

## 閉じ込め系において液晶がつくるらせん構造と、その熱駆動回転

コレステリック液晶がつくる球状の滴に温度勾配を印加すると、滴内部の組織に回転運動が誘起される。このとき、その回転の性質は滴内部における液晶の分子配向場に強く依存する。ここでは、コレステリック液晶がつくる代表的な配向場である Single helix および Double twist 構造が埋め込まれた液晶滴を取り上げ、それらに温度勾配を印加したときに駆動される回転運動を解析した最新の研究成果を紹介する。

液晶は液体と固体の性質を併せ持つ中間相である。中でもコレステリック(Ch)液晶は、液体の流動性を有すると同時に、分子配向方向が空間的に徐々にねじれて行く性質を有し、十分に広がった空間（バルク）においては一次元的ならせん状の構造（Single helix）を発現させる（図 1）。この Ch 液晶を加熱冷却し、温度勾配を与えると分子配向方向が回転する、という現象が 1900 年に液晶の発見者である Lehmann によって報告された（Lehmann 回転）。しかしながら、Lehmann の発見後約 1 世紀にわたって誰もこの現象を再現することができず、Lehmann 回転に対する実験的研究は完全に頓挫していた。このような状況下で近年、Lehmann 回転を再現したものとして、Ch 液晶がつくる球状の滴（Ch 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液晶滴上の組織が回転するという現象が報告された（図 1）。

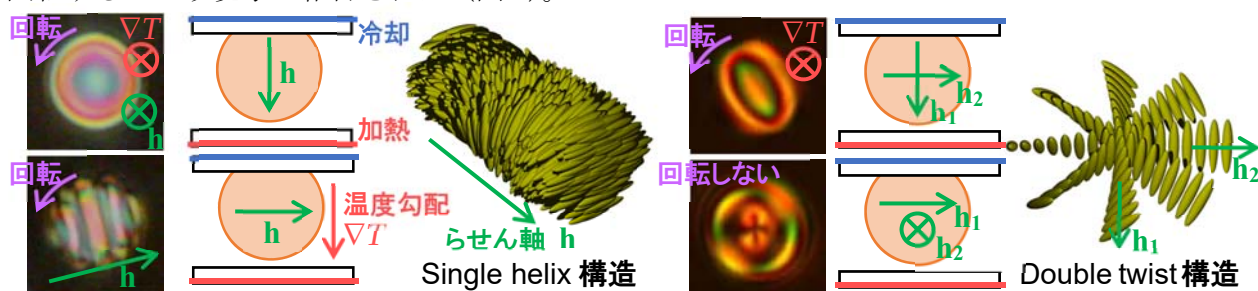


図 1. Single helix および Double twist 構造を有した Ch 液晶滴における熱駆動回転

これまで上記の現象は、主に前述の Single helix 構造を有した液晶滴において観測されていた。その際回転の挙動は、温度勾配の印加方向に対してらせん軸がどの方向を向いているかによって、大きく変化することが報告されている。例えば、らせん軸が温度勾配の方向を向いている場合、液晶滴内部のらせんのねじれ（キラリティー）が強いほど回転速度が速くなるが、両者が直交している場合、キラリティーの増加に伴って回転が減速する。Lehmann 回転は、系がキラリティーを有することが前提で起こる現象なので、前者は自然な挙動であると言えるが、後者は全く直感に反する。このような違いが、ただ単に液晶滴の配置を変えることで生じる理由に関して、これまで明快な説明はされて来なかった。

一方、典型的な Ch 液晶はバルクにおいては Single helix 構造が最安定であるが、狭い空間に閉じ込められた場合はこの限りでない。実際、単に Ch 液晶を十分に狭い空間に閉じ込めるだけで、空間上のある一点かららせん軸が二次元的に放射状に分布する Double twist 構造（図 1）が、Single helix 構造よりも安定化し得ることが知られている。最近、早稲田大学先進理工学研究科物理学及応用物理学専攻の研究グループは、上記の Double twist 構造を有した液晶滴においても、温度勾配を印加することで回転運動を誘起することに成功した。その際、Double twist 構造の有するらせん軸

