

物性研だより

第53巻
第2号

2013年7月

目次

- 1 物性研に着任して・・・・・・・・・・山下 穰
3 池田 暁彦
4 三宅 厚志
5 物性研を離れて・・・・・・・・・・田島 裕之
7 外国人客員所員を経験して・・・・・・・・・・KIM, Yongmin
8 客員教授を経験して・・・・・・・・・・田中 悟
9 客員所員を終えて・・・・・・・・・・辺土 正人
11 客員所員を経験して・・・・・・・・・・小 嗣 真人
13 中村 哲也
15 中性子散乱を利用したスピン系の研究・・・・・・・・・・長谷 正司
(2012年度客員所員の研究紹介)
17 第10回ISSP柏賞を受賞して・・・・・・・・・・内田 和人
20 第10回ISSP学術奨励賞を受賞して・・・・・・・・・・吉田 誠
- ISSPワークショップ
- 22 ○ 東京大学アウトステーション(SPring-8 BL07LSU)の現状と偏光制御実験への展開
26 ○ 強相関電子系における価数揺らぎと量子臨界性
- 33 磁気モノポールの量子ダイナミクスが発見・・・・・・・・・・木村 健太、中辻 知
- 36 物性研究所談話会
- 38 物性研究所セミナー
- 物性研ニュース
- 53 ○ 人事異動
54 ○ 東京大学物性研究所教員公募について
- その他
- 55 ○ 強相関電子系国際会議SCES
- 編集後記



東京大学物性研究所

Copyright ©2013 Institute for Solid State Physics,
The University of Tokyo. All rights Reserved.

ISSN 0385-9843

の目的でありました。そのために、ねじれ振り子という測定技術に SQUID を用いた位置検出装置を組み合わせ高感度のねじれ振り子素子を開発しました。また、希釈冷凍機がなかったので 1 から設計して工場の技術者と一緒に冷凍機を作成しました。結局、渦の量子化のような現象は観測されず、最近では最初の固体中の超流動現象自身の解釈を否定するような研究も出てきましたが、言葉に苦労しながら装置開発を行ったのは大きな経験でした。

ところで、コーネル大学はニューヨーク州のほぼ真ん中に位置する Ithaca(英語でイサカと発音。ホメロス『オデュッセイア』に登場する英雄オデュッセウスの故郷の島の名前から)という町にある大学です。“Ithaca is Gorges”と書かれているシャツをコーネルではよく見かけるのですが、美しい峡谷や湖がまわりにある自然に恵まれた場所です。特に夏の時期は過ごしやすく快適なのですが、冬の寒さは厳しいので有名です。ただ、その分近所同士の助け合いの意識が強く、非常に親切な人が多くて感激しました。また、J.C. Davis の研究グループは高温超伝導体の STM の研究で世界のトップを行く研究室であり、非常に優秀なポスドクと大学院生が世界中から集まっているとても刺激的な研究室でした。学位取得後に外国でポスドクをするというのは日本に残って常勤職を得るというキャリアパスを目指すうえでとてもリスクの多い選択でした。しかし、一個人として、全く異なる文化背景の中で生活し、今までと違う言語で仕事をするという経験は言葉で言い表せない変化を私にもたらしました。英語の議論についていけなかったり、コミュニケーションがうまく取れなかったりと、惨めな思いをすることも多かったですが、留学の機会を与えていただいた石本先生と Séamus Davis 教授には非常に感謝しております。私も自分の研究室から外国に行きたいという学生を送り出せるようにしたいと考えています。

コーネル大学に二年近く滞在したのち、京都大学理学研究科の松田先生・芝内先生の研究室に助教の職を得て、これまでのヘリウムの研究から強相関電子系の研究へと大きく研究テーマを変えました。その当時、二次元三角格子を有する有機物で量子スピン液体の候補物質が見つかって話題になっていた時でした。量子スピン液体はヘリウム 3 でもその状態が議論されており、比較的とっつき易かろうということでこの問題に取り組み始めました。それまで、顕微鏡がないと取り扱えないような小さな試料を見たことすらなく、また有機物という事で非常に壊れやすいですからその取扱いに大変苦労しました。しかし、次々と新物質が発見・開発され、新しい研究テーマが現れては消えていく様は、ヘリウムの研究とは対照的でとても刺激的でした。

その後、有機物におけるスピン液体の研究を本格的に進めるために新しいスピン液体の候補物質をはじめとする様々な物質開発をしている理研の加藤礼三先生の研究室に研究員として働く機会を得ました。加藤先生の研究室には化学を専門とする研究者も集まっていますので、化学と物理を専門とする人の文化の違いがあって新鮮でした。特に、朝早くに実験を始めて計画的に一日の実験を進めることを重視する化学者の文化は物理屋の見習うべきものである思いました。また、理化学研究所では新任の研究者に対する新人教育(職務規定、コンプライアンス、発注ルールの説明など)がとてもしっかりしていました。東大にもファカルティハンドブックという物があったりしますが、もう少し新任教員に対する説明会があってもいいように思います。

私は極限環境物性研究部門における超低温研究を引き継いで発展させる役割を与えられたわけなのですが、物性研における超低温研究は大きな転機を迎えているように思います。物性研の超低温グループでは主にヘリウムの物性研究を対象として核断熱消磁冷凍を用いたサブ mK までの実験が行われてきました。一方、磁性体や超伝導体を中心とした強相関系の研究においても試料合成技術の進歩に伴って 100mK を切って 10mK に近い温度やそれよりも下の温度における研究も行われるようになってきました。今後、フラストレート磁性体などにおける量子スピン液体の研究、重い電子系物質などにおける量子臨界性や超伝導転移温度の低い超伝導体における対称性の決定等、より低温における測定が重要な役割を果たす研究が増えてくると考えています。私はヘリウムの研究における超低温研究をこうした分野における測定技術の開発などに応用できたらと考えています。一方、物性研にはこれまでに開発された世界でオンリーワンの特徴を持つ超低温冷凍機が存在しています。物性研究所は共同利用研究所でありますから、所外のユーザーと協力して超低温ヘリウムの研究の発展にも助力できたらと思います。



物性研に着任して

国際超強磁場科学研究施設 三宅 厚志

4月1日付けで国際超強磁場科学研究施設徳永研究室の助教に着任いたしました三宅厚志と申します。着任して2ヶ月半が経ち、活発な強磁場グループのお陰で、研究生活を満喫しております。この場をお借りして、これまでの略歴、研究内容、今後の目標を述べたいと思います。

私は高校まで岡山県倉敷市で過ごし、大阪大学基礎工学部に入学しました。4年生で天谷研究室に配属され、ダイヤモンドアンビルセル(DAC)高圧装置と希釈冷凍機を用いた低温・高圧下での実験手法を学びました。天谷喜一教授のご退官後、研究室を引き継ぎ極限量子科学研究センターに異動された清水克哉教授のもとで修士、博士課程を過ごしました。主に磁性金属、希土類化合物等を対象とした圧力誘起量子相転移の研究を行いました。清水研では100 GPaを超える超高圧領域での研究が盛んに行われている中で、私の研究領域はサバを読んでも20 GPaと低い圧力のものでした。その一方で、試料を比較的大きくする事が可能であることから、いろいろな物理量を精密に測定することを目指しました。隣には金道研があり、主に研究以外で大変お世話になりました。修士2年のときには金道先生が阪大極限から物性研に異動され、フライホイール電源を移設し立ち上げるという話を伺い、スケールの大きさに驚愕したのを記憶しています。学位取得後は半年間を清水研で過ごし、フランスCEAグルノーブルのJacques Flouquet博士のグループで1年半ポスドクとして研究する機会を得て、青木大氏(現東北大金研)の元で、ウラン系強磁性超伝導の研究に従事しました。多くの研究者が実験やセミナーのためにグルノーブルに訪れるため、最新の研究動向を知る事や、様々な研究者と議論、交流を深める事ができました。このグルノーブルでの生活はかけがえのないものとなりました。2009年に再び阪大清水研に特任助教として帰参しました。クラスレート超伝導、Yb化合物などの強相関電子系の圧力効果の研究を推進するとともに、学内で圧力を専門としていない研究室との共同研究の機会にも恵まれ、DACを用いた圧力実験の啓蒙活動に喜びを見いだしました。基礎工物質創成専攻の木村剛教授のグループと共に誘電率、分極、交流比熱等を同時に測定する方法を開発しました。また、阪大の官舎に住んでいたのですが、壁を共有するお隣に住んでいらした基礎工機能生成専攻の中村暢伴助教と大掃除をきっかけに仲良くなり、共同研究に発展しました。彼らが独自に開発された弾性定数等を見積もる事ができるブリュアン振動測定を圧力下での実験に拡張する事が出来ました。研究対象、目的や手法が異なる多様な研究に参加できたのは非常にいい経験でした。以上のように低温・圧力を主とした極限物性の研究を行ってききましたが、強磁場の環境にも恵まれていました。阪大、グルノーブルでは近所にそれぞれパルス強磁場、定常磁場の研究室があり、強磁場研究の耳学問には事欠かない環境であり、少しだけですが実際の強磁場実験にも参加する事ができました。極限センター強磁場の萩原政幸教授から共同研究に誘われ、高圧力・パルス磁場中での磁気抵抗測定を立ち上げるのに参画できました。そのような背景もあり、金道研で開発されたマグネットを用いたパルス強磁場中での高速偏光顕微鏡観察、磁気熱量測定などユニークな手法の開発、多様な物性研究を展開されている徳永研究室に加わることができたことは非常に光栄です。

これからはDACをパルス強磁場に組み込み、世界一の複合極限環境を実現し、そこで発現する新しい物理を展開していく事が目標です。国際超強磁場科学研究施設は物性研で唯一「国際」という文字を冠している施設です。国内はもとより世界的な研究を強力に展開する組織と認識しております。物性研強磁場には強烈なリーダーシップを発揮されている所員、それぞれ専門が異なる私と同世代の優秀な研究者、大変頼りになり気さくな技術専門職員、秘書さん、そして元気な院生がいらっしやいます。流動的な物性研の組織編成でこれだけの人員が集まったのは珍しいのではないのでしょうか。強磁場グループはもとより、ぜひ他の部門も巻き込んだ強磁場研究を推進して行く所存であります。どうぞ、ご指導ご鞭撻のほどをよろしくお願い致します。

最後に私事ですが、6月4日に長女を授かりました。実行委員になっていたにも関わらず、6月6日のビアパーティー本番に参加できなかったのは非常に残念でした。これは長女からの「飲み過ぎやで！」という警告なのでしょう。ですが、飲み会から生まれる研究や出会いもあると思います。娘に怒られない程度に楽しんで行きたいと思います。皆様、こちらもよろしくお願い致します。



千人(あるいは数万人?)の規模でいることでしょう。仮にこのような利用が可能になれば、東大としても(あるいは出版社としても)元が取れるのではないのでしょうか?物性研にいたときに、雑誌全部がダウンロードされるという事件がしばしば起こりました。私の想像では、このような利用は、文献利用が困難な外部ユーザーがかかわっているのではないかと考えられます。逆に、もしも正規の利用ルートがあれば、このような事件は、自然になくなくなると思われるのですが。

最後ですが、物性研でいろいろな関係者と顔見知りになれたのは、私にとっての財産です。まだ10年以上研究生活が残っていますので、いろいろなところで、皆さんと顔を合わせる場面があると思っています。上に書いたように、地方大学は予算としては極めて厳しい状況にありますので、共同利用研としての物性研には今後とも何かとお世話になることが多いと思いますので、よろしくをお願いします。

いろいろ駄文を並べました。物性研関係者およびこの駄文に最後までお付き合いいただいた読者に感謝するとともに、今後の物性研究所の発展、および皆様の健康と研究の進展を祈って、結語といたします。

兵庫県立大学物質理学研究科
田島裕之



研究室(兵庫県立大学物質理学研究科機能物質学I講座)集合写真 [2013/4/5 撮影、光都キャンパスにて]
(宴会の後なので見苦しく、申し訳ありません。最下列中央が筆者です。)



外国人客員所員を経験して

Visiting Professor KIM, Yongmin
Department of Applied Physics,
Dankook University Experiencing Kashiwa
Yongin 448-701, Korea

I visited ISSP Kashiwa Campus for three months, from early December 2011 to early March 2012, as a visiting professor at the International MegaGauss Science Laboratory. As soon as I arrived at Kashiwa, I had to attend a conference held in Kumamoto with all other group members including graduate students. It was a great chance to know each other quickly, especially going to “Onsen” all together after the conference. I am still missing scent of sulfur and formal dining in Jigoku Onsen.

My first impression on Kashiwa Campus was well organized services by staff members of the International Liaison Office to visiting scholars that made me to be able to live without discomfort from the beginning. ILO also gave us opportunities to attend various traditional Japanese events. Among them, Sumo wrestling held in Kokugikan was most interesting event for me because it was comparable to Korean traditional wrestling called Sirum. Japan and Korea are close countries and sometimes these two countries share similar cultures in a different way. Attending traditional events, I was able to understand that Japanese evolve new things under respecting traditional cultures.

Working in the laboratory was pleasure experiences. Though I spent quite long time in other pulsed magnetic field laboratory, destructive magnet experiments were new to me. During the magnetic pulse, the explosion sound terrified me in the beginning, but I was able to get used quickly. What impressing me while working in the laboratory was “collective intellect” of Japanese academia. Mostly, I worked alone, study alone and writing papers alone more than fifteen years. However, in Kashiwa, we had a group meeting on every Monday wherein entire group members including from graduate students to faculty members, solving and discussing current problems and presenting work progresses altogether. I felt the power and synergy of the collective intellect in there.

Sometimes laboratory members took me to Izakaya and I enjoyed various kinds of Sake from all over the country, every time. Recently, Japanese style Izakaya are getting popular in Korea. However, such places in Korea cannot compete with the original ones in Japan, not only the selections of Sake, but also the taste of Japanese foods. While writing this essay now, I would like to visit an Izakaya somewhere near the Kashiwa Station.

Since it was a short term visit, I have little memoirs to write something long. However, I was able to obtain huge amount of data from pulsed magnetic fields that make me still fighting to understand them.

客員教授を経験して

九州大学大学院工学研究院 教授 田中 悟

2012 年秋から 2013 年春まで客員教授としてお世話になりました。ナノスケール物性研究部門の小森教授と共同研究を始めて約 3 年になり、数々の面白い結果が出つつある時期でとても有意義であったと思います。実際には 1-2 ヶ月に 1 度くらいしかお邪魔できませんでしたが、実験結果をもとにした密度の濃い議論の時間を持つことができました。日常は学生指導や講義、あるいは会議(この期間は部門長/専攻長でしたので、特に会議が多くて忙しかつたのですが)があり、議論の時間を十分にとることは難しく、このような機会を頂けたことは本当に良かったと思います。

共同研究としては、グラフェンの電子状態評価を行いました。ご存じのようにグラフェンは Geim ら(2010 年ノーベル物理学賞)が実験的に検証した究極の 2 次元電子系物質です。現在でも基礎物性から応用に至るまで変わらず大きな興味を持たれていますが、私は特にグラフェンナノ構造と電子状態の相関に関して興味を持っています。彼らはいわゆるグラファイトからの引き剥がし(機械的剥離)によってグラフェンの小片を得ることを可能にし、量子ホール効果など 2 次元電子物性を検証しました。この剥離法によるサンプル作製は今でも物性研究の主流を占めています。しかし、一方でデバイス応用を考えた場合(または物性研究においても)、何らかの基板上にグラフェンを結晶成長させることは重要です。SiC 基板表面には「神が与えたもうた(ちょっと大きですが)」といわれる(と私が思っている!)自己組織化グラフェンが簡単に形成されます。真空あるいは不活性ガス雰囲気中で高温に熱することにより、表面のシリコン原子だけが蒸発し、残ったカーボンがヘキサゴナルネットワークに再配列し、グラフェンができます。表面物理の専門家は 90 年代に既にこの現象を観察していましたが、グラフェンであるという認識はありませんでした。その時に気づいていたらノーベル物理学賞だったかもしれません。私は 90 年の終わりくらいから SiC 表面に関する研究を行ってきたこともあり、表面物理的な興味からグラフェン研究を始めました。「二匹目のドジョウ」はもういないかもしれませんが、グラフェンと SiC の組み合わせには面白い現象や物性が潜んでいるような気がしています。少し話がそれましたが、現在は SiC 表面上にナノ構造を付与したグラフェンを形成し、ナノ構造による電子状態や伝導特性を主とする物性変調を調べたいと思っています。

既に小森研究室およびフォトンファクトリーにある角度分解光電子分光装置(ARPES)によってグラフェンの K 点における電子状態の変調を観察し、面白い結果を得ています。例えば、SiC 基板表面にはナノメートル周期をもつ自己形成テラス・ファセット構造ができますが、このテラス上(幅~10nm)のみにグラフェンを選択成長させることによって、グラフェンナノリボンができます。グラフェンはディラックコーンと呼ばれる円錐が K 点において接しているため、ゼロバンドギャップですが、ナノリボン中のキャリアは量子化されるとともにエッジの効果でバンドギャップが開きます。このナノリボンの電子状態を直接観察することができました。

