

## 変幻自在に統計性を変える2次元電子

澤田 安樹

京都大学 低温物質科学研究センター

E-mail : sawada@lth.kyoto-u.ac.jp



基本的な粒子はボソンとフェルミオンに分類される。例えば最も身近な粒子、ひかり、すなわち光子はボソン、コンピュータの中で活躍する電子はフェルミオンである。低温になるとボソンの集合は基底状態へ多数の粒子が落ち込むボース凝縮と呼ばれる状態となり、超流動性の起源となる。一方フェルミオンの集合は同一状態を1個の粒子しか占めることができず、低温では高いエネルギー状態まで状態が詰まったフェルミ縮退と呼ばれる状態になる。金属の電気伝導を担う電子はフェルミ縮退の状態にある。粒子同士が結びつくことによって量子統計性は変わるが、統計性は粒子の基本的性質であり、粒子単独では本来変わりえないと考えられる。ところが意外なことに、**2次元空間**では電子の量子統計性が変幻自在に変わる現象が出現する。

障壁を設けて電子をある方向に関する運動の領域を狭めると、その方向のエネルギーが大きく離散化される。最もエネルギーの低い状態と次に低い状態のエネルギーの差が、低温で熱励起エネルギーよりもじゅうぶん大きくなると励起を無視することができ、空間次元が1だけ小さくなる。このようにして電子系の次元を3次元から**2次元**、1次元、0次元と空間次元を下げるができる。

半導体界面などに形成される2次元電子系は、低温・強磁場で図1に示したようにホール抵抗が整数の量子数に量子化され、磁気抵抗がゼロとなる整数量子ホール効果と呼ばれる特異な量子現象が起こる。更に他の量子現象では見られない、量子数が分数となる分数量子ホール効果が起こる。この現象は電子と偶数本の磁束量子からなる**複合フェルミオン**の整数ホール効果として説明される。

複合フェルミオンとは、電子が占有している部分の磁束である磁束量子（偶数本）と電子をまとめてひとつの粒子と考えた呼び名である。この呼び名から分かるように複合フェルミオンは、2次元の特殊性で電子自身の交換位相とアハラノフ・ボーム効果による位相を合わせてフェルミオンとして振る舞う。また奇数本の磁束量子と電子からなる粒子はボソンとして振る舞い、**複合ボソン**と呼ぶ。量子ホール状態は複合ボソンの凝縮状態と考えることができる。

このように2次元は電子が変幻自在に量子統計性を変えることができる舞台であり、数多くの新奇現象が見つかった。例えば超伝導体を示すジョセフソン効果と類似現象がある。2次元電子層を2層わずかにトンネルできる程度の距離に配置した試料で、2層の電子がクーロン力を及ぼし合ってひとつの量子ホール状態を形成する。この量子ホール状態では層間を抵抗なく電流が流れる、いわゆる直流ジョセフソン効果と同じ現象を示す。これは複合ボソンの凝縮現象として説明される。講演会では我々が見出した現象を含め、2次元電子の興味深い量子現象の幾つかを紹介する。

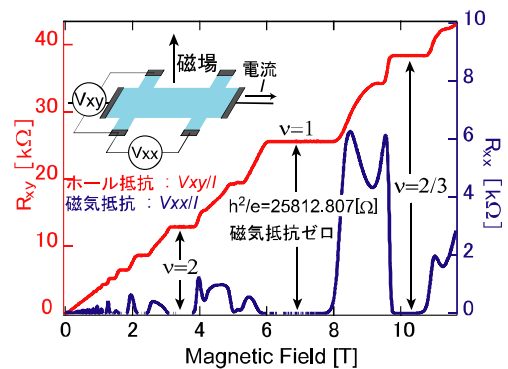


図1 ホール抵抗と磁気抵抗の磁場依存性。量子数である $\nu$ が整数1や2だけでなく、分数2/3でも量子ホール効果が起きている。

# 1次元トポロジ-<sup>4</sup>He 薄膜の新たな超流動転移

和田 信雄

名古屋大学 大学院理学研究科 物質理学専攻(物理)

E-mail : nwada@cc.nagoya-u.ac.jp



低温物理で最も興味ある性質のひとつである超流動(超伝導)は、次元性に大きく依存することが分かってきた。バルク液体 <sup>4</sup>He は 2.17K で典型的な 3 次元相転移をおこして、超流動の長距離秩序状態になる。一方、平らな固体表面上の <sup>4</sup>He 薄膜は理想的な 2 次元系である。2 次元では長距離秩序はないといわれているが、超流動渦の対形成-解離が主要な役割を果たす Kosterlitz-Thouless(KT)超流動転移をしめす。1 次元の場合の超流動性も興味を持たれるが、これまで実験および理論的研究は少なかったと思われる。そこで我々はナノ多孔体の新たな極限環境を用いて、<sup>4</sup>He の次元性等を任意に制御した新たな超流動転移を研究している[1].

孔径が 2.8-2.7nm のナノ細孔が長さ約 300nm のトンネル(1D-pore)と 5.5nm の周期で 3 次元的に繋がった(3D-pore)細孔壁面に 1.6 層程度の <sup>4</sup>He 薄膜を吸着して比熱  $C$  と超流動成分( $\propto \Delta f$ )を観測した結果を図 1 に示す。超流動転移の様子は明らかに異なっており、<sup>4</sup>He 薄膜の 1 次元および 3 次元トポロジ(接続形態)を反映している[2].

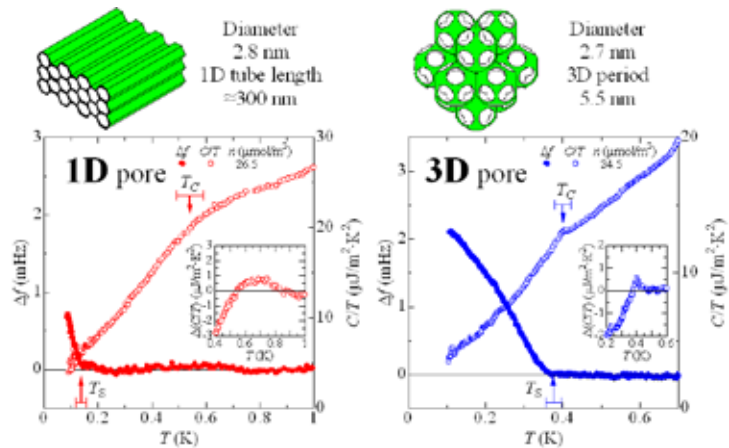


図 1 1および3次元ナノ多孔体中 <sup>4</sup>He 薄膜の超流動転移

3D-pore の場合は、超流動オンセット温度  $T_S$  と比熱のピーク温度  $T_C$  は一致しており 3 次元相転移の特徴を示す。これは温度ドブロイ波長が 3 次元周期 5.5nm と比べて長くなる十分低温では理解できる。そして実際に、 $T_C$  が 30mK の低温では大変大きな比熱ピークが観測された。一方転移温度  $T_C$  が高い場合は、高温から温度を下げて、先ず常流動から 2 次元凝縮(縮退)状態にクロスオーバーし、更に低温で 3 次元超流動転移する。このときの  $T_C$  での比熱ピークは鋭いが極めて小さくなる。

1 次元状態での超流動は無限長では存在しないとする数学的証明があるが、有限長さの 1 次元系ならば有限温度で観測されることが分かってきた。そして、1 次元での超流動転移(クロスオーバー)には、1 次元長さ  $L_{eff}$  スケールの “ $2\pi$ -位相振れ” のゆらぎが主要な役割を果たす。XY 強磁性スピンモデルにおける計算で、“ $2\pi$ -振れ” エネルギーは  $\Delta E = 2\pi^2 J / L_{eff}$  と見積もられる。したがって  $L_{eff}$  がある程度長くなると、2 次元薄膜の KT 温度  $T_{KT} (\approx J/k_B)$  よりも低温( $T_X$  付近)から “ $2\pi$ -振れ” が励起されて超流動相関が無くなり、超流動成分の温度依存は図 2 のように計算される。振れ振り子実験では、この温度依存が再現されると共に、 $T_X$  で幅広く大きな吸収ピークが観測された。

[1] 和田信雄, 平島大, 日本物理学会誌, **66**(2011) 666.

[2] R. Toda, 他, Phys. Rev. Lett. **99** (2007) 255301.

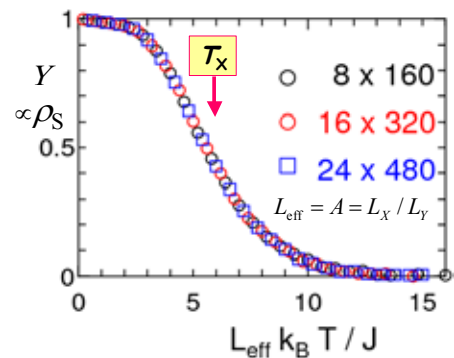


図 2 有限サイズ 1 次元の超流動

## ナノチューブ・ナノワイアを用いた量子ナノデバイス

石橋幸治<sup>a,b</sup>, 飛田聡<sup>a</sup>, 黄少雲<sup>a</sup>, 西尾隆宏<sup>a</sup>

<sup>a</sup> 独立行政法人理化学研究所石橋極微デバイス工学研究室

<sup>b</sup> 東京工業大学大学院総合理工学研究科物理電子システム創造専攻

E-mail : kishiba@riken.jp



シリコン集積回路の微細化の限界が近づきつつある今、さらなるエレクトロニクスの発展を目指した一つの方法として、トランジスタとは全く異なる動作原理を持つデバイスを開発しようとする”Beyond CMOS”という考え方がある。その一つの方法はなのスケールで発現する量子効果を積極的に利用することである。本研究では、人工原子2準位系を利用した量子情報処理技術に向けた量子ビットに関するわれわれの研究を紹介する。超伝導ジョセフソン接合を利用した量子ビット・回路は研究が進んでいるが、正常金属ではまだまだ研究は進んでいない。量子ビット実現には、ビットの生成（初期化）、操作、読み出しが必要であるが、生成の段階でとどまっているのが現状である。人工原子では量子ドット構造を用いて電子を人工的なポテンシャルに閉じこめ、それによって形成される離散化量子準位を利用する。また、電子数の揺らぎを抑制するために、クーロンブロック効果を利用する。希釈冷凍機温度でこれらを実現するためには、100nm以下のサイズの量子ドットを形成する必要がある。

様々な形態の量子ビットからなる“量子プロセッサ”の情報を外部に伝送するためには、光とのインターフェースは重要である。励起子型の量子ビットでは光との強い相互作用（ポラリトンの形成）が期待できるため有力であると考えられる。

### 1) スピン型量子ビットへ向けて

最も簡単な2準位系は電子スピンである。スピンの安定に存在するために（スピンのコヒーレンスがよい）、スピン軌道相互作用が弱く、核スピンの含有率が少ない4族系材料（C, Si, Ge）は有力である。ここではカーボンナノチューブとゲルマニウムナノワイアを用いて量子ドットを作製し、量子ドット中に単一電子スピンを生成する手法について述べる。InAs や Si/Ge などの材料では、キャリアのスピン軌道相互作用が強いので、スピンのコヒーレンスのある程度犠牲にし、その代わりに電圧でスピンを制御する利点も有する。

### 2) アンドレーエフ型量子ビットへ向けて

正常金属を超伝導ループに埋め込んだ構造では、正常金属内にアンドレーエフ束縛状態が形成される。正常金属として単一モードの実現が可能な半導体ナノワイアを用いれば、アンドレーエフ束縛状態を量子ビットとして利用できる可能性が指摘されている。ここでは、その前段階として、超伝導電極を持つInAsナノワイアの電気伝導特性について紹介する。

### 3) 励起子型量子ビットへ向けて

人工原子内に生成された励起子は量子ビットとして利用することが可能である。さらに、励起子は光とポラリトン状態を形成するために、光で結ばれた外部インターフェースとして利用することも可能と考えられる。ここでは、カーボンナノチューブ量子ドットの光物性、ポラリトン特性を紹介する。

### 参考文献

青柳, 石橋, 中ノ, 高柳, 平山 “基礎からわかるナノデバイス” (コロナ社)

S. Moriyama, T. Fuse, M. Suzuki, Y. Aoyagi, K. Ishibashi, , Phys. Rev. Lett. **94**, 186806 (2005)

石橋幸治, 青柳克信, “カーボンナノチューブを用いた量子ナノデバイス –量子相関デバイスの実現に向けて-”, 応用物理, 第77巻, 第3号 264-270 (2008)

## P1 古典 2 次元電子液体の非圧縮性運動

新井 敏一<sup>a</sup>, 山中 修司<sup>b</sup>, 矢山 英樹<sup>b</sup>, 澤田 安樹<sup>a</sup>, 福田 昭<sup>c</sup>

<sup>a</sup>京都大学 低温物質科学研究センター

<sup>b</sup>九州大学 理学研究院 物理学専攻, <sup>c</sup>兵庫医科大学 物理学教室

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



電子系において圧縮率などの熱力学量は電子間相互作用に強く依存するため、系全体の性質を推し量る重要な物理量である。量子ホール液体のような特殊な状態を除けば一般に電子液体は圧縮性流体である。ところが電子間クーロンエネルギーが運動エネルギーと比較して大きい強相関電子液体になると事情が異なる。この場合、圧縮によるクーロンエネルギーの変化分を運動エネルギーで吸収することができず非圧縮性流体となってしまう。

液体ヘリウム表面の 2 次元電子液体は古典統計にしたがう強相関電子系という他に類を見ない性質をもつ。通常の実験環境でクーロンエネルギーが運動エネルギーの 100 倍を大きく上回る状態を実現できる。私たちは、ヘリウム液面電子液体のエッジ集団励起モードの共鳴スペクトルを測定し、その減衰率から圧縮性と非圧縮性の 2 種類の波が励起されていることをつきとめた。これらは電子系を横から閉じ込める電場の強さによって選択的に励起できることがわかった。このことは通常は圧縮性の古典電子液体が強い相関によって非圧縮になったことを表している。

研究交流会では実験データを見ながら電子液体の圧縮性について議論する。

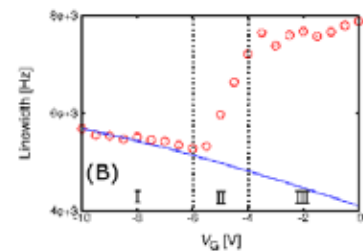


図 1 エッジ集団励起モードの減衰率と閉じ込め電場の関係

## P2 電子密度差のある 2 層系 $\nu=1$ 量子ホール状態の電気伝導とスピン緩和

福田昭<sup>a</sup>, 津田是文<sup>b</sup>, Nguyen Minh-Hai<sup>b</sup>, 寺澤大樹<sup>a</sup>, 鄭仰東<sup>c</sup>, 新井敏一<sup>c</sup>,

澤田安樹<sup>c</sup>

<sup>a</sup>兵庫医科大学物理学教室, <sup>b</sup>京都大学大学院理学研究科,

<sup>c</sup>京都大学低温物質科学研究センター

E-mail : fuku@hyo-med.ac.jp



2 次元電子面を 2 枚近接配置した 2 層系では、層の自由度（擬スピン）により、新奇的な量子現象が期待される。特に、2 層系ランダウ準位占有率 $\nu=1$  量子ホール状態は、擬スピンの 2 次元 XY 強磁性とみなせる。電子密度差のない 2 層系 $\nu=1$  量子ホール状態では、スピンではなく、擬スピンの半電荷対のテクスチャー構造を取るメロン対が素励起と考えられているが、電子密度差パラメータ $\sigma [= (n_f - n_b) / (n_f + n_b), n_f (n_b)$ は前面(背面)層の電子密度]を増加させることにより、1 層系 $\nu=1$  量子ホール状態近傍での素励起であるスカーミオン（スピン・テクスチャ）に徐々に変化していくことが期待される。本研究では、 $\nu=1$  量子ホール状態において、抵抗検出型スピン偏極度測定の手法により、核スピン緩和時間の $\sigma$ 依存性を測定した（図）。これまでの電気伝導測定と合わせて、2 層系 $\nu=1$  量子ホール状態の特異な性質について報告したい。

