

物性研だより

BUSSEIKEN DAYORI

第56巻

第4号

2017年1月

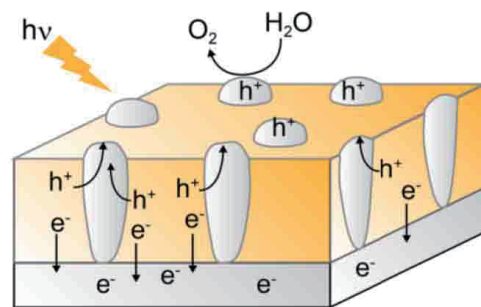
スピン液体相の近くに現れる「隠れた秩序」

「磁場によるコバルト酸化物の
新しいスピントロニクスオーバー」

スピンをレーザーで制御する
～レーザー照射で消磁と金属化を放射光で観測～

太陽光による水分解を高効率化する
ナノコンポジット結晶を開発

超高分解能光電子顕微鏡の開発と
チタン酸化物の表面強磁性
～レアメタルを使わないナノ磁石～



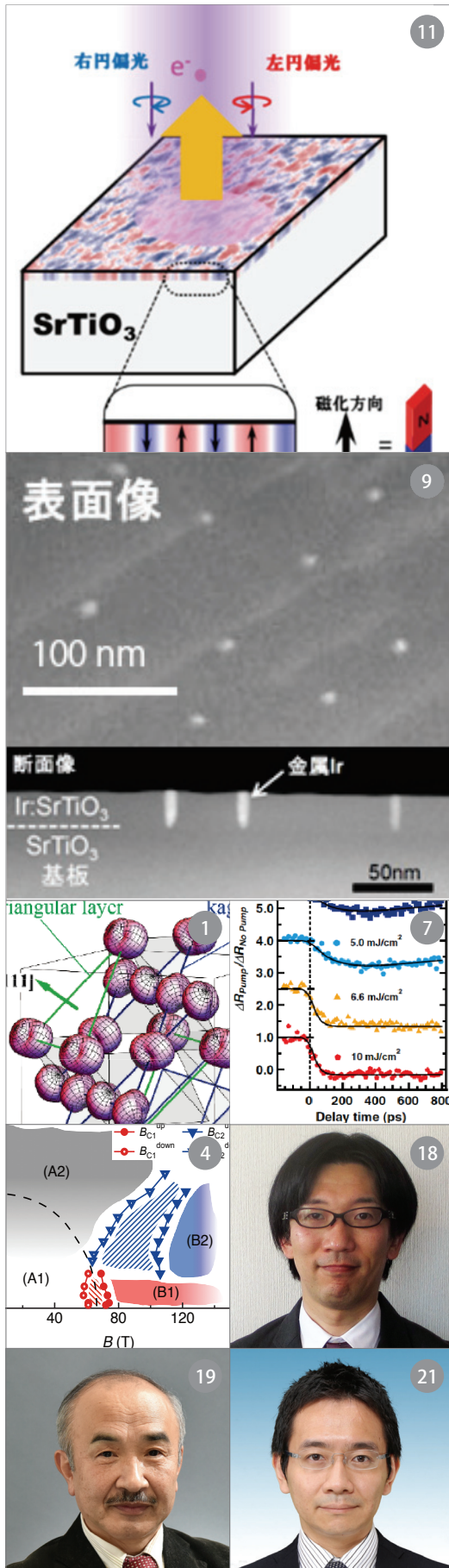
東京大学物性研究所

Copyright ©2016 Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo. All rights Reserved.

ISSN 0385-9843

contents

1	スピン液体相の近くに現れる「隠れた秩序」	高津 浩
4	「磁場によるコバルト酸化物の新しいスピncrossオーバー」	池田 暁彦、松田 康弘
7	スピンをレーザーで制御する ～レーザー照射で消磁と金属化を放射光で観測～	和達 大樹
9	太陽光による水分解を効率化するナノコンポジット結晶を開発	川崎 聖治、高橋 竜太、リップマーミック
11	超高分解能光電子顕微鏡の開発とチタン酸化物の表面強磁性 ～レアメタルを使わないナノ磁石～	辛 埴、谷内 敏之
13	日本物理学会若手奨励賞(領域8)を受賞して	近藤 猛
14	第8回強磁場フォーラム三浦奨励賞を受賞して	中村 大輔
16	理研シンポジウム・iTHES 研究会 「熱場の量子論とその応用」で最優秀ポスター賞を受賞して	長谷川 雅大
18	客員所員を経験して	野村 健太郎
19		松本 吉泰
21		酒井 英明
【研究室だより】		
23	○益田研究室	
【理論滞在型国際ワークショップ】		
30	○International Workshop on Tensor Networks and Quantum Many-Body Problems (TNQMP2016)	
【物性研究所短期研究会】		
34	○パイ電子系物性科学の最前線	
【国際ワークショップ】		
41	○HPSP-17 & WHS 報告	
45	第 61 回物性若手夏の学校開催報告	井上 高宏
49	【物性研究所談話会】	
51	【物性研究所セミナー】	
【物性研ニュース】		
60	○人事異動	
61	○東京大学物性研究所研究員の公募について	
【その他】		
63	物性研だより第56巻目録(第1号～第4号)	



スピン液体相の近くに現れる「隠れた秩序」

京都大学 高津 浩

はじめに

結晶構造の幾何学的フラストレーションを背景に現れる新奇な物性が注目されている。中でも三角格子の三次元版であるパイロクロア格子 (図 1a) は強いフラストレーションが働く系として注目されて研究されている。スピンの残留エントロピーや磁気モノポールの素励起、そして量子スピン液体など多彩でエキゾチックな物性研究の舞台である[1]。本稿で取り上げる $\text{Tb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ も量子スピン液体の候補物質として 1999 年の発見[2]以来、精力的に研究されてきた物質である。しかし、いくつかの試料に度々観測される「隠れた秩序」と呼べる謎の秩序の問題が、その本質的な理解を困難にしてきた。最近、我々は「隠れた秩序」がスピン液体相の近くに現れる四極子秩序であることを見出した[3]ので、この場をお借りしてその研究を紹介したい。興味深いことに、この秩序は、強いスピン軌道相互作用と結晶場の影響を受けたテルビウムイオン (Tb^{3+} , $4f^8$, $J = 6$) の波動関数が示す量子多体状態であり、それが電気四極子の秩序となって現れたものである可能性が分かった (図 1)。

研究の背景

パイロクロア磁性体 $\text{Tb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ はキュリーワイス温度 -19 K より十分低温の 0.07 K まで磁気長距離秩序を示さないことが報告されて以来、「スピン液体」の候補物質として精力的に研究されてきた物質である。スピン同士の交換相互作用のみを考えた最も簡単な理論モデルによると、この物質は $1\sim 2 \text{ K}$ 程度の温度で反強磁性秩序を示すと予想されるが[5]、そのような磁気秩序はこれまでに観測されていない。このため、これに変わる様々な理論モデルが提案されている[4,6]。一方、これまでの実験結果には興味深いものと一見して不可解なものが混在している。例えば、スピン液体の性質を支持する相転移のない試料と $T_c = 0.4 \text{ K}$ 付近に相転移のある試料といった全く異なる報告がある。いくつかの試料には磁気秩序とは異なる謎の「隠れた秩序」が観測されるのである。特に、その大きな試料依存性の傾向は単結晶試料に強く現れるため、 $\text{Tb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ の基底状態の理解を困難にしてきた。この秩序状態は一体何なのか? $\text{Tb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ は本当にスピン液体なのか? という問題は、スピン液体と隠れた秩序が共に観測し

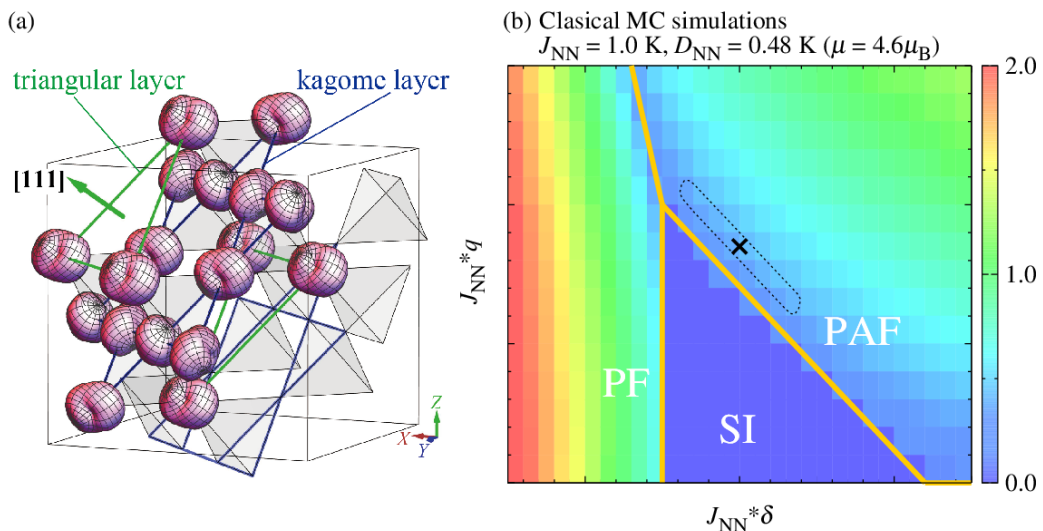


図 1. (a) パイロクロア格子構造と $\text{Tb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ の四極子秩序構造。四面体頂点にある紫色の歪んだ球が四極子秩序後の Tb^{3+} イオンの電荷分布を表し、それらの周期構造が四極子秩序の構造を表す。(b)古典近似で計算した量子スピンアイス模型[4]のパラメータ相図。中心のスピンアイス (SI, 量子論的に扱くと量子スピンアイスになる) の相とそれに隣接して PAF、PF と呼ばれる 2 つの四極子秩序相がある。PAF、PF では四極子の秩序構造が異なる。長距離秩序を示す $\text{Tb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ の様々な実験結果は点線で囲んだ PAF 領域のパラメータで表せることが分かった。×印はパラメータの代表的な一点 (δ, q) = (0, 0.85) で図 3(b) の計算パラメータである。カラー強度は計算から算出された相転移温度を表す。

こなかった $\text{Tb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ の「隠れた秩序」の問題は、純良な単結晶を得て実験ができたこと、そして新しい視点に立ってその理論的解釈ができたことにより、 Tb^{3+} イオンの波動関数が示す量子多体状態が電気四極子の秩序となって現れたものであることが明らかとなった。

結び／今後の展望

今回の研究成果は、幾何学的フラストレーションを持つ磁性体に電気四極子の自由度が絡むことを示した初めての例であり、“frustrated quadrupolar system” と呼べる新しい量子多体状態を研究できることを浮き彫りにしたものである。また、秩序相の近くに現れるスピン液体は、量子スピニアイスというスピニアイスが量子力学的に重ね合わさった状態と言えるエキゾチックな量子液体状態である。四極子秩序は格子のひずみと結合することが良く知られているため、今後は、微小な格子変形を観測すること、そして共鳴 X 線散乱実験のような少し特別な手法などを使って直接的な方法で四極子秩序の様子を明らかにすることが重要な課題のひとつと考えられる。また、秩序相の近くにあるスピン液体の性質を実験的に明らかにすることも興味深い研究の課題である。

謝辞

本研究は以下の方々（門脇広明、谷口智洋、脇田美香、小野田繁樹、加藤康之、橘高俊一郎、笠原聡、河野洋平、榊原俊郎、B. Fåk、J. Ollivier、J. W. Lynn 各氏）の協力をもとに行われました。また日本学術振興会による科学研究費補助金事業（KAKENHI 24740253, 25400345, 26400336, 26800199, 15H01025, 16K05426）の支援を受けました。極低温までの比熱や磁化の実験は東大物性研の共同利用のサポートを受けて行いました。中性子散乱実験の一部は東大物性研附属中性子科学研究施設の ILL 支援枠のサポートを受けて行いました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

[1] C. Lacroix, P. Mendels, and F. Mila, *Introduction to Frustrated Magnetism* (Springer, Berlin, Heidelberg, 2011).
[2] J. S. Gardner *et al.*, Phys. Rev. Lett. **82**, 1012 (1999).
[3] H. Takatsu *et al.*, Phys. Rev. Lett. **116**, 217201 (2016).
[4] S. Onoda and Y. Tanaka, Phys. Rev. Lett. **105**, 047201 (2010).

[5] M. J. P. Gingras and P. A. McClarty, Rep. Prog. Phys. **77**, 056501 (2014).
[6] 興味のある方は次の論文やその中の参考文献を参照されたい : H. Kadowaki *et al.*, SPIN **5**, 1540003 (2015)., H. Takatsu *et al.*, J. Phys. Conf. Ser. **683**, 012022 (2016)., M. Wakita *et al.*, J. Phys. Conf. Ser. **683**, 012023 (2016).
[7] T. Taniguchi *et al.*, Phys. Rev. B **87**, 060408(R) (2013).



我々は、物性研強磁場施設に特有な実験設備である、一巻きコイル装置と誘導法磁化測定法を用いることで、2 ~ 110 K の温度領域で、LaCoO₃ に 133 T に及ぶ超強磁場を印加し、磁化測定をおこなった。そして、LaCoO₃ の相図上にエントロピーの小さな高磁場相が存在することを示して示した。以下ではその結果を簡単に紹介する [3]。

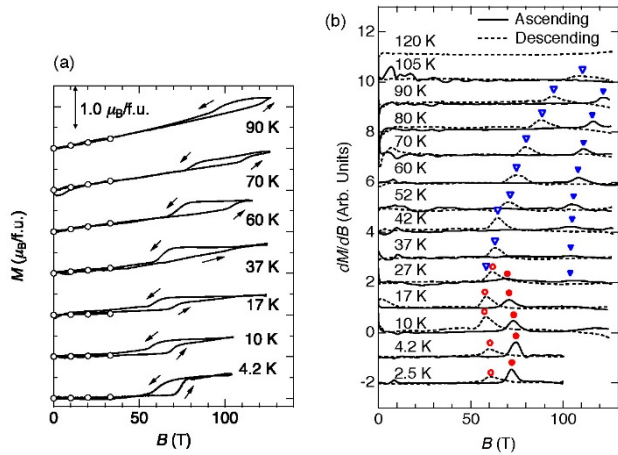


図 3 (a) LaCoO₃ の磁化曲線 M 、(b) LaCoO₃ の磁化の磁場微分 dM/dB

【実験結果】

図 3(a) の 30 K 以下の磁化曲線を見ると、磁気転移における磁化変化は $0.5\mu_B/\text{Co}^{3+}$ 程度であり、HS 状態における飽和磁化 $4.0\mu_B/\text{Co}^{3+}$ ($g=2$ と仮定) に対しておよそ $1/8$ の小さな値である。また、30 K までは転移磁場に温度依存性が見られない。この結果はこれまでの報告と良い一致を示した。

一方で、我々は 30 K 以上の温度領域で異常な磁場応答を発見した。30 K を超えると、転移磁場が急に 100 T を超えるほど上昇した。さらに温度を上げると、磁場上昇・下降時の転移磁場が共に高磁場側にシフトしていった。この結果は図 3(b) の dM/dB 曲線の温度依存性をみるとより明らかである。転移磁場を磁場温度平面にプロットしたものが図 4 である。観測された相境界は、通常のスピントロソオーバーから予想される相境界 (図 4 破線) と全く異なることがわかった。よって磁場誘起スピン転移は非従来の機構によるものと推察される。また、30 K 程度で転移磁場が急激に変化することから、高磁場相は (B1) と (B2) の 2 種類に分けられると考えた (図 4)。

(B1)、(B2) 相の起源に関する詳しい議論は本論文に譲るが、我々は (B1)、(B2) 相の起源としてスピン状態や軌道状態などの自由度が秩序化したエントロピーの小さな相であると考えた。具体例を挙げると、図 4 の挿入図のように (B2)

相ではスピン状態が HS (または IS) 状態と LS 状態の結晶状態になっている。さらに (B1) では残された軌道自由度が秩序化し、さらにエントロピーが低下した相であると考えた。このように考えると定性的に実験結果を再現するからである [3]。

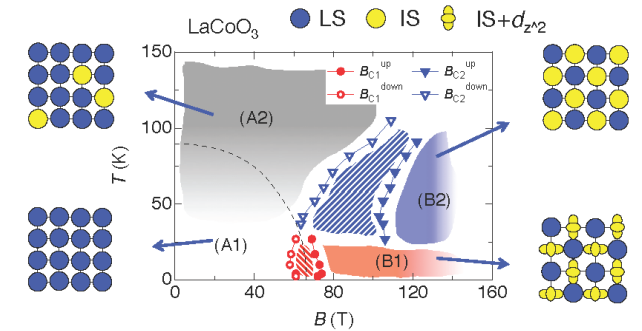


図 4 LaCoO₃ の磁場-温度相図と各相のスピン状態 (我々の当初の予想) の模式図

我々の論文のすぐ後に 2 軌道ハバードモデルの磁場応答に関する論文が出版された [4, 5]。これらの論文では共通して、スピントロソオーバー系における磁場誘起励起子絶縁体相の存在を主張しており、我々の実験結果を説明するとしている。特に Tatsuno らの論文では具体的に、(B1) 相に励起子絶縁体相が、(B2) 相にスピン状態結晶相が対応しているのではないかと主張されている (図 5)。さらに約 1500 T に及ぶ広域な磁場範囲で相図を予想し、1000 テスラ付近で励起子絶縁体相への再突入があることを予言した [4]。また、Sotonikov らの論文では、励起子絶縁体相で超流動状態になっているのは IS であり、HS ではないと述べられている点も興味深い。これは、IS の移動に比べて HS の移動には多くの電子遷移過程が関与するため、起こりづらいという議論である [5]。

