

古いフィールドノートから(2)

伊那カオリン -信州ローム層の粘土化を測る-

須藤 定久¹⁾

1. はじめに

長野県南部, 特に伊那市を中心とする伊那谷北部には, 主として御岳火山に由来する火山灰や軽石が堆積して形成された「信州ローム層」が発達しており(第1図), 火山灰層序学的に詳しい研究が行なわれている(小林, 1961; Kobayashi and Shimizu, 1962, 1965; 小林ほか, 1967; 信州研究グループ, 1969など).

このローム層中に挟有される軽石層のうち「Pm-I」と呼ばれるものは風化し, 白色のハロイサイトになっており, 採掘・精製され伊那カオリンとして, 主として製紙用に利用されてきた.

我国を代表するカオリンの1つとされ, 鉱物学的研究が, またローム層の風化過程を明らかにする研究

などが進み, その鉱物学的性質や形成過程の概要はほゞ明らかとなっている(倉林・土屋, 1963, 1967; 小坂ほか, 1983).

筆者は1985年に, この地区の鉱床と鉱業事情をかいまみる機会を得た. ごく短時間であったため, 十分なデータを得ることはできなかったが, 調査の概要については既に報告した(須藤, 1986).

この調査で得られた信州ローム層とカオリン試料を使って, ローム層の風化過程の熱分析法で追跡を試みた. 概要は須藤(1986)でも述べたが, 皆さんに広く見ていただく機会もなかったので, ここで改めて紹介してみたい.

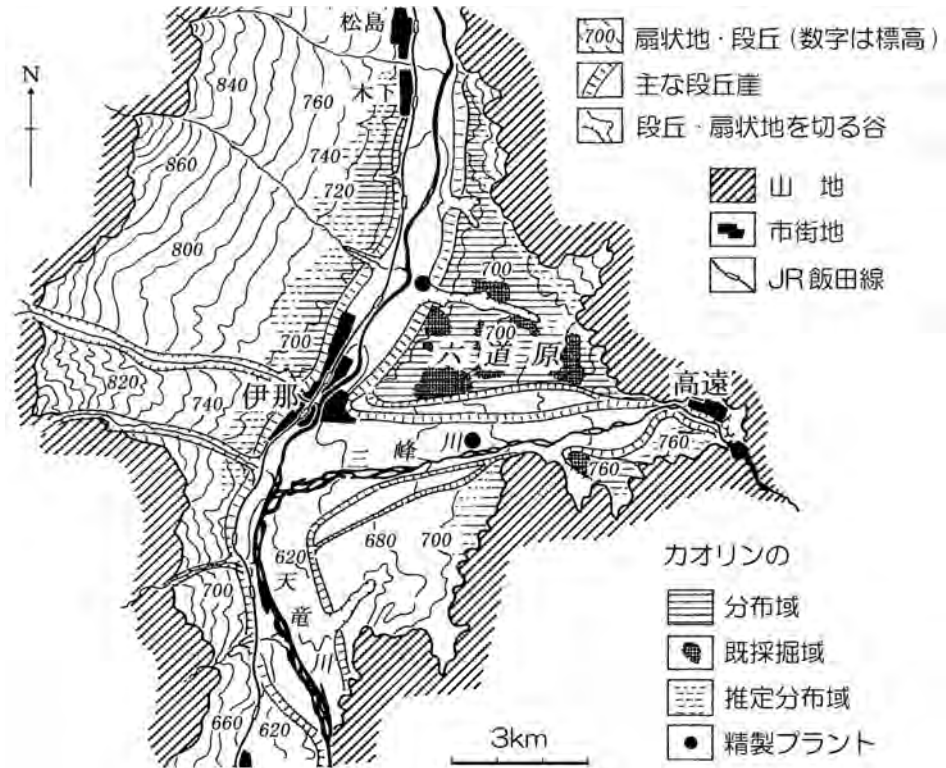
なお調査時には, 服部鉱業(株)・伊那鉱業所, (株)大春化学工業所・伊那工場に御協力いただいた. ここに記して謝意を表します.



第1図 御岳火山に由来する降下軽石の分布域.
信州研究グループ(1969)を簡略化した. Pm-Iのみアイソパックを, 他は分布域を表示した.

1) 産総研 地圏資源環境研究部門

キーワード: 伊那カオリン, 信州ローム, 御岳, ハロイサイト, 降下軽石



第2図 伊那地区の段丘地形と粘土層の分布。

●は精製プラント。主に地形図(1:25,000「伊那」・「高遠」・「赤穂」・「一ノ瀬」)からの判読によった。

2. 伊那の地形・地質の概要

伊那谷は、天竜川沿いに南北に発達する巾15km以下、長さ約80kmの細長い構造盆地で、西は中央アルプス(木曾山脈)、東は伊那山地・南アルプス(赤石山脈)によって画されている。盆地中央部を南へ流下する天竜川の両岸には、河岸段丘が発達している。

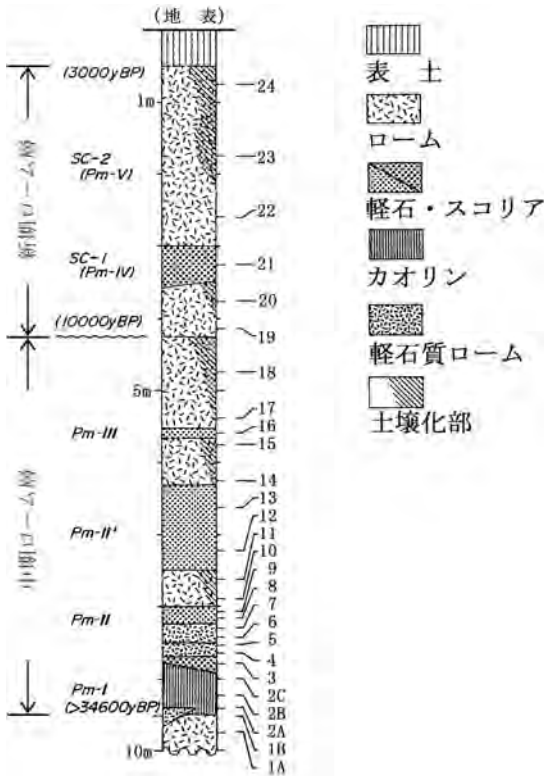
伊那谷北部の伊那市周辺の地形を簡略化し第2図に示した。この地区では、天竜川の両岸に標高700mほどの平坦面が広く発達し、天竜川の西側は大泉面、東側は六道原面と呼ばれている(写真1)。更に低い所に多数の面が発達し、神子柴面、南殿面などに区分されているが、前者に比べると、その分布はきわめてせまい。

