

単一 DNA 分子の凝縮体のコロイド的性質の制御と ミクロ秩序構造体の形成

京都大学大学院理学研究科 市川 正敏¹

集光したレーザー光はその焦点に誘電体を引き込むことが知られている。ここに多数の粒子や分子がトラップされたら、それは大きなダムになる。本報告では、その粒子がくっつきやすい (sticky) 性質を持っていて、尚且つ水溶液中に希薄分散している場合に、粒子が直線に結合する現象を報告する。実験では DNA 分子を凝縮剤でコロイド粒子にする際に凝縮剤に疎水基を入れる事で、水溶液中で接触相互作用が強い引力となる粒子を作製し、其処にレーザーを入れる事で図にある様なミクロ構造体の形成に成功した。

実験とその結果— 実験に使用した粒子は T4 phage genome dsDNA (166 kbp, $\sim 56 \mu\text{m}$, Nippon Gene) を凝縮剤 PEG-A (polyethylene glycol derivatives with amino-pendant groups) もしくは Chol-PEG-A (— with both cholesteryl- and amino-pendant groups) によって DNA の紐毎に凝縮させた。実験における最終濃度は、 $0.60 \mu\text{M}$ DNA in base pairs、 $0.60 \mu\text{M}$ DAPI or $0.10 \mu\text{M}$ YOYO-1、 $6.0 \mu\text{M}$ PEG-A or Chol-PEG-A (amino group concentration)。これらの DNA 濃度は単分子凝縮を起こし、かつ粒子同士の spontaneous aggregation を抑止、或いは (実験時間に比して) 遅らせるに十分である。

上記の様に作成した DNA 粒子分散溶液の中に光ピンセットを入れると、粒子が焦点に集められる。DNA/PEG-A の分散溶液での結果が図 1(a) である。左側の絵はその右にある実験写真の概略図である。まず光ピンセットによって 1 つの粒子がトラップされ、そのままにすると、多数の粒子がレーザーの焦点にトラップされて球形状の aggregate を作る。トラップレーザーを切ると、集まっていた粒子は再びバラバラになり溶液中に拡散していく。対照的に、DNA/Chol-PEG-A の粒子は図 1(b) にある様に、同じ過程をとってもレーザーを切った後で真珠のネックレス、或いは数珠の様に見える直線状の構造物が作られる。この棒状の DNA assembly をガラス基板に持って行き、貼り付けたのが図 1(b) の最後のパネルである。この棒は一端をガラス基板に貼り付けた後、光ピンセットの力で任意の向きにある程度までは曲げることが出来き、弾性棒として振舞うことが確認された。

考察と結論— 実験で得られた棒が一般的に得られる条件を確かめるためにレーザートラップを模したポテンシャル中でのブラウン運動のシミュレーションを行った。粒子間の相互作用が体積斥力だけなら図 1(c) のように集められるだけだが、実験でも見られてような接触すると強い引力が働くポテンシャルを模して、接触点が固定されるようにすると図 1(d) の様な棒が得られた。粒子は焦点に近づくと強力な勾配力に引かれて光の軸に沿って、焦点に落ちていく。トラップさ

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

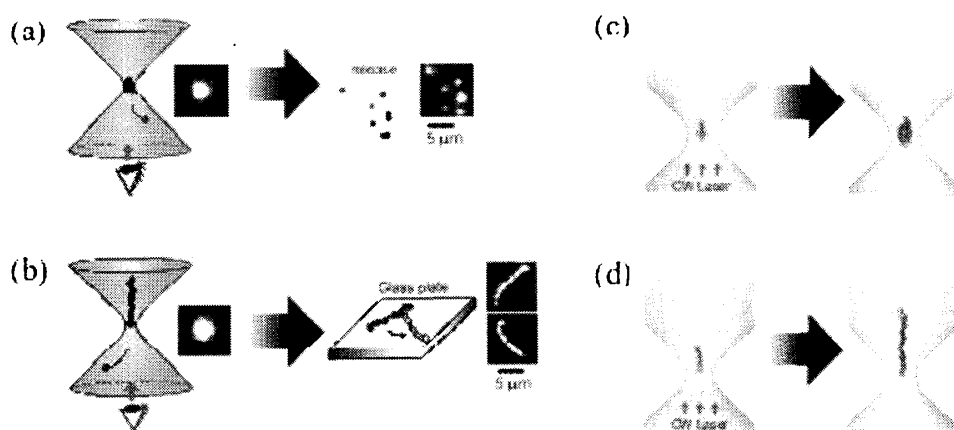


図 1: レーザートラップによる DNA 粒子の凝集とそれを模したシミュレーション。(a) DNA/PEG-A complex の凝集。実験で得られた写真を右に、左に模式図を示してある。焦点内には 9 個の粒子が拘束されている。レーザーを解除するとそれぞれの粒子は再びバラバラに運動を始めた。(b) DNA/Chol-PEG-A complex の凝集。実験状況は同じである。真ん中のパネルの時点で 17 個の粒子がトラップされている。レーザーを解除した後、焦点からは DNA が直線状に連なった棒が現れた。前後の状況から、この棒は焦点から光の進行方向奥に立ち上がっていたと推察される。(c) 体積斥力のみでの粒子の凝集。引力はレーザートラップを模した。(d) 衝突すると相対位置を保存する粒子の凝集。ポテンシャルは (c) と同じ。

れている粒子と新たにトラップされた粒子の運動はその力で強く律されているので、衝突の向きが軸に沿いやすくなる。トラップされている assembly が直線に近いと、図 1(d) にある様に軸に沿ってトラップされるので、直線として成長していく。また、粒子が光の散乱力に押されて、レーザーの入射方向から焦点に入ってくる事が多い事と、assembly 自体も押されて焦点から奥に立つ形でトラップされる事で、十分大きい棒は光の軸に沿った向きに焦点から立つ為、勾配力が溶液のランダム力に比べてずっと大きい焦点付近に衝突ポイントが保たれる。これらの現象が合わさって実験で得られた様な、真っ直ぐな棒が生成される事が確認できた。

この様に粒子の凝集過程を強力な外力ポテンシャルで制御し、形成される構造体を任意の形状にする実験はこれまで殆ど行われておらず、同様の現象はコロイド粒子の凝集として興味深いと思われる。

謝辞— この研究は、松澤有希子博士 (豊橋技科大・エコ)、小山義之教授 (大妻女子大・家政)、吉川研一教授 (京大・理) との共同研究で行われました [1, 2]。

参考文献

- [1] Y. Matsuzawa, K. Hirano, A. Mizuno, M. Ichikawa and K. Yoshikawa, *Appl. Phys. Lett.* **81**, 3494-3496 (2002).
- [2] M. Ichikawa, Y. Matsuzawa, Y. Koyama and K. Yoshikawa, *Langmuir* **19**, 5444-5447 (2003).