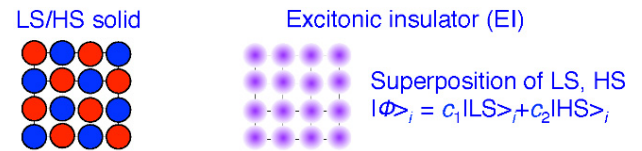


図 5 2 軌道ハバードモデルの理論解析 [文献 4] によって予想された (B1)、(B2) 相の起源の模式図。(左) LS-HS 結晶相、(右) 励起子絶縁体相。ここで、HS、LS はそれぞれ一つの励起子、真空に対応する。固体全体で HS、LS の波動関数がコヒーレントに量子混合した状態は、HS (励起子) の超流動相に対応する。これは励起子絶縁体に相当する。

スピンをレーザーで制御する～レーザー照射で消磁と金属化を放射光で観測～

極限コヒーレント光科学研究センター 和達 大樹

Ni の 1 ps 以下の超高速消磁が Beaulieu らによる時間分解磁気カー効果測定[1]によって明らかになって以降、磁性体の磁気秩序を光で制御する研究が盛んになっている。このような超高速消磁現象の理解のために現象論的な「3 温度モデル」が提案されている。このモデルでは電子とスピンと格子が独立に温度を持ち、超高速消磁には電子とスピンの直接の相互作用が重要であると示されている。ここでは、強磁性絶縁体を示す BaFeO₃ 単結晶薄膜(T_C = 115 K)[2, 3]の時間分解 X 線磁気円二色性(XMCD)測定による研究について報告する[4]。同種の結晶構造を持つ SrFeO₃ が金属であることから、BaFeO₃ の金属化は容易と予想され、実際に磁化の消える消磁だけでなく絶縁体金属転移のダイナミクス観測に成功した。

BaFeO₃ 薄膜の時間分解 XMCD 測定は、ドイツ・ベルリンの BESSY II のビームライン UE56-1_ZPM[5]で行った。この測定により電子状態と磁性の両方が観測できるという長所がある。薄膜に対する X 線吸収分光と X 線光電子分光の測定により、Fe⁴⁺となっていることが確認できている[3, 4]。図 1 に測定の配置図を示す。放射光 X 線の円偏光の向きは固定し、薄膜面内に磁場をかける電磁石によって磁場の向きをスイッチさせることができる。磁場のプラスマイナスに応じて、反射率 R⁺と R⁻が得られる。平均反射率は(R⁺+R⁻)/2 で与えられ、電子状態を反映する。XMCD シグナルは(R⁺-R⁻)/2 で与えられ、試料の磁化を表す。パルス幅 50 fs のチタンサファイアレーザー（波長：800 nm、エネルギー：1.55 eV）をポンプレーザーとして用いた。ポンプレーザーのスポットサイズは 0.40 mm(水平)×0.25 mm(垂直)であり、プローブに使う放射光 X 線の方は 0.1 mm × 0.1 mm であった。時間分解測定の繰り返し周波数は 3 kHz であり、ポンプレーザーの周波数によって決まっている。ポンプしたシグナルとポンプしていないものを交互に測定している。この測定の時間分解能は、放射光 X 線のパルス幅である 70 ps である。

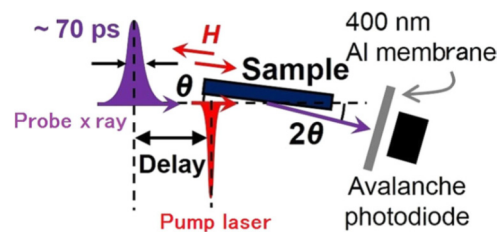


図 1: 時間分解 XMCD 測定の配置図。

図 2(a)が様々な励起レーザー強度での BaFeO₃ 薄膜の XMCD 強度の時間変化を示す。縦軸の値は、ポンプしていない場合の値で規格化している。ポンプレーザーがあつた t = 0 で XMCD 強度は減少する。ポンプ強度(F)の変化に伴い、XMCD 強度の時間変化は異なったふるまいを示す。F が 5.0 mJ/cm² 以下では、消磁は 150 ps 程度とかなり遅く、400 ps 程度後に磁化の回復が見られる。F が 6.6 mJ/cm² 以上では、消磁は放射光の時間幅である 70 ps 以下と速くなり、磁化の回復は最初の 800 ps の間では見られない。我々はこれらの消磁ダイナミクスの異なった振る舞いを、6.6 mJ/cm² 以上のレーザーによる絶縁体金属転移によるものと考えた。図 2(b)は X 線反射率の時間変化を示す。これによって、電子状態のダイナミクスを知ることができる。縦軸は(a)と同様に、ポンプしていない場合の値で規格化している。F が 5.0 mJ/cm² 以下ではポンプの効果が見えないが、F が 6.6 mJ/cm² 以上では効果が見えたと見られている。

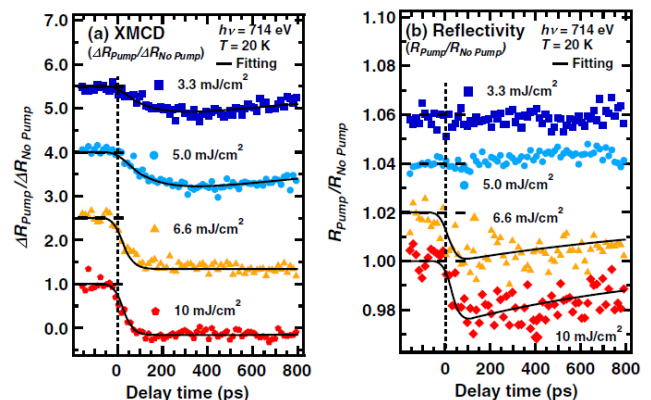


図 2: 様々な励起レーザー強度での BaFeO₃ 薄膜の(a) XMCD 強度と(b) X 線反射率の時間変化。10 mJ/cm² 以外の曲線は分かりやすさのためオフセットで上にあげている。

太陽光による水分解を高効率化するナノコンポジット結晶を開発

ナノスケール物性研究部門 川崎 聖治、高橋 竜太、リップマー ミック

【研究背景】

太陽光は、環境にやさしいエネルギー源の代表ですが、太陽の光のエネルギーをどのようにして燃料という形に変換し蓄えるかが、エネルギー問題を考える上で重要なテーマになっています。変換した燃料の中でも水素ガスは、燃料として使った場合に水のみを排出して二酸化炭素をまったく排出しない、最もクリーンな燃料とされています。水素ガスをクリーンに製造する方法の一つとして、光電極を利用した水分解があります。しかし、この光電気化学反応は、製造コストに対してエネルギー変換効率が低いことがネックになっており、実用化の障害になっています。今回我々は、水分解光電極の効率を向上するためにナノサイズの金属の柱（直径約 5 nm）を酸化半導体内部に埋め込んだ新規な「ナノコンポジット結晶」をデザインし、かつ簡便な手法で作製することに成功しました[1]。

【実験結果】

光電極の高効率化には、光励起で半導体内部に生じる電子(e^-)とホール (h^+) をいかに効率よく空間的に分離し、水の電気分解反応に利用するかがとても重要です。そこで、我々は、半導体薄膜内部にナノサイズの金属の柱を埋め込んだ図 1(a)のようなナノコンポジット結晶を考案しました。n 型半導体と仕事関数の大きな金属の組み合わせを選ぶことで、界面にショットキー接合を形成し、電子とホールの分離を効率よく起こそうというアイデアです。しかし、一般にこのような複雑なナノ構造の作製には、リソグラフィなどの高価で複雑なプロセスが必要になります。本研究の大きな成果は、このような複雑なナノ構造を一段階の薄膜堆積プロセスで簡便に作製できたことにあります。我々の実験結果では、ナノサイズの柱に金属イリジウム (Ir)、薄膜の主成分にチタン酸ストロンチウム($SrTiO_3$)を用いた光電極において、非常に高い水分解効率を得ました。

試料の作製には、高品質の薄膜作製を可能とするパルスレーザー堆積法という手法を用いました。この手法は、薄膜の原料に強力なパルスレーザーを照射し、原料を蒸発させることで、基板上に様々な材料の薄膜を作製できます。

この薄膜作製時に金属イリジウムと $SrTiO_3$ を基板上に同時に堆積すると、その結晶化プロセスで相分離が自発的に進行し、ナノサイズの金属 Ir の柱状結晶が $SrTiO_3$ 薄膜内部に分散した理想的な試料を作製することができました。図 1(b)および(c)は、その薄膜の電子顕微鏡像です。このようなナノ構造の形成は、相分離の起こりやすい様々な材料の組み合わせで起こりうるようになってきています[2]。

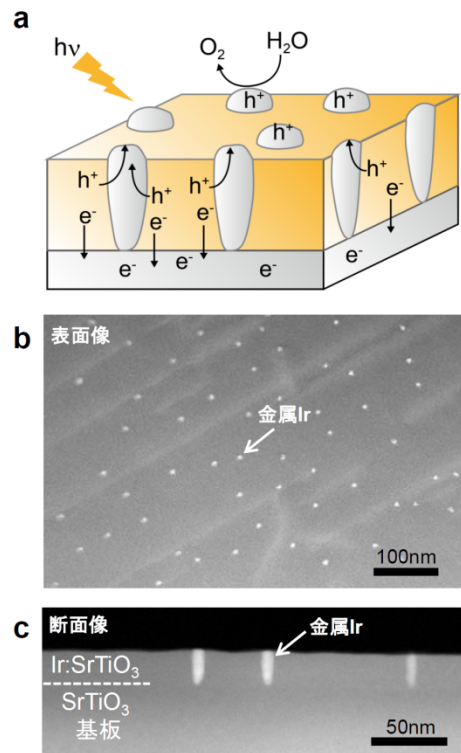


図 1 (a)本研究で作製したナノコンポジット結晶の概念図。試料の(b)表面および(c)断面の電子顕微鏡像。

このナノコンポジット結晶を光電極として、可視光照射下で水分解をする試験をした結果を図 2 に示します。可視光照射下において、試料に 1.0V の電位を印加したあたりから光電流の急峻な立ち上がりが観測されました。この光電流は、光電極表面で水の酸素生成反応（水の電気分解の半反応 $2H_2O + 4h^+ \rightarrow O_2 + 4H^+$ ）が起こった時に流れた電流であり、急峻な光電流の立ち上がりは、光電極の効率が良いことを示唆しています。実際に、量子収率を測定してみたところ、400nm から 600nm の広い可視光領域で

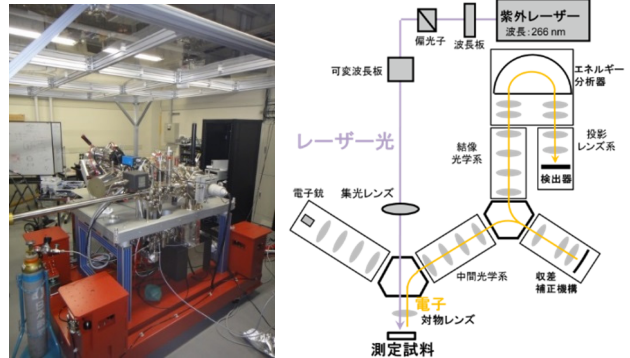
超高分解能光電子顕微鏡の開発とチタン酸化物の表面強磁性 ～レアメタルを使わないナノ磁石～

極限コヒーレント光科学研究センター 辛 埴、谷内 敏之

「光」を用いた顕微分光はモノの形を可視化するだけでなく、化学状態や構造、磁性等の性質を可視化することができる。しかし、10nm程度まで極細化が進んだ最近の電子デバイスのナノ構造を観測するには空間分解能が足りない。一方、「電子」を用いた顕微手法は、その高い空間分解能によって原子レベルまでの微細構造の情報を与えてくれるが試料に対して破壊的であるという欠点がある。そのために、深紫外レーザーを新たに開発する事によって、「光」と「電子」のそれぞれの顕微手法の長所を併せ持つ新しい顕微計測の開発を行った。

光電子顕微鏡(PEEM)は一般的な電子顕微鏡とは異なり、励起源として「光」を利用することにより、物性をより直接的に可視化することが可能な顕微手法であり、非破壊・電子状態に敏感なコントラスト・適度な検出深さ・電子状態の直接観測といった優れた特長を持っているが、分解能が足りないという欠点があった。しかし、我々は、PEEMの分解能が主として光電子のスペースチャージ効果によって決まっており、フェルミエネルギーからの閾値のエネルギーを持つCW光で励起した顕微光電子分光を用いれば分解能が計算値限界まで上がることを明らかにした。実際、図1のように、266nm(4.66eV)の波長(エネルギー)を持つ紫外CWレーザーを用いることで世界最高の空間分解能 2.6nm を達成する事が出来た[1]。この空間分解能は予想した設計通りの値を得ることが出来た。これまでのPEEMの分解能を10倍以上も向上させることが出来た。この分解能は衝撃的だったらしく、この分野の著名な外国の方から、とても信じられないというメールを何通か受け取っている。また、この新しいレーザーPEEMは、バルク敏感な光を利用しているために、電極の下に埋もれた絶縁膜中の電子状態を可視化する事が出来るようになった。埋もれた界面ナノ物性の可視化を実現すると同時に、デバイス動作下でのオペランド計測手法を確立した。ものづくりにおける実デバイスの強力な評価手法となり得る。また、光の円偏光を用いた円2色性を用いてPEEMを測定すれば、強磁性体の磁区ドメインを測ることが出来る。実際、垂直磁化膜で有名な、FePtで磁区ドメインを測定することが出来た[1]。一方、直線偏光を用いた線2色性では、

反強磁性体の磁区ドメインを測定することが出来る。実験装置の詳しい説明は文献[1]に書かれている。



(図1) 東京大学物性研究所で開発した超高感度・高分解能レーザー光電子顕微鏡

測定試料に紫外レーザーを照射することで試料表面から伝導電子を放出させる。放出した電子(光電子)は電子レンズをいて拡大結像される。これにより伝導電子が持つ磁気状態などを可視化することが可能となる。本グループは解像度(空間分解能)を下げる要因のひとつであった電子レンズの収差を補正する機構を持ち、世界最高の空間分解能を達成した。

酸化物の表面や界面において、強磁性体になる事が、最近、報告されるようになってきた。特に、 LaAlO_3 と SrTiO_3 の界面強磁性は、有名である。しかし、界面の磁性について、信頼ある実験を行うことは難しく、磁性不純物による可能性が高く、その真偽がいまでも議論されている。

我々が、チタン酸ストロンチウム(SrTiO_3)そのものの表面のPEEMを測定したのは偶然である。元々、 SrTiO_3 は磁性を担う伝導電子が全く存在しないので、バルクでは強磁性を示さない。しかし今回、真空中での短時間の加熱処理がチタン酸ストロンチウムの結晶の表面を室温強磁性層に変えることを、PEEMを用いた円2色性実験により発見する事が出来た[2]。また、なおかつ強い垂直磁化を示すことを発見した。本来絶縁体であるチタン酸ストロンチウムの結晶表面に酸素原子がわずかに足りない環境をつくと、表面に微量の伝導電子が生成され、それが理想的な表面伝導を示す層(2次元電子ガス)を形成することが明らかになった。本研究グループは、この伝導電子を持つ特殊

日本物理学会若手奨励賞（領域8）を受賞して

極限コヒーレント光科学研究センター 近藤 猛

この度、第10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。本受賞の対象となった「酸化銅高温超伝導体における擬ギャップと超伝導の競合関係の研究」は、名古屋大学の学生時に作成した単結晶試料を通して、辛先生のグループとの共同研究を開始したことが発端となり花開いた研究です。辛埴先生、水谷宇一郎先生、竹内恒博先生、Eric Hudson先生、Adam Kaminski先生をはじめとする数多くの方々との協力により結実した成果であり、この場を借りて皆様に深く感謝申し上げます。以下、その研究内容について簡単にご紹介いたします。

銅酸化物高温超伝導体では、 T_c より遥か高温（不足キャリア領域では室温以上）から電子構造にエネルギーギャップ（擬ギャップ）が開き始めることが知られています。擬ギャップは、特定の方位より発達し、フェルミ面の一部を消失させるため、電子の占有準位と非占有準位の運動量空間での境界を曖昧にするとともに奇妙な状態です。銅酸化物高温超伝導体において最も特異な性質とも言えるこの擬ギャップの起源と、それが持つ超伝導への関係を解明することが、高温超伝導の発現機構を解明する上で重要な鍵を握っていると考えられています。

擬ギャップの超伝導への役割に関し大別して2つの解釈が提案されています。一つ目は、(1) 擬ギャップは電子対が形成されることで開き、より低温で転移する超伝導相への前駆現象として発生する、とする解釈です。2つ目は、(2) 擬ギャップ状態とは超伝導とは無関係の秩序状態に起因し、超伝導と競合する電子状態である、とする解釈です。高分解能角度分解光電子分光(ARPES)を用いた我々の研究では、従来主に議論の対象とされてきたスペクトルのギャップサイズ(ピーク位置)ではなく、スペクトル量(面積)に着目することで、擬ギャップ状態が超伝導と競合する振る舞いを明確に示しました。それだけでなく、電子対の形成に起因する“電子対ギャップ”が、擬ギャップ温度(T^*)よりも比較的低温かつ T_c よりも十分高温から、擬ギャップ状態と競合しつつ発達することを見出し、(1)と(2)の解釈が二者択一的ではなく、相補的であることを示しました。これまで、 T_c 以上で開くギャップが“超伝導

の前駆状態”に起因するか、それとも“競合する秩序状態”に起因するか、二者択一的な主張がなされてきましたが、これは、 T_c 以上で開くギャップが単一であると信じられてきたことに加え、様々な測定手法に対して敏感なギャップが別個に観測されてきたことが主な要因でした。我々は、一つの実験手法で両者を選び分けて観測することに成功したことで、擬ギャップと電子対ギャップがお互いに競合する関係を解明しました。現在では、超伝導を抑制する電荷秩序が不足ドーパ試料のX線散乱実験によって観察される等の進展が後押ししたこともあり、超伝導と競合する電子状態の存在は揺るぎない事実として認知されるに至っています。

【関連論文】

- T. Kondo *et al.*, *Physical Review Letters* **98**, 267004 (2007).
- T. Kondo *et al.*, *Nature* **457**, 296 (2009).
- T. Kondo *et al.*, *Nature physics* **7**, 21 (2011).
- T. Kondo *et al.*, *Nature communications* **6**, 7699 (2015).

