

固体量子物性 研究室のメンバー



前野悦輝 教授



石田憲二 教授



米澤進吾 准教授



北川俊作 助教

2021年度 研究室構成

スタッフ: 4名 秘書: 2名

PD: 3名 (外国籍3名)

D3: 0名 D2: 1名 D1: 0名

M2: 5名 M1: 5名

卒研: 4名 計 24名

※京大以外出身の院生も多数在籍しています。

卒業生の進路

2019年度

修士課程: 日立、JFE、オースビー

博士課程: 京都大学博士研究員
沖縄科技大博士研究員

2020年度

修士課程: 古川電工、コマツ、
三菱電機

博士課程: JSOL

2019/11 研究室
レクリエーション旅行
で鞍馬と貴船を
ハイキング
しました。



固体量子物性 研究室

● 研究テーマ

固体中の電子集団の示す量子凝縮状態

- (1) スピン三重項超伝導検証とトポロジカル量子現象開拓：
 Sr_2RuO_4 , $\text{Cu}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$, 強磁性超伝導体 など
- (2) 新しいメカニズムの超伝導：強磁性超伝導、鉄系超伝導

● 研究手段

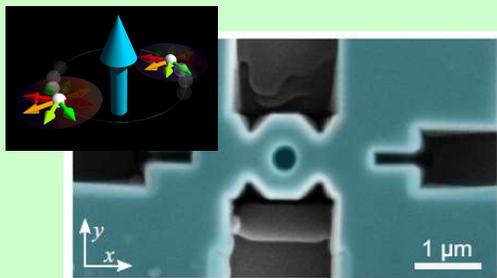
物質合成と低温物理の楽しみ

- (1) 物質合成：新超伝導体の探索、単結晶育成、
微細加工技術
 - (2) マクロ熱測定：比熱、磁化
 - (3) ミクロ測定：NMR（核磁気共鳴）
- 「マクロからミクロまでの豊富な実験手段」

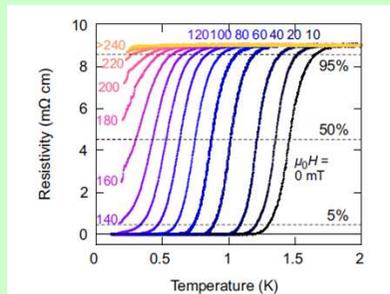


固体量子物性 研究内容: 新奇的な超伝導

スピン三重項超伝導検証と トポジカル量子現象の開拓



Y. Yasui et al., npj Quantum Mater. 5, 21 (2020).



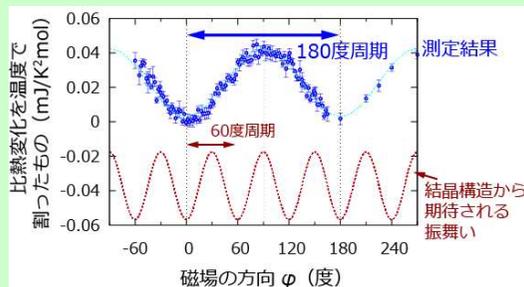
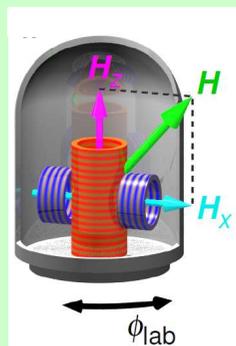
A. Ikeda et al., Phys. Rev. Mater. 4, 041801 (2020).



時間反転対称性を破る
トポジカル超伝導

新超伝導体

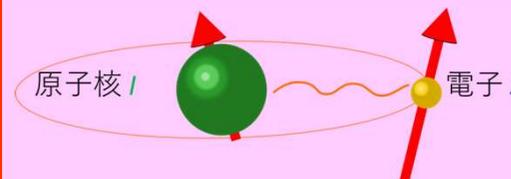
$\text{Sr}_{3-x}\text{SnO} \cdot \text{CaSb}_2$
の発見



S. Yonezawa et al., Nature Phys. 13, 123 (2017)..

$\text{Cu}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$ のネマティック超伝導状態の実証

核磁気共鳴(NMR)測定による 強相関電子系物質の微視的研究

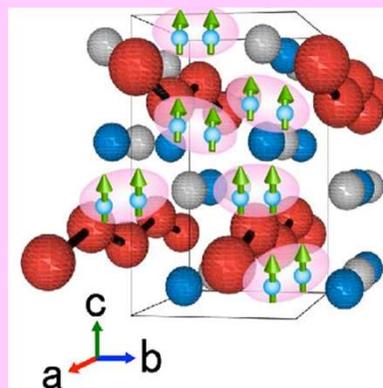


測定物質: ナノ粒子
非従来型超伝導体
量子磁性体 等

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。

ウラン化合物超伝導における

スピン三重項超伝導



- ・NMRにより、強磁性の
スピン揺らぎが超伝導
電子対の「ノリ」と
なっていることを解明
- ・超伝導状態のスピン
磁化率の減少が小さい

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



量子凝縮物性研究室



松田祐司 教授



寺嶋孝仁 教授



笠原裕一 准教授



浅場智也 特定准教授



末次祥大 助教



スタッフ5名
博士課程2名
修士課程10名
卒研究生4名

OBの進路（就職）

住友電工、東芝、パナソニック、日立、
コニカミノルタ、富士通、キーエンス、他多数

OBの進路（アカデミックポジション）

（国内）

東大教授、東工大教授、阪大教授、日大教授、
岡山大教授、東大准教授（2名）、京大准教授、
日大准教授、阪大准教授、阪大助教、
大阪府立大准教授、東理大講師、京大助教、
東大助教（6名）、東北大助教（2名）

（海外）

香港中文大、ラフバラード大(英)、
フロリダ大(米)、アウグスブルグ大(独)、他多数

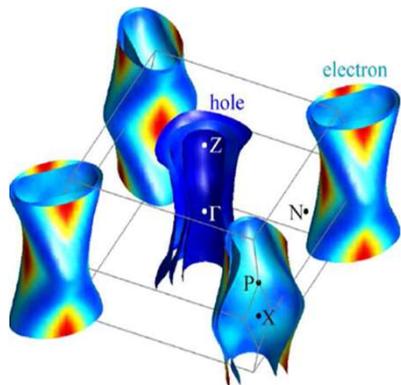
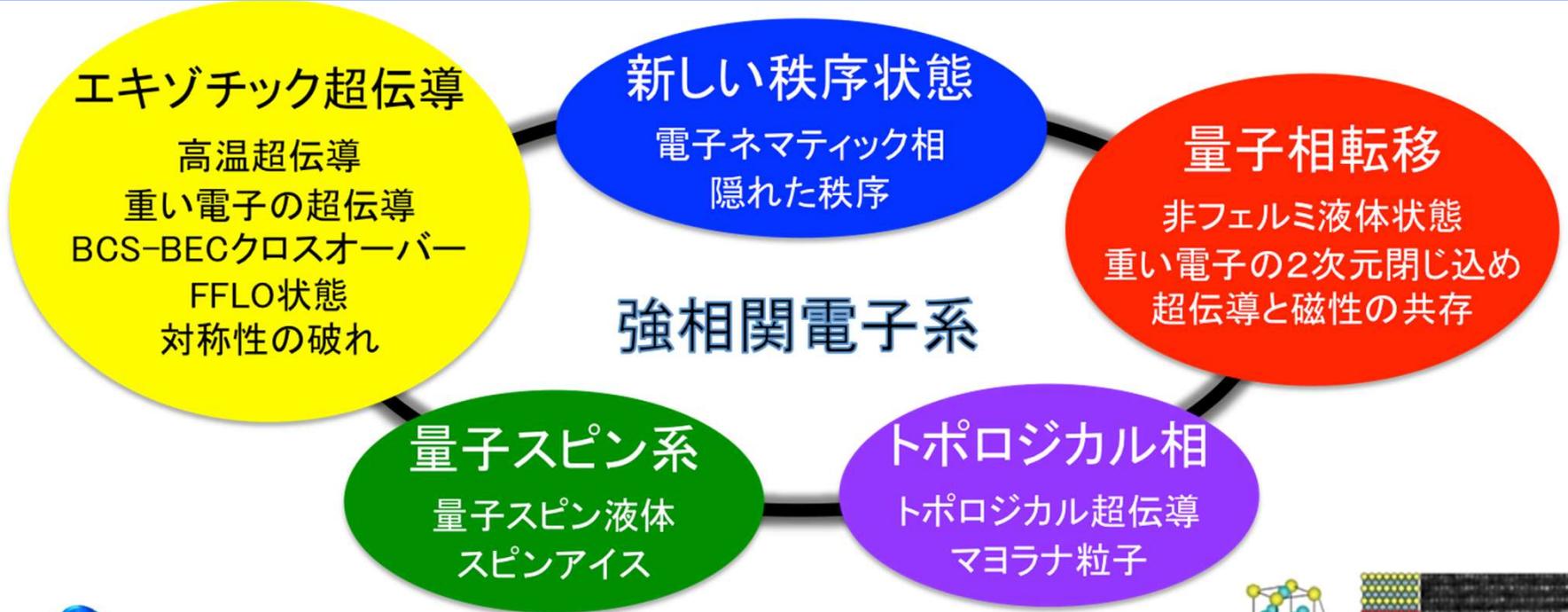


