

物性研だより

第52巻
第2号

2012年7月

目次

- 1 極限コヒーレント光科学研究センターの設立・・・・・・・・小森 文夫
3 物性研に着任して・・・・・・・・・・・・・阪野 壘
4 中村 壮智
- 研究室だより
- 5 ○ 金道研究室
10 ○ 常次研究室
- 16 ISSP柏賞を受賞して・・・・・・・・・・・・・野澤 清和
18 鷲山 玲子
20 浅見 俊夫
21 杉浦 良介
- 22 第9回ISSP学術奨励賞受賞後所感・・・・・・・・・・・・・宮田 敦彦
25 Kittiwit Matan
- 物性研究所短期研究会
- 29 ○ 物性研究所共同利用スパコン成果報告会「計算科学の課題と展望」
- ISSPワークショップ
- 35 ○ トポロジカル絶縁体の表面電子状態
45 ○ 三軸分光器研究会
- 47 客員で行った研究の紹介・・・・・・・・・・・・・柄木 良友
49 客員所員を経験して・・・・・・・・・・・・・江口 豊明
51 工藤 昭彦
- 53 滞在記 客員准教授（2011年10月-2012年3月）として・・ 奥田 哲治
- 54 物性研究所談話会
55 物性研究所セミナー
- 物性研ニュース
- 64 ○ 小森文夫教授、第16回日本表面科学会学会賞を受賞
65 ○ 人事異動
66 ○ 東京大学物性研究所教員公募について
- 編集後記



東京大学物性研究所

Copyright ©2009 Institute for Solid State Physics,
The University of Tokyo. All rights Reserved.

ISSN 0385-9843

極限コヒーレント光科学研究センターの設立

ナノスケール物性研究部門 小森 文夫

物性研究所では、先端分光研究部門と軌道放射物性研究施設を統合した新しい研究センターとして極限コヒーレント光科学研究センターが本年 10 月 1 日に発足予定です。そこで、このセンターの概略とその設立の経緯などを紹介します。

物性研究所の極限レーザーグループは、これまで高強度超短パルスレーザー・高次高調波・コヒーレント非線型分光・量子光学などの研究を進め、真空紫外・軟 X 線領域での新光源を開発してきました。扱いやすく高性能な固体レーザーの出現など、レーザー技術と科学が著しく進歩したおかげで、新たに開発されたレーザー光源と分光法は、超高分解能光電子分光や超高速時間分解分光・非線型分光などとして物性科学への応用が可能になっています。また、物性研究所は、物性研究用の放射光リング(SOR-RING)建設をはじめとして、フォトンファクトリーに建設した二つのビームラインと SPring-8 に新設した東京大学放射光連携研究機構のアウトステーションビームラインにおいて、真空紫外・軟 X 線を用いた分光測定手法を開拓し、共同利用を推進してきました。放射光も蓄積リングの性能向上や長尺アンジュレータの開発により、輝度やコヒーレンスが著しく向上してきています。さらに、線形加速器ベースの X 線自由電子レーザー(XFEL)では、光学レーザー並みのコヒーレンスやパルス性をもつ光が軟 X 線や X 線領域においても利用可能になりつつあります。このレーザー光と放射光という二つの研究分野は長い間独立に発展してきましたが、光源利用技術、測定対象となる物質や追求する光科学などにおいて、既に共通部分が大きくなっています。しかし、歴史的な経緯からか、それぞれの光源を利用する技術と科学の融合はあまり進んでいないのが現状です。

そこで、物性研究所では、極限コヒーレント光科学研究センターを設立し、レーザー光科学と放射光科学の間の壁を取り払うことによって、新しい光物性科学を開拓することにしました。物性研究所には放射光とレーザー光の二つの光科学において世界の最先端をリードしてきた長い歴史がありますので、それらを用いた物性研究に目標を定めることによって両者の融合を進めていくつもりです。そして、このセンターが真空紫外・軟 X 線領域において極限的な性能を有するコヒーレント光源と先端的分光法を開発し、物性研の他の部門・施設との密接な研究協力と全国的な共同研究を展開することにより、物性科学を大きく前進させることができると考えています。

今回のセンター設立は、以下のような物性研内外での長年の検討の結果です。これまで物性研だよりでも紹介してきましたように、真空紫外・軟 X 線領域の光物性の研究計画であった高輝度光源計画が 2005 年に中止になりました。これは、物性研の柏移転以前から 15 年以上にわたり検討を重ね、東京大学柏キャンパス北側の未取得地に建設を予定していたものでした。そこで、その計画の一部を実現するために SPring-8 のアウトステーションビームライン建設が 2007 年に始まりました。一方、この未取得地で展開する新しい研究として、真空紫外・軟 X 線領域の極限レーザー光を用いたナノサイエンスを推進する計画を物性研内で検討し、同じ 2007 年には物性研究所の将来計画として「極限コヒーレント光ナノサイエンス研究センター計画」をまとめました。そして、その直後から新領域創成科学研究科と合同でこの計画を再検討し、より広い応用研究を視野に入れた「極限コヒーレント光科学研究センター計画」を東京大学に共同で提案しました。この計画は、2008 年に東京大学で全学的に検討され、推進されるべきであるという結論をえています。

2010 年春には、SPring-8 のアウトステーションビームラインの建設も進み、共同利用も順調に行われていました。一方、先端分光研究部門においては、「極限コヒーレント光科学研究センター計画」の準備研究として、レーザー光電子分光の開発研究が進み、限られたエネルギー領域のフェムト秒分光や超高分解能分光では、放射光以上の成果が得られつつありました。そこで、最新の高輝度放射光を用いた物性研究の将来計画を検討するとともに、全学的な「極限コヒーレント光科学研究センター計画」の一部を物性研内で先行して実地することを検討しました。それらの検討の

結果、最終的にふたつの部門・施設を統合し真空紫外・軟 X 線領域での研究を共同で行う本センターの設立にいたり
ました。

1980 年代から始まった表面物性研究の急速な発展やその後のナノサイエンスへの展開には、放射光の利用が不可欠
でした。また、固体表面分野では、1990 年代から真空紫外・軟 X 線レーザー光電子分光実験が行われ、電子ダイナミ
クスが議論されてきました。(最初に行われた真空紫外・軟 X 線レーザー光電子分光実験では放射光の分光技術が利用
されていたことを思い出します。)この二つの研究分野の融合を目指す物性研究所の極限コヒーレント光科学研究セン
ターは、表面科学やナノサイエンスだけでなく、広く物性科学の新たな発展に大きく寄与すると確信しています。本
原稿を執筆している時点(6 月 8 日)では、10 月のセンター発足にむけて議論が続けられています。その詳細は、具体
的な内容が確定した次号以降の物性研だよりで紹介する予定です。

編集(図書委員会)より： 極限コヒーレント光科学研究センターについての概要を、「物性研だより」
編集委員中で特に関係の深い小森所員に第一報として書いていただきました。記事の最後にもあります
ように、次号ではセンターの構成員から更に詳細をお伝えする予定です。どうぞご期待ください。

物性研に着任して

物性理論研究部門 加藤研究室 阪野 壘

本年 4 月 1 日付けで物性理論研究部門加藤研究室に助教として着任しました、阪野壘と申します。この場をお借りして、着任のご挨拶と自己紹介をさせて頂きたいと思っております。

私は高校卒業までは北海道旭川市で育ちました。最近では旭山動物園が話題になり、ご存知の方も多くなったと思います。その後大阪大学に進学し、川上則雄教授のご指導のもとで学位を取り、物性研着任まで 4 年間、物理工学専攻の樽茶清悟教授のもとで実験の議論をさせて頂きながら PD として理論の研究を続けてきました。

最近、メゾスコピック系の非線形電流の多体効果に起因した量子揺らぎの研究をしています。具体的には、近藤状態にある量子ドットに有限のバイアス電圧を印加すると、電流中にフェルミ液体の残留相互作用によって準粒子対が形成されます。この準粒子対が同調しながら電流中を運動することで、電流揺らぎが強く増幅されるという現象が起こります。このような多体効果に起因した量子輸送に特徴的な揺らぎを、完全計数統計という現代的な輸送の解析手法を用いて詳しく調べています。研究をすすめるにあたって、多くの物性研ゆかりの方々にお世話になって来ました。研究初期のショット雑音の解析では、上田研の藤井先生に多くのご教示を頂きました。実験では、この分野の先駆の実験で活躍をされている元勝本研助手の小林研介先生と議論をし、論文執筆にも参加させて頂きました。特に小林先生との議論ではその後の研究を進める上での多くの着想を頂きました。また、加藤研の前任助教の内海裕洋先生には完全計数統計の勉強を始めた頃、集中講義で多くの個人的な質問に丁寧にご教示くださったお陰で、その後の研究を加速的にすすめることができました。

更に振り返って私と物性研の関わりを思い出してみますと、初めて物性研を訪れたのは 2003 年のサマースクール“Quantum Transport in Mesoscopic Scale & Low Dimensions”でした。当時私はまだ修士課程の学生で研究を始めたばかりでしたが、メゾスコピック系の初学者にも非常にわかり易く講義されており、大変に勉強になりました。特に当時はメゾスコピック系の理論と実験がともに大きく発展し、多くの重要な研究行われ始めた時期であり、非常に刺激的な研究会だったと記憶しています。改めて当時の研究会のウェブサイトを見てみると、バンケットの写真が掲載されており、何人の方とはそこで知り合ってから、議論をさせて頂いてきたことに気がついた次第です。2 度目は樽茶研に移ってきた 2008 年です。面白そうなセミナーがあると慶応大の江藤先生がメールを転送してくださり、上田研の桐野さんの理論セミナーを見に来ました。その日はセミナー室から溢れるほどの人が集まっていて、外部からも多く人が来ていたようです。特に印象的だったのは、一つの問題にあらゆる側面からの質問が次々となされ、非常に活発な議論が行われていたことです。以来、いつかは物性研のような活発な議論ができる場所で研究をしたいという思いを強くしてきましたが、この度、物性研で研究ができることになり本当に嬉しく思っています。

思い返してみますと、私の研究の多く機会において、物性研究所で行われてきた活動、研究、人々によって直接的に励まされ、また影響されてきたことに改めて気が付かされました。今後は皆様から刺激を受けつつも、物性研究所の一員として微力ながらも研究やその他活動を通じて物性研究へ貢献できるよう、努力してゆきたいと思っています。まだまだ若輩者であり学ばなければならないことも多いので、ご指導、御鞭撻、よろしくお願ひいたします。

物性研に着任して

ナノスケール物性研究部門 勝本研究室 中村 壮智

2012年4月からナノスケール物性研究部門勝本研究室の助教に着任しました中村壮智と申します。着任から2ヶ月が経ち、ようやく柏での生活にも慣れてきました。私は高校までを大阪府の北摂地域で過ごし、学部・大学院時代を京都大学で過ごしたのですが、このたび物性研で研究することになって初めて関東に出ることになり、色々な面でとても緊張しておりました。これまで研究してきた京都大学の周辺に比べると、柏の葉の街は人が少なく初めは戸惑いましたが、その雰囲気が出身地である北摂地域とも少し似ていたことや、人が少ないというのは同時にとても静かで落ち着いているということであり、今はすっかりこの環境に馴染んでおります。もちろん周辺環境だけではなく、物性研究所の施設も研究環境として非常に良いところだと感じております。多くの設備が整っているというだけではなく、様々な分野で世界的に活躍している研究者の方々が集まっており、色々な最先端の物理に常に触れることができる環境はとても刺激的で楽しく感じられます。

私はこれまで京都大学の前野悦輝教授のもとでスピン三重項超伝導体と考えられている Sr_2RuO_4 の研究を行ってきました。研究室の他の皆が比熱や磁化などの熱力学量の測定を主に行う中、私は「超伝導接合」という少し異なるアプローチで研究を進めてきました。通常のスピン一重項超伝導体である鉛を Sr_2RuO_4 に接合することで、スピン一重項超伝導とスピン三重項超伝導を干渉させ、接合の導電特性を通じて Sr_2RuO_4 の超伝導の性質を調べるといふものです。私が研究室に入ったときにはバルクの電気伝導測定をする人はいたものの、超伝導接合の研究を行っている人はおらず、ほとんどノウハウもない状態から研究を始めました。そのため躓くことも多々ありましたが、前野教授はもちろんのこと、多くの方から色々な面で助けていただきながら一步一步進んでいきました。超伝導接合の作成では試料合成とは全く違う困難が多く、金属の蒸着や Sr_2RuO_4 基板の加工などでは研究室内の技術だけではどうしても解決できない問題もありましたが、研究室外の方、特に京大低温物質科学研究センターの寺嶋教授には基本的なことから丁寧に教えていただき、それら乗り越えることができました。薄膜の蒸着や微細加工技術など、研究室にない色々な新しい技術に感心したこともありましたが、また、当初は超伝導接合特性を測定できる環境が全く整備されておらず、既存の装置を組み合わせ、プログラムを一から書いて環境を整えていきました。色々な装置の相性やノイズ、プログラムのバグなどで苦しめられることもありましたが、自分の手で構築した環境で初めてきれいなデータが取れたときにはとても感動したのを覚えています。超伝導接合の実験では接合界面の状態が極めて重要で、質の悪い素子では何を見ているのかわからなくなり、袋小路にはまったような感覚がします。しかしそんな陰鬱な気分も綺麗なデータが出ればあっという間に吹っ飛びますし、それが実験の醍醐味だと思います。私はこの超伝導接合の研究によって、 Sr_2RuO_4 が Ru との共晶体の中で超伝導位相の実空間でのトポロジーを変化させる可能性を実験的に初めて示しました。これは、 Sr_2RuO_4 と Ru の界面の存在に起因していると考えられ、トポロジカル超伝導体として Sr_2RuO_4 に予想されている非自明なエッジ状態との関連も興味深いものです。

これから研究を行う物性研においても、新しいことに取り組み物性科学の発展に尽力したいと思っております。勝本研究室には私自身これまで経験したことのない装置や技術も多く、今までとは研究対象も変わります。しかしこの新たな分野に挑戦できることを嬉しく思っておりますし、とても楽しく研究をさせていただいています。今後こちらの研究に私の経験を併せることで、今までなかった新しい風を吹かせることができればと考えています。まだまだ未熟者でございますが、ご指導ご鞭撻のほどよろしくお願いいたします。

研究室だより

金道研究室

国際超強磁場科学研究施設 金道 浩一

1. はじめに

『我々はどこから来てどこへ行くのか、その目的は何なのか?』という疑問にお答えするのが本稿の主旨である。と言っても、形而上学的な話では無く、『金道研はどこから来てどこへ行くのか?その目的は何なのか?』について述べたい。研究には明確な目的があるものばかりではないし、目的を明らかにするのは、自らの研究を合目的な手段に貶めてしまい、内在する価値を隠してしまうものだが、金道研は明確な目的があって作られた研究室なのでここに明示しておこうと思う。また、ちょうど良い機会なので、ここにその目的と現段階での達成状況を示し、皆様のご批判を仰ぎたいと考える次第である。さらには金道研が無事終わりを迎えた暁には検証材料として本稿を利用していただければ幸いである。

2. 金道研はどこから来たのか?

日本にはパルス強磁場の拠点が二カ所ある。強磁場の発生技術は特殊なので 40 テスラ以上の強磁場を用いた研究を実施するにはそれなりの設備と空間が必要になる。従って、国内で限られた拠点を形成し、ユーザーが必要に応じて利用に来る形態が効率的である。その拠点のひとつが物性研でもうひとつが阪大強磁場である。筆者が研究を開始した頃はこの二つの拠点にはそれぞれの特徴があり、物性研は破壊型パルス、阪大強磁場は非破壊型パルスを主とした物性研究を行っていた。ただ、物性研には非破壊型パルス磁場もあったため、完全に役割分担をしているわけでは無かった。具体的に言うと、当時、阪大では伊達式 2 層マグネット で 60 テスラまでの測定を行っていたのに対し、物性研でも非破壊で 45 テスラ程度までの測定が行われていたのである。共同利用研究の観点からすると磁場は低くとも非破壊型パルスの方が破壊型パルスに比べて使いやすいため、多くのユーザーがこの 45 テスラマグネットを利用していった。

一方で、阪大強磁場は共同利用研では無いため、ユーザーからの測定依頼は限定的であった。1990 年代前半の時点で 60 テスラの測定が可能であったのは世界でも阪大強磁場だけであったので、厳選された研究テーマを実施するスタンスで共同研究が進められていた。ただ、もし阪大強磁場にも共同利用の仕組みがあったとして、この 60 テスラマグネットを供する事が可能であったか?と考えると、答えはかなり否定的である。当時のマグネットは 60 テスラを 3-4 回発生すると内コイルの絶縁物がせり出すため、分解して絶縁物を交換する必要があり、データを 1 点取るのにかかる労力は甚大であった。そのため実験の頻度は一週間に一回が限度であり、とても共同利用的なサービスには馴染まなかった。従って、当時の阪大では普通の測定は 40 テスラにとどめて、さらに強磁場が必要と認められた特別な測定のみ 60 テスラに挑戦できる仕組みであった。その後、阪大強磁場は筆者が責任者となり、巻線式の『金道マグネット』を開発することにより常時 60 テスラまで、また特別に 70 テスラまで測定することが可能となった[1]。このマグネットは、60 テスラならば約 500 ショット、70 テスラで約 100 ショットを発生出来たため以前のマグネットよりも共同利用的な使用が可能となっていた。こうなると物性研との関係は微妙となる。例えば、物性研で測定したが磁場が足りないので阪大で測って欲しいといった内容の依頼が舞い込むようになったのである。筆者は、70 テスラまでの測定がワンストップで出来る事がユーザーにとっての利益であると考え、物性研の客員所員制度を利用して物性研に金道マグネットを設置しようとしたのだが、結局はうまく機能しなかった。その理由は、70 テスラの測定がマグネットの能力をぎりぎりまで引き出して行っているため、短期間のサイクルでマグネットを交換する事が必要だからである。さらに悪いことには、金道マグネットは物性研のコンデンサ電源との整合性が悪く、実際には 14 ショット程度がマグネットの寿命であり、その度ごとに交換するのは、これまで何年間も交換無しに使い続けるマグネットに馴れてしまっているとたいへん面倒くさいものである。また物性研においては破壊型が主であり、非破壊型が副次的な位置づけにあったという物性研の文化の違いもあったのかとは思うが、いずれにしても金道マグネットが根付くことは無かった。

そうこうするうちに転機が訪れた。2001 年に開催された物性研短期研究会において、強磁場を使った研究者の中から、

パルス強磁場および定常強磁場の拠点間で連携してユーザーの要望に応えるための『強磁場フォーラム』を結成すべしとの提言[2]がなされたのである。これが物性研と阪大の関係を考える契機となり、さらには翌年、IUPAPでの議論を受けて、定常強磁場とパルス強磁場のギャップを埋めるための『長時間パルス強磁場』建設に向けた議論が開始されたのである。前者の『強磁場フォーラム』は2002年に結成された[3]。このフォーラムはその後、日本の強磁場の将来計画に大きな影響を与えることになった。まずフォーラム内で強磁場施設の将来計画について検討を重ねた結果、施設間で強力な連携を保ちながら運営を行い、『強磁場コラボラトリー』と呼ばれる仮想的に統合された実験施設を形成する計画を策定した。現在、国内の強磁場施設は強磁場コラボラトリー計画に則り運営を進めているが、これについては後述する。また、強磁場フォーラムは『長時間パルス強磁場』についての検討結果をまとめた報告書[4]を作成し、計画を進めるべきであるとの提言がまとめられた。しかしながら、実際に『長時間パルス強磁場』を発生することの出来る電源を整備するには約50億円の費用がかかる点が障害となり実現は困難と考えられていた。筆者もこの金額を聞いて可能性は無いと思っていた。ところがここでも偶然が重なり、可能性が僅かながら出てきたのである。まず電源候補のひとつとしてあげていた直流発電機が無料で譲ってもらえるかも知れないとの連絡が入ったのである。それは日本原子力研究所(当時)の核融合試験装置 JFT-2M のトロイダル磁場発生用に使われていた電源で、ギネスブックにも認定された世界最大の直流発電機であった。この知らせを受けた筆者は、即座に原研に飛んでいき発電機を譲ってもらいたい旨を伝えた。原研の担当者では発電機は無料で譲れるが、移設にかかる費用だけでも10~20億円になると聞かされた。この金額を聞いて再び、可能性が消えたな、と思った。当然、すぐには費用を捻出することは無理なのでそれまで維持運転を継続してもらえる様をお願いをして、これは快く引き受けてもらった。この背景には、この発電機が直流発電機として技術の粋を集めた最高傑作であり、このまま廃棄するのはもったいない事、また廃棄するだけで3億円程度の費用がかかる事などの理由があるが、何よりもスムーズに事が運んだのは、安岡先生が原研の先端基礎科学研究センター長として様々な便宜を図っていただけためである。

強磁場フォーラムでの討議の結果、その費用は物性研からの概算要求で出す事に決まった。筆者は、もし長時間パルス強磁場プロジェクトが走れば、自分が中心となって計画を進めたいし、自分が担当することが最も効率的であるはずと思いながら阪大で概算要求の結果を待っていたのだが、一回目の要求では認められなかった。物性研では、もう一回だけは概算要求を出してみようとなったらしい。その時、阪大で要求が認められるのを待っているのは甘いのでは無いか? 通るかどうかは別にして物性研に乗り込んでこそ周りも本気だと認めてくれるのでは無いかという意見があり、物性研の所員に応募することになった。確かに、退路を断つことで筆者の気持ちを表す事も物性研に応募した理由ではあるが、ただ待つよりも行動した方が面白いと考えたことが一番の理由であった。幸いにも物性研所員として採用されることになり[5]、ここに金道研がスタートすることになった。金道研としての最初のミッションは、この概算要求を認めてもらうことであつたが、これも幸運なことに、文科省で設備の再利用を推奨する話が出たこととマッチする提案であった事も追い風となって、『強磁場コラボラトリーの形成』が認められ、発電機を移設することが可能となったのである[6]。事業名からも分かるように、これは強磁場フォーラムが策定した強磁場コラボラトリー計画の最初の事業となったのである。概算要求事項の中にはコンデンサ電源の整備も含まれていたのだが、これは発電機で発生する磁場と合わせて100テスラを作るために必要な電源である。予算的には発電機移設の費用がかさみ、コンデンサ電源に回せる金額がわずかとなっていたのだが、ここでも幸運なことにコンデンサ電源を譲ってもらえる事になった。物質・材料研究機構(NIMS)から1.2MJ(5kV)バンクをもらい、産総研(AIST)からは2MJ(15kV)および0.5MJ(10kV)をもらえる事になった。

これで一応の材料は出そろい、金道研のやるべき事が以下の通り確定した[7]。

- ① 最大60テスラ、秒単位の長時間パルス磁場を発生し、精密な物性測定を可能にする。
- ② 非破壊100テスラのパルス磁場を発生し、ユーザーが気軽に使える100テスラを提供する。
- ③ 強磁場科学を担う若手研究者を育成する。

このミッションを遂行するのが金道研の目的であるが、電源が整備されるまでの最初の5年間で研究環境も整えられ、3年前くらいから磁場発生に全力を注ぐことが出来るようになった。これは当然、金道研スタッフの能力によるところが大きい。次に、金道研スタッフの紹介をしたい。

3. 金道研は何かから出来ているか？

松尾晶技術専門職員：阪大強磁場から一緒に移ってもらった。直流発電機を維持運転するためには専任の職員が専門的知識を持ちながら継続的に管理する必要があるため、現職に就いてもらった。発電機およびコンデンサ電源を用いた磁場発生を担当しつつ、パルス磁場を用いた共同利用研究の面倒も見てもらっている。筆者に最も近いスタッフである。

鳴海康雄前助教(現在は東北大金研准教授)：筆者より少し遅く阪大強磁場から移ってもらった。金道研の遺伝子を受け継ぐ数少ない研究者で、基本的にすべて任せることの出来るスタッフであった。研究者としては筆者より明らかに優秀であり、日本の強磁場の将来を担う人材であるが、優秀な研究者は考えすぎる傾向があるので注意してもらいたい。

川口孝志技術専門職員：2005年12月に物性研工作室から移ってもらった。マグネット製作を担当してもらっている。マグネット製作はパーツの作成、コイルの加工など機械加工が命である。しかも相当に要求が高い。阪大時代は谷口氏が担当してくれていたのだが、物性研でその役割を果たしてくれる人がいなかったためマグネット開発は不可能であると悩んでいたところへ工作室からの移籍を希望してくれた。すべてにおいて金道研にはまっている様に見えるし、今では川口氏無しでは金道研の業務はあり得ない。しかし体の割には繊細で、ハードな業務で時々ダウンするのが心配である。

近藤晃弘助教：鳴海前助教の後任である。何でも出来るが、どちらかと言えば強相関伝導系の実験をカバーしてもらっている。パルス磁場中での測定開発も担当している。完璧に金道研に溶け込んでいるため、ずっと前からいるような気もするがそんなはずは無い。筆者は近藤オリジナルを築く事を期待している。

小濱芳充特任助教：Hans Schneider-Muntau氏がNHMFLをリタイアする際にシンポジウムが開催され、筆者はTallahasseeに招待された。せっかくここまで来たのなら、とLos Alamosにも連れて行かれた時、そこで偶然出会ったのが小濱氏であった。元々は比熱測定が本職で、これからLos Alamosのパルス磁場で比熱測定の装置を開発するつもりであると会話したことを覚えている。その後、折に触れて進捗状況を聞いていたが、順調に装置開発に成功し、研究成果が得られるようになっていた。ちょうどポストクの任期が終わるといので三顧の礼を以て物性研に迎えたのである。小濱氏のミッションは0.1秒以上のパルス磁場を用いた比熱測定である。特にロングパルス計画でのセールスポイントのひとつが比熱測定なのでキーパーソンの一人である。

坂井義和特任研究員：坂井氏は金道マグネットに必要な不可欠な銅銀合金線の生みの親である。マグネットの発生出来る限界磁場は材料強度に強く依存しており、高強度の線材特性は最も重要である。坂井氏には2007年から従来の特性を超える銅銀線の開発をお願いして来たが、NIMSを退職された2011年からは現職に就いてもらい強磁場に特化した開発に専念してもらうことが可能となった。現在、線材強度は1.1~1.2GPaが試作される段階で、後述するように磁場のピークを伸ばすことに成功した。また、ロングパルスマグネットに用いる断面積の大きな線材についても0.9GPaもの強度を持つ線材の開発に成功しており、60テスラの安定的な発生への見通しが立った。今後も、強度の上昇を目指した開発を続けてもらうと同時に、安定的に大量生産するための工夫を考えてもらう予定である。

4. 金道研で出来た事は何なのか？

①ロングパルスマグネット

60テスラ、1秒間のマグネットは未だ出来ていない。今のところ、発生出来る磁場は30テスラ、0.5秒間にとどまっている(図1)。45テスラ、1秒間の磁場発生が可能なマグネットは3/4まで完了している(図2)。

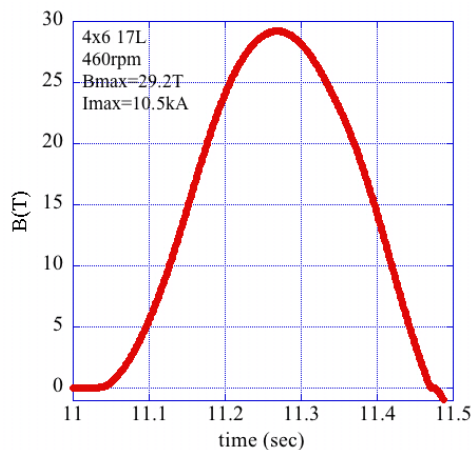


図1 4mm×6mmの平角銅線で作られた17層コイルによる磁場波形。ピーク磁場は約30テスラ、時間幅は約0.5秒にとどまっている。



図2 45テスラ、1秒間の磁場を発生するマグネット。この外側にもう一段のコイルを巻けば完成である。

前節で触れた様に、優れた特性の銅銀線の開発に成功したため、60 テスラ、1 秒間のマグネット製作が可能になった。新たに開発された線材は 4 mm×6 mmの断面積で引っ張り強度が 900MPa 程度である。一個の鋳造材から作られる線材長が約 130m と短い点が問題ではあるが、これも解決の方向に進んでおり、来年度にはマグネットを試作する予定である。

