

粘土鉱物

花崗岩地帯の隆起と花崗岩の深層風化

倉林 私は、粘土鉱物についてお話しするわけですが、その前に花崗岩の風化のことにちょっと触れたいと思います。

いままでのお話にありましたように、陶土鉱床がつくられるときには、かなり莫大な量の粘土を供給する母胎があって始めて鉱床が形成されます。そうすると、そういう莫大な量の粘土を供給したと考えられる花崗岩というのは、一体どういう風化をするのかという問題があります。ふつう岩石の風化というのは、地表面だけで風化して、地表面だけに風化殻ができます。花崗岩の場合には、いままでのお話にありましたように、長石や雲母などが粘土化し石英が残る形で風化が進みますが、この風化殻はふつうマサとよばれます。マサは砂質で透水性がよいので、水は風化していない内部の新鮮な部分にも達しやすく、このために花崗岩の風化の速度ははやく、また他の岩石に比べればぐんと厚い風化殻をつくります。

ところが花崗岩というのは、そういう表面からの風化だけにとどまりませんで、100mぐらいの深層まで風化していることが多いんです。このように花崗岩は、かなり大規模に風化する、そういう性質をもった岩石なのです。

このうち、深い方の風化は深層風化といっていますが、じつは、この深層風化の原因がまだ十分にはわかっておりません。花崗岩の中にたくさんの割れ目があって、その割れ目の中に地下の水がしみ込んで、内部の方がだんだんに風化していくという考え方が有力なのですが、細かい点になるとまだよくわかっていないのが現

図 4-1 - 鉱物からのイオンの溶脱

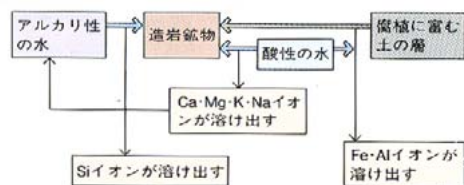
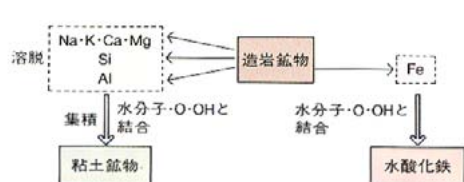


図 4-2 - 土の中でのイオンの溶脱と集積



状です。

また花崗岩の中にたくさんの割れ目が生じるのは、いわゆる造構運動、とくに地盤の隆起が関係しているといわれます。もともと花崗岩というのは、地下深部でマグマがゆっくりと冷え固まった深成岩です。その花崗岩が次第に上昇し、隆起する地表が侵食作用によって削りとられて、やがて花崗岩が地表に顔を出します。この隆起の過程で、花崗岩は地下の強い圧力を受けて内部にたくさんの割れ目を生じ、深層風化へつながっていく。そのように考えられているわけです。

こうして地表に顔をだした花崗岩地帯がさらに隆起するときに、隆起に伴って侵食作用が進み、花崗岩の風化物は次々に休みなく削りとられていく。そしてこの風化物は、隆起からとり残されたり、あるいは侵食されてできた周辺の小さな凹地に堆積する。一方、花崗岩地帯というのは、いま触れましたようにかなり深くまで大規模に風化しているので、風化物がすぐになくなるということではなく、周辺に莫大な量の粘土が供給される。堆積した粘土は、さらに風化作用や続成作用を受ける。瀬戸～東濃地方にみられる陶土鉱床の形成には、こうした背景があったのだらうと思われる。

粘土の大きさ

こうして、花崗岩の風化したものがたまって粘土鉱床がつくられるわけですが、では、その粘土とは何かということになりますと、これは研究する人の立場によって、例えば土を研究している人の粘土の定義と、焼きものとか地下資源を研究している人の粘土の定義とはちょっと違うところがあります。普通はどのように定義されているかというと、粘土は非常に粒が小さい。どれくらいの粒の大きさから下を粘土というかというと、大体1万分の2cm(2μ)ぐらいから下の大きさです。

その粘土は、またさらに細かい粒からできていて、その細かい1つ1つの粒を粘土粒子といいます。この粘土粒子がカオリナイトやハロイサイト、あるいはモンモリロナイトといった粘土鉱物からなっているというわけです。このようにきわめて細かい粒であると同時に、その粒が粘土鉱物からできているところに粘土の大きな特色があります。

物理的な風化作用だけでは粘土はできない

ところで、花崗岩を乳鉢の中に入れてどんどん

こすっていきますと、理論的には幾らでも細かくできます。しかしそれは、石英や長石が細くなったというだけであって、その粒自身はあくまでも石英、長石なんです。鉱物や岩石が細かくすりつぶされるのは物理的風化作用といいますが、それだけでは粘土はできない。

粘土の細かい粒ができるのは、長石、雲母などの鉱物の中から溶けやすい元素がイオンの形でどんどん飛び出てきて、それが地下水の中で再び結合して新しい鉱物ができる。このような変化を化学的風化作用といいますが、こうしてできた鉱物を粘土をつくる鉱物という意味から、粘土鉱物といっているのです。ですから、すりつぶされた粒と粘土という細かい粒は、本質的に性質が違う。

化学的風化作用と粘土鉱物の生成

化学的風化作用で大きな役割を演じるのが水、空気、生物です。一般に雨水は大気中の二酸化炭素(CO₂)を溶かしこんでいるので弱酸性ですが、まずこの雨水が地表にしみ込みます。その地表では、地衣類やこけ類をはじめバクテリアなどの微生物が生活し、これらの生物の吐き出す二酸化炭素によって、地表や地中の水にはさらにCO₂が溶けこんで、水の酸性度はさらに強まります(生物の遺体が分解するときにもCO₂が発生します)。また、地衣類やけい藻類などからは、有機酸がでできます。

こうして酸性の水や有機酸が岩屑の割れ目や砂粒の間にしみ込み岩屑や砂粒の中の鉱物に接すると、その鉱物の中の溶けやすい元素がイオンの形で飛び出てきます。図4・1は、その過程を模式的に示したもので、最初にNa、K、Ca、Mgイオンが溶け出します。すると、地下の水は中性あるいはアルカリ性になり、やがてSiが溶け出すようになります。一方、腐植などが多く酸性の強い地下水ではFeやAlが溶け出します。