以上のような大変満足のいく研究結果を得ることができましたが、これはひとえに小森教授・中辻助教(現東工大)を始めとするスタッフ・学生の皆様のお力添えを頂いた結果です。

最後に柏キャンパスについてひとこと。環境もよくきれいで非常に機能的なキャンパスです(九大の伊都キャンパスも同じです)が、何やら寂しいのはなぜでしょうか。新しい街はどこでも同じですが、整然としすぎているのでしょうか。つくばエクスプレスの柏の葉キャンパス駅周辺も然りですが、昭和の男としてはどうもなじみません。しかし、JR 柏駅周辺の猥雑感はお気に入りです。特に線路沿いに沿って残る昭和を感じさせる居酒屋群は、物性研訪問時の一つの楽しみでもありました。

最後はくだらない雑感になってしまいましたが、これからも物性研とは共同研究(利用)を活発にお願いしたいと思います。小森研を始めとしてグラフェン研究でお世話になっております研究室も今後ともどうぞよろしくお願い申し上げます。改めまして紙上をお借りしてお礼とお願いを申し上げます。



までには得られませんでした。圧力誘起 CDW 転移と考えている異常を、熱電能で追いかけたデータを図 2 に示します。図の左側が熱流を面内に、右側は c 軸方向に流した結果です。熱流方向依存性が明確に現れ、 $Q \parallel [100]$ のみ僅かに加圧したところからコブ状の異常が観測されています。現在、この異常の詳細の解析を進めており、最初の報告として JPSJ に投稿中です。

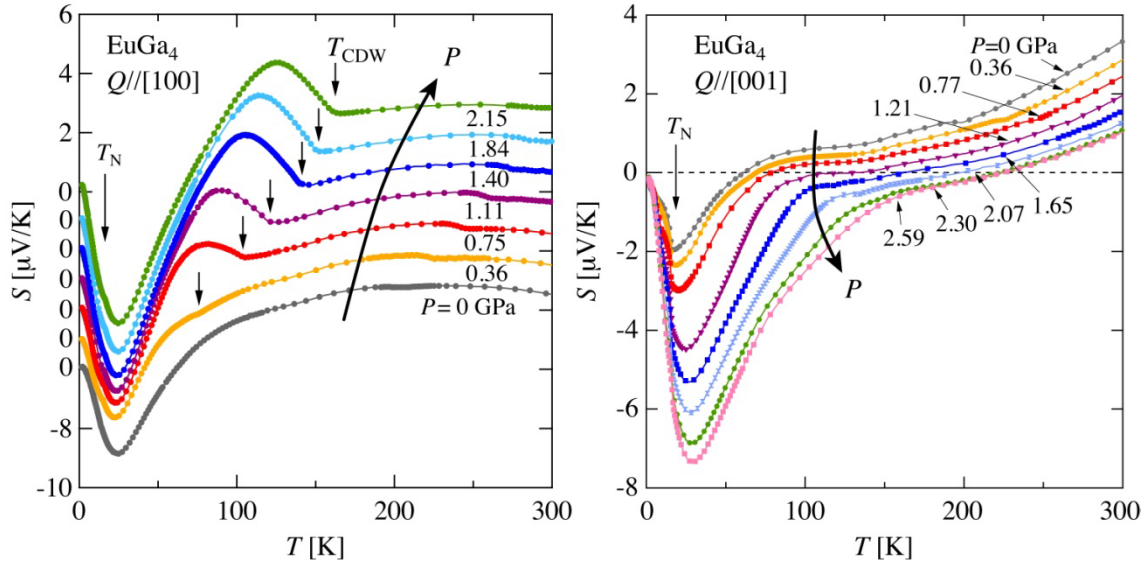


図 2: EuGa_4 の圧力下熱電能の温度依存

まだ極低温までの圧力下熱電能測定は諦めておらず、機会を見つけて再チャレンジを考えています。極低温の圧力下熱電能測定は、きっとそこに大きな発見があるのではないかと期待しています。日頃、授業や業務、学生指導に追われる日々ですが、この客員所員を通して、研究に集中する時間を過ごせたことはとても貴重な時間でした。多くの関係者の方々に深く感謝します。ありがとうございました。

客員所員を経験して

小嗣 真人

2012 年度に辛先生にホストになっていただき客員准教授として物性研に滞在させていただきました。世界最先端の施設であたらしいレーザー光電子顕微鏡に携わる、このエキサイティングな機会を頂けたこと大変感謝しております。本装置はまだ更に飛躍が期待されるようですが、まずは中途報告ということで、この一年間での進展をこの場をお借りしてご報告させていただけると誠に幸いです。

今期のミッションは、辛研究室に納入されたレーザー光電子顕微鏡の建設と利用研究の支援をすることでした。実は 2011 年度前期にも建設支援をさせていただいており、今回はその継続として、今期は特に利用研究をどのように進めるかについて協力をさせていただきました。

レーザー光電子顕微鏡の建設については、谷内研究員、小谷研究員(当時)、阿部君の頑張りによって順調に建設が進められました。そちらについては前回(51 巻 4 号)の物性研だよりで報告させて頂いた通りですが、本装置は収差補正をするための反射鏡を装備しており、高い空間分解能と高い検出効率を有するのが大きな特徴です。放出光電子の球面収差とエネルギー収差を同時に補正することが可能なため、高い空間分解能と高検出効率が実現されるというわけです。装置に触るのが大好きな私にとって、今回のお話はまさに好機到来で、最新の装置の新機能を存分に楽しむことができました。SPring-8 やマックスプランクで培った経験が、今回の光電子顕微鏡の利用研究のお役に立っていただければ願っております。

さて、本年度では利用研究推進の一環として、私がかねてより温めていた「レアメタルフリー $L1_0$ 型 FeNi 規則合金」の磁区構造を、レーザー光電子顕微鏡で解析してみようと思い、実験に投入いたしました。 $L1_0$ -FeNi は c 軸方向に Fe と Ni が交互積層した fct 型の超格子構造として記述でき、通常の disorder-FeNi 相と比較して飛躍的に高い磁気異方性を示すことが大きな特徴です。天然では隕石だけに含有される希少な FeNi 相でしたが、レアメタルフリーで高い磁気機能を示すことから、スピントロニクスや次世代自動車の永久磁石などの応用に向けて、近年高い注目が集まっています。現在は分子線エピタキシーを中心に人工的な材料創成が行われていますが、最大の関心事は自発磁化による垂直磁化をどのようにして獲得するかです。ひとつの方法としては格子歪み等を利用して結晶磁気異方性を向上させることです。もう一つの方法としては基板のステップテラス構造を制御することで、垂直磁化を誘起するというアプローチです。光電子顕微鏡では試料表面の形状に加えて、磁区構造を高い空間分解能で調べることが可能ですので、マクロ測定では検出困難な局所領域の磁化を調査する上で極めて有効です。そこで今回は、基板のステップテラス構造と磁区構造の相関をレーザー励起による光電子顕微鏡で調査しました。

例として、図 1 に試験測定で得られた磁区構造を示します。測定に用いた試料は $L1_0$ -FeNi とは少し状態が異なるものですが、基本的には似たような物性を示す材料です。その結果、ステップ領域に面直磁区が出現し、その一方でテラス領域では面内磁区が確認されました。そもそもステップ領域では規則度が下がるため、垂直磁化は得にくいと我々は予想していたのですが、このような予想とは全く逆の結果が得られ、非常に驚いています。まさに「事実は小説より奇なり」を実験を通じて体感したというわけです。

さて、このような最先端の顕微分光を目指す上で、今後我々放射光研究者はどのようなことを考えなければいけないでしょうか。私の在籍している SPring-8 にはちょうど東大物性研が建設した軟 X 線ビームライン BL07LSU が本格稼働状態にあ

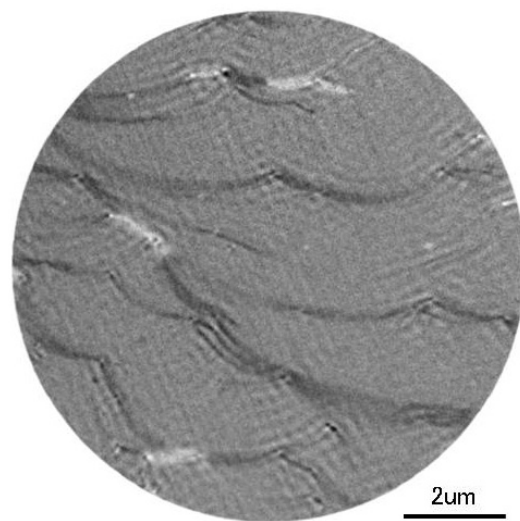


図 1: レーザー-PEEM で観測した磁区構造

り、今回の客員は両者の連携を考える上で非常に有意義な機会となりました。放射光物性の現在のトレンドは自由電子レーザー(SACLA)や SPring-8II など放射光パルスの短時間化に向かっており、放射光バンチの時間構造を有効活用した時間分解測定に今後シフトしていくことと思われます。現在の SPring-8 ではせいぜい 100psec の時間分解測定に限られていますが、SACLA では 1psec まで、さらに SPring-8II ではサブピコ秒のオーダーまでの短パルス化が計画されています。さらに SPring-8II では不均一系・多様系の物理への挑戦を一つのキーワードに掲げています。これまでは試料の平均構造を見ていたに過ぎなかったのですが、例えばナノ分子をそのまま単分子計測することも視野に入ってきます。となると、時間分解と空間分解の究極を目指すということになり、極微の領域でおこる超高速反応がホットトピックになると考えられます。もともと光電子顕微鏡は時間分解測定に適した測定装置で、スピン反転のダイナミクスや、有機分子の薄膜成長ダイナミクスに代表されるように、時間分解と空間分解測定を両立して実施するのに最適です。今回物性研で培った技術がさらに発展し、レーザーと放射光の両者を強く連携させることができれば、このような極微の世界を顕微にすることも夢では無くなると妄想しているところです

従いまして、今後我々が考えるべきは、空間分解能と時間分解能の両者を極限まで追求するという点になります。そして何より大事なのは、この極限性能をもって何を見るか、どのようなサイエンスを展開するかという点につきると思います。そのためには、単純に「見る」だけで無く、物性の深淵を「顕微」にすることが大事で、物質機能を「理解」することが望まれていると思います。単発の実験では、現象の全体像を照らし出すのは中々難しいものです。特に面白い試料ほど気むずかしい性格を持っています。しかしながら実験を一つづつ重ねて、コツコツと続けていけばいつかは真実に到達できると私は考えています。そのような物質との対話(真剣勝負?)のツールとして、レーザー光電子顕微鏡や放射光が今後ますます役立つことを祈っています。

最後になりましたが、この機会を与えて頂いた辛先生、秘書の新榮さん、谷内さん、阿部君、宮町さん、小森先生には大変お世話になりました。今後の物性研の更なる発展を祈りつつ、一旦筆を置きたいと思います。



客員所員を経験して

(公財)高輝度光科学研究センター 中村 哲也

2012 年度に松田巖先生の研究室で客員准教授としてお世話になりました。松田先生の研究室は極めてアクティビティが高く、SPring-8 の東大アウトステーション(BL07LSU)における先端研究に加え、XFEL の試験機として建設された FEL でも VUV 領域の磁気光学応答ダイナミクスに関する実験に取り組むなど、私にとっても刺激の多い一年となりました。松田研究室の皆様と共同研究をさせていただき、議論や情報交換をできたことに加え、放射光軟 X 線の将来をともしに切り拓いていく強力な仲間ができたことが個別の研究成果に勝る貴重な収穫だと感じています。このような機会を与えていただきました松田先生はじめ物性研の先生方に深く感謝いたします。物性研で共同研究させていただいた具体的な内容につきましては、一連の実験で努力された松田研究室院生の山本真吾さんが論文にまとめられましたので、まもなくその成果を皆様にも紹介いただけるものと思います。論文を投稿中という事情もありますので、本稿では物性研で行った磁気カー効果の研究と関わりの深い X 線磁気円二色性(XMCD)について四方山話を書かせて頂くことにいたします。本稿の大部分が、表題「客員所員を経験して」から掛け離れてしまいますことをご容赦ください。

【メスバウアーより XMCD?】

もう 20 年も前の回想になりますが、京都大学工学部の志賀正幸先生のご指導の下、私の卒業研究は、一次の強磁性-反強磁性相転移(Tcr.~340K)を示す FeRh 合金に対し、Al の Rh 置換効果をメスバウアー分光によって調べるという内容でした。この研究では、Al で Rh サイトを置換しようとする当初の目論見通りには進みませんでした。とにかく Al を添加した効果が Rh サイトの Fe 置換であることがメスバウアー分光実験によって分かり、強磁性が安定化して転移点が低温側にシフトする磁性の変化についても説明できました。この研究で活かされたようにメスバウアー分光で Fe だけの磁性を選択的に得られることは非常に強力です。しかし、Fe 以外の元素に対するメスバウアー分光については、(少なくとも当時の印象では)線源の入手が難しく、かなり特殊だと感じました。その後、修士・博士課程では当時の物性研と同じ六本木にあった東大生産研の七尾進先生にご指導いただくことになり、ここで放射光と出会い、七尾先生からは修論のテーマとして X 線磁気ブラッグ散乱を提案していただきました。最初の数ヶ月は X 線磁気ブラッグ散乱に関する理論の論文を眺めては理解に苦しみ、睡魔と戦う毎日を過ごしていましたが、やがて 7 月頃には岡山大(現在:広島大学)の圓山裕先生が KEK-AR で行う XMCD の実験に参加させていただける機会に恵まれました。XMCD はその 5 年前(1987 年)にドイツの G. Schütz 先生らが Fe の K 吸収端で初めて観測に成功しました。私たちが KEK-AR で実験する頃までには既に幾つかの例が報告されていましたが、KEK-AR での実験は当時の国内では十分に新しい試みでした。そしてこのとき、XMCD によって Fe だけでなく Co や Tb など他の多くの磁性元素に対して元素選択的な磁気情報が得られることを知り、「XMCD にはメスバウアーの線源を各元素揃える以上の将来がある。これを専門にすれば失業せず食っていける?」と打算したことが現在の研究につながっています。

【XMCD スペクトルは何を示すか】

圓山先生のご厚意で参加させていただいた前述の実験に続き、私達の研究室では光磁気記録媒体に関する興味から希土類遷移金属合金薄膜試料に対して XMCD 実験を行いました。しかし、実際に「食っていける」と確信できるほどの成果が得られるほど簡単ではありませんでした。3d 遷移金属の K 吸収端と希土類の L_{2,3} 吸収端の終状態は、双極子遷移に対して、それぞれ、4p 軌道と 5d 軌道になるため、XMCD によって得られる情報もこれらの終状態に対応し、伝導バンドの磁気分極を反映したものになります。伝導バンドの磁気情報を得るということは極めて画期的ですが、実験と比較できる理論計算も殆ど無かったため、スペクトル形状の起源が分からずに頭を抱えていました。その後、国内では五十嵐潤一先生や藤川高志先生によって 3d 遷移金属 K 吸収端、また、小谷章雄先生、原田勲先生、城健男先生らによって希土類

L_{2,3} 吸収端の XMCD の理論研究が進み、これらの吸収端における XMCD の素性について、私のような実験屋でも何とかイメージできるものとなりました。特に興味深いのは、Fe や Co といった 3d 遷移金属の K 吸収端で測定した XMCD スペクトルには、吸収原子自身の磁気分極よりも、むしろ、隣接原子の磁気分極の影響が強く表れる、という指摘です。内殻状態には明らかな元素選択性がありながら、XMCD スペクトルには隣接する異元素の磁気情報も含まれることを意味するものですから、捉えようによっては「元素選択」の特徴が崩れてしまうわけです。メスbauer分光のように元素選択的な情報が得られることを期待した経緯からすれば非常に困ったことですが、X 線磁気分光としては興味深いものと思います。一方、このようにスペクトルの解釈が難しい硬 X 線領域の XMCD についても、Pt や Au の L_{2,3} 吸収端で注目すべき結果が得られています。たとえば、Pt L_{2,3} 吸収端では磁性を担う 5d 軌道を直接観察しており、磁気光学総和則によって磁気モーメントの定量評価も可能になります。特に、鈴木基寛氏らが SPring-8 において移相子を用いた高速円偏光反転によるロックイン法の XMCD 測定技術を確立したことで、測定精度が一気に数桁も向上しました。その結果、Au のナノ粒子の磁性など、非常に微弱な磁性まで捉えることができるようになりました。さらに最近では、光束径 100nm を切る集光ビーム(ナノビーム)によって、磁気イメージングでの XMCD 実験技術も進んでいます。

