

偏光顕微鏡による鉱物・岩石の観察

地学 しぶえ 澁江 靖弘

1 はじめに

中学校理科第2分野の「大地の成り立ちと変化」の単元では、「大地の活動の様子や身近な岩石、地層、地形などの観察を通して、地表に見られる様々な事物・現象を大地の変化と関連付けて理解させ、大地の変化についての認識を深める」ことが目標として掲げられている（文部科学省，2008）。内容説明の中で、文部科学省（2008）は「火成岩については、火山岩と深成岩があり、その組織に違いがあること、それらがそれぞれの成因と深くかかわっていることをとらえさせる。ここで取り上げる火成岩は、例えば火山岩として安山岩や玄武岩など、深成岩として花こう岩や閃緑岩などが考えられる。それらの岩石の観察によって、組織とマグマの冷え方との関係をとらえさせる。その際、火山岩には斑状組織、深成岩には等粒状組織という共通点があることや、同じ組織であっても色が白っぽいものから黒っぽいものまでの違いがあることに気付かせる。」として岩石組織の観察に重点を置いている。この観察と関連して、「身近な建物などの石材を観察したり、標本サイズの岩石を割ったり、磨いたり、プレパラートを用いたりして、組織の違いの観察を行う。その際、造岩鉱物は岩石を見分けるために扱い、その特徴については、色や形の違いを取り上げ、火成岩の色の違いは造岩鉱物の種類や含まれているそれらの割合の違いであることに気付かせる」と記している（文部科学省，2008）。さらに、地層に関する学習と関連して、「地層を構成する堆積岩としては、小学校では礫岩、砂岩、泥岩を学習しているが、これらの岩石のほか、地域の実情に応じて、例えば石灰岩、チャートなどを扱い、粒の大きさや構成物質の違いなどに気付かせる」と記している（文部科学省，2008）。

プレパラートを用いる観察が、ここで示そうとしている偏光顕微鏡による観察に相当する。偏光顕微鏡を用いて岩石や岩石中の鉱物を観察する意義として次の点を挙げる事ができよう（澁江，1999）。

（ア）肉眼あるいはルーペや虫眼鏡を用いて岩石を観察する場合に、火成岩なら斑状組織や等粒状組織に関する観察が重要である。深成岩が示す等粒状組織は、粒子が比較的大きいため観察しやすい。これに対して、火山岩中の斑晶は深成岩中の結晶に比べて概して小さい。このために斑晶をルーペや虫眼鏡で観察することが困難な場合がある。このような時に偏光顕微鏡による観察あるいは偏光顕微鏡像を示すことで斑状組織の特徴を理解させることが可能になる。

（イ）岩石を構成する鉱物の名前を中学校理科ではほとんど教えていない。この点から考えると、偏光顕微鏡による鉱物の鑑定はやや専門的な印象を与える。しかしながら、火成岩の組織を絵で示すだけでは様々な天然物からできている岩石の特性を十分に言い表すことができない。斑状組織と等粒状組織の観察が粒子の大きさの比較だけに終わってしまうことになる。火成岩の種類によって含まれている鉱物の種類が異なっていることは、火成岩の多様性と関連して極めて重要な事実である。中学校レベルなら、より具体的に構成鉱物の名称も示しながら組織の違いを理解させることの方が、知的欲求あるいは知的好奇心に応えることができると考えられる。

（ウ）偏光顕微鏡で鉱物を観察させることで、天然物の形の多様性や鉱物が示す様々な色の美しさを印象として与えることができる。これは、自然の事物の美しさや自然を愛する心を養うことにもつながる。鉱物粒子の形の多様性と複雑さは、自然界を構成する物質のパターンの多様性への理解にもつながる。物質の形の観察は、植物の葉の形や動物の形態など生物領域でよく行われている。岩石中の鉱物の形はこれらに匹敵するかあるいはそれ以上に複雑である場合もある。この点で、物の形を観察する能力を養うことにもつながる。

偏光顕微鏡が備えられていない場合でも、生物顕微鏡に偏光板を取り付けることで偏光顕微鏡として利用することができる。また、写真撮影を行うことができれば、偏光顕微鏡写真をスライドとして示すことができる。偏光顕微鏡で観察するための資料そのものは、教材販売業者から購入することが可能である。また、資料を送れば偏光顕微鏡用のプレパラート（岩石学では薄片と呼ぶもの）を作成する業者もある。このように、工夫を凝らすことで中学校段階でも偏光顕微鏡による岩石や鉱物の観察を行うことができよう。

偏光顕微鏡で火成岩を観察すると、ある鉱物が別の鉱物中に含まれていることを見出す

ことがある。例えば、後で示すリン灰石と言う鉱物は火成岩中の黒雲母や角閃石のような鉱物中にしばしば含まれている。この現象は、リン灰石がまずマグマから結晶化してその後で黒雲母や角閃石が結晶化したことで説明できる。このことは、マグマからの鉱物の結晶化が同時に起きていないことを意味する。また、火成岩中の鉱物の形を比較すると、ある種の鉱物はきれいな形であるのに対して別の種類の鉱物は粒子の間を埋めて結晶化しているような形を示す。この違いは次のように説明できる（澁江，2001）。マグマは液体であるので、早い時期に結晶化した鉱物は液体の中で結晶成長することになる。このような時には、結晶の形がきれいな形になりやすい。もし、マグマのかなりの割合が既に結晶化してしまつたとすると、新たに結晶化する鉱物は隙間を埋めるようにして結晶成長するしかない。したがって、きれいな形を示す鉱物の方が粒子の間を埋めているような鉱物よりも先に結晶化したと推定できる。このように、注意深く観察することによってダイナミックなマグマの固結過程を推定することが可能である。ルーペあるいは虫眼鏡を用いた観察では、鉱物の包含関係を判定することは一般に困難である。偏光顕微鏡を用いることで肉眼あるいはルーペや虫眼鏡を用いた観察に比べてより詳しい観察を行うことができる。

さて、マグマからの鉱物の結晶化に順序があると言うことは何を意味するのであろうか。マグマが混合液であることで説明できる。火成岩は様々な鉱物から構成されているので混合物として取り扱うことができる。すると、火成岩をつくつたマグマは混合物が融解していたものであり混合液である。純粋な物質なら融点あるいは凝固点は一定であるが、混合物だとそうはならない。一般に高融点の物質から順に結晶化していくはずである。つまり、種類の異なる鉱物が順に結晶化していくはずである。また、マグマが冷えていく時に固体（鉱物の結晶）と液体が共存する状態が存在する。このような観点に立てば、偏光顕微鏡による観察結果を第1分野で学習する状態変化と関連付けることが可能である。ただし、この内容は中学生にはやや高度な内容である。

