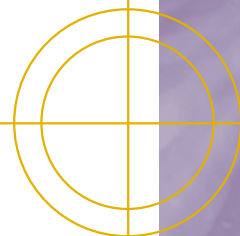


# 中性子科学研究施設

## Neutron Science Laboratory



中性子は透過力に優れ、微小磁石の性質を持つので、原子の中心にある原子核やその周りにある電子のつくる磁場と力を及ぼし合う。この性質を利用して物質による中性子の散乱のされ方を測定し、物質内の原子や磁気モーメントの配列や運動の様子を知る実験方法を「中性子散乱」という。物性研究所の中性子科学研究施設では主に日本原子力研究開発機構の研究用原子炉 JRR-3 に設置された分光器を用いて、中性子散乱実験による物性研究のための全国共同利用を推進してきた。さらに、2009年に本格稼働した大強度陽子加速器施設 J-PARC においては、最新のチョッパー型分光器 HRC を用いた共同利用の推進を行っている。当施設が実施する全国共同利用により、高温超伝導体の研究、フラストレートした磁性体や重い電子系、低次元磁性体等の様々な磁性体の研究をはじめとして、複雑凝縮系の化学物理、高分子やコロイドの構造や相転移、生体物質の高次構造と機能の研究、などハードマテリアルからソフトマテリアルまで含む幅広い物質や材料の基礎研究が中性子散乱を用いて盛んに行われている。また、当施設は日米協力事業「中性子散乱分野」の実施機関としても活動し、我が国の中性子散乱研究の発展に貢献している。

Since 1961, the ISSP has been playing a central role in neutron scattering activities in Japan not only by performing its own research programs but also by providing a general user program for the university owned various neutron scattering spectrometers installed at the research reactor of JAEA (Tokai). In the JRR-3 reactor (20MW), the university group owns 14 spectrometers, and the Neutron Science Laboratory (NSL) is conducting the general user program. Furthermore the NSL owns state-of-art inelastic neutron scattering spectrometer HRC in J-PARC which started its operation in 2009. Major research areas supported by NSL user program are solid state physics (strongly correlated electron systems, high- $T_c$  superconductors, heavy fermion systems, low dimensional magnetism, high-pressure physics, etc.), fundamental physics and neutron beam optics, structure and phase transitions of polymers, gels, and colloidal systems, physical chemistry of complex condensed matter, structure and functions of biological systems, and material sciences. The NSL also operates the U.S.-Japan cooperative program on neutron scattering, and supports the development of the neutron-beam-based material sciences in Japan.

教授 (施設長) 柴山 充弘  
Professor (Director) SHIBAYAMA, Mitsuhiro

教授 山室 修  
Professor YAMAMURO, Osamu

准教授 益田 隆嗣  
Associate Professor MASUDA, Takatsugu

准教授 中島 多朗  
Associate Professor NAKAJIMA, Taro

教授 (客員) 中西 尚志  
Project Professor NAKANISHI, Takashi

助教 助 教  
Research Associate

助教 助 教  
Research Associate

助教 助 教  
Research Associate

技術専門職員  
Technical Associate

技術専門職員  
Technical Associate

技術専門職員  
Technical Associate

リ シャン  
LI, Xiang

浅井 晋一郎  
ASAI, Shinichiro

秋葉 宙  
AKIBA, Hiroshi

浅見 俊夫  
ASAMI, Toshio

杉浦 良介  
SUGIURA, Ryosuke

川名 大地  
KAWANA, Daichi

係長 木船 聡  
Administrative Secretary KIFUNE, Satoshi

特任研究員 大政 義典  
Project Researcher OHMASA, Yoshinori

学振特別研究員 呉羽 拓真  
JSPS Research Fellow KUREHA, Takuma

大強度陽子加速器施設 J-PARC に設置された高分解能チョッパー分光器 (HRC)。50Hz で発生する白色のパルス中性子は、中性子光路を通りチョッパーで単色化された後、試料で散乱され、2次元ディテクタで検出される。ディテクタでは全てのエネルギーの中性子をもれなく測定するため、効率的なデータ収集が可能となっている。

High resolution chopper spectrometer installed in J-PARC. A white pulsed neutron beam generated with the frequency of 50 Hz propagates inside the neutron beam guide. The beam is monochromated by the Fermi chopper, scattered by the sample, and detected by 2-dimensional detectors. The detectors detect all the scattered neutrons with all the energy, which makes the data acquisition drastically efficient.

