

L01 強相関電子系の超伝導 —超伝導研究の最前線—

石田憲二

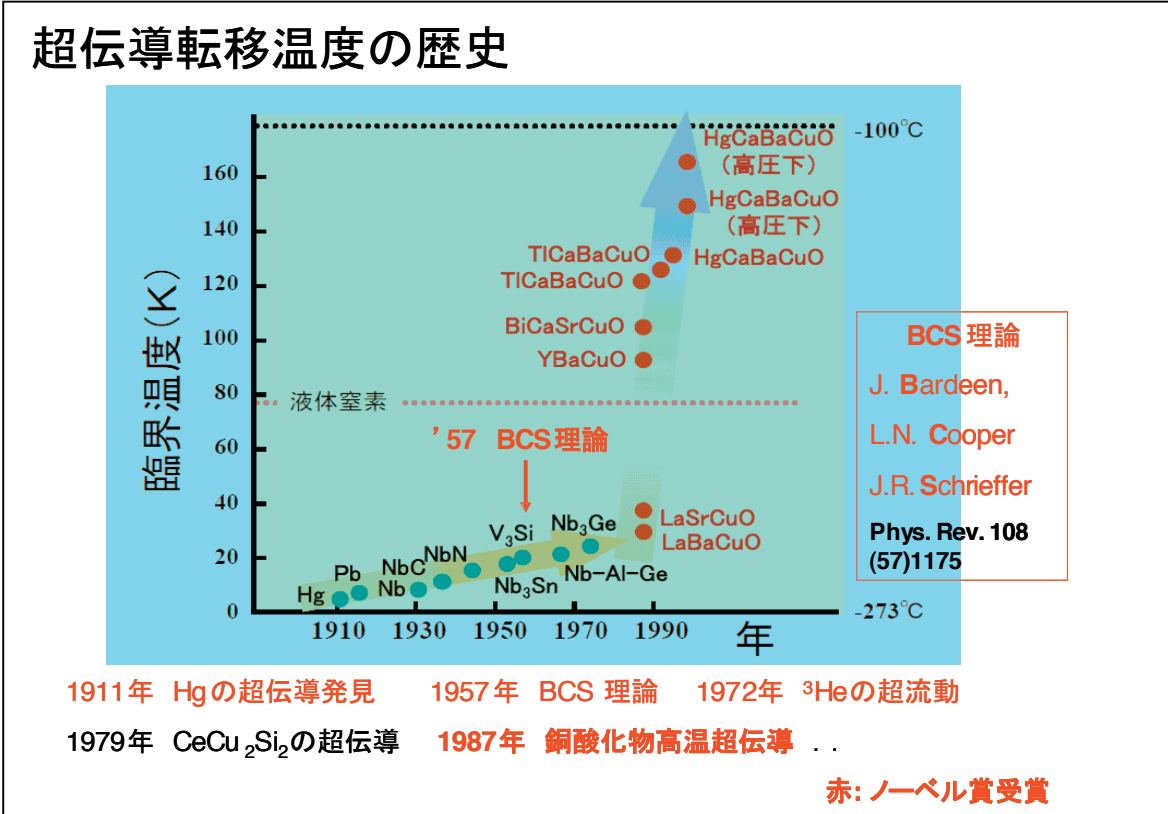
京都大学 国際融合創造センター

京都大学大学院 理学研究科物理学宇宙物理学専攻 物理学第一分野

E-mail : kishida@scphys.kyoto-u.ac.jp



多くの金属や合金は、液体ヘリウム温度(4.2K)程度の低温に冷やすと電気抵抗は突然消失します。この超伝導現象は、1911年ライデン大学の Kamerlingh Onnes によって水銀(Hg)において初めて見出されました。その後、超伝導転移温度は年代とともに上昇しますが、下図に示すように、超伝導発見から 1987 年まで転移温度は徐々にしか上昇しませんでした。しかし、銅酸化物の高温超伝導体の発見以降、超伝導転移温度は急激に上昇し現在摂氏-100 度にとどく手前まで高くなりました。銅酸化物高温超伝導体発見以前は、超伝導は、量子化された格子振動(フォノン)によって引き起こされると考えられていましたが、様々な研究から銅酸化物超伝導体では、フォノンではなく電子間に働く磁気的な相互作用によって引き起こされていると考えられるようになりました。このような電子間に強い相互作用が働く物質は、「強相関電子系物質」と呼ばれ、従来の金属超伝導とは異なる超伝導が近年次々と発見されています。本講演では、強相関電子系物質で見られる超伝導が如何に従来の超伝導とは異なっているのかを解説し、近年発見された“風変わりな”超伝導を紹介します。



L02 High Field Magnetic resonance imaging

-現状と将来展望-

福山秀直

京都大学医学研究科附属高次脳機能総合研究センター

E-mail fukuyama@kuhp.kyoto-u.ac.jp

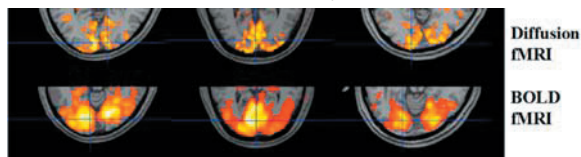


核磁気共鳴画像法 (Magnetic Resonance Imaging : MRI) は、約 20 年の間に革新的な進歩をとげ、人用では 0.1 テスラで始まった静磁場強度は、現在では、超伝導磁石により、臨床機で 1.5 テスラが使われ、7 テスラが実際に市販され、9.4 テスラの実験機が稼働しているまでになっている。さらに、フランスの Neurospin では、11.7 テスラの超高磁場の MRI を計画している。進歩しているのは、磁場強度だけではなく、各種の画像法が考案されて、さまざまな生態情報を非侵襲的に画像としてとらえることが可能になった。

大きな進歩の一つは、高速撮像法の開発である。Echo Planar Imaging とよばれる方法で、我々が使用している 3 テスラ MRI で、1 スライスの撮像時間が 50 msec 程度になっている。また、1990 年ころから、脳機能の研究に用いられている functional MRI (fMRI) は、Blood Oxygen Level Dependency (BOLD) 効果と呼ばれる現象を利用して、磁場強度に感受性が高い撮像法(T2*)によって脳血流の増加部位、すなわち、脳機能の活動部位を画像とすることができるようになり、ポジトロン CT のような被爆もないことから、爆発的に脳研究の手法として広まり、fMRI は多くの研究者のツールとして利用されている。

我々は、拡散強調画像、すなわち、水のブラウン運動を画像として捉える手法を改良して、脳機能の画像化を BOLD とは異なった方法で行える可能性を示した (図)。本画像法は、臨床的にも多くの革新的な利点を持っており、たとえば、脳虚血の発症直後でも異常を発見することが可能である。BOLD は、脳血流を測定しているので、直接神経活動を見ているわけではない。拡散強調画像法は、神経活動にともなう水の量の変化を見るもので、神経細胞の興奮により細胞膜周囲に水が増加することが、その要因の一つではないかと考えている。さらに、拡散強調画像法は、神経線維束に沿って流れる水を見ることで、神経線維の走行を画像化することが可能である。上記の Neurospin の最終計画は、神経細胞の興奮部位とその神経線維の結合状態を一度に画像化することにある。そのためには、できるだけ安定した高磁場の MRI が必要になる。

参考文献 Le Bihan D, Urayama S, Aso T, Hanakawa T, Fukuyama H. Direct and fast detection of neuronal activation in the human brain with diffusion MRI. Proc Natl Acad Sci U S A. 2006 May 23;103(21):8263-8.



L03 21世紀の持続可能な社会に向けて：高温超電導線と応用製品の開発の現状

佐藤 謙一

住友電気工業株式会社 電力・エネルギー研究所

E-mail: sato-kenichi@sei.co.jp



1. はじめに

数ある高温超電導材料の中でも、ビスマス系高温超電導材料は我が国発の新材料である。この材料は、(1)電気抵抗がゼロになる超電導状態に遷移する温度が、液化天然ガス(LNG)の蒸発する温度である 110K、すなわち -163℃と高く、従って、従来の金属系超電導線の冷却に必要な高価な液体ヘリウムが不要であり、冷却コストが大幅に低下可能であること、(2)高価で資源的に偏在する希土類元素や毒性元素を含まない、特徴がある。

2. ビスマス系高温超電導線(DI-BSCCO)の工業製品化

高温超電導線は、そもそもセラミックスである酸化物の超電導材料を長尺の線材にするという、困難な課題を持っていた。新プロセスである「加圧焼成法」を開発することにより、(1)約 1mm²の断面積の線材で臨界電流(77K)が 200A と従来の 2 倍に改善され、(2)機械的特性が 2 倍以上と軟銅線並みの強度を持ち、(3)歩留りが工業製品として確認できるまでに向上し、(4)単長が 1,600m 以上と大幅に改善された。

3. DI-BSCCO の応用

表 1 に応用製品とそのメリットを示す。低ロス、小型、軽量、高磁場、安定性向上など様々なメリットを有する機器に適用可能である。図 1,2,3 に典型的な応用製品を示す。

表 1 ビスマス系高温超電導線(DI-BSCCO)の応用製品

応用例	内容	低ロス	小型	軽量	大トルク	高磁場	高精度	静粛性	保守性	安定性	総合経済性	備考	
MRI(医療用)	高磁場発生源	○				○			○	◎	○	高温超電導化で僻地でも利用可能に	
NMR	超高磁場発生源	○				◎					○	高機能機種	
電力ケーブル	小さな直径で大電力、低ロス	◎	○	○						○	○	東電などの電力、米国政府プロジェクト	
変圧器	新幹線用	○	○	◎								軽量化が至上課題	
	電力用	◎	○	○							○	地下変電所向けなど	
限流器	事故電流抑制	○								○	○	既設電力網に導入可能	
SMES	磁場エネルギー貯蔵	○				◎						系統安定性	
リニア新幹線	磁場で浮上。金属超電導線代替		○	◎					○	○	○	HTS化で線路設備が半減という効果も	
船舶用モータ	小型化で推進抵抗の削減	○	◎	○				○	○		○	共同産学、400kW機開発中	
容湯の固化制御	高磁場で対流抑制	○				◎				○		次世代大型単結晶炉、鉄鋼の生産	
ロボットアーム	可動部分の軽量化、高精度化		○	○	◎		○					関節の先の方で有効	
工作機器	大トルクのためギアレス・高精度化、保守性向上			○	○	◎			◎			超高精度製品を安定に製造するため	
磁気分離	医薬品、廃水浄化	○				◎				○	○	製紙工場で実績積みつつある	
車両	駆動モータ	○	◎	○	○							○	液体水素燃料にて効果大
航空機推進	軽量化、燃料電池電力の利用	○	○	◎				○				○	米空軍
風力発電機	ナセル構造の簡素化		○	◎	○			○				○	軽量・静音化

