

## 「構造色解析(I)－二次元測色システムによる甲虫翅鞘測色－」

大藪雅史※・小倉繁太郎※※  
Masashi Oyabu※・Shigetaro Ogura※※

※神戸芸術工科大学大学院・博士後期課程  
Kobe Design University, Graduate School, Ph.D.Course  
※※神戸芸術工科大学大学院芸術工学専攻:教授  
Kobe Design University, Graduate School : Professor

### 1. はじめに

我々が住む自然界には様々な形・色が存在する。その中には、生体がもつ固有の色素による発色(色素色)に加え、微細構造が因子となり干渉・回折・散乱によって生じる構造色(構造性発色)が存在する。そして近年、構造色の発色機構の解明がなされてきている。

ここでは、甲虫を試料として構造色の色彩変化・分布の考察を紹介する。

美しい色彩変化、光沢を呈する真珠を始めとして、構造色を“色彩”の、さらには芸術と工学を融合させる学際領域である芸術工学の視点から検討することが未だに不十分であり(特に後者の視点からの検討は皆無である)、その検討は別途なされているが<sup>1)</sup>、ここで紹介する二次元測色システムや微小面積分光計による面上の色彩測色は、真珠の光沢の測定法等とは別の検討方法であり、望ましい構造色研究の方向性を試行錯誤している中の一例である。

### 2. 実験目的

球面であるが全表面にわたり一様な光沢を示す真珠の構造色とは異なり、昆虫の構造色の場合はその翅や外表皮(及び翅鞘など)の一部分に極めて複雑な色彩パターン(紋様)や強い光沢を示す場合が多い。従来は昆虫の全姿に対して、あるいは逆に微小部位の色彩に関する検討はなされず、対象試料の全姿の形態・色彩を検討し(写真撮影等を行い)、そこからその全体におけるパターンを把握し、結果を固体の地域的生息分布あるいは種としての系列情報などに使用されてきた。しかし、更なる詳細なる検討の為、あるいは従来からの研究の後ろ盾となるデータの取得として二次元全体での色彩評価が必須であると思われる。特に規則的な構造により生じる構造色の検討に関しては、色彩計での測色において計測光の入射角度を変化させる事に伴い生じる色彩変化(体色変化)の測定が必須である。そのために、ここでは初めて色彩計測に関して二次元(2D)測色システムにおける入射角度変化計測を採用し、さらにそれに加え微小部位における分光特性を把握するために微小面積分光計を採用し計測を試みた。

前者は、ミノルタ製 二次元測色システム CI-1040i (試料面積 40×40mm全面にわたる2Dの測色が可能)である。後者は、オリンパス製微小面積分光計 USPM-RU II (50 $\mu$ m<sup>2</sup>の微小な面積に対して測色が可能)である。

### 3. 測色法

今回は、生体構造色の測定に導入した CI-1040i の機器特性の基礎検討を兼ねて次の点について主に検討した。

#### <試料の入射角依存性>

CI-1040i の計測部に試料を置き、試料本来の湾曲以外には角度を設けない意味での入射角度0°を始め、入射角度変化によってどの様に色彩が変化するかを検討する為に 図3 示すような蛍石製の

ウェッジ;ウェッジ角  $\theta = 10^\circ$ 、 $20^\circ$  を用いて、通常の垂直入射および $10^\circ$ 、 $20^\circ$  の3つの場合での角度依存性を検討した。この角度依存性は光源からの計測光の角度への依存性を示す。

測定に使用した昆虫試料は *Pseudochal thea planiusucla*、*Sternocera laevigata*、*Cardeaspis mouhoti* の3種の甲虫である。

この3種の内、*Pseudochal thea planiusucla*、*Sternocera laevigata* の外表皮部分における断面観察を走査型電子顕微鏡を用いて行った(写真1~4)。その結果、クチクラ部に多層構造が存在することが明らかとなり、この微細構造が発色に何らかの要因となっていると考えられる。

なお、測色の際には上翅(翅鞘)右側を用いた。

#### 4. 測定結果・考察

前述した入射角依存性の測色データの内、*Sternocera laevigata* の入射角依存性に関する疑似カラー画像 $L^*a^*b^*$ を図-1に示し、*Pseudochal thea planiusucla* 及び *Cardeaspis mouhoti* の入射角依存性に関する疑似カラー画像 $L^*a^*b^*$ をポスター展示において示す。

