

やきものから見た
土と石の基本

(芳村俊一の著作を中心に)

2016年2月11日

陶研究会 萩原茂樹

目次

1.	土と粘土 -----	1
	風化作用、 熱水変質、 続成作用（固結化）	
2.	粘土鉱物 -----	2
	カオリン鉱物、 雲母型粘土鉱物	
3.	主な粘土鉱物の吸熱（脱水）と発熱（再結晶化） ---	5
	示差熱分析のデータ	
4.	石の種類と性状 -----	6
	火成岩、 堆積岩、 変成岩	
5.	主な火成岩の鉱物組成と化学組成 -----	9
	造岩鉱物の量、 主な元素の酸化物の割合	
6.	主な造岩鉱物 -----	9
	石英、 長石、 黒雲母、 角閃石、 輝石、 かんらん石	
7.	通常の火成岩に可塑性はない -----	11
	粘土粒子は陰電荷をもっている	
8.	土と石 -----	13
	土と石の特性	
9.	日本の土の特徴 -----	13
	日本独自のやきもの	

1. 土と粘土

焼き物の対象となる土は狭義では粘土を指す。しかし、我々の取り組む土は、岩石が地表の物理的、化学的变化によって生成された表土全般を相手にする。従って、その種類は場所によって著しく異なるものである。いろいろな土が在るということは、いろいろな焼き物ができることに繋がる。粒径は石との境界がはっきりしない。

土の平均元素組成(特に示したものの他はppm)

元素	含量	元素	含量	元素	含量	元素	含量	元素	含量	元素	含量
Li	25	Cl	100	Ga	13	In	1	Tb	0.7	Bi	0.2
Be	0.3	K	1.4%	Ge	1	Sn	4	Dy	5	Th	9
B	20	Ca	1.5%	As	6	Sb	1	Ho	0.6	U	2
C	2.0%	Sc	7	Se	0.4	I	5	Er	2		
N	2000	Ti	5000	Br	10	Cs	4	Tm	0.6		
O	49%	V	90	Rb	60	Ba	500	Yb	3		
F	200	Cr	70	Sr	140	La	40	Lu	0.4		
Na	5000	Mn	1000	Y	40	Ce	50	Hf	3		
Mg	5000	Fe	4.0%	Zr	140	Pr	7	Ta	1		
Al	7.1%	Co	8	Nb	10	Nd	35	W	1.5		
Si	33%	Ni	50	Mo	1.2	Sm	4.5	Hg	0.06		
P	800	Cu	30	Ag	0.05	Eu	1	Tl	0.2		
S	700	Zn	90	Cd	0.35	Gd	4	Pb	12		

季刊 化学総説 「土の化学」 一國雅巳

土はもともと物質名詞である筈なのに、多くの抽象的観念を含んでいて(物質+抽象名詞)のような複合的性格を持ち、又そうした意味で「土」を捉える時がもっともぴったりに感じになる
陶土の探求

粘土とは、大きさが2 μ 以下の土粒子に与えられている名称で、そのような微細な

粘土の生成は、風化、熱水変質、続成作用によっておこなわれる。

1) 風化作用

一般に低温下で進行するので、その反応速度はゆっくりなため、生成する鉱物の粒子が微細である。

2) 熱水変質

火山活動による熱水作用で行われ、粘土化の反応速度が速い。

3) 続成作用（固結化）

堆積物が定着してからの物理的、化学的变化で密度の増加、再結晶などがおこなわれ、新たな鉱物も生まれる。

粘土化作用に2つの大きな違ったやり方がある。熱水型と風化型だ。
熱水型は、火山、温泉などに伴う熱いガスや水（勿論、いろんな化学成分を含む）の作用で、鉄、苦土、塩、灰、石灰などを融かしだして水を加える。比較的早い時間（24時間もあれば可）で土をつくる。
風化型は、常温で時間をかけて（X万年）水と空気とで鉄、苦土 - - - をゆっくり融かしだして土をつくる。 陶土の探求

