固体量子物性 研究室のメンバー

石田憲二 教授

北川俊作 准教授

2024年度 研究室構成

スタッフ:2名
PD: 0名
D3:2名 D2: 1名 D1: 1名
M2:5名 M1:3名
卒研:5名 計 19名

※京大以外、卒研生以外の院生も多数在籍しています。

卒業生の進路

2022年度
修士課程:日立、キオクシア
tdi グループ情報技術開発、D進×2
博士課程:東北大学助教

2023年度
修士課程:特許庁、D進

2024/04
集合写真

固体量子物性 研究内容

● 研究テーマ

固体中の電子集団の示す量子状態

(1) 新しいメカニズム・対状態の超伝導：

スピン三重項超伝導、超伝導ペア密度波

(2) 固体中で現れる新現象：中性準粒子、量子サイズ効果

●研究手段

(1) ミクロ測定：NMR（核磁気共鳴）

(2) マクロ測定：電気抵抗、磁化率

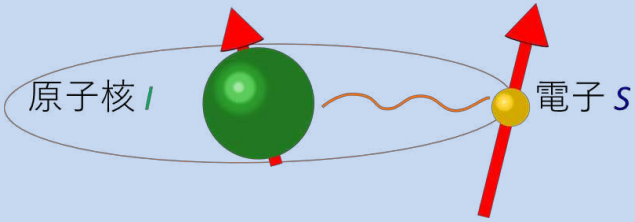
(3) 複合極限環境：温度 ～ 60 mK、磁場 ～ 16 T (+ 精密角度調整)

圧力 ～ 10 万気圧

「ミクロからマクロまで豊富な実験手段を極限環境で」

固体量子物性 研究一例

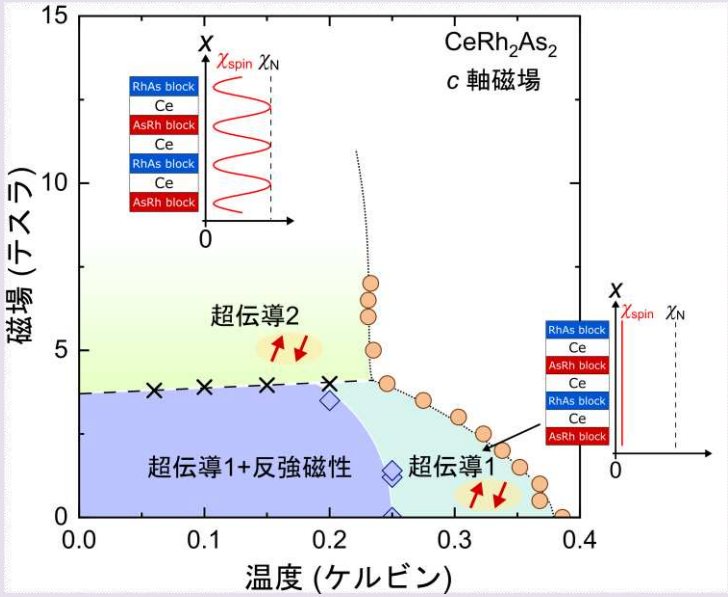
核磁気共鳴(NMR)測定



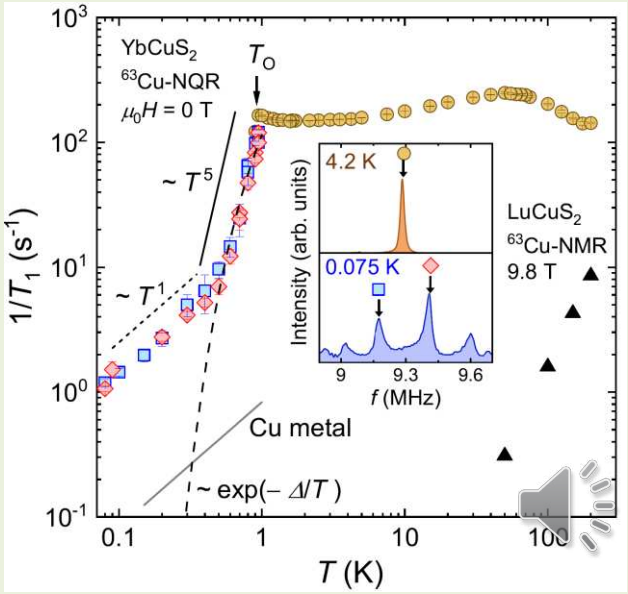
物質を原子核を通して調べるNMRは、
バルク測定では得られない情報がわかります。

