

脂質膜小胞の形とトポロジー変換の仕組

名古屋大学理学研究科 宝谷紘一¹、稲葉岳彦、野村典正、滝口金吾
名古屋大学工学研究科 石島秋彦
神戸商船大学物理 梅田民樹

1 はじめに

リン脂質は水中で自己集合して、分子二重層膜を形成する。この膜は二次元液晶としての物性を持ち、生体膜の基本構造になっている。また、この脂質膜の周辺部は疎水性なので、周辺部を水中に露出しないために、膜は自然に閉じて球状小胞（リポソーム）になる。典型的なソフトマターとしての脂質膜の基本特性を探るために、リポソームの力学的応答特性の測定と、解体過程における繰り返し震動現象の解析を行った。

2 管状膜突起形成

生体には、管状の膜突起を持つ細胞が多く見られる。これらの突起形成には細胞骨格であるアクチン線維束や微小管が機能していることが知られている。ここで、薄膜が通常の固体物性を持つものとしよう。その薄膜から成る球の対極の2点に内部から力を加えても、球はレモン型に変形するが、球形部から管状膜突起が生じることはない。つまり、膜突起形成のメカニズムを探ることは、2次元液晶膜としての脂質膜の基本特性を明らかにすることでもある。

リポソームの内部で細胞骨格を形成させることによって、リポソームから管状の膜突起が生じることを、我々は先に示した [1]。また、内部から膜を押すことによって管状の突起が形成されるためには、リポソームに内圧が必要なことを、計算機シミュレーション [2] と膜穿孔実験 [3] により明らかにした。そこで今回、物理的力によるリポソームの形態形成のメカニズムを探るためにレーザトウィザー（光ピンセット）を用いて、リポソームに直接定量的な張力を加えて、その変形応答を解析することを試みた（図1）。まず2個のポリエチレンビーズを内部に持つリポソームを調製し、2本のレーザー光で各々のビーズを補足し、一方のビーズを一定速度

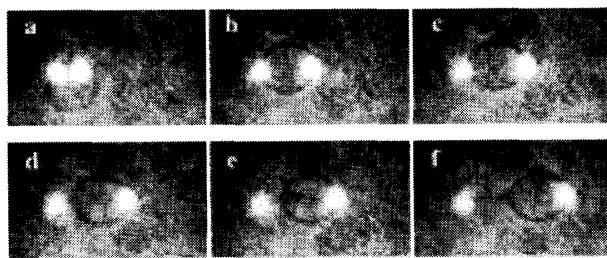


図1 光ピンセットを用いたビーズによるリポソームの突起形成。 縮尺：10 μm

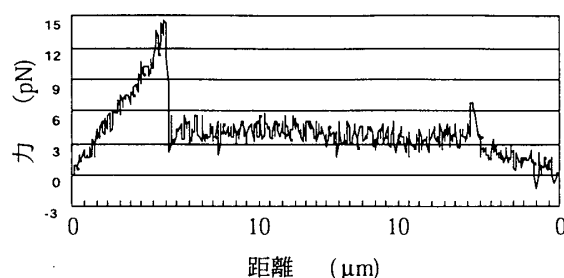


図2 膜突起形成・伸長・短縮に必要な力。突出時に最大の力が要り、伸長時は小さな力で十分である。

で移動させてリポソームに張力を加えて、他方のビーズによって負荷された力を測定した。球形がレモン形に変形するにつれて力は徐々に増加してゆき、レモン型リポソームの端から突起が形成される直前に最大の力が必要であった。突起形成の開始とともに、ビーズにかかる張力が急速に減少した。一旦、突起が形成されれば、伸長させても短縮させても力の大きさは一定であった。突起が短くなりレモン形に復帰する時に一過的に力が発生した。

3 繰り返し膜震動現象

中性脂質から成るリポソームに非イオン性界面活性剤を加えると、脂質膜が2～4秒間隔で緊張状態と震動状態をくり返しながら収縮する現象が観察された[4]。この現象は、膜面の面積が界面活性剤による脂質分子の除去に伴い連続的に減少する一方、リポソーム内の水が周期的に排出されるため起こると考えることができる。このリポソームの周期的震動現象を定量的に解析するため、顕微鏡像の画像解析を行った、さらに、統計力学及び弾性体理論に基づく理論モデルを用いて膜の震動とリポソームの体積との関係を調べ、実験結果との比較を行った[5]。結果は、リポソームからの周期的な水の排出が、膜の熱揺動により説明できることを示した。

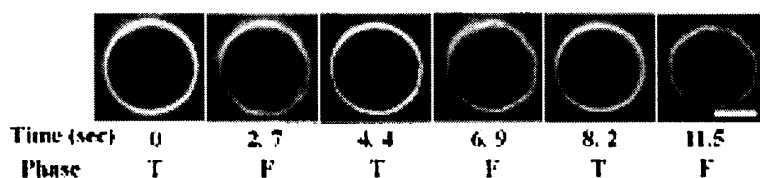


図3 リポソームの繰り返し振動

参考文献

- [1] T. Kaneko, T. J. Itoh and H. Hotani. J. Mol. Biol., 284, 1671 (1998).
- [2] T. Umeda, H. Nakajima, H. Hotani. J. Physical Soc. Japan, 67, 682 (1998).
- [3] 本田誠、瀧口金吾、金子智行、宝谷紘一. 生物物理、39, 14(1999).
- [4] F. Nomura *et al.* Proc.Natl. Acad. Sci. USA, 98, 2340 (2001).
- [5] 稲葉岳彦、他。第40回生物物理学会年会。予稿集 pp S38 (2002).