

せん断流下にあるコロイドの観察：コロイドの異常拡散と生体高分子の流速場計測

立命理工¹・熊大医²・北大電子研³・横国大環境情報⁴・北大院工⁵
 ○瀧川佳紀¹、國田樹²、佐藤勝彦³、田中良巳⁴、折原宏⁵、中垣俊之⁴

本研究では、せん断印加装置と顕微鏡が一体となった装置を用いて、水中にある微粒子のブラウン運動の観察とアクチン溶液中の微粒子を観察することにより流速場を計測した。以下にそれぞれの研究について簡単な概要を述べる。

1：コロイドの異常拡散

1.1 はじめに

微粒子などの物質の拡散現象は、大気、河川、血管内などあらゆるところでみられる現象である。静止流体中では、微粒子の平均自乗変位は時間 t に比例することは良く知られているが、せん断流下では t^3 に比例する項が加わること(異常拡散)が1977年に van de Vanらによって理論的に示された。これまでに光散乱法を用いた実験がなされたが、異常拡散は観測されていない。そこで本研究では、共焦点レーザー顕微鏡とレオメーターが一体となった装置を用い、せん断流下にある微粒子のブラウン運動を実空間で観察することにより、異常拡散の実験的検証を試みた。

1.2 実験および結果

せん断流下の粒子位置を観察すると、 x (せん断流)方向に関して、

$$x(t) = x(0) + \dot{\gamma}z(0)t + x_B(t) \quad (1)$$

となる。ここで $x_B(t)$ はブラウン運動からの寄与を表わし、 $\dot{\gamma}$ はせん断速度である。通常の場合平均自乗変位 $\langle (x(t) - x(0))^2 \rangle$ を計算すると流れによる寄与が圧倒的に大きく、ブラウン運動

の情報は得られない。そこで本研究ではせん断流によって生じる異常拡散[1]、

$$\langle x_B(t)^2 \rangle = 2Dt + 2Dt(\dot{\gamma}t)^2 / 3 \quad (2)$$

のみを観測するために新たな変位、

$$\tilde{x}(t) \equiv \frac{[(x(2t) - x(t)) - (x(t) - x(0))]}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

を導入した。Langevin 方程式から $\langle \tilde{x}(t)^2 \rangle = \langle x_B(t)^2 \rangle$ を示することができる。粒径 $0.5, 1\mu\text{m}$ の微粒子を水中に分散させ、 x 方向にせん断を印加したときの $\tilde{x}(t)$ および $\tilde{y}(t)$ の自乗平均のグラフを図1に示す。いずれの粒径においても y 方向では時間 t に比例する通常の拡散であることがわかる。 x 方向のグラフでは、短時間領域で y 方向と近い値をとるが、長時間側では、異常拡散の影響が大きくなり、 y 方向とは明らかな違いを示す。

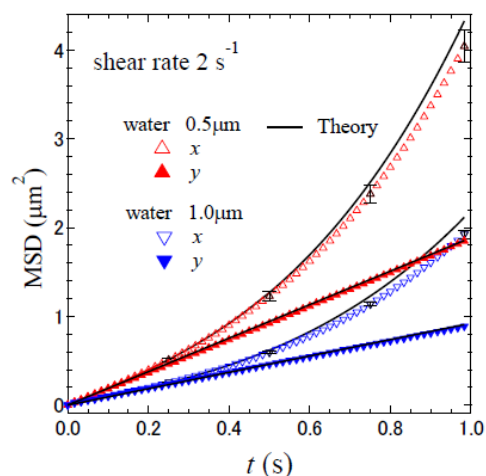


図1、粒径 $0.5, 1\mu\text{m}$ のせん断方向(x)及びせん断に垂直な方向(y)における、 $\tilde{x}(t), \tilde{y}(t)$ の自乗平均

2 : 生体高分子の流速場計測

2.1 はじめに

アクチンは、ほとんどの真核細胞に存在しているたんぱく質で、生体運動において重要な役割を果たしている。アクチンは特定の溶液条件下で長さ数 μm のフィラメント構造(F-アクチン)を形成する。これらの高分子は低濃度でもネットワーク構造を形成し、非線形なレオロジー的な性質を示す。

本研究では、定常せん断流下において F-アクチン溶液の流れ場計測を行った。また、蛍光標識したアクチン溶液を直接観察し、せん断流によるアクチンが配向変化する様子を調べた。

2.2 結果と考察

図2にせん断速度0.08 から 2 s^{-1} における流れ場プロファイルを示す。せん断速度0.16 から 1.5 s^{-1} の範囲において高せん断と低せん断領域の2相に分離し、せん断速度が 1.75 s^{-1} よりも大きくなると一様な速度勾配の流れ場になることが確認できる。それぞれの相におけるせん断速度は、印加したせん断速度に依らずおおよそ一定で、低せん断相および高せん断相のせん断速度を $\dot{\gamma}_1$ 、 $\dot{\gamma}_2$ とするとおおよそ $\dot{\gamma}_1 = 0.01$ 、 $\dot{\gamma}_2 = 1.75$ であった[2]。低せん断相の領域に着目してみると、印加するせん断速度が増加するにつれて減少していることがわかる。図3に低せん断相の幅のせん断速度依存性を示す。バンドの幅はせん断速度に対して線形に減少していくことがわかる。

蛍光アクチンを観察した結果、アクチンフィラメントはせん断によって配向しており、その度合いがバンドの相によって異なっていた。

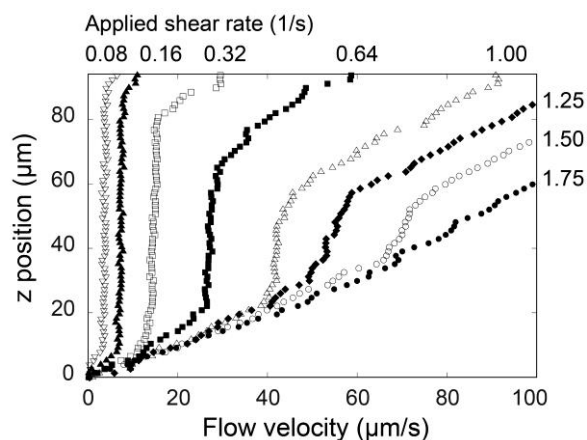


図 2. 0.6mg/ml F-アクチン溶液の流れ場プロファイル

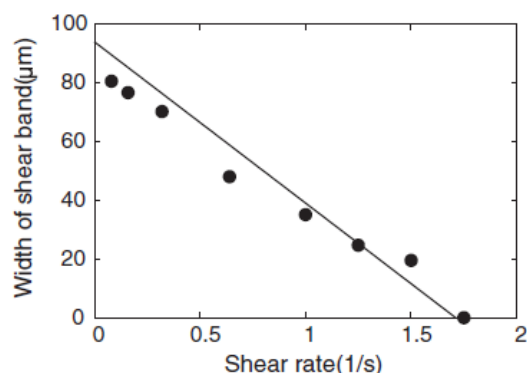


図 3. バンド幅(低せん断相)のせん断速度依存性

[参考文献]

- [1] H. Orihara and Y. Takikawa, Phys. Rev. E 79(2011)061120.
- [2] I. Kunita, K. Sato, Y. Tanaka, Y. Takikawa, H. Orihara, and T. Nakagaki, Phys. Rev. Lett 109, 248303 (2012).