

# サイエンスの舞台裏 —石が語る，石と語る—

高橋 雅紀<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

とかく敷居の高い地質学を多くの方に楽しんでもらうためには、何らかの工夫が必要です。難解な数式や化学記号、専門用語をふんだんに使ったパネルだけで、一般の方に研究内容を理解してもらうことはほとんど不可能でしょう。そもそも、パネルの前に立ち止まってくれることすらありません。私はここ10年ほど、地学教育や地質学の普及活動に関わっていますが、一般の方と会話を始めることすら難しいことも少なくありません。そのような悪戦苦闘の中で得た、ひとつの試みを紹介したいと思います。

さまざまな科学普及イベントに参加している過程で、地質学の普及活動に活用できそうなアイデアに巡り会うことがあります。科学普及イベントで偏光板を使った万華鏡作りが大人気であることを知ったのは、2年ほど前でした。私は手作りの地質アナログ模型をたくさん製作していて、研究所の一般公開などで活用しています。模型はたくさんあるので、毎年研究所の若手研究者を募って、展示解説を手伝ってもらっています。あるとき、声をかけた若手研究者から、「以前イベントで体験した、偏光板万華鏡を一般公開で挑戦してみたい。」と言われ、初めて偏光板万華鏡のことを知りました。実際に現物を見せてもらった瞬間、そこからの展開（設計図）が脳裏に浮かびました。

偏光板万華鏡がいくら子供達に人気でも、地質学と何らかの関係が組み上げられなければ、地質学の普及活動に採用できません。なので、興味深いアイデアを見聞きしても、どうやって地質学と結びつけたら良いのか、悩むこともしばしばです。普及活動の目的は地質学の楽しさやロマンを感じ取ってもらうことなので、地質学に関連した内容に仕上げる必要があるのです。偏光板万華鏡が岩石薄片観察の疑似体験につながることは、地質研究者ならすぐ思いつくでしょう。さらに、地質に関心の高かった宮澤賢治の文学世界とつないでいけば、子供から大人まで楽しむテーマになると確信しました。それでは早速、偏光板万華鏡の作り方を紹介します。皆さんも是非作ってみてください。

## 2. 偏光板万華鏡キットの作り方

科学普及イベントで多くの来場者に偏光板万華鏡を楽しんでもらうためには、いくつかの条件があります。まず、偏光板万華鏡キットがある程度安価であること。そして、大量のキットを準備できることです。一人分(1キット)の材料は、紙コップ2個と偏光板2枚(直径5cm)、そしてセロハンテープを貼るためのプラスチック透明板(直径5cm, 0.2mm厚)です(第1図)。このうち、金額的に大きいのは偏光板です。その他、実際に偏光板万華鏡を組み立てる際には、セロハンテープとハサミが必要です。セロハンテープのカッター台とハサミは一度用意すればよく、消耗品のセロハンテープは大した金額になりません。

試行錯誤を繰り返し、偏光板万華鏡キットの製作手順は以下のようにになりました。紙コップは210mLの無漂白原紙使用の紙コップを使います。2つの紙コップを重ねて別個に回す際に多少滑りが悪いのですが、紙コップの中を覗いたとき内側が暗くなるので、無漂白の紙コップを使用



第1図 偏光板万華鏡キットの材料と道具。

1) 産総研 地質調査総合センター 研究戦略部

キーワード：アウトリーチ，地質学，体験型講座，普及教育

しています。同様の紙コップには 150 mL と 270 mL のサイズのものもありますが、150 mL のサイズの紙コップは底の直径が 47 mm なので使用しません。後述するように、偏光板を円形にくり抜く際にスクイーズパンチを使用しますが、その直径が 5 cm なので、底の直径が 52 mm の 210 mL の紙コップを使います。210 mL の紙コップは、50 個入り 1 セットで 250 円ほどですので、1 セット分(紙コップ 2 個)で 10 円程度です。270 mL の紙コップの底の直径も 52 mm ですが、若干値段が上がります。

