
会場 D

領域 12

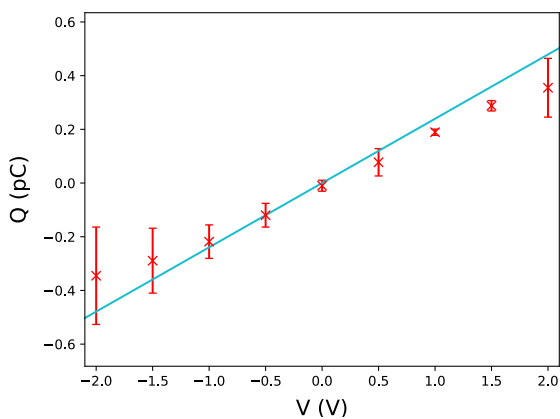
D-1 気相中に放出された水滴の帯電現象

九州工業大学情報工学府^A, 九州工業大学情報工学研究院^B 塩谷亮太^A, 植松祐輝^B

細い管の先端(チップ)の電位を制御しながら水滴を滴下することで、チップの電位に応じて水滴が帯電し、電荷をもつことが知られている¹⁾。そこで、本研究では金属のチップを用いてその電位を変化させながら水滴の滴下実験を行った結果として、チップの電位と水滴の電荷量の関係性について報告する。静電遮蔽した金属のチップに電圧をかけた状態で、1mMのKCl水溶液を水滴として静電遮蔽された金属容器に滴下し、水滴によって生じた電流から電荷量を算出した。この滴下実験を-2Vから+2Vまでの範囲において0.5V刻みでそれぞれ電圧を変化させて行った。得られた実験結果を右図に示す。水滴の電荷量を Q とし、水滴の静電容量を C 、チップの電位を V とした際の $Q=CV$ の直線と比べると、実験で得られたデータはこの直線とある程度一致していることがわかった。このことから、水滴の静電容量とチップの電位が明らかとなっていれば、水滴の電荷量を予測することが可能で

はないかと考えられる。

1). 織笠桂太郎. 水滴による標準電荷量の設定について. 室蘭工業大学研究報告. 理工編 7(2), 417-427, 1971-09-15 室蘭工業大学



D-2

水性電解質における粘性の温度及び濃度依存性と粘性流動機構

大分高専^A, 熊大院先端科学^B 池田昌弘^A, 安仁屋勝^B

電解質研究において、固体電解質では構造や界面での反応機構¹⁾, 液体電解質ではイオン間の相関や溶媒和²⁾, 極低温環境下での凍結性の問題など³⁾, 基礎物性の理解が重要である。その中でも、液体における粘性は内部摩擦を伴う散逸機構に関わる最も基本的な物理量であり、ガラス形成過程にある過冷却液体を理解する上でも重要な物性である。

我々は、粘性の温度依存性に対する結合強度・配位数揺らぎ (BSCNF) モデルを提案しており^{4,5)}, これまでに様々なガラス形成物質における温度低下に伴う構造緩和の微視的機構を調べてきた。このモデルによると、ガラス物質を形成する要素間の結合エネルギーの平均値に加えて、揺らぎが重要であることが示唆されている。また、我々の最近の試みの中で、この BSCNF モデルは、濃度依存性についても議論できる可能性が出てきた。そこで本研究は、水性電解質で系統的に調べられている粘性の温度及び濃度依存性に対する実験的挙動について、BSCNF モデルの観点から統一的に理解できるかを検証する。講演では、その結果を報告する。

- 1) K. Funke, Sci. Technol. Adv. Mater. 14 (2013) 043502.
- 2) M. Ikeda, M. Aniya, Key. Eng. Mater. 861 (2020) 264.
- 3) L. Jiang, et al., Nano Res. Energ. 1 (2022) 9120003.
- 4) M. Aniya, J. Therm. Anal. Calorim. 69 (2002) 971.
- 5) M. Ikeda, M. Aniya, J. Non-Cryst. Solids 371-372 (2013) 53.

