

複雑流体研究室

指導教員： 前多裕介（准教授）

ホームページ <http://nlm.phys.kyushu-u.ac.jp/>

私たちの研究室では、非平衡系の物理学を研究しています。とくにアクティブマターの物理学・生命システムの物理学・マクロなソフトマター物理学など、基礎物理学から生命科学までを広くカバーしており、最先端の研究テーマで活発な研究活動を行っています。

» はじめに：日常から不思議な非平衡系の世界へ

皆さんが学部で習う力学は力と変位は線形関係で結ばれており、熱力学や統計力学も熱平衡を扱います。これらは体系化された学問であり、調和する自然の摂理を美しい方程式で表し、背後にある法則をみせてくれます。しかし、身の回りで起こる物理現象や私たちの体の中でおこっている生命現象は、線形・平衡の範囲からはずれており、線形・平衡な世界ではみられないパターンやダイナミクス、ゆらぎが現れます（図1）。このように、物質やエネルギーの流れがあり熱平衡からはなれたシステムを「**非平衡系**」といいます。近年、非平衡系にみられる秩序が、生きた細胞や生体分子を集めた人工細胞の中にも発見されており、「**物質と生命の境界を非平衡物理学の原理で探る**」という新たな流れが世界的に起こっています。

私たちの研究室では、レーザー光で誘起したマイクロ非平衡系や、運動する細胞集団アクティブマターの秩序形成、自発的に力を発生するタンパク質のアクティブゲル、その他にも多彩な非平衡系を独自の実験手法で構築しています。生きた細胞に留まらず、生命の起源の探求、コロイドや高分子などのソフトマター、生体分子で創る人工細胞、懐かしいおもちゃの物理まで、多彩な現象を扱う研究室となっています。

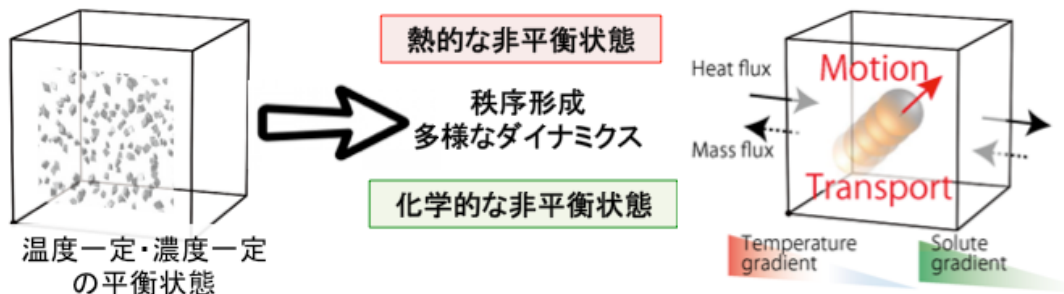


図1. 非平衡系にひそむ未知の現象を発見し、生命現象をも含む普遍法則を明らかにする。

» 特別研究の方針・研究室の方針

学部4年生という貴重な時間を使うのですから、**学生が自由に発想したことを、自分で考え、自らの手で発展させてほしい**、と思っています。そのため個人の興味を尊重しつつ、好きなテーマをやってもらいたいという方針を取っています。人の数だけ多くのテーマがありますが、最近の研究例を3つ紹介します。描かれている物理的な現象や、自然現象をひもとく考えに共感するところがあれば、楽しく研究ができると思います。

【1. アクティブマターの物理学】

鳥や魚が群れるとき、波動伝搬・渦・乱流などの時空間構造が現れます。**自律的に動く物質群をアクティブマターとよび、その集団が示す特徴的な群れ運動は、基礎物理学から生命科学・工学まで広い分野で注目を集めています**。アクティブマターは（モデルの上では）自発的に運動するスピンのようなもので、自律的に動き、向きを揃える相互作用を持ちます。密度が高まると回転方向に对称性の破れが起こり、集団運動が生じるという新たな相転移現象のモデルとして有名です。

