物性研だより

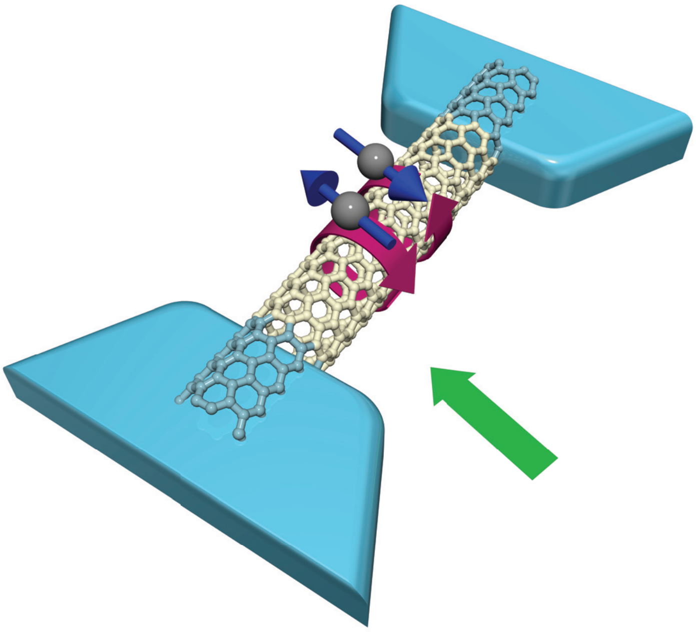
BUSSEIKEN DAYORI

第 58 巻
第 1 号
2018 年 4 月

時間分解磁気円偏光二色性測定によるスピンの超高速ダイナミクス観測

量子ドットの近藤効果を引き起こす磁気モーメントの探索

極限超強磁場下の高精度電気伝導度計測技術の開発
　―銅酸化物高温超伝導体研究に新たな一歩



東京大学 物性研究所
THE INSTITUTE FOR SOLID STATE PHYSICS
THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright ©2018 Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo. All rights Reserved.

ISSN 0385-9843

第 58 巻
第 1 号
2018 年 4 月

contents

1 所長就任にあたって 森 初果

3 所長退任にあたって 瀧川 仁

5 時間分解磁気円偏光二色性測定によるスピンの超高速ダイナミクス観測 田久保 耕

8 電子ドットの近藤効果を引き起こす磁気モーメントの探索 阪野 塁

10 極限超強磁場下の高精度電気伝導度計測技術の開発
—銅酸化物高温超伝導体研究に新たな一歩 中村 大輔

12 強磁場研究会ポスター発表賞を受賞して 野村 和哉

14 強磁場研究会ポスター発表賞を受賞して 佐藤 和樹

15 第 9 回強磁場フォーラム三浦奨励賞を受賞して 池田 暁彦

17 日本中性子科学会第 17 回年会学生ポスター賞を受賞して 林田 翔平

18 物性研に着任して 井上 圭一
19 三輪 真嗣
20 河村 光晶
21 浅井 晋一郎
22 神田 夏輝
23 今城 周作
24 木下 雄斗

25 外国人客員所員を経験して Mario Novak

26 客員所員を経験して 瀧本 哲也
27 萩田 克美
29 吉田 鉄平

【物性研究所短期研究会】
30 ○The 9th APCTP Workshop on Multiferroics の報告

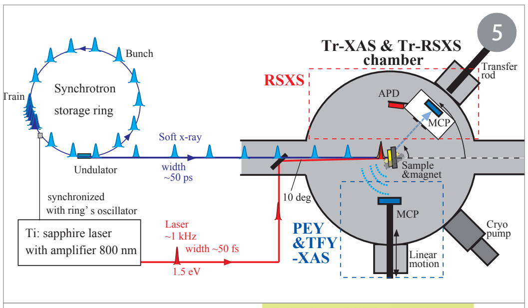
33 【物性研究所談話会】

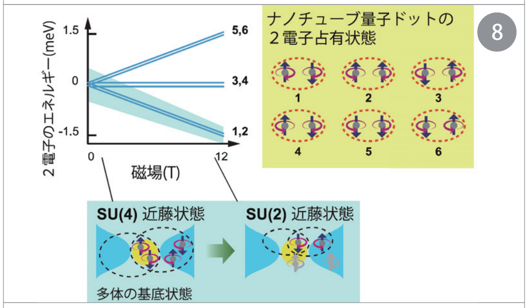
35 【物性研究所セミナー】

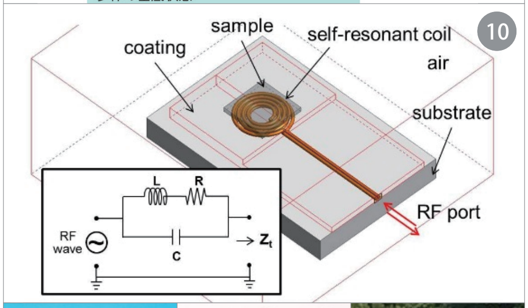
【物性研ニュース】
44 ○人事異動
47 ○平成 29 年度外部資金の受入について

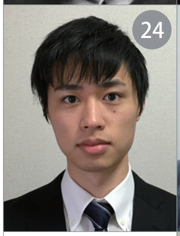
編集後記

物性研だよりの購読について









所長就任にあたって

物性研究所長　　森　初果

創立から61年を迎えた物性研究所は、「伝統を踏まえながら、各時代で新たな物性・物質科学のフロンティアを切り拓く」という開所以来のスピリットを礎に、共同利用・共同研究拠点(共共拠点)として研究活動を行っています。特に、2000年4月のキャンパス移転以降の第3世代においては、「国際化」、および従来の学問領域の枠を超えた「融合学術研究」による物質・物性科学の発展を目指してきました。そのような中、瀧川仁前所長の後を受け、4月から物性研究所の運営の任を担うこととなりました。どうぞよろしくお願いいたします。

物性研究所は、世界でも数少ない「物質・物性科学の総合的な基礎研究所」です。物理、化学を中心に、工学、最近では生物まで視野を広げ、その研究分野の多様性を保ちつつ、研究の萌芽を作り出すいわゆるsmall science(物質開発や理論研究など)と、中・大型研究施設(強磁場、レーザー・放射光、中性子、大型計算機など)による先端技術を協奏させながら、最先端の研究を展開しています。そのような「先端基礎研究」と、「人材育成」および「共同利用・共同研究」を3本柱に、東大附置の共共拠点として皆様のご支援をいただきながら活動しております。しかし、研究を取り巻く環境が年々厳しくなる中、今後物性研がどのような課題に取り組むべきかを考えてみたいと思います。

教職員の削減はどの大学でも問題ですが、物性研も例外ではなく、国立大学法人が始まった2004年度の教員採用可能数97名は、2018年度には86名と11%減になっています。共同利用研で、特に大型施設の運営に関わる教員数を減らすというのは大変難しいことです。そのような状況でも、新たな「融合学術研究」にチャレンジするため、既存教員の再編および定年・転出分のポスト、時限ポストも利用して2016年度に改組を行い、「量子物質研究グループ」と「機能物性研究グループ」という2つの分野横断型グループを新設しました。この4月に着任した准教授2名は、有機・無機薄膜のナノ界面を制御し、デバイスに向けた量子スピントロニクス研究を展開する三輪真嗣准教授(量子物質研究グループ)と、光応答タンパク質を開発し、光物性を中心とした機能物性研究を行う井上圭一准教授(機能物性研究グループ)で、お二人を迎えて、それぞれのグループは物質・物性科学への新たな一歩を踏み出しました。また、各グループを中心とした新たな融合連携研究も始動しており、今後、small scienceの将来計画についても、この分野横断型グループで意見交換をしながら進めていきたいと考えています。是非、コミュニティーの先生方にも融合連携研究に参画いただき、ご意見をいただければ幸いに存じます。

1980年代に物性研の中・大型施設が誕生して以来、関係各位のご尽力により絶え間ない技術開発が続けられ、その成果は物性研究の発展に直結しています。超強磁場測定、レーザー光電子分光測定、放射光でのオペランド測定、大型計算機の運用とプログラム高度化、中性子のJ-PARCにおけるHRC(高分解能チョッパー分光器)測定は、コミュニティーの研究にも大きく貢献しています。しかしながら、東海村にあるJRR-3研究用原子炉については、2011年の3.11以降停止したままであり、その再稼働に向けて努力を重ねているところです。

2018年度は、全国すべての共共拠点のプロジェクト費が26%減額されるという厳しい予算状況となりました。その中でも、物性研の国際超強磁場科学施設では、本年1月に電磁濃縮法により超強磁場985テスラ(T)を達成しました。これは、それまでの世界最高磁場を大幅に更新し、物性測定に実用可能な磁場として世界最高強度です。この1000Tの磁場下では、電子のサイクロトロン運動半径がナノメートル以下に縮まるため、原子100個から1個までの電子状態を連続的に解明することができます。新しい量子状態の発現や解明に加え、1000Tの磁場状態であるといわれる宇宙の電子状態を明らかにする可能性や、シリコンデバイスにおける原子レベルでの電子状態の解明といった半導体工学分野からの期待もあります。

近年、山積している社会課題に対して、大学で集積された知恵、知識が貢献できることは多いのではないかという議論がなされています。実際、東京大学では、つくばー柏ー本郷 コリドー計画が進んでおり、柏IIキャンパスでも、産官学民連携が推進されています。物性研では、その強みである基礎物性研究を今後も継続していくことに変わりはありませんが、マテリアル開発などの社会課題に対しては、

大型施設が観測・計算などで貢献できることは多く、基礎研究資源の確保、物質・物性科学の学問領域の広がり、若手のキャリアパスの拡大という観点から、どのように対応するべきかという検討は大変重要であると感じています。このような意見交換は、日本学術会議の物理学委員会物性物理・一般物理分科会でもスタートしており、コミュニティーの皆様とも議論を深めたいと思っています。物性研には優秀なシニア URA(University Research Administrator)が2名いますので、彼らの協力も得ながら新しいスタイルを模索できればと考えています。

2010 年に「共同利用・共同研究拠点」認定制度が発足した際、物性研は「物性科学研究拠点」に認定されました。第 2 期中期目標・中期計画期間(2010-2015 年度)では、超強磁場、中性子、放射光、極限レーザー、スーパーコンピュータなどの大型研究設備を含む共同利用・共同研究活動を展開し、2015 年度の期末評価では S 評価をいただき、再認定を受けました。2016 年度から第 3 期が始まり、早くも2年が経過し、本年5月に中間報告を提出したところです。さらに、2018 年度後期から始まる「国際共同利用・共同研究拠点」(国際共共拠点)については、新規認定の公募がスタートしています。物性研としても、物質・物性科学の最先端研究を世界的な連携で発展させるために、個人レベルの国際共同研究に加えて、国際的なコミュニティー間の連携、拠点間のネットワーク構築は必須であると考え、教授会で国際共共拠点の応募を決定し、準備を進めています。キャンパス移転時に目標としていた「国際化」にも加速がつく様相で、国内のコミュニティーと共に国内外で共同研究を展開し、これまで以上にサイエンスの議論ができる場を提供できると思っています。

今後も皆様からの貴重なご意見に耳を傾け、微力ながら物質・物性科学の発展に尽くしていく所存ですので、これまでと変わらぬご支援・ご協力を賜りますようお願い申し上げます。

所長退任にあたって

瀧川　仁

今年３月末をもちまして、２期５年を務めた物性研究所長を退任しました。在任中は５年という歳月を長いと感じることも多かったのですが、終わってみるとあっという間に過ぎた気がします。今年度は森新所長を始め、研究所の執行部である企画委員会にも新鮮な顔ぶれが加わり、未来志向の運営がなされることを予感しています。これを機に、この５年間で物性研とこれを取り巻く環境がどのように変わってきたか、振り返ってみたいと思います。

家前所長から引き継いだ 2013 年当時は、東日本大震災から２年が経ち、また 2004 年の国立大学法人化で激変した大学運営の仕組みがすっかり定着した頃でした。法人化によって大学間競争が強調されるあまり、物性研を始めとする全国共同利用研究所の存在基盤が危うくなるのではという当初の懸念は、2010 年に始まった共同利用・共同研究拠点制度で共同利用研が適切に再定義されたことによって概ね払拭された一方で、法人化後の運営費交付金と教員ポストの継続的な削減が、国立大学の深刻な活力低下を招いていることが明らかになっていました。

物性研は、全国に 14 ある大型設備利用型の理工学系共同利用・共同研究拠点の一つとして認定されており、超強磁場、極限レーザー、中性子、放射光といった大型実験装置やスーパーコンピュータなど、個々の大学で整備することが困難な先端的研究設備を開発・維持することが第１のミッションです。実際、これらの大型設備を担う附属施設・センターの数は、柏移転時(2000 年)の３から、2013 年には６に増加しています。しかし、教員ポストは全体として漸減しているため、その影響はいわゆるスモール・サイエンスを担う研究部門においてとりわけ深刻となっています。所長就任にあたっての所信に述べたように(物性研だより第 53 巻第１号)、物性科学の将来の芽を育むことが期待される研究部門をどう立て直すかが、５年前の課題の一つでした。

これに関して、所内はもとより所外の多くの方々と意見を交しながら検討した結果、2016 年 10 月に、部門・施設・センターという従来の研究組織を横断する形で「機能物性研究グループ」と「量子物質研究グループ」という二つの分野横断型研究グループを設立するに至りました。それぞれの研究グループの目的や設立に至った経緯については物性研だより(第 56 巻第２号)に詳述したので、ここでは繰り返しませんが、「独創的で個性ある研究室を擁する研究部門が孤立した個人商店の集まりではもったいない。お互いに興味を共有して連携し、さらに傑出した施設・センターの先端的装置を活用することによって物性研の強みが発揮されるのではないか」という認識がもとになっています。検討を始めてから研究グループ設立までは長い道のりでしたが、その過程で関係所員の熱心な議論と実践があったことは特筆に値します。機能物性研究グループの立ち上げに関わった 12 名の所員は、毎月一回のボトムアップ・ミーティングでそれぞれの研究テーマや研究手法について紹介することから始め、その中からグループ内での共同研究をスタートさせました。また、所外の研究者を交え、グループの将来計画を議論するための研究会シリーズを企画、実施しています。そして、量子物質研究グループでは、国内外の最先端の研究者による「新量子相レクチャー」シリーズや、学術振興会の頭脳循環プログラムに採択された「新奇量子物質が生み出すトポロジカル現象の先導的ネットワーク」による日米独の国際連携など、実質的な活動を先行させる形でグループの構想を練ってきました。これらの改組が将来どう評価されるかは、今後の活動に委ねられることになります。

共同利用の在り方も少しずつ変わっています。共同利用・共同研究拠点の制定後、2015 年度に初めて行われた中期目標期間の期末評価で、物性研はＳ評価とともに「今後は、先端実験機器が他機関においても充実していく中、物性物理学の方法論の先導性を発揮しつつ、国際的な役割を更に認識し・・(中略)・・当該分野において更に主導的役割を果たすことが期待される。」との総合コメントをいただきました。つまり、設備利用を中心とした従来の共同利用に加え、物質科学の新しい領域を開拓し、それによってコミュニティを活性化することが求められています。この意味でも、2016 年度からの新期の拠点活動において、分野横断型研究グループが重要な役割を果たすことを期待しています。

新期の拠点運営における大きな変化は、大阪大学大学院理学研究科付属先端強磁場科学研究センターを連携研究施設として位置付け、共同利用の申請から旅費・研究費の支給、共同研究の実施に至るまで一体で運用することにより、

国内パルス強磁場施設の利用者にワンポイントサービスを提供する体制を実現したことです。将来このような機関連携が他の拠点や大学共同利用機関にも広がれば、利用者の利便性が更に向上するのではないかと思います。

この５年間のもう１つの大きな変化は、科研費以外の大型競争的資金に基づく共同研究プロジェクトが多く進行したことです。その背景には、漸減する運営費交付金に頼っていては、最先端大型装置の開発を継続しつつ共同研究を先導することは難しいという事情もあると思います。この点で最も先行したのは計算物質科学の分野で、物質設計評価施設においてスーパーコンピュータ共同利用が始まった90 年代から、関係所員は並行して国家規模の計算科学プロジェクトに参画してきました。2011 年に外部資金の受け皿となる計算物質科学研究センターが設立されてからは、「京」コンピュータ活用を中心とするHPCI戦略プログラムやポスト「京」の重点課題の推進拠点として、ハードウェアの提供とソフトウェアの開発・支援を両輪とする計算物質科学分野の振興に貢献しています。また、元素戦略プロジェクト〈拠点形成型〉(文科省 2012-2021 年度)を通じて、材料開発研究グループや放射光・中性子などの大型研究施設との連携を強化し、更に東北大学を代表機関とする人材育成コンソーシアム事業を通じて、産業界を含む広い物質材料科学コミュニティとの人材交流を推進するなど、幅広い活動によって分野の拡大と活性化に貢献しています。

同様な状況は、放射光と極限レーザー光源を併用した光科学を目指して 2012 年に設立された極限コヒーレント光科学研究センターにおいても顕著です。例えば、光・量子融合連携研究開発(文科省、2013-2017 年度)に採択されたプロジェクトによって、物性研独自のレーザー光電子分光の最先端技術開発が一気に加速し、世界的な注目を集めるようになりました。一方で、産官学が一体となって高品位・高効率なものづくり技術としてのレーザー加工技術の開発を進めている NEDO プロジェクト「高輝度・高効率次世代レーザー技術開発」(2016-2022 年度)においては、物性研・理学系・工学系の連携による東大チームが、要素技術開発に加えて微視的な基礎学理の構築という面で重要な貢献を果たしています。

計算科学、光科学はいずれも、東京大学が推進している新たな産学官連携スキームである「つくば・柏・本郷イノベーションコリドー」構想における重要な要素となっています。このような最近の傾向は、「物性研は基礎研究から応用研究・実用研究にシフトしようとしている」という印象を物性研究者に与えるかもしれません。しかし、私はそうではなく、基礎研究の成果である上記の新技術によって、これまで微視的なあるいは学理的な基礎付けが困難であった物質材料の複雑な問題に対して、物性科学的なアプローチが可能になってきたと考えています。物性研の設立趣意書の冒頭には「物性研究所は、物性物理学の綜合的かつ系統的な研究を行ない、それによってわが国の学問の水準を高め工業技術の発展に貢献することを目的とする。」とあり、設立時の理念とも相通じるものがあります。磁性や超伝導など伝統的な基礎研究分野と、このような新しい展開が相互に刺激を与えることは、多様性を特徴とする物性科学の発展にとって重要なことだと思います。

新分野への挑戦を促進し研究の多様性を実現する上で大きな障害となるのは、研究者の時間の劣化です。外部資金によるプロジェクトにおいても、その内容が多様になればなるほどマネージメント業務が増加します。それが研究者(教員)の負担となり、合間を見つけて研究するようでは、そもそも新しいことに挑戦しようという動機が生まれません。その意味で、所長任期の最初の年度に、URA（University Research Administrator）制度の普及を目的とした文科省の研究力強化事業が始まったことは、非常に良いタイミングでした。学内ヒヤリングで物性研の提案が採択され、公募の結果、2014 年 2 月に鈴木博之氏(NIMS から出向)が物性研 URA として着任されました。以来４年間、鈴木氏は文字通り所長の片腕として研究所の研究推進に全面的に尽力され、また、頭脳循環プロジェクトなど国際共同研究体制の構築から、所内のさまざまな大型研究プロジェクトの支援に至るまで、縦横に活躍されました。物性研ではその前から、全国規模のスパコン関係の大型プロジェクト運営のために、計算物質科学研究センター専属の URA として古宇田光氏が着任されており、昨年度開始された東京大学の URA 認定制度においては、鈴木氏、古宇田氏ともに数少ないシニア URA に認定されました。これからは大学や研究所の研究戦略の立案・推進において、URA は必要不可欠な存在です。お二人が東大を拠点として、日本の URA 制度の推進と持続的なキャリアパス構築の良きモデルケースとなるよう期待しています。

