

報 告

岩石薄片の作製と観察を取り入れた学習プログラムの開発と実践

Development and Practice of a Learning Program Incorporative the Preparation and Observation of the Petrographic Thin Sections

山下浩之¹⁾・川手新一²⁾・山口珠美³⁾Hiroyuki YAMASHITA¹⁾, Shin-ichi KAWATE²⁾ & Tamami YAMAGUCHI³⁾**Key words:** polarizing microscope, rocks, polarizing plate, lectureship

はじめに

岩石薄片の観察は、岩石を科学的に理解するための基礎である（例えば澁江, 1999; 2001 など）。一般的な岩石薄片の作製手法を紹介したものとしては、北海道大学薄片技術室（2017）や林（2018）など、数多くの報告がある。しかし、岩石薄片を作製するにあたっては、専用の機器類を使用すること、観察するための偏光顕微鏡が設置されていないこと、岩石薄片を入手したとしても観察する知識がないことなど、様々な問題点がある。

このような問題を打開するための取り組みとして、岡山県情報教育センター（2003）が、岩石カッターを使用しながらも、石片を紙やすりで磨く方法を、黒田・諏訪（1983）が、岩石カッターを使わずにハンマーで岩石を割ることで石片をつくる手法や、石片とスライドガラスの接着剤にレークサイドセメントを使用するなどの手法を紹介している。専門的な道具、岩石の種類に応じ

た接着材の使用法のノウハウなど、岩石薄片の作製全般にわたり詳細に記したものには、チーム G（2014）などがある。

著者らは前述の先行事例を参考に、専用の機材などは使わずに一般に入手できる安価な機材で簡単に岩石薄片を作製するための方法の開発、偏光顕微鏡を用いないで岩石薄片を観察する方法の開発、岩石薄片の観察方法を伝える講座、以上の3つを組み合わせる講座を実施することで、問題点の解決を模索してきた。本報告では、これらの実践について我々の取り組みを紹介する。なお、本報告の一部は、山下ほか（2018）で報告している。

岩石薄片の作製に関して

以下に岩石薄片の作製に関する手法を3点紹介する。1つ目は神奈川県立生命の星・地球博物館（以降、当館と表記）の機器を用いて薄片を作成する一般的な手法である。ただし、研究に用いる薄片と、レファレンスや講座等で使用する薄片とでは作製の方法が若干異なるので、あわせて表記した。2つ目は共著者の川手新一が所属する武蔵高等学校中学校の中学1年生の授業において、生徒が実習の一環として行う手法である。3つ目は今回のプログラムの主となる、安価で簡単な岩石薄片作製の手法である。それぞれを以下に紹介する。また、一連の流れをフローチャート（図1）に示した。

¹⁾ 神奈川県立生命の星・地球博物館
〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 499
Kanagawa Prefectural Museum of Natural History
499 Iryuda, Odawara, 250-0031, Japan
山下浩之: yama@nh.kanagawa-museum.jp

²⁾ 武蔵高等学校中学校
〒176-0011 東京都練馬区豊玉上 1-26-1
Musashi High School and Junior High School
1-26-1, Toyotamakami, Nerima, Tokyo 176-0011, Japan

³⁾ 箱根ジオミュージアム
〒250-0631 神奈川県足柄下郡箱根町仙石原 1251-2
Hakone Geomuseum
1251-2, Sengokubara, Hakone, Ashigarashimo-gun,
Kanagawa 250-0631, Japan

・当館での一般的な岩石薄片の作製

岩石カッターやグラインダーなどの専用の機器を使用して、岩石薄片を作製する方法である。乾燥の過程にしっかりと時間をかけるため、所要時間は最低でも3時間を要する。

岩石の切断：大型の岩石カッターにて岩石を切断する。岩石カッターは（株）ニチカ社製のSCH-18で、直径450 mmのブレードを装備し、無段変速（4～30 mm/min）の自動送りとなっている。

岩石の細切断：小型の岩石カッターにて岩石を切断し、3×2×1 cm程度の石片を切り出す。当館では（株）マルトー社製のミニ・ラボカッターMC-100を使用している。

石片の粗研磨：石片の粗研磨の方法は2通りある。1つは（株）ストルアス社製のプラノポールで研磨する方法。当館では、プラノポールに12インチのダイヤモンドパッドを使用しており、粗研磨の場合は#220で研磨を行う。もう一つの方法は、平面研磨機（グラインダー）を用いたもので、研磨剤に#80、#320、#400程度のカーボランダム（SiC）を使用する。

石片の研磨：石片の粗研磨と同じ。ただし、プラノポールで研磨する場合は、30 μmおよび15 μmの粒子のダイヤモンドパッドを使用する。平面研磨機（グラインダー）の場合は、研磨剤に#800のカーボランダム、#1000のアランダム（ Al_2O_3 ）を用いる。また、平面研磨機（グラインダー）は、石片の粗研磨で使用したものとは別のものを使用する。プラノポールおよび平面研磨機で研磨した後は、ガラス板上で、研磨剤に#2000および#3000のアランダムを用いて研磨する。ガラス板はそれぞれの研磨剤毎に専用のものを用意してある。

脱水（加熱）：スライドガラスと石片を接着するにあたり、石片中の水分を飛ばすために、ホットコンプレートをを用いて、120～140度で2時間程度、石片を加熱する。試料によっては市販のホットプレートを用いることもある。

接着：脱水が完了後、温度を80度程度まで下げてからスライドガラスと石片を接着する。接着剤には、米国パールスペトロ・プロダクツ社製のペトロポキシ154を用いる。試料によっては、（株）コニシ社製の2液混合型エポキシの「ボンドE」を用いることもある。接着後、ホットコンプレートの温度を140度程度まで上げ（ボンドEの場合は120度程度）、一気に固結させる。

二次切断：（株）ストルアス社製のディスコプランの二次切断機を用いて、スライドガラスに1 mm程度石片が残る程度に二次切断する。

粗研磨：（株）ストルアス社製のディスコプランのグラインダーを用いて、0.1 mm以下まで薄く

する。あるいは、平面研磨機（グラインダー）で、研磨剤に#80、#320、#400程度のカーボランダム（SiC）を用いて研磨する。

研磨：ガラス板上で、研磨剤に#1000、#2000および#3000のアランダムを用いて研磨する。

仕上げ：研究用の岩石薄片については、6 μm、3 μm、1 μmのダイヤモンドペーストを用いて（株）ストルアス社製のプラノポールでポリッシュを行う。観察を行うだけの岩石薄片であれば、表面にワセリンを塗って済ませてしまうこともある。