2. 粘土鉱物

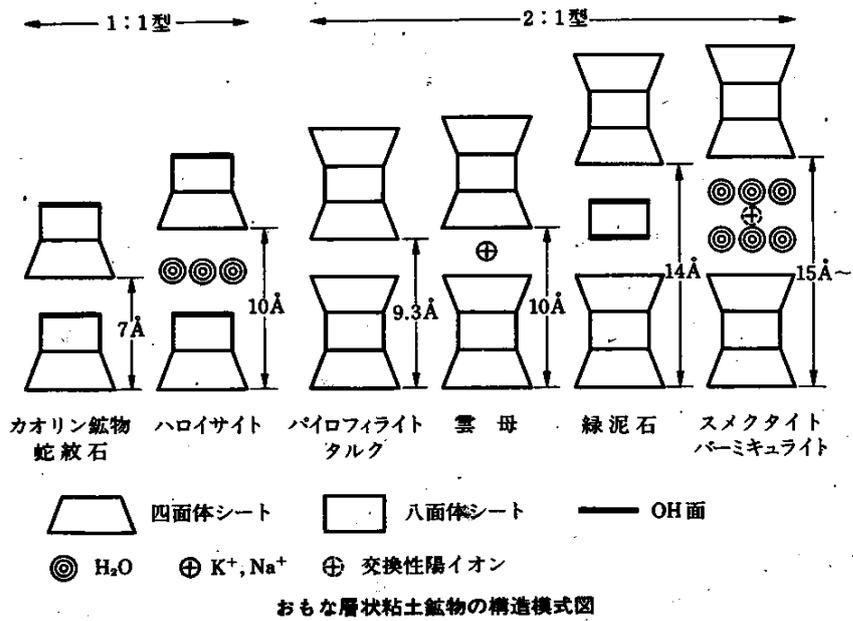
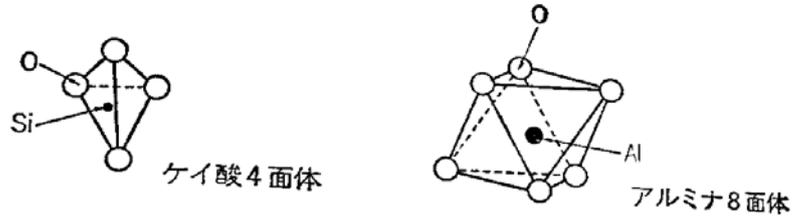
土や粘土の性質を支配する主な要因は、粘土鉱物である。

粘土鉱物は、火成岩のようなマグマが固結、あるいは変成岩のような高温、高圧でできた岩石の中の珪酸塩鉱物（造岩鉱物あるいは一次鉱物）が単に粘土粒子サイズになったものではない。そうした一次鉱物が水と接し、その構成元素が溶解してイオン状態となり、それらが水の分子と結合して新たな含水珪酸塩鉱物となったものを粘土鉱物（二次鉱物）という。粘土鉱物は大きく成長せず殆どが2マイクロン以下の粘土粒子サイズである。

粘土は含水層状珪酸塩及びそれと密接な関係のある含水珪酸塩からなる。

粘土鉱物中には、Si-O四面体があり、1つの四面体は隣の四面体と接する酸素を共有しながら沢山つながって1枚の薄いシートになっている。同じ粘土中には、もう1枚別のAl-O-OH八面体からなるシートが存在する。この2つのシートが重なってできる粘土鉱物が最小の構成単位で1:1型鉱物という。また、Al-O-OH八面体シートがSi-O四面体シートに挟まれた形を最小構成単位とするものを2:1型鉱物といい、2枚の四面体シートが頂点酸素を向かい合わせて八面体シートの水酸基3分の2を頂点酸素が置き換えるという形で、八面体シートを間にはさんで組み合

っている。



主な層状粘土鉱物

鉱物名	化学組成(構造式)
1:1型鉱物	
カオリナイト	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
ハロイサイト	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
蛇紋石	$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
2:1型鉱物	
パイロフィライト	$\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
タルク	$\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
白雲母	$\text{K}[\text{Al}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$
セリサイト	$\text{K}_{0.8}[\text{Al}_2(\text{Si}_{3.2}\text{Al}_{0.8})\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$
マグネシウム緑泥石	$[\text{Mg}_2\text{Al}(\text{OH})_6][\text{Mg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$
モンモリロナイト	$[\text{Na}_{0.33} \cdot n\text{H}_2\text{O}][\text{Al}_{1.67}\text{Mg}_{0.33}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$
バイデライト	$[\text{Na}_{0.33} \cdot n\text{H}_2\text{O}][\text{Al}_2(\text{Si}_{3.67}\text{Al}_{0.33})\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$

