

2 分子膜のトポロジー転移

東京大学 生産技術研究所 田中 肇、磯部 衛、岩下靖孝

1 はじめに

両親媒性分子の形成する2分子膜は、水中でラメラ相、スポンジ相、オニオン相など様々なトポロジーの構造をとる。これらのトポロジーの転移は、2分子膜の形態エントロピー、曲げ弾性エネルギーなどの因子の競合によってもたらされると考えられるがまだ転移の機構、転移の過程について完全に理解されたとは言えない。ここでは、これらのトポロジー転移の機構について、最近我々が行った実験的研究の過程で明らかになったいくつかの事実を中心に考察する。

2 コロイドを分散した系におけるトポロジー転移に誘起された分別現象

我々はコロイドと膜の複合材料、また、タイプの異なる揺らぎがどのように結合するかといった興味から、コロイドを膜間に分散したラメラ相、スポンジ相について研究を行ってきた。例えばコロイドの運動を電場で制御することで、膜の配向秩序を制御可能であることなどを明らかにしてきた。この過程で以下のような興味深い現象を発見した。[1] コロイドを膜間に均一に分散したスポンジ相を形成する。そして、そのスポンジ相の温度を上昇することで濃いスポンジ相と水相（ミセル相）の2相共存域で相分離させる。このとき、水相は、膜（おそらく単分子膜）で分割されたセル状の領域に分割される。コロイドを入れない膜系においてはこの領域は全て等価な水相にみえる。ところが、驚くことに、コロイドを含む系の場合、図1に示すようにコロイドを含む相と含まない（水のみ）相が必ず隣り合わせになることが明らかとなった。このことは、等価に見えた水の相が、もともとパリティを持っていたことを強く示唆する。このような膜の内と外の対称性を破る相転移として、Cates や Roux により提案された対称・非対称スポンジ相転移が頭に浮かぶ。もともと、水相とスポンジ相の共存状態は、水相の見せるを極端な著しく非対称なスポンジ相として捉えると、非対称・対称スポンジの共存状態みなすことができる。このような考え方に立つと、均一なスポンジから共存状態に移行する際、膜の表と裏の対称性が破れ、その結果、特徴的な曲率の小さな大きい領域をもつ外側に、幾何学的な制約から粒子は吐き出され、窮屈な内側には粒子が全く存在しない状態が形成されたと考えられる。この後のドメインの粗大化の過程ではパリティは完全に保存される。このパリティの保存はある意味では膜に端などの欠陥が存在しないことを強く示唆している。

この現象が起こるための条件を、スポンジ相の平均膜間距離と粒子の大きさという2つの量の幾何学的関係に着目し顕微鏡観察を行ったところ、分配パターンが発生するには、粒子の大きさが相分離前のスポンジ相の膜間距離よりも小さく、かつ相分離後のスポンジ相の膜間距離よりも大きいという条件が必要であることが明らかとなった。これはスポンジ相の膜間に閉じ込められ

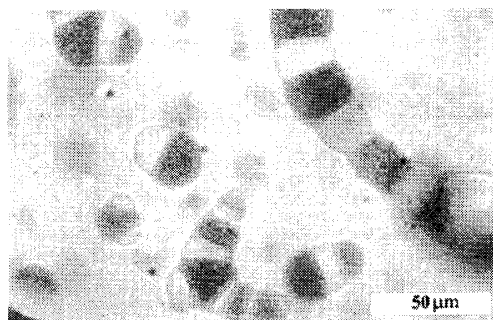


図 1: 膜のトポロジー転移による粒子の自発的分別

ていた粒子が、膜間距離の減少により吐き出される過程で、膜に仕切られた 2 つの空間に対称性の破れが生じるという上のシナリオが正しいことを強く示唆している。

上記の研究成果は、揺らぎに起因した膜のトポロジー転移現象を基礎的に理解していく上で非常に有用であるばかりでなく、外場による膜構造および機能の制御、膜のトポロジー変換による粒子分別などへの応用も期待される。

3 オニオン相の自発的生成とその粗大化の機構

次に、スポンジーラメラ共存相において自発的に形成されるオニオン相 (Multi-lamellar vesicle (MLV)) についての研究について述べる。MLV は膜が同心球状に配列した構造体で、通常は流動場下において形成されることが多くの系で示されており精力的に研究されているが、自発的形成に関する報告は極めて少ない。顕微鏡観察から、スポンジ相からスポンジーラメラ共存相へ浅くクエンチしたときは MLV が形成されるがクエンチが深いと形成されず、全く異なるパターンが現れたことから、核生成的に転移が起こる場合に MLV が形成され得ることが分かった。MLV の成長のダイナミクスに着目し、クエンチ後の MLV の半径 R の時間発展を調べたところ、時間に対して $R \sim t^{1/2}$ で成長していくことを見出したが、これは拡散による周囲からの物質供給が成長を律速していることを示している。また、MLV が時間とともにガラス壁へ吸収されていく現象を見出したが、これは曲率を有する界面と平面界面との界面濃度差により起こる Gibbs-Thomson 効果を反映した蒸発・凝集現象として理解できることが示された。

4 謝辞

粒子の分別についての研究の初期の過程で研究をともにした横山プロの山本潤氏に感謝する。

参考文献

- [1] H. Tanaka, M. Isobe, and J. Yamamoto, Phys. Rev. Lett. **89**, 168303 (2002).