・武蔵高等学校中学校での例

武蔵高等学校中学校では、中学1年生全員に岩石薄片を作製させる。すべての作業を生徒が行うと時間が足りないため、いくつかの作業を教師が行うことで、時間の短縮を図っている。使用する岩石は、箱根火山の火山岩である。所要時間は、5時間程度を要する。授業中に予定の作業がこなせなかったり、失敗したりした生徒は、休み時間や放課後などに実験室を開放して作業が出来るように配慮している。

岩石の切断：（株）MKダイヤモンドプロダクト社製のブロック湿式切断機MK-2002で大きめに切断し、（株）マルトー社製のミニ・ラボカッターMC-100で際切断する。石片の大きさは、2×3 cm程度で、厚さが2 mm程度。全員分の石片を教師が切断し、用意する。

石片の粗研磨：鉄板上で、研磨剤に#80、#320のカーボランダム（SiC）で粗研磨を行う。研磨剤が飛び散らないように、洗浄びんに入れた水道水でしめらせる。研磨の完了は、#80で全体が均一にザラザラ、#320でザラザラな部分がなくなり全体に光沢が見える程度を目安とする。厚さが2 mm程度のため#80での研磨で力を入れすぎると割れてしまうので注意が必要である。

石片の研磨：ガラス板上で、研磨剤に#1000、#2000のアランダム（ Al_2O_3 ）で研磨を行う。研磨面で反射する光の様子をよく見て研磨の完了をそれぞれ確認する。#1000で蛍光灯の輪郭が見える、#2000で景色が映る状態を目安とする。

脱水（加熱）：市販のホットプレートを用いて、約120度で5分程度乾燥させる。

接着：常温まで冷やしてからスライドガラスと石片を接着する。接着剤には、（株）コニシ社製の2液混合型エポキシの「ボンドE」を用いる。接着材は教師が混合し、石片に適量を配布する。その後、生徒が爪楊枝で石片全体に塗り広げて、スライドガラスを上から被せて接着する。接着後は、クリップで固定し、一晩かけて固結させる。

二次切断：もともとの厚さが2 mmであるため、

当館での手法（研究用）

当館での手法（簡易版）

武蔵中学校での手法

安価で簡単な作製の手法

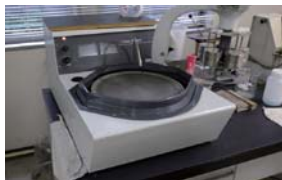
1. 岩石の切断
大型の岩石カッターにて岩石を切断する



2. 岩石の細切断
小型の岩石カッターにて岩石を切断する



3. 石片の粗研磨
ブラノボルで #220 のダイヤモンドパッドを使用して粗研磨する



4. 石片の研磨
ブラノボルで、30, 15μm の粒子のダイヤモンドパッドを使用して粗研磨する



5. 石片の研磨
ガラス板上で #3,000 のアランドムを用いて研磨する



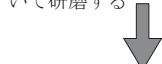
6. 脱水（加熱）
ホットコンプレートをを用いて、120～140℃で2時間程度乾燥させる



3. 石片の粗研磨
平面研磨機（グラインダー）で、研磨剤に #80, #320, #400 程度のカーボランダムを用いて粗研磨する



4. 石片の研磨
平面研磨機（グラインダー）で、研磨剤に #800, (#1,000) のカーボランダム及びアランドムを用いて研磨する



5. 石片の研磨
ガラス板上で #1,000, #2,000, #3,000 のアランドムを用いて研磨する



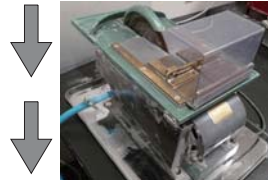
6. 脱水（加熱）
ホットプレートを用いて、120～140℃で2時間程度乾燥させる



1. 岩石の切断
大型の岩石カッターにて岩石を切断する



2. 岩石の細切断
小型の岩石カッターにて岩石を切断する



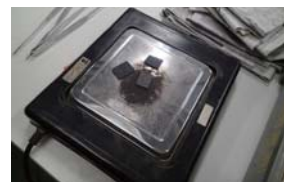
3. 石片の粗研磨
鉄板上で、研磨剤に #80, #320 のカーボランダムを用いて粗研磨する



5. 石片の研磨
ガラス板上で #1,000, #2,000 のアランドムを用いて研磨する



6. 脱水（加熱）
ホットプレートを用いて、120℃で5分程度乾燥させる



1. 岩石の破断
ハンマーで岩石資料を欠くように割り、1.5 × 1.5 × 0.5 cm 程度の石片をとる



3. 石片の粗研磨
#80, #240, #400 の紙やすりを用いて粗研磨する。紙やすりの下にガラス板を敷くと良い



5. 石片の研磨
#800, #1,000, #2,000 の紙やすりを用いて研磨する



6. 脱水（加熱）
ホットプレートを用いて、120℃で20分程度乾燥させる



図 1. 岩石薄片作成のフローチャート。

Fig 1. Flowchart for preparation of petrographic thin sections.

