



環境鉱物学

Environmental Mineralogy

鹿児島大学理学部

地球環境科学科地球コース 河野研究室

環境鉱物学研究室の展示内容

- 1) 研究内容
- 2) 研究に使用する分析機器
- 3) 4年生の卒論研究

主な研究内容(1)

1) 風化環境での鉱物と水の反応

地球表層環境では絶えず鉱物の水の反応が進行しています。これらの反応は全地球規模の元素循環の出発点であると同時に、地球の水や大気の組成を支配する重要な反応です。これまでの地球環境は過去数十億年にわたる鉱物と水の複雑な反応で維持されてきましたが、その反応機構の詳細はよく分かっていません。これからの地球環境の変化を予測するためには、鉱物と水の反応を素反応レベルで解析し、拡散係数、反応速度、平衡定数、活性化エネルギーなどを定量的に把握することが大切です。

2) 微生物による鉱物生成

地球表層環境には多種多様な微生物が生息しています。約46億年前に地球が形成された後、最初に出現した生物も微生物の一種のバクテリアです。これらの微生物は約36億年前に出現して以来、地球上に酸素を供給したり、水中の種々のイオンを固定して様々な鉱物を作りだしてきました。これからの地球環境を考える上では、このような微生物の作用を無視することはできません。特に微生物による鉱物生成作用とバイオマスを正確に把握し、地球の物質循環の中での位置づけを行うことが重要な研究課題です。

主な研究内容(2)

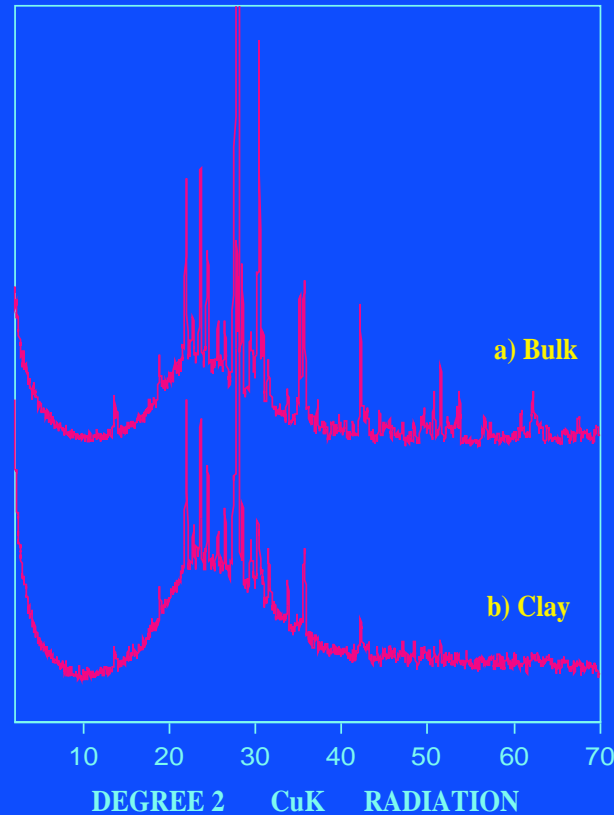
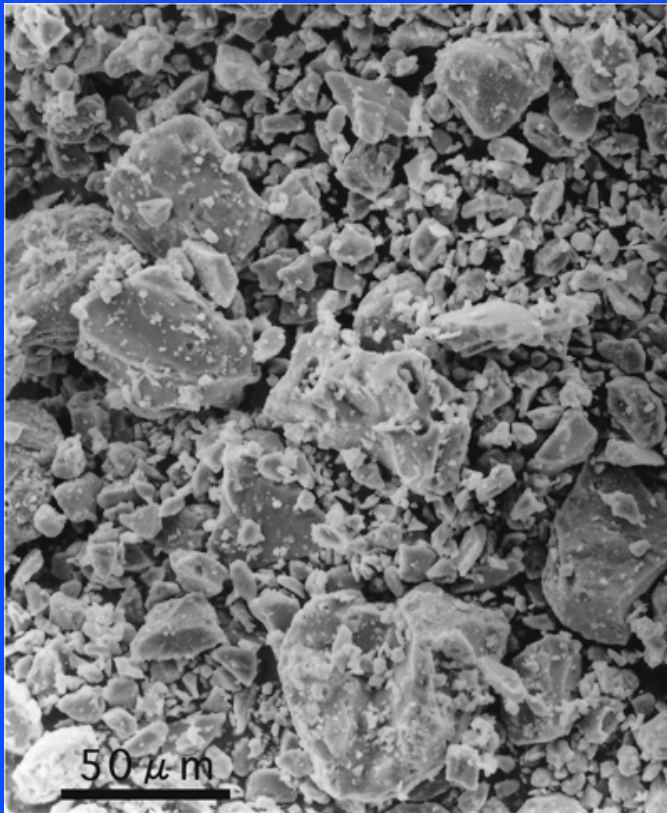
3) 無機・有機相互作用

地球表層環境では無機物質と有機物質が混在系として存在し、そこでは常に様々の無機・有機反応が進行しています。約36億年前の生命の誕生も原始海洋中での無機・有機反応により生じたと考えられています。また、過去の元素循環や現在の鉱物の溶解や生成にも無機・有機反応が影響を与えていることが分かっています。しかし、その影響を定量的に把握するための基礎的なデータはほとんどありません。近年環境ホルモンなどの汚染物質の問題が注目されていますが、これらの物質の地球表層での挙動を解明するためにも無機・有機反応の基礎データを得る必要があります。

