

L01 高温超伝導誘導モータの不思議な回転現象

中村 武恒

京都大学 工学研究科 電気工学専攻

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

モータとは、一口に言えば電気エネルギーを機械エネルギーに変換して仕事をさせる電気機器である。機械的運動としては、回転運動や直線運動など様々であるが、本講演では回転機としてのモータを扱う。モータとして最も汎用的に使用されているのはかご型誘導モータであり、分数馬力モータから鉄道車両用主電動機に至るまで幅広く使われている。本研究は、どこにでも転がっている一般的誘導モータの 2 次巻線を高温超伝導化しようという素朴な発想に基づくものである。しかしながら、以下に説明するように、巻線を単純に超伝導化するだけで大きな高機能化が発現することが分かってきた。

図 1 は、かご型誘導モータの 2 次側かご型巻線を模式的に示したものである。同図中、ロータバーは回転子鉄心中に収められており、それをエンドリングで短絡してある。一次巻線によって発生する回転磁束がロータバーに鎖交することによって誘導電流が流れ、トルクが発生する。つまり、誘導電流が流れるためには、上記かご型巻線の回転速度は一次側回転磁界速度より必ず“ 速る ” 必要があり、原理上同じ (同期) 速度では回転できないモータである。

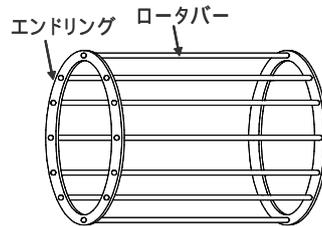


図 1 : 2 次側かご型巻線の模式図

ところが、図 2 のようにかご型巻線を超伝導化することにより、ある条件下で抵抗ゼロの永久電流が流れ、鎖交磁束が捕捉されると考えられる。その結果、かご型巻線が永久磁石のように振る舞い、誘導モータでありながら同期回転可能になると期待される¹⁾。そこで、市販の 3 相 4 極誘導モータの 2 次側かご型巻線をピスマス系高温超伝導テープ材で作製し、試験を行った。一例として、液化窒素大気圧沸点 (77.3 K) における無負荷試験結果を図 3 に示すが、入力電圧 49 V 付近で見事に同期回転数 (1800 rpm) に達している²⁾。また、電圧上昇時と下降時でヒステリシス特性を有しているが、このことは真にかご型巻線に磁束が捕捉されている証拠と考えている。講演では、このメカニズムの詳細と期待される応用をお話する。

1) G. Morita, T. Nakamura et al, in review

2) T. Nakamura et al., IEEE Trans. Appl. Supercond., accepted; 中村 他, 2006 年電気学会全国大会

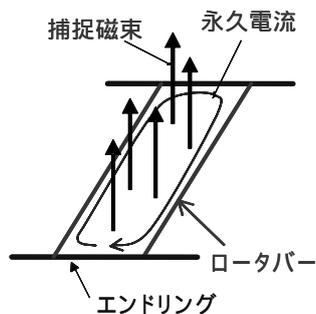


図 2 : 超伝導かご型巻線ループ (1 ループ分) に磁束が捕捉された様子の概念図

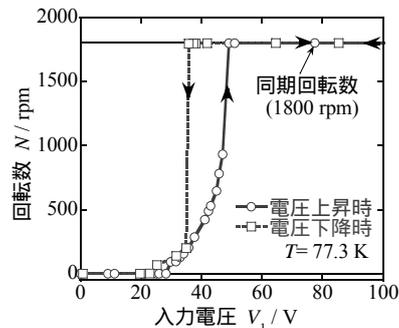


図 3 : 高温超伝導かご型誘導モータの無負荷試験結果 (運転温度 : 77.3 K)

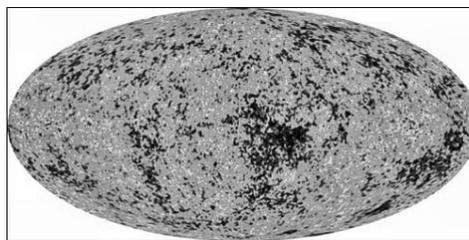
L02 宇宙を満たす冷たい素粒子を地上低温実験で探す。

舟橋 春彦

京都大学 理学研究科 物理学宇宙物理学専攻 物理学第2分野

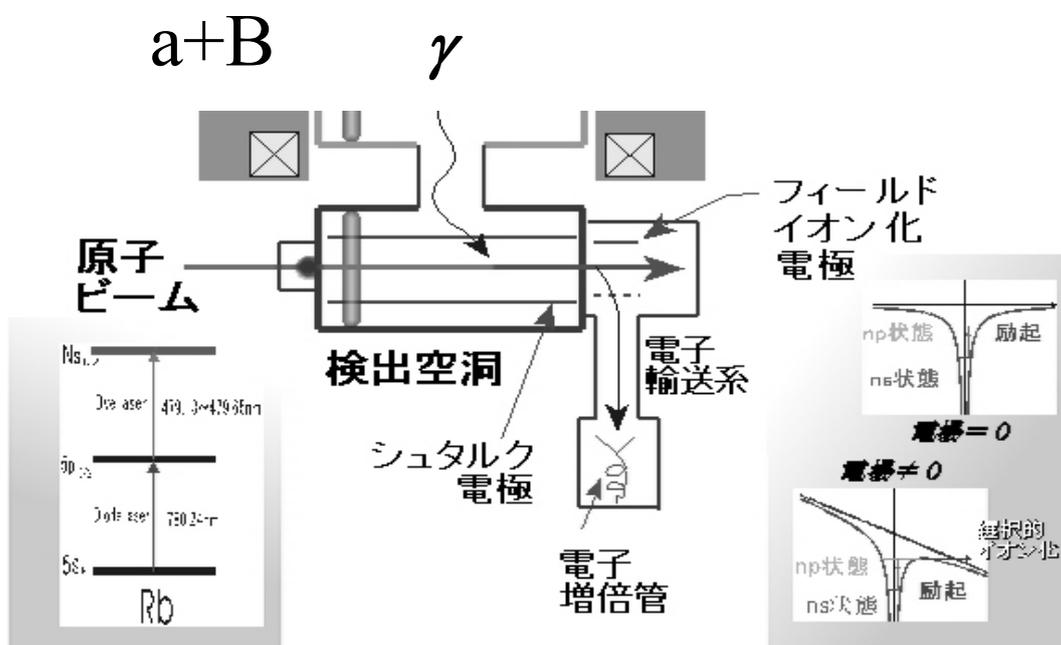
E-mail : hal@nh.scphys.kyoto-u.ac.jp

最新の観測結果に基づく宇宙論によると、宇宙にはその質量密度の23%をも担う“ダークマター”と呼ばれる正体不明の物質が存在することが分かってきた。ダークマターの最有力候補のひとつとして時間反転対称性に関わる未発見の素粒子“アクシオン”が挙げられる。リドベルグ原子を用いた高感度検出装置でダークマターアクシオンを探索する。ダークマターの正体を明らかにすることは、素粒子物理・宇宙物理の最重要課題である。



これまで化学研究所において研究を推進してきたアクシオン探索装置 CARRACK を低温物質科学研究センター隣にこの春完成する新実験棟へ移設する。全学共同利用の低温物質科学研究センターを核に新しい研究チームを形成し、アクシオン探索を行うとともに低温環境下での表面物性科学や空洞量子電磁気学の実験的研究も展開する。これはリドベルグ原子を微弱電場測定やマイクロ波の単一光子検出に応用するものである。

さて、「宇宙」や「素粒子」がどう「低温」に関わるのか？ 本講演では、アクシオンの存否とその探索のアイデアに興味を持って頂けるよう、平易な説明を試みる。



CARRACKの単一マイクロ波光子検出部の概念図

アクシオン a は磁場中 B で光子 γ に転換すると考えられている（プリマコフ効果）。プリマコフ転換光子はアクシオン質量に等しいエネルギーを持つ。このマイクロ波領域の光子をリドベルグ原子によって単一光子感度で検出する。

L03 低温科学の楽しみ方: 京都大学の低温科学の歴史と発展

水崎 隆雄

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

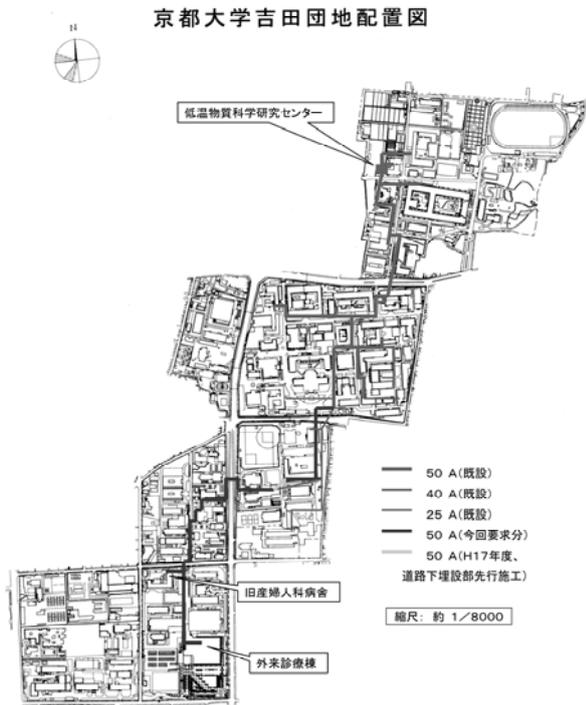
低温物質科学研究センター長

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

京都大学に低温科学の研究のためのヘリウムと窒素の液化機の設置と寒剤供給施設ができたのは1963年である。以来、幾多の改革をえて、2002年に理学部附属施設機器分析センターを合わせて、新たに研究部門を加えて、低温物質科学研究センターが発足した。

ヘリウムは1908年にオランダのライデン大学のカメラリン・オンネスによって液化された。

この年をもって低温物理学の元年としており、今からほぼ100年前になる。その間、低温科学は低温工学や物理学にとどまらず、農学、薬学、医学の分野に応用され、学際領域は広がり、2003年度のノーベル賞を例にとると、物理学賞が超伝導、ヘリウム-3の超流動理論、化学賞がアクアポリン膜の水チャンネルの研究で本学の藤吉教授が開発した極低温電子顕微鏡が極めて重要な寄与をしたと聞いている。また、医学賞は医学の診断には欠かせないものになっているMRIであるが、MRIの実用化にとって高性能の超伝導磁石の開発なくしては実現し得なかったであろう。21世紀の最先端科学にとって低温科学は極めて重要な役割を果たすものと思われる。



