

ソフトマターのメソスコピック界面のダイナミクスとその応用

九州大学大学院理学研究院・教授 木村康之

東京農工大学大学院生物システム応用科学府・准教授 下村武史

九州大学大学院理学研究院・助教 市川正敏

ソフトマター複合系にはさまざまなスケールでの階層的な構造が存在し、異種のソフトマターが接するメソスコピックスケールの界面が存在する典型的な複雑系である。我々はこのようなソフトマター界面の構造やダイナミクスに焦点をあて、その特徴的な物性研究ならびに応用を視野に入れた新たな材料開発および制御法の研究を進めている。本年度は、[1]光ピンセットを用いたネマチック液晶中の異なるサイズのコロイド粒子間力の直接測定およびその理論シミュレーション (A02 班 福田グループと共同研究)、[2]光ピンセットを用いたリポソームの力学測定、[3]交流電場による多成分リポソームの変形と相分離の観測等、を行ない以下の述べるような新たな知見を得ることに成功した。

1. 液晶中のコロイド粒子間力測定と理論シミュレーションとの比較[1]

昨年度に引き続き、光ピンセットを用いてネマチック液晶中のコロイド粒子間に働く液晶の弾性力を起源とする長距離相互作用の測定を行なった。本年度は特に、粒子径の異なる粒子間力に注目し、この力が図 1 に示すような粒子の配置に依存することを見出した。この現象を理解するために A02 班の福田グループと共同でさまざまな粒径を持つ粒子間での粒子間力のシミュレーションを行い、実測された粒子間力プロファイルの再現に成功した。さらに、実験、シミュレーションともに、両配置での力の差が粒子間距離 R の -4.7 乗に比例することを見だし、Lubensky らによる静電アナロジーによる予測とほぼ一致することが明らかとなった。このような粒子径の異なる粒子間の配置依存した力が、液晶中におけるコロイド粒子の高次構造形成に重要な役割を果たしていると考えられる。

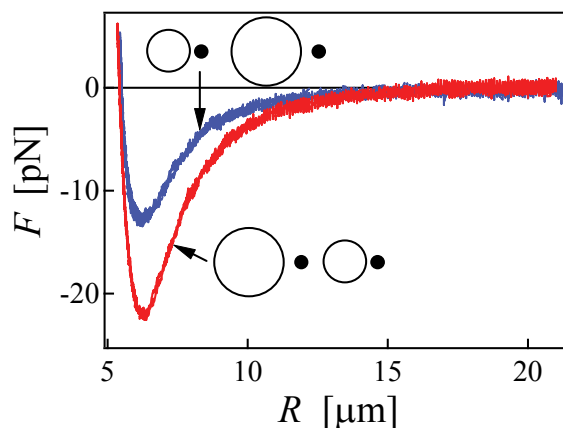


図 1. 粒子力 F の距離 R 依存性.

2. 中性-荷電脂質混合ベシクルの光ピンセットを用いた力学応答測定[2]

生体中の細胞膜は両親媒性分子であるリン脂質が水中で会合して形成される分子膜から形成されている。我々はそのモデル系として脂質 2 分子膜ベシクル (リポソーム) の力学的性質を光ピンセットにより測定した。測定には中性脂質 DOPC と荷電脂質 DOPG からなる混合脂質のリポソームを用いた。この際、リポソームに力を加え、変形に要する力を測定するためにリポソーム中に 2 個のコロイド粒子を封入し、それらを光ピンセットでトラップし操作することでリポソームに力を加え、その力を測定した。図 2 にリポソームの変形に伴ってコ

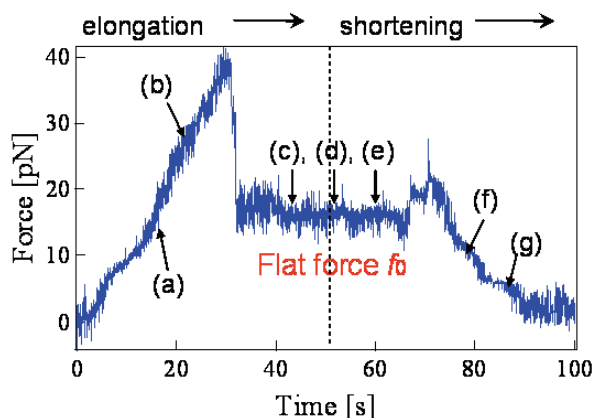


図 2. リポソームの力-変形曲線.

