

多成分ベシクルの変形挙動

(お茶の水女子大学 大学院人間文化研究科) 今井 正幸

【はじめに】

生体膜は、その形状を変化させることにより様々な機能を発現する事が知られている。その膜変形を支配する物理を生体膜が持つ多成分性に焦点を当てて明らかにしてきた。この領域研究会では、われわれがこの5年間に行ってきたベシクルの変形挙動に関する研究をまとめて紹介する。

【結果と考察】

1) 均一なベシクルの変形挙動

均一な単成分ベシクルの形状を3次的に解析する手法を確立し、そのベシクル形状が、膜弾性モデル(bilayer couple model)と定量的に一致する事を示した。またその変形過程が自由エネルギー曲面の平衡解を連続的に辿る事も明らかになった。

2) 多成分ベシクルの相分離と余剰面積の結合による変形挙動

飽和脂質(DPPC)、不飽和脂質(DOPC)、コレステロールの3成分ベシクルにおいて、相分離による界面形成と曲げ弾性率の不均一化がベシクルの余剰面積と結合して、均一系とは異なる変形挙動を示す。特にチューブ状ベシクルは相分離により周期的なネックレス構造を示し、その周期が幾何学的条件により決定される事を見出した。

3) 多成分ベシクルの相分離と脂質の自発曲率の結合による機能性膜変形

生体膜が有する最も基本的な機能である、膜輸送およびベシクルの自己再生を再現する物理モデルを脂質の自発曲率と相分離を結合させることにより構築した。逆コーン型脂質を含む2成分ベシクルは膜接着、コーン型脂質を含むベシクルは孔形成、またトポロジー変化に特異的なPE型脂質を含むベシクルはベシクルの自己再生を示す事を実験的に示した。

4) 脂質の自発曲率の違いによる脂質ソーティング

自発曲率が大きく異なる2種類の脂質からなるベシクルでは、その幾何学形状にもとづく選択性により内膜と外膜で夫々の脂質の分布が異なる非対称膜が形成される事を中性子小角散乱により直接的に実証した。また、その脂質分子の非対称分布により膜がロールに変形する現象を見出した。

5) コロイド粒子を内包するベシクルの変形挙動

コロイド粒子を内包したベシクルでは、ベシクル膜の内側に形成される枯渇領域を重ね合わせて閉じ込められたコロイド粒子の自由体積を増大させようと、球状のベシクルがネックレス状に繋がった形状へと転移する事を見出した。このネックレスの形状は単純にベシクルの体積と面積の保存則によって決定される。

【まとめ】

生体膜で観察される様々な変形挙動を単純な2~3成分のモデル膜系で再現し、膜変形を支配する物理モデルの構築を行った。特にベシクル膜がプロトセルと呼ばれる生命現象の基本となる生体膜へと発展する上での鍵となる現象を実験的に示し、これを基にソフトマター物理からみた生命誕生のシナリオを考える。