

会場 D

領域 4, 5, 10, 12

D-2

InGaSb/InAs トポロジカル絶縁体を用いたゲート生成 p-n 接合の電気伝導特性

福岡工大^A, NTT 物性基礎研^B 木ノ原佑真^A, 秋保貴史^B, 入江宏^B, 小野満恒二^B, 村木康二^B, 鈴木恭一^A

InGaSb/InAs ヘテロ接合は、InGaSb の価電子帯と InAs の伝導帯がエネルギー的に重複しており、波動関数の混成とスピン-軌道相互作用により、微小なエネルギーギャップを持つトポロジカル絶縁体となる [1]。我々は、このギャップを利用し遠赤外ダイオードの作製を試みた。

図 1(a) は試料構造で、InGaSb/InAs ヘテロ接合を AlGaSb 障壁層で挟んである。表面側に Al_2O_3 ゲート絶縁膜があり、その上に部分的にゲートが蒸着されている。基板へのバックゲート電圧 V_{BG} と表面のゲート電圧 V_{FG} を調整することで、表面のゲート端面下に p-n 接合が形成される [図 1(b)]。抵抗の温度変化より求めたバンドギャップは 28.6 meV で、これは波長 43.2 μm の遠赤外光に対応する。

p-n 接合の条件 ($V_{BG} = 0 \text{ V}$, $V_{FG} = 0.35 \text{ V}$) におけるソース-ドレイン間の電流-電圧 (I - V) 特性を図 2 に示す。一般的なダイオードの特性と異なり、逆方向電圧側でも電流が流れている。これは、小さいバンドギャップと p-n 接合の急峻な

ポテンシャルの傾きにより、トンネリングが起こっているためと考えられる。順方向電圧側ではキャリアの再結合による発光が期待される。

[1] Irie *et al.*, Phys. Rev. B. **101**, 075433 (2020).

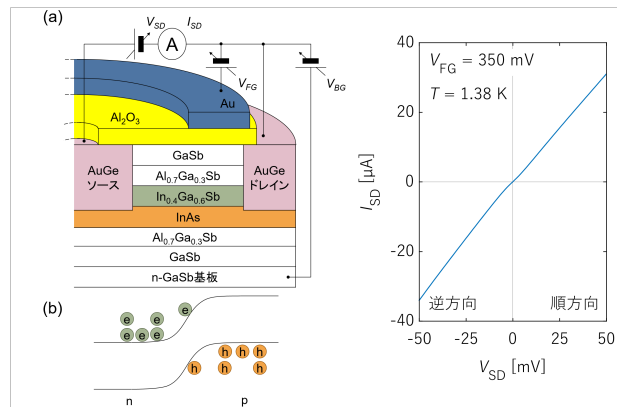


図1. (a) 試料構造. (b) 試料構造に対応するエネルギーバンド 図2. I - V 特性グラフ

D-3

AgI を基にした超イオン導電ガラスのイオン伝導度：可動イオンにおける濃度と易動度の非線形連結

大分高専^A, 熊大院先端科学^B 池田昌弘^A, 安仁屋勝^B

AgI を基にした酸化物系超イオン導電ガラス, 例えば $(\text{AgI})_x(\text{AgPO}_3)_{1-x}$ ($0 \leq x \leq 0.5$) では, AgI の添加量に伴ってイオン伝導度が増加する。また, その温度依存性は, ガラス転移温度を境にして高温側では VFT 型, 低温側ではアレニウス型の挙動を示す^{1,2)}。単一種のイオン導電体における伝導度 σ は $\sigma = Ze \cdot n_+ \cdot \mu_+$ と書ける。ここで Ze は電荷 (Z は価数), n_+ は可動イオンの濃度, μ_+ は易動度である。この表式によると, イオン伝導度はこれら 3 つの寄与で定まる。電荷はイオン種によって決まるものの, n_+ と μ_+ は相互に関連しており, それらの関係は必ずしも自明ではない¹⁾。

本研究では, n_+ と μ_+ を非線形に連結させたイオン伝導度のモデルを AgI 系超イオン導電ガラスに適用する。このモデルは, イオン結晶系 (例えば, 銀ハライド) における内因性および外因性伝導領域間の連続遷移を説明する³⁾。今回, 同モデルを AgI 系超イオン導電ガラスのイオン伝導に適用するにあたり, 我々が提案している粘性の結合強度・配位数揺らぎモデル^{4,5)} による粘性流動に対する描像を可動イオンの生成過程に適用することで, 液体側におけるイオン伝導度の VFT 的挙動に対して説明を試みる。講演では, AgI の組成依存性についても当該モデルの観点から議論する。