当館での手法（研究用）

7. 接着

脱水完了後、温度を 80℃ まで下げてからスライドガラスと石片を接着する。ボンドにはペトロボキシ 154 を用いる



8. 二次切断

ディスコプランの二次切断機を用いて、スライドガラスに 1 mm 程度石片が残る程度に二次切断する



9. 粗研磨

ディスコプランのグラインダーを用いて 0.1 mm 以下まで研磨する



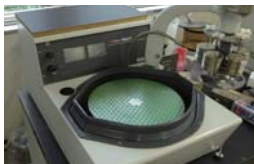
10. 研磨

ガラス板上で #1,000, #2,000, #3,000 のアラウンドムを用いて研磨する



11. 仕上げ

6μm, 3μm, 1μm のダイヤモンドペーストを用いてプラノボルでポリッシュする



当館での手法（簡易版）

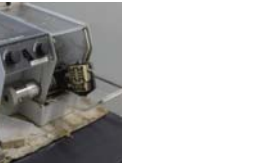
7. 接着

脱水完了後、温度を 80℃ まで下げてからスライドガラスと石片を接着する。ボンドには 2 液混合型エポキシの「ボンド E」を用いる



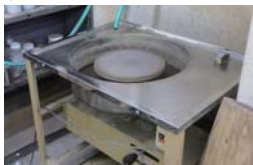
8. 二次切断

二次切断は行わない



9. 粗研磨

平面研磨機（グラインダー）で、研磨剤に #80, #320, #400 程度のカーボランダムを用いて粗研磨する



10. 研磨

ガラス板上で #1,000, #2,000, のアラウンドムを用いて研磨する



11. 仕上げ

表面にワセリンもしくはマニキュアを塗って完成とする



武蔵中学校での手法

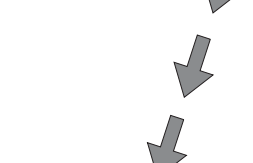
7. 接着

脱水完了後、室温まで下げてからスライドガラスと石片を接着する。ボンドには 2 液混合型エポキシの「ボンド E」を用いる



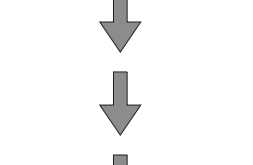
8. 二次切断

二次切断は行わない



9. 粗研磨

鉄板上で、研磨剤に #80, #320 のカーボランダムを用いて粗研磨する



10. 研磨

ガラス板上で #1,000, #2,000, のアラウンドムを用いて研磨する



11. 仕上げ

表面にワセリンを塗って完成とする



安価で簡単な作製の手法

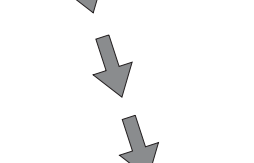
7. 接着

脱水完了後、温度を 80℃ まで下げてからスライドガラスと石片を接着する。ボンドには 2 液混合型エポキシの「ボンド E」を用いる



8. 二次切断

二次切断は行わない



9. 粗研磨

#80, #240, #400 の紙やすりを用いて粗研磨する。養生テープをスライドガラスの両面に巻き、またつまみをつくると良い



10. 研磨

#800, #1,000, #2,000 の紙やすりを用いて研磨する



11. 仕上げ

表面にマニキュアを塗って完成とする

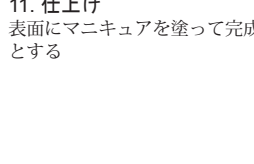


図 1. 続き。

Fig 1. Continued.

二次切断は行わない。

粗研磨：鉄板上で、研磨剤に #80, #320 のカーボランダム（SiC）で粗研磨を行う。#80 で岩石が透けるまで（ガムテープの厚さ）、#320 で粗い面が滑らかに、厚さは 0.05 mm（セロテープの厚

さ）までが研磨の目安である。研磨しすぎると岩石が消滅したり、研磨面に深い傷が残ったりする。逆に、細かい研磨剤を早めに使うと時間がかかる。こまめに確認をしながら平らに研磨するように指導する。授業で行う場合、油性マジックで

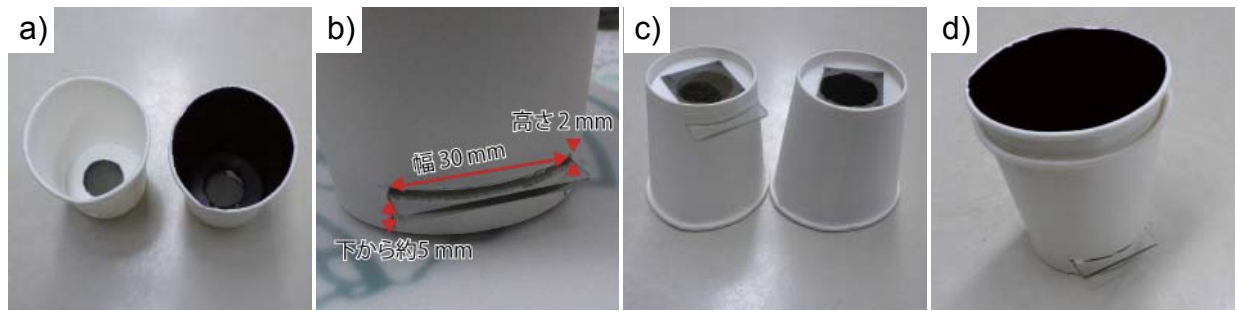


図2 紙コップを材料にした観察道具の作製.

a: 紙コップの底面を、カッターナイフを用いてくり抜く. b: 一方の紙コップの底面から約5 mmの位置に、高さ2 mm、幅30 mmの岩石薄片が入る大きさの穴をあける. c: 底面の丸穴の部分に偏光板を貼る. d: 完成.

Fig 2. Preparation of observation tool by paper cup. a: Cutting out the bottom of the paper cup using a cutter knife. b: Drill a hole that is about 5 mm from the bottom of one paper cup and contains a rock preparation with a height of 2 mm and a width of 30 mm. c: Put a polarizing plate on the bottom. d: Completion.

プレパラートに氏名や番号を書きしておくことも重要となる。

研磨: ガラス板上で、研磨剤に#1000、#2000のアランダムを用いて研磨する。それぞれの研磨の目安としては、#1000で偏光顕微鏡での観察に適した厚さ（直交ポーラー時の斜長石の色で調整）、#2000できれいに見えるように表面をならして完成。研磨中に粗い研磨剤が混入しないように注意する必要がある。

仕上げ: 表面にワセリンを薄く塗り広げて観察を行う。

・安価で簡単な岩石薄片作製

本研究では、ホームセンター、あるいは100円ショップで購入可能な物品を用いての岩石薄片の作製を試みた。所要時間は概ね1時間から2時間30分程度を必要とする。

岩石の切断: 岩石の切断は行わない。比較的大きめの岩石資料を大型のハンマーで半割し、破断面を小型のハンマーで欠くように割る。1.5 × 1.5 × 0.5 cm程度の石片が採れるまで何度も割る。この時に、あまり大きすぎたり、厚すぎたりすると後の作業が大変になる。

石片の粗研磨: 紙やすりを用いて、石片を研磨する。紙やすりの下面はできるだけ平滑であることが望ましいので、紙やすりの下にガラス板かアクリル板を敷く。さらにその下に雑巾を敷くとガタつかなくて良い。紙やすりは、耐水紙やすりの#80、#240、#400を使用する。#80の研磨の目安は、表面の凹凸がなくなり平滑になるまでとする。#240、#400については、石片の大きさや岩石の種類によって異なるため、おおよそ3分程度を目安としている。厚さが不均一のため研磨に力を入れすぎると割れてしまうので注意が必要である。

石片の研磨: 粗研磨と同様に紙やすりを用いて、石片を研磨する。紙やすりは、耐水紙やすりの#800、#1000、#2000を使用する。注意点は粗研磨と同じで、研磨時間も同程度で良い。

脱水（加熱）: 市販のホットプレートを用いて、



図3 デジタルカメラの顕微鏡モードでの撮影.