D-3

ネマチック液晶の電気対流シミュレーション

九大院理^A 藤原智仁^A, 福田順一^A

液晶テレビなどに用いられているネマチック液晶において、「ソリトン」と呼ばれる粒子性を持ったパルス状の波が安定に発生し、伝搬・停止・伝搬方向などの運動状態を能動的に制御できることを明らかになった [1]。上の研究ではダイナミックな液晶ソリトンを誘電異方性と導電異方性の符号と電気伝導度の大きさを制御することで発生させることに成功しており、ソリトンの発生には以下で説明するフレクソエレクトリック効果による電気流体力学的不安定性が重要であると推測されている。

一般にネマチック液晶の電場応答は印加電場の 2 乗に比例するため電場の極性は関係ない。これはネマチック液晶分子は頭と尻尾の区別がつかないため双極子モーメントが打ち消されるからである。しかし配向歪が生じた際に頭と尻尾の方向が揃った場合双極子モーメントが打ち消されず分極として認識される。そうするとネマチック液晶でありながら電場の極性に応答するようになる。これをフレクソエレクトリック効果という

そこで本研究では先行研究 [2] を参考にし、フレクソエレクトリック効果を取り入れ、図 1 のようなモデルに交流電場をかけた際の配向ベクトルと流れ場のシミュレーションを行った。その結果、電気流体力学的不安定性が生じることを確認できた。本講演ではシミュレーション結果とその考察について発表する。

- [1] Nature Communication 11, Article number: 3248 (2020)
- [2] J. Phys. France 49, 1875-1899 (1988)

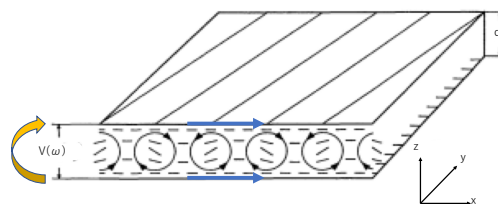


図 1 研究のジオメトリ-z 軸方向に交流電場が印加されており、界面で配向が x 軸方向に固定されている。

D-4 Lagrangian カオスによる乱流拡散

九大工^A 三谷雅^A, 河野真也^A, 岡部弘高^A, 石田謙司^A, 日高芳樹^A

対流系において、局所的な秩序と大局的な無秩序が共存する現象を「弱い乱流」と言い、液晶電気対流では系の対称性の違いによって「欠陥乱流」と「ソフトモード乱流」が現れる。これらに対し混入した微粒子の運動によって Lagrangian カオスが観測されてきた [1,2]。

Lagrangian カオスによる拡散の性質解明には「粗視化拡散係数 [1,3]」が有用である。欠陥乱流とソフトモード乱流は、対流構造はまったく異なるにも関わらず、粗視化拡散係数には共通した振る舞いが見られる [1,2]。その振る舞いの発生機構を解明するために、対流系の Lagrangian カオスの最も基本的なモデルであり、一方向に並んだロール状対流構造が同じ向きに同じ振幅・位相で振動する「振動 Benard 対流 [3]」における粗視化拡散係数を調べた。振動 Benard 対流における 1 つの流体粒子の軌道を数値計算し、そこから得られた粗視化拡散係数が対流系のどのような振る舞いと対応しているかを考察する。

[1] M. Suzuki, T. Narumi, Y. Hidaka, *et al.*: Phys. Rev. E **88**, 042147 (2013).

[2] K. Yamanaka, T. Narumi, Y. Hidaka, *et al.*: Fluids **3**, 99 (2018).

[3] T. H. Solomon and J. P. Gollub: Phys. Rev. A **38**, 6280 (1988).