**測定物質：非従来型超伝導、量子磁性体、
ナノ粒子　等**

縺(もつ)れ結晶で現れる
多重超伝導状態の性質を解明



一次元量子磁性体で
電気的中性な粒子を発見



詳しくはHPを：http://www.ss.scphys.kyoto-u.ac.jp

量子凝縮物性分科

松田祐司 教授

幸坂祐生 教授

浅場智也 特定准教授

末次祥大 助教

研究室集合写真（2024年4月）

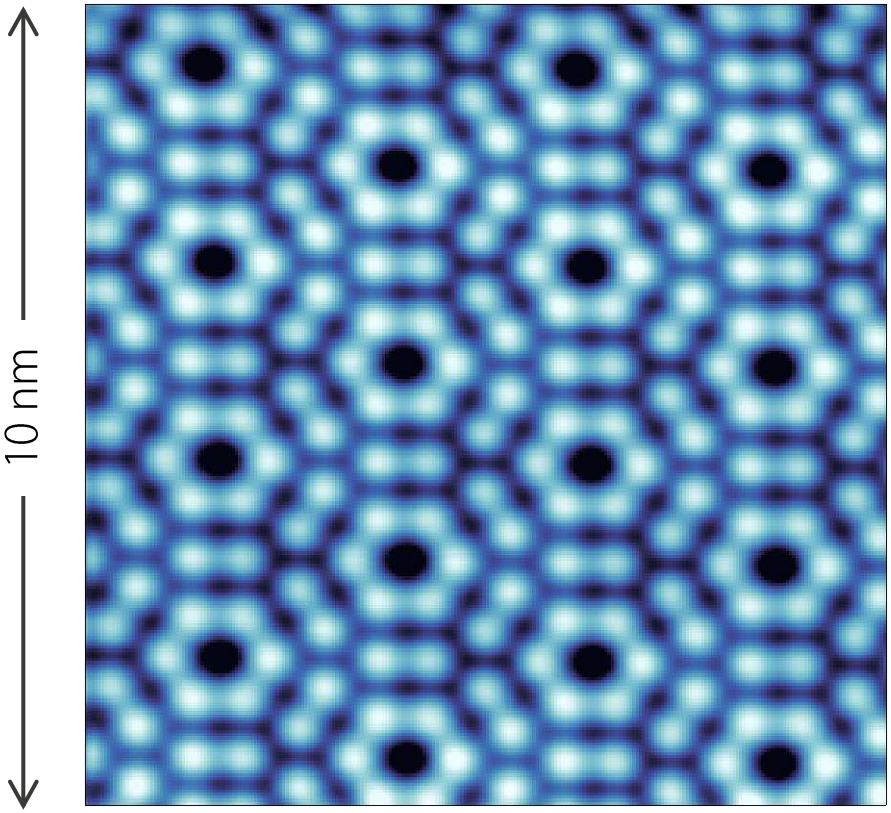
スタッフ　4名

修士課程　9名

卒研生　5名

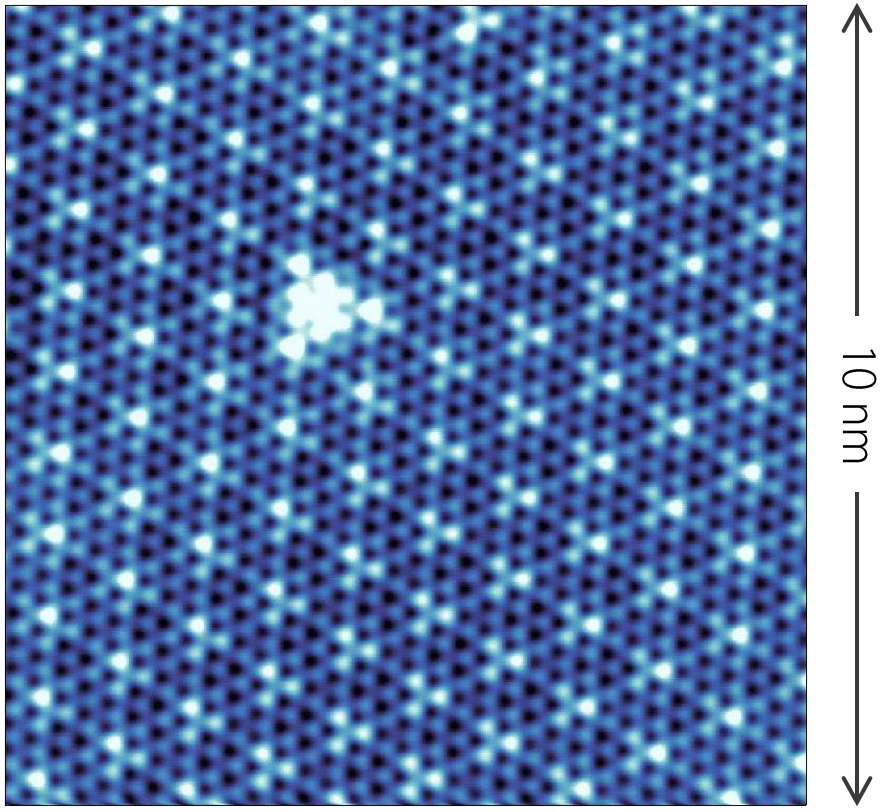
電子波の直接観察？

「原子」が見える



Si

原子配列の再構成

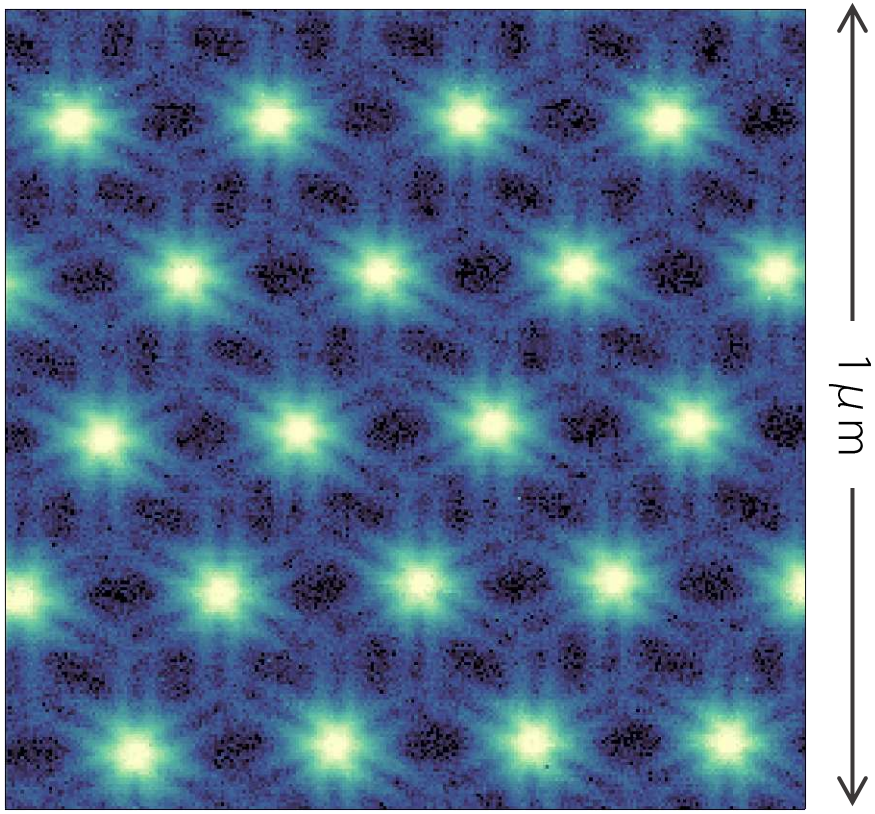


$NbSe_2$

原子配列, 不純物, 電荷密度の濃淡

電子波の直接観察？

「超伝導」が見える

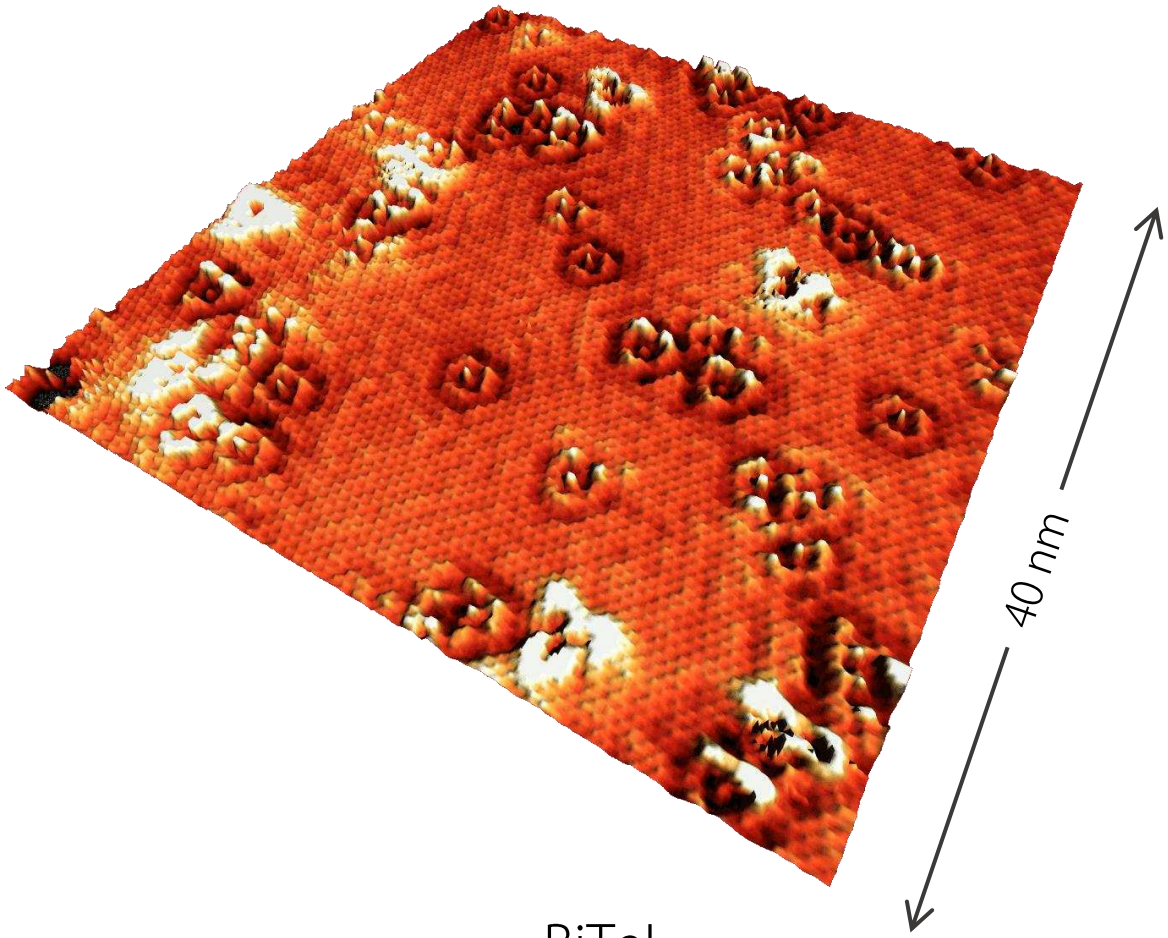


$NbSe_2$

磁束量子の配列

電子波の直接観察？

「波動関数」が見える



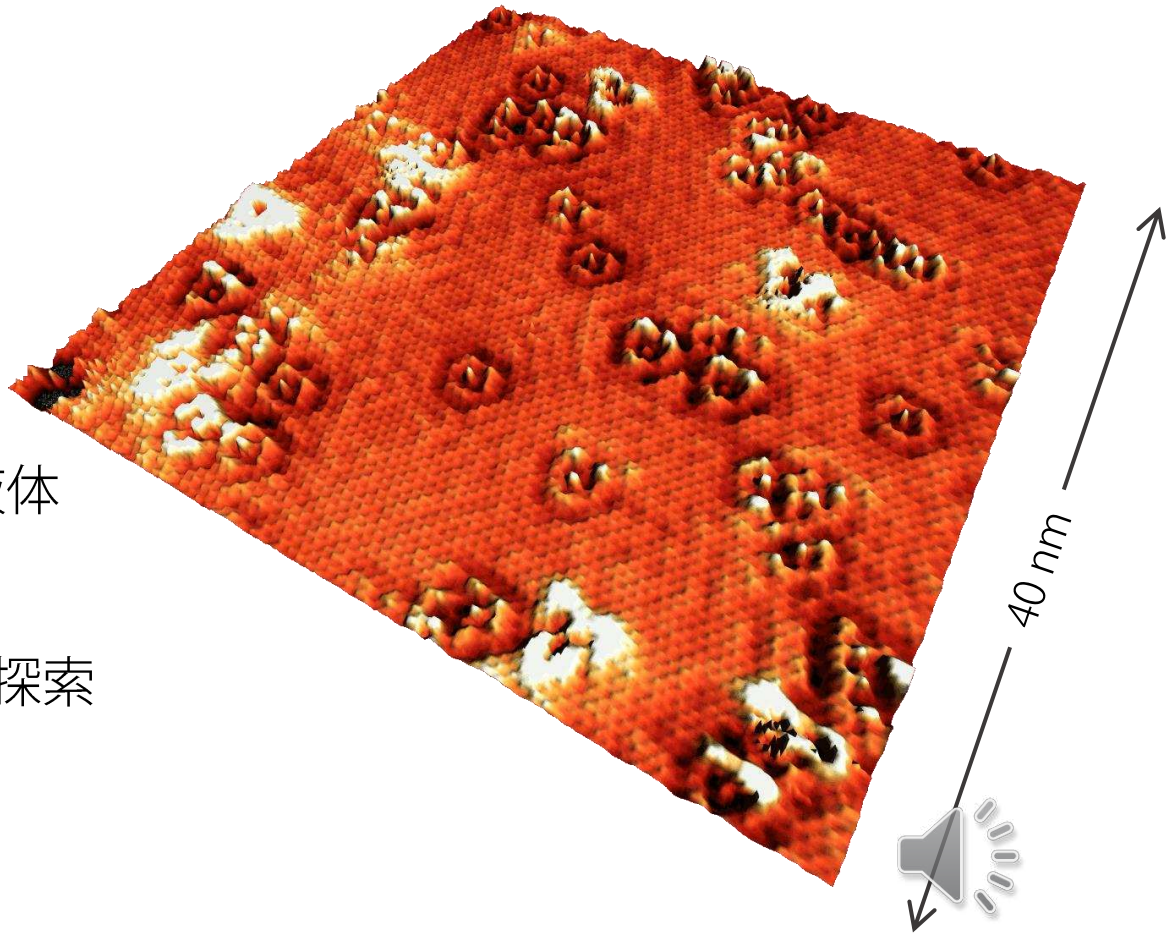
BiTeI

電子波の干渉

研究テーマ

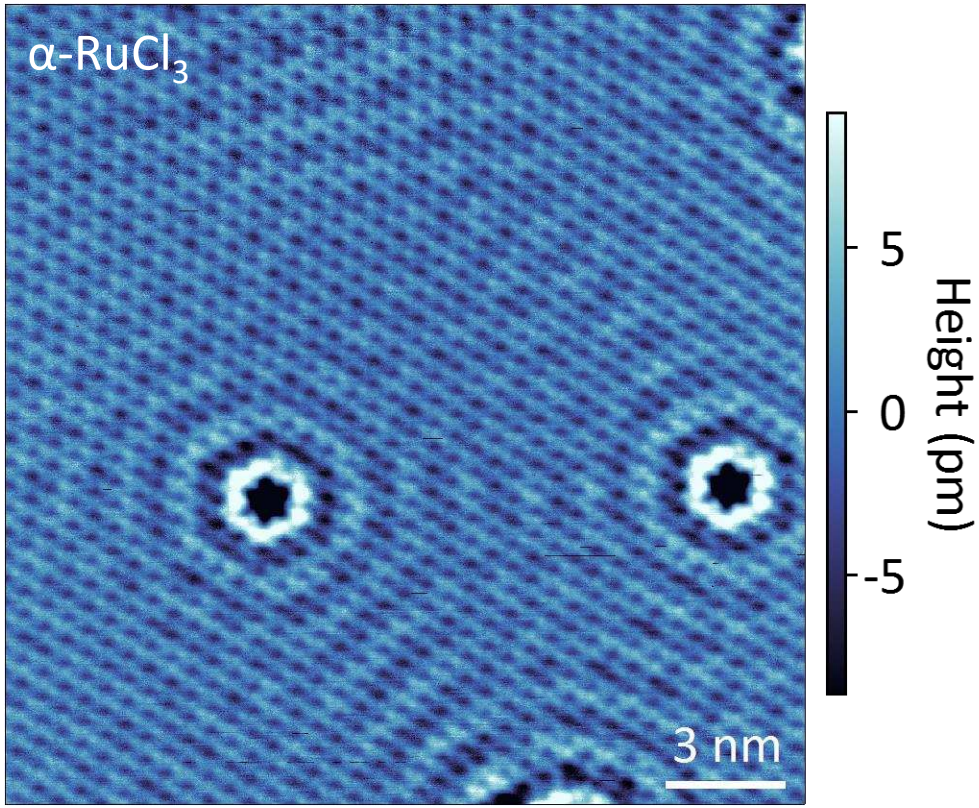
テーマ例

- 高温超伝導
- トポロジカル超伝導
- 量子スピン液体
- 朝永-ラッティンジャー液体
- 重い電子系物質
- 機械学習による新状態の探索
- ・・・



最近の研究例

分数粒子（マヨラナ粒子）による量子干渉の可能性



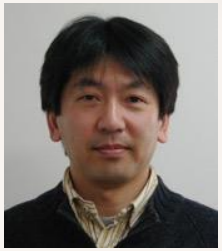
低温物理学研究室

世界唯一超低温度ＭＲＩ装置

量子液体固体の
不思議な世界を
楽しみましょう

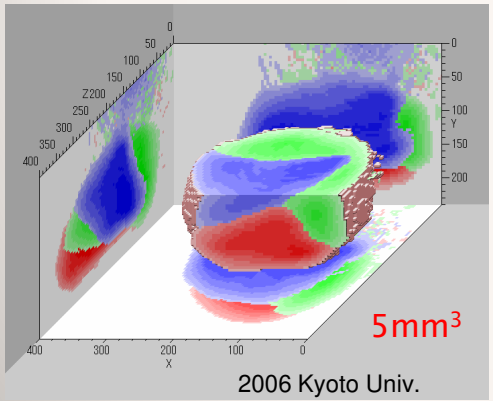
構成員：
教員2名
博士課程生2名
修士課程生3名
卒業研究生5名

教授　佐々木豊

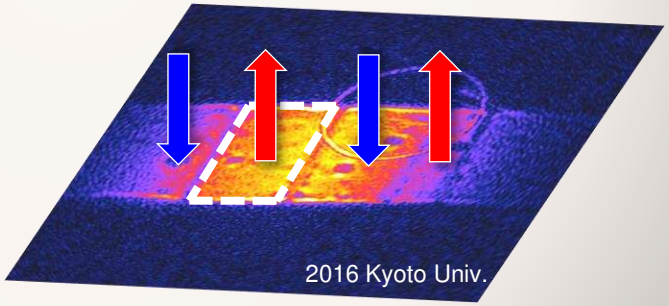


准教授　松原明

超低温度を維持したまま
回転できる回転冷凍機



核整列固体3Heの
世界一クールなMRI像(500μK)



超流動3Heのカイラルドメイン構造のMRI像

Kasai *et al. Phys. Rev. Lett.* (2018)

