

March

Physics of Conductive Multipole Systems



CONTENTS

巻頭言ー研究業績評価について思うこと	播磨 尚朝	02
研究解説		
反対称スピン軌道相互作用と奇パリティ多極子	柳瀬 陽一	04
電場誘起超伝導とスピン軌道相互作用	野島 勉	09
研究交流のすすめ J-Physicsで購入した共用備品の紹介		
共用備品「低温物性測定装置」の紹介と研究交流のすすめ	青木 大	14
～複合環境下での16/18Tマグネットの利用～	富田 崇弘	16
1軸角度回転機構付き希釈冷凍機OXFORD社製 Kelvinox MX200の紹介	藤 秀樹	18
今号の研究成果		
Exotic Quadrupolar Phenomena in Non-Kramers Doublet Systems --- The Cases of $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$ ($T=\text{Ir, Rh}$) and $\text{PrT}_2\text{Al}_{20}$ ($T=\text{V, Ti}$) ---	鬼丸 孝博	19
BiS2系超伝導の発現機構解明に向けた新物質開発	水口 佳一	22
多自由度系超伝導体における超伝導ギャップ関数の分類とノード構造	野本 拓也	23
研究会報告		
J-Physics若手夏の学校	藤 秀樹	26
第10回物性科学領域横断研究会(領域合同研究会)	播磨 尚朝	28
滞在記報告		
ボルチモア滞在記	鈴木 慎太郎	30
Grenoble滞在記	仲村 愛	31
ドレスデン滞在記 ～ Max Planck Instituteのビジターとして～	岸本 恭来	32
アウトリーチ活動		
神戸大学大学院理学研究科物理学専攻特別談話会「祝ニホニウム誕生を学ぶ」	播磨 尚朝	34
小林隆司氏によるアウトリーチ入門セミナー 「考えたこともなかった「伝える技術」～テレビが使うあの手とこの手～」	網塚 浩	35
2017年4月からの領域関連行事		36
事務局からのお知らせ		37



巻頭言ー研究業績評価について思うこと

播磨 尚朝

領域代表 神戸大学大学院理学研究科

「J-Physics：多極子伝導系の物理」も発足より1年半を過ぎて、5年間の研究期間の3年度目を迎えようとしています。領域発足当初からの計画研究のメンバーも昨年4月からの公募研究のメンバーも着実に成果を上げつつあることと思います。新学術領域研究（研究領域提案型）は3年度目に中間評価を受けることになっていて、本領域もそれに向けた準備を進める時期になりました。それについては領域活動に関わっている皆さんに改めてお願いするとして、ここでは一般的な研究業績の評価などについて日頃思っていることなどをお伝えしようと思います。

研究を行った成果は、講演や論文などの形で公開することになります。私たちの物理学の分野では、出版される論文のほとんどは査読付き論文です。講演も招待以外では申込をして許可を得ることがほとんどです。しかしながら、論文の掲載も講演の申込も却下される事が全く無い訳ではありません。ですから、論文は出版されれば、講演は行われれば、それは立派な研究業績として評価されてきました。中でも国際研究集会の招待講演となると、特別に高い評価を受けてきました。（“招待”と聞くと飛行機代や宿泊費も負担してもらおう印象がありますが、ほとんどの場合、そう言うことはありません）論文リストや講演リストが研究業績として評価される素材で、人事選考の場合には論文の別刷り（若い人には馴染みがないでしょうね）が加わり、中身を精査されました。

それが少し様変わりしてきたのは、論文データベースの普及によるものでした。インターネットなど無い、私が学生の頃から、（当時は九州大学にあった）論文データベースでキーワードを基に論文を検索することが可能でした。その後、インターネットが普及して間も無くのことですが、論文の被引用論文リストを知ることが出来るようになって、論文の被引用数や掲載された雑誌のインパクトファクター（IF:平均被引用頻度数?）でも論文の評価が行なわれるようになってきました。論文の被引用論文リストは、その論文の研究のその後の展開などを知るために有用であり、必ずしも良い意味だけで引用するばかりではないと思いますが、“注目されている”ことを示す指標であることは間違いありません。被引用数やIFは客観的な数字ですから、評価指標として用いることには十分な根拠があります。この他にも、論文賞や注目論文、あるいは研究集会などでポスター賞を選ぶなど、異なる視点から論文や講演の価値を評価することが行われています。これらの客観的な数字や受賞は専門が近くない分野の人たちから研究業績の評価を受ける時には大いに参考になるはずです。IFが高い雑誌ばかり注目されるようになると、研究の多様性が失われたりする懸念もありますが、ここではそのことには触れません。

自分の研究結果が注目されることは、誰にとっても嬉しいことだと思います。ただ、最近になって、違う意味での“注目”が行われるようになってきました。研究会などの概要がネットで公開されると、「素晴らしい業績だと思うので是非論文として投稿して下さい」という類のメールが頻繁に来るようになりました。この手のメールのほとんどは、研究の内容に注目した訳ではなく、機械的にメールを送ってくるだけです。論文投稿の勧誘だけでなく、雑誌の編集委員になってくれないかというメールも来ます。国際会議からの勧誘も大変多く、招待講演をお願いする、というありがたいメールも毎日の様に届きます。私への招待講演の依頼メールの会議のかかりのものは材料関係ですが、薬学関係も数多く含まれています。これらの国際会議はもちろん実際に開催され

ているようです。しかも会議の主催者からすれば参加者が多い方が良いでしょうから、できる限り多くの案内を出しているのでしょう。こういう会議では、3日間で100件程度の”招待講演”が行われていることもあるようです。招待講演とは言え参加費は負担する訳で、会議の主催者は損をすることはないのだらうと思います。先の論文投稿の勧誘についても、そこそこの論文掲載料を取ってオンラインのみで出版すれば、損をすることはないと思います。そもそも、古くからある雑誌にしても国際会議にしても、損をしてまで行うことはありません。しかし、中には単なるビジネスとして行っているものもあるのではないのでしょうか。

論文や研究集会以外でも、例えば、専攻の紹介のビデオを作って大きな研究集会で流して学生を勧誘させんか、プロジェクトの紹介の記事を私たちの雑誌で紹介したいのですが取材を受けませんか、などという勧誘メールも来ます。実際にビデオを作るようすし、記事も掲載されて、大きな宣伝になるでしょう。プロジェクトの研究成果が英文の雑誌の記事になって紹介されたとなれば、大きな研究成果とも言えます。ビデオや記事の製作にはお金がかかりますから相応の金額の負担はありますが、研究成果の発信にお金が必要なことには変わりはありません。ただし、この様なビデオや雑誌で紹介されることが、研究者同士による評価の延長線上にある様には思えません。

データベースの充実やインターネットの普及によって、研究業績の評価に使われる素材が増えてきました。研究成果の発信には、査読の有無にかかわらず多少なりとも費用が発生します。そうすると、査読を簡略化すれば、成果を発信することが容易になります。極端な例は、査読前の論文を自身のホームページやアーカイブなどに掲載するだけで済ませるものです。「良い研究は査読を受けなくても読む人が読めば分かる」ということは、文脈としては間違っていないかもしれませんが、それで良いのでしょうか。一方で、査読有りを掲げていても同業者にはほとんど知られていないネット配信の雑誌に論文を掲載して、査読有りの論文として研究業績とすることが、真に研究業績を発信していることになるのでしょうか。研究成果の発信には費用がかかりますが、費用の多寡と研究成果の善し悪しとは必ずしも一致しません。査読付き論文や招待講演について、従来の客観的な評価指標の信頼性が大きく揺らいでいる懸念があります。

業績評価の基本は今も昔もピアレビュー (peer review) です。”peer” は同僚という意味だそうですが、”peer review” は「同じ専門家による論文などの査読や評価」となります。この基本に変わりはないのですが、変わってきたのは、「同じ専門家」の方でしょう。以前は、学会などで直接顔を合わせて議論などをした集団が同じ専門家集団 (コミュニティ) として認知されてきたと思います。この専門家集団は固定化されて他と交流がなくなれば、タコ壺化しているという批判を受けます。ですから、ピアレビューを受ける専門家集団も特定の固定化された集団を考えるのではなく、サイズの小さいものから大きいものまでを考えるようになってきました。あるいは、大きな集団で評価を受けることで、小さな集団そのものが評価を受けることに繋がるとも言えます。ところが最近、最小の専門家集団のサイズがより小さくなって、それより大きな専門家集団は専門家としてのつながりが希薄になってきたように思います。それが、批判的な評価を避けて客観的な数字にこだわり過ぎる傾向の現われであることを危惧します。結果として、ピアレビューの本来の機能が失われてきていると思うのは考えすぎでしょうか。

新学術領域の活動では、トピカルミーティングの様に限定的な話題に関するものから、もう少し大きな領域全体研究会、さらに隣接領域を含んだ領域横断研究会など、様々な規模での研究集会が企画されています。さらに、アウトリーチ活動など一般社会への情報発信も行っています。この様な研究紹介と議論の場が、ピアレビュー本来の機能を維持強化していく場として使われて、私たちの研究領域の発展に寄与することを願っています。



反対称スピン軌道相互作用と 奇パリティ多極子

柳瀬 陽一

京都大学 理学研究科 准教授

1. はじめに

空間反転対称性が欠如した結晶にはエキゾチックな現象が数多く現れる。そして、その多くが反対称スピン軌道相互作用に由来する。反対称スピン軌道相互作用の一般的な形は以下のとおりである。

$$H_{\text{ASOC}} = \alpha \sum_{\mathbf{k}} \mathbf{g}(\mathbf{k}) \cdot \mathbf{S}(\mathbf{k})$$

ここで、 $\mathbf{S}(\mathbf{k})$ は波数 $\mathbf{k}$ におけるスピン演算子である。もう一つのベクトル $\mathbf{g}(\mathbf{k})$ が反対称スピン軌道相互作用を特徴づけるベクトルで、 $\mathbf{g}$ ベクトルと呼ばれている。時間反転対称性がある系では、その要請により $\mathbf{g}$ ベクトルは波数に対して反対称でなければならない。

$$\mathbf{g}(-\mathbf{k}) = -\mathbf{g}(\mathbf{k})$$

それが、反対称スピン軌道相互作用と呼ばれる理由である。

反対称スピン軌道相互作用のミクロな起源については、以前「固体物理」誌に比較的分かりやすい解説[1,2]を書いたつもりなので、この記事では触れないことにする。スピン軌道相互作用は一般に相対論効果であるが、それが固体中で反対称スピン軌道相互作用として発現する際には、LS結合、軌道自由度、パリティ間軌道混成、といった要素が主要な役割を果たす。ご興味をお持ちの方にはぜひ[1,2]をご覧くださいいただければ幸いである。

反対称スピン軌道相互作用の形式を見ると、波数に依存するゼーマン項のようにも見える。ただし、外部磁場により誘起されるゼーマン項が波数に依存しない[3]のに対し、反対称スピン軌道相互作用は時間反転対称な波数 $\mathbf{k}$ と $-\mathbf{k}$ の間で有効ゼーマン場が逆符号になる。すなわち、反対称スピン軌道相互作用を奇パリティのゼーマン項と見なすことができる。そのため、運動量自由度（波数 $\mathbf{k}$ ）とスピン自由度（ $\mathbf{S}$ ）の間に強い結合が生まれ、フェルミ面がスピン分裂する。それをスピン・運動量ロッキングと呼ぶこともある。

反対称スピン軌道相互作用はスピン・運動量ロッキングを通じて様々な現象を引き起こす。例えば、（１）スピントロニクス分野ではスピンホール効果やスピン軌道トルクの起源となり、（２）エキゾチック超伝導分野では超伝導秩序変数のパリティ混成やヘリカル超伝導を引き起こし、（３）遍歴磁性分野ではジャロシンスキー・守谷相互作用の起源となりスカーミオン相やヘリカル相などを安定化する。他にも半導体から強相関電子系にわたる様々な例を挙げることができる。

このように近年の物性物理学において八面六臂の活躍をする反対称スピン軌道相互作用の重要性はますます増しているようである。実際、反対称スピン軌道相互作用に関する質問を受けることがしばしばある。その際に特に多いのが「○○の物質におけるスピン軌道相互作用はどのようなものですか?」という根本的な疑問である。この記事では、その疑問に対して一般的に答えられる比較的平易な回答を与えたいと思う。

[1] 柳瀬陽一, 播磨尚朝, 「スピン軌道相互作用と結晶中の電子状態(その2)」, 固体物理 (2011) Vol.46, No.6, 1-10.

[2] 柳瀬陽一, 播磨尚朝, 「スピン軌道相互作用と結晶中の電子状態(その3)」, 固体物理 (2012) Vol.47, No.3, 1-11.

[3] 正確に言うと、ゼーマン項をバンド表示すると波数依存性が現れる。しかし、それは波数に関して偶パリティである。

2. 群論による分類

反対称スピン軌道相互作用の詳細な構造を知るためにはミクロなモデルに基づいた計算や第一原理計算が必要となる。実際にそのような計算をすることも出来る[1,2,4]。しかし、詳細な構造を気にしないことにすれば、群論に基づく一般的な処方箋を活用できる。その結果により、結晶構造の対称性さえ分かれば反対称スピン軌道相互作用が持つ対称性を決定することが出来る。

32ある点群のうち空間反転対称性をもたないものは全部で21ある。それぞれの点群における反対称スピン軌道相互作用の対称性は、Frigeriが2006年に書いた博士論文にまとめられている[5]。その内容を私なりにアレンジしてまとめた表が以下の表1である。それぞれの点群において許される反対称スピン軌道相互作用の対称性が示されている。

結晶系 (基礎点群)	点群	反対称スピン軌道相互作用 $[\alpha g(\mathbf{k})]$	基礎点群の表現
立方晶 (O_h)	O	$\alpha (k_x s_x + k_y s_y + k_z s_z)$	A_{1u}
	T_d	$\alpha [k_x(k_y^2 - k_z^2)s_x + k_y(k_z^2 - k_x^2)s_y + k_z(k_x^2 - k_y^2)s_z]$	A_{2u}
	T	$\alpha_1 (k_x s_x + k_y s_y + k_z s_z) + \alpha_2 [k_x(k_y^2 - k_z^2)s_x + k_y(k_z^2 - k_x^2)s_y + k_z(k_x^2 - k_y^2)s_z]$	$A_{1u} + A_{2u}$
正方晶 (D_{4h})	D_4	$\alpha_1 (k_x s_x + k_y s_y) + \alpha_2 k_z s_z$	A_{1u}
	C_{4v}	$\alpha (k_y s_x - k_x s_y)$	A_{2u}
	$D_{2d}^{[110]}$	$\alpha (k_x s_x - k_y s_y)$	B_{1u}
	$D_{2d}^{[100]}$	$\alpha (k_y s_x + k_x s_y)$	B_{2u}
	C_4	$\alpha_1 (k_x s_x + k_y s_y) + \alpha_2 k_z s_z + \alpha_3 (k_y s_x - k_x s_y)$	$A_{1u} + A_{2u}$
	S_4	$\alpha_1 (k_x s_x - k_y s_y) + \alpha_2 (k_y s_x + k_x s_y)$	$B_{1u} + B_{2u}$
六方晶 (D_{6h})	D_6	$\alpha_1 (k_x s_x + k_y s_y) + \alpha_2 k_z s_z$	A_{1u}
	C_{6v}	$\alpha (k_y s_x - k_x s_y)$	A_{2u}
	D_{3h}	$\alpha_1 [2k_x k_y k_z s_x - (k_x^2 - k_y^2)k_z s_y] + \alpha_2 (k_y^3 - 3k_x^2 k_y) s_z$	B_{2u}
	C_6	$\alpha_1 (k_x s_x + k_y s_y) + \alpha_2 k_z s_z + \alpha_3 (k_y s_x - k_x s_y)$	$A_{1u} + A_{2u}$
	C_{3h}	$\alpha_1 [2k_x k_y k_z s_x - (k_x^2 - k_y^2)k_z s_y] + \alpha_2 (k_y^3 - 3k_x^2 k_y) s_z + \alpha_3 [2k_x k_y k_z s_x + (k_x^2 - k_y^2)k_z s_y] + \alpha_4 (k_x^3 - 3k_x k_y^2) s_z$	$B_{1u} + B_{2u}$
	C_3	$\alpha_1 (k_x s_x + k_y s_y) + \alpha_2 k_z s_z + \alpha_3 (k_y s_x - k_x s_y)$	$A_{1u} + A_{2u}$
三方晶 (D_{3d})	D_3	$\alpha_1 (k_x s_x + k_y s_y) + \alpha_2 k_z s_z$	A_{1u}
	C_{3v}	$\alpha (k_y s_x - k_x s_y)$	A_{2u}
	C_3	$\alpha_1 (k_x s_x + k_y s_y) + \alpha_2 k_z s_z + \alpha_3 (k_y s_x - k_x s_y)$	$A_{1u} + A_{2u}$
直方晶 (D_{2h})	D_2	$\alpha_1 k_x s_x + \alpha_2 k_y s_y + \alpha_3 k_z s_z$	A_{1u}
	C_{2v}	$\alpha_1 k_y s_x + \alpha_2 k_x s_y$	B_{1u}
単斜晶 (C_{2h})	C_2	$\alpha_1 k_x s_x + \alpha_2 k_y s_y + \alpha_3 k_z s_z + \alpha_4 k_y s_x + \alpha_5 k_x s_y$	A_{1u}
	C_s	$\alpha_1 k_x s_x + \alpha_2 k_z s_y + \alpha_3 k_x s_z + \alpha_4 k_y s_z$	A_{2u}
三斜晶 (C_i)	C_1	$\alpha_1 k_x s_x + \alpha_2 k_y s_y + \alpha_3 k_z s_z + \alpha_4 k_y s_x + \alpha_5 k_x s_y + \alpha_6 k_z s_x + \alpha_7 k_z s_y + \alpha_8 k_x s_z + \alpha_9 k_y s_z$	A_{1u}

