

## 生物がもつ多層膜構造と構造色

吉岡 伸也\*†

\*東京理科大学 千葉県野田市山崎2641 (〒278-8510)

† Corresponding Author, E-mail: syoshi@rs.tus.ac.jp

(2015年7月31日受付, 2015年9月5日受理)

## 要 旨

タマムシやクジャクなど多くの生物が輝きのある鮮やかな色をもっている。構造色と呼ばれるこのような色は、サブミクロンサイズの微細構造が引き起こす光学現象にその原因がある。生物がもつ微細構造には、シャボン玉のような一枚の薄膜から三次元的に複雑な網目構造まで、変化に富んだ形状がこれまで見つかった。本稿ではそれらの中で最も多くの例が報告されている多層膜構造を利用した構造色について紹介したい。多層膜構造は光学薄膜として応用されているが、自然界の生物もさまざまな工夫を施して鮮やかな色を実現している。

キーワード：構造色, フォトニック結晶, 多層膜構造, タマムシ

## 1. はじめに

光の波長サイズの微細構造があるとき、干渉や回折といった光学現象によって鮮やかな色が生み出される場合がある。このような色は構造色と呼ばれ、タマムシなどの昆虫を始めとして鳥や魚など多くの生物で利用されている。発色の原因となる微細構造は種類によって大きく異なり、比較的単純な形状から

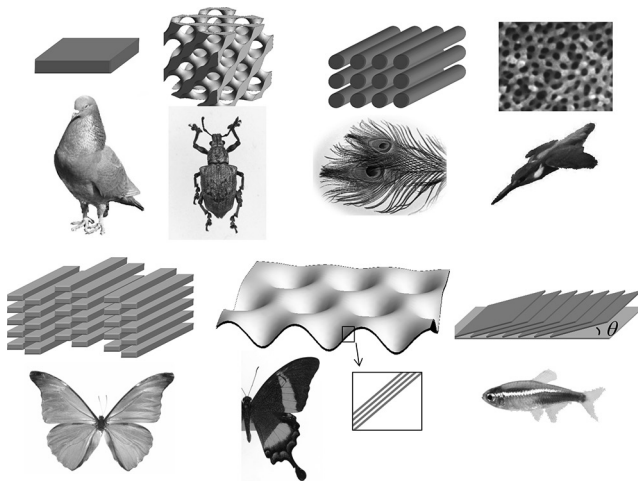


図-1 構造色をもつ生物の例と微細構造の模式図。左上から、ドバト、ゾウムシ、クジャク、カワセミ (右上)、モルフォチョウ (左下)、オビクジャクアゲハ、ネオンテトラ (右下)。



〔氏名〕 よしおか しんや  
〔現職〕 東京理科大学理工学部物理学 准教授  
〔趣味〕 将棋観戦  
〔経歴〕 1994年北海道大学理学部物理学卒業、1998年同大学大学院理学研究科 博士後期課程修了 (博士 (理学))。大阪大学理学研究科助手、同大生命科学機能研究科助教を経て2015年より現職。専門は光物理学とバイオミメティクス。自然界の生物がもつ微細構造とその機能を研究。

わめて複雑なものまでさまざまである。図-1にはいくつかの生物がもつ微細構造を模式的に示した。たとえばドバトの首の羽根は薄膜構造をもち、シャボン玉と同じ薄膜干渉で構造色を生みだしている<sup>1)</sup>。また、ゾウムシの仲間は、体を覆う鱗片の内部にフォトニック結晶と呼ばれるような三次元で周期的な網目構造をもっている<sup>2)</sup>。一方、身近な野鳥であるカワセミでは、一見するとランダムにしか見えない網目構造が羽根の青色の原因である<sup>3)</sup>。このように多様な構造に基づく構造色がかつて見つかったが、最も多くの生物で利用されているのは多層膜構造である。厚さが100 nm程度の薄膜を積層した構造は光学薄膜とも呼ばれ、レーザー反射鏡や干渉フィルターなどに応用されている。そのため光学特性の解析方法はよく知られており、多層膜構造に基づく生物の構造色は最もその仕組みが理解されていると言えるだろう。本稿では、周期的な多層膜構造が示す波長選択反射について概説した後に、生物が利用する多層膜構造の特徴とその反射特性についていくつかの具体例を紹介したい。

## 2. 周期的多層膜構造

構造色の物理的な特徴を簡単に表現すると、波長選択的な反射とその高い効率になるだろう。そのような光学特性を実現する代表的な微細構造が図-2に示すような周期的多層膜構造である。膜構造が周期的であるために、反射光は特定の波長で強め合う干渉を起こす。その結果として波長選択的に反射率が上昇するのである。反射率が高くなる波長は、干渉条件と呼ばれる便利な式を用いて計算することができる。図-2に示す構造の中で、一周期だけ離れた二つの界面 (たとえばAとC) から反射された光を考えると、それらの波が強め合う干渉を起こす条件として次式が得られる<sup>4)</sup>。

$$m\lambda_m = 2(n_a d_a + n_b d_b) \dots \dots \dots (1)$$

ここで多層膜構造を形成する二種類の材質をaとbで区別し、 $d_i$