疑似カラー画像の結果を見る際の注意事項を付記すると、まず2Dの計測面積 $40 \times 40\text{mm}$ は研究対象試料よりも大きいものであり、計測数値としてもノイズが入ることとなる。その為に、余分な部位(試料以外の部位)における計測データは消去し、試料(翅鞘部位)のみのデータの抜き出し(抽出)を行った。よって、以下表示されている疑似カラー画像における画面内のグレー部位計測数値データとしては含まれていない事を注意されたい。さらに、例えば、*Pseudochal thea planiusucla* の入射角 $\theta = 0^\circ$  の $L^*$ (明度)における表示を見ると、2D表示は、その下に示されてあるカラー座標(0~100)での最低値30.44を青に、また最大値52.32を赤で表示し、試料全面(抽出部位全面)での明度の平均値が42.13であることを示している。同様に $a^*$ 値(+/-60)に関しては赤(+60)・緑(-60)軸上での再度を示す。また、 $b^*$ 値(+/-60)に関しては黄(+60)・青(-60)の再度を示す。それぞれ表示されている色分布が実際の試料の体色分布を示しているのではないという事に注意が必要である。

$L^*$ 値に関しては、*Cardeaspis mouhoti* の角度 $\theta = 20^\circ$  の場合を除き、全ての試料に関して依存性が殆どないということが判る。これに対し $a^*$ 値に関しては、3種の試料それぞれに入射角 $\theta = 20^\circ$  における大きなジャンプが見られた。さらに $b^*$ 値に関しては、*Pseudochal thea planiusucla* の入射角 $\theta = 10^\circ$  及び *Cardeaspis mouhoti* の入射角 $\theta = 20^\circ$  において大きな減少がみられるが、*Sternocera laevigata* に関してはわずかな増加が見られるのみである。

入射角依存性は当然入射角 $\theta$ が観察面積に $\cos \theta$ としてかかってくるので観察面積あるいは外形は図から容易に判るように変化する。面積は変化するが生体固有の色素による呈色は入射角を変えても変化しないので、入射角を変えた場合の面積 $\cos \theta$ は変わるものの干渉・回折現象が伴って初めて構造色として呈色あるいは変色すると考えてよいと思われる。

さらに、試料に局所的な凹凸などが存在する場合、例えば今回使用した試料の *Cardeaspis mouhoti* においては特に入射角依存性に関して影響を受けやすいことが推測されたが、実際に入射角 $\theta = 20^\circ$  において入射角 $\theta = 0^\circ$  から大きく変化していることが読みとれる。

しかし機器の構造上、光源は試料垂直面に対し角度 $8^\circ$ の傾きが設けられている。そこで蛍石のウェッジ(角度 $10^\circ$ 、 $20^\circ$ )を用いて計測した場合に何かしらの影響を与えるか否かの更なる詳細な検討が望まれる点を指摘しておく。

以上の計測によって前者2種の試料の翅鞘断面において多層膜構造が観察され、さらにこれらの測色において色彩変化が見て取れることから形態と発色の間に大きな関連性があることが読みとれる。

最後に微小面積分光計 USPM-RU II (オリンパス製レンズ反射計)による *Sternocera laevigata* の微小部分 ( $50 \mu\text{m}^2$ ) におけるの分光測色結果を図-2に示し、*Pseudochal thea planiuscula*、及び *Cardeaspis mouhoti* の同計測結果をポスター展示において示す。

図はそれぞれ *Pseudochal thea planiuscula*、*Sternocera laevigata*、*Cardeaspis mouhoti* の翅鞘片側全面に関して、図示した各点での局所的な面積部分からの反射の中心波長と反射率  $R$  をそれぞれ任意の点を数点ずつ計測した結果である。従来の測色では数 $\text{cm}^2$ 程度の大きさの面積でしか測色ができなかったことに比べ、 $50 \mu\text{m}^2$ の局所的な微小部位での分光特性の観測ができるということを示した。

二次元面内の全面で色彩計測が可能であることと、同時に面内の微小部分での測色が可能であることには、今回試みた昆虫試料などの構造色を解析していく上で新たな視点をもたらすものであると考える。

## 5. おわりに

近年注目が注がれている構造色について従来は微細構造を電子顕微鏡などを用いて観察することが主とされてきた。甲虫のオオルリハムシなどの地域差、生態的な分布・系統などを明らかにしていく上で、生体の体色あるいは構造色の解明にとって二次元、あるいは微小な外表皮などの試料全面にわたる測色の必要性が言われてきていたが、実際に試みられた例は皆無であった。本研究は、その部分に注目し各種機器を用いた予備検討としての計測を行い、構造色の色彩分布の変異とそれら機器を用いての構造色解析の有効性を見ることができた。