最後になりましたが、この５年間、小森副所長、川口事務長、片桐事務長、矢作事務長を始め、事務職員の方々、企画委員の先生方には、いつも相談に乗っていただきました。私が何とか所長任期を全うできたのも、皆様の温かいご支援と、所員の協力、そして全国物性研究者のサポートのおかげと感謝しております。本当にありがとうございました。

2018 年５月

時間分解磁気円偏光二色性測定によるスピンの超高速ダイナミクス観測

極限コヒーレント光科学研究センター　田久保 耕

Ni 金属の 1 ピコ秒(ps)以下の超高速消磁が Beaurepaire 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。特に近年、GHz 以上の帯域で動作する電子・スピン材料の測定のため、世界中の放射光(SOR)施設及び自由電子レーザー(XFEL)施設で、サブナノ秒(ns)領域での光誘起時間分解X線分光測定が盛んに行われるようになっている[2]。そこで本研究では、東京大学物性研究所ビームラインである SPring-8 B L07LSU において、放射光軟 X 線を用いた時間分解 x-ray magneto circular dichroism(X 線磁気円偏光二色性・XMCD)および共鳴軟 X 線散乱(弾性散乱・回折)の測定装置を建設し、磁性材料の光誘起ダイナミクスの測定を行った。測定対象としては、強磁性を示す合金である FePt 薄膜に注目した。FePt 薄膜は、室温で強磁性を示し、面直方向に磁化が向きやすい垂直磁化膜であるため、応用面でも期待されている[3,4,5]。この物質にレーザーを照射することで磁化を消す消磁のダイナミクスの観測を目指した。

定常状態の軟 X 線 XMCD 測定は、通常は X 線による光電流を測定する全電子収量法(TEY)を用いて行われる。しかし、光誘起ダイナミクスの測定においてはレーザー照射に伴う光電流の問題のため、TEY を用いることが難しい。そのため、これまでの時間分解 XMCD 測定は主として透過法を用いて行われてきた。しかし、軟X線が透過するほど薄い基板上に試料を作成することは困難であり、例えば今回のような良質な FePt 試料を透過法で測定することは不可能である。そこで今回、我々は検出器として micro channel plate(MCP)を使用する新たな工夫により、部分電子収量法(PEY)及び蛍光法による時間分解 XMCD 測定を可能とした。MCP は検出面に＋電場を印可すると試料から放出される光電子を検出し、－電場を印可すると電子を跳ね返しフォトン(蛍光)を検出することができる素子である。

時間分解 XMCD 測定は東大物性研ビームライン SPring-8 BL07LSU で行った。図 1 に示す実験配置により、時間分解 XMCD 測定を行った。図のチャンバーの上半分において、時間分解共鳴軟X線散乱(弾性散乱・回折)測定を行うことが可能であり、下半分において時間分解 XMCD 測定が行うことが可能である。直線導入器及び 2θ 回転器上に MCP を設置しており、試料と検出器の位置関係を調整できる。

BL-07LSU のレーザーステーションから実験チャンバーに放射光と同期したパルス幅 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

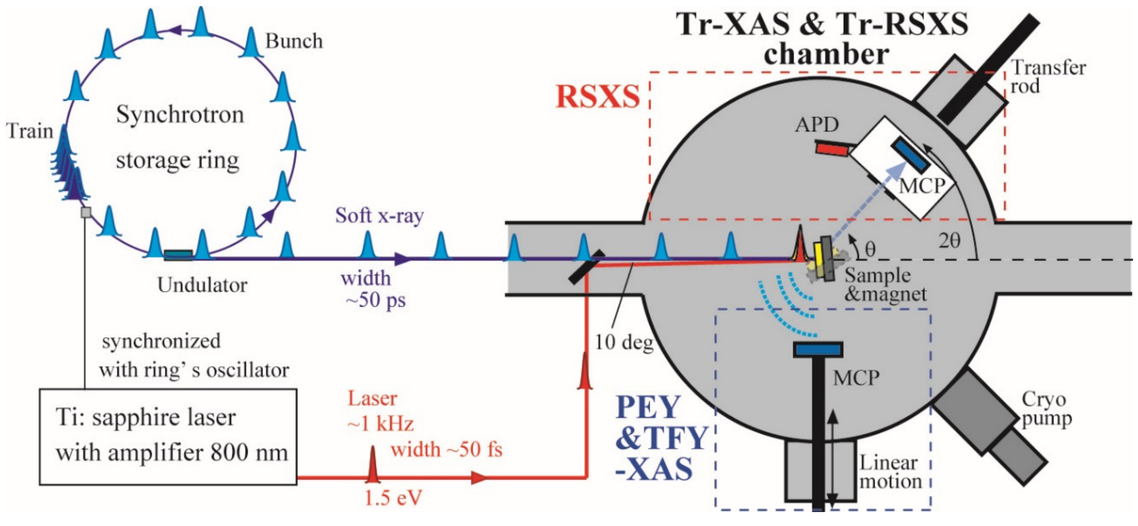


図 1. BL-07LSU における時間分解吸収分光および共鳴軟 X 線散乱測定装置概要

プ光として導入し、ポンププローブ法による時間分解測定を行った。一方で、SPring-8 の F-mode 及び H-mode における単一バンチ幅は約 50 ps であるため、時間分解能は 50 ps 程度である。時間分解測定の繰り返し周波数は 1kHz であり、ポンプレーザーの周波数によって決まる。ポンプ光と放射光の遅延時間は電気的に調整した。遅延回路からの信号をトリガとして、ポンプされた信号をオシロスコープを用いて切り出した。測定に用いた FePt 薄膜は、MgO(100)基板上に作製された単結晶で膜厚は 50 ナノメートル程度である。

図 2 に PEY で測定した XMCD の時間発展を示す。レーザー照射後、50ps 以内に 90%以上の XMCD が消失し、その後、熱拡散などにより数百 ps の緩和時間で元の状態に緩和していく様子が観察される。消磁の時間スケールは約 50ps に見えるが、これは放射光の時間幅であり実際にはもっと短いと考えられる。L_3 端、L_2 端でほぼ同じダイナミクス（変化率、緩和時間）が得られているが、これは PEY により歪みのない測定が行われていることを示している。また消磁を起こすためのレーザー強度に閾値的な振る舞いが見られているが（図 3）、これは光で誘起した相転移に特徴的なものである。合金の強磁性は一般に 2 次転移であり、光誘起であっても消磁のメカニズムに閾値は関係しないと考える人もいるかもしれないが、最近の Ni 金属の消磁の時間分解 X 線反射率測定においても、光照射直後に表面の急激な構造変化が報告されている[6]。これらの

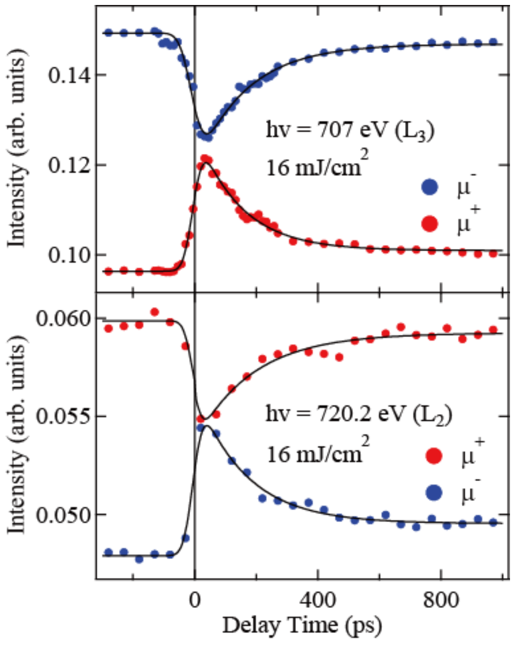


図 2.　FePt 薄膜の Tr-XMCD 時間発展プロファイル（上図 Fe　L_3 端、下図 L_2 端）

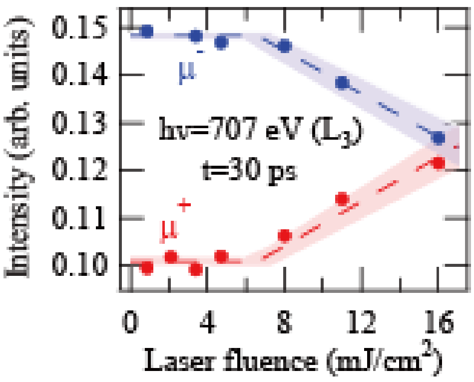


図 3.　Tr-XMCD (Fe L_3 端)の励起光強度依存性 (t=30ps)

結果は、光誘起相転移の機構に構造変化も含めた協同効果が作用していることを暗に示していると考えられる。

本研究により、SPring-8 BL07LS-U において FePt 薄膜における消磁のダイナミクス観測に成功した。これは、日本の放射光施設で唯一のセットアップであり、今後の系統的な磁性体のスピンダイナミクス研究に活用することができる。放射光を用いるメリットとしては、元素別のスピンダイナミクス観測など、実験室光源では得られない研究展開が期待できる。特に XMCD はスペクトルに総和則を適用することで、スピンと軌道の角運動量の大きさと比を元素別に抜き出すことができる強力な手法である。粒状 FePt や Co/Pt 超格子などで、円偏光レーザーによる磁化反転が報告されているが[7]、例えばその XMCD スペクトルのダイナミクスの測定を行えば、光による角運動量の変化（逆ファラデー効果とも言われる）をダイナミクス上で直接明らかにできるなど画期的な成果が期待できる。

謝辞　本研究は以下の方々（山本　航平、平田　靖透、横山　優一、久保田　雄也、山本　真吾、山本　達、松田　巌、辛埴、関　剛斎、高梨　弘毅、和達　大樹及び田中　良和、大河内　拓雄、木下　豊彦　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 16K20997, 16K17722, 26400328）の支援を受けました。SPring-8 BL07LSU における時間分解 XMCD 実験は東京大学の放射光連携研究機構（2016A7504, 2016A7403, 2016B7403, 2016B7518）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] E. Beaurepaire, J.-C. Merle, A. Daunois, and J.-Y. Bigot, Phys. Rev. Lett. **76**, 4250 (1996).

[2] 例えば A. Kirilyuk, A. V. Kimel, and T. Rasing, Rev. Mod. Phys. **82**, 2731 (2010).

[3] C. L. Platt, K. W. Wierman, E. B. Svedberg, R. van de Veerdonk, J. K. Howard, A. G. Roy, and D. E. Laughlin, J. Appl. Phys. **92**, 6104 (2002).

[4]T. Seki, H. Iwama, T. Shima, and K. Takanashi, J. Phys. D: Appl. Phys. **44**, 335001 (2011).

[5] Bedanta, T. Seki, H. Iwama, T. Shima, and K. Takanashi, Appl. Phys. Lett. **107**, 152410 (2015).

[6] E. Jal, V. Lopez-Flores, N. Pontius, C. Sch€ußler-Langeheine, T. Ferte, N. Bergeard, C. Boeglin, B. Vodungbo, J. L€uning, and N. Jaouen, Phys. Rev. B **95**, 184422 (2017).

[7] C.-H. Lambert, S. Mangin, B. S. D. Ch. S. Varaprasad, Y. K. Takahashi, M. Hehn, M. Cinchetti, G. Malinowski, K. Hono, Y. Fainman, M. Aeschlimann, and E. E. Fullerton, Science **345**, 1337 (2014).

量子ドットの近藤効果を引き起こす磁気モーメントの探索

物性理論研究部門　　阪野 塁

カーボンナノチューブ量子ドット中の巻方向の運動自由度とスピンで構成された磁気モーメントにより発現した近藤効果を、非線形電流と電流ノイズにより観測した、最近の実験研究[1]について紹介する。特に磁場下での磁気モーメントの変化に起因した、近藤状態の遷移を観測することに成功した。

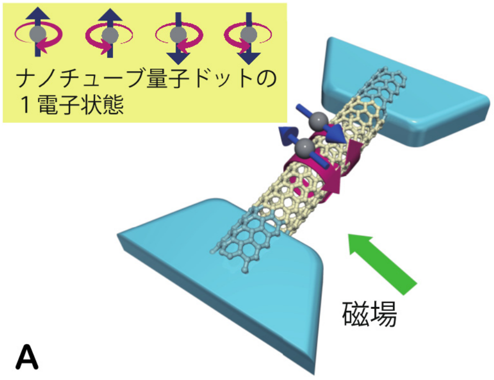
近藤効果は典型的な電子の多体効果として知られていて、その発現機構は1964年に元物性研助手（1960年-1963年在籍）の近藤淳氏によって解明され、現象の名には近藤氏の名前が冠されたことをご存知の方は多いだろう。元々は希薄磁性金属中の不純物の持つ磁気モーメントとホスト金属の電子の磁気モーメントが、低温で一重項基底状態を形成し、磁気モーメントを消失する現象として調べられてきた。

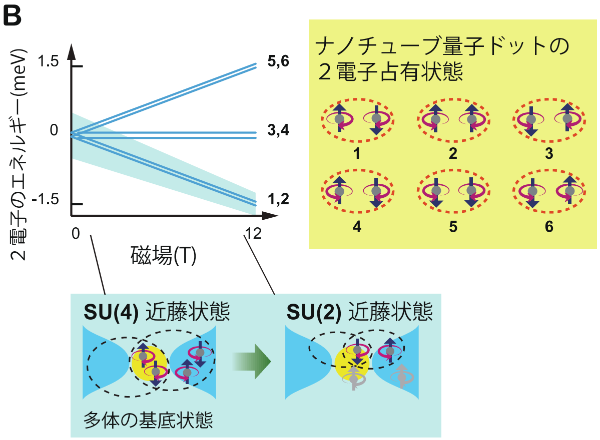
本研究では、図Aのようなカーボンナノチューブの両側にアルミニウムのリード電極（水色部分）を取り付けた素子を使って近藤効果を調べた。このような素子は、人工的に作り込まれているため、希薄磁性金属に比べ多くのパラメーターを制御しながら実験が可能である。さらに電極間の電圧を制御することで非線形電流を詳しく調べることが可能である。

この素子では、電極とナノチューブの間にトンネル障壁が形成され、電極に挟まれたナノチューブ部分に狭い領域ができる。この領域は量子ドット呼ばれる。特徴的なことは、この量子ドットにさらに絶縁した電極を取り付け、電気的ポテンシャルを制御することでドット内に電子を閉じ込め磁気モーメントを発現させることができることである。低温で近藤効果が起こると、量子ドット中にフェルミ準位付近に共鳴準位が形成されリード電極間に電流が発生する。これまで電流特性に現れる近藤効果が調べられてきた。特にカーボンナノチューブで作られた量子ドットの場合、スピンの自由度のみならず、ナノチューブの巻方向の運動の自由度（軌道）に起因した磁気モーメントが発生する（図 A の差し込み図）。ここに磁場を任意の方向へ印加することで、スピンのみならず、軌道の分裂を調整することができる。例えば、ナノチューブの円筒を貫くように磁場を印加すると軌道は強く分裂するが、法線方向に磁場を印加すると軌道は全く分裂せず、スピンのみが分裂することになる。

本研究では磁場印加方向を調整することで、カーボンナノチューブ量子ドットに２電子 SU(4)近藤状態と SU(2)近藤状態を発生させ、その間のクロスオーバーの観測に成功した。軌道分裂とスピン分裂がちょうど同じ大きさになるように磁場の向きと大きさ調整する。このとき図Bで見られるように、ドットの２電子状態の基底状態は縮退が解けずにのこる。そのため、この準位により大きな磁場状態では、SU(2)近藤効果が起こる[2]。逆に磁場が小さいところでは、軌道自由度とスピンの縮退により SU(4)近藤効果が起こる。

問題は、この２つの近藤効果の基底状態はいずれも完全に磁気モーメントを消失した局所フェルミ流体を示すため、電流（帯磁率、比熱なども）の電圧や温度依存のべき乗則を



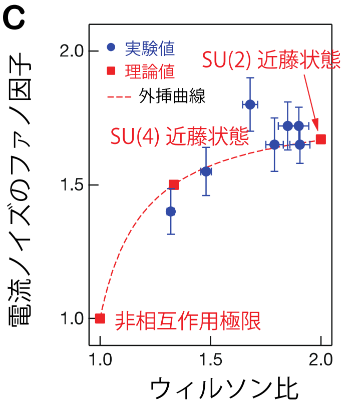


調べても違いがなく、区別することが難しいことである。エネルギースケールである近藤温度は、SU(4)近藤効果のほうが大きくなるが、これも外場によって変化する系の詳細に依存してしてしまうため、実験結果を一概に比較することは難しい。また、一般には軌道間のクーロン相互作用がスピン間のクーロン相互作用に比べて小さいことに起因して、各軌道で独立に SU(2)の近藤効果が起こる可能性がある。したがって、磁場がないところで SU(4)近藤効果の形成を確認する必要もある。

そこで我々は非線形電流ノイズのファノ因子を調べた。ファノ因子は近藤効果を起こしている量子ドットの磁気モーメントの構造に応じて固有の値とり、準粒子の量子揺らぎの大きさを与えるウィルソン比によって決まる。図 c はファノ因子のウィルソン比依存性である。実際の実験では磁場を変化させることで、ウィルソン比の大きさを制御している（実験で印加した磁場の大きさに対応するウィルソン比の大きさは、数値繰り込み群で決めている[2]）。ウィルソン比は、ゼロ磁場の 4/3＝1.33 …から、磁場の大きいところでの 2 まで変化させている。このとき、ファノ因子 F はゼロ磁場での F=1.4±0.1 から、強磁場下での F=1.7±0.1 へ変化していることがわかる。それぞれ、SU(4)近藤効果の理論値の F=3/2 と、SU(2)近藤効果の F=5/3[3,4]によく一致している。

つまり、この 2 つの近藤効果のクロスオーバーを磁場により制御し、電流ノイズの非線形成分から観測することに成功した。

c



カーボンナノチューブなどを利用することで、素子中に様々な近藤効果を形成することができる。しかし、磁気モーメントが完全に遮蔽されてしまう局所フェルミ流体状態では、物理量の外場依存性のべき乗則からそれらを区別することは難しい。しかし、ウィルソン比を決めることで磁気モーメントの構造の異なる近藤効果を特定することが可能になる。ウィルソン比を帯磁率と線形比熱係数の比として直接決めることが難しい場合でも、電流ノイズのファノ因子を用いれば精度良く、近藤効果を調べることができる。

最後に、この実験で用いた非線形の電流や電流ノイズを用いた手法が、電子相関研究の深淵を探索する新しい手段となることと期待する。

謝辞　本研究は、荒川智紀氏、小栗章氏、小林研介氏、寺谷義道氏、秦徳郎氏、Meydi Ferrier 氏を中心とした、大阪大学、大阪市立大学、フランスのフランス国立科学研究センター、パリ南大学との共同研究の成果である。また、本研究は科学研究費(JP26220711，JP16K17723)の助成を受けて行われた。

[1] Meydi Ferrier, Tomonori Arakawa, Tokuro Hata, Ryo Fujiwara, Raphaëlle Delagrange, Richard Deblock, Yoshimichi Teratani, Rui Sakano, Akira Oguri, and Kensuke Kobayashi, Phys. Rev. Lett. **118**, 196803 (2017).

[2] Yoshimichi Teratani, Rui Sakano, Ryo Fujiwara, Tokuro Hata, Tomonori Arakawa, Meydi Ferrier, Kensuke Kobayashi, and Akira Oguri, J. Phys. Soc. Jpn. 85, 094718 (2016).

[3] R. Sakano, T. Fujii, and A. Oguri, Phys. Rev. B 83, 075440 (2011).

[4] Rui Sakano, Akira Oguri, Takeo Kato, and Seigo Tarucha, Phys. Rev. B **83**, 241301(R) (2011).

