

2021年10月5日

報道関係者各位

国立大学法人筑波大学
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構

昆虫のさやばね内部に十字型の影をもつ球晶構造を発見

タマムシやオサムシ、コガネムシなど昆虫の外骨格は美しい構造色（微細構造によって光の干渉や散乱が生じて発色する現象）を示します。これは、主としてさやばねが、らせん構造をもつコレステリック液晶のような規則的な構造を持つことに由来します。このような材料は、柔らかさと固さを併せ持っており、さらに表面は、虹色に輝いたり、金色もしくはエメラルドグリーンの金属反射が見られることから、生体模倣材料などへの応用も期待されています。

本研究では、外骨格を有する昆虫であるカナブン類のさやばねについて、透過型および反射型の顕微鏡観察を同時に行い、構造を調べました。その結果、さやばね内部に、表面の構造色の反射だけでなく、マルターゼクロスと呼ばれる十字型の影をもつ球状の構造（球晶）を発見しました。昆虫においてマルターゼクロスが観察された報告は、本研究が初めてとなります。この構造は、オサムシの場合、整然と列をなして並んでいますが、タマムシでは、不規則に存在しています。また、コメツキムシでは楕円上のマルターゼクロスの配列がみられました。これは、甲虫の種類に応じて、同様の液晶性構造からマルターゼクロスを形成したためだと考えられます。つまり、この現象は、タマムシやオサムシ、コメツキムシが同じ種類の生物から進化したことと関わっている可能性があります。

研究代表者

筑波大学数理物質系

後藤 博正 准教授

高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所

熊井 玲児 教授

研究の背景

コレステリック液晶^{注1)}は分子がらせん状に積層構造を形成したものです。このらせん構造の一周分が、流動的に固体と液体の中間状態を維持しています。らせんの周期が可視光の波長と干渉すると、選択的に特定の光を反射します。これが選択反射です。多くの甲虫は、さやばね^{注2)}にこの構造を持っているために、タマムシは虹色、プラチナコガネは銀色、ダイコクコガネは金色といったような金属様の光の反射が見られます。

本研究チームはこれまでに、人工的に合成された液晶中で導電性高分子を合成し、その液晶のらせん状の会合体（同一の分子が複数結合し、単一分子のようにふるまう）の構造を転写した光学活性導電性高分子を作成するとともに、その微細構造を、走査型電子顕微鏡や偏光顕微鏡^{注3)}で観察し、液晶の会合状態について検討を重ねてきました。

研究内容と成果

本研究では、電子顕微鏡および特殊な偏光顕微鏡を用いて、さまざまな昆虫のさやばねを観察し、それらの像に見られる形状を比較するとともに、高エネルギー加速器研究機構の放射光 X 線回折法^{注4)}により、構造を分析しました。

その結果、外骨格を有するカナブン類のさやばねが液晶構造を持つことを発見しました。特に、つくば市内で採集した、エメラルドグリーンに輝くオサムシでは、マルターゼクロス^{注5)}と呼ばれる十文字型の影を持つ球状の結晶（球晶）構造が観察されました（図1）。一般にマルターゼクロスは、合成液晶に見られるもので、昆虫などの生体においてはこれまでに報告例がありません。また、今回観察された構造は、人工的に作成したコレステリック液晶に見られるマルターゼクロス（図2）と似たような形状であることが分かりました。さらに、さやばねの放射光 X 線回折分析および走査電子顕微鏡観察により、周期的な構造を持つことが明らかになりました（図3）。

同様に、他のカナブン類のさやばねを同様に観察したところ、オサムシのマルターゼクロスは整然と並んでいるのに対し、タマムシでは不規則に並んでいました。また、コメツキムシでは楕円上のマルターゼクロスの配列が見られました。これは、甲虫の種類に応じて、同様の液晶性構造からマルターゼクロスが形成される、すなわち、同じ種類の生物から進化したことと関わっている可能性が考えられます。