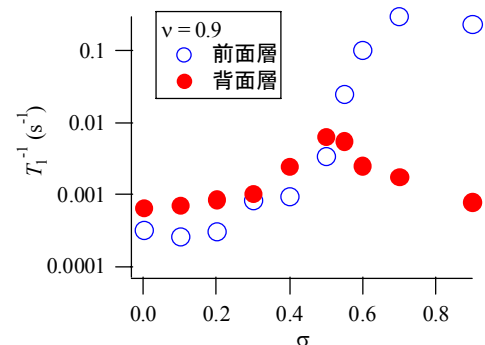


図 2 2 層系 $\nu=1$  量子ホール状態近傍における各層のスピン緩和時間  $T_1$  の電子密度差 $\sigma$ 依存性

### P3 グラフェンへの分子吸着と電気伝導度

寺澤 大樹<sup>a</sup>, 福田 昭<sup>a</sup>, 大野 恭秀<sup>b</sup>, 松本 和彦<sup>b</sup>, 澤田 安樹<sup>c</sup>, 矢山 秀樹<sup>d</sup>

<sup>a</sup>兵庫医科大学 物理学教室 <sup>b</sup>大阪大学 産業科学研究所

<sup>c</sup>京都大学 低温物質科学研究センター <sup>d</sup>九州大学 理学研究院

E-mail : terasawa@hyo-med.ac.jp



グラフェンとは炭素が蜂の巣状に格子を組み一層に並んだ物質で、これまで高エネルギーの粒子が持つ物理現象として考えられていた、質量ゼロの準相対論的 Dirac フェルミオンの振る舞いが通常の実験室で観測できる可能性が指摘されている。このグラフェンの伝導度特性に関する研究は非常に多くなされているが、我々はグラフェン表面への気体分子の吸着による伝導度変化に着目し、実験を行うことにした。

図1は空気中にしばらく放置した後のグラフェントランジスタを真空中に設置し、ヒーターによってアニールしたときの電気伝導度のゲート電圧依存性を測定した結果である。アニールの効果で表面に吸着していた分子が脱離したために伝導度に変化し、電荷中性点 (Dirac 点) がシフトしていくことが確認できた。発表では、今後の実験計画や無冷媒冷凍機による超伝導マグネットの冷却方法など、実験系の開発についても議論する。

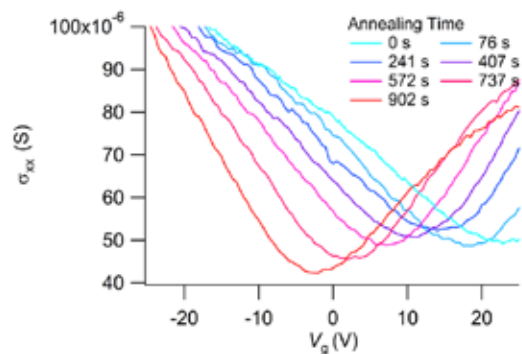


図1 単層グラフェンにおける電気伝導率 $\sigma_{xx}$ のゲート電圧 $V_g$ 依存性の真空中アニールによる変化。

### P4 二層系 $\nu=2/3$ 量子ホール状態における核スピン拡散

津田是文<sup>a</sup>, Nguyen Minh-Hai<sup>a</sup>, 寺澤大樹<sup>b</sup>, 福田昭<sup>b</sup>, 鄭仰東<sup>c</sup>, 新井敏一<sup>c</sup>, 澤田安樹<sup>c</sup>

<sup>a</sup>京都大学大学院理学研究科, <sup>b</sup>兵庫医科大学物理学教室,

<sup>c</sup>京都大学低温物質科学研究センター

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



半導体中の核スピンは量子コンピューティングへの利用が期待されており、量子ホール系では $\nu=2/3$ 量子ホール状態における動的核スピン偏極 (DNP) が注目されている。ある磁場では、スピン偏極状態と非偏極状態が縮退しており、試料内でそれぞれの状態を持ったドメインが形成されると考えられている。ドメイン壁で電子が散乱されることにより DNP が起こり、磁気抵抗値の上昇が観測されている。しかしながら、DNP がドメイン構造や磁気抵抗に与えるメカニズムについては不明な点が多い。今回我々は、DNP と磁気抵抗値の関係を調べるために、二重量子井戸構造の試料を用い、層間の核スピン拡散について調べた。一方の層で DNP を起こし、もう一方の層の磁気抵抗値を測定すると、DNP を起こした層と比べて 150~250 秒程度遅れて磁気抵抗値が変化する現象が見られた(図)。これは核スピンの層間拡散の証拠である。発表ではさらに DNP とドメイン構造形成の詳細なメカニズムについて議論したい。

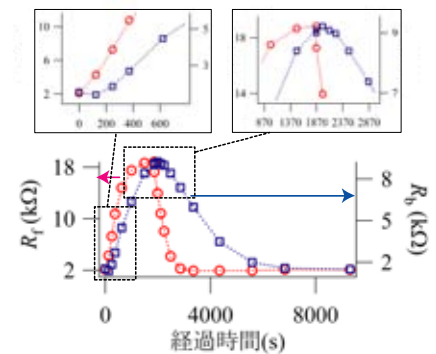


図1 前面層でDNPを起こした時の各層の磁気抵抗値の時間変化

## P5 2層系量子ホール状態における層間トンネル効果

三谷 昌平<sup>a</sup>, 寺澤 大樹<sup>b</sup>, 福田 昭<sup>b</sup>, 澤田安樹<sup>c</sup>

<sup>a</sup> 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

<sup>b</sup> 兵庫医科大学物理学教室

<sup>c</sup> 京都大学 低温物質科学研究センター

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

本研究では, 2 層系  $\nu=1$  量子ホール状態における層間トンネル現象および, 理論的に予想される, 交流ジョセフソン効果に類似した新奇な現象を検出することを目指している.

電子対のボース凝縮体と考えられる超伝導体におけるジョセフソン効果では, 2 つの超伝導体間で, 秩序変数の位相差による自発的な層間電流が生じる. 2 層系量子ホール効果においても, 電子と磁束量子との複合ボソンモデルに基づく, ジョセフソン効果に類似した層間電流が生じることが期待できる. この検証実験のためには, 2 層量子ホール状態を実現し, かつ各々の層を電氣的に分離することができる新しい GaAs 半導体試料が必要である.

本交流会では, 2 層独立コンタクトを持つ試料の磁気輸送特性および今後の臨界現象とジョセフソン効果に関する実験計画について紹介する.



図1 2層独立コンタクト試料

## P6 鉄系超伝導体におけるネマティック秩序相

笠原 成<sup>a</sup>, 芝内 孝禎<sup>b</sup>, 松田 祐司<sup>b</sup>, 寺嶋 孝仁<sup>a</sup>,

<sup>a</sup> 京都大学 低温物質科学研究センター

<sup>b</sup> 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 : kasa@scphys.kyoto-u.ac.jp

鉄系高温超伝導体ではスピンと軌道の自由度が重要な役割を果たし, 磁気或いは軌道揺らぎに基づく電子対媒介が議論されている. これらに起因した異常物性を実験的に見出し, 超伝導との関係を明らかにすることは, 超伝導発現機構を理解する上で極めて重要である. 我々は, 上記に不可欠なモデル物質の純良単結晶育成から, 精密物性測定に渡った研究を展開している[1-3]. 最近, “122系”の鉄系超伝導体  $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$  単結晶において, 磁気トルクによる面内異方性, 並びに放射光 X 線回折の精密測定を行い[4], 母物質  $\text{BaFe}_2\text{As}_2$  において構造磁気相転移より遥か高温の  $T^* \sim 170 \text{ K}$  において, 電子系が正方晶の面内対称性を自発的に破るネマティック秩序を示すことを見出した. この系の  $T$ - $x$  相図上において, ネマティック秩序相はオーバードープ域にまで広がっており,  $T^*$ は超伝導相を覆うように存在する. 講演では, ネマティック秩序の形成と構造磁気相転移, 並びに超伝導発現との関係を議論する. 本研究は物理学第一分野・固体電子物性研究室, 並びに RIKEN/JAEA-SPring-8 の諸氏との共同研究による.

[1] S. Kasahara, *et al.*, Phys. Rev. B **81**, 184519 (2010).

[2] S. Kasahara *et al.*, Phys. Rev. B **83**, 060505(R) (2011).

[3] S. Kasahara *et al.*, Phys. Rev. B **85**, 060503(R) (2012).

[4] S. Kasahara *et al.*, *submitted*.



## P7 ジグザグ端グラフェンナノリボンのラマン分光

西中川良平<sup>1</sup>, 松田一成<sup>2</sup>, 新井敏一<sup>3</sup>, 福田昭<sup>4</sup>, 澤田安樹<sup>3</sup>, 寺嶋孝仁<sup>3</sup>

<sup>a</sup>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

<sup>b</sup>京都大学エネルギー理工学研究所 <sup>b</sup>京都大学低温物質科学研究センター

<sup>b</sup>兵庫医科大学物理教室

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



グラフェンとは単層黒鉛のことで、グラフェン上の $\pi$ 電子は質量0のディラック粒子として振舞うことが知られている。幅をナノサイズにまで細くしたグラフェンナノリボン(GNR)は、端の原子構造や幅に依存して物性が大きく変化する。

私は膨張黒鉛を膨らます化学的手法[1]を用いて GNR 試料を作成した。図1は私の GNR の原子間力顕微鏡(AFM)像である。図1のように端が滑らかで良質の試料を得られた。次に私は GNR 試料を評価するためラマン分光実験を行い(図2), 初めて端の構造がジグザグになっている GNR を発見した[3]。交流会では試料作成, 実験の詳細について説明する予定である。

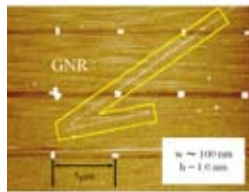


図1 GNR の AFM 像の 1

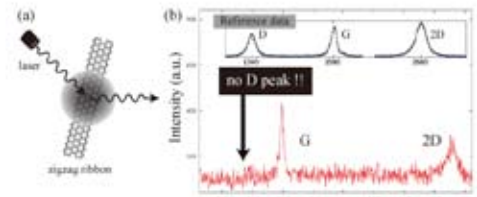


図2 (a)ジグザグ GNR の原子模型. (b) ジグザグ GNR のラマンスペクトル. 挿入図は他の GNR グループのデータ[2].

[1] X. Li *et al.*, Science 319, 1229 (2008)

[2] D. Bischoff *et al.*, J. App. Phys. 109 073710 (2011)

[3] R. Nishinakagawa *et al.*, in preparation

## P8 重い電子系超伝導体 CeCoIn<sub>5</sub> のトンネル接合の作製

中村 昌幸<sup>a</sup>, 下澤 雅明<sup>a</sup>, 安元 智司<sup>a</sup>, 綿重 達哉<sup>a</sup>, 芝内 孝禎<sup>a</sup>,

松田 祐司<sup>a</sup>, 寺嶋 孝仁<sup>b</sup>

<sup>a</sup>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

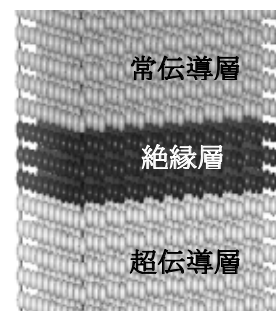
<sup>b</sup>京都大学 低温物質科学研究センター

E-mail : nakamura03@scphys.kyoto-u.ac.jp



CeCoIn<sub>5</sub> は重い電子系化合物であり、 $T_c = 2.3$  Kで超伝導転移を示す。低温高磁場領域においては、超伝導相の内部に2次相転移が観測されることから、FFLO状態が実現している可能性が示唆されている[1]。FFLO状態では、磁場によりゼーマン分裂したフェルミ面間でクーパ対が形成されるため、クーパ対が有限の重心運動量を持ち、実空間に周期的なノードが現れることが理論面で指摘されている。このような特異な超伝導状態の理解を深める上で、その状態密度を直接測定することは非常に重要である。

トンネル接合は、図のような超伝導層と常伝導層の間に絶縁層が挟まれた構造を持つ。その電流-電圧特性から状態密度のエネルギー依存性を直接測定することができるので、超伝導ギャップ構造やボゾン励起などの重要な情報を得ることができる。過去にもバルク試料でのトンネル接合は作製されてきたが、トンネル接合がCeCoIn<sub>5</sub>の表面状態に大きく影響を受けるため、再現性は良くない。我々のグループは $10^{-7}$  Pa程度の高真空中でのCeCoIn<sub>5</sub>のエピタキシャル薄膜の作製に成功しており、大気にさらすことなく絶縁体を積層し、良質なトンネル接合を作製することが可能である。



現在、トンネル接合作製の最適条件を模索している。当日はトンネル接合の作製状況やその特性について発表する予定である。

[1] A. Bianchi *et al.*: Phys. Rev. Lett. **91** 187004 (2003).

図：トンネル接合の模式図。

## P9 希薄ドープ Si:P の核スピン状態観測のための二重共鳴装置開発

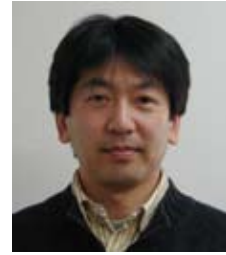
松原 明<sup>a</sup>, 藤井 裕<sup>b</sup>, 光藤誠太郎<sup>b</sup>, 水崎隆雄<sup>b</sup>, 青山大志<sup>c</sup>, 菊池彦光<sup>c</sup>, 千葉明朗<sup>c</sup>, 上野 智弘<sup>d</sup>, 福田 昭<sup>e</sup>, Soonchil Lee<sup>f</sup>, SangGap Lee<sup>g</sup>

<sup>a</sup>京都大学 低温物質科学研究センター, <sup>b</sup>福井大学 遠赤外領域開発研究センター, <sup>c</sup>福井大学 工学部, <sup>d</sup>京都大学 医学研究科, <sup>e</sup>兵庫医科大学 物理学教室, <sup>f</sup>KAIST, <sup>g</sup>KBSI

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

近年, 量子コンピューターを実現する有力な候補として Si 基板中に均等に配置された <sup>31</sup>P 原子の核スピン系 (Si:P) を量子ビットとして利用する方法が B. Kane によって提案された[1]. <sup>31</sup>P を均等に配置した Si:P 系を数 T, 100 mK 程度の条件下に置くことで, 各 <sup>31</sup>P 原子の持つ核スピンを, 長いコヒーレンス時間を持つ 1 個の量子ビットとして利用できると期待される. 量子コンピューターに応用するためには, ドナー電子が局在する程度の希薄なドープ量の Si:P 系が必要であるが, そのような低濃度の Si:P 系における <sup>31</sup>P-NMR は信号強度が小さいため未だ直接観測されていない. そこで, 我々はマイクロ波照射による動的核スピン偏極を利用して, <sup>31</sup>P-NMR 信号を観測するための装置の開発を行い, <sup>31</sup>P-NMR 信号の直接観測を目指している. 現在 <sup>31</sup>P がランダムにドープされた低ドナー濃度の Si:P 系において <sup>31</sup>P-NMR の観測をおこなっており, 開発した装置やその測定結果について報告する予定である.

[1] B. E. Kane, Nature **393**, 133 (1998)



## P10 エアロジェル中液体 <sup>3</sup>He における過剰な <sup>4</sup>He の効果

伊藤 良介<sup>a</sup>, 田中 佑輔<sup>a</sup>, 人見 純司<sup>a</sup>, 戸田 亮<sup>ab</sup>, 金本真知<sup>a</sup>, 佐々木 豊<sup>ab</sup>

<sup>a</sup>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

<sup>b</sup>京都大学 低温物質科学研究センター

E-mail : ito.ryosuke@scphys.kyoto-u.ac.jp

絶対零度近傍のバルクでは起こらない<sup>4</sup>Heの<sup>3</sup>Heへの溶解がエアロジェル中では起きているか否か, またはどのような空間配置で<sup>4</sup>Heと<sup>3</sup>Heが存在しているかについては議論があり様々な主張がなされている.

我々は空孔率97.5%,98%のエアロジェル中の超流動<sup>3</sup>HeをNMR,MRIを用いて研究してきた.その中でエアロジェル鎖表面の固体<sup>3</sup>Heの影響を排除するために導入する<sup>4</sup>Heの量を過剰にしたときに不思議な超流動転移温度の抑制が見られることを発見した.この状態を理解するために常流動状態でのスピン拡散係数の測定を行ったところ,図1のように<sup>4</sup>Heを適正量導入時(●)よりも<sup>4</sup>Heを過剰量導入時(○)の方が,支配する散乱機構が異なる高温領域,低温領域ともに大きくなることがわかった.

この増加はスピン間の相互作用が変化したと考えることで理解でき, <sup>4</sup>Heの<sup>3</sup>Heへの溶解がエアロジェル中で起きていることを示して, そのために超流動転移温度の大幅な抑制が起きていることを示している.

