

# 凝縮系物性研究部門

## Division of Condensed Matter Science

高温超伝導体、有機伝導体、グラフェン、トポロジカル絶縁体など、「新物質」の発見が物質科学の新しい局面を切り拓いた例は枚挙に暇がない。また超伝導や量子ホール効果などの種々の予期せぬ現象が、物質系を極低温、高圧、強磁場といった「極限環境」に置くことにより見出されてきた。凝縮系物性研究部門では、無機・有機結晶や原子層物質などの新しい物質系を合成し、その物性を極限環境での高度な実験技術を用いて測定することにより、新しい物質観につながる物性現象を発見し解明することを目指している。

当部門を構成する研究室は、自由な発想のもとに、新物質や高品質試料の作製、極限環境での輸送現象、熱測定、精密磁化、核磁気共鳴などの精密物性測定を行っている。遷移金属酸化物、重い電子系、有機伝導体、原子層物質、トポロジカル物質などの多様な物質を対象に、電子相関、トポロジー、多極子、分子自由度などが協奏して現れる多彩な現象の解明に取り組んでいる。

Discoveries of new materials, for example, high temperature superconductors, organic conductors, graphene, and topological insulators, have often opened new horizons in materials science. Application of extreme conditions of low temperature, high pressure, and high magnetic field has also revealed various unexpected properties of matters, such as superconductivity and quantum Hall effect. The goal of the Division of Condensed Matter Science is to uncover novel phenomena that lead to new concepts of matter, through combining search, synthesis and characterization of new materials.

Each group in this division pursues its own research on synthesis of new materials and high quality samples, and precise measurements of transport, thermal, magnetic properties including nuclear magnetic resonance. Their main subject is to elucidate varied phenomena which emerge as a concerted result of strong electron correlation, topology, multipole, and molecular degrees of freedom, in transition metal oxides, heavy electron systems, organic conductors, atomic layer materials, and topological materials.

教授 Professor	瀧川 仁 TAKIGAWA, Masashi	助教 Research Associate	橘高 俊一郎 KITAKA, Shunichiro	特任研究員 Project Researcher	キスワンディ アンディカ オクサリオン KISWANDHI, Andhika Oxalion
教授 Professor	榊原 俊郎 SAKAKIBARA, Toshiro	助教 Research Associate	下澤 雅明 SHIMOZAWA, Masaaki	特任研究員 Project Researcher	佐藤 光幸 SATO, Mitsuyuki
教授 Professor	森 初果 MORI, Hatsumi	助教 Research Associate	田縁 俊光 TAEN, Toshihiro	特任研究員 Project Researcher	武田 晃 TAKEDA, Hikaru
特任教授*1 Project Professor	中辻 知 NAKATSUJI, Satoru	助教 Research Associate	藤野 智子 FUJINO, Tomoko	特任研究員 Project Researcher	チャン ドンウェイ ZHANG, Dongwei
准教授 Associate Professor	長田 俊人 OSADA, Toshihito	助教*2 Research Associate	酒井 明人 SAKAI, Akito	特任研究員*2 Project Researcher	大槻 匠 OHTSUKI, Takumi
准教授 Associate Professor	山下 穰 YAMASHITA, Minoru	特任助教 Project Research Associate	出倉 駿 DEKURA, Shun	特任研究員*2 Project Researcher	チェン タイシ CHEN, Taishi
教授(外国人客員) Visiting Professor	カン ウォン KANG, Woun	特任助教*2 Project Research Associate	富田 崇弘 TOMITA, Takahiro	特任研究員*2 Project Researcher	ツァイ ハンセン TSAL, Hanshen
教授(外国人客員) Visiting Professor	シン ヨーゲッシュ SINGH, Yougesh	特任助教*2 Project Research Associate	肥後 友也 HIGO, Tomoya	特任研究員*2 Project Researcher	フー ミンシュアン FU, Mingxuan
		教務職員 Technical Associate	村山 千壽子 MURAYAMA, Chizuko		
		技術専門員 Technical Associate	内田 和人 UCHIDA, Kazuhito		

\*1 理学系研究科物理学専攻および所内量子物質研究グループと兼務。  
/ concurrent with Physics Department, Graduate School of Science and Quantum Materials Group