今後の展開

今後、昆虫のマルターゼクロスが持つ役割について調べるとともに、合成液晶ポリマーと比較し、その強度や柔軟性などの物性を検討する予定です。

参考図

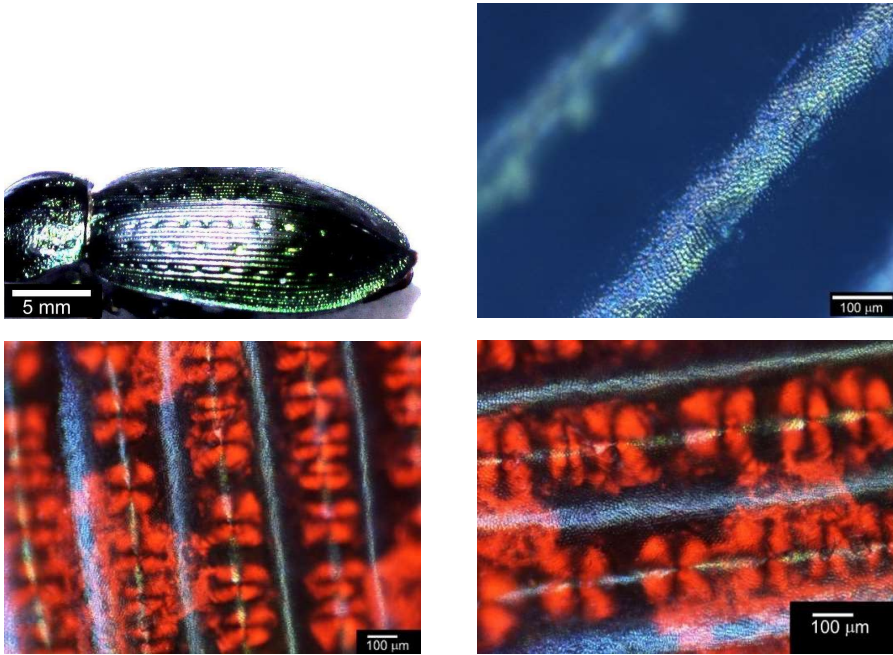


図1 オサムシ（上左）とオサムシのさやばね表面の顕微鏡写真（上右）および偏光顕微鏡像（下）。顕微鏡では見えなかったマルテーゼクロスが偏光顕微鏡で観察できる。

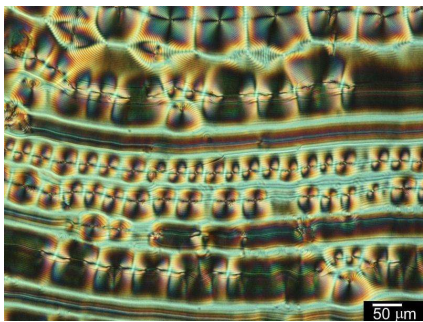


図2 合成系液晶（ペンチルシアノビフェニルとコレステロールペラルゴネートの混合液晶）のマルテーゼクロス（偏光顕微鏡像）

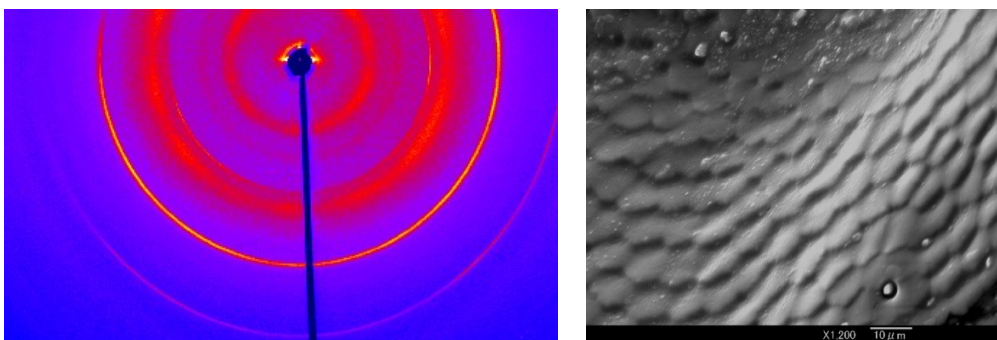


図3 オサムシのさやばねの放射光X線回折画像（左）と表面の走査型電子顕微鏡像

用語解説

注1) コレステリック液晶

光学活性でキラリティ（自らの鏡像と重ね合わせることができない構造）をもつ液晶（液状かつ結晶構

造をもつ物質)。らせん構造をもつために、そのらせんの周期に対応した光反射（選択反射）を示す。

注2) さやばね

昆虫の外骨格で飛行用の羽を収めた外側の羽。オサムシの場合は飛行能力がないために、殻のようになっている。

注3) 偏光顕微鏡

試料に偏光（特定の方向にのみ振動する光）を当て、偏光状態の変化から分子配向や結晶構造を評価する。本研究では、試料に光を透過させて観察する通常的手法に加えて、強力な光源を上部から照射したり、微分干渉（試料表面の細かい凹凸構造を観察する手法）することも可能な偏光顕微鏡を用いた。

注4) 放射光 X 線回折法

シンクロトロン（円形加速器）から放射される量子ビーム（放射光）を用いた X 線回折。従来の X 線回折と比べると、きわめて高感度な回折がみられ、より詳しい結晶構造を知ることができる。本研究では、高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所のフォトンファクトリー-BL-8B を使用した。

注5) マルテーゼクロス

球晶で観察される明暗の十字線で、偏光顕微鏡において、クロスニコルと呼ばれる直線偏光を作る偏光板を直行させて、その間にサンプルを置くことで観察できる。液晶や球状のガラスおよび水晶球で見られる他、ポリエチレンなどの合成高分子にも見られる場合がある。

掲載論文

【題名】 Sequential micro-Maltese cross array in the ground beetle *Carabus insulicola*
(オサムシにみられる連続的なマルテーゼクロス構造)

【著者名】 後藤博正 (筑波大学数理物質系 准教授)、駒場京花 (筑波大学大学院 博士後期課程 1 年)、熊井玲児 (高エネルギー加速器研究機構 教授)

【掲載誌】 Micron

【掲載日】 2021 年 9 月 10 日

【DOI】 10.1016/j.micron.2021.103136