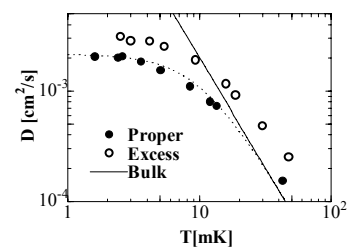


図1 導入する<sup>4</sup>Heの量を変えた時のスピン拡散係数



## P11 Superfluid $^3\text{He}$ in networked confined geometry

J.Hitomi<sup>a</sup>, R.Ito<sup>a</sup>, and Y.Sasaki<sup>a, b</sup>

<sup>a</sup> Department of physics, Graduate School of Science, Kyoto University

<sup>b</sup> Research Center for Low Temperature and Materials Sciences,  
Kyoto University

E-mail : junji.hitomi@scphys.kyoto-u.ac.jp



Superfluid  $^3\text{He}$  has a long coherence length, which changes from 20 nm to 100 nm in bulk while pressure changes from 34 bar to 0 bar. In order to study superfluid  $^3\text{He}$  in confined geometry, we need a sample space the size of which is the same order as a coherence length of superfluid  $^3\text{He}$ . Until now, it was difficult to get such a sample. Recently, we found the appropriate porous glass. Generally speaking, in confined geometry, liquid  $^3\text{He}$  shows a  $T_c$  reduction as a size effect. In addition to a size effect, since narrow channels are connected randomly with each other in our sample, in some of the joint, Josephson junction might be formed in order to achieve consistency of the phase among multiply connected channels. In this media, an additional  $T_c$  reduction might be observed because of the Josephson network. Moreover, when the pore size and coherence length are in the appropriate range, a localized Cooper pair might be formed. In this state, the Cooper pair is formed without macroscopic coherence. Since  $^3\text{He}$  has a spin, we might be able to get microscopic information about superfluid  $^3\text{He}$  in confined geometry by NMR measurement. We will report a progress of this research project.

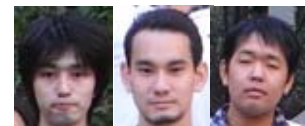
## P12 極小ノイズの SQUID アンプを用いた NMR 装置の開発

笠井 純<sup>a</sup>, 宮津 怜嗣<sup>a</sup>, 渡會 康介<sup>a</sup>, Minki Jeong<sup>b</sup>, 佐々木 豊<sup>a, b</sup>

<sup>a</sup> 京都大学 理学部 物理学第一教室

<sup>b</sup> 京都大学 低温物質科学研究センター

E-mail : kasai.jun.38m@st.kyoto-u.ac.jp



低温環境で NMR 測定を行うと、室温での測定に比べ、非常にノイズの小さい信号が得られる。しかしその信号を通常の半導体のアンプで増幅しようとする時、信号を室温部まで持ってくる時にノイズが乗ってしまう。それを避けるためには、低温で働くアンプを用いて一旦増幅してから室温部へ伝達すればよい。低温で働くアンプとして有力なものに SQUID を用いたアンプがあり、その SQUID アンプで実際に NMR 信号を見て、S/N を向上させることを目指した。

SQUID は critical current 以下の電流に対してはゼロ抵抗、それ以上の電流に対しては抵抗が生じるという直流ジョセフソン効果を利用した素子である。SQUID を貫く磁束の大きさによって critical current が変化するという性質を使って磁場の大きさを極めて高感度に測定することができる。また、これを応用すれば微弱な信号を増幅するアンプとしても利用できて、さらに 2-stage SQUID Amplifier では、1 段目の SQUID で受けた信号を 2 段目の SQUID array で増幅することで、より小さい信号を検出できる。そこで、2-stage SQUID Amplifier がどの程度小さい信号を検出できるかのテストを行った。1MHz での NMR 測定における使用を想定すると、液体  $^3\text{He}$  が  $10^{13}$  スピンあれば検出できるはずである。今後は、この SQUID アンプを実際に NMR 装置の中に組み込んで、測定の高感度を向上させることに繋げていきたい。

### P13 BEDO-TTF 錯体を組込んだ透明な表面導電性高分子膜形成の一般性

羽根田 剛<sup>a</sup>, Adam Tracz<sup>b</sup>, 齋藤 軍治<sup>c</sup>, 矢持 秀起<sup>d</sup>  
<sup>a</sup> 京都大学 理学研究科 化学教室, <sup>b</sup> ポーランド科学アカデミー, <sup>c</sup> 名城大学 総合研究所, <sup>d</sup> 京都大学 低温物質科学研究センター



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

BEDO-TTF は錯体中で特定の構造を持つ導電層を形成する性質を持ち, その錯体は結晶構造や結晶状態に乱れがあっても金属的挙動を示す傾向が強い. RDP 法と呼ばれる手法により, (BEDO-TTF)<sub>2</sub>Br(H<sub>2</sub>O)<sub>3</sub> を高分子膜の表面に配向性を持たせて組込み, 透明かつ金属的な表面導電性を持つ薄膜を作製する事が出来る. 昨年度の本研究発表会ではこの薄膜の湿度依存挙動について報告した. [1]

今回は, 更に ReO<sub>4</sub><sup>-</sup>, C(CN)<sub>3</sub><sup>-</sup>, <sup>-</sup>O<sub>2</sub>C-CO<sub>2</sub><sup>-</sup> (OX)を対成分とする錯体を組込み表面導電性透明薄膜を得る事に成功したのでその作製方法等について報告する(図 1). [2] また, 本発表では, 結晶水を含む ReO<sub>4</sub><sup>-</sup> 錯体を組込んだ薄膜の X-線回折, 及び, 導電性についての湿度依存性も報告する.

[1] T. Haneda, A. Tracz, G. Saito, H. Yamochi, *J. Mater. Chem.*, **21**(5), 1621-1626 (2011).

[2] H. Yamochi, T. Haneda, A. Tracz, G. Saito, *Physica Status Solidi C*, accepted (2011).

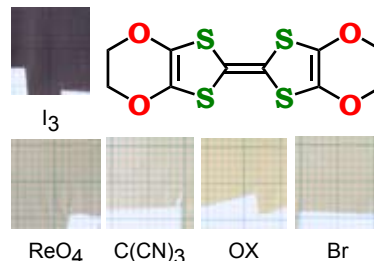


図 1 BEDO-TTF の化学構造(右上)と各対成分との錯体を組込んだ RDP 膜. 各 RDP 膜の写真では, 薄膜の下部を一部切り取り, 下地の方眼紙が直接見える様にした.

### P14 C<sub>60</sub> アニオンラジカル間の相互作用

大塚 晃弘<sup>a</sup>, コナレフ デュミトリ<sup>b</sup>, カザノフ サラバト<sup>c</sup>, 前里 光彦<sup>d</sup>,  
 リュボフスカヤ リマ<sup>b</sup>, 矢持 秀起<sup>a</sup>, 齋藤 軍治<sup>c</sup>

<sup>a</sup> 京都大学 低温物質科学研究センター, <sup>b</sup> ロシア科学アカデミー 化学物理研究所, <sup>c</sup> ロシア科学アカデミー 固体物理研究所,  
<sup>d</sup> 京都大学 理学研究科 化学専攻, <sup>d</sup> 名城大学 総合研究所

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

これまで我々は様々なタイプの C<sub>60</sub> アニオンラジカル塩を作成してきた (図 1) . それらのうち C<sub>60</sub> アニオンラジカルが二次元三角格子状のシートを形成する場合 (図 1 右下) , 金属的電気伝導を示すなど興味深い物性が見出されている.

金属物性を示す二次元シート状のラジカル塩(MDABCO<sup>+</sup>)·TPC·(C<sub>60</sub><sup>-•</sup>)の構成成分のうち, カチオン部分を MDABCO<sup>+</sup>から MQ<sup>+</sup>へ変換すると, 金属物性が失われる. このカチオン変換によって C<sub>60</sub> シート内に誘起されるアニオンラジカル間の相互作用の変化を, 結晶構造と分子間重なり積分に着目して考察する.

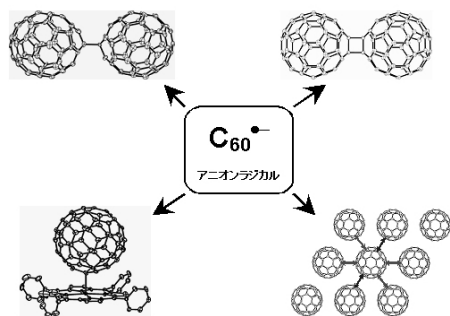
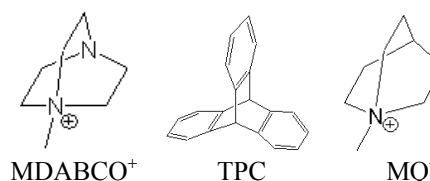


図 1 C<sub>60</sub> アニオンラジカルの集合様式の例



## P15 有機導電体(EDO-TTF)<sub>2</sub>XF<sub>6</sub>における同位体効果

中野義明<sup>a</sup>, 竹下拓磨<sup>a,b</sup>, 矢持秀起<sup>a</sup>, 売市幹大<sup>c</sup>, 薬師久彌<sup>d</sup>, 内田太郎<sup>e</sup>, 大澤雅俊<sup>e</sup>,

<sup>a</sup>京都大学 低温物質科学研究センター

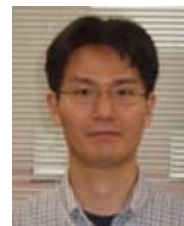
<sup>b</sup>京都大学大学院 理学研究科 化学専攻

<sup>c</sup>分子科学研究所

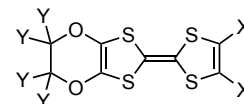
<sup>d</sup>豊田理化学研究所

<sup>e</sup>北海道大学 触媒化学研究センター

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



有機導電体(EDO-TTF)<sub>2</sub>XF<sub>6</sub> (X = P, As, Sb)は、高温相においてドナーが弱く 2 量化した積層カラム構造を有する。これらの塩は、際立った分子変形を伴った、パイエルス、電荷秩序化、陰イオン秩序化の 3 種の機構が協同した特異な金属-絶縁体転移を起こす。また、PF<sub>6</sub> 塩では超高速・高効率の光誘起相転移が見出されており、振電相互作用が強く働いていると考えられている。相転移挙動に対する同位体効果を調べるため、重水素を EDO-TTF (*d*<sub>0</sub> 体)の  $\pi$  共役系に直接導入した EDO-TTF-*d*<sub>2</sub> (*d*<sub>2</sub> 体)と  $\pi$  共役系から離れたエチレンジオキシ基側を重水素化した EDO-TTF-*d*<sub>4</sub> (*d*<sub>4</sub> 体), およびその陽イオンラジカル塩を作製し、相転移挙動、高温相における 2 量化の強さ、C=C 伸縮振動について検討した。*d*<sub>2</sub> 体は、*d*<sub>0</sub> 体の塩よりも約 3 K 高い転移温度(*T*<sub>M</sub>)を示したが、*d*<sub>4</sub> 体の塩は、*d*<sub>0</sub> 体とほぼ同じ *T*<sub>M</sub> であった。また 2 量化の強さと C=C 伸縮振動に関して、*d*<sub>2</sub> 体の塩では *d*<sub>0</sub> 体の塩との間に違いが見られたが、*d*<sub>4</sub> 体の塩では *d*<sub>0</sub> 体の塩とほぼ同じであり、相転移挙動と 2 量化の強さ、C=C 伸縮振動の間に相関を見出した。



EDO-TTF: X=Y=H  
EDO-TTF-*d*<sub>2</sub>: X=D, Y=H  
EDO-TTF-*d*<sub>4</sub>: X=H, Y=D

## P16 混晶[(EDO-TTF)<sub>1-x</sub>(MeEDO-TTF)<sub>x</sub>]<sub>2</sub>PF<sub>6</sub>(*x*=0.06–0.12)の相転移機構

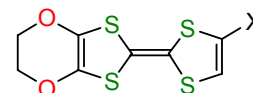
平松 孝章<sup>a</sup>, 村田 剛志<sup>b</sup>, 邵 向鋒<sup>c</sup>, 中野 義明<sup>a</sup>, 矢持 秀起<sup>a</sup>, 賣市 幹大<sup>d</sup>, 薬師 久彌<sup>e</sup>, 田中 耕一郎<sup>f</sup>

<sup>a</sup>京都大学 低温物質科学研究センター, <sup>b</sup>大阪大学 理学研究科, <sup>c</sup>蘭州大学, <sup>d</sup>分子科学研究所, <sup>e</sup>豊田理化学研究所, <sup>f</sup>京都大学 iCeMS

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



(EDO-TTF)<sub>2</sub>PF<sub>6</sub> は約 280 K でパイエルス転移、陰イオンの秩序-無秩序(AO)転移、電荷秩序化(CO)転移の機構が協同した多重不安定性に基づく特異な金属-絶縁体転移を起こす。表題の組成式で示される MeEDO-TTF を導入した混晶は、 $0 < x < 0.05$  では  $x = 0$  と同様の機構で高温相から低温相に転移するが、 $0.06 < x < 0.09$  では CO 転移の様相が消失した中間相に転移し、より低温で低温相となる。また、 $0.10 < x < 0.13$  では中間相に転移後、極低温まで変化しない。



X = H : EDO-TTF  
Me : MeEDO-TTF

本研究では  $x > 0.13$  の混晶の相挙動を明らかにするため、温度可変 X 線構造解析を行った。 $x = 0.21$  の混晶でも 100 K で CO 転移の様相を伴わないパイエルス転移が起きることが分かった。一方、 $x = 0.35$  の混晶では、少なくとも 100 K まではパイエルス転移は起きなかった。さらに、陰イオンの温度因子の解析からこれらの混晶ではパイエルス転移と AO 転移は同時には発現していないことが明らかになった。

本発表では、今回とこれまでの結果から得られた、 $0 < x < 0.5$  の範囲の相図についても報告する。

## P17 EDO およびその誘導体の陽イオンラジカル塩におけるドナー配列と置換基効果

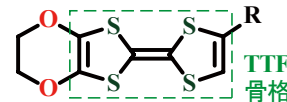
石川 学<sup>a</sup>, 中野 義明<sup>a</sup>, 賣市 幹大<sup>b</sup>, 薬師 久彌<sup>c</sup>, 矢持 秀起<sup>a</sup>

<sup>a</sup>京都大学 低温物質科学研究センター

<sup>b</sup>自然科学研究機構分子科学研究所, <sup>c</sup>豊田理化学研究所

E-mail : m-ishikawa@kuchem.kyoto-u.ac.jp

EDO, およびそのビニル水素を 1 つ置換した誘導体は, 陽イオンラジカル塩中で陰イオンのサイズと形状に応じて様々なドナー配列を形成する[1]. 本研究では, ドナー配列構造に対する置換基の効果について検討するため, ドナー積層カラム中で 2 つのドナーが 1 つのドナーを挟む距離, 即ち連続する 2 つの面間距離の和に着目し, これを 2 倍面間距離と定義した. その値を各ドナーの塩についてそれぞれ比較した結果, MeEDO が 2 倍面間距離の小さい塩でドナー長軸がねじれたカラムを形成するのは, TTF 骨格の厚みより大きな置換基をその両端に持つという MeEDO の形状的特性に起因すると推定した. 当日は, 上記に加えて置換基が TTF 骨格の厚みより小さい EDO および CLEDO の結果についても紹介する.



R = H: EDO  
R = Cl: CLEDO  
R = CH<sub>3</sub>: MeEDO

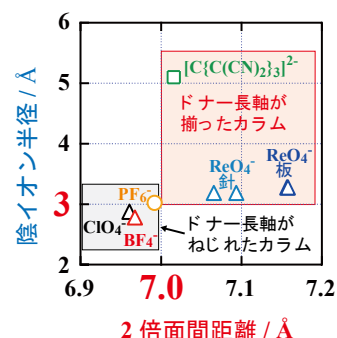


図 1 MeEDO 塩の陰イオン半径と 2 倍面間距離

[1] H. Yamochi and S. Koshihara, *Sci. Technol. Adv. Mater.*, **10**, 024305 (2009)

## P18 混晶[(EDO-TTF)<sub>1-x</sub>(CLEDO-TTF)<sub>x</sub>]<sub>2</sub>PF<sub>6</sub>の作製と結晶構造

原口知之<sup>a</sup>, 石川学<sup>b</sup>, 矢持秀起<sup>b</sup>

<sup>a</sup>京都大学 理学研究科 化学専攻

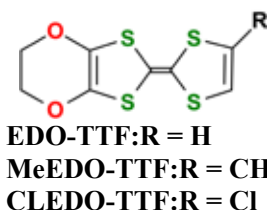
<sup>b</sup>京都大学 低温物質科学研究センター

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

(EDO-TTF)<sub>2</sub>PF<sub>6</sub>は 279 K でパイエルス転移, 陰イオンの秩序化, 電荷秩序化 (CO) の 3 種の機構が協同した特異な金属—絶縁体転移を起こす.