極限超強磁場下の高精度電気伝導度計測技術の開発
--銅酸化物高温超伝導体研究に新たな一歩

国際超強磁場科学研究施設　　中村 大輔

100 テスラを超える極限超強磁場は「一巻きコイル法」(~300 テスラ)や「電磁濃縮法」(~1000 テスラ)といったマグネットコイルの破壊を伴う特殊な手法によって発生することができ、物性研究所では 1970 年代より物性研究応用に向けた開発に取り組んでいる。しかし、数マイクロ秒という短い磁場発生時間、磁場発生に伴う電磁ノイズ、ボア径数 mm という空間的制約、といった技術的困難から、物性測定の手法は限定されてしまう。現在、研究の主力となっているのは電磁ノイズの影響を受けにくい磁気光学測定や、磁場の挿引速度が早いことを利用した誘導法による磁化測定である。これらの手法により、電子スピン物性を中心とした研究が超強磁場下で展開されている。

一方で、超強磁場中での輸送現象に関する研究はその重要性に着目されてはいたものの、研究の進みは遅かった。金属的物質に対する研究の基本となる 4 端子電気伝導度測定では、試料付近のリード線にループができるためにノイズや磁束変化に起因する誘導起電力が発生し、試料からの信号を覆い隠してしまう。そのため、高周波の電磁波を用いた非接触型の電気伝導度測定法が有用である。物性研究所では、測定試料を 1 対のコイルで挟んで透過した電磁波の強度をモニターする「透過型」の手法が榊原らによって開発され[1]、銅酸化物高温超伝導体 YBCO の上部臨界磁場が関谷らによって測定された[2]。現在では、松田(康)研究室によって同手法での物性研究がコバルト酸化物の金属-絶縁体転移に関して行われている[3]。

しかし、超強磁場領域における金属的物質の物性研究には、まだいくつかの課題があった。すなわち、①透過型配置では信号強度が測定試料の表皮深さによって決まるため、電気伝導度の大きい試料に対しては試料厚みを極端に小さくしなければならず、物質によっては困難である。さらに、クライオスタットを含めたプローブ周りのサイズをあまり小さくすることができず、電磁濃縮法では最大磁場に到達する前に測定プローブの破壊が起こってしまう[2]。②プローブコイルを 1 つしか用いない「反射型」配置では測定プローブ全体を小さくでき、電気伝導度の大きい物質に対しても感度を有するが、電気伝導度の絶対値の算出が難しく、半定量的な物性研究にとどまっている[4]。

こうした現状を打開するため、超強磁場領域で電気伝導度の絶対値が感度良く算出できる反射型測定システムの開発に着手した。100 テスラ以下の非破壊型マグネットにおいては、測定プローブの伝送特性に共振構造を持たせることによって、感度の高い非接触電気伝導度測定が行われている。代表例としてはトンネルダイオードのような負性抵抗を利用した発振型のプローブが挙げられる。最近、「自己共振コイル」を用いた新しい電気伝導度測定法が米国強磁場研究所の Altarawneh 博士により提案された[5]。プローブの共振特性を外部素子により形成するのではなく、プローブコイル自身のインダクタンスと抵抗および浮遊容量によって LCR 共振回路を形成する。そして、共振周波数付近で入射した電磁波の反射強度からプローブコイル上の試料の電気伝導特性を調べるという手法である。

超強磁場下でこの手法を応用するには、共振周波数の選定が重要となる。コンデンサの放電に付随する電磁ノイズは 200MHz 程度までの広い周波数帯域にあるため、測定信号とノイズを分離するために、500-1000MHz の共振周波数を持つ直径 1mm のプローブコイルを設計した。試料とプローブコイルとの電磁気的カップリングを良くするため、かつ熱サイクルや磁場発生時の衝撃波による変形を防ぐために、コイルを空芯ソレノイド構造ではなく平面渦巻き構造(図 1)にするという工夫をした(ここが一番苦労した)。

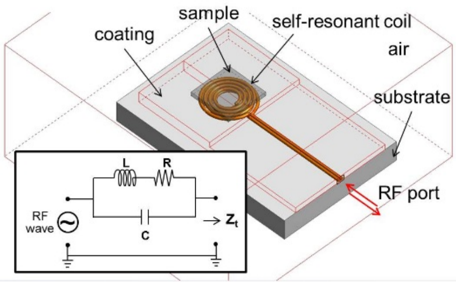


図 1：開発した測定プローブ(自己共振コイル)の模式図。

開発した測定装置を用いて、銅酸化物高温超伝導体 $La_{1.84}Sr_{0.16}CuO_4$(LSCO)の上部臨界磁場(B_{c2})測定を試みた。この物質は超伝導転移温度 T_c~37K を有し、CuO_2 面(ab 面)が電気伝導を担う 2 次元超伝導体である。B_{c2}の大きさ

は、超伝導体中に侵入した磁束周りの電子の軌道効果とパウリ常磁性の効果により決まる。磁場が CuO_2 面に平行な配置($B//ab$)においては、磁束が CuO_2 面間の絶縁層に侵入し安定化するため、軌道による対破壊効果が抑制されてパウリ常磁性により超伝導が破れると考えられている。

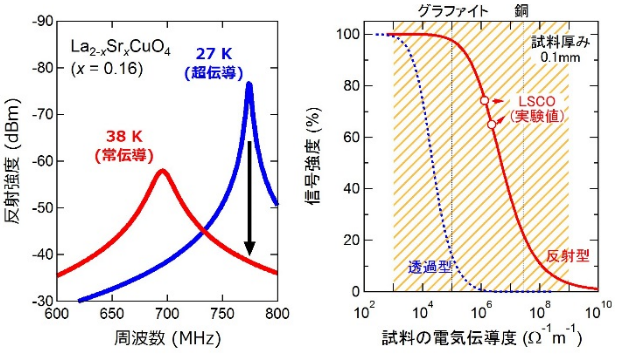


図 2: (左)高温超伝導体 LSCO の反射スペクトルの温度依存性。(右)信号強度から試料の電気伝導度への変換曲線。

図 2 左に T_c付近での反射スペクトルの温度変化を示す。LSCO 試料が超伝導から常伝導になると、電気伝導度の変化により共振周波数が大きく減少している。磁場下での測定では、測定信号の周波数を超伝導状態における共振周波数に固定する。試料が B_{c2} 以上で常伝導状態に戻ると、信号の反射強度がゼロ磁場での常伝導状態の値付近にまで変化すると予測される(図 2 左の黒矢印)。

電気伝導度を算出するために、有限要素法によりプローブコイルの電磁界解析を行い、反射信号強度から試料の電気伝導度への変換のマスターカーブを算出した。ゼロ磁場での反射信号強度の温度依存性との比較により、反射型配置での変換曲線を得た(図 2 右実線)。相補的手法である透過型配置[1]での変換曲線(測定信号 500MHz を仮定、破線)と併せると、実に 6 桁もの広い電気伝導度の範囲で測定感度を有する。これは図 2 右に示すように反金属から金属まで殆どの物質群が持つ電気伝導度の領域をカバーする。

図 3 は一巻きコイル法によって発生した 103T までの磁場下での、LSCO 単結晶の電気伝導度の磁場依存性である。

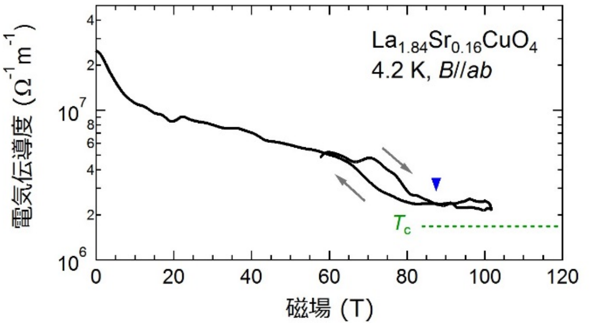


図 3: LSCO 単結晶の電気伝導度の磁場依存性。

点線はゼロ磁場での T_c 直上における電気伝導度の値を示している。磁場の増加とともに LSCO 試料の電気伝導度が減少し、ヒステリシスを伴って 85T において飽和している。この時の電気伝導度の値はほぼゼロ磁場での常伝導状態の値であることから、B_{c2} に到達したと判断できる。

高温超伝導体の低温での B_{c2} は、通常 T_c付近の値の外挿によって求められる。しかし、スピン軌道相互作用などのパラメータの大きさによっては、高温からの単純な外挿は必ずしも適切ではない。また、FFLO 状態のような新奇相や、磁場誘起超伝導相のような、既存の理論の枠組みを超えた現象がある場合には、強磁場下で直接測定することが必須である。本研究で、極限強磁場下での電気伝導度計測技術は完成した。今後の進展により、高温超伝導体を初めとする強相関物質の電子物性の解明に一石を投じたい。

謝辞 LSCO 試料は東北大学の小池洋二氏、上智大学の足立匡氏に提供頂いた。本研究は、ヨルダン Mu'tah 大学の M. M. Altarawneh 博士と物性研究所の嶽山正二郎氏との共同研究である。

参考文献

[1] T. Sakakibara *et al.*, Rev. Sci. Instr. **60**, 444 (1989).

[2] T. Sekitani *et al.*, Rev. Sci. Instr. **346–347**, 319 (2004).

[3] S. Lee *et al.*, JPS Conf. Proc. **3**, 013009 (2014).

[4] Yu B. Kudasov *et al.*, JETP Lett. **68**, 350 (1998).

[5] M. M. Altarawneh, Rev. Sci. Instr. **83**, 096102 (2012).

[6] D. Nakamura *et al.*, Meas. Sci. Technol. **29**, 035901 (2018).

強磁場研究会ポスター発表賞を受賞して

国際超強磁場科学研究施設 松田康弘研究室 博士課程 3 年　野村 和哉

この度、2017 年 11 月に開催された強磁場研究会において、「有機スピンラダー物質の超強磁場磁化過程」という発表を行い、ポスター発表賞を受賞致しました。この研究会は強磁場に関連した研究を行っている研究者を中心とした研究会で、50 件ほどのポスター発表があり、その中から 4 件にポスター発表賞が贈られました。以下に私の発表内容を簡単にご紹介いたします。

スピンが 1 次元や 2 次元に規則的に並んだ低次元磁性体は量子力学の性質が顕著に表れます。特にスピン量子数 S が 1/2 や 1 の系は量子スピン系と呼ばれ、多くの研究がなされている分野のひとつです。私はこれまでに、スピン鎖が 2 本ならんだスピンラダー系といわれる系の超強磁場下での研究を行ってきました。スピンラダー系は 1 次元と 2 次元の中間の次元を持つといわれており、S = 1/2 系に関してはこれまでに多くの研究がなされています。私は、有機物質のスピンラダー系物質といわれている BIP-BNO（S = 1/2 系）と BIP-TENO（S = 1 系）の 2 つの物質の超強磁場下での磁化測定を行いました。

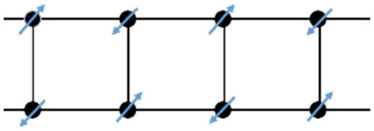


図 1. スピンラダー系

電子スピン(矢印)がはしごのように並んでいる

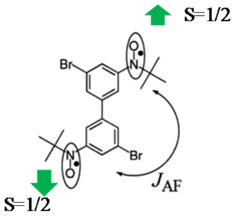


図 2. BIP-BNO の分子構造[1]

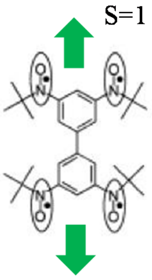


図 3. BIP-TENO の分子構造[1]

・BIP-BNO

BIP-BNO はこれまでに、分子構造と帯磁率測定から、S = 1/2 のスピンラダー物質であるということが指摘されていました[1]。しかしながら、帯磁率測定からだけではボンド交代鎖とスピンラダー系のどちらのモデルでもフィットできてしまうということもあり、スピンラダー系と決定するには飽和までの磁化過程を明らかにする必要があります。これまでに磁化過程においては非破壊型マグネットを用いた 50 T までの報告がありましたが[2]、全磁化過程を明らかにするにはさらに高い磁場での磁化測定を行う必要がありました。私たちは非破壊型マグネットと一巻コイル法を用いてさらに高い磁場下での磁化測定を行いました。図 4 に BIP-BNO の磁化過程を示します。その結果、76 T において磁化が飽和することを明らかにし、さらに、量子モンテカルロ法を用いた数値計算においてスピンラダーモデルで実験と非常に良い一致を示すことを見出しました。これらのことから、BIP-BNO が有機物質として初めての S =1/2 のスピンラダー物質であると証明できました[3]。また、有機物質は無機物質に比べ磁化信号が小さく、測定は難易度の高いものとなりますが、70 T 付近においても、誤差 3%以内の高い精度で測定に成功したことも意義が大きいと考えています。

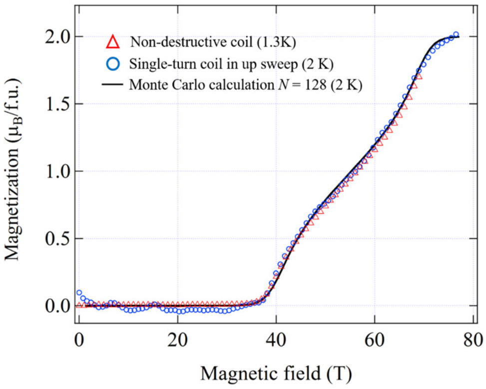


図 4. BIP-BNO の磁化曲線[3]

・BIP-TENO

BIP-TENO は $S = 1$ のスピンラダー物質といわれています。これまでに非破壊型マグネットを用いて 70 T までの磁化測定が報告されています。そこでは 45-70 T 付近で飽和磁化の 1/4 の大きさのところで磁化の値が一定になる 1/4 プラトーが観測されました[4]。そして私たちはより高い磁場での磁化過程を明らかにするという目的で一巻コイル法を用いた磁化測定を行いました。

結果を図 5 に示します。これを見ると驚くべきことに非破壊型マグネットにおける磁化過程と、一巻コイル法での磁化過程は異なっていることがわかります。非破壊型マグネットでの測定においては 55 T 付近では 1/4 プラトーがまだ続いていますが、一巻コイル法では 55 T ではプラトーは終わり、次の磁化プラトーが出現していることがわかります。多くの実験を行った結果、磁場の発生時間がこの違いを生み出している可能性が非常に高いという結論が得られました。非破壊型マグネットの磁場発生時間は数十ミリ秒ですが、一方で一巻コイル法は約 10 マイクロ秒と大きく異なります。つまりこれは、速い磁場掃引が新たな磁気構造を生み出している、ということになります。

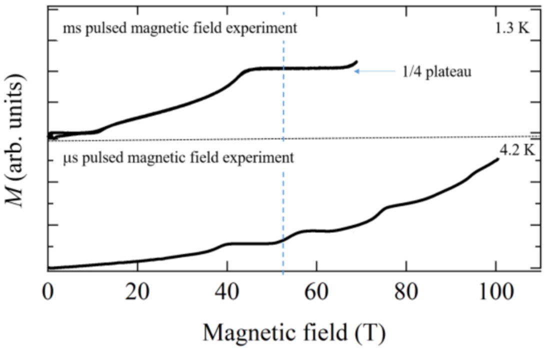


図 5. BIP-TENO の磁化曲線

上は非破壊型マグネット、下は一巻コイル法での結果

では、なぜ磁場の掃引速度の違いで磁化過程が異なるのかということですが、私たちは「遅い磁場掃引では磁化の上昇に伴い、格子が変形する。しかし、速い磁場掃引では格子が追随せずにスピン系のみが応答し磁化過程が異なる」のではないかと考えました。もしこれが本当であれば、磁場によるゼーマンエネルギーがスピン-格子結合に勝り、かつ格子が速く変形できないために、スピン系のみが速い磁場に応答している、ということになり大変興味深い現象です。そして、この仮説を確かめる第一歩として、遅い磁場掃引である非破壊型マグネットを用いて磁歪測定を行いました。結果は予想通りで、磁場印加による格子変形を観測することに成功しました。上に述べた仮説を明らかにするには、さらに実験的証拠が必要となりますが、現在そのための測定に取り組んでいる最中です。

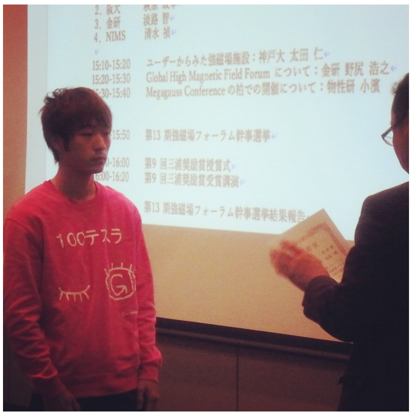
最後に、本研究を行うにあたり、松田康弘准教授、池田暁彦助教、嶽山正二郎教授、金道浩一教授、小濱芳允准教授、理学系研究科の藤堂眞治准教授、諏訪秀麿助教、大阪大学の鳴海康雄准教授、大阪府立大学の細越裕子教授、小野俊雄准教授には大変お世話になりました。この場をお借りして感謝申し上げます。

[1] K. Katoh, Y. Hosokoshi, *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn, **69**, 1008 (2000).

[2] K. Katho, Y. Hosokoshi, *et al.*, J. Phys Chem. Sol. **63**, 1277 (2002).

[3] K. Nomura, Y. H. Matsuda, *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **86**, 104723 (2017).

[4] T. Sakai, *et al.*, Physica B **346-347** 34 (2004).



強磁場研究会ポスター発表賞を受賞して

大阪大学大学院理学研究科物理学専攻 萩原研究室 博士後期課程 2 年　　佐藤 和樹

この度、2017 年 11 月 29、30 日と物質・材料研究機構にて開催された強磁場研究会「強磁場コラボラトリーが拓く未踏計測領域への挑戦と物質・材料科学の最先端」におきまして、「三角格子反強磁性体 $NiGa_2S_4$ のパルス強磁場下熱測定」という題目で発表を行い、ポスター発表賞を受賞しました。この研究会は強磁場計測を使った最新の物質・材料研究について発表討論を行うとともに、未踏計測領域への挑戦に必要な新たなアイデアに基づく計測手法にも注目し、今後の先端強磁場計測の展望について議論を行うことを目的とした研究会で、50 件ほどのポスター発表があり、その中から 4 件にポスター発表賞が贈られました。以下に私の発表内容を簡単にご紹介いたします。

$NiGa_2S_4$ は磁性を担う Ni^{2+} (S=1)が ab 面内にて三角格子状に配列した、幾何学的にフラストレートしている反強磁性体です。強い反強磁性相互作用($\theta_W \simeq -80$ K)が働いているにも関わらず極低温まで長距離秩序を示さず、中性子散乱からは MHz 程度の周波数で揺らぐ物質として注目されています[1][2]。この物質において強磁場中でスカーミオン格子形成の可能性が理論的に示唆されていて[3]、対応する磁場近傍の磁化過程にアノマリーが観測されています[4]。これはカイラル磁性体において既に観測されている、ジャロシンスキー・守谷相互作用由来のスカーミオン格子ではなく、現在まで報告例がないフラストレーション由来のスカーミオン格子として非常に注目されています。

本講演では、$NiGa_2S_4$ の強磁場新奇相の磁場-温度相図を確立するために行なったパルス強磁場下における磁気熱量効果測定結果についての発表を行いました。磁気熱量効果とは断熱条件下で磁性体を磁化させた時にスピン系のエントロピーが減少した分、格子系のエントロピーが増大して試料の温度が上昇する効果であり、この温度変化を観測することでエントロピーを直接評価します。この測定は磁場掃引がミリ秒スケールであるパルス磁場と相性がよく、また温度計として合金薄膜温度計を試料に直接スパッタさせることで、パルス磁場下での高速度温度変化測定を可能にしています。この測定から 60 テスラ近傍において急激な温度上昇を観測しており、これは物質内の磁気エントロピー減少の兆候を捕らえていることから、更なる高磁場に秩序相が存在するという結果が得られました。これが今回の受賞対象となった講演の内容です。

最後に本講演を行うにあたりたくさんの方々にお世話になりました。そもそも私は大阪大学の学生なのですが、全国共同利用の長期留学研究員として 2015 年の 9 月から 2018 年 3 月まで物性研究所の金道研究室でお世話になりました。受賞した本講演内容の磁気熱量効果測定も留学期間中に行なったものであり、留学を受け入れていただいた金道浩一教授、実験指導をしていただいた小濱芳允准教授にはこの場を借りて感謝申し上げます。また本研究を行うにあたり大阪大学の萩原政幸教授、鳴海康雄准教授、東北大学金属材料研究所の南部雄亮准教授の皆様にも大変お世話になりました。皆様にもこの場を借りてお礼申し上げます。

写真　授賞式の様子

[1] S. Nakatsuji *et al.*, Science **309**, (2005) 1697.
[2] Y. Nambu *et al.*, Phys. Rev. Lett. **115**, (2015) 127202.
[3] T. Okubo *et al.*, Phys. Rev. Lett. **108**, (2012) 017206.
[4] H. Yamaguchi *et al.*, Phys. Rev. B **78**, (2008) 180404(R).