②100 テスラマグネット

非破壊 100 テスラマグネットも未だ出来ていない。今のところ、発生できる磁場は 87.7 テスラにとどまっている。これは、内径 18 mmの 11 層コイルに補強した 1 層コイルを内挿した二段パルスで達成した磁場ではあるが、11 層コイル単独の一段パルスで 85.8 テスラに達している事を考えると不十分な結果である。今後は、一段パルスの磁場の上昇と内径の拡大を目指し、内挿コイルでの磁場を増加することで 100 テスラに近づく予定である。

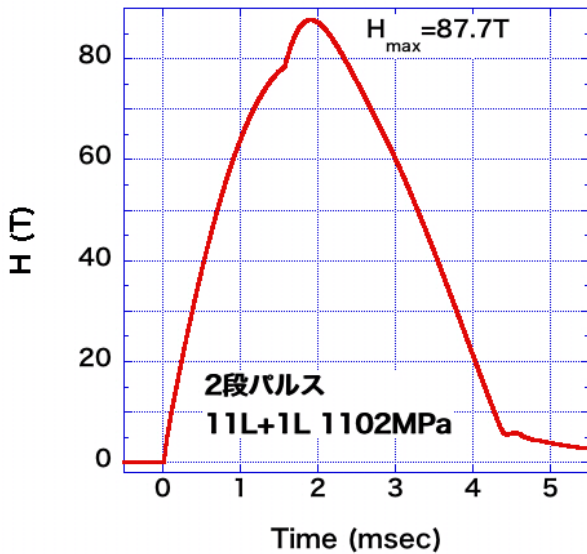


図 3 2 段パルスで発生した 87.7 テスラの磁場波形

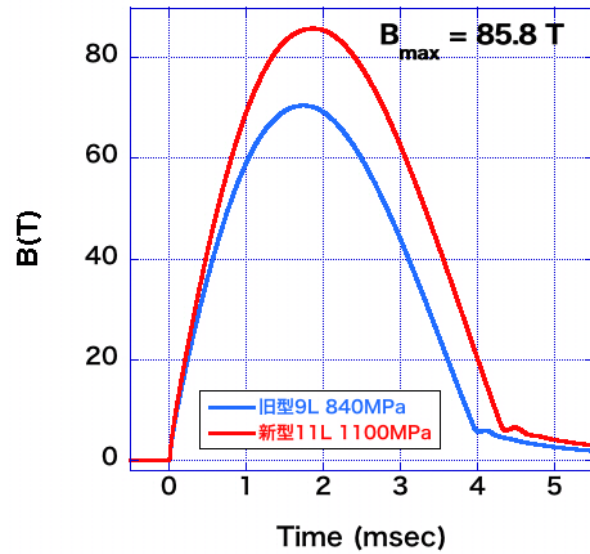


図 4 新旧パルス磁場の比較。新方式マグネットでは線材強度のメリットが活かされており旧式マグネットの限界磁場よりも約 15 テスラ増加している。

昨年、100 テスラマグネットに向けた開発で大きな進展があり、100 テスラの達成に希望が出てきた。進展その 1 は、マグネットの作り方を変更することで従来の作り方に対して 10 テスラ程度の磁場上昇が得られたこと。進展その 2 は、内径 18 mmのマグネットで層数の最適化を行えたこと。進展その 3 は、1.1~1.2GPa の強度を持つ銅銀線材の実用化に成功し、0.9GPa 程度の線材に比べて約 4 テスラの磁場上昇が認められたことである。これらの結果から分かったことは、以下の通りである。

- I. マグネットの新しい製作方法(未公開)は限界磁場の上昇には有効
- II. 線材の強度は限界磁場の上昇に有効
- III. ある内径に対して、最適な層数が存在する

これらは、これまで漠然とは思っていたものの、結果の比較によって明確な差異が現れるには至らなかった事柄である。ここで明確になった事実は、ロングパルスマグネットの開発にも反映することが出来るため、マグネットの設計において非常に重要な知見を得たと考えている。

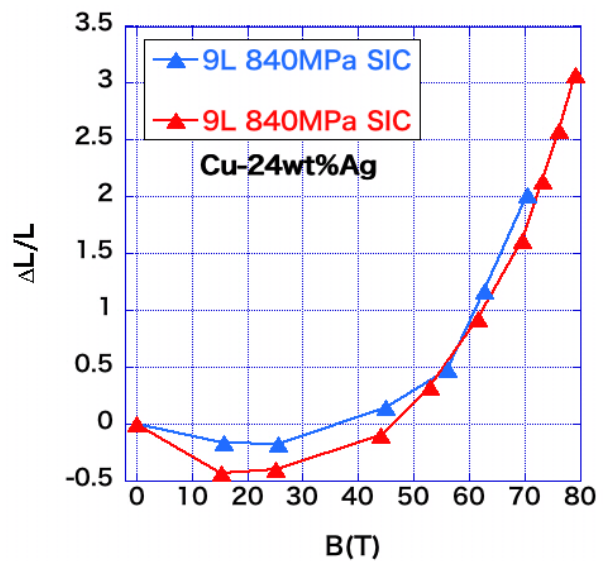


図 5 新旧マグネットで比較したインダクタンスの変化率。旧方式ではインダクタンスが抑えられていたにもかかわらず 70 テスラでコイルが破壊していた。

今後はコンデンサ電源の改造を行い、マグネットの大型化を進める。現在は NIMS から移設した 1.2MJ バンクの高電圧化を進めており、これによって 2 mm×3 mmの線材を 2.5 mm×4 mmおよび 4 mm×6 mmの線材に拡大していく。また、AIST から移設した 2MJ バンクを用いてマグネットの多層化+大型化を行う。

5. 金道研はどこへ行くのか？

金道研に残された時間は僅か 15 年弱である。これまでの経験から、新しいマグネットの開発から安定的な運用までは約 10 年かかる。従って、責任を持って利用してもらえるマグネットは今後 5 年間の内に開発する必要がある。60 テスラのロングパルスマグネット、100 テスラマグネットの両方とも 5 年間で基本構造を決定し、残りの期間で微調整を行うことが理想的である。幸いにも、現在の研究体制は非常に良く機能しており、このまま集中して開発に当たることが出来れば結果は約束されたような物である。

金道研に残された大きな問題は、強磁場マグネットを開発できる若手研究者が未だ見つかっていない事である。しかもこの問題は解決の方策さえも見つかっていない。パルス強磁場にとってマグネット開発は必要不可欠である。開発は続けるからこそ新たな材料が見つかり、マグネットを更新出来る。もし維持するだけの技術であれば 10 年もするとマグネットの陳腐化は避けられず世界に取り残されてしまうであろう。物性研の強磁場および日本の強磁場科学が世界最先端を走り続けるためにもポスト金道を今から育てたい。

最後に、強磁場コラボラトリー計画の現状について述べたい。我が国における定常強磁場およびパルス強磁場研究施設が安定的に連携した運営を行うためには各拠点での電源と研究実施体制の整備が不可欠な状況となっており、その整備スケジュールをまとめている。整備事項の内、「長時間パルス磁場電源の移設」や「1000 テスラ磁場発生装置の整備」などの計画の一部は実施済み(実施中)であるが、これらに続く計画としてのマスタープランが学術会議に取り上げられている。欧米の巨大施設に対抗するためにはこれらの計画は必要不可欠であり皆様のご支援をお願いしたい。

参考文献

- [1] 金道浩一、固体物理 **38** (2003) 15.
- [2] 物性研短期研究会報告書「強磁場研究の現状と将来」(平成 13 年 3 月 2 日開催)
- [3] <http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/labs/mgsl/himag-forum/index.html>
- [4] 「強磁場物性の現状と将来展望 長時間パルス強磁場施設建設に向けて」平成 14 年 7 月強磁場フォーラム編集
- [5] 金道浩一、物性研だより **45** (2005) 1.
- [6] 金道浩一、日本物理学会誌 **62** (2007) 189.
- [7] 金道浩一、固体物理 **44** (2009) 905.

研究室だより

常次研究室

物性理論研究部門 常次 宏一

物性研究所に着任してからそろそろ 6 年になりますので、この間のわれわれのグループの研究活動について物性研だよりの紙面をお借りして紹介させていただきます。

まず、研究室の構成を簡単に紹介します。私は 2006 年の 9 月に京都大学の基礎物理学研究所から異動して物性研の物性理論研究部門に着任しましたが(4-8 月の間は兼任)、阪大基礎工で学位を取られた服部一匡氏を翌年 4 月に助教として迎えて研究室の立上げが本格化に始まりました。大学院では理学系研究科物理学専攻に所属しており、2008 年の 4 月に最初の学生が 2 名研究室に入って来ました。現在のところ、D3 に進学したその内の 1 人を含めて博士課程に 2 名、修士課程に 1 名在籍しています。また、ポスドクとして佐藤年裕氏がおり、私を含めた 3 名の研究スタッフと 3 名の学生という構成で、実験の研究室に比べるとコンパクトなサイズです。また、幸いなことに海外から 2 度にわたり共同研究者を外国人客員所員として迎えることができました。2007 年 8 月から 5 箇月間にわたり米国、ウィスコンシン大学ミルウォーキー校の Daniel Agterberg、2009 年 1 月から 3 月にはフランスのグルノーブルから Michael Zhitomirsky が滞在し、共同研究を行いました。

私の中心研究テーマは強相関電子系、量子スピン系の理論ですが、物性研に着任以前からその中でも特に、フラストレーションの効果という点に興味を持って研究しています。良く知られているように、幾何学的にフラストレートした系においては、相互作用の競合効果によって非常に多くの状態が低エネルギー領域に密集しています。これらの縮退した状態が量子揺らぎによって混成されて、スピン液体を始めとしてさまざまな興味深い状態が現れることが期待されているわけですが、われわれのグループは絶縁体スピン系のみならず電子の遍歴性がさらに関与することで現れる新しい物理の探究を行っています。このテーマでは、主に、遷移金属化合物で初めて重い電子的振舞が観測された LiV_2O_4 の電子状態 [1]、三角格子有機導体 κ -ET 塩のモット転移近傍の電子状態 [2] と電気伝導 [3] の研究を行いました。スピン系の新奇な量子相に関しては、私が基研にいた時代に、当時前野研究室におられた中辻知氏(現、物性研新物質科学部門所員)を中心とするスピン 1 三角格子反強磁性体 NiGa_2S_4 のスピン液体的振舞の発見に触発されて開始したスピンネマティック相の研究を、いくつか違う方向に展開しています。例えば、擬一次元フラストレート強磁性体 LiCuVO_4 の飽和磁場近傍でスピンネマティック相が出現する可能性を、マグノン対のポーズ凝縮という視点から解析して予言しました [4]。これについては、それらしい徴候が阪大の萩原グループ達によってその後、発見されています。また異なるテーマとしては非調和フォノンの関与する物理があります。物性研の廣井研究室で精力的に実験が行われた β パイロクロア物質におけるラットリングイオン振動とそれが媒介とする超伝導については、イオンポテンシャルの 3 次の非線形性と超伝導転移温度の関係 [5] を詳しく調べるとともに対称性の変化しない isomorphic 相転移 [6] を議論しました。さらに、Larkin-Ovchinnikov 状態に代表される超伝導体のクーパー対の振幅が空間的に周期構造を作っている相の、渦糸などのトポロジカル励起にも興味を持っています [7]。この超伝導クーパー対の密度波の熱揺らぎによる融解現象には、スピンネマティック相に通じる秩序変数の非自明な高次構造という側面もあり興味深いところです。

以下ではいくつかの研究について少し詳しく内容を紹介します。

三角格子モット転移におけるフラストレーション効果

電子が動き回っていてもフラストレーション効果はあるのでしょうかという質問をしばしば受けます。勿論、よく研究されている典型的なフラストレーション系はスピン系です。金属については伝統的な見方に従って、状態密度に代表されるフェルミエネルギー付近の電子構造が似ていれば、結晶構造がフラストレートしているかどうかは大事ではないと思われるかもしれませんが、フラストレーション効果が大きな役割を果たすと期待される場合があります。それは電子間斥力

U の強い強相関電子系です。この場合には、強相関効果によって磁気励起のエネルギースケール J が電子のバンド幅 D に比べると、 D/U のオーダーで小さくなります。また、強相関効果があると電子の伝搬のコヒーレンスが抑制されるため、磁気励起は近距離の反強磁性相互作用が支配的になります。この時、結晶構造がフラストレートしているかどうかの本質的に大事になってきます。

電子密度が half filling で電子間斥力がバンド幅より十分大きくなるとおこるモット金属絶縁体転移は、元々、磁気秩序などの自発的対称性の破れをなにも伴わない転移として提唱されました。これは、まさにフラストレーションが本質的に重要となっている舞台と言えます。モット転移の理論的な理解は動的平均場の描像で正しく与えられていると信じられています。これによると、金属と絶縁体の相境界の低温側が金属相、高温側が絶縁体相となりますが、その原因は絶縁体相の持つ大きなスピントロピーによって高温で自由エネルギーが大きく減少するためです。スピン液体的振舞を示すことで有名な三角格子有機導体 κ -ET 塩は正にそのような温度圧力相図を示しますが、類縁物質 κ -(ET)₂Cu[N(CN)₂]Cl はリエントラントな金属絶縁体転移を示し、一番低温側では再び絶縁体相が出現ししかも反強磁性秩序も示します。

この類縁物質の特徴は電子論的に三角格子が歪んでおり、1つの方向の磁気交換相互作用が他の2方向に比べて少し弱くなっていることです。当時理研におられた大橋琢磨氏(現、阪大理学研究科)たちと一緒に、この特徴によってリエントラント金属絶縁体転移が現れるかをハバード模型の大規模数値計算によって研究しました [2]。フラストレーションの特徴を取り入れられるように手法はクラスター動的平均場法と呼ばれるものを用いました。その結果を用いて、実験の温度圧力(T - P)相図に対応づけることのできる U - T 相図を決定し、実際にこの物質に対応するパラメータでリエントラント転移が出現していることを確認することができました。

面白いのはリエントラント転移がどのように起こっているかと言う点です。そのために、高温と最低温の絶縁体相および中間温度の金属相において1電子スペクトルを計算しました。その結果、高温絶縁体相から中間温度金属相になる転移(正確にはクロスオーバー)は通常のコスモト転移と同じ性質を持っており、零エネルギー付近の準粒子ピークの出現・消失が転移の本質です。一方、中間金属相から低温絶縁体相の1次転移においては、スペクトルの準粒子ピークが消えるわけではなく、2つに分裂して間にギャップが生じることが本質と分かりました。このギャップはその外側にあるモット・ハバードギャップに比べると遥かに小さなサイズです。この準粒子ピークの分裂は例えば、反強磁性秩序が出現したときなどの自発性対称性の破れを伴う金属絶縁体転移で起こるものと良く似ています。低温側の相転移線近傍で磁気揺らぎを計算したところ、確かに非整合のスピン揺らぎが発達していることが分かりました。ただし、低温側の絶縁体相に入ったばかりのところでは未だ常磁性であり、発達したスピン揺らぎにドライブされて1次の絶縁体転移が起こると解釈できます。スピン秩序は金属・絶縁体相境界の近くの場所で2次転移によって出現します。

この電子スペクトルの変化は角度分解光電子分光実験によって観測が可能です。リエントラント金属絶縁体転移の各々の相で観測したスペクトルを比較することにより、このような磁気揺らぎとモット物理の協奏による物理描像が成立しているかどうか確認できるので、興味を持たれた実験家がチャレンジして下さることを期待します。

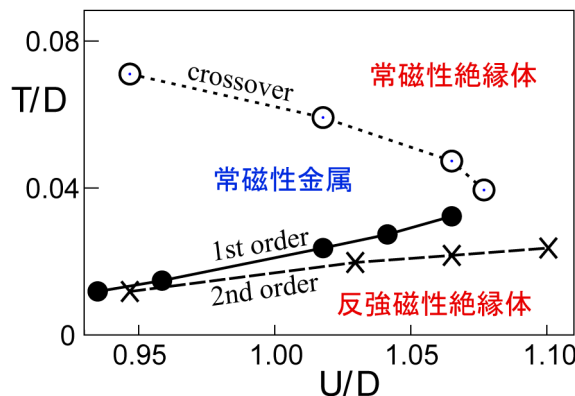


図1 異方的三角格子ハバード模型の相図。ホッピングパラメータ $t_1=t_2, t_3=0.8t_1$, バンド幅 $D=8.45 t_1$

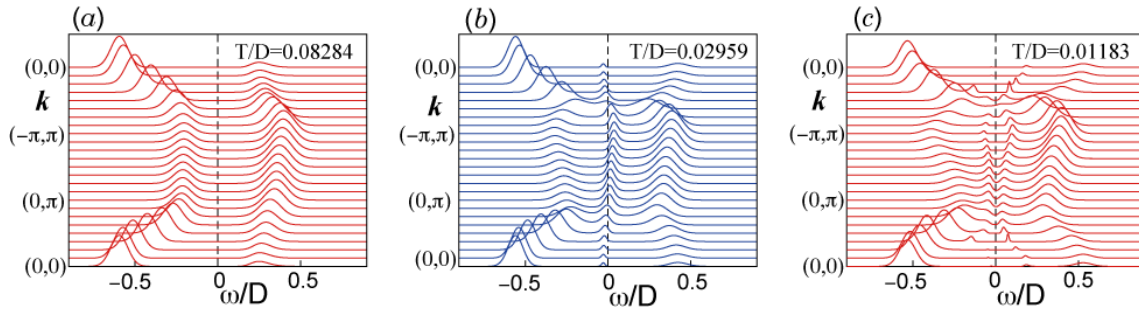


図 2 1 電子スペクトル関数の温度変化。 $U/D=0.947$ 。

モット転移における電気伝導臨界現象

強相関電子系の相転移点における輸送係数の特異性は、理論的にも良く判っていない、基礎的でかつ重要な問題です。モット転移における電気伝導度の特異性は最も典型的な例の 1 つであり、近年、実験研究もいろいろ行われるようになってきた今後のさらなる発展が期待されるテーマです。

モット転移自身は熱力学的な転移で、理論的には気体液体転移と同じくイジング普遍クラスと呼ばれる熱力学量の特異性を示すと説明されます。イジング模型では温度 T に加えて、秩序変数の磁化に結合する外部磁場が相転移の制御パラメータとなりますが、モット転移においては理論的に最も簡単な秩序変数の選び方は電子の 2 重占有率 $d = \langle n_i \uparrow, n_i \downarrow \rangle$ で、その場合に外部磁場に対応する制御パラメータはクーロン斥力、ハバード模型でいうと原子内クーロン相互作用 U となります。実験の解析では気体液体転移の場合と同じく、電子当たり体積（密度の逆数）と圧力を秩序変数と制御パラメータと考える方が便利ですが、基本的には同じことです。モット転移の臨界終点において比熱や 2 重占有率が T, U に対して示す特異性は、イジング模型の臨界指数によって与えられます。

モット転移は金属絶縁体転移であることで分かるように、特異性を最も顕著に示す物理量は電気伝導です。3 次元構造をもつ酸化物 V_2O_3 のモット転移における直流電気伝導度の実験データが解析され、3 次元イジング模型の秩序変数と同じ臨界的振舞を示すと結論づけられました。一方、準 2 次元三角格子構造をもつ有機導体 κ -ET 塩の場合には 2 次元、3 次元のどちらのイジング模型とも結果が異なりました。そもそも、熱力学量ではない電気伝導度が秩序変数と同じ臨界的振舞を示すという予想は理論的には不思議なものでどこまで正しいのでしょうか。そこで、三角格子ハバード模型を用いて電気伝導度の数値計算を臨界点近傍で行うことにしました [3]。数値計算はポスドクの佐藤年裕氏が中心となってやってくれました。

我々の用いるクラスター動的平均場法はやはり基本的には平均場近似なので、臨界指数の正確な値を求めることは期待できませんが、秩序変数と同じ臨界指数を持つかどうかの判断は可能です。温度を臨界温度に固定してクーロン斥力 U を強くしていき臨界点の値 U_c を横切るときの伝導度の振舞は、もしも秩序変数と振舞が一致するという予想が正しければ、 $|\Delta\sigma| = |\sigma - \sigma_c| \propto |U - U_c|^{1/\delta}$ となり δ はイジング模型の臨界温度における磁化過程の臨界指数 $|m| \propto |h|^{1/\delta}$ です。平均場理論では良く知られたように $1/\delta = 1/3$ です。

確かに我々の計算結果は、秩序変数の 2 重占有率は $1/\delta = 1/3$ の臨界指数を持つ事を示しましたが、電気伝導については半分程度の値 $1/\delta \sim 0.16$ しか持ちません。従って、電気伝導が秩序変数と同じ臨界的振舞を示すという予想は、少なくともハバード模型に関しては成り立ちそうにありません。正確に言うと、図にプロットしているのは直流電気伝導度ではなく光学伝導度の低エネルギー部分の重みで、金属領域ではドルーデ重みに対応します。我々の計算の範囲では、直流伝導度とドルーデ重みの示す臨界性は一致しており、このことは輸送緩和時間は特異性をほぼ持たないと言ってよいことです。伝導度の臨界指数の信頼できる値を求めるには、数値的手法では不十分で解析的な新手法を開発する必要がありますでしょう。強相関電子系の非平衡現象の理論という未開拓の沃野は難しいけれど挑戦しがたいある研究テーマで、実験グループからのインプットをいろいろ頂きながら今後もさらに研究を進展させていきたいと思っています。

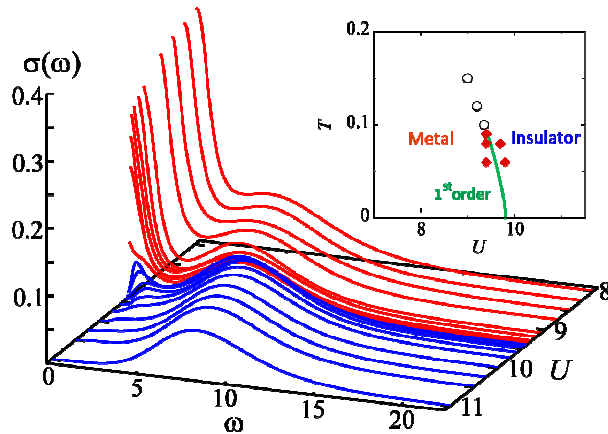


図 3 half-filled 三角格子ハバード模型の光学伝導度のクーロン斥力 U による変化。温度 $T=0.1$ 。エネルギーの単位はすべてホッピングパラメータ t 。(inset) U - T 相図。

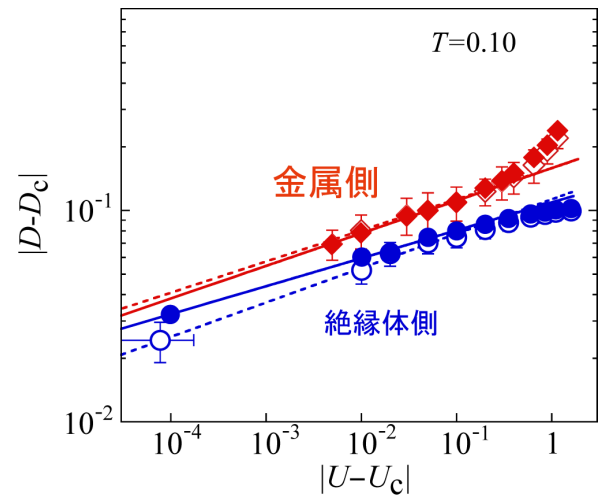


図 4 光学重みのスケリング。エネルギーの単位はすべてホッピングパラメータ t 。

重い電子的振舞を示す LiV_2O_4 のスピン・軌道相関

フラストレートした金属として恐らく最も有名な物質はバナジウムスピネル LiV_2O_4 でしょう。相関の強い d 電子をもつ V イオンは 3 次元フラストレート格子の代表であるパイロクロア格子を組んでおり、イオン 1 個あたり平均 1.5 個と非整数の価電子をもち金属です。この物質は約 50K 以下の低温で比熱や磁化率が大きく増大し、 f 電子が主役となる Ce や U をベースとする重い電子系物質にひけを取らない大きな値を示す事で非常に注目を浴びてきました。

この「重い電子的」振舞の起源については、大きく分けて 2 つの説があります。1 つは、 f 電子と同じく近藤効果起源であるという考えです。 V イオンの d 軌道は結晶場によって分裂し、1.5 個の価電子は 3 重縮退した t_{2g} 軌道に入っています。その内の 1 個が局在スピンとなり、残りの 0.5 個分が伝導電子の役割を果たして近藤効果が起こっているというシナリオです。このアイデアは大変魅力的ですが、 V の $3d$ 電子は f 電子に比べてバンド幅は広く逆にクーロン斥力はかなり弱いのに、どうして同程度の有効質量の増大が起こるのかを説明するのは難しいでしょう。2 つめの説はフラストレーション効果によってエントロピーが低温まで解放されないまま保たれていることが、低温比熱などの増大の起源というものです。我々は基本的に 2 番目のフラストレーション説を支持するものですが、近藤不純物の場合のように定量性をもった予測ができる精緻な理論がある訳ではありません。

そこで、服部助教と一緒に、 LiV_2O_4 の現実的な微視的模型から出発して実空間繰り込み群を用いた有効モデルを構築することにより、低エネルギー領域で何が起きているのかを明らかにすることを目指す事にしました [1]。微視的模型としては、 t_{2g} 軌道から構成されるパイロクロア格子上の 3 軌道ハバード模型を考えるのが現実的です。バンド幅を与えるタイトバインディングパラメータや、原子内クーロン相互作用(同一軌道内 U , 異なる軌道間 U' , フント結合 J)は第一原理計算やスペクトロスコピー実験データから見積もることができますが、バンド幅とクーロン斥力は共に大雑把に言って eV のオーダーはありますから温度でいうと 1 万度のレベルです。一方で重い電子系の振舞いが顕著となるのは 50K 付近ですので、非常に大きなエネルギースケールの変化が必要なわけです。

具体的には、パイロクロア格子の結晶構造ユニットが四面体であることを考慮して、繰り込みの第 1 段では V イオン 4 個から成る四面体ユニット、第 2 段では 4 個の四面体ユニット、すなわち V イオン 16 個のクラスターの電子状態を数値的および解析的に計算し、どのような自由度が低エネルギーセクターにあるのかを考察するとともに、有効模型のエネルギースケールがどのように繰り込まれるかを計算しました。

繰り込みの第 1 段目で分かったことは、 V イオン 4 個のユニットの電子状態が非常に簡単に理解できるということでした。クーロン斥力が電荷揺らぎを抑制することを考えると、ユニット当りの平均電子数 6 個を中心に少し電荷が揺らいだ 5-7 個の場合を考えれば十分そうです。ユニットには 4 個の V イオンがあり各イオンは 3 つの t_{2g} 軌道を持ちますが、これらが混成して形成される 12 個の分子軌道の内、エネルギーが最低の E 軌道と次に低い T_2 軌道の 2 つを考えるだけでほとんど十分だということがわかりました。まず E 軌道に 4 個の電子が入り、残りの電子が T_2 分子軌道に入るのです。

原子内クーロン斥力の値はそれほど小さなものではないので、分子軌道描像がよいというこの結果は驚きであり、この単純さによって次の段階まで計算を進めることが可能となりました。

