

## 関東平野における土壌の化学組成と土壌地球化学図の作成に関する基礎的研究

寺島 滋<sup>1</sup> 今井 登<sup>1</sup> 岡井貴司<sup>1</sup>

Shigeru TERASHIMA, Noboru IMAI and Takashi OKAI (2001) Elemental distribution in the volcanic ash soils from the Kanto District, Japan : Preliminary study for the soil geochemical mapping. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 52 (1), p. 9-40, 16 figs., 7 tables.

**Abstract :** In order to characterize the geochemical map of soil elements, major and minor elements were determined for volcanic ash soils collected from the southern to northeastern Kanto district, Japan. Some river sediments were also analyzed for comparison. The concentrations of heavy metals in the tephra layers from the Akagi and Nantai volcano eruptions are generally lower than those of loam layers in the Kanto Loam Formation. Compared to the weakly altered tephras, the strongly altered tephras are proved to be poor in SiO<sub>2</sub>, alkali and alkali-earth metals, and rich in Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, and heavy metals in most cases. The same tendency is also recognized in the alteration of loam samples. It has been considered that the parent material of the studied black soils and loam layers originated mainly from the reworked materials of altered tephra with the fine particles of aeolian dust. Compared with volcanic ash soils of the northeastern Kanto district, those of the southern Kanto district are richer in heavy metals, especially in copper. There is a clear difference in the chemical composition of the river sediments and soils collected around Yasato, Ibaraki Prefecture. This may suggest that the major parent material of the river sediments is clastic material derived from the basement rocks, and that of soils is composed of altered volcanic ash and related materials. In the region that has a wide distribution of volcanic ash soil, the geochemical mapping according to analyses of the soil itself will be important.

### 要 旨

関東地方における土壌地球化学図の作成に関する予察的研究として、関東各地の台地や丘陵部から採取した火山灰質土と、同一地域で採取した土壌と河川堆積物の主・微量成分を分析し、元素の分布特性や地球化学的挙動等について研究した。テフラ及びロームの化学組成には明らかな相違が認められるが、いずれも風化の進行に伴って SiO<sub>2</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Ba, Sr が溶脱・流失して濃度を減じ、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O 及び多くの微量重金属が相対的に高濃度となる。従来ローム層の最上位が風化し、これに腐植が付加されて黒土が生成するという考えがあったが、化学組成の上からはこの考えは否定される。黒土の母材は、ロームと同様に、火山噴火に伴う一次堆積物、近傍裸地からの風塵再移動堆積物、大陸起源の広域風成塵等であろう。関東の南部と北東部における火山灰質土の化学組成には明瞭な相違が認められ、その特徴は南部では富士山の、北東部では赤城山及び男体山起源の噴出物の化学組成のそれに類似する。同一地域で採取した表層土壌と河川堆積物の化学組成を比較した結果、基本的に類似点は見い出せなかった。これ

<sup>1</sup> 地質調査所地殻化学部 (Geochemistry Department, GSJ)

は、土壌の母材が主として火山灰であるのに対して、河川堆積物は基盤岩類の碎屑物が主体であるためと考えられた。火山灰質土が広く分布する地域では、土壌そのものを分析対象とする地球化学図の作成が重要である。

### 1. はじめに

地表物質中(河川堆積物, 土壌, 岩石など)の元素の濃度分布を図化したものが地球化学図であり, 環境科学, 地球化学, 地質学, 鉱床学等多くの分野において重要な基礎資料である。諸外国における地球化学図の概要は, 今井ほか(2000a)で紹介したのでここでは割愛する。日本では, 椎川ほか(1984)が秋田県, 菅・黒沢(1987, 1996)が北海道北・中央部, Tanaka *et al.*(1994), 山本ほか(1998)が愛知県下の地球化学図を作成している。

地質調査所では, 北関東地域の約 4000 km<sup>2</sup> から採取した河川堆積物 3850 試料について主・微量成分を分析し, 26 元素の地球化学図を公表し(伊藤ほか, 1991), その後も仙台市, 山形市周辺地域について研究している(今井ほか, 1997; 2000b)。しかし, これらの研究は対象

Keywords : volcanic ash soil, elemental distribution, geochemical behavior, geochemical map, Kanto District

地域が限定されているため、日本全土における元素濃度の分布の特徴を把握することは不可能である。そこで、新しい研究プロジェクトとして、「地球化学図による全国的な有害元素のバックグラウンドと環境汚染評価手法の高度化に関する研究」を立ち上げ、環境庁一括計上の公害防止等試験研究費を使用し、1999年度を初年度とする5ヶ年計画で日本全土から約4000個の河川堆積物を採取し、有害微量元素(As, B, Be, Cd, Hg, Mo, Sb, Se等)をはじめとする約50元素の地球化学図を作成する作業を進めている。

河川堆積物は、その試料を採取した地点の上流域に分布する基盤岩類や堆積物、土壌等を、河川水が削剥・混合したもので、その化学組成は集水域に分布するすべての地質試料を代表すると考えられる。従って河川堆積物を分析することにより、比較的少数の試料によって広い調査地域をカバーすることができ、日本全土を目的とした地球化学図の作成では最適試料である。しかしながら、人間生活において最も身近な地質物質で、食料生産に必要な不可欠な土壌は、河川堆積物とは異なる起源物質で構成される場合が多く、このことは有害元素のバックグラウンド値や環境中での挙動も異なることを示唆している。

