

## 八溝山地南部の堆積岩類分布域における土壌の構成鉱物とその起源

関 陽児\* 金井 豊\*\* 上岡 晃\*\* 月村勝宏\* 濱崎聡志\* 金沢康夫\*\*\* 中嶋輝允\*

Yoji SEKI, Yutaka KANAI, Hikari KAMIOKA, Katsuhiko TSUKIMURA, Satoshi HAMASAKI, Yasuo KANAZAWA and Terumasa NAKAJIMA (2000) Mineral composition and their origin of forest soils developed on sedimentary rocks in the southern Yamizo mountainous. *Bull. Geol. Surv. Japan.* vol. 51(4), p. 129-141. 4figs., 3tables.

**Abstract :** The mineral composition of forest soils collected from southern Yamizo mountains were determined using X-ray diffraction on 6 grain size classes. The bedrock of the sampling sites consists of Jurassic sandstone, chert and Miocene dacitic lithic tuff. Pleistocene tephra and eolian deposits. Fine particles deposited on joints of weathered bedrock were also taken to identify the mineral composition. The result are as follows. For soils developed in sandstone dominated areas, observed minerals are quartz, plagioclase, K-feldspar and illite in a wide range of grain size classes from clay to granule fraction. Chlorite only occurs in the silt and fine sand size classes, and hornblende in the fine sand size class. For soils in chert dominated areas, quartz occurs in each grain size class, chlorite only in the silt size, and hornblende and magnetite in the coarse and fine sand size classes. For soils in dacitic tuff dominated areas, quartz, plagioclase and K-feldspar in all grain sizes, and hornblende, pyroxene and magnetite in the coarse and fine sand size classes. Based on the relationship between mineral occurrence and grain size, we conclude that several sources contributed in the forest soils. There are : (1) Weathering products of bedrock, such as quartz, plagioclase, K-feldspar and illite in sandstone areas, quartz in chert areas, and quartz and feldspars in dacitic tuff areas, (2) particles that originate from regional tephra, like hornblende, pyroxene and magnetite observed in the coarse and fine sand size in all bedrock types, (3) long-range transported eolian dust such as chlorite in the fine sand size fraction in most forest soils.

### 要 旨

土壌構成鉱物の起源と土壌生成プロセスを明らかにするために、八溝山地南部の堆積岩類が分布する地域内における土壌試料の鉱物学的研究を行った。採取した試料は、砂岩、チャートおよびデイサイト質火山礫凝灰岩分布域の土壌と、比較対照のためのテフラ、風成堆積物および風化砂岩中の節理面上の付着物である。採取した土壌試料を粘土サイズから細礫サイズに至る全ての粒度範囲にわたって系統的に分画し、主としてX線回折法を用いてそれぞれの粒度画分の鉱物組成を調べた。

母岩の岩石種ごとにその結果をまとめると以下のとおりである。(1)砂岩：母岩が機械的に破碎されて生じたと考えられる石英、長石類、イライトや粘土化作用により形成されたと考えられるスメクタイト、ハロイサイトが幅広い粒度領域に見られるほか、広域風成塵起源と考えられる緑泥石がシルト・細粒砂画分に、降下軽石起源と

考えられる角閃石が細粒砂画分中に認められた。(2)チャート：チャートの破砕物と考えられる石英が幅広い粒度範囲に多量に見られるほか、広域風成塵起源と考えられる緑泥石がシルト画分に、テフラ起源と考えられる角閃石、磁鉄鉱が粗粒砂ないし細粒砂画分に認められた。(3)デイサイト質火山礫凝灰岩：母岩の破砕物と考えられる石英、長石類が幅広い粒度領域に多量に現れるほか、降下軽石起源と考えられる角閃石、輝石、磁鉄鉱が粗粒砂ないし細粒砂画分中に認められた。このように、どの岩石種を母岩とする土壌も、それぞれの母岩の物理的・化学的風化生成物を主体としながらも、広域風成塵起源のシルト画分粒子やテフラ・降下軽石起源の粗粒砂ないし細粒砂画分の粒子をほぼ普遍的に含むことがわかった。

### 1. はじめに

土壌は、物理的、化学的、生物学的作用が複合した複雑なプロセスを経て形成され、その構成物は植物遺骸や微生物などの有機物および岩石を起源とする無機物から

\*資源エネルギー地質部 (Mineral and Fuel Resources Department, GSJ)

\*\*地殻化学部 (Geochemistry Department, GSJ)

\*\*\*地質情報センター (Geological Information Center,GSJ)

Keywords : weathering, soil particle, grading, Yamizo Mountains, long-range transported eolian dust, tephra, hillslope, X-ray diffraction

なる。土壌中の無機物の構成要素に注目すると、その地点の地表下に分布する岩石の風化生成物(原田, 1953; 増井, 1954a, b; 永塚, 1979; 木宮, 1991; 松山ほか, 1994), 国内の第四紀火山に由来する降下火砕堆積物(関東ローム研究グループ, 1965; 吉永ほか, 1988; 大倉ほか, 1993), 中国大陸の砂漠やレスに起源をもつ広域風成塵(井上, 1981; 井上・溝田, 1988; 溝田・井上, 1988; 井上・成瀬, 1990), 植物珪酸体(加藤, 1962; 佐瀬・加藤, 1976a, b, 佐瀬ほか, 1987) などからなることが知られている。

土壌中の無機物の調査例としては、特定の起源物質を確認するために、ある粒径画分の鉱物を記載することが多い。例えば、給源火山を推定するための重鉱物の記載や(阿久津, 1957; 成瀬・戸谷, 1957; 関東ローム研究グループ, 1965) 風成塵の寄与の確認(成瀬, 1982; 成瀬・井上, 1983; 吉永ほか, 1988; 張ほか, 1994) では細砂や粘土サイズがしばしば利用されており、特定の物質の有無を判定するためにそれに適した粒径画分を対象とする手法が有効であることが実証されている。これをさらに進めて、全ての粒径画分について鉱物組成を記載することにより、その土壌の起源物質や生成プロセスを指示するより多くの特徴を抽出できる可能性がある。そこで今回は、土壌を構成する無機質粒子を粘土サイズから細礫サイズに至る全ての粒度範囲にわたって系統的に分画し、主として粉末 X 線回折法によりそれぞれの粒度画分の鉱物組成を記載することを試みた。

対象とした土壌は、八溝山地南部の堆積岩類が分布する地域内の 3 地点から採取した。また、比較対照のため同地域内の 2 地点からテフラ(赤城鹿沼軽石)を、1 地点から風成堆積物(関東ローム層)を、また 1 地点から風化砂岩中の節理面上の付着物を採取し、土壌試料と同様に粒度分画のうえ鉱物組成を記載した。

## 2. 地質概要

八溝山地は、東の棚倉破砕帯と西の那珂川上流水系および鬼怒川水系からなる低地帯の間に挟まれた南北約 100 km, 東西 20 km 前後の幅をもつ南北に細長い山地である。山地の最高峰は標高 1022 m の八溝山であるが、大部分は標高 500 m 以下の低山・丘陵地からなる。今回土壌試料を採取した地点は、いずれも八溝山地南部の鶏足山塊内に分布する。鶏足山塊は、砂岩、頁岩、チャートなどからなる非変成の中生代付加コンプレックスからなり、南の筑波山塊と北の鷲子山塊とに挟まれる(滝沢・笠井, 1986; 通商産業省資源エネルギー庁, 1987; 第 1 図)。

地域内の台地や山地の表層の多くは、厚さ 2-3 m の関東ローム層に覆われる。この地域の関東ローム層は、赤城、榛名、浅間、男体山など北関東西方の第四紀火山を主な給源とする火山灰を主体とした風成層であり(関東

ローム研究グループ, 1965; 鈴木毅彦, 1990; 貝塚・鈴木, 1992; 山野井, 1996), 赤城鹿沼軽石層や男体山今市スコリア層(阿久津, 1957; 宮崎, 1996) などの指標テフラが挟有される。

## 3. 採試および実験方法

土壌試料および比較対照用のテフラ等の試料は、山地の溪流沿いの斜面、尾根沿いの緩斜面などに位置する計 6 地点から採取した(第 1 図)。そのうち 1 地点では深度の異なる 3 試料を、2 地点では 2 試料を、残り 3 地点では 1 試料ずつ、合計 10 試料を採取し、実験に供した。

試料は実験室に持ち帰った後、 $H_2O_2$  処理により有機物を除去したうえで、粒径 2 mm 以上(G), 1-2 mm(LL), 250 $\mu$ m-1 mm(L), 64-250 $\mu$ m(M), 16-64 $\mu$ m(S), 2-16 $\mu$ m(SS), 2 $\mu$ m 未満(C) の 7 階級に粒度分画した。分画操作は、G から M までは風乾試料の篩分けにより、S から C までは水中での沈降速度の差により行った。今回用いた粒径区分を、土壌粒子の一般的な粒径区分(例えば中井, 1997)と比べると、G が礫に、L と LL がほぼ粗粒砂に、S と M がほぼ細粒砂に、SS がほぼシルトに、C が粘土にそれぞれ相当する。

粒度分画試料はメノウ乳鉢で摩砕したのち、リガク製ローターフレックスにより粉末 X 線回折を行い構成鉱物を同定した。測定条件は、X 線源: Cu-K $\alpha$  (モノクロメーター使用), 出力: 40kV-100mA, 2 $\theta$  走査速度: 毎分 8°, 時定数: 0.1 秒である。粘土鉱物の判定に際しては、スメクタイトと混合層鉱物はエチレングリコール処理でのピーク移動により、緑泥石は 1N 塩酸処理(70°C-120分)でのピーク崩壊により、それぞれ確認した。X 線回折チャートのおよそ 5°から 10°および 20°から 30°の間に極めてブロードなピークが現れた場合は、ガラスとみなした。L サイズ以上の分画試料と風化岩の岩片については、薄片の鏡下観察も行った。

## 4. 試料

試料採取地点の位置、地形、地質、土壌の性状、採試深度は以下のとおりである(第 1 表)。このうち下記の(1)から(3)までの 3 地点 5 試料が土壌、(4)と(5)の一部の 2 地点 2 試料がテフラ(赤城鹿沼軽石層)、(5)の一部の 1 地点 2 試料が風成堆積物(関東ローム層)、(6)が風化砂岩の節理面上の付着物である。以下の記述において、山地の微地形区分は田村(1996)に、土壌の一般的分類は農林省林業試験場土壌部(1976)に、斜面土壌の分類は塚本(1992)に、土壌層位の区分は日本ペドロジー学会(1997)にそれぞれ従った。

(1) NK1-1地点

常北町下古内西方の三角点(標高 255.4m)の南西約 300

第1表 試料リスト。  
Table 1 Sample list.

