

会場 D

領域 12, 13

D-1 液晶マイクロスクイマーの運動

九大院理^A 林和気^A, 植松祐輝^A, 木村康之^A

細胞や生物個体、樟脳船、アルコール液滴など自ら推進力を生み出し自律的に運動する物体およびその集団は「アクティブマター」と総称され、その運動メカニズムの統一的理解を目指した研究が近年進められている。例えば、溶液中を自己駆動する液滴系では、変形と運動の結合により液滴が様々な特徴的な運動を示すことが理論的・実験的に明らかとなっている。本研究では内部にらせん構造を持つ油滴であるコレステリック液晶液滴を界面活性剤水溶液中に分散し、その自発的な運動について研究を行った。

特に、さまざまならせん構造周期を実現して、その運動の構造依存性を調べることを目指すために、本研究ではネマチック液晶である5CBにキラル剤としてCB15を添加することでさまざまならせんピッチを実現した。図1に示すように液滴サイズとらせんピッチの比によって内部構造が変化することが観察された。また、図2に示すように液晶液滴が溶解するため、サイズが時間とともに単調減少すること、サイズの減少に伴い、運動モードが変化することが観察された。しかし、用いた系では、液晶とキラル剤の溶解速度

が異なるために、時間経過によって液滴サイズとピッチが同時に変化する。溶解速度の違いによるらせんピッチの変化を考慮に入れた液滴の運動モードの変化について報告する。

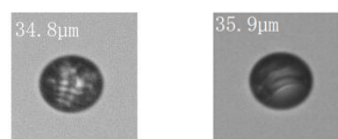


図1:コレステリック液晶液滴 (左:ピッチ7 μ m,右:ピッチ20 μ m)

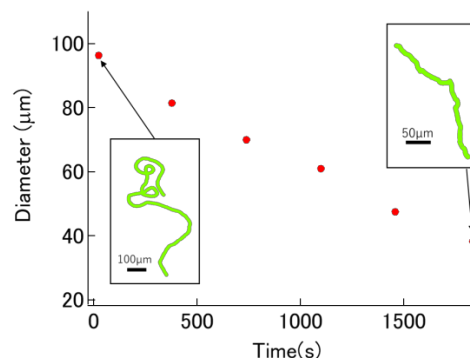


図2:液晶液滴サイズの時間変化とその軌跡

D-2

ずり場印加下における濃厚コロイド懸濁液のマイクロレオロジー

九州大学大学院理学府^A, 九州大学大学院理学研究院^B 江藤高宏^A, 荊原佳祐^A, 水野大介^B

剛体球コロイドの濃厚懸濁液は、外力印加により力学的性質が変化して多彩な流動挙動を示す。従来、系の巨視的な流動が広く研究されてきた。コロイド系の流動挙動は構成粒子の相互作用とダイナミクスに由来するため、微視的な力学応答を観測することが非線形流動の理解に繋がる。

そこで本研究では、ガラス転移近傍 ($\Phi=56\%$) のコロイド懸濁液に巨視的なずり場を印加しつつ、1粒子の易動度を測定した。その際に、ずり場印加用のピエゾに加えて、粒子追跡用ピエゾをフィードバック制御することで、激しく流動する媒質中の観測用粒子に安定的な光捕捉を印加した (図1)。

図2に示す通り、巨視的なずり場の印加に伴い個別粒子の応答に流動性が生じ、加えた力と速度が比例した (図3 拡大部分)。他方で、巨視的なずり場を印加しない場合、7pN程度の力を印加しても粒子は殆ど流動せず、30pN以上の牽引力を加えることで流動化すると、その後は顕著な粘性減少が観測された (図3)。つまり、ガラス転移点近傍の固体的な懸濁液が、巨視的なずり場の印加の下でニュートン流体となることが、個別粒子応答の微視的な計測により示された。