中学校では主に火成岩を対象にする岩石の観察が扱われているので、堆積岩の観察に力点が置かれていない。堆積岩を小学校段階で取り扱っている関係であろう。主要な堆積岩として、礫岩、砂岩、泥岩、凝灰岩、チャート、石灰岩を挙げることができる。これらの中で、礫岩と砂岩と泥岩を構成する物質の虫眼鏡による観察が小学校段階で取り扱われていることがある（例えば、大隅ほか，2010）。礫岩や砂岩の場合には、構成粒子が比較的大きいので虫眼鏡を用いて観察することができる。また、一部の凝灰岩や化石を含む石灰岩も虫眼鏡を用いて容易に観察することができよう。しかしながら、泥岩などの比較的細かい粒子からできている岩石については、虫眼鏡を用いても構成粒子の形や大きさを把握することが困難である。つまり、細かい粒子からできていることを理解させることが困難である。例えば、粘土工作で用いる粘土を見せて、これが細かい粘土からできていると説明することを考えてみる。粘土の塊を指で砕くことができるので、どれが粘土粒子であるのかを識別することが困難である。したがって、細かい粒子からできていることを理解しづらい。これに対して、偏光顕微鏡を用いると泥岩が細かい粒子からできていることを確認できる場合が多い。もちろん、偏光顕微鏡でも大きさや形を判別できない粘土粒子も含まれていることがあり得るが、大部分の泥岩は、偏光顕微鏡の倍率を高倍率にすれば粒子の大きさや形を識別できる箇所を含んでいる。したがって、細粒粒子からできている堆積岩を偏光顕微鏡で観察することは小学校段階での学習内容を補完する意味を持つ。また、石灰岩を除けば、堆積岩中に含まれている鉱物の大部分は火成岩中に含まれている鉱物と同じものである。そこで、火成岩中に含まれている鉱物を鑑定することができれば堆積岩中に含まれている鉱物も鑑定可能になる。

大学理学部学生向けの教科書（例えば、都城・久城，1972；黒田・諏訪，1983）は、偏光顕微鏡に関わる光学的基礎について触れている。この資料では光学理論については触れていない。この理由を以下に記す。

（ア）微小領域における化学分析を機器によって行うことができるまでは、微量の鉱物の化学組成を偏光顕微鏡によって求めることが行われてきた。この場合、鉱物の屈折率やコノスコープ像から求めることができる光学的性質によって決定されてきた。この関係で、歴史的にも光学理論に関する理解が必要であることは明らかである。しかしながら、今日では鉱物の化学組成決定に果たす偏光顕微鏡の役割は大きく低下している。

（イ）偏光に関する学習は小中学校段階では行われていない。したがって、偏光顕微鏡の

原理を教えることは困難である。

(ア) と (イ) より必ずしも教師が偏光顕微鏡に関わる光学理論を理解しておく必要はないと考えられる。そこで、この資料は、偏光顕微鏡を用いて実際に観察する時に必要な事項だけを記す。

本資料は澁江(1999, 2001)をまとめた上で学習指導要領と関連する箇所を改めたものである。また、筆者が兵庫教育大学大学院で地球科学特別実験として行ってきた偏光顕微鏡を用いた鉱物・岩石の観察実習の内容にほぼ対応する。この観察実習では変成岩中の鉱物をほとんど取り扱っていない。これは、小中学校の理科では変成岩を取り扱わないことによる。しかしながら、変成岩で主に産する鉱物であっても、火成岩が変質して生成する場合がある。そこで、このような鉱物の中のいくつかを実習では取り上げている。

2 偏光顕微鏡

偏光顕微鏡には二枚の偏光板（ニコル）が取り付けられている。この点が生物顕微鏡と大きく違っている。光は資料通過前に偏光板を通過する。資料通過後、さらにもう一枚の偏光板を通過して偏光顕微鏡像を結像させる時と偏光板を通過しないで偏光顕微鏡像を結像させる時がある。一枚の偏光板だけに光を通過させて観察する時を平行ニコルによる観察と言う。二枚の偏光板に光を通過させて観察する時を直交ニコルによる観察と言う。平行ニコルによる観察は、下方ポーラーだけによる観察、単ニコルによる観察、あるいは開放ニコルによる観察とも呼ばれている。直交ニコルによる観察は十字ニコルによる観察とも呼ばれている。

資料を通過する前に光が通過する偏光板を下方ニコル、資料通過後に光を通過させる偏光板を上方ニコルと呼ぶ（図 1）。上方ニコルと下方ニコルを回転させることができる偏光顕微鏡が多い。ニコルを回転させると直交ニコルでの色が違ってくるので、観察の最中にニコルを回転させないように注意する必要がある。



図1 簡易偏光顕微鏡。左側の写真中に赤字で記した板（上方ニコルスライド板）に偏光板が取り付けられている。スライド板の二箇所には穴があり、片方の穴には偏光板（上方ニコル）が埋め込まれている。スライド板を動かして平行ニコルによる観察と直交ニコルによる観察を切り替える。なお、ステージに載せているガラス板が薄片である。右側の写真はステージの下側を示している。この簡易偏光顕微鏡では下方ニコルが円筒状の集光器内に組み込まれている。

平行ニコルによる観察や直交ニコルによる観察の他に、 conoscope 像の観察や伸長性と言う光学的性質の観察も行われている。conoscope 像の観察は、直交ニコルの状態でコンデンサーレンズとベルトランドレンズを入れて行う。簡易偏光顕微鏡にはコンデンサーレンズやベルトランドレンズが取り付けられていないものも多い。また、伸長性は検板と呼ばれる板を偏光顕微鏡に差し込んで調べるが、簡易偏光顕微鏡の中には検板を使用できないものも多い。conoscope 像や検板の挿入によって鉱物の光学的性質を知るこ

とができるが、先に記した理由で地球科学特別実験ではコノスコープ像の観察や検板の挿入による観察を行っていない。

3 偏光顕微鏡によって決まる鉱物の性質

(1) 平行ニコル

(A) 形

平行ニコルによって鉱物の形を知ることができる。観察の際に光を絞ると鉱物の輪郭がはっきりする。

鉱物特有の形を呈するものを自形、鉱物特有の形を呈しないものを他形、自形でもなく他形でもない中間的なもの（部分的に自形であるもの）を半自形と呼ぶ。ただし、薄片で観察できる鉱物の形は鉱物の断面に過ぎないので、一つだけでは鉱物の立体的な形は分からない。多くの鉱物の断面から立体的な形を総合的に考える必要がある。鉱物学で使用されている自形結晶の形を表す用語には、立方体、八面体、六角柱、紡錘状、針状、毛状、繊維状、長柱状、短柱状、錐状、葉片状、鱗片状、板状、六角板状などがある。立方体、八面体、六角柱、紡錘状の形は明らかである。その他の形も名前から容易に理解できるが、イラストでこれらの形を図2に示す。

