

構造色の構造の研究

要旨

生物の体表などに現れる構造色という色がどのような原理で発色しているのかを知るために、CDなどを構造色のモデルとして用いたり、特殊な薬品を反応させて構造色を出現させたりすることで、構造色が発色する原理を調べた。インターネットなどを利用して構造色に関する実験や論文を調べ、構造色がどのような構造で発色しているのかをまとめた。

本文

1. 目的

構造色がどのような構造で発色しているのかを、CD やヒドロキシプロピルセルロース(HPC)などをモデルにして観察し、調べる。

2. 使用した器具・装置など

- | | |
|-------------------|--------------------------|
| (1) 不要な CD | 《薬品》 |
| (2) LED ランプ (青・緑) | (1) HPC (ヒドロキシプロピルセルロース) |
| (3) メス | (2) オルトケイ酸ナトリウム |
| (4) 丸底フラスコ | (3) エタノール |
| (5) ガスバーナー・マッチ | (4) 塩化アンモニウム |
| (6) シャーレ | (5) 水酸化カルシウム |
| (7) ビーカー | (6) 純水 |
| (8) ガラス棒・薬さじ | |
| (9) 電子天秤 | |
| (10) 試験管 | |
| (11) カメラ | |
| (12) 遠心分離機 | |

3. 研究・実験の手順

- (1) 構造色を持つ生物を調べる
- (2) 構造色の種類を調べる
- (3) CD を割り、断面の構造を観察する
- (4) CD の印刷フィルムを剥離し、表面を観察する
- (5) HPC による構造色の作成 (I、II)
- (6) 人工オパールを作成
- (7) 真珠の構造色について

4. 結果

(1) 構造色を持つ生物を調べる

構造色を持っている生物とは一体どれくらいいるのだろうか。

ここではその代表的な生物を取り上げる。

1 昆虫

タマムシ（玉虫） モルフォチョウ プラチナコガネ など

2 鳥類

クジャク カワセミ マガモ キジ ハチドリ など

3 魚類

ネオンテトラ グッピー イワシ カツオ など

4 その他

ミミズ アコヤガイ オウムガイ トカゲ など

他に構造色が見られるものとしては、シャボン玉や虹のような気象現象、オパールなどの鉱物にも見られる。

(2) 構造色の種類を調べる

構造色とはその物体（物質）が持つ地の色によるものではなく、その物体(物質)のもっている微細構造による発色現象である。

ここで、構造色がどのような構造で発色しているのかを説明する。生物の体表などに現れる構造色の構造には、大きく分けて二種類のパターンが存在する。

一つ目は光の干渉による発色である。（光とは波であり、波長によって見える色がことなる）

干渉とは波長の違う光の波長同士が重なり合うことによって、強めあったり、弱めあったりすることにより、色に違いが生まれてくるという現象である。強めあいの干渉は、二つの波形の山と山または谷と谷を重ねることで、光の場合明るくなる。弱めあいの干渉は、二つの波形をずらして山と谷とが重なるようにしたもので、この場合、光では暗くなる。

二つ目は回折である。回折とは本来直進する光が、物体が近くにあることで歪曲して物体の淵を光が回り込む、光の波動としての性質による現象である。障害物や隙間の大きさが光の波長と同じ程度の場合に生じ、光の回折度は各波長によって異なる。短波長は回折度が小さく、長波長は大きい。