溶け出してきたイオンのうち、SiとAlはOと結合してSiO₂(二酸化珪素)やAl₂O₃(酸化アルミニウム)となりますが、これらがOHイオンや水分子、ときにはNa、Ca、Mgイオンなどをとりこんで新しい化学組成をもつ粘土鉱物が誕生します(図4・2)。こうしたミクロの世界で進行する化学的風化作用が、常温常圧で行われるところに粘土鉱物生成の大きな特色があります。

こうしてできた粘土鉱物は、化学組成からいう

注1：立体視図（図4・3，図4・4，図4・5）

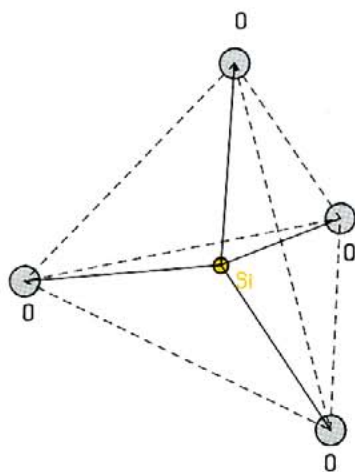
人間が物を立体的に眺められるのは、右眼の像と左眼の像が重なり合って1つの像として見ることができるからである。図4・3～図4・5で、各図の右図と左図をじっと眺めながら、右図の文字や小円と、左図の同じ

文字や小円を、右眼・左眼の向きを動かして1つに重ね合わせられれば、以上の3図から結晶構造の立体像をつかむことができる。

このように、立体視できるように作られた図を立体視図あるいはステレオ図という。裸眼での立体視は少し

練習が必要であるが、2つのレンズを左右に並べたステレオメガが市販されているので、裸眼で立体視ができにくい場合は、これを活用するとよい（倉林）。

図4・3 - SiO₄四面体(立体視図)



注：Si原子とO原子の間隔は1.60Å

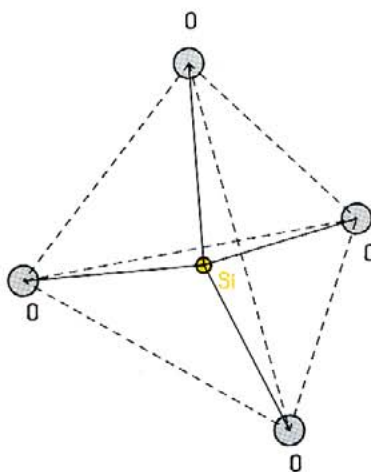


図4・4 - カオリナイトの珪酸塩層(立体視図)

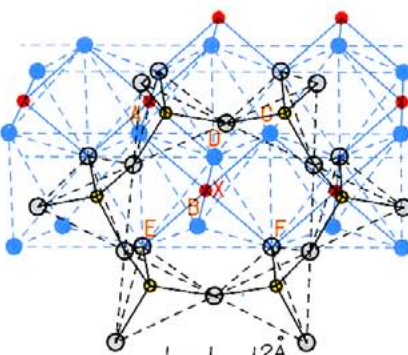
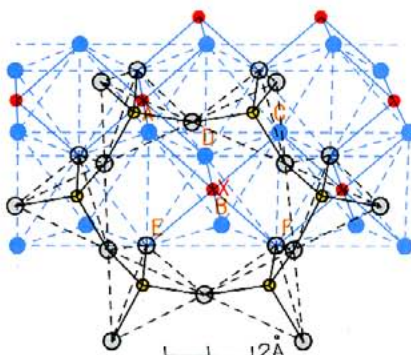
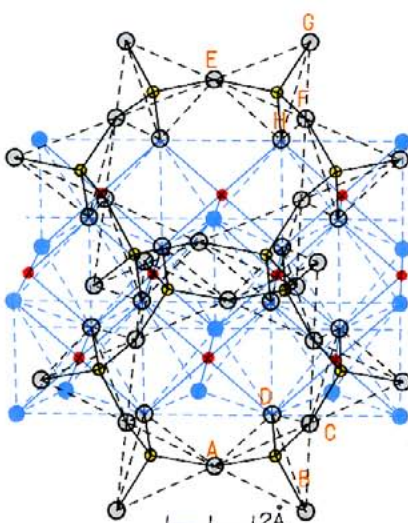
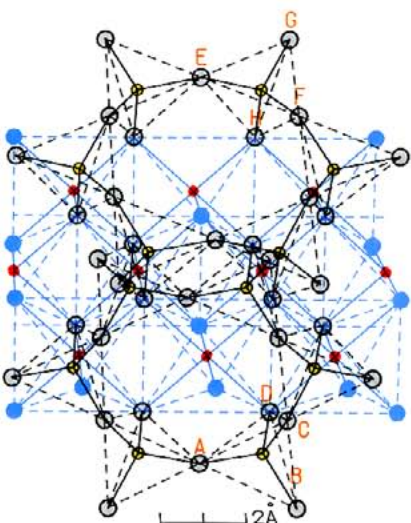


図4・5 - モンモリロナイトの珪酸塩層(立体視図)



● Si ○ O ● OH ● Al

図4・6 - カオリナイトとハロイサイトの単位構造の高さ<数値の単位：>

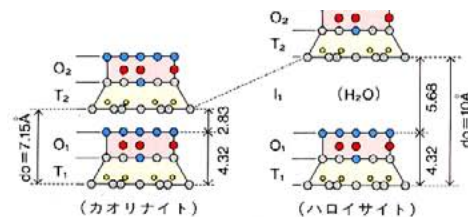
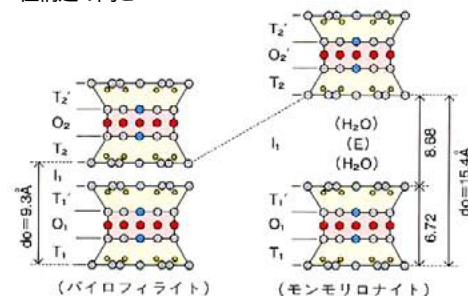


図4・7 - モンモリロナイトとパイロフィライトの単位構造の高さ



<図4・6，図4・7の共通凡例>

○ Si
○ O
● OH
● Al
(H₂O) 層間水
do 単位構造の高さ

I 層間域
(E) 交換性陽イオン
四面体層(T)
八面体層(O)

