

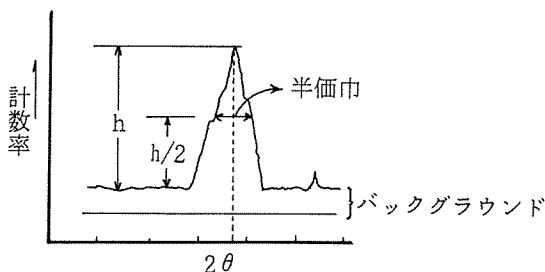
粘土鉱物の判定のしかた

三 條 暢 久

粘土鉱物は基本的には、水とアルミナとけい酸の合成物であって、水なくしては粘土鉱物は生成されない。粘土鉱物は、粘土粒子の交換できる陽イオンの種類によって粘土鉱物が含む水の量が違っており、粘土の性質に大きく影響をもっている。最近では地すべり・スレーキング・膨潤の問題として、よくモンモリロナイト粘土鉱物がその原因としてあげられている。環境問題等で粘土鉱物についてよく聞かれるので、基礎的なことについてまとめてみた。

○ X線回折法について

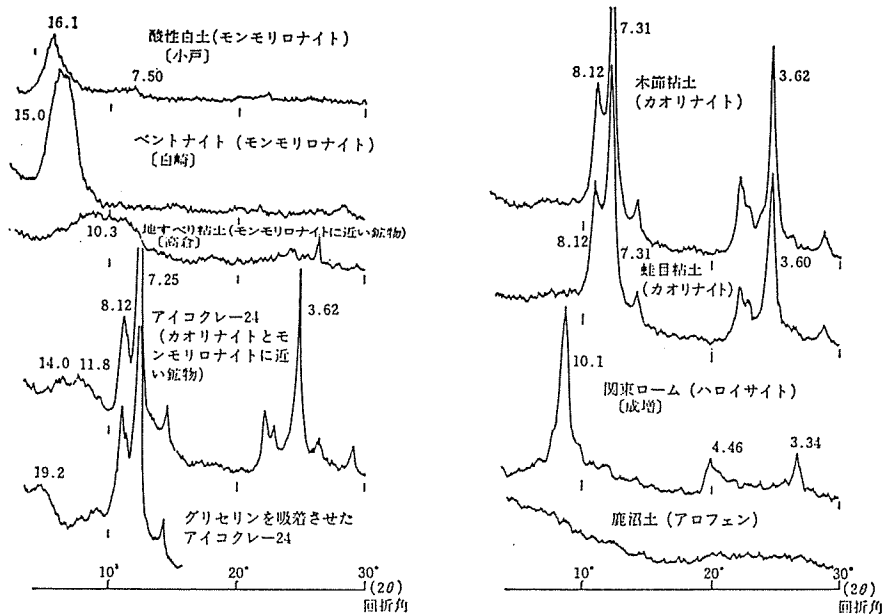
- (1) 最も迅速でかつ正確で、少量の試料で行える方法は、X線回折法で自動記録式X線回折装置による回折パターンを利用するのが最良であろう。この外の方法に、示差熱分析、熱分析、赤外線吸収スペクトルによる方法もある。
- (2) 自動記録式X回折図形では、図に示すようにピーク位置は一般に半価巾の中心を取っている。



回折線強度は回折線の面積で表現しているので面積測定用器機で測るが、記録紙から等しい厚さの紙に回折図形を写し取って切抜いてその重さで代用する方法もある。

- (3) 定量には絶対的な量を測定する場合と、ある点を基準として相対的な量比を測定する方法とがあるが、相対的な量比が重要であり、この方法が広く行なわれている。

相対量測定においては、まず標準物質による検量線を作成しておき、被測定試料のX線回折強度より逆に量を求めている。



粘土中の鉱物（粘土鉱物）のX線回折曲線（数値の単位Åは1億分の1cm）

- (4) 各標準試料中に一定量の内部標準物質（方解石、石英等）を混入して、角度補正、X線量のバラツキの補正を行う。

また、強度については、内部標準物質最強線強度 (I_i) と各粘土鉱物回折線強度 (I_c) との比をとっている。

- (5) 被測定試料は無処理の水ひ物 ($< 2 \mu$) 約20~40mgをガラス板に塗布して測定する。この試料の作製法は検量線の作成の場合と全く同じ条件で行うが、標準物質（内部標準）の混入は行わなくても良い。
- (6) X線回折図形の面積を計算し、検量線より逆に量を求める。全量が100%を越える場合には、比例配分を行って全量を100とする。

以上でX線回折の操作での注意点についてのべたが、実際にX線回折を行なってみると、粘土鉱物は結晶度が低く、また構造的にも類似しているため、底面反射 (00 l) が重複する場合が多い。実際に区別のむづかしい粘土鉱物をあげてみる。

モンモリロナイト(001) 15Å-----クロライト(001) 14.5Å
 クロライト(002)7Å-----カオリナイト(001)7Å
 イライト(001) 10Å-----メタハロイサイト(001) 10Å

重複している回折線から粘土鉱物の判定は無理なので、重複していない回折線を使用する。(001)の代わりに(002)を使用する。或いは、回折線を何らかの処理を施して分離して各

回折の強度を計算する。

○ 粘土分析を行う場合の採取と試料の作成

(1) 土壌、コア、風化岩の新鮮な表面をけずりとり、試料約200gを採取する。水分が失われぬように一般にポリ袋に入れる。

(2) 採取した約200gの試料を四分法で約30gをとる。水を加えてよくこねる。ごくうすいアルカリ溶液（ときにはうすい酸溶液）1ℓを加えてかきまぜ、約8時間静置する。静置後液面より10cmをサイホンで吸いとり、遠心分離で脱水後風乾する。

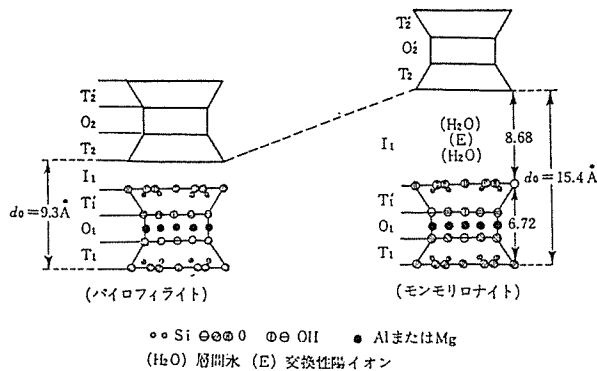
○ X線回折後の処理

粘土試料にX線を照射すると、粘土鉱物の層構造のちがいに、X線の回折が異なるので、回折X線の自記記録シートより、粘土鉱物の種類や結晶度等について判定している。X線回折法だけから粘土鉱物の識別はなかなかむづかしいので、2・3の例で説明する。

(1) 単位構造の高さ(d₀)Å

一般には、単位構造の高さ(d₀)Å（周期）をもとに粘土鉱物を確認する方法がとられ、大区分法として、プリズム反射（6軸方向）の周期による区別法が行われている。プリズム反射(060)が1.52Å以下のものは、dioctahedral、1.53Å以上のものは、trioctahedralとして分けている。

trioctahedral		dioctahedral	
Septechlorite(7 Å chlorite) (7 Å 緑泥石)	1.52~1.56	Kaolin minerals (カオリン鉱物)	1.48~1.49
Talc (滑石)	1.53	Pyrophyllite (パイロフィライト)	1.49
Mica (雲母)	1.53~1.54	Mica (雲母)	1.50~1.52
Chlorite (緑泥岩)	1.53	Sudorite (スドウ石)	1.50
Montmorillonite (モンモリロナイト)	1.53~1.54	Montmorillonite (モンモリロナイト)	1.49~1.52
Vermiculite (バーミキュライト)		Vermiculite (バーミキュライト)	



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

粘土鉱物の底面反射の面間隔の周期からおおよその値を知って下表のように区分している。

鉱物群	周期 (おおよその値)
カオリン鉱物———7 Åクロライト	7 Å
加水ハロイサイト	10 Å
パイロフィライト———タルク	9.3 Å
雲母	10 Å
ゼイ雲母	12 Å
スドーライト———クロライト	14 Å
モンモリロナイト———バーミキュライト	12~16 Å
規則混合層 (長周期) 粘土鉱物	24~26, 28~30 Å
不規則混合層粘土鉱物	一定せず

(2) 加熱による判定

粘土鉱物の中で層間水をもつ、モンモリロナイト、サポナイト、バーミキュライト、クロライトやハロイサイトについては、加熱することによって、次表のように単位構造の高さ (d₀) が減少することがわかり、この方法もよく利用されている。

加水ハロイサイト	約50℃	10Å → 7 Å
モンモリロナイト	100~300℃	15.4Å → 10~12Å
バーミキュライト	300℃	(300℃) 9.4Å
	500℃以上	14.3Å → 7 Å 14Åは弱くなり300℃で消失 14.3Å → 9.3Å
クロライト	500℃まで変化ない	600℃で7 Å弱くなる
カオリナイト	約550℃で脱水、消失	700℃で消失
加水雲母	300℃	10.5~11Å → 10Å

クロライトとバーミキュライトの識別には、約150℃で1時間加熱して比べる方法がとられている。上表で分かるように、クロライトは不動不変であり、バーミキュライトは14Å → 10Åへと減少している。カオリナイトとクロライトの7 Åの比較でも、550℃に加熱すれば、カオリナイトは脱水消失する。クロライトは7 Åの反射はやや弱くなる程度である。

(3) 薬品処理による判定

無処理の試料をX線回折法だけで鉱物の判定をすることはむづかしい。この場合に薬品で処理してからX線回折を行って粘土鉱物を判定する方法もよく利用されている。特に地すべり等の問題でモンモリロナイトの判定をする際に、エチレングリコールで処理する方法がとられている。1~2滴試料に滴下して30分放置した後回折記録をとる。モンモリロナイトであると、15Å → 16~18Åに移動している。

薬品使用でよく利用されるのは、7 Åのカオリナイ(001)とクロライト(002)の識別である。

1:1のHclをビーカーに入れ、試料を入れて湯煎上で約2時間加熱してからX線にかけてみると、クロライトはHclに可溶なので、7 Åが完全に消失している。カオリナイトはHclに不溶である。

加水ハロイサイトをエチレングリコール(又はグリセリン)処理を行うと、10Å → 11Åに移動する。

この他に、硝酸アンモニウム(又は塩化カリ)処理、酢酸マグネシウム処理、酢酸カリ、塩化アンモン処理等による判定もある。

○ 粘土鉱物の例

関東ローム層や愛鷹ロームの火山灰土が厚く堆積した場所で高速道路工事が行なわれ、

この火山灰質粘性土の処理に苦勞している。

また、丹那トンネルは、大正7年4月1日に掘さくを開始して、昭和9年12月1日に完成し約16年もかかっている。上述の火山灰土でわかったことは、立川ロームとよばれる火山灰土は含水比が100~200%という高い値を示し、乾燥した土の重量の2倍もの水を蓄えることがわかった。この立川ローム中の粘土粒子は主成分鉱物は“アロフェン”という粘土鉱物であることがわかった。盆栽用の“鹿沼土”も火山灰土であり、主成分鉱物はアロフェンである。

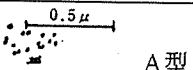
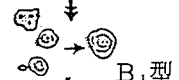

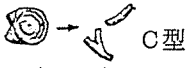
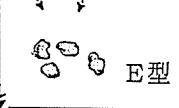

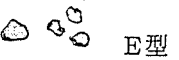
アロフェンは水をよく吸着し水持ち（保水性）が良いが、道路工事では、アロフェンの水持ちの良さが悪い側面となって現われている。含水比の高いアロフェンを主成分とする火山灰土は手を加えない自然の状態では締った土塊であったが、この土をこね返したため、含水比の高い土の弱点がでて、どろどろの土に変化し強度は急激に減少している。これは、粘土粒子のまわりの水や粘土粒子と粘土粒子の間の狭い隙間に保持されていた水が、土がこねかえされた為、粘土粒子による束縛をはなれて土の中を自由に動きまわり、粘土粒子と粘土粒子の結びつきを弱めている。

丹那トンネルの場合は、温泉水が湧き上がってくる間に、高温で酸性の強い温泉水はその通路の岩石を化学的に変質させ粘土にかえている。一般にこのような粘土は“温泉余土”と呼ばれている。この温泉余土は青白色の粘土で、青粘土は、“ベントナイト”とよばれた。

東北地方裏日本のグリーン・タフ地域でとくに地すべり地帯に分布している黒褐色～黒色の泥岩は、全体的には軟岩或いは硬い岩石ではあるが、降水、風化、変質等の作用をうけて風化泥岩にかわっている。この風化した黒色泥岩層にみられる地すべり粘土は“ベントナイト”である。

