



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	パラタクソノミスト養成講座 鉱床（中級）鉱床鉱物の観察・同定編
Author(s)	鳥本, 淳司; 松枝, 大治
Citation	パラタクソノミスト養成講座・ガイドブックシリーズ, 10
Issue Date	2011-03-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/45180
Type	book
File Information	ara10.pdf



パラタクソノミスト養成講座

鉱床（中級）鉱床鉱物の観察・同定編



鳥本淳司・松枝大治（北海道大学総合博物館）

北海道大学 教育G P
「博物館を舞台とした体験型全人教育の推進」

北海道大学総合博物館

序 文

パラタクソノミスト (Parataxonomist) とは、1980 年代にアメリカの生物学者ジャンセン (D. Janzen) らが熱帯コスタリカの生物多様性調査を行った際に考えだした調査プロジェクトの役割の一つです。熱帯ジャングルで生物調査をすると、膨大な数の生物が採集されます。とくに昆虫は一晚の灯火採集で数万の個体が採集されることもあり、その膨大な標本を整理するには、人手が必要です。そこで考えだされたのが、パラタクソノミスト。名称は、パラ (Para: 準) とタクソノミスト (Taxonomist: 分類学者) という 2 つの言葉を合わせ、研究者である分類学者のサポートをするという「準分類学者」の意味をもちます。

コスタリカでは、焼畑農業をしていた現地の人たちがパラタクソノミストとして採用されました。現地の人にとっては安定した雇用と収入を得ることができ、自分たちの住む地域は地球上の貴重な遺伝子資源としての自然環境であるという意識の改革につながりました。焼畑で消失しつつあった熱帯林も自発的に保護がなされ、地球環境保全への貢献にもなりました。このパラタクソノミストのシステムは、コスタリカ以外の熱帯域へも広がり、パプアニューギニアやグアテマラでも行われました。しかし、2000 年代に入り先進国からの熱帯生物多様性保全や研究への支出が減り、いくつかのパラタクソノミスト事業は中断を余儀なくされています。

さて、日本でのパラタクソノミスト事業は、熱帯域とは違ったかたちで進められています。2003 年から 21 世紀 COE「新・自然史科学創成」の教育プログラムの一部として、北海道大学を中心に「パラタクソノミスト養成講座」が始められました。日本では、パラタクソノミストとして生計をたてることはほとんど不可能なことから、おのずと対象となる人も事業内容も変わってきます。

日本でのパラタクソノミスト事業の目的は以下のとおりです。

- (1) 生物多様性保護と研究を促進させる生物分類学ファシリティー構築のための人材育成
- (2) 博物館を基盤とした、分類学、学術標本研究、フィールド科学の振興と普及

パラタクソノミスト養成講座は、大学生・大学院生の教養教育として、博物館ボランティアや環境調査会社職員のスキルアップとして、学芸員、教員、自然観察指導員のリカレント教育として、現在まで利用されてきています。パラタクソノミスト事業は、生物学から始まりましたが、2 番目の目的を掲げることで、現在は鉱床学、岩石・鉱物学、考古学、古生物学など、標本を取り扱う学問分野へも広がり始めました。2008 年からは、北海道大学教育 GP「博物館を舞台とした体験型全人教育の推進」の助成を得て、養成講座を行っています。

パラタクソノミスト養成講座には、(1)「もの」である標本を作成し、観察し、じかに触れる体験型教育、(2) 幼児から高齢者まで、幅広い年齢対象をもつ生涯教育としての位置づけ、(3) ヴァーチャル時代の情報源の再確認(情報は「もの」である実物から取り出されます)、(4)「理科離れ」からの脱却の手がかり、という特徴があります。このように、パラタクソノミスト事業をとおして、「もの」を見る目を養ない、より豊かな知性、感性が得られるような養成講座を企画できれと願っています。

このガイドブックシリーズは、北海道大学総合博物館を中心として行われてきた「パラタクソノミスト養成講座」の内容をまとめたものです。ガイドブックを使って、独自にパラタクソノミスト養成講座が開催できるように作られています。多くの博物館や大学が、そして関心を持つ分類学者や学芸員、社会教育主事、学校教員の方々が、それぞれの地域で普及事業として「パラタクソノミスト養成講座」を開催していただくことになれば、このうえない喜びです。

北海道大学総合博物館
大原 昌宏

私たちの身の回りには鉄や銅、アルミ、金、銀を始めとして、今話題のレアメタル、レアアースなど多くの金属や半金属が使われており、便利で快適な生活を営む近代文明には不可欠なものであるといっても過言ではありません。しかし、それらの金属がどのような場所に産し、どのような岩石（鉱石）から取り出されているのかについては、一般にはあまり知られていません。一方、限りあるこれらの有用な地下鉱物資源に関して、特に昨今の著しい世界総人口の増加とそれに伴う大量消費が原因で、21世紀に入ってから国家間の資源争奪戦がより激しくなり、今や国家間の政治戦略物質としても利用されているという好ましくない事態を招いています。最近になって、ようやくテレビや新聞などのマスコミ報道を通じてこの問題がクローズアップされてきましたが、直接携わる政府や商社だけではなく、一般市民も広くこのような知識と問題意識を持つことが重要になってきています。

一般に、通常の岩石中には僅かにしか含まれない有用金属元素を比較的多量に含む特殊な岩石を鉱石と呼びます。鉱石中に含まれるほとんどの鉱石鉱物は不透明で、通常の透過型の岩石顕微鏡のように薄片を用いて観察することは困難であるため、一般的には鉱石研磨片を用いた反射型の鉱石顕微鏡による鏡下観察を行います。

現在、鉱石鉱物といわれる鉱物は、約 1,000 種類以上も存在するといわれています。パラタクソノミスト養成講座鉱床中級では、比較的身近で使われている金属（鉄・銅・亜鉛・鉛・金・銀 など）を含有する鉱石鉱物のうち、最も基本的で主要な鉱石鉱物 10 数種を対象に、肉眼と顕微鏡下で主に鉱物組織・共生関係の観察と鉱物種の同定を行います。このことは、より多くの鉱石や鉱物を知るための基礎的な知識と実習であることから、将来的に非常に重要で効果的な経験となります。

このガイドブックは、鉱石顕微鏡を使用するための基本的な知識や手順と、最も身近な鉱石鉱物について顕微鏡下での特徴を紹介した小冊子です。野外採集や肉眼観察と異なり、顕微鏡観察は通常それほど手軽に行えるものではありません。本書をきっかけとして、主要な鉱石鉱物以外の鉱石や鉱石鉱物にも関心を持ち、それら

の知識を参考にして改めて野外採集などに役立てていただければ幸いです。

北海道大学総合博物館

松枝大治

鳥本淳司

1

鉍石鉍物とは

鉍石鉍物の定義と本講座の対象鉍石鉍物を紹介します。

人類にとって有用な金属鉍物、非金属鉍物、燃料鉍物などの鉍物が濃集したものを一般的に鉍石と称するが、これは平均地殻元素存在量を超えて異常濃集したものである。本講座で対象とするのは、この鉍石中に含まれる主に鉄、銅、亜鉛、鉛、金、銀などの金属鉍物（硫化鉍物、酸化鉍物）である。



1 黄鉄鉱



2 黄鉄鉱



3 縞状鉄鉍



4 磁鉄鉍

2

鉍石顕微鏡について

鉍石顕微鏡の紹介と、観察に大きく関わる6つの部分の構造について説明します。

1 鉍石顕微鏡とは？

有用金属を含む鉍石は主に不透明鉍物から構成されるため、顕微鏡下でこれらを観察する時には透明鉍物用の透過型偏光（岩石）顕微鏡を使用することはできず、落射光を利用する反射偏光型（鉍石）顕微鏡を使用することになる。反射型および透過型顕微鏡を併用して鉍石中の鉍石・脈石鉍物種の同定と鉍物の産状、特に鉍物組合せや共生関係およびそれに伴う多様な組織観察を行うことにより、鉍物の生成機構や生成条件の推定とそれらの鉍石の成因に関する考察を行うことも可能となる。鉍石顕微鏡は鉍石のみならず、選鉍分野および精錬（冶金）分野にも利用されている。この他に、岩石や隕石、石炭、合成鉍物、セラミックス、半導体や超電導物質などの各分野における不透明鉍物（結晶）の研究における基礎的な手段として欠かせない装置で、広く活用されている。