表4・1 - 粘土鉱物の分類

構造型	鉱物名	四面体中の陽イオン	八面体中の陽イオン	層間イオン 層間水	単位構造の高さ (<i>d</i> ₀) Å
2:1型構造	パイロフィライト	Si	Al	なし	9.3
	滑石	Si	Mg	なし	9.2
	モンモリロナイト	Si	Al, Mg (少量)	(E), H ₂ O	15.4
	サポナイト	Si, Al	Mg	(E), H ₂ O	15.4
	バーミキュライト	Si, Al	Al, Mg	(E), H ₂ O	14.3
	クロライト	Si, Al	Al, Mg	Mg, Al, (OH)	14.3
	イライト	Si, Al	Al, Mg	K	10
1:1型構造	カオリナイト	Si	Al	なし	7.15
	ナクライト				
	ディッカイト				
	メタハロイサイト	Si	Al	なし	7.2
	ハロイサイト	Si	Al	H ₂ O	10
	アンチゴライト	Si	Mg	なし	7.2
非晶質	アロフェン	1~2SiO ₂ ・Al ₂ O ₃ ・5H ₂ O			化学組成
	イモゴライト	SiO ₂ ・Al ₂ O ₃ ・2~3H ₂ O			
	ヒンゲライト	1~2SiO ₂ ・Fe ₂ O ₃ ・5H ₂ O			

(E)：交換性陽イオン

と、 $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (n は1, 2, 3の整数) という化学式で示され、アルミノ珪酸塩とよばれます。簡単にいうと、粘土を構成する主な原子(イオン)は、Si(珪素)、Al(アルミニウム)、O(酸素)で、これにOH(水酸基)と H_2O (水)が加わったものということになります。

粘土鉱物の結晶構造——層状構造

以上のように粘土鉱物は、鉱物から飛び出してきたイオンが、常温常圧下で酸素や水と結合して再編成されるという、他の鉱物とは全く異なった生成過程をへて誕生します。したがって粘土鉱物の構造も、他ではみられない独特の構造をつくりだします。

先ほど下坂さんは、粘土鉱物のことを層状の珪酸塩鉱物といわれましたが、まさにその言葉どおり、粘土鉱物では、平たい板のようにイオンが配列しています。この平たい板を珪酸塩層といい、この珪酸塩層が、一定の間隙(層間域)をはさんで層状に積み重なっているのが粘土鉱物の特徴です。この場合、1枚の珪酸塩層とその上に重なる間隙(層間域)を含めて単位構造といいます。ですから、1つの単位構造をランプのカードにたとえますと、粘土鉱物というのは、ちょうどカードを積み重ねたような格好になっているわけです。ただし、1枚のカードは、珪酸塩層と層間域という異なった素材でつくられており、また粘土鉱物の種類によって層間域の内容と厚さはそれぞれ違います。それともう1つ、珪酸塩層の構造も、大きくは2種類(1:1型構造と2:1型構造)に分かれます。珪酸塩層(四面体層と八面体層) 鉱物から溶けだしたイオンが互いに結合しあって新しい鉱物ができるときには、ふつう陽イオンのまわりを陰イオンが取り囲むように結合します。Siイオン(陽イオン)とOイオン(陰イオン)とは、図4・3の立体視図(注1:p59欄外)にみるように、Siを中心に4個のOが結合して正四面体をつくり、これは SiO_4 四面体とよばれます。

さらにこの SiO_4 四面体どうしが、互いに隣接する SiO_4 四面体の底面のO原子を共有する格好でつながり、正六角形の網目をつくるように結合しています。ですから正四面体の頂点にある6つの原子を結んだ線も正六角形をつくります。これを四面体層といい、これが粘土鉱物のもっとも基本的な骨格をつくります。図4・4の

立体視図はカオリナイトの結晶構造を示したもので、この図で立体視ができると、 SiO_4 四面体が連結してできた四面体層のようすがよくわかると思います。

一方、AlのまわりにもOやOHが取り囲みませんが、この場合には、8個の正三角形が集まった八面体ができ上がり、この八面体も横につながり、この層を八面体層といいます(ときにはAlイオンがMgイオンで置換されることもあります)。

図4・4でXの位置にあるAlイオンを、OHイオン(A,B,C,Dの位置)とOイオン(E,Fの位置)が取り囲んでいます。A,B,Cを結ぶと正三角形となり、正三角形は SiO_4 四面体層と平行です。このABCは、ACD, ABE, BCFと結びついて、立体的に4つの面をつくっています。

一方、正三角形DEFも SiO_4 四面体層と平行で、EとFは SiO_4 四面体のOイオンがしめています。DEFは、ADE, CDF, BEFと結びつき、前の4つの面とは立体的に逆向きの4つの面をつくります。ABCなどがつくる4つの面とDEFなどがつくる4つの面が組み合わさると八面体ができ、八面体の中心(Xの位置)をAlイオンが占めています。この八面体が横につながっている層が八面体層というわけです。図4・4で立体視できれば、八面体と八面体層がよくわかると思います。そして、この八面体層と四面体層とが結合しあって1枚の珪酸塩層ができ上がります。

1:1型構造と2:1型構造

この場合、八面体層と四面体層の積み重なり方が2つあります。1つは、1枚の四面体層の上に1枚の八面体層が重なる1対1の構造のものです。(図4・4)もう1つは、さらにその上に、いわば下向きの四面体層が重なるもので、これは、2枚の四面体層の間に1枚の八面体層がはさまれる2対1の構造です(図4・5)。それで前者を1:1型構造、後者を2:1型構造といい、粘土鉱物は大別すればこの2つの構造型に分かれます。

層間域

そして先ほど述べましたように、1枚の珪酸塩層は、必ずその上に層間域を伴い、同じ構造型のもので層間域の内容や高さが違うので、同じ構造型の粘土鉱物が細分されます。

図4・6は、同じ1:1型構造のカオリナイトと

ハロイサイトの単位構造の高さを示したのですが、図にみるように前者の高さは7.15 (1は1億分の1cm)、後者の高さは10 です。また図4・7は、同じ2:1型構造のモンモリロナイトとパイロフィライトの単位構造の高さを示したもので、これも前者は15.4、後者は9.3 というように大きく違います。