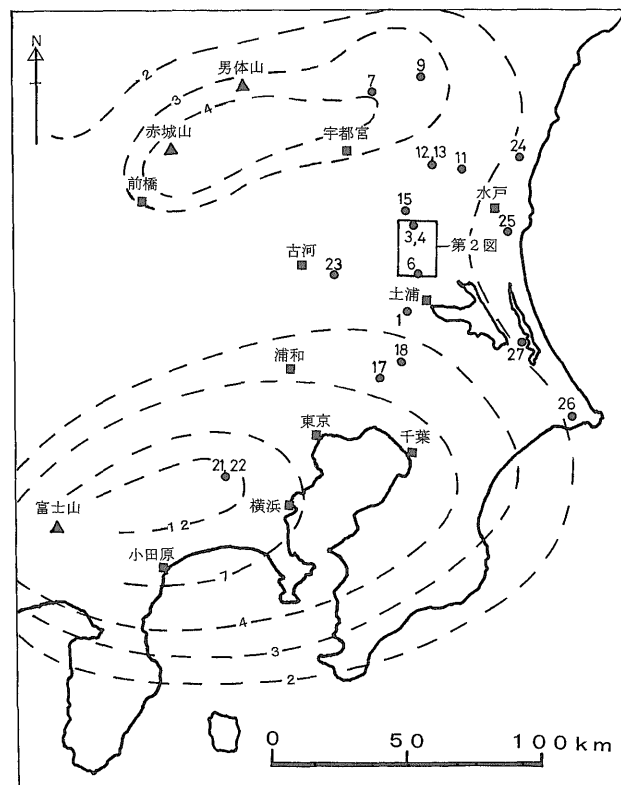
土壌地球化学図は、土壌そのものを分析対象として作成される地球化学図であり、土壌中の元素濃度が直接表示できる利点がある。その反面、火山灰質土が広く分布する地域では基盤岩類に由来する元素濃度はほとんど評価できない欠点を有している。本報告は、平野部における土壌地球化学図の作成に関する基礎的知見を得るために、関東平野の各地から採取した土壌柱状試料と、同一地域で採取した土壌と河川堆積物の化学分析を実施し、土壌の起源物質、火山灰質土における元素濃度の特徴と風化に伴う挙動、土壌と河川堆積物における元素分布の相違等について検討した結果をまとめたものである。

## 2. 地質の概要

関東平野の台地や丘陵には、茶褐色～赤褐色の土層が広く分布しており、「関東ローム層」と呼ばれている(例えば関東ローム研究グループ, 1965)。関東各地のローム層のうち、主として関東南西部に分布する地層については、上位から立川、武蔵野、下末吉、多摩ローム層に区分されており、これらは更新世中期以降に、富士、箱根、愛鷹等の諸火山から供給された火山灰やその風成二次堆積物が母材とされている(関東ローム研究グループ, 1965)。一方、関東平野北東部のローム層については、宇都宮付近が模式地であり、ここでは上位から田原、宝木、宝積寺、戸祭ローム層に区分されており、母材の供給源としては赤城や日光火山群が重要とされている(阿久津, 1960; 関東ローム研究グループ, 1965)。茨城県下の

ローム層については、給源火山から遠く離れているために指標テフラや有用な鍵層が少なく、詳細な層序区分が確立されているとは言えないが、北部地域では宇都宮付近と同様に上位から田原(A<sub>1</sub>層)、宝木(A<sub>2</sub>層)、宝積寺(A<sub>3</sub>層)、戸祭ローム層(A<sub>4</sub>層)に区分され、南部では南関東のローム層区分(立川、武蔵野ローム層等)が適用できるとされている(関東ローム研究グループ, 1965)。宇野沢ほか(1988)は、筑波周辺地域の関東ロームに関して、上位の新时期関東ローム層(2)を南関東の立川ローム層に、下位の新时期関東ローム層(1)を武蔵野ローム層に対比している。

鈴木(1995)は、中部～関東に分布する火山灰土に関して、過去5万年間に堆積した地層の層厚分布を求めた(第1図)。その結果、南関東では富士火山、北関東では赤城火山及び男体火山の東方で層厚が増加しており、それぞれの火山からの噴出物が偏西風によって運ばれた結果と解釈している。ローム層の上位に広く分布する黒土(表土、クロボク土とも呼ばれる)の成因に関する最近の研究結果(例えば早川, 1995; 鈴木, 1995; 山野井, 1996)によれば、ローム層の最上位が風化し、それに腐植が加わって黒土化したとする母材生成説(例えば松井, 1967)よりも、比較的火山活動が静穏な時期に、遠



第1図 試料採取地点と鈴木(1995)が求めた最近5万年間に堆積した火山灰質土の層厚分布(m)。

Fig.1 Sampling sites and thickness(m) of volcanic ash soil accumulated during the last 50,000 years (after Suzuki, 1995).



第2図 八郷町及びその周辺地域における土壌(●)と河川堆積物(■)の採取地点。建設省国土地理院発行1/5地形図「真壁」(水戸15号)を縮小して使用。  
Fig. 2 Sampling sites of soils (●) and river sediments (■) around the Yasato area.

方火山起源の一次的な噴火堆積物、大陸起源の広域風成塵、近傍の裸地からの風塵堆積物等がゆっくりと堆積し、これに植物由来の腐植が付加されて黒土が形成されたとする堆積生成説が有力となっており、本研究結果においても母材生成説を支持する結果は得られなかった。そして黒土の黒色度の強弱は主として含有される腐植の量によって決定されるとされており(藤沢, 1983; 山野井, 1996), 本研究結果でも黒色度と炭素含有量の間にはほぼ正相関が認められたが、黒色帯は多くの試料では漸移しており、肉眼観察によって黒土とローム層を完全に区別することは困難であった。以下本研究では、表層部の明らかに黒色を呈する部分を黒土、下層の茶褐色〜赤褐色の部分をロームと呼び、黒土〜ロームを合わせた全体を火山灰質土と言う。そして単に土壌とした場合は、黒土とその下位の漸移帯(多くの場合は黒灰色〜暗褐色の土層)を含むものとする。なお、経済企画庁総合開発局国土調査課等による「土地分類基本調査」によれば各地の土壌について詳細な分類がなされているが、本研究の主目的である無機元素の地球化学図の作成では、その分類が重要な意味を有するとは考えられないため議論の対象としなかった。

