

外場下での生体高分子の変形と輸送

(東京大学大学院理学系研究科) 佐野 雅己

【はじめに】

ソフトマターとしての生体高分子は、いくつかの顕著な特徴を持っている。DNA やタンパク質、さらにタンパク質が作る超高分子が示すソフトマターとしての性質を1分子計測や可視化の手法を用いて調べ、非平衡状態における特性や生体機能との関連を明らかにすることが本研究の目的である。

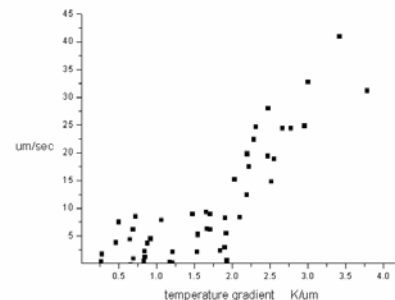
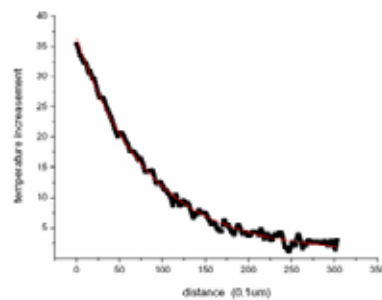
【結果と考察】

1. 温度勾配による1分子DNAの輸送と伸張

DNA を含む溶液に局所的に急激な温度勾配を与えると、温度の高いほうから低い方へ向かって DNA が拡散する。これは濃度勾配による拡散と温度勾配による拡散の結合効果である Soret 効果の一種と考えられるが、我々はこの現象を用いて望む場所に 1 分子 DNA を輸送したり、分子を引き伸ばすことが可能であることを示した。厚さ 2 ミクロンの薄いガラス容器内に DNA を含む溶液を閉じ込め、ガラスの片面に集束したレーザー光を当てることにより局所的に $4^{\circ}\text{C}/\mu\text{m}$ 程度の極めて大きな温度勾配を形成することができる。この方法により、 $50\mu\text{m}/\text{sec}$ 程度の輸送速度が得られる。温度勾配 ∇T と速度の関係は現象論的な線形関係から大きくずれていることを確認した。また、1 端または両端を固定した 1 分子 DNA の近傍に温度勾配を形成すると DNA を引き伸ばすことができ、数 pN 程度の力が発生することを確認した。したがって温度勾配によって巨大分子内に温度勾配を印加し引張り力を発生させることが実証された。引き伸ばされた DNA の長さや広がりシミュレーションの結果と比較的よい一致を見た。この結果を蛍光による可視化やラベル化と組み合わせると、1 分子レベルで生体高分子を分類し輸送することが可能になる。



