

## ハンディサイズの偏光板を利用した鉱物観察実習の展開例

佐野晋一<sup>1</sup>・萩谷 宏<sup>2</sup>

<sup>1</sup>福井県立恐竜博物館 福井県勝山市村岡町寺尾 51-11

<sup>2</sup>武蔵工業大学工学部教育研究センター 東京都世田谷区玉堤 1-28-1

**SANO, Shin-ichi and Hiroshi HAGIYA (2002) New method for hands-on education concerning with optical characteristics of anisotropic minerals with polarizing plates. Mem. Fukui Pref. Dinosaur Mus. 1:134-139.**

キーワード：偏光板，鉱物，光学，地学教育，ハンズ・オン

### はじめに

岩石の観察は中学校や高等学校の授業でも取り上げられ、自然史博物館の実習でも扱われる機会がある。岩石組織の観察には偏光顕微鏡が利用されることが多い。しかしながら、巨視的な岩石の肉眼観察と、薄片中の微細構造の顕微鏡観察とは、関連づけての理解が一般に難しい。また、偏光によって生じる干渉色や消光といった現象は、目を引きやすいものの、原理的に理解するには光の波動性の概念を押さえる必要があり、その点の配慮がないと子供たちの理解を困難にするものと考えられる。博物館で岩石の展示を行う場合にも、どのように理解を助けるか、より一層の工夫が期待されている。

偏光顕微鏡観察への導入として、偏光板と鉱物結晶を利用する実習を試みた。まだ試行錯誤の段階で改善すべき部分が多々あると考えられるが、今回の実践を紹介し、先見の御批判を仰ぎたい。学校教育における岩石の観察実習や、将来の、博物館におけるハンズ・オン展示などへの応用の一助となれば幸いである。

なお、偏光像観察の用語については、都城・久城 (1972) の、偏光顕微鏡観察についての記述に従う。

### これまでの取り組み

偏光板を利用した光の実験は、科学博物館等における理科実験への取り組みの中で、盛んに取り上げられている項目である。例えば、国立科学博物館ニュース第357号で紹介されているほか、「国立科学博物館 実験バンク CD-ROM」中にも収録されている。類似した内容は、日本博物館協会が運営する「やまびこネット (<http://www.j-muse.or.jp/>)」の、

理科工作の項目の中でも「光のオブジェづくり」として紹介されている。これらの中で結晶に関係するものとしては、文字の上に透明な方解石を置くと、複屈折の効果で、下の文字が二重に見えることが取り上げられており、さらに1枚の偏光板を通して観察を行うと、文字が二重に見えなくなることが紹介されている。この方解石と偏光板を用いた実験については、井上 (2001) で具体的に紹介されている。

教育現場において、偏光板を岩石の観察に応用した例としては、偏光板で直接岩石薄片を挟んで観察を行ったり、生物顕微鏡に偏光板を組み合わせて、偏光像を観察したりするなどの試みがなされている (例えば、神奈川県藤沢市立藤が岡中学校の神崎洋一のホームページ (<http://isweb15.infoseek.co.jp/school/citorin/kyouzai02/hakuhenkan.htm>) など)。博物館においても、例えば、財団法人石の博物館 奇石博物館が、平成12年度文部科学省親しむ博物館づくり事業の資料集の中で、体験ワーク「クリスタルを探せ!」として紹介している (財団法人石の博物館 奇石博物館, 2001) など、各地で取り組みがある。「ミュージアム鉱研 地球の宝石箱」のホームページにおいて、「石のミニ事典 (<http://www.shiojiri.ne.jp/~jwlbox/>)」に「水晶玉とガラス玉」という項目があり、ここでは、偏光板を利用した観察を、水晶玉とともに水晶 (結晶面のはっきりした石英の結晶を指す) に応用した写真が掲載されているのが注目される。

偏光板と鉱物を利用した肉眼観察については、金沢大学理学部地球学科石渡明のホームページ (<http://kgeopp6.s.kanazawa-u.ac.jp/~ishiwata/>) において、「水晶玉とガラス玉の見分け方」として紹介されている。また、三宅 (2001a, b) により、板状あるいはシート状の鉱物を利用したコンスコープ像観察の紹介が、古山・松崎 (2001) により、さまざまな形態をしたガラス試料への応用例が紹介されるなど、学界においても近年注目を集めつつある。これらがコンスコープ像を主な対象としているのに対し、今回紹介するのは、偏光顕微鏡でいうところのオルソスコープにあたるものである。

