

低温物質科学研究センター講演・研究発表会の報告

Report of the Lecture and Research Meeting in LTM Center

澤田安樹

京都大学 低温物質科学研究センター

A. Sawada

Research Center for Low Temperature and Materials Sciences, Kyoto University

去る3月4日午後芝蘭会館別館にて低温物質科学研究センターの講演・研究発表会を行った。4件の講演と34件のポスター発表があり、参加者70名と、関係者皆さんの御協力で大変盛況な会であった。

昨年4月にセンターへ着任して、慌たしい着任直後の状態が収まった時に、ふとセンターの役割とは一体何だろうと疑問に思った。寒剤を供給するだけであれば、研究を標榜する人間を置いておく必要はない。また自分自身で研究するだけであれば、別にセンターに籍を作る必然性もない。私自身で思い至った結論は、寒剤を使う研究を発展させるお手伝いをするのが研究センターの主要な役割ではないかということであった。そのためには研究会のような行事がぜひとも必要ではないかと思った。その様なことを考えていた矢先に、公開講演会をどうしようかということがセンターの運営委員会で議論になった。ついつい「はい」と手を挙げて、常日頃思っていた研究発表会とセンター発足以来2年続けられた公開講演会とを併せた会を提案してしまった。それからいつの間にか気がついたら、名工大へ転出された企画委員長の壬生さんを引き継ぐ形で講演・研究発表会の幹事になっていた。何だか少し嵌められたような感じもしたが、センターの研究発表会は、個々の研究を脳細胞に例えるならニューロンのネットワークを構築するようなもので、研究集団としての機能を構築する重要な催しである。すなわち、個々の研究者のつながりを構築して今後センターを中心に研究発展をさせる重要な意義のある催しで、骨を折る意味があると思い、私なりに気合いを入れて準備してみた。

「最先端医学・生物学における低温科学」と題して学内で活躍中の4名の方の講演には、満席になるほどの大勢の方が聞きに来られた。センターの佐々木豊さんは固体ヘリウム3などの超低温磁気共鳴映像法の研究、農学研究科の杉本実紀さんは哺乳動物卵巣組織の冷凍保存法の研究、医学研究科附属高次脳機能総合研究センターの長峯隆さんは生体に対する磁場計測による研究、理学研究科の藤吉好則さんは独自に開発した極低温電子顕微鏡を用いた膜タンパク質の構造解析を行い水チャンネルのメカニズムを明らかにした研究成果をそれぞれ講演した。各講演はたいへん興味深い内容であり、多数の質問や議論が交わされた。

研究発表会では、ダークマターから無機・有機の物質や生体まで広い分野の寒剤を利用した34件の研究が発表された。それぞれのポスターの前ではビールを飲みながらリラックスした雰囲気の中で研究が紹介された。今回の研究交流から共同研究が促進され、また新しい学際研究が生まれるものと期待できる。またLTMセンター誌前野編集委員長の提案で、概要集が次ページ以降に掲載されているので、今後の研究に役立てていただけることと思う。

独善的総括をすると、講演会、研究発表会、懇親会を絡み合わせて相互に補い合う形で意義あるセンターの催しを成功させることができたと思う。また準備のためのいろいろな雑用に春日井さん、大塚さん、新井さん、福田さん、西崎さん、上林さん、外山さんらに協力していただいた。

2004 年度低温物質科学研究センター講演会・研究成果発表会概要

2005 年 3 月 4 日 芝蘭会館別館

プログラム

講演会 (13:30 - 15:30) 先端医学・生物学と低温科学

はじめに 低温物質科学研究センター長 水崎隆雄

L1

「磁気共鳴顕微鏡の開発と基礎科学への応用」

低温物質科学研究センター 助教授 佐々木豊

L2

「哺乳動物卵巣組織の凍結保存」

農学研究科 助手 杉本実紀

L3

「生体磁場計測と医学」

医学研究科附属高次脳機能総合研究センター 助教授 長峯隆

L4

「極低温電子顕微鏡の開発と膜タンパク質の構造解析」

理学研究科 教授 藤吉好則

研究発表会 (16:00 - 18:00) 京都大学における低温物質科学研究

P1 .

題名：ダークマターアクシオン探索実験

発表者：水崎隆雄^a, 舟橋春彦^b, 松木征史^c, 澤田安樹^a, 松原明^a, 五十棲泰人^d, 野田章^e,
今井憲一^b, 高橋義朗^b, 福田昭^a

所属：^a低温物質科学研究センター, ^b理学研究科, ^c立命館大学総合理工学研究機構SRセンター,
^d放射性同位元素総合センター, ^e化学研究所附属先端ビ - ムナノ科学センター

P2 .

題名：Dark Matter Detector in Grunoble by using ultra-cold superfluid He-3

発表者：Yu. Bunkov, E. Collin, J. Elbs, H. Godfrin, and C. Winkelmann

所属：CTBT, CNRS-Grenoble, France

P3 .

題名：元素の新しい立体周期表 エレメンタッチ

発表者：前野悦輝

所属：京都大学国際融合創造センター, 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻

P4 .

題名：銀の層状酸化物の新超伝導体発見

発表者：米澤進吾^a，前野悦輝^{a,b}

所属：^a理学研究科物理学第1専攻，^b国際融合創造センター

P5：

題名：新奇超伝導体 $\text{Na}_x\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ の超伝導と磁性

発表者：井原慶彦^a，石田憲二^a，道岡千城^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

所属：^a理物理，^b理化学，^c物材機構・物質研，^d物材機構・超伝導センター

P6 .

題名：擬2次元重い電子系超伝導体 CeCoIn_5 の薄膜作製

発表者：井崎学^a，松田祐司^a，寺嶋孝仁^b

所属：^a理学研究科，^b化学研究所

P7 .

題名：4万気圧級の高圧下核磁気共鳴測定

発表者：藤原直樹

所属：人間・環境学研究科

P8 .

題名：スピン 1/2 量子かごめ磁性体 Cu-titmb の NMR

発表者：鍛冶亮介，吉岡賢二，小山田明，前川覚

所属：人間・環境学研究科

P9 .

題名： Ti_4O_7 の金属絶縁体転移と光学スペクトル

発表者：上野若菜，渡辺雅之，林哲介

所属：人間・環境学研究科 相関環境学専攻 林研究室

P10 .

題名：テラヘルツ周波数領域におけるアミノ酸結晶の分子間振動モード

発表者：永井正也，山下功美子，広理英基，田中耕一郎

所属：理学研究科 物理学第一教室

P11 .

題名：シトシンと TCNQ 誘導体を用いた電荷移動錯体の物性

発表者：西村一国，榎本雄一郎，清水康仁，本田元気，坂田雅文，齋藤軍治

所属：理学研究科化学専攻

P12 .

題名： D- π -A 型分子内電荷移動化合物の性質

発表者：大塚晃弘^a，西村一国^b，椎木峰行^b，榎本雄一郎^b，本田元気^b，齋藤軍治^b

所属：^a低温物質科学研究センター，^b理学研究科化学専攻，理学部化学教室

P13 .

題名：Ultra-Fast Highly Efficient Photo-Induced Phase Transition in (EDO-TTF)₂PF₆

発表者：邵 向鋒(SHAO, Xiangfeng)^a，矢持 秀起(YAMOCHI, Hideki)^a，太田 明(OTA, Akira)^b，
齋藤 軍治(SAITO, Gunzi)^b

所属：^aResearch Center for Low Temperature and Materials Sciences，^bDivision of Chemistry, Graduate School of Science

P14 .

題名：ホイスラー合金 Co₂MnSn 薄膜の作製と物性解明

発表者：張維^{a,b}，壬生攻^{a,c}，慈幸範洋^d，奥野拓也^{a,d}，吉村一良^b

所属：^a低温物質科学研究センター，^b理学研究科，^c名古屋工業大学，^d化学研究所

P15 .

題名：界面効果・サイズ効果を利用したナノスケール磁性体の磁気構造制御と物性研究への応用

発表者：壬生攻

所属：名古屋工業大学大学院工学研究科

P16 .

題目：酸素欠損を有する SrTiO₃ の発光特性

発表者：寺嶋孝仁^a，神田良子^a，菅大介^a，島川祐一^a，高野幹夫^a，金光義彦^{a,b}，石墨淳^b

所属：^a化学研究所，^b奈良先端科学技術大学院大学物質創成科学研究科

P17 .

題名：トラップ水素原子の低温挙動

発表者：中島光一^a，山内 淳^b

所属：^a人間・環境学研究科，^b理学研究科

P18 .