世界に例を見ない波動関数カメラの画像

選出されました

低温物理学研究室の活動・教育方針

理想的物質系ヘリウムを舞台とする基礎物理

⇒シンプルな構成要素（フェルミオンのヘリウム3とボソンのヘリウム4）＋制御された異方的空間

>> 個別物質の詳細ではない普遍的な物理現象を精密に理解しよう！

理想的物質系では次々と新しい物理現象が展開される

研究対象となる物理現象は広範囲（興味次第で広がる）

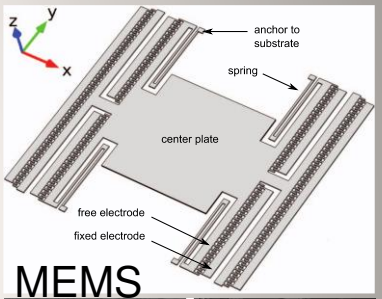
超流動ヘリウム3の多自由度波動関数の実空間観測，

量子渦などトポロジカルな構造体のダイナミクス，量子乱流，

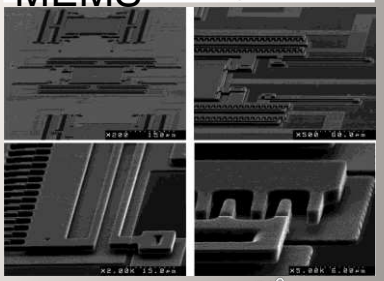
相転移によるトポロジカルな構造体の生成と宇宙論の実験的検証，

非等方空間における新奇対称性超流動相の探索，

量子系と結合した古典振動子系MEMSのダイナミクス，，，，，

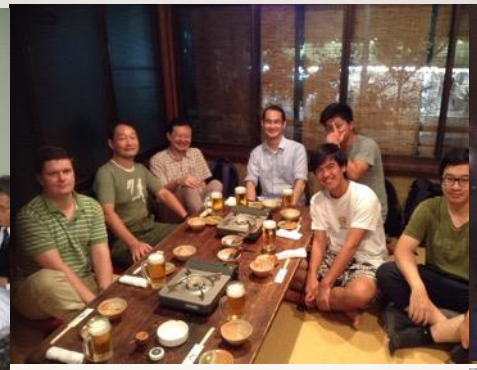


MEMS



教育方針：新しい実験装置を開発して新しい発見に近づく力をつけるために、貴方の研究開発力を鍛えます。

研究内容について詳しく知りたい方の訪問大歓迎

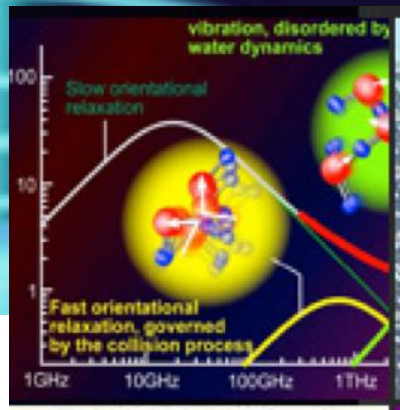


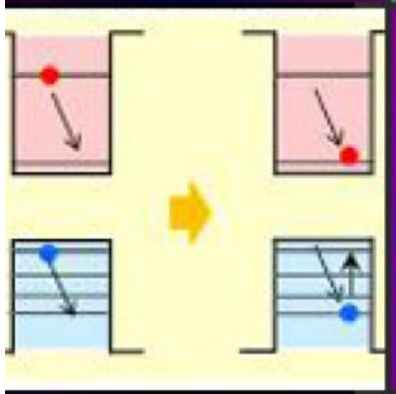
“Fermion” な奴ら
熱烈大歓迎！

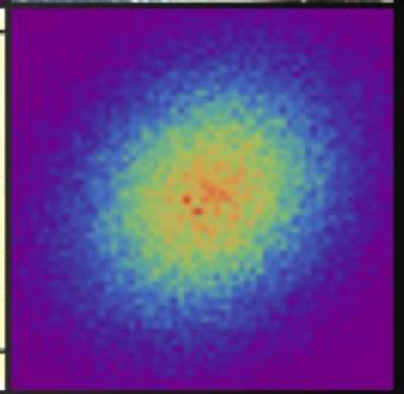
研究室メンバーとの楽しい活動
も徐々に再開してます

E2

光量子物性実験







- 量子光学･レーザー分光学研究室
- 光物性研究室
- 光駆動固体物性研究室

量子光学研究室

教授：高橋義朗 、准教授：高須洋介、助教：田家慎太郎
特定准教授：高野哲至、柴田康介
特定助教：小野滉貴、博士研究員２人、
博士課程６人、修士課程５人

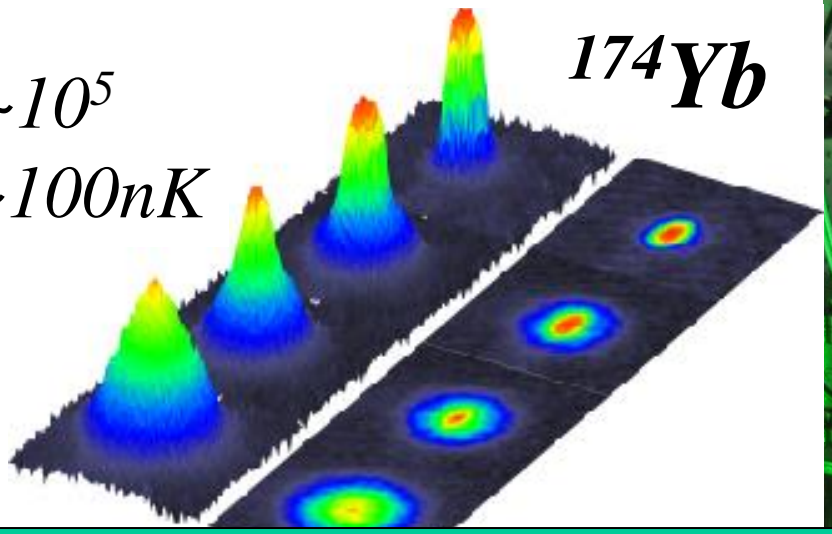
量子光学研究室

ボース・アインシュタイン凝縮体

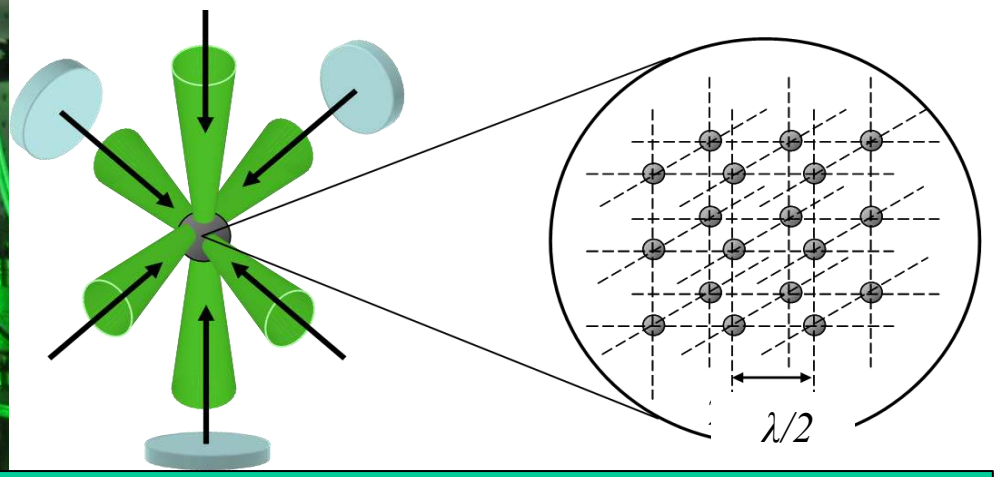
$N \sim 10^5$

$T \sim 100nK$

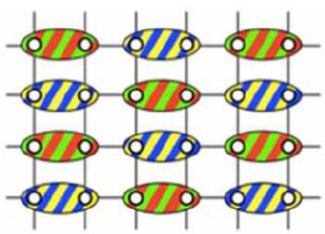
^{174}Yb

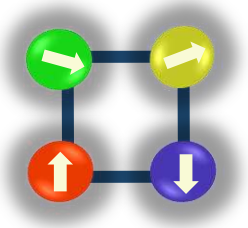


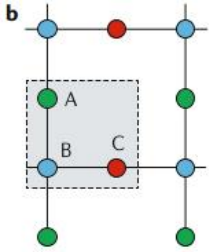
“光格子”

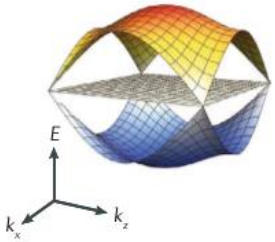


量子物性物理：新量子凝縮相創出

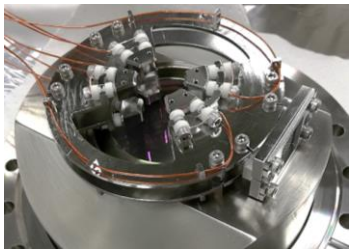


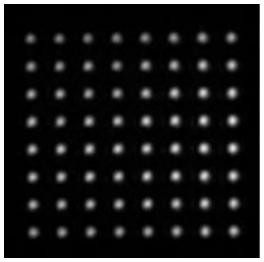




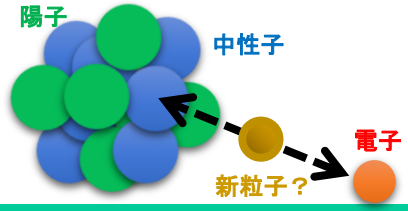


量子情報：量子計算

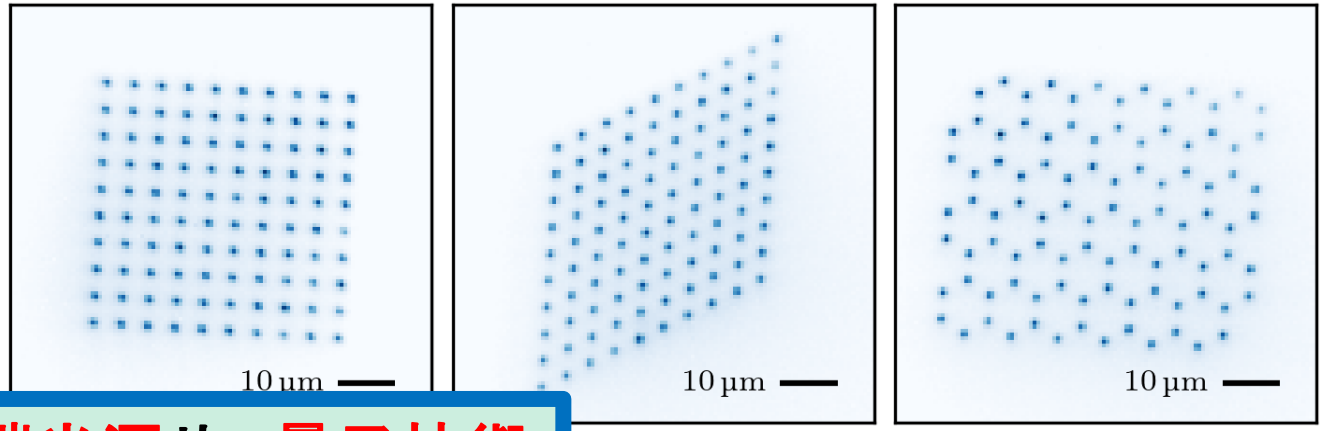




量子計測：物理学の基本法則の検証



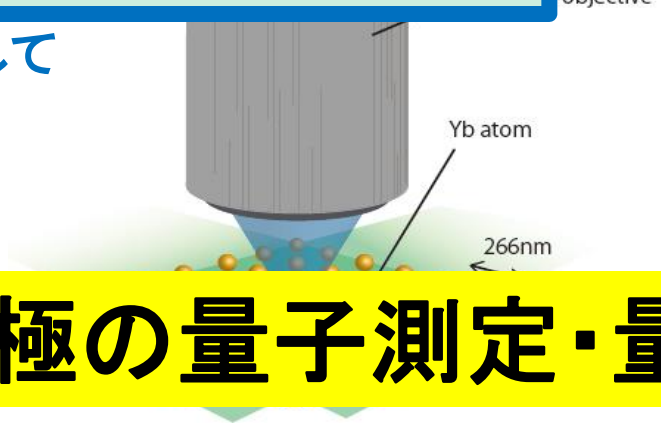
イッテルビウム原子トラップアレー

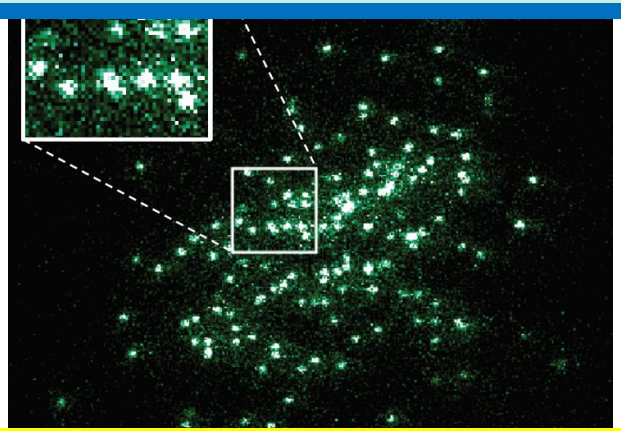


最先端光源や、**量子技術**を駆使して、新しいアプローチの**量子系の実験研究や基礎物理の探求**に興味のある人

量子光学研究室を受験してください！

個々
サイト分解して
観測可能！





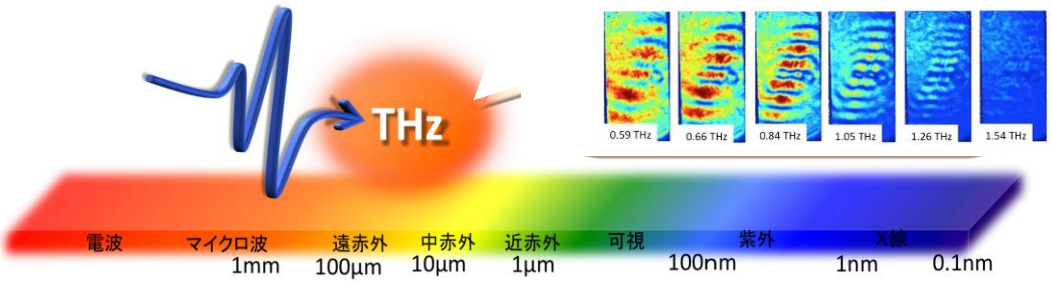
究極の量子測定・量子制御法の開発へ

光物性研究室

先端的な「新しい光」の発生と物理計測

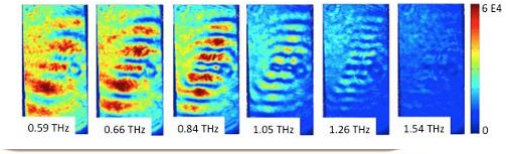
高強度テラヘルツ光

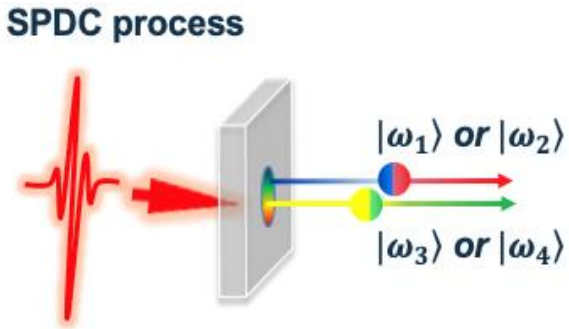
世界最高強度の
テラヘルツ波発生



狭線幅テラヘルツ光

半導体テラヘルツ
技術の新展開





Entanglement state ; $|\Phi\rangle = |\omega_1\rangle|\omega_3\rangle + \delta\,|\omega_2\rangle|\omega_4\rangle$

量子分光計測

新しいもつれ光子状態の
生成と光子計測

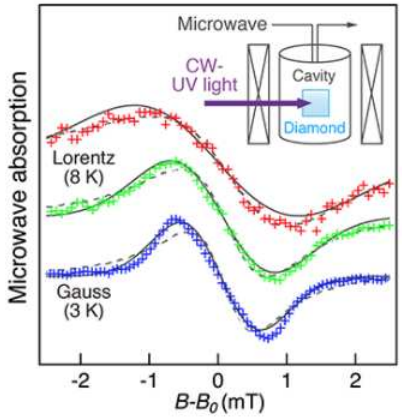
スタッフ

田中耕一郎（教授）、中暢子（教授）
内田健人（助教）、蓑輪陽介（連携准教授）、中野愛子（教務補佐員）
特定研究員1名、博士課程4名、修士課程8名

光照射によって生じる半導体中の量子秩序

- **半導体中の超低密度光励起キャリア**
  究極的な電子輸送特性の探査

- **高密度電子正孔系**
  金属-絶縁体転移の外場制御・量子凝縮相の探索

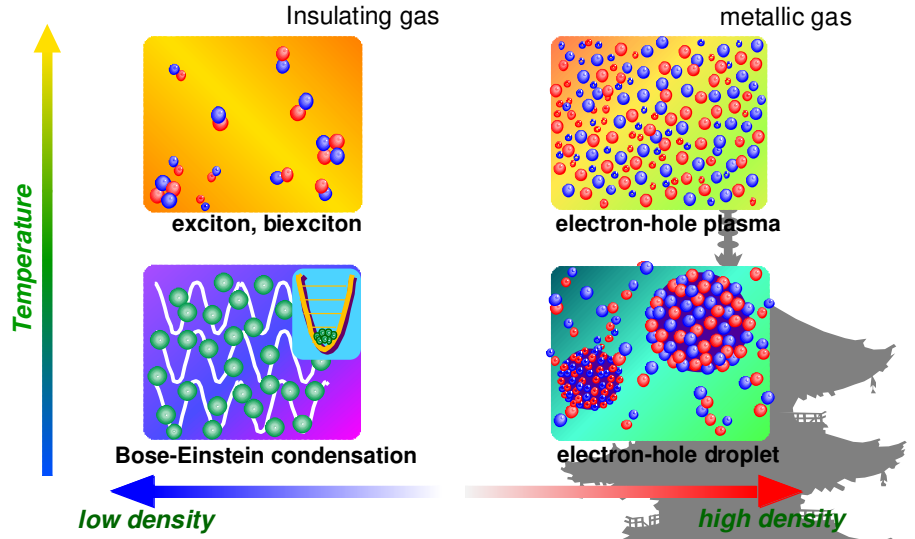


Physical Review Applied (2022) LETTER

移動度
$36\times10^{6}\ \mathrm{cm^2\ V^{-1}\ s^{-1}}$

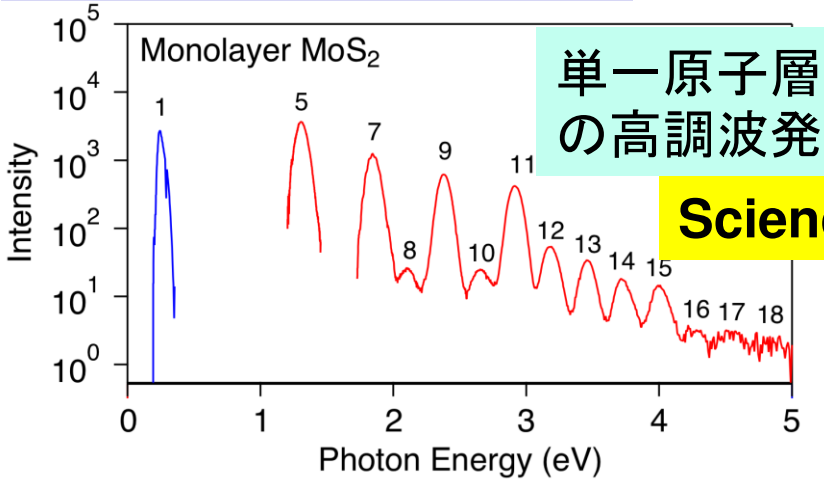
Applied Physics Letters (2020)