粘土鉱物は層状珪酸塩鉱物が主体であるが、その中でもカオリン鉱物、雲母粘土鉱物、スメクタイト及び混合層鉱物が粘土特有の典型的な鉱物である。カオリン鉱物と雲母鉱物は、堆積岩の中にはしばしば含まれるが火成岩、変成岩には一般に含まれない。

ここでは焼き物の諸性質を大きく左右すると思われるカオリン鉱物と雲母粘土鉱物を「粘土鉱物学」白水晴雄 朝倉書店から、それらの特性、産状、用途を次に引用する。

1) カオリン鉱物

[性状]

カオリン中に3種類の異なった構造の鉱物、カオリナイト (kaolinite)、ディッカイト (dickite), ナクライト (nacrite) があり、この3鉱物はポリタイプの関係にあり、層間水が加わったハロイサイト (halloysite) を含めて亜族 (or 族) とされ、カオリン鉱物と呼ばれる。

一般にディッカイトとナクライトは粒子が比較的粗いが (数 μ 以上)、カオリナイトとハロイサイトは微粒である。ハロイサイト以外は光学顕微鏡下或は電子顕微鏡下でチューブ状の形態を示す。

[産状]

カオリン鉱物は、塩基が溶脱する弱酸性の条件下で、主として長石その他の珪酸塩鉱物の変質によって生成する。地表環境下で安定な粘土鉱物であり、温度や圧力が高くあれば、不安定になる。従って、火成岩や変成岩の本来の成分としては含まれないで、土壌をはじめ、岩石の風化帯や変質帯に広く分布する。それらの大部分はカオリナイトとハロイサイトであり、ディッカイトとナクライトは少ない。SiO₂ と Al₂O₃ に富む火成岩や火山灰が風化作用或は低温熱水作用を受けて多量のカオリナイト或はハロイサイトを生成し、その場に残留集積すれば風化残留カオリン鉱床となる。それらが流水によって運搬され、堆積すれば木節粘土などのもっとも主要なカオリン粘土の鉱床となる。

カオリナイトは又ディッカイトと共に熱水作用の産物として広く産し、ときにカオリン鉱床を形成すると共に鉱床母岩の変質帯、熱水鉱脈、ロー石、陶石などに含まれる。又ディッカイトは堆積岩中の脈として出ることもあり、続成作用によってカオリナイトから転移してできることもある。ナクライトの産出は稀で、比較的高温の熱水作用の生成物として見出される。

[用途]

カオリン鉱物 (主にカオリナイトとハロイサイト) を主成分とするカオリン粘土はもっとも広く利用される。

2) 雲母型粘土鉱物

[性状]

雲母 (mica) は各種の岩石や粘土中に広く産し、多くの種類があり結晶も 20 cm 以上に及ぶ大きな六角板状のものから粘土サイズのものまでである。

雲母は種類が多いが、粘土中に微粒の鉱物として産する雲母は比較的少数であり、これらは一般に雲母粘土鉱物 (mica clay mineral) と呼ばれる。

最も普通の雲母粘土鉱物はイライト、セリサイト (絹雲母) 海緑石などであるが、他にセラドナイト、トベライト (砥部石) がある。

[産状]

イライトは、泥質の堆積物や堆積岩の主成分として広く産し、風化土壌や熱水変質粘土中にも普遍的含まれる。しかし、その起源は多様であって、長石、黒雲母などの造岩鉱物の風化、フェルシク (無色鉱物) ないし中性火山岩の熱水変質、スメクタイトの続成作用による生成の他、岩石中の白雲母の風化碎屑物であることも多い。セリサイトは陶石の主要成分であり、ロー石にもしばしば含まれる。海緑石は、砂岩、泥岩などに緑色粒状をなして含まれ、還元性の浅海底で生成する。

