

高分子リピッドを含む多層流動膜の連続体モデル

滋賀大教育 神山 保

Continuum model for multilamellar fluid membrane containing polymer lipids

Faculty of Education, Shiga University

T. Kohyama

高分子リピッドを含む多層流動膜（DMPC、ペンタノール、高分子リピッド PEG-DMPE と水からなる系）において、高分子リピッドの濃度や水の含有量を変える事により、系全体の粘性がゾルからゲルに変化する物質が見出された[1]。水含有量を増やすと高分子リピッドは膜にとけ、粘性の小さなラメラ相になる。水含有量を増やしていくと、流動状態からゲル状態に変化する。さらに水含有量を増やすとある所で流動状態に戻る。高分子リピッドの濃度を増やしても同様の現象が見られる。このゾルからゲルへの変化は、多層ラメラにできる欠陥が原因と考えられ、フリーズドフラクチャー法による直接観察でも、球状の欠陥が見出され、ゲル状態の時にはまわりの膜が欠陥どうしを複雑につないでいることが示された[2]。

以前の仕事において、欠陥の大きさが膜間距離や高分子リピッド濃度にあまりよらないと仮定する事により、相図の定性的な説明をおこなった。また、張力を受ける一枚の膜に分布する高分子リピッドと膜の曲率の相互作用による不安定性を調べ、膜が波打ちを起こす領域を求め、実験で得られている相図とよく対応する事が分かった。

本ポスターでは、多層ラメラ相に生じる欠陥を観測できるように連続体モデルを構成し、基本構造の安定性および数値実験による結果を報告した。2次元系での連続体モデルとして次の自由エネルギーを考える。

$$F = \iint p \left\{ \frac{\kappa}{2} (\vec{\nabla} \cdot \mathbf{n})^2 + \frac{D}{2} (\vec{\nabla}_\perp \eta)^2 + \frac{D}{2} (\vec{\nabla}_\perp \zeta)^2 - \Lambda (\zeta - \eta) \vec{\nabla} \cdot \mathbf{n} + h(\eta) + h(\zeta) + I(\rho) \right\} dV$$

ここで、 $\mathbf{n}$ は膜の法線ベクトルであり、 η 、 ζ は二重膜の両面に存在する高分子リピッドの濃度、 ρ は単位長さ当りの膜の枚数を表わす。これらは保存則 $\iint \rho \eta dV = \iint \rho \zeta dV = N$ と $\iint \rho dV = M$ を満たす。 ρ と $\mathbf{n}$ は膜を表わすという事から独立ではなく、ディスローケーションがないときには $\oint \rho \mathbf{n} \cdot d\mathbf{s} = 0$ を満たし、 $\rho \mathbf{n} = \vec{\nabla} \Phi$ と置き、 Φ と η 、 ζ について自由エネルギーを最少化する事によりどのような状態が実現するか求められる。

モンテカルロ法によりシミュレーションをおこなった結果、大きく歪んだラメラや欠陥と思われる構造、ベシクルなどが見出された。図1では、高分子リピッドの濃度 η_0 が一定で、膜間距離を変えていった時 (ρ_0 は、膜間距離の逆数) の状態変化の例を示している。図1で、各位置にある棒線は長さが膜密度 ρ に比例し、向きは膜の面に平行な方向を示している。図から ρ_0 が小さい時には多くのベシクルが見られるが、 ρ_0 が大きくなるとベシクルを取り巻く膜が増えていくのが見られる。 ρ_0 が大きい時にはベシクル状のものがなくなり全体としてラメラ的になることが分かる。 ρ_0 が中間の値の時に見られる、ベシクルが多くの膜によって取り巻かれ絡み合っている状態を欠陥構造とみなすと、これが直接観察により見出された欠陥に対応すると考えられる。この欠陥構造が見られる時は系全体の粘性が高くなると考えられる。図2は、系全体にベシクルが多く見られるか、欠陥構造が見られるか、あるいはラメラ的に見えるかにより、V、D、Lと記号を付け、いろいろな η_0 と ρ_0 について振る舞いを調べ、相図としてまとめたものである。欠陥構造 (D) が

られる状態はゲル状態と考えると、この相図は実験で得られている相図と類似した構造をもっている。すなわち、 η_0 を増やしていくに従い、流動性、ゲル、流動性と変化する領域があり、また ρ_0 を減少させていくに従い同様の変化を示す領域が見られる。

[1] H.E.Warriner, S.H.Idziak, N.L.Slack, P.Davidson and C.R.Safinya, *SCIENCE* **271**, 969 (1996).

