

溶岩流の再現実験と火成岩の観察の教材開発と教育実践

隅田祥光(数理情報講座地学教室)

森 悠太郎(中学校教育コース理科専攻)

熊谷綾香(中学校教育コース理科専攻)

本木和幸(教職実践専攻教科授業実践コース)

山口未歩(中学校教育コース理科専攻)

青山大樹(中学校教育コース理科専攻)

1. はじめに

火山やマグマは、小学校から高等学校の理科において継続的に学ぶ内容であるが、火山で見られるマグマのようにして形成されるのかは、高等学校の地学基礎で初めて扱われるものである。しかし、小学校や中学校の授業で「主体的、対話的、深い学び」を実践していくなかで、マグマがどこでどのようにして形成されるのか、生徒がこのような疑問を持つことも十分に考えられる。

ここでは、小学校と中学校の学習指導要領(平成 29 年告示)における火山とマグマに関する内容を取りまとめた上で、2018 年 7 月 22 日に長崎大学教育学部で行われたサイエンスワールドで実施したロウソクの蠟を用いた溶岩流の再現実験と、火成岩の観察の実践内容と結果について報告し、小学校や中学校の理科の授業への応用の可能性について検討を試みる。なお、溶岩流の実験は熊谷と山口が担当した。火成岩の観察は本木と青山が担当した。来場者の様子は、森が観察してまとめた。

2. 火山やマグマに関する学習指導要領での取り扱い

小学校・中学校の学習指導要領(平成 29 年告示) 解説理科編での火山や火成岩についての扱いは、小学校第 6 学年の「(4)土地のつくりと変化」、そして中学校第 1 学年の「(2)大地の成り立ちと変化」にある。その内容を以下にまとめる。

小学校第 6 学年の「(a)土地のつくりと変化」では、『地層は、流れる水の働きや火山の噴火によってできること。』、『土地は、火山の噴火や地震によって変化すること。』とあり、内容の取り扱いに、

- ・『火山灰や多くの穴をもつ石が地層の中に含まれていることなどから、火山の噴火によって作られた地層もあることを捉えるようにする。』
- ・『土地の様子に着目して、火山の活動や地震による土地の変化を多面的に調べる。』
- ・『土地は、火山の噴火や地震によって変化することを捉えるようにする。そ

の際、火山の噴火によって、溶岩が流れ出したり、火山灰が吹き出したりして変化した様子を調べることが考えられる。』

と書かれている。さらに、これらの指導にあたっては、『実際に地層を観察する機会をもつようにするとともに、映像、模型、標本などの資料を活用し、』とある。そして、日常生活の関連として、『火山の噴火や地震がもたらす自然災害に触れるようにする。その際、映像、図書などの資料を基に調べ、過去に起こった火山の活動や大きな地震によって土地が変化したことや将来にも起こる可能性があることを捉えるようにする。』とある。

すなわち、これらの文面を読む限り、土や泥や砂の堆積だけでなく、火山噴火によって、火山噴出物が積み重なることでも地層が形成される。さらに、火山噴火によって、土地の形が大きく変化することや、これが自然災害につながることもあることを認識させることが学習の大きなねらいのようである。

次に、中学校第1学年の「(2)大地の成り立ちと変化」の「(ウ)火山と地震」の中の「ア火山活動と火成岩」の内容をまとめる。ここでは、まず『火山の形、活動の様子及びその噴出物を調べ、それらを地下のマグマの性質と関連付けて理解するとともに、火山岩と深成岩の観察を行い、それらの組織の違いを成因と関連付けて理解すること。』と書かれている。さらに、内容の取り扱いに、

- ・『火山については、粘性に関連付けながら代表的な火山を取り扱うこと。』
- ・『マグマの性質については、粘性を扱うこと。』
- ・『「火山」及び「深成岩」については、代表的な岩石を扱うこと。』
- ・『代表的な造岩鉱物も扱うこと』

と書かれている。さらに、『地球内部の動きに起因する最も身近な事物・現物として火山及び地震を取り上げる。』、『地下のマグマの性質と関連付けて火山活動を理解させるとともに、火成岩の組織の違いを成因と関連付けて理解させる。』とある。そして以下の文面が続く。