セラドナイトは、玄武岩の空隙など火山岩中にマフィック鉱物 (有色鉱物) の変質物として産出する。

[用途]

セリサイトは陶磁器に使われる。

作陶者が扱う土は、石ころからバクテリアまで雑多なものを含んでいるが、その主体になるものは粘土鉱物である。もちろん作陶上での土の性質を全て粘土鉱物にするのは、大変危険な考えで、粘土鉱物以外の塩、硫黄、石灰などが時によっては決定的な要因になることもあり、“この土はカオリナイトだから - - -” とか “モンモリロナイトだから - - -” といった思考法は絶対にしてはいけない。

陶土の探求

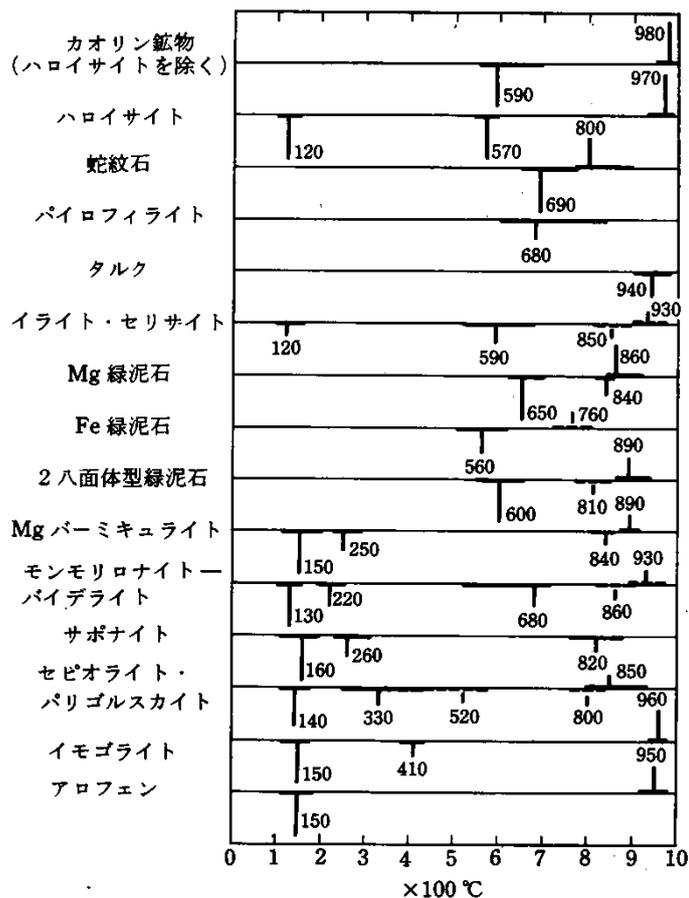
「カオリン」と呼ぶものは、[ディッカイト、カオリナイト、ハロイサイトなどの粘土鉱物が主力構成部分になっていて、焼き上がりが白色になるもの] を指している。われわれはこの常識でいいと思う。

陶土の探求

3. 主な粘土鉱物の吸熱 (脱水) と発熱 (再結晶化)

示差熱分析のデータ。縦線の下向きは吸熱、上向きは発熱を示し、その位置と

長さは標準的なピーク温度と相対強度を表す。横線はピーク温度の範囲を示す。破線（イライト・セリサイトの 850°Cの吸熱と 930°Cの発熱、Fe 緑泥石の 760°Cの発熱、モンモリロナイトーバイデライトの 860°Cの吸熱と 930°Cの発熱、セピオライト・パリゴルスカイト 520°Cと 800°Cの共に吸熱）はピークが出現しないこともあることを示す。



粘土鉱物学 白水晴雄 朝倉書店

一般に 750°C から 1000°C にかけて、全構造の崩壊と原子の再配列・再結晶化がおこることが分かる。

4. 石の種類と性状

我々が対象とする石は、その生い立ちの違いから火成岩、堆積岩、変成岩の3種類に分類される。

岩 石	火成岩 ・地殻の 5% ・マントルと地殻の下部 でつくられる	火山岩 (地表 or 地表近くで) 流紋岩、安山岩、玄武岩 斑状組織(斑晶、石基) 深成岩 (地下深くで) 花崗岩、閃緑岩、斑れい岩 等粒状組織
	堆積岩 ・地殻の 80% ・地表の水中や陸上に 堆積して地層をつくる	碎屑岩 (粒の大きさによる分類) 礫岩、砂岩、泥岩 化学・生化学岩 (成分による分類) 凝灰岩、チャート、石灰岩
	変成岩 ・地殻の 15%	・岩石が殆ど溶けることなく、熱や圧力 で組成や結晶構造が変化したもの ・風化を含まない