[2] S.L.Kellar, H.E.Warriner, C.R.Safinya, and J.A.Zasadzinski, *Phys. Rev. Lett.* **78**, 4781 (1997).

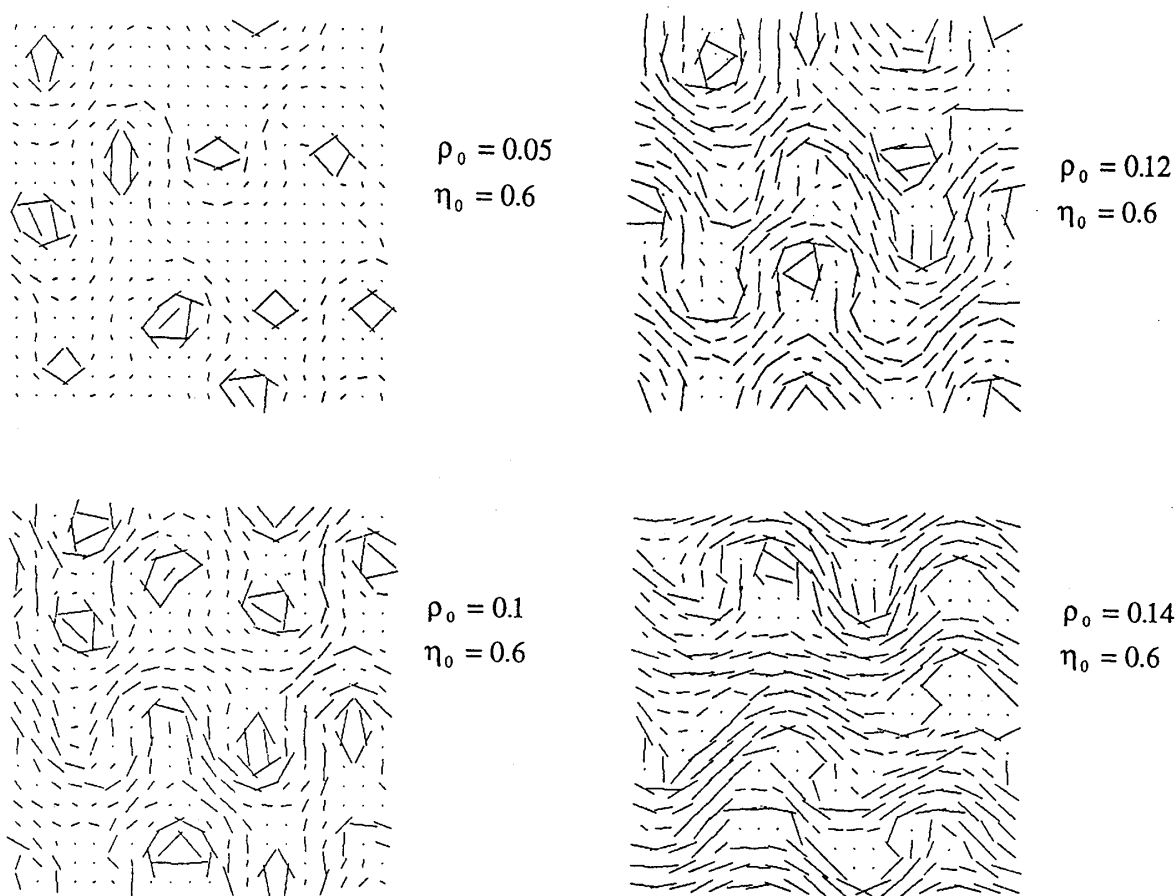


図1 膜密度 ρ_0 を増やしていった時の変化

図2 相図
L lamellar
D Defects
V Vesicles