しかし、顕微鏡は手軽な汎用機器として多方面で利用される一方でその使用にはある程度の経験と熟練を要するために、その簡便性・迅速性と重要性・意義が認められながらも、古典的研究手法という観点とより直接的な手法（EPMA*など）の普及から最近ではその活用が軽視される傾向にあり、従って十分にその機能が活かされていないといえる。

ここでは特に鉍石顕微鏡の特徴と重要性について述べ、その利用によって得られる各種の情報に関して概略を述べる。既に、これまでに鉍石鉍物および鉍石顕微鏡に関する優れた出版物（Craig & Vaughan, 1981；苅木浅彦編、1988 など）が多数あるので、個々の詳細

* EPMA: Electron Probe Micro Analysis の略。構成元素の検出及び同定と、各構成元素の比率（濃度）を分析する手法。

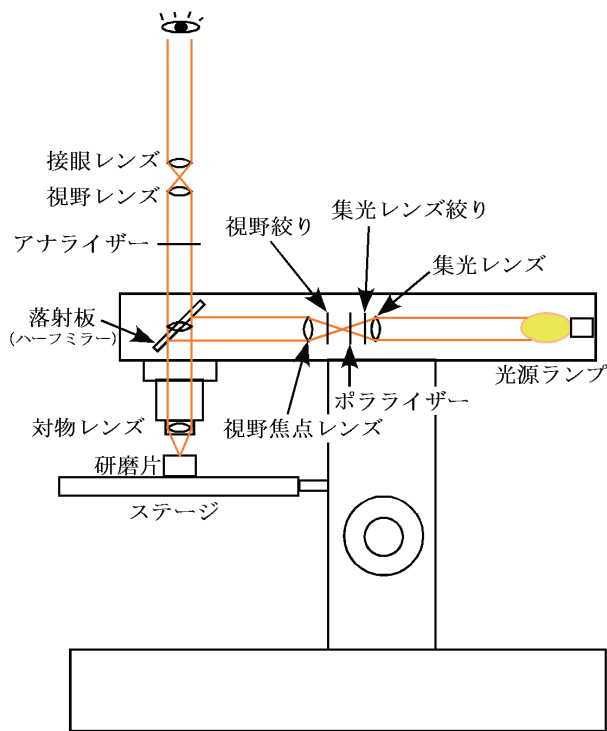
については、それらの原著書を参照していただきたい。

2 鉱石顕微鏡の構造

鉱石顕微鏡の構造は透過型偏光（岩石）顕微鏡を基本としているが、光経路として落射偏光を使用する点で異なる。鉱石顕微鏡の基本的な光学系と光経路については図 [5] に示されている。

2-a 光学系

光源からの光を偏光フィルターおよび絞りを使用して偏光平行光線にしたものを、落射板（ハーフミラー）を用いて試料の研磨面に対して垂直な光線にする。落射装置がガラスプレートあるいはプリズムかによって、装置の構造が多少異なり落射光の明るさに差が生じる。



5 鉱石顕微鏡の構造

2-b 載物台

載物台は通常鉍石鉍物の光学的性質を調べるために落射光線に対して垂直な回転円盤状のものが装備されている。また、粗動・微動ハンドルによって載物台の上下動で焦点を合わせる構造となっている。

2-c レンズ系

レンズ系としては、対物レンズ (Objective) および接眼レンズ (Ocular or Eyepiece) が付いており、それらの倍率は通常それぞれ、対物レンズが 5 倍、10 倍、40 倍、100 倍程度、接眼レンズが 5 倍、10 倍のものが使用されている。標準的な観察では、光学顕微鏡の解像度を考慮すると対物 10 倍、接眼 10 倍の組合せが普遍的である。必要に応じて、組織観察では 5 倍、微小鉍物の同定や微細組織の観察では 40 倍あるいは 100 倍を用いることになる。透過用の対物レンズは、通常カバーガラス補正がなされているため像が歪み、反射顕微鏡では特に高倍レンズを使用する時には専用の無補正の対物レンズを用いたほうがよい。

2-d 照明系

鉍石顕微鏡の照明用光源として、一般的に白熱フィラメントランプあるいはガス放電ランプの 2 種が用いられる傾向にある。通常観察では前者で十分であるが、最近では後者のうちハロゲンランプを普通に用いる傾向がある。顕微鏡により同一鉍物でも多少色が異なる。これは光源のわずかな色温度の差によるもので、できるだけ昼光色に近づけるために淡青色フィルターを用いている。通常観察では色温度差の影響があまりないが、写真撮影や色の定量測定には影響がある。

図 [5] に示されているように、標準的な照明系は光源ランプ、2 種のレンズ (集光レンズ、視野焦点レンズ)、2 ～ 3 個の絞り (集光レンズ絞り、視野絞り)、ポラライザーから構成される。特に顕微鏡観察においては、良好な観察条件を得るために、観察にあたっては常に事前に各絞りの調整を行うのが良い。また、厳密には

対物レンズの交換ごとに調整し直すのが望ましい。

2-e 落射装置

照明系から出てきた偏光平行光線を試料研磨面へ投射するための装置で、ガラスプレートタイプと半視野プリズムタイプがある。前者の場合、後者と比較して真の垂直落射光が得られることと対物レンズの全口径の照明が得られる利点があることから、最近の強力光源の開発もあいまって、ガラスプレートが多用されている。

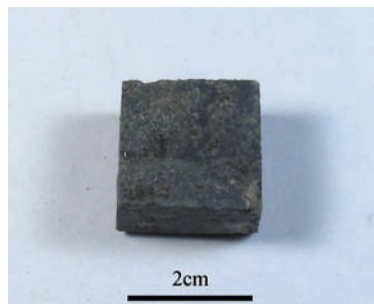
2-f 偏光装置 — ポラライザー・アナライザー

ポラライザーは光源から偏光を得るためのもので、方解石ニコルまたは偏光板からなる。またアナライザーも方解石ニコルまたは偏光板からなるが、最近では一般的に偏光板を使用する傾向が強い。透過顕微鏡では両方の偏光ニコルを互いに直交させて使用するが、反射顕微鏡では直交位置よりわずか（数度程度）にずらした位置で観察する方が、微弱内部異方性などの光学性の観察効果が上がる。

3

研磨片

顕微鏡観察に用いる試料の簡単な説明と諸注意です。



6 カット研磨片



7 ダイヤモンド研磨機



8 セーム皮

鉱石鉱物の観察には、鉱石を適度な大きさ（縦 2cm × 横 2cm × 高さ 1cm 程度 [6]）にカットし、観察面を鏡面仕上げした試料を用いる。試料は、顕微鏡観察による鉱物の同定、赤外線やレーザーによる定性分析、X線や電子線による定量分析などにも用いられる。

観察の際には、表面の汚れを取るためセーム皮 [8] で十分に拭き、試料が試料台と平行になるようにスタンプ台 [9] を用いる。また、研磨片の表面は鏡面研磨（琢磨仕上げ）により磨きあげられているため、指で触れないなど、研磨面を傷つけないように細心の注意を払う。



9 スタンプ台

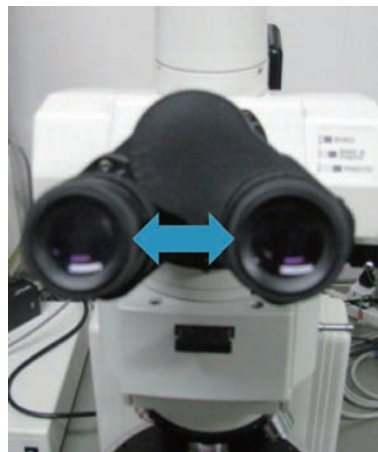
4

観察前の顕微鏡調整

顕微鏡でより正確に観察するための調整方法です。

1 接眼レンズ幅調整

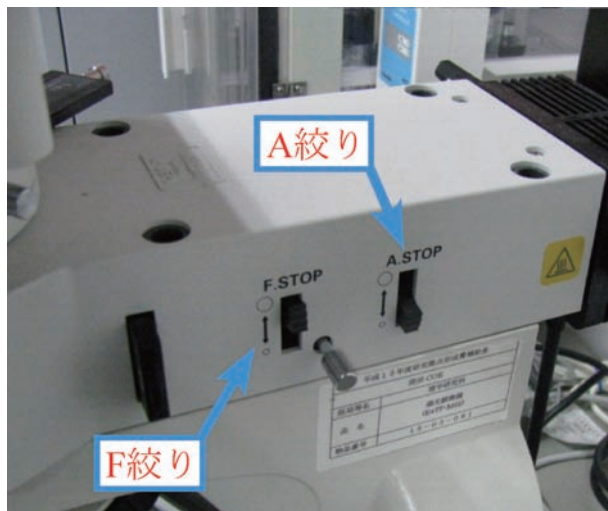
最近では、ほとんどの顕微鏡で接眼レンズの幅を調節 [10] できる。電源を入れ、まず焦点をあわせた上で左右の視野が1つになるように調節する。