表1：点群を用いた反対称スピン軌道相互作用の分類

[4] Y. Yanase, J. Phys. Soc. Jpn. 82, 044711 (2013); Y. Nakamura and Y. Yanase, J. Phys. Soc. Jpn. 82, 083705 (2013).
[5] Paolo A. Frigeri, 博士論文 (ETH-Zurich, 2006)

表 1 に示される反対称スピン軌道相互作用のうち最も有名なものは、界面効果や電界効果が誘起するラシュバ型スピン軌道相互作用である。表 1 が示すように、ラシュバ型スピン軌道相互作用はポーラーな点群 C_{3v} , C_{4v} , C_{6v} , を持つ系に現れ、その g ベクトルは以下のものである。

$$\mathbf{g}(\mathbf{k}) = k_y \hat{x} - k_x \hat{y}$$

立方晶の点群 O や T_d に現れる反対称スピン軌道相互作用をドレッセルハウス型スピン軌道相互作用と呼ぶこともある。また、点群 D_{3d} の反対称スピン軌道相互作用は 2 次元で一軸性となり、ゼーマン型と呼ばれる。その重要性が遷移金属ダイカルコゲナイド等で示されている[6]。他は特に名前がつけられていないものが多い。

表 1 を見る際の注意事項は以下のとおりである。

- (1) 波数に関して低次の項のみを示した。そのため、ブリルアンゾーン内の時間反転対称点 (Γ 点など) の近傍でのみ正確な表式となっている。
- (2) 時間反転対称点から遠く離れた波数では一般に高次項が無視できない。実際に表 1 に示した波数依存性とは大きく異なるスピン構造が得られることがあり、それがしばしば物性に影響する[4]。しかし、そのような場合でも、ブリルアンゾーン内の対称軸上では表 1 が正しい結果を与える。例えば、点群 C_{4v} に現れるラシュバ型スピン軌道相互作用は $[100]$ 軸上や $[110]$ 軸上で必ず波数と垂直な方向を向いている。
- (3) 点群 D_{2d} については D_{4h} からの対称性の低下による実現法が 2 通りあるため、2 つとも表に示した。

次に、この表を導出する方法について解説しよう。以下では 2 つの方法を紹介する。これらの方法により各点群における反対称スピン軌道相互作用の対称性は全て求められ、それを示したのが表 1 である。

方法 1 愚直に対称要素を全て考え、対称操作に対して不変な反対称スピン軌道相互作用を導出する。

ここでは点群 C_{4v} のラシュバ型スピン軌道相互作用を例として説明しよう。波数に関して一次の項まで考えることにすると、 g ベクトルは一般に $k_i s_j$ ($i, j = 1-3$) の線形結合で書ける[7]。ここで例えば (100) 面の鏡映対称性を考えると、極性ベクトルである波数 k 、軸性ベクトルであるスピン s はそれぞれ以下のように変換される。

$$(k_x, k_y, k_z) \rightarrow (-k_x, k_y, k_z)$$

$$(s_x, s_y, s_z) \rightarrow (s_x, -s_y, -s_z)$$

9 つの項のうち、この変換の下で不変なものは $k_x s_y$, $k_y s_x$, $k_x s_z$, $k_z s_x$ の 4 つである。次に (010) 面の鏡映対称性を課すると、 $k_x s_y$, $k_y s_x$ だけが残る。この 2 項の線形結合のうち、 $[001]$ 軸まわりの 4 重回転対称性に対して不変なのは $k_y s_x - k_x s_y$ だけなので、表 1 で得られた結果が得られる。この愚直な方法もある意味分かりやすいので悪くはないが、もう少し系

[6] Yu Saito *et al.*, Nature Physics, 12, 144 (2016).

[7] 三斜晶の点群 C_1 には対称要素が何もないので、9 つの項のあらゆる線形結合が許される。

統的で簡便な導出法が以下の方法 2 である。

方法 2 基礎点群の表現の基底関数を導出する。

ここで基礎点群とは、各結晶系において空間反転対称性を含む高い対称性を持つ点群を指す。空間反転対称性が欠如した点群は全て基礎点群の部分群になっている。ハミルトニアンはスカラーなので、そこに現れる項は全て点群の恒等表現でなければならない。一方、反対称スピン軌道相互作用は空間反転対称性を破るので、基礎点群の恒等表現ではない。すなわち、基礎点群の恒等表現でない表現をその部分群に制限し、それを簡約したときに部分群の恒等表現を含んでいれば、その表現の基底関数は対称性から許される反対称スピン軌道相互作用を自然に含んでいる。

具体的な手順としては、点群の相関表を見て上の条件を満たすものを探せばよい。例として正方晶の相関表（の一部）を表 2 に示す。表 2 においては赤字で強調した A_1 表現が恒等表現である。この表が示すことは、 D_4 , C_{4v} , $D_{2d}^{[110]}$, $D_{2d}^{[100]}$ における反対称スピン軌道相互作用がそれぞれ D_{4h} の A_{1u} , A_{2u} , B_{1u} , B_{2u} 表現に属している、ということである。これらの表現の波数空間における基底関数が表 1 に示した反対称スピン軌道相互作用に他ならない。他の点群に対しても同様に、基礎点群の既約表現の基底関数から表 1 に示した反対称スピン軌道相互作用が得られる。

D_{4h}	D_4	C_{4v}	$D_{2d}^{[110]}$	$D_{2d}^{[100]}$
A_{1g}	A_1	A_1	A_1	A_1
A_{2g}	A_2	A_2	A_2	A_2
B_{1g}	B_1	B_1	B_1	B_2
B_{2g}	B_2	B_2	B_2	B_1
E_g	E	E	E	E
A_{1u}	A_1	A_2	B_1	B_1
A_{2u}	A_2	A_1	B_2	B_2
B_{1u}	B_1	B_2	A_1	A_2
B_{2u}	B_2	B_1	A_2	A_1
E_u	E	E	E	E

表 2：点群 D_{4h} とその部分群の表現の相関

[8] T. Hitomi and Y. Yanase, J. Phys. Soc. Jpn. 83, 114704 (2014); J. Phys. Soc. Jpn. 85, 124702 (2016).

3. 奇パリティ多極子秩序

近年、空間反転対称性を自発的に破る奇パリティ多極子秩序の研究が盛んに行われている。これまでの多極子研究では、電気四極子、磁気八極子等の偶パリティ多極子が研究対象とされてきたが、奇パリティ多極子にまで視野を広げれば磁気四極子、電気八極子、磁気十六極子等も許される。その秩序に伴う様々な新現象が注目されている。実は奇パリティ電気多極子秩序の観点から上で述べた反対称スピン軌道相互作用を理解することが出来る。正方晶におけるその例を幾つか紹介しよう。

(1) 電気双極子 E_z は点群 D_{4h} の A_{2u} 表現に属する。これは表 1 に示した基礎点群の既約表現に相当するので、電気双極子秩序相の対称性は C_{4v} であり、ラシュバ型スピン気相相互作用が「自発的に」現れることが分かる。この現象は強誘電転移に他ならない。

(2) 電気八極子 E_{xyz} は点群 D_{4h} の B_{1u} 表現に属する。表 1 より、電気八極子秩序相の対称性が D_{2d} であり、 D_{2d} 型スピン軌道相互作用が自発的に現れることが分かる。2 層系の反強四極子相がその例である[8]。

(3) 電気三十二極子 $E_{xy(x^2-y^2)_z}$ は点群 D_{4h} の A_{1u} 表現に属する。電気三十二極子秩序相の対称性は D_4 であり、鏡映対称性が全て破れたカイラル対称系となる。それに対応するスピン軌道相互作用は放射型である。

これらの例に限らず、全ての反対称スピン軌道相互作用を奇パリティ電気多極子秩序の結末と見なすことができる。包括的な分類を近々発表する予定なので、ぜひご興味を持っていただきたい。

謝辞

この記事は、Manfred Sigrist 氏との長年の共同研究に加えて、研究室の学生である中村康晴、人見尚典、角田峻太郎、渡邊光、の各氏との共同研究の成果に基づいています。

電場誘起超伝導と スピン軌道相互作用

野島 勉

東北大学 金属材料研究所 准教授



1. はじめに

電子の軌道角運動 l とスピン s を結びつけるスピン軌道相互作用 (SOC) は、本新学術領域の頭文字である J (全軌道角運動量) によって記述される多彩な電子状態、とりわけ多極子の生み出す多彩な物理現象の源であることは言うまでもないであろう。二十数年前の学生の頃、遍歴的 $3d$ 電子系の薄膜超伝導を研究していた筆者にとって、当時、スピン軌道相互作用や多極子の主流は f 電子系であり、重い電子系を研究していた同僚達を横目にみながら、対岸から眺めていた感がある。とはいえ、全くの無縁というわけではなく、乱れた金属薄膜における反局在効果や dirty limit にある超伝導体の臨界磁場やスピン注入に関するスピン軌道散乱の効果等、ことあるごとに SOC は超伝導にも顔を出してはいた。近年、スピントロニクスにおけるスピントランジスタやスピンホール効果、磁性体におけるスカームオン相、空間反転対称性の破れた超伝導等といった、遍歴性の強い電子系の挙動に対しても、SOC が中心的な役割を果たす場面が数多くなってきた。特に超伝導に目を向けると、スコッチテープ法 (剥離法) による原子層薄膜、MBE 法による単原子膜、酸化物ヘテロ界面、電気二重層界面といった高い結晶性と 2 次元性を併せ持つ超伝導体が出現し、それらが顕著に示す SOC の効能をバンド構造とともに議論できる新たな舞台が整いつつある [1]。本稿ではこれらの 2 次元超伝導体の中でも、筆者らが取り組んでいる電気二重層トランジスタを用いて実現される電場誘起超伝導体 [2,3] における SOC の効果について紹介したい。

2. 反対称スピン軌道相互作用と超伝導保護効果

SOC は、相対論的效果であり、さらにバンド中の伝導電子への効果を考える場合には具体的な波数 k 依存性等といった電子状態の詳細を考慮しなければならない。直感的な SOC のイメージを得るため、古典的に $\mathbf{l} = \mathbf{r} \times \hbar \mathbf{k}$ において SOC のハミルトニアン表すと、

$$H_{\text{SOC}} = \zeta (\mathbf{l} \cdot \mathbf{s}) = \alpha (\mathbf{E}_{\text{eff}} \times \mathbf{k}) \cdot \mathbf{s}$$

のように書ける。これより SOC は物質内の有効電場 $\mathbf{E}_{\text{eff}}$ の中を k で運動する電子に働く、内部磁場 $\mathbf{B}_{\text{eff}}(\mathbf{k}) = \alpha (\mathbf{E}_{\text{eff}} \times \mathbf{k})$ の作用としてとらえることができる (これは原子内の H_{SOC} でも見られるよう、 ζ が静電ポテンシャルの r 微分と $1/r$ の積に比例することからもわかる)。この式を $\mathbf{E}_{\text{eff}}$ が特定の方向を向いた (空間反転対称性の破れた) 系にあてはめると $\mathbf{B}_{\text{eff}}(-\mathbf{k}) = -\mathbf{B}_{\text{eff}}(\mathbf{k})$ であることから、内部磁場は k と $-k$ で反対の向きにスピンをそろえるように働くことになる ($\mathbf{B}_{\text{eff}}(\mathbf{k})$ のミクロな起源や k 依存性は実はもう少し複雑である。柳瀬氏の稿やそこでの参考文献を参照されたい)。このような反対称スピン軌道相互作用 (ASOC) は $\uparrow$ と $\downarrow$ の電子対からなるスピン一重項超伝導には非常に有利に働くことは容易に想像できるであろう。各スピンは $\mathbf{k}$ に応じた内部磁場によってそれぞれロックされるため、外部磁場による電子対破壊が抑制されるわけである (図1)。この超伝導の保護効果は外部磁場が $\mathbf{B}_{\text{eff}}$ と垂直な場合特に顕著であり、結果として後述するような臨界磁場の増強につながる。

2 次元的な伝導面に働く ASOC のうち、代表的なものとして Rashba 型 (面直方向に空間反転対称性が破れている場

[1] Y. Saito, T. Nojima, Y. Iwasa, Nat. Rev. Mater. **2**, 16094 (2017).

[2] K. Ueno, et al., J. Phys. Soc. Jpn. **83**, 032001 (2014).

[3] Y. Saito, T. Nojima, Y. Iwasa, Supercond. Sci. Technol. **29**, 093001 (2016).

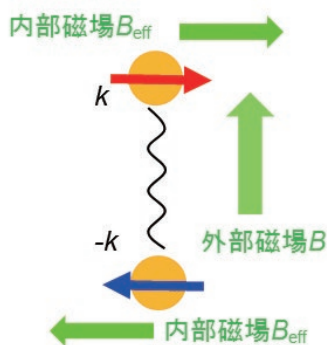


図1 反対称スピン軌道相互作用の内部磁場による超伝導電子対のロッキング現象の概念図。

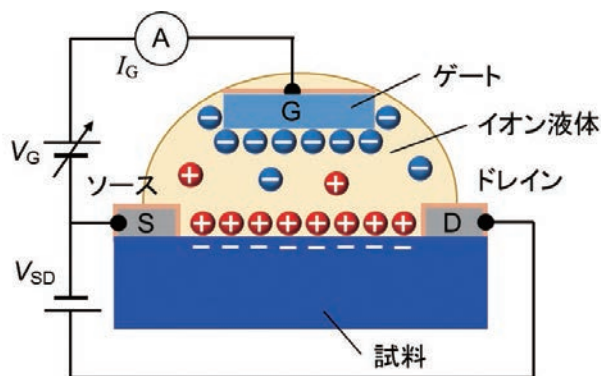


図2 電気二重層トランジスタ (EDLT) の模式図。

合) [4]とZeeman型(面内方向に対称性が破れている場合) [5]がよく議論される。前者が働く場合、バンドはスピンのヘリカルな構造をとるようにスピン分裂する。一方、後者の場合、バンドはスピンがある特定の k の領域だけ面直方向に磁場がかかったかのように上下に分裂する。その他、結晶構造に起因したDresselhaus型[6] (B_{eff} が k と同方向に向く)もGaAs等の半導体デバイスもよく取り上げられる。どのようなASOCが有効に作用するかということは、外部から印可された電場だけでなく、結晶構造の対称性によるところが大きい。こちらについても詳しくは柳瀬氏の稿を参考にされたい。

3. 電気二重層トランジスタによる電場誘起超伝導

超伝導に対するASOCの効果が顕著に表れ、かつ能動的に制御できる系として、電気二重層トランジスタ (EDLT) による電場誘起2次元電子系が挙げられる[2,3]。EDLTは従来から使われている電界効果トランジスタ (FET) のゲート絶縁体部分を、図2に示すようイオンを含む液体(イオン液体や電解液)に置き換えた一種のFETデバイスである。このデバイス構造に対し、試料とゲート電極の間にゲート電圧 V_G を印加することにより、イオン液体中の正負イオンがそれぞれゲート電極表面と試料表面に接近することで、電気二重層と呼ばれる非常に薄い擬似的な平行コンデンサが形成される。このコンデンサのギャップ厚さはイオン液体の溶媒のサイズ0.5~1 nm程度であるため、数Vの V_G を印加するだけで、数10 MV/cmという強力な表面電場を生じさせ、試料表面に 10^{14} cm^{-2} 以上の密度をもったキャリアを静電的に誘起できる。この値は、多くの酸化物やカルコゲナイドの表面で考えても、1ユニットセル当たり0.1個程度のキャリア数に相当するため、EDLTによる超伝導の電場誘起が可能となるわけである[2]。

EDLTの特徴は、(i) 2次元電子系が高い結晶性を保った表面に閉じ込められること、(ii) 強い電場による非対称な閉じ込めポテンシャルによって少なくとも上下の空間反転対称性が破れること、さらに(iii) 原子層レベルの電子系の孤立のためバルクでは観測しにくいローカルな結晶対称性があらわになることである。これらにより、EDLTは(ii)と(iii)を要因として出現する制御されたASOCの効果を、(i)の利点を用いてバンド計算に対応させながら理解することを可能にする舞台を提供してくれる。

4. 超伝導臨界磁場に対する反対称スピン軌道相互作用の効果

超伝導に対するASOCの効果が現れる最もわかりやすい物理量は上部臨界磁場の大きさであろう。上述のようにASOCはスピン一重項の電子対をそれぞれのスピン方向にロックできるため、外部磁場に対して堅牢な超伝導状態

[4] E. I. Rashba, Sov. Phys. Solid State **2**, 1109 (1960).

[5] Z. Y. Zhu, Y. C. Cheng, and U. Schwingenschlögl, Phys. Rev. B **84**, 153402 (2011).