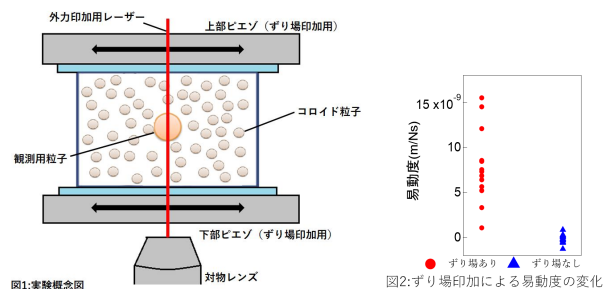


図1: 実験概念図

図2: ずり場印加による易動度の変化

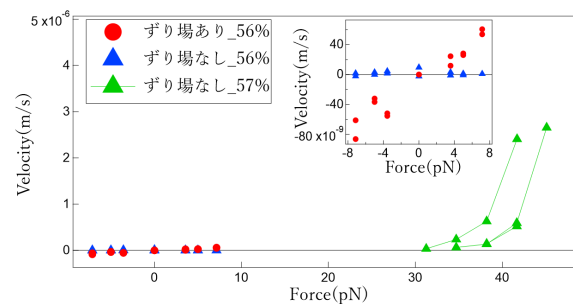


図3: 牽引力と速度の関係

D-3

局所的な力印加による濃厚コロイド懸濁液のマイクロレオロジー

九大院理^A 荊原佳祐^A, 江藤高宏^A, 水野大介^A

近年、ガラス転移点近傍の濃厚コロイド懸濁液に対して、巨視的なずり場を印加した際に非線形な粘性変化が観測されてきた。こうした非線形流動現象は、構成粒子が加えられたずり場に応答してダイナミックな構造を形成するために生じると考えられる。本研究ではこの非線形流動のメカニズムを調べるために、基本構成粒子の力学応答と外場に対する降伏挙動を直接観測した。具体的には、ガラス転移点近傍のコロイド懸濁液 ($\phi=57\%$) 中に分散させたプローブ粒子に、フィードバック制御された光捕捉力を加えつつ、揺らぎと輸送特性を観測した。粒子に印加した力が弱い範囲では、力の増加に対して速度が大きく変化しない運動が生じ、ストークス関係式から求めた周囲媒質の局所粘性は、印加する力を増加させるにしたがって増加した (thickening: 図1)。また、力を印加したプローブ粒子の周囲の粒子の揺らぎをビデオ観察した。試料が thickening を示している際には、力を印加した粒子周辺のバス粒子の熱揺らぎが減少し、動的な構造が形成されていることを確認した (図2)。

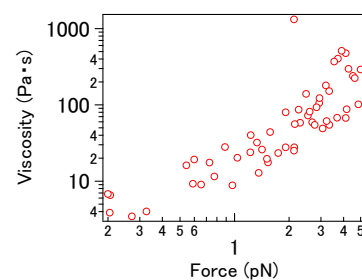
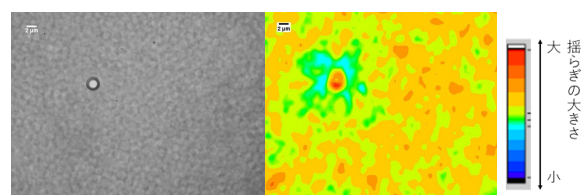


図1: 牽引力に対する粘性率の増加



2-a

2-b

図2: 試料の動画像 (2-a) の揺らぎ解析結果 (2-b)。

力を印加した粒子周辺の熱揺らぎが低下している。

D-4

差分動的顕微鏡を用いた複雑液体のダイナミクス測定

九大理^A, 九大院理^B 野見山直弥^A, 田旗栄太^A, 植松祐輝^B, 木村康之^B

近年、顕微鏡画像の時間・空間変化から動的光散乱法と等価なソフトマター流体のダイナミクスに関する情報が得られる差分動的顕微鏡 (Differential Dynamic Microscopy: DDM)[1] が開発され、さまざまな系に適用されている。DDM では、時間差 Δt で撮影された 2 画像の差分 (図 1) をフーリエ変換し、これから中間相関関数 $f(q, \Delta t)$ が計算できる。また、この方法は種々の顕微鏡法との組み合わせが可能である。例えば、蛍光 DDM を用いれば、プローブ粒子のダイナミクスに関する情報のみを抽出可能である。

