

ゲスト成分が誘起するソフトマターメソ構造の相転移ダイナミクス

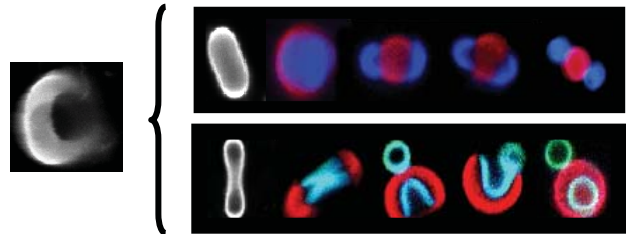
お茶の水女子大学 理学部・教授 今井 正幸

本グループは、異種なソフトマターを混合するなど系をエキゾチックな状態において、その状態で観察される特異な現象の理解とそれを用いたメソ構造の制御を目指すものである。研究は以下の4つのサブテーマに分かれて進められているが、いずれの場合も均一な系では予想も出来なかった新奇な現象を示し、複数の相互作用の動的な結合による新しいメソ構造形成原理の解明とそれを通じたメソ構造制御に繋がるものと期待される。

1. 脂質複合膜の非平衡ダイナミクス

多成分ベシクルにおける相分離と変形の動的結合

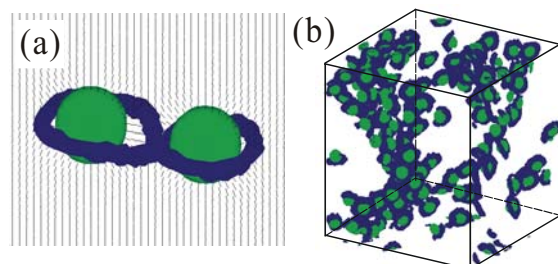
生体膜においては、多種類の脂質分子が膜内で不均一メソ構造を形成し、この不均一構造を介して機能を発現する蛋白質の選択的配置（ラフトモデル）や膜変形が行なわれていることが考えられる。本研究ではこのような膜内における不均一構造と生体系の機能発現の関係を明らかにする為に、不飽和脂質・飽和脂質・コレステロールからなるモデル生体膜を用いて、膜内相分離と膜変形が強く結合した系での振る舞いについて研究を進めて来た。膜変形を支配するのは、膜の余剰面積と膜の非対称性であることが知られており、両者のバランスにより多様な形態が観察される事が知られている。しかし膜内に相分離による不均一（ドメイン）構造が存在する場合、夫々の領域の弾性エネルギーと界面エネルギーが膜全体の曲率分布と結合して新しい形態形成を示す。例えば、図に示す様に赤血球型の膜で相分離を起こすと、膜の中央部の曲率が正の場合は外側に発芽 (budding) し、負の場合は内側に発芽する。このような膜の曲率分布と相分離の動的結合は様々な膜形状で普遍的に観察されており、多成分ベシクルにおける形態形成の基礎的な物理が明らかになりつつある。



2. 両親媒性分子膜とコロイド粒子の静的及び動的結合

液晶・コロイド複合系における配向欠陥のトポロジーに起因する新規な粒子間相互作用

近年、ネマティック液晶中にコロイド粒子が分散した系において様々な興味深い現象が発見され、活発な研究がなされてきた。我々は、多粒子分散系を扱うべく流体粒子ダイナミクス法の分散媒に液晶配向場に関する秩序変数を導入した数値シミュレーション法を開発し研究を行ってきた。粒子界面に対し液晶場が垂直に配向する場合、Saturn-ring型の配向欠陥が粒子の周りに形成することがある。このとき、欠陥を付随した粒子は四重極子の対称性を持つため、液晶配向の弾性場を介した粒子間相互作用も、四重極の対称性を持つものとして記述さ

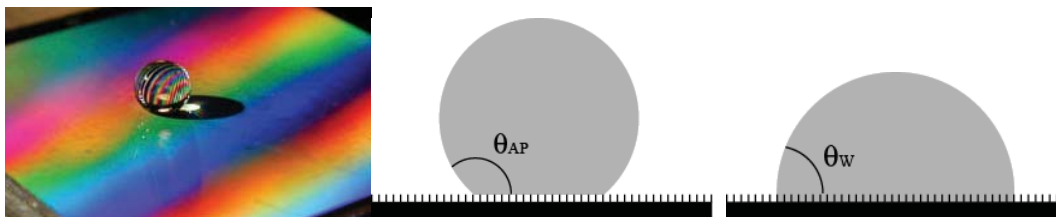


れてきた。我々はこの既知の相互作用に加え、粒子対の周りに 8 の字型の配向欠陥(図(a))とそれに誘起された粒子間相互作用を発見した。この相互作用は配向欠陥のトポロジカルな特徴を反映したものである。図(b)は、複数の粒子を含む系の凝集構造である。欠陥のトポロジーの組み換えには大きなエネルギーコストを伴うため、準安定な粒子・欠陥配置をもつ凝集状態に凍結されることが明らかになった。

3. 複合表面等での濡れの非平衡ダイナミクス

構造化表面での液滴の状態間遷移

表面に凸凹などの構造がある構造化表面では、元々の表面が撥水性であると、表面構造のために撥水性が飛躍的に高まることが知られている(図:左)。このような表面では、水滴と表面の間に空気が挟まったカッシー状態が実現している(図:右)。しかし、表面の窪みにまで水が入り込んだベンゼル状態(図:右)に落ち込むと撥水性が落ちる。このため、これらの状態間の転移を研究することは、応用面でも重要な課題である。我々は、世界に先駆けて、この現象の理論を発表し注目を集めている[1]。本年度は、核生成によってこの転移が生じる場合に、接触角履歴の効果を取り入れ、状態間遷移にかかわるエネルギーランドスケープを計算した。その結果、従来知られていたこれらの状態以外の中間状態にトラップされる可能性が理論的に明らかになった[2]。この他、浸透現象や液膜の厚み減少に関する実験的研究等も行った。



図：(左) 構造化表面上での液滴 (Quéré Gr 提供) (中) カッシー状態 (右) ベンゼル状態
<参考文献>

[1] C. Ishino, K. Okumura and D. Quéré, Europhys. Lett. 68 (2004) 419-425.C.

[2] Ishino and K. Okumura, Europhys. Lett. 76 (2006) 464-470.

4. 両親媒性分子膜と高分子の複合系

テレケリックコポリマーで架橋されたひも状ミセルの線形粘弾性挙動

ひも状ミセル(Wormlike Micelle; WM)は互いに絡み合うことで transient なネットワークを形成し、その緩和は Maxwell モデルという単一緩和を示す。一方、両端に疎水鎖を有するテレケリックコポリマーも水中で Maxwell モデルに従う transient なネットワークを形成する。今回 WM とテレケリックコポリマーとを複合させることで、隣接する WM 間がテレケリックコポリマーにより transient に架橋された double transient network をデザインした。実験よりそのダイナミクスは WM 自身の絡み合いとテレケリックコポリマーによるスライドする架橋点の緩和過程は互いに独立しており、完全な Maxwell 溶液の混合系として記述できることが明らかとなった。

