解　説　＜学校の先生方，一般の方向け＞

真中　浩貴（鹿児島大）

1. 偏光板の働きとは

光は波のように振動しながら進みますが，図1(左)に示すように光が振動している方向を偏光方向と呼びます。太陽光や蛍光灯などでは，光の偏光方向はあらゆる方向に向いていますが，偏光板を通過させることによって，一方向にだけ振動している光を取り出すことができます。したがって図1(右)に示すように，2枚の偏光板の方向を直交させると光を遮断することができます。

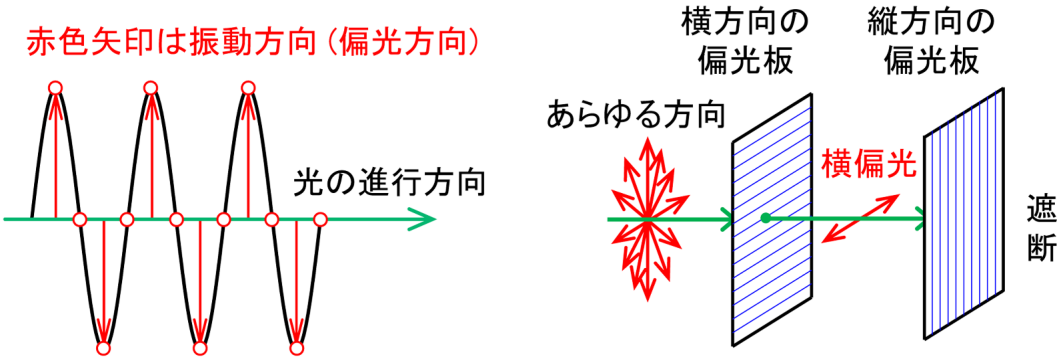

図1(左)：光の振動方向(偏光方向)の様子，図1(右)：直交する2枚の偏光板の様子

パソコンの液晶モニタや液晶テレビでは，一方向にだけ振動している光が放出されています。偏光板をかざして回転させると真っ暗になる角度があるので，確認してみましょう。ただし最近のスマートフォンやタブレットでは，縦と横の偏光方向を持つ光を同時に放出しているため，真っ暗にはならない機種もあります。

2. 複屈折現象とは

透明物質の中を通過する光の速度は，入射した光の偏光方向によって異なります。光が最も早く通過できる偏光方向を速軸方向とよび，最も遅く通過する偏光方向を遅軸方向と呼びます。ただし速軸方向と遅軸方向との間の角度は必ず90度となります。

図2に示すように一方向にだけ振動している光を透明物質に入射すると，速軸方向と遅軸方向に光が分離します。しかしこの二方向では光が通過できる速度が異なりますので，光が透明物質を出る頃には，この二つの波の位置に差が生じます。この遅延現象のことを複屈折と呼びます。なお光の速度は屈折率に反比例しますので，二つの屈折率の差によって生じる現象であるため，光が屈折していなくても複屈折と呼ばれています。このような遅延現象が起こると，透明物質から出てきた2つの波を合成した光の偏光方向は，入射した光の偏光方向から回転します。その結果，図2のように2枚の偏光板を直交させても，出射偏光板を光が通過できるようになります。

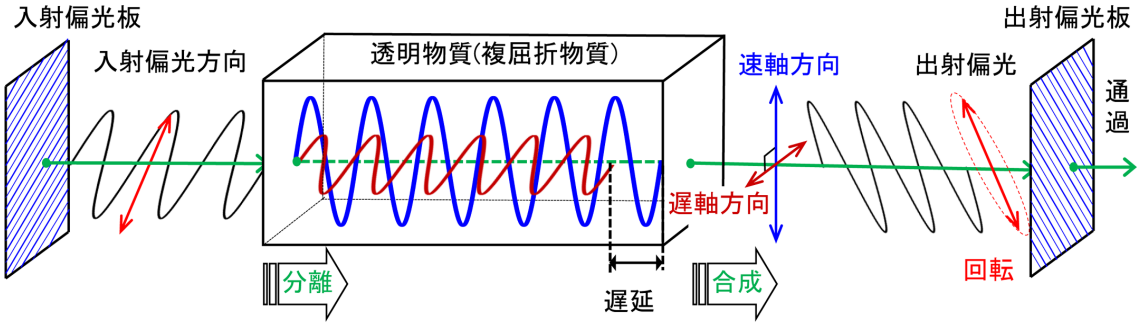

図2:透明物質に偏光させ光を入射した時，偏光方向が回転するイメージ図

どのような透明物質に複屈折が現れるのでしょうか？セロハンテープやキッチンラップは引き延ばされながら芯に巻き取られるため，引き延ばされた分子がきれいに整列します。その結果，縦方向と横方向とでは光の進みやすさに違いが起こるため，大きな複屈折が出現します。

一方，透明ガラスでは，原子が特定の方向に整列しないように作りますので，複屈折は現れません。透明プラスチックも複屈折はほとんど現れませんが，外から力を加えて変形させることによって複屈折を簡単に発生させることができます。この現象のことを応力誘起複屈折，もしくは光弾性効果と呼びます。