第９回強磁場フォーラム三浦奨励賞を受賞して

国際超強磁場科学研究施設 松田(康)研究室　　池田 暁彦

このたび、第９回強磁場フォーラム三浦奨励賞を受賞しました。この賞は、三浦登東大名誉教授からの御醸金を受け、強磁場中における物性測定や強磁場発生に関する技術開発において、新しい着想で優れた成果をあげた若手研究者を奨励する目的で設けられたものです。このような栄誉ある賞をいただき誠に感謝しております。

受賞対象となった研究は「メガガウス超強磁場における新奇スピン状態秩序相の発見」です。私は、世界に先駆けて150テスラに至る誘導法磁化測定に成功し、これによりコバルト酸化物（$LaCoO_3$）の磁場温度相図を構築し、100テスラを超える強磁場領域に非自明な秩序相が２つ存在することを明らかにしました[1, 2]。コバルト酸化物には「スピン状態」というユニークな自由度が存在しますが、発見された秩序相では、この「スピン状態」の超格子や超流動状態が実現していると予測されています。発見されたスピン状態秩序相の起源を解明する有力な手段として1000 テスラにいたる極限磁場領域でのスピン状態変化計測が提案されていますが、このような極限磁場中での誘導法磁化測定は技術的に困難と考えられていました。そこで私は、スピン状態が体積と強く相関することに着目し、ファイバーブラッググレーティングを用いた 100 MHz 超高速歪み測定装置*を開発しました。これをもちいて 150 テスラまでの低温磁歪計測を行い、スピン状態変化の観測が可能であることを実証しました[3]。本装置はシングルショット計測が可能なため 1000 テスラの極限磁場中磁歪計測に適用可能と期待されています。受賞式は 2017 年 11 月 30 日、物質・材料研究機構（千現地区）にて開催された第 13 回強磁場フォーラム総会で行われました。

初期の実験でコバルト酸化物の新奇相がありそうだとわかりましたが、自分たちではその起源を考えあぐねていた部分がありました。そんな折に、同所の徳永先生にご紹介いただき、物性研短期研究会「低次元電子系におけるエキシトニック相の新展開」（2015 年）で講演させていただく機会を得ました。そこで初めて東北大の石原グループでコバルト酸化物におけるエキシトニック相の理論を展開されている最中であったことを知りました。幸いにも石原先生たちにもご興味を持っていただき、理論研究によってコバルト酸化物では磁場誘起のエキシトニック相やスピン状態結晶相が可能であることがわかってきました。私たちの論文[1]は、arXiv にアップロードしてから掲載されるまでに時間がかかり、論文誌に掲載されたのは石原先生たちの磁場効果の理論論文[5]がでる 1 週間前でした。実はチェコの理論グループも私たちの実験をフォローする論文[6]を石原先生たちに少し遅れて掲載していました。何にせよ、理論家の方々の仕事が速いのには驚きました。そして自分たちの研究に対するリアクションがあるということが非常にうれしいものだということを知りました。現在、コバルト酸化物におけるエキシトニック相の研究はささやかなブームになっているようです。自分としては実験を進展させ、研究を発展すべく日々邁進する所存です。お世話になりました方々に感謝したいと思います。今後ともよろしくお願いいたします。

*本装置は物性研 LASOR 小林研との所内共同研究による成果です。

[1] A. Ikeda, T. Nomura, Y. H. Matsuda, A. Matsuo, K. Kindo, K. Sato, "Spin state ordering of strongly correlating $LaCoO_3$ induced at ultrahigh magnetic fields", Phys. Rev. B **93**, 220401(R) (2016).

[2] A. Ikeda, S. Lee, T. T. Terashima, Y. H. Matsuda, M. Tokunaga, T. Naito, "Magnetic-field-induced spin crossover of Y-doped $Pr_{0.7}Ca_{0.3}CoO_3$", Phys. Rev. B **94**, 115129 (2016)

[3] 池田暁彦、松田康弘、佐藤桂輔、「強相関コバルト酸化物の新しいスピンクロスオーバー」、固体物理 **52**, 335 (2017).

[4] A. Ikeda, T. Nomura, Y. H. Matsuda, S. Tani, Y. Kobayashi, H. Watanabe, K. Sato, "High-speed 100 MHz strain monitor using fiber Bragg grating and optical filter for magnetostriction measurements

under ultrahigh magnetic fields", Rev. Sci. Instrum. **88**, 083906 (2017).

[5] T. Tatsuno, E. Mizoguchi, J. Nasu, M. Naka, and S. Ishihara," Magnetic Field Effects in a Correlated Electron System with Spin-State Degree of Freedom — Implications for an Excitonic Insulator —", J. Phys. Soc. Jpn. **85**, 083706 (2016).

[6] A. Sotnikov and J. Kuneš, "Field-induced exciton condensation in $LaCoO_3$", Scientific Reports **6**, 30510 (2016).

第 13 回強磁場フォーラム総会にて賞状をいただく著者

日本中性子科学会第17回年会学生ポスター賞を受賞して

中性子科学研究施設 益田研究室　林田 翔平

この度、2017年12月2日－3日に福岡大学で開催された日本中性子科学会第 17 回年会にて「基底一重項磁性体 $CsFeCl_3$ の圧力誘起量子相転移」という題目で講演を行い、ポスター賞を受賞する栄誉に恵まれました。本研究は、試料提供や圧力セルの開発、国内外での中性子散乱実験などで、多くの方々にご協力いただいた成果です。益田隆嗣先生、松本正茂先生、栗田伸之博士、田中秀数先生、上床美也先生、萩原雅人博士、左右田稔博士、伊藤晋一先生、Oksana Zaharko 博士、Tao Hong 博士をはじめ、ご協力していただいた方々にこの場を借りて深く感謝申し上げます。以下、本研究内容について簡単に説明します。

運動エネルギーと位置エネルギーの量子力学的な不確定性（量子揺らぎ）に由来する量子相転移は、非自明な現象を示すため興味が持たれています。特に、スピン系では実験と理論の検証が容易であることから、量子相転移の研究の格好の舞台となっています。本研究では、量子相転移を示す物質として容易面型反強磁性体の $CsFeCl_3$ に注目しました。本物質は、強い容易面型の磁気異方性のために基底状態が $S^z = 0$ の一重項状態になっています[1]。また、圧力下の磁化率測定から圧力誘起の磁気秩序を示すことが知られています[2]。我々は、本物質の量子相転移に伴う磁気状態を明らかにするために、中性子散乱法を用いて秩序相での磁気構造と量子臨界点近傍の磁気励起について調べました。圧力下の中性子回折実験では、圧力を印加することで磁気秩序が現れることが確かめられました。解析の結果、磁気モーメントは120度構造を形成していることがわかりました。さらに、秩序変数の温度依存性から $U(1)\times Z_2$ という対称性に属することが示唆されました。この対称性をもつ物質では、系のカイラリティだけが秩序化したカイラル液体状態が期待されており、$CsFeCl_3$ はその候補物質であることが提案されます[3]。

非弾性中性子散乱実験では、無秩序相にて圧力により磁気励起がソフト化する様子が観測されました。秩序相では 3 つの振動モードをもつスピン波励起が観測されました。理論計算との比較から、観測されたスピン波励起はスピンの横揺らぎだけでは説明がつかず、スピンの縦揺らぎによる振動モードも存在することが明らかとなりました。観測された 3 つの振動モードのうち 2 つはスピンの横揺らぎである南部–ゴールドストーンモードと、縦揺らぎのヒッグスモードに対応している一方で、残りの 1 つは、スピンの縦揺らぎと横揺らぎが混成した振動モード(T+L モード)であることがわかりました。この T+L モードは 120 度構造の非共線性を反映しており、系が持つ幾何学的なフラストレーションに起因します。したがって、今回の結果は量子相転移を示す幾何学的フラストレート磁性体の、量子臨界点近傍の素励起の振る舞いを初めて明らかにしたと言えます[4]。今後は、カイラル液体相の探索やT＋Lモードの由来する物性の観測などの発展が望まれます。

参考文献

[1] H. Yoshizawa *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **49**, 144 (1980).
[2] N. Kurita and H. Tanaka, Phys. Rev. B **94**, 104409 (2016).
[3] S. Hayashida *et al.*, Phys. Rev. B **97**, 140405(R)(2018).
[4] S. Hayashida *et al.*, in preparation.

物性研に着任して

機能物性研究グループ　井上 圭一

この度2018年4月1日付で機能物性研究グループに准教授として着任いたしました井上圭一です。

私の専門は光のエネルギーを使って多様な生理機能を発現する光受容タンパク質で、中でも特に細菌などの微生物が持つ、微生物型ロドプシンについて長年研究を行ってきました。

私がこの微生物型ロドプシンと出会ったのは、修士課程の学生の頃で、当時私は神戸大学の理学部・化学科を卒業した後、京都大学大学院・理学研究科・化学教室へと進学しました。進学のきっかけとなったのは学部時代に初めて量子化学というものに出会い、化学反応がそれまで想像もしなかった摩訶不思議な原理のもとに生じるものであると知ったからでした。一方で子供の頃からとにかく生き物が好きな性分で（このため幼少時は度々動物園や水族館に通い詰めていました）、生化学の授業で学んだ、細胞の中で機能する複雑なタンパク質分子についても強い興味を抱きました。その結果この二つの出来事をもとに『量子化学を使って生物を理解したい』と思うようになり（今思い返すと非常に短絡的な発想ですが）、レーザーを使った生体分子分光を専門にされていた寺嶋 正秀教授の研究室へ配属させていただきました。

そして最初に寺嶋先生からテーマとして与えられたのが、高度好塩古細菌という細菌が青色光から逃げるときに用いるロドプシンだったのですが、当時研究室内でロドプシンを調べていたのが私一人だけで、何一つ知らないところから始めることとなり、非常に不安な日々を過ごしながら研究を行っていました。それでも寺嶋先生をはじめ、色々な方のご協力により何とか学位を取得することができました。

その後は東京工業大学・資源化学研究所（現化学生命科学研究所）の藤井 正明先生の研究室で特任助教として二年半お世話になった後、2009年に名古屋工業大学の神取 秀樹先生の研究室に助教として着任させていただきました。神取研究室はそれ以前から日本国内では最もアクティブにロドプシン研究を行っていた研究室の一つで、そこで学生時代以来再びロドプシン研究に携わることとなりました。そしてその頃からゲノム解読技術の発展から、それまで想像もされていなかったような機能を持つロドプシンが次々と見つかるようになり、私自身もナトリウムポンプや内向きプロトンポンプ型ロドプシンなどの新奇分子について、報告を行いました。現在自然界で見つかったロドプシンは一万種を超えるとされており、さらにそれをもとにした人工的な高機能分子が数多く作製されています。ですがすべてのロドプシンは7回膜貫通型構造の中央にレチナールが結合した共通構造を有しており、そこからどのようにしてこれだけ多彩な機能が発現されるのか、構造と機能の連関についてのメカニズムを解明することは、今後も最も力を入れて解明したい問題です。

ロドプシンは他の多くのタンパク質と異なり、可視域に吸収を持つレチナールを発色団として有しており、それをプローブとして捉えることで、分光法によるタンパク質環境場の変化を観測することが可能であり、また室温中で安定でありながら、繰り返し光で反応をトリガーし計測できるため、数多くの時間分解分光測定を用いた生体物質研究において極めて理想的なモデル系となることが期待されます。長らく生体畑を歩んできた私が、物性研究の中心である物性研において、研究を通じてどのような貢献ができるか、自分にとって全く未体験のものでありますが、ロドプシンなどの光受容タンパク質の長所を最大限に生かし、物性研で確立された先端計測法や計算科学的アプローチと融合させることで、物性研でしかできない研究を達成していきたいと思います。まだまだ分からないことばかりですが、物性研の皆様におかれましては、今後ともよろしくお願い致します。

物性研に着任して

量子物質研究グループ　　三輪 真嗣

大阪大学・基礎工学研究科・物質創成専攻から物性研究所・量子物質研究グループに異動してきた三輪真嗣(みわしんじ)です。物性研本館 3 階の A329 にいます。よろしくお願い致します。高校卒業まで 18 年間は愛知県名古屋市、大学は 6 年間大阪府豊中市、4 年間の自動車会社勤務では東海地方を転々とし、その後 2018 年 3 月まで再び大阪府豊中市で 7 年間過ごしました。愛知も大阪も私にとっては十分に都会でしたが、今回は日本の中心である関東地方に住むことになり感激です。

「物性研だより」の記事ですので、物性研究の話に移ります。大阪大学、そして物性研でもしばらくは量子スピントロニクスの物性実験研究を行います。量子スピントロニクスという言葉の思想は、量子力学的な効果を利用した物理現象や各種分光法を利用し、主に磁気メモリ応用を目指す磁気トンネル接合デバイスの機能を向上させようというものです。磁気トンネル接合デバイスとは厚さ数ナノメートル程度の金属磁石を使った電子部品のことです。スピンは量子的なものだから量子スピントロニクスという言葉は「上を見上げる」と同じでおかしいという指摘は的を射ていますが今回はご勘弁ください。

私の研究では金属原子等をナノメートルオーダーで基板と面直方向に積層し、さらに面内方向にも電子線や紫外線を使って加工します。そして電気抵抗等を測定するための電気デバイスを作ります。デバイス物性の研究はデバイス作製に困難さがありますが、電気測定のみでデバイス特性と直結する色々なことがわかる点が強みです。一方で電気測定のみでは現象論的な考察を抜けられないケースも多々あります。そこで最近、私たちは大型放射光施設 SPring-8 に我々のスピントロニクスデバイスを持ち込み、デバイスに電圧を印可しながら磁気円二色性分光を行うことで金属磁性体の電気磁気効果に関する色々なことを明らかにしました。これが最近の主な研究内容です。

ところで最近は「○○○トロニクス」という言葉が乱立しています。これには様々な理由があると思います。端的な物理イメージの構築は本質を把握しないとできません。従って○○○トロニクスという言葉を作ること自体が研究活動です。他には新しい名前を作ると自分が分野を作って支配しているように見える、なんて理由があるかも知れません。アウトプットイメージがはっきりしない基礎研究に対して「○○○トロニクスでなくて○○○サイエンスですね」と訂正される方もいらっしゃいます。私としては全世界共通の辞書から引用した言葉ではないのだから、どちらでもいいのではないだろうかという立場です。これと関連しますが「この研究は応用研究としても、基礎研究としても価値がある」といった言葉をたまに聞きます。こんな研究は、あってもよいと思います。「本研究は応用研究でもあり、基礎研究でもある」、この言葉はいかがでしょうか？「応用研究と基礎研究の中間を行う」あるいは「応用と基礎の間を埋める」、これはどうでしょうか？

応用研究と基礎研究の違いは「研究者人生をかけてその人が本気で考えているかどうか」で決まると思います。研究がすぐに、明日の役に立つ必要はないと思います。しかし、我々は研究者ですから可能性を示す義務があります。応用研究であれば全ての条件がそろった時に、今よりよいものになる必要があります。基礎研究であれば何らかのものさしで価値を有し、波及効果があるものが大事だと思います。最近の私は大型放射光施設 SPring-8 の放射光を使ったスピントロニクスデバイスの研究をしています。これは私にとっては応用研究です。なぜなら研究の動機は室温で大きな効果を創出してメモリ応用に資することであるためです。仮に内容が同じ研究でも目的が異なる私の SPring-8 の共同研究者にとっては基礎研究かも知れません。研究者の本気の思想で応用研究か基礎研究かが決まるので、その途中はない、中途半端はダメだというのが私の考えです。

最後になりますが私が物性研で研究室を発足させるに至ったのは、私の知らないところで私のいい噂を振りまいて下さった方が大勢いたからだと思います。そのほとんどは私の知らないところで行われ、直接お礼を言うことはできなさそうですので、この場を借りて感謝を申し上げます。今年度は研究室の環境作りに専念しますので、ぜひお近くの物性研内外の皆様と議論させて頂ければ幸いです。

物性研に着任して

物質設計評価施設　　河村 光晶

2018 年 4 月 1 日に物質設計評価施設、尾崎研究室の助教に着任いたしました、河村光晶(かわむらみつあき)と申します。この場をお借りして自己紹介を致します。

私は 2010 年に東北大学理学部物理学科を卒業したのち、東京大学理学系研究科物理学専攻の常行研究室で超伝導転移温度(T_c)の第一原理計算というテーマで修士・博士課程の研究をしました。これは、なんら経験的なパラメーターを用いずにいろいろな物質の T_c を予測してしまおうというもので、私が修士に入る数年前に実用的な表式が提案された超伝導密度汎関数理論(SCDFT)をプログラムに実装したり、いくつかの物質に適用したり、手法改良を試みたりしました。常行研では取り組んでいるテーマは一人ひとりバラバラですが、手法開発や第一原理プログラムの実装を行っている人が多くおり、互いのノウハウを交換し合ってそれぞれの研究を進めていました。SCDFT の改良についてはあまりうまくいきませんでしたが、これを使った実際の物質の研究をおこなうことはできました。その中のひとつに私が D3 のときに見つかった、超高圧化での硫化水素超伝導体の第一原理計算があります。この研究は当時常行研の助教になったばかりの明石僚介さんらと共同で行ったもので、実験で観測された T_c の高い状態と低い状態が、それぞれどのような構造をしているのかシミュレーションで確かめてみようというものでした。明石さんは常行研に来る前、私とほぼ同じころに SCDFT の研究を始めていて、互いにある程度研究を進めて発表するようになるまで存在を知りませんでした。またこのとき、ある種の超伝導の発現において重要な、格子振動の計算をする中で着想を得て、ブリルアンゾーン内で状態和を取る時の数値積分方法に取り組みました。その縁でウーディネ大学のジャンノッジ先生を中心として開発されている第一原理計算コード「Quantum ESPRESSO」の開発メンバーに加わりました。

2015 年に博士号を取った後は、物性研の電子計算機室(現在では二つに分かれた内の大型計算機室)に新しくできたソフトウェア高度化推進チームのポスドクとして採用されました。このチームは物性研スパコンを、ハードウェアだけでなくソフトウェアの面でも使い勝手の良いものにすることを目指して設立されたもので、物性研究者が作った(もしくは作りたい)プログラムを高度化することを目的としています。この「高度化」とは単に速くする、機能を強化するという事だけでなく、あらゆる研究者が参画できるようオープンソースソフトウェアとして公開したり、マニュアルを作ったり、講習会を開催したりすることも含まれています。これを私と同時に採用された吉見さんをチームリーダーとする二人体制で行いました。吉見さんは物性研の加藤研出身で、高度化推進チーム設立前は構造計画研究所という IT 企業に勤めていたという異色の経歴の持ち主であり、高度化プロジェクトの進捗管理において辣腕をふるいました。高度化対象のプログラムは公募によって決まりますが、物性研スパコンを使うあらゆる分野の研究者が応募することが出来るため、とても視野を広げることが出来ました。このときに採用されたプログラムとして、数値局在基底を用いた第一原理計算コード「OpenMX」(開発者:尾崎先生)、量子格子モデルの厳密対角化コード「HΦ」(山地洋平さんと三澤貴洋さん)と変分モンテカルロ法コード「mVMC」(三澤さん)、動的平均場理論による計算コード「DCore」(品岡寛さん)などがあります。これらの方々に手取り足取り教えてもらいながら高度化を進めていきました。また、物性研内の他の研究室の方から研究のお誘いを頂き、長谷川先生らによる超伝導鉛探針を用いた固有伝導チャネル測定、バオジェ・フェンさんらによるホウ素単層物質「ボロフェン」におけるディラック電子の観測、平井大悟郎さんらによる可視光領域で多色性を示すレニウム化合物の合成、という共同研究に参加することが出来ました。

