

探究活動を通して地質素材の 自然情報を読解する学習プログラム

岡本 研

野外で岩石や地層等の地質素材を観察し、探究的な活動を通して自然の成り立ちを考察する学習は、地学学習では重要である。しかし、教員が何を観察させ、何を考察させるのかによって、学習効果は大きく異なる。自然情報は膨大であり、複雑な要素が絡み合い、これらの自然情報を読み解き、自然の成り立ちを考察することは容易なことではない。ここでは、野外で採取、または観察した岩石や地層等の地質素材に残された自然情報を読解し、科学的思考力を育成する方法について検討する。

[キーワード] 地質素材 自然情報 読解 探究活動 岩石 地層

はじめに

筆者はこれまで、「岩石や地層などの地質素材はすべて、それぞれの特徴によって、自らの形成の歴史を我々に語りかけてくれており、その特徴を観察することによって、“岩石の話を聞いてあげる”ことができる。岩石はこうした意味において、科学的な思考力を育成するのに最も適した自然素材である。」と述べてきた。例えば「火山岩の発泡孔の成因」や、「溶岩や凝灰岩の節理の成因」等の17の具体例について、観察・実験を通してその素材の持つ特徴を調べ、その成因にせまる方法について紹介した^{*1), 2)}。これらの例は野外では決して特殊なものではなく、一般的に観察される自然情報であるが、教科書等では扱われてはいないため、生徒はほとんど学ぶ機会がないものである。

身近な地質素材について、生徒達が自分たちの目で観察し、探究活動を通してその自然情報を読解し、成因等について科学的に考察することができたならば、これまで学んでいなかったことを自らの力で読解できたことに対して、生徒達は初めて「そうだったのか!」といった驚きと感動を経験することができるはずである。本研究は、生徒達にそのような

「読解の感動」を経験させる手だてとして、授業の中で、探究活動を通して地質素材から自然情報を読解することにより、科学的思考力を育成することができる学習プログラムの開発を目指した。今日の教育現場では、「どのような素材を用いて、どのようにして科学的思考力を育成するか」という事に対する関心は高く、今回のすべての学習プログラムは「科学的に考察させる」という視点でつくられている。本研究では、教員もこうした視点に立てば、身の回りにある自然素材を使って、科学的思考力を育成する様々な学習プログラムを開発することができるということを提案したい。

なお、ここでは「読解力」という言葉を、「自然素材に残された様々な特徴や性質を、観察や実験によって調べ、それらの成因を科学的に考察し、類似した特徴や性質を持つものに対しても応用して考察することのできる能力」という意味で用いる。

地質素材の自然情報

前述のように、野外で観察する地層や岩石等に見られる自然情報は、教科書で学べる自然情報のうちごくわずかである。したがって、

野外観察においては、目の前にあるあらゆる自然情報に注目させ、それらが物語る過去の出来事を次々と読解させるべきである。生徒をイメージーションの世界へ誘い出し、自由な発想の中で、科学的な思考力が自然と育成されるようにしたい。

地質素材の自然情報は整然としたものではなく、多くの要素が複雑に絡み合っており、いわば“ノイズの塊”であるが、これは地学の分野の大きな特徴でもある。そのため、ただ単に地質素材を見せるだけでは、生徒は何に着眼して何を考察すべきかわからない。そのため、教師はあらかじめ目を向けさせるべき観点を整理して、情報のノイズを除去し、情報読解の流れを整理・誘導していく必要がある。

本研究では、学習プログラムの教師側の働きかけとして、「地質素材の提示」、「地質素材に対しての基本的な説明」、「構造や性質など、観察すべき視点」、「質問による自然情報読解への誘導」、「読解のためのヒント」、「情

