

コイル DNA のレーザートラップ

京都大学 大学院理学研究科 市川 正敏¹

レーザートラップ (光ピンセット) は、集光したレーザー光の焦点に誘電体が捕捉される現象である。レーザー光の電磁場によって粒子が分極し、元の光から受けるローレンツ力が光強度に比例したポテンシャルを形作る事を利用している。レーザートラップはその特徴から生物物理やいわゆるナノテク (厳密にはサブ μm テク) などで、特に液中で対象物体を操作する事 (引っ張る、運ぶ、回転させる、等) に用いられている。DNA に関する研究の例を挙げると、ビーズを結合させてそのビーズを引っ張る事で力測定を行い、高分子としての DNA の物性を測定する高分子物理的な研究や、DNA とヒストンとの相互作用や転写反応の力学応答を測定する生物物理学的な研究等に用いられている。本発表では、水溶液中をランダムコイル状態でゆらいている DNA 分子の直接的なレーザートラップについて報告する。

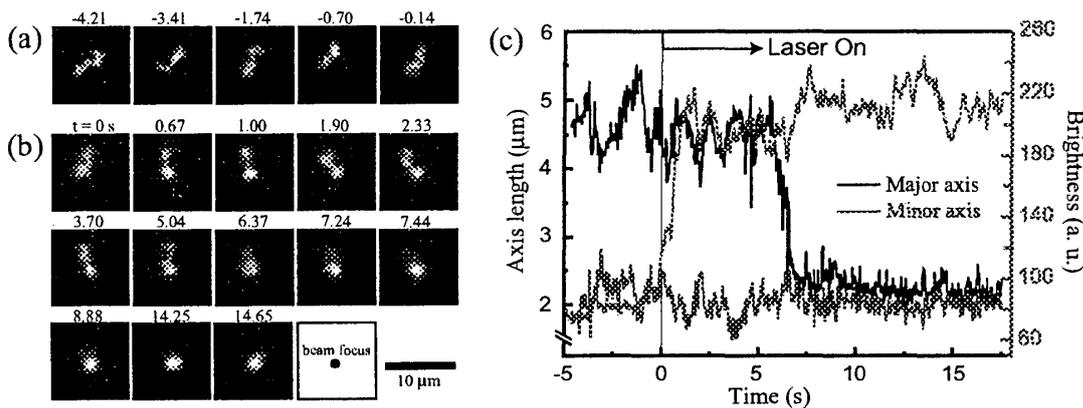


図 1: レーザー焦点に引き込まれるコイル DNA とその major length をプロットしたもの。(a) PEG6000 溶液中で拘束無しにブラウン運動するランダムコイル DNA。写真の上の数字は時間を示しており、(c) のそれに相当する。(b) 時間 0 でレーザーを on にし、その焦点に DNA が引き込まれる様子をコマ送りで示した。Beam focus は直径約 $1 \mu\text{m}$ の回折限界まで集光してあるので、それを表示した。画像での相対位置は固定してある。(c) Major length, minor length, 焦点の外接正方形内での平均輝度を時間を追ってプロットしたもの。Major axis, minor axis は DNA の輝度分布を外接する長方形の内面で面積最小としたときの値である。

実験結果— 図 1 は DNA トラップの実験結果である。図 1(a) は溶液中で自由に運動する DNA であり、この条件ではランダムコイル形状をとる。この DNA の一端を光ピンセットの効果範囲内に入れると、図 1(b) の様に鎖の一部が捕らえられた後、残りの鎖がレーザーの集光点に向かって引き込まれていった。図 1(b) は一連のコマ送りである。この過程での焦点上の輝度及び、DNA の

¹E-mail: ichikawa@chem.scphys.kyoto-u.ac.jp

長軸長を時間でプロットしたのが図 1(c)。DNA のセグメントはレーザー焦点に一部がトラップされた後、残りはふらふらと尻尾を振る様に動きながら吸い込まれていった。その際に DNA の長軸長は大きく変化せず、代わりにその蛍光輝度が薄くなる、つまりバルク中のセグメント密度が下がる様が観察された。そして、吸い込みの最後で残りの鎖をほぼ等速で吸い込んだ。

考察— 高分子溶液 (PEG 溶液) 中に於いて DNA のトラップが示されたが、これをコイル DNA のトラップと言うには、DNA がコイル状態を保っている事を確認する必要がある。これは、PEG 中では塩の効果によって DNA が coil-globule 転移を起こすからである。globule となった DNA が光ピンセットによって捕捉される事自体は既に報告されている [1]。

図 2 はトラップされたコイル DNA とバルクでブラウン運動しているコイル DNA の拡散をプロットしたものと (図 2(a,b,c))。図 2(a,b,c) の拡散の比較から DNA は確かに焦点に捕捉され続けていることが分かる。コイルの中心の mean square displacement を図 2(c) に示したが、0.3 秒以内の拡散を見ると通常のコイルとほぼ同じ値が得られている。それより長時間ではピン止めされて mean square displacement が一定になる。このことから、焦点にトラップされて collapse している状態でも、流体力学的半径は殆ど変らない、即ちコイル状態であると推定される。これと、蛍光像の観察でコイル状態に見える事を合わせると、この条件では焦点でコイルである事はほぼ間違いないと言える。

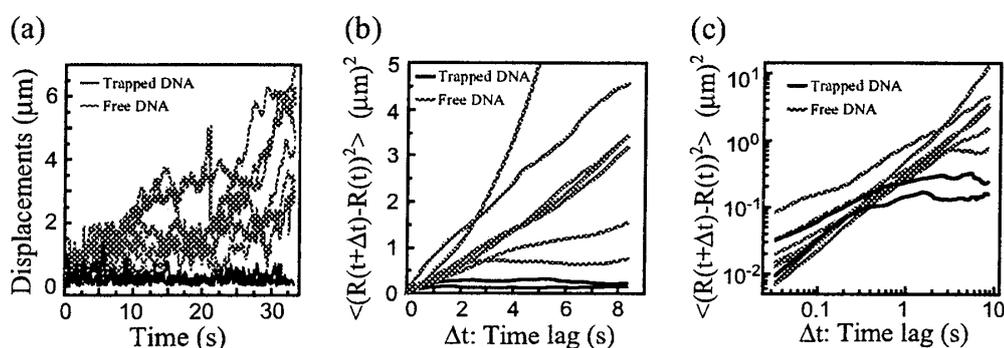


図 2: コイル DNA の動きの解析結果。(a) 自由に拡散するコイル DNA と、トラップされた DNA を測定開始の点からの displacement を表したもの。PEG 濃度は 77 mg/ml。(b) (a) の拡散の mean square displacements をとったもの。(c) 同、対数スケールプロット。

結論— コイル状態の DNA を μm サイズのポテンシャルの中に閉じ込める事に成功した。この結果は、新たな実験手段として高分子の研究に寄与できる他、コイルの状態のまま密度を上げられることから、蛍光・分光測定などにも貢献できるだろう。

謝辞— この研究は、吉川研一教授の下、共同研究者の松澤有希子博士と共に行われました。

参考文献

- [1] M. Ichikawa, Y. Matsuzawa, Y. Koyama and K. Yoshikawa, *Langmuir* **19** (2003) 5444.