10 接眼レンズの調整

2 A絞り (Aperture diaphragm: 開口絞り)

光源からの平行光線を取り出すための絞り。適当な試料を用意し、通常低倍率のレンズで調整する。本講座で用いる顕微鏡では、レバーを真ん中付近にするとちょうどよい [11]。



- 11 A絞り (Aperture diaphragm: 開口絞り) レバーを真ん中付近にする
F絞り (Field diaphragm: 視野絞り) 八角形の絞りがわずかに視野の外に出るようにする

3 F 絞り (Field diaphragm: 視野絞り)

試料への照射光の範囲を調整する絞り [11]。適当な試料を用意し、通常低倍率のレンズで調整する。絞り（八角形や六角形に見える部分）がわずかに視野の外に出るようにする。

4 ポラライザーとアナライザー

ポラライザー・アナライザーについては第 2 章に詳細が述べられている。観察においては、お互いが直交する位置（消光する位置）よりわずかにずらした位置で観察すると良いが、試料によりその都度調整する場合もある [12]。



12

アナライザー (90° より 5 ~ 10° 前後に動かし若干明るさを変える)

鉱物の同定

鉱石鉱物の顕微鏡下における諸性質についての説明です。

前述したように、鉱石顕微鏡の主な目的は透過顕微鏡で観察できない不透明鉱物を観察することにある。顕微鏡下で鉱物を同定するために、鉱石研磨面の鉱物の形および大きさ、晶癖、双晶、累帯構造、へき開、色、反射率、反射多色性、内部反射、異方性、硬度、研磨性、展延性、磁性、試薬に対する腐食性などの諸性質を観察する。

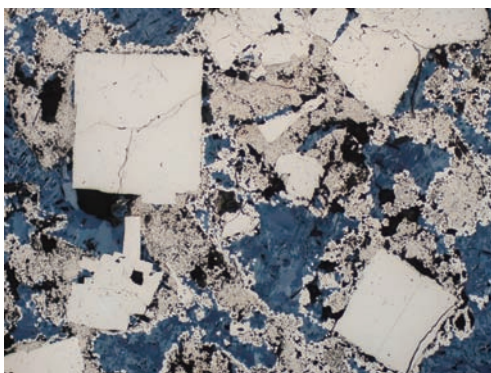
しかし、透過顕微鏡に比べると情報量が少ないことや鉱石鉱物中には互いに性質がよく似ているものもあり、鉱物の同定には多少熟練を要する。そのような場合、他の同定法（検鏡分析、X線粉末回折、電子線マイクロアナライザーなど）を併用することで、鉱物同定作業がより確実に行える。しかし、これ以外に、鉱物組織や共生関係の観察をするうえで、鉱石顕微鏡は基本的な手法となる。ここでは上記諸性質のうち、本講座の鉱石顕微鏡観察を行う上で必要な主なものについて説明する。

1 結晶学的性質

1-a 結晶形 (Crystal form) および晶癖 (Crystal habit)

研磨面では鉱物は特有の結晶形や晶癖を示す。特に天然で自形を示しやすい鉱物（例えば、黄鉄鉱 [\[13 右\]](#)、硫砒鉄鉱 [\[13 左\]](#)、磁鉄鉱、赤鉄鉱、鉄マンガン重石など）は、その形状でしばしば識別の目安になることがある。しかし、研磨面に現れた形状は三次元の結晶を二次元面で切断したものをしていることから、その真の結晶外形を推定するときには注意を要する。

代表的な鉱物結晶形として、針状、短冊状、板状ま



13 左：菱形を示す硫砒鉄鉱；右：正方形、長方形を示す黄鉄鉱

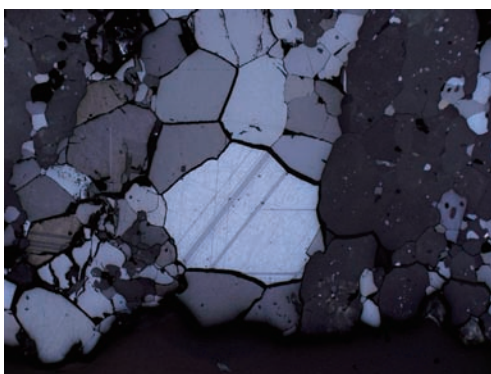
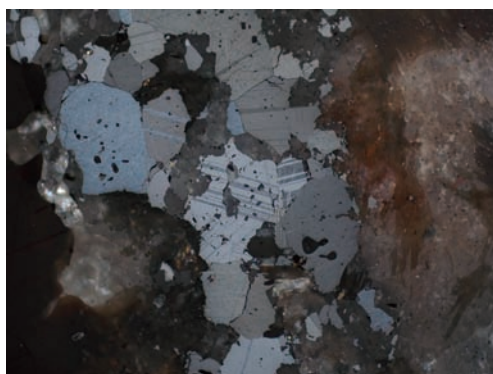
たは葉片状、菱形、立方体または直方体、八面体、五角十二面体などの晶癖がある。

1-b 双晶 (Twinning)

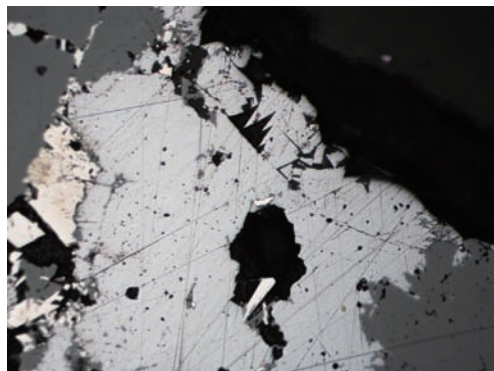
鉱物の中には特有の双晶を呈するものがあり、鉱物同定に利用されることもある [14]。双晶には初生的な結晶成長時のもの、二次的な転移や圧力による滑り・変形などの機械的なものがある。通常、十字ニ科尔下で観察されるが、等方性のものは研磨面の腐食などを行わないと観察できないことがある。

1-c ヘキ開 (Cleavage)

鉱石鉱物のへき開は肉眼で認められる場合もあるが、研磨片では容易に識別できないことがある。へき開の



14 左：双晶を示すハウスマン鉱；右：双晶を示す硫砒鉄鉱



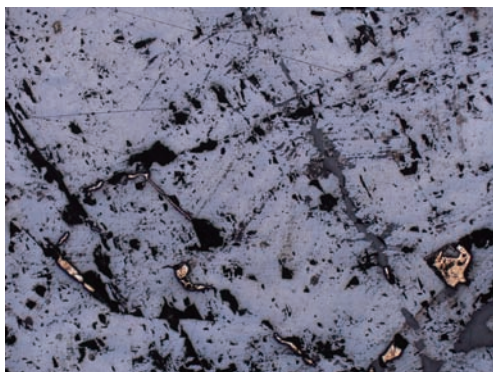
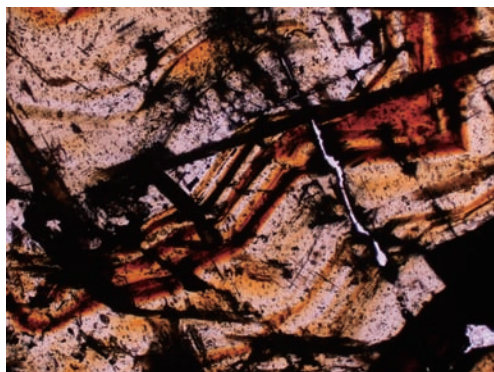
15 方鉛鉱中の三角ピット