- 1) A.C.M. Rodrigues, M.L.F. Nascimento, C.B. Bragatto, J.-L. Souquet, J. Chem. Phys. 135 (2011) 234504 (7 pages).
- 2) J. Kawamura, M. Shimoji, J. Non-Cryst. Solids 88 (1986) 295-310.
- 3) M. Ikeda, M. Aniya, Philos. Mag. (2022) in press. (DOI: 10.1080/14786435.2022.2129111)
- 4) M. Aniya, J. Therm. Anal. Calorim. 69 (2002) 971.
- 5) M. Ikeda, M. Aniya, J. Non-Cryst. Solids 371-372 (2013) 53-57.

D-4

複屈折イメージング法を用いた水素結合型誘電体の相転移現象の解明

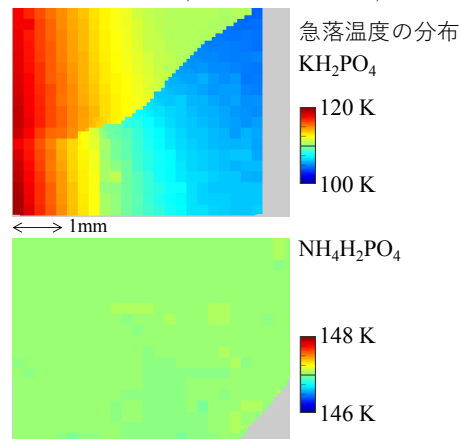
鹿児島大学大学院理工学研究科^A, 鈴鹿工業高等専門学校^B 梶山雄生^A, 豊田健晟^A, 三浦陽子^B, 真中浩貴^A

強誘電体 KH_2PO_4 は $T_C = 123 \text{ K}$ で強誘電転移を起こすが, その相転移機構については未だに決着していない [1,2]。これまで我々は相転移機構を解明するため, 複屈折イメージング測定を行ってきた。その結果, 室温から温度を下げていくと複屈折 (位相差) が直線的に増加するが, T_C 付近では予想に反して, 異常は現れなかった。さらに温度を下げると, 105~120 K で位相差が急落した。右上図には急落温度をマッピングした結果を示すが, 試料の場所によって急落温度が大きく異なることがわかった。我々はこの急落の原因を, 自発分極 (P) の発達にともなって, P が互い違いに揃うような 180 度強誘電分域が形成されるためと推測した。

そこで本研究では, 同型の反強誘電体 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ で同様の実験を行った。この物質は P が反平行に揃うため, T_C において位相差が急落すると予想した。その結果, 位相差の温度依存性は KH_2PO_4 と同じような振る舞いが得られたが, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ では予想通りに, $T_C \simeq 148 \text{ K}$ [3] において位相差が急落した。右下図には急落温度の分布を示すが, 試料の場

所によらず一様である事が分かった。本講演では, KH_2PO_4 と $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ の実験結果を比較しながら, 位相差の急落と相転移機構との関連について考察を行う。

[1] R. Blinc: J. Phys. Chem. Solids **13**, 204 (1960). [2] Tominaga 他: Solid State Commun. **48**, 265 (1983). [3] M.E. Lines, A.M. Glass: Principles and Applications of Ferroelectric and Related Materials, Clarendon Press, Oxford (1977).



D-5

強誘電分域の観察に適した複屈折イメージング像の解析手法の開発

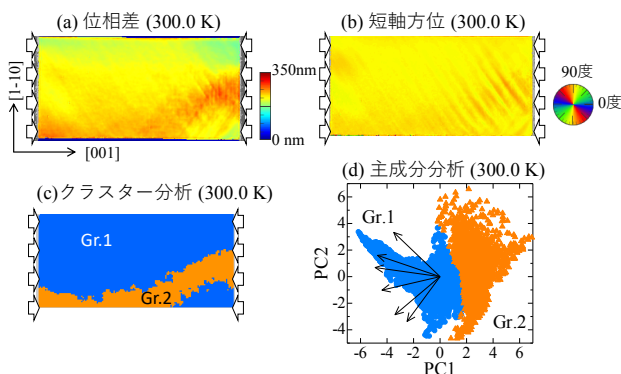
鹿児島大学大学院理工学研究科^A, 鈴鹿工業高等専門学校^B 豊田健晟^A, 橋口隆仁^A, 三浦陽子^B, 真中浩貴^A

