculty member)” to ISSP General Affairs Office (issp-jinji@issp.u-tokyo.ac.jp) to receive the URL for uploading application documents. Then, upload your application documents to the URL received.

12. Others

- The University of Tokyo is committed to gender equality in employment.
- Submitted documents will not be returned.
- Personal information contained in the application documents will be used only for the job selection process.

物性研だより第 60 巻目録 (第 1 号～第 4 号)

物性研だより第 60 巻第 1 号

新型の光応答性タンパク質であるヘリオロドプシンの構造を解明	井上 圭一	1	
日韓共同研究でグラフェン準結晶状態の超高速変化を直接観測	一次世代光デバイス制御に新たな自由度		
	鈴木 剛、小森 文夫、松田 巖	4	
有機分子へのスピントランスポーター効果	蒲生寛武、下瀬弘輝、榎涼斗、南谷英美、塩足亮隼、小谷佳範、 豊木研太郎、中村哲也、杉本宜昭、好田誠、新田淳作、三輪真嗣	6	
第 14 回凝縮系科学賞を受賞して	橘高 俊一郎	9	
強磁場研究会優秀口頭発表賞を受賞して	栗原 綾佑	11	
Advances in Engineering 社の Key Scientific Article に選出されて	玉谷 知裕	13	
物性研で定年退職して	嶽山 正二郎	14	
【理論滞在型国際ワークショップ】			
○Computational Approaches to Quantum Many-Body Problems (CAQMP2019)		19	
【物性研究所短期研究会】			
○「強磁場コラボラトリーによる強磁場科学の新展開 —光科学との融合も視野に入れて—		26	
【ISSP ワークショップ】			
○レチナールタンパク質の光機能発現の物理と化学		30	
○ヘリウム危機の現状と今後の課題		33	
【物性研究所セミナー】			35
【物性研ニュース】			
○人事異動		41	
○東京大学物性研究所教員公募について		42	
編集後記			
物性研だよりの購読について			

物性研だより第 60 巻第 2 号

キラル結晶の右手系・左手系で反転する放射状スピン構造を発見……………	坂野 昌人、近藤 猛……………	1
反強磁性金属薄膜におけるテラヘルツ異常ホール効果の観測		
	松田 拓也、神田 夏輝、肥後 友也、中辻 知、松永 隆佑……………	4
1兆分の1秒で起こる超高速な磁性の変化を元素別に解明……………	山本 航平……………	7
表面弾性波によるスキルミオン生成 ―発熱を抑えたスキルミオン生成の実現―……………	大谷 義近……………	9
第3回放射光科学賞受賞研究報告……………	辛 埴……………	12
第24回日本放射光学会奨励賞を受賞して……………	横山 優一……………	18
NPSCS2020の優秀ポスター賞を受賞して……………	小林 鮎子……………	20
リーディング大学院(MERIT)での5年間……………	山田 昌彦……………	22

真核生物の祖先に最も近縁なアスガルド古細菌の持つ、新奇光受容タンパク質の機能を解明	井上 圭一	1
5d 遷移金属化合物の示す「多極子秩序」の観測に成功	平井 大悟郎、廣井 善二	4
創発電磁場によるインダクタ ーインダクタの微細化に向けた新原理の実証	横内 智行、大谷 義近	8
反強磁性電子と共生する高温超伝導電子 ～ 銅酸化物高温超伝導体に潜む 30 年来の未解決問題に終止符 ～	國定 聡、小濱 芳允、近藤 猛	11
機械学習を用いた薄膜作製プロセスの高速化	大久保 勇男、侯 柱鋒、Mikk Lippmaa	13
自己組織化液晶高分子膜の水処理機能：選択的なイオン透過性を支配する水の水素結合構造	渡邊 隆甫、宮脇 淳、山添 康介、原田 慈久	16
光科学技術研究振興財団 晝馬輝夫光科学賞の受賞について	井上 圭一	19
第 14 回日本物理学会若手奨励賞（領域 8）を受賞して	平井 大悟郎	21
令和 2 年度 物性研究所一般公開の報告	常次 宏一	24
【物性研究所談話会】		30
【物性研究所セミナー】		31
【物性研究ニュース】		
○人事異動		34
○東京大学物性研究所研究員(若手)の公募について		35
物性研だより第 60 巻目録（第 1 号～第 4 号）		37
編集後記		
物性研だよりの購読について		

編集後記

丁度、この編集後記を書いているタイミングで、共同利用・共同研究拠点の期末評価調書を文部科学省に提出したところです。今年度は新型コロナウイルス感染症のため大幅に減りましたが、通常での年間の共同利用課題は 1,000 件に上り、延べの参加人数は 7,000 人を越えます。コミュニティの皆さんのご協力に期末評価作業を担当している者として、厚く御礼申し上げます。さて、今号はいつになく濃くかつバラエティが富んでいるのではないのでしょうか。井上先生は 60 号第 1 号にも寄稿されていますが、今回のイントロ部分は、物性研だよりとしてはとても新鮮な出だしになっているかと思います。銅酸化物の大小のフェルミ面の観測の成功は、レーザー光電子の超高分解能を活かした上で強磁場でのドハースを組み合わせた先端施設を有する物性研の真骨頂ともいうべきでしょうか。そして、機械学習もあり、と。バーチャル物性研を始めたとしたオンラインで開催した一般公開はとても評判であり、コロナ禍後でもこの潮流は続くことと思います。かなり高度のスキルによって為し得たバーチャル物性研の構築を始め、ライブ配信に向けた多大な尽力に対して、今年度の物性研究所所長賞の ISSP 柏賞が関係者に与えられました。

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