偏光板の上に岩石薄片を乗せ、その上に偏光板を乗せて撮影する.

Fig 3. Shooting in a microscope mode of a digital camera. Place the petrographic thin section on the polarizing plate and place the polarizing plate on it and shoot it.

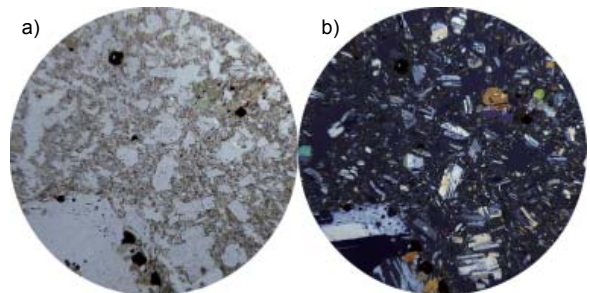


図4 デジタルカメラの顕微鏡モードで撮影した箱根火山の安山岩. 円の直径が11 mm. a: 開放ポーラー. b: 直交ポーラー.

Fig 4. Photograph of andesite from Hakone volcano by microscope mode of digital camera. The diameter of the circle is 11 mm. a: plane-polarized light, b: crossed polars.

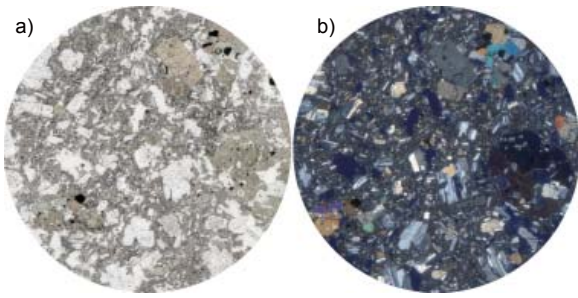


図 5. フィルムスキャナーでスキャンした箱根火山の安山岩. 円の直径が 12 mm. a: 開放ポーラー. b: 直交ポーラー.

Fig 5. Photograph of andesite from Hakone volcano by film scanner and polarizing plate. The diameter of the circle is 12 mm. a: plane-polarized light, b: crossed polars.

約 120 度で 20 分程度乾燥させる。

接着：温度を 80 度程度まで下げてからスライドガラスと石片を接着する。接着剤には（株）コニシ社製の 2 液混合型エポキシの「ボンド E」を用いる。石片が大きめの場合は、石片の表面に接着剤を塗り、その上にスライドガラスを乗せて、空気が抜けるのを確認しながら接着する。石片が小さい場合は、スライドガラスに接着剤を塗り、その上に石片を乗せて圧着する。接着後、ホットプレートの温度を 120 度程度まで上げ一気に固結させる。

二次切断：二次切断は行わない。

粗研磨：紙やすりを用いて、石片を研磨する。手法は石片の粗研磨と同じだが、#80 で石が透ける程度の厚さまで研磨する必要がある。そのため、#80 の紙やすりを大量に消費することになる。また、手の保護と石片の厚さの目安を測るため、片減りを避けるために、養生テープをスライドガラスの両端に巻き、さらにつまみを作って研磨すると良い。

研磨：#800、#1000、#2000 の紙やすりを用いて研磨する。#1000 で適当な厚さ（直交ポーラー時の斜長石の色で調整）にするのがコツ。#2000 で表面をならして完成。

仕上げ：マニキュアを塗って完成とする。

なお、今回紹介した方法と同様の方法は、チーム G (2014) でも報告されている。紙やすりで研磨する点など方法がかなり類似するが、チーム G (2014) では、石片の乾燥の際に、金属板をアルコールランプで熱して乾燥する方法を用いること、接着剤にエポキシは用いるが、加熱をしての接着は行わないこと、石片とスライドガラスを貼りつけた後の研磨で、スライドガラスの裏面に両面テープを貼ることで滑り止めとしている点などで異なる。加熱により短時間で接着を行っている分だけ、我々の方法が短時間で岩石薄片を作製することができるというメリットがある。

偏光顕微鏡を用いない岩石薄片観察

当館における岩石薄片作製講座において、参加者のほぼ 100% が岩石薄片を完成させることができた。完成した岩石薄片はその場で、当館設置の偏光顕微鏡で観察を行うことは可能である。しかし、学校に偏光顕微鏡がないため、岩石薄片作製講座の参加者は、岩石薄片を持ち帰っての観察はできない。

以上を踏まえて、偏光顕微鏡を使わずに岩石薄片を観察する方法をいくつか模索したので報告する。

・紙コップを材料にした観察道具

紙コップに偏光板を貼りつけた、岩石薄片の観察道具は昔から報告がある（チーム G 編, 2014; 長岡市教育センター, 2015 など）。これらの情報

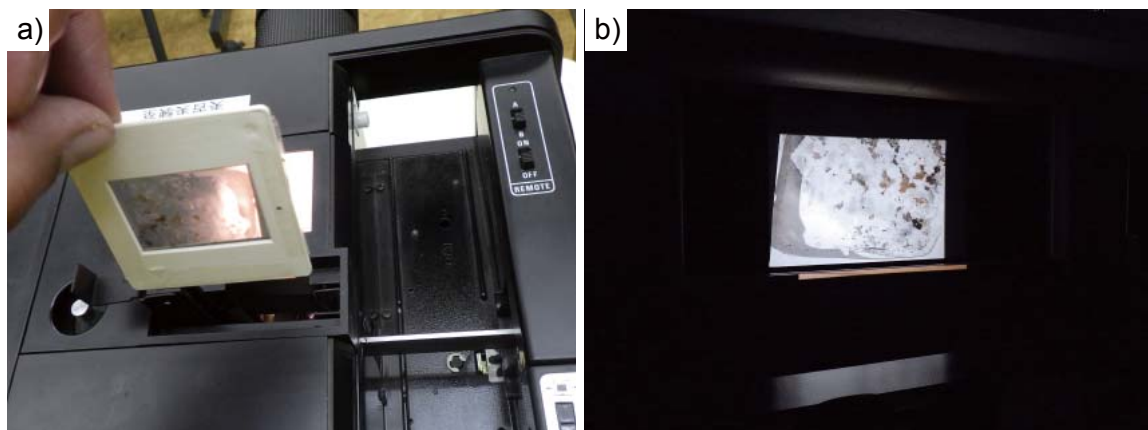


図 6. スライド映写機を活用した岩石薄片の観察. a: 35 mm のポジフィルムのマウントに偏光板と岩石薄片は挟み込む. b: 直交ポーラーの状態の花こう岩を投影したところ.