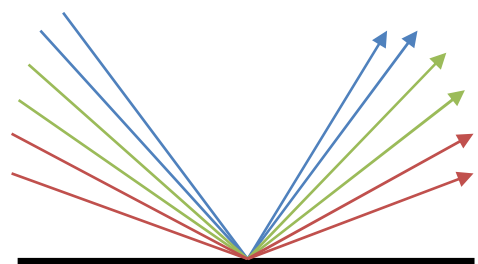
干渉、回折の代表的なものには、以下のものがあげられる。

干渉

①薄膜干渉

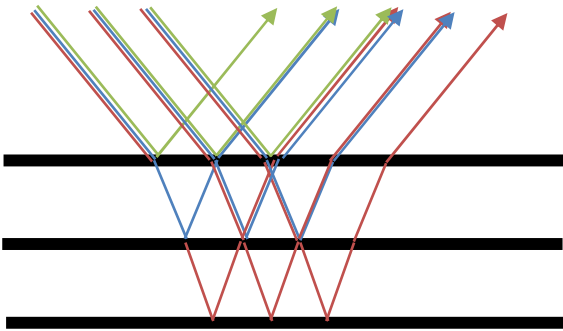
薄膜の表面で屈折する光と、薄膜に入射し、膜と空気の境界で反射して表面に戻る光がある。この2つの光が強めあうときに、その光の色が強調されて目に入ってくるのである。

(例 貝殻、オパール)



②多層膜干渉

それぞれの膜で反射された波長が互いに干渉しあい、その結果色づいて見える。



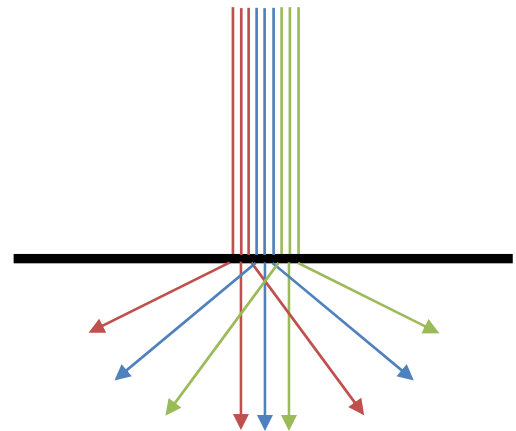
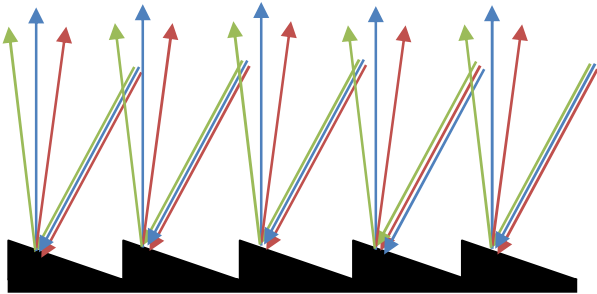
多層膜干渉の (例 真珠、モルフォチョウ)

これはモルフォチョウがきれいな青色に見える理由である。モルフォチョウの色の本質は、多層膜干渉と回折であり、モルフォチョウの翅は、鮮やかな青色をしているが、これは鱗粉表面に刻まれた格子状の構造による構造色である。

この構造は青色の光の波長のちょうど半分に当たる200 nm間隔に並んでおり、干渉により青色の光のみが反射されている。

回折

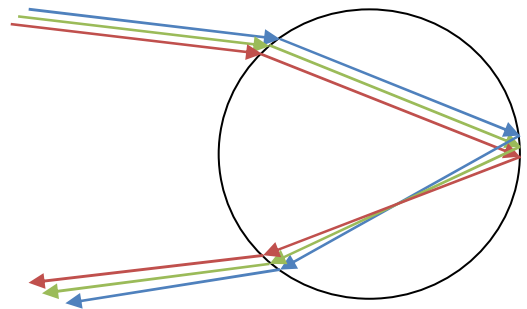
①回折 本来直進する光が、物体が近くにあることで歪曲して物体の淵を光が回り込む、光の波動としての性質による現象。(→)



②回折格子

規則的に並んだ物体によって、波長に依存した方向性のある光の回折をするもの。(←)

構造色を生じる現象としては、散乱というものもあり、これは光が小さい凹凸のある表面のある反射面に入射する場合、または小さな粒子を含む媒質の中を通過する場合に光の進行方向が不規則に散らされる現象である。(散乱・光散乱 →)