今後は、これまでいろいろな方々とやってきた研究を発展させていくとともに、新たなテーマにもチャレンジしていこうと考えています。近年大変な盛り上がりをみせている機械学習や、それを用いた物質探索を私がこれまでやってきた研究と組み合わせてやってみるとどうなるかというのが目下実行し始めているテーマです。これからも尾崎先生や研究室のメンバー、そして物性研の皆様と一緒に研究を楽しんでいく所存です。どうぞよろしくお願い致します。

物性研に着任して

中性子科学研究施設　浅井 晋一郎

2018 年 4 月 1 日付で中性子科学研究施設・益田研究室の助教に着任しました浅井晋一郎と申します。よろしくお願い致します。この場をお借りして、簡単に自己紹介させていただきます。

私は愛知県名古屋市の出身で、大学は地元の名古屋大学理学部に入学しました。学部 4 年生では佐藤正俊先生の研究室で 1 年間お世話になり、大学院では研究室を移って理学研究科物質理学専攻の寺崎一郎先生の研究室で研究に取り組みました。院生時代に私が研究対象としたのはコバルト酸化物 $LaCoO_3$ でした。この物質はスピン状態クロスオーバーが起こる物質として興味を持たれ長い間精力的に研究がなされてきましたが、室温付近で実現する常磁性状態における Co^{3+}のスピン状態の描象については統一解が得られていませんでした。私はこの物質における Co^{3+}のスピン状態変化を伴う非自明な非磁性イオンの置換効果について構造物性、磁性、及びフォノンスペクトルの変化から調べ、これらの物性の振る舞いは物質中に Co^{3+}のスピン状態として 2 種類以上存在しないと説明できないことを明らかにしました。Co^{3+}のスピン状態変化は磁性だけでなく構造、伝導物性にも大きな影響を与え、様々な実験手法で示唆的な振る舞いが観測されるのでとても面白い研究対象でした。

私の初めての中性子散乱実験は、修士課程 1 年生の頃に研究室の先輩が作った単結晶試料を当時まだ稼働中だった JRR-3 に設置された三軸分光器 5G(PONTA)で測定する、というものでした。当時は中性子散乱実験についてはほとんど知識がありませんでしたが、大型共同利用施設ならではの研究室で行う実験とのスケールの違いにとても胸が躍りました。その後、JRR-3 は震災によって稼動停止してしまいましたが、研究を進めていくにつれて、広い運動量-エネルギー空間で磁気励起を観測できる中性子散乱が磁性研究において非常に強力な実験手段であることを意識するようになりました。そこで、学位所得後は中性子散乱研究を本格的にやってみたいと思い、幸運にも東京大学物性研究所益田研究室にポスドクとして受け入れていただきました。この際、興味の対象をコバルトから $3d$ 遷移金属へ少し広げて、磁気フラストレーションのある磁性体を主に対象として研究しました。成果として最近、凸凹ハニカム格子反強磁性体 Ba_2NiTeO_6 の中性子散乱研究をまとめて論文として成果を報告するに至りました。その他にもこれまでに多くの中性子散乱実験に参加し、経験を積むことができました。

助教着任後は自分で試料を合成できる利点を活かしつつこれまでの研究対象に Co^{3+}のスピン状態の自由度を活かしたコバルト酸化物磁性体も加えて、中性子散乱法による新奇磁気相の発見とその起源の解明を目的に研究を行っていきたいと思います。現在は J-PARC に設置された HRC 分光器の装置担当者として柏キャンパスと J-PARC のある茨城県東海村を往復することが多く、海外の中性子実験施設も利用するので柏に滞在する時間は多くはありませんが、精一杯頑張っていこうと思います。今後ともご指導ご鞭撻のほどどうぞよろしくお願い致します。

物性研に着任して

極限コヒーレント光科学研究センター　　神田 夏輝

2018 年 4 月 1 日付けで極限コヒーレント光科学研究センターの松永研究室に助教として着任いたしました神田夏輝と申します。この場をお借りして皆様へのご挨拶と、自己紹介や今後の抱負を述べさせていただきます。

私は工学部物理工学科の五神研究室で卒業論文から修士・博士課程の学生時代を過ごしました。五神研究室ではテラヘルツ電磁波の偏光制御の研究を行っており、カイラリティーを持つメタマテリアルを動的に制御してテラヘルツ波の偏光を制御したり、テラヘルツ波を発生させるためのレーザー光の偏光状態を時空間で制御することでテラヘルツの偏光波形整形やベクトルビームの生成を行ったりしていました。

博士課程在籍中、2009 年度に外来研究員として板谷研究室にお世話になる機会がありました。当時板谷先生は着任されたばかりで、高強度テラヘルツパルスを用いた分子の配向制御の実験を計画されており、高強度テラヘルツ波発生を一緒にやらせていただきました。当時は渡部俊太郎先生が退官される直前で、渡部研のチタンサファイアレーザー(繰り返し 1kHz, パルスエネルギー8mJ, パルス幅 30fs)を使わせていただきました。このレーザーは当時は驚異的なスペックであり、この時の経験は私が高強度レーザーへの関心を持つきっかけとなりました。また、渡部研と辛研のレーザー光電子分光のコラボレーションを近くで見ることもでき感銘を受けた記憶があります。研究以外にも、物性研では多くの研究室が集まるスポーツ大会などのイベントがあり(辛研が圧倒的に強かった！)、横のつながりを持つ機会が作られていることも印象的でした。

その後、理化学研究所の緑川グループで研究員として 6 年間勤務しました。理化学研究所では、MHz 級の高繰り返しな極端紫外光源の実現のために高強度レーザーの開発を行っていました。この光源は高強度な超短パルスモードロックレーザーで、共振器長 100m の長尺キャビティーにより 3MHz の繰り返しを実現し、共振器中で 1mJ のフェムト秒レーザーが循環させ、このレーザー共振器中で高次高調波発生を行いました。理研所属の間も、東大との共同研究で五神研の居室を使わせていただき本郷キャンパスに常駐しており、計 12 年間の本郷での研究室生活を過ごさせていただきました。五神先生、緑川先生をはじめ、研究室の皆様には大変お世話になり、感謝を言い尽くすこともできません。

そして、今回物性研に着任することになりました。物性研には学生時代にお世話になった経験もあり環境に魅力を感じていたため、今回再び物性研で研究ができることを嬉しく思います。松永研究室では、高強度テラヘルツパルスや中赤外パルスを用い、超高速に固体の非平衡状態を作り出し、物性制御を行うことを考えています。これまでのテラヘルツ分光やレーザー開発の経験を活かし、新たな高強度光源の開発や、偏光を利用した物性制御の自由度拡張などを行っていきたいと考えています。

松永研究室は昨年 7 月にできた研究室で、私は研究室の最初の助教となりました。今回の着任にあたり、身近な先生方から「研究室のカラーは初代の助教さんで決まるといっても過言ではない」といった励ましのお言葉もいただきました。責任を感じながら、頑張っていきたいと思います。実験室の立ち上げでは、幸い末元先生が残してくださったレーザーや装置等があり助かっておりますが、まだまだ新しい実験のための装置の立ち上げや実験環境の整備が必要で、この 1 か月間も毎日作業に追われております。

物性研は関連した分野の研究室が密度高く集まっており、研究室間で連携した共同研究も進めやすいのではないかと期待しております。LASOR 内を見渡しても、同世代の助教・ポスドク陣は元気で素晴らしいメンバーがそろっており、日々刺激を受けながら、一緒に仕事ができるのを楽しみにしています。たとえば光物性と光電子分光の融合など、我々の世代でも協力して新しい分野を拓いていければと考えています。

最後になりましたが、物性研究所の発展にも貢献できるよう微力ながら努めさせていただきますので、どうぞよろしくお願いいたします。

物性研に着任して

国際超強磁場科学研究施設　　今城 周作

2018 年 4 月 1 日付けで国際超強磁場科学研究施設・金道研究室の特任助教に着任いたしました今城周作（いまじょうしゅうさく）と申します。これからよろしくお願い致します。今回は簡単な自己紹介とこれまでの研究を紹介させていただきます。

私は昨年度 3 月に大阪大学大学院理学研究科化学専攻で博士の学位を取得しました。大阪大学理学部化学科 4 回生と大学院 5 年の合わせて 6 年間は、中澤康浩教授のご指導の下、有機超伝導体の熱測定の研究を行ってきました。化学科の出身であったために 4 回生の時は物性のことは全くわからず、装置開発や基礎的な勉強だけで終わりました。修士課程に入る際、現在、新領域で教授をされている木村剛先生がコーディネーターをしていた物質系のリーディング大学院を履修し始め、これにより物性を勉強する様々な機会に恵まれました。修士 1 年目の間には今は既に退官された基礎工学研究科の北岡良雄教授に副指導教員を担当して頂き、全体セミナー後には毎回一対一で直接ご指導を賜り、物性研究の楽しさにだんだん引き込まれました。博士課程に進学後も様々な経験が得られ、1 年目には物質・材料研究機構の宇治進也先生の下で極低温強磁場での磁気・輸送測定などによる低次元超伝導の研究を行いました。化学出身であるために抜けていた基礎などを含め、非常に丁寧に物性の議論の仕方などを教えていただきました。2 年目にはドイツのドレスデンにある Helmholtz Zentrum Dresden-Rossendorf という強磁場研究施設の Jochen Wosnitza 氏の下で Fulde-Ferrell-Larkin-Ovchinikov(FFLO)状態に関して研究を行ってきました。初めての海外生活の経験ということもありましたが、非常に温かく迎えて下さり、充実した生活を送ることができました。また、私の帰国後にも東北の国際学会前にわざわざ大阪に来ていただいて、様々なトピックスについて議論させてもらいました。学生時代は自身の勉強不足を至るところで痛感してばかりでしたが、自由な研究環境を提供してくださった中澤先生を始め、ご指導・議論していただいた先生方との縁や助けなどもあり、なんとか研究を進めることができました。

研究について簡単に紹介します。研究対象であった有機伝導体は弱い結合力である分子間力によって結晶を形成するため、非常に柔らかく、様々な外場に敏感であることが知られています。また、分子の自由度に起因した多彩な物性を発現し、特徴的な分子サイズ・形状により欠陥や不純物が少ないという利点もあることから、本質的な量子物性を研究する上では魅力的な研究対象です。しかし、試料が小さい・脆弱性などの測定上の問題点が色々あり、基本的な物性測定すら行われていない系も多く存在します。そのため、研究室に入った最初の課題として有機物の熱測定が可能な装置の開発でした。ただ、やはり様々な試料を測っていると更に高精度の熱量計が必要とされたため、結局 6 年間通してずっと装置の改良は継続的に行うことになりました。これにより微小単結晶の有機超伝導体の熱容量測定だけでなく、更に感度が必要な角度分解熱容量測定も可能とすることで、有機超伝導体がもつ超伝導の対称性と超伝導発現機構を議論してきました。他にも電気抵抗や磁気トルク、高圧下の熱容量測定や熱電効果測定などの装置開発行い、多方面から物性を評価できるように注力しました。

物性研では、これまでの経験を活かしてパルス強磁場下での熱容量測定や各種物性測定装置の開発を行うことで強磁場物性研究を更に加速させ、伝導体をメインに強磁場物性を議論していきたいと思っています。私はまだまだ勉強不足ではありますが、物性研内外のみなさまと共同研究をし、様々な議論をしていきたいと思っています。今後ともよろしくお願い致します。

物性研に着任して

国際超強磁場科学研究施設 徳永研究室　　木下 雄斗

2018 年 4 月 1 日に国際超強磁場科学研究施設の徳永研究室に特任助教として着任しました木下雄斗と申します。今回、物性研究所の一員となれたことを大変嬉しく、また光栄に思っております。着任のご挨拶ということで、簡単な自己紹介とこれまでの研究内容について述べさせていただきます。

私は東京大学新領域創成科学研究科物質系専攻の岡本・貴田研究室で学部四年から博士課程までの 6 年間を過ごしました。岡本博教授、貴田徳明准教授の両先生には研究活動についてのご指導に加え、様々な面で大変お世話になりました。今年の 3 月に博士の学位を取得しまして、4 月から物性研へやってきました。学生時代は物性研の隣にある新領域の基盤棟におりましたので、引っ越しの必要もなく大変楽でした(笑)。

大学院時代の研究では、主に貴田徳明准教授の指導の下、反転対称性の破れた物質からのテラヘルツ電磁波発生の研究を行ってきました。テラヘルツ電磁波は、周波数が 0.1~10 THz 程度の電磁波を指し、エレクトロニクスの周波数帯である電波領域と、オプティクスの周波数帯である可視光領域の狭間に位置しています。この帯域の電磁波はここ 30 年程前までは発生、検出が困難であり未開拓の帯域でした。そんな中、近年パルス幅がフェムト秒程度の超短パルスレーザー技術の発達とともに、この帯域の研究が急速に発展してきました。テラヘルツ電磁波はミラー等による空間の取り回しの容易さと、高い透過性を併せ持つため新たなイメージング光源として応用されています。さらに、テラヘルツ帯には格子振動や、分子振動、マグノンなど様々な固有モードの共鳴周波数が存在しており、テラヘルツ電磁波は基礎・応用の両側面から注目されています。私は、強誘電体などの反転対称性の破れた物質に超短パルスレーザーを照射することでそのようなテラヘルツ電磁波を発生させ、これをプローブすることで、例えば強誘電体のドメイン構造のイメージングなどを行ってきました。これは、発生するテラヘルツ電磁波が強誘電体中の分極に比例しているため、テラヘルツ電磁波発生の空間分布を測定することで可能となるものです。ドメイン構造のイメージング手法としては、第二高調波発生を利用したものが知られていますが、これに比べると、テラヘルツ電磁波発生を用いた手法は、位相敏感である、バルク敏感である、などといった利点があり、新たなドメインイメージングの方法として注目されています。

今後の計画としては、これまで私が培ってきたテラヘルツ電磁波発生の技術と、強磁場施設のパルス磁場の技術を組み合わせて、強磁場下でのテラヘルツ帯の分光を行える測定系を新たに開発することなどを考えております。未熟者ではございますが、どうぞご指導ご鞭撻賜りますようよろしくお願い申し上げます。

外国人客員所員を経験して

Mario Novak
Faculty of Science, University of Zagreb, Croatia
mnovak@phy.hr

As a visiting professor, I stayed at ISSP, the Hiroi lab, for seven months, from September 2017 until April 2018. During my stay, I worked on several different materials belonging to the group on novel three-dimensional Dirac semimetals. My focus was put on transport properties of nodal-line Dirac semimetals where I performed material synthesis and low-temperature transport measurements. Transport measurements were performed in the Hiroi lab and also in collaboration with the Osada lab where we measured angular dependence of the magnetoresistance.

I am very grateful to Osada-sensei, for recognizing interesting points of my research and allowing me to use their sophisticated equipment. In addition, I am thankful to Uchida-san and Sato-san for helping me during the measurements. Using these angular magnetoresistance measurements, we were able to obtain new information on the shape of the Fermi surface, which is very important for understanding the transport properties of the particular Dirac semimetal. Moreover, I have used magnetic susceptibility measurements to get information of the Fermi surface by the quantum oscillations. Combing the data from several different methods gave us enough information to gain a better understanding of the material properties.

Besides doing research on nodal-line Dirac semimetals, which was an extension of my work started in Zagreb, I spent time trying to synthesize some new materials which have interesting theoretically predicted properties but have not yet been realized in the form of single crystals. At ISSP, I was able to try many different methods and paved the way for future work on this topic back in Zagreb. My stay at ISSP was very fruitful thanks to excellent working environment and top experimental equipments. I managed to do many important measurements in a really short time.

I came to Kashiwa with my family (wife and daughter), and we had fascinating time traveling around Tokyo area and visiting many places and especially enjoying Japanese food.

Finally, I would like to express my sincere gratitude to Hiroi-sensei who gave me this opportunity to stay at ISSP and to do interesting and independent research in the field of the topological materials. Also, I have to emphasize immense help of group assistant professors Hirai-san and Yajima-san, and Ph.D. students Okuma-kun, Ishii-kun, and Matsubayashi-kun and Rieko-san who assisted me through many material syntheses. Finally, my special thanks go to Yoshida-san, Ishiguchi-san and Hashiguchi–san whose tremendous care and kind intentions helped me so that my stay become as smooth as possible.

I could not have wished for a more beautiful end of my stay at ISSP. At the end of the stay my family and I went to a beautiful Hanami party at Kashiwanoha koen where we enjoyed in a nice food and company of Hiroi-sensei lab members.

I hope that in the future I will have a chance to visit ISSP many more times.

Kind regards,

MARIO NOVAK

客員所員を経験して

新潟大学工学部材料科学プログラム　　瀧本 哲也

2017 年度前期に常次宏一先生のホストで客員教授として大変お世話になりました。常次先生をはじめその当時はまだ御着任間もない池田達彦助教や常次研究室に所属する学生や同じフロアーの秘書の皆さんには色々なご支援をいただきました。ありがとうございました。

物性研と私との最初の関わりは 2001 年まで遡ります。当時の私は日本原子力研究所（現、日本原子力研究開発機構）の先端基礎研究センターにあった多体電子系理論研究グループに博士研究員として所属しており、そのグループ・リーダーが上田和夫先生（当時、物性研究所教授と兼任）でした。その 2 年後には上田先生が物性研究所所長になられたため兼業だったグループ・リーダーを辞されることになったのですが、その後は私が物性研に来訪できる機会を度々作っていただきました。最近では、近藤絶縁体 SmB_6 はトポロジカル絶縁体ではないか、といった私の理論的研究に興味を持って頂いたようで、物性研で開催された国際ワークショップに 1 年間の間に数回の発表の機会を与えていただきました。主にこのころから、常次先生とは色々な議論をさせていただくようになりました。

数年前から現在所属している地方大学に籍を置いており、通常は研究室に所属している卒研生や院生とのゼミと授業に追われ余った時間に研究を行うといった毎日を送っています。客員所員として来所する際は、常次先生と議論するという通常とは全く異なった環境に身を置くため、新幹線での移動の時に私自身の中でのギアを上げられるよう努力していたことを思い起こします。

さて、客員研究のテーマは「強相関系のトポロジカル相の理論」でした。特にターゲットとしたのは、実際の物質の中では比較的対称性の高い、立方晶の単位胞に遷移金属原子を角に持つ四面体を含むような系です。このような系の中には磁場下でスカーミオン相を示すことが知られている MnSi やワイル半金属の性質を示すパイロクロア化合物が含まれます。まずは、これらの系の最小構造物である正四面体の持ちうる多極子を求め、それらを立方晶の点群の既約表現に分類しました。これらの中で恒等表現に属するものは全密度以外にも正四面体内でのホッピング・ハミルトニアンや反対称スピン軌道結合を含むため、正四面体をビルディングブロックとするような系であれば、例えスピン軌道結合の大きい系であっても、比較的容易にハミルトニアンを構築することができます。例えば、この手法をパイロクロア格子に適用すれば、広井研で集中的に研究されているパイロクロア酸化物における興味深い物性（例えば、空間反転対称性を破る構造相転移近傍での超伝導や allin-allout スピン構造の出現）に対する有効模型となりうるのではないかと期待しております。更に、上に与えた多極子により秩序状態を形成することで、それがトポロジカルな状態になっているかどうかも検討したいと考えております。

また、スカーミオン格子が結晶中に実現した際にどういった低エネルギー励起が現れるか、といった研究も常次先生との共同研究として現在進めております。

最後に、客員所員の期間は半年であったこともあって 1 つの研究テーマを仕上げるには短かったですが、常次先生をはじめ質の高いご指摘を幾つもいただきとても刺激を受けました。共同研究を始める良いきっかけになったと考えており、今後も物性研究所の皆様とは共同研究を行わせていただきたいと考えております。これからもよろしくお願いいたします。

