

物性研だより

第54巻
第2号

2014年7月

目次

1	第8回日本物理学会若手奨励賞を受賞して	大久保 毅
3		鴻池 貴子
5		山下 穰
7		白澤 徹郎
9	日本物理学会若手奨励賞及びISSP学術奨励賞を受賞して	新見 康洋
12	ISSP柏賞を受賞して	伊藤 功
15	MateriApps LIVE!	五十嵐 亮
18	金属スピン液体における量子臨界性	石川 洵、中辻 知
21	マルチフェロイック物質におけるスピン・ネマティック 相互作用の観測	左右田 稔、益田 隆嗣
24	鉱物のお話	浜根 大輔
27	物性研に着任して	近藤 猛
29		鈴木 博之
31	客員所員を経験して	澤 博
33		三宅 隆
35		木須 孝幸
36		朝倉 大輔
38		楠瀬 博明
40		中村 潤児
	研究室だより	
41	○ 野口研究室	
	物性研究所短期研究会	
46	○ 海外施設を舞台とした中性子散乱共同利用研究	
52	○ スーパーマターが拓く新量子現象	
57	物性研究所談話会	
60	物性研究所セミナー	
	物性研ニュース	
70	○ 人事異動	
72	○ 東京大学物性研究所技術職員公募について	

編集後記

東京大学物性研究所

Copyright ©2014 Institute for Solid State Physics,
The University of Tokyo. All rights Reserved.

ISSN 0385-9843



第8回日本物理学会若手奨励賞を受賞して

計算物質科学センター 特任研究員 大久保 毅

この度、私がこれまでに行ってきた「フラストレート磁性体におけるトポロジカル相転移と多重 Q 秩序の研究」という成果に対して、第8回日本物理学会若手奨励賞を頂きました。ここでは、この研究の経緯等について簡単に語りしたいと思います。

受賞対象となったフラストレート磁性体研究の大部分は、大阪大学川村研究室で特任研究員として勤務していた時に行ったものです。私は、九州大学で小田垣孝先生の指導の下、ランダム系の輸送現象に関するテーマで学位を取得した後、縁あって、当時、開始間もなかった特定領域研究「フラストレーションが創る新しい物性」のポスドクとして、川村先生に採用して頂きました。学生時代には、全く磁性研究の実績が無かった私を、何故、川村先生がポスドクとして採用して下さったのか今でも不思議ですが、ここで、磁性分野に飛び込んだことが、私の研究人生の大きな転機になりました。川村研に着任直後は本当に知らないことばかりで、ハイゼンベルグ模型や XY 模型といった理論モデルに加えて、磁化率や NMR、ESR 等の実験結果の図の見方もさっぱり分かっていませんでした。しかし、幸いなことに、特定領域研究の企画で、ほぼ毎月、関西近辺のフラストレーション研究者を招いたセミナーが企画されており、そこで、理論・実験の最先端の研究成果にどんどん触れて急速に知識を蓄えられたことで、自身の研究を効果的に進めることが出来たのではと思います。また、このフラストレーションセミナーで知り合った研究者の方々との生き活きとしたディスカッションは、直接、研究に役立っただけなく、私にフラストレーション研究の面白さを強く実感させました。

受賞対象となった研究は、このように大変恵まれた環境の中から生み出されました。この研究は、大きく二つのトピックからなっています。一つは、二次元フラストレートハイゼンベルグ反強磁性体における、 Z_2 ボルテックスと呼ばれる、普通の渦とは異なり右巻き・左巻きの区別が無い変わった渦励起に関する研究。もう一つは、複数の波数モードが共存した複雑な秩序状態である、多重 Q 秩序に関する研究です。

Z_2 ボルテックスは、二次元のフラストレート磁性体に共通して現れる重要なトポロジカル励起で、今から 30 年程前に、川村先生、宮下先生らによってこの Z_2 ボルテックスの束縛・非束縛転移である「 Z_2 ボルテックス転移」が起きる可能性が提案されていました。私がフラストレート磁性体の研究を始めた当時（そして今も）、物性研の中辻先生が合成された $NiGa_2S_4$ を始めとする三角格子磁性体の物性がホットトピックで、これらの物性の理解に、 Z_2 ボルテックスが影響している可能性を検討する一連の研究を行いました。私が主体となって寄与したのは、真性特異点であるために、熱力学的な異常が非常に弱い Z_2 ボルテックス転移の影響を、いかに実験で観測するかに関わる部分でした。この困難は、スピンドYNAMIX シミュレーションと呼ばれる、古典スピンのダイナミクスを計算する方法を用いて、ダイナミクスを解析したことで解決することが出来ました。それまでに観測が難しかった Z_2 ボルテックス転移を反映した振る舞いは、スピンの動的構造因子に特徴的なピークとして現れることが明らかとなったのです。この研究を基にして、将来、中性子実験等で Z_2 ボルテックス転移の証拠が発見される日が来ればと願っています。

二つ目のトピックである多重 Q 秩序に関する研究は、典型的な三次元の幾何学的フラストレーションの舞台であるパイロクロア格子上のハイゼンベルグ反強磁性体から始まりました。最近接相互作用に加えて二次近接相互作用を併せ持つパイロクロア格子ハイゼンベルグ模型では、私が研究を始める以前から、多重 Q 秩序の可能性が指摘されていたのですが、平均場近似による（準）安定構造の導出を新しく行い、その安定構造に基づいて、モンテカルロシミュレーション結果を解析したことより、多重 Q 秩序状態の構造を上手く同定することが出来ました。この模型では、4つの波数モードが混合した quadruple-Q 状態や6つの波数からなる sextuple-Q 状態といった、他の磁性体ではなかなか現れないような複雑な構造が安定化していることが明らかとなり、私自身、多重 Q 秩序に関する興味が大きく膨らみました。

ここで培った方法は、続いて、磁場中三角格子ハイゼンベルグ模型の解析に応用されました。前述の $NiGa_2S_4$ の模型としても注目されていた三次近接相互作用を持つ古典ハイゼンベルグ模型を平均場近似とモンテカルロシミュレーションを

用いて解析することで、磁場中で多重 Q 秩序状態が安定化することが明らかになったのです。さらに興味深いことに、この模型で現れる 3 つの波数モードが共存した **triple- Q** 状態は、スカーミオンと呼ばれるトポロジカル構造が周期的に整列した、スカーミオン格子状態になっていることも示すことができました。このスカーミオン格子は、**MnSi** 等のカイラル磁性体で **Dzyaloshinskii-Moriya** 相互作用を起源として生じる機構が知られていたのですが、私の研究により、フラストレートした交換相互作用を通じてスカーミオン格子が安定化することが明らかとなりました。この研究で示したスカーミオン格子の安定化機構には、格子の三回回転対称性と磁場の存在のみが重要で、三角格子だけでなく、ハニカム格子やカゴメ格子といった広い範囲の磁性体で、フラストレーションによりスカーミオン格子状態が実現する可能性があります。いつの日か実在の物質で、このような状態が発見できれば嬉しいです。

このような研究を終えた後、現在私は、京コンピュータのプロジェクトである、**CMSI(Computational Materials Science Initiative)** の研究員として、物性研の計算物質科学研究センターで研究を行っています。物性研では、これまで大規模な数値計算が難しかったフラストレート量子スピン系の基底状態計算も可能になる、テンソルネットワーク変分法を用いた研究等を進めており、引き続き、フラストレート磁性体に興味を持ち続けています。最先端で活躍する実験・理論研究者に囲まれた、物性研の素晴らしい環境の中で、さらなる良い研究成果を生み出せるように、これからも日々、頑張りたいと思います。

今回の受賞対象の研究は、大阪大学の川村光先生、川村研の学生だった、鄭成琪氏、**Trung Hai Nguyen** 氏との共同研究です。また、特定領域研究「フラストレーションが創る新しい物性」を構成していた数多くの研究者の方々との議論が、研究を進める上でとても参考になりました。この場を借りて深く感謝申し上げます。



第8回日本物理学会若手奨励賞を受賞して

極限環境物性研究部門 鴻池 貴子

(※現所属 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)

この度、第8回日本物理学会若手奨励賞(領域 7)受賞の榮譽に恵まれました。受賞対象の研究課題は物性研究所に在籍させて頂いた8年間に行った一連の研究であり、当時所属していた研究室の長田俊人先生や内田和人博士、森初果先生をはじめとして在籍時にお世話になった物性研究所の皆様から心から感謝申し上げます。

今回対象となった研究課題は「有機導体における熱測定技術の開発と有機ディラック電子系への応用」に関するものです。物性研究所に着任後、何か独自の研究手法を身につけたいと考えた私は、学生のころから携わってきた有機導体の熱測定に着目致しました。有機導体では低次元強相関電子系が形成されるため多彩な電子相が発現しますが、これらの相図の検証には熱力学的測定が有効であるものの熱測定を行っている研究者が非常に少なかったためです。それまで熱測定を専門とする研究室に所属したことがなかったため、その都度文献にあたり試行錯誤しながら進めてきたのですが、以下では今回対象となった3つの課題について簡単にご紹介させて頂きたいと思います。

まず初めに擬2次元有機超伝導体の磁束相図を磁気熱量効果測定によって調べることに着手しました。この効果は、試料の温度をモニターしながら磁場を掃引した際に、相境界を横切るところで吸熱もしくは発熱が観測される現象です。対象とした有機超伝導体 κ -(BEDT-TTF)₂Cu(NCS)₂ は2次元超伝導体のモデル物質として古くから盛んに研究されている系で、低温では量子ゆらぎによる磁束格子の融解や、磁束固体が部分的に溶けた slush 状態と呼ばれるシャーベットのような中間状態が提唱されるなど、低次元性に由来する興味深い報告がなされてきました。本研究ではこの物質の磁束状態を磁気熱量効果によって調べることに致しました。結果的には残念ながら目的としていた slush 相を示唆する吸熱・発熱現象の観測には至らなかったのですが、磁束固体相において磁場を掃引すると試料温度がスパイク的に何度も急上昇を繰り返すという予想外の現象が捉えられました。このデータを初めて得たときは、何らかの機械的ノイズを拾ってしまったかと疑いましたが、念のため系統的にデータを取り文献と照らし合わせたところ、この現象は磁気トルクですでに報告されているフラックスジャンプに関連していることが分かりました。フラックスジャンプとは、超伝導体内で格子を組んでいる磁束が磁場掃引によって粘性流を起こしながら動くことによって試料の温度が局所的に上昇し、超伝導が不安定化することによって引き起こされる現象で、超伝導マグネットのクエンチの引き金になることで良く知られた現象です。本研究は、この現象を試料温度を直接モニターすることによって捕らえたもので、有機超伝導体では初めてのユニークな研究成果です[1]。

次に取り組んだのは有機導体単結晶の圧力下比熱測定です。当時、有機導体 α -(BEDT-TTF)₂I₃ において圧力下でグラフェンと同様の線形分散をもつディラック電子系が実現していることが明らかになり始めていました。初めは詳細なバンド計算からその存在が議論されたのですが、本物質で昔から報告されていた磁気抵抗やホール効果の奇妙なふるまいが、ディラック電子系の存在を仮定することで非常に良く説明できることが分かったのです。しかし、当初実験的な根拠は電気抵抗によるものしか存在しませんでした。また、最も有名なディラック電子系であるグラフェンは、原子1層分の厚みしかない極微結晶であるため、シグナル強度を稼ぐためにある程度の体積が必要とされる比熱測定の報告はまったく存在しませんでした。この観点において、バルク結晶として初めてディラック電子系を実現した有機導体は、ディラック電子系の熱物性に関する実験的研究の有力な候補であると言えます。そこで本研究では圧力下比熱測定技術を習得して、この有機導体におけるディラック電子系の熱力学的証拠を得ることを目指しました。しかしながら、圧力下の熱測定には避けられない大きな困難が伴います。通常、熱測定では試料を真空中にセットするため試料のみを加熱することが可能ですが、圧力下の測定では試料をオイルなどの圧力媒体中に閉じ込める必要があるため、熱が圧力媒体にも伝わってしまい、観測される比熱は圧力媒体による大きなバックグラウンドを含んでしまうのです。このような困難さから特に大きな単結晶を得ることが難しい有機物ではほとんど圧力下比熱測定は行われておりませんでした。本研究では極細線や高感度チップ抵

抗温度計を使用することにより測定感度を上げる工夫を行い、また同一試料を半分に分けて測定を繰り返す、という単純ですが従来にはない手法でバックグラウンドを差し引き、試料のみの比熱を割り出しました。このようにして得られた比熱の温度依存性は線形分散の存在を示唆するべき乗を示し、また磁場依存性からもディラック電子系に特有のゼロモードランダウ準位の状態密度を反映した振る舞いを観測することに成功しました。これらはディラック電子系の比熱の振る舞いを実験的に示した初めての結果になります[2]。

これに引き続き、本有機ディラック電子系の熱電効果を調べることを目的として、圧力下熱起電力測定に着手いたしました。圧力セルの狭い空間中で電極付けをした試料にヒーターと温度計 2 つを配置する必要があるため、比熱よりも試料セッティングが格段に面倒になりますが、得られた結果は驚くべきものでした。熱流と同じ方向に生じる起電力はゼーベック効果、垂直方向に生じる起電力はネルンスト効果と呼ばれ、通常の金属ではゼーベック効果が支配的になりますが、本有機ディラック系ではまったく逆の傾向が観測されました。さらに驚くべきことに、数 T の磁場下においてグラフェンで報告されている値を 2 桁も上回る巨大なネルンスト信号が観測されたのです。それまで熱起電力測定の実験がなかった私は既知の試料について測定を行って測定システムに不備がないことを確認し、一連のデータ取得後にグラフェンの熱起電力についての理論論文を見直しました。その中から、ゼロモードランダウ準位の本質的な特異性を考慮するとネルンスト効果が支配的になることを指摘した文献を見出し、グラフェンと比較して有機物は非常にクリーンでシャープなランダウ準位が形成されることを考え合わせると、巨大なネルンスト信号の説明がつくと結論づけました。しばらく後、理論グループによってこの仮説をもとに観測されたネルンスト効果を非常に良く再現する計算結果が出され、解釈が正しいものであることが裏づけられています。

以上、振り返ってみると必ずしも当初の狙いどおりの結果が得られたわけではないですが、幸運にも非常に奇妙なデータに遭遇し、なんとか正しい解釈に辿り着くことができたように思います。3 月に物質・材料研究機構に異動して数ヶ月が経ちましたが、今後も当面はディラック電子の研究を続けようと考えており、ディラック電子特有の物性を実験的に捉えるべく、さっそく新たな測定手法の習得に取り組んでいるところです。

参考文献

- [1] “Magnetothermal instability in the organic layered superconductor κ -(BEDT-TTF)₂Cu(NCS)₂”
T. Konoike, K. Uchida, T. Osada, T. Yamaguchi, M. Nishimura, T. Terashima, S. Uji and J. Yamada, Phys. Rev. B **79**, 054509 (2009).
- [2] “Specific Heat of the Multilayered Massless Dirac Fermion System”
T. Konoike, K. Uchida, and T. Osada, J. Phys. Soc. Jpn. **81**, 043601 (2012).
- [3] “Anomalous Thermoelectric Transport and Giant Nernst Effect in Multilayered Massless Dirac Fermion System”
T. Konoike, M. Sato, K. Uchida and T. Osada, J. Phys. Soc. Jpn. **82**, 073601 (2013).



ことや、ESR によって求めた g 値の異方性と現れる磁気トルクの信号がちゃんと対応していることから量子スピン液体状態の磁化率を正しく見積もれることがわかりました。ここから熱伝導率測定で見出したギャップレス励起は磁気的な励起である事がわかりました。ギャップレスの磁気励起は通常、磁気秩序した物質の特性ですから、これが磁気秩序のないこの物質で見つかったという事で、この量子スピン液体状態はなんらかの量子臨界的な状態にある事がわかりました。

現在、量子スピン液体状態の基底状態の詳細を追求しようとしています。例えば、幾何学的フラストレーションの大きさを強くしたり弱くしたりしたとき変化から、磁気秩序相と量子スピン液体相の相図がどのようになっているかを明らかにしようとしています。また、二次元量子スピン液体の中で有力視されている理論ではゲージ場との結合によってスピノンの熱ホール効果が表れる事が予言されているので、これを実験的に検証しようとしています。さらに、物性研究所には超流動ヘリウムの研究によって培われたサブ mK を実現する超低温装置とその測定技術がありますから、それを生かして未踏の超低温領域までの物性測定から二次元量子スピン液体の理解につながる研究をしていきたいと考えています。

受賞対象論文

1. "Novel Pauli-paramagnetic quantum phase in a Mott insulator", *Nature communications* **3**, 1090 (2012).
2. "Highly Mobile Gapless Excitations in a Two-Dimensional Candidate Quantum Spin Liquid", *Science* **328**, 1246 (2010).
3. "Thermal-transport measurements in a quantum spin-liquid state of the frustrated triangular magnet κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃", *Nature Physics* **5**, 44 (2009).



第8回日本物理学会若手奨励賞を受賞して

極限コヒーレント光科学研究センター 白澤 徹郎

この度、第8回(2014年)日本物理学会若手奨励賞を受賞致しました。自分とは無縁だと思い応募に尻込みしていましたが、推薦して下さった某先生から、そろそろ出してみてもどうかと背中を押されて(尻を叩かれて?)、めぼしい成果をかき集めて応募したところ、幸いにしてこのような名誉ある賞をいただくことができました。受賞対象論文において多大なサポートをしてくださった上司の高橋敏男先生と学生時代の指導教官である九州大学名誉教授の栃原浩先生(現福岡大学研究員)をはじめ、推薦して下さった先生や共同研究者の皆様に心から感謝しております。

今回受賞対象となりましたのは、次世代半導体として期待されている SiC 半導体-絶縁体界面についての仕事と、最近話題を集めているトポロジカル絶縁体薄膜界面についての仕事を、固相界面の原子レベル解析をキーワードに抱き合わせで出したものです。だいぶ毛色の違う話ですが、それぞれ簡単にお話させていただこうと思います。

まず、絶縁体/SiC 界面の仕事について紹介させていただきます。半導体デバイス産業において SiC に対する期待は大きく、複数の国家プロジェクトが動いている昨今です。なぜなら、電力制御用に用いられるパワーデバイスに SiC 半導体を用いることで、現在用いられている Si 半導体では到達できない、飛躍的な省エネルギー化が見込まれるためです。東日本大震災以来、エネルギー安定供給の脆弱性が露見し、省エネルギー対策が切迫した課題として広く認識されるなか、SiC に対する期待はますます高まっています。すでに SiC パワーモジュールが実用化されており、今後の利用拡大が見込まれていますが、本質的な課題の一つとして残っているのは、電力制御の根幹素子である MOS トランジスターにおける絶縁体/SiC 界面の問題です。Si と同様に SiC の自然酸化膜は SiO_2 ですが、主には余剰になった C 原子が悪さをして界面準位密度が高くなり、 SiO_2/Si 界面ほど良好なキャリア輸送特性が得られていません。トランジスター構造の工夫によってこの問題を避ける方策も進められていますが、特別なプロセス技術を必要としない従来のプレーナ型トランジスターにおいて良質な SiO_2/SiC 界面を実現することが望まれています。

こうした背景の中、私たちは非常に簡単な熱処理法によって、SiC 表面上に Si 酸化絶縁層がエピタキシャル成長することを発見しました。従来の SiO_2/SiC 界面において界面ラフネス層が数 nm に及ぶのに対して、私たちが見出した界面では原子レベルで急峻な界面が実現しており、絶縁体/SiC 界面問題を打破する新しいアプローチとして迎えられるました [1]。と、もっともらしく述べてきましたが、実はこの界面は狙って作ったものではありませんでした。当時、研究熱が高まりつつあったグラフェンを SiC 上にエピタキシャル成長しようとしていたときに偶然見つけたものでした。グラフェンではないが大気中でも安定な非常に結晶性の良い極薄膜(厚さ 0.6 nm)が出来ているようなので、面白そうに思い、低速電子線回折法によって構造解析した結果、原子レベルで急峻な絶縁体/SiC 界面が実現していることが分かりました。この構造解析が実にやっかいで、予備的に得た元素分析の情報を頼りにして、いろいろな構造モデルを試行錯誤的に解析しました。ああでもないこうでもない、いろいろな組み替えを試しましたが、ようやく正しい構造に行き着いたときはすぐにコレだ!と確信しました。ちなみに、構造モデル設計には、丸善の分子構造模型セットを使いました。原子間結合が手に伝わって構造安定性を体感するのに非常に有効ですので、研究教育用に是非お試しください(宣伝文句のようですが)。

最初の論文は九州大学でポスドクをやっているときに仕上げたものですが、重要な界面になり得ると確信したため、その後物性研の助教に着任してからも、XRD による界面構造解析、軟 X 線吸収・発光分光を使った元素選択的な界面電子状態解析、角度分解光電子分光法、第一原理計算などを駆使して徹底的に界面を調べ上げました。その結果、①SiC 表面は理想末端構造を保っており、その上に原子レベルで急峻な界面をもつ絶縁膜ができていて、②界面準位は一切ない、③界面のバンドギャップ遷移は極めて急峻で、SiC 表面からわずか 3 Å ほどで SiO_2 のバンドギャップ 9 eV まで開く、という重要な結果が得られ、まさに理想的な界面が実現していることが明らかになりました [2]。実際のデバイス応用まで到達するのにクリアすべき問題は山積していますが、将来の実用化を夢見て企業との共同研究を続けております。

もう一つの仕事は、X 線回折によるトポロジカル絶縁体界面の解析です。物性研に移ってからしばらくは、上述の絶縁

体/SiC 界面の仕事を引きずっていましたが、表面 X 線回折のパイオニアである高橋先生のもとで、X 線回折による界面構造解析の仕事に集中しました。用いた手法は、X 線 CTR 散乱(X-ray crystal truncation rod scattering)法です。CTR 散乱とはその名の通り、結晶の電子密度が表面で裁断されることで生じるロッド状の散乱です。解析によって、表面界面の原子位置、熱的(または静的)な構造揺らぎ、占有率などの結晶学的パラメータを得ることができ、主に表面吸着層や表面再構成構造を調べるのに使われてきました。伝統的には、実験データを再現する構造モデルを試行錯誤的に見つけ出す方法が用いられてきました。しかし、この方法を薄膜及び界面構造に適用するのは困難です。薄膜内部構造は表面界面から伝搬する格子緩和や、平均位置からの静的ゆらぎが膜厚方向に沿って一様ではなく、これらを正確に知るには、薄膜及び界面に含まれる全ての原子、言い換えると、薄膜+界面の厚みをもつ“単位柱”の結晶学的パラメータを決定しなくてはならないためです。多数の構造パラメータ全てを最小二乗法で大域的最小値に落とし込むのは難しいし、界面に特殊な構造や組成混合(intermixing)が有る場合にこれを試行錯誤的に決定するのは困難です。こうした背景から近年、CTR 散乱データから直接的に薄膜界面構造を解く方法が展開されています。

こうした背景のもと、私は研究室で開発してきたホログラフィの原理に基づいた表面原子像の再生法を界面構造に応用し、さらに最新の位相回復法を組み合わせることで、実験データからモデルフリーに界面原子像を再生する方法に取り組みました。この方法を、まずは比較簡単な Si 基板上の Bi 超薄膜に適用したところ、界面から薄膜表面にかけての電子密度分布の定量解析に成功しました。これにより界面に一原子層程度の界面濡れ層があり、Bi 薄膜が基板 Si との相互作用から切り離されて、ほとんど自立した(free-standing)状態にあることが明らかになりました[3]。Bi は非磁性物質ですが、表面では Rashba 効果によって電子スピン分裂することが知られており、量子井戸状態や界面構造との関係が議論されていました。構造解析で明らかになった薄膜及び界面構造を考えると、それまで観察されていた表面と界面の電子状態の干渉や、量子井戸状態がスピン分裂しない理由を矛盾無く説明することができました。

次に、この方法をトポロジカル絶縁体の代表物質である Bi_2Te_3 薄膜に適用しました。トポロジカル絶縁体は、バルクは絶縁体ですが表面をつくることで必然的にスピン偏極した表面電子状態が現れる新しい量子相です。トポロジカル絶縁体界面の非破壊イメージングは世界で初めてでした。これにより、Bi 薄膜と同様に界面に濡れ層が存在し、薄膜が自立状態にあることが明らかになりました。自立化により表面と裏面が干渉して、トポロジカル表面電子状態が消失する現象を自然と説明することができました。また、界面近傍の構造揺らぎの情報から薄膜成長機構に関する知見を得ることもできました。一方、 Bi_2Te_3 上に Bi 薄膜を成長させるとエピタキシャル格子歪みによって、本来は普通の半金属である Bi がトポロジカル半金属に相転移することが示唆されていました。そこでこの歪んだ Bi 膜の内部歪みを調べると、第一原理計算で示されたトポロジカル相転移が起こるときの値とピタリと一致しました。

以上、まとまりの悪い話になってしまいましたが、今後は、後半にお話した表面界面 X 線散乱の研究に軸足をおいた研究を進めたいと思います。界面イメージングの研究に加え、最近では、ここ数年かけて開発してきた表面 X 線回折迅速測定法が実を結び始め、電池電極界面の充放電過程をその場追跡する実験を始めています。界面の動的過程をその場観察したいという要望は様々な分野で潜在的にあるため、これからいろいろな材料系に適用するのが楽しみです。今回の受賞を励みに今後一層の努力を続けていきたいと思っています。

[1] “Epitaxial Silicon Oxynitride Layer on a 6H-SiC(0001) Surface”

T. Shirasawa, K. Hayashi, S. Mizuno, S. Tanaka, K. Nakatsuji, F. Komori, and H. Tochiyama, Physical Review Letters 98, 136105 (2007).

