

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25750113

研究課題名(和文) 日本列島の花崗岩山地の化学的風化速度の分布とその規定要因

研究課題名(英文) Controlling factor for spatial pattern of chemical weathering rates in granitic mountains in Japan

研究代表者

八反地 剛 (HATTANJI, Tsuyoshi)

筑波大学・生命環境系・講師

研究者番号：00418625

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：地球化学的物質収支法の改良版に基づき、日本列島の代表的な花崗岩地帯3地域の化学的風化速度を推定した。調査対象地域は北アルプス、六甲山地、阿武隈高地の小流域であり、いずれも黒雲母花崗岩を基盤岩としている。各地域において新鮮な岩石を、各小流域において河川堆積物をそれぞれ採取し、蛍光X線分析装置を用いてそれらの化学組成および風化に対して抵抗性をもつ微量元素の濃度を測定した。その結果、削剥速度が極めて大きい(年間1 mm以上)領域において、化学的風化速度が削剥速度に比例する傾向が明瞭であることが明らかとなった。すなわち、急峻で削剥速度の大きな山地では、化学的風化速度も大きいことが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：We applied a modified geochemical mass balance model to estimate chemical weathering rates in three mountainous areas underlain by biotite granite (North Alps, Rokko Mountains, and Abukuma Highland) in Japan. We collected stream sediment and fresh bedrock in each study area. Chemical compositions of fresh bedrock and stream sediment were measured with X-ray fluorescence analysis. Basin-wide denudation rates from cosmogenic radionuclides in stream sediment were used for the calculation in the model. Chemical weathering rates for all Japanese sites are generally in proportion to basin-wide denudation rates for steep mountains with high denudation rates of more than 1 mm/y.

研究分野：地形学

キーワード：風化 侵食 削剥 花崗岩

### 1. 研究開始当初の背景

山地の地形発達には地形学における伝統的かつ重要な研究課題の1つであり、山地の主たる地形形成プロセスである侵食やマスムーブメントなどの現象には、岩石の風化作用が重要な役割を果たしている。特に風化速度は、地形変化の速度、すなわち侵食速度や斜面崩壊の発生周期などと密接な関係を持ち、極めて重要である。

風化作用は物理的風化と化学的風化に大別されるが、特に温暖湿潤気候下にある日本列島の大部分を占める山地斜面では、化学的風化が主要な風化プロセスである。化学的風化に関する既存研究は、風化による物性変化や風化層の厚さなどに焦点を当てたものが中心であり、「速度」を取り扱ったものは比較的少ない。また、従来の化学的風化速度に関する研究のアプローチとして、(1)河川水の溶質と流量の観測に基づき推定する方法や、(2)年代が既知の地形面における風化層を分析し風化速度を得る方法がある。しかし(1)の方法では、地形発達や岩石の風化に関わる時間スケールに比較して短い時間スケールを反映するため人為的なプロセスの影響が問題となる。また、(2)の方法では確実な風化速度が得られるものの、年代が既知の地形面に限定されるため、空間的な広がりには制約を受ける。このため、常に削剥を受けている山地斜面での化学的風化速度に関する研究は進んでいなかった。

近年、Riebe *et al.* (2004)は、原位置宇宙線生成核種法(TCN法)とX線蛍光分析(XRF)による難溶性元素濃度の定量に基づき、数千年あるいは数万年の時間スケールにおける化学的風化速度を求めることに成功した。この手法では、宇宙線生成核種の濃度から削剥速度  $D$  を求め、次に岩石中および土壌中の難溶性元素濃度[IE]の比から、以下の(1)式によりCDF値を求める。

$$CDF = \frac{W}{D} = \left[ 1 - \frac{[IE]_{\text{rock}}}{[IE]_{\text{soil}}} \right] \dots (1)$$

化学的風化速度  $W$  は削剥速度  $D$  に(1)式で得られるCDF値を乗じることにより得られる。現段階でこの手法が適用できる地域は定常的な削剥を受ける花崗岩地帯に限られるという制約があるものの、このモデルを利用することにより定常的な削剥を受けている条件下において化学的風化速度を推定することが可能となった。2003年以降現在まで、この手法を応用した研究は地球化学分野を中心に国際的にも広がりを見せているが、多様な気候・地形条件を有する日本列島を対象として系統的に化学的風化速度の分布を解明した研究は未だ実施されていない。

### 2. 研究の目的

本研究では、全国4か所の代表的な花崗岩

地帯(六甲山地、阿武隈高地、北アルプス、山形・朝日山地・南陽丘陵)の小流域を対象に、XRFによる難溶性元素濃度の定量を実施し、宇宙線生成核種から求めた削剥速度を用いて、化学的風化速度を明らかにする。さらに、得られた結果を用いて、(a)化学的風化速度に対する削剥速度の影響や、(b)化学的風化速度に対する気候条件(特に温度条件)の影響を明らかにする。