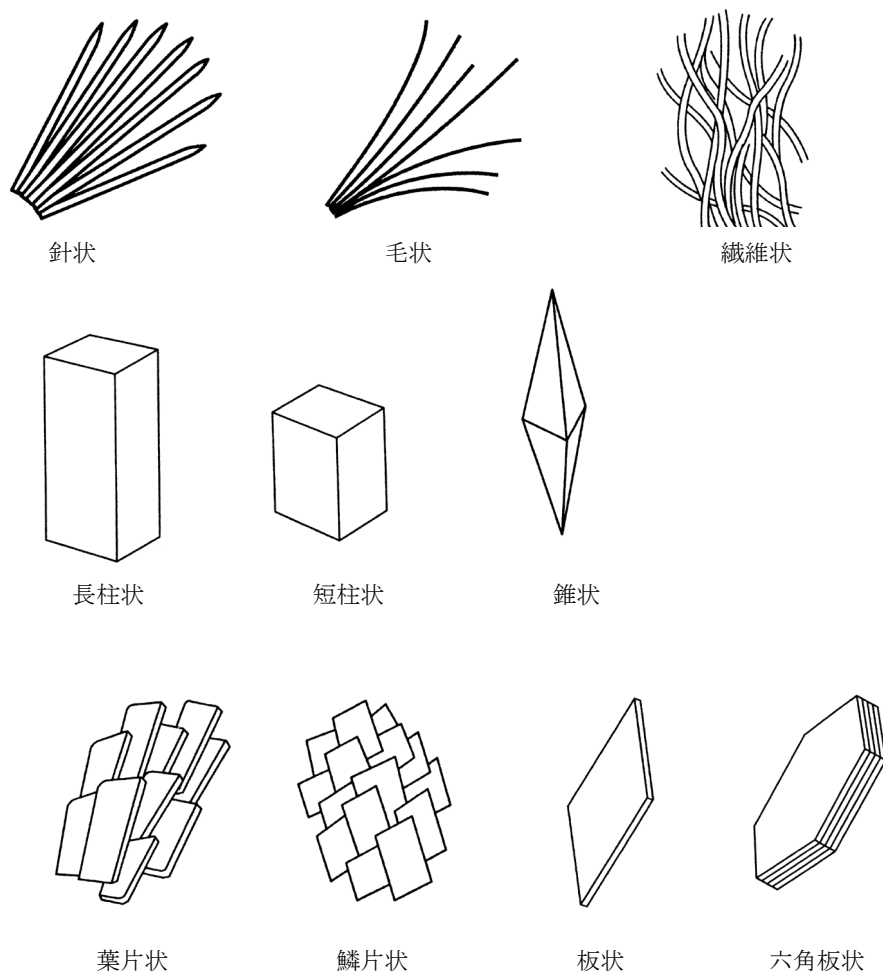


図2 自形結晶の形。

(B) 大きさ

鉱物の輪郭が分かれば、その大きさも分かる。この観察の際に、光を絞って輪郭をはっきりさせておく方が良い。また、平行ニコルだけでなく直交ニコルでもチェックしておくことが望ましい。

(C) 劈開^{へきかい}

鉱物が特定の面に平行に割れやすい時に劈開があると言う。そして、この面を劈開面と言う。薄片で見ると劈開面が線として表れる。ただし、劈開は必ずしも直線的になってはいない。鉱物が何らかの力を受けて変形すると、劈開も曲線として表れる。

(D) 組織

鉱物の集合状態を組織と言う。火成岩の場合には、等粒状組織と斑状組織が代表的な組織である。偏光顕微鏡で観察すると、等粒状組織を形成する鉱物の大きさがばらついていることが分かる。そして、等粒状組織の特徴は粒子の大きさが等しいことではなく、大部分の粒子が大きいことであることを理解させることができる。また、斑状組織を形成する鉱物の大きさが斑晶と石基で違っていることを確認できる。そして、石基中に含まれている鉱物が極めて小さいことも確認できる。ルーペや虫眼鏡を用いて斑晶と石基の大きさの違いを理解することが可能であるが、偏光顕微鏡を用いることで、石基の部分の特徴を明確に理解することができる。



斑状組織 (流紋岩)



等粒状組織 (花こう岩)

図3 斑状組織と等粒状組織のスケッチ。輪郭の円は接眼レンズの視野を示す。実線は鉱物粒子の輪郭を表し、やや細い実線は鉱物粒子内部の亀裂を示す。丸印は鉱物の種類が異なっていることを示すための記号であり、鉱物粒子内部の様子を表しているものではない。

(E) 色

平行ニコルの状態で鉱物の色を観察することができるので、有色鉱物と無色鉱物を判別することができる。

(F) 多色性^{たしきせい}

平行ニコルの状態でステージを回転させた時に色が変わる鉱物がある。このような鉱物は多色性があると言う。

(G) 屈折率

鉱物の屈折率は1.4 から2.5 の範囲に入るものが多い。光を絞った時にザラザラした感じ、あるいは、どぎつい輪郭を示す鉱物の屈折率は非常に高いか低い。多くの場合、屈折率が低いものは粘土鉱物であるので、微細な結晶でなければ屈折率が高いと考えて差し支えない。滑らかな感じのものは屈折率が1.5程度である。

屈折率が異なるものが接していると、それらの境界部で光っている線が見られる。これをベッケ線と言い、光を絞ると良く見える。対物レンズとして10倍以上のものを用いて、ピントが合った状態から対物レンズを試料から遠ざけるとベッケ線は屈折率の高いものの方へ移動する。近づけると低いものの方へ移動する。これによって屈折率の比較を行うことができる。

(2) 直交ニコル

(A) 干渉色

直交ニコルの状態で観察できる鉱物の色を干渉色と言う。干渉色は、鉱物の屈折率が方向によって違っていることによって生じる。屈折率の方向による違いを複屈折と言う。複屈折は光学理論に基づいて定義することができるが、ここでは屈折率の方向による違いを表すものだけ記す。

ステージを回転させても常に黒色の干渉色である時と回転させると干渉色に変化する場合がある。前者の場合には、この物質は光学的に等方性であり複屈折が 0 であると言う。後者の場合には光学的に異方性であると言う。ステージを回転させると干渉色が白から黒の色を示す時には複屈折が小さいと言い、ステージを回転させると白や黒以外の色を示す時には複屈折が大きいと言う。また、複屈折が小さい時の干渉色を干渉色が低い、複屈折が大きい時の干渉色を干渉色が高いと言う。