Fig 6. Projection of petrographic thin section using slide projector. a: A polarizing plate and a petrographic thin section slip in a 35 mm positive film mount. b: Projection of granite thin section by crossed polars.

表 1. 岩石薄片講座で使用する岩石リスト

Table 1. List of rock samples used for lectureship of petrographic thin sections

岩石名	産地	備考
デイサイト	神奈川県足柄下郡真鶴町岩	本小松石
安山岩	神奈川県足柄下郡箱根町元箱根	箱根火山後期中央火口丘の駒ヶ岳溶岩
玄武岩	山梨県南都留郡鳴沢村	富士火山の青木ヶ原溶岩 (JB-3)
トーナール岩	神奈川県足柄上郡山北町玄倉	丹沢深成岩体ユーシン岩体
トーナール岩	神奈川県足柄上郡山北町中川	丹沢深成岩体畦ヶ丸岩体
花崗岩	鹿児島県肝属郡肝付町新富	大隅花崗岩体国見型花崗岩
斑れい岩	山梨県南都留郡道志村	丹沢深成岩体道志岩体
かんらん岩	岩手県盛岡市	早池峰岩体
角閃岩	神奈川県足柄上郡山北町中川	原岩は丹沢層群塔ヶ岳亜層群の凝灰岩

を参考にして、当館で開催した岩石薄片作製講座にて実施した、紙コップを材料にした観察道具の作製方法を詳細に紹介する。

穴あけ：紙コップを2つ用意し、いずれの底面にも1円玉を使って円を描く(図2a)。描いた円を、カッターナイフを用いて円をくり抜く(図2a)。着色：片方の紙コップの内側を、アクリル絵の具の黒色で塗る(図2a)。黒く塗ることで観察しやすくなる。

薄片を入れるための穴あけ：もう一方の紙コップは、底面から約5mmの位置に高さ2mm、幅30mm(岩石薄片が入る大きさ)の穴をあける(図2b)。岩石薄片の落下防止になるため、少しきつめのほうが良い。

偏光板の接着：底面の丸穴の部分に偏光板(2.5×2.5cm程度)を貼る(図2c)。

観察方法：岩石薄片を、紙コップの側面にあけた穴に入れ、内側に中を黒く塗った紙コップを内側に入れて観察する(図2d)。2枚の偏光板が平行の状態が開放ポーラーで、直交した状態が直交ポーラーとなる。

紙コップを材料にした観察道具は、10分程度で作製ができ、費用もかからないため講座等で活用するには便利である。ただし、顕微鏡ではないので拡大ができない。そのため、粒子の細かな岩石をプレパラートにした場合は問題となる。また、岩石薄片が回転するわけではないので、鉱物の光学的性質を観察することはできないなどの欠点がある。

・デジタルカメラの顕微鏡モードの活用

近年販売されているデジタルカメラには、顕微鏡モードと呼ばれる撮影機能がついている。この機能に、偏光板を組み合わせることで、岩石薄片の撮影が可能となる。仕組みは簡単で、デジタルカメラを顕微鏡モードにして、その上に偏光板、岩石薄片、そして偏光板の順に載せて撮影を行う

(図3)。偏光板を90度まわすことで、開放ポーラーと直交ポーラーの状態ができる(図4)。ただし、蛍光灯下で撮影すると線状に光が入ってしまうことがある。きれいな写真を撮影するためには、曇りの屋外で、かつ大きめの白色の紙コップ等を偏光板にかぶせて撮影を行うと良い。なお、紙コップを材料にした観察道具とデジタルカメラの顕微鏡モードでの撮影を組み合わせることも簡単に撮影を行うことができる。

この方法では、写真が撮影されるだけなので、観察したり鉱物を同定したりするのには不向きである。撮影した写真を投影して使うには便利である。

・スキャナーの活用

ポジフィルムをスキャンすることが可能なスキャナーを用いて岩石薄片をスキャンする。仕組みは、偏光板、岩石薄片、そして偏光板の順に載せて撮影を行う(図5)。開放ポーラーでのスキャンの場合は、偏光板を1枚はずしてスキャンすればよい。スキャナーを利用した撮影でのデメリットは、デジタルカメラの顕微鏡モードでの撮影と同様に、岩石薄片がスキャンされるだけなので、観察したり鉱物を同定したりするのには不向きである点にある。メリットは、広い面積が一度にスキャンされる点にある。このメリットを利用し、礫岩や粗粒の花崗岩など、偏光顕微鏡下では粒子が1つしか収まらないような画角を全面に収めたり、岩石薄片に含まれる鉱物を、電子線マイクロアナライザーを用いて化学分析を行う際のマップを作製したりするにも活用できる。

・スライド映写機の活用

かつては学校現場でもよく使われていたスライド映写機を用いて、岩石薄片を観察する方法である。35mmのポジフィルムのマウントに偏光板と岩石薄片は挟み込む(図6a)。厚みがある

表 2. 火成岩のつくりと主要造岩鉱物を確認するためのチェックリスト
Table 2. Checklist for checking rock-forming minerals and texture of igneous rocks

テーマ	使う薄片
1 斑晶鉱物と石基を探す	デイサイト / 安山岩 / 玄武岩
2 斜長石を探す	デイサイト / 安山岩 / 玄武岩
3 輝石を探す	デイサイト / 安山岩 / 玄武岩
4 磁鉄鉱を探す	デイサイト / 安山岩 / 玄武岩
5 空隙（孔＝マグマ中の揮発性成分があった場所）を探す	デイサイト / 安山岩 / 玄武岩
6 かんらん石を探す	玄武岩
7 斜長石の双晶を探す	安山岩 / 玄武岩
8 斜長石の累帯構造を探す	安山岩 / 玄武岩
9 等粒状組織を観察する	トーナル岩
10 角閃石を探す	トーナル岩
11 角閃石の 124 度のへき開を確認する	トーナル岩
12 黒雲母を探す	トーナル岩
13 石英を探し、その形を確認する	トーナル岩
14 片理構造を確認する	角閃岩