- ・『小学校では、土地は火山の噴火によって変化することについて学習している。』
- ・『ここでは、観察記録や資料を活用して、火山の形、活動の様子及びその噴出物を地下のマグマの性質と関連付けて理解させることがねらいである。』
- ・『マグマの性質については、粘性を扱い、粘性の違いにより噴火の様子や火山噴出物の様子も異なることを理解させる。例えば、溶岩がドーム状に盛り上がっている火山と、広く平らに広がっている火山とを比較し、岩石や火山灰などの観察をもとに、火山の形の違いをマグマの性質と関連付けて、火山の形が異なる理由が粘性と関係があるという「問題」を見いださせる。』
- ・『その際、火山が形成されるモデル実験を行い、その結果と関連付けて考察させることが考えられる。』

すなわち、これらの文面を読む限り、マグマには粘性という性質の違いがある。それが、火山の噴火様式や火山の形に大きな関連があることを認識させる

ことが学習の目標のようである。さらに、以下の文面が続く。

- ・『火山噴出物については、溶岩や軽石、火山灰などの色や形状を比較しながら観察させ、その結果をマグマの性質と関連付けて考察させる。』
- ・『その際、異なる火山の火山灰について、例えば、実体顕微鏡を用いてその中に含まれる火山ガラスや鉱物の色、形などを比較しながら調べさせる。』
- ・『火成岩については、火山岩と深成岩があり、観察を通して共通点や相違点があること、それらがそれぞれの成因と深く関わっていることを理解させる。』
- ・『ここで取り上げる火成岩は、例えば、火山岩として安山岩や玄武岩など、深成岩として花こう岩や閃緑岩などが考えられる。』
- ・『その際、火山岩には斑状組織、深成岩には等粒状組織という共通点があることや、同じ組織であっても色の違いがあることなどに気付かせる。』
- ・『また、火成岩の組織については、結晶を生成させる実験を行うなどしてマグマの冷え方と関連付けて考察させる。』
- ・『さらに、造岩鉱物を取り上げ、火成岩の色の違いは、造岩鉱物の種類や含まれている割合の違いであることに気付かせる。』

これらの文面を読む限り、まずマクロな視点での火山地形を扱う。その後、火山地形の違いは噴出するマグマの種類や性質、特に粘性に関連性があることを認識させる。次に、火山噴火の際の噴出物にはどのようなものがあるのか、またマグマが冷え固まって形成された岩石(火成岩)は、どのようなものが、どのようなつくり(組織)を持っているのか、これらについて詳しく観察してみることになっている。そして、最終的に、これらの観察結果から組織の違いがマグマの冷え方の違いによるものであること、構成要素の違いがマグマの種類の違いであることを学習し、最初に学習した火山地形とマグマの種類や性質とのリンクしていけることが、この単元の学習の大きな狙いと考えられる。

続いて、「自然の恵みと火山災害・地震災害について」という項目の中で、火山活動に関わる自然災害についての内容が以下の通りに書かれている。

- ・『資料などを基に、火山活動や地震による災害について調べさせ、火山活動や地震発生の仕組みと関連付けて理解させる。火山活動による恩恵については、地形や景観、温泉、地熱などに触れることが考えられる。』
- ・『火山災害を扱う際は、例えば、ハザードマップなどから、集落や田畑、森林などに予想される被害を読み取る学習が考えられる。』
- ・『また、噴火警戒レベルを取り上げ、火山活動の状況から、人命に危険を及ぼす火山現象などを理解させることが考えられる。』

これらは、火山活動が人類生活に及ぼす恵みと危険性の両方の側面から学習していくことにより、火山活動について学習することの実用性を身近な生活との関わりから探ろうというものであろう。