題名：脳の水チャネル AQP4 の構造と機能

発表者：廣明洋子^{a,b}，谷一寿^{a,c}，亀川亜希子^{a,c}，刑部伸彦^c，西川幸希^{a,c}，鈴木博視^a，Thomas Walz^d，
佐々木成^e，光岡薫^c，藤吉好則^{a,b,c,f}

所属：^a理学部生物物理，^bJST/CREST，^c産業技術総合研究所生物情報解析研究センター，^dHavard Medical School，^e東京医科歯科大学，^f低温物質科学研究センター

P19 .

題名：Filamin A 架橋 F-actin・ネットワーク構造の力学・浸透圧特性

発表者：伊藤忠直^a，山崎昌一^b

所属：^a低温物質科学研究センター，^b静岡大学理学部

P20 .

題名：膜 4 回貫通型タンパク質 CD81 の構造生物学的研究

発表者：北所健悟^a，Bordo D^b，Ponassi M^b，Galli G^c，Pettracca R^c，Falugi F^c，Grandi G^c，Bolognesi M^b

所属：^a低温物質科学研究センター，^bジェノバ大学ABCセンター，^cカイロンワクチンリサーチセンター

P21 .

題名：脳磁図記録による側頭葉機能の検索

発表者：松林潤^a，江夏怜^b，臼井桂子^a，三國信啓^b，池田昭夫^c，長峯隆^a，橋本信夫^b，福山秀直^a

所属：^a医学研究科附属高次脳機能総合研究センター，^b医学研究科脳神経外科学，^c医学研究科臨床神経学

P22 .

題名：危険予期と内側前頭前皮質

発表者：福井裕輝^a，村井俊哉^a，林拓二^a，花川隆^b，福山秀直^b

所属：^a医学研究科脳病態生理学精神医学教室，^b医学研究科附属高次脳機能総合研究センター

P23 .

題名：藻類由来多糖類のキレートおよびゲル形成を利用した磁性機能材料の創製

発表者：扇喜洋介，應矢量之，西尾嘉之

所属：農学研究科

P24 .

題名：エネルギー貯蔵用高温超伝導コイルシステムの最適設計と高機能化に関する研究

発表者：東川甲平，中村武恒，星野勉

所属：工学研究科

P25 .

題名：磁性イオン含有酸化物ガラスの低温における磁気特性

発表者：赤松寛文，田中勝久，村井俊介，藤田晃司

所属：工学研究科 材料化学専攻

P26 .

題名：P L D法により作製したイルメナイト・ヘマタイト固溶体の電氣的・磁氣的性質

発表者：北條元，藤田晃司，田中勝久，平尾一之

所属：工学研究科材料化学専攻平尾研究室

P27 .

題名：含長鎖補助配位子による原子価互変異性錯体の相転移挙動制御

発表者：桐谷乃輔^a，張浩徹^{a,b}，鎌田亜紀子^a，北川進^a

所属：^a工学研究科，^b科学技術振興機構さきがけ

P28 .

題名：高分解能走査型ホールプローブ顕微鏡を用いた YBCO 膜中の単一磁束量子の観察

発表者：権藤政信^a，長村光造^a，酒井明^b，松本要^a

所属：^a工学研究科，^b国際融合センター

P29 .

題名：回転下におけるエアロジェル中の超流動ヘリウム 3

発表者：松原明

所属：低温物質科学研究センター

P30 .

題名：極限環境を駆使した MRI 顕微鏡の開発

発表者：上野智弘^a，陳夢元^b，松山剛^b，松原明^{a,b}，佐々木豊^{a,b}，福田耕治^c，水崎隆雄^b

所属：^a低温物質科学研究センター，^b理学研究科，^c医学部保健学科

P31 .

題名：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

発表者：能藤久幸^a，松原明^b，福田昭^b，水崎隆雄^a

所属：^a理学研究科，^b低温物質科学研究センター

P32 .

題名：ヘリウム液面電子で見る 2 次元希薄ボース気体の超流動

発表者：新井敏一，福田昭，澤田安樹

所属：低温物質科学研究センター

P33 .

題名：2 層系量子ホール効果における新しい量子相

発表者：福田昭^a，澤田安樹^a，新井敏一^a，寺澤大樹^b，下田雄一^b，森野正行^b，岩田一樹^b，
古住信介^b，江澤潤一^b

所属：^a低温物質科学研究センター，^b東北大学理学研究科

P34 .

題名：2 層系の量子ホール効果

発表者：澤田安樹，福田昭，新井敏一

所属：低温物質科学研究センター

L1 磁気共鳴顕微鏡の開発と基礎科学への応用

佐々木豊

京都大学 低温物質科学研究センター，大学院理学研究科物理学・宇宙物理学専攻

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

近年における磁気共鳴映像法 (MRI) の発展は著しく，とりわけ医療用途での応用はもはや日常的な事象となっています。その基礎を築き上げた Lauterbur, Mansfield 両氏に 2003 年のノーベル医学賞が与えられたことは記憶に新しいことと思います。我々の研究グループではマイクロケルビン領域という超低温度にある物質の磁氣的性質の空間分布を直接測定することのできる超低温磁気共鳴映像法 (ULT-MRI) の開発を進めてきました。本講演では磁気共鳴映像法の原理を解説し，物性物理学としての視点から見た魅力の紹介に加えて，スピンの目を通して磁氣的性質や物質の運動状態を見る顕微鏡としての応用，物性科学的視点からのさらなる発展が期待される生命科学への応用などの可能性についても言及する予定です。

L2 哺乳動物卵巣組織の凍結保存

杉本実紀

京都大学農学研究科

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

生殖細胞の保存は，動物においては系統維持や優良な形質をもつ動物の増産に有用であり，人間では抗癌剤治療などによる不妊の回避に利用することができる。哺乳動物では，雌性生殖細胞である卵母細胞は卵巣内において周囲の細胞による支持を受けて発育・成熟し排卵されるが，一回毎の排卵数はごく少数で生殖適齢期にしか得られないという問題がある。これを解決するためには，卵巣内に多数存在する未発育卵母細胞を組織ごと保存し，必要時に成熟させる手段が必要である。また，卵巣はエストロゲン等のホルモンを産生する内分泌器官でもあるので，その機能障害は更年期障害や骨粗鬆症等の疾病につながるが，保存した卵巣の移植によりこれらを軽減できる可能性がある。細胞や組織を凍結保存後に生存させるためには氷晶による損傷などの傷害を防止しなければならないことから，冷却・加温速度や保護物質の添加等，処理条件の調節が必要である。卵巣組織の保存はこれまでに実験動物，家畜，ヒトでの成功が報告されており，初期胚の保存法と類似の手法が使用されていることが多い。我々は簡便な冷却法であるガラス化冷却法により保存を行ったが，液体窒素中での冷却後に部分的ではあるが組織の生存と機能が認められた。大型の組織を保存するためには更に手法の改良が必要であるが，成熟卵子の保存と併用することで，雌性生殖細胞の保存における選択肢を増やし全体的な効率を高められると考えられる。

L3 生体磁場計測と医学

長峯 隆

京都大学医学研究科附属高次脳機能総合研究センター

E-mail : nagamine@bpp2.kuhp.kyoto-u.ac.jp

生体より発生している磁場には、定常磁場と変動磁場とある。前者は、主に外部より異物として混入した磁性物質によって発生するが、一時的に励起磁場を加えることによって、磁性物質、ひいては異物の総量を推定することが可能である。粉塵の多い環境下における長年の暴露量の推定などに有用であり、今後、労働環境等の定期検診などへの応用が期待されている。後者は、生体の構成物質のうち興奮性性質をもつ細胞に由来し、その電位分布が時間的変動を起こすことによって生じる。特殊な部位においては、同等の機能を持つ興奮性細胞が集団をなして空間的に整列し、細胞内を流れる電流が局所電流として働く。この局所電流には細胞外の帰還電流が付随しているが、生体構成物質がさまざまな電気伝導率を有しているために、体外で計測した帰還電流には分布の歪みがあり、これらより発生電流源を推定することは困難である。これに対し、局所電流より離れた位置において SQUID 等により計測した磁場は、生体の透磁率がほぼ一定であるため歪みがなく、これを用いて発生電流源の位置、時間経過を正確に推定することが可能である。対象の動かない大脳皮質の活動推定が盛んに行なわれ、現在では臨床的にも広く用いられるようになってきた。心臓、末梢神経、筋肉などへの臨床応用も、今後進んでいくと思われる。計測にかかる費用削減と、より正確な逆問題解析が今後の問題である。