観察は、十分に琢磨された研磨片より、それ以前の研磨段階の試料や試薬腐食あるいは風化したものの方が見やすい。

へき開は通常1～3方位あるいはそれ以上の微細平行裂罅(れっか)やピットの組み合わせとして観察され、方鉛鉱に見られるように三角形のピットの平行配列などで鉱物の識別に利用される[15]。このようなピットは、へき開の発達の良い鉱物にしばしば見られ、方鉛鉱のほか輝安銅鉱、硫砒ニッケル鉱、ペントランド鉱および磁鉄鉱などでも観察されることがある。

1-d 累帯構造 (Zoning)

鏡下で鉱物の特徴的な累帯構造が認められることがある[16]。多くの場合、初生的な結晶成長を示す縞で、成長速度、断続的成長、周期的沈殿、固溶体組成ある



16 累帯構造を示す閃亜鉛鉱 左：透過光；右：反射光

いは微量成分変化など結晶成長時の晶出条件や溶液の化学組成などの経時変化によると考えられている。しかし、この組織は多くの場合試薬による腐食や自然風化（酸化など）により初めて観察される場合が多い。

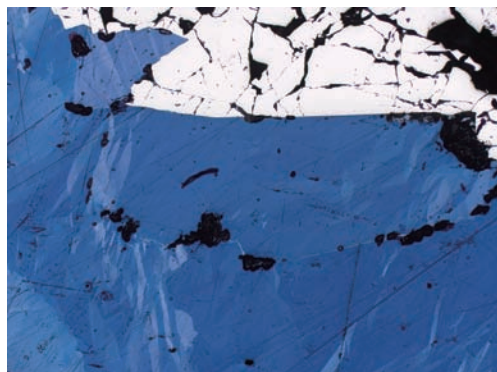
2 光学的性質

2-a 色 (Color)

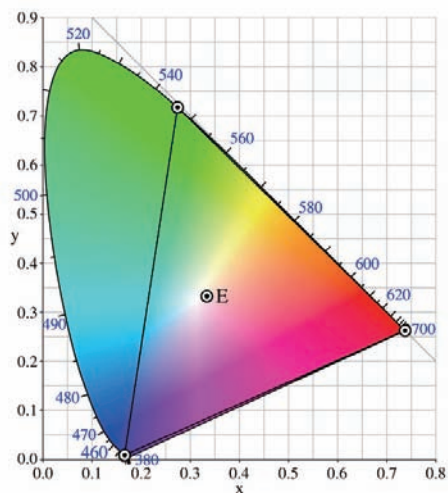
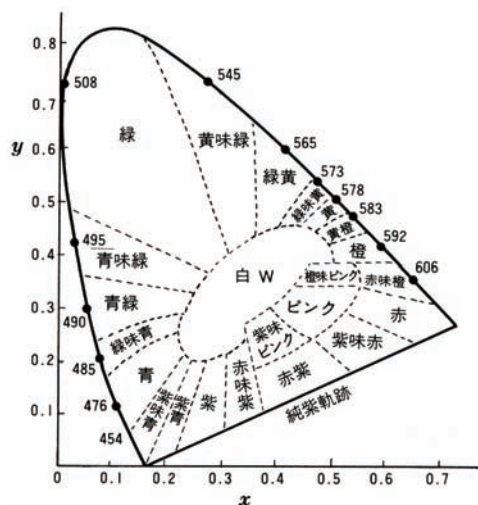
鉱石鉱物の同定では、反射色は最も重要な光学的性質の一つである。顕著な色を呈するものは非常に稀で、一般には色彩度が弱い、灰色ないし白色系の反射率が異なるものである。色は、顕微鏡の光源や対物レンズの種類、空気中あるいは油浸*かによっても異なり、油浸ではより明瞭な色を呈する。色の識別は個人差もあり、また両眼でも異なる。さらに共生鉱物の種類や量によっても異なって見えるなどの点もあり、他人の記載と一致しないことがしばしばある。従って、色の記載にあたっては普遍的な共生鉱物との比較記載を行うほうがよい。また、顕微鏡観察を行う場合には見慣れた代表的な鉱物をいくつか見て、前もって十分に目を慣らす必要がある。

このように色の見え方には個人差があるので、色を定量的に表現する試みが行われている。すなわち、色をその三特性である色合い、飽和度、輝度により表現する手法であり、色座標を用いた色度図上で表現する方法である（戸刈、1966 など）。色座標（chromaticity

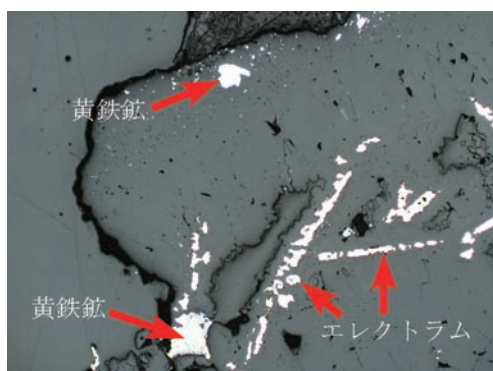
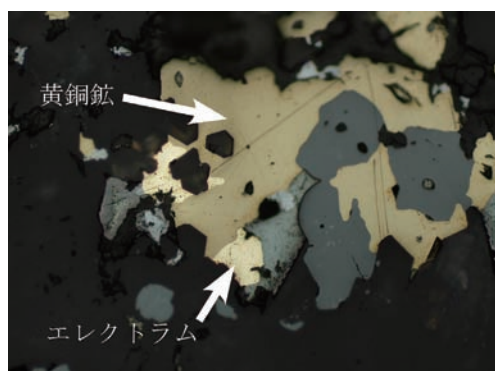
* 油浸： 高倍率の対物レンズと試料の間を油で満たすことによって高性能化を図る手法のこと。



17 鮮やかな青色を示すコベライト（銅藍）



18 左：色を定量的に表した色度図（並木、1986）；右：色度図における色の分布（フリー百科事典ウィキペディア日本語版より引用）



19 左：エレクトラム（反射率約 80%）と黄銅鉱（反射率約 45%）の様子；右：エレクトラムと黄鉄鉱（反射率約 55%）の様子

coordinates) とは、3 原色の量を刺激値 (tristimulus) X 、 Y 、 Z と称し、 $(X/X+Y+Z) = x$ 、 $(Y/X+Y+Z) = y$ 、 $(Z/X+Y+Z) = z$ 、 $(x+y+z=1)$ で表したもので、 x 、 y 値で色を表現する。色座標 x 、 y で表現したものが図に示されている、色度図 [18] である。

2-b 反射率 (Reflectance or reflectivity)