3. 本実践報告での教材化のねらいと内容

学習指導要領の内容を読む限り、まず、小学校では火山というものに着目させる。そして、火山噴火により、溶岩が流れ出したり、火山灰が吹き上がったこと、土地の様子に変化していくこと。これを認識させることが小学校の理科で求める内容なのであろう。次に、中学校に入ると、溶岩とともにマグマという用語が、突如登場する。そもそも、マグマが地表に噴出して流れ出したものが溶岩である。また、それが冷えて固まったものも溶岩とも呼ぶ。では、そもそもマグマとは何か。少なくとも、授業を行う教師がこれらの概念的に理解しておかなければ、この単元の授業をまともに行うことは出来ないであろう。さらに、中学校ではマグマの粘性と火山の地形を扱う内容に続いて、マグマが冷えて固まると、どうなるのか、何が作られるのか。すなわち火成岩や火山灰の構成要素を詳しく調べていく内容に入る。そして、これらの構成要素や組織(つくり)を認識した上で、その成因を考察してみるという学習の流れになっているようである。

本実践報告で教材を作っていくにあたり、まず、地形変化や自然災害も考慮しながら、マグマとは何かを説明した上で、溶岩が流れるとどのような地形変化を起こすか、これらの理解を補助するための溶岩流の再現実験に関する教材を作ることにした。次に、マグマが冷えて固まって作られた物質(火成岩)には、どのような種類があるのか。そして、それらはどのようなつくりを持って、何から出来ているのかを観察することができるのか。これを観察、確認していくことができる火成岩の標本観察に関する教材を作ることにした。

最終的に、これらの全体の学習を通して、実体験として、海岸や山で同じ火成岩を見つけることが出来れば、少なくとも、そこで何がしらのマグマ活動があったということ。さらに、野外での岩石の産状、そして構成要素や組織を調べることで、そこでのマグマ活動や火山活動はどのようなものであったのか。例えば、火山噴火による溶岩流と火砕流が重なり合った成層火山なのか、地中深くのマグマだまりが固まったのかなど、学習した知識をもとに、このような課題探求や課題解決に展開していけることが理想であろう。付表1に溶岩流の再現実験に関する教材の内容と解説、付表2に火成岩の観察に関する教材の内容と説明を示す。