(3) 1000 テスラ超強磁場発生装置を極低温での物性測定に供するためには、磁束濃縮過程の最終段階で収縮するライナーよりも小さい径のクライオスタットの開発が必須です。そのため、私は現状より小径のクライオスタットの開発に取り組みました。その結果、小径一巻きコイル(内径 8mm)との併用によって、いくつかのスピン系物質 ($\text{SrCr}_9\text{Ga}_3\text{O}_{19}$, $\text{K}_2\text{Mn}_3(\text{OH})_2(\text{VO}_4)_2$ など)について 210 テスラ、5K での物性測定を行うことに成功しました。準非破壊型の一巻きコイル法ではこれまで 190 テスラが物性測定の限界でしたが、世界で初めて 200 テスラ超の領域で、試料を破壊せずに物性研究を行えるようになりました。更に、この新クライオスタットをベースとして、磁場の空間的不均一性の影響を受けにくい同軸型の磁化測定プローブの開発にも着手しており、量子スピン系物質の強磁場物性研究の共同利用に現在供しています。

このように、超強磁場科学の推進には、磁場を「そこにあるもの」として単に利用するだけでない、より広い視野が常に必要とされます。私の着任と同時に、文科省の大型 1000 テスラ超強磁場の開発プロジェクトが開始し、これまでこの新型装置の立ち上げに携わってきました。米国製造元との技術的・交渉でのサポートを通じて、超強磁場発生装置を新しく作り上げることの重要性和難しさを、現在痛感しています。今後はこれまで築いてきた土台を活かして、強磁場物性物理の展開に貢献したいと考えています。

参考文献

- [1] D. Nakamura *et al.*, Rev. Sci. Instr. **85**, 036102 (2014).
- [2] D. Nakamura *et al.*, Rev. Sci. Instr. **84**, 044702 (2013).
- [3] D. Nakamura *et al.*, Phys. Rev. B **91**, 235427 (2015).



スケールの熱機関ではこの量子力学効果と非平衡状態が強く現れ、巨視的な世界の熱力学にはない新しい熱力学が存在するのではないかと議論されています。

今回の発表は、このような観点から、時間変化する電圧差及び温度差を量子ドットに印加した際の電子ポンピングについての研究に関するものです。量子ドットの導電性は量子ドットのエネルギー準位によって決まり、電子間相互作用はこのエネルギー準位をドット内の電子密度に応じて変化させます。本研究では、温度・電圧変調に対して量子ドットの電子密度が遅延して変化し、導電性が変化することによって起きる整流効果がポンピングの仕組みであることを明らかにしました。また、特に温度変調によるポンピングにおいて、量子ドットのエネルギー準位を調整することで、常に一方向に電子を汲み上げることができることも明らかにしました。本研究で得られた定式化は、これまで未解明であった、電子浴と量子ドットの量子状態が強く混成している状況での温度変調という問題設定に適用できるものであり、本質的に量子力学的な効果が無視できない物理領域での熱・統計力学を解明するための基礎的な手法を与えます。今後、この研究成果を基礎とし、熱力学と量子力学の関係を明らかにする研究を遂行していきたいと思っています。

参考文献：

- [1] M. Hasegawa and T. Kato, arXiv: 1601. 05812.
- [2] H. W. Kroto, et al., Nature **318**,162 (1985).
- [3] L. P. Kouwenhoven, et al., Phys. Rev. Lett. **67**, 1626 (1991); F. Giazotto, et al., Nat. Phys. **7**, 857 (2011); M. R. Connolly, et al., Nat. Nanotech. **8**, 417 (2013).



客員所員を経験して

京都大学大学院理学研究科 松本 吉泰

2016 年度前期に吉信淳先生のホストのもとで客員所員を勤めさせていただきました。

せっかくの機会ですので、私と物性研との関わりについてまず述べます。私は分子科学研究所助教授時代に一念発起して気相中の分子分光から表面科学へと大きく舵を切りました。そのときに超高真空装置のことや金属単結晶の取り扱いなど、たいへん基本的なことを当時の物性研におられた村田好正先生にお世話になったのが本格的に物性研と関わる最初の契機でした。その後、吉信さんが理研から物性研に移られてからは、研究会などをはじめとして物性研の活動に参加するようになりました。最近では物性研の短期研究会に 2013 年、2015 年と参加し、研究成果を発表させていただきました。そして今年度、客員所員として迎えていただけたのはたいへん光栄なことでした。ただ、残念なことは、ちょうど今年度の 4 月から勤務先の京都大学大学院理学研究科の副研究科長を拝命したため、アドミニストレーションにずいぶん時間がとられるようになり、なかなか思うように時間がとれなくなったことです。特に、本研究科の教授会議と物性研の所員会がまったく同じ日程で重複していたため、物性研の皆さんには正式なご挨拶もできずじまいでした。たいへん申し訳ありませんでした。

これまでの私の研究を概観してみたいと思います。表面科学の分野での私の初期の仕事は金属表面上の吸着分子の光化学でした。メタンのような物理吸着する不活性な飽和炭化水素分子が白金などの単結晶表面上では、気相中では吸収のない紫外領域の光でメチルと水素原子に解離することを見出しました。これについては吉信さんがその後、赤外吸収分光により第一層に吸着したメタンの対称性が白金との相互作用により低下していることを見出されています。その後、光誘起過程の分子ダイナミクスを明らかにする方向に研究を発展させました。対象とした吸着種は化学吸着の代表例であるアルカリ金属と一酸化炭素です。時間分解非線形分光（第二高調波発生、和周波発生）により、フェムト秒パルスで表面系の電子状態を励起することにより、吸着種の原子核がどのような運動をするかに注目しました。すなわち、金属表面での電子-格子相互作用による超高速過程を明らかにすることが目的です。その結果、吸

着種と表面間の束縛振動がこの相互作用により励起される様子を解明することができました。

金属表面上での最近の研究では、Pt(111)表面上に成長させた水の氷薄膜の構造、特に分子配向の解明を挙げることができます。この表面上では氷薄膜内の分子配向が揃うことにより強誘電性の薄膜が成長するのではないかということが従来から言われてきました。しかし、決定的な実験事実はなく、むしろ否定的な結論が導かれていました。そこで、対称中心がないところでのみ和周波発生が有効に起きるということを利用し、まず Pt(111)表面において氷結晶薄膜が実際に分子配向を揃えて成長するということを実証しました。さらに、和周波発生信号をヘテロダイン検出することにより、Pt(111)表面直上の第一層の水分子が一つの水素原子を白金側に向けて吸着するという分子配向を決定することができました。これにより、第一層の水分子の配向が制御され、これに水素結合する二層目以上の分子の配向が規定されるということを明らかにしました。また、この表面では温度を制御することによりアモルファスな氷薄膜を成長させ、昇温とともに結晶氷へと構造を変化させることができます。この結晶化がどのように起きるのかという点にも興味を持ち研究を進展させています。

この他にも、光触媒機能のある金属酸化物中での光誘起電荷のダイナミクスやその表面での電荷移動について、単結晶、ナノ粒子などの表面を高真空から水中にいたる幅広い条件下で実験をしています。また、有機半導体、およびその表面における電子状態ダイナミクスにも興味を持っており、一重項励起子分裂に関する研究も進めています。これらの研究の一端は今年 6 月に物性研の談話会にて「金属・半導体表面上の水の構造と電荷移動」という題で講演させていただきました。

客員所員在任中は先程述べたような理由で私自身が物性研にて落ち着いて研究することは困難だったのですが、私の研究室の助教や学生が比較的長期に渡り、吉信研で実験をさせていただきました。主な実験としては先程述べた白金表面上に成長させたアモルファス氷薄膜が昇温によって結晶化する過程において電子状態がどのように変化するかを紫外光電子分光により測定するという内容です。この過



程については本研究室にてすでに詳しい赤外吸収分光と昇温脱離の実験はできているのですが、今回のこの共同研究により電子状態の観点からも情報を得ることができました。現在、データを解析中ですが、電子状態が結晶化により予想していたより大きな変化を示すことがわかり、これらのデータを総合して結晶化のメカニズムを解明したいと思っています。

物性研はその名の通り、様々な新物質や新規なナノ構造の開発と共にその物性の起源や機能を明らかにすることが重要課題であると思います。今後のこの方面における物性研の皆さんの研究の発展を期待しております。

客員所員を経験して

大阪大学大学院理学研究科 酒井 英明

2016 年度前期に徳永研究室と辛研究室に共同ホストとなって頂き、客員所員を務めさせて頂きました。両研究室の皆様には、さまざまな実験や議論で大変お世話になりました。まずは深く御礼申し上げます。

はじめに自己紹介を兼ね、私と物性研のこれまでの関わりについて書かせて頂きます。私が初めて物性研を訪れたのは、大学院1年生として物性理論研究部門に配属となった際で、ちょうど物性研が柏キャンパスに移転した直後でした。私は安藤恒也先生にご指導頂き、カーボンナノチューブの理論研究をしておりました。当時の柏キャンパスには、まだ物性研と宇宙線研しか建っておらず、敷地が広がったこともあり閑静というよりは、むしろ静かすぎてやや殺風景な印象を持ったことを覚えております。修士課程の卒業と同時に物性研を離れ、企業や国内外の大学、研究所をわたり歩いておりました。この間に物性実験家に転身した私は、東京大学の石渡研究室助教として、約3年前から徳永研究室で共同利用実験をさせて頂く機会があり、年間1-2回の頻度で再び物性研にお世話になっておりました。久しぶりに訪問した際には、キャンパス内の建物と人の数が劇的に増え、賑やかになっていたことに、とても驚いたのを記憶しております。今回は、実験や議論の空き時間に客員所員の居室で過ごす時間がいくらかありましたので、研究所内の雰囲気もいろいろと知ることができました。所内は、私が大学院生だったころとあまり変わっておらず、落ち着いて研究に集中できる環境のままでした。大学院生当時は当たり前と思っていた、このような恵まれた研究環境が懐かしくもあり、また羨ましくも感じました。

さて前置きはこれくらいとし、研究内容について説明させて頂きます。今回の客員所員での私の研究テーマは「ディラック電子系新規磁性体の量子伝導現象と微視的電子状態の解明」です。ディラック電子系とは、固体中の電子状態がシュレディンガー方程式ではなく、相対論的ディラック方程式により記述される物質群のことで、近年、基礎科学とデバイス応用の両面から大きな注目を集めています。この最も有名な例は、黒鉛の単一原子層であるグラフェンですが、最近ではトポロジカル絶縁体の表面ディラック状態や、グラフェンの三次元版のディラック・ワイ

ル半金属など、精力的に新しいディラック電子系物質が見出されています。この中でも、我々のグループが力を入れているのが、磁性体のディラック電子系物質です。これまでのディラック電子系のほとんどが非磁性体でしたが、我々は、ディラック電子を担う二次元伝導層と磁性を有する絶縁ブロック層が積層した多層ディラック電子系新物質の創製に成功しました。本物質では、ディラック電子と磁気秩序が強相関状態を形成していることが大きな特徴で、磁性層の磁気秩序を変化させると、1,000パーセント以上の大きな磁気抵抗効果が発現します。しかし、ディラック電子の微視的状态が、磁気秩序の有無や秩序パターンの変化に対して、どのように変調されているかについては未解明のままです。このメカニズムを明らかにできれば、さらに新たな磁性ディラック電子系の設計も可能と考え、強磁場測定と光電子分光法を駆使することにより、実験的にその解明を目指すというのが本客員所員研究の大目標でした。

まず強磁場測定については、電気抵抗における量子振動現象を利用して、フェルミ面の詳細な変化を捉えようと計画しました。これには、パルス磁場中（最大約50テスラ）の低温において、試料回転ステージを用いた電気抵抗測定が必要であり、実験的には厳しい条件でした。徳永研の多くの協力のもと、どうにか磁場の傾斜角度依存性に関する系統的なデータを取得することができました。解析結果からは予期しなかった興味深い電子構造が明らかとなり、現在論文を準備しています。また光電子分光測定については、辛研究室の石田助教に先行して進めて頂いていた、ポンプ・プローブ型の時間分解測定の結果を詳細に議論することができました。これにより、ディラック電子の超高速ダイナミクスの理解を深めることができ、新しい物質への展開も非常に楽しみです。さらに近藤研究室とも協力し、高分解能の光電子分光測定により、磁気秩序前後のディラック電子状態の変化を明らかにするための共同研究を開始できたことは、とても嬉しく思っております。

この半年を振り返ってみますと、上記のような当初の計画に近い研究に加え、予想以上に幅広く共同研究を展開できたことは、特に有意義であったと感じております。長谷川研究室からは、本物質の磁気状態の詳細な解明に向け、



スピン偏極走査トンネル顕微鏡での測定のご提案を頂きました。研究室の皆様と実際の実験について議論させて頂いたことは、大変刺激的でした。また我々のグループで合成している他の物質群についても、徳永研究室や上床研究室の方々と多くの議論や予備実験をさせて頂き、新たな共同研究を開始することができました。客員所員として比較的余裕を持って物性研に滞在できたため、客員のプロジェクト以外についても、所員の方々と自由に議論させて頂いたことは、私にとって一番の貴重な経験でした。

今後も共同利用に加え、上記のような新しい研究の芽を育むためにも、物性研を訪問させて頂く機会が多々あると思います。これらの研究テーマのさらなる発展に向け、引き続き多くの所員の方々と研究交流を持たせて頂ければ幸いです。この度、このような素晴らしい研究機会を与えてくださった物性研関係者の皆様には、改めて御礼を申し上げます。

研究室だより

益田研究室

2010年4月に物性研に着任し、早くも6年が過ぎました。今回物性研だよりで研究室だよりを書く機会を頂きましたので、この6年間を振り返ってみたいと思います。着任前は、研究用原子炉 JRR3 とパルス中性子源 J-PARC を活用して、磁性・強相関電子系の研究を推進するつもりでいくつかの具体的なテーマを考えておりました。着任後基本路線に変更はありませんでしたが、2011年の東日本大震災による JRR3 再稼働の遅れのため、研究スタイルは当初考えていたものとはかなり変わりました。物性研と KEK が J-PARC で共同運営する中性子分光器 HRC に深く関わるとともに、中性子施設が企画した「海外実験支援プログラム」を利用した海外中性子施設での実験を多く行う機会に恵まれました。また、私の着任半年後に研究室に参加していただいた左右田助教は、手先が器用で有能な研究者でしたので、研究室の立ち上げに大きな貢献をしてくれました。昨年最初の大学院生（白椽大君）が学位を取得し卒業し、左右田助教も5年の任期を終えて次の職探しを開始するようになり、研究室の代替わりが徐々に進んでおります。雑駁になるかとは思いますが、この6年間の研究室のあれこれを書いてみたいと思います。

1. 最初の仕事

割り当てられた2部屋の実験室内、1部屋は大型のX線装置が使われない状態で占拠されていました。直ぐに使える状態のものではなかったので、これをどのように活用するか、あるいは廃棄してしまうか決断する必要がありました。中性子散乱実験を行う場合、事前にX線ラウエ装置を用いて試料評価と軸立を行います。実験室で十分な時間をかけて単ドメインの単結晶を選び、結晶軸を探してホルダに固定する、という準備を経て中性子実験を行うのですが、いざ中性子を当ててみるとドメインが複数あり実験出来ない、という事態がときどき発生します。これは、X線の侵入長が短く試料表面の結晶性しかチェックできないことによりですが、もしも侵入長の長い短波長の高エネルギーX線を用いれば、cmサイズの大型単結晶でも透過X線ラウエ法が可能となり、そのような事態を未然に防ぐことが出来ます。実験室に放置されていたX線装置は加速電圧が最大450kVと高エネルギーのものでしたので、うま