ためテープ等で止めたほうが良い。この状態で投影すれば、開放ポーラーの状態を観察することになる（図 6b）。直交ポーラーの状態をつくるには、先に入れたマウントの外側に偏光板が直交する方向になるようにもう一枚入れればよい。余裕があるならば、偏光板だけを入れたマウントを 1 つ用意すると良い。この方法のメリットは、授業や講座などで、一度に、全員が同じ画角を見ることが出来る点にある。デメリットは、スライド映写機の光源が案外暗いために、部屋を真っ暗にしないと見えないこと、また、光源が弱いこともあり、あまり細粒な組織を持つ岩石薄片は見にくい点にある。スキャナーによる撮影と同様に、礫岩や粗粒の花崗岩など粒子の粗いものには適している。

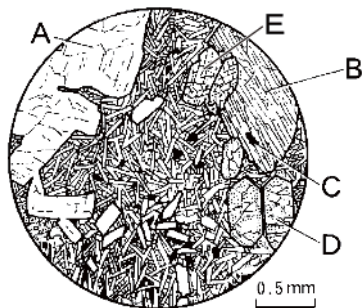
・ 生物顕微鏡の活用

生物顕微鏡の光源部に偏光板を装着し、対物レンズから接眼レンズの間にもう一枚の偏光板を組み込むことで、偏光顕微鏡と同等の観察が可能となる。このシステムは、すでに製品化されており、数万円で購入可能な生物顕微鏡にオプションで偏光板が取り付けられるものが市販されている。この生物顕微鏡が非常にコンパクトであること、デジタル顕微鏡カメラが装着できる点から、今後の活用に期待ができる。

岩石薄片の観察

学校現場に偏光顕微鏡が導入されない原因は、高価なことだけではなく、そもそも偏光顕微鏡を扱えない教員が多いことが原因の一つである。

スケッチの例



鉱物の記載例

		A	B	C	D	E
オープン ニール	色	なし	あり	あり	あり	あり
	多色性	なし	あり	なし	なし	なし
	へき開	あり (一方向)	明らか (一方向)	なし	不明瞭	あり (二方向)
	結晶形	柱状	柱状	粒状	六角柱状	柱状
クロス ニール	干渉色	灰色	黄色	黒	赤紫	青
	消光	斜消光	直消光	なし	直消光	斜消光
	その他	双晶	多色性は淡緑 から淡褐色	光を通さ ない	浮き上がっ て見える	へき開交角 90°

図 7. 武蔵高等学校中学校における、岩石薄片の観察レポートの一例。岩石薄片のスケッチは、数研出版株式会社（1997）を引用。
Fig 7. An example of observation report of petrographic thin section at Musashi High School. A sketch of the thin section is modified from Sukensyuppan CO., Ltd. (1997).

表 3. 2010 年以降に開催した岩石薄片を題材にした講座一覧

Table 3. List of lectureship of petrographic thin sections after 2010

実施年月	講座名	時間	薄片作成	簡易薄片	簡易観察	岩石講義	偏光顕微鏡	対象	人数
2010.7	先生のための岩石分類講座	2				○	○	教員	12
2015.8	岩石薄片の観察講座	2.5				○	○	中学生以上	12
2015.9	岩石薄片の観察講座	2.5				○	○	中学生以上	12
2015.9	岩石薄片の観察講座	2.5				○	○	中学生以上	12
2016.8	岩石薄片の観察講座	2.5				○	○	中学生以上	12
2016.8	岩石薄片の観察講座	2.5				○	○	中学生以上	12
2016.11	簡単薄片講座	1.5		○				箱根 GP ガイド	11
2017.7(2 日)	先生のための岩石プレパラートの作成と観察講座	8	○	○	○	○	○	教員	12
2017.8	岩石プレパラート観察講座	2.5				○	○	中学生以上	12
2017.9	箱根の溶岩の結晶を見てみよう！	3		○				箱根ジオサポーター	9
2017.9	岩石プレパラートを授業に取り入れる	2.5		○	○			教員研修	12
2017.11	身近な材料を使った岩石薄片づくり講座	4		○	○			友の会	7
2018.3	県内の小学校で薄片観察	1					○	小学校 5 年生	12
2018.4	野外で岩石プレパラートを作成し観察する講座	5		○	○	△		友の会	15
2018.7	先生のための岩石プレパラートの作成と観察講座	5.5		○	○		○	教員	12
2018.8	先生のための岩石プレパラートの作成と観察講座	5.5		○	○			小学校教員研修会	19
2018.8	岩石プレパラートの作成と観察講座	4.5		○	○		○	中学生以上	12
総計									205

薄片作成：岩石カッターで切った石片をガラス板と研磨剤を用いて薄片作成

簡易薄片：ハンマーで石片を作成、紙やすりで薄片作成。簡易観察：紙コップ等で観察

岩石講義：岩石の分類を講義。偏光顕微鏡：偏光顕微鏡を用いて参加者が観察

偏光顕微鏡で見た岩石薄片は、「きれい」であるため学習の導入にはよいが、そこでどんな鉱物が観察できるのか、岩石学の本質的なところが理解されていない。前述の岩石薄片の作製や、偏光顕微鏡を用いない岩石薄片観察はこの紙面や、インターネットあるいは書籍を見れば解決するが、含まれる鉱物の話となると単純ではない。ここでは当館で実施している岩石薄片の観察講座と武蔵中学校で行っている授業の概略を報告する。

・当館での観察プログラム

当館での観察プログラムは、1 岩石の説明、2 鉱物の説明、3 偏光顕微鏡による観察 3 パートから構成している。

岩石の説明：

- ・岩石の分類について説明する（火成岩、堆積岩、変成岩）
- ・火成岩は火山岩と深成岩に分類されることを説明
- ・岩石写真と偏光顕微鏡写真で火山岩の構造を解説する。あわせて火山岩の細分方法（化学組成による分類）を説明する
- ・同様に深成岩の構造を解説する。あわせて鉱物の体積比による深成岩の細分方法を説明する。これにより、偏光顕微鏡による岩石薄片観察の重要性を再確認する。
- ・堆積岩の分類方法を簡単に説明する
- ・変成岩の分類方法を説明する。特に低温高压型変成岩（結晶片岩）は、構造を岩石薄片で観察するので着目してもらう。

鉱物の説明：

- ・主要造岩鉱物について、標本写真を用いながら、

色や形状、産状等を説明する。無色鉱物と有色鉱物の違いも説明する。

- ・偏光顕微鏡で観察すべき項目を説明する。鉱物の形、他の鉱物との関係、へき開、色、多色性、消光位、干渉色、鉱物特有の構造など、それぞれをスライドで解説する。

（レベルによって）消光位の説明から発展させて、単斜輝石と斜方輝石の解説を行い、あわせて化学組成の違いも説明する。

偏光顕微鏡観察：

- ・偏光顕微鏡の使用方法を説明する。
- ・岩石薄片セットを配る。これは講座用に作製したもので、主要造岩鉱物を観察しやすい岩石を材料にしている（表 1）。
- ・表 2 の項目を全員で確認していく。