が温度勾配と平行な成分を有する場合は効率よく回転が駆動されるが、全てのらせん軸が温度勾配方向と直交する場合、回転はほとんど駆動されないということが判明した。

上記の結果は、回転を駆動するためには温度勾配に平行ならせん軸が必要、ということを強く示唆する。一方で、Single helix 構造を有した液晶滴においては、らせん軸が温度勾配と直交している場合でも回転が駆動される。これらの結果は、明らかに矛盾しているように見える。そこで前述の研究グループは、Single helix 構造を有した液晶滴の内部配向場をさらに詳細に解析した。その結果、Single helix 構造に加えて、そのらせん軸に直交する方向にも分子配向がねじれている、ということが明らかとなった（図 2）。このねじれ構造は Double twist 構造と同様、Ch 液晶が狭い空間に閉じこめられたことによって発現するものであり、表面誘起ねじれと命名されている。また、上記の液晶滴は Single helix 及び表面誘起ねじれ由来の 2 つのらせん軸を有することとなるため、それぞれ主軸、表面誘起軸と呼ばれて区別されることとなった（図 2）。表面誘起軸は主軸に直交するため、主軸に直交する方向に温度勾配を印加した場合は表面誘起軸が温度勾配と平行になる。また、このときに駆動される回転の速度と同様に、表面誘起ねじれの強さは、キラリティーの増大とともに小さくなる。これらの結果より前述の研究グループは、主らせん軸と温度勾配が直交する場合は、表面誘起ねじれが回転を誘起する原因になっていると結論付けた。さらに以上を総合すると、Ch 液晶滴における回転運動は、温度勾配方向に平行ならせん軸によって駆動されているというモデルによって、一連の現象を統一的に説明できる（図 2）。これらの成果は、日本物理学会が発行する英文誌 Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ) の 2016 年 11 月号に掲載された。

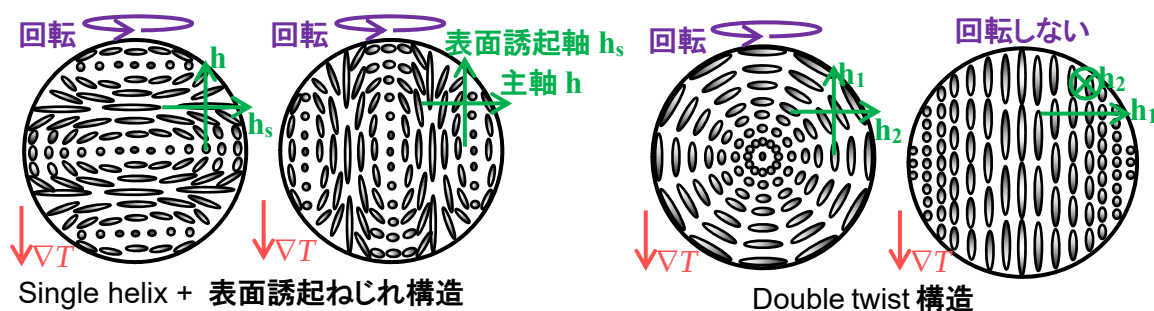


図 2. 各種 Ch 液晶滴の中央断面図および熱駆動回転との関連性

このように、温度勾配を印加すると何が起こるか、狭い空間に閉じ込めると構造がどうなるか等、液晶系においては比較的シンプルな操作に対する応答であってもよく分かっていないことが多い。ここで取り上げた Ch 液晶の Lehmann 回転を例にとっても、未だに現象論的なレベルの理解しかされておらず、その具体的な機構は全く不明である。基礎研究の観点から見て液晶系は未だ様々な課題を内包した研究分野であり、上記のような研究成果一つ一つを足掛かりに、今後その実態が解明されていくことが期待される。

## 原論文

[Heat-Driven Rotation in Cholesteric Droplets with a Double Twisted Structure](#)

[Fumiya Ito, Jun Yoshioka and Yuka Tabe: J. Phys. Soc. Jpn. 85 \(2016\) 114601](#)

問合せ先：吉岡 潤（国立研究開発法人理化学研究所 創発物性科学研究センター）