

匠の技による薄片で見る世界：メノウ・粘土ベントナイト・へび花火の中は？

山田裕久¹⁻³⁾・大和田朗⁴⁾・中村真佐樹³⁾・武田良彦³⁾・平林恵理²⁾・佐藤卓見²⁾・鈴木正哉²⁾

- 1) 一般財団法人総合科学研究機構 (CROSS)
- 2) 国立研究開発法人産業技術総合研究所 (AIST)
- 3) 国立研究開発法人物質・材料研究機構 (NIMS)
- 4) 日本薄片株式会社 (NIPPAKU)

1. 薄片とは

薄片を「うすっぺら」と読むと、「物の厚みが乏しく貧弱な感じのするさま、または知識、思慮などの内容が貧弱で、上っ調子なさま」の意となる。ここでは「はくへん」と読み、読んで字のごとく「薄いかけら、薄い切れ端」を意味する。地球科学、特に岩石・鉱物学の分野では、鉱物・岩石を光を通すほど薄く（普通約 0.03mm）した試料で、英語では thin section と呼ぶ。薄片は、光学顕微鏡、特に偏光装置を備えた顕微鏡で観察・評価することに用いる。偏光装置は、薄片を挟んだ一対の偏光板（一つの直線方向に振動する直線偏光のみを透過する光学素子）からなる。可視光の速度や吸収度は、物質の種類や可視光の波長により異なる特徴を利用し、多くの鉱物の判別に使用されている。

2. これまでの薄片の作り方：湿式研磨法

硬い鉱物・岩石などの試料を光を通すほど薄くするには、以下の手順を取る¹⁾。

- ① 試料をスライドガラスに収まる大きさ（2cm x 3cm で、厚さ 1cm 程度）に切断する。ダイヤモンドホイールを取り付けた電動切断機で、水を冷却液として流しながら切断する。
- ② 切断した試料をスライドガラスに貼り付けるために、まず一面を研磨する。研磨には、研磨材として炭化ケイ素・酸化アルミニウムなどを用いて、その粒子が粗いものから順次細かいもので、鋳物盤を装備した回転研磨機、ガラス板などを用いて研磨する。研磨する際には、研磨材を分散するために水や油を使うことが多い。
- ③ 研磨した試料面をスライドガラスに貼り付ける。加熱したホットプレート上で、常温硬化型や熱硬化型のエポキシ系樹脂（2液混合）などで接着する。
- ④ スライドガラスに貼り付けた試料の厚さが約 0.15mm となる様に、①で用いた装置より小型の電動切断機で、冷却液として切削油を用いて切断する。
- ⑤ 切断面を②と同様に研磨する。仕上げは、メノウ板の上で研磨材、水または油を用いて、約 0.03mm の厚さまで研磨する。
- ⑥ スライドガラス上の試料面に、カバーガラスを天然樹脂のカナダバルサムを用いて貼り付け、試料を保護する。

このようにして、茨城県笠間市で産出される有名な稲田石をはじめとする御影石と呼ばれる花崗岩から薄片を作ることができる。さらに花崗岩よりもっと硬いものを薄片にすることもできる。その一例が、メノウである。メノウはその硬さゆえに、上に述べたように薄片の仕上げ板として、

また材料科学分野においては乳鉢・粉碎容器として無機材料・セラミックス等の硬い材料の粉碎に広く利用されている。

茨城県北西部の常陸大宮市周辺では、古くからメノウの産出が認められている。8世紀に書かれた常陸国風土記に「玉川のメノウは火打ち石に適する」とあることから、奈良時代には、既に常陸大宮のメノウが発火石として利用されていたことがわかる。江戸時代には「水戸火打ち」と呼ばれ、マッチが普及してからも、携帯火打ち用具に使われた。江戸時代の都内の遺跡から出土する火打ち石のほとんどが、常陸大宮市北富田～諸沢地域を主要産地としたメノウであることも判明している。

メノウは、またその持つ色・模様の多様性から、古墳時代前期中葉より装飾品として、特に赤色系の勾玉の原石として用いられてきた。最古の玉作りは、島根県出雲玉造跡と共に茨城県土浦市烏山遺跡・八幡脇遺跡で確認されている。さらに千葉県文化財センターの研究などによると、常陸大宮市諸沢地域のメノウは、矢じり等の石器として福島県や関東各県の縄文時代の遺跡から出土していて、大昔から貴重な石材として広く流通・活用されていた。