報についての理論に基づく説明」、「成因についての実験等による探究と検証」、という7つの段階を設定し、それぞれに対応した想定される生徒の変化として、「地質素材への興味・関心（漠然とした観察）」、「素材に関する基本的な理解（観察の観点が不明瞭）」、「素材の持つ自然情報の認識」、「認識した情報の活用（情報読解の根拠が希薄）」、「科学的な思考による根拠ある情報の意欲的な読解」、「情報を読解できたことの実感と現象の理解」、「現象の理解と新たな読解への意欲」、「読解力の向上」という流れを想定し、段階的に自分自身で自然情報の読解を進められるような学習プログラムを構築した（表1）。生徒には、野外のあるがままの状態で地質素材を観察させることが望ましいが、試料を採取して教室に持ち込んだり、写真を撮影したりするなどして、教室で自然情報の読解を試みてもよいだろう。

表1 自然情報読解の際の教師と生徒の関係

教師の動き	生徒の動き	生徒の変化
【Process 1】: Presentation 地質素材の提示	・地質素材の観察	・地質素材への興味・関心 ・漠然とした観察
【Process 2】: Basic explanation 地質素材に対しての基本的な説明	・教師の説明を受けての地質素材の観察	・素材に関する基本的な理解 ・観察の観点が不明瞭
【Process 3】: View point of observation 構造や性質など、観察すべき視点	・教師に示された視点に従って素材を詳しく観察	・素材の持つ自然情報の認識
【Process 4】: Inducement for reading 質問による自然情報読解への誘導	・自然情報の読解の試み	・認識した情報の活用 ・情報読解の根拠が希薄
【Process 5】: Hint for reading 読解のためのヒント	・ヒントをもとにした読解の深化	・科学的な思考による根拠ある情報の意欲的な読解
【Process 6】: Theoretical explanation 情報についての理論に基づく解説	・自らの読解結果との照合	・自然情報を読解できたことの実感と現象の理解
【Process 7】: Search activity and verification 成因に関する実験等による探究と検証	・素材の成因と関連する観察、実験の実施	・現象の理解と新たな読解への意欲 ・読解力の向上

授業を進めるに当たっては、教師は自然情報の読解に適した地質素材を選び、生徒の興味・関心を高め、読解に必要な誘導や支援を適宜行いながら、生徒自らが段階的に読解を進めるようにすべきである。また、理解を確実なものにするために、実験による探究と検証も積極的に実施すると良い。また、多くの地質素材は、生徒がすでに観察した経験を持っていることが考えられ、その場合は逆に興味・関心を示さない可能性がある。しかし、地質素材が持つ特徴がどのようにして形成されたのか、という観点で考察した経験を持っている生徒は多くはなく、自然科学の“新しい世界”へ連れ出すような感覚を持つことが大切である。以下に、いくつかの具体的な学習プログラムの概略を示す。

□ 読解1 ゼノリス（捕獲岩）を読む

○基本説明（Basic explanation）

この岩石は火山岩（安山岩）である。火山岩は、火山の溶岩が地表などで冷え固まった岩石である（図1）。

○観察の視点（View point of observation）

安山岩の中に、色の違う別の安山岩が入っている様子が観察される。

○読解への誘導（Inducement for reading）



図1 安山岩のゼノリス（札幌市三角山）

このような構造を持つ岩石は、どのようにしてできたのだろうか。また、内部の岩石と外の岩石では、どちらが古いのだろうか。

○読解へのヒント（Hint for reading）

溶岩はドロドロに融けており、流動性があるという性質がある。

○解説（Theoretical explanation）

この岩石は、溶岩が流れるとき、周囲の岩石を溶岩内部に巻き込んだものと推定でき、内部の岩石の方が古いことがわかる。このようなものを「ゼノリス（捕獲岩）」という。溶岩の周囲がどのような地質であったのかを推定することができる。