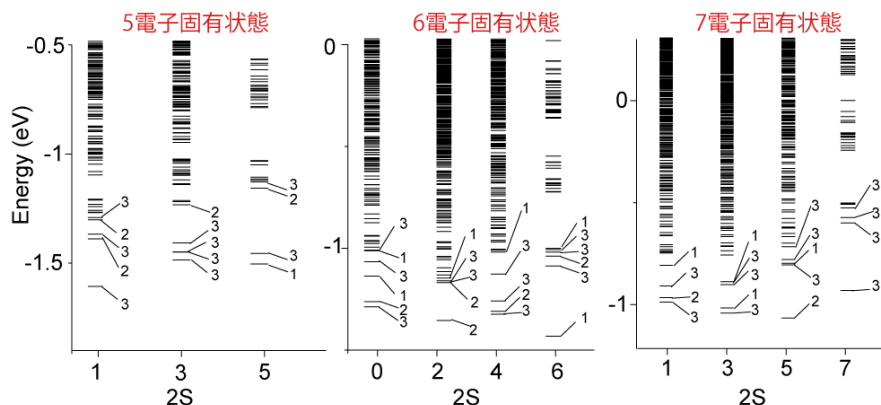


図5 四面体クラスターの多電子スペクトル。Sは全スピんで図中の数字は縮重度。

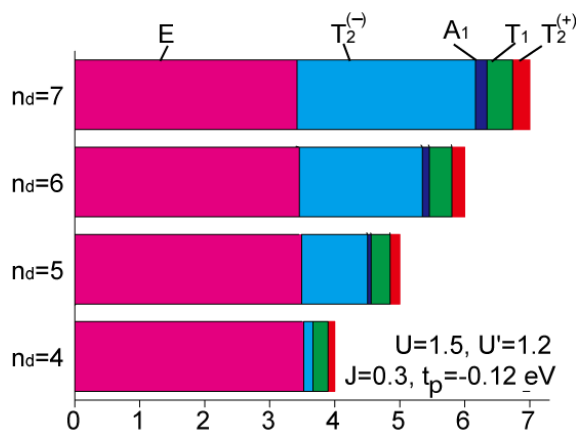


図6 4電子から7電子の基底状態における各分子軌道の占有数。

実はこのレベルで近藤シナリオの成立が難しそうということが分かります。近藤シナリオにおいては、局在スピンを形成する電子は t_{2g} 原子軌道の内、正四面体ユニットの中心を向く a_g 軌道に入り、伝導電子の役割を果たす軌道はそれに直交した e_g 軌道です。分子軌道 E は e_g 軌道のみから作られており、 a_g 軌道の占有数は小さく約 1/3 程度しかありません。これは局在スピんからかけ離れた状況です。

これらの四面体ユニットは fcc 格子を構成しています。ユニット間には電子のホッピングとスピン、軌道の Kugel-Khomskii 的な交換相互作用が働きます。計算の結果、まずこれらの交換相互作用の大きさが非常に小さいことが分かりました。例えばスピン相互作用については、超交換型と二重交換型の寄与がキャンセルして、残りが小さくなってしまいます。また、スピン、軌道およびその複合型の交換相互作用が互いに競合することが分かりました。このために、4 クラスターの基底状態はいくつかの異なる量子数をもつ低エネルギー励起状態とほぼ縮退していることが分かりました。この縮退が LiV_2O_4 で低温で残っている大きなエントロピーの起源になっていると考えられます。これらの状態は興味深い事に、スピンと軌道の自由度がエンタングルした状態になっており、エンタングルの仕方のさまざまな組み合わせがエントロピーを生み出しているのです。

また、有効模型の範囲で計算したエントロピーやスピン帯磁率の温度変化は中間温度領域の実験結果を半定量的に説明できるものとなっています。

以上、簡単な紹介でしたが、今後も強相関電子系を中心としてさまざまな面白い物理を見つけることにチャレンジしていきたいと思ひます。

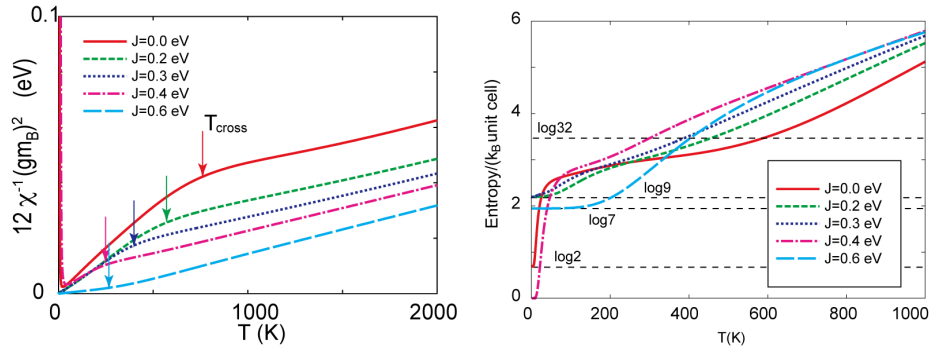


図 7 有効模型で計算したスピン帯磁率とエントロピーの温度変化。キュリー定数のクロスオーバーがおこる温度 T_{cross} は、それ以下で 4 面体クラスター内の電荷揺らぎが抑制される温度スケールとなっている。

- [1] K. Hattori and H. Tsunetsugu, Phys. Rev. B **79**, 035115 (2009).
- [2] T. Ohashi, T. Momoi, H. Tsunetsugu, and N. Kawakami, Phys. Rev. Lett. **100**, 076402 (2008).
- [3] T. Sato, K. Hattori, and H. Tsunetsugu, arXiv:1111.5371.
- [4] M. E. Zhitomirsky and H. Tsunetsugu, EPL **92**, 37001 (2010).
- [5] K. Hattori and H. Tsunetsugu, Phys. Rev. B **81**, 134503 (2010).
- [6] K. Hattori and H. Tsunetsugu, J. Phys. Soc. Jpn. **78**, 013603 (2009); *ibid.*, **80**, 023714 (2011).
- [7] D. F. Agterberg and H. Tsunetsugu, Nature Phys. **4**, 639 (2008); D. F. Agterberg, M. Sigrüst, and H. Tsunetsugu, Phys. Rev. Lett. **102**, 207004 (2009); D. F. Agterberg, M. Geracie, and H. Tsunetsugu, Phys. Rev. B **84**, 014513 (2011).

ISSP柏賞を受賞して

東日本大震災への復興支援

—第9回ISSP柏賞受賞に寄せて—

放射線管理室 野澤 清和

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震及び東日本大震災によりお亡くなりになられた方々の御冥福をお祈りするとともに、被害を受けた方々及びその関係者の方々に対し心よりお見舞い申し上げます。また、被災地域の一日も早い復旧・復興をお祈りいたします。

[はじめに]

第9回 ISSP 柏賞を浅見さん、杉浦さん、鷺山さんと共同で受賞しました。受賞理由は、震災からの復興支援ですが、物性研の全ての方が何らかの形でこれに尽力していることは間違いありません。我々は皆さんを代表して受賞したものと考えています。ありがとうございました。

これで終わりにしては、「物性研だより」にのせるにはあまりにも短いので、震災に対応して、何を行ったかを主に放射線関連のことについて書いていこうと思います。ただし、多忙を極めたことと瞬時に判断しなければいけないことが多く、時系列が混乱し、また、何をやったのか覚えていないことも多いので、間違いがあった場合はご容赦ください。

[キャンパスでの対応]

地震当日 3 月 11 日は柏キャンパスに帰宅困難者が出ましたが、けが人もなく建物にも大きな被害はありませんでした。放射線管理室は当日の検査では放射線の漏洩等の異常は見られず、週が明けた 14 日に設備等を詳しく点検したところ、異常は見られませんでした。

福島第一原発が水素爆発したため、緊急会議が開かれ、環境放射線(空間ガンマ線量率、以下「線量率」)の測定を始めました。15 日 13 時からは 30 分おきに測定し、14 時 30 分に $0.72\mu\text{Sv/h}$ という値に突然上昇しました。ここから 15 分程度の間隔で測定し続けたところ、17 時 7 分にはバックグラウンドレベル(B.G.)に下がりました。また、14 時 30 分の測定後すぐに、管理区域の空調を止め、外部の放射性物質を管理区域に入れないようにしました。

一方、本部でも災害対策本部が設置され、環境放射線対策プロジェクトが立ち上がり、柏キャンパスの専門家として、新領域の三谷教授、朽名助教、物性研の家所長、野澤、大海研の渡辺技術職員がプロジェクトの協力者となりました。柏キャンパスが共同して環境放射線を測定することとなり、線量率の測定は、当分の間毎日 9 時から 18 時以降まで 1 時間毎に行うこととなりました。専門家同士が協力することを前提に、原則として、平日及び土曜日は野澤が、日曜日は大気海洋研の渡辺氏が測定し、日曜のデータはその夜に野澤が確認することとなりました。ここから 5 月 4 日までの休日のない日々が始まりました。

15 日夕方から、ほぼ B.G. に下がっていた線量率は、21 日 9 時の測定から約 $0.7\mu\text{Sv/h}$ になりました。私が 20 日まで連続測定していたため、この日は家所長が代わりに測定していました。15 時頃私が戻り、線量率の急上昇と変動が少ないことから、雨により放射線物質が降下したと推定しました。線量率は、この後、日を追うごとに減少し、その傾向は I-131 の半減期とほぼ一致しました。

おそらく 4 月の初旬頃、線量率の自動測定用の機材が本部のプロジェクトから送られました。しかし、接続法等の説明が何もないため、測定器の校正・接続法・データの転送法などを一から調べ、やっと、5 月 4 日から自動測定をできるようになりました。この件では計算機室の矢田さんに助けていただきました。

[一時帰宅者への支援]

6 月 6 日から 8 日まで避難区域への一時帰宅支援(スクリーニング)のため、文科省からの派遣で福島市にいきました。福島市は約 $1\mu\text{Sv/h}$ 付近の線量率でした。市民は通常と変わらない生活をしており、安堵しました。6 日 19 時より 19 時から 21 頃まで福島県庁で翌日の作業の打合せをし(食事はこの後)、翌朝 5 時に起床し、県庁に向かいました。食事等は

一切出ず、また、体育館は非常に暑いという情報があったので、コンビニでおにぎりとお茶を購入しました。6 時頃には中継基地(川内村村民体育センター)に向かって出発し、8 時半頃到着しました。避難住民の方々は、中継基地に 9 時に集合し、参加受付、立入時の注意等の説明がされました。また、軽食、飲み物が支給され、その場で飲食していました。トイレ等の確認の後、防護服を着用し、10 時半頃からエアコンの効いたバスに乗り、それぞれの区域に入り、自宅に立ち入りました。説明等の邪魔になるため、この間我々のやることは何もありませんでした。避難住民の方々が出発した後、簡単な打合せを行い、検査区域に汚染防止のため、ビニール等をかぶせる等の作業を行いました。その後、避難住民の方々が戻る前に食事、着替え等を行いました。電気事業連合(電事連)から派遣された人には昼食、飲み物等が支給されますが、我々には一切支給されませんでした。避難住民に配られた軽食、飲み物等は余っているのですが、我々のところには配給されることはありません。体育館の個室は連絡・会議用に電事連に押さえられており、着替え、食事は俗に言う、2 階の卓球場で行い、当然遮るものは何もありません。体育館の中は 30℃を超えており、タイベックス(防塵服)は風を全く通さないため着ると汗だくになります。高齢者の多い避難住民の方々が同じく防塵服を着て炎天下の中一時帰宅している状況なので、文科省からの派遣組は住民の方々の脱水症状を心配していました。

15 時過ぎ頃から一時立入していた避難住民の方々が戻ってきます。スクリーニング時間を出来るだけ短縮することで住民の負担をできる限り軽くするため、スクリーニング作業は 3 人一組で行いました。防塵服の上から汚染の有無を測定し、また、運び込まれた荷物の汚染も測定しました。幸い、ほとんどの方は脱水症状もなく、また、汚染された方もいませんでした。この作業が 17 時近くまで続きましたが、防塵服を脱ぐことはできず、汗で下着までビショビショな状態でした。避難住民の方々が避難所に帰られた後、我々は乗ってきたバスで福島に戻りました。朝に持ってきた飲料以外何もないため、かなりのどが渴いたことを覚えています。また、下着の着替えがないため、帰りのバスの中でエアコンにより乾いたため、寒く感じました。

県庁に戻ってから、翌日の打合せのため、県庁に 21 時頃まで残され、その後食事となったため、その日の夜も弁当を買って宿泊先で食べました。6 月 8 日は前日同様 5 時起床、コンビニでおにぎり飲み物(お茶と水)を買い、6 時頃中継基地(広野町中央体育館)に向けて出発しました。前日同様の作業をし、18 時頃に県庁に戻ってからすぐに解散になりましたが、シャワーも浴びることができず、汗だくのまま新幹線に乗り、柏に戻りました。やはり体が冷え、風邪を引くかと思いました。

[その他]

時間がかかった仕事は以上のようなものですが、放射線管理の専門家としてキャンパス内外での活動を行ってきましたので、項目のみ述べさせていただきます。我孫子市役所の職員に対する説明会、ドングリ保育園(以下、保育園)保護者への説明会、キャンパスの線量率分布の測定、保育園の線量率測定、多目的広場の線量率測定、保育園の除染作業に対する線量率測定と評価などです。これらは、キャンパスの専門家との協力で行い、また、本部の専門家とも協力して行ったものもあります。放射線関係の仕事は、これで終わったわけではなく、現在でもいろいろな場所の線量率の測定等の作業を行っています。

[最後に]

今回の震災により、人が安全と安心を結びつけること、及び、きちんと怖がるのがとても難しいということがよく解ったように思います。「危険がある。」と言うことは簡単ですが、その程度を科学的に理解することが、非常に大事なことではないかと思います。ゼロリスクを追って、もともと小さなリスクを多大なコストを使って少し下げた場合、他のリスクが非常に大きくなることがあります。我々は科学者としてリスクを科学的に評価し、安全を科学的に判断することが必要であり、安全を安心に結びつけるような心の努力が必要であると思います。

私見ですが、数値が一人歩きしてしまい、必要などころにいくべきものが、無駄に使われてしまわないようにしてほしいと願っています。リスクがかなり低いところに、かなりのお金をかけてほんの少しだけリスク下げるのならば、大きなリスクを持っている福島等にそのお金を渡して、大きくリスクを下げて上げられればいいのに、と思っています。

ISSP 柏賞を受賞して

低温液化室 技術専門職員 鷺山 玲子

この度はこのような賞を頂きまして有り難う御座います。受賞の所感を、といわれたのですが、紙面を通じて広く読んで戴ける機会を頂いたので、ここでは受賞内容に関して私が経験した事を少々書かせて頂こうと思います。



図1. 被災した国際沿岸海洋研究センター
(岩手県 大槌町・3階まで津波で浸水し全壊)

3月11日、その時、私は柏キャンパス内の自室で業者さんと打ち合わせをしていました。地震発生後すぐに屋外待避の館内放送が流れ、他のスタッフと業者さんを避難させた後、私と同室の土屋さんはその場に残りヘリウム液化機を通常停止させ各種高圧ガス製造設備の安全確認をしつつ物性研本館前に避難しました。幸いにして我々の設備には地震による直接の被害はなく安堵したのも束の間、次第に判る津波による甚大な被害に呆然としました。やがて原発事故の影響が電力不足という形で我々にも波及し、計画停電対応のため暖房を切った居室で3月の寒さに耐えながら過ごしておりました。

春分の日の連休を挟み、ようやく日本全体が正常化してきたかな？と感じ始めた週の終わりの金曜日、3月25日に今回の大槌行き依頼の電話が舞い込んできました。物性研低温液化室はヘリウムの液化を通して長年「高圧ガス保安法」に親しんでいる事から高圧ガスの専門家として柏キャンパス内の産業医巡視に同行し、キャンパス内全てのガスボンベの管理点検等を行っています。そのような関係もあり、当初は環境安全本部を介して同室の土屋さんに依頼が来しました。

一方、液化室では2010年度から2年に渡ってヘリウム液化機の更新を行っていたのですが、幸い主な更新作業は2月中にほぼ完了しており地震による影響はほとんどありませんでした。しかし、3月中旬に予定されていた最後の仕上げの旧液化機用圧縮機の全開放オーバーホール(OH)が震災の影響で年度末のぎりぎりの3月最後の週に延期され、この作業日程が大槌行きの日程と被ってしまい、彼が柏に残らないとOHに関する詳細な現場指示が出せなくなる事もあって依頼をお断りする方向で話をしていました。依頼の電話が来た時、私は丁度、土屋さんの隣の席にいまして、話に聞き耳を立てながら、どうしたものかなぁ、と思いつつ土屋さんの方を見たら、受話器を握った土屋さんと目が合いまして、まあ、あとは何も考えずに、私で行けば行きますよ、とお受けした次第です。そういった意味では、この賞を受賞していたのは、本当は土屋さんだったのかもしれない。

さて、少し今回被災した大気海洋研究所(以下、大海研)国際沿岸海洋研究センター(以下、沿岸センター)の話をする、沿岸センターは岩手県大槌町にあり、三陸沖の重要な研究拠点となっているそうです。大槌町は遊覧船が津波で民宿の上に乗上げて取り残された映像がよくテレビで流れたので、その映像で町の名前も記憶に残っている方が多いかと思います。幸い沿岸センターの方には人的被害は出なかったの



図2. 釜石市の町の入口にて
(動かない信号・新日鐵釜石製鉄所内に山積みされたがれき)

すが、建物は津波で全壊し直後に町内に発生した火災の為、火の粉の舞うなか山中を歩いて避難し、その夜は運良く無事だった老人ホームに寄せて貰い、すいとん三切れの夕食で不安な夜を過ごしたそうです。

私が参加した大海研による大槌派遣第五次隊は、大海研の方が3名、本部事務から施設部、資産管理部の方が各1名、それに私の計6名で構成されましたが、この五次隊で初めて大海研以外の方が同行したそうです。また、私は前述の事情もあり長く柏を離れる事ができなかったため、他の五次隊のメンバーとは別に自家用車で現地近くの宿(といっても震災の影響で宿の閉鎖や復興支援者で既に満室で、100km以上も離れた場所にしか確保する事ができませんでした)まで行き、本隊と合流後現地に向かい、現地で解散、という往復も含めて3日の短い行程でした。

震災から3週間ほど経ちようやく高速道路が一般開放された週の月曜日、3月29日に柏を車で出発し、常磐道・東北道を経由し花巻付近の鉛温泉で一泊した後、3月30日、大海研の車を先導に大槌町へ向いました。被災地に近づくにつれ増えていく自衛隊・警察・復興支援の車両や物々しい雰囲気、病院などを目にし、その度に身の引き締まる思いでした。被災地に入ると、製鉄所の敷地内に山と積まれたがれき、津波に呑まれ機能しない信号、川沿いに津波の遡上によって想像を超えた場所まで運ばれた車やトラックや家屋と、次々に津波による被災状況が否応なく目に飛び込み覚悟はしていたものの車のハンドルを握りながら、なんと表現したらよい事やら、と息をのむばかりでした。

隊に課せられた【ミッション】はいくつかありましたが、私は先の経緯から沿岸センター敷地内の「高圧ガスボンベ類のチェック」をメインに、がれきが散在する敷地や建物に入り、ガスボンベ類の確認作業を進めました。幸いにして既に捜索隊(自衛隊など)によって、ほぼ全てのガスボンベのバルブが閉められ安全性が確保されており安堵しました。また、作業中、行方不明者や何かしらの物を探し求めて敷地内を散策する地元の方が見受けられたので、そのような方が何かを探しに建物内に入った時や復興作業時に二次被害が出ないように、という注意点だけ、建物にマーキングして現地を後にしました。このように極短い滞在時間ではあったのですが、大槌町の方ともお話しする機会が二・三有り、今でも思い出すのは、海を見ながら「何でもあったんだけどねぇ。。。と今にも心が折れそうな顔でつぶやかれていた事です。

その後、東大からも多くの方が沿岸センターや地域復興のボランティアなどに入られたと聞きましたが、私は気になりながらも、夏の節電対応や震災対応で溜まった通常業務に追われ大槌に行く機会もなく過ごしておりました。先日、物性研で開催された技術発表会に同じ柏キャンパス内にある大海研の技術職員の方も来られたので、その後の話を伺ったところ、沿岸センターの先生方は既に大槌町でのお仕事を再開されているようで、あたりが暗くなると沿岸センターの建物にも明かりがつくそうです。そして、その明かりを見て、町の人たちは希望の光だと話しているのだ、と。そのお話しを伺い、大槌町で東大が町の復興のシンボルになっている事を思うと、極々僅かではありますが復興への足がかりとしてお手伝いさせていただいた私としてもお役に立てたようで嬉しく思います。



図4. センター3階外階段踊り場から臨む蓬莱島(ひょっこりひょうたん島のモデルとされている)

最後になりますが快く現地に送り出して頂いた家所長、液化室のスタッフ、派遣に伴う諸手を速やかに処理して頂いた事務部をはじめとする物性研の皆様、そして仲良くお留守番してくれた夫と娘にも感謝いたします。今回の派遣は私にとっても非常に貴重な経験となりました。地震・津波被害でお亡くなりになられた方のご冥福を心からお祈りいたします。また、被災地の一日も早い復興をお祈りしております。



図3. 室内に入り込んだLPガスボンベ

ISSP 柏賞を受賞して

中性子科学研究施設 浅見 俊夫

この度、ISSP 柏賞をいただき、誠にありがとうございます。また、推薦、選考していただいた皆様に御礼申し上げます。

今回の受賞の理由となった東日本大震災の復興ではありますが、物性研究所の皆さんが等しく被災し大変な思いをそれぞれされていると思います。授賞式でも、野澤さんが言われた通り、技術職員全員が表彰され、たまたまその代表に選ばれたのだという気持ちでおります。

地震発生時には、出張のため東海に居ませんでした。翌日には東海に戻り、3/13 の日曜日には、日本原子力研究開発機構の JRR-3 の炉室、ガイドホールの実験装置の状況確認を行いました。写真も撮ることができ、その晩にネットが確保できたので、写真を Web サービスにアップロードして、装置責任者に一先ず状況をお知らせすることができた事で、少しは役目を果たすことができたのかなと思っています。学外の装置責任者の方には、東海、装置の状況が分からない中で、写真で装置の状況をお知らせできたことで、少しは装置の被災状況の把握の助けになったかと思っています。

装置の被災については、前年の耐震対策が功を奏し、什器の転倒物が少なかったことで、復旧作業にも障害が最小限に抑えられ、順調に復旧を進めることができました。転倒物と落下物が散乱している状況では、何から手を付けて良いものか分からず、気が滅入っていたと思います。

また、それまで数台の装置を修理、改造を行う事はありましたが、物性研究所管理の 9 装置の復旧を全て同時に行わなければならないという状況は初めての経験でした。詳細な被害を把握するために 5 月下旬から 6 月の 2 週間で装置責任者に協力いただき装置の被害状況調査を行い、それをもとに復旧作業の計画を立てました。一装置ずつ順番に復旧していく作業の中で、原子力機構と復旧予定とクレーンなどの使用予定などを毎週の連絡会議の中で調整しながら進めていきました。この打合せのおかげで、原子力機構の現場サイドと話がよりし易くなり、お互いの交流をより深めることにつながりました。今後も、このつながりを大事にし、これからの JRR-3 の大学共同利用につなげていければと思います。

最後に、2 度にわたる救援物資や、衛生用品の支援など、柏の皆様には大変お世話になりました。ありがとうございます。

ISSP 柏賞を受賞して

中性子科学研究施設 杉浦 良介

ISSP 柏賞を賜りましたこと深く御礼申し上げます。本件は東日本大震災の復興に関して頂いたものであり、皆様方のご協力なくしては受賞もなかったと思います。ご協力頂いた物性研教職員の皆様に深く御礼申し上げます。

被災地域以外の人に茨城県東海村在住であることを伝えると、(最近は少ないが)高い確率で「震災の揺れてどんな感じだったか?」と聞かれます。実は私は直接被災をしておらず、3月10~12日の予定で京都大学原子炉実験所(KUR、大阪府熊取町)へ出張していました。地震発生時間も施設の見学を行っており揺れは全く感じませんでした(KURの震度計も反応しなかった)。そして16時頃に電話があり地震があったことを聞きました。当初は直接揺れを感じていなかったもので軽く考えておりましたが、TVを見て愕然としました。宮城、福島県の沿岸部を中心に津波の被害が甚大であることが報道されていました。東海村駐在の物性研職員ともほとんど連絡がとれず、その日に戻れる可能性が無くなったので、水や非常食を持てるだけ買って次の日の早朝に出発することにしました。次の日は新幹線のみ再開すると連絡があったので、新幹線でとりあえず東京に向かうことにしました。東京からは自家用車にて、(常磐道は全区域通行止めになっていたため)国道6号線で東海村を目指すことにしました。千葉県までは多少渋滞している程度でしたが、茨城県に入ったあたりから混み始め、途中より停電のため信号機が点灯なくなり、橋が通行止めになり迂回路が渋滞を起こすなどで結局東海村に到着したのはその日の夜になってしまいました。東海村は水道、電気等のライフラインは全て止まっており、電気は3/14に復旧しましたが、水道の復旧には3/19まで掛かり通常の生活を送ることはできませんでした(復旧日時は地域毎に差があります)。また、ガソリンは供給が遅れて3,4時間待ちでも購入できなかったり、買っても2000円分くらいの制限付きだったりという状況が続きました。今の生活は電気とガソリンに相当依存していることを痛感しました。

私が所属している中性子科学研究施設は、茨城県東海村にある研究用原子炉 JRR-3 から供給される中性子線を利用し、中性子散乱法を用いた各種実験装置を全国共同利用に供しており、技術職員は JRR-3 における大学所有の中性子散乱分光器及び付属設備の保守、更新を主に業務として行っています。今回の震災により JRR-3 も安全上深刻な損傷は無かったですが被害を受けました。装置の修繕やビームラインの修正等の作業を行い、現在はほとんどが復旧を致しました。各装置責任者やご協力を頂いた皆様に深く御礼申し上げます。

このような状況の中で復興に向けて進んで来られましたのも皆様方のご協力があったからこそであると思います。2回に渡り柏キャンパスより支援物資を送って頂きましてありがとうございました。

第9回 ISSP 学術奨励賞受賞後所感

国際超強磁場科学研究施設 嶽山研究室 宮田 敦彦

私が修士課程・博士課程を通して行ってきた研究成果「600 Tに至る極限超強磁場によるクロムスピネル酸化物の全磁化過程の解明」に対して、今回 ISSP 学術奨励賞を頂きました。そこで、これまでの5年間を振り返り、研究の経緯を述べていこうと思います。

私は、平成19年4月に嶽山研究室の修士1年生として入学し、同期の学生に大坪勇貴君がいました。そして、研究室として2つのテーマが僕らに与えられ、「クロムスピネル酸化物の超強磁場磁化測定」を私が行うことになり、「カーボンナノチューブにおけるアハラノフ・ボーム効果の観測」を大坪君が行うことになりました。僕らの学年は、非常にラッキー(?)な学年であり、大坪君とともに修士1年生の頃から室内世界最高磁場を発生可能な電磁濃縮法に携わることができました(嶽山研究室に所属していた修士学生のほとんどは、電磁濃縮法を用いた実験に携わらず卒業してしまいます)。その当時は、電磁濃縮法磁場発生装置の大変さを知らず、世界中で誰も行っていない磁場領域でオリジナルな研究を次々どできるものだと思っていました。しかし、電磁濃縮法を用いてきれいな超強磁場磁化過程が得られるようになったのは修士論文発表会の2週間前であり、測定結果を得るには長い道のりとなってしまいました。そして、博士課程に進学後も悪戦苦闘が続きました。これは、測定の際にコイルが破壊するだけではなく、試料やクライオスタット、トランスファーチューブといったものが全て破壊するために一回一回の測定に2~3週間かけて準備する必要があり、加えて、ほとんどの実験に失敗が付いて回ったためです。例えば、非破壊型のコイルである種磁場コイルが実験時に破壊してしまい磁場が得られなかったことや超強磁場発生に伴う強烈なノイズによりトリガーがかかってしまいデータを取り込めていないといったこともありました。大坪君の測定の際には、電源スイッチの一つが誤動作してしまい、スタートスイッチを押す前に放電してしまうといったミスもありました。このように、多くの失敗によって結果を得るまでに時間がかかってしまいましたが、その他に電磁濃縮法での物性測定を難しくしていた要因として低温環境での測定の難しさが挙げられます。従来、図1にあるベークライト製のクライオスタットを用いていたのですが、内壁を隔てて試料を冷やすため肉厚を薄くしないと試料を冷やすことができないことや熱収縮率の近い接着剤がなく低温下で真空が破れてしまう問題がありました(電磁濃縮法では、ライナーの収縮によって内部の磁束密度を増加させているが、真空が悪化するとライナーの収縮運動に影響を及ぼし、最大磁場を大幅に減少させてしまう)。