\*2 所内兼務。本務は量子物質研究グループ。 / concurrent with Quantum Materials Group

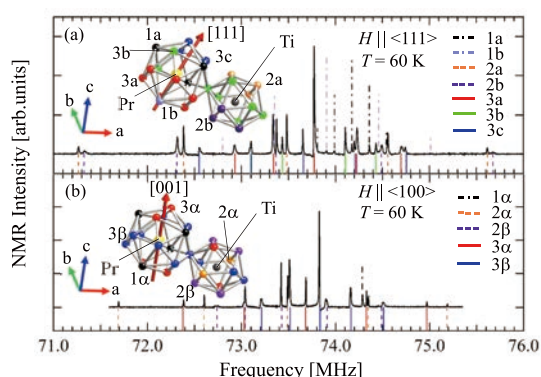
## 瀧川研究室

Takigawa Group



瀧川 仁  
TAKIGAWA, Masashi  
教授  
Professor

核磁気共鳴法 (NMR) を主な実験手段として、固体内の強い電子間相互作用に起因する現象を研究している。強相関電子系では、超伝導、強 (反強) 磁性、電荷秩序、軌道秩序といった多彩な秩序状態が拮抗しており、磁場・圧力などの外的条件を変えることでこれらの間の量子相転移が起こり得る。原子核は固有の磁気モーメントや電気四重極モーメントを持っており、これらは周囲の電子が作る磁場や電場勾配を感じている。このためNMRは、固体内電子のスピン、電荷、軌道などの自由度が絡み合って現れる特異な秩序状態や揺らぎの性質を、ミクロに探る有力な実験手段となる。我々は色々な特色を持つパルスNMR測定装置を整備し、低温・強磁場・高圧などの外的環境条件と組み合わせ、遷移金属化合物、希土類化合物や有機固体を対象とした研究を行っている。



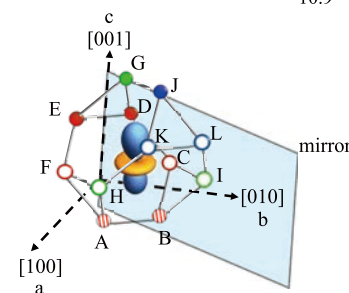
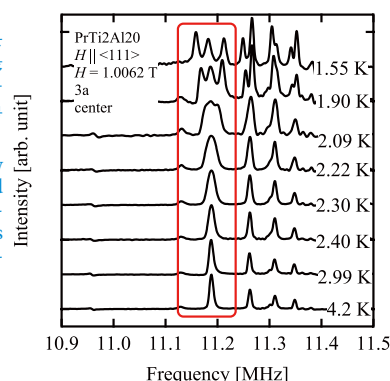
温度 60K、磁場 6.6 テスラにおける希土類化合物  $\text{PrTi}_2\text{Al}_{20}$  中のアルミニウム (Al) 原子核の NMR スペクトル。プラセオジウム (Pr) イオンは非磁性 2 重項の結晶場基底状態を持ち、低温で強四極子秩序を示す。Pr イオンをカゴ状に取り囲むアルミニウムには結晶学的に異なる 3 つのサイトが存在し、それぞれが  $\langle 111 \rangle$  あるいは  $\langle 100 \rangle$  方向の磁場によって非等価なサイトに分かれ、さらにその各々が四重極分裂によって 5 本の NMR 共鳴線を示すため、非常に複雑な NMR スペクトルが現れる。

NMR spectra of Al nuclei in  $\text{PrTi}_2\text{Al}_{20}\text{H}$  at the temperature of 60K and the magnetic field of 6.6 tesla. The Pr ions with a non-magnetic doublet ground state in the crystal electric field undergo ferro-quadrupole order at low temperatures. There are three Al sites forming a cage surrounding Pr ions, each of which splits into inequivalent sites under magnetic fields along  $\langle 111 \rangle$  or  $\langle 100 \rangle$ . Each Al site generates five quadrupole split NMR lines, resulting in a complicated NMR spectrum.

We use nuclear magnetic resonance (NMR) as the major experimental tool to investigate exotic phenomena caused by strong electronic correlation in solids. A remarkable feature of strongly correlated electron systems is the competition among various kinds of ordering such as superconductivity, ferro- or antiferromagnetism, charge and orbital order. Quantum phase transitions between these ground states can be caused by changing the external parameters such as magnetic field or pressure. Nuclei have their own magnetic dipole and electric quadrupole moments, which couple to the magnetic field or electric field gradient produced by surrounding electrons. This makes NMR a powerful local probe for microscopic investigation of the exotic order and fluctuations of multiple degrees of freedom of electrons, i.e., spin, charge and orbital. We use various NMR spectrometers in different environment (low temperature, high magnetic field and high pressures) to investigate transition metal compounds, rare earth compounds, and organic solids.

