Brownian Motion in Membranes

東工大総合理工, 理 †, 東大教養 ‡　関和彦, 好村滋行 †, 伊豆山健夫 ‡

生体膜を2次元高粘性流体，タンパク質を円筒形のブラウン粒子としてモデル化し，タンパク質の拡散係数を求めることを試みた．[1] 一般に，2次元流体でレイノルズ数が小さいとして慣性項を無視すると，一様流中での物体の周りの流速場を構成することができない（ストークスのパラドックス）．又，オセーン近似を用いて慣性項を一部取り入れても2次元流体中では物体の速度と流体から受ける力の間に線形の関係が成立しないので易動度が定義できなくなるという困難がある．そこで実際には生体膜は孤立系ではなく，周りの環境へ運動量が緩和することを考慮し，流体方程式に緩和の効果を現象論的に導入した。線形化した流体方程式は，

$$-\frac{1}{\rho}\mathrm{grad}p+\nu\nabla^2\vec{u}-\frac{1}{\tau}\vec{u}=0, \tag{1}$$

であり，$-\vec{u}/\tau$ が運動量の緩和を表している。ここで，$\vec{u}$ は2次元流体の流速場，ρ は流体の密度，ν は動粘性係数である。また，流体は非圧縮であるとした。流体方程式 (1) より，ブラウン粒子にかかる力を求めるとブラウン粒子の速度に対して線形となり，アインシュタインの関係を用いることができる。拡散係数は緩和が遅いとき，ブラウン粒子のサイズに対し対数的にしか依存せず，早いときはベキで依存することを導いた。すなわち緩和が遅いとき，

$$D=\frac{kT}{4\pi\eta}\left[\log\left(\frac{2}{\kappa a}\right)-\gamma\right], \tag{2}$$

緩和が早いとき，

$$D=\frac{kT}{\pi\eta}\frac{1}{(\kappa a)^2}, \tag{3}$$

となった．ここで，$\gamma = 0.577\cdots$，a はブラウン粒子のサイズ，$\kappa = 1/\sqrt{\tau\nu}$ は周りの環境とカップリングの強さ表す変数である。[2]

一方，2次元流体で拡散係数が定義不可能となるのは，ブラウン粒子の自己速度相関が，$1/t$ のベキを持つためと考えられている．緩和の効果によって速度の相関がどのように変化するかを調べるために，記憶を含んだランジュバン方程式を用いた考察も行った．[3]

参考文献

[1] P.G.Saffman, *J.Fluid Mech.* **73** 593 (1976).

[2] T. Izuyama K. Seki and S. Komura, in preparation.

[3] S. Komura K. Seki and T. Izuyama, in preparation.