【軟 X 線領域の XMCD への鞍替え】

一方、私達が硬 X 線領域の XMCD の扱いに混乱していた時期と並行し、軟 X 線領域の XMCD では、おおむね 1995 年以降、磁気光学総和則による磁気モーメントの定量評価が盛んになっていきました。軟 X 線領域では、遷移金属の 3d 軌道や希土類の 4f 軌道など、磁性の主な担い手となる電子軌道の磁気分極を直接的に観測できる利点があります。そこで、2000 年度後期の SPring-8 課題募集で BL25SU に課題を申請し、幸いそれを採択していただきました。そして、この実験をきっかけとして「軟 X 線 MCD を用いて元素別の磁気ヒステリシスを描きたい」という当面の目標ができました。そこで、2002 年度の半ばになって高輝度光科学研究センターに移り、多くの方の協力を得て新たに電磁石式の XMCD 測定装置を整備し、元素選択磁気ヒステリシス測定が実現しました。その後、この元素選択磁気ヒステリシス測定は、交換バイアス薄膜をはじめとした界面強磁性の理解に大いに役だっています。

【軟 X 線 MCD の今後】

軟 X 線 MCD は、元素を区別した磁化測定法という観点で測定される場合が多いことから、低温(高温)や強磁場など、磁化測定と同様の試料環境が求められてきました。たとえば、SPring-8 の BL25SU では、東北大金研の鳴海康雄先生、野尻浩之先生、さらに、物性研の金道浩一先生らとの共同研究で、最大 40 テスラまでのパルス磁場下での測定が可能になっています。今後は、試料温度の低温化や、超伝導磁石による定常強磁場の導入がターゲットになるでしょう。一方、SPring-8 では、今年度末の完成予定で BL25SU を改造し、その後、光束径 100 nm をきる軟 X 線ナノビームによる XMCD 測定を整備します。軟 X 線ナノビームによる XMCD では、メソスケールで物性に空間分布や揺らぎのあるような系で局所的な物性をダイナミクスまで含めて観測するといった実験に興味を持たれます。また将来、X 線自由電子レーザー施設 SACLA 等において軟 X 線 FEL が利用できるようになれば、特に、松田巖先生が中心となって進めておられる磁気カー効果を利用した磁気ダイナミクスの研究などが発展するものと期待されます。



でスピン・ギャップ相を持つ物質や、競合鎖でスピン・ギャップ相を持つ物質は、私の知る限りではありませんでした。

我々は、 $R\text{CrGeO}_5$ (R は Y または希土類、 Cr^{3+} がスピン $3/2$ を持つ) が交替鎖の、 $\text{Rb}_2\text{Cu}_2\text{Mo}_3\text{O}_{12}$ (Cu^{2+} がスピン $1/2$ を持つ) が競合鎖のモデル物質になると考えて、中性子非弾性散乱、磁化、比熱測定を行いました。結論としては、ともにスピン・ギャップ相を持つことがわかりました。

スピン・ギャップ相の有無を確認する最も一般的な方法は磁化測定です。帯磁率は低温で非常に小さな値となります。また、スピン・ギャップの大きさに対応する磁場を印加すると、スピン・ギャップが閉じるので、磁化曲線には、急激な磁化上昇が現れます。

$R\text{CrGeO}_5$ では、希土類の磁性もしくは磁性を持つ他相 (YCrGeO_5 では単相試料が得られなかった) の影響のため、帯磁率の温度依存性からはスピン・ギャップ相を確認できませんでした。金道研で強磁場磁化測定を行いました。スピン・ギャップが大きく、 YCrGeO_5 で磁化上昇の裾を捉えることができたに留まりました。そこで、J-PARC のビームライン BL12 にある HRC 分光器を使って、 R が Y、 ^{154}Sm 、または Nd の粉末試料の中性子非弾性散乱測定を行いました。全試料でスピン・ギャップの存在を示す磁気励起を観測しました。図 2 に YCrGeO_5 の結果を示します。東北大学の富安先生らによって考案された変換法¹⁾を用いて実験結果から計算した、スピン鎖方向に対応する散乱ベクトル q_{1D} と散乱エネルギー ω 平面での非弾性中性子散乱の強度分布です。なお、鎖内の Cr-Cr の平均距離 d を用いて、 $q_{1D} = Qd/2\pi$ と規格してあります。 $q_{1D} = 0.5$ で強度が強く、反強磁性鎖であることと一致します。磁気励起の分散関係は白線で示した $\omega = \sqrt{20^2 \sin^2(2\pi q_{1D}) + 10^2}$ で合わせることができます。ここからスピン・ギャップの値を 10 meV と評価しました。

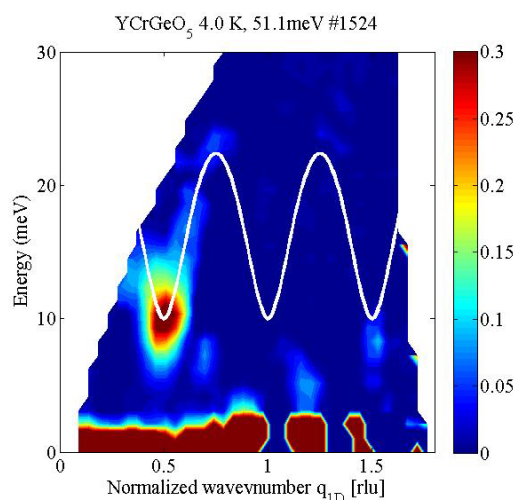


図 2 : $\omega - q_{1D}$ 平面での YCrGeO_5 粉末の 4.0 K の非弾性中性子散乱の強度分布。入射中性子のエネルギーは 51.1 meV である。

$\text{Rb}_2\text{Cu}_2\text{Mo}_3\text{O}_{12}$ は明治大学の安井先生を中心に研究を行っています。私は中性子非弾性散乱と比熱測定に参加しました。榊原研で測定した極低温での磁化曲線と帯磁率の温度依存性、益田研で測定した比熱の温度依存性からスピン・ギャップ相が存在することが判りました。また、J-PARC のビームライン BL14 にあるアマテラス分光器を使って粉末試料の中性子非弾性散乱測定を行いました。スピン・ギャップ励起が観測され、スピン・ギャップの値は 3 種類の測定でほぼ一致しました。

実はフラストレーションスピン系の中性子散乱研究として、JRR-3 の PONTA 分光器で偏極中性子線を用いて、 $\text{Cu}_3\text{Mo}_2\text{O}_9$ という物質の磁気構造を決めることを目標としていました。大変残念なことに 2012 年度には JRR-3 は運転されませんでした。出来るだけ早期の再開を切望します。この研究はそのときまでの宿題とさせていただきます。

中性子散乱施設を含めて、東大物性研には多くの素晴らしい施設や装置があります。それらを利用するに当たって、客員職員であれば寒剤代や旅費のサポートが受けられます(つくばからの往復だって、回数を重ねればそれなりの額になるのです)。また、客員職員という肩書があると仲間の 1 人と(勝手に)思っ出入りできる点も良かったです。よって、普段の共同研究よりも楽しめました。客員職員制度は今後も是非とも続けて頂きたいです。特に若い人の支援になるといいと思います。

本研究に関しては、益田隆嗣先生を初め多くの方々大変にお世話になりました。名前を挙げさせて頂き、感謝したいと思います。東大物性研の萩原雅人さん、左右田稔先生、松尾晶さん、金道浩一先生、榊原俊郎先生。明治大学の安井幸夫先生。高エネ機構の川名大地さん、横尾哲也先生、伊藤晋一先生。J-PARC センターの河村聖子さん、中島健次さん、菊地龍弥さん、稲村泰弘さん。ありがとうございます。

参考文献

- ¹⁾ K. Tomiyasu *et al.*, Appl. Phys. Lett. 94, 092502 (2009).

第 10 回 ISSP 柏賞を受賞して

極限環境物性研究部門 内田 和人

はじめに

2 年前のあの日のことを思い出しつつ、前の晩に慌てて買ったスーツを着て、授賞式に臨んだ。1 月下旬、受賞の知らせをメールで頂いたときにも、何人かの方々に祝福されたときにも、誰も受賞理由については触れてくれないので、一番大事なことに確信が持てないまま、とうとうその日を迎えてしまった。まさか「なぜ賞を貰えるんですか？」とは誰にも聞けなかった。無駄に歳月だけは重ねてきて、いくつか思い当たる仕事も無くはないが、近い人しか知らないはず。そもそも何かの手違いかもしれないし。とにかく、準備した通りでよかった。

あらためて、3 月 11 日、ISSP 柏賞という荣誉ある賞を戴き、授賞式でしっかりとお伝えできなかった感謝の気持ちを、この場をお借りして、お伝えできればと思います。日頃よりご支援頂いている方々、ありがとうございます。そして、受賞理由となった今回の仕事について、まだご存知ない方々に少しでも興味を持って頂ければ幸いです。

空間領域差分計測法による高分解能イメージング技術

スピンホール効果による半導体のスピン蓄積や、グラファイトの一原子層であるグラフェンへの室温におけるスピン注入の成功、「隠れた保存量」の発見など、「スピントロニクス」という名の新たな地平が徐々に拓かれつつある。この流れに乗ってか乗せられてか、平成 21 年度科学研究費助成事業基盤研究(C)に採択され、「イメージファイバを用いた空間 2 次微分スピンイメージング装置の開発」がスタートした。目的は、「スピントロニクス」の主役であるスピン流、あるいは蓄積されたスピン(磁化)の検出技術である。スピン検出には、従来、スピン偏極電子顕微鏡やスピン偏極トンネル顕微鏡、あるいは磁気力顕微鏡を用いる等の方法があるが、これらはナノメートルの高分解能を有する反面、操作が簡単ではなく、試料の広範囲の測定には長い時間を要する。最近では、n 型 GaAs 試料において、反射光の偏光角が磁化の大きさに比例するという磁気光学カー効果を利用し、光学顕微鏡を用いてスピンホール効果による試料端でのスピン蓄積の観測が行われているが、この手法もマイクロオーダーの光スポットを試料表面で走査しなければならない点において簡便とは言いがたく、温度、磁場、電場等の多重な環境パラメータ下における測定では大きな制限を伴う。そこで本研究では、マイクロオーダーの分解能を持ち、極めて簡便(試料準備の容易さと極めて短い測定時間)かつ高感度で表面磁化の情報をイメージングできる技術として、空間領域差分計測法による新たなイメージング手法を提案した。この手法は、光学系と検出器を含めた測定系全体に対して、試料を結像面上で装置の空間分解能程度シフトし、信号強度の差分を検出することにより、CCD の固定パターンノイズ等、試料位置に依らない光信号成分を除去し、結果として分解能を向上させるものである。この手法を用いることにより、たとえば超伝導マグネット内に光学系を導入するのに便利なファイバスコープを用いた場合でも、ファイバのハニカム構造が目立たない高分解能なイメージングが可能となり、磁気光学カー効果を用いればスピンのイメージングにも応用することができる。

真顔で動機を聞かれれば、こんなことを答えてしまうのだが、実際には数年前に行った α -(BEDT-TTF)₂KHg(SCN)₄という低次元有機導体における角度依存磁気抵抗振動の研究に遡る。この研究では、少しユニークな二軸回転機構を設計・製作し、超伝導マグネット内で試料を全方位にわたって回転することで、フェルミ面の次元性を反映した複雑な層間磁気抵抗パターンを観察した。このとき、2 次元画像(抵抗の濃淡プロット)に隠された構造をなんとか見つけ出そうと、画像処理技術(後述するラプラシアンフィルタ等)を勉強し、利用していた。そんな或る日、松戸のあたりを運転中にふと思いつき、キャンパス到着までの間に膨らんでいったものを、数年かけて吐き出したのが今回の仕事である。「ラプラシアンフィルタは隣接画素を用いて 2 次微分を計算する。ならば、隣接空間を実際に測定すればもっといいことがあるんじゃないか？」理屈は至って簡単、だからやることも簡単である。観察対象をちょっとだけ動かしてやればいい、動いたと気づかない程度に。実際の光学系と像の動き(8 方向シフトの場合)を、

それぞれ図 1、2 に示している。まず通常どおり対象物を撮影する。そして、結像面上で対象物だけをシフトさせ、再び撮影する。これを縦・横・斜めと 8 方向すべてについて行う。都合、9 枚の画像を取得するわけだが、あとはシフトした画像とシフトする前の画像との差分を取り、それらを積算するだけでいい。(別に縦・横の 4 方向、あるいは用途によっては縦だけでも構わない。)ここまで説明すると、先に挙げたラプラシアンフィルタと混同されがちである。ラプラシアンフィルタは 1 枚の画像について、隣接する画素間で同様の

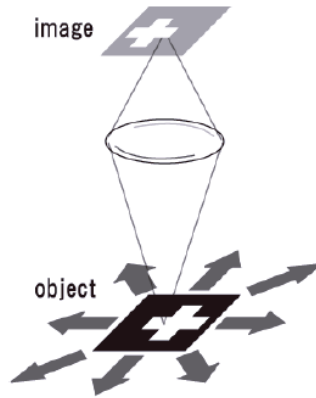


図 1 空間領域差分計測法による高分解能イメージング手法での観察対象の動き

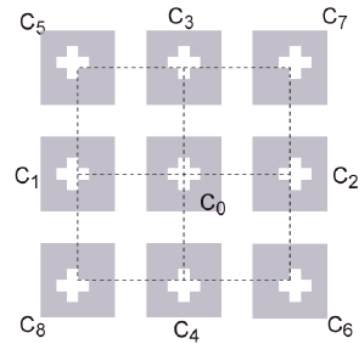


図 2 実際に取得する画像データ(縦・横・斜めの 8 方向シフトの場合)

演算、すなわち画像の 2 次微分処理を行いエッジを強調させるという数値演算である。対して、我々の手法は空間領域差分計測法と呼ぶべき、異なる空間における観測による実測法であり、シフト量に対して同程度の空間周波数成分のみが抽出され、それ以外の周波数成分は除去されるという効果を持つ。すなわち、CCD 素子の欠陥や固定パターンノイズ、照射ムラ、迷光、イメージファイバのハニカム構造等、対象物の位置によらない信号成分は除去される可能性が高い。そしてシフト量を空間分解能程度に設定すれば、結果的に装置の分解能が向上することになる。このとき、シフト前後での画像の差分を積算すると、シフト方向におけるリアルな空間 2 次微分イメージが出力される。この差分積算画像にさらに元の画像を加算することにより、より自然でかつ鮮鋭化された高分解能イメージが得られる。この手法を炭素の一原子層であるグラフェンの顕微鏡観察に適用した結果を、通常の結果とともに図 3、4 に示す。顕微鏡のステージ部にピエゾ駆動機構を追加し、顕微鏡の空間分解能より若干小さい 0.3 ミクロンのシフト量で実験を行った。

ホールバーの中央に単層や複数層からなる細長いグラフェンが見られる。ディラック電子系の特徴として知られているように、単層グラフェンの光吸収率は微

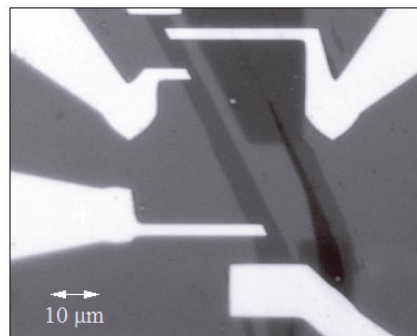


図 3 ホールバー型グラフェン試料の顕微鏡像(中央縦に配置しているのが単層グラフェン)

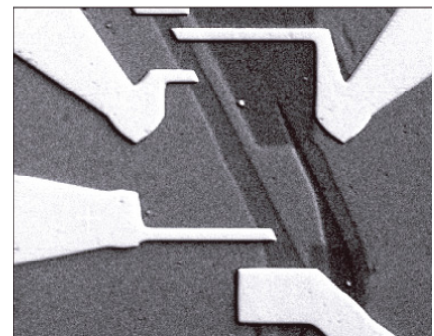


図 4 空間領域差分計測法によるホールバー型グラフェン試料の顕微鏡像

細構造定数で表せ、物質固有の性質に依らず波長にも依存しない約 2.3%という値である。この小さな吸収率のせいで、機械的剥離法によりシリコン基板上に転写されたであろう薄い青色をしたグラフェン探しは、時に地味で過酷な顕微鏡観察となる。この手法により、グラフェンの皺や断裂等の欠陥、不純物、さらに電極部分の表面の状態などを、より鮮明に捉えることができ、グラフェン試料の観察・作製に威力を発揮している。次にこの手法を CCD カメラと光学系をイメージファイバで結合した装置に適用した結果を図 5、6 に示す。ここでは、この手法の有効性を実証するために、分解能の評価に用いられるテストターゲットの観察を行っている。装置全体の分解能は光ファイバ素線の直径(2-3 ミクロン)で決まっており、シフト量を 2 ミクロンとした。イメージファイバとは、医療や工業の分野で広く用いられるファイバスコープの画像伝送を担う微細な光ファイバの束である。レンズ光学系では不可能な奥まった場所にある物を観察するのに大変有効なツールだが、ファイバ素線の直径により空間分解能が制限される点や、ファイバのクラッド部分によるハニカム構造がノイズとなり像が不鮮明になるという欠点がある。特にハニカム構造は光が伝達されないために、どのような画像処理によってもうまく除去できない。しかしながら、この手法では個々のファイバのコア部分(光の伝送部)が探針と

