

# 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共生科学研究科・助教授 下村武史

九州大学大学院理学研究院・助手 市川正敏

生体中をはじめとした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、それらを解明するための研究手法の開発とそれを用いた物性研究ならびに応用を視野に入れた研究を進めている。本年度は、異種のソフトマター複合系として、[1]ネマチック液晶中に高分子液滴が分散した系、[2]ネマチック液晶中にコロイド粒子が分散した系、[3]界面活性剤2分子膜ラメラ構造中にコロイド粒子が分散した系を対象として研究を行ない、新たな知見を得ることに成功した。

## 1. 高分子液滴分散液晶系における構造形成

等方液体混合系の相分離過程はこれまで盛んに研究されているが、異方流体である液晶と等方流体である液体高分子の混合系に関する相分離、特に液晶中に少量の高分子を添加した系に関する研究は少ない。ネマチック(N)相を示す液晶に数%程度の高分子を混合した系では、等方相の低温で安定なN相が出現し、N相から混合系を急冷すると高分子液滴がN液晶中に相分離して析出してくる。一般に、液晶中に分散した数ミクロン程度の微粒子は液晶の配向を乱し、粒子自身が配向欠陥(トポロジカル欠陥)となる。この際、相分離した高分子液滴間には液晶の弾性ひずみを介した異方的な長距離相互作用が働き、さまざまな特異な高次構造を自己組織的に形成する。しかし、液滴間の相互作用の形がそのサイズに依存するために、液滴サイズが時間とともに変化するにつれて相互作用の形が変化する。このため、得られる自己組織化パターンは相分離の動力学的経路に強く依存することが明らかとなった。さらに、偏光顕微鏡を用いて相分離過程を詳細に観察し、出現するさまざまな凝集構造(図1)形成の動力学的経路を解明することができた。

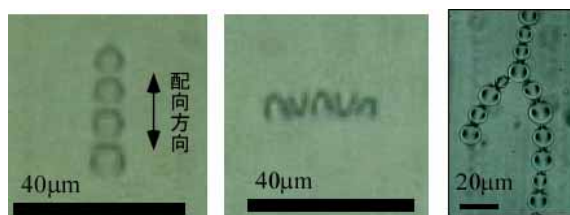


図1 N液晶中で高分子液滴が形成する構造 .

## 2. 液晶中のコロイド粒子間力の直接測定

N液晶中のコロイド粒子間には液晶の配向ひずみに起因した長距離相互作用が働くことが知られている。我々は、光ピンセットを用いて液晶中におけるコロイド粒子間相互作用を直接測定することを試みた。具体的には、

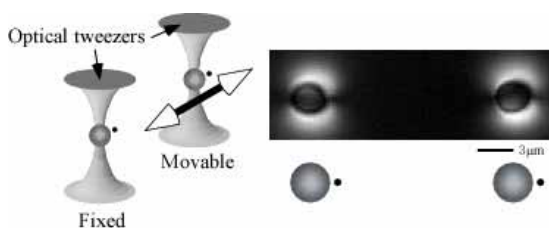


図2 光ピンセットを用いた粒子間力測定 .

コロイド粒子表面で液晶分子が表面に垂直に並ぶよう配向処理をした2つのコロイド粒子を2本のレーザーを用いてそれぞれトラップし、両者間の距離を変化させつつ、光ポテンシャルを用いて粒子間に働く力を直接測定した(図2)。

2つの粒子 - 欠陥対(双極子)が平行かつ同じ方向を向いている場合、粒子間に働く力  $F$  は粒子間距離  $R$  が大きいときには、理論的予測に従い、 $F(R) \propto R^{-4}$  で与えられることが確認された(図3)。一方、 $R$  が小さい場合には、粒子間に欠陥が存在するために粒子は互いに近づけず、粒子間に斥力成分が発生することがわかった。さらに、自然な状態では不安定である粒子欠陥対が反平行な状態を実現し粒子間力の距離依存性の直接測定に成功した。

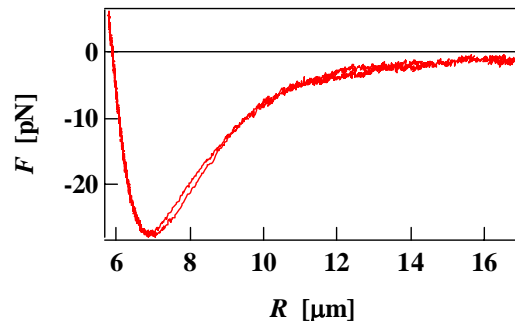


図3 N液晶中のコロイド粒子間力。

### 3. ラメラ構造中でのナノ粒子のダイナミクス

メソスコピックスケールの界面が作る構造の例として界面活性剤2分子膜と水層が交互に1次元配列したラメラ構造がある(図4)。類似した膜構造は生体中でしばしば見られ、このような構造中でのタンパク質やDNAなどのナノ粒子の受動的輸送現象は生体機能を理解する観点からも興味深い。我々はこれまでにラメラ構造中のナノ粒子の輸送現象に階層的空間構造に起因した時間的階層構造が存在することを報告してきた。本年度は特に長時間スケールでの粒子輸送のダイナミクスに焦点をあてて研究を行った。このような長時間での輸送現象には構造欠陥が深く関わっていると予想されるが、実際、図5に示すようなガラス系で特徴的に観測されるトラップ - ジャンプ型の運動が観測された。また、粒子の平均2乗変位の時間依存性には、長時間で異常拡散から通常の拡散へのクロスオーバーが観測された。

さらに、このような能動的測定に加えて、光ピンセットを用いた粘性測定を行ったところ、欠陥構造の緩和に起因すると思われる非線形挙動(shear thinning および降伏応力の存在)が観測された。



図4 ラメラ構造中のコロイド粒子。

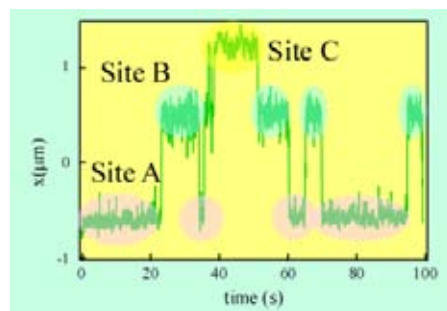


図5 ラメラ構造中のコロイド粒子の運動。

### <参考文献>

- [1] K. Kita, M. Ichikawa and Y. Kimura, 物性研究 87(1) 91-92 (2006).
- [2] K. Takahashi, M. Ichikawa and Y. Kimura, *Liq. Cryst.*, accepted.
- [3] Y. Kimura and D. Mizuno, *Liq. Cryst.*, accepted.