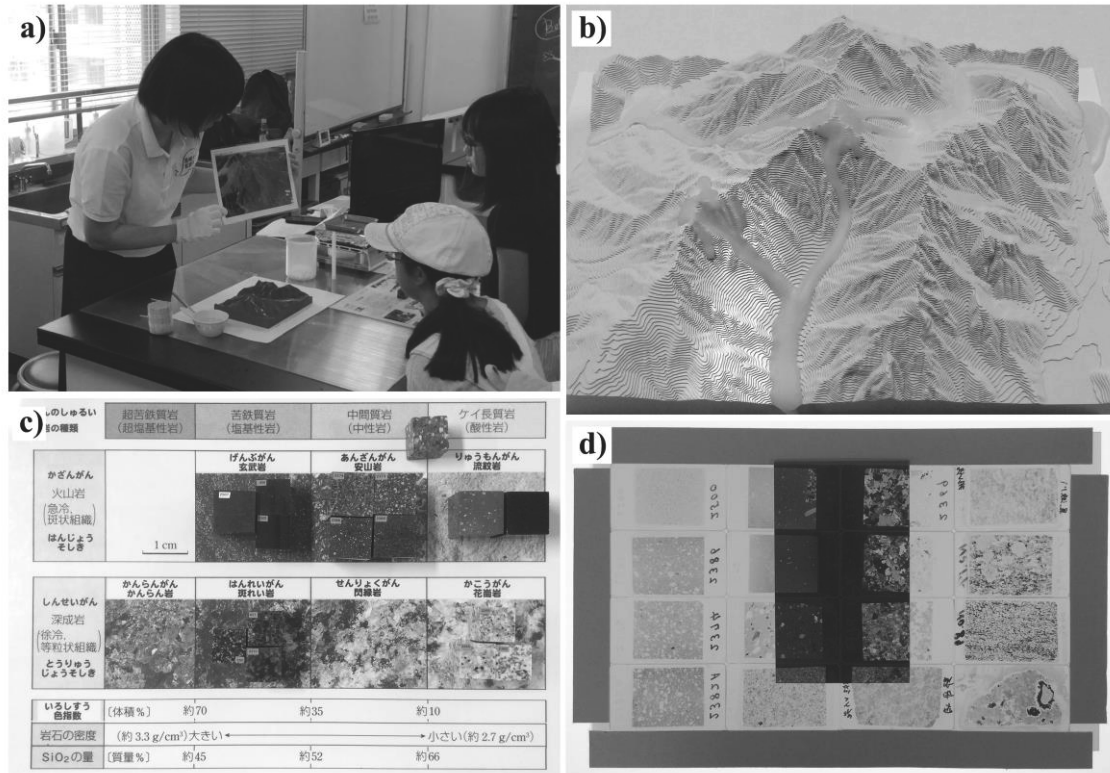


図1 溶岩流の再現実験の様子(a), 立体地形図に蝋を流し込んだ様子(b), 火成岩の標本を火分類表に並べた様子(c), トレース台に乗せた岩石薄片の様子(d)

4. 実践の結果と今後の改善点

4.1 溶岩流の再現実験

サイエンスワールドで実施した溶岩流の再現実験と火成岩の観察には、親子連れや高校生が多く訪れた。ここでは、主に、当日の小学生から未就学児と思われる子供の反応の様子をまとめる。まず、始めに、ハワイ島の溶岩流のビデオを流した時の「このドロドロとした赤いものは何か？」という質問に対する回答は、溶岩が5件、マグマが5件、分からないが5件である。分からないと答えた子供は、小学校低学年から未就学児が多く、その中には火山と答えた子供もいた。このことから、小学校の高学年になると、少なくとも「火山、マグマ、溶岩」という言葉は知っているのであろう。ただし、火山は山のこと、マグマは岩石が溶けて出来た液体のこと、溶岩は地表を流れるマグマまたはそれが固まったもののこと、という認識までは持っていないと感じる。例えば、「溶岩が地下深くで固まると石になる」と言っても、この文がおかしいということに、おそらく気づかないだろう。

次に、「マグマがどうやって出来たのか」という問いに対して、答えることが出来る子供はいなかった。質問自体が難しいことも考えられるが、もしかしたら、そもそも地球は、表面は硬い殻で出来ているものの、その中はドロドロ

のマグマで作られている。そして、殻のひび割れを通してマグマが噴き出すことで、火山や溶岩がつくられるという誤った認識をもっているのかもしれない。もし、そうであるならば、それは誤概念であることを、あえて説明しなければならないのかもしれないと感じた。

続いて、蠟を立体地形図上で流すモデル実験については、それ自体はおおよそ好評であったようだが、これが溶岩流の実験であることを認識している子供は少ないようであった。ここでは、蠟を赤色に着色することや、マグマを下から吹き出るように流し込むなどの工夫が必要だったかもしれない。その次の蠟が固まった様子と、雲仙焼山の実際の溶岩流の写真との比較については、写真のどこが溶岩流で、どことどこを比較しているのか分からない子供も多かったようである。雲仙火山も立体模型などで示し、モデル実験の結果と比較するような説明の仕方の工夫がさらに必要だったのかもしれない。

これらのことから、全体として、もう少しストーリーをシンプルに、まず、溶岩の映像を見せ、これが「溶岩」というものであると説明する。次に、溶岩によって、どのような地形が形成されるのかを焼山の立体模型などで示す。そして、この溶岩が作った地形を今から再現しますと言い、溶岩流の実験を行ってもよかったかもしれない。そして最後に、子供の理解の様子に合わせて、溶岩というのは「マグマ」というものが地表に流れて出来たものであることを述べ、このマグマは地球の深いところで岩石が溶けて出来たものである。地球は、そのほとんどが硬い岩石から出来ている、という解説をしてもよかったかもしれない。そして、マグマをキーワードとして、次のブースに繋げてあげてもよかったかもしれない。