4) 天然物質による環境汚染の浄化

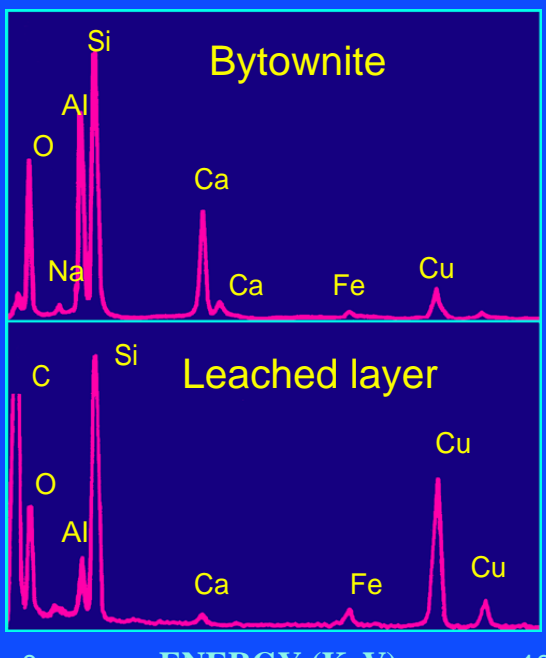
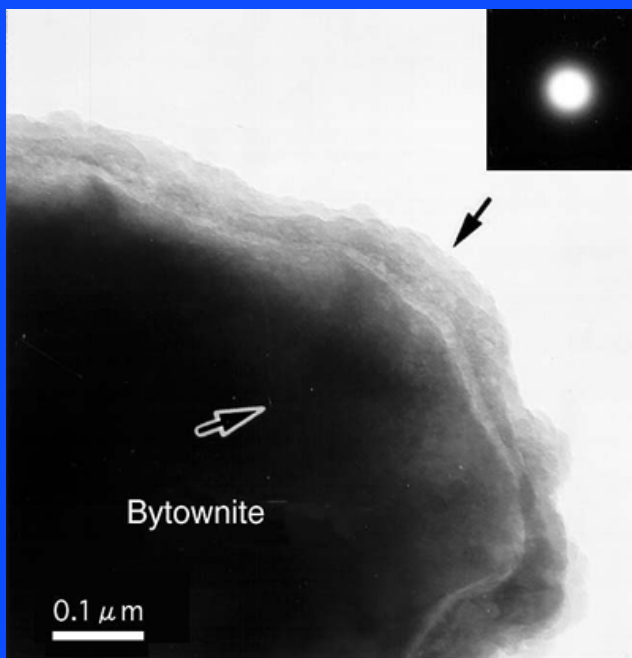
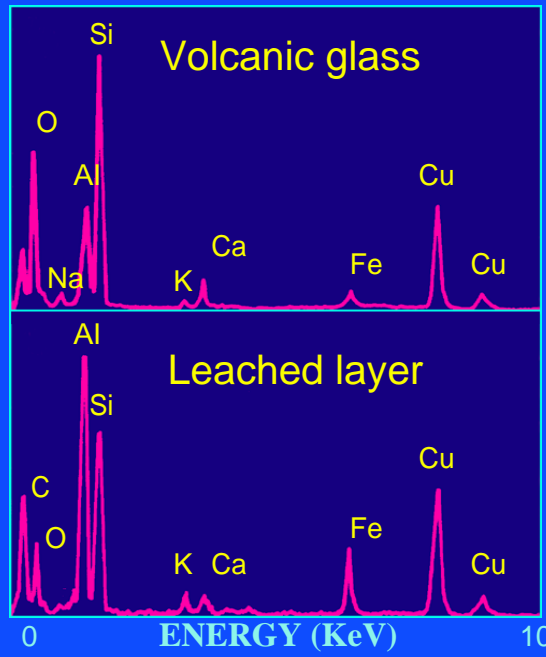
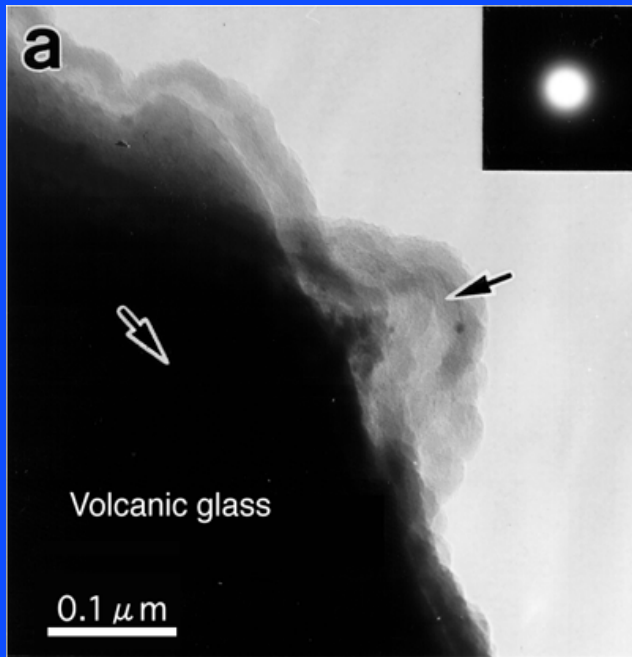
私達の生活する地球表層環境は種々の重金属や有害有機物質により汚染されつつあります。特にヒ素やクロムなどの重金属は、これまで重大な公害問題を発生させ、多くの人命や多大な健康被害を引き起こしてきました。このような汚染被害を軽減して環境浄化を計るためには、環境親和性剤としての天然物質による環境浄化が最も有効な方法の一つです。天然に広く存在する粘土鉱物や鉄鉱物、有機物、微生物は、その特異な表面構造により外界金属イオンとの反応性がきわめて高いことが知られています。今後はこれらの物質の特性評価や利用技術の確立も重要な研究課題と考えています。

桜島火山灰の電顕分析(1) 何が問題か？



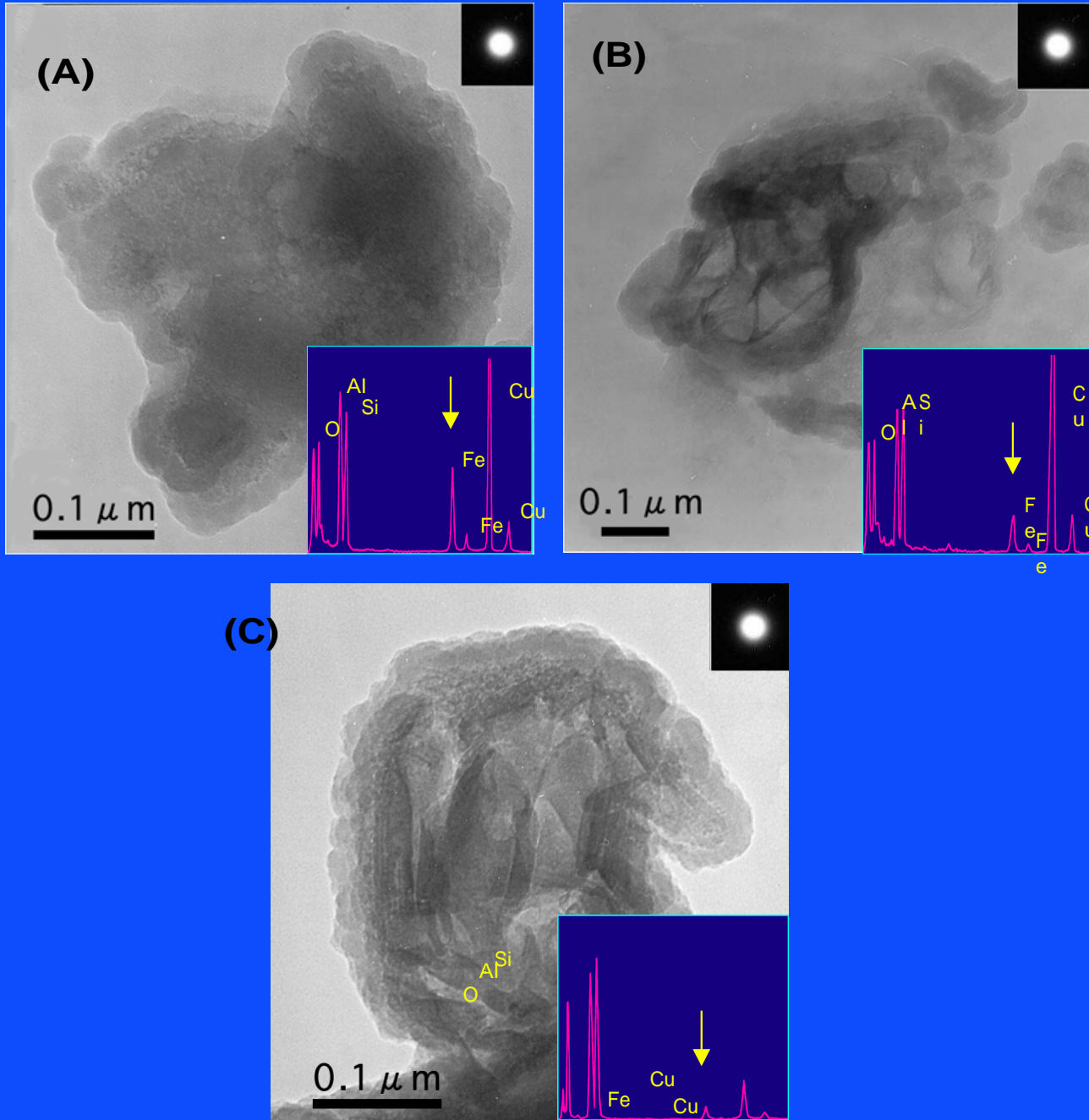
地球表層での鉱物と水の反応は全地球規模での元素循環の出発点であり、種々の地球表層物質の溶解と生成を支配している重要な反応です。また人類を含めた生態系の存続に必要な多様な元素の供給反応でもあるため、これまで多くの造岩鉱物について種々の条件下での溶解実験が行なわれてきました。しかし天然の風化環境下での鉱物の溶解反応については、反応系に關与する外部因子の確定が困難なことから、その溶解機構を議論した研究はほとんどありません。そこで本研究は桜島火山灰を研究試料として、火山灰の主要な構成物質である火山ガラス、長石、輝石の溶解反応と溶液からの生成物について、主に透過型電子顕微鏡(TEM)を用いて検討しました。分析に使用した試料は1990年7月28日の爆発による降灰を桜島火口より約11km西方に位置する鹿児島大学の5階建て研究棟の屋上で採取したものです。採取した火山灰について、X線回折分析、走査型電子顕微鏡、エネルギー分散X線分析(EDX)による構成物質の同定と化学組成の分析を行ない、主要構成物質の溶解反応と生成物の変化についてTEM-EDXを用いて検討しました。