[2] “Atomic-layer-resolved bandgap structure of an ultrathin oxynitride-silicon film epitaxially grown on 6H-SiC(0001)”

T. Shirasawa et al., Phys. Rev. B 79, 241301(R) (2009).

[3] “Interface of a Bi(001) film on Si(111)-7×7 imaged by surface x-ray diffraction”

T. Shirasawa, M. Ohyama, W. Voegeli, and T. Takahashi, Physical Review B 84, 075411 (2011).

[4] “Structure of a Bi/Bi₂Te₃ heteroepitaxial film studied by x-ray crystal truncation rod scattering”

T. Shirasawa, J. Tsunoda, T. Hirahara, and T. Takahashi, Physical Review B 87, 075449 (2013).



変換効率であるスピホール角を「定量的」に算出する上で、このやり方を確立するところが、一番苦勞し、一番やりがいのあったところなのですが、その部分を説明していると 3 ページでは終わらなくなってしまうので、本誌では割愛させて頂きます。最終的には 3 次元スピ伝導モデルを用いて CuIr 合金のスピホール角を算出したところ 2.3% となり [4]、過去の CuMnIr 合金を用いた異常ホール効果から算出された値 2.6% [1] と定量的に一致することが分かりました。さらにこのことは、本実験で用いたセットアップでスピホール角が正しく算出できることを暗示しており、同様のモデルを用いると、Pt のスピホール角も 2.4% となり、CuIr 合金は Pt と同程度のスピ流電流変換効率を生み出せることも分かりました [5, 6]。

次にスピホール角の値をさらに大きくするために、Ir よりスピ軌道相互作用の強いビスマス Bi を添加した CuBi 合金でスピホール効果の測定を行いました。図 2 に示す通り、Bi をわずか 0.5% だけ Cu に添加するだけで、Pt や CuIr 合金よりも数倍程度大きな信号を観測することができました [4]。この結果から、CuBi 合金のスピホール角は Pt や CuIr 合金よりも大きいことは容易に想像できるのですが、具体的な値を得るには上記と同じ 3 次元スピ伝導モデルを用いる必要があります。その結果、CuBi 合金では -24% という非常に大きなスピホール角が得られました。ここで、なぜ Bi が良かったのかということをもう少し説明させて頂きたい。多くの方は (以下の事実を知る前の私もそうだったのですが)、スピ軌道相互作用の大きさは原子番号 Z の大きさに比例すると思われています。確かに原子番号の大きさも重要ではあるのですが、その他に重要な因子があって、それは最外殻電子の軌道角運動量です。詳細については [7] を参照して頂きたいのですが、同じ周期の元素を比べた場合、最外殻電子が p 軌道の元素は、他の軌道を最外殻にもつ元素よりも圧倒的にスピ軌道相互作用が大きくなります。その中でも原子番号が大きく毒性の少ない Bi は、入手できる元素の中でスピ軌道相互作用が最も大きい元素だということがポイントのようです。さらにこの説明を指示する結果として、Bi の隣の鉛 Pb を Cu に添加した CuPb 合金でも -13% という大きなスピホール角が得られています [6]。

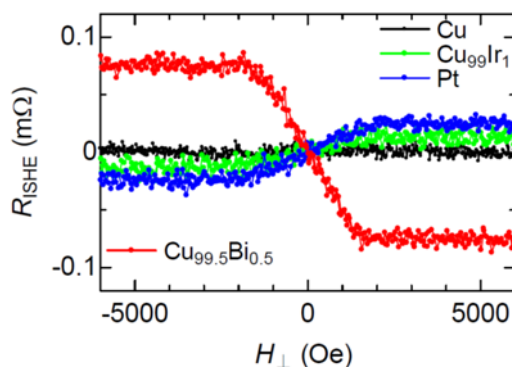


図 2: さまざまな金属のスピホール効果 [4]。

前述したように、現在に至るまでスピントロニクス分野では、一般的に用いられている Pt のスピホール角ですら、統一的な見解が得られていません。これはあくまで個人的な見解ですが、その理由の 1 つとして、スピホール効果を観測するためには、必ず強磁性体を用いられており、多くの実験では Pt のような強磁性体に近い非磁性体と強磁性体が直に接しており、何らかの近接効果があるのではないかと考えています。最近では、この点を問題視する研究者もスピントロニクス分野で出てきていますが [8]、依然としてマイノリティーです。一方で我々の実験のセットアップでは、スピホール効果を示す非磁性体と強磁性体は直に接しているわけではなく、必ずスピ軌道相互作用の弱い Cu を介しているため、上記のような近接効果は非常に小さいと考えています。このような状況で、2011 年に [9] のような記事が Cornell 大のグループから発表され、スピントロニクス分野でかなり話題になりました。この記事の主旨は、Pt のスピホール効果を統一的に理解しようというのですが、あまりに彼らの都合のいいように解釈しており、到底承服できるものではありませんでした。彼らの主張によると、スピホール角を定量的に算出するためには、スピ拡散長という物理量を正しく算出する必要があり、我々のスピ拡散長の見積もりに誤りがあるということです。ちなみに彼らのやり方は強磁性体と Pt が直に接しているにも関わらず、その近接効果等に関しては一切言及していません。

このままではあまりに悔しいので何とか反論したいところですが、かといって自分たちの主張を繰り返しても埒が明きません。やはり実験家たるもの、「論より証拠」ということで、何か全く別の手法で彼らに疑われているスピ拡散長を算出できないかと考えました。そこで考え付いたのが、私がポスドクの時に行っていた弱反局在効果を用いることでした [10]。弱反局在効果の詳細は割愛させて頂きますが、これを正確に測ることで、位相緩和長とスピ軌道長と呼ばれる 2 つの長さを導き出すことができます。ポスドクをやっていた当時は、温度に敏感な位相緩和長の方に着目していたのですが、実はスピ軌道長 L_{SO} とスピントロニクスで議論されているスピ拡散長 L_S には何か関係があるのではないかと思います。銅や銀、金、白金、さらには CuBi 合金でもスピ拡散長とスピ軌道長を求めたところ、明らかに似たような値が得られ

ました。この事実を加藤先生にお伝えしたところ、スピン拡散長とスピン軌道長には関係があって、当方的なフェルミ面をもつ金属だと $\sqrt{3}/2(=0.87)$ 倍だけ異なることを教えて頂き(図3参照)、これで実験事実を上手く説明することができました。さらに今までのやり方で求めた Pt のスピン拡散長の見積もりにも誤りがないことが、弱反局在の測定から分かりました[6, 11]。

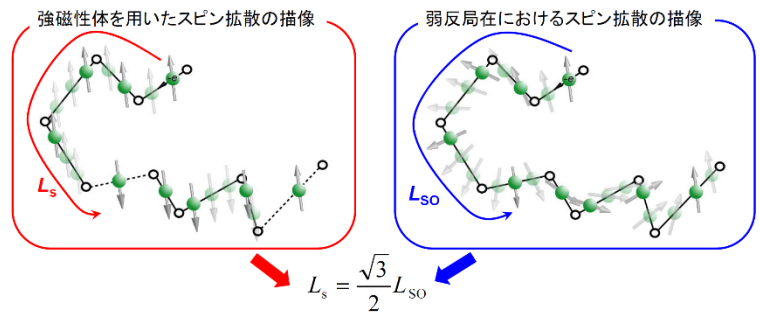


図3: スピン拡散長 L_s とスピン軌道長 L_{so} の関係[6]。

[9]が出てきた時には窮地に立たされ、どうなることかと思っていましたが、今になって思うと、ポスドクで弱反局在の測定方法を身に付けておいてよかったとつくづく思います。またこれを機に、もう少し物性理論の方々と議論して、面白い結果を説明して頂いたり、逆に面白いアイデアを提案して頂き、それを実験で再現できるようになればと考えております。

[1] A. Fert, A. Friederich, and A. Hamzic, *J. Magn. Magn. Mater.* **24**, 231 (1981).
 [2] M. I. Dyakonov and V. I. Perel, *Sov. Phys. JETP Lett.* **13**, 467 (1971).
 [3] Y. Niimi *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **106**, 126601 (2011).
 [4] Y. Niimi *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **109**, 156602 (2012).
 [5] M. Morota *et al.*, *Phys. Rev. B* **83**, 174405 (2011).
 [6] Y. Niimi *et al.*, *Phys. Rev. B* **89**, 054401 (2014).
 [7] 柳瀬陽一, 播磨尚朝, *固体物理* **46**, 229 (2011).
 [8] S. Y. Huang *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **109**, 107204 (2012).
 [9] L. Liu, R. A. Buhrman, and D. C. Ralph, arXiv:1111.3702.
 [10] Y. Niimi *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **102**, 226801 (2009).
 [11] Y. Niimi *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **110**, 016805 (2013).

ISSP 柏賞を受賞して

極限コヒーレント光科学研究センター 伊藤 功

はじめに

この度 ISSP 柏賞という栄誉ある賞をいただきまして、誠にありがとうございます。推薦・選考していただいた皆様に御礼申し上げます。対象となった「LabVIEW による測定システムの構築」は加速器制御システムに関する仕事です。物性研から加速器の仕事を評価していただいたこと、非常にうれしく思います。2005 年に極紫外・軟 X 線高輝度放射光源計画が中止になり、当時の私は加速器の無いところで加速器の仕事をしなければならない境遇に日々不安を感じていました。当時の自分に「不安に思うことはない、未来はある」と励ましてあげたい気持ちです。授賞式の際に挨拶として技術的な話をさせていただきました。今回さらに物性研だよりに記事を書く機会をいただきましたので、ここでは受賞の挨拶では割愛した開発の経緯や背景についてご紹介するとともに、これまでお世話になった加速器、レーザー関係者の皆様への感謝の気持ちをお伝えしたいと思います。

LabVIEW Real-Time を用いた電磁石型移相器制御システム

私は 2004 年に東北大学の修士課程を修了後、軌道放射物性研究施設 (SOR 施設) に着任しました。SOR 施設では加速器グループ中村研究室に所属し、極紫外・軟 X 線高輝度放射光源計画で建設が予定されていた第三世代放射光源加速器“Super SOR”の制御システムの性能評価を担当しました。制御システムは、OS やプログラムなどの「ソフトウェア」と、コンピュータやアナログ・デジタル変換器などの「ハードウェア」で構成されます。加速器の制御システムにおいて、PC で起きるタイミングジッターや割り込み、フリーズは著しく加速器運転を乱すことから、制御用コンピュータには Windows などの汎用 OS ではなく、Real-Time OS が使われます。ソフトウェアにおける Real-Time とは、定められた時間内に処理を確実に実効できる「確定性」と、長時間の運転において安定に動作を保証する「信頼性」の 2 つを兼ね備えている事を意味します。そして Real-Time OS とは処理を高確定 (ジッターが小さく割り込みがない) で高信頼 (フリーズしない) に実効するための機能を搭載した OS です。代表的なものに Phar Lap や VxWorks があります。私の仕事は電磁石一台の制御と真空ゲージ 1 台の読み出しを行う小規模制御システムを構築し、その小規模制御システムの Real-Time OS 上で仮想的に Super SOR 規模の制御システムを構築して、その性能を評価するものでした。

2008 年から今回の受賞対象である移相器の開発に携わりました。放射光源加速器ではアンジュレータと呼ばれる周期的に磁極を反転させた永久磁石列で電子ビームを水平 (垂直) 方向に蛇行させて水平 (垂直) 偏光の高輝度放射光を発生させます。移相器とは水平偏光アンジュレータと垂直偏光アンジュレータの間にバンブ軌道を作る電磁石です。このバンブ軌道で水平偏光と垂直偏光の位相差を調整し、それら水平・垂直偏光を重ね合わせることで直線偏光と左右円偏光の両方を自由自在に発生させることができます。

移相器の設計・製作は中村典雄先生と技術専門職員の篠江憲治さんによって行われました。製作した移相器の性能評価のために、加速器運転時と同様の Real-Time 制御をしながら、出力磁場を高速・高精度で測れる制御システムが必要になり、Super SOR 制御システムの構築・評価の経験のある私に白羽の矢が立ちました。

システム構築でまず始めに行ったことはソフトウェアとハードウェアの選定でした。候補は二つあって、1 つは MATLAB/Simulink と DSP (Digital Signal Processor)、もう一つが LabVIEW と PXI (PCI eXtension for Instrumentation) でした。それぞれのメーカーから一ヶ月間機材一式を借用してテストベンチを組んでやりたい実験ができるか確認しました。ソフトウェアについては MATLAB/Simulink と LabVIEW のどちらもアイコンを線で結ぶ直感的なプログラミングでわかりやすかったのですが、ハードウェアについてはステッピングモーターなどの機械制御も可能であること、Real-Time OS を使えることから、LabVIEW + PXI を選びました。



図1が製作した電磁石型移相器制御システムです。測定方法は移相器の磁場中にフリップコイルを挿入して誘導電圧を測るだけです。測定は至ってシンプルですが、制御システムには非常に厳しい仕様が要求されていて、移相器のコイル電流の出力精度が1mA以下であること、磁場の測定精度が1G・cm以下であること、移相器の磁場発生とコイルの誘導電圧測定を1ミリ秒以下の精度で同期させること、フリップコイルを回転させながら測定できること、長時間運転でもフリーズしないこと、システムを作った人以外でも使えることなど、これらの要求仕様をすべて満たすように綿密に制御システムを作り込みました。その甲斐あって、2010年に日本ナショナルインスツルメンツが主催したアプリケーションコンテスト一般部門で、加速器電磁石の検査を安定に効率良く行える装置を短期間で構築したとして、最優秀賞をいただきました²⁾。この制御システムを使った性能評価試験で SPring-8 のようなビーム軌道ゆがみをサブミクロン以下にすることを要求する加速器でも移相器が十分に使用可能であることを示すことが出来ました³⁾。

中村先生が高エネルギー加速器研究機構(KEK)に転出後、移相器は非常に有用な電磁石であることから KEK に移管されました。LabVIEW + PXI の制御システムについては私が引き継ぎ、レーザーの制御システムとして生まれ変わることになります。

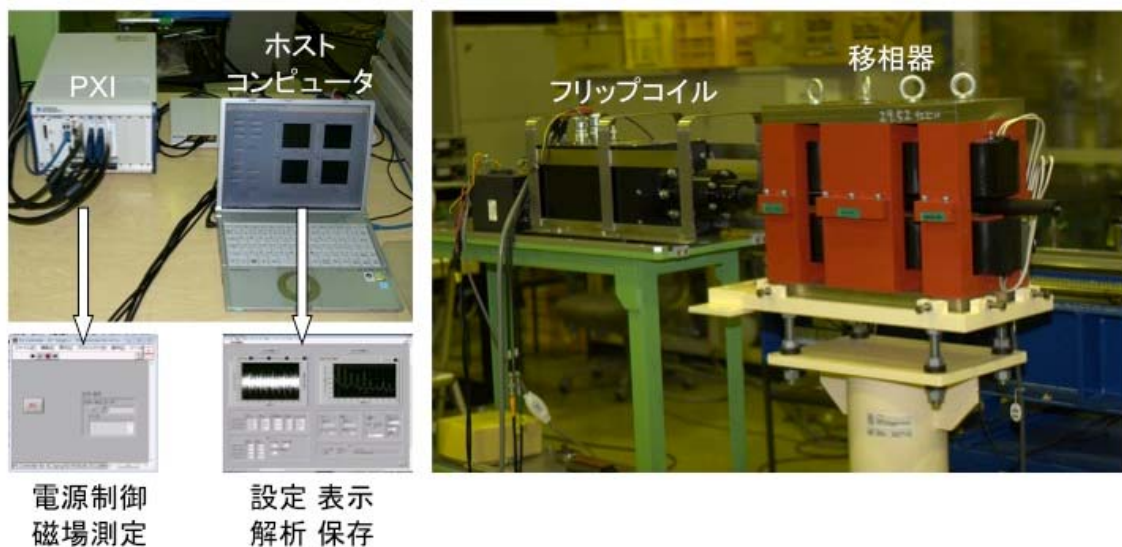


図1. 電磁石型移相器制御システム

LabVIEW FPGA による高精度 CW レーザーのフィードバック制御

2009年から第四世代放射光源加速器“Energy Recovery Linac”の電子銃励起用の高出力・高繰り返し Yb ファイバーレーザーの開発に取り組みました。この仕事が縁で小林先生に私の存在を知っていただき、2011年に中村先生が KEK に転出した際に私は小林研究室に移籍することができました。

現在、私は小林研にて高精度 CW レーザーの開発に従事するとともに、レーザー制御システムの開発・運用にあたり小林研の実験の効率化を図っています。特に最近ではレーザーの周波数安定化のために、それまでアナログ回路を駆使していたフィードバック制御に Field-Programmable Gate Array (FPGA) の技術を導入して、効率的で柔軟性に富んだレーザーの周波数安定化を実現することに力を入れています。FPGA とはソフトウェアで自由自在に論理回路を組み替えられる集積回路です。例えば、オペアンプや受動素子をハンダ付けして作るアナログ回路と同じ機能のデジタル回路を FPGA ではソフトウェアで設計・製作することができます。FPGA を設計・製作するソフトウェアとして MATLAB/Simulink が主流ですが、近年 LabVIEW FPGA が普及しつつあります。私は中村研から引き継いだ LabVIEW + PXI の制御システムに FPGA を追加し、LabVIEW FPGA で高精度 CW レーザーのフィードバック制御システムを構築することにしました。

図2は、私が製作した高精度 CW レーザーです。高精度 CW レーザーとは半導体レーザーの周波数を高フィネス光共振器(フィネス 300,000)に共鳴するようにフィードバック制御するレーザーです。フィードバック制御は PID 制御です。高精度 CW レーザーを実現するためのフィードバックには、半導体レーザーの周波数を光共振器の共鳴周波数に引き込む

ための速いPID と、速いフィードバックを長時間持続させるための遅いPI が必要です。授賞式のあいさつでは遅いP(比例)とI(積分)をFPGAで行ったことを紹介しました(図2)。その授賞式の後、速いI(積分)をFPGAに行わせることに成功しました。現在、速いP(比例)とD(微分)をFPGAでできるように開発・実験に取り組んでいます。小林先生が蒔いた種は着実に芽吹き始めています[4]

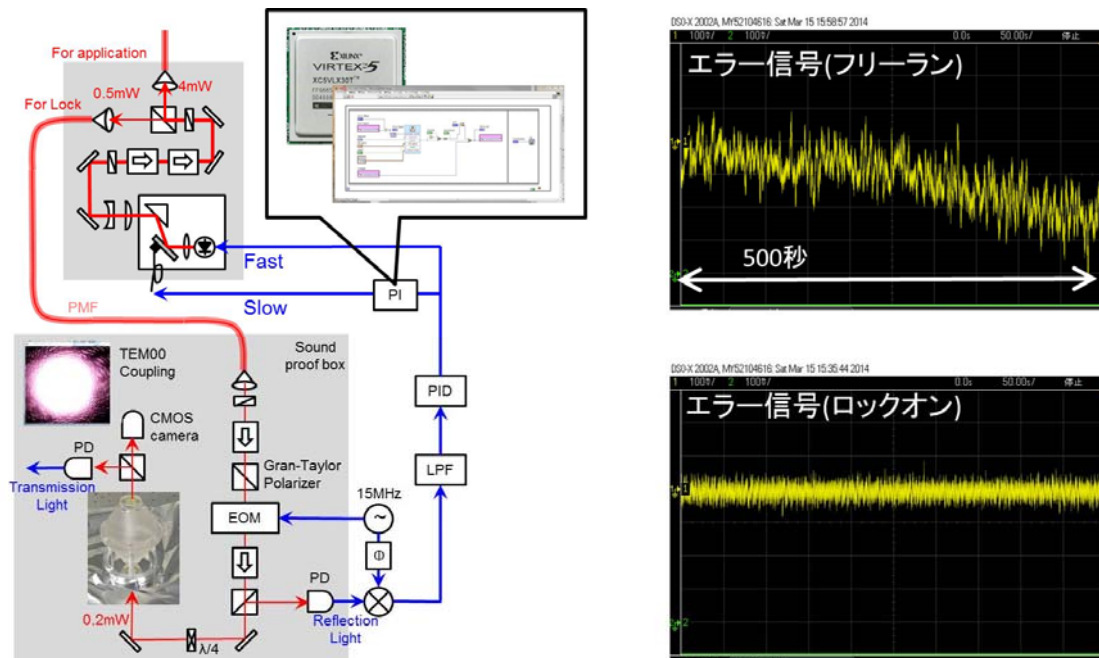


図2. 高精度 CW レーザー

最後に

SOR 施設在籍時は加速器がない環境に悲観になっていましたが、実は加速器がないからこそ加速器を作ることに専念できましたし、さらに KEK の線形加速器や放射光源加速器、先端加速器試験装置などのいろいろな加速器で仕事できました。加速器で身につけた技術や実験に向かう姿勢が今の自分の強みになっていると実感しています。機会を与えてくださった中村先生(現、KEK)、元施設長の柿崎明人先生、加速器実験でご指導いただいた技術専門職員の篠江憲治さん(現、KEK)、助教の阪井寛志さん(現、KEK)、高木宏之さん(現、KEK)に感謝申し上げます。

小林研に移籍直後、加速器からレーザーへの分野替えで戸惑うことが多かったのですが、小林先生をはじめ、技術専門職員の金井輝人さん、助教の小澤陽さん(現、マックスプランク光量子研究所)、小林研学生メンバーに大変お世話になりました。皆様のサポートのおかげで高精度 CW レーザーを小林研の実験に使ってもらえるクオリティまで仕上げる事が出来ました。次は自分の持ち味を活かして、高精度 CW レーザーに新しい技術やアイデアを導入して、小林研ブランドのレーザー開発に貢献できればと思っています。

これからも中村研での知識・経験を大切にしながら、小林研のレーザー開発で物性研に貢献できるように頑張ります。

参考文献

- [1] 発表資料は <http://yohei.issp.u-tokyo.ac.jp/isao/isao.html> からダウンロードできます。
- [2] 制御システムの詳細は <http://japan.ni.com/apcon/2010> に掲載されています。
- [3] I. Ito et al., Proceedings of Particle Accelerator Society Meeting 2009, JAEA, Tokai, Naka-gun, Ibaraki, Japan, p664.
- [4] 小林洋平、物性研だより、第 54 巻第 1 号 P3.