<sup>1</sup>Shin-ichi SANO: Fukui Prefectural Dinosaur Museum, Terao, Muroko, Katsuyama, Fukui 911-8601, Japan. E-mail: ssano@dinosaur.pref.fukui.jp;

<sup>2</sup>Hiroshi HAGIYA: Musashi Institute of Technology, Faculty of Engineering, General Education Center, Tamazutsumi, Setagaya-ku, Tokyo 158-8557, Japan. E-mail: hiroshi.hagiya@nifty.ne.jp

## 偏光板による観察の原理

偏光板と鉱物結晶を利用する方法を、岩石薄片の偏光顕微鏡観察と対照させる形で紹介する。偏光顕微鏡の場合は、偏光板を通した光をプレパラートに通して観察を行う。プレパラートを通した光をそのまま観察するのが下方ポラー\*だけによる観察で、もう1枚の偏光板（上方ポラー）を、下の偏光板と垂直方向になる向きにおき、観察を行う場合が直交ポラーによる観察である。偏光板と鉱物結晶を利用した場合には、偏光板を1枚だけ使用し、鉱物結晶の後ろ側に置く場合が下方ポラーに相当し、鉱物結晶の前後を、光の振動方向が互いに直交するように配置した2枚の偏光板で挟んだ場合が直交ポラーに相当する。

## 多色性

光源の上に偏光板を載せ、その上に緑色半透明の電気石などの結晶を置いて回転させると、角度によって結晶の色合いが異なる（多色性）ことがわかる（Fig. 1A, B）。これは、偏光顕微鏡で、これらの鉱物を含む岩石薄片を下方ポラーで観察した場合に相当するものと考えられる。

## 光学的異方性：直消光と斜消光

偏光板を、光の振動方向が互いに直交するように配置すると、光が通らず、暗黒になる。この2枚の偏光板の間に、光学的異方性を持ち、光を通す結晶を間に挟むと、ほとんどの角度では結晶の部分だけ光が通り、明るく見える。結晶の部分も光が通らない、つまり暗黒になることを消光と呼んでいる。一般に消光は360度回転させた場合に4回存在する。結晶の柱面や底面などの直線的な外形やへき開の卓越する方向に一致した向きで消光する場合を「直消光」、一致しない場合を「斜消光」と呼んでいる。常に消光した状態、つまり暗黒に見える場合は、光軸が視線方向に一致するなどの特殊な場合を除き光学的等方体である。ここでは、直消光の例として石英（Fig. 1C, D）を、斜消光の例としてスコレス沸石（Fig. 1E）を示す。先に紹介した「ミュージアム鉱研 地球の宝石箱」のホームページでは、石英の結晶を利用した場合に「暗く見える角度と明るく見える角度」があることを画像とともに紹介しているが、結晶が真横に向いた位置で消光しており、直消光であることがわかる。

なお、鉱物の結晶系と光学的性質の一般的な関係は、斜方晶系、正方晶系、六方晶系の場合には直消光\*\*、単斜晶系、三斜晶系の場合には斜消光、等軸晶系の場合には常時消光する光学的等方体である。

## 双晶

スコレス沸石の結晶の場合、結晶の伸びの方向に対して、左右2つの部分に分かれて消光が起こる場合がある（Fig. 1E）。これは、結晶が双晶していることを意味している。

## 干渉色

トパーズのへき開片を用いると、その厚さに比例してレターションが増加し、高次の干渉色に移り変わっていく様子が観察できる（Fig. 1F, G）。トパーズは複屈折が小さく、また底面に平行なへき開にそって割れやすいため、肉眼的なサイズで、厚みの増加と干渉色の変化の関係が観察できる利点がある。このことは、岩石薄片を観察する場合にも厚さによって干渉色が異なること、逆にいえば、鉱物の同定を行う際には、同じ厚さの薄片を用いての比較対照が必要であることを想起させる。