L4 極低温電子顕微鏡の開発と膜タンパク質の構造解析

藤吉 好則

京都大学大学院理学研究科

E-mail : yoshi@em.biphys.kyoto-u.ac.jp

試料を低温に冷却することによって電子線損傷を最少に押さえることが出来る極低温電子顕微鏡を、水崎隆雄低温物質科学研究センター長の教えを受けて開発することが出来た (*Ultramicroscopy* 38, 241-251 (1991))。これを改良して、極低温電子顕微鏡を中心とした構造研究システムを開発してきた (*Adv. Biophys.* 35, 25-80 (1998))。これは、神経細胞などの制御や情報伝達ネットワークの構築に関する分子的基础原理を理解すること、そして将来的には記憶や意識、個性等を分子レベルで理解する事を夢に見た技術や手法の開発である。

極低温電子顕微鏡を用いた膜蛋白質の構造研究が近年それなりに進んだ。例えば、光合成アンテナタンパク質 (*Nature* 367, 614-621 (1994))、バクテリオロドプシン (*Nature* 389, 206-211 (1997)) 等の解析、1秒間に20億分子もの水を高速で透過しながら、いかなるイオンもプロトンさえも透過しない水チャンネルの高い選択性を示す機構の解明 (*Nature*, 407, 599-605 (2000))。アセチルコリン受容体の構造解析によって、神経筋接合部で行われる情報伝達の機構、特にアセチルコリンによるイオンチャンネルのゲーティング機構等が解明された (*Nature*, 423, 949-955 (2003))。単粒子解析法を用いた、電圧感受性 Na⁺チャンネル (*Nature*, 409, 1047 (2001)) および IP₃ 受容体 (*JMB*, 336, 155-164 (2004)) 等の低い分解能での解析からも、アセチルコリン受容体と比較すると興味深い特徴が明らかになってきた。これら、我々が関わった解析と、R. MacKinnon らが解析した K⁺チャンネルの構造解析結果とを合わせて、チャンネルの構造と機能を中心にお話したい。細胞や組織の構造を分子レベルで議論できる極低温電子顕微鏡を用いた立体構造観察法の可能性にも短く触れたい。

P1 ダークマターアクシオン探索実験

水崎隆雄^a, 舟橋春彦^b, 松木征史^c, 澤田安樹^a, 松原明^a, 五十棲泰人^d, 野田章^e,
今井憲一^b, 高橋義朗^b, 福田昭^a

^a京都大学低温物質科学研究センター, ^b京都大学大学院理学研究科,

^c立命館大学総合理工学研究機構 S R センター, ^d京都大学放射性同位元素総合センター,

^e京都大学化学研究所附属先端ビーム科学センター

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

宇宙にはその全質量の 35% 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いる。ダークマターの正体を明らかにすることは、基礎物理・宇宙物理の最重要課題である。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。これをリドベルグ原子を用いた高感度検出装置で探索し、ダークマターの正体を明らかにする。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検出装置を低温物質科学研究センターの隣接地へ移設する。全学共同利用の低温物質科学研究センターを核にして、素粒子実験(理・物2), 粒子線検出器開発(RI センター), 低温計測・マイクロ波実験技術(低温センター), ビーム・ナノ科学(化研), レーザー制御・量子エレクトロニクス(理・物1)などの専門家から成る全学を横断した新しい研究チームを形成して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を展開する。これはリドベルグ原子を微弱電場測定やマイクロ波単一光子検出に応用するものである。

P2 Dark Matter Detector developed in Grenoble by using Ultra-Cold Superfluid He-3

Yu. Bunkov, E. Collin, J. Elbs, H. Godfrin, and C. Winkelmann

CRTBT, CNRS-Grenoble, France

The detection of non-baryonic dark matter represents a major challenge for modern physics. He-3 presents privileged properties for detecting massive non-baryonic particles and as a new feature of its fermionic character allows the detection of such particles also by the spin-spin interaction. Superfluid He-3 Dark Matter Detectors, developed in Grenoble, operating at 100 mK take advantage of leading techniques of ultra-low temperatures. This presentation reports on new experiments with a small prototype cell in which the cosmic muons released energy spectrum has been measured. We succeed to measure also the spectrum of secondary electrons after Co-57 beta decay with threshold and resolution better than 1 keV.

P3 元素の新しい立体周期表 エレメンタッチ

前野悦輝

京都大学国際融合創造センター, 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻

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

現在広く使われている元素の周期表は 1905 年にスイスの化学者ヴェルナーによって考案されたものを基にしています。そのいくつかの欠点を解消する立体周期表を考案しましたのでご紹介します。エレメンタッチと名づけたこの立体周期表の特徴は:

1. 全ての元素記号が原子番号順に途切れることなく並んでいる。

2. f 電子系元素だけを別表にする必要がなくなった.
 3. イオン化価数の同じ元素は縦一列に並んでいる.
 4. 原子の模型を表現している (3 重の筒は s・p 軌道, d 軌道, f 軌道を表す).
- この立体周期表をさらに平面上に展開したバージョンについても発表します.

P4 銀の層状酸化物の新超伝導体発見

米澤進吾^b, 前野悦輝^{a,b}

^a 京都大学 大学院理学研究科 物理学第 1 専攻

^b 京都大学 国際融合創造センター

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

層状酸化物でみられる超伝導では, 導電性を主に担う遷移金属の d 電子の間の強いクーロン相互作用が重要となる場合が多く, 従来型の電子-格子相互作用を媒介とするメカニズムに代わって, 非従来型の異方的超伝導がしばしば起こる. 銅酸化物ではスピン一重項 d 波の高温超伝導が出現し, ルテニウム酸化物 Sr_2RuO_4 では超流動³He のようなスピン三重項 p 波の超伝導が出現する. これらの他にニオブコバルトの層状酸化物でも超伝導体知られており, その超伝導性は精力的に研究されている.

我々は最近, 銀の層状酸化物 $\text{Ag}_5\text{Pb}_2\text{O}_6$ が超伝導体であることを発見した[1]. 転移温度は約 50 mK と低いが, 臨界磁場も約 5 Oe と低く, さらに磁場中では一次相転移に伴う過冷却現象なども見られることから, 酸化物としてはおそらく初めての第 1 種超伝導体である可能性が高い. 銀は周期表で銅の真下に位置するため, 銅酸化物の電子状態との比較も面白い. この研究発表会ではこの $\text{Ag}_5\text{Pb}_2\text{O}_6$ の超伝導と常伝導の性質について発表・解説する.

[1] Shingo Yonezawa and Yoshiteru Maeno, Physical Review B **70**, 184523 (2004).

P5 新奇超伝導体 $\text{Na}_x\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ の超伝導と磁性

井原慶彦^a, 石田憲二^a, 道岡千城^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 京大理物理, ^b 京大理化学, ^c 物材機構・

物質研, ^d 物材機構・超伝導センター

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

kishida@scphys.kyoto-u.ac.jp

三角格子コバルト酸化物 $\text{Na}_x\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ の超伝導は, 2003 年に Takada *et al.* によって発見された. 辺共有で連なった CoO_6 八面体から成る CoO_2 層において Co は三角格子を形成しており, それぞれの CoO_2 層は水と Na の層に隔離されている. この物質では幾何学的フラストレーションを内在する二次元三

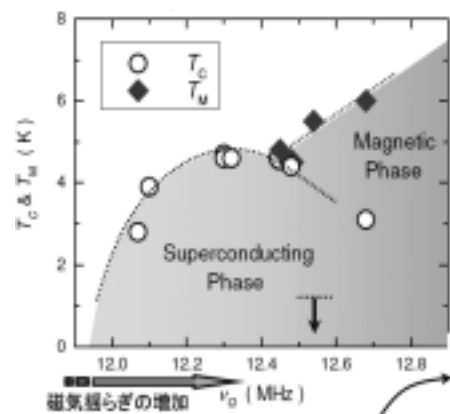


図: $\text{Na}_x\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ の相図

角格子上で超伝導が実現しており，二次元正方格子の銅酸化物高温超伝導体との比較からも興味を集めている．我々は Co サイトの微視的磁気状態と密接に関係する，Co-NQR(核四重極共鳴)の測定を行っている．様々な異なる水の濃度の試料での Co-NQR の測定から，この物質の超伝導相は磁気相と接していること，また基底状態は Co の周りの電場勾配に関する電気四重極共鳴周波数をパラメータに取ると系統的に理解できることがわかった．詳細はポスターで発表いたします．