試料番号 Sample No.	地点番号 Site No.	採試地点 Locality	深度 (m) Depth (m)	土壌層位 Horizon	基盤地質 Bedrock geology	備考 Remarks
NK1-1-2	NK1-1	Shimofuruichi, Johoku t., Ibaraki pref.	1.2	C	Yamizo G. (sandstone)	
NK1-1-3			0.6	B		
NK2-1	NK2	Oshiyosegi, Nanakai v., Ibaraki pref.	0.0		Yamizo G. (sandstone)	fracture filling stuff
NK3-5	NK3	Tokura, Nanakai v., Ibaraki pref.	2.1		Yamizo G. (alt. sst./sh.)	Tephra (Ag-KP)
NK4-1	NK4	Shiogo, Nanakai v., Ibaraki pref.	0.1	A	Yamizo G. (chert)	
KT2-3	KT2	Nakaiwafune, Katsura v., Ibaraki pref.	0.4	B	Katsumizawa F. (Dacitic lapilli tuff)	
KT2-4			0.1	A		
KS1-2	KS1	Kataniwa, Kasama c., Ibaraki pref.	2.5		Yamizo G. (sandstone)	Kanto loam Formation
KS1-3			2.1			Tephra (Ag-KP)
KS1-4			1.5			Kanto loam Formation

m, 藤井川の支流の枝沢最上流部の標高200m 付近に位置する(第2-1図)。周辺には八溝層群の砂岩が分布する。谷頭斜面から谷頭凹地への転換点付近に位置し、傾斜は25-30°である。匍行土ないし崩積土からなる。周囲は樹齢30年前後のスギ・ヒノキの人工林で下草はよく刈られている。地表から深度0.5m までが黒褐色のA層で、B層は不明瞭、それ以深で礫を主体とするC層となる。供試土壤は、深度0.6m (NK1-1-3) と深度1.2m (NK1-1-2) の2点より採取した。国土調査(1969)によれば、本地点を含む鶏足山地の凹形斜面下部から谷頭部にかけての土壤は、古期堆積岩類の風化物と火山灰の混合物からなる崩積性の褐色森林土壤である「仏国寺2統」に分類される。

(2) NK4地点

七会村塩子南方の八瓶山三角点(標高344.5m)の北北東約150m, 標高260m 付近に位置する(第2-2図)。周辺には八溝層群のチャートが分布する。傾斜30°程度の下部谷壁斜面上の匍行土からなる。地表から深度5-10cm までが黒褐色のA層で、その下位にはB層を欠き、直接チャートの岩盤が現れる。試料(NK4-1)はA層より採取した。採試地点より下方ではスギ・ヒノキを主とする針

葉樹の植林地であるが、上方へ頂上まではスギにコナラ・クヌギ・カエデ・サクラなどの広葉樹を混える二次林となっている。国土調査(1969)によれば、本地点を含む鶏足山地の尾根筋や凸形斜面にかけての土壤は、古期堆積岩類の風化物と火山灰の混合物からなり地形によっては火山灰が優占する残積性の乾性褐色森林土壤である「仏国寺1統」に分類される。

(3) KT2地点

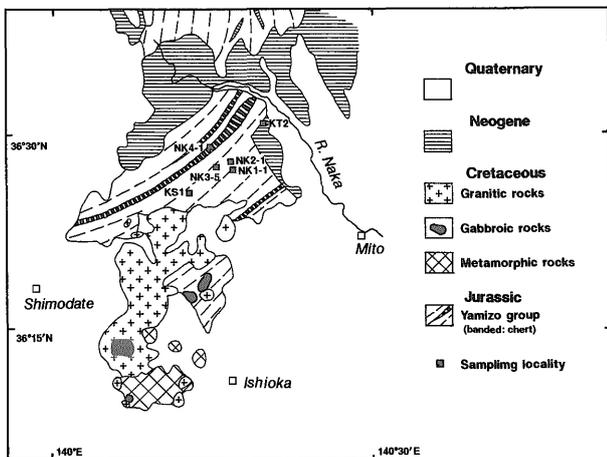
桂村仲岩船南方の三角点(標高136.2m)の北北西約500m, 標高110m 付近に位置する(第2-3図)。周辺には勝見沢層のデイサイト質火山礫凝灰岩が分布する。傾斜10-20°の谷頭凹地下端付近の水路開始点の側方で、匍行土ないし崩積土からなる。地表から深度0.2m までが黒褐色のA層、それより深度0.5m までが茶褐色のB層、それ以深で礫を混えるC層となる。供試土壤は、深度0.1m (KT2-4) と深度0.4m (KT2-3) の2点より採取した。スギ・ヒノキの植林が主であるが、採試地点の山側はコナラ・クヌギ・エノキ・ケヤキ等の広葉樹を混える。国土調査(1969)によれば、本地点を含む鶏足山地東端部の開析の進んだ新第三系火山砕屑物分布域の土壤は、母岩の風化物と火山灰の混合物からなる残積性の乾性褐色森林土壤である「錫高野1統」に分類される。

(4) NK3地点

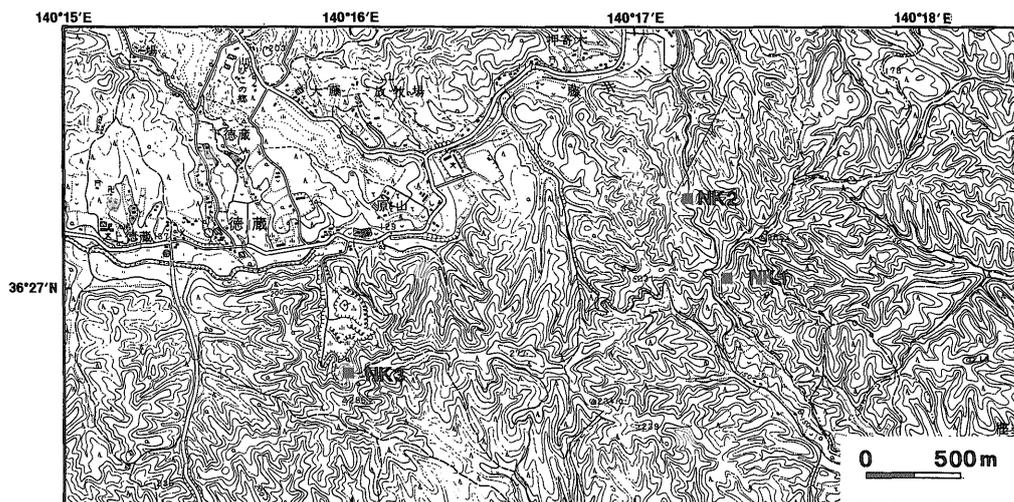
七会村徳蔵南東方の三角点(標高286.2m)の北約150m, 標高240m 付近に位置する(第2-1図)。周辺には八溝層群の砂岩優勢砂岩頁岩互層が分布する。緩傾斜の頂部斜面上に厚さ約3mの褐色ローム質土が堆積する。最上部の約0.5mは暗褐色のA層で、地表下2.0-2.3mの間には明茶色降下軽石層が挟まれる。試料(NK3-5)は明茶色の降下軽石層から採取した。周囲の植生はスギ・ヒノキを主とする植林地である。国土調査(1969)によれば、本地点の土壤はNK4地点と同じく乾性褐色森林土壤の「仏国寺1統」に分類される。

(5) KS1地点

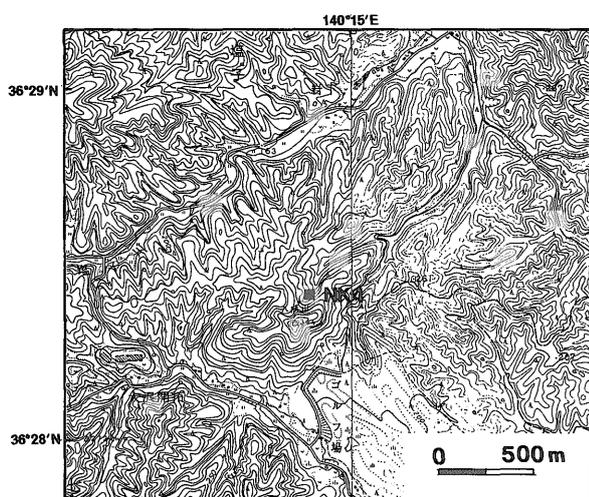
笠間市片庭北方の三角点(標高223.9m)の南南東約200m, 標高215m 付近に位置する(第2-4図)。周辺には八溝層群の砂岩が分布する。緩傾斜の頂部斜面上に厚さ約