これまで我々は複屈折イメージング測定法を用いて強誘電物質の相転移現象を観察してきた。しかし複屈折(位相差)が試料内で不均一に広がっている場合、解析する場所によって実験結果が異なるため、データを俯瞰した解析手法の開発が必要となっていた。そこで本研究では、多変量解析を用いて1画像あたり11万ピクセル分のビッグデータの中からデータをマイニングする方法を開発した。

量子常誘電体 SrTiO₃ では [001] 方向に沿って応力を印加すると約 20 K 以下で強誘電状態が現れる [1]。しかし右図 (a) や (b) に示すように、試料内部の応力分布によって複屈折が影響を受けているため、その寄与を考慮した解析が必要となる。そこでクラスター分析を用いて、生データを応力分布の寄与度で分類した結果を右図 (c) に示す。右図 (d) は主成分分析を行った結果で、6 個の変数で記述される生データを PC1 と PC2 の 2 つの軸を用いて分類することができた。この方法により多分散を示す複屈折の分布のヒストグラムを、

単分散の複数のグループに分けることができた。さらに温度変化させると、110 K 付近での構造相転移や、20 K 付近での強誘電転移に伴って、クラスターの分布状態に大きな変化が現れた。本発表ではこれらの結果から、温度変化によって見られる強誘電分域の形成過程についても議論する。

[1] H. Manaka 他: J. Phys. Soc. Jpn. **91** 084704 (2022)



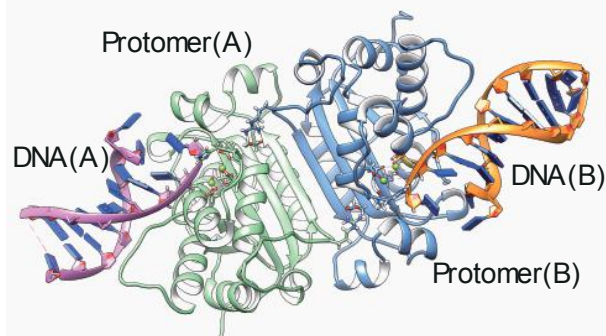
D-6

分子動力学計算とネットワーク解析を用いた DNA 分解酵素における変異の影響の解析

長崎大院医歯薬^A 大滝大樹^A

酵素は生体を維持するために必要な消化・分解・吸収・代謝などあらゆる過程に関わっている。酵素分子の変異には触媒活性を失活させるものが存在するが、その分子的なメカニズムについては不明な点が多い。TREX1 は TREX1 遺伝子がコードする DNA 分解酵素であり、DNA 複製中に形成される不要な DNA フラグメントを分解する。本邦で難病に指定されている全身性エリテマトーデス (SLE) などの免疫系疾患の患者では、TREX1 の変異が多数報告されている。変異型 TREX1 では DNA 分解反応が阻害され、異常な免疫反応が引き起こされることが明らかとなっている。我々は遺伝子変異が分子レベルでどのように機能に影響を及ぼしているかを調べるため、TREX1 タンパク質に対し分子動力学計算を用いた解析を行ってきた。相互作用グラフを用いることにより、これまでに D130N 変異型における活性中心近傍の相互作用の違い

を明らかにし、DNA 分解機能が失われるメカニズムを提案した。本研究では SLE をはじめとする免疫系疾患で報告されている変異に対し分子動力学シミュレーションを用いた解析を行った。これにより、TREX1 二量体のプロトマー間の相互作用経路上に変異が集中していることを見出したので報告する。本研究は GSK ジャパン研究助成 2021 の助成を受けて行われた。



D-7 コレステリック液晶コロイドの相互作用

九大院理^A 林和気^A, 木村康之^A

コロイド分散系は、基礎的、応用的研究が活発に行われており、近年では、複雑な構造体形成を目指して、粒子間に異方的な相互作用が働く系の研究が盛んである。異方的粒子間相互作用を実現させる方法として、液晶などの異方的な媒質を分散媒として用いる方法がある。例えば、一様に配向したネマチック液晶中にコロイド粒子を分散させた場合、配向が乱されることで弾性ひずみが誘起され、粒子間に異方的な相互作用が働く。静電アナロジーを用いて双極子、四重極子の相互作用が生じることがわかる [1]。これまでに、ネマチック液晶を媒質として用いることで、鎖状、環状コロイド構造体の作成が報告されている。

