

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月24日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22740345

研究課題名（和文） 岩石の風化における化学的過程と物理的過程の相互作用

研究課題名（英文） Interaction between chemical and physical processes in rock weathering

研究代表者

横山 正（YOKOYAMA TADASHI）

大阪大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号：60403101

研究成果の概要（和文）：

水中で岩石に球を繰り返し衝突させる実験を行い、化学風化（溶解）と物理風化（粒子の分離）の進み方を調べた。硬さ（Leeb 硬さ）が異なる3つの砂岩について測定された重量減少速度（物理風化速度+化学風化速度）は、硬さが大きくなるにつれて減少した。岩石の溶解により水中に溶出した元素の濃度から算出した化学風化量と比べて、物理風化量は約4-371倍多く、硬さが小さな岩石ほど相対的に物理風化の寄与が大きかった。

研究成果の概要（英文）：

A sphere was repeatedly collided to the rock in water and the way in which the chemical weathering (dissolution) and the physical weathering (grain detachment) proceed was studied. The experiments using three sandstone samples differing in hardness (Leeb hardness) showed that the rate of the weight loss of the sample, corresponding to the physical weathering rate plus the chemical weathering rate, decreased with increasing rock hardness. The physical weathering rates were approximately 4-371 times greater than the chemical weathering rates determined from the solute concentrations in water. The relative contribution of the physical weathering increased with decreasing rock hardness.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：岩石・水相互作用

科研費の分科・細目：地球惑星科学・（岩石・鉱物・鉱床学）

キーワード：物理風化，化学風化，砂岩

1. 研究開始当初の背景

岩石の風化作用は、河川水・地下水・海水への元素の溶出、堆積物の生成、地形の変化、大気組成の形成など、地球表層環境で生じる様々な現象を直接・間接的に支配している。

風化作用は、化学的過程（化学風化）と物理的過程（物理風化）に大別される。化学風化とは、岩石や鉱物が、溶解・沈殿・酸化・還元などの化学反応により、表層環境でより安定な状態に変化することである。物理風化とは、流水中の岩石同士の衝突、間隙中での

氷や塩の析出，温度変化による膨張・収縮，植物根による破砕などの物理的作用により，岩石や鉱物が小片化することである．全体の風化は，化学風化と物理風化の相互作用の結果として進行する．

化学風化と物理風化の両方を扱った研究としては，河川における溶存元素量と懸濁物・堆積物量に基づいて，化学風化量と物理風化量の比較を行ったものが多い．こうした手法からは，流域全体における物質収支の情報が得られるものの，化学風化と物理風化の素過程に関して詳しい議論を行うことは困難である．一方，風化の素過程を調べる目的では，鉱物の溶解実験や各種風化試験など，多くの研究が行われてきた．しかし，化学風化もしくは物理風化の片方のみに着目して，両者の比較はなされていない場合が多い．

2. 研究の目的

本研究では，特に河川中などにおいて，岩石の転動による岩石同士の衝突に伴って風化が進む現象に着目して，物理風化と化学風化それぞれの速度や，それらの支配因子の理解を目指した．国際的に多くの研究で使用されている Berea 砂岩（米国）を用いた風化実験を行い，全体の風化における物理風化と化学風化の寄与の比較を行った．また，風化を考える上で重要な物性と予想される岩石の“硬さ”が，風化速度とどのような関係を持つかも検討した．