また、甲虫の翅鞘断面構造としては、従来タマムシ(ヤマトタマムシ)における翅鞘断面観察を基礎として多層膜構造であるとの見解で落ち着いている様に思われるが、現在著者が兵庫県立人と自然の博物館と進めている研究ではオオルリハムシの翅鞘断面には多層膜構造に加え回折格子構造が観察されている(未掲載)。このことからもう一度甲虫翅鞘における発色に関して、特に構造色に関しての検討が必要であると考えられる。

さらに、生体構造色の多層薄膜構造、回折格子構造さらにそれが因子となり発色する構造色の計測データを高速通信に用いられるDWDM素子やその他の薄膜関連における高機能化設計に関して応用していく検討を進めている。

## 謝辞

今回掲載した走査型電子顕微鏡による観察写真を撮影するにあたり、ご協力いただいた 神戸芸術工科大学 石井照朗氏、株式会社コベルコ科研 中澤純郎氏及び試料調製にご協力頂いた同社技術本部加古川事業所技術室の皆様にお礼申し上げます。

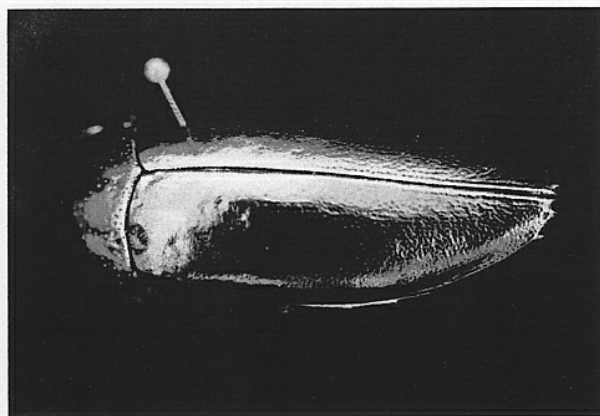
## 参考文献

- 1) 小松・小倉: 真珠の多層膜に見られる光の干渉現象の観察(その1)、第47回応用物理学関連連合講演会、29aP6、p79(2000)、小松・鈴木・小倉: ホワイト系、ブラック系真珠に現れる光の干渉現象の測定、カラーフォーラム JAPAN2000(東京、11月17日2000年)
- 2) 小倉繁太郎: 自然界の多層構造—天然真珠と人工真珠の比較—神戸芸術工科大学紀要'92、78—85(1992)、真珠の多層膜構造—電子顕微鏡と粗さ測定機による真珠の表面・断面観察—ibid、'96、8—14(1995)
- 3) 小倉繁太郎: 自然界に存在する格子および多層膜構造による干渉色—真珠、蝶・蛾、および魚の鱗の顕微鏡観察—応用物理 66、1330—1334(1997)、小倉繁太郎: 自然界の構造色—多層膜と回折格子構造—、第68回電気化学会特別講演・特1121(神戸大、4月1日2001年)、講演要旨集 p147: 第16回 PED 研究会資料、1—10(2001)
- 4) 小倉繁太郎監修・著: 生産現場における光学薄膜の設計・作製・評価技術(技術情報協会、2001)