EDO-TTF の一部を MeEDO-TTF で置換した混晶では,  $x$  が約 0.06 以上では協同的に発現していた相転移機構の分離・抑制が見られた. 一方, メチル基とは異なり電子吸引性の強い塩素を導入した CLEDO-TTF を用いた場合, CLEDO-TTF は EDO-TTF よりも陽イオンになりにくいため, 混晶の相転移機構, 特に CO の発現に影響することが期待される. そこで本研究では, EDO-TTF の一部を CLEDO-TTF で置換した標題の混晶を作製し, それらの結晶構造解析および電気物性の測定を行った.

モル比が EDO-TTF:CLEDO-TTF = 1- $x'$ : $x'$ の混合物を, [(C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>)<sub>4</sub>N]PF<sub>6</sub> の存在下, エタノール中で定電流電解することで標題の混晶を得た. 単結晶 X 線構造解析の結果, 得られた混晶は 3 種の異なる結晶構造をもつことが確認された. 混合比  $x' = 0 \sim 0.8$  では (EDO-TTF)<sub>2</sub>PF<sub>6</sub> と,  $x' = 0.95$  の板状結晶では (CLEDO-TTF)<sub>2</sub>PF<sub>6</sub> とそれぞれ同形の結晶構造であったが,  $x' = 0.95$  の針状結晶はいずれとも異なる構造であった. 電解時の原料の割合 ( $x'$ ) と得られた混晶の組成 ( $x$ ) の関係や導電挙動などの詳細については当日報告する.



## P19 長鎖多価不飽和脂肪酸 DHA の Akt リン酸化への作用

佐藤 智<sup>a</sup>, 川本純<sup>b</sup>, 朴貞河<sup>b</sup>, 栗原達夫<sup>b</sup>

<sup>a</sup> 京都大学 低温物質科学研究センター

<sup>b</sup> 京都大学 化学研究所

E-mail : sbsato@ltm.kyoto-u.ac.jp



ドコサヘキサエン酸(22:6<sup>A4,7,10,13,16,19</sup>, DHA)は, 生体膜リン脂質の比較的マイナーな構成成分であるが, 健康上のメリットをもたらすとされ, その機能は長く注目されてきた. DHA をイワシなどから多量に摂取していた時代の日本人の乳がん発症率が低かったことなどから, 制がんメリットが期待されているのもその一つである. DHA は, 培養がん細胞の無秩序な増殖を抑えたり, あるいは細胞死を誘導したりするなどの効果をもたらす. 一般に食餌から摂取する脂質などの作用は, 医療費の高騰が国家財政を圧迫している現在, 世界的な関心事でもある.

DHA は炭素鎖長 22 上に等間隔にある 6 個の二重結合が特徴的である. 我々は, DHA の効果の背景にある分子レベルのメカニズムに興味を持ち, 炭素鎖長が 18~22 で二重結合の位置と数が異なる脂肪酸を細胞に投与して, 異常な増殖の大きな原因となっている, 細胞増殖マスターキーの一つである Akt の無秩序なリン酸化に対する効果を研究した. 液体窒素による細胞の急速凍結保存で, 信頼性の高い反復解析と系統的な比較を行い, DHA が他の脂肪酸より際立って強く Akt のリン酸化を抑制することを見出した. この効果の発現には,  $\Delta 4,7,10,13,16,19$  のすべての二重結合が必要であった. この変化に並行して, 唯一 DHA だけが細胞の異常増殖を強く抑制した. DHA は, がんの悪性化に伴ってしばしば起こる細胞脂肪酸組成の異常化なども抑制したが, 他の脂肪酸も同様な効果があり, この作用の増殖抑制への寄与は小さいことが分かった. 現在我々は, Akt リン酸化をもたらすホスホイノシチドに対する効果を研究中し, DHA のターゲットを絞り込みつつある.

## P20 擬一次元超伝導体(TMTSF)<sub>2</sub>ClO<sub>4</sub> の超伝導秩序変数と磁気揺らぎ

米澤 進吾<sup>a</sup>, 前野 悦輝<sup>a</sup>, Klaus Bechgaard<sup>b</sup>, Denis Jérôme<sup>c</sup>

<sup>a</sup> 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

<sup>b</sup> コペンハーゲン大学 <sup>c</sup> パリ南大学

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



分子性導体(TMTSF)<sub>2</sub>X (X = PF<sub>6</sub>, ClO<sub>4</sub>, etc.) は史上初めて発見された有機物の超伝導体として有名である. また, 擬一次元的な導電性を持つことや, 磁気相の隣に超伝導相が存在することなどから, 低次元性や磁気相関に起因する非従来型の超伝導が実現している可能性が指摘されてきた.

我々は, 数十  $\mu\text{g}$  の試料の熱容量  $C$  を測定できる高感度熱容量計を開発し, 常圧下で超伝導を示す(TMTSF)<sub>2</sub>ClO<sub>4</sub> の純良単結晶の磁場角度分解比熱測定を用いて, この系の超伝導および常伝導状態の研究を行ってきた. 超伝導状態においては, 熱容量の磁場強度依存性や磁場方向依存性に超伝導ギャップのゼロ点の存在を強く示唆する振舞いを観測した. この結果は, (TMTSF)<sub>2</sub>ClO<sub>4</sub> の超伝導が確かに非従来型であることを示している. また, 常伝導状態では, 低温において  $C/T$  が発散的なふるまいを示すことが分かった. このことはこの系で磁気揺らぎが重要な役割を担っていることを示している.

本発表ではこれらの結果を紹介する.

## P21 擬二次元重い電子系 $\text{Ce}(\text{Fe}_{1-x}\text{Ru}_x)\text{PO}$ の $^{31}\text{P}$ -NMR

北川俊作<sup>a,b</sup>, 石田憲二<sup>a,b</sup>, 入谷健資<sup>c</sup>, 的場正憲<sup>c</sup>, 神原陽一<sup>b,c</sup>

<sup>a</sup> 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

<sup>b</sup> JST-TRIP, <sup>c</sup> 慶応大学

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

$\text{CeFePO}$ ,  $\text{CeRuPO}$  は鉄系超伝導体  $\text{LaFeAs}(\text{O}_{1-x}\text{F}_x)$  と同じ二次元性の高い結晶構造を持つ物質である。 $\text{CeFePO}$  は低温の残留比熱係数が  $700 \text{ mJ/molK}^2$  と大きな値をもつ重い電子系物質であり、ゼロ磁場中では常磁性体である。一方、 $\text{CeRuPO}$  は  $T_{\text{Curie}} = 15 \text{ K}$ , 近藤温度  $T_K \sim 10 \text{ K}$  の強磁性重い電子系物質である。

我々は静的磁化率を検出するナイトシフトと動的ゆらぎを検出するスピン-格子緩和率  $1/T_1$  の測定を用いて擬二次元重い電子系  $\text{Ce}(\text{Fe}_{1-x}\text{Ru}_x)\text{PO}$  の低温での磁気状態について研究を行っている。 $\text{CeFePO}$  においては(a)  $ab$  面内に磁場をかけた場合のみ 4T 付近で急激な磁化のとびで特徴づけられる磁場誘起強磁性(メタ磁性)的ふるまいを示すこと (図 1), (b)メタ磁性転移近傍で非 Fermi 液体的ふるまいが見られることを明らかにした。また Fe サイトに Ru を 25% ドープした試料において強い二次元強磁性ゆらぎを持つ強磁性体( $T_{\text{Curie}} \sim 3 \text{ K}$ )であることを明らかにした。当日は詳細な実験結果を示し、この系の強い二次元性について議論する。

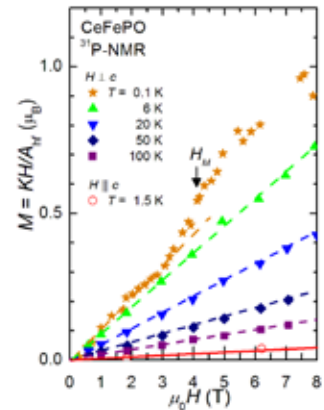


図 1  $^{31}\text{P}$ -NMR から見積もった  $\text{CeFePO}$  の磁化の磁場依存性

## P22 Rashba 型反対称スピン軌道相互作用が存在する状況下での超伝導

江口 学<sup>a</sup>, D. C. Peets<sup>b</sup>, M. Kriener<sup>c</sup>, 前野悦輝<sup>a</sup>

<sup>a</sup> 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

<sup>b</sup> マックスプランク研究所, <sup>c</sup> 大阪大学産業科学研究所

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

Rashba 型反対称スピン軌道相互作用は、一軸方向のみに空間反転対称性を持たない場合に存在することが知られており、物質の表面や特定の結晶構造をもつ物質群で多くの新規現象の起源となり得ることが最近になって指摘され、世界中で精力的な研究が行われている[1,2]。最近になって我々のグループでは、これらの物質群のうち超伝導体  $\text{CaIrSi}_3$  の単結晶育成に成功した。この物質のフェルミ面近傍では  $\text{Ir-5d}$  電子軌道に由来する状態密度が存在しており、また上記の相互作用が強いことが期待され新規現象を検証するのに理想的と考えられる。実際にこの単結晶を用いた物性評価により、従来の多結晶試料を用いた測定では分からなかった超伝導特性の異方的な振る舞いが明らかになった[3]。詳細は当日報告する。

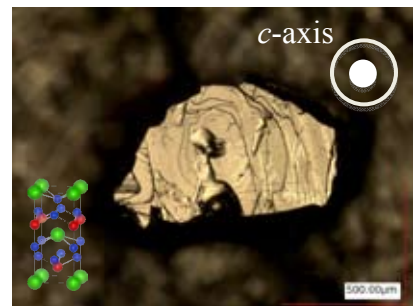
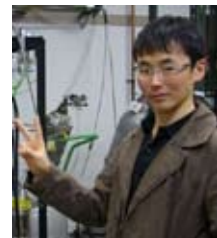


図 1. 作製した  $\text{CaIrSi}_3$  単結晶

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

[2] S. Fujimoto, J. Phys. Soc. Jpn. **76**, 051008 (2007).

[3] G. Eguchi *et al.*, Phys. Rev. B **83**, 024512 (2011).

## P23 磁石が生み出す超伝導

服部泰佐<sup>a</sup>, 軽部皓介<sup>a</sup>, 井原慶彦<sup>a</sup>, 石田憲二<sup>a</sup>, 多田靖啓<sup>a</sup>, 藤本聡<sup>a</sup>, 尾崎英祐<sup>b</sup>, 出口和彦<sup>b</sup>, 佐藤憲昭<sup>b</sup>, 佐藤伊佐務<sup>c</sup>

<sup>a</sup>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

<sup>b</sup>名古屋大学 理学研究科 物質理学専攻(物理系),

<sup>c</sup>東北大学 金属材料研究所

E-mail : t.hattori@scphys.kyoto-u.ac.jp



我々は磁石であると同時に超伝導にもなる物質 UCoGe を核磁気共鳴法により研究している。まず、通常相反するはずの磁石と超伝導が互いに分離しているのではなく、混ざり合った新しい量子状態として共存していることを明らかにした。加えて、この特殊な超伝導の発現メカニズムは磁石になろうとする性質（磁気揺らぎ）そのものであることを突き止めた。磁気揺らぎと超伝導の関係性については長きに渡り多くの議論がなされていたが、明確な実験的証拠を初めて打ち出した本研究は、今後の超伝導メカニズムの研究において重要な意味を持つと思われる。加えて、本来相反する磁石と融和したこの新奇超伝導は外部磁場に非常に強い性質を持っており、実用的な観点からも今後の発展が期待される。

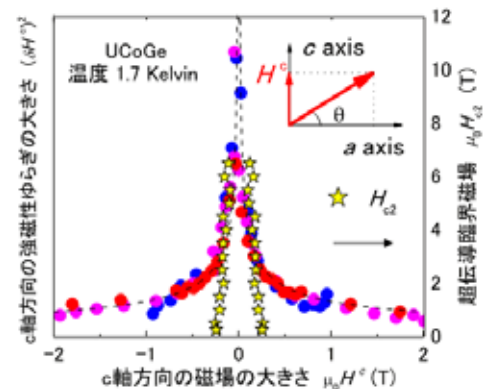


図1. 磁気揺らぎと臨界磁場の磁場依存性

## P24 結晶対称性の制御によって Ru 酸化物に誘起される多彩な基底状態

谷口 晴香<sup>a</sup>, 石川 諒<sup>a</sup>, 中村 壮智<sup>a</sup>, S. K. Goh<sup>a,b</sup>, 米澤 進吾<sup>a</sup>, 中村 文彦<sup>c</sup>, 前野 悦輝<sup>a</sup>

<sup>a</sup>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

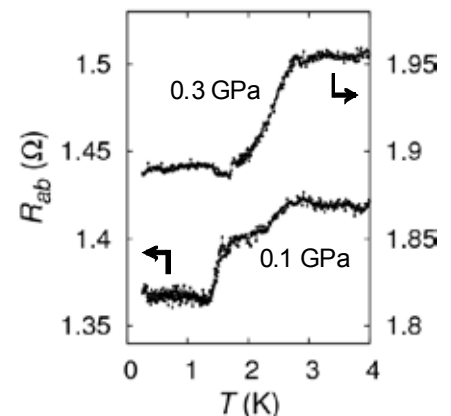
<sup>b</sup>Univ. of Cambridge, Cavendish Lab.

<sup>c</sup>広島大学 先端物質科学研究科 量子物質科学専攻

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

スピン三重項超伝導体  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  やモット絶縁体  $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$  の基底状態は、結晶構造に対し敏感に多彩な変化を示す。結晶が斜方晶から正方晶になると同時に超伝導が実現することから、結晶構造の中でも特に対称性が電子状態の決定に重要であると考えられる。我々は意図的に結晶構造を制御しうる一軸性圧力（一軸圧）を両物質に印加し、それによる磁気・輸送特性の変化を研究している。

本発表では、一軸圧下での交流磁化率および電気抵抗の新しい測定技術を紹介し、この新手法で得られた実験結果を中心に、一軸圧下 Ru 酸化物での電子状態の変化を議論する。



図：Ru 金属との共晶部分を含む  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  の c 軸方向一軸性圧力下の 4 端子電気抵抗 (0.3 mA, 7 Hz).

## P25 鉄系超伝導体 $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ における磁性と超伝導の共存/競合

家 哲也<sup>a</sup>, 中井 祐介<sup>a</sup>, 北川 俊作<sup>a</sup>, 石田 憲二<sup>a</sup>,  
笠原 成<sup>b</sup>, 芝内 孝禎<sup>a</sup>, 松田 祐司<sup>a</sup>, 寺嶋 孝仁<sup>b</sup>

<sup>a</sup>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

<sup>b</sup>京都大学 低温物質科学研究センター

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

我々は鉄系超伝導体  $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$  の磁性と超伝導について NMR 測定により調べている。本系は重い電子系化合物や銅酸化物と似た相図を持つことなどを明らかにしてきた。最近、磁性相と超伝導相の境界に位置する試料において、核スピン-格子緩和時間  $T_1$  測定から磁気モーメントをもつ秩序領域の超伝導転移, すなわち磁性と超伝導の空間的共存を観測した (図 1(b)) [1]。さらに興味深いことに、超伝導転移とともに磁気モーメントが抑制されることを明らかにした (図 1(a)) [1]。本発表では、この秩序変数の共存/競合状態を他の鉄系超伝導体と比較する。また、共存/競合の性質から得られる超伝導の電子対形成機構に関する知見について議論する。

[1] T. Iye *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **81** (2012) 033701

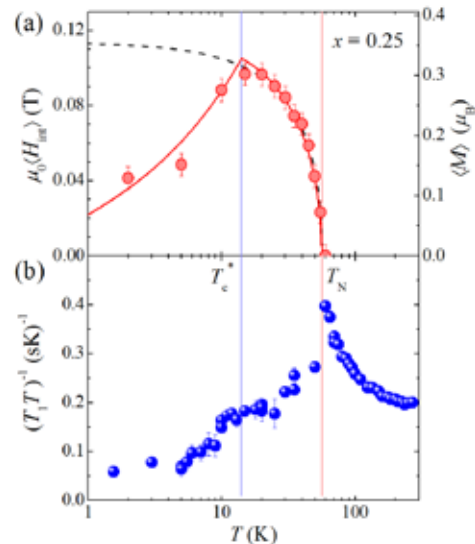


図 1.  $\text{BaFe}_2(\text{As}_{0.75}\text{P}_{0.25})_2$  における (a) 磁気秩序変数と (b)  $(T_1T)^{-1}$  の温度依存性.  $T_N$  は磁気秩序温度,  $T_c^*$  は磁気秩序サイトの超伝導転移温度を示す.