メノウは、玉髓の一種でその化学組成が石英 SiO_2 と同じことから、石英の一種と考えられていた。しかし、現在では石英とモガナイト（シリカ鉱物の準安定相で、石英の右水晶の部分構造と左水晶の部分構造を特定の結晶面で繰り返したものに相当する鉱物）の微小結晶が網目状に集まり、超顕微鏡的小孔を持つケイ酸の緻密集合体と定義されている。色と組織は、一般的に含まれる不純物により種々異なり、比重2.55～2.63で、硬度6と硬い鉱物である。

茨城県常陸大宮市諸沢地区のメノウを試料とした。薄片の顕微鏡写真（1）には、微粒子の集合、扇などの構造が見られる。扇は、細かい結晶粒子が一方向に伸びて、繊維の束のように集まって形作られていることがわかる。また扇は互いにぶつかり合いながらも成長し、緻密な組織を作り上げている。さらに、隙間は細かい結晶で埋められており、そのためにメノウの硬さが生じていると考えられる。

3. 新たな薄片の作り方：乾式研磨法

メノウの薄片を作製したこれまでの方法は、試料の切断・研磨に際して水等の潤滑剤を必要とするために、湿式研磨法と呼ばれている。では、水に触れると膨らんでしまう粘土を薄片にすることはできないのだろうか。産業技術総合研究所・地質情報基盤センター・地質標本館・地質試料調製グループにて開発された「研磨に際して一切の潤滑材を用いない乾式研磨法」がこれを可能にした²⁾。乾式研磨法は以下の手順で行う¹⁾。

- ① ダイヤモンド粒子を焼結した帯状の刃を装着した電動バンドソーにて、試料を切断する。切断刃と試料との間に発生する摩擦熱を抑えるために、手押し切りする速度をコントロールする。
- ② 切断した試料をスライドガラスに貼り付けるために、まず一面を研磨する。研磨には、耐水研磨紙を可変型自動研磨機の盤上に貼り、冷却液などの液体を使用せずに研磨する。耐水研磨紙の番砥は、その粗いものから順次細かいものを用いる。
- ③ 常温硬化型のエポキシ系樹脂（2液混合）を用いて、試料をスライドガラスに貼り付け、40℃の乾燥条件で固化させる。
- ④ スライドガラスに接着した試料の厚みを約1mmになるように、①で用いた電動バンドソー

で切断する。

- ⑤ スライドガラスへの接着面を、②と同様に耐水研磨紙で研磨する。仕上げは、エタノールによってペースト状にした粒径 1 μm の酸化アルミニウム粉末を塗布・含浸・乾燥させた研磨クロス上で行う。
- ⑥ スライドガラス上の試料面に、UV 硬化樹脂でカバーガラスを貼り付けて、試料を保護する。

この乾式研磨法を用いて、新鉱物として発見されて以来50年の間、薄片作製が不可能とされていた土壤中のゲル状物質・イモゴライトの薄片作製などに成功している。

ここでは、水に対して膨潤する性質を持つ粘土鉱物モンモリロナイトを主成分とする物質・ベントナイトの薄片作製を紹介する³⁾。ベントナイトは、その膨潤性・溶液のゲル化などの性質から、掘削泥・土木用止水材・鋳物砂・猫砂（トイレ砂）などの土木・窯業分野などで多量に用いられている。

山形県西村山郡大江町の月布鉱山（クニマイン株式会社）のベントナイト鉱床から採取したブロック（約10cm x 5 cm x 5cm 程度の不定形）を試料とした（[図2](#)）。このベントナイト鉱床は、新第三紀中新世後期（10 Ma程度）の硬い頁岩中に何層にも挟まれた火山ガラス質凝灰岩が続成作用により変質したものである。この試料は、細粒の黄鉄鉱を含むため暗青灰色を示している。仕上がった薄片は、従来の湿式研磨法とは異なり、薄片の作成時の熱の影響を受けず、試料そのものの天然の色調を保持すると共に、ベントナイト生成時の姿、すなわち鉱床の成因・生成過程を反映したと考えられる流離構造を示している（[図2](#)）。