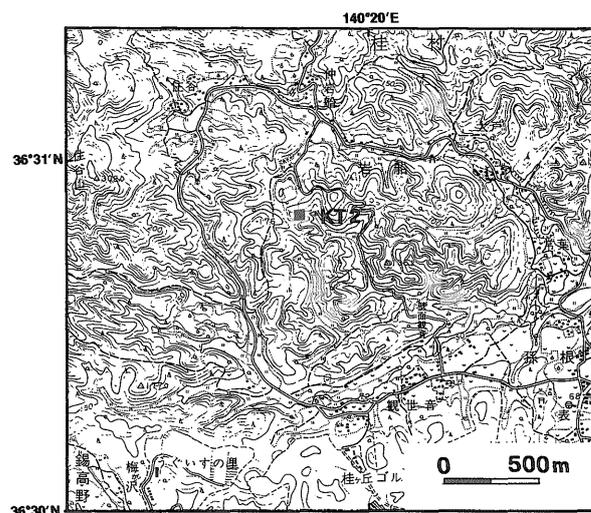
第1図 地質および調査地点。  
Figure 1 Regional geology and sampling localities.



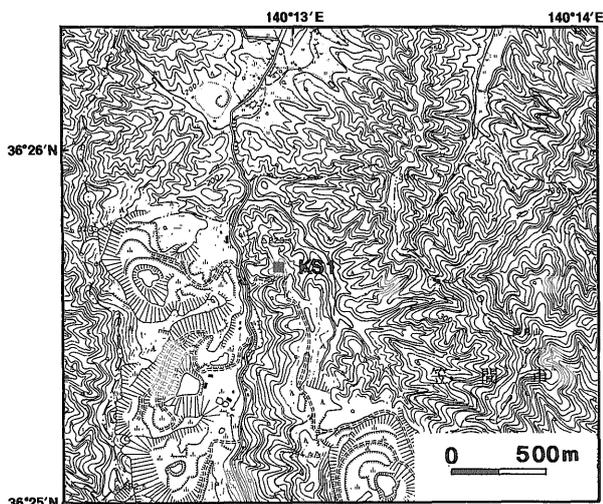
第2-1図 調査地点(NK1, NK2, NK3)の地形。建設省国土地理院発行1/2.5万地形図「徳蔵」(水戸10号-3)を使用。  
Figure 2-1 Topography around the sites NK1, NK2 and NK3.



第2-2図 調査地点(NK4)の地形。建設省国土地理院発行1/2.5万地形図「中飯」(水戸14号-1)および「徳蔵」(水戸10号-3)を使用。  
Figure 2-2 Topography around the site NK4.



第2-3図 調査地点(KT2)の地形。建設省国土地理院発行1/2.5万地形図「野口」(水戸9号-4)を使用。  
Figure 2-3 Topography around the site KT2.



第2-4図 調査地点(KS1)の地形。建設省国土地理院発行1/2.5万地形図「中飯」(水戸14号-1)を使用。  
Figure 2-4 Topography around the site KS1.

3 m のローム質土が堆積する。最上部の約0.5m は暗褐色のA層で、地表下2.0-2.3mの間には明茶色降下軽石層が挟まれる。周囲の植生はスギ・ヒノキを主とする植林地である。深度1.5mの褐色粘土質土壌(KS1-4)、深度2.1mの明茶色降下軽石層(KS1-3)、深度2.5mの褐色粘土質土壌(KS1-2)の3点より採試した。国土調査(1992)によれば、本地点の土壌は「仏国寺1統」と同種の「国見山1統」に分類される。

(6) NK2地点

七会村押寄木南東の三角点(標高255.4m)の北西約400m、藤井川の支流の枝沢最上流部の標高180m付近に位置し(第2-1図)。周辺には八溝層群の砂岩が分布する。緩傾斜の頂部斜面上につくられた作業道沿いに風化砂岩の露頭があり、その節理面に見られた粘土を多量に含む赤褐色付着物を採試した(NK2-1)。周囲はスギの植林地であるが、山側のやや上部にはコナラ・ケヤキ・カエデ・

第2表 粒度画分ごとの重量組成.

Table 2 Grain size distributions (weight ratio) of the samples.

Sample No.	gravel	coarse sand		fine sand		silt	clay	Remarks
	G	LL	L	M	S	SS	C	
NK1-1-2	24.7	6.6	8.2	21.4	8.7	14.8	15.7	
NK1-1-3	28.0	10.4	8.3	20.0	9.0	12.8	11.6	
NK2-1	0.0	10.0	12.5	8.1	11.6	12.8	45.0	fracture filling stuff
NK3-5	0.0	0.3	3.5	9.4	22.6	41.0	23.3	Ag-KP
NK4-1	25.9	6.6	17.4	18.4	8.3	16.3	7.2	
KT2-3	0.0	1.7	3.5	8.0	31.8	32.0	23.0	
KT2-4	26.3	4.9	3.8	5.0	26.6	22.1	11.2	
KS1-2	0.0	0.2	2.9	8.7	11.9	28.5	47.8	Kanto loam formation
KS1-3	0.0	0.2	7.5	13.9	11.1	42.7	24.6	Ag-KP
KS1-4	0.0	0.2	2.8	17.3	17.0	32.1	30.6	Kanto loam formation

サクラ等の広葉樹を主とする林が広がる。

### 5. 分画試料の構成鉱物

採取した土壤試料からは以下の鉱物が同定された。石英、クリストバライト、斜長石、カリ長石、角閃石、輝石、スメクタイト、カオリン、イライト(白雲母)、ハロイサイト、緑泥石、イライト/スメクタイト (I/S) 混合層鉱物、緑泥石/スメクタイト (C/S) 混合層鉱物、磁鉄鉱、ギブサイト、非晶質ガラス。

各試料の粒度別の重量組成を第2表に、分画試料のX線回折結果を第3表に、X線回折チャートを第3図に、代表的試料の顕微鏡写真を第4図に、それぞれ示す。以下に、各地点の土壤等の構成鉱物の特徴を粒度画分ごとに述べる。

#### (1) NK1-1-2 (土壌)

細礫から粘土画分までの全ての粒径の粒子を含む。粗大粒子(LL以上)は、砂岩、シルト岩、泥岩の岩片からなり、碎屑粒子として石英、斜長石、カリ長石、白雲母を含む。岩片の多くは、その表面および基質部分が褐色化している。斜長石は新鮮で、熱水変質は認められない。

それぞれの粒度画分を構成する鉱物は、LL画分では、石英、斜長石、カリ長石、白雲母を主とし、微量のカオリンを含む。L画分は、石英、斜長石、カリ長石、白雲母のみからなる。M、SおよびSS画分では、石英、斜長石、カリ長石を主とし、少量のイライト、緑泥石と微量のスメクタイトおよびカオリン鉱物を含む。C画分は、石英、イライト、スメクタイト、カオリンからなる。

#### (2) NK1-1-3 (土壌)

細礫から粘土画分までの全ての粒径の粒子を含む。粗大粒子は、砂岩、シルト岩、泥岩の岩片からなり、碎屑粒子として石英、斜長石、カリ長石、白雲母を含む。岩片の多くは、その表面および基質部分が褐色化している。斜長石は新鮮で、熱水変質は認められない。

それぞれの粒度画分を構成する鉱物は、LL画分では、石英、斜長石、カリ長石、白雲母を主とし、微量のスメクタイト、カオリンを含む。L画分は、石英、斜長石、カ

リ長石、白雲母のみからなる。M、SおよびSS画分は、石英、斜長石、カリ長石を主とし、少量ないし微量の白雲母、緑泥石、角閃石、カオリンを含む。C画分は、石英、白雲母、スメクタイト、カオリンを主とし、微量の緑泥石、ギブサイトを含む。

#### (3) NK4-1 (土壌)

細礫から粘土画分までの全ての粒径の粒子を含む。粗大粒子のほとんどはチャートの岩片で、微小な割れ目沿いに褐色化していることが多い。

それぞれの粒度画分を構成する鉱物は、GおよびLL画分では、石英を主とし微量の白雲母を含む。LおよびS画分は、石英、斜長石を主とし、L画分には微量の白雲母、角閃石、磁鉄鉱が、S画分には微量の白雲母、角閃石が含まれる。SS画分は、石英を主とし、少量の斜長石と微量の緑泥石、スメクタイト、カオリン、角閃石、ギブサイトを含む。C画分は、石英を主とし、微量ないし少量のスメクタイト、カオリン、ギブサイトを含む。

#### (4) KT2-3 (土壌)

粗粒砂から粘土までの粒子からなり、Sより細粒の粒子(64 $\mu$ m以下)が全体の8割以上を占める。粗大粒子は、変質したデイサイトないし安山岩および同質火山ガラス、シルト岩、泥岩などの岩片からなり、褐色化が著しい。