3. 研究の方法

(1) 風化実験

図 1 に実験の概略を示す．本実験装置では，アクリルの円筒状容器（外筒）の一端に成形した岩石試料（21 mm × 16 mm × 5 mm）が固定されている．外筒の中には，岩石に衝突させる球のレールの役割を果たす内筒がある．球には，ナイロン被覆鉄球（直径 19 mm）を用いた．外筒と内筒の中は，実験開始時に純水で満たす．反応容器をシェーカーの上で往復振とうさせることで，球が左右に移動し，繰り返し岩石に衝突する．時間の経過と共に，岩石が削れて重量が減少していく．この重量減少を測定するために，ときどき試料を取り出して秤量する．ここで，衝突による鉱物粒子の分離を物理風化，鉱物の溶解を化学風化と見なすと，まず試料の重量減少から，物理風化と化学風化の総量が分かる．一方，溶解によって水中に溶出した元素の濃度から，化学風化量が分かる．したがって，物理風化と化学風化を区別して定量することができる．実験は反応装置全体を恒温機の中に入れて，25°Cで行った．

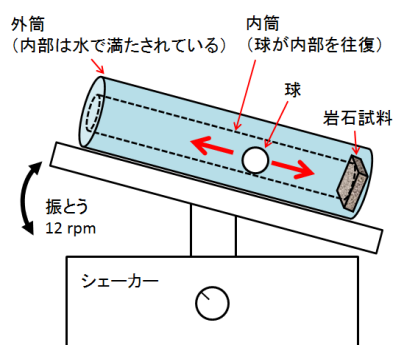


図 1 風化実験の概略図

(2) 試料

風化実験には，3種類の硬さの異なる同一地方産の砂岩を用いた．リバウンド式硬度計で測定した岩石試料の硬さ（Leeb 硬さ，値が高いほど硬い）は，硬い方から順に，644 HL，541 HL，407 HL であり，それぞれの岩石を Berea-A, Berea-B, Berea-C と呼ぶことにする．図 2 に各岩石の薄片写真を示す．いずれの岩石も石英が約 80–90%を占め，その他長石，粘土鉱物，炭酸塩鉱物が含まれている．Berea-A, -B, -C それぞれについて，間隙率（外界に開いた間隙の割合）は約 13%，17%，14% であり，主な粒径は約 100–200 μm，150–250 μm，200–800 μm である．

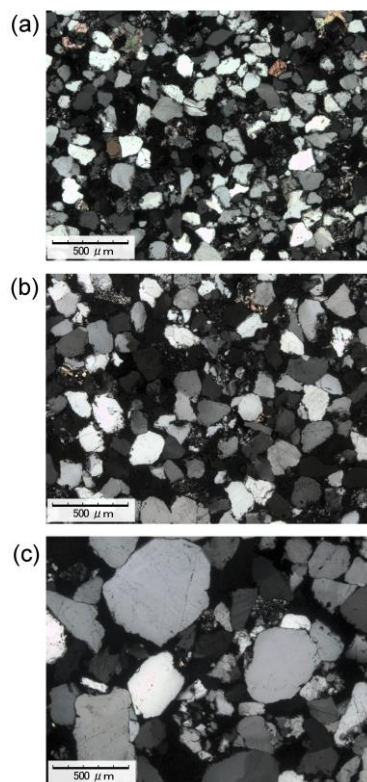


図 2 (a)Berea-A, (b)Berea-B, (c)Berea-C の偏光顕微鏡写真（直交ポーラー）

4. 研究成果

(1) 全体の風化

風化実験における岩石試料の重量減少量の時間変化を図3に示す. 図3における各試料のデータ点を直線近似することで得られる平均の重量減少速度 (mg/d) は, Berea-A < Berea-B < Berea-C であり, 硬い試料ほど重量減少速度が小さい. 平均の重量減少速度を硬さに対してプロットした結果を図4に示す. この結果から, 経験的な関係として, 硬さが大きくなるにつれて重量減少速度が指数関数的に減少していく傾向が読み取れる. なお, 各岩石の粒径から計算した粒子1個の体積 (球近似) と, 平均重量減少速度とから, Berea-A, -B, -C について, 平均の粒子分離速度はそれぞれ, 269 個/d, 418 個/d, 406 個/d と計算される. 1日の球の衝突回数は約17000回なので, 平均するとそれぞれ63回, 41回, 42回の衝突で1個の粒子が分離している計算になる.

