

赤血球の分子膜モデルと 光誘起ダイナミクスに関する理論的研究

¹東北大学院理、²東大院理、³Tata Institute of Fundamental Research
○山田敏博¹、加藤毅²、河野裕彦¹、藤村勇一¹、Deepak Mathur³

【序】 近年物理化学分野において生体系を対象とした研究が増えつつあり、レーザー光と生体物質の相互作用を取り扱った種々の実験が行われるようになってきている。

そのような実験の一例として、近赤外の直線偏光レーザーによって捕捉された赤血球の変形と回転[1,2]が報告されている。まず、レーザーの焦点付近に捕捉された赤血球は2つに折りたたまれるように変形した後、偏光軸に対して配向する。この変形と配向はレーザー照射中維持され、照射を止めると変形は解除し元の形状に戻る。また、マラリア原虫に感染した赤血球(以降感染赤血球と呼ぶ)を用いた場合には特に興味深い現象が起こる。捕捉された感染赤血球は通常の赤血球よりも大きく変形し、ねじれてプロペラ状になる。さらにレーザーを照射し続けると、感染赤血球は回転を起こし、照射を止めるまで回転を続ける。また、その回転方向は焦点の前後で反対になるという特徴を持つ。我々はこのダイナミクスの解明を目的にこれまで回転の解析を主に研究を行い、多くの知見を得ることができた。一方、偏光による回転の挙動の違いやマラリア原虫に感染による回転の挙動の違いは赤血球の変形の違いに大きく依存する可能性が非常に高いこともわかってきており、今後は変形の解析を進めていく必要が出てきた。そこで本研究では赤血球膜を巨視的・微視的両面からモデル化し、そのダイナミクスを再現することを目標とした。

【巨視的視点によるモデル化】 我々はモデル化の第一段階として赤血球膜である資質二重膜を巨視的な視点からモデル化することを目指した。実際に作成したモデルを図1に示す。

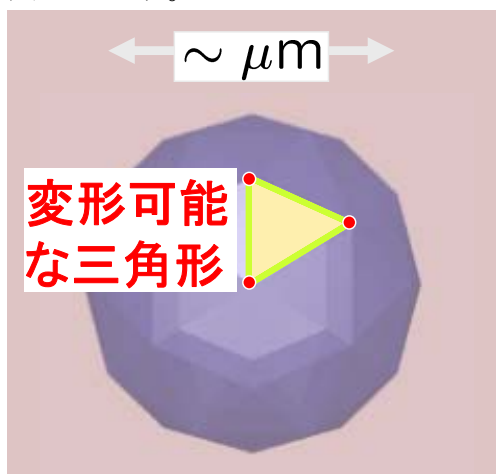


図1 作成したモデル。変形可能な複数の三角形の組み合わせで膜が構成されている。

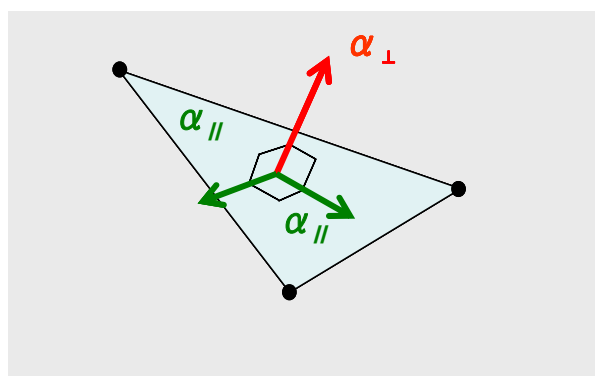


図2 膜モデルに配置した分極テンソル。テンソルの配置位置は三角形の重心にあたる。また、ここでは膜に平行な成分は同じものとみなしている。

このモデルにおいて、赤血球膜は質量を配置した頂点と、隣り合う頂点間の線分で作る三角形の張り合わせで表現される。膜の伸縮は頂点の移動による三角形の変形によって記述することができる。この頂点の運動は膜の表面積や体積、さらに表面張力に対応するポテンシャル等によって記述することができる。これによって、基本的な膜の復元力を再現できる。また、電場との相互作用については図2のように各三角形の重心に分極率テンソルを配置し、この分極率テンソルと電場の相互作用から分極エネルギーを計算し、そこから各頂点にかかる力を計算できる。以上のモデルを用いて静電場による膜の変形応答を計算によって再現することができた。図3に赤血球の両凹面構造に相当する形状の安定状態にあるモデルを示す。このように巨視的な視点の解釈によって、赤血球膜のダイナミクスをある程度記述できることがわかった。

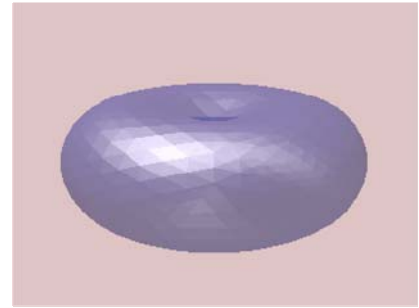


図3 赤血球型モデル。

【微視的視点によるモデル化】 巨視的な視点による解析から、赤血球膜の基本的なダイナミクスを記述するモデルを得ることができた。しかし、赤血球の膜のダイナミクスを正確に記述するにはこのモデルでは不十分であると見え、さらに改良を加えることを目指した。図4に赤血球膜の微視的構造を示す。図4のひもタンパクが伸縮することによって赤血球膜の変形が誘起されることがこれまでに知られている[3]。この構造をモデルに取り込むことで変形の挙動に変化が生じるのではないかと考えられる。この詳細は本発表で報告する。

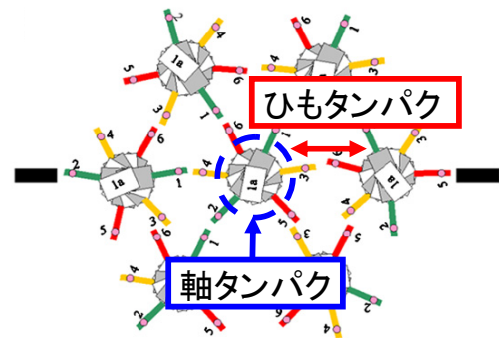


図4 赤血球膜の微視的構造[3]。軸タンパクに負荷がかかると、それに伴いひもタンパクが伸縮する。それが近接する別のひもタンパクに伸縮を生じさせることで、変形の情報をも膜全体に伝播させる。

【結論と展望】 赤血球膜構造を巨視的視点からモデル化することで、生体膜の基本的な動的挙動を記述できるモデルを作成した。さらに、微視的構造に基づくダイナミクスをモデルに取り込むことで変形についてより詳細な議論ができるようになると思われる。今後はポテンシャル形状やモデル作成法の改良を通じてより正確に膜を記述できるモデルの作成へと進むことを目指す。

【参考文献】

[1] J.A. Dharmadhikari *et al.*, Optics Express **12**, 1179(2004).
 [2] J.A. Dharmadhikari *et al.*, Appl. Phys. Lett. **85**, 6048(2004)
 [3] Vera C *et al.*, Ann. Biomed. Eng., **33**, 1387(2005)