講演では、世界の低温科学の流れの中の京都大学の低温科学の発展の歴史と現状を述べ、低温物質科学研究センターの今後の展望を述べる。

平成19年度特別教育研究経費要求資料 低温物質科学研究センター

低温科学による最先端技術の開発と新領域創成

P01 $S=1/2$ 二次元正方格子磁性体(CuCl)LaNb₂O₇及びその関連物質の磁性

大場 紀章、北野太郎、安田淳、馬場洋一、陰山洋、網代芳民、吉村一良、西正和^A、

廣田和馬^A、東正樹^B、齋藤高志^B、金道浩一^A、鳴海康雄^A、萩原政幸^C

京大院理、東大物性研^A、京大化研^B、阪大極限^C

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

イオン交換反応は、もとの物質の構造を残したまま、定比で目的のイオンを入れ替える事が出来るため、とても柔軟な物質開発が可能である。しかし、物性研究においてあまり注目されて来なかった。最近、我々は強いフラストレーションが期待される二次元正方格子を持つ層状ペロブスカイト(CuCl)LaNb₂O₇をイオン交換法を用いて合成し、磁化率、強磁場磁化過程、比熱、中性子非弾性散乱などによって励起ギャップが見出され、興味を呼んでいる[1,2]。しかし、測定手段によってギャップの大きさの評価が異なるなど、その起源はまだ不明である。そこで我々は、この物質と同じ構造を持つ(CuBr)LaNb₂O₇、およびこれらの全率固溶体(CuCl_{1-x}Br_x)LaNb₂O₇(0 < x < 1)を合成し、その物性測定を行った。非常に興味深いことに(CuBr)LaNb₂O₇の磁化率は(CuCl)LaNb₂O₇のそれと異なりギャップレシ的な振る舞いをする。中性子回折の結果、その磁気構造はあまり例のないcollinear型であることが示された[3]。

[1]H. Kageyama *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn., 74 (2005) 1702.

[2]H. Kageyama *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn., 74 (2005) 3155.

[3]N. Oba *et al.* 投稿予定

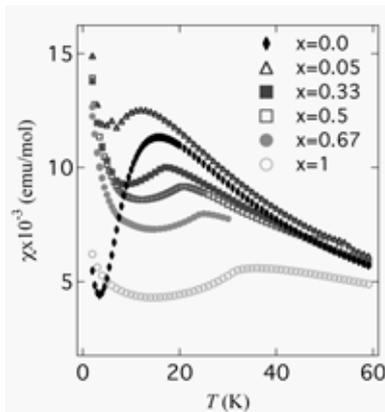


図 (CuCl_{1-x}Br_x)LaNb₂O₇ の磁化率

P02 量子臨界性を持つメタ磁性遍歴酸化物Sr₃Ru₂O₇の¹⁷O-NMR

北川 健太郎^a、石田 憲二^a、R. S. Perry^{a,b}、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

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

層状ペロブスカイト型酸化物Sr₃Ru₂O₇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。印加磁場の方向によってその1次相転移の臨界温度が約1Kから0Kに変化する。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¹⁷O(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は試料内部の磁気状態を静的情報(ナイトシフト/スペクトラム)と動的情報(緩和率1/T₁)の2面から調べる事のできる測定手段である。NMRの測定により、c軸方向の磁場印加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²、反面、[100]方向の磁場印加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た。

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

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

P03 二次元偏極原子状水素の直接観測のためのミリ波ヘテロダイン ESR 分光器の開発

三木貴博^a, 松原 明^b, 福田 昭^b, 水崎隆雄^{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 低温物質科学研究センター

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

偏極原子状水素(以下H と略す)とは、超低温・高磁場下で電子スピンを偏極させて安定化した水素原子のことである。本研究における二次元H とは、超流動⁴He液面上に吸着されたH を指す。H は低温で大きな量子効果を現す永久気体であり、その二次元系ではKosterlitz-Thouless転移と呼ばれる二次元超流動転移を起こす事が期待されている。我々のグループは、二次元H のESR信号を直接観測し、二次元超流動密度やESR信号の線幅の変化を通じて、この転移を直接検証することを目指している。これまでは、磁場の不均一に起因する広い線幅と、感度不足のため二次元H のESR信号を直接観測するには至っていない。感度に関しては 120GHz近傍のミリ波受信機として低温部でジョセフソン素子を用いたSISミキサーを使用し、高感度に成功している。今回我々はミラー型共振器の曲率半径を小型にすることで三次元H のESR信号の線幅を 3.2Gaussから 0.055Gaussにまで細くすることが出来た。これは二次元H の信号を観測するには十分な線幅である。また線幅が細くなったことで、今までは見る事の出来なかった固体水素中の原子状水素の信号と思われるピークを発見したので、これらのことについて発表する。

P04 偏極原子状水素とヘリウム液面電子共存系におけるエッジマグネトプラズモンの観測

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

我々の実験の目的は、液面電子を使って二次元偏極原子状水素を検出することである。そのために、電子と原子状水素の共存系をヘリウム液面上に作り、液面電子のエッジマグネトプラズモン(EMP) という電子密度の揺らぎのモードの周波数と減衰を調べた。共存系は、先に用意した液面電子系に一定の割合で水素を供給し続けることによって作った。垂直磁場は5.3 T、温度は0.17 K に保った。図1は、パルスで励起したEMP 振動の減衰をプロットしたグラフである。原子状水素の存在している場合としていない場合において、周波数が同じであることから、これらの液面電子密度は等しい。共存系の場合には、EMPの減衰が強くなっているのがわかる。この顕著な違いは、電子が原子状水素によって散乱されることに起因しており、原子状水素の存在が反映されたものである。

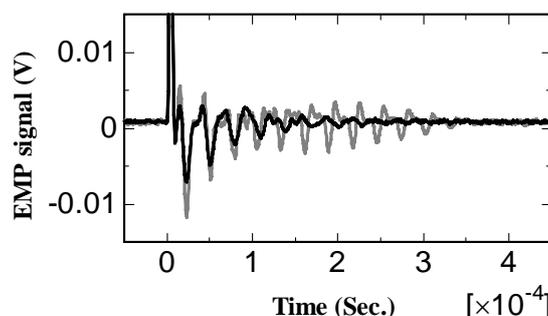


図1. エッジマグネトプラズモンの減衰振動。薄い方が電子のみの場合、濃い方が原子状水素と電子の共存系の場合である。

P05 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, 南部雄亮^a, 小沼圭介^a, 中辻知^a, 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

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反強磁性体として注目を集めている。

今回、ミクロな視点からNiGa₂S₄の基底状態や、低温におけるスピンの動的振る舞いを調べることを目的としてGa核における核磁気共鳴(NMR)と核四重極共鳴(NQR)の測定を行った。10 K以上の高温では2つのGaサイトが存在し、それぞれに対してスピン 格子緩和率 $1/T_1$ を測定したところ、どちらのサイトについても比熱がピークを持つ10 K付近に向かって発散的な振る舞いを観測した(図)。10 Kから1 Kの温度域では緩和時間が短くなりすぎたためGa-NQRの信号が観測できなかった。1 K以下の低温では不均一な内部磁場の発生を示すスペクトル線幅の広がりを観測し、 $1/T_1$ の温度変化がtwo-magnonの緩和過程でよく説明できること(図中の点線)から、二次元格子上でincommensurateな磁気秩序状態が実現していると考えられる。

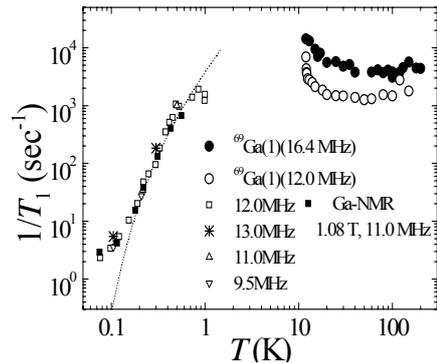


図:Ga-NQR/NMRによる $1/T_1$ の温度依存性

P06 ヘビーフェルミオン三角格子磁性体UNi₄Bのフラストレート磁性

福岡幸太郎^a, 伊藤哲明^a, 小山田明^a, 前川寛^a, 李徳新^b

^a京都大学 人間・環境学研究科

^b東北大学 金属材料学研究所

E-mail: 小山田明 <f52017@sakura.kudpc.kyoto-u.ac.jp>

UNi₄Bは、磁気モーメントをもつUが三角格子を形成している反強磁性体であり、フラストレーションとヘビーフェルミオンの振る舞いが共存する系として興味深い。低温で部分無秩序状態が実現していると報告されているが、このような磁気秩序状態の原因については遍歴モデルと局在モデルの2通りの解釈がされている。われわれは部分無秩序状態の原因やスピンドYNAMICSを調べるためにNMRを用いて、1.3 K ~ 100 Kの温度域で¹¹B核の核スピン緩和時間とスペクトルを測定した。

図1、2はそれぞれ縦緩和率 $1/T_1$ とスペクトルの温度変化を示している。スペクトル幅は20 K以下で急激に広がり、また、縦緩和率も20 Kで急峻なピークを示しており、20 Kが磁気相転移点であることが分かる。10 K以下では、遍歴電子のゆらぎによる $T_1 T = \text{一定}$ が観測され、また転移点より高温側では緩和率は一定値に近づく傾向がある。このことにより、転移点以上では局在モーメントが存在しているものの、転移点以下では局在モーメントが消失し、遍歴的に振舞っていることが分かる。

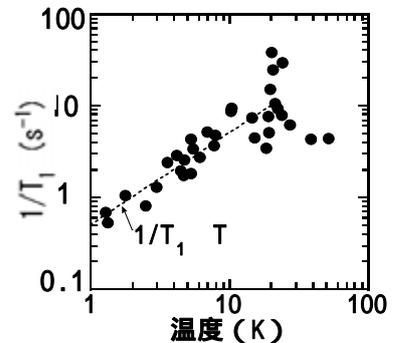


図1 $1/T_1$ の温度変化

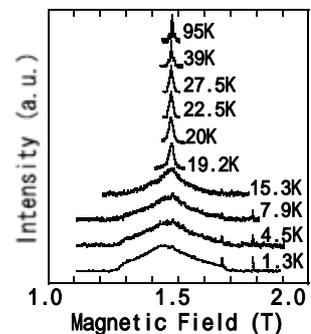


図2 スペクトルの温度変化

P07 二次元三角格子反強磁性体におけるスピン無秩序状態

南部 雄亮^a, 小沼 圭介^a, 中辻 知^a, 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

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

磁気秩序を抑えることによって低温で現れる新奇な量子状態の可能性から、幾何学的フラストレーションを持つ磁性体が注目されている。その中では三角格子反強磁性体が最も基礎的である。最近我々はバルクの $S = 1$ 三角格子反強磁性体を NiGa_2S_4 (図 1)において初めて実現した。 NiGa_2S_4 では80 K程度の反強磁性的相互作用にも関わらず、磁化率、比熱、中性子回折の結果からこれまでの測定温度下限の0.35 Kまで磁氣的長距離秩序が存在せず(図 2)、低温までスピンが無秩序な状態に留まっていることを見出した。また、10 K以下で短距離相関を持ち、低温での比熱の温度の二乗に比例した振る舞いと絶対零度近傍での有限磁化率から、二次元のスピン系におけるコヒーレントな線形分散の存在が明らかになった。この発表では多結晶、単結晶の実験結果、不純物効果についても述べたい。