## 博物館における実習例

恐竜博物館において、1) 鉱物の性質を調べよう：鉱物結晶を互いにこすりあわせて硬度を調べる；方解石やテレビ石の結晶を通して文字を見る；白雲母を薄くはがしてみる、2) 「魔法のめがね」で調べてみよう：観察に利用する「魔法のめがね」（偏光板セット）の製作；「魔法のめがね」で身近な透明なものを見る；「魔法のめがね」で鉱物結晶を調べる、3) 河原の石をしらべよう：河原で拾ってきた石をいくつかの仲間に分ける；分けられたそれぞれの石について、同じような特徴を持つ岩石の薄片を顕微鏡で観察し、その特徴をもたらし要因を調べる；それぞれの石のできかたについて考察する、という3部構成の実習を実施した。

ここでいう「魔法のめがね」とは、紙製で折りたたみ式のスライドフィルム用マウントを利用して、偏光板をポジフィルムの替わりに挟み、接着したものである。偏光板はそのままでも利用できるが、観察する鉱物結晶に厚みを持つものがあること、消光を調べるため、挟んだ試料を回転させることがあることなどを考慮して、丈夫で、持ちやすくするために、写真スライド様に加工している。鉱物結晶の偏光像の観察には2枚の偏光板が必要になることから、一人あたり2セットを製作する。なお、マウントの空隙部は長方形であることから、間に何も挟まない状態で2セットを重ねて暗黒になるように、偏光板を接着しておく観察が行いやすい。以下、この実習における観察は、2枚1組の偏光板の間に対象物を挟んだ状態で実施している。

偏光板を利用した実習では、最初にカセットテープのケースをはさんだ像を見せて、偏光板を利用した場合には通常の光で見たときとは異なる像が観察できること示し、偏光像観察への導入をはかっている。「魔法のめがね」を作成した後、フロッピーディスクのケースや合成樹脂製の袋など、いろいろな透明な素材を試してもらっている。また、水晶玉とビー玉、おはじきやスライドガラスなどを利用し、鉱物とガラスの識別にも挑戦している。偏光板を使用する実習の前に白雲母を薄い板にはがす作業を行っており、薄く、半透明な白雲母の板ができていることから、参加者は、自発的に偏光板での白雲母の観察に取り組むようである。白雲母は、後述するようにハンディサイズの偏光板を利用

\*ここで使用するポラー（polar）は「極」の意味ではなく、普通の光を入れると直線偏光が出てくる偏光装置のことを指す。偏光板（polarizing plate）はポラーの一種である。詳しくは都城・久城（1972, p. 39）を参照されたい。

\*\*直消光であるかどうかの判断は、特に薄片観察の場合に、結晶の外形が必ずしも柱面や底面を反映していない場合に注意が必要である。ハンディサイズの標本でも、例えば方解石のへき開片を使う場合（Fig. 2C-F）は、方解石が六方晶系であるにもかかわらず、方解石のへき開方向が結晶の軸と斜交するために、直消光ではないと判断してしまうおそれがある。