移動度寿命積
$0.2\ \mathrm{cm^2\ V^{-1}}$



極端な非平衡状態生成や非線形現象の発現

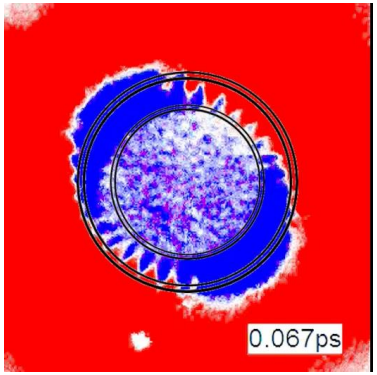
極端な非線形光学現象



単一原子層物質から18次の高調波発生に成功

Science (2017)

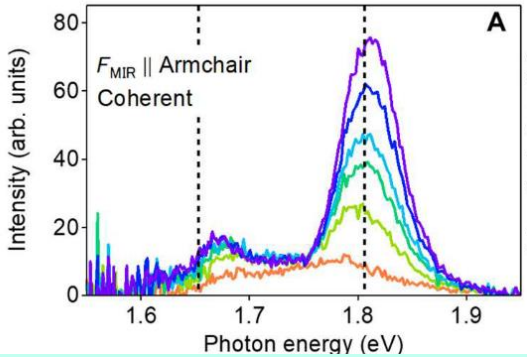
光制御



光の軌道角運動量の転写

Science Advances (2020)

物質の量子状態の制御



中赤外光照射によりフロッケ状態を操作

Science Advances (2022)

光物性研究室

- 固体物質で最先端の光科学
- 意欲のある人、大歓迎！

光駆動固体物性研究室

光駆動固体物性

准教授　　廣理英基
博士学生2名
修士学生2名

共同研究者
特任教授　金光義彦
特定助教　山田琢允

宇治キャンパス

出典：京大web

広々とした美しい宇治キャンパスで楽しく研究しましょう！

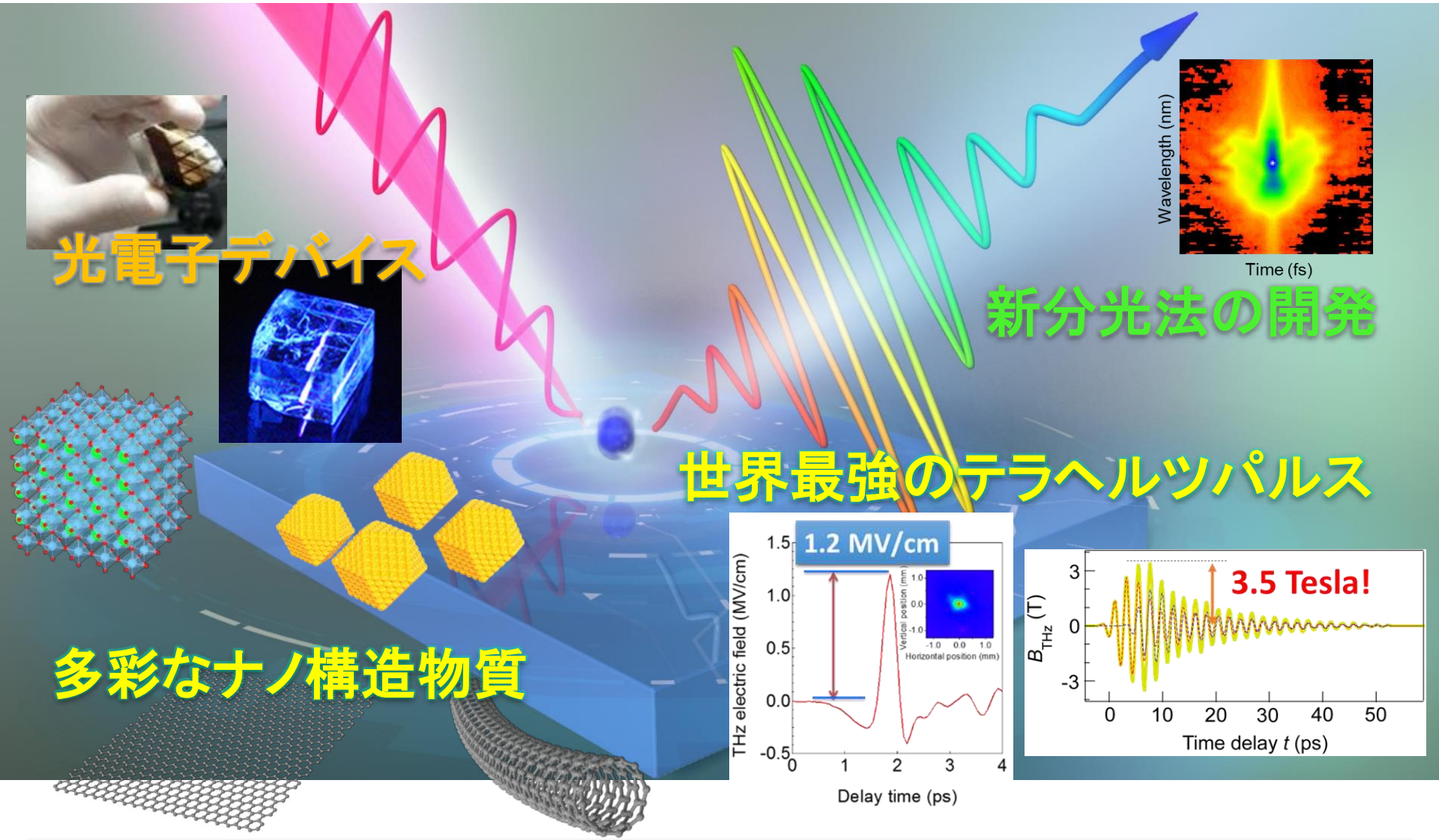
出町柳駅から32分（京阪黄檗駅）

京都駅から19分（JR黄檗駅）

学内バス50分（8便/日）

“光”で探る・操るナノと量子の世界

光駆動固体物性

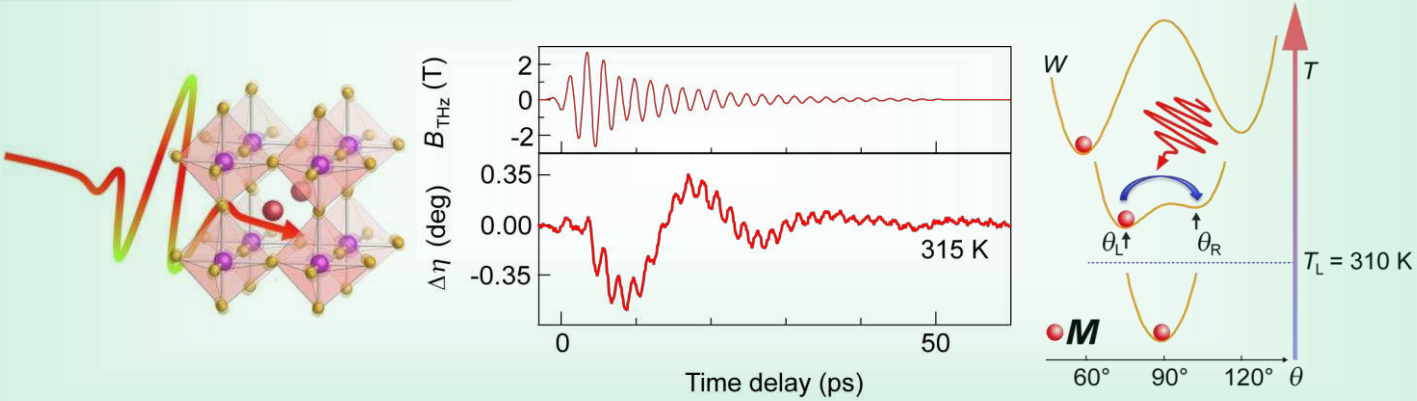


物理学、化学、光学、電子工学が融合する新しい学術への挑戦

光駆動固体物性

コヒーレントな物質制御

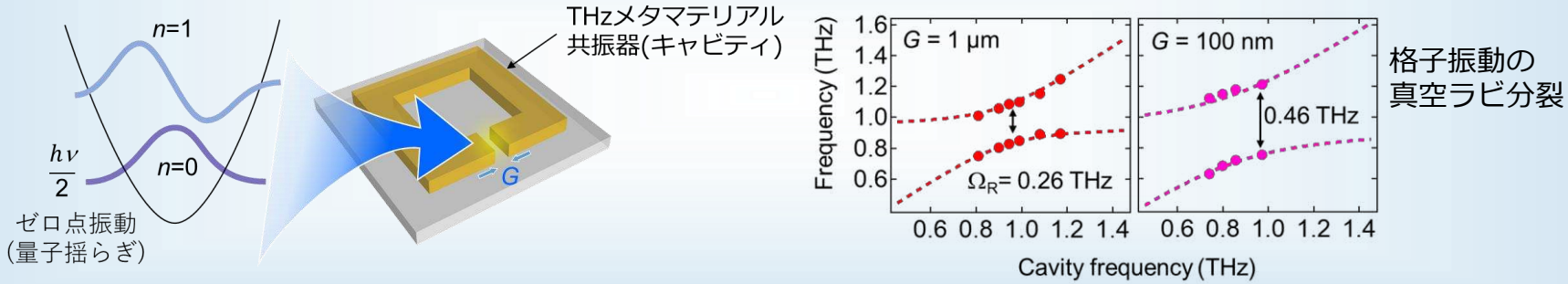
テラヘルツ電磁場によるフロッケ状態生成



Nature Commun. (2023)
Nature Phys. (2022)
Science Adv. (2022)
Science Adv. (2022)
Phys.Rev.Lett. (2021)
Nature Commun. (2021)

