

地学基礎における探究的な学習とその評価の実践

— 火成岩を通して地球の活動を考察する —

杉田 泰一

高等学校地学基礎において実施できる観察実験は限られている。地球領域（地学）が対象とする自然の事物・現象の空間スケールがあまりにも大きいことに加え、時間スケールがあまりにも長大なことにより、校内での実施が困難、授業時間の中に収まりきらない、再現性に欠ける等の課題があるためである。このような課題がある中、教室内で行うことが可能で学習内容の本質に迫る観察実験として、火成岩を通して地球の活動を考察する学習を設定し、「科学的に探究するために必要な資質・能力」を育成することを目指した。本稿では、その学習と評価の計画、実践の結果を報告する。

1. はじめに

理科の学習において観察実験を行うことは、自然の事物・現象の実物に直接触れ、自ら情報を収集して科学的に探究する力を育成するための基盤であり、自然観を涵養する上でも大切である。ところが、高等学校で扱う地球領域（地学）における観察実験は限られている。その原因の一つは、地球領域が対象とする自然の事物・現象の空間スケールがあまりにも大きいことに加え、時間スケールがあまりにも長大なために、校内での実施が困難であること、授業時間の中に収まりきらないこと、再現性に欠けることにある。このような領域特性（科目特性）がある中で平成30年告示高等学校学習指導要領（文部科学省、2018）¹⁾に基づく「科学的に探究するために必要な資質・能力」を育成する学習を展開するためには、授業内で実施可能、かつ学習内容の本質に結びつく観察実験を増やすことが望まれる。本稿では、そのような地学基礎における観察実験として、火成岩を通して地球の活動を考察する実践を報告する。

2. 火成岩の学習の現状

平成29年度・平成30年度告示の学習指導要領の解説（文部科学省、2017²⁾・2018⁴⁾）によると、小学校では、土地は火山の噴火によって変化することを学び、噴出物の一つとして溶岩を扱うが、溶岩を火成岩として扱わない。中学校で初めて火成岩を学び、溶岩は火成岩の一種であることを扱うとともに、火成岩の組織の違いを成因と関連付けて捉える。

ここでいう成因とは、マグマの大まかな冷却の速さやマグマが冷えた大まかな深さを指す。高等学校地学基礎では、火成岩が組織と化学組成や鉱物の組合せに基づいて分類されること、多様な火成岩がマグマの性質と関係していることを学ぶ。地学基礎の学習を終えることにより、火成岩の組織はマグマの冷却過程と関係し、火成岩の化学組成や鉱物の組合せはマグマの性質と関係していることが理解される。そして、火成岩を「過去の地球において、どのような性質のマグマが、どこで、どのように冷えかたまってできたのか」といった情報が記録されたもの、つまり（本来の化石の意味ではないが）「地球の火成活動を刻んだ化石」として認識することができる。このように火成岩を通して地球の活動を推測することは、火成岩を学ぶ本質に相当する。

ところが、中学生や高校生の多くは、火成岩を「地球の火成活動を刻んだ化石」とは捉えていない。火成岩に分類される個々の岩石名、例えば安山岩や花崗岩といった名称を覚えることに注力、あるいは岩石名を同定することを最終ゴールとして捉えていることが多い。そのため、火成岩の学習が味気ないものになっている。

平成30年度告示高等学校学習指導要領に基づいて編集され、令和4年度から使用されている地学基礎の教科書^{5)~9)}のうち、2社において火成岩の観察はなく、3社において火成岩の観察が扱われている（表1）。しかし、火成岩の観察は、いずれも火成岩の分類を目的とした観察で、「地球の火成活動を刻んだ化石」としての観察ではない。つまり、教科書本文に火成岩を「地球の火成活動を刻んだ化石」として扱うために必要な知識（概念）は示されている

が、その知識を活用する観察はない。このような「教科書に観察がない」、あるいは「本文と観察が乖離した現状」が、火成岩の学習を味気ないものになっていると言えよう。

表1 教科書に掲載されている火成岩の観察

	観察内容
A社	安山岩と花崗岩の岩石薄片を用いて組織を観察し、スケッチする。
B社	一面が研磨された花崗岩と閃緑岩を用いて色指数を測定し、比べる。
C社	①火成岩の岩石薄片を用いて鉱物や組織を観察し、火成岩の種類を考える。 ②一面が研磨された深成岩を用いて色指数を測定する。

3. 教材研究

(1) 方向性の検討

地学基礎において「科学的に探究するために必要な資質・能力」を育成するために、火成岩を「地球の火成活動を刻んだ化石」として捉え、授業内で実施可能、かつ学習内容の本質に結び付く観察を行う。具体的には、火山活動や火成岩に関する一通りの学習を終えたのち、その学習したことを活用して火成岩を観察し、地球の活動を考察するものである。本観察では、火成岩のうち、学習者にとって身近な地域に見られる活火山の火山岩（溶岩）を取り上げて特徴を見だし、その火山岩から火山活動を推測する。本観察の特長は次の通りである。

- ① 火成岩を一度用意すれば、複数の学級で繰り返して観察することが可能である。また、次年度以降新たに用意する必要がなく、何年間も繰り返して観察することができる。
- ② 中学校理科、高等学校地学基礎において、マグマの性質と火山活動の関係を学習している。その関係と火山岩の特徴を組み合わせることにより、火山岩の特徴から火山岩のもとになったマグマの性質、さらにマグマの性質から火山活動を大まかに推測することができる。
- ③ 日本には110座以上の活火山があるが、活火山の噴火は稀である。そのため噴火の様子を見る機会はほとんどなく、学習者は地域に存在する身近な活火山が噴火したときのイメージをもちあわせていない。本観察は、身近な活火山の噴火についてイメージをもたせるきっかけにすることができる。

