

反射干渉顕微鏡による石鹼薄膜化の観測： 画像表示・解析システムの開発

(広島市大院・情報) ○信藤 慎平, 藤原 久志, 石渡 孝

1. はじめに

我々の身近にある石鹼膜は、Newton や de Gennes (1991 年ノーベル物理学賞) を魅了した古くて新しい研究対象である¹⁾。石鹼膜は、石鹼水にコの字型の金枠を浸し、上方に引き上げることで簡単に作製できる。特に市販の純石鹼 (ミヨシ石鹼製 “無添加 食器洗いせっけん”) を用いて石鹼膜を作製し、その薄膜化を反射干渉顕微鏡で観測すると興味深い模様形成が見られる²⁾。こうした模様形成機構の解明を目指して、界面活性剤としてオレイン酸ナトリウム (純石鹼の典型的な成分) のみを含む水溶液で石鹼膜を作製し、これを観測・解析した。

2. 石鹼膜の作成と観測

図 1 に、石鹼膜の反射干渉顕微鏡観測システムの模式図を示す。石鹼膜は 0.1M オレイン酸ナトリウム水溶液に金枠を浸し、自動ステージにより上方に引き上げることで作製した²⁾。反射干渉顕微鏡は、横向きにした金属顕微鏡の落射照明 (405nm) の反射光 (膜の前面と後面から) の干渉像を高速 CCD カメラ (640×480 画素, 8 ビット/画素, 200 枚/秒) に導く形で構成した³⁾。

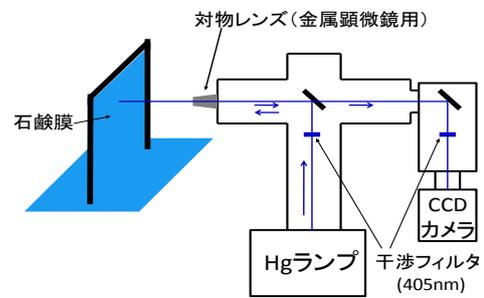


図 1 反射干渉顕微鏡観測システム

3. 実験結果

図 2 は、作製した石鹼膜の反射干渉顕微鏡画像である。金枠上昇が完全に停止した時刻を測定開始時刻 (0 s) としている。石鹼膜は上部ほど薄くなる形状で薄膜化していると考えられ、0 s (図 2 a) では膜厚に応じた干渉縞が確認できる。また 12 s (図 2 b) では干渉縞に加えて、画像上部に輝度がほぼ等しい幾つかの領域が見られる。オレイン酸ナトリウム水溶液により作製した石鹼膜では、円形の領域 (図 2 b 上部参照) の成長のみが観測され、複雑な模様形成は見られなかった。

図 3 には、図 2 の×点で示した位置の輝度値の時間変化を示す。金枠引き上げ後より輝度値は増減を繰り返す、さらに 6 s から 7 s 付近で最大となり、それ以降の時間領域では階段状に減少してゆく。さらに、金枠引き上げ後 32 s で石鹼膜が壊れ、以後の輝度値は 0 となった。

4. 石鹼膜の厚み解析

石鹼膜による光の干渉の様子を図 4 に示す。図 4 において、石鹼膜に入射した光の一部が石鹼膜の上面 (点 A)

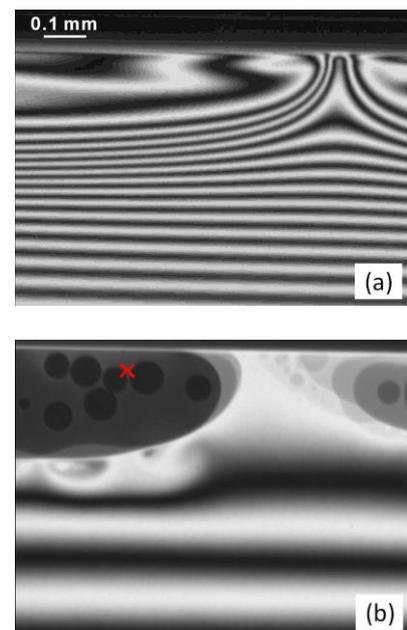


図 2 石鹼膜の反射干渉画像。金枠引き上げ後 (a) 0 s および (b) 12 s。

で反射し、石鹸膜を透過した光の一部が石鹸膜の下面(点 B)で反射する。この 2 つの反射光(点 A の反射光と点 C から現れる光)が干渉することで干渉縞が発生する⁴⁾。このとき、基本的な電磁理論並びにフレネルの方程式を用いると、反射光の強度(輝度値) $I_{reflected}$ は

$$I_{reflected} = 4I_{incident} R \sin^2\left(\frac{2\pi}{\lambda} n t_f \cos i\right) \quad \text{①}$$