それぞれの粒度画分を構成する鉱物は、LL画分では、石英を主とし、微量ないし少量の斜長石、カリ長石、スメクタイトを含む。LおよびM画分では、石英、斜長石を主とし少量ないし中量の角閃石、輝石、磁鉄鉱を含み、M画分には少量のスメクタイトも含まれる。SおよびSS画分では、石英を主とし少量の斜長石、カリ長石、スメクタイトを含む。S画分には微量の白雲母が、SS画分には微量のカオリンも含まれる。C画分では、石英を主とし、少量のスメクタイト、微量のカオリンを含む。

#### (5) KT2-4 (土壌)

細礫から粘土画分までの全ての粒径の粒子を含む。粗大粒子は、変質したデイサイトないし安山岩および同質火山ガラス、シルト岩、泥岩などの岩片からなり、褐色化が著しい。

それぞれの粒度画分を構成する鉱物は、LL画分では、

第3表 粒度分画試料の構成鉱物。略号: Qz: Quartz(石英), Cr: Cristobalite(クリストバライト), Pl: Plagioclase (斜長石), Kf: K-Feldspar (カリ長石), Il: Illite (イライト), Ch: Chlorite (緑泥石), Ka: Kaolin mineral (カオリン), Sm: Smectite (スメクタイト), S/S: Sericite-Smectite mixed-layered (セリサイト・スメクタイト混合層鉱物), C/S: Chlorite-Smectite mixed-layered (緑泥石・スメクタイト混合層鉱物), Hb: Hornblende (角閃石), Px: Pyroxene (輝石), Mt: Magnetite (磁鉄鉱), Gb: Gibbsite (ギブサイト), gls: glass (ガラス)。表中の数字はそれぞれの鉱物の相対強度を示し、数字が大きい程含有量が多い。

Table 3 Mineral composition of the samples. Numbers mean relative abundance of each mineral (4 is most abundant).

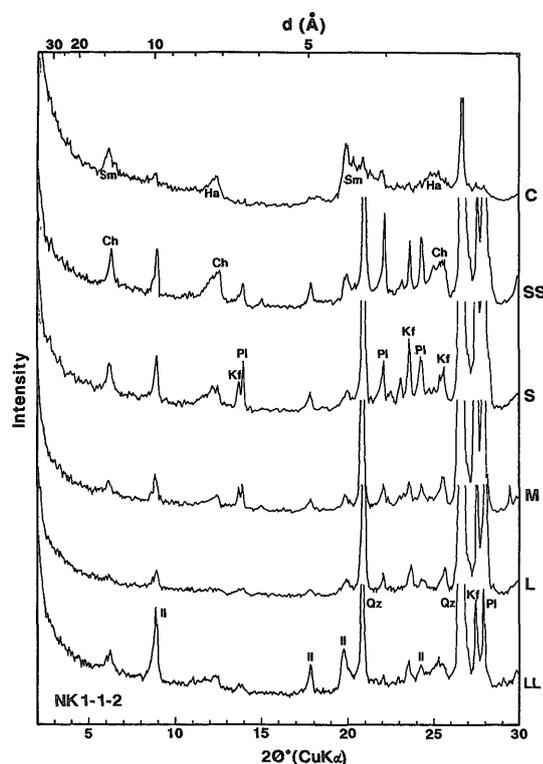
Sample No.	Qz	Cr	Pl	Kf	Il	Ch	Ka	Sm	S/S	C/S	Hb	Px	Mt	Gb	gls	Remarks
NK1-1-2 LL	4		2	2	2		1	1								
NK1-1-2 L	4		3	3	1											
NK1-1-2 M	4		3	3	1		1	1								An rich
NK1-1-2 S	4		4	4	2	1		1								
NK1-1-2 SS	4		3	2	2	2	1	1								
NK1-1-2 C	2				1		2	2								
NK1-1-3 LL	4		2	2	2		1	1								
NK1-1-3 L	4		3	3	1											
NK1-1-3 M	4		4	3	2	1	1	1			2					
NK1-1-3 S	4		4	4	2		1	1			1					
NK1-1-3 SS	4		3	2	3	1	2	2								
NK1-1-3 C	2				2	1	2	2							1	
NK2-1 LL	4			1	1											
NK2-1 L	4			1	1											
NK2-1 M	4			3	1			1								
NK2-1 S	4			3	1	1	2	2								
NK2-1 SS	4			2	2	3	3	2		2						
NK2-1 C	1						3		3							
NK3-5 L	4		4								3	3	2			
NK3-5 M			4								3	2	1			An rich
NK3-5 S			4								1				2	An rich
NK3-5 SS	1		2												3	An rich
NK3-5 C			1												4	An rich
NK4-1 G	4				1											
NK4-1 LL	4				1											
NK4-1 L	4		2		1						1		1			
NK4-1 M	4		3													
NK4-1 S	4		2		1						2					
NK4-1 SS	4		2			1	1	1			1				1	
NK4-1 C	3						1	2							2	
KT2-3 LL	4		1	2				2								
KT2-3 L	4		4								2	3	2			
KT2-3 M	3		3					2			2	3	2			
KT2-3 S	4		2	2	1			2								
KT2-3 SS	4		2	1			1	2								5.5 ?
KT2-3 C	3	1					1	2								
KT2-4 LL	4		3	2				2								
KT2-4 L	4		3					2			1	3				
KT2-4 M	3		4					2			2	3	1			An rich
KT2-4 S	4		2				1	2			1					An rich
KT2-4 SS	4		2				1	2								An rich
KT2-4 C	3		1				1	2								An rich
KS1-2 L	4		4					1			3	2	2			
KS1-2 M	4		2								4	2	4	1		
KS1-2 S	4		2		1	2	1	2			3		2	1		
KS1-2 SS	4		2		2	3	1	1							1	
KS1-2 C	2	1					2	2							3	
KS1-3 L	3		3								4	3	2			
KS1-3 M	1		4								2	2				
KS1-3 S			3												3	An rich
KS1-3 SS	1														4	
KS1-3 C															4	
KS1-4 L	4										3	4	1			
KS1-4 M	4		2		1	1		1			2	2	1	1		
KS1-4 S	4		3		1	2					2				1	
KS1-4 SS	3		2			1		1							1	
KS1-4 C	2	1					1	1							1	

石英, 斜長石を主とし, 少量のカリ長石, スメクタイトを含む。L および M 画分では, 石英, 斜長石を主とし, 少量ないし中量の灰長石, スメクタイト, 輝石および微量ないし少量の角閃石, 磁鉄鉱を含む。S および SS 画分では, 石英を主とし, 微量ないし少量の灰長石, スメクタイト, カオリンを含む。S 画分には微量の角閃石, SS 画分には少量の斜長石も含まれる。C 画分は, 石英を主とし, 少量のスメクタイト, 微量の灰長石, カオリンが含まれる。

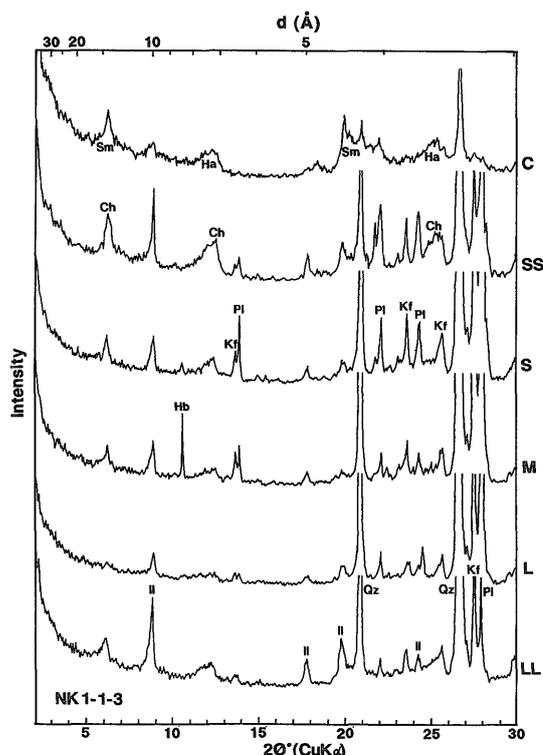
(6) NK3-5 (テフラ)

LL よりも大きな粒子 (1 mm 以上) はほとんど含まれず, S より小さな粒子 (64 $\mu$ m 以下) が全体の85%以上を占める。構成鉱物はいずれも極めて新鮮である。

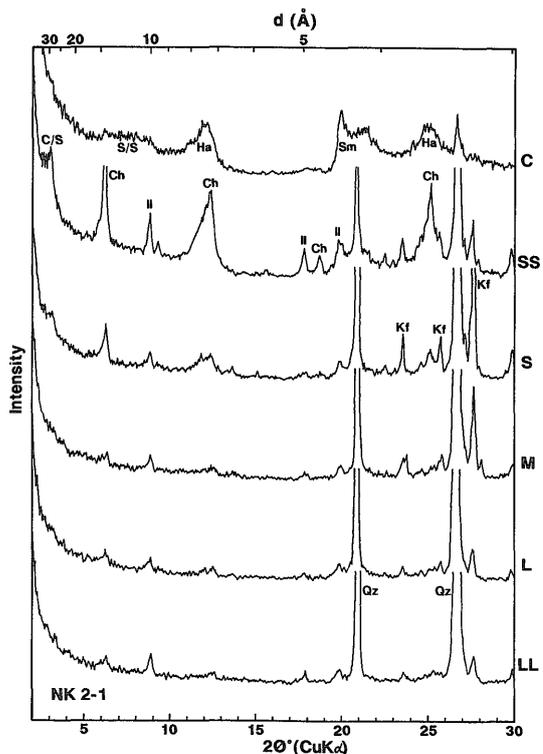
それぞれの粒度画分を構成する鉱物は, L 画分では, 石英と斜長石を主とし, 中量の角閃石, 輝石, 磁鉄鉱を含む。M 画分では, 灰長石を主とし, 中量の角閃石, 輝石, 磁鉄鉱を含む。S, SS および C 画分では, 灰長石とガラスからなり, 細粒ほど灰長石が減じガラスが増える。