- ④ 身近な活火山の噴火をイメージすることは、火山の噴火に伴ってもたらされる災害を自分事として意識する出発点になる。また、ハザードマップや防災対策の意味を理解する一助とすることができる。

(2) 火山岩の選定

学習者にとって身近な地域に見られる活火山の火山岩を選定する。また、火山岩には無斑晶質で肉眼観察に適さないものもあることから、肉眼観察によって斑晶が識別できる火山岩を選定する。

本実践を行う学校は、広島県内の高等学校である。広島県内に活火山はない。広島県から最も近い活火山は三瓶山（島根県）であるが、生徒にとって遠い存在ではない。生徒の中には、三瓶山の裾野に広がる自然林内に建てられた「国立三瓶青少年交流の家」における野外活動や部活動の合宿、「島根県立三瓶自然館サヒメル」への訪問、三瓶山の登山などを通して訪れていることがある。その一方で三瓶山が活火山であるという認識はほとんどなく、広島県から最も近い活火山が三瓶山であることを聞くと驚く。本実践では、三瓶山の火山岩を選定し、観察することとした。

(3) 三瓶山と分布する火山岩について

気象庁等^{10) 11)}によると、三瓶山は中央部に直径約4.5kmのカルデラがあり、その中に溶岩ドームがある。溶岩ドームは複数あり、男三瓶（1126m）、女三瓶（957m）、子三瓶（961m）、孫三瓶（903m）の4峰に対応すると考えられる。約10万年前から活動を開始し、約1万年前以降には、約4500年前、約3600年前、それ以降で時期不詳の少なくとも3回の火山活動があったと推定されている。火山活動に伴って溶岩の噴出、降下火山灰などが認められており、火砕流および火山泥流は遠方にまで到達した形跡が残されている。有史以降は、記録に残る火山活動はない。構成岩石のSiO₂量は63.9～72.1wt.%である。

浅野ほか（2018）¹²⁾によると、溶岩ドームを構成する火山岩は、多くが赤茶色～赤紫を呈したデイサイトである。斑晶量20～40%の斑状組織で流理構造は認められない。主な斑晶は斜長石と角閃石（オパサイト化を伴う）で、石英や黒雲母なども含まれる。肉眼観察では4峰の岩石を区別することは困難である。しかし、岩石薄片の観察、全岩化学組成の測定により、4峰の岩石はそれぞれ異なる特性をもち、4つの独立した溶岩ドームとして形成されたものと推測される。

本実践で用いる火成岩は図1のように三瓶山で採取した斑晶が大きな火山岩で、生徒一人に1個ずつ

用意する。岩石全体は赤茶色を呈し、熱水等の影響で高温酸化したことによるものと考えられる¹³⁾。比較的大きな斑晶が見られ、浅野ほか(2018)が記載したように主な斑晶は斜長石と角閃石で、石英や黒雲母もある。岩石の特徴が肉眼観察で明瞭に分かることから、本実践に適した火成岩である。



図1 観察する火成岩(三瓶山の火山岩)

(4) 岩石の同定について

本実践では、岩石の名称を特定させることはしない。理由は、次の2つによる。

① 本観察の目的は、火山岩の特徴から火山活動を推測することであり、岩石の名称を決めることではない。生徒実態として、岩石を学ぶ目的を個々の岩石名、例えば安山岩や花崗岩といった名称を覚えることに注力、あるいは岩石名を同定することとして捉えていることが多く、学習内容の本質から外れており、誤っている。このような中で、岩石の名称を決める活動を取り入れることは、岩石を学ぶ目的を誤ったまま捉え、その状況を強化してしまう可能性がある。

② 近年、火山岩を鉱物の量比で分類することに対して問題が提起されている。高橋(2010)¹⁴⁾は、「石基は細粒結晶とガラスからなるので、深成岩のように構成鉱物の量比によって分類することは基本的に困難である。そのため、火山岩の分類には全岩化学組成を用いることが一般的である」ことに加え、日本列島の第四紀の火山フロント付近に出現する火山岩について「急冷固化したデイサイトや流紋岩では、しばしば斑晶に輝石が含まれる。デイサイトや流紋岩で斑晶が角閃石や黒雲母のみからなるとするのは、必ずしも正しくない」ことを挙げ、「教えやすいことが正しいこととは限らない。長い間続けられてきた初等中等教育における火成岩の分類の教授法は、根本的に見直す必要