博士は半年以上海外滞在

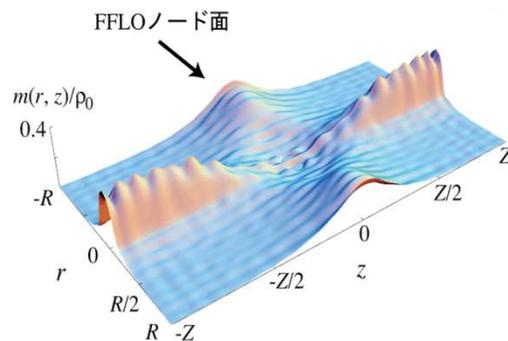
量子凝縮物性研究室



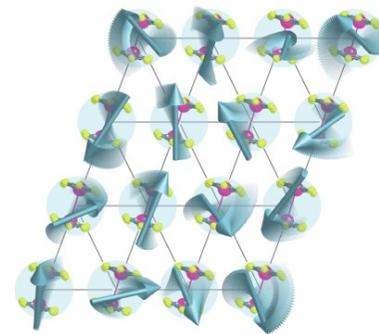
量子力学的多体効果により実現される新しい凝縮状態



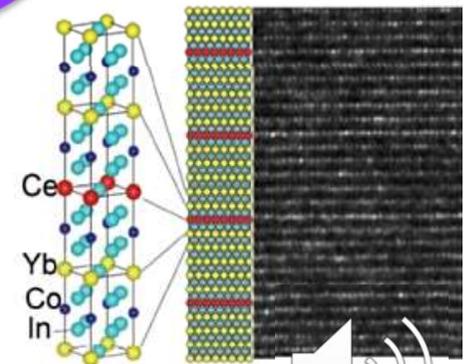
高温超伝導体の電子状態



テクスチャー超伝導状態

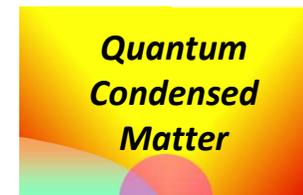


量子スピン液体状態

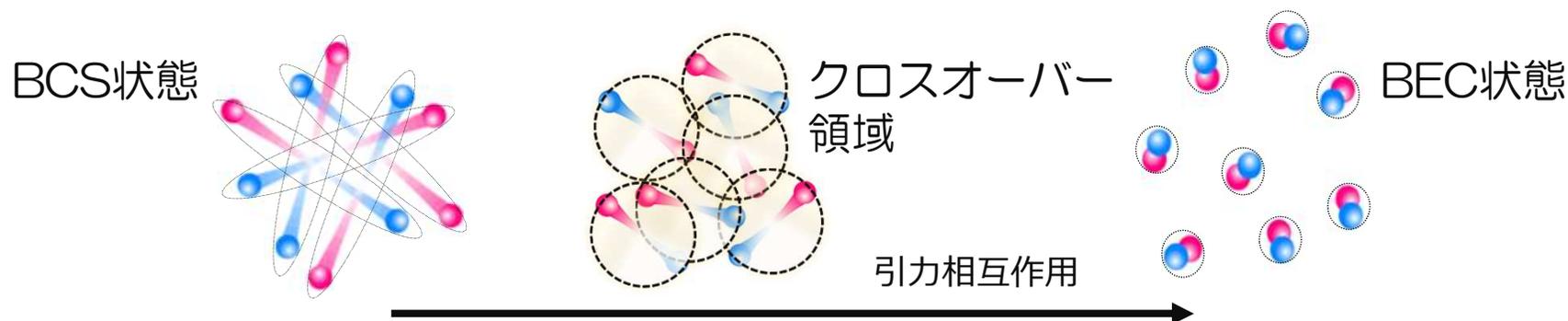


重い電子($>100m_e$)の量子閉じこめ

量子凝縮物性研究室



超伝導における新展開



BCS-BEC クロスオーバー 冷却原子でしか実現できなかった状態が実現

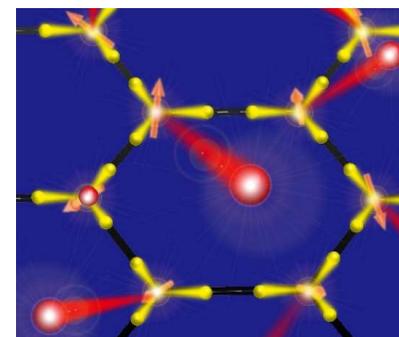
量子スピン液体におけるエキゾチック準粒子

半整数熱量子ホール効果

「第3の量子ホール効果」の観測

世界初!!

固体物質におけるマヨラナフェルミオン、
非アーベル・エニオンの実証に成功



非アーベル・エニオンを用いたトポロジカル量子コンピューターに期待

低温物理学研究室

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
博士研究員1名
博士課程生1名
修士課程生4名
卒業研究生4名



教授 佐々木豊

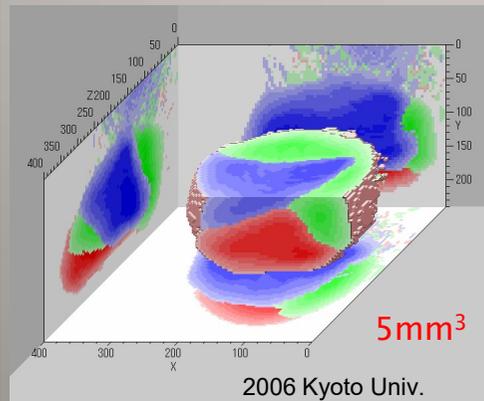


准教授 松原明

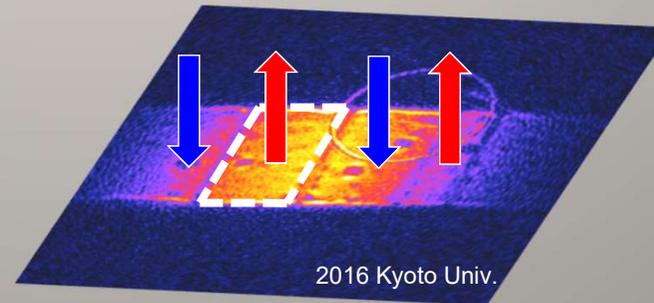


超低温度を維持したまま
回転できる回転冷凍機

世界唯一超低温MRI装置



核整列固体 ^3He の
世界一クールなMRI像($500\mu\text{K}$)



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



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

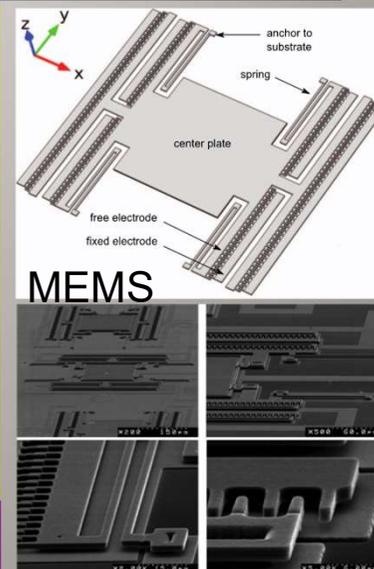
⇒シンプルな構成要素(フェルミオンのヘリウム3とボソンのヘリウム4) + 制御された異方的空間
>> 個別物質の詳細ではない普遍的な物理現象を精密に理解しよう!