ベークライト製クライオスタット



スタイキャスト製クライオスタット



スタイキャスト 1266



テフロン製の型

図1 低温環境下での物性測定のためにスタイキャスト製クライオスタットを開発した。

そこで、Emerson-Cuming 社の接着剤であるスタイキャスト 1266 をテフロン製の型に入れて硬化させることによって肉厚の薄いパーツを作製しました(テフロンに接着剤のスタイキャストは貼り付かないため、容易にパーツを取り出すことができます)。更に、パーツをスタイキャストにしたため、パーツごとの接着をスタイキャストで行えば熱収縮率の問題も解消することができます。この結果、600 T までの極限強磁場かつ 5 K までの低温下で物性測定を可能とし、クロムスピネル酸化物(ZnCr_2O_4)の超強磁場下磁化過程を明らかにしました。このクロムスピネル酸化物(ACr_2O_4 , $A = \text{Zn, Cd, Hg}$)の強磁場物性に関しては、物性研究所・上田寛研究室に所属していた植田浩明氏(現京都大)によって研究が開始されました [1, 2]。その特徴は、スピン-格子結合に起因した多彩な磁気相を示すことでもあります。そして、その中で ZnCr_2O_4 は、スピン-格子結合が弱結合極限に位置していることから他のクロムスピネル酸化物とは異なる磁気相をとる可能性が Penc 氏等によって指摘されていました [3]。また、フラストレーションの度合いを示す指数(ネール温度とワイス温度の比)が大きな値を示すことから特異な振る舞いを示す可能性もあります。しかし、ワイス温度は、-390 K と非常に大きな値を示すため、全磁化測定には 400 ~ 500 T 程度の磁場が必要だと考えられており、その解明が困難とされていました。今回、極限超強磁場環境下で測定を可能としたことによって、 ZnCr_2O_4 の全磁化曲線を得ることに成功し、新たな磁気相を観測致しました。これは、Penc 氏等が理論的に予測していたキヤントした 2:1:1 相であり、スピン-格子結合の重要性を裏付ける結果を得ることができました [3, 4]。また、強磁性相直前に特異な振る舞いを観測し、Penc 氏等の理論で説明できない新奇な磁気相を見つけました [5]。この磁気相の出現に関しては、高次のスピン-格子結合やスピン間相互作用が寄与していると考えています。このように電磁濃縮法を用いて 600 T かつ 5 K の極限環境下で物性測定が可能となりました。このような極限超強磁場環境を必要とする物質群は他に多く存在するため、その解明に向けて電磁濃縮法が物性物理分野に普及していくように今後努力していきたいと思っております。

また、5 年間の学生生活・研究生生活を楽しく過ごすことができた一つとして昼休みのサッカーの存在が大きいです。ほぼ毎日、大雨の日も雪が積もった日も部活のように参加させて頂きました。天候の悪い日でもミニゲームを楽しめるほど人数が集まるのは、サッカー好きな強磁場施設の方々のおかげであります。現在では、強磁場施設の大半の方々が見守る中、昼サッカーに参加していますが、そのきっかけとなったのは、5 年前の私が修士 1 年の時に行った柏の葉公園での花見だったと思います。その食事後に、数人でボールを蹴っていたのですが、小学生が寄ってきて勝負を挑まれました。小学生相手にいつもの大人気ないプレーでゴールを連発し、サッカーを楽しみました。その翌日ぐらいから強磁場施設の人たちが集まって昼サッカーが行われていました。そして、昼サッカーを通じて多くの方々と交流を深めることができました。図 2 の写真に載せてあるように、物性研究所内だけでなく、大気海洋研究所や新領域創成科学研究科の教職員、学生の方々と対抗戦を行い、交流を深めることができました。また、事務職員の方々には、飲み会に誘って頂いたり、土日に行っている東京都社会人サッカーリーグに誘って頂いたり大変お世話になりました。現在、キャンパス内に空き地がなくなり、代わりにグラウンドとして柏の葉公園内のグラウンドを使用しているのですが、その使用に関しても事務職員の方々にお世話になりました。このように、学生生活の 5 年間は多くの方々に支えられてきました。

最後に、指導教員の嶽山正二郎教授には、5 年間親切に面倒を見て頂きました。特に、電磁濃縮法磁場発生装置は世界で唯一の実験装置であるため嶽山先生しか知らない細かな実験技術に関して丁寧にご指導頂きました。この場を借りて感謝したいと思います。



図2 物性研究所・大気海洋研究所・新領域創成科学研究科の3組で対抗戦を行った後の記念写真

参考文献

- [1] H. Ueda, H. Aruga-Katori, H. Mitamura, T. Goto, and H. Takagi: *Phys. Rev. Lett.* **94** (2005) 047202.
- [2] H. Ueda, H. Mitamura, T. Goto, and Y. Ueda: *Phys. Rev. B* **73** (2006) 094415.
- [3] K. Penc, N. Shannon, and H. Shiba: *Phys. Rev. Lett.* **93** (2004) 197203.
- [4] A. Miyata, H. Ueda, Y. Ueda, Y. Motome, N. Shannon, K. Penc, and S. Takeyama: *J. Phys. Soc. Jpn.* **80** (2011) 074709.
- [5] A. Miyata, H. Ueda, Y. Ueda, H. Sawabe, and S. Takeyama: *Phys. Rev. Lett.* **107** (2011) 207203.

第9回 ISSP 學術獎勵賞受賞後所感

Quantum Spin Solid in the Two-Dimensional Kagome Lattice Antiferromagnet

Mahidol University, Thailand Kittiwit Matan

This work is an attempt to answer one of the most fundamental and most difficult questions in condensed matter physics. This question was discussed in a much-celebrated paper written by Phillip W. Anderson in 1972, titled "More is different," [1] in which Anderson outlined emergent phenomena of many-body systems, such as electrons in a lattice. The collective behaviors of many interacting electrons can be strikingly different from those of a single electron as Anderson wrote, "the whole becomes not only more than but very different from the sum of its parts." Examples of the collective behaviors in the interacting-electron systems are high-transition temperature superconductivity and fractional quantum Hall effect. Here, we will be focusing on the collective behavior of interacting electron-spins and asked ourselves, what happens if we put a bunch of spins, which are strongly interacting with one another, in the lattice? What is the ground state of this system? We will restrict ourselves to the case where the interactions among the spins are antiferromagnetic and short-range; that is, they prefer the anti-parallel alignment and the exchange interactions are between nearest or next-nearest neighbors only.

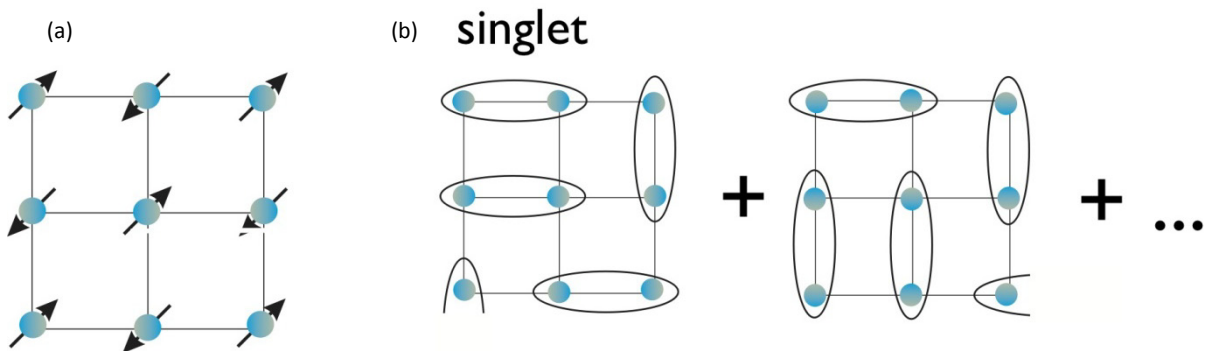


Figure 1. (a) Classical Néel state and (b) quantum spin state.

This question has been asked for quite some time and many physicists have put a lot of efforts to unravel it. We can divide the answers into two descriptions. In the first description, which I will call a classical description, it is believed that a spin will behave like a classical object (imagine an arrow). It is argued that in the ground state these spins will be in the up-down-up-down state or the Néel state as shown in Figure 1(a). However, in the description of quantum mechanics, this classical up-down-up-down state cannot possibly be the lowest energy state since it is not an eigenstate of the spin Hamiltonian

$$H = \sum_{\langle i,j \rangle} J \vec{S}_i \cdot \vec{S}_j,$$

where $J > 0$ is the exchange interaction and the summation is over the nearest-neighbor spins. Quantum mechanically, the spin S_i is an operator in the spin Hamiltonian. In the simplest case of two spins, the ground state is a singlet state, which is non-magnetic and is an antisymmetric linear superposition of the up-down and down-up

states. For a system with a large number of spins, the quantum ground state can become quite complicated. In fact, it remains one of the unresolved questions in condensed matter physics. However, one can obtain a clue from the two-spin, singlet state, and imagine that the lattice could be covered by a network of singlet pairs as shown in Figure 1(b). Hence, the ground state in this case is the antisymmetric linear superposition of these singlet covering states, forming a single quantum-mechanical state for the whole system called quantum spin liquid. However, if the singlet covering is ‘static’, breaking the translational symmetry of the crystal, this quantum state is called a quantum spin solid or valence-bond solid state. (The latter is what we observed in the material we studied that I will discuss later. However, the valence-bond solid state we observed does not break the translational symmetry of the underlying lattice, since the lattice distortion in fact stabilizes this state.)

So, which description is realized in a real system? It turns out that most real systems form the classical state instead of the quantum state because the quantum fluctuations are not large enough to suppress the Néel state and to give rise to the quantum states.

Our goal here is to search for the quantum states in a real system. Hence, we would look for a system where the Néel state is most likely suppressed and the quantum fluctuations are enhanced. Normally, the systems that are most likely to show the quantum states are low dimensional systems with low spins, such as the $S=1/2$ one-dimensional spin chain or two-dimensional Shastry-Sutherland lattice. However, the Néel state can also be suppressed by frustrations. Therefore, we decided to look for the quantum states in a geometrically frustrated system where the incompatibility between the global topology of the underlying lattice and local spin interactions prevents or suppresses the formation of the classical Néel state. Examples of the geometrically frustrated lattices are the triangle-based lattices, such as the triangular, kagome and pyrochlore lattices. In particular, the kagome lattice, which is comprised of corner-sharing triangles, is one of the most highly frustrated lattices in two dimensions.

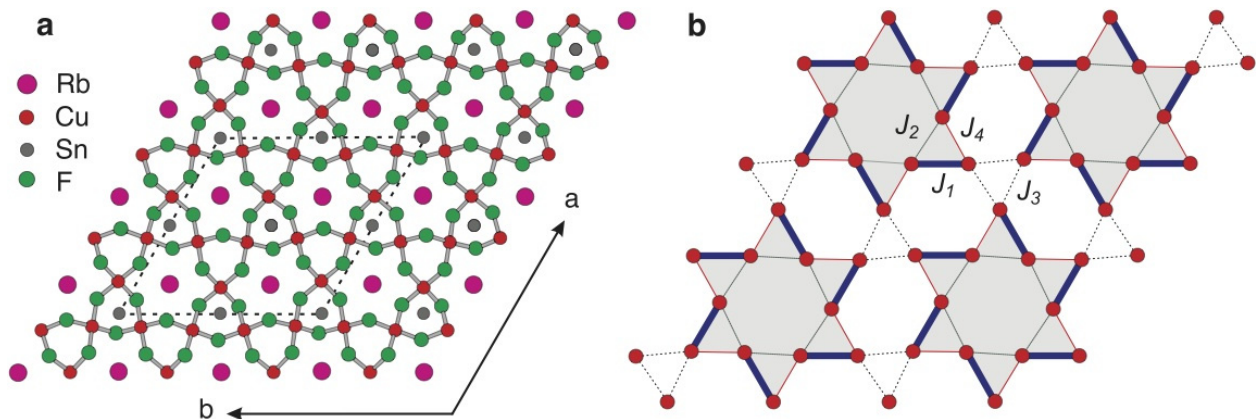


Figure 2. (a) A crystal structure shows the connectivity of the Cu^{2+} ions. (b) Dimers (blue bonds) form the pinwheel VBS state. The exchange interactions are labeled as $J_1 > J_2 > J_3 > J_4$.

The realization of the kagome lattice antiferromagnet that we chose to study is $\text{Rb}_2\text{Cu}_3\text{SnF}_{12}$ [2, 3]. In this system, the magnetic $S=1/2$ Cu^{2+} ions form the deformed single-layer kagome lattice as shown in Figure 2(a). The slightly distorted kagome plane yields four different antiferromagnetic exchange interactions as labeled in Figure 2(b). The system does not order magnetically down to 1.3 K. Instead, the magnetic susceptibility rapidly decreases toward zero at low temperature, indicative of the non-magnetic, singlet ground state. In magnetic field, the magnetization sharply increases as the applied field exceeds $H_c \sim 20$ T as the result of the breaking of the singlet

pairs. The spin Hamiltonian for this system slightly differs from the isotropic case discussed above due to the presence of the antisymmetric Dzyaloshinskii-Mariya interaction. Therefore, to first approximation, the spin Hamiltonian is given by:

$$H = \sum_{\langle ij \rangle} [J_{ij} \vec{S}_i \cdot \vec{S}_j + \vec{D}_{ij} \cdot (\vec{S}_i \times \vec{S}_j)],$$

where J_{ij} ($J_1 > J_2 > J_3 > J_4$) are the nearest-neighbor interactions and D_{ij} are the Dzyaloshinskii-Mariya vectors, which scale with the corresponding exchange interactions. The singlet pairs (dimers) or valence bonds are formed between two spins bonded by the largest exchange coupling J_1 . The valence-bond pattern around a hexagon resembles a pinwheel; hence this state is called the *pinwheel valence bond solid state* (Figure 2(b)).

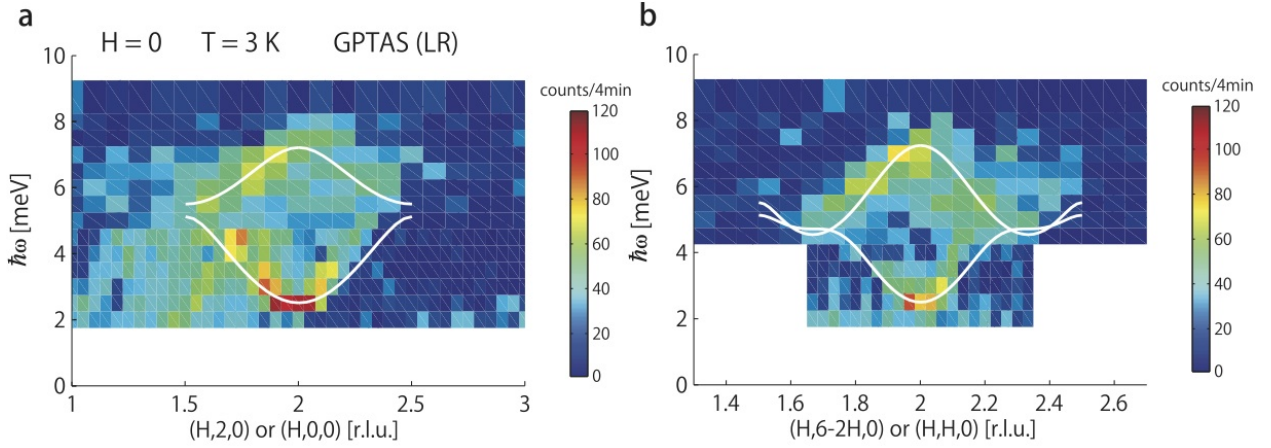


Figure 3. Intensity contour maps show the singlet-to-triplet dispersions along two high symmetry directions, along k_x (a) and along k_y (b). The solid lines represent the best fit to the dimer series expansion.

Inelastic neutron scattering was used to verify this quantum state. Unlike the classical counterpart (the Néel state), the quantum state formed by singlet pairs decorating the lattice is non-magnetic and lacks static order. Therefore, one has to excite or break the dimers and measure the excited states, which are $S=1/2$ spinons, in the case of the quantum spin liquid, or $S=1$ singlet-to-triplet excitations, in the case of the valence bond solid. Our neutron scattering measurements were conducted at two triple-axis spectrometers, HER and GPTAS, operated by the Institute for Solid State Physics, University of Tokyo. Since we expected the valence bond solid state for $\text{Rb}_2\text{Cu}_3\text{SnF}_{12}$, we searched for the singlet-to-triplet excitations and their dispersion relation, from which we would be able to model the arrangement of the singlet pairs and verify the pinwheel valence bond solid state.

Inelastic neutron scattering data measured on a single-crystal sample of $\text{Rb}_2\text{Cu}_3\text{SnF}_{12}$ show two highly dispersive modes of the singlet-to-triplet excitations along two high symmetry directions (Figure 3). At the zone center, the convoluted fit with the resolution function yields the gap energies of 2.35(7) meV and 7.3(3) meV. The measurements of the gaps in the presence of applied magnetic field reveal the Zeeman splitting of the lower gap but no splitting of the upper gap. These results show that at zero field the lower branch is twofold degenerate representing the triplet states with $S_{tot}^z = \pm 1$, whereas the upper branch is non-degenerate representing the $S_{tot}^z = 0$ state. The solid lines represent the best fit to the dimer series expansion up to eighth order in the interdimer exchange and Dzyaloshinskii-Moriya interactions. We obtain the best fit to the dispersions for $J_1=18.6$ meV, $J_2=0.95J_1$, $J_3=0.85J_1$, $J_4=0.55J_1$ and $d_z=0.18$ where $d_z = D_i^z/J_i$ [4].

The ground state of the frustrated systems is very sensitive to small perturbations, and therefore could potentially give rise to diverse ground states. In a family of the spin-1/2 distorted kagome lattice antiferromagnets $A_2\text{Cu}_3\text{SnF}_{12}$ where $A = \text{Cs}$ and Rb , two structurally similar compounds exhibit strikingly different magnetic ground states. On one hand, $\text{Rb}_2\text{Cu}_3\text{SnF}_{12}$ exhibits the pinwheel valence bond solid state as discussed above. On the other

hand, the spins in $\text{Cs}_2\text{Cu}_3\text{SnF}_{12}$ order magnetically below $T_N = 20.2$ K [3]. The origin of these different ground states in this family of compounds remains unclear and is one of our future research topics. We believe that a comprehensive understanding of this mechanism will lead us to other unanswered questions in the field of strongly correlated electrons including the quantum spin liquid state and high-transition-temperature superconductivity.

This work would not be possible without the ‘collective’ efforts of all collaborators. First and for most, I would like to thank Taku (Prof. Taku J. Sato) who had supervised me during my postdoc years at ISSP and has been continuing to do so even after I left ISSP. Without his guidance, this work and many other works at ISSP would not have been possible. Taku was recently promoted to a professor at Tohoku University where our collaborations will continue. I also would like to thank Tanaka-sensei and Ono-san at Tokyo Institute of Technology for entrusting us with their wonderful samples. As far as I know, they are currently the only group in the world who can synthesize this family of the kagome lattice antiferromagnets. Yamaura-san at ISSP helped us with the single-crystal x-ray measurements. On the theoretical side, I would like to thank Fukumoto-sensei at Tokyo University of Science. I am also indebted to Tokunaga-san for allowing me to use his high-field magnet on the jarosite project. Furthermore, I feel grateful to members of Sato Laboratory, Rei Morinaga, Soshi Ibuka, Kazuki Iida, Ryota Akiyama, Yusuke Nambu, Ninomiya-san, and other members in the neutron group for making me feel at home in Kashiwa. My two-year stay as postdoc at ISSP is not only the most productive period of my life academically, but has also paved the way for my future academic career in Thailand. I am very thankful to the institution and her people for giving me a wonderful opportunity to work at ISSP. I really wish that our collaborations will continue and will look forward to my next visit to ISSP.

References

- [1] Anderson, P.W., *Science* **177**, 393 (1972).
- [2] K. Morita, M. Yano, T. Ono, H. Tanaka, *J. Phys. Soc. Jap.* **77**, 043707 (2008).
- [3] T. Ono, K. Morita, M. Yano, H. Tanaka, K. Fujii, H. Uekusa, Y. Narumi, K. Kindo, *Phys. Rev. B* **79**, 174407 (2009).
- [4] K. Matan, T. Ono, Y. Fukumoto, T.J. Sato, J. Yamaura, M. Yano, K. Morita, and H. Tanaka, *Nature Physics* **6**, 865 (2010).

物性研究所短期研究会

物性研究所共同利用スパコン成果報告会 「計算科学の課題と展望」

日時：2012年2月20日(月)～2月21日(火)

場所：物性研究所本館6階 大講義室(A632)

主催：東京大学物性研究所（共催：次世代ナノ統合情報機能材料拠点）
世話人：川島直輝、杉野修、野口博司、常行真司、富田裕介、渡辺宙志、
野口良史、芝隼人、松田佳希

計算物性物理学は近年のコンピュータハードウェアおよび応用技術の進歩によって急速に進展しつつある分野である。物性研究所スパコンユーザコミュニティは、物性研共同利用スパコンを核として、この分野の研究を推進してきた。この分野における現在の大きな課題は、新しいアーキテクチャに基づくコンピュータを効果的に活用、とくに大規模並列化をどうするかという問いに答えることである。ムーアの法則による計算スピードの向上は現在でも止むことなく進んでいるが、一方で、2000年頃を境にして、計算プロセッサ(コア)単体の性能の伸びは減速している。プログラマからみると、計算機の進歩に伴い「勞せずして」高速計算が手に入る時代が終わったわけである。国家プロジェクトとして開発され、平成23年度に計算性能において世界一となった京コンピュータの登場によって、この事実が今まで以上に明確に意識されることとなった。このことは、自作プログラムによって計算する研究者がユーザの大部分を占めている物性研スパコンユーザコミュニティにとって、新しい研究スタイルの必要が高まっていることを意味している。また平成23年度は、スパコンに支えられた理論研究にとって電力の安定供給が必須条件であるという当たり前の事実や、大電力を消費しながら行う計算の社会的意義を改めて考えさせられた年でもあった。

同じく平成23年に始まった文科省によるHPCI戦略プロジェクトの分野2「新物質・エネルギー創成」において、物性研究所は代表機関を担っており、4月には計算物質科学研究センターを設置した。同時に、京コンピュータを用いたプログラム開発を推進するため、神戸ポートアイランドにセンターの分室を開設した。大規模並列化をキーワードとした大規模プロジェクト開始年度、およびそのためのソフトウェア開発プロジェクトである次世代ナノ統合シミュレーションソフトウェアプロジェクトの終了にあたって、スパコン共同利用の成果を総括し、計算科学を取り巻く上述のような環境の変化を踏まえて、さらに今後の発展へのヒントを確認・発見することを目的として、この研究会が企画された。



両日ともに約 80 名の参加があり、26 件の口頭講演、41 件のポスター講演が行われ、各講演に対して活発な討論がなされた。また、ポスターセッションでは、次世代ナノ統合シミュレーションソフトウェアプロジェクトにおいて開発された計算物性物理学のための種々のアプリケーションについて、その利用法や利用例に関する紹介が行われた。物性研スパコンユーザ以外からの招待講演として、東大大気海洋研究所の佐藤正樹教授に地球全体の雲解像シミュレーションのお話と、日本原子力研究開発機構システム計算科学センター研究主幹の町田昌彦氏に計算物性物理を応用した原子力災害への取り組みとして土壌汚染のメカニズムに関するお話しをしていただいた。また、例年物性研スパコンアクティビティレポートにおいて、特に顕著な成果を挙げた方々に分野のレビューも兼ねて執筆をお願いしている巻頭論文の著者である品岡寛(産業技術総合研究所)、矢花一浩(筑波大)、中野博生(兵庫県立大)の 3 氏にも招待講演をお願いし、品岡氏は古典フラストレートスピン系の新しい展開として注目されているスピンアイスに関する講演、矢花氏はパルス光伝播などの動的現象への密度汎関数法からのアプローチに関する講演、中野氏は特別な大規模キューを利用して利用して量子フラストレート系の典型であるカゴメ格子反強磁性体の厳密対角化を行った例についての講演をそれぞれ行った。この他にも冷却原子系に関する計算、強相関電子系、古典統計力学、第一原理電子状態計算などそれぞれの分野で多彩な講演が聞かれた。また、平成 23 年度に京コンピュータを利用した半導体デバイス計算によって Gordon-Bell 賞を受賞した研究チームの中核的メンバである東大工学系研究科の岩田潤一氏による RSDFT の応用に関する講演もあった。講演タイトルなどについては、以下の研究会プログラムを参照されたい。

プログラム

■ 口頭講演

2012/2/20(月)

座長：富田 裕介

- 09:40 - 10:00 鈴木 隆史 (兵庫県立大学大学院工学研究科)
「2次元量子磁性体の端状態のその安定性」
- 10:00 - 10:20 竹内 宏光 (広島大学大学院総合科学研究科)
「2成分ボース・アインシュタイン凝縮体における対向超流動の摩擦緩和過程」
- 10:20 - 10:40 Robert Peters (京都大学大学院理学研究科)
"A spin-selective Kondo-insulator - Cooperation between Ferromagnetism and Kondo-effect"
- 10:40 - 11:00 COFFEE BREAK

座長：鈴木 隆史

- 11:00 - 11:20 柳瀬 陽一 (新潟大学理学部)
「重い電子系におけるエキゾチック FFLO 超伝導」
- 11:20 - 11:40 中山 隆史 (千葉大学大学院理学研究科)
「金属シリサイドの物理：安定性とショットキーバリア」
- 11:40 - 12:00 森田 悟史 (東京大学大学院工学系研究科)
「多変数変分モンテカルロ法の性能評価と京における最適化」
- 12:00 - 13:20 LUNCH

座長：野口 博司

- 13:20 - 14:00 佐藤 正樹 (東京大学大気海洋研究所)
特別招待講演「全球雲解像シミュレーション」
- 14:00 - 14:30 品岡 寛 (産業技術総合研究所ナノシステム研究部門)
「幾何学的フラストレーション系におけるスピングラス転移の数値的研究
— ループアルゴリズムの連続スピン系への拡張、スピン格子結合の効果 —」
- 14:30 - 15:00 COFFEE BREAK

座長：野口 良史

- 15:00 - 15:20 福島 孝治 (東京大学大学院総合文化研究科)
「格子上の充填問題への統計力学的研究」
- 15:20 - 15:40 大久保 毅 (大阪大学大学院理学研究科)
「フラストレート磁性体におけるトポロジカル励起の秩序化とダイナミクス」
- 15:40 - 16:00 田中 宗 (東京大学大学院理学系研究科)
「一般化ネットワーク成長モデルと爆発的パーコレーション転移の関係」
- 16:00 - 16:20 芝 隼人 (東京大学物性研究所)
「陽溶媒メッシュレス脂質膜模型における形態転移と構造形成」
- 16:30 - 18:00 ポスターセッション
- 18:45 - 懇親会 (於：ららぽーと柏の葉内)