がある」と述べている。また、平岡ほか(2015)¹⁵⁾、岡村ほか(2017)¹⁶⁾も中等教育における火成岩の分類について、高橋(2010)と同様に火成岩の多様性を反映していないという問題点を指摘している。令和4年度から使用されている地学基礎の教科書における火成岩の分類は改善され、従前からよく用いられてきた火成岩の分類と鉱物の量比に関する図(例えば、図2)について、「図にしたがって一律に区別できるものではない」、「図のように分類できないものもある」などの注釈を加えたり、火山岩の分類を除外して深成岩を分類する図として位置付けたりしている。火山岩の分類に際して、学術的には全岩化学組成の測定を要する。しかし、中等教育の通常の授業内で測定することは困難である。試料調整や測定に時間を費やすことに加え、蛍光X線分析装置などを各学校で購入・設置することはできないためである。また、全岩化学組成による分類図を理解するためにはアルカリ岩や非アルカリ岩についての理解を要し、一般教育としての中等教育で扱う内容としては高度である。したがって、学術的な正確さや厳密さを求めると、中等教育における火成岩の学習で扱う観察実験の幅を狭めてしまう可能性が高い。今後、「学術的な正確さや厳密さ」と“中等教育の現場における教えやすさや育成したい資質・能力”との間でよりよい妥協点をどこに見いだすのか検討を要する。今回は、観察した火山岩を分類することはせず、斑晶に含まれている鉱物の量比を図2に適用させて、SiO₂の質量%が多いのか少ないのか定性的に見積もらせ、火山岩のもとになったマグマの粘性を推測させる。

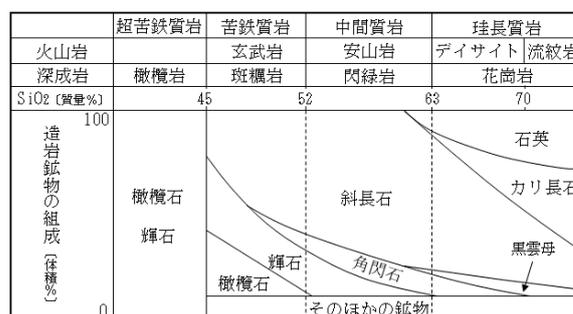


図2 火成岩の分類と鉱物の量比の例

本図は、複数の地学基礎の教科書に掲載されている図を基に筆者が模式的に作成した。

4. 授業計画

(1) 単元名

火山活動と火成岩

(2) 単元の目標

- ・火山活動と火成岩についての理解を深め、科学的に探究するために必要な観察、実験などに関する技能を身に付けるようにする。(知識及び技能)
- ・火山活動と火成岩についての観察、実験などを行い、科学的に探究する力を養う。(思考力、判断力、表現力等)
- ・火山活動と火成岩に主体的に関わり、科学的に探究しようとする態度を養う。(学びに向かう力、人間性等)

(3) 単元の評価規準

- ・火山活動と火成岩について、基本的な概念や原理・法則などの理解とともに、科学的に探究するために必要な観察、実験などに関する基本操作や記録などの基本的な技能を身に付けている。(知識・技能)
- ・火山活動と火成岩について、観察、実験などを通して探究し、規則性や関係性を見いだして表現している。(思考・判断・表現)
- ・火山活動と火成岩に主体的に関わり、見通しをもったり振り返ったりするなど、科学的に探究しようとしている。(主体的に学習に取り組む態度)

(4) 単元の全体指導計画 (全5時間扱い)

第一次	火山活動	2時間
第二次	火成岩	2時間
第三次	火成岩を通して地球の活動を考察する	1時間 (本時)

※詳細は表2 (p. 32) 参照のこと。

(5) 本時について

① 題目

火山岩を通して火山活動を推測する。

② 目標

火山岩を観察して特徴を見だし、特徴に基づいて火山岩のでき方や噴火の様子などを推測することができる。

③ 評価規準 (観点/評価方法)

- ・火山岩を観察して特徴を見だし、目的に応じて適切にスケッチしている。(知識・技能/ワークシート)
- ・既習事項を活用して、見いだした火山岩の特徴から火山岩のでき方などを考察し、説明している。(思考・判断・表現/ワークシート)
- ・火山岩を通して火山活動を推測する学習を調整しながら粘り強く取り組んだり、今後の学習などにつなげて生かそうとしたりしている。(主体的に学習に取り組む態度/生徒観察・ワークシート)

④ 学習指導過程

学習内容・学習活動	理科の見方	理科の考え方	備考
<p>学習課題の把握 「火成岩の特徴を見つけて、その火成岩がどのようにしてきたのか推測して説明しよう」</p> <p>課題解決の見通し (計画) ○今までの学習を振り返り、火成岩のどのようなところに着目すれば課題が解決できるか挙げる。</p> <p>岩石の観察 (結果) ○火成岩を観察し、スケッチをかいたり、組織・造岩鉱物を記録したりする。</p> <p>岩石のでき方の推測 (考察・表現) ○火成岩の特徴を基に、火成岩のでき方などを推測し、説明する。</p> <p>岩石についての解説 (まとめ) ○観察した火成岩が三瓶山の火山岩であること及び三瓶山の火山活動史を知る。</p> <p>振り返り ○観点に従って学習過程などを振り返る。 ・スケッチのときに意識したこと ・難しかったことその解決のために取り組んだこと ・わかったこと、疑問、今後調べてみたいことなど</p>	<p>時間・空間 原因・結果</p> <p>時間・空間 原因・結果</p>	<p>関係付け</p> <p>比較・関係付け 推論</p> <p>多面的思考</p>	<p>○火成岩を一人1個ずつ配り、火山岩が深成岩かを伏せて課題を提示する。</p> <p>○火成岩を紙の上に置き、机を傷つけないように留意させる。</p> <p>○既習事項を想起させる。</p> <p>○火山岩であれば、噴火の様子まで含めて推測することを伝える。</p> <p>○ワークシートを配付する。</p> <p>○造岩鉱物の同定が難しい場合、生徒同士で教え合わせたり、挙手して教師からアドバイスをもらったりしてもよい。</p> <p>○組織から推測、造岩鉱物から推測と順を追ったのち、総合的な考察に導く。</p> <p>○個人の取組後、生徒同士で交流させ、説明の修正・加筆を促す。</p> <p>○3D地図などを示しながら解説する。</p> <p>○推測したことを火山活動史と比べ、どの程度推測できたのか把握させる。</p> <p>○どの程度推測できたのかを意識させながら、振り返りに取り組ませる。</p> <p>○振り返り後、火成岩とワークシートを回収する。</p> <p>○最後に、火成岩は地球の活動を刻んでいることを再確認し、火成岩を研究する意義を解説する。</p>

