

温度勾配下のコレステリック液晶滴における配向場の自励振動

(立命館大理工) ○吉岡潤, 深尾浩次

【はじめに】 風による旗のはためき、BZ 反応、あるいは心臓の収縮・弛緩等に見られるような、非周期的な外力、エネルギーを取り込んで駆動される振動は自励振動と呼ばれる。自励振動は非平衡開放系において普遍的に観測される非線形現象であるが、一般にその機構は複雑であり、現象の力学的理解に困難を伴うことが多い。旗のはためき現象に着目すると、流動によって構造物（旗）が変形し、またその変形によって流動場が変化する、という複雑な相互作用が振動を誘起することが分かっており、計算科学的手法を用いてもこの現象の完全な再現は未だ難解な課題であるとされている。一方、液晶は構造を有しつつ流動する複雑流体であり、旗のはためきの事例と照らし合わせると、自励振動は液晶系においても得てして発生する現象であろうと考えられる。我々は以前、ネマチック(N)液晶が形成する滴（液晶滴）が液体中に分散した系において温度勾配を印加すると、対流が誘起されて配向場が変形することを発見した(Fig.1) [1-4]。これに対して本研究では、コレステリック(Ch)液晶を用いて液晶滴を作製し、上記と同様の実験を行った。その結果、特定の条件下で配向場が変形を繰り返す自励振動が誘起されることが判明した。

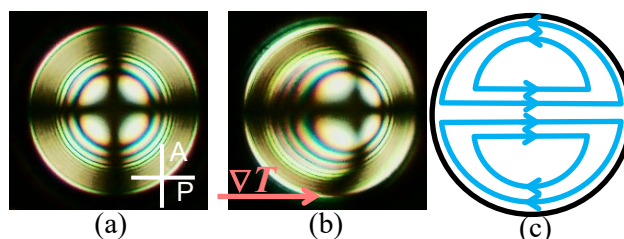


Fig. 1. (a)(b) POM images of N droplets (a) with and (b) without temperature gradient (∇T). A and P indicate analyzer and polarizer, respectively. (c) Flow-field induced by the temperature gradient.

【実験のセットアップ】 本研究では、Ch相を示す液晶試料として、N相を示すE8にキララ添加剤S811(Merck社)を0.1~0.2wt.%程度混合したものを用いた。これとフッ素鎖系オリゴマーPF656(Omnova社)を質量比3:7で混合し、サン

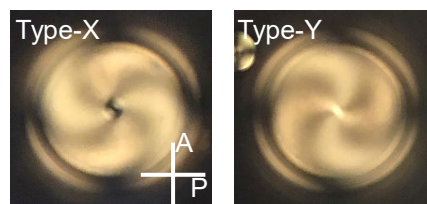


Fig. 2. POM images of Ch droplets.

ドイッチセル内においてCh液晶滴が液体溶媒中に分散した系を作製した。上記の試料を偏光顕微鏡(POM)で観察したところ、Fig.2に示すようにねじれた十字状の組織を伴ったCh液晶滴が観察された。その際、ねじれの方向は一意に定まらず、同一の試料内で左向き(Type-X)および右向き(Type-Y)にねじれた組織を有した液晶滴が、ほぼ等確率で発現した。

【共焦点顕微鏡による構造解析】 Ch液晶滴の構造を、共焦点蛍光顕微鏡観察によって解析した。その結果、液晶滴は上下両側のセル基板に付着して円柱状を示しており、またその中心軸状には点欠陥が存在することが示唆された。この欠陥は液晶滴の中心ではなく、Fig.3に示すように上下どちらかの基板付近に局在する(Type-X,Y)。このとき、局在がどちらの基板付近に起こるかによって、Fig.2において確認される組織のねじれの方向が決定していることが判明した。

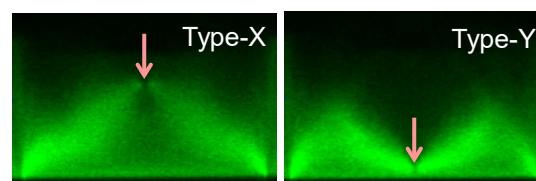


Fig. 3. Side cross-sectional views of Ch droplets obtained by confocal fluorescence microscopy. The location of the point defects are indicated by red arrows.