く活用すれば中性子のビームタイムを浪費せずに確実な結晶性の確認ができる有用な装置が生まれるはずでした。そこで私はこの装置を使用可能な状態までもっていくことにしました。

X線ラウエ装置の場合、設置されている部屋全体が放射線管理区域になってしまうため、まずは実験室の中に間仕切り用の壁を設置し、スペースの有効利用を図りました。さらに、X線のシャッターを開けると、隣の実験室を突き抜けてエレベータホールまでX線が漏洩していることが判明したため、遮蔽をしっかりとしたものに取り替えました。これらを行うために、アルミ製のスライドルールを切断したり、光学系を囲う壁を設置したり(図1(a)参照)、つまり大工仕事を行いました。大工仕事は数か月にわたりました。放射線管理区域に関して技術専門員の野澤さんと何度も打ち合わせをしたことは、今では良い思い出です。

X線カメラとして最初はイメージングプレートを用いしましたが、うまくいきませんでした。Siウエハを用いれば長波長X線の透過ラウエ写真は撮れるのですが、加速電圧をあげて短波長になると、X線がイメージングプレートを透過してしまうため、うまく撮れなかったのです。そこで高エネルギーのX線でも撮影しやすいように、シンチレーションを厚めにしたCCDカメラを用いたところ、大変きれいにラウエ写真が撮れるようになりました(図1(b))。さらに、ゴニオメータの操作性をよくするため、モータコントロールのためのLabviewプログラムを最初の大学院生の白君が作成しました。また、左右田助教は、ゴニオメータ用モータコントローラの更新、結晶の位置調整のための墨だしレーザーの利用と、リモートコントロールのためのウェブカメラの利用を提案してくれました。これらにより使い勝手の良い測定系が出来上がり(図1(d)参照)、現在では私の研究室だけでなく、他のグループの方々からも共同利用装置としてご利用いただいております(表1参照)。



この仕事と平行して、2010年4月から12月にかけて、研究用原子炉 JRR3 の三軸分光器 PONTA の共同利用運営を行いました。大学から携帯電話を支給された際には大変うれしく思ったものですが、「これはユーザーが装置担当者を24時間いつでも呼び出すことが出来るようにするためのものだ」と聞かされて、複雑な気持ちになりました。幸い PONTA のユーザーは装置に習熟したグループが多い

ため、夜中の急な呼び出しはほとんどありませんでした。JRR3 が12月に計画停止し2011年が明けると、1月に左右田助教が、4月に萩原特任研究員が私のグループに参加し、柏の実験室の立ち上げも加速しました。各種電気炉、FZ装置の導入、粉末X線装置の購入、比熱測定装置の開発などが行われました。

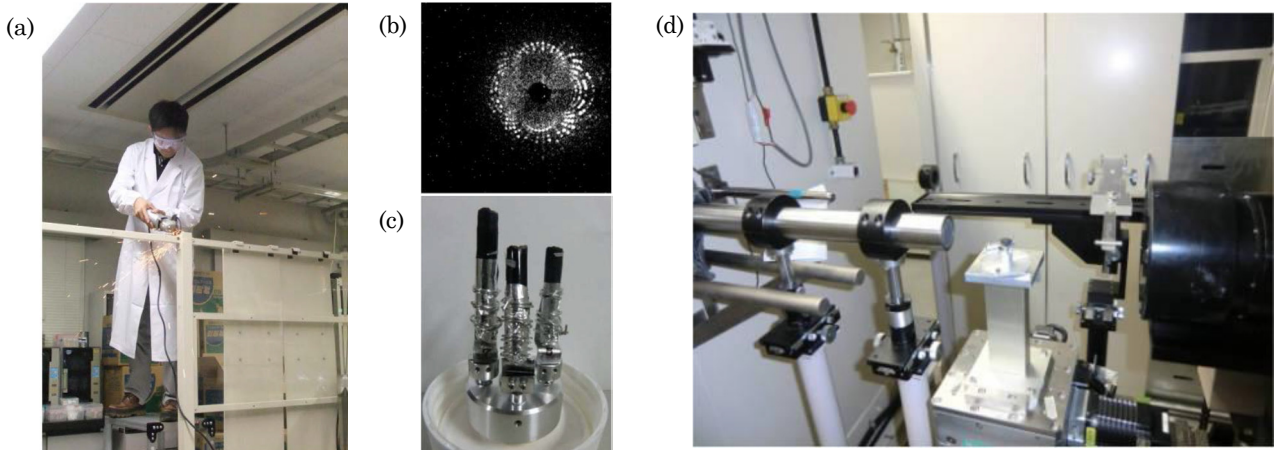


図 1: (a) 高エネルギーX線装置を囲う安全壁の工事の様子。(b) 単結晶試料(正方晶)の透過ラウエ写真。(c) 透過ラウエシステムを用いて軸立された結晶 (d) 高エネルギーX線透過ラウエカメラシステム。仕様は以下の通り。X線源: タングステンターゲット、最大電圧=450 kV、最大電流=10 mA、白色X線ビームのピークエネルギー=310 keV、(linear absorption coefficient 0.099 cm⁻¹ for Cu, 0.42 cm⁻¹ for Pb)。CCDカメラ: high-speed CCD camera、イメージングサイズ=10cm×10cm (1024×1024 pixels)、試料ステージ: X, Z, ω, RX, RY を PC(Labview)制御

2011年度	
研究グループ	日数
益田 (ISSP)	24
阿曾 (琉球大)	1
吉沢 (ISSP)	9
松浦 (CROSS)	1
合計	35
2012年度	
研究グループ	日数
佐藤 (東北大)	7
吉沢 (ISSP)	41
益田 (ISSP)	61
平賀 (KEK)	2
横山 (茨城大)	3
阿曾 (琉球大)	2
有馬 (東大)	3
徳永 (ISSP)	1
松浦 (CROSS)	2
合計	122

2013年度	
研究グループ	日数
吉沢 (ISSP)	19
古川 (お茶大)	5
佐藤 (東北大)	4
益田 (ISSP)	46
高橋 (筑波大)	1
萩原 (東理大)	1
横尾 (KEK)	1
脇本 (JAEA)	5
合計	82
2014年度	
研究グループ	日数
吉沢 (ISSP)	13
益田 (ISSP)	38
有馬 (東大)	25
廣戸 (東理大)	2
横尾 (KEK)	10
鬼丸 (広島大)	2

金子 (原研)	2
山崎 (東理大)	6
元屋 (東理大)	3
中島 (理研)	3
佐藤 (東北大)	6
岩佐 (東北大)	1
田中 (東工大)	2
繁岡 (山口大)	1
合計	189
2015年度	
研究グループ	日数
吉沢 (ISSP)	6
益田 (ISSP)	59
有馬 (東大)	6
元屋 (東理大)	2
佐藤 (東北大)	2
上床 (ISSP)	1
山崎 (理科大)	2
Chang (台湾)	1

小林 (琉球)	2
合計	77
2016年度	
研究グループ	日数
吉沢 (ISSP)	9
益田 (ISSP)	43
有馬 (東大)	11
田中 (東工大)	1
伊藤 (KEK)	7
Broholm (JHU)	4
佐藤 (東北大)	1
合計	70

表 1: 高エネルギーX線透過ラウエシステム使用実績

2. 東日本大震災、J-PARC、JRR3 と海外実験支援プログラム

2011 年の 3 月の大震災では、日本の二つの中性子源 JRR3 と J-PARC の両方が大きなダメージを受けました。物性研が KEK と共同運営している J-PARC ビームライン BL12 では、 ^3He 検出器（時価約 500 万円/本）が数本破損して大変な損害が出ましたし、JRR3 では中性子輸送管のずれ、様々な分光器の不調などが発生しました。多くの方々の復旧作業により、J-PARC は 2012 年 1 月には再稼働しましたが、JRR3 の方は原子炉の安全審査が必要とされているため、6 年が経過した現在もまだ稼働していません。そこで私のグループでは、J-PARC と海外の中性子実験施設を利用してこの 6 年間に過ぎしてきました。中性子施設では毎年度共同利用課題の公募を継続しており、採択されたグループが海外で同じ内容の実験を行う際には旅費支援を行う海外実験支援プログラムを走らせており、私たちもその制度を利用してきました。支援を受けた実験で論文化された仕事としては、左右田助教を中心としたマルチフェロイック物質 $\text{Ba}_2\text{CoGe}_2\text{O}_7$ （スイス PSI）、リラクサー磁性体 LuFeCoO_4 （スイス PSI）、浅井晋一郎特任研究員を中心とした二次元凸凹ハニカム格子 $\text{Ba}_2\text{NiTeO}_6$ （オーストラリア ANSTO）、白椽大君（2015 年 3 月博士号取得）のブリーディングパイロクロア $\text{Ba}_3\text{Yb}_2\text{Zn}_5\text{O}_{11}$ （オーストラリア ANSTO）、などがあります。また、J-PARC を利用した研究としては本間勇紀君（2012 年 3 月修士）の酸素分子超結晶、林田翔平君（現在 D2）のマルチフェロイック物質 $\text{NdFe}_3(\text{BO}_3)_4$ などがあります。以下では、これらから二つのトピックを選んで説明を行います。

3. マルチフェロイック物質におけるスピン・ネマティック相互作用の観測

磁性と誘電性が同時に秩序化するマルチフェロイクスは、2003 年に TbMnO_3 の研究[1]以降、基礎と応用の両面から大きな注目を集めてきました。理論的には、ミクロな電子状態をスピン・軌道相互作用と物質の対称性を取り入れて考慮することにより、スピンの構造と電気分極の構造の関係についてのモデルが提唱されてきました。実験面では、数多くのモデル物質で、複雑なスピン構造と電気分極の関係について研究がなされてきました。しかし、分極間相互作用と磁気相互作用の間にどのような関係があるかについてはさほど注目されてきませんでした。その中で、二次元反強磁性体 $\text{Ba}_2\text{CoGe}_2\text{O}_7$ は、電気分極がスピン演算子の対

称二次テンソル（いわゆるスピン・ネマティック演算子）で表され、磁性と誘電性の関係が非常にシンプルであることが特徴です。またこの物質は、私が理工学助手の頃に指導していた学生のテーマでもあり、思い出深い物質でもあります[2]。図 2(a)に示されるように、 Co^{2+} イオンの周囲には O^{2-} イオンが四面体配位しており、反転中心が存在せず、電気分極とスピン・ネマティック演算子は等価になります。したがって、分極間相互作用をスピン・ネマティック相互作用と結びつけることができ、またこれらは全てスピン演算子により表すこともできますので、磁性と誘電性の両方を、簡単な形でスピン・ハミルトニアンにより記述することが可能になります。また、この物質では、 Co^{2+} の磁気異方性の主要項は容易面型の単イオン異方性 $D(S^z)^2$ で表されますが、容易面内の向きは決定されないことも、特徴の一つです。

結晶の対称性の考察から、面内の異方性を決める主要項は、 O_{XY} のスピン・ネマティック相互作用項であることが分かりました。たとえば、図 2(b)のように O_{XY} 相関が反強的な場合には、磁気異方性は[100]方向となり、電気分極は反強誘電的となります。このことは、磁気異方性の測定はスピン・ネマティック相関の測定と等価であり、さらに異方性エネルギーの測定によりスピン・ネマティック相互作用定数と誘電エネルギーの測定が可能になることを意味します。そこで左右田助教が中心となって J-PARC の中性子非弾性散乱分光器とスイス PSI の中性子三軸分光

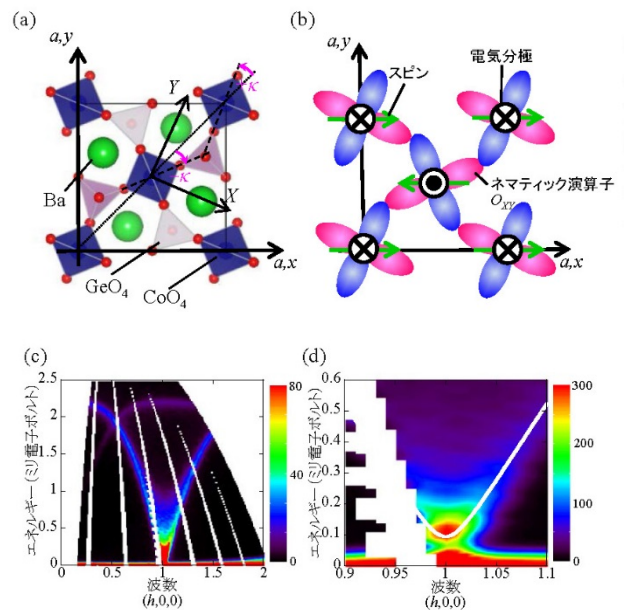


図 2 : (a) $\text{Ba}_2\text{CoGe}_2\text{O}_7$ の結晶構造 (b) スピン、電気分極、スピン・ネマティック演算子の構造、(a) $\text{Ba}_2\text{CoGe}_2\text{O}_7$ の中性子磁気スペクトル (b) 中性子スペクトルの(1,0,0)近傍を拡大したもの。

実験は計算で良く再現されます。また低温の磁化曲線も同じモデルで再現されることが確認されました(図 3(c))。一方、温度依存性は単純なダイマーモデルでは説明できませんでした。これは、ファンデルワールス力を凝集力とする酸素超結晶は柔らかく、酸素分子の幾何学的な配置とスピン状態が強く相関しているため、第二励起以上の状態の記述には、スピンモデルが良い近似にならないためと考えられました。これは酸素超結晶磁性体と金属酸化物磁性体との大きな違いで、今後さらに研究を進めるべき点と考えています。現在は、金属錯体の水素を重水素に置換した良質な試料での研究を継続しています。

5. J-PARC BL12 分光器

物性研中性子施設が KEK と共同で運営している High Resolution Chopper(HRC)分光器は、通常のチョッパー分光器としての性能を有するとともに、小角散乱の測定が可能である点と 1eV 程度の高エネルギー領域の測定が可能である点が特徴です。私が着任した 2010 年時点で KEK 伊藤晋一教授と物性研佐藤卓元准教授によって当該分光器はほぼ完成しており[10]、一般共同利用プログラムが開始されていました。そこで佐藤先生が東北大多元研に異動された後、私のグループでは共同利用プログラムをサポートすると同時に、試料環境機器の導入により様々な外場環境での中性子実験ができるように努力をしました。約 3 時間で $T=3\text{ K}$ に到達する GM 冷凍機の導入により、効率的な中性子実験が可能になりました。JRR3 で使用されてきた液体ヘリウム型冷凍機に専用アダプタを作成し J-PARC 分光器でも使用可能にしました。今年度は物質設計評価施設の上床先生と共同でピストン型圧力セルの導入を行い、0.5g 程度の単結晶を用いた 1.4GPa の高圧下での非弾性散乱スペクトルの収集に成功しました。14T 超伝導磁石については、導入について詳細な検討を行いました、分光器

に用いられている鉄材の影響が大きく安全な運用が困難であることが判明したため、HRC での使用は当面見合わせ、JRR3 などを使用することになりました。

6. JRR3 三軸分光器およびその周辺

再稼働に備えて分光器及びその周辺部の改良を行いました。三軸分光器 PONTA では、従来透過型ホイスラーモノクロメータを利用した偏極中性子実験が行われてきましたが、透過率が低いこととモノクロメータ結晶サイズが小さいことから、非偏極中性子の実験と比べて中性子強度はおおよそ 1/50 程度でした。このため、偏極非弾性散乱実験を行うことは困難でした。そこで中性子スーパーミラーを利用した V 型偏極子を利用することで、偏極中性子強度の増強を図ることにしました。Fe/Si スーパーミラーでは、上向きスピンと下向きスピンの中性子の全反射臨界角が異なっており、この性質を利用すると上向きスピンだけを取り出すことが出来ます。たとえば図 1(a)の上段図のように V 字にスーパーミラーを配置すると、臨界角の大きな下向きスピンは V 字の外側で反射されて光路の外に追い出されますが、臨界角の小さな上向きスピンは V 字スーパーミラーを透過し、光路の中を進み続けるため、出口での中性子の偏極度に偏りが生じます。さらに図 1(a)下段のように V 字を 2 つ設置すると、1 つ目の V 字を潜り抜けてきた下向きスピンのみも、二つ目の V 字で外に追い出されるため上向きスピンだけを取り出すことが出来ます。PONTA に導入される偏極子は、図 4(c)に示されるように幅広い中性子波長領域で高い偏極率と透過率を示しています。これを利用することにより、高強度偏極中性子の生成が可能となり、非弾性散乱実験が可能になると期待されます。

冷中性子三軸分光器 HER は、10meV 程度以下の低エネルギー励起の測定に特化した分光器です。このエネルギースケールは、10 ~ 20 T 程度の超伝導磁石のゼーマン