⑤そのほか（ワークシートと評価基準）

○ワークシート

ワークシートのどこで何を評価するのか、観点別に囲みを付して示している。生徒に配付するときは囲みを外している。

火成岩を通して地球の活動を読み解く		年 組 番 名 前	
結 果		考 察	
スケッチ	組織	組織から推測される火成岩のでき方に関すること	火成岩はどのようにしてできたか（具体的な説明／図を併用してもよい）
	造岩鉱物	造岩鉱物から推測される火成岩のでき方に関すること	
◆本学習を振り返って			
スケッチのときに意識したこと		難しかったこととその解決のために取り組んだこと（未解決なら未解決と記入）	本探究を通してわかったこと・疑問・今後調べてみたいことなど
◆教員評価			
知識・技能に関すること		思考・判断・表現に関すること	主体的に学習に取り組む態度に関すること
目的に応じたスケッチの理解	3/2/1	推測の正確性（組織・鉱物）	3/2/1
スケッチの正確性	3/2/1	通時性や規模を考慮した推測	3/2/1
		粘り強い取組・自己調整 3/2/1	

○評価基準

本時の評価規準を受けて、評価基準を設定する。評価基準は、基準①と基準②から構成される。評価を行う際は基準①について検討し、満たしていれば基準②について検討する。この過程を通して、各視点について1～3点で到達度を区別する。基準①を通過することが「概ね満足できる状況」以上に相当する。

観点	評価規準	評価基準		
		視点	基準① (いいえ：1点・はい：基準②へ)	基準② (いいえ：2点・はい：3点)
知・技	火山岩を観察して特徴を見だし、目的に応じて適切にスケッチしている。	目的に応じたスケッチの理解	組織と鉱物をスケッチしている。	岩石の表面を拡大してスケッチしている。
		スケッチの正確性	斑晶の分布、鉱物の大きさや形の特徴を捉えている。	組織や造岩鉱物の種類を同定して、鉱物の量比に触れている。 (ただし、造岩鉱物は概ね同定できていればよい)
思・判・表	既習事項を活用して、見いだした火山岩の特徴から火山岩のでき方などを考察し、説明している。	推測の正確性（組織・鉱物）	マグマの冷え方、マグマ粘性についてそれぞれ考察している。	根拠を示しながら考察したことを説明している。
		通時性や規模を考慮した推測	時系列に沿いながら、火山岩がどこでどのようにしてできたのかを考察している。	噴火の様子などまで含めて考察し、説明している。
主体	火山岩を通して火山活動を推測する学習を調整しながら粘り強く取り組んだり、今後の学習などにつなげて生かそうとしたりしている。	粘り強い取組・自己調整	取り組んだことに触れて、課題解決に向けてこだわったことなどについて記述している。	本学習を受けてさらに深めたいことなど、次の探究的な学習につながるような事項について、理由を付して記述している。

表2 全体指導計画（5時間扱い）

評価規準		主な学習内容①～⑤と評価の関連※				
		①	②	③	④	⑤
火山活動と火成岩について、基本的な概念や原理・法則などの理解とともに、科学的に探究するために必要な観察、実験などに関する基本操作や記録などの基本的な技能を身に付けている。			○	○	○	◎
火山活動と火成岩について、観察、実験などを通して探究し、規則性や関係性を見いだして表現している。		○		◎		◎
火山活動と火成岩に主体的に関わり、見通しをもったり振り返ったりするなど、科学的に探究しようとしている。						◎
時	テーマ	主な学習内容			ターム	
1・2	火山活動	①日本列島の火山分布とマグマの発生・噴火 ・資料を基に、世界の火山の多くは、プレートの収束境界や発散境界に集中していることを見いだす。 ・資料を基に、日本列島の火山分布にはプレートの沈み込みが関係していることを見いだす。 ・沈み込み帯におけるマグマの発生に水が関係していることを理解する。【発展】 ・マグマが発生して地表に噴出する過程を理解する。 ②マグマの性質と噴火・火山噴出物の関係 ・地殻やマントルを構成する元素と関連付けて、マグマの主成分がSiO ₂ であることを推測する。 ・マグマ中のSiO ₂ がマグマの粘性と関係していることを理解する。 ・マグマの性質と噴火・火山噴出物の関係を整理する。			火山前線、部分溶融（部分融解）、マグマ、マグマだまり、マグマの発泡 マグマの粘性、盾状火山、成層火山、溶岩円頂丘（溶岩ドーム）、カルデラ、火砕流、火山噴出物、溶岩、火山ガス、火山砕屑物（火山灰、火山弾、火山石、スコリア等）	
3・4	火成岩	③ケイ酸塩鉱物と鉱物の成長 ・資料やモデル基に、ケイ酸塩鉱物の種類と構造を整理する。 ・深成岩を観察して、ケイ酸塩鉱物の成長の順序を考察する。 ・火山岩を観察して、斑晶の多くが自形を示す原因を考察する。 ④火成岩の分類 ・2種類以上の深成岩の色指数を求め、火成岩によって鉱物の量比が違うことを確認する。 ・火成岩の標本と対応させながら、火成岩の分類を整理し、火成岩の多様性がマグマの性質やマグマの冷却の違いと関係していることを理解する。			ケイ酸塩鉱物、SiO ₄ 四面体、苦鉄質鉱物、珪長質鉱物、自形、他形 色指数、造岩鉱物、苦鉄質岩・中間質岩・珪長質岩、火山岩・深成岩	
5	火成岩を通して地球の活動を考察する	⑤火山岩を通して火山活動を推測する ・配付された火山岩を観察して特徴を見だし、その特徴から火山岩がどのようにしてできたのか推測する。			(既習事項の活用)	

※ ◎は記録に残す評価を示し、○は主として指導の改善に生かす評価を示す。

5. 授業の実際

(1) 授業の様子と評価

本高等学校第2学年の地学基礎選択履修者のうち、1学級（40人）を対象に、4.授業計画の(5)④「学習指導過程」に従って授業を行った。評価に関わる学習内容・学習活動「岩石の観察」、「岩石のでき方の推測」、「振り返り」における生徒の様子は次の通りであった。併せて、評価についても述べる。

①岩石の観察

生徒一人に1個ずつ配付した火成岩を観察させた。斑晶が大きいことから、ルーペは任意で用いることとした。ほとんどの生徒がルーペを使用しなかった。

スケッチについて、ルーペを使用しない生徒の多くは、火成岩全体の輪郭、複雑な立体感を描くことに時間を費やしていた。ルーペを使用しない生徒の一部とルーペを使用した生徒は、火成岩の表面の一部を切り取って拡大してかいていた。また、造岩鉱物の同定に苦慮している生徒が多く、生徒同士で検討したり、教師からの支援を受けたりしていた。造岩鉱物の同定は、ある程度の経験を積まないと難しいことから、厳密な同定は求めなかった。

火成岩全体の輪郭をかく、かかないという違いは、課題解決のために必要な情報が何かを意識していない、意識していることと対応している。学習内容・学習活動「課題解決の見通し（計画）」のときに、課

題解決のために火成岩の組織や造岩鉱物に着目する必要性を十分に考えることができた生徒は、火成岩の輪郭は課題解決には不要であることに気づき、表面の一部を拡大してかくことで課題解決に必要な情報を収集していたと考えられる。また、火成岩の輪郭は、生物と違い、標本によって大きく違う。輪郭の違いは、他の生徒が使用している火成岩と比較しても一目瞭然であり、また、輪郭は露頭から切り出したときの形によるものであることから、こだわる必要がないことに気付きたいものである。

したがって、本学習内容・学習活動の場面において大切なことは、「火山岩を観察して特徴を見だし、目的に応じて適切にスケッチしている」ことであり、この状況を知識・技能として評価する。その際、岩石の表面を拡大して組織と造岩鉱物をスケッチして（視点「目的に応じたスケッチの理解」）、その特徴をスケッチと言葉で的確に記録できているか（視点「スケッチの正確性」）に着目して、段階的に評価する。そのための評価基準を設けるとともに、生徒にも評価基準を共有して結果をフィードバックするために、ワークシート中に教員評価の欄を設けた。評価例を図3に示す。

②岩石のでき方の推測

火成岩のでき方をスモールステップで推測させた。最初に中学校理科で学習したことを踏まえて、組織から推測される岩石のでき方を考察させた。続いて、造岩鉱物から推測される岩石のでき方を考察させた。最後に、これらの推測を時系列に並べて、「ど

のような性質のマグマが、どこで、どのように冷えかたまってできたのか」をストーリー仕立て総合的に推測させた。学習内容・学習活動「課題解決の見通し（計画）」の段階で、火山岩であれば、噴火の様子まで含めて推測することを伝えていたが、個人のみでの考察ではほとんど記述されていなかった。その後の生徒同士の交流のタイミングで、火山岩であれば噴火の様子まで含めて推測することを再度伝えたと、噴火の様子についても推測していた。

組織から推測される岩石のでき方の考察では、多くの生徒が、マグマの急冷について触れていた。しかし、急冷の根拠を示していない、急冷された場所（空間）について触れていない、斑晶と石基のでき方のちがいに触れていないなど、不十分な推測が多かった。また、マグマが急冷されて温度が低下することとマグマのもとの温度が低いことを混同した記述も見られた。中学校理科の火成岩の学習において、斑状組織のでき方のモデル実験を行うなど、火成岩の組織のでき方を正しく理解させる必要がある。

造岩鉱物から推測される岩石のでき方の考察では、マグマ中のSiO₂の量に触れてマグマの粘性を推測した生徒は4割程度であった。その中で、造岩鉱物の種類を根拠に挙げてSiO₂の量を述べた生徒はほとんどいなかった。また、唐突にマグマの粘性を述べたり、マグマの温度を述べたりしていた生徒が多かった。このような実態から、多くの生徒はマグマ中のSiO₂の量、マグマの粘性、マグマの温度の関

例1

	組織
	斑状組織
	造岩鉱物
	石英 カリ長石 斜長石 黒雲母
スケッチのときに意識したこと	
各鉱物の含有率や何種類の鉱物を含有しているかを意識した。	

組織と鉱物を拡大してスケッチしていることから「目的に応じたスケッチの理解」は3点。斑晶の分布や鉱物の大きさの特徴は不十分であることから「スケッチの正確性」は1点。

例2

	組織
	斑状組織
	造岩鉱物
	斜長石 (多) 角閃石 (↑↓) 黒雲母 (少)
スケッチのときに意識したこと	
鉱物の様子が分かるようにした。	

組織と鉱物をスケッチしているが、岩石の表面を拡大していないことから「目的に応じたスケッチの理解」は2点。斑晶の分布や鉱物の特徴を捉えてスケッチした上で、組織や鉱物の種類を同定し、鉱物の量比についても示していることから「スケッチの正確性」は3点。

図3 知識・技能に関する評価例

係を表面的に整理しているだけで、これらの要素がどのような順序で、どのような意味をもって関わりあっているのか、概念として整理（理解）できていないものと考えられる。第2時「マグマの性質と噴火・火山噴出物の関係」～第4時「火成岩の分類」の学習はマグマ中のSiO₂をベースにして展開するが、その際、火成活動を捉える上でSiO₂が一つの重要な要素になることを強調するとともに、各時間の学習内容に応じて、マグマ中のSiO₂の量、マグマの粘性、マグマの温度、ケイ酸塩鉱物、火成岩の関わりを丁寧に指導する必要がある。

組織や造岩鉱物を基にした総合的な考察では、マグマの粘性に気付くことができた生徒は、火山岩ができた過程を説明し、噴火の様子や火山の形にまで言及していた。噴火が激しいことを導き、火山の形は成層火山または溶岩円頂丘（溶岩ドーム）を推測していた。しかし、カルデラなどの火山地形については推測できていなかった。その一方で、マグマの粘性に気付くことができなかった生徒は、「マグマが地表やその付近で冷え固まってできた」、「デイサイトができた」といった記述で止まっていた。

本学習内容・学習活動の場面において大切なことは「既習事項を活用して、見いだした火山岩の特徴から火山岩のでき方などを考察し、説明している」ことであり、思考・判断・表現として評価する。その際、スモールステップで推測させたことを踏まえ、まず、既習事項を基に組織や鉱物から推測されることをそれぞれ述べていること（視点「推測の正確性（組織・鉱物）」を確認し、その後、それらを時間経過に伴うマグマの移動や冷却の様子と関連付けて総合的に推測してストーリー化しているか（視点「通時性や規模を考慮した推測」）に着目して、段階的

例 1

組織から推測されること	火成岩はどのようにしてできたか
マグマが急に冷え固まった。	温度が低く、SiO ₂ の割合が多いマグマが最初は地下深くでゆっくり冷え固まり大きな鉱物ができたが、マグマが地表付近に移動し、急速に冷え固まって、細状の鉱物ができて石基になった。
造岩鉱物から推測されること	
温度が低く、SiO ₂ の割合が多いマグマからできた。	

マグマの冷え方は推測しているが、マグマの粘性を推測していないことから「推測の正確性（組織・鉱物）」は1点。時間と空間を明らかにして火成岩のでき方を説明しているが、その説明の中で石基の状態とでき方の関係が不正確であり、考察が不十分であることから「通時性や規模を考慮した推測」は1点。

に評価する。評価例を図4に示す。

③振り返り

3つの観点を示し、学習過程などを振り返らせた。よく考えながら時間をとって振り返る生徒もいれば、1行程度でさらっと書いたり、簡単な感想程度の内容を書いたりしていた生徒もいた。

（観点）

- ・スケッチのときに意識したこと
- ・難しかったことその解決のために取り組んだこと
- ・わかったこと、疑問、今後調べてみたいことなど

1つ目の観点は、知識・技能の評価として用いるためのものである。2つ目と3つ目の観点は、主体的に学習に取り組む態度を評価するためのものである。

本学習内容・学習活動の場面において大切なことは「火山岩を通して火山活動を推測する学習を調整しながら粘り強く取り組んだり、今後の学習などにつなげて生かそうとしたりしている」ことであり、2つ目と3つ目の観点に基づく記述に加えて、一連の授業における生徒の様子を加味することにより、主体的に学習に取り組む態度として評価する。

2つ目の観点は、取組そのものを振り返り、課題解決の過程における自己の関わり方について述べるものである。主体的に学習に取り組む態度は、粘り強さと自己調整の2側面から語られるが、簡単にまとめれば“こだわって”取り組もうとしたかということであろう。したがって、未解決でもよいので、何に“こだわって”取り組んだのかを引き出すようにしたい。3つ目の観点は、今回の取組を踏まえて次の探究的な学習につながるような事項について、理由を付して述べるものである。生徒の中には振り返りを書かなければならないから“とりあえず”疑

例 2

組織から推測されること	火成岩はどのようにしてできたか
斑晶はマグマだまりなど内部でゆっくり冷え固められ、それ以外は地表はその付近でマグマが急冷された。	温度が低く粘性が大きいマグマの火山（溶岩円頂丘）が爆発的な噴火する際の地表またはその付近で生まれた。
造岩鉱物から推測されること	
温度が低く、また粘性が大きいマグマから生成された。	①マグマだまりなどでゆっくり冷やされていた斑晶に当たる鉱物を含むマグマが地表で急冷され、②石基にあたる鉱物が形成され、火成岩が生まれたと考えられる。



マグマの冷え方・粘性を推測しているが、推測の根拠となる岩石の観察結果などを引用していないことから「推測の正確性（組織・鉱物）」は2点。時間と空間を明らかにして火成岩のでき方を説明し、かつ火山の形や噴火の規模についても説明されていることから「通時性や規模を考慮した推測」は3点。

図4 思考・判断・表現に関する評価例

問や今後調べてみたいことを挙げ、脈絡なく記述することがある。このような“とりあえず”を避けるために、理由を付することにより、根拠を挙げながら次の探究的な学習につながる振り返りを促す。

評価の際は、“こだわり”をもって取り組んだことを踏まえ、どのようなことを今後の学習や新たな探究につなげようとしようとしているのか(視点「粘り強い取組・自己調整」)に着目して、一連の授業における生徒の様子を加味しながら段階的に評価する。評価例を図5に示す。

(2) 成果と課題

火成岩を通して地球の活動を考察する探究な学習は、生徒が自然の事物・現象に直接触れることができ、授業1時間程度で実施できる。観察する岩石を用意することは少々大変だが、それ以外の特別なものを用意する必要はなく、一度準備さえすれば、複数の学級や次年度以降も使用することができる。また、評価についてもワークシートの記述を中心に、「知識・技能」、「思考・判断・表現」、「主体的に学習に取り組む態度」の3観点すべてを授業後にゆっくり検討できる。評価の際に評価規準・基準が必要

になるが、今回示したように、複雑な基準を用意することなく実施できる。このように、本観察は、地学基礎を指導する教師にとって扱いやすいものである。生徒にとっても、火成岩を学ぶ本質に迫り、取り組みやすい学習課題だと考えられる。しかし、その一方で次の3点が今後の検討課題になる。

- ①造岩鉱物の同定に多くの生徒が悩んでいた。鉱物を識別する経験を積みよければそれまでだが、火成岩の研究者を育てるわけではないため、経験を積むだけの時間を十分に確保することはできない。簡易的に同定できる方法を開発して併用する必要がある。
- ②考察のために必要な概念を十分に定着させておく必要がある。火成活動を捉える上でSiO₂が一つの重要な要素になることを強調した上で、マグマ中のSiO₂の量、マグマの粘性、マグマの温度、ケイ酸塩鉱物、火成岩の関わりを丁寧に指導し、表面的な理解ではなく、概念として定着させることが大切である。そのための教材と指導をさらに検討して開発する必要がある。ただし、考察のために必要な概念を確実に習得させてから本観察をしな

例1

難しかったこととその解決のために取り組んだこと	わかったこと・疑問・今後調べてみたいことなど
造岩鉱物を判断するのが難しかった。色や形をもとに資料集などを用いて判断した。	造岩鉱物を見分けるのが結構難しいが、特徴的なものを見つければ判断しやすいこと。

造岩鉱物の同定にこだわって取り組んだことが分かるが、次の学習や探究へつながる記述が示されていないことから「粘り強い取組・自己調整」は1点。

例2

難しかったこととその解決のために取り組んだこと	わかったこと・疑問・今後調べてみたいことなど
造岩鉱物で同じ色のものを見分けるのが非常に難しかった。(先生に聞いたので未解決)	岩でもさまざまな歴史をもっていておもしろいと思った。教科書の写真とかなり違い、見分けるのがむずかしいことが分かった。

造岩鉱物の同定について、最初は教師に聞いてはいたものの、その後はコツをつかんで自分で取り組んでいた。ただし、次の学習や探究へつながる記述が示されていないことから「粘り強い取組・自己調整」は1点。

例3

難しかったこととその解決のために取り組んだこと	わかったこと・疑問・今後調べてみたいことなど
角閃石を見分けることが難しかったです、資料を見て色や形などを考えました。	なぜこの岩石はどこどこに小さい穴が空いているのか。モサモサしているのはなぜか。

造岩鉱物の同定にこだわって取り組み、さらに観察する中で岩石表面の小さい穴に気づき、その穴の成因について新たに考えようとしていることから「粘り強い取組・自己調整」は2点。

例4

難しかったこととその解決のために取り組んだこと	わかったこと・疑問・今後調べてみたいことなど
造岩鉱物を特定するために色指数から苦鉄質岩、珪長質岩の割合を特定した。	マグマ混合についてはまだ想像でしかない。果たしてマグマ混合があったのか、それともただ普通に中間ぐらいの温度のマグマが冷え固まっただけなのだろうか。

造岩鉱物の同定方法は誤っているが、試行錯誤して同定しようとしたことが分かる。また、造岩鉱物から中間質岩であることを導き、中間質岩のでき方について、他生徒とマグマの混合という新たな概念を導入して考察していた。その過程を踏まえた記述になっていることから「粘り強い取組・自己調整」は2点。

図5 主体的に学習に取り組む態度に関する評価例

下線部は、一連の授業における生徒の様子を加味したところを示す。

ければならないというものでもない。場合によっては、本観察を通して、今まで学習したことを整理し直し、概念として定着させる時間を確保して対応することもありうる。

- ③身近な活火山の噴火をイメージすることを通して、火山の噴火に伴ってもたらされる災害を自分事として意識して防災に関心をもたせるには、今後、どのような学習を展開すべきなのか検討を要する。

6. おわりに

平成30年告示高等学校学習指導要領に基づく理科教育の実践上の課題として、例えば、観察実験など行う機会の確保と充実、観点別学習状況の評価（以下、観点別評価）の適切な実施を挙げることができる。