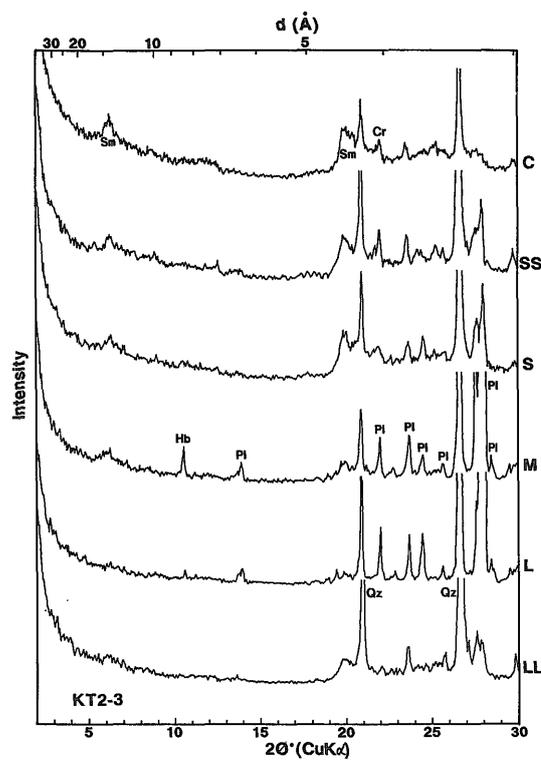
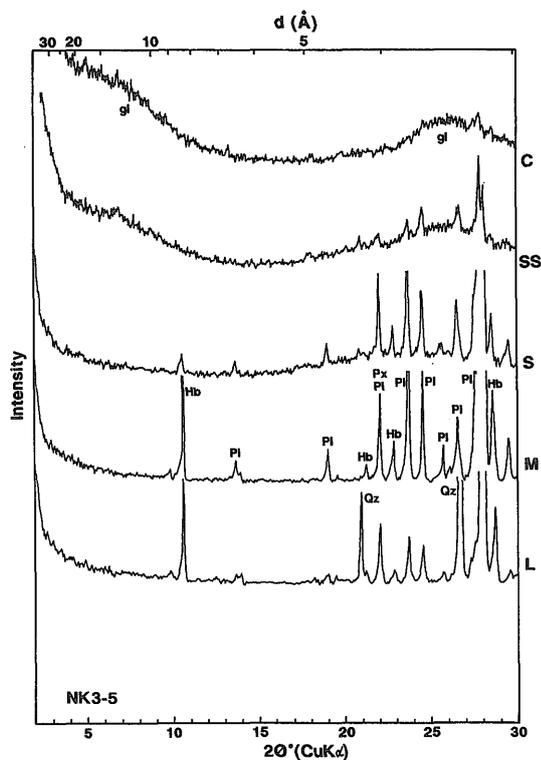
第3-1図 分画試料 (NK1-1-2) のX線回折チャート。  
略号: Qz: Quartz (石英), Cr: Cristobalite (クリストバライト), Pl: Plagioclase (斜長石), Kf: K-Feldspar (カリ長石), Il: Illite (イライト), Ch: Chlorite (緑泥石), Ka: Kaolin mineral (カオリン), Sm: Smectite (スメクタイト), S/S: Sericite-Smectite mixed-layered (セリサイト・スメクタイト混合層鉱物), C/S: Chlorite-Smectite mixed-layered (緑泥石・スメクタイト混合層鉱物), Hb: Hornblende (角閃石), Px: Pyroxene (輝石), Mt: Magnetite (磁鉄鉱), Gb: Gibbsite (ギブサイト), gls: glass (ガラス)。  
Figure 3-1 X-ray diffractograms of NK1-1-2.



第3-2図 分画試料 (NK1-1-3) のX線回折チャート。略号は第3-1図と同じ。  
Figure 3-2 X-ray diffractograms of NK1-1-3. Abbreviations are the same as Fig. 3-1.



第3-3図 分画試料 (NK4-1) のX線回折チャート。略号は第3-1図と同じ。  
Figure 3-3 X-ray diffractograms of NK4-1. Abbreviations are the same as Fig. 3-1.

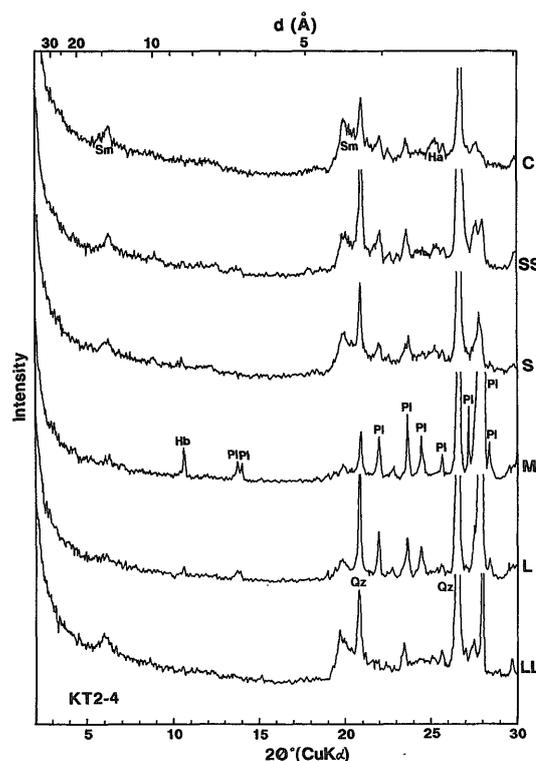
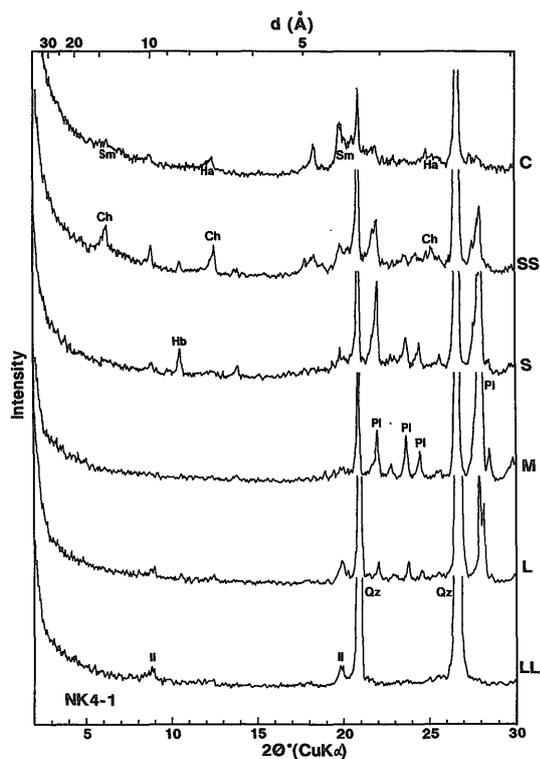


第3-4図 分画試料(KT2-3)のX線回折チャート。略号は第3-1図と同じ。

Figure 3-4 X-ray diffractograms of KT2-3. Abbreviations are the same as Fig. 3-1.

第3-6図 分画試料(NK3-5)のX線回折チャート。略号は第3-1図と同じ。

Figure 3-6 X-ray diffractograms of NK3-5. Abbreviations are the same as Fig. 3-1.

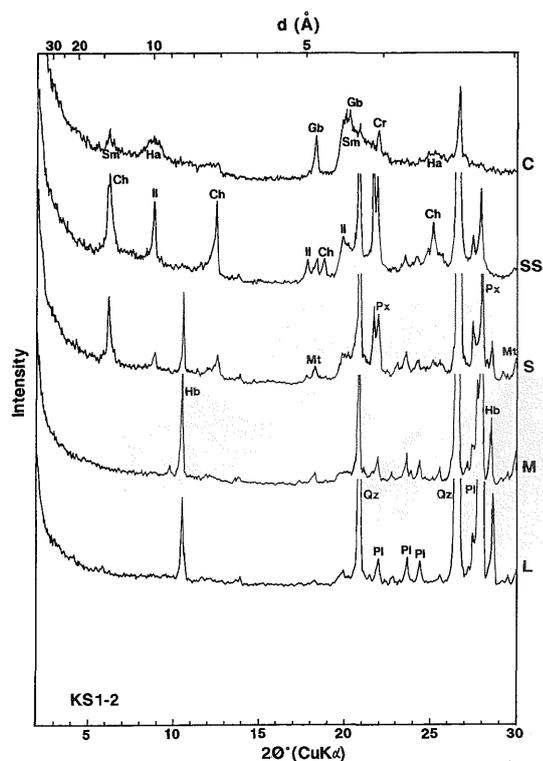


第3-5図 分画試料(KT2-4)のX線回折チャート。略号は第3-1図と同じ。

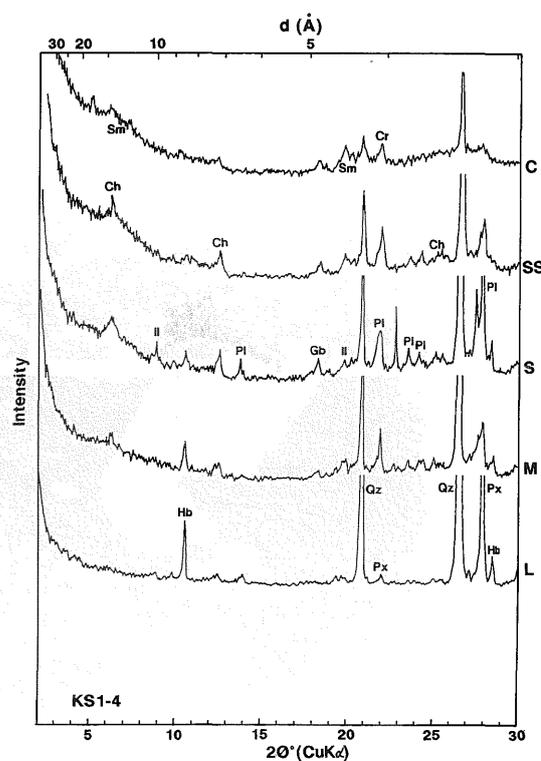
Figure 3-5 X-ray diffractograms of KT2-4. Abbreviations are the same as Fig. 3-1.