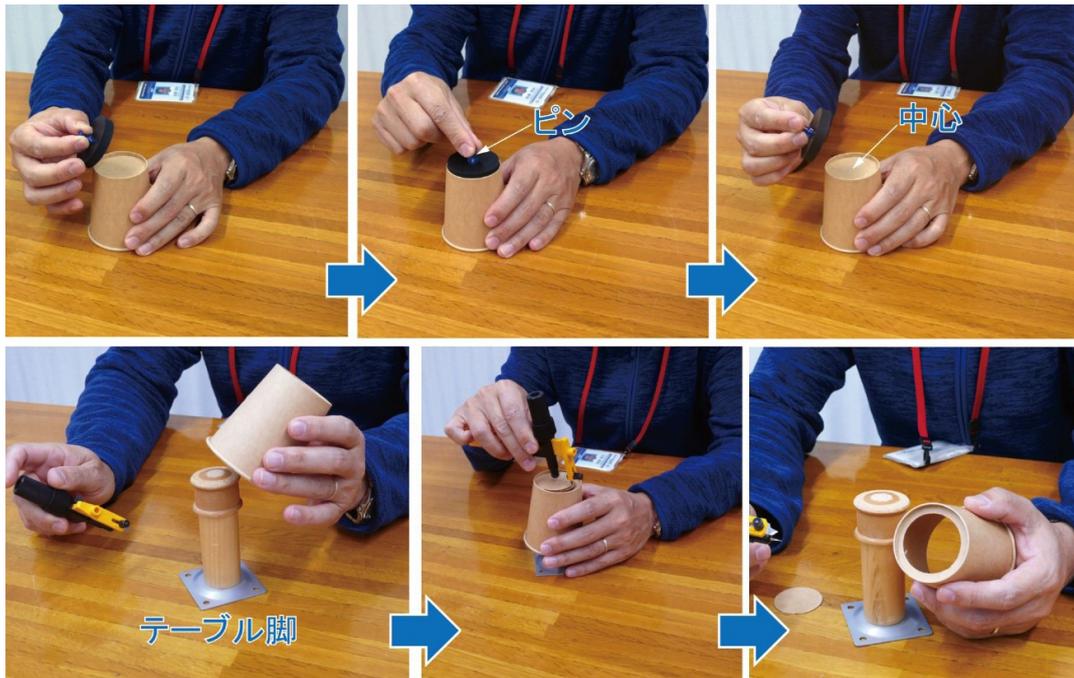
まず、紙コップの底を丸く(直径 4 cm)くり抜きます。紙などを円形に切り抜くためには、ホームセンターなどで販売されているコンパスカッターを使います。コンパスカッターの幅(半径)を 2 cm に合わせて紙コップの底をくり抜くわけですが、紙コップを裏返してそのままくり抜こうとすると、コンパスカッターの中心の針が紙コップの底を突き抜けてしまい、丸く切り抜くことができません。そこで、ホームセンター等で販売されているテーブル脚(短いもの)にテーブル脚ゴムを被せ、ひっくり返して使います。このテーブル脚に紙コップを上から被せれば、コンパスカッターを使って簡単に底をくり抜くことができます。ただし、その前に、コンパスカッターの回転針を刺すため、紙コップの底の中心の位置を決めなくてはなりません。紙コップの底の中心に、簡単に印をつける道具も作りました。

ホームセンター等で販売されている、直径 5 cm のゴム材を使います。ゴム材は、厚さは 9 mm のものを使いま

す。ゴム材の中心を決めるために、まずコンパスカッターを使って、適当な厚紙から直径 5 cm の円をくり抜きます。切り抜いた厚紙をゴム材にぴったり重ね、厚紙の中心の穴に合わせてピンを垂直に刺します。そして、一旦ピンを抜き取って反対側から刺しなおし、ゴム材の裏側からピンの針がわずかに出ている状態にします。

ピンを刺した直径 5 cm の円形のゴム材を、直径 52 mm の紙コップの底にはめ込み、少し強く押しつけると、ゴム材の裏側から突出した画びょうの針が紙コップの底に小さな穴をあけます(第 2 図)。このようにして、紙コップの底の中心に印をつけて、コンパスカッターを使ってくり抜けば、キットの製作過程の前半は完了です。

つぎは、紙コップの底に貼り付ける、偏光板のくりぬき作業です(第 3 図)。直径 5 cm の円形にくり抜くことができるスクイーズパンチという道具が、ペーパークラフトを専門としているお店から購入できます。私はネットで見つけたお店から、Fiskars(フィスカース)製のスクイーズパンチのラウンド 2"(50 mm)を購入しました。価格は 3500 円ほどです。また、偏光板も大量に使用するので、ケニス製の偏光フィルム 10 枚セット(3000 円前後)をネットで購入しています。こちらはサイズが 124 × 124 mm なので、直径 5 cm の円盤を 5 枚くり抜くことができます。偏光板万華鏡には円盤状の偏光板を 2 枚使用するので、1 キットあたり 120 円ほどかかります。紙コップ代等を入ると、1 キットあたり 130 ~ 140 円になります。