この違いは、層間域に、水や交換性陽イオンが入っていたり、いなかったりするために生じます(交換性陽イオンというのは、層間域にはさまれる陽イオンのことで、これは、層間域から自由に出入りできるのでこの名でよばれ、粘土の膨潤性や吸着性と深く関係しています)。

表4・1は、粘土鉱物の種類とその層間域の内容を示したもので、この表にみるように、カオリナイトの層間域には何も入っていませんが、ハロイサイトの層間域には水が入っています。またモンモリロナイトの層間域には、水と交換性陽イオンが入っており、パイロフィライトの層間域には何も入っておりません。化学組成はよく似ているにもかかわらず粘土鉱物にいろいろな性質の違いがあるのは、それぞれの粘土鉱物の層間域が、この表にみるようにさまざまな特徴をもっているからなのです。

だいたい以上が、粘土鉱物の結晶構造の概略です。このほかにも、モンモリロナイトとイライトなど2種類の粘土鉱物の層状構造が積み重なるという、特殊な混合層構造がありますが、いまは省略します。

X線回折法による粘土鉱物の判定

粘土鉱物の種類や性質を調べるにはいろいろな方法がありますが、1つは粘土を粉にしてX線を当てて調べます。粘土鉱物はいま述べましたように層状構造をもっていますから、原子は三次元的に規則正しく並んでいます。そして粘土鉱物の種類によってその並び方も、単位構造の高さも違います。このような結晶構造をもつ鉱物にX線を入射すると、原子の並び方によってX線がいろいろな方向に回折し、回折したX線はある方向で互いに強め合い、他の方向では打ち消し合って、回折したX線の様子を紙に記録するとある特定の位置にピークが現れます。ピーク的位置は、原子やイオンの並び方によって違ってきますから、どの位置に回折X線のピークが記録されるかを調べることによって、その粘土鉱物の種類がわかるわけです。

例えば、木節粘土や蛙目粘土をX線にかけると、

写真：木節粘土中の粘土粒子（板状結晶，カオリナイト）
 写真：蛙目粘土中の粘土粒子（板状結晶，カオリナイト）
 写真：酸性白土中の粘土粒子（薄板状結晶，モンモリロナイト）
 写真：ベントナイト中の粘土粒子（薄板状結晶，モンモリロナイト）
 写真：関東ローム中の粘土粒子（球状粒子・中空管状粒子，ハロイサイト）
 写真：鹿沼土中の粘土粒子（木くずのような微小な粒子，アロフェン）
 各写真ともスケールは同一（右上），長さは1ミクロン（1/10,000cm）