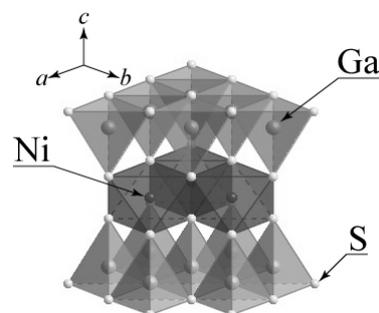


図 1: NiGa_2S_4 の構造

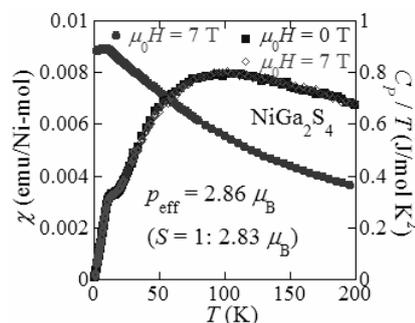


図 2: NiGa_2S_4 の磁化率(χ)と比熱(C_P)の温度依存性

P08 2層系量子ホール効果研究の新展開

澤田 安樹^a, 福田 昭^a, 岩田 一樹^b, 新井 敏一^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 物理学宇宙物理学専攻 物理学第一分野

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

半導体ヘテロ界面に形成される2次元電子系は、低温・強磁場の下で量子ホール効果と呼ばれる特異な量子現象を示す。特に、2次元電子系を2枚近接配置した2層系量子ホール状態は、量子ホール状態における巨視的なコヒーレンスの発生が期待できる¹。例えば、2層系 $\nu = 1$ 量子ホール状態において、電子の2層間でのトンネリングコンダクタンスを観測した実験や、電子とホールの対がなすエキシトンの超流動相の発見²は、2層系量子ホール状態のコヒーレンスの存在を示唆している。しかし巨視的なコヒーレンスの存在を確証付けるには、巨視的なコヒーレンス状態特有の現象を捉える必要がある。本研究室では、マイクロ波を半導体2次元電子系試料に照射することにより、ACジョセフソン効果を観測し、2層系量子ホール効果における巨視的なコヒーレンス存在の検証を目的とするため、超低温においてマイクロ波を導入できる実験装置を急ピッチで整備している。本交流会では、2層系量子ホール効果におけるマイクロ波を用いた予備実験結果及び新しい実験計画を報告するとともに、現時点での新実験室の整備状況についても報告を行う予定である。

1. A. Sawada *et al.* *Phys. Rev. Lett.* **80**, 4534(1998).

2. J.P. Eisenstein and A.H. MacDonald, *Nature* **432**, 691 (2004).

P09 2層系整数量子ホール状態の相図

福田昭^a, 澤田安樹^a, 寺澤大樹^b, 森野正行^b, 岩田一樹^c, 古住信介^b, 江澤潤一^b

^a京都大学 低温物質科学研究センター, ^b東北大学 理学研究科 物理学専攻

^c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 : fukuda@scphys.kyoto-u.ac.jp

2次元電子系を2枚近接配置した2層系量子ホール効果は、通常の電子スピン自由度の他に、“層”の自由度(擬スピン自由度)が加わる。これらの自由度は、SU(4)対称群で記述され、磁場によるゼーマンエネルギーと層間および層内の電子間多体相互作用が複雑に絡み合った結果、多彩な量子相を呈することが期待される。2層系 $\nu = 1$ 量子ホール状態では、擬スピンのドメイン構造をなすソリトン格子相の存在を示す磁気抵抗の極大が観測された。また、2層系 $\nu = 2$ 量子ホール状態では、スピンの反強磁性的な振舞いを示す傾角反強磁性相の存在を明らかにした¹。本交流会では、2層系 $\nu = 1$ 及び $\nu = 2$ 量子ホール状態において電子密度や2層間の電子密度差、試料に加える横磁場に対して相図を作成し、その結果得られた2層系量子ホール状態に対して得られた新たな知見について報告を行う。

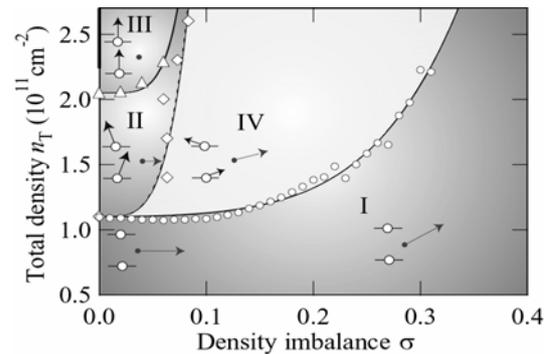


図 2 層系 $\nu = 2$ 量子ホール状態の相図

- 1 . A. Fukuda *et al.*, To be published in Phys. Rev. B, cond-mat/0601654

P10 重い電子系超伝導体CeCoIn₅の超伝導状態における異常輸送現象

笠原 裕一^a, 仲島 康行^b, 井澤公一^{b,c}, 松田 祐司^{a,b}, 宍戸寛明^d, 接待力生^d, 大貫惇睦^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東京大学物性研究所, ^cCEA-Grenoble, ^d大阪大学 理学研究科

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

我々は重い電子系超伝導状態CeCoIn₅において熱ホール伝導率 κ_{xy} の測定を行い, 超伝導状態における準粒子輸送特性を詳細に調べた. その結果, 超伝導転移温度以下において準粒子の平均自由行程が急激に増加していることが分かった. しかしながらこの増加はわずかな磁場によって急激に抑制される. 渦糸による散乱が考えられるが, 通常の機構では説明がつかない. さらに κ_{xy} から非局在準粒子のDOSが d 波超伝導体に期待される $H^{1/2}$ 依存性を示すことがCeCoIn₅においてはじめて見出された. またCeCoIn₅は渦糸コア内の離散的な状態が支配的となる新しい領域, スーパークリーン領域にあることが分かった. これらの結果はCeCoIn₅の超伝導状態がこれまでにない特異なものであることを示している.

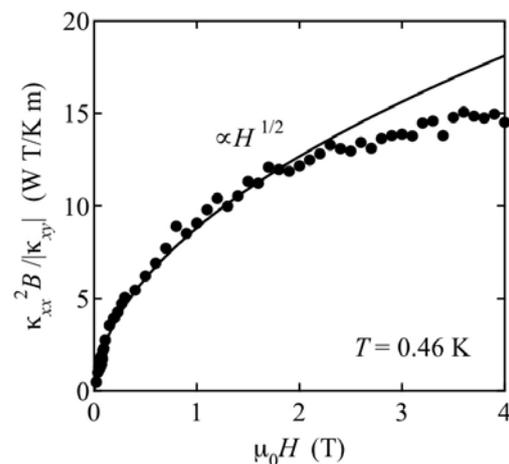


図 1: $\kappa_{xx}^2 B / |\kappa_{xy}|$ 非局在準粒子のDOSの磁場依存性.

P11 Ni₃AlとYCo₂における量子臨界点近傍の非Fermi 液体振る舞い

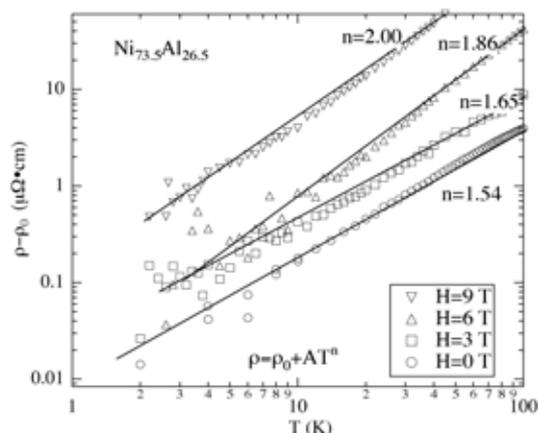
張 維^{a,b}, 吉村 一良^b, 方 明虎^c, 小野 輝男^d,

^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

^c浙江大学 理学研究科 物理専攻, ^d京都大学 化学研究所

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

弱い強磁性体MnSi, ZrZn₂の圧力効果において、強磁性転移温度 $T_c = 0$ Kとなる量子臨界点近傍での非Fermi液体的振る舞いや超伝導が発見され、注目を集めている。不純物効果を用いても量子臨界点に到達することができ、置換によって強磁性—常磁性転移が見られる。Ni_{3-x}Al_{1+x}とY(Co_{1-x}Al_x)₂は置換効果によって量子臨界現象を調べるのに理想的な系であると考えられる。量子臨界点近傍での物性を調べるために、我々はこれらの遷移金属化合物の臨界点近傍の試料を作成し、磁化率と磁場中電気抵抗を測定した。図にNi_{73.5}Al_{26.5}の電気抵抗率の温度依存性を示した。ゼロ磁場



Ni_{73.5}Al_{26.5}の磁場中電気抵抗率の温度依存性

下の電気抵抗は非Fermi液体振る舞いであることが明らかになった。高磁場で電気抵抗の温度依存性はFermi液体的振る舞いになる傾向が見られるが、これは磁場により、スピン揺らぎが抑えられ、非Fermi液体からFermi液体に変化することによると考えられる。

P12 スピン三重項超伝導体Sr₂RuO₄のRuO₂面内低磁場下におけるナイトシフトの測定

村川 寛^a, 石田憲二^a, 北川健太郎^a, 毛志強^a, 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

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

Sr₂RuO₄では、RuO₂面内の3 kOe以上の磁場中における¹⁷Oや⁹⁹Ru核のナイトシフトの測定の結果、スピン帯磁率は超伝導状態でも変化しないことが報告されている。最近さらに測定条件を広げ、c軸方向の200 Oe以上の磁場中においてもスピン帯磁率が変化しないという結果を得た。いずれの実験結果も、クーパー対のスピンは印加磁場方向を向いていることを示唆するものであり、超伝導状態のスピン帯磁率の振る舞いに異方性は観測されていない。一般にスピン三重項超伝導体において、クーパー対のスピンと軌道との相互作用が強い場合には、超伝導状態のナイトシフトの振る舞いに異方性が見られるはずである。これまでの実験結果を考慮すると、この相互作用のエネルギーは非常に小さいと考えられる。そこで我々は、ゼロ磁場におけるクーパー対のスピンの方向を実験的に確認するために、RuO₂面内に平行に3 kOe以下の低磁場を印加して¹⁰¹Ru核のナイトシフトの測定を行っている。今回の測定では、横磁場超伝導マグネットと希釈冷凍機とを組み合わせることで、低温で0.5°の精度で測定試料を磁場方向に対して制御できるようになった。その状態の下で測定したナイトシフトの結果について発表する予定である。