第 2 図 偏光板万華鏡キット(紙コップ)の底のくりぬき方。



第3図 偏光板万華鏡キット(円板)のくり抜き。

サイズが80×80mmのアーテック製偏光フィルム(10枚セット)は1000円ほどで購入できますが、偏光板の直径が4cmとなるため、紙コップの底の穴は直径を3cm程度にする必要があります。この場合は1キット分で50円ほどになるので、紙コップ代を含めても60～70円とかなり材料費を抑えられます。Fiskars(フィスカース)製のスクイーズパンチのラウンド1.5"(38mm)は、3000円ほどで購入できますし、紙コップも150mLのもので十分でしょう。いずれにせよ、最初に直径5cmの偏光板を使うか、あるいは直径4cmのサイズを採用するか決めてから、材料と道具をそろえる必要があります。

材料がそろったら、早速偏光板のくりぬき作業に取りかかります。私が使用しているのは124×124mmの偏光板なので、一枚から直径5cmの円盤状の偏光板を5枚くり抜くことができます。位置合わせを上手にすると、円盤状の偏光板を5枚ともきれいにくり抜くことができますが、大抵は多少円周の端が直線状になってしまいます。紙コップの底の穴は直径が4cmで、偏光板とは5mmほどの重なりがあるので、上手にくり抜けなくても問題はありません。

偏光板のくり抜き作業が終わったら、底をくり抜いた紙コップに偏光板を貼りつけます。紙コップの裏側(下側)から糊をつけて、円形の偏光板を貼りつけます。偏光板には両面に薄い透明フィルムが張り付いているので、それらを剥がしてから紙コップに貼りつけます。剥がした透明フィルムは、後で使用するので捨てないでください。糊が十分に乾けば、偏光板万華鏡キットはほぼ完成です。

最後に準備しなければならないのは、透明のプラスチック円盤です。イベントではこの透明板にセロハンテープを適当に貼りつけ、はみ出した部分をハサミで切り取って、2つの紙コップ(偏光板)に挟んで観察します。私が使用しているのは0.2mm厚の透明プラスチック板で、B4サイズで1枚100円ほどです。直径5cm用のスクイーズ

パンチを使えば、1枚から30枚以上の透明円盤をくり抜くことができます。1キットで2枚使ったとしても、材料費は数円ほどです。

### 3. 偏光板万華鏡の作り方

キットの準備ができましたので、実際に偏光板万華鏡を作ってみましょう。実際のイベントの来場者に対して行っている、作業手順で説明します。まず、偏光板を貼りつけた紙コップ2つを、「釣り用のサングラスなどに使われている偏光板を、くり抜いた紙コップの底に貼り付けてあります。」と説明して手渡します。つぎに紙コップを重ねた状態で中を覗いてもらい、片方の紙コップを回転させて、明るくなったり暗くなったりすることを体験してもらいます。

偏光板の特徴を体験した後、透明のプラスチック円板を渡します。最初はプラスチック円板をそのまま紙コップの間に挟み、先ほどと同じように、片側の紙コップを回転してもらいます。この段階では、紙コップの中は明るくなったり暗くなったりするだけです。つぎにプラスチック円板を取り出し、今度は円板の片面にセロハンテープを適当に貼ってもらいます。セロハンテープは指で縦に裂いて幅を変えたり、斜めに裂いたりして貼った方が、仕上がりに変化があってきれいに見えます。セロハンテープを二重ないし三重に貼りつけたら、はみ出した部分をハサミで切り取ります。プラスチックの円周部分も2mm程度切り取ると、円板が紙コップの中に挟まってとれなくなることはありません。紙コップの底の偏光板は直径4cmの円形なので、透明板の切り取り部分が多少いびつでも問題ありません。

はみ出した部分の切り取りが終わったら円板を2つの紙コップの間に挟み、明るい方に向けてコップの中を覗いてもらいましょう。初めて体験した人は、必ず「ワァー、



第4図 偏光板万華鏡の世界.

