

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
講師	松井 淳
助教	多羅間 充輔
博士3年	金子 甲二郎 米澤 弦起
博士2年	松清 洋輝
修士2年	小田 響己 北本 光 中村 草平
学部4年 (特別研究生)	小林 凌 本間 陸斗 大淵 慧陽 片山 大介



## 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、正弦波状の溝中の液晶がつくるトポジカル欠陥の性質、パターンを施した表面を用いたトポ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

教員と学生との垣根が低く、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10円～20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
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) *
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

### 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 (論文紹介)
毎週1回	輪読



## 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～」 ( <a href="https://www.kyushu-u.ac.jp/ja/researches/view/159">https://www.kyushu-u.ac.jp/ja/researches/view/159</a> ) 「液晶がナノ構造をつくる際の新現象を発見」( <a href="https://www.kyushu-u.ac.jp/ja/researches/view/661">https://www.kyushu-u.ac.jp/ja/researches/view/661</a> )
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: 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 (特研究生)	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)	九大大学院
就職先 (博士課程)	九大 / 九産大

## Message

- ランニングクラブの部員募集中です♡(松清)
- 困った時は先輩を頼りにしてください!! (北本)
- 一緒に学食に行きましょう (中村)
- ゆるふわ放置系理論研究室なので、院生は研究スタイルを教師なし学習していくこととなります。ノーベル賞のトレンドを反映したとても素敵な研究室です。(米澤)



## 研究内容

本研究室では、柔らかい物質群の総称である「ソフトマター」をキーワードに、液晶、高分子、ガラス、生物といった幅広い主題の理論的研究に取り組んでいます。先に挙げた研究対象を見ると、本当に物理学の研究対象なのかと思われかもしれませんが、アメリカ物理学会が発行するPhysical Review Eやヨーロッパ物理学会が発行するEuropean Physical Journal Eなど、ソフトマター物理学をターゲットとする専門誌も複数出版されており、基礎物理学の重要な一分野として認識されています。ソフトマターは物理学、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。理論物理学の立場においても、純粋数学に近い観点からも、工学寄りの観点からも興味深い問題は多様に存在し、様々な問題に幅広いスタンスで取り組むことが可能です。また当研究室では、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。以下に当研究室で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光学的性質

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。他にも、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り（図3）、層状の秩序を有する液晶の構造のシミュレーションを行ったりしています（図4）。

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などが当研究室の成果として挙げられます。また凝縮系物理学の分野で近年大きな注目を集めている、波数空間におけるバンドトポロジーの概念を液晶の秩序構造に適用して、光学的性質に関する新たな知見を得られないかという観点からの研究も行なっています。

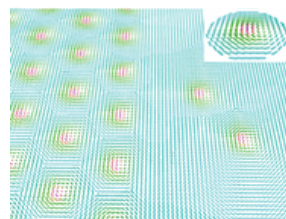


図1：ブルー相のスカーミオン構造

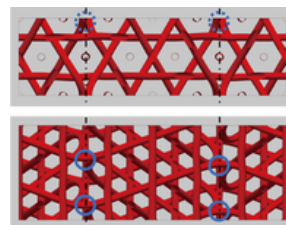


図2：ブルー相が示す双晶構造

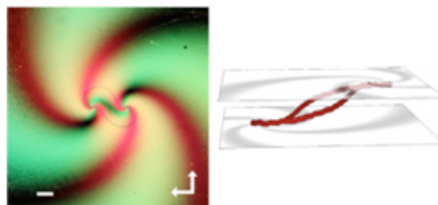


図3：位相欠陥のデザイン  
(左:実験 右:数値計算)

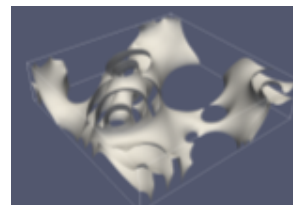


図4：層状の秩序を有する液晶

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)

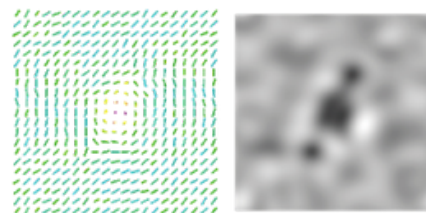


図5：左は液晶の秩序構造 右はその光学顕微鏡像  
(いずれも数値計算で得られたもの)

### 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、0K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。また、高温の液体状態から冷却してガラス状態へ転移するとき、通常の相転移でみられるような比熱の急激な変化が観測されますが、その変化の原因を転移前後の分子配置構造の変化によって説明することができません。理由は、液体の分子配置とガラスの分子配置がどちらも乱雑で区別がないからです。分子の配置ではなく速度（運動量）を比熱変化の原因と考え、分子1つ1つの動きや全体的な運動の変化を計算機シミュレーションを用いて解析しています。これまでの研究により、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。時間的な特徴の「間欠性」と、空間的な特徴の「動的不均一性」です。アンサンブル平均などの統計力学の考え方を、時間的にも空間的にも不均一な系に対して適用することは難しく、革新的なアイデアによる統計力学の進化を目指しています。