### 3. 試料及び分析方法

#### 3.1 試料の選定と採取方法

上述したように、関東地方に分布する火山灰質土の母材の供給源としては南部では富士山が、北部では赤城山と男体山が重要なので、これを考慮して試料の採取位置を選定した(第1図)。一方、同一地域における土壌と河川堆積物の化学組成の相違を検討する地域としては、基盤岩類の分布範囲が明確で、しかも適当な大きさの集水域を有する場所として茨城県下の八郷町とその周辺部を選定した(第2図)。

採取した試料のうち、採取地点番号(以下 Site no. で表示) 101~112(第2図)が河川堆積物であり、その他が火山灰質土である。火山灰質土の採取にあたっては、原則として土砂採取跡地等の露頭において、地表面の落葉や小枝を除去し、また風化の影響を少なくするため壁面の表層5~10 cmを削除した。そして一部試料を除き、地表から地下方向に向かって5~20 cm毎に1試料となるよう柱状試料を採取した。この際地表付近が人為的影響等により攪乱されているおそれがある場合は、その露頭に近く、しかも人為的影響が無視できると考えられる林の中等で、スコップを用いて深度50~60 cmの穴を掘り、その壁面から採取した。そして、化学組成の鉛直変化からみて同一試料と見なしてさしつかえない場合は、同一柱状試料とし、問題ありと判断された試料には異なる番号を付した。また、試料採取に適した露頭が見つからなかった地域では、周辺からの崩落物の影響がないと

考えられる小高い林の中等で50~60 cmの穴を掘ってその壁面から採取するとともに、場合によってはその穴の下底に半円形オーガ(穴径3 cm, 大起理化工業製)を打ち込むことにより全長1~1.3 mの柱状試料を採取した。

河川堆積物の採取にあたっては、採取地点の河床または水面下で細粒の砂質堆積物約1 kgを採取した。

#### 3.2 試料の概要

柱状試料は合計27地点で採取したが、分析したのは19試料であり、これら試料の採取場所、乾燥、粉碎後の最表層部分の色調、指標テフラの有無、過去1万年間の平均堆積速度の推定値等を第1表に示した。なお、堆積速度の推定では、赤城火山起源の鹿沼軽石層(以下 KP と略記)を含む試料ではこの降下年代を32000年前(吉永, 1996)とし、その後の堆積速度は一定であったと仮定した。参考までに、鈴木(1995)が求めた最近5万年間の層厚分布と試料の採取地点の関係から推定した最近1万年間の堆積速度(5万年間の層厚の1/5)を見積もって見たが、比較的良く一致した(第1表)。また、火山灰質土中元素濃度の地域別変化を研究するため、調査地域をA~Dに区分することにした(第1表)。Aは、主として関東北西部の火山の影響を受ける地域で、B、Cは中間的であり、Dは富士山の影響が大きい地域である。以下に主要な柱状試料の概要を述べる。

Site 1は、つくば市東の物質工学工業技術研究所の西北西約300 mの針葉・広葉混交林の中で採取した。最表層の黒色度は中間的であり、下位に向かって暗褐色となり、明瞭な層準は識別できなかった。付近には沼地や湿地が多いことから、過去の一定期間は表流水や地下水の影響を受けた可能性がある。

Site 3は、茨城県岩瀬町板敷峠の西南西約2 km、標高約330 mの加波山登山道横の針葉樹林内で採取した。傾斜約15°の斜面上にあるため土壌の流出が考えられたがその影響はほとんどなく、表層部の黒色度はやや強く、下位に向かって暗褐色に漸移する。

Site 4は、茨城県岩瀬町板敷峠付近の土砂採掘場の南側壁面で採取した。本地点の火山灰質土は褶曲の影響を受けており、試料は層準が明瞭な比高のやや高い場所から採取した。上位から200~300 cmにKPが挟在し、KPの層準内部での化学組成変化を検討するのに適している。最表層部の黒色度は弱く、また元素濃度の鉛直変化を考慮すると表層の一部が欠落している可能性がある。

Site 7は、栃木県喜連川町上河戸の河戸小学校の南南東約300 mの荒地において、小建築物の設置のために掘られた幅約10 m、深さ約4 mの穴の壁面から大部分を採取し、表層0~60 cmはその地点の東方約50 mの針葉樹林の中で採取した。表層部の黒色度は、全分析試料の

第1表 柱状試料の採取場所とその概要.  
Table 1 Location of the studied core samples.

Zone name	Site No.	Locality	Core length(cm)	Color of surface soil	Tephra	Sedimentation rate (m/10 ka)*			
						(A)	(B)		
A	7	Kamikodo, Kitsuregawa t., Tochigi pref.	375	dark black	OS, KP	0.77	0.78		
	9	Koisago, Bato t., Tochigi pref.	50	black			0.66		
	11	Takaku, Katsura v., Ibaraki pref.	110	dark black			0.46		
	B	12	Ayuta, Motegi t., Tochigi pref.	200	brownish black	SP, IS, KP	0.62	0.50	
		13	do.	50	black			0.50	
		24	Kamesaku, Hitachiohta c., Ibaraki pref.	100	brownish black			0.40	
3		Kiue, Iwase t., Ibaraki pref.	125	dark black	0.50				
4		do.	420	black	KP			0.63	0.50
6		Tsuji, Yasato t., Ibaraki pref.	50	black					0.50
C	15	Tomiya, Iwase t., Ibaraki pref.	120	brownish black	KP	0.34	0.50		
	23	Hiratsuka, Yachiyo t., Ibaraki pref.	250	black			0.50		
	25	Shimoirino, Mito c., Ibaraki pref.	250	black			0.36		
	1	Higashi, Tsukuba c., Ibaraki pref.	130	black			0.52		
	17	Wakashiraga, Shonan v., Chiba pref.	160	brownish black			0.74		
	18	Omonma, Toride c., Ibaraki pref.	290	brownish black			0.66		
D	26	Oyada, Choshi c., Chiba pref.	260	brownish black	KP	0.34	0.38		
	27	Mizuhara, Itako t., Ibaraki pref.	100	brownish black			0.38		
	21	Horinouchi, Sagamiyama c., Kanagawa pref.	340	dark black			2.60		
	22	Shinisono, Sagamiyama c., Kanagawa pref.	130	dark black			2.60		

\*Sedimentation rates were estimated from the depth of the KP tephra (A) or thickness of volcanic-ash-soil accumulated during the last 50 ka (B, after Suzuki, 1995).