本研究では、媒質としてネマチック液晶における分子配向にねじれの要素を加えたコレステリック液晶を用い、粒子間の相互作用を観測した。蛍光共焦点偏光顕微鏡観察により、ネマチック液晶では見られない新たな種類の欠陥が粒子近傍に誘起されていることが分かった。三次元構造解析により、粒子は上下どちらに欠陥があるかで見え方が異なる。これらの粒子が交互につながった鎖状構造体が自発的に形成されている様子が見られた。(図1) また、粒子間距離 R の時間変

化(図2)から相互作用力を求めた。その結果、粒子間にネマチックの場合とは異なる相互作用が働くことが確認できた。

[1] V. M. Pergamenschchik and V. A. Uzunova, *Cond. Matt. Phys.* 13, 33602 (2010).

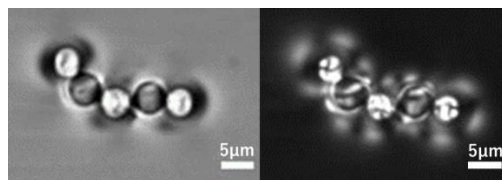


図1：5粒子からなる構造体の偏光顕微鏡による観察画像(左:パラレルニコル,右:クロスニコル)

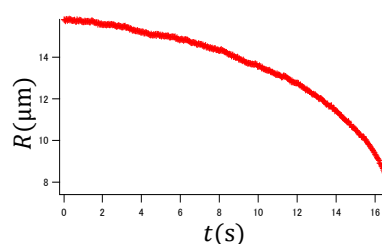


図2：粒子間力が引力の場合の粒子間距離 R の時間 t 依存性

D-8 双子型井戸中のバクテリアの分子動力学シミュレーション

九大院理^A 金子甲二郎^A, 福田順一^A

濃厚バクテリア溶液中では、バルク領域において特徴的な長さスケールを持った、非定常なアクティブ乱流が生じる。そのアクティブ乱流固有の長さスケールに対応する、幾何学的な長さスケールを持った閉じ込めや周期的に配置された障害物のような領域への制約を課すと、バクテリアが移動可能な領域で安定した渦が発生することが確認されている [1, 2]。

本研究は二つの円を部分的に重ね合わせた井戸中における、バクテリアの集団的な運動を分子動力学シミュレーションによって調べるものである。バクテリア集団を排除体積的に相互作用する自己駆動する棒の集まりとしてモデル化し、バクテリア固有の性質や閉じ込めが持つ幾何学的性質を変化させた際に生じる集団的な振る舞いの変化を調べた。

系を特徴づけるパラメータは、棒状粒子に関してはその長さに対応するアスペクト比 a 、棒状粒子同士や壁との間の排除体積的相互作用の強さを表す相互作用ポテンシャルの大きさ U_0 、系全体に関しては領域の大きさを表す二つの円の半径 R 、二つの円の中心間距離 Δ 、粒子の密度に対応する面積分率 ϕ である。これらを変化させ、複雑な形状の領域に棒状粒子を閉じ込めた時の粒子集団の定性的な振る舞いを調べた。

排除体積相互作用が強く粒子同士の部分的な重なりが全く許されない時は、面積分率 $\phi = 0.30$ 程度の中程度の密度であっても粒子の運動が強く抑制され、ジャミング的な振る舞いが顕著に見られた。一方で排除体積相互作用が弱く粒子同士がすれ違える程度の時は、壁近傍であり動かない局所的な凝集と粒子が疎な領域が形成され、しばらくすると粒子が分散していき一時的な全体での粒子流が生じるという過渡的な振る舞いが見られた。これらの結果は、閉じ込めによる領域の制限が単に渦的な振る舞いを安定させるだけではなく、棒状粒子のジャミングや凝集を誘起する効果を持つことを示している。

[1] H. Wioland *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* 110, 268102 (2013).

[2] K. Beppu *et al.*, *Soft Matter* 13, 5038 (2017).

