

## 岩石の風化現象の教材化

－風化岩を用いた観察・実験－

北海道立理科教育センター

地学研究室研究員 岡本 研

### 1 はじめに

小学校、中学校、高等学校を通じて、地層の形成に関する学習を行うにあたり、流水の作用や火山の活動などの様々なアプローチがあり、その生い立ちを考えることは自然科学を学ぶ上で大変重要なことである。しかしながら、地層が形成されるプロセスの中で非常に重要な役割を果たしているはずの岩石の風化現象については、あまり大きく扱われていない。

風化現象は学習指導要領や教科書において、どのように取り扱われているのだろうか。小学校においては、地層の形成や岩石についての学習を行っているが、風化については全く取り扱われておらず、中学校では教科書に風化についての簡単な記述はあるものの、学習指導要領には現れない言葉である。高等学校では、地学Ⅰと理科総合Bにおいて、「生物活動を支える場としての土壌の形成」という観点を中心として風化を学習しており、化学Ⅰや理科総合Aでもセラミックスの材料として粘土が取り扱われているが、風化が地球環境と深く関わりを持つグローバルな自然現象という位置づけはなされていない。

しかしながら近年、風化現象を調べる基本的な技術の発展とともに、地球の生態系および生物や水文や気候との相互作用に関して、風化の果たす役割は重要であることが認められるようになってきている(White&Brantley, 1995)。また、風化現象は、地質学のみならず、土質工学・土壌学・化学・鉱物学・生物学・地形学・農学等の研究分野とも密接に関連し、さらに自然災害や防災教育へとつながっていく要素を持っており、今後グローバルな自然現象としての位置づけが必要とされ、教育現場においても総合的な視点から、より大きく取り扱われるべき題材であると考えられる。



図1 風化が進んだ礫岩層

### 2 風化現象とは

岩石の風化作用は様々な要素が複雑に関与する作用であり、統一された定義はないが、一般的には、化学的風化作用・物理的風化作用・生物的風化作用の3つに分類され、地表(付近)で大気、地表水などの関与の下で岩石が破碎され、変質して地表において安定な状態になろうとする作用であるといえる。地表条件でもっとも安定な鉱物というのは、土壌中に含まれる金属の酸化物や粘土鉱物のことである(木宮, 1991)。

物理的風化作用は、岩石が地表に露出した際の気温変化に伴う鉱物間の熱膨張率の違いや、水の凍結による体積膨張などにより岩石中にクラックが発生する。クラックは鉱物間から鉱物内部にまで発達し、岩石強度を弱めるとともに化学的風化作用の進行を助長する。温度変化のほかの物理的風化の原因としては、シーティングという現象がある。これは、地下深部にあった岩石にはたらいていた圧力が地表で解放されることによる岩石の膨張によってクラックが発達することである(木宮, 1991)。

一方、化学的風化作用は、岩石が地下水・地表水・空気などと接触すると、岩石中の溶

解しやすい成分が溶解して除かれたり、逆にCO<sub>2</sub>やO<sub>2</sub>などを取り込んだりして、鉱物が別の鉱物に変化するような作用であり、こうして生成した鉱物は粘土鉱物と呼ばれる。溶脱しやすいものは、Ca>Na>Mg>K>SiO<sub>2</sub>>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の順となっており、CaやNaは溶脱しやすく、FeやAlは溶脱しにくい。例として正長石 (KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) の風化をあげると、Kイオンすべてが溶脱された場合、AlSi<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>；カオリナイトが生じ、温度が低いなどの悪条件でKイオンすべてが溶脱しきれないときは、KAl<sub>2</sub>(AlSi<sub>3</sub>)O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>；イライトが生じる。また、非常に激しい溶脱を受ける場合は、KイオンのほかSiイオンも溶脱されて、Al(OH)<sub>3</sub>；ギブサイト（アルミニウムの原料）が生じる（木宮，1991）。このように、風化の原因は様々な要素が複雑にからみあっているが、初原的な要素としては、水・大気による酸化や温度変化による岩石の破壊が基本的な要素である。学校現場において、これらの化学成分の分析などを行うことは困難と思われるが、簡単な実験観察で内部のマイクロクラックの状態や粘土鉱物の生成等を調べることや、野外での露頭観察によって風化の状態を調べることは可能である。こうした調査研究の結果から、現在起きている風化がどのような原因で起きているのかを考察したり、今後どのような影響を周囲の環境に与えていくのかを総合的に推定していくプロセスが教育現場では大切であると考えられる。