中で最も強く、下位に向かって濃度を減じ、約70cmでほとんど消失する。この深度で黒色が消失する現象は付近の他の場所でも認められるため、本地域の特徴と考えられる。深度117~145cmに小川スコリア層(OS, 男体山起源, 約22000年前, 吉永, 1996)が、245~265cmにはKPが挟まれる。

Site 12は、栃木県茂木町下鮎田の東方約1km地点で新しく開削された幅約3mの林道の露頭で採取した。本試料は、他の地点で採取できなかった、ともに男体山起源の七本桜軽石層(SP, 約12000年前, 吉永, 1996)、今市スコリア層(IS, 同, 同)の化学組成を検討するために採取したもので、深度15~28cmにSPが、28~36cmにISが、140~170cmにKPが挟まれる。関東ローム研究グループ(1965)によれば、本地域のSP, ISの上位には約1mの黒土層があるが、当該試料では15cmで、大部分は流失したと解釈される。流失の原因は、露頭が傾斜約20°の斜面上にあるためであろう。

Site 18は、取手市小文間の終末処理場の北北東約500mの土砂採掘場跡地の壁面で採取した。表層部の黒色度は弱く、深度50~190cmでは通常の茶褐色ロームであるが、それ以深では灰褐色となる。化学組成の検討結果からみても190cm以深は通常のロームとは異なっている。

Site 21は、相模原市堀之内の女子美術大学の南西約1kmの露頭で採取した全長3.4mの試料である。表層部の黒色度はSite 7について強く、下位に向かって漸減し、100cm以深は黄褐色のロームで、深度220~240cm

に粗粒部分があり、330~340cmは粗粒のスコリア質テフラである。このスコリア質テフラが相模野上部スコリア層(S1S, 関東ローム研究グループ, 1965)の可能性があるが、まだ確認されておらず、本試料には堆積年代を特定できる鍵層は認められない。しかし、後述の化学組成の特徴から判断して、深度0~60cmが新期富士テフラ層(数千年前~現在; 町田, 1964, 1977)、60~100cmが富士黒土層(約1万年から数千年前; 町田, 1964)、100cm以深が古期富士テフラ層の上部に相当する立川ローム層と考えられる。但し、この区分は暫定的なもので、今後変更される可能性がある。

Site 23は、茨城県八千代町平塚天王木の西方約400mにある畑地横の露頭で深度100~250cm部分を採取し、0~100cm部分は北西方向へ約800m離れた針葉樹林内で採取した。表層部の黒色度は中間的であり、全層を通じて層相変化に乏しい特徴がある。

Site 25は、水戸市下入野町の湯小屋の東方約700mにある大きな土砂採掘場の壁面で採取した。表層0~30cmが黒色で、それ以深が暗褐色~茶褐色ロームである。深度110~130cmにKPがあり、最下部の240~250cmは灰白色粘土質の堆積物である。

Site 26は、鉾田市親田町の小浜工業団地の東方約1kmの土砂採取場跡地の壁面から採取した。表層部の黒色度は弱く、40~200cmは主として褐色ローム、200~250cmは灰色がかった粘土質ローム、250~260cmは赤褐色堆積物であり、210cm以深では少量の砂質粒子の混入が認められた。

### 3.3 分析方法

採取した試料は、約 80°C で 2~3 日間乾燥した後、石川式めう粉砕器で粉砕して分析試料とした。大部分の金属元素は誘導結合プラズマ発光分析法で定量したが、この場合は試料 0.1 g をふっ化水素酸、過塩素酸、硝酸で分解し、蒸発乾固した後に希塩酸で溶解して 50 ml とし、セイコー電子工業製 SPS7700 型装置を用いて測定した。本分解操作では、ジルコン等の難溶性鉱物を多量に含む試料中の Y, Zr は完全に溶出しませんが、同種試料中含有量の相対比較は可能である。その他の元素の分析方法は、寺島ほか (2000) と同様である。

## 4. 結果と考察

19 本の柱状試料から得られた全 368 試料について  $Al_2O_3$  等 16 成分を定量した結果を第 A-1 表に、一部試料について As, 全炭素, 全硫黄を分析した結果を第 A-2 表に、代表的柱状試料について元素濃度の鉛直分布図を作成した結果を第 3~13 図に示した。第 3~13 図において、Ba, Sr 濃度の鉛直変化の深度方向には、肉眼観察にもとづく土壤の黒色土の相対的変化と、火山灰が挟在する場合はその略号と深度が示してある。

### 4.1 テフラの化学組成

第 5~7 図から明らかのように、テフラの化学組成はその上下のロームの組成とは大きく異なっている。まず、テフラの化学組成の特徴を把握するため、本研究で分析した 4 種のテフラ、すなわち SP, IS, OS 及び KP について元素濃度の平均値を求め、金井ほか (1988) の結果と比較して第 2 表に示した。全  $Fe_2O_3$  (以下単に  $Fe_2O_3$  と略記)、 $TiO_2$  等の含有量によれば、KP が最も珪長質であり、OS, SP, IS の順に苦鉄質になる傾向がある。

金井ほか (1988) の値と比較して、CaO, MgO,  $Na_2O$  の結果にかなりの不一致が認められるが、これはこれら成分が風化に伴って溶脱し、流失しやすいためと考えられる。例えば、本研究で分析した KP の中では Site 12 の試料が最も風化の影響が少なく、CaO は 3.80%、 $Na_2O$  は 1.86% であり、これは本研究結果の平均値 (第 2 表) の 1.7 倍以上で、金井ほか (1988) の平均値よりも高い。テフラの風化される割合は、主として降下地点の環境 (地形, 標高, 植生, 水の影響等) によると考えられるが、テフラの粒度によっても異なり、例えば Site 7 の OS の場合は深度 135~140 cm に最も粗粒な部分があり、この層準の CaO 濃度は 5.7% で、テフラ層の最上位 (1.48%) の 3.8 倍である。