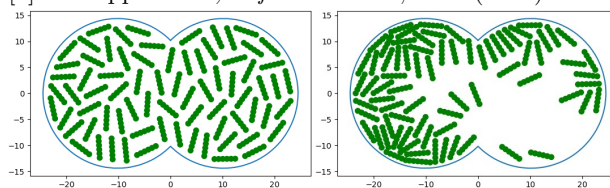


図1. 自己駆動する棒状粒子間の、排除体積的相互作用の強さに応じて生じるジャミングと凝集

D-9

アクティブコロイド粒子の集団運動

九州大学理学府^A, 九州大学理学研究院^B 井出健一郎^A, 齊藤圭太^A, 小林史明^B, 木村康之^B

絶縁体球コロイド粒子を導電性の溶媒中に分散させ、ある閾値以上の直流電場を印加すると電場と垂直な方向を軸としてランダムな向きに一定速度で転がる。この回転粒子をクインケ粒子と呼び、その粒子の速度が電場強度により制御可能であるため、その集団運動が研究されてきた [1]。

我々は AOT - ヘキサデカン溶液中に分散した PMMA 粒子に矩形波を印加したところ、粒子の体積分率低い等方相で、一般的に知られている直線的な運動 [2] でなく、図のような螺旋運動を示すことが分かった。また、粒子の体積分率が高い相では集団運動を示し、渦のような運動が発現した。これらの運動の詳細について報告する。

[1] Z. T. Liu, et al., Proc. Natl. Acad. Sci. USA., **118**, e2104724118, 2021.

[2] Z. Zhang, H. Yuan, Y. Dou, M. O. de la Cruz and K. J. M. Bishop, Phys. Rev. Lett., **126**, 258001, 2021.

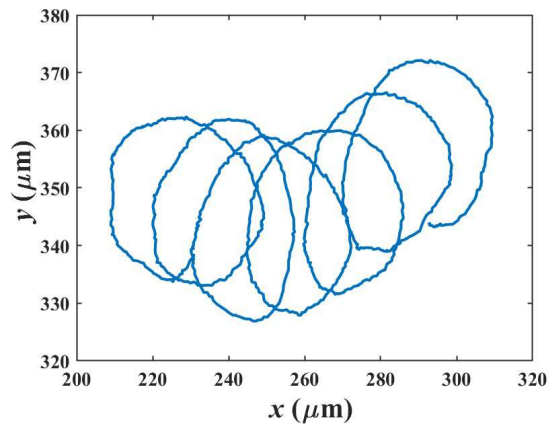


図: PMMAクインケ粒子の20秒間の軌跡。
 $E = 1.8 \text{ V}/\mu\text{m}$, $f = 0.01 \text{ Hz}$.

D-10

バクテリアのキラルエッジカレントを記述する連続体理論

九大院理^A 松清洋輝^A, 福田順一^A

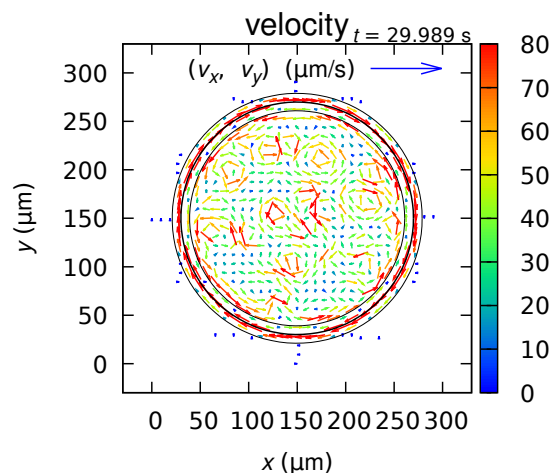
キラルなアクティブマターの研究が、近年活発に行われている。文献 (1) では、上下の壁面の材質が異なる円柱容器にバクテリア集団を閉じ込め、キラルエッジカレントを実験的に実現している。我々は、このキラルエッジカレントを実現するミニマルな連続体モデルの提案を試みる。シミュレーションの結果、円形領域の内部では無秩序な速度場を、また、バクテリア流体と容器との境界付近では向きが揃った速度場 (エッジカレント) を実現することができた。また、まだ計算のサンプル数は多くはないが、キラル応力テンソルの係数の符号により、エッジカレントの向きを制御できることがわかった。今後さらにサンプル数を増やし、統計的な議論を行うつもりである。

【参考文献】

(1) Beppu, Kazusa, et al. "Edge current and pairing order transition in chiral bacterial vortices." Proceedings of the National Academy of Sciences 118.39 (2021): e2107461118.

(2) Wensink, Henricus H., et al. "Meso-scale

turbulence in living fluids." Proceedings of the national academy of sciences 109.36 (2012): 14308-14313.