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, , , , ,

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





コロナが
収束したら

研究室メンバーとの楽しい活動
も再開しましょう

“Fermion”な奴ら
熱烈大歓迎!

低温研で濃い時間
を過ごしましょう



3世代50年におたる
研究室OBたちとの交流

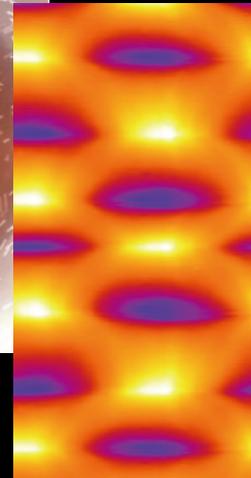
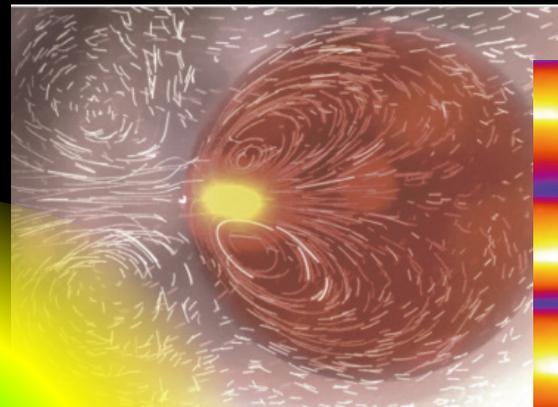


ソフトマター物理学

時空間・生命物理学

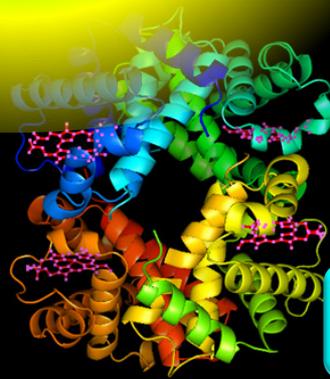
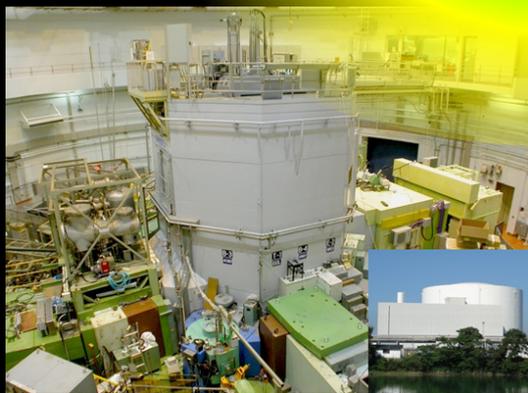
“等方秩序”

“結晶秩序”



E3

複雑系実験分科群



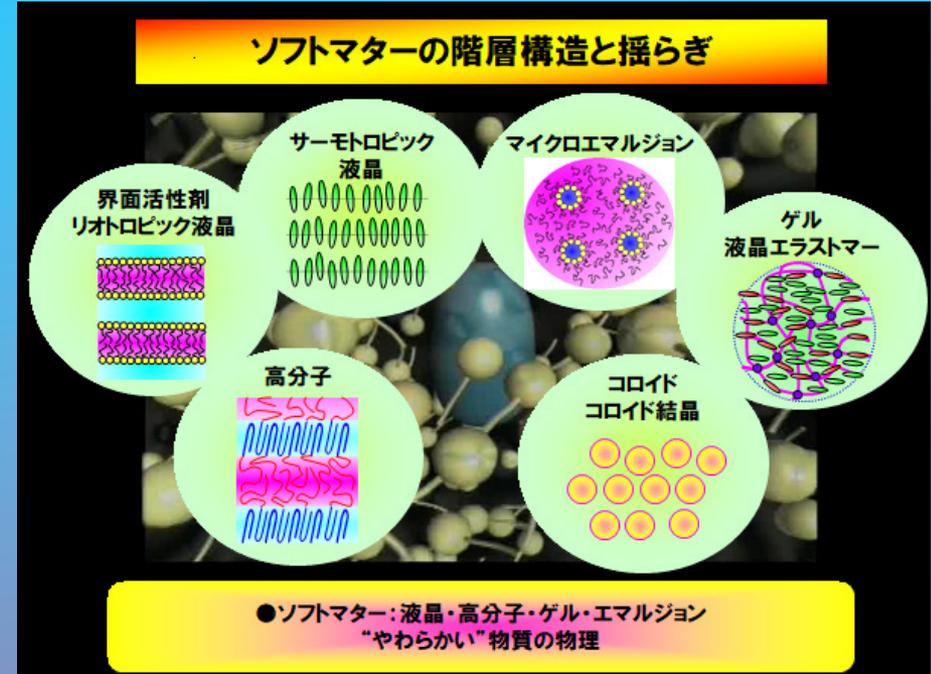
生体分子構造

ソフトマター物理学

理学研究科5号館
2F214~226

教授: 山本 潤
准教授: 高西陽一
助教: 柳島大輝

博士課程 3名
修士課程 9名
課題研究 5名



<https://softmatter.scphys.kyoto-u.ac.jp/>

Bridging Micro-scale and Macro-scale

ミクロ Schrödinger Eq.
原子モデル

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

化学

メソ t-dep Ginzburg
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

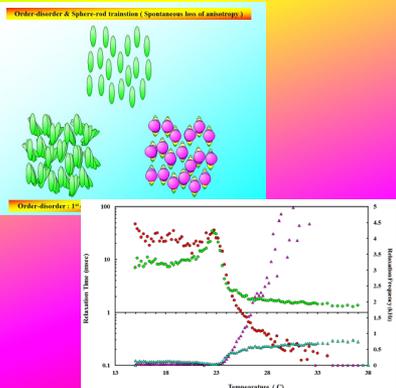
$$\rho \left(\frac{\partial}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla \right) \vec{v} = -\nabla p + \nabla \cdot \vec{\sigma}$$

工学 / 生物

液晶場による長距離相互作用 & 新しいナノ構造の創生

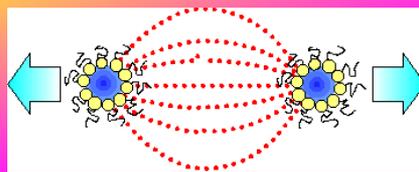
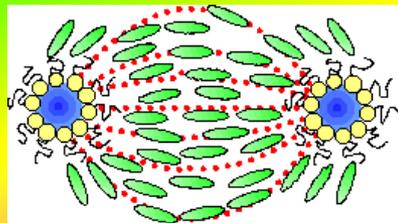
等方-ネマチック 2次相転移

分子体形状が変化する
新しい2次相転移発見



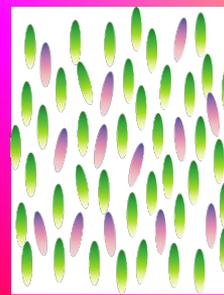
動的光散乱による
臨界揺らぎの測定

液晶コロイド

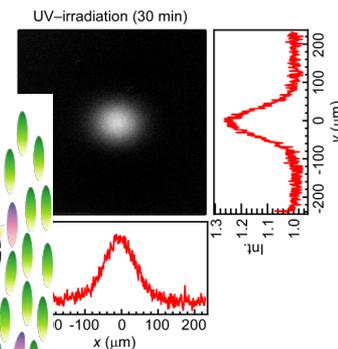
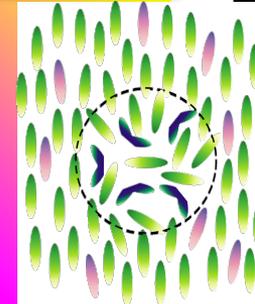