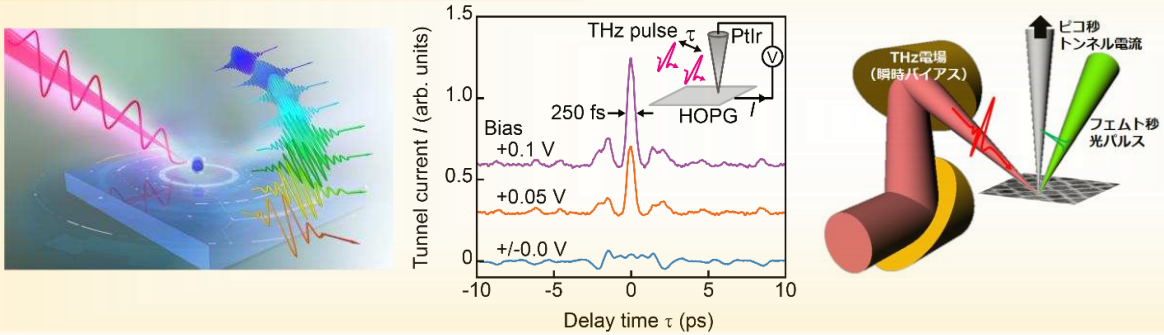
レーザー固体量子分光

精密なレーザー分光による新規な量子光機能の創出



精密ナノフォトニクス分光

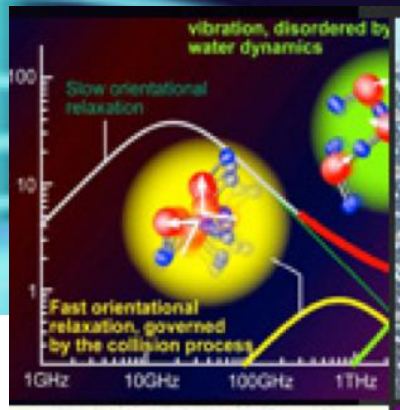
新規ナノマテリアルの光機能開拓

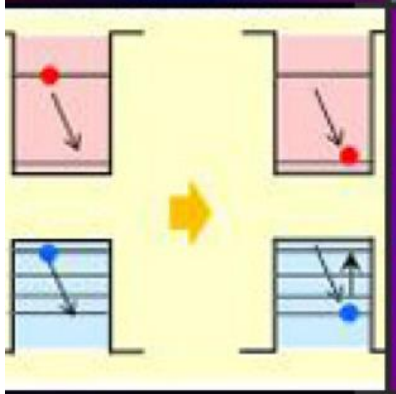


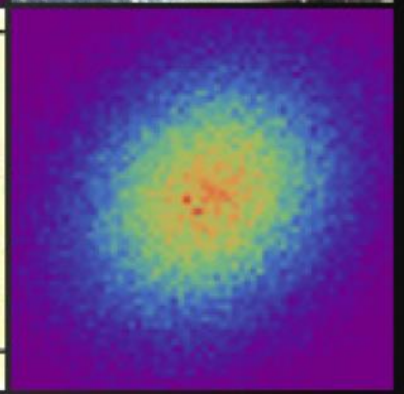
研究室見学
いつでも歓迎します

E2

光量子物性実験

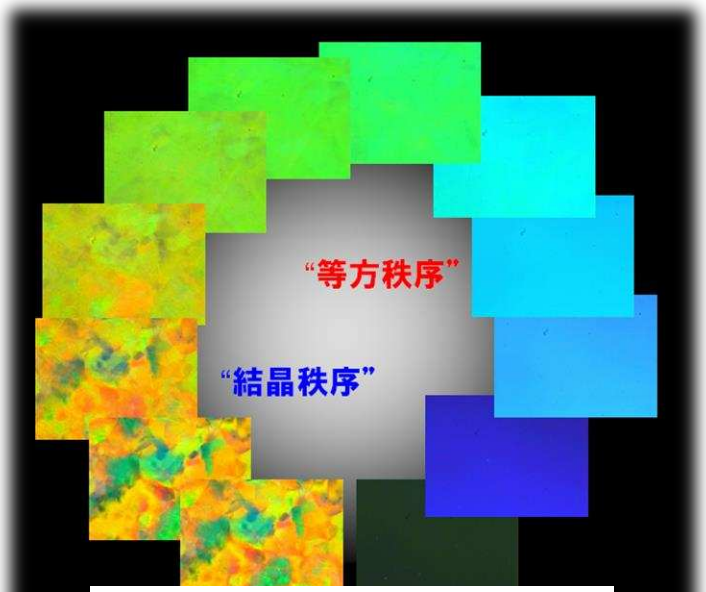




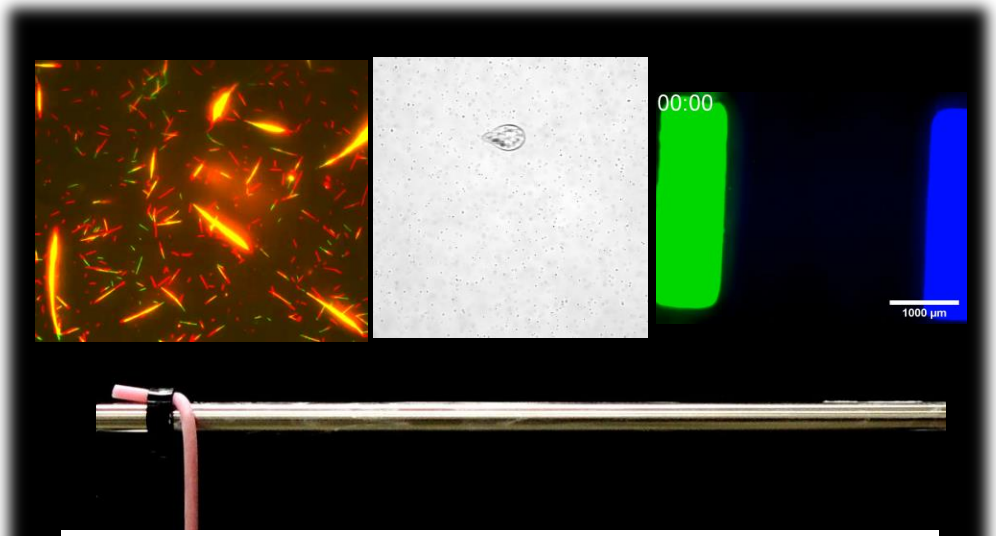


- 量子光学･レーザー分光学研究室
- 光物性研究室
- 光駆動固体物性研究室

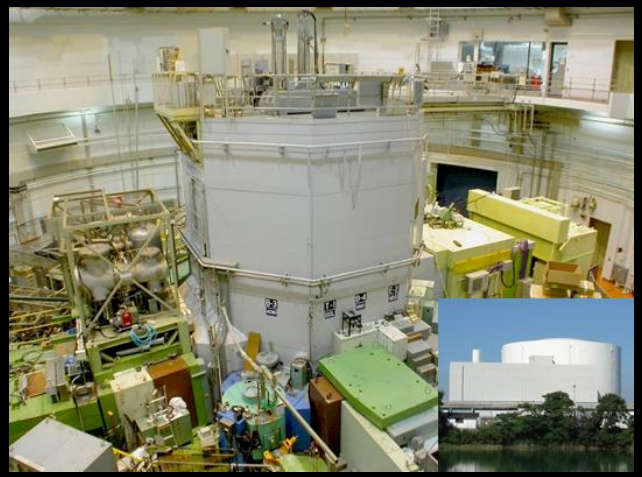
Ｅ３　複雑系実験分科群



ソフトマター物理学

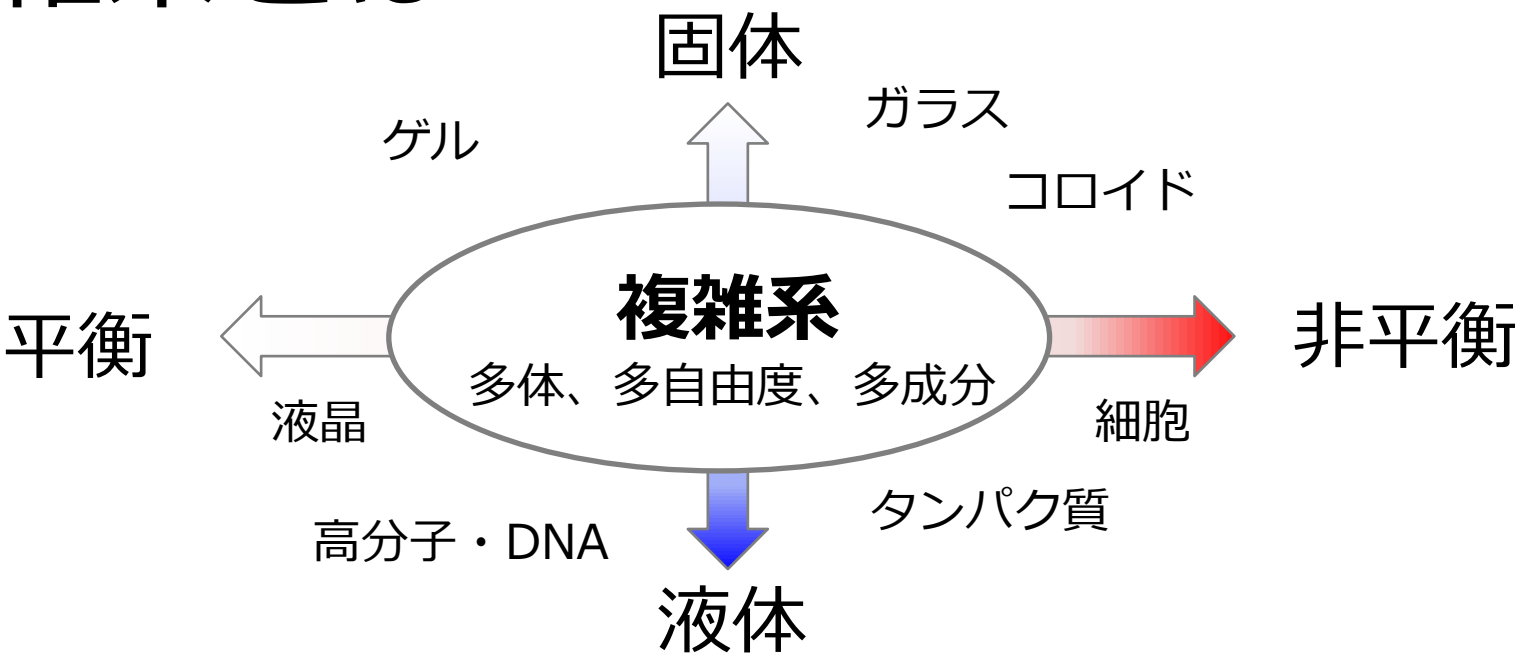


時空間・生命物理学



生体分子構造

複雑系とは？



ソフトマター・アクティブマター

階層的構造　相転移　パターン形成　群れ　高分子物理　分子ロボット
非線形・非平衡ダイナミクス　時空間ダイナミクス　分子機械
表面・界面　散逸構造　反応拡散　分子計算　DNAナノ構造
振動現象　協同現象　統計熱力学　機能創発　生命物理・生体構造

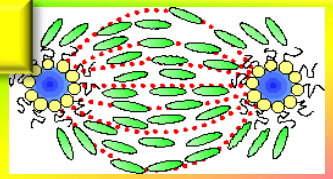
ミクロからマクロまでの、さまざまな相の物性物理が対象

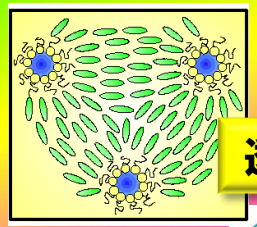
教授：山本　潤
助教：柳島大輝

ソフトマター物理学

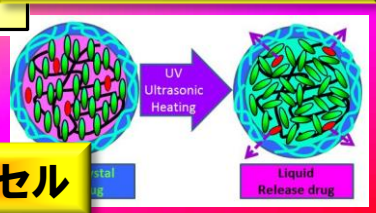
理学研究科5号館
2F214～226

液晶コロイド





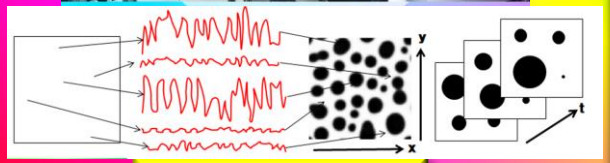
透明ネマティック相



液晶ナノミセル

カイラル超構造
SmBP等方秩序

揺らぎ顕微鏡

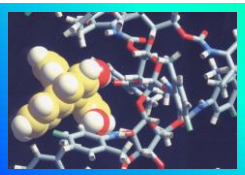


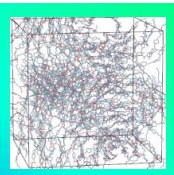
動的不均一性

Bridging between Micro-scale and Macro-scale

ミクロ　Schrödinger Eq.
原子モデル

$$i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\varphi=\left(-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2+V\right)\varphi$$

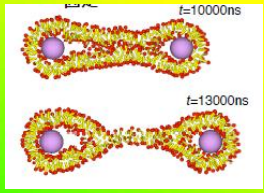


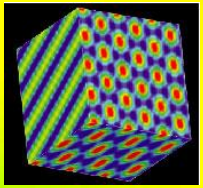


化学

メソ　t-dep Ginzburg Eq.
Landau ＆Cahn-Hilliard

$$\frac{\partial}{\partial t}\phi=L\nabla^2\left\{-\tau\phi+u\phi^3-K\nabla^2\phi\right\}+\theta$$

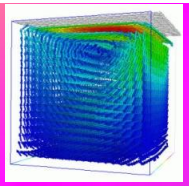




ソフトマター物理

マクロ　Navier-Stokes Eq. 連続体理論

$$\rho\left(\frac{\partial}{\partial t}+\vec{v}\cdot\nabla\right)\vec{v}=-\nabla p+\nabla\cdot\vec{\sigma}$$

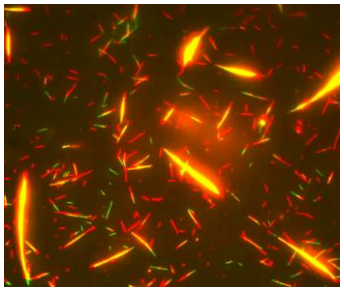
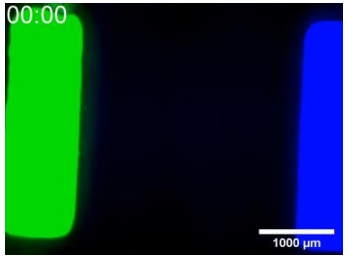


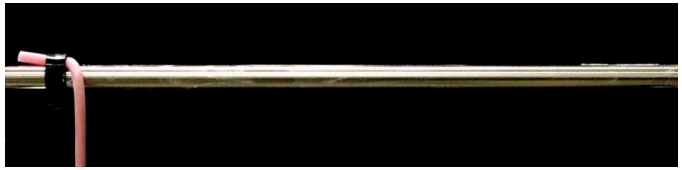
工学／生物

時空間秩序・生命物理研究室

アクティブマター研究室のスタッフ

角五彰（教授）　川又生吹（准教授）　市川正敏（講師）　谷茉莉（助教）



アクティブマター　DNAナノテクノロジー　非平衡界面

集団運動　自己集合　遊泳生物　流体

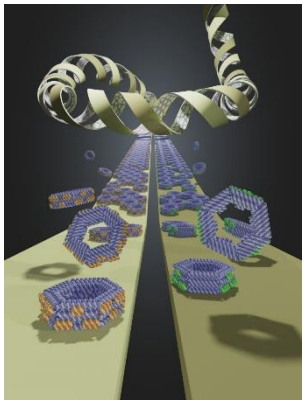
分子ロボット　反応拡散　弾性体

HP

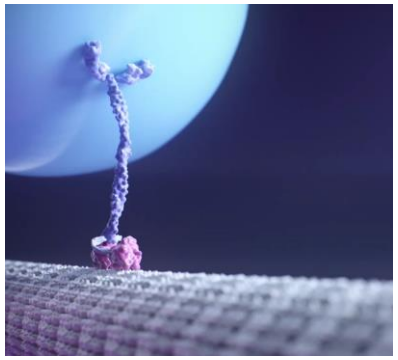
研究テーマ

- 物理学の立場から非平衡＆生命システムを解明
  - 生命現象
    - 分子・細胞・微生物
    - 人工細胞・分子ロボット
    - マイクロ膜内空間
  - 非平衡・非線形現象
    - 自己駆動液滴
    - アクティブマター
    - 非平衡界面