のチュートリアルを始めるのに必要な環境は全て 1 本の USB メモリに収められています。この USB メモリは、MateriApps LIVE! の Web サイトからファイルをダウンロードし、自ら作成することもできますが、CMSI 神戸拠点および物性研などで定期的に開催している CMSI 主催のソフトウェア講習会などで教材として利用し、USB メモリの配布もしています。2014 年 6 月現在のバージョン 1.2 では、次のソフトウェアが利用可能です。

- CMSI の公開アプリ
 - AkaiKKR(旧 Machikaneyama2002), ALPS, ERmod, Feram, OpenMX, xTAPP
- 公開アプリ
 - ABINIT, CP2K, GAMESS(セットアップツール), Gromacs, Quantum Espresso
- 可視化ツール
 - gnuplot, OpenDX, Paraview, Pymol, Tapioca
- 開発ツール
 - Emacs, gcc, g++, gfortran, perl, python, ruby, vim 等

MateriApps LIVE! には密度汎関数法(DFT)のアプリケーションだけでも複数含まれていることから、気軽に比較することができるため、問題に適するアプリケーションを簡単に選定できます。また、可視化ツールも含まれていることから、シミュレーション結果をすぐに視覚的に確認することで、結果の直感的な理解にも役立ちます。

MateriApps LIVE! の起動に成功すると、まずは図 2 のような画面になります。

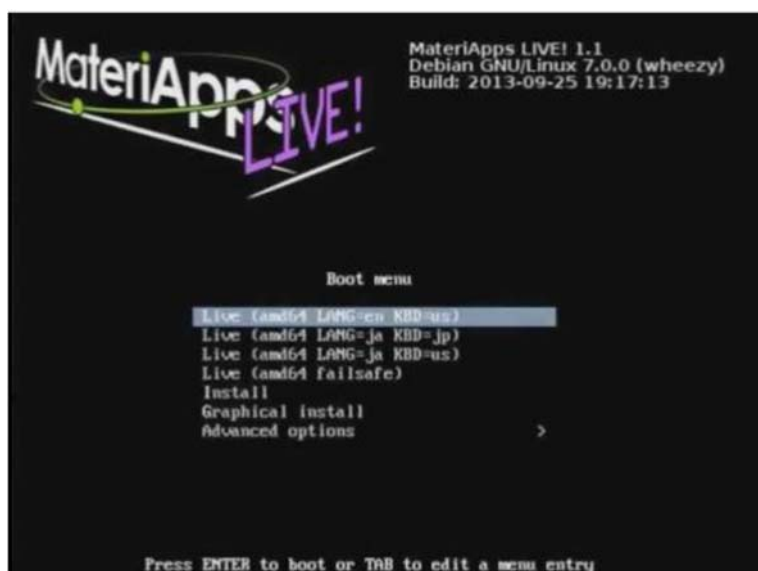


図 2 MateriApps LIVE! の起動画面

その後、言語やキーボードの選択をして起動後すると、図 3 のような Linux のデスクトップ画面となります。なお、MateriApps LIVE! 起動する際は、図 2 において、“Install”を選ばないでください。ご使用中の OS を上書きしてしまう可能性があります。起動後は、入力ファイルを準備することで、AkaiKKR³、OpenMX⁴や xTAPP⁵のような密度汎関数法(DFT)の計算ができるソフトウェアや、ALPS⁶のような量子格子模型のシミュレーションができます。入力ファイルの作成方法など、それぞれのアプリケーションのチュートリアルは、ポータルサイト MateriApps、またはオフィシャルサイトのドキュメントを参照してください。

³ <http://kkr.phys.sci.osaka-u.ac.jp/>

⁴ <http://www.openmx-square.org/>

⁵ <http://frodo.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/xtapp/index.html>

⁶ <http://alps.comp-phys.org/>



図 3 MateriApps LIVE! のデスクトップ

MateriApps LIVE! の改善には、利用者の声が重要です。MateriApps LIVE! で利用したいアプリケーションなどありましたら、MateriApps 開発チームへぜひフィードバックをお寄せください。今後、利用方法等、ドキュメントの拡充も行っていきます。

金属スピン液体における量子臨界性

新物質科学研究部門 石川 洵、中辻 知

研究背景

磁性体中のモーメントは、温度を下げるに従いその熱ゆらぎが抑制され、ある温度で磁気秩序状態への相転移を起こすことが知られている。このとき磁場や圧力などの外部パラメータを制御することで、転移温度を下げ絶対零度に近づけ熱ゆらぎを抑制することができれば、支配的となった強い量子ゆらぎに駆動されて量子相転移を起こすことになる(図 1)。これまで、金属磁性体における量子臨界現象の研究は重い電子系と呼ばれる物質群において集中的に行われており、磁場や圧力などの外部パラメータを変化させ秩序状態を絶対零度まで抑制すると量子臨界性が発現することが知られている。重い電子系、銅酸化物および鉄ニクタイトに共通してみられる非従来型超伝導や異常な磁気・金属状態は量子臨界性に密接に関係していると考えられており、量子相転移の研究は大きな関心を集めている。

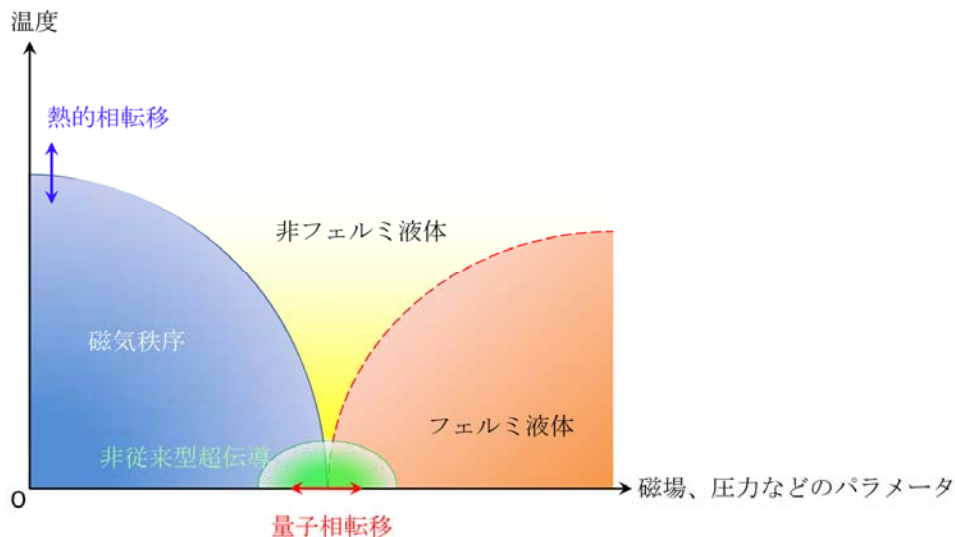


図 1. 強相関電子系における温度-外部パラメータ相図の概念図。

今回我々は金属スピン液体物質 $\text{Pr}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ において量子臨界性の存在を見出した。このことは本物質がスピン液体状態で示す巨大な自発的異常ホール効果の発現機構を理解する上で重要な知見となりうる[1-4]。 $\text{Pr}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ は Pr イオンがパイロクロア構造をとり、Pr イオンがもつイジングスピン間の強磁性相互作用によって幾何学的にフラストレートしたスピニアイス相関をもつ。その結果、基底状態は双極子秩序のないスピン液体状態になっていると考えられる。さらにこのスピン液体相において自発的異常ホール効果が観測されており、有限のスカラースピнкаイラリティが秩序化したカイラルスピン液体状態の発現を示唆している。

実験結果

ここでは、我々が育成した純良単結晶を用いて主にゲッティンゲン大学の常盤、Gegenwart両氏が行った $\text{Pr}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ における磁気熱量効果の共同研究を紹介する[5]。磁気熱量効果は磁場による磁気エントロピー変化に起因する温度変化であり、磁気グリユナイゼン比は $I_H = 1/T(dT/dH)_S$ により定義される。これはまた磁化 M と比熱 C を用いて $I_H = -(dM/dT)/C$ とも表わされ、一般に量子臨界点において発散することが知られており、量子臨界性の存在に敏感な量である。 $\text{Pr}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ の磁



今後の展望

今回我々は $\text{Pr}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ におけるゼロ磁場での量子臨界性を磁気熱量効果の測定を通じて明らかにした。これらの結果は、ゼロ磁場で自発的異常ホール効果を示すカイラルスピン液体相が、幾何学的フラストレーションによって誘起された量子臨界性の下に発現することを示唆している。フラストレートした金属のスピン液体状態において生じる量子臨界性の発見により、フラストレート金属物質群におけるさらなる実験的・理論的研究の進展が望まれる。

謝辞

本研究成果は、東京大学物性研究所、ゲッティンゲン大学の共同研究によるものです。本研究の一部は、JSPS 科研費 (25707030)、JST さきがけの支援を受けて行われました。本研究では東京大学物性研究所の物質設計評価施設を利用させていただきました。

参考文献

- [1] S. Nakatsuji *et al.*, Phys. Rev. Lett. **96**, 087204 (2006).
- [2] Y. Machida, S. Nakatsuji, Y. Maeno, T. Tayama, T. Sakakibara, and S. Onoda, Phys. Rev. Lett. **98**, 057203 (2007).
- [3] Y. Machida, S. Nakatsuji, S. Onoda, T. Tayama and T. Sakakibara, Nature **463**, 210 (2010).
- [4] L. Balicas, S. Nakatsuji, Y. Machida, and S. Onoda, Phys. Rev. Lett. **106**, 217204 (2011).
- [5] Y. Tokiwa, J. J. Ishikawa, S. Nakatsuji, and P. Gegenwart, Nature Mater. **13**, 356–359 (2014).



実験結果

中性子非弾性散乱実験による磁気励起測定と SQUID 磁束計による磁化測定を行うことによって、スピン・ネマティック相互作用の検出を試みた。中性子非弾性散乱実験によって観測された、反強磁性スピン波について、 $Q=(1,0,0)$ 近傍の低エネルギー励起を図 2(a)に示す。0.1 meV 程度の明瞭な磁気異方性ギャップが存在することがわかる。この磁気励起スペクトルを、スピン・ネマティック相互作用 $-J_p^{\text{eff}} \sum O_{XY}(i)O_{XY}(j)$ を考慮したスピン・ハミルトニアンで解析すると、図 2(a)の白線のように実験結果がよく説明される。この実験で得られるスピン・ネマティック相互作用定数は $J_p^{\text{eff}} = 0.198 \mu\text{eV}$ であり、これは電気分極の静電エネルギーにもなっている。

c 面内の様々な方向に磁場を印加した場合の静磁化率を図 2(b)に示す。[110]及び[-110]方向に磁場を印加した場合に、スピフロップ転移による磁化率の増大が $H=3000$ Oe 付近に観測される。[110]と[-110]方向のみで転移が観測される 4 回対称な振る舞いから、スピン・ネマティック相関は図 1(b)で示すように反強ネマティック的であることが示される。 $J_p^{\text{eff}} = 0.198 \mu\text{eV}$ とした場合の $T=0$ K における静磁化率の計算値は図 2(c)のようになり、実験結果を再現することがわかる。以上のように、磁気励起と磁化率の測定により、スピン・ネマティック相互作用の存在が明らかにされた。また、スピン・ネマティックエネルギーと電気分極の静電エネルギーを定量的に見積もることが出来た。

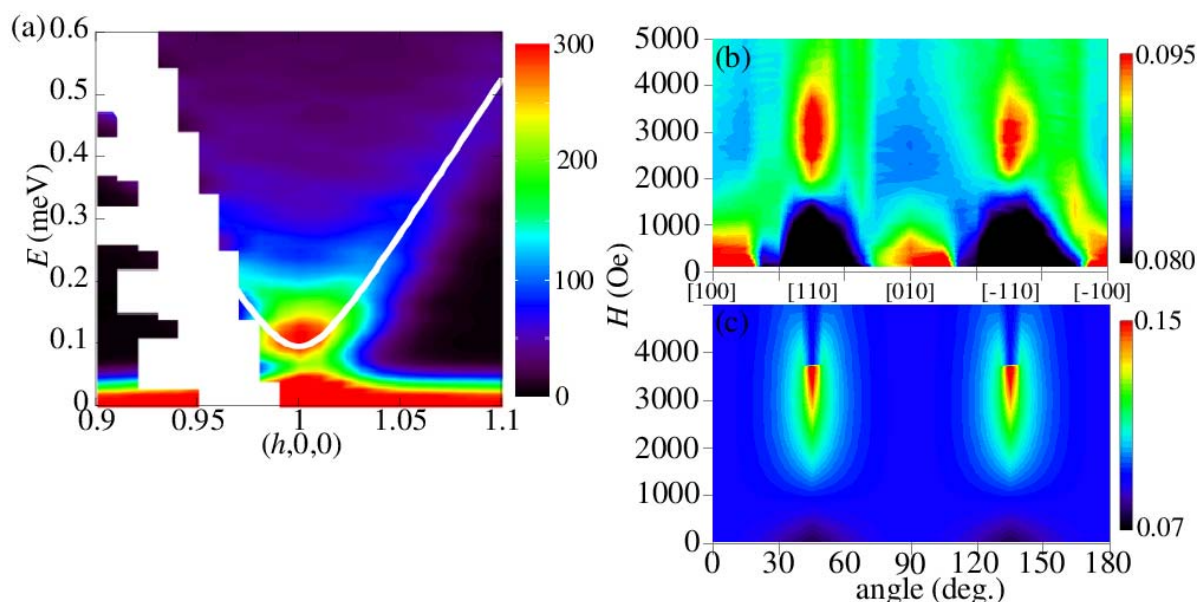


図 2 (a) $Q=(1,0,0)$ 近傍での中性子非弾性散乱強度マップ。白線は、スピン・ネマティック相互作用を考慮したモデル計算を示す。(b) c 面内における静磁化率の方向依存性の実験結果。(c) c 面内における静磁化率の方向依存性の計算結果。

今後の展開

電場印可による磁性制御に注目した電気磁気効果の研究は、基礎・応用両分野で重要になっている。今回の研究において、 $\text{Ba}_2\text{CoGe}_2\text{O}_7$ では電気分極がスピン・ネマティック演算子と等価であり、磁気異方性がスピン・ネマティック相互作用によって決定されていることが明らかになった。基底状態は、図 1(b)に示すように、反強誘電/反強ネマティック的秩序が存在し、スピンは $\langle 100 \rangle$ 方向を向く状態が実現している。ここでもし、 $\langle 001 \rangle$ 方向に電場を印可して電気分極の方向を揃え、図 1(c)に示す強誘電/強的ネマティック状態が実現されれば、スピンは 90 度回転し、 $\langle 110 \rangle$ 方向を向く。すなわち、スピンの方向を電場によってコントロールできることが期待され、新しい電気磁気効果の可能性が示唆されている。スピン・ネマティック相互作用の大きさを示す J_p^{eff} は、スピンが $\langle 100 \rangle$ 方向を向いた状態と $\langle 110 \rangle$ 方向を向いた状態とのエネルギー差を表しており、その値が小さいほどスピンをコントロールしやすい。したがって、 J_p^{eff} はこの電気磁気効果の特徴的なパラメーターとなっている。今後は、当該物質における磁気モーメントの方向を電場で制御する研究や、 J_p^{eff} の大きさが異なるマルチフェロイック物質の系統的な探索が重要である。

なお、本研究の詳細な内容は、M. Soda, M. Matsumoto, M. Månsson, S. Ohira-Kawamura, K. Nakajima, R. Shiina, and T. Masuda, *Phys. Rev. Lett.* **112**, 127205 (2014). で閲覧することができます。

謝辞

本研究成果は、松本正茂教授(静岡大学)、椎名亮輔准教授(新潟大学)、Martin Månsson 博士(PSI)、河村聖子博士(日本原子力研究開発機構)、中島健次博士(日本原子力研究開発機構)との共同研究によるものです。また、Andrey Zheludev 教授(ETH)、Severian Gvasaliya 博士(ETH)から中性子実験等において有益なコメントを頂きました。本研究の一部は、文科省科研費(24340077, 20740171, 24740224, and 23540390)の支援を受けて行われました。

参考文献

- [1] T. Kimura, T. Goto, H. Shintani, K. Ishizaka, T. Arima and Y. Tokura. *Nature* **426**, 55–58 (2003).
- [2] S. Seki, Y. Onose and Y. Tokura. *Phys. Rev. Lett.* **101** 067204 (2008).
- [3] H. Katsura, N. Nagaosa, & A. V. Balatsky. *Phys. Rev. Lett.* **95**, 057205 (2005).
- [4] C. Jia, S. Onoda, N. Nagaosa, & J. H. Han. *Phys. Rev. B* **76**, 144424 (2007).
- [5] H. Murakawa, Y. Onose, S. Miyahara, N. Furukawa, & Y. Tokura. *Phys. Rev. Lett.* **105**, 137202 (2010).
- [6] J. Romhányi, M. Lajkó, & K. Penc. *Phys. Rev. B* **84**, 224419 (2011).

鉱物のお話

電子顕微鏡室 浜根 大輔

物理や化学が主体の物性研究所において、研究者や学生はペロブスカイト、パイロクロア、スピネルなどの単語を耳にする機会は多いだろう。実際にこれらをキーワードに論文を検索すると、結果のほとんどが物理・化学系の論文である。ところがこれらの単語はまったく別の学術分野から産まれたということをご存じだろうか。実はこれらの単語を生み出したのは鉱物学という学術分野で、上記の単語は「鉱物」の名前である。ではこの名前、いったい誰がどうやって決めるのか。そもそも「鉱物」とは何だろう。

鉱物とは

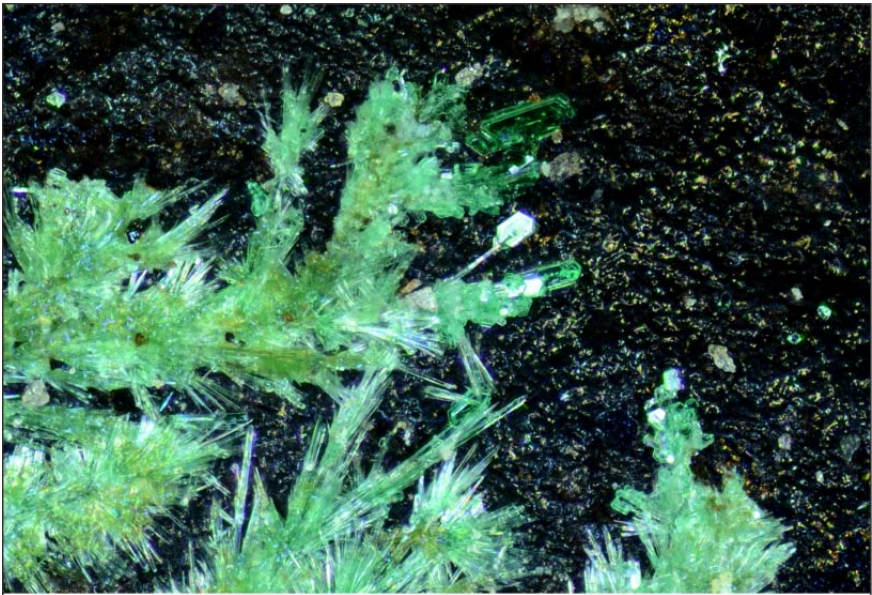
「鉱物」とは自然界に存在する多くの物質のうち「地質作用で生じる、一定の化学組成と結晶構造を持つ物質」のことを指す。宇宙が誕生し、星々が作られ、地球が生まれ、大地や海ができて今の姿になる、その過程(地質作用)で生まれたのが鉱物という物質である。山や川に転がっている石ころをよく見ると小さな粒の集合であることが分かるだろう。その一粒が鉱物なのだ。そして鉱物は「一定の化学組成と結晶構造」により「種(しゅ)」という基本単位を分けることができる。現時点では 4900 種あまりの鉱物が知られている。

では新しい鉱物はどのようにして決まるのか。鉱物の新種は国際鉱物学連合(International Mineralogical Association)の「新鉱物の命名・分類のための委員会(Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification)」において審査を受け、その承認を得る必要がある。新しい化学組成・結晶構造を持つ鉱物を見つけたとしたら、その地質作用や科学的根拠を明記した申請書を委員会へ提出する。申請の際に名前(学名)も著者らが提案するのだが、それは比較的厳密である。地名・人名(献名が多い)・特徴的な外観・化学組成などに由来するものが多く、一部の鉱物グループには命名規約が存在することもある。多くの場合はギリシャ語で石を意味する「ite」や「lite」を名前の最後につける。また、発見者の名前をつけてはいけないというルールも存在しており、自由自在というわけではない。委員会は提出された申請書に基づいて鉱物と名前・命名理由を数ヶ月かけて審査し、承認可否の判断を下す。承認通知が届いたらおめでとう、新鉱物の誕生である。

日本からも見つかった新種の鉱物

日本列島は複雑な地質構造で、その国土面積に比して産出する鉱物の種類は多く、いまのところ 1000 種あまりの鉱物が日本列島から産出することが知られる。そのうち日本からの発見が世界初となる鉱物は 132 種で、私はこれまでに 15 種の新鉱物の発見に関わってきた。自然の中に寝る未だ見ぬ新鉱物を発見する。そこにはロマンがあり、物性研究所に所属する身としては物理・化学にも貢献できる新鉱物を見つけてみたい。いつかそんな日が来ることを夢見つつ、今回はこれまでに発見してきた新鉱物をいくつか紹介しておこう。





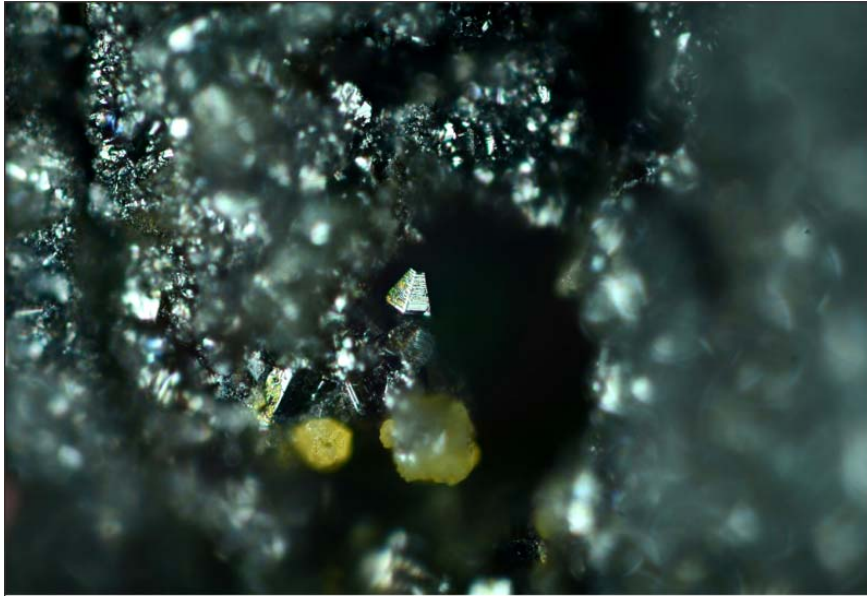
伊予石(iyoite)	三崎石(misakiite)
$MnCuCl(OH)_3$	$Cu_3MnCl_2(OH)_6$
単斜晶系，空間群 $P2_1/m$	三方晶系，空間群 $P\bar{3}m1$
産地：愛媛県佐田岬半島	

図 1. 写真左右約 10 mm。淡緑色針状結晶が伊予石、その先端にある六角結晶が三崎石で、いずれも新鉱物。2013 年に愛媛県佐田岬半島の海岸で発見した。そこは銅とマンガンを含む石が波をかぶるような場所で、金属成分と海水が反応して生じたと考えられる。半島を囲む海域、伊予灘と三崎灘に因んで命名した。いずれもアタカム石グループに属する。



