

方解石と複屈折

光が波であることはよく知られており、波状に振動しながら伝わっていきます。その速度は伝わる物質（媒質）や色によって異なります。一方、（正面から見ると）振動方向が一直線になっている光があり、これを（直線）偏光といいます。偏光をつくる偏光板は様々なものに利用されています。

（１）偏光

光は何かにさえぎられるか、反射されるかしない限り直進する性質を持っています。その振動方向は必ず進行方向に直角です。自然光（普通の光）は進行方向に直角な面内ではあらゆる方向に振動しています（図 1 左の部分）。光が伝わる速度は伝わる物質（媒質）や色によって異なります。空気やガラスのような非結晶質の物質では光はどんな方向でも同じ速度で伝わりますが、結晶質の場合は一般に光の進む速度が方向によって違います（光学的異方体）。光学的異方体の中で見ら

れるあらゆる方向に同じ速さで進む光を通常光といい、方向によって速さの異なる光を異常光と呼びます。普通の光を正面から見るといろいろな方向に振動していますが、正面から見ると振動方向が一直線になっている光があり、これを直線偏光といいます。直線偏光のほかに、らせんのようにくるくると進む偏光があり、正面から見て円になっているものを円偏光、楕円になっているものを楕円偏光といいます。これらについては省略します。

偏光をつくるものに偏光板があります。偏光板は、光を一方向にだけ通過させ、それ以外の方向に振動する光を遮断する光学フィルムで、ポリビニルアルコール（PVA）などの高分子樹脂にヨウ素を結合させ、一方方向に引き伸ばして分子の向きをそろえたものです（一方方向に等間隔に並んだスリットで、すだれのようなものです）。光の振動は、縦方向に等間隔に並んだスリットを通ると、縦方向に振動する光だけが通り抜け、偏光（直線）になり、横に相当する成分は吸収されます（図 1）。縦方向のスリットを通り抜けて振動面のそろった光を、次に横方向のスリットに通してみると、光は通らず暗くなります（図 2 右）。

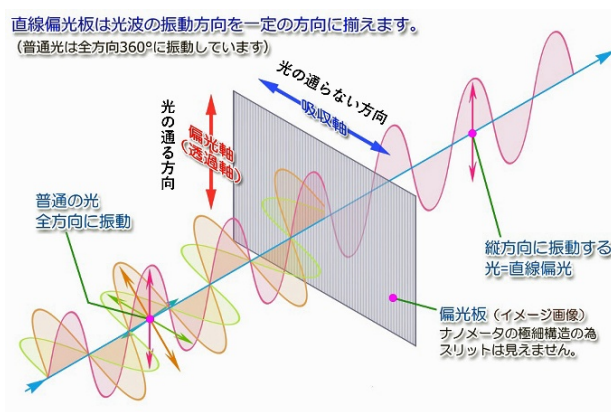


図 1 偏光板と偏光（URL1 に加筆）



図 2 偏光板の重ね合わせ。左はスリットの方向をそろえたもの。右側は直交する位置に置いたもので光が通らないため下の字は見えません。

（２）屈折と複屈折

光は、空気中からガラスや水などの異なる物質に入射すると、その境界面で進行方向を変えます。これは、光が異なる物質中を進む速度が異なるためです。例えば、空気中よりも水中やガラス中の方が光の進む速度は遅くなります。そのため、光が境界面で折れ曲がるように見えるのです。水中

に入れたストローが、水面で折れ曲がって見えるなどがよい例です。複屈折とは、光が物質を透過したときに二つの方向に屈折し、分けられることをいいます。分けられた光はそれぞれ「通常光」「異常光」と呼び、この二つの光は、方向によって屈折率が異なるため、光の速度が異なります。

(3) 方解石の複屈折

方解石 (CaCO_3) は、石灰岩の主成分鉱物で、割れやすいへき開面が3方向にあるため、砕けた方解石は平行六面体の結晶体(菱面体)です(図3)。以前はマッチ箱を押しつぶしたような形と表現されましたが、現在、マッチ箱を知らない方も多くなっていますね。透明な方解石の結晶を通して文字や絵を見ると二重に見える(複屈折をおこす)鉱物として知られています。