○探究と検証（Search activity and verification）

水飴や蜂蜜等、粘性の高いものを粒状の物質の上に流し、内部に粒状の物質が巻き込まれる様子を観察する（図2）。

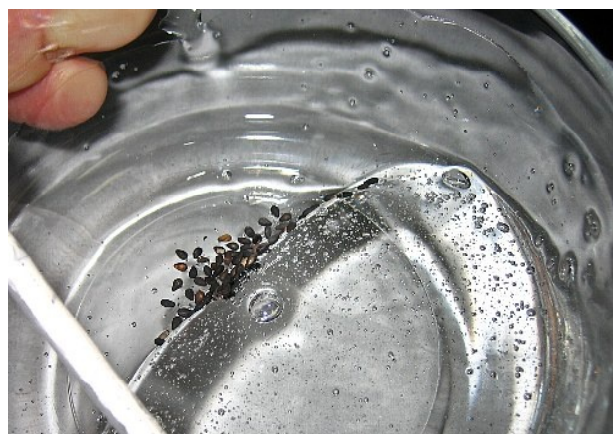


図2 水飴に取り込まれるゴマの“ゼノリス”

□ 読解2 半深成岩の構造を読む

○基本説明（Basic explanation）

この岩石は、火成岩（石英斑岩）である（図3）。

○観察の視点（View point of observation）

全体に鉱物が大きく、わずかに石基が見られる。

○読解への誘導（Inducement for reading）



図3 石英斑岩の構造（札幌市定山溪）

このような構造を持つ火成岩は、どこでどのようにしてできたのだろうか。

○読解へのヒント（Hint for reading）

火山岩と深成岩のでき方を考えてみる。
火山岩は、溶岩が地表または地表付近で比較的早く冷えたために、石基ができていますが、深成岩は、マグマが地下深くでゆっくりと冷えたために、石基がなく鉱物が大きく成長している。

○解説（Theoretical explanation）

石基がわずかにあることと、全体に鉱物が大きく成長していることから、この岩石は火山岩と深成岩の中間の性質を持った火成岩だということが推定できる。生成した場所は岩脈や、浅いマグマだまりなどが考えられる。このような岩石を、「半深成岩」

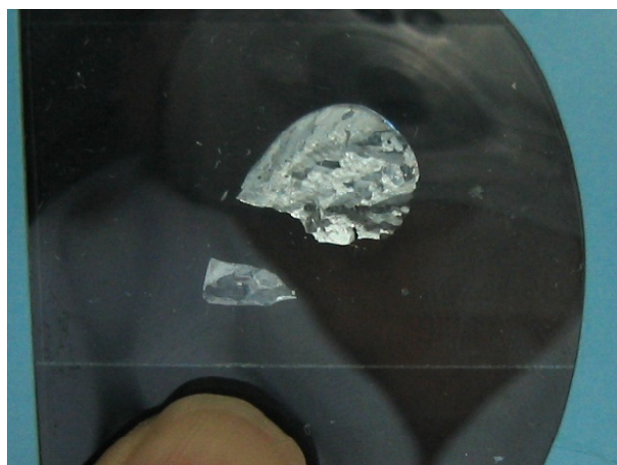


図4 チオ硫酸ナトリウム結晶の“薄片”

という。

○探究と検証（Search activity and verification）

チオ硫酸ナトリウムや明礬などの結晶形成モデル実験を行い、鉱物の成長と冷却状態との関係についての検証を行う（図4）。

□ 読解3 火山岩の発泡孔を読む



図5 発泡した火山岩（阿蘇山）

○基本説明（Basic explanation）

この岩石は火山岩（溶岩）である（図5）。

○観察の視点（View point of observation）

「発泡孔」と呼ばれる、多数の孔がある。

○読解への誘導（Inducement for reading）

火山岩の発泡孔は、どこでどのようにしてできたのだろうか。

○読解へのヒント（Hint for reading）

コーラの栓を抜くと、泡がたくさん出てくる。この現象は、ビンやカンの内部の圧力が下がったためである。

○解説（Theoretical explanation）

溶岩には、多量の気体や揮発成分が含まれており、地下にあった溶岩が地表に出て、圧力が急激に下がったために、溶岩に含まれていた気体が膨張して発泡したと考えられる。そのため、発泡の多い火山岩は、溶岩が地表に噴出した溶岩であることが推定できる。地下深いところや、深海底で冷え固まった溶岩やマグマは、減圧されてい

