



た。この原理説明図を Fig.1 に示す。入射するレーザー光の直径を連続的に変化させて CV の半径をおよそ 200-700nm の間で変化させる。その測定方法は Sampling Volume Controlled (SVC-) FCS と呼んでいる。この条件で HA 水溶液中の Alexa488 分子の拡散係数を測定する。用いた HA 水溶液の網目サイズはおおよそ 30nm 程度に相当する。

【結果と考察】図2に SVC-FCS の結果の例を示す。図は距離依存性を示すが、式(1)を使えば時間依存性にいつでも変換できる。いずれも拡散係数は  $L$  が

200-400nm で変化する間に HA のない場合の値( $D_0$ )から 10-20 %程度減少する。この変化のある領域の外側では、拡散は「正常拡散」の挙動を示し、拡散係数はほぼ定数となる。(すなわち MSD が時間に比例して増加する)。短距離の拡散は主として網目内で、高分子鎖の邪魔を受けない拡散、長距離の拡散は、網目があたかも抵抗を持った連続媒体の様に振る舞うことにより、起きると考えられ、どちらも「正常拡散」になることに矛盾はない。短距離拡散から長距離拡散への単純な減少は網目の大きさの 10 倍程度の  $L$  で起きる。これは網目の中で粒子が単位時間内に動き回れる空間が減少する「迷路の中の蟻(ant in the labyrinth)」現象によるものと考えている。

全ての場合に(特に HA が 1.5 wt% の場合には) Turn-over が明瞭に観察される。これは、粒子が拡散する時間  $\tau$  内に網目が固定され、動的に平均化されず、不均質な網目の中で粒子の通路が限られることにより起きる「トラップ効果」に寄るものと考えている。トラップ効果はさらに粒子の動き回れる空間を制限し、統計的な拡散係数を小さくする。この現象は MD シミュレーションなどでガラス転移点付近で起こる現象と類似して興味深い。

本測定は中性子や光の散乱実験などで得られるデータと密接な関係にある。得られた拡散係数の挙動は Einstein の関係を局所的に破っているとも考えられ、Brown 運動を Levy-Flight の様な運動に拡張したり、統計的な観測時間を拡散係数の定義に導入するなど、新しい考え方が今後導入されなければ解明できないだろう。また生命現象もこういった「異常拡散」をうまく利用しているからこそ ECM が重要な働きをしているとも言える。

## 参考文献

- (1) T. Kluge et al *Macromolecules*, **33** (2) 375-381 (2000)
- (2) A. Masuda, et al *J. Am. Chem. Soc.* **123**(46), 11468-11471 (2001)
- (3) A. Masuda, et al *J. Chem. Phys.* **121**, 21, 10787-10793 (2004)
- (4) K. Seki et al *J. Phys. Chem. A* **109**, 11, 2421-2427. (2005)
- (5) A. Masuda et al *Biophys. J.* **88**, 5, 3584-3591 (2005)

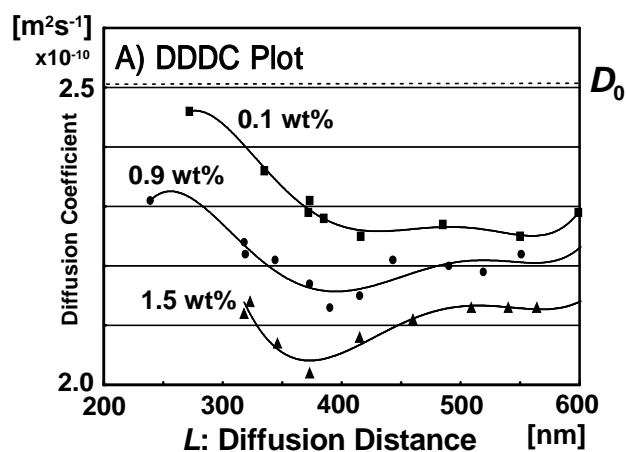


図2 ヒアルロン酸水溶液中の Alexa488 の拡散係数が SVC-FCS の  $L$  の変化により変化する様子  
HA 濃度は 0.1, 0.9, 1.5 wt%