風化に伴う化学組成の変化はテフラ層に限定されるものではなく、一般に新鮮な岩石や火山灰が風化すると  $SiO_2$ , CaO, MgO,  $Na_2O$ ,  $K_2O$  が溶脱して減少し、 $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $H_2O$  が増加する (例えば関東ローム研究

グループ, 1965; 金井ほか, 1988)。また、火山灰土壤中の希土類元素や Th, Hf 等は砂質の粗粒フラクションよりも細粒の粘土フラクションで高濃度を示す (上岡ほか, 2000) ことから、 $Al_2O_3$  等と同様風化に伴って増加すると思われる。なお、風化に伴って増加する金属類は新たに付加されるものではなく、 $SiO_2$  等の減少に伴う相対的な増加である。一方、造岩鉱物のうち最も風化に対して安定なのは石英であり、マスコバイト、カリウム長石、ナトリウム長石、黒雲母、角閃石、輝石の順に不安定となり、かんらん石とカルシウム質斜長石が最も不安定とされている (一國, 1972)。

### 4.2 化学組成の鉛直変化の特徴

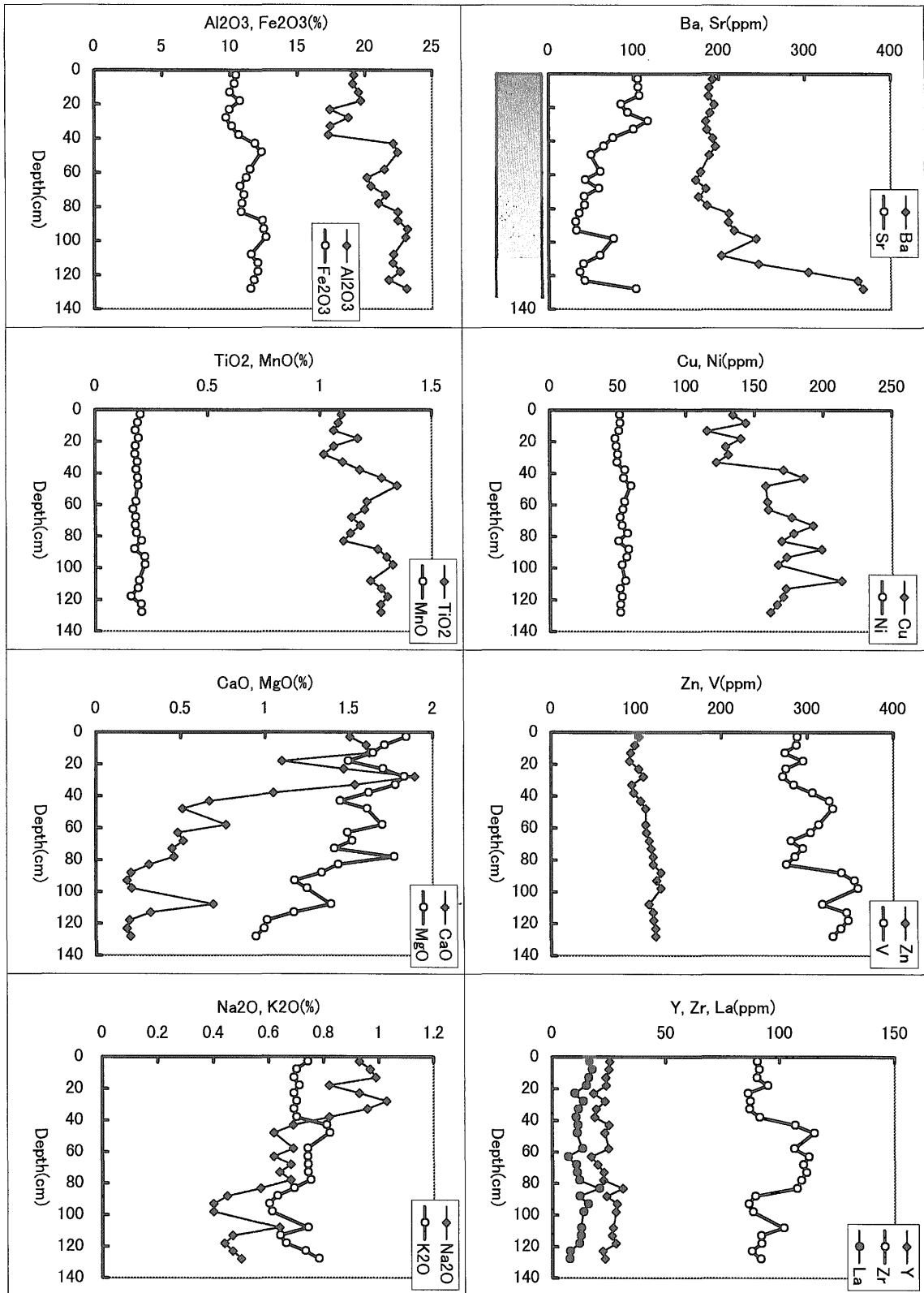
#### 1) $Al_2O_3$ , $Fe_2O_3$ , $TiO_2$ , MnO