客員所員を経験して

防衛大学校　　萩田 克美

2017 年度に、柴山充弘所員のホストで客員准教授として、たいへんお世話になりました。また、客員期間中は、柴山充弘所員をはじめ、李助教や柴山研究室のメンバーと、とても有益な議論をさせていただきました。特に、私自身はシミュレーション(仮想実験)が専門で、実験的研究が不案内なところ、現実世界の実験的研究の詳細について丁寧にご説明いただけたことは、理論・シミュレーションと実験の融合の高みを目指す上では、大変有益でした。厚くお礼申し上げます。

客員所員として、「中性子小角散乱データの計算科学を駆使したシミュレーション解析」の研究課題を進めました。ソフトマテリアルに対する中性子小角散乱実験に関して、柴山所員のグループは世界に先駆けた成果を多く排出しています。高分子複合材料では、同位体の分量を変えることでコントラストを与え、数値的に分解することでポリマーとフィラーのそれぞれの挙動を引き出す解析手法で、様々な系のナノスケールの挙動を明らかにしています。特に、ゲル中に円盤状のクレイ(以下では、NC-clay ゲル)が充填されたナノコンポジットでは、一軸延伸中のクレイの向きを反映した 2 次元小角散乱パターンを観察しています。応力歪み曲線と内部構造を反映した 2 次元散乱パターンについて、シミュレーションで再現したくなる興味深い実験結果です。我々は、粗視化分子動力学(Molecular Dynamics; MD)シミュレーションの共同研究を進めました。

我々の研究を紹介する前に、ゴムのような物質に関する物性理論的研究の歴史について紹介させていただきたいと思います。久保亮五先生は 1940 年代に「理想ゴムの統計力学的理論」を提案され、架橋点や絡み合いによる結び目の密度として、諸物性を説明することに成功しました。(なお、理想的なゴムでは弾性を結晶と同じくバネ的な力に帰そうとする分子バネの説は成り立ちませんが、現実のゴムでは分子の内部回転などの幾何制約の影響、結晶化やガラス化などの様々な要素が競合する系として巧みな物性が実現されています。) 固定されたネットワーク構造を形成しない高分子溶融体では、物質によらず、高分子鎖が互いに絡み合うことで最長緩和時間 τ が重合度の 3.4 乗 ($N^{3.4}$) に比例する遅い緩和/粘弾性を示します。1970 年代に入り、この遅い緩和は、P. G. de Gennes、S. F. Edwards、土井正男によるレプテーション理論で説明されました。それ以降は、コンピュータ・シミュレーションによる分子レベルでの物性解明が強く期待されるようになりました。(2002 年頃、我々は、格子模型の分子シミュレーションで、絡み合いの仮定なしで $\tau \sim N^{3.4}$ を世界で初めて再現しました。) スーパーコンピュータの性能が 5 年で 10 倍のペースで向上し続けている中でも、ゴムやゲルのような柔らかい高分子材料系では、現実の物性を理解するためのシミュレーションとしては、何らかの時空間スケールの粗視化が欠かせません。なお、原子分子レベルの MD で、柔らかい高分子材料全体を扱うことは、単純には計算量の観点で、本質的には物性を支配する要因の扱い方(特に不純物の影響)と計算の確からしさの観点で、難しさがあります。高分子材料を分子論的に扱う場合、原子分子の相互作用の競合の問題か、高分子の絡み合いによる過渡的な問題か、高分子ネットワーク構造(例えば、架橋の空間分布やプロセス)の問題かによって、必要な計算精度も異なります。また、ゲルの場合は、水という溶媒の中に存在する僅かな高分子のネットワークが物性を生んでおり、メカニズムの理解には、適切な粗視化が望まれます。さらに、ゴムやゲルにおいては、架橋や絡み合いなどの結び目のネットワークトポロジーをどのようにして数学的に特徴づければ、物性を説明できるかも興味深い話題です。久保亮五先生の結び目密度による整理の発展として、数理物理や純粋数学との連携で、トポロジー指標の確率分布による物性理論の構築が期待されます。

ゴムやゲルの高分子複合材料は、フィラーを充填することで機能性が高められています。高分子素材の MD シミュレーションでは、原子一つ一つを扱うものから、複数の原子集団を粗視化して扱うものがあります。近年、原子分子レベルの化学的な詳細を無視し、高分子鎖は互いに交差しないという紐としての性質を保持した粗視化模型で、物性の発現メカニズムを解明するためのシミュレーションが広く行われております。たとえば、ナノ粒子充填ゴム材料の例では、図 1 に示すように、ナノ粒子を直径数十 nm の剛体球としてモデル化し、その周辺に、ビーズがバネにつなが

れた高分子モデル(ばねビーズ模型)を配置した系を用いています。この模型では、ポリマーとナノ粒子間の相互作用の効果やナノ粒子の階層的な3次元構造(モルフォロジ)に応じた力学特性の差異を、半定量的に調べることができます。(紹介動画： http://vis.cmc.osaka-u.ac.jp/cat_gallery/usercase06/)なお、フィラーのモルフォロジの特徴把握では、放射光や中性子による大型実験施設での小角散乱実験が有効な手段として広く用いられています。

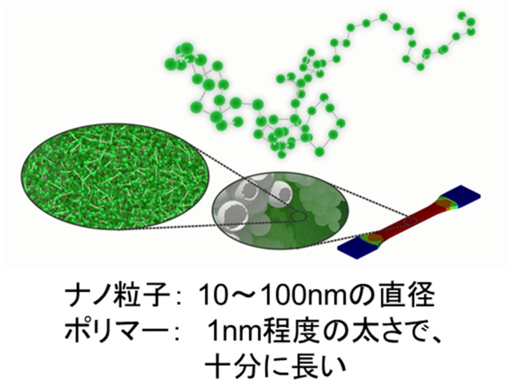


図 1　ナノ粒子が充填されたゴム材料の粗視化モデルの模式図。白色の大きな球は、ナノ粒子 1 つをモデル化している。緑色の球が連なり、高分子をモデル化している。

NC-clay ゲルをはじめとするゲル材料を考える場合、水などの溶媒を陽に扱うと、非現実的なほど巨大な計算(一辺 1μm の立方体で、3000 億個の原子)となります。トポロジー的な性質が支配するゲルのシミュレーションでは、溶媒を無視し、高分子を抽象化した粗視化MD法が期待されます。我々は、クレイ(直径 30nm)の体積分率などのスケール関係は保ちつつ、溶媒の効果を含めて抽象化した高分子を設定した模型を検討しました(図 2)。ここで、ネットワークの形成は、時間スケールの粗視化に対応する疑似的な架橋反応を用いて、実現しました。鎖のネットワークとしては直接連結(パーコレーション)していないが、解消できない絡み合いで連結したネットワークが形成されることにより延伸に対する応力を発現する状況で、高歪み変形を実現するとともに、応力歪み曲線と 2 次元散乱パターンの変化が同時に再現していることを確かめました。同時に、散乱のコントラストを変え、高分子側の挙動を 2 次元散乱パターンの挙動を見ると、中性子小角散乱実験の結果と一致していました。これらの挙動の一致から、我々が構築した粗視化 MD 模型は良い近似となっていたと言えます。

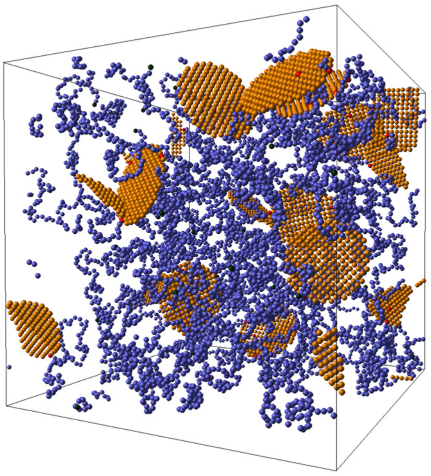


図 2　クレイが充填されたゲルの粗視化モデルの模式図。灰色の円盤状の球の集合体は、粗視化したクレイ(直径 30nm に相当)。青色の球の連なりは、粗視化した高分子鎖。

固体物性物理においては、多様体と関連した量子系のチャーン数などのトポロジーについて精力的に研究がなされています。高分子におけるトポロジーは、環状鎖の結び目や相分離構造の形状にかかわる低次元トポロジーから、高次元多様体の 3 次元への射影とみなすことができる高分子架橋ネットワークのトポロジーがあります。理論・シミュレーションとともに、純粋数学から中性子実験までを含めた広い取り組みによって、トポロジー指標の確率分布によるゴムやゲルの物性理論を構築することが期待されています。適用の広い物性理論物理学を創る観点でも「ゴムは奇妙な物質である。」と言えます。

客員所員を経験して

京都大学大学院人間・環境学研究科　　吉田 鉄平

2017 年度の 1 年間、物性研究所の客員所員をさせていただきました。ホストになっていただいたLASORの辛先生をはじめ、助教の石田さん、秘書の新榮さんには滞在中、大変お世話になりました。関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

私は 10 年以上前に新領域創成科学研究科の助手として 3 年間在籍していましたので柏キャンパスにはなじみがあります。海外でのポスドク生活から帰国後、大学教員としてのキャリアの出発点となった地です。着任当時はつくばエクスプレスも開通しておらず、キャンパス内にも未開発の土地が多く、新天地に夢を思い描いていた記憶があります。現在は、教養部を前身に持つ京都大学の総合人間学部に所属しています。半数以上が文系分野の教員で構成されているため、理学部とも工学部とも雰囲気が異なり、人文科学も含めた中で、物性物理学の役割を意識させられることもあります。このような日常から、久しぶりに柏キャンパスを訪れると、懐かしさと同時に、研究所の凛とした雰囲気に身の引き締まる思いがしました。

滞在期間中は遷移金属ナノシートのキャリアダイナミクスを時間分解光電子分光を用いて調べる研究を行いました。この研究は石田さんに物理学会で修士の学生の発表を聞いてもらい、提案していただいたものです。絶縁体基板上の遷移金属のナノシートは膜厚が薄くなると電気伝導性が低くなりますが、乱れによる局在を電子状態の観測から理解しようとして始めたものです。石田さんには装置の調整に時間を割いていただき、また懇切丁寧に実験方法を教えていただき、改めて感謝申し上げます。おかげさまで絶縁体に近くなると緩和時間が長くなる興味深いデータが得られました。また、この実験には研究室の学生も参加したのですが、旅費は客員所員の予算を使わせていただき大変助かりました。研究室として新しい実験手法を経験することで、今後の研究につながる貴重な機会となりました。

客員所員の講演会では、高温超伝導と電場印加光電子分光に関する、最近の私たちの研究を聞いていただく機会があり、また、初めてお会いする所員の先生方と交流することができました。まだまだ、あら削りの研究ですが、高温超伝導の起源に迫りたい気持ちだけは、お伝えできたのではないかと思っています。また物性研の短期研究会では、私たちの電場印加状態の強相関電子系の光電子分光の結果を放射光関係の先生方に興味を持っていただき、今年度は SPring-8 の東大アウトステーションのビームタイムを使わせていただくことになりました。この原稿の執筆中にも、新しい実験の準備に追われていますが、このような新しい共同研究を得る機会にもなったことに大変感謝しております。

実験に使用した装置以外にも、LASOR のスピン偏極光電子分光装置なども見学させていただき、大変感銘を受けました。世界的な潮流としてスピン分解や時間分解など、光電子分光の手法が高度化しており、ビッグデータともいえる豊富な電子状態の情報が収集できるようになりつつあります。20 年近く前から、物性研の光電子分光装置は、他に追従を許さない高分解能の記録を更新しており、私は圧倒されてきましたが、常に世界の先を行く最先端の装置開発を続けている、辛先生をはじめLASORの先生方には頭の下がる思いです。近年は、私と近い世代の若い教員が増え、勢いのある研究グループが形成されており、このような充実した研究環境を整え、人材を育成することが、日本の科学の底力になっていることを実感しました。今後とも物性研の研究グループとの連携を生かすことで、微力ながら大学教員として研究の発展と人材育成に貢献してゆきたいと考えております。

物性研究所短期研究会

The 9th APCTP Workshop on Multiferroicsの報告

報告者：木村　剛（東京大学大学院新領域創成科学研究科）

会議名：The 9th APCTP Workshop on Multiferroics (http://crystal.k.u-tokyo.ac.jp/9th_apctp/)
期　間：平成 29 年 11 月 9 日（木）～11 月 11 日（土）
場　所：柏図書館メディアホール、物性研究所本館 6 階大講義室(A632)

提案代表者：木村　 剛（東京大学新領域創成科学研究科）
共同提案者：有馬 孝尚（東京大学新領域創成科学研究科）
　　　　　　徳永 将史（東京大学物性研究所）

磁性と誘電性が強く相互作用した物質・材料は「マルチフェロイクス(Multiferroics)」と総称され、その研究はここ 15 年の間に急速な進展をみせている。マルチフェロイクスを用いることにより、従来にはない新たな電子デバイスへの応用が期待されるものの、これまで報告されている多くのマルチフェロイクスにおいては室温よりはるかに低い温度でしか顕著な電気磁気効果が観測されていない。しかしながら最近の研究の進展により、室温での動作を示す物質や複合材料を用いることにより室温で顕著な電気磁気特性を示す新規材料の開発が大いに進んでいる。これまで研究の進められているマルチフェロイクスの多くは遷移金属酸化物のセラミック材料であるが、近年では塩化物材料、Metal organic framework (MOF)や液晶材料などの幅広い材料系でマルチフェロイック特性が観測され、その材料のバリエーションは大きく広がってきている。また、電気磁気効果といった物性現象にとどまらず、特異な対称性の破れに起因する電磁波の非相反性やスキルミオンといったトポロジーへの展開といった新たな学知の構築に向けた研究へと拡がりを見せている。

本ワークショップは、近年のマルチフェロイクス研究の急速な進展を踏まえて、マルチフェロイクスにおける多彩な新規複合物性に関する物質・材料開発とそれらを対象とした先進的な測定手法に焦点を当て、アジア太平洋地域のマルチフェロイクスの研究者の交流・共同研究を促進し、分野の発展に寄与することを目的としている。2008 年よりほぼ毎年 APCTP(Asia Pacific Center for Theoretical Physics)に加入するメンバー国にて持ち回りで開催されてきたものであり(1-Pohang, 2-Taiwan, 3-Tokyo, 4-Beijing, 5-Singapore, 6-Pohang, 7-Bangalore, 8-Shanghai)、第 9 回となる平成 29 年度の会議は、提案代表者を実行委員長として、東大柏キャンパスにおいて、11 月 9 日(木)～11 日(土)に開催した。

瀧川仁物性研所長の Opening Remarks から始まった 3 日間の開催期間中に、9 つの口頭発表セッション(「Manganese oxides」,「S =1/2 systems」,「New multiferroics」,「Thin films」,「Magnetoelectric magnetic textures」,「Optical measurements」,「Topological matters」,「Electrical control of magnetism」,「Topological defects」)を実施した。これらのセッションにおいて、既存のマルチフェロイック物質の物性・機能に関する理解、新規マルチフェロイック物質開発、薄膜合成の手法による新規機能マルチフェロイック・強誘電材料創製、マルチフェロイックドメイン・エンジニアリング、電場による磁性制御、マルチフェロイック物質に特有な物性の非相反性の実現など、物質開発、基礎物性、応用などマルチフェロイクス研究に関わる様々なアプローチの研究内容の発表がなされ、活発な議論が行われた。今回の短期研究会の助成の大部分は大学院生、ポスドク、助教といった若手研究者の旅費の支援に充てることができたため、多くの若手研究者の参加・ポスター発表があり、ポスターセッションも盛況であった。

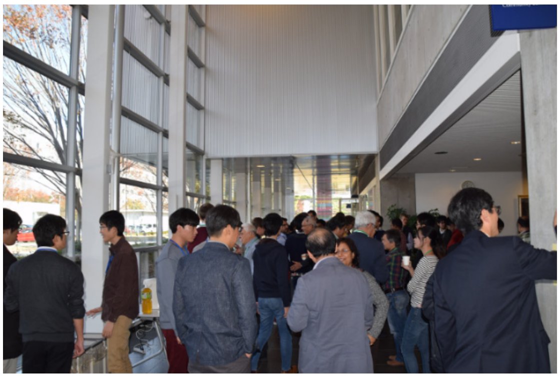
さらに、会議初日の 夕方には、レセプションを兼ねた RUMP セッションを企画・実施した。このセッションでは、Rutgers 大学の Prof. S.-W. Cheong のコーディネートによりマルチフェロイクスに関連する研究分野の将来の方向性に関して、参加者が一堂に会して意見・情報交換を行った。また、会議 2 日目の夜には会場近くのレストランにおいて、バンケットを開催し、本ワークショップの国際運営委員の Prof. Y. H. Jeong (POSTECH)による APCTP

の紹介、また理研創発物性科学研究センターの十倉好紀センター長による挨拶の後、参加者間での懇親を深めた。なおバンケット時に、次回の APCTP Workshop on Multiferroics が Prof. Chan-Ho Yang(KAIST)を議長として 2018 年 11 月に韓国の大田にて開催されることが宣言された。最終日の 3 日目のすべてのセッションが終了した後に、Closing Session が開催され、実行委員長である本提案代表者より、ワークショップ全般が滞りなく進行したことに対して参加者への感謝の意が表され、閉会が宣言された。さらに閉会後、海外から参加の希望者に対し物性研の施設見学を実施し、国際超強磁場科学研究施設を徳永将史准教授に、極限コヒーレント光科学研究センターを辛埴教授に案内いただいた。すべての施設見学参加者から一様に、充実した物性研施設に対する感嘆の声が聞かれた。

3 日間の開催期間において、23 名の招待講演者および 6 名の一般参加者(内 4 名は日本のポスドク・助教といった若手研究者)による口頭発表セッション、主に大学院生や若手研究者ら一般参加者によるポスター発表セッション[ポスター発表 55 件(当日不参加の 3 件を除く)]、さらには対象研究分野の今後の方向性を議論する場とし RUMP セッションを実施した。会議の参加者数は、国内から参加の 68 名に加えて、海外から 41 名[韓国 11 名、中国 5 名、台湾 4 名、インド 7 名、オーストラリア 2 名、米国 2 名(内 1 名はテレビ会議にて参加)、スイス(5 名)、ドイツ(1 名)、チェコ(2 名)、オランダ(1 名)]であった。もともとアジア太平洋地域の研究者を対象としたワークショップであったが、今回の会議では招待講演者のみならず一般参加者としても複数のヨーロッパの国から参加者があり、ワークショップの規模としては年々world-wide なものとなっていることが認識できた。

会議終了後、国内外の複数の参加者から、本ワークショップの期間中に新たな人脈ができ、新たな共同研究へ発展させられそうであるなどのコメントが寄せられた。また、国内外の大学院生など若手研究者に対する旅費等の支援も行ったことに対して、該当者からの謝意も寄せられた。最後に、本ワークショップの実施に際し、提案者らの研究室のスタッフおよび学生さらには、物性研事務部の方など多くの方々からご協力をいただきました。この場を借りて御礼申し上げます。

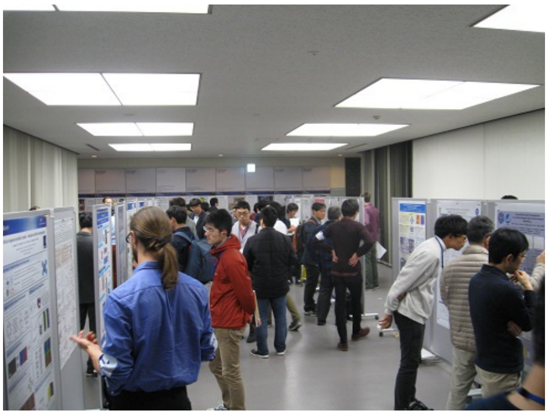
口頭発表セッション(柏図書館メディアホール)



コーヒーブレーク(柏図書館ロビー)

口頭発表セッション(柏図書館メディアホール)

口頭発表セッション(物性研大会議室)



ポスターセッション（物性研 6 階ホール）

RUMP セッション（カフェテリア）

集合写真

物性研究所談話会

標題：テラヘルツパルスを用いた超伝導集団励起の研究
日時：2018 年 1 月 25 日(木)　午後 4 時～午後 5 時
場所：物性研究所本館 6 階 大講義室（A632）
講師：松永 隆佑
所属：東京大学物性研究所極限コヒーレント光科学研究センター
要旨：

近年のパルスレーザー技術の進展によって、テラヘルツパルスを用いて物性物理において重要な低エネルギー(~meV)領域を詳細に探索することが可能になった。テラヘルツ帯の電磁応答を時間分解検出することで、物質の非平衡状態の超高速ダイナミクスの研究が新たな展開を見せている。さらにテラヘルツ電場の高強度化が進んだことで、これまで隠されていた物質の性質が非線形応答を通して明らかにされるとともに、高速の電磁場によって物質の性質そのものを人為的にコントロールする道が開かれつつある。

この講演では我々が進めてきた、超伝導体の秩序パラメーターの振動モード、いわゆるヒッグスモードに関連した、超伝導体テラヘルツ制御の研究を紹介する[1]。テラヘルツ技術を巧みに用いることで、対称性の破れに付随した普遍的な集団励起モードの研究が実現した。時間があれば銅酸化物超伝導体を光で強励起したときに現れる特異な準安定相をテラヘルツ時間分解測定で発見した最近の研究も紹介したい[2]。

[1] R. Matsunaga et al., Phys. Rev. Lett. 109, 187002 (2012); Phys. Rev. Lett. 111, 057002 (2013); Science 345, 1145 (2014); Phys. Rev. B 96, 020505(R) (2017).
[2] K. Tomari, R. Matsunaga et al., arXiv:1712.05086 [cond-mat.supr-con].