P13 新奇三角格子超伝導体 $\text{Na}_x\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ における ^{59}Co , ^{17}O -NMR

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

層状三角格子超伝導体 $\text{Na}_x\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ の超伝導は2002年にtakada *et al.*により初めて発現が観測された。この超伝導体は優れた熱電材料として注目を浴びていた母物質 Na_xCoO_2 の層間に水分子を導入することによって発現する。また、我々は更に水分子を大量に導入した試料において磁気転移を観測した(図)。この超伝導は銅酸化物超伝導体やルテニウム酸化物超伝導体と並ぶ強相関係超伝導体として理解されることが考えられる。

我々は $\text{Na}_x\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ において ^{59}Co 核と ^{17}O 核のNMR実験を行い、この物質における常伝導状態、超伝導状態の性質を微視的側面から調べた。ポスターではこれまでの実験で明らかになった常伝導状態の磁氣的性質や、超伝導対の対称性について主に発表する。

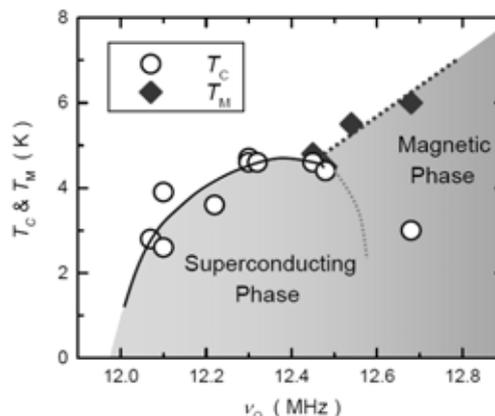


図 : $\text{Na}_x\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ の相図

P14 擬一次元圧力誘起超伝導物質 $-\text{AgV}_6\text{O}_{15}$ の常圧でのNMR

久田 旭彦^a, 藤原 直樹^a

^a京都大学 人間・環境学研究科 相関環境学専攻

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

バナジウム酸化物 $-\text{AV}_6\text{O}_{15}$ (A=Li,Na,Ag)は、電荷秩序転移を伴う金属絶縁体転移や、反強磁性転移、圧力誘起超伝導を示すことが知られている。この物質のV原子は、結晶学的に三種類存在する。超伝導発現機構の解明には、これらのサイトの電荷秩序状態についての微視的情報を得ることが重要である。

我々は $-\text{AgV}_6\text{O}_{15}$ 単結晶についての ^{51}V -NMRを行い、30K、100K、200K付近において、NMRスペクトルの明らかな変化を確認した。これらの温度は、帯磁率、抵抗率、X線回折の測定結果から得られる、反強磁性転移温度、電荷秩序転移温度、Ag原子の再配列温度にそれぞれ対応している。当日は、こうしたスペクトルから得られるVサイトの電荷状態について紹介する。

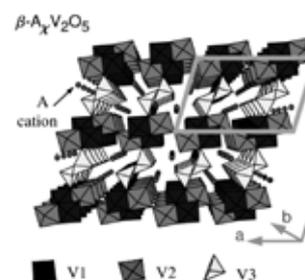


図1 $-\text{AV}_6\text{O}_{15}$ の結晶構造

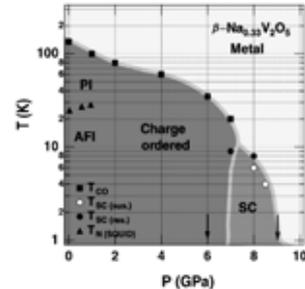


図2 $-\text{AV}_6\text{O}_{15}$ の電子相図

参考文献

[1] T. Yamauchi, Y. Ueda and N. Môri, Phys. Rev. Lett. **89** (2002) 057002-1.

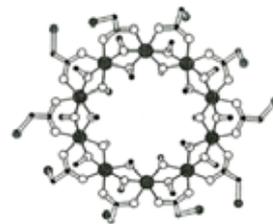
P15 反強磁性リング分子磁性体 Fe10、Fe12 のスピンドイナミクス

前川 覚, 嵯峨根 多美, 伊藤 哲明, 小山田 明

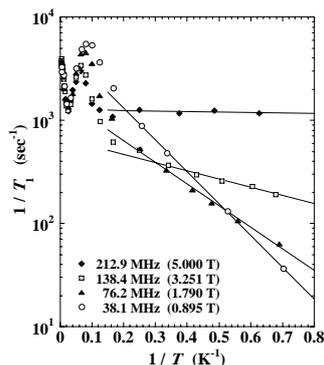
京都大学 人間・環境学研究科 相関環境学専攻

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

金属錯体Fe10やFe12分子はスピン $s=5/2$ を持つ10個または12個の Fe^{3+} がリング状に並んだ反強磁性体である。分子間の磁気的相互作用は極めて弱いため、各分子は独立したナノスケール単分子磁石、0次元磁性体と見なすことができ、古典性と量子性の中間のメゾスコピックな振舞の発現が期待される。また磁気メモリー等、工業的応用も期待される。我々はこれらの低エネルギースピンドイナミクスを明らかにするために、磁化率と核磁気共鳴(NMR)の実験を行っている。



Fe10の磁化率は60K付近でピークを示した後、温度低下とともに零に向かって減少し、基底状態が $S=0$ であることを示している。磁化率の高温展開および厳密解で交換相互作用の大きさを見積もった。図2は緩和率 T_1^{-1} を逆温度 $1/T$ でプロットしたものである。高温域では T_1^{-1} は磁化率と温度の積に比例し、連続的励起エネルギーの存在を示している。緩和率は $T \sim J/k_B$ 付近でピークを示し、低温域では離散的エネルギー準位を反映して、熱活性化型の温度依存性を示す。ギャップエネルギーは $S=0$ の基底状態と $S=1$ の励起状態間のエネルギーに相当し、その磁場依存性を明らかにした。Fe10とFe12との比較検討を行っている。



P16 フェリリング分子磁性体 Mn6R6 のスピンドイナミクス

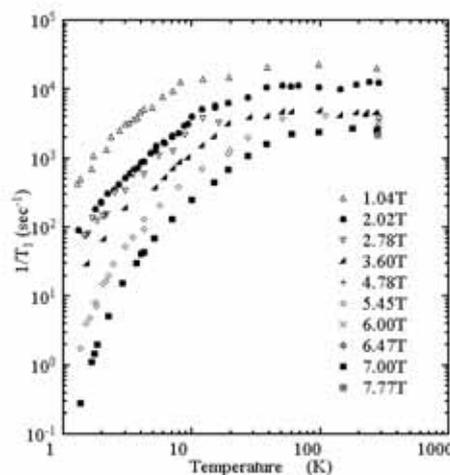
伊藤哲明, 舟橋修一, 小山田明, 前川覚, 藤田健一, 雨澤浩史, 山口良平

京都大学 人間・環境学研究科 相関環境学専攻

E-mail: tetsuaki@phys.h.kyoto-u.ac.jp

$[\text{Mn}(\text{C}_5\text{HF}_6\text{O}_2)_2\text{C}_3\text{N}_2\text{O}_2(\text{CH}_3)_4\text{C}_6\text{H}_5]_6$ (略称Mn6R6)はスピン $5/2$ をもつ6個の Mn^{2+} とスピン $1/2$ を持つ6個のラジカルとが交互に円環状に並び、それぞれが反強磁性的に交換相互作用 $J=57\text{K}$ で結合している。リング間の磁気的相互作用は非常に小さく、基底状態は合成スピン $S=12$ のナノサイズフェリリング磁性体と見なすことができる。低エネルギー状態やスピンドイナミクスを解明するために1.5-300Kの温度域、1-8Tの磁場域で $^1\text{H-NMR}$ のspin格子緩和率 T_1^{-1} の測定を行った。

5K以下では、 $T_1^{-1} \propto \exp(-\Delta/k_B T)$ を示し、急激に変化している。これは合成スピン $S=12$ の離散的なエネルギーの系での、異方性 D と試料が粉末であることを考慮した最低エネルギーと第一励起エネルギーとのギャップ Δ による緩和機構として説明ができる。5K以上の温度域の T_1^{-1} は、単調に増加し、50K以上で一定値に近づく。この温度域における T_1^{-1} は、通常の磁性体における高温での緩和率とは異なり磁場依存性が残っていて、 $T_1^{-1} \propto \omega^{-1}$ と磁場に反比例している。これはリングであるがゆえに、スピン相関が減衰せずリング中に長時間とどまっているためであり、そのふるまいに興味もたれる。



P17 s=1/2 量子スピнкаごめ格子磁性体の低エネルギー励起

加納 聖土, 鍛冶 亮佑, 伊藤 哲明, 小山田 明, 前川 覚, 藤田 健一, 山口 良平
京都大学 人間・環境学研究科 相関環境学専攻

E-mail : kanou@seiji.mbox.media.kyoto-u.ac.jp

反強磁性的な相互作用をする磁性イオンが 2 つある場合、スピンの状態は 1 つに定まるがスピンの数が 3 つある場合はユニークに決定することができず不安定な状態になってしまう。この現象はスピンフラストレーションと呼ばれている。

我々はこのフラストレーション効果に量子効果が加わる量子スピнкаごめ格子磁性体の候補物質として、s=1/2 のCu²⁺イオンがかごめ格子を形成している金属錯体化合物 [Cu₃(titmb)₂(CH₃CO₂)₆·H₂O (略称Cu-titmb) の試料を合成し、SQUIDによる磁化測定と核磁気共鳴 (NMR) 法により低温での研究を行っている。

スピン・格子緩和率 T_1^{-1} は、室温から 20 K 程度までは温度及び磁場に依存せず一定で、緩和は高温領域での常磁性的な揺らぎとして理解される。図 1 は緩和率に対する温度の逆数の依存性を示した図である。低温域では急激に減少し、熱励起型の式 $T_1^{-1} = \exp(-\Delta/k_B T)$ で表現される。このことからエネルギーギャップの磁場依存性を求めると、3.2 T~4.5 T, 5.3 T~6.5 T にステップ状の構造が存在することが見出され、何らかの特異なエネルギー構造の存在を示唆しており、非常に興味深い。