1) 火成岩

岩石のもとであるマグマが数十～150km 上部マントルで発生する。

上部マントルの中では、マントル下部からの熱対流や放射性元素の濃度が原因となっていて、局所的な温度上昇が生じてマグマの上昇運動がおこる。

又、プレートの沈み込みによる摩擦熱と水による地殻の下部も発生源となっている。マグマが地表に吹き出して、固結する際の化学成分、温度、圧力及び冷却速度によって種々の岩相ができる。

火 成 岩	火山岩 ・地表付近で速く固まった ・斑状組織(斑晶と石基)	流紋岩	安山岩	玄武岩
	深成岩 ・地下でゆっくり固まった ・等粒状組織	花崗岩	閃緑岩	斑れい岩
	粘り気 温度	強い 900°C	普通 1000°C	弱い 1200°C

	色	白	灰	黒
--	---	---	---	---

2) 堆積岩

水中或は陸上に堆積した岩石の碎屑物や火山噴出物、生物遺体などが続成作用によって堆積岩になる。火成岩、変成岩と異なり、堆積岩は地表で形成される。

3) 変成岩

岩石が高い温度 (max 800°C) や圧力、変形運動を受けて、大部分が固体状態のままに鉱物組成や組織が変化するもの。地表よりも深部でおこる。

大きく分けて、広域変成岩と接触変成岩がある。

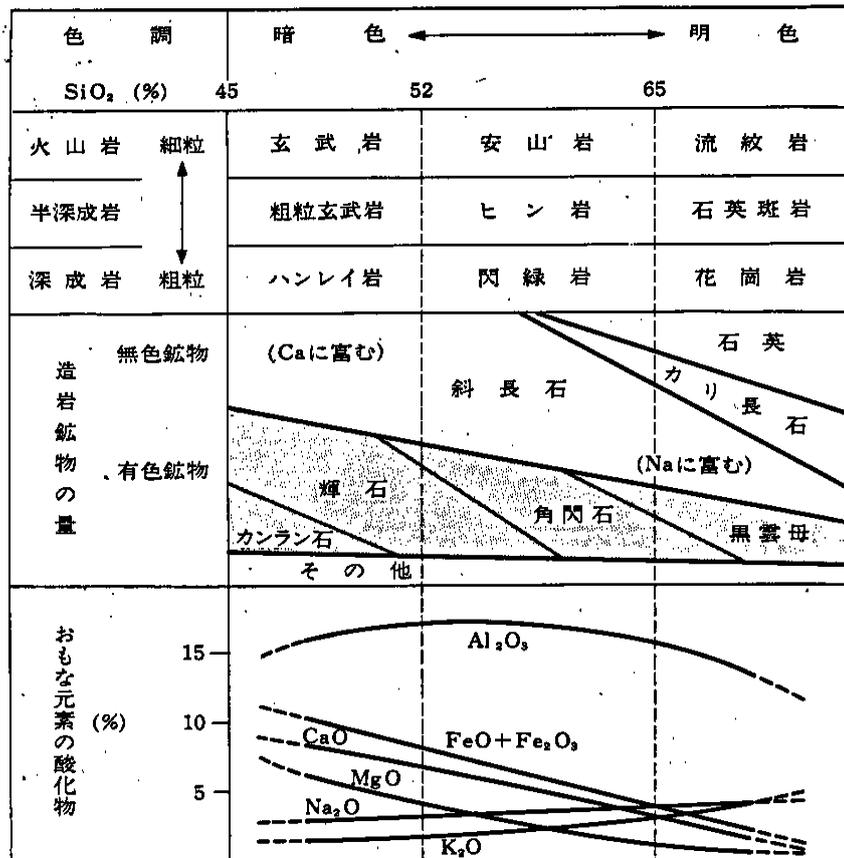
広域変成岩は動力変成岩ともいわれ、地下深部にある堆積物が造山運動の力によってつくられる。接触変成岩は温度上昇による再結晶によるもので、熱変成岩とも呼ばれる。 風化作用による岩石は含まれない。