いため、発泡孔は見られないことが多い。

○探究と検証 (Search activity and verification)

カルメ焼きをつくる実験や、圧力を変化させたときのコーラの発泡の様子の観察などによる検証を行う (図6)。



図6 カルメ焼きの観察 (中央はスコリア)

□ 読解4 火山岩の発泡孔の形状を読む



図7 発泡孔の伸長した火山岩 (小樽市忍路)

○基本説明 (Basic explanation)

この岩石は火山岩 (安山岩) である (図7)。

○観察の視点 (View point of observation)

多量の細長い形をした発泡孔が、同じ方向に伸長している。

○読解への誘導 (Inducement for reading)

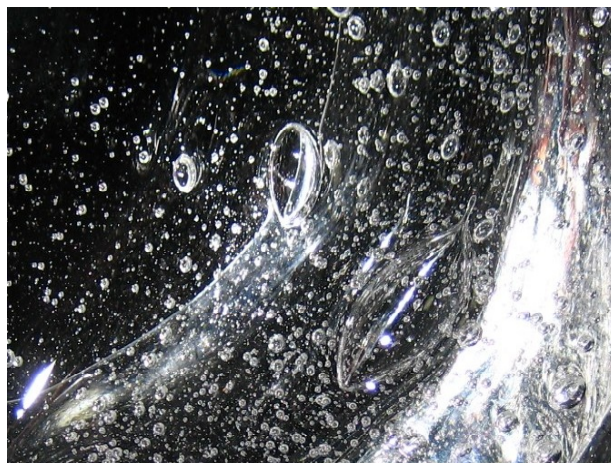


図8 水飴の動きによる伸長した泡

なぜ発泡孔が細長く同じ方向に伸びているのだろうか。

○読解へのヒント (Hint for reading)

溶岩は流動性を持っており、噴出後も流動する。

○解説 (Theoretical explanation)

溶岩が発泡しながら流動すると、内部の泡が引き伸ばされて、流動方向に対して平行に伸張した発泡孔ができる。発泡孔の伸長方向は、溶岩が流動した方向を示しており、溶岩が噴出した場所を推定するのに役立つ。

○探究と検証 (Search activity and verification)

水飴等の粘性の大きなものにストローで空気を入れ、容器を傾けて流動させたときの内部の泡が伸長するようすを観察する (図8)。

□ 読解5 風化した岩石の色を読む

○基本説明 (Basic explanation)

緑色のものは、赤褐色に風化した岩石を削り、ハイドロサルファイトナトリウムで還元処理をしたものである (図9)。

○観察の視点 (View point of observation)

赤褐色だった風化岩が、緑色に変化した。

○読解への誘導 (Inducement for reading)



図9 風化岩の還元処理

なぜ緑色に変化したのだろうか。

○読解へのヒント (Hint for reading)

3 価の鉄のイオンの色は赤褐色、2 価の鉄イオンの色は緑色である。

○解説 (Theoretical explanation)

3 価の鉄イオン（赤褐色）になっていた風化岩が還元されたことにより、2 価の鉄イオン（緑色）になったためである。岩石の中には多くの鉄が含まれていることがわかり、岩石の風化によって岩石に固定されていた鉄が、陸水や海水に多量にもたらされることがわかる^{3), 4)}。

○探究と検証 (Search activity and verification)

鉄釘等の赤さびを用いて、同様の実験を行うことにより、風化した岩石の赤褐色が鉄さび（酸化鉄）によるものであったことが検証できる。

□ 読解6 柱状節理を読む

○基本説明 (Basic explanation)

この構造は、安山岩に見られる「柱状節理」という構造である（図10）。

○観察の視点 (View point of observation)

岩石は均質であるが、縦方向に多数の柱状の割れ目（節理）ができています。

○読解への誘導 (Inducement for reading)