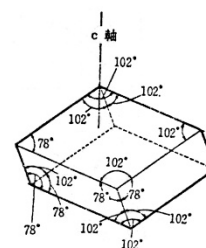


図3 方解石のへき開片 ((井上, 1983)

透明な方解石の結晶を通して文字や絵を見ると二重に見えます(図6)。ここで

は「線」で紹介します。方解石の結晶が厚いほど2本の線の間隔は大きく離れます。線を描いた紙面上で方解石のへき開片を回転させると2本の線のうち、一方の線は回転しますが、もう一方の線は動きません。通常光はまっすぐ進んでくるため方解石の回転に伴い動きませんが、異常光はへき開片に平行に進むため回転につれて移動するからです(図4)。

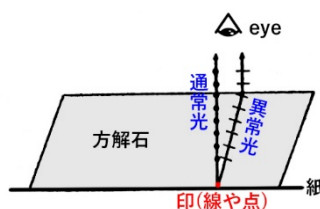


図4 方解石中を進む偏光の振動方向 (井上, 1983 を改)

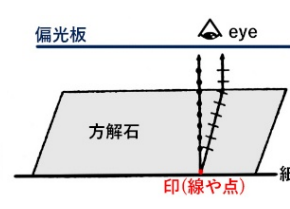


図5 偏光板を通した観察

今度は2本に分かれた位置で、上から偏光板を通して観察します(図5)。偏光板を回転すると、2本の線が一本になり、さらに回転していくと再び2本になります。そして、さらに回転していくとまた1本になりますが、見える線は前とは異なった方の線です。偏光板のスリット方向にあった偏光(線)が見えます。

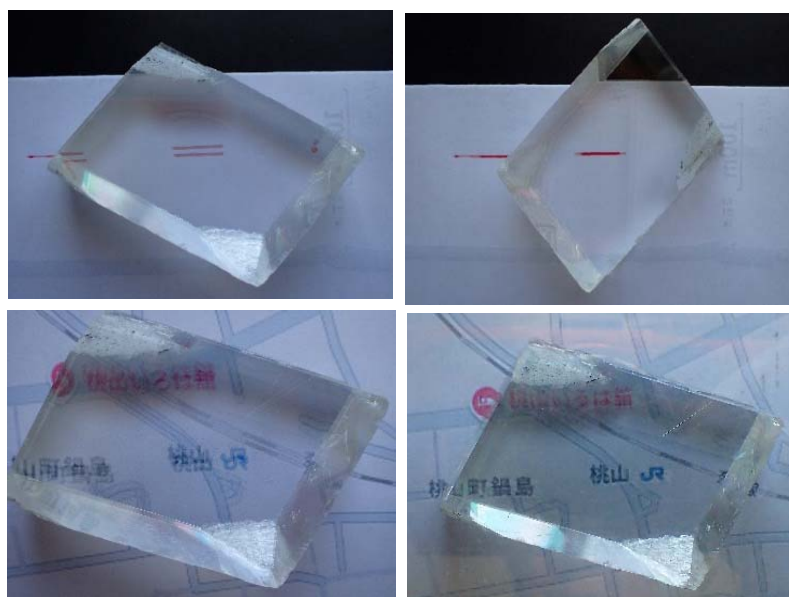


図6 方解石の複屈折

方解石や石英(水晶)のように、光が分かれられない方向(光軸)が1つのものを光学的一軸性結晶とよび、方解石や石英

などがあります。かんらん石や斜長石などは光軸を2つ持ち、光学二軸性結晶とよびます。石英の複屈折は極めて小さいため肉眼ではわかりません。

(4) セロファンテープと偏光

セロファンテープも異方性があります。セロファンテープでは分子の向きがある程度そろっている(図7)ので、たて方向(ピンク)と横方向(緑)の屈折率がちがひ、光の速度が異なります。セロ