桜島火山灰の電顕分析(2) 溶脱層の分析結果は？



TEM観察によると、大部分の火山ガラス及び長石の表面に水との反応による厚さは0.1 μm以下の溶脱層の生成が認められます。これらの溶脱層は、電子線回折ではアモルファスの特徴を示し、通常の粘土鉱物とは明確に区別されます。EDX分析の結果、火山ガラス表面の溶脱層はマトリックス組成に対してAlとFeの著しい増加が認められ、長石表面の溶脱層はAlとCaの著しい減少とSiの増加を特徴とします。また、輝石の表面には溶脱層は認められず、マトリックス組成と類似したFe-Mg-Siに富む析出層の生成が観察されます。これらの結果は、火山ガラスと長石のイオン溶脱挙動が明らかに異なること、輝石表面ではイオンの選択溶脱が起こらないことを示しています。ではなぜこのような違いが現れるのでしょうか？答えはマトリックスの構造にあります。

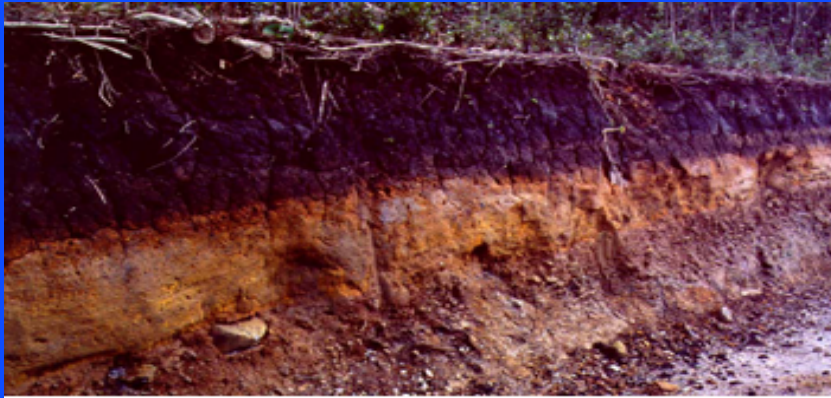
桜島火山灰の電顕分析（3） 生成物の分析結果は？



火山灰中に生成された析出物質はその形態及び化学組成から次の3タイプに分類されます。Type A：微細な繊維状非晶質物質の均一凝集体で、化学組成はSi, Al, Feを主体する。Type B：凝集体中にドメイン構造が発達した不均一凝集構造をもち、組成はtype Aと比較してFe含有量が低い。Type C：凝集体全体に halloysite 類似のドメイン構造が発達し、組成はSiとAlを主体として若干のFeを含む。Type Aの析出物は溶液中でのイオン間反応により生成された hydroxy Al-Siイオンの析出過程でのFe イオンの取り込みにより生成されたものと考えられます。Type B及びtype Cはその後のハロイサイトへの結晶化過程に対応するもので、ハロイサイト粒子のドメイン（基本構造単位）構造の発達とドメインを構成するSi-Alのハロイサイト構造への結晶化に伴うFeの放出反応が進行しているものと推察されます。

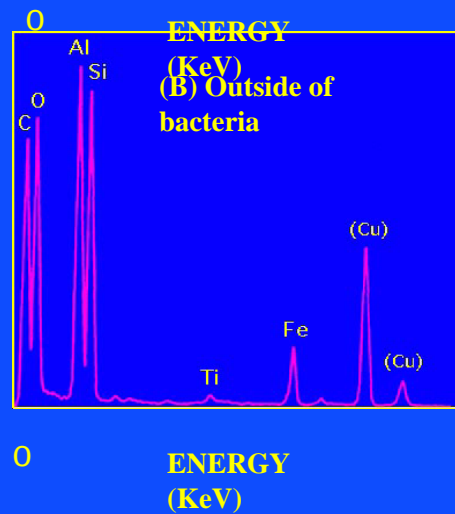
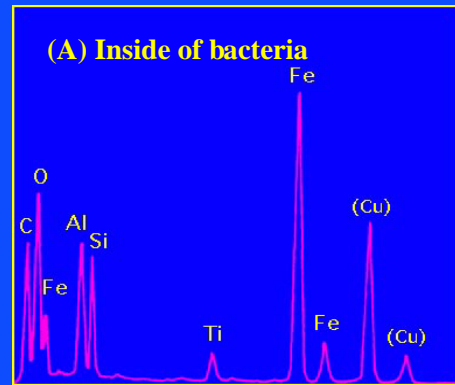
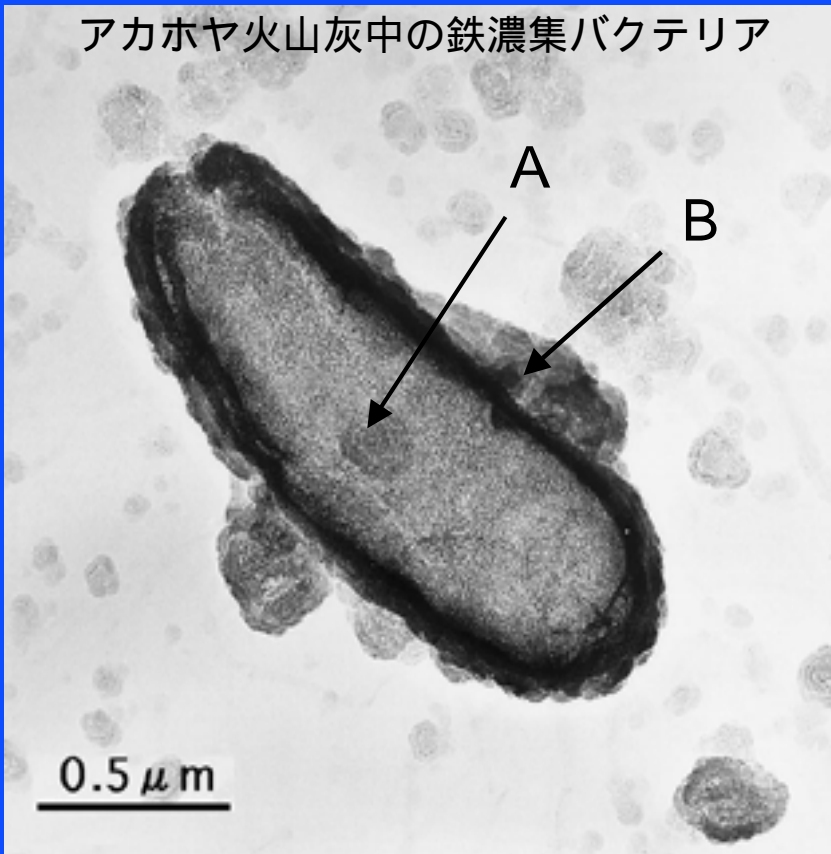
微生物による鉱物生成 (1)