[6] G. Dresselhaus, Phys. Rev. **100**, 580 (1955).

を生み出せる可能性がある。実際、図3(a)と図4(a)にSrTiO₃とMoS₂の(001)面を用いて作製されたEDLT (誘起されたキャリア密度は $1.1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ と $8.7 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$) の面平行と面垂直方向の上部臨界磁場の温度依存性 $H_{c2}^{\parallel}(T)$ と $H_{c2}^{\perp}(T)$ をそれぞれ示すが[7,8]、その $\mu_0 H_{c2}^{\parallel}$ の低温での値はSrTiO₃では1.5 T (= $4.2 T_c$)、MoS₂では52 T (= $8 T_c$)と予想外に大きい。よく知られているように超伝導体の臨界磁場には、渦電流 (量子磁束) もしくは試料周りのシールド電流のために増加する電子対の運動エネルギーによって決まる軌道極限と、磁場によるZeemanエネルギーとの大小関係によって決まる常磁性極限 (パウリ極限とも呼ばれる) の2つの決定機構がある。実験的には大まかには両者のうち値の小さいほうが観測されるわけだが、BCS理論を基に計算されるパウリ極限の磁場は $1.84 T_c$ であり、 $\mu_0 H_{c2}^{\parallel}$ の測定値はこれを大幅に上回る。これは、ASOCの効果により、パウリ極限が増強された結果と解釈できる。測定値が増強されたパウリ極限の値そのものか、パウリ極限が増強された結果これより小さい値となった軌道極限の値を反映しているかは、まだ議論の余地がある。ただし2次元超伝導体の面平行の軌道極限の臨界磁場は、ゼロ温度のコヒーレンス長 $\xi(0)$ と有効厚さ d を用いてGinzburg-Landau理論により

$$\mu_0 H_{c2}^{\parallel}(T) = \frac{\sqrt{12} \phi_0}{2\pi \xi(0) d} \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^{1/2}$$

であらわされるため (ここで $\phi_0 = h/2e$ は磁束量子である)、 d の非常に小さな電場誘起電子系では軌道極限が大きくなり、パウリ極限そのものが観測されている可能性が高い。一方 $H_{c2}^{\perp}$ の測定値はどちらも $1.84 T_c$ より十分小さく、軌道極限によるものである。

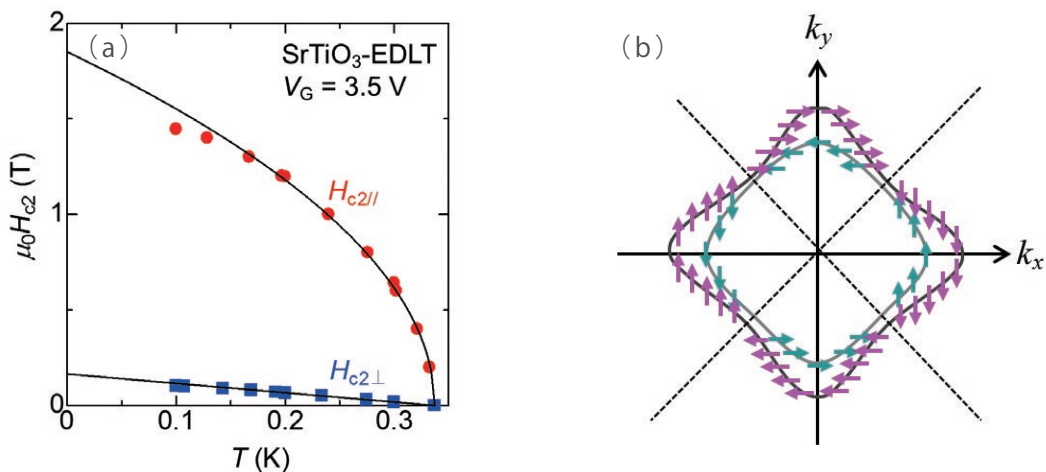


図3 (a) SrTiO₃ EDLTの上部臨界磁場 H_{c2} の温度依存性 [7]と(b)スピン分裂したフェルミ面とスピントクスの模式図。

[7] K. Ueno, *et al.*, Phys. Rev. B **89**, 020508(R) (2014).

[8] Y. Saito, *et al.*, Nat. Phys. **12**, 144 (2016).

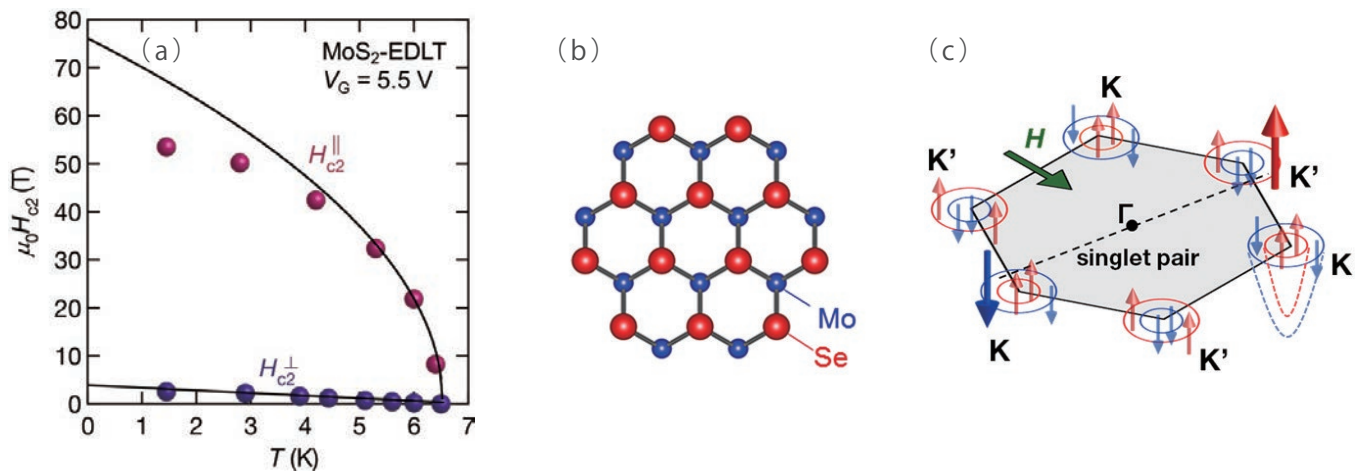


図4 (a) MoS₂ EDLTの上部臨界磁場 H_{c2} の温度依存性 [8]、(b)単層MoS₂の結晶構造、(c)予測されるフェルミ面とスピン分極の模式図。

ではASOCがどのように機能しているか、個別に考察してみる。SrTiO₃は立方晶ペロブスカイト構造（約100 Kの低温では正方晶に構造相転移）をとり、(001)面は高い面内の対称性があることより、電場方向の反転対称性を反映したRashba型のASOCのみが働くことになる。しかしよく知られているように通常のRashbaモデルにおいて、パウリ極限は通常の $\sqrt{2}$ 倍の $2.5T_c$ までしか上昇できない[9]。実験結果を説明するためには、もう少し物質の個性に立ち入る必要がある。電子ドーパされたSrTiO₃キャリアは通常のバルクではエネルギー的に縮退したTi-3dの t_{2g} (d_{xy} , d_{yz} , d_{zx}) 軌道によって運ばれるが、電場誘起2次元電子系では電場による三角井戸ポテンシャルによる閉じ込め効果によって、これらがサブバンド分裂を起こし（具体的には d_{xy} 軌道が他の2つより低エネルギー側にシフトする）、これによって生じる d_{xy} と d_{yz} （もしくは d_{zx} ）の軌道混成効果のためバンドが再構成される。その結果、ラシュバ効果が増強されるだけでなく、図3(b)のように k_x と k_y 方向しか成分がない特徴的なスピントクスタが現れることになる[10]。このようなスピン・運動量ロッキング状態では、磁場を k_x もしくは k_y 方向に平行にかけた場合、磁場と直交するスピンをもつ電子対はフェルミ面の約半分を占めることになる。これが磁場からの超伝導保護効果となる。中村と柳瀬らによるtight-bindingモデルによる計算結果によると、この状態での $\mu_0 H_{c2}$ は $4\text{--}9T_c$ までは上昇でき[10]、実験結果を説明できそうである。

一方、MoS₂はSのつくる2枚の三角格子の間にMoの作る三角格子がはさまれる三角プリズム型構造の層を単体として、それぞれの三角形が逆向きになるよう交互に積層した層状構造をとる。EDLTで誘起される伝導層の厚さは、第一原理計算や H_{c2} の測定より、1ユニットセル程度とみなしてよい[8]、ここでは単層MoS₂に話を限定する。この構造は図4(b)に示すようc軸方向から見るとグラフェンと同じハチの巣格子に見えるが、隣り合うサイトがMoとSで違うため、面内での空間反転対称性が破れることになる（ D_{3h} の対称性をもつ）。この結果、ディラック型の線形バンドにギャップが生じ、単層のMoS₂はブリルアンゾーンのK点とK'点にエネルギー的に縮退したバレーをもつ直接ギャップの半導体になる。さらに、Zeeman型のASOCにより、それぞれの点周辺で B_{eff} が面直方向にかかり、バレー（バンド）がスピンの上向きか下向きに応じて分裂することになる。つまり、スピンはバレーによってロックされる（この状態はRashba型でのスピン・運動量ロッキングと対比して、スピン・バレーロッキングと呼ばれている）。ただしKとK'点では B_{eff} の向きはそれぞれ逆となり、時間反転対称性は保たれる。バレーの伝導帯に電子をドーパした際に、予想されるフェルミ面とスピン分極の模式図を図4(c)に示す。K点では下向きに、K'点では上向きにスピン分極したバレーが、大きい方のフェルミ面となる。伝導バンドのフェルミ面での分裂幅は、第一原理計算によると、実験で

[9] 藤本聡、日本物理学会誌**63**, 18 (2008).

[10] Y. Nakamura and Y. Yanase, J. Phys. Soc. Jpn. **82**, 083705 (2013).

[11] Y. Nakamura and Y. Yanase, J. Phys. Soc. Jpn. **84**, 024714 (2015).

誘起したキャリア密度 ($8.7 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$) において13meVとなるため[8]、 B_{eff} として約 $\pm 100 \text{ T}$ の内部磁場がかかっていることになる。このようなブリルアンゾーン端に位置するフェルミ面での超伝導は、重心の運動量をゼロにするように、 s 波的な電子対が K と K' 点周りのバレー（バンド）間で形成されることによって起ると考えると都合がよい。この場合、電子対は面内の磁場に対して、 100 T の面直内部磁場により保護されることになり、 52 T という巨大な $\mu_0 H_c^{\parallel}$ の測定値を説明することになる。

MoS₂のEDLTでは、上記のZeeman型に加え電場印可によって起るRashba型のASOCも小さいもののゼロではない。第一原理計算によるとそのスピン分裂エネルギーはZeeman型の2%程度と見積もられたが、第一原理計算のバンドパラメータに基づいたtight-bindingモデルによる H_{c2} 計算では、これが10%の時低温のデータをうまく説明する[8]。今後より定量性をあげるため計算の解析精度、軌道効果の寄与等の検討をすべく研究を進めている。

5. おわりに

本稿では、電場誘起超伝導の臨界磁場に対する反対称スピン軌道相互作用の効果について簡単に紹介した。スピン軌道相互作用自体は昔から電子対のスピン軌道散乱の効果という形で主にdirty limitの超伝導体の臨界磁場増強の説明に取り入れられてきた。これに対し本研究では散乱が重要な寄与をしないと考えられる比較的cleanな系で、物質の個性（バンド構造）に由来した反対称スピン軌道相互作用が物理量に反映されるという点で、新しい方向性を持ったものである。今後、臨界磁場だけでなく、その内部の超伝導状態についても調査していきたい。特に、これまで従来型の s 波的な超伝導を仮定して話を進めてきたが、空間反転対称性のない系ではパリティ混合が起る可能性が高い。特にMoS₂では $s+f$ 波の混成という状況が容易に想像できる[8]。またRashba型のSrTiO₃では、FFLO的なヘリカル状態も期待できる[11]。

スピン・運動量ロッキングによる特異な超伝導状態の研究は、反転対称性のない重い電子系に（ $4f$ ）において最初に議論が始まった[12,13]。そこでは電子の有効質量が大きい（つまりコヒーレンス長が短い）ため、軌道極限の H_{c2} が大きくなり、パウリ極限があらわに見えやすいという特徴があった。本研究では同様な軌道極限の増大を、 $3d$ 、 $4d$ 電子系において電場による電子閉じ込め（有効厚さ d を薄くすること）と言う手法で実現していることが特徴である。同様な物理現象をアプローチや電子系を変えて行うことは重要であり、本研究をさらに進めることで、本領域の主題となる多極子伝導系の物理の発展に寄与したいと願っている。

本稿で紹介した研究内容は大内拓、田中駿（東北大金研）、斎藤優、中川裕治、恩河大（東大院工）、Mohammad S. Bahramy、川崎雅司、岩佐義宏（東大院工、理研）、小濱芳允、徳永将史（東大物性研）、上野和紀（東大院総合）、中村康晴、柳瀬陽一、笠原裕一、米澤進吾、前野悦輝（京大院理）、叶劍挺（Groningen大）各氏との共同研究によって得られた成果である。

[12] E. Bauer et al., Phys. Rev. Lett. 92, 027003 (2004).

[13] R. Settai et al., J. Phys. Soc. Jpn 76, 051003 (2007); C. Kobayashi et al., ibid. 76, 051007 (2007); E. Bauer et al., ibid. 76, 051009 (2007); N. Kimura et al., ibid. 76, 051010 (2007).

共用備品「低温物性測定装置」の紹介と 研究交流のすすめ

青木 大

東北大学 金属材料研究所 教授

東北大学金属材料研究所附属量子エネルギー材料科学国際研究センター（大洗センター）に設置されたJ-Physicsの共用備品について紹介し、共同研究の方法について説明します。この情報をヒントに、共同研究の芽が広がることで、J-Physicsの研究がさらに進展し活性化することを期待しています。

J-Physicsで購入した物品は、図1に示す無冷媒希釈冷凍機（大陽日酸）です。最低到達温度 80mK、冷却能力 $20\mu\text{W}@100\text{mK}$ というスペックです。大洗センターではヘリウムガスの回収ラインがないので、大気放出しなければいけません。最近のヘリウム価格の高騰、入手困難な状況を考えると、無冷媒型は必須の条件でした。この装置の特徴は、室温からボタン一つで、約一日半後には最低温度に到達するという点です。手間のかかる予冷や液体ヘリウムのトランスファー、1Kポットの調整などはありません。取り扱いがきわめて簡便なので、初心者にも優しく、共同利用に最適です。測定は、100mKまでのACおよびDC法による電気抵抗測定、緩和法による比熱測定、交流比熱、キャパシタンス法による熱膨張測定（予定）ができます。低温トランスフォーマーを備えているので、高精度な電気抵抗測定もできます。また、圧力下の電気抵抗測定も可能です。さらに、6Tの無冷媒マグネットと組み合わせて磁場下での測定もできるようになっています。

共用備品として、もう一つ登録しているのがQuantum Design社のDynaCool(PPMS)です。J-Physics予算で購入した装置ではありませんが、上記の無冷媒希釈冷凍機の機能を補完する「低温物性測定装置」として位置づけています。1.7K、9Tまでの標準的な電気抵抗、ホール効果、比熱測定等が可能です。また、試料回転のプロープを使って、磁場中で試料を回転することも可能です。最近、ピエゾカンチレバーを用いたトルク法によるドハース・ファンアルフェン(dHvA)効果測定もできるようになりました。また、私たちが開発したADR（断熱消磁冷凍機）を取り付けることで、室温から

100mKまで1時間程度で到達することが可能です。これは、物性測定装置としては世界最速の冷却速度です。さらに、 ^3He プロープを用いて、0.35Kまでの磁場中電気抵抗、比熱測定が可能です。

J-Physicsの共用備品ではないのですが、私たちのいる大洗センターは後述するように共同利用施設なので、さまざまな装置が利用可能です。試料育成に関しては、テトラアーク炉、マッフル炉、縦型管状炉、モリシリ炉、超高真空アニール炉、放電加工機、ラウエCCDカメラ、粉末X線回折装置、単結晶構造解析装置などがあります。測定に関しては、上記の共用備品以外に、再凝縮装置付希釈冷凍機（15T, 30mK, dHvA, 磁気抵抗など）、MPMS（磁化測定装置）などが利用できます。試料育成から始まって、基礎物性測定、dHvA測定までの一連の実験が完結できる体制を整えています。

これらの装置を共同研究として利用するためには、大洗センターの共同利用の手続きを行う必要があります。ここで、大洗センターについて簡単に紹介しておきましょう。

大洗センターは金研の附属施設として、茨城県、大洗町の原子力機構の敷地内に研究所を構えています。核燃料、原子力材料等の基礎研究を目的に設置されましたが、現在では私たちのような原子力とは直接関係のない物性研究なども行っています。マクロ量のウランやネプツニウムなどのアクチノイド元素を使った物性研究ができる唯一の大学共同利用センターです。物性物理の分野では、毎年20数件の共同利用の申請があり、一緒に共同研究をしています。毎週、あるいは少なくとも2週間に一度は共同利用者が来て実験している感じでしょうか。毎年12月に共同利用の申請書を提出し、課題が採択されれば、実際に実験する2~3週間前に実験計画書を提出してもらいます。共同利用の課題申請は年に一度ですが、課題によっては随時受け付け可能ですので、まずは気軽に私に