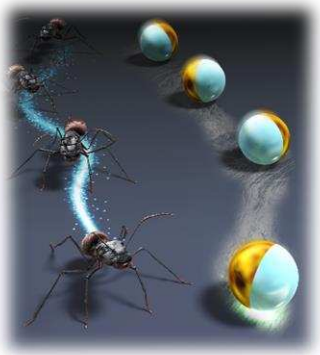
DNA分子ロボット



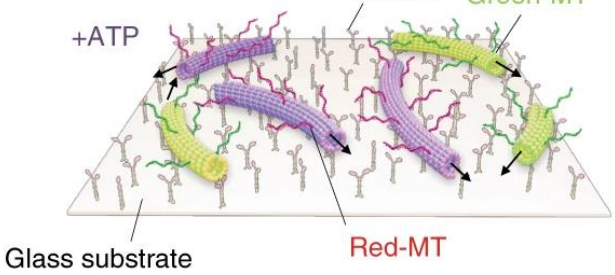
分子モーター



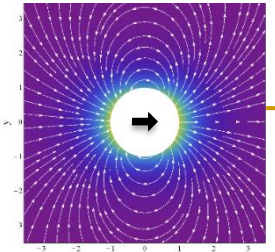
自己駆動粒子



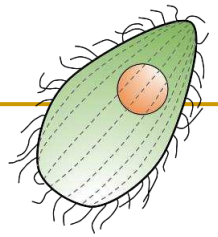
アクティブマター



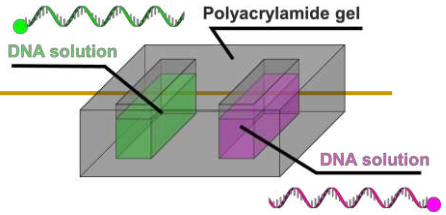
自己駆動液滴



遊泳微生物

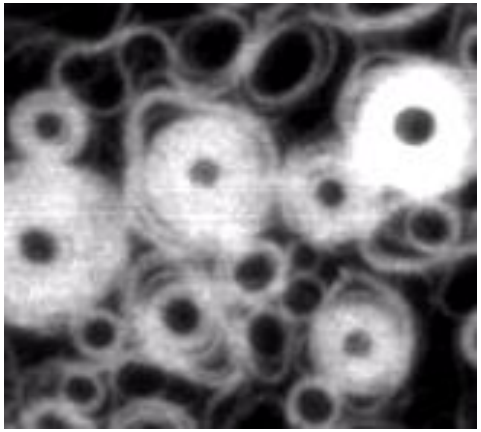


時空間発展

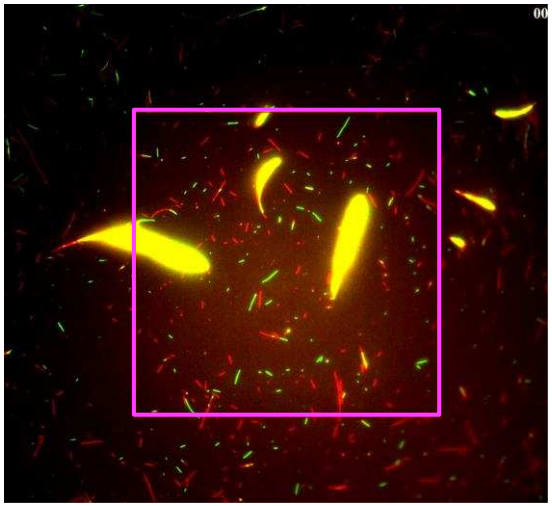


法則性やメカニズムの解明

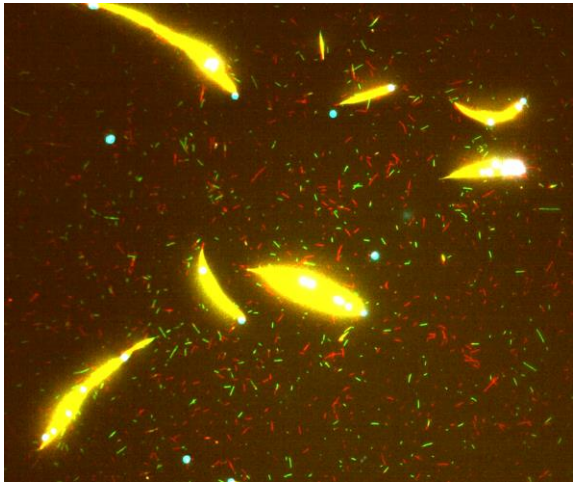
振動現象



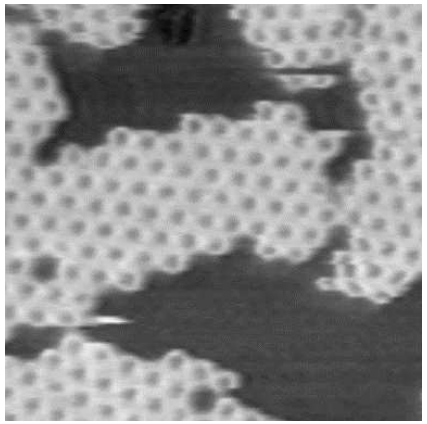
分子モーターの集団運動



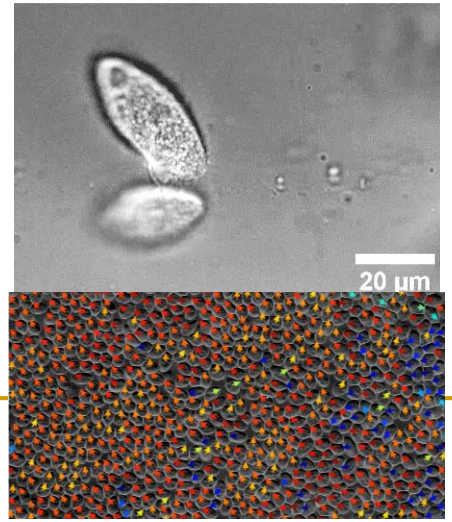
物質輸送



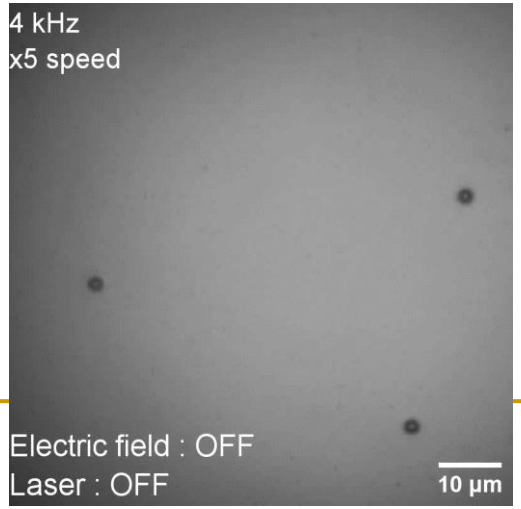
分子ロボットの自己集合



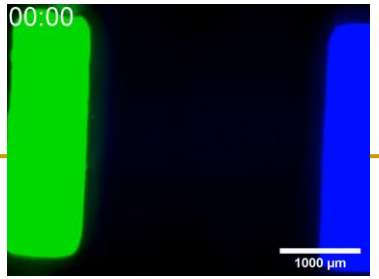
微生物遊泳のモデリング



アクティブコロイド



反応拡散パターン形成



京都大学大学院 物理学・宇宙物理学専攻
生体分子構造研究

京都大学 複合原子力科学研究所
粒子線物性学研究分野(杉山Gr)
生体分子構造研究分野(旧森本Gr)

杉山Gr https://www.rri.kyoto-u.ac.jp/PSlab/

教　授:杉山正明
准教授:井上倫太郎
助　教:守島 健・清水将裕

旧森本Gr https://www.rri.kyoto-u.ac.jp/morimotoLab/

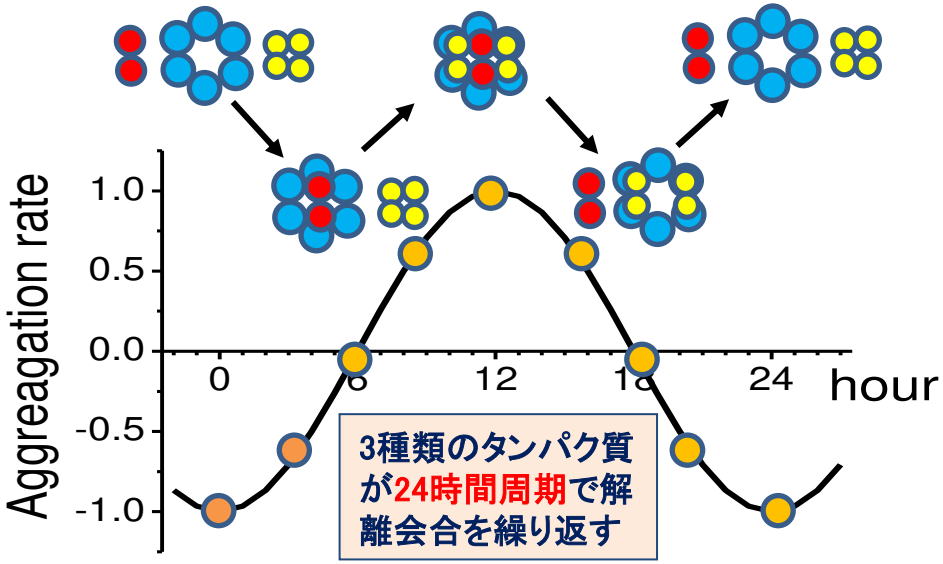
助　教:喜田昭子・川口昭夫

研究室は、大阪府泉南郡熊取町にある京都大学複合原子力科学研究所内にあります。生体分子の構造・ダイナミクスを放射光・中性子を利用して研究を行っています。新規量子ビーム散乱法の開発、計算機解析により、高次構造の構築原理、そのダイナミクス、更に機能発現の相関を明らかにしています。また、敦賀のもんじゅサイトに設置される新試験研究炉における装置開発プロジェクトも行っております

今年度の学生は、杉山グループに配属となります。

中性子散乱を使い今まで誰も見られなかった現象を見る
→ そして物理を考える！

Project 1:時計タンパク質の同期のメカニズムは？・・・生体おける引き込み現象？



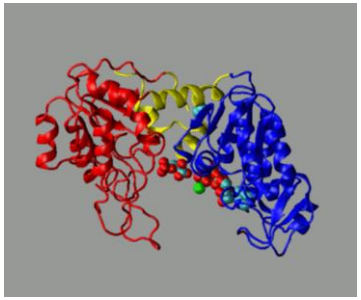
3種類のタンパク質が24時間周期で解離会合を繰り返す

系内にある多くのタンパク質が揃ってこの振動を繰り返すメカニズムを（引き込み現象）中性子散乱を利用した独自の手法で実験的に研究している

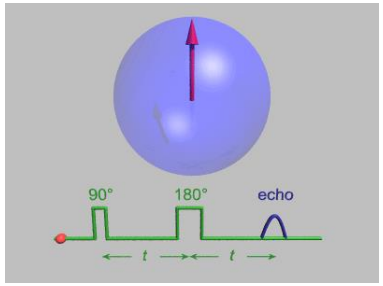
Project 2:タンパク質のスローダイナミクスの正体？・・・遅い運動は観測が困難！

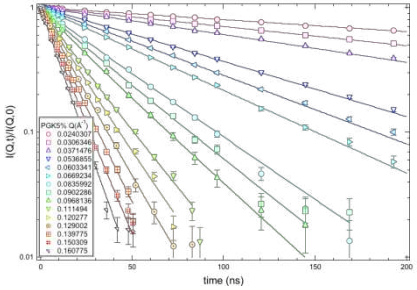
大型コンピュータを用いたMD計算でタンパク質のドメイン運動を予測 (数10nsの時定数)

中性子のスピンを用いた測定法で直接観測に成功！



本当にこの運動は存在するのか！





その他、合成高分子・高分子ゲルなど多彩なナノ構造物質の研究を展開中

T1: 量子物性理論 群

凝縮系理論 研究室
（理学部）

物性基礎論：凝縮系物理
（基礎物理学研究所）

凝縮系の理論

マクロな量子現象の起源と基礎法則の研究

凝縮系の示す多様な振る舞いを
量子論に基づき理論的に理解する

特に、量子多体現象

More is different !

しばしば、思いがけない発見

凝縮系の量子現象

◇ 物性物理　　超伝導・超流動、磁性体、半導体　など

◇ 新たな研究領域　　冷却原子、量子情報　など

◇ 新奇量子相の発現　　エキゾチック超伝導、トポロジカル絶縁体　など

◇ 非平衡量子ダイナミクス

etc, etc

新たな現象
次々発見

分野の
大きな広がり！

凝縮系理論 研究室
（理学部）

2024年度

教授:　柳瀬陽一
准教授:　池田隆介、吉田恒也
講師:　ピータース ロバート
助教:　手塚真樹　大同暁人

特定研究員　2名
博士 12名
修士 11名

量子力学効果が巨視的スケールで現れる
「凝縮系」の理論研究
超伝導、超流動、強相関系、トポロジカル絶縁体、
ナノ量子系、レーザー冷却原子
固体電子系から光、冷却原子系に至る幅広い分野

最近の研究テーマ

1. 新奇な超伝導・超流動
- ◆ メカニズム（高温超伝導、重い電子系など）
- ◆ エキゾチック超伝導（対称性、トポロジー）
- ◆ 磁場下の超伝導ゆらぎと渦糸状態
- ◆ 超流動ヘリウム3の新奇相

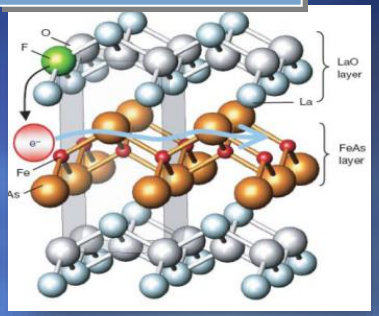
2. 強相関電子系の量子多体現象
- ◆ モット転移と異常量子効果
- ◆ 量子相転移　臨界現象

3. トポロジカル量子相
- ◆トポロジカル絶縁体、超伝導
- ◆量子スピン液体

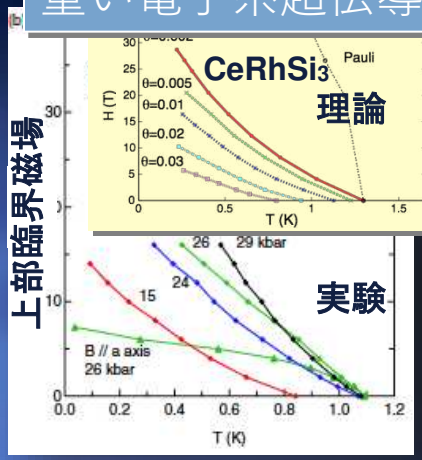
4. レーザー冷却原子
- ◆光格子、量子シミュレーション
- ◆フェルミ・ボーズ系の超流動

5. 非平衡量子現象
- ◆ 非平衡量子相　◆ 光誘起相転移

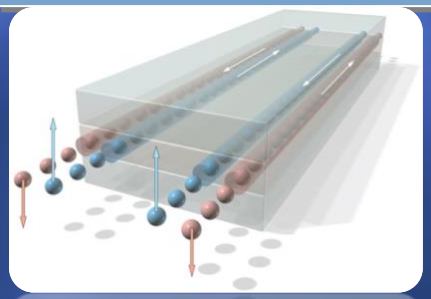
鉄系の超伝導



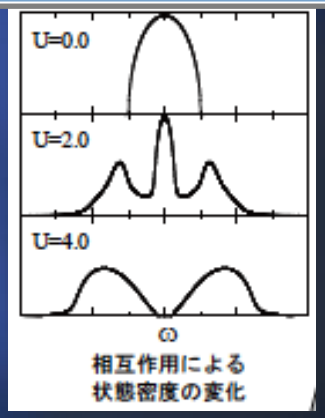
重い電子系超伝導



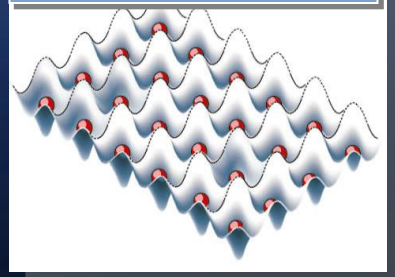
トポロジカル絶縁体



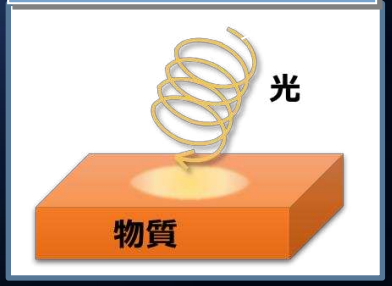
モット金属絶縁体転移



冷却原子



非平衡量子現象



理論アプローチ

数理的手法から計算機シミュレーションまで、個々の問題に応じた幅広いアプローチで新奇な量子多体現象を解明。

研究の最前線の地平を切り開く意欲ある学生の皆さんを歓迎します。

午後に研究室説明会
(柳瀬:Zoom)