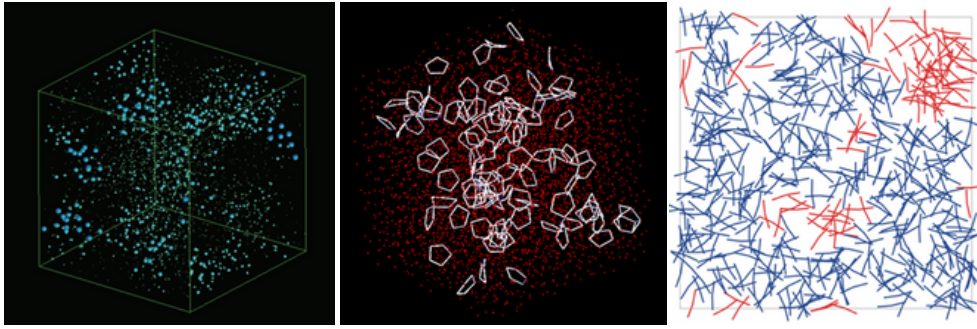


図 6: 計算機シミュレーションを用いた分子運動の解析; 分子運動を可視化して、時間的あるいは空間的な不均一さを数値化します。

## 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、その構造形成原理と細胞ダイナミクスに対する役割に焦点を当てた研究を進めています(図7)。最先端の高速・超解像度の顕微鏡でも捉えることが困難なこれらの分子集団のダイナミクスを、一つ一つの分子の動きを追う数値シミュレーションにより再現して解析することで、そのメカニズムを明らかにすることを目指しています。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作られる上で重要な役割を担う細胞集団の協働運動の背後に潜むメカニズムを物理学の視点から研究しています(図8)。

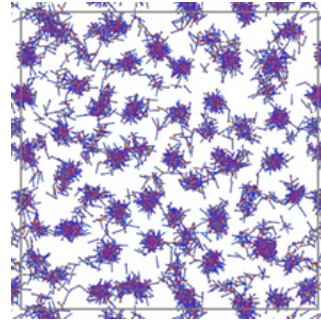


図 7: アクチン細胞骨格が自己組織化するクラスター構造の再現 [Nat Commun (2024) 15:464]

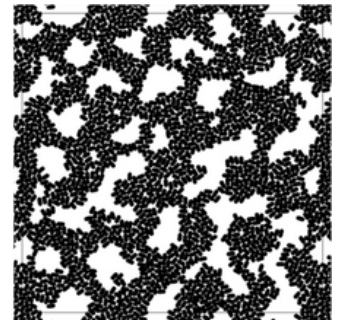


図 8: 細胞運動の力学モデルを用いて再現された中胚葉細胞が自己組織化するネットワーク構造

## 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。もちろん生物はアクティブマターの宝庫です。また、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的な運動を実現した「人工系」のアクティブマターも数多く作成・研究されてきました。我々は、細胞や自己推進液滴のように形の変形を伴って自発運動するアクティブソフトマターが変形と運動の相互作用によって示す多彩なダイナミクスや、外場下でのアクティブダイナミクス、集団運動などを研究しています。在籍中の大学院生の中には、狭い領域に閉じ込められたバクテリア集団の運動を具体例に、連続体シミュレーションや粒子シミュレーションの手法を用いて、境界とバクテリアのキラランな相互作用の影響や(図9)、巨視的な渦の形成メカニズム(図10)などを研究している人もいます。

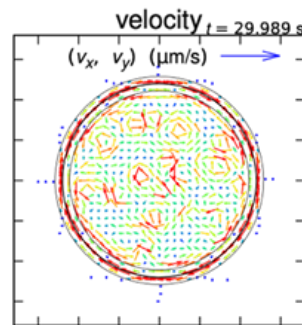


図 9: 連続体シミュレーションを用いた、円形容器に閉じ込めたバクテリア集団が示すエッジカレントの研究

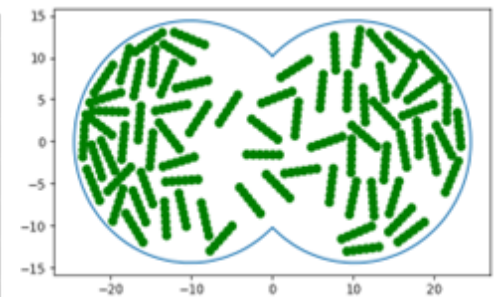


図 10: 粒子シミュレーションを用いた、狭い領域中のバクテリア集団の安定した自発的渦形成の研究

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