今回、サブマイクロサイズの蛍光コロイド分散系に DDM を適用し、明視野 DDM との比較を行った。図 2 に蛍光 DDM と明視野 DDM で得られた拡散時間 τ の波数 q 依存性を示す。両者の結果はよく一致しており、また Einstein-Stokes 則を用いて計算した理論値 (図 2 の実線) と一致した。

当日はその他の系に適用した結果も報告する予定である。

[1] R.Cerbino and V.Trappe, Phys.Rev.Lett.**100**,188102(2008)

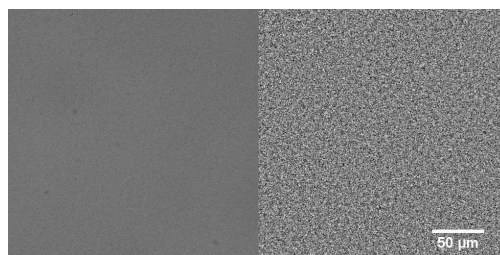


図 1.ポリスチレン球分散液(粒径500nm)の明視野像.
左)撮影した画像.
右)時間差 $\Delta t=20s$ での2画像の差分画像.

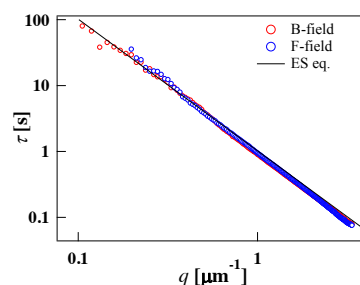


図 2.蛍光DDM(○)と明視野DDM(○)で得られた拡散時間 τ との波数 q 依存性. 実線はEinstein-Stokesの式から計算した τ を示す.

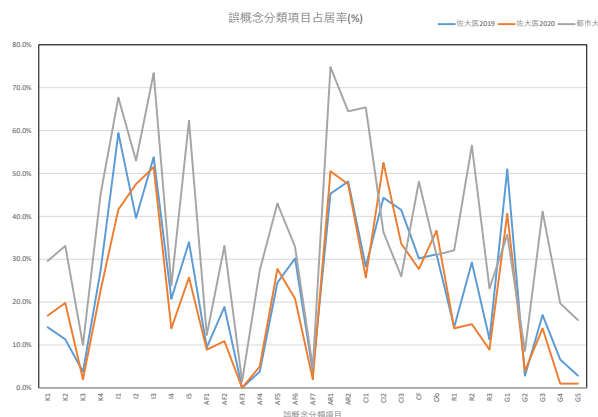
D-6

医学科学生における物理講義前後での力学概念理解度の調査 II

佐大医^A, 九州中央リハビリテーション学院^B 一ノ瀬浩幸^A, 富永広貴^A, 米ヶ田宜久^B

昨年に引き続き、国立大学の医学部医学科初年度学生に対する物理学の講義の一環として力学概念調査 (FCI) を計画していたが、今年度は新型コロナウイルス対策のため当分の間講義がオンラインで行われることになり、用紙を用いた本来の形式での FCI が実施不可能となってしまった。そのため代替策としてオンライン上に FCI の問題およびアンケート調査を構築し、これを学生にリモートで解いてもらった。昨年度の FCI とは異なる実施形態のため比較対象としてはやや条件が異なるが、参考的な指標としての利用を試みたので報告する。昨年度は全 23 回の物理学の講義の初回冒頭 (pre) と最終回冒頭 (post) に対面で調査を行ったが、今年度は本学の e-Learning システム上に構築した FCI の問題を初回講義視聴前と最終回講義視聴後に各々解いてもらう形で実施した。実施形態が異なるにも関わらず、昨年度と今年度の調査間で各設問の正答率および成績の度数分布といった基本統計量に顕著な差は認められなかった。それどころか各設問における選択肢まで同様のものを選んでおり、誤概念分類項目占居率までがほぼ同じ分布を示すという結果となった。図は、昨年