主な堆積岩とそれらが変わった変成岩			
堆積物	堆積岩	広域変成岩	接触変成岩
粘土、シルト	泥岩、頁岩、粘板岩	千枚岩、雲母片岩、片麻岩	ホルンフェルス
砂	砂岩	石英片岩、片麻岩	ホルンフェルス
礫	礫岩	含礫片岩	
火山噴出物	凝灰岩	緑色片岩	
珪質生物遺体	チャート	石英片岩、片麻岩	
石灰質生物遺体	石灰岩	結晶質石灰石	結晶質石灰石・他

* 結晶質石灰石 (大理石) の成因は諸説ある

生まれたばかりの地球には、石はなくて石の“もと”ばかりでした。 というのは地球表面での温度は恐らく 3000°C位もあり、全てが溶けてドロドロの液体のようだったでしょう。 それから、5~6億年かけて 1150°C以下になり、液体が冷えて個体になったでしょう。 事実地球には 40~41億年以上の寿命を示す石がないことが裏書します。 私はいろんな石を焼いてみたところ、1150°Cまではドロドロの液体にならず石のままなので、1150°Cになって石になったと推定した。 だから、一番最初の頃は、マグマ状のものが冷えて固まった火成岩です。 この火成岩が分解したり、風化したりして移動し、どこかに堆積したのが堆積岩です。 そして、石になったものに対して大きな地球の運動力やマグマの熱が働いて石の組織や化学成分などが変わったものが、変成岩です。 作陶考

5. 主な火成岩の鉱物組成と化学組成



おもな火成岩の鉱物組成と化学組成

石のはなし 白水晴雄 技法堂出版

6. 主な造岩鉱物

1) 石英 (quartz) 無色鉱物

SiO₂ 最も普遍的に産出する造岩鉱物の1つで酸性の火成岩、変成岩中の主成分鉱物。他の成分を殆ど固溶せず、ほぼ純粋なシリカである。

そろばん玉状の12面体。他のどの鉱物よりも透明度が高い。

低温型石英 (α -石英) から高温型石英 (β -石英) への転移温度は常温で 573°C で、この際大きく膨張するので、焼き物の昇温はゆっくりする必要がある。

2) 長石 (feldspar) 無色鉱物

長石は大抵の岩石に含まれる。単結晶は先の尖った平行六面体様。透明度は石英より劣る。Ca, Na, Al を含む珪酸塩鉱物。

斜長石固溶体とアルカリ長石固溶体よりなる。斜長石固溶体は灰長石 (anorthite, $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) と曹長石 (albite, $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) 端成分とする連続固溶体で、Ca と Na の割合を An 値 $[\text{Ca}/(\text{Ca}+\text{Na})\%]$ で表す。高温の未分化な玄武岩質マグマから晶出する斜長石は An 値が高く (An80-90)、分化した安山岩・流紋岩マグマでは低くなる (An20-30)。

アルカリ長石固溶体は正長石 (orthoclase, KAlSi_3O_8) と曹長石を端成分とする。花崗岩類に多量に含まれるほか、アルカリ斑レイ岩や分化した斑レイ岩にも含まれる。

主要なものは、曹長石-灰長石-正長石の3成分固溶体であるが、灰長石-正長石間には殆ど固溶体をつくらず、曹長石-正長石間の長石をアルカリ長石、曹長石-灰長石間の固溶体を斜長石という。