D-5 境界存在下でバクテリア乱流が示すエッジカレントの振動について

九大院理^A 松清洋輝^A, 福田順一^A

バクテリアは、アクティブマターのモデル生物としてよく研究されている。特に高濃度のバクテリア懸濁液が示す時空カオス的な振る舞いはバクテリア乱流と呼ばれ、特徴的な渦サイズを持つなど、古典的な乱流とは異なる特徴を持つ現象として近年注目を集めている。このバクテリア懸濁液を容器に閉じ込めることによってバクテリア乱流のカオス的な振る舞いを制御しようという研究が多く行われており、その際エッジカレントと呼ばれる、境界に沿うように泳ぐバクテリアの運動が重要であることがいくつかの実験において指摘されている (文献 (1), (2) など)。一方で、バクテリア乱流の振る舞いを記述する連続体方程式である Toner-Tu-Swift-Hohenberg (TTSH) 方程式 (文献 (3)) の、境界存在下でのシミュレーションはいくつかの先行研究において行われているが、いずれも non-slip 境界条件を用いたものであり、上に述べたエッジカレントを実現できていなかった。そこで本研究では、slip 境界条件下での TTSH 方程式のシミュレーション手法を開発し、境界条件がバクテリア乱流のダイナミクスに及ぼす影響を調べた。シミュレーションの結果、エッジカレントを実現することができ、さらにエッジカレントの向きが時間的に振動することを発見した。円形容器、平行な二つの壁、円形障害物の 3 通りのジオメトリのもとでシミュレーションを行い、それらのいずれでもエッジカレントの向きが振動することを確認した。さらに、エッジカレント振動の振動数について、移流の強さ、容器の半径、すべり境界条件のずり係数への依存性を調べた。

[参考文献]

(1) Wioland, Hugo, *et al.*, Nature physics **12.4** (2016): 341-345.

(2) Beppu, Kazusa, *et al.*, PNAS **118.39** (2021): e2107461118.

(3) Wensink, Henricus H., *et al.*, PNAS **109.36** (2012): 14308-14313.

D-6

曲がった形状の領域内の自己駆動棒の数値シミュレーション

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、非定常で無秩序な渦運動が見られる。この渦運動は特徴的な長さスケールを有しており、アクティブ乱流と呼ばれている。一方、閉じ込めや障害物といった領域の制約を導入すると、バクテリアは境界付近とバルクでは異なった振る舞いを示す。アクティブ乱流固有の長さスケールに対応するような幾何学的な長さスケールを持った閉じ込めや障害物の導入を行うことで、定常的な渦運動を取り出せることが確認されている [1,2]。

本研究は、分子動力的シミュレーションを用いて、秩序的な渦運動のメカニズムの解明と曲がった境界のある領域内のバクテリアのダイナミクスの理解を目指すものである。バクテリアが互いに配向する性質や境界付近で壁と平行に向きを揃える性質を実現するために、我々はバクテリアを、排除体積を有する自己駆動棒としてモデル化した。このモデルを用いて、閉じ込めがある状況 (図1) と障害物が存在する状況 (図2) における数値シミュレーションを行った。

我々は、(1) 相互作用の性質、(2) 自己駆動棒の形状、(3) 幾何学的な条件を変化させた時の自己駆動棒の集団的な振る舞いの変化について調べた。閉じ込めを行った際は、境界近

傍で垂直に配向し動かなくなるクラスターの形成が見られた (図1)。このようなスタックしたクラスターは、自己駆動棒が互いに重なり合えるような状況を除いて普遍的に見られた。円形の障害物がある時は、十分に長い自己駆動棒で形成される同じ向きに配向したクラスターが障害物にぶつかり、障害物周りを循環する流れを生み出すことを確認した (図2)。これらの結果は、次元性や非等方的な相互作用が、曲がった境界のある領域における自己駆動棒のダイナミクスに重要な役割を果たしていることを示唆している。

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

[2] Nishiguchi, D. et al., *Nat. Commun.* **9**, 4486 (2018).