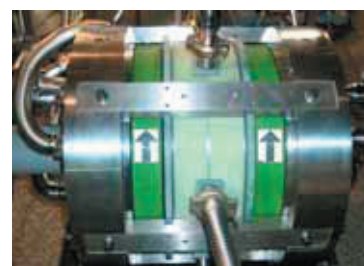


図 1:350m 電力ケーブル 図 2:高磁場マグネット(8T, 200mmRT-bore) 図 3:全超電導モータ

P01 2層系 $\nu=1/3$ 分数量子ホール状態

福田昭^a, 岩田一樹^b, 関川貴史^b, 新井敏一^a, 澤田安樹^a

^a京都大学 低温物質科学研究センター, ^b京都大学 理学研究科

E-mail : fukuda@scphys.kyoto-u.ac.jp



強磁場下に置かれた2次元電子系は、量子ホール効果と呼ばれる特異な伝導現象を示す。特に、ホール抵抗の量子化値が分数となる分数量子ホール状態は、電子に磁束を偶数本貼り付けた複合フェルミオン (CF) の整数量子ホール効果で理解される (CF 模型)。2層系ランダウ準位占有率 $\nu=1/3$ 量子ホール状態は、CF 模型によれば、CF の2層系 $\nu=1$ 量子ホール状態に対応する (図1)。本研究では、トンネリングエネルギーが11Kの2層系GaAs半導体試料を用い、分数量子ホール領域でのCF間の相互作用を明らかにすべく、2層系 $\nu=$

1/3量子ホール状態での励起エネルギー測定を詳細に行った (図2)。その結果、CF間の相互作用は、2層系 $\nu=1$ 量子ホール状態における電子間相互作用に比べて非常に小さいことが明らかになったので、それについて詳しく報告したい。

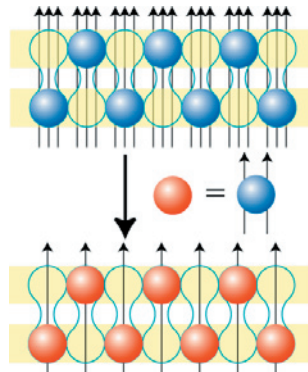


図1 2層系 $\nu=1/3$ 量子ホール状態のCF模型による磁束付着変換

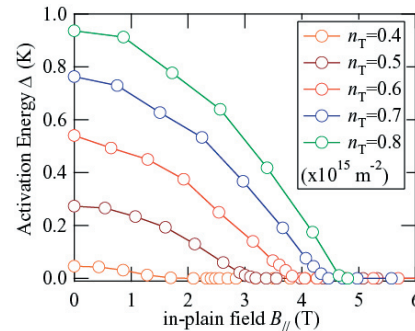


図2 様々な総電子密度 n_T に対する、2層系 $\nu=1/3$ 量子ホール状態の活性化エネルギー Δ の面内磁場 $B_{||}$ 依存性。

P02 グラフェンの試料作成

^a西中川 良平、^b新井 敏一、^b寺嶋 孝仁、^b澤田 安樹

^a京都大学 理学研究科 物理学宇宙物理学専攻 物理学第一分野

^b京都大学 低温物質科学研究センター

E-mail : nishinakagawa@scphys.kyoto-u.ac.jp

黒鉛 (グラファイト) は炭素原子が正六角形を成しながら平面状に広がった層が何枚も重なった構造をしている。グラフェンとはこの原子層1枚だけ取り出してきたもののことである (図1)。グラフェン上の電子はSchrödinger方程式ではなくDirac方程式に従うので、例えば量子ホール効果の測定をしてみると占有率が半整数の所で整数量子ホール効果が現れるなど物理的に面白い現象が起こる。

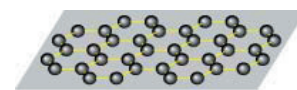


図1 グラフェンの模式図

我々はこのグラフェンの試料を作成するために2つの方法を考えている。1つはHOPG (Highly Oriented Pyrolytic Graphite) をテープなどではがし、原子的に1層になっているものを見つけ出す方法で、もう1つは炭化ケイ素SiCの結晶を熱分解させることによって、表面のケイ素を蒸発させ、表面に炭素のみの層を析出させる方法である。

現在、私はHOPGをセロハンテープなどではがし (図2)、そのテープをアセトンの中に浸すことによってアセトンの中に浮いたグラファイトのフレークをガラスですくう練習をしている。今後はAFM (原子間力顕微鏡) などを用いて1層のものを見つけ、同時にSiCの熱分解による方法も進めていく予定である。交流会ではグラフェンの試料作成方法の具体案について報告する予定である。

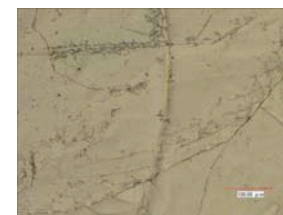


図2 光学顕微鏡によるセロハンテープ上のグラファイト表面

P03 量子ホール効果測定のためのベアリング式回転クライオスタットの開発

関川 貴史^a, 岩田 一樹^a, 福田 昭^b, 新井 敏一^b, 澤田 安樹^b

^a京都大学 理学研究科物理学宇宙物理学専攻

^b京都大学 低温物質科学研究センター

E-mail: tks-bb@scphys.kyoto-u.ac.jp



量子ホール効果とは、半導体接合界面や量子井戸に形成される2次元電子系が織り成す特異な伝導現象である。2次元電子系を2枚近接配置した2層系量子効果においては、層の自由度が加わることにより多彩な量子現象が期待される。例えば、2層系半導体試料にマイクロ波を照射する事により、巨視的量子コヒーレンスに由来したジョセフソン・プラズマ共鳴現象を観測できる可能性が示唆されている。また、2層2次元電子系に面内磁場を印加する事により、この現象を観測するのに重要なパラメータである電子の層間トンネリングを連続的に変化させることが可能である。

本研究の目的は、2層系量子ホール効果の測定においてマイクロ波の照射と、試料への面内磁場の印加を同時に行えるシステムを開発することである。面内磁場を加えるために、試料そのものを磁場中で回転させる方法を従来用いていたが、試料にマイクロ波伝送回路を組み込み、試料と伝送回路を同時に回転させるのは困難である。このため、試料と伝送回路は回転させず、デュワーの底に設置した超伝導磁石を回転させることで面内磁場の方向を変えることを目的としたベアリング式回転クライオスタットの開発を試みている。交流会ではマイクロ波を用いた量子ホール効果実験の概略と、ベアリング式回転クライオスタットの開発およびその性能評価について報告する予定である。

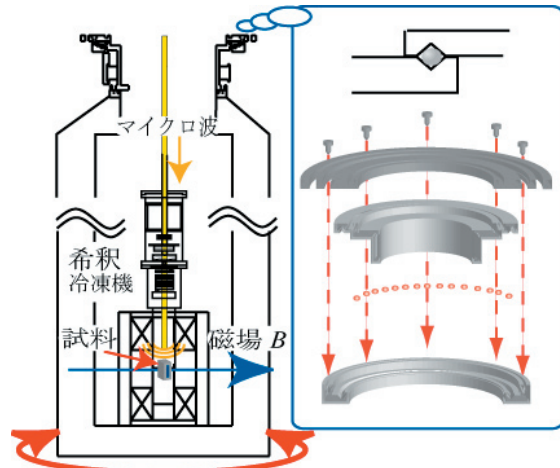


図: 回転式クライオスタットとベアリング部分の概念図

P04 強面内磁場下における2層系 $\nu=3$ 状態の非量子ホール状態化とヒステリシス現象

岩田一樹^a, 福田昭^b, 関川貴史^a, 新井敏一^b, 澤田安樹^b

京都大学理学研究科^a

京都大学低温物質科学研究センター^b

E-mail: iwata@scphys.kyoto-u.ac.jp



量子ホール状態におけるヒステリシス現象は、量子ホール強磁性の相転移や、メタステーブル状態などの存在を明らかにし、量子ホール状態の内部自由度を研究する上で重要な情報を与えてきた。一方、2層系では、層の自由度が導入されるので、層自由度に起因したヒステリシス現象の発生が期待されるが、2層系におけるヒステリシスの報告はあまりなされていない。

今回、我々はGaAs/Al_xGa_{1-x}Asの2重量子井戸構造の試料を用い、強面内磁場下において磁気輸送の測定を行なった。面内磁場は磁場中で回転させることで加えた(挿入図)。その結果、2層系 $\nu=3$ において、磁気抵抗にヒステリシス現象が生じることを見出した(図)。交流会では、ヒステリシスの原因について考察を行なう。

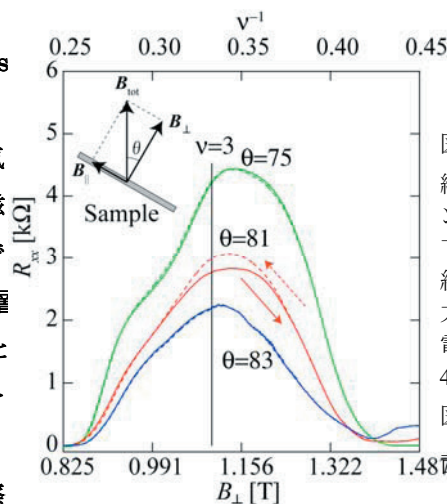


図: R_{xx} の磁場挿引方向依存性
縦軸が磁気抵抗、上横軸がランダウ準位占有率(ν)の逆数、下横軸が垂直磁場。実線と破線は、それぞれ、磁場の挿引方向を示している。
電子密度 $0.8 \times 10^{11} [\text{cm}^{-2}]$, 温度 $40 [\text{mK}]$, 電流 $30 [\text{nA}]$
図は磁場(B_{tot})と垂直磁場(B_{\perp})、面内磁場(B_{\parallel})の関係を示す。

P05 MBE 法による Ce を含む重い電子系超伝導体薄膜の成長

寺嶋孝仁^a、宍戸寛明^b、井崎学^b、難波伸^b、芝内孝禎^b、松田祐司^b

^a 京都大学低温物質科学研究センター、^b 京都大学大学院理学研究科物理学・宇宙物理学専攻物理学第一分野

e-mail: terashim@scl.kyoto-u.ac.jp

Ce など希土類を含む金属間化合物における超伝導は超伝導臨界温度 T_c が低いものの、f 電子が主役を担う重い電子系の超伝導であること、k 空間において秩序パラメータにノードがある異方的超伝導であることなど基礎物理的には興味深く重要な現象である。希土類金属間化合物の薄膜化ができれば f 電子の二次元閉じこめを目的とした次元性制御や異方的超伝導に基づく素子の作製が可能になる。本研究では 4f 電子を 1 個持つ Ce を含む金属間化合物として最も基本的な $CeIn_3$ と Ce 系では最も超伝導臨界温度 T_c の高い $CeCoIn_5$ の 2 つの化合物について分子線エピタキシー (MBE) 法により薄膜化を行った。 $CeIn_3$ については (111) 方向に強く配向した薄膜の作製に成功し、電気抵抗の測定は近藤効果により電気抵抗がピークを持つ温度およびネール温度が単結晶と一致した。またストリーク状の反射高速電子線回折 (RHEED) 像が観察されたことから極めて表面の平坦性が高い良質な薄膜であることが確認された。基板の選択により (001) 配向した薄膜作製が可能であることも明らかになった。 $CeCoIn_5$ については強く (001) 軸方向に配向した薄膜の作製に成功し、バルクと同様の超伝導性を持つことがわかった (図 1)。