反射率とは鏡下における鉱物の輝きの度合いを入射光と反射光の強度比（百分率）で表したもので、以下

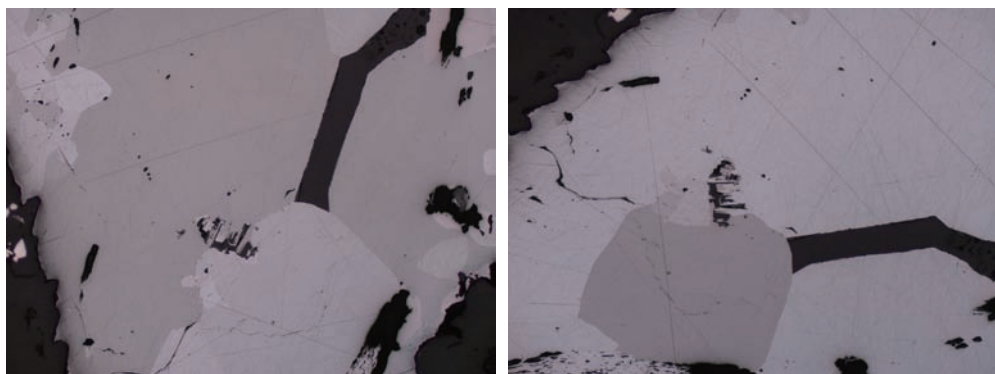
の式で示される。

$$\text{反射率 (R\%)} = \text{反射光の強さ} / \text{入射光の強さ} \times 100$$

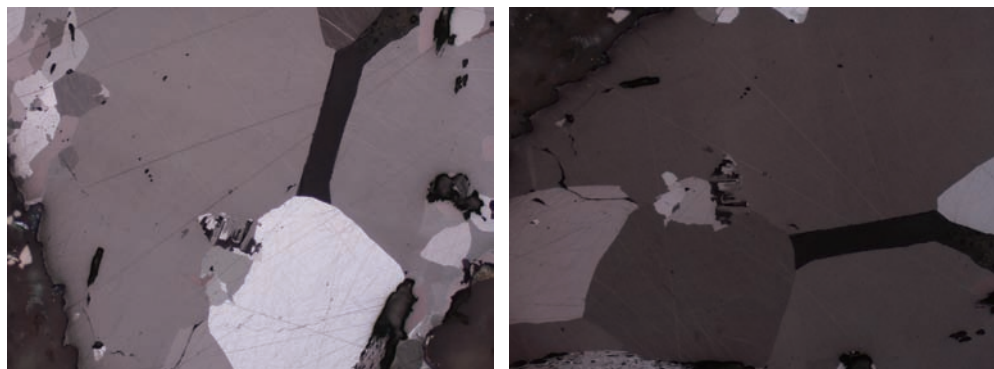
反射率は鉱物ごとに固有の値を示し、鉱物の同定に用いられる光学的定量値となる。反射率測定装置は標準型鉱石顕微鏡に反射率測定装置を装着したもので、その他に専用の顕微分光光度計もある [19]。反射率は入射光の波長や鉱物の結晶学的方位によっても変化するが、空気系か油浸系かによっても変わる。従って、測定にあたっては波長ごとの値、空気系—油浸系の区別、最小値—最大値の記載を示す必要がある。また、研磨状態によって著しく変化するため、測定試料の研磨状態には特段の配慮が必要である。

2-c 反射多色性 (Bireflectance or reflection pleochroism)

等軸晶系以外の鉱物では、開放ニコル条件の鏡下でステージの回転によってその色や反射率の変化が認められる場合がある。これは結晶方位の違いによって、光の吸収率や屈折率が変化するために生じる現象である [20]。反射多色性の程度の表現は、通常その変化の程度によって very strong, strong, moderate, weak, very weak の5段階表示で記載される。特に、後二者は鉱石顕微鏡に熟練しないとしばしば見落とす可能性もある。反射多色性は、同一鉱物でも結晶方位によって著しく変化し、等軸晶系やその他の晶系の鉱物でも光軸に垂直な方位では多色性が認められない。また、空気系か



20 左：反射多色性を示す輝安鉱；右：約45度回転させた写真

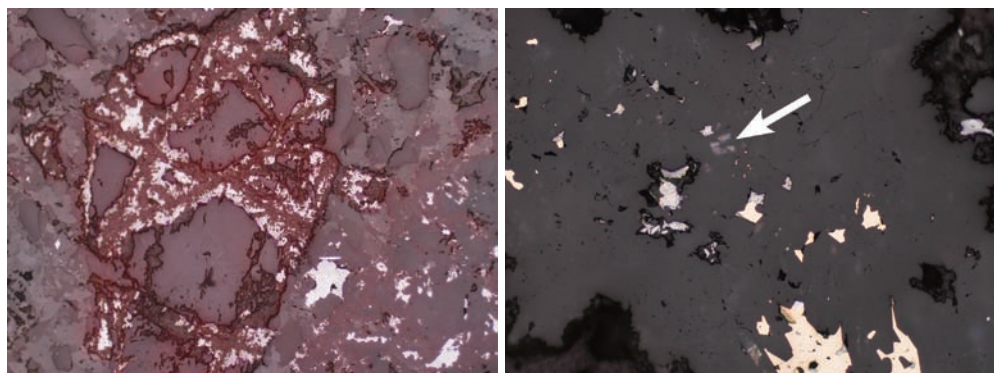


21 左：反射異方性を示す輝安鉱；右：約45度回転させた写真

油浸系のレンズの違いによっても多色性の程度が異なり、一般に油浸系の方がより顕著となる。

2-d 異方性 (Anisotropism)

十字ニコル下では、等軸晶系や非晶質鉱物は結晶方位に関係なく常に暗色を呈する。一方、他の晶系の鉱物では光軸に垂直な断面の場合を除くと、十字ニコル下で干渉色が観察され、ステージの回転によって色や輝度を変化させる [21]。透過顕微鏡と同様、ステージの回転によって 90° ごとに消光し、消光位から 45° で最も鮮明な色を呈する。この現象は結晶の方位によっても異なり、同一視野でも粒子ごとに異なる異方性を呈することがある。また、特に異方性が弱い鉱物では隣接鉱物の影響を受けて異方性の有無に誤認を生じる場合もあり、注意を要する。このような場合には、アナライザーを 90° から多少（数度）回転させたり視野絞りを目的鉱物に絞り込んで観察することによって、その識別が容易になる場合もある。また、空気系レンズより油浸系レンズによる観察法の方が異方性を観察しやすい。

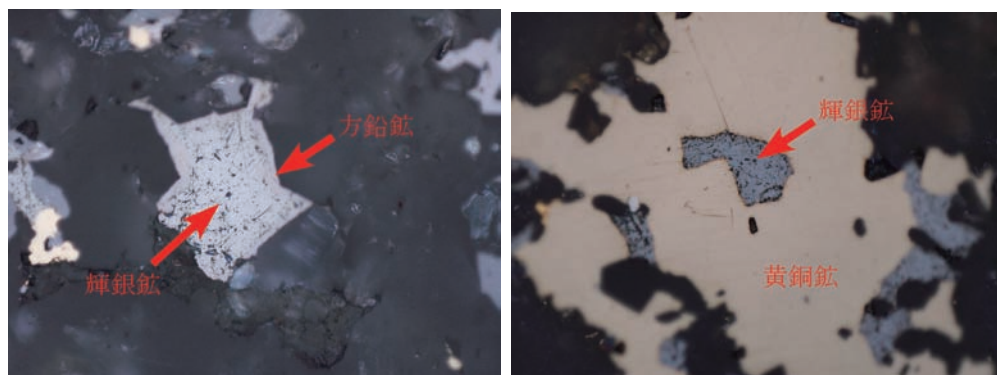


22 内部反射の様子。左：辰砂に見られる赤い内部反射；右：石英などの透明鉱物によく見られる虹色に輝く内部反射

異方性の観察は、単に鉱物の同定手段としてばかりでなく、鉱物の粒径や集合状態、双晶・組織の観察などにも活用されている。

2-e 内部反射 (Internal reflection)

鉱石鉱物の中には半透明のものもあり（閃亜鉛鉱、辰砂 [22 左]、赤鉄鉱、淡紅銀鉱、砒四面銅鉱など）、研磨面から内部に進入した光が結晶内部のへき開面、割れ目、キズ、包有物などで反射され、再び内部から外へ現れる [22 右]。この内部反射は、薄片下での透過色や粉末の色・条痕色など一致する。特に、十字ニコル条件では通常の反射光が消されたり、弱められたりするために内部反射が観察しやすくなる。また、高

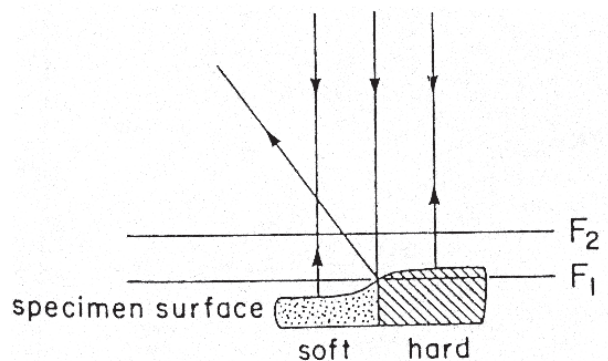


23 光腐食の様子。左：方鉛鉱中の腐食された輝銀鉱；右：黄鉄鉱中の腐食された輝銀鉱

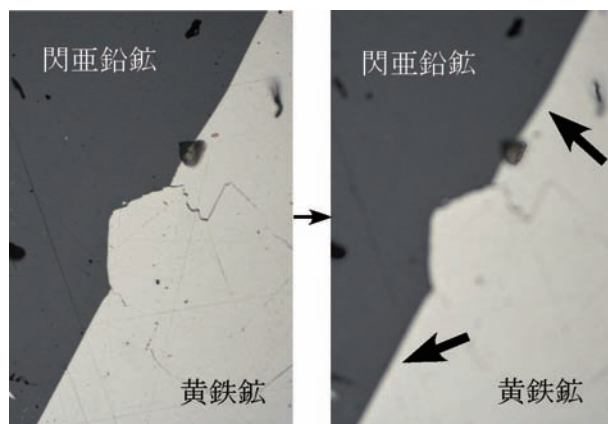
倍の対物レンズを用い、光源を強くしたり油浸系レンズを用いたりすることにより、内部反射の観察はいつでも容易になる。