P6 擬2次元重い電子系超伝導体 CeCoIn₅の薄膜作製

井崎学^a，松田祐司^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は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．しかしながらこれまで重い電子系の薄膜化はほとんど成功していない．我々は現在スツパタリング法により3元素を同時に蒸着させる方法で CeCoIn₅ 薄膜作成を試みており，これまでに得られた結果について発表する．

P7 4万気圧級の高圧下核磁気共鳴測定

藤原直樹，

京都大学大学院人間・環境学研究科

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

圧力は，金属絶縁体転移や圧力誘起超伝導等，様々な現象が現れうる強相関電子系において重要な役割を果たしている．高圧下でおこる物理現象をミクロな立場から解明するために，我々は高圧下核磁気共鳴の技術開発と計測に取り組んでいる．今回は，4万気圧級(東京タワーを逆さまにして10cm²の平面で受けた圧力に相当)高圧下核磁気共鳴測定の紹介と，圧力誘起超伝導体である梯子格子銅酸化物についての測定例を紹介する．

P8 スピン 1/2 量子かごめ磁性体 Cu-titmb の NMR

吉岡賢二, 鍛冶亮佑, 小山田明, 前川覚

京大 人間・環境学研究科

E-mail: Ryousuke.Kaji@s01y0700.mbox.media.kyoto-u.ac.jp

幾何学的フラストレート磁性体であるかごめ格子反強磁性体は, かごめ格子点上に位置するスピンの反強磁性相互作用が競合するため磁気秩序化が抑制され, 通常の磁性体には見られない特異な磁気物性が出現する. さらにそのスピンの場合には量子効果加わるため, RVB 状態やスピン液体等の新奇なスピン状態が出現すると予想されている.

我々は量子かごめ格子磁性体の候補物質として, スピン 1/2 の Cu^{2+} イオンがかごめ格子を形成している金属錯体物質 $[\text{Cu}_3(\text{titmb})_2(\text{CH}_3\text{CO}_2)_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$ (略称 Cu-titmb) の単結晶試料を合成し, SQUID による磁化測定と核磁気共鳴 (NMR) により研究を行っている.

^3He - ^4He 希釈冷凍機を用いた 180mK までの実験から, 長距離磁気秩序化は見られなかった. スピン・格子緩和率 T_1^{-1} は, 室温から 20K までと 600mK 以下では一定であるが, 4K~600mK では急激に減少し, T_1^{-1} は $\exp(-\Delta/k_B T)$ で表される. エネルギーギャップの磁場依存性を求め, この依存性にステップ状の構造が存在することを見出した. 理論的には $S=1/2$ かごめ格子反強磁性体は, 基底状態が $S=0$, 励起状態が $S=1$ で, 両状態間にはエネルギーギャップが存在すると予想されているが, 基底状態はシングレットにはなっていないことを実験データは示している. Cu-titmb は最近接間が反強磁性ではなく強磁性で, 次近接相互作用が反強磁性のフラストレートかごめ磁性体であると考えられる.

P9 Ti4O7 における金属絶縁体転移と光学スペクトル

上野若菜, 渡辺雅之, 林 哲介

京都大学大学院 人間・環境学研究科

w.ueno@phys.h.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, 磁化率や電気抵抗が $T_t \sim 150\text{K}$ で不連続に大きな変化を示すことが知られている. Ti4O7 は T_t 以上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し, T_t 以下ではパイポーラロンを形成するために半導体に転移すると報告されている. 本研究では相転移近傍での電子状態の変化を実験的に解明する事を目的として, Ti4O7 の電氣的・光学的性質を調べた. 相転移点より高温と低温で反射スペクトルを測定すると, 高温相のスペクトルは赤外領域では反射率が高く, 可視領域では急激に減少し 1.9eV で極小値をとる. また 4.1eV にピークがある. 低温相では赤外領域の反射率が減少し, 高温相で見られる極小が消失する. スペクトルの温度依存性を調べると, T_t において不連続に反射強度が変化する. 高温相のスペクトルは金属相である事を反映して極小値以下の低エネルギー領域で Drude 型の振る舞いを呈して反射率が高い. 一方の低温相のスペクトルは半導体的でありプラズマ端が消失している. このように Ti4O7 の金属絶縁体転移において光学応答に関しても変化が生じる事を確認した. そこで高温相の反射スペクトルを Drude Model と 4.1eV に振動子を持つ Lorentz Model の和として解析を行った. 計算曲線は結果を良く再現できた. この解析から得たプラズマ周波数 4eV から評価した伝導電子の密度は, 結晶構造から推定したものとほぼ一致する.

P10 テラヘルツ周波数領域におけるアミノ酸結晶の分子間振動モード

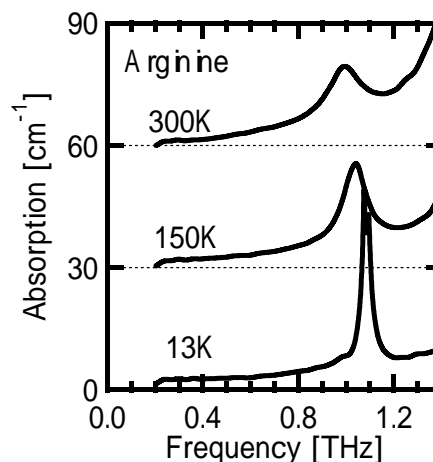
山下功美子, 広理英基, 永井正也, 田中耕一郎

京都大学大学院理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻

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

タンパク質などの生体高分子の高次構造においては, ファンデルワールス力や水素結合などの弱い分子間相互作用が働いている. これらは数 THz 程度の振動エネルギーをもち, マクロな分子構造の変化を引き起こす駆動力となる. しかし多くの高分子の THz 領域の吸収はブロードなスペクトル形状をしており, 詳細な議論を行うためにはホールバーニングなど可視領域で広く行われている非線形分光を用いて個別のモードを選択的に検出することが必要である. そこで第一段階として分子量の小さなアミノ酸微結晶のテラヘルツ領域の複素屈折率を測定し, 非線形光学応答を評価する上で重要な分子間振動の非調和性について議論した.

図はアルギニン微結晶の吸収スペクトルである. 1THz 付近に分子間振動に起因する吸収が見られる. 温度を下げるとこの吸収線は線幅を狭めながら高周波数側にシフトする. これは Lennard-Jones などの分子間ポテンシャルの非調和項を考慮することで, 半定量的に説明することができる.



P11 シトシンと TCNQ 誘導体を用いた電荷移動錯体の物性

西村一国・榎本雄一郎・清水康仁・本田元気・坂田雅文・齋藤軍治

京都大学大学院理学研究科化学専攻

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

シトシン(Cyt)は核酸塩基のひとつであり, プロトンステッド塩基($pK_b = 4.55$ in water)および電子供与体として働く. 主な TCNQ 系錯体の一覧を表 1 に示す.

光吸収帯の位置から, TCNQ 錯体では陰イオン価数が -1 価であり, MeTCNQ および Me₂TCNQ 錯体では陰イオンが部分電荷移動状態であると判断できる. プロトン化したシトシン分子(H_xCyt)^{x+}のプロトン化量 x が, 0 から 1 の間で変化すると仮定すれば, 陰イオン部分の価数を説明できる. シトシン-TCNQ(2:1)の結晶構造が得られ, TCNQ 分子は a 軸方向へ均一に積層している. また, 分子間水素結合により, 図 1 の枠内で示す H⁺Cyt と Cyt のペアが, b 軸方向へリボン状シートを形成している.