第 10 回 ISSP 学術奨励賞を受賞して

新物質科学研究部門 吉田 誠

2013 年 3 月に、第 10 回 ISSP 学術奨励賞を受賞し、家所長(当時)より賞状と素敵な銀のメダルを賜りました。対象となった研究は、「フラストレートした磁性体ボルボサイトの磁気相転移と異常なゆらぎの観測」というものです。物性研だよりに記事を書く機会を頂きましたので、ここでは本研究の経緯とボルボサイトの面白い点について述べたいと思います。

私は大学院生時代、電子の有効質量を測るサイクロトロン共鳴測定に従事していたので、電気の流れないスピン系にはあまり関心が無かったのですが、ポストドク時代に神戸大学・太田研究室で有限 Haldane 鎖の ESR 測定[1]に関わってから、スピン系に興味を持つようになりました。 $S=1$ 反強磁性次元鎖、すなわち Haldane 鎖の基底状態は Valence Bond Solid(VBS)と呼ばれる非磁性状態として理解されますが、この VBS は孤立した非磁性シングレットの集合体というわけではなく、複数サイトにスピン相関が広がった状態であり、その様子が ESR や NMR といったマイクロな測定手法を用いて目で見たように観測できるというのが大変面白いと感じました。同様のことがスピン液体、あるいは Resonating Valence Bond(RVB)と呼ばれるような状態でも可能ではないかと考え、二次元フラストレートスピン系に深入りすることになっていきました。しかし実際に、スピン液体のような状態を目指していくと、なかなか Haldane 鎖のように綺麗にいかないということがわかってきました。Haldane 鎖の VBS は大きなスピンギャップを持ち、スピン相関が指数関数で減衰しますので、ユニークな量子基底状態を実験で安定に実現することが出来ます。それに対し、RVB のような状態がもしも実現しようとしても、スピン相関は空間的に大きく広がっており、スピンギャップは非常に小さいか、あるいはギャップレスと考えられるので、実験では他の効果(磁気異方性、不純物や格子欠陥による乱れ、遠距離相互作用等)に妨げられて、明確な結果を得ることが難しくなるように思われます。

ボルボサイト $\text{Cu}_3\text{V}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ は $S=1/2$ を有する Cu^{2+} イオンが歪んだカゴメ格子を形成し、スピン液体候補として有力視された物質ですが、詳細な研究により、カゴメモデルからのずれのためか、低温では何かしらの磁気秩序状態にあるということがわかってきました[2-6]。 ^{51}V NMR 測定において、核磁気緩和率 $1/T_1$ は 1 K でシャープなピークを持ち、それ以下の温度で明確な内部磁場の発生が観測されます。これは少なくともあるスピン成分は 1 K に向かってゆらぎがスローイングダウンし、1 K 以下で格子の対称性を破る反強磁性的スピン配列が生じたと解釈されます。これだけだとボルボサイトはスピン液体のような状態が実現しそうであったけれど、他の効果に妨げられて磁気秩序を示した例の一つに分類されて終わりそうです。しかし詳細に調べてみると、1 K 以下の核磁気緩和率 $1/T_1$ とスピンエコー減衰率 $1/T_2$ の振る舞いが極めて異常であり、単純な磁気秩序状態にあるように見えません[2]。反強磁性的に秩序したスピン成分が存在することは間違いありませんが、同時に $1/T_1$ 及び $1/T_2$ を異常にする非常に大きくゆらぐスピン成分が存在すると考えられます。 $1/T_1$ 及び $1/T_2$ の異常というだけでは間接的ですが、この共存を強く支持する結果が高磁場相の詳細な研究から得られます。ボルボサイトは、低温で複数の磁化ステップを示す点が大きな特徴です[3]。NMR 測定では磁化ステップに対応した磁気転移が 4.5 T と 25 T で観測されるので、低温の磁気相を低磁場から相 I ($B < 4.5$ T)、相 II ($4.5 < B < 25$ T)、相 III ($25 \text{ T} < B$) と名付けます。相 I において、 $1/T_1$ 及び $1/T_2$ から大きなスピンのゆらぎが示唆されますが、これが相 II に入ると、通常の磁気秩序に対応するようなゆらぎが抑えられた成分が明確に出現し、相 I で見られたゆらぎの強い成分と共存して、超構造を形成しているように見えます[4]。さらに相 III では、NMR 測定から一部の秩序スピン成分が強磁性的に揃うと考えられますが、ゆらぎの強い成分も生き残り、奇妙な共存状態を形成しているように見えます[5,6]。すなわち、ボルボサイトの複雑な磁化過程[3]は、通常の磁気秩序成分とゆらぎの強い奇妙なスピン成分の共存及び超構造の形成と密接に関係しており[5,6]、大きなスピンゆらぎの原因を解明することがボルボサイトの磁性を理解するうえで本質的に重要と考えられます。ゆらぎの原因は何か、現時点では分からないのですが、今後、単結晶を用いたさらに詳細な測定で明らかにしていけると考えております。

今回受賞の対象となった研究は、瀧川仁、吉田紘行、岡本佳比古、広井善二、S. Krämer、S. Mukhopadhyay、M. Horvatić、C. Berthier 各氏との共同研究です。また本研究は、物性研の素晴らしい実験環境及びグルノーブル強磁場施設において、多くの方々に支えられ成されたものです。この場を借りて感謝いたします。

- [1] 吉田誠、太田仁、伊藤利充、網代芳民、日本物理学会誌 Vol.61, No.3 (2006) 180-183.
- [2] M. Yoshida, M. Takigawa, H. Yoshida, Y. Okamoto, and Z. Hiroi, Phys. Rev. Lett. 103(2009) 077207.
- [3] H. Yoshida, Y. Okamoto, T. Tayama, T. Sakakibara, M. Tokunaga, A. Matsuo, Y. Narumi, K. Kindo, M. Yoshida, M. Takigawa, and Z. Hiroi, J. Phys. Soc. Jpn. 78(2009) 043704.
- [4] M. Yoshida, M. Takigawa, H. Yoshida, Y. Okamoto, and Z. Hiroi, Phys. Rev. B 84(2011) 020410(R).
- [5] M. Yoshida, M. Takigawa, S. Krämer, S. Mukhopadhyay, M. Horvatić, C. Berthier, H. Yoshida, Y. Okamoto, and Z. Hiroi, J. Phys. Soc. Jpn. 81(2012) 024703.
- [6] 吉田誠、瀧川仁、日本物理学会誌 Vol.67, No.3 (2012) 179-183.

ISSP ワークショップ

東京大学アウトステーション(SPring-8 BL07LSU) の現状と偏光制御実験への展開

日時：2013年2月15日(金) 10:00~17:40

場所：東京大学物性研究所6階大講義室

提案者：辛 埴、小森 文夫、松田 巖、原田 慈久

報告：小森 文夫

SPring-8 に設置された東京大学放射光アウトステーション物質科学ビームライン BL07LSU では、アンジュレータビームラインおよび時間分解光電子分光、3次元ナノ光電子分光、軟 X 線発光分光の 3 つのエンドステーション実験設備の建設が 2 年前に完了し、これらエンドステーションとフリーポートを利用した共同利用実験が行われています。また、平成 24 年度からは、各エンドステーションの建設チームによる長期課題が始まり新しい研究が展開されていると同時に、一般課題の共同利用からも大きな成果が公表されつつあります。さらに、平成 25 年度にはアンジュレータの偏光制御を用いた研究を本格的に始める予定です。そこで、今回のワークショップでは、この 1 年の共同利用実験で得られた研究成果を報告するとともに、このアンジュレータビームラインで行われている高速偏光スイッチングへの改良に対応した、偏光制御を用いた研究の展望を議論しました。1 日だけの研究会でしたが、参加者は 54 名であり、活発で有意義な議論がなされました。VUV/SX 放射光コミュニティの皆様のご参加・ご支援に深く感謝したいと思います。以下にプログラムと、ビームライン・エンドステーションに関する現状報告を簡単にまとめました。

プログラム

10:00-10:10 東京大学アウトステーション計画の概要と共同利用について 東大 尾嶋 正治

[偏光スイッチング]

10:10-10:35 BL07LSU アンジュレータ・ビームラインの現状と偏光制御に向けて 東大物性研 松田 巖

10:35-11:00 BL07LSU アンジュレータの光源特性 JASRI/SPring-8 田中 隆次

11:00-11:25 磁性材料研究における軟 X 線円偏光スイッチングの利活用と将来展望
JASRI/SPring-8 中村 哲也(東大客員)

11:25-11:50 ダイヤモンド移相子による硬 X 線領域での偏光制御 JASRI/SPring-8 鈴木 基寛

[偏光利用]

13:00-13:25 円偏光 X 線を用いた共鳴回折：カイラリティ構造研究の展開 理研/SPring-8 田中 良和

13:25-13:50 高分解能広立体角 2 次元光電子顕微分光器(DELMA)の開発とその応用 NAIST 大門 寛

[各実験ステーション]

13:50-14:15 <S 課題>時間分解光電子分光法による半導体表面キャリアダイナミクスの研究 東大物性研 山本 達

14:15-14:40 アナターゼ型 TiO₂ 単結晶表面における光励起キャリアの緩和過程 東工大 小澤 健一

15:00-15:25 <S 課題>三次元 nanoESCA 装置の現状 KEK-PF 堀場 弘司、東大 永村 直佳

15:25-15:50 三次元 nanoESCA によるグラフェン・デバイスのその場観察に向けて 東北大 吹留 博一

(3) 3次元ナノ ESCA ステーションの現状

3次元ナノ ESCA ステーションは、ナノメートルスケールの空間分解能で、物質の電子・化学状態分布を3次元的に可視化するための実験ステーションである。ビームラインからの超高輝度放射光をフレネルゾーンプレート(FZP)で集光することにより得られる放射光ナノビームを用いて、空間分解(x,y)した光電子スペクトルを測定し、さらに、そのスペクトルの放出角度依存性を最大エントロピー法で解析することにより深さ方向分析(z)を行っている。これらの技術の融合により、3次元(x,y + z)空間解析を行うことができる。面内空間分解能としては走査型光電子顕微鏡における世界最高レベルの70 nmを達成し、また同時に、ゾーンプレート集光した状態での60°にわたる光電子放出角度依存性を一括して取得することが可能である。

本装置を利用して、抵抗変化型ランダムアクセスメモリ等のナノデバイス、剥離グラフェン等のナノ材料、リチウムイオン電池正極触媒のナノ粒子等の電子状態解析を行っている。剥離グラフェンのFETデバイスに対する測定では、3次元ナノ ESCA を用いてグラフェン/金属界面の化学ポテンシャルの空間分布を精密に測定することにより、グラフェン/金属電極接合界面における電荷移動領域の直接観測に初めて成功した。共同利用実験と並行して、ナノデバイスの動作時電子状態・化学状態を解析するために、この3次元ナノ ESCA ステーションにおいて試料中にバイアスを印加し、デバイス動作中のoperando解析が可能となるよう試料ステージの改造を進めている。図2に、作製したバイアス印加用試料ステージを示す。試料ホルダーは、これまで用いていた通常の者と互換性を持ち、超高真空中を試料搬送することが可能でありながら5つの独立した電極プレートを有しており、それぞれはアルミナプレートで絶縁されている。三次元ナノ ESCA 側の試料ステージは、試料ホルダーの5つの電極に対して、こちらも独立した5つの金属バネでコンタクトされるようになっており、このバネが真空外の電流導入端子にそれぞれ接続されている。この機構により、試料上に最大5端子で独立の電位を与えることが可能となる。現在このステージを3次元ナノ ESCA に実装し、ナノデバイス電圧印加中のオペランド測定の実験を開始しているところである。

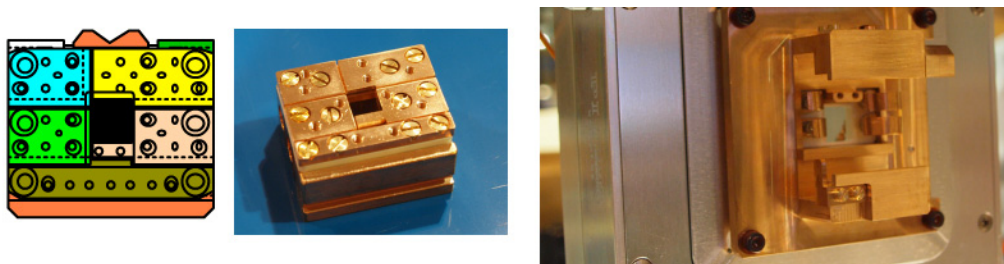


図2. 三次元ナノ ESCA 用バイアス印加試料ホルダー。左から試料ホルダーの模式図、作製した試料ホルダーの写真、およびバイアス印加試料ホルダー用の三次元ナノ ESCA 試料ステージの写真。

(4) 超高分解能軟X線発光分光ステーションの現状

本実験ステーションは400 eV~750 eVで $E/\Delta E > 8000$ の世界最高エネルギー分解能で軟X線発光分光が行えるのみならず、種々の試料セルを用いて超高真空と大気圧下の両方で分光が行えるという特長を有している。H24年度はin situ/オペランド測定時のセルの交換作業と真空引きによる時間のロスを無くすため、交換作業時に吸収測定が行えるシステムを後置鏡直上に構築した。

H24年度は発光ステーションでは、リチウムイオン電池の正極材料 LiMn_2O_4 の電極セルを用いた電池環境下のMn 3d電子状態観測(産総研)、水素吸蔵合金の水素同位体効果の検出(筑波大)、CdSe ドープ TiO_2 ナノ粒子の触媒活性発現機構解明(Advanced Light Source/USA)、TiOClのオービトン観測及び $\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$ 酸化物ヘテロ界面伝導層のTi 3d遍歴電子状態の観測(Würzburg 大)、 $\text{In}_{1-x}\text{Fe}_x\text{As}$ のキャリア誘起強磁性の起源解明(東大)などの共同利用を受け入れた。いずれもこれまで通りの分光性能にて実験を実施することができた。特に水素吸蔵合金では同位体効果と温度効果を分離して、Feとの軌道混成に対する明らかな同位体効果を見出すことに成功した(図3)。

S 課題では、非白金系燃料電池正極触媒(カーボンアロイ触媒)のオペランド分光およびモデル触媒(窒素ドープ HOPG)を用いた酸素ガス吸着のin situ 実験が行われた。オペランド分光では、実燃料電池環境である膜電極複合体(MEA)を用

ISSP ワークショップ

強相関電子系における価数揺らぎと量子臨界性

日時：2013年2月25日(月) 午前9時20分～午後5時30分

場所：東京大学物性研究所本館(本館A615室)

強相関電子系における量子臨界現象は、異常金属相や異方的な超伝導など新しい量子相の発現から広く関心を集めてきた。なかでも、純良な単結晶試料が得られる重い電子系は、磁場・圧力等による基底状態の精密な制御がクリーンリミットで可能であるため、量子臨界現象が最も集中的に研究され、反強磁性臨界点近傍の異方的超伝導や非フェルミ液体の数々の典型例を与えてきた。その重い電子系の研究においてこれまで主役を担ってきたのは、整数価数の近藤格子系と考えられる物質群である。一方で、比較的低温温度が高い価数揺動系は磁性や量子臨界現象とは無関係であると考えられてきた。ところが、その価数揺動系において、近年、 $4f$ 電子の局在的な振る舞いや、量子臨界現象、超伝導が見つかり、注目を集めるようになってきている。さらに、最近のさまざまな実験技術の進展により、巨視的、微視的な視点から、その異常性が価数の揺らぎと強くカップルしていることが分かってきた。まさに、この新しい量子臨界現象の興味深い側面が次々と明らかになってきたこの時期に、関連する研究者が一堂に会して議論を行うことは、その現状と課題を明らかにするために大変意義深いと思われる。