試料写真及び走査型電子顕微鏡写真

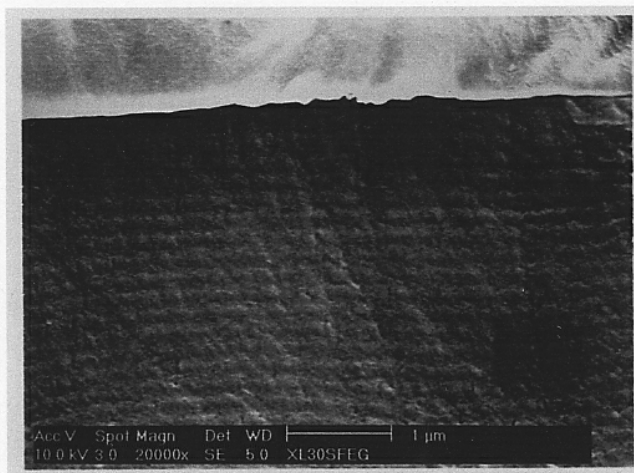


*Pseudochal thea planiusucla*



*Sternocera laevigata*

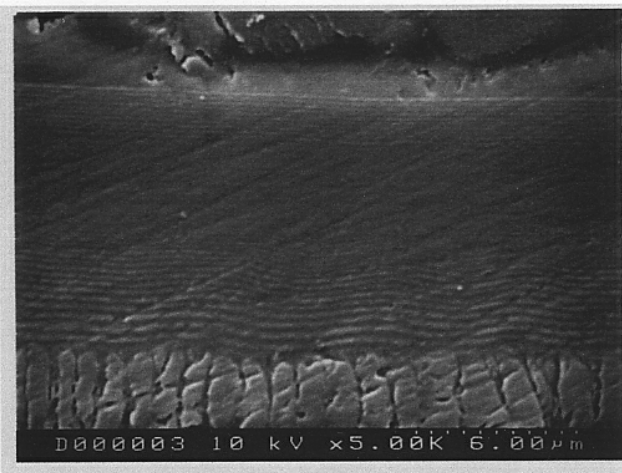
*Pseudochal thea planiusucla*



× 20000

写真1

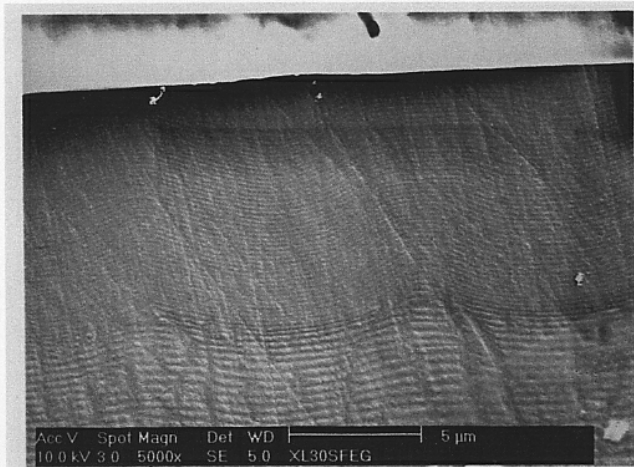
*Sternocera laevigata*



× 5000

写真3

*Pseudochal thea planiusucla*



× 5000

写真2

*Sternocera laevigata*



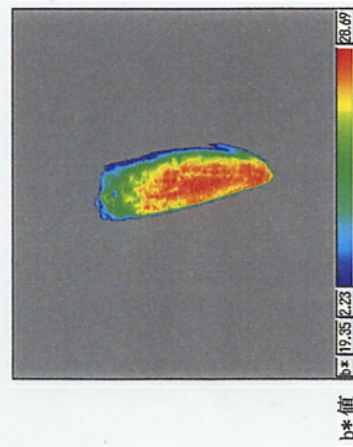
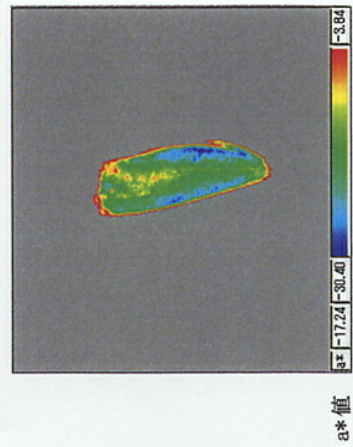
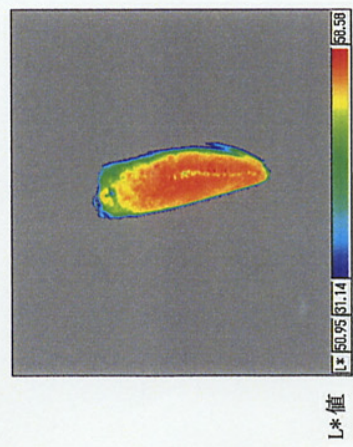
× 5000

写真4

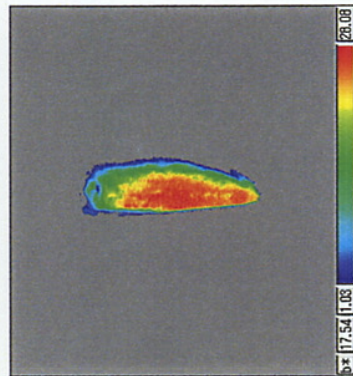
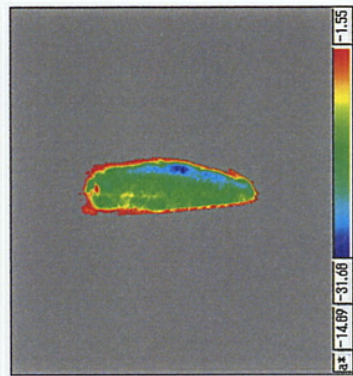
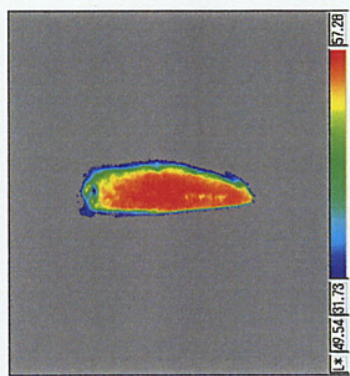
*Sternocera laevigata*