何が問題か？



- ← 開聞岳火山灰層 (4,040 ± 120 YBP)
- ← アカホヤ火山灰層
- ← (6,400 ± 100 YBP) 南薩新期火山岩類 (鮮新世～更新世)

アカホヤ火山灰中の鉄濃集バクテリア

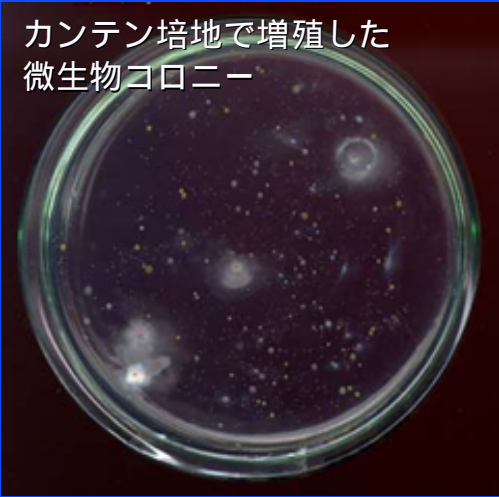


地球表層の風化環境には種々の微生物が生息しています。これらの微生物は風化環境での元素循環に関与するだけでなく、鉱物の溶解や生成にも多大な影響を与えていることが明らかになりつつあります。例えば、深海底の熱水噴出口や温泉地帯のバイオマットでの化学合成細菌による鉱物生成はよく知られています。しかしながら、微生物の生育環境として最も一般的な土壌や風化堆積物中での微生物の鉱物に対する作用についてはよく知られていません。本研究は、通常風化環境下での火山灰や種々の鉱物の溶解及び二次鉱物生成に与える微生物の影響を明らかにし、全地球規模で進行している物質循環の中での位地づけを行うことを目的としています。

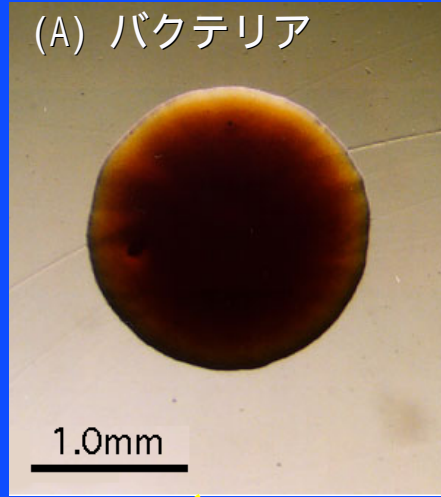
ここで紹介している研究は、西日本一帯に広く分布しているアカホヤ火山灰中の微生物によるイオン濃集と鉱物生成作用について、主に透過型電子顕微鏡(TEM)による直接観察とエネルギー分散X線分析(EDX)による鉱物の分析を行った一例です。また、この火山灰中から単離した数種の微生物を培養した結果、多くの微生物から鉄鉱物生成作用が確認されています。