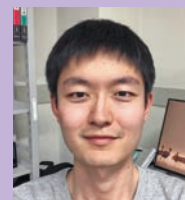


# 柴山研究室

Shibayama Group



柴山 充弘  
SHIBAYAMA, Mitsuhiko  
教授  
Professor



リ シャン  
LI, Xiang  
助教  
Research Associate

ソフトマターとは、我々の身の回りの物や生体物質を構成する「柔らかい」物質・材料のことである。磁性体や超伝導物質などのハードマターでは超高压や極低温という極限環境において特異的な物性を示すのに対し、ソフトマターでは常温・常圧付近で興味深い物性を示し、多様な機能を果たす。我々の研究室ではソフトマターの本質である分子結合相関系の学問的体系化を目指して、ゾル・ゲル転移、ゲルの相分離・相転移、構造不均一性の研究などのほか、驚異的な力学物性をもつさまざまな高強度・高機能ゲルの開発と構造・物性解析を行なっている。小角中性子散乱を中心に、小角 X 線散乱、静的・動的散乱、熱物性測定装置、力学測定などを用いて、ソフトマターのナノオーダーの構造・ナノ秒から数千秒までのダイナミクスを探求している。

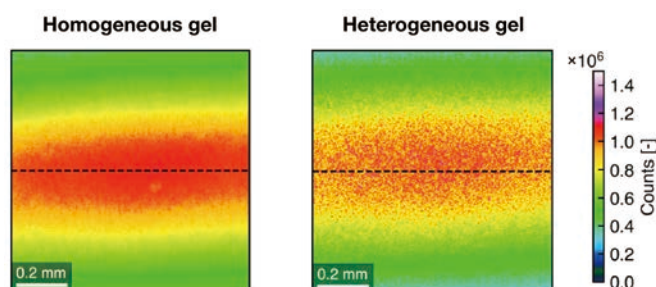
Soft matter undergoes various transitions in response to a slight change of an environmental variable. We investigate the relationship of the structure and dynamics of soft matter, such as polymer gels, nanoemulsion, and micelles. The aims of our research are systematization of “molecular-bond correlated systems”. Concurrently, we explore various applications of soft matter on the basis of the physics of soft matter.

Nano-order structure investigations and studies on dynamics of soft matter are carried out with state-of-the-art equipment, SANS-U, a small-angle neutron scattering instrument. Other techniques, such as small angle X-ray scattering, dynamic/static light scattering, thermal analyses, and rheological studies, are also employed. Current interests cover (1) Sol-gel transition (2) inhomogeneities in polymer gels, (3) structural characterization and studies on deformation mechanisms of high-performance polymer gels, and (4) fabrication of uniform-polymer networks and their structure/property characterization, (5) development of high-performance thermoset polymers by structure-designing and molecular dynamics simulations.



新規合成された空間不均一性を全く含まない高分子ゲル

Newly synthesized polymer gel without any spatial heterogeneity.



均一ゲル（左）と不均一ゲル（右）の二次元レーザー-speckle パターンの顕微鏡像

Optical images of laser speckles from homogeneous gel and heterogeneous gel.

## 研究テーマ Research Subjects

1. エルゴードゲルの創製とその構造解析  
Fabrication of ergodic gel and its structure analysis
2. 3次元 DNA 構造体の開発と構造解析  
Development of 3-dimensional DNA architecture and its structure analysis
3. 理想網目構造を持つ高分子電解質ゲルの構造解析  
Structural analyses of polyelectrolyte gel with ideal polymer network
4. モジュール型温度応答性ゲルの相転移点付近でのダイナミクスと力学特性の評価  
Investigation of dynamics and mechanical properties of module thermoresponsive gel near the phase transition point