- ・光散乱 →波長より微小な粒子による光の散乱は、方向性はないが振動数の4乗に比例して散乱強度が増す。
- ・ミー散乱 →波長と同じ程度の粒子による光の散乱は波長と粒子サイズの比により方向性が異なる。粒子の大きさが光の波長よりも大きい場合、可視範囲の波長に近づくことにより散乱の程度はどの波長も一様に白く見える。(例 霧や雲の水滴)
- ・レイリー散乱 →粒子の大きさが光の波長よりも小さい場合、散乱の程度は各波長によって異なり短波長は長波長より散乱されやすい。

(3) CD を割り、断面の構造を観察する

CD 表面には音の信号を記録した多数の溝があり、その微細な構造に入射した光が回折を起こす。そこで構造色を観察するために、CD を手で割り、断面の様子を顕微鏡で観察した。しかし、CD の断面は、構造が微細すぎて肉眼や顕微鏡では構造を観察できなかった。

(4) CD の印刷フィルムを剥離し、表面を観察する

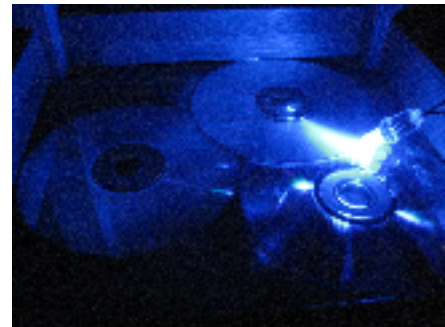
CD の印刷フィルムをメスではぎ取ることにした。フィルムとプラスチックの間にメスを差し込み、引きはがす方法をとった。観察はできるだけ損傷の少ない面を使用した。

CD の印刷フィルムをはがしたところ、フィルムと CD の接着面にそれぞれ構造色が見られた。波線状の構造で、横に並んでおり、赤やオレンジの色が見られた。しかし、まだ微細な点は肉眼では確認することができなかった。

また、単色光で観察したら、見られる色が変わるのではないかと考え、暗室を作って青・緑の色で観察した。

(青色の LED を使った結果→)

結果 すべての単色光において、CD すべてがその色に染まってしまい、これといった成果は見られなかった。



(5) HPC による構造色の作成 (I) (II)

次に構造色を自分たちで作る、その構造を観察することを考えた。インターネットでその方法を探したところ、HPC(ヒドロキシプロピルセルロース)と水を使った簡単な実験方法があると知り、それを実際に行ってみた。これはコレステリック液晶という液晶のモデルになっている。また今回、水分の割合を様々に変えて実験した。

(コレステリック液晶とは、細長い分子が一定方向に並ぶ層状構造の層が、隣り合う層ごとに少しずつねじれて、らせん構造になっている液晶のことである。液晶は個体結晶が溶けて液体になる前に、個体結晶と液体のいずれとも異なる中間の状態をとるもの、とったもののことである。)

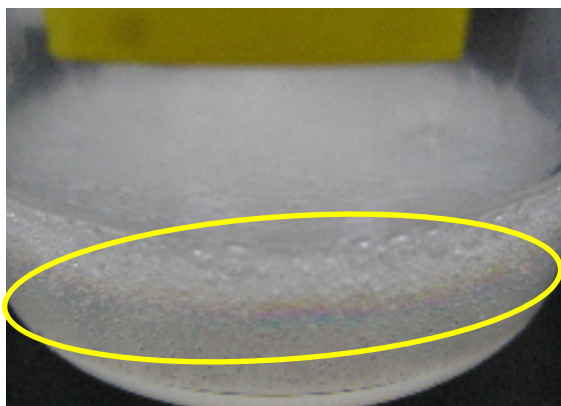
実験 (I) HPC を 7g とり、水を 13ml 加えて混ぜる。粘性が出てきたところで混ぜるのをやめ、それを放置して構造色が出るのを観察する。

今回の実験では水の量が構造色が出る光の色を調節しているのではないかと考え、水の量を 13ml として、さらにこれに基準に 2ml ずつ増減させ、7・9・11・13・15・17ml とした。そしてこの順に、ビーカーの色を黄色・赤・緑・青・灰・黒とした。