温度勾配により伸張された DNA 温度分布

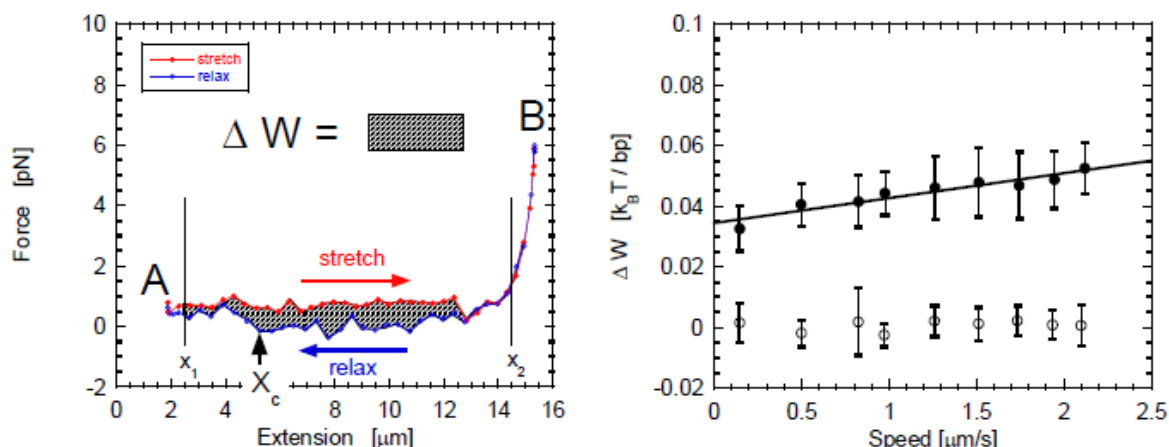


輸送速度と温度勾配

2. 1 分子 DNA の伸張とエネルギー散逸

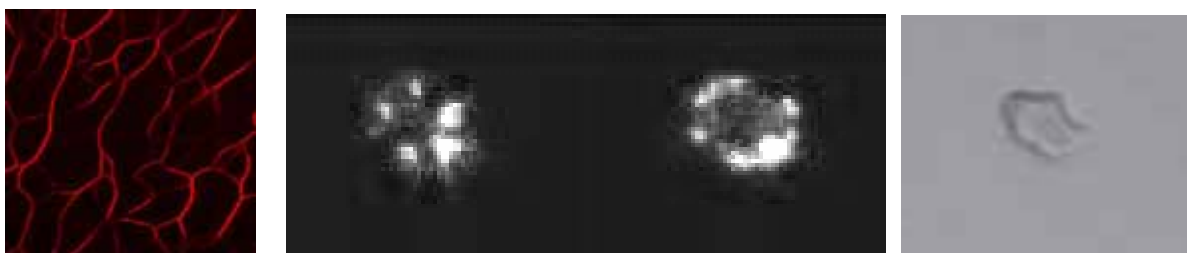
我々は、これまでレーザーピンセットを用いて多価正イオンの存在下でグロブユール状態に凝縮した DNA を伸張する実験を行い、ランダムコイル状態における WLC (Worm Like Chain) 応答に加えて、stick-release(鋸波状)応答、Force plateau 応答の 3 種類の Force-extension 曲線が得られることや、Reentrant 転移などを見出した。今回、伸張する速度を変化させて、伸張時と緩和時の仕事の差である不可逆仕事を測定した。その結果、引っ張り速度に比例してエネルギー散逸が上昇することを見出した。DNA に付けられたビーズ

の粘性抵抗やDNAの流体抵抗などを考慮してもこのエネルギー散逸は大きく、速度に比例する分子内摩擦の存在を示唆する結果が得られた。



3. 細胞内アクチンフィラメントの自己組織ダイナミクス

アクチンフィラメントはアクチンモノマー (G-アクチン) が螺旋状に重合した構造を持ち、直径 7nm に対して 10–20 μm の長い持続長を持つ。ATP の存在下では G-アクチンが自己組織的に重合してフィラメントを形成し、適当な環境下ではフィラメントがさらに集合してバンドル構造やネットワーク構造を形成する。アクチンフィラメントの形成と崩壊は細胞運動を引き起こす原因であると考えられるので、そのメカニズムと制御機構を理解することは重要である。我々は、*in vitro* 系として脂質 2 重膜内でのアクチンバンドル形成とアメーバ単一細胞 (細胞性粘菌) の細胞質内のアクチンフィラメントのパターン形成のダイナミクスを高速の共焦点顕微鏡を利用して蛍光観察している。*in vitro* 系では枯渇効果 (depletion effect) によるバンドル形成、*in vivo* 系では自律的に複雑なパターン形成と崩壊が繰り返されていることを確認しており、これらの解析結果について述べる。



4. ミクロ非平衡系におけるエネルギー散逸の測定

発表時間が許せばミクロ非平衡系における揺動散逸とエネルギー散逸についても述べる予定。

【参考文献】

- (1) Y. Murayama, H. Wada and M. Sano; Internal Friction of a Single Condensed DNA: Dynamic Force Measurements Using Optical Tweezers, preprint (2006).
- (2) Y. Murayama, H. Wada and M. Sano; Unfolding Dynamics of Single Collapsed DNA Molecules, to appear in the Suppl. Prog. Theor. Phys. (2006).
- (3) S. Toyabe et al.; Experimental Test of a New Equality: Measuring Heat Dissipation from the Violation of the Fluctuation Dissipation Relation, preprint (2006).