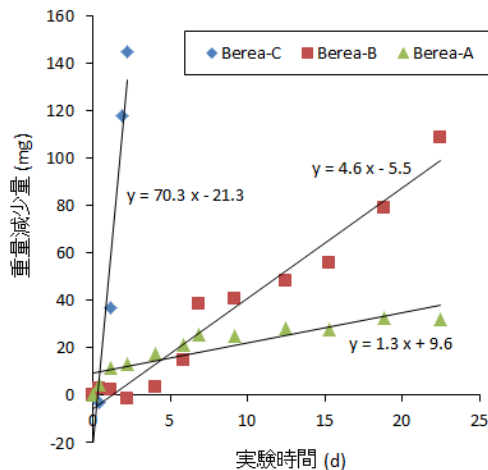


図3 岩石試料の重量減少量の時間変化

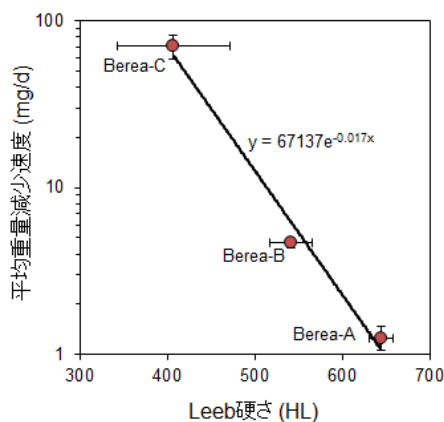


図4 岩石試料の硬さ (Leeb 硬さ) と平均重量減少速度の関係

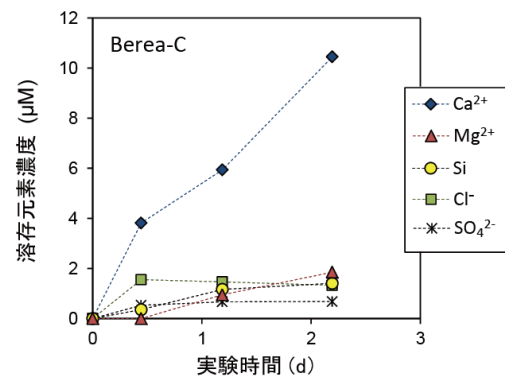
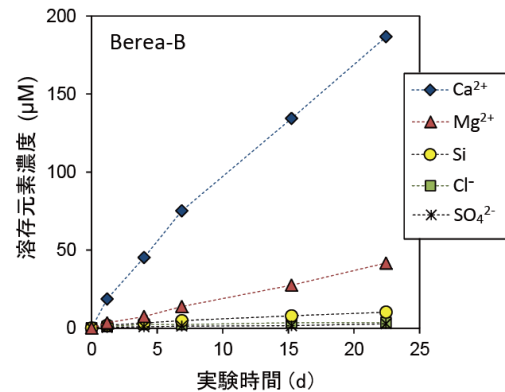
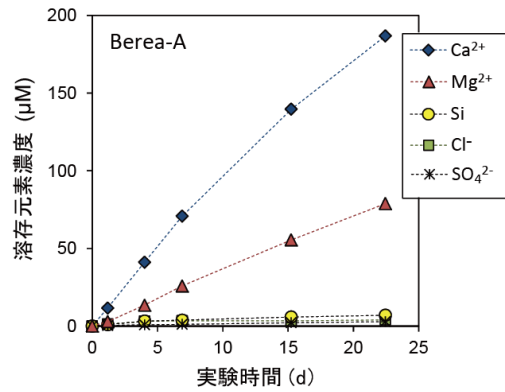


図5 岩石試料から溶出した溶存元素濃度の時間変化 (Berea-C の反応時間は Berea-A, -B より短い点に注意)