4.2 岩石標本の観察

岩石の標本の観察では、まず、火成岩の分類表の上に、1辺が2cm程度の立方体に加工し、全面をダイヤモンドペーストで、表面が輝くほど、綺麗に磨いた岩石標本を並べた。さらに、B5サイズのガラス板の上に16枚の岩石薄片を並べ、偏光板を敷いた白色LEDライトが備わった透写台(トレース台)の上に置いた。来場者には、まず、この状態の薄片を、ルーペを用いて観察してもらい、次にサングラス、またはもう一枚の偏光板を用い、クロスニコルの状態での鉱物の干渉色、そして岩石のつくり(組織)を観察してもらうことにした。

これらのブースでの子供の反応は、圧倒的に溶岩流の再現実験よりも良かった。これは、サイコロ状のピカピカ光った岩石や、薄片の綺麗な干渉色を見ることが出来たからであろう。しかし、単にきれいだから興味を持っただけで、この教材を用いた学習のねらいとした、岩石はどのようなつくりを持っているのか、そして、岩石のつくりには、大きく斑状組織というものと等粒状組織というものがあること、これが実際の観察からどこまで学習してもらうことできたかは、かなり不明である。

これらの実際の状況を踏まえて、このブースでは、まず、マグマが冷えて固まった石を見てみようとして、表面がザラザラしているよく河原で見る石を切って磨いてみると、石はいろいろな粒から出来ていることがよく分かることを見せる。次に、さらに石を切って薄く削っていくと、光を通すようになり、これをこのような装置を用いて観察してみると、石に含まれる鉱物がどのようなつくりを持っているのかを詳しく観察することができることを見せる。そして、最後に、では、ここで石のつくりの分類をやってみよう、と言って、斑状組織と等粒状組織の区別の実践をやってもらおう。最後に必要に応じて、両者の組織のでき方の違いをミョウバンの化学実験のビデオを見せながら説明するという流れでもよかったかもしれない。

また、二つのブースに共通して、ブースを訪れる人数が多くなると、順番に応じた解説や実験が出来なくなるという大きな問題があった。このために、少しでも部屋に留まってもらうことを狙って、見栄えする南極の高温型の変成岩や黒曜石の巨石を並べていた。これに興味を持ってブースに進む子供もいたが、全く興味を持たず、混んでいるので、帰ってしまう子供もいた。さらに、岩石薄片の観察は盛況であったが、椅子からなかなか離れず、次に並んでいる子供がなかなか見られないということもあった。これについては、もう一台、トレース台を用意するなりして、可能な限り多くの子供が観察できる対応をしてあげる必要があった。

5. 授業への応用に向けての課題

ここで作成した教材をそのまま用いて、30人単位の小学校や中学校の理科の授業で実施するのは困難であろう。また、これらの実験や観察を数名のグループワークとして実施していくのも現実的でない。さらに、教師がこれらの実験を教卓の前で代表して行ったとしても、地形の観察や薄片を、一度に大人数で観察することは出来ない。また、火山地形に関しても、あらかじめロウを流して作った地形と実際の火山地形を見比べることを行おうとしても、一つの試料を全員が丁寧に観察することも出来ないであろう。よって、これらは生徒が主体的な探求活動を行う中でどのように応用していけるか、今後模索していきたい。

参考文献

- 小学校学習指導要領(平成29年告示)解説理科編, 平成29年7月, 文部科学省, 167p.
- 中学校学習指導要領(平成29年告示)解説理科編, 平成29年7月, 文部科学省, 183p.