### 3. 研究の方法

調査対象地域は北アルプス芦間川流域(8小流域)・高瀬川流域(1小流域)、六甲山地(4小流域)、阿武隈高地(2小流域)、山形・朝日山地(4小流域)である。北アルプス・六甲山地・阿武隈高地の小流域については、黒雲母花崗岩のみにより基盤岩が構成されているものに限定した。山形県の調査流域では主に花崗閃緑岩が分布している。山形県の調査流域を除く小流域については松四ほか(2014)により測定された $^{10}\text{Be}$ 濃度を計算に用いた。山形県の朝日山地の各流域では、河川堆積物(粒径0.25–2.0 mm)試料中の宇宙線生成核種 $^{10}\text{Be}$ および $^{26}\text{Al}$ の濃度を、東京大学タンデム加速器研究施設において測定した。

風化に伴う難溶性元素の濃縮率を明らかにするため、各小流域において河川堆積物と新鮮な岩石を採取した。河川堆積物は0.063 mm, 0.25 mm, 2 mm, 9.5 mmの篩を用いて細レキ、粗砂、細砂の3区分に分離した。分離された堆積物、新鮮な岩石をそれぞれ粉砕し、自動めしう乳鉢によって粉体にして、最後にそれらを加圧してペレットを作成した。各サンプルの主な化学組成および微量元素のZr, Tiの濃度を埼玉大学科学分析支援センターの波長分散型蛍光X線分析装置(Phillips PW2400)により測定した。いずれの調査地域においても、Tiの濃縮率がZrの濃縮率を上回っていたことから、本研究ではTi濃度を物質収支法すなわち(1)式の計算に用いた。各流域の代表的な土壌サンプルの粒度組成を用いて、各粒径(細レキ、粗砂、細砂)区分についてTi濃度の重みづけ平均を行い、土壌中のTi濃度の平均値を推定した。

### 4. 研究成果

(1) 黒雲母花崗岩からなる小流域の化学的風化速度 - 3つの調査地域の比較

北アルプス、六甲山地、阿武隈高地の対象流域は黒雲母花崗岩の領域に限定されており、岩石中のTi濃度が0.04%–0.10%程度であり、各地域の標準偏差も0.01%–0.03%と小さかった。このため式(1)により各小流域のCDF値を求めた。得られたCDF値は、北アルプスでは0.02–0.40(平均0.19)、六甲山地では0.12–0.33(平均0.22)、阿武隈高地では0.43–0.67(平均0.55)であった。起伏の小さい阿武隈高地では、化学的風化の削剥に対する寄与が大きかった。

CDF 値と小流域の年平均気温の関係を図 1 に示す。なお、小流域の年平均気温は、各小流域の標高、近隣地点のアメダス観測点の年平均気温、および遞減率を用いて推定したものである。低温・寒冷な気候下にある北アルプスの小流域のうち、平均気温が 5 以下の領域では、CDF 値が 0.1 程度の小さい値を示しており、寒冷な条件下では、物理的風化の影響が大きくなる可能性を示唆している。ただし、これらの流域では削剥速度も高く、その効果が表れているという解釈も成り立つため、削剥速度と CDF 値との関係についての検討も必要である。

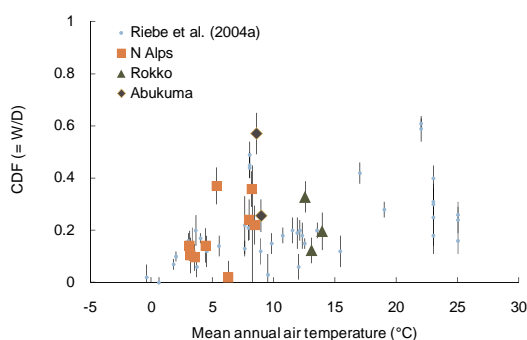


図 1 小流域の年平均気温と CDF 値の関係

CDF 値と削剥速度の関係を図 2 に示す。CDF 値は削剥速度の高い領域 (1000 mm/kyr 程度) においてやや小さくなる傾向がみられるものの、CDF 値が著しく低減する傾向は見られなかった。一方、北アルプスと六甲山地はほぼ同じ領域にプロットされており、CDF が 0.1 程度に低下する原因は、必ずしも気候条件にはよらないということも示唆される。

