

連載第46回

向きで色が変わる物体 — 光学薄膜

桑山 哲郎

Objects that change color depending on the orientation — Optical thin film

Tetsuro KUWAYAMA

物体がどんな色に見えるかという事についてはいろいろな要因が関係しますが、物理法則でほとんど決まる場合には、もっと基本的原理について理解が広まればと考えています。今回は、光学薄膜の干渉色についての話題です。数式が登場しますが、結果だけを示します。導出については入門書や教科書を参照してください。Fig.1は、単層薄膜に光が入射するときの作図です。光源からの光の一部は薄膜に入射し、裏面で反射されてから空中に射出します。表面で反射された光よりも長い光路を辿っているため、表面反射の光との光路差は  $2nd \cos(\theta_2)$  となります。ここで  $\theta_2$  は薄膜中に入射し屈折した後の光の角度、 $n$  は薄膜の屈折率、 $d$  は厚さです。空気中からの入射角は  $\theta_1$  です。Fig.2は比較のため、ほぼ垂直に光が入射する様子を示しています。

ある膜厚で、緑の光が強く反射されている場合、膜を傾けると実効的な膜厚が薄くなり、反射光は青色に変わります。一方薄膜では吸収がほとんど無いことが多く、透過光はマゼンタから黄色に変化します。この事情を数式、関数の値で説明します。三角関数  $\cos \theta$  の値は、 $\theta$  が0度のとき最大値1.0をとり、 $\theta$  が0度の前後では1.0より小さくなります。光路差が実効的な膜厚に対応すると考えると、入射角が大きくなると膜厚が薄いときに対応することになります。これは、教育現場では光学薄膜が付いているガラス板を手で持ち、傾けることで簡単に体験できます。けれども板を傾けたとき影響する膜厚が実質的に薄くなり、波長特性が短波長側にシフトする事は、感覚とは逆でなかなか理解してもらえず困ることがたびたびあります。「光路差」は、膜の中を通る光路長と空気中を通る光路長の差のため、空気中の光路が長くなる程度が大きく差は小さくなるのです。

身近にある物で、これを確認することができます。以前

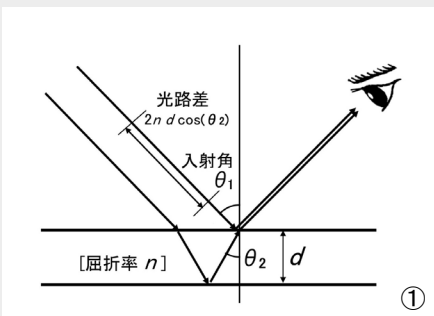
の報告<sup>1)</sup>に続き、今年もお節料理の詰め合わせで「オーロラカップ」(商品名)が使われていたので、薄膜による干渉色が良く分かる様、写真を撮影しました。Fig.3は透明下敷きの上にカップを置き、暗室の中で上から小さな光源で照明した結果です。カップ中央の影はマゼンタ、周辺の折り曲げ部は黄色の影になっています。また反射による色が見える様、カップの背後に黒い紙を置きました。

この薄膜による干渉色は、簡単な数式で表され、目の前で手に持った物体が数式通りの色の変化をします。ところが、「傾けた方が薄い膜と同じになる」ということが日常感覚に合わないためか、あまり理解が進んでいないように思います。

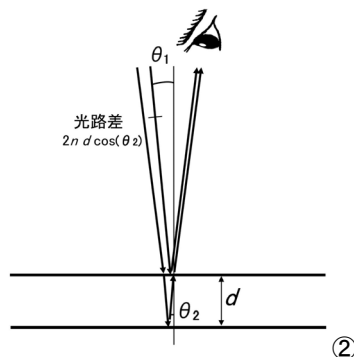
ガラスの器に光学薄膜を組み合わせた商品は、最近目につくことが多いのですが、店や商品の間での競争が激しくなっているのだと思われます。「オーロラグラス」という名前と呼ばれることが多い様です。ある日、100円ショップの棚で魅力的なオーロラグラスに出会いました。白色LEDの照明が、ガラスの隣り合った面で違う色に見えるのです。早速購入し、自宅で再現して見ることにしました。Fig.4は、一番見事に着色した状態です。これが干渉による着色であることがはっきり分かる様、バックライトの状態Fig.5を撮影しました。ガラスの各面の色は同じになり、反射光からは想像できない結果になりました。多くの方の努力が、商品の作り込み、販売店での並べ方、照明の配置に込められていることが感じられ、今後の発展が期待されます。

参考文献

- 1) 桑山哲郎, 連載第40回 身近にある構造色の話題から — その1, 日本色彩学会誌, 2021, 第45巻 2号, p. 54.



①

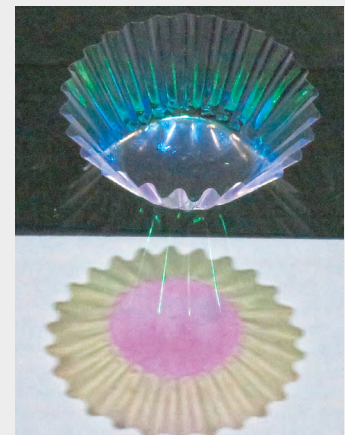


②



④

⑤



③

Fig.1 薄膜の表裏面反射による干渉  
Fig.2 ほぼ垂直入射の場合  
Fig.3 オーロラカップの見え方

Fig.4 オーロラグラスの見え方  
Fig.5 バックライトで撮影