度と今年度の pre の誤概念分類項目占居率の比較である。更に物理学の試験成績と FCI との相関についても、両調査ともにほとんど相関はないという結果となった。これは調査方法が異なっても、全般の正答率は良いが誤概念分類項目占居率は他大学と同様の傾向であるといった本学の学生の特徴を表していると考えられる。



D-7 中等教育機関におけるアクティブラーニング型授業の実践

崇城大学総合教育センター^A 板橋克美^A

学習指導要領の改訂に伴い、アクティブラーニング (AL) 型の授業が中等教育機関で数多く実践されている。物理教育の分野では、学習者の陥りやすい誤概念を基に課題を設定し、その課題の解決に向けて学習者同士で討論を行う相互作用型演習実験型授業 (ILDs) などが実践されており、学習者同士の相互的な対話が誤概念の解消に向けて有効であると示されている [1, 2]。本研究は、中学校や高等学校で、力学誤概念の解消に向けたILDsを模したAL型授業を実践し、その効果を事前・事後テストから評価した。ここで、中学校ではMIF (Motion Implies Force) 誤概念を、高等学校では自由落下における誤概念を対象とした。

中学校におけるAL型授業では、斜面を上昇するときの物体にはたらく力の向きを課題として、その解決に向けた生徒同士の討論の時間を十分にとった。事前テストや授業中に、「斜面を上昇中の物体に下向きの力がはたらく」と回答した生徒は数名しかおらず、大多数は上向きと回答しており、授業終了時までには生徒の討論から結論を導くことはできなかった。それにも関わらず、事後テストでは下向きと回答した学生数が上昇した。これは、AL型授業の有効性を示すものである [3]。

次に、高等学校におけるAL型授業では、ICTを併用し、他者との考えの比較を基に深く考察させるようにした。自由落下では、物体が落ちる速度が質量に依存するというような誤概念が有名である。これに対し、空気抵抗がはたらく場合の演習実験などを取り入れつつ、課題を段階的に設定した。また、クリッカーを用いて他者との意見の違いから葛藤させることにより、誤概念の変容をさせることができた。

参考文献

- [1] Thornton, R.K., Sokoloff, D.R. (1998). Am. J. Phys., **66**, 338
- [2] 山崎敏昭他, (1998). 物理教育 **61-1**, 12, 北村貴文・谷口和成, (2020). 物理教育 **68-3**, 169.
- [3] 板橋克美 (2020). 理科教育学研究 **60-3**, 539.

D-8 宮崎大学工学基礎教育センターにおける物理教育の取り組み

宮崎大学工学教育研究部^A 前田幸重^A, 松田達郎^A, 五十嵐明則^A

本学工学部は宮崎県内唯一の工学系学部として、広い視野の教養・総合的判断力・高い専門知識を備えた技術者の養成を目指している。そこで2012年度の学部改組に際し、学部・学科等の縦割りの教学意識をより薄め、学生本位の教育活動の展開を行う意識を教員間で共有するために、所謂「教教分離」を行い、全ての教員を「工学教育研究部」に配置した。また、それまで実施されていた全学共通教育や工学部基礎教育に加え、学部として組織的な基礎教育の強化を行うため、新たに「工学基礎教育センター」を設置した。工学基礎教育センターには、数学5名・物理3名・化学1名の計9人の専任教員が配属されている。専任教員はこれらの科目の基礎教育実施を中心に、入学前教育から始まり専門教育につながる基礎教育のカリキュラムの編成と運営などに学科横断的に取り組んでいる。本学部では現在、総合型選抜により約50名の新生を合格させている。この入学生は12~2月の間に入試対策勉強をせず、継続的な学習が損なわれ、入学時の学力が不足する恐れがある。そこで学科横断的な入学前教育として、数学と物理の問題添削指導、英語の学習指導、そして物理学基礎実験体験教室の開催を行っている。入学後の学部生向け物理基礎教育として、センターの物理教員は全学基礎教育科目の「物理科学 (1年生前期必修)」と工学基礎科目の「力学」「電磁気学」「工学のための物理学」「基礎物理学実験」の計5科目の実施および取りまとめを担当している。講義を担当するだけでなく、「教員間ネットワーク」と呼ばれるFD活動を実施して、横の情報共有を図っている。また、本学学生の学修傾向の分析から、初年度の成績や自主学習習慣の獲得が卒業時の成績に大きく影響することが指摘されている。よって「物理実力テスト」を実施し、成績下位者に補習授業を行うとともに、学生の学習態度や成績の情報を学科担当教員と共有し、サポート体制の改善に活かしている。本講演では、工学基礎教育センター物理グループ教員がこれまで実施してきた取り組みについて紹介する。

