

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

京都大学大学院理学研究科・講師 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。本年度は昨年度に続き、(1)光ピンセットを用いたネマチック液晶中のコロイド粒子間力の直接測定とその理論シミュレーションの比較 (A02 班 福田グループと共同研究) および 2 次元構造体の形成、(2) 擬 2 次元系での DNA 1 分子の形態とダイナミクス測定、(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および構造体の形成

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、異種の欠陥を伴う粒子間に働く力に注目し、粒子近傍に点欠陥を伴うダイポール型の粒子 - 欠陥対 (図 1 写真左) と、粒子の赤道上にリング状の欠陥を伴うサターンリング型の粒子 - 欠陥対 (図 1 写真右) との間に働く力 F を測定した (図 1)。この場合、粒子間にはまた、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このような欠陥間の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。実験、シミュレーションともに、力が粒子間距離 R の -5 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一致することが明らかとなった。さらに、さまざまな欠陥を伴う粒子をレーザーピンセットを用いて配置することで複雑な構造体の作成を行なうことに成功している (図 2)。

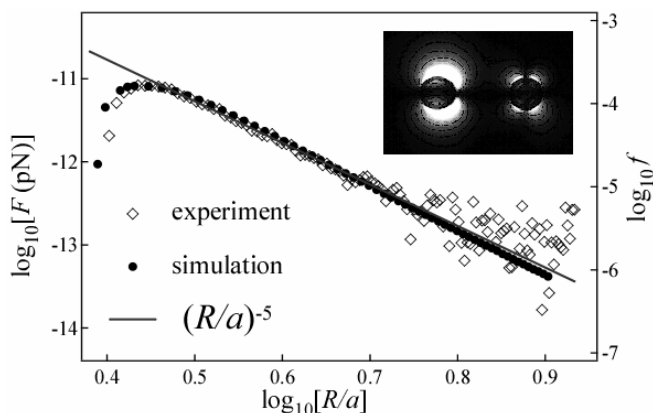


図 1. 粒子間力の距離依存性.

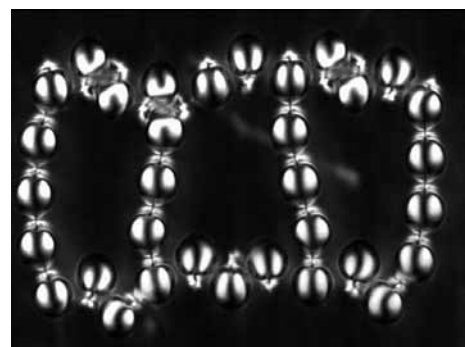


図 2. 「四」の字型に配列したコロイド粒子.

2. 擬2次元系におけるDNA 1分子の形態とダイナミクスの観察

拘束された空間における高分子の形態や拡散をはじめとするダイナミクスは高分子物理学の基本的な問題としてだけでなく、マイクロ流路等を用いた高分子の分離や輸送の際の基礎的な知見を与える点で応用上も重要である。我々は、高分子のフローリー半径(R_F)より小さな間隔を持つスリット内での蛍光染色したDNA 1分子の広がりおよびダイナミクスを希薄系および準希薄系の広い濃度範囲で測定した。実際に計測された長軸長(L)のスリット間隔(d)依存性、および自己拡散係数(D)の間隔依存性を図3、4に示す。測定の結果より、希薄系では $d < R_F$ の領域において、blob理論で説明される擬2次元的挙動へと転移していく様子が観察された。一方、準希薄系においては空間的な拘束の効果は濃度の効果に比べて小さいと考えられるが、そのダイナミクスに関しては空間的拘束の効果が存在することが明らかとなった。

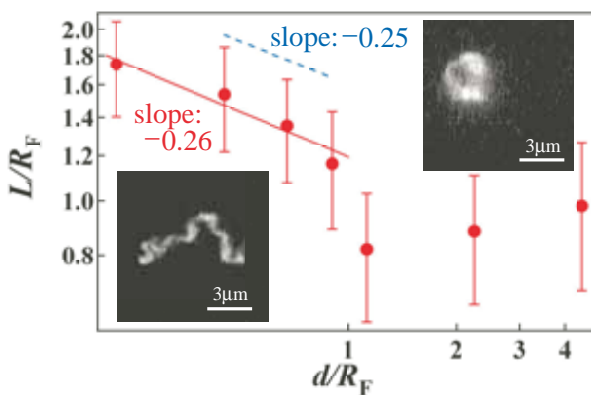


図3. 長軸長のスリット間隔依存性.

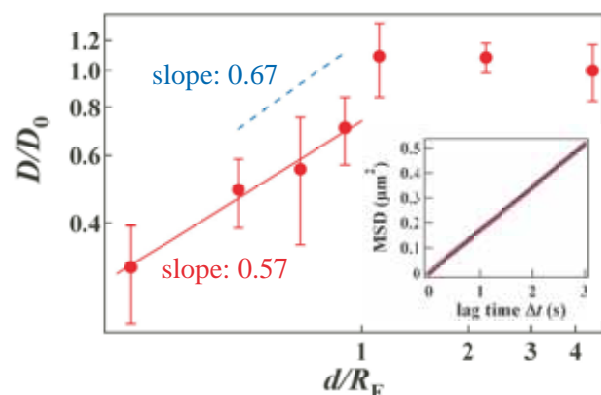


図4. 拡散係数のスリット間隔依存性.

3. 多成分巨大リボソームの電場変形による相構造ダイナミクス

リボ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で、リボソーム上に新たな相分離構造を発現させることを目的として研究を行った。実験では、均一相状態のベシクルに周波数 100 Hz の交流電場を印加し、ベシクルを楕円体状に変形させた後、ベシクルを速やかに2相領域まで冷却することで、膜変形下での相分離ダイナミクスを直接観察した(図5)。蛍光観察において暗い領域として示されるDPPEが豊富なドメインは、相分離が開始した直後は特定の場所に局在することなく均一に配置するが、時間が経過するにつれ曲率の小さい赤道領域に集結し、最終的に図5のような特異な相分離構造が現れた。ドメインの配置と曲げ弾性エネルギーの関係から、ドメインが赤道領域に局在した要因は、ドメインが膜の位置を変えて曲げ弾性エネルギーを最小化しようと移動したためであると考えられる。

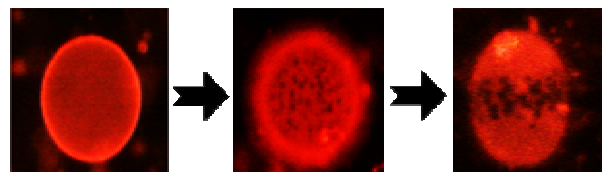


図5. 電場下でのリボソームの相分離.

<参考文献>

- [1] T. Kishita, K. Takahashi, M. Ichikawa, J-I. Fukuda and Y. Kimura, Phys. Rev. E **81**, R010701 (2010).
- [2] H. Uemura, M. Ichikawa and Y. Kimura, submitted.