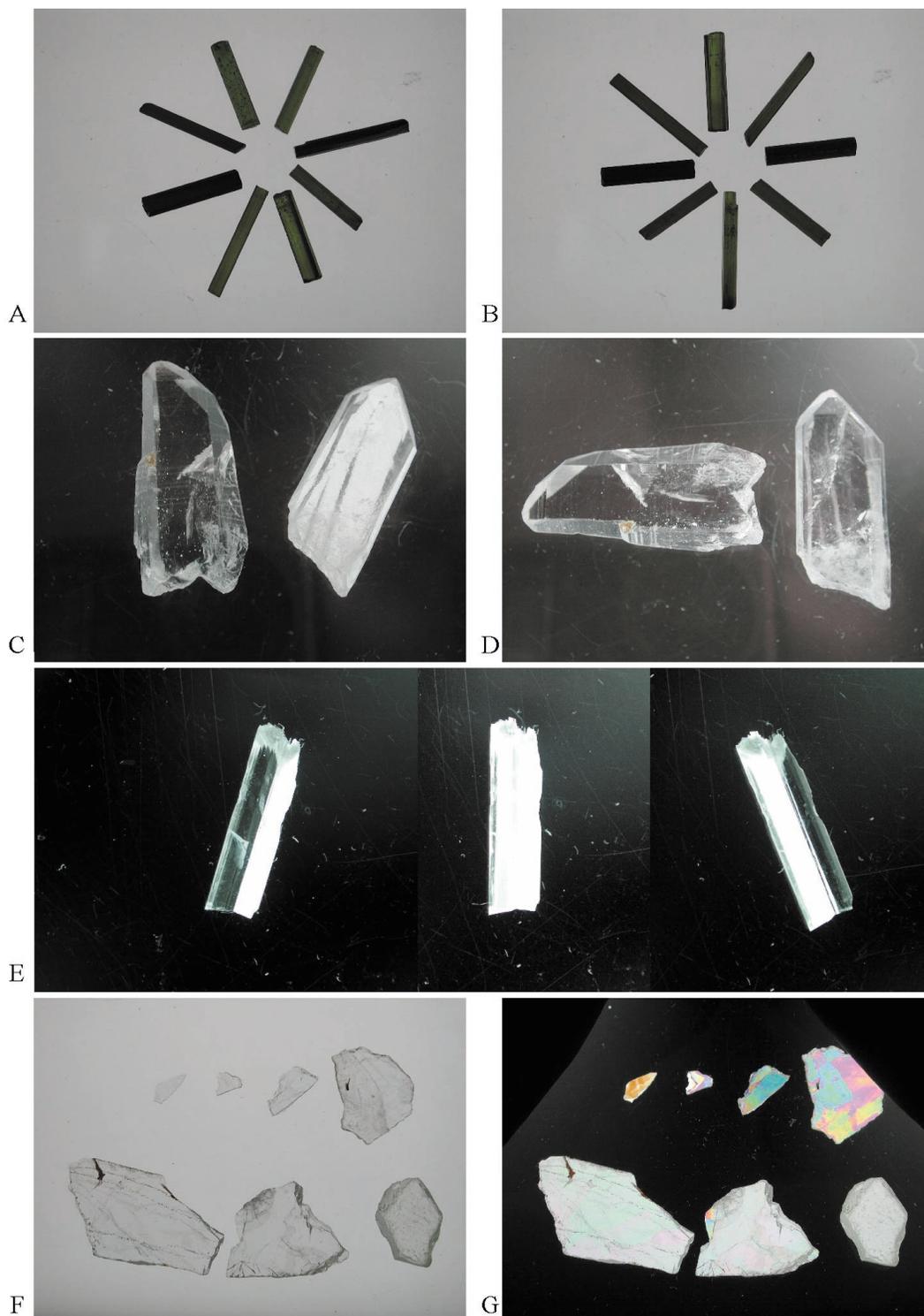


FIGURE 1. 偏光板による鉱物結晶の観察. **A, B**, 電気石の多色性. 角度によって色の濃度が異なる. (偏光板: 下のみ); **C, D**, 石英の消光. 直消光を示す. (偏光板: 上下); **E**, スコレス沸石の消光. 斜消光を示す. 消光の位置が異なる2つの部分が, 結晶ののびの方向に沿って対称的に見られ, 双晶していることがわかる. (偏光板: 上下); **F, G**, トパーズの干渉色. 上下の偏光板を利用すると, 結晶の厚さによって色が異なる. 適度な厚さの場合にはあざやかな干渉色が観察できるが, ある厚さ以上になると白くなる. (**F**, 偏光板: 下のみ; **G**, 偏光板: 上下).

した観察に適した性質を有しており、他の鉱物結晶の観察へと導入する上で、優れた実習試料であると考えられる。

偏光板による鉱物観察実習の内容について、具体例を用いて紹介する。白雲母の観察では、不透明な“石”でも薄くすると光が通るようになること、厚さによって干渉色が異なることの理解を目指している。白雲母の結晶は、底面に平行な面に割れやすい性質（へき開）があり、力を加えると、ごく薄い板状のへき開片としてはがすことができる。さまざまな厚さのへき開片を偏光板に挟むと、へき開片が厚い場合には、光は通らず暗黒だが、薄くなると光が通り、色鮮やかな色彩がわかるようになる。しかしながら、薄くなりすぎると、光は通るが、鮮やかな色彩は示さない。(Fig. 2A, B)