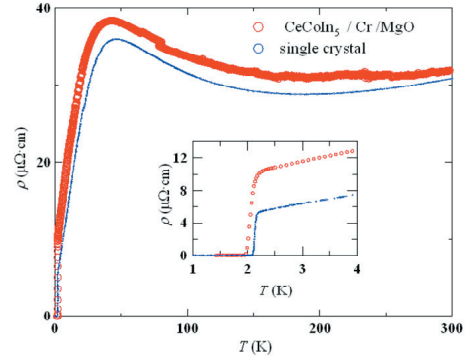


図 1. $CeCoIn_5$ 薄膜の比抵抗の温度依存性。近藤効果により電気抵抗がピークを持つ温度および超伝導転移温度は単結晶と一致している。

P06 Actin filament 溶液の浸透圧ストレス・力学ストレス応答

伊藤 忠直^a、山崎 昌一^b

^a 京都大学 低温物質科学研究センター、^b 静岡大学理学部物理学科

E-mail: ito@em.biophys.kyoto-u.ac.jp

細胞の浸透圧や力学ストレスに対する応答は、主として細胞質のアクチンフィラメントのネットワーク構造 (図 1) によって担われているが、その分子機構の詳細はいまだ明らかでない。本研究交流会では、—— [1] 浸透圧に対する応答は浸透圧ストレスが原因のエントロピー減少に起因する、アクチンフィラメントのケミカルポテンシャルの増加がその基となる (図 2), [2] 力学ストレスに対する応答はフィラメント間の結合様式に左右され (図 3), 共有結合 (青丸), 非共有結合 (赤丸), 非結合 (黒丸) による張力緩和機構の違いによって、その応答 (弾性率) に十倍以上の差が生じる —— ことなどの分子機構について詳論する。

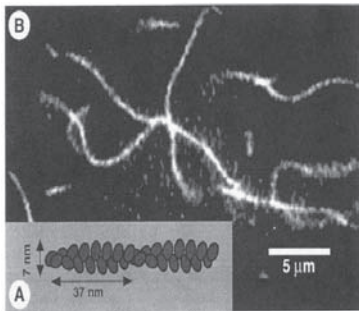


図 1. actin filament 溶液

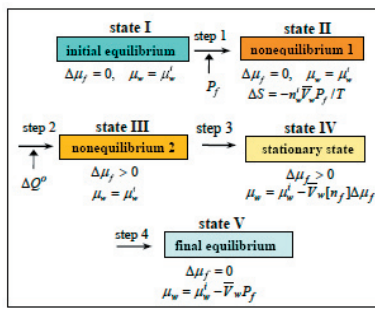


図 2. 浸透圧ストレス応答

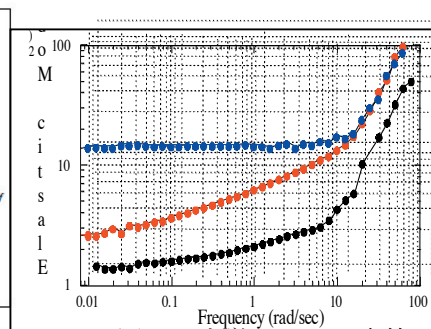


図 3. 力学ストレス応答

P07 パスツレラ毒素の活性ドメインの X 線構造解析

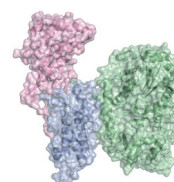
北所健悟^a, 神谷重樹^b, 宮澤雅之^b, 花嶋-小澤美幸^b, 福井 理^b,
三宅眞実^b, 堀口安彦^b



^a 京都大学低温物質科学研究センター ^b 大阪大学微生物病研究所 分子細菌学分野

E-mail : kengo@nice.kumac.kyoto-u.ac.jp

【目的】 *Pasteurella multocida* toxin (PMT)は、犬や猫等から感染する人獣共通感染症であるパスツレラ症の病原因子であると考えられているタンパク毒素である。PMTは Rho など様々なシグナルカスケードを活性化することによりその毒性を発揮することが知られているが、その毒性の分子機構は未だ不明である。そこで PMT の結晶構造解析を試みた。【方法】 PMT の C 末領域の組換えタンパク (569-1285 残基、以下 C-PMT) を作製し、HVJ リポソーム法で標的細胞内に導入し PMT 活性を確認した。この C 末端領域を結晶化し、X 線構造解析の手法を用いて、その結晶構造を決定した。【結果と考察】 立体構造は重原子法を用いて行い、SPRING-8 でのデータ測定から、1.9 Å 分解能の構造を決定した。C-PMT 分子は 711 残基のアミノ酸を有し、760 個の水分子と 1 つのリン酸イオン、2 つのトレハロースが結合していた。分子全体は、87 x 84 x 30 Å の大きさで、Trojan Horse 様の外観を呈し、N 末側からそれぞれ Trojan Horse の feet, body, head に相当する C1, C2, C3 の 3 つのドメインを有し、3 3 個のヘリックスと 1 6 個のベータ構造からなることが分かった。C1 ドメインは、helical な構造を持ち、3 次元構造のホモロジー検索と細胞内局在解析の結果により、PMT の膜局在に関与し、C3 ドメインは、活性に関与する残基が存在するサイトであるが、 α/β hydrolase 構造を有し、システインプロテアーゼとの相同性があることが示唆された。



P08 Structural and physical properties of the mono-substituted EDO-TTFs and their cation radical salts

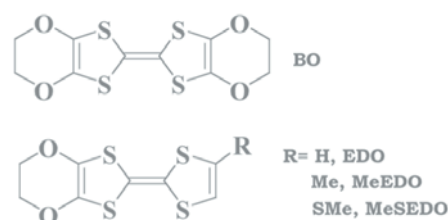
X.F. SHAO,^{a,c} Y. NAKANO,^a H. YAMOCHI,^{a,c} G. SAITO,^{a,b} S. KOSHIHARA^{c,d}

^a Research Center for Low Temperature and Materials Sciences, Kyoto University; ^b Division of Chemistry, Graduate School of Science, Kyoto University; ^c Non-equilibrium Dynamics Project, ERATO, JST; ^d Department of Materials Science, Tokyo Institute of Technology.

E-mail: shao_xf@kuchem.kyoto-u.ac.jp



Most of BO complexes showed stable metallic behaviors due to the self-assembling nature of this donor molecule in the partially oxidized state. By removing one of the ethylenedioxy groups to give EDO-TTF, the cation radical salts of this donor molecule showed variety of packing patterns and physical properties. Among them, (EDO-TTF)₂PF₆ showed peculiar thermo- and photo-induced insulator-to-metal phase transitions.



Therefore, the mono-substituted EDO-TTFs, MeEDO and MeSEDO, were synthesized to study the effect of the small substituents on the structural and physical properties of the salts.

The cation radical salts of these two donor molecules showed variety of the transport properties. Among these salts, (MeEDO)₂BF₄ exhibited stable metallic behavior down to 10 K. The crystal structure of this salt showed novel packing pattern, in which the donor molecule formed head-to-head zigzag chain along the *b* axis with strong side-by-side inter-chain multi-heteroatom short contacts. The calculated Fermi surface showed two-dimensional feature, in good agreement with the transport property. Such kind of stable metallic behaviors were not observed in the EDO-TTF cation radical salts yet.

These results indicate that the introduction of small substituents without extension of the π -electron system, but only with small increment of the molecular sizes brought about great effects to the physical properties of the cation radical salts.

P09 (EDO-TTF)₂X (X = PF₆, AsF₆) の金属-絶縁体転移における同位体効果

中野 義明^a, 矢持 秀起^a, 斎藤 軍治^{a,b}

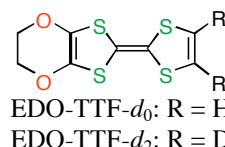
^a京都大学 低温物質科学研究センター

^b京都大学 理学研究科 化学専攻

E-mail : nakano@kuchem.kyoto-u.ac.jp



(EDO-TTF-*d*₀)₂PF₆ は室温直下の 280 K で金属-絶縁体転移を起こす。この転移においては、パリエルス転移、電荷秩序化転移、陰イオン秩序化転移の機構が協同的に発現している[1]。また、この錯体において超高速かつ高効率の光誘起絶縁体-金属転移が見出されている[2]。この転移の特徴は強い電子-格子(振電)相互作用に由来すると指摘されており、本研究ではドナー分子を重水素化することにより導電経路自体に摂動を与えることを試みた。



電解法により(EDO-TTF-*d*₂)₂X (X = PF₆, AsF₆)を作製し、磁化率の温度依存性を測定したところ、どちらの塩においても軽水素体に比べて約 3 K の転移温度の上昇が観測された。PF₆ 塩について軽水素体と重水素体の X 線結晶構造解析を行ったところ、両者の構造はほぼ同じであることが分かった。一方 EDO-TTF-*d*₂ の IR スペクトルでは、ビニル位の C-H 振動のみならず、TTF 骨格の振動においても同位体シフトが観測された。したがって、この転移温度の上昇は主に重水素化による分子振動の変化に起因すると考えられる。

[1] A. Ota, H. Yamochi, G. Saito, *J. Mater. Chem.* **12**, 2600 (2002).

P10 導電性成分分子 TP-EDTT の研究

高橋 基延^a, 中野 義明^b, 矢持 秀起^b, 斎藤 軍治^{a,b}

^a京都大学 理学研究科 化学専攻

^b京都大学 低温物質科学研究センター

E-mail : motonobu@kuchem.kyoto-u.ac.jp



TP-EDOT は、チオピラン環内の硫黄原子により分子長軸方向への分子間相互作用が可能である。この相互作用により Mott 絶縁体である (TP-EDOT)₂PF₆ 中では、珍しい磁気構造が形成されていた[1]。

我々は、さらに分子短軸方向への分子間相互作用を増大し、錯体中に

遍歴電子を生じさせるため、酸素原子を硫黄原子に代えた TP-EDTT の検討を開始した。本分子の電荷移動錯体は、以前、大坪らが検討しているが、単結晶性錯体は得られていない[2]。そこで、今回このドナーを用いた陽イオンラジカル塩を検討することとした。

まず、これまで報告されていなかった TP-EDTT 中性分子の結晶構造を解析した(空間群: *P*2₁/*n*, *a* = 13.463(2), *b* = 13.536(2), *c* = 6.468(2) Å, β = 90.800(2)°, *R* = 0.049)。図の通り単位格子内での分子の充填様式は、導電性成分として活用されている ET の中性分子のそれと酷似していた。さらに、分子面の湾曲が見られる点も ET と類似していた。この湾曲は、チオピラン環部分で顕著にみられた。現在、TP-EDTT と四面体ならびに八面体型構造を持つ無機イオンとの塩の作成を試みている。

[1] H. Yamochi, J. Hagiwara, M. Soeda, G. Saito, *J. Mater. Chem.*, **16**, 550 (2006).

[2] T. Otsubo, Y. Shiomi, M. Imamura, *et al.*, *J. Chem. Soc. Perkin Trans. 2*, **10**, 1815 (1993).