高等学校における観点別評価が本格的に導入されて1年間が経過したことを機に、民間の教育産業が観点別評価の現状について高等学校の教員を対象（理科担当以外の教員も含む）にアンケート調査を行っている。河合塾（2023）¹⁷⁾は、観点別評価を実施した所感として「うまくいった」「おおむねうまくいった」との回答は53%、観点別評価の課題感として「あまり課題を感じない」「課題を感じない」との回答は8%であったことを報告している。ベネッセコーポレーション（2023）¹⁸⁾は、観点別評価が教師の指導改善や生徒の学習改善につながる評価として「機能している」との回答は22%であったことを報告している。これらの報告から、高等学校における観点別評価は試行錯誤の段階で、定着に今しばらく実践の積み重ねが必要な段階だと考えられる。

このような高等学校の理科教育の実践上の課題解決に向けて本実践が一助となること、さらに本実践の改善・充実を通して、生徒の「科学的に探究するための資質・能力」の育成へつながることを期待したい。

引用文献

- 1) 文部科学省、『高等学校学習指導要領（平成30年告示）』, 2018年, 103, https://www.mext.go.jp/content/20230120-mxt_kyoiku02100002604_03.pdf (閲覧日: 2023年12月20日)
- 2) 文部科学省、『小学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編』, 2017年, 89-91, https://www.mext.go.jp/content/20211020-mxt_kyoiku02-100002607_05.pdf (閲覧日: 2023年12月20日)
- 3) 文部科学省、『中学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編』, 2017年, 80-95, https://www.mext.go.jp/content/20210830-mxt_kyoiku01-100002608_05.pdf (閲覧日: 2023年12月20日)
- 4) 文部科学省、『高等学校学習指導要領（平成30年告示）解説理科編 理数編』, 2018年, 163-179, https://www.mext.go.jp/content/20211102-mxt_kyoiku02-100002620_06.pdf (閲覧日: 2023年12月20日)
- 5) 大路樹生ほか, 検定地学基礎教科書『地学基礎』, 東京書籍, 2022年, 32-41.
- 6) 天野一男ほか, 検定地学基礎教科書『地学基礎』, 実教出版, 2022年, 42-51.
- 7) 磯崎行雄ほか, 検定地学基礎教科書『高等学校地学基礎』, 啓林館, 2022年, 50-64.
- 8) 中村尚ほか, 検定地学基礎教科書『高等学校地学基礎』, 数研出版, 2022年, 56-81.
- 9) 西村祐二郎ほか, 検定地学基礎教科書『高等学校地学基礎』, 第一学習社, 2022年, 46-61.
- 10) 気象庁, 「79. 三瓶山」, 『日本活火山総覧（第4版）Web掲載版』, https://www.data.jma.go.jp/vois/data/tokyo/STOCK/souran/main/79_Sanbesan.pdf (閲覧日: 2023年12月20日)
- 11) 大田市観光協会, 「三瓶山について」, 『Mt.Sanbe Webページ』, https://www.ginzan-wm.jp/top-sanbe/about_sanbe/ (閲覧日: 2023年12月20日)
- 12) 浅野一平ほか, 「三瓶火山溶岩ドームの形成過程」, 『火山』, 63巻, 2号, 2018年, 19-32.
- 13) 公益財団法人しまね自然と環境財団, 「三瓶山の地形と地層」, 『島根県立博物館サヒメルWebページ』, <https://www.nature-sanbe.jp/sahimel/nature-cat/cat3> (閲覧日: 2023年12月20日)
- 14) 高橋正樹, 「高校地学教科書における火成岩分類法の問題点」, 『日本地質学会学術大会第117年学術大会（2010富山）講演要旨』, 2010年, https://www.jstage.jst.go.jp/article/geosocabst/2010/0/2010_0_315/_pdf/-char/ja (閲覧日: 2023年12月20日)
- 15) 平岡瑞恵・岡村聡, 「高校地学で扱われる火成岩とその多様性の説明に関する問題点: 北海道有珠火山を題材とした学習プログラム」, 『地学教育』, 68巻, 1号, 2015年, 29-39.
- 16) 岡村聡ほか, 「地学教育で扱われる火成岩分類の問題点: 沈積岩の識別とマグマ冷却過程の復元」, 『JpGU-AGU Joint Meeting 2017』, 2017年, <https://confit.atlas.jp/guide/event/jpuguagu2017/>

subject/G04-09/advanced（閲覧日：2023年12月20日）

17) 河合塾, 「観点別評価を振り返る」, 『Guideline』, 7・8月号, 2023年, 17-23.

18) ベネッセコーポレーション, 「学校現場における観点別評価の現状と課題」, 『VIEW next 高校版』, 398号, 2023年, 4-6.

Practical Application of Inquiry-Based Learning and its Assessment in Basic Geoscience: Developing a Study that Infers the Earth's Activity Based on the Characteristics of Igneous Rocks

Taiichi SUGITA

Abstract :

Learning basic geoscience in secondary schools can be challenging due to the large spatial and temporal scales of natural objects and phenomena, which limit opportunities for observation and experimentation. Experiments and observations on basic geoscientific topics were planned and carried out for schools. Specifically, students observe igneous rocks, discover their characteristics, and infer the Earth's activities. Through these learning activities, learners can acquire the qualities and abilities necessary for scientific inquiries. This paper presents the learning and assessment plans implemented in this study and reports the results.