

# 光学微小回転体における運動モード変換

原田 崇広\*

Takahiro Harada

京大理

Department of Physics, Graduate School of Science, Kyoto University, 606-8502 Kyoto (Japan)

集光されたレーザーの焦点にトラップされた誘電体は、その形状にカイラリティがある場合光の散乱のために回転運動を行う。これまである特定の形状をした物体はその形状が定める一つの方向にしか回転しないと考えられていたが、今回、同一の形状の物体であっても、両方向の回転を誘起できることが実験的に明らかになった。物体のどの部分をトラップするか、またどのような姿勢で物体がトラップされるかを制御することによって物体にはたらくトルクを逆転させることができる。

実験ではキラルな形状をした回転体として、アフリカツメガエルの精子染色体を用いた。この分子集合体は全長  $20\ \mu\text{m}$  程度のらせん形をしている。トラップする部分と姿勢の制御は、染色体の任意の部分に直径  $2\ \mu\text{m}$  のポリスチレンビーズを付着させることにより行った。このビーズをトラップすると染色体はビーズのまわりに回転運動を行う。ビーズがらせんの一端に取り付けられた場合、ビーズの位置がらせんの内側か外側かによって染色体は左右両方向の回転運動を行った (Fig. 1 A, B)。また、らせんの中央にビーズを取り付けた場合と、染色体を無修飾でトラップした場合とでは、双方ともらせんの中央が回転中心であるにもかかわらず、反対方向の回転を行った (Fig. 1 C, D)。

回転のメカニズムは次のように考えられる。染色体は光を散乱することによって力を受け、回転中心 (光の焦点) の周りにトルクが発生する。回転する染色体は周囲の溶媒か

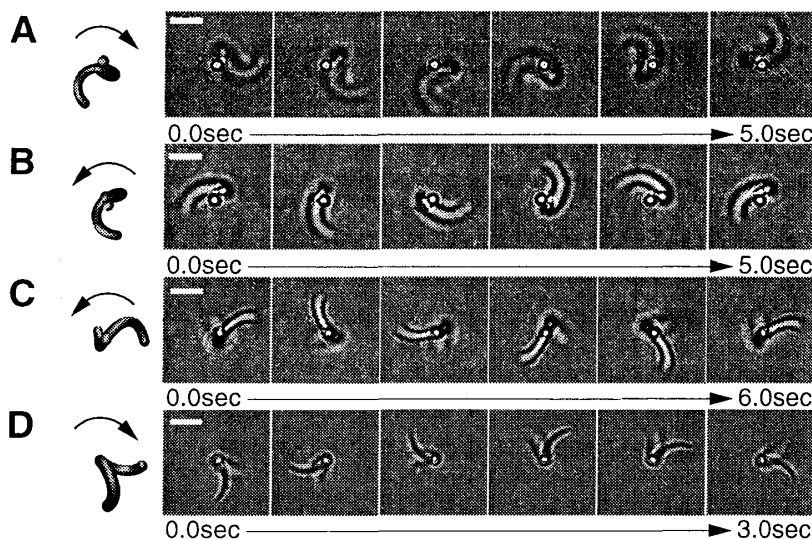


Fig. 1. 精子染色体の回転運動。スケールバーは  $5\ \mu\text{m}$ 。(A) ビーズがらせんの内側端に付いた場合。(B) ビーズがらせんの外側端に付いた場合。(C) ビーズがらせん中央に付いた場合。(D) ビーズの付いていない染色体をトラップした場合。

\* e-mail: harada@chem.scphys.kyoto-u.ac.jp

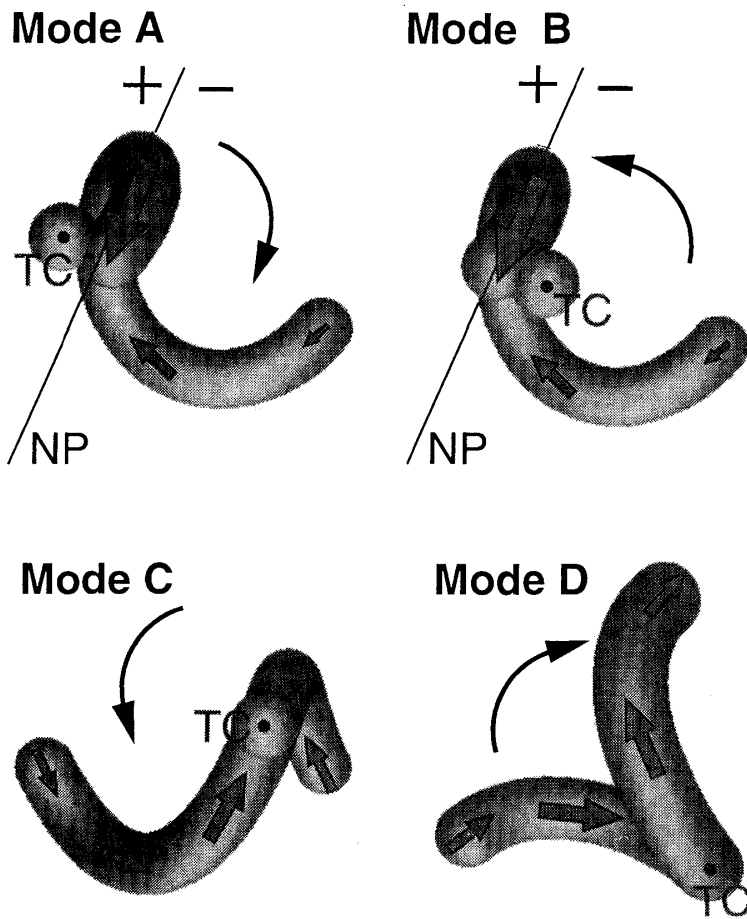


Fig. 2. 染色体にはたらく力と回転方向。実験で見られた各運動モードに対して、散乱力の向きと大きさを模式的に示す。「TC」はレーザーの焦点（回転中心）の位置を表し、「NP」はトルクの零平面を表す（本文参照）。

らその角速度にほぼ比例するような粘性抵抗をうけ、それによるトルクが散乱力のトルクと釣り合って、一定角速度の回転になる。

光の散乱によって染色体が受ける力は各点における局所的な光の強度に比例し、回転軸に垂直な平面内で見るとらせんの中心線に沿った方向になる。光は焦点付近で強く集光されているために、回転方向の決定には焦点付近にある部分が受ける力の寄与が主要である。このような考察のもとで染色体の各部分が受ける力から回転方向を考えると、実験で見られたものと定性的に同じ結果が得られる (Fig. 2)。さらに半定量的な理論計算によっても同様の結果が得られている。

モードAとモードBとで回転方向が逆になることは次のようにも理解できる。これらのモードではトラップされた染色体はレーザー場に対してほぼ同じ配向にあり、受けている散乱力も同じと見なせる。焦点近傍の部分にはたらいっている力が主要であるので、近似的に全部の力がその部分にはたらいっているとみなしても良い。その部分を通り全力のベクトルと回転軸とを含む平面（「トルクの零平面」）を考えると、回転中心がこの平面のどちら側にあるかによって散乱力のモーメントの符号が変わってくるのである。実際、モードAとBとでは回転中心がこの平面を挟んで位置しているため、両者の回転方向が逆転する。

結論として、物体がトラップされる部分とその姿勢を制御することによって単一の回転体についても両方向の回転運動をさせられることを実験的に明らかにした。今回の研究結果はこのような光学回転体を動力とする微小機械の研究に応用されるものと期待できる。