配向弾性場

分子マニピュレータ



UV
Vis



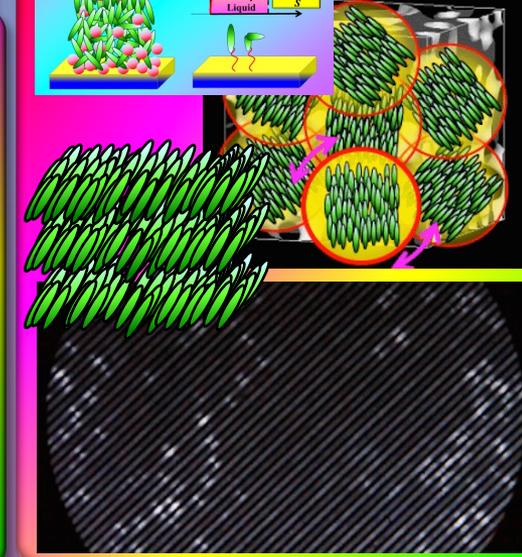
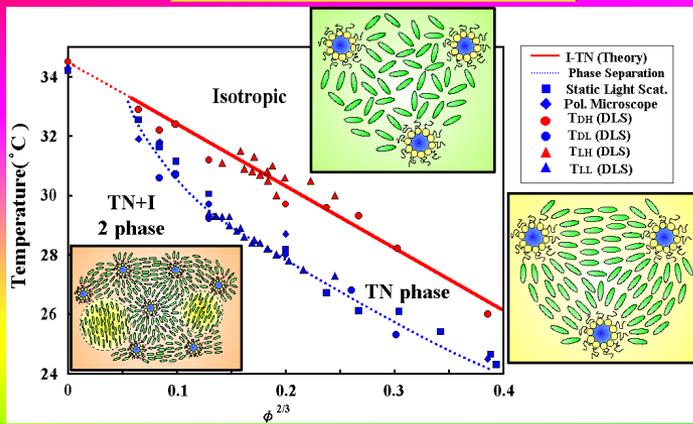
秩序変数場

SmBP
等方秩序

Slippery 界面

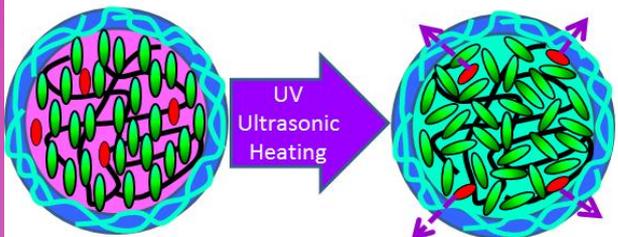


透明ネマティック相



物質中の伝播・輸送・ダイナミクスの設計と応用

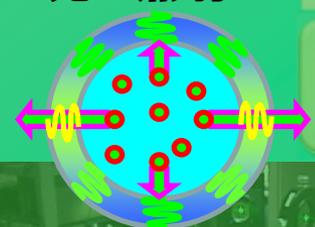
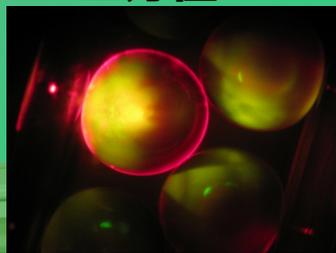
LCミセル: 分子バルブ
物質輸送: ドラッグデリバリー



Liquid crystal Bind drug

Liquid Release drug

LCエマルジョン: 微小球レーザー
光・電磁波伝播: メタマテリアル
全方位にレーザー光を照射



階層的時空構造と動的不均一性から紡ぐナノ力学機構の理解と制御

マクロ力学
塑性・靱性・脆性
延性・展性・硬度

分散関係
流体力学構成方程式
応力歪の伝播機構

世界無二の観測法
分子スケール協同運動: ガンマ線
動的不均一性: 揺らぎ顕微鏡

力学特性
破壊・疲労・劣化現象
動的不均一性設計

材料科学・検査技術
ライン・現場
病理・治療

① コンセプト

4A 分散関係 動的階層構造 高分子

マクロ粘弾性
Mechanics
メゾ・ヘテロ
相関性・ホロロジー
Collective

相関長
持続長

クロビュール
慣性半径

プロップ

ナノ分子運動
Local motion

1位. 力学物性の機構解明 隆伏・破断・剥離

力学場印加下の非線形現象
動的不均一性の階層生成
(空色線)