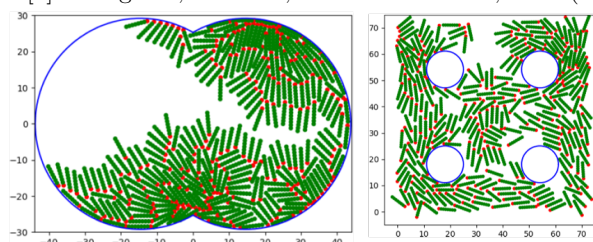


図1: 境界付近での垂直に配向したクラスター形成 図2: 円柱周りの過渡的な循環運動

D-7

ガラスにおける異常散逸とアクティブ流動化の数値的研究

九州大学大学院理学府^A, 九州大学大学院理学研究院^B 新垣亮宗^A, 江端宏之^B, 水野大介^B

エマルジョンや泡などの軟体球コロイドが乱雑に配置された濃厚懸濁液では、特定の周波数域で複素弾性率 $G^*(\omega)$ の実部 $G'(\omega)$ と虚部 $G''(\omega)$ に異常散逸 ($G'(\omega) \propto \omega^0, G''(\omega) \propto \omega^{0.5}$) が見られる。その性質はコロイド同士のスリップに起因する。また理論的には、2次元の円形ディスクを敷き詰めたジャミング系において、同様に $G^*(\omega) \propto \omega^{0.5}$ となることが示されているが、現実系では熱揺らぎや非熱揺らぎが存在していることからそれらも考慮して理解する必要がある。本研究では、数値シミュレーションを用いてジャミング系に熱揺らぎを加えたときと、非熱揺らぎを加えたときの動的レオロジーを調べた。図1、図2が熱揺らぎを加えたときの $G'(\omega), G''(\omega)$ であり、熱揺らぎが小さくなるほど熱の効果を見捨てたジャミング系に近づくため、 $G''(\omega) \propto \omega^{0.5}$ が広い周波数帯で見られる。他方で、ジャ

ミング系に非熱揺らぎを印加した非平衡系では、多くの場合ジャミング臨界点の性質 $G^*(\omega) \propto \omega^{0.5}$ が観測されてきた。当日は、対応する非平衡系の数値解析についても議論する。

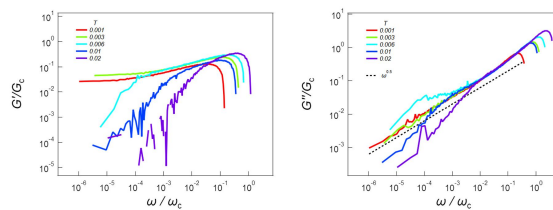


図1 G' の温度依存性

図2 G'' の温度依存性

◎◎◎◎◎◎◎

D-8 ATP 枯渇細胞の細胞質メカニクス

九大院理^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

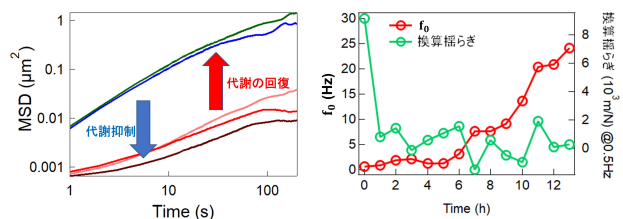
細胞質は細胞小器官やその他の高分子によりガラス化するほど高濃度に混み合っているが、生細胞内部では代謝による能動的な駆動力によって流動化されている。代謝を抑制した生細胞の細胞質は低周波域 (0.1~10 Hz) の弾性が上昇して固化するが、そのメカニズムは不明である。

本研究では、細胞内の ATP を枯渇させることで代謝を抑制した細胞のマイクロレオロジー計測を行い、ゆらぎと粘弾性の経時変化を測定した。ATP 枯渇を誘導する薬剤投与後、細胞内のゆらぎは低下する一方、弾性は数時間遅れて生じた。この結果は、ATP 枯渇に伴う駆動力の低下により、弾性領域が徐々に拡大することを示唆している。