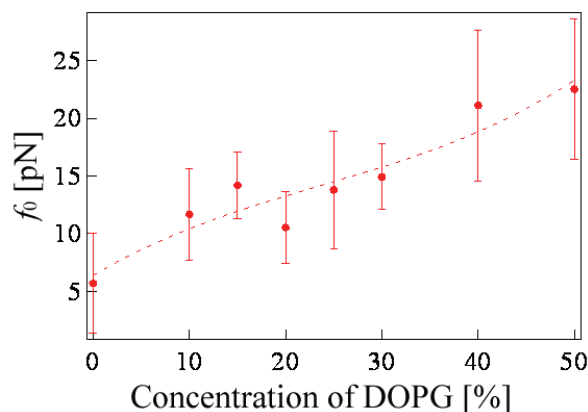


図 3. 管状部を維持する力 f_0 の濃度依存性.

ロイド粒子にかかる力の距離（時間軸は距離軸と等価）依存性を示す。

リポソームは伸張に伴い球形からレモン型に徐々に変形していくが (a → b)、この過程では変形に要する力はほぼ変形に比例して増大していく。しかし、ある力を超えると管状部分が生成し、これと同時に力は極大を取った後、急激に減少する。これ以降は管状部分の単調に伸張して行くが (c → e)、そのために要する力はほぼ一定値 f_0 を示すことがわかった。

混合膜の成分比を変え、さまざまなリポソームで測定を行なったところ、図 3 に示すように DOPG を増やしてゆくと f_0 は単調に増大することが明らかとなった。さらに、 f_0 および力曲線の初期勾配などから、曲げ弾性および表面張力などの膜の力学物性に関する情報を得ることに成功した。

3. 多成分巨大リポソームの電場変形による相構造ダイナミクス

リポソームの変形現象と膜相分離現象をカップリングさせることにより、リポソーム上に新たな相分離構造を発現させ、そしてその非平衡現象のダイナミクスを光学顕微鏡で直接観察することを目的に研究を行った。ここでは、リポソームを変形させる外力として交流電場を用いた。図 4 に示すように、周波数 100 Hz の交流電場を印加させた場合、リポソームは電場方向に変形し(図 4 (b))、その変形の度合(半径の比)は電場強度に対応して大きくなった。次に印加電場の周波数を上げて観察を行うと、ある周波数を境に変形の方法が反転し、電場と垂直方向に変形した新たな形状が現れた(図 4 (c))。この状態からさらに周波数を上げると、変形は徐々に小さくなり最終的に数 MHz まで上げると非電場下と同様の球体形状に戻ることが明らかとなった。

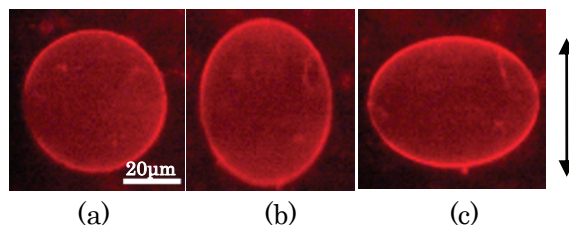


図 4. 電場によるリポソームの変形.

<参考文献>

- [1] T. Kishita, K. Takahashi, M. Ichikawa, J-I. Fukuda and Y. Kimura, to be submitted.
- [2] Y. Shitamichi, M. Ichikawa, J-I. Fukuda and Y. Kimura, submitted.