図4・8 - 粘土中の鉱物（粘土鉱物）のX線回折曲線

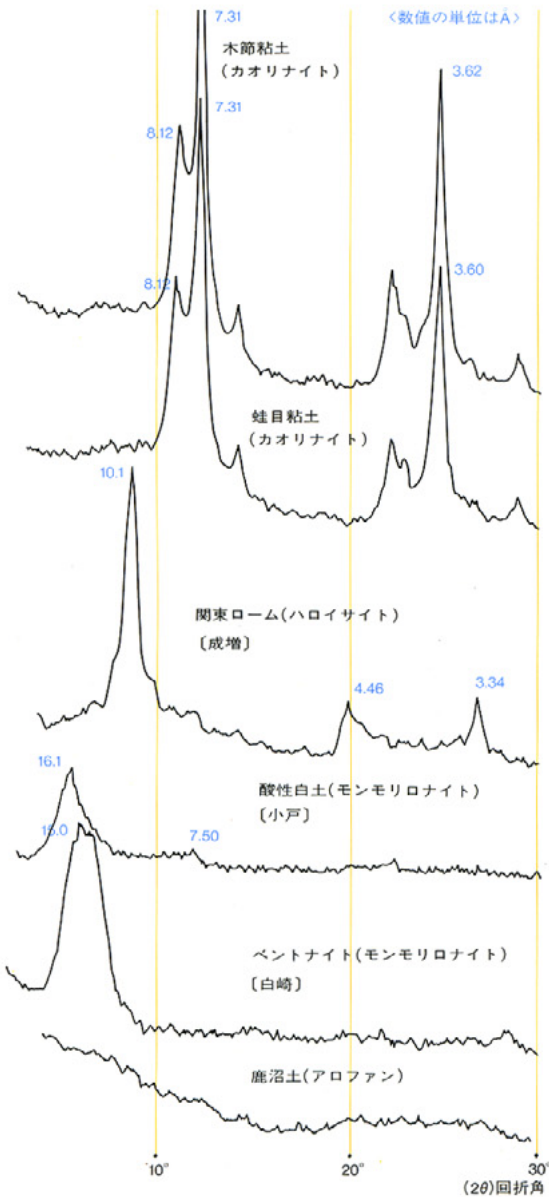


写真 - 粘土粒子の透過型電子顕微鏡写真

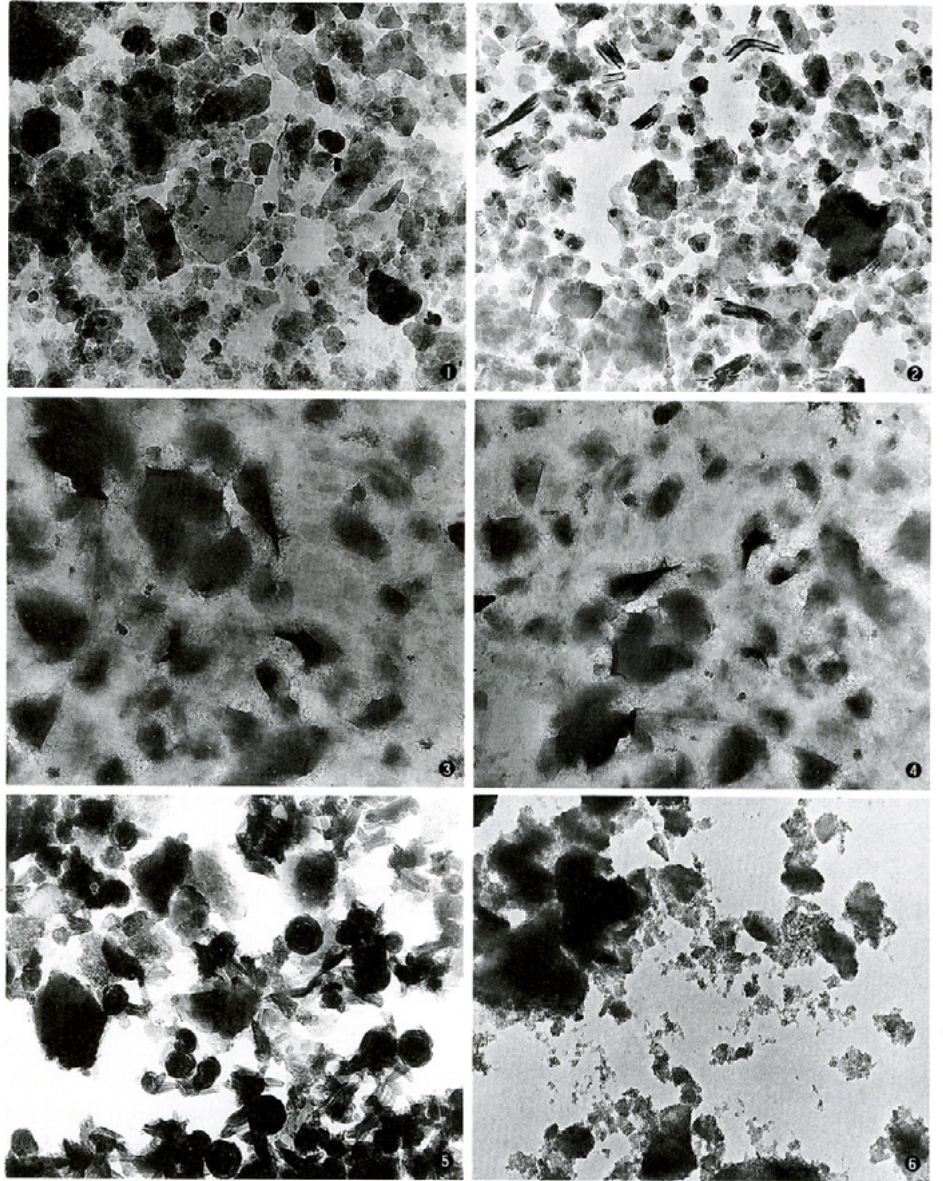


図4・9 - 粘土鉱物の研究方法

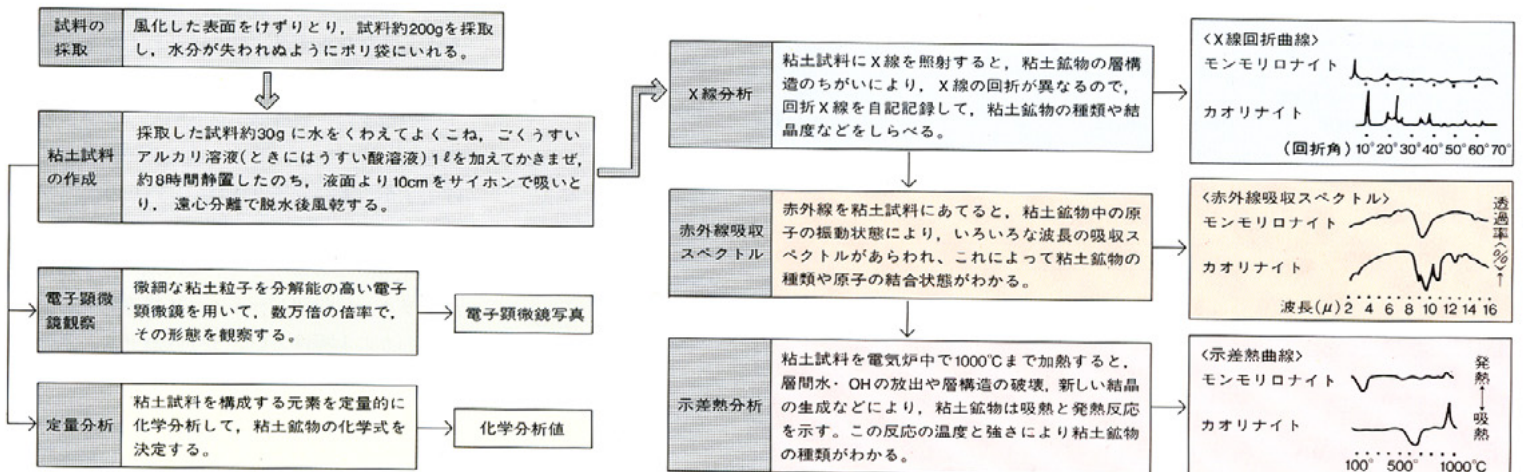


図4・8にみられるように7.31 の付近にピークがでてきますが、それがカオリナイトです。また3.60 付近のピークは長石、3.62 付近のピークもカオリナイトです。したがって、この2つの粘土にはカオリナイトと少量の長石が混ざっていることがわかります。

その下の図は、関東ローム中の粘土の 線回折ですが、この場合にはピークの位置が10.1 にあるので、ハロイサイトがイライトと判断できます。イライトは5 にもピークができるのに比べ、ハロイサイトは5 にはピークができません。それでこの場合はハロイサイトということになります。

またその下の図は、酸性白土とベントナイトの 線回折です。この粘土はモンモリロナイトが主成分なので、ピークの位置は15～16 のところに出てきます。さらにその下の鹿沼土の 線回折ではピークがどこにもありませんが、これは粘土の主成分が、結晶構造がまだつくられていない非晶質のアロフェンだからです。このように 線を当てることにより、そこに含まれる粘土鉱物の種類がわかってきます。

電子顕微鏡による粘土鉱物の形状観察

粘土鉱物の分析は、 線による以外にも赤外線をあてたり、あるいは加熱して結晶構造の変化を調べる示差熱分析などいろいろの方法があります。図4・9に主な分析方法を示しましたが、ここでは、そのうちの電子顕微鏡による粘土鉱