基礎物理学研究所

Yukawa Institute for Theoretical Physics

物性基礎論：凝縮系物理

教授　佐藤 昌利
准教授　戸塚 圭介
助教　塩崎 謙
　　田財里奈

2024年

PD	2名
博士	6名
修士	4名

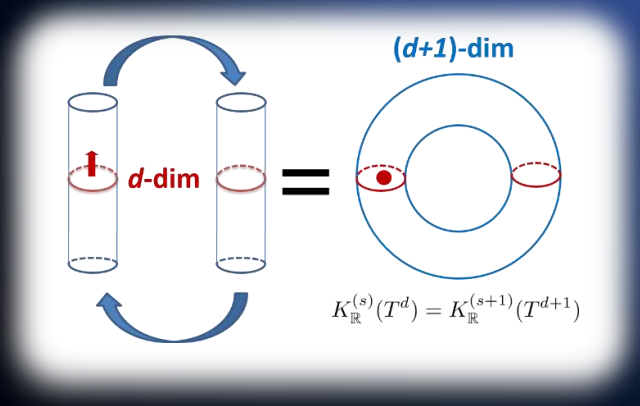
研究テーマ

◈ 「量子性」が顕著になる低温での「物性」　　トポロジー・強相関

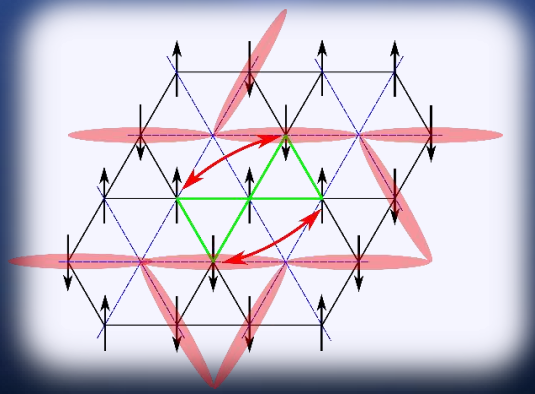
「電荷」、「スピン」、「軌道」
＋ 「相互作用（クーロン、原子間）」
＋ 「量子性」（統計性、波動関数の位相…）

➡ 多自由度より創発される現象
（超伝導、磁性、新奇量子相、エキゾチック励起）

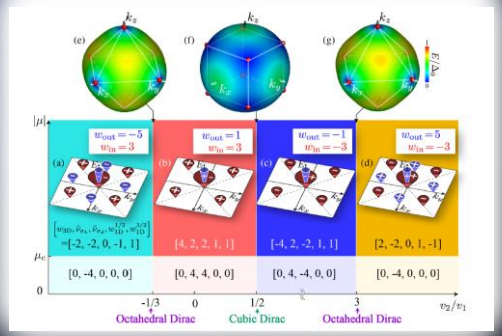
- トポロジカル絶縁体・超伝導体
- 量子多体系におけるエンタングルメント、トポロジカル秩序
- 非エルミート系などの非平衡トポロジカル相



K理論によるトポロジカル相の分類



スピン液体とトポロジカル秩序



トポロジカル超伝導

◆ 基礎物理学研究所： 理論物理学の主要分野をカバー

物性、素粒子、原子核、宇宙、量子情報

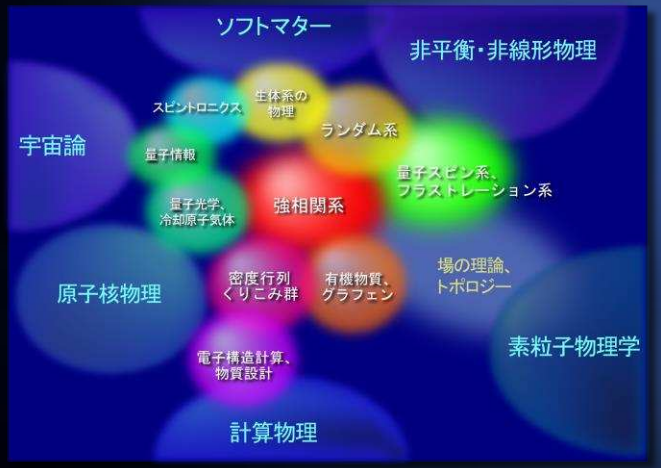
◆ 分野間の交流：

例　固体中（グラフェン、トポロジカル絶縁体）の相対論的ディラック粒子、トポロジカル秩序と量子エンタングルメント、量子多体系と重力理論、etc

◆ 国際交流：

国際研究会の開催、海外の大学院生の受入、
海外の研究者との日常的交流

国際ワークショップ “NQS2017”



理論物理学の中の凝縮系物理

午後に研究室説明会
ZOOM（佐藤）
13:30–15:30

T2　統計物理・ダイナミクス

ひとことでいうと?

多数の要素の集まりが示す集団的な振る舞いやダイナミクスに関する法則を理解することを目指す

T2　統計物理・ダイナミクス

研究対象は？

量子情報など量子多体系から
古典力学多体系、
　流体、高分子・ゲル・液体、
　　粉体やガラス等不均質な系、
　　分子機械、生命、経済
　　など多岐に渡る

T2　統計物理･ダイナミクス

現象は？

相転移、乱流、量子動力学
輸送、 機能発現、経済現象
など多彩な現象

T2　統計物理・ダイナミクス

研究スタイルは？

数理モデル化や数値シミュレーション
→　新しい現象の発見
　　現象の本質的機構の抽出

数理的解析方法の開発や理論的計算
　→　新しい枠組みの提案や現象の予言

T2　統計物理・ダイナミクス

まとめると？

幅広い対象の
　豊かな現象に対して
　　柔軟な手段で
　　理論的研究を行う！

T2　統計物理・ダイナミクス

特徴は？

伝統的な物理学では対象としない現象にも積極的に挑戦！

生物学・経済・工学などとの
境界領域分野の研究課題も！

学部生が興味を持つような一般的問題にも果敢に挑戦！

統計力学や量子力学の基礎
に関わる研究課題も！

T2　統計物理・ダイナミクス

構成は？

統計物理・動力学
佐々、齊藤、Dechant, 荒木、北村、松本、金澤、御手洗

3つの分科

物性基礎論：量子情報
森前

物性基礎論：統計動力学
早川、Vu、花井

統計物理・動力学分科

非線形動力学
佐々，Dechant

非平衡物理・情報・量子
齊藤

相転移動力学
荒木、北村

流体物理学
松本

生物複雑系　（学際融合）
御手洗　　客員講座

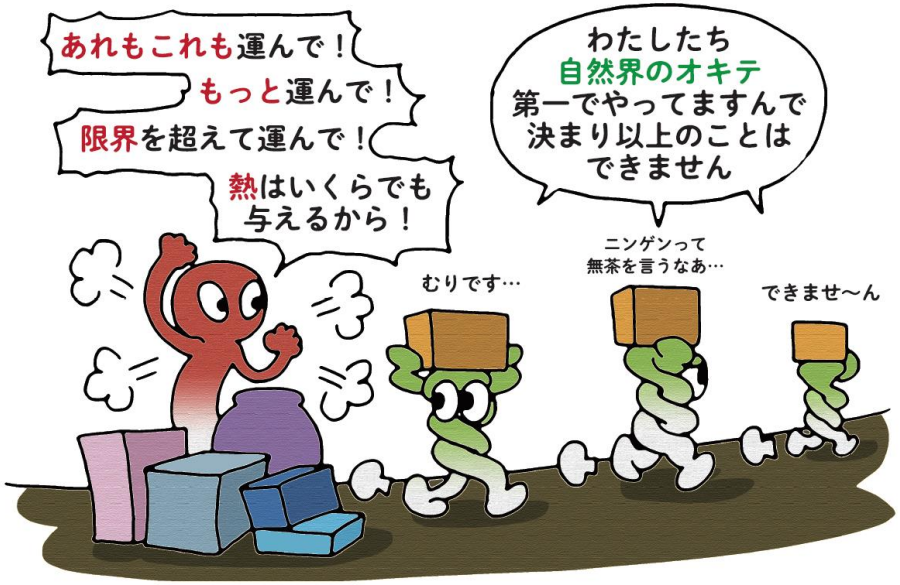
確率過程・経済物理
金澤

６つのグループ

非線形動力学

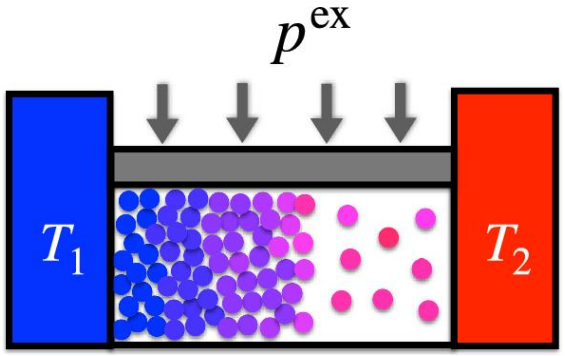
教授　佐々真一　　講師　Andreas Dechant　特定助教　伊丹将人
特定研究員1　博士課程学生3 (学振1),　修士課程学生3

ナノマシンができないことを表現する不等式の発見
PNAS, 2020;PRX 2021



タイトル：Fluctuation-response inequality out of equilibrium（平衡から離れたところでのゆらぎと応答の不等式）　著者：Andreas Dechant and Shin-ichi Sasa
掲載誌：Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America　図：はやのん理系漫画制作室 Hayanon Science Manga Studio (2020)

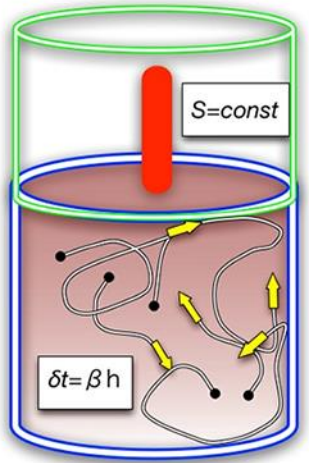
熱伝導下相共存に対する新熱力学の構築



PRL, 2017;
JSP, 2019
More than
15000 access

乱雑さを決める時間の対称性を発見

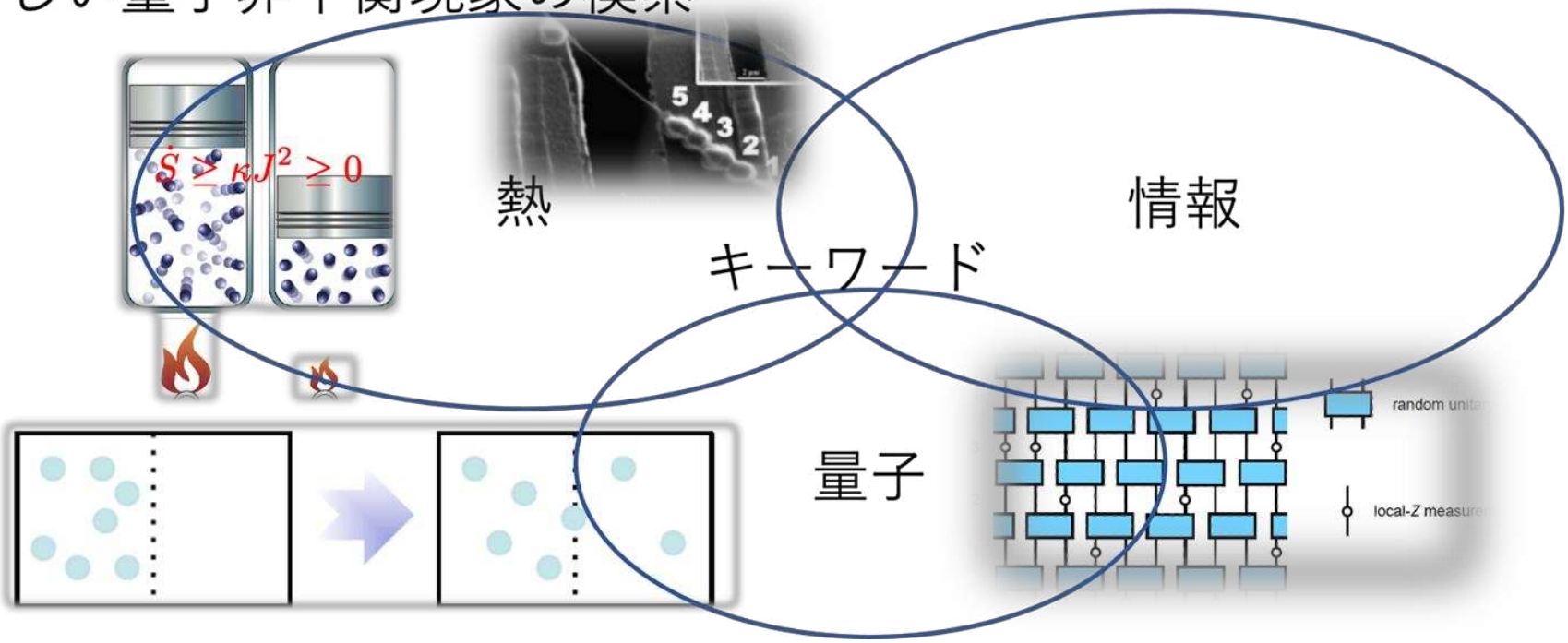
PRL, 2016
(Editor's suggestion)



非平衡物理・情報・量子

教授　齊藤圭司　　特定研究員1博士課程学生1、修士学生2

・ゆらぐ系の熱力学
・不可逆性に対する緻密な理解
・新しい量子非平衡現象の模索



相転移動力学 (荒木、北村)