さらに、ATP 枯渇下の計測に用いた細胞を通常の栄養培地に戻したところ、細胞質の揺らぎは速やかに回復した。これは、代謝抑制による細胞質の固化は、細胞死や細胞骨格の架

橋等の不可逆的な変化ではなく、駆動力の喪失に起因する可逆な現象 (ガラスのエージング) であることを示している。

講演では、以上の結果を踏まえて生細胞内部の揺らぎと細胞質粘弾性について議論する。



D-9 細胞形態テンソルを用いた2種細胞組織の相分離の研究

九州大学理学府物理学専攻^A 山脇郁也^A, 福田順一^A

私たち人間のような多細胞生物の体を形成する細胞は、その発生過程で「細胞選別」と呼ばれる過程を経る。例えば、2つの異なる種類の細胞を混合して培養すると、同じ種類の細胞が集まり、相分離が起こることが知られている。

細胞の相分離を調べるための理論的研究が行われ、そのダイナミクスは流体系のものとして扱われることが多い (例えば、Hohenberg と Halperin の命名法ではモデル H[1])。しかし、表皮組織のように形状を維持する細胞を含む組織を、単純な流体系とみなして妥当かどうかは明らかではない。また、細胞の形状 (ミクロ) と組織の挙動 (マクロ) の関係を明らかにするための実験技術やデータ解析技術は開発されているが、その根底にあるメカニズムの理解はまだ不十分である。

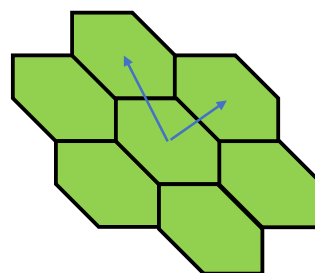
本研究の目的は、細胞の形状が細胞選別と細胞相分離における組織の挙動にどのように影響するかを明らかにすることである。ここでは、細胞組織の解析に使われ、細胞の変形を扱うことができる細胞形態テンソル [2] と呼ばれる流体力学的変数を細胞相分離モデルに組み込むことを検討する。これは、変形可能な細胞が接着して組織を形成する表現に適して

おり、細胞の形状と密度に関する情報を含んでいる。発表では、シミュレーション結果と考察について詳しく述べる。

References

- [1] Hohenberg, P. C., Halperin, B. I. Reviews of Modern Physics, 49(3), 435.(1977)
- [2] S. Ishihara et al., Phys. Rev. E 96, 022418 (2017)

図1: 細胞形態テンソル



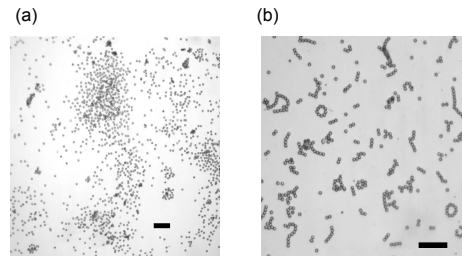
D-10 電場駆動ヤヌス粒子の集団運動

九大理^A, 九大院理^B 貞松知里^A, 橋本明伸^B, 齊藤圭太^B, 小林史明^B, 木村康之^B

バクテリアや藻類といった微小スケールの泳動体はマイクロスイマーと呼ばれ、特徴的な集団運動をすることから、近年、非平衡物理の観点からも興味を持たれている。マイクロスイマー間の相互作用や周囲の環境が変化するとそれら集団運動も変化することが期待される。しかし、生物系のマイクロスイマーは、相互作用の制御が難しいため、交流電場によりその制御が可能なヤヌス粒子を用いた実験を行った。シリカ粒子の半球を Cr でコートしたヤヌス粒子を使用し、印加する交流電場の周波数を変化させることで粒子間に働く相互作用を制御した。

実験では、高密度に分布させたヤヌス粒子に交流電場を印加し、周波数を 1kHz 100kHz まで変化させ、集団運動の様子の変化を調べた。実験の結果、低周波領域では、図 (a)

に示すように、クラスターがいくつか形成された。一方、高周波領域では、図 (b) に示すように、鎖状の集団が多く形成された。さらに、高密度ヤヌス粒子の中に Cr をコートしてないシリカ粒子を加えた不均一な環境でも実験も行った。



図：ヤヌス粒子の集団運動. スケールバーは50 μm .
交流電場の周波数：(a) 1kHz, (b) 100kHz.