これら成分濃度の鉛直変化 (第 3~12 図) を概観すると、ほとんどの柱状試料において最表層部から深度 50~100 cm に向かって濃度が増加するが、それ以深ではテフラ層や通常のロームと岩相が異なる層準を除外すると顕著な濃度変化は認められない。最表層部における低濃度の原因を検討するため、代表的試料について  $SiO_2$  及び強熱減量を測定し、結果を第 3 表に示した。Site 7, 21 については最表層部の強熱減量が下位のそれよりも多く、 $SiO_2$  濃度は特に高くないため、腐植物質や水分による希釈効果が大いと考えられる。一方、Site 18, 23, 25, 26 については最表層部の強熱減量は特に高くはなく、 $SiO_2$  濃度が下位試料のそれよりもやや高いので、これら試料の表層部では風化に伴う  $SiO_2$  等の減少割合が小さいため、 $Al_2O_3$  等の相対的な濃度増加も抑制されていると考えられる。

北関東地域の代表的柱状試料である Site 7 (第 6 図) に注目すると、 $Al_2O_3$  等 4 成分の濃度は KP の下位で高く、上位では低い。しかしこの傾向は Site 4, 12, 25 等の KP の上下では認められないことから Site 7 地点の特徴であり、この地点では KP の前後において母材の供給源が変わったことが推察される。なお、3.2 で述べたように、Site 18 の 190 cm, 25 の 240 cm, 26 の 200 cm 以深は通常のロームとは異なる岩相を示しているが、 $Al_2O_3$  をはじめ多くの成分に複雑な濃度変化が認められる (第 8, 11, 12 図)。

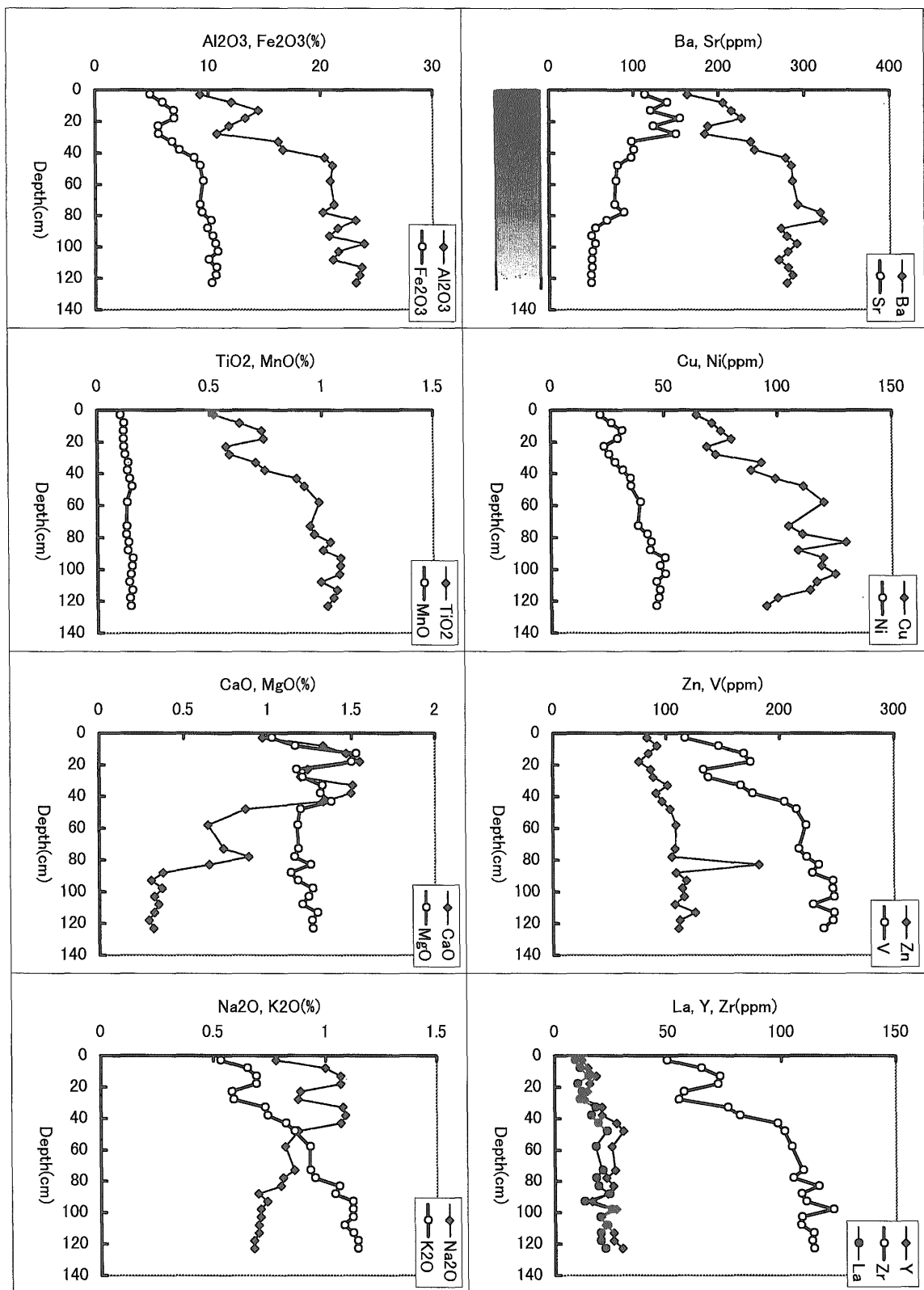
#### 2) CaO, MgO, $Na_2O$ , $K_2O$

これら成分の鉛直方向の濃度変化は上記 1) でのべた成分に比べて明らかに大きい。これは主として風化に伴う溶脱の影響と考えられる。そして CaO と MgO の濃度を比較すると、表層付近では両者の濃度差が小さいが、下層部ではテフラ層を除外するとほとんどの試料で CaO よりも MgO の濃度が高く、CaO よりも MgO のほうが風化に対して安定なことを示唆している。同様の傾向は  $Na_2O$ ,  $K_2O$  の鉛直分布にも認められ、表層部では  $K_2O$  よりも  $Na_2O$  が卓越するが、下層部では Site 21 を



第3図 柱状試料 (site 1) 中成分濃度の鉛直変化.