3) 黒雲母 (biotite) 有色鉱物

雲母族。六角柱状。黒色ないし暗褐色。不透明で強い光沢がある。

Fe, Mg, K, Al を含む含水珪酸塩鉱物。火成岩、変性岩中に多くある。

風化したものは、ひる石と呼ばれる。

4つの端成分、金雲母 $\text{K}_2\text{Mg}_6(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{20}(\text{OH}, \text{F})_4$ 、アンサイト $\text{K}_2\text{Fe}_6\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{20}(\text{OH}, \text{F})_4$ 、イーストナイト $\text{K}_2\text{Fe}_6\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{20}(\text{OH}, \text{F})_4$ 、シドロフイライト $\text{K}_2\text{Fe}_5\text{AlSi}_5\text{Al}_3\text{O}_{20}(\text{OH}, \text{F})_4$ の固溶体。

4) 角閃石 (amphibole) 有色鉱物

細長く平らな柱状 (長柱状) で、横断面はつぶれた六角形。酸性火成岩、変成岩を構成する重要な鉱物。Mg, Fe, Ca, Na, Al を含む含水珪酸塩。普通角閃石 (hornblende) は Ca を含む角閃石で、黒緑～黒褐色～濃緑色、カミングトン閃石 (cummingtonite) は Ca を含まない

角閃石で透明感のある淡緑色、酸化角閃石 (oxyhornblende) は透明感のある赤色。いずれの角閃石も光沢が強い。

「元素のゴミ箱」と呼ばれる程多種の元素を多量に固溶できる。

5) 輝石 (pyroxene) 有色鉱物

長柱状～短柱状。 火成岩、変成岩を構成する主要な珪酸塩鉱物の1つ。

Fe,Mg,(Ca)を含む珪酸塩鉱物。 普通輝石 (単斜晶系) $(Ca,MgO,Fe^{2+})SiO_3$

シソ輝石 (斜方晶系) $(Mg,Fe^{2+})SiO_3$ がある。 普通輝石は大きい結晶は黒色で不透明でにぶい光沢がある。 小さいものは淡緑色から濃緑色。

シソ輝石は大きいものは黒褐色でにぶい光沢がある。 小さいものは黄色を帯びた褐色。

6) かんらん石 (olivine) 有色鉱物

塩基性～超塩基性火成岩の主要造岩鉱物。 短柱状～粒状。 透明感のある

オリーブ色、オレンジ色、赤がかった黄色など、表面は水に濡れたようなるんだ光沢がある。 地球の上部マントルの主成分鉱物。 化学組成は

$(Mg,Fe^{2+})_2SiO_4$ 。

7. 通常の火成岩に可塑性はない

長石はやきものである。 人間が焼いたやきものではないが、地球が焼いたやきものである。 だから長石に水を加えれば粘りが生じるが、吸着水はなくて腰がなく、可塑性はない。 同じ理由で火成岩は、粉末にして水を加えても可塑性はない。 しかし、火成岩が風化作用や熱水作用を受けてくると、少し可塑性が生まれはじめ、最後には粘土化して可塑性が出る。

堆積岩 (砂岩、泥岩、凝灰岩など) を粉末にして加水すると原則として可塑性が出る。 但し、砂岩は細工しにくいし、高熱を受けた堆積岩は、可塑性を持たない。

変成岩は一概にいけない。 高圧によって凝灰岩から変成した緑色片岩のように可塑性を持つものがあるが、高熱で変性したものに可塑性はない。

陶土の探求

溶岩などの火成岩は、粉末化して水を入れ揉んでもロクロ挽きできません。

理由は地球が焼いたやきもので、マイナス電気が消されているからです。

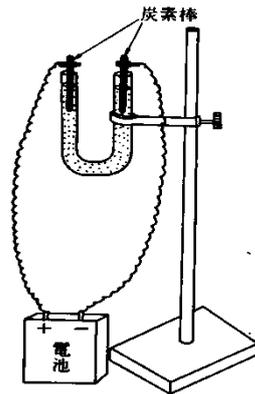
もしそうでなかったら、火成岩は大雨のために大土石流になってそこらあたりは泥の海です。