【流動による配向変形と振動の発生】 上記の Ch 液晶滴に対して、温度勾配を印加しつつ偏光顕微鏡観察を行ったところ、Fig.4 に示すように温度勾配 ∇T が増加するに伴い十字状組織の中心にある点欠陥は高温側へ移動した。これは、N 液晶滴の場合と同様、温度勾配印加によって滴内部発生した対流が、配向場を変形させたためであると考えられる[3]。一方、N 液晶滴の場合とは異なり、点欠陥の移動方向は温度勾配の方向と平行ではなく、組織のねじれの方向に応じて勾配方向から左右にずれることが判明した。

また、液晶滴のサイズが小さい場合は、Fig.4(e)に示すように高温勾配下においてねじれが解消する。その一方で、サイズの大きい液晶滴に対して高い温度勾配を印加すると、Fig.5 に示すように液晶組織が一定周期で変形を繰り返す自励振動が発生した。以上より、ねじれた、あるいはねじれが解消された配向場を伴う 2 つの定常状態 (Twisted, Untwisted) と、配向場に自励振動が生じる状態 (Oscillated) が存在し、滴サイズおよび温度勾配の大きさによってこれら 3 状態間の

転移が生じることが分かる。実際に、実験結果より温度勾配および液晶滴半径を軸として分岐図を作成すると Fig.6 が得られ、確かにこれらをパラメータとして状態が遷移することが確認された。以上の現象は、温度勾配によって発生した流動と配向変形の相互作用によって誘起されていると考えられる。そこで我々は、流動場、配向場に対して単純化したモデルを設計し、オンサーガーの変分原理[5]を適用することで現象を記述することを試みた。詳細は発表で述べる。

【参考文献】

[1] A. Fernández-Nieves, D. R. Link, M. Márquez, and D. A. Weitz, *Phys. Rev. Lett.* **98**, 087801 (2007)
 [2] S. Herminghaus et al., *Soft Matter* **10**, 7008 (2014)
 [3] J. Yoshioka and K. Fukao, *Phys. Rev. E* **99**, 022702 (2019)
 [4] P. Oswald, J. Ignés-Mullol and A. Dequidt, *Soft Matter* **15**, 2591 (2019)
 [5] M. Doi, *J. Phys.: Condens. Matter* **23**, 284118 (2011)

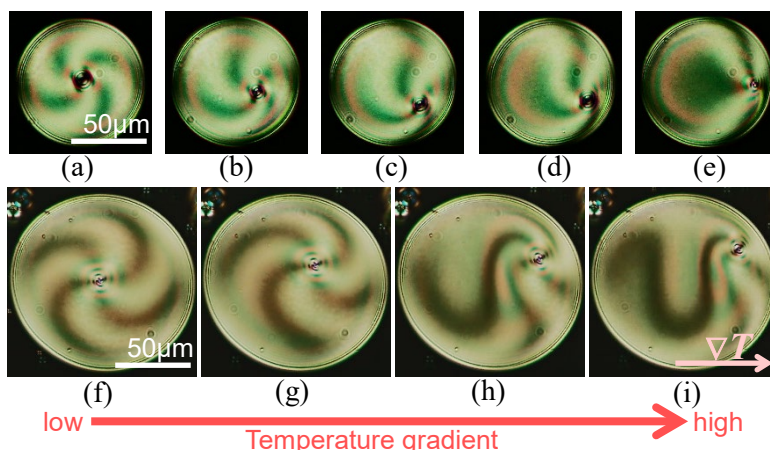


Fig. 4 POM images of twisted and untwisted states under different temperature gradients. (a),(f) $\nabla T = 0\text{K/mm}$, (b) 11.0K/mm , (c) 21.3K/mm , (d) 33.6K/mm , (e) 44.0K/mm , (g) 6.7K/mm , (h) 12.8K/mm , (i) 18.6K/mm .

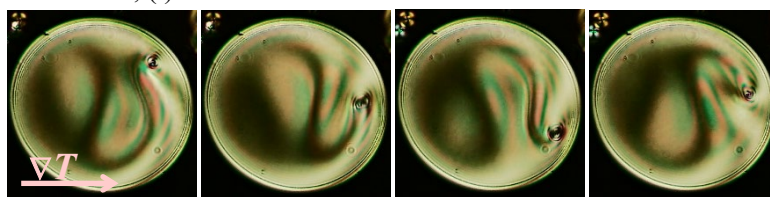


Fig. 5 Time evolution of POM images under oscillated state. Time interval is 4 sec, and temperature gradient 30.9K/mm .

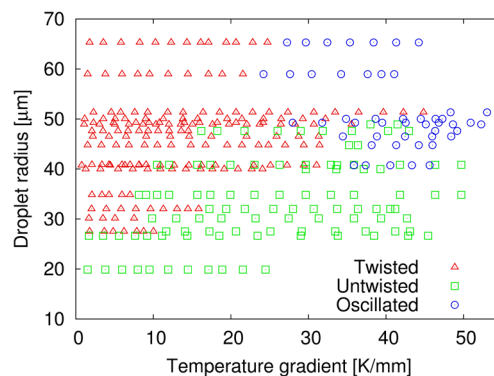


Fig. 6 Bifurcation diagram.