2012/2/21 (火)

座長：渡辺 宙志

- 10:00 - 10:20 袖山 慶太郎 (物質材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点)
「色素増感太陽電池系固液界面・色素吸着に関する第一原理計算解析」
- 10:20 - 10:40 小口 多美夫 (大阪大学産業科学研究所)
「A サイト秩序型ペロフスカイト $\text{CaCu}_3\text{Fe}_4\text{O}_{12}$ の第一原理計算」
- 10:40 - 11:00 COFFEE BREAK

座長：渡辺 宙志

- 11:00 - 11:20 岩田 潤一 (東京大学大学院工学系研究科)
「RSDFT による大規模第一原理電子状態計算」
- 11:20 - 11:40 有田 亮太郎 (東京大学大学院工学系研究科)
「芳香族新超伝導体の電子状態と低エネルギー有効模型」
- 11:40 - 12:00 小野 倫也 (大阪大学大学院工学研究科)
「第一原理輸送特性計算手法の開発と大規模輸送特性シミュレーション」
- 12:00 - 13:20 LUNCH

座長：杉野 修

- 13:20 - 14:00 町田 昌彦 (日本原子力研究開発機構システム計算科学センター)
特別招待講演「計算物性物理による原子力災害への取り組み：土壌汚染の理解及びその他」
- 14:00 - 14:30 矢花 一浩 (筑波大学大学院数理物質科学研究科)
「時間依存密度汎関数法によるパルス光伝播の第一原理計算」
- 14:30 - 15:00 中野 博生 (兵庫県立大学大学院物質理学研究科)
「数値対角化法による 2 次元フラストレート系の研究 — カゴメ格子反強磁性体と三角格子反強磁性体 —」
- 15:00 - 15:20 COFFEE BREAK

座長：中野 博生

- 15:20 - 15:40 高田 康民 (東京大学物性研究所)
「GW Γ 法の開発と低密度電子液体への応用：電子正孔非対称励起のフェルミ流体」
- 15:40 - 16:00 服部 一匡 (東京大学物性研究所)
「パイポーラロン不純物近藤系の解析」
- 16:00 - 16:20 笹岡 健二 (東京大学大学院工学系研究科)
「非平衡グリーン関数法によるナノ構造体における電子ダイナミクスの解析」
- 16:20 - 16:40 COFFEE BREAK

座長：高田 康民

- 16:40 - 17:00 松下 雄一郎 (東京大学大学院工学系研究科)
「sp³ ネットワークの構造多形とバンドギャップの関係の解明」
- 17:00 - 17:20 坂井 徹 (原子力機構 SPring-8)
「フラストレートした 3 本鎖スピンドラダー系における新しい量子スピンネマティック相」
- 17:20 - 17:40 佐藤 年裕 (東京大学物性研究所)
「幾何学的フラストレートした電子系における光学伝導度の数値的研究」

■ポスター講演

物性研究所スーパーコンピューター共同利用

- PK-1 浅野 優太 (愛媛大学大学院理工学研究科)
「変形 Lennard-Jones 系の相転移」
- PK-2 合田 義弘 (東京大学大学院理学系研究科)
「窒化ガリウムのエピタキシャル成長に伴うグラフェンの圧力誘起構造相転移」
- PK-3 富田 裕介 (東京大学物性研究所)
「スピン模型によるリラクサーの結晶相境界の研究」
- PK-4 小畑 修二 (東京電機大学理工学部)
「CI-LCVB 法における近似精度限界」
- PK-5 小杉 太一 (産業技術総合研究所)
「ペロフスカイト型ブロック層を持つ新超伝導体 Ca₄Al₂O₆Fe₂Pn₂ (Pn: As, P) についての第一原理電子状態計算」
- PK-6 胡 春平 (東京理科大学理学部)
"Quasiparticle band gaps of boron nitride nanoribbons"

- PK-7 稲垣 耕司 (大阪大学大学院工学研究科)
「第一原理計算による触媒援用表面エッチングプロセスの解明」
- PK-8 渡辺 一之 (東京理科大学理学部)
「フェムト秒レーザー照射電界電子放射機構：TDDFT シミュレーション」
- PK-9 國貞 雄治 (大阪大学大学院工学研究科)
「計算機マテリアルデザインの役割～固体表面・界面ナノ領域における反応解析～」
- PK-10 大越 孝洋 (東京大学物性研究所)
「双極子相互作用するボーズ粒子系の量子モンテカルロ・シミュレーション」
- PK-11 田村 亮 (東京大学物性研究所)
「面間ランダムネスによって誘起されるランダムファンアウト状態」
- PK-12 小田 竜樹 (金沢大学理工研究域)
「表面・界面の原子構造と電子構造に現れる有効電場効果の研究」

次世代ナノ統合プロジェクト次世代ナノ情報機能・材料

- PN-1 川島 直輝 (東京大学物性研究所)
「量子格子模型ソルバ(Discrete Space Quantum System Solver)」
- PN-2 宮下 精二 (東京大学大学院理学系研究科)
「外部駆動によるスピンの集団運動と共同現象」
- PN-3 田中 康寛 (分子科学研究所)
「二次元有機導体の電圧下での秩序の融解と非線形伝導の理論」
- PN-4 品岡 寛 (産業技術総合研究所)
「大規模電子構造計算に基づくパイロクロア酸化物 $\text{Cd}_2\text{Os}_2\text{O}_7$ の低温物性の研究」
- PN-5 岩田 潤一 (東京大学大学院工学系研究科)
「密度汎関数法によるナノ構造の電子機能予測：RSDFT の開発と応用」
- PN-6 大野 宗一 (北海道大学大学院工学研究院)
「不連続粒成長シミュレーション法の開発と鋼の連続鑄造への応用」
- PN-7 Bo Gu (原子力機構先端基礎研究センター)
"Diluted Magnetic Semiconductors: A Quantum Monte Carlo approach combined with Density Functional Theory"
- PN-8 広瀬 賢二 (NEC グリーンイノベーション研究所)
「量子輸送計算法の開発とナノ構造への応用」
- PN-9 服部 一匡 (東京大学物性研究所)
「四面体配置の四不純物アンダーソン模型の数値解析」
- PN-10 河村 光晶 (東京大学大学院理学系研究科)
「超伝導密度汎関数理論に基づく数値計算コードの開発」
- PN-11 安藤 康伸 (東京大学大学院理学系研究科)
「第一原理分子動力学計算による電気二重層キャパシタンスの非経験的評価」
- PN-12 安田 真也 (東京大学大学院工学系研究科)
「非等方的な系に対する有限サイズスケーリングと量子相転移への応用」
- PN-13 佐原 亮二 (東北大学金属材料研究所)
「全電子混合基底法プログラム TOMBO の開発と水素貯蔵材料開発への応用」
- PN-14 宮崎 剛 (物質・材料研究機構)
「オーダーN 法第一原理計算プログラム CONQUEST の並列化効率」

- PN-15 本山 裕一（東京大学大学院工学系研究科）
「量子モンテカルロ法による局所 Z_2 ベリー位相の計算」
- PN-16 吉本 芳英（鳥取大学工学部）
「熱力学的ダウンフォールディング法の応用」
- PN-17 曾田 繁利（京都大学基礎物理学研究所）
「動的 DMRG の開発と低次元強相関電子系への応用」
- PN-18 野口 良史（東京大学物性研究所）
「第一原理 GW+Bethe-Salpeter 計算による Cd Se クラスターの光吸収スペクトル」
- PN-19 諏訪 秀麿（東京大学大学院工学系研究科）
「量子モンテカルロ法による XXZ スピンパイエルズ模型の基底状態と相転移解析」
- PN-20 原田 健自（京都大学大学院情報学研究所）
「エンタングルメント繰り込みを用いたフラストレーションのある量子スピン系の基底状態計算」
- PN-21 小形 正男（東京大学大学院理学系研究科）
「2次元ハバードモデルの変分モンテカルロ計算」
- PN-22 井上 順一郎（名古屋大学大学院工学研究科）
「強磁性金属/グラフェン接合に対する伝導シミュレーションと磁気抵抗効果の発現機構」
- PN-23 小椎八重 航（理化学研究所 基幹研究所）
「実時間シミュレーションによる二重交換模型の光応答の研究」
- PN-24 市村 雅彦（日立製作所中央研究所）
「磁性トンネル接合におけるスピントルクの計算プログラムの開発と積層フェリ構造への応用」
- PN-25 西岡 圭太（分子科学研究所）
「 $\text{Et}_2\text{Me}_2\text{Sb}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ における光誘起電荷秩序融解ダイナミクス」
- PN-26 岩野 薫（高エネルギー加速器研究機構）
「ハバードモデルのグリーン関数に関する量子モンテカルロプログラムの開発と応用」
- PN-27 永田 徹哉（大阪大学大学院理学研究科）
「遮蔽グリーン関数法を用いた多層薄膜のオーダーN伝導率計算」
- PN-28 豊田 雅之（北陸先端科学技術大学院大学）
「オーダーN 交換汎関数の開発」
- PN-29 石橋 章司（産業技術総合研究所）
「第一原理電子状態計算プログラム QMAS の開発状況とその応用事例」

ISSP ワークショップ

トポロジカル絶縁体の表面電子状態

期間：2012年2月23日～2012年2月24日(2日間)

場所：東京大学物性研究所本館6階 第5セミナー室

提案者：辛 埴、松田 巖、小森 文夫

報告：小森 文夫

トポロジカル絶縁体では、スピン偏極した特異な金属表面電子状態が期待され、スピントロニクスを実現する物質の候補としても注目を浴びている。実際、いくつかのトポロジカル絶縁体では、角度分解光電子分光を主たる手段として、スピン偏極した表面電子状態が報告されてきた。現在、トポロジカル絶縁体となる新物質が探索され、STM やレーザー光応答など角度分解光電子分光以外の研究手段も含めて、詳細な研究が行われている。そこで、関係する研究者が集まり、表面電子状態を集中的に議論する小規模の研究会を開催した。この分野は、物質探索と物性測定が連携して急速に発展しており、新しい結果が次々と発表される状況である。そのため、研究の全体像をつかむことが難しい。本研究会において、各研究グループの成果の詳細が発表され、それに基づいて十分時間をかけた討論を行なったので、トポロジカル絶縁体の表面電子状態研究の現状について理解を深めることができた。これは、今後の研究の発展に大いに役立つと期待される。

プログラム

2月23日(木)

12:55 開会

セッション1 (座長：加藤 岳生)

- | | | |
|-------------|----------------|---|
| 13:00 | 野村健太郎 (東北大金研) | トポロジカル絶縁体表面に現れるディラック電子の物性 |
| 13:40 | 佐藤 宇史 (東北大理) | 高分解能 ARPES で見たトポロジカル絶縁体におけるディラック電子の質量獲得 |
| 14:20 | 奥田 太一 (広大放射光セ) | 高分解能スピン分解光電子分光によるトポロジカル絶縁体の表面スピン電子構造観測 |
| 15:00 | 花栗 哲郎 (理研) | トポロジカル表面状態の磁場中 STM/STS |
| 15:40～16:00 | 休憩 | |

セッション2 (座長：木村 昭夫)

- | | | |
|-------|-----------------|-------------------------------|
| 16:00 | 笹川 崇男 (東工大応セラ研) | 3次元のトポロジカル絶縁体・ラシュバ物質の開拓 |
| 16:40 | 石坂 香子 (東大工) | 極性半導体 BiTeI における巨大なラシュバ型スピン分裂 |
| 17:20 | 幸坂 祐生 (理研) | 巨大 Rashba 効果の走査トンネル分光イメージング |

2月24日(金)

セッション3 (座長：小森 文夫)

9:30	安藤 陽一 (阪大産研)	トポロジカル絶縁体・超伝導の物質開発と物性解明
10:10	村上 修一 (東工大理)	トポロジカル絶縁体の表面・界面状態と外場応答
10:50	木村 昭夫 (広大理)	トポロジカル絶縁体表面の非磁性・磁性原子吸着効果
11:30	松田 巖 (物性研)	光電子分光によるトポロジカル転移の研究
12:10~13:10	昼食	

セッション4 (座長：松田 巖)

13:10	吉澤 俊介 (物性研)	走査トンネル分光イメージングによるバンド分散測定
13:40	平原 徹 (東大理)	トポロジカル絶縁体超薄膜の電子構造及び電子輸送
14:20	石田 行章 (物性研)	トポロジカル絶縁体の偏光依存・時間分解レーザーARPES
15:00	閉会	

トポロジカル絶縁体表面に現れるディラック電子の物性

野村健太郎 (東北大学・金属材料研究所)

近年注目を集めている、トポロジカル絶縁体[1]と呼ばれる系では、バルクには有限のエネルギーギャップが存在するが試料表面はスピンと運動量の間に関連をもつ、新奇なギャップレス表面状態が実現する。講演ではトポロジカル絶縁体の表面輸送現象における非自明な量子効果を議論する。[2]

これまで知られていたすべての電子系導体では、乱れの強さが増していくと波動関数がアンダーソン局在し、絶縁化することが知られている。ところがトポロジカル絶縁体の場合、バルクのギャップが開いている限り、表面状態はアンダーソン局在することはない、その伝導性(金属性)は時間反転対称性によってトポロジカルに保護されている[3]。スケール理論に基づき表面の伝導率に対する量子補正が $\Delta\sigma_{xx} \propto \log(T_0/T)$ のように、低温に向けて対数的に増大することを示す。

一方、磁性不純物をドーピングした場合、時間反転対称性を破る乱れの効果として、表面状態での波動関数はアンダーソン局在し、対角伝導率 σ_{xx} は 0 になる。しかしホール伝導率 σ_{xy} は 0 にはならず半整数値に量子化される[4,5]。このことはトポロジカル絶縁体における、電場による磁化の誘起、すなわちトポロジカル電気磁気効果[1,5]の実現に有利に働く。さらに表面量子ホール状態を用いて磁性不純物をドーピングしたトポロジカル絶縁体の表面における磁気モーメントを、単に電場と磁場だけを用いて制御する機構を提案する[5]。本講演の内容は越野幹人、笠真生、Christopher Mudury、古崎昭、永長直人の各先生方との共同研究に基づく。

[1] Z. Hasan, C. Kane, Rev. Mod. Phys. **82**, 3045 (2010).

[2] 野村健太郎, 固体物理 **45**, 743 (2010); 講義ノート http://www-lab.imr.tohoku.ac.jp/~nomura/note_nomura.pdf.

[3] K. Nomura, M. Koshino, S. Ryu, Phys. Rev. Lett. **99**, 146806 (2007).

[4] K. Nomura, S. Ryu, M. Koshino, C. Mudry, A. Furusaki, Phys. Rev. Lett. **100**, 246806 (2008).

[5] K. Nomura, N. Nagaosa, Phys. Rev. Lett. **106**, 166802 (2011).

高分解能 ARPES で見たトポロジカル絶縁体におけるディラック電子の質量獲得

佐藤 宇史 (東北大学大学院理学研究科)

近年、トポロジカル絶縁体と呼ばれる従来の物質の状態とは全く異なる新しい状態が発見され、大きな話題になっている。トポロジカル絶縁体は、バルクは絶縁体であるのに対して、そのエッジに特殊な金属状態が現われ、電子は質量ゼロのディラック電子となってディラックコーン状態を形成する。トポロジカル絶縁体を利用した革新的なデバイスの多くは、ディラック電子に意図的に質量を持たせる事を必要とする。またこれが実現されると、半整数量子ホール効果や磁気単極子等の様々な特異量子現象が実現される可能性も指摘されている。その一方で、ディラック電子に質量を持たせる事は困難で、結晶に磁性不純物を添加したり強磁場を印加したりして、時間反転対称性を破る事が唯一の方法と考えられてきた。

我々は、上記の問題にアプローチするために、トポロジカル絶縁体 TlBiSe_2 ($Z_2=1$) と、通常の絶縁体 TlBiS_2 ($Z_2=0$) の固溶系である $\text{TlBi}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ の高分解能角度分解光電子分光(ARPES)を行った。実験の結果、この系は、 $x=0.5$ においてトポロジカル量子相転移を示す事が明らかになった[1]。また、 TlBiSe_2 ($x=1.0$) においてディラックコーン的な X 字型を示す表面バンドが、S 置換によってエネルギーギャップが生じることが明らかになった。このことは、 TlBiSe_2 の Se を非磁性不純物である S で置換しただけで結晶表面におけるディラック電子が質量を獲得することを意味しており、これまでの常識を覆して時間反転対称性を明示的に破らなくてもディラック電子が質量を持つ事を初めて示したものである。また我々は、トポロジカル絶縁体 $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_{3-y}\text{Se}_y$ における ARPES 実験も行い[2]、この物質系は現在知られているトポロジカル絶縁体の中で最もディラックキャリアの制御に適していると結論した。

本研究は、相馬清吾、高坂研一郎、荒金俊行、小松 誠、中山耕輔、高橋 隆 (東北大)、および、江藤数馬、南 達哉、Zhi Ren、瀬川耕司、安藤陽一 (阪大) の各氏との共同研究です。

[1] T. Sato *et al.*, Nat. Phys. **7**, 840 (2011).

[2] T. Arakane *et al.*, Nat. Commun. **3**:636 doi:10.1038/ncomms1639 (2012).

高分解能スピン分解光電子分光によるトポロジカル絶縁体の表面スピン電子構造観測

奥田 太一 (広島大学放射光科学研究センター)

スピン分解光電子分光法(SARPES)は、光電子の運動エネルギーと運動量を観測する通常の角度分解光電子分光法(ARPES)にスピン分析能力を付与することにより、スピンを明確に分離して物質のバンド構造を観測する事を可能とした強力な実験手法である。近年理論的に予言され実験的にもその存在が確認されたトポロジカル絶縁体は、バルクは非磁性絶縁体であるにも関わらず、内包する大きなスピン軌道相互作用により表面では金属的でスピン偏極したディラックコーンが形成される。ディラックコーンを形成するスピン偏極電子の向きは、理想的にはその波数ベクトルと垂直で面内に固定されており、後方散乱が禁制となるため散逸の無い高い偏極度(~100%)を持つスピン流の存在が理論的に予想され、そのスピン流を利用したスピントロニクスデバイスへの応用が期待されている。このトポロジカル絶縁体の物性研究においても、SARPES はキーとなる実験手法であるが、従来 SARPES に一般に用いられてきた Mott 型スピン検出器の効率が低いため精度の高い実験をすることが難しかった。我々は Mott 型スピン検出器に代わる、高効率の低速電子回折型スピン検出器と最新の光電子アナライザーを組み合わせた高いエネルギーと角度分解能を有した SARPES 装置を近年開発し[1]、トポロジカル絶縁体の電子状態の詳細観測を進めている。従来の分解能の低い SARPES 装置での観測では、ディラックコーンのスピン偏極の存在は確認できても、観測される見かけの偏極度は小さく、またディラック点上下でのスピン偏極の反転が明確に観測できなかった。今回の発表では最近理想的なトポロジカル絶縁体の一つとして注目される $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$ の測定結果を例として、高分解能測定の実現により高いスピン偏極度(>80%)が観測され、ディラック点上下で明確なスピン偏極の反転が観測されることなどを紹介しながら、これまでのトポロジカル絶縁体の定性的なスピン電子状態の理解から、より定量的な理解へ向けて高分解能の SARPES 測定が重要であることを示した。

[1] T. Okuda, K. Miyamaoto, H. Miyahara, K. Kuroda, A. Kimura, H. Namatame, and M. Taniguchi, Review of Scientific Instruments **82**, 103302 (2011).

トポロジカル表面状態の磁場中 STM/STS

花栗 哲郎 (理化学研究所)

トポロジカル絶縁体 Bi_2Se_3 表面における Dirac 電子の磁場中における性質を STM/STS を用いて調べた。実空間における Landau 軌道は、エネルギーに依存してポテンシャルの極大、あるいは極小に局在し、Landau 準位のエネルギーでは非局在状態をとることがわかった。このふるまいは、量子 Hall 状態で観測されるものと同じである。また、STM 像に見られる欠陥と Dirac 点の空間分布の比較から、Se 欠陥がポテンシャル分布を決定していることがわかった。

Bi_2Se_3 は、典型的には 10^{19} cm^{-3} 程度のバルクキャリアを含むが、キャリアに寄与する欠陥を減らすことのできる $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$ においても磁場中 STM/STS を行った。 Bi_2Se_3 同様、Dirac 表面状態の特徴を備えた Landau 準位が観測された。この物質では、バイアス電圧を上げながら測定したトンネルスペクトルと下げながら測定したスペクトルに履歴が観測された。この履歴は、バイアス電圧が $\pm 60 \text{ mV}$ を超えると現れ、バイアス電圧の絶対値を 60 mV 以下に保つ限り、直前に印加した最大バイアス電圧で決まる状態が保持される。すなわち、一種のメモリーとして働いていることがわかった。この現象は、欠陥によって形成される様々な準安定表面電荷分布状態間を、バイアス電圧によってスイッチした結果であると考えられる。

3次元のトポロジカル絶縁体・ラシュバ物質の開拓

笹川 崇男 (東京工業大学応用セラミックス研究所)

2次元電子系において発見された量子スピンホール効果やラシュバ効果などの大きな相対論効果(スピン軌道相互作用)に起因して現れるスピン偏極した新奇な固体電子状態について、最近では3次元電子系を対象とした研究も活発に行われるようになってきた。

本講演では、我々の行ってきた研究を中心に、純良単結晶開発・電子構造の直接観察・第一原理電子状態計算の連携という共通した研究手法によって、3次元のトポロジカル絶縁体とラシュバ物質の両者について、効率的な物質や物性の開拓ができることを紹介する。

3次元のトポロジカル絶縁体については、代表的な物質である Bi_2Se_3 を舞台として、単結晶試料の精密組成制御によって、様々な電子状態の実現に成功したことを前半では紹介する。具体的なトピックスは、Se 欠損量や非磁性不純物によるキャリア量(フェルミ準位)のファインチューニング、磁性不純物による強磁性(ディラック点へのギャップ)の導入、Cu インタカレーションによる超伝導の発現などである。後半では、 Bi_2Se_3 と同様な Tetradyomite 構造をもつ物質を対象として、トポロジカル絶縁体の多様性と特性の向上を狙った研究の進捗状況を報告する。 $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_{3-y}\text{Se}_y$ で表される化学量論組成(x, y は整数)の物質について、第一原理計算で系統的にトポロジカル普遍量の判定を行った後に、12 組成中の 10 組成を実際に単結晶試料として合成し、物性評価を行った結果を示す。

3次元のラシュバ物質については、 BiTeX ($X = \text{I, Br, Cl}$) が有望な候補物質であることを理論計算と実験の双方から示す。前半は、単結晶合成法の選択により、絶縁体から金属まで電子状態の制御に成功したことを紹介する。キャリア量(フェルミ準位)に対応するスピンバンド分裂したバルク電子状態は、内因性スピンホール効果や、シングレットとトリプレットが混成した超伝導状態など、種々の興味深い現象を探索する舞台として魅力的であることについて議論する。後半は、これら物質が格子圧縮によりトポロジカル相転移することについて、弾性定数の見積りにより圧力効果を定量的に検討した結果から議論し、裏と表と側面とで異なる表面電子状態をもつような新しいトポロジカル絶縁体の創製にも有望であることを紹介する。

極性半導体 BiTeI における巨大なラシュバ型スピン分裂

石坂 香子 (東京大学大学院工学系研究科)

固体中のスピン軌道相互作用と空間反転対称性の破れに起因するスピン分裂の研究(ラシュバ効果、ドレッセルハウス効果)は、スピントロニクスの最も基本的な動作原理として応用への期待からも注目されている。ここで報告する BiTeI は三角格子を組んだ Bi, Te, I 層が順に積層した P3m1 結晶構造を有する半導体であり、積層軸方向に極性を持つ。このような空間反転非対称な結晶構造に由来する電子構造やスピン軌道相互作用によるバンドのスピン分裂の様子を調べるため、スピン分解・角度分解光電子分光および第一原理計算を行った[1,2]。

角度分解光電子分光($h\nu=21.2$ eV)により観測された伝導帯は 0.2 eV 程度の明瞭な分裂を示しており、これは金の表面状態などにおいて観測される k -linear なラシュバ型分裂と類似している。実際に、スピン分解角度分解光電子分光の結果からはそれぞれのバンドがラシュバ型のスピン分極(極性電場ベクトルと運動量ベクトルに直交するスピン成分 S_{\perp})を持つことが確かめられた。また、SPring-8 BL17SU での波長依存角度分解光電子分光により、BiTeI の持つ 3 次元的なバンド分散とそのスピン分裂構造が確認された。これらは相対論効果を考慮した第一原理計算とよく一致しており、BiTeI のバルク電子構造がラシュバ型の大きなスピン分裂に支配されることを実証するものである。このような特異な結晶構造およびバルク電子構造を反映し、BiTeI は特徴的な光学特性[3]、軌道磁性[4]や圧力依存トポロジカル転移[5]などの興味深い性質を持つことが次第に明らかとなっており、今後の展開が期待される。

- [1] K. Ishizaka *et al.*, Nature Mater. **10**, 521 (2011).
- [2] M. S. Bahramy, *et al.*, Phys. Rev. B **84**, 041202(R) (2011).
- [3] J. S. Lee *et al.*, Phys. Rev. Lett. **107**, 117401 (2011).
- [4] G. A. H. Schober *et al.*, arXiv: 1111.5800v1.
- [5] M. S. Bahramy *et al.*, Nature Communications DOI:10.1038/ncomms1679 (2011).

巨大 Rashba 効果の走査トンネル分光イメージング

幸坂 祐生 (理化学研究所)

結晶の空間反転対称性が破れると、固体中の電子のバンド分散はスピン分裂を起こす。このような現象の一つとして Rashba-Bychkov 効果[1]が知られており、重金属表面や半導体量子井戸などで研究が進められてきた。Rashba-Bychkov 効果の特徴の一つは、完全後方散乱($k \rightarrow -k$)がスピンの反転を伴うために抑制されることであり、トポロジカル絶縁体の表面電子状態の特徴と類似している。我々は層状半導体 BiTeI について走査型トンネル顕微鏡(STM)を用いた分光イメージング測定を行い、不純物による電子散乱を詳細に調べた。

BiTeI は重元素から構成される空間反転対称性のない層状構造を持つ物質である[2]。バルク物質として大きな Rashba 分裂が実験的に観測されているだけでなく[3,4]、圧力下でトポロジカル絶縁体になることが理論的に示唆されている[5]。このため、この物質は強いスピン-軌道相互作用がもたらす物性を研究するための格好の舞台を提供している。

STM による BiTeI の測定結果として、1 つの表面上で n 型金属的及び p 型半導体的な 2 種類のテラスが観測されることを見出した。n 型金属的テラス上では不純物周囲に明瞭な電子定在波が観測された。Fourier 解析により電子定在波の分散は 2 種類あることを確認し、理論予測[6]とは異なる結果を得た。これは Rashba 分裂したバンド間での散乱と、スピンの面直成分が存在することによるバンド内散乱の両方が見えていることに起因する。このことは、スピンの面直成分の存在が(トポロジカル絶縁体の表面状態同様に)電子状態の理解に不可欠であることを示している。

- [1] Y. A. Bychkov and E.I. Rashba, JETP Letters **39**, 78 (1984).
- [2] A. V. Shevelkov *et al.*, J. Solid State Chem. **114**, 379 (1995).

- [3] K. Ishizaka et al., Nature Mater. 10, 521 (2011)
[4] J. Lee et al., Phys. Rev. Lett. 107, 1 (2011).
[5] M.S. Bahramy, B.-J. Yang, R. Arita, N. Nagaosa, arXiv:1109.5102 (2011).
[6] L. Petersen, P. Hedegard, Surf. Sci. 459, 49 (2000).

