

# 湾曲した多層膜とその配列が生み出す光学効果 - ニシキオオツバメガの鱗粉配列

吉岡伸也、木下修一

大阪大学生命機能研究科, 565-0871 吹田市山田丘 1-3

E-mail: syoshi@fbs.osaka-u.ac.jp

Optical effects caused by a curved multilayer structure inside the scale and their arrangement on the wing of the Madagascan sunset moth

S. Yoshioka and S. Kinoshita

Graduate school of Frontier Biosciences at Osaka University, 1-3 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871

**Keywords:** structural color, curved multilayer structure, Madagascan sunset moth, iridescence

## 1. はじめに

マダガスカルに生息する蛾、ニシキオオツバメガ (Madagascan sunset moth, *Chrysidia rhipheus*) は世界一美しい蛾であるといわれている (図 1)。その翅の様子は、赤から紫までの七色の極彩色を持ち、しかもその色は金属のような輝きを持っているからである。この輝くような色彩模様は古くから研究者の注目を集めていた。1927年、Mason は角度による色変化の観察、液浸実験、光学顕微鏡を用いた鱗粉構造の詳細な観察を行った [1]。その結果、この蛾の鱗粉の内部には多層膜構造が存在すること、そしてその構造が光の干渉を引き起こして着色している説を提案した。後になって電子顕微鏡が開発されると、実際に多層膜構造が鱗粉の底面に存在することが確認され、Mason の予測は正しいことが明らかになった。

一方、Mason はこの蛾の鱗粉に関して、もう一つの特徴を報告している。それは、鱗粉が非常に強く湾曲していることである。しかし、その湾曲がもたらす光学効果については、80年以上にわたって注目されてこなかった。あたかも多層膜構造による光の干渉が、この蛾の輝きの全てであるように思われていたのである。今回、湾曲した鱗粉の配列という形状が、独特の光学効果を生み出すことがわかったので報告する。

## 2. 構造の観察

一般に蝶や蛾の翅の上には、鱗粉と呼ばれる小さな板のような構造体が無数に配列している。一枚の鱗粉の大きさはおよそ  $100 \times 230 \mu\text{m}^2$  程度で、厚さは数  $\mu\text{m}$  程度である。図 2 は翅の断面の写真であるが、配列した鱗粉が強く湾曲している様子が見て取れる。さらに電子顕微鏡を用いて微細構造を観察すると、以前から報告されていたようにクチクラと空気で作られた多層膜構造が確認された (図 3)。図 4 には模式図を示すが、湾曲した多層膜構造とその配列が、この蛾の翅の構造的な特徴であるといえる。



図 1 ニシキオオツバメガの裏面

### 3. 光学効果

このような特徴を持つ構造は次のような三つの光学効果を生み出す。

#### 1 レトリフレクション

この蛾の翅から反射される光には、図4に示すような二つの経路( と )が存在する。 は湾曲した鱗粉の頂点付近から直接反射される光、 は二枚の鱗粉間で二重反射を起こして反射される光である。反射光の角度依存を測定する実験によって、 の反射光がレトリフレクションの性質を持つことが確認された。レトリフレクションとはキャッツアイとも呼ばれる現象で、例えば90度に張り合わされた二枚の鏡によって、光がその入射角度によらず、そのまま後方に反射する性質のことである。

#### 2 色混合効果

二つの反射経路 と では、多層膜構造に対する光の入射角度が異なっている。そのため、選択反射される波長が異なる。私たちが翅を見たときには、100ミクロン程度にしか離れていない二つの反射経路を空間的に分離しては見ない。したがって、二種類の波長の光が混合された色が、翅全体の色として見えている。これは丁度、カラーテレビの原理と同じで、色混合効果と呼ばれる。一方、顕微鏡を用いた場合には、二つの反射経路は容易に分離し、二色の異なる帯として二つの反射経路を観察することができる。

#### 3 偏光による色変化

通常、色素による色はもちろん、構造色であっても観測する光の偏光によって色が変化することはない(強度は変化する)。しかし、二重反射による光は、入射光が無偏光であったとしても反射光の強度が観測する光の偏光に大きく依存する。それは多層膜構造による反射においては、二種の偏光(通常S波とP波に区別される)のうち、S波の反射率がP波よりもずっと大きいためである。観測される翅の色は二つの波長の重ねあわせであるが、そのうちの片方が偏光に強く依存した強度を持つため、偏光によって色が変化してみえるのである。

ニシキオオツバメガは、湾曲というきわめて単純な工夫を多層膜構造に施すだけで、驚くほど多様な光学効果を生み出している。このような例は自然界の構造色全般を見渡しても極めて稀であり、長い進化の過程で得られた奇跡の産物であると言える。

文献 [1] Mason, C. W. (1927) Structural colors in insects. II, J. Phys. Chem. **31**, 321-354.

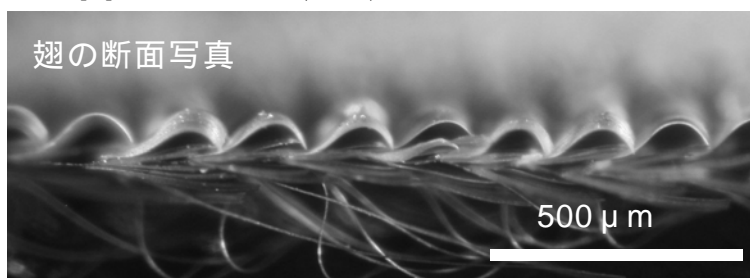


図2 翅の断面。横に広がる翅の膜の上に、凸の湾曲を持って10枚ほど並んでいるのが鱗粉の縦方向の断面。

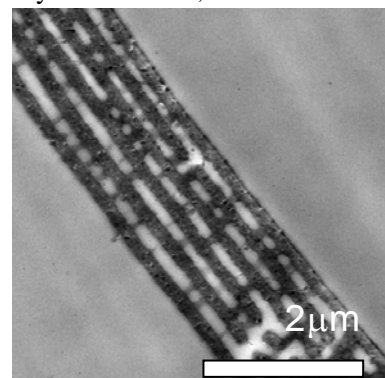


図3 鱗粉断面の透過型電子顕微鏡写真

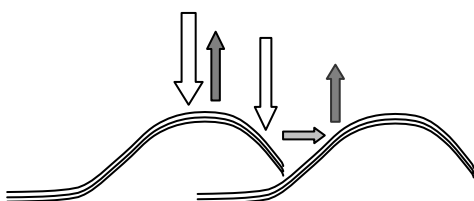


図4 鱗粉配列による二つの反射経路。 と はそれぞれ、直接反射経路、二重反射経路を示す。