岩手石(iwateite)
$Na_2BaMn(PO_4)_2$
三方晶系，空間群 $P3$
産地：岩手県田野畑村田野畑鉱山

図 2. 写真左右約 0.5 mm。中央と右下に分布する乳白色の粒状結晶が岩手石。岩手県出身の童話作家・詩人である宮沢賢治は「石っこ賢さん」と呼ばれたほど鉱物に造詣が深く、作中にも多くの鉱物が登場する。そんな彼の名前を新鉱物に採用しようと思ったが、彼の愛した岩手を先に命名することにした。2013 年に発見。



伊勢鉍(iseite)
 $Mn_2Mo_3O_8$
 六方晶系，空間群 $P6_3mc$
 産地：三重県伊勢市矢持町菖蒲

図 3. 写真左右約 0.5 mm。中央の金属質微結晶が伊勢鉍。この地域の地質は、かつての太平洋の海底にたまった堆積物に由来しており、鉄、マンガン、モリブデン、バナジウム、レアアースなどに富んでいる。マンガンとモリブデンを同時に主成分に持つ鉍物はこれまで無く、伊勢鉍が世界初の発見となった。2012 年に発見し、発見地の伊勢市に因んで命名。



ランタンフェリ赤坂石(ferriakasaite-(La))
 $CaLaFe^{3+}AlMn^{2+}(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$
 単斜晶系，空間群 $P2_1/m$
 産地：三重県伊勢市矢持町菖蒲

図 4. 写真左右約 0.5 mm。伊勢鉍と同じ産地から発見した。緑簾石グループに属する新鉍物。名前は関連鉍物に研究実績のある島根大学教授の赤坂正秀(b.1950)に因むが、命名のルールが決まっており化学組成も名前に組み込まれる。伊勢鉍より前に発見していたが、申請のためのデータ収集が難航し、承認されたのは 2014 年 2 月。



物性研に着任して

極限コヒーレント光科学研究センター 近藤 猛

今年 2 月 1 日付で極限コヒーレント光科学研究(LASOR)センターの准教授に着任いたしました。この場をお借りして、自己紹介をさせていただきます。私は、2005 年 3 月に名古屋大学にて水谷宇一郎先生の研究室より竹内恒博先生直属の学生として博士課程を修了しました。その後一年は学術振興会の研究員としてマサチューセッツ工科大学(MIT)の Eric Hudson 先生の研究室に所属し、また 2006 年度からはアイオワ州立大学エイムズ研究所の Adam Kaminski 先生の下でポストドクとして 5 年間を過ごしました。帰国後は物性研究所の幸埴先生の下で 3 年間特任研究員として研究を続けた後、現在に至ります。以下、研究生活を通して振り返る私のショートストーリーです。

「学生時代」

私は銅酸化物高温超伝導体の単結晶作りから研究を開始しました。この物質に関する研究はすでにし尽くされている感がある中で、努力しても結晶を上手く作れない時期が長く続き、精神的にもかなりしんどかったのを思い出します。FZ 炉に 2 日連続の徹夜で張り付いて監視したことや、徹夜明けのバイト(披露宴会場の配膳サービス)でお客の前で大あくびをかいてしまいチーフからこっぴどく叱られたのも、今となっては懐かしい良い思い出です。当時の研究テーマは、角度分解光電子分光(ARPES)で観測する電子構造をもとに電子輸送現象の特異な振る舞いの起源を解明することでした。幸い、物性研の辛グループが開発した世界最高級の ARPES 装置を使う機会に私は恵まれました。しかし、マシンタイムが半年に一週間程度と少なく、豊富とは言えないデータをいかに駆使して結果を導くかに苦心しました。物理学会では毎回必ず発表すると心に誓っていたので、当然のごとく見切り発車の連続で、てんてこ舞いの記憶しかありません。

「MIT で」

早く卒業すれば頂いていた学振 DC2 を PD に変換してどこへでも留学ができると分かって以来、博士 2 年での修了を決意しました。業績が学位取得の条件を満たすか微妙な状況でしたが、竹内先生の強力な援助のおかげで目標を達成できました。海外ならアメリカだ、とすぐに決心しましたが、配属先には悩みました。ARPES で運動量空間を観測してきたので今度は実空間だと、走査型トンネル顕微鏡(STM)の実験に興味を持ちました。MIT の Eric Hudson 先生が研究室を立ち上げ途中だと聞きつけ、良い経験が出来そうだと、長文を書いてメールしたのですが一向に返事がなく、きわどい時期になりかなり焦りました。「ポストドク時代は 1 年 1 年が勝負です。そのことは先生が一番良く理解されているはずですが。期日が迫っていますから返信だけでもよろしくどうぞ。」と熱いメールを再度送ったところ、やっとのこと返信(「君の言う通りだ。遅れて申し訳ない。」といったようなすごく温かい内容でした。)を頂き、晴れて留学の道が開けました。あっという間の滞在期限だったのですが、当時私と共に働いた 3 人の学生はすべて私が育て上げた単結晶を用いての測定結果で博士論文を仕上げている、とても誇らしく思っています。

「エイムズ研究所で」

アメリカでもう少しやってみようと思いましたが、海外学振の公募には落ちてしまいました。すぐに Eric にポストドクの道をお願いしてみましたが、出来て間もない研究室の状況から資金的余裕もなく断念せざるをえませんでした。途方に暮れていた時、研究室をちょうどスタートした Adam Kaminsk 先生(ARPES の達人)がポストドクを探しているとの情報を竹内先生から聞き、即座に決心しました。いろいろとトラブルもあり、ARPES 装置が安定して機能するまでに 2 年以上を費やしましたが、マシンタイムが足りなくて苦勞した経験が学生時代にあるため、際限なく装置を使える状況がうれしくて、週末を返上してまで実験に没頭しました。

私は工作が好きで、毎日のように工作室で作業をして過ごしたのですが、Adam 宅に招かれての最後の日に、デジタルノギスをプレゼントして頂きました。よく見ると、裏に「近藤猛 工作上手」と漢字で彼自身の手彫りがしてあり、それを見て思わず涙が出そうになりました。同じくエイムズ研究所所属で親しくして下さっていた古川裕次先生(NMR の達人)から、ある日 Adam が適当な漢字を教えて欲しいと尋ねてきたのだ、と後になって教えて頂きました。このノギスは一生の宝物です。

「物性研究所にて」

物性研に初めて来たのは学生時代に辛グループの装置をお借りしに来たときのことです。物性研近辺はなんだかキャンパスらしくない近未来的イメージで、あたかも宇宙ステーションにでも舞い込んだような印象でした。ゲストハウスから物性研に向かう途中の宇宙線研建物のそばにある摩訶不思議な丸い水たまりを眺めつつ、はてここからどんな宇宙船が飛び立つのやら、なんて妄想したものです。そんな物性研も少しずつ身近な存在になり、それでもなお学生時代に通っていた自分を思い返すとまだまだ見合っていない存在の様でもあります。頭を垂れて何やら考えにふけりつつ廊下を歩く辛先生に対し学生の自分には話しかけずらいオーラを(勝手にですが)感じていましたが、それも今となっては親しく接して頂いており、これまた不思議なものです。何もかもまずは物性研が本当に自分の居場所だと気持ちを根付かせることからスタートせねばなりません、「世界一の…」と宣伝できるような装置開発も視野に入れつつ、その名に恥じない活躍が出来ればと意気込んでいます。

こうして振り返ってみると、いろいろな幸運、そして素晴らしい方達との出会いが有って今の自分がいることに気づかされます。これからもそれは同じでしょう。それも、一途に研究に取り組んできたおかげであり、その初心は忘れないでいたいものです。まだまだ未熟で不安な点も有るのですが、物性研究所がますます発展しますよう微力ながら身を捧げて行くつもりですので、今後とも何卒よろしくお願い致します。



はかなりの頻度で小学生から一般の方までが訪問しているのを見かけました。フランスの子供達はませていて大人顔負けの議論をしたがるので見ていて面白いのですが、研究者の方もアウトリーチが当然の責務だとしていることに、当時の私は感銘を受けました。

帰国して3年後の2004年から約1年半、内閣府の総合科学技術(CSTP)に出向しました。今年度から総合科学技術イノベーション会議(CSTI)と改称しましたが、言うまでも無く、このときの経験も今回のURA職への応募に繋がっています。この記事を読まれる若い人の中にも、そういうところで何をしているのか興味がある方もいらっしゃるかもしれないので、少し具体的に行った業務について紹介します。日本では5年に一度の科学技術基本計画を策定しますが、私は丁度策定のタイミングで出向し、「ナノテクノロジー・材料」分野における推進戦略の策定作業を行いました。この場合の策定作業としては、各省の担当者と調整活動を行いながら、会議の企画や運営を行い、その会議での議論内容をもとに執筆を行っていきます。また例年の作業となりますが、担当する分野の資源配分方針案、つまり科学技術関連の予算をどう配分するかについても各省と調整や会議等によって検討作業を行っていきます。その他には、国会等の答弁に関する資料作成もありますし、自民党議員への説明に対する資料準備なども行います。よく自民党本部にも出かけました。CSTPが一応日本の科学技術政策のトップに位置します。この会議の議長は総理大臣ですから。一応と言うのは、予算を握っているのはそれぞれの省ですので、あくまでも方針を述べるだけになります。それ故に各省との調整が必要となります。最近になって、CSTPも予算を持つようになりました。5年前のFIRSTから、今年度のSIPやImPACTです。科学技術政策担当大臣もいらっしゃいますが、勿論、彼らは理系の方ではありません。(鳩山元首相は博士をお持ちだったようですが)私も数度大臣に説明に伺ったことはありますが、科学技術としての重要なポイントを理解して頂くことは不可能です。このCSTP時代に行った海外調査で、フランスの原子力庁の元長官にお会いすることがあったのですが、その方は原子力の博士ももっていらっしゃいました。科学技術立国と称している日本もそのような時代が来ることを切に願う次第です。勿論、このような大臣以外にも、「有識者議員」と言っても、元大学の総長クラスの方もCSTPの構成員となり科学技術政策決定には重要な役割を担っています。いずれにしろ、専門性を有する研究者が出向して、科学技術政策の策定作業の下働きを行う必要があることは事実です。ご興味があれば、総合科学技術・イノベーション会議のHPを覗いてみて下さい。最初は見慣れない言葉が並んで理解しづらいかもしれませんが、日本の科学技術の中で自分がどんな位置にいるのか考えるには良い機会かと思います。

もう1点、URAに結びついた経緯としては、2008年から日本中性子科学会の行事幹事を4年間務め、その間に学会のアウトリーチとして市民公開講座の立ち上げを行ったことが挙げられます。アウトリーチは右肩上がりの予算の時代では、そのような努力は少なくとも熱心にはされておらず、そのつけが回って、ご存知の通り今は科学技術に対しても税金を使う説明責任が一層求められ、結果的に様々な形で研究当事者への研究以外の負担が大きくなっているのしかかっています。特に、物性物理の研究分野では、一般の人に理解しやすい形で役に立つことをアピールするのが難しい場合が多く、その難しさは市民公開講座を企画から運営まで行うとしみじみ感じます。「科学技術」という言葉は日本の中でも認知されていますが、ヨーロッパのように「サイエンス」が文化として根付いている(これは賛否両論あると思いますが)とは残念ながら言えない状況だと思っています。

色々書き出すと長くなりますので、このあたりで終わりたいと思います。以前の物性研だよりで佐藤(卓)先生の記事にありましたが、これだけの物性物理の研究者の集団は世界的にも稀であり、ましては強磁場等の施設も整っているところはありません。これらのポテンシャルを活かして物性研の「サイエンス」が少しでも多く出せるように、研究者が研究に専念できる環境をつくるための裏方役として、また、物性研URAとして求められている所内外の風通し役として貢献できればと思います。URA室は3Fの所長室近くです。URA室と言っても私一人ですので、何かありましたら是非お気軽にお訪ね下さい。

最後に、次回の物性研だよりからURA担当記事としてインタビュー記事を連載する予定であります。乞うご期待。



光させます。これは発想の転換で、青色光が目眩しいのに対して、紫色光は漏光を直接見てもあまり眩しくありません。この紫色光を励起光にした黄色と青色の2色の蛍光体を混ぜると、柔らかな無指向の暖白色光を發します。これが、新しい白色 LED の種です。

驚いたことに、このような正に応用を見据えた物質開発の報告が、いわゆる物性研究の立場でなされていないことです。実際、蛍光体の結晶構造中の發光サイトとその結晶場計算によるストークスシフトを明らかにしたという報告は殆どありません。この蛍光体の結晶構造からその發光機構までを丁寧に読み解いて、この物質の特異性を明らかに出来ました。その後、私からこの新蛍光体研究の最終段階は2択であることを企業側に伝えました。全く世間に報告しないか、世界的に有名な雑誌に投稿して旗を立てたことを公表するかです。結局、この企業は後者を選び1年も待たずに多くの賞を受賞し各界から注目を集めています。

さて、この経験から提言したいことは、我々物性研究者の産業へのかかわり方です。多くの場合、物性研究者は自分たちの研究対象としている系が応用的に役に立つかどうかを發信することが説明責任であると考えているようです。確かに、このような研究が当たると社会的にも大変輝かしい成果となります。しかし、そのような形の研究で十分な実入りがあったことは数えるほどしかなく、パテントなどの関係からも發展性は低いと言わざるを得ません。一方、技術的、知識的な情報については一企業の中で閉じるのは難しく、かといってどこに相談を持ち込めばいいか明確ではありません。最先端の研究技術を持つ研究者は、自分たちのテーマの延長ではない新しいスタイルとしての企業との協力研究に1~2割程度のエフォートを割かれては如何でしょうか？これが、長い目で見ると「もの作り日本」を支える一つの柱になるでしょう。

客員に呼んで頂いたお礼もそこそこにして勝手な雑感を披露いたしました。物性研のますますの發展を応援させて頂きたいと思っています。



客員所員を経験して

産業技術総合研究所 三宅 隆

2013 年度に加藤岳生先生のホストのもとで客員所員としてお世話になりました。物性研は私にとって大学院時代の 5 年間に過ぎた場所で、それ以来、共同利用のスパコンユーザとして、また各種の研究会で継続的に世話になっています。柏キャンパスは現代的な造りで六本木時代よりゆったりしていますが、建物内で人にすれ違うことは少なく、以前よりずいぶん静かになった印象を受けました。今回の任期中の大きなイベントとしては、6 月に開催された滞在型国際ワークショップ Emergent Quantum Phases in Condensed Matter (EQPCM)に参加し、発表する機会をいただきました。7 月にはミニワークショップ“Recent topics on magnetism: from permanent magnets to topological materials”を加藤先生と赤井先生に開催していただきました。いずれのワークショップもトポロジーがキーワードで、第一原理計算を専門とする私には刺激になりました。充実したホスピタリティを提供していただいたことにも感謝しています。先端的な基礎研究の実施場所と研究交流の場の両面において物性研が高い水準で機能し、引き続き物性研究の中核拠点であり続けることを願っています。

近年の私の物性研とのつながりとしては、2012 年度に始まった元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>があげられます。このプロジェクトは、社会、産業界から要請の強い問題に対して、物性科学の基礎研究者が材料科学の研究者と協力しながら課題解決を目指す 10 年プロジェクトです。磁石材料、触媒・電池材料、電子材料、構造材料の 4 つの領域が設定され、各領域が電子論、材料創製、解析評価の 3 グループから構成されます。私は磁石材料の電子論を担当することになりました。物性研は磁石材料、電子材料、構造材料の 3 領域に参画し、計算物質科学イニシアティブ(CMSI)と連携しながら電子論の共通基盤整備を行っています。以下、磁石研究のねらいと計算科学的アプローチの課題を簡単にご紹介します。

磁石研究の大きな目標は強い磁石を実現することで、その条件として大きな磁化と保磁力が求められます。最も強力な磁石は希土類磁石と呼ばれる物質群で、3d 遷移金属と希土類元素を主成分に含みます。なかでもネオジム磁石($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$)が過去 30 年間に最強磁石の座に君臨しています。磁石は国内電力の 50%以上を消費するモータの性能に直結し、身近な生活のさまざまな場面で利用されています。最近需要が急速に大きくなっているのはハイブリッド車や電気自動車、それに風力発電機です。応用の観点から見ると、ネオジム磁石の弱点は耐熱性です。保磁力は温度上昇とともに下がります。そこで自動車の動作温度(200℃程度)で必要な保磁力を補強するためにジスプロシウムを添加します。しかしジスプロシウムは希少金属で元素戦略上の問題を抱えています。(ネオジムも希土類元素ですが、軽希土類は比較的豊富に存在し、資源問題が深刻なのはジスプロシウムなどの重希土類です)。またジスプロシウムの添加で温度特性は改善する一方で、性能(最大エネルギー積)が悪化する問題も存在します。そのため、希少金属に頼らない磁石の高性能化と新規磁石の提案が大きな課題になっています。

このうち前者は、保磁力機構の解明の問題です。保磁力は大まかには異方性磁場と比例関係にあるものの、理論限界である異方性磁場の約 20%にとどまります。物質固有の異方性磁場と異なり、保磁力は材料組織に依存する材料パラメータで、保磁力低下の原因特定が重要な課題です。焼結磁石は典型的に数マイクロメートル程度の結晶粒から構成され、粒子の隙間にネオジム酸化物やアモルファス金属等の副相が挟まっています。近年の解析技術の進展により、主相と粒界相の界面の局所状態が保磁力に決定的な影響を与えることが明らかになりつつあり、原子スケールの界面構造の特定と磁気物性値への影響を、第一原理計算に基づいた理論計算で解明することが期待されています。しかし、希土類や遷移金属を含む、乱れのある複雑な界面構造を扱うことは現在の計算能力では限界があり、京コンピュータを用いても理想に近い界面

しか扱うことができません。大規模計算にむけたソフトウェアの整備のみならず、新しい効率的計算手法の開発が必須です。磁石研究のもう一つの主要課題は新規磁石の探索で、バルクの物性値である磁化と結晶磁気異方性の理解がその出発点です。希土類磁石の磁性は、遷移金属(鉄やコバルト)の 3d 電子と希土類の 4f 電子が主役を担います。大きな磁化は主に前者に、強い磁気異方性は後者に起因します。4f 電子の空間分布は結晶中で球対称からわずかに歪み、結晶場を感じて最適な方向が決まります。そのため 4f 電子の軌道磁気モーメントの方向が決まります。すると強いスピン軌道相互作用によりスピン磁気モーメントの容易軸も決まり、これが希土類の 5d 電子を介して遷移金属の 3d 電子に伝わり、3d 電子に由来する大きな磁化の向きが決定します。したがって、希土類磁石の磁性は、局在性の強い f 電子と遍歴的な d 電子が結合した、比較的良好に定義された物性物理の問題です。しかし電子間相互作用とスピン軌道相互作用を適切に取り扱う必要があり、既存の第一原理計算を超えた手法開発が必要です。

私は産総研では密度汎関数理論に基づいた第一原理計算で希土類磁石の機能解明も研究していますが、今回の客員所員としての研究課題には、基盤技術開発として強相関電子系のための第一原理計算手法の開発と応用を設定しました。この分野ではダウンフォールディングと呼ばれる第一原理有効モデルの導出法が過去 10 年間に大きく進展し、世界的な潮流になりました。私たちも密度汎関数理論などを用いた電子構造を出発点とし、低エネルギー多体モデルを導出する汎用的な方法を開発し、鉄系超伝導への応用などを通してその有効性を検証してきました。そこで物性研では、加藤先生に強相関物理の最近のトピックスをいくつかご紹介いただき、その中から Mn 化合物など 2 つの物質を研究対象にすることにしました。任期中に研究を完了することはできませんでしたが、共同研究を継続している状況です。詳細と結果は、物性研の研究会でご報告できればと考えています。ダウンフォールディングの開発には強相関電子系と第一原理計算の双方の知識が必須で、物性研は研究の推進に適した環境にあります。磁石の問題に対する共通基盤整備という性格も備えており、磁石研究へ波及することに期待しながら計算を進めています。



客員所員を経験して

木須 孝幸

2013年度前・後期を通じて辛教授にホストになっていただき、極限コヒーレント光科学研究センターの客員准教授として物性研に滞在させていただきました。私は1999年4月から2010年3月まで、途中3年間の理化学研究所勤務を挟み大学院生、特任研究員として在籍し、その後の阪大着任後も嘱託研究員として辛研究室の仕事に携わせて頂きました。私は、新しい光電子分光法の開発とそれを用いた物性研究をメインテーマとしており、物性研の光電子分光システムの開発にも関わらせていただきました。これらの装置は辛研究室の皆さんによって素晴らしい性能を発揮しており、物性研における光電子分光法が世界の最先端である、ということを改めて外からの視点で実感できたのはとても新鮮でした。

本客員期間中の私の研究テーマは、光電子分光法を用いた分子性導体(特に2次元)の電子状態の研究とそのためのノウハウの構築あるいは新しい分光法開発でした。このテーマは分子性導体と光電子分光法の相性の悪さも相まって、私が修士2年の時から現在に至るまで10年以上もの長きにわたり、悪戦苦闘してきたテーマでもあります。分子性導体はその多様性により無限ともいえる物質設計の自由度を持っており、新しい機能性デバイス創成が期待されていますが、電子状態の直接観測による電子物性発現機構に関する研究はその困難さから非有機物質ほど効率的にはなされておらず、より効率的な機能性分子性デバイス創成のために光電子分光による電子状態研究には大きな期待が寄せられています。

一つ目の仕事として k -(BEDT-TTF)₂Cu(NCS)₂ をレーザー光電子分光でこれまで失敗してきた角度分解測定を目指しました。これらの物質の測定においては、冷却も非常に重要なノウハウとなっており、冷却スピードをいくつかの温度域でそれぞれ制御しながら2日かけて超伝導転移温度まで持っていく必要があります。そのうえで、ある温度で劈開を行うわけですが、光電子測定に耐えうる表面を得ることができる確率はそれでも2-3割程度にとどまっています。試行した数回において、角度積分スペクトルを得ることができる表面は得られたものの、角度分散情報を得ることは残念ながらできませんでした。角度積分スペクトルは、以前同装置で取得したものと同様で、再現性の確認はできたものの新しい情報の取得には至りませんでした。角度分解測定の挑戦については、これからも腰を据えて続けていくつもりですが今回の失敗したのは大変残念であるとともに申し訳なく思っております。

一方で、分子性導体を光電子分光を用いて測定を行う上で、その励起光エネルギーによる測定効率、スペクトル形状、ラディエーションダメージなどを系統的に知ることは最も重要なノウハウの一つです。今回を含むこれまでの結果と私が大阪大学において建設しました励起光として6eVのレーザーを用いた光電子分光の結果と合わせて、6-8 keVの非常に広い範囲にわたっての知見を得ることができました。これまで7 eVのレーザーを用いることが分子性導体のフェルミ準位近傍の電子状態を知るのに最も有効であることが分かっていたのですが、測定効率・ラディエーションダメージの点では6eVの方が有利であることがわかりました。一方で、(BEDT-TTF)塩を持つ物質群においてはHOMOの底が約0.8eV付近に位置し、6eVでは電子の運動エネルギーが小さいため、ちょうどこの辺りのエネルギーは信頼性に欠ける場合があることもわかりました。これらのことから分子性導体の光電子分光研究においては6eVと7eVの励起光を測定対象と目的に応じて組み合わせることで最も信頼に値する研究を遂行できることが明らかになりました。

こちらはついでのような感じだったのですが、新しく開発する究極のエネルギー分解能と低温性能を持つ新型光電子分光システム構築における各部詳細の議論に参加させて頂きました。私はやはり新しい装置というものに心弾むたちらしく、研究室のメンバーに混じらせて頂いて、アナライザー・低温・磁場遮蔽・駆動機構など様々な点についてアイデアを交わしあい、こちらでもとても充実した時間を過ごさせて頂きました。研究室の皆さんの超高分解能光電子分光への理解と情熱は他の追随を許すものではなく、改めて物性研の先進性に感嘆いたしました。私も更なる高度化のため微力を尽くさせて頂ければと思います。このような物性研ならではの研究開発の中から、きっと大きな発見が出てくるものと期待しております。