トポロジカル絶縁体・超伝導の物質開発と物性解明

安藤 陽一（大阪大学産業科学研究所）

物性物理学の分野で最近、「トポロジカルな量子状態」に関する研究が急速に進展している。その大きなきっかけとなったのが、普通のバンド絶縁体の中にも Z_2 インデックスという不変量で特徴付けられるトポロジカルな絶縁体があるという発見である (Kane and Mele, 2005 年)。そのような絶縁体は当初、量子スピンホール絶縁体と呼ばれたが、2007 年ごろからトポロジカル絶縁体と呼ばれるようになり、その後具体的な物質も発見されて、ここ数年その研究が世界的な流行を見せている。

このトポロジカル絶縁体の特徴は、バルクにはエネルギーギャップを持つ絶縁体なのに、その表面にギャップレスの金属状態が生じていることである。その表面状態中の電子は、質量ゼロのディラック方程式で記述されるエネルギー状態を持つため、これを相対論的ディラック粒子とみなすことができる。しかもそのスピンの方向が、面内であつ運動量ベクトルと垂直な方向に固定されたヘリカルなスピン偏極を持つのが大きな特徴である。このようなヘリカルスピン偏極の存在は無散逸スピン流の存在を意味するので、トポロジカル絶縁体の表面を利用した超省エネルギー型スピントロニクス応用が期待されている。

また最近、トポロジカル絶縁体の発見に触発されて、「トポロジカル超伝導体」の研究も流行の兆しを見せている。このトポロジカル超伝導体もトポロジカル絶縁体と似た特徴を備えており、バルクの波動関数には超伝導ギャップが開いているのに、表面にギャップレスの状態が現れる。ただしトポロジカル超伝導体のバリエーションはトポロジカル絶縁体よりも広く、バルクの持つトポロジカルな性格に応じて、表面状態の性質も様々である。例えば時間反転対称性の破れた 2 次元トポロジカル超伝導体のトポロジーはチャーン数によって決まり、その端には右回りか左回りかどちらか一方の電子の流れ (カイラルエッジ流) が生じる。これに対して、時間反転対称性を保った 3 次元トポロジカル超伝導体のトポロジーはヒルベルト空間の巻き付き数によって決まり、その表面にはヘリカルなスピン偏極を持ったマヨラナ粒子が現れる。

上記のようなトポロジカル絶縁体・超伝導体における新奇なトポロジカル量子状態の学理を確立するためには、物質開発と物性解明を車の両輪としてバランスよく推進することが望ましい。本講演では、我々の研究室で行っているそのような研究の最新の成果を紹介する。

トポロジカル絶縁体の表面・界面状態と外場応答

村上 修一（東京工業大学理工学研究所）

トポロジカル絶縁体表面ではディラックコーンと呼ばれる線型の分散が実現していて、その傾き (速度) で特徴づけられる。本講演では、トポロジカル絶縁体同士の界面を作ったときに界面に局在する状態について、2 つのトポロジカル絶縁体表面の速度が互いに逆符号のときはギャップレスになることを示した。またこうしたトポロジカル絶縁体表面に円偏光を当てると静的な磁化が誘起される逆ファラデー効果について、非平衡グリーン関数法を用いて計算し、低周波数では周波数に比例した磁化が出ることを示した。

トポロジカル絶縁体表面の非磁性・磁性原子吸着効果

木村 昭夫 (広島大学大学院理学研究科)

3次元トポロジカル絶縁体は、理想的にはバンドギャップ中にマスレスなディラックコーンを表面状態(トポロジカル表面状態)として持つ。電子スピン(有効磁場)の方向が波数ベクトルに対して固定されているため波数空間で **helical spin texture** を構成する。その結果、欠陥や非磁性不純物による表面電子の散乱が大きく抑制され、エネルギー損失の少ない表面スピン流が得られることが期待され、量子電磁気効果、それに関わる磁気単極子の発生、さらにはマヨラナフェルミオンの出現など様々な新奇量子現象が期待される[1,2]。

我々は、三次元トポロジカル絶縁体表面の電子構造を調べるために、真空紫外領域のシンクロトロン放射光で励起する高分解能角度分解光電子分光(HR-ARPES)及び走査型トンネル顕微鏡(STM)を組み合わせ研究を行っている。特に、波数空間においてトポロジカル表面状態がバルク状態に対して孤立しているかどうかを見極める事がこの研究では重要であることから、トポロジカル絶縁体の電子構造研究には広範囲で波長可変なシンクロトロン放射光の利用は必須である。また、STMを用いることにより、結晶終端面の特定が出来るだけでなく、不純物や欠陥等による表面電子の散乱についての知見が得られる。これらの代表的な2つの表面プローブ法を組み合わせることで、表面ディラック電子の理解をより深められる。本研究では、広島大学放射光科学研究センターHiSORにてHR-ARPES実験を行った。

典型的な三次元トポロジカル絶縁体として知られる Bi_2Se_3 は **Se-Bi-Se-Bi-Se** の5原子層で構成されるブロック層が比較的弱い結合で積層している構造をとる。ブロック層間にはゲスト原子が挿入しやすく、例えば **Cu** が層間にインターカレートされた場合には超伝導が現れる。我々は、超高真空中で Bi_2Se_3 表面に、蒸着法により **Ag** 原子をインターカレートしたところ、最表面のブロック層がバルクから離れ、トポロジカル表面状態が埋もれた界面に移動したことをSTM及びHR-ARPESにより観測した[3]。この結果は、非自明(non-trivial)-自明(trivial)な物質の界面でギャップレスなトポロジカル表面状態が生じることから理解でき、基礎的な観点からのみならず応用面においても重要な知見を与える。

一方、トポロジカル絶縁体に磁性原子をドーブした系や、表面に磁性原子を吸着させた場合には、トポロジカル表面状態のディラック点においてエネルギーギャップが生じることが報告され注目を浴びている[4,5]。ただし、その表面における磁性について直接的な知見が得られておらず、そのエネルギーギャップと磁性との関係が不明なままである。我々は、 Bi_2Se_3 単結晶表面に磁性原子としては典型的な **Fe** や **Co** 原子を微量吸着し、STM、HR-ARPES および内殻吸収端における磁気円二色性(XMCD)分光を用いて表面における吸着状態、電子構造、磁性の解明を試みた。その結果、 Bi_2Se_3 のトポロジカル表面状態は、**Fe** 及び **Co** 原子吸着に対して、電子ドーブの効果でフェルミエネルギーの移動は観測されるものの、エネルギーギャップは閉じたままで大きな変化は見られなかった。さらに **Fe**, **Co** L_{23} 吸収端におけるXMCD分光実験では、 ± 8 テスラの間で外部磁場を挿引して実験を行ったところ、キュリーワイス常磁性の振る舞いが観測された。また **Co** 原子吸着については、STMを用いて試料バイアス+200mV以上(非占有状態側)で定在波が観測されたが、基本的には時間反転対称性が破れたためではなく、等エネルギー面のワーピング効果により散乱が生じているものと解釈する事ができる[6]。以上の実験結果から、**Fe** 及び **Co** 原子吸着に対してトポロジカル表面状態はロバストであることが結論される。また我々とは独立に行われた別の $\text{Fe}/\text{Bi}_2\text{Se}_3$ についてのARPES実験でも同様の結論が得られている[7]。この結果は、先行研究[5]とは大きく矛盾することを最後に申し添える。

【謝辞】本研究は、叶茂、黒田健太、宮本幸治、奥田太一、有田将司、仲武昌史、島田賢也、生天目博文、谷口雅樹(広島大学)、植田義文(呉高専)、E.E. Krasovskii, E.V. Chulkov(DIPC), S. Ereemeev(Tomsk)との共同研究である(敬称略)。

References

- [1] M. Z. Hasan and C. L. Kane, Rev. Mod. Phys. **82** (2010) 3045.
- [2] 村上修一他、日本物理学会誌 **65** 巻 (2010) 840.
- [3] M. Ye et al., arXiv. 1112.5869 (2011).
- [4] Y. L. Chen et al., Science **329**, 659 (2010).
- [5] L. A. Wray, Nat. Phys. **7**, 32 (2010).
- [6] M. Ye et al., arXiv. 1112.3206 (2011).
- [7] M. R. Scholz et al., arXiv. 1108.1037 (2011). [Phys. Rev. Lett., accepted.]

光電子分光によるトポロジカル転移の研究

松田 巖 (東京大学物性研究所)

トポロジカル絶縁体の代表的な物質である $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ は Bi に Sb をドーピングすることで合成される。 Z_2 で定義されるトポロジカル量に対して $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ は non-trivial であるが、Bi は trivial であるためこの変化は必然的にトポロジカル転移である。理論的には $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ はバルクバンドが Sb のドーピング量に伴ってまずその L 点でのギャップを閉じ、再度開く際にエッジ状態バンドが non-trivial になる。本研究では物質の電子構造を直接調べることができる光電子分光法で、このトポロジカル転移を追跡した。光源として、バルクバンドと表面バンドを選択的に調べることができる放射光を用いた。

その結果、 $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ の Sb ドーピング量に伴う各バルクバンドのエネルギーシフトを定量的に決定することができ、また L 点でのギャップが再度開く際にエッジ状態が変化することを確認した。エッジ状態はスピン偏極しており、その数は理論予測よりも多かった。これは trivial なエッジ状態と non-trivial なエッジ状態の混成で説明することができる。本講演ではこれらエッジ状態の変遷を表面状態の形成条件と合わせて議論した。

本研究は中村史一、小宇佐友香(慶応大学)、武市泰男、Marie D'Angelo(パリ大学)、Alexy A. Taskin(阪大)、中辻寛、小森文夫、柿崎明人、近藤寛(慶応大学)、安藤陽一(阪大)の各氏との共同研究です。

- [1] Topological transition in $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ studied as a function of Sb doping, F. Nakamura, Y. Kousa, A. A. Taskin, Y. Takeichi, A. Nishide, A. Kakizaki, M. D'Angelo, P. Lefevre, F. Bertran, A. Taleb-Ibrahimi, F. Komori, S. Kimura, H. Kondo, Y. Ando, and I. Matsuda, *Phys. Rev. B* **84** 235308 (2011).

走査トンネル分光イメージングによるバンド分散測定

吉澤 俊介 (東京大学物性研究所)

$\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ は $x \sim 0.1$ でトポロジカル絶縁体となり、バルクのエネルギーギャップの中にスピン偏極した金属的な表面状態をもつことが角度分解光電子分光法(ARPES)により確認されている[1,2]。しかし ARPES で得られている分散関係は理論予測とは異なり、その原因を理解するには通常の ARPES では測定できない非占有状態の分散関係を知る必要がある。今回、 $\text{Bi}_{0.79}\text{Sb}_{0.21}$ 単結晶(111)劈開面において走査トンネル分光(STS)測定を行い、準粒子干渉による局所状態密度(LDOS)の空間変調を観測した。この空間変調に含まれるフーリエ成分は表面状態バンドの等エネルギー線をむすぶ散乱ベクトルと対応付けられ、スピン反平行の状態間の散乱に対応する成分は観測されないことが分かっている[3]。この性質をもとに、空間変調のフーリエ変換のエネルギー依存性を詳細に解析することで、 Γ 点付近の分散関係を占有状態から非占有状態まで明らかにすることができた。つづいて磁性不純物として Co をわずかに蒸着して同様の測定を行い、清浄表面での結果と比較した。フーリエ変換で得られるピークの種類と波数は清浄表面で得られたものと同じであった。また、Co 原子の近傍にはクローバー形に広がる 3 回対称の状態ができて、+100 meV 付近に LDOS のピークを作ることを明らかにした。Co の磁性が消えている可能性と、スピン反転散乱が存在しても対応する定在波が生じていない可能性が考えられる。

- [1] A. Nishide *et al.*, *Phys. Rev. B* **81**, 041309(R) (2010).
[2] F. Nakamura *et al.*, *Phys. Rev. B* **84**, 234308 (2011).
[3] P. Roushan *et al.*, *Nature* **460**, 1106 (2009).

トポロジカル絶縁体超薄膜の電子構造と電子輸送

平原 徹 (東京大学大学院理学系研究科)

トポロジカル絶縁体は量子スピンホール相とも呼ばれ、最近“新しい物質状態(a new state of matter)”として量子伝導、場の理論、表面物理などを中心に物性物理の研究分野全体に話題を提供している[1]。この相は2次元及び3次元系で実現されるもので、バルクが非磁性絶縁体であるのに対して、そのエッジ状態(2次元の場合)や表面状態(3次元の場合)はギャップレスである。このエッジ/表面状態はスピン流を運び、しかもこのエッジ/表面状態は非磁性不純物等による散乱からトポロジカルに保護されているなど新奇な物性が理論的に提唱されており、ビスマス系化合物でその実験的観測が報告され、現在までに多くの実験が行われている。

上記のようにトポロジカル絶縁体の興味深い性質は表面状態が担っている。原理的にはバルクのバンド構造はギャップを持つために十分低温でその寄与をなくし、表面状態のみの特性を計測することが可能なはずである。しかし現実的には高純度で作成した結晶であっても種々の欠陥によってドーピングされ、絶縁体ではなくなっている。

このような状況を踏まえて筆者らはトポロジカル絶縁体を超薄膜として成長させて *in situ* で電子状態及び電子輸送を研究している。超薄膜を用いることで(i)表面/バルクの比を大幅に向上させ表面敏感な測定ができ、さらに(ii)3次元から2次元へのクロスオーバーの際のトポロジカルな性質の変化が議論できる。また(iii)基板や蒸着層の寄与によるトポロジカル表面状態やトポロジカル数の変化なども理論的には期待されており、その実験的検証も可能である。一方 *in situ* で測定を行うため、(iv)大気暴露などによる表面・バルクバンドの変化・汚染なども気にしなくて良いという利点がある。本講演ではその成果の一端を紹介した[3]。

本研究は長谷川修司先生、坂本裕介氏、相谷昌紀氏、山田学氏、福居直哉氏(東京大学大学院理学系研究科)、Gustav Bihlmayer 博士、Stefan Blügel 博士(ドイツユーリッヒ研)、宮崎秀俊博士、松波雅治博士、木村真一先生(分子科学研究所 UVSOR)、奥田太一先生(広大放射光センター)、武市泰男氏、松田巖先生、柿崎明人先生(東大物性研)、小林功佳先生(お茶大)との共同研究です。

[1] 村上修一、平原徹、松田巖、日本物理学会誌 Vol. **65**, No. **11**, 840 (2010).

[2] A. Taskin *et al.*, Phys. Rev. Lett. **107**, 016801 (2011).

[3] T. Hirahara *et al.*, Phys. Rev. B **81**, 165422 (2010); Phys. Rev. B **82**, 155309 (2010); Phys. Rev. Lett. **107**, 166801 (2011). Y. Sakamoto *et al.*, Phys. Rev. B **81**, 165432 (2010). T. Hirahara *et al.*, submitted (2012).

トポロジカル絶縁体の偏光依存・時間分解 ARPES

石田 行章 (東大物性研)

角度分解光電子分光(ARPES)にレーザーの単色性・偏光制御性・短パルス性などを活かすことで、より分析的に物質の電子状態を調べることができる。本講演では、Cu を添加したトポロジカル絶縁体 Bi_2Se_3 の時間分解および偏光依存レーザーARPES の結果を紹介した。

まず、 $\text{Cu}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$ の時間分解 ARPES と偏光依存レーザーARPES に以下の2点の異常が認められることを報告した:(1) フェルミ準位近傍の電子分布のダイナミクスのほかに、光電子強度が過渡的に変化する現象が観測された;(2) 双極子選択則では説明できない ARPES の直線偏光依存性が観測された。これらが $\text{Cu}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$ 表面の特異な分極に由来する表面光電子放出のチャンネルを考慮すると説明できることを示し、 $\text{Cu}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$ の表面状態や二次元電子ガスの表面局在の度合いや、表面分極とランジュバ分裂との関連を議論した。

次に、 $\text{SrTiO}_3:\text{Nb}$ と $\text{Cu}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$ の ARPES の円二色性について報告した[Y. Ishida *et al.*, PRL **107**, 077601 (2011)]。

SrTiO₃:Nb 表面の二次元電子ガスの円二色性に、実験系の対称操作だけでは説明のつかない“水平ノード”が現れることを報告し[図 1]、これが(1)入射面に対して垂直に鏡映面が存在し、(2)電子状態が光電子のド・ブロイ波長に比して局在している、という 2 条件が満たされると現れることが双極子近似の範囲で言えることを示した。これを基に Cu_xBi₂Se₃ に現れる ARPES の円二色性を考察し、ディラック点から離れるにつれてトポロジカル表面状態が理想的なヘリカルスピンの構造から逸脱する原因などを議論した。

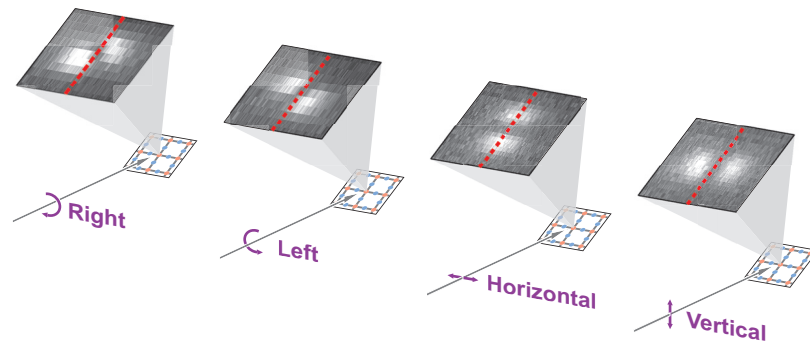


図 1 : 種々の偏光で測定した SrTiO₃:Nb の表面状態のフェルミ面マッピング。入射面での鏡映に関して、右円偏光の実験系は左円偏光の系に重なるので、実験結果も点線の折り返しに関して重なる。一方、左右円偏光で得られるマッピングは、水平ラインでの上下の折り返しでも入れ替わるように見え、円二色性はこのラインでも消失する。

ISSP ワークショップ

三軸分光器研究会

日時：2012年4月27日

場所：東京大学物性研究所本館6階 第5セミナー室

提案者：益田 隆嗣（東大物性研）

吉沢 英樹（東大物性研）

物性研究所附属中性子科学研究施設では、平成22年度より、分光器維持管理チーム(IRT: Instrument and Research Team)のためのマシンタイム枠を有効に利用することを目的とし、テーマ限定型プロジェクト課題を年度ごとに定め、サイエンスを強力に推進する新しい制度を構築した。新制度の下、各分光器担当チーム(IRT)が中心となり、強相関電子系、フラストレーション系、鉄系超伝導、f 電子系などの分野で多くの成果が上げられてきた。そこで本研究会では、3 軸分光器の IRT プロジェクト制度の運用についての報告と、その成果発表を行った。新制度2年目の平成23年度は、東日本大震災の影響で日本国内での実験が不可能となった。しかし、米国オークリッジ国立研究所、オーストラリア ANSTO、韓国 KAERI など海外施設からの援助申し出により、物性研採択課題の一部が転送され、数多くの研究者が海外で実験を行う機会が得られた。そこで、海外転送課題の成果発表も併せて行った。

まず初めに、GPTAS, PONTA, TOPAN, HQR, HER, AKANE の6台の大学所有3軸分光器の装置担当者により、新制度の運用形態、分光器の改良、プロジェクト課題の成果報告が行われた。後のセッションでは、各分光器のパワーユーザーによる12件の研究成果報告が行われた。国内の3軸分光器のみならず、震災対応の海外からの支援マシンタイムによる成果、物性研の日米協力事業により運営されているオークリッジ国立研究所の CTAX 分光器による成果発表も行われた。固体物理学を興味の対象とし、3軸分光器を実験手法とする研究者が一同に会した研究会となり、大変多くの議論がなされた。また会場は定員40名の小規模なセミナー室であったが、出席者間の物理的距離が近かったため、活発な議論が促進された。最後に、総合科学研究機構の佐藤正俊氏より、本研究会の講評をいただき、物性研の新 IRT プロジェクト制度が効率的に機能していることがコメントされた。また、「本日発表があった研究成果を聞いただけでも、中性子3軸分光器が固体物理研究において不可欠なものであるとの実感を持つが、今後も、この分野の研究者が、目先のことに囚われない発展性のある研究テーマに立ち向かい、なお一層大きな成果を世に送り出していくよう期待している」という趣旨のコメントをいただいた。

参加者数約30名、開催期間1日間の短いワークショップではあったが、国内の主だった三軸分光器研究者による興味深い講演と活発な議論が行われ、大変有意義な研究会となった。参加者の方々には、年度初めの忙しい時期の開催にも関わらず、研究会にご出席いただいたことに厚くお礼申し上げます。最後に、この研究会の運営に携わった中性子科学研究施設の事務・技術補佐員、学生、スタッフにもお礼を申し上げます。

プログラム

10:00–10:05 柴山 充弘（東大物性研）：はじめに

セッション1 各分光器のIRT研究成果発表

座長 吉沢 英樹

- | | | |
|-------------|--------------|---|
| 10:05–10:25 | 佐藤 卓（東北大多元研） | GPTAS-IRT プロジェクト課題の成果 |
| 10:25–10:45 | 益田 隆嗣（東大物性研） | 5G-IRT プロジェクト課題の成果報告 |
| 10:45–11:05 | 岩佐 和晃（東北大院理） | 東北大学理学部三軸型分光器 TOPAN における物質科学研究と装置アップグレード |
| 11:05–11:25 | 吉澤 英樹（東大物性研） | 平成 22 年度における T1-1 の IRT の活動状況 |
| 11:25–11:45 | 横山 淳（茨城大理） | 重い電子系 URu ₂ Si ₂ の隠れた秩序相における反強磁性ゆらぎ |
| 11:45–12:05 | 平賀 晴弘（東北大金研） | AKANE-IRT プロジェクト課題の成果 |

セッション2 海外転送課題及び一般課題成果発表I 12:05–12:25

- | | | |
|-------------|--------------|--|
| 12:05–12:25 | 有馬 孝尚（東大新領域） | Mn ₃ O ₄ における磁場誘起相転移とスピン軌道相互作用 |
|-------------|--------------|--|

昼休み 12:25–13:30

セッション3 海外転送課題及び一般課題成果発表II

座長 佐藤 卓

- | | | |
|-------------|-----------------|---|
| 13:30–13:50 | 藤田 全基（東北大金研） | 頂点酸素を有しない銅酸化物超伝導体の磁気相関 |
| 13:50–14:10 | 佐藤 正俊（総合科学研究機構） | 鉄系超伝導の対称性と中性子非弾性散乱 |
| 14:10–14:30 | 網塚 浩（北大院理） | URu ₂ Si ₂ の隠れた秩序状態における磁気励起 |
| 14:30–14:50 | 阿曾 尚文（琉球大理） | 空間反転対称性を持たない超伝導体 CeIrSi ₃ の非整合磁気構造 |

休憩 14:50–15:05

セッション4 海外転送課題及び一般課題成果発表III

座長 益田 隆嗣

- | | | |
|-------------|------------------|---|
| 15:05–15:25 | 左右田 稔（東大物性研） | 磁性イオンをもつリラクサー誘電体における新奇超常磁性 |
| 15:25–15:45 | 田中 秀数（東工大理工学研究科） | スピン 1/2 籠目格子反強磁性体の磁気励起と今後の展望 |
| 15:45–16:05 | 松浦 直人（東北大金研） | 中性子スピンエコー法を用いたリラクサー誘電体の研究 |
| 16:05–16:25 | 中島 多朗（東理大理） | ORNL-HFIR におけるマルチフェロイック CuFe _{1-x} Ga _x O ₂ の一軸圧力中中性子非弾性散乱 |

休憩 16:25–16:40

セッション5 海外転送課題及び一般課題成果発表IV

座長 南部 雄介

- | | | |
|-------------|------------------|--------------------------------|
| 16:40–17:00 | 留野 泉（秋田大教育） | PbTiO ₃ の格子ダイナミクス |
| 17:00–17:20 | 田畑 吉計（京大院工） | ランダム磁性体の磁気相転移・磁気秩序 |
| 17:20–17:40 | 富安 啓輔（東北大高教センター） | パイロクロア格子を持つスピンフラストレート系の中性子散乱研究 |
| 17:40–17:45 | 佐藤 正俊（総合科学研究機構） | コメント |

客員で行った研究の紹介

琉球大学教育学部 柄木 良友

長年住み慣れた物性研から 2010 年 10 月琉球大教育学部に着任しました。物性研時代に新物質科学研究部門の中辻准教授としばしば共同で研究を行ってきた縁で 2011 年度後期の客員として数回物性研に出向き実験を行いました。今回物性研で行った実験を紹介します。

試料はキレート化合物の NaCo triacetylacetonate・benzene です。この化合物の結晶構造は trigonal(space group P-31c) で Co^{2+} はアセチルアセトン中の酸素のつくる 8 面体に囲まれている。C 面内で Co は三角格子を形成している。X 線回折の結果 C 軸方向の隣接スピン間距離は 6.0 Å, C 面内では 10.2Å であることが分かった。高品質の単結晶を合成することが出来たので物性研で比熱や磁気測定を行った。以下の実験結果はすべて単結晶を使用した。

300K~2K の磁化測定から Co^{2+} の $g_{\parallel} \sim 7.8$, $g_{\perp} \sim 1.4$ (effective spin=1/2) が求まった。したがって Co^{2+} のスピンはイジング異方性を持つと考えることができる。4K 以下の実験は希釈冷凍機で測定を行った。C 軸(容易軸)方向の DC 磁化率 M/H を図 1 に示す。

低温部分の DC 磁化率、比熱を図 2 に示す。比熱の結果は 60mK で三次元秩序が生じることを示している。この温度で磁化率がステップ的に増加していることおよび転移温度以下で磁化率が増加傾向にあることが分かった。これらの結果は目方による分子場近似による 2 次元イジング三角格子の常磁性一部分無秩序転移の結果を定性的によく再現している。[1] 相互作用の大きさは分っていないがこのような低い転移温度から考えて双極子相互作用の寄与が大きいと考えられる。格子定数から C 軸方向の双極子相互作用が最も大きく強磁性的である。しかし図 1 の磁化率に一次元性が現れるほどには大きくない。

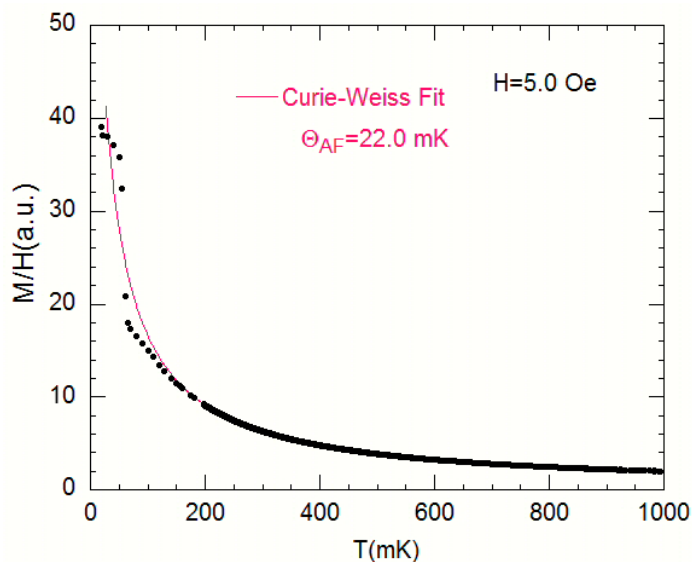


図 1 磁化率

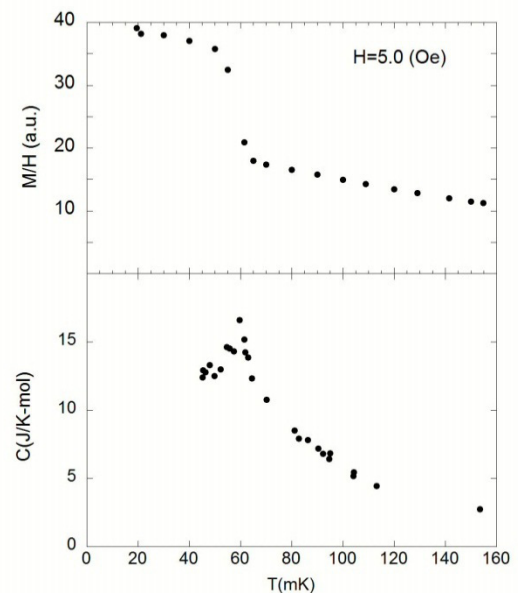


図 2 磁化率(上)、比熱(下)

図 3 に 1K と 20mK での C 軸方向の磁化過程の結果を示す。なおこのデータは pick-up coil のアンバランス分や温度変化しない磁化率の寄与を差し引いてある。20mK では 1/3 プラトーから飽和に至る磁化過程が観測された。この磁化過程は零磁場の部分無秩序相からフェリ相(uud)を経てパラ相(uuu)に達する過程を表していると考えている。ただ不思議なことに残留磁化が負の方向に出ている。この理由はよくわからないがもし零磁場での磁気相が自発磁化をもつフェリの場合正の残留磁化を示すと考えられる。したがってこの負の残留磁化は零磁場での部分無秩序相の存在を支持していると考えられる。さらにこの物質で特徴的なのは低温ではスピン緩和時間が非常に長くなることである。32Hz の交流帯磁率測定では 46mK に χ'' がピークを持ち 30mK 以下の温度で χ'' が非常に小さくなる。このような低温での遅い緩和はこの系がイジング強磁性鎖とみなすことができ、このような系のスピン緩和が熱活性型であることで説明されると考えている。[2]

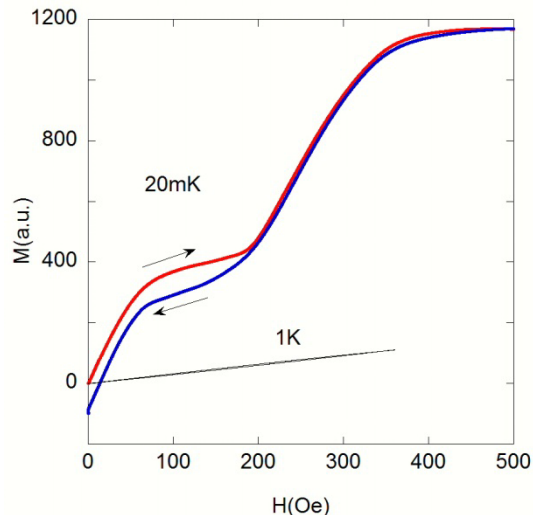


図 3 (磁化過程)

以上をまとめると NaCo tri-acetylacetonate · benzene は 1 次元性はよくないがイジング強磁性鎖が作る三角格子とみなすことができ、60mK 以下で部分無秩序相が実現していると考えている。なお分子場の計算ではさらに低温で磁気転移が存在することが示されているが測定最低温度 20mK まででは転移は観測されなかった。[1] 今回の実験では中辻さん、久我さん、松林さん、上床さんにお世話になりました感謝します。

[1] M. Mekata, J. Phys. Soc. Jpn. **42**, 76 (1977).