隆伏

破断

剥離

研究代表者 京都大学
大学院理学研究科
教授 山本 潤

Nano mechanics New JST-CREST



X-ray Diffraction



Microscope



Dynamic light scattering



low viscomet



Pump laser

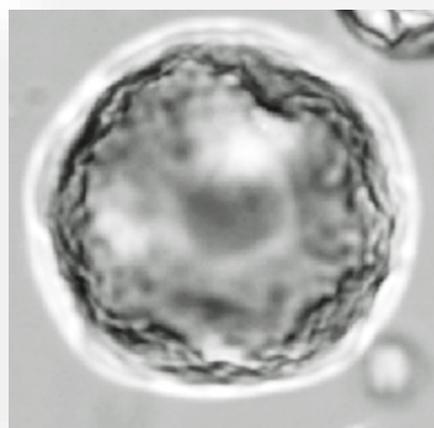
マルチスケールの構造・ダイナミクスの測定

時空間秩序・生命物理研究室

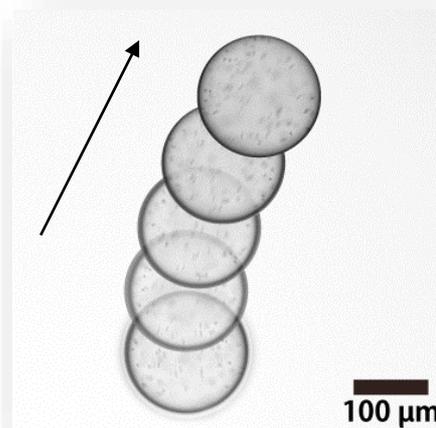
細胞運動



非平衡界面



アクティブマター



「生命現象の物理」 「生物システム」 「生き物らしさ」の研究

市川正敏 （講師）

連携研究室

宮崎牧人（白眉センター／特定准教授）

詳細はそれぞれ

検索

田中求（高等研究院／特定教授）

<http://www.chem.scphys.kyoto-u.ac.jp/>

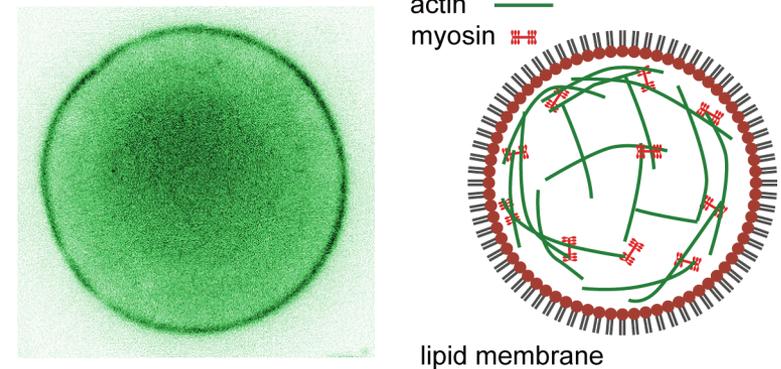
研究テーマ

■ 物理学の立場から非平衡 & 生命システムを解明

□ 生命現象

- 細胞・微生物
- 機能を持った人工細胞
- マイクロ膜内空間

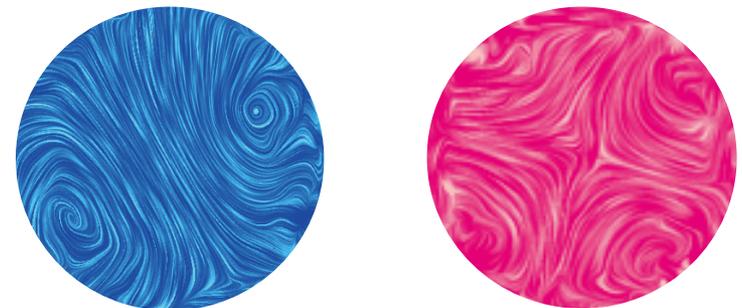
運動する人工細胞



□ 非平衡・非線形現象

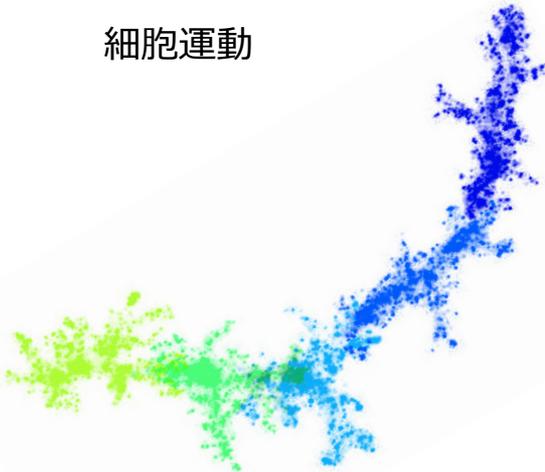
- 自発運動液滴
- アクティブマター
- 非平衡界面

自己駆動液滴の運動モード転移

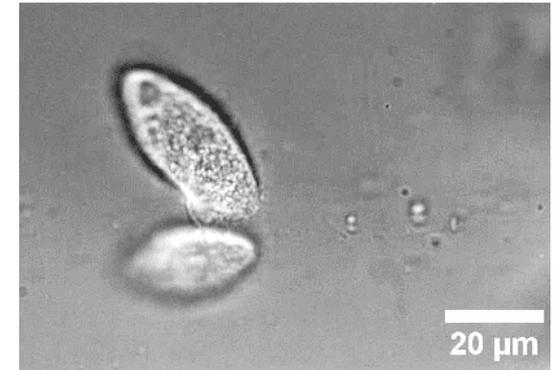
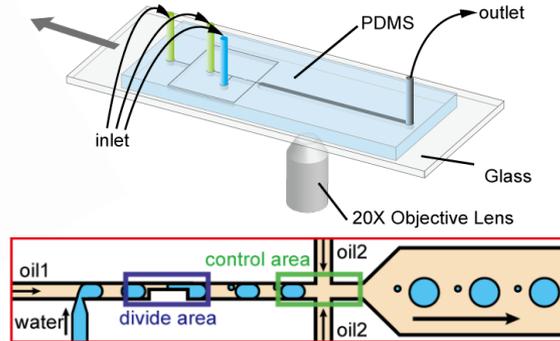


生物の法則性やメカニズムの解明

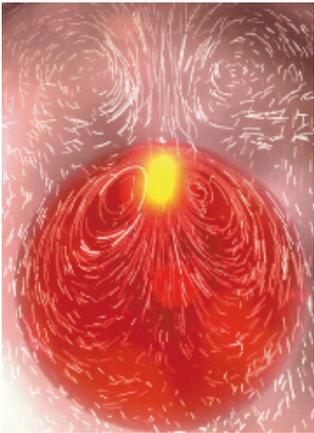
細胞運動



マイクロ流体デバイスによる遊泳液滴操作や微生物操作



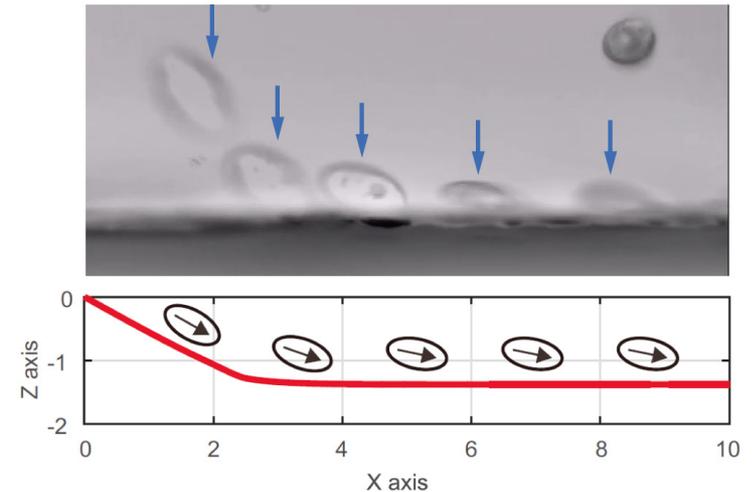
光によるマクロ液滴駆動



遊泳微生物の運動解析



微生物遊泳のモデリング



京都大学大学院 物理学・宇宙物理学専攻

生体分子構造研究室

京都大学 複合原子力科学研究所
粒子線基礎物性研究部門
粒子線物性学研究分野(杉山Gr)
放射線生命科学研究所
生体分子構造研究分野(森本Gr)

<http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/morimotoLab/rriseitaitop.htm>

森本Gr

教授: 森本幸生
助教: 喜田昭子・川口昭夫

杉山Gr

教授: 杉山正明
准教授: 井上倫太郎
助教: 守島健・奥田 綾

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(旧・原子炉実験所)です。生体分子を含む主に高分子物質の物性について、放射光・中性子を利用した構造・機能相関に関する研究を行っています。結晶・非晶質・溶液状態の解析により、高次構造の構築原理、機能発現の相関を明らかにしています。

Access Map

アクセスマップ



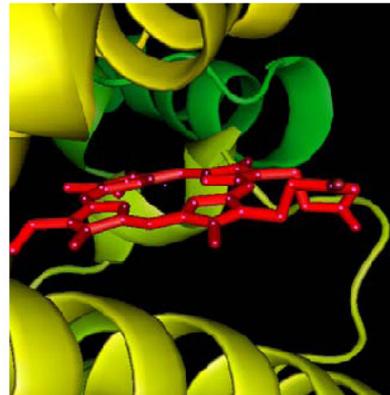
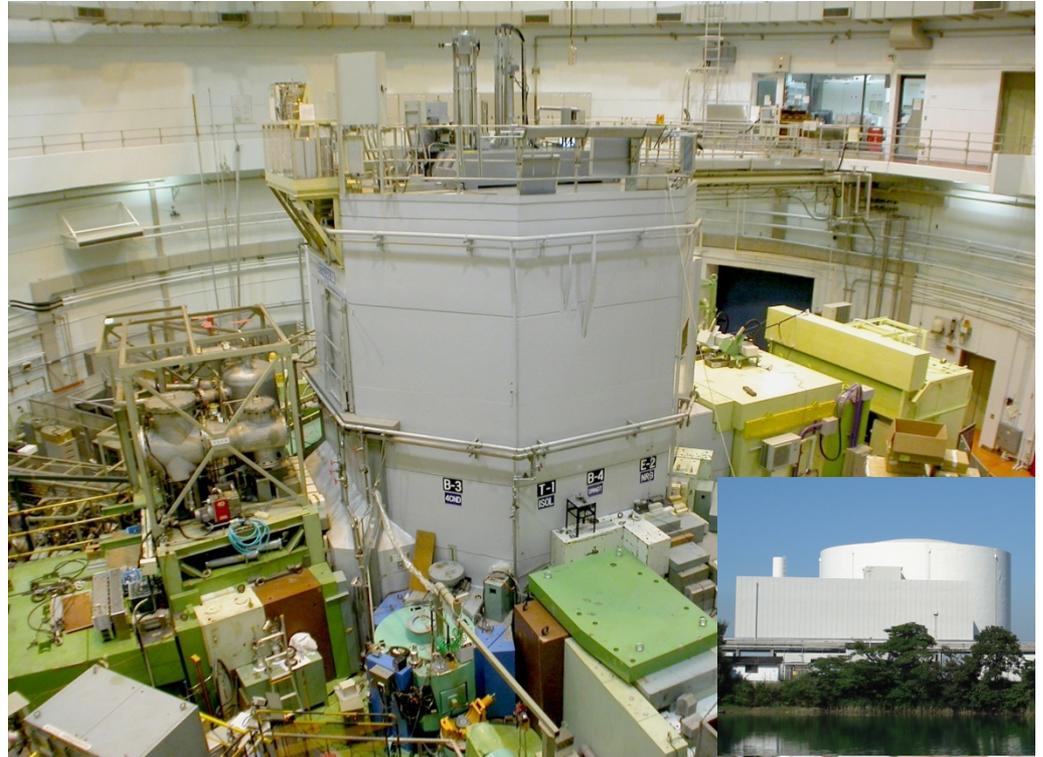
5MW 研究用原子炉KUR