D-11 交流電場駆動クインケ粒子の集団運動

九大院理^A 湯浅康雄^A, 井出健一郎^A, 小林史明^A, 木村康之^A

近年、群れの物理学としてアクティブマターの研究が盛んに行われている。その研究では、大腸菌の集団から鳥の群れなどマイクロからマクロまで多種多様な系で普遍的な原理を見出すことは目指している。本研究では、マイクロ系の典型例であるクインケ回転粒子系を取り上げ、その集団運動を調べた。クインケ粒子として絶縁体粒子を導電性溶液に分散し、閾値以上の直流電場を印加すると粒子が自発的に回転を始め、電場強度や粒子の面積分率により多種多様な集団運動を示すことが最近明らかにされた。これまでの研究では直流電場が主に用いられており、交流電場を用いた研究は少ない。本研究では矩形波電場に直流電場を加えた電場を印加する

と、粒子群がセル全体に渡り巨大な渦運動を示すことを明らかにした。講演では運動の波形依存性等の詳細を報告する。

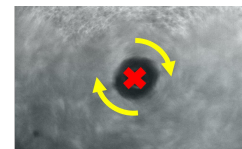
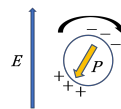


図1：クインケ粒子の回転 図2：渦の様子（黒い部分は渦の中心）

D-12

直流電場駆動クインケ粒子の構造形成

九大理^A, 九大院理^B 河野太一^A, 井出健一郎^B, 小林史明^B, 木村康之^B

近年、微生物や鳥などの生物、および自己駆動する微粒子等がアクティブマターとして活発に研究されている。従来の研究では個々の要素の運動やその集団運動が注目されてきた。一方、コロイド粒子分散系ではその内部構造により粘性などの巨視的物性が大きく変化することが知られている。

本研究では、自己駆動コロイド粒子の集団運動と分散溶液の粘性の関係を明らかにする目的で研究を行っている。具体的には、クインケ回転粒子に直流電場を印加すると、図1のように低電場では粘性の増加が、高電場では粘性の低下が観測された。本研究では、粘度の上昇時、低下時における集団運動の違いを直接観察することにより調べた。低電場では図2のようにクラスターが発生していた。一方、高電場では図3のようにランダムに運動していた。さらにクインケ回転粒子の粒子追跡によって粒子の速度を測定し、理論モデルを用いて巨視的粘性との比較を行う。

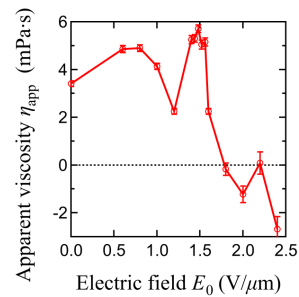


図1 体積分率1%20 μ mのPMMA粒子の粘度の電場依存性

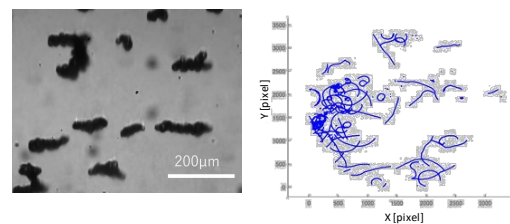


図2 せん断速度1/s
電場0.8v/ μ m印加時の液体
内部のPMMA粒子の様子

図3 電場2.0v/ μ m
印加時の液体内部
のPMMA粒子の軌跡