2-f 光腐食 (Light etching)

いくつかの銀鋳物は、顕微鏡下で研磨面が入射光によって変色（腐食）させられることがあり、銀鋳物の一つの同定手段として用いられている [23]。この現象は、光による銀鋳物の分解（還元、銀の析出）による腐食現象で、入射光の強さに直接関係する。ただし、銀鋳物の種類によっては分解反応が遅いものや分解しないものもある。



24 偽ベッケ線 (Kalb 線) の仕組み



25 閃亜鉛鉱と黄鉄鉱の境界線に見られる偽ベッケ線

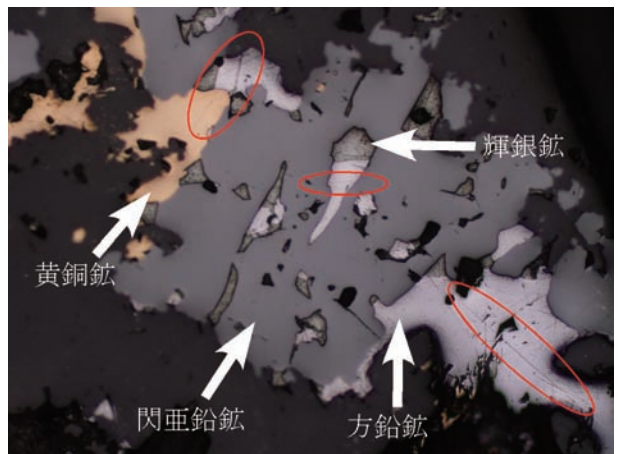
3 物理化学的性質

硬度 (Hardness)

顕微鏡下における鉱物の比較的簡便な物理的識別方法で、研磨硬度 (polishing hardness)、ひっかき硬度 (scratching hardness)、微小押し込み硬度 (microindentation hardness) の3種がある。

・研磨硬度

鉱物の硬度の違いにより鉱石研磨片作成時に研削量が異なるために、完成研磨片において個々の鉱物境界でわずかながら凹凸 (Polishing Relief) が生じ [24]、反射光の光路差が生じることにより透過顕微鏡のベッケ輝線に類似する pseudo-Becke or Kalb light line と呼ばれる輝線が現れる [25]。これに関して、顕微鏡の鏡筒 (あるいはステージ) の上下動によってこの輝線を利用することにより、鉱物間の相対的硬度差を決めることができる。本講座で用いる顕微鏡では、ステージを上げることにより輝線は硬度が低い鉱石から高い鉱石へ移動する。Uytenbogaardt (1951) は、代表的な鉱物の研磨硬度をこの研磨硬度の順で一括表示しており、特に方鉛鉱、黄銅鉱、黄鉄鉱 (柔らかい順) と比べた相対的な硬さ (柔らかい、同等、硬い) で表示した実用的な鑑定表を作っている。



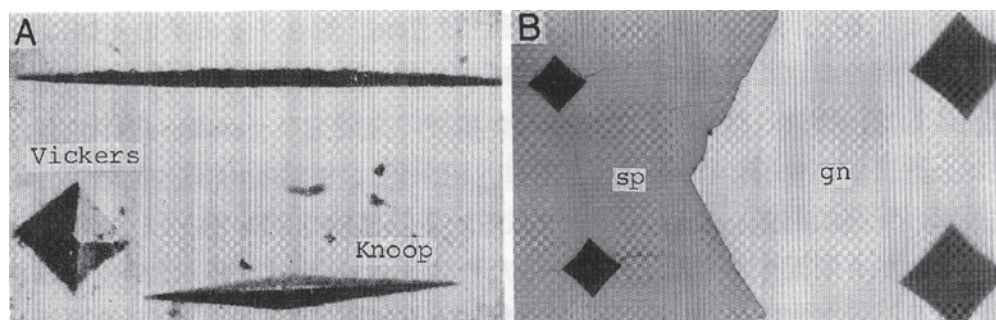
26 閃亜鉛鉱、黄銅鉱、方鉛鉱、輝銀鉱中に見られるひっかき線。軟い鉱物 (方鉛鉱、輝銀鉱) には大きく、硬い鉱物 (閃亜鉛鉱) には薄い線が見られる。

・ひっかき硬度

試料の研磨の際に生じた引っかき線が鏡下で観察されるが [26]、その有無や相対的密度、線の深さ（強さ）などから隣接する鉱物間の相対的硬度を決めることができる。Murdoch (1916) や Talmage (1925) などにより、ダイヤモンド針装着の特殊天秤を用いて研磨面上に引っかき線を作り、鉱物の半定量的相対硬度を決定する装置が考案されている。それにより、A－Gの7段階の標準鉱物（A：輝銀鉱、B：方鉛鉱、C：黄銅鉱、D：四面銅鉱、E：紅ヒニッケル鉱、F：磁鉄鉱、G：チタン鉄鉱）を提唱している。

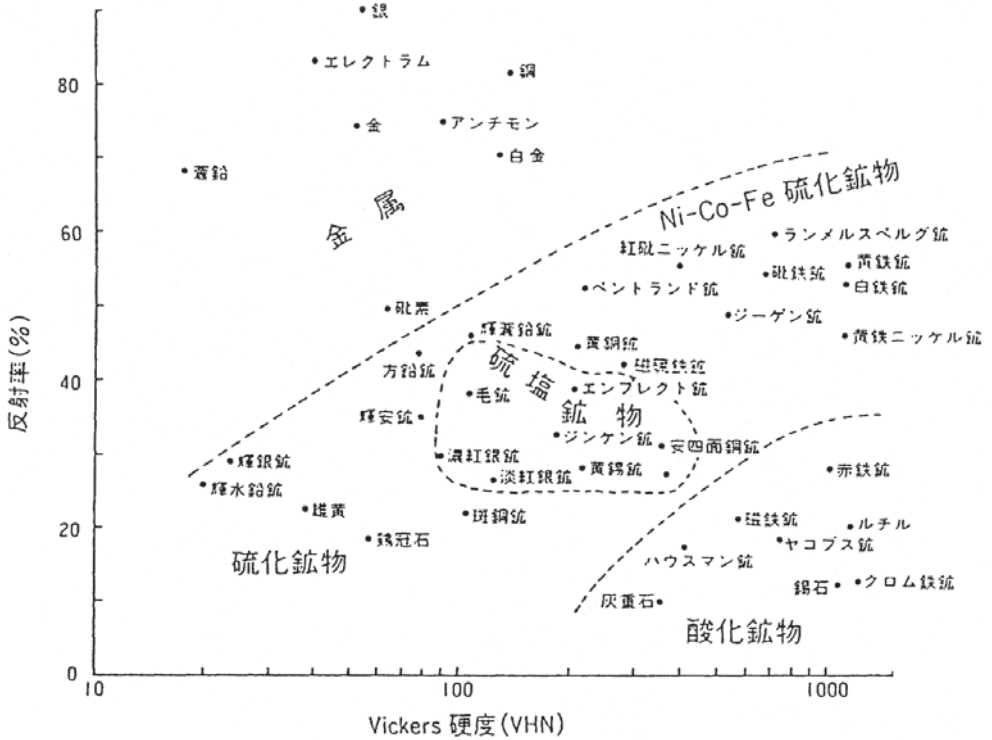
・微小押し込み硬度

鉱石鉱物の定量的硬度測定法として、微小押し込み硬度がある。ピラミッド型のダイヤモンド錘を一定重量で一定時間押しつけ、その時にできた鉱物の研磨面上の凹みの大きさを鏡下で精確に測定し、鉱物の硬度を定量的に求める方法である。ダイヤモンド錘の形状によって、Vickers（正四角錘）と Knoop（非正四角錘）の二種類の装置にわけられるが [27 左]、一般には Vickers の装置が普遍的で VHN（Vickers Hardness）値として表記される。