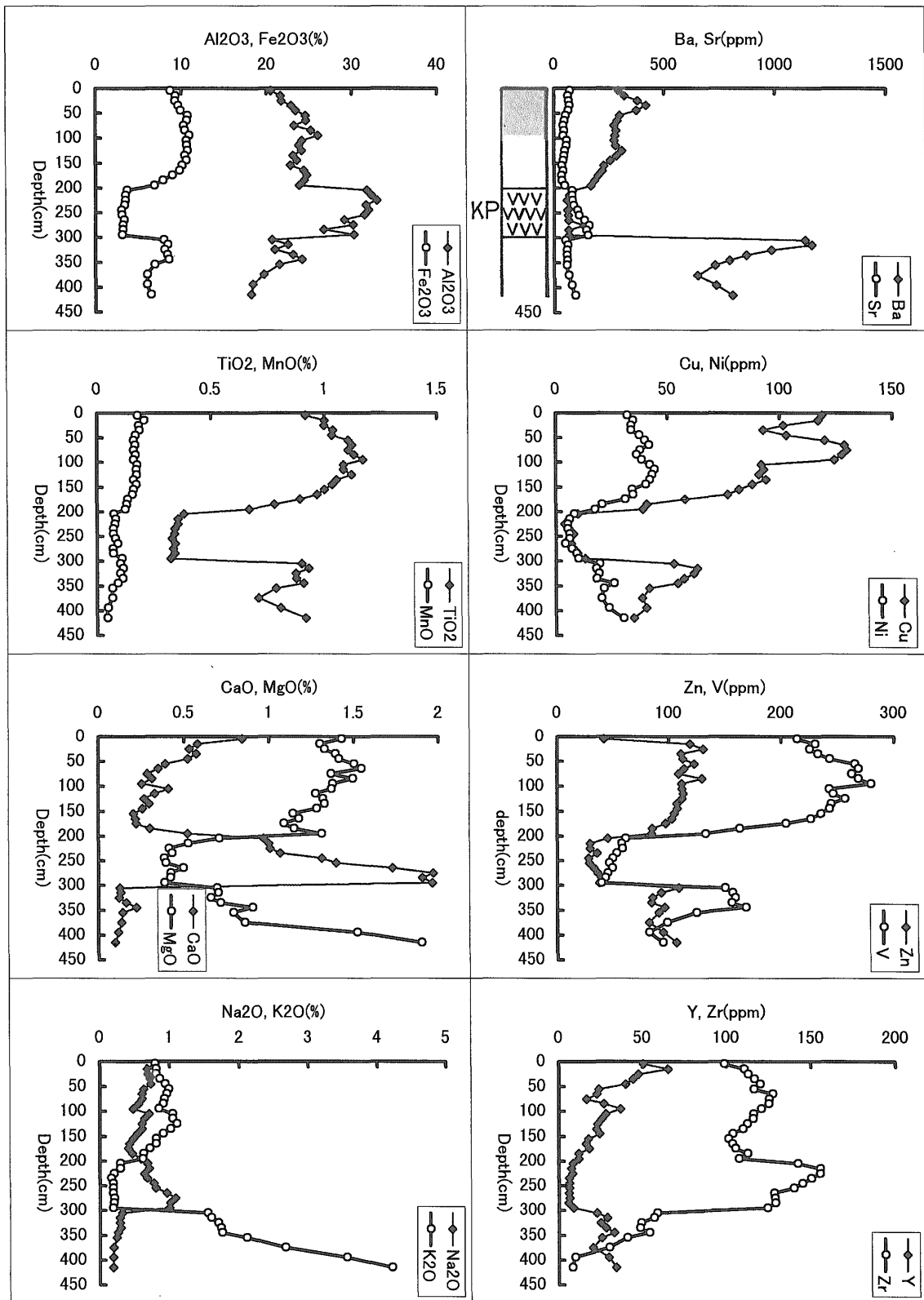
Fig. 3 Vertical variation of the elemental concentrations at site 1.



第4図 柱状試料 (site 3) 中成分濃度の鉛直変化.

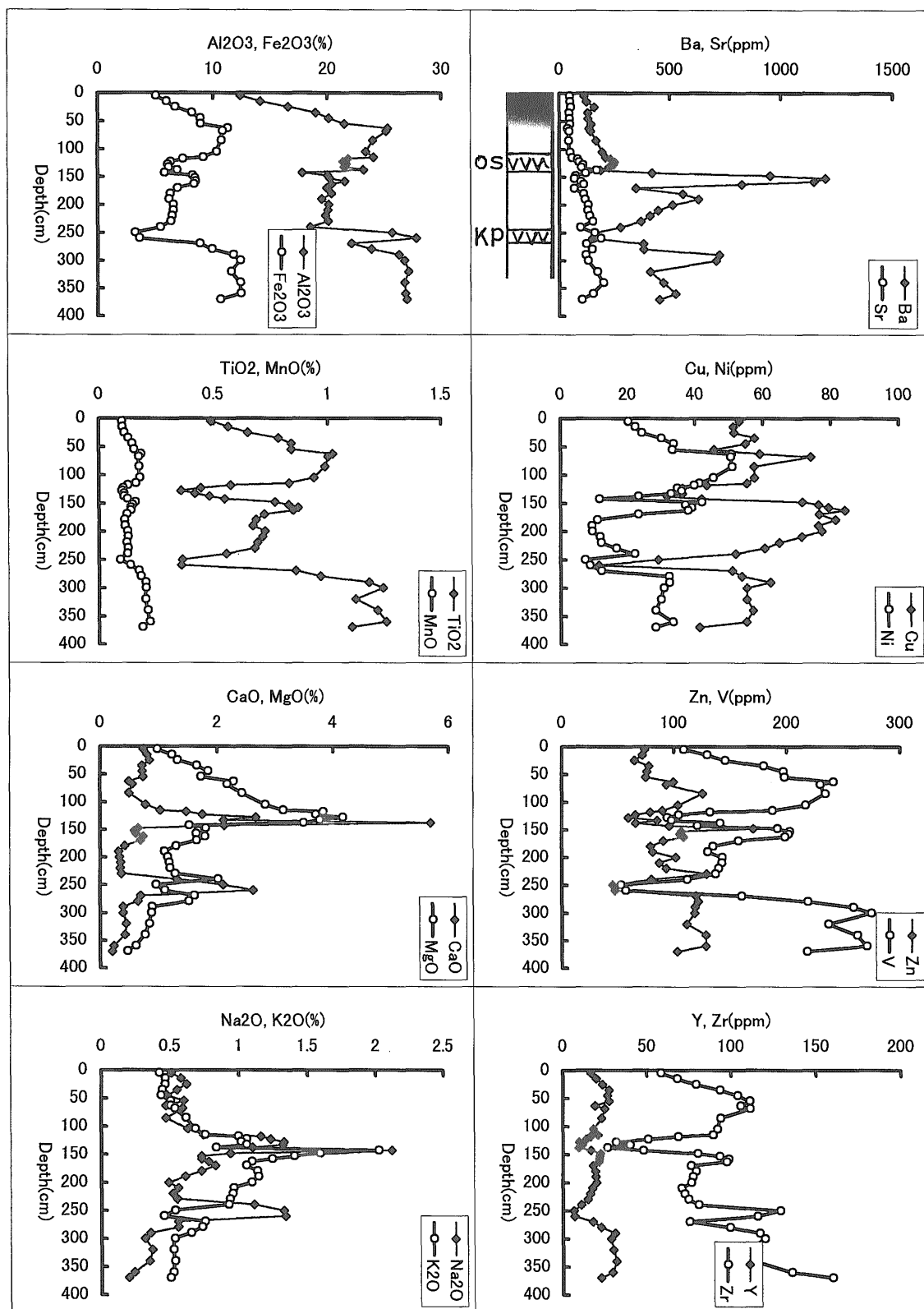
Fig. 4 Vertical variation of the elemental concentrations at site 3.



