

物性基礎論

物性理論研究室

Condensed Matter Theory Group

HP: <https://cmt.phys.kyushu-u.ac.jp/ja/>

コアタイム: なし

研究キーワード: ソフトマター・液晶・高分子・ガラス・生命現象の物理



Member

教授	福田 順一
准教授	樋口 祐次
講師	松井 淳
助教	多羅間 充輔
研究生	米澤 弦起
博士3年	松清 洋輝
博士1年	中村 草平
修士1年	小田稜矢、片山大介
学部4年 (特別研究生)	井上早人、古賀夏生



教員プロフィール



福田順一 教授

ソフトマターと呼ばれる柔らかい物質群に関する理論的研究を、主に連続体理論とそれに基づく数値シミュレーションによって行っています。特に興味を持っているのが、液晶が形成する秩序構造とそのダイナミクス、および光学的性質です。国内外の実験系の研究者とも緊密な共同研究を行っています。これまでの具体的な研究テーマは、薄い液晶薄膜内における特異な秩序構造の形成メカニズムと光学的性質、コレステリックブルー相と呼ばれる複雑な秩序構造の相転移ダイナミクス、および共焦点顕微鏡像の計算、近年液晶の分野で注目を集めている強誘電性液晶の秩序形成、正弦波状の溝中の液晶がつくるトポロジカル欠陥の性質、パターンを施した表面を用いたトポロジカル欠陥のデザイン、コロイド粒子を含んだ液晶系などです。また過去には高分子の統計力学に関する研究も行なったことがあります。

松井淳 講師

平衡系・複雑系・不規則系で見られる様々な現象について、統計力学に基づく理論と計算機シミュレーションを用いて研究しています。近年は、ガラス転移の統一理論を中心に置き、多岐にわたるテーマに取り組んでいます。また、化学現象の理論的な研究を通して、統計力学の基本的な問題を調べています。その他に社会物理についても研究対象となっています。



多羅間充輔 助教

非平衡系の物理学に興味を持ち、主にアクティブマターと呼ばれる生き物のように自発的に運動するものを対象にした理論物理の研究を行なっています。理想化した状況での一般的な理論の構築を進める研究と並行して、生物学の研究者とも協力して、実際の生き物で見られる具体的な現象を対象とした研究を進めています。特に、生体分子・細胞・細胞集団の各スケールでの力学ダイナミクスとそれらの階層間の繋がりを解明することにより、生命現象を物理学の視点から理解することを試んでいます。また、複数のエレベータの同期を例に社会現象を対象とした物理の研究にも挑戦しています。このような学際領域の「新しい」物理学の研究を進める上で、ソフトマター物理学などで培われてきた粗視化の概念や統計物理学的解析手法、計算機シミュレーションは非常に強力なツールです。



アピールポイント

アットホームな研究室

教員と学生の間の垣根が低く，教員に気軽に質問・議論に行くことができます。
気さくな先輩が多いため，研究についてだけでなく生活面などについての相談もしやすい環境です

自由な研究環境

ある程度自由に学生側が研究テーマから研究活動の方針まで設定することができます。

設備や計算機

最新のCPU，GPUを搭載した計算機サーバーが利用可能です。個人に机とPCが割り当てられます。
お茶部屋には豊富な蔵書がある上に，コーヒーが一杯 1 0 円～ 2 0 円で飲み放題です。



イベント

年間スケジュール

4月	全体ミーティング#、歓迎会 研究中間発表(博士)
6月	論文発表会(B4)*
8月	研究中間発表(M2)* 飲み会(院試激励&前期お疲れ様会)*
9月	サンマ会* (コロナとサンマ高騰のため、数年休止)
10月	研究中間発表(M1)*
11月	牡蠣会* (サンマ会に代わり、今年から実施)
12月	修論・特研中間発表*、忘年会*
1月	新年会、修論予備審査#
2月	修論発表会
3月	特研発表会(B4)# リサーチレビュー発表会(M1)# Farewellパーティー*

