28a-G16-1

周波数変調 AFM によるリン脂質混合膜における相分離構造の３次元計測

Frequency Modulation AFM Imaging of Phase-Separated Structures in DPPC/DOPC bilayer

金大理工 [1]，金大バイオ AFM センター[2]　○鈴木 啓太 [1]，浅川 雅 [2]，福間 剛士 [1,2]

College of Sci. and Eng., Kanazawa Univ. [1], Bio-AFM Research Center, Kanazawa Univ.[2]

°Keita Suzuki[1]，Hitoshi Asakawa[2]，Takeshi Fukuma[1,2]

E-mail: ke-ta-s@stu.kanazawa-u.ac.jp

脂質二重層を基本骨格とする生体膜は、脂質ラフトと呼ばれる微小な相分離ドメイン構造を形成すると考えられており、ドメイン形成と生体膜機能との関連が議論されている。しかし、ナノメートルスケールの局所構造を直接観察することは容易ではなく、微小ドメイン構造やその境界付近の構造・物性の理解するための計測手法の開発が求められている。一方、液中での原子・分子分解能を有する周波数変調原子間力顕微鏡(FM-AFM)の開発により脂質二重層の分子スケール直接計測や、脂質二重層/水界面に存在する水和構造の３次元可視化も可能になりつつある。本研究では、これらの AFM 手法をリン脂質 DPPC/DOPC 混合膜中に存在する相分離構造の観察へ応用し、その分子充填構造や流動性の違いを可視化できるか検討した。

Fig. 1a および 1b は DPPC/DOPC 二重層の連続 FM-AFM イメージである。DOPC 領域と約 1 nm 高い DPPC 領域が観察された。連続イメージにより DPPC 領域がわずかに減少し、DPPC の六方充填構造を反映した直線的な境界構造が表れた(Fig. 1b)。これは探針-試料間相互作用に伴うエネルギー散逸による局所加熱や探針側面との衝突により、DPPC 境界付近に形成された準安定的な分子充填構造が崩壊したか、もしくは最安定構造に再構成されたことを示唆している。この DPPC/DOPC 相分離構造を３次元走査型原子間力顕微鏡(3D-SFM) で計測した結果を Fig. 1c に示す。3D-SFM は探針を XY 方向に走査しながら Z 方向にも探針位置を高速変調し、その間に探針先端に働く相互作用力の変化をリアルタイムに記録することで 3 次元力分布を計測する手法である。この結果より、DOPC 領域の Z 方向に生じる斥力は DPPC 領域よりも長距離で減衰することが分かった。さらに DPPC 領域の水平方向の力分布が均一であるのに対して、DOPC 領域では大きなばらつきがみられた。以上のように、3D-SFM により DPPC と DOPC との流動性や膜構造の波打運動の違いを 3 次元力分布の差として可視化できることを明らかにした。

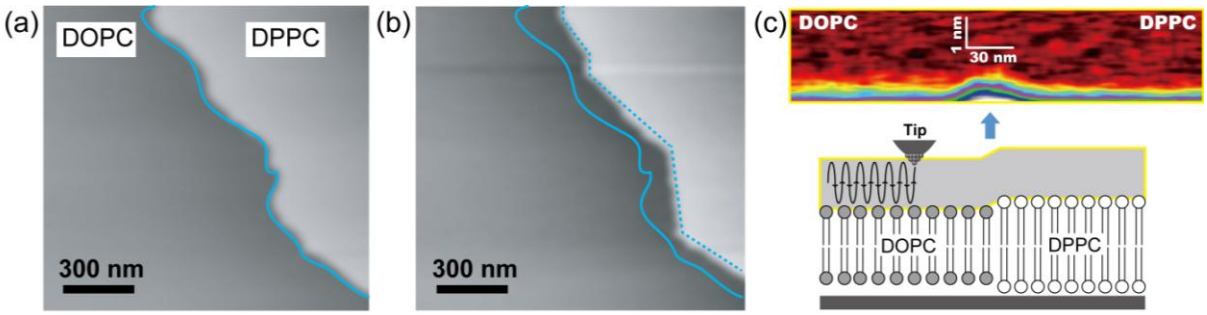

Fig. 1. FM-AFM imaging of DPPC/DOPC bilayer. (a)(b) Sequential images. (c) 3D-SFM image.

© 2013 年　応用物理学会