付表1 マグマのできかたと溶岩流の実験

内容	コンテンツ	ポイント
表題の提示「今日は、ここで石についてのお勉強をします。」	ハワイ島の溶岩流の動画を流す。	
質問「このビデオに映っている赤いドロドロしたものって何かわかる？」		ある程度、じっくりと動画を見せながら、問いかけ(質問)を試みる。
問題○溶岩と答えた場合「そうです溶岩です。溶岩というのは、火山が噴火するときに、マグマが流れ出したものことですが、さて、このドロドロでめちゃくちゃ熱そうな、溶岩(マグマ)って、地球のどこからやってきたのでしょうか？」○マグマと答えた場合「そうです。マグマです。火山が噴火するときに、マグマが流れ出したものことを溶岩と言いますが、さて、この、ドロドロでめちゃくちゃ熱そうな、溶岩(マグマ)って、地球のどこからやってきたのでしょうか？」○答えが無い場合「これは、火山が噴火したときに流れ出したマグマ、溶岩というもので、このように、ドロドロでめちゃくちゃ熱いものです。では、この溶岩(マグマ)って、地球のどこからやってきたのでしょうか？」	溶岩流の動画を見ながら。(動画を見て「マグマ」は熱い液体状のものであることを誘導する。)	○「溶岩」については、小学校6年生の理科で学習する。「マグマ」は、中学校1年生の理科で学習する。 ○先の質問に対して、「火山」などと答える場合もあるが、「マグマ」や「溶岩」の話題に、話を出来るだけ持っていくようにする。
回答「このとおり、火山でのマグマは、地面の下からやってきます。ということは、マグマというのは地球の深いところで作られているということですね。」	火山の断面のスライドを見せる。(マグマは地下からやってくるということを誘導する)	生徒の注意を次の問題に移らせるために動画を一度、止めるとうまい。
問題「では、地球の深いところってどんなところでしょう？」	地球の断面のスライドを見せる。(地球の深いところ(内部)は非常に熱いところであるという認識を誘導する。)	地球の内部は具体的にどのくらいの温度か、事前に調べておく。もしくは、資料を準備しておく。
回答「地球の深いところというのは、実は、非常に熱いところですよ。」		地下で水が温められて温泉が噴き上がってくることを例に挙げてもよい。
解説「非常に熱いところでは、カチカチのろうそくが、熱を加えると、とけていくように、このような、かたい「いし」も、とけていきます。」	80℃に熱したホットプレート上にステンレストレーをおいて、その中で、ろうそくがとける様子を観察させる。	どのくらいの温度で岩石がとけるのかを事前に調べておく。
解説「そして、このような、いしがとけて、何ができるかと言えば、ドロドロのマグマが形成されます。そして、それが、噴出すると、火山ができ、溶岩ができます。」	火山の断面のスライドを再び見せる。	「マグマ」は、岩石がとけたもので、地球の深いところからやってくるとは、中学校の理科の教科書で触れられている。
実験の導入「次に、このとかした、どろどろのろうを用いて、火山噴火のときに、溶岩(マグマ)が、どのように流れて、どうなっていくか、その様子を再現してみましょう。」	実験の準備にとりかかる。	実験助手が必要。
実験の開始「この頂上からマグマを流してみます。」	とけたろうそくが入ったカッセルロールを掴み立体地形図上の頂上から割り箸を通してろうそくを流す。	カッセルロールはホットプレートで温め、軍手で触る。これ以降の実験では、火傷に注意する。
実験の観察「マグマは、谷をくだり、谷を埋めるように流れて、だんだん、かたまっていくよ。」		ろうは、ゆっくり、少しずつ流し、冷えて、固まっていく様子をしっかりと観察させる。
実験の観察「マグマが固まると、また、いし、になります。そして、このような、新しい地形が作られます。」	実験で出来た地形を観察させる。	中学校の理科の大地の変化の内容を意識する。
実験の観察「ここにしめすのが、長崎の雲仙でおきた、今から約200年前の火山噴火のときに出来た溶岩の地形です。この実際の溶岩の地形と、実験でつくった地形を比べてみると、どうですか？似ていますか？」	雲仙普賢岳火山の新焼溶岩(焼山)の地形の立体写真を提示する。	特に溶岩の流れたあとや、溶岩の先の舌の形を観察させる。
実験の続き「もちろん、固まっても、もういちど、熱してあげれば、マグマになります。」	実験でかたまっただろう(溶岩)を剥がして、カッセルロールの中で再びとかす。	「物質の状態変化」と「岩石循環」のリンクを意識する。
まとめ「ということで、マグマって、地球のふかいところで、石がとけてできたもの。マグマが冷えてかたまると、また石になる、ということ、分かっていただけましたでしょうか。」	液体と固体の状態変化の図を示す。	「状態変化」については中学校1年生の理科で学習する。
次のブースへの引き継ぎ「次のブースで、マグマが固まってきた、いろいろな「石」について、観察してみましょう。」		