相談していただけたらと思います。申請課題は、ウラン化合物やアクチノイド化合物に限定されるものではありません。希土類化合物や d 電子系化合物の試料育成やその物性測定でも全く問題ありません。

共同利用者が来ると、受け入れる側としてはそれに労力を必要とします。しかし、共同利用者から逆に教えてもらったり、いろいろ議論したり、あるいは若い学生さん達と触れ合う機会があるというのも、また受け入れる側の楽しみでもあり、研究の活力になっています。私がもう一つ籍を置いている CEA-Grenoble でもやはり、多くの visitor と外国人研究者が研究の活性化につながっています。

どうか、みなさん、大洗センターに共同利用にお越し下さい。

なお、共用備品の整備、管理は、研究室のメンバーである本多史憲、本間佳哉、李徳新、仲村愛、清水悠晴、Arvind Maurya 各氏の協力を得て行われています。ここに感謝いたします。



図1: 共用備品の無冷媒希釈冷凍機。6テスラ無冷媒超伝導マグネットとの組み合わせ。



左より 志村・中辻・富田

～複合環境下での 16/18Tマグネットの利用～

富田 崇弘 / 志村 恭通 / 中辻 知

東京大学物性研究所

この度、東京大学物性研究所において新学術領域研究“J-Physics: 多極子伝導系の物理”の共有備品として Oxford 社製 16/18T 超伝導マグネットを 2016 年 4 月に導入致しました。更に、高磁場による漏洩磁場の影響もあり、より良い実験環境の実現のため 2016 年 9 月まで実験室の改装を行いました。改装に伴う機械の搬入・設置・運転に至るまで数ヶ月かかりましたが 2016 年末にようやく運転・駆動の目処が立ちました。現在では同時期に導入した Oxford 社製温度可変 (VTI) インサートと同 Heliox VT 装置並びに既存の同 Kelvinox 25 希釈冷凍機 (冷却能力: 25- μ W) との組み合わせにより室温から低温 40 mK までの温度範囲で強磁場実験が可能になり、本研究プロジェクトである多極子伝導系における研究をより円滑に推進出来るようになりますと期待しています。今回はこの新学術領域研究の共用備品でどのような研究が出来るかを簡単に紹介致します。今後皆様にご利用頂きたいと思っています。

【18T まで定常磁場印可可能な超伝導マグネット】

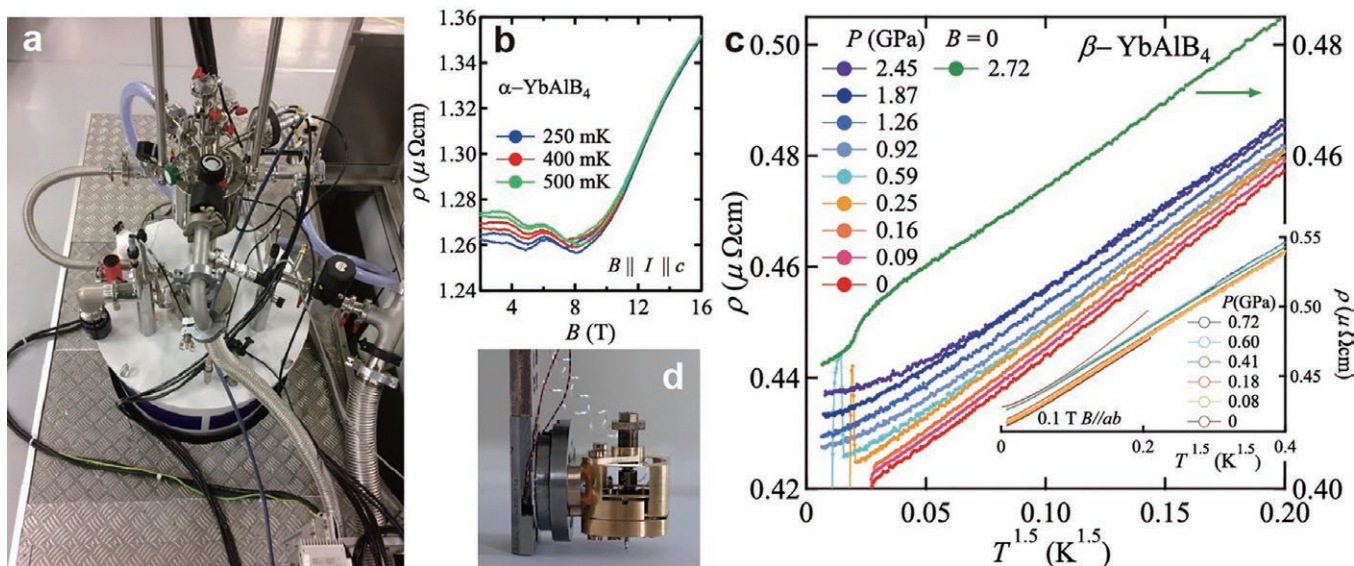
多極子伝導系の研究において、高磁場測定は大きな威力を発します。例えば、非磁性重い電子超伝導体 $\text{PrT}_2\text{Al}_{20}$ ($T = \text{Ti, V}$) で 10 T 以上で見られる多極子量子臨界現象や量子臨界超伝導体 YbAlB_4 等の高純良試料における精密量子振動の観測にも強磁場は不可欠です。今回導入した 16/18 T 超伝導マグネットは窒素ジャケット搭載により約十日間の連続運転が出来ます。最速で 1 T/min にて 16 分 (初期励磁でも 16 T まで 30 分) の磁場掃引により、通常使用にて最大 16 T まで、 λ -plate 使用時には最大 18 T まで磁場印可が出来ます。VTI 装着時には、自動ニードルバルブが付いたダイナミック VTI と温度制御装置 iTC を利用し 300 K ~ 2 K までの完全自動測定が出来ます。サンプル空間 $\phi 3.0$ cm を利用して現在は高温 300 K ~ 2 K までの専用 (home-made) インサートを挿入する事で、一軸角

度回転縦・横磁気抵抗測定も出来るようになりました。これにより純良試料の角度回転磁場中のドハース・ファンアルフェン効果 (dHvA)・シュブニコフドハース効果 (SdH) の検出等によりフェルミ面の様子も詳細に確認出来るようになりますと期待しています。

同時に導入された Heliox VT は He^3 ガスをソーブションポンプで用いて減圧しボタン 1 つで 4.2 K から最低温度 230 mK までの自動冷却を 50 分程で実現出来ます。また最低温で 90 時間以上の連続運転が出来るため磁場中実験も問題なく行えます。現在は、230 mK ~ 15 K までであれば電気輸送特性の実験が可能です。(図 a : Heliox VT と 16 T マグネット) 本測定装置で測定した $\alpha\text{-YbAlB}_4$ の最低温付近での磁気抵抗効果と量子振動 (SdH 効果) の結果を示します。(図 b 参照) またキャパシタンスを用いた磁気トルク測定も現在準備中で、これを用いて様々な相転移や、磁化による量子振動 (dHvA 効果) の観測も可能になると考えております。今後、低温での熱輸送特性も測定できるように開発中です。

更に既存の希釈冷凍機と組み合わせる事で高温側から最低温度 40 mK の測定が可能です。低温 40 mK と 16 T の磁場印可により量子臨界現象の測定も行う事が出来ます。希釈冷凍機温度で低温トランスを用いる事で国内外でも最高感度の精密磁気抵抗測定を行う環境が実現しています。その際のノイズレベルは 40 pVHz^{-1/2} 以下です [1]。この高精度実験と高圧力セルを用いた圧力実験から量子臨界相などの現象を最近発見することに成功しております。(図 c 参照) 今後 8 GPa までの圧力に拡大して低温電気抵抗測定も行う予定です。これにより各研究課題の遂行に一層の進展が見込まれます。

熱膨張測定手法として X 線回折などの光学測定の他に歪みゲージ法やキャパシタンス法などがあります。なかでも、低温・高磁場で行う高感度測定にはキャパシタンス測定が最も優れています。我々が現在使用し



図a: Heliox + 16/18 Tマグネット, b: Heliox VTで測定した α -YbAlB₄の磁気抵抗効果と量子振動 (SdH振動), c: β -YbAlB₄の圧力下での量子臨界相の存在を示す精密電気抵抗測定 [1], d: CuBe製熱膨張計。

ている熱膨張並びに磁歪測定装置は、希釈冷凍機中で使用出来る直径 2 cm 程度の小型キャパシタンス測定装置です [2]。(図 d 参照) これを用いれば試料サイズ 1 cm に対して 0.02 オングストロームという高感度測定が出来ます。これは、地球サイズに対してパチンコ玉より小さい精度の測定に対応します。例えば、近藤格子系 $\text{PrT}_2\text{Al}_{20}$ の系での局在多極子と伝導電子の相関効果を明らかにする上で、この極低温高磁場での磁歪と輸送特性の研究は、強力な研究手法として威力を発揮すると期待されます。例えば、熱力学量である比熱と熱膨張から量子臨界点近傍における熱的グリューナイズェンパラメーター比を算出し、その温度依存性から β -YbAlB₄の圧力下での量子臨界相 [1] や $\text{PrT}_2\text{Al}_{20}$ ($T = \text{Ti, V}$) 等の磁場誘起の多極子揺らぎによる量子臨界現象 [3] の詳細が明らかになると期待されます。将来は比熱測定も行えるように現在鋭意開発を

行っています。最近、強相関 d 電子系 Mn_3Sn や Mn_3Ge [4,5] において、反強磁性状態で自発的に現れるホール効果を発見しました。将来的にはこのような新物質研究においても高磁場中電気抵抗・熱電能、並びにそのホール・Nernst 効果の測定が行えるように現在開発を進めています。他の A ~ D 班の方々と連携・協力を通じて今後新たな研究展開が出来る事を楽しみにしております。

この高磁場装置の利用を希望される方は希望される月の前々月末日までに、東京大学物性研究所の共同利用 (中途利用) に申請して頂きます。その際、新学術領域研究 J-Physics のプロジェクトであることを明記して下さい。とは言っても、まずは少しでもご興味を持っていただいた段階で、気楽に我々にお声がけください。お待ちしております。

- [1] T. Tomita, K. Kuga, Y. Uwatoko, P. Coleman, and S. Nakatsuji, *Science* **349**, 506-509 (2015).
- [2] R.Küechler *et al.*, *Rev. Sci. Instr.* **83**, 095102 (2012).
- [3] Y. Shimura *et al.*, *Phys. Rev. B* **91**, 241102(R) (2015).
- [4] S. Nakatsuji, N. Kiyohara, T. Higo, *Nature* **527**, 212-215 (2015).
- [5] N. Kiyohara, T. Tomita, and S. Nakatsuji, *Phys. Rev. Applied* **5**, 064009 (2016).



1軸角度回転機構付き希釈冷凍機 OXFORD社製 Kelvinox MX200の紹介

藤 秀樹

神戸大学大学院理学研究科 教授

神戸大学に共用備品としてOXFORD社製Kelvinox MX200が2016年3月末に導入された。Kelvinox MX200は、一軸サンプルローターを有し、OXFORD 17テスラ超伝導磁石と組み合わせ単結晶試料の核磁気共鳴、dHvA効果、磁気抵抗などの磁場角度依存性実験が実施可能な多目的測定装置である。装置の仕様は以下の通りである。

- 最低到達温度：20mK（角度分解機能付き2次インサート装着時）
- 冷凍能力：200 μ W @ 100mK
- Uniaxial Swedish rotator（材質：プラスチック系Peek材）
- 試料空間：ローター内 15mm³（試料固定ホルダーは別途必要）
- 高周波同軸アクセサリ 4本（NMR/dHvA用）
- 計測用アクセサリ12本（バルク測定用）

導入後、業者による試運転では、Coアイソトープによる温度測定で最低温度11 mKを達成し、冷却能力も100mKで200 μ W以上を達成した。立ち上げ時は、マニュアル操作による真空排気やラインフラッシュの必要性があるが、混合ガス導入後はフルオートで目的温度に到達。特にバルブ操作などの必要は無い。17 T磁石との同時立ち上げの場合、最短で5日目に100mK以下達成。スライディングシール利用によるサンプル交換は、最短約2日間で可能。

現在の稼働状況：

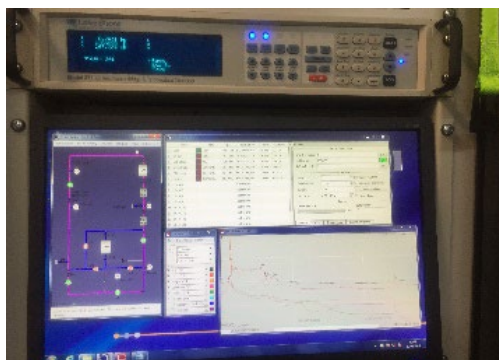
サンプルをとりつけての実験は、NMR実験を5回うち3回成功。dHvA実験を3回実施しているが、現在のところモジュレーションコイルによる発熱対策が完了しておらず改良中。

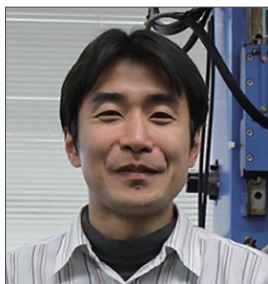
- 単結晶試料：電氣的接触により冷却する必要があるため、事前に形状などの相談が必要
- 多結晶試料：未実施であるが、銅製ブロックサンプルホルダー内に熱媒体と一緒に導入する必要あり検討中

○NMR実験・・・Thamway広帯域スペクトロメータを利用した UBe_{13} の実験（周波数 1MHz ～ 250MHz）において最低温度 15mK を達成（Cu金属信号強度による温度校正による）

○dHvA実験・・・Home made dHvA測定装置（電子物性物理学研究室・菅原教授の協力）を利用した実験を2度試みているが、熱接触に関する問題とモジュレーションコイル発熱による問題がわかり現在対応中

○表面インピーダンス測定・・・LC共振器法により可能。ただし、RFパワーの関係で最低温度は現在のところ50mK
サンプルホルダー内の試料冷却方法の対策に5ヶ月間要したため、共用開始が遅れている。2017年4月までにはNMRから順次共用を開始する予定で調整中。現在のところ、実験期間は状況にもよるが準備期間を除き1週間単位（延長可）として考えている。問い合わせ先は、藤 tou★crystal.kobe-u.ac.jp（★を@に変えてください）まで。





Exotic Quadrupolar Phenomena in Non-Kramers Doublet Systems --- The Cases of $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$ ($T=\text{Ir, Rh}$) and $\text{PrT}_2\text{Al}_{20}$ ($T=\text{V, Ti}$) ---

Takahiro Onimaru, Hiroaki Kusunose J. Phys. Soc. Jpn. **85**, 082002 (2016)

鬼丸 孝博

広島大学大学院先端物質科学研究科

希土類金属間化合物では、希土類イオンの局在した磁気モーメントが主役となり、伝導電子との交換相互作用を通して、多様な長距離磁気秩序や近藤効果、重い電子状態、量子臨界点近傍での非フェルミ液体状態や異方的超伝導などを引き起こす。一方、希土類イオンの $4f$ 軌道はもともと多重に縮退しており、結晶中で対称性の高いサイトにある場合には、磁気モーメントよりも高次のテンソルである「多重極モーメント」（以下、多極子）が活性となることがある。この多極子も、伝導電子との交換相互作用を通して、多彩な物性を創発する可能性を秘めている。もともと多極子が活性となる系は限られていたが、多極子の秩序変数に関する研究によりその重要性が認識されるようになった。さらに近年になって、様々な視点からの新物質の開発が進むなかで、多極子に関する研究対象物質が次々に見出され、実験・理論両面からの研究は大きく進展している。[1,2] 本レビュー論文では、2010年以降に見出された $4f^2$ 配位をとる非クラマース系 $\text{PrT}_2\text{X}_{20}$ (T : 遷移金属, $\text{X}=\text{Al, Zn, Cd}$) に着目し、電気四極子が創発するさまざまな物理現象についてまとめた。

$4f^2$ 配位系が注目されたきっかけは、Pr 充填スクッテルダイト $\text{PrT}_4\text{X}_{12}$ において、重い電子超伝導や金属・絶縁体転移、高次の多極子秩序など、強い c - f 混成と弱い結晶場効果に起因した新現象が次々に見出されたことである。[3] それに伴って、 f^2 配位を対象とした理論研究が進展し、それまで Ce や Yb などのクラマース系に限られていた理論モデルが拡張され、その新規性と多様性が指摘された。 $\text{PrT}_4\text{X}_{12}$ では、結晶場基底状態が擬多重項となるため、磁気モーメントを含む様々な多極子と伝導電子の相互作用によって、多様な物性が発現すると考えられている。