## P26 $^{27}\text{Al}$ -NMR を用いた $\text{UCoAl}$ におけるメタ磁性臨界現象の研究

軽部 皓介<sup>a</sup>, 服部 泰佑<sup>a</sup>, 石田 憲二<sup>a</sup>, 浅井卓也<sup>b</sup>,  
小松原武美<sup>c</sup>, 木村憲彰<sup>b,c</sup>

<sup>a</sup>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

<sup>b</sup>東北大学 理学研究科, <sup>c</sup>東北大学 極低温センター

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

$\text{UCoAl}$  は、 $c$  軸方向に 1 T 程度の磁場を掛けることによって、磁化に不連続な跳びが見られるメタ磁性転移を起こす。これは常磁性(PM)から強磁性(FM)への 1 次相転移であるが、約 12 K で 1 次相転移線は臨界終点(CEP)を持ち、臨界終点より高温では常磁性と強磁性が連続的に繋がる領域になる。この振る舞いは気体-液体転移と非常によく似ている。

本研究では  $\text{UCoAl}$  のメタ磁性転移における臨界現象の静的、動的性質を定量的に調べるために、 $\text{UCoAl}$  単結晶を用いて  $^{27}\text{Al}$  核の NMR を行った。 $c$  軸方向の磁場  $H_c$  と温度  $T$  を制御しながら、 $c$  軸方向の磁化  $M_c$  および  $c$  軸方向の磁気ゆらぎ  $S_c$  を見積もると、図のように、磁気ゆらぎが臨界終点で発散する結果を得た。発表では、気体-液体転移との共通点、相違点について詳しく述べる。

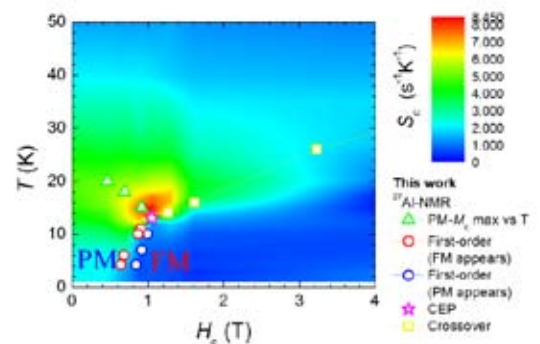


図 :  $\text{UCoAl}$  のメタ磁性転移の  $(H_c, T)$  相図と  $c$  軸磁気ゆらぎ  $S_c$  の分布



## P27 カゴ状超伝導体 $A_xV_2Al_{20}$ の NMR/NQR を用いた研究

山中 隆義<sup>a</sup>, 北川 俊作<sup>a, b</sup>, 石田 憲二<sup>a, b</sup>, 小野坂 篤<sup>c</sup>, 岡本 佳比古<sup>c</sup>,  
山浦 淳一<sup>c</sup>, 廣井 善二<sup>c</sup>

<sup>a</sup> 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 固体量子物性研, <sup>b</sup>JST-TRIP, <sup>c</sup>東大物性研

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

カゴ状化合物  $A_xV_2Al_{20}$  ( $A = Ga, Al, Y, La$ ) では,  $A$  原子(ゲスト原子)が 16 個の Al 原子(ホスト原子)からなるカゴに内包されており, 局所的な非調和振動に特徴づけられるラットリングを示すと考えられている(Fig1)[1]. 実際,  $A = Ga, Al$  の場合, ラットリングが起源と考えられる局所的な振動モードのモデル (アインシュタインモデル) に特徴的な比熱のピークを持つことが報告されている[2]. また,  $A$  原子の原子半径の減少とともに比熱のピーク値と超伝導転移温度  $T_c$  が増加することも報告されており[2], これらの事実はラットリングと超伝導に正の相関があることを示唆している.

我々は, ゲスト原子がこれらの系の電子物性に与える影響を調べるため, 局所的な測定である NMR/NQR 測定を行った.  $A_x = Ga_{0.5}$  の試料の NMR については Ga 核のスピン格子緩和率  $1/T_1T$  の温度依存性が 3.5K 付近にブロードなピークを持つことを見出した. 同様のピークがラットリングを示す超伝導体  $KOs_2O_6$  ( $T_c = 9.6$  K) においても観測されていることから[3],  $A_x = Ga_{0.5}$  において, ラットリングが存在する一つの証拠と考えられる.

当日は, NQR の結果も含め, 異なる  $A_x$  の試料についての実験データを比較し, ゲスト原子の役割について議論する.

[1] A.D. Caplin *et al.*, Phys. Rev. Lett. **30** (1973) 1138.

[2] A. Onosaka, *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **81** (2012) 023703.

[3] M. Yoshida, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **98** (2007) 197002.

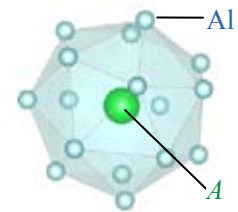
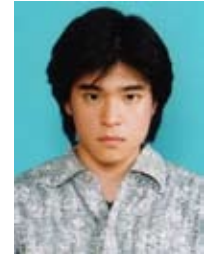


Fig.1:  $A_xV_2Al_{20}$  の一部

## P28 スピン三重項超伝導体 $Sr_2RuO_4$ を用いた マイクロブリッジの作製

山岡 義史<sup>a</sup>, 宮崎 慈生<sup>a</sup>, 中村 壮智<sup>a</sup>, 米澤 進吾<sup>a</sup>, 寺嶋 孝仁<sup>b</sup>,  
前野 悦輝<sup>a</sup>

<sup>a</sup> 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

<sup>b</sup> 京都大学 低温物質科学研究センター

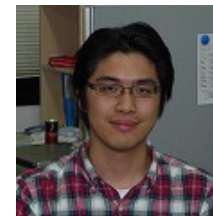
E-mail : yamaoka@scphys.kyoto-u.ac.jp

$Sr_2RuO_4$  はスピン三重項超伝導体であることが確実視されており, スピン一重項超伝導体にはない興味深い現象が期待される. 例えば,  $Sr_2RuO_4$  の微小結晶中では, 通常の半分の大きさの磁束を伴って量子化されたフラクソイドである half quantum fluxoid (HQF) が安定化されると理論的に予言されている. 実際, 微小な  $Sr_2RuO_4$  リングの磁気トルク測定において, HQF を示唆する結果が最近報告された[1]. この HQF は導電特性にも影響を与えることが理論的に示唆されており[2], 他の実験手段による HQF の検証が期待されている. 我々は, HQF が導電性に与える影響を実験的に明らかにするため, 穴が一つ空いたマイクロン・サイズの  $Sr_2RuO_4$  を作製した. まず  $Sr_2RuO_4$  の単結晶を砕き, 銀ペーストを用いて端子用の金線を付けた. この結晶の大きさは約  $20\mu m \times 30\mu m \times 6\mu m$  である. さらに, 電流パスや電圧端子のジオメトリーを正確に制御するため, 集束イオンビームを用いてサンプルを成形し, さらにリング状に加工した. このリングの内径は約  $1\mu m \times 1\mu m$  である.

本発表では, サンプルの作成方法について紹介する.

[1] J. Jang *et al.*, Science **331**, 186 (2011).

[2] V. Vakaryuk and V. Vinokur, Phys. Rev. Lett. **107**, 037003 (2011).



## P29 熱磁効果測定による Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub> の超伝導転移

梶川 知宏<sup>a</sup>, 米澤 進吾<sup>a</sup>, 前野 悦輝<sup>a</sup>

<sup>a</sup>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 : t.kajikawa@scphys.kyoto-u.ac.jp



Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub> はクーパ対の合成スピンの S=1 であるスピン三重項超伝導体を実現している可能性が非常に高いと考えられている数少ない物質である。我々はこの Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub> の超伝導現象を熱磁効果を用いて研究している。熱磁効果とは外部磁場  $H$  を変化させたときに試料の温度  $T$  が変化する効果であり、この温度変化からエントロピー  $S$  の磁場微分  $\partial S/\partial H$  を実験的に求めることができる。つまり、熱磁効果はエントロピー変化を伴う磁場中の相転移の観測に適している。

我々は高感度の熱磁効果測定用セルを開発し、Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub> の熱磁効果測定を行った。その結果、磁場を  $a$  軸方向に印加した場合の超伝導転移が約 600 mK 以下において過冷却を伴うことを明らかにした。この結果は、Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub> の  $H//a$  における超伝導転移が低温で一次相転移になっていることを直接的に示している。また、このことからこれまでに報告されてきたこの物質の超伝導転移近傍での奇妙なふるまい[1,2]が実は一次転移によるものであったことが明らかになった。ほとんどの第二種超伝導体では磁場中での超伝導転移は二次相転移であり、わずかな例外もスピン一重項超伝導体に限って知られている。したがって、この Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub> における一次相転移の起源として、これまでには知られていなかったメカニズムを検討する必要がある。

[1] K. Deguchi *et al.*: J. Phys. Soc. Jpn. **71** (2002) 2839.

[2] K. Tenya *et al.*: J. Phys. Soc. Jpn. **75** (2006) 023702.

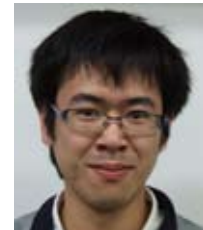
## P30 Ce<sub>1-x</sub>Yb<sub>x</sub>CoIn<sub>5</sub> エピタキシャル薄膜の作製と評価

下澤 雅明<sup>a</sup>, 安元 智司<sup>a</sup>, 中村 昌幸<sup>a</sup>, 綿重 達哉<sup>a</sup>, 水上 雄太<sup>a</sup>,

宍戸 寛明<sup>b</sup>, 寺嶋 孝仁<sup>c</sup>, 芝内 孝禎<sup>a</sup>, 松田 祐司<sup>a</sup>

<sup>a</sup>京大院理, <sup>b</sup>阪府大工, <sup>c</sup>京大低温セ

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



重い電子系化合物 CeCoIn<sub>5</sub> は、 $T_c = 2.3$  K で超伝導転移を示す。この物質の Ce サイトに他の希土類元素を置換すると、一般的には超伝導が強く抑制される事が知られている。しかしながら、ここ最近になって行われた Ce<sub>1-x</sub>Yb<sub>x</sub>CoIn<sub>5</sub> のバルク試料では、Ce サイトに Yb を置換しても  $T_c$  が緩やかに減少することが報告されている。この報告では、Ce サイトに Yb を置換しても格子定数が変化しないことから、Ce<sub>1-x</sub>Yb<sub>x</sub>CoIn<sub>5</sub> の超伝導が価数揺動によって安定化していると指摘しているが、バルクの試料では不純物が均一に混ざっていない可能性も考えられる。

そこで今回我々は、分子線エピタキシー法を用いて均一性の良い Ce<sub>1-x</sub>Yb<sub>x</sub>CoIn<sub>5</sub> エピタキシャル薄膜を作製し、その輸送係数測定をおこなった。Ce<sub>1-x</sub>Yb<sub>x</sub>CoIn<sub>5</sub> 薄膜の格子定数を評価すると、その格子定数は Yb 置換によって線形に変化しており、Vegard 則を満たすことが分かった。また、Ce<sub>1-x</sub>Yb<sub>x</sub>CoIn<sub>5</sub> の電気抵抗率の温度依存性から残留抵抗率( $\rho_0$ )と  $T_c$  を評価すると、Yb を置換することで  $\rho_0$  は増大し、 $T_c$  は強く抑制されていることが観測された。これらは、Yb 置換したバルク試料とは異なり、La などの置換系と同様な結果を示す。

当日は、Ce<sub>1-x</sub>Yb<sub>x</sub>CoIn<sub>5</sub> 薄膜の評価および Ce<sub>1-x</sub>Yb<sub>x</sub>CoIn<sub>5</sub> のバルク試料との相違点に関する詳細を報告する。

## P31 重い電子系超伝導体 URu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> における ネマティック電子液体状態

利根川 翔<sup>a</sup>, 橋本 颯一郎<sup>a</sup>, 井加田 洸輔<sup>a</sup>, 宍戸 寛明<sup>a,d</sup>,  
芳賀 芳範<sup>b</sup>, 松田 達磨<sup>b</sup>, 山本 悦嗣<sup>b</sup>, 大貫 惇睦<sup>b,c</sup>,  
池田浩章<sup>a</sup>, 芝内 孝禎<sup>a</sup>, 松田 祐司<sup>a</sup>

<sup>a</sup>京大院理, <sup>b</sup>原子力開発機構, <sup>c</sup>阪大院理, <sup>d</sup>大阪府大

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



重い電子系超伝導体URu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>はその発見から四半世紀にわたる長い研究の歴史をもつにもかかわらず、 $T_h=17.5$  Kで見られる大きな比熱の異常を伴う二次相転移に関して未だに秩序変数が明らかになっていない。この「隠れた秩序相」においてFermi面の構造の詳細を決めることは非常に重要である。しかし、量子振動や光電子分光など様々な実験が成されたにも関わらず未だ解明には至っていない。

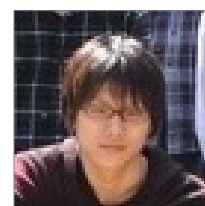
そこで我々URu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>超純良単結晶を用いて隠れた秩序相におけるサイクロトロン共鳴測定を行った。サイクロトロン共鳴測定はFermi面の極値軌道を運動する電子の有効質量を直接測定できる強力な手法である。これによりFermi面の電子質量の角度依存性を明らかにし、さらにバンド計算と比較することによって隠れた秩序相における電子構造を決定した。またこの結果からFermi面の[110]方向に異方的なホットスポットが出現しており結晶構造の四回対称性を破っていることが明らかとなった。これは隠れた秩序相がネマティックな電子液体状態であり、遍歴電子に特定方向の電子相関があることを示唆している。

## P32 相関効果を含んだ系での Anderson 転移の解析

阪井田 賢, 野田 数人, 川上 則雄

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 : sakaida-masaru@scphys.kyoto-u.ac.jp



乱れと相関効果が共存する系の解析は固体物理の世界において長く研究され続けており、今なお注目の的になっている。また、このような系に対する実験も盛んに行われ、最近では冷却原子を用いた実験でこの様な系が実現しており、幅広い分野で興味を引いている。

しかし、今までの乱れた系に対する解析手法では、Anderson 局在と相関効果を同時に、かつ非摂動に扱うことができず、十分な解析が行われていなかった。最近これを可能にする statistical DMFT という手法が開発され、様々な成果をあげている。

本研究では、on-site のエネルギーに乱れの効果を含んだ Hubbard モデルを解析した。このモデルと上述の手法を用いて、任意の粒子数 filling において Anderson 局在と相関効果がどのように競合するのかを調べ、また、それが金属-絶縁体転移にどのような影響を及ぼすのか調べた。

### P33 遍歴電子強磁性化合物系 $\text{FeGa}_{3-y}\text{Ge}_y$ における量子臨界的振る舞い

張 垚<sup>a</sup>, 道岡 千城<sup>a</sup>, 吉村 一良<sup>a</sup> 高島 敏郎<sup>b</sup>

<sup>a</sup> 京都大学 理学研究科 化学専攻 金相学分野

<sup>b</sup> 広島大学 大学院 先端物質科学研究科

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



Fig.1 presents schematic crystal structure of  $\text{FeGa}_3$ .  $\text{FeGa}_3$  crystallizes in tetragonal space group  $P42/mnm$ . In  $\text{Fe}(\text{Ga}_{1-x}\text{Ge}_x)_3$ , Ga ions are substituted by Ge. The end-compound  $\text{FeGa}_3$  shows the semiconducting resistivity and the diamagnetism. However, slight chemical substitutions for  $\text{FeGa}_3$  have been reported to have a significant effect on the electrical resistivity. By partly substituted Ge for Ga,  $\text{Fe}(\text{Ga}_{1-x}\text{Ge}_x)_3$  becomes to show metallic conductivity and at the same time the system comes to show a ferromagnetic order. In order to elucidate the magnetism in the  $\text{Fe}(\text{Ga}_{1-x}\text{Ge}_x)_3$  system we have performed Ga NMR measurements from a microscopic point of view. The NMR and magnetic properties of  $\text{Fe}(\text{Ga}_{1-x}\text{Ge}_x)_3$  will be reported and discussed from the view point of spin-fluctuation theory for weakly itinerant ferromagnetism.