第3-7図 分画試料(KS1-3)のX線回折チャート。略号は第3-1図と同じ。

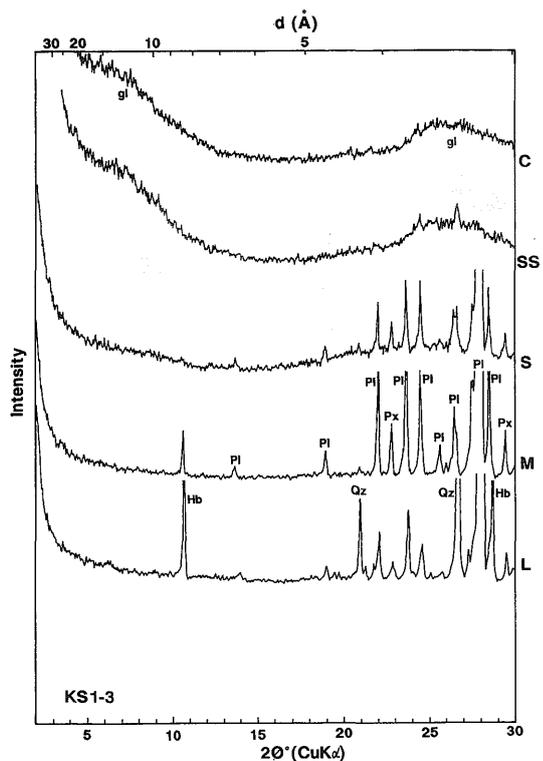
Figure 3-7 X-ray diffractograms of KS1-3. Abbreviations are the same as Fig. 3-1.



第3-8図 分画試料 (KS1-2) のX線回折チャート。略号は第3-1図と同じ。  
Figure 3-8 X-ray diffractograms of KS1-2. Abbreviations are the same as Fig. 3-1.



第3-10図 分画試料 (NK2-1) のX線回折チャート。略号は第3-1図と同じ。  
Figure 3-10 X-ray diffractograms of NK2-1. Abbreviations are the same as Fig. 3-1.



第3-9図 分画試料 (KS1-4) のX線回折チャート。略号は第3-1図と同じ。  
Figure 3-9 X-ray diffractograms of KS1-4. Abbreviations are the same as Fig. 3-1.

(7) KS1-3 (テフラ)

LL よりも大きな粒子 (1 mm 以上) はほとんど含まれず, M より小さな粒子 (250 μm 以下) が全体の85%以上を占める。構成鉱物はいずれも極めて新鮮である。

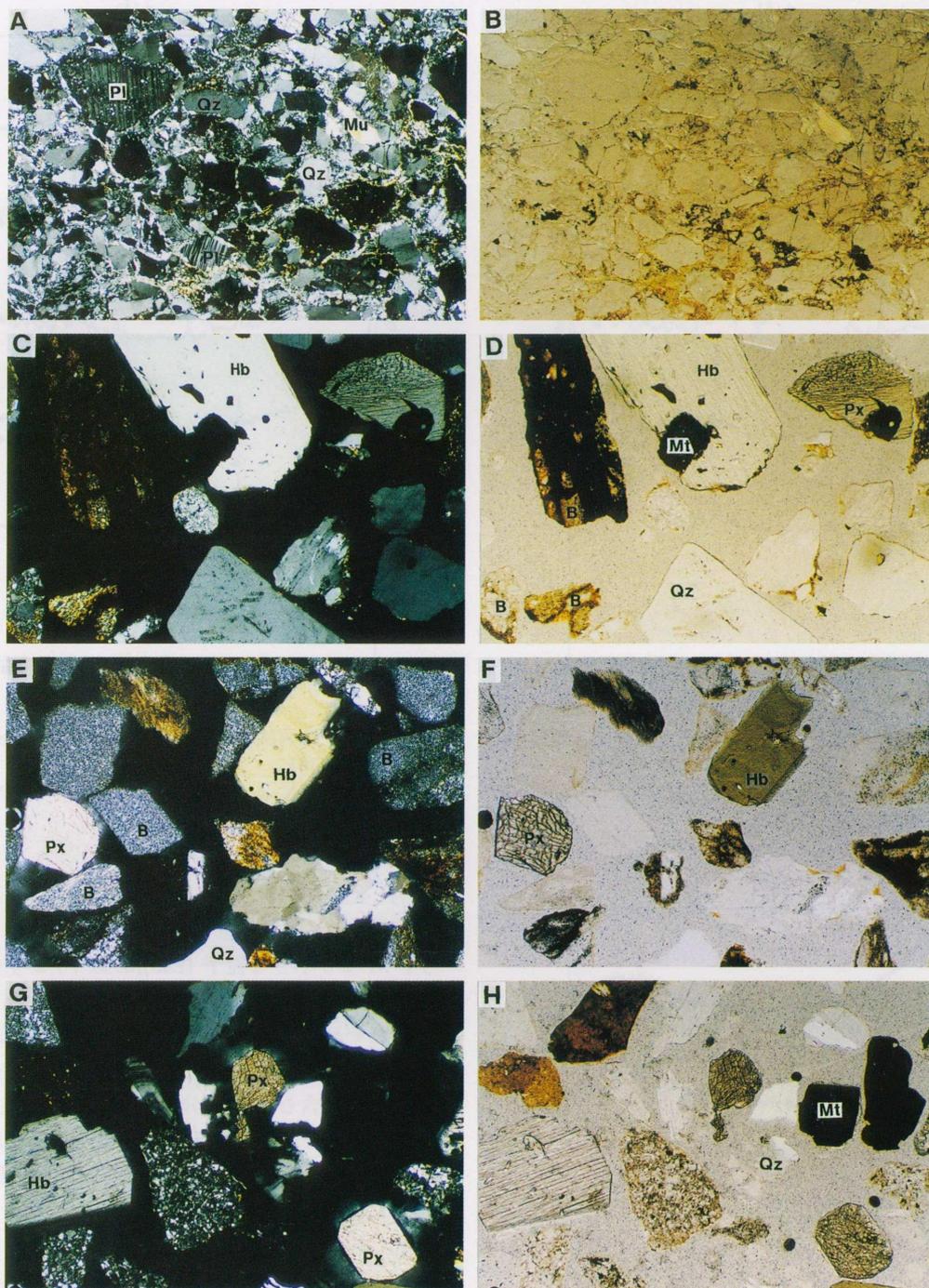
それぞれの粒度画分を構成する鉱物は, L 画分では, 石英, 斜長石を主とし, 大量の角閃石, 中量の輝石, 少量の磁鉄鉱を含む。M 画分では, 斜長石を主とし, 少量の角閃石, 輝石, 微量の石英を含む。S, SS および C 画分では, ガラスを主とし, S 画分には中量の灰長石が, SS 画分には微量の石英が含まれる。

(8) KS1-2 (風成堆積物)

LL よりも大きな粒子 (1 mm 以上) はほとんど含まれず, S より小さな粒子 (64 μm 以下) が全体の85%以上を占める。構成鉱物の多くは新鮮である。

それぞれの粒度画分を構成する鉱物は, L-M 画分では, 石英, 斜長石を主とし, 少量ないし大量の角閃石, 輝石, 磁鉄鉱を含む。L 画分には微量のス멕タイトが, M 画分には微量のギブサイトが含まれる。S および SS 画分は, 石英を主とし, 少量ないし中量の緑泥石, 微量ないし少量の斜長石, 白雲母, ス멕タイト, カオリン, ギブサイトを含む。S 画分には角閃石と磁鉄鉱も含まれる。C 画分は, 中量のギブサイト, および微量ないし少量の石英, ス멕タイト, カオリンからなる。

(9) KS1-4 (風成堆積物)



第4図 A) NK1-1-2の風化岩片の顕微鏡写真。横幅約2 mm, クロスニコル。 B) NK1-1-2の風化岩片の顕微鏡写真。横幅約2 mm, 平行ニコル。 C) NK1-1-2のL画分の顕微鏡写真。横幅約2 mm, クロスニコル。 D) NK1-1-2L画分の顕微鏡写真。横幅約2 mm, 平行ニコル。 E) NK4-1L画分の顕微鏡写真。横幅約2 mm, クロスニコル。 F) NK4-1L画分の顕微鏡写真。横幅約2 mm, 平行ニコル。 G) KS1-3L画分の顕微鏡写真。横幅約2 mm, クロスニコル。 H) KS1-3L画分の顕微鏡写真。横幅約2 mm, 平行ニコル。 略号: Qz: Quartz (石英), Pl: Plagioclase (斜長石), Mu: Muscovite (白雲母), Hb: Hornblende (角閃石), Px: Pyroxene (輝石), Mt: Magnetite (磁鉄鉱), B: Bedrock fragment (母岩片)。

Figure 4 A) Photomicrograph of thin section of sample NK1-1-2 (weathered bedrock). Crossed polar. 2 mm width. B) Photomicrographs of thin section of sample NK1-1-2 (weathered bedrock). Plane polar. 2 mm width. C) Photomicrographs of thin section of sample NK1-1-2 (L size particles). Crossed polar. 2 mm width. D) Photomicrographs of thin section of sample NK1-1-2 (L size particles). Plane polar. 2 mm width. E) Photomicrographs of thin section of sample NK4-1 L (L size particles). Crossed polar. 2 mm width. F) Photomicrographs of thin section of sample NK4-1 L (L size particles). Plane polar. 2 mm width. G) Photomicrographs of thin section of sample KS1-3 L (L size particles). Crossed polar. 2 mm width. H) Photomicrographs of thin section of sample KS1-3 L (L size particles). Plane polar. 2 mm width.

