

平成 21 年 6 月 22 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18540479

研究課題名（和文） アパタイトから探る風化過程における微生物の役割

研究課題名（英文） Role of microbes on apatite dissolution during granite weathering and soil formation

研究代表者

根建 洋子(NEDACHI YOKO)

鹿児島純心女子大学・看護栄養学部・教授

研究者番号：80290659

研究成果の概要：

九州及び山陰地域から採取した花崗岩の風化プロファイルを鉱物学的・化学的に分析した結果、25億年の花崗岩の風化と多くの類似性が見られることがわかった。具体的には風化の初期段階におけるアパタイトの分解と P（リン）の溶脱、希土類元素を含む多くの元素の挙動の類似性である。現世の風化プロセスには微生物活動が密接に関わっているとされており、特にリンや希土類元素の挙動の類似性は25億年前の地表における生物活動との関連から興味深い。風化プロファイルから微生物を単離・同定したが、今後は直接バイオタイトまたはアパタイトから単離・同定しその分解と微生物との関わりを探る予定である。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,400,000	0	1,400,000
2007年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	570,000	3,870,000

研究分野：地球惑星科学

科研費の分科・細目：岩石・鉱物・鉱床学

キーワード：地球表層環境、風化、微生物、アパタイト

1. 研究開始当初の背景

今からおよそ 38 億年前と考えられている生命の発生以来、生命と地球環境は密接に関わりながら進化してきた。特に酸素発生型シアノバクテリアの誕生により大気・海洋の酸化還元状態は大きな影響を受けたと考えられている。その変遷についてはさまざまな地球科学的データを用いて推定されているが、大気や海洋中の酸素量が現在と同レベルになった時期を中心に未だホットな議論が続いている。

地質時代の岩石風化によって形成された古土壌は、太古の地球環境を探る重要なツールの一つと考えられているが、本研究の全体構想は、古土壌を用い特に太古代-原生代境界以前の地球表層環境及び地球表層環境と生物活動の関連を探ることにある。

Gay と Grandstaff (1980) による報告から本格的に始まった古土壌から太古の地球環境を探る研究のほぼ全ては、地表での生物活動はなかったという仮定のもとに行われているといっても過言ではない (Rye and Holland,

1998)。一方、Watanabeら(2000)は、26億年前の南アフリカの古土壌をさまざまな地球科学的手法で解析した結果、土壌生成当時、陸上に微生物が存在した可能性が高いと報告している。また、現在、NASA「地球外生命と生物進化プログラム」の一つとして、20億年以前の地表における生物活動と地球大気組成の関わりについての研究が始められており、「炭素源と水とリンなどの栄養素が得られるところではどこでも微生物群が存在しうる」という仮説の検証などを軸に研究が進められている。

2. 研究の目的

本課題研究では、特にアパタイトに注目し、風化と微生物との関わりについて研究を進める。アパタイトに着目した根拠として次の点が挙げられる。(1) 花崗岩上に24.5億年に発達したプロント古土壌を研究する過程で、(a)風化に伴ってアパタイトが分解され二次リン酸塩鉱物が形成されている、(b)顕著なアパタイトの分解やリンの溶脱は無機酸による場合と有機酸による場合が想定される、(c)アパタイトの分解に伴って鉄や希土類元素が特徴的な挙動を示すことが明らかになった、点、(2) 現世の風化過程におけるアパタイトの溶解とリン酸塩鉱物の生成や希土類元素の分布に微生物が重要な役割を果たしていると報告されている点、(3) リン酸エステルがDNA、RNAの骨格を構成するなど、リンは生物にとってクリティカルな元素であるが、太古代、原生代に風化に関与した陸上微生物が存在した場合アパタイト中のリンを利用した可能性が高い点、である。

3. 研究の方法

(1) フィールドからのサンプル採集

①糸島花崗閃緑岩(福岡県:2006年度)
予備調査として福岡県糸島半島の花崗閃緑岩風化帯でフィールド調査を行いロードカットされている地点を探し、新鮮な原岩から土壌までの連続サンプルを採集した。採集地点の地形や植生、天候など微生物相に影響を及ぼす採取時の状況を記録した。

②徳之島花崗閃緑岩(鹿児島県:2007年度)

徳之島は亜熱帯にあることから、この環境下での風化と微生物の関わり探るためサンプル採集を行った。サンプルは、他の微生物による汚染を防ぐために、コアストーンと硬い岩石は、滅菌プラスチックバッグに入れ封入し、サブライトと土壌サンプルは滅菌ファルコンチューブで採集し、滅菌プラスチックバッグに入れた。微生物同定用サンプルは、採集後、できるだけ迅速に-80度で冷凍保存した。

③広島花崗岩(山口県:2007年度)



図1 広島花崗岩サンプリング地点

バイオタイトの含有量が高いこと及びそのサイズが大きいことからサンプル採集を行った(図1)。サンプルの採集方法は徳之島花崗閃緑岩と同様である。

(2) 風化プロファイル中のアパタイトおよび微生物の観察

花崗岩のアパタイトは通常バイオタイト中の包有物として存在する。バイオタイトを摘んで2つに割り、アパタイトまたはアパタイトが溶解した後のくぼみが見えるようにしてスタブに固定しSEMで観察した。