D-9 銅の比熱とデバイ温度の測定

熊本大学自然科学研究科^A, 熊本大学教育学部^B, 崇城大総合教育センター^C 築出啓太^A, 岸木敬太^B, 板橋克美^C

大学の教養課程で行われる銅の比熱測定では、比熱の温度依存性は無視されている。一方、固体物理学では、デバイモデルを使って固体の格子比熱に、温度依存があることを学ぶ。固体の格子比熱はデバイ温度 θ によって特徴づけられている。室温付近の銅の比熱測定から、デバイ温度の評価を行い、理想値に近い値であることを得たので紹介する。

実験では、質量 m [g] で温度が T_0 [°C] の水が入った容器に、温度 T_1 [°C] で質量が m_C [g] の銅球を投入し、銅製のかくはん棒で水をかき混ぜながら、一定になった水温 T_2 [°C] を測定した。水の比熱を c_w [J/(g · K)], 銅の比熱を c [J/(g · K)], 銅容器の質量 m_0 [g] とすると、熱量保存の法則より

$$m_C \int_{T_2}^{T_1} c dT = m c_w (T_2 - T_1) + m_0 \int_{T_0}^{T_2} c dT \quad (1)$$

となる。温度 T がデバイ温度程度の場合、デバイモデルで得られた格子比熱 c は以下の式になる

$$c \simeq \frac{3R}{M} \left[1 - \frac{1}{20} \left(\frac{\theta}{T} \right)^2 \right] \quad (2)$$

式 (2) を式 (1) に代入することで、デバイ温度は

$$\theta = \sqrt{20} \sqrt{\frac{-(\frac{Mm}{3R} c_w + m_0)(T_0 - T_2) - m_C(T_1 - T_2)}{m_0(1/T_0 - 1/T_2) + m_C(1/T_1 - 1/T_2)}} \quad (3)$$

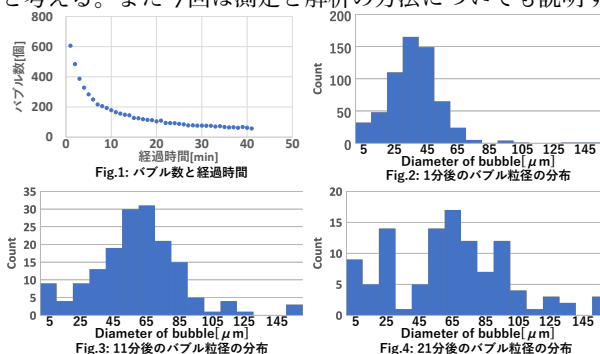
で表される。式 (3) を使ってデバイ温度を評価する。6 回の実験結果の平均値は $\theta = 357\text{K}$ であった。銅のデバイ温度は 343K であり、その値に近い結果であった。

D-10 長方形キャピラリー中のマイクロバブル分散系の粒径分布と時間変化

九大理^A, 九大院理^B 井上颯大^A, 木村康之^B, 植松祐輝^B

日常で見かける泡はミリスケールの大きさだが、近年マイクロスケールの泡を発生させる技術が進歩し、ミリバブルとは異なる特性を持つマイクロバブルが注目されている。我々は加圧溶解法によって発生させたマイクロバブルの粒径と数、またその時間変化を調べるために、バブルをキャピラリーにとり、光学顕微鏡で 40 分間観察し解析を行った。Fig.1 はバブル数の時間変化であり、Fig.2-4 は 1, 11, 21 分後のバブルの粒径分布である。これらからバブル数が減少していること、粒径のピークが移動していることがわかる。マイクロバブルは粒径によって収縮または膨張するため分布が変化したと考えられる。個々のバブル粒径の時間変化を調べ、粒径と縮小膨