図2 風化した花崗岩の真砂

### 3 風化から何を学ぶか

風化現象を学ぶ中で、特に「岩石の変化と時間経過」に着目してみよう。例えば、岩石が段階的に風化している状態を観察することによって、岩石の時間経過による変化を知ることができる。地球科学は地球の過去を探るという一面を持つ学問であるが、化石等の多くの題材では時間の流れは断片的にしか示されず、発生した事象の時間的変化を立証することは困難である。しかし、風化は連続した時間の経過を同時に観察することができる、唯一の現象といえる。また、風化物（土壌等）を調べることによって、元はどのような岩石であったのかを推定することができるなど、科学的思考力を身につけるためにも役立つ題材なのである。

新鮮な岩石と風化岩との比較はもっとも大切な観察であり、岩石が自然状態においてどのような変容を遂げていくのかを観察させ、どこが変化し、どこが変化しないのかを調べ、風化によって変化した鉱物、変化しなかった鉱物を調べて、その原因を考察する。さらに、肉眼やルーペのオーダーでの観察から、鏡下観察においても同様に両者を比較してみることによって、変化の実態を調べる。変化したところとしなかったところを確認することによって、その原因を考察することができる。

土壌の成因と岩石の風化との関連を考えることも重要である。土壌を処理して残存鉱物を観察し、風化岩の残存鉱物と比較する。洪水時の泥水についても同様に、構成物を鏡下観察によって調べることにより、流水によって運搬されている細粒な碎屑物は、風化した岩石を起源とすることを推定することができる。

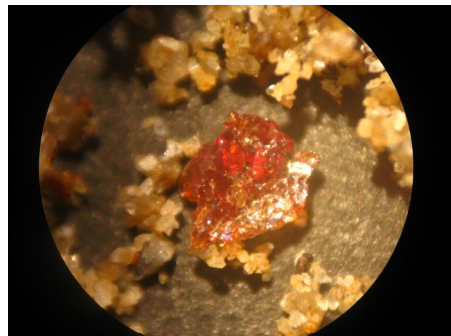


図3 風化岩に残存するザクロ石

地形との関連としては、崖崩れなどの原因として風化が関わっていることを調べるために、崖の弱くなっているところ、今後崩壊しそうなところを調べることによって、なぜその場所の風化が進行しているのかを考察することができる。

さらに地球環境との関連では、海水組成と風化の関連を考察するために、溶脱しやすい

成分と海水組成との関係を考えてみる。表1に示すように、海水中に多く含まれる金属イオンは、前述のように風化した岩石から溶脱しやすいイオンが多いことがわかる。このことは、原始地球の海水組成の変化を推定する上でも重要で、大陸が成長したことや遊離酸素が増加したことによって風化が進行し、多量の金属イオンが海水中に溶け込んでいった変化が想像される。このほかにも生徒に考えさせていきたい内容として、次のようなものがある。

溶存イオン	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>
溶存濃度 (mg/l)	11050	416	422	1326	19870	2784

表1 海水中の溶存イオン（環境年表より）

他の惑星（衛星）の風化の考察／一次遷移の開始時の土壌変化の考察／岩石の風化と土壌への養分の供給の関係の考察／原始地球に起きた風化の考察／風化と地表の地形変化との関係の考察／地球の大気組成の変化と風化との関係の考察／風化による酸性雨の中和の考察／風化による土壌pHの変化の考察／粘土鉱物の生成と風化の関係の考察／植物が岩石を風化させる仕組みの考察／岩石の風化しやすさの原因の考察／風化土壌の分布地域と気候や地質との関係の考察／土壌中の残存鉱物、粘土鉱物の化学組成から元の岩石の推定／鉱物ごとの化学変化の要因の考察／熱、酸・アルカリ、圧力、衝撃など、風化の要因の考察

#### 4 風化に関する実験実習

風化の様子を観察し、その状態を調べ、風化の原因を考察したり今後の進行とその結果を総合的に考察するために、有効と思われる実験観察の方法を以下に示す。野外での風化の状態を観察して、地形変化や地層の形成という大きな目でこの現象をとらえることと、室内での実験観察によって、岩石の風化とはどのような現象なのかをとらえること、そしてその現象の再現を試みる実験を行うことによって、初めて風化という現象の実態を理解することができ、生態系や地球環境に与える影響などについて考察することが可能になるものとする。