(3) 微生物の培養

-80°Cで保存したサンプルを0.9%NaClで攪拌し、サンプル中の微生物を貧栄養環境(0.1LB培地)で培養した。pHは約7.5に調整した。単一コロニーからの培養を繰り返して精製した後、コロニーをかきとり100mM tris Hystroxy Amino Methane + 10mM EDTA (pH8.0)でDNAを抽出し、-80°Cで冷凍保存した。

DNAの塩基組成の決定は、次の手法で行った:(i)バクテリアDNAの分離精製(Benzyl Chloride法)、(ii)DNAの切断、(iii)DNA断片の分離と分画(アガロースゲル電気泳動法)、(iv)Random amplified polymorphic DNA fingerprinting (RAPD)法によるバクテリアのグループ分け、(v)16SrDNAのPCR増幅、(vi)16SrDNAの塩基配列決定、(vii)決定された16SrDNAの塩基配列をDDBJ(DNA Data Bank of Japan)のClustalWを用いて多重配列解析を行い、相同性検索エンジンを用いて相同性検索を行う。

得られた塩基配列と、Ribosomal Database Bank Project IIおよびNational Center for Biotechnology Informationから得られた菌種の塩基配列とを比較し、近隣接合法により分子系統樹を作成した。

(4) その他関連するデータの収集と解析

風化プロファイル全体にわたる主要・微量元素分析(希土類元素の分析、鉄の2価・3価の分析を含む)をActivation Laboratory社(カナダ)に依頼し、得られたデータを解析して風化に伴う元素の挙動について調べた。

4. 研究成果

(1) 風化プロファイル中のアパタイトおよび微生物の観察

糸島花崗閃緑岩および広島花崗岩中のバイオタイトをハンドピックしSEMによる観察を行った。サブロライト及び土壌中ではアパタイトはほぼ溶解しており、バイオタイトにはそれを示すピットがみられた。また、二次的リン酸塩鉱物の存在が確認された。これは Taunton ら (Chemical Geology, 2000) による報告と同様である。しかし、彼らの報告にある REE リン酸塩鉱物上の鉱物化した微生物、細胞形態などは観察することができなかった。

(2) 風化プロセスでの元素の化学的挙動

主要・微量元素分析結果は、徳之島花崗閃緑岩、広島花崗岩について得られている。

① CIA

主要元素の分析結果から、風化の程度を示す指数である CIA (chemical index of alteration) を計算した。どちらもプロファイルの上部 (地表) に向かって CIA が増加していることから、各プロファイルは同じ原岩からの風化産物であることが明らかになった。

① Zr, Ti, Hf

これらは、風化プロセスの中で比較的動きにくい元素とされているが、風化サンプルの Hf/Zr 比、Ti/Zr 比は原岩の比から 40% を超えて変動することはなかった。この結果も、2つのプロファイルが原岩の風化によるものであることを示している。

② Ca, Na, Si, Al

Ca/Ti, Na/Ti は風化の早い段階で急激な減少を示した。これは花崗岩を構成する斜長石の分解と密接に関わっていると考えられる。Si/Ti はほぼ一定であるが、Al/Ti は地表近くで増加した。

③ Mg, K

Mg/Ti, K/Ti とともに CIA の増加に伴い減少の傾向を示した。苦鉄質鉱物や正長石の分解に伴って溶脱したと考えられる。

④ Rb, Cs, Sr, Ba

Rb/Ti, Cs/Ti は同じアルカリ金属である K/Ti と類似の、Mg/Ti, K/Ti はアルカリ土類金属である Ca と類似の傾向を示した。これらは等しい電荷を持ちイオンサイズが近いため、マグマの結晶時や水-岩石相互作用の際同一の挙動を示すと考えられる。

⑤ Fe

CIA の増加に伴い Fe(II)/Ti は減少し、Fe(III)/Ti は増加した。これは原岩に含まれた 2 価の鉄が酸化して 3 価の鉄となりその場に留まったと考えられる。大気中の酸素濃度が 20% である現世の風化では特徴的な傾向である。

⑤ P 及び希土類元素 (REE)

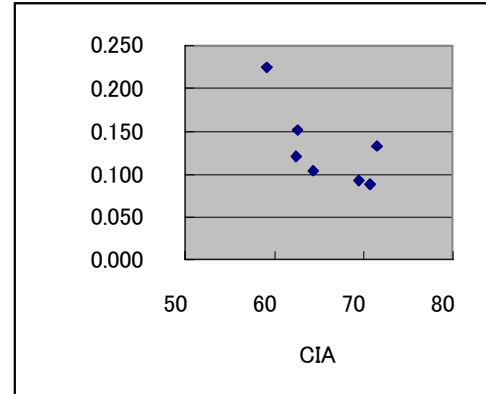


図2 広島花崗岩風化プロファイルにおける P の挙動

図2に示すように P/Ti は風化の早い段階から急激な減少を示している。P は花崗岩や花崗閃緑岩中ではアパタイトに多く含まれることから、バイオタイトに内包されたアパタイトが風化のサブロライトの段階から溶解しているという SEM の観察結果と密接に関連していると考えられる。徳之島花崗閃緑岩では地表 30cm、広島花崗岩では地表 10cm で再度 P の増加がみられるが、これは地表の生物活動の影響によるものと考えられた。