複屈折が 0 でない場合、ステージを一回転させると 90 度毎に 4 回色づいたり暗くなったりする。暗くなる位置を消光位、消光位から 45 度回転させた位置を対角位と言う。

(B) 双晶

同じ種類の結晶が方位を違えて結合しているものを双晶と呼ぶ。鉱物によって、双晶のできやすさや、形式に違いがある。双晶を形成している鉱物を平行ニコルの状態で観察すると一つの結晶に見えるが、直交ニコルで観察すると干渉色が異なる二つあるいはそれ以上の部分に分かれている。同一の鉱物が三つ以上結合して双晶を形成している場合には、集片双晶あるいは多片双晶をなすと言う。

(C) 累帯構造

鉱物の化学組成が一つの結晶内で規則的に変化している時に累帯構造を示すと言う。累帯構造は干渉色の暗くなる位置が一つの結晶内で異なっていることで識別できる。

(D) 消光位

劈開がある鉱物について消光位と劈開のなす角度を観察すると、接眼レンズに取り付けられている十字線と劈開が平行になっている時に消光する鉱物とそうではない鉱物に分けることができる。消光する時に劈開の方向と十字線の方向が平行になっている時を直消光、消光する時に劈開の方向と十字線の方向が斜交している時を斜消光と言う。

なお、接眼レンズに取り付けられている十字線が正しい位置からずれてしまっていると直消光と斜消光の区別も不正確になる。十字線の位置が正確であるのかどうかを確認する時には黒雲母の多色性を利用する。平行ニコルの状態で黒雲母の色が最も濃くなる時に黒雲母の劈開と十字線が平行になっているように調整する。

4 主要な造岩鉱物の鑑定

(1) 石英(quartz) 図 4, 図 6, 図 12 $[\text{SiO}_2]$

(A) 平行ニコル

様々な形になるが、丸い粒状の形をしているものも多い。劈開は一般に見られない。無色透明である。風化や変質を受けて粘土鉱物化することがないので、汚れた感じには見えない。屈折率が高くはないので、表面が平滑に見える。火山岩中の石英の中には、角がとれて周りから虫食い状に溶かされた形（融食形）を呈するものがある。

(B) 直交ニコル

干渉色は白色から黄色である。やや薄片が薄いと灰色になる。ステージを回転させるとしばしば波状の消光（波状消光）をする時がある。波状消光は石英が変形したために生じる。

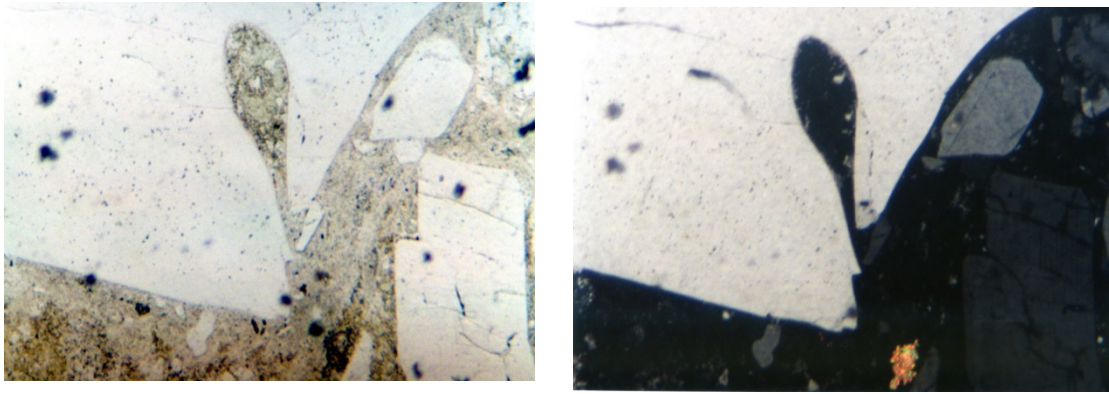


図4 流紋岩中の石英。左側は平行ニコル、右側は直交ニコルでの顕微鏡写真。平行ニコルで透明な部分が石英である。斑晶の石英中に凹部が見られる。この形を融食形と呼ぶ。石英の周囲に細かい粒子が平行ニコルで見られる。この部分が石基に相当する。

(2) 斜長石(plagioclase) 図5, 図7

斜長石は $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (曹長石, albite) と $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (灰長石, anorthite) が混合したものである。鉱物学では曹長石と灰長石の連続固溶体であると言う。

(A) 平行ニコル

多くの場合、長柱状の形を示す。劈開を観察できるものもある。無色透明だが、少し汚れた感じに見える。これは風化したり変質したりしたために粘土鉱物が生成したことによる。また、斜長石の屈折率は石英より高いものが大部分であるが、Naに富む斜長石(曹長石に近い成分のもの)の屈折率は石英より低い。

(B) 直交ニコル

しばしば、アルバイト式双晶と呼ばれる集片双晶や、二つの結晶が結合した双晶をなす。変成岩中の曹長石は双晶を示さず、石英と見かけが似ていることがある。火成岩中の斜長石、特に火山岩中の斑晶の斜長石はしばしば著しい累帯構造を示す。この場合、結晶の中心部から縁にいくにつれて、Caが減りNaが増える。まれに、これと逆の傾向を示す場合がある。このような累帯構造を逆累帯構造と呼ぶ。いずれの場合であっても、斜長石の成分が結晶内で不均質であることが分かる。

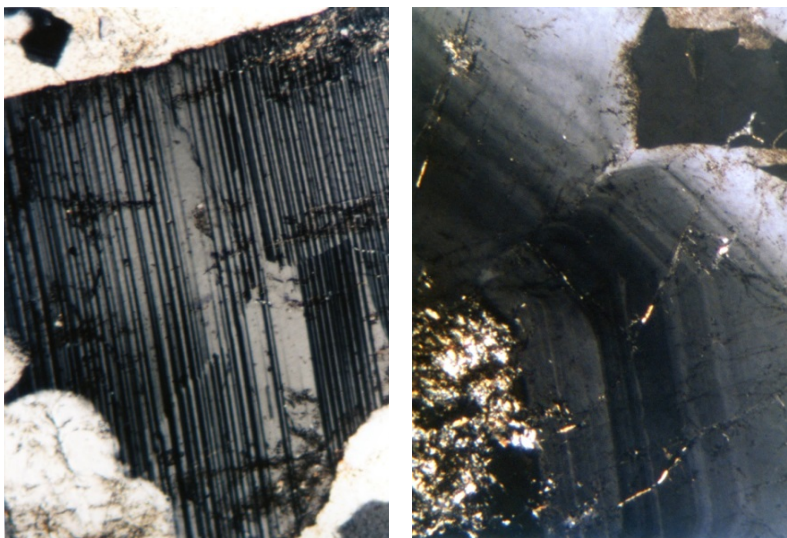


図5 直交ニコルでの斜長石の顕微鏡写真。左側はアルバイト式双晶を示す斜長石、右側は累帯構造を示す斜長石。双晶の写真では明暗の縞が異なる方位で結合している結晶を表し、累帯構造の写真では明暗の縞は化学組成の変化を反映している。