現在、授業や学生指導、用務に加え理化学研究所のチームリーダーも兼任し、日々めまぐるしく過ごしておりますが、客員所員として研究に専念する時間が持てたことは大変素晴らしいことでした。多くの関係者の皆様方に深く感謝いたします。本当にありがとうございました。

客員所員を経験して

(独)産業技術総合研究所 朝倉 大輔

2013年度に原田慈久先生の研究室で、客員准教授としてお世話になりました。SPring-8の東京大学アウトステーション BL07LSU を利用した軟 X 線分光研究に従事させていただき、原田先生はじめ、物性研の先生方に深く感謝いたします。放射光実験の他にも、物性研での各種研究会や LASOR セミナー等での発表機会をいただき、関係各位に御礼申し上げます。本稿では、本共同研究の目的・経緯、2013年度に得られた成果についてご報告させていただきます。

まず、本共同研究の経緯について述べさせていただきます。2011年1月の放射光学会にて行われた「最先端放射光計測技術による新規電池材料の研究開発」という企画講演にて、共に講演者であった私と原田先生が、リチウムイオン電池に関わる軟 X 線分光を使ったその場 (*In situ*) 計測技術を何とか確立しようと意気投合したのがそもそもの始まりです。原田先生は、軟 X 線発光分光 (XES) の専門家であると同時に、軟 X 線分光と相性の悪い液体試料等の測定に果敢に取り組みられています。この点が、「充放電中のリチウムイオン電池電極の電子状態を“詳細かつ正確”に観測したい」という我々のニーズと見事に合致したということになります。

近年、全固体電池の研究も盛んに進められておりますが、一般的なりチウムイオン電池は正極、負極、電解液で構成されます。正極では Li^+ の脱挿入に伴って、ホスト構造内で電荷補償が生じ、充電によって酸化反応が、放電によって還元反応が進行します。例えば、代表的な正極材料の一つである LiMn_2O_4 においては、充放電が 4 V (vs. Li/Li^+) で生じ、この電位が初期状態における Mn^{3+} サイトの $\text{Mn}^{3+} \leftrightarrow \text{Mn}^{4+}$ の酸化還元電位に対応していると考えられます。我々のグループでは、このような正極の電子状態変化を調べることで、高電位化や高容量化等の高性能化につながる新しい正極材料の設計指針を得ることを最終目的としています。電気化学・二次電池の研究分野では、同様の目的で正極材料の電子状態解析が広く行われていますが、その手法としては遷移金属 K 吸収端 X 線吸収分光が主流です。無論、元素選択的な手法であり、吸収端近傍の XANES スペクトルのシフトから酸化還元の様子が分かります。さらに、硬 X 線を用いるので、大気圧環境で電池セルをセットアップすることが可能で、*In situ* 測定が容易であるという非常に大きなメリットがあります。ただし、充放電に最も重要な役割を担っているのは遷移金属の $3d$ 軌道であり、その詳細な情報を得るには、 $1s \rightarrow 4p$ 遷移が優勢である K 吸収端の吸収分光では限界があります。一方で、軟 X 線領域の遷移金属 $L_{2,3}$ 吸収端 X 線吸収分光 (XAS) や XES を使えば、結晶場分裂やスピン状態、配位子との電荷移動の様子など、 $3d$ 軌道をより詳細に調べることが出来ます。XES および蛍光収量 XAS は、いわゆる *photon-in/photon-out* の実験であるため、光電子分光や全電子収量 XAS よりも検出深度が深く、電流・電圧印加の実験にも適しています。さらに、XES では、本件のような複数の原子価が存在している系においても、励起エネルギーを変えることによって、特定の価数の情報を増大させて得ることが期待できます。しかし、XAS、XES いずれも高真空環境での実験となるため、電解液を伴った *In situ* 測定は困難でした。

本研究では、上述の“詳細かつ正確”な電子状態解析が可能な *In situ* 軟 X 線分光測定を実現させるべく、まず、近年開発された軟 X 線分光用の液体試料セルに着目しました。この液体試料セルでは、軟 X 線の透過率が比較的高い Si_3N_4 や SiC 薄膜によって、真空槽と液体槽とを隔てています。原田研究室では、現在物性研特任研究員である丹羽氏が大学院生時代から、液体試料セルを応用した様々な試料の *In situ*・オペランド XES に取り組まれていました。ごく最近流行りだした“オペランド”というフレーズは、*In situ* かつ電流印加などの動作下 (デバイスの実環境下) ということを意味します。2011年度後半から、我々は原田研究室と共同でリチウムイオン電池正極材料用のセル開発、および *In situ*・オペランド XES 測定法の開発に取り組み、紆余曲折を経て、2013年度に至りました。

2011年当初は、 Si_3N_4 薄膜にスラリー状の正極材料を直接塗布し、電解液、負極と組み合わせればすぐに実現可能であろうと考えていたのですが、実際に行ってみると、①充放電前の初期状態でも S/N 比が非常に悪く、限られたビームタイムの中ではとても測りきれない、②充電時にさらに XES のシグナルが弱まる、等の問題が生じました。電解液を変える、正極の塗布方法を変えるなど、様々な条件を試した後に、ビームが当たった部分の正極が Si_3N_4 薄膜から剥離してしまう



客員所員を経験して

愛媛大学理工学研究科 楠瀬 博明

平成 25 年度後期の半年間、上田和夫、常次宏一両先生にホストになっていただき、物性理論研究部門の客員所員としてお世話になりました。物性研には、これまでも研究会やセミナーなどの機会に度々お邪魔することはありましたが、今回まとまった期間滞在できたおかげで、ホストの方々だけでなく実験研究室の方々、共同利用で来所されていた方々にも多くのお話を伺う機会があり、有意義な時間を過ごすことができました。この場を借りて感謝申し上げます。

客員所員の期間中には、(1) 強磁性超伝導体の磁区構造と自己誘起磁束格子状態、(2) Pr 1-2-20 系の非フェルミ液体的振る舞いと多極子・超伝導、(3) 多体効果による反転対称性の自発的破れとスピン軌道相互作用による新しい電子状態、の 3 つの問題について研究を進める計画を立てましたが、多くの方々との議論を通じてそれぞれある程度の進展がありました。その様子をかいつまんで以下にご紹介します。

強磁性と超伝導の共存は古くから興味をもたれているテーマですが、それらがミクロに共存する U 系化合物が相次いで発見されたことから、最近非常に注目を集めています。引力機構やスピン 3 重項と予想されるクーパー対の対称性はもちろんのことですが、強磁性が作る強い内部磁場によって生じる自己誘起磁束格子状態も興味深いテーマです。磁束格子は磁壁などのトロポジカルな励起と結合しますが、強磁性超伝導体においては磁束格子自体が自己誘起的かつ自己無撞着的に形成されたものであり、その安定性や空間構造は自明ではないからです。常次さんとは、このような問題に対する現実的な理論的アプローチについて、ボゴリューゴフ=ド・ジャン方程式やギンツブルグ=ランダウ理論に基づくものから準古典理論によるものまで様々なアイデアを出し合いました。いろいろと検討した結果、第ゼロ近似として大まかな空間構造を捉えるには、磁束コアをハードコアな粒子に見立て、磁束間の斥力や磁壁との相互作用などを現象論的に導入して議論するのがよからう、ということに落ち着きました。常次さんは話題に富んだ方で、議論を続けていると多方面の話題に花が咲き、気がつけば夜も更けてということもありました(遅くまでお付き合いいただき、ありがとうございました)。

PrV₂Al₂₀, PrTi₂Al₂₀, PrIr₂Zn₂₀ に代表されるカゴ状物質 Pr 1-2-20 系は、結晶場基底状態にスピン縮退がなく純粋に軌道縮退のみが残る系です。この軌道縮退に由来する四極子秩序、四極子秩序と共存する超伝導が観測されており、広義の電荷揺らぎに由来する超伝導が発現しているものと期待されています。さらに、一部の系では非フェルミ液体的な振る舞いが見られ、長年理論的に議論されてきた四極子近藤効果が具現化したものと思われる。量子臨界性によらず 3 次元でフェルミ液体とならない初めての例ではないでしょうか。これらの系に関して、フェルミ液体性と非フェルミ液体性の観点から一見取り留めも無い実験結果を系統的に整理できないかと考えていました。ちょうど共同利用で来所される広大の鬼丸さんと議論する予定でしたので、同じく実験に来られる広大の梅尾さん、東工大の井澤さん、物性研の松林さん、荒木さんも交えて最新の実験データを基に議論しようということになりました。種々の物理量の間の整合性について理解が深まり、理論模型の構築において大変有意義でした。お陰様で、数値計算に適した理論模型を思い付き、計算結果が出始めています。実験家の方々は現象の解釈について具体的なイメージを持っておられるので、その見識に日々接することのできる環境は素晴らしいと感じます。後ほど、中辻さんもグループミーティングの時間を割いて議論の場を設けて下さり、志村さんからも最新の実験結果や解釈について教えていただきました。

この話題については、上田先生とも四極子近藤効果や超伝導に関して議論しました。スピンと異なり電荷は連続的な広がりをもつ自由度なので四極子近藤模型の妥当性は遮蔽距離を理論的にどこまで考慮するか依存するだろうということや、四極子揺らぎの超伝導に特有の現象は何かという点を明確にすることが肝要である、という大局的な観点からの助言をいただきました。他にも最近、柳さんと取り組まれている 2 次元格子における連続的モット転移の理論についてお聞きしましたが、モット転移マニアの私には大変興味深いものでした。

このところ興味をもって取り組んでいる反転対称性の自発的な破れとスピン軌道相互作用が産み出す新物性の話題については、物性研でセミナーを行ったほか、常次、上田、広井各先生と議論していただきました。また、物性研滞在の機会



を利用して共同研究者である東大本郷の求さん、速水さんを訪ね、細部にわたって十分な議論を行うことができました。議論が白熱したため物性研に戻れず、柏ロッジの鍵を返し損ねて秘書さんにご迷惑をおかけしてしまいました……。

滞在中、ホストの両先生にはいろいろと気を遣っていただきました。昼食後は理論の談話室でよく雑談しましたが、ETHにいたとき皆で昼食に行った後一時間ほど雑談していたことを懐かしく思い出しました。また、榊原研の食後のお茶にも招いていただき、実験研究室の裏舞台も垣間見ることができました。URAの鈴木さんに伺った行政寄りの(ura)話も大変興味深いものでした。

客員を経験しての雑感(というか改善希望)ですが、客員所員室は机の他は何もないので何となく落ち着かず(と言われてもどうしようもないでしょうが)、また、柏ロッジも含めてVPNを介したネットワーク接続が制限されているので、本拠地にあるデータに簡単にアクセスできず不便を感じました。紙と鉛筆だけあれば十分な正統理論家ならば問題は無いのでしょうが……。柏ロッジは便利なのですが、まともな朝食にありつのが難しく、海外から長期滞在される方は苦勞されるだろうと思います。

当初は、折角の機会なので定期的に来所して共同研究を精力的に進めようと考えていたのですが、講義期間中は思うように出張できず、2月と3月の駆け込み訪問になってしまいました。そのため、他の理論の方々と話す機会を持てなかったことが心残りです。最後になりましたが、秘書の松下さん、江口さん、菱沼さんには、滞在中大変お世話になりました。客員期間を充実したものにして下さった皆様に感謝致します。

客員所員を経験して

筑波大学数理物質系 教授 中村 潤児

2013年度の客員所員を1年間担当させて頂きました。私は、30年近く前に、物性研の国内留学制度で正味2年間お世話になりました。当時の六本木にあった物性研宿舎に住み込み、研究生活を謳歌していました。私にとって、物性研は、研究に没頭できる理想郷のようなところでした。当時の表面物性部門はたいへん活気に溢れ刺激的でした。貯水用のプールで泳いだことも懐かしく思い出されます。今回、物性研に戻ってきたような感じがして、懐かしさと同時にいろいろと励まされるところもありました。

昨年度は、ナノスケール物性研究部門の吉信淳教授にお世話になりました。吉信先生とは、JSTのACT-Cプロジェクトで現在共同研究を活発に行っています。プロジェクトの目標は、二酸化炭素を燃料・化学原料として重要なメタノールに室温で転換する触媒を、学理主導で設計することです。Cu/ZnO触媒を使うと523Kでメタノールに転換することができますが、室温で働く触媒システムを構築できればメタノール製造のエネルギーを大幅に削減できます。チャレンジングなテーマですが、これは夢ではなく、表面科学と計算科学との密接な連携による学理主導の触媒設計により可能になると考えています。

学理主導の触媒設計とは、メカニズムや表面素過程を詳細に調べ、それらを再構築して活性触媒を予測するというものです。触媒表面は大変複雑であり、多くの素過程が同時に進行し、複数の触媒成分が存在し、反応条件によって表面構造や速度論が複雑に変化します。したがって、単結晶表面などのモデル触媒を使った表面科学実験が、学理の実験面で必要不可欠です。さらに計算科学では、素過程の速度論的・電子的情報を集積して、大規模高速シミュレーションによって触媒を設計します。コンピュータの登場によって、触媒開発は新たな時代に突入すると予想されますが、その先駆けを目指すものです。その目標のために表面科学、計算科学、触媒調製の研究者からなる研究組織をつくりました。表面科学では、吉信グループが放射光を用いた最先端表面科学研究を進めます。電子理論は、既に私とメタノール合成の共同研究をしてきた大阪大学の森川教授のグループが担当し、超並列量子シミュレーションによる触媒デザインを行なっています。私は、表面科学(特に反応ダイナミクス研究)とナノカーボンを用いた触媒設計の融合研究を推進しています。

最近の成果をひとつ紹介したいと思います。これまでの我々の研究で、CO₂分子がCu表面上での原子状水素と直接反応して、ホルメート(HCOO)を生成するという反応機構が示唆されました。これはEley-Rideal型反応機構(以下、ER機構)と呼ばれ、その存在はほとんど知られていません。通常の表面反応機構は、表面と熱平衡にある吸着種どうしが衝突して会合反応をするLangmuir-Hinshelwood機構です。ER機構の特徴は熱的非平衡的な反応である点です。通常の触媒反応では、触媒も反応ガスもすべて熱的平衡状態で反応が進行します。もし、このER機構が正しければ触媒反応に必要な振動エネルギーや並進エネルギーを選択的に供給することにより効率的に反応を進行させることができます。ACT-Cプロジェクトの研究では、原子状水素を吸着させたCu(111)表面を150Kに冷却し、その表面に並進および振動エネルギーを励起したCO₂分子線を衝突させたところ、予想通りホルメートが生成することが確認されました。すなわち、表面が低温であってもCO₂にのみエネルギーを供給すれば反応が進行することを世界で初めて実験的に観測しました。さらに、第一原理計算結果は実験結果をよく説明し、i) CO₂が表面水素に接近するために並進エネルギーが必要なこと、ii) 接近後にO-C-O軸が屈曲し、活性化障壁の40%程度は振動エネルギーを要すること、iii) CO₂が直接水素原子をアタックすることを示しました。これはstate-to-state chemistryを触媒反応で展開できることを意味します。現在、この反応ダイナミクスを詳細に調べていますが、同時に、応用として、新しいタイプのエネルギー選別型反応器を試作してメタノール合成を低温で実施することを目指しています。

本プロジェクトではCu表面におけるCO₂の解離に関する理解が進み、83KでCO₂がCuのステップ表面で解離することを見出し(吉信グループ)、CO₂解離の構造依存性を第一原理計算で調べました(森川グループ)。最近、雰囲気光電子分光システムがSPRING-8 BL07LSU(東大ビームライン)に納品され、組立・調整作業、性能達成の確認をし、20mbar窒素ガス雰囲気中で光電子分光スペクトルの測定に成功しました。反応雰囲気下で精密表面解析の準備が整いました。触媒開発では、グラフェン担持触媒の研究が進んでいます。ACT-Cプロジェクトは3年目に入るところですが、学理主導の触媒開発に手応えを感じているところです。



度では壁からの揚力と隣のベシクルとの相互作用によって安定化される。我々の体内の毛細血管中を流れる赤血球もこのようなパラシュート状やスリッパ状に変形しながら流れていることが知られている。

単純せん断流では、赤血球やベシクルの運動モード(ベシクル上の膜の回転とベシクル全体の回転)とベシクルの形態変化がカップルして、様々な運動が見られる。興味深いことに、せん断流によって、引き伸ばされる変形だけでなく、収縮する形態変化も起こる。これらのダイナミクスはベシクルの形状と傾斜角の2変数の微分方程式で理解することができる。これが我々を含むそれまでの研究で知られていた。我々はそれを3変数に拡張し、赤血球[7]やマイクロカプセル[8]を扱えるようにした。膜の曲げ弾性に対して、ずれ弾性の値を大きくしていくと、相図が定性的に大きく変わり、2つの回転が同時に起こる領域がなくなることが明らかとなった。これまでシミュレーションでは得られていなかったためにこの共存相は理論のアーチファクトでないかと疑う研究者もいたが、この解析で膜の物性の条件で決まることがわかった。また、曲げ弾性が大きい場合、ずれ弾性に起因する傾斜角の振動とせん断流によるカプセルの形状変化に起因する傾斜角の振動が、複雑に絡んで、カプセルの多様なふるまいが見られる。

生体膜におけるエントロピー駆動の構造形成

生体膜におけるエントロピー変化が生み出す構造形成を2つの系について調べた。一つは膜ゆらぎの抑制による膜結合サイトの凝集[9]、もう一つは高分子グラフトによる膜マイクロドメイン形成[10]である。

生体膜間の結合は細胞組織形成や免疫系における異物除去などにおいて行われているが、リガンド-レセプタータンパク間の結合が重要な役割を担っている。リガンド、レセプターが膜上を拡散することによって、吸着領域に集積し膜間の結合が強まることが知られている。最近、このような膜間結合サイト間の膜上の相互作用に対する膜の曲げゆらぎのエントロピーの効果が注目を浴びている。2つの膜が近接した場合、膜ゆらぎの自由度が抑えられるので、膜間には反発力が働く。結合サイトが凝集すると、膜間で反発力を受ける領域が重なりあい小さくなるので、結合サイト間には引力が働く。これは1章のはじめに述べた枯渇効果と同様の引力である。しかし、この引力は非常に弱く、それのみでは凝集隊を形成できないことがこれまでの研究で知られている。我々は、メッシュレス膜模型を用いた粒子シミュレーションと有効ポテンシャルを用いた2次元の格子模型を使って、この相互作用を研究し、集合体を形成するほど引力が強くなる2種類の条件を明らかにした[9]。ひとつは2枚ではなく、3枚以上の膜を結びつける結合サイトを用いた場合(図2)、もうひとつは結合サイトの膜に刺さっているアンカーが周りの脂質膜の曲げ弾性を大きくする場合である。この凝集はサイト間の2体相互作用では記述できないが、多体の有効相互作用を用いると表すことができる。

生体膜において、ラフトと呼ばれる10-100ナノメートルの膜タンパク質が集積した小さな膜ドメインがあり、そこが機能発現の舞台となっていることが考えられている。このため、相分離した膜ドメインのサイズの制御が盛んに研究されている。我々はラフトには糖鎖の生えた糖脂質が集積していることに着目し、高分子のグラフトがドメイン構造に与える影響を調べた[10]。その結果、高分子をグラフトすることにより、ドメイン境界の線張力は下がることがわかった。ドメイン内では高分子はお互いの排除体積によって取れる配置が制限されるが、ドメイン境界ではドメインの外側にも高分子

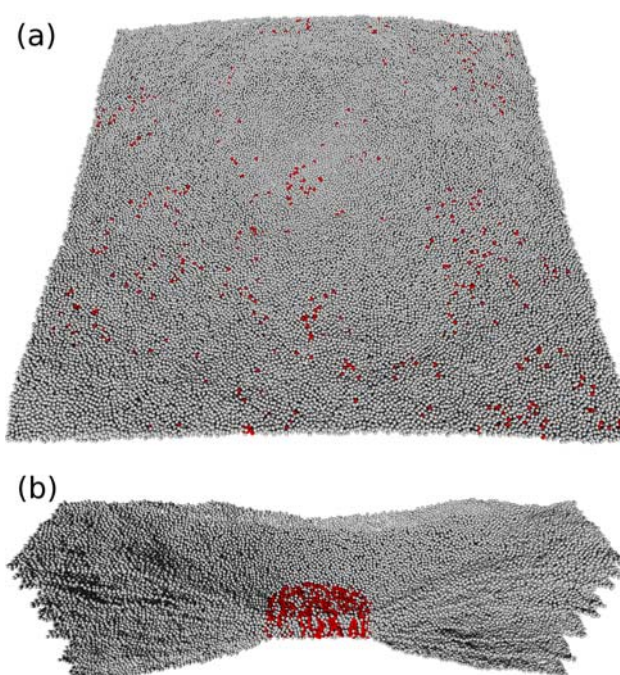


図2: エントロピー駆動の膜結合サイト(赤)の凝集[9]。2枚(a)では凝集しないが、8枚(b)だと凝集して、円形のクラスターを形成する。



は伸びることができ、このエントロピー増加が線張力を下げる。高分子鎖長程度の小さなドメインではその影響は小さくなり、結果、鎖長程度のドメインが安定化される(図 3)。

せん断流によるロール状構造形成

界面活性剤溶液の実験において、せん断流下で、せん断方向に平行もしくは垂直に 2 重膜のラメラ構造だけでなく、オニオン相と呼ばれる均質な大きさの多重膜ベシクルが詰まった相が形成されることが知られている。1 次元的なシアアの効果がラメラ相より球対照的であるロール状構造やオニオン状構造を安定化させるのは、不思議な現象である。しかし、その形成機構はよくわかっておらず、理論も構造を仮定して不安定性を議論しているものが数件ある程度である。オニオンのサイズはマイクロメートルと大きいため、これまでシミュレーションも行われていなかった。我々は、メッシュレス膜モデルによる大規模計算を行い、図 4 に示すように相図を得た[11]。密度の高い領域では低もしくは高せん断強度ではせん断方向に平行なラメラ構造が見られるが、中程度のせん断強度ではロール状の構造が得られた(図 5)。流れの方向と垂直要項に不安定化し、膜が波打つ。このロール状の構造はオニオン相形成の過程において中性子散乱などで得られていた散乱パターンと良い一致を示すため、オニオン相形成時の中間体だと考えられる。実験においてもオニオン構造の得られた後さらにせん断強度を上げるとラメラ構造になることが知られている。これまで、散乱パターンとでしか調べられていなかったため、円筒構造か、波打ったラメラ構造のどちらか決められなかったが、この研究によって、ロール状の波打ったラメラ構造が中間体の具体的な構造である可能性が高いことが明らかとなった。今後の転移のメカニズムの解明への重要な足がかりとなると思われる。