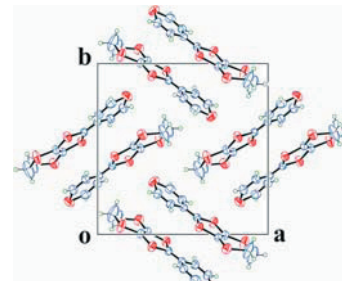
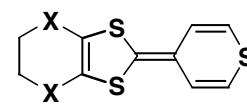


図 TP-EDTT の結晶構造

P11 アルキルアンモニウム - 層状マンガン酸化物の合成と物性

甲斐 一也^a, 吉田 幸大^a, 陰山 洋^a, 齋藤 軍治^{a,b}

^a 京都大学大学院 理学研究科 化学専攻

^b 京都大学 低温物質科学研究センター

E-mail : kai@kuchem.kyoto-u.ac.jp



様々な構造を持つことで知られるマンガン酸化物の中で、Birenessite と呼ばれる化合物 $A_xMnO_2 \cdot yH_2O$ (A : アルカリ金属) は、近年興味深い磁性や超伝導性で注目を集めている $Na_xCoO_2 \cdot yH_2O$ と類似の構造を持った層状酸化物である。層中の Mn 原子は正三角副格子を形成しているため、スピン揺らぎに起因した特異な磁性の発現が期待される。

本研究では MnO_2 層の層間距離が物性に与える影響を検討するため、長さの異なるアルキルアンモニウム ($C_nH_{2n+1}NH_3^+$) が MnO_2 層間に挿入したハイブリッド化合物を対象としている。 $K_{0.45}MnO_2 \cdot yH_2O$ ($y \sim 0.6$) を 1 M の HCl 水溶液で処理することで H_xMnO_2 を作成し、これを $C_4H_9NH_2$ 中で攪拌することで $(C_4H_9NH_3)_xMnO_2$ (以下、C4 体) を作成した。粉末 X 線回折パターンから、この試料の層間距離は 14.8 Å であることが分かった。この値は $K_{0.45}MnO_2 \cdot yH_2O$ (7.0 Å) の 2 倍以上に相当する。この試料の磁化率測定を行なったところ、20 K 付近までは Curie 常磁性的挙動を示し、13 K 付近でスピングラスに起因した磁場履歴が確認された。比較のために測定した $K_{0.45}MnO_2 \cdot yH_2O$ の磁化率も同様の挙動を示したが、スピングラス相への転移温度 (7.5 K) は C4 体よりも低いことが分かった。現在、さらに C6 体、C8 体に関する研究を進めている。

P12 π - d 系有機伝導体の磁性と特異的な磁気輸送特性

古島 圭智^a, 前里 光彦^a, 川嶋 智仁^a, 齋藤 軍治^a

白旗 崇^b, 木舩 愛^b, 今久保達郎^b

^a 京都大学 理学研究科 化学専攻 有機物性化学

^b 理化学研究所 今久保独立主幹研究ユニット

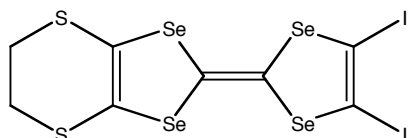
E-mail : y-furushima@kuchem.kyoto-u.ac.jp



遍歴 π 電子と局在 d 電子を有する新規 π - d 複合系として、ドナー分子 DIETSe と局在スピン ($S = 5/2$) を持つ含遷移金属アニオン FeX_4^- ($X = Cl, Br$) からなる $(DIETSe)_2FeX_4$ ($X = Cl, Br$) が開発されている [1]。これら 2 種の錯体は同型構造をもつ擬一次元伝導体であるが、低温での挙動は異なる (表)。Cl 塩では金属 - 半導体転移と Fe^{3+} の反強磁性転移が、それぞれ 11K と 2.5K で起こる。一方 Br 塩ではこれらの転移が約 7K で同時に起こる。両塩の基底状態の解明および π - d 相互作用による得意な磁気輸送特性や新規な電子状態の探索を行う目的から、低温における磁気輸送特性と磁性を調べた。その結果、Cl 塩では温度 1.5K 外部磁場 1.5T において d 電子スピンのスピンプロップが観測され、同時に磁気抵抗に巨大な変化が観測された。一方 Br 塩でも大きな負の磁気抵抗を観測した。これらは、遍歴電子の低次元不安定性と局在スピンの磁気秩序との相関に起因すると考えられる。

[1] T. Shirahata et al., *J. Mater. Chem.*, 16, 3381-3390 (2006).

表



	$(DIETSe)_2FeCl_4$	$(DIETSe)_2FeBr_4$
金属 - 半導体転移	11 K	7 K
Fe^{3+} の反強磁性転移	2.5 K	7 K
磁化容易軸	<i>b</i> axis	<i>c</i> axis

P13 重い電子系超伝導体 CeCoIn₅の局所磁化測定

宋戸寛明, 岡崎竜二, 芝内孝禎, 松田祐司, Marcin Konczykowski^A,
撰待力生^B, 大貫惇睦^B
京都大学 大学院 理学研究科 物理学宇宙物理学専攻 物理学第一分野
École Polytechnique^A
大阪大学 大学院 理学研究科 物理学専攻^B
shishido@scphys.kyoto-u.ac.jp



4f軌道に電子を1個もつCe化合物では磁気秩序を安定化させるRKKY相互作用と磁気モーメントを消失させる近藤効果が競合して, 多彩な物性を示す. わけても反強磁性ゆらぎを媒介とした異方的超伝導の実現は興味深い. CeCoIn₅はそのようなd波超伝導体である. その上部臨界磁場は[100]方向と[001]方向でそれぞれ119 kOe, 49 kOeと比較的高い. またパウリ常磁性の効果が強く, 低温高磁場相においてクーパー対が重心運動量をもち, 磁場に垂直なノードが発達するFFLO状態が実現していることが指摘されている. FFLO状態は理論的には古くから予言されていたがCeCoIn₅において初めて実験的に発見された. 本研究ではFFLO状態を微視的に調べるため, 10 x 10 μm²の微小ホール素子を用いた局所磁化測定を行った. 右図に[001]方向の各磁場での局所磁化の温度依存性を示す. 高磁場領域での超伝導の1次転移に伴う局所磁化のとびとオーバーシュートが観測された. オーバーシュートはFFLO転移の特徴を示していると考えられる.

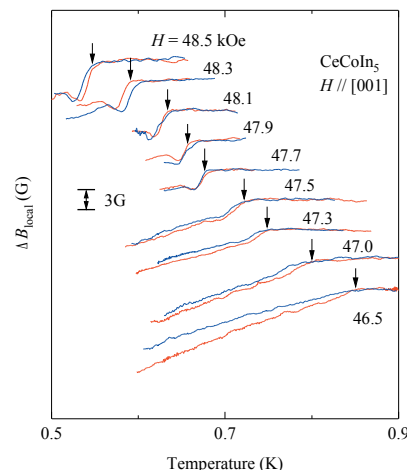


図1 局所磁化の温度依存性

P14 ナイトシフト測定によるスピン三重項超伝導体 Sr₂RuO₄のクーパー対スピンの異方性の研究

村川 寛^a, 石田憲二^{a,b}, 北川健太郎^a, 毛志強^a, 前野悦輝^a
^a 京都大学 理学研究科 物理学宇宙物理学専攻 物理学第一分野
^b 京都大学 国際融合創造センター



E-mail : mura@scphys.kyoto-u.ac.jp

Sr₂RuO₄では, これまでに行われたナイトシフトの測定により, スピン三重項超伝導状態の実現が確実視されている. Sr₂RuO₄のスピン三重項クーパー対は, 電荷を持っていることや結晶格子の中に存在するという点で超流動³Heのクーパー対とは大きく異なる. 我々は, Sr₂RuO₄における電子系クーパー対のゼロ磁場におけるスピンの方向やその異方性エネルギーの大きさについて調べることを目的として, 結晶の異なる方向(RuO₂面とc軸方向)に磁場を印加してナイトシフトの測定を行った.¹⁰¹Ru核の核四重極共鳴信号を用いることにより, 数百 Oeの低磁場中でNMR共鳴信号を観測することに成功した. 実験の結果, RuO₂面方向磁場中では550 Oeの低磁場までナイトシフトに明確な変化は観測されなかった[1]. この結果は, クーパー対のスピンの方向がRuO₂面内の磁場方向を向いていることを示唆する. 一方c軸方向磁場中についても, 440 Oeにおいて100 mKまで温度を下げてナイトシフトの測定を行った. また, 90 mKにおいてナイトシフトの磁場依存性を200 Oeの低磁場まで測定した. いずれの場合も測定誤差内でナイトシフトに明確な変化は観測されなかった[2]. これは, クーパー対のスピンの方向が測定磁場領域でc軸と平行である可能性を示唆するものである. 以上の実験結果をまとめると, ゼロ磁場下でのクーパー対のスピンの方向については明らかではないものの, スピンは数百 Oeの磁場により容易に方向を変え得る, つまりスピンの異方性エネルギーは測定磁場よりも小さいものである可能性が示唆される. 研究会では, 我々がこれまでに行ってきた低磁場中ナイトシフトの測定結果のまとめを発表し, スピンの状態, スピンの異方性エネルギーについて議論する予定である.

Yo Machida^a, Satoru Nakatsuji^{a,b}, Yoshiteru Maeno^a, Takashi Tayama^b, Toshiro Sakakibara^b and Shigeki Onoda^c

^aDepartment of Physics, Kyoto University

^bInstitute for Solid State Physics (ISSP), University of Tokyo,

^cCREST, Department of Applied Physics, University of Tokyo

E-mail : machida@scphys.kyoto-u.ac.jp



Geometrically frustrated magnets have attracted great interest because of the possible emergence of novel magnetic phases at low temperatures resulting from the suppression of conventional order. Among them, the three-dimensional pyrochlore lattice of corner sharing tetrahedra (see fig.1) has been studied extensively. In my presentation, we first report on frustrated magnetism in single crystals of a pyrochlore compound Pr₂Ir₂O₇. We find that the $\langle 111 \rangle$ Ising-like Pr³⁺ moments have an antiferromagnetic RKKY interaction energy scale $T^* = 20$ K. However, the specific heat and the magnetization measurements exhibit no long-range order down to 100 mK. Instead, the Kondo effect emerges below $|T^*|$ and leads to a partial screening of the $4f$ -moments, renormalizing the antiferromagnetic interaction to $|\theta_W| = 1.7$ K. Below $|\theta_W|$, the underscreened moments show spin-liquid behavior. This low temperature spin-liquid regime is very interesting because the Pr $\langle 111 \rangle$ Ising-like spins form a non-coplanar spin configuration and have a finite *spin chirality* by virtue of the development of ferromagnetic correlations under applied fields. The finite spin chirality induces a fictitious magnetic field on the $5d$ -conduction band through the Kondo coupling and would lead unusual transport phenomena. Indeed, we find a divergently enhanced Hall resistivity ρ_{xy} in this spin-liquid regime. In addition, in the same temperature region, strong anisotropy and non-monotonic dependence on magnetization have been observed in ρ_{xy} . These behaviors sharply contrast with the conventional anomalous Hall effect observed in ordinary magnetic metals, strongly suggesting the spin chirality contribution.