結果

種類	初日	4日目	8日目	11日目	18日目
黄色	飴のよ うな状 態であ る。	一番構造色が見 られる。上面に 多い。	よりカラ フルにな った。	ほとんど全体的に見え、 一番構造色が見えやす い。また、黄色や赤色、 青、緑がはっきり見える	薄い紫があるだけで以前と は比べ物にならないくらい 色が落ちた。ほとんど色が なく、分布も以前の半分以

				ようになった。	下である。
赤		上面に構造色が見られる。泡が多い所に多く分布している	変化はあまりない	全体的に構造色が見られる。青、紫、緑がはっきりきれいに見える。	一番きれいに見える。緑や赤がきれいに分布している。黄色が緑に飲み込まれているように見える。
緑		薄っすらとしか見られない	変化なし	気泡のところに構造色は見られないが、構造色は広くみられる。	色が見られない。緑や赤などがはっきりしている。紫が多く分布している。
青		水分が多いのか、中が分離していて見られない。	変化なし	大きな気泡と細かい気泡があるが、細かい気泡が密集しているところには構造色は見られない。横から見る構造色が「黒」の2倍近くある。	紫と緑の色が多く分布している。
灰		ほぼゼラチン状。構造色はない	変化なし	気泡なし。中心に青色の構造色が見られる。「黒」に比べて、黄色や赤が見えやすい。白い紙を敷くと見えなくなる。	「黒」より輪が広がり、色もはっきりしている。紫、青、緑、黄、赤の順に内側から円形に並んでいる。
黒		ほぼゼラチン質。白濁していない。	変化なし	気泡が見られない。中心に青色の構造色が見られる。横からは構造色が確認できるが、上からはっきり確認できない。	以前より中心の輪が広くなり、その構造色をはっきりしている。体積が減ってきた。



実験2日目 黄色・赤に構造色(丸で囲った部分)が見られる。

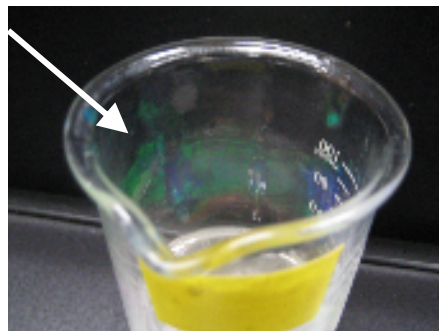
この結果から、HPCによる構造色は構造色が出るのに時間がかかるということが分かった。また、水の量によって結果に変化が出ることも分かった。水の量が少ないと、色が出るのにかかる日数は少ないが、すぐに見られなくなる。一方水が多いものは色が出るまでに時間がかかり、色も鮮やか

でなく、紫や青といった暗い色が出る。また、構造色が見られる範囲も少ない。さらに、水分が蒸発してしまい、水がなくなった細かい気泡や大きな気泡では構造色が確認できなかった。水とHPCが一定量あるところに構造色が見られる様である。また、このときの構造はHPCと水粒子との光の散乱だと思われる。

しかし今回、水が蒸発してしまって、正確な水分濃度がわからなくなり、実際構造色がどれほどの水分でできているのかわからなかった。次回水分が蒸発しないような実験(II)を行うことにした。

実験(II)

条件は以前と同じにして、「黄色」「緑」「灰色」の条件はなしにした。今回のこの実験では、2日目にして基準のビーカーには薄い部分だけに緑や青、赤色の構造色が見られた(→)が、まだ日数がたっていないので結果が出ていない。



(6)人工オパール作成

次にオパールの構造色を表現するために人工オパールを作ることにした。オパールはSiO₂・nH₂Oであるので、オルトケイ酸ナトリウム(Na₄SiO₄)を使って実験を行った。