4. ヘビ花火の薄片作り

ベントナイトより取り扱いにくい、もろくて、壊れやすいものの薄片は作ることはできるのだろうか。そこで、軽く触っただけでも壊れてしまう「へび花火」に注目した。へび花火は、直径1cm、高さ1cm程度の円筒形の星（花火玉の中にある火や煙を出しながら燃える火薬の粒のことを言う）であり、星に火をつけるとへびのような黒い燃えカスが伸びてくる（[図3](#)）。蛇玉ともよばれる。

へび花火の起源は、19世紀前半に世界で初めて無機化合物から有機化合物の尿素を合成し、「有機化学の父」と呼ばれるフリードリヒ・ヴェーラーが見出した「乾燥させたチオシアン酸水銀を加熱した時の反応」にはじまると言われている。この加熱時に黒いへびのように伸びる反応を用いることにより商品名「ファラオの蛇」が販売され、人気のおもちゃとなった。現在は、石炭ピッチを硝酸でニトロ化したものを酸化剤とともに糊で成型して作られている。

現在においても、へびが伸びてくる原理は、まだ十分には解明されておらず、膨張黒鉛に似た反応とも考えられている。膨張黒鉛は、炭素ナノシート間に硝酸などの酸が吸収された物質で、加熱により酸の気化反応が起こり、炭素ナノシートが押し広げられ膨張すると解釈されている。

市販のへび花火を着火後、十分に膨張した黒いへび状態を得て、これを薄片用の試料とした。へび花火のようにもろくて、壊れやすい試料は、薄片作製には樹脂に包埋して補強する必要がある。今回は低粘性のアクリル系樹脂を試料に浸透させ包埋した。但し、大気中ではへび花火の空隙に残る空気が邪魔して樹脂が十分に試料内部に浸透できない。そこで真空装置を用いて、大気

中より減圧することにより、試料の空隙に残る空気を排出しながら樹脂を浸透させた。真空処理後、試料と包埋樹脂の入った容器を真空装置から取り出し、容器ごと常温で硬化させた。硬化した後、上に説明した乾式法をもちいて切断・接着・研磨した。

着火した後、伸びながら少しずつねじれて、らせん状の構造になり、へびのようにうねうねとのびる様子を直接見る事ができた(図3)。薄片には黒い複数の細い枝が重なり合って、空隙を多数作ると共に、全体として太い幹に成長している様子が見える。網目構造の生成とガスの発生が同時に起こることでへびのような形になるとも思われる。

5. まとめ

材料の特徴づけには、マルチスケールでの観察が重要である。近年は、FIBとTEMの組合せにより、ミクロスケールでの観察が可能となっている。材料内部の観察法としては、非破壊であれば、3次元X線・中性子透過法、3次元NMR法等がある。一方、最終的には材料を破壊してしまうが、FIB-SEM-EDXによる構造・組成の3次元観察法等がある。

本報告の薄片作製と光学顕微鏡観察との組合せは、古くて新しいマクロスケールでの観察である。壊れやすい材料等、従来観察が不可能もしくは困難と考えられていた材料の内部観察に対応できると期待している。

なおここで紹介した薄片作製の匠の技は、参考資料に示した「産業技術総合研究所・地質情報基盤センター・地質標本館・地質試料調製グループのHP」⁴⁾、「日本薄片株式会社HPのギャラリー」⁵⁾で見ることができる。また地質標本館2階では、岩石薄片等の実物に接することができる。是非、匠の技に触れてください。

参考資料

- 1) チームG編 (2014) 薄片でよくわかる岩石図鑑、誠文堂新光社、東京
- 2) 大和田朗・佐藤卓見・平林恵理 (2013) 新開発乾式法による脆弱岩石試料の薄片・研磨薄片製作、地質調査研究報告, 第64 巻, 第7/8 号, p. 221 – 224.
- 3) 山田裕久・大和田朗・平林恵理・佐藤卓見・鈴木正哉 (2016) ベントナイトの光学顕微鏡用薄片の作製、粘土科学、55、1-4。
- 4) 国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質情報基盤センター・地質標本館・地質試料調製グループ (https://unit.aist.go.jp/gsc/ja/offices/mus_gsp_thinsection.html)
- 5) 日本薄片株式会社HP ギャラリー (<https://nihonhakuhen.co.jp/gallery.html>)