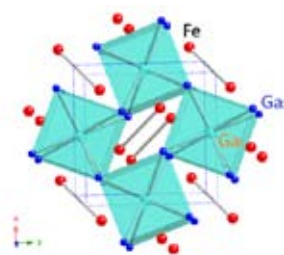


FIG. 1 Crystal structure of  $\text{FeGa}_3$

### P34 層状化合物 $\text{CrSe}_2$ における逐次相転移

小林 慎太郎<sup>a</sup>, 植田 浩明<sup>a</sup>, 浜根 大輔<sup>b</sup>, 道岡 千城<sup>a</sup>, 吉村 一良<sup>a</sup>

<sup>a</sup> 京都大学 理学研究科 化学専攻 金相学研究室

<sup>b</sup> 東京大学 物性研究所

E-mail : s.kobayashi@kuchem.kyoto-u.ac.jp



層状構造を有する化合物は、磁氣的、電氣的に大きな異方性を示し、CDW, SDW など低次元性に由来した物性を示すことが多い。遷移金属カルコゲナイド  $\text{CrSe}_2$  も、Se に八面体配位された Cr が三角格子を形成して積層した層状構造を有しており、結晶の 2 次元性を反映した物性が期待できる。また、 $\text{CrSe}_2$  は異常原子価である 4 価の Cr を含み、3 重縮退した  $t_{2g}$  軌道に 2 個の  $d$  電子をもつため、軌道自由度を有しており、軌道の秩序化に伴う物性の変化が期待できる。

$\text{CrSe}_2$  は 190 K 及び 165 K 付近で相転移を起こすことが報告されているが[1], 純良な試料の合成が困難なため、詳細な物性が明らかになっていない。そこで、相転移における物性の詳細を明らかにし、相転移の起源を解明することを目的に研究を行った。

本研究で合成した  $\text{CrSe}_2$  は先行論文と同様に、磁化率の温度変化に 2 段階の異常を示す。本研究ではさらに、 $\text{CrSe}_2$  の単結晶の合成に初めて成功し、単結晶を用いた電気抵抗率の温度変化を測定した。先行論文では電気抵抗率の温度変化において相転移に伴う異常がほとんど見られないのに対し[1], 本研究の測定結果は、電気抵抗率に明瞭な 2 段階の異常を示した。また、低温粉末 X 線回折測定においても相転移に伴う 2 段階の構造変化を観測した。この構造相転移において、Cr の有する軌道の役割が重要であり、Cr 面内でクラスターを形成している可能性が高い。実験結果から、 $\text{CrSe}_2$  の相転移の詳細及び起源について議論する。

[1] C. F. van Bruggen *et al.*, *Physica B*, **99**, 166 (1980).

### P35 SrCo<sub>2</sub>P<sub>2</sub> とその周辺化合物における 遍歴電子強磁性量子臨界点近傍の物性

今井 正樹<sup>a</sup>, 道岡 千城<sup>a</sup>, 植田 浩明<sup>a</sup>, 松尾 晶<sup>b</sup>, 金道 浩一<sup>b</sup>,  
太田 寛人<sup>c</sup>, 吉村 一良<sup>a</sup>

<sup>a</sup> 京都大学 理学研究科 化学専攻, <sup>b</sup> 東京大学 物性  
研究所, <sup>c</sup> 東京農工大学 工学部

E-mail : m.imai@kuchem.kyoto-u.ac.jp

ThCr<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> 型構造の ACo<sub>2</sub>P<sub>2</sub> (A = alkaline earth, rare earth) は Co<sub>2</sub>P<sub>2</sub> 層と A 層が交互積層した構造である。いずれも Co が磁気モーメントをもつ遍歴電子磁性体であり, A = La では強磁性体, A = Ca, Ce は反強磁性体である<sup>1</sup>。一方 SrCo<sub>2</sub>P<sub>2</sub> は磁気秩序を示さず, その磁化率は高温で Curie-Weiss 則に従い, 低温で極大を示す。さらに低温における磁化過程にはメタ磁性に起因すると考えられる異常が現れ, 遍歴電子強磁性量子臨界点近傍の物質であることが示唆される。

今回 Sr サイトに Ca を固溶させた物質を合成し, 物性を測定した。置換にともない磁化

率の極大が低温側にシフトし, x > 0.5 で反強磁性秩序を示す。今回, 磁気秩序を示さない SrCo<sub>2</sub>P<sub>2</sub> の周辺物質を中心に磁化測定や NMR 測定等を行った。

<sup>1</sup> M. Reehuis, W. Jeitschko, J. Phys. Chem. Solids **51**, 961 (1990).

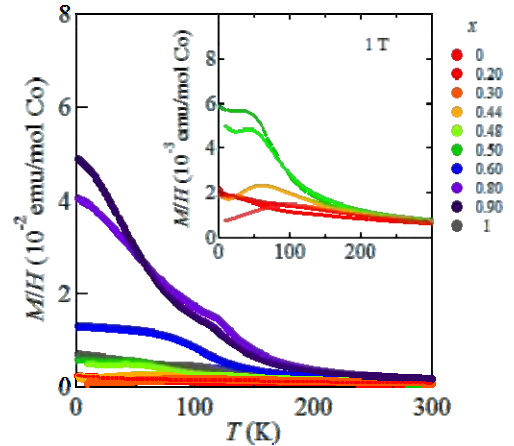


図 1 Sr<sub>1-x</sub>Ca<sub>x</sub>Co<sub>2</sub>P<sub>2</sub> の帯磁率.

### P36 YbT<sub>6</sub>Ge<sub>6</sub> (T=3d 遷移金属) の合成と物性

中村 祐太<sup>a</sup>, 葛 万銀<sup>a</sup>, 松尾晶<sup>b</sup>, 金道 浩一<sup>b</sup>, 道岡 千城<sup>a</sup>, 植田 浩明<sup>a</sup>,  
吉村 一良<sup>a</sup>,

<sup>a</sup> 京都大学 理学研究科 化学専攻 金相学研究室

<sup>b</sup> 東京大学 物性研究所

E-mail : nakamura.yuuuu@kuchem.kyoto-u.ac.jp

カゴメ格子を含む層状化合物 YbT<sub>6</sub>Ge<sub>6</sub> (T:3d 遷移金属) について, T=Mn の場合は図のような HfFe<sub>6</sub>Ge<sub>6</sub> 型の結晶構造をとる[1]。このときカゴメ格子中の Mn 原子は磁性をもち高温で反強磁性秩序を示す。また, 低温では Yb 原子および Mn 原子のスピンの再配列転移が起きることが知られており[2], Yb 原子と Mn 原子間の相互作用がこのスピン再配列過程と密接に関わっていると考えられているがその詳細は明らかになっていない。T=Co の場合は YCo<sub>6</sub>Ge<sub>6</sub> 型の結晶構造をもち, Co は非磁性となっており Yb は 3 価で磁性を担っている。

今回我々は, Mn が磁性を持つ YbMn<sub>6</sub>Ge<sub>6</sub> と Co が非磁性となる YbCo<sub>6</sub>Ge<sub>6</sub> を比較し, これらの系の磁性における Yb と 3d 遷移金属の相互作用について明らかにする目的で実験を行った。YbMn<sub>6</sub>Ge<sub>6</sub> については, NaCl/KCl フラックス法を用いた単結晶試料の合成に成功し, 磁化率の温度変化を測定した。その結果, 磁場方向 H//c と H⊥c で異なる温度において極大(H//c : 13.5 K, H⊥c : 30 K)が観測された。この磁化率の極大は Yb モーメントの反強磁性秩序に由来し, その異方性は Yb に働く結晶電場が影響していると考えられる。

[1] W. Buchholz, H. U. Schuster, Z. Anorg. Allg. Chem. **482** (1981) 40.

[2] T. Mazet et al., J. phys. Condens. Matter **22** (2010) 116005

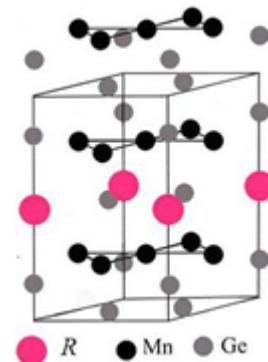


図 YbMn<sub>6</sub>Ge<sub>6</sub> の結晶構造.

### P37 フラストレート系ダブルペロブスカイト $A_2BTiF_6$ の物性

後藤 真人, 道岡 千城, 植田 浩明, 吉村 一良

京都大学 理学研究科 化学専攻 金相学研究室

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



ダブルペロブスカイト弗化物 $A_2BTiF_6$ ( $A=Cs,Rb,K$ ,  $B=Rb,K,Na$ ,  $A \neq B$ ) (図1) は, ペロブスカイトの $B$ サイトに異なる二原子が交互に配列した構造をもつ. したがって, 磁性イオンである $Ti^{3+}$ が面心立方格子を形成しており, 三次元のスピンプラストラーションの存在や, 軌道縮退に起因した現象が期待できる.

今回我々はこの系の中の5つの化合物の合成に成功した. それらは全てワイス温度が負であり, 反強磁性的な相互作用が働いていることがわかった. 特に $Rb_2NaTiF_6$ では, 磁化率に24K付近で異常があり, スピン状態の変化が示唆される. また, 低温X線回折測定により, 磁化率に異常が見られた24K付近で, 構造が変化していることが判明した.

当日は,  $Rb_2NaTiF_6$ を中心に物性の詳細を報告するとともに, 構造相転移に焦点をあて, 他のアルカリ金属の系と比較しながら, フラストレーションや軌道縮退の効果について議論する予定である.

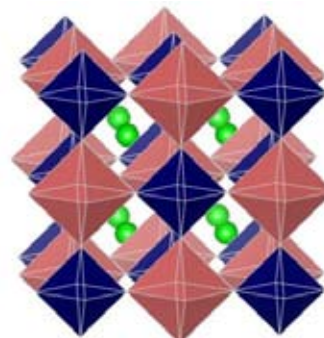


図1  $A_2BTiF_6$ の結晶構造 (青, 赤の正八面体の中心がそれぞれTiとB, 黄緑色の球はAを表す.)

### P38 $A_3Ir_4Sn_{13}$ ( $A = Ca, Sr$ )の置換効果と圧力効果

松元 卓也, 道岡 千城, 植田 浩明, 吉村 一良, 楊 金虎<sup>A</sup>, 陳 斌<sup>A</sup>,

Lina E. Klintberg<sup>B</sup>, Swee K. Goh<sup>B</sup>, F. Malte Grosche<sup>B</sup>

京都大学 理学研究科 化学専攻, 杭州教育大学<sup>A</sup>, ケンブリッジ大学<sup>B</sup>

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



$Ca_3Ir_4Sn_{13}$  は空間群  $Pm\bar{3}n$  の結晶構造をもつ, 転移温度  $T_c = 7$  K の超伝導体である[1]. 比熱測定の結果からは s 波, 強結合超伝導体であると指摘されている[2]. この物質の常伝導状態に対して, 磁化率及び電気抵抗測定を行った結果, 40 K 付近で異常が見出だされた[3]. 我々は, この物質の超伝導発現機構を詳しく調べるために, Ca サイトに対する Sr 置換効果及び外部からの圧力効果を調べた. 結果として, Ca を Sr で置換する場合, それに伴って超伝導転移温度  $T_c$  は低下していく. このことから, 化学圧力効果が超伝導発現に対して重要な役割を果たしていることがわかる. その事実をふまえて, 外部圧力効果の実験を行った.  $Ca_3Ir_4Sn_{13}$  に対して, 外部圧力  $P$  を加えると,  $P = 28$  kbar までは圧力の上昇とともに, 超伝導転移温度が上昇する.  $P = 28$  kbar の時, 転移温度  $T_c = 8.4$  K である.  $P = 28$  kbar を超えると, その後  $T_c$  は圧力の上昇とともに低くなっていく. このような振る舞いは鉄を含むオキシニクタイト化合物及び銅酸化物でも見られる現象である. NMR による物性評価についての結果などからも, 強相関系に特有な超伝導体である可能性がある. 現在, 外部圧力と置換効果の影響を比較するために,  $Ca_3Ir_4Sn_{13}$  の Ca サイトおよび Ir サイトの置換効果について, 合成, 物性, 圧力効果の研究を進行中であり, この結果についても報告する予定である.

[1] J. P. Remeika *et al.*, Solid State Commun. **34**, 923 (1980).

[2] H. Hayamizu *et al.*, Physica C. **470**, 541 (2010).

[3] J. Yang *et al.*, J. Phys Soc. Jpn. **79**, 113705 (2010).

### P39 パイロクロア弗化物 $AV_2F_6$ ( $A=Rb, Cs$ ) の物性

山田 貴大, 道岡 千城, 植田 浩明, 吉村 一良

京都大学 理学部 化学系 金相学研究室

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



近年, 三角格子やカゴメ格子などの幾何学的フラストレート系が注目されている. その中でも, 磁性イオンが形成する四面体が点共有したパイロクロア格子は強いフラストレート系であると言える.

$AV_2F_6$  は, パイロクロア酸化物  $R_2M_2O_6O'$  の Rsite が全て欠け, O'site に A カチオンが入り, O が F に置き換わった構造をとる. この構造においては V イオンのみがパイロクロア格子を形成している(図 1). また, V イオンが+2 価と+3 価の混合原子価になるため, 電荷フラストレーションも期待できる. さらに, パイロクロア弗化物は合成が困難であり物性に未知な部分が多い. これらの理由で我々は  $AV_2F_6$  に着目して研究を行っている.

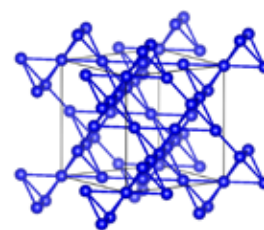


図 1. パイロクロア格子

単結晶を ACI-Flux 法で合成し, 磁化測定を行った. 低温において,  $CsV_2F_6$  は典型的な反強磁性的な振舞いを見せる一方で,  $RbV_2F_6$  には二段階の転移が見られた. また, 高温における電荷秩序・無秩序転移がわかっており, 電気伝導性の変化が予想される.

### P40 $Pb_2Re_2O_6O'$ のドーピング効果

原口祐哉, 道岡千城, 植田浩明, 吉村一良

京都大学 理学研究科 化学専攻 金相学研究室

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



$Pb_2Re_2O_6O'$  や  $Cd_2Re_2O_7$  は, 磁性や伝導性を担う Re 原子がパイロクロア格子 (図 1) を組んでおり, フラストレーション効果が期待できる. 両物質は Re 正四面体を 1 つおきに拡大と縮小するような格子の変形が伴う相転移が起こることが報告されている[1,2,3].  $Pb_2Re_2O_6O'$  は O'サイトに欠損が生じやすいことが知られており, 格子定数や Re の原子価が異なるにも関わらず 2 つの Re パイロクロアに同じ格子変形を伴う相転移が観測されていることは非常に興味深く, また,  $Pb_2Re_2O_6O'$  は  $Cd_2Re_2O_7$  と違い, 超伝導は観測されていない.

今回我々は  $Pb_2Re_2O_6O'$  に対して, O'サイトの元素置換を試みた. F で置換した試料については, 系統的な物性の変化がみられた. また,  $Pb_2Re_2O_6O'$  と  $Cd_2Re_2O_7$  の固溶系を合成し, その物性について調べた. 講演では, 元素置換による物性の変化を報告し, その効果について議論する予定である.

[1] J. Yamaura *et al.*: *J. Phys. Soc. Jpn.* **71**, 2598 (2002).

[2] K. Ohgushi *et al.*: *Physical Review B* **83**, 125103 (2011).

[3] C. Michioka *et al.*: *J. Phys.:Condens. Matter* **23**, 445602 (2011).

