

3次元走査型力顕微鏡による多層状脂質二重膜のナノスケール計測

Nanoscale Investigation of Multilamellar Lipid Bilayers by 3D Scanning Force Microscopy

金大¹, ACT-C/JST² ○小林 大貴¹, 浅川 雅¹, 福間 剛士^{1,2}Kanazawa Univ.¹, ACT-C/JST² ○Taiki Kobayashi¹, Hitoshi Asakawa¹ and Takeshi Fukuma^{1,2}

E-mail: kpuipui@stu.kanazawa-u.ac.jp

平面脂質二重膜は生体膜モデルとして基礎から応用まで幅広い研究が行われており、構造・物性のさらなる理解が求められている。原子間力顕微鏡 (AFM) はナノスケールの局所計測が可能であり、平面脂質二重膜の相分離構造の観察や弾性率計測などに利用されてきた。さらに、著者らは3次元走査型力顕微鏡 (3D-SFM) を用いて脂質二重膜/水界面に形成された水和構造の空間分布をサブナノ分解能で可視化できることを報告してきた。一方、3D-SFM で計測できる脂質二重膜に対して垂直方向の長距離力成分にも膜物性・化学構造に関する情報が含まれているが、これまで殆ど議論してこなかった。そこで本研究では、3D-SFM で計測される垂直方向の力分布と脂質二重膜の物性の関係について、多層状脂質二重膜を用いて調べた。

まずリン脂質 DPPC の単層ベシクルを PBS 溶液 (20 mM MgCl₂ 含有) で調製し、マイカ上に DPPC 二重膜を Vesicle fusion 法により形成した。Fig. 1a および 1b は市販 AFM 装置のフォースマッピング測定で得られた形状像とヤング率像である。DPPC 二重膜は多層化しており、第1層のヤング率 ($E=110$ MPa) が第2層 ($E=62$ MPa) よりも大きかった。これはマイカ表面と脂質二重層との相互作用によって生じる流動性や機械強度など膜物性への影響を反映していると考えられる。

この膜物性の違いを 3D-SFM で定量的に計測できるか検証するために、第1層と第2層との境界付近で 3D-SFM 計測を行い (Fig. 1c)、それぞれの領域における垂直方向の平均周波数シフト-距離曲線を得た (Fig. 1d)。ここで斥力が指数関数的に単調減衰していることに着目し、指数関数フィッティングより減衰距離を求めた。その結果、第2層表面における減衰距離 ($\tau=0.66$ nm) が第1層よりも2倍程度長いことが分かった。第2層領域で斥力の減衰距離が長くなることは、脂質二重膜の熱揺らぎなどの膜物性の違いを反映していると考えられる。以上の結果より、3D-SFM で基板の影響など膜物性のわずかな違いを垂直方向の力分布として可視化できることを示した。

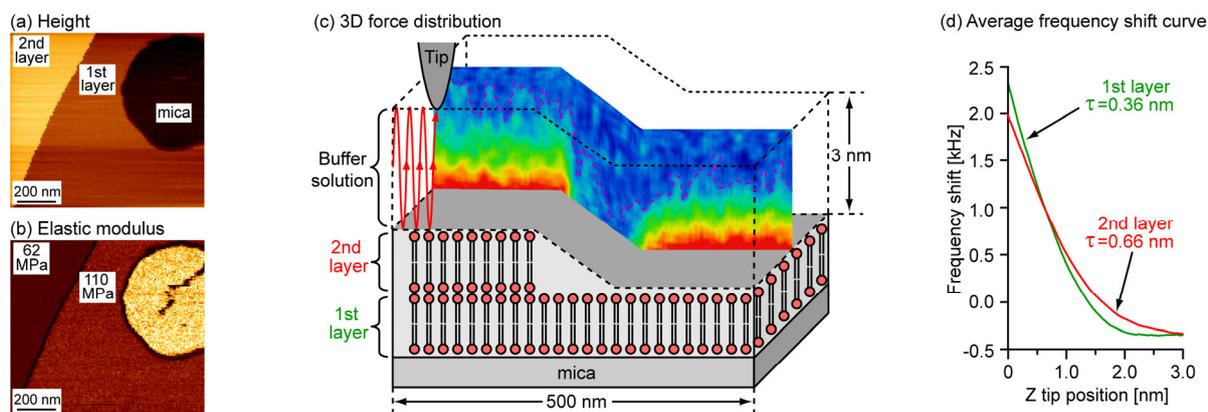


Fig.1. Nanoscale investigation of multilamellar lipid bilayers by AFM force mapping and 3D-SFM