著者紹介

山田裕久

CROSS 総合科学研究センター総合科学研究員、AIST 客員研究員、NIMS 名誉研究員

大和田朗

NIPPAKU 代表取締役

中村真佐樹

NIMS、電子・光機能材料研究センター、電子セラミックスグループ、主任研究員

武田良彦

NIMS、エネルギー・環境材料研究センター、水素材料分野、水素関連材料グループ、グループリーダー

平林恵理

AIST、地質情報基盤センター、地質標本館室、地質試料調製グループ、グループ員

佐藤卓見

AIST、地質情報基盤センター、地質標本館室、地質試料調製グループ、グループ長

鈴木正哉

AIST、地質調査総合センター、地圏資源環境研究部門、副研究部門長

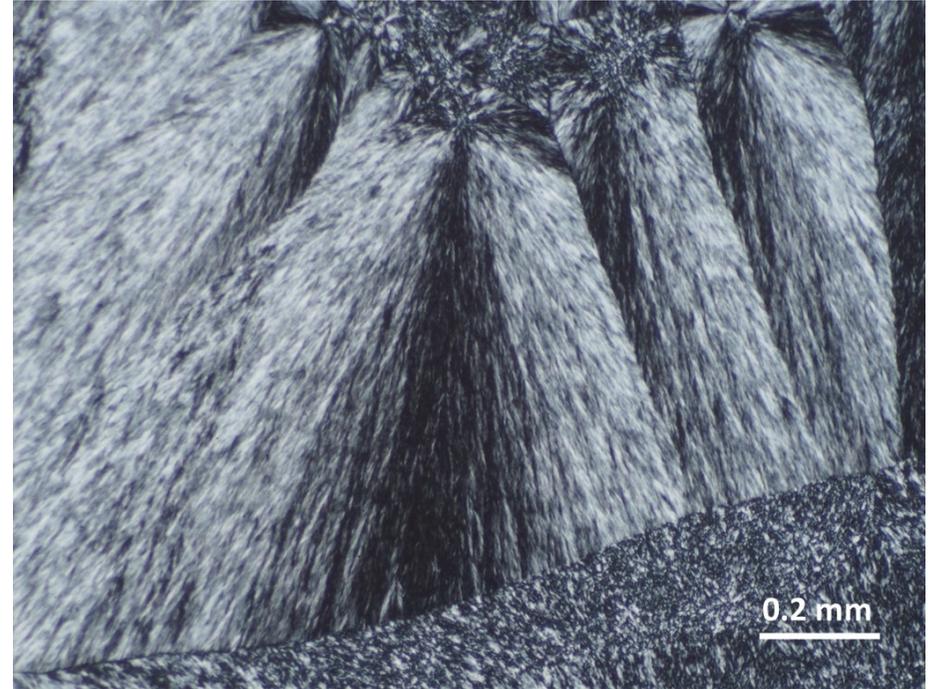


図1 メノウ原石とその薄片の偏光顕微鏡写真(直交ニコル(2枚の偏光板を使用)での撮影)