印：物性基礎論全体でのイベント * 印：統計物理学研究室と合同で行うイベント

学生主導で突発的に飲み会，BBQなども行われています。
教員と学生で車を出して牡蠣小屋に行ったこともあります。

定例イベント

隔週月曜日	コロキウム
毎週水曜日	研究室ミーティング,論文速報(紹介)
毎週 1 回	輪読

Message

- ・陸上部部員募集中です♡(私は今年で引退しますが)(松清)
- ・ソフトマターの研究をするハードな研究室です(松清)
- ・一緒に学食に行きましょう (中村)
- ・院試はしっかり勉強しましょう(中村)
- ・しっかりとした物理学を研究している研究室です(米澤)
- ・物性理論最高!!!!(小田)
- ・時間を自由に使えます(片山)



実績

研究	プレス発表: 「液晶は渦を巻く〜液晶の新たな秩序構造形成を理論、実験により初めて実証〜」(https://www.kyushu-u.ac.jp/ja/researches/view/159) 「液晶がナノ構造をつくる際の新現象を発見」(https://www.kyushu-u.ac.jp/ja/researches/view/661) 「液晶の複雑な秩序構造の形成メカニズムを解明」(https://www.kyushu-u.ac.jp/ja/researches/view/1180)
表彰	福田: Outstanding Referee (アメリカ物理学会, 2020), 日本液晶学会論文賞 (2019,2012) 日本物理学会若手奨励賞 (領域12, 2008), 日本液晶学会奨励賞(2002) 多羅間: 日本物理学会若手奨励賞(領域12,2025)、第9回ソフトマター研究会ポスター発表賞 (2019), Presentation Awards for Young Scientist at the International Conference on Advances in Physics of Emergent orders in Fluctuations (2018), Richard M. Noyes Fund Fellowship (2014), 未踏科学サマー道場ポスター発表優秀賞 (2012)
進学先 (特研生)	九大大学院／東工大大学院
進学先 (修士課程)	九大大学院
就職先 (修士課程)	ゲーム会社、金融系企業、IT系企業、シンクタンク等
就職先 (博士課程)	九大／九産大



研究内容

統計力学や熱力学の理論的研究は、2つに大別されます。1つは、学部で習う統計力学の内容（平衡状態とその近傍の揺らぎの線形応答性）を固体結晶に適用する研究であり、低温で出現する量子現象が主題となります。統計物理学研究室や凝縮系理論研究室がこの流れです。もう1つは、統計力学や熱力学そのものを発展させる研究です。物性理論研究室はこの流れになります。統計力学や物性物理学の講義を振り返ると、対象は気体や固体結晶ばかりで、そのほかのもの、たとえば、液体やクリスマスケーキのクリームやスポンジ類、生体細胞などは物理学の範疇ではないようにさえ感じます。しかし実際には、これらの系がもつ多彩な巨視的性質（フワフワ感やサクサク感、生命機能など）を対象とした物理学の研究は世界的な潮流の一つです。

物性理論研究室では、このような『**ソフトマター**』（柔らかい物質群の総称）を題材とした理論的研究に取り組んでいます。「柔らかい」とは、とても弱い外場（圧力など）を掛けただけで大きく変形し、また外場をなくすとゆっくり元の形状に復元し（復元しないこともある）性質です。この特徴は、固体結晶（ハードマター）の調和振動子（バネ）描像（平衡からのずれに比例した熱力学的な復元力がはたらく）とは対照的です。スケールの異なる波長や振動数の揺らぎが相互に関連し、それぞれの位相を変化させてエネルギーを別の揺らぎへ伝搬するというダイナミックで難しい研究課題です。またソフトマターの多様な例やその応用上の重要性から、物理学、数学、化学、工学、生物学などの多様な学問分野が融合して発展している学際的な研究分野です。対象の幅広さから非常に多くの興味深い課題があり、様々な観点で取り組むことが可能な魅力ある分野です。そのため、物性理論研究室のメンバーの研究テーマも非常に多様です。物性理論研究室では、学生の研究テーマ設定においても極力自主性を尊重しており、自らテーマを設定する学生も珍しくありません。以下に取り組んでいる研究テーマの例を示します。

液晶の秩序構造とその工学的性質

ソフトマターは様々なかたち、空間スケールの秩序構造を自発的に形成すること（「自己組織的秩序構造」と呼ばれます）が興味深い性質の1つであり、液晶はそのような自己組織的秩序構造の宝庫です。また、秩序の不連続性として定義される位相欠陥という数学的概念が目に見える形で現れることも液晶が理論の立場から興味を持たれている理由の1つとなっています。主に連続体理論を用いて、それらの秩序構造の性質、形成メカニズムの解明に向けた研究を行っています。