Fig.1

P16 自由電子にごく近い電子状態を持つ超伝導体 Ag₅Pb₂O₆

米澤 進吾、前野 悦輝

京都大学 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 物理学第一分野

e-mail: yonezawa@scphys.kyoto-u.ac.jp



我々の発見した銀鉛酸化物超伝導体 Ag₅Pb₂O₆は超伝導転移温度 T_c が 52 mK である[1]。 T_c は非常に低いが、我々が注目しているのは、種々の測定[2,3]やバンド計算の結果[4]から、この物質が 1 価の導電体で、その電子状態が自由電子に非常に近いことが明らかになった点である。このような電子状態をもつ物質は、図 2 のような球形に近い「教科書的」なフェルミ面を持つことが一つの特徴であるが、奇妙なことにこういった物質の超伝導はこれまで報告されていない。つまり、Ag₅Pb₂O₆ は自由電子的な電子状態を持つ物質として初めての超伝導体である[3]。

発表では、Ag₅Pb₂O₆ の超伝導状態および常伝導状態の最近の実験結果から、この物質の超伝導について議論する。

- [1] S. Yonezawa and Y. Maeno, *Physical Review B* **72**, 180405(R) (2005).
- [2] S. Yonezawa and Y. Maeno, *Physical Review B* **70**, 184523 (2004).
- [3] M. Sutherland *et al.*, *Physical Review Letters* **96**, 097008 (2006).
- [4] T. Oguchi, *Physical Review B* **72**, 245105 (2005).
- [5] Fermi Surface Database: <http://www.phys.ufl.edu/fermisurface/>

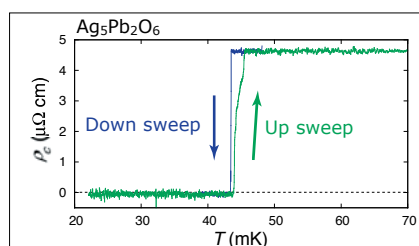


図 1: Ag₅Pb₂O₆ の超伝導転移。

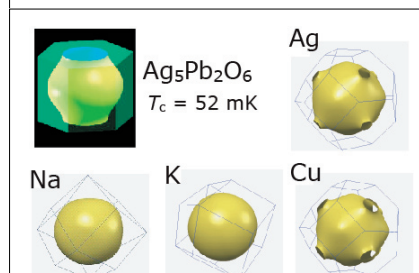


図 2 : 1 価導電体で自由電子に近い電子状態を持つ物質のフェルミ面[3-5]。Ag₅Pb₂O₆ 以外はいずれも超伝導を示さない。

P17 ^{17}O -NMRを用いて明らかにした $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ におけるメタ磁性現象

とメタ磁性量子臨界性

北川 健太郎^a, 石田 憲二^{a,b}, R. S. Perry^{a,c}, 前野 悦輝^{a,b}

^a京都大学 理学研究科 物理学宇宙物理学専攻 物理学第一分野

^b京都大学 国際融合創造センター

^cSchool of Physics & Astronomy, University of St. Andrews.

E-mail : kitagawa@scphys.kyoto-u.ac.jp

層状ペロブスカイト型酸化物 $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ は、磁場印可により急激な磁化の増大を起こし、1次相転移の遍歴メタ磁性を示す。c軸方向の磁場印可では、臨界温度を絶対零度にする事ができ、このとき量子臨界点を持つ¹。すなわち、絶対零度において量子ゆらぎにより相転移が引き起こされる。1次相転移の臨界点ゆらぎに起因する量子臨界点という点では、通常の2次相転移の量子臨界点とは異なる。我々は核スピンを持つ ^{17}O (天然存在比0.01%) で置換した試料を用い、核磁気共鳴(NMR)を主な測定手段として磁気状態を調べている。NMRの測定により、Ru-O間の4d-2p結合の共有軌道性が磁性に重要な役割を担っていること²、c軸方向の磁場印可では反強磁性的な量子臨界ゆらぎが絶対零度に向かって発散していること³、反面、[100]方向の磁場印可では量子臨界ゆらぎが抑えられフェルミ液体的な温度依存が見られることがわかってきている。

[1] S. A. Grigera et al., Science 294, 329 (2001).

[2] K. Kitagawa et al., Phys. Rev. B 75, 024421 (2007).

[3] K. Kitagawa et al., Phys. Rev. Lett. 95, 127001 (2005).

P18 Sr_2RuO_4 - $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ 共晶体の $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ 領域中で観測される超伝導特性

橋高 俊一郎^a, 矢口 宏^a, 前野 悦輝^a, R. Fittipaldi^{a,b}, A. Vecchione^{a,b}

^a 京都大学 理学研究科 物理学宇宙物理学専攻 物理学第一分野

^b Univ. of Salerno, Italy

E-mail : kittaka@scphys.kyoto-u.ac.jp



我々は Sr_2RuO_4 - $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ 共晶体の超伝導特性について研究している。純粋な $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ は超伝導になることが報告されていないが、この共晶体中の $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ 結晶だけの領域で2段の超伝導転移が起こることを交流磁化率測定により明らかにした。当日は交流磁化率、磁化、比熱測定などの結果を報告し、この超伝導の起源について議論する予定である。

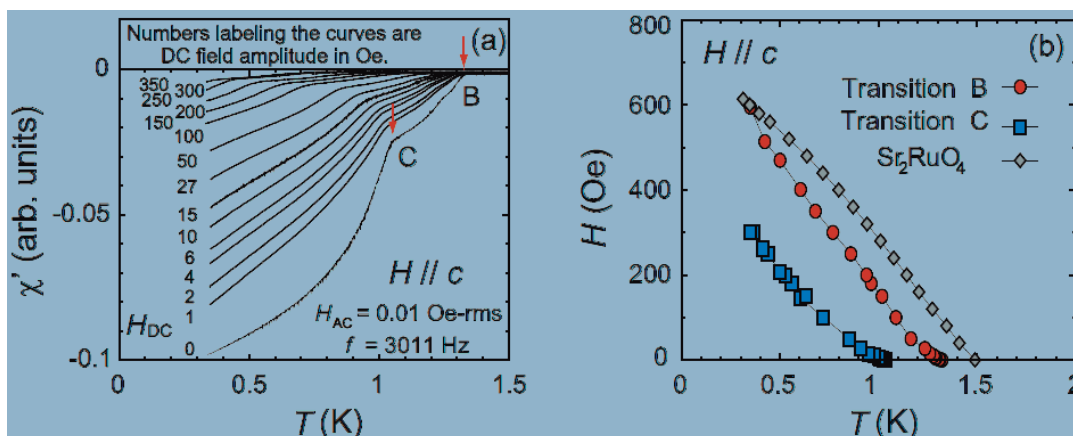


図 共晶体中の $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ 結晶だけの領域における(a)様々な直流磁場の下での交流磁化率温度依存性と(b)温度磁場相図。

P19 Pd 三角格子を持つ導電性酸化物 PdCoO₂ における高周波光学フォノンの役割と電子物性

高津浩^a, 米澤進吾^a, 毛利真一郎^a, 中辻知^{a,b}, 田中耕一郎^a, 前野悦輝^a

^a 京都大学 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 物理学第一分野

^b 東京大学 新領域創成科学研究科

E-mail : takatsu@scphys.kyoto-u.ac.jp



PdCoO₂ は Pd イオンの三角格子層と CoO₆ 八面体の酸化物層が交互に積層した層状酸化物である。導電性には銅酸化物高温超伝導体と類似の d⁹ (Pd 4d) 電子が寄与しており、この物質の電子状態は大変興味深い。最近、我々は赤外吸収・ラマン散乱の実験より、この物質にかなり高周波の光学フォノンが存在していることを確認した。そして、それらをアインシュタインフォノン・モードとして取り入れる解析により、比熱や電気抵抗率の温度依存性(図 1)の特異性について定性的、半定量的に評価できることを見出した。当日のポスターでは実験や解析の詳細、今後の超伝導体設計の展望等について発表する。

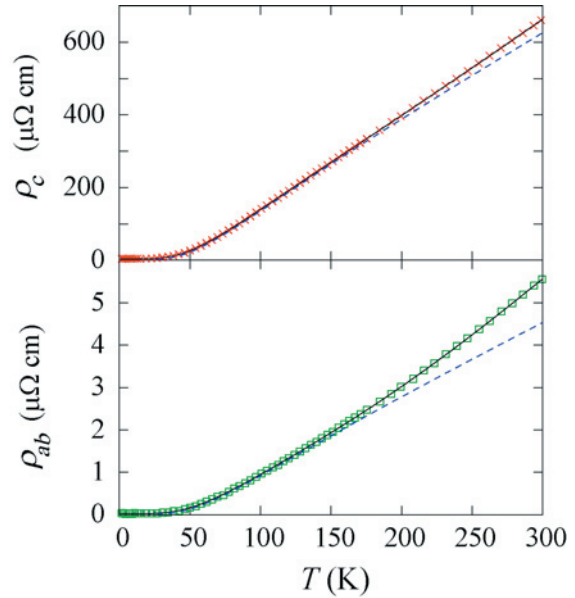


図 1: PdCoO₂ の電気抵抗率の温度依存性

P20 三角格子反強磁性体 NiGa₂S₄ の ^{69,71}Ga-NMR/NQR による研究

竹谷英朗^a, 北川健太郎^a, 石田憲二^{a,b}, 南部雄亮^a, 小沼圭介^a, 中辻知^{a,c}, 前野悦輝^a

^a 京都大学 理学研究科 物理学宇宙物理学専攻 物理学第一分野

^b 京都大学 国際融合創造センター、^c 東京大学 物性研究所

E-mail : htakeya@scphys.kyoto-u.ac.jp



最近我々の研究グループが物性開発した NiGa₂S₄ は低温まで三角格子の対称性を正確に保ち続ける S = 1 の擬二次元三角格子磁性体として注目を集めている[1]。我々はこれまでに Ga-NQR 測定を行い、比熱や磁化率において弱い異常が観測された 10 K 近傍において、緩和率が発散的に増大する振る舞いを観測している。

今回、我々は μSR の測定も行い、その緩和率 λ が 10 K 近傍で発散的振る舞いを示すことを観測した。さらに、図に示したように、その温度依存性は NQR の緩和率と非常に良く一致しており、(T - T_f)^{-0.5} に比例する振る舞いを観測した。

当日は NQR/NMR/μSR の実験結果に基づき、10 K 以下における NiGa₂S₄ の磁気状態について発表する予定である。

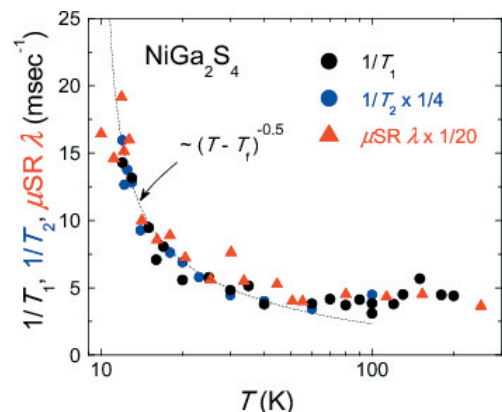


図: ⁶⁹Ga-NQR 及び μSR 緩和率の温度依存性

[1] S. Nakatsuji *et al.*, science **309**, 1697(2005).