D-11

水中で自走するコレステリック液晶液滴の運動

九州大学大学院理学府^A, 九州大学大学院理学研究院^B 津田健吾^A, 齊藤圭太^A, 木村康之^B

界面活性剤溶液中に液晶液滴を分散させると、液滴はマランゴニ対流によって駆動されて、溶液中を複雑な軌道を描いて自走することが近年報告されている。例えば、コレステリック液晶液滴では、キラリティーが高い系での特徴的な運動がこれまで報告されている [1] が、本研究ではキラリティーが低い系を用いてネマチック液晶液滴の運動との差異に注目し、その自発的な運動を調べた。実験には、ネマチック液晶にキラリ剤を添加したコレステリック液晶を用い、キラリティーとサイズの両方を変化させつつ運動モードの変化を調べた。その結果、液晶液滴の溶解に伴い、(1) 液滴サイズが時間とともに単調に減少すること、(2) サイズの減少に伴い、ランダム運動、らせん運動、直線運動と運動モードが変化することがわかった。ことに中程度のサイズの液滴は、図 1 に示すようならせん運動を行う。この際の液滴の平均二乗変位 (MSD) の時間変化を図 2 に示す。MSD は短時間、長時間ともに経過時間 t の二乗に比例し、中間の時間領域ではらせん運動に対応した振動が現れた。初期のキラリ剤の仕込み濃度による運動モードの変化についても発表では議論する。 [1] T. Yamamoto and M. Sano, *Soft Matter* **13**, 3328 (2017).

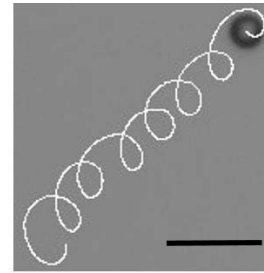


図1 コレステリック液晶液滴の二次元軌跡(スケールバー $30\mu\text{m}$)

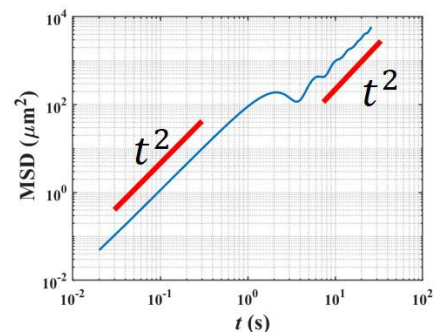


図2 平均二乗変位(MSD)の時間 t 依存性

D-12

金属絶縁体ヤヌス粒子の電場応答

九大院理^A 橋本明伸^A, 齊藤圭太^A, 小林史明^A, 木村康之^A

ヤヌス粒子は外場のもとで自己組織化し、集団運動することが知られている。例えば、交流電場のもとでは、導体-誘電体ヤヌス粒子はその非対称性によって、誘導電荷電気泳動 (ICEP) 力と自己誘電泳動 (sDEP) 力という作用方向が反対の2つの駆動力を受ける。

本研究では1粒子の運動に着目し、シリカ粒子の半面にクロム薄膜を蒸着したヤヌス粒子を用いて、その並進速度の周波数依存性を調べた。その結果、図に示すように周波数に依存して誘電体面を前にして進む運動 (図の正の速度) と、導体面を前にして進む運動 (図の負の速度) が見られ、ICEP 力と sDEP 力とのバランスにより駆動方向が切り替わることがわかった。さらに粒径が異なる4種類のヤヌス粒子を用い、粒径による駆動力の違いを調べた。

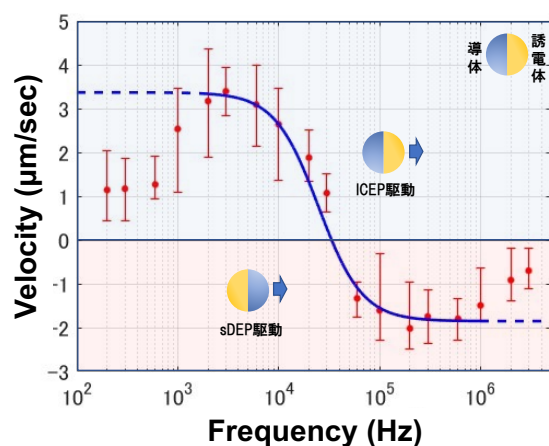


図: ヤヌス粒子($3\mu\text{m}$)の自己推進速度の周波数依存性 (曲線は理論式の最適あてはめ曲線を示す)