物の形態観察について述べます。

粘土粒子は、大きさが5 μ～0.05 μなので、光学顕微鏡は役に立たないので、形状観察には電子顕微鏡を使います。粘土鉱物は、六角形や不定形の薄板状、それに管状や球状などの形を示しますが、その形態的特徴を確かめるときには、透過型電子顕微鏡を用い、試料板の上にコロジオンという有機物質の薄板をはり、その上に試料をばらまいて観察します。一方、走査型電子顕微鏡では試料はばらまかずに自然にあるままの状態を観察できるので、粘土粒子の集合状態を調べるのに適しています。写真 ～ は、さきの 線回折で調べたものと同じ粘土の透過型電子顕微鏡写真で、写真の白い部分はコロジオン膜、黒い部分の大部分が粘土鉱物です。

写真 と は、木節粘土および蛙目粘土中のカオリナイト、写真 と は、酸性白土とベントナイト中のモンモリロナイトで、形はさまざまですが、いずれも薄板状の結晶を示します。写真 は、関東ローム中のハロイサイトです。ハロイサイトの形状は、この写真にみるように、細長いパイプ状のものと球状のものとがみられます。写真 は、鹿沼土のアロフェンで、これは非晶質なので不定形の微小の粒子があらわれるだけです。

粘土の可塑性

このように粘土鉱物は、非常に変わった構造をしていますから、粘土には他のものではみられ

ない独特の性質がそなわります。すなわち、可塑性、吸着性、吸水性、膨潤性、焼固性、さらには塩基置換の働きなどです。こうした性質をもつために、粘土は焼きものの原料としてだけではなく、さまざまな方面に利用されているわけですが、また他方では、地すべりの引き金になったり、地震による地盤の軟弱化、あるいは地下水汲み上げに伴う地層の圧密化による地盤沈下など、いろいろな災害の要因にもなっています。表4・2は、こうした粘土の利用面や災害との関係などを、ごく大ざっぱにまとめたものです。この表をみても、現在における人と粘土とのかわりあいが、いかに多方面にわたっているかがわかるかと思います。それで最後に、本日のテーマと関連して粘土の可塑性についてちょっと触れてみます。

ご存じのように粘土は、手で力を加えると、その力に対応して変形します。そして手を放して力を抜くと変形したときの形がそのままに保たれます。ところがゴムというのは、手で引っ張ると形は変わりますが、手を放せばもとの形に戻ってしまいます。このように、力を加えて任意の形に変形させることができるだけでなく、力を抜いたときにその形を保つのを可塑性といいます。ですから、例えば少量の水を加えて粘土をこね、自分の好きな茶碗の形にこれを変形する。それを乾かしても、粘土であればその変形した姿を保ちます。石を粉末にして水を加えてこねれば、一時的には変形させることができますが、乾くとその形が崩れてしまいます。それで、焼きものの場合には、変形しやすくすると同時に、乾いてもその形が保てるように、可塑性のよい粘土が使われるということになるわけです。

では、粘土にはどうして可塑性があるのかということになりますが、じつはこれもかなり難しい問題なんです。粘土の粒子というのは、1つ1つの粒子の一番外側が電気的にマイナスの性質をもっています。そこへ水の分子が近づくわけですが、水の分子(H₂O)というのは、プラスの電気をもつ位置とマイナスの電気をもつ位置が非常にはっきりしていて、水の分子の片側がプラス、反対側がマイナスに帯電しています。そういうのを極性といいますけれども、水の分子は極性をもっています。

そうすると、ここに粘土粒子がありますと、水の分子がやってきますとどうなるか。粘土粒子

表4・2 - 粘土と生活

窯業	陶磁器・屋根瓦の原料	カオリン粘土・セリサイト	粘土の可塑性と加熱により固結する性質を利用
	タイルの原料	パイロフィライト(ろう石)	
	耐火レンガの原料	耐火粘土(おもにカオリン粘土)	
	セメントの原料	カオリン粘土	
	鑄物の砂型結合剤	ベントナイト	粘土の粘着性を利用
石油工業	石油のボーリング用泥水調整剤	ベントナイト(モンモリロナイト)	粘土の膨潤性と粘着性を利用
	原油の脱色精製剤	酸性白土・活性白土(モンモリロナイト)	粘土の吸着性および触媒としての特性を利用
化学工業	製紙用充填剤・コーティング剤	カオリン粘土・パイロフィライト・セリサイト	充填剤としてせいの間に粘土が入る。コーティング剤はつやだし、表面のなめらかさを増すために使用
	ゴムの充填剤		
	合成樹脂・リノリウムの充填剤	酸性白土・活性白土	吸着性を利用
	油脂の脱色剤・精製剤		
	顔料・塗料の原料	ベントナイト・酸性白土・活性白土・カオリン粘土	粘土の懸濁性を利用
	化粧品原料	カオリン粘土	展延性・吸着性を利用
	医薬品の原料	カオリン粘土・酸性白土・ベントナイト	胃腸薬にカオリン 皮膚の撒布剤(ゼノール)・解毒剤として酸性白土
	放射性廃棄物処理剤	ベントナイト・酸性白土・活性白土	吸着性・塩基交換の性質を利用
農業	土壌改良剤	ベントナイト	吸水性・吸着性・塩基置換などの性質を利用
	農薬の分散剤	ベントナイト・酸性白土	粘土の分散性・懸濁性を利用
	水田の漏水防止剤	ベントナイト	漏水の防止は水田の水温の低下を防ぐ
災害の要因	地すべり	モンモリロナイト	粘土の膨潤性
	地盤沈下・構造物の変状	多くの粘土	粘土層の圧密
	トンネルの変状	モンモリロナイト・クローライト	粘土の膨潤性
	地震などによる地盤の軟弱化	多くの粘土	チクントロビー

の表面はマイナスですから、水の分子のプラスの側がそこに引きつけられるわけです。引きつけられた水の分子のマイナスはフリーですから、別の水の分子のプラスを引きつけ、いくつもの水の分子が数珠つなぎになります。このくさりの途中にプラスのイオンが入ると、このイオンがなかだちとなって別の粘土粒子からのびる水の分子のくさりと連結される（図4・10）。ちょうど水の分子がくさりの役割を果たして粘土粒子どうしをつなげてしまいます。