私たちは自発的に動く微生物や生きた細胞を用いて、アクティブマターの集団運動を実験・理論の両面から研究しています。乱流のように不規則な集団運動であっても、実は多数の渦が埋め込まれた秩序があり、1つの幾何学的な法則で説明できることを発見しました（図2）。また、アクティブマターは超伝導の渦糸やトポロジカル絶縁体などの電子物性とも関連が深く、生命システムを理解する新しい概念をもたらすと期待しています。本研究を主導した学生は、権威ある「第39回 井上研究奨励賞」を九大理学部から5年ぶりに受賞しました。

アクティブマターに関して、九大理学部ニュースで学生がインタビューされました

別府航早: 生命と物質の普遍法則を求めて～群れるバクテリアが示した一つの数式～

http://www.phys.kyushu-u.ac.jp/koho/qrinews/qrinews_171010.html

【2. 生命システムの非平衡物理学】

細胞のダイナミクスの根幹となる概念が「**対称性**」です。対称性は、花々の花卉、昆虫や動物の左右対称性、そして原子分子のカイラル対称性まで、自然界に満ち溢れています。生命の基本単位である細胞の対称性も、その内部構造の配置、細胞運動や細胞分裂、さらには分化する細胞の運命をも決定することが知られています。しかし、**細胞内での構造配置**

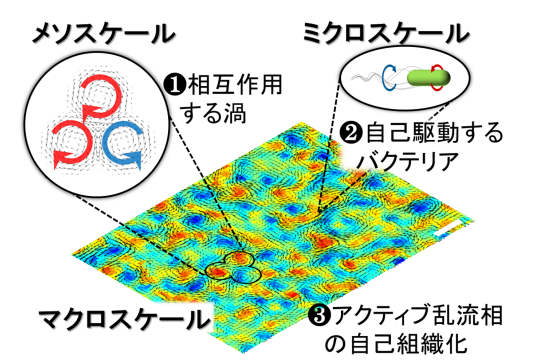


図2. アクティブマターの乱流と集団運動。隠れた渦の幾何法則がある。

の対称性（配置対称性）の基本原理は長年にわたり謎のまま残されていました。

この問題を解決する鍵は、細胞がもつ対称性の制御の本質を失わず、細胞内環境の複雑性を軽減した人工細胞モデルを確立することです。我々は、アクチン細胞骨格とミオシン分子モーターのタンパク質複合体（アクティブゲル）を、細胞サイズの液滴に封入した人工細胞をつくりました（図3）。すると、人工細胞の端から中央へ収縮しながら伝搬するアクトミオシン波が回転対称な中心点を定め、人工細胞内に形成されたアクトミオシン・ブリッジが、端に引き寄せる力を出して対称性を破ることを発見しました。人工細胞があるサイズに達すると、突如として対称性が破れる「パーコレーション転移」とよばれる相転移現象となっており、細胞内現象の中に物理法則が息づいている証拠とも言えます。人工細胞の研究は多方面から注目を集めており、本研究を主導した学生は権威ある「独創性を拓く先端技術大賞」を九大物理から初めて受賞し、日本生物物理学会若手奨励賞を在学中に受賞するといった活躍を見せました。