P21 三角格子超伝導体 $\text{Na}_x(\text{H}_3\text{O})_z\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ における ^{59}Co -NQR/NMR 測定

井原慶彦^a, 石田憲二^a, 竹谷英郎^a, 道岡千城^b, 加藤正樹^b, 伊藤豊^b,
吉村一良^b, 高田和典^c, 佐々木高義^c, 桜井裕也^d, 室町英治^d

^a 京都大学 理学研究科 物理学宇宙物理学専攻 物理学第一分野

^b 京都大学 理学研究科 化学専攻 化学教室

^c 物質・材料研究機構 物質研究所

^d 物質・材料研究機構 超伝導材料研究センター



E-mail : ihara@scphys.kyoto-u.ac.jp

2002 年に takada *et al.* により発見されたコバルト酸化物超伝導体 $\text{Na}_x(\text{H}_3\text{O})_z\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ (図) では超伝導と同じ結晶構造を持ちながら磁気秩序を起こす試料が発見され、磁性と超伝導の関係に興味が集まっている。

我々は $\text{Na}_x(\text{H}_3\text{O})_z\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ における ^{59}Co 核の核四重極共鳴 (NQR)、核磁気共鳴 (NMR) 実験により、この物質の

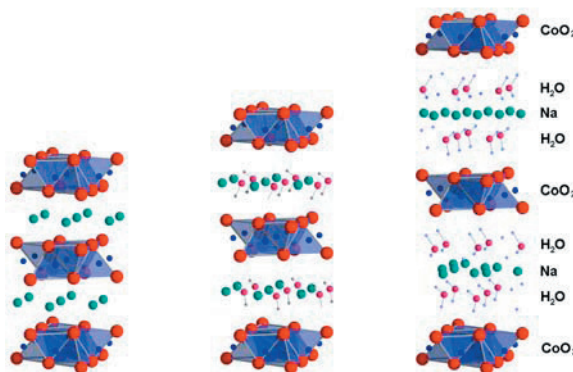


図 : $\text{Na}_x(\text{H}_3\text{O})_z\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ の結晶構造

常伝導状態、超伝導状態における磁気的性質を微視的側面から調べた。実験結果から考察

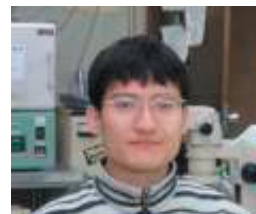
P22 Canted antiferromagnetism induced by chemical pressure in Yb-based compound

K. Kuga¹, S. Nakatsuji^{1,2}, Y. Maeno¹, J. Chan³, T. Evan³

¹ Department of Physics, Kyoto University

² Institute for Solid State Physics, University of Tokyo

³ Department of Chemistry, Louisiana State University



E-mail: kuga@scphys.kyoto-u.ac.jp

Extensive studies have been made on quantum criticality in heavy fermion systems because of the possible breakdown of Fermi liquid state and the emergence of a novel phase near a quantum critical point. Generally in Yb-based heavy fermion systems, magnetic moment is expected to be stabilized under pressure. For example in YbInCu_4 , a magnetically ordered state becomes stable above $P_c = 2.4$ GPa [1]. Here, we present our recent work on a chemical pressure effect of an Yb-based compound. We found that a nonmagnetic heavy fermion state transits into a weak ferromagnetic state as a function of chemical substitution. The magnetic ordering temperature reaches up to $T_N = 8$ K. Since T_N is suppressed by applying a magnetic field, this magnetic order is most probably associated with canted antiferromagnetism.

[1] T.Mito *et al.*, Phys. Rev. B **67**, 224409 (2003)

P23 水分子が挿入されたコバルト酸化物超伝導体の NMR 研究

道岡千城, 太田寛人, 伊藤豊, 吉村一良
京都大学 大学院理学研究科 化学専攻

E-mail: michioka@kuchem.kyoto-u.ac.jp

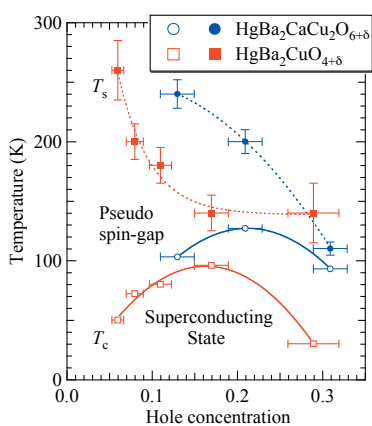


積層化合物 $\text{Na}_{0.7}\text{CoO}_2$ に水分子を挿入すると T_c が 4.8 K の超伝導体 $\text{Na}_{0.35}\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ (水二層) となる。またそのとき積層周期が倍になり粘土のように膨潤する。 CoO_2 という積層化合物は存在せず、Na からの電荷移動により CoO_2 層は安定化する。またその電荷移動は Co の 3 価/4 価の混合価数状態をつくり金属磁性を与える。NMR による物性研究から磁気揺らぎがクーパ対の形成に重要であることが明らかになった。しかし同時に Na の不定比は、超伝導に不利と思われる乱れたポテンシャルを Co に与える。水分子の役割は 2 次元性を強くするだけでなく、その乱れたポテンシャルをなだらかにしていると考えられる。従って Na 層と同じ位置に水が挿入された物質 (水一層) で超伝導が観測されないことも自然に理解される。銅酸化物高温超伝導体は水に弱い、この物質は T_c が低いながらも湿度中で超伝導体となることから応用面からも注目されると考えられる。

P24 Hg 系高温超伝導体のスピン擬ギャップの Cu NMR 研究

伊藤豊⁽¹⁾, 道岡千城⁽²⁾, 吉村一良⁽³⁾
京都大学 大学院理学研究科 化学専攻

E-mail: itoh@kuchem.kyoto-u.ac.jp



銅酸化物高温超伝導体は、超伝導転移温度 T_c が非常に高いだけでなくその常伝導状態が磁氣的電氣的に特異であることから多くの物性研究者の高い関心と呼び、最初の発見から 20 年経った今も活発な研究が続けられている。超伝導を担っているのは銅と酸素がつくる二次元正方格子 CuO_2 平面であり、単位胞内に CuO_2 平面を 1, 2 そして 3 枚有する超伝導体の中で最高の T_c を持つものとして $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ の最高 $T_c = 98$ K, $\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ の $T_c = 127$ K, $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$ の $T_c = 135$ K が知られている。これらの Hg 系超伝導体に対する Cu NMR 法による局所スピン帯磁率と核スピン格子緩和時間の測定から低エネルギー磁気励起スペクトルに巨大な擬ギャップが見つかった。このスピン擬ギャップの NMR 研究の実験結果とそれを説明するために提案された理論の中で特に有望なものを比較し、高温超伝導発生機構の理解の今を紹介したい。

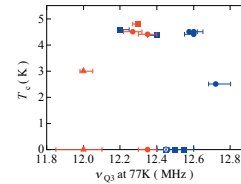
P25 水二層ナトリウムコバルト酸化物における超伝導の経時変化と相図

太田 寛人、道岡 千城、伊藤 豊、吉村 一良

京都大学 理学研究科 化学専攻

E-mail : shioshio@kuchem.kyoto-u.ac.jp

水二層 $\text{Na}_x\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ ($x \sim 0.35; y \sim 1.3$) はソフト化学的手法により $\text{Na}_{0.7}\text{CoO}_2$ から Na を一部抜き H_2O を挿入する事によって得られる層状化合物であり、最大転移温度が 4.8 K の超伝導体である。乾燥雰囲気下では結晶中の H_2O を容易に失い超伝導性を示さない水一層体に変質してしまうため、通常は高湿度中にて保存する。しかし、高湿度中であっても時間とともに徐々に超伝導性が変化する事が分かった。この経時変化の性質を利用することにより様々な転移温度の試料を系統的に合成する事が出来るようになった。Co の局所的電子状態を Co 核四重極共鳴周波数でプローブし、様々な初期条件から出発した試料の転移温度の経時変化をプロットしたところ、12.4 ~ 12.6 MHz にかけて非超伝導相が存在し、その両側に超伝導相が存在する事を発見した。また非超伝導相では低温にて磁気秩序状態が確認されている。



P26 脳磁図計測法(MEG)を用いた運動発現に関与する脳部位の同定

山本 陽香^a, 市川 あやこ^a, 小野 泉^a, 三谷 章^a,
松林 潤^b, 長峯 隆^b, 福山 秀直^b

^a京都大学 医学部 保健学科 作業療法学専攻

^b京都大学 医学研究科高次脳機能総合研究センター

E-mail : amitani@hs.med.kyoto-u.ac.jp

運動発現に関与する運動関連脳磁場活動を健常者において記録した。被験者に口すぼめ、母指伸展、手関節背屈、足関節背屈の各運動を行わせ、それぞれに伴って発生する運動関連脳磁場活動をニューロマグネトメーターをもちいて計測した。さらに、等価電流双極子(ECD)をもちいて脳磁場発生源を推定した。その結果、各運動開始約1秒前から緩徐な脳磁場変動が観察され、各運動開始直前に一次運動野のニューロンの興奮を反映していると考えられる motor field (MF) が観察された (図1)。このMFの発生源として推定されたECDは、一次運動野において正中から外側方向に向かって足関節、手関節、母指、口唇の順に位置し、体部位局在を示した (図2)。本研究によって得られた運動関連脳磁場活動のデータは、リハビリテーション対象者の脳で起こる機能代償過程の検索に役立つものと期待される。

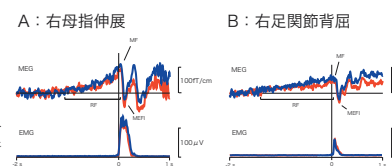


図1. 運動関連脳磁場(MRCF)と筋電図(EMG)

Aは母指伸展運動、Bは足関節背屈運動にともなう脳磁場波形と筋電図。EMGは右長母指伸筋(A)、前脛骨筋(B)から誘導した後、整流・加算平均した。RF(readiness field)の立ち上がり潜伏は、Aでは約1.1s、Bでは約1.4sである。MEFI : movement-evoked field I.

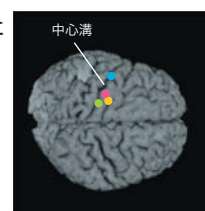


図2. MF発生源の分布
3D-MRIの脳表面上に口をすぼめる(●)、母指伸展(●)、手関節背屈(●)、および足関節背屈(●)の各運動にともなう発生したMFの発生源として推定されたECDの位置を投影した。

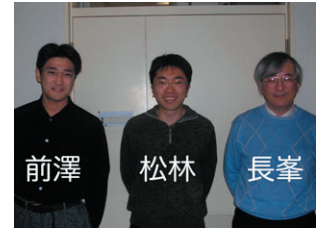
P27 聴覚刺激によって発生するノンレム睡眠時の長潜時脳磁場成分の電流源の探索

松林 潤¹⁾, 長峯 隆¹⁾, 前澤 仁志^{1,2)}, 江夏 怜³⁾,
白井 桂子¹⁾, 立花 直子¹⁾, 福山 秀直¹⁾

¹⁾京都大学医学研究科附属 高次脳機能総合研究センター

²⁾京都大学医学研究科 口腔外科学 ³⁾京都大学医学研究科 脳神経外科学

E-mail: hikagami@kuhp.kyoto-u.ac.jp



【目的】聴覚刺激によって誘発されるヒトのノンレム睡眠特異的な電位 (N350-N550-P900) のうち, N350 の発生源を明らかにする. 【方法】5名の正常被験者に昼寝をさせ, 10秒間隔で1000Hz純音を呈示し, 脳波と脳磁図を同時記録した. 脳波上で刺激提示後350ms付近に陰性頂点をもつ試行を抽出して加算平均し, 電流源推定を行なった. 【結果】4名で, 十分な回数の刺激を呈示できた睡眠段階1, 2を得られた. 脳波加算波形は, 4名全員で従来報告のN350に矛盾しない分布を示し, 同じ潜時帯の脳磁場成分を左右半球に得た. この磁場分布は, 側頭葉及びシルヴィウス溝近傍, 中心溝近傍の電流源で説明されたが, 個人差が大きかった. 【結語】N350成分の発生には側頭葉の他にシルヴィウス溝近傍, 中心溝近傍のさまざまな部位が関与している.