ファンテープに 45 度傾いた直線偏光が入ると、入ってきた偏光 (赤) はたて向き (ピンク) と横向き (緑) の偏光に分けられます (図 8)。この 2 方向に分かれた光は速度が違い、色も違います。テープをアランダムに重ね合わせて透明な板に貼ったものを 2 枚の偏光板で挟むと、この速度の違いが複雑に関係しあっているいろいろな色に見えます (図 9)。手前の偏光板を回転させると

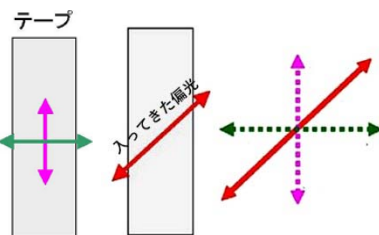


図 7 (左) セロファンテープを通る光の振動方向

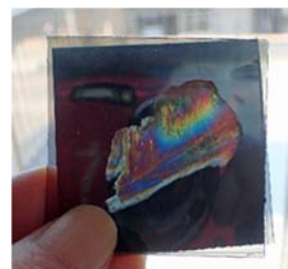
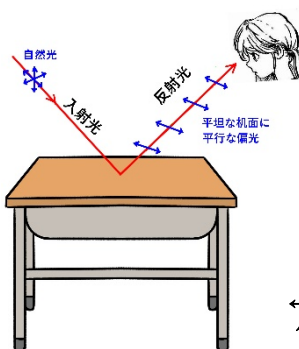
図 8 (中 2 つ) セロファンテープに 45° 傾いた直線偏光の様子

図 9 (右) セロファンテープを透明な板に貼ったものを 2 枚の偏光板で挟んだもの

色も変化します。いろいろな色をつくってカラーの「絵」をつくることができます (目的の色をつくるには試行錯誤が必要でした)。これを万華鏡にしたものも WEB サイトで紹介されています (紙コップの重ね合わせで作るのですが、回転がスムーズにいく工夫が必要でした)。セロテープは特定のメーカーの商品名であり、セロファンテープは製品の種類を表す総称です。

(5) 偏光板の利用

偏光板は外見は黒っぽい板なので、スリットの方がわかりません。向きを知るには反射光を利用します。反射光の振動方向は、反射面に平行な方向 (横方向) の振動が強調された偏光になります (図 10)。路面や水面からの反射光は横方向に偏光しているので、サングラスの偏光板はスリットの方を縦方向にして、縦方向に振動する光を通過させ、横方向の光を遮断することで、“まぶしさ”を防いでいます。



←図 10 反射光の様子

↑図 11 偏光板で挟んだ白雲母

サングラスのほかにも偏光板はいろいろなところに使われています。次回に紹介する予定の岩石顕微鏡は鉱物の鑑定に必要です。図 11 は、顕微鏡ではありませんが、二枚の偏光板に白雲母を挟んでみたものです。カメラに偏光フィルターを取り付けると、その方向により反射光の光量をコントロールでき、水辺などの撮影において反射光を抑えたり、窓ガラスの反射を抑える事ができます。また、空気などによる乱反射を抑え、空の色や濡れた葉など、肉眼より色コントラストを高められます。パソコンの液晶画面には表面に偏光板が貼ってあるため、手持ちの偏光板の向きによって明るさが変わります。光ファイバー通信の光に偏光を加えることで、チャネルの増加や雑音除去等による信頼性向上に使用されています。樹脂やガラスなどの、内部の歪の量を可視化するものもあります。地殻にかかった歪を推定するのに用いた研究もあります。立体視をするために 3D メガネに利用したものがああります。立体視の感覚は、右目と左目の視差 (ズレ) により、脳内で作られます。図 12 は横方向にスリットのある偏光板を通して見たものです、この写真では、右目用が横方向にスリットが、左目用は縦方向にスリットがあることがわかります (図 12)。