しかし、水の分子のくさりの結合する力は弱いので、よそから力が加わるとくさりはピッと切れてしまいます。つまり粘土の塊の形が変わるわけです。しかし切れたといっても、まわりは粘土粒子と水分でいっぱいですから、よそからの力が加わらなくなると、またすぐに、前と同じようにくさりでつながってしまう。ですから力を取り去ると、力を加えたときの形をそのまま保つことになる。このように粘土の可塑性というのは、大筋では、粘土粒子と水分子との間の働きというように考えてもらえばよいと思います。ついでに、木節粘土はなぜ可塑性にすぐれているかということ、木節粘土の中に含まれている木片などの腐植質の物質が、粘土粒子と同じように電気的な性質をもっている。そのためにさらに可塑性がプラスされると考えられています。

なお、本日のテーマと関連した粘土のもう1つの性質、粘土を焼いていくと、化学変化が起こって固い鉱物に変わっていくという、粘土の焼固性については、私よりも下坂さんの方が詳しいので、それは下坂さんにお任せして、私の話はこの辺で終わります。

粘土の焼固性

下坂 最初にお断りしましたように、私も焼きものの方は専門ではないので、一般論としてお話しします。いまの倉林さんのお話にありましたように、粘土というのは常温で安定です。ただそれは、要するに水の多い環境だから、ゆっくりと非常に長い時間をかけて、水をもった鉱物に変わってきたということで、常温では反応が非常におそいので、安定しているようにみえている。

それを今度は、逆に熱を加えるわけです。そうすると、まず粘土鉱物の表面付着水や層間域に入っている水がとんでいきます。その次には、珪酸塩層の中の結晶水がとんでいく。こうして、

粘土鉱物の中の水がすべてとんでしまうと、1：1型構造のカオリン鉱物についていえば、例えば家の構造でいうと、柱という柱をすべて抜いてしまうのと同じ状態になり、家はガタガタとつぶれてしまいます。そうするとアモルファス（非晶質）の状態になる。原子は規則正しく並んでいなくて、つぶれた家では、壁や屋根の一部がゆがんだ形を残っていますが、それに似た感じで原子の配列がくづれてしまいます。それをもう少し温度を上げて1,000度ぐらいにすると、今度は再結晶してきてムライトという鉱物になる。1,000度で安定な原子配列を示す鉱物に変わるわけです。この鉱物は、もちろん水は抜けており、SiとAlとOだけが固く結合した鉱物です。こうして、結合力の非常に強い鉱物が、茶碗の中で結晶となる。もちろんこれは、1粒ではなく、非常に細かい結晶の集合体になっているわけです。カオリン質粘土はSiとAlから成っていますから、1,000度を越えると結晶性の悪いムライトの生成が始まり、1,200度を越えるとその生成量は急に増加します。それと同時に、余分のSiはクリストバライトになります。

磁器をつくるときには、もちろんカオリン粘土のほかに、長石、陶石、石英、セリサイト質粘土などが加えられますが、これらが1,300°～1,450°に焼成されると、たくさんのムライトの微細結晶と、長石やセリサイトから生じたガラス層が結晶粒の間をうめて生成します。それで磁器には透光性がでてくるわけです。

編集 カオリナイトとモンモリロナイトで耐火度に違いがあるのは……

下坂 一般にアルカリ金属のNa、K、アルカリ土金属のMg、Ca、その他Feなどが入ると、融点が著しく下がるのです。モンモリロナイトの化学組成には、Fe、Mg、Ca、Na、Kなどの溶け易くする元素が少量含まれるので、それで耐火度が低くなるわけです。

ついでにもう1つ補足しますと、ベントナイトや酸性白土のように、モンモリロナイトを主成分とした粘土が焼きものに使えないのは、先ほどお話があったように、この粘土には層間に水があるからなんです。この粘土は、蒸発させて水が抜けるとギュッと縮まってしまい、ひび割れを生じてしまうのです。水田が乾くとひびがいっぱい入りますが、それと同じ現象で、成形して乾かしておくと、ひびがいっぱい入ってし

まいそれで使えないのです。

ただし少量ならばいいんです。というのは、モンモリロナイトは粒子が非常に細かく、水の中での分散がよいので、ろくろをひくときの可塑性は非常によいのです。それで少量であれば、のびが良くなるので実際に使っています。というよりは、過去には、知らないで使っていたんです。

混合層粘土

それともう1つ、モンモリロナイトは非常に粘っこい粘土ですから、これの入った混合層構造の粘土になると、焼きものには非常に良い原料になるんです。先ほど陶石の話をしたさい、出石や砥部では、スタンパーの方法で陶石単味で磁器をつくっているといいましたが、ここの陶石にでてくる粘土が、イライト—モンモリロナイトという2種類の粘土鉱物の単位層が積み重なってできた混合層粘土鉱物なんです。この粘土は、熱水変質によってできたものですが、これがすばらしく可塑性がいい。それで出石の菊彫りといって、非常に薄い焼きものがつくられているんです。また砥部の陶石も、同じような混合層粘土を含んでいます。ですから、こうしたところでは、瀬戸からつなぎ剤として木節粘土をもっていかなくても、陶石単味でよい焼きものがつくれるんです。このようにモンモリロナイトは、焼きものには全く使えないということではないんです。

粘土の吸着性と膨潤性

編集 粘土は原油の脱色などにも使われているんですか。

倉林 モンモリロナイトの場合には、先ほどからいわれているように、層間域に水が入っています。ところが、ほかのイオンがやってくると、この水が追い出されてそこにイオンが入り込んでしまうのです。例えば石油の中にはいろいろな色素が含まれていますが、石油をモンモリロナイトを主とした粘土のフィルターに通すと、石油の中のいろいろな色素が水を追い出して粘土鉱物に吸い取られてしまう。お砂糖の脱色もそうです。粘土の層を通すと、お砂糖の中の色

図4・10 - 粘土粒子・水分子・陽イオンの鎖



素が全部粘土粒子に吸着されてとられてしまう。粘土がもっているそういう吸着性が利用されているわけです。またこの粘土の吸着性は医薬品としても役立ち、しっく剤などに粘土が使われています。

それからもう1つモンモリロナイトの場合には、層間域にたくさんの水が入りこむことができ、粘土粒子がふくれ上がる。これを膨潤性といいます。それで例えばボーリングをしたりするときのボーリング粘土としてこれが使用される。この粘土は、泥水になりやすいから、きりが磨滅しない。こういう場合の粘土には、膨潤性にすぐれた粘土がいいんです。