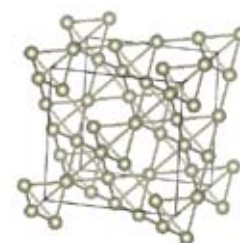


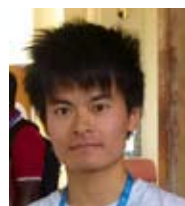
図 1 Re ネットワーク

## P41 Cu(110)におけるフェノール分子吸着状態の STM 観測

北口 雄也<sup>a</sup>, 乗本 真吾<sup>a</sup>, 羽深 智<sup>a</sup>, 八田 振一郎<sup>a</sup>, 奥山 弘<sup>a</sup>, 有賀 哲也<sup>a</sup>

<sup>a</sup>京都大学大学院 理学研究科 化学専攻

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



フェノール  $C_6H_5OH$  は OH 基を有する芳香環化合物の基本モデルとしてよく研究対象として用いられる. 本研究では Cu(110)表面にフェノールを吸着させ, STM(走査型トンネル顕微鏡)を用いて吸着構造及び物性を調べた. まず STM を用いた表面観察と HREELS(高分解能電子エネルギー損失分光)を用いた吸着物質のキャラクタリゼーションにより, 液体窒素温度においてフェノール分子は三量体として安定化し(図 1), 室温までの温度上昇に伴い OH 基の水素が脱離したフェノキシ  $C_6H_5O$  へと変化することを明らかにした. 次に単分子レベルにおいてフェノキシは 2 種類の配向を持ち(図 2), [001]方向に沿って一次元鎖を形成する様子を観測した. さらに STM マニピュレーションによって 2 種類の吸着状態を可逆的に変化させることに成功し, 探針-基盤表面間に形成される単分子接合について考察した.

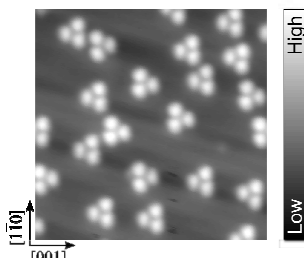


図 1 フェノール三量体の STM 像(78 K).  $V_s = 80$  mV,  $I = 0.2$  nA,  $12 \times 12$  nm<sup>2</sup>.

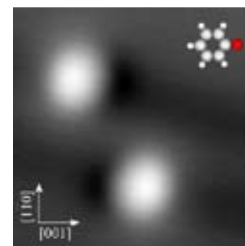


図 2 フェノキシの STM 像. 右上の挿入図はフェノキシの分子モデルを STM イメージのサイズに合わせて表記したもの.  $V_s = 30$  mV,  $I = 0.5$  nA,  $2.9 \times 2.9$  nm<sup>2</sup>.

## P42 Cu(110)表面における NO 分子間共有結合の直接観察

塩足 亮隼, 北口 雄也, 奥山 弘, 八田 振一郎, 有賀 哲也

京都大学 理学研究科 化学専攻

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



一酸化窒素 (NO) は, その価電子準位 ( $2\pi^*$  軌道) に不対電子を有する二原子分子であり, 金属表面上における NO の物性や反応は, 価電子準位の振る舞いによって決定される. 本研究では Cu(110) 表面に NO を吸着させ, 超高真空・6 K において走査トンネル顕微鏡 (STM) および走査トンネル分光 (STS) を用いて測定を行い, 単分子レベルでの NO の価電子状態の観察と制御を試みた.

40 K 以下の温度で Cu(110) 表面に吸着させた NO 単分子は, STM によってダンベル型の輝点として観察された. これは, 表面に垂直に吸着した NO の  $2\pi^*$  軌道を反映していると考えられる. さらに, 我々は STM による分子操作によって表面上にダイマー (NO)<sub>2</sub> を人工的に作成した. そのとき NO 二分子間に共有結合が形成されることによって分裂した  $2\pi^*$  の結合性軌道および反結合性軌道の形状を視覚化することに成功した(図 1).

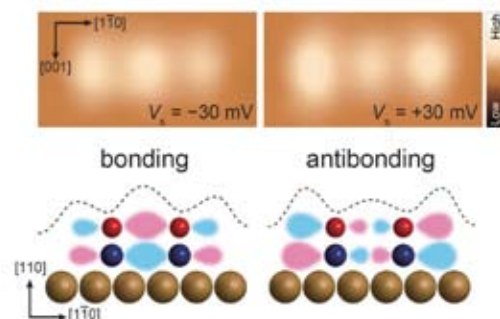


図 1 NO ダイマーの STM 像 (上段;  $2.0$  nm $\times$  $1.0$  nm) および, 真横から見た模式図 (下段). 負バイアスの像 (左) は結合性軌道, 正バイアスの像 (右) は反結合性軌道の形状を反映している.



### P43 $S=3/2$ かごめ格子反強磁性体 Cr-Jarosite の単結晶 NMR によるスピン構造の研究

西山 昌秀<sup>a</sup>, 小山田 明<sup>a</sup>, 伊藤 哲明<sup>a</sup>, 前川 覚<sup>a</sup>, 奥田 浩司<sup>b</sup>, 佐藤 博彦<sup>b</sup>  
<sup>a</sup>京大大学院人間・環境学研究科, <sup>b</sup>中央大学理工学部

E-mail : nishiyama.masahide.2r@kyoto-u.ac.jp

スピン  $3/2$  の  $\text{Cr}^{3+}$  が歪みのないかごめ格子を組み反強磁性結合をした Cr ジャロサイト  $\text{KCr}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$  はフラストレート磁性体として興味深い。我々は粉末試料の中性子回折実験から  $T_N = 4.2\text{K}$  以下で秩序化し, かごめ面からスピンの約  $1$  度立ち上がった  $q=0$  型  $120$  度構造をとり, 弱強磁性的な振る舞いをするを明らかにした。しかし, 面内でのスピン回転自由度が残り, また, カイラリティの縮退が残っている。低温での詳細なスピン構造を解明するため, 良質な単結晶を用いた  $^1\text{H-NMR}$  を行った。秩序相ではかごめ面に垂直に磁場をかけた場合, スペクトルは広がらないが, かごめ面内に磁場をかけた場合は図 1 のように, 単結晶であるにもかかわらず  $8\text{ kOe}$  程幅の広がったスペクトルと角度依存するいくつかのピークの重ね合わせが観測された。 $^1\text{H}$  の化学的サイトは 1 種類で, かごめ面内に磁場をかけると磁気サイトは 3 種類になるはずであるにもかかわらず, 少なくとも 6 本のピークが観測されている。これはスピンのほぼ面内に存在し, かごめ面内で様々な角度を持って分布している部分と周期的に存在する部分が共存し, 2 種類のカイラリティが存在する可能性を示唆している。

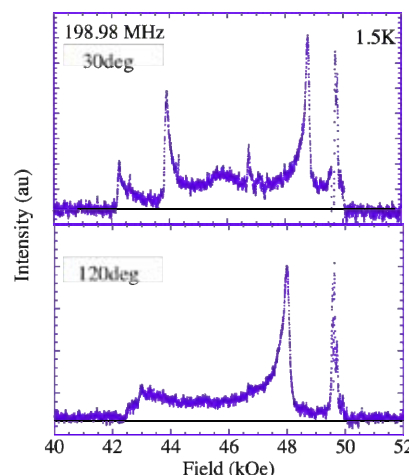


図 1 図かごめ面内 NMR スペクトル

### P44 パイロクロア格子フラストレート磁性体 $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ の NMR による研究

佐藤 衆一<sup>a</sup>, 小山田 明<sup>a</sup>, 西山 昌秀<sup>a</sup>, 伊藤 哲明<sup>a</sup>, 前川 覚<sup>a</sup>, 萩原 雅人<sup>b</sup>, 鄭 旭光<sup>b</sup>, 高橋 弘樹<sup>a</sup>, 大井 修吾<sup>a</sup>, 小木 曾哲<sup>a</sup>

<sup>a</sup>京大人環, <sup>b</sup>佐賀大理工

E-mail : manochori@baka.mbox.media.kyoto-u.ac.jp

$\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$  は,  $s = 1/2$  の磁性イオンである  $\text{Cu}^{2+}$  が四面体の頂点に位置し, その頂点を共有して結合したパイロクロア格子磁性体であり, ワイス温度が  $\theta = -190\text{ K}$  で, 反強磁性相互作用が支配的な量子スピン 3 次元フラストレート磁性体である。この物質は  $18.1\text{ K}$  と  $6.2\text{ K}$  で逐次相転移するが, 中間相への転移点  $18.1\text{ K}$  における比熱や磁化率の変化は非常に小さい。何故逐次的に相転移をするのか, また各相がどのようなスピン状態であり, それらに量子性がどのように寄与しているか興味を持たれる。

図 1 は我々の行った単結晶試料における各温度領域の  $^1\text{H-NMR}$  スペクトルである。スペクトルは中間相で複雑なピーク構造を持つ。このことは, 中間相の中性子回折で磁気ブラッグピークが観測されなかったという実験結果に反し, 試料内に周期的なスピン配列が発生していることを示している。さらに中間相から低温相にかけてピークは  $^1\text{H}$  の化学的サイトに対応する 3 本に集約し, 温度降下と共に短周期の磁気構造に再配列していることが分かる。

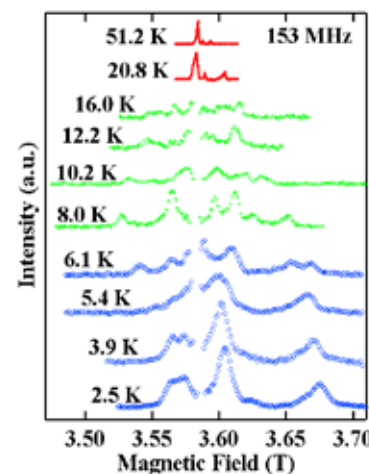


図 1 単結晶  $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$   $^1\text{H-NMR}$  スペクトル

## P45 スピンギャップ系かごめ格子反強磁性体 $\text{Rb}_2\text{Cu}_3\text{SnF}_{12}$ における磁場誘起スタグガードモーメント

田代 大志<sup>a</sup>, 西山 昌秀<sup>a</sup>, 小山田 明<sup>a</sup>, 伊藤 哲明<sup>a</sup>, 前川 覚<sup>a</sup>,  
矢野 みどり<sup>b</sup>, 小野 俊雄<sup>b</sup>, 田中 秀数<sup>b</sup>

<sup>a</sup>京都大学 人間・環境学研究科 <sup>b</sup>東京工業大学 理工学研究科

E-mail : tashiro.hiroshi.23w@st.kyoto-u.ac.jp



$\text{Rb}_2\text{Cu}_3\text{SnF}_{12}$  は  $s = 1/2$  の磁性イオン  $\text{Cu}^{2+}$  が反強磁性的に結合したかごめ格子反強磁性体であり,  $J_1 \approx 200 \text{ K} > J_2 > J_3 > J_4 \approx 100 \text{ K}$  の 4 種の最近接交換相互作用を持つ[1]. この系の基底状態はシングレットであり, 風車形 VBS 状態が提案されている[2]. また, かごめ格子はスピンサイト間に反転対称中心を持たないため, 反対称で異方的な相互作用である Dzyaloshinskii-Moriya 相互作用が顕在化する可能性がある. トリプレット励起状態との間に 20 K のギャップが存在するため, 磁化率は低温で急激に減少する[1]. 我々は  $^{19}\text{F}$ -NMR スペクトルから, 低温で急激に増大し磁化率に比例しない内部磁場の存在を見出し, 磁場誘起のスタグガードな横磁化の発生を明らかにした. スピンギャップ系における磁場誘起のスタグガードな横磁化は異方的な相互作用によってシングレット基底状態とトリプレット励起状態が混成することで発生する. このような横磁化はこれまで基底状態がシングレットの直積で書かれるような系で見られてきたが, 我々は基底状態が単純なシングレットの積で書くことはできない風車形 VBS 状態においてもこのような横磁化が発生することを実験的に明らかにした.

[1] K. Morita *et al.*: J. Phys. Soc. Jpn. **77** (2008) 043707.

[2] B.-J. Yang and Y. B. Kim: Phys. Rev. B **79** (2009) 224417.

## P46 量子スピン XY 型三角格子反強磁性体 $\text{CeZn}_3\text{P}_3$ における磁気相図

大前陽一<sup>a</sup>, 小山田明<sup>a</sup>, 西山昌秀<sup>a</sup>, 伊藤哲明<sup>a</sup>, 前川覚<sup>a</sup>, 松田沙織<sup>b</sup>,  
原克哉<sup>b</sup>, 落合明<sup>b</sup>

<sup>a</sup>京都大学人間・環境学研究科, <sup>b</sup>東北大学 理学研究科

E-mail : y.omaie@ax8.ecs.kyoto-u.ac.jp



XY 型積層三角格子反強磁性体系では, そのフラストレート性を反映して秩序変数空間が  $\text{Z}_2 \times \text{SO}(2)$  の対称性を持っている. しかし, この秩序変数が新しいユニバーサリティクラスをもたらすか, または弱い一次転移であるかは明確な結論は得られていない. 一方, 秩序相での磁場誘起相転移において新奇な磁気構造が理論的に予想されている. ゼロ磁場では XY 型異方性により  $120^\circ$  構造をとるが, 強い量子性が存在する場合, 有限磁場下においてどういった磁気構造が生じるのかは興味深い問題である. 本研究ではこれらの問題を解決すべく, Ce スピンが有効スピン  $1/2$  を持つ XY 型三角格子反強磁性体の初めてのモデル物質である  $\text{CeZn}_3\text{P}_3$  を用いて  $^{31}\text{P}$ -NMR 実験を行った.

スピン-格子緩和率  $1/T_1$  の温度依存性の測定により,  $t = |T - T_c| / T_c > 2.5 \times 10^{-2}$  まで二次転移的な臨界発散が観測された. また, 三角格子面垂直に磁場をかけた場合の秩序相の磁気構造を NMR スペクトルから決定した. 低磁場相では, 非常に強い XY 型異方性によりキャンテッドがほぼ無い  $120^\circ$  構造が選ばれることが分かった. 高磁場相では, 強い XY 型異方性があるにも関わらず, 不整合な uud キャンテッド構造が実現されており, 量子揺らぎが磁気構造に強い影響を与えていることを明らかにした. また, Ce 原子の磁気モーメントの大きさはおよそ  $0.33\mu_B$  以下であることも見積もられた.