# 山室研究室

Yamamuro Group

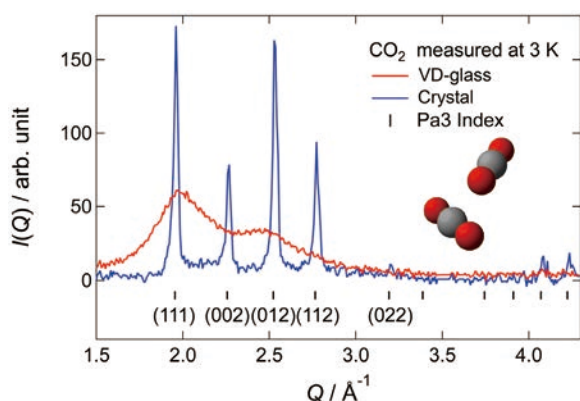


山室 修  
YAMAMURO, Osamu  
教授  
Professor



秋葉 宙  
AKIBA, Hiroshi  
助教  
Research Associate

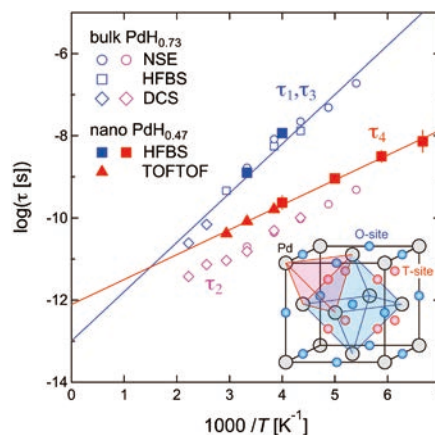
本研究室では複雑凝縮系の化学物理を研究している。現在の主な対象は、ガラス・過冷却液体、水およびその関連物質、イオン液体、水素吸蔵金属ナノ粒子である。ガラス転移は液体が構造変化を起こさずに固化する不思議な現象であり、物性物理学の長年の大問題の一つである。水は最も身近な物質の一つであるが、水素結合が織りなす様々な特異物性を示す。イオン液体では、静電力とファンデルワールス力の競合から、ナノドメイン構造や階層的ダイナミクスが現れる。金属ナノ粒子中の水素原子は、表面効果によりポテンシャル面が歪められるため、バルクでは見られない特異な構造やダイナミクスを示す。これらの物質に対して、中性子散乱、X線回折、熱容量、誘電緩和などを測定し、構造・ダイナミクス・熱力学の3視点から、複雑な物質に内在する単純(?)な法則を明らかにすることを目指している。



蒸着 CO<sub>2</sub> ガラス (赤線) と結晶 (青線) の X 線回折パターン。二体分布関数解析から、CO<sub>2</sub> 分子はガラスと結晶の両方で図中のような最近接分子間配置をとることが分かった。

X-ray diffraction patterns of the vapor-deposited glass (red curve) and crystal (blue curve) of CO<sub>2</sub>. The pair-distribution function analyses revealed that the nearest-neighbor configuration of CO<sub>2</sub> molecules is as shown in the figure for both glassy and crystalline states.

We are studying chemical physics of complex condensed matters, especially glasses and supercooled liquids, water and related materials, ionic liquids, and nanoparticles of hydrogen storage metals. Glass transition is a mysterious phenomenon in which liquids solidify without structural change. This is one of big and long-standing issues in physics. Water, which is the most familiar material for us, exhibits various unique phenomena caused by hydrogen bonds. Ionic liquids have nanometer-size domains and hierarchical dynamics generated by competing electrostatic and van der Waals interactions. Hydrogen atoms in metal nanoparticles give rise to unusual structure and dynamics caused by the surface effects and resultant distorted potential energy surfaces. These substances are investigated by neutron scattering, x-ray diffraction, heat capacity, and dielectric measurements. Our aim is to find simple (?) rules involved in complex systems from the three different points of view, i.e., structure, dynamics, and thermodynamic.



バルクおよびナノ粒子パラジウム水素化物のアレニウスプロット。これらの緩和時間は4台の分光器による中性子準弾性散乱により決定された。緩和のQ依存性から、τ<sub>1</sub>、τ<sub>2</sub>、τ<sub>3</sub>はOサイト、τ<sub>4</sub>はTサイトのH原子の拡散によることが分かった。

Arrhenius plots of bulk and nanoparticles of palladium hydrides. These relaxation times were determined by the QENS experiments with 4 spectrometers. The Q dependence of the relaxation clarified that τ<sub>1</sub>, τ<sub>2</sub> and τ<sub>3</sub> correspond to the H atomic diffusion at the O-sites while τ<sub>4</sub> at the T-sites.