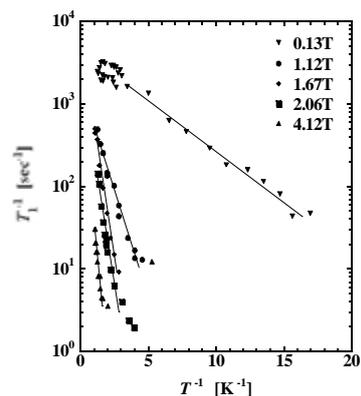


図1 T_1^{-1} の温度の逆数依存性

P18 非対称配位子を用いた Cu(II) 配位高分子の構造とフェリ磁性的挙動

米田 宏, 大場 正昭, 北川 進

京都大学 工学研究科 合成・生物化学専攻 機能化学講座

E-mail : kyonedat05@mbox.media.kyoto-u.ac.jp

<序> 近年、多孔性配位高分子の研究において、ゲスト分子の吸脱着に加えて、中心金属の電子状態を生かしたホスト骨格の多機能化が注目を集めている。本研究では、多核錯体をユニットに用いることで、高いスピン密度により磁気秩序を示す配位高分子の構築を試みた。今回は、非対称型架橋配位子 H₃L

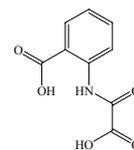


Fig.1 H₃L

(2-(oxalylamino)benzoic acid) (Fig. 1)を用いたCu(II) 錯体 [Cu{Cu(L)(H₂O)}₂] (1) の集積構造と磁性について報告する。

<結果と考察> X線構造解析の結果より、錯体 (1) はCuの面内にL³⁻の三座のNONサイトが配位した [Cu(L)(H₂O)]⁺ 2分子が、オキサマト架橋によりCuに結合して、Cu : L = 3:2 の3核ユニット構造を形成し、さらに隣接ユニットのカルボキシル基が

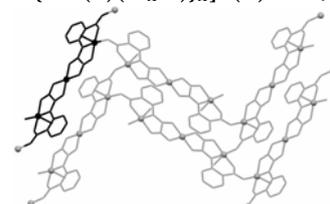


Fig. 2 錯体(1)の集積構造

[Cu(L)(H₂O)]⁺の面内にsyn型で配位することで2-Dシート構造を構築していた (Fig. 2)。磁化率の温度依存において、2 K付近で秩序磁性の傾向が観測された。これは、反強磁性的にカップリングした三核ユニットの残留スピン (S = 1/2) が、anti-syn型カルボキシル架橋を介した強磁性的相互作用により整列したためと考えられる。ホモメタルによるフェリ磁性の傾向は、飽和磁化の値 (1.1 N μ B)、飽和曲線及び交流磁化の結果からも支持された。

P19 La-NMR, Sb-NQRによる充填スクッテルダイトLaOs₄Sb₁₂におけるラトリングの研究

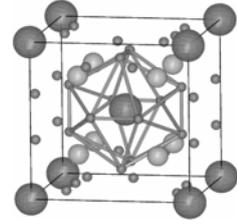
中井 祐介^a, 石田 憲二^a, 菅原 仁^b, 菊地 大輔^c, 佐藤 英行^c

^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徳島大学 総合科学部

^c首都大学東京 理学研究科

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



充填スクッテルダイト化合物 RT_4X_{12} (R ;希土類元素, T ;遷移元素, X ;プニクトゲン元素) は右上図のようなPやSb等のプニクトゲン元素から成るカゴ状の結晶構造をもち、そのカゴの中に希土類元素が存在するという特徴的構造を持つ。そのカゴが大きいため希土類と周りの元素との相互作用が弱く、希土類元素は比較的自由に振動し、局所的なフォノンモード(Einsiteinモード)を示す。この希土類元素の運動はラトリングと呼ばれ、充填スクッテルダイトで実現されている低い熱伝導率の原因であると考えられている。しかし実験的検証が難しいためにラトリングの微視的性質についてはほとんどわかっていない。

そこで我々は、微視的観点から希土類原子のラトリングを調べるためにLaOs₄Sb₁₂においてLa-NMR、Sb-NQRを行なった。LaサイトとSbサイトで $1/T_1T$ の温度依存性が異なり、Laサイトにのみ50K付近にブロードなピークが見られた。またLa-NMRスペクトルのすそが100K付近で広がり始め、50K付近で一定値に落ち着くのが観測された。これらの実験結果はLa原子がカゴの中のオフセンター位置にポテンシャル極小点をもつオフセンター運動をしており、そのオフセンター運動による電場勾配のゆらぎが存在し、温度低下とともにその運動が凍結することにより、Laサイトに有限の電場勾配が現れることを示している。

発表では実験の詳細とラトリングに起因するアインシュタイン振動に基づいたモデルでLaサイトの $1/T_1T$ の振る舞いを詳細に議論する予定である。

P20 Sr₂RuO₄-Sr₃Ru₂O₇共晶体における超伝導

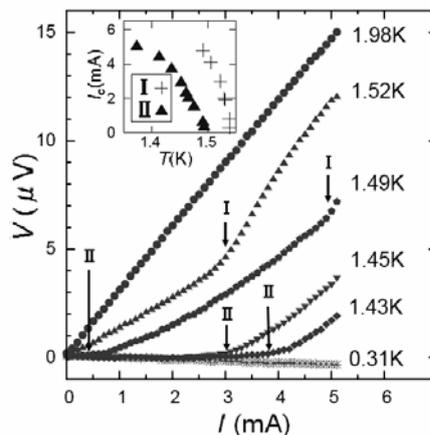
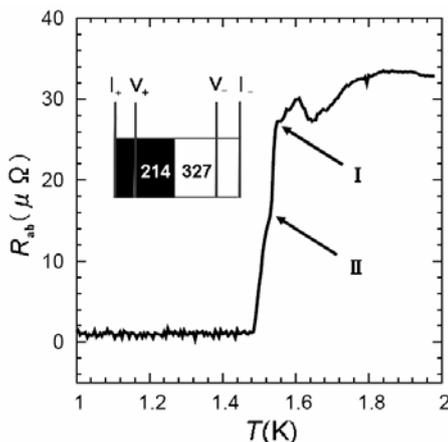
橘高 俊一郎^A, 房登 真司^A, 矢口 宏^A, 米澤 進吾^A, 前野 悦輝^{A,B},

R. Fittipaldi^{A,B,C}, and A. Vecchione^{A,B,C}

京大院理^A, 京大国際融合創造セ^B, Univ. of Salerno^C

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

我々はSr₂RuO₄とSr₃Ru₂O₇の共晶体の単結晶育成に成功し、その超伝導性を研究している。Sr₂RuO₄は $T_C \approx 1.5$ Kの超伝導体であるのに対して、Sr₃Ru₂O₇は低温まで超伝導性を示さないことが知られている。しかし、共晶中のSr₃Ru₂O₇部分において超伝導性が観測された。電気抵抗の温度依存性のグラフからはバルクのSr₂RuO₄によると思われる超伝導転移の他に転移が確認できる。交流磁化率等の測定結果もふまえて議論する。



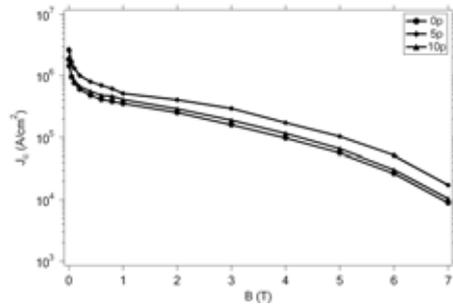
P21 Critical current enhancement in PLD $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ films using artificial pinning centers

P Mele^{1,7}, K Matsumoto^{1,7}, T Horide^{1,7}, O Miura^{2,7}, A Ichinose^{3,7}, M Mukaida^{4,7}, Y Yoshida^{5,7}, S Horii^{6,7}

¹Kyoto University, Kyoto 606-8501, Japan; ²Tokyo Metropolitan University, Tokyo 192-0364, Japan; CRIEPI, 2-6-1 Nagasaka, Yokosuka 240-0196, Japan; ⁴Kyushu University, Fukuoka 812-8581, Japan; ⁵Nagoya University, Nagoya 464-8603, Japan; ⁶University of Tokyo, Tokyo 113-8656, Japan; ⁷CREST-JST, Saitama 332-0012, Japan

E-mail : pmele@htsc.mbox.media.kyoto-u.ac.jp

For wide applications of YBCO high temperature superconductors to electric devices, it is necessary to obtain high J_c at the liquid nitrogen temperature and under magnetic fields. We introduced high-density columnar defects as artificial pinning centers (APCs) of the quantized vortices into YBCO films, during the film deposition procedure. APCs were introduced perpendicular to the film surface by using the distributed nano-sized Y_2O_3 islands prepared on SrTiO_3 (100) substrates by PLD. The Y_2O_3 islands obtained with 5 laser pulses have a mean diameter of 20 nm, an height of 4 nm and their density is $200 \mu\text{m}^{-2}$. In comparison with the pure YBCO film, the best performance among the APCs samples was obtained on 5 pulse sample. As shown in the figure, J_c at 77K was enhanced by linear defects from $1.8\text{MA}/\text{cm}^2$ to $2.7\text{MA}/\text{cm}^2$ (self field) and from $0.06\text{MA}/\text{cm}^2$ to $0.10\text{MA}/\text{cm}^2$ ($H=5\text{T}$) even when both films were prepared on the same deposition conditions.



P22 YBCO 薄膜における単一粒界の臨界電流密度に及ぼす影響

堀出 朋哉, 松本 要 京都大学 工学研究科 材料工学専攻

E-mail : tomoya.horide@t04.mbox.media.kyoto-u.ac.jp

臨界電流密度(J_c)は $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (YBCO)薄膜の線材応用において非常に重要である。YBCO 薄膜の J_c はナノスケールの組織に非常に強く影響を受けるため、そのナノ組織の制御が盛んに研究されている。本研究ではYBCO薄膜に存在する小傾角粒界の J_c に及ぼす影響について検討した。

Pulsed laser depositionにより[001]バイクリスタル SrTiO_3 基板上に 200-380nmのYBCO薄膜を蒸着した。バイクリスタルの傾角は $2, 5, 10^\circ$ とした。蒸着したYBCO薄膜の J_c 及び I - V カーブを測定した。

バイクリスタルSTO(2°)上に作製したYBCOの J_c はどの磁場においても単結晶STO上に作製したYBCO薄膜の J_c とほぼ一致した。一方バイクリスタルSTO($5^\circ, 10^\circ$)上に作製したYBCOの J_c は単結晶STO上のYBCOの J_c に比べ大きく低下した。さらに J_c が低下した2つの試料の I - V カーブは異なる振る舞いを示した。傾角の異なる3つの粒界でそれぞれことなる振る舞いが見られたのはそこに存在する量子化磁束が粒界傾角とともに変化したためであると考えられる。

