

鱗翅目昆虫（チョウ・ガ）のハネの微細構造と光の反射

吉田昭広

569-1125 高槻市紫町1-1 JT 生命誌研究館

Microstructure and light reflection in the wing surfaces of butterflies and moths

Akihiro Yoshida

akihiro.yoshida@ims.brh.co.jp

1. はじめに

チョウやガと呼ばれる鱗翅目昆虫（以下「鱗翅類」と呼ぶ。）では、（一部の例外を除いて）ハネ全体が「鱗粉」と呼ばれる小さな花びら状のものでおおわれている（図1）。ハネの色はこの鱗粉（の色）によるもので、鱗粉を取り除くとハネは無色で半透明の膜状のものになってしまう。

進化した鱗翅類のハネでは、光の反射を抑えるための微細構造上の「工夫」が凝らされている。本講演では、まず（1）進化的見地に立ちながら、鱗粉による光反射抑制の方法を紹介し、次に（2）（鱗翅類では例外的な）鱗粉を持たないハネを取り上げ、その光反射抑制のしくみについて、演者ら自身の研究を紹介したい [1, 2, 3]。

2. 鱗翅類の進化と鱗粉による光反射抑制

鱗翅類は「小型鱗翅類」と「大型鱗翅類」に大別され、前者のほうがより原始的であり、かつ（一部の例外を除き）一般にサイズは小さい。広げたハネの左右の両端間の距離は、前者では1 cm 以下の小さいものから、後者では30 cm にいたる大きなものまでがある。また、ハネの鱗粉（の数）の密度は、一般に後者のほうが高い。すなわち鱗翅類は、大ざっぱな傾向として、ハネのサイズや鱗粉密度が増加するように進化してきたと言える。

鱗翅類の進化とともに、鱗粉の微細構造も変化した。鱗粉は「毛」が特殊化して扁平になったもので、基本的には袋を押しつぶしたような構造である。「原始的な鱗粉」では、1枚の鱗粉の上面（＝外部に露出しているほうの面。）と下面（＝ハネ本体と接しているほうの面。）との間はほとんどすき間なく接着し、全体が1枚の薄い膜のようになっている。それに対して「進化した鱗粉」では、上面と下面の間は広がって中空となり、また、上面には window(s) と呼ばれる小さな穴が多数できている（図2）。鱗粉の下面側には windows は見られない。

「原始的な鱗粉」は、自然光下で虹色の光をキラキラと発している。これは鱗粉の厚みが、ちょうど（シャボン玉のように）干渉によって可視光を発するようなサイズであるからと考えられる。しかし、「進化した鱗粉」では、鱗粉の上面と下面は大きく離れており、かつ上面には windows が多数あるため、干渉や鏡面反射が抑えられている。

原始的な小さな鱗翅類では、左右のハネを開いたときの両端間の距離は1 cm 前後に過ぎず、鱗粉が光っても全体としては目立たない。一方、進化した大きな鱗翅類が、もしこのような「原始的な」鱗粉をつけるとすると、虹色のキラキラした光沢が広範囲に見られて、たいへん目立つことになる。鱗翅類は胴体に比してハネのサイズが大きな昆虫であり、かつ、（ハチやハエなどに比べて）一般に動きは遅い。鱗翅類の大型化とともに、（一部の例外を除いて）ハネが目立たなくなったことは、大きくて「鈍い」鱗翅類が捕食者に見つかりにくくなって、自らの生存率を上げるのに役立っているのではないだろうか。

3. 鱗粉のないハネの光反射抑制

オオスカシバというガは、鱗翅類の中ではめずらしく、ハネに鱗粉がなく透明である。鱗粉という「光反射抑制装置」を失っているにもかかわらず、このハネは光の反射がたいへん少なく、きわめて透明度が高い。この光学的効果を示すしくみは、以下のようなものである。

このハネの表面には、多数のドーム状の微小突起がきわめて規則正しく配列している（図3）。各突起の高さは約 0.25 μm 、隣接する突起の頂点間の間隔は約 0.2 μm で、一つの突起に隣接する突起は正六角

形をなしている。また突起と突起の間のくぼみは、突起を逆さまにしたのと同様形である。

上記の構造の「機能」を調べるため、突起を除いて表面を「滑らか」にしたハネを作製し、このハネと突起のある元の状態のハネとの性質の違いを比較した。その結果、前者は後者に比べて光の反射率が高くなっていることがわかった(図4)。突起群があることによって、近紫外から近赤外までを含む広い波長域にわたって反射率が(30-50%)に抑えられている。反射が抑えられる分だけ、光の透過量は増え、それによってハネの透明度が高まっているというわけである。

このようなドーム状(または円錐状)の突起の集団は、「屈折率」が連続的に変化していく「高性能の反射防止膜」とみなされている。「反射防止」の要素(または単位)は、個々の突起の最上部から最下部までである。オオスカシバのハネでは突起が「二次元細密充填」されているので、要素の配置の点からは「最高性能の反射防止膜」と言える(図5)。このような反射の少ない、高い透明度をもつハネは、「背景」と区別が付きにくいので、とくに高い「隠蔽効果」を示すと考えられる。

4. おわりに

昆虫の体表の特別な微細構造が「発色」を引き起こす例はいくつも知られているが、今回のような「光の反射抑制」を行う微細構造の例は、ほとんど知られていない。今後、「光の反射抑制」の観点に立って種々の微細構造を見ていくことにより、未知のタイプの「光反射抑制構造」が発見されることを期待したい。

参考文献

- [1] Yoshida, A. et al. (1996) *Zool. Sci.* 13: 525-526. [2] Yoshida, A. et al. (1997) *Zool. Sci.* 14: 737-741. [3] 吉田昭広(1999) *インセクトリウム* 36: 164-169. [4] Ghiradella, H. (1984) *Ann. Entomol. Soc. Am.* 77: 637-645.

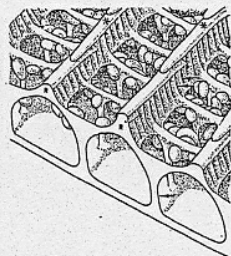


図1: モンシロチョウのハネ表面。スケールは50 μm 。
図2: 鱗粉の横断面を斜め上から見た模式図は50 μm 。

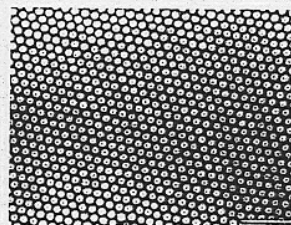


図3: 微小突起群を真上から見た走査電顕写(左、スケールは1 μm)と、突起の断面の透過電顕写真(右、スケールは0.1 μm)。

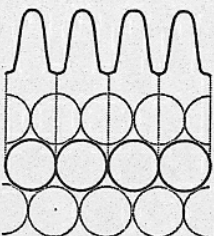


図4: 光の反射スペクトル。下線は突起のあるハネ、上線は突起の無いハネの結果。

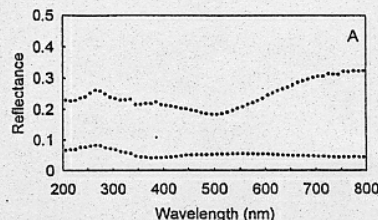


図5: 突起配列の模式図。上図は断面、下図は真上から見た様子。突起は可視光の波長より小さいので、突起群は「透明な膜」と同じである。「膜」の最上部の屈折率は空気と同じ、最下部はクチクラと同じである。その間で屈折率が次第に変化すると考えられる。