白雲母を薄片観察すると、一般に高次の干渉色を示すが、へき開片を用いて観察する場合には、雲母片に厚みがあっても低次の干渉色を示すことが多い。これは、へき開面に垂直に近い角度で2本の光軸が存在するため、複屈折の差が小さくなることに起因する。このため、干渉色の観察には好適な素材である。

次に、見かけが似た透明な結晶である石英、方解石、螢石の3つを、結晶が有する光学的性質を利用して識別することを試みる。このことは、偏光顕微鏡による岩石薄片観察にもつながるものと言えよう。Fig. 2C-Fにも示すように、石英は直消光であるのに対し、螢石は光学的等方体であるため、常に消光した状態、つまり暗黒に見える。方解石は、石英と同様に光を通すが、石英と異なり、へき開ののびと一致した方向では消光しないことで、石英と区別できる。

偏光板実習の最後に、偏光板を利用した岩石薄片の観察を試みる。肉眼でも観察は行えるが、CCDカメラやデジタルカメラのマクロ機能が利用できれば、ある程度の拡大も可能である。白雲母の観察を先に実施しているため、石を薄くすると光が通り、偏光板で観察できることには違和感はないようである。薄片を回転させることにより、結晶やへき開片と同様に、薄片中の鉱物の消光を認識することも可能である。

グラニュライトなどの粗粒な岩石の場合には造岩鉱物がある程度判別することができるが、より細粒な岩石では、各鉱物の個別の認識は困難である (Fig. 2G, H)。変成岩の縞状の構造など、規模がやや大きな岩石組織も認識できる場合がある。ただし、粗粒な岩石であっても、ザクロ石中の包有物など、鉱物内部の細部についての観察は難しい。実習では、偏光板による観察では拡大率が不足することから、詳細な観察には顕微鏡を用いた拡大が必要と説明して、より高倍の観察が行うことができる偏光顕微鏡を利用した観察へとつなげる。

#### 大学における実習例－工学部での基礎科目として－

偏光顕微鏡を用いた結晶光学の学習は、地学・地球科学系の専門教育の課程では、固体地球物質の学習の上で重要な位置を占めている。しかし、それだけではなく、工学系など他分野の基礎科目として、あるいはより一般的な教養科目としての地学の講義においても、光学的異方性を持つ

透明鉱物の偏光板を用いた観察は、鉱物の結晶構造を理解するために非常に効果的である。ここでは、武蔵工業大学工学部・建築学科2年の専門基礎科目（選択科目）として開講された地学の講義の中で実施した事例を紹介する。

2枚の偏光板を、たがいに偏光が直交方向になるように配置して固定し、その間に、非晶質の物質として板ガラス、光学的異方性を持つ物質として、石英結晶（水晶）、めのう片、白雲母片などを挟んで観察させる。偏光板と鉱物類を箱に入れて回覧し、使用法を解説したうえで、学生に自由に実験させた。

板ガラスの場合、常時消光してどの方位に対しても暗黒になるのに対し、水晶は方位によって消光すること、また、めのう片では中心に向かって成長する水晶の伸びの方向が、上下いずれかの偏光板の偏光方向と一致するときに消光することがわかる。さらに、薄い白雲母片では、消光が明瞭であるだけでなく、干渉色も観察できる。

結晶の原子配列に規則性があることは、エックス線回折の原理を板書で説明したり、ラウエの斑点を見せたりしても、直観的に理解することが難しい。

鉱物の学習の際には、初心者に対して鉱物の基本的な定義をした上で話を進める必要があるが、1) ある特定の（範囲の）化学組成をもち、2) ある一定の規則性と方位を持った原子配列（結晶格子）を示す物質の単位を、一つの鉱物（結晶）として認識するものとして話を進めると、展開がしやすい。

この際に、原子配列の規則性が、電磁波（この場合、光）の通り方に影響を与え、透明鉱物の中に入った光が偏光となって通過する具体例として、先に述べたような方位によって電磁波の通し具合が異なること、つまり光学的異方性を確認する実験を行う。このような実験は、目に見えない原子配列の規則性について、学生・生徒の理解を助ける効果が大きいと考えられる。講義後のアンケートでも、この偏光板の実験は、「わかりやすい」「面白い」と、学生に好評であった。

