

光トラップされたマラリア感染赤血球の 回転運動の機構に関する理論的研究

(¹東北大院・理、²東大院・理) ○山田敏博¹、加藤毅²、河野裕彦¹、藤村勇一¹

【序】近年、レーザーを用いて分子レベルでの操作や反応制御を行う研究が盛んに行われている。また、細胞や脂質二重膜等のマイクロメートルサイズの生体物質をレーザー光や電場で操作する技術も医

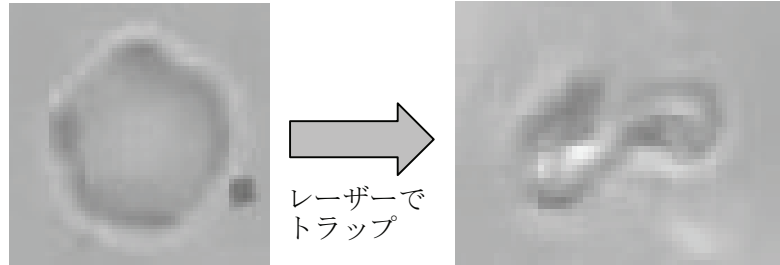


図 1 近赤外レーザー光で捕捉されたマラリア感染赤血球の変形。両凹面構造の赤血球（左）がレーザー焦点付近に捕捉されると、ねじれるような変形を示す（右）。

学・生物学等への応用という点から重要な研究分野になっている。このような生体物質系の光操作に関する研究の一例として、近赤外レーザー電場中における赤血球の捕捉・変形・回転の実験がある[1,2]。両凹面円盤形状を持つ赤血球がレーザー光の焦点付近に捕捉される。その後の赤血球の挙動はマラリア原虫の感染の有無やレーザー光の偏光などの要素によって変化を見せ、例えば、マラリア原虫に感染している赤血球の場合には、補足後ねじれるように変形し（図 1）、その後直線偏光でも回転し始めることが報告されている。本研究ではレーザー場中における赤血球のダイナミクスを支配する要因を明らかにすることを目的とする。

【剛体モデルによる回転運動の解析】文献 1 の実験における回転の挙動を詳細に解析したところ、周期的な変調を受けていることがわかった（図 2）。我々は、この変調部分について、レーザーの偏光軸に向かって加速、偏光軸を通過後減速するという挙動

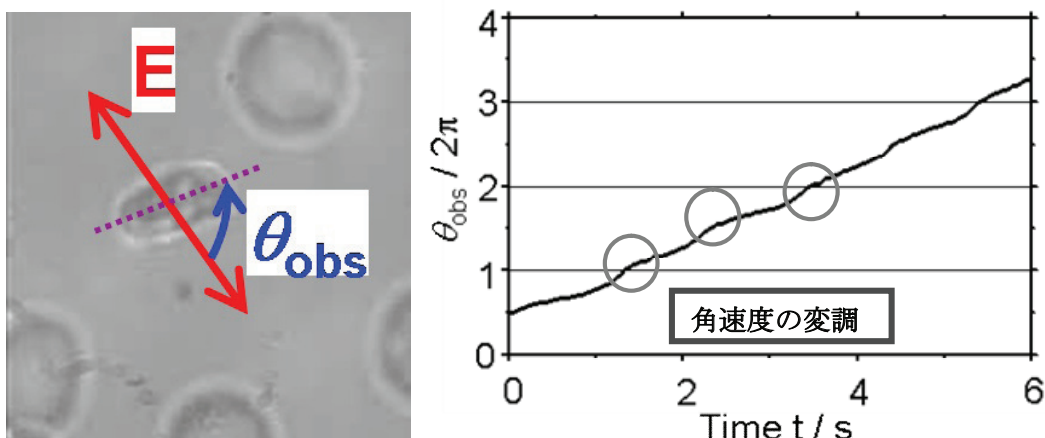


図 2 レーザーの偏光軸 (\mathbf{E}) と変形した赤血球の長軸のなす回転角 θ_{obs} の定義（左）と、その時間変化（右）。1 回転の間に 2 回の周期的な角速度の変調（右図中の丸）が確認できる。