図10 安山岩の柱状節理（札幌市篠舞）

柱状節理はどのようにしてできたのだろうか。

○読解へのヒント (Hint for reading)

溶岩や高温の火砕流には、内部に多量のガスが含まれている。

○解説 (Theoretical explanation)

高温の溶岩や火砕流（火山灰）が冷却される時、含まれていたガスの体積が減少するため、割れ目（節理）ができる。節理の方向は、そのときの冷却方向と垂直であり、写真の柱状節理は上下方向から冷却されたために垂直な方向に節理ができたものである。節理の方向から、溶岩（火砕流）が流れたときの、地表面と溶岩表面の空気と触れあっていた面がわかる。放射状節理の場合は、溶岩が丸い形をしており、様々



図11 片栗粉で作った“柱状節理”

な方向から冷却されたということがわかる。

○探究と検証 (Search activity and verification)

片栗粉に水を混ぜたものをコップに入れて乾燥させてそっと取り出すと、縦に柱状節理のようなひび割れができる (図11)。

□ 読解7 パン皮状溶岩を読む



図12 パン皮状溶岩 (樽前山)

○基本説明 (Basic explanation)

これは火山岩であり、「パン皮状溶岩」というものである。

○観察の視点 (View point of observation)

岩石の表面全体にパンのようなひび割れができている。

○読解への誘導 (Inducement for reading)

なぜ溶岩の表面全体にひび割れができたのだろうか。

○読解へのヒント (Hint for reading)

パンや餅の表面のひび割れはどのようにしてできるのかを考えてみる。

○解説 (Theoretical explanation)

溶岩の表面にひびができるのは、溶岩の表面が急冷されて冷え固まり、内部はまだ高温状態であったことを示している。表面全体にひび割れがあるということから、その岩石が、ちぎれた溶岩の固まりで、噴出直後に空中に吹き飛ばされ、表面が冷却されたことがわかる。



図13 ダッチブレッドのひび割れ

○探究と検証 (Search activity and verification)

ひび割れの多いフランスパンやダッチブレッドを観察したり、作り方を調べたり、餅を焼いて、表面にひび割れができる様子を観察する (図13)。

□ 読解8 地層の不整合を読む



図14 不整合が見られる露頭 (土別市朝日)

○基本説明 (Basic explanation)

2つの地層があり、上は礫岩層、下は泥岩層である (図14)。

○観察の視点 (View point of observation)

上の地層はゆるく右斜め下に傾いているが、下の泥岩層は垂直に立っている。

○読解への誘導 (Inducement for reading)

なぜ上下の地層の傾きが異なっているのだろうか。

○読解へのヒント（Hint for reading）

地層は地殻変動によって傾くことがある。

○解説（Theoretical explanation）

下位の地層が地殻変動によって傾き、上位の地層が堆積し、再び地殻変動によって傾いたと考えられる。上の地層と下の地層が堆積した時代にはギャップがあることがわかる。このような地質構造を「不整合」という。

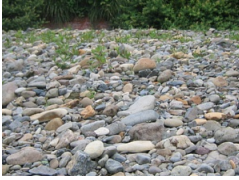
○探究と検証（Search activity and verification）

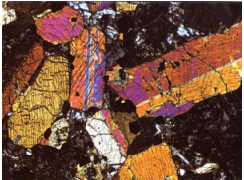
野外の露頭の不整合面を詳しく観察し、下位の地層を削り込んでいる様子や、上位層の下部に、下位層が削剥されたブロック（偽礫：rip-up clast）が含まれている様子を確認する。また、化石を探し、上下の地層の形成年代について考察する。

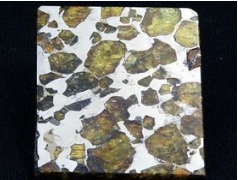
以下に、その他の自然情報の読解が可能な地質素材と、情報読解の例の概略を列挙する（表2）。