(3) カリ長石(potassium feldspar)図6, 図7【 KAlSi_3O_8 】

カリ長石はその結晶構造によってサニディン(sanidine), 正長石(orthoclase), 微斜長石(microcline)に分類されている。サニディンから微斜長石の順に低温で安定な状態である。同じ化学式ではあるが結晶構造が異なっている関係は、炭素からできているダイヤモンドと石墨が別の物質であることと同じ関係である。

天然にはカリ長石と斜長石とが混ざった化学組成のものが存在する。カリ長石は曹長石と連続固溶体をつくり、灰長石とわずかに混合する。そこで、KとNaが混ざっている長石をアルカリ長石とも言う。

カリ長石と曹長石の固溶体は低温になると分相することがある。つまり、高温では均質に混じり合っていたものが、低温になると不均質になってKに富む部分(カリ長石成分に富む部分)とNaに富む部分(曹長石成分に富む部分)に分かれる。この現象を離溶と言い、パーサイト構造と呼ばれるカリ長石の中に葉片(ラメラ)状の曹長石が見られる構造が生じる。アルカリ長石中のNa含有量が高いと、逆に曹長石の中にカリ長石のラメラが見られる逆パーサイト構造が生じる。

(A) 平行ニコル

長柱状の形を示すことがある。劈開が見られることもある。無色透明のものが多いが、風化や変質を受けて粘土鉱物が生じたために汚れた感じに見えるものもある。屈折率は石英や大部分の斜長石より低い。

(B) 直交ニコル

干渉色が石英や斜長石に比べて暗い。サニディンや正長石は、二つの結晶が結合した双晶を示すことある。微斜長石は格子縞の双晶(格子双晶)を示すことが特徴である。

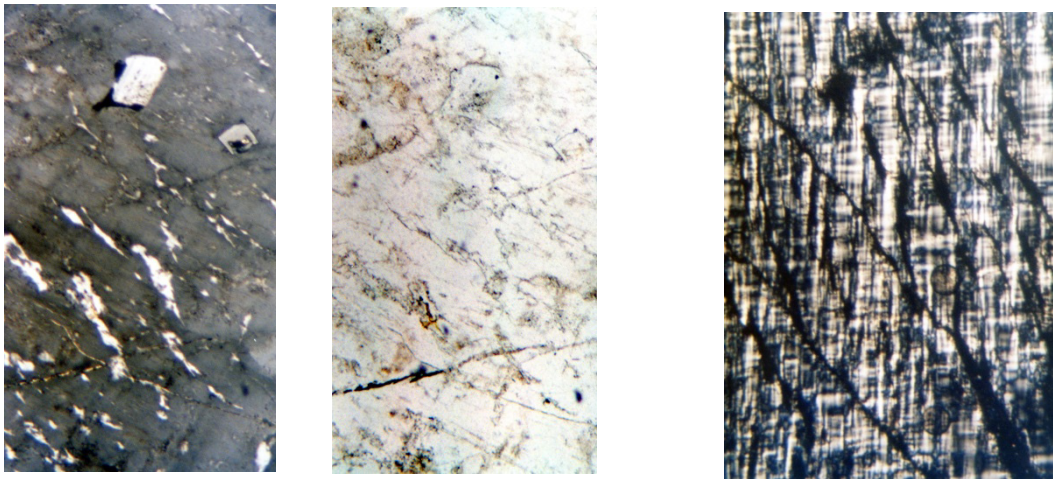


図6 左側と右側は直交ニコルでのカリ長石の顕微鏡写真。左側はパーサイト構造を示すカリ長石であり、右側の写真は格子双晶を示す微斜長石である。左側の写真で干渉色が灰色のカリ長石内部に相対的に明るく細長いひも状の部分がみられる。この部分が曹長石の葉片である。菱形や長方形に近い形で白色の鉱物は石英である。中央の写真は左側のカリ長石を平行ニコルで撮影したものである。

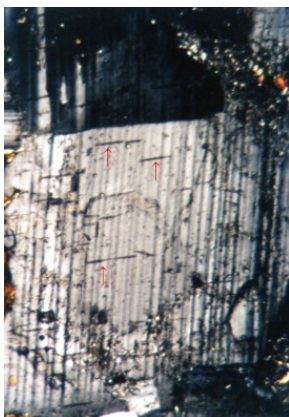


図7 斜長石中に見られる逆パーサイト構造。直交ニコルでの斜長石の顕微鏡写真。アルバイト式双晶の中で赤の矢印で示した部分は、カリ長石の葉片である。

(4) 黒雲母(biotite) 図 8, 図 15 $[\text{K}_2(\text{Mg, Fe, Al})_{5-6}(\text{Si, Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH, F})_4]$

(A) 平行ニコル

様々な形を示す。劈開が著しい。褐色、緑色あるいは赤色を呈し、多色性が強い。 Fe^{2+} を多く含む黒雲母は緑色、 TiO_2 を多く含む黒雲母は赤色を示す傾向が強い。なお、Mg を含むが Fe をほとんど含まない特殊な黒雲母はしばしば無色である。屈折率が石英や斜長石やカリ長石に比べて高い。薄片内で劈開面に平行になっている時は劈開を見ることができず、多色性も弱いかほとんどない。

(B) 直交ニコル

干渉色は黄色や青色などで高い。ただし、劈開面に平行に切れているものは高くない。直消光である。

(C) その他

ジルコンなどの放射性元素を含む鉱物が黒雲母中に含有されていると、これらの鉱物の周囲にメタミクトハローが見られることがある。このハローは放射線 (α 線) によって黒雲母の結晶構造が壊れたために生じた。