##### 【岩石の風化を野外で観察する】

- 露頭の風化の段階を、新鮮～土壌まで分類する。
- 断層・節理など、破壊が進行している様子を観察する。
- 同じ露頭で観察される、同種の岩石間の風化の進行度の違いを観察し、その差異の原因を考えてみる（礫のあった位置、水のしみこみなど）。
- どのような部分が最も風化しているかを観察する。
- 崖崩れを起こしている場所と風化との関連が見られるかどうかを観察する。
- 風景写真を見て、どこに風化作用が関わっているかを考察する。

##### 【岩石の風化の進行度を調べる】

- 風化した岩石のそれぞれの鉱物について、色や固さの変化を調べる。
- 切断して内部を観察し、どのように外側から風化しているかを調べる。
- 花崗岩に赤インクを染み込ませ、マイクロクラックの状態を調べる。
- 風乾試料にメチレンブルー水溶液をかけ、粘土成分の有無により風化の進行度を調べる。
- クサリ礫の礫種や、内部の鉱物の風化状態を調べる。
- 風化岩石中の残存鉱物を調べる。→ 残りやすい鉱物、残りにくい鉱物を知ると同時に、水に流されたものが粘土であることを学ぶ。
- ハンマーで叩いて音を比べ、新鮮な岩石と風化岩を比較する。→ 風化と地形変化、礫や砂の形成の関係を考察する。



- 湧水中の化学成分を調べ、岩石からの溶脱成分を推定し、周囲の地質の風化の進行度を推定する。

#### 【風化した岩石を化学的に調べる】

- 風化した岩石を砕いて水に入れて沈殿させ、上澄み溶液をつくり、化学反応を調べて、水溶性物質が多くなったことを学び、風化していない岩石との比較を試みる。また、水溶液と海水のできかたの関係を考察する。
- 各種岩石の風化色を調べ、岩石組成との関係を考察する。

#### 【岩石の風化を再現する】

- 花崗岩に加熱・急冷を繰り返し、破壊させる実験（物理的風化）を行い、他の岩石とも比較し、破壊の原因を考察する。
- 石灰岩などの堆積岩を酸で溶かし、コンクリ物質（炭酸塩鉱物）の溶解を観察し、化学的風化による破壊を学ぶ。
- 乾燥させた泥岩の吸水膨張（膨潤）によるオニオンクラック生成実験。
- 水中の鉄の錆びる様子を観察し、化学的風化の中心である酸化作用を学ぶ。
- 蛇紋岩等の水を多く含む岩石を電気炉で加熱し、変色や重量変化を調べることで、酸化作用や結晶水の脱水を学ぶ。

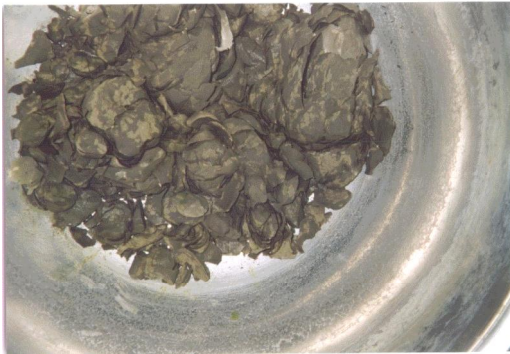


図4 実験でつくったオニオンクラック



図5 砂岩層に見られたオニオンクラック

## 5 参考文献

- Dorothy Carroll (1974) : 岩石の風化. ラティス社
- White, A. F. and Brantley, S. L. (eds.) (1995): Chemical Weathering Rates of Silicate Minerals. Reviews in Mineralogy Vol31, Mineralogical Society of America.
- 小森信男 (1984) : 新第三紀泥質岩の機械的風化とその教材化の研究. 地学教育, 37.
- 木宮一邦 (1991) : 地質学から見た岩石風化. 応用地質, 32(3).
- 下野洋 (1997) : 岩石の風化した様子を調べよう. 身近な自然を調べる. 東洋館出版.
- 地学団体研究会 (1982) : 自然を調べる地学シリーズ3 土と岩石. 東海大学出版会
- 秦明德 (1990) : 化学的風化作用とその教材化. 地学教育, 43.
- 秦明德 (1989) : 風化作用観察学習のための基礎的研究, 花崗閃緑岩深層風化殻を例として. 地学教育, 42.