ワークショップの提案が開催の一か月まえに行われ、アナウンスに時間がなかったにも関わらず、当日は予想を大きく上回る総勢 38 名の方が学外、学内から参加された。まず、量子臨界価数揺らぎの理論について阪大の三宅氏による特別講演が行われ、その物理描像について活発な議論が行われた。また、実験からは価数揺らぎの量子臨界現象の可能性が、 $\beta\text{-YbAlB}_4$ の系を中心に、さまざまな測定手段の結果をもとに議論が行われた。熱力学的特性による臨界性の異常のみならず、電気・熱輸送特性による明瞭な量子臨界性が磁場中、圧力下で観測され、それらが従来型の反強磁性に隣接した磁気量子臨界現象と明瞭に異なることが報告された。また、メスバウアーや核磁気共鳴などの微視的な実験手段の立場からの議論も活発に行われた。特に、兵庫県立大学の小林氏からは最近初めて可能になった放射光を用いたメスバウアー分光についての最新結果が報告され、極めてゆっくりとした価数揺らぎの存在が指摘された。また、価数の磁場制御の現状が物性研の松田氏より紹介され、価数変化と量子臨界現象について議論が活発になされた。さらには、新しい価数揺らぎのダイナミックスの測定方法として時間分解光電子分光による実験例が紹介された。また、Zigzag 格子を持つ異常物性と超伝導についての議論が神戸大学の播磨氏から提供され、新しい方向性が指摘された。以上を通じて、今後、この新しい量子臨界現象についての知見をますます深めていくための方向性がはっきりした。



プログラム

2月25日(月)

9:20 ~ 9:25 中辻 知 (物性研) Opening

中辻 知 (物性研)

9:25 ~ 10:15 三宅 和正 (阪大) Valence Quantum Criticality, Thoery Overview

10:15 ~ 10:40 松本 洋介 (物性研) Overview of Experiments on Intermediate Valent YbAlB₄ systems

休み 10:40 ~ 10:50

10:50 ~ 11:25 町田 洋 (東工大) Thermal Transport Properties of the Quantum Critical β -YbAlB₄

11:25 ~ 12:00 小林 寿夫 (兵庫県立大) Valence Fluctuation probed by Mossbauer Spectroscopy

休み 12:00 ~ 13:00

松田 康弘 (物性研)

13:00 ~ 13:35 Mihael Grbic (物性研) Low temperature NMR study on YbAlB₄

13:35 ~ 14:05 富田 崇弘 (日大) Strange Metal Phase Without Magnetic Criticality

14:05 ~ 14:30 E.T.C. O'Farrell (物性研) Anisotropic Metamagnetism in YbAlB₄

14:30 ~ 14:55 久我 健太郎 (物性研) Valence Instability and Quantum Criticality

休み 14:55 ~ 15:20

瀧川 仁 (物性研)

15:20 ~ 15:50 松田 康弘 (物性研) High Magnetic Field Effect on Valence in Yb systems

15:50 ~ 16:10 辛 埴 (物性研) Photoemission Spectroscopy as a Probe for Valence Fluctuations

16:10 ~ 16:40 播磨 尚朝 (神戸大) Local symmetry effect on electronic structure in the zigzag structure material YbAlB₄

16:40 ~ 17:40 Discussion/Summary

Abstracts

Valence fluctuations and quantum criticality

K. Miyake¹ and S. Watanabe²

¹Graduate School of Engineering Science, Osaka University

²Department of Basic Sciences, Kyushu Institute of Technology

Some Yb-based heavy fermion compounds exhibit non-Fermi liquid behaviors which cannot be understood as those near magnetic quantum critical points. They are β -YbAlB₄, α -YbAl_{1-x}Fe_xB₄, YhRh₂Si₂, YbAuCu₄, YbCu_{3.5}Al_{1.5}, Yb₁₅Au₅₁Al₃₁, and so on. The behavior of CeCu_{5.9}Au_{0.1} also cannot be understood as that of magnetic quantum critical phenomena. On the other hand, anomalous properties of CeCu₂(Si,Ge)₂ under pressures can be understood in a unified way if those are triggered by sharp valence crossover of Ce ion from the Kondo regime to valence-fluctuation one.

In this talk, I will discuss that non-Fermi liquid behaviors of Yb-based compounds above can be explained in a unified way if it is assumed that those compounds are located near the critical point of valence transition of Yb ion [1,2]. Namely, this implies that there exists a new universality class of quantum critical phenomena other than that based on magnetic quantum critical point.

[1] S. Watanabe and K.Miyake, J. Phys.: Condens. Matter **24**, 294208 (2012).

[2] S. Watanabe and K.Miyake, Solid State Physics **47**, 511 (2012), in Japanese.

Overview of experiments on Intermediate Valent YbAlB₄ systems

Yosuke Matsumoto, K. Kuga, Y. Karaki, T. Tomita, E.T.C. O'Farrell, J. Hong, K. Sone and S. Nakatsuji
Institute for Solid State Physics, University of Tokyo,

Quantum criticality has been frequently discussed based on critical spin fluctuations associated with magnetic quantum critical point. In particular, *4f* electron based heavy fermions have provided the prototypical examples, which have been restricted to the Kondo lattice systems with integer valence. This is because local moments in intermediate valence systems are supposed to be screened at high temperatures. However, in sharp contrast to the conventional understandings, α -, β -YbAlB₄ provide unique examples of quantum criticality in the intermediate valence systems. Here we overview the experiments on these materials focusing on how these systems are different from the normal intermediate valence compounds. The unconventional zero-field quantum criticality in β -YbAlB₄[1] and large anisotropy in the both systems and *T-B* phase diagram will be discussed.

[1] Yosuke Matsumoto, Satoru Nakatsuji, Kentaro Kuga, Yoshitomo Karaki, Yasuyuki Shimura, Toshiro Sakakibara, Andriy H. Nevidomskyy, Piers Coleman, Science **331**, 316 (2011).

Thermal Transport Properties of the Quantum Critical β -YbAlB₄

Y. Machida¹, K. Tomokini¹, C. Ogura¹, K. Izawa¹, G. Lapertot², G. Knebel², J.-P. Brison², J. Flouquet², K. Kuga³, and S. Nakatsuji³

¹Department of Physics, Tokyo Institute of Technology

²INAC, SPSMS, CEA Grenoble

³Institute for Solid State Physics, University of Tokyo

Understanding quantum criticality realized in strongly correlated electron systems is a fascinating and yet unresolved issue. We have addressed this issue by means of thermal transport coefficients as promising probes of low-energy itinerant electronic excitations near a quantum critical point (QCP). Here we present comparative thermal transport studies on the two representative Yb-based quantum critical materials, β -YbAlB₄ and YbRh₂Si₂. In the vicinity of their QCPs, significant differences in the behaviors of the thermal transport coefficients are revealed between the two systems. We will discuss possible distinct type of critical fluctuations influenced on their non-Fermi liquid properties.

Valence Fluctuation probed by Mössbauer Spectroscopy

H. Kobayashi, and Y. Sakaguchi

Graduate School of Material Science and Center for Novel Material Science under Multi-Extreme Condition, University of Hyogo

In Mössbauer spectroscopy using synchrotron radiation, SR, the forward scattering from nuclei excited by a pulsed X-ray of SR is observed in the time domain. So, this nuclear forward scattering, NFS, method is sensitive to the time dependent properties of resonant isotopes in samples. In $4f$ electron systems, valence fluctuation phenomena are observed in Ce, Eu, Sm and Yb compounds. Unfortunately, there is no Mössbauer isotope in a Ce atom. The NFS method is effective for Mössbauer isotopes for ¹⁵¹Eu and ¹⁴⁹Sm but is not easy to be applied to those for ¹⁷⁰Yb and ¹⁷⁴Yb. A new method has been developed that yields Mössbauer absorption spectra measured in the time domain using SR. We have applied this new method to ¹⁷⁴Yb Mössbauer isotope to investigate the electronic states of α - and β -YbAlB₄. We have measured ¹⁷⁴Yb Mössbauer spectra of YbAlB₄ at 5 K using single crystalline samples and evaluated timescales of valence fluctuations in Yb ions from high quality ¹⁷⁴Yb Mössbauer spectra.

Low temperature NMR study of YbAlB₄

M. S. Grbić, K. Kimura, T. Shun, K. Tajima, M. Yoshida, M. Takigawa, K. Kuga, E. C. T. O'Farrell and S. Nakatsuji

Institute for Solid State Physics, University of Tokyo

Quantum critical behavior is a perfect playground of condensed matter physics as it can lead to discovery of new phases of matter and better understanding of strongly correlated systems. Two structural isomorphs of YbAlB₄ (α and β), show an interesting sensitivity of quantum criticality on local symmetry of B ring which encircles the Yb ion. While at ambient pressure and zero magnetic field β -YbAlB₄ shows non-Fermi-liquid properties of quantum criticality [1], α -YbAlB₄ has a Fermi-liquid ground state.

We will present most recent results of an NMR study in both compounds, in particular the low temperature behavior of the spin-lattice relaxation rate. While in β -YbAlB₄ magnetic field suppresses quantum criticality, in α -YbAlB₄ at finite magnetic field we find a clear change from the Fermi-liquid temperature dependence to a divergent non-Fermi-liquid behavior. Existence of a quantum critical point in both isomorphs is a stringent constraint for possible mechanisms of the Kondo-lattice physics in these compounds.

[1] Y. Matsumoto, S. Nakatsuji *et al.*, Science **331**, 316 (2011).

Strange Metal Phase Without Magnetic Criticality

T. Tomita^{1,2}, K. Kuga¹, Y. Uwatoko¹, P. Coleman^{3,4}, S. Nakatsuji^{1,2}

¹Nihon University, Japan

²Institute for Solid State Physics, University of Tokyo, Japan

³Rutgers University, USA

⁴London University, UK.

Recently discovered heavy fermion superconductor β -YbAlB₄ exhibits a field tuned quantum criticality despite strong mixed valiancy.[1] We performed the electrical resistivity of single crystals β -YbAl_{1-x}Fe_xB₄ at the low temperature down to 40 mK under pressure and decided the pressure vs temperature phase diagram as a function of the Fe concentration. Here we observed a strange metal phase detached from the magnetic ordering and will discuss unconventional type of quantum criticality in this lecture.

[1] Yosuke Matsumoto, Satoru Nakatsuji, Kentaro Kuga, Yoshitomo Karaki, Yasuyuki Shimura, Toshiro Sakakibara, Andriy H. Nevidomskyy, Piers Coleman, Science **331**, 316 (2011).

Anisotropic meta-magnetism in α -YbAlB₄

E. O'Farrell¹, K. Kuga¹, J. Hong¹, Y. Matsumoto¹, D.A. Tompsett², M.L. Sutherland², and S. Nakatsuji¹

¹I.S.S.P., University of Tokyo, Kashiwanoha 5-1-5, Kashiwa, Chiba.

²Cavendish Laboratory, University of Cambridge, Cambridge, U.K.

We present quantum oscillation measurements of a magnetic field induced Fermi surface reconstruction in α -YbAlB₄. At the reconstruction we observe non-Fermi liquid behavior that strongly depends on the quasiparticle momentum. These behaviors suggest that the Fermi surface reconstruction is driven the same features of the electronic structure that give rise to the anisotropy.

We discuss these findings in the light of other experimental and theoretical works on YbAlB₄.

[1] Y. Matsumoto, S. Nakatsuji, K. Kuga, Y. Karaki, N. Horie, Y. Shimura, T. Sakakibara, A.H. Nevidomskyy, P. Coleman. Science **331**, 316 (2011)

[2] E. C. T. O'Farrell, Y. Matsumoto, and S. Nakatsuji. Phys. Rev. Lett. **109**, 176405 (2012)

[3] Y. Matsumoto, K. Kuga, T. Tomita, K. Karaki, S. Nakatsuji. Phys Rev. B **84**, 125126 (2011)

[4] M. Okawa, M. Matsunami, K. Ishizaka, R. Eguchi, M. Taguchi, A. Chainani, Y. Takata, M. Yabashi, K. Tamasaku, Y. Nishino, T. Ishikawa, K. Kuga, N. Horie, S. Nakatsuji, S. Shin. Phys. Rev. Lett. **104**, 247201 (2010)



Valence Instability and Quantum Criticality in α -YbAlB₄

K. Kuga, K. Sone, Y. Matsumoto, E.T.C. O'Farrell, and S. Nakatsuji

Institute for Solid State Physics, University of Tokyo,

Quantum critical phenomena in f-electron systems have been studied enthusiastically by both experiments and theories in the light of spin fluctuation. In mixed valence systems, valence fluctuation generally promotes the screening of local moments and suppresses the critical phenomenon. However, recently, we discovered non-Fermi liquid behavior and superconductivity in the mixed valence system β -YbAlB₄ [1,2]. Additionally, we found that mixed valence system α -YbAlB₄ shows valence crossover by doping Fe with accompanying quantum critical behavior. This result provides us the importance of valence fluctuation for the quantum critical phenomena. We will discuss the detail of the physical properties in α -YbAlB₄ induced by Fe doping.

- [1] S. Nakatsuji, K. Kuga, Y. Machida, T. Tayama, T. Sakakibara, Y. Karaki, H. Ishimoto, S. Yonezawa, Y. Maeno, E. Pearson, G.G. Lonzarich, L. Balicas, H. Lee, Z. Fisk, Nature Physics **4**, 603 (2008).
[2] K. Kuga, Y. Karaki, Y. Matsumoto, Y. Machida, and S. Nakatsuji, Physical Review Letters **101**, 137004 (2008).

High Magnetic Field Effect on Valence in Yb systems

Y. H. Matsuda

Institute for Solid State Physics, University of Tokyo,

Since the electronic state of matter can precisely be controlled by magnetic fields, a high magnetic field is a powerful tool to investigate the quantum phenomena at low temperatures. Valence fluctuation is a phenomenon due to the strong hybridization of wave functions between localized and itinerant electrons. Phase transitions or crossover of the valence in some rare-earth compounds are observed by applying a high magnetic field.

In this presentation, recent results of synchrotron x-ray absorption spectroscopy and high-field magnetization process at pulsed magnetic fields in some Yb-based intermetallic compounds are presented. We found that the valence increased with increasing magnetic field in YbInCu₄, YbAgCu₄, YbRh₂Si₂ and α - and β -YbAl_{1-x}Fe_xB₄. The valence changes Δv of α - and β -YbAl_{1-x}Fe_xB₄ are very small ~ 0.01 at 30-40 T compared to that in a typical valence transition compound YbInCu₄ ($\Delta v \sim 0.13$ at 41 T [1]).

- [1] Y. H. Matsuda, T. Inami, K. Ohwada, Y. Murata, H. Nojiri, Y. Murakami, H. Ohta, W. Zhang and K. Yoshimura, J. Phys. Soc. Jpn. **76** 034702, (2007).

Photoemission Spectroscopy as a Probe for Valence Fluctuations

S. Shin¹, M.Okawa²

¹Institute for Solid State Physics, University of Tokyo,

²Department of Applied Physics, Tokyo University of Science

Electronic structures of the quantum critical superconductor β -YbAlB₄ and its polymorph α -YbAlB₄ are investigated by using bulk-sensitive hard x-ray photoemission spectroscopy. From the Yb 3d core level spectra, the values of the Yb valence are estimated to be 2:73 and 2:75 for α - and β -YbAlB₄, respectively, thus providing clear evidence for valence fluctuations. The valence band spectra of these compounds also show Yb²⁺ peaks at the Fermi level. These observations establish an unambiguous case of a strong mixed valence at quantum criticality for the first time among heavy fermion systems.

I would like to talk about a plan of the time-resolved photoemission using SX-laser, which will give us the new information about the relaxation time for valence fluctuation in YbAlB₄. We think time-resolved photoemission might be a direct experimental method to know the quantum criticality by valence fluctuation.

[1] M.Okawa, M.Matsunami, K.Ishizaka, R.Eguchi, M.Taguchi, A.Chainani, Y.Takata, M.Yabashi, K.Tamasaku, Y.Nishino, T.Ishikawa, K.Kuga, N.Horie, S.Nakatsuji, S.Shin, Phys Rev. Lett., 104, (2010) 247201 (1-4)

Local symmetry effect on electronic structure in the zigzag structure material YbAlB₄

Hisatomo Harima

Department of Physics, Graduate School of Science, Kobe University,

Band structure calculations have been performed both for β -type and α -type $RAIB_4$ ($R=Yb, Lu$). The crystal structure of β -type and α -type $RAIB_4$ belong to space group #65 Cmmm D_{2h}^{19} and #55 Pbam D_{2h}^9 , respectively. Both are orthorhombic lattices, but the former is the base-center lattice, so contains two (four) R atoms in the primitive (conventional) unit cell, the latter does four R atoms in the primitive cell. However, the local structures of the two crystals are very similar, and then the calculated density of states is very similar. This fact helps us to understand the similar behavior of both Yb-compounds. The β -type has higher symmetric, so the symmetry might be the key issue to distinguish the physical property of these compounds in lower temperatures.



型スピンアイスには無いスピンの量子的な揺らぎにより、スピン液体状態で自発的ホール効果を発現することを見出してきました[8-11]。ごく最近の理論は、量子揺らぎによりモノポールが電子のように量子力学的運動をすることを予言しています[12,13]。 $\text{Pr}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ はこの予言を検証する良い候補物質と言えますが、大型単結晶が必要な中性子散乱実験等の実験を行うことはできませんでした。そこで本研究では、 $\text{Pr}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ という同じ Pr ベースのパイロクロア磁性体に着目しました。これまで単結晶の育成方法は知られていましたが[14]、それをさらに改良することで物性研究所物質設計評価施設が所有する単結晶合成装置を用いて純良な大型単結晶の合成を行いました。得られた単結晶については、名古屋大学の澤研究室と共同で放射光を用いた結晶構造解析を行い、パイロクロア構造を確認しました。その純良結晶を用いて物性研究所にて希釈冷凍機を用いた様々な実験を行い、低温物性を明らかにしました。

その結果、磁性を担う Pr イオンは、従来型スピンアイスと同様に正四面体の内側と外側のいずれかを向くイジングの磁気モーメントを持つことを明らかにしました。また、外部振動磁場に対するスピンの応答も従来型スピンアイスと良く似ており、その温度依存性は磁気モノポール密度の温度変化という観点で説明できることが分かりました。こうした結果を踏まえて、より詳細かつ直接的にスピンの性質を検出するため、日米協力事業「中性子散乱分野」の一環として、ジョンズ・ホプキンス大学(米国)プロホルム教授グループと共同で米国国立標準研究所(NIST)の新しい分光器 MACS を用いて中性子散乱実験を行いました(図4)。極低温において中性子散乱の波動ベクトルとエネルギー依存性を詳細に調べた結果、 $\text{Pr}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ のスピンは、予想通りスピンアイスで期待されるアイスルールに従って配列していることが分かりました(図4A)。さらに大変興味深いことに、0.1 Kにおける95%以上のスペクトル強度が0.1 meV程度を中心として1 meVまでのエネルギー範囲に広がっていることを見つめました。このことは完全に凍結し弾性散乱しか見せない従来型スピンアイスとは明らかに異なります。すなわち、 $\text{Pr}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ のスピンは絶対零度低温近傍にも関わらず凍結せず、量子的に揺らいでいることを示しております。さらに、非弾性散乱の波動ベクトル依存性から、励起状態ではアイスルールが破れており、磁気モノポールが存在していることを見出しました(図4B)。以上から、励起状態におけるモノポールは、量子揺らぎを駆動力としたコヒーレントな集団運動を行っていると考えられます。

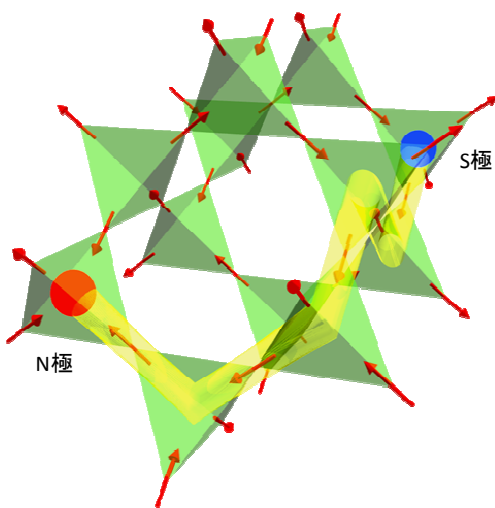


図3. スピンアイスにおける磁気モノポール。熱ゆらぎ、あるいは量子ゆらぎの効果によるスピンフリップによって生成されたモノポールペアが独立に運動し、磁気モノポールとして振る舞う。

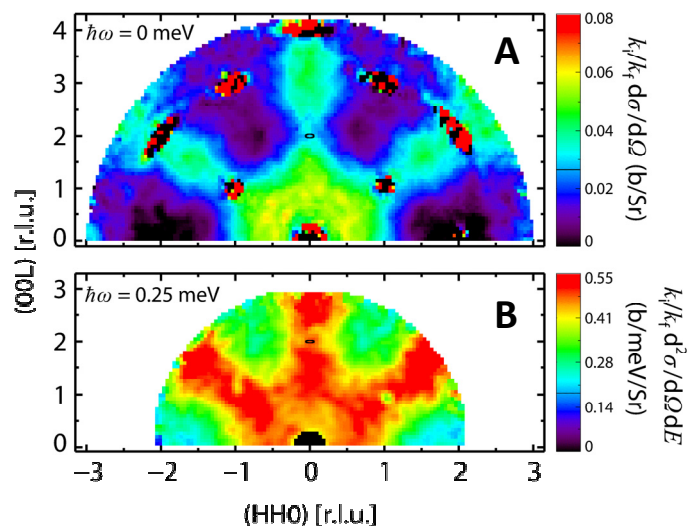


図4. 絶対零度近傍 (0.1 K) における(A)弾性中性子散乱および(B)非弾性中性子散乱の波数空間強度マップ。弾性散乱マップの(002)や(111)で見られる特徴的なパターンはピンチポイントと呼ばれており、 $\text{Pr}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ においてアイスルールが存在する証拠を与える。一方、非弾性散乱マップではピンチポイントが消失しており、励起状態においてアイスルールが破れ、磁気モノポールが出現していることを示している。こうした非弾性散乱成分は従来型スピンアイスでは存在せず、 $\text{Pr}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ が量子揺らぎを持つ新しいスピンアイスであることを直接的に示している。

物性研究所談話会

標題：平成 25 年度 前期客員所員講演会

日時：2013 年 4 月 25 日(木) 午前 10 時～午前 11 時 50 分

場所：物性研究所本館 6 階 大講義室(A632)

要旨：

平成 25 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。

- 10:00-10:10 所長挨拶 (瀧川 仁：物性研所長)
- 10:10-10:30 中村 潤児 (筑波大学)
「ナノカーボンの局所電子状態と反応性」
- 10:30-10:50 Kang Woun (韓国梨花女子大学)
「Stereoscopic magnetoresistance study for Fermi surfaces」
- 10:50-11:10 Karlo Penc (Hungarian Academy of Sciences)
「Spin-wave excitations in the multiferroic $\text{Ba}_2\text{CoGe}_2\text{O}_7$ 」
- 11:10-11:30 三宅 隆 (産業技術総合研究所)
「磁性体の相対論的第一原理計算」
- 11:30-11:50 朝倉 大輔 (産業技術総合研究所)
「二次電池電極材料の In situ 軟 X 線発光分光」

標題：極低温における量子液体の研究

日時：2013 年 5 月 16 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：山下 穣

所属：物性研究所 極限環境物性研究部門

要旨：

温度の低下に伴い熱揺らぎが減少すると、相互作用の効果によって何らかの秩序が生まれて系は対称性の低い状態へと相転移する。これに対して、絶対零度においても存在する量子揺らぎが十分強い場合、「古典的な」相転移が抑制されて、系は対称性の高い「量子液体」状態に留まることが知られている。こうした量子液体は、量子力学的な効果が露わに観測されたり、超流動・超伝導といった非自明な量子凝縮状態が現れたりすることから盛んに研究されてきた。

近年、磁性体中の二次元量子スピン系において絶対零度までスピンの固相(長距離秩序を形成)しない「量子スピン液体」を持つ候補物質が見つかり、新しい量子凝縮相として大きな注目を集めている。二次元における量子スピン液体は三角格子やカゴメ格子などの幾何学的フラストレーションがある状況下で現れる可能性があることが古くから理論的に知られていたが、最低温まで磁気秩序が観測されない有望な候補物質が見つかったことで実験的にも新しい展開を見せている。

講演では大学院生時代の物性研における回転超流動ヘリウム 3 の研究などの私の今までの量子液体の研究を紹介した後に、量子スピン液体の研究についての概要と量子スピン液体の候補物質である二次元三角格子を持つ有機物質の最近の研究結果などについて紹介したい。



【講師紹介】

山下先生は回転超流動ヘリウム 3 の研究で学位を取得されたのち電子物性分野に進まれ、現在分子性物質における二次元量子スピン液体の研究をリードする研究者として国内外から高く認知されています。このたび極限環境物性研究部門の所員として着任され、超低温実験のバックグラウンドを量子スピン液体や量子臨界現象などの研究に生かした、新たな超低温領域の研究分野の開拓を目指しておられます。

標題：Topological Phases in Correlated Materials

日時：2013 年 6 月 5 日(水) 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：Yong-Baek Kim

所属：University of Toronto

要旨：

Recently there have been significant theoretical and experimental efforts to understand and identify the so-called topological phases of matter in interacting electron systems. These topological phases may be characterized by different kinds of topological properties such as non-trivial edge/surface states and/or unusual elementary excitations in the bulk or surface. Notable examples include quantum spin liquids, topological insulators, and other closely related phases. One of the main challenges is to come up with theoretical criteria that can be used to identify or predict correlated materials that hold promise for the emergence of such topological phases. We discuss recent theoretical and experimental developments in this direction, along with a brief introduction to some of the proposed topological phases. In particular, we focus on correlated materials with strong spin-orbit coupling and/or near a metal-insulator transition.

【講師紹介】

Yong Baek Kim 教授はソウル大学、浦項工科大学を経て MIT で博士号を取得し、2006 年からトロント大学教授を務めています。Kim 教授は物性理論の広範な分野で活躍していますが、特に最近では現実の物質に発現するトポロジカル相などの新奇な量子相の研究で世界をリードする研究を行っており、2012 年には "For contributions to the theory of quantum spin liquids in frustrated magnets and correlated electron materials" によって米国物理学会フェローに選出されました。また、同年トロント大学に創設された Centre for Quantum Materials の Director に任命されています。なお、Yong-Baek Kim 先生は、国際ワークショップ "Emergent Quantum Phases in Condensed Matter" 参加のため、物性研に滞在されています。

物性研究所セミナー

標題：理論インフォーマルセミナー：物性理論研究部門春季学会発表報告会

日時：2013年4月5日(金) 午後1時30分～午後5時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

要旨：13時30分-13時45分 本山 裕一 (藤堂研 D3)

「二次元系におけるZ2ペリー位相のモンテカルロ計算」

13:45-14:00 Nie Wenxing (押川研 D3)

“Ground-state Energies of Spinless Free Fermions and Hard-Core Bosons on Infinite Lattice”

14:00-14:15 安田 真也 (藤堂研 D1)

「異方性制御下における量子相転移の精密計算」

14:15-14:30 正木 晶子 (川島研 PD)

「ワームアルゴリズムの並列化」

14:30-14:45 Hao Zhang (常次研 D3)

“Exotic disordered phases in the quantum J1-J2 model on the honeycomb lattice”

14:45-15:00 坂下 あい (野口研 D3)

「球状ベシクルに内包されたベシクルの形状決定機構の解明」

15:00-15:15 Hao Wu (野口研 D3)

“Polymer-induced entropic effects on mechanical properties of biomembranes and microdomain separation”

15:15-15:30 休憩

15:30-15:45 鈴木 貴文 (加藤研 M2)

「周期的に変動するゲート電圧下での量子ドットの非平衡電流とショットノイズ」

15:45-16:00 桐井 智弘 (川島研 M2)

「スピングラスにおけるドロップレット描像のトイモデルの臨界現象」

16:00-16:15 多羅間 充輔 (野口研 D2)

「やわらかな自己推進粒子の自転運動」

16:15-16:30 五十嵐 亮 (CMSI 研究員)

「ALPS/diagonalization のOpenMP/MPI 並列化」

16:30-16:45 藤 陽平 (押川研 D2)

「4本鎖スピンラダーにおけるintermediate-D相」

16:45-17:00 櫻井 誠大 (高田研 研究員)

「カーボンナノチューブに内包されたMgB2ナノチューブ」



標題：理論インフォーマルセミナー：Atom-cavity arrays

日時：2013年4月9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：Dr. James Quach

所属：The University of Melbourne

要旨：

Quantum simulators to quantum metamaterials Atom-cavity arrays are structures of coupled microcavities that exhibit quantum mechanical behaviour. Recent advances in microcavity technologies has meant that atom-cavity arrays now make viable candidate structures on which to study complex many-body quantum interactions.

In this talk, I will show how atom-cavity arrays can be used to build quantum simulators and quantum metamaterials. As case studies, I will show how atom-cavity arrays can simulate semiconductor properties, and be used to build a cloaking device and quantum superlens.

References

J. Q. Quach, C.-H. Su, and A. D. Greentree, "Transformation optics for cavity array metamaterials". Optics Express 21, 5575 (2013).

J. Q. Quach, C.-H. Su, A. M. Martin, A. D. Greentree, and L. C. L. Hollenberg, "Reconfigurable quantum metamaterials". Optics Express 19, 11018 (2011).

J. Quach, M. I. Makin, C.-H. Su, A. D. Greentree, and L. C. L. Hollenberg, "Band structure, phase transitions, and semiconductor analogs in one-dimensional solid light systems". Physical Review A 80, 063838 (2009).

標題：理論セミナー：Ordered and disordered phases in two-dimensional SU(N) Heisenberg model

日時：2013年4月12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：Prof. Karlo Penc

所属：Wigner Research Centre for Physics, Hungarian Academy of Sciences, ISSP

要旨：

SU(N) Heisenberg model is the effective model of Mott insulators with N degrees of freedom per site, where the interaction is highly symmetrical.

Such a situation may happen for spin-orbital models and for ultracold alkaline-earth atoms in optical lattices. Using a combination of analytical and numerical methods, we studied a number of such cases.

In the seminar, I will present three interesting cases:

- (i) The quantum fluctuation driven ordering in the SU(3) Heisenberg model on the square lattice;
- (ii) Dimerization and possible ordering in the SU(4) model on the square lattice;
- (iii) The spin-orbital liquid in the SU(4) Heisenberg model on the honeycomb lattice, with algebraic decay of correlations.

標題：理論セミナー：Magnetic vortex crystals in frustrated Mott insulator

日時：2013年4月19日(金) 午後4時～午後5時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：Dr. Yoshitomo KAMIYA

所属：Theoretical Division, Los Alamos National Laboratory

要旨：

Materials that exhibit topological spin textures are attracting enormous interest because of their potential for spintronics [1-3]. Competition between Dzyaloshinskii-Moriya and ferromagnetic exchange interactions leads to skyrmion lattices in a class of materials that share a common crystal structure. This includes insulators, like Cu_2OSeO_3 , that allow for energetically efficient manipulation of the magnetic textures with electric field gradients [2]. Here we propose a novel mechanism for the stabilization of magnetic vortex crystals in frustrated Mott insulators that enables tunable spin superstructures [4]. By modeling the frustrated quantum magnet $\text{Ba}_3\text{Mn}_2\text{O}_8$ [5] near its magnetic field-induced quantum critical point, we show that the quantum phase diagram includes novel magnetic vortex crystals, whose lattice parameter is controlled by the ratio between inter and intra-layer exchange. This property opens the attractive possibility of tuning the vortex density by applying pressure.

Reference:

- [1] S. Muhlbauer et al., Science 323, 915 (2009); W. Munzer et al., PRB 81, 041203 (2010); X. Z. Yu et al., Nature 465, 901 (2010); X. Z. Yu et al., Nat. Mater. 10, 106 (2011)
- [2] S. Seki et al., Science 336, 198 (2012); Y. Onose et al., PRL 109, 037603 (2012)
- [3] T. Okubo, S. Chung, and H. Kawamura, PRL 108, 017206 (2012)
- [4] YK and C. D. Batista, arXiv:1303.0012 (unpublished)
- [5] M. Uchida et al., PRB 66, 054429 (2002)

標題：理論インフォーマルセミナー：Electromagnetic and thermal responses of Z topological insulators and superconductors in odd spatial dimensions

日時：2013年4月22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：藤本 聡

所属：京都大学大学院 理学研究科

要旨：

A fundamental and important feature of topological insulators (TIs) and topological superconductors (TSCs) is that topological invariants characterizing the bulk states emerge as physical quantities probed by electromagnetic or thermal responses. For instance, in the quantum Hall effect state, the Chern number appears as the quantized Hall conductivity, and in the case of time-reversal invariant (TRI) TIs in three dimensions, the Z_2 invariant can be detected in axion electromagnetic responses. However, in the case of chiral-symmetric systems in odd spatial dimensions, it has not been well understood how the bulk topological invariants can appear in electromagnetic and thermal responses. These classes include time-reversal symmetry broken (TRB) TIs with sublattice symmetry in one and three dimensions (class AIII), TRI TSCs in three dimension (class DIII, e.g. the B phase of ^3He , $\text{Cu}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$, $\text{Li}_2\text{Pt}_3\text{B}$), and TRI TIs and TSC of spinless fermions in one dimension (class BDI, e.g. Su-Schrieffer-Heeger model, Kitaev Majorana chain model). For these systems, the bulk topological invariant is the winding number which takes any integer values. However, it has not been clear in what physical quantities the winding number can be detected.



Here, we address this issue. We clarify that the winding number which characterizes the bulk Z non-triviality of these systems can appear in electromagnetic and thermal responses in a certain class of heterostructure systems. Furthermore, we also elucidate that the winding number can be detected as a bulk response function for a novel magnetoelectric effect, i.e. "chiral charge polarization" induced by an applied magnetic field.

標題：新物質セミナー：Unravelling Emergent Order in Magnetic Oxides by Neutron Spectroscopy

日時：2013年4月24日(水) 午前11時～

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：Prof. Andrew Boothroyd

所属：University of Oxford

要旨：

A major theme in correlated electron physics is the existence of complex forms of nano-scale order involving several different electronic degrees of freedom. Such phenomena can dramatically influence the physical properties of materials, the most prominent example of which is the occurrence of high temperature superconductivity in the layered copper oxides.

This talk will be concerned with how emergent electronic order influences spin dynamics in complex antiferromagnetic oxides. Advances in neutron spectroscopy have made it possible to measure the complete spectrum of cooperative spin excitations in magnetically ordered systems in great detail. I will illustrate how studies of the spin dynamics can provide key insights into the nature of complex ground states. I will present recent results on a half-doped layered manganite which conclusively distinguish between different models proposed for its ground state [1], and I will show how a striking hour-glass magnetic spectrum found in layered cobalt oxides sheds light on the existence of charge stripe correlations in the copper oxide superconductors [2].

[1] G. E. Johnstone, T. G. Perring, O. Sikora, D. Prabhakaran, and A. T. Boothroyd, Phys. Rev. Lett. 109, 237202 (2012).

[2] A. T. Boothroyd, P. Babkevich, D. Prabhakaran, and P. G. Freeman, Nature 471, 341 (2011).

標題：放射光セミナー：高分解能共鳴非弾性 X 線散乱による LaAlO₃/SrTiO₃酸化物ヘテロ界面の研究

日時：2013年5月7日(火) 午後4時15分～

場所：物性研究所本館6階 大講義室 (A632)

講師：藤原 秀紀

所属：大阪大学基礎工学研究科

要旨：

酸化物ヘテロ接合系は、新しい電子状態及び電子デバイス機能を探求する理想的な舞台として近年世界的注目を集めており、とりわけ共に絶縁体である LaAlO₃ と SrTiO₃ との界面で誘起される金属的な伝導[1]、さらには低温での超伝導転移と強磁性の共存[2,3,4]について、その起源解明のため精力的な研究が進められている。我々は SPring-8 BL07LSU における超高分解能共鳴非弾性 X 線散乱(RIXS)により、磁性を担う局在電子と電気伝導及び超伝導を担う遍歴電子の共存状態の直接観測に成功した。この遍歴電子状態は Ti 2p-3d 軟 X 線共鳴角度分解光電子分光によるバンド構造及びフェルミ面の観測事実[5]とも矛盾しない。講演では SPring-8 BL07LSU において4月に測定された、金属絶縁体転移を示す V 酸化物に対する RIXS の測定結果についても報告する予定である。

[1] A. Ohtomo and H. Y. Hwang, Nature 427, 423 (2004).

[2] N. Reyren, J. Mannhart et. al., Science 317, 1196 (2007).

- [3] Lu Li, J. Mannhart, et al., Nature Phys. 7, 762 (2011).
[4] J. A. Bert, H. Y. Hwang et al. Nature Phys. 7, 767(2011).
[5] G. Berner, M. Sing, H. Fujiwara, submitted to Physical Review Letters

標題：シリーズセミナー：極限コヒーレント光科学 18 回目 「高分解能コヒーレントX線回折イメージングの現状と展望」

日時：2013年5月13日(月) 午後1時30分～

場所：物性研究所本館6階 第1会議室 (A636)

講師：高橋 幸生

所属：大阪大学工学研究科精密科学

要旨：

X線はオングストローム程の波長を有する電磁波であり、その波長の短さから、ナノメートルまたは原子分解能の顕微鏡を実現する潜在能力を持っている。しかしながら、X線レンズの作製が技術的に難しいため、10nmより優れた空間分解能を達成することは容易でない。コヒーレントX線回折イメージングは、この問題を回避し、X線顕微法の空間分解能を飛躍的に向上させるレンズレズイメージング技術である。本セミナーでは、これまで講演者らが第三世代放射光施設SPring-8で開発してきた高分解能コヒーレントX線回折イメージング技術とその応用について紹介する。また、X線自由電子レーザーや次世代リング型光源を用いたコヒーレントX線回折イメージングの将来展望についても議論したい。

標題：理論インフォーマルセミナー：Z2 spin liquid in S=1/2 kagome Heisenberg antiferromagnet

日時：2013年5月14日(火) 午後1時30分～午後2時30分

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：Mr. Yuan Wan

所属：The Johns Hopkins University, Baltimore, USA

要旨：

A quantum spin liquid is a hypothesized ground state of a magnet without long-range magnetic order. Similar to a liquid, which is spatially uniform and strongly correlated, a quantum spin liquid preserves all the symmetries and exhibits strong correlations between spins. First proposed by P. W. Anderson in 1973, it has remained a conjecture until recently. In the past couple of years, numerical studies have provided strong evidences for quantum spin liquid in a simple model, the S=1/2 kagome Heisenberg antiferromagnet.

In this talk, I will describe a low-energy effective theory for this magnet in terms of a lattice gauge theory with the simplest possible mathematical structure (a group of two elements, namely Z2). I will show that the theory reproduces many characteristic features observed numerically, thereby providing a missing link between the numerics and the analytics. Furthermore, I will present theoretical predictions which could be tested in future numerical studies.



標題：理論セミナー：Mechanical control of hexagonal cell packing in *Drosophila* wing

日時：2013年5月14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：石原 秀至

所属：東京大学大学院総合文化研究科 広域科学専攻

要旨：

How mechanical forces trigger a series of deformations to shape an adult body during morphogenesis? Recent studies have clarified how geometrical changes of cells are coordinated via the activity and/or localization of force-generating molecular machineries within a cell. On the other hand, it remains unclear how the mechanical interaction among cells and the resulting stress field of a tissue are organized to control cellular pattern formation. One of the difficulties to characterize mechanical processes of morphogenesis is the lack of proper experimental methods to directly measure and quantify the forces in the cell population inside the animal body.

Recently, we developed a theoretical framework for estimating the pressure of each cell, the tension of each cell adhesion surface and stress tensor of a group of cells, by adopting Bayesian scheme of inverse problem. Responses to laser cutting and myosin distribution agreed with the estimated tensions. Using our method, we studied mechanical basis of hexagonal packing (the increase of hexagonal cells in the *Drosophila* wing during the pupal stage). Our quantification of developmental changes of the stress distribution within a tissue and of corresponding rearrangements of cells provides a physical mechanism for cell packing; biased external forces acting on the tissue provide the directional information for local orientation of hexagonal cells which underlies the global hexagonalization. Our force estimation method will become a powerful tool in analyzing how information for orchestrating cellular behaviors during morphogenesis is encoded in distributions of forces within a tissue.

標題：MDCL Special Seminar：First Observation of electronic conductivity in mixed valence tellurium oxides

日時：2013年5月15日(水) 午後1時30分～午後2時30分

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：Theeranun Siritanon

所属：Suranaree University of Technology

要旨：

Superconductivity has been observed in mixed-valence oxides with heavy post-transition metals. Sleight et al. reported the superconductivity in $\text{BaBi}_{1-x}\text{Pb}_x\text{O}_3$ perovskites with transition temperatures of 13K. BaBiO_3 itself is insulating with distorted perovskite structure because charge disproportionation of Bi^{4+} splits the Bi 6s conduction band into a completely filled band (Bi^{3+}) and an empty band (Bi^{5+}). Substitution of Pb disrupts charge disproportionation and the resulting cubic perovskite oxide is superconducting. The superconductivity of this compound is related to diffused s orbital in Bi. Although Te has similar diffused s orbital, conducting Te oxides are not known. Most of oxides containing Te are insulating. Moreover, oxides that seem to have Te^{5+} in the chemical formula always contain mixture of Te^{4+} and Te^{6+} . In other word, Te^{5+} always disproportionate to Te^{4+} with completely filled band and Te^{6+} with an empty band.

In my talk, I will present the studies we carried out in attempt to prepare electronically conducting Te oxides. In this work, we have prepared series of pyrochlore-related compounds with general formula $\text{Cs}(\text{M},\text{Te})_2\text{O}_6$ (M = Al, Ga, Cr, Al, Fe, Co, In, Ho, Lu, Yb, Er, Ge, Rh, Ti, Zn, Ni, and Mg). These compounds have very dark color which is different from most of Te oxides. They can be viewed as type II mixed valence compound according to the

classification of Robin and Day. Electronic conductivity was observed in some phases and could be as high as $2S/cm$ ($M=Ge$). Seebeck coefficients of conducting samples show negative values which suggests that electrons are the major charge carriers. Based on results from several measurements, the observed conductivity in these compounds is explained based on Te^{4+}/Te^{6+} mixed valency.

標題：放射光セミナー：「光電子計測による有機半導体の電子構造分析 ～モデル系から現実のデバイスへ向けて」

日時：2013年5月17日(金) 午後1時30分～

場所：物性研究所本館6階 大講義室 (A632) TV会議 播磨中央管理棟3F会議室

講師：中山 泰生

所属：千葉大学大学院融合科学研究科

要旨：

π 共役有機物質を「半導体」材料として利用する有機エレクトロニクスは、その代表格である有機 EL ディスプレイが製品化され急速に社会へ浸透していった一連の流れに象徴されるように、この10年で目覚ましく発展してきた。こうした研究・開発の急速な進展の土台には、金属などの表面上に単層の有機分子層を積層した「モデル系」に対する光電子計測を通して、有機材料および電極-有機界面の電子構造に関する理解が進み、これを最適化するような素子設計や材料合成が可能になったことが大きな要因として挙げられる。一方で、光電子計測による研究対象を「モデル系」としての有機分子超薄膜から現実のデバイスへと拡張していくためには、チャージアップ問題など克服すべき課題が多い。本講演では、近紫外光から軟 X 線にわたる波長域を用いた光電子分析手法により、有機単結晶や発光ポリマー、有機多層膜など実デバイスに近い試料の電子構造を解明することに成功した最近の研究例を紹介する。また、現実の有機デバイスにおける動作特性の理解や性能の向上へむけて、電子構造分析の立場で残されている課題についても概観する。

標題：理論セミナー：Sine-square deformations of one-dimensional critical systems

日時：2013年5月31日(金) 午後4時～

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：桂 法称

所属：学習院大学理学部・物理学科

要旨：

I will present a class of one-dimensional solvable models that are seemingly unrelated to the models solved by standard methods such as the Bethe ansatz and the Yang-Baxter relation. An example is the XY spin chain with sine-square deformation. The model is defined on an open chain and the local hamiltonians are modified according to the sine-square function. Due to this inhomogeneity, the single-particle eigenstates cannot be obtained in closed form.

However, I will show that the many-body ground state can be obtained exactly and it is identical to the ground state of the homogeneous XY chain. A similar correspondence holds for more general conformal field theories as well as the critical Ising chain. The properties of the low-energy excited states can be analyzed by a variety of techniques such as the Lieb-Schultz-Mattis argument and the functional Bethe ansatz.

[1] H. Katsura, J. Phys. A: Math. Theor. 44, 252001 (2011).

[2] H. Katsura, J. Phys. A: Math. Theor. 45, 115003 (2012).



標題：理論セミナー：Quantum anomalous Hall states on decorated magnetic surfaces

日時：2013年6月7日(金) 午後4時～午後5時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：Prof. David Vanderbilt

所属：Department of Physics and Astronomy, Rutgers University

要旨：

Twenty-five years ago, Haldane [1] pointed out the possibility that a 2D crystalline insulator with broken time-reversal symmetry could exhibit a quantized Hall conductivity in the absence of an external magnetic field, potentially at room temperature. Despite the enormous recent interest in topological insulators of the non-magnetic type, it is only recently that an experimental realization of Haldane's "quantum anomalous Hall" (QAH) or "Chern insulator" state has been claimed. Specifically, the group of Ref. [2] demonstrated the QAH state at low temperature in a thin film of a topological insulator doped with magnetic impurities. I shall report on our recent work [3] in which we propose a different possible route to the QAH state formed by the deposition of a fractional monolayer of heavy atoms (providing strong spin-orbit coupling) onto the surface of an insulating ferromagnet or antiferromagnet (providing broken time-reversal symmetry). We demonstrate the concept by carrying out first-principles calculations of layers of Au, Hg, Pb, Bi, etc. on magnetic substrates such as MnSe, MnTe, and EuO, showing that the QAH state can be attained in this way, with band gaps sometimes extending above 100 meV. While the particular surfaces that we have studied may prove to be thermodynamically unstable, we believe this general strategy may eventually lead to room-temperature QAH systems.

[1] F.D.M. Haldane, Phys. Rev. Lett. 61, 2015 (1988).

[2] C.-Z. Chang et al., Science 340, 167 (2013).

[3] K.F. Garrity and D. Vanderbilt, Phys. Rev. Lett. 110, 116802 (2013).

標題：放射光セミナー：高分解能 ARPES による新型トポロジカル物質の研究

日時：2013年6月11日(火) 午後1時30分～

場所：物性研究所本館6階 第1会議室 (A636) TV 会議 播磨：理研物理科学棟 113 室

講師：中山 耕輔

所属：東北大学大学院理学研究科

要旨：

トポロジカル絶縁体は、バルクはエネルギーギャップが存在する絶縁体であるものの、表面や端では時間反転対称性によって保護された金属状態が生じる物質であり、新型トポロジカル絶縁体の探索や特異物性に関する研究が盛んに行われている。最近我々は角度分解光電子分光(ARPES)により、トポロジカル絶縁体 Bi_2Se_3 と通常の絶縁体 PbSe が交互に積層したヘテロ構造をもつ $(\text{PbSe})_5(\text{Bi}_2\text{Se}_3)_{3m}$ では、固体内部にもトポロジカルな起源をもつ金属状態(トポロジカル界面状態)が存在することを見出した[1]。また、IV-VI 族半導体 SnTe は、鏡映対称性に保護された表面状態を持つ「トポロジカルクリスタル絶縁体」という新たなトポロジカル相に属することを明らかにした。本セミナーでは、これらの結果を中心に我々の最近の ARPES 結果について紹介する。

[1] K. Nakayama et al., Phys. Rev. Lett. 109, 236804 (2012).

[2] Y. Tanaka et al., Nature Phys. 8, 800 (2012).



標題：放射光セミナー：角度分解光電子分光で解き明かす酸化物高温超伝導体における 2 種類のエネルギーギャップ

日時：2013 年 6 月 17 日(月) 午後 1 時 30 分～

場所：物性研究所本館 6 階 大講義室 (A632) TV 会議 播磨中央管理棟 3F 会議室

講師：近藤 猛

所属：物性研究所 辛研究室

要旨：

銅酸化物高温超伝導体は 1986 年に発見されて以来、固体物理の分野で最も注目を受け、盛んに研究がなされてきた。2008 年に鉄ヒ素系物質で銅酸化物に次ぐ第 2 の高温超伝導の発現が確認され、その比較対象が登場したことで、改めて銅酸化物高温超伝導体に注目が集まっている。しかし、膨大な数の研究が行われてきたにもかかわらず、高い超伝導臨界温度が生み出される機構に関しては未だ統一した見解が得られていない。

バーディーン、クーパー、シェリーファーの理論(BCS 理論)で説明される超伝導体では、 T_c において全方位に亘り均一な超伝導ギャップが開き、フェルミ面が消失する。一方、銅酸化物高温超伝導体では、 T_c より遥か高温からエネルギーギャップ(擬ギャップ)が開き始める。また、この擬ギャップは特定の方位でのみ発現し、フェルミ面の一部を消失させる。フェルミアークが存在する擬ギャップ状態は、電子の占有準位と非占有準位の境界を定義できない奇妙な状態であると言える。高温超伝導の発現機構を解明する上で、擬ギャップと超伝導ギャップの関係を理解することが重要な鍵を握っている。

我々は、起源の異なる 2 つのエネルギーギャップが T_c 以上の温度で共存することを Bi 系銅酸化物を用いた角度分解光電子分光測定により見いだした。一つめのギャップは超伝導相と競合する秩序状態による“擬ギャップ”で、 T_c より遥か高温(T^*)で開き始める。もう一つは、電子対の形成による“電子対形成ギャップ”で、擬ギャップよりも比較的低温(T_{pair})で生じる。これまで、 T_c 以上で開くギャップの起源をめぐり“超伝導の前駆状態”に起因するか、それとも“競合する秩序状態”に起因するか、二者択一的な主張がなされてきた。これは、 T_c 以上で開くギャップが単一であると信じられてきたことに加え、様々な測定手法に対して敏感なギャップが別個に観測されてきたことが主な要因であると考えられる。本講演では、一つの実験手法で両者を同時に観測することに初めて成功したことを紹介する。

[1] T. Kondo et al., Physical Review Letters 98, 267004 (2007).

[2] T. Kondo et al., Nature 457, 296 (2009).

[3] T. Kondo et al., Nature Physics 7, 21 (2011).

標題：中性子セミナー：Structure, Interactions and Chemistry in Ionic Liquids

日時：2013 年 6 月 21 日(金) 午後 3 時～午後 4 時 30 分

場所：物性研究所本館 6 階 第 4 セミナー室(A614)

講師：Prof. Edward Castner, Jr.