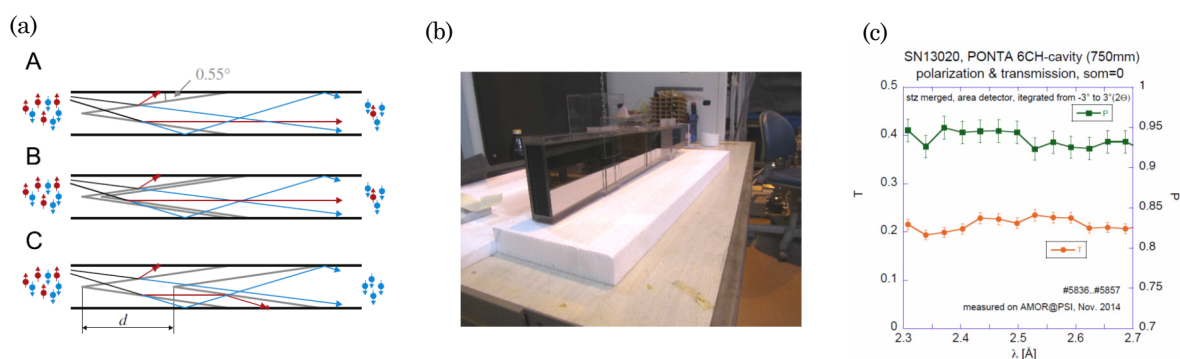


図 4 : (a) V 字スーパーミラー偏極子の原理。上向きスピン(水色) だけが取り出される様子が示されている。(b)PONTA に導入された V 型偏極子。(c)V 型偏極子の透過率と偏極率。

研究室年表

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
所員	益田隆嗣						
助教	左右田稔						
補佐員	長澤時子	大串彩子				羽部なおみ	飯高智子
補佐員	西正和						
PD		萩原雅人				萩原雅人	
PD						浅井晋一郎	
D3						白椽大	
D2					白椽大		林田翔平
D1				白椽大		林田翔平	
M2			白椽大 本間勇紀		林田翔平	尾山拓彌	吉田俊也
M1		白椽大 本間勇紀		林田翔平	尾山拓彌	吉田俊也	飯田晋介 加藤大輝
研究生							長谷川舜介

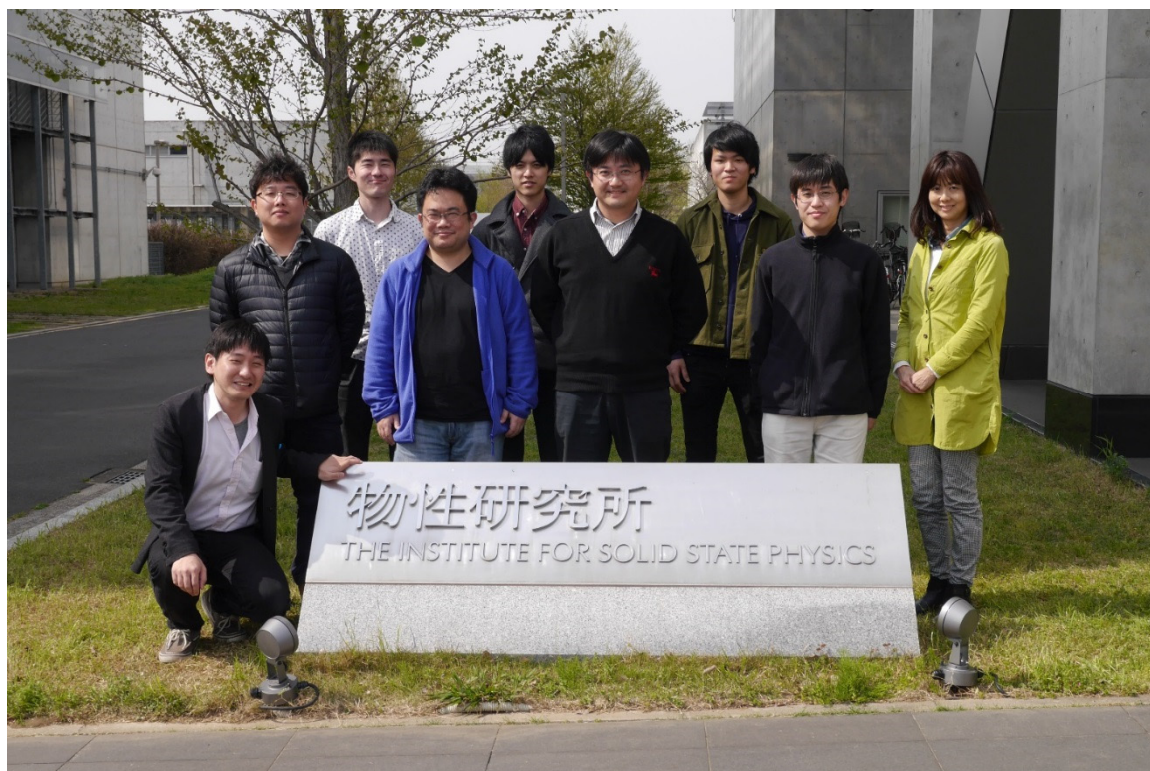


図 5 : 2016 年度研究室メンバー集合写真



合わせて延べ参加者数は名簿に記名したもので、558名（うちレクチャーは406、シンポジウムは152）であった。このため、615号室で行ったレクチャーでは、連日立ち見がでてしまい、参加者にはやや申し訳ない状況だった。大会議室で行うことも不可能ではなかったが、それでは逆に広すぎて、談論風発という雰囲気にはなりにくかっただろうと思う。無い物ねだりだが、セミナー室と大講義室の間くらいのサイズの部屋があると良いと改めて思った。今回行われた多くのレクチャーは、これからテンソルネットワークを利用した研究を始める研究者にとっては貴重な情報源となると思われたので、すべて録画し、YouTubeにアップロードした。（研究会ウェブサイトからリンクがあるので興味がある方は参照されたい。）開催から約半年経った本稿執筆時点（2016.12.23）で総視聴数は1308である。

国際研究会を組織することは、かなりの重労働であるが、研究上の多くの刺激が受けられるほか、若手研究者の進路を考える材料も与えてくれている。2006年に筆者が世話人となったときには、筆者の研究室の大学院生と海外参加者の出会いが、学位取得後にポスドクとして海外で研究を進めるきっかけとなった。今回、そのようなことが起こるかどうかは、まだわからないが、韓国から参加していたHyunyoung Lee氏が筆者の研究室に最近ポスドクとして着任したのも、今回の研究会がきっかけになっている。

この会議を開催するにあたって、光富恵美子氏はじめ理論部門秘書室スタッフの方々、CCMS事務局スタッフの方々、物性研事務部の方々に大変お世話になった。深く感謝申し上げます。（川島記）



PROGRAM

LECTURES

June 28 (Tue)	N. Kawashima (ISSP)	Introduction
	G. Evenbly (UC Irvine)	Lecture 1: Introduction to the MERA
June 29 (Wed)	M. C. Bañuls (MPQ)	Using TNS for Lattice Gauge Theories
	G. Evenbly (UC Irvine)	Lecture 2: Introduction to tensor network renormalization
June 30 (Thu)	R. Orús (Mainz)	Lecture 1: From qubits to entanglement, and then to Matrix Product States
	M. Oshikawa (ISSP)	Matrix-Product States and Symmetry-Protected Phases
July 1 (Fri)	T. Takayanagi (Kyoto)	Continuous MERA and Holography
	R. Orús (Mainz)	Lecture 2: Simulating 2d systems with PEPS
July 5 (Tue)	Ö. Legeza (Wigner RCP)	Tensor product methods and entanglement optimization for models with long range interactions
	F. Pollmann (MPIPKS)	Detecting topological orders from Matrix-Product State based simulations (1)
July 6 (Wed)	F. Verstraete (Vienna)	Matrix Product States and Matrix Product Operators (1)
	F. Pollmann (MPIPKS)	Detecting topological orders from Matrix-Product State based simulations (2)
July 7 (Thu)	F. Verstraete (Vienna)	Matrix Product States and Matrix Product Operators (2)
	N. Schuch (MPQ)	Topological order in Projected Entangled Pair States (1)
July 8 (Fri)	T. Nishino (Kobe)	Tensor Product States applied to Statistical Lattice Models
	N. Schuch	Topological order in Projected Entangled Pair States (2)
July 12 (Tue)	P. Corboz (Amsterdam)	Introduction to iPEPS (1)
	T. Xiang (CAS, Beijing)	Renormalization of Tensor Network Models (1)
July 13 (Wed)	P. Corboz (Amsterdam)	Introduction to iPEPS (2)
	T. Xiang	Renormalization of Tensor Network Models (2)
July 14 (Thu)	L. Tagliacozzo (U. Strathclyde)	Constructing lattice gauge theories with Tensor Networks
	Y. -J. Kao (NTU)	Programming tensor network algorithms
July 15 (Fri)	T. Tohyama (TUS)	Dynamical properties of strongly correlated electron systems studied by density-matrix renormalization group
	N. Kawashima (ISSP)	Closing

SYMPOSIUM I (June 27 (Mon))

10:00	N. Kawashima (ISSP)	Opening
10:15	G. Evenbly (UC Irvine)	Entanglement renormalization and wavelets
10:45	Z.-Y. Xie (RUC, Beijing)	Some Progress on Tensor Renormalization Group
11:15	M. C. Bañuls (MPQ)	Using TNS for Lattice Gauge Theories
11:45		Lunch
13:30	N. Nakatani (Hokkaido U.)	Matrix Product Multi-Linear Algebra Library
14:00	S. Morita (ISSP)	Parallel library for tensor network method (tentative)
14:30	M. T. Fishman(Caltech)	Compression of Correlation Matrices and an Efficient Method for Forming Matrix Product States of Fermionic Gaussian States

15:00		Coffee
15:30	I. P. McCulloch (Queensland)	Topological order and space group symmetry fractionalization in the frustrated J1-J2 Heisenberg model.
16:00	K. Harada (Kyoto)	Branching and tensor network
16:30	H. Ueda (AICS, RIKEN)	Real-space parallel infinite-size density matrix renormalization group
17:00	R. Orús (Mainz)	Kitaev honeycomb tensor networks: exact unitary circuits and applications

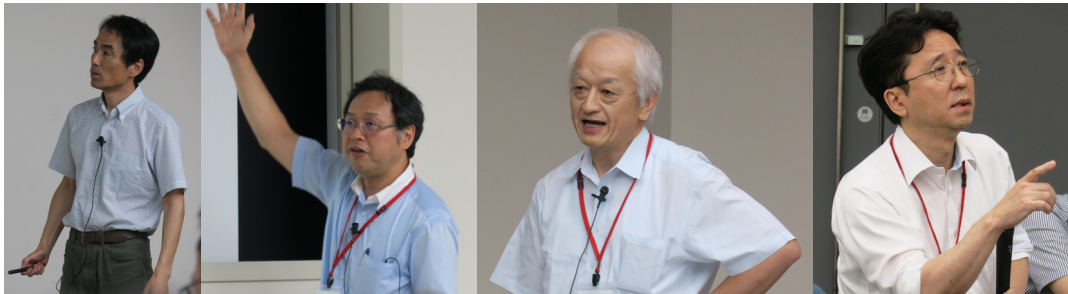
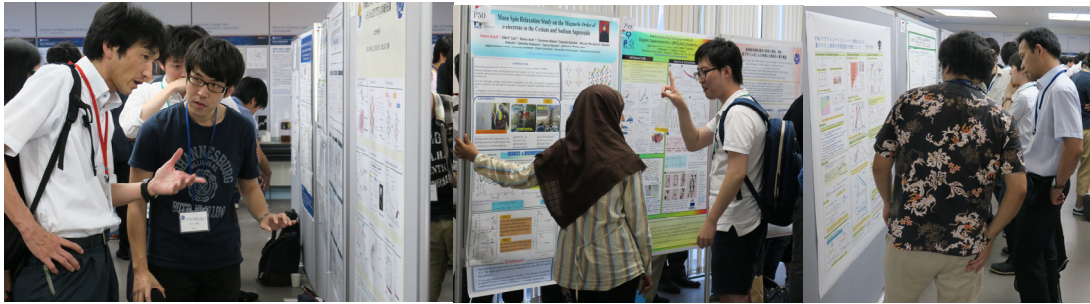
SYMPOSIUM II (July 4 (Mon))

10:00	H.-J. Liao (CAS, Beijing)	Heisenberg antiferromagnet on the Husimi lattice
10:30	T. Okubo (ISSP)	Magnetization process of kagome lattice Heisenberg antiferromagnets: 1/3 plateau state and effects of Dzyaloshinskii-Moriya interaction
11:00	H.-Y. Lee (SKKU)	Featureless Quantum Insulator on the Honeycomb Lattice and Square lattice
11:30	F. Verstraete (Vienna)	
12:00		Lunch
13:00	T. Takayanagi (Kyoto)	Boundary States in CFTs and Continuous MERA
13:30	S. Yang (Perimeter)	Tensor networks with loop optimization
14:00	T. Nishino (Kobe)	Mean-Field Behavior in Uniform Tensor Product State
14:30		Poster session
16:00	P.-C. Chen (NTHU)	Quantum critical spin-2 chain with emergent SU(3) symmetry
16:30	S. Mohri (ISSP)	"Order parameters" of bond-type symmetry protected topological phases in two dimensions
17:00	Ö. Legeza (Wigner RCP)	Tensor product methods and entanglement optimization for models with long range interactions

SYMPOSIUM III (July 11 (Mon))

10:00	M. Takigawa (ISSP)	Greetings
10:15	Y.-J. Kao (NTU)	Steady States of Infinite-Size Dissipative Quantum Chains via Imaginary Time Evolution
10:45	T. Xiang (CAS, Beijing)	Majorana Positivity and the Fermion Sign Problem of Quantum Monte Carlo Simulations
11:15	N. Schuch (MPQ)	Chiral Projected Entangled Pair States
11:45		Lunch
13:00	L. Tagliacozzo (U. Strathclyde)	Finite bond dimension effects in tensor network states
13:30	T. Yanai (IMS)	Molecular electronic structure theory based on ab initio density matrix renormalization group
14:00	T. Tohyama (TUS)	Density-matrix renormalization group study of Kitaev-Heisenberg models on honeycomb and triangular lattices
14:30		Coffee
15:00	F. Pollmann (MPIPKS)	Many-body localization: Entanglement and efficient numerical simulations
15:30	P. Corboz (AMsterdam)	Recent advances in simulating the 2D Hubbard and t-J models with iPEPS
16:30	H.-H. Zhao (ISSP)	Variational Monte Carlo Study of fermionic models with tensor networks
16:45	N. Kawashima (ISSP)	Closing





集合写真と発表風景



12:10 東 正樹 東工大 ビスマス・鉛ペロブスカイトの系統的な電荷分布変化
 12:35 lunch

[電荷秩序/不均一系]

座長 小林晃人 名大院理
 13:35 賀川 史敬 理研 CEMS 急冷を基軸とした電子物性研究と展望
 14:05 妹尾 仁嗣 理研 ET系の電荷秩序と揺らぎ:θ型とκ型
 14:30 鹿野田 一司 東大院工 電子結晶成長と遍歴電子の動的不均一
 14:55 寺崎 一郎 名大院理 ダイマーモット絶縁体とトライマーモット絶縁体の電荷秩序
 15:20 Coffee Break

[物質開発・超伝導]

15:30 矢持 秀起 京大院理 陰イオン部位を持つTTF誘導体を用いた電荷秩序錯体の作製
 15:55 川本 正 東工大物質理工 電荷秩序層をもつ層状有機超伝導体の構造と電子物性
 16:20 陰山 洋 京大院工 複合アニオン化合物の創製と新機能
 16:45 Poster・懇親会

8月10日(水)

[水素系・誘電体]

座長 山下 穰 東大物性研
 9:00 上田 顕 東大物性研 水素結合-π電子系連動型有機伝導体の開発研究の最近の進展
 9:25 橋本 顕一郎 東北大金研 プロトン-π電子相関系有機導体κ-H₃(Cat-EDT-TTF)₂における量子常誘電
 9:50 下澤 雅明 東大物性研 量子スピン液体候補物質κ-H₃(Cat-EDT-TTF)₂の熱輸送測定
 10:15 石原 純夫 東北大院理 低次元分子性導体における電荷自由度と過渡ダイナミクス
 10:40 原田 潤 北大院理 柔粘性イオン結晶の示す特異な強誘電性
 11:05 Coffee Break

[水素系・誘電体]

11:15 岡本 博 東大新領域 テラヘルツ電場パルスによる電荷制御と相転移
 11:40 岸田 英夫 名大院工 有機三角格子系の光学伝導度とラマン散乱
 12:05 内藤 俊雄 愛媛大院理工 光照射でスピン分布を操れる錯体分子
 12:30 lunch



[光プローブ・物質開発・超伝導・まとめ]

	座長	森 初果	東大物性研	
13:30		堤 潤也	産総研	分子デバイスにおける電荷キャリアの光プローブ
13:55		山田 順一	兵庫県大院物	キラル体とラセミ体のドナー分子を用いた分子性導体の電子相関制御
			質理	
14:20		白旗 崇	愛媛大院理工	酸素官能基を導入した電子供与体を成分とする新規分子性導体の開発
14:45		井原 慶彦	北大院理	¹³ C NMR 分光法による電荷秩序を持つ有機超伝導体の研究
15:10		福山 秀敏	東理大	この分野を概観して
		佐々木 孝彦	東北大金研	終わりに

プログラム (ポスター)