$\langle 111 \rangle$  方向の磁場下、2 K 以下の低温において、強四極子秩序のために NMR 共鳴線が分裂する。特に 3a サイトからの信号を赤線で囲ってある。

The NMR lines split below 2K under the magnetic field along  $\langle 111 \rangle$  due to ferro-quadrupole order. The signals from the 3a sites are indicated by the red box.



NMR 共鳴線の分裂から電荷密度分布の対称性がユニークに決まり、四極子の秩序パラメータが決定された。

The splitting of NMR lines uniquely determines the symmetry of the charge density distribution and the order parameter.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 低次元、フラストレート・スピン系のダイナミクスと量子相転移  
Dynamics and quantum phase transitions in low dimensional or frustrated spin systems
2. 特異な超伝導体  
Exotic superconductors
3. 強相関電子系における電荷・軌道・多極子の秩序と揺らぎ  
Ordering and fluctuations of charge, orbital, and multipoles in strongly correlated electron systems
4. スピン軌道結合電子系における新奇的な秩序  
Novel orders in spin-orbit coupled electron systems

# 榊原研究室

Sakakibara Group



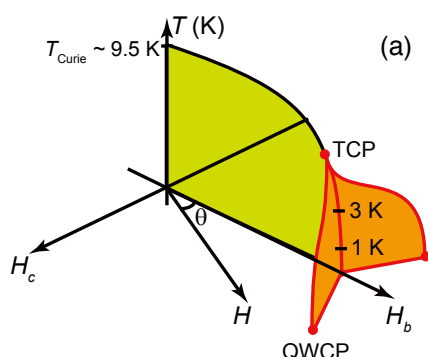
榊原 俊郎  
SAKAKIBARA, Toshiro  
教授  
Professor



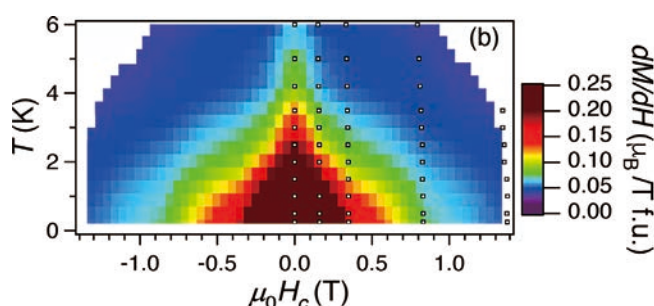
橘高 俊一郎  
KITAKA, Shunichiro  
助教  
Research Associate

物質の示す磁気現象は広い温度範囲にわたっている。その中で重い電子系などある種の物質系では1ケルビンよりも遙かに低い温度領域で興味深い性質を示す場合がある。このような温度領域では通常の磁気測定手段を適用することが困難なため未開拓の課題も多く、新しい物性現象が期待される。当研究室ではこのような低い特性温度を持つ様々な物質系の磁気物性の研究を行っている。具体的にはf電子化合物や重い電子系、量子スピン系およびフラストレートスピン系などが研究対象で、磁化や比熱測定を主な実験手段として研究している。この目的のために、我々は30ミリケルビンの極低温まで磁化測定が可能な高感度の磁力計や、異方的超伝導体のギャップ構造の特定に有効な角度分解の磁場中比熱測定装置など、独自の装置開発も行っている。

Magnetic phenomena in condensed matter can be observed at a wide range of temperatures. In heavy fermions and certain other systems, interesting magnetic behavior often occurs at low temperatures much below 1 K. Because of difficulty in making magnetic measurements at such low temperatures, little work has been done to date. Our interest is to research those magnetic materials having low characteristic temperatures, such as f-electron compounds, heavy fermions, quantum spin systems, and geometrically frustrated spin systems. To study these systems, we also develop necessary equipment. Equipment we have successfully developed includes: high sensitivity magnetometers which are operable even at extremely low temperatures down to the lowest of 30 mK, and equipment to perform angle-resolved specific heat measurements in a rotating magnetic field. The latter is an effective tool for investigating the nodal structures of anisotropic superconductors.