## 研究テーマ Research Subjects

1. ガラス転移、ボゾンピークなどの不規則凝縮系のダイナミクス  
Dynamics of disordered condensed systems, such as glass transitions and boson peaks
2. 水および関連物質 (含水多孔性結晶など) の構造とダイナミクス  
Structure and dynamics of water and related materials such as hydrated porous crystals
3. イオン液体の熱力学的性質とダイナミクス  
Thermal and dynamical properties of ionic liquids
4. 水素吸蔵金属ナノ粒子の構造とダイナミクス  
Structural and dynamical properties of nanoparticles of hydrogen storage metals

# 益田研究室

Masuda Group



益田 隆嗣  
MASUDA, Takatsugu  
准教授  
Associate Professor



浅井 晋一郎  
ASAI, Shinichiro  
助教  
Research Associate

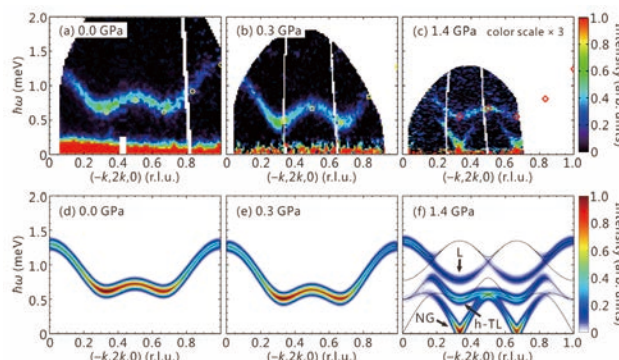
本研究室は、低次元スピン系やフラストレーション系などにおける新しい量子現象・量子状態を実験的に発見することを目指している。強い量子性や幾何学的フラストレーションは、自明な古典的秩序状態を阻害し量子状態が基底状態となる上に、小さな摂動に敏感なため、低次元スピン系やフラストレーション系は量子現象開拓のフロンティアとなっている。我々は、スピン液体、RVB、キューボック構造等、新しい磁気状態の研究と、マルチフェロイック系やリラクサー磁性体などにおける、新しい電気磁気効果の研究を行っている。最近の我々の研究例として、フラストレート量子磁性体 CsFeCl<sub>3</sub> の圧力下スピン・ダイナミクスを、中性子非弾性散乱実験と拡張スピン波理論で調べた結果を図に示す。低圧力のスピン無秩序状態においては1本の一重項・二重項励起が観測されるのに対し、1.4 GPa の秩序相においては、南部・ゴールドストーンモードと Higgs モードのほかに、磁気構造の非共線性に起因する縦揺らぎ・横揺らぎ混成モードが存在していることが明らかにされた。

フラストレート量子磁性体 CsFeCl<sub>3</sub> の圧力下でのスピン・ダイナミクス。(a)-(c) は中性子非弾性散乱分光器により測定された中性子スペクトルである。カラープロットは J-PARC のチョッパー分光器 HRC による測定結果であり、シンボルは Oak Ridge 国立研究用原子炉 HFIR の三軸分光器 CTAX による測定結果である。P = 0.0 GPa (a) および 0.3 GPa (b) では、スピン無秩序相における一重項・二重項励起が観測されている。これに対し、P = 1.4 GPa (c) では、圧力誘起秩序相におけるマグノン励起が観測されている。(d)-(f) は拡張スピン波による計算結果である。P = 1.4 GPa の圧力誘起秩序相 (f) では、南部・ゴールドストーン (NG) モードとヒッグス (L) モードのほかに、縦揺らぎと横揺らぎの混成モード (h-TL) が存在することがわかる。混成モードは圧力誘起磁気秩序の非共線性に由来するものであり、(c) の中性子スペクトルでも観測されている。

Spin dynamics of the frustrated quantum magnet CsFeCl<sub>3</sub> under pressure. The panels (a) – (c) show inelastic neutron spectra. The color plots are the data measured by a chopper spectrometer HRC in J-PARC, and the symbols are those measured by a triple axis spectrometer CTAX in research reactor HFIR in Oak Ridge National Laboratory. In the spectra at P = 0.0 GPa (a) and P = 0.3 GPa

(b) in the disordered phase, singlet-triplet excitations are observed. In contrast in the one at P = 1.4 GPa (c) in the pressure induced ordered phase, magnon excitations are observed. The panels (d) – (f) show the calculated result by extended spin wave theory. At P = 1.4 GPa (f) the hybridized mode of transverse and longitudinal fluctuations (h-TL) does exist in addition to Nambu-Goldstone (NG) and Higgs-amplitude (L) modes. The h-TL mode is ascribed to the noncollinearity of the magnetic structure, and it is observed in the neutron spectrum in the panel (c).