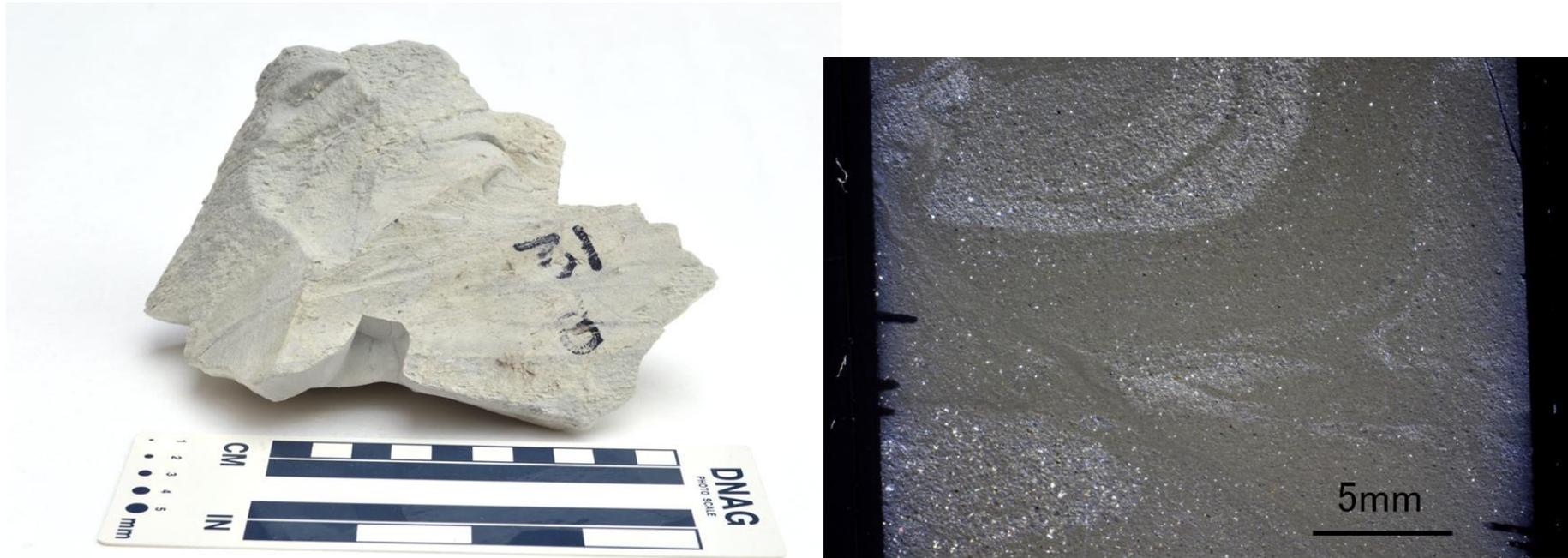


図2 ベントナイト原石とその薄片の偏光顕微鏡写真
(直交ニコルでの撮影)³⁾

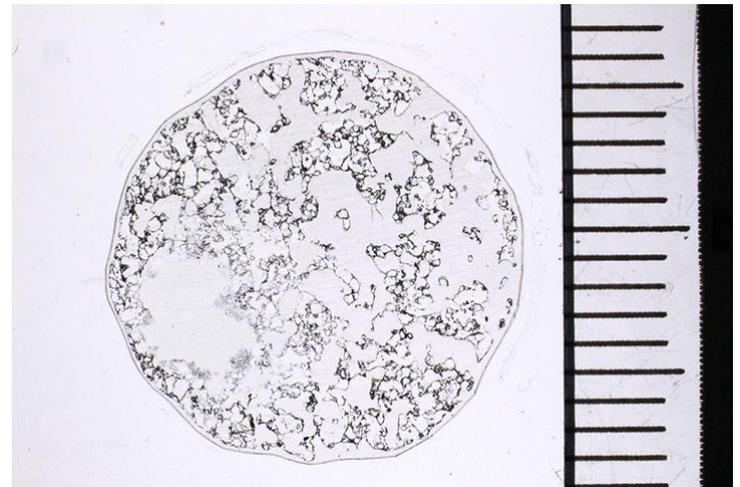
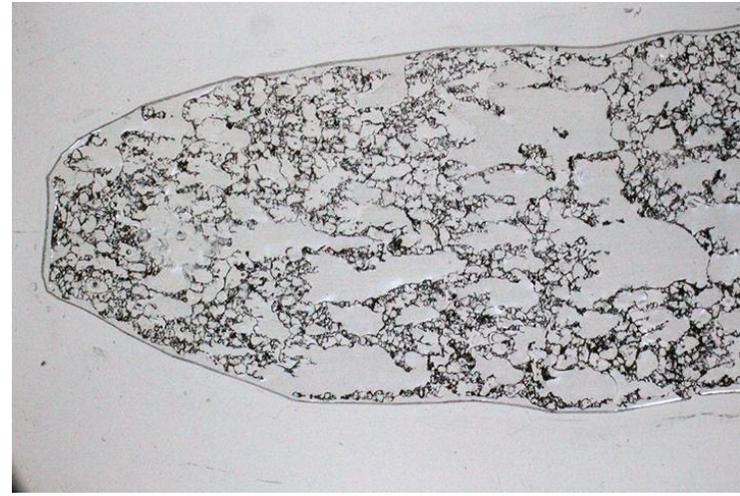


図3 着火後のヘビ花火とその薄片の偏光顕微鏡写真
(直交ニコルでの撮影)