遍歴電子イジング強磁性体 URhGe の磁場温度相図。(a) は概略図で、キュリー温度は磁化困難軸 (b 軸) 方向の磁場  $H_b$  によって制御される。量子相転移点近傍 ( $H_b \sim 12$  T) で一次相転移を示す。(b) は磁化測定結果から量子相転移近傍の相図を可視化したもの。磁化容易軸 (c 軸) 方向の磁場  $H_c$  に対して、一次の相転移はウィング状に広がり、4 K 付近にある三重臨界点 TCP で閉じる。また、 $T=0$  の平面にはウィング量子臨界点 (QWCP) が存在する。



Magnetic phase diagram of the itinerant Ising ferromagnet URhGe. The Curie temperature of this compound can be tuned by applying a magnetic field along the magnetically-hard  $b$  axis as shown in the schematic phase diagram (a). A first-order transition appears close to a quantum phase transition region ( $H_b \sim 12$  T). (b) shows the phase diagram near the quantum phase transition, constructed from the magnetization data. The first-order transition region expands in a wing structure by an additional magnetic field along the magnetically-easy  $c$  direction, and closes at a tricritical point (TCP) near 4 K. Quantum wing critical points (QWCP) exist on the  $T=0$  plane.

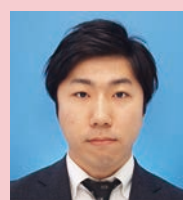
## 研究テーマ Research Subjects

1. 重い電子化合物の磁性と超伝導  
Magnetism and superconductivity in heavy electron systems
2. f電子化合物の多極子自由度に由来する秩序と揺らぎ  
Multipole orderings and fluctuations in f electron systems
3. フラストレート磁性体の磁化過程  
Magnetization of geometrically frustrated magnets
4. 量子スピン系の基底状態  
Ground state properties of quantum spin systems



## 森研究室

Mori Group

森 初果  
MORI, Hatsumi  
教授  
Professor藤野 智子  
FUJINO, Tomoko  
助教  
Research Associate出倉 駿  
DEKURA, Shun  
特任助教  
Project Research Associate

物質科学は、新しい概念を与える新物質の発見を契機に大きな発展を遂げている。

本研究室では、内部自由度をもつ分子を基盤とし、それら分子が凝縮した分子性物質において、分子自身の個性と、分子間の相互作用による自由度が相関した、特異な機能性(電子・プロトン伝導性、磁性、誘電性、その圧力・電場による外場応答性、電界効果トランジスタ特性)の開拓を行っている。

分子性物質の魅力は、1) 多彩な分子内および分子間の自由度が設計・制御可能であること、2) 電子間クーロン相互作用(電子相関)が大きく、電子の波動性(伝導性)と粒子性(磁性)が競合すること、3) 分子が非常に柔らかいため環境および外場応答性が大きく、電場、電界による励起状態を経て特異な機能を発現することなどが挙げられる。

森グループでは、新しい有機超伝導体としてモット型  $\kappa\text{-ET}_2\text{Cu}(\text{NCS})_2$  や電荷秩序型  $\beta\text{-(meso-DMBEDT-TTF)}_2\text{PF}_6$  (図1) を発見し、物性研究を行った。さらに最近では、水素結合プロトンと伝導電子が動的に連動して、伝導性と磁性の切り替え現象を示す純有機伝導体(図2)を開発した。

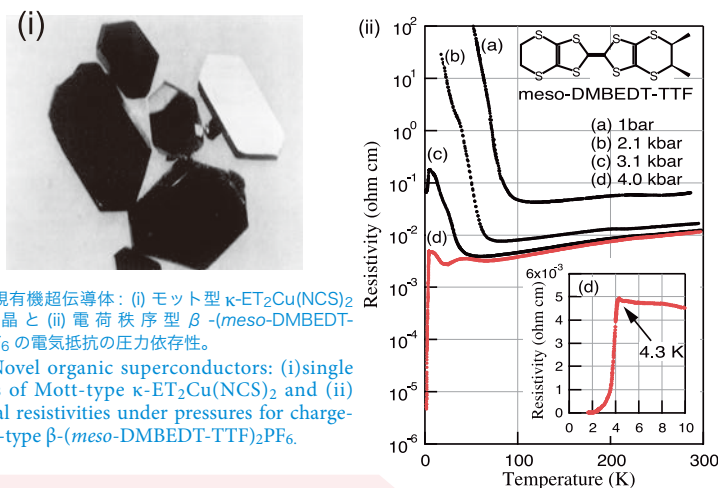


図1. 新規有機超伝導体: (i) モット型  $\kappa\text{-ET}_2\text{Cu}(\text{NCS})_2$  の単結晶と (ii) 電荷秩序型  $\beta\text{-(meso-DMBEDT-TTF)}_2\text{PF}_6$  の電気抵抗の圧力依存性。

Fig.1. Novel organic superconductors: (i) single crystals of Mott-type  $\kappa\text{-ET}_2\text{Cu}(\text{NCS})_2$  and (ii) electrical resistivities under pressures for charge-ordered-type  $\beta\text{-(meso-DMBEDT-TTF)}_2\text{PF}_6$ .