蛋白質・酵素分子中のプロトン存在と
生理機能の相関を探る
高品位結晶化技術の確立

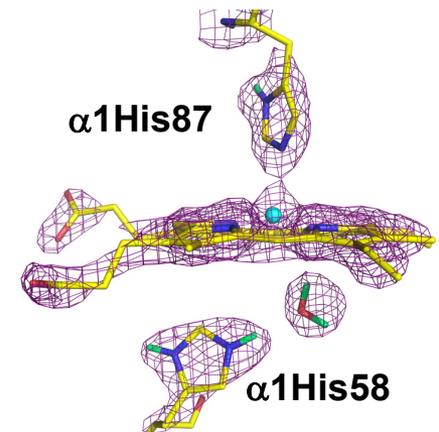
ヒトの血液からの
ヘモグロビン結晶



ヘモグロビンの4量体構造



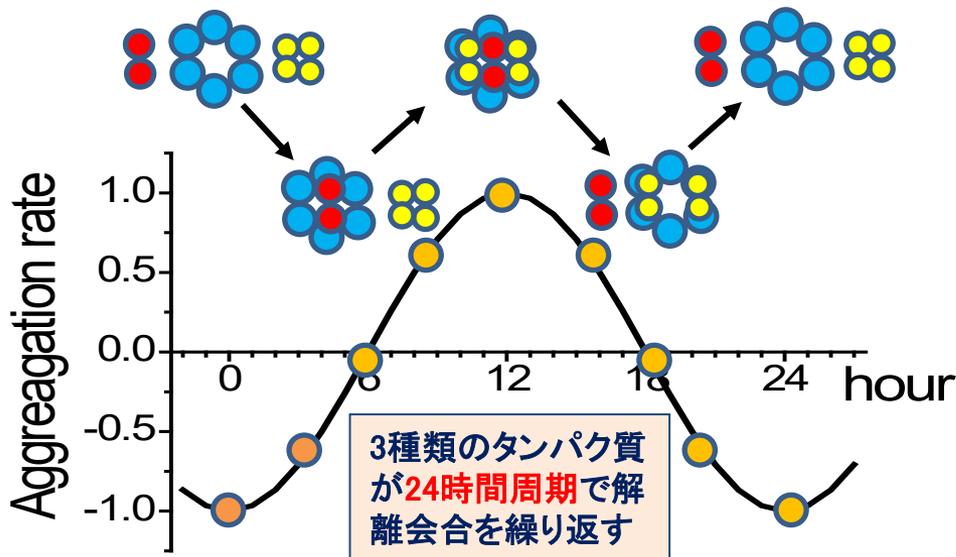
酸素を捕まえる箇所



プロトンを持つアミノ酸が関与
緑色が重水素プロトン化

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?

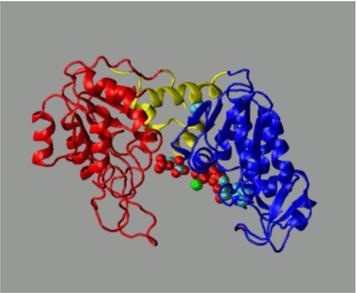


系内にある多くのタンパク質が揃ってこの振動を繰り返すメカニズムを (引き込み現象) 中性子散乱を利用した独自の手法で実験的に研究している

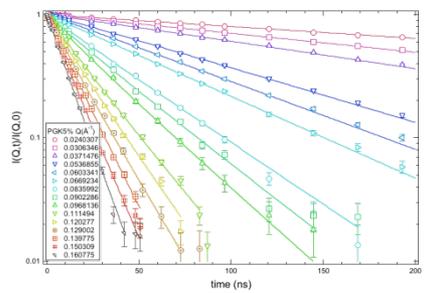
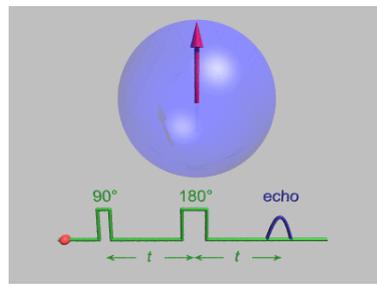
Project 2: タンパク質のスローダイナミクスの正体? ... 遅い運動は非常に観測が困難!

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、磁性薄膜・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原理の研究

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、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 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)

教授: 川上則雄 柳瀬陽一

准教授: 池田隆介

講師: ピーターズ ロバート

助教: 手塚真樹 大同暁人

2021年度

博士 9名
修士 10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

固体電子系からレーザー冷却系に至る幅広い分野

最近の研究テーマ

1. 新奇的な超伝導・超流動

- ◆ メカニズム (鉄系、重い電子系など)
- ◆ 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

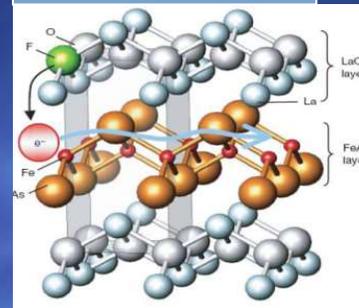
4. レーザー冷却原子

- ◆ 光格子中での冷却原子
- ◆ フェルミ・ボース系の超流動

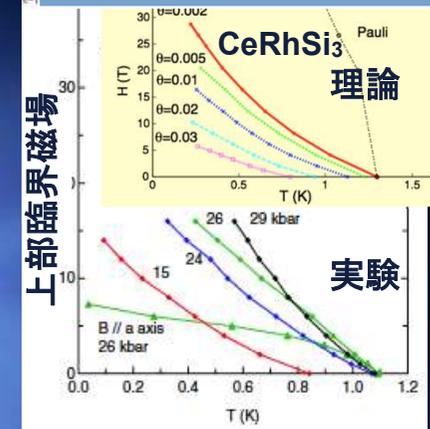
5. 非平衡量子現象

- ◆ 非平衡輸送
- ◆ 光誘起相転移

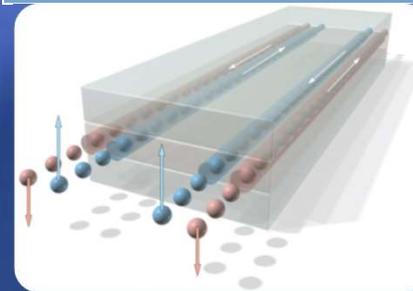
鉄系の超伝導



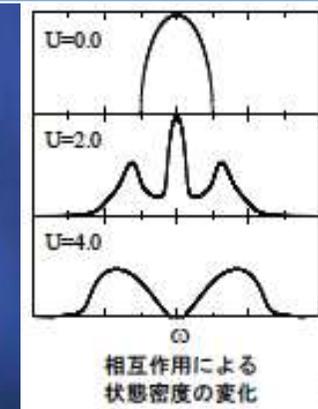
重い電子系超伝導



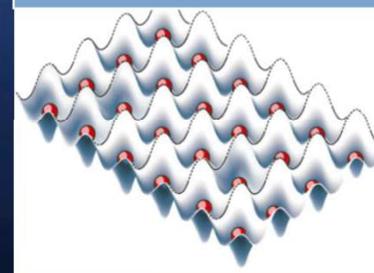
トポロジカル絶縁体



モット金属絶縁体転移



冷却原子



非平衡量子現象

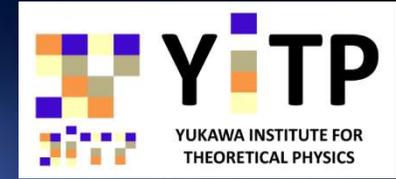


理論アプローチ

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)