付表 2 火成岩の標本観察

内容	コンテンツ	ポイント
解説「ここに並べている石のサイコロは、全て、マグマが冷えて固まって出来た、火成岩という岩石です」	岩石試料(立方体)を火成岩の分類図上にならべたものを示す。	ここから、岩石という用語を用いる
解説「例えば、黒曜石と呼ばれるガラスみたいな石も、マグマが冷えて固まって出来た岩石の一つで、マグマの種類や、マグマの冷え方によって、このように色々な石ができあがります。」	黒曜石を見せる。	黒曜石の石器などを見せても良い。
実験への導入「次に、光が透き通るまで薄く削った石に光を通して、石のつくりについて、観察してみましょう。」	ライトビューアーの上に並べた岩石薄片を見せる(単ニコル)。	
実験の解説「ここで石の観察の方法について説明します。」		
実験の解説「まず、この状態(単ニコル)で薄く削った岩石をルーペで観察してみましょう。」	単ニコルの状態で、ルーペを用いて観察する。	
結果の確認「すると、岩石には、緑や茶色などの色がついた粒粒や、透明な粒粒が、たくさん含まれていることが分かりますね？」		有色鉱物と無色鉱物を認識させる
結果の解説「これらは主に鉱物と呼ばれるもので、石は、このような鉱物が集まって出来ています。」		岩石は、鉱物の集合体であることを認識させる。
次の実験の説明「では、次に、この黒っぽいシートを被せて、石を観察してみましょう。」	偏光シートを被せる。	
結果の確認「さっきよりも、岩石全体が非常にカラフルに見えませんか？」		
結果の確認「同じように、サングラスをかけて、観察してみましょう。」	サングラスをかけて、クロスニコルの状態で、薄片を観察させる。	サングラスは偏光板と同じ機能があることを認識させる。
実験結果の解説「この黒いシートや、サングラスには、偏光板というものが使われています。薄く削った石を、この偏光板というものに挟んで観察すると、鉱物からやってくる光はカラフルな色に変化します。(これを干渉色といいます。)」		
実験結果の解説「この方法で、ルーペを用いて、石のつくりや、石に含まれる鉱物を調べることが出来ます。」	偏光板を付けたルーペで、石のつくりを観察する。	
問題「では、ここで、一つ、偏光板を付けたルーペで、石を観察しながら、石のつくりについてのクイズを出します。」	小学校高学年以上が対象。等粒状組織と斑状組織の説明のパネルを出す。	
問題「マグマが固まって出来た石は、大きく、二つの種類に分けられるのですが、さて、今、観察している石は、どっちでしょうか？」	等粒状組織と斑状組織の写真パネルを出す。	等粒状組織と斑状組織の二つを観察してもらう。
解説「今、見ている石は、全て、マグマから出来た石ですが、そのなかでも、こういうつくりを持った石のことを深成岩といいます。一方で、こういうつくりを持った石のことを火山岩といいます。」	組織(つくり)の違いで、火成岩は分類されることを認識させる。	
解説「火山噴火の時に流れ出した溶岩が冷えて固まると、こっこの火山岩がつくれます。一方で、マグマが深いところでゆっくりと固まると、深成岩になります。」	組織(つくり)の違いは、マグマの冷え方の違いであることを認識させる。	
解説「この大学の周辺には、実は、広く、この火山岩が見られます。ということは、遠い昔、このあたりは、どろどろの溶岩が流れ出すような、大きな火山があったことを示しています。」	岩石を調べていくことの重要性や面白さについて説明する。	
まとめ「こんな感じで、石を調べていくと、自分たちが住んでいる土地が昔、どんなところだったのかを、知ることが出来ます。これから石をみかけたら、是非、石は地球の歴史が詰まった大事なものだ、と思って、見てあげてください。」		