粘土鉱物における結晶構造の発達

編集 火山ガラスが風化して粘土化したときは、何になりやすいんですか。

下坂 日本の気候で、地表近くで風化した場合には、一般には球状のハロイサイトになります。地下の深いところ、例えば地下数100mのところに埋没されているような場合にはモンモリロナイトができやすい。ただ地下深くに埋没されていても、酸性の温泉でどんどん洗われれば、アルカリ土類が流れますから、カオリナイトができます。要するにそのときの化学組成なんです。温度が高ければパイロフィライトやデッカイトができます。

それから、粘土化の問題では、まだ未解決の領域がいろいろとありまして、その1つは、堆積後の続成作用にからむ問題です。一般に長石が

風化しますと、パイプ状のハロイサイトになります。火山灰の場合は、一般にはボール状のハロイサイトができます。雲母が風化しますと、雲母というのはもともと粘土鉱物で板状結晶ですから、そのままの形で板状のカオリナイトになる。黒雲母の場合も、いろいろな過程をへて最終的には板状結晶のカオリナイトができます。この辺まではよくわかっていることです。

ところが、長石が風化してできたパイプ状のハロイサイトが、堆積して木節粘土になっている。木節粘土の多くは、長石から由来したと考えられるのですが、堆積したものを現在線で調べると、みんな板状のカオリナイトになっているのです。パイプ状のものが、現在みると板状のものに変わっている。ですから、どこかの時点で変わっているわけですが、この問題は今のところはまだ解決されていません。

編集 関東ロームなどでは、新旧の火山灰層が積み重なっているでしょうから、粘土鉱物への進み具合がわかるのではないんですか。

倉林 関東ロームの団体研究が行われた約30年程前に、私たちも関東ローム層の中の粘土鉱物についていろいろと調べました。その結果をごく簡単にまとめますと、表4・3のようになります。この表にみられるように、一番新しい立川ロームのものはほとんどがアロフェンですが、武蔵野ローム層になるとハロイサイトのボール状の結晶がみられるようになります。下末吉ロームになるとパイプ状のハロイサイトが多くなり、一番古い多摩ローム層になると、長いパイプ状をした結晶度のさらに高いハロイサイトになっています。

それと、海成の下末吉ロームの中には、灰白色の粘土がでてくるのですが、これがハロイサイトとメタハロイサイトの混合型の粘土鉱物なんです。メタハロイサイトというのは、ハロイサイトの層間の水が抜けてカオリナイトに類似した結晶構造のもので、その形もパイプ状の形が割けて平らになりかかっているんです。それで私たちは、まず初めにパイプ状のハロイサイトができ、次にそれが割けて平らになって、メタハロイサイトという比較的結晶度の低い鉱物になる。そしてさらに結晶化が進んでくると、モンモリロナイトができるだろうと考えました。この推定は、関東ロームよりもずっと古期の火山灰層である八ヶ岳山麓のロームで確かめられました。私は、この変化は、古い火山灰層でお

こる続成作用の影響だと考えています。

人工粘土と自然界の粘土と

編集 カオリナイトを人工的につくることはできるんですか。

下坂 カオリナイトはつくることができます。私がいま移った名古屋工業技術試験所では、合成で人工粘土をつくっています。ただ単価がいまのところ高いんです（笑）。

カオリナイトをつくるような化学組成の出発物質（薬品なり材料）を、オートクレーブという密閉した容器の中に入れて温度を200～250ぐらいいまで上げれば、5日から7日ぐらいでカオリナイトはできます。反応をよくするにはアモルファスのシリカを使うんです。結晶したものは、結晶が一遍壊れないと次のものができない。非晶質のものの方が、反応がいいんです。ですから、今、反応がいい非晶質シリカ、アロフェン、珪藻土などを使ったりしてカオリナイトをつくっています。

私と同じ研究室の渡村さんらは、短時間の合成では球状のカオリナイトができ、合成時間を長くとると板状のカオリナイトができると報告しています。つまり途中の段階で球状のカオリナイトから板状のカオリナイトに変わっているのです。自然界でも、さきに触れましたように管状のハロイサイトから板状のカオリナイトに移っているわけで、形態上の変化はよく一致しています。ただし、合成実験ではハロイサイトをつくることはできません。みんなカオリナイトになってしまう。

編集 熱を加えるからですか。

下坂 そう、一種の熱水変質です。

倉林 温泉のように熱いお湯が噴き上がってき、そのお湯とまわりの岩石が反応を起こして粘土鉱物ができるわけですが、そこでできるのはかなり結晶度の高いものです。合成実験では、そういう粘土をつくることができます。しかし、天然の堆積性の粘土というのは、ゆっくりと非常に長い時間かけて複雑な自然条件の中で常温常圧下で化学反応が進むわけ。室内では、そういう実験は再現できないんです。そうした意味では、自然界にあるような粘土をそのままつくろうというのは、ちょっと不可能に近い話になるんです。

編集 時間もなくなりましたので、この辺で終わりたいと思います。本日は、長時間にわたりたいへんありがとうございました。

		おもな粘土鉱物	おもな粘土粒子の形と大きさ
立川ローム		アロフェン	アロフェンの点状粒子(粒径約0.05μ)とその集合体
武蔵野ローム	上部	アロフェンと低結晶度のハロイサイト	アロフェンの点状粒子と低結晶度のハロイサイトの球状粒子(粒径約0.1～0.2μ)
	下部	ハロイサイト	ハロイサイトの葉の殻状粒子(粒径約0.2μ)
下末吉ローム	陸成	ハロイサイト	ハロイサイトの葉の殻状粒子(粒径約0.2μ)とパイプ状粒子(長さ約0.2μ)
	海成	ハロイサイト鉱物の混合型	ハロイサイトのパイプ状粒子(長さ約0.2μ)と不規則混合層鉱物の薄板状粒子(大きさ約0.1μ以下)
多摩ローム	陸成	結晶度の高いハロイサイト	伸長したパイプ状粒子(長さ約0.3～0.5μ、結晶度の高いハロイサイト)とやや大きい葉の殻状粒子(粒径約0.3μ)
	海成	ハロイサイト鉱物の混合型	海成の下末吉ローム中の粘土粒子に同じ