27 微小押し込み硬度の圧痕。左 (A) : Vickers および Knoop 微小硬度の圧痕 (Ehrenberg, 1966) ; 右 (B) 閃亜鉛鉱 (sp) および方鉛鉱 (gn) 中に見られる Vickers 微小圧痕。圧痕の大きさが違う。荻木浅彦 編 (1988) より引用。

前述した鉱石鉱物の反射率と Vickers 硬度の関係性を表したものが以下の図 [28] で、鉱物の同定に利用されることがある。



28 鉱石鉱物の反射率 (R) と Vickers 硬度 (VHN) との関係 (Bowie and Taylor, 1958)。菅木浅彦編 (1988) より引用。

6

主要な鉱石鉱物の特徴

鉱石鉱物で一般的に見られる鉱物を以下に述べます。

1 黄鉄鉱 (Pyrite)

化学組成： FeS_2

結晶系： 等軸晶系 (Cubic)

色： 黄白色

多色性： 無し

異方性： ほとんど無し

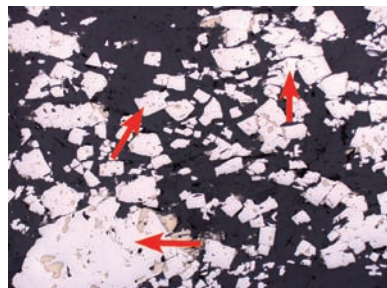
内部反射： 無し

反射率： 46.0 ~ 55.9%

ひっかき硬度： 非常に硬い； > 赤鉄鉱； > 黄銅鉱

Vickers 硬度： 913-2056

備考： 自形（主に正方形・長方形）で観察されることが多い。へき開は3方向に見られる。最も普遍的に見られる鉱物で、かつ最も硬い鉱石鉱物の1つである。化学組成が同一である白鉄鉱と間違いやすい。



2 黄銅鉱 (Chalcopyrite)

化学組成： CuFeS_2

結晶系： 正方晶系 (Tetragonal)

色： 黄色

多色性： 弱い

異方性： 弱い

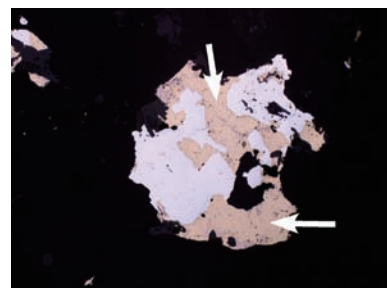
内部反射： 無し

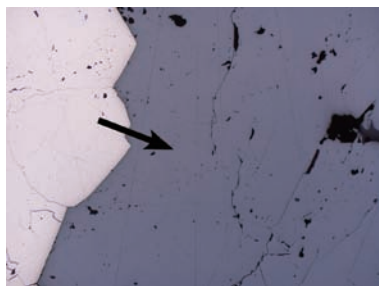
反射率： 34.0 ~ 51.4%

ひっかき硬度： > 方鉛鉱； < 閃亜鉛鉱； < 磁硫鉄鉱

Vickers 硬度： 174-219

備考： 自形を示すことは少ない。しばしば双晶が見られる。黒鉱、鉱脈鉱床、斑岩銅鉱床、スカルン鉱床など広い範囲で産出する。





3 閃亜鉛鉱 (Sphalerite)

化学組成： (Zn, Fe) S

結晶系： 等軸晶系 (Cubic)

色： 灰色

多色性： 無し

異方性： 無し

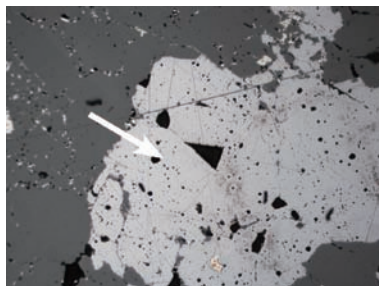
内部反射： 黄色～赤茶色

反射率： 16.85 ～ 20.02%

ひっかき硬度： > 黄銅鉱；< 磁硫鉄鉱、磁鉄鉱、チタン鉄鉱

Vickers 硬度： 128 ～ 276

備考： 1方向のへき開が見られる。双晶、累帯構造がしばしば観察される。普遍的に存在する鉱物の1つ。非常に多くの鉱石鉱物と共存して見られる。反射顕微鏡下では、反射率が低く、しばしば内部反射もあるため透明鉱物と間違いやすい。



4 方鉛鉱 (Galena)

化学組成： PbS

結晶系： 等軸晶系 (Cubic)

色： 白色

多色性： 無し

異方性： 無し

内部反射： 無し

反射率： 43.1 ～ 47.9%

ひっかき硬度： > 輝銀鉱；< 黄銅鉱

Vickers 硬度： 56 ～ 116

備考： 自形を示すことが多い。三方向の強いへき開に基づいた三角形のピットが特徴。微量成分として銀やビスマスを含む。

5 エレクトラム (Electrum)

化学組成： (Au, Ag)

結晶系： 等軸晶系 (Cubic)

色： 黄金色

多色性： 無し

異方性： 無し

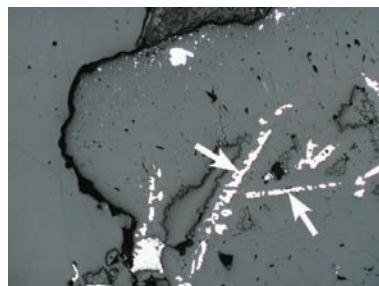
内部反射： 無し

反射率： 金と銀の割合で変化。36.4~89.4%

ひっかき硬度： > 方鉛鉱；< 閃亜鉛鉱、黄銅鉱

Vickers 硬度： 41 ~ 94

備考： サイズも形状も変化に富む。通常、硫化鉱物やテルル鉱物に取り囲まれて産する。鉱脈鉱床、斑岩鉱床、スカルン鉱床、黒鉱鉱床などに産出する。



6 輝銀鉱 (Argentite)

化学組成： Ag_2S

結晶系： 等軸晶系 (Cubic)

色： 若干緑を含む灰色

多色性： 著しく弱い

異方性： 無し

内部反射： 無し

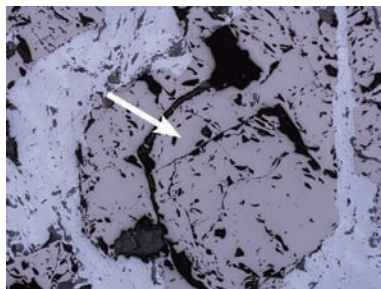
反射率： 28.4 ~ 34.3%

ひっかき硬度： もっとも軟らかい鉱物の1つ

Vickers 硬度： 20 ~ 61

備考： ヘキ開、双晶はあまり見られない。エレクトラム、黄銅鉱、方鉛鉱などと共に産出する。光に弱くすぐに腐食し、鏡下で多数の穴があいた状態になり、良好な研磨状態で見えることは少ない。金銀鉱脈鉱床などにしばしば産出する。





7 磁鉄鉱 (Magnetite)

化学組成： Fe_3O_4

結晶系： 等軸晶系 (Cubic)

色： 褐色を帯びた灰色

多色性： 無し

異方性： 無し

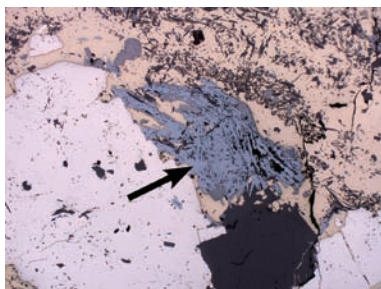
内部反射： 無し

反射率： 20.6 ~ 21.1%

ひっかき硬度： >> 磁硫鉄鉱；< チタン鉄鉱；<< 赤鉄鉱

Vickers 硬度： 440 ~ 1100

備考： 自形を示すことが多い。へき開は不明瞭。しばしばチタン鉄鉱（イルメナイト）の離溶組織が見られる。スカルン鉱床、斑岩型鉱床などに産出する。



8 赤鉄鉱 (Hematite)