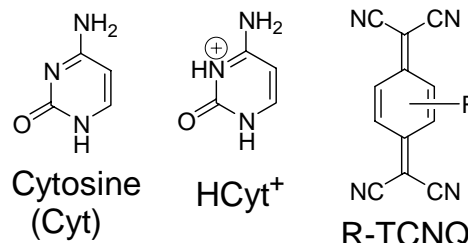


表 1 主な Cytosine-TCNQ 系錯体の一覧

R-TCNQ	組成	Abs. band ^a / 10 ³ cm ⁻¹	σ_{RT} / Scm ⁻¹ , (E_a / eV)	外見
TCNQ	2:1	7.1	3×10^{-2} (0.14) ^b	黒色針状晶
TCNQ	1:1	7.0	1×10^{-4} (0.12) ^c	黒色粉末
MeTCNQ	1:1	3.4	2×10^0 (0.017) ^c	黒色粉末
Me ₂ TCNQ	2:1	3.4	8×10^{-3} (0.025) ^c	暗青色粉末

a) KBr 中, 最低波数吸収帯, b) //a 方向, c) 加圧形成試料

P12 D - - A型分子内電荷移動化合物の性質

大塚晃弘^a, 西村一国^b, 椎木峰行^b, 榎本雄一郎^b, 本田元気^b, 齋藤軍治^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, 理学部化学教室

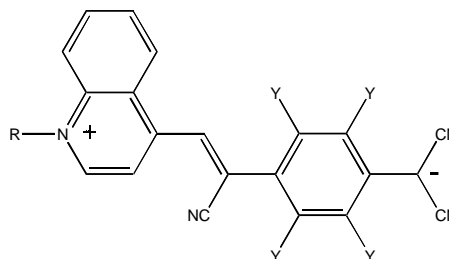
E-mail : otsuka@kuchem.kyoto-u.ac.jp

電子を与え易いドナー部位 (D) と, 電子を受け取り易いアクセプター部位 (A) を, 1 個の分子中に持ち, 両者が分子内で 電子共役結合により結ばれた構造の化合物の性質を紹介する.

例えば右図で R = C₁₆H₃₃, Y = H の分子は基底状態がイオンので, 多層膜や単層膜の集合状態で整流作用を示すことが知られている¹. 類似の化学構造と電子状態を持つ分子からなる集合体が必ずしも整流作用を発現する訳ではないが, D の骨格や A の置換基を変えた種々の関連 D - - A 型分子を合成し, 分子内電荷移動量の見積り, 電子吸収スペクトル, 分子構造, 結晶構造, 融点などにつ

いて報告する.

¹ Robert M. Metzger, *Chem. Rev.*, **103**, 3803 – 3834 (2003).



D - - A型分子の例

P13 Ultra-Fast Highly Efficient Photo-Induced Phase Transition in (EDO-TTF)₂PF₆

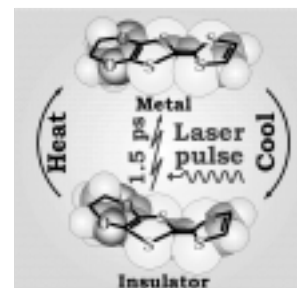
邵 向鋒 (SHAO, Xiangfeng)^a, 矢持 秀起 (YAMOCHI, Hideki)^a, 太田 明 (OTA, Akira)^b, 齋藤 軍治 (SAITO, Gunzi)^b

^aResearch Center for Low Temperature and Materials Sciences, Kyoto University

^bDivision of Chemistry, Graduate School of Science, Kyoto University

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

Photo-induced phase transition (PIPT) phenomena, in which a pulse of laser light stimulates the phase transition, are the important subject to understand the dynamics of the electronic structure and other structural and physical properties of materials. In the course of our investigations on conducting charge-transfer complexes, the title complex was found to show a metal-insulator (MI) transition associated with the distinct molecular deformation, while only the translation of the molecules can be observed in usual MI transitions. This complex also showed the photo-induced insulator-to-metal transition by irradiating with a pulsed laser light of 120 fs width, for which only 1.5 ps and one photon were needed to convert the 500 - 1,500 conducting component molecules in the insulating phase to the metallic state. Since this PIPT was associated with the reflectance change of the single crystals, the application of this material to the THz order optical fiber communication devices is expected.



P14 ホイスラー合金 Co_2MnSn 薄膜の作製と物性解明

張維^{a,b}, 壬生攻^{a,c}, 慈幸範洋^d, 奥野拓也^{a,d}, 吉村一良^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,

^c 名古屋工業大学, ^d 京都大学化学研究所

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

Co_2MnSn ホイスラー合金は伝導電子のスピン分極率がフェルミ面において 100%を示すハーフメタル強磁性体であると理論予測されている。我々は Co_2MnSn を用いて強磁性トンネル接合の作製に試みている。本講演では、超高真空蒸着法で、 $\text{MgO}(001)$ 基板上に Cr 下地層を蒸着した後、Co, Mn, Sn を単原子~半原子層オーダーで順に繰り返し積層することによって Co_2MnSn の単結晶薄膜作製し、磁性および電気伝導性を調べた結果を報告する。試料の局所磁性は ^{119}Sn メスバウアー分光法を用いて評価し、巨視的磁性は SQUID 磁束計を用いた磁化測定によって調べた。Fig.1 に基板温度 200 K で作製された薄膜試料の磁化曲線を示す。薄膜の磁化の大きさはバルク試料のものとほぼ同じであり、良好な試料ができていることがわかった。

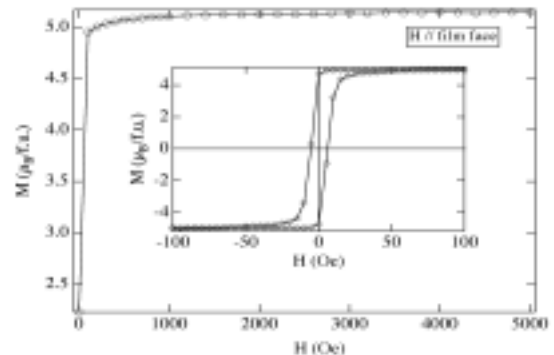


Fig.1 Magnetization curve of Co_2MnSn film measured at room temperature.

P15 界面効果・サイズ効果を利用したナノスケール磁性体の磁気構造制御と物性研究への応用

壬生 攻

京都大学低温物質科学研究センター

(現: 名古屋工業大学大学院工学研究科)

E-mail: k_mibu@nitech.ac.jp

我々のグループでは、薄膜作製技術や微細加工技術を駆使して種々の金属磁性薄膜をナノスケールで加工し、その磁氣的性質を制御していくことに取り組んでいる。磁性薄膜・多層膜・ナノ構造体の磁性がサイズ・形状や界面境界条件によってどのように制御できるかを探り、新しい物質の創成や新しい物性の発見に向けて研究を進めている。本講演では、スピン密度波、磁気渦、磁壁などの磁気構造制御と物性研究への応用に関する最近の進展について報告する。

P16 酸素欠損を有する SrTiO₃ の発光特性

寺嶋孝仁^a, 神田良子^a, 菅大介^a, 島川祐一^a, 高野幹夫^a, 金光義彦^{a,b}, 石墨淳^b

^a 京都大学化学研究所, ^b 奈良先端科学技術大学院大学物質創成科学研究科

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

SrTiO₃ はバンドギャップが 3.2eV の間接遷移型の絶縁体であり, 室温では紫外線などによる励起を行っても発光しないが, 低温では自己束縛励起子による緑色発光を示す. SrTiO₃ の Sr²⁺ を La³⁺ で置換したり, Ar⁺ イオンビームを照射して酸素欠損を作ったりすることで電子ドーピングすると室温でも青色領域で発光することを見いだした. さらに, 100K 以下の低温に冷却すると青色領域の発光は 390nm をピークとする紫外域へ移動し, ピーク幅も非常にシャープなものになる. この発光は SrTiO₃ の吸収端に一致しバンド端発光を生じていることを示している. ただし, 同時に自己束縛励起子による緑色発光も生じている. これらの結果は酸素イオンの p バンドにできたホールと遷移金属イオンの d バンド電子の結合に由来するもので, 遷移金属酸化物に固有な「p ホール」の物理の好例になるものである. 今後, 新規な発光デバイスの開発につながるものと期待される.

P17 トラップ水素原子の低温挙動

中島光一^a, 山内 淳^b

^a 京都大学人間・環境学研究科

^b 京都大学理学研究科

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

最も単純な原子である水素原子は非常に活性で小さいため, 結晶構造中に捕獲することが困難である. しかし, 演者らはβ型リン酸三カルシウム(β-Ca₃(PO₄)₂, β-TCP)にX線を照射することにより水素原子をβ-TCP 結晶構造中に捕獲することに成功した¹⁾. そこで本研究では, 不対電子の検出に高感度な電子スピン共鳴(ESR)を用いて, 捕獲された水素原子の電子状態(室温~低温)について検討を行った.

出発原料である非晶質リン酸カルシウム(Ca₃(PO₄)₂·nH₂O, ACP)の合成はリン酸水素二アンモニウム溶液と硝酸カルシウム溶液を用いた急速混合法により行った. β-TCP の合成は ACP を白金るつぼ中で, 温度 1100 °C, 時間 2h で焼成し, 焼成後は室温まで徐冷を行い, β-TCP 粉末を得た.

CW-ESR より水素原子に起因する ESR スペクトルが得られ, この線形は室温から 30K 付近までの測定ではほとんど変化が見られなかったが 30K 以下ではブロードになった. ブロードになった理由として緩和時間が短くなったことが考えられる.