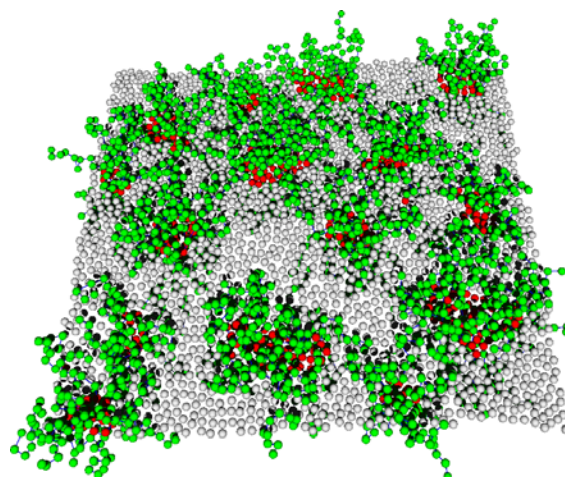


図 3 : 高分子グラフトによるマイクロドメイン形成[10]。

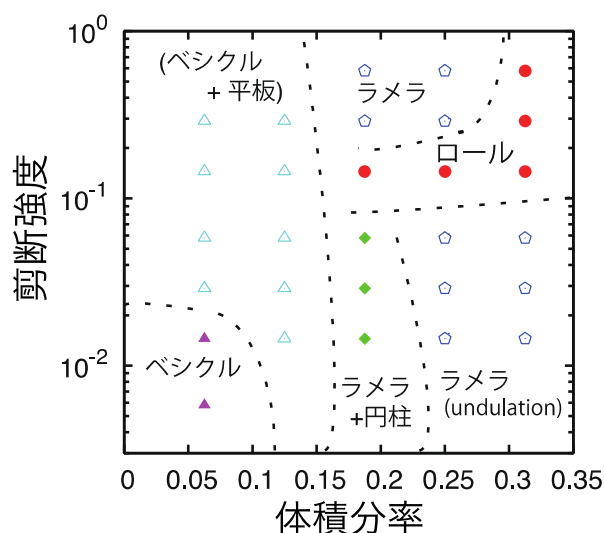


図 4 : せん断流下における界面活性剤膜の形態の相図[11]。

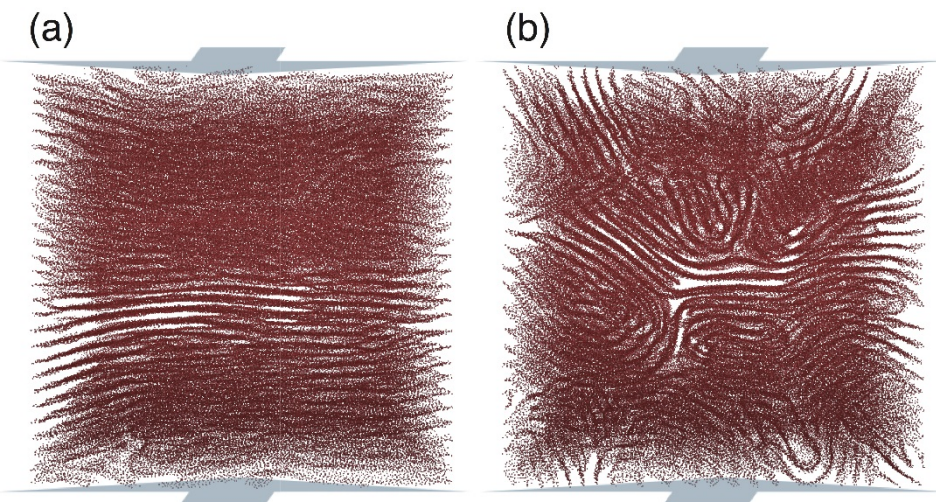


図 5 : せん断流下における界面活性剤膜のスナップショット[11]。

(b) 低せん断強度。(b)中程度のせん断強度。上下の矢印は流れの方向を示す。

細胞小器官の形態形成

細胞内には、機能に応じて特徴的な形をした様々な細胞小器官が存在する。これらの形態を理解することを目指して研究を進めている。まず、ミトコンドリアは2つの膜からなるが、内側の膜が外膜より大きな面積を持つことに着目し、狭い空間の拘束による脂質ベシクルの形態変化を調べた[12]。この3月の博士号を取った坂下氏がお茶大(現在は東北大)の今井正幸研究室で脂質ベシクルの形状を自分で観察し、それを野口研でシミュレーションし、各々の形状の形成条件を決定した。その結果、図6に示すように、2重ストマトサイトやダブルレットと名付けた形状など、拘束のない条件では見られない多くの形状が得られた。ミトコンドリアの内膜で見られるクリステと呼ばれるヒダ状の構造も得られた。

2つめに、核膜の基礎模型として、多くの genus を持つベシクルを考える。まず、genus-1, 2 の場合について、平衡状態を詳細に調べ、軸対象形状が最安定だと思われていた領域でハンドルを持つディスコサイトなど、軸対象でない形態が平衡状態であることを明らかにした[13]。現在、より高い genus でのベシクル形態の解析を進めて

いる。また、細胞内ではタンパク質が局所的な曲率を制御していると考えられているが、そのようなタンパク質の吸着によるベシクルの形態変化についても研究を進めている。最終的には、空間拘束など幾何学的な効果とタンパク質による局所的な効果を組み合わせて、細胞小器官の形態がどのように制御されているか明らかにすることを目指している。

現在進行中の研究

最後に述べた2つの課題は現在まだ引き続き進行中である。他に現在力を入れている課題としては非平衡下におけるソフトマターのダイナミクスがある。M2の中川氏は化学反応下での界面活性剤集合体の形態変化を計算しており、ベシクル形成確率が油粒子の増加によって上がるなど興味深い結果が得られている。D3の多羅間氏は細胞運動を理論解析とシミュレーションを用いて研究している。

3. スーパーコンピュータ

物性研着任後、物性研スパコンの運営にかかわってきた。2011年度からはスーパーコンピュータ共同利用委員長を任されている。2011年は地震後の運用停止と縮退運転で大変であったが、その後は大きな問題もなく運用されている。電気料金の値上がりなど頭のいたい問題はあるが、今後も物性コミュニティに安定した計算資源を提供できるように努力したい。

上で述べた野口研の研究の中で最も物性研スパコンをもっとも多く利用したのは、芝助教の行った界面活性剤膜のロール状構造形成の計算である。物性研スパコンがなければこの構造を見つけられてはいなかった。他にも、レプリカ交換法を用いた自由エネルギー計算など様々な計算でスパコンを利用している。

4. 国際ワークショップ、研究会

2010年8月にソフトマター物理に関する国際ワークショップを2週間、開催した。テーマはソフトマターの分野の中で、近年発展が目覚ましい“Structural Rheology”と“生体膜とベシクル”の2つに絞った。他の国際会議、シンポジウムを連携して、合わせて「ソフトマター月間」を構成するようにした。猛暑の年で、開催期間中、晴天がずっと続いたが、

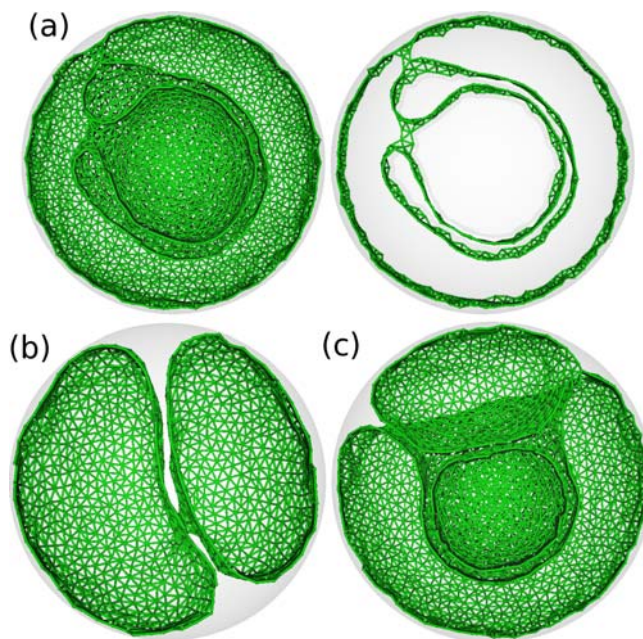


図6：球内に拘束された脂質ベシクルの形態[12]。
(a) 2重ストマトサイト。(b) ダブルレット。(c) トリプレット。

125名の参加者(両セッション参加12名)があり、暑い議論が活発に行われ、質疑応答時間を超過することもたびたびあった。数名の他大学の先生に組織委員としてご協力していただいた。多くの事務作業があったが、芝助教と秘書の松下眞弓氏と小貫美幸氏には多大な負担をかけてしまった。彼らの協力なしには開催できなかった。関係者の皆様には改めて感謝したい。

その他、着任後すぐの2009年2月に川島所員と杉野所員らと物性物理における大規模計算に関する国際ワークショップを、柴山所員らとソフトマターに関する小さい研究会を2回、開催した。

5. 人

表1に示すようにこれまで少数のメンバーで研究を行ってきた。昨年、一時的に学生が4名に増え、にぎやかであったが、今年は2名になり少し静かになった。最初の頃はあまりに少ないため、研究室セミナーがセミナーらしくならず困ったが、最近はそれらしくなってきた。少数であるが、優秀な学生が多く、活発に研究を進めている。

表1：現在までの研究室メンバー

年度	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
助教				芝隼人			
客員			谷口貴志				
学生				Hao Wu			
					坂下あい		
						多羅間充輔	
						中川恒	

6. 参考文献

- [1] 秋山良, 生物物理 **51**, 036 (2011).
- [2] H. N. W. Lekkerkerker and R. Tuinier, *Colloids and the Depletion Interaction* (Springer, Dordrecht, 2011).
- [3] H. Noguchi, *J. Phys. Soc. Jpn.* **78**, 041007 (2009).
- [4] H. Noguchi, *J. Chem. Phys.* **134**, 055101 (2011).
- [5] 野口博司, 日本物理学会誌 65,429 (2010).
- [6] J. Liam McWhirter, H. Noguchi, and G. Gompper, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **106**, 6039 (2009).
- [7] H. Noguchi, *Phys. Rev. E* **81**, 061920 (2010).
- [8] H. Noguchi, *Phys. Rev. E* **81**, 056319 (2010).
- [9] H. Noguchi, *EPL* **102**, 68001 (2013).
- [10] H. Wu, H. Shiba, and H. Noguchi, *Soft Matter* **9**, 9907 (2013).
- [11] H. Shiba, H. Noguchi, and G. Gompper, *J. Chem. Phys.* **139**, 014702 (2013).
- [12] A. Sakashita, M. Imai, and H. Noguchi, *Phys. Rev. E* **89**, 040701 (2014).
- [13] A. Sakashita, M. Imai, and H. Noguchi, arXiv: 1405.3076 [cond-mat.soft].

物性研究所短期研究会

海外施設を舞台とした中性子散乱共同利用研究

日時：2014年1月29日(水)～2014年1月30日(木)

場所：物性研究所本館6階 大講義室(A632)

研究会提案者：益田 隆嗣、柴山 充弘、吉沢 英樹、山室 修

中性子科学研究施設は、1993年の中性子散乱研究施設(2003年より中性子科学研究施設と改組)の創設以来、日本原子力研究開発機構(JAEA)に設置された研究炉 JRR-3 を利用した中性子散乱全国共同利用を推進し、日本の中性子散乱研究を先導してきた。東北大学および京都大学の装置を含む14台の分光器を共同利用に提供し、毎年約300件に及ぶ実験課題の遂行、年間約100報の論文成果を挙げてきた。しかし、平成23年3月11日の東日本大震災以降、JRR-3は運転を停止したままである。JAEAをはじめ、関連学会や大学などの関係者の不断の努力にもかかわらず、JRR-3の再稼働にはまだしばらく時間を要するとされている。

このような、中性子散乱研究にとって厳しい状況を少しでも緩和すべく、施設では共同利用に採択された中性子散乱実験課題を海外施設で実験する場合について旅費の支援を行っている。震災が起こった年の平成23年度においては、米国オークリッジ国立研究所のHFIR、オーストラリアANSTO研究所のOPAL、韓国原子力研究所のKAERIといった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の海外移転をおこない、32課題の海外施設実施をおこなった。また、平成24年度以降は、国内研究者に対して海外施設への課題申請を促し、中性子散乱実験審査委員会で採択された課題についての旅費支援を行っている。その結果、平成24年と25年度において、海外実験旅費支援はのべ73名に及んでいる(平成26年1月15日現在)。

こうした背景から、中性子科学研究施設は、平成26年1月29日-30日の会期で、「海外施設を舞台とした中性子散乱共同利用研究」と題する短期研究会を企画した。その目的は、旅費支援により海外で実施された研究や中性子散乱日米協力事業を通じて行った研究の成果報告を通じて、研究交流、国際的な観点からの中性子研究活動、JRR-3の役割と意義、海外派遣のあり方などについて、当事者のみならずコミュニティや学識経験者も参加しての研究交流、意見交換であった。

冒頭に、柴山施設長から、施設の活動報告とJRR-3再稼働に向けての活動についての報告があった。つづいて、各分野からの研究報告があった。固体物性では、磁性体やセラミック材料の結晶・磁性構造解析、スピニアイス、マルチフェロイック、強相関係、超伝導体、スカーミオン、などといった最先端の研究が紹介され、他部門の物性研スタッフも巻き込んだ議論が行われた。また、高压セルの開発と応用研究など、今後の中性子散乱研究の方向性を示唆する研究も紹介された。一方、高分子やミセルなどといったソフトマターにおいては、新材料の構造やダイナミクス解析、ガラスの研究ではクラスター構造をもつ化合物やイオン液体の研究など、非常に幅広い分野の研究発表があり、活発な議論が行われた。懇親会では、多くの学生も参加し、専門や年齢層にとらわれることなく、いろいろな話題で盛り上がった。結果として、年度末の修士論文や博士論文審査の日程とも重なる時期での開催となったが、幸いにも25件の口頭発表と17件のポスター発表があり、参加者はのべ107名に達し、大変活発な研究会となった。

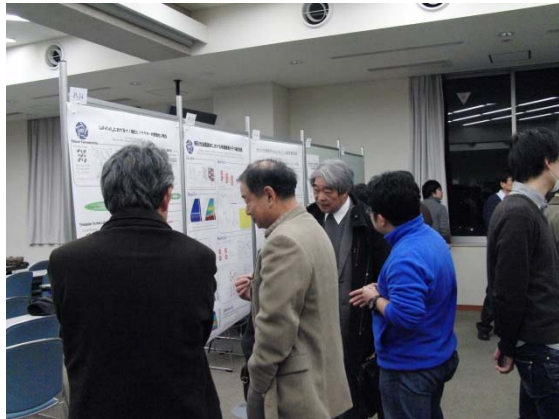
研究会の終わりに、コメンテータの方々から有益なアドバイスを頂いた。以下にそれらを紹介したい。

日本人研究者が積極的に海外中性子施設に出向き、中性子科学を大きく進展させたことは注目に値する。一方で、長時間のマシントimeを要する重点的研究は、国内研究炉JRR-3が停止している現在では困難となっている。JRR-3の早期再稼働により、幅広い中性子研究が、国内で可能となることが強く望まれる。(総合科学研究機構 佐藤正俊氏)

構造解析は物性研究の基礎であり、自然科学において重要な研究分野の一つでもある。X線回折は最も一般的な構造解析の手段ではあるが、軽元素である酸素原子位置の同定や、磁気構造解析などには、中性子回折実験が不可欠である。とりわけ、粉末中性子回折装置は一般に最も膾炙されている分光器の一つである。J-PARCは近々再稼働予定であるが、当



研究会風景



プログラム

口頭発表

● 1月29日(水)

13:00-13:10 施設長あいさつ

セッション1 座長 吉沢 英樹 (東京大学)

O-1 13:10-13:30 佐藤 卓 (東北大学)

「三角格子キラル磁性体の中性子散乱による研究」

O-2 13:30-13:50 藤田 全基 (東北大学)

「 T 構造銅酸化物における超伝導と磁気相関の研究」

O-3 13:50-14:20 八島 正知 (東京工業大学)

「海外施設を利用した、クリーンエネルギーのためのセラミック材料の結晶構造の研究」

O-4 14:20-14:40 陰山 洋 (京都大学)

「高原子価鉄酸化物 $(\text{Ba}, \text{Sr})\text{FeO}_3$ の物性」

O-5 14:40-15:00 山室 憲子 (東京電機大学)

「中性子準弾性散乱によるグリシンペタイン水溶液のマイクロダイナミクス」

15:00-15:20 休憩

セッション2 座長 益田 隆嗣 (東京大学)

O-6 15:20-15:40 中辻 知 (東京大学)

「 $\text{Pr}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ におけるスピニアイス相関と量子揺らぎ」

O-7 15:40-16:00 木村 宏之 (東北大学)

「JRR-3M と HANARO を利用したマルチフェロイック物質の中性子散乱研究」

O-8 16:00-16:15 岩佐 和晃 (東北大学)

「強相関 f 電子系における局在状態と遍歴状態の競合と共存」

O-9 16:15-16:35 満田 節生 (東京理科大学)

「三角格子反強磁性体 CuFeO_2 における交差相関現象」

O-10 16:35-16:55 貞包 浩一郎 (立命館大学)

「界面不活性の働きをする界面活性剤」

O-11 16:55-17:15 金子 文俊 (大阪大学)

「シンジオタクチックポリスチレン共結晶のゲスト交換現象に関する中性子小角散乱法による研究」

17:15-18:45 ポスター

19:00- 懇親会 (カフェテリア)

● 1月30日(木)

セッション3 座長 柴山 充弘 (東京大学)

O-12 9:00-9:20 上床 美也 (東京大学)

「中性子散乱実験用圧力装置の開発と現状」

O-13 9:20-9:40 繁岡 透 (山口大学)

「正方晶化合物 HoRh_2Si_2 の成分分離逐次磁気転移」



- O-14** 9:40-10:00 留野 泉 (秋田大学)
「BaTiO₃の格子ダイナミックス」
- O-15** 10:00-10:20 山室 修 (東京大学)
「中性子準弾性散乱による先端機能性物質の緩和現象の研究」

10:20-10:40 休憩

- セッション4** 座長 山室 修 (東京大学)
- O-16** 10:40-11:00 千葉 文野 (慶応義塾大学)
「中性子準弾性散乱による液体 GeTe の構造変化領域における Ge の拡散係数の変化」
- O-17** 11:00-11:20 川口 大輔 (九州大学)
「中性子反射率測定を用いた非溶媒界面の分子鎖凝集状態評価」
- O-18** 11:20-11:40 田中 清明 (名古屋産業科学研究所)
「ORNL-HFIR-HB-3A における中性子回折共同利用研究」
- O-19** 11:40-12:00 柴山 充弘 (東京大学)
「Tetra-PEG イオンゲルの構造解析」

12:00-13:30 昼食

- セッション5** 座長 目時 直人 (日本原子力研究開発機構)
- O-20** 13:30-13:45 阿曾 尚文 (琉球大学)
「空間反転対称性のない超伝導体 CeRhSi₃ の中性子散乱」
- O-21** 13:45-14:05 平賀 晴弘 (高エネルギー加速器研究機構)
「チムニー構造を示す反強磁性金属 Mn_{3-x}Fe_xSi の磁気励起」
- O-22** 14:05-14:25 池内 和彦 (総合科学研究機構)
「鉄系超伝導体 Ca₁₀Pt₄As₈(Fe_{1-x}Pt_xAs)₁₀, (x~0.2) の格子振動・磁気励起の観測」

14:25-14:45 休憩

- セッション6** 座長 梶本 亮一 (J-PARC)
- O-23** 14:45-15:05 鳴海 康雄 (東北大学)
「モバイル強磁場発生装置を利用した強磁場中性子散乱研究」
- O-24** 15:05-15:25 佐賀山 基 (東京大学)
「スピネル型 Mn₃O₄ における磁場誘起磁気構造相転移」
- O-25** 15:25-15:45 益田 隆嗣 (東京大学)
「低次元磁性体の磁気構造と磁気励起の研究」
- 15:45-15:50 講評1 佐藤 正俊 (総合科学研究機構)
- 15:50-15:55 講評2 野田 幸男 (東北大学)
- 15:55-16:00 講評3 小泉 智 (茨城大学)

ポスター発表

● 1月29日(水) 17:15-18:45

- P-1** 上田 孝志朗 (東京工業大学)
「LaSr₂Ga₁₁O₂₀の結晶構造と電気伝導」
- P-2** 江崎 勇一 (東京工業大学)
「新規混合伝導体 Nd_{2-x}Ba_xInO_{4.5-x/2}の構造と電気的特性」
- P-3** 石井 梨恵子 (お茶の水女子大学)
「中性子小角散乱法を用いた BaFe₂(As,P)₂の磁束格子の観測」
- P-4** 呉 麻美子 (お茶の水女子大学)
「希土類遷移金属硼炭化物 ErNi₂B₂Cにおける自発的磁束格子の探索」
- P-5** HALIM Mario (東京大学)
「Low Temperature Magnetic and Thermodynamic Properties of Quantum Spin-orbital System Ba₃CuSb₂O₉」
- P-6** 古府 麻衣子 (東京大学)
「包接水和物中の水素の拡散ダイナミクス」
- P-7** 古府 麻衣子 (東京大学)
「中性子散乱で観た TbCu 単分子磁石のスピンダイナミクス」
- P-8** 秋葉 宙 (東京大学)
「Pd 水素化物における水素の拡散ダイナミクス」
- P-9** 宮津 怜嗣 (東京大学)
「テレフタル酸架橋配位高分子のプロトンダイナミクス」
- P-10** 西 健吾 (東京大学)
「小角中性子散乱による立体規則性を変えた PNIPAM の構造解析」
- P-11** 廣井 卓思 (東京大学)
「ゲルの不均一性が動的挙動に及ぼす影響のスピンエコーによる観測」
- P-12** 草野 巧巳 (東京大学)
「燃料電池電極用触媒インクの構造解析」
- P-13** 橋本 慧 (東京大学)
「時分割 SANS 法によるイオン液体中のゲル化反応メカニズム解明」
- P-14** 左右田 稔 (東京大学)
「LuFeCoO₄におけるナノ磁性とリラクサー的誘電性の関係」
- P-15** 左右田 稔 (東京大学)
「細孔性金属錯体における吸着酸素分子の磁気相関」
- P-16** 林田 翔平 (東京大学)
「カゴメ三角格子 NaBa₂Mn₃F₁₁の磁気構造解析」
- P-17** 萩原 雅人 (東京理科大学)
「反転対称中心のない結晶構造をもつ一次元スピン鎖 SrCo₂V₂O₈の磁気構造解析」

物性研究所短期研究会

スーパーマターが拓く新量子現象

研究会提案者

白濱 圭也 (慶應義塾大学)

坪田 誠 (大阪市立大学)

押川 正毅 (東京大学物性研究所)

奥田 雄一 (東京工業大学)

表記の研究会を、4月17日から19日の3日間にわたり開催した。研究会開催の目的は、新しく提案する「スーパーマター」という概念の下に関連分野の研究者を一堂に集め、その基本的視点と将来の方向性を共有することにある。極低温で観測される超流動・超伝導のような創発的量子現象をもたらす概念は、「対称性の自発的破れ」のように科学全体に通じる普遍性を持つ。普遍的概念を生み出せる物質には、その内部に新しい「自由度」や「構造」を良く制御したかたちで形成でき、かつそれらが特定の物理現象を純粋に発現できる、という共通した特徴がある。そのような「物質の内部で量子現象を生み出すモデル物質」を新たに「スーパーマター」(Supermatter)と呼ぶことを提案する。

「スーパーマター」は異なる結晶を重ねた周期物質を Superlattice(超格子)と呼ぶことから得た造語であり、例えば超流動・超伝導体中の量子渦、周期ポテンシャル中の冷却原子気体やヘリウム、量子スピン液体物質、超流動ヘリウム3の集団励起(ヒッグスモード)、パラメタを精密制御した励起子ポラリトン凝縮体、などが典型例として挙げられる。多様な物質群に形成されるスーパーマターを開拓し探求することで、物理学における基本的問題の解明と、新しい普遍的概念の構築への貢献が期待される。

本研究会には、年度初めの多忙な時期であったにもかかわらず、3日間で述べ244名という多数の参加者があり、計40件の口頭発表と27件のポスター発表に対し、終始活発な議論がなされた。各分野の研究者によって独立に進展してきたスーパーマター研究を、統合的に議論する初めての機会として上々の研究会となった。

最後に、研究会の実現に多大なご尽力を頂いた物性研共同利用係、押川研究室の辻さん、多田さんはじめ研究室の皆様、白濱研究室の皆さんに深く感謝いたします。

(白濱 記)

プログラム

1日目：4月17日(木)

13:00-13:05 所長挨拶 瀧川 仁(物性研究所所長)

[セッション1：量子乱流] 座長：白濱 圭也(慶応大理工)