以上を約 2 時間 30 分で行っている。

・武蔵中学校での授業の概要

中学 1 年生を対象にクラス毎（44 人）に座学の授業で岩石の分類および主要造岩鉱物について説明している。実習では、クラスを分割し（22 人）偏光顕微鏡の観察を行っている（同時間の半分は主に生物の実習）。偏光顕微鏡は各生徒 1 台ずつ使用することが出来る。ここでは実習での流れを簡単に紹介する。

偏光顕微鏡の使用法および岩石薄片のスケッチ：

- ・開放ポーラー、直交ポーラーの説明及び調整の仕方を説明する。
- ・生徒各自が作製した岩石薄片をスケッチする。

表 4. 講座のアンケート結果

Table 4. Questionnaire result of lectureship

2018 年 7 月実施 (教員対象)

- ・授業で活かせる、思ったより素晴らしい講座でした。
- ・時間はかかりますが、手軽に岩石薄片を作製できるので、高3の授業で使ってみようと思います。
- ・鉱物の種類の見分け方が自分で勉強したり、本を読んだりするだけでは理解できなかったもので、実物の見え方などで説明してもらって良かったです。
- ・高校の理科の授業で地学を教えることになり、鉱物の分野は実物を見ても全くわからず、他の教員に聞いてもわからなくて困っていました。今回の講座はとても参考になりました。
- ・岩石薄片を作る大変さが実感できた。生徒に対して授業をするときは、夏休みや特別講座などの枠で実施するのが良いと思った。技術力も必要なので、何回も練習をこなさないといけないと感じた。
- ・偏光顕微鏡が学校にないので、もう少しゆとり取り扱いたい。
- ・初めて偏光顕微鏡を使い、大変興味深かったです。

2018 年 8 月実施 (中学生以上対象)

- ・初めて自分で岩石薄片を作れてうれしいです。しかも、自分で手軽に見られる工夫もあって、とても良かったと思います。
- ・自分でもプレパラートが作れるとは思わなかった。
- ・地域によって含まれる鉱物が違うのが面白いです。
- ・自分でもできるとは思ってなかった。
- ・貴重なお話しや体験をありがとうございました。ぜひ今回の講座を生徒に還元したいと思います。また、私自身の地学の勉強もより深めたいと思いました。

使用するレンズは接眼レンズが 5 倍、対物レンズが 4 倍で、視野の直径が 5 mm 程度の範囲となる。

岩石・鉱物の記載：

- ・偏光顕微鏡画像をモニターに映し、造岩鉱物の特徴について色、多色性、へき開、結晶形、干渉色、消光の調べ方などを説明する。
- ・生徒は、組織、色、斑晶の様子、石基の様子等、岩石の観察結果をまとめる。
- ・各自スケッチの中から斑晶鉱物を 4～5 個選び、それぞれの鉱物の特徴を記載する。

レポートの作成：

- ・記載結果と、授業で教わった造岩鉱物の性質を比較して、スケッチ中から選んだ鉱物を同定する(図 7)。
- ・観察結果から岩石名を推定する。必要に応じて色指数の測定も行う。
- ・スケッチおよび鉱物、岩石の特徴をまとめ、鉱物の同定についてと岩石名の推定について考えたことをレポートにまとめる。

なお、3 × 3 cm の偏光板を各生徒に 2 枚ずつ配布し、必要に応じて薄片の作製や観察に使用出来るようにしている(例えば、偏光顕微鏡を用いない岩石薄片観察の紙コップを使用した観察道具を作るなど)。また、偏光顕微鏡の台数は限られているが、休み時間や放課後に使用することができる。

講座の実施

対象と受講者数：

講座の対象は、当館が開催した一般(中学生以上)、教員のほか、教員研修会、当館友の会の会員、箱根ジオパークサポーター(主に子ども)、箱根ジオパークジオガイドなどである。一般のうち中学生以上を対象とした理由は、鉱物の解説を行う際に化学式を用いるため、元素記号および周期表の知識を学校の授業で習得していることが条件となったためである。また、学校教育に岩石薄片を活用してもらうことを目的に別枠として一般とは別に教員向けの講座も開催した。総回数は 17 回、延べ 205 名が受講した(表 3)。

内容：

岩石薄片の作製、偏光顕微鏡を用いない岩石薄片観察、偏光顕微鏡を用いた岩石薄片の観察講座の実践を行った。内容は時間と対象により異なり、岩石薄片の作製、偏光顕微鏡を用いない岩石薄片観察、偏光顕微鏡を用いた岩石薄片の観察講座のいずれかを組み合わせるか、もしくはどれか一つだけを行った。教員研修では、すべてを組み合わせ、より高度な講座を行った。

結 果：

岩石薄片の作製については、2016 年 11 月の、箱根ジオパークのジオガイド対象の講座が最初であった。この講座では、初めての講座であることにも関わらず、用意された時間が 1 時間 30 分であったことから、岩石薄片が完成したのは 3 割程度の参加者のみであった。2017 年 7 月以降の講座では、紙やすりの組み合わせや石片のとり方



図 8. 野外で岩石薄片を作製し、観察した講座. a: 河原の岩石を解説する. b: 小型のハンマーで石片を作製する. c: 紙やすりで石片を磨く. d: 偏光顕微鏡にデジタル顕微鏡カメラを装着し解説. e: レークサイドセメントでスライドガラスと石片を接着. f: 鉄板の温度を赤外線温度計で測定.

Fig 8. Lectureship of making and observation petrographic thin sections at outdoor. a: To explain the rocks at river beach. b: Break a rock sample with a small hummer. c: Polish a rock chip using sandpaper. d: To explain the petrographic thin sections by polarizing microscope attached a digital microscope camera. e: Adhere a rock chip and slide glass using lakeside cement. f: Measure temperature of steel plate with infrared thermometer.

