液膜中での円柱状ドメインの拡散係数

（産総研、首都大[1]）　関和彦、Sanoop Ramachandran[1]、好村滋行[1]

【はじめに】

脂質分子で構成されている生体膜は、脂質分子が２次元的に流動することから、２次元粘性流体とみなす事ができる。その流動性は２次元膜の粘性係数により特徴付けられている。生体膜中の拡散係数と膜の粘性係数の理論的な関係が分かっていれば、２次元での拡散係数の計測から生体膜の流動性又は拡散粒子のサイズを求める事ができる。一方、生体膜を孤立した２次元流体とすると拡散係数を理論的に求めることができないことがストークスのパラドックスとして知られている。ストークスのパラドックスは、生体膜の流れはそれを支える水溶液の３次元的な流れを引き起こす効果を考慮することにより回避されることが知られている。[1]水溶液の流れは、水溶液は無限に広がっている場合と基板上の薄い水溶液の層の上に生体膜が支えられている場合で異なりそれぞれの場合について拡散係数が求められている。本研究では、この両極限をつなぐ有限の厚みh の水溶液の層で生体膜が支えられている場合について拡散係数を求めた。

【結果と考察】

図１のように、半径 R の液滴が液膜中にあり、上下を厚み h の水溶液で挟まれている場合の液滴の拡散係数は積分表示で

$$D = k_B T \int_0^\infty dk \frac{J_1(kR)^2}{\pi \eta k R^2 [k^2 + \nu k \coth(kh)]} \qquad (1)$$

と求められる。ここで、$\nu^{-1} = \eta/(2\eta_s)$は膜面内の流体が水溶液に運動量を緩和する特徴的な長さを与えるスクリーニング長である。ただし、ν^{-1}は$h \to \infty$での遮蔽長であり、水溶液が有限の厚み h であるという境界条件を課すと、図１の状況で最も長い遮蔽長は$\kappa^{-1} = \sqrt{h/\nu}$であることが示される。$\nu^{-1}$と h がともに R より小さい場合を除き、拡散係数(1)式は、$h \to 0$の極限で(1)式を積分をして得られる関数$D_0(\kappa a)$を用いて

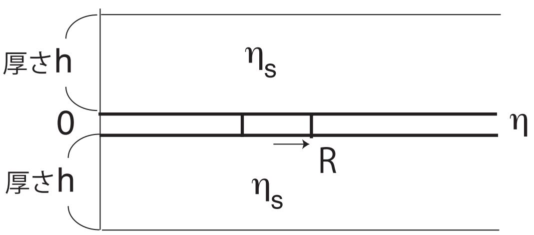

図 1 液膜中での半径 R の液滴

$$D = C_1 D_0(\kappa a) \qquad (2)$$

と近似できる。ただし、$C_1 = 2/(2 + h\nu)$である。講演ではν^{-1}と h がともに R より小さい場合についても議論する。一般に、(1)式は特性方程式$\cot(\kappa_j h) = \kappa_j/\nu$の無限個の根$\kappa_j$を用いて無限和として表すことができる。[2]

【参考文献】

(1) P.G. Saffman, M. Delbrück Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 72, 3111(1975)

(2) K. Seki, S. Ramachandran and S. Komura, arXiv:1105.3784v2

Copyright(c) ソフトマター研究会 All Rights Reserved.