#### 実習の応用可能性

現行の教育課程では高校地学 IA、地学 IBで鉱物の結晶構造が取り扱われているが、原子配列の規則性については、時間数の制約もあって詳しい説明を省略し、思考実験に偏ってしまいがちである。しかし偏光板と鉱物結晶を利用した実験を実施することによって、生徒の理解を助けることができる可能性がある。

物理分野の「光の性質」を扱う項目でも偏光は取り扱われており、多くの学校では、物理や中学理科1分野の教材や備品として、偏光板を所有していると考えられる。地学分野でも、他教科とのタイアップや総合的な学習に応用できる可能性がある。

ハンディサイズの偏光板は教材用として販売されており、また、鉱物結晶についても、雲母片や水晶などは、標本店や教材メーカーでかなり安価に入手することができるため、今回紹介した実習内容は、比較的取り組みやすいものと考えられる。

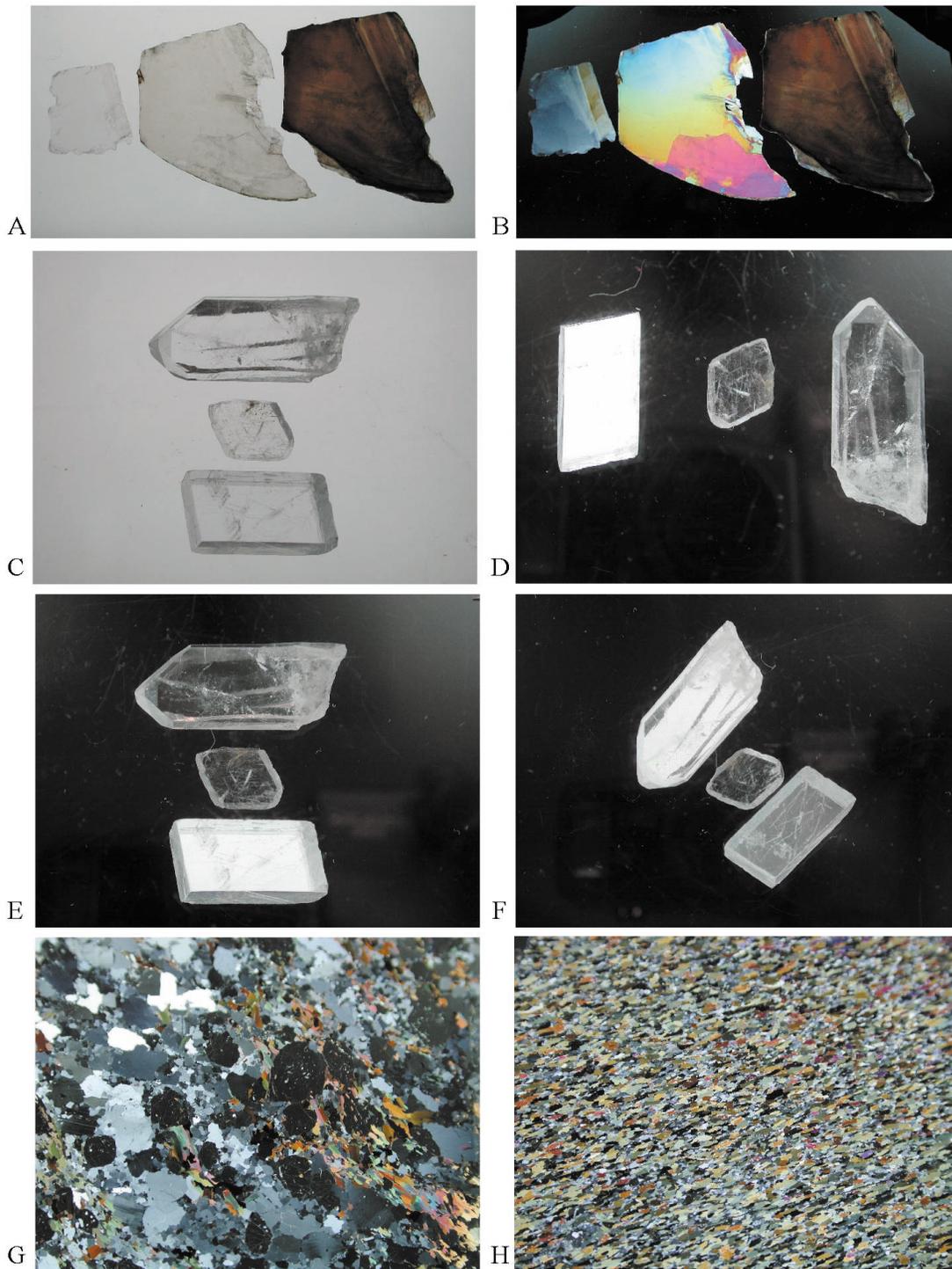


FIGURE 2. 博物館での実習への応用. **A, B**, 白雲母の干渉色. 白雲母をへき開面に沿って、薄くはがすと光を通すようになる. 上下の偏光板を利用すると、あざやかな干渉色が観察できるが、きわめて薄く剥がすと、白から灰色になってしまう. (**A**, 偏光板: 下のみ; **B**, 偏光板: 上下); **C, D, E, F**, 消光を利用した鉱物の区別. **C**において、上から、石英、螢石、方解石. 螢石が常に暗黒なのに対し、石英は直消光を示す. 方解石のへき開片は、必ずしもへき開の方向で消光するわけではないが、本来は直消光なので注意を要する. (**C**, 偏光板: 下のみ, **D, E, F**, 偏光板: 上下); **G, H**, 偏光板とデジタルカメラのマクロ機能を利用した岩石薄片の写真 (**G**: グラニュライト; **H**: 角閃岩). 写真の横幅が25mm. 大まかな岩石組織の認識には役立つが、細粒な岩石や、鉱物の内部構造などを観察したい場合には顕微鏡の倍率が必要になる. (偏光板: 上下).