【参考文献】

1) K.Nakashima, J.Yamauchi, *J. Am. Chem. Soc.*, **127**, 1606 (2005).



講演・発表会の風景



P19 Filamin A 架橋 F-actin・ネットワーク構造の力学・浸透圧特性

伊藤忠直^a, 山崎昌一^b

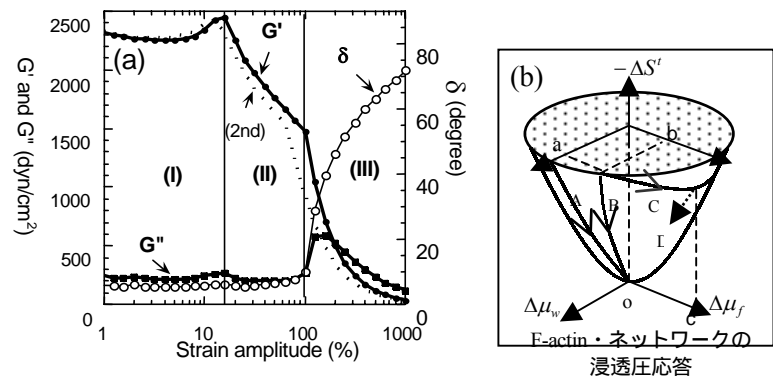
^a 京都大学低温物質科学研究センター

^b 静岡大学理学部

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

細胞質周辺の細胞皮質を構成する filamin-A により架橋された F-actin・ネットワークは、細胞膜を介するシグナル伝達の「中継基地」であるとともに、細胞に加わる力学的、浸透圧ストレスに対して、細胞内環境の恒常性を維持するための構築物でもある。

F-actin・ネットワークは、比較的小さい力学的ストレスに対してはゲルとして振舞い、閾値以上のストレスでは可逆的なゲル-ゾル転移を生じる(図 a)。また浸透圧ストレス下に置かれると、内部の水のケミカルポテンシャルを調節し、ストレスを中和する(図 b)。このような特有の力学的・浸透圧的応答の基礎となるのは、超分子構造体としての F-actin の力学的・熱力学的性質と架橋タンパク質, filamin-A の可逆的な folding-unfolding 転移である。



P20 膜4回貫通型タンパク質 CD81 の構造生物学的研究

北所健悟^a, Bordo D^b, Ponassi M^b, Galli G^c, Petracca R^c, Falugi F^c, Grandi G^c, Bolognesi M^b

^a京都大学低温物質科学研究センター, ^bジェノバ大学 ABC センター, ^cカイロンワクチンリサーチセンター

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

C型肝炎ウイルスに結合して、その感染に関与するとされる CD81 は、種々の免疫応答に関与する膜タンパク質である。この分子は 236 個のアミノ酸からなる4回膜貫通型蛋白質であり、2つの細胞外領域 (LEL; Large Extracellular Loop, および SEL; Small Extracellular Loop) と3つの細胞内ドメインおよび4つの膜貫通疎水性領域から形成されている。HCV ウイルスの主たる結合領域である、CD81の LEL ドメインの三次元構造定を目的として、この LEL ドメインについて結晶化を行った。その結果、3つの異なる結晶系を有する単結晶が得られた。そのうち2つの結晶については、X線構造解析の手法を用いて三次元構造を決定した。その結果、LEL ドメインは5つのヘリックスからなり、HCV が結合すると考えられるサイトは、フレキシブルなコンフォメーションを形成していた。

P21 脳磁図記録による側頭葉機能の検索

松林潤^a, 江夏怜^b, 臼井桂子^a, 三國信啓^b, 池田昭夫^c, 長峯隆^a, 橋本信夫^b, 福山秀直^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^a, 京都大学大学院医学研究科脳神経外科学^b, 京都大学大学院医学研究科臨床神経学^c

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

大脳皮質において神経細胞の電気的活動は局所で集団的かつ同期的に発生している。この集団的な電気的活動を頭蓋外より記録したものが脳波であるが、一方その電位変化に伴って発生している磁場変動を計測したものが脳磁図である。このような磁場変動は 1~1000 fT 程度であり通常の磁束計では検出不能であるが、液体ヘリウムで冷却した超伝導量子干渉装置 superconducting interference device (SQUID)を用いて磁気シールド室内にて計測を行うことによって検出できる。本研究グループは多チャンネルセンサーを用いて頭部ほぼ全体からの同時記録を行い、種々の脳機能を非侵襲的に解明することを目指しているが、今回は特に側頭葉の3つの領域の脳機能研究について報告する。臼井らは被験者にひらがな、漢字などを含む視覚刺激を呈示して脳磁図計測を行い、側頭葉底面における漢字とひらがなの処理を示した。また、松林らは睡眠中の被験者に音刺激を呈示して脳波と脳磁図の同時記録を行い、側頭葉外側部の聴覚皮質での弁別処理が睡眠段階2でも保たれていることを示した。また、江夏らは、内側側頭葉てんかんが疑われる患者の自発脳磁図記録を行い、内側側頭葉に推定されるてんかん性放電の発生部位を示した。集団性、同期性の条件が整えば、深度、方向の異なる部位の活動でも、記録研究を行なうことができる。

P22 Risk anticipation and medial prefrontal cortex

Hiroki Fukui,¹ Toshiya Murai,¹ Takuji Hayashi,¹ Takashi Hanakawa,² and Hidenao Fukuyama²

¹Department of Neuropsychiatry and ²Human Brain Research Center, Kyoto University Graduate School of Medicine

Risk anticipation is an important cognitive/emotional component of decision making. The Iowa Gambling Task (Bechara et al., 1994), which is the most widely used “risk-anticipation task” in clinical studies, has been demonstrated to be sensitive to lesions involving the ventromedial prefrontal cortex or amygdala. However, the critical neural circuitry involved in this complex task has not yet been fully clarified even in healthy subjects. Using a 3T scanner, we performed an event-related functional magnetic resonance imaging study in 14 healthy subjects performing the task. The statistical parametric mapping showed that the risk anticipation component (risky decisions minus safe decisions) exclusively activated the medial frontal gyrus. Furthermore, we found a significant inter-individual correlation between the task performance and the magnitude of brain activity during risky decisions. These results indicate that the Iowa Gambling Task does recruit the neural circuitry that is critical in decision making under uncertainty, particularly when subjects perceive the risk of their decision.

P23 藻類由来多糖類のキレートおよびゲル形成を利用した磁性機能材料の創製

扇喜洋介^a, 應矢量之^a, 西尾嘉之^a

^a京都大学農学研究科

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

電解質多糖類の金属イオンとの相互作用能およびゲル形成能を利用して、ポリマーマトリックス中に磁性金属酸化物がナノスケールで微分散した新規ハイブリッド材料の作製と磁化特性解析を行っている。例えば、アルギン酸ナトリウム(AlgNa)水溶液を出発に、(1)鉄塩溶液への浸漬によるゲル化と鉄イオンのインターカレーション、(2)アルカリ処理による部分的イオン交換と水酸化鉄生成、(3)過酸化水素処理による酸化鉄の *in-situ* 合成を基本プロセスとして、磁性微粒子が化学充填された Alg のゲルおよびフィルムが得られる。多糖ゲルの脆さを解消すべくホウ酸塩を併用することにより、粘弾性可変の Alg/ポリビニルアルコール IPN(相互侵入ネットワーク)をマトリックスとした磁性体も作製できる (e.g., Y. Nishio et al., *Polymer*, **45**, 7129 (2004))。ポリマー組成、アルカリ処理方法、および温度に依存して、常磁性、超常磁性、強磁性を発現する。その他、多糖マトリックスとして硫酸基を有するカラギーナン、IPN 系としてアルギン酸/ポリ 2-ヒドロキシエチルメタクリレート(Alg/PHEMA)等の場合についても、各調製法と構造・磁化特性を検討評価している。磁性複合体のマトリックスは何れも生体・環境適合型ポリマーであり、新しい薬物運搬体(DDS)、各種医用材料、情報記録媒体(機能紙等)、配向繊維・磁気駆動マテリアル、電磁波シールド用不織布、環境浄化用フィルターなどとしての応用展開が期待される。

P24 エネルギー貯蔵用高温超伝導コイルシステムの最適設計と高機能化に関する研究

東川甲平, 中村武恒, 星野勉

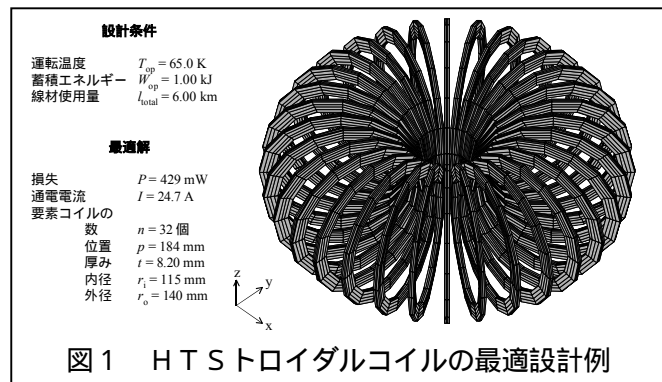
京都大学工学研究科

E-mail : kohei@asl.kuee.kyoto-u.ac.jp

太陽光発電等の分散型電源導入拡大に伴う電力品質への悪影響, ならびに落雷等による瞬時電圧低下の補償が可能な機器として超伝導磁気エネルギー貯蔵装置 (SME S) が期待されている. その中でも我々は, 液体ヘリウムによる冷却が不必要で冷凍機による伝導冷却が可能な高温超伝導 (HT S) SME S について高機能化に関する研究を行っており, 次の項目について提案している.