D-13 複雑流体中でのアクティブコロイドの運動

九大理^A, 九大院理^B 河野龍之介^A, 齋藤圭太^B, 小林史明^B, 木村康之^B

自己駆動する物体は自然界のいたるところに存在しており、アクティブマターと総称され、それらの集団運動は非平衡物理の対象として注目を集めている。自己駆動粒子のモデルであるヤヌス粒子を粘弾性溶液中で光駆動させると、並進速度に依存して運動モードが変化することが報告されている [1]。今回我々はシリカ粒子の半面をクロムでコーティングした電場駆動ヤヌス粒子を作成し、粘弾性溶液であるポリエチレンオキシド水溶液中で電圧を変化させて、その運動を調べた。その結果、低電圧下では図 (a) のように粒子は直線運動をするのに対し、高電圧下では図 (b) のように円運動をすることを確認した。発表では、水中と粘弾性溶液中での粒子の運動変化について定量的に議論する。

[1] N. Narinder, C. Bechinger and J.R. Gomez-Solano, Phys. Rev. Lett. **121**, 078003 (2018).

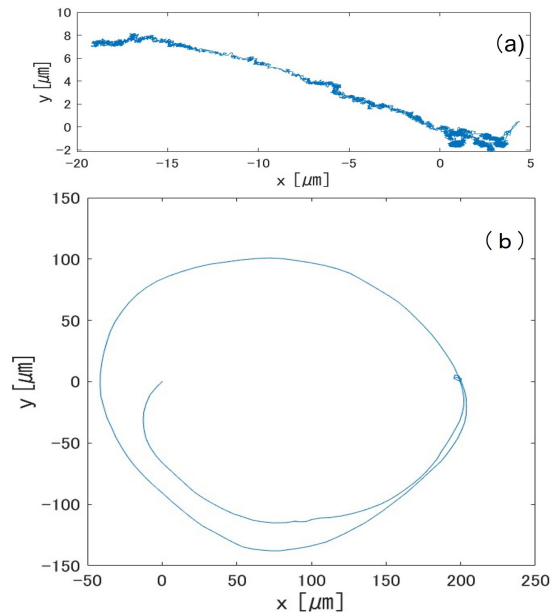


図:ヤヌス粒子の軌跡.
(a)10Vpp,(b)24Vpp

D-14 微生物が遊走する高分子・コロイド懸濁系の非平衡ダイナミクス

九州大学理学部^A, 九州大学大学院理学府^B, 九州大学大学院理学研究院^C 安部共法^A, 濱田啓聖^B, 杉野裕次郎^B, 江端宏之^C, 水野大介^C

斥力相互作用するコロイド粒子を分散させた懸濁液では、体積分率の上昇に伴い粘性率が急激に上昇しガラス化をする。最近、細胞質も組み合わせによりガラス形成することが示唆されたが、細胞質内の生体分子や小器官の間には引力も働くために、実際にはガラス性とゲル性が区別できない状態で動力学が凍結すると考えられる。細胞内では、モーターたんぱく質などによる非平衡な駆動力によって、この凍結状態が流動化しているが、その物理的な実態はよく分かっていない。

そこで本研究では、斥力相互作用する大腸菌の濃厚懸濁液に、枯渇相互作用を及ぼす高分子 (ポリエチレングリコール: PEG) を加えた試料を作製し、引力相互作用が系の揺らぎとレオロジーに及ぼす効果を観察した。まず、遊走しない大腸菌 ($\phi \sim 20\%$) に 4% の PEG を加えると、粘性が少なくとも 100 倍以上増大して実質的に固化した (図

1)。大腸菌を遊走する株に変更すると、PEG 無しの試料では生体乱流状態が観測された (図 2 上)。他方、枯渇剤としての PEG を加えた試料では揺らぎが乱流状態に比べて減少したものの、十分に顕微鏡観察可能な程度の揺らぎが維持され、試料が流動状態にあることが確認された。

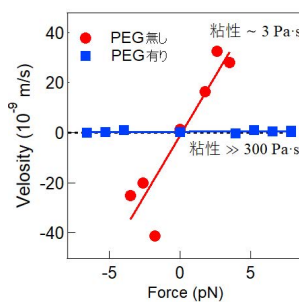


図1 遊走しない大腸菌懸濁液における牽引力-速度関係

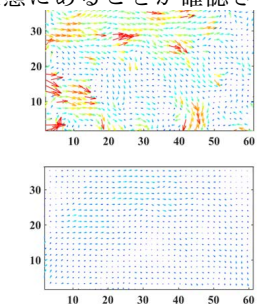


図2 遊走大腸菌懸濁液のPIV(速度分布) PEG無し(上図)とPEG有(下図)