で表される⁴⁾。ここで、 $I_{incident}$ は入射光の強度、 R は膜の表面で反射する光の割合、 λ は入射光の波長、 n は膜の屈折率(波長 404.7 nm での水の屈折率 1.3428 で近似⁵⁾)、 t_f は膜の厚みである。なお、本研究は落射照明であるため、角度 i 、 r は共に 0 である。

ここで、①式によれば、 $I_{reflected}$ は 0 と $4I_{incident} R$ の間で周期的に変化する。しかし、図 3 に示すように、金枠引き上げ後 7 s 以降の時間領域では輝度値は減少するのみである。そこで、この時間領域では、①式より、得られた輝度値から厚みを一意に算出可能である。

この考えに基づき、図 3 の輝度値の時間変化から算出した石鹸膜の厚みの時間変化を図 5 に示す。図 5 より、石鹸膜が階段状の層構造を形成しつつ、時間が経過するにつれて薄膜化している様子が確認できる。このような階段状の層構造形成 (stratification) は、これまでの石鹸膜研究でよく知られている⁶⁾。

5. 今後の予定

今後さらに、石鹸膜分子(界面活性剤)の選択を変えた実験を行い、模様形成の条件を調べる予定である。また現在、反射干渉観測システムにより取得した画像データは 8 ビットデータである。今後は 12 ビットデータを扱う予定であり、より豊かな色階調表現が可能な疑似カラー表現を用いた表示・解析ソフトウェアの開発に取り組んでいる。

【参考文献】

- 1) P. G. de Gennes, Jacques Badoz (訳:西成勝好, 大江秀房), 科学は冒険!(1999)
- 2) 森政之、藤原久志、石渡孝、分子構造討論会(東京)、3P177 (2005)
- 3) 藤原久志、池田貴裕、磯部耕兵、石渡孝、分子科学討論会(大阪)、4P049 (2010)
- 4) D. Weaire and S. Hutzler, *The Physics of Foams* (Oxford University Press, New York, 2000)
- 5) 吉村武晃、光情報工学の基礎、29-30 (2000)
- 6) A. A. Sonin and D. Langevin, *Europhys. Lett.* **22**, 271 (1993).

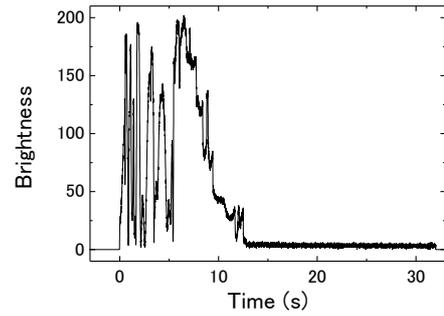


図 3 石鹸膜の反射干渉画像における輝度値の時間変化

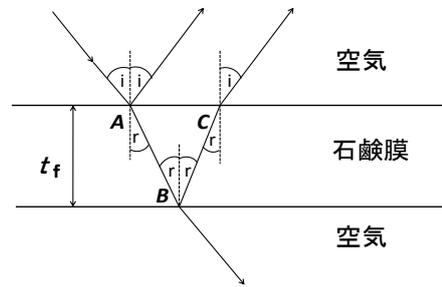


図 4 石鹸膜による光の干渉

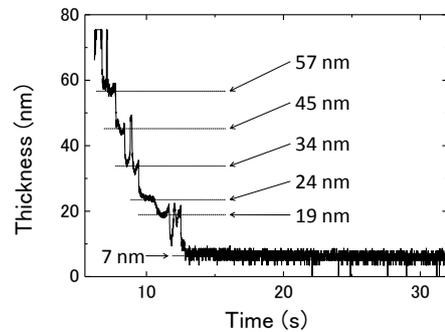


図 5 石鹸膜の厚みの時間変化