微生物による鉱物生成(2) 培養は可能か？

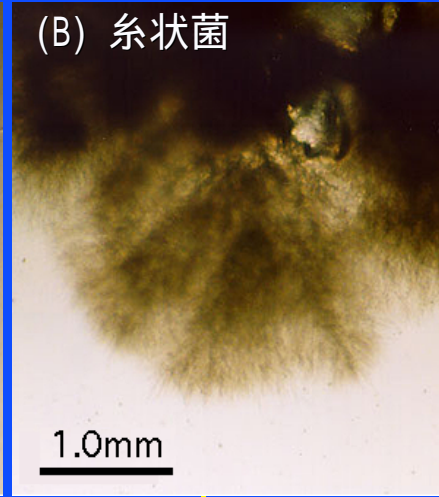
カンテン培地で増殖した
微生物コロニー



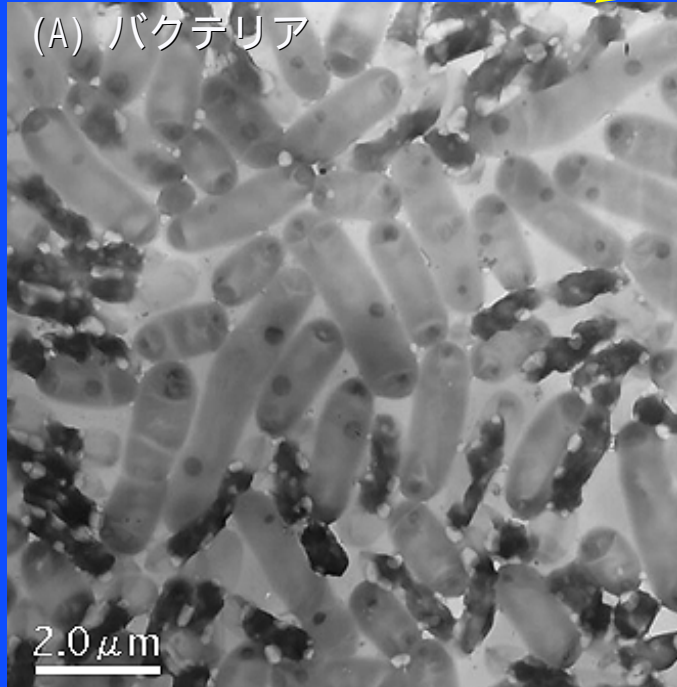
(A) バクテリア



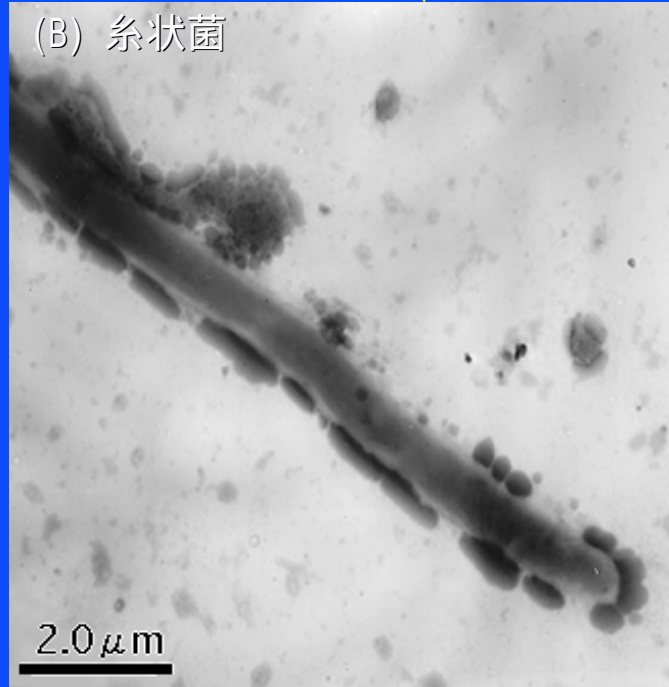
(B) 糸状菌



(A) バクテリア



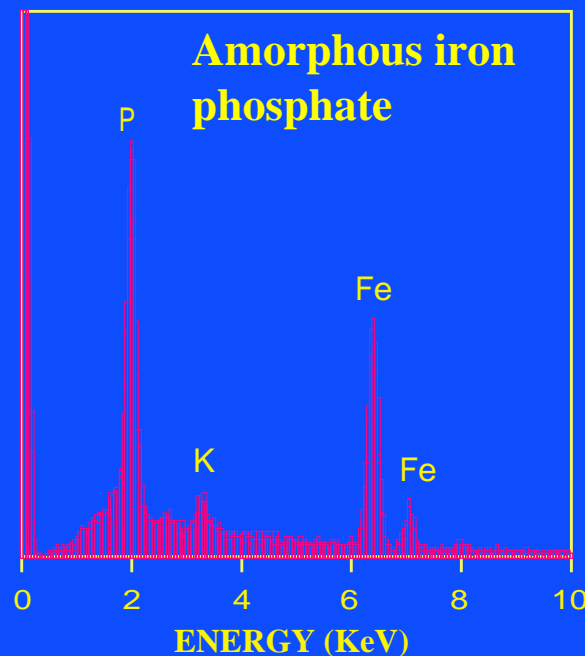
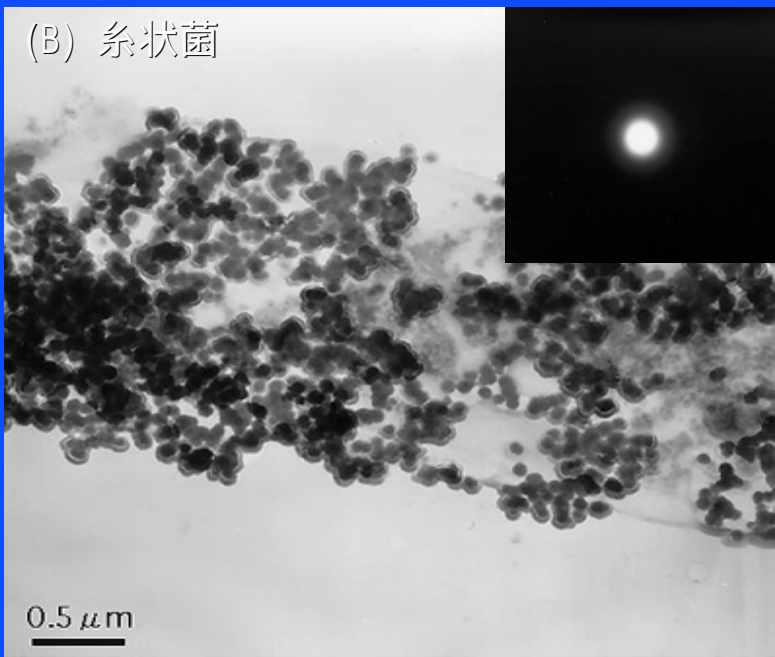
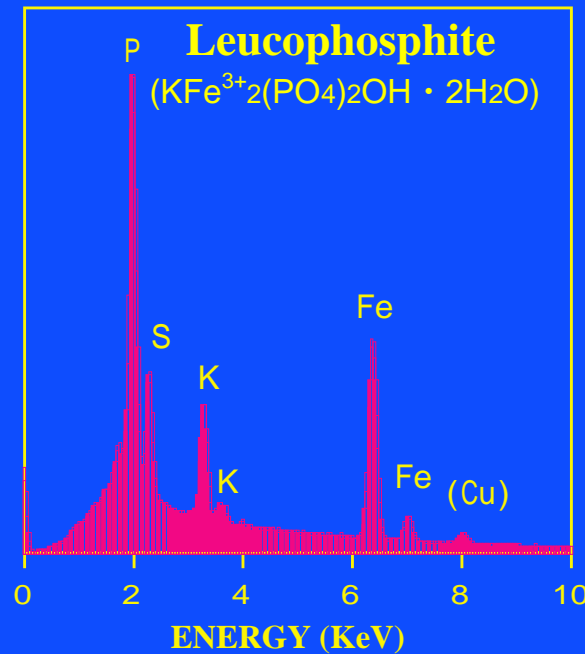
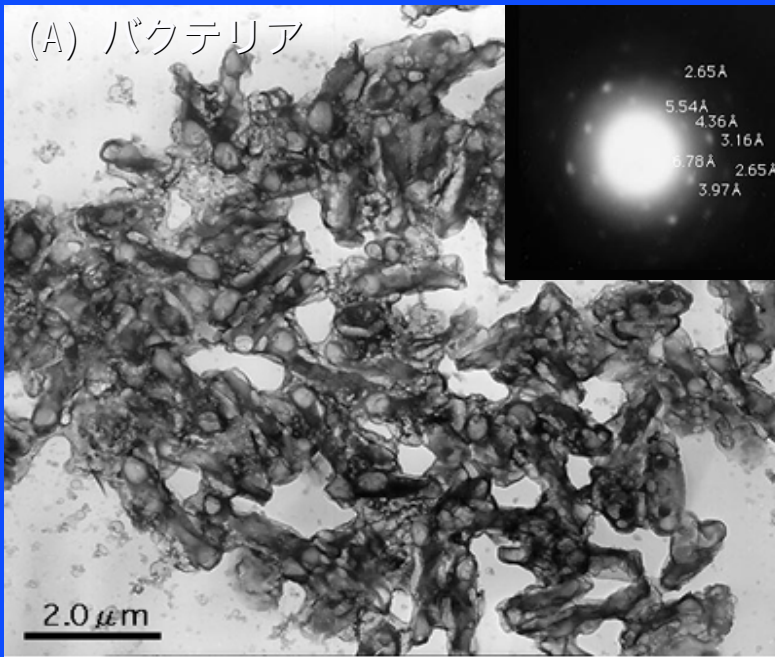
(B) 糸状菌



風化環境に生息する鉱物生成微生物を研究する方法の一つに培養実験があります。通常の風化堆積物中には様々な微生物が生息していますが、特殊な組成の培地を用いることで目的の微生物だけを培養することができます。左の写真は高濃度のFeイオンを含む培地を用いて風化火山灰層中の鉄濃集微生物を培養した例です。一般に高濃度のFeイオンは生体に対して毒性を示します。そのため、多くの微生物はこの培地では生育できませんが、鉄濃集微生物などの特殊な微生物は生育可能です。このように増殖した微生物を単離し、鉄鉱物の合成実験や造岩鉱物の溶解実験などに使用します。

微生物による鉱物生成 (3)

微生物はどのような鉱物を作るか？



高Fe濃度培地を用いて単離した微生物を同様の高Fe濃度液体培地で培養すると、微生物の種類に応じて種々の鉄鉱物が菌体表面に生成します。左上の写真は風化火山灰層から単離したバクテリアによって生成されたリン酸塩鉱物の一種leucophosphate, 左下は同じく風化火山灰から単離した糸状菌によるamorphous iron phosphateの一例です。同様の鉱物生成反応はMnやAlなどでも認めることができます。このような鉱物生成反応は天然の風化堆積物中でも広く進行しているものと思われませんが、これまでほとんど知られていません。地球環境の変遷や今後の変化を予測するためには全地球規模の元素循環をできるだけ正確に把握することが必要です。元素循環の出発点である風化環境での鉱物の溶解や生成に対する微生物の作用を定量的に解明することで、より正確な元素循環モデルを構築することができます。