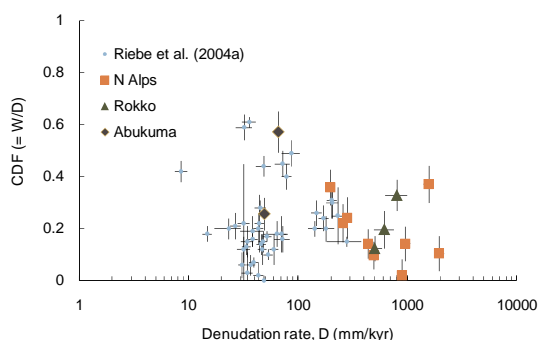


図 2 小流域の削剥速度と CDF 値の関係

削剥速度と化学的風化速度の関係を図 3 に示す。Riebe *et al.* (2004) が同様の手法により北中米・ニュージーランドの化学的風化速度を推定した研究により、化学的風化速度は概ね削剥速度に比例して増加する傾向が示されている。本研究も彼らの結果とほぼ同様であるほか、削剥速度が 1000 mm/kyr 以上の高削剥速度の領域でも基本的にこの傾向が持続されることが明らかとなった (図 3)。

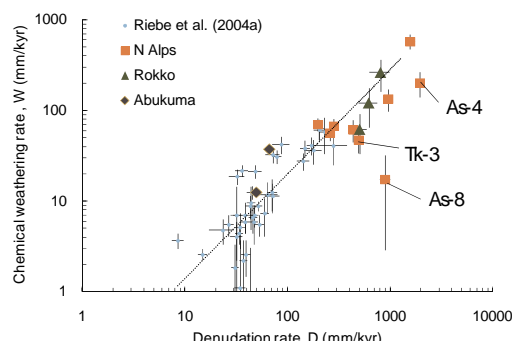


図 3 削剥速度と化学的風化速度の関係

図 3 中の回帰直線は Riebe *et al.* (2004) らの測定結果から計算したものであるが、削剥速度の高い日本国内の傾向ともよく一致している。なお、図 3 の北アルプスの値にはばらつきがみられている。特に標高の高い小流域 (Tk-3, As-4) では、物理的な風化作用の寄与が大きい可能性がある。極端に小さな CDF 値を示している As-8 小流域では、サンプル採取前に砂防ダムが建設されており、人為的な攪乱の影響が含まれている可能性もある。

(2) 花崗閃緑岩を基盤岩とする山形県・朝日山地の化学的風化速度推定において生じた問題について

山形・朝日山地の 4 小流域で採取された河川堆積物試料の宇宙線生成核種濃度から、この地域の削剥速度が 230–630 mm/kyr であることが明らかとなった。これらの削剥速度は、活断層帯の垂直変位速度 (約 0.3–0.7 mm/y) とほぼ同じであり、基本的には隆起と削剥がほぼ平衡した状態にあると推定される。

これらの小流域の河床にみられる大レキ・巨レキや基盤岩を採取し、難溶性元素 (Ti) の濃度を測定した。その結果、Ti 濃度が 0.21–0.52% までの範囲の大幅にばらついていることが確認され、小流域の基盤岩が岩石学的に均一ではないことが推定された。したがって、各斜面の地点では濃縮現象が生じていたとしても、各岩石の流域内での構成比率の比率などが明確でない限り小流域全体における土壌中の Ti 濃度の平均値を求めることが原理的にできない。本手法は基盤岩に花崗岩と花崗閃緑岩が混在している小流域への適用は困難であることが明らかとなった。

#### 参考文献

Riebe, C. *et al.* (2004) *EPSL*, 224, 547–562.  
松四雄騎ほか (2014) *地形*, 35, 165–185.

#### 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)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

八反地剛・松四雄騎・佐藤昌人・小口千明・松崎浩之. 2016. 宇宙線生成核種と地球化学

的物質収支法に基づく花崗岩山地の化学的風化速度 - 北アルプス, 六甲山地, および阿武隈高地の比較 - . 日本地理学会発表要旨集, No.89, 274 ( 査読無 ).

八反地剛・松四雄騎・北村裕規・小口千明・八戸昭一・松崎浩之 (2014) 宇宙線生成核種と物質収支法を用いた花崗岩山地の化学的風化速度の推定 - 北アルプス芦間川流域の事例 - . 地形, 35, 147-164 ( 査読有 ).

〔学会発表〕(計 2 件)

Tsuyoshi Hattanji, Yuki Matsushi, Masato Sato, Chiaki Oguchi, Hiroyuki Matsuzaki. Chemical weathering rates in granitic mountains in Japan: Estimation from cosmogenic radionuclides and geochemical mass balance method. Japan Geoscience Union Meeting 2016. 2016年5月23日 . 幕張メッセ(千葉県千葉市) 招待講演).

八反地剛・松四雄騎・佐藤昌人・小口千明・松崎浩之 . 2016 . 宇宙線生成核種と地球化学的物質収支法に基づく花崗岩山地の化学的風化速度 - 北アルプス, 六甲山地, および阿武隈高地の比較 - . 2016年日本地理学会春季学術大会 . 2016年3月21日~22日 . 早稲田大学早稲田キャンパス (東京都新宿区).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

6 . 研究組織

(1)研究代表者

八反地 剛 (HATTANJI, Tsuyoshi)

筑波大学・生命環境系・講師

研究者番号 : 00418625