P1	吉見 一慶	東大物性研	電荷フラストレーション系における長距離クーロン相互作用の効果
P2	藤山 茂樹	理研	分子性導体におけるスピン軌道相互作用の効果
P3	杉浦 栞理	筑波大・NIMS	$\beta''-(\text{ET})_2\text{SF}_5\text{CH}_2\text{CF}_2\text{SO}_3$ の強磁場超伝導相図と磁束状態
P4	佐藤 俊	東邦大理	$\kappa-(\text{BETS})_2\text{Fe}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Br}_4$ の相転移近傍の電子状態
P5	宇都宮 一広	東邦大理	Thermal Property of $\kappa-(\text{BETS})_2\text{FeBr}_4$ and $\kappa-(\text{BETS})_2\text{FeCl}_4$ under Magnetic field
P6	大嶋 一樹	東邦大理	$\alpha\text{-D}_2\text{I}_3$ (D = BEDT-TTF, BEDT-TSF, BEDT-STF) の熱的性質
P7	林 頌也	東邦大理	Coulomb interaction in molecular Dirac fermion systems
P8	兼松 佑典	広島市立大	液相と固相の Picolinic acid N-oxide に現れる H/D 同位体効果の理論解析
P9	吉田 幸大	名城大	分子回転が内在する導電性コロネン陽イオンラジカル塩
P10	大沼 晃浩	北大院理	$\alpha-(\text{BEDT-TTF})_2\text{RbHg}(\text{SCN})_4$ の超伝導相と電荷密度波相における一軸圧下 ¹³ C-NMR 法を用いた研究
P11	吉村 健太	東大物性研	有機導体 $\alpha-(\text{BEDT-TTF})_2\text{I}_3$ の電荷秩序相とディラック電子相の境界近傍における金属状態
P12	圓谷 貴夫	NIMS	ハイブリッド汎関数法による分子性導体の電子状態
P13	佐藤 直道	東北大院理	有機導体 $\kappa-(\text{ET})_2\text{X}$ における電荷相関とスピン相関
P14	吉岡 英生	奈良女大院理	局在スピンを含む一次元分子性導体における電荷秩序とそれに対する外部磁場の効果
P15	加藤 岳生	東大物性研	電荷秩序転移近傍におけるガラス的電荷状態—Ginzburg-Landau 理論による緩和時間解析—
P16	中 惇	東北大院理	ダイマー構造を持つ分子性固体における電気磁気効果
P17	山本 魁知	横浜市大	水素結合型有機導体における H/D 同位体効果の理論的解析

P18	佐藤 慶明	理研	分子性導体 κ 型 ET 塩をチャンネルとした Mott-FET におけるフィリング制御型金属・絶縁体転移と量子臨界性
P19	柿崎 貴央	東大院新領域	フェムト秒反射分光による有機一次元モット絶縁体(BEDT-TTF)-(F ₂ TCNQ)のバイエキシトンの観測
P20	川楯 義高	理研	κ -ET ₂ Cu[N(CN) ₂]Cl におけるドーピング非対称性
P21	森本 剛史	東大院新領域	高強度テラヘルツ電場を用いた NI 転移系電荷移動錯体における強誘電的分極の高速生成
P22	山川 大路	東大院新領域	テラヘルツ波による電荷秩序系有機強誘電体の高速分極制御の研究
P23	山川 大路	東大院新領域	テラヘルツ時間領域分光によるダイマーモット系 κ 型 EDT-TTF 塩の電子誘電性の研究
P24	戸部 光	東大院新領域	有機モット絶縁体 κ 型 BEDT-TTF 塩のテラヘルツ電場による超高速分極制御
P25	貴田 貴明	東大院新領域	有機強誘電体からのテラヘルツ電磁波発生を利用した強誘電ドメインの可視化
P26	鈴木 俊成	東大院新領域	有機強誘電体 α -(BEDT-TTF) ₂ I ₃ におけるフェムト秒レーザー誘起テラヘルツ電磁波発生とその機構解明
P27	宮本 辰也	東大院新領域	可視光・テラヘルツ波励起による水素結合型強誘電体クロコン酸の超高速分極制御
P28	真崎 勇介	東大院新領域	フェムト秒レーザー照射による TTF-CA からのテラヘルツ電磁波発生
P29	福岡 脩平	北大院理	NMR 測定による λ 型塩の絶縁相の研究
P30	三澤 貴宏	東大物性研	フラストレートしたハバード模型における量子スピン液体の有限温度の性質について
P31	土射津 昌久	名大院理	中性イオン性転移系における相競合とソリトン・ドメインウォール励起
P32	渡部 洋	早大高等研	κ -(BEDT-TTF) ₂ X の磁性と超伝導の解析：ダイマー近似を超えて
P33	鬼頭 俊介	名大院工	放射光 X 線回折による分子性結晶の精密解析の研究
P34	嶋原 浩	広大院先端	πd 電子系の磁気相転移の理論
P35	小林 拓矢	北大院理	¹³ C-NMR 法を用いた λ -(BETS) ₂ GaCl ₄ の金属状態の研究
P36	岸本 幸樹	東大物性研	水素結合プロトン— π 電子相関系有機伝導体 κ -H ₃ (Cat-EDT-TTF) ₂ の非線形伝導
P37	土居 諒平	東大物性研	カテコール縮環型 TTF を用いた水素結合型電荷移動錯体の合成と構造、物性
P38	平郡 諭	東北大 AIMR	Mott 転移近傍におけるフラーレン超伝導体の電気輸送特性
P39	清田 泰裕	東工大物質理工	Alloyed Organic Conductors β' -(ET) ₃ (CoCl ₄) _{2-x} (GaCl ₄) _x as Thermoelectric Materials
P40	相澤 啓仁	神奈川大工	擬一次元有機導体(TMTSF) ₂ ClO ₄ における超伝導ギャップとアニオン秩序化ポテンシャルの関係
P41	東野 寿樹	東大物性研	水素結合型 BTBT 誘導体を用いた擬一次元分子性導体の構造と物性
P42	藤田 貴敏	分子研	有機半導体の励起子移動・電荷移動



国際ワークショップ HPSP-17 & WHS 報告

財部 健一（岡山理科大学）・上床 美也（東大物性研究所）

物性研究所国際ワークショップ「Workshop on High-pressure Study on Superconducting（高圧超伝導国際ワークショップ：WHS）」は、The 17th International Conference on High Pressure in Semiconductor Physics（第17回高圧半導体国際会議：HPSP-17）との共同開催として、2016年8月7日（日）から11日（木）の5日間、東京大学本郷キャンパス山上会館にて開催されました。

本体であるHPSPは、高圧力をキーワードとした幅広い物質と物性をテーマとする、2年ごとに開かれる高圧半導体国際会議であり、圧力下での半導体材料の電子構造や相転移現象を対象分野としています。最初の2回の会議は、ポーランド-フランス高圧半導体会議として、ポーランド（1985）とモンペリエ（1986）で開催されました。半導体バンド構造の混晶効果と圧力効果の類似性の発見と展開、超格子半導体中の電子の実空間遷移と逆空間遷移の圧力効果、DX センターに代表される局在電子準位の圧力誘起現象、量子ホール効果の圧力効果、磁気スキルミオンの圧力効果、圧力誘起電子転移と超伝導、そしてこれらを観測するための適切な圧力発生技術と分光技術の開発などが取り上げられ、当初のこれらの会議の成功は、高圧半導体物理学の研究領域が多くの科学者に広く関心を持たれていること示していました。その結果、1988年に伝統ある半導体物理国際会議のサテライト国際会議として、HPSPが正式な国際会議として位置づけられ組織されました。1992年には京都で、2000年には、札幌で開催されています。HPSP-17は、16年ぶりの日本での開催であり、北京で開催された半導体物理国際会議のサテライト会議として、また、初めての試みとしてWHSと共同で開催されました。共同開催を行うことにより、半導体と超伝導の高圧下物性研究を行っている若手研究者と経験豊かな研究者が同じ会場で最近の成果を発表、議論する事が出来、将来、両分野の研究がより活発に展開されることが期待されます。実際、HPSP-17では、高圧技術を用いたナノ構造の半導体材料やデバイスの研究における最新成果の発表が、WHSでは、低温高圧測定装置の設計、圧力誘起超伝導およびその関連物質を含む超伝導物質の圧力効果の実験と理論の最新の成果の発表が行われました。両方の分野の発表をシングル

セッションでじっくり議論する事により、新しい刺激を得る機会および異分野間をつなげる機会が得られ、次の研究のアイデアが生まれる、高圧力研究の魅力が伝わる会議となりました。また、シンポジウムとして科学研究費補助金特別推進研究「超高压力下の新物質科学：メガパルケミストリーの開拓」（平成26年～30年）の研究成果および情報発信の場が提供されました。

会議は、初日（7日）のRegistration および Welcome party で幕を開け、本会議は2日目（8日）の財部開催主催者、瀧川物性研所長のオープニングトークおよび4日間の発表、最終日（11日）のFarewell party で幕を閉じました。口頭講演としては、1件の基調講演、28件の招待講演および37件の一般口頭講演が行われました。また、2日目（8日）および4日目（10日）の夕方には、ポスター講演がそれぞれ22講演ずつ行われました。紙面の関係上具体的なプログラムは載せられませんが、会議集合写真、日程表および会議ホームページ(<http://hpsp17.tokyo/>)を参照ください。

今回の会議では若手研究者をエンカレッジするためポスター賞が創設され、各分野から5人の若手研究者が表彰されました。最終的には、参加国14ヶ国から、110名（内外国人37名・学生20名）が参加しました。参加国は、参加人数の多い順にChina、USA、Spain、Poland、Korea、France、Germany、UK、Mexico、Canada、Israel、Estonia、Russia、Japan でした。普段立ち寄らない異分野の研究者との議論が出来、シニア・若手を問わず良い刺激となると共によい研究発表および情報リサーチの場となったように思われます。連日の猛暑の中、3日目（9日）の夜は隅田川クルージングを行い学術・文化交流を満喫しました。今回、はじめての共同開催でしたが、次回もWHSの名を残す形で共同開催として、2018年夏にスペインバルセロナで開催されることが決定しています。

本国際会議を開くにあたり、人的および資金的に多くの援助を受けました。寄付を頂いた企業等は、株式会社三和トレーディング、株式会社HMD、浜正機工株式会社、株式会社南葵エンジニアリング工業、エレクトロラボ、マイクロ工業株式会社、ロックゲート株式会社、有限会社オーサ

ワシテム、株式会社タンガロイ、日本カンタム・デザイン株式会社、高圧システム株式会社、クローバー基金の12組織でした。深く感謝致します。また、科研費「超高圧力下の新物質科学：メガバールケミストリーの開拓（特別推進研究）、大阪大学・大学院基礎工学研究科の協力・支援も受けました。さらに、会議運営では長崎尚子技術補佐員に全面的に協力頂きました。会場では学生アルバイトおよび2名の高校生ボランティアの方々に会議進行を支えて頂きました。この場を借りてお礼を申し上げます。末尾となりましたが、本会議はWHSの主催として物性研究所の補助を得ましたことを深く感謝いたします。また、瀧川物性研究所所長に歓迎挨拶を頂戴したことは参加者にとってたいへん光栄なことであり、心より感謝致します。

招待講演者のみですが、下記の表に、学術発表内容を示しました。本会議内容の一端をご理解頂けるものと思います。

組織メンバー一覧

Co-chairs

財部健一、岡山理科大学、日本
上床美也、東京大学、日本

Local steering chair

鍵 裕之、東京大学、日本

Publication chairs

高橋博樹、日本大学、日本
A.Goñi, CREA-ICMAB、スペイン
松石 清人、筑波大学、日本

Secretariat

森 嘉久、岡山理科大学、日本



HPSP-17 & WHS 参加者集合写真

100人程度の国際会議には山上会館は利用しやすい会議場でした。グループ写真も見事にとれました。

Timetable

	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00	19:30	20:00	20:30
8/7(Sun)															**Registration		**Welcome Party							
8/8(Mon)		Reg.	Opening (Hall)	*B	Mon1 (Hall)	Lunch & Break (001, 002)		Mon2 (Hall)	*B	Mon3 (Hall)	Poster1 (201, 202)		***Supper1											
8/9(Tue)		Tue4 (Hall)	*B	Tue5 (Hall)	*P	Lunch & Break (002)		Tue6 (Hall)	*B	Tue7 (Hall)	Banquet													
8/10(Wed)		Wed8 (Hall)	*B	Wed9 (Hall)	Lunch & Break (001, 002)		Wed10 (Hall)	*B	Wed11 (Hall)	Poster2 (201, 202)		***Supper2												
8/11(Thu)		Thu12 (Hall)	*B	Thu13 (Hall)	Lunch & Break (001, 002)		Thu14 (Hall)	*B	Thu15 (Hall)	Closing (Hall)	***Farewell Party													

*B Coffee Break
*P Group Photo

** Hotel Forest Hongo
*** Restaurant Goten(御殿) B1F

Meeting room(203)
Secretariat(2F Reception Room)



第 61 回物性若手夏の学校開催報告

岡山大学大学院自然科学研究科 plw92izd@s.okayama-u.ac.jp

井上 高宏

(1) 物性若手夏の学校

物性若手夏の学校とは、物性物理の分野を中心としたサマースクールであり、全国の大学院生を対象としている。物性物理に関する基礎的な知識の習得から発表技術の向上を目的とした企画を通して、参加者に研究の楽しさを知ってもらうことを主な目的としている。また、本夏の学校の企画は物性分野の大学院生を基準として考えているが、化学や生物の分野や学部生からの参加者も少なくない。このように若手研究者の分野の垣根を取り除くことで、多くの分野間でのネットワークを形成できることも本夏の学校の魅力の一つである

表 1：講義・集中ゼミの招聘講師・演題一覧

企 画	講師 (敬称略)	演 題
講義 (3 時間×3 日間)	大谷 義近	スピンホール効果—スピン流・電流変換に関わる諸現象—
	押川 正毅	対称性によって保護されたトポロジカル相
	岸根 順一郎	物質科学のための群論入門：対称性原理から物性予測まで
	津田 一郎	心と脳のダイナミクス：数理科学的理解はどこまで進んだか？
	松枝 宏明	テンソルネットワークと量子情報・可解性・重力の関わり
	中村 真	ゲージ・重力対応で探る非平衡統計物理学
集中ゼミ (3 時間×1 日)	大関 真之	知的情報処理の統計力学—機械学習を始めてみよう—
	小手川 恒	マクロとミクロ測定から見る圧力誘起量子相転移
	小林 徹也	増殖過程の統計物理的構造
	阪野 壘	非平衡電流ゆらぎでみる量子ドットの電子多体効果
	佐々田 槇子	ミクロとマクロの時間発展をつなぐ数学—流体力学極限—
	鹿野 豊	量子同力学シミュレーション入門—量子ウォークを例にして—
	鳥谷部 祥一	生命現象における非平衡揺らぎとその応用
	西野 友年	テンソルネットワーク形式と、その応用—イジングモデルを中心に—
	堀田 知佐	フラストレートした量子多体系
	堀田 昌寛	量子多体系における量子もつれとエネルギーの関係性
	松井 千尋	可解量子スピン鎖と場の理論：散乱行列から共形不変性まで
	山口 博則	量子スピン系のマテリアルデザイン



表 2 : プログラム詳細

	7月29日	7月30日	7月31日	8月1日	8月2日
7:00-7:30		朝食	朝食	朝食	朝食
7:30-8:00					
8:00-8:30					
8:30-9:00					
9:00-9:30					チェックアウト
9:30-10:00		講義	講義	講義	
10:00-10:30					
10:30-11:00					
11:00-11:30					
11:30-12:00					
12:00-12:30		昼食	昼食	昼食	
12:30-13:00					
13:00-13:30					
13:30-14:00					
14:00-14:30	チェックイン	グループセミナー	ポスターセッション	ポスターセッション	
14:30-15:00					
15:00-15:30					
15:30-16:00					
16:00-16:30	開会式				
16:30-17:00	講義プレビュー	集中ゼミ	分科会	集中ゼミ	
17:00-17:30					
17:30-18:00					
18:00-18:30	グループセミナー				
18:30-19:00				夕食	
19:00-19:30	夕食	夕食	夕食		
19:30-20:00					
20:00-20:30					
20:30-21:00				閉会式	
21:00-21:30	懇談会	座談会	懇談会	懇談会	
21:30-22:00					
22:00-22:30		懇談会			
22:30-23:00					
23:00-23:30					
23:30-24:00					

(3) 物性若手夏の学校の魅力

物性若手夏の学校では他大学の学生と触れ合い、互いに刺激しあうことで自身の研究に対するモチベーションを高めてもらうことを目的としている。本夏の学校では物性物理の分野だけでなく、化学や生物の分野からの参加者も多い。グループセミナーやポスターセッションを通じて、日頃触れることのない異分野の研究から新たな発見をすることで、今後の研究への糧とすることができる。講義や集中ゼミでも計 18 名の講師をお呼びしており、これもまた幅広い分野の講師を選んでいる。この講義や集中ゼミでは自身の専門の分野を聴講する機会が多いが、自身の専門ではない分野を聴講する機会も少なくない。座談会においては、人生の先輩であり、物性研究における先輩でもある講師の方々に質問を行い、この先の研究生活へのアドバイスをいただき、自身の研究へのモチベーションを高めてもらうことができる。62 回も熱意ある準備局員、世話人が揃っており、情報の公開を心待ちにしてほしい。興味をもたれた方は積極的に第 62 回物性若手夏の学校に参加していただきたいと思う。また 61 回では様々な所から貴重なアドバイスをいただき、62 回ではそれらの意見を生かした、より良い物性若手夏の学校になることを期待してほしい。最後に、本会開催において、京都大学基礎物理学研究所・東京大学物性研究所・東北大学金属材料研究所・材料科学技術振興財団からの援助、日本物理学会・応用物理学会・日本化学会からの後援、各協賛企業・個人からの支援を受けた。準備局員一同、心から感謝を申し上げる。