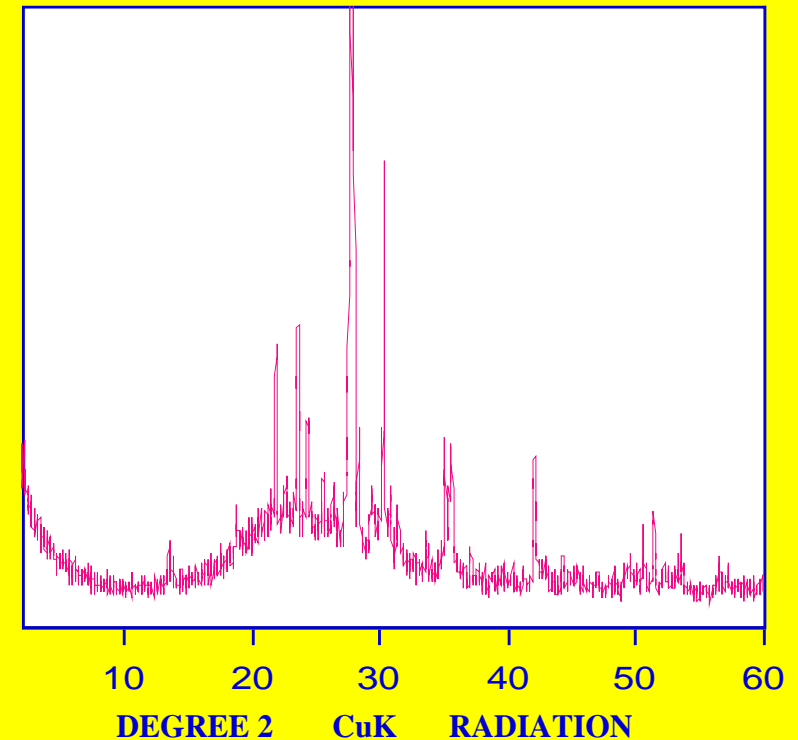
研究に使用する分析機器 (1)

X線回折装置

(X-ray diffractometer)



X線回折装置は固体物質の同定や結晶構造の解析を行うための分析装置です。地球表層の土壌、火山灰、岩石などは種々の鉱物から構成されています。これらの物質を研究対象とする場合、まずその物質を構成する一つ一つの鉱物を明らかにすることが研究の出発点になります。X線回折装置はこれらの鉱物の化学組成や結晶構造についての多くのデータを提供してくれます。



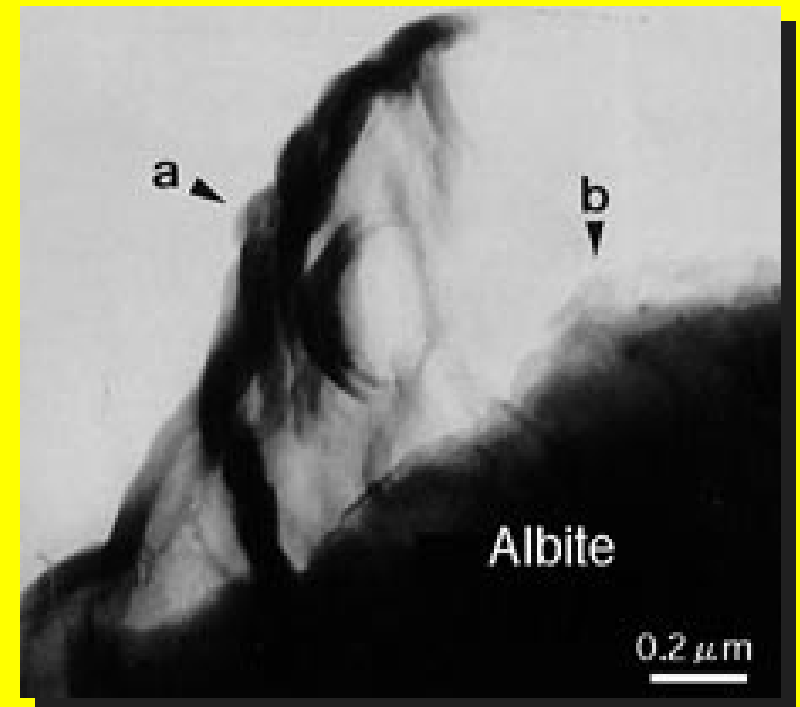
研究に使用する分析機器（２）

透過型電子顕微鏡

(Transmission electron microscopy)



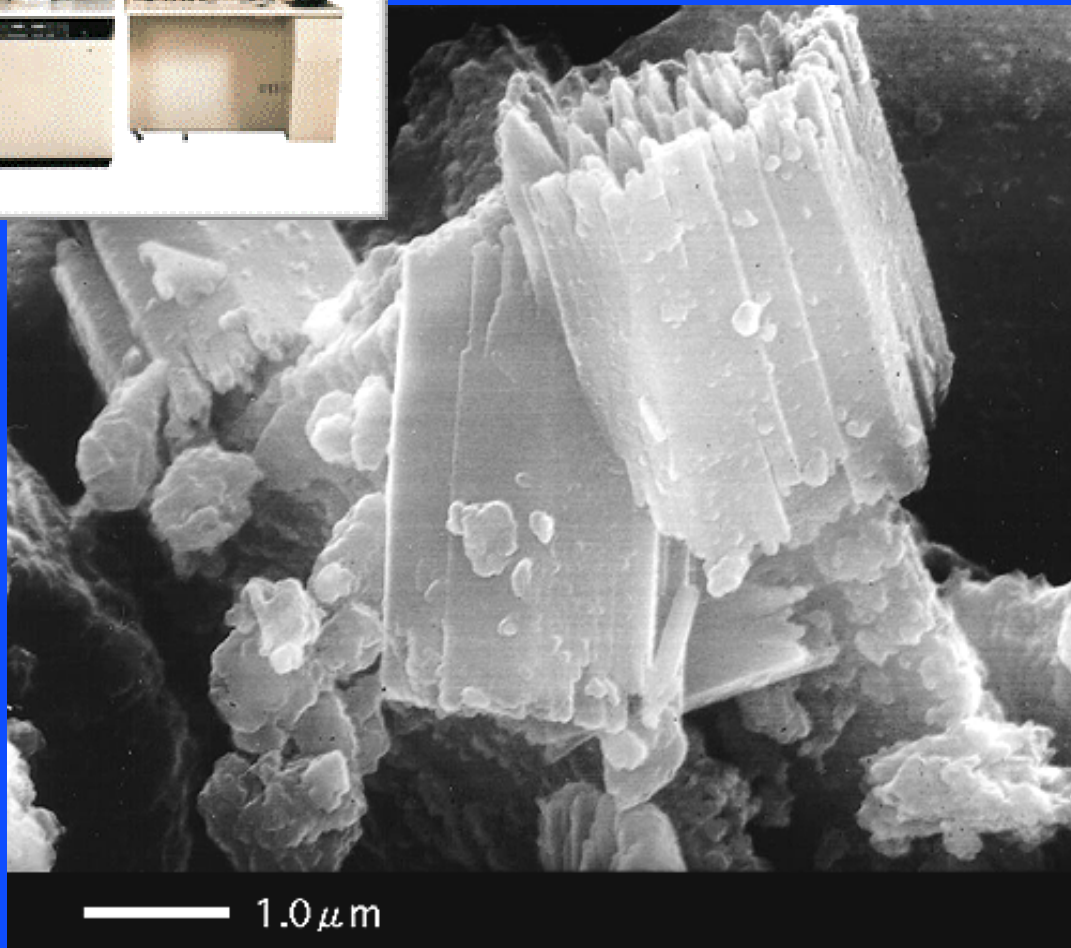
透過型電子顕微鏡は固体物質の微細構造を格子像レベルから原子像レベルで観察したり、極微量物質の同定や構造解析を行うための分析装置です。当研究室では、主に鉱物やガラスの溶解、微生物の作る生体鉱物、粘土鉱物の微細構造の解析などに利用しています。