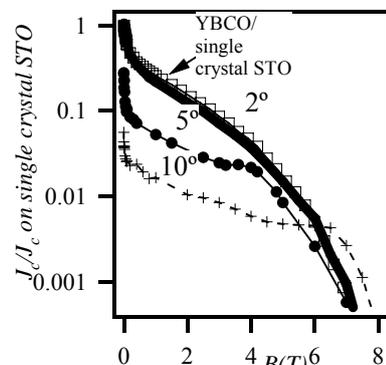


Figure Magnetic field dependence of J_c in YBCO on bicrystal STO and single crystal STO

P23 $\text{LaNi}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{O}_3$ 強磁性絶縁膜を障壁としたトンネル型スピフィルター 効果の検証

橋坂 昌幸^{a,b}, 菅 大介^c, 増野 敦信^c, 寺嶋 孝仁^b, 壬生 攻^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京都大学低温物質科学研究センター, ^c京都大学化学研究所, ^d名古屋工業大学

E-mail: hashisaka@ssc1.kuicr.kyoto-u.ac.jp

強磁性絶縁体を障壁とするトンネル接合は、障壁層の電子状態密度の磁気分裂により、特定方向のスピンのみを選択的に透過させる。このスピフィルター効果の検証は、これまでにEuカルコゲナイドを障壁層とした接合での液体He温度程度の極低温下の実験に限られていた。これは、高い強磁性転移温度 (T_C)を持つ強磁性絶縁体の均質で平坦な超薄膜を作製することが非常に困難であるためである。最近我々は、室温付近まで強磁性を示す絶縁体 $\text{LaNi}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{O}_3$ に着目し、レーザーアブレーション法によってこの物質の良質な強磁性絶縁膜を作製することに成功した。この強磁性絶縁膜を用いて非磁性金属/強磁性絶縁体/強磁性金属トンネル接合を作製し磁気抵抗効果を測定したところ、この接合が200 K以上までスピフィルター効果を示すことを見出した。本講演ではこのトンネル接合の電気伝導特性について詳細に報告する。

P24 π -d系錯体 $(\text{DIETSe})_2\text{FeCl}_4$ の異常な輸送特性

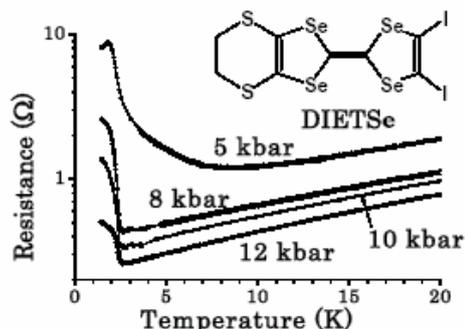
川嶋 智仁^a, 前里 光彦^a, 斎藤 軍治^a, 白旗 崇^b, 木舩 愛^b, 今久保 達郎^b

^a京都大学 理学研究科 化学専攻

^b理化学研究所 今久保独立主幹研究ユニット

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

遍歴 π 電子と局在d電子の間のヨウ素を介した相互作用によってできる新たな π -d複合系の構築を目的として、有機ドナーDIETSeと局在スピンを持ったアニオンからなる擬1次元伝導体 $(\text{DIETSe})_2\text{FeCl}_4$ が開発された。今回、このFe塩およびFe塩と同型構造をもつGa塩の2種類について、低温 (~0.5 K)、高圧下 (静水圧、~12 kbar) および磁場下 (~12 T) で伝導度測定を行った。双方とも常圧では約11 Kで金属絶縁体転移を示す。しかし、非磁性の GaCl_4^- アニオンを含むGa塩に対し、Fe塩では約2.5 K以下で抵抗の温度依存性に、局在スピンの反強磁性転移に伴った異常な振る舞いが見られた。また1.5 Kでの抵抗の磁場強度依存性や磁場角度依存性においても、Fe塩ではGa塩に見られなかった異常な振る舞いが観測された。擬1次元伝導体における電子系の低次元不安定性と局在スピンの磁気秩序が共存していることが、これらの特異な磁気輸送現象の原因と考えられる。



静水圧下における $(\text{DIETSe})_2\text{FeCl}_4$ の電気抵抗の温度依存性

P25 Ti4O7における金属絶縁体転移の光学的研究

上野若菜, 渡辺雅之, 林哲介

京都大学 人間・環境学研究科

E-mail : j51061@sakura.kudpc.kyoto-u.ac.jp

Ti4O7はマグネリ相と呼ばれる化合物の一種であり、約150Kで金属-半導体転移を、約130Kで半導体-半導体転移を起こす。150K以上の高温相では非局在化したチタンの3d電子が電気伝導に寄与して金属的な振る舞いを示す。半導体相に転移すると、2つのTi³⁺イオンが格子変位して共有結合し、2つの電子が結合準位に入る。これは格子歪みを伴った電子2個が対になった状態(バイポーラロン)とみなすことができる。本研究ではTi4O7の相転移による電子状態の変化を実験的に解明することを目的として、反射スペクトルを広いエネルギー領域にわたって調べた。Ti4O7の高温相、中間相、低温相における反射スペクトルを測定すると、各相のスペクトル形状は異なり、その変化は2つの転移温度で突然起きる。高温相のスペクトルは赤外領域では反射率が高く、1.9eVで極小値をとる。また約4eVにピークがある。中間相になると、赤外領域の反射率が減少し、可視域で上昇する。低温相になると、さらに赤外領域の反射率が減少し、4eVのピークは高エネルギー側にシフトする。我々は、反射スペクトルをDrude Modelと2つのLorentz振動子を取り入れて解析を行った。解析の結果、2つの振動子は紫外域と赤外域にあり、低温の相に移り変わると、高エネルギーにシフトしている事が分かった。金属-半導体転移での遷移のシフトは、バイポーラロンが形成されることにより、Tiの3d軌道が分裂してギャップが生じたためであると思われる。

P26 FIB加工したSrTiO₃単結晶をゲート絶縁体に用いたFETの作製とその特性

辻本 吉廣^a, 高野 幹夫^a, 寺嶋 孝仁^b

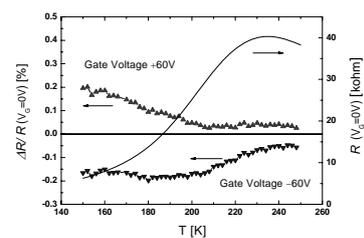
^a京都大学 理学研究科 化学専攻、^b京都大学 低温物質科学研究センター

E-mail : yoshi @msk.kuicr.kyoto-u.ac.jp

緒言 強相関電子系物質からなる電界効果トランジスタ(FET)において、電界効果により磁性や輸送特性などの物性を変化させるためには $10^{21}/\text{cm}^3$ におよぶ大きなキャリア密度の変調が必要になる。そのためには静電容量の大きなゲート絶縁体が必要である。今回、Mn系ペロブスカイト型酸化物($\text{La}_{0.85}\text{Sr}_{0.15}\text{MnO}_3 = \text{LSMO}$)について集束イオンビーム(FIB)により加工して $5\mu\text{m}$ まで薄くすることで静電容量を大きくした常誘電体SrTiO₃(STO)単結晶基板をゲート絶縁体に用いたFETを作製し、その電界効果を調べた結果について報告する。

実験と結果 厚さ $50\mu\text{m}$ のSTO基板の片側をFIBで $5\mu\text{m}$ まで加工した。1000、12時間アニールした後、加工していない側の面に膜厚 3.5nm のLSMO(チャンネル)をPLD法で蒸着した。ソース・ドレイン(S-D)電極に金、ゲート電極にPtを各々用いた。

右図に電界効果測定の結果を示す。ゲート電圧を印加しない場合のLSMOの電気抵抗(S-D間)の温度依存性を右縦軸に、ゲート電圧($\pm 60\text{V}$)を印加した場合の抵抗変化率の温度依存性を左縦軸にとる。LSMOのホール濃度の増減に対応して抵抗が変化している。低温に向かって抵抗変化率が増加していくが、これはSTOの誘電率の温度変化に対応していると思われる。



P27 EuTiO₃エピタキシャル薄膜の作製と磁気および輸送特性

釘宮 一真^a, 藤田 晃司^a, 田中 勝久^a, 平尾 一之^a

^a京都大学 工学研究科 材料化学専攻

E-mail : kazuma@collon1.kuic.kyoto-u.ac.jp

ペロブスカイト構造を持つTi酸化物は、エキゾチックな誘電特性を示すことが知られている。例えばBaTiO₃は強誘電体であり、SrTiO₃やCaTiO₃は量子常誘電特性を有している。EuTiO₃も2価のEuと4価のTiを含んだペロブスカイト構造をとり、量子常誘電挙動を示す。他のペロブスカイト酸化物との相違点は、局在した磁性イオン(Eu²⁺)を有していることであり、5.3 Kで反強磁性相へ転移する。またEu²⁺をLa³⁺やGd³⁺のような3価のカチオンで置換したとき、Tiの3d軌道に伝導電子が導入される。伝導電子は局在したスピンと強く相互作用し、Eu²⁺イオン上のスピンは強磁性的に整列する。さらに量子常誘電体であるEuTiO₃の誘電率は磁場に強く依存することが報告されている。そのような興味深い物性にもかかわらず、EuTiO₃薄膜の作製やその物性はほとんど報告されていなかった。それは薄膜を作製する過程で、EuとTiの価数を同時にコントロールする困難さが伴うためである。本研究では磁気および輸送特性を調べるため、PLD法により良質のエピタキシャルEuTiO₃薄膜の作製を試みた。酸素分圧と基板温度を最適化することにより、EuTiO_{3-δ}薄膜がSrTiO₃(001)面にエピタキシャル成長した。得られた薄膜は金属的挙動を示し、6 Kにキュリー温度をもつ強磁性体であった。そのような電気特性と磁気特性はLaやGdで置換したEuTiO₃における挙動に類似しており、Tiの3d(特に t_{2g})軌道にドーパされた電子を介して、Eu²⁺のスピンが平行に整列するためであると考えられる。

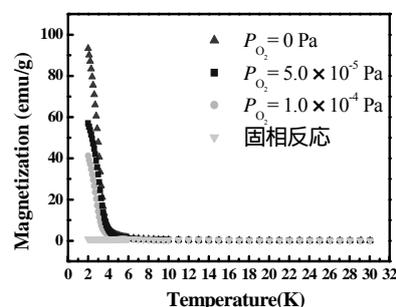


図. EuTiO₃薄膜の磁化の温度依存

P28 擬2次元重い電子系超伝導体CeCoIn₅の薄膜作製

井崎学^a, 加藤智成^a, 松田祐司^a, 芝内孝禎^a, 寺嶋孝仁^b

^a京都大学大学院理学研究科、^b京都大学化学研究所

E-mail : izaki@msk.kuicr.kyoto-u.ac.jp

CeやUを含むいわゆる重い電子系化合物のなかには超伝導を示すものも多い。それらの超伝導体はf電子間の強い相互作用のため従来の超伝導体とは異なる超伝導発現機構を持つと考えられてきた。ここで議論するCeCoIn₅もこのような物質群の1つであり、比熱、NMR、熱伝導などの研究から超伝導ギャップがノードを持ついわゆる異方的超伝導体の一つであると考えられている。CeCoIn₅の特徴は2次元的な電子構造を持ち反強磁性量子臨界点近傍に位置することでありその超伝導対称性の解明は非従来型超伝導体の超伝導発現機構を研究する上で極めて重要となる。またこの物質の超伝導状態ではFFLO状態等のこれまでにない新しい超伝導状態が出現している可能性があり興味深い。超伝導状態を調べる強力な実験手段はトンネル接合等の実験であるがこのためには試料の薄膜化が必要不可欠である。これまで重い電子系の薄膜化はほとんど成功していなかったが、我々はスッパタリング法により3元素を同時に蒸着し、c軸配向膜の作製に成功した。現在はエピタキシャル成長を目標に、分子線エピタキシー法による実験を試みている。今回はその途中経過について報告する。