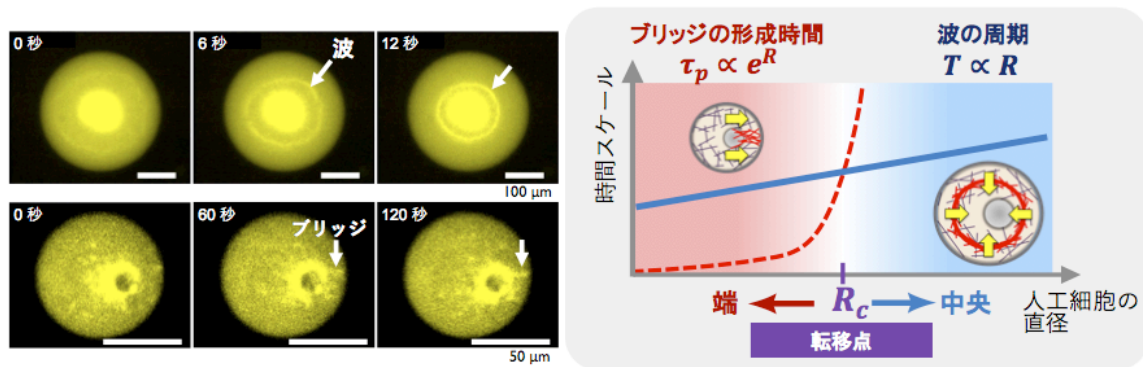


図3. 人工細胞の細胞内対称性の破れと転移点決定の模式図.

人工細胞に関して、九大理学部ニュースで学生がインタビューされました

坂本遼太: 人工細胞でさぐる細胞の「対称性」の不思議

https://www.sci.kyushu-u.ac.jp/koho/qrinews/qrinews_200930.html

【3. 身の周りの現象の物理学】

これまでに紹介した内容以外にも、積極的に新しいこともやりたいと思っています。必ずしも非平衡とか生物に興味がなくとも自由に面白いことがやれば良いと思っています。身の回りの物理現象も研究対象としています。自然界には回転する物体が多く、どうやら回転のエネルギーをうまく抽出し、構造形成や機能制御

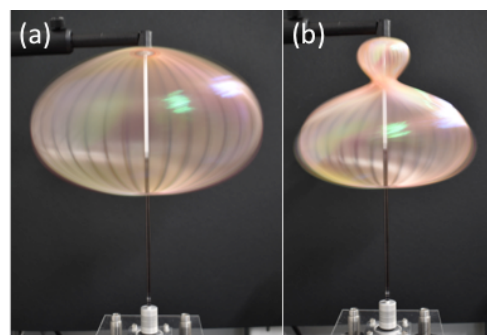


図4. 弾性バブル（おもちゃ）の不思議な構造と不安定性.

につかっているようです。そんな振る舞いを見せてくれるオモチャが**弾性バブル**です（図4）。回転遠心力がシャボン玉の表面張力と類似の役割を果たしながらも、通常のシャボン玉にはみられない弾性変形が起こります。形と運動が組み合わさって不思議な振る舞いをします。身近に潜む多くの不思議な現象を研究して、物理法則の深い理解を目指します。

【特別研究の例】他にも色々なテーマがあります：振動する弾性バブルの力学、ソフトマターの破壊力学、細胞集団におけるトポロジカル欠陥と組織形成の幾何法則、モータータンパク質の確率的遷移と自律運動の1分子解析、非平衡輸送現象とゆらぎの定理、Vicsekモデルの数値計算、生命の起源と情報成長の統計力学、アクティブ乱流と渦の幾何法則、遺伝子発現する人工細胞、機械学習と多重局展開法による自己組織化の理解・・・など。

» 特別研究の進め方

基本スケジュール

毎週月曜に進捗を報告する会を行っています。担当者が自分の研究テーマの学術的背景・ねらい・進捗状況について発表します。コアタイムはなく各々の自主性にまかせつつ、研究計画を確認して進めてもらいます。

論文紹介とセミナー

論文紹介とセミナーも行います。順番は半年に1回程度、担当が回ってくるペースです。各回担当者1人が、最近5年以内程度の論文を選び、その内容を1時間30分くらいの時間で説明します。自分の研究についても、発表があります。

英語 なお、進捗報告もセミナーも全て英語で統一しています。スライドや原稿も英語で書き、発表も質疑応答も英語で行います。

読書会 本年度は「表面張力の物理学」を週に1回のペースで輪読しました。ソフトマターの力学、流体力学、弾性体の力学などについて勉強しました。研究でよく使うのは統計力学、電磁気学、力学、物理数学、数値計算、連続体力学などです。

進路 特別研究生の9割以上が、大学院修士課程へ進学しています。過去に1名、公務員志望の方がおりました。



» **研究室の雰囲気** ホームページ <http://nln.phys.kyushu-u.ac.jp> を参考にして下さい。twitter アカウントは@yusukemanlab です。