ミツバチは太陽光をコンパス代わりに利用して迷うことなく巣に帰ることが知られています。太陽

光による空の偏光状態は、太陽を見る方向、太陽の高度によって決まっており、太陽の偏光を感知することで、太陽の位置を確認し、飛ぶ方向を決めているようです。ミツバチの眼は、多数の単眼で構成された複眼で、単眼ひとつずつが、光の通過方向の異なる偏光フィルターのようなものでおおわれています。これで、眼に入射する特定方向の偏光を感知します。ミツバチだけでなく、ほかの昆虫の多くも、このような方法で太陽の方向を知っていると考えられています。



図 12 偏光板を通して見た立体視用簡易メガネ

(6) 立体視できる赤青写真

偏光を利用したものではありませんが、立体視に関する話です。青と赤で表された写真が立体的に見えるのは、人間の目が左右で異なる画像（通常は青と赤の画像）を認識し、それを脳がそれぞれの画像を異なる視点からの情報として認識し、立体的な奥行きを錯覚するからです。この原理は、映画館で 3D 映画を見る時にも応用されています。偏光フィルターやシャッターメガネなど、より高度な技術が使われますが、基本的には左右の目で異なる画像を見せることで立体感を再現しています。

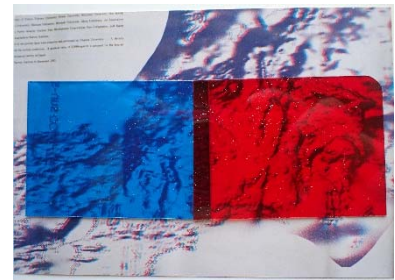


図 13 赤青写真を用いた立体視

航空写真が肉眼で立体視できるのは、左右の目で異なる角度から撮影された 2 枚の写真を見ることで、脳が視差を認識し、立体的に感じるためです。人間の両目はわずかに離れた位置にあるため、物体を見る際に左右の目で異なる画像が網膜に映ります。この左右の像のずれを両眼視差と呼びますが、脳は、この両眼視差を処理し、左右の画像を統合することで、奥行きや立体感を認識します。航空写真の場合、同じ場所を少しずらして 2 枚撮影することで、両眼視差を人工的に作り出します

(図 14)。実体鏡のレンズなどを使わずに「肉眼実体視」もできます。実体視の原理は、左の眼が左に置いた画像だけを、右の眼が右に置いた画像だけを見ると、撮影したとき立体的であった画像の歪みが左の画像と右の画像で違っているため、視差の差（視差差）と位置の違いを視神経が感じて、立体感を生じるのです（学生の時に訓練させられましたが、さほどむづかしくはありません）。

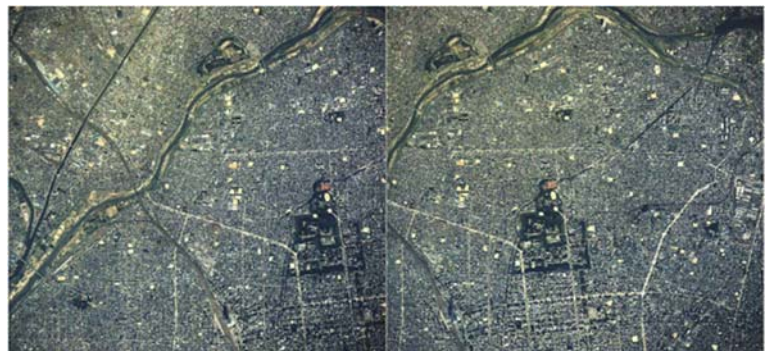


図 14 航空写真 名古屋城を含む地域を 2 枚並べたもの

主な参考引用文献

井上 勤, 1983, 鉱物の顕微鏡観察. 地人書館, 234 p.

黒田吉益, 1970, 偏光顕微鏡と岩石鉱物. 共立出版, 194 p.

URL 1 : https://www.mecan.co.jp/Optical-Film/Polarizer/About_Polarizer.html