表2 地質素材の情報読解の例

情報読解可能な地質素材	情報の読解の内容
□岩石の熱伝導	様々な岩石のブロックをガストーチで加熱し、裏側を手で触って熱伝導度の違いを調べることにより、内部の空気の量について探究・検証する。  凝灰岩の熱伝導実験
□火成岩の岩脈	火成岩の岩脈を観察し、岩脈の周囲の岩石との関係から形成時代を考察する。また、岩脈内部の節理の構造から、マグマの冷却について探究・検証する。  岩脈の節理
□ペレの髪（火山毛）	ペレの髪（火山毛）を観察し、針状の溶岩がどのようにしてできるのかについて考察し、綿飴作りを行ってペレの髪のでき方について探究・検証する。  ペレの髪
□火成岩の密度のちがい	様々な火成岩の密度測定を行い、岩石の鉱物組成の違いや内部構造について探究・検証する。  岩石の密度測定

□岩石の反射光のちがい	様々な岩石の反射光の差異を調べ、岩石の鉱物の大きさや形状等との関係について探究・検証する。	 岩石の反射光
□岩石の水のしみ込み	岩石による水の浸透度の差異を、岩石に水がしみ込むときの音の高さや持続時間から調べ、内部の空隙率を読む。岩石の成因と空隙の関係について探究・検証する。	 岩石の水の浸透
□岩石の磁石との反応	火成岩と堆積岩の磁石との反応の差異を調べ、磁鉄鉱の含有量や、火成岩と地磁気との関係について探究・検証する。	 安山岩とネオジム磁石
□地層の上方細粒化	地層の上方細粒化から、地層の堆積環境と上下関係を読む。また、モデル実験を通して、上方細粒化の仕方について探究・検証する。	 上方細粒化モデル実験
□礫岩層のインブリケーション	礫岩層のインブリケーションから、堆積時の環境や古流向を読む。また、現生の川原の礫の配列を調べたり、モデル実験を通して、インブリケーションの仕方について探究・検証する。	 現生河川のインブリケーション
□地層の粒度の側方変化	地層の粒度の側方変化を観察し、堆積時の環境や古流向を読む。また、モデル実験を通して、側方変化の仕方について探究・検証する。	 地層の粒度の側方変化
□地層の褶曲	地層の褶曲を観察し、地層に加わった力の方向や大きさ、加わった力の原因を読む。また、モデル実験を通して、褶曲の仕方について探究・検証する。	 地層の褶曲

□断層	断層の観察から、地層や岩石に加わった力の方向や大きさ、形成された順序、加わった力の原因を読む。また、モデル実験を通して、断層のでき方について探究・検証する。	 地層の断層
□自形鉱物と他形鉱物	火成岩の自形鉱物と他形鉱物の観察から、各鉱物の晶出した順序を読む。また、地殻の深さと深成岩の鉱物との関係について探究・検証する。	 火山岩の自形鉱物
□枕状溶岩	枕状溶岩の節理から、枕状溶岩形成時の溶岩の形状を読む。また、枕の垂れ下がり構造から、溶岩の上下を読む。	 放射状節理
□岩石を叩いたときの音	様々な岩石を叩いたときの音から、岩石の密度、内部構造、構成鉱物等との関係を読む。	 岩石の音
□花崗岩の人工風化実験	加熱・冷却による花崗岩の破壊から、内部構造との関係を読む。また、他の岩石を用いた同様の実験から、岩石の内部構造について検証する。	 花崗岩の人工風化
□溶結凝灰岩のレンズ	溶結凝灰岩に含まれる扁平なレンズ状ガラスを観察し、溶結凝灰岩の形成時の温度を読む。また、火山灰を強熱・熔融し、レンズの形成環境について探究・検証する。	 溶結凝灰岩のレンズ
□放散虫チャート	チャートの地層の観察から、地層の堆積環境を読み、また、チャートの薄片を観察し、チャートがほとんど放散虫の化石から成ることから、チャートが形成された環境について探究・検証する。	 放散虫チャート