(5) ジルコン(zircon) 図 8 $[\text{ZrSiO}_4]$

(A) 平行ニコル

短柱状の形を示すことが多い。劈開を観察できる時がある。無色のものが多いが、まれに淡い褐色を示す。屈折率は高い。

(B) 直交ニコル

高い干渉色を示す。劈開を観察できる時には直消光である。

(C) その他

黒雲母などと接触してメタミクトハローを生じる。



図 8 黒雲母と白雲母の顕微鏡写真。左側と中央は平行ニコルでの写真、右側の写真は直交ニコルでの写真。左側の写真の黒雲母を 90 度右に回転させると中央の写真のようになり、多色性を示すことが分かる。右側の写真は黒雲母が中央の写真の位置にある時に直交ニコルにしたものである。右の写真中で青色の干渉色を示す鉱物は、中央と左側の写真から透明鉱物であることが分かる。この鉱物は白雲母である。なお、平行ニコルの写真中の黒色のハローはメタミクトハローである。ハローの中心にある透明鉱物はジルコンである。

(6) 白雲母(muscovite) 図 8 $[\text{K}_2\text{Al}_4(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{20}(\text{OH, F})_4]$

(A) 平行ニコル

様々な形を示す。劈開が著しい。一般に無色だが、まれに少量の Fe を含んで薄い茶色あるいは緑色を呈して多色性を示す。屈折率が高い。

(B) 直交ニコル

干渉色は黄色や青色などで高く、黒雲母と類似している。ただし、劈開面に平行に切れているものの干渉色は高くない。直消光する。

(C) その他

微細なものをしばしば絹雲母と呼び、水分の特に多いものをイライトと呼ぶ。

(7) 角閃石 (amphibole) 図 9 $[X_{2-3}Y_5Z_8O_{22}(OH, F)_2]$

(X = Ca, Na, K; Y = Mg, Fe, Al; Z = Si, Al)

角閃石は化学組成によって細かく分類されているが、火成岩中の角閃石の大部分は普通角閃石 (ホルンブレンド, hornblende) である。

(A) 平行ニコル

長柱状の形を示すことがある。約 124 度で交わる 2 本の劈開が見られることがある。緑、青、褐色の色を呈し、多色性がある。ただし、多色性の度合いは黒雲母に比べてやや弱い。

(B) 直交ニコル

黄色から青色の干渉色を示し、斜消光するものが多い。ただし、角閃石の中でも直閃石など Ca, Na, K を含まない角閃石は直消光する。もっとも、直閃石は変成岩中で産することが多く、火成岩中で産することは珍しい。

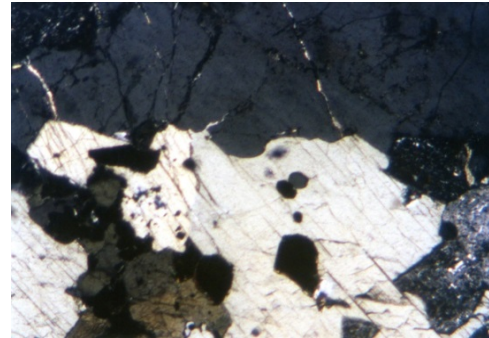
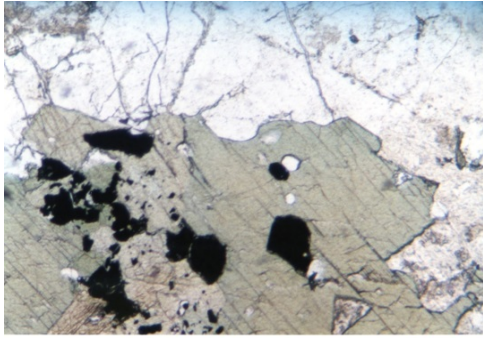


図 9 角閃石の顕微鏡写真。平行ニコル (左側の写真) で緑色の鉱物が角閃石である。右側の写真は直交ニコルでの写真である。角閃石中に包有されている鉱物の中には、平行ニコルでも直交ニコルでも黒色のものがある。この鉱物是不透明鉱物と一括して呼ばれている。また、角閃石中に六角形に近く形をしていて平行ニコルで透明で直交ニコルで暗い灰色の干渉色を示す鉱物が存在する。これはリン灰石である。

(8) 不透明鉱物 (opaque mineral) 図 9, 図 17

不透明鉱物は光を通さないで、その種類を偏光顕微鏡で決定することはできない。そこで、一般に不透明鉱物として一括して扱われている。

(A) 平行ニコル

光を通さないで真っ黒である。

(B) 直交ニコル

真っ黒である。

(9) リン灰石 (apatite) 図 9 $[Ca_5(PO_4)_3(F, OH, Cl)]$

(A) 平行ニコル

六角形あるいは六角柱の断面の形を示すものが多い。劈開をまれに観察することができる。無色である。屈折率が高い。黒雲母や角閃石などの有色鉱物に通常含まれている。

(B) 直交ニコル

暗い灰色の干渉色を示す。

(10) 輝石 (pyroxene) 図 10

輝石は斜方輝石 (orthopyroxene) と単斜輝石 (clinopyroxene) に区分することができる。前者は Ca をほとんど含まないが後者はかなり含む。斜方輝石の化学式は $(Mg, Fe)SiO_3$ であり、単斜輝石の化学式は $Ca(Mg, Fe)Si_2O_6$ である。消光位を除くと、斜方輝石と単斜輝石の偏光顕微鏡下での特徴は共通である。

(A) 平行ニコル

短柱状の形をしているものが多い。劈開を観察することができる場合が多く、二本の劈開がほぼ 90 度で交わっていることを観察できる場合もある。無色であることが多いが、淡青色、淡黄色、淡緑色、あるいは暗緑色を示すこともある。色の付いている輝石は弱い多色性を示すことがある。屈折率が高い。

(B) 直交ニコル

干渉色がやや高く、黄色から青色の干渉色を示す。斜方輝石は直消光であるのに対し、単斜輝石は斜消光である。

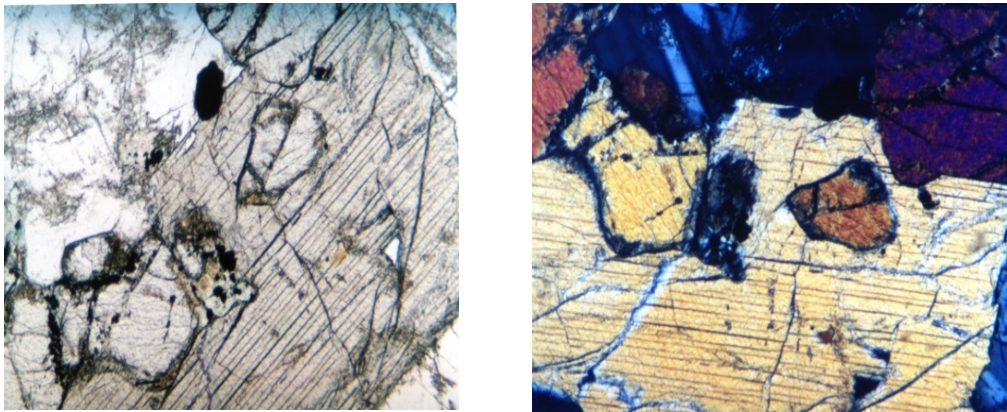


図 10 単斜輝石の顕微鏡写真。平行ニコル（左側の写真）で劈開が発達している鉱物が単斜輝石である。右側の写真は 45 度回転させて直交ニコルにした時の写真である。