P29 チタンドーブスピネルの光検出磁気共鳴

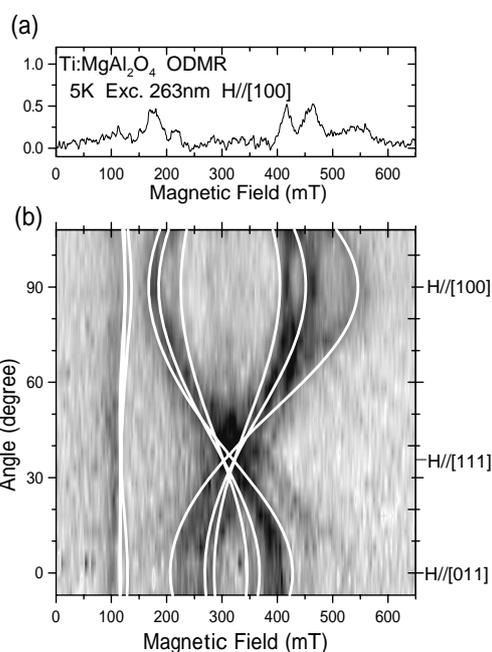
白井 正伸^{a,c}, 田中 耕一郎^{a,c}, 花村 榮一^{b,c}

^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千歳科学技術大学 ^c科学技術振興機構CREST

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

赤外域で発振する超短パルス波長可変レーザーのレーザー媒質として、チタンサファイア(Ti:Al₂O₃)が広く用いられている。我々は可視域で発振するレーザー媒質の候補として、緑色の広帯域発光を呈するチタンドーブスピネル(Ti:MgAl₂O₄)に着目し、その光励起状態の構造を光検出磁気共鳴法(ODMR)を用いて調べた。図にODMRスペクトル(a)およびその角度依存性(b)を示す。これらの結果から、光励起状態はTi³⁺(S=1/2)にトラップされた電子と、<100>方向に隣接するO²⁻(S=1/2)にトラップされた正孔のペアからなる、スピン三重項状態であると考えられる。



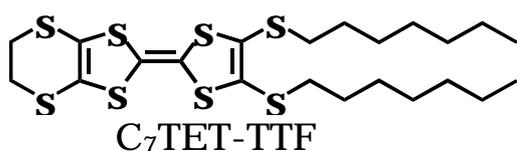
P30 固体液体共存系の特異な電導

大塚 晃弘^{a,b}, 齋藤 軍治^b, 喜納 修^b, 吉田 幸大^b, 矢持 秀起^{a,b}

^a京都大学 低温物質科学研究センター

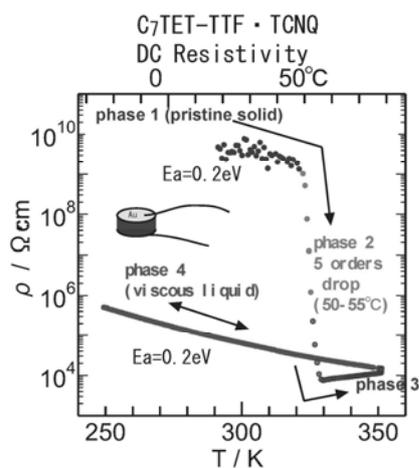
^b京都大学 大学院理学研究科 化学専攻

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



融点約 12 の電子供与体(D)C₇TET-TTFと、電子受容体(A)TCNQから作製される組成比 1:1 の電荷移動錯体は、層状構造を有する結晶で、基底電子状態は中性である。

この電荷移動錯体は約 55 において出発物質成分(液体Dと微結晶A)に解離すると同時に電気抵抗が5桁減少する(右図)。変化後の電気伝導は、EPR、DC定電圧下の電流値の挙動等から、イオン種の移動によるものではなく、液体Dと微結晶Aの間の電荷移動相互作用で生じるキャリアーによるものと考えている。



P31 有機ラジカル系におけるスピン 格子緩和時間と スピン スピン緩和時間の温度依存性

山内 淳, 山路 俊樹

京都大学 理学研究科 化学専攻 電子スピン化学研究室

E-mail : yamauchi@esr.mbox.media.kyoto-u.ac.jp

電子スピンの緩和時間にはスピン 格子緩和時間(T_1)とスピン スピン緩和時間(T_2)がある。緩和時間を詳細に解析することにより、分子物性・分子環境などに関する知見を得ることができる。

そこで、アドバンスド ESR 分光装置であるパルス ESR 装置を用い、低温物質科学研究センターの寒剤を使用することにより、有機ラジカル系のスピンエコーを室温から液体ヘリウム温度領域にかけて観測することに成功した。そして、スピンエコーの時間減衰から見積もられるスピン 格子緩和時間及びスピン スピン緩和時間の温度依存性について詳細に解析を行なった。

緩和時間の温度変化において 200K 付近と 100K 付近でミニマムが観測された。これらはそれぞれ分子内の置換基 (*tert*-butyl 基及びメチル基) の束縛回転運動による緩和機構が顕著に表れたものだと考えられる。また、20K 以下の極低温領域では緩和時間の異常な減少が見られた。これは、メチル基の量子力学的トンネル回転による効果であると考えられる。

P32 水チャネルアクアポリン-4 における結晶性アレイと二次元結晶の形成

谷村 幸宏¹, 西川 幸希^{1,2}, 亀川 亜希子^{1,3}, 廣明 洋子^{1,3}, 藤吉 好則¹

¹京都大学 理学研究科 生物科学専攻 生物物理学系 構造生理学

²日本電子, ³ JST・CREST

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

アクアポリン-4 (AQP4) は脳に優勢的に発現している水チャネルであり、脳内のイオンや水分子のホメオスタシスの制御を担う重要な分子である。AQP4の機能の根幹である水の透過の分子機構を構造解析によって解明するために、AQP4の2種類のisoformのうちの1つ、M23を用いて実験を行った。発現には組み換えバキュロウイルスとSf9細胞による大量発現系を用いており、組み換えバキュロウイルス作製のために2種類のバキュロウイルストランスファーベクター、pBlueBacHis2BとpAcHLT-Aを選択した。作製した2種類のコンストラクト由来のタンパク質をSf9細胞に発現させ、Freeze fracture法を用いて発現状況の観察を行った。その結果、pBlueBacHis2B由来のAQP4M23はSf9細胞膜において結晶性アレイを形成するが、pAcHLT-A由来のAQP4M23は結晶性アレイを形成しないことがわかった。結晶化を行ったところ、pBlueBacHis2B由来のAQP4M23は2.4 分解能の回折点を得られる結晶性の良い二次元結晶を形成したが、pAcHLT-A由来のAQP4M23は二次元結晶を形成しないことが判明した。これにより、結晶性アレイ形成能と二次元結晶形成能に関連性があることがわかった。また、Freeze fracture法を用いることで、精製・結晶化を行うことなく結晶化に適したAQP4M23コンストラクトを選別できることを明らかにした。

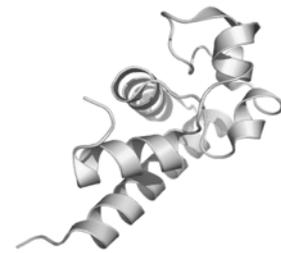
P33 New crystal form of Tetraspanin CD81 LEL

北所健悟^a, Grandi G^b, Bolognesi M^c

^a京都大学低温物質科学研究センター、^bカイロンワクチンリサーチセンター、^cミラノ大学
E-mail : kengo@nice.kumac.kyoto-u.ac.jp

CD81 is a four transmembrane protein of 236 amino acids, belonging to the tetraspanin protein family, involved in various immune responses. Besides the four hydrophobic transmembrane regions, CD81 hosts two extracellular domains, known as large and small extracellular loops (LEL and SEL, respectively). Human CD81 is held to act as (co)receptor for hepatitis C virus (HCV), thus a key participant in the infection.

To widen our knowledge on the roles played by CD81 LEL in binding the HCV E2 glycoprotein, the LEL crystal structure was approached. Three different crystal forms have so far been obtained. We report here on the most recently grown form (R32). Marked conformational fluctuations in the molecular regions held to be involved in binding to the viral protein, suggest rules for recognition and assembly within the tetraspan web.



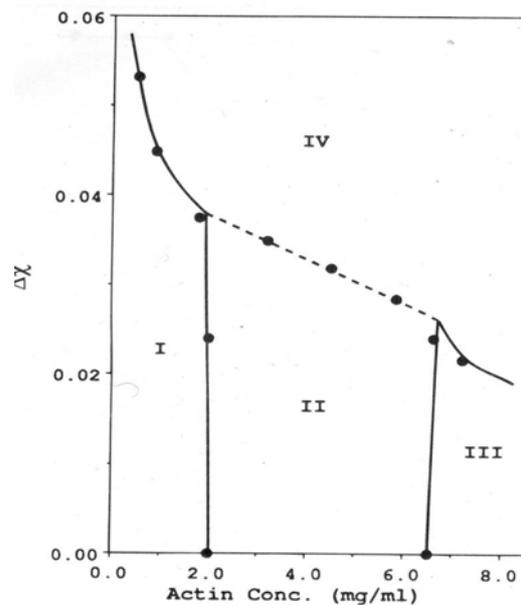
P34 アクチン系細胞骨格の多形態性の物理的基礎と細胞機能

伊藤 忠直^a, 芳賀 永^b

^a京都大学 低温物質科学研究センター、^b北海道大学 理学研究科 生物科学専攻

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

細胞内のアクチン系細胞骨格は多様な形態をとり、それぞれが構造特異的に様々な細胞機能を担っている。本研究交流会では、その多形態性を決定するアクチンフィラメント(F-アクチン)の集合状態が、左図にあるようにフィラメント-フィラメント相互作用エネルギー($\Delta\chi$)および濃度によって、isotropic (I)、liquid crystalline (III)、それらの共存 (II)および tight bundle (IV)の各相をとり、それぞれに対応する構造が細胞内にも見られること、また F-アクチンの集合状態が liquid crystalline 相に相当する stress fiber の細胞頂上面での形成が、アクチン架橋タンパク質の filamin A によって特異的に誘導され、細胞を力学的に安定に保つのに寄与していることなどについて論じる。