本論文で着目した $\text{PrT}_2\text{X}_{20}$ は、図1に示す立方晶 $\text{CeCr}_2\text{Al}_{20}$ 型構造をとる。[4] Pr サイトの点群は立方晶 T_d であり、Pr だけを抜き出すとダイヤモンド構造と等価となる。三価の Pr イオンは16個の Zn 原子のカゴに囲まれているため、Pr 充填スクッテルダイトと同様に、結晶場効果が弱く、 $4f^2$ 電子と伝導電子の混成は多くの混成パスによって増強されることが期待された。結晶場基底状態は、そのほとんどで非磁性二重項となるため、磁気モーメントを伴わず電気四極子が活性となる。そのため、四極子と伝導電子の相互作用に由来する新しい物性を探究する上で格好の舞台となる。本論文では特に、 $\text{X}=\text{Zn}$ 系と $\text{X}=\text{Al}$ 系のうちで実験データがよく蓄積された $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$ ($T=\text{Ir, Rh}$) と $\text{PrT}_2\text{Al}_{20}$ ($T=\text{V, Ti}$) の4つの化合物に絞り、電気四極子の秩序、それと共存する超伝導、さらにランダウの準粒子描像では記述できない四極子揺らぎから生じる特異な電子状態などを系統的にまとめ、四極子と伝導電子の混成効果の大きさに基づいて整理することを試みた。特に、 $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$ において観測された特異な電子状態の起源として、その磁場効果に着目して四極子による近藤効果の可能性を論じた後で、複合秩序などの理論研究に言及した。さらに、特異な電子状態や四極子・超伝導転移温度の圧力効果についてもまとめた。以下、その一

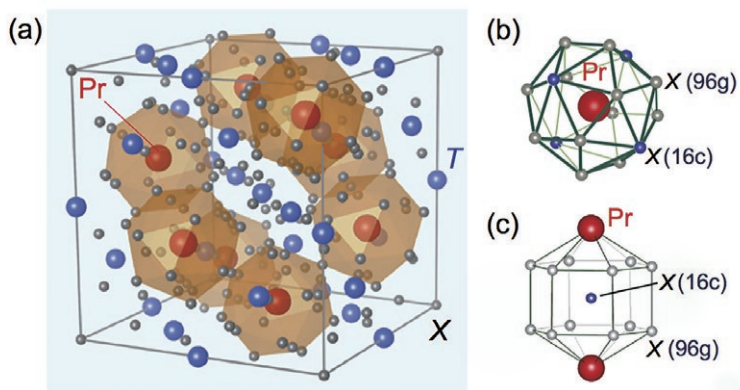
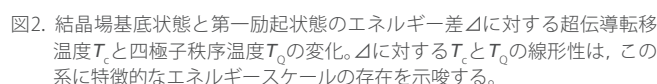
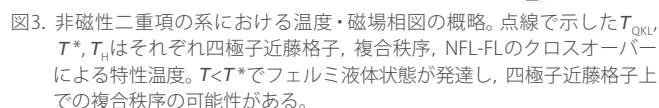


図1. (a) $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$ ($T=\text{Ir, Rh, ...}$) と $\text{PrT}_2\text{Al}_{20}$ ($T=\text{V, Ti, ...}$) の立方晶結晶構造。
(b) Pr を囲む X 原子のカゴ、
(c) 16c サイトの X 原子を囲むカゴ。

四極子が関与するもっとも典型的な現象が、四極子秩序である。PrT₂Zn₂₀ (T=Ir, Rh)とPrV₂Al₂₀では、非磁性二重項の四極子が交替的に並ぶ反強四極子秩序を、またPrTi₂Al₂₀は強四極子秩序を示す。[5-7] さらにこれらの系では、四極子秩序温度より低温で超伝導転移が起こる。[6,8-11] 図2に、超伝導転移温度T_cと四極子秩序温度T_Qを、結晶場基底状態と第一励起状態のエネルギー差Δに対してプロットした。Δに対して、T_cとT_Qは左側のZn系から右側のAl系にむかって直線的に上昇しており、これらの系に特徴的なエネルギースケールが存在することを示唆する。Al系の電気抵抗率はT>70 Kで-InTに従い、励起三重項の磁気自由度による近藤効果を示す。[7] また、Al系のゼーベック係数S/TはZn系と伝導電子の混成強度も図2の左から右に向かって増大作用による物性を系統的に理解する上で重要なベースとなる。

f^2 配位の非クラマース二重項では、伝導電子が四極子を過剰遮蔽する四極子近藤効果が発現し、各種物理量の非フェルミ液体的挙動と残留エントロピーの存在が理論的に予測された。[13] これを確かめるために、 $5f^2$ 配位の希薄U系の、電気抵抗率、比熱、磁化率等で非フェルミ液体的挙動が観測され、不純物四極子近藤効果の可能性が議論されたが、実験的な確証には至っていない。[14] 一方、 $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$ では、 $T > T_0$ の比較的広い温度範囲において電気



20

については、四極子近藤格子における動的平均場計算から予測されている、2つの伝導チャンネルの片方が四極子と結合する複合秩序の可能性もある。[17]

以上のように、 $4f^2$ 配位の $\text{PrT}_2\text{X}_{20}$ 系は、四極子が主役となり伝導電子との相互作用を通じて特異な電子状態を創出する典型物質群であり、四極子の揺らぎに起因する新物性の探索において堅実な基盤を与えている。今後、本新学術領域研究において、この系を舞台とした様々な手法、特に微視的プローブを用いた実験や極低温・高圧力・強磁場での精密な測定、さらには新たな理論モデルや計算手法による研究によって、多極子の物理に関する新たな知見が得られるに違いない。

[*] ただし、超伝導の特性[9,10]や圧力下での物性の変化[11]などを考慮すると、 $4f$ 電子と伝導電子の混成強度は $\text{PrV}_2\text{Al}_{20}$ の方が $\text{PrTi}_2\text{Al}_{20}$ より大きいと考えられる。

[1] 楠瀬博明, 「多極子の変遷とこれから」, 新学術領域研究「J-Physics : 多極子伝導系の物理」ニュースレター #2, 04 (2016).

[2] 網塚浩, 「実験による多極子の検証の進展」, 新学術領域研究「J-Physics : 多極子伝導系の物理」ニュースレター #2, 09 (2016).

[3] H. Sato et al., Handbook of Magnetic Materials (Elsevier, Amsterdam, 2009) vol. 18, p. 1.

[4] T. Nasch et al., Z. Naturforsch. B **52**, 1023 (1997).

[5] T. Onimaru et al., Phys. Rev. Lett. **106**, 177001 (2011).

[6] T. Onimaru et al., Phys. Rev. B **86**, 184426 (2012).

[7] A. Sakai and S. Nakatsuji, J. Phys. Soc. Jpn. **80**, 063701 (2011).

[8] T. Onimaru et al., J. Phys. Soc. Jpn. **79**, 033704 (2010).

[9] A. Sakai et al., J. Phys. Soc. Jpn. **81**, 083702 (2012).

[10] M. Tsujimoto et al., Phys. Rev. Lett. **113**, 267001 (2014).

[11] K. Matsubayashi et al., Phys. Rev. Lett. **109**, 187004 (2012).

[12] Y. Machida et al., J. Phys.: Conf. Ser. **592**, 012025 (2015).

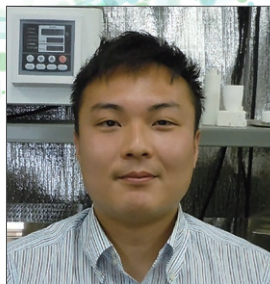
[13] D. L. Cox and Z. Zawadowski, Adv. Phys. **47**, 599 (1998).

[14] G. R. Stewart, Rev. Mod. Phys. **73**, 797 (2001).

[15] T. Onimaru et al., Phys. Rev. B **94**, 075134 (2016).

[16] A. Tsuruta and K. Miyake, J. Phys. Soc. Jpn. **84**, 114714 (2015).

[17] S. Hoshino et al., J. Phys. Soc. Jpn. **82**, 044707 (2013).



BiS₂系超伝導の発現機構解明に向けた新物質開発

水口 佳一

首都大学東京 理工学研究科 助教

陣野 玄

首都大学東京 都市教養学科 (電気電子)

Rajveer Jha

首都大学東京 理工学研究科

松田 達磨

首都大学東京 理工学研究科

青木 勇二

首都大学東京 理工学研究科

長尾 雅則

山梨大学 クリスタル科学研究センター

2012年にBiS₂系層状超伝導体を発見し、その超伝導機構解明と転移温度(T_c)の高温化に向けた研究が進められている[1]。最近の第一原理計算の結果[2]では、従来型の電子格子相互作用ではBiS₂系超伝導体の T_c を説明できないという結果も出ており、発現機構解明が求められている。これまでの研究で、BiS₂系層状超伝導体の基礎的な特徴は明らかになってきた。まず、BiS₂系超伝導体の母物質(例えばLaOBiS₂)はバンドギャップを持つ半導体で、LaOBiS₂ではO²⁻のF置換によりBiS₂層に電子キャリアがドーピングされ、LaO_{1-x}F_xBiS₂は超伝導体となる。しかし、それだけでは完全な超伝導状態を発現しない。さらに、ドーピングされた電子が弱く局在したような(半導体的な)電気抵抗の温度依存性が観測される。バンド構造[3]からはドーピング系LaO_{1-x}F_xBiS₂において金属伝導が期待されるが、これと矛盾する。そこで、BiS₂系の本質的な超伝導発現条件を解明するために、キャリア量を $x = 0.5$ (Biあたり電子0.5個)と固定したREO_{0.5}F_{0.5}BiCh₂の物性を詳細に研究してきた。REは希土類で、RE³⁺イオン半径を小さくすると格子は収縮する。一方、Chはカルコゲンで、Ch²⁻イオン半径を大きくすると(S²⁻をSe²⁻で置換すると)格子は膨張する。キャリアドーピング量を変化させずに格子体積を変化させる化学圧力効果である。その結果、RE置換とSe置換でバルクな超伝導が発現し、REO_{0.5}F_{0.5}BiCh₂においては超伝導発現と面内の化学圧力が強く相関していることを解明した[4]。すなわち、BiS₂系超伝導を発現させるには「電子ドーピング」と「面内化学圧力効果」が必要であるとわかった。

今回発見したEu_{0.5}La_{0.5}FBiS_{2-x}Se_x超伝導体[5]は、図1(a)に示すような結晶構造をしている。上記のLaOBiS₂系

ではLaO絶縁層とBiS₂伝導層が積層していたが、今回はEuF層が絶縁層である。この物質に、BiS₂系超伝導のレシピである「電子ドーピング」と「面内化学圧力効果」を適用した。まず、Eu²⁺サイトをLa³⁺で置換することでBiS₂層への電子ドーピングを行う。そこではまだバルクな超伝導状態が現れない。そこで、面内化学圧力印加のためにSサイトのSe置換を行った。すると、Se-40%以上の領域で金属伝導が確認され、バルク超伝導が観測された(図1(b))。また、光電子分光とX線吸収分光からもSe置換ではキャリアドーピングは行われておらず、いわゆる化学圧力効果であることが確認された[6]。この結果、新超伝導相を発見し、「電子ドーピング」と「面内化学圧力効果」の重要性に確証が得られた。さらに、面内化学圧力の本質も解明されつつある。Eu_{0.5}La_{0.5}FBiS_{2-x}Se_xの面内局所構造乱れが化学圧力効果で抑制され、そこに超伝導が発現することがわかった[7]。Se置換による金属伝導の発現も局所構造乱れの抑制と相関しており、これは他の絶縁層を持つREO_{0.5}F_{0.5}BiCh₂系でも観測されている。BiS₂系超伝導機構を議論するための土壌が出来てきた。

本研究は陣野玄さんの卒業研究として開始した。レシピに基づいた新物質探索ではあるが、「新超伝導相発見」の魅力を感じてもらえたと思う。そして、今月(卒論発表間近の2月)にも、陣野さんは新物質合成に成功し、近日中に報告する予定である。

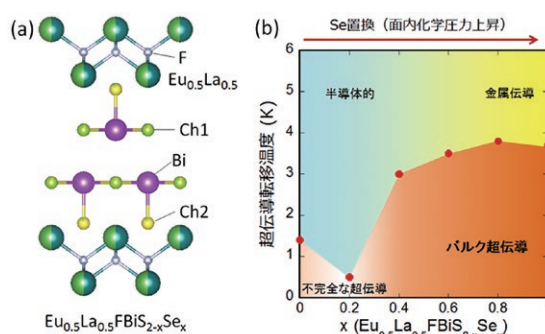
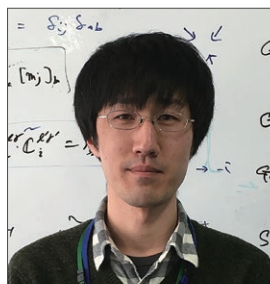


図1. (a) Eu_{0.5}La_{0.5}FBiS_{2-x}Se_xの結晶構造。BiCh1面で超伝導が発現する。
(b) Eu_{0.5}La_{0.5}FBiS_{2-x}Se_xの超伝導相図。

- [1] Y. Mizuguchi et al., J. Phys. Soc. Jpn. **81**, 114725 (2012); Y. Mizuguchi, J. Phys. Chem. Solids, **84**, 34 (2015). [2] C. Morice et al., arXiv:1701.02909.
[3] H. Usui, and K. Kuroki, Nov. Supercond. Mater. **1**, 50 (2015).
[4] Y. Mizuguchi et al., Sci. Rep. **5**, 14968 (2015). [5] G. Jinno et al., J. Phys. Soc. Jpn. **85**, 124708 (2016). [6] Y. Mizuguchi et al., Phys. Rev. B, in printing.
[7] K. Nagasaka et al., arXiv: 1701.07575.



多自由度系超伝導体における 超伝導ギャップ関数の分類とノード構造

野本 拓也

京都大学理学研究科 博士課程3年

服部 一匡

首都大学東京
理工学研究科 准教授

池田 浩章

立命館大学
理工学研究科 教授

超伝導対称性は非従来型超伝導体を特徴づける基本的な性質の一つです。ランダウ理論によれば、秩序相を記述する秩序変数は相転移によって破れる対称性の既約表現で分類されます。「分類される」という意味は、(特別な事情がなければ) ある1つの既約表現に属する秩序変数のみが有限になり、他のものは混ざらないという意味です。BCS理論はクーパーペアの凝縮による $U(1)$ 対称性の破れを仮定しますが、例えば銅酸化物高温超伝導体では点群 D_{4h} の対称性も同時に破れています。したがってその秩序変数は D_{4h} の既約表現でも分類され、現在では B_{1g} というものに属することが分かっています(その意味では、 B_{1g} はクーパーペアの対称性(=不変性)というより表現(～変換性)です)。

さて、ゼロ抵抗やマイスナー効果ほど劇的な現象ではないですが、クーパーペアの凝縮の影響は準粒子の励起スペクトルにも現れます。すなわち、フェルミ面上のクーパーペアが形成される点で励起ギャップが開きます。従来型の超伝導体ではフェルミ面上の全ての点でギャップが開きますが、銅酸化物高温超伝導体の場合、 $k_x \pm k_y = 0$ の線上ではギャップが閉じたままです(ノードと呼びます)。これは B_{1g} に属する超伝導体に共通の性質です。このような、超伝導秩序変数の既約表現とノード構造の関係は昔から研究対象になっていて、例えば主要な結果はSigrist-Uedaの解説[1]にまとめられています。

最近、我々のうち2人(野本・池田)は重い電子系化合物 UPt_3 の超伝導対称性を第一原理計算に基づいて計算し、その結果 E_u 表現に属する超伝導状態を得ました[2]。これは回転磁場下における比熱や熱伝導度の実験を上手く説明できる、それらしいギャップ構造なのですが、従来の分類からは理解できない面白い特徴も持っています。まず1つは、小さな電子面におけるギャップが $k_y = 0$ の線上で小さく、2回対称になっていること、もう1つは c 軸に垂直なBrillouin Zone(BZ)境界でギャップが厳密に閉じていることです。1つ目の性質はこれまで E_u 表現でなければ許されないと思われていたもので、2つ目の性質はBlountの定理[3](クラマース縮退系での奇パリティ超伝導は厳密なラインノードを持たない)にも反しています。実は、これらの性質を理解するためには、電子の持つ軌道や副格子の自由度、そしてスピン軌道相互作用をきちんと考慮しなければなりません[2, 4]。

物質中の電子は様々な自由度を持っています。いくら自由度を増やしたところで超伝導秩序変数が点群の既約表現で分類されるという点は変わりませんが、上の例が示しているのは、軌道や副格子の自由度が、ある既約表現に属するギャップのノード構造に影響を与える場合があるということです。電子の多自由度性がどのようなとき、どのように超伝導に影響を与えるかという問題は発現機構との関連もあり、とても興味深いですが、ここではノード構造に注目して我々の研究[5,6]を紹介します。

【超伝導ギャップ構造と軌道自由度】

まず電子がスピンup, downの自由度のみを持つ場合を考えます。このとき可能なクーパーペアはup-up, up-downなど4種類で、適当な線形結合を取ると1成分が一重項、3成分が三重項を組んでいることが分かります。ここに軌道自由度が加わると一気にペアが増えてしまうような気がしますが、実は分類で考えるべきものはあまり多くありません。スピン軌道相互作用と結晶場を考慮して、軌道とスピンを合成した自由度として点群の2価の既約表現