などを工夫し、小学生でも岩石薄片の作製の完成率がほぼ 100%に達した。

偏光顕微鏡を用いない岩石薄片観察では、参加者が岩石薄片を作製したことから、紙コップを材料にした観察道具を作製して持ち帰った。デジタルカメラの顕微鏡モードやスキャナーの活用は紹介するのみにとどめた。

考 察：

当館で開催する講座では 12 人を目安に行ったが、12 人ですら岩石薄片が完成する時間までに 1 時間以上の差が出てしまうことが多い。これは、最初の石片を欲張って大きくとると時間がかかってしまうことや、体力差によっても削り具合に差が出てしまうことなどから生じる。この点の改善は難しい。

偏光顕微鏡を用いた岩石薄片の観察講座は、近年は主に教員対象で開催していることが多い。岩石薄片を作製する講座と、偏光顕微鏡を用いてしっかりと岩石薄片を観察する講座を同時に行うには、1 日ではかなり厳しい。

2018 年 8 月の中学生以上を対象とした岩石薄片の作製と観察講座では、岩石薄片の作製、偏光顕微鏡を用いない岩石薄片観察、偏光顕微鏡を用いた岩石薄片の観察講座のいずれも実施することができた。これは前日に台風で川が増水したために、当日石片を採集に行くことができず、事前に準備した資料を参加者が割って石片を作製し

たこと、手伝いの博物館実習生が 4 名もいたために、作業が順調であったため、4 時間 30 分ですべてを完了させることができた。やり方やスタッフの数を調整すればもう少し手際よくできるのかもしれない。

以下に、講座のアンケート結果を紹介する (表 4)。

野外での岩石薄片作製と観察

当館では、河原などにおいて岩石の観察講座を実施する機会が多い。この場合、河原にある岩石を肉眼もしくはルーペで観察しながら、岩石の特徴の説明をうけるのがほとんどである。しかし、岩石の組織や含まれている鉱物の種類など、口頭の説明だけでは理解しづらいと思われる。そこで、河原において岩石薄片を作製し、その場で観察を行う講座を試行した。対象は神奈川県立生命の星・地球博物館友の会の講座参加者 15 名で (表 3 の 2018.4 実施の講座)、酒匂川の河川敷 (神奈川県南足柄市班目) で実施した。

方法の概略は以下の通り。酒匂川の河原で見られる岩石を一通り説明し (図 8a)、その中から参加者が興味を持った石を選択する。選択した石について、「安価で簡単な岩石薄片作製」の手法 (図 1) で岩石薄片を作製する (図 8b, c)。作製後は、偏光顕微鏡を組み込んだ生物顕微鏡に、デジタル

顕微鏡カメラを装着し、映像をタブレットに映しながら、岩石の組織や含まれている鉱物を解説した (図 8d)。ただし、野外での作業なので、いくつか修正をした。主な点は、電気が使えないことからホットプレートが使えず、鉄板をカセットコンロで加熱した。ボンドにはレークサイドセメントを使用した (図 8e)。レークサイドセメントを 130 °C ~ 140 °C 程度で使用するため、携帯赤外線温度計で鉄板の表面温度を計測しながら作業を行った (図 8f)。作業機がないので、紙やすりの下に敷くアクリル板が安定せず、また参加者も不安定な態勢で作業を行わなければならない。

講座終了時の感覚として、岩石標本を見ながら、偏光顕微鏡による岩石薄片の観察が加わるにより、参加者は岩石に対する理解がより深まったように見えた。講座に関して、アンケート調査は行っていないので、定量的なデータは出せない。また、反省点として、カセットコンロや生物顕微鏡をはじめ、かなりの機材を運び込まなければならないため、大掛かりになってしまった。今後はよりコンパクトに講座ができるようなプログラムを開発したい。

おわりに

講座終了時に理解度と感想についてアンケート調査を実施した。参加者からは、「岩石薄片の観察により、岩石に対する理解度が深まった」と多くの感想が得られた。このような講座を繰り返すことで、より岩石に関する理解が高まることは予想できる。しかし、博物館で行う講座では参加人数も限られ、かなり細々と地道にやっていくしかない。今回作成したプログラムをより普及させるには、教員対象に講座を実施し、まずは教員が岩石薄片の観察と岩石に対する理解をすることで、生徒に展開していく方法が最適ではないかと思われる。実際に、教員対象の講座後、ある地域の理科部会を通して教員研修会の依頼があった。このような活動を繰り返していくことで、岩石薄片の観察を通じた、岩石、さらには地球を理解する活動を深めたいと思う。

謝 辞

当館地学ボランティアの蛭子貞二氏、深澤良子氏、児玉正彦氏、酒井明子氏、新藤誠一郎氏、富田道恵氏、高須賀俊文には、岩石薄片の作製および実演に協力して頂いた。同じく当館地学ボランティアで友の会スタッフの入江和夫氏、可知鋭治氏、長山武夫氏、長山高子氏、中村良氏には、野外での実践応用でお世話になった。また、当館地学ボランティアの松井理作氏には、偏光顕微鏡を用いない岩石薄片の観察の開発においてアドバイスを頂いた。以上の方々に深く感謝する。なお、本報は JSPS 科研費 JP16 K 01053 の助成を受けて行った。

引用文献

- チーム G 編, 2014. 薄片でよくわかる岩石図鑑. 220pp, 誠文堂新光社, 東京.
- 林正彦, 2018. 薄片製作のテキスト. 早稲田大学教育・総合科学学術院. Online. Available from internet: www.aoni.waseda.jp/mhayashi/ 薄片テキスト 2018.pdf (downloaded on 2018-10-07).
- 北海道大学薄片技術室, 2017. 岩石薄片. 北海道大学. Online. Available from internet: https://www.sci.hokudai.ac.jp/hakuhen/?page_id=400 (downloaded on 2018-10-07).
- 黒田吉益・諏訪兼位, 1983. 偏光顕微鏡と造岩鉱物 第2版. 343pp, 共立出版株式会社, 東京.
- 長岡市教育センター, 2015. 研修会日記 火山と地層. 長岡市. Online. Available from internet: <http://www2.komei100.ne.jp/nkcenter/risen/index6.html> (downloaded on 2018-10-07).
- 岡山県情報教育センター, 2003. 岩石薄片の作り方. 岡山県総合研究センター. Online. Available from internet: <http://www2.edu-ctr.pref.okayama.jp/e2a/ganseki/tukurikata/tukurikata.htm> (downloaded on 2018-10-07).
- 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.
- 数研出版株式会社, 1997. 高等学校地学 IB. 数研出版株式会社, 319pp, 東京.
- 山下浩之・川手新一・山口珠美, 2018. 岩石観察プログラムの開発と実践～岩石プレパラートを簡便につくり、観察するための試行. 日本地質学会第 125 年学術大会講演要旨, 293.