作陶考

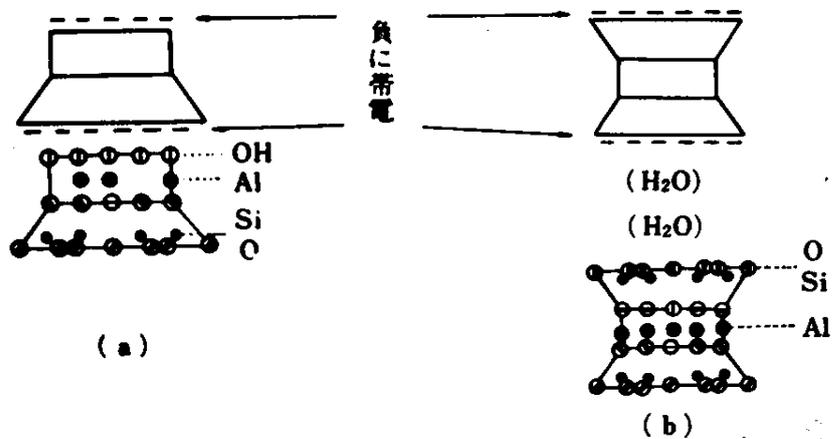
粘土粒子が陰電荷をもつことの実験

粘土試料をひとにぎり程度大型蒸発皿に入れ、適量の純水を加えてドロドロになるまで指でよくこねて、均質のどろ水をつくる。このどろ水に純水を加えながら、U字管にほぼいっぱいになるように流し込む。U字管の左右の水面を同一レベルにして、電極をU字管内にさしこみ、直流の電流を流すと粘土粒子は正極側に集まることから粘土粒子が陰電荷を帯びていることがわかる。

粘土をつくる粘土鉱物の表面に、負電荷をもつ酸素イオンや水酸イオンが並ぶからだと考えられている。 土と岩石 地学団体研究会編 東海大学出版会



粘土粒子の電荷を調べる実験



(a) カオリナイト

(b) モンモリロナイト

粘土鉱物の表面の電荷

先生は、溶岩の粉末を塊りにした後彫刻して焼いてしまいました。素焼きの温度では固まらないので、焼結が始まる温度域（1050℃）までもっていき、作品にしてしまう。恐るべし、先生のこだわり。

8. 土と石

土は石より火に強いことを理論的に考えると次のようです

石 = アルミナ・珪酸 + 媒融物 + 鉄・苦土

土 = 石 - 媒融物や鉄、苦土 = アルミナ、珪酸に水が加わる

やきもの実験・静岡の土

温度領域の幅

1. 土は焼結温度領域が広い（焼き易い）
2. 可塑性のある石は広い（焼ける）
3. 可塑性のない石は狭い（焼きにくい）
4. 珪-アルミナ-鉄・苦土-アルカリ系でないもの、具体的には石灰岩とか金属を多く含む石などは焼結温度がないといってよい（焼けない）

土と石から見たやきもの

石則是空

とにかく、そこらにころがっている石ころを割って小破片をつくり、それを耐火度のある土でつくった受け皿に入れて焼いてごらんください。

こうすると、釉薬の難しい理論ではなく、その実態がわかります。

作陶考

9. 日本の土の特徴

日本には、海の土、火山の土、温泉の土がまだまだ沢山あります。これらは必ずしも1250℃陶芸には向きません。だからそれらはダメ土、ボロ土かというて決してそうではなく、その土に合わせ、その土を生かした陶法をとると、大変素晴らしいやきものになります。

ダレでもできる自主陶芸

日本は大陸的な中朝ではなく、海の国、火山の国、温泉の国であり、日本独自の土が在る。海成粘土でソーダと硫黄とが化合した硫酸ソーダを含むものが多いが、これは1080℃辺りから強い発泡力をあらわし、土がブクブクに膨張する。しかし、これも風化を受け洗い流されて再堆積すると1180℃位までは何とかなる。

へんど会報

引用図書（先生の著作を除く）

1. 季刊 化学綜説 「土の化学」 一國雅巳
2. 土と岩石 地学研究会編 東海大学出版会
3. 日本の土 山野井徹 築地書館
4. 石のはなし 白水晴雄 技法堂出版
5. 粘土のはなし 白水晴雄 技法堂出版
6. 粘土鉱物学 白水晴雄 朝倉書店
7. 観察でわかる地学 福地孝宏 誠文堂新光社
8. 地学ハンドブックシリーズ 14 新版火山灰分析の手引き
野尻湖火山灰グループ著 地学団体研究会
9. 地学事典 平凡社