Development of “materials science” is started from discoveries of novel materials with new concepts.

The development of novel functionalities (electron and proton conductivities, magnetism, dielectrics, responses by external stimuli such as pressure and electric field, and field effect transistor) has been aimed based upon molecular materials with utilizing intra- and inter-molecular degrees of freedom.

The attractive points of molecular materials are 1) that a variety of intra- and inter-molecular degrees of freedoms are designable and controllable, 2) that large Coulomb interactions (electron correlation) reflect the magnetism (electron particle) as well as conductivity (electron wave) in molecular materials, and 3) that large responses by external stimuli are observable due to softness of molecules and strong electron-phonon coupling.

In Mori group, novel Mott-type organic superconductor  $\kappa\text{-ET}_2\text{Cu}(\text{NCS})_2$  and charge-ordered-type one  $\beta\text{-(meso-DMBEDT-TTF)}_2\text{PF}_6$  have been developed and characterized (Fig. 1). Moreover, novel electron-proton coupled purely organic conductors, where conductivity and magnetism switching due to coupled deuteron and electron transfers, have been developed and characterized (Fig. 2).

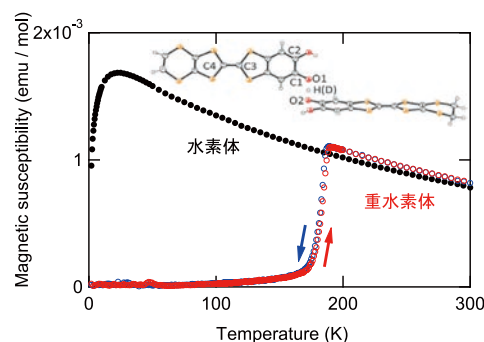


図2. 伝導電子と水素結合プロトンが相関する純有機伝導体  $\kappa\text{-X}_3(\text{Cat-EDT-TTF})_2$  ( $\text{X} = \text{H}, \text{D}$ ) において、大きな重水素効果により高温で伝導性および磁性が切り替わる。

Fig.2. Switching behavior of electrical resistivity and magnetism due to large deuteron isotope effect in proton-electron correlated purely organic conductors  $\kappa\text{-X}_3(\text{Cat-EDT-TTF})_2$  ( $\text{X} = \text{H}, \text{D}$ ).

## 研究テーマ Research Subjects

- 分子の自由度を生かした新規有機(超)伝導体およびプロトン伝導体の開発と機能性研究  
Development and studies of structural and physical properties for novel organic (super)conductors and proton conductors based upon molecular degree of freedom
- 固体中で電子がプロトン運動と協奏した有機伝導体、金属錯体、誘電体の開発と機能性研究  
Development and studies of structural and physical properties for electron-proton coupled molecular functional materials
- 分子性物質の外場(磁場、電場、温度、圧力)応答の研究  
Studies of responses by external stimuli (magnetic and electric fields, temperature, pressure) for molecular materials
- 有機電界効果トランジスタの研究  
Study of organic field effect transistor