P28 fMRI-MEG 統合解析法による脳神経活動の動的イメージング

鄭 址旭^a, 隠浪 康行^a, 小林 哲生^a, 大橋 俊平^a, 濱田 昌司^a,
長峯 隆^b, 福山 秀直^b, 東 高志^c, 堤 定美^c

^a 京都大学大学院工学研究科

^b 京都大学大学院医学研究科

^c 京都大学再生医科学研究所

E-mail: jijoung@kuee.kyoto-u.ac.jp

空間分解能に優れる fMRI と時間分解能に優れる MEG (脳磁図) 相互の利点を活かした新たな統合解析法を提案する. 本提案手法では, MEG により得られる計測磁気信号分布と仮定ダイポールにより生じる磁気信号分布の内積を評価関数とすることにより, fMRI 賦活ボクセルに固定した信号源ダイポールの方向を推定する. さらに, そのダイポールモーメントの時系列変化を, 動画化する. 以上の手法を, 仮現運動視覚刺激呈示の脳神経活動の解析に適用し, 提案手法の有効性について検証を行った. その結果, 仮現運動視覚刺激により賦活すると考えられる背側経路上の V1/2, V5, 頭頂間溝などについて, クラスタ間で活動が移り変わる様子が確認され, 脳神経学的知見と合致する結果が得られた. また, 活動指標値を動画化することにより, 各クラスタ内の賦活ボクセル数が時間経過とともに変化する様子が可視化でき, 活動領域が拡大・縮小する様子を描写することができた.



鄭 址旭・京都大学
大学院工学研究科

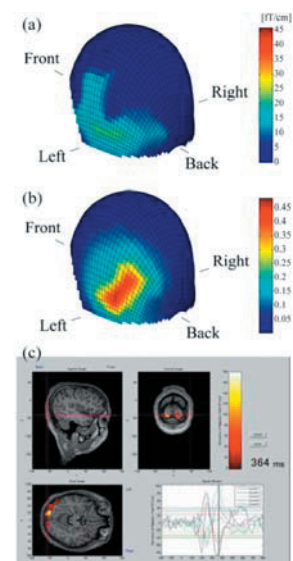


図1. 計測磁気信号分布 (a) と推定信号分布 (b), 脳活動の動的イメージング (c)

P29 反強磁性リング分子磁性体における核磁気緩和

嵯峨根多美^a、伊藤哲明^a、小山田明^a、前川覚^a、五十嵐智志^b、湯川靖彦^b

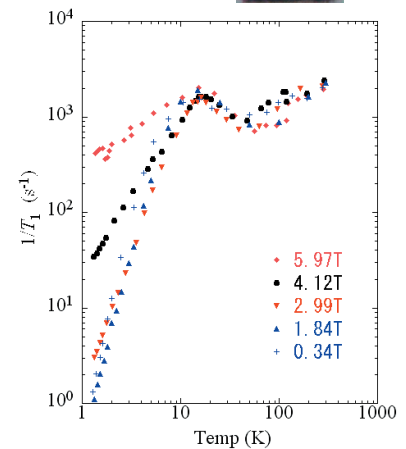
^a 京都大学 人間・環境学研究科 相関環境学専攻

^b 新潟大学 理学研究科 自然環境学科

E-mail : Tami.Sagane@t02.mbox.media.kyoto-u.ac.jp



反強磁性リング分子磁性体は有限個の磁性イオンがリングを形成し、磁性イオン間の反強磁性交換相互作用に比べて分子間相互作用はかなり小さい。通常バルク磁性体ではエネルギー準位は連続的であるが、このようなクラスター磁性体では離散的となり 1K オーダーのエネルギー差 Δ をもっている。一方 NMR 周波数 $\hbar\omega_N$ は 1mK オーダーなので、エネルギー準位が厳密に δ 関数ならば電子スピン系 Δ と核スピン系 $\hbar\omega_N$ 間での緩和は成り立たず、どのような緩和機構がおこっているのか興味深い。



Fe^{3+} ($s = 5/2$) が 12 個の反強磁性リング分子磁性体 Fe12 の核磁気緩和率 T_1^{-1} を図に示す。室温から 100K までは通常の常磁性体と同様に $1/T_1 \propto \chi T$ にほぼ従って減少し、1.6K 以下ではエネルギー準位の離散化を反映して熱活性型に振舞い、エネルギーギャップが求まる。中間温度域では反強磁性相互作用 $J=21\text{K}$ 付近で T_1^{-1} はピークをもつ。これは各エネルギー準位にフォノンによる幅 Γ が生じ、 $\Gamma = \omega_N$ となる温度でピークをもつと考えられているが、Fe12 の結果はこの理論とは大きくずれており、分子間相互作用の寄与が考えられる。

P30 3d 電子系かごめアイス物質 $\text{Co}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ の磁性

岸本雅之^a、小山田明^a、伊藤哲明^a、前川覚^a、鄭旭光^b

^a 京都大学 人間・環境学研究科 相関環境学専攻

^b 佐賀大学 理工学部

E-mail : smaegawa@mbox.kudpc.kyoto-u.ac.jp



$\text{Co}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ は Co^{2+} が点共有でつながった四面体の頂点に位置し、パイロクロア格子と良く似た構造を持つ。 $\text{Dy}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ などの 4f 電子系物質では、ゼロ磁場下でスピンアイス状態、磁場の印加でかごめアイス状態を示すことが報告されている。 $\text{Co}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ は、四面体の歪みのためゼロ磁場下でかごめアイス状態が実現していると考えられている。 $\text{Co}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ は、3d 電子系ではじめてのかごめアイス物質である。

われわれは $\text{Co}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ におけるフラストレーション効果を明らかにするため、SQUID 磁束計を用いて磁化率、磁化曲線、磁化の緩和を測定し、また $^1\text{H-NMR}$ により共鳴スペクトルの測定を行った。磁化率の 10.5K 以下での急激な上昇、共鳴スペクトルの急激な広がりから強磁性相転移があることが確認された。また 10.5K 以下での磁場中冷却とゼロ磁場中冷却による磁化率の異なるふるまい、2K での磁化曲線におけるヒステリシス、および磁化

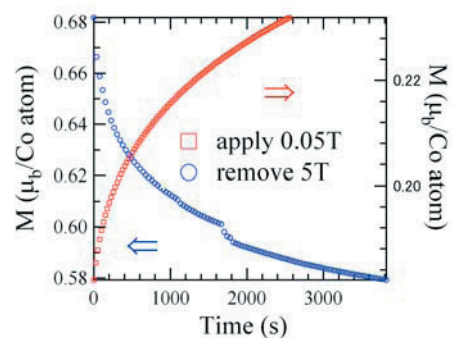


図: 緩和曲線 (2K)

の非常に遅い緩和から転移温度以下でスピングラス的なふるまいがあることがわかった。このような振る舞いは、フラストレーションに起因した非常に遅いダイナ

P31 三角格子ヘビーフェルミオン反強磁性体 UNi₄B の部分秩序化転移

近藤美麻、小山田明、伊藤哲明、前川覚、李徳新^A、芳賀芳範^B

京都大学 人間・環境学研究科 相関環境学専攻

^A 東北大金研、^B 原研

E-mail : m.kondo@d06.mbox.media.kyoto-u.ac.jp



三角格子ヘビーフェルミオン反強磁性体である UNi₄B は、フラストレーションと近藤効果が共存し、その秩序化機構に興味もたれる。実際 20K 以下で部分無秩序状態に転移し、1/3 の U 磁気モーメントが秩序相でも常磁性のままであることが知られている。これまで交換相互作用は、面間に20K程度の強磁性相互作用があり、面内は1K程度の反強磁性相互佐用があると報告されている。しかし、磁化率から見積もったワイス温度は-20K程度であり、むしろ面内の反強磁性相互作用が支配的であると考えられ、結晶場を考慮した磁化率のフィッティングや核磁気共鳴の結果から検討を行った。磁化は5K付近に幅の広い山を持つが、図1はその磁場変化を示したものである。この山の温度域では、零磁場冷却と磁場中冷却で磁化率に違いが観測され、弱強磁性の存在を示している。図2は¹¹B核のスピン格子緩和率 $1/T_1$ の温度依存性を示している。緩和率は10K付近で異常が見られ、また、べき乗の温度依存性が観測された。

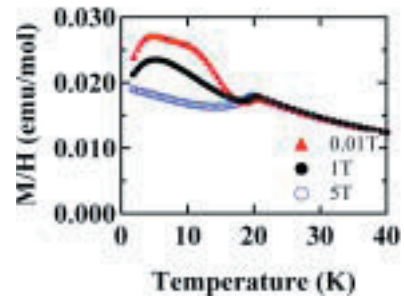


図1：磁化の温度変化

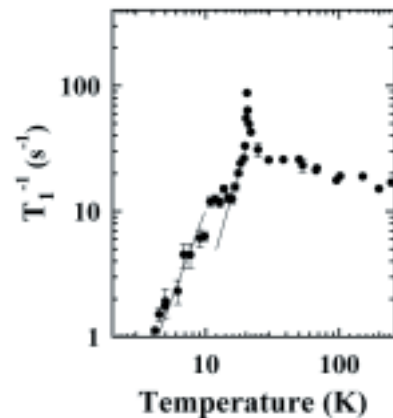


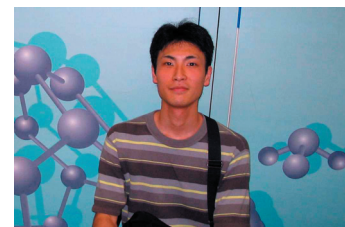
図2：1/T₁の温度変化

P32 磁化容易軸を配向制御した L1₀-FePt ナノ粒子のメスbauer分光

玉田芳紀、井上孝徳、山本真平、高野幹夫、那須三郎、小野輝男

京都大学 理学研究科 化学専攻 ナノスピントロニクス

e-mail : tama@ssc1.kuicr.kyoto-u.ac.jp



L1₀規則構造を有する FePt ナノ粒子は 1 Tbit/in.²を超える高密度記録媒体材料として注目されている。近年我々の研究グループでは、fcc 構造のナノ粒子にシリカ層を被覆した後アニールを施す”SiO₂-ナノリアクター法”を用いることによって、焼結していない粒径の揃った L1₀-FePt ナノ粒子を得ることに成功した。このナノ粒子の平均粒径は 6.7 nm と小さいものであるにも関わらず、室温において大きな保磁力を示すことが見出されている。また、さらにこのナノ粒子群は様々な有機溶媒に分散可能である。

今回は、外部磁場を印加することによりスチレン溶媒中で磁化容易軸を配向、固定化した L1₀-FePt ナノ粒子のサンプル(Fig.1)について、⁵⁷Fe 透過型メスbauer分光法を用いて検討を行った。Fig.2 は、ナノ粒子の磁化容易軸を配向させた方向からガンマ線を照射することにより観測したメスbauerスペクトルである。ゼーマン分裂に起因する吸収線 6 本のうち、2,5 本目が著しく減少していることから、ナノ粒子群の磁化容易軸の配向が確認された。当日はその配向度などさらに詳細に発表する予定である。



Fig.1 ナノ粒子配向体

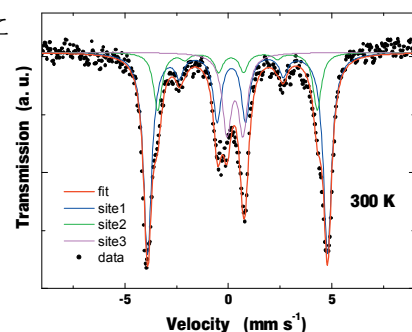


Fig.2 ナノ粒子配向体のメスbauerスペクトル

P33 FePt ナノ粒子における磁気抵抗スイッチ現象

デルモ マイケル ピカゾ、玉田芳紀、山本真平、
高野幹夫、葛西伸哉、小林研介、小野輝男
京都大学 化学研究所
Email: delmo@ssc1.kuicr.kyoto-u.ac.jp