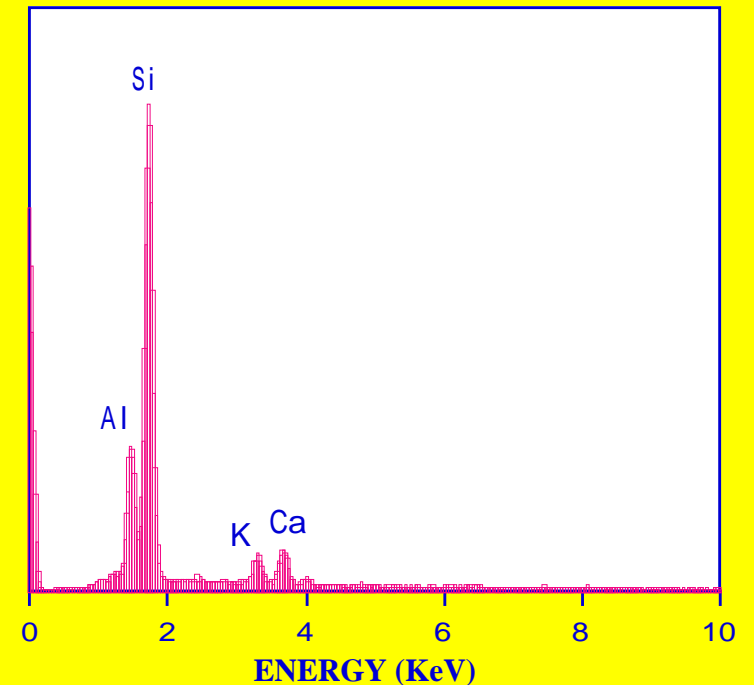
研究に使用する分析機器 (3)

走査型電子顕微鏡

(Scanning electron microscopy)



走査型電子顕微鏡は固体物質の微細構造の観察と微小領域の化学組成を全元素同時に分析することのできる装置です。左の写真はシラス中に含まれるエリオナイト結晶（ゼオライトの一種）の観察例です。下の図はその結晶の化学分析の結果です。電子顕微鏡で観察を行いながら、観察部分の微小領域の化学分析ができます。



卒業論文研究(1)：伊藤由久（川内高校卒）

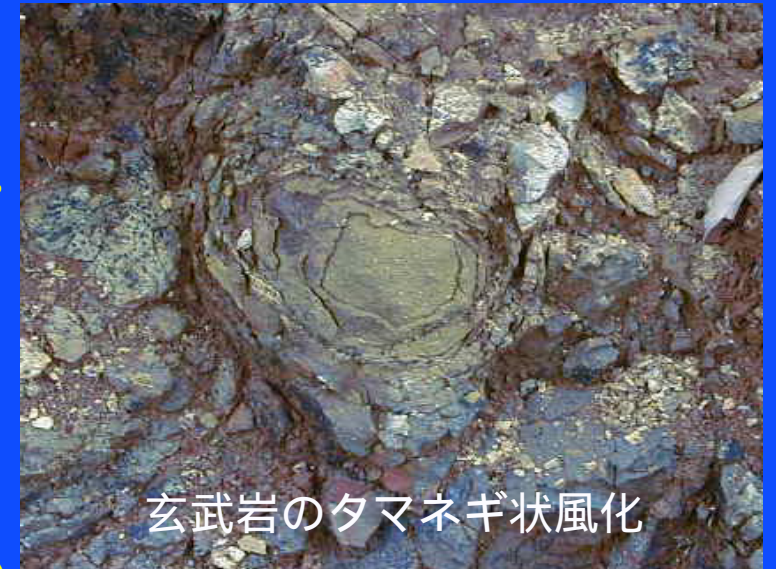
玄武岩の風化作用における鉱物の生成と変化

地球表層の風化環境では岩石と水との反応により絶えず鉱物の生成と変化が進行している。このような反応は特に土壌環境，水環境に大きな影響を与え，大気環境にまでもその影響は及んでいる。

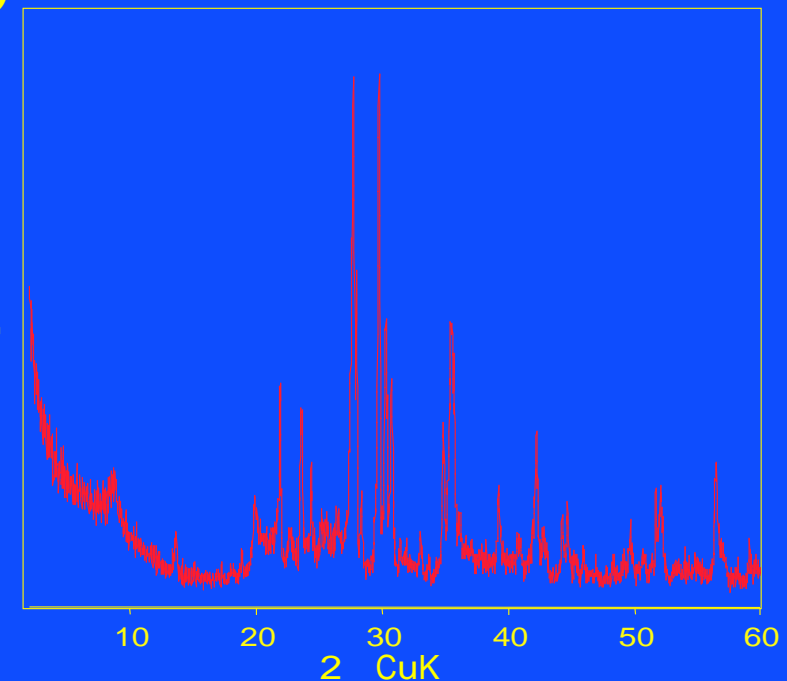
本研究では火山岩の中でもっとも多量に存在する玄武岩を出発物質としてその風化環境における鉱物の生成と変化，及び元素の挙動について調べていく。

現在，X線回折やエネルギー分散X線分析などを用いて鹿児島県川内市の平ノ山に分布する玄武岩に見られるタマネギ状風化（写真）を主な対象とし，主にX線回折装置及びエネルギー分散X線分析装置を用いて，風化部分を構成する鉱物の同定とその化学組成の分析を行っている。

グラフは玄武岩のX線回折パターン。鉱物は固有の結晶構造を持つため，その構造に対応するX線回折パターンを示す。このパターンを解析することにより岩石や土壌がどのような鉱物から構成されているかを知ることができる。