One of the research goals in our group is to find a novel quantum phenomenon and to reveal its mechanism in low-dimensional spin magnets and frustrated magnets. Strong quantum fluctuation or geometrical frustration disturbs the development of trivial magnetic states and induces a non-trivial quantum state. Furthermore such a state is sensitive to a small perturbation and, thus, the area is frontier of quantum phenomena. Our research topic includes spin liquid, RVB, Cuboc structure, etc. Another goal is to observe a new magnetoelectric effect in multiferroic compounds and/or relaxor magnets. Figures show the experiment and calculation of the pressure variations of the spin dynamics in the frustrated quantum magnet CsFeCl<sub>3</sub>. In the disordered phase at low pressures single mode of singlet – doublet excitation is observed. In contrast in the pressured induced ordered phase at 1.4 GPa, it was discovered that the hybridized mode of longitudinal and transverse fluctuations originated from noncollinearity of the magnetic structure as well as Nambu-Goldstone and Higgs-amplitude modes.



## 研究テーマ Research Subjects

1. 量子臨界点近傍におけるフラストレート磁性体の非自明な励起モード  
Nontrivial excitation mode in frustrated magnet near quantum critical point
2. 中性子によるスピン波スピン流の検出  
Detection of spin wave spin current by neutron
3. マルチフェロイック物質におけるスピンの局所的コントロール  
Local control of spin moment in multiferroics
4. スピン液体状態の探索  
Search of spin liquid
5. 磁場誘起非相反性マグノンの観測  
Observation of field induced nonreciprocal magnon

# 中島研究室

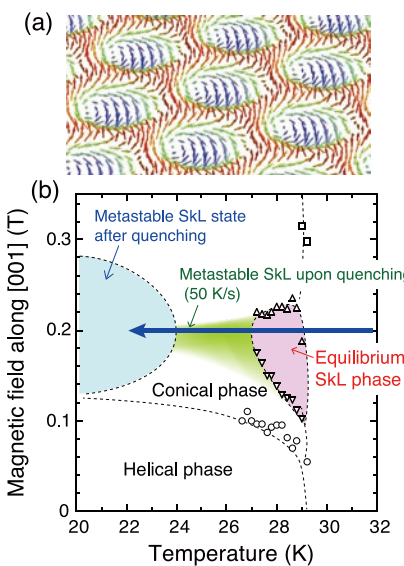
Nakajima Group



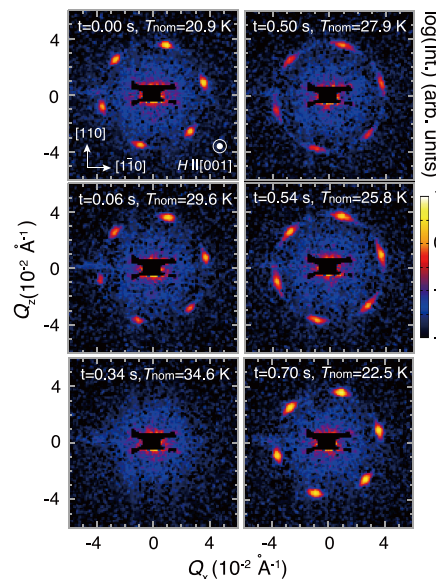
中島 多朗  
NAKAJIMA, Taro  
准教授  
Associate Professor

固体の磁氣的性質は非常に古くから知られており、精力的に研究されてきたテーマである。例えば我々の身近にある磁石では、固体中のスピンの自発的に同じ方向に揃う「強磁性」が実現している。これ以外にも、らせん型や渦型など様々な磁気秩序が存在するが、近年それらのスピン配列の幾何学的特徴が、物質の誘電性、伝導性、あるいは弾性などを大きく変化させ得ることが明らかになってきた。本研究室ではこのような「スピン秩序によって引き起こされる創発物性現象」を主な研究テーマとしている。例としては、らせん型の磁気秩序によって電気分極を生じるマルチフェロイック系や、トポロジカルな渦状磁気構造である磁気スキルミオン等を対象として、中性子散乱とX線散乱を用いて磁気秩序とその励起状態を明らかにすることに取り組んでいる。また、中性子散乱技術自体を発展させるべく、多重極環境下の測定や時分割測定など、新たな手法開発にも取り組む。