というものを考えればよいからです（半整数のスピンは回転群の2価の既約表現ですので、これは自然な拡張になっています）。例えば六方晶 D_{6h} を考えるとクラマース縮退した $\Gamma_7, \Gamma_8, \Gamma_9$ の3種類があり、それぞれ $j_z = \pm 1/2, \pm 5/2, \mp 3/2$ が対応する既約表現です。ここで可能なクーパーペアを考えると、 $\Gamma_7^+ - \Gamma_7^-$ など対角的なものだけでなく $\Gamma_7^+ - \Gamma_8^-$ など非対角なものもあることが分かります。とはいえ、 D_{6h} で可能なペアはこれで全てです。我々は主要な点群 O_h, D_{4h}, D_{6h} に対してこれら可能なクーパーペアの分類を行いました。例えば p 波の場合の例を表1に挙げましたが、 Γ_7 同士のペアと Γ_9 同士のペアの場合でギャップ関数が異なっていることが分かります。実は、このように対角的なギャップ関数が異なるのは D_{6h} の場合だけなのですが、それでも従来の分類からは分からない構造です。一方、非対角ペアの場合は軌道の依存性がフルに入ってくるので対角的な場合とは本質的に異なっています（例えば p_x, p_y 軌道のペアは d_{xy} 的に振る舞います）。この結果、平均場近似の範囲内でも局所引力相互作用でノードを持つ超伝導が安定になったり、あるいは異方的な A_{1g} ギャップ構造が比較的単純に現れたりという現象が起こります。興味のある方は論文[5]をご参照ください。

IR	$\Gamma_{7g} \times \Gamma_{7g}$	IR	$\Gamma_{9u} \times \Gamma_{9u}$
A_{1u}	$k_x \hat{x} + k_y \hat{y}, k_z \hat{z}$	A_{1u}	$k_z \hat{z}$
A_{2u}	$k_y \hat{x} - k_x \hat{y}$	A_{2u}	
B_{1u}		B_{1u}	$k_z \hat{x}$
B_{2u}		B_{2u}	$k_z \hat{y}$
E_{1u}	$(k_z \hat{x}, k_z \hat{y}), (k_x \hat{z}, k_y \hat{z})$	E_{1u}	$(k_x \hat{z}, k_y \hat{z})$
E_{2u}	$(-k_x \hat{x} + k_y \hat{y}, k_y \hat{x} + k_x \hat{y})$	E_{2u}	$(k_x \hat{x}, k_y \hat{x}), (-k_y \hat{y}, k_x \hat{y})$

表1. 点群 D_{6h} で既約表現ごとに許されるギャップ関数の例 文献[5]から引用

【超伝導ギャップ構造と副格子自由度】

次に副格子を考えてみます。副格子も軌道もただのラベルだと思われるかもしれませんが、副格子自由度が本質的な役割を果たすのは系が非共型な空間群に属している場合です。非共型な空間群とは螺旋やグライドのような中途半端な並進操作を含むような空間群のことで、この場合必ず副格子が存在します。UPt₃も螺旋軸を持つ非共型な系ですが、Micklitz-NormanはUPt₃の E_{2u} 表現で非共型対称操作によって守られたラインノードがBZ境界に現れることを示しました[4]。

実はこのような非共型空間群に特有の構造はBZ境界にしか現れません。これは少し込み入った話ですが、直観的には比較的理解しやすいと思います。すなわち、 Γ 点近傍は近似的には長波長極限ですので、並進操作はなめされ、点群対称性のみが意味を持つと考えられます。一方、BZ境界は結晶の並進対称性が一番顕著に表れる部分ですから（無限小の格子ポテンシ

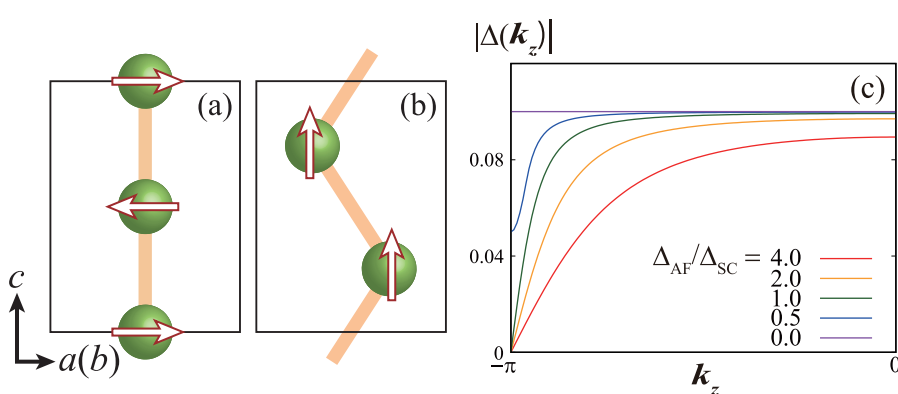


図1. (a) UPd₂Al₃ (b) UCoGeの磁性空間群の模式図 (c) (a)のモデルでs波を仮定したときの励起ギャップの k_z 依存性。反強磁性によって $k_z = -\pi$ でギャップが閉じることが分かる 文献[6]から引用

ルでギャップが開いてしまうのを思い出してください)、非共型操作の持つ中途半端な並進の効果も一番大きく現れるのです。

さて、我々が対象にしたのはMicklitz-Normanの応用として磁気秩序と超伝導が共存している場合です[6]。このような系はあまり多くはありませんが、古くは ErRh_4B_4 などの希土類化合物があり、最近では UPd_2Al_3 が反強磁性、 UGe_2 , URhGe , UCoGe などが強磁性と共存する超伝導体であることが知られています。この場合、普通の空間群ではなく磁性空間群というものを考える必要があるのですが、非共型な磁性空間群の下では従来の認識と異なる奇妙なことが起こりうるということが分かりました。まず UPd_2Al_3 の場合ですが(図1(a))、c軸方向のBZ境界で A_g 表現のギャップがラインノードを持つことが示せます。これはs波フルギャップの超伝導が禁止されるというとても変わった状況ですが(以前からモデル計算でFujimotoによって指摘されていました[7])、励起ギャップの k_z 依存性を見ると確かにBZ境界でギャップが閉じているのが分かります(図1(c))。また、 URhGe や UCoGe が属する磁性空間群では(図1(b))、BZ境界で A_u 表現のギャップがラインノードを持つことが示せます。この系は強磁性でそもそも A_u か B_u しか許されず、しかも B_u は $k_z=0$ で自明なラインノードを持つため、結局どちらの場合でも、その発現機構によらずラインノードが約束されているわけです(元のフェルミ面が存在することは仮定しています)。このような奇妙な構造が現れるのが非共型空間群の面白いところであり、トポロジカルな議論も含めて最近でも様々な進展があります[8]。

ここで紹介したように、電子の持つ多自由度性をきちんと考慮することで、これまで認識されていなかった様々な現象・性質が浮かび上がってきます。現実の物質や発現機構との関連はたいへん興味深く、今後の進展が期待される問題です。

- [1] M. Sigrist and K. Ueda, Rev. Mod. Phys. **63**, 239 (1991).
- [2] T. Nomoto and H. Ikeda, Phys. Rev. Lett. **117**, 217002 (2016).
- [3] E. I. Blount, Phys. Rev. B **32**, 2935 (1985).
- [4] T. Micklitz and M. R. Norman, Phys. Rev. B **80**, 100506(R) (2009).
- [5] T. Nomoto, K. Hattori, and H. Ikeda, Phys. Rev. B **94**, 174513 (2016).
- [6] T. Nomoto and H. Ikeda, J. Phys. Soc. Jpn. **86**, 023703 (2017).
- [7] S. Fujimoto, J. Phys. Soc. Jpn. **75**, 083704 (2006).
- [8] S. Kobayashi, Y. Yanase and M. Sato, Phys. Rev. B **94**, 134512 (2016).

J-Physics若手夏の学校

藤 秀樹

神戸大学 大学院理学研究科 教授

平成28年8月8日～8月12日に、和歌山県高野町にある弘法大師空海が開いた真言密教の聖地、高野山で「J-Physics若手夏の学校」が開催された。「J-Physics若手夏の学校」のプログラムや写真については、ニュースレター #02に校長の野原先生より報告があったので、割愛させていただき、ここでは高野で行うことになった経緯と印象に残ったことを書きたい。

強相関電子系分野での若手の学校開催は、テキストの緒言にも記載されているが1995年の科学研究費・重点領域研究「強相関伝導系の物理」(1995年志賀高原)に始まり、20年以上の歴史を持つ。第1回目から、大変立派なテキストが作られ、当時、博士課程の学生であった私は座右の書として博士論文を書いたことを覚えている。第2回若手学校は、1997年に高野山・福智院で行われた。福智院は鎌倉時代に建立された山内では大きな宿坊の一つで、セミナー室も完備されていた。当時、私は東京都立大(現・首都大東京)に助手として移って半年で、トピックス講師として「 UPt_3 のNMR」について講演させてもらった。しかし、研究の主軸が重い電子系の研究から分子性結晶分野に移って半年で、なかなか成果が出ず悶々としているときでもあった。このような状況で、高野山という俗世間から隔離された非日常的な場所での4日間の合宿は、食べ物から環境まで衝撃的で、「集中」できる環境にあって、多くのことを学ばせてもらった。当時、印象に残った講義は、鹿野田先生の講義された「擬2次元有意伝導体における金属-非金属転移と超伝導」で、大変勉強になりその後の研究にも大いに役だったことを覚えている。

2008年度～2012年度の新学術領域「重い電子の形成と秩序化」(上田和夫代表)の2011年の若手夏の学校も高野山でおこなわれた。私にとって1997年の高野山での4日間が強烈な印象として残っていたので、もう一度やってみたいと提案したところ、世話人(首都大東京の堀田貴嗣先生と共同で)を仰せつかった次第である。このとき、福智院での開催を予定し問い合わせたが、予約をとることが出来なかった。開催まで9ヶ月もあるにもかかわらず100名規模の外国からのツアー客で埋まっているということであった。理由は自明で、2004年に「紀伊山地の霊場と参詣道」で高野山内の寺院のいくつかが世界遺産登録されたことや、参詣道の終着点が高野山であるため世界的に注目を集め外国人に大変人気の場所となっていたからである。したがって、夏休みシーズンは宿坊自体がとりにくくなってしまっていた。加えて、福智院は、世界遺産登録前後から英語による縁起解説などを提供し、外国人には大変人気で、現在は、宿泊予約が大変難しいようである。あわてて100名規模で宿泊できる宿坊にいくつか問い合わせた偶然空きがあったのが天徳院であった。ここはセミナー室を有していないため高野山大学に教室を借りることとなった。ただ、高野山大学に隣接しており地の利も大変良い。この天徳院は加賀・前田家の三代目に嫁いだ徳川秀忠の娘である珠姫の菩提寺であり、庭園は小堀遠州が造園したと言われ庭園は国重要文化財となっている。小堀遠州は二条城改修などにも関与し、天徳院の庭園の池の「鶴と亀をあしらった中島」のようなつくりが得意だったようだ。縁起は江戸時代なので高野山では新しいが山内でも大きな宿坊で、前田家と徳川家の威光を感じることが出来る。

今回も新学術領域において夏の学校を開催することになった。私が担当になれば、また高野山もいいかなと思ってはいたが、今回は野原先生が高野山での開催に興味を持たれ、2人で高野山でのプランをたてることとなった。不便な場所ではあるが、やはり高野山は人を引きつけるのであろう。講演プログラム等々の企画については野原先生が、宿・施設に関するやりとりは私が担当させていただいた。問い合わせは、前回の失敗もあるので、11ヶ月前に天徳院に連絡をした。それでも、翌日からは別の団体が入っているとのことであった。滑り込みセーフである。さて、学校の話にかえよう。今回は、総括班で議論の結果、d電子、f電子系に限定せず俯瞰的に強相関電子系を見渡すことが出来るような内容にすることとなった。また、これまでの若手学校では講師＝若手というスタイルが定着していたが、d電子系とf電子系の融合のみならず世代融合を促進することも目標とした。そこで、これまで強相関電子系分野を牽引されてこられてきた8名のエキスパートの方々に、テキスト執筆など気にせずに好きなことを1時間講演してもらうことを企画した。エキスパートの独特の切り口による講演に、「内容が難しかったが熱意に感動した」、「理解できないところが多々あったが面白かった」との感想が多く見られ、難しい内容にもかかわらず本質をとらえた講演は大変刺激になった。特に鹿野田先生の有機金属系の強相関効果に関する講演は、「分野が違ってこれまで興味の対象ではなかったが、非常に面白かったし勉強になった」との感想が多数見られ、分野横断の重要性も改めて感じた。

一方、若手による講義は1時間×2コマで構成され、「導入からアドバンスまで講義してほしい」と、かなり無理なお願いをした。テキスト執筆については多忙にもかかわらず2ヶ月という短期間で、大変素晴らしい内容のテキストを書いていただいた。多方面から増刷の要望が出ており、改訂版の印刷を計画している。講義中に印象に残ったことは質疑応答の多さである。講義中にエキスパートの先生が「ちょっといいですか？僕昔から疑問にもっていたんですけど……」という質問が多数飛び出し、若手の講師が「それはですね、…」と丁寧に答える姿。これに触発された大学院生がさらに別の質問をすると、エキスパートがそれに巻き込まれてさらに議論が広がる。どの講義も延長気味で、学会や研究会では見ることができない光景であった。ある学生によれば、「いつも学会で難しい質問ばかりしている大先生でもこんな質問もするんだ！」との印象を持ったらしく「質問に対する敷居が低くなりました。」という感想を漏れ聞いてて、大変うれしく思った。エクスカージョンの「奥の院」めぐりでは、エキスパートと大学院生が歴史の話をしながら歩いている姿も印象的であった。

今回の夏の学校は、若手講師による2時間講義とエキスパートによるトピックス講演というこれまでにない試みであったが、講義講師、トピックス講師、聴衆が「高野山」という世俗から隔離された特異な環境を媒介として良く相互作用したようにおもえる。特に、毎晩おこなわれた懇談会では異なる分野で活動しているエキスパートから若手、大学院生まで入り交じり、浴衣姿でJ-Physicsの熱い論戦が繰り広げられた。般若湯が少々足らなくなる事態も発生し、会場を提供した世話人は寝不足になった。これも、通常の研究会では出来ない分野・世代融合であろう。また、田島先生を囲んでの女子大学院生～若手研究者が物理談義に花を咲かせている「女子会」も大変印象に残った（写真を載せたいところですが…）。

振り返ると、大変濃い5日間で活気のある学校であったと思う。高野山は、来る人の宗派を問わないし拒まないという。奥の院参道には浄土宗・法然や浄土真宗・親鸞のお墓（供養塔）もある。宗派を超えた融合の聖地である。精神哲学としての融合の聖地を舞台とし、実証哲学としての物理において世代や分野が融合しあえた瞬間が作り出されたのではないだろうか。まとめ無く書いてしまったが、このような環境を与えてくれた高野山、そして講師・参加者の皆様に感謝しつつ報告としたい。合掌



第10回物性科学領域横断研究会(領域合同研究会)

播磨 尚朝

神戸大学 大学院理学研究科 教授

2016年12月9日(金)と10日(土)の2日間にわたり、神戸大学百年記念館において第10回物性科学領域横断研究会(領域合同研究会)が開催されました。この研究会は、物性科学に関係する大型のプロジェクト間の交流を通じてシナジー効果を高めることを目的として9年前より年1回開催されています。最近、新学術領域研究(研究領域提案型)のいくつかの領域が合同で開催しています。今回はJPhysics領域代表の私が運営委員長と会場係であったので、神戸大学で開催されました。研究会では、口頭講演とポスター講演と凝縮系科学賞表彰式・講演が行われました。小川真人神戸大学理事(研究・産学連携担当)・副学長には会議冒頭で挨拶をいただき、凝縮系科学賞授賞式には武田廣神戸大学学長にご挨拶をいただきました。

研究会には163名の参加者があり、ポスター講演は85件ありました。第11回となる凝縮系科学賞を東工大理の前田和彦准教授が受賞され、「可視光水分解を実現する新たな光触媒系の開発」という題目の受賞講演を行いました。私たちの領域からは、私が領域の活動として特に国際活動支援班の若手研究者の海外相互派遣の活動を紹介した後に、「強いスピン軌道結合がもたらす新奇超伝導」というテーマで、東北大金研の野島勉さんに「スピン軌道相互作用によって維持される強磁場中の電場誘起超伝導」というタイトルで、同じ東北大金研の青木大さんには「強磁性ウラン化合物における磁場誘起超伝導と多重揺らぎ」というタイトルでの講演がありました。今回は会議への参加者が多く、中でも若手研究者の参加が多い活気のある研究会でした。ポスター講演ではJPhysics関係の発表が多く見られ、内容についても多くの関心を引きつけていたようで、領域代表者としては大変嬉しいことでした。ポスター講演者の中から大学院生及び学位取得後5年以内の研究者に対してポスター賞の選考が行われました。ポスター賞には、以下の6名が選ばれ、受賞者は懇談会に招待され、表彰状と記念品が授与されました。

◎最優秀ポスター賞(1名)

吉竹 純基(東京大院工)

量子スピン液体の有限温度におけるダイナミクス:キタエフ模型の連続時間量子モンテカルロ法による研究

○優秀ポスター賞(5名)

Cássio S. Amorim(名古屋大院工)

Indistinguishability as non-locality constraint

久保 徹郎(神戸大院理)

NMR/NQR Studies on Interactions between Multipoles and Conduction Electrons in Pr-Based Caged Compounds