[2] S. Niitaka, K. Yoshimura, K. Kosuge, and K. Kakurai, Phys. Rev. Lett. **87**,177202 (2001).

客員所員を経験して

(独)科学技術振興機構、慶應義塾大学 江口 豊明

2011 年度後期に、長谷川幸雄先生のホストで、客員准教授として物性研究所の御世話になりました。まだ覚えておいでの方も多いかと思いますが、私は 2001 年 4 月から 2010 年 6 月までの 9 年余り、長谷川研究室の助教として物性研で研究生活を送りました。現職に移った後も、残務整理のためしばしば物性研を訪れていましたので、今回の客員所員滞中に際しても、あまり懐かしさを感じることはありませんでしたが、それでも訪問の度に何らかの変化を見つけて、本研究の活動の活発さを感じたものです。

今回の共同研究の主題は、「放射光励起走査トンネル顕微鏡(SR-STM)」に関するものでした。STM は表面の構造・電子状態を原子分解能で評価できる画期的な顕微鏡として、今日のナノサイエンスに不可欠な手法となっているのはご存知のとおりです。しかし、STM は、見ている元素が何であるのかを同定することが困難である、という表面分析手法としては大きな欠点を持ちます。これは STM がフェルミ準位近傍の、ごく浅い電子準位のみをプローブしており、それらは化学環境に応じて様々に変化してしまうこと考えると、原理的に困難なことであるといえます。こうした欠点を克服すべく、より深い内殻電子を励起し、元素固有の信号を STM 探針で検出することで、STM の高空間分解能を活かしつつ元素識別能力を付加しようというのが本研究の目的です。これは長谷川先生が物性研に着任された 1999 年当初から持たれていたアイデアの一つで、前職の東北大学・櫻井研時代に行われた研究(Jpn. J. Appl. Phys. 37, L1271 (1998))に端を発しています。この時は線源としてラボ用 X 線管を使用しているため、X 線照射に伴う電流変化を STM で観察するに留まっていますが、これを元素分析にまで発展させようという長谷川先生の創造性・先駆性には今もって感服いたします。先の研究を発展させて、より高輝度かつエネルギー可変性を持つ放射光を利用することは自然な流れですが、物性研はまさにうってつけでした。

田無の SOR-RING に始まり、高エネ研・フォトンファクトリー(KEK-PF)に占有ビームラインを持つなど、常に放射光研究の最先端にいる物性研究所に所属していて、これを利用しない手はありません。とはいえ、それまで放射光に関して利用経験も無く、知識にも乏しい者が、一利用者として乗り込み新奇装置開発を進めるなど、到底無理な話です。そこで当時軌道放射物性施設におられた木下豊彦先生に協力をお願いし、共同で開発を進めることになりました。私が着任したのは、丁度研究が具体的に動き始めたところで、当時木下研の修士 1 年生であった松島毅氏が中心となって、装置の設計・製作に取りかかりました。翌 2002 年の後半には基本的な装置が組み上がり、放射光を導入して STM 観察を行うに至りました。この頃になると、松島氏の修士論文との兼ね合いから私自身も PF に赴いて実験するようになり、また、当時木下研の助教であった奥田太一博士にも直接実験に関わって頂くようになりました。

放射光施設内で STM を行うにあたりまず懸念されたのが、高分解能観察が可能なのかということでした。STM は精密な測定ができる反面、機械的・電氣的ノイズに敏感で、幾重もの除振機能を備え、場合によっては防音室内に設置するなどの対策が必要となります。一方、放射光施設は常時多数の装置が稼働しており、しかも、真空紫外および軟 X 線領域の光を利用する今回の実験では、STM を設置した真空槽自体が機械的にビームラインと接続されるため、果たしてどの程度の STM 像が得られるものか不安でした。しかし、いざ実験を始めて見ると、多少の困難はあったものの、意外とすんなり原子分解能が得られました。まさに、案ずるより産むが易し、というわけです。ただ、放射光と STM を組み合わせる本当の難しさは、そこではありませんでした。

清浄表面を扱う研究の多くは、超高真空環境の準備に始まり、試料の導入、清浄化など測定前の準備に要する時間が多く、測定サイクルが長くなりがちです。これに加え STM では、用いる探針先端の原子レベルでの状態など、制御困難な要因が測定に際してもつきまとうため、「あせらず、じっくり、根気よく」というのが基本姿勢です。可能な限りの準備をして望んでも、何かしらの不具合に見舞われ理想通りに進まないことは研究の常ですが、そうした場合、STM を行う者としては、本格的な測定がゆっくり腰を据えて行えるよう、なるべく早い段階でやり直し、いかなる不安要素も取り除

いた方が得策だと考えます。しかし、ビームタイムという大きな制約がつきまとう放射光実験では、そんな悠長なことは言われていません。利用できる放射光は最大限に活用する、というのが何よりも優先されます。次の実験は数ヶ月後かもしれない、仮に今回の実験で良い結果が得られないのであれば、次回に向けて今何をやるべきか、常に判断しつつ、臨機応変な対応を迫られます。私も、実験開始当初は STM の測定クオリティを気にするあまり、なかなか放射光を導入するにいたらず、共に実験していた奥田氏はじれったく思われていたことでしょう。しかし、ひとたびビームタイムを経験すると、従来のスタイルでは研究が進まないことを思い知らされ、方針転換を図りました。それでもついつい立ち止まりがちになるのを、奥田氏が思い切りよく後押ししてくれたおかげで、先に先にと進むことができました。

2002 年の暮れごろから、奥田氏と二人で本格的に実験を始めますが、何せ全てが初めての試みですので、何をどうしたら良いのか、まさに暗中模索でした。朝、それぞれ考えてきたアイデアを打ち合わせ、日中、実験して見るも芳しい結果は得られず、夜、さてどうしたものかと頭を抱える、という日々が続きました。こうした状況ゆえ、他のメンバーに実験に参加して貰っても、こちらから指示を与えることもできず、結局、助教二人がかりで格闘せざるを得ませんでした。そうした試行錯誤を数年間続け、2005 年に入ると何とか空間分解能をもって元素分析できることを示す結果が得られました (Appl. Phys. Lett. **89**, 243119 (2006))。ようやく見えてきた希望の光を頼りに研究を続け、本手法で異なる元素を 20 nm 程度の分解能で識別できることも分かってきました (Phys. Rev. Lett. **102**, 105503 (2009))。最近、主に利用していた KEK-PF の BL-13 が光学系の更新により高輝度化されたため、より高感度・高分解能な測定が可能となると期待しています。しかし、光のスポット径が約 100 μm と従来の 1/10 程度まで小さくなったため、より精緻な光軸調整が必要となってきました。これを期に、装置全体の構成を全面的に見直し、これまでのノウハウに基づいた改良を加えた新たな STM ユニットの設計・製作に 2010 年初頭から取りかかりました。その最中、私の移籍が決まり、本研究は一旦停滞を余儀なくされます。これに先立つ 2005 年に木下先生が高輝度光科学研究センター (JASRI-SPring8) へ、2009 年には奥田氏が広島大学へと移られ、当初より研究に携わっているのは物性研では長谷川先生のみとなってしまいました。

前置きが長くなりましたが、私の今回の客員所員としての最大の使命は、これまで築き上げてきた物性研の本研究を継続させることにありました。私の移籍からあまり期を空けずに客員として迎えて頂いたことからもお察し頂けるように、研究内容の引き継ぎが実際的な活動となりました。移籍後、新しい研究室立ち上げの合間を利用して、何とか改良版の SR-STM を完成させるには至りましたが、これをブラッシュ・アップして行くのは私一人では困難でした。幸い、2011 年 4 月から新たに長谷川研の助教として着任された吉田靖雄博士も本研究に興味を持って頂いたことから、彼を中心に引き継ぎを進めることができました。勿論、長谷川先生や技術専門職員の浜田雅之氏をはじめとする長谷川研究室の皆様にも、積極的に取り組んで貰っています。彼らの熱心な取り組みのおかげで、最近のビームタイムでは、私が参加せずとも、一連の測定が行えるまでに至りました。装置の設置・光軸合わせ・測定に至る一連の手順がマニュアル化され、私と奥田氏以外の者が測定しているのを傍らから見ていると、本手法がより一般的な測定技術として確立してきたのだなど、我ながら感慨深くなります。まだ新しいデータを得るには至っていませんが、彼らの取り組みを見ていると、近い内に私の予想を越えた成果が出てくるであろうことが期待されます。ただ、客員期間中の 2011 年暮れから 2012 年初頭にかけて長谷川先生が体調を崩されてしまいました。多忙の中、自ら赴いての実験など無理をされていたのかと思うと、自分の協力の至らなさを反省する次第です。

足かけ 10 年に渡って軌道放射施設との共同で育て上げた本研究ですが、開発当初は KEK-PF の物性研ビームライン BL-19A を、また測定に際しては BL-13C を、共同利用の枠を越えて、かなり優先的に使用させて頂きました。こうした配慮がなければ、放射光施設を利用した新奇測定手法の開発は困難であったと思います。ご協力頂いた関係者の皆様には、改めて心より御礼申し上げます。BL-13 がリニューアルされ、物性研ビームラインも 2014 年 3 月末で共同利用を停止することなどを聞くと、本研究の実験設備・研究内容・研究スタッフのいずれもが一つの区切りを迎え、次なる新しい段階に移ったのだなど感じています。SPring-8 に新設された物質科学アウトステーションビームライン BL-07LSU も順調に稼働を始めているようですので、今後も物性研は放射光研究の先端を走り続けることでしょう。これを励みに、我々も SR-STM を更に発展させると共に、近い将来、アウトステーションビームラインも利用できればと考えています。客員の期間は終わりましたが、物性研との共同研究は続けて行きたいと思っておりますので、今後とも宜しくお願い致します。

以上、客員所員としての活動報告と言うよりは、研究回顧録が主になってしまいましたことをお詫言います。最後に、今後の皆様の研究と物性研究所の更なる発展をお祈りしまして、結びとさせていただきます。

客員所員を経験して

東京理科大学理学部

東京理科大学総合研究機構エネルギー・環境光触媒研究部門 工藤 昭彦

今回の客員所員の件では、小森先生、吉信先生、リップマー先生に大変お世話になりました。触媒のような機能性材料開発と多様な先端計測は、研究を進めるにあたって両輪の輪の関係にあります。今回の客員所員をきっかけに、その連携を強めることができ、共同研究も軌道に乗り始めることができました。お世話になった皆様にお礼申し上げます。

私の研究は、人工光合成の核心部となる光触媒を用いた水分解反応です。エネルギー・環境問題の観点から、人工光合成の実現が望まれています。世界各国でも、ソーラー燃料を作る大型プロジェクトが推進されています。この人工光合成の核心部の反応は、水を分解して水素と酸素を作ることです。これによって得られた水素はそのままクリーンエネルギーとして使えるだけでなく、二酸化炭素を炭素源に使う様々な燃料や化学製品を作ることができます。自然界の光合成は、光が関わる明反応と暗時で起こる暗反応に分けることができます。人工光合成では、水分解反応の部分を明反応、それで得られた水素との反応による二酸化炭素固定を暗反応と見なすことができます。われわれの研究グループでは、その明反応に対応する水分解光触媒材料の開発を行っています。独自の設計指針で新しい金属酸化物や硫化物光触媒材料を開発しています。そして、可視光で働く粉末光触媒材料の開発に成功しています。

光触媒材料には半導体的な特性を持つ物質が用いられます。半導体光触媒を用いた水分解反応は、次に示す 3 つの過程に分けることができます。第 1 の過程では、半導体光触媒のバンドギャップ励起により、数十 nm～数 μm の粒径を持つ光触媒粒子中に電子と正孔が生成します。ここで伝導帯中に励起された電子は水の還元電位よりも高いエネルギーを、価電子帯に生成した正孔は水の酸化電位よりも深いポテンシャルを持っている必要があります。このようなバンド構造を持つ材料を探索することが、新しい光触媒開発の第 1 ステップとなります。第 2 の過程は、これらの光生成したキャリアが再結合することなしに光触媒表面にたどり着くことです。キャリアの移動度を支配する因子として、光触媒粒子の結晶性があります。欠陥が少なく高い結晶性を持つ粒子が良いとされています。第 3 の過程は、電子および正孔による表面での水の還元および酸化反応です。これには、表面反応場の存在が重要であります。これらの過程が完結することにより、初めて光エネルギー変換型反応である水分解活性が発現します。これらの過程を見ると、多くの部分は固体物性が関係するものとなっています。太陽電池や発光ダイオードなどでも同様の過程が見られますが、これらのデバイスはキャリアの光生成や移動などの物理過程のみで機能を発揮するのに対して、光触媒ではそれらの物理過程のみならず、その表面での化学反応が進行することが要求されます。このように、光触媒は高度な光機能材料といえます。光触媒材料は、まさに物性研究の宝庫でもあります。

さて、新しい光触媒材料が開発されたは良いけど、欠陥が少ない単結晶ができるとどのぐらい効率が上がるのか、その材料のバンド構造はどうなっているか、表面のエネルギー構造や反応サイトはどうなっているのかなど、上で述べた素過程の詳細に興味湧きます。そのようなブラックボックスを紐解くことは、研究を進める上で不可欠であります。このような課題に対して、今回の客員所員をとおして、物性研の先生方のグループとわれわれのグループのお互いの強みを生かせる共同研究を進めることができました。材料開発には、放射光等を用いる高度でパワフルな計測手段が欠かせません。また、素過程の解明や性能の限界を知るための理想的なモデル化合物作りが不可欠です。これらの研究領域に秀でた物性研の先生方と共同研究を進めることにより、面白い成果が出始めてきました。具体的には、PLD により高品位の $\text{SrTiO}_3:\text{Rh}$ 光触媒単結晶薄膜を作成することに成功しました。これをモデル化合物とし、光電気化学測定や多様なキャラクタリゼーションを行うことができました。これにより、質の良い化合物が得られれば、光電気化学的な水分解効率を向上させることができるということが明らかになりました。この化合物では、ドーパントである Rh が可視光応答性に関与していることは以前の研究からわかっていたのですが、今回の共同研究によりそれが作る不純物準位に関する理論的、実験的知見が得られました。同時にその化学状態も明らかになりました。未ドーパの SrTiO_3 は n 型半導体であるのに対し

て、Rh をドーピングするとその特性が顕著に変化します。その解明が現時点での課題の一つであります。面白い光触媒材料はたくさんあります。今回の築かれた共同研究体制をもとに、今後いろいろなブラックボックスに光を当てられればと期待しております。またこれに関連して、在任中に開催された後期短期研究会「エネルギー変換の物性科学」においても、大変有意義な情報交換をすることができました。

応用物理学会のアカデミアロードマップの環境・エネルギー技術に人工光合成を意味する光触媒水素製造が掲げられています。まさに化学と物理の融合領域である本研究分野において、今後学会レベルでの横断的な取り組みができる体制を作り、人工光合成の実現に向けた研究開発が進展することを期待します。

滞在記 客員准教授(2011年10月-2012年3月)として

鹿児島大学大学院理工学研究科 奥田 哲治

昨年度後期の半年間、客員所員として国際超強磁場科学研究施設の徳永研究室や関連研究室の皆様にお世話になりました。物性研柏キャンパスには、昔(村岡さんが助手として居られた頃)にちょくちょく共同利用研究で廣井先生の研究室にお世話になり訪れており、「勝手知ったる他人の家」的なところがありましたが、実は国際超強磁場科学研究施設とは付き合いがなく、今回の滞在にあたり新たな経験をさせて頂きました。また、忘年会にまで楽しく参加させて頂きました。この場を借りて、皆様に、改めてお礼申し上げます。

徳永氏とは、大学院修士・博士課程の学生時代の同学年で、六本木時代の物性研で共に学位を取得しました。徳永氏は超強磁場(三浦研)で、私は超低温(石本研)の学生でした。どちらかと言うと、三浦研のもう一人の同期であった今中氏(現物材機構)にちょくちょく声をかけられて三浦研に遊びに行った記憶があり、徳永氏とは物性研のコピー室ですれ違い談話する雑談仲間でした。奇遇なのは徳永氏が試料提供を受けていた研究グループに、私が大学院修了後にポスドクとして参加したことで、お互い異分野の人間だと思っていたのが強関連の分野でバッティングすることになってしまいました。途中は大幅に省略しますが、その様な流れで今回の客員所員の話があった訳です。とは言うものの、学会での飲み友達は今中氏で、ポスター会場での立ち話友達は徳永氏であるのは今も変わりませんが。

さて、やる気満々で客員所員に着任したのですが、いざ着任してみると間の悪い雑用が重なり、ほとんど物性研に行くことができませんでした。言い訳になるのですが、研究の方はそれなりに予算を使い予備実験等を自研究室(鹿児島)で行い、本年度も引き続き同テーマで共同利用研究として継続させていくことになっています。少し残念だったのは、予備実験において低電子ドープ領域で顕著に見られる SrTiO_3 のフォノンドラッグ効果に磁場依存性がほとんどなかったことです。(期待していたのですが…)また、蛇足ですが、昼サッカーに参加し十年ぶりのサッカーで足を捻挫したことも(本当に)痛い思い出となってしまいました。捻挫は完治し、今、2歳半になる息子と猛特訓中であります。

私はポスドク時代から熱電材料探索の研究を始めました。この研究は超伝導探索にも通じるところがあり、たずさわっていても興味を持たれている先生は多くおられるかもしれません。少しでもこの研究に関わった方は実感していると思いますが、熱電特性の良い新たな材料を見つけるのは至難の業で、色々なことをして足掻いているというのが現状です。そのためか、10年以上この研究をしているのですが、数えてみると熱電材料の論文はごく僅かで、しかもそれらの結果は「そこそこ特性が良い」と言うものばかりです。それでもその中の幾つかは、熱電の分野で少しはありがたがられているのが唯一の私の救いとなっています。客員研究もその様な足掻きの一つで、磁場をかけてでもどうにか熱電特性を上げられないか、強磁場下での熱電特性評価で何かヒントになることを見つけられないか、と言うことがモチベーションとなっています。現時点では、強磁場下での研究では足掻いていると言うほどのことはまだしておらず、これから徐々に軌道に乗せて行こうという段階です。また来たかと思われるかもしれませんが、これからも、しばしば共同利用研究で物性研に顔を出すことになると思います。これからも宜しくお願い致します。

2012年6月8日

物性研究所談話会

標題：平成 24 年度 前期客員所員講演会

日時：2012 年 4 月 19 日(木) 午前 10 時～午後 0 時 10 分

場所：物性研究所本館 6 階 大講義室 (A632)

要旨：

平成 24 年度前期客員所員の講演会を開催しますので、奮ってご参加ください。

新任の客員の先生方におきましては、所内はもちろん所外を含め広くかつ活発な共同研究を展開されることを期待し、自己紹介及び物性研究所での研究目標等をご説明いただきます。

日時：平成 24 年 4 月 19 日(木) 午前 10 時 00 分～

会場：物性研究所 6 階 大講義室

10:00-10:10	所長挨拶 (家 泰弘：物性研所長)	
10:10-10:30	高橋 一志 (神戸大学)	「新規外場応答型分子性物質の物性評価」
10:30-10:50	山口 明 (兵庫県立大学)	「超流動ヘリウム 3-A1 相におけるスピン流制御」
10:50-11:10	小嗣 真人 (高輝度光科学研究センター)	「光電子顕微鏡を用いたナノスケール顕微分光研究の進展」
11:10-11:30	中村 哲也 (高輝度光科学研究センター)	「放射光軟 X 線による磁性材料の元素選択磁化解析」
11:30-11:50	小林 達生 (岡山大学)	「O2-O2 ダイマーのスピンに依存する分子配列」
11:50-12:10	長谷 正司 (物質材料研究機構)	「低次元スピン系とフラストレーションスピン系の中性子散乱研究」

標題：軟 X 線発光分光が拓く元素弁別電子分光の新展開

日時：2012 年 5 月 31 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：原田 慈久

所属：物性研究所 附属軌道放射物性研究施設

要旨：

軟 X 線発光分光は、物質の電子状態を調べる手法として放射光とともに発展してきた。

一般によく用いられる光電子分光と比べても、光を励起、検出源とするために深いプローブ長を有し、電場、磁場下でも測定でき、絶縁体を含むあらゆる試料を測れるという利点があり、100%の元素選択性、軌道・スピンに対する選択性などの特長を有する。

特にここ 2、3 年の間に、従来を数倍～一桁超えるエネルギー分解能を目指した装置開発が国内外で本格化し、スピン、フォノン、軌道秩序などの 100meV 以下の素励起が元素、対称性を弁別して観測できるようになったこと、さらに測定の対象も固体から液体の電子状態観測と構造予測や触媒反応の電子状態観測にまで広がったことにより、軟 X 線発光分光があらためてクローズアップされている。

講演では、我々が SPring-8 の東京大学物質科学ビームライン BL07LSU にて開拓を進めている軟 X 線発光分光の超高分解能化とオペランド実験の概要を述べ、今後の発展の方向性について考察する。

【講師紹介】

原田先生は軟 X 線発光分光分野をリードする研究者として国内外で認知され、このたび東京大学ビームライン SPring-8 BL07LSU で先端物性研究を行う所員としてご着任されました。

固体電子状態の高分解能測定から溶液中生体分子の機能部位の *in situ* 観測まで、ご自身で装置開発を進めながら軟 X 線分光の新しい研究分野を常に開拓されておられます。

物性研究所セミナー

標題：第3回超高速光エレクトロニクス研究会

日時：2012年3月19日(月) 午前9時25分～

場所：物性研究所本館6階 大講義室 (A632)

要旨：

真空紫外から極端紫外域のコヒーレント光源として注目されてきた高次高調波の研究は、その発見から20年の時を経て成熟期を迎えつつあり、「アト秒科学」を代表とする新たな研究分野への発展・応用が進んできている。一方、我国の国家基幹技術として開発が進められてきたX線自由電子レーザー(XFEL)は、高次高調波で実現する事が難しい「高いパルスエネルギー」、あるいは「硬X線領域の短波長性」を備えた新たな光源として注目を集めている。本研究会はこれらの短波長光源の開発・応用についての研究成果を報告する。高次高調波とXFELを用いた研究の共通性あるいは差別化についての議論を行い、今後の当該分野の研究の方向性を探る事を目的としている。

標題：国際超強磁場科学研究施設セミナー：Proposal of applications of the MegaGauss techniques for higher-energy charged particle handling

日時：2012年4月16日(月) 午前10時30分～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：中村 英滋

所属：高エネルギー加速器研究機構(KEK)加速器研究施設 加速器第六研究系

要旨：

The MegaGauss techniques are attractive to explore a frontier of physics study for high-energy particles. The following three articles are discussed for examples of the applications:

- (1) Beam handling of GeV ~ PeV hadrons at high-energy particle accelerators,
- (2) Compact fusion reactor,
- (3) Improvement of light source for short wavelength of 1 fm, which is equivalent to the core size of nucleon, produced by the synchrotron radiation method.

It is difficult to apply the MegaGauss technique because severe stability and homogeneity are required for such high-energy charged particle handling now. I would like to solve the problems, and realize a new energy field.

標題：第1回物質・物性セミナー：「ビスマス中ディラック電子の反磁性と輸送現象」

日時：2012年4月18日(水) 午前9時30分～午前10時30分

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：伏屋 雄紀

所属：大阪大学大学院 基礎工学研究科

要旨：

固体中ディラック電子が示す最も顕著なふるまいの一つは、巨大反磁性である。そもそも反磁性という概念が発見されたのもディラック電子系の雛形であるビスマスにおいてであった。ビスマスの巨大反磁性の謎は多くの研究者を刺激し、1930年のランダウ理論から始まる反磁性理論の発展を大いに促した。謎が最終的に解決に至ったのは1970年になってからで[1]、その特異な反磁性は「バンド間磁場効果」によるものであることが明らかになった。セミナーでは、ビスマ

スにおける巨大反磁性のメカニズムについて説明し、その反磁性が輸送現象に密接に関わっていることを示す最近の理論研究[2,3]を紹介します。

- [1] H. Fukuyama and Kubo: J. Phys. Soc. Jpn., **28** (1970) 570.
- [2] Y. Fuseya, M. Ogata and H. Fukuyama: Phys. Rev. Lett., **102** (2009) 066601.
- [3] Y. Fuseya, M. Ogata and H. Fukuyama: J. Phys. Soc. Jpn., **81** (2012) 013704.