LL よりも大きな粒子 (1 mm 以上) はほとんど含まれず、M より小さな粒子 (250 $\mu$ m 以下) が全体の95%以上を占める。構成鉱物の多くは新鮮である。

それぞれの粒度画分を構成する鉱物は、L 画分では、石英を主とし、大量の輝石、中量の角閃石、微量の磁鉄鉱を含む。M および S 画分は、石英を主とし、少量ないし中量の斜長石、微量ないし少量の白雲母、緑泥石、角閃石、ギブサイトを含む。M 画分には少量の輝石、微量の磁鉄鉱、スメクタイトも含まれる。SS 画分は、石英を主とし、少量の斜長石、微量の緑泥石、スメクタイト、ギブサイトを含む。C 画分は、少量の石英、および微量のスメクタイト、カオリン、ギブサイトからなる。

#### (10) NK2-1 (風化砂岩中の節理面上の付着物)

粗粒砂から粘土までの粒子からなり、粗粒砂(LL および L) と細粒砂 (M および S) の構成率がそれぞれ20%程度であるのに対して、シルト・粘土 (SS・C) が約60%と比較的高いウエイトを占める。

それぞれの粒度画分を構成する鉱物は、LL および L 画分は、石英を主とし、微量のカリ長石、白雲母を含む。M 画分は、石英とカリ長石を主とし、微量の白雲母、スメクタイトを含む。S および SS 画分は、石英を主とし、微量ないし中量のカリ長石、白雲母、緑泥石、スメクタイト、緑泥石-スメクタイト混合層鉱物、カオリンを含む。C 画分は、カオリンと緑泥石-スメクタイト混合層鉱物からなる。

## 6. 考 察

それぞれの土壤の産状・鏡下観察、粒度別の重量組成および分画試料の鉱物組成に基づき、母岩の岩種ごとに土壤構成鉱物の起源や土壤の生成プロセスについて考察する。

### (1) 砂 岩

砂岩を母岩とする土壤の特徴は、NK1-1サイトで見ることができる。このサイトの深度0.6m(NK1-1-3)と1.2 m (NK1-1-2) から採取された土壤の分画試料の X 線回折結果から、土壤構成鉱物をその出現粒径範囲に基づいて以下の5群に分類することができる。1) ほぼすべての粒径領域に現れる鉱物：石英、イライト、スメクタイト、カオリン (ハロイサイト)、2) 粘土画分を除く粒径領域に現れる鉱物：斜長石、カリ長石、3) 粘土画分のみ現れる鉱物：ギブサイト、4) シルト・細粒砂画分にのみ現れる鉱物：緑泥石、5) その他：角閃石。

1) と 2) の鉱物のうち、石英、斜長石、カリ長石、イライトは母岩である砂岩の未風化岩中に普通に存在する鉱物である (関・他、1999) ことから、大部分が母岩に由来する一次鉱物と考えられる。またスメクタイトとハロイサイトは地表条件下で普通に形成される二次鉱物であり (関、1998)、粗粒画分中にも見られることから、主

として風化作用により母岩から生成した二次鉱物であろう。ただし、細粒砂画分中の石英、イライトなどは、後述する広域風成塵を起源とするものが混じっている可能性が高い。

3) のギブサイトは、一般に土壤中に普通に見られる二次鉱物であるが、後述する関東ローム層の細粒画分を構成する鉱物でもある。したがって、本地点で認められたギブサイトは、ここでの母岩である砂岩からの風化生成物と風成堆積物のいずれかあるいは両者である可能性がある。

4) の緑泥石は、母岩に含まれる鉱物が破碎された一次鉱物であるとすると、より粗粒の粒径領域で緑泥石が見いだされないことが説明できない。また、現地で生成した二次鉱物であるとすると、粘土画分に現れないことや比較的シャープな X 線回折ピークをもち結晶度が特に高いことなどを説明することが難しい。最も可能性が高いと考えられるのは、広域風成塵起源 (井上、1981; 井上・溝田、1988など) である。広域風成塵は主に中国大陸を起源として対流圏内を偏西風によって運搬された微細粒子で、その鉱物組成はイライト、カオリン、石英、斜長石などを主とし、緑泥石、モンモリロナイトなどを含む。広域風成塵の卓越粒径は発生源からの距離に対応し、日本周辺では3-30 $\mu$ m といわれている。NK1-1土壤の緑泥石はこの粒径領域のみに現れており、広域風成塵起源と考えるのが最も自然である。さらに1) および2) の鉱物群も、そのいずれもが日本で見られる広域風成塵を構成する主要鉱物であることから、NK1-1土壤においてもそのシルト画分中に母岩の破砕物だけではなく、広域風成塵起源の粒子を多量に含んでいる可能性が高い。

5) の角閃石は、より浅層の NK1-1-3の細粒砂画分に現れる。角閃石は、母岩の砂岩には含まれないが、後述する風成層 (関東ローム層) および赤城鹿沼降下軽石中には多量に産出する。したがって、ここで見られる角閃石は、もともと関東ローム層または赤城鹿沼降下軽石の一部として降下・堆積したものが、なんらかの理由で土壤に取り込まれたものであろう。取り込みの機構としては、不安定斜面上に堆積した風成層が滑落しつつ、母岩の風化生成物と攪拌、混合した可能性が高い。

砂岩の開口節理面上から採取された粘土分の多い付着物である試料 NK2-1の鉱物組成を見ると、ほぼ NK1-1土壤から斜長石を取り去ったものとなっている。産状から NK2-1は、NK1-1土壤が流水により移動、再定着したものと考えられ、粒度別重量組成と鉱物組成の変化は、流水による運搬過程で懸濁・転動できるものとそうでないものとの選別により生じたものであろう。

### (2) チャート

チャートを母岩とする土壤の特徴は、NK4サイトで見ることができる。このサイトから採取された土壤 A 層の試料 (NK4-1) の鉱物組成を、砂岩を母岩とする NK1-

1サイトの土壤のそれと比較すると、最も大きな差異はNK4-1土壤がカリ長石を欠いている点である。また、NK1-1土壤では僅かに認められただけの角閃石が比較的広い粒径範囲にわたって含まれること、NK1-1では認められなかった磁鉄鉱が認められることも注目になる。このカリ長石を欠き角閃石と磁鉄鉱を含むという特徴は、後述する風成層(関東ローム層)および赤城鹿沼降下軽石がもつ特徴に一致する。この点を除くとNK4チャート土壤とNK1-1砂岩土壤とは概ね共通する特徴をもっている。以上からNK4チャート土壤は、チャートの機械的風化生成物である石英粒子と、広域風成塵起源のシルト画分鉱物、および関東ロームまたは赤城鹿沼降下軽石起源の斜長石、角閃石、磁鉄鉱などの混合物と考えられる。さらに、関東ローム層に普通に見られるギブサイトを含み、赤城鹿沼降下軽石にしばしば多量に含まれる灰長石が認められないことから、この両者の間では関東ローム層起源が卓越している可能性が高い。これらの様々な起源をもつ粒子が混合した過程としては、不安定斜面上での滑動と再堆積が推定される。

### (3) 火山砕屑岩

KT2地点では、デイサイト質火山礫凝灰岩を母岩とする土壤の特徴を、地表下0.1mのA層からの試料(KT2-4)と0.4mのB層からの試料(KT2-3)で見ることができる。

このサイトの土壤試料のX線回折結果で見られる鉱物組成を、砂岩を母岩とするNK1-1サイトの土壤のそれと比較すると、NK1-1土壤で普通に見られるイライトや細粒砂・シルト画分で認められる緑泥石がKT2土壤には欠けていること、NK1-1土壤で見られない輝石や磁鉄鉱がKT2土壤の粗粒砂ないし細粒砂画分には多量に含まれること、などの相違が認められる。輝石や磁鉄鉱は角閃石とともに赤城鹿沼降下軽石(後述)を構成する特徴的な鉱物であり、それらが赤城鹿沼降下軽石におけるそれらの鉱物の出現粒度領域と同じく粗粒砂ないし細粒砂画分に多産することは、KT2土壤に対して赤城鹿沼降下軽石が大きく寄与していることを示す。一方、深度方向では、0.4m試料(KT2-4)がカリ長石を普通に含み灰長石を含まないのに対して、0.1m試料(KT2-3)では細礫画分以外にカリ長石を含まず、灰長石を普通に含むという違いが認められる。灰長石は赤城鹿沼降下軽石にしばしば多量に含まれることから、このことは、より表層に近い土壤により多量の赤城降下軽石が混入していることを示していると考えられる。