(11) カンラン石 (olivine) 図 11 【 $(Mg, Fe)_2SiO_4$ 】

(A) 平行ニコル

丸い形や紡錘形を示すことが多い。劈開が一方方向に見られることがある。無色であるが、周辺部が変質していることが多い。

(B) 直交ニコル

輝石と同じ程度に高い干渉色を示す。劈開が見られる場合には直消光である。

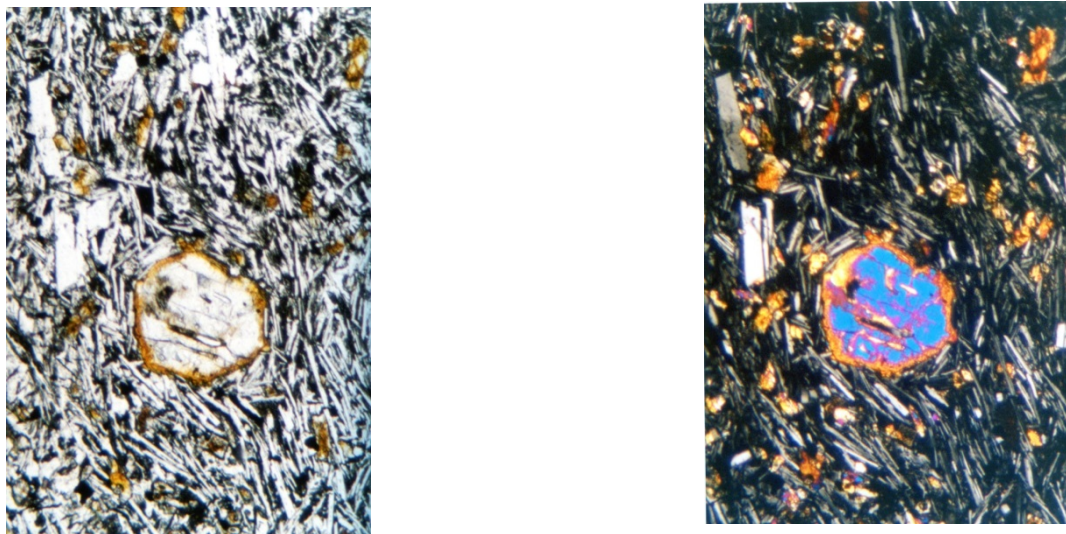


図 11 玄武岩中のカンラン石の顕微鏡写真。左側は平行ニコル，右側は直交ニコルでの写真。左側の写真中で丸い形をしていて縁が褐色になっている鉱物がカンラン石である。右側の写真中で長柱状の形をしていて干渉色が白色の鉱物は斜長石である。これらの写真は斑状組織をよく表している。

(12) ガラス(glass) 図 12

ガラスは石基の部分で観察できるものである。ただし、風化されて粘土鉱物などに変化していることが多い。なお、ガラスは鉱物ではない。

(A) 平行ニコル

透明である。

(B) 直交ニコル

真っ黒である。

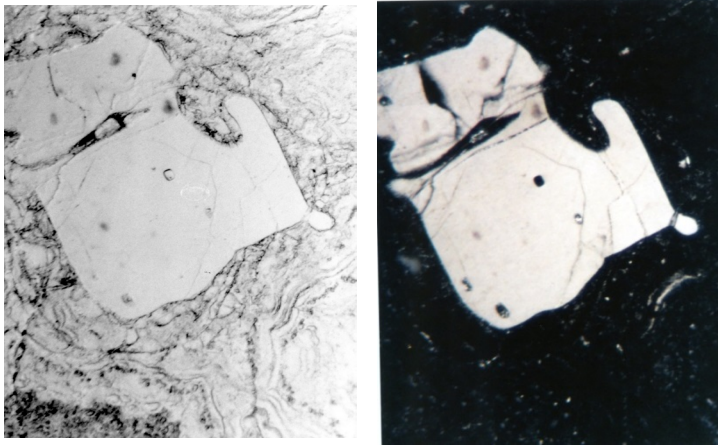


図 12 流紋岩中のガラス。左側の平行ニコルでの顕微鏡写真は融食形を示す斑晶の石英の周囲でガラスが流れた様子を示す。石基中のごみ状の部分を左下で見ることができる。この部分はガラスが粘土鉱物化した部分である。右側の写真は直交ニコルでの顕微鏡写真である。

(13) 方解石(calcite) 図 13, 図 14 $[\text{CaCO}_3]$

(A) 平行ニコル

様々な形をとる。無色である。劈開が著しい。菱形に交わっている劈開を観察できる場合も多い。屈折率が方向によって大きく変化する。このため、ステージを回転させると輪郭や劈開が浮き上がったり消えたりする。

(B) 直交ニコル

斜消光である。青色からオレンジ色あるいは銀色で輝くような干渉色を示す。集片双晶が見られることも多い。

(C) その他

方解石は石灰岩を構成する鉱物であるが、砂岩などの他の堆積岩でも産する。また、火成岩が風化したり変質したりして方解石が生成することがある。

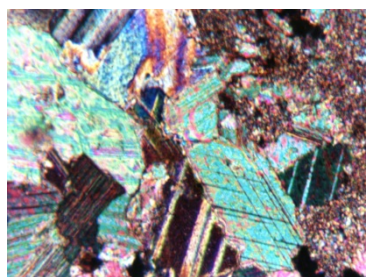
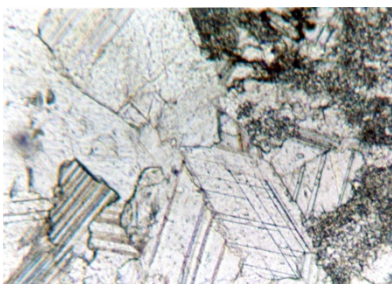


図 13 方解石の顕微鏡写真。左側は平行ニコルでの写真で右側は直交ニコルでの写真。劈開が顕著なものはすべて方解石である。

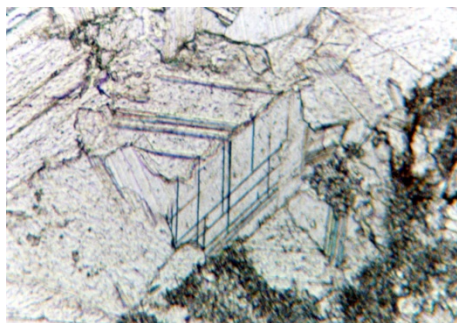


図 14 平行ニコルでの方解石の顕微鏡写真。劈開が顕著なものはすべて方解石である。図 14 は図 13 の写真の位置から 90 度ステージを回転させた時の写真である。方解石の輪郭や劈開の見え方が違っている。