## 長田研究室

Osada Group

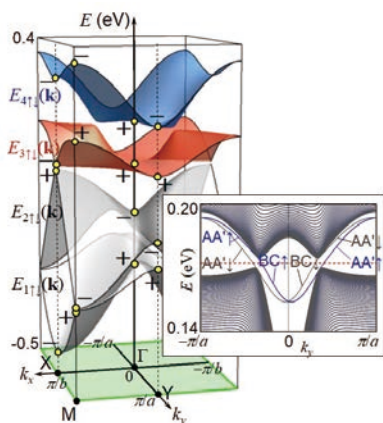


長田 俊人  
OSADA, Toshihito  
准教授  
Associate Professor



田縁 俊光  
TAEN, Toshihiro  
助教  
Research Associate

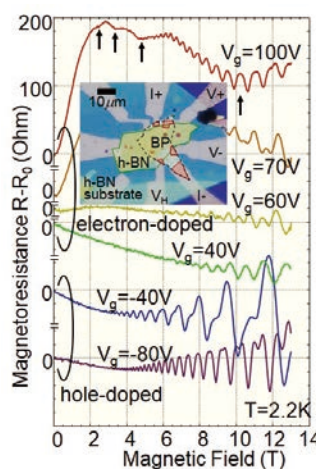
量子伝導物性。トポロジカル物質、低次元物質、ナノ構造に現れる新しい電子状態や量子伝導現象の探索・解明・制御を行う。グラフェンなどの原子層物質やそのファンデルワールス複合積層系、トポロジカル絶縁体・半金属、低次元有機導体、半導体・超伝導体の人工ナノ構造を対象として、低温・強磁場下での電気伝導が示すトポロジカル効果や量子効果を研究する。原子層積層構造の作製と素子形成、2軸全磁場方位依存性の精密計測、40T級小型パルス磁石による強磁場計測などを主な実験手段とする。最近ではグラフェン接合系や黒リン超薄膜の量子伝導、有機導体 $\alpha$ -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ におけるトポロジカル電子相、超薄膜グラファイトの磁場誘起電子相転移に関する研究を重点的に行っている。



有機ディラック半金属 $\alpha$ -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ において、有限のスピン軌道相互作用によりギャップが生じたバルクのバンド構造。対称点における波動関数のパリティが示されている。パリティの積は-1で、系がトポロジカル絶縁体であることを示す。挿入図は1次元鎖に平行な試料端をもつ有限系のエネルギ準位。バルクのギャップ内にヘリカルエッジ状態が現れる。

Gapped bulk band structure in an organic Dirac semimetal  $\alpha$ -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$  with finite spin-orbit interaction. Parities of wave functions are indicated at symmetric points. The parity product of -1 means that the system is a topological insulator. The inset shows the energy spectrum of finite system with the edge parallel to the one-dimensional chains. There appears a helical edge state in the gap.

Quantum transport in electron systems. We search for, elucidate, and control new electronic states and quantum transport phenomena that appear in topological materials, low-dimensional materials, and nanostructures. Targeting atomic layer materials such as graphene, their van der Waals complex stacks, topological insulators/semimetals, low-dimensional organic conductors, and artificial semiconductor/superconductor nanostructures, we investigate new topological or quantum effects in transport phenomena. Key experimental techniques are alignment and transfer for building up atomic layer stacks, micro-fabrication for small device structures, precise double-axis field rotation, miniature pulse magnet generating above 40T, etc. Recently, we have focused on studies on quantum transport in graphene junctions and black phosphorus thin-films, various topological phases in an organic conductor  $\alpha$ -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ , and the magnetic-field-induced electronic phase transition in graphite.



六方晶窒化ホウ素 (h-BN) 超薄膜で挟んで保護した黒リン超薄膜の電界効果トランジスタ (FET) 素子の幾つかのゲート電圧における磁気抵抗。負のゲート電圧では単一の2次元正孔系のシュブニコフ・ドハース効果が見られるが、高い正のゲート電圧では2つの2次元電子系の存在を示す振動が現れる。挿入図は素子の光学顕微鏡写真。

Magnetoresistance of the black phosphorus thin-film FET device encapsulated by h-BN thin-films for several gate voltages. Single Shubnikov-de Haas oscillation of two-dimensional (2D) holes is observed in negative gate voltages. In contrast, double oscillations indicating the existence of two kinds of 2D electrons appear in positive high gate voltages. The inset shows an optical micrograph of the FET device.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 有機ディラック半金属のトポロジカル物性  
Topological properties of an organic Dirac semimetal
2. 原子層物質およびファンデルワールス積層系の電子構造と量子伝導  
Electronic structure and quantum transport in atomic layers and their van der Waals stacks
3. 層状トポロジカル物質の量子伝導現象  
Quantum transport phenomena in layered topological materials
4. 層状物質の角度依存磁気伝導と層間コヒーレンス  
Interlayer coherence and angle-dependent magnetotransport in layered conductors
5. 薄膜グラファイトの磁場誘起電子相転移  
Magnetic-field-induced electronic phase transitions in thin-film graphite

## 山下研究室

Yamashita Group



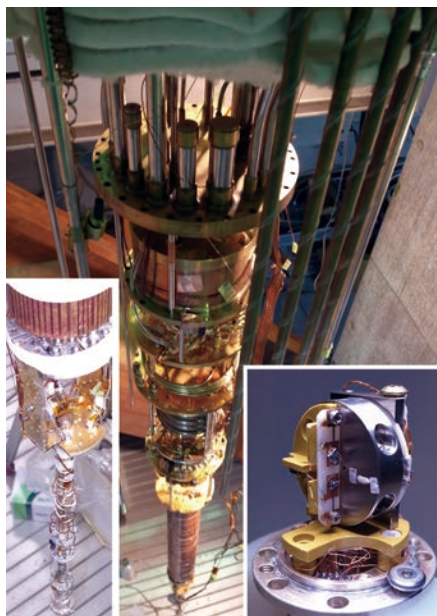
山下 穂  
YAMASHITA, Minoru  
准教授  
Associate Professor



