

流動膜における結晶ドメインの発芽

滋賀大学 教育学部 神山 保¹

University of Minnesota D.M. Kroll

Forschungszentrum Jülich G. Gompper²

1 はじめに

2つの相が共存する膜では、発芽を生じる可能性がある。両方の相が、流動膜の時には、発芽の転移について、理論的には詳しく調べられているが、一方の相が結晶の場合には、あまり研究されていない。2つの共存相のうち1つの相が発芽を起こすメカニズムとしては、自発曲率による効果と、2つの相の境界に生じる線張力による効果がある。具体的に興味ある例として、クラスリン分子が生体膜に付着する場合がある。クラスリン分子は、pHなどによりクラスリン分子間の結合状態を変え、発芽を起こす。膜に付着したときクラスリン分子は六角格子をなしているが、しだいに五角形の格子などを作り、最終的には付着した膜を球状に変える。発芽を起こす相が、結晶相の場合、結晶に格子欠陥が生成されなければならない。シミュレーションにより、発芽転移のサイズ依存性や、格子欠陥の移動について調べた。

2 シミュレーション方法

膜を三角格子であらわし、格子点には半径 σ_0 のビーズがあり、隣のビーズと最大長 ℓ の紐でつながれている。紐を付け替えることにより、膜の流動性を表すことができる。2つの共存する相 (A,B) にそれぞれ最大紐長 ℓ_A, ℓ_B があり、結晶相 A の最大紐長は $\ell_A < 1.55\sigma_0$ で、流動層では $1.55 < \ell_B < \sqrt{2}\sigma_0$ である。膜の曲げエネルギーは次式で表される。

$$\mathcal{H} = \frac{\kappa_A}{2} \int dS (H - C_0^A)^2 + \frac{\kappa_B}{2} \int dS (H - C_0^B)^2 + \lambda \oint ds, \quad (1)$$

このエネルギーを用いて、ビーズの移動と、紐の付け替えをモンテカルロ法により行った。

3 結果

図1に示すように、安定な形状としては、結晶相がドーム形になり、ベシクルについている場合と、発芽を起こし、細い首でベシクルにつながっている場合がある。発芽の転移は、境界における線張力と結晶相の自発曲率に依存するが、図であらわされているように、転移は不連続に起こる。結晶相のサイズを用いて、自発曲率と線張力を無次元化すると、発芽の起こる臨界線は図

¹E-mail: kohyama@sue.shiga-u.ac.jp

²E-mail: g.gompper@fz-juelich.de

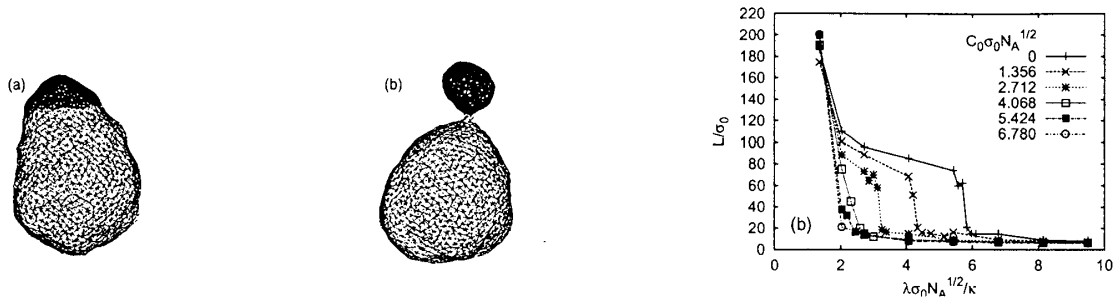


図 1: 典型的なベシクルの形と、発芽転移による境界長の変化

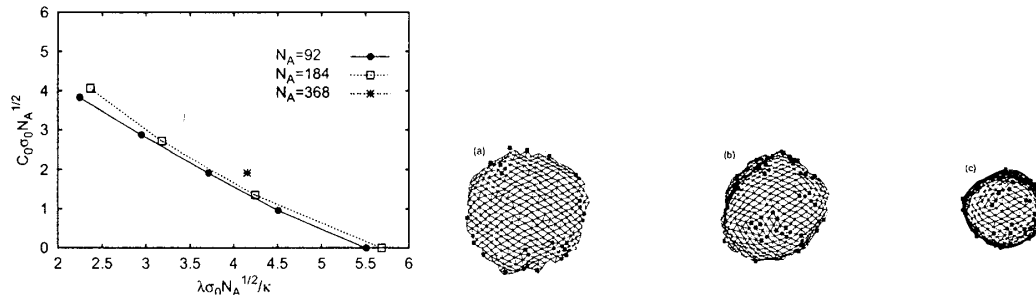


図 2: 発芽転移の自発曲率、線張力、サイズ依存性と、格子欠陥が境界から入り込んでくる様子

2 のように、ほぼ直線になり次の近似的関係が得られる。

$$\lambda R_A / \kappa + C_0^A R_A = \Gamma(R_A) \quad (2)$$

ここで R_A は、結晶相の初期状態におけるパッチの半径である。また、 $\Gamma(R_A)$ が点移転のサイズ依存性を表すが、3 種類のサイズ ($N_A = 92, 184, 368$) においても小さな変化しか見られない。この関係式は、2 つの相が両方とも液体相の時に得られた条件 [1] とほとんど同じであり、 $\Gamma(R_A)$ には対数的なサイズ効果しか見られない。これは、パッチのサイズと発芽を起こす自発曲率の関係が、 $R \sim c_0$ と予測されてた以前の研究 [2] と逆の結果が得られたといえる。平面状の結晶パッチが球状になるためには、5 のディスクリネーションが 12 個内部に発生しなければならない。図 2 に示されているように、格子欠陥は流動膜との境界で生じた 5-7 ペアのディスローケーションのうち、5 のディスクリネーションが中心部に入り込んでいくことが分かった。またドーム状または球状の結晶部分においては、格子欠陥は 5 のディスクリネーションを中心に、ディスローケーションが線状につながっていることが見いだされた。これは歪んだ面内の弾性エネルギーを下げるために格子欠陥がおこした配列である。格子欠陥のディスクリネーションのまわりに蓄えられた面内弾性エネルギーと、膜の曲げ弾性エネルギーとの大小関係により、性質の異なったベシクルが現れることを論じられる。

- 1) F. Jülicher and Lipowsky, Phys. Rev. E **53** (1996), 2670.
- 2) R.J. Mashl and R.F. Bruinsma, Biophys. J. **74** (1998), 2862.
- 3) T. Kohyama, D.M. Kroll and G. Gompper, to be published.