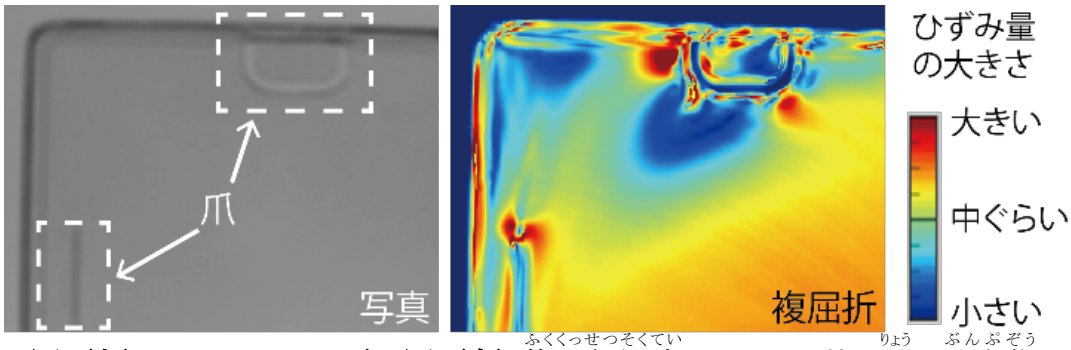

図3(左):CD ケースの写真，図3(右):複屈折測定による，ひずみ量の分布像

図3には，堅い透明プラスチック製の CD ケースの複屈折を特殊な装置を用いて観察した結果を示しています。CD ケースの爪の周囲には様々な方向からの力が加わるために，ひずみ量が複雑に分布していることが分かります。実際に2枚の偏光板の間か，先ほどの液晶モニタと偏光板の間に CD ケースを挟むと，爪の周りに虹模様が現れますので，観察してみて下さい。

1990年代までは，コンピュータの計算能力が低かったため，吊り橋や鉄塔などの複雑な建築物を設計する時には，透明プラスチックで模型を作り，図3のようなひずみ量の分布を目視で観察して，建築物の荷重がどこに集中するのかを実際に調べていました。

3. 複屈折現象によって，なぜ様々な色の光が見えるのか？

太陽光をプリズムで分解すると，図4に示すような虹模様が現れ，光の波長が短い紫色から，波長が長い赤色まで連続的に広がっています。これら全ての色の光を足し合わせると人間の目には白色に見えるので，太陽光のことを白色光とも呼びます。一方，蛍光灯では発光させる光の色を人工的に制御することによって光の色味を変えることができますので，「昼白色」「昼光色」「電球色」などの色味が異なる管が販売されています。

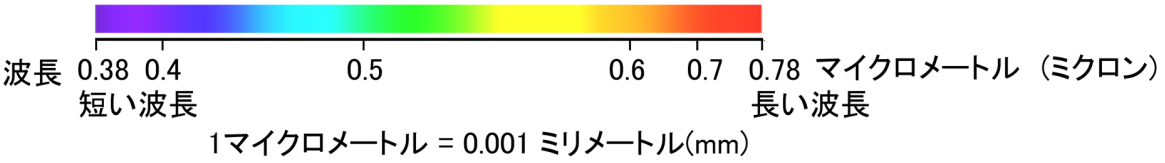

図4：光の波長と色との関係

透明物質に白色光を入射した時，図5(左)に示すように，複屈折によって偏光方向が回転する角度は光の波長毎に異なるため，出射偏光が出射偏光板と直交している色の光だけが遮断されます。その結果，人間の目で見える透過光の色は，遮断された色と補色の関係にある色，すなわち図5(右)に示す色相環図の対角側に相当する色となります。先ほどと同じように2枚の偏光板の間や，液晶モニタと偏光板の間に CD ケースを挟みながら偏光板を回転させると光の色が変化しますので，観察してみましょう。

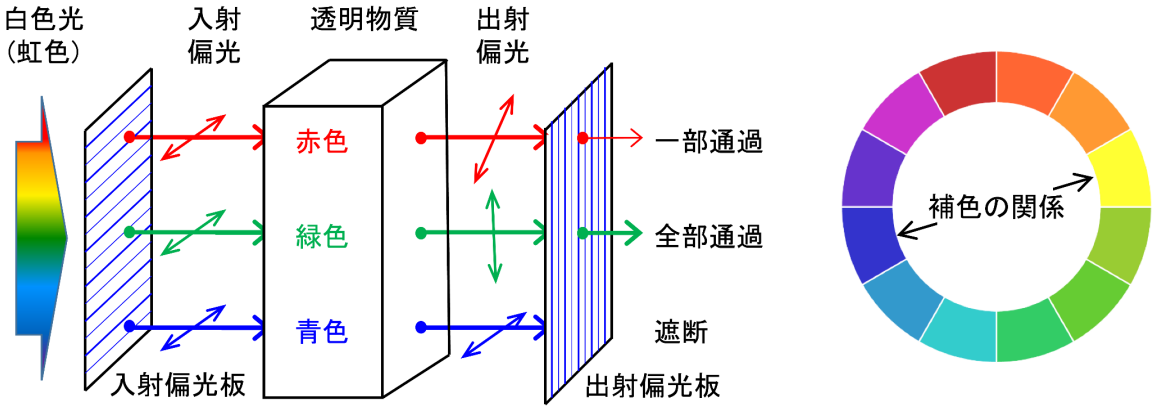

図5(左)：入射光の色(波長)の違いによって，複屈折による偏光方向の回転する角度が異なるイメージ図，図5(右)：色相環図，対角線が補色の関係に相当する