

光と色の物理学 - キラキラと輝く昆虫の秘密

大阪大学生命機能研究科 吉岡伸也

自然界は美しい色で満ちあふれています。透通った青い空、真赤な夕焼け、ピンクの桜、そして鮮やかな新緑……。このような美しい色は、昔から多くの人々を魅了してきました。歌人達はうつろいゆく自然の色を詠み、芸術家は絵の具を駆使してキャンバスに描きとめてきました。そして科学者達も、空の青さの秘密を考え、鮮やかな色の花からは色の素になる物質を発見してきたのです。おそらく皆さんも、七色の虹を雨上がりの空に見つけたときには、どうしてこんなにきれいな色が見えるのだろうと、疑問に思ったことがあるでしょう(図1)。

色に関係する研究は現在でも活発に続けられています。特に最近、タマムシやクジャクのような、キラキラとした輝きをもつ生き物達が大変注目を集めています。どうやって輝く色を作り出しているのか？その色は何の役に立っているのか？そんな色を再現できたら、面白い商品がつかれるのではないかなどなど、幅広い分野の研究者が、独自の視点から研究を進めているのです。今回の講演では、そのようなキラキラとした色の仕組みを、物理的な観点からできるだけわかりやすく説明しようと思います。

太陽の光が実は七色に分けられることを、プリズムを使って初めて示したのはニュートンでした。ニュートンといえば、りんごが落ちる様子をヒントに万有引力を発見したエピソードが有名ですが、同時に光と色の研究者でもあるのです。彼の発見によって、科学者は物の色を次のように説明します。例えばりんごが赤く見えるのは、七色のうちで赤い光だけが反射されるからである、と。赤色以外の光はりんごが持つ色素に吸収されて、なくなってしまうのです。このように、不必要な光を取り除くことで、見せたい色をつける方法が、通常の色素による着色方法です。

一方、タマムシのはね(鞘翅)の緑色は金属のようなキラリとした輝きを持っています。このような輝きは色素による色には見られません。何か別な着色方法が使われているのです。実はタマムシの緑色は、目には見えない小さな“形(構造)”によって生み出されているのです。“構造色”と呼ばれるこの色は、見せたい色の光だけを強く反射させることで着色します。色素が不必要な色を取り除いて着色するのに比べると、構造色はより積極的な方法であると言えるでしょう。また、“玉虫色”という言葉があるように、見る角度によって色が変化して見える様子も、構造色の大きな特徴です。

それでは生き物たちは、どんな構造を利用しているのでしょうか。タマムシのはねの断面を電子顕微鏡で観察すると、白と黒の膜が交互に並んだ様子が見えます(図2)。この交互に並んだ膜構造こそが、実は緑色を生み出す原因なのです。その仕組みは、ちょうどシャボン玉のように考えるとよいでしょう。膜がほぼ一定の厚さで、繰り返し積み重なっていることが、緑色という特定の光を強く反射させる働きをします。クジャクの羽根は、タマムシとは違う構造を持っています。青い羽根の内側には、黒い玉が格子のように並ん

でいます(図3)。この玉の形は実は円柱形で、垂直に切った断面が丸く見えているのです。一方、中南米の青いモルフォチョウは、鱗粉のそれぞれに無数の青い筋が見えます。そして、その筋の断面を電子顕微鏡で観察すると、クリスマスツリーのような構造があるのです(図4)。横に張り出す枝の部分は、ほぼ等しい間隔で並んでいます。三種類の例を挙げましたが、構造が繰り返して並んでいる様子が共通して見られました。この繰り返し構造こそが、“光の干渉”という現象を引き起こし、鮮やかな色を生み出す大きな原因になるのです。