## P47 (Me<sub>4</sub>Sb)<sub>x</sub>(EtMe<sub>3</sub>Sb)<sub>1-x</sub>[Pd(dmit)<sub>2</sub>]<sub>2</sub> 混晶系の <sup>13</sup>C-NMR

渡辺 恵里<sup>a</sup>, 伊藤 哲明<sup>a</sup>, 西山 昌秀<sup>a</sup>, 小山田 明<sup>a</sup>, 前川 覚<sup>a</sup>,  
久保 和也<sup>b</sup>, 加藤 礼三<sup>c</sup>

<sup>a</sup>京都大学 人間・環境学研究科 相関環境学専攻

<sup>b</sup>北海道大学 電子科学研究所 <sup>c</sup>理化学研究所

E-mail : watanabe.eri.33u@st.kyoto-u.ac.jp



二次元三角格子スピン 1/2 有機混晶塩(Me<sub>4</sub>Sb)<sub>x</sub>(EtMe<sub>3</sub>Sb)<sub>1-x</sub>[Pd(dmit)<sub>2</sub>]<sub>2</sub> は Pd(dmit)<sub>2</sub> が組んだダイマー[Pd(dmit)<sub>2</sub>]<sub>2</sub> 上に局在スピンの存在する Mott 絶縁体である。三角格子を組むダイマー間の移動積分は三辺で大きさが異なるため不等辺三角形を形成している。x = 1 の塩は移動積分の値の違いが大きく、16K で反強磁性秩序を示し、x = 0 は正三角形に近いため量子スピン液体状態が実現する。したがって混晶比を変化させることで、フラストレーション効果を系統的に制御することができ、量子スピン液体から反強磁性秩序状態まで連続的に基底状態を変化させることができると期待される。

量子スピン液体状態と反強磁性秩序状態の境界となる量子臨界点の混晶比、並びに混晶塩の相図を確定させるため、x = 0.86 と x = 0.64 の混晶塩の単結晶試料集合体について 300K から 1.4K までのスピン-格子緩和率 T<sub>1</sub><sup>-1</sup> と NMR スペクトルの温度依存性を調べた結果、x = 0.86 の塩は約 6K で反強磁性秩序を示すことがわかり、x = 0.64 については少なくとも 1.4K まで磁気秩序は見られなかった。このことから量子スピン液体状態が比較的広い領域で実現し、また、x = 0.64 塩は量子臨界点近傍に位置する可能性が高いことがわかった。

## P48 XY 型 5f 電子系三角格子反強磁性体 UNi<sub>4</sub>B の新奇秩序状態

猪原崇生<sup>A</sup>, 小山田明<sup>A</sup>, 西山昌秀<sup>A</sup>, 伊藤哲明<sup>A</sup>, 前川覚<sup>A</sup>, 李徳新<sup>B</sup>,  
芳賀芳範<sup>C</sup>

<sup>A</sup>京都大学 人間・環境学研究科 相関環境学専攻

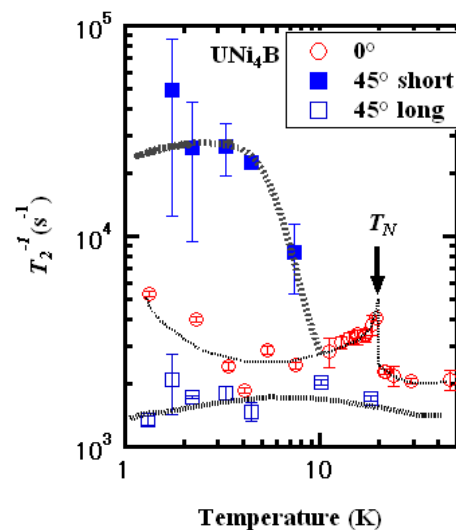
<sup>B</sup>東北大金研, <sup>C</sup>原子力機構

E-mail : inohara.takao.54x@st.kyoto-u.ac.jp



5f 電子系三角格子反強磁性体 UNi<sub>4</sub>B は、磁性イオンである U<sup>3+</sup>が三角格子を形成するフラストレート磁性体であり、強い容易面型の磁気異方性を持っている。転移温度 T<sub>N</sub> = 20K 以下での磁気構造は、三角面上で U モーメントの 2/3 が渦状に秩序化し、残りの 1/3 が渦の中央で常磁性状態のまま存在することが中性子回折により明らかにされている。T<sub>N</sub> 以下での磁気抵抗の温度変化から、さらに 4K 以下で新たな相が存在するといわれているが、比熱の異常はなく、相転移があるとは考えられない。

今回、二軸回転装置を用いて 50K 以下で単結晶 <sup>11</sup>B-NMR の測定を行った。図 1 にスピン-スピン緩和率 1/T<sub>2</sub> の温度変化を示す。困難軸と外部磁場方向の角度 θ とし、θ = 45° における実験結果から T<sub>N</sub> 以下でも残っている非常に遅いスピン揺らぎが、10K 以下で kHz オーダーよりも遅くなっていくことが示唆される。



## P49 $M_3Al_2TC$ ( $M=Nb, Ta, T=Cr, Mn, Fe, Co$ )の磁性

京大院工：平松良朗，和氣剛，田畑吉計，中村裕之

Email:y.hiramatsu@hy5.ecs.kyoto-u.co.jp

遍歴電子磁性体  $Y(Sc)Mn_2$ ,  $LiV_2O_4$ ,  $\beta$ -Mn では 4f 原子を含まないにもかかわらず重い電子状態が見いだされている。これらの物質は共通して幾何学フラストレーションを想起させるような構造を有しており，重い電子状態と構造との関連性が議論されている[1]。しかし対象となる物質が少ないため理解が進んでいるとはいえず，より深い理解のため 3d 原子が磁性を伴う同様の現象を示す物質を多く探索することが必要である。

本研究では，幾何学的フラストレーションを有する遍歴電子磁性体を探索するため四元系  $\eta$ -カーバイド型化合物  $M_3Al_2TC$  ( $M=Nb, Ta, T=Cr, Mn, Fe, Co$ )に着目して，その磁性研究を行った。この物質の構造は，空間群が Fd-3m で M が 48f, Al が 32e, T が 16d, C が 16c を占める。ここで，磁性を担うと期待される T 原子がパイロクロア格子を形成している。

我々はこれまでに，上記の幾つかの組み合わせについて  $\eta$ -カーバイドを主相とする試料の合成に成功しており  $M=Nb, T=Cr$  では  $T_c=170K$  付近で強磁性転移することを明らかにした。当日は，その他の化合物についても磁化率及び電気抵抗などの基本的な物性を報告する。



## P50 反強磁性体への磁場勾配の印加によるスピン流の誘起と検出

栗山 公威，田畑吉計，和氣 剛，中村 裕之，山田 広信

<sup>a</sup> 京都大学 工学研究科 材料工学専攻 磁性物理学研究室

<sup>b</sup> 京都大学 低温物質科学研究センター

E-mail : kuriyama.kimitake@hy3.ecs.kyoto-u.ac.jp

ここ数年，固体中のスピン角運動量の流れとして，スピン流という概念が確立されつつあるが，スピントロニクス分野におけるその応用可能性は高く，例として微小デバイスにおける新たな情報伝達の手段などが考えられている。スピン流の基礎物理の理解や，それを利用した応用技術の開発のためには，効率の良いスピン流の生成方法および検出方法の確立が必要不可欠である。これまで，スピン流の生成のためには，金属や半導体中で電流を(それに垂直な方向に流れる)スピン流に変換するスピンホール効果[1]や，温度勾配によりスピン流を誘起するスピnzeーベック効果[2]等が利用されてきた。

我々は，スピン流の生成方法として磁場勾配に着目し，研究を行ってきた。スピン流にとっての磁場勾配は，電流にとっての電場と同じ役割を果たすものであり，絶縁体にも適用可能な方法である。これまでに試料として磁性絶縁体である  $CuB_2O_4$  を用いて，スピnzeーベック効果の逆効果により生じる温度差を測定するという方法を用いて磁場勾配誘起スピン流の検出を試み，実際に温度差の観測に成功した[4]。しかし， $CuB_2O_4$  はその磁気特性が複雑であるため，観測された温度差が磁場勾配誘起スピン流によるものかどうかについて疑問の余地の残る結果であった。

今回はより単純な反強磁性体である  $MnF_2$  を使って，磁場勾配誘起スピン流の観測を試みる。

[1] T. Kimura et al., Phys. Rev. Lett. 98, 156601 (2007).

[2] K. Uchida et al., Nature 455, 778(2008).; K. Uchida et al., Nature Mater. 9, 894 (2010).

[3] H. Adachi et al., Appl. Phys. Lett. 97, 252506 (2010).

[4] 高橋 顯 他，日本物理学会 2010年秋季大会 25aPS-24



## P51 フリーズドライ法を用いた精子保存法の開発

金子 武人, 芹川 忠夫

京都大学 大学院医学研究科 附属動物実験施設

E-mail : tkaneko@anim.med.kyoto-u.ac.jp



フリーズドライ（真空凍結乾燥）法は、インスタントコーヒーや宇宙食などの食品あるいは医薬品の長期保存に汎用されている技術である。哺乳類の精子保存には、液体窒素が不可欠であるが、フリーズドライ法を精子保存に応用した場合、精子は冷蔵庫（4℃）で保存することが可能となり、管理の簡易化・経費節減が期待される。現在、我々はマウス・ラットにおけるフリーズドライ精子保存法の実用化を目指した開発を行っている。これまでに、4℃で3年間を越える長期保存および常温による国際輸送後の精子から産子の作製に成功している。一般的に研究用サンプルの長期保存は、液体窒素やディープフリーザーの利用が常識であったが、近年では震災・災害により長期停電や液体窒素の供給が途絶えたために、その全てを失う事例が確認されている。超低温で保存された精子はこのような温度変化に極めて繊細であり、今後フリーズドライ精子保存法を資源保存へ応用する重要性が高くなっている。また現在、実験動物としてのマウス・ラットにおいては、新規系統開発技術の向上により、急速な系統数の増加が顕著である。演者の所属機関では、このような開発された新規系統を「収集・保存・提供」するナショナルバイオリソースプロジェクト事業を行っており、その中で遺伝資源の効率的保存法の確立が急務の課題となっている。フリーズドライ精子保存法の実用化は、マウス・ラット遺伝資源を効率的かつ安全・簡易に保存することが可能な新規精子保存法として期待される。



図1 フリーズドライ精子とフリーズドライ精子から得られたマウス

## P52 南極由来の低温適応細菌の低温環境適応戦略

川本 純<sup>a</sup>, 佐藤 智<sup>b</sup>, 栗原 達夫<sup>a</sup>

<sup>a</sup>京都大学 化学研究所 分子微生物科学

<sup>b</sup>京都大学 低温物質科学研究センター

E-mail : jun\_k@mbc.kuicr.kyoto-u.ac.jp



高地や極地、深海のような低温環境は、地球上の生物圏の 80% を占める代表的な極限環境である。微生物の中には、このような低温環境を好む低温菌と呼ばれる微生物群が存在する。常温を好む生物に比べて圧倒的に広大な生育可能域を獲得した低温菌の環境適応機構の解明を目指し、0℃付近で生育可能な南極海水由来の低温菌 *Shewanella livingstonensis* Ac10 を用いた。本菌が低温誘導的に多価長鎖不飽和脂肪酸の1種であるエイコサペンタエン酸 (EPA) を生産する。EPA やドコサヘキサエン酸 (DHA) は、脳卒中や動脈硬化症などの血管性疾患を抑制する効果を有する生理機能性脂肪酸として注目されている。生体膜における多価長鎖不飽和脂肪酸の生理的役割や機能発現機構の詳細は不明である。本菌の EPA 生合成遺伝子を破壊した EPA 欠損株 ( $\Delta$ EPA) は、低温での生育速度の低下や伸長した細胞の形成、異常な細胞内多重膜構造が発達することから、本菌において EPA は低温での細胞分裂に関与するタンパク質の機能発現に関与していることが示唆された。グラム陰性菌の細胞分裂における新規の細胞膜成分の輸送や、ペリプラズム領域におけるペプチドグリカン層の制御に関与している ABC 輸送体ホモログ FtsEX を  $\Delta$ EPA に高発現させたとき、EPA の欠損を抑制することがわかった。また、FtsEX の細胞膜局在性は EPA の存在に依存することがわかった。

### P53 Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> 薄膜の量子輸送効果

松尾貞茂<sup>a</sup>, 小山知弘<sup>a</sup>, 島村一利<sup>a</sup>, 荒川智紀<sup>a</sup>, 西原禎孝<sup>a</sup>, 千葉大地<sup>a</sup>,  
小林研介<sup>a</sup>, 小野輝男<sup>a</sup>, Cui-Zu Chang<sup>b</sup>, Ke He<sup>b</sup>, Xu-Cun Ma<sup>b</sup>, Qi-Kun Xue<sup>b</sup>

<sup>a</sup> 京都大学 化学研究所 ナノスピントロニクス分科

<sup>b</sup> Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences

E-mail : smatsuo@scl.kyoto-u.ac.jp



3次元トポロジカル絶縁体では、バルクがバンドギャップを持つ絶縁体になっているにもかかわらず、表面にはスピン偏極したディラック電子を持つという特徴を有する物質である。近年この3次元トポロジカル絶縁体での新奇な量子現象の提案が多数行われており、注目が集まっている。

3次元トポロジカル絶縁体のひとつであるBi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>では、強いスピン軌道相互作用に起因した量子干渉効果である弱反局在(WAL)効果が報告されている。また、いくつかのグループはマクロなサイズの試料における磁気抵抗の振動を報告している。

本研究ではBi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>薄膜を微細なホールバー型に加工した試料の輸送特性の測定結果を報告する。図1に作製した試料の磁気抵抗を示す。弱反局在効果と磁気抵抗の振動が観測された。この磁気抵抗振動を普遍的伝導度揺らぎ(UCF)として解析して求めたコヒーレンス長と、弱反局在効果から求めたコヒーレンス長を比較した結果、互いに似通った値をとることがわかった。

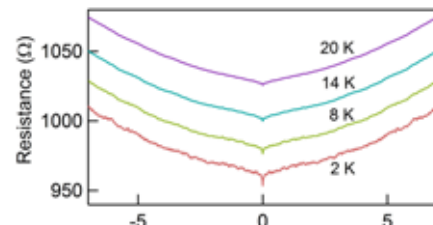


図1. 抵抗の磁場依存性. 抵抗値が磁場に対して振動している。

### P54 InGaAs 二次元電子系に作製した量子細線における電流揺らぎ測定

西原 禎孝<sup>a</sup>, 中村 秀司<sup>a</sup>, 知田 健作<sup>a</sup>, 荒川 智紀<sup>a</sup>,  
小林 研介<sup>a</sup>, 小野 輝男<sup>a</sup>, 好田 誠<sup>b</sup>, 新田 淳作<sup>b</sup>

<sup>a</sup> 京都大学 化学研究所 ナノスピントロニクス分科

<sup>b</sup> 東北大学大学院 工学研究科 知能デバイス材料学専攻

E-mail : nisihara@scl.kyoto-u.ac.jp



今日の高度情報化社会の発展は、半導体素子の高性能化によって成し遂げられてきた。現在では、半導体に代わる新たな固体素子の開発が様々な分野で盛んに行われるようになってきている。それらは既存の半導体素子とは異なる取り扱いが必要であるため、伝導度測定のような従来の手法だけでは、そこで生じている物理現象を詳細に理解するには不十分である。そこで新たなプローブとして電流の時間的な揺らぎが注目されるようになった。

本研究はこの電流揺らぎを応用して、伝導電子のスピン分極率の見積もりを行った。スピントロニクス分野において、スピンの偏極状態を正確に把握することは必要不可欠であり、多くの場合、磁性体を用いた測定が行われている。しかし、スピン軌道相互作用が強く働く素子において、磁性体を用いる手法は適用できない。そこで本研究では、InGaAs基板上に作製した量子細線において発生する電流揺らぎを測定し、伝導電子のダイナミクスからスピン分極率の見積もりを行った。

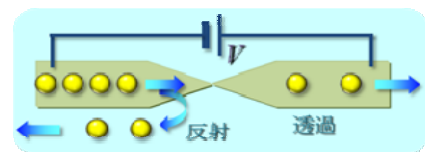


図1 導体において、障壁に入射した電子一つ一つが透過するか、反射するかといった情報が電流揺らぎに含まれている。

## P55 超伝導送配電システムの熱侵入低減とペルチェ電流リード

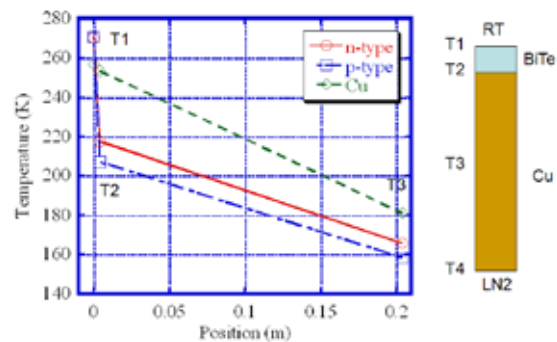
河原敏男<sup>a</sup>, 渡邊裕文<sup>a</sup>, 浜辺誠<sup>a</sup>, 孫建<sup>a</sup>, イワノフユウリ<sup>a</sup>, 山口作太郎<sup>a</sup>

<sup>a</sup>中部大学 超伝導・持続可能エネルギー研究センター

E-mail : toshi@isc.chubu.ac.jp



現在の人類が直面する課題に化石エネルギーの枯渇と地球温暖化があり、低炭素社会構築が緊急の課題となっている。超伝導による送配電技術は、自然エネルギーを有効活用する柔軟で堅牢なグリッド構築の基盤技術となるものであり実用化が強く求められている。超伝導応用システムでは、低温工学の観点から見ると冷却コストを下げるため、熱侵入を下げて冷凍機のパワーを低減すると共に循環ポンプのパワーを低減することが重要である。熱侵入として、管路での輻射と端末での熱伝導が主な原因である。超伝導送配電システムでは、短距離応用から規模拡大を図っていくことで自然に導入が進むため、短距離・多端子で寄与の大きい端末熱侵入低減が大きな課題であり、熱電材料を用いたペルチェ電流リード(PCL)の研究開発を行っている。本発表では、200 m級超伝導直流送配電システムの冷却試験時に電流リードを運用した実験結果について述べる。図に冷却試験中の電流リード上での温度分布を示すが、運用温度差が大きく大電流が流れる送配電応用では、熱電材料の不均一性等も含めて形状・運用電流を決めていくことで端末熱侵入低減効果が最大限に活用できる。



図：冷却試験中の電流リード上の温度分布