ターゲットとしている系の1つは、鏡映対称性のないキラルな液晶が示す複雑な秩序構造である**コレステリックブルー相**です（以下「ブルー相」）。ブルー相を示す液晶を薄い空間に閉じ込めると、素粒子物理学分野や他の凝縮系物理学分野で盛んに研究されているスカーミオンと呼ばれる渦状の秩序構造などが生じること（図1）を示したり、ブルー相の秩序が示す立方格子が異なる向きで接する双晶と呼ばれる構造、およびその形成メカニズム（図2）を明らかにしたりしてきました。他の研究例として、液晶を閉じ込める2枚の平らな表面上にパターンを施すことで液晶中に生じる位相欠陥をデザインできることを示したものがありません（図3）。また液晶の分野では近年強誘電性を有する液晶に強い興味を持たれており、層状の秩序と強誘電性を同時に有する液晶の秩序構造の研究も行なっています（図4）。

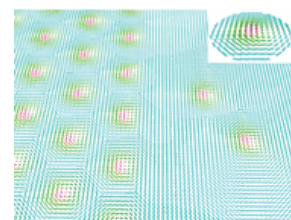


図1：ブルー相のスカーミオン構造



図4：層状の秩序を有する液晶

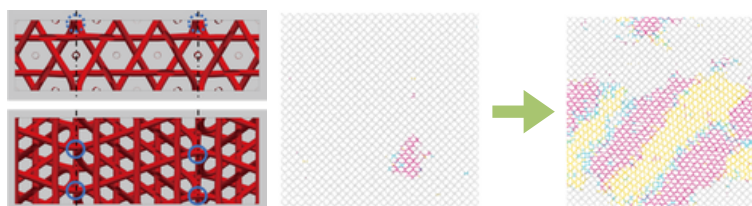


図2：ブルー相が示す双晶構造 左は構造の詳細、右2枚は双晶の時間発展の様子

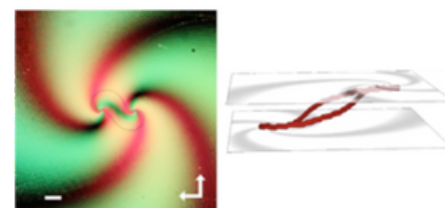


図3：位相欠陥のデザイン (左:実験 右:数値計算)

またディスプレイへの応用からも容易に想像できるように、液晶の光学的性質に関する研究は非常に盛んに行われています。上述のスカーミオンを含む数百nmのスケールの秩序構造の光学顕微鏡像を数値計算により求め、実験結果を極めてよく説明できたこと（図5）、ブルー相に入射した光の反射特性を計算し、実験と良い一致を示したことなどが当研究室の成果として挙げられます。

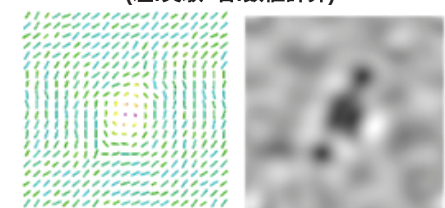


図5：左は液晶の秩序構造 右はその光学顕微鏡像 (いずれも数値計算で得られたもの)

ガラス

ガラスは、非晶質固体（面心立方や体心立方のような周期的配置ではなく、各分子の位置が乱雑なままの固体）に分類され、0 Kにおいても分子配置が乱雑なためにエントロピーが消失しない、未だ統計力学や熱力学で取り扱うことが出来ない研究対象です。通常の相転移でみられるような比熱の急激な変化が転移点で観測され、その機構や原因は諸説紛々としています。分子1つ1つの動きや集団的な運動の様子を計算機シミュレーションを用いて解析し、ガラス転移温度近くの分子運動の2つの特徴が明らかになりました。そこに、マジョリティーが支配するのではなく、マイノリティーが支配的になる新しいタイプの統計力学が見えてきました。