それにしても生き物たちは、なんとも複雑な構造を作り出していることでしょうか。実は私たち人間も、その構造を真似して人工的に輝く色を再現する研究を進めています。しかし、速くかつ正確に作るという点において、生物達には全くといっていいほどかないません。人類の文明はせいぜい1万年くらい。一方構造色は、何十億年という気の遠くなるような長い進化の結果得られた、奇跡の産物なのです。私たちはこれからまだまだ自然から学んでいくことができるでしょう



図1 イグアスの滝(ブラジル)にかかる虹

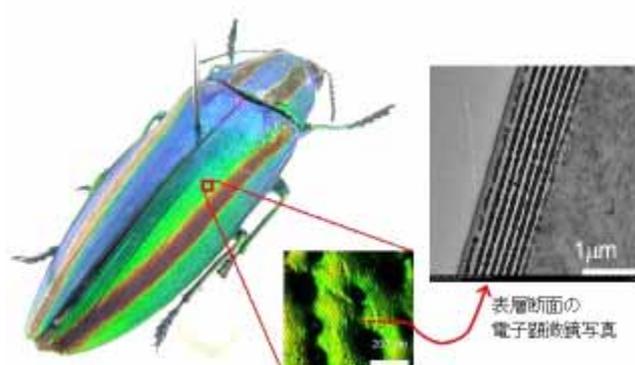
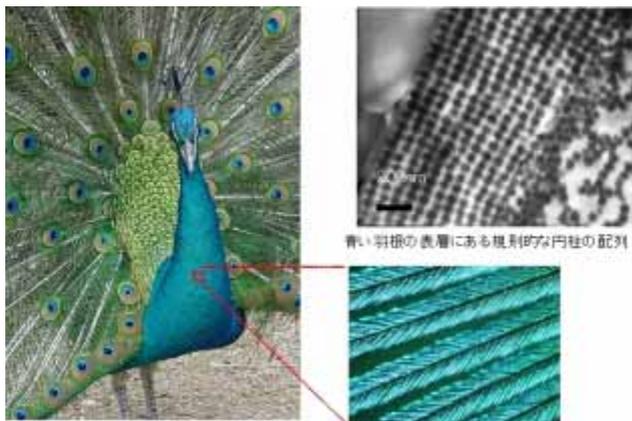
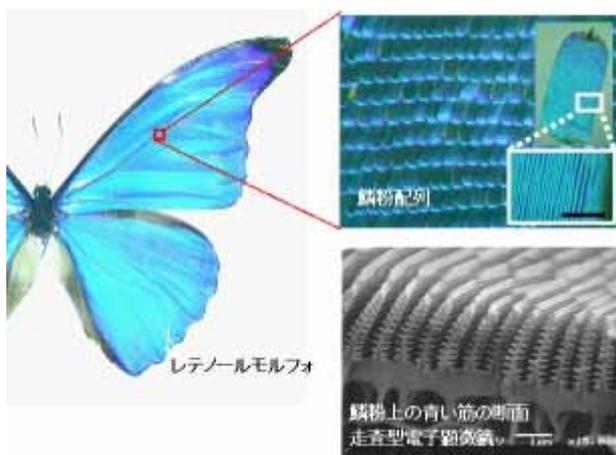


図2 タマムシ タマムシの鞘翅の一部を拡大すると真ん中の緑色の図のようになります。さらに断面を電子顕微鏡で観察すると右側の写真で見られるように多層の膜構造が観察されます。



青い羽根の表層にある規則的な円柱の配列

図3 クジャク クジャクの青い羽根を顕微鏡で観察すると右下の写真のように輝いて見えます。さらに、断面を電子顕微鏡で観察すると、羽根の表層部分には右上写真のような小さな粒が規則的に配列している様子が見られます。



レテノールモルフォ

鱗粉上の青い筋の断面
走査型電子顕微鏡

図4 モルフォチョウ 翅の上には無数の青い鱗粉が配列しており、その上には数多くの青い筋があります（右上写真の白線枠）。さらに、電子顕微鏡で観察すると、青い筋の断面にはひだひだの構造があることがわかります。