F-アクチン集合状態の相図

P35 脳磁図によるヒト大脳聴覚野の過興奮性の検討

白井 桂子^a, 松林 潤^a, 長峯 隆^a, 池田 昭夫^b, 平海 晴一^c, 松本 理器^b,
川又 純^b, 高橋 良輔^b, 福山 秀直^a

^a京都大学 医学研究科 高次脳機能総合研究センター, ^b同 神経内科, ^c同 耳鼻咽喉科

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

ヒトの大脳皮質が後天的に過興奮性を獲得したために生じる疾患がある。てんかんはその代表例である。てんかんの発作は、ある特定の脳部位の神経細胞群が突発的に同期して過剰発火し、結果として痙攣、意識消失等の症状が引き起こされる状態である。発作以外の時(発作間欠期)は、大多数の場合、問題なく日常生活を送れるのがこの病気の特徴である。診断には脳波が有効であるが、発作間欠期の脳波では異常を認めない場合が存在する。そこで、本研究では発作間欠期に聴覚誘発脳磁場を記録し、発作間欠期における脳の異常活動の検出を試みた。対象は、発作時に機械的な雑音や高音が聞こえるといった聴覚症状を示し、また、特定の音や音楽が引き金となって発作が起こる場合があるという特徴を持つ遺伝性てんかんの5症例。脳磁場の記録は306チャンネル全脳型脳磁図計で実施した。音刺激(周波数1kHzの純音)を左右の耳に交互に提示し、得られた誘発脳磁場を左右大脳半球で別々に解析し、刺激提示後最も強い脳磁場活動の見られる時間と脳磁場活動の大きさを、正常被験者10名のデータと比較した。5症例中3例で、正常被験者の平均値の2.5SDを超える脳磁場活動を認め、発作間欠期においても、大脳の聴覚野が過剰反応を生じる症例が存在することが確認された。

P36 拡散MRIを用いた脳機能計測

浦山 慎一^a, 麻生俊彦^a, 福山秀直^a, Denis Le Bihan^{a,b}

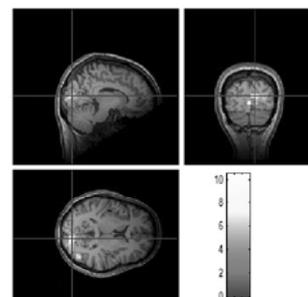
^a京都大学大学院 医学研究科附属 高次脳機能総合研究センター

^b Lab. Anatomical and Functional Neuroimaging, SHFJ, CEA, Orsay, France

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

1990年、BOLD効果(Blood Oxygenation Level-Dependent)によりMR信号が変動することが報告されて以降、この効果を用いた機能的MRI法は、非侵襲的に脳機能を計測出来る手法として、広く用いられている。一方で、拡散MR撮像法は、生体内での水分子の拡散現象を画像化する手法として開発され、脳梗塞部位の評価や、脳内神経束走行の画像化、癌検出など、細胞構造変化を検出出来る手法として、近年高い注目を集めている。拡散MR撮像法を用いた機能的MRI法は、賦活時の脳細胞の微小な構造変化をとらえる手法として考案され、従来の機能的MRI法のように脳活動による血行動態変化をとらえるものよりも、より直接的に脳活動をとらえることが出来る手法として期待されている。

本報告では、高次脳機能総合研究センターに於いて行われた実験に基づき、本手法を紹介する。



拡散MRI法により得られた光刺激に対する脳活動

P37 磁気共鳴法によるマウス雄性生殖器官機能の検討

杉本 実紀^a・森田 眞紀^a・今西 哲^a・久米 新一^a

^a京都大学 農学研究科 応用生物科学専攻 生体機構学分野

E-mail : sugimoto@kais.kyoto-u.ac.jp

高磁場NMR装置（9.4T）によりマウス精巣近傍の磁気共鳴マイクロイメージ（MRM）および³¹P-NMRスペクトルを *In vivo*で観測し、加齢およびエストロゲン様化合物（diethylstilbestrolまたは17beta-estradiol 3-benzoate）投与に伴う変化について検討した。MRMは、内径38mmのイメージング用プローブ内にマウスを保定し、2次元および3次元フーリエ変換スピネコー法により空間解像度約160μmのプロトン密度強調像、T1強調像、T2強調像を撮像した。³¹P-NMRスペクトルは局所コイルを使用して測定した。MRMの加齢に伴う変化としては、T2緩和時間が未成熟または老齢個体と比較して成熟個体では長い傾向が見られた。³¹P-NMRスペクトルでは、他の動物で精子形成状態の指標となることが報告されているphosphodiester（PDE）およびphosphomonoester（PME）の信号強度に変化が認められた。PMEは性成熟期以降、高信号から低下し再び高信号となった後、低下する傾向がみられ、PDEは性成熟期に低信号から高信号となり、加齢個体では低化した。エストロゲン様化合物投与の影響としては、一部の個体の³¹P-NMRスペクトルでPDEのシグナルの低下が観察された。これらの個体の観測後の精巣組織像においては変性細胞が散見され、精細管内腔の精子が減少する傾向が認められた。以上の結果から、³¹P-NMRスペクトル観測はマウス雄性生殖器官の機能変化の検出に利用できると考えられる。

P38 - 偏光相関によるパリティの破れの検証

石川 丈寛^a、音野 瑛俊^a、久保 一^a、関原 隆泰^a、田中 宏臣^a、山本 新^a、吉田 晃^a、

今井 憲一^b、舟橋 春彦^b

^a京都大学 理学部 物理学第二教室 課題研究P3

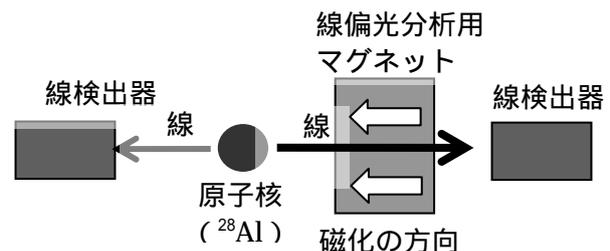
^b京都大学 理学研究科 物理学宇宙物理学専攻 物理学第二分野

E-mail : hal-2005p3@nh.scphys.kyoto-u.ac.jp

1957年に弱い相互作用における parity の破れが C.S.Wu らの実験によって確認された。これは、それまで信じられていた「左右対称な世界」を否定する重要な発見であり、様々な追試によってその正しさが確かめられてきた。我々は、卒業研究のテーマとして - 偏光相関による parity の破れの検証を選んだ。

実験では崩壊した直後に線を放出して安定する原子核を用いる。Parity が破れていれば、線を特定の方角で検出することで原子核のスピンの偏りが生じる。その偏りが同時計測した線の偏光から間接的に得られるため、parity の破れの検証ができる。線の偏光分析にはマグネットの磁化方向による透過率の差異を利用する。

線検出器の一つに用いたGe検出器は液体窒素温度に冷却することで高いenergy分解能を発揮するものであり、京都大学タンデム加速器で生成した²⁸Alの準位の同定など重要な情報をもたらした。Ge検出器で得たenergy spectrumなどにも触れつつ、parityの破れの検証実験の内容について発表を行う。



P39 MRI顕微鏡による³He-⁴He混合液体相分離面の可視化

陳 夢元^a, 上野 智弘^b, 福田 耕治^b, 佐々木 豊^{a, c}, 松原 明^{a, c}, 水崎 隆雄^a

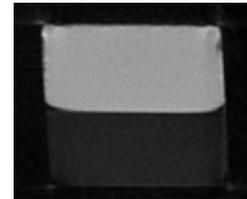
^a京都大学 大学院理学研究科

^b京都大学 医学部

^c京都大学 低温物質科学研究センター

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

現在、 $1\ \mu\text{m} \times 1\ \mu\text{m}$ の2次元解像度を目標にMRI顕微鏡の開発を行っている。高解像度を得るためには高い信号雑音比が必要である。そこで、超低温、高磁場の極限環境を駆使し、高い信号雑音比の達成を目指している。また、新たなパルス系列や強磁場勾配を開発することで、スピン拡散の効果の抑制も行っている。開発の第一段階として、磁場を0.33 Tから0.92 Tに高め、磁場勾配を0.25 T/mから0.5 T/mに向上させて、高磁場と強磁場勾配の影響を議論した。超低温MRIで用いたものと同じ試料容器を使い³He-⁴He混合液体の相分離界面の形状を再度可視化した。相分離界面により解像度を評価すると、以前に得られた2次元解像度 $25\ \mu\text{m} \times 25\ \mu\text{m}$ を、 $6\ \mu\text{m} \times 6\ \mu\text{m}$ に改善できたことが分かった(上図)。本発表会で、高磁場・強磁場勾配による改善点や問題点についての考察を報告する。また、現在準備中の新しい試料容器の概要も合わせて報告を行う。



改善された³He-⁴He混合液体の相分離界面のMRI画像(700mK)

P40 超低温 MRI による固体ヘリウム3 U2D2 相の磁区構造の研究

田中 孝佳^a, 佐々木 豊^{ab}, 水崎 隆雄^{ab}

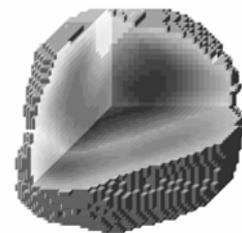
^a京都大学 大学院理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 物理学第一分野

^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

我々の研究グループでは数百 μK という超低温下でのみ存在する、固体ヘリウム3の核磁気秩序相の核磁性を研究しています。このうちU2D2相は一軸異方性の反強磁性相であり、単結晶中において互いに直交した異方軸を持つ3種類の磁区が、共存していることが知られています。近年我々はこのU2D2相の単結晶内部の磁区構造を3次元MRI法により測定することに世界に先駆けて成功しました。下図で色分けして示されているのが磁区の分布で、結晶サイズと同程度の大きな磁区が平面状の磁壁を挟んで共存している様子がよく分かります。

この磁区構造に関わってメモリー効果という不思議な現象があることも、3次元MRIによって初めて明確に示すことができました。外部磁場を掃引して一軸異方性を持たない別の反強磁性相に転移させた後、元の磁場に戻すとなぜか元々の磁区分布を再現するという、不思議な記憶力が存在します。また、この2相の間の相転移は一次相転移なのですが、安定相が相転移時にどう時間空間発展するかなど興味深い現象もMRI技術を駆使して研究しています。



直径2ミリの固体の磁区分布像(0.5mK)