標題：平成 29 年度物性研究所 退職記念講演会
日時：2018 年 3 月 1 日(木)　午後 16 時 30 分～午後 17 時 40 分
場所：物性研究所本館 6 階 大講義室（A632）
プログラム： 16:30-16:40　所長挨拶
16:40-16:50　吉澤 英樹先生　業績紹介
16:50-17:40　吉澤 英樹先生　ご講演
講演題目：「中性子とともに 40 年」

標題：パルス強磁場下での物性研究と、今後の展望

日時：2018 年 3 月 29 日(木) 午後 4 時～午後 5 時

場所：物性研究所本館 6 階 大講義室(A632)

講師：小濱 芳允

所属：東京大学物性研究所

要旨：

パルス強磁場には大きく分けて、100 テスラ以下の物理現象を対象とした非破壊型磁場と、100 テスラ以上も研究対象とした破壊型磁場の二つがある。非破壊型磁場では秒オーダーまで実験時間を確保でき、核磁気共鳴や熱測定など測定に時間がかかるような物性量も観測可能のため、100 テスラまでの詳細な研究に最適といえる。その一方で破壊型磁場は、マイクロ秒オーダーの極めて短い時間しか発生されないものの、985 テスラという超強磁場も発生でき、これまで予測されていなかったような物理現象の発見が期待できる。本講演では、このような二つの強磁場環境下でどのような精密測定が可能となり、どのような成果が挙げられてきたかについて紹介していく。

非破壊型パルス磁場下での研究としては、例えば廣井研究室と合同で進めているボルボサイトにおける強磁場熱測定の結果を報告する。ここでは、NMR や磁化測定では検出が難しいスピンネマテック秩序を、熱測定により検出した例を示す。破壊型パルス磁場下の研究については、近年測定可能となった電気抵抗測定について紹介し、これによる今後の研究展望を述べさせていただく。

物性研究所セミナー

標題：光化学反応の磁場効果
日時：2018 年 1 月 10 日(水)　午後 2 時～午後 3 時
場所：物性研究所本館 6 階 第 4 セミナー室（A614）
講師：谷本 能文
所属：広島大学
要旨：

化学・物理・生物に対する磁場効果の研究は、現在"磁気科学—Magneto-Science—" 1 と呼ばれている。これらの磁場効果の主要なメカニズムは 4 つある。(1)ラジカル対機構、(2)異方的磁気エネルギー、(3)磁気力、(4)ローレンツ力である。(1)は光化学反応の磁場効果、(2)は結晶などの磁気配向、(3)は不均一反応の磁場効果や磁気浮上、(4)は不均一反応の磁場効果などの主なメカニズムである。ここでは、溶液中の有機光化学反応の磁場効果について概説する。

参考文献

M. Yamaguchi and Y. Tanimoto (eds.),Magneto-Science, Kodansha/Springer, Tokyo (2006).
R. De et al.,Chem. Phys. Lett., 315(1999) 381.
R. De et al., Bull. Chem. Soc. Jpn., 73(2000) 1573.

標題：Floquet topological phases protected by dynamical symmetry
日時：2018 年 1 月 10 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：Takahiro Morimoto
所属：UC Berkeley
要旨：

Nonequilibrium systems under periodic driving (Floquet systems) realize novel topological phases that cannot be achieved in equilibrium systems. One unique feature of periodically driven systems is that they can host a purely dynamical symmetry that involves time-translation. In this talk, we present a new class of Floquet topological phases protected by one realization of such dynamical symmetry, i.e., "time-glide symmetry" which is defined by a combination of reflection and time translation [1]. We introduce lattice models of free fermions with time-glide symmetric driving that show stable gapless surface states. We then give a general classification theory of time-glide symmetric Floquet topological phases by using a Clifford algebra approach. In addition, we also discuss Floquet topological phases of interacting bosons by showing examples in 1D and 2D systems [2,3].

[1] T.Morimoto, H.C. Po, and A. Vishwanath, Phys. Rev. B 95, 195155 (2017).
[2] A.C. Potter, T. Morimoto, A. Vishwanath, Phys. Rev. X 6, 041001 (2016).
[3] A. C. Potter and T. Morimoto, Phys. Rev. B 95, 155126 (2017).

標題：SARPES 2.0：obtaining information from spin interference
日時：2018年1月17日(水)　午前11時～
場所：Seminar Room 5 (A615), 6th Floor,ISSP
講師：Prof. Hugo Dil
所属：Ecole Polytechnique Federale de Lausanne
要旨：

Over the last decades spin- and angle-resolved photoemission spectroscopy (SARPES) has developed into a powerful method to unravel the spin textures of a variety of materials. These spin textures are either determined by ferromagnetic properties or by spin-orbit interaction, as in the case of Rashba systems and topological materials. The insight obtained from such results is very rich, but mostly focusses on reconstructing the initial state spin properties. Based on changes in technical possibilities, recently a different way of looking at the spin in photoemission has encountered a revival, namely to consider the interference of spin channels. This can occur for spin-polarized or doubly degenerate initial states, but also lead to spin polarization in photoemission from spin-degenerate initial states.

In this talk I will give an introduction to SARPES and then focus on interference effects. It will be shown how this is related to the initial state properties, but also how it gives information about the photoemission process itself. For example, it allows us to determine the attosecond time-delay of photoemission. Recent results and the open questions that remain will be discussed together with future possibilities to further extend the obtained information.

標題：Electronic structure manipulation in polar and multiferroic materials
日時：2018年1月19日(金)　午後4時～
場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)
講師：Hugo Dil
所属：Ecole Polytechnique Federale de Lausanne
要旨：

One of the main topics of moderns condensed matter physics is the design and verification of novel electronic structures. The toolbox available to alter the electronic properties is very large and ranges from the intrinsic crystal structure and symmetries to external fields. In this talk I will discuss how an intrinsic net electric dipole moment influences the electronic structure. Depending on the orientation of the dipole moment this can lead to a large (bulk) Rashba-type spin splitting or to the localisation of states. Both are easily detected by (spin- and) angle-resolved photoemission spectroscopy ((S)ARPES). A further functionality is added when this dipole moment can be manipulated or reversed, thus leading to ferroelectric order. It will be shown how the bulk spin texture of a ferroelectric semiconductor can be changed by applying an external electric field. In multiferroics the ferroelectric property is combined with ferromagnetic order, and in magnetoelectric materials the two order parameters are directly coupled. It will be shown how the spin texture is changed in such materials and how either magnetic or electric fields can be used to manipulate the electronic structure. The investigated systems include transition metal oxides and (magnetically doped) ferroelectric semiconductors.

標題：Topological aspects of nonlinear optical effects
日時：2018 年 1 月 23 日(火)　午前 10 時 30 分～11 時 30 分
場所：物性研究所本館 6 階 第 5 セミナー室（A615）
講師：Takahiro Morimoto
所属：UC Berkeley
要旨：

The responses of materials to high intensity light, i.e., nonlinear optical responses, constitute a vast field of physics and engineering. While topology has been playing a central role in recent studies of condensed matters, topological aspects of nonlinear optical effects have not been fully explored so far. In this talk, I will show a few examples of nonlinear optical effects that have topological origins. First, I discuss that the second-order nonlinear optical effects including the shift-current and second harmonic generation (SHG) are described by topological quantities, the Berry connection of Bloch wave functions [1]. Next, I show that the topological formula well explains giant SHG responses in Weyl semimetal that were observed in TaAs [2]. Finally, I discuss that another second-order nonlinear effect, circular photogalvanic effect (CPGE), is governed by Berry curvature and measuring CPGE in Weyl semimetals allows an access to monopole physics of Weyl fermions [3].

[1] T. Morimoto, and N. Nagaosa, Sci. Adv. 2, e1501524 (2016).
[2] Liang Wu, et. al., Nat. Phys. 13, 350 (2017).
[3] F. de Juan, A. G. Grushin, T. Morimoto, and J. E. Moore, Nat. Commun. 8, 15995 (2017).

標題：Multiscale modeling of the coarsening of connected structure and the thermal fluctuations of dislocations
日時：2018 年 1 月 26 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. Pierre-Antoine Geslin
所属：Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai Mateis lab, INSA/CNRS, UMR 5510, Lyon, France
要旨：

My talk will consist in two separate parts. The first part will focus on the coarsening of connected structures by surface diffusion. Nanoporous and microporous materials are of great interest in a number of applications ranging from battery anodes to captors and capacitors. When surface diffusion is thermally activated, these porous microstructures evolve in time, leading to a decrease of their surface area and a drop of the properties of the materials. Using a phase-field model for surface diffusion, we have investigated the coarsening behavior taking place during the evolution of these structures. More specifically, we have looked in details into the interactions between the morphological and topological characteristics of these structure during their evolution. The role of surface anisotropy on the coarsening kinetics have also been investigated.

The second part of my talk will focus on the thermal fluctuations of dislocations. The plastic behavior of metals and alloys are mostly controlled by the displacement of linear defects called dislocations. However, the behavior of these defects in temperature remains partially knows due to the complexity of the strain field generated in their vicinity. We have recently derived an analytical solution for the energy of a weakly perturbed dislocation., allowing us to characterize analytically the thermal fluctuations of dislocations. This analytical description matches remarkably well the fluctuation spectrum obtained from large scale molecular dynamics simulations, showing the validity of our

approach. This new model also opens the way to develop analytical treatment for various problems involving thermally activated dislocation movement (cross-slip, kink pair formation, obstacle bypassing,…)

標題：量子ビームイメージング技術のフロンティア開拓
日時：2018 年 2 月 1 日(木)　午後 2 時～
場所：物性研究所本館 6 階 第一会議室（A636）
講師：矢代 航
所属：東北大学多元物質科学研究所
要旨：

我が国は「ものづくりの国」とよくいわれるが、「ものづくり」と「計測」は、科学・技術の進歩における車の両輪である。すなわち、両者がバランスよく前進するべきであり、さもなくば迷走に陥るであろう。高度な職人技も、優れた五感があればこそ、であり、人間の感覚を遙かに超えた最先端のものづくりにおいても、計測技術のフロンティアの開拓が不可欠である。

本講演では、特に量子ビーム（主にＸ線および中性子）イメージング技術のフロンティア開拓に焦点を絞り、私が近年取り組んできた研究の成果などについて紹介する。一般に計測法のフロンティアの開拓は、自然現象の基本的な理解にはじまり、計測法の確立に向けた計測系、計測素子・機器、シミュレーション・解析法の研究・開発、さらには製品化に向けた汎用機器の開発という展開によって、はじめて本質的な意味で進展するものである。本講演では、このような本質的な進展を目指して講演者が取り組んできた、量子ビームイメージング技術のフロンティア開拓に向けた分野横断的な研究について紹介する。

Ｘ線、中性子イメージング法のフロンティアの開拓は、具体的には、高密度分解能化、高空間分解能化、高時間分解能化、大視野化、多次元化などに代表される。これらのフロンティアの開拓には、Ｘ線・中性子光学の理論・実験両面の基礎研究だけでなく、従来の限界を超える高度な微細加工技術の開拓、高度な情報処理技術の開拓など、分野横断的な研究が不可欠である。本講演ではそのような新たな展開の例として、新規材料による高アスペクト比Ｘ線光学素子の開発[1]や、高度情報処理技術との融合によるミリ秒トモグラフィ法の開発[2]（JST CREST（2017 年 10 月開始））、さらには、多次元化に向けた新たな挑戦として、表面・界面構造解析とイメージング技術の融合に向けた取り組み[3]や、医療診断へ向けたＸ線エラストグラフィ法の開発（AMED 先端計測分析技術・機器開発プログラム（2017 年 8 月開始））などについても紹介する。

[1] W. Yashiro et al., Appl. Phys. Express 7 (2014) 032501; W. Yashiro et al., Jpn. J. Appl. Phys. 55 (2016) 048003.
[2] W. Yashiro et al., Appl. Phys. Express 10 (2017) 052501; Jpn. J. Appl. Phys. 56 (2017) 112503.
[3] W. Yashiro et al., Opt. Express 18 (2010) 16890-16901; W. Yashiro et al., Phys. Rev. B 84 (2011) 094106; W. Yashiro et al., Opt. Express 23 (2015) 9233-9251; W. Yashiro et al., Jpn. J. Appl. Phys. 53 (2014) 05FH04.

標題：STM studies of FeSe single crystals
日時：2018年2月8日(木)　午後1時30分～
場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室（A615）
講師：Prof. Maria Iavarone
所属：Department of Physics, Temple University, USA
要旨：

In spite of its simple crystal structure, the electronic properties of the iron-based superconductor FeSe (Tc ~ 9 K) are rich and attractive. Superconductivity in FeSe takes place in a so-called nematic phase that is associated with orbital ordering. Another interesting aspect is that Fermi wave length is as long as the coherence length therefore, placing FeSe most likely in the BCS-BEC crossover regime. These features should result in non-trivial electronic states around the local defects such as vortices and impurities. We have performed low temperature STM/STS experiments on FeSe to investigate its electronic structures. Multiband superconductivity aspects, symmetry of the order parameter, role of disorder, vortex matter and chemical substitution effects on the band structure of this system will be discussed.

標題：遷移金属二硫化物WS2を用いたグラフェンへの異方的スピン軌道相互作用の誘起
日時：2018年2月13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：若村 太郎
所属：パリ南大学
要旨：

内因的なスピン軌道相互作用が極めて小さいグラフェンへの強いスピン軌道相互作用の誘起は、スピントロニクスへの応用や、量子スピンホール状態など新奇な物性の発現への期待から、近年盛んに研究が行われている。その中でも特に、グラフェンと同様の2次元層状物質であり、強いスピン軌道相互作用を持つ遷移金属二硫化物とグラフェンの積層構造を作製し、界面での相互作用を通してグラフェンのスピン軌道相互作用を増大させる手法が注目を集めている。

本研究では、グラフェンと遷移金属二硫化物 WS2 の積層構造を作製し、グラフェンに誘起されるスピン軌道相互作用の大きさを弱反局在効果の測定により評価した。遷移金属二硫化物は膜厚によってバンド構造などの特性が変化するため、WS2 として単層、およびバルクの 2 種類を用いて素子を作製し、比較を行った。低温での磁気抵抗効果の測定の結果、WS2 が単層の場合とバルクの場合の両方で強いスピン軌道相互作用が誘起されたことを示す弱反局在効果が観測され、特に WS2 が単層の場合、バルク WS2 の場合と比較して 1 桁以上大きいスピン軌道相互作用を見積もることが出来た。さらに誘起されたスピン軌道相互作用の対称性についても詳しく考察を行ったところ、弱反局在効果の解析から、グラフェン-単層WS2/バルクWS2両方の系において対称的なスピン軌道相互作用が支配的であることが分かった。

これらの結果は、グラフェン-単層WS2構造がグラフェンにより効率的に強い面対称的スピン軌道相互作用を誘起可能であり、グラフェンでの量子スピンホール状態の実現に有用な系であることを示唆している。本発表では、上記の内容に加えてグラフェン-単層WS2構造で見られた異常な抵抗の温度依存性、スピン緩和機構とスピン軌道相互作用の対称性の関連について、またヴァレー-ゼーマン型スピン軌道相互作用の存在についても議論する予定である[1]。

[1] T. Wakamura et al., arXiv :1710.07483 (2017).

標題：Symmetric tensor networks and topological phases
日時：2018 年 2 月 16 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：Ying Ran
所属：Boston College and ISSP
要旨：

I will describe a theoretical framework to systematically classify and construct generic tensor-network wavefunctions (in d=1,2,3 spatial dimensions) respecting both onsite and spatial symmetries, which turns out to be directly related to topological phases and useful from both conceptual and practical points of view. For example, on the conceptual side, this framework allows us to (partially) classify general symmetry protected topological phases involving spatial symmetries, and to prove a generalized Lieb-Schultz-Mattis theorem involving general magnetic translations. We also identify a generic connection between SPT phases and rather conventional symmetry enriched topological (SET) phases via an anyon condensation mechanism, which may serve as a guideline to search for SPT phases in realistic models. On the practical side, the constructed generic tensor-network wavefunctions are useful for variational numerical simulations.

[References: arXiv:1505.03171, 1509.04358, 1610.02024, 1611.07652, 1705.05421]

標題：Cavity QED in the Ultrastrong Coupling Regime
日時：2018 年 2 月 16 日(金)　午後 4 時～午後 5 時
場所：物性研究所本館 6 階 第一会議室 (A636)
講師：河野 淳一郎
所属：Departments of Electrical and Computer Engineering, Physics and Astronomy, and Materials Science and NanoEngineering, Rice University, Houston, Texas, U. S. A
要旨：

Strong resonant light-matter coupling in a cavity setting is an essential ingredient in fundamental cavity quantum electrodynamics (QED) studies as well as in cavity-QED-based quantum information processing. In particular, a variety of solid-state cavity QED systems have recently been examined, not only for the purpose of developing scalable quantum technologies, but also for exploring novel many-body effects inherent to condensed matter. This talk will first describe our recent observation of collective ultrastrong light-matter coupling in a 2D electron gas in a high-quality-factor terahertz cavity in a quantizing magnetic field, demonstrating a record-high cooperativity [1]. The electron cyclotron resonance peak exhibited splitting into the lower and upper polariton branches with a magnitude that is proportional to the square-root of the electron density, a hallmark of collective vacuum Rabi splitting. The second part of this talk will present 1D microcavity-exciton-polaritons in a thin film of aligned carbon nanotubes [2] embedded in a Fabry-Perot cavity, also exhibiting collective ultrastrong light-matter coupling. These experiments open up a variety of new possibilities to combine the traditional disciplines of many-body condensed matter physics and cavity-based quantum optics.

References

1. Q. Zhang et al., Nature Physics 12, 1005 (2016).
2. X. He et al., Nature Nanotechnology 11, 633 (2016).

標題：A Monte-Carlo study of three-dimensional chiral spin liquids in anisotropic hypernonagon Kitaev models

日時：2018年2月21日(水)　午後3時～午後4時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：加藤 康之

所属：Department of Applied Physics, University of Tokyo

要旨：

The Kitaev model is an exactly-soluble quantum spin model with frustration. Since the ground state was rigorously proven to be a quantum spin liquid, this model has been extensively studied in this decade. Although the original model was defined on a simple honeycomb lattice, the model has been extended to various tricoordinate lattices without losing the exact solubility. We analyze two different anisotropic limits of the Kitaev model on a three-dimensional lattice comprising nine-site elementary loops, which we call the hypernonagon lattice. In both cases, the effective Ising-type models retain the time-reversal symmetry, suggesting that the ground states are chiral spin liquids. Using Monte Carlo simulations that respect the local and global constraints on the Ising variables representing Z2 fluxes, we show that there is a first-order phase transition at a finite temperature in each case, but in a different manner.