13:05-13:15 白濱 圭也(慶応大理工)

研究会の趣旨、事務的アナウンス

13:15-13:45 坪田 誠(大阪市大院理)

スーパーマターで展開される量子乱流研究

13:45-14:15 竹内 一将(東大院理)

液晶の“量子渦”乱流が見せる非平衡臨界現象の世界

14:15-14:35 藤本 和也(大阪市大院理)

強磁性スピノール Bose-Einstein 凝縮体で実現するスピン-超流動乱流とエネルギースペクトル

14:35-14:55 O-17-5 村川 智(慶応大理工)

ナノポアアレイ中超流動ヘリウムの量子乱流の散乱

14:55-15:15 休憩 -----



[セッション 2 : ヒッグスモード・NG モード・モノポール]

座長: 河野 公俊(理研)

15:15-15:45 島野 亮 (東大低温センター)

s 波超伝導体のヒッグスモード

15:45-16:05 水島 健 (岡山大院自然)

Confinement effect on Anderson-Higgs modes in superfluid ³He-B

16:05-16:25 白濱 圭也 (慶応大理工)

超流動ヘリウム 3 におけるヒッグスモード

16:25-16:45 新田 宗土 (慶応大日吉物理)

物性系の渦やソリトンに局在した南部 Goldstone モード

16:45-17:05 衛藤 稔 (山形大理)

素粒子のノンアーベリアン量子渦と多成分 BEC 系のフラクショナル量子渦

17:05-19:00 ポスターセッション -----

2 日目 : 4 月 18 日 (金)

[セッション 3 : ポテンシャル中量子流体] 座長: 坪田 誠 (大阪市大院理)

09:00-09:30 押川 正毅 (東大物性研)

多孔質媒質中の液体ヘリウム 4 と超流動

09:30-09:50 和田 信雄 (名大院理)

次元と相関を制御した新奇 ⁴He および ³He 量子流体

09:50-10:20 中村 祥子 (東大院理)

単原子層 ⁴He、³He を舞台とした 2 次元ボソン系、フェルミオン系の量子多体現象の研究

10:20-10:40 森下 将史 (筑波大数理物質)

グラファイト上ヘリウム薄膜における Dirac 粒子系

10:40-11:00 休憩 -----

[セッション 4 : 超伝導量子渦糸] 座長: 北 孝文 (北大院理)

11:00-11:30 加藤 勝 (大阪府大院工)

ナノ構造超伝導体中の磁束構造

11:30-11:50 大熊 哲 (東工大院理工)

高速駆動された超伝導渦糸系における動的相転移

11:50-12:10 町田 昌彦 (原研)

超伝導渦糸研究の新展開: マルチギャップ超伝導からトポロジカル超伝導における磁束量子

12:10-12:30 永井 佑紀 (原研)

トポロジカル超伝導体における準粒子励起

12:30-13:30 昼食休憩 -----

[セッション 5 : 超流動ヘリウム 3 等] 座長: 水島 健 (岡山大院自然)

13:30-14:00 佐々木 豊 (京大低温物質科学セ)

制限空間中の超流動ヘリウム 3

14:00-14:20 野村 竜司 (東工大院理工)

超流動 ³He の表面マヨラナ状態に対する磁気効果



- 14:20-14:40 中原 幹夫 (近畿大理工)
回転超流動 ^3He における半整数量子渦のテクスチャー
- 14:40-15:00 青山 和司 (京大白眉)
円筒容器中の超流動 ^3He におけるストライプ秩序
- 15:00-15:20 Peter Moroshkin (RIKEN)
Ba⁺ ions at the surface of superfluid He: a progress report
- 15:20-15:40 池上 弘樹 (理研)
超流動 $^3\text{He-A}$ におけるカイラリティの直接観測
- 15:40-15:55 休憩 -----

[セッション 6 : エキシトン、ポラリトン、スピン液体、超伝導等]

座長: 押川 正毅(東大物性研)

- 15:55-16:25 Michael Fraser (RIKEN 創発物性科学研究センター)
Novel quantized vortex matter in exciton-polariton condensates
- 16:25-16:55 山下 穰 (東大物性研)
量子スピン液体状態における素励起の研究
- 16:55-17:15 野村 晋太郎 (筑波大物理学域)
分数量子ホール効果領域における準励起子-準電子発光
- 17:15-17:35 御領 潤 (弘前大院理工)
局所反対称系 SrPtAs のトポロジカルなスピン軌道相互作用と超伝導
- 17:35-17:55 多田 靖啓 (東大物性研)
f 電子系超格子における超伝導
- 18:05-20:00 懇親会 -----

3日目 : 4月19日 (土)

[セッション 7 : 超伝導量子渦糸] 座長: 大熊 哲 (東工大院理工)

- 09:30-10:00 石田 武和 (大阪府大院工)
五角形微小超伝導体の渦糸分布
- 10:00-10:20 加藤 雄介 (東大院総合)
超伝導単一量子渦のダイナミクス
- 10:20-10:40 坂田 英明 (東理大理)
新奇超伝導体の走査トンネル分光
- 10:40-11:00 小久保 伸人 (電通大情報理工)
幾何学的に閉じ込められた超伝導量子渦
- 11:00-11:20 休憩 -----

[セッション 8 : 冷却原子気体] 座長: 和田 信雄(名大院理)

- 11:20-11:50 高橋 義朗 (高須 洋介) (京大院理)
冷却イッテルビウム原子を用いた量子シミュレーション
- 11:50-12:10 古賀 昌久 (東工大院理工)
多成分フェルミ粒子光格子系における超流動
- 12:10-12:30 北 孝文 (北大院理)
ボーズ・アインシュタイン凝縮相の素励起

12:30–13:30 昼食休憩 -----

[セッション9: 固体ヘリウム等] 座長: 福山 寛 (東大院理)

13:30–13:50 高橋 大輔 (足利工大)

制限空間内に生成した固体ヘリウム 4 の DC 回転応答

13:50–14:10 檜枝 光憲 (名大院理)

${}^3\text{He}$ - ${}^4\text{He}$ 混合薄膜中 ${}^3\text{He}$ オーバーレイヤーのピンニング-デピンニング

14:10–14:30 矢野 英雄 (大阪市大院理)

振動物体が生成する量子乱流と渦放出

14:30–14:50 Niyaz Beysengulov (RIKEN)

Crystal-Liquid Phase Diagram of a Quasi-1D electron system on Liquid Helium

14:50–15:10 土屋 俊二 (東北工業大)

Higgs mode in a superfluid of Dirac fermions

ポスターセッション [17日(木) 17:05–19:00]

1 山口 明 (兵庫県大院物質理)

パウダー型スーパーリークを用いた超流動ヘリウム 3-A₁相の研究

2 笠井 純 (京大院理)

エアロジェル中液体 ${}^3\text{He}$ の熱伝導率測定

3 鎌田 雅博 (東大院理)

2次元固体ヘリウム 3 の量子スピン液体状態と多体交換相互作用

4 檜枝 光憲 (名大院理)

高周波で見たナノスケールサイズ 2次元 ${}^4\text{He}$ 超流動転移

5 松下 琢 (名大院理)

1次元ナノ細孔に吸着した ${}^3\text{He}$ 流体の 1次元縮退状態の検証

6 山下 耕平 (名大院理)

強い斥力ポテンシャルが作用する多粒子系の気体-固体相転移に対する量子効果

7 小原 颯 (大阪市大院理)

液体ヘリウム用光学ハイドロフォンの開発

8 筒井 和政 (北大理)

新しい自己無撞着理論による BEC 相の解析

9 植木 輝 (北大理)

希薄気体中のゼロ音波の伝搬

10 竹内 宏光 (大阪市大院理)

2成分量子流体における相転移動力学的研究

11 田中 健太 (岡山大院自然)

超伝導渦糸状態における核磁気緩和率 T_1 の準古典理論

12 東 陽一 (大阪府立大学工学研究科)

多層系超伝導体における渦糸構造

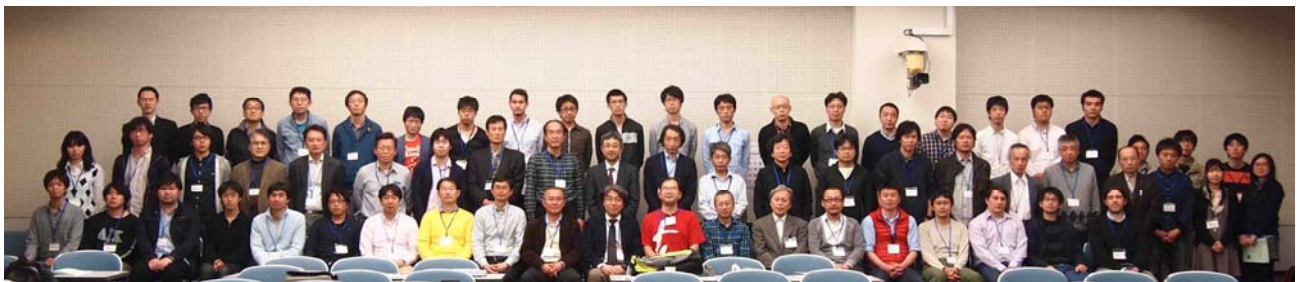
13 田中 康資 (産業技術総合研究所)

多バンド型多成分超伝導のバンド間位相差揺らぎ凍結転移

14 久保田 実 (芝浦工大)

hcp 固体ヘリウム 4 の量子渦物理

- 15 立木 智也 (慶応大理工)
制限空間中固体ヘリウム 4 における回転効果
- 16 近藤 康 (近畿大理工)
量子ゼノン効果
- 17 森岡 悠 (大阪市大院理)
バルク超流動 ^3He に接するエアロジェル界面での奇周波数クーパー対状態
- 18 若狭 洋平 (大阪市大院理)
液体 ^4He 常流動と超流動における Vibrating wire の抗力
- 19 村川 智 (慶応大理工)
ナノポアアレイを用いた超流動ヘリウム 4 のジョセフソン効果
- 20 野村 竜司 (東工大大院理工)
超流動液体中で移動する ^4He 結晶
- 21 白濱 圭也 (慶応大理工)
ナノ多孔体中吸着ヘリウム薄膜の異常硬化現象
- 22 松浦 俊司 (マギル大学)
3次元非中心対称超伝導におけるマヨラナ粒子の渦束縛状態
- 23 菅 誠一郎 (兵庫県立大)
光格子中の3成分斥カフェルミ原子系における超流動のペア対称性
- 24 作道 直幸 (理研)
ヘリウムの三体束縛状態
- 25 堤 康雅 (理研)
超流動ヘリウム 3-B 相の量子渦束縛状態とトポロジー
- 26 簗口 友紀 (東大院総合)
Highly mobile dislocation in solid He-4 layers adsorbed on a smooth substrate
- 27 正木 祐輔 (東大理)
超伝導/半導体/強磁性接合系におけるトポロジカル超伝導の渦内束縛状態の Andreev 近似による解析



物性研究所談話会

標題：平成 26 年度 前期客員所員講演会

日時：2014 年 4 月 24 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 26 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 古賀 昌久 (東京工業大学)

「準周期構造をもつ強相関電子系の低温物性」

10:30-10:50 中野 智仁 (新潟大学)

「重い電子系化合物 CePtSi_2 の圧力誘起超伝導」

10:50 -11:10 SANTANDER-SYRO, Andrés Felipe (CSNSM-Université Paris-Sud 11)

「Novel 2D electron gases at the surface of transition-metal oxides」

11:10-11:30 神取 秀樹 (名古屋工業大学)

「ロドプシンの機能をもたらす構造変化」

11:30-11:50 河江 達也 (九州大学)

「超低温 STM の開発と f 電子物質の示す特異な電子状態の微視的研究」

標題：Contrasting criticalities in the cuprates and pnictides

日時：2014 年 5 月 7 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：Nigel Hussey

所属：High Field Magnet Laboratory (HFML)

要旨：

The physics of quantum critical phase transitions connects to some of the most difficult problems in condensed matter physics, including metal-insulator transitions, frustrated magnetism and high temperature superconductivity. Near a quantum critical point (QCP) a new kind of metal emerges, whose thermodynamic and transport properties do not fit into the unified phenomenology of Landau Fermi liquid theory - characterized by a specific heat that is linear in temperature and an electrical resistivity that varies as the square of the absolute temperature. Studying the evolution of the temperature dependence of these observables as a function of a control parameter leads to the identification both of the presence and the nature of the quantum phase transition in candidate systems.

In this talk, I will review my group's work following the evolution of the in-plane transport properties of copper- and iron-based superconductors at temperatures below the superconducting transition temperature T_c by suppressing superconductivity with high magnetic fields (both static and pulsed). One of the striking observations from this study is the distinct behaviour found in the pnictide superconductors when compared with their cuprate counterparts. This

dichotomy reveals a deep fundamental difference between the two families of high temperature superconductors, and while the transport behaviour of the iron pnictides might be associated with conventional quantum critical scenarios in which a magnetic ordering transition falls to 0 K with doping, for the cuprates, an entirely different and novel theoretical framework may be required. This difference is also closely tied to the mystery and the origin of the normal state pseudogap found in cuprates with low carrier concentrations.

【講師紹介】

Nigel Hussey 氏はこれまで幅広い強相関電子系の輸送現象、特に、高磁場での量子振動・量子輸送現象の研究で数多くの業績を上げてこられました。特に高温超伝導体の電子状態や量子臨界現象、低次元電子系の研究において重要な役割を果たしてこられました。また、昨年9月からオランダの高磁場研の所長として着任され、オランダでの凝縮系物理の牽引役として活躍されております。

標題：角度分解光電子分光による銅酸化物高温超伝導体の研究

日時：2014年6月12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：近藤 猛

所属：東京大学物性研究所

要旨：

銅酸化物高温超伝導体は約30年前に発見された。それ以来、物性研究の対象として長らく主役を担ってきたにも関わらず、その高い超伝導臨界温度(T_c)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。鉄ヒ素系物質において銅酸化物に次ぐ第2の高温超伝導の発現が2008年に確認され、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。

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 以上かつ、キャリア量によっては室温以上にもなる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。その結果としてアーク状のフェルミ面(フェルミアーク)が形成され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。高温超伝導の発現機構を解明する上で、この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。

本講演では、角度分解光電子分光を用いた研究から浮き彫りとなった銅酸化物高温超伝導体を持つ特異な電子状態を紹介する。特に、超伝導相を阻害する“擬ギャップ”秩序状態と、電子対の形成に伴う“電子対形成ギャップ”状態とが T_c 以上の高温から競合しつつ発達する振る舞いを解明する。

【講師紹介】

近藤猛所員は、酸化物高温超伝導体が示す特異な電子輸送現象の起源を解明する研究で博士号を取得されたのち、近年では擬ギャップと超伝導ギャップの関係を光電子スペクトル強度の詳細観察から解明する研究で高く認知されています。このたび極限コヒーレント光科学研究センターの所員として着任され、極限レーザーを用いた角度分解光電子分光装置の開発と、それを通して見えてくる新奇な物質科学の開拓を目指しておられます。



標題：共鳴軟 X 線散乱で探る新しい秩序構造

日時：2014 年 7 月 17 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：和達 大樹

所属：東京大学物性研究所

要旨：

遷移金属酸化物は高温超伝導、巨大磁気抵抗、金属絶縁体転移などの興味深い性質のために、盛んに研究されてきた。これらの多彩な性質の背景には多くの場合電荷/スピン/軌道の秩序現象が見られ、秩序状態を実験的に直接観測することが近年の物性物理学のテーマとなってきた。

共鳴軟 X 線散乱は最近急速に発展してきた実験手法であり、遷移金属の 2p から 3d への吸収端のエネルギーの X 線を用いて回折実験を行うことで、3d 電子の軌道や磁気の情報直接得ることができる。通常の X 線散乱では強度の弱い磁気情報が得られること、大きな共鳴により中性子散乱に比べ試料の体積がはるかに小さくても有効であるなど、これまでの散乱のデメリットを大きく克服した手法である。本講演では、この新実験手法により解明された新しい秩序構造について紹介する。特に、マンガン酸化物薄膜で観測されたマルチフェロイック性をもたらす磁気構造や、コバルト酸化物微小単結晶で観測された多くの磁気周期の共存「悪魔の階段」について示す予定である。

この実験手法は SACLA などの X 線自由電子レーザー(XFEL)との相性がよく、赤外やテラヘルツレーザーによる励起下でのポンププローブ測定を行うことができる。このような時間分解型測定の現状と今後の展望についても述べたい。

【講師紹介】

和達大樹所員は、遷移金属酸化物の光電子分光による電子状態研究で博士号を取得されたのち、放射光を用いた新しい実験手法である共鳴軟 X 線散乱に取り組まれています。特に、共鳴軟 X 線散乱により、これまで見られていなかった新しい磁気構造の観測に成功されました。このたびは極限コヒーレント光科学研究センターの所員として着任され、SACLA などの X 線自由電子レーザーを用いた時間分解型散乱・回折の測定を目指しておられます。

物性研究所セミナー

標題：中性子セミナー：Magnetic Higgs phase in quantum spin ice $\text{Yb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$: experimental studies

日時：2014年4月2日(水) 午後2時～午後3時

場所：物性研究所本館6階 第4セミナー室 (A614)

講師：Lieh-Jeng Chang

所属：National Cheng Kung University、台湾

要旨：

The pyrochlore magnet $\text{Yb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ has attracted great interest as the first candidate to be a magnetic analogue of the Higgs phase or a U(1) quantum spin liquid, depending on different crystals used for the experiments. Via comprehensive polarized diffuse neutron scattering experiments on a high quality single-crystal $\text{Yb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ sample, we had observed the first-order phase transition occurred at $T_c \sim 0.21$ K, separating a high-temperature magnetic Coulomb phase, that is characterized by pinch-point features, and a low-temperature magnetically ordered phase, that exhibits finite planar components of pseudospins [1]. Since this planar component can be described as the Bose condensation of spinons, carrying emergent magnetic monopoles, coupled to the U(1) gauge field within the framework of a quantum spin ice model, and the transition temperature is low enough for a quantum Coulomb liquid behavior to appear, this first-order phase transition has been regarded as a magnetic analogue of a Higgs transition. In this talk, we will present our new muon spin relaxation (μ SR) and specific-heat measurements on polycrystalline and single-crystal samples of $\text{Yb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$. The specific heat exhibits a sharp peak at T_c between 0.21 and 0.26 K. The magnetic entropy released between 50 mK and 30 K amounts to $R \ln 2$ per Yb. Observations of a steep drop in the asymmetry of zero-field μ SR time spectra at short time scales, as well as a decoupling of the muon spins from the internal field in longitudinal magnetic fields of ≤ 0.25 T, below T_c demonstrate the formation of static magnetic moments. These evidences strongly support the scenario of the magnetic Higgs phase.

標題：理論セミナー：Exotic phases in spin-orbit coupled correlated electron systems

日時：2014年4月8日(火) 午前11時～午後0時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：Eun-Gook Moon

所属：University of California, Santa Barbara

要旨：

Correlated electron systems with strong spin-orbit coupling are one of the cutting edge areas in modern condensed matter physics. Interplay between spin-orbit coupling and Coulomb interaction provides a new route to access novel phases, which generates active research in recent theory and experiment. In this seminar, we discuss attainable exotic phases in three dimensional spin-orbit coupled correlated electron systems. We show that quantum critical phases and topological phases may be realized in systems with proper symmetries using standard renormalization group methods. One of the important implications of our finding is to provide a concrete counter example to the common belief that electron correlation effect is relatively weak in three spatial dimensions. Application to pyrochlore iridates and relation with recent experiments are also discussed.



標題：中性子セミナー：スピン状態制御によって2つの非磁性相の間に現れる $\text{LaCo}_{1-x}\text{Rh}_x\text{O}_3$ の弱強磁性

日時：2014年4月9日(水) 午後2時30分～午後3時30分

場所：物性研究所本館6階 第4セミナー室 (A614)

講師：浅井 晋一郎

所属：名古屋大学理学系研究科

要旨：

遷移金属酸化物では、フント結合エネルギーと結晶場分裂の大小関係によって遷移金属イオンは様々な電子状態（スピン状態）をとることができ、前者が強い場合には高スピン状態、後者が強い場合には低スピン状態と呼ばれる状態が実現する。特に、2つのエネルギーのスケールが同程度の場合には外部から磁場、圧力、温度変化などの摂動を加えただけで大きく遷移金属イオンのスピン状態が変化する、これはスピン状態クロスオーバーとして知られている。ペロブスカイト型酸化物 LaCoO_3 は Co^{3+} ($3d^6$) がスピン状態クロスオーバーを示す物質として50年近く研究されている。この物質は温度上昇を伴い100 K付近のスピン状態クロスオーバーを通して非磁性の低スピン状態から磁性をもつ励起状態へ大きく変化するが、その励起状態の詳しい電子状態については未だに統一解が得られていない。一方で、 LaRhO_3 における Rh^{3+} ($4d^6$) は広がり大きい4d軌道をもつために結晶場分裂が大きく、非磁性の低スピン状態を高温まで安定に保つ。さらに、これら2つの酸化物は低温ではともに非磁性に関わらず、その混晶系である $\text{LaCo}_{1-x}\text{Rh}_x\text{O}_3$ では低温まで磁性を安定に保つことが報告されている[1]。

我々は LaCoO_3 におけるCoサイトに対する元素置換効果を通して Co^{3+} のスピン状態を制御することを目的に、Rh置換による Co^{3+} のスピン状態の変化を議論した。格子体積と磁化の温度変化の振る舞いから $\text{LaCo}_{1-x}\text{Rh}_x\text{O}_3$ において100 K付近のスピン状態クロスオーバーが抑えられ、低温まで励起状態が安定化されることが分かった。さらに、 $0.1 \leq x \leq 0.4$ では最大15Kの強磁性磁気秩序が実現することを見出した。この強磁性はよく知られた $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ の金属強磁性とは異なり、 Co^{3+} のみで誘起される強磁性である。さらに、詳細な磁化測定と中性子散乱実験から、この系で実現する磁気秩序はRh置換によって強く乱された弱強磁性であることが分かった。また、我々は置換する元素として2種類の非磁性イオン(Rh^{3+} 、 Ga^{3+})を選び、スピン状態の変化に伴って大きく変化する期待される構造物性と磁性の変化について研究を行い、元素置換効果による Co^{3+} のスピン状態の変化をより詳細に議論した。これら2つの置換効果は大きく異なり、Rhを置換しても室温付近の磁化の大きさはほとんど変化しない一方で、Gaの置換は磁化を大きく減少させることが分かった。このような振る舞いは Co^{3+} のスピン状態が1種類で表せるような均一な状態では説明することができず、 Co^{3+} のスピン状態が非磁性の低スピン状態と磁性をもつ高スピン状態が混ざり合った不均一な状態であることを支持する。さらにこの置換効果は置換されたRhとGaはそれぞれ低スピン状態と高スピン状態の Co^{3+} を優先的に減少させると考えることで説明できる。本講演ではさらに詳細な解析によって格子体積と磁化の実験結果から Co^{3+} のスピン状態についてより定量的な解析を行った結果についても報告する。

[1]. T. Kyomen *et al.*, Phys. Rev. B 67 (2003) 144424.