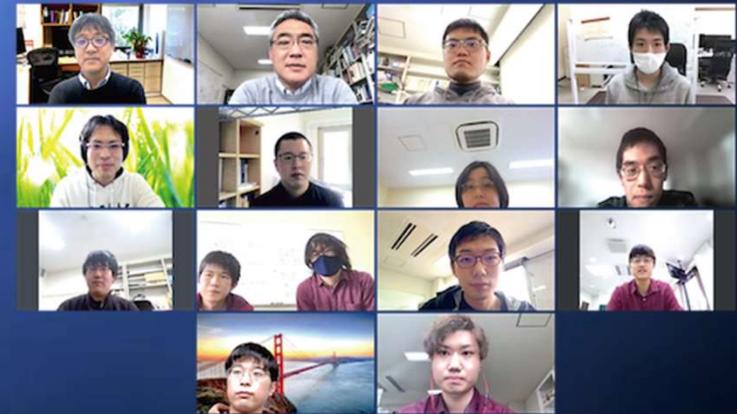
基礎物理学研究所

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
	大熊 信之



2021年

PD	3名
博士	6名
修士	3名

研究テーマ

⊕ 「量子性」が顕著になる低温での「物性」

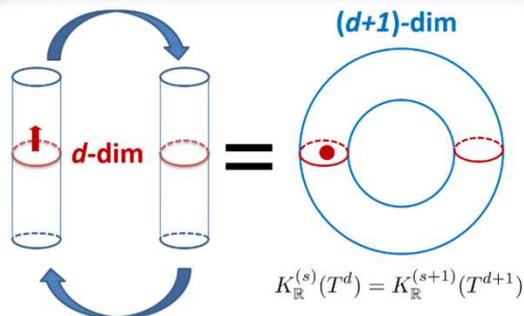
トポロジー・強相関

「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...)

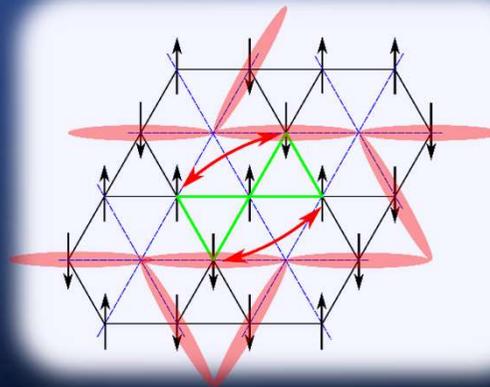


➡ 多自由度より創発される現象
 (超伝導、磁性、新奇量子相、エキゾチック励起)

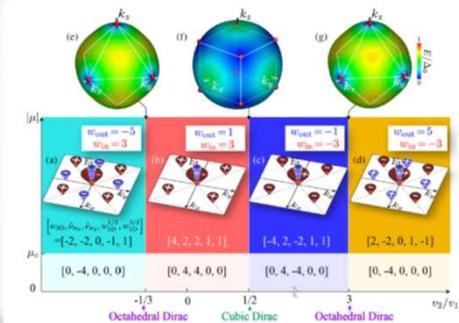
- トポロジカル絶縁体・超伝導体
- 量子多体系におけるエンタングルメント、トポロジカル秩序
- 非エルミート系などの非平衡トポロジカル相



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

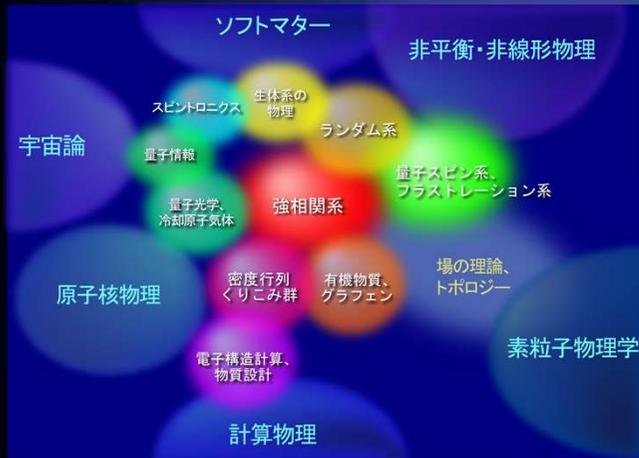
◆ 分野間の交流：

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

ひとつことていうと?

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
など多岐に渡る

T2 統計物理・ダイナミクス

現象は？

相転移、輸送、乱流、量子計算
情報符号化、機能発現
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！

生物学や工学などとの
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？

非線形動力学
佐々, Dechant

相転移動力学
荒木、北村

流体物理学
藤、松本

6つの分科

物性基礎論：量子情報
森前

非平衡物理学
武末（募集せず）

物性基礎論：統計動力学
早川、村瀬

非線形動力学

教授 佐々真一

講師 Andreas Dechant

特定研究員1

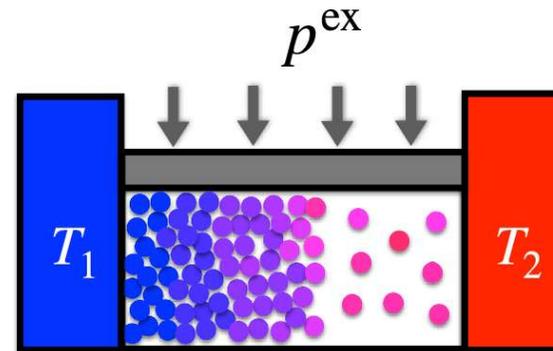
博士課程学生3 (学振2), 修士課程学生4

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



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)

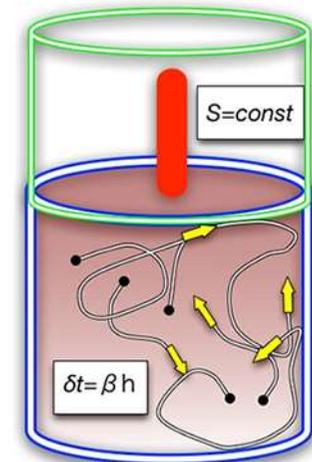
熱伝導下相共存に対する新熱力学の構築



PRL, 2017;
JSP, 2019
More than
3000 access

乱雑さを決める
時間の対称性
を発見

PRL, 2016
(Editor's suggestion)



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

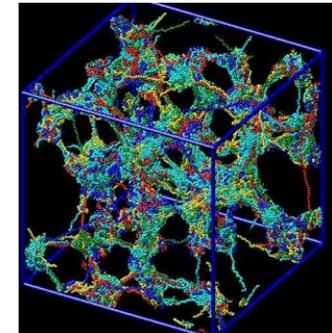


図4. 高分子ネットワークの揺らぎのダイナミクス

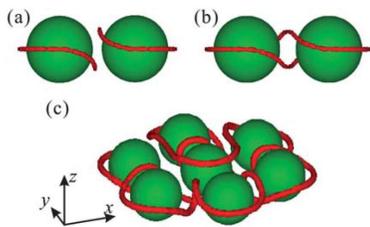


図1. 液晶・コロイド系におけるトポロジカル欠陥の絡み合い

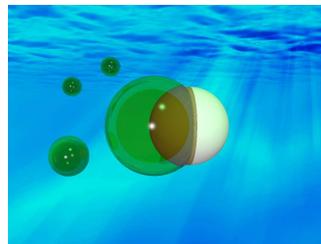


図2. 光照射による混合液体中のヤナス粒子の駆動

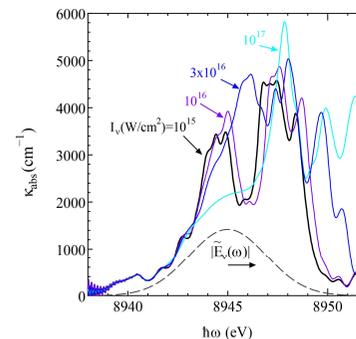


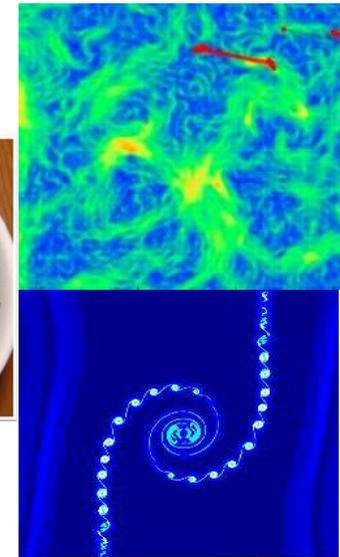
図5. 高強度フェムト秒X線による非線形効果を引き起こす銅の吸収スペクトル変化。