下澤 雅明  
SHIMOZAWA, Masaaki  
助教  
Research Associate

温度の下限である絶対零度では全ての物質は凍りついてしまっ、何も面白い現象は無いように思われる。ところが、1 ケルビンという低温領域で金属の電気抵抗が突然0 になるという超伝導現象が発見されたのを契機に、液体ヘリウムの超流動転移、希薄アルカリ気体のボース凝縮など様々な量子凝縮相が極低温で発見された。室温では熱揺らぎに隠れてしまっ、見えない、多彩で不思議な物理現象が低温領域に隠れていたわけである。

当研究室ではこのような量子凝縮現象に興味を持ち、低温までの精密測定によってその物性を明らかにする研究を行っている。特に、電子系研究が全く行われてこなかった 20 mK 以下の超低温領域における量子臨界現象、超伝導現象の解明に力を入れている。さらに、走査型磁気顕微鏡を用いた新奇電子状態の直接観察や、幾何学的フラストレーションをもつ磁性体における量子スピン液体状態の素励起の解明に力を入れて研究を進めている。

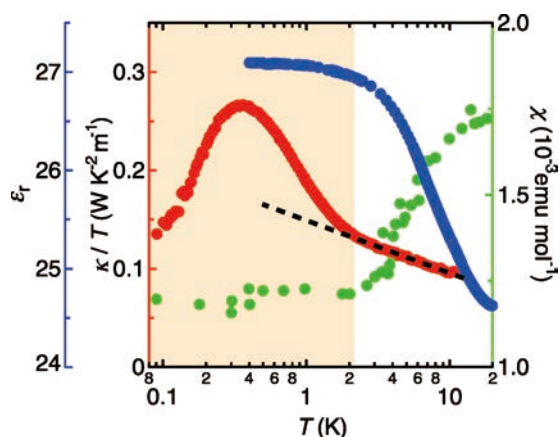


物性研の核断熱消磁冷凍機。超低温 (1 mK)・高磁場 (10 T) の実験が可能。左下挿図が実験空間拡大写真。右下挿図が超低温トルク測定用カンチレバー。

The ultralow temperature cryostat at ISSP. Nuclear demagnetization cooling enables experiments down to 1 mK under a magnetic field up to 10 T. The lower left picture is an enlarged view of the experimental space. The lower right picture shows a cantilever cell for torque measurements.

What happens when materials are cooled down close to absolute zero temperature? It sounds a boring question because everything freezes at  $T = 0$ . It is NOT true, however, because quantum fluctuations persist even at absolute zero temperature. The richness of low-temperature physics was first demonstrated by Heike Kamerlingh Onnes at 1911, who was the first to liquify Helium and reached  $\sim 1$  K. He discovered that the resistance of mercury suddenly vanished at low temperature. Followed by this discovery of the superconducting transition, many amazing quantum phenomena – superfluid transition of Helium, Bose-Einstein condensations of Alkali Bose gases – were found at low temperatures.

We are interested in these quantum condensed states at low temperatures where the thermal fluctuations are negligible. Especially, we are now challenging measurements of correlated electron systems at ultralow temperatures (below 20 mK) where many interesting phenomena have remained unexplored due to technical difficulties. Further, we are studying exotic electronic states by scanning magnetic microscope and elementary excitations of quantum spin liquids emerged in frustrated magnetic materials.



有機モット絶縁体  $\kappa\text{-H}_3(\text{CAT-EDT-TTF})_2$  で観測された誘電率 (青色)、熱伝導率 (赤色) および磁化率 (緑色) の温度依存性。色付きの領域では、量子常誘電状態と量子スピン液体状態が同時に出現している。

Temperature dependences of the dielectric constant (blue), the thermal conductivity (red), and the magnetic susceptibility (green) of the organic Mott insulator  $\kappa\text{-H}_3(\text{CAT-EDT-TTF})_2$ . In the shaded area, quantum paraelectric state and quantum spin liquid state emerge concomitantly.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 超低温における強相関電子系の研究  
Study of strongly correlated-electron systems at ultralow temperatures
2. 走査型磁気顕微鏡を用いた新奇電子状態の研究  
Study of exotic electronic states by scanning magnetic microscope
3. 幾何学的フラストレーションをもつ磁性体における量子スピン液体  
Quantum spin liquid state in geometrically-frustrated magnets