に着目し、変形した赤血球を複屈折性を持つ剛体棒とみなし (図 3)、レーザーを照射した場合に生じるトルクを計算した[3-5]。その結果、複屈折性によって生じるトルクは赤血球のレーザーの偏光軸方向への配向を駆動するトルクであることが確認された。これより、角速度の周期的変調を赤血球が複屈折性を有するモデルによって説明することができた。また、実験における回転速度と変調から見積もられる複屈折性の大きさは一般に複屈折性物質として知られる方解石などと比べて 1~2 桁小さく、赤血球の持つ複屈折性の大きさとしては過大ではないこともわかった [5]。

一方、定常的な回転については複屈折性とは異なる機構で生じていることがわかった [3,4]。我々はこのもう一つの回転機構を解明するために、上で用いた剛体棒モデルを改良することで、レーザー光の反射の際の運動量移行による光圧回転子としての挙動[6]を解析した[5]。変形した赤血球は図 1 右に示すように大きくねじれた形状をとる。これを単純なプロペラ構造と見なすことにし、これに対してレーザー光が照射されたとき、どれぐらいのトルクが生じるのかを計算から見積もった (図 4)。その結果、計算値は実験から見積もられたトルク 10^3 pN nm と同程度のオーダーを持つことが確認された。これより、変形赤血球の定常回転は変形した赤血球が光圧回転子として作用することによって生じていると説明することができた。

本発表ではこれらの詳細および最新の実験結果に関する考察について報告する。

【文献】

- [1] J.A. Dharmadhikari et al., Optics Express 12, 1179(2004).
- [2] J.A. Dharmadhikari et al., Appl. Phys. Lett. 85, 6048(2004).
- [3] 山田敏博他、分子系の極微構造反応の計測とダイナミクス 第4回公開シンポジウム(2006)、講演番号 P-15
- [4] 山田敏博他、第2回分子科学討論会(2008)、講演番号 1P067
- [5] 山田敏博他、日本化学会第89春季年会(2009)、講演番号 2A4-42
- [6] M Khan et al., J. Nanosci. NanoTechnol. 7, 1800(2007)

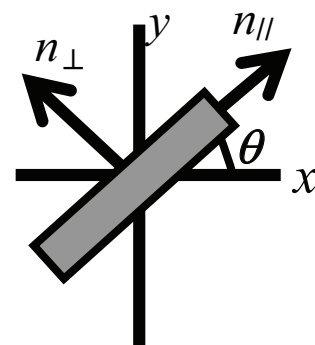


図 3 x - y 平面上の剛体棒モデル。偏光軸は x 軸で、偏光軸とモデルの長軸がなす角度を θ とする。レーザー光の進行方向は z 軸と平行。複屈折性は長軸方向の屈折率 $n_{//}$ とそれに垂直な方向の屈折率 n_{\perp} の違いによって定義される。このモデルで赤血球の回転は角度 $\theta(t)$ で記述される。

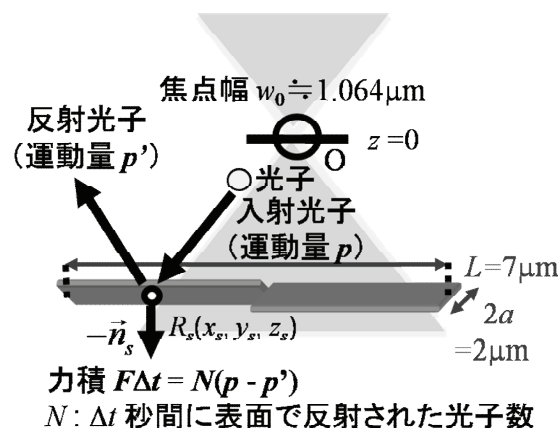


図 4 プロペラ状変形赤血球の光圧回転子としての回転機構。運動量 p を持った光子が赤血球の表面で反射されると、運動量が p' に変化する。この運動量の変化分だけ赤血球が力を受け、これがトルクとなって回転する。