化学組成： Fe_2O_3

結晶系： 六方晶系 (Hexagonal)

色： 青みを帯びた灰白色

多色性： 弱い

異方性： 非常に明瞭（灰青色～灰黄色）

内部反射： 深赤色

反射率： 22.8 ~ 31.5%

ひっかき硬度： 非常に硬い；> チタン鉄鉱；<< 黄鉄鉱

Vickers 硬度： 739 ~ 1114

備考： 平板状の形状を示す。へき開は2方向に明瞭。しばしば葉理状双晶が見られる。スカルン鉱床、斑岩鉱床、金銀鉄脈鉱床などに産出する。

9 磁硫鉄鉱 (Pyrrhotite)

化学組成： Fe_{1-x}S

結晶系： 単斜晶系、六方晶系 (Monoclinic, Hexagonal)

色： 褐色を帯びたピンク

多色性： 非常に明瞭 (薄い茶色～赤茶色)

異方性： 非常に強い (灰黄色～灰青色)

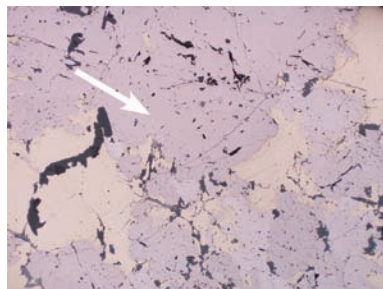
内部反射： 無し

反射率： 30.9 ～ 42.5%

ひっかき硬度： 非常に硬い；>> 黄銅鉱；<< 黄鉄鉱

Vickers 硬度： 230 ～ 390

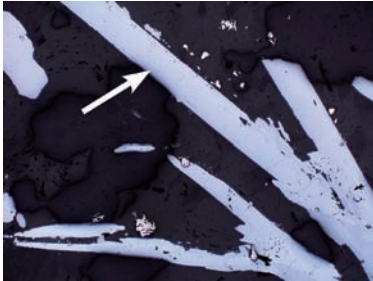
備考： 単斜晶系のものは弱い磁性を示す。まれに累帯構造が見られる。スカルン鉱床、鉱脈型鉱床などに産出する。



7

その他のよく見られる鉱物

その他の比較的良く見られる鉱石鉱物の反射顕微鏡下での特徴を紹介します。



1 輝安鉱 (Stibnite)

化学組成： Sb_2S_3

結晶系： 斜方晶系 (Orthorhombic)

色： 白～灰白

多色性： 強い (灰白～灰茶色)

異方性： 著しく強い (灰青色～灰茶色)

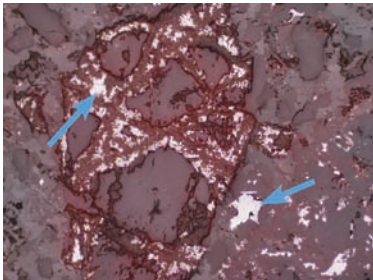
内部反射： 無し

反射率： 30.2 ～ 50.4%

ひっかき硬度： $\leq$ 方鉛鉱； $\ll$ 黄銅鉱

Vickers 硬度： 42 ～ 129

備考： 自形が多く板状に産する。へき開や双晶、変形構造がしばしば見られる。多色性、異方性が最も強い鉱物の1つであるが、同様な光学性を示す石墨、輝水鉛鉱と間違いやすい。鉱脈型鉱床や一部のスカルン鉱床に産出する。



2 辰砂 (Cinnabar)

化学組成： HgS

結晶系： 六方晶系 (Hexagonal)

色： 青みを帯びた灰白色

多色性： 油浸では明瞭

異方性： 明瞭

内部反射： 鮮赤色

反射率： 23.9 ～ 26.6%

ひっかき硬度： $\gg$ アンチモン

Vickers 硬度： 51 ～ 98

備考： 双晶、へき開は不明瞭。内部反射が非常に強い。

石英などの脈石鉱物中に含まれる場合、特徴的な赤色を示す。金銀鉱脈鉱床に伴って産出する。

3 石墨 (Graphite)

化学組成： C

結晶系： 六方晶系 (Hexagonal)

色： 褐色～灰色

多色性： 極めて著しい褐色～灰色

異方性： 著しく強い暗褐色～灰紫色

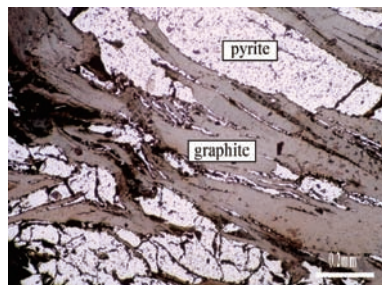
内部反射： 無し

反射率： 5～20%

ひっかき硬度： $\geq$ 黄銅鉱、モリブデン鉱

Vickers 硬度： 7～12 (荷重 5～15)

備考： ダイヤモンドの同質異像で極めて軟い（モース硬度1）。平板、刀、葉状の形を示す。変形していることが多く、へき開も発達する。輝安鉱、輝水鉛鉱と間違いやすい。



参考・引用文献

- Bowie, S. H. U. and Taylor, E. W. (1958) A system of ore mineral identification. Mining Mag. London, 99: 265–337.
- Craig, J. R. and Vaughan, D. J. (1981) Ore Microscopy and Ore Petrology. 488 pp. John Wiley & Sons, New York.
- Ehrenberg, H. (1966) The preparation of specimens. In: H. Freund (eds.), Applied ore microscopy. Theory and Technique. MacMillan, New York, USA : 184–186.
- Murdoch, J. (1916) Microscopical Determination of the Opaque Minerals. 180 pp. John Wiley & Sons, New York.
- 並木正男 (1986) 宝石の科学と鑑別法 (上). 604 pp. 中央宝石研究所, 東京.
- 苅木浅彦 編 (1988) 鉱石顕微鏡と鉱石組織. 470 pp. テラ学術図書出版, 東京.
- Talmage, S. B. (1925) Quantitative standards for hardness of the ore minerals. Econ. Geol., 20: 531–553.
- 戸刈賢二 (1966) 透過率, 反射率, 色. 日本鉱物学会 (編), 実験鉱物学. 共立出版, 東京. 225–229 pp.
- Uytenbogaardt, W. (1951) Tables for Microscopic Identification of Ore Minerals Princeton. 242 pp. Princeton University Press, Princeton.

謝辞

ガイドブック作成にあたり、以下の方々にお世話になりました。厚くお礼を申し上げます。福地伸章、木村太郎、大原昌宏、齋藤貴之（敬称略）。また、パラタクソノミスト養成講座運営にあたり、北海道大学教育 GP「博物館を舞台とした体験型全人教育の推進」の助成金を受けました。

最後に、本ガイドブックは苅木浅彦編 (1988)「鉱石顕微鏡と鉱石組織」を基本的に踏襲したもので、それに若干の加筆修正を加えたものであることを明記しておく。

■執筆者

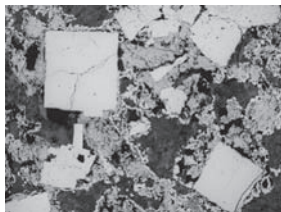
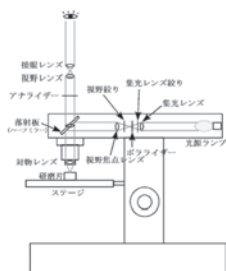
鳥本淳司 (トリモト ジュンジ)	北海道大学総合博物館	研究生
松枝大治 (マツエダ ヒロハル)	北海道大学総合博物館	教授

■編集

大原昌宏 (オオハラ マサヒロ)	北海道大学総合博物館	准教授
------------------	------------	-----

■図・写真

鳥本淳司 (トリモト ジュンジ)



パラタクソノミスト養成講座・ガイドブックシリーズ 10
 パラタクソノミスト養成講座
 鉱床（中級）鉱床鉱物の観察・同定編

著：鳥本淳司／松枝大治
 図・写真：鳥本淳司

2011 年 3 月 31 日発行



北海道大学 教育GP
 「博物館を舞台とした体験型全人教育の推進」

北海道大学総合博物館、札幌