事業仕分けで一世を風靡した「二位ではダメなんですか？」発言に代表されるように、スパコンはなぜ計算能力が高くなければならないのか、そして何に使われているのか、スパコンを使うということはどういうことなのかなどは、必ずしも一般には理解されていないように見える。スパコンは「スーパー」ではあるが「コンピュータ」であるから、ソフトウェアがなければただ電気を食う箱にすぎない。では、スパコンのプログラムとは誰がどうやって組むのだろうか？そもそもスパコンの「スーパー」とは何が「スーパー」なのか？スパコンを使うといったい何ができるようになるのか？本講演では、急減圧液体の発泡シミュレーションをしたらスミソニアン博物館からメールが来た話や、スパコンでナンプレの難問を作ろうと苦闘する話などを通し、スパコンを使う面白さ、そしてスパコンが使うことで広がる可能性について紹介したい。

備考：

講演者である渡辺宙志氏は、物質設計評価施設の助教として、物性研究所のスーパーコンピュータの管理・運営に携わっています。大規模計算を用いた「数独の難問作成」や「液体中の泡生成」などの研究をわかりやすく紹介していたくとともに、スパコンの現状や今後の展望についても語っていただきます。気軽に聴くことのできる講演内容ですので、ぜひ皆様ご参加ください。

標題：Dy-free high coercivity Nd-Fe-B permanent magnet

日時：2016年12月22日(木) 午後4時～

場所：物性研究所本館6階 大講義室 (A632)

講師：宝野 和博

所属：物質・材料研究機構(NIMS) 磁性・スピントロニクス材料研究拠点長、NIMS フェロー

要旨：

Due to the recent concern about the stable supply of heavy rare earth elements, attaining high coercivity in Nd-Fe-B magnets without Dy has received intense research interest. In this talk, we will update our recent progresses toward the development of high coercivity Nd-Fe-B permanent magnets. To obtain complete understanding of the microstructure-coercivity relationships, we revisited the microstructures of Nd-Fe-B sintered and hot-deformed magnets using aberration-corrected STEM complemented by atom probe tomography (APT). We found that the structure and chemical composition of the grain boundary phase varies depending on the orientation of grain boundaries, i.e., the grain boundary phase parallel to the c-planes are mostly crystalline with a higher Nd concentration in contrast to that lying parallel to the c-axis that contains higher Fe content with an amorphous structure. Based on these new findings, we developed a method to enhance the coercivity of the anisotropic Nd-Fe-B magnets substantially without relying on Dy.

備考：

宝野氏は、NIMS フェローおよび磁性・スピントロニクス材料研究拠点長として、関連材料の開発とその原子スケールでの評価に関する研究で、国際的に著名な研究者です。物性研の研究者とも、元素戦略磁性材料研究拠点プロジェクト等を通じて、深く関わっておられます。一方、最近、磁石材料に関する一般向けの本も執筆されるなど、解り易い解説にも定評があります。

今回の講演のテーマであるネオジウム磁石は、高い磁力を持つ永久磁石としてハードディスク・ハイブリッド車等さまざまな分野で使われていますが、その保持力を高めるために希土類元素 Dy (ジスプロシウム) が微量に添加されています。Dyはそのほとんどが特定の地域で産出されることから、その添加を抑えることが元素戦略上の重要なテーマとなっています。宝野氏率いる研究グループでは、詳細な分析からネオジウム磁石における Dy の役割を明らかにし、その知見を基に Dy を添加せずに高保持力を持つネオジウム磁石の開発に成功しています。本講演では、開発ストーリーとその背景となる物理について、語っていただく予定です。

物性研究所セミナー

標題：第一回量子物質セミナー：Phase Slips in Superfluid Spin Transport in Magnetic Wires

日時：2016年10月11日(火) 午前11時～午後0時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：Dr. Se Kwon Kim

所属：University of California, Los Angeles, U. S. A.

要旨：

In this talk, we will discuss two types of mechanisms responsible for intrinsic resistance in superfluid spin transport in easy-plane magnetic wires: thermally-activated and quantum phase slips. First, we theoretically study thermally-activated phase slips within the stochastic Landau-Lifshitz-Gilbert phenomenology, which runs parallel to the Langer-Ambegaokar-McCumber-Halperin theory for thermal resistances in superconducting wires [1]. To that end, we start by obtaining the exact solutions for free-energy minima and saddle points. We provide an analytical expression for the phase-slip rate in the zero spin-current limit, which involves detailed analysis of spin fluctuations at extrema of the free energy.

Secondly, we theoretically investigate effects of quantum fluctuations on superfluid spin transport through easy-plane quantum antiferromagnetic spin chains in the large-spin limit [2]. Quantum fluctuations result in the decaying spin supercurrent by unwinding the magnetic order parameter within the easy plane, which is referred to as phase slips. We show that the topological term in the nonlinear sigma model for the spin chains qualitatively differentiates decaying rate of the spin supercurrent between integer and half-odd-integer spin chains. We propose an experimental setup for a magnetoelectric circuit, in which both phase slips can be inferred by measuring nonlocal magnetoresistance.

備考：[1] S. K. Kim, S. Takei, and Y. Tserkovnyak, Phys. Rev. B 93(2), 020402(R) (2016)

[2] S. K. Kim and Y. Tserkovnyak, Phys. Rev. Lett. 116(12), 127201 (2016)

標題：機能物性セミナー「人工細胞膜系における膜内2次元ドメインの構造・物性・反応性」

日時：2016年10月14日(金) 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：手老 龍吾

所属：豊橋技術科学大学

要旨：

両親媒性分子である脂質の二分子層膜、いわゆる脂質二重膜は細胞膜をはじめとする生体膜の基本構造である。細胞膜は生命活動に必要な物質・情報・エネルギーなどの全てを細胞内外でやり取りする反応場としての役割を担っている。これらの反応においては膜内の脂質やタンパク質の集合体が反応の制御に関わっていると考えられており、分子拡散や2次元ドメイン形成といった反応素過程を理解することは膜輸送反応の機構を理解するために重要である。固液界面に形成される支持脂質二重膜(supported lipid bilayer)は人工細胞膜モデル系の1つである。我々は原子間力顕微鏡による微細構造観察と、蛍光一分子追跡法による分子側方拡散性の計測を相補的に用いることによって、ナノメートル～マイクロメートル領域の構造観察と流動性計測、またこれらが生体由来の脂質膜やタンパク質との反応にどう関わるかについて研究を進めている。本講演では脂質二重膜のサブミクロン領域での脂質および膜タンパク質のドメイン構造とその動的過程、またこれらへの固体基板表面の関わりについて、最近の成果を紹介する。



標題：国際超強磁場科学セミナー：Quantum spin-crossover of correlated electrons

日時：2016年11月1日(火) 午後2時～

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：池田 暁彦

所属：東京大学物性研究所

要旨：

Spin state is a characteristic degree of freedom in a multi-electron and multi-orbital system (e.g. magnetic ion under crystal field) where crystal field splitting (Δ) and Hund's coupling (J) are delicately competitive. Low spin [LS] (or high spin [HS]) state emerges when Δ (or J) overwhelms the other. Recently, we found a low entropy phase in a spin crossover cobaltite LaCoO_3 at ultrahigh magnetic fields of above 100 T by means of magnetization measurement up to 140 T [1]. Various exotic orders are claimed as its origin such as LS/HS order and excitonic order. They are considered to be stabilized by the correlation effects based on analysis of the two-orbital Hubbard model [2, 3]. The excitonic phase is characterized with the spontaneous and quantum-mechanical mixing of the wave functions of LS and HS states. Whereas, the LS/HS ordered phase is the spatial alternation of the LS and HS states.

In the talk we briefly review our experimental results on LaCoO_3 [1] and Y-doped $\text{Pr}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{CoO}_3$ [4]. Then we discuss the physical origin of the possible stabilization of exotic phases [2] and their field effects [3]. We also mention our future plan.

[1] A. Ikeda et al., Phys. Rev. B 93, 220401(R) (2016).

[2] J. Nasu et al., Phys. Rev. B 93, 205136 (2016)

[3] T. Tatsuno, et al., J. Phys. Soc. Jpn. 85, 083706 (2016)

[4] A. Ikeda et al., Phys. Rev. B 94, 115129 (2016).

標題：LASOR セミナー：高空間分解能 ARPES 装置の開発と現状

日時：2016年11月2日(水) 午後4時～

場所：SPring-8 中央管理棟 3階 TV会議室 (TV会議 物性研第一会議室)

講師：岩澤 英明

所属：Diamond Light Source

要旨：

角度分解光電子分光(angle-resolved photoemission spectroscopy)は、固体の電子状態を直接観察できるため、固体物性を研究する上で有力な実験手法である。ARPES 実験では、入射光のエネルギー・偏光、試料角度・温度・表面状態、さらには、検出器のエネルギー分解能・角度分解能など、様々な計測要素・技術が関与する。本セミナーでは、これらの実験要素を上手く活用することで、多体効果の定量評価が可能となった例を紹介する[1, 2]。さらに、ARPES 技術の高度化を目指して、我々が取り組んでいる「高空間分解能化」の例として、広島大学放射光科学研究センター (HiSOR) にて建設したレーザー励起 micro-ARPES 装置、ならびに、Diamond Light Source (Beamline: I05) にて立ち上げを進めている nano-ARPES 装置について、現状と測定例を示す。

[1] H. Iwasawa et al., Phys. Rev. Lett. 105, 226406 (2010).

[2] H. Iwasawa et al., Phys. Rev. Lett. 109, 066404 (2012).

標題：第 40/41/42 回極限コヒーレント光科学セミナー

日時：2016 年 11 月 7 日(月) 午前 10 時～午後 5 時

場所：物性研究所本館 6 階 第 1 会議室 (A636)

要旨：10:00-11:00 井手口拓郎先生 (東京大学大学院理学系研究科)

「光周波数コムによる分子分光」

13:00-14:00 足立俊輔先生 (京都大学大学院理学研究科)

「深紫外ドライブレザーによる高調波発生：分子反応ダイナミクスの応用」

16:00-17:00 松永隆佑 (東京大学大学院理学系研究科)

「高強度テラヘルツ電場による非平衡超伝導ダイナミクスの研究」

標題：蛍光・化学発光タンパク質プローブの開発と生命科学研究への応用

日時：2016 年 11 月 14 日(月) 午後 1 時 30 分～

場所：物性研究所本館 6 階 第 1 会議室 (A636)

講師：永井 健治

所属：大阪大学 産業科学研究所

要旨：

蛍光タンパク質を利用した蛍光ライブイメージング技術の発展により、生理機能を生きたまま可視化する事が可能になった。また、超解像顕微鏡技術などの顕微鏡技術の発展も近年著しい。我々が開発した弱い光により光速に光スイッチングが可能な蛍光タンパク質 Kohinoor (コヒノール) を用いて生体に優しいナノスコピックイメージングが実現可能となった¹。しかしながら、サンプルへの光毒性や自家蛍光といった問題は励起光照射が不可避である以上、原理的に解決することはできない。このような状況の中で、ホテルに代表される生物発光を用いたライブイメージングに注目が集まりつつある。生物発光は蛍光と違い、外部からの励起光を必要としないため自家蛍光や生物個体に対する光毒性・光応答を回避する事ができる。生物発光の蛍光に対するこのような優位性は以前から認識されていたものの、放出するフォトン数が少なく数十分もの長時間露光が必要なため、これまでライブイメージングには使用されてこなかった。しかしながら近年、我々の開発した高光度発光タンパク質 Nano-lantern² とその波長変異体³、さらにはその増強型である eNano-lantern を利用することで化学発光でのライブイメージングが可能となった。本セミナーでは Nano-lantern およびそれをベースとする Ca²⁺, cAMP, ATP などの各種指示薬の開発、さらに光照射による細胞機能の操作技術、特に光増感を利用した生理機能の不活性化法⁵ とその生命科学研究への応用^{6,7} について最近の知見を紹介し、合わせて蛍光、発光イメージングの展望について議論したい。

標題：第 2 回光・量子融合連携研究開発プログラム合同研究会「放射光・レーザー連携による物質ダイナミクス研究」

日時：2016 年 11 月 15 日(火) 午前 10 時～

場所：高エネルギー加速器研究機構 4 号館 1 階セミナーホール

要旨：

文部科学省「光・量子融合連携研究開発プログラム」で、レーザー技術と放射光技術の融合による物質科学の創成を目指した二つの研究課題「極限レーザーと先端放射光技術の融合による軟 X 線物性科学の創成 (課題責任者：辛埴)」と「レーザー・放射光融合による光エネルギー変換機構の解明 (課題責任者：足立伸一)」による合同研究会を開催します。レーザーと放射光を共通基盤とした新しい物質科学の創成を目指して、現状報告と今後の方向性についての議論を行います。



標題：理論セミナー：Materials systems full of defects treated within KKR

日時：2016年11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セミナー室 (A615)

講師：Dr. Martin Hoffmann

所属：東京大学物性研究所

要旨：

We studied several different materials systems with the focus on the appearance of defects. Thereby, alloys, oxides and surfaces were considered from the theoretical point of view using ab-initio methods. The main results were achieved with the Korringa-Kohn-Rostoker Green's function method (KKR), which is based on the multiple scattering theory and the density functional theory. This combination offers advantages compared to other ab-initio techniques when dealing with disordered systems or magnetic properties. For example, the coherent potential approximation describes an effective medium, which approximates randomly distributed atoms within the material and was recently extended to include also nonlocal effects like short-range ordering. On the other hand, the magnetic force theorem offers a fast and effective method for the calculation of the magnetic exchange interactions.

With these tools, we studied for example disorder in metallic alloys ranging from periodic long-range order over short-range order and totally disorder to segregation of the alloy constituents. We showed for AgPd alloys that the short-range order alters strongly the electronic structure [1]. The latter might be then an indicator for short-range order in experimental investigations. Defects play also a crucial role in oxide systems. The influence of oxygen vacancies and antisite disorder on the electronic and magnetic properties was studied for SrCoO₃[2] and Sr₂FeMoO₆[3]. We obtained good agreement with experimental observations. Besides, we calculated the crystal field parameters for single holmium atoms on a Pt surface from ab-initio and used exact diagonalization in order to resolve the splitting of the energy levels. The aim was to understand possible excitations and the high magnetic stability of the holmium atoms observed in surface tunneling experiments[4].

References:

[1] Hoffmann et al J. Phys.: Condens. Matter **28**, 305501 (2016)

[2] Hoffmann et al Phys. Rev. B **92**, 094427 (2015)

[3] Saloaro et al ACS Appl. Mater. Interfaces **8**, 20440 (2016)

[4] Miyamachi et al Nature **503**, 242 (2013)

標題：物性研&新領域ナノサイエンスセミナー：Quantum dots created by atom manipulation with the scanning tunneling microscope

日時：2016年11月18日(金) 午後3時～

場所：物性研究所本館6階 第2セミナー室 (A612)

要旨：

Atom manipulation with the scanning tunneling microscope (STM) makes it possible to create ultimately small structures at surfaces. We extended this technique to III-V semiconductors [1,2] and found that an atomically precise electrostatic surface-potential landscape can be designed by the controlled positioning of charged adatoms. In this way, quantum dots with identical, deterministic sizes can be created one atom at a time. By using the lattice of the InAs(111)A surface to define the allowed atomic positions, the shape and location of the dots is controlled with effectively zero error. The dots are assembled from -1 charged indium adatoms, leading to the confinement of intrinsic

surface-state electrons [3]. This approach enables one to construct quantum dot assemblies whose quantum coupling has no intrinsic variation but can nonetheless be tuned over a wide range.

In a related experiment, we found that the charge state and tunneling conductance of a single organic molecule adsorbed on InAs(111)A can be controlled by the adatom-induced gating potential [4]. Depending on the potential, the charge state can be tuned from neutral to -1. Moreover, the molecule changes its orientational conformation upon charging. This coupling between charge and conformation induces a conductance gap more than one order of magnitude larger than reported previously. The observed behavior can be understood as charge transport through a gated molecular quantum dot with coupled charge and orientational degrees of freedom.

Atom manipulation in combination with STM-based spectroscopy provides detailed insight into the quantum-physical properties of artificial surface structures at the smallest size scales. Understanding and controlling these properties - and the new kinds of behavior to which they can lead - will be crucial for integrating atomic-scale devices with existing semiconductor technologies.

- [1] S. Fölsch et al., Phys. Rev. Lett. 103, 096104 (2009).
- [2] J. Yang et al., J. Phys. Condens. Mater. 24, 354008 (2012).
- [3] S. Fölsch et al., Nature Nanotech. 9, 505 (2014).
- [4] J. Martínez-Blanco et al., Nature Phys. 11, 640 (2015).