(2) 化学風化

風化実験における溶液中の各種元素濃度の時間変化を図5に示す. いずれの岩石についても, 最も溶出量が多いのは Ca^{2+} であった. また, Mg^{2+} の溶出量も多かった. 実験前後の pH は 5-6 で大きな変化は無かった. 炭酸イオン濃度は測定していないが, 特に Berea-A と-B において Cl^- や SO_4^{2-} の濃度が Ca^{2+} , Mg^{2+} の濃度と比べてかなり低いことから, Ca^{2+} , Mg^{2+} は主に炭酸塩として存在していたものが溶解した可能性が高い. Na^+ と K^+ の濃度は, Cl^- の濃度と類似していて, 識別が困難なため 図5には示していないが, 測定された Na^+ ,

K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} の濃度の間に電気的中性関係がある程度成り立っていたことから、これらの元素は主に塩化物もしくは硫酸塩として存在していたものが溶解した可能性が考えられる。実験に用いた岩石は、いずれも石英が約 80–90%を占め、炭酸塩鉱物の含有量は少ない。しかし、石英および長石の主成分である Si の溶出量は、 Ca^{2+} , Mg^{2+} のそれと比べるとかなり少なかった。この結果は、一般に pH 中性付近における石英や長石の溶解度や溶解速度が、Ca や Mg の炭酸塩鉱物のそれらと比べてかなり小さいことを反映していると思われる。

(3) 物理風化と化学風化の比較

実験終了時点において、Berea-A, -B, -C の重量減少量（物理風化量+化学風化量）はそれぞれ 32 mg, 109 mg, 145 mg であった（図 3）（Berea-C の反応時間は Berea-A, -B より短い）。一方、各元素の溶出量から算出した全体の溶出量（化学風化量）はそれぞれ 7.0 mg, 6.2 mg, 0.39 mg であった。これらの値から、まずどの岩石についても物理風化量が化学風化量より多いことが分かる。Yokoyama and Matsukura (2006)は、天然における花崗閃緑岩の風化実験において物理風化量が化学風化量より多くなることを指摘しており、砂岩を用いた本研究の結果においても同様の傾向が確認された。また、Berea-A, -B, -C について、“物理風化量/化学風化量”の値を計算すると、それぞれ約 4, 17, 371 となる。したがって、物理風化が占める割合は Berea-A < Berea-B < Berea-C となり、硬さが小さな岩石ほど相対的に物理風化の寄与が大きくなることが分かった。図 3 において、各時点での重量減少速度（隣合う 2 点間の傾き）は、特に Berea-B において変動が大きいものに対し、図 5 における溶存元素濃度の増加速度は変動が比較的小さい。したがって、粒子の分離速度の変動が大きいことが分かる。これは、岩石内部に強度の不均質さがあり、強度が高い部分に球が衝突している間は粒子の分離が遅いが、その部分が削れると、次に強度が高い部分に到達するまでは比較的速く粒子が分離するというを示しているのかもしれない。

以上の結果から、河川中において岩石同士の衝突により風化が進む際には、硬さによって化学風化と物理風化の寄与は変化することが分かる。鉱物組成が類似した岩石については、硬さが小さいものほど相対的に物理風化の寄与が増大し、化学風化の寄与は低下することが予想される。岩石の強度にはいろいろな指標があるが、“Leeb 硬さ”が物理風化と化学風化の大小を予測するための指標の一つとして利用できる可能性が示された。本研究で得られた知見は、河川中における岩石

の風化過程や、溶存元素および鉱物粒子の輸送過程を考える上で有用と考えられる。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

[学会発表] (計 2 件)

① 横山 正, 砂岩の風化における化学的過程と物理的過程の相互作用, 日本鉱物科学会 2011 年年会, 2011. 9. 11, 茨城大学

② 横山 正, 化学的風化と物理的風化の相互作用, 2011 年 微生物-鉱物-水-大気相互作用研究会, 2011. 3. 10, 東京大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

横山 正 (YOKOYAMA TADASHI)
大阪大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号：60403101

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし