

昆虫がレーザー発振する！？

東京工業大学 有機・高分子物質専攻

渡辺 順次

色は通常モノの属性の一つとして語られる。そして一般的には、モノの成分である化合物の光に対する吸収により色が現れる。いわゆる色素である。このような光の吸収とは異なった機構で色を呈するものが、天然には多く認められる。構造色と呼ばれるもので、微細なナノ構造による光の回折、干渉、屈折、散乱で発色する一群のものである。例えば、モルフォ蝶に代表される蝶の鱗粉、孔雀のはねの色、昆虫のはねの色、魚の体表の虹彩、真珠やオパール輝きなどである。これらのほとんどにおいて、どのようなナノ構造で発色しているのか？、その発色メカニズム

については現在の優れた解析装置で解明されてきているが、どのようにナノ構造が創製されてきたのか？という疑問には、全くと言っていいほど答えられてきていない。天然が創り出すのだから、自発的な構造形成によるものであるという確固とした事実があるにもかかわらず。

これらの中で、我々によって明確にされてきているものがある。昆虫の体表の色である。例えば、図1を見ていただきたい。カナブンを、円偏光子を通して観測したものである。右円偏光子では変わらず光輝いている(図左側)が、左円偏光子を通すと全く彩色は消えてなくなり(図右側)、その金属色に似た輝きが円偏光の選択反射によるものであることを知る。このような円偏光の反射特性は、分子のらせん凝集構造によってのみ生み出される。そしてらせん構造を形成しえる場は唯一コレステリック液晶のみである(図2参照)。実際、生体組織体を形成する基本高分子、タンパク質、キチン質、セルロースのいずれもが棒状形態でかつ光学活性であり、コレステリック液晶を形成する能力があり、またそのことは実験室的にも確かめられてきている。おそらく、セル内で合成された生体棒状高分子は、セル外で濃度を高めコレステリック液晶を形成し、らせんピッチを減少させながら固体組織構造へと推移していき、最終的にらせん構造を残してきたと推論するに足るものである。

英国の Neville 等のグループがこの確信に満ちた探索を行い、コレステリックらせんが多くの他の生体種においても、フィルム状、繊維状の組織構造部位に存在するという事実を広く知ることとなった。また現実には我々は多種の光学活性液晶高分子素材を用い、モノドメインのコレステリック液晶を固化(あるいはガラス化)する方法で、“玉虫に似て玉虫を超えた”美しいカラーフィルムを作成し、生体系におけるらせん構造形成のメカニズムの正しさを実証してきている(図3参照)。

次の課題は“らせん構造はどのように機能しているか？”という疑問に答えることである。これに答える2、3の興味ある事実を紹介してみよう。Neville 等は、イギリスの大英博物館にある昆虫を調査した結果、



図 1. 右、左偏光子を通して見たカナブン

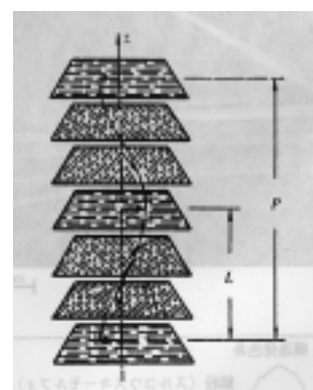


図 2. 光学活性である棒状高分子が形成するコレステリック液晶

砂漠に生息する昆虫の表皮は赤外光を反射する特性を持つという興味ある結果を得、熱線から体を守る保護膜となっていると推論している。また、コレステリックらせん層、ネマチック配向層、コレステリックらせん層といった三層積層構造を持ち、本来、右あるいは左円偏光しか反射できない単純コレステリックフィルムを、 $\lambda/2$ 板（ネマチック層）を中間に挟み、全反射系に変えている。目と光の相関も論じられており、鳥の目の角膜はコラーゲン繊維、また昆虫の複眼レンズはキチン質のフィブリルからなるらせん構造を持ち、円偏光を認識し、ナビゲーションの方位を決定したり、種の判別を行ったりする分光器となっていると考えられる。またある種の昆虫は蛍光物質を含み、らせんピッチと等しい蛍光波長の光を強く発光しているとも言われている。まだ想像の域を超えてはいないが、光学特性が生体機能と相関していることを何うに十分である。