Reference: Y. Kato, Y. Kamiya, J. Nasu, and Y. Motome, Phys. Rev. B 96, 174409 (2017).

標題：Symmetry enhanced first-order phase transition in a two-dimensional quantum antiferromagnet

日時：2018年2月21日(水)　午前10時～午前11時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：Prof. Anders W. Sandvik

所属：Boston University and Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences

要旨：

Theoretical descriptions of quantum phase transitions have indicated the existence of critical points with higher symmetry than those of the underlying Hamiltonian. Points of emergent symmetry have not been expected at discontinuous (first-order) transitions, however. I will discuss such an example [1], where phase coexistence at a first-order transition takes the form of an enhanced rotational symmetry in a space of two order parameters. Using quantum Monte Carlo simulations to study a 2D S=1/2 quantum magnet hosting the antiferromagnetic (AFM) and plaquette singlet (PS) states recently detected in SrCu2(BO3)2, we observe that the O(3) symmetric AFM order and the Z2 symmetric PS order form an O(4) vector at the transition. The control parameter (a coupling ratio) rotates the vector from the AFM sector to the PS sector, with the length of the combined order parameter vector always remaining non-zero. This phenomenon should be observable in neutron scattering experiments on SrCu2(BO3)2.

[1] B. Zhao, P. Weinberg, A. W. Sandvik (in preparation)

標題：Photoinduced reaction dynamics of nanocarbons
日時：2018年2月21日(水) 午後1時30分～午後2時30分
場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)
講師：山崎 馨
所属：Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai, Japan
要旨：

Nanocarbons such as fullerene, carbon nanotube, and graphene are the fundamental materials for carbon-based nanotechnologies. Their optical and electronic properties heavily depend on their size and shape. In order to realize single-molecule scale structural engineering of nanocarbons using laser irradiation, we quantum-chemically investigated the mechanism of the photoinduced reaction dynamics of nanocarbons both in energy and time domains.

We first investigated the reaction paths of Stone–Wales rearrangement (SWR), i.e., $\pi/2$ rotation of two carbon atoms with respect to the midpoint of the bond, in graphene and carbon nanotube at the MS-CASPT2//SA-CASSCF level of multi-reference molecular orbital theory [1]. We found that the vibronic (electron-phonon) coupling play a crucial role to reduce the effective reaction barriers of the photoinduced defect formation of nanographene.

We next investigated that the fragmentation dynamics of the highly charged fullerene cation C60q+ (q = 20-60) produced by the irradiation of x-ray free electron laser pulse using on-the-fly classical trajectory calculations combined with density functional based tight-binding theory. We found that a two-step explosion mechanism governs the fragmentation dynamics [2]: C60q+ firstly ejects singly and multiply charged fast atomic cations Cz+ ($z \geq 1$) to reduce its strong intramolecular Coulomb repulsion on a timescale of 10 fs. Thermal (statistical) evaporations of slow atomic and molecular fragments from the remaining core cluster subsequently occur on a timescale of 100 fs to 1 ps.

I will also briefly discuss our recent results on the real-time imaging of the near-/mid-IR induced coherent vibration of C60, which is considered as the initial step of the photoinduced fragmentation of C60 [3]

References:
[1] K. Yamazaki et al., J. Phys. Chem. A 116, 11441 (2012).
[2] K. Yamazaki et al., J. Chem. Phys. 141, 121105 (2014).
[3] K. Yamazaki et al., to be submitted.

標題：Exchange interaction in magnetic topological insulators and related materials
日時：2018年2月23日(金) 午後1時30分～
場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)
講師：Prof. Arthur Ernst
所属：Johannes Kepler Universität Linz, Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik
要旨：

It is a well known fact that a magnetic field can break the time reversal symmetry and therewith can destroy a topologically protected surface state in topological insulators. However, the interplay between magnetism and topological order can yield a number of interesting phenomena such as the quantum anomalous Hall effect, a topological magneto-electric effect, and quantized Kerr- or Faraday rotation. This motivates researcher for a search of new magnetic topological insulators and for an intensive study of their electronic and magnetic properties. In my talk, I'll give an overview of our first-principles investigations on this class of materials. In the first part, I'll present a method and approximations used in our simulations and then talk about several examples of magnetic topological insulators, studied in our group within the last three years. First of all, I'll discuss topological insulators doped with magnetic impurities, which can imply various magnetic order in these materials. A special attention will be devoted to

the exchange interaction between magnetic impurities and to the impact of electron-magnon interaction on the electronic structure in some doped topological systems. As next, I'll demonstrate how some defects or impurities without magnetic moments can induce magnetism in topological insulators and discuss the main features of magnetic interactions in these systems.

標題：Weyl magnons in pyrochlore antiferromagnets with all-in- all-out orders
日時：2018 年 3 月 14 日(水)　午前 10 時 30 分～午前 11 時 30 分
場所：物性研究所本館 6 階 第 5 セミナー室（A615）
講師：Dr. Wenxing Nie
所属：Sichuan University, China
要旨：

In this talk, I will introduce our recent work about the investigation of novel topological magnon band crossings in pyrochlore antiferromagnets with all-in- all-out (AIAO) magnetic order. I will show that by the combination of general symmetry analysis and spin-wave theory, we find that pyrochlore materials with AIAO orders can host Weyl magnons under external magnetic fields or uniaxial strains. Under a small magnetic field, the magnon bands of the pyrochlore with AIAO background can feature two opposite-charged Weyl points, which is the minimal number of Weyl points realizable in quantum materials and has not be experimentally observed so far.
We further show that breathing pyrochlores with AIAO orders can exhibit Weyl magnons upon uniaxial strains. These findings apply to any pyrochlore material supporting AIAO orders, irrespective of the forms of interactions. Specifically, we show that the Weyl magnons are robust against direct (positive) Dzyaloshinskii-Moriya interactions. Because of the ubiquitous AIAO orders in pyrochlore magnets including R2Ir2O7, and experimentally achievable external strain and magnetic field, our predictions provide promising arena to witness the Weyl magnons in quantum magnets.

Ref: S-K. Jian and W.-X. Nie, arXiv: 1708.02948

標題：Insensitivity of bulk properties to the twisted boundary condition
日時：2018 年 3 月 16 日(金)　午後 1 時 15 分～午後 2 時:45 分
場所：Seminar Room A at Kavli IPMU
講師：Haruki Watanabe
所属：Dept. Applied Physics, University of Tokyo
要旨：

The symmetry and the locality are the two major ingredients leading to various nontrivial statements in quantum many-body systems. In this talk I will show that, in gapped phases of a U(1) symmetric Hamiltonian with finite-range interactions, the bulk properties such as the expectation value of local operators, the ground state energy and the excitation gap, and the static and low-frequency dynamical responses in general, do not depend on the twisted angle of the boundary condition in the limit of the large system size. The argument is based on the exponential decay of several types of equal-time correlation functions.

Remark: joint with IPMU Mathematics-String Theory seminar

人　事　異　動

【研究部門等】

○平成 30 年 2 月 28 日付け

（辞　職）

氏　　名	所　　属	職　　名	備　　考
近　藤　晃　弘	附属国際超強磁場科学研究施設	助　　教	三井金属工業株式会社　研究員へ

○平成 30 年 3 月 31 日付け

（定年退職）

氏　　名	所　　属	職　　名	備　　考
吉　澤　英　樹	附属中性子科学研究施設	教　　授	

（任期満了）

氏　　名	所　　属	職　　名	備　　考
赤　井　久　純	附属計算物質科学研究センター	特任教授	附属計算物質科学研究センター　特任研究員へ
吉　本　真　也	機能物性研究グループ	助　　教	日本エー・エス・エム株式会社　シニアプロセスエンジニアへ

（辞　職）

氏　　名	所　　属	職　　名	備　　考
野　口　良　史	機能物性研究グループ	助　　教	静岡大学学術院工学領域　准教授へ

○平成 30 年 4 月 1 日付け

（採　用）

氏　　名	所　　属	職　　名	備　　考
井　上　圭　一	機能物性研究グループ	准 教 授	名古屋工業大学大学院工学研究科　准教授から
三　輪　真　嗣	量子物質研究グループ	准 教 授	大阪大学大学院基礎工学研究科　准教授から
河　村　光　晶	附属物質設計評価施設	助　　教	附属物質設計評価施設　特任研究員から
淺　井　晋一郎	附属中性子科学研究施設	助　　教	附属中性子科学研究施設　特任研究員から
神　田　夏　輝	附属極限コヒーレント光科学研究センター	助　　教	理化学研究所　研究員から
今　城　周　作	附属国際超強磁場科学研究施設	特任助教	大阪大学理学研究科化学専攻　博士後期課程から
木　下　雄　斗	附属国際超強磁場科学研究施設	特任助教	東京大学大学院新領域創成科学研究科　博士課程から

○平成 30 年 4 月 1 日付け

（昇　任）

氏　　名	所　　属	職　　名	備　　考
長谷川　幸　雄	ナノスケール物性研究部門	教　　授	
Lippmaa Mikk	ナノスケール物性研究部門	教　　授	
杉　野　　修	機能物性研究グループ	教　　授	
小　林　洋　平	附属極限コヒーレント光科学研究センター	教　　授	
原　田　慈　久	附属極限コヒーレント光科学研究センター	教　　授	

○平成 30 年 4 月 1 日付け

（兼　務）

氏　　名	所　　属	職　　名	備　　考
森　　初　果	凝縮系物性研究部門	所　　長	新任（平成 33 年 3 月 31 日まで）
吉　信　　淳	機能物性研究グループ	副 所 長	新任（平成 32 年 3 月 31 日まで）
常　行　真　司	附属計算物質科学研究センター	教　　授	本務：東京大学大学院理学系研究科 期間：平成 30 年 4 月 1 日～平成 31 年 3 月 31 日
藤　堂　眞　治	附属計算物質科学研究センター	准 教 授	本務：東京大学大学院理学系研究科 期間：平成 30 年 4 月 1 日～平成 31 年 3 月 31 日

（委嘱「客員：テーマ限定型」）

氏　　名	所　　属	職　　名	備　　考
松　本　祐　司	ナノスケール物性研究部門	教　　授	本務：東北大学大学院工学研究科・教授 期間：平成 30 年 4 月 1 日～平成 31 年 3 月 31 日
摂　待　力　生	附属物質設計評価施設	教　　授	本務：新潟大学理学部・教授 期間：平成 30 年 4 月 1 日～平成 31 年 3 月 31 日

（委嘱「客員：テーマ提案型」）

氏　　名	所　　属	職　　名	備　　考
山　口　博　則	凝縮系物性研究部門	准 教 授	本務：大阪府立大学理学系研究科・准教授 期間：平成 30 年 4 月 1 日～平成 31 年 3 月 31 日
石　井　史　之	ナノスケール物性研究部門 附属物質設計評価施設	准 教 授	本務：金沢大学理工研究域数物科学系　准教授 期間：平成 30 年 4 月 1 日～平成 31 年 3 月 31 日

○平成 30 年 5 月 15 日付け

（辞　職）

氏　　名	所　　属	職　　名	備　　考
吉　田　靖　雄	ナノスケール物性研究部門	助　　教	金沢大学理工系研究域数物科学系　准教授へ

【事務部】

〇平成 30 年 4 月 1 日付け

（転　出）

氏　　名	所　　属	職　　名	備　　考
鈴　木　貴　博	物性研究所	専 門 員	情報学環・学際情報学府　専門員へ
原　田　正　史	共同利用係	係　　長	法学政治学研究科等研究室総務係　係長へ
竹　山　牧　子	総務係	主　　任	柏地区共通事務センター人事係　主任へ
真　田　圭太郎	予算・決算係	主　　任	人事部人事企画課　主任《文部科学省行政実務研修生》へ

（転　入）

氏　　名	所　　属	職　　名	備　　考
久　保　忠　明	物性研究所	副事務長	教育学部・教育学研究科　副事務長から
齋　藤　智　之	共同利用係	係　　長	東京学芸大学経理課管理係　係長から
大　平　理　美	総務係	主　　任	医学部附属病院総務課教育研修チーム（教育研修担当）　主任から
吉　川　真　未	予算・決算係	一般職員	地震研究所財務チーム　一般職員から

平成29年度外部資金の受入について

１．奨学寄附金

件　　数	金　額（円）
22	18,808,000

＜共同研究＞

研　究　題　目	相手側機関	相手側負担分	本学負担分	研究担当職員
樹脂の架橋構造解析	(株)デンソー	1,000,000		附属中性子科学研究施設 教　授　柴山　充弘
各種散乱法を用いた高分子電解質ゲルのゲル化過程および内部構造の解析	(株)日本触媒	1,000,000		附属中性子科学研究施設 教　授　柴山　充弘
燃料電池電極反応の OCV での放射光解析	トヨタ自動車(株)	1,100,000		附属極限コヒーレント光科学研究センター 准教授　原田　慈久
水溶液中における糖質と水との相互作用に関する軟 X 線分光研究	(株)林原	1,000,000		附属極限コヒーレント光科学研究センター 准教授　原田　慈久
軽希土類−遷移金属化合物の物性研究	トヨタ自動車(株)	20,196,000		附属計算物質科学研究センター 特任教授　赤井　久純
燃料電池用高温膜材料の創生と構造解析に関する共同研究	トヨタ自動車(株)	5,154,546		附属中性子科学研究施設 教　授　柴山　充弘
散乱法による熟成酒中の分子の存在状態に関する研究	サントリーグローバルイノベーションセンター(株)	1,100,000		附属中性子科学研究施設 教　授　柴山　充弘
第一原理伝導計算による新規材料・構造デバイスにおける研究	(株)富士通研究所	1,000,000		附属物質設計評価施設 教　授　尾崎　泰助
高繰り返し高出力ハイブリッド Arf エキシマレーザの開発	ギガフォトン(株)	10,800,000		附属極限コヒーレント光科学研究センター 准教授　小林　洋平
鉱物系ファイバーの開発とその材料特性に関する研究	新日本繊維(株)	2,194,000		附属物質設計評価施設 教　授　上床　美也
鉄鋼材料の新規表面処理・加工および評価技術	伊藤忠丸紅鉄鋼(株)	3,000,000		機能物性研究グループ 教　授　秋山　英文
マテリアルズ・インフォマティクスの計算における高性能化の研究	(株)トヨタ IT 開発センター	3,000,000		附属物質設計評価施設 准教授　野口　博司
大規模電子状態計算技術の構築	新日鐵住金(株)	540,000		附属物質設計評価施設 教　授　尾崎　泰助
スラリー凝集メカニズムに関する研究	トヨタ自動車(株)	2,700,000		附属中性子科学研究施設 教　授　柴山　充弘
巨大ネルンスト効果を利用した革新的熱電材料の開発	DOWA ホールディングス(株)	10,400,000		量子物質研究グループ 教　授　中辻　知
強磁場マグネット用導体材料の開発とその応用	(国)物質・材料研究機構	0		附属国際超強磁場科学研究施設 教　授　金道　浩一
強相関 f 電子系化合物の物性科学研究	(国)日本原子力研究開発機構	0		凝縮系物性研究部門 教　授　榊原　俊郎
放射光及びレーザー光電子分光による強相関電子系の電子状態研究	(国)日本原子力研究開発機構	0		附属極限コヒーレント光科学研究センター 教　授　辛　埴
太陽電池の発光特性解析を用いた多接合太陽電池の耐放射線性向上の研究	(国)宇宙航空研究開発機構、(大)京都大学	0		機能物性研究グループ 教　授　秋山　英文
強磁場共用装置を用いた有機伝導体における磁気特性の解明・開発に関する研究	(国)物質・材料研究機構	0		凝縮系物性研究部門 助　教　下澤　雅明
磁歪の光ファイバセンサによる高速検出	(国)産業技術総合研究所	0		附属国際超強磁場科学研究施設 助　教　池田　暁彦
強磁場 NMR の開発と物性研究（物性研－物性科学研究機関連携研究）	(大)北海道大学		2,000,000	附属国際超強磁場科学研究施設 教　授　金道　浩一 准教授　小濱　芳允
多重膜環境下における熱物性測定法の開発と新奇物性探索（物性研－物性科学研究機関連携研究）	(大)横浜国立大学		1,000,000	附属物質設計評価施設 教　授　上床　美也
合　　計		64,184,546	3,000,000	

＜受託研究＞

研　究　題　目	委　託　者	受入金額（円）	研究代表者
メンブレン単結晶を用いた振動発電デバイスの創製	(国)科学技術振興機構	32,500,000	ナノスケール物性研究部門 助　教　高橋　竜太
水素をプローブとした固溶型ナノ合金の状態解析	(国)科学技術振興機構	15,080,000	附属中性子科学研究施設 教　授　山室　修
ナノ構造制御した金属触媒による CO_2 の活性化とメタノール合成	(国)科学技術振興機構	1,560,000	機能物性研究グループ 教　授　吉信　淳
カイラル反強磁性体におけるスピントロニクス機能の実験的開発	(国)科学技術振興機構	11,050,000	ナノスケール物性研究部門 教　授　大谷　義近
カイラル反強磁性体における起電力機能の実験的開発	(国)科学技術振興機構	10,400,000	量子物質研究グループ 教　授　中辻　知
光・量子科学研究拠点形成に向けた基盤技術開発	文部科学省	173,000,000	附属極限コヒーレント光科学研究センター 教　授　辛　埴
エネルギーの効率的な創出、変換・貯蔵、利用の新規基盤技術の開発	(共)自然科学研究機構	19,800,000	機能物性研究グループ 准教授　杉野　修
エネルギー貯蔵材料の動作下超高分解能放射光軟X線電子状態解析	(国)産業技術総合研究所	4,825,294	附属極限コヒーレント光科学研究センター 准教授　原田　慈久
機能物性・生体関連・デバイス関連化学分野に関する学術研究動向－機能物性化学と他分野の融合研究領域における新たな潮流と展開－	(独)日本学術振興会	1,690,000	凝縮系物性研究部門 教　授　森　初果
基礎科学のフロンティアー極限への挑戦（基礎科学の挑戦－複合・マルチスケール問題を通した極限の探求）（サブ課題B　相転移と流動）（サブ課題D　量子力学基礎と情報）	文部科学省	32,715,000	附属物質設計評価施設 教　授　川島　直輝
次世代の産業を支える新機能デバイス・高性能材料の創成	文部科学省	240,000,000	附属計算物質科学研究センター 教　授　常行　真司
基盤的計算機シミュレーション手法の検討	(国)物質・材料研究機構	43,867,272	附属計算物質科学研究センター 教　授　常行　真司
基盤的計算機シミュレーション手法の検討と水素を含む新規材料候補の探索と物性解析	(大)東京工業大学	1,900,000	附属計算物質科学研究センター 教　授　常行　真司
高強度テラヘルツ電場による量子多体系の非平衡物理の探索	(国)科学技術振興機構	41,470,000	附属極限コヒーレント光科学研究センター 松永　隆佑
非平衡強相関系に対する非平衡動的平均場理論とテンソル・ネットワーク方を中心とした量子シミュレーション手法の開拓とシナジー	(国)科学技術振興機構	10,672,000	附属物質設計評価施設 教　授　川島　直輝
「超先端材料超高速開発技術プロジェクト」のうち、「外場応答機能の電子状態計算部分の大規模化」	(国)産業技術総合研究所	9,545,000	附属物質設計評価施設 教　授　尾崎　泰助
濃厚ポリマーブラシのレジリエンシー強化とトライボロジー応用	(国)科学技術振興機構	0	附属物質設計評価施設 助　教　樋口　祐次
合　　計		650,074,566	

編　集　後　記

本年度第 1 号の物性研だよりをお届けします。4 月に森所長が就任し、物性研は新しい体制となりました。本号の森所長と瀧川前所長の寄稿から現在の物性研究所がおかれている状況がわかります。また、4 月には 2 人の所員と 5 人の助教・特任助教が着任しました。今後どのような研究が始まるかとても楽しみです。たくさんの情報が電子的に発信されているなかで、物性研だよりのような冊子のよさをこれからも大切にしていきます。

小　森　文　夫

物性研だよりの購読について

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．　送付停止
5．　送付冊数変更（機関送付分）

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