関東ローム層について、研究された粘土鉱物の変化をまとめたものを次表に示したが、立川ロームの粘土鉱物はアロフェンであり、時代が古くなるにつれて、粘土鉱物も結晶度がよくなりハロイサイトとなっている。

関東ローム中の粘土鉱物（『地学入門』、築地書館より）

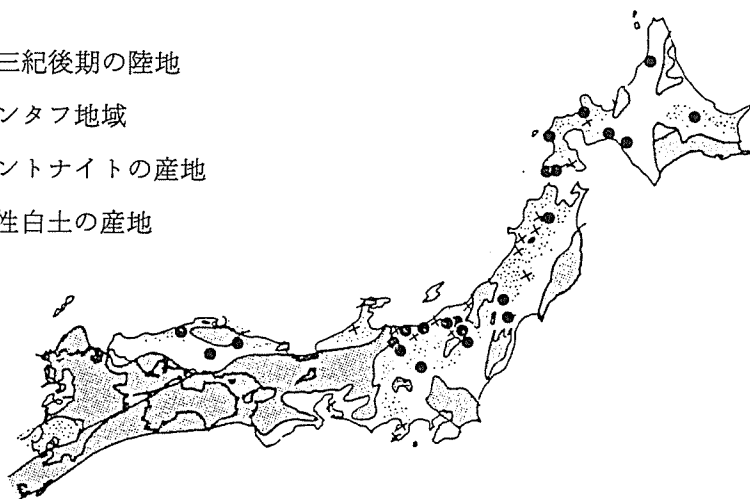
粘土鉱物の層序	粘土鉱物の特徴	おもな粘土鉱物	おもな粘土粒子の形と大きさ	おもな粘土粒子の形体的変化の系列
立川ローム		アロフェン	アロフェンの点状粒子（粒径約0.05 μ ）とその集合体	 A型
むさし野ローム	上部	アロフェンと低結晶度のハロイサイト	アロフェンの点状粒子と低結晶度のハロイサイトの球状粒子（粒径約0.1-0.2 μ ）	 B ₁ 型
	下部	ハロイサイト	ハロイサイトの栗の殻状粒子（粒径約0.2 μ ）	 B ₂ 型
下末吉ローム	陸成	ハロイサイト	ハロイサイトの栗の殻状粒子（粒径約0.2 μ ）とパイプ状粒子（長さ約0.2 μ ）	 C型
	海成	ハロイサイト鉱物の混合型	ハロイサイトのパイプ状粒子（長さ約0.2 μ ）と不規則混合層鉱物の薄板状粒子（大きさ約0.1 μ 以下）	 E型
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0.3-0.5 μ 、結晶度の高いハロイサイト）とやや大きい栗の殻状粒子（粒径約0.3 μ ）	 D型
	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	 E型

アミ：新第三紀後期の陸地

点：グリーンタフ地域

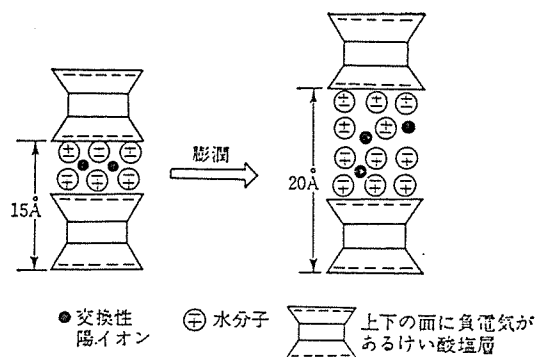
●：主なベントナイトの産地

×：主な酸性白土の産地



酸性白土・ベントナイトの分布

上図に示すように、グリーンタフ地域には酸性白土とベントナイトが共存している。酸性白土もベントナイトもその生みの親はグリーンタフ造山運動に関連し、その中に含まれる粘土鉱物はいずれもが“モンモリロナイト”である。



モンモリロナイトの膨潤のしくみ

モンモリロナイトであっても、Naイオンを層間域に持ったモンモリロナイトは膨潤が激しいが、H・Ca・Mgを持つモンモリロナイトは膨潤が弱い。この為粘土鉱物を知るためにはX線回折による判別のほかに、陽イオン交換容量（CEC）の解明と、交換性陽イオンの組成を知る必要がでてくる。

(株)長谷地質調査事務所