工藤 耕司(筑波大院数理物質)

種々の格子模型における多粒子状態のチャーン数

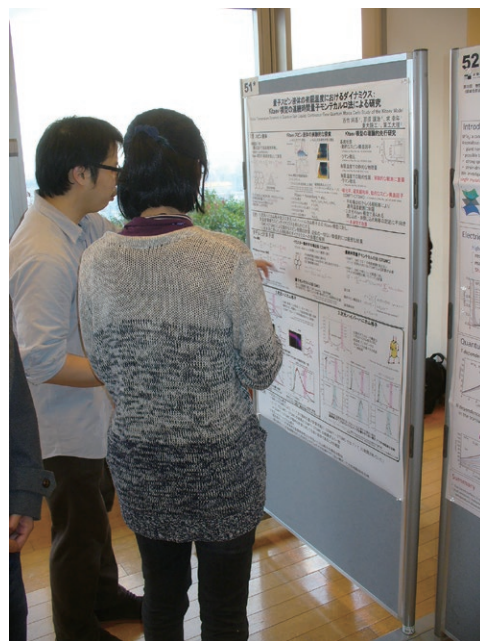
渡邊 光(京都大院理)

奇パリティ多極子秩序が誘起する電磁応答の理論的研究

加藤 愛梨(京都大院人環)

表面窒化LiFePO₄正極の界面反応構解明

なお、2017年度は11月17日(金)18日(土)と東大物性研の大谷先生の主催で開催される予定です。



2016年 12月9日 (金)

9:30-10:30 P1 ナノスピン変換科学

大谷 義近 (東大物性研)	ラッシュバ界面およびトポロジカル絶縁体表面状態を利用したスピン流・電流相互変換—実験と理論—
近藤 浩太 (理研)	界面におけるスピン分裂を利用した電荷-スピン変換
石井 史之 (金沢大数物)	酸化物/金属界面の電子状態

10:45-11:10 GP1 ハイブリッド量子科学

水落 憲和 (京大科研、CREST)	ダイヤモンド中のNV中心を用いた量子情報科学と量子センシング
--------------------	--------------------------------

11:10-11:35 GP2 原子層科学

松田 一成 (京大エネ研)	原子層二次元物質・ヘテロ構造の光物性と機能
---------------	-----------------------

11:50-12:50 凝縮系科学賞授賞式・講演

13:50-14:50 P2 複合アニオン化合物の創製と新機能

陰山 洋 (京大工)	複合アニオン科学の紹介
山本 隆文 (京大工)	複合アニオン化合物におけるヒドリド(H)イオンの高压特性
林 克郎 (九大工)	酸化物ホスト中のヒドリド(H)イオンの化学

14:50-15:15 GP3 光圧によるナノ物質操作と秩序の創生

石原 一 (阪府大工)	光圧によるナノ物質操作と秩序の創生
-------------	-------------------

15:20-17:00 ポスターセッション

2016年 12月10日 (土)

9:00-10:00 P3 ゆらぎと構造の協奏：非平衡系における普遍法則の確立

佐野 雅己 (東大院理)	領域レビュー
齊藤 圭司 (慶応大物理)	振動外場中での量子孤立系熱化現象
宮崎 州正 (名大理)	Cluster Glass Transition of Ultra-Soft Potential Fluids

10:00-10:25 GP4 π 造形科学：電子と構造のダイナミズム制御による新機能創出

中村 雅一 (奈良先端)	高純度有機半導体における巨大ゼーベック効果—分子性固体にみられる特異的だが一般的な現象—
--------------	--

10:40-11:40 P4 3D活性サイト科学-ドーパント 界面構造 ナノ構造体の3D原子構造と物質デザイン—

大門 寛 (奈良先端)	3D活性サイト科学領域の紹介と最近の成果
筒井 一生 (東工大未来)	光電子ホログラフィーによるSi中ドーパントサイトの研究
佐藤 文菜 (自治医大)	生体分子活性サイトの原子分解能イメージング

11:55-12:55 P5 高次複合光応答分子システムの開拓と学理の構築

宮坂 博 (阪大基礎工)	高次複合応答領域の活動について
河合 壯 (奈良先端)	分子協調を利用した高次複合光応答系の構築
松田 建児 (京大院工)	2次元、3次元に集積化したフォトクロミック化合物の高次光応答

13:55-14:55 P6 トポロジギーが紡ぐ物質科学のフロンティア

川上 則雄 (京大理)	領域紹介
好田 誠 (東北大工・CSR)	固体中におけるスピン軌道相互作用の新展開
野村 竜司 (東工大理)	トポロジカル超流動 ^3He の表面マヨラナ状態

15:05-16:05 P7 J-Physics：多極子伝導系の物理

播磨 尚朝 (神戸大理)	JPhysicsの活動紹介
野島 勉 (東北大金研)	スピン軌道相互作用によって維持される強磁場中の電場誘起超伝導
青木 大 (東北大金研、CEA-Grenoble)	強磁性ウラン化合物における磁場誘起超伝導と多重揺らぎ

16:15-17:15 P8 分子アーキテクトニクス：単一分子の組織化と新機能創成

埴田 博一 (阪大基礎工)	分子ダイオード、基本にもどって
小川 琢治 (阪大理)	非対称、非線形電気特性を示す単分子電子素子
山田 亮 (阪大基礎工)	外部電界による分子軌道の変形を利用した単分子ダイオード

ボルチモア滞在記

鈴木 慎太郎

東京大学 新領域創成科学研究科

2016年3月から6月、7月から9月の2度にわたり、米国ボルチモアに渡航・滞在いたしました。以前よりボルチモアにあるジョーンズホプキンス大学、Collin L. Broholm教授のグループと私の所属する中辻研究室との間で共同研究が行われていた縁と、その関連実験並びに7月に同大学でPARADIMにより行われたサマースクール「1st JHU Summer School on Materials Growth and Design」に参加するという目的で、J-Physicsのご支援の下2度の渡航が実現いたしました。

ボルチモアはメリーランド州に属しており、ワシントンD.C.の北東に車で1時間ほどの場所にあります。かつて工業で発展した都市であり、現在はそれが衰退しているため、治安は米国全土でも屈指の悪さであるという話を出国前に聞いて、戦々恐々しながらボルチモアに向かいました。実際に大学構内・周辺では、大学の警備員が徒歩・パトカーでパトロールを行っているという日本ではまず考えられない警備体制が敷かれておりましたが、そのおかげか、滞在期間中は特に危険な思いをすることなく過ごすことが出来ました。また、衰退後の都市再振興策として観光地化が進んでおり、チェサピーク湾に面したインナーハーバーと呼ばれる地域が観光名所として有名になっています。私もインナーハーバーにある国立水族館を訪れたのですが、丸一日使ってやっとすべての展示を回れるといったほどの広さと充実度であり、楽しい時間を過ごすとともに、行政の力の入れ様を感じ取ることが出来ました。

次に本滞在にてお世話になりましたBroholmグループについて述べようと思います。メンバーは非常に国際色豊かであり、アメリカ・カナダ・ドイツ・中国といった様々な国の出身者で構成されています。研究室には非常に自由でフランクな雰囲気があり、週に一度の進捗報告会をはじめとして常に活発な議論が行われています。特に衝撃的だったのは、Broholm教授に学生が話しかける際に、“Hi, Collin!”と声をかけるという習慣でした。アメリカ人のフランクな傾向を考慮しても通常ここまでではないらしく、これはジョーンズホプキンス大学の、物性分野の研究室に特有の傾向のようです。到着して初めのうちは流石に畏れ多くそのようなことが出来なかったのですが、5月になるころにはすっかりその雰囲気に染まってしまいました。

7月のサマースクールにおいては、米国内外より多くの学生や研究者の方々が集まり、物質合成に関連する内容はもちろん、ディスカッションやコミュニケーションの作法まで、多岐にわたる内容のセミナーが行われました。また、結晶合成の体験授業も行われ、参加者を小集団に分け、集団ごとに合成と物性測定を実際に行い、その結果を最終日にグループプレゼンとして発表いたしました。発表の際に驚いたのは、科学的な内容にも関わらず、ジョークを積極的に入れるということ、その上、それがインストラクターの方を“いじる”内容だったということでした。日本でのセミナーや報告会ではまず考えられない光景に、アメリカのおおらかさ、懐の広さを感じることが出来ました。

実はJ-Physicsでの海外派遣が終了した後も、2016年10月から12月、2017年2月から4月と、さらに2回のボルチモア滞在を行っております。すでに研究生活の中心がアメリカにシフトし始めており、このように長く定期的な交流・滞在になるとは全く想像しておらず、この渡航をきっかけに人生が大きく変わったことを強く実感しています。今後も交流を継続的に続け、経験を日本に還元していきたいと思っております。



ボルチモア周辺のハンバーガーショップにて

末筆になりますが、今回の渡航に関してはたいへん多くの方にお世話になりました。播磨先生、石田先生、尾崎様をはじめ、J-Physicsを通してご支援いただいた皆様、Visiting Professor/Postdoc./studentとして中辻研究室よりジョーンズホプキンス大学に派遣・滞在しており、現地でお世話になりました中辻先生、肥後博士、Man博士、西川君、また、私の不在に際して、遠い日本の地からご協力いただいた中辻研究室の皆さま、Summer Schoolにてなかなか輪に入れずいたときに手を差し伸べてくださった小林先生、現地で私を快く迎えてくださったBroholm先生並びにBroholm groupの皆さま、特に共同研究者として多くの苦楽を共にしたWuさんに深くお礼申し上げます。本当にありがとうございました。

Grenoble滞在記

仲村 愛

東北大学金属材料研究所附属量子エネルギー材料科学国際研究センター

「J-Physics：多極子伝導系の物理の国際展開」若手研究者の相互派遣に採用していただき、フランス グルノーブルへ約2ヶ月滞在させていただきました。今回はNewsletterのお話をいただきましたので、グルノーブル滞在中で感じたことを書き記してみたいと思います。

私が2016年9月5日10:30に日本を出発しアムステルダム経由でリヨン・サン＝テグジュペリ国際空港に着いたのは同日の現地17:35でした。リヨン空港からバスで約1時間でグルノーブルに着きます。海外に出るのは初めてではなかったのですが、2週間以上の長期滞在は今回が初めてだったので期待と不安が入り交じった滞在中でした。今回の相互派遣でお世話になったのはCEA-GrenobleのDaniel Braithwaite氏のグループです。初日は研究所のGeorgさんが入構の手続きに立ち会ってくださり、研究室まで案内してもらいました。原子力関係の研究のため簡単には入れないということで、いろんな人の協力を得て前もって手続きを済ませていきました。研究所は広くて普段運動不足の私には結構いい運動になるほどです。研究室の人たちはみんな親切でとても明るく私を迎えてくださいました。

今回、グルノーブルで主に協力をいただいたのはDanielさん、Georgさん、Alexandreさん、Jean-Pascalさん、Adrienさんです。Danielさんのグループでは一軸圧力によるジグザグ構造の制御およびその極低温下の研究が精力的に行われています。今回、私はその研究に関連して、同じくジグザグ構造を持つURhGeとYbNiSnの2つの化合物について実験を行いました。他研究室で実験を行うことは勝手がわからないので初めは慣れるので精一杯でしたが、研究室の人たちが親切だったので安心して研究を行うことができました。

研究室の人たちは基本的にはフランス語で会話をしており、私のようなフランス語をしゃべれない人には英語で会話をしてくれます。印象深かったのが、私のような英語がうまく話せない人にも嫌な顔をせずに話を聞いてくれることでした。研究所にはいろいろな国から研究者が訪れるためなのかグルノーブルのまたはフランスに住んでいる人の特徴なのかわかりませんが、すごく嬉しかったことを覚えています。また、研究所の人たちはおしゃべりや議論が大好きだということを知りました。研究所のあちこちでおしゃべりや議論が行われている光景を見ました。お昼ご飯は研究室みんな一緒にカフェテリアで食べますがそこでもほとんどの人がおしゃべりや議論をしながら楽しく食べているようでした。あと、エスプレッソが好きなようです。カフェテリアの横にはエスプレッソが飲めるスペースがあってそこでもエスプレッソ片手に立ち話するというのがそのスタイルのようでした。私はいつも昼食が楽しみでした。

研究所では私は月曜から金曜までの間、しかも6:30から20:30までしか入構できず、時間外は入構が許されません。そのため、土日はグルノーブル観光をしていました。私は散歩するのが好きだったので宿から歩ける範囲でグルノーブルの街を散策していました。ある時は美術館へ行ってみたり、ワイン祭りに出かけたり、教えてもらったパン屋やチーズ屋に行ったり、バステューユ城塞に登ったりしました。写真はバステューユ城塞のもうちょっと先の山に登って撮影した街の写真です。グルノーブルは周りが山に囲まれているためいつでも山が見えます。私が来た当初は青々としていた山ですが、帰る頃には紅葉が始まり、高い山では雪が積もり始めていました。自然を近くに感じてとても新鮮でした。

今回の滞在では、研究技術を学んだのはもちろんですが研究以外でも人や文化、食べ物、環境などいろいろ学ぶことができました。自分の殻を破れたかはわかりませんが新しい考え方を得ました。最初は不安でしたがそんなことはすぐに解消されてあっという間に過ぎた楽しいグルノーブル生活でした。貴重な経験をさせていただいたことにとても感謝しております。



写真：バステューユ城塞とグルノーブルの街

ドレスデン滞在記 ～ Max Planck Instituteのビジターとして～

岸本 恭来

神戸大学大学院 理学研究科物理学専攻 低温物性研究室 博士後期課程2年

安岡 弘志 MPI-CPFS (Dresden) Visiting Professor	Michael Baenitz MPI-CPFS (Dresden) Group Leader	久保 徹郎 神戸大学大学院 理学研究科 博士後期課程3年	小手川 恒 神戸大学大学院 理学研究科 准教授	藤 秀樹 神戸大学大学院 理学研究科 教授
--	--	---	--------------------------------------	------------------------------------

はじめに

2016年8月8日から2016年11月3日までの約3ヶ月間、私はドイツ・ザクセン州の州都ドレスデンにあるMax Planck Institute Chemical Physics for Solids (MPI-CPFS)のMichael Baenitz 先生(Group Leader),安岡弘志先生(Visiting Professor)のもとにビジターとして滞在しておりました。今回の海外派遣制度を利用した理由といたしましては、今日の日本の自然科学分野では国際化が推進されており、海外でポスドクをすることや院生時代に海外で短期留学をすること等が珍しいことではなくなってきております。また、ドイツという異国の地で研究を行うことによって、研究に対する考えや意義等をこれまでとは異なる視点で見ることができないのかと考え、応募させていただきました。MPIはビジターに対するプログラムがしっかりしていますので、安心して滞在することができました。詳しい研究内容等に関しては、学会や研究会で今後話していきたいと考えておりますので、以下には私が約3ヶ月、ドレスデンで体験した事などを「研究所編」と「私生活編」で書き記していきたいと思います。

ドレスデンでの生活 ～研究所編～

ドレスデン中央駅から10分ほどトラムに乗ると研究所最寄りのPlauen Nöthnitzer Straße駅につきます。その駅から徒歩3分程でMPI-CPFSの正門にたどり着きます(写真.1)。研究所に入るとすぐに3階の天井から吊るされているフーコーの振り子があり、訪問者を迎えてくれます。他にも鉱石や昔の希釈冷凍機の部品などが研究所内の至る所に展示されており、我々を楽しませてくれます。研究所内は清掃が行き渡っており、バレーボール場や卓球場、図書館やカフェテリアなどの施設が充実しておりました。研究で息が詰まったらカフェテリアでコーヒーを飲んだり、研究所内を散歩したりして気分転換をしていました。MPIの方々の生活リズムは非常に規則正しく、朝は8時には始業しており、夜は遅くても7時には帰宅の途に着いています。長期休みも2,3週間ほどとり、家族とバカンスに行ったりしているそうです。このように公私をしっかりと分け、効率的に短期間で業績を上げる姿勢は見習わなくては、と思いました。MPI-CPFSには大きく分けて4つの研究分野があり、Director, Group Leader,そしてその下にポスドクや院生研究員が在籍しております(中国やインドの方々が多かったです)。研究分野間の結びつきは強く、年に二回ほど分野間でワークショップが催されており、私も9月にベルリンで開催されたワークショップに参加させていただきました。研究所内の強い結びつきにより試料合成や理論計算などの共同研究も研究所内で収まるので、スピードがとても早いことに感銘を受けました。実験設備の方も世界的に有名な研究所なので最新機器が揃っておりまして。Baenitz先生のグループでは、14T, 9T, 7Tのマグネットを所有しており、核磁気共鳴(NMR)スペクトロメーターはTecmag社[1]のDiscoveryとApolloを計4台所有しております。私は主に9Tのマグネットを使用してNMR実験をしておりまして、核四重極共鳴(NQR)実験には、Heベッセルに直接NMRプローブを差し込み、Heの自然蒸発による冷却とヒーターにより温度調整をしておりまして(この方法だとmKオーダーの温調が可能で、その上、非常にHeの節約になります)。これらの充実した研究施設や実験装置のおかげでのびのびと、かつスピーディーに研究することができました。2017年2月現在、今回の滞在中に安岡先生と久保徹郎氏と私が研究したWeyl-semimetal TaPの ^{181}Ta -NQRの論文がarXivに掲載されていますので、ぜひ、そちらの方もご覧になってください。[2]