実験 オルトケイ酸ナトリウム 1.5ml、エタノール 7ml、水 1.5ml を混合する—A液

濃アンモニア水 1.5ml、エタノール 4.25ml、水 4.25ml を混合する—B液

A液をかき混ぜながらB液を加え、加え終わってから白濁するまでかき混ぜる(約15分)このとき、塩が生じるので、遠心分離機でそれを取り除いてからその上澄みを一晩放置する。放置したシャーレの上澄みを捨て、沈殿を回収して別のシャーレに入れ、乾燥させる。(本来、オルトケイ酸ナトリウムでは塩が生じてしまい、オルトケイ酸エチル《(C₂H₅O)₄Si》のほうがよいが、オルトケイ酸エチルしかなかったため、オルトケイ酸ナトリウムを使用した。)



A液とB液の配合液 → 一晩経ったもの → 処理後(白い塊しか得られなかった)

結果 真っ白な物質しか出てこなかった。薄いところはいくすんだ青色の色が見られたが、これが構造色であるかは疑わしく、はっきり構造色であるといえるものは観察できなかった。

オルトケイ酸ナトリウムを使ったこの実験の化学式は、

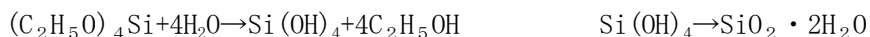


しかし、今回は



Si(OH)₄がSiO₂・2H₂Oになっても構造色を確認できなくさせていたと考えられる。

ちなみに、オルトケイ酸エチルの場合



となる。



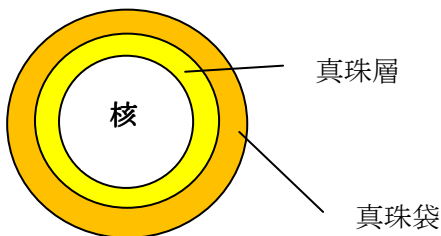
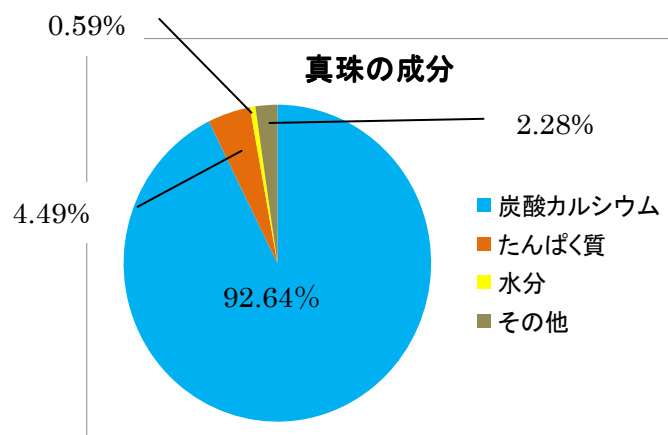
←濃度を変えた実験。結局白い膜のようなものしか見られないが、うっすら紫色であるところがある。

また、今回構造色が見られるオパールにならなかったのも、濃度を変えた実験を試みたが、あまり変化は見られなかった。そのため、ほかの方法を今後探っていく方針である。

(7) 真珠の構造色について

真珠にも構造色が見られる。では真珠の構造色はどうなっているのだろうか。

真珠の成分は9割が炭酸カルシウム(CaCO₃)でできており、次にたんぱく質が多い。このことから真珠における構造色は、炭酸カルシウムが要因ではないかと考え、調べを進めた。その結果、真珠で構造色が見られるのは、真珠層というものであることが分かった。



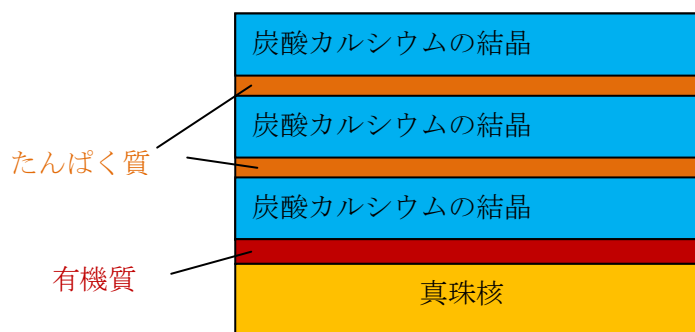
真珠層は核から真珠の表面まで六角形の結晶をした真珠質(炭酸カルシウム)が、層をなしているものをいう。一枚の結晶の厚さは、0.4 μm前後である。また、結晶と結晶の間には結晶を接着するためのたんぱく質がある。さらに、真珠の周りに有機物がつくこともある。

