

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：82706

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24654160

研究課題名(和文) 微生物による岩石風化とその地球物質循環への影響

研究課題名(英文) Microbiological weathering of rocks and its effect on global material circulation

研究代表者

岩森 光 (IWAMORI, Hikaru)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部物質循環研究分野・分野長

研究者番号：80221795

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：桜島および北松浦溶岩の新鮮部分から風化殻までの系統的な岩石および微生物試料採取を行った。岩石の化学・同位体分析、および微生物の群集解析・ゲノム解析を行い、風化とともにどのような変化が起こっているかを観察した。いずれの溶岩も酸化した風化殻に向かって系統的化学組成変化がみられたが、同位体組成は、余り大きな変化が認められなかった。桜島溶岩の新鮮な部分には、鉄の酸化還元に関わる微生物および硝化微生物などの酸生成微生物系統群が見いだされたが、噴出年代の古い北松浦溶岩からは硝化微生物系統群のみが検出された。溶岩風化の初期過程には鉄の酸化還元微生物が重要な役割を果たしている可能性が示唆される。

研究成果の概要(英文)：A systematic sampling of Sakurajima and Kita Matsuura lavas has been made to investigate geochemical and microbial variations from the fresh parts up to the weathering shell. Chemical/isotope analysis of the rock and a crowd/genomic analysis of microorganisms have been performed to observe what changes with weathering. Although any of the lava shows systematic chemical composition changes toward the weathered and oxidized shell, isotopic composition was not significantly changed. The fresh part of Sakurajima lava, acid-producing microbe family, such as microorganisms involved in the oxidation-reduction of iron and nitrification microorganisms, has been found, whereas only nitrification microbial family has been detected from the older Kita Matsuura lavas. Iron-oxidation-reduction microbial possibly plays an important role in the initial stage of lava weathering.

研究分野：地質学、地球化学、地球物理学

キーワード：岩石 風化 化学組成 同位体組成 微生物

1. 研究開始当初の背景

顕微鏡・細胞観察技術・DNA 解析技術等の進歩に伴い、土壌、海、河川などの表層環境や動植物の体には $10^6 \sim 10^8$ 種類、地球全体では、全ての生物バイオマスの $1/3$ にも及ぶ総数 10^{30} 細胞の微生物(主に真正細菌と古細菌)が生息し、その 90%以上が堆積物や地殻に存在すると見積もられている。例えば、海洋底玄武岩の変質殻中の微生物細胞密度は周辺海水に比べ $10^3 \sim 10^4$ 倍であり、その多様性も海水や堆積物に比べ 2~数十倍高い。また、陸上の岩石風化殻にも多量の微生物が存在し、風化に関わる可能性が指摘されている。これらの多量の微生物は、具体的にどのように生物圏と岩石圏をつなぎ、地球内部を含む物質循環にいかなる影響を与えているのであろうか。また、それらは地球史を通してどのような変遷をたどってきたのであろうか。これらの疑問が本研究の背景となる。

2. 研究の目的

大陸地殻は、生物に必要な珪酸塩やリン酸塩などの栄養塩供給源として、また大陸地殻の生成、その風化産物である堆積物のマントルへの再循環は、物質分化や循環のトレーサーという観点でも重要である。このため、本研究では大陸地殻岩石とその風化過程に焦点をあてる。まず大陸地殻を代表する岩石の風化殻を観察・分析し、そこに存在する微生物の量と種類を明らかにする。同時に、風化殻の鉱物、岩石の組織や組成を観察・測定して新鮮な岩石と比較することにより、風化に伴う元素移動と同位体分別を明らかにする。その上で、風化殻中の生物代謝機構から推定される岩石との化学反応やその速度を、観測される元素移動や同位体分別と比較し、風化に微生物が関わっているかどうか、また地表での元素・同位体分別がグローバル物質循環とどうかかわっている可能性があるかを推定することが本研究の目的である。

3. 研究の方法

(1) 地質学的手法：野外調査により、溶岩の新鮮な部分から風化した部分までを同定し、かつ土壌や、植物根などが入り込んでいない風化殻のみを選定して採取する。採取試

料の一部は滅菌プラスチックバッグにつめて密閉し、クール便によって実験室に直送し、冷蔵庫保管する。この冷蔵試料を微生物解析に用いる。

(2) 化学・同位体分析：新鮮部分から風化殻までの岩石試料について、主成分、微量元素、同位体 (Sr, Nd, Pb 同位体比) 組成を測定する。

(3) 微生物群集解析：岩石内部に存在する微生物に対応するため、顕微鏡観察、および従来のピーズ法に加えて、アルカリ法による DNA 抽出を行い、両者の群集構造を次世代シーケンサー MiSeq による 16S rRNA 遺伝子解析により比較する。