- HT S コイルの最適設計手法
- 固体窒素 / 液体ネオン混合冷媒
- ニホウ化マグネシウム線材を用いた磁気式永久電流スイッチ

第1項目であるHT S コイルの最適設計法には, 物理モデルに基づくHT S 線材の定量評価式を導入した3次元有限要素法と遺伝アルゴリズムを適用しており, トロイダル型コイルについての最適設計例を図1に示す. 同設計例は, ある一定の運転温度・蓄積エネルギー・線材使用量において損失を最小化したものである. 詳細については他の2項目と併せて当日に報告する.



P25 磁性イオン含有酸化物ガラスの低温における磁気特性

赤松寛文^a, 田中勝久^a, 村井俊介^a, 藤田晃司^a

^a 京都大学大学院工学研究科

E-mail : akamatsu@sung7.kuic.kyoto-u.ac.jp

磁性イオンを含んだ酸化物ガラスは低温においてスピングラス的な磁気転移を示すことが報告されているが, その機構について系統的な研究はほとんどなされていない. 本研究では熔融法により作製した磁性イオン含有酸化物ガラスの磁気的性質について調べた. 磁化率の温度依存性は温度の低下とともに常磁性的な挙動から逸脱することがわかった. 零磁場冷却過程の磁化率は2 K から9 K の範囲でカスプを示した. カスプ温度は磁性イオンの含有量の増加とともに上昇した. カスプ温度以下では, 零磁場冷却過程と磁場冷却過程において磁化率に違いが見られた. これより, これらのガラスではカスプ温度以下でスピンの凍結していると考えられる. 漸近キュリー温度が負の値を示したことから, スピン間の相互作用が反強磁性的であることがわかった. また, 周波数の増加に伴う交流磁化率のカスプ温度の上昇がフォーゲル-フルチャの経験式に従うことが明らかになった. これはいわゆるカノニカルスピングラスで見られる特徴に類似している.

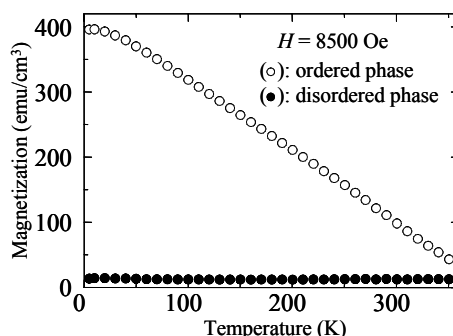
P26 PLD 法により作製したイルメナイト・ヘマタイト固溶体の電氣的・磁氣的性質

北條元^a, 藤田晃司^a, 田中勝久^a, 平尾一之^a

^a工学研究科材料化学専攻

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

イルメナイト(FeTiO_3)・ヘマタイト(Fe_2O_3)固溶体は秩序相(Ti+Fe 層と Fe 層が c 軸方向に交互に積層)と無秩序相(Fe と Ti がランダムに分布)の両方の状態を取ることが知られている. 秩序相の固溶体はフェリ磁性を示すワイドバンドギャップ半導体であり, 室温で動作するスピントロニクスデバイスへの応用が期待される. 本研究では, パルスレーザー堆積(PLD)法を用いて, 組成が $\text{FeTiO}_3:\text{Fe}_2\text{O}_3=7:3$ の固溶体薄膜を作製し, その電氣的・磁氣的性質を調べた. 成膜時の酸素分圧, 基板温度および成膜後の熱処理条件を変化させることで, 固溶体秩序相および無秩序相の薄膜を作製することができた. それぞれの薄膜の磁化の温度依存性を右図に示す. 秩序相薄膜の磁化は 350K 以下で直線的に増加し, フェリ磁性の挙動を示した. 一方で, 無秩序相薄膜は明白な温度依存は示さず, この温度範囲で反強磁性体であると考えられる. また, 比抵抗およびホール効果測定の結果から, 秩序相薄膜は p 型の半導体であることが確認された.



Temperature dependence of magnetization for the thin films with ordered phase (○) and disordered phase (●).

P27 含長鎖補助配位子による原子価互変異性錯体の相転移挙動制御

桐谷乃輔^a, 張浩徹^{a,b}, 鎌田亜紀子^a, 北川進^a

^a京都大学大学院工学研究科

^b科学技術振興機構さきがけ

E-mail: kiriya@sbchem.kyoto-u.ac.jp

[序] コバルトジオキソレン錯体はエネルギー的に近接した金属 d 軌道および配位子の π^* 軌道を持つため原子価互変異性(VT)平衡, $[\text{Co}^{\text{III}}(\text{SQ})(\text{Cat})(\text{L})]$ (low spin) $[\text{Co}^{\text{II}}(\text{SQ})_2(\text{L})]$ (high spin) (SQ = semiquinone, Cat = catecholate)を示す. VT 平衡移動過程では金属周りの結合長が 0.2 \AA 程度変化するが, 従来結晶相は変化しない. 本研究では, 原子価互変異性平衡を示すことが知られている $[\text{Co}(3,5\text{-DTBQ})_2(\text{bpy})]$ 錯体(Cn) ($n = 0, 1, 5, 9, 13$) (3,5-DTBQ = 3,5-di-*tert*-butyl-quinone, bpy = 2,2-bipyridine)に鎖長の異なる 5 種の bpy 誘導体を含む錯体を合成し, 原子価互変異性平衡における長鎖導入効果について検討したので報告する.

[結果と考察] C9 及び C13 において, それぞれ 392 K 及び 384 K における吸熱過程を伴った結晶 - 結晶構造相転移が確認された.(図 1)さらに, この温度付近において磁化率の急激な上昇が観測された.(図 1)このような VT 平衡に伴う結晶相変化は高い配向自由度を持った長鎖を有する錯体に特異的に観測され, 長鎖導入による機能性分子性錯体の創成に向け重要な知見が得られたと考えている.

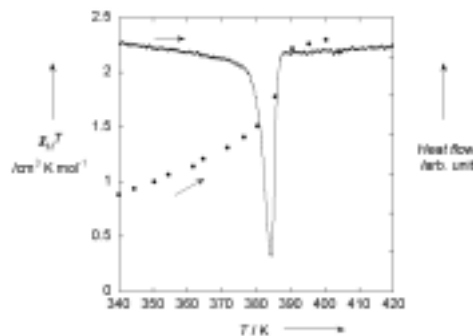


図 1 C13 の磁化率測定及び D S C 結果

P28 高分解能走査型ホールプローブ顕微鏡を用いた

YBCO 膜中の単一磁束量子の観察

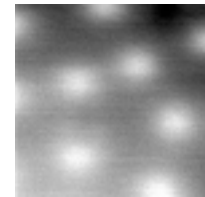
権藤政信^a, 長村光造^a, 酒井明^b, 松本要^a

^a 京都大学工学研究科, ^b 京都大学国際融合センター

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

高温超伝導体であるYBCOは、下部臨界磁場(H_{c1})以上において磁束量子が侵入した混合状態にある。本研究では、高分解能走査型ホールプローブ顕微鏡を用いてYBCO膜表面の磁束密度分布を測定することによって磁束量子を直接観察し、磁束量子の形状や構造に関する知見を得た。