# カン研究室

Kang Group



カン ウォン  
KANG, Woun  
外国人客員教授  
Visiting Professor

低次元有機金属、層状物質、半金属など種々の固体の強磁場下での電氣的・熱的輸送特性に興味がある。電子状態の探索や制御のために高圧環境も頻繁に利用する。14T 超伝導磁石の極低温空間に挿入して用いる、3.5GPa 高压セル2軸回転機構が主力装置である。同装置を米国フロリダ州国立強磁場研究所で使用し、磁場を45Tまで延長した実験もしばしば行っている。この目的に特化した、小型で、製作や扱いが容易で、信頼性の高い圧力装置の開発を行ってきた。

発見から40年以上経過したが、有機金属は依然として、質量ゼロの多層ディラック電子系、トポロジカル絶縁体、スピン液体など新しい物性研究の場であり続けている。ビスマス、グラファイト、元素超伝導体などの過去の物質も、近年新たな視点から再び研究されている。我々はまた作業を最小化する実験室の自動化にも多大の努力を払っている。現在は海外からでも遠隔実験を行うことが可能である。

We are interested in electrical and thermal transport properties under strong magnetic fields of various solids such as low dimensional organic metals, layered materials, semimetals, etc. We frequently use high pressure in order to tune the electronic states or to find novel electronic states. At the center of our research resides the home-developed double-axis rotation mechanism which can accommodate high pressure devices as high as 3.5 GPa in a 14 T superconducting magnet at low temperature. We often bring the same pressure apparatus to National High Magnetic Field Laboratory in Florida to extend the field range up to 45 T. For this specific purpose, we have developed miniaturized, simple to make and to use, and highly reliable pressure apparatus for ourselves.

Even though it has been over 40 years since the metallic organic material was discovered, it continues to serve as a platform of novel physics research such as multilayer massless Dirac fermions, topological insulators, spin liquids. Old materials such as bismuth, graphite, some elemental superconductors are also being revisited. We also put a lot of effort into running the laboratory with minimal human intervention. It is now possible to conduct experiments even from abroad.

# シン研究室

Singh Group



シン ヨーゲッシュ  
SINGH, Yogesh  
外国人客員教授  
Visiting Professor

私は新規量子物質、特に強い電子相間やスピン軌道結合、トポロジなどが絡んだ物理現象が期待されるような系の開発に興味がある。最近では主に、量子スピン液体やKitaev化合物の研究を行っている。

物性研では、Yb系化合物、特に $\text{Yb}_2\text{Fe}_3\text{Si}_5$ における重い電子超伝導の可能性を探索する。この化合物は一連の希土類化合物 $\text{R}_2\text{Fe}_3\text{Si}_5$ に属していて、注目すべきことに希土類がEr, Tm および Lu の場合に低温で超伝導が現れる。したがって $\text{Yb}_2\text{Fe}_3\text{Si}_5$ ではYb化合物としては希有な、近藤効果と磁気秩序に加えて超伝導のエネルギースケールが拮抗するような状況を調べることが可能である。これらのエネルギースケールをチューニングすることによって新規の磁気秩序や超伝導の実現が期待される。 $\text{Yb}_2\text{Fe}_3\text{Si}_5$ および関連物質の単結晶を作製し、極低温高圧下でそれらの物性を調べる計画である。

I am interested in discovering novel quantum materials where the physics is governed by an interplay between strong-electronic correlations, spin-orbit coupling, and lattice topology. In the recent past we have been working exclusively on Quantum Spin Liquids and on Kitaev materials.

At ISSP my work will focus on the possibility of Heavy Fermion superconductivity in an Yb-based material  $\text{Yb}_2\text{Fe}_3\text{Si}_5$ . This material is a member of a family of rare-earth based materials  $\text{R}_2\text{Fe}_3\text{Si}_5$ . The remarkable thing about this family is that the Er, Tm, and Lu members show superconductivity at low temperatures. The Yb material therefore presents an opportunity to study a rare Yb-material where the Kondo, magnetic ordering, and superconducting energy scales are comparable. Tuning these various energy scales is likely to drive the material into novel magnetic and/or superconducting ground states. We will grow single crystals of  $\text{Yb}_2\text{Fe}_3\text{Si}_5$  and related variants and study their physical properties in extreme conditions of low temperature and high pressure.