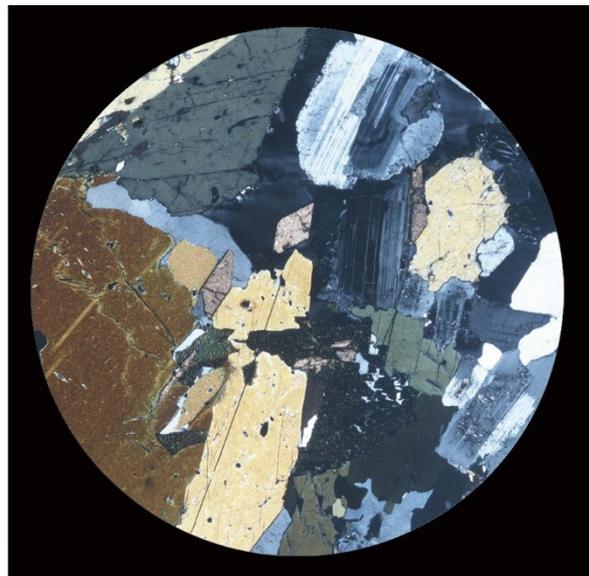
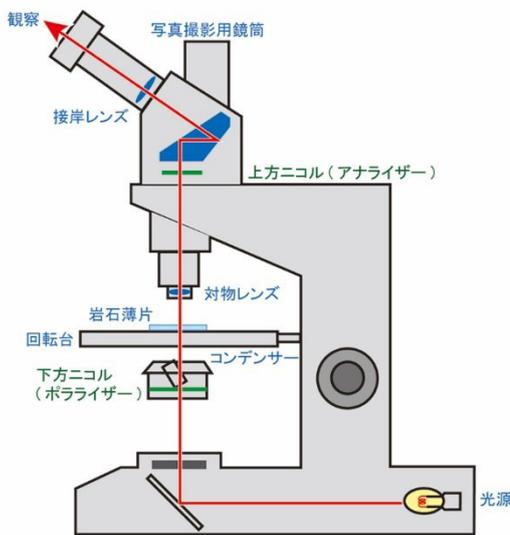
きれい!」と歓声を上げるはずで(第4図). 今度は隣の人のプラスチック円板を借りて, 2枚を一緒に紙コップの間にに入れて観察してもらってください. セロハンテープの重なりが増えたので, もっと細かい複雑な万華鏡になるはずで. もちろん, セロハンテープをさらに貼り足すこともできます. 偏光板万華鏡の美しい世界をしばらく楽しんでもらったら, つぎは地質の世界へと案内します.

#### 4. 岩石薄片と宮澤賢治

最初は, 偏光板万華鏡が岩石薄片の偏光顕微鏡観察の疑似体験であることを説明します. 地質学を専門とする学科に進学した学生は, 火成岩岩石学実習などの授業(実験)

で, 必ず岩石薄片の偏光顕微鏡観察を行います. 私も大学2年(教養部)の地学実験で, 岩石薄片の偏光顕微鏡実習を行いました. 岩石薄片とは, 花崗岩などの岩石を岩石カッターで薄い板状にカットし, 片面を研磨してしてスライドガラスに貼りつけ, 反対側を岩石が透過するくらいまで研磨したものです. 研磨中にちょっと油断すると岩石がなくなって, ただの磨りガラスになってしまいます. 岩石薄片の観察は, 岩石の種類を決めたり, 岩石の成り方を調べたりするための最も基本的な作業です. 火成岩だけでなく, フズリナ化石が入っている石灰岩や, 変成岩, 堆積岩なども岩石薄片にして観察します.

第5図は, 偏光顕微鏡のしくみと偏光顕微鏡で見た花崗岩の薄片写真です. 偏光顕微鏡とは, 観察する岩石薄片



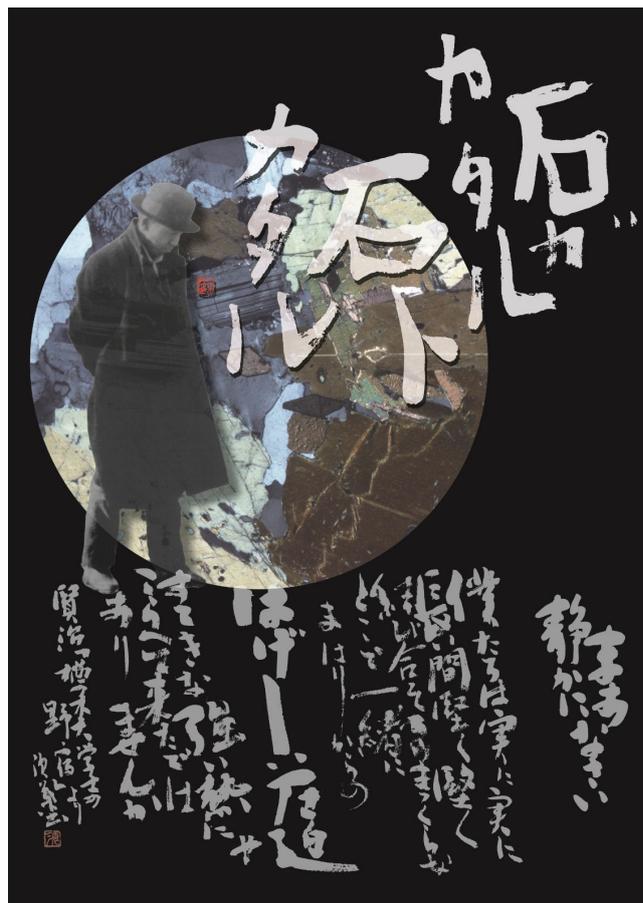
第5図 偏光顕微鏡のしくみ概念図 (<http://www008.upp.so-net.ne.jp/earth-sc/kennbikyou.pdf> 閲覧日: 2020年2月7日を元に作成; 左) と, 偏光顕微鏡で見た花崗岩の岩石薄片(右).