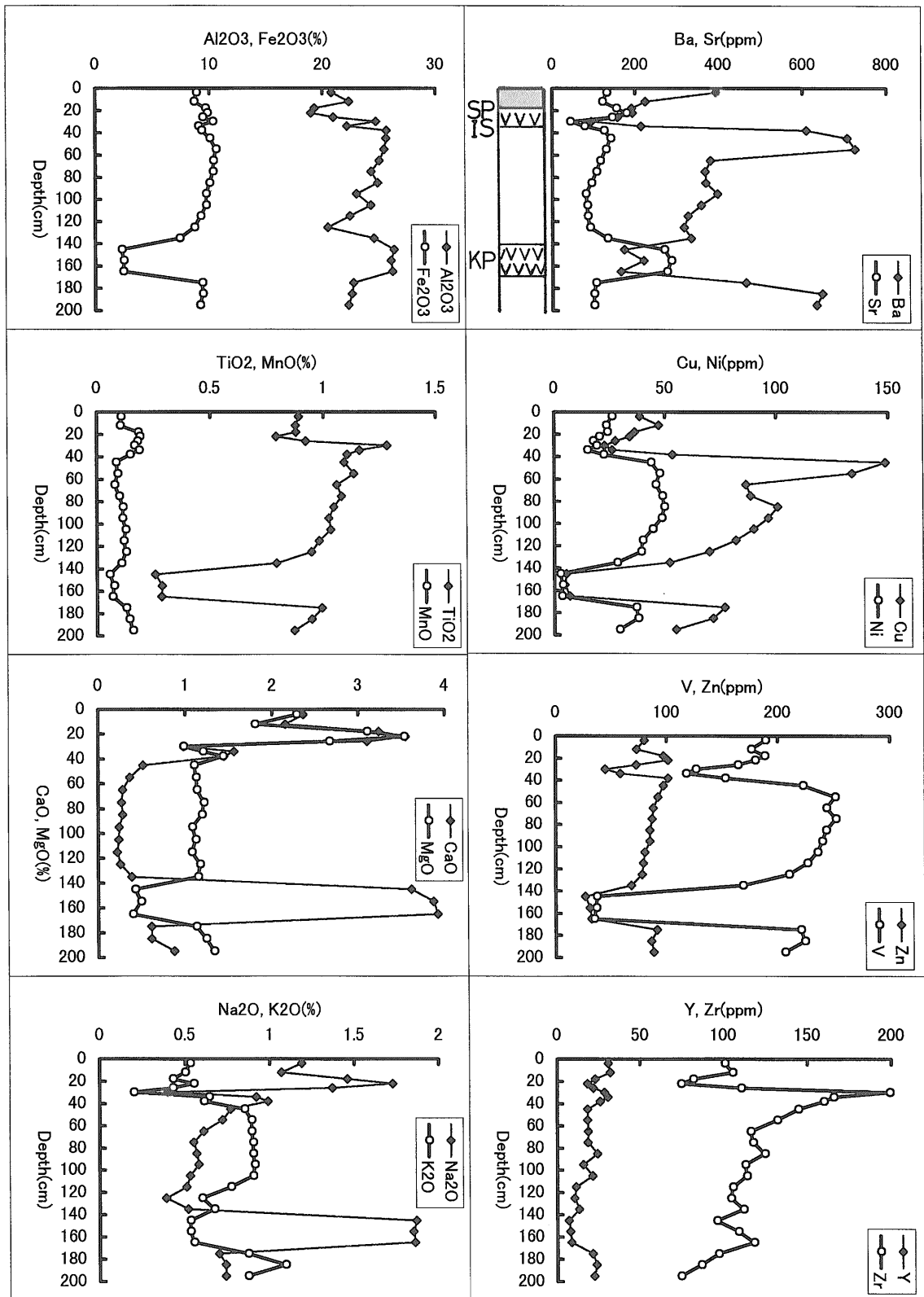


第5図 柱状試料 (site 4) 中成分濃度の鉛直変化。

Fig. 5 Vertical variation of the elemental concentrations at site 4.

