

図 2. 偏光顕微鏡のしくみ. 矢印は光の振動方向.

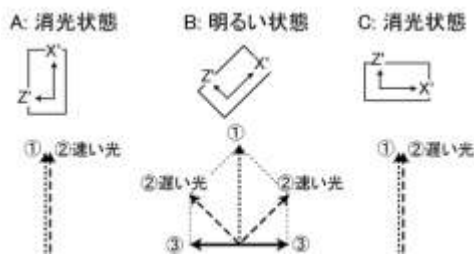


図 3. クロスニコルで結晶を回転させた時の光の振動方向と明るさ (矢印) の変化.

偏光顕微鏡の原理

偏光顕微鏡では、プレパラートの下と上に1枚ずつ偏光板(通称ニコル)が挿入されている。試料の上の偏光板(上方ニコル)は抜き挿し可能で、抜いた状態をオープンニコル(下方ニコルのみ)、挿した状態をクロスニコル(下方+上方ニコル)という。偏光板は特定の方向に振動する光だけを通過させる性質がある。上方ニコルと下方ニコルは、通過できる光の振動方向が 90 度異なるように設置してあるので、下方ニコルを通過し、一定方向に振動する光(偏光)は、そのままでは上方ニコルにさえぎられてしまう。このため、試料がない状態だと、クロスニコルでは暗黒となる。

鉱物の結晶中を光が通過するときには、原子が格子状に配列しているために、光の振動方向と結晶の置かれた向きの兼ね合いで、光が速く進んだり遅く進んだりする(光学的異方体)。結晶内を光が最も速く進む振動方向(X')と、最も遅く進む振動方向(Z')は、直交する(図 2)。下

方ニコルでつくられ入射する偏光の振動方向に対して、結晶の X' 方向(または Z' 方向)が平行におかれた場合、結晶内を通過する光は X' 方向(または Z' 方向)だけに振動するため、上方ニコルに完全に遮られ暗黒となる(消光状態: 図 3 の A, C)。一方、入射する偏光①の振動方向に対し結晶の X' や Z' 方向が斜めになるよう置かれた場合(図 3 の B)、結晶内に入った偏光は、速い偏光(X' 方向に振動)と遅い偏光(Z' 方向に振動)に分解されて通過する(②)。速い偏光も遅い偏光も上方ニコルの振動方向と直角ではなくなるので、その一部が通過して(③)、明るく見える。顕微鏡のステージを回転させると、結晶が消光したり明るくなったりを繰り返す。 X' 方向と Z' 方向は直角なので、ステージを 90 度回す毎に消光する。

火山ガラスやある種の鉱物では、どの方向に振動する光でも同じ速さで進む(光学的等方体)。下方ニコルで生じた偏光が光学的等方体を通過する時には、振動方向が変わることもないため、すべて上方ニコルに遮られる。このため、ステージを回転しても、常に消光状態(暗黒)となる。

多色性: 鉱物種によっては、オープンニコルでステージを回転させた場合に、色が変わる性質(多色性)を示す。光の振動方向と結晶の向きの兼ね合いで、吸収される光の波長が異なるためである。多色性の強さや向き毎の色合いは、鉱物種判定の目安となる。

直消光と斜消光: 偏光顕微鏡では、下方ニコルの振動方向を視野の十字線の縦線(メーカーによっては横線)と平行に取り付けてある。光学的異方体では、結晶の外形や割れやすい面(劈開面)が十字線と一致した時に消光する(直消光)ものと、ある角度(消光角)をもって斜めの時に消光する(斜消光)ものがあり、鉱物種の判定の鍵となる。直消光か斜消光かは、 X' や Z' が結晶の外形や劈開面と一致するか斜交するかの違いで、結晶構造によって決まっている。消光角は結晶の置かれた向きによっても異なるが、その最大値は鉱物種によって固有なため、判定の重要な目安となる。