張の関係を求めることで、粒径分布の時間変化を説明できると考える。また今回は測定と解析の方法についても説明する。



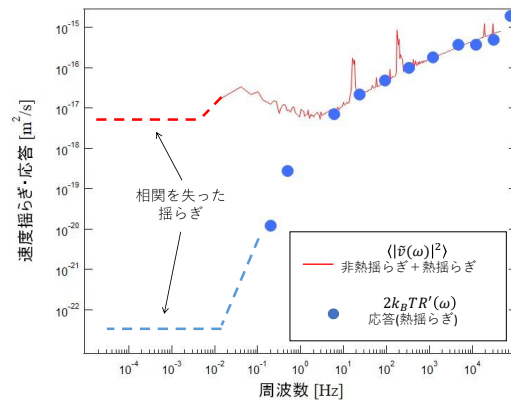
D-11

非平衡系におけるアクティブ拡散と構造緩和の測定

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 熊丸一平^A, 杉野裕次郎^B, 水野大介^C

生きた細胞の内部では、モーター蛋白質等の様々な生体高分子機械が力を生成して生理的な機能を果たしている。このような非平衡開放系では代謝活動に代表される“非平衡度”が、系の振る舞い（力学的性質）を決定する。その際に生体高分子機械による力生成が生み出す非熱的な揺らぎが、重要な役割を果たしていると考えられるが、その周波数スペクトルの意味や力学特性に与える影響は明らかになっていない。そこで本研究では、細胞内に分散させたコロイド粒子を光捕捉することで、その自発揺らぎ（速度揺らぎのパワースペクトル：赤曲線）と外場応答（易動度× $[[2k]_B T$ ：青丸）を観測し、それらの差（揺動散逸定理の破れ）として非熱的揺らぎの周波数スペクトルを求めることを試みた。その結果、非熱揺らぎが低周波数域で平坦化して相関を失うことが見いだされた。これは、ガラス的な細胞質が生体高分子機械による力生成により、構造緩和していることを示

唆する。他方で同じ周波数域で、外場応答から見積もられる熱揺らぎは顕著な異常拡散を示し、全く相関を失っていない。講演では、非熱揺らぎによる細胞質の流動化について、また周波数スペクトルについてさらに詳しく考察する。



図：細胞内に打ち込んだコロイド粒子の揺らぎと応答
 $|\bar{v}(\omega)|^2$ ：速度揺らぎのパワースペクトル R ：易動度

D-12

ホログラフィック顕微鏡を用いたコロイド分散系の3次元解析

九大院理^A 満生明輝^A, 植松祐輝^A, 木村康之^A

液体中のコロイド粒子のダイナミクスを研究するために3次元位置の追跡を行うことは非常に有用である。2次元の顕微鏡像から粒子の3次元位置を推定する方法の一つとして、ホログラフィック顕微鏡を用いた推定方法がある。ここでホログラムとは、粒子にコリメートされた光を照射して得られる散乱光と直接光の干渉パターンをさしている。これをもとに3次元光場を構築し、粒子の重心位置を推定する方法をRayleigh-Sommerfeld backpropagation(RS法)と呼び、干渉パターンに球に対する厳密解をフィッティングし、粒子の位置や粒径、屈折率を得る方法をLorenz-Mie fitting(LM法)と言う[1]。

本実験では光源にLEDやレーザーを用い、RS法で粒子の3次元位置を追跡し、LM法で粒径と粒子の屈折率を求めた。例として図にLEDを用いて撮影したホログラムとLM法によるフィッティング結果を示す。

[1] S.-H. Lee, *et al.*, Opt. Express **15**, 18275 (2007).