写真.1 MPI-CPFSの正面玄関の外観。ガラスの壁にはAmsel(日本名:クロウタドリ)のステッカーがたくさん貼ってあります。(久保徹郎氏から提供)

ドレスデンの生活 ～私生活編～

私が行ったときのドレスデンの8月は昼間でも長袖でちょうどよいくらい涼しく、また高緯度のため日没は遅く夜の九時くらいまで外が明るかったです。日本に比べ夏季は過ごしやすい気候であります。研究所の近くにはドレスデン工科大学や他の研究所等があるため、学生や研究者が多く住んでおります。MPI-CPFS周辺にはスーパーマーケットやパン屋さん、ハンバーガー屋さんやケバブ屋さんがあり非常に便利です。特にスーパーマーケットは定休日の日曜日以外、毎日お世話になっていました。ドイツは物価が安く、焼き立てのパンが50円、本場ドイツの瓶ビールが100円くらいで購入できます。水よりビールが安いので、街中では水の代わりにビールを飲んでいる方もいました。ドレスデンの中心部はカフェや大型デパートなどの娯楽施設、オペラ座やツウィンガー宮殿、フラウエン教会などの歴史的建造物もあり、観光客や市民の方々と賑わっております。フラウエン教会は、1945年の空襲により壊れてしまいましたが、ジグソーパズルのように破片を組み直して復元されており、必見の建造物の一つであります。中央駅の北側にはエルベ川が流れており、チェコやザクセン・スイス行きの遊覧船が停まっております。川岸には彫像などがあり、写真.2は彫刻家のヘルマン・リーチェルの彫像の前で、安岡先生と、私より先に海外派遣でドレスデンに滞在していた研究室の先輩の久保徹郎氏と撮ったものです。また、ドレスデン周辺には、温泉で有名な町、バートシャンダウや、日本でもよく知られている陶磁器の町、マイセンなどがあります。マイセンへはドレスデン中央駅からSバーンに乗り30分程で着きます。そこには、マイセン陶磁器の歴史や作業工程を見ることができる博物館があり、日本人観光客も多く訪れるみたいです(博物館には日本語の音声案内がありました)。ドレスデンやその周辺には豊かな自然と歴史ある文化が至る所に残っており、海外派遣でなくても観光で行くにはとても適している場所だと思いました。



写真.2 エルベ川沿いにある彫刻家ヘルマン・リーチェルの彫像の前での写真。左から著者、安岡先生、久保徹郎氏。滞在中は安岡先生によく観光などに連れて行って頂きました。

おわりに

正直なところ、海外派遣に出発する前はとても不安でしたが、いざ行ってみると毎日が刺激的で貴重な体験をさせていただきました。海外派遣を考えている方はぜひ行くべきだと思います。日本での生活を離れて海外で生活することにより、研究スタイルや生活リズムを見直すことができます。また、海外の方々とコミュニケーションをすることにより語学の勉強にもなりますし、共同研究でのネットワークの広がりを感じることができました。最後になりましたが、この滞在はJ-Physics:多極子伝導系の物理の国際活動支援、国際共同研究ネットワークの助成を受けることにより実現したものです。新学術領域J-Physicsの播磨尚朝代表をはじめ、J-Physics関係者の皆様、事務の尾崎様には大変お世話になりました。また、MPI-CPFSのA.P.Mackenzie先生、C.Geibel先生、そして、M. Baenitz先生やSpectroscopyグループの方々には、研究の議論やサポートをしていただき感謝しております。MPI-CPFSの事務の方々には生活面や書類面でお世話になりました。安岡先生夫妻には公私ともども大変お世話になりました。休日はインドアな私をショッピングや観光に連れて行ってくださったり、平日も夜ご飯にお呼びしていただいたりと、先生夫妻のおかげで3ヶ月間の海外研究を楽しく過ごせたのだと感じております。今回の海外滞在で私に関わってくださった皆様にここで感謝の意を表したいと思います。「Vielen Dank!!」

[1] Tecmag社のホームページ <http://www.tecmag.com>

[2] H. Yasuoka, T. Kubo, Y. Kishimoto, D. Kasinathan, M. Schmidt, B. Yan, Y. Zhang, H. Tou, C. Felser, A. P. Mackenzie and M. Baenitz. 「Emergent Weyl fermion excitations in TaP explored by ^{181}Ta quadrupole resonance」 arXiv:cond-mat/161107311 (2016)

神戸大学大学院理学研究科物理学専攻 特別談話会「祝ニホニウム誕生を学ぶ」

播磨 尚朝

神戸大学大学院理学研究科 教授

113番目の元素の命名権が、日本の理化学研究所超重元素研究グループの森田浩介グループディレクター（九州大学大学院理学研究院教授）を中心とする研究グループに与えられていましたが、2016年6月に、元素名(案)は「nihonium (ニホニウム)」、元素記号案は「Nh」とされていることが発表され[1]、11月には正式に決定しました[2,3]。発見から命名までの経緯などについては、理研のホームページ[4]などに詳しく紹介されています。

2016年6月に元素名の(案)が発表された時は、大きなニュースになりました。これを受けて、2016年6月24日(金)に「祝ニホニウム誕生を学ぶ」という特別談話会を神戸大学で開催しました。新元素の命名と私たちの新学術領域研究は特別に深い関係ではありませんが、日本発アジア初の元素の話を通じて、周期表やそこにある多くの元素やその組み合わせである化合物、ひいては物性物理学に興味を持ってもらいたいというのが、開催の主旨です。

長い科学史の中で日本人が元素名を提案するのは実はこれが初めてではありません。今から100年以上前に、Nipponium (ニッポニウム:Np) という元素が周期表に載っていたことがあります。そのことはニホニウム命名の由来にも次の様に明記されています[2]。

The discoverers respectfully note the 1909 claim, and never sustained proposal, by Masataka Ogawa for nipponium as element with $Z = 43$ [5, 6]. The name nihonium is also in homage to his work.

文献の[5]と[6]は原論文で引用されているものですが、[5]の著者の吉原賢二先生は、元東北大学総長小川正孝が明治41年(1908年)に発見を報告したもののその後顧みられなくなっていた新元素ニッポニウムの実在を突き止め、2008年(平成20年)化学史学会学術賞を受賞されたニッポニウム研究の第一人者です。今回の特別談話会では、理化学研究所が作成したビデオで元素誕生について学んだ後、2つの講演映像で「幻のニッポニウム」から今回の「ニホニウム」誕生までを学びました。これらの講演映像は、2012年8月に開催された科学セミナー「元素誕生と周期表—私たちを取り巻く原子核」(日本物理学会主催)[7]での講演を記録した貴重なものです。特に、新元素の発見者である森田先生のこの時の講演は、3回目の113番目の元素が合成される2日前のものであり、命名権獲得への熱い思いが述べられているものです。この3回の113番元素合成を含む命名権獲得の対象論文[8-11]については、すべて日本の欧文誌に掲載されていることを強調しておきます。

急な開催であったことから、一般からの参加者は多くはありませんでしたが、開催予告[12]と開催の様子[13]については神戸新聞で報道されました。

開催日: 2016年6月24日(金)

開催場所: 神戸大学理学部学舎Z102講義室

14:00~: はじめに

播磨 尚朝(物理学専攻)

14:15~: 「元素誕生の謎にせまる」

(理化学研究所作成のビデオ)

15:00~: 「ニッポニウム発見事情—小川正孝と

ウィリアム・ラムジー—

吉原賢二先生(東北大学名誉教授)

16:00~: 「元素はどこまで知られているか」

森田浩介先生(九州大学教授、理化学研究所)



特別談話会で113番目の元素の崩壊過程を解説する筆者

(吉原先生と森田先生の講演は、2012年8月9日と10日に東京大学小柴ホールで開催された科学セミナーでの公演映像の上映です。)

[1] <https://iupac.org/recommendation/names-and-symbols-of-the-elements-with-atomic-numbers-113-115-117-and-118/> [2] Lars Öhrström and Jan Reedijk, Pure Appl. Chem. 88(12), 1225 (2016). [3] <https://iupac.org/iupac-announces-the-names-of-the-elements-113-115-117-and-118/> [4] <http://www.nishina.riken.jp/113/> [5] H. K. Yoshihara, Spectrochim. Acta. B 59, 1305 (2004). [6] J. S. Howe, J. Am. Chem. Soc. 31, 1284 (1909). [7] <http://www.jps.or.jp/public/seminar/scisemi2012.php> [8] K. Morita et al., J. Phys. Soc. Jpn., 73, 2593 (2004). [9] K. Morita et al., J. Phys. Soc. Jpn., 76, 045001 (2007). [10] K. Morita et al., J. Phys. Soc. Jpn., 78, 064201 (2009). [11] K. Morita et al., J. Phys. Soc. Jpn., 81, 103201 (2012). [12] 神戸新聞 2016年6月22日朝刊(社会) 26面 [13] 神戸新聞 2016年6月25日朝刊(社会) 28面; <https://www.kobe-np.co.jp/news/shakai/201606/0009218913.shtml>

小林隆司氏によるアウトリーチ入門セミナー

「考えたこともなかった「伝える技術」～テレビが使うあの手とこの手～」

網塚 浩

北海道大学大学院理学研究院 教授

平成28年5月26日から3日間にわたり北大で開催した領域全体会議の最終日28日（土）の午後、13:10～15:10の2時間、「考えたこともなかった「伝える技術」～テレビが使うあの手とこの手～」と題して、物質・材料研究機構（NIMS）、経営企画部門 広報室室長の小林隆司氏を講師に招き、アウトリーチ活動のためのセミナーを一般にも公開して行っていました。小林氏は、1993年よりNHK科学番組ディレクターとして18年間にわたり多数の番組を制作されたプロの映像ディレクターです。それらの番組の中には私達もよく知る「ためしてガッテン」や「クローズアップ現代」、「サイエンスZERO」なども含まれます。2011年からNIMSに移りましたが、YouTube上で開設された科学映像チャンネル「まてりある's eye」は、わずか1年半で100万回の再生回数を超える超人気チャンネルとなり、特に子供達を中心にファンをどんどん増やしています。さらに、やはり小林氏が手がけたNIMSの動画シリーズ「未来の科学者たちへ」が、平成26年第55回科学技術映像祭の文部科学大臣賞（研究開発・教育部門）にも選出されるなど、氏の映像はその教育効果も高く評価され、小中学校の教育現場で広く活用されるようになっていっています。「まてりある's eye」の映像をまだ見ていない方は是非ご覧ください。私達が「これは専門外の人にはちょっと説明が難しい」と諦めてしまうような数々の物理現象が、わずか3分の間に、とてもわかりやすく、しかも強く印象に残る映像でまとめられていることがわかりいただけます。そして、その「わずか3分」がさらに短く感じられることに気がつくでしょう。氏の講演のポイントもここにあります。なぜ私達は、1時間のテレビ番組をつい時間を忘れて見てしまう場合もあれば、学会講演などを聴いていても5分で別のことを考え始めてしまったりするのか？その決定的な違いをわかりやすく解説していただきました。氏の今後の講演に差し支えるので詳細をここに記述することはできないのですが、アウトリーチのためだけではなく、学会・研究会での発表や講義にも応用できる「伝える技術」を教わりました。実は小林氏を北大にお呼びしてセミナーを開いていただくのは今回で3度目です。小林氏の講演自体がアウトリーチとプレゼンテーションの完璧な手本になっており、何度お聴きしても惹きつけられ、今回も2時間があっという間に過ぎました。

J-Physics アウトリーチセミナー

どなたでも
ご参加いただけます

自由参加
事前登録不要
参加費無料

J-Physics
多極子伝導系の物理
Physics of Conductive Multiple Systems

考えたこともなかった
「伝える技術」
～テレビが使うあの手とこの手～

J-Physics アウトリーチセミナー
考えたこともなかった
「伝える技術」
～テレビが使うあの手とこの手～
独立行政法人 物質・材料研究機構（NIMS）
経営企画部門 広報室 室長
小林 隆司

日時
平成28年 5月28日
13:10～15:10
(J-Physics 平成28年度領域全体会議内)

会場
北海道大学
フロンティア応用科学研究棟
2階 レクチャーホール

お問い合わせ：J-Physics：多極子伝導系の物理 事務局
E-mail: secretary@jphysics.jp 電話番号: http://www.jphysics.jp/



2017年4月からの領域関連行事

μ SR2017 14th International Conference on Muon Spin Rotation, Relaxation and Resonance

日 時：平成29年6月25日(日)～30日(金)
場 所：北海道大学 学術交流会館(札幌市)
<http://www.jmeson.org/musr2017/index.html>

Actinides 2017

日 時：平成29年7月9日(日)～14日(金)
場 所：東北大学百年記念会館 川内萩ホール(仙台市)
<http://actinides2017.jp/>

SCES2017 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems

日 時：平成29年7月17日(月)～21日(金)
場 所：Clarion Congress Hotel, Prague, Czech Republic
<https://www.sces2017.org/>

LT28 28th International Conference on Low Temperature Physics

日 時：平成29年8月9日(水)～16日(水)
場 所：The Swedish Exhibition & Congress Centre, Gothenburg, Sweden
<http://www.lt28.se/>

日本物理学会 (2017年秋季大会)

日 時：平成29年9月21日(木)～24日(日)
場 所：岩手大学(盛岡市)
<http://www.jps.or.jp/activities/meetings/future.php>

第1回国際ワークショップ

J-Physics主催

J-Physics 2017 — International Workshop on Multipole Physics and Related Phenomena

日 時：平成29年9月25日(月)～28日(木)
場 所：八幡平ロイヤルホテル(岩手県八幡平市)
<http://jphysics.jp/activity/20161121-1336/>

J-Physics領域全体会議

J-Physics主催

日 時：平成30年1月(予定)
場 所：未定

日本物理学会 (2018年第73回年次大会)

日 時：平成30年3月22日(木)～25日(日)
場 所：東京理科大学 野田キャンパス(野田市)
<http://www.jps.or.jp/activities/meetings/future.php>

J-Physics領域全体会議

J-Physics主催

日 時：平成30年5月(予定)
場 所：未定



謝辞記載のお願い

本領域の支援を受けて進められた研究の成果発表に際しては、以下の要領で謝辞 (Acknowledgement) の記載をお願いいたします。

記載例は次のとおりです：

【英文】：This work was supported by JSPS KAKENHI Grant Number JP15H05882 (J-Physics).

【和文】：本研究はJSPS科研費JP15H05882(J-Physics)の助成を受けたものです。

計画研究の課題番号と課題名の対応は以下の通りです：

15H05882 J-Physics:多極子伝導系の物理の研究総括

15H05883 局在多極子と伝導電子の相関効果

15H05884 遍歴多極子による新奇量子伝導相

15H05885 拡張多極子による動的応答

15H05886 強相関多極子物質の開発

15K21732 J-Physics:多極子伝導系の物理の国際展開

活動成果報告のお願い

以下の情報を随時メールで事務局までお知らせください。

論文 (著者名、タイトル、雑誌名、巻号、ページ、発行年、査読の有無)

著書 (著者名、タイトル、出版社、発行年)

国内・国際学会等発表 (発表者、タイトル、発表学会等名、場所、発表年月日、招待の有無)

アウトリーチ活動 (実施者、活動内容、場所、実施年月日)

NEWS LETTERへのご寄稿のお願い

J-Physics NEWS LETTERに記事の掲載を希望される方は各研究項目の編集委員までお知らせください。自信作の論文、参加された会議の報告、アウトリーチ活動など、まずは概要を所定のフォームに記載してお送り下さい。特集記事の企画も歓迎いたします。

連絡先 J-Physics事務局：steering@jphysics.jp

NEWS LETTER

J-Physics #03

Physics of Conductive Multipole Systems

March

編集後記

本Newsletter(NL)も無事出版にこぎつけることが出来、執筆して頂いた先生方、編集にご尽力くださった渡辺さんに厚くお礼申し上げます。今回こそは早めに原稿を集め、学会の時には皆様にお配りしたいと考えていたのですが、なかなか思うようにはなりません。今までの失敗を反省し、最初立てたスケジュールを遵守するように努めたいと思います。

さて、4月からは新学術領域研究も3年目に突入し、計画していた研究の結果がでつつあるところとお察しします。新たな実験結果に対し新学術領域内で深く議論する場として、テーマを絞った小規模研究会を開催し、より一層の連携を図っていただきたいと思います。また同時にその小規模研究会の内容をまとめてNLに寄稿して頂けると編集委員も大変助かります。

4月から新年度が始まります。新たな気持ちで頑張りましょう。

(K.I.)



J-Physics

多極子伝導系の物理
Physics of Conductive Multipole Systems

J-Physics : 多極子伝導系の物理

文部科学省科学研究費補助金「新学術領域研究」(平成27～31年度) 領域番号: 2704

新学術領域研究

「J-Physics : 多極子伝導系の物理」ニュースレター 第3号

2017年3月 発行

編集人 石田 憲二

発行人 播磨 尚朝

発行所 神戸大学大学院理学研究科 物理学専攻
TEL : 078-803-5628 / FAX : 078-803-5628/5770

事務局 北海道大学大学院 理学研究院 物理学部門
網塚 浩
TEL/FAX : 011-706-3484

領域ホームページ

<http://www.jphysics.jp/>