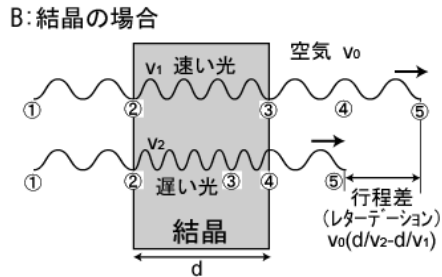
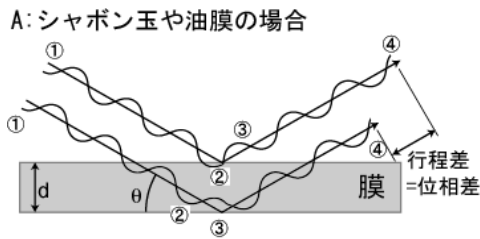


図4. 位相差が生じるしくみ. 上方ニコルは X'方向と Z'方向に振動する光を反対向きに展開するので, 行程差と位相差が半波長分ずれることに注意.

このため, 特定の色が強調されたり弱まったりした変な色(干渉色)が現れる. このような反射による干渉色は, 膜が光の波長(数百 nm)近くまで薄くなると現れる.

結晶に入射した光は, 速い偏光(振動方向 X', 速度 v_1)と遅い偏光(Z', v_2)に分かれる. 同じ厚さ d の結晶内を通過するのに, 遅い偏光のほうが時間がかかるので, 速い偏光との間に行程差(レターデーション: Re)が生じる(図 4B). 2つの光の振動方向(直交)を上方ニコルで一方向に揃えると, 行程差に応じた波形のずれ(位相差=行程差-半波長)によって干渉色が現れる. $Re = v_0 \times (d/v_2 - d/v_1)$ の関係にあり(v_0 は空気中の光の速度), 速度差が大きいほど, また結晶が厚いほど位相差が大きくなる. 鉱物粒子では, 中央が厚く縁が薄いため部位によって干渉色が異なり, 同心円状の虹色に見える.

参考資料

「偏光顕微鏡と岩石鉱物」黒田吉益・諏訪兼位著(共立出版, 1968年)

「岩石学 I 偏光顕微鏡と造岩鉱物」都城秋穂・久城育夫著(共立出版, 1972年)

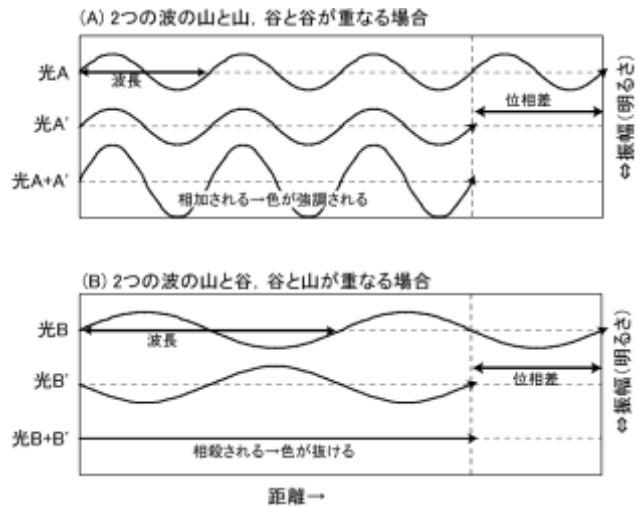


図5. 位相差と光の波長の関係.

干渉色: シャボン玉や道路にこぼれた油の虹色を干渉色といい, 鉱物の虹色も同様のしくみで現れる. シャボン玉や油膜では, 膜の手前側の面で反射した光と, 奥の面で反射した光と一緒に目に入る(図4A). 膜の奥側で反射する光のほうが手前側で反射する光より少しだけ遅れる(進む距離が少しだけ長い: 行程差)のために, 2つの波の振動のタイミング(位相)がずれる(位相差). 位相差の大きさは, 膜の厚さ(d)と, 膜に光がさす角度(θ)で決まる($\approx 2 \times d \times \sin \theta$). 天然の光は様々な波長の光が混ざっているが, このうち, 位相差によって2つの波の山と山, 谷と谷が重なるような波長(色)の光は強調される(図5). 一方山と谷, 谷と山が重なるような波長(色)の光は, 打ち消しあって弱