さまざまな物質のメゾスケールでの非平衡非線形現象や相転移、ダイナミクスについて、理論・モデリング(数値シミュレーション)による研究を行っています。

- ○ 相転移ダイナミクス
- ○ ソフトマター
- ○ 電子の自由度が関与する相転移とダイナミクス

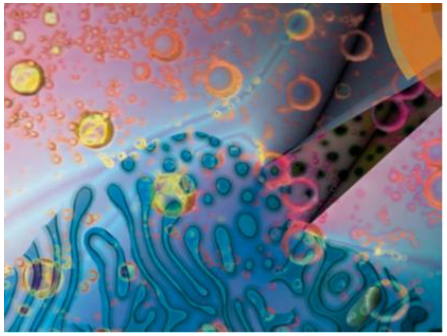


図3. 水・液晶・エタノール混合における新規な相分離パターンと相図

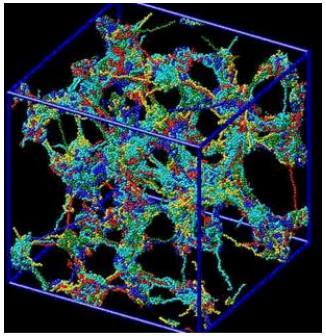


図4. 高分子ネットワークの揺らぎのダイナミクス

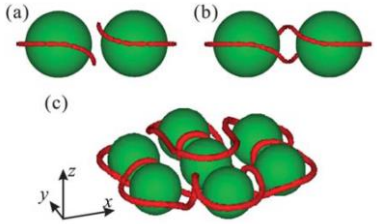


図1. 液晶・コロイド系におけるトポロジカル欠陥の絡み合い

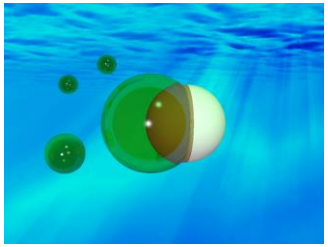


図2. 光照射による混合液体中のヤヌス粒子の駆動

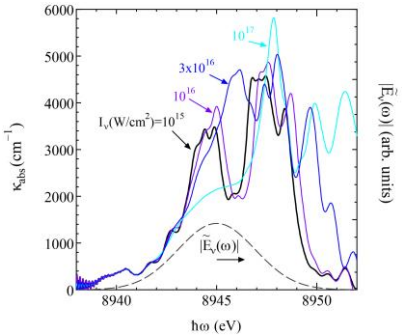
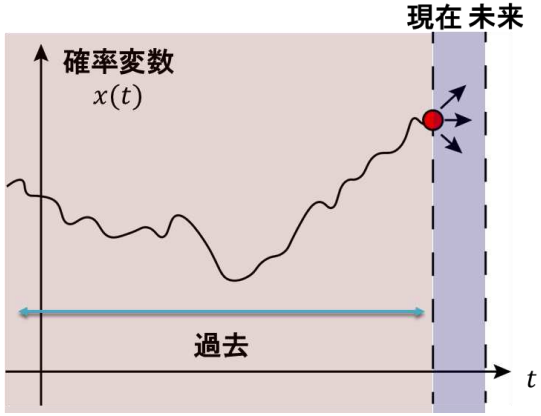


図5. 高強度フェムト秒X線による非線形効果が引き起こす銅の吸収スペクトル変化。

確率過程・経済物理：金澤

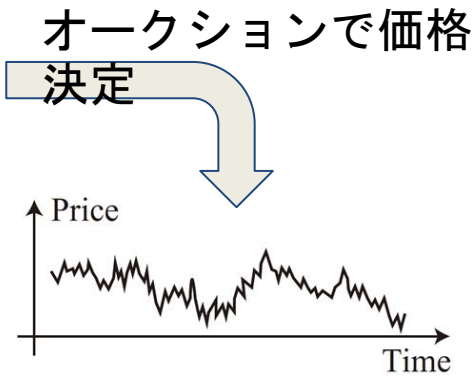
確率過程の統計物理学



- 確率過程の統計物理学
  ＝『揺らぎ』のミクロからのモデル化
- 現象：物理・生物・経済
- 確率過程の基礎研究
  - 非ガウス過程
  - 非マルコフ過程

経済物理学

ミクロ
＝トレーダーレベル



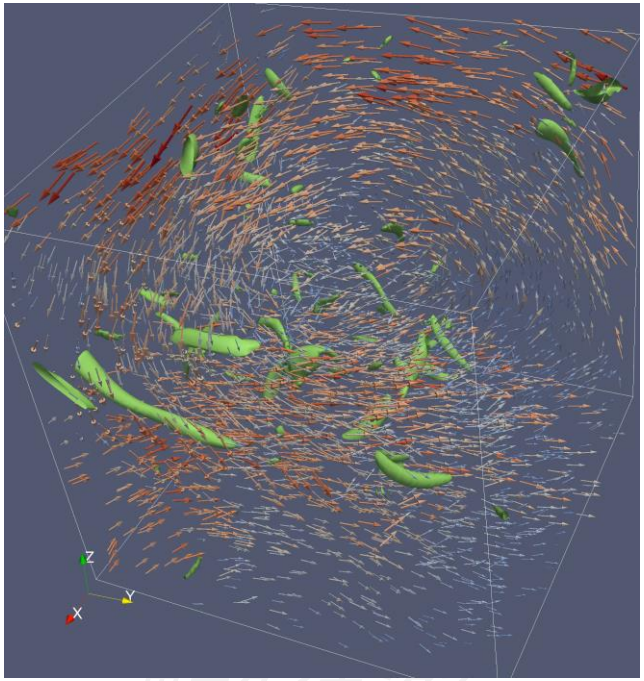
マクロ＝価格時系列レベル

- 金融市場のモデル化
  ＝ミクロ・データの解析
  （オークションデータ）
- トレーダー個人レベルから確率過程モデルを構築
- ミクロからマクロを理解

流体物理学　（松本）

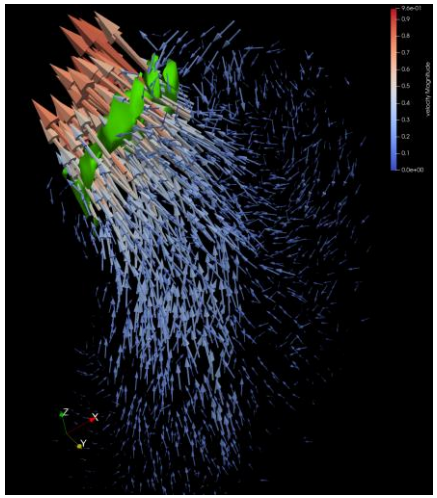
乱れた流れ（乱流）

- 乱れが従う統計則の発見
- 統計則の起源を動力学的に理解する



現実の乱流へ

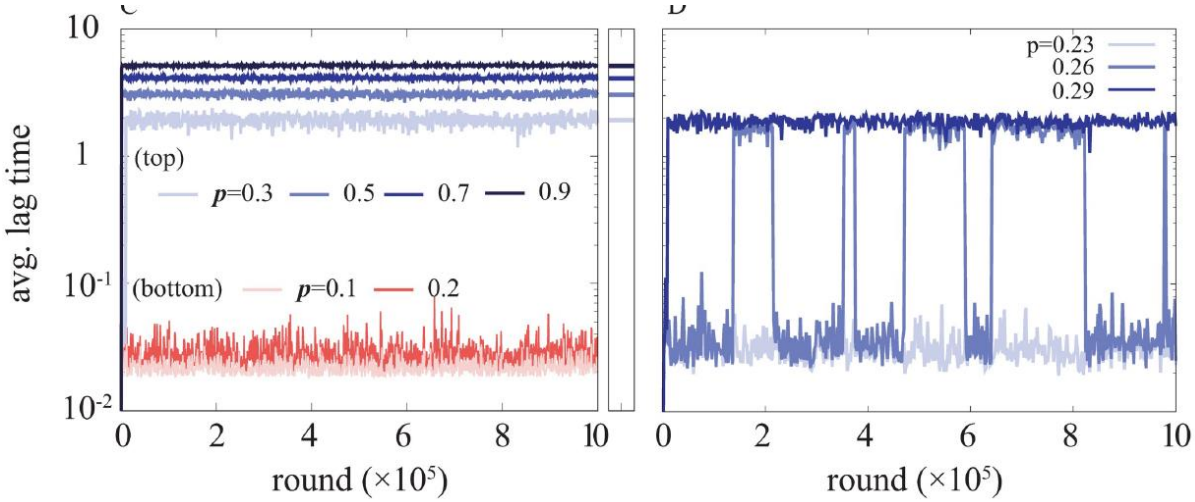
- 太陽周辺の乱流の解析
- ヒト心臓内の乱流の解析
- 複雑流体の乱流の方程式発見
- 新法則の宝庫かも？



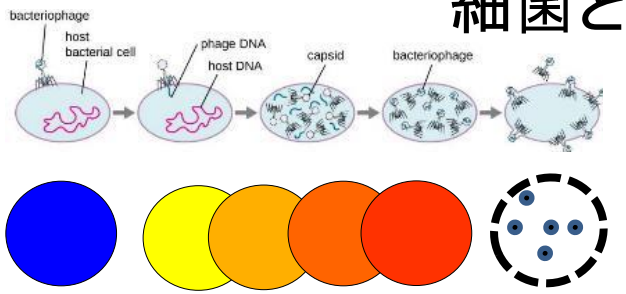
界面ダイナミクス

生物複雑系（御手洗）

細菌の“個性“がもたらすストレス下の応答の分布や進化



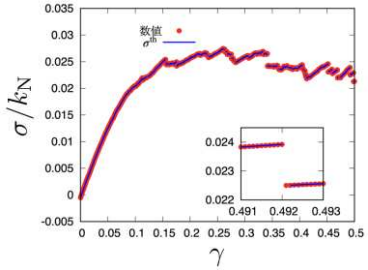
細菌とファージ（ウィルス）の相互作用



物性基礎論：統計動力学（基研）

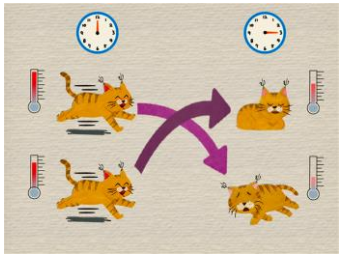
教授 早川尚男

非平衡物理: レオロジー、ジャミング、幾何学的熱力学、異常緩和など



粉体の
応力歪曲線

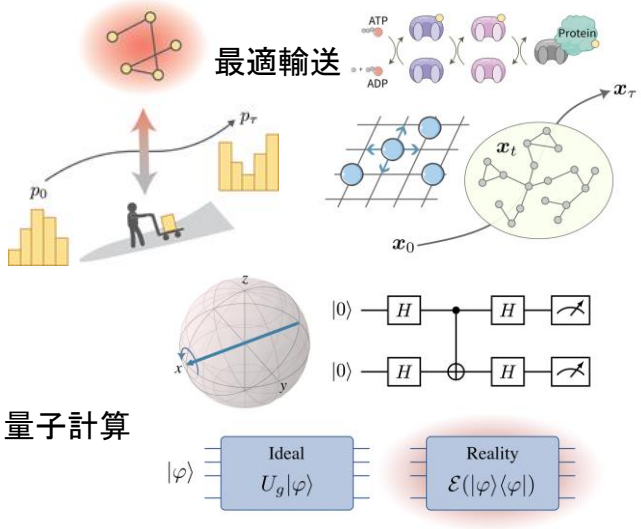
Mpemba効果



PRE 2023, PRL 2023 (Editors' Suggestion)

准教授 VU Tan Van

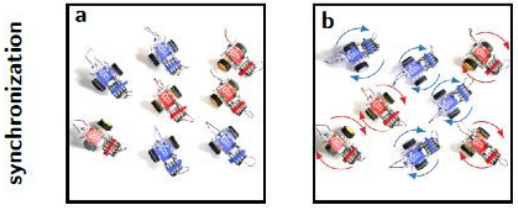
非平衡物理: ゆらぐ系の熱力学、量子熱力学、量子情報など



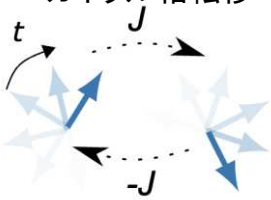
PRL 2023 (Editors' Suggestion), PRX 2023

助教 花井亮

非平衡物理: 量子開放多体系、アクティブマターなど



カイラル相転移

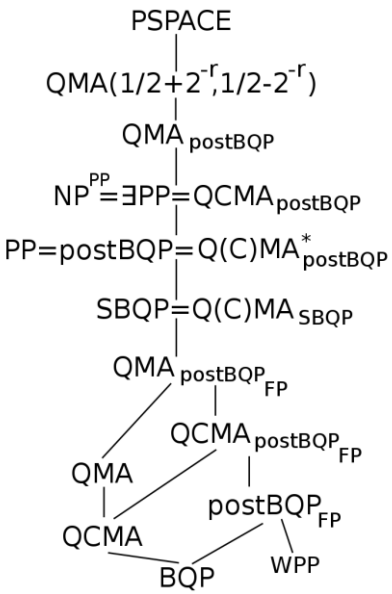


非相反的フラストレーション

Nature 2021, PRX 2024 (Featured in Physics)

物性基礎論：量子情報（基研）

森前智行（准教授）、D学生２名、M学生４名
外国人助教・ポスドク　５名

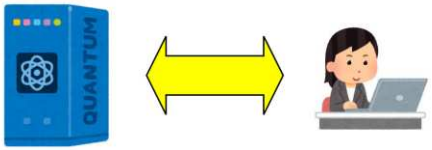


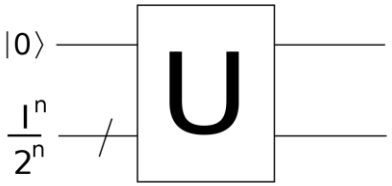
私の主な研究テーマ：量子計算理論、量子暗号プロトコル

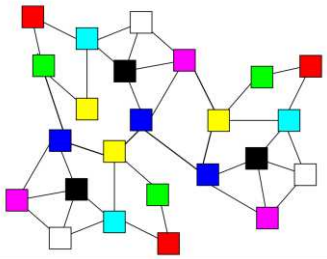
（1）量子計算機の能力を知る：量子計算は何ができて何ができないか？
量子スプレマシー、量子計算量理論、量子対話型証明

（2）量子暗号プロトコル：量子を使って安全な暗号を実現する
セキュアクラウド量子計算、量子計算の検証、量子ゼロ知識証明、量子マネー

グループメンバーの研究テーマ：
トポロジカル量子誤り訂正符号、テンソルネットワーク、量子アルゴリズム、量子論基礎







T2　統計物理・ダイナミクス

伝統的な物理学が対象としない現象にも積極的に挑戦する

学部生が興味を持つような一般的問題にも果敢に挑戦する

意欲あふれる大学院生を歓迎します！

統計物理・動力学

佐々、Dechant、齊藤、荒木、北村、金澤、松本、御手洗

3つの分科

物性基礎論：量子情報
森前

物性基礎論：統計動力学
早川、Vu、花井