一方、図3に示すように REE/Ti では P/Ti にみられる減少は観察されなかった。SEM では二次的リン酸塩鉱物が観察されることから、アパタイトの溶解により Ca が溶脱し、REE と P が結合して難溶性の REE リン酸塩鉱物が形成されたことが示唆される。なお、コンドライトで規格化した REE パターンで、Ce 異常はみられなかった。

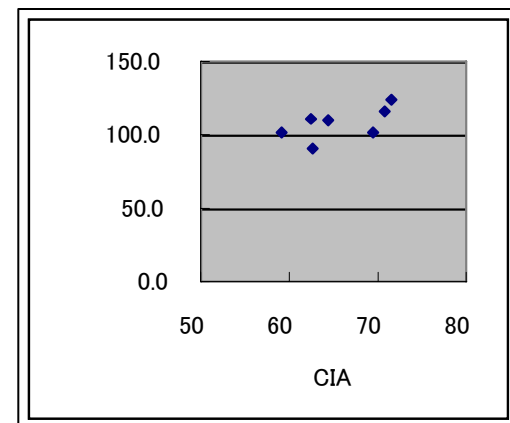


図3 広島花崗岩風化プロファイルにおける希土類元素の挙動

以上のうち、Zr, Ti, Hf, Ca, Na, Fe, Sr, Ba, P 及び REE の挙動は、我々の 25 億年前の Pronto 古土壌の研究結果とよい一致を示しており興味深い。一方、古土壌では CIA の増

加に対して Si/Ti 及び Al/Ti の減少が見られている。Si、Al の挙動は正長石の分解に関連していると考えられ、この違いは風化に関与する溶液の pH の違いによるのではないかと推察された。これは今のおよそ 100 倍であったとされている高い二酸化炭素濃度によるものである。25 億年前の古土壌では Mg、K、Rb 及び Cs の増加がみられるが、これは、風化後のメタソマティズムによる添加と考えられている。

(3) 風化プロファイル中の微生物

今回のサンプルでは、SEM による観察でバイオタイト中の微生物を観察することができなかった。そのため、各サンプルを 0.9%NaCl に懸濁した液 0.1ml を 0.1LB 培地に接種し、37°C 恒温槽でインキュベーションを行った。

① 徳之島花崗閃緑岩

風化プロファイルから単離・培養した微生物コロニーより抽出した DNA を 1%アガロースゲル電気泳動法により確認した。さらに、PCR (polymerase chain reaction) 増幅の際の確認にも利用した。その結果を図 4 に示す。

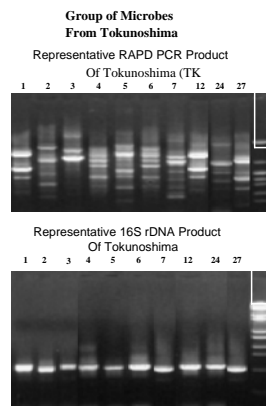


図 4 徳之島花崗閃緑岩風化物より抽出された微生物のアガロースゲル電気泳動結果 (上: 代表的な RAPD PCR 生成物、下: 代表的な 16S rDNA)

表 2 に DNA 塩基配列により同定された微生物を示す。

表 2 DNA より得られた徳之島花崗閃緑岩風化物より得られた微生物

Genus	species	
Agrobacterium	tumefaciens	1
Halomonas	-	2
Nitrobacteria	iranicum	3
Pseudomonas (Brevundimonas)	diminuta	5

Sphingobacterium	-	6
Stenophomonas	maltophilia	2
unknown	-	4

最も優勢であったのは Sphingobacterium、次いで Pseudomonas (Brevundimonas) diminuta であった。どちらもグラム陰性で好気性のバクテリアである。

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)

[雑誌論文] (計 1 件)

Kato Y., Suzuki K., Nakamura K., Hickman A.H., Nedachi M., Kusakabe, M., Bevacqua D.C. and Ohmoto H.: Hematite formation by oxygenated groundwater more than 2.76 billion years ago, Earth and Planetary Science Letters, 40-49, 2009.

[学会発表] (計 0 件)

[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

根建 洋子 (NEDACHI YOKO)

鹿児島純心女子大学・看護栄養学部・教授
研究者番号: 80290659

(2) 研究分担者

根建 心具 (NEDACHI MUNETOMO)

鹿児島大学・理学部・教授

研究者番号: 10107849

瀬戸口 賀子 (SETOGUUCHI YOSHIKO)

鹿児島純心女子大学・看護栄養学部・教授
研究者番号: 60249696