我々は、これら昆虫に習い、コレステリック高分子素材を用い光学材料を創製することを行ってきている。コレステリック高分子素材としては、ポリペプチド、セルロース、ポリシラン、ポリエステル等、既にその多くをサーモトロピック系として開発済みであり、モノドメイン液晶の完全固定化という操作も実質的に確立してきている(図4参照)。問題は、社会的、産業的ニーズに応えるために、いかに安価で優れた光学素材を提供できるかにかかっており、高分子素材の物性(耐熱性、耐光性)とそのコレステリック液晶特性(らせんピッチの大きさ、その温度依存性、らせん構造の相関長、ガラス化温度)に関する基盤データをもとに、社会的、産業的ニーズに対する適材適所の光学機能素材を作り上げていくことにある。そのニーズとして、プリントカラー素材、バンドパスフィルター、赤外、紫外カットフィルター、液晶ディスプレイの光位相差板があり、これらの応用開発は現在まで着実に進行してきているし、光位相差板に関してはすでにある企業により工業化され、上市されている。

我々は、さらに新規で重要な試みとして、コレステリックらせん周期構造を利用し、半導体レーザの分布帰還キャビティと類似な構造をもつ分布帰還型レーザを設計しようとしている。半導体の場合には、活性層に平行な基板に周期格子を形成し、発生した光をこの周期構造によって反射させ、分布帰還を実現している。コレステリック液晶の場合にはらせん周期により光を選択反射する。もし、このコレステリックらせん構造中にレーザ色素をドーピングし発光させ、その発光波長域に選択反射波長が重なっている場合は光の閉じこめ増幅が起こり、反射帯のエッジでレーザ発振する(図5参照)。このようにして、外部ミラーを用いず共振器を内在しているコレステリック固体を用いた分布帰還型レーザが実現できる。



図 3. 各種カナブンと人工コレステリック膜の比較

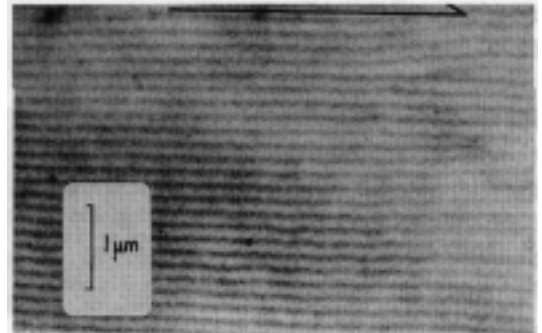


図 4. コレステリックフィルム面に垂直に切り取った薄片の透過電顕写真であり、らせん周期に由来する縞状模様が、均一に膜面(矢印方向)に平行配向したモノドメインらせん構造を見ることができる。明から明、暗から暗までがハーフピッチであり、この周期内には百数十の高分子が含まれている

①光を有効に閉じ込めるためには数ミクロンの厚さのフィルムで十分である、

②いかなる周期のらせん構造も自在に調整でき、

③そして、大口径である

など、有機材料に特化した応用展開の可能なレーザ発振器を創製できるものと期待される。

玉虫がレーザ発振する！ これが我々が実現したいこれからの夢である。

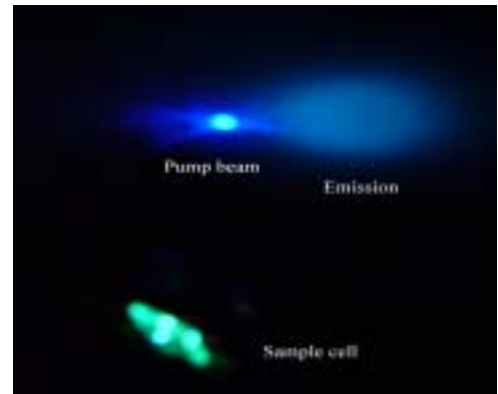


図 5. ダイを含むコレステリック膜にレーザ・ポンプ光(pump beam)を照射すると、コレステリック反射バンド (emission) とダイの蛍光波長が一致する波長でレーザ発振する。発振方位はらせん軸方位である。