磁束量子の形状に関しては、YBCO膜表面から離れた位置での磁束密度分布を測定し、理論により計算した磁束密度分布をフィッティングすることにより、磁場侵入長の温度変化を評価できることが分かった。また、磁束量子の構造については、YBCO膜にピンニングセンターが存在しない場合は、磁束量子は正方格子を組むのではないかということが示唆された。



YBCO 膜表面において観察できた磁束量子($13 \times 13 \mu\text{m}^2$)

P29 回転下におけるエアロジェル中の超流動ヘリウム3

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

^a 京都大学低温物質科学研究センター

^b 京都大学大学院理学研究科

^b 東京大学物性研究所

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

我々は回転下における超流動ヘリウム3の実験を行っている。超流動ヘリウム3は電子における超伝導と同じく2つのフェルミ粒子がペアを組むことで超流動状態を実現している。そのため超流動状態に複数の相が存在している。回転をさせると循環が量子化された量子渦ができるが、相によってできる渦の構造が異なっており、回転下の実験で多くの種類の量子渦が観測されている。この渦の観測から逆に相の状態がわかる場合もある。エアロジェルは空間率が90%を越えるガラス質の物質であり、超流動ヘリウム3に対して不純物のように振舞うとされている。我々はこのエアロジェル中の超流動ヘリウム3でどのような量子渦ができるのか、またそれがどのように振舞うのかなどから、エアロジェル中における超流動ヘリウム3の状態に関する新たな知見を得たいと考えている。

P30 極限環境を駆使した MRI 顕微鏡の開発

上野智弘^a, 陳夢元^b, 松山剛^b, 松原明^{a,b}, 佐々木豊^{a,b}, 福田耕治^c, 水崎隆雄^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

^c京都大学医学部保健学科

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

極低温環境や高磁場・強磁場勾配環境などの極限環境を駆使し、光学顕微鏡に匹敵する解像度を持つ磁気共鳴映像法 (MRI) 顕微鏡を開発しています。MRI は、非破壊・非侵襲性を持つとともに、多彩な磁気情報 (スピン緩和, 拡散, 流れ, 化学シフト等) を 3 次的に可視化する技術です。そのため、医療用技術として大きな発展を遂げています。我々の研究室において、1mK 以下の超低温での使用可能な超低温 MRI の開発に成功しています。しかし、現在の MRI の解像度は 10 μm 程度に留まっており、細胞レベルでの機能発現等の研究に用いるには不十分です。この MRI の解像度をサブミクロンまで向上させ、超低温における量子液体・固体の表面物理や形の物理の研究、さらには、生体細胞への応用を行うことがこの開発の目的です。解像度を向上させるためには、より小さな領域からの信号を検出することが必要となります。極低温環境に試料を置くことで、温度に反比例した信号強度と小さな拡散を得ることができます。また、信号強度は簡単には磁場の 2 乗に比例するので、高磁場環境により大きな信号が得られます。こうして得られた強い信号を大きな磁場勾配により細かい領域に分割することで、高解像度に到達できます。

P31 二次元偏極原子状水素用のミリ波ヘテロダイン ESR 分光器の開発

能藤久幸^a, 松原明^b, 福田昭^b, 水崎隆雄^a

^a理学研究科, ^b低温物質科学研究センター

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。我々のグループの目標は、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である。今回我々は、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 (Superconductor-Insulator-Superconductor mixer) を使用し、その後段 (1.4GHz の中間周波数) に、ヘリウム温度に冷却した高電子移動度トランジスタ (HEMT) 増幅器を繋いだ高感度のヘテロダイン分光器を製作した。我々の開発した分光器は、 10^8 cm^{-2} の面密度をもつ二次元 H のシグナルを直接観測することことが出来る。我々の対象とする二次元 H は 10^{12} cm^{-2} で K T 転移温度が数 mK であるので、この ESR 検出器は定量的な解析に十分な感度を持つ事を確認した。

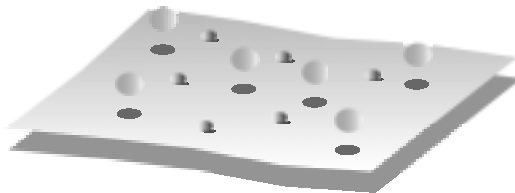
P32 ヘリウム液面電子で見る 2 次元希薄ボース気体の超流動

新井敏一, 福田昭, 澤田安樹

京都大学低温物質科学研究センター

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

ボース気体を冷却するとボース・アインシュタイン凝縮(BEC)をおこして超流動状態に相転移する。これは 3 次元での話であって, 2 次元ではそうはいかない。一様な場の中にあるボース気体は 2 次元では長波長の量子揺らぎが位相の秩序を壊してしまうため, 有限温度では BEC をおこさない。ところが渦が対を作ることで新しい秩序が生まれ, 2 次元でも超流動状態になると理論で预言されている (Kosterlitz-Thouless 理論)。私たちはこれを確かめるための実験を準備している。希薄ボース気体の 2 次元超流動を観測した人はまだいない。私たちは液面電子という超高感度センサーを手に入れた。そこで実験はボース粒子である水素原子をヘリウム液面上に浮かべて 2 次元気体を作り, 液面電子と共存させて冷却する (図)。液面電子のふるまいから 2 次元水素気体の超流動状態を調べる。



ヘリウム液面上に形成した電子 (黄色) と水素原子 (赤) の 2 次元共存系。

P33 2 層系量子ホール効果における新しい量子相

福田昭^a, 澤田安樹^a, 新井敏一^a, 寺澤大樹^b, 下田雄一^b, 森野正行^b, 岩田一樹^b, 古住信介^b, 江澤潤一^b

^a低温物質科学研究センター, ^b東北大学理学研究科

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

量子ホール効果とは, 低温強磁場下において, 半導体接合界面等における 2 次元電子系のホール抵抗が量子化される現象である。2 次元電子系 2 枚を近接配置した 2 層系量子ホール効果は, 一層系の量子ホール効果に比べて層の自由度 (擬スピンと呼ぶ) が増し, より多彩な量子現象を示すことが期待される。最近, 電子が磁場中でどれだけのランダウ準位を占有しているかを示す, ランダウ占有率 $\nu = 1$ または $\nu = 2$ 量子ホール状態において, 新しい量子相を発見した。 $\nu = 1$ 量子ホール状態に次第に横磁場を加えていくと, 擬スピンの位相が量子ホール系の中の位置に対して変化していく整合相から, 位置とは関係なく一定の値をとる非整合相への相転移が起こる。本研究では, この整合相と非整合相との間に, 擬スピンの位相が位置に対して 2 ずつスリップするソリトン格子相を, 磁気輸送現象測定により発見した。この現象に関連して, $\nu = 1$ 量子ホール状態近傍において, 異方的な電気伝導現象が見られた。また, $\nu = 2$ 量子ホール状態においては, 最近, 理論的には詳しく調べられていた傾角反強磁性相の存在を示唆する実験データが得られたので, それについても解説する。最後に, 現在, 京都大学理学部 1 号館において新しい量子ホール効果測定装置を整備中であるが, その進捗状況についても報告を行いたい。

P34 2層系の量子ホール効果

澤田安樹, 福田昭, 新井敏一

低温物質科学研究センター

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

2次元はゲージ変換によって粒子の交換対称性を換えることのできる特殊な次元である。その結果、磁束量子と粒子を合わせて複合フェルミオン、複合ボソンという粒子を考えることができる。半導体界面に形成された2次元電子系は、低温・強磁場で量子ホール効果と呼ばれるマクロな物理量である抵抗が量子化する特異な現象が観測される。量子ホール効果は整数の量子数をもつ整数量子ホール効果と分数の量子数をもつ分数量子ホール効果に分けられるが、整数量子ホール効果はランダウ準位量子化、分数量子ホール状態は複合フェルミオンのランダウ準位量子化として理解できる。また量子ホール効果を複合ボソンの凝縮状態としても捉えることができる。量子ホール状態は粒子数に揺らぎのない非圧縮性状態なので、不確定性関係からマクロな位相の揺らぎが発散しているため、ボース凝縮状態特有のジョセフソン効果のような現象は起きない。しかしトンネル可能な距離に2層電子層を配置することにより、層間の粒子数差の揺らぎを作ることが可能となり、不確定性関係からマクロな位相差の揺らぎを有限に抑えることができマクロ・コヒーレントな状態になる¹⁾。今後2層系量子ホール状態でジョセフソン効果が起こることを実験的に示して、量子ホール状態が複合ボソンの凝縮状態であることを明らかにする。

1) A. Sawada *et al.* Phys. Rev. Lett. **80**, 4534-4537 (1998).