標題：第 43/44/45 回極限コヒーレント光科学セミナー

日時：2016 年 11 月 21 日(月) 午前 10 時～午後 5 時

場所：物性研究所本館 6 階 第 1 会議室 (A636)

要旨：10:00-11:00 第 43 回極限コヒーレント光科学セミナー

小西邦昭先生 (東京大学大学院理学系研究科)

「サブ波長人工構造を用いた円偏光制御とその応用」

13:00-14:00 第 44 回極限コヒーレント光科学セミナー

廣理英基先生 (京都大学大学院理学研究科)

「高強度テラヘルツパルス光源の開発と固体との動的非線形相互作用」

16:00-17:00 第 45 回極限コヒーレント光科学セミナー

香川浩之先生 (奈良先端科学技術大学院大学)

「超短パルス波形整形を用いた量子状態制御」

標題：理論セミナー：キタエフ・イジング模型における新規量子相と“液-液”相転移

日時：2016 年 11 月 25 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：那須 讓治

所属：東京工業大学理学院

要旨：

2006 年に A. Kitaev によって導入された量子スピン模型であるキタエフ模型は、固体物理のみならず量子情報などを含む幅広い分野で注目を集めている。この模型は、蜂の巣格子以上に定義された $S=1/2$ 量子スピン模型で、厳密に解くこ



標題：Nonstationary Quantum Hall Effect in a Mesa Junction of a Charge Density Wave Conductor

日時：2016年12月14日(水) 午後4時～午後5時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：Prof. Serguei Brazovskii

所属：CNRS & University Paris-Sud, Orsay, France

要旨：

The technique of focused ion beams was applied to a quasi 1D compound NbSe₃ possessing the charge density waves (CDW). Here, a micron-width Hall bars stretching transversely to CDW chains were fabricated and studied in high magnetic fields. The complex of observed nonlinear and nonstationary effects is counterintuitive with respect to common notion for CDWs: the conductivity drops below the threshold rather than rising, Shapiro steps are quantized in voltage rather than in current, etc. [1].

The interpretation [1,2] invokes the deformable CDW in a restricted geometry for the quantum limit of carriers in remnant small pockets. In realities of the NbSe₃, the carriers are concentrated at the lowest one-two Landau levels forming, at no current, a fractionally ($n < 1$) filled quantum Hall (QH) state.

The gigantic dielectric constant of the CDW reduces the electric field of the Hall voltage directed along the CDW chains allowing for strong redistributions of the electronic density unthinkable in usual circumstances. At low temperature $T < 1$ K, the experimental Hall voltage ~ 1 meV forces all carriers to densely fill a fraction n of the chain length thus forming, under the current, the integer QH state while leaving the fraction $(1-n)$ of the chain length unoccupied. The electric field in charged regions adjacent to the boundaries easily exceeds the pinning threshold of the CDW; then the depinning propagates into the nominally pinned central region via sharp domain walls. Allowing for phase slips provides the exchange among reservoirs of normal and condensed electrons which gives rise to compensated collective and normal pulsing countercurrents driven by the Hall voltage.

This scenario is confirmed by a numerical modeling [2].

[1] Yu.I. Latyshev, A.A. Sinchenko A.P. Orlov, S. Brazovskii and P. Monceau, to be publ.

[2] S. Brazovskii, Physica B, 460, 236 (2015).

標題：第48/49/50回極限コヒーレント光科学セミナー

日時：2016年12月19日(月) 午前10時～午後5時

場所：物性研究所本館6階 第1会議室 (A636)

要旨：10:00-11:00 第48回極限コヒーレント光科学セミナー

嵐田雄介先生 (東京大学)

「飛行時間型分析器を用いた高効率かつ精度な時間分解角度光電子分光」

13:00-14:00 第49回極限コヒーレント光科学セミナー

樋口卓也先生 (ニュルンベルグ大学)

「光電場によるグラフェン中の電流制御」

16:00-17:00 第50回極限コヒーレント光科学セミナー

片山郁文先生 (横浜国立大学)

「探針増強テラヘルツ電場による超高速電子制御」

標題：ナノスケール-量子物質セミナー 反転対称性が破れた固体中のスピン軌道相互作用と磁化制御

日時：2016年12月27日(火) 午後2時～午後3時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：紅林 秀和

所属：ロンドン大学ナノテクノロジーセンター

要旨：

スピン軌道相互作用 (SOI) はその言葉の通り、電子の持つ二つの角運動量 (スピン角運動量と軌道角運動量) の相互作用である。最近の固体物理研究では、この SOI が誘起する新しい物性が盛んに研究されており、トポロジカル量子相の出現や Dzyaloshinskii-守谷相互作用を介した磁気スキルミオン相などがその一例になる。

本発表では、SOI が生む新しい電流スピン変換輸送現象とそれを用いた磁化制御について紹介したい。固体中の SOI ハミルトニアンは電子スピンと波数を含むためこの二つの物理量を結合させているが、固体中の電流がフェルミ面近傍の電子の波数シフトにより決まるため、電流とスピンを相互変換することができる。つまり、SOI は電流を用いてスピンを励起したり、逆にスピンを用いて電流を駆動させる機能を持つ。これら機能を決定するのが SOI ハミルトニアンであり、その対称性や大きさを結晶構造、構成元素そして最先端のナノテクノロジー技術 (薄膜制御技術) で制御することが、電流スピン変換を有限化・顕著化させるアプローチそして課題である。さらに本電流スピン変換機構で生成した伝導電子のスピン偏極を使えば、磁性体中の磁化にトルクを与え、その方向を電流により制御できる。この現象は (スピンホール効果から生まれるトルクと併せて) ”spin-orbit torques” と総称され、現在スピントロニクス分野で盛んに研究されている。発表では、我々の実験結果を中心として spin-orbit torques の基本概念、測定技術そして最近の発展を紹介し、スピントロニクス分野外の方々にできるだけ有益なものにする予定である。

--関連論文--

[1] A. Chernyshov et al., Nature Phys., 5 656 (2009).

[2] D. Fang et al., Nature Nanotech. 9 211 (2011).

[3] H. Kurebayashi et al., Nature Nanotech, 9 211 (2014).

[4] T. Skinner et al., Nature Comm. 6 6730 (2015).

[5] C. Ciccarelli et al., Nature Phys. 12 855 (2016).

[6] 日本語の解説論文として、紅林秀和 「スピン軌道相互作用に起因した新しいスピントルクの最近の発展」 固体物理 No.11 (通巻 597 号) 特集号 スピントロニクスの新展開—スピン変換現象を中心に



東京大学物性研究所研究員の公募について

このたび、東京大学物性研究所では、下記の要領で研究員を公募いたします。
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2条件を満たしている者
 - (1) 博士号取得後10年程度までの者、ただし着任時までに博士号取得が確実に見込まれる者も含む
 - (2) 着任予定時に主たる職、あるいは大学院生および研究生等の身分を有しないこと

* なお、応募に際しては、関連する物性研究所所員（教授または准教授）と連絡をとって研究計画等の調整を行うこと。
また、複数の研究室にまたがる研究テーマに取り組む方も歓迎する
5. 任期：原則として2年間（年度更新）
その後再応募も可（但し、1年間）
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：原則として書類選考とし、場合によっては面接を行う
8. 提出書類：
 - (1) 履歴書
 - (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) 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：平成29年4月14日（金）必着
10. 採用予定日：平成29年9月1日から平成30年2月末日までに着任すること
11. 書類提出方法：
郵送又はメール送付
郵送 「物性研究所研究員（〇〇研究室（連絡をとった所員名を記載）」と朱書し、簡易書留等配達状況が確認
可能な方法で送付すること。
メール 件名は「物性研究所研究員（〇〇研究室応募）」とし、総務係までメールを送付すること。総務係から書
類送付先フォルダを連絡するので、そちらに応募書類一式を保存すること。
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 04-7136-3501 e-mail: issp-jinji@issp.u-tokyo.ac.jp
13. その他：
お送りいただいた応募書類等は返却いたしませんので、ご了解の上お申込み下さい。
また、履歴書は本応募の用途に限り使用し、個人情報とは正当な理由なく第三者への開示、譲渡及び貸与することは
一切ありません。

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

1. Available position: postdoctoral researcher
2. Number of openings: a few
3. Job description: Experimental or theoretical research
It is advisable to consult with appropriate faculty members (either professors or associate professors) at ISSP and develop an appropriate research plan before document submission. Research themes that span more than one research area at ISSP are also welcome.
4. Eligibility: The candidates are expected to meet the following conditions:
 - (1) Less than 10 years from obtaining a PhD or equivalent degree; Applicants scheduled to obtain a PhD degree before the starting date are also eligible.
 - (2) Neither having a primary job nor being a graduate student or postdoc on the scheduled starting date.
5. Term of office: Initial appointment will be for 2 years, renewed annually. It is possible to apply for a one-year extension after two years.
6. Working arrangement/salary:
5 days a week (equivalent to 38 hours 45 minutes). The contract includes unemployment insurance, health insurance, and a commuting allowance. The annual salary is approximately JPY 4.3 million (including tax).
7. Selection/nomination:
Selection is based on the documents listed below. Moreover, a host faculty member is interviewed by a judging committee.
8. Application documents:
 - (1) Curriculum Vitae
 - (2) List of Publications
 - (3) Reprints of up to three major publications
 - (4) Description of past research and main achievements (within 2 pages/A4 or letter size)
 - (5) Research plan (within 2 pages/A4 or letter size)
 - (6) Recommendation letter by an academic supervisor or a reference.
9. Deadline:
Application should reach the ISSP general affairs office by 17:00 on April 14, 2017.
10. Starting date:
After September 1, 2017, before February 28, 2018.
11. Applications should be addressed to:
(Online submission:)
First, send an e-mail to the following e-mail address.
< ISSP general affairs office > issp-jinji@issp.u-tokyo.ac.jp
State "Application for postdoctoral researcher position (with the name of the Host Professor)" in the subject line.
Do not attach any documents.
Secondly, upload the application documents. The URL for upload will be informed.
(Postal mail submission:)
Send application documents to enclosed in an envelope and clearly labeled in red color "Application for postdoctoral researcher position (with the name of the host professor)" on the front. The documents should be sent by registered mail.
Administration Office,
The Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo,
5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa,
Chiba 277-8581,
JAPAN

物性研だより第 56 巻目録 (第 1 号～第 4 号)

第 56 巻第 1 号 2016 年 4 月

強磁場下におけるグラファイトの新奇電子相	秋葉 和人、三宅 厚志、徳永 将史	1
超伝導できない超伝導電子 ～超伝導温度より遙か高温から存在する超伝導電子の発見～	近藤 猛、辛 埴	4
極低温まで軌道自由度が凍結しない銅酸化物の実現と軌道揺らぎの時間スケールの観測	萩原 政幸、韓 一波、中辻 知	7
EPS-QEOD Travel Grant Student Awards を受賞して	遠藤 護	10
外国人客員所員を経験して	Martin Rotter	12
物性研究所短期研究会		
○スピン系物理の深化と最前線		13
○『低次元電子系におけるエキシトニック相の新展開』の報告		19
○量子物質研究の最前線		25
○「量子乱流と古典乱流の邂逅」の報告		42
物性研究所談話会		46
物性研究所セミナー		47
物性研ニュース		
○人事異動		53
○東京大学物性研究所研究員の公募について		56
○東京大学物性研究所特任助教の公募について		57
その他		
○大学院進学ガイダンス		58
○物性若手夏の学校ポスター		59
編集後記		
物性研だよりの購読について		

第 56 巻第 2 号 2016 年 7 月

物性研究所の改組について		1
カイラル超流動体における軌道角運動量	多田 靖啓、押川 正毅	5
超伝導に隠された異常金属相の発見		
-量子臨界「点」ではなく「相」として振舞う不思議な金属状態-	富田 崇弘、中辻 知	9
有機分子により五角形から成る量子磁気ネットワークを実現	山口 博則	12
強誘電体薄膜における「負のキャパシタンス」発現の第一原理シミュレーション	笠松 秀輔	14
近藤効果の起こっている量子ドットの電荷状態の電流ゆらぎによる検出実験	阪野 壘	17
第 13 回 ISSP 学術奨励賞と第 10 回日本物理学会若手奨励賞を受賞して	松林 和幸	20
ISSP 学術奨励賞を受賞して	小濱 芳允	22
ISSP 柏賞を受賞して	藤澤 正美	24
日本物理学会若手奨励賞(領域 3)を受賞して	左右田 稔	25
日本物理学会若手奨励賞(領域 5)を受賞して	和達 大樹	27
平成 28 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰		
科学技術賞(研究部門)を受賞して	森 初果	29



物性研に着任して	池田 達彦	30
	郷地 順	31
	酒井 明人	32
	一色 弘成	33
物性研を離れて	高田 康民	34
客員所員を経験して	松平 和之	37
	中村 真	38
	山田 鉄兵	40
	安 東秀	42
ISSP ワークショップ		
○SPring-8 BL07LSU の現状 -X 線分光と回折の協奏へ-		43
○分子性物質における π 電子—水素相関機能物性		46
物性研究所談話会		48
物性研究所セミナー		51
物性研ニュース		
○物性研究所国際外部評価を終えて		61
○人事異動		66
○東京大学物性研究所研究員の公募について		67
編集後記		

第 56 巻第 3 号 2016 年 10 月

2016 年度ノーベル物理学賞「トポロジカル相転移と、物質のトポロジカル相の理論的発見」	押川 正毅	1
時間結晶 (time crystal) は存在するか	渡辺 悠樹、押川 正毅	10
パイロクロア型イリジウム酸化物において磁場印可方向に敏感な金属・絶縁体転移を発見		
.....	小濱 芳允、金道 浩一、Tian Zhaoming、中辻 知	14
強相関半金属で直接観測するフェルミノード状態	近藤 猛、中辻 知、辛 埴	17
50 テスラ超強磁場まで維持される 2 次元超伝導状態	斎藤 優、岩佐 義宏、小濱 芳允、徳永 将史	20
質量ゼロのディラック電子の流れを制御できる新しい磁石を発見	酒井 英明、増田 英俊、徳永 将史、石渡 晋太郎	23
第 20 回日本表面科学会学会賞を受賞して	吉信 淳	26
国際会議 ICSM2016 にて Best Poster Award を受賞して	東野 寿樹	28
物性研を離れて	末元 徹	30
客員所員を経験して	石渡 晋太郎	32
【物性研究所短期研究会】		
○「第 1 回固体化学フォーラム研究会：固体物質・材料研究の現在と未来」		34
○『強磁場コラボラトリー、国際協力と強磁場科学の将来』報告		37
【物性研究所談話会】		
.....		42
【物性研究所セミナー】		
.....		44
【物性研ニュース】		
○人事異動		56
編集後記		

第 56 巻第 4 号 2017 年 1 月

スピン液体相の近くに現れる「隠れた秩序」……………高津 浩…………… 1
 「磁場によるコバルト酸化物の新しいスピנקロスオーバー」……………池田 暁彦、松田 康弘…………… 4
 スピンをレーザーで制御する～レーザー照射で消磁と金属化を放射光で観測～……………和達 大樹…………… 7
 太陽光による水分解を高効率化するナノコンポジット結晶を開発……………川崎 聖治、高橋 竜太、リップマー ミック…………… 9
 超高分解能光電子顕微鏡の開発とチタン酸化物の表面強磁性 ～レアメタルを使わないナノ磁石～
 ………………辛 埴、谷内 敏之……………11
 日本物理学会若手奨励賞（領域 8）を受賞して……………近藤 猛……………13
 第 8 回強磁場フォーラム三浦奨励賞を受賞して……………中村 大輔……………14
 理研シンポジウム・iTHES 研究会「熱場の量子論とその応用」で最優秀ポスター賞を受賞して
 ………………長谷川 雅大……………16
 客員所員を経験して……………野村 健太郎……………18
 ………………松本 吉泰……………19
 ………………酒井 英明……………21

【研究室だより】
 ○益田研究室……………23

【理論滞在型国際ワークショップ】
 ○International Workshop on Tensor Networks and Quantum Many-Body Problems (TNQMP2016)……………30

【物性研究所短期研究会】
 ○パイ電子系物性科学の最前線……………34

【国際ワークショップ】
 ○HPSP-17 & WHS 報告……………41
 第 61 回物性若手夏の学校開催報告……………井上 高宏……………45

【物性研究所談話会】……………49
【物性研究所セミナー】……………51

【物性研ニュース】
 ○人事異動……………60
 ○東京大学物性研究所研究員の公募について……………61
 物性研だより第 56 巻目録（第 1 号～第 4 号）……………63
 編集後記

編集後記

物性研究所における研究成果や活動内容を冊子として発信しているこの「物性研だより」を、このたび拡大広報委員会の委員としてリニューアルさせていただきました。「物性研だより」の伝統ある高い格式を守りつつ、研究トピックスを強調した表紙や、写真や図を取り入れた目次など、研究所の「今」を視覚的にも捉えやすくなるよう工夫してみました。

新しい冊子体を読んだ時は、完成に至った喜びと共に、改めて物性研究所の研究レベルの高さを感じました。今回もトピックス記事や受賞記事など内容は盛り沢山です。今後もたくさんの人に「物性研だより」を読んでいただけるよう、みなさんと共にいい研究を実施していきたい次第です。

松 田 巖