D-15

少数モードの相互作用により生じる弱い乱流のダイナミクス

九大工^A 田辺蒼龍^A, 岩木雅浩^A, 岡部弘高^A, 河野真也^A, 原一広^A, 日高芳樹^A

少数モードの相互作用により生じる弱い乱流のダイナミクス
九大工 田辺蒼龍, 岩木雅浩, 岡部弘高, 河野真也, 原一広, 日高芳樹

垂直配向したネマチック液晶系において電気対流が生じると、局所的なロール構造を保ちつつ大局的にゆるやかに乱れる「ソフトモード乱流」が現れる。ソフトモード乱流は、少数の遅いモードの相互作用によって生じる「弱い乱流」の一種であり、ある範囲のすべてのモードが関与する発達乱流とも、1つのモードが熱的に揺らぐ熱平衡系とも異なっている。ソフトモード乱流は、対流と液晶配向の相互作用によって生じるが、相互作用の違いによって「ノーマルロール」(図1)と「オブリクロール」(図2)という2つの状態が存在する。これらの空

間構造の違いは定量化されているが、ダイナミクスの違いは定量化できていなかった。本研究は、対流パターンの動的画像解析によって、ノーマルロールとオブリクロールのダイナミクスの違いを定量化することを目的とする。ダイナミクスの特徴は、弱い乱流による乱流輸送を解明するために重要である。

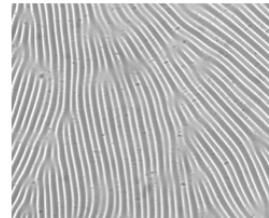


図1 ノーマルロール

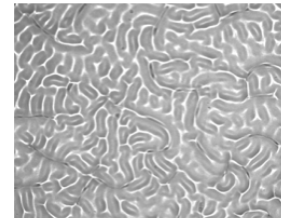


図2 オブリクロール

D-16

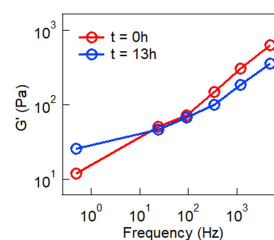
代謝抑制が誘導する細胞質粘弾性のエイジング現象

九州大学理学部^A, 九州大学大学院理学研究院^B 田尾優樹^A, 江端宏之^B, 水野大介^B

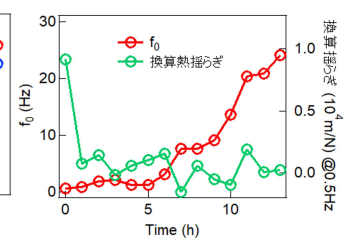
細胞質は多種の細胞小器官やその他の高分子により、ガラス化するほど高濃度に混み合っているが、代謝により力学的に駆動されると液体的な性質を示す。代謝をとまなわな一般的ガラス形成物質では、エイジングによりその粘弾性が時間とともに上昇することが多い。しかし、代謝を阻害した細胞質の粘弾性が経時変化してガラス転移を迎える過程には不明な部分が多い。

本研究では、薬剤を用いた ATP 枯渇により代謝を阻害した細胞のマクロレオロジー計測を行い、その細胞質粘弾性の経時変化を測定した。薬剤添加前の貯蔵弾性率 G' は周波数の 0.5 乗に比例するガラス転移点直上の組み合わせ系に特有の粘弾性緩和挙動を示したのに対して、薬剤添加後では低周波帯の G' が上昇してガラス化していた(左図)。この周波数依存性を $G' = A(f_0^{0.5} + f^{0.5})$ であてはめることで、弾性領域へのクロスオーバー周波数 f_0 が得られる。右図に示す通り、 f_0

は時間経過にともない徐々に高い周波数帯へ移行し、弾性的な領域が広がることが分かった。一方で、非熱的な揺らぎの大きさは、薬剤添加後急激に低下した(右図)。以上の結果は、薬剤添加後の細胞内では、急速に代謝が阻害されることを示し、その後の徐々に進行する粘弾性の変化がガラス転移にともなう物理的なエイジング現象に由来することを示唆している。



左図: 貯蔵弾性率の周波数依存性



右図: クロスオーバー周波数と換算揺らぎの時間変化