(4) これらの結果について統計解析(主成分分析)を行い、支配要因、特に微生物群の相関抽出を試みる。

(5) 地殻・マントルの同位体組成コンパレーションと統計解析による地殻物質グローバル循環(マントル対流に伴うリサイクリング)の可能性検討を行う。

4. 研究成果

(1) 桜島および東松浦玄武岩より約 25 の岩石試料を採取し、XRF による主成分濃度測定を行った。

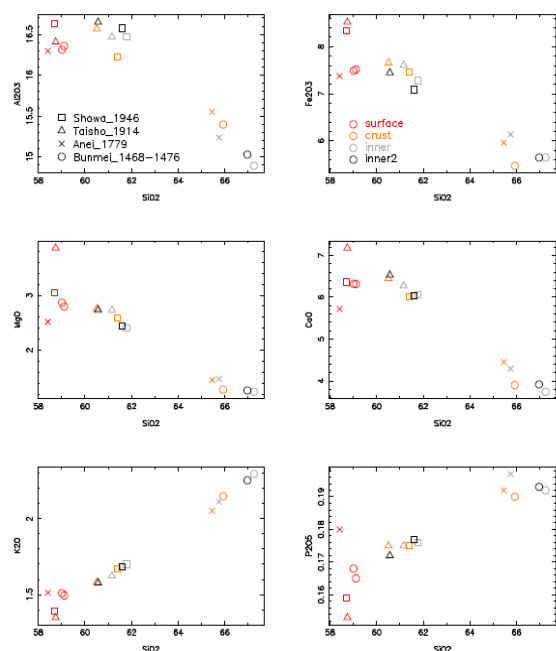


図1：桜島溶岩(昭和、大正、安永、文明溶岩の新鮮部から風化殻まで)の主成分組成縦・横軸とも重量%

主成分については、新鮮部分から風化殻に向かい、いずれも SiO₂ 含有量が減少する（図 1）。この減少に伴い、Al₂O₃ は増加する傾向にある一方、Na₂O、K₂O、P₂O₅ は線形的に減少する傾向が認められる。Fe₂O₃、MgO、CaO については、やや減少するもの、ほぼ変わらないもの、あるいはやや増加するものも認められた。これらは、概ね BL-K 型風化（歌田、1991）に類似する。ただし、BL-K 型に特徴的な鉱物（ギブサイト、ベーマイト、ダイアスポア、ゲーサイト、ヘマタイト、アナターゼ）が生成されているかどうかは未確認である（XRD 分析は行ったが、ピーク同定に至らなかった）。

（2）岩石試料を採取し、ICPMS による微量成分濃度測定（図 2）および TIMS による同位体比分析を行った。

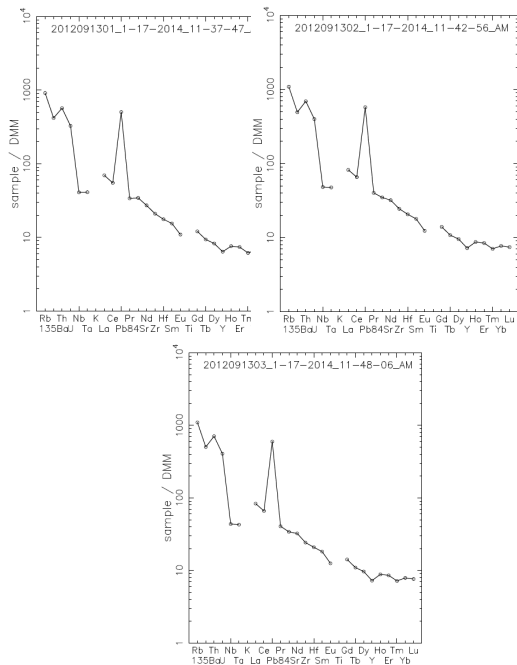


図 2：桜島大正溶岩の微量元素組成 左上 = 風化最外殻、右上 = 風化殻、下 = 新鮮部

微量元素濃度は、昭和、大正、安永、文明のいずれの溶岩も類似したパターンを示す。枯湯マントル（DMM）規格化した場合、全体的に左上りかつ Rb, Ba, Th, U, Pb に富む。また、新鮮部分、風化殻、最外殻部分（土壌に近い部分）は、いずれも類似したパターンを示し、全体的濃度はこの順序にやや低下する（もしくは前 2 者については、対数スケールではほ