標題：新物質セミナー：三角格子有機系 κ -H₃(Cat-EDT-TTF)₂ における ¹³C-NMR で見た量子スピン液体状態と電荷秩序相

日時：2014年4月18日(金) 午後2時～午後3時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：伊藤 哲明

所属：東京理科大学理学部応用物理学科

要旨：

近年合成された単一ユニット有機系 κ -H₃(Cat-EDT-TTF)₂ [1]は、三角格子を有する Mott 絶縁体であると考えられている。磁化率測定では磁気秩序が確認されず、 κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃、EtMe₃Sb[Pd(dmit)₂]₂ (以下 ET、dmit と略称) に続く、3 例目の三角格子スピン液体候補物質である。我々はこの物質の 1.6K までの ¹³C-NMR 測定を行い、確かに磁気秩序が生じず、又、スピギャップも生じていないことを確定させたので、まずこの点について解説する。

また、三角格子においては、通常の隣接ハイゼンベルグ相互作用を持つ 1/2 スピン系ではスピン液体が実現しないことはほぼ確実視されており、スピン液体実現には、隣接ハイゼンベルグ相互作用以外の「別の相互作用要素」が必要であると認識されている。ET、dmit においては、常圧のすぐ近傍に金属-Mott 転移があり、この弱い Mott 絶縁性が「別の相互作用要素」を生み出し、これがスピン液体実現に重要な役割を果たしている可能性が議論されている。一方、 κ -H₃(Cat-EDT-TTF)₂ では ¹³C-NMR スピン-格子緩和率より、Mott 絶縁性は比較的強く、金属-Mott 転移不安定性からは遠いであろうことが示された。しかしながら今回測定した ¹³C-置換体においては、Mott 絶縁体相と並び、水素原子移動を伴う電荷秩序相の共存が観測され、この電荷秩序相が Mott 絶縁体相にエネルギー的に非常に拮抗していることが強く示唆された。この結果についても紹介し、 κ -H₃(Cat-EDT-TTF)₂ におけるスピン液体状態と ET、dmit におけるスピン液体状態の類似点・相違点について議論する予定である。

[1] T. Isono *et al.*, Nature Commun. 4, 1344(1-6) (2013).

標題：理論インフォーマルセミナー：Charged quantum entanglement and its application to SPT phase

日時：2014年4月22日(火) 午後3時～午後4時

場所：物性研究所本館6階 第4セミナー室 (A614)

講師：松浦 俊司

所属：McGill University

要旨：

Quantum entanglement has emerged as a very useful probe in physics and quantum information.

In this talk, we will introduce a new class of entropies, called charged entanglement (Renyi) entropies, that measures the degree of quantum entanglement in different charge sectors. By using the new entropies, we characterize symmetry protected topological phases.

We will also consider phase transitions in (charged) Renyi entropies.



標題：理論セミナー：1/5 周期欠損正方格子ハバード模型におけるモット転移

日時：2014年4月25日(金) 午後4時～午後5時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：柳 有起

所属：東京理科大学理工学部物理学科

要旨：

モット転移は強相関電子系における基本問題の一つであり、実験・理論の両面から盛んに研究されている。モット転移の性質は connectivity や幾何学的フラストレーションといった格子構造に強く依存することが知られているが、特に、非ブラベ格子におけるモット転移は興味深い。非ブラベ格子では、ユニットセル内に非等価な原子が2つ以上存在するため、電子構造は多バンドとなり、様々な金属絶縁体転移の可能性が考えられる[1-3]。

最近、我々は非ブラベ格子の一種である 1/5 周期欠損正方格子上のハバード模型[4,5]をセル型動的平均場理論を用いて調べた。その結果、模型が有する2種類の非等価な遷移積分 t_1 , t_2 の比によってモット転移の性質が大きく異なることが分かった。ブラケット内遷移積分 t_1 がダイマー内遷移積分 t_2 より大きい場合には、モット転移が1次転移で生ずる一方、 $t_1 < t_2$ の領域においては、1次転移の兆候なしに、フェルミ準位上の状態密度が消失する。これは、 $t_1 < t_2$ における金属絶縁体転移がクーロン相互作用 U によって誘起されるリフシツト転移であることを意味している。また、その物理的起源は、非局所相関効果によるダイマー化の促進であることが分かった。

- [1] S. Sorella, Y. Otsuka and S. Yunoki, Sci. Rep. **2**, 992 (2012).
- [2] S. S. Kancharla and E. Dagotto, Phys. Rev. Lett. **98**, 016402 (2007).
- [3] S. S. Kancharla and S. Okamoto, Phys. Rev. B **75**, 193103 (2007).
- [4] Y. Yamashita, M. Tomura, Y. Yanagi and K. Ueda, Phys. Rev. B **88**, 195104 (2013).
- [5] Y. Yanagi and K. Ueda, arXiv:1403.1743.

標題：放射光セミナー：全反射高速陽電子回折(TRHEPD)法による表面構造解析

日時：2014年4月25日(金) 午後1時～

場所：物性研究所本館6階 第1会議室 (A636) (TV 会議播磨中央管理棟3F会議室)

講師：望月 出海

所属：高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所

要旨：

反射高速陽電子回折(RHEPD)は、反射高速電子線回折(RHEED)の陽電子版である。RHEPD は、通常の実験の視射角の範囲で全反射する(Si に 10keV の陽電子を入射する場合の臨界角は 2°)という、RHEED にはない際立った特徴をもっている。

RHEPD は、一宮によって 1992 年に提唱され[1]、1998 年に、放射性同位元素 ^{22}Na を陽電子源とするビームを用いて、河裾・岡田によって実証された[2]。最近、原子力機構の装置を ^{22}Na ビームから切り離し、KEK 低速陽電子実験施設の専用リアックで生成した高輝度・高強度陽電子ビーム[4]に接続した。その結果、ビームの質が向上し、たとえば Si(111)-(7×7)再構成表面の多くの分数次スポットが見えるようになった。

我々は、このように大幅に質が向上した今、RHEPD を全反射高速陽電子回折 (Total Reflection High-Energy Positron Diffraction, TRHEPD) と呼ぶことにした。TRHEPD は、全反射条件で最表面のみの原子配置の情報を得て、次に次第に視射角を増加させながら測定することにより、上から順に表面に隠された部分の原子配置の詳細を知ることができるユニークな手法である。そのために、バルクの結晶の構造解析に X 線回折が果たしている役割を表面構造解析について担うようになる可能性をもっている。

ここでは、TRHEPD の基本的特徴、および Pt/Ge(001)表面、TiO₂(110)-(1×2)表面、Ag(111)表面上のシリセン構造の TRHEPD による構造決定の結果を紹介する。

文献

- [1] A. Ichimiya, Solid State Phenom. 28/29, 143 (1992).
- [2] A. Kawasuso, S. Okada, Phys. Rev. Lett. 81, 2695 (1998).
- [3] Y. Fukaya, *et al.*, J. Phys.: Conf. Ser. 443 012068 (2013).
- [4] K. Wada, *et al.*, Eur. Phys. J. D 66, 37 (2012).
- [5] Y. Fukaya *et al.*, accepted to APEX (2014).
- [6] I. Mochizuki, *et al.*, Phys. Rev. B 85, 245438 (2012).
- [7] I. Mochizuki, *et al.*, in preparation.
- [8] Y. Fukaya *et al.*, Phys. Rev. B 88, 205413 (2013).

標題：理論セミナー：Field theories for polymer containing vesicles

日時：2014年5月2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：大矢 豊大

所属：東北大学大学院理学研究科

要旨：

Vesicle is a closed form of a bilayer composed of amphiphilic molecules. It is a simple model of bio-membrane and can enclose some materials inside it. For example, a vesicle can enclose a polymer solution, whose structure is frequently found in biological systems such as endocytosis and exocytosis, and is expected to be applicable to industrial science, such as the drug-delivery system. We studied this system by simulations based on field theories. We adopt a coupled theory between phase field theory(PFT) for deformation of the vesicle and self-consistent field theory(SCFT) for the polymer conformations. Contrary to the preceding studies of hard confinement for polymer solutions where the vesicle does not deform, the combined PFT-SCFT method enables us to realize the soft confinement that has been difficult to simulate only by SCFT. Using such a combined PFT-SCFT method, we obtained equilibrium shapes and dynamical behaviors of the vesicle deformations that are induced by the phase-separated structures of the enclosed polymer solution. As a result, we obtained a rich variety of vesicle shapes, for example symmetric dumbbell and asymmetric pear shapes that can not be obtained by minimizing the free energy of the vesicle without the polymers[2].

Reference

- [1] Y.Oya, K. Sato, T. Kawakatsu, Europhys. Lett., 94 (2011) 68004.
- [2] Y.Oya and T.Kawakatsu, in preparation.



標題：理論インフォーマルセミナー：Complex rheology of simple soft particles: Role of inertia for shear thickening

日時：2014年5月8日(木) 午後1時～午後2時

場所：物性研究所本館6階 第3セミナー室 (A613)

講師：川崎 猛史

所属：Laboratoire Charles Coulomb, Université Montpellier II

要旨：

We numerically study the rheology of a simple model of soft repulsive particles, and show that nonlinear flow curves reminiscent of experiments on real suspensions can be obtained. By using dimensional analysis and basic elements of kinetic theory, we rationalize these multiple rheological regimes and disentangle the relative impact of thermal fluctuations, glass and jamming transitions, inertia and particle softness on the flow curves.

We characterize more specifically the shear-thickening regime and show that both particle softness and the emergence of a yield stress at the jamming transition compete with the inertial effects responsible for the observed thickening behaviour. This allows us to construct a dynamic state diagram, which can be used to analyze experiments.

Ref.

Takeshi Kawasaki, Atsushi Ikeda, and Ludovic Berthier, arXiv:1404.4778.

標題：Topological Phases in Quantum Materials (新量子相 Lecture Series 第4回)

日時：2014年5月20日(火) 午前10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：Yong-Baek Kim

所属：University of Toronto

備考：

We discuss recent theoretical and experimental attempts to understand possible topological phases of correlated electrons in quantum materials. After introducing key ideas of topological phases, we focus on two main examples. Firstly, we consider quantum spin liquid phases in frustrated magnets and materials near a metal-insulator transition. Secondly, we discuss topological insulator and other related phases in interacting electron systems with strong spin-orbit coupling. More recent theoretical ideas for generalized topological phases of interacting electron systems will also be discussed.

標題：理論セミナー：Response functions in Spintronics calculated by means of the Kubo formalism

日時：2014年5月30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：Hubert Ebert

所属：Department Chemie, Ludwig-Maximilians-Universität München, Germany

要旨：

Kubo's linear response formalism allows to determine the response of a property of a solid to a perturbation in a very general way. A prominent example of application is the evaluation of charge, spin and heat transport coefficients of solid state systems. The scheme of Kleiner [1] to investigate the symmetry of conventional transport coefficients has been extended to describe the symmetry of conductivity tensors appearing in spin- and thermo-magneto-galvanic

transport. Implications for the appearance of interesting effects described by non-zero elements of the respective conductivity tensors are outlined. In recent years several first-principles approaches have been established to treat transverse electron transport phenomena as e.g. the anomalous Hall effect and spin Hall effect. Most of them treat only particular contributions to the full conductivity tensor. In contrast to this, a first-principle approach is presented that is based on the Kubo-Bastin equation [2] and implemented within the fully relativistic KKR (Korringa-Kohn-Rostoker) formalism [3]. This approach is able to treat intrinsic and extrinsic contributions on equal footing. Both contributions from states below (Fermi sea) and at the Fermi level (Fermi surface) are treated and can be analyzed in detail. The approach is applicable to pure systems as well as metallic and semiconductor alloy systems. Several examples (anomalous Hall and anomalous Nernst as well as spin Hall and spin Nernst conductivities) are given to illustrate this analysis in combination with numerical results obtained using the spin-polarized KKR electronic structure method. In addition, corresponding results for the Gilbert damping parameter [4] and the spin-orbit torque [5,6] are presented. Special emphasis will be placed on the role of the so-called vertex corrections that allow to build a bridge to the semi-classical Boltzmann transport formalism.

- [1] Kleiner, Phys. Rev. 142, 318 (1966).
- [2] Bastin et al., J. Phys. Chem. Solids 32, 1811 (1971).
- [3] Ebert, Ködderitzsch, and Minár, Rep. Prog. Phys. 74,096501 (2011).
- [4] Gilbert, IEEE Trans. Magn. 40, 3443 (2004).
- [5] Manchon and Zhang, Phys. Rev. B 78, 212405 (2008).
- [6] Gambardella and Miron, Phil. Trans. R. Soc 369, 3175 (2013).

標題：理論セミナー：Worm Algorithm on Parallel Computer (ワームアルゴリズムの並列化)

日時：2014年6月6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：川島 直輝

所属：東京大学物性研究所

要旨：

The quantum Monte Carlo with worm update is one of the standard techniques in computational condensed matter physics. For lattice Bose systems and quantum spin systems with magnetic field, it is arguably the best method to explore large systems (provided, as usual, that negative signs do not intervene). To our great regret, the computational task can hardly be split into pieces and assigned to many processors. This is because the worm update of configurations is achieved via a motion of a single point, in contrast to its cousin, the loop update. Recently we proposed a general quantum Monte Carlo algorithm suitable for parallelizing on a distributed-memory computer by domain decomposition. [1] The trick is to introduce a large number of worms and to control its population by a fictitious transverse field. For a benchmark, we study the size dependence of the Bose-condensation order parameter of the hard-core Bose-Hubbard model with $L \times L \times (1/T) = 10,240 \times 10,240 \times 16$, using 3,200 computing cores, which shows good parallelization efficiency.

- [1] A. Masaki-Kato, T. Suzuki, K. Harada, S. Todo and NK: Phys. Rev. Lett. 112, 140603 (2014).



2. 強相関電子系の角度光電子分光 (ARPES) 理論

ARPES は言わずと知れた、固体のバンド構造を直接測定できる貴重な実験手段であるが、電子間相互作用や電子格子相互作用に起因する、所謂インコヒーレント成分がスペクトル形状に如何に影響するかは物質依存があり慎重に議論する必要がある。私たちは、経路積分を量子モンテカルロ法で見積もることで、電子間相互作用を近似なしに取り込み光学スペクトルを計算する手法を開発した。この手法を用いて、ARPES における電子間相互作用の効果を調べた結果、中間相関領域よりも相互作用が強いときには、光電子スペクトルはインコヒーレント成分によって支配されており、バンド成分はほとんど含まれていないことが明らかになった。このことは、強相関電子系において、ARPES のピークをトレースしても正確なバンド分散は得られないことを意味している。

標題：理論セミナー：Flat band physics with strongly correlated photons

日時：2014年6月20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：Sebastian Schmidt

所属：ETH Zurich, Switzerland

要旨：

It is well known that certain types of tight-binding lattice geometries in quasi-1D (e.g., sawtooth chain) and 2D (e.g., Kagome lattice) exhibit localized eigenstates due to frustrated hopping and quantum interference. Localization manifests itself as a completely dispersionless flat band in the entire Brillouin zone. The macroscopic degeneracy of the localized states may lead to a strong enhancement of interaction effects resulting in highly correlated, topological and exotic states of matter typically discussed in the context of spin chains, fermions or ultra-cold bosonic atoms.

In this talk I discuss a novel architecture for realizing flat bands with strongly interacting photons. A one-dimensional chain of cavities with embedded qubits in every other cavity exhibits such a non-trivial flat band peculiar of polaritonic systems. The proposed setup is realisable with state of the art circuit QED, where the lattice dispersion can be switched in-situ between flat and dispersive (for a recent review see [1]).

We have calculated the steady state of this system including drive and dissipation using open system TEBD as well as analytic projective methods. Based on our results we identify signatures of photon localization and predict the formation of finite-range crystalline order in the non-equilibrium steady state, which can be understood in analogy to the formation of a charge density wave state for flat band systems in equilibrium [2].

References

[1] S. Schmidt and J. Koch, *Annalen der Physik* 525, 395-412 (2013).

[2] M. Biondi, E. v. Nieuwenburg, G. Blatter, S. Huber and S. Schmidt, in preparation (2014).

標題：第3回柏キャンパス in 駒場 智の先端 柏キャンパストップサイエンスフォーラム

日時：2014年6月21日(土)

場所：東大駒場Iキャンパス 数理科学研究科棟大講義室

講師(所属)：瀧川 仁(東大物性研)、武田 展雄(東大新領域)、新野 宏(東大大気海洋研)、梶田 隆章(東大宇宙線研)、村山 斉(東大 Kavli IPMU)

要旨：

「素粒子、物質から地球、宇宙」柏キャンパスに広がる科学の回廊

東大・柏キャンパスを知っていますか？大学院新領域創成科学研究科と世界トップレベルの4つの研究所があります。

「柏キャンパス in 駒場」はこれら研究機関のトップ5人が講師。ノーベル賞候補や超人気講師が最前線で研究する臨場感を伝えます。



標題：理論セミナー：Understanding the mechanisms of proton transport in hydrogen bonded media from first-principle molecular dynamics

日時：2014年7月1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：Mark E. Tuckerman

所属：New York University

要旨：

Proton transport in aqueous and non-aqueous hydrogen-bonded media has long been an area of intense study due to its fundamental importance in emerging energy technologies such as hydrogen fuel cells and in biological problems such as proton pumping. Our understanding of proton transport phenomena is based on the concept structural diffusion of a topological defect in the hydrogen bond network generally attributed to C. J. T. von Grothhuss. Within this picture, long-range proton transport is driven by specific structural rearrangements in the local hydrogen bonding environment, however, pinning down the specific microscopic mechanisms in different media remains an immense challenge that has an immediate impact on the problem of designing novel materials for enhancing the proton transport process. In this talk, I will show how first-principles molecular dynamics has contributed to our understanding of proton transport phenomena in a variety of systems including aqueous acidic and basic solutions, acid hydrate crystals, and phosphate based materials including pure phosphoric acid and its mixtures with heterocycles. It will be shown that proton transport in aqueous systems relies largely on local fluctuations in the hydrogen bond network while phosphate systems, by contrast, transport protons along extended, polarized chains in a manner much closer to the original picture suggested by von Grothhuss. Such mechanistic studies can help inform the process of membrane design for electrochemical devices such as fuel cells. I will also discuss the role autodissociation and proton conduction play in the high observed dielectric constant of phosphoric acid.

人事異動

【研究部門等】

○平成26年4月1日付け

(昇任)

氏名	所属	職名	備考
杉浦良介	附属中性子科学研究施設	技術専門職員	

(委嘱「客員：テーマ限定型」)

氏名	所属	職名	備考
神取秀樹	新物質科学研究部門	教授	本務：名古屋工業大学大学院工学研究科 期間：平成26年4月1日～平成27年3月31日
古賀昌久	物性理論研究部門	准教授	本務：東京工業大学大学院理工学研究科 期間：平成26年4月1日～平成26年9月30日
河江達也	ナノスケール物性研究部門	准教授	本務：九州大学工学研究院 期間：平成26年4月1日～平成27年3月31日
佐藤卓	附属中性子科学研究施設	教授	本務：東北大学多元物質科学研究所 期間：平成26年10月1日～平成27年3月31日
関川太郎	附属極限コヒーレント光科学研究センター	准教授	本務：北海道大学大学院工学研究科 期間：平成26年10月1日～平成27年3月31日
虻川匡司	附属極限コヒーレント光科学研究センター 軌道放射物性研究施設	准教授	本務：東北大学多元物質科学研究所 期間：平成26年4月1日～平成27年3月31日

(委嘱「客員：テーマ提案型」)

氏名	所属	職名	備考
中村真	物性理論研究部門	教授	本務：中央大学理工学部 期間：平成26年10月1日～平成27年3月31日
寺崎一郎	附属中性子科学研究施設	教授	本務：名古屋大学大学院理学研究科 期間：平成26年4月1日～平成26年9月30日
中野智仁	極限環境物性研究部門	准教授	本務：新潟大学大学院自然科学研究科 期間：平成26年4月1日～平成26年9月30日

○平成26年4月30日付け

(辞職)

氏名	所属	職名	備考
高木宏之	附属極限コヒーレント光科学研究センター	助教	高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設第七研究系准教授へ

○平成26年6月1日付け

(採用)

氏名	所属	職名	備考
尾崎泰助	附属計算物質科学研究センター	特任教授	北陸先端科学技術大学院大学 シミュレーション科学研究センター准教授から

○平成26年7月1日付け

(採用)

氏名	所属	職名	備考
岡崎浩三	附属極限コヒーレント光科学研究センター	特任准教授	大学院理学系研究科物理学専攻助教から

【事務部】

○平成26年4月1日付け

(転出)

氏名	所属	職名	備考
川口安名	物性研究所	事務長	社会連携部長へ
近藤仁美	物性研究所	総務係長	宇宙線研究所総務係長へ

(転入)

氏名	所属	職名	備考
片桐徹	物性研究所	事務長	本部契約課長から
辻角隆之	物性研究所	総務係長	本部学生支援課学生生活チーム係長から
木船聡	物性研究所附属中性子科学研究施設	事務室係長	農学系総務課附属牧場事務室係長から

(昇任)

氏名	所属	職名	備考
竹山牧子	物性研究所《総務係》	主任	

東京大学物性研究所技術職員公募について

下記により技術職員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します。

記

1. 研究部門名等および公募人員数

附属物質設計評価施設 技術職員 1名

2. 職務内容

附属物質設計評価施設の物質合成室および化学分析室において、全国共同利用および所内利用に対応し、各種合成装置や分析装置を用いた実験の補助を行うとともに装置を保守管理する。また、所内の化学薬品管理および安全衛生管理に従事する。

3. 応募資格

4年制大学の理・工学系学部卒業以上であること。化学の知識を有し、化学薬品管理および安全衛生管理を行う能力を有すること。危険物取扱者、衛生管理者等の資格を有する、または着任後に取得すること。また、各種の合成装置（ブリッジマン炉、帯域溶融炉、アーク溶解炉、フラックス炉、真空蒸着装置など）や分析装置（誘導結合高周波プラズマ発光分光分析装置、自動滴定装置、純水製造装置など）に関して十分な知識を有し、その操作や保守に習熟していることが望ましい。

4. 公募締切

平成26年9月30日（火）必着

5. 着任時期

平成27年1月1日、または採用決定後の出来る限り早い時期。

6. 提出書類

(イ) 推薦の場合

○推薦書

○履歴書（東京大学統一履歴書、http://www.u-tokyo.ac.jp/per01/r01_j.html より入手すること）

○職務経歴および内容（職務経験のある場合、A4用紙1～2枚程度）

(ロ) 応募の場合

○履歴書（東京大学統一履歴書、http://www.u-tokyo.ac.jp/per01/r01_j.html より入手すること）

○職務経歴および内容（職務経験のある場合、A4用紙1～2枚程度）

○自己アピール（A4用紙1～2枚程度）

7. 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

8. 本件に関する問い合わせ先

東京大学物性研究所附属物質設計評価施設 施設長 廣井善二
電話:04-7136-3445 e-mail: hiroii@issp.u-tokyo.ac.jp

9. 注意事項

「附属物質設計評価施設 技術職員応募書類在中」の旨を朱書きし、書留にて郵送すること。

10. 選考方法

書類選考および面接選考を行い審査決定する。ただし、適任者がない場合は決定を保留する場合がある。

11. その他

応募書類等は返却しないので、了解の上、申込むこと。また、応募書類は本応募の用途に限り使用し、個人情報をご正當な理由なく第三者へ開示、譲渡及び貸与することはありません。

平成26年6月30日

東京大学物性研究所長 瀧川 仁



編集後記

図書委員の一員としてこの編集後記を書くにあたって、最近図書を読んでいないことに気づいたのですが、古くからの友人が科学翻訳をしている関係で「THE BIG QUESTIONS Physics」という本を読む機会がありました。本を手にする前は最先端の研究紹介なのかと思ったのですが、この本は「時間とは?」「重力とは?」などの質問形式をとりながら物理の基本的事項を解説する本となっています。カオスや地磁気の反転に関する地球物理の話題も取り上げられていたり、ヒッグス粒子などの比較的新しい話題に、ちょっと胡散臭い章もあつたりします。ただ、総じて“big science”に関する事項が多く、物性物理に関するものは多くありません。物性研に新しく来られた URA の鈴木さんの本号の記事にもある“small science”である物性物理のアウトリーチの難しさというのがここにあるように思うのですが、装置の規模等が“small”である我々にもそれぞれ“big questions”があります。そこで、“BIG QUESTIONS in Condensed-matter physics”というのをまとめてみると面白いのではないかと思います。今号は各賞の受賞報告に、最新の研究トピック、新任所員の自己紹介と、客員所員の報告があります。それぞれの“Big questions”を楽しみに読んでいただけたらと思います。

山下 穰