(←真珠の断面模式図)

これは多層膜干渉による構造色であり、炭酸カルシウムとたんぱく質で光が屈折、反射していると考えられる。

真珠層の役割は、貝殻の内面を滑らかにすることで、軟体動物の柔らかい表皮と、貝殻との間に隙間ができないようにし、寄生虫や異物が挟まることがないようにすることである。(これを包囊形成という。)

今回は真珠層の構造色を調べ上げただけだが、本当にこの構造で構造色が見られるのか確かめるために今



後真珠層のモデルを作る実験を行っていきたいと考えている。

真珠層の構造(↑)

5・結果に対する考察・わかったこと

構造色には、干渉や回折といった種類が存在しており、また、多くの生物が構造色を持っていることが分かった。CDを観察したところ、多くの溝があることはわかったが、細部までは観察できなかった。また、そのほかの構造色の構造について調べるため、HPC や、オルトケイ酸ナトリウムを使った実験を行ったところ、HPCは水との割合で構造色が出る割合や色が変わることが分かった。加えて、色は、数日経つと消えるということが分かった。オルトケイ酸ナトリウムはうまくはいかなかったが、二酸化ケイ素の結晶と水によってできるものであることが分かった。さらに、生物では真珠のような構造色もあり、この構造色は炭酸カルシウムの結晶とたんぱく質でできる干渉であり、寄生虫や異物が入ってこないようにした結果生まれた色であると分かった。

今回の研究をとおして、構造色は多くの生物や物質にあると分かった。さらに、構造色を作るのは極めて難しいことであることも分かった。HPC やオルトケイ酸ナトリウムを使った構造色のモデルは、それぞれ構造が違い、いろいろな構造色があることが分かった。

また、生物における構造色は、『構造色が生物にとって何か役割を果たしている』だけでなく『別の目的でこのような形成されたところ、構造色になった』という二つの考え方があるのではないかと考察した。

6 参考文献 引用文献

- 構造色研究会 <http://mph.fbs.osaka-u.ac.jp/~ssc/>
- モルフオチョウの構造色 <http://skino49.web.fc2.com/morphol/index.html>
- 色素と構造色 <http://mcm-www.jwu.ac.jp/~physm/buturi08/structure/sub9.html>
- 東京農業大学 構造色について
http://www.nodai.ac.jp/agri/original/kinoukaihatu/structure_color/index.html
- 魚の体色変化の不思議を探る <http://www.mnc.toho-u.ac.jp/v-lab/fish/color/color1.html>
- エネゴリクンと構造色 (エネオス)
www.eneos-tv.jp/index.html?win_mode=true&movie_id=jj_kanabun
- 玉虫に学ぶ構造色 積水化学工業株式会社
http://www.sekisui.co.jp/csr/contribution/bio_mimetics/1174534_1621.html
- 人口オパール <http://homepage3.nifty.com/sakura848/cm15.html>
- 真珠層の構造と真珠の色 http://www3.famille.ne.jp/~ochi/shinju/05-shinjusou_kouzou.html
- ミキモト真珠島 http://www.mikimoto-pearl-museum.co.jp/shikumi/4_kouzou.html
- 生き物の構造色 <http://mph.fbs.osaka-u.ac.jp/~syoshi/kouzou.htm>
- 液晶とは <http://mcm-www.jwu.ac.jp/~physm/buturi00/eki00/ekishoutoha.htm>
- 2-3-1-3 光の散乱・分散
<http://www.wakariyasui.sakura.ne.jp/2-3-0-0/2-3-1-3hikarinosannrannbunnsann.html>