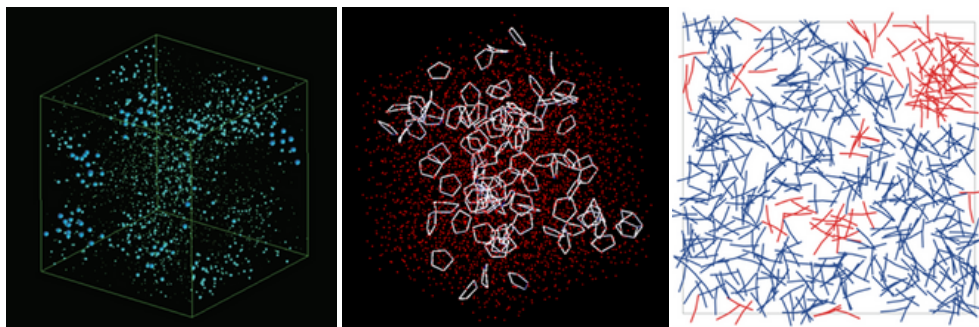


図 6: 計算機シミュレーションを用いた分子運動の解析; 分子運動を可視化して、時間的あるいは空間的な不均一さを数値化します。

生命現象の物理

生命の最小単位である細胞は細胞骨格と呼ばれる分子などが生み出す力により能動的に運動します。細胞内では、細胞骨格分子がさまざまな動的な高次構造を形成しており、その構造の形成原理と細胞ダイナミクスに対する影響は理論的に解明すべき課題です（図 7）。また、このような生体分子の力生成の結果現れる細胞の運動を特徴づける基礎方程式の構築も研究課題の一つです。さらに、細胞から生体組織、器官、個体へと生き物が形成される上で重要な役割を担う細胞の協働ダイナミクスの背後に潜むメカニズムの解明には物理学の視点からの研究が必要とされています（図 8）。

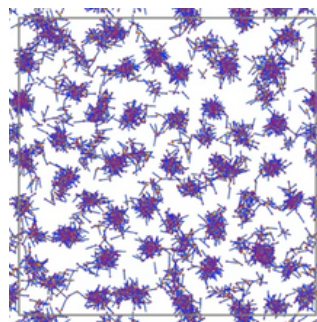


図 7: アクチン細胞骨格が自己組織化するクラスター構造の再現 [Nat Commun (2024) 15:464]

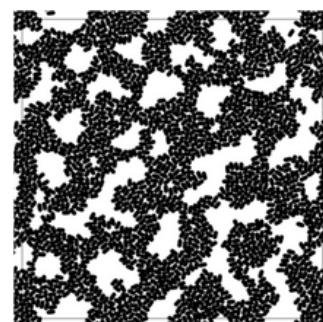


図 8: 細胞運動の力学モデルを用いて再現された中胚葉細胞が自己組織化するネットワーク構造

アクティブマター

生き物のように、外力に駆動されることがなくとも、自発的に運動するものをアクティブマターと呼びます。生物の他にも、コロイド粒子や液滴などを用いてより制御された非平衡条件下で自発運動を実現した人工系アクティブマターも数多く実現、研究されてきました。我々はアクティブマターの示す多彩なダイナミクスや集団運動などを理論的に研究しています(図9)。

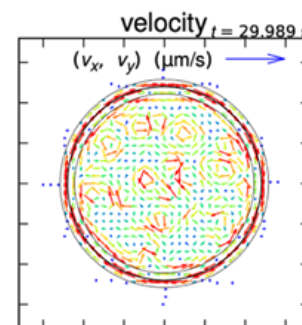


図 9: 連続体シミュレーションを用いた、円形容器に閉じ込めたバクテリア集団が示すエッジカレントの研究[Phys. Rev. E 109,054604(2024),松清洋輝(修士論文)]

その他にも、以下のようなテーマに取り組んでいる大学院生がいます（いました）。

- ・環状分子からなる系の相転移
- ・温度勾配下での相分離のダイナミクス
- ・液晶の熱揺らぎに由来する擬似カシミール力
- ・液晶が示すソリトン構造のダイナミクス
- ・細胞組織のダイナミクス
- ・場の理論の手法を用いた高分子系の統計力学
- ・高分子系のマイクロレオロジー
- ・細胞運動の力学環境応答
- ・データを用いた自己推進液滴の運動方程式の推定

出典:

図1: <https://www.kyushu-u.ac.jp/ja/researches/view/159>

図2: Phys. Rev. E 105, 044707 (2022), 修士論文（山下晃弘）

図3: Nature Comm. 6, 7180 (2015).

図4: 修士論文（西山大樹）

図5: Nature Phys. 13, 1215 (2017.)