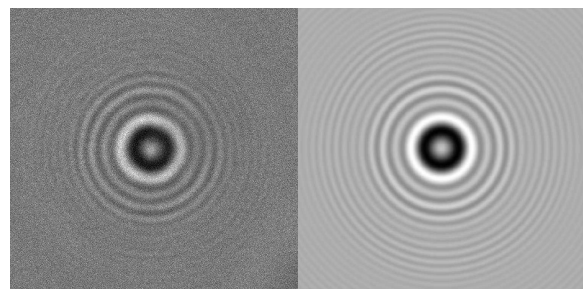


図1.規格化ホログラム
 左：測定結果 右：フィッティング結果

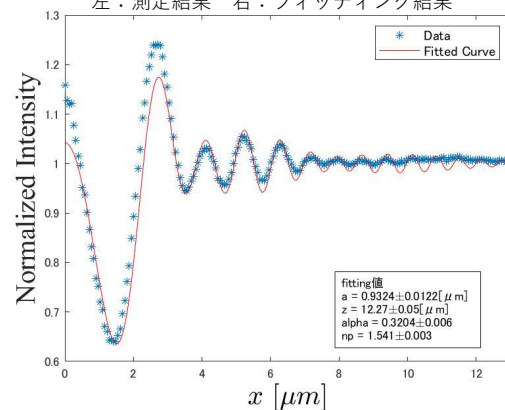


図2.強度分布とフィッティング関数

D-13

濃厚エマルジョンの広帯域マイクロレオロジー

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 松岡亮佑^A, 井口昇之^B, 水野大介^C

代謝の阻害された細胞質は生細胞濃度に近づくと急激に粘性が上昇しガラス化する。即ち、タンパク質や生体高分子の組み合わせが、細胞内部の力学特性の重要な決定因子であると考えられる。ただし、損失弾性率 $G''(\omega)$ の周波数 ω に対する依存性は、生細胞や細胞質では $G''(\omega) \propto \omega^{0.5}$ であるのに対し、単に単独の球状蛋白質 (BSA) の濃厚溶液では $G''(\omega) \propto \omega^1$ となり、両者の力学特性が異なる機構で決定されていることを示唆する (図 1)。一方、近年細胞内部には液滴の相分離構造が発見されており、表面が滑ることのできる物質の濃厚懸濁状態が、細胞質の力学特性を決定している可能性がある。

そこで、本研究では細胞内部の液滴組み合わせのモデルとして、濃厚エマルジョンでマイクロレオロジー計測を行った。図 2 に示す通り、濃厚エマルジョンにおいても損失弾性率 $G''(\omega)$ が $\omega^{0.5}$ に従うことが分かり、体積分率の上昇に伴いその周波数範囲も拡大した。しかし、用いたエマルジョンの径が μm 以上と巨大であったため、 $G''(\omega)$ が $\omega^{0.5}$ に従う範囲は細胞質 (図 1) よりも低い周波数帯

域に限定されていた。表面が滑ることのできる液滴集合体の力学特性が決定される機構の詳細は、当日議論する。

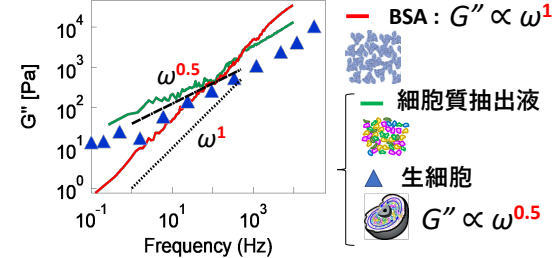


図1 BSA、細胞質における損失弾性率 $G''(\omega)$ の周波数依存性

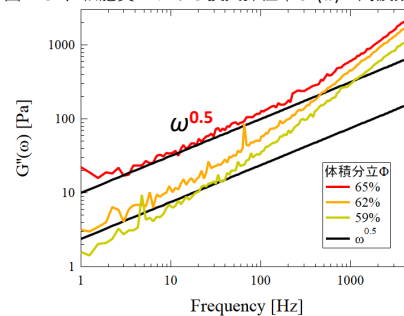


図2 濃厚エマルジョンにおける損失弾性率 $G''(\omega)$ の周波数依存性