### (4) 風成層(関東ローム層)

関東ローム層としては、KS1地点において赤城鹿沼降下軽石層を挟む上下2箇所(深度1.5m:KS1-4と深度2.5m:KS1-2)から採取した試料をみる限り、両者はほぼ同じ鉱物組成からなる。すなわち、全粒径範囲にわたる石英、シルトサイズ以上の斜長石、細粒砂ないしシルトサ

イズのイライトと緑泥石、粗粒砂ないし細粒砂サイズの角閃石、輝石、磁鉄鉱、細粒砂以下のスメクタイト、ハロイサイト、ギブサイトなどの粘土鉱物である。関東ローム層は、広域風成塵、火山灰とその二次移動物質、植物珪酸体など種々の起源物質が混合した風成層であることが知られており(佐瀬・他, 1987; 大倉・他, 1993; 山野井, 1996など)、今回同定された鉱物-粒度マトリクスを見ると、粗粒~中粒の角閃石、輝石、磁鉄鉱は降下火山灰起源、シルトサイズ以下の緑泥石、イライト、石英は広域風成塵起源、スメクタイト、ハロイサイト、ギブサイトなどの粘土鉱物はそれらの風化生成物であると考えられる。

### (5) 降下軽石(赤城鹿沼降下軽石)

試料NK3-5とKS1-3は、いずれも上下を関東ローム層に挟まれた厚さ0.2-0.3mの明茶色~クリーム色の軽石層から採取された。この軽石層は、層位、岩相および角閃石、輝石、磁鉄鉱を主とする重鉱物組成などから、3.1-3.2万年前噴出の赤城火山を給源とする赤城鹿沼降下軽石(阿久津, 1957; 鈴木1990)であることが明らかである。粗大粒子(1mm以上)をほとんど含まず、全体の85%以上が64 $\mu$ m以下の小径領域に集中する淘汰の良い粒径分布は、風成層としての特徴をよく表している。

## 7. おわりに

本研究では、土壤を構成する鉱物粒子を全ての粒径範囲にわたって体系的に分画し記載した。その結果、いずれの土壤もそれぞれの母岩の物理的・化学的風化生成物を主体としながらも、広域風成塵起源と考えられるシルト画分粒子やテフラ・降下軽石起源の粗粒砂ないし細粒砂画分の粒子をほぼ普遍的に含むことが確認された。全ての粒径範囲にわたる分画試料を用いることにより、従来構成物の起源や成因に不明な点が多かった山地斜面の匍行性ないし崩積性土壤について、構成鉱物の起源や土壤の生成プロセスを議論できることが確認できたことになる。

謝辞 現地調査に際してご協力を頂いた新宿産業(株)および(株)オーリスの関係者各位、長時間にわたる分画作業をされた松田智子さん、的確に試料を固定して薄片を作成して下さいました試料調整課野神貴嗣技官に深謝申し上げます。

## 文 献

- 阿久津純(1957) 宇都宮付近の関東ローム(火山灰)層. 地球科学, **33**, 1-11  
 原田 光(1953) 鳥取県若桜町における蛇紋岩の風化について. 日本土壤肥料学雑誌, **23**, 137-140

- 茨城県農地部農地計画課 (1993) 土地分類基本調査「真岡・壬生」.
- 井上克弘 (1981) 火山灰土壌中の14Å 鉱物の起源—風成塵の意義—. ペドロジスト, **25**, 97-118
- 井上克弘, 溝田智俊 (1988) 黒ボク土および石灰岩・玄武岩台地上の赤黄色土の2:1型鉱物と微細石英の風成塵起源. 粘土科学, **28**, 30-47
- 井上克弘, 成瀬敏郎 (1990) 日本海沿岸の土壌および古土壌中に堆積したアジア大陸起源の広域風成塵. 第四紀研究, **29**, 209-222
- 貝塚爽平, 鈴木毅彦 (1992) 関東ロームと富士山. 土と基礎, **40**(3), 9-14
- 関東ローム研究グループ (1965) 関東ローム—その起源と性状—. 築地書館, 378p
- 加藤芳朗 (1962) 関東ローム層の細砂軽鉱物組成. 地球科学, **62**, 11-19
- 経済企画庁総合開発局国土調査課 (1969) 土地分類基本調査「水戸」.
- 木宮一邦 (1991) 地質学から見た岩石風化. 応用地質, **32**, 120-129
- 増井淳一 (1954a) 福島県片曾根山土壌における粘土鉱物と母材について (第1報) —その母材について—. 日本土壤肥料学雑誌, **24**, 277-280
- 増井淳一 (1954b) 福島県片曾根山土壌における粘土鉱物と母材について (第2報) —粘土分の鉱物組成について—. 日本土壤肥料学雑誌, **24**, 313-317
- 松山信彦, 三枝正彦, 故阿部篤郎 (1994) 関東および中部地方におけるアロフェン質黒ぼく土と非アロフェン質黒ぼく土の分布. 日本土壤肥料学雑誌, **65**, 304-312
- 宮崎一博, 笹田政克, 吉岡敏和 (1996) 真壁地域の地質. 5万分の1地質図幅, 地質調査所, 103p.
- 溝田智俊, 井上克弘 (1988) 風成石英粒子の酸素同位体組成—そのトレーサーとしての意義—. 粘土科学, **28**(2), 38-54
- 永塚鎮男 (1979) 天然林下において花崗岩から生成した黄褐色森林土の成因的特徴 (第2報) —粘土鉱物組成—. 日本土壤肥料学雑誌, **50**, 91-97
- 中井 信 (1997) 粒径組成. 土壌環境分析法編集委員会編, 土壌環境分析法, 博友社, 24-29.
- 成瀬敏郎 (1982) 最終氷期以降の日本沿岸域の風成堆積層. 第四紀研究, **21**, 223-227
- 成瀬敏郎, 井上克弘 (1983) 山陰および北陸沿岸の古砂丘に埋没するレスについて. 地学雑誌, **92**, 116-129
- 成瀬敏郎, 戸谷 洋 (1957) 相模野台地南東部の関東ローム. 地質学雑誌, **63**, 126-136
- 日本ペドロロジー学会 (1997) 土壌調査ハンドブック (改訂版), 博友社, 169p.
- 農林省林業試験場土壌部 (1976) 林野土壌の分類〈1975〉. 林業試験場研究報告, **280**, 1-28
- 大倉利明, 坂上寛一, 松田隆夫, 浜田龍之介 (1993) 南関東の完新世火山灰土壌の母材—一次鉱物組成と元素組成による判定—. 地学雑誌, **102**, 217-233
- 佐瀬 隆, 加藤芳朗 (1976a) 現世ならびに埋没火山灰土腐植層中の植物起源粒子—とくに植物珪酸体—に関する研究 (第1報) —給源植生の推定に関する問題—. 第四紀研究, **15**, 21-33
- 佐瀬 隆, 加藤芳朗 (1976b) 現世ならびに埋没火山灰土腐植層中の植物起源粒子—とくに植物珪酸体—に関する研究 (第2報) —火山灰土の腐植給源植物に関する問題と植物珪酸体を用いた古気候推定—. 第四紀研究, **15**, 66-74
- 佐瀬 隆, 細野 衛, 宇都川徹, 加藤定男, 野村正治 (1987) 武蔵野台地成増における関東ローム層の植物珪酸体分析. 第四紀研究, **26**, 1-11
- 鈴木毅彦 (1990) テフクロノロジーからみた赤城火山最近20万年間の噴火史. 地学雑誌, **99**, 182-197
- 関 陽児 (1998) 土壌・風化帯の形成と水質変化. 地調月報, **49**, 639-667
- 関 陽児, 金井 豊, 上岡 晃, 月村勝宏, 濱崎聡志, 金沢康夫, 中嶋輝允 (1999) 採石場の湧水からみた地質と地下水質との関係—八溝山地周辺の例—. 地調月報, **50**, 683-697
- 滝沢文教, 笠井勝美 (1986) 八溝山地. 大森昌衛, 端山好和, 堀口万吉 (編) 日本の地質3—関東地方—, 共立出版, 63-66
- 田村俊和 (1996) 微地形分類と地形発達—谷頭部斜面を中心に—. 恩田裕一・他編, 水文地形学. 古今書院, 177-189
- 塚本良則 (1992) 流域と斜面. 森林水文学, 文永堂出版, 11-19
- 通産省資源エネルギー庁 (1987) 昭和61年度稀少金属鉱物資源の賦存状況調査報告書—笠間地域—. 175p.
- 山野井徹 (1996) 黒土の成因に関する地質学的検討. 地質学雑誌, **102**, 526-544
- 吉永秀一郎, 鳥居厚志, 河室公康 (1988) 粘土鉱物からみた八甲田山周辺に分布する火山灰土壌の母材の起源. ペドロジスト, **32**, 2-15
- 張 一飛, 井上克弘, 佐瀬 隆 (1994) 洞爺火山灰以降に堆積した岩手火山テフラ層中の広域風成塵. 第四紀研究, **33**, 131-151.

(受付:1999年12月21日;受理:2000年2月18日)