入射角度依存 開口面積① (3 × 3.15)

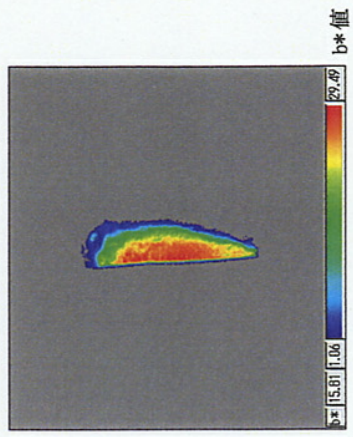
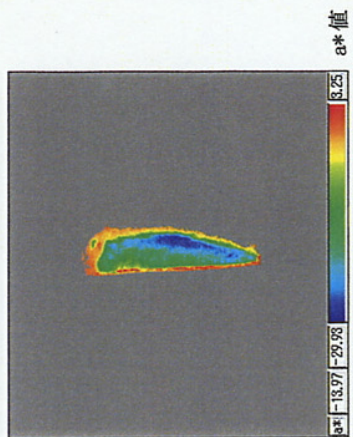
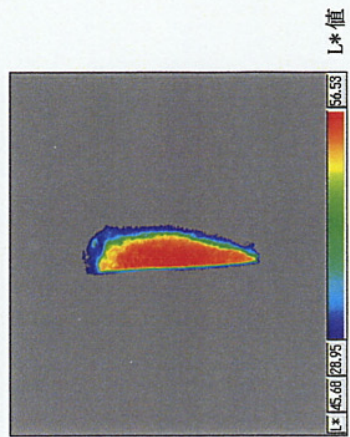
角度 0°



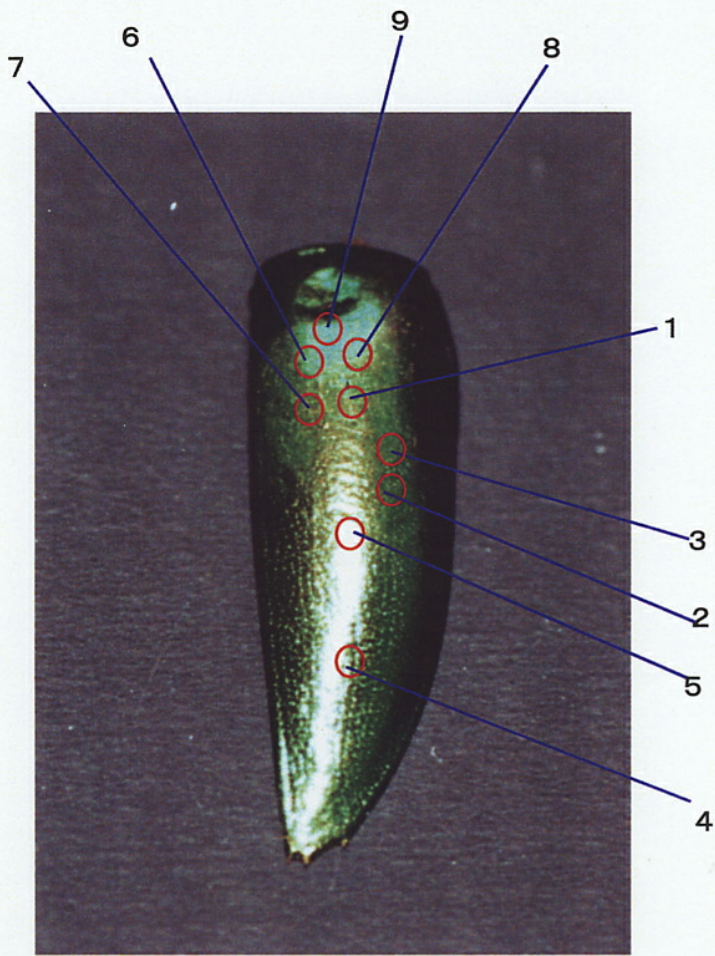
角度 10°



角度 20°



図一1



圖—2

- 計測点：計測結果
- 1 : 554nm , R=9.749%
  - 2 : 381nm , R=0.443%
  - 3 : 546nm , R=13.494%
  - 4 : 539nm , R=0.585%
  - 5 : 776nm , R=0.342%
  - 6 : 568nm , R=0.539%
  - 7 : 762nm , R=0.004%
  - 8 : 558nm , R=9.798%
  - 9 : 554nm , R=11.068%