六道原一帯では安定した六道原面が広く発達し、典型的な信州ローム層序が認められる。六道原では田畑や山林を掘り下げて、カオリンの採掘が行われている。



写真1 六道原面。正面には中央アルプスの山々が間近に望まれる。

採掘ではまず、地表より地下約9mまで掘り下げられ、カオリンが採掘され、すぐに埋め戻されるために、その地質学的位置や産状は、その時点での採掘現場においてのみ観察が可能である。



第3図 信州ローム層の模式柱状図。
 観察地点の位置は、伊那市上原(北緯35° 50′ 33″, 東経137° 59′ 07″)。柱状図右側に試料の採取位置と番号を示した。

今回の調査時点(昭和60年12月10～12日)においては、4地点で採掘が進められており、地表から8～10m下位の粘土層付近までのローム層序、粘土層の産状が観察された(第3図)。

下位より順次その層序を概説する。厚い礫層の上位に下位から、福与層と呼ばれる水成粘土層(厚さ1.5m)、中期ローム層(厚さ4.5m)、新期ローム層(厚さ3.6m)、表土(約0.4m)が重なっている。

中部ローム層中に挟有されるPm-Iと呼ばれる軽石層は第1図に示したように、南関東にまで追跡される広域的分布を示す降下軽石層であり、伊那地区においては、1m前後の厚さを有している。この軽石層は風化し、最上部を除いて白色のハロイサイトに変わっている。安定した厚いハロイサイト層の発達する六道原とその周辺で、2つの企業グループにより採掘され、伊那カオリンとして利用されてきた(写真2, 3)



写真2 畑地でのカオリンの採掘。ベルト・コンベアで道路のダンブ・トラックへ積み込まれる。



写真3 林地でのカオリンの採掘。傾斜した道路が造られ、鉱石は重機でダンブ・トラックへ積み込まれる。

3. 信州ローム層とカオリン層

カオリン採掘地で観察された信州ローム層の層序と採取試料について説明しておこう(第3図, 写真4)。

露出の最下部には褐色で緻密・均質な粘土層が分布し、カオリンの下盤となっている。この粘土層は厚さ約1.5mで、福与粘土層と呼ばれ、下位は厚い礫層となっている。

この粘土層を覆い、中期ロームが発達し、その層序は下位よりPm-I 軽石層(厚さ0.8～1m)、細かい軽石片に富む淡褐色ローム層(0.3～0.5m)、Pm-II 軽石層(0.2～0.3m)、淡褐灰色ローム層(0.3～0.5m)、Pm-II' 軽石層(0.8～1.2m)、淡褐灰色ローム層(0.4～0.6m)、Pm-III 軽石層(0.1～0.2m)、褐灰色ローム層(0.4～1.2m)からなっている。

中期ロームの上位には、これを軽い不整合で覆う

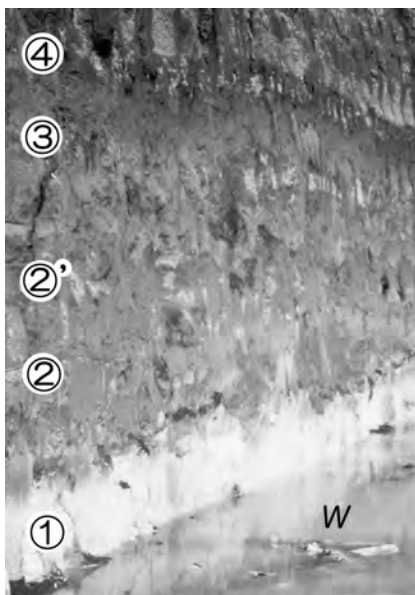


写真4 ローム層の露出。①～④は軽石層 I～IV。第3図を合わせて参照してください。

新期ローム層が発達し、その層序は下位より、淡赤褐色ローム層(厚さ0.5～0.7m)、赤褐色のスコリア質軽石層(Sc-1あるいはPm-IV, 0.4～0.6m)、褐色～淡赤褐色ローム層(厚さ3m, 中ほどにスコリア質軽石点在: Sc-2・Pm-V)である。

カオリン鉱床となっている中期ローム層基底のPm-I 軽石層の厚さは、4地点で80cm, 95cm, 85cm, 62cmで平均75cmであった。軽石層全体が白色ハロイサイト化しているわけではなく、多くの場合、上部に未風化のオレンジ色の軽石が残存している(写真5)。両者の境は漸移的であり、オレンジ色の軽石層中に白色粘土化した球状部が出現、下方に向かって次第にその数が増え、連なり、やがて白色の粘土へと移化している。未風化軽石層の厚さは同一の採掘場内においても変化に富んでいる。また、カオリン層は常に濡れており、湧水を見ることが多く、採掘場の底に浅い池をつくっていることが多い。

観察地点の1ヶ所より、28個の試料を採取し、ローム層の粘土化の過程を追跡してみた。

4. ロームを調べる

採取した試料は、まず実験室内に1週間ほど広げ



写真5 カオリン層。カオリン化した軽石層(Pm-I)の最上部には褐色の未変質部が見られる。

ておき、十分に乾燥させる。これを「風乾」と呼び、粘土系の試料を調べる最初の作業である。風乾した試料は、粉碎装置によって粉碎する。

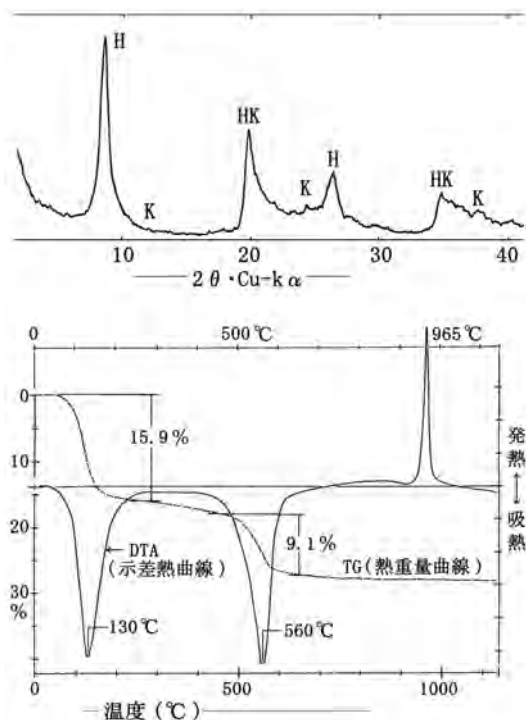
石英や長石・輝石などの結晶と粘土分を分離する場合には、風乾せずに水に溶いて、目の細かい篩を通して、粗い結晶粒子と細かい粘土分を分離したのちに、風乾して粉碎する。

乾燥した粉末状態となった試料を調べるには、X線回折試験と熱分析試験がまず行われることが多い。今回も、この2つの試験を行ってローム層の粘土化の過程を追跡してみた。まず、この2つの試験について説明しておこう。

(1) X線回折試験

結晶は構成原子が一定の配列を持っている。このため、原子が平面上に並ぶような面を考えると、それが一定間隔で繰り返すことになる。このような原子の配列に電子線を当てると、反射と干渉により、特定の条件が揃うと電子線が強く跳ね返されてくる。これを回折現象と呼ぶ。

粉末にした結晶を板状に固め、その板にX線を当てながら回転させると、特定の条件が揃ったところで強いX線が観測される。横軸に回転角度を、縦軸にX線の強度を記録すると第4図上のようなパターンが得られる。このパターンは鉱物毎に異なるので、試料に含まれる鉱物の種類や量比が分かるというのがX線回折試験の原理である。



第4図 伊那カオリンのX線チャートとTG-DTAパターン。回折条件は、電圧：40kV、電流：150mA、スリット系：10-10-0.3mm、回折速度16°/分、チャートスピード80mm/分、時定数：0.2sec、フルスケール：1,000cps。アルミニウムホルダーを使用しての不定方位試料として回折。Hは10Åの底面間隔を持つハロイサイトの、またKは7Åのそれをもつハロイサイトのピーク。HKは両者に共通するピーク。TG-DTAは試料重量200mg、昇温速度20°C/分。

(2) 熱分析試験

通常TG-DTAと略述されることが多い。TGとはThermal Gravityの略で、高温下での試料の重量のことで日本語では熱重量と呼ばれる。DTAはDifferential Thermal Analysisの略で、試料と標準試料との温度差の分析という意味で、示差熱分析と呼ばれる。

TG-DTAと略述されるのは、この二つは同時に測定されるためである。筒状の電気炉の中の試料台に、試料と高温になっても変化を起こさない標準試料(通常はアルミナ)がセットされる。2つの試料台は熱電対となっており、2つの試料の温度が連続的に測定される。同時に試料台は精密な天秤となっており、試料の重量も連続的に測定される。

試料から水分が散逸するようなことがあれば、普通、試料の温度が下がり、重量が減少する。このときTGカーブは下方に曲がり、DTAカーブには凹のピーク(吸熱ピークと呼ばれる)が記録される(第4図下)。

(3) 伊那カオリンはハロイサイト

伊那カオリンのX線回折と熱分析試験の結果を第4図に示した。

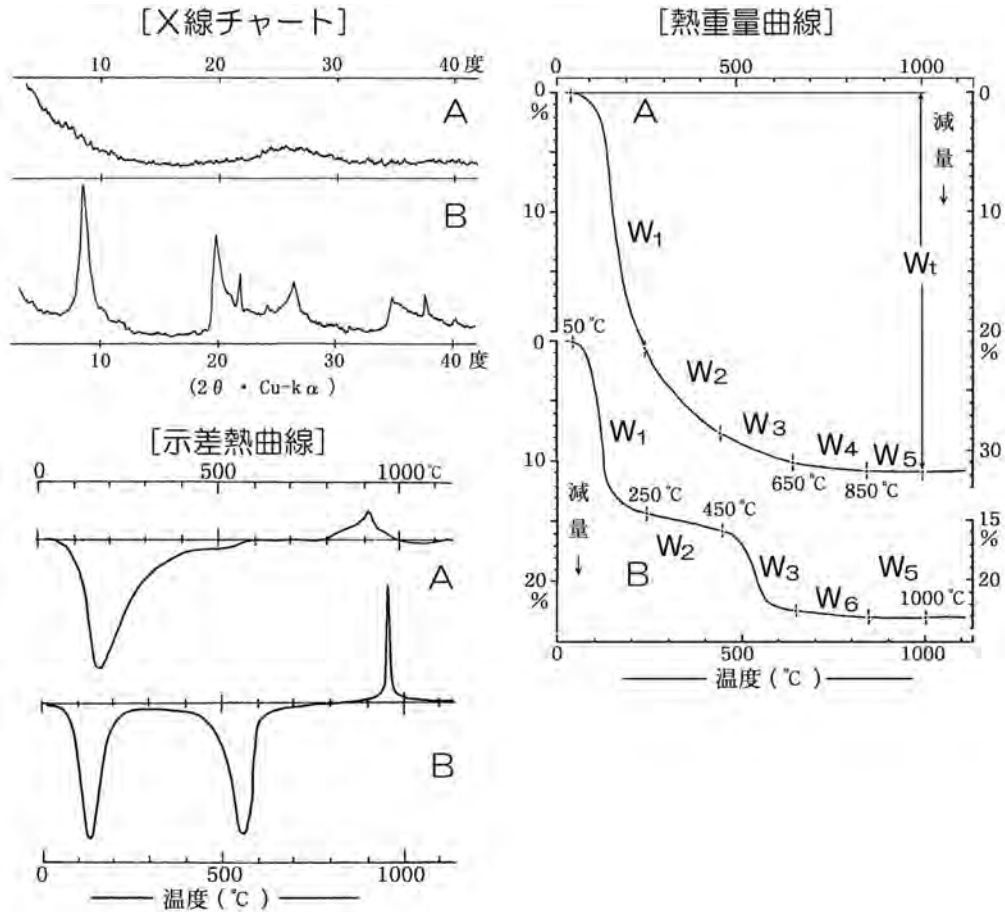
X線回折で得られたパターンを見ると、角度(2θ)が8°の所に、鉱物の底面からの回折のピークが出現し、底面間隔が10Å(オングストローム)であることが示されている。カオリンが7Åの面間隔を示すのに対して、層間に水が入ったハロイサイトでは、面間隔が10Åとなる。このことから、伊那カオリンはハロイサイトであることがわかる。

熱分析試験で得られたTG-DTAカーブを見ると、TGカーブでは130°C付近と560°C付近に階段状の減量が見られる。DTAカーブでは、同じ位置に吸熱反応を示す下に凸のピークが、さらに1,000°C付近に鋭い発熱反応を示すピークが見られる。130°C付近では、ハロイサイトの層間水が熱を吸収して散逸したために、吸熱と減量が起こった。560°C付近では、結晶構造中の水が熱を吸収して散逸したために、吸熱と減量が起こった。また、1,000°C付近では、アルミナの相変化が起こったためである。このような特徴はハロイサイトに特徴的なパターンであり、X線回折の結果と一致している。

5. ロームの粘土化過程を追う

本地区のハロイサイトは、ほとんど御岳山という単一の供給源からもたらされたローム層中の軽石層の風化によって形成されたものであり、火山灰や軽石の風化過程を知る上で貴重なフィールドとして、倉林・土屋(1963, 1967)や小坂ほか(1983)により研究が行われている。

倉林・土屋(1963, 1967)は、主としてX線回折により粘土鉱物の量比を推定して、中期ローム層はアロフェンと10Åハロイサイトが卓越し、新期ローム層ではアロフェンが卓越、ハロイサイトはほとんど生成されていないことを明らかにした。小坂ほか(1983)は、詳細な化学分析を多くの試料について行い、倉林・土屋(1963, 1967)の示した鉱物組合せを確認すると共



第5図 アロフェン(A)とハロイサイト(B)のX線チャートとTG-DTAパターン。実験条件は第4図に同じ。

に、このような風化の進行には、還元性地下水の作用が重要であることを指摘した。

(1) 採取試料の処理と試験

今回、地表付近から新期ローム層、中期ローム層、福与粘土層までの27試料を採取した(第3図参照)。

採取試料は、室温にて約1週間風乾させ、乾燥試料15gを自動メノウ乳鉢で20分間粉碎し、実験試料とした。実験試料をアルミニウム製試料ホルダーを使用してX線回折試験を行い、また熱分析を行った。以下、これらの試験結果を基に考察する。

(2) 「火山ガラス」と「アロフェン」・「ハロイサイト」

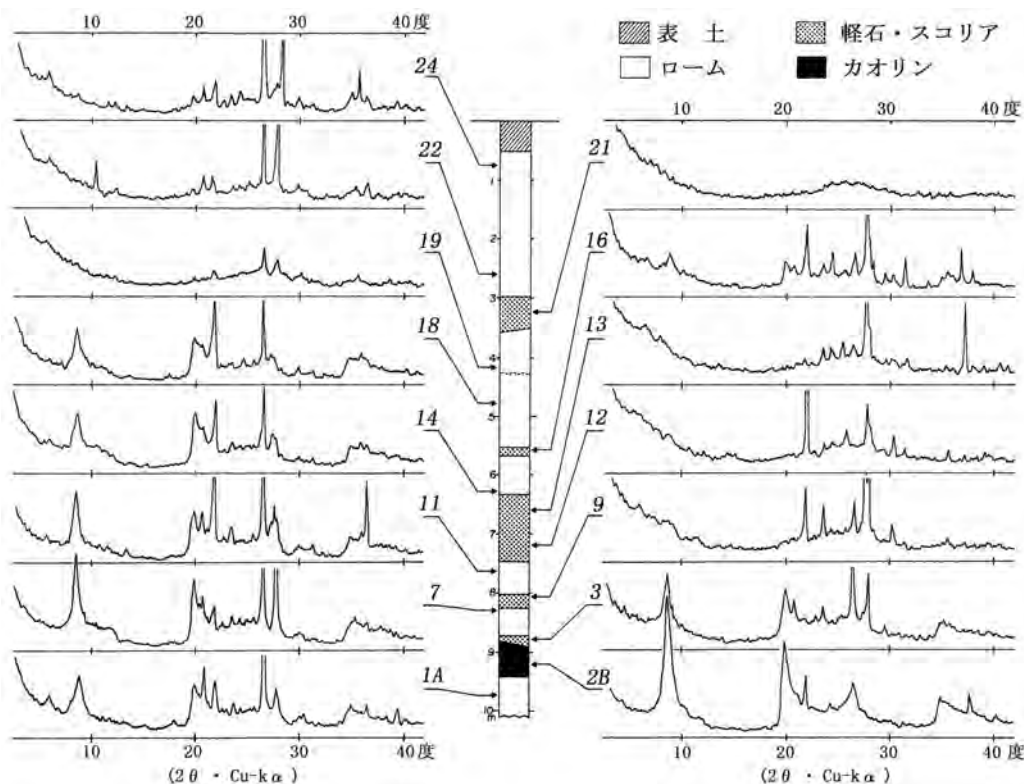
第5図に「アロフェン」と「ハロイサイト」のX線回折パターンとTG-DTAカーブを示した。この二つは、今回扱うロームや軽石試料の中の典型的な鉱物である。

ローム層は元々は細かい「火山ガラス」の集合であり、軽石は多孔質の火山ガラスである。火山ガラスが水和され、粘土鉱物へと移化する過程にある中間的鉱物は「アロフェン」と呼ばれる。

火山ガラスもアロフェンも、原子には規則的な配列がないため、X線回折では明瞭なピークを示さない。熱分析では常温から減量し、その減量は高温まで継続する。減量の総量は火山ガラスでは2~5%程度であるが、水和されたアロフェンでは、10%以上にも達する。

信州ローム層のデータを見ると、X線回折では明瞭なピークを示さず、総減量が20%以上にも達するので、アロフェンからなっていることがわかる。

さらに水和作用が進むと原子が規則的に配列するようになり、やがてハロイサイトの結晶へと変化していく。既に述べたようにハロイサイトはX線回折パターン



第6図 主要試料のX線チャート。実験条件は第4図に同じ。

でも明瞭なピークを示し、TG-DTAパターンでも、2つの大きな吸熱ピークとそれに対応した減量を示す。

今回検討する試料はこれらの混合物あるいは中間的な状態にあるものであり、地表から深部へ、アロフェンを主とする試料からハロイサイトを主とする試料への変化が見られるはずである。

(3) X線回折パターンで見る粘土化の過程

第6図にX線回折パターンを示した。柱状図の左側にはローム層の、右側には軽石のX線回折パターンを示した。なお、鋭いピークは試料中に含まれる石英・長石・クリストパライトなどによるものである。

ローム層の各パターンを見ると、浅所の試料19-24(新期ローム)では、ハロイサイトのピークは見られず、火山ガラスはアロフェンとなっているものと思われる。深所の試料7-18(古期ローム)ではハロイサイトのピークが出現しており、深部ほどピークは大きくなっている。

右側の軽石ではほとんどの試料が明瞭なハロイサ

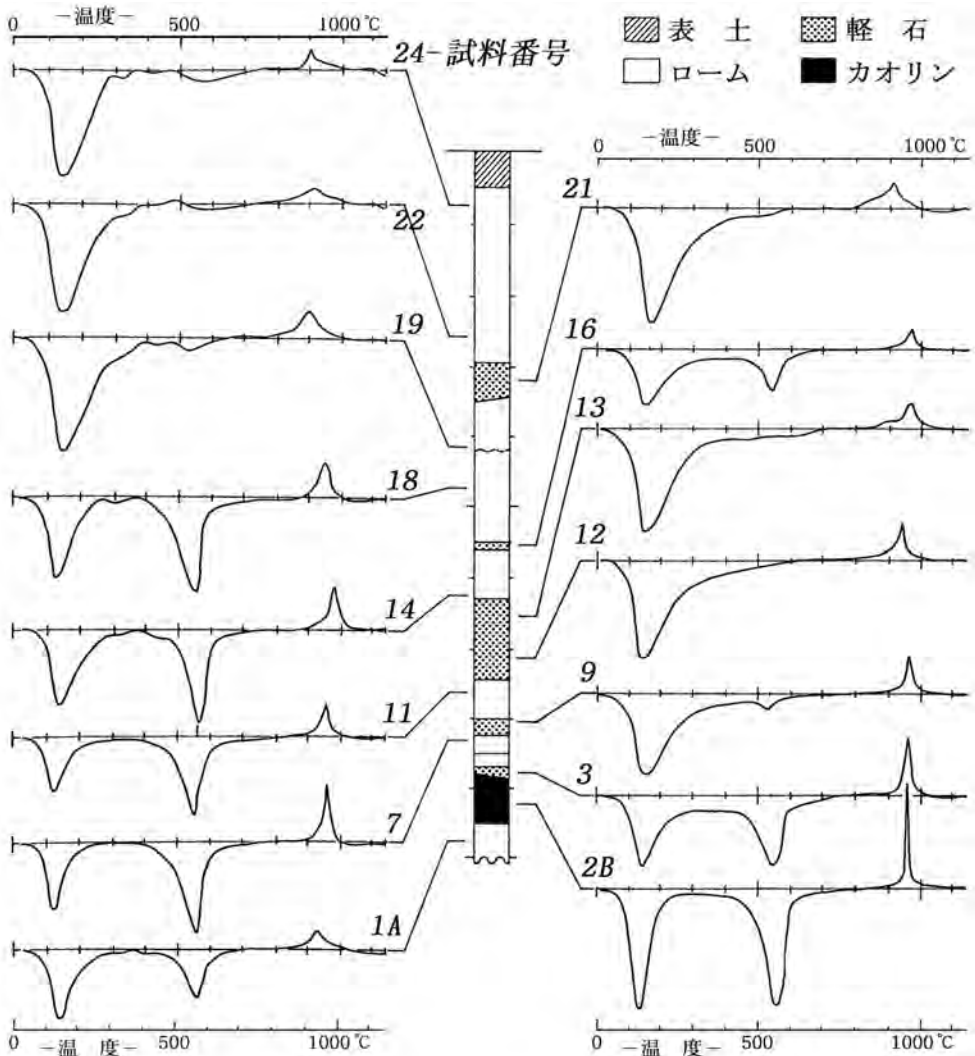
イトのピークを示さず、火山ガラスはアロフェンとなっているようだ。最下部のPm-I(第6図の試料2B, 3)のみがハロイサイトの明瞭なピークを伴っており、ローム層とは異なった挙動を示している。

(4) DTA-カーブで見る粘土化の過程

第7図にDTAカーブを示した。柱状図の左側にはローム層の、右側には軽石のDTAカーブを示した。

ローム層のパターンを見ると、浅所の試料19-24(新期ローム)では140度付近の吸熱ピークのみが見られ、火山ガラスはアロフェンとなっているものと思われる。深所の試料7-18(古期ローム)では140度付近と550度付近に吸熱ピークが見られ、深部ではハロイサイトが卓越していることが推定される。

軽石のパターンを見ると、多くの試料で140度付近の吸熱ピークのみが見られ、火山ガラスはアロフェンとなっているものと思われる。深所の試料2B, 3では140度付近と550度付近に2つの吸熱ピークが明瞭であり、深部ではハロイサイトが卓越していることがわかる。



第7図 主要試料のDTAパターン. 実験条件は第4図に同じ.

(5) TGカーブで見る粘土化の過程

第8図にTGカーブを示した。柱状図の左側にはローム層の、右側には軽石のTGカーブを示した。

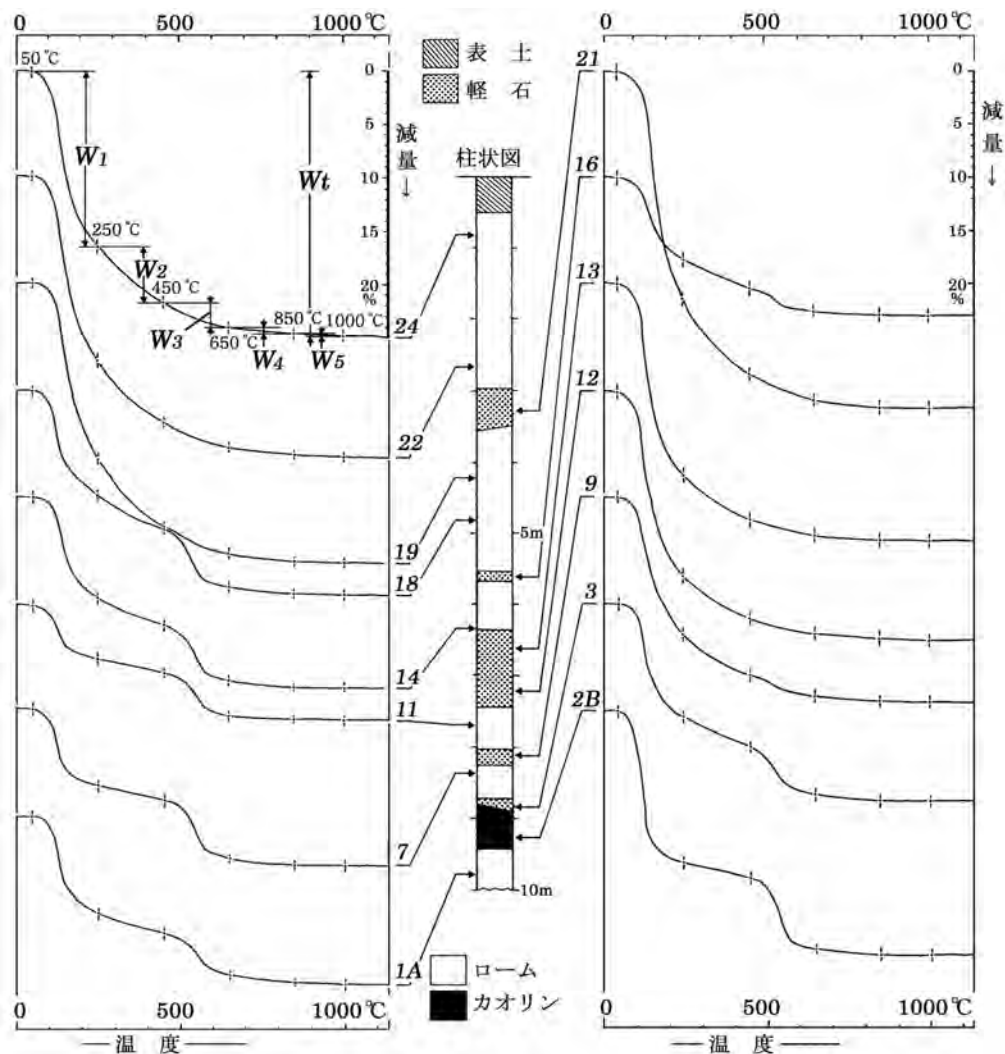
ローム層のパターンを見ると、浅所の試料19-24(新期ローム)では、800°C付近まで、連続的に減量し、最終的には25%前後の減量があることから、火山ガラスはアロフェンとなっているものと思われる。深所の試料7-18(古期ローム)では100~200°Cと500~600°C付近に急激な減量が見られることから、深部では、ハロイサイトが卓越していることが推定される。

軽石のパターンを見ると、多くの試料で800°C付近

まで連続的な減量が見られ、最終的には20%以上の減量があることから、火山ガラスはアロフェンとなっているものと思われる。Pm-Iの試料(試料番号2B, 3)では100~200°Cと500~600°C付近に急激な減量が見られるハロイサイトが卓越していることがわかる。

(6) 粘土化を定量化する

X線回折パターン、DTAカーブ、TGカーブから、ローム層では、古期ロームで下方に向かってハロイサイト量が徐々に増加しているらしいこと、軽石ではハロイサイト化はあまり進まず、Pm-Iのみが強くハロイサ



第8図 主要試料のTGパターン. 実験条件は第4図に同じ.

イト化していることが読みとれた.

粘土化の過程をより定量的に把握してみようとするような数値化を試みた.

温度区間50~250°C, 250~450°C, 450~650°C, 650~850°C, 850~1,000°Cにおける減量を、それぞれW₁, W₂, W₃, W₄, W₅と、その合計をW_tとし、全試料についてのそれらのデータを第1表に示した.

W_tおよびW_tに対するW₁~W₅の比を第9図に示した. W_tのプロットをみると、下方に向かって、換言すれば粘土化の進行とともに減量が減少していること、ロームと軽石層の挙動が異なっていることを示している.

また、W₁, W₂, W₃のW_tに対する比率も、ローム(破線でその傾向を示した)と軽石層(実線でその傾向を示した)では挙動を異にすることを示している.

以上の各データの中で最も定量的にアロフェンからハロイサイトへの風化の進行を示す値として、今回は、 $I = W_2 / (W_3 - 0.3 \times W_2)$ で定義されるIを試用してみた.

アロフェンに由来する減量を最も端的に表わすものとしてW₂を採用した. 一方、ハロイサイトに由来する減量を端的に表現するために、W₃を採用し、アロフェンの影響を除くために、経験的に得られたアロフ

第1表 各試料の減量データ。

試料番号の後のLはローム層, Pは軽石, kはカオリン鉱, Cは粘土層。表最下部の試料Aはやや高温で乾燥した製品, Bは低温乾燥の製品, 2Wは試料2を水鏡した試料。W1, W2, W3, W4, W5, Wtは, 温度範囲50~250℃, 250~450℃, 450~650℃, 650~850℃, 850~1,000℃における減量値である。

試料 番号	W1	W2	W3	W4	W5	Wt	W1	W2	W3	W4	W5	指数 (I)
	試料重量に対する減量の割合 (%)						Wt に対する割合 (%)					
24 L	16.4	5.4	2.3	0.6	0.3	24.9	65.8	21.6	9.2	2.4	1.0	8.09
23 L	11.2	4.7	2.8	0.6	0.2	19.4	57.5	24.2	14.6	2.9	0.8	3.29
22 L	17.3	5.7	2.3	0.7	0.3	26.2	65.9	21.8	8.7	2.7	1.0	10.14
21 P	21.3	7.0	2.4	0.7	0.1	31.6	67.5	22.2	7.7	2.2	0.3	21.13
20 L	16.3	5.2	2.0	0.6	0.1	24.2	67.3	21.5	8.4	2.5	0.4	11.18
19 L	16.3	6.2	2.6	0.7	0.2	26.0	63.0	23.9	9.8	2.7	0.6	9.07
18 L	9.7	3.3	5.3	0.6	0.1	19.1	51.0	17.4	27.8	3.2	0.5	0.77
17 L	6.5	2.0	10.3	1.0	0.1	14.2	45.8	14.1	36.5	3.5	0.4	0.44
16 P	7.8	2.4	2.3	0.4	0.1	12.9	60.4	18.4	18.0	2.8	0.4	1.48
15 L	6.0	2.1	5.0	0.6	0.0	13.6	43.8	15.2	37.0	4.0	0.0	0.47
14 L	9.7	2.6	5.1	0.6	0.1	18.1	53.6	14.4	28.3	3.4	0.3	0.60
13 P	17.8	4.2	1.5	0.5	0.1	24.0	74.0	17.4	6.3	1.9	0.4	16.10
12 P	17.2	3.9	1.5	0.5	0.1	23.2	74.2	17.0	6.5	1.9	0.4	11.76
11 L	5.3	1.1	4.1	0.4	0.0	11.0	48.8	10.1	37.4	3.7	0.0	0.29
10 L	7.5	1.5	3.7	0.5	0.1	13.2	56.4	11.6	28.2	3.4	0.4	0.47
9 P	12.6	3.8	2.0	0.5	0.1	19.0	66.3	20.1	10.4	2.6	0.5	4.58
8 P	12.4	2.6	2.8	0.5	0.1	18.4	67.6	14.2	15.3	2.5	0.5	1.29
7 L	6.9	1.4	5.5	0.6	0.1	14.4	47.8	9.7	38.0	4.1	0.3	0.28
6 L	5.3	1.2	3.9	0.5	0.1	11.0	47.9	10.6	36.0	4.2	1.2	0.32
5 L	5.1	1.3	4.0	0.5	0.1	10.9	46.6	11.5	36.7	4.3	0.8	0.35
4 L	6.6	1.3	3.3	0.4	0.1	11.7	56.6	11.4	28.1	3.4	0.4	0.46
3 k	10.6	2.7	4.5	0.6	0.1	18.5	57.3	14.8	24.1	3.3	0.5	0.75
2 k	14.1	1.5	6.7	0.6	0.1	22.9	61.4	6.7	29.1	2.4	0.4	0.25
1 C	9.1	1.8	3.9	0.8	0.1	15.6	58.1	11.7	24.7	4.9	0.5	0.55
A k	9.8	2.1	9.5	0.8	0.2	22.4	43.7	9.2	42.5	3.7	0.9	0.23
B k	16.3	1.9	8.5	0.8	0.2	27.7	58.8	6.8	30.7	2.9	0.7	0.24
2W k	15.9	1.8	9.1	0.8	0.1	27.7	57.4	6.4	33.0	2.9	0.4	0.20

エンの450~650℃の間の減量 $W_2 \times 0.3$ を差し引いた。

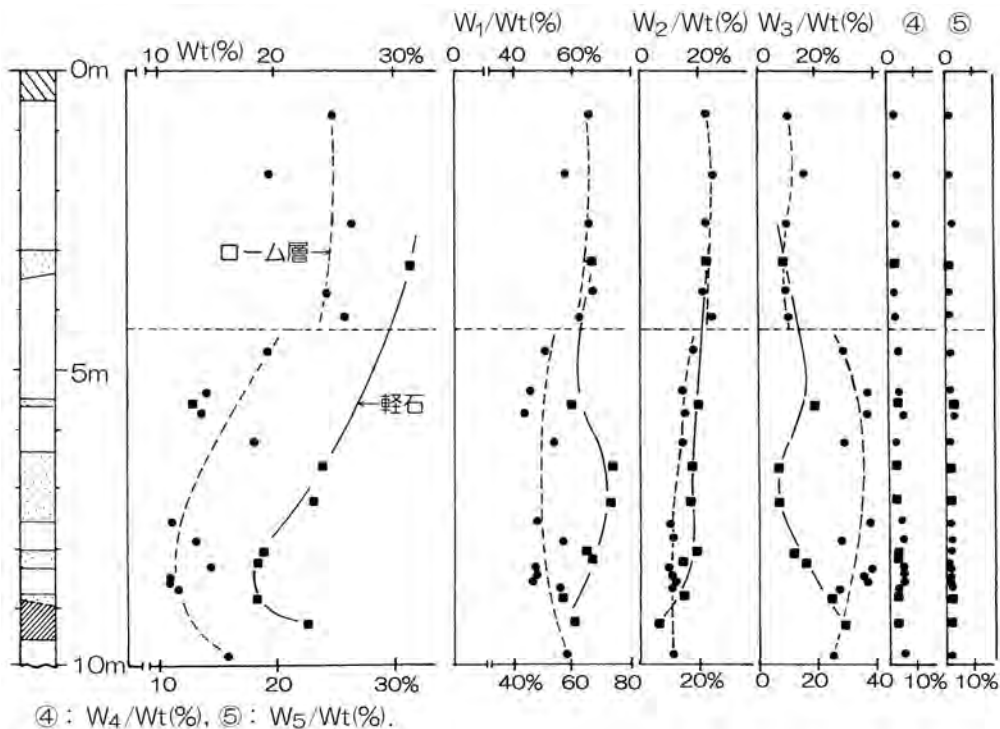
アロフェンとハロイサイトに由来する減量の比Iをもつて、ハロイサイトへの進行を示す指標とした。アロフェンが多ければIの数値が大きく、ハロイサイトが多ければIの数値は小さくなる。

Iの数値は、第1表に示したように、0.20から21.13までかなり大きく変化するので、対数目盛で表示し、地表からの深さに対するI値の変化を第10図に示した。

ロームでは、「新时期ロームと中期ロームとの間に、ハロイサイト化に関して大きなギャップがある」こと、太線矢印で示したように「時間の経過とともに、ゆっくりと確実にハロイサイト化が進行していること」が、よく

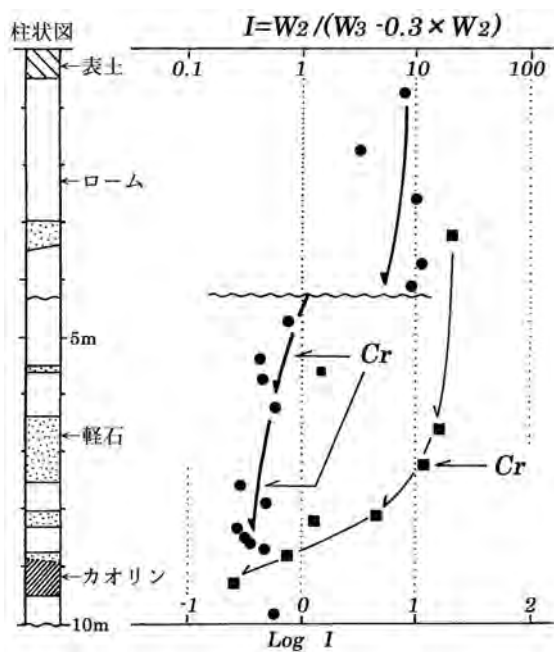
示されている。

軽石層からの試料では、「地表から中期ロームの中心位、つまりPm-II'まではほとんどアロフェンであり、Pm-II, Pm-Iで急速にハロイサイト化が進んでいる」ように見える。小坂ほか(1983)によっても、ハロイサイト化における地下水の役割が重要であることが指摘されている。また、粘土層付近より湧水を見ることが多いことから、福与粘土層が不透水性であるために、空隙の多いPm-Iに沿って地下水が流れ、軽石のハロイサイト化を著しく促進したのと考えられる。また、中期ローム層下部のハロイサイト化の進行に伴い、不透水性が増し、このため、Pm-IIも地下水に曝される機会が増え、ハロイサイト化が進行していることが推定されよう。



第9図 試料深度と加熱時の減量の関係。

●がローム層, ■が軽石についての測定値で, 破線・実線で数値の配列傾向を示した。数値については第1表参照。



第10図 ロームの粘土化過程。

左側は試料採取地点の柱状図。黒丸がローム層, 黒四角が降下軽石のI値。ローム層のハロイサイト化の進行を太い矢印で, 降下軽石のそれを細い矢印で示した。Crと表示したのは, クリスタライトの含有量が最大値を持つサンプル。Iの具体的な数値は, 第1表参照。

アロフェンのハロイサイト化が進行を始められる位置に、クリストバライトが多く分布していることも注目される事実であろう。

6. おわりに

以上、伊那谷の信州ローム層・カオリン資源について概説し、ロームの粘土化の過程を熱分析法によって追跡した試みについて述べた。特に新たな知見等を含むものではないが、風化作用を定量的に評価する一つの試みの例として紹介した。皆様のお役に立てば幸いである。

参 考 文 献

- 小林国夫(1961):いわゆる「信州ローム」, 地質堆, 67, 32-47.
- Kobayashi, K. and Shimizu, H. (1962): Pleistocene tephra in the Northern part of Ina valley, Central Japan. Jour. Fac. Lib. Arts&Sci., Shinshu univ., no.12, 20-45.
- Kobayashi, K. and Shimizu, H. (1965): Classification. and correlation of Shinshu loam in the South Shinshu tephrogenetic region, Central Japan. Jour. Fac. Lib. Arts & Sci., Shinshu univ., no.15, 37-59.
- 小林国夫・清水英紀・北沢和男・小林武彦(1967):御岳火山第1浮石層-御岳火山第一浮石層の研究・その1-, 地質堆, 73, 301-308.
- 小坂丈予・平林順一・岡田 清・二木昌次(1983):長野県伊那地方の風化堆積火山灰の組成変化, 粘土科学, 23, 17-26.
- 倉林三郎・土屋竜雄(1963):火山灰の風化, 第四紀研究, 3, 31-39.
- 倉林三郎・土屋竜雄(1967):信州ローム・青森火山灰層中の粘土鉱物-関東ローム層の粘土鉱物学的特徴との比較-, 柴田秀腎教授退官記念論文集, 140-148.
- 信州研究グループ(1969):中部地方山間盆地の第四系, 地研専報, no.15, 217-262.
- 須藤定久(1986):長野県伊奈地区のカオリン資源, 「陶磁器原料資源調査報告書」, 117-138, (地質調査所).
- SUDO Sadahisa (2008): Ina kaolin - Evaluation of kaolinization in Shinshu loam bed.

< 受付: 2007年11月30日 >