## 謝辞

この実習を実施するにあたって、萩谷は、平成13年度放送大学特別研究の一部である、「大学におけるハンズ・オン研究」で支援を受けた。参加する機会をいただいた、放送大学教授・福井県立恐竜博物館館長濱田隆士氏に感謝する。博物館での実習の部分は、佐野が、福井県立恐竜博物館において、平成13年3月の「こども自然教室」と、平成13年6月の「地学指導者実技講座」で実施した内容に基づいている。実習への参加者、展示解説員及び博物館職員からは有益な意見をいただいた。有限会社凡地学研究社の菊地 司・建両氏には教材として利用できる鉱物の選定にあたって御協力いただいた。以上の方々に、心より感謝する。

なお、偏光板と結晶を利用する方法への取り組みは、NHK 教育テレビで平成12年度に放送された番組「やってみようなんでも実験」の中で、偏光板を利用してザクロ石の結晶を観察する実験が紹介されたことがきっかけとなった。現在参照できる資料が存在しないと思われるため、この場を借りて、関係各位に感謝したい。

## 引用文献

- 井上 勤 (監修). 2001. 新版顕微鏡観察シリーズ 4 岩石・化石の顕微鏡観察. 地人書館, 東京, 315pp.
- 国立科学博物館. 1999. 国立科学博物館 実験バンクCD-ROM. 国立科学博物館.
- 古山勝彦・松崎琢也. 2001. ガラスに見られる複屈折. 地球科学 55: 263-264.
- 松丸敏和. 1998. 観察センター紙上教室 10. 光のオブジェを作ろう - 偏光板を利用した実験と観察 -. 国立科学博物館ニュース 357: 29-30.
- 三宅 明. 2001a. 偏光顕微鏡を使わないコノスコープ像写真. 地質学雑誌 107: vii-viii.
- 三宅 明. 2001b. 肉眼によるコノスコープ像の観察. 地質学雑誌 107: 296-298.
- 都城秋穂・久城育夫. 1972. 岩石学 偏光顕微鏡と造岩鉱物. 共立出版, 東京, 219pp.
- 財団法人石の博物館 奇石博物館. 2001. 出動いしころ探検隊 実践活用資料集. 財団法人石の博物館 奇石博物館, 135pp.