Magnetism in solids has been extensively studied in the field of condensed matter physics for a long time. A well-known example is ferromagnetism, which means that magnetic moments in a solid are spontaneously aligned to be parallel to each other owing to exchange interactions. It was recently revealed that spontaneous ordering of the magnetic moments can change not only magnetic properties of the system, but also (di)electric or elastic properties. We study the emergent cross-correlated phenomena induced by the spin orders. One example is spin-driven ferroelectricity, where a spiral magnetic order breaks spatial inversion symmetry of the system and leads to spontaneous electric polarization. Another example is a vortex-like spin texture called magnetic skyrmion, which often appears in a long-wavelength helimagnet. By the virtue of the topologically-nontrivial spin texture, the magnetic skyrmion induces an effective magnetic field acting only on conduction electrons.



(a) 磁気スキルミオン格子状態におけるスピン配列の模式図 (b) 磁気スキルミオン物質 MnSi の熱平衡 - 準安定状態図。0.2 T の磁場中で急加熱・急冷することで準安定スキルミオン状態が実現する。  
(a) A schematic of magnetic skyrmion lattice. (b) The equilibrium and metastable state diagram of MnSi. The metastable skyrmion lattice state is realized by a rapid temperature sweep in a magnetic field of 0.2 T.



MnSi の準安定スキルミオン格子が熱パルスによって消滅し、その後再形成される過程を時分割中性子小角散乱によって観測した結果。  
The results of time-resolved neutron scattering measurement on MnSi in a magnetic field; the hexagonal diffraction patterns correspond to a triangular lattice of metastable skyrmions.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 中性子散乱による磁気スキルミオンの構造とそのダイナミクスの研究  
Neutron scattering studies on magnetic skyrmions and their dynamics
2. 光の電場成分に応答する磁気励起 - エレクトロマグノン -  
Magnetic excitations driven by the electric field component of light - electromagnons -
3. 異方的な応力を用いたマルチフェロイック物質の磁性と誘電性の制御  
Control of magnetic and dielectric properties in multiferroics by means of anisotropic stress
4. 時分割中性子散乱法を用いた磁性体における非平衡・過渡現象の研究  
Time-resolved neutron scattering studies on nonequilibrium and transient phenomena

# 中西研究室

Nakanishi Group



中西 尚志  
NAKANISHI, Takashi  
客員教授  
Visiting Professor

機能性分子の分子間相互作用を精密に制御・抑制することで、不揮発性、粘性、発光性などの機能を持つ常温「液体」材料を開発している。この「機能性分子液体」を素材に、ウェアラブルな圧電素子、振動センサやアクチュエータなどの応用に向けて研究を展開している。

機能性分子液体として合成する分子は、光や電子機能を有する $\pi$ 共役系分子を柔軟で嵩高い分岐アルキル鎖で取り囲んだ構造となっており、孤立・保護された $\pi$ 共役ユニットは、外場から安定化される。分岐アルキル鎖の柔軟性が融点を低下させ、孤立した $\pi$ 共役ユニットからは分子固有の光・電子機能が液体バルク状態でも発揮できる。中西研究室では、液体分子のナノ組織構造や分子運動ダイナミクスを徹底的に検討することで、機能性分子液体の「物質」としての理解を深める研究を推進している。

Design, synthesis and investigation of nonvolatile, viscous, and optoelectronically-active, functional molecular liquids are the first priority in my research. Those liquids would be promising soft matters towards wearable-, stretchable- sensor and actuator applications.

Enveloping an optoelectronically-active functional  $\pi$ -core in flexible and bulky branched alkyl side chains results in stable, nonvolatile, functional liquid materials at room temperature. Because the functional  $\pi$ -unit is wrapped with insulating bulky alkyl chains, the isolated and stabilized  $\pi$ -core unit can maintain its intrinsic molecular/optoelectronic functions in the bulk state. By studying of local nanostructures and molecular dynamics of the liquid molecules at Nakanishi group, we would like to understand deeply its fundamental science of the functional molecular liquids as novel liquid matter.