玄武岩のタマネギ状風化



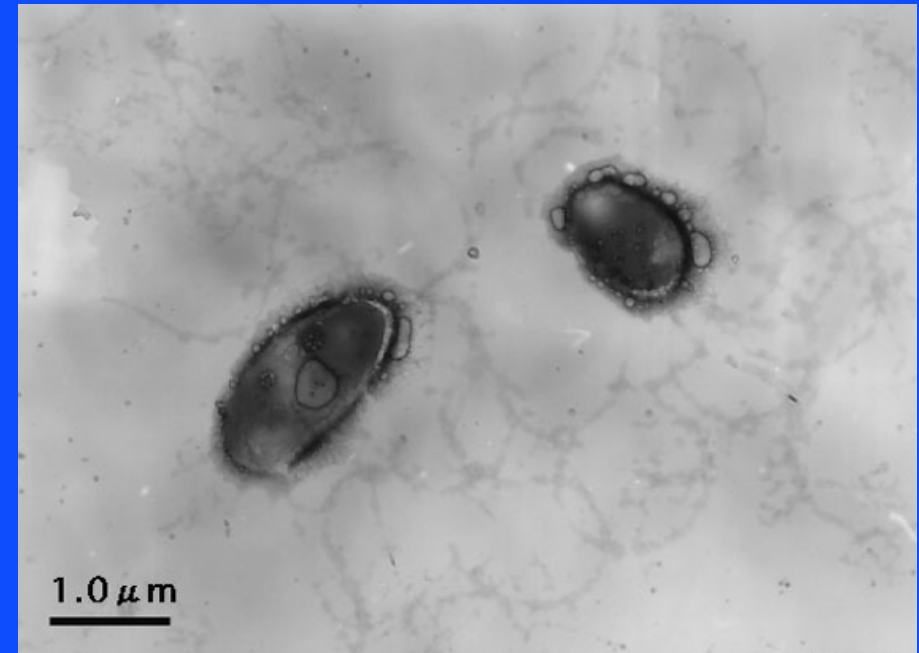
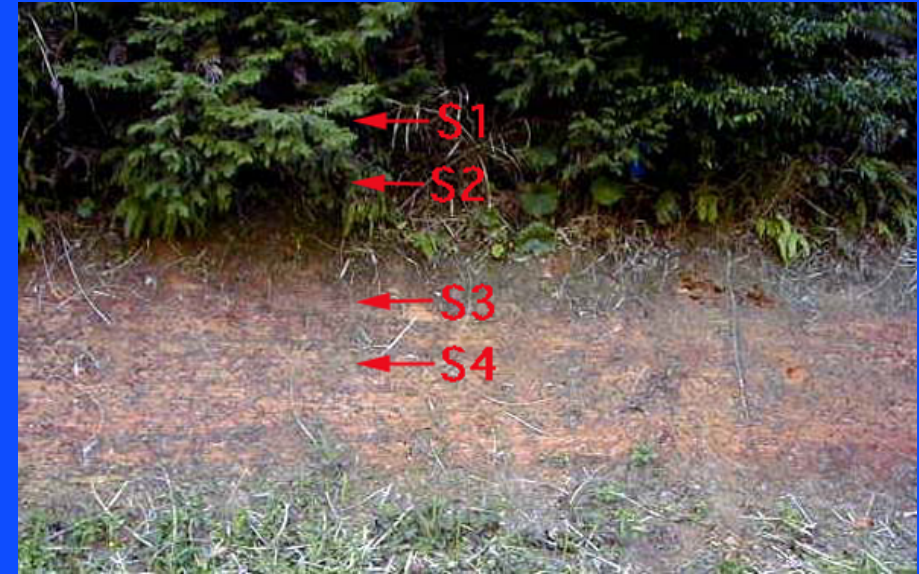
卒業論文研究(2)：榊慶太郎（鹿児島中央高校卒）

微生物によるイオン濃集と鉱物生成

我々の住む地球の大部分は土壌などの風化生成物で覆われ、そこでは絶えず鉱物の生成と変化が進行している。これらの反応の一つとして、特殊な化学合成細菌によるFe及びMnなどの金属イオンの濃集作用や鉱物生成作用が知られている。しかし、通常の土壌中に生息する微生物によるこれらの作用についてはほとんど知られていない。

そこで、本研究では指宿スカイラインのロードカットされた切り羽から採取した安山岩風化土壌（写真上：4箇所より採取）を用い、微生物によるイオン濃集及び鉱物生成作用を明らかにすることを目的としている。現段階に於いてはFeのみを対象としており、通常の培地とFe含有培地で比較培養した結果、Feの存在条件下で特異的に増殖する微生物のコロニーが確認されている。現在、これらの微生物の単離を行い、液体培地による純粋培養を行っている。

下の写真はそれらの微生物のうちの一つを透過性電子顕微鏡(TEM)で観察したものである。



卒業論文研究(3)：田原友香(川内高校卒)

粘土鉱物によるアミノ酸の吸着及び重合反応

地球には現在、多種多様な生物が存在している。現在までの研究によると、他の惑星に生物の存在は認められていない。現在の地球は水と大気に覆われ、生物が生活するのに恵まれた環境を持つ素晴らしい惑星だ。しかし、約46億年前に誕生した初期の地球は、マグマに覆われ、生物の存在できるような環境ではなかった。数億年かけて地球内部の分化は進み、海洋ができ、その底からはマグマと共に、熱水が吹き出していたと考えられている。生物最古の化石は、約35億年前、その熱水噴出孔付近で生活していたと思われるシアノバクテリア(光合成細菌)である。では、地球が誕生して光合成細菌が生まれるまでの約11億年の間は？光合成細菌より単純な生命が存在したはずであるが、どのように生命が誕生したのかは、未解明の問題となっている。生物の体を構成するタンパク質がどのように生成したのかということすら現在までの研究では解明されていない。

海洋ができてからの初期の地球において、アミノ酸は海水に薄く溶解していたと考えられる。海水中の有機物が、宇宙からの電磁波によりアミノ酸となったり、そのころ地球に降り注いでいた隕石にもアミノ酸は含まれていたからである。海水に希薄に溶解していたアミノ酸が、タンパク質に重合するのに重要な役割を果たしたのではないかと考えられている物質こそ、我が研究室で研究を行っている、粘土鉱物なのである。粘土鉱物は、電気的性質を持ち、種々のイオンを吸着する作用がある。アミノ酸は溶液中でイオンとして存在しているため、原始地球の海洋中で、粘土鉱物がアミノ酸を効率的に吸着したのではないかと考えられているのだ。アミノ酸を吸着した粘土鉱物は、地球表面のプレート沈み込みにより、地下へと入り、内部で対流したのち、再び地球表面に出てくる。その間、粘土鉱物に吸着されているアミノ酸は高温・高圧・脱水条件下にさらされる。アミノ酸がタンパク質になる時のペプチド結合は、脱水縮合のため、海水中より脱水条件下のほうがアミノ酸の重合はおこりやすいと言える。

本卒論では、スメクタイトという粘土鉱物に、種々のアミノ酸(アラニン・リシン・グリシン・アスパラギン酸)を吸着させ、それを高温・高圧・脱水条件下に保持することにより、アミノ酸の重合の様子、度合を調べる。もちろん、アミノ酸溶液のみの実験と比較し、どのような違いができるのか検討してみたい。生成するであろうタンパク質は、生体タンパク質に比べたら低分子のものと考えられるが、前述の実験において生成するタンパク質こそ、原始地球下での初期のタンパク質であり、生命の先駆物質となったのではないかと考えている。生命と深い関わりを持つアミノ酸と、地球を覆う粘土鉱物。現在の多種多様な生物種を生み出したのは、原始地球にも存在した、この一見関係ない2つの物質だったのかもしれない。