所属：Rutgers, The State University of New Jersey, USA

要旨：

Ionic liquids are becoming increasingly important for use in catalysis, energy storage technologies, and biotechnology. I will discuss how the interplay between ionic liquid structure, transport properties and dynamics affects the outcomes of chemical reactions in these novel solvents. I will present some of our recent results on photo-induced electron-transfer reactions in ionic liquids, as well as structural studies of the bulk fluids using a combination of high energy X-ray scattering and molecular dynamics simulations. To complement these structural studies, we are using 2D nuclear Overhauser effect NMR to study the interactions between ions. We are introducing these 2D NMR methods to study specific interactions with a molecular solute and the surrounding cations and anions.

標題：理論セミナー：Resolution effects on the current statistics in the resonant level model

日時：2013年6月21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：山田 康博

所属：東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻

要旨：

Current measurement is a basic technique to investigate the nature of a system. In particular, the variance of the current, i.e. noise, has been extensively studied because it includes useful information about intrinsic temperature in the equilibrium noise, and about the low-energy excitations in the shot noise. It is, however, often observed that the measured noise is larger than the intrinsic one expected from theories. Here, we consider the difference from the view point of the limitation of the resolution of measurement devices.

In this study, we propose a quantum two-point measurement statistics with limited resolution. Our method is equivalent to the ordinary full counting statistics in an ideal condition, but can consider resolution of the device in the other cases. Using this method, we analyze resolution effects on the distribution of current flowing a resonant level coupled to two reservoirs. It is found that the poor resolution gives no influence to the averaged current but gives the excess noise. Since the excess noise is always positive, the measured noise is always larger than the intrinsic one. Furthermore, the thermal noise and the shot noise are investigated in more details. As a result, we find universality in the deviation from the Johnson-Nyquist relation and the linear enhancement of the shot noise caused by limited resolution.

標題：放射光セミナー：軟 X 線吸収分光法による液体・溶液の局所構造の研究

日時：2013年6月21日(金) 午後1時30分～

場所：物性研究所本館6階 大講義室 (A632) TV 会議 播磨中央管理棟 3F 会議室

講師：長坂 将成

所属：自然科学研究機構 分子科学研究所

要旨：

液体・溶液の物性を調べるうえで、その局所構造を理解することが重要である。X 線吸収分光法は溶液中の分子の局所構造を元素選択的に調べることができる有用な手法であり、特に軟 X 線を用いると有機溶媒や水を観測するうえで重要な、炭素、窒素、酸素などの軽元素周りの構造を調べることが可能である。しかし溶液による軟 X 線の吸収が大きいため、透過法で軟 X 線吸収分光法を測定するには、液体層の厚さを 1 マイクロメートル以下にする必要があり、これまで測定が困難であった。

最近、我々は透過法を可能とする液体セルを開発した[1]。実験は分子研 UVSOR-III の軟 X 線ビームライン BL3U で行った。液体層は厚さ 100 nm の 2 枚の窒化シリコン膜で挟むことにより形成して、その周りを満たしたバッファのヘリウムガスの圧力を調整することにより、液体層の厚さを 20 - 2000 nm の範囲で調整可能である。また液体層は常圧のバッファガスで囲まれているため、実環境下での液体の局所構造を調べることができる。

本講演では、この測定システムを用いて行った研究成果である、塩水溶液中の陽イオンの水和構造、メタノール水溶液の局所構造を、酸素、炭素の K 吸収端の軟 X 線吸収分光法で調べた結果を報告する。また電極を備えた液体セルを開発することにより可能となった、溶液中の電気化学反応のオペランド観測への軟 X 線吸収分光法の展開について報告する。

[1] M. Nagasaka et al., J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. 177, 130 (2010).



標題：理論セミナー：薄膜における磁気励起

日時：2013年6月24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：Arthur Ernst

所属：Max Planck institute of microstructure physics, Halle / University of Leipzig

要旨：

The fundamental interactions between magnetic moments in layered magnetic structures have a very important impact on the properties of these materials. First-principles simulations can provide a deep knowledge about the electronic structure and magnetic excitations in such systems, which is highly desirable for understanding the key properties and a wide range of phenomena in low-dimensional solids. In my talk, I present an ab-initio Green function approach within the multiple-scattering theory, which is designed for calculations of magnetic excitations in bulk materials, thin films, and clusters. The method is based on the linear response approximation within the density functional theory and provides extensive information about the magnons and their life time. To illustrate the efficiency of our method, I present our recent investigations of magnetic excitations in thin films. A part of this work was done in a close cooperation with experimental groups at the MPI Halle and the institute for technology in Karlsruhe. In particular, I shall discuss a direct probing of fundamental exchange interaction at buried interfaces, Landau damping of magnons in thin films, and magnon softening in some thin film interfaces.

標題：シリセン：シリコンで出来た二次元トポロジカル絶縁体 (ナノスケール部門セミナー)

日時：2013年6月25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：江澤 雅彦

所属：東京大学工学系研究科物理工学専攻

要旨：

シリセンとはシリコンがハニカム格子を組んだ二次元物質である。2012年に相次いで実験的に合成され、着目を浴びている。グラフェンと同様に低エネルギー励起はディラック方程式で記述される。しかし、シリセンにはスピン軌道相互作用があるので、量子スピンホール効果を示す。また、電場[1]や磁性体[2,3]、光照射[4]などでトポロジカル相転移を起こす事ができ、量子異常ホール効果などの様々なトポロジカル絶縁体を実現する。局所状態密度、伝導度[5]、反磁性[6]、光吸収[7]などの測定に基づき、これらトポロジカル相転移の実験的観測に関する提案を行う。また、電界誘起トポロジカル・トランジスターなどのトポロジカル量子デバイスへの応用なども紹介する[5]。

量子ホール効果もシリセンの様々な相に応じて特徴的な振る舞いをするを紹介する[8,9]。シリセン超構造[10]や二層シリセン[11]、シリコン・ナノチューブなどのシリセン派生物についても紹介する。シリセンはシリコンで出来ているために、従来のシリコン・デバイスとの相性も良く、将来的な応用への期待が大きい。また、現在シリセンは銀盤などの表面に作製されているので表面物理の観点からも大変興味深い。最近のSTMやARPESなどの実験の動向を説明すると共に、今後の展望についても解説したい。可能な限り実験家向けに解説したい。

1. M. Ezawa, New J. Phys. 14, 033003 (2012).
2. M. Ezawa, Phys. Rev. Lett. 109, 055502 (2012)
3. M. Ezawa, Phys. Rev. B 87, 155415 (2013)
4. M. Ezawa, Phys. Rev. Lett. 110, 026603 (2013)
5. M. Ezawa, Appl. Phys. Lett. 102, 172103 (2013)
6. M. Ezawa, Euro. Phys. J. B 85, 363 (2012)

7. M. Ezawa, Phys. Rev. B 86, 161407(R) (2012)
8. M. Ezawa, J. Phys. Jpn. 81, 064705 (2012).
9. M. Ezawa, in preparation
10. M. Ezawa, Euro. Phys. J. B 86, 139 (2013)
11. M. Ezawa, J. Phys. Soc. Jpn. 81, 104713 (2012)
12. M. Ezawa, Europhysics Letters 98, 67001 (2012)

標題：エネルギー変換応用のための極性結晶

日時：2013年6月26日(水) 午後1時～午後6時

場所：物性研究所本館6階 大講義室 (A632)

要旨：

酸化物は豊富な機能を持っていて、触媒や電子材料として有望視されている。光触媒などのエネルギー変換材料、抵抗メモリーなどのデバイスへの応用だけでなく、結晶構造を人工的に制御して新しい機能特性の発現を狙う基礎研究も含めた“酸化物エレクトロニクス”がここ20年程で活発になってきた。本ワークショップではエネルギー変換応用に向け、光触媒、固体化学、極性界面の観点から、関連する研究者を会して議論を行い、その現状と課題を明らかにし、今後の研究の展望を議論する。

標題：理論インフォーマルセミナー：1/(N-1) expansion for an SU(N) impurity Anderson model: a new large-N scheme based on a perturbation theory in U

日時：2013年6月27日(木)

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：小栗 章

所属：大阪市立大学理学研究科

要旨：

We describe a new large- N approach, which is referred to as $1/(N-1)$ expansion, to an N -fold degenerate Anderson impurity model with a finite Coulomb interaction U [1,2]. This approach is different from the usual $1/N$ expansion [3], non-crossing approximation [4], and recent developments [5,6] along the conventional large- N theory which is based on a perturbation expansion with respect to the tunneling matrix element V between the impurity and conduction electrons with a scaling that takes NV^2 as a finite constant independent of N . In contrast, our formulation starts with the perturbation expansion in U , and then reorganizes the perturbation series according to the powers of $1/(N-1)$, using the scaling that takes $u=(N-1)U$ as an independent variable. The factor $N-1$ represents the number of interacting orbitals, excluding the one prohibited by the Pauli principle. Our expansion scheme provides the Hartree-Fock (HF) approximation at zero order, where the limit $N \rightarrow \infty$ is taken keeping u finite. Then, to leading order in $1/(N-1)$ it describes the Hartree-Fock random phase approximation (HF-RPA). The higher-order corrections, starting from order $1/(N-1)^2$ terms, capture systematically fluctuations beyond the HF-RPA. The results of the renormalized local-Fermi-liquid parameters, obtained up to terms of order $1/(N-1)^2$, agree closely with the exact numerical-renormalization-group results at $N=4$, where the degeneracy is still not really large as $N=2$ corresponds to the standard Anderson model with the spin degeneracy. This ensures the reliability of our approach for $N \geq 4$. We also apply this approach to nonequilibrium transport through quantum dots in the Kondo regime.



- [1] A. Oguri, R. Sakano, and T. Fujii, Phys. Rev. B **84**, 113301 (2011).
 [2] A. Oguri, Phys. Rev. B **85**, 155404 (2012).
 [3] P. Coleman, Phys. Rev. B **28**, 5255 (1983).
 [4] N. Bickers, Rev. Mod. Phys. **59**, 845 (1987).
 [5] K. Haule, S. Kirchner, J. Kroha, and P. Wolfle, Phys. Rev. B **64**, 155111 (2001).
 [6] J. Otsuki and Y. Kuramoto, J. Phys. Soc. Jpn. **75**, 064707 (2006).

標題：理論セミナー：第一原理材料シミュレータ QMAS の概要と応用例

日時：2013年6月28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：石橋 章司

所属：産業技術総合研究所ナノシステム研究部門

要旨：

物質・材料研究に有効な計算ツールの提供とその開発技術の維持・発展のために、我々は、第一原理材料シミュレータ QMAS (Quantum MAterials Simulator) [1] の開発・整備に取り組んできた。QMAS は、平面波基底と Projector Augmented-Wave(PAW)法[2]を用いて、密度汎関数理論により、物質・材料の電子状態および各種物性値を高精度に計算できるツールである。一般的な構造最適化・電子状態計算機能以外に、「静電場下での電子状態」、「エネルギー密度・応力密度」、「クーロン・カットオフ/有効遮蔽体(ESM)法」、「陽電子状態・消滅パラメータ」、「X線コンプトン散乱スペクトル」、「ELNES/XANES スペクトル」、他の特徴的な計算機能を有する。特に、最近では、「2成分相対論形式」により、「スピン軌道作用」や「ノンコリニア磁性」を顕わに取り扱う計算機能の整備と拡張に注力している。さらに、「最局在ワニエ軌道による解析」と組み合わせて、有効モデル構築への橋渡しにも取り組んでいる。今回、幾つかの計算機能の概要、および、適用計算例(パイロクロア型遷移金属酸化物の電子状態研究 [3,4]、磁石材料研究の現状、など)を紹介する。また、今後の開発の展望についても触れる。

[1] <http://qmas.jp>

[2] P.E. Blöchl: Phys. Rev. B **50**, 17953 (1994)

[3] H. Shinaoka, T. Miyake and S. Ishibashi, Phys. Rev. Lett. **108**, 247204 (2012)

[4] H. Shinaoka, Y. Motome, T. Miyake and S. Ishibashi, arXiv:1305.0660

標題：シリーズセミナー：極限コヒーレント光科学 20回目「In situ 軟 X線発光分光による二次電池電極材料の電子状態解析」

日時：2013年7月12日(金) 午前10時30分～

場所：物性研究所本館6階 大講義室 (A632) TV会議 播磨：中央管理棟3F会議室

講師：朝倉 大輔

所属：産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 エネルギー界面技術グループ

要旨：

ハイブリッド自動車や電気自動車の普及に伴い、車載用二次電池のさらなる性能向上は喫緊の課題となっている。中でもリチウムイオン電池の研究が精力的に進められているが、その充放電反応には未だ不明な点が多い。特に、既存電極材料の性能改善や新規電極材料の開発を行うために、電子論的観点からの充放電反応、即ち 3d 遷移金属元素の酸化還元反応を解明することが非常に重要となっている。3d 軌道の情報を詳細かつ正確に得るために、本研究では、In situ・オペランド軟 X線発光分光測定の開発を進めている。SPring-8 の BL17SU や BL07LSU で実績のある液体試料用セルを改良

し、測定対象の正極材料、金属リチウム対極、有機電解液からなるリチウムイオン電池用 *In situ* セルを作成した。軟 X 線発光分光実験は、BL07LSU の超高分解能発光分光装置 (HORNET) を用いて実施し、これまでに、充電前および充電時のテスト測定に成功している。

本講演では、*In situ* セルの開発状況と BL07LSU でのテスト測定の結果を中心に、関連する *Ex situ* 軟 X 線吸収 [1,2]・発光分光の結果についても紹介する。

[1] Y. Nanba et al., J. Phys. Chem. 116, 24896 (2012).

[2] D. Asakura et al., Phys. Rev. B 84, 045117 (2011).

標題：理論セミナー：Transition between itinerant and localized states of heavy electrons

日時：2013年7月12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：倉本 義夫

所属：東北大学理学研究科

要旨：

We discuss itinerant-localized transition of heavy electrons inside magnetically ordered phase. Taking the Kondo-Heisenberg lattice, the phase diagram and electronic structure are derived by means of the continuous-time quantum Monte Carlo combined with the dynamical mean-field theory. Around the itinerant-localized transition, nearly flat bands appear on the Fermi surface with almost vanishing quasi-particle renormalization factor. At the same time, there emerges a strong local magnetic fluctuation with a minute energy scale. Considering both antiferromagnetic and ferromagnetic Heisenberg interactions, coherent understanding is achieved on rich phase diagrams observed in $\text{CeRh}_{1-x}\text{Co}_x\text{In}_5$, $\text{CeRu}_2(\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x})_2$, UGe_2 and $\text{CeT}_2\text{Al}_{10}$ (T=Fe, Ru, Os).

These results have been obtained by cooperation with S. Hoshino at University of Tokyo.



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
極限環境物性研究部門 山下研究室 助教 1名
2. 職務内容
極限環境物性研究部門山下研究室の助教として、物性研究所内外の研究室と密接に連携し、超低温における新奇量子凝縮現象の研究を行う。超低温における精密物性測定技術の開発に興味があり、様々な新物質における新奇現象の研究に意欲のある方を希望する。低温実験に携わってきた方が望ましいが、これまでの専門分野は問わない。
3. 応募資格
博士課程修了、またはこれと同等以上の能力を有する者。
(着任予定時期までに上記学位の取得見込みの者も含む。)
4. 任期
5年。ただし、審査の上、1回を限度として再任を認める。
5. 公募締切
平成25年9月27日(金)必着
6. 着任時期
平成26年4月以降のできるだけ早い時期。
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5-1-5
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極限環境物性研究部門 准教授 山下穰
電話: 04-7136-3350 e-mail: my@issp.u-tokyo.ac.jp
10. 注意事項
「極限環境物性研究部門 山下研究室 助教 応募書類在中」の旨を朱書し、書留にて郵送すること。
11. 選考方法
東京大学物性研究所教授会で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25年6月20日

東京大学物性研究所長

瀧川 仁

編集後記

本号が発行される今頃はちょうど真夏になったといったところでしょうか。毎年のことですが、本号では昨年度の客員所員に寄稿いただきました。客員所員の先生方は、本務が忙しいなか、何とか日程を調整して物性研に来ていただいているのが現状です。日本人客員所員と比べて、長期に滞在している外国人客員所員と滞在型国際ワークショップに参加している外国人研究者は、研究に専念できているよううらやましくみえます。しかし、研究以外のことで時間をとられてメールの返事が遅い外国人もいますので、研究に専念できるのは本務地外にいるからかもしれません。私が編集の一部を担当している専門誌でも、国内外を問わず、時間がないことを理由に査読をしばしば断られます。お互いに忙しいながらも国際的な共同研究があたりまえとなっている現代において、この客員制度をうまく利用できるように工夫することがますます重要になっています。

小 森 文 夫