☐ 黒色頁岩	黒色頁岩の剥離性や色，含まれる黄鉄鉱の観察から，形成環境（遠洋），還元性環境を読む。また，金属を粉末にする実習から泥岩が黒色になることについて探究・検証する。	 黒色頁岩
☐ パラサイト（石鉄隕石）	パラサイト隕石の構造から，どのような環境で形成される隕石であるかを読む。鉄やニッケルとかんらん石との比重差から，元々の天体の内部構造や天体の大きさについて探究・検証する。	 パラサイト隕石
☐ オルソクォーツアイト	オルソクォーツアイトがすべて丸い石英粒から成る岩石であることから，砂漠でつくられた堆積岩であることを読み，石英が風化に強い鉱物であることについて探究・検証する。	 オルソクォーツアイト
☐ パーライト	パーライトが多孔質のガラスであることから，そのでき方を読み，黒曜石を強熱してパーライトをつくる実験によって探究・検証する。	 人工パーライト
☐ フラッシュストーン	水晶を強くこすり合わせると発光する現象から，ピエゾ効果について考察し，様々な岩石や鉱物をこすり合わせて石英の含有量について探究・検証する。	 水晶の発光
☐ 黄鉄鉱の臭い	黄鉄鉱の加熱したときの臭いと，硫化水素や硫黄の臭いの比較から，黄鉄鉱には硫黄が含まれていることを読む。現生の硫黄の産出場所から，黄鉄鉱の形成環境について探究・検証考察する。	 黄鉄鉱
☐ オニオンクラック	オニオンクラックは地表面にしかないことの観察から，オニオンクラックが乾燥と雨水によって形成されることを読む。また，乾燥させた泥球を水浸させる実験から，オニオンクラックのでき方について探究・検証する。	 オニオンクラック

まとめ

あらゆる自然の事物は、その生い立ちを我々に語りかけてきている。そのことに気づき、想像力を働かせ、読解を試みることによって、自然に対する興味・関心が向上し、科学的な思考力が育成され、論理的なものごとを考えることができるようになる。また、同じような自然情報と出会ったとき、一度読解したことを応用した読解を行うことができるため、さらに高度な総合的な考察へと発展していくことが期待される。これは、知識だけで進めていく学習では、決して到達することのない領域である。生徒の正しい情報読解のためには、教師側に多くの知識が要求されるが、研修を通して知識を身に付け、自ら科学的思考力を高め、想像力豊かな、自然を愛する児童生徒の育成を行えるようにしたいものである。

本研究を行うにあたり、国立教育政策研究所教育課程研究センターの五島政一総括研究官からは、指導助言をいただいた。ここに感謝申し上げます。

なお、本論文をまとめるにあたり、平成20年度日本学術振興会科学研究費補助金（奨励研究）を使用した。

- 6) 岡本研 岩石の風化現象の教材化．平成17年度都道府県政令指定都市教育センター所長協議会地学部会研究集録 2005
- 7) 岡本研 石の面白実験「石って面白い」の実践 北海道立理科教育センター研究紀要20号 2005

(おかもと きわむ 地学研究室長)

【課題番号】20908032

【課題名】探究活動を通して地質素材の自然情報を読解する教育プログラムの研究

参考

- 1) 岡本研 岩石の比較観察で科学的思考力を育成する 北海道立理科教育センター研究紀要 2007
- 2) 岡本研 地質素材から自然情報の読解力を育成する学習プログラム 都道府県指定都市教育センター所長協議会地学部会（第45回）研究発表大会要旨集 2007
- 3) 岡本研 理科教育における“岩石の風化作用”の重要性 日本地質学会第114年学術大会講演要旨集 2007
- 4) 岡本研 岩石の風化作用から何を学ぶか 北海道立理科教育センター研究紀要 2006
- 5) 岡本研 安山岩と花崗岩で学ぼう 北海道立理科教育センター発行物. http://www.ricen.hokkaido-c.ed.jp/240chigaku_jikken/tayousei.html 2006