(14) ザクロ石(garnet) 図 15 【 $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn}, \text{Ca})_3(\text{Al}, \text{Fe}^{3+}, \text{Cr})_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ 】

(A) 平行ニコル

丸い形のものが多い。劈開を観察できる時はまれである。無色のものが多い。中には淡桃色、黄色、褐色、緑色などを示すものもあるが、多色性はない。屈折率が高い。

(B) 直交ニコル

干渉色は黒色である。ただし、Ca を含むものは、まれに、暗い灰色を示すことがある。

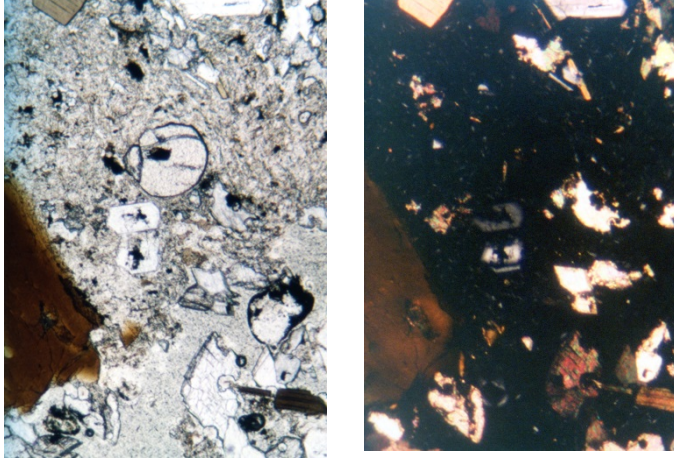


図 15 ザクロ石の顕微鏡写真。左側は平行ニコル、右側は直交ニコルでの写真。平行ニコルの状態でザクロ石が丸い形をしていることを観察できる。左側の写真中で、褐色の鉱物は劈開面に平行に切れている黒雲母である。

(15) 緑レン石(epidote) 図 16 【 $\text{Ca}_2(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$ 】

(A) 平行ニコル

丸い形のものも多く、劈開が顕著である。無色から黄緑色を示す。色が付いているものは弱い多色性を示す。

(B) 直交ニコル

黄色から青色の干渉色を示し、一つの結晶内で干渉色が不均質である。

(C) その他

緑レン石は変成岩中で産することが多いが、火成岩中でも変質鉱物として産する。

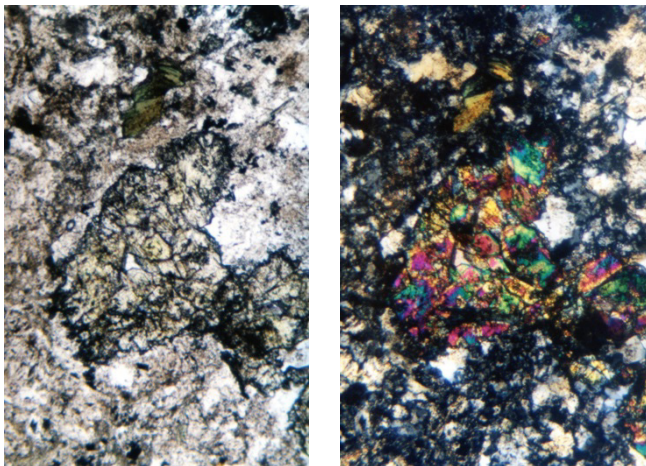


図 16 緑レン石の顕微鏡写真。左側の写真は平行ニコル、右側の写真は直交ニコルでの写真。不均質な干渉色を示す鉱物が緑レン石である。

(16) 緑泥石(chlorite) 図 17 $[(Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Al)_2(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2]$

(A) 平行ニコル

様々な形を示す。大きな結晶だと劈開を観察することができる場合がある。一般に無色だが緑色あるいは褐色のこともある。褐色のものは Fe^{3+} を多く含むことが多い。色が付いている場合は弱い多色性を示す。屈折率はやや高い。

(B) 直交ニコル

劈開を観察できるものは斜消光を示す。干渉色が黒に近いものもあるが、暗青灰色から暗褐色を示すものもある。

(C) その他

緑泥石は火成岩中の Mg や Fe を含む鉱物が風化や変質を受けて生成する。

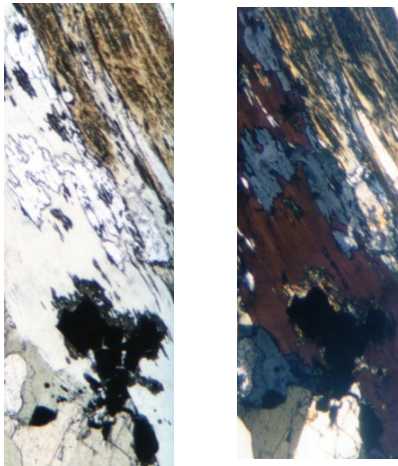


図 17 緑泥石の顕微鏡写真。左側は平行ニコル，右側は直交ニコルでの写真。平行ニコルで透明，直交ニコルで赤褐色の部分が緑泥石である。平行ニコルでも直交ニコルでも黒色の鉱物は不透明鉱物である。

文献

大隅 良典・石浦章一・鎌田正裕ほか 43 名 (2011) : わくわく理科 6. pp. 172, 新興出版社啓林館.

黒田 吉益・諏訪 兼位 (1983) : 偏光顕微鏡と岩石鉱物. 第 2 版. pp. 343, 共立出版.

澁江 靖弘 (1999) : 現職教員の継続教育のための偏光顕微鏡による岩石・鉱物の観察実習. 学校教育学研究, 11, 163-170⁽¹⁾.

澁江 靖弘 (2001) : 現職教員の継続教育のための偏光顕微鏡による岩石・鉱物の観察実習 (その 2). 学校教育学研究, 13, 169-176.

都城 秋穂・久城 育夫 (1972) : 岩石学 I. pp. 219, 共立出版.

文部科学省 (2008) : 中学校学習指導要領解説. 理科編. pp. 149, 大日本図書.

文献への注

(1) 澁江(1999)の 164 ページにおいて図 1 として示したスケッチに付した説明「斑状組織 (流紋岩)」と「等粒状組織 (花こう岩)」が入れ替わっている。本資料中で示したものが正しい。