ぼ同じレベルに保たれる）ことが分かった（図 2）。このことを反映して、Sr, Nd, Pb の同位体比には、殆ど変化が認められなかった。

（3）微生物群集解析：溶岩試料について、岩石内部に存在する微生物に対応するために、従来のビーズ法に加えて、アルカリ法による DNA 抽出を行い、両者の群集構造を次世代シーケンサー MiSeq による 16S rRNA 遺伝子解析により比較した。その結果、DNA 抽出法による群集組成の違いはサンプル間の群集組成の違いに比べ遥かに小さいことが示され、岩石粒子に閉じ込められた細胞はほぼ無視できるといえる（= 細胞は、間隙、粒間などの隙間に主に存在するといえる）。その結果、825 の微生物群が検出された。

（4）検出微生物群集の統計解析：微生物群とその個々の検出数を統計解析した。主成分分析により、26 の溶岩試料から得た 825 の微生物群から、34 の主要微生物群の組み合わせとその強度を得た。34 の固有ベクトルは合計 68.1% の分散を説明し、そのうち、2% を超えるベクトルは 11 個あった。この構造は、微生物群の多様性が大きいことも示していると同時に、ある程度、主要な微生物群集が溶岩と微生物の関係を支配していることを示す。これらの結果を踏まえ、それぞれの試料における微生物群集の特徴として、比較的若く、かつ土壌化していない桜島の溶岩内部からは、鉄の酸化還元に関わる微生物および硝化微生物などの酸生成微生物系統群が見出されたが、噴出年代の古い北松浦溶岩試料からは硝化微生物系統群のみが検出された。桜島溶岩の新鮮な部分には、鉄の酸化還元に関わる微生物および硝化微生物などの酸生成微生物系統群が見いだされたが、噴出年代の古い北松浦溶岩からは硝化微生物系統群のみが検出されたことから、溶岩風化の初期過程には鉄の酸化還元微生物が重要な役割を果たしている可能性が示唆される（Sunamura et al., 2014）。

（5）地殻・マントルの同位体組成コンパレーションと統計解析による地殻物質グローバル循環の可能性検討：今回、桜島溶岩については、同位体比の変化幅が小さく、微生物との関係の有無を検証するに至らなかつ

た。一方、GeoROC、PETDB などのグローバルな火成岩岩石組成のデータベースに基づき、マントル・地殻の岩石生成と対流循環に伴う元素分別・同位体比進化について、独立成分分析を用いて解析した。その結果、島弧の火山岩（およびそこから推定される沈み込み帯のマントル）は、海洋地域に産する玄武岩に比べて、 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 同位体比が比較的かつ明瞭に高いことが分かった。このことは、沈み込んだ地殻由来物質が、マントル全体には余り移流・波及せず、沈み込み帯の内部で循環している（例えば、沈み込み後、流体でほぼ全量の Pb が吐き出され、島弧の火山岩や熱水として再び地殻に付加される）ことを示唆する（Iwamori and Nakamura, 2015）。従って、地表付近で微生物による同位体分別が起こった場合、沈み込み帯の岩石にその記録が残されている可能性が高いことが分かった。

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 5 件)

Hikaru Iwamori, Hitomi Nakamura, 2015, Isotopic heterogeneity of oceanic, arc and continental basalts and its implications for mantle dynamics. *Gondwana Research*, 27, 1131–1152, doi:10.1016/j.gr.2014.09.003 査読有

〔学会発表〕(計 4 件)

砂村倫成、川合理恵、中村仁美、遠藤一佳、岩森光、風化度の異なる火山岩中の微生物群集構造、環境微生物系合同大会 2014、2014 年 10 月 22 日～10 月 23 日、アクトシティ浜松コンgresセンター（静岡県浜松市）

Hikaru Iwamori, Hitomi Nakamura, Mantle geochemical hemispheres and their implications on mantle dynamics. China-Japan Joint Forum on Geochemistry and Cosmochemistry. 2014 年 9 月 16 日、富山大学（富山県富山市）

6 . 研究組織

(1)研究代表者

岩森 光 (IWAMORI, Hikaru)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部物質循環研究分野・分野長
研究者番号：80221795

(2)研究分担者

中村 仁美 (NAKAMURA, Hitomi)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部物質循環研究分野・研究員
研究者番号：60572659

砂村 倫成 (SUNAMURA, Michinari)
東京大学・理学(系)研究科(研究院)・助教
研究者番号：90360867