を取り付ける回転台を挟むように、2枚のニコルと呼ばれる偏光板が取り付けられている透過型の顕微鏡です。岩石薄片試料の下側を下方ニコル(ポラライザー)、上方を上方ニコル(アナライザー)と呼び、上下のニコルは通過できる光の振動面が直交するように配置されています。下方ニコルは固定され、上方ニコルのみ出し入れが可能です。

上方ニコルを入れていない状態(オープンニコルという)では、光源から発した光は下方ニコルを通る際、ある一方向の面で振動する光だけが通過します。そのため、オープンニコルでは、自然光ではなく無色の偏光サングラスをかけて岩石薄片を見ている状態です。一方、上方ニコルを入れた状態をクロスニコルといいます。上方ニコルの光の振動面は下方ニコルと直交しているので、クロスニコルで回転ステージに試料を置かなければ、視野は真っ暗になります。ところが、岩石を構成する鉱物はさまざまな光学的性質を持っているため、光学的に等方体でない鉱物を通過した光は、2方向に分散(偏光)して進みます。その結果、クロスニコルでは鉱物ごとにきれいな色(干渉色)がついて見え、ステージを回転させると色が変わったり(多色性)、色が消えたり(消光)します。これらの性質を利用して鉱物名を決定(同定)し、さらに岩石の組織や鉱物の組み合わせによって、岩石名を決定することができるのです。

ところで、塩の結晶がきれいな幾何学的形態を示すように、鉱物はその鉱物特有の形を有しています。岩石薄片の観察において、鉱物特有の形を表している場合を自形、そうでない場合を他形たけいといい、中間的なものを半自形じけいといいます。岩石の中の鉱物が自形か他形かによって、ドロドロに溶けたマグマから、どのような順番で結晶が誕生し成長してきたのかを推定することができます。例えば、マグマの温度が徐々に低下し最初に結晶化した鉱物(固相)は、周囲はまだ液相なので、鉱物特有の形を保持しながら成長することができます。マグマの温度が下がっていったら鉱物がたくさん誕生し、鉱物と鉱物の隙間しか液相が残っていないと、最後に結晶化した鉱物は隙間を埋めるように成長するしかありません。このように、マグマの中で早く結晶化した鉱物ほど自形になりやすいのです。実は、この岩石学的知見を使って見事な文学作品に仕上げたのが宮澤賢治です(第6図)。

岩手県の花巻市に生まれた宮澤賢治は、日本を代表する童話作家です。「銀河鉄道の夜」や「風の又三郎」、「注文の多い料理店」など多数の作品が愛読されていますが、その中に「な榎の木大学士の野宿」という短い作品があります。その一部を見てみましょう。



第6図 イベントのときに掲示している「石が語る、石と語る」のパネル。

「まあ、静かになさい。僕たちは 実に実に長い間 堅く堅く結び合ってあのまっくらな まっくらなところで一緒にまはりからののはげしい圧迫や すてきな強い熱に こらへて来たではありませんか。」

新修宮澤賢治全集 第十巻(筑摩書房)

「榎の木大学士の野宿」より

これは、宝石学の専門家である榎の木大学士が、蛋白石たんぱく(オパール)の採取のために分け入った山中での不思議な出来事を書いた短編です。2日目も収穫がなく、石切場で野宿することになった榎の木大学士は、ぼんやりとたき火を眺めながら藁の上に横になり、うとうとしていました。すると、傍らに転がっていた岩石(花崗岩)のかけらから、言い合っている小さな声が聞こえたのです。

「そんなに<sup>ひじ</sup>脇を張らないでお呉れ。おれの横の腹に病気が起るぢやないか。」

「おや、変なことを云ふね、一体いつ僕が脇を張ったね」

「そんなに張って<sup>ひじ</sup>ゐるぢやないか、ほんたうにお前この頃湿気を吸ったせいかな ひどくのさばり出して来たね」

「おやそれは私のことだらうか。お前のことぢやなからうかね、お前もこの頃は 頭でみりみり私を押しつけようとするよ。」

新修宮澤賢治全集 第十卷(筑摩書房)  
「櫓の木大学士の野宿」より

先に結晶化したホルンブレンさん(角閃石：ホルンブレンド)の脇腹に、後から隙間を埋めるように結晶化したバイオタさん(黒雲母：バイオタイト)の肘が当たっていると、鉱物同士が言い争っているのです。それを、オーソクレさん(正長石：オーソクレーズ)が、「まあ、静かになさい・・・」と仲裁しているのです。ちなみに登場人物は、ホルンブレン(角閃石：hornblende)、バイオタ(黒雲母：biotite)、ジッコ(磁鉄鉱：magnetite)、オーソクレ(正長石：orthoclase)、プラジヨ(斜長石：plagioclase)、クォーツ(石英：quartz)、コングロメレート(礫岩：conglomerate)です。宮澤賢治は、岩石学的知識に基づいて鉱物を巧みに擬人化し、文学的感性で見事な作品に仕上げたのです。“石っこ賢さん”と言われる所以です。

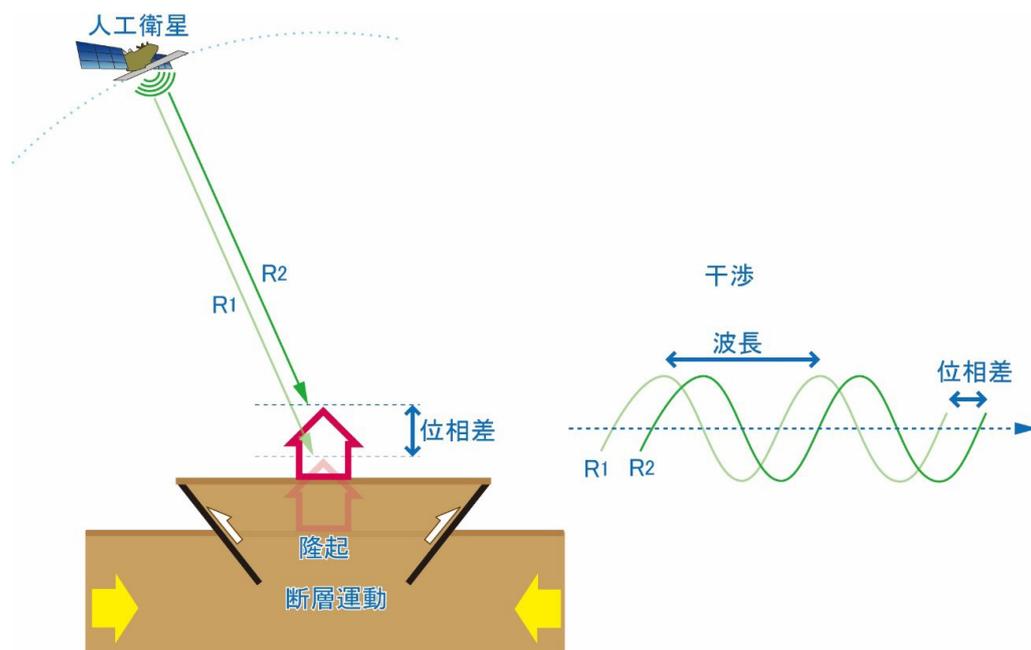
もちろん、私も二十歳の頃、大学の教養課程の地学実験で、岩石薄片の偏光顕微鏡実習を行いました。そして、顕微鏡の中の美しい世界を、丁寧にスケッチしました。しかし、鉱物の声など、全く聞こえませんでした。宮澤賢治の感性の鋭さをつくづくと感じます。

## 5. 宇宙から測る地殻変動

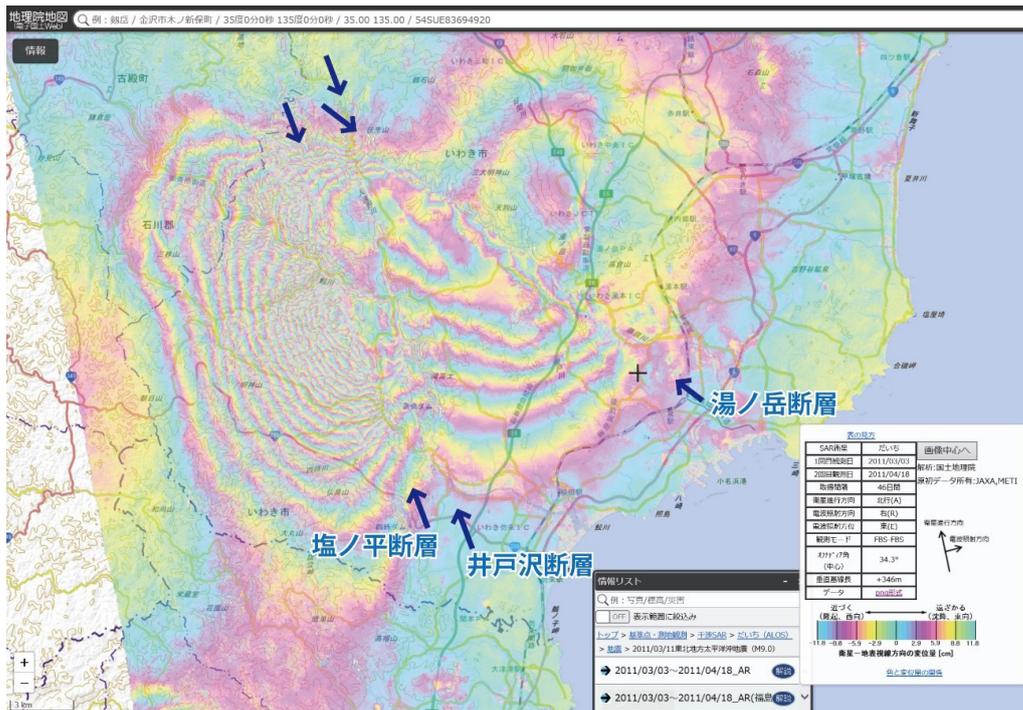
さて、偏光板万華鏡の組み立てから始まって、岩石薄片の偏光顕微鏡観察の疑似体験、そして宮澤賢治の文学世界へとつないでいきました。偏光板万華鏡を、何か他のテーマにも活用できないかといろいろ考えていました。そのひとつを紹介しましょう。

大きな内陸地震が発生すると、最近では干渉 SAR (InSAR：Interferometric Synthetic Aperture Radar) の画像がテレビのニュースなどに登場するようになりました。人工衛星などから観測する対象物(地球)に電波を発射し、反射された電波をアンテナで観測すると、電波の強度によって対象物の大きさや表面の性質が、電波が戻ってくるまでの時間によって対象物までの距離が分かります。アンテナの大きさが大きいほど分解能は上がりますが、人工衛星に搭載できる大きさには制約があります。そこで、人工衛星が移動しながら電波を送受信し、仮想的に大きな開口を持ったアンテナと等価な画像を得る技術が SAR (合成開口レーダー) です。

電波は波なので、定期的に繰り返す「山」と「谷」からなります。観測された情報には、連続する波のある位置情報(位相)が含まれています。人工衛星から地球の同じ場所に対して2回 SAR を観測し、それらを干渉させて差をとると、わずかな距離の差を検出することができます(干渉 SAR という；第7図)。通常のレーダー観測によって距



第7図 干渉 SAR のしくみ。



第8図 2011年4月11日の福島県浜通りの地震に伴う地殻変動を表す干渉SARの画像。国土地理院のホームページより(断層名は筆者が加筆)。(https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/gsi\_sar\_ALOS\_seika.html 閲覧日：2020年2月7日)

離を測定する場合、精度は数 m 程度ですが、干渉 SAR では cm レベルで差を測定することが可能です。人工衛星「だいち 2 号」の SAR レーダーの波長は約 24 cm なので、地震などの地殻変動が発生すると、12 cm ごとに繰り返す干渉 SAR の画像が得られます。縞模様が多く繰り返すほど、地殻変動が大きいことが分かります。

第8図は、2011年3月3日と4月18日の観測によって得られた干渉 SAR の画像です。2011年の4月11日に、マグニチュード7.0の地震が福島県浜通りで発生しました。震源の深さはおよそ6 km と非常に浅く、福島県の浜通りや中通りのほか、茨城県の鉾田市で最大震度6弱を記録しました。この地震は東北東-西南西方向に張力軸を持つ正断層型の地震で、一ヶ月前の3月11日に発生した、東北地方太平洋沖地震に伴う誘発地震と考えられています。干渉 SAR の画像を見ると、これまで知られていた井戸沢断層と湯ノ岳断層に沿って地面の変位の不連続が認められ、両断層が活動したことが示唆されました。井戸沢断層に沿っては明瞭な複数のリニアメントが認められ、この地震ではそのうち塩ノ平断層しおのひらに沿って変位の大きい地震断層が出現しました。

このように、人工衛星による SAR の観測によって、宇宙から地殻変動が調べられています。SAR の観測によって、非常に広い範囲の地殻変動を知ることができます。も

ちろん、実際に現地に行き、詳しい地表調査を行う必要があります。地殻変動の活発な日本列島では、あらゆる手段を駆使して地殻変動が調べられ、防災に役立つ研究が進められているのです。

さて、前置きが長くなってしまいました。ここで第8図の干渉 SAR の画像を見てみましょう。濡れたアスファルトの上に垂れた油の薄膜が作る虹色縞模様のようなですね。それでは干渉 SAR を、偏光板万華鏡を使って疑似体験してみましょう。偏光万華鏡キットを製作する過程で、偏光板をスクイーズパンチで円盤状にくり抜きました。1キットで円板状の偏光板を2枚使うので、偏光板の両面に貼られている円形の透明フィルムは4枚とれたはずですが、実はこの透明フィルムを使うと、干渉 SAR を疑似体験することができるのです。

まずこの透明フィルムを1枚、偏光板万華鏡の紙コップの間に入れて見てみましょう。片側の紙コップを回転させると、明るくなったり暗くなったりしますが、とくに色は付いていません。セロハンテープを貼る前の透明プラスチック円板のときと同様です。透明フィルムの分子構造が等方的なので、干渉色を示さないからです。

それでは、今度は透明フィルを取り出して、破れないようにゆっくり引き延ばしてみましょう(第9図)。この透明フィルムはちょうど良い柔らかさなので、結構引き延ば



第9図 透明フィルムを引き延ばして、偏光板万華鏡で覗いてみると・・・

することができます。この作業によって、分子構造は引き延ばされた方向に異方性をもつこととなります。つまり、地殻変動(地震)によって、地面が歪んだと考えましょう。そして、引き延ばされた透明フィルムを紙コップの間に挟んで覗いてみると・・・油膜のような、カラフルな縞模様が見えますね。地殻変動によって歪んだ地球の表面を、指で引き延ばして歪ませた透明フィルムで疑似体験することができました。難しい干渉 SAR の研究も、このような実験を通じて体感すれば、楽しく学ぶことができます。

## 6. おわりに

偏光万華鏡を使った科学から文学までの体験コーナー、如何でしたでしょうか。楽しい科学実験イベントでは、いろいろな企画が目白押しです。ただし、地質調査総合センター(GSJ)のアウトリーチ活動は地質学の普及を目的としているので、地質学と何らかの接点が必要です。毎年開催する地質情報展や研究所の一般公開はもちろん、外部機関から依頼された科学イベントでも、あくまでもGSJの研

究分野や研究成果の普及を行っています。

もちろん地質学そのものは、一般の方だけでなく地球物理学など周辺分野の研究者にとっても非常に難解な学問分野です。その敷居をできるだけ低くし、研究の本質を分かりやすく的確に伝えることが、アウトリーチ活動に求められています。時に、“伝えること”は、研究そのもの以上に難しいことも少なくありません。言い換えるならば、アウトリーチ活動には、研究とは別の能力(スキル)が必要なのです。

私はここ10年ほど、地学教育とアウトリーチ活動に力を入れています。それは、自身が見いだした知見を、他の人にも伝えたい心の欲求だからです。私が感じた興奮の10%でもいいから、他の人にも感じてもらいたいと思うのです。そのためには、研究者と一般の方の間の敷居を下げる工夫が必要です。そのアイデアを、私はホームセンターや100円ショップで探しています。地球は巨大なアナログなので、その本質は必ず簡単なアナログ模型で再現できると信じて探しています。



### 高橋雅紀 (たかはし まさき)

自身の研究成果をアナログ模型にして再現し、地学教育や地質学の普及に活用しています。2017年に発表した「日本海溝移動説」は、私が製作したアナログ模型が解明し、私はただその場に立ち会っただけ。アナログ模型のすごさを実感した瞬間でした。人生の時間は限られているので、常に“本質”と“枝葉”を意識しています。“本質”を探るには、デジタルよりもアナログの方が優れていると確信しています。

TAKAHASHI Masaki (2020) The back stage of the science - Story a stone tells, story talked with a stone-.

(受付：2019年12月5日)