標題：理論セミナー：Spectral-density polynomial expansion in BdG framework with large-scale parallel computations

日時：2012年4月20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：永井 佑紀

所属：日本原子力研究開発機構 システム計算科学センター

要旨：

We perform large-scale numerical calculations self-consistently solving the Bogoliubov-de Gennes (BdG) equation in the magnetic field together with random impurities to directly demonstrate the quasiparticle interference (QPI) in the presence of vortices observed by scanning tunneling microscopy/spectroscopy experiments in unconventional superconductors[1].

Generally, the computer resource can be speculated to be huge for QPI to numerically solve the BdG equations if one traditionally performs the Hamiltonian matrix diagonalization.

We instead implement a new scheme, the so-called spectral-density polynomial expansion scheme [2, 3, 4].

As a result of the self-consistent calculation, we find out a new scenario of the QPI that the sign-preserving interference occurs only when impurity locates inside the vortex core.

Namely, it means that not vortex itself but Andreev bound state distorted by scalar impurity inside the vortex core is an effective scatter breaking time-reversal symmetry.

The scenario well explains the measurement findings.

In this talk, we review the spectral-density polynomial expansion scheme, which is also applicable to the strongly correlated systems such as DMRG technique with a use of matrix product state methods[5,6].

We show that its efficiency becomes remarkable in large-scale parallel performance.

References

- [1]YN, N. Nakai and M. Machida, Phys. Rev. B **85**, 092505 (2012).
- [2]YN, Y. Ota, and M. Machida, J. Phys. Soc. Jpn. **81** 024710 (2012).
- [3]L. Covaci, F. M. Peeters, and M. Berciu, Phys. Rev. Lett. **105**, 167006 (2010).
- [4]H. Tanaka, W. Kunishima, M. Itoh, RIKEN Review **29**, **20** (2000).
- [5]A. Weiβ e, G. Wellein, A. Alvermann, and H. Fehske, Rev. Mod. Phys. **78**, 275 (2006).
- [6]A. Holzner, A. Weichselbaum, I. P. McCulloch, U. Schollwöck, and J.v. Delft, Phys. Rev. B **83**, 195115 (2011) .

標題：理論インフォーマルセミナー：量子推定理論を用いた測定誤差と擾乱が満たす不確定性関係の定式化

日時：2012年4月24日(火) 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：渡辺 優

所属：東京大学物性研究所

要旨：

量子測定の誤差や擾乱を量子推定論の立場から定量化し、それらの間に成り立つ不確定性関係について報告する。ハイゼンベルグのガンマ線顕微鏡を現代的な観点から捉え直すと、量子測定の測定誤差は、測定結果から粒子の位置を推定した際の推定精度によって定量化される。また、擾乱は、測定後の状態から測定前の状態の運動量の推定精度によって定量化される。量子測定の測定結果は確率的に出力されるため、推定値の精度を議論するためには量子推定理論を用いなければならない。我々は、量子推定理論を用いることで、測定誤差や擾乱が Fisher 情報量によって表されることを示し、それらの間に成り立つ不確定性関係を求めた[1,2]。

[1] PRA **84**, 042121 (2011).

[2] arXiv:1106.2526 (2011).

標題：理論セミナー：量子ドット系の軌道近藤効果と電流ゆらぎの完全計数統計

日時：2012年4月25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：阪野 暉

所属：東京大学物性研究所

要旨：

ナノサイズの人工系では、デバイス構造やパラメータ制御の自由度から、それまでのバルク系の研究では難しかった様々な物性の探索を可能になった。例えば、近藤効果は最もよく理解されている電子相関現象であるが、量子ドット系では電極間にバイアス電圧を印加することにより、あらたに非平衡系の近藤効果の研究が可能になった。特に、有限バイアス下では、スピン一重項状態の準粒子対が非線形電流中に現れ、ショットノイズなどの電流ゆらぎを増幅することが明らかになったことは、興味深い[1,2]。実際に近年の実験観測技術の向上に伴い、近藤相関により増幅されたショットノイズは実験的にも観測され始めている[3,4]。また、輸送量の揺らぎを系統的に調べる手法として、完全計数統計が注目されている。本セミナーでは、完全計数統計を用いて、軌道自由度を有する量子ドットでの、SU(N)近藤効果や高次スピン近藤効果による特徴的な、非平衡電流の揺らぎの増幅について詳しく議論する[5,6]。

[1] E. Sela, et al., Phys. Rev. Lett. **97**, 086601 (2006).

[2] A.O. Gogolin and A. Komnik, Phys. Rev. Lett. **97**, 016602 (2006).

[3] O. Zarchin, et al., Phys. Rev. B **77**, 241303(R) (2008).

[4] Y. Yamauchi, et al., Phys. Rev. Lett. **106**, 176601 (2011).

[5] RS, et al., Phys. Rev. B **83**, 241301(R) (2011).

[6] RS, et al., arXiv:1201.1957 (2012).

標題：理論セミナー：鉄系超伝導体における電子状態と超伝導の理論

日時：2012年5月11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：柳 有起

所属：東京大学物性研究所

要旨：

2008年に東工大の細野らによって発見された鉄系超伝導体は[1]、その高い超伝導転移温度、物質群の多様性から大きな注目を集め、現在も盛んに研究がなされている。この物質は、母物質において、構造相転移と反強磁性秩序を示すが、キャリアドーピングを行うことによってこれらが抑制され、超伝導が発現する。

理論研究の非常に早い段階で、フェルミ面間のネスティングに起因する反強磁性揺らぎを媒介とし、フェルミ面間でギャップ関数の符号反転を伴うs波超伝導(s±波超伝導)の可能性が指摘された[2,3]。しかし、s±波超伝導は不純物に弱く[4]、鉄系超伝導体における超伝導は不純物効果に非常に強いという実験事実と矛盾する[5]。そのため、符号反転を伴わないs波超伝導(s++波超伝導)も最近では有力な候補の一つとして考えられている[6,7]。

我々は、鉄系超伝導を記述する現実的な多軌道模型に基づき、乱雑位相近似(RPA)の範囲で電子間相互作用、電子格子相互作用を考慮することにより、電子状態、超伝導について調べた。

その結果、現実的なパラメータ領域で軌道揺らぎを媒介としてs++波超伝導が実現することが分かった。

[1] Y. Kamihara et al., J. Am. Chem. Soc., **130**, 3296 (2008).

[2] I. I. Mazin et al., Phys. Rev. Lett. **101**, 057003 (2008).

[3] K. Kuroki et al., Phys. Rev. Lett. **101**, 087004 (2008).

[4] S. Onari and H. Kontani, Phys. Rev. Lett. **103**, 177001 (2009).

[5] M. Sato et al., J. Phys. Soc. Jpn. **79**, 014710 (2010).

[6] H. Kontani and S. Onari, Phys. Rev. Lett. **104**, 157001 (2010).

[7] YY et al., J. Phys. Soc. Jpn. **79**, 123707 (2010).

標題：理論インフォーマルセミナー：Entanglement perturbation theory: idea, recent developments and prospect for quantum chemistry

日時：2012年5月15日(火) 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：Sung G. Chung

所属：Western Michigan University

要旨：

Numerical renormalization group, DMRG being the champion, has been an important player in theoretical understanding of strong correlation phenomena in condensed matter and related fields. Over the last decade in particular, we have seen some explosive developments along the lines of DMRG, highlighting the concept of matrix, tensor product representations of state vectors and operators, with a great hope that we are close to a satisfactory description of many-body physics in two space dimensions, only to find nature's stubborn resistance to an accurate numerical analysis. The difficulty may be of two kinds, numerical stability and computational accuracy. On one hand, numerical-RG is well known for its numerical stability with, however, apparent lack of accuracy in two space dimensions. On the other hand, if one pursues computational accuracy in non-RG methods, numerical instability caused by a dangerous nonlinearity is a serious issue. In this talk, I will introduce EPT as a non-RG many-body method, demonstrate its competitiveness in comparison with DMRG, and discuss its prospect for quantum chemistry, which bares essentially the same issue as in two space dimensions.

標題：理論インフォーマルセミナー：二経路干渉計を用いた近藤状態における量子ドットの伝達位相の測定

日時：2012年5月21日(月) 午後4時～午後5時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：高田 真太郎

所属：東京大学工学系研究科物理工学専攻

要旨：

近藤効果が発現している量子ドットによって電子が散乱されたときに獲得する伝達位相は、多体の基底状態である近藤一重項状態を反映して $\pi/2$ になることが理論的に予測されており、半導体二次元電子系を用いた量子干渉計に量子ドットを組み込んだ系などにおいて研究が行われている。しかし、電荷保存則と時間反転対称性による境界条件から来る位相剛性により、位相が簡単に乱されてしまうため、その測定は困難を伴い、研究の報告例は少ない。

我々は、結合量子細線・ABリング複合系を用いて実現した新しい二経路干渉計に量子ドットを組み込んだ系を用い、量子ドットの伝達位相の測定を行った。まず、近藤相関がない通常のクーロンピークの前後において、フリーデルの総和則から予測される伝達位相の π 変化を確認した。その後、近藤相関を有する2つのクーロンピークについて、ピーク間の近藤谷において伝達位相の変化が $\pi/2$ 固定される様子を観測した。さらに、近藤相関を弱くしていくにつれて、位相の振る舞いに変化し、通常のクーロンピークにおける振る舞いに近づいていく様子を観測した。本セミナーではこれらの実験の詳細について報告する。

標題：国際超強磁場科学研究施設セミナー：Magneto-Optical Spectroscopy of MOVPE Grown Narrow Gap III-Mn-V Ferromagnetic Semiconductors

日時：2012年5月21日(月) 午前10時30分～午後0時

場所：物性研究所本館6階 第3セミナー室 (A613)

講師：Prof. Giti A. Khodaparast

所属：バージニア工科大学

要旨：

Narrow gap ferromagnetic semiconductors (NGFS) have significant potential for applications in both infrared spin photonics and spin transport devices due to their lighter holes, smaller energy gaps, and much higher carrier mobilities compared to other III-Mn-V ferromagnetic semiconductors. A Rudermann-Kittel-Kasuya-Yosida (RKKY) mechanism, where free holes mediate the ferromagnetism, is favored in NGFS and a small hole effective mass results in a long interaction distance and effective exchange coupling. The calculated hole effective Bohr radius in NGFS indicates sufficient overlap of the hole wave functions to stabilize ferromagnetism for hole concentrations greater than 10^{18} cm^{-3} . In this work, several time resolved differential transmission and magneto-optical spectroscopy techniques were employed to provide insight into both the time scales and the nature of microscopic interactions in MOVPE grown ferromagnetic InMnAs and InMnSb with the Curie temperatures above room temperature.

標題：理論セミナー：Surface Majorana fermions in Topological Superconductors

日時：2012年5月24日(木) 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：佐藤 昌利

所属：東京大学物性研究所

要旨：

異方的超伝導体の表面には、しばしばアンドレーエフ束縛状態と呼ばれる表面状態があらわれる。最近、このアンドレーエフ束縛状態と量子ホール状態に現れるエッジ状態との類似性が指摘され、この観点に注目した超伝導体(トポロジカル超伝導体)の研究が進んできている。本セミナーでは、トポロジカル超伝導体の特徴的な励起であるマヨラナフェルミオンについて説明した後、最近我々がおこなったトポロジカル絶縁体起源の超伝導体の表面状態に関する研究について報告をする。

[1] A. Yamakage, K. Yada, M. Sato, Y. Tanaka, arXiv:1112.5036 to appear in Phys. Rev. B.

標題：シリーズセミナー 極限コヒーレント光科学 11 回目 「レーザーと放射光を組み合わせた時間分解分光実験：半導体中のキャリア追跡」

日時：2012年5月28日(月) 午前10時30分～

場所：物性研究所本館6階 大講義室 (A632)

講師：松田 巖

所属：東京大学物性研究所

要旨：

真空紫外線～軟 X 線分光法は物質の元素や電子状態(化学状態)などを直接捉えることができる強力な分析手段である。この特徴を踏まえて、我々は高輝度放射光と超短パルスのレーザー光を組み合わせた時間分解光電子分光ステーションを SPring-8 BL07LSU に立ち上げ、物質の様々な動的現象の研究を行っている。本セミナーでは、BL07LSU での時分割測定システムの詳細を説明し、さらに最近得られた半導体キャリアダイナミクスの研究結果を紹介する。また、今後発展が期待される“オペランド分光”について、その手法の説明と共に時分割測定への展開を議論する。

標題：理論インフォーマルセミナー：Symmetry and classification of Z_2 topological spin liquids

日時：2012年5月31日(木) 午前11時～午後0時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：Dr. Michael HERMELE

所属：University of Colorado

要旨：

Some of the very simplest topologically ordered phases of matter are Z_2 spin liquids, which are ground states of quantum spin systems with Z_2 topological order but without spontaneously broken symmetry. Beyond mere simplicity, there is recent evidence that Z_2 spin liquids occur in fairly realistic models. However, we lack a systematic understanding of how to classify Z_2 spin liquids for systems with symmetries (e.g. space group, time reversal, spin rotation).

In this talk I will discuss recent progress toward a classification of Z_2 spin liquids:

(1) I will show that one of the existing approaches to classify spin liquids ($S=1/2$ fermionic parton approach) can be expanded. Upon expanding it, new Z_2 spin liquids with $S=1$ Majorana fermion excitations are found, which may occur in systems with competing ferromagnetic and antiferromagnetic interactions. I will discuss some of the properties of these phases.

(2) Existing approaches do not in fact classify distinct phases, but rather classify effective theories. This can lead to a redundant classification, because two different effective theories may describe the same phase. I will discuss progress toward a true classification of distinct Z_2 spin liquid phases.

標題：理論セミナー：三角格子ハイゼンベルグ反強磁性体におけるトポロジカル励起の秩序化とダイナミクス

日時：2012年6月8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：大久保 毅

所属：東京大学物性研究所

要旨：

二次元三角格子反強磁性体は幾何学的フラストレーションの典型的な舞台であり、最近接相互作用のみのハイゼンベルグ模型の基底状態では、120度構造と呼ばれる格子に整合な秩序が実現する。このような秩序には、特異なトポロジカル励起 (Z_2 ボルテックス) が存在し、その凝集に伴うトポロジカルな相転移が有限温度で起こることが川村らによって示唆されている[1-3]。一方で、次近接・三次近接の相互作用が主体となる状況になると、基底状態では格子に非整合なスパイラル構造が実現する。この場合の基底状態は、三角格子の三重回転対称性を反映してスパイラルを特徴付ける波数の方向に関して三重に縮退しており[4-5]、一般には、複数の波数の秩序が混合した多重 Q 秩序状態が有限温度で実現する可能性がある。

セミナーでは、このような三角格子ハイゼンベルグ反強磁性体における、 Z_2 ボルテックス励起と多重 Q 秩序に関連したスピンドYNAMICSシミュレーションとモンテカルロシミュレーションの結果を報告し[2,3,5]、フラストレート磁性体におけるトポロジカル励起の秩序化とダイナミクスについて議論する。

[1] H. Kawamura and S. Miyashita; J. Phys. Soc. Jpn., **53**, 4138 (1984).

[2] H. Kawamura, A. Yamamoto, and T. Okubo; J. Phys. Soc. Jpn., **79**, 023701 (2010).

[3] T. Okubo and H. Kawamura; J. Phys. Soc. Jpn., **79**, 084706 (2010).

[4] R. Tamura and N. Kawashima; J. Phys. Soc. Jpn., **77**, 103002 (2008); J. Phys. Soc. Jpn., **80**, 074008 (2011).

[5] T. Okubo, S. Chung, and H. Kawamura; Phys. Rev. Lett. **108**, 017206 (2012).

標題：理論インフォーマルセミナー：Development of a flux-driven Josephson parametric amplifier

日時：2012年6月12日(火) 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：Tsuyoshi Yamamoto

所属：Smart Energy Research Laboratories, NEC Corporation

要旨：

Degenerate parametric amplifiers are phase sensitive amplifiers, which can in principle amplify one of the two quadratures of a signal without introducing extra noise. Parametric amplifiers based on the nonlinear inductance of a Josephson junction have been studied for a long time. Recently, there has been a renewed interest in parametric

amplifiers due in part to the increasing need for quantum-limited amplification in the field of quantum information processing using superconducting circuits.

In the present work, we design a novel Josephson parametric amplifier[1]comprising a superconducting transmission-line resonator terminated by a dc SQUID. Contrary to the previous works, the pump is not used to directly modulate a current through the Josephson junction, but is instead used to modulate a flux through the dc SQUID. Because the dc SQUID determines the boundary condition of the resonator, the flux modulation gives the temporal variation of the resonant frequency, which leads to the parametric amplification of the signal coming into the resonator.

The practical advantage of the scheme is, first, that the band center of the signal is widely controllable by a dc flux also applied to the SQUID. Second, as the pump and the signal are applied to different ports and their frequencies are twice different, it is straightforward to separate the output signal from the pump. We have operated such a flux-driven Josephson parametric amplifier at around 10 GHz and characterized its basic properties.

[1] T. Yamamoto et al., APL **93**, 042510 (2008)

標題：中性子セミナー：中性子科学研究施設の最近の研究から

日時：2012年6月15日(金) 午後1時～午後5時20分

場所：物性研究所本館6階 第2セミナー室 (A612)

講師：古府 麻衣子・南部 雄亮・左右田 稔・藤井 健太

所属：東京大学物性研究所附属中性子科学研究施設

要旨：

中性子科学研究施設には4つの研究室がありますが、そこで行われている研究は固体物理、化学、ソフトマターと非常に幅が広く、別の研究室で行われている研究内容を知る機会があまりありません。そこで今回、新しい学生を迎えたこの時期に、若手スタッフによる十分に時間をとった発表会を開催することにしました。中性子科学研究施設のメンバーだけでなく、他の部門・施設の皆様にも参加して頂き、良い交流の機会がもてればと考えています。

標題：シリーズセミナー 極限コヒーレント光科学 12回目 「軟X線発光分光：超高分解能化とオペランド分光への展開」

日時：2012年6月18日(月) 午前11時～

場所：物性研究所本館6階 大講義室 (A632)

講師：原田 慈久

所属：東京大学物性研究所

要旨：

東京大学放射光アウトステーションの軟X線発光分光ステーションでは、現在、分解能 $E/\Delta E=10000$ の超高分解能化と真の大気圧分光の実現によるオペランド分光を目指して、酸素還元触媒への酸素吸着、水のサブ μm 空間への閉じ込め効果、水素吸蔵合金の同位体効果、リチウムイオン電池材料の電位制御測定など、実に多彩な実験が行われている。本講演では、軟X線発光分光の現状と展望について、最新の実験結果を交えて紹介する。

標題：理論セミナー： Exotic Nonmagnetic Kondo Effects

日時：2012年6月22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：服部 一匡

所属：東京大学物性研究所

要旨：

We focus on nonmagnetic degrees of freedom in Kondo problems and introduce our two recent works in this seminar.

The first example is a cluster Kondo problem with geometrical frustration. Geometrical frustration generates nonmagnetic degeneracy in the ground state and we consider four-impurity Kondo problem in which localized spins are on the vertices of a tetrahedron. We analyze this model by various tools, such as boundary conformal field theory (BCFT), continuous-time quantum Monte Carlo (CTQMC), and numerical renormalization group (NRG), etc. We find, in addition to a Fermi liquid (FL) state, a “singular” FL (SFL) state when the frustration beats the Kondo effects, and also a non-FL (NFL) state between the two. Combined use of BCFT and NRG enables us to find parafermion excitations in the SFL state and that the tetrahedron scalar chirality is not screened there. The NFL is analyzed by CTQMC in details and the electron self-energy is found to be similar to that in the marginal FL in the high- T_c cuprates.

The other is an electron-phonon system. We analyze two-channel Anderson model with phonon-assisted hybridization by BCFT and NRG[1]. This model is known to exhibit “two-channel” Kondo effects (2CKE) for any values of the Coulomb repulsion U [2]. Since it is highly unsatisfactory to consider 2CKE due to magnetic degrees of freedom for small U , we search alternative mechanism. We succeeded in identifying nonmagnetic degrees of freedom that generates the identical NFL spectra, and they are hidden $SO(5)$ degrees of freedom formed by electron-phonon complex. The effective critical theory is the level-2 $SO(5)$ Kac-Moody type as in spin-3/2 multipolar Kondo problem[3], and we demonstrate that the electron-phonon fluctuations diverge, while the specific heat is conventional FL like. The latter is quite different from that in 2CKE due to the magnetic degrees of freedom, and indeed, this is confirmed by NRG simulations.

References

- [1] KH, Phys. Rev. B **85**, 214411 (2012).
- [2] S. Yashiki, et al., J. Phys. Soc. Jpn. **79**, 093707 (2010).
- [3] KH, J. Phys. Soc. Jpn. **74**, 3135 (2005).

小森文夫教授、第16回日本表面科学会学会賞を受賞

2012年5月19日、ナノスケール物性研究部門の小森文夫教授が第16回日本表面科学会学会賞を受賞しました。本賞は、表面科学の発展に特に顕著な貢献があったと認められる個人研究者を表彰するものです。

受賞対象となった研究は、「固体表面におけるナノスケール物性科学に関する研究」です。授賞理由としては、ゲルマニウム表面においてトンネル電流制御による可逆で高速な原子スイッチを実現したこと、銅表面において規則ナノパターンを形成したこと、そしてそれらを利用して、原子構造変化の機構や表面ナノ構造の電子状態と反応性に関する研究を進展させていったことが挙げられます。このような原子スイッチの実現や規則ナノパターンの創成、および、それらのマイクロな機構の解明は、ナノテクノロジーの基盤となる学理としてたいへん注目を集めています

人 事 異 動

【研究部門等】

○ 平成 24 年 5 月 31 日付け

(辞 職)

氏 名	所 属	職 名	備 考
佐 藤 昌 利	物性理論研究部門	助 教	名古屋大学工学研究科准教授へ

○ 平成 24 年 6 月 30 日付け

(辞 職)

氏 名	所 属	職 名	備 考
南 部 雄 亮	附属中性子科学研究施設	助 教	東北大学多元物質科学研究所助教へ

○ 平成 24 年 6 月 30 日付け

(転 出)

氏 名	所 属	職 名	異 動 内 容
幸 路 英 吉	予算・決算係	専門職員	農学生命科学研究科総務課附属北海道演習林専門職員(企画調整担当)へ

○ 平成 24 年 7 月 1 日付け

(転 入)

氏 名	所 属	職 名	異 動 内 容
中 山 晋	予算・決算係	主 任	医学部附属病院管理課経理チーム(契約担当)主任から

東京大学物性研究所教員公募について

下記により助教の公募をいたします。適任者の推薦、希望者の応募をお願いいたします。

記

1. 研究部門名等および公募人員数

国際超強磁場科学研究施設（徳永研究室）助教1名

2. 研究内容

国際超強磁場科学研究施設徳永研究室の助教として、金道研究室メンバーと協力しながら、非破壊型パルスマグネットを用いた磁性体および超伝導体の研究を行う。強磁場の経験は問わないが、基礎的実験技術に習熟し装置開発のできる人材が望ましい。非破壊型パルスマグネットを用いた世界一の研究環境を実現する意欲を持ち、かつ共同利用の支援にも積極的に関与する人材を希望する。

3. 応募資格

修士課程修了、またはこれと同等以上の能力を持つ方。

4. 任 期

任期5年、再任可。ただし、1回を限度とする。

5. 公募締切

平成24年9月28日（金）必着

6. 着任時期

決定後なるべく早い時期

7. 提出書類

(イ) 推薦の場合

○推薦書

○履歴書（略歴で可）

○業績リスト（特に重要な論文に○印をつけること）

○主要論文の別刷（3編程度、コピー可）

○研究業績の概要（2000字程度）

○研究計画書（2000字程度）

(ロ) 応募の場合

○履歴書（略歴で可）

○業績リスト（特に重要な論文に○印をつけること）

○主要論文の別刷（3編程度、コピー可）

○所属長・指導教員等による応募者本人についての意見書（作成者から書類提出先へ直送）

○研究業績の概要（2000字程度）

○研究計画書（2000字程度）

8. 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 04-7136-3207 e-mail issp-somu@kj.u-tokyo.ac.jp

9. 本件に関する問い合わせ先

東京大学物性研究所附属国際超強磁場科学研究施設 准教授 徳永 将史

電話 04-7136-5322 e-mail tokunaga@issp.u-tokyo.ac.jp

10. 注意事項

「国際超強磁場科学研究施設（徳永研究室）助教応募書類在中」、または「意見書在中」の旨を朱書し、郵送の場合は書留とすること。

11. 選考方法

東京大学物性研究所教授会にて審査決定いたします。ただし、適任者のない場合は、決定を保留いたします。

12. 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。

平成24年5月18日

東京大学物性研究所長

家 泰 弘

東京大学物性研究所教員公募について

下記により助教の公募をいたします。適任者の推薦、希望者の応募をお願いいたします。

記

1. 研究部門名等および公募人員数
国際超強磁場科学研究施設（松田研究室）助教1名
2. 研究内容
国際超強磁場科学研究施設、松田研究室の助教として嶽山研究室と密接に連携し、破壊型パルスマグネットを用いて、100T から 1000T 領域の超強磁場における磁性体や半導体、超伝導体の研究を行う。測定技術開発、新規分野開拓に強い意欲があり、物理的には比較的広い分野に興味を持つ方を希望する。強磁場実験の経験は問わないが、固体物理学における実験的研究に携わってきた方が望ましい。
3. 応募資格
修士課程修了、またはこれと同等以上の能力を持つ方。
4. 任 期
任期5年、再任可。ただし、1回を限度とする。
5. 公募締切
平成24年9月28日（金）必着
6. 着任時期
決定後なるべく早い時期
7. 提出書類
(イ) 推薦の場合
○推薦書
○履歴書（略歴で可）
○業績リスト（特に重要な論文に○印をつけること）
○主要論文の別刷（3編程度、コピー可）
○研究業績の概要（2000字程度）
○研究計画書（2000字程度）
(ロ) 応募の場合
○履歴書（略歴で可）
○業績リスト（特に重要な論文に○印をつけること）
○主要論文の別刷（3編程度、コピー可）
○所属長・指導教員等による応募者本人についての意見書（作成者から書類提出先へ直送）
○研究業績の概要（2000字程度）
○研究計画書（2000字程度）
8. 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 04-7136-3207 e-mail issp-somu@kj.u-tokyo.ac.jp
9. 本件に関する問い合わせ先
東京大学物性研究所附属国際超強磁場科学研究施設 准教授 松田 康弘
電話 04-7136-5329 e-mail ymatsuda@issp.u-tokyo.ac.jp
10. 注意事項
「国際超強磁場科学研究施設（松田研究室）助教応募書類在中」、または「意見書在中」の旨を朱書し、郵送の場合は書留とすること。
11. 選考方法
東京大学物性研究所教授会にて審査決定いたします。ただし、適任者のない場合は、決定を保留いたします。
12. 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。

平成24年6月21日

東京大学物性研究所長
家 泰 弘

編集後記

台風が去った後で梅雨どきにしてはさわやかな週末です。本号には、金道研から長期にわたる磁石開発に関して、常次研から新物性についての理論研究に関してふたつの研究室だよりがあります。実験と理論という違いを越えた異なる研究スタイルが印象的です。物性研究でも、集中的に行うべき短期のプロジェクト研究が増える一方で、長い階段を一段ずつ登るような息の長い研究を継続していくことがだんだん難しくなっています。ますます広くかつ深くなる物性分野の研究を短期的に長期的にどのように行っていけばよいのか。そして、変化する研究環境の中で物性研の果たすべき役割は何か。いつも問われ、考えてきたことですが、これまで以上に、「物性研だより」がこの議論に資することができるよう、ご協力をお願いいたします。

小 森 文 夫

【訂正】 本誌第 52 巻第 1 号「平成 24 年度中性子回折装置共同利用採択課題一覧」で、誤った記載がありましたので、次のとおり訂正させていただきます。

P.47 下から 7 行目

P.50 上から 14、15 行目

【誤】 山 照 夫

【正】 山 崎 照 夫