最近、ナノ粒子を用いたスピントロニクス・デバイスの研究が盛んに行われている。特に、グラニューラ磁性薄膜においてはトンネル磁気抵抗 (TMR) 振動のような量子効果が観測され、注目を集めている。

本研究は、新規スピントロニクス・デバイスの開発のために化学合成された FePt ナノ粒子 (直径~6 nm) を用いて、室温において動作する新しいスピン依存デバイスを作製することを目的としている。そのために、微細加工を利用し、微小ギャップ中に数個のナノ粒子を持つデバイスを作製し、トンネル磁気抵抗の測定を行った。

作製したデバイスの電流-電圧 (I - V) 特性を図 1 に示す。無磁場中ではしきい電圧 (V_{th}) が観測できた。ところが、磁場中ではそのしきい電圧が観測できず、電流は完全に抑制されたままである。これは電気伝導のスピン依存性を示しており、これによって非常に高い磁気抵抗比 ($10^6\%$) を観測することができた。さらに、このデバイスにおいては、磁気スイッチング動作が観測され (図 2)、デバイスの安定性とその特性の再現性が確認された。

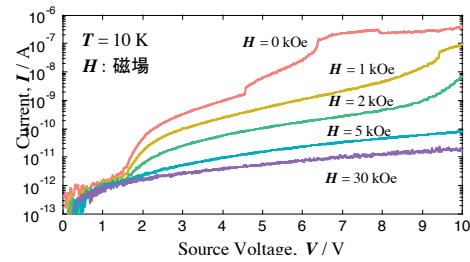


図 1. I - V 特性

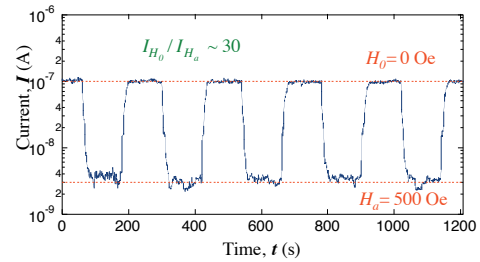
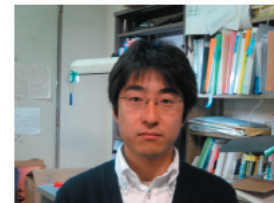


図 2. 磁気抵抗スイッチ

P34 低温における量子雑音測定システムの開発

橋坂昌幸、中村秀司、葛西伸哉、小林研介、小野輝男
京都大学化学研究所
Email: hashisaka@ssc1.kuicr.kyoto-u.ac.jp



メゾスコピック伝導体から生じるショット雑音は量子効果によって古典系では見られない特徴を示す。従ってショット雑音の測定は通常の時間平均した測定では得られない情報を取り出すためのツールとして、大きな注目を集めるようになってきている。今回は希釈冷凍機内の試料の量子雑音を測定するためのシステムについて紹介する。低温下での量子雑音の測定は図 1 のような交差相関法を用いて行う。この手法では、試料から生じる信号を 2 つの増幅器を通して別々に測定し両者の相関スペクトルをとることで、試料からの本質的な信号だけを取り出すことができる。この方法を用いて希釈冷凍機温度にある試料の熱雑音を実際に測定した例が図 2 である。図 2 の横軸は測定された雑音強度、縦軸は 5 kHz ~ 9 kHz の周波数帯域で対応する雑音強度が得られた点数である。10 kΩ の抵抗は温度に比例した熱雑音を生ずるため、試料の温度を変化させるとそれに依存して試料の熱雑音強度が変化している。

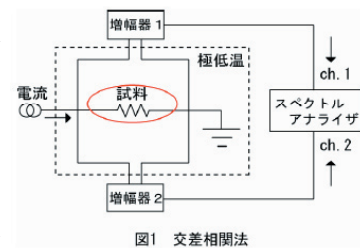


図 1 交差相関法

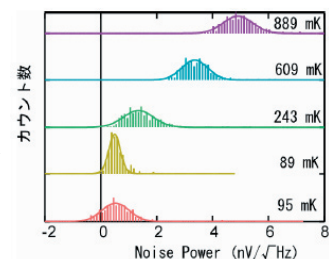


図 2 抵抗 (10 kΩ) の熱雑音測定例

P35 ヘリウム液面2次元電子系におけるエッジマグネトプラズモンの電子密度依存性

山中修司^a、新井敏一^a、矢山英樹^b、福田昭^a、澤田安樹^a

^a京都大学低温物質科学研究センター、^b九州大学理学研究院物理学部門

E-mail:yamanaka@scphys.kyoto-u.ac.jp

我々は、ヘリウム液面2次元電子系におけるエッジマグネトプラズモン(EMP)の共鳴線幅と共鳴周波数から電子の磁気輸送を調べている。EMPとは、電子密度の偏りが電子系の縁を伝播する集団励起のことで、共鳴線幅からは σ_{xx} が、共鳴周波数からは σ_{xy} が分かる。今回は、液面が電子で飽和していない場合の共鳴周波数と共鳴線幅を調べた。下図のように、液面に電子が飽和している場合(三角)は直線的に変化しているが、不飽和の場合(丸)には共鳴線幅は極小、共鳴周波数は極大を持つことが分かった。本研究会では、この振る舞いの違いに関して、詳しい実験結果および考察を発表する。

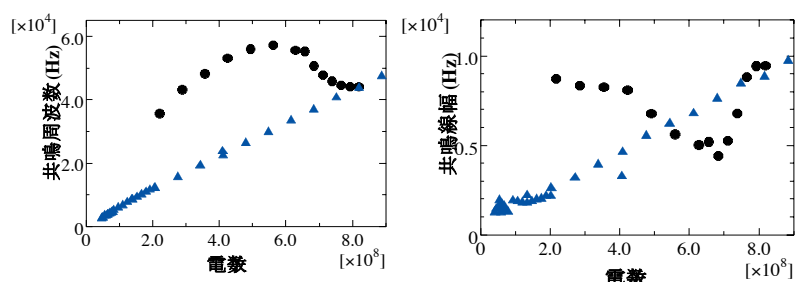


図1 EMPの共鳴周波数および共鳴線幅の電子数依存性。三角形が飽和している場合で丸が不飽和の場合。測定中の温度は0.21 K、磁場は3.2 Tで固定。

P37 絶対零度近傍における巨視的量子核生成と磁気相転移

田中 孝佳^a、八谷 全典^a、水崎 隆雄、佐々木 豊^b

^a京都大学 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 物理学第一分野

^b京都大学 低温物質科学研究センター

E-mail : sasaki@scphys.kyoto-u.ac.jp

マイクロケルビン領域において磁場誘起一次相転移における核生成機構ならびに生成した安定相の時間空間発展を超低温度MRIを利用して研究した。対称性の異なる2つの反強磁性相の間を外部磁場を変化させて行き来するとき、不安定相の中で霧のように安定相が発生することや、結晶学的線欠陥に付随する磁氣的な面欠陥のような物理系に本質的な不均質部分を種としてヘテロジニアスな巨視的量子核生成が行われていることを明らかにした。

また核生成した安定相がそれを取り囲む不安定相の中で成長していくときに、2相界面で発生するマグノンの散乱過程を考慮することにより、速い成長が途中で止まりより潜熱輸送に基づくより遅い成長に切り替わることによる、2段階の時間空間発展過程をとることが理解できた。

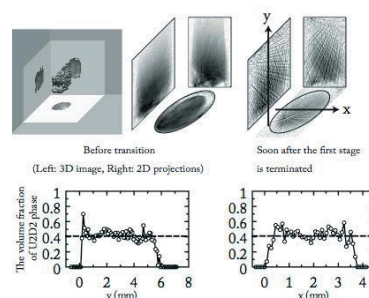


図1 相転移中の安定相の密度分布MRI像

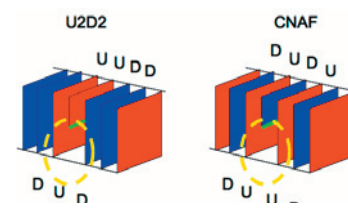


図2 磁氣的な面欠陥

P38 異方的に変形したエアロジェル中の超流動ヘリウム 3

国松貴之^b, 佐藤年裕^c, 泉名健^c, 松原明^{a,b}, 佐々木豊^{a,b}, 水崎隆雄^b, 久保田実^c

^a京都大学低温物質科学研究センター

^b京都大学大学院理学研究科, ^c東京大学物性研究所

E-mail : akira@scphys.kyoto-u.ac.jp

我々は回転下における超流動ヘリウム 3 の実験を行っている。超流動ヘリウム 3 は電子における超伝導と同じく 2つのフェルミ粒子がペアを組むことで超流動状態を実現している。そのため超流動状態に複数の相が存在している。回転をさせると循環が量子化された量子渦ができるが、相によってできる渦の構造が異なっており、回転下の実験で多くの種類の量子渦が観測されている。この渦の観測から逆に相の状態がわかる場合もある。エアロジェルは空間率が 90%を越えるガラス質の物質であり、超流動ヘリウム 3 に対して不純物のように振舞うとされている。我々はエアロジェルが一軸的に圧縮された場合の超流動ヘリウム 3 の振る舞いを調べた。その結果オーダーパラメーターの texture (織目構造) が影響を受け、バルクにはない振舞いをする。その場合、超流動ヘリウム 3 B 相でしか見られなかったスピンのコヒーレントな歳差運動のモードが A 相でも見られることを発見した。

P39 擬一次元圧力誘起超伝導体 β -AgV₆O₁₅の⁵¹V NMRによる局所的電子構造決定

久田 旭彦, 藤原 直樹

京都大学 人間・環境学研究科 相關環境学専攻

E-mail : A.Hisada@s01.mbox.media.kyoto-u.ac.jp



擬一次元物質 β -AgV₆O₁₅は、銀の秩序化転移、金属-絶縁体転移、反強磁性転移を示すことが知られており、さらに近年、7GPa という高圧下でバナジウム酸化物としては初めて超伝導が発見され、注目を集めている強相関係物質である。抵抗、帯磁率測定から知られる圧力相図において、絶縁体相と超伝導相とのクロスオーバーが存在することから、超伝導発現機構の解明において、絶縁体相の局所的電子状態を知ることが重要である。そこで我々は常圧⁵¹V NMR測定を行い、三種類存在するバナジウムサイトの電場勾配の温度変化、及び異方性を調べた。その結果、各相で⁵¹V NMRスペクトルの形が異なり、30K以上のスペクトルにおいて三種類のバナジウムサイトの同定、及び、電荷密度の見積もりに成功した。

当日は、さらにゼロ磁場での測定結果を報告し、⁵¹V NMR測定から考察される電子構造について議論する予定である。

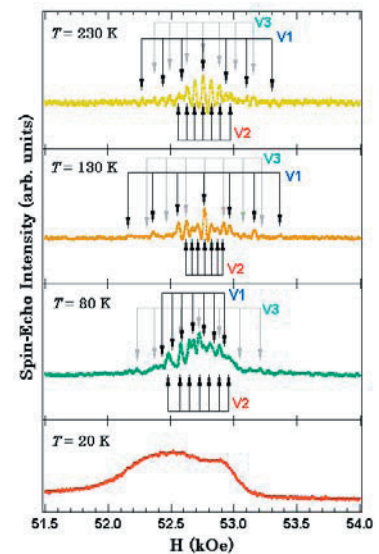


図1 各相の⁵¹V NMRスペクトル