流体物理学：藤, 松本

- 乱流

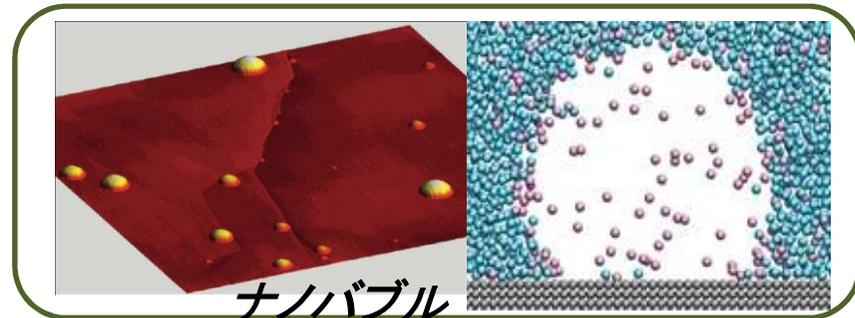
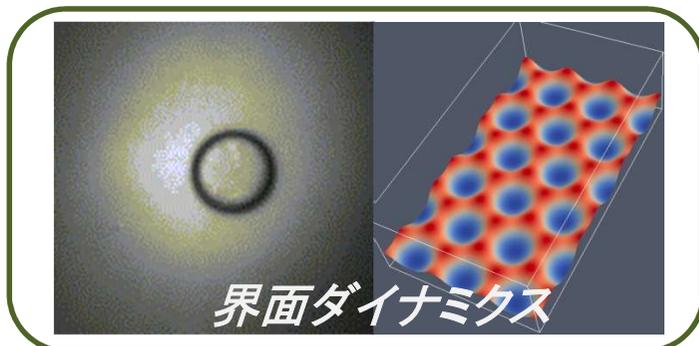
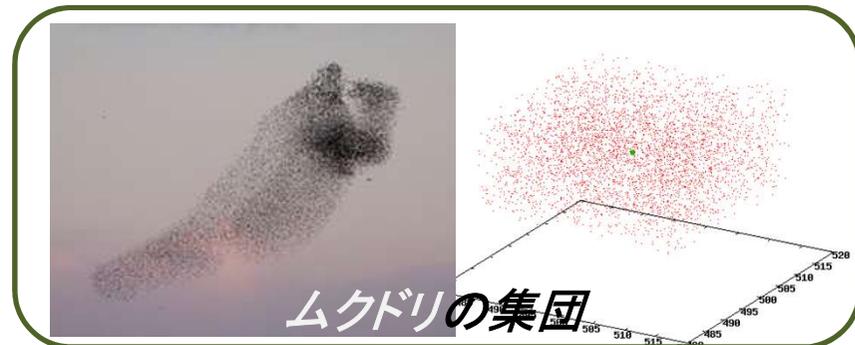
何故かき混ぜるとミルクは早く混ざる？

- ◎ 混合、輸送の統計物理
- ◎ 素過程、ダイナミクス



- 流体記述の拡張

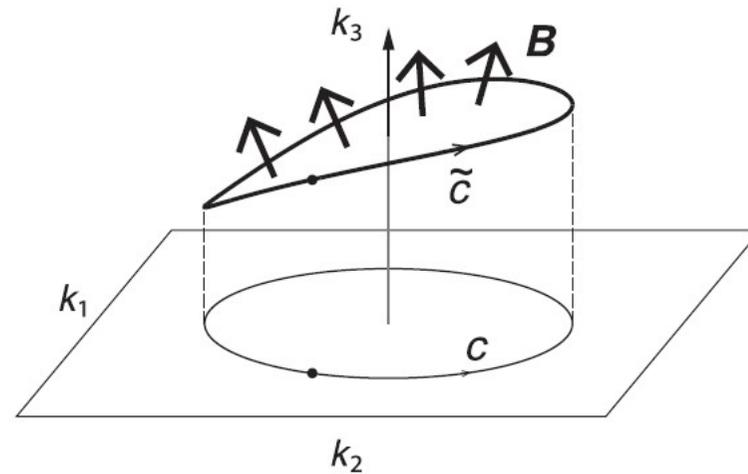
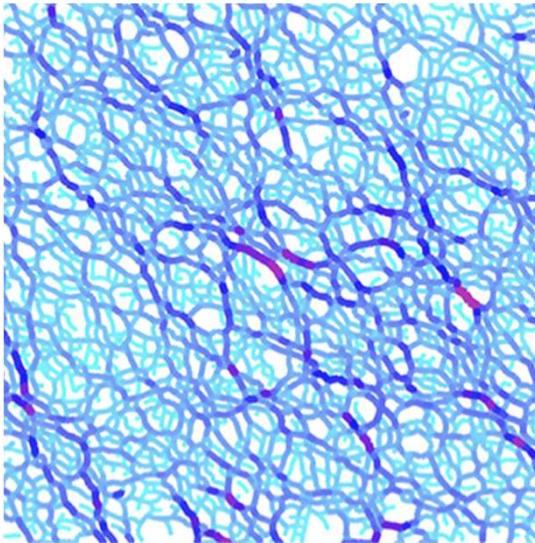
- 鳥の集団運動
- 界面のダイナミクス
- ナノスケールの流体現象



物性基礎論：統計動力（基研）

早川尚男

非平衡統計力学・粉体特にレオロジー、ジャミング、輸送、ゆらぎ



村瀬雅俊

自己・非自己循環理論

物性基礎論：量子情報（基研）

森前智行(准教授)、D1 1名、M2 2名、M1 1名
外国人特定助教 2名

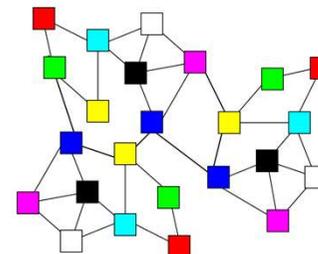
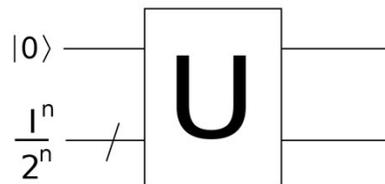
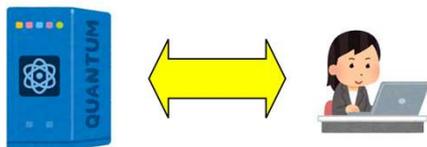
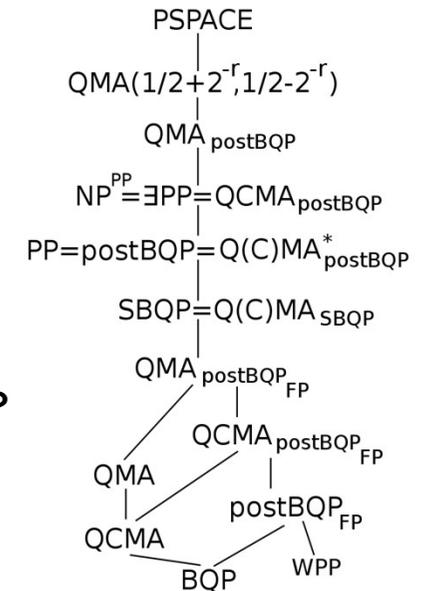
私の主な研究テーマ：量子計算理論、量子暗号プロトコル

(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 supremacy、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！

相転移動力学
荒木、北村

非線形動力学
佐々、Dechant

流体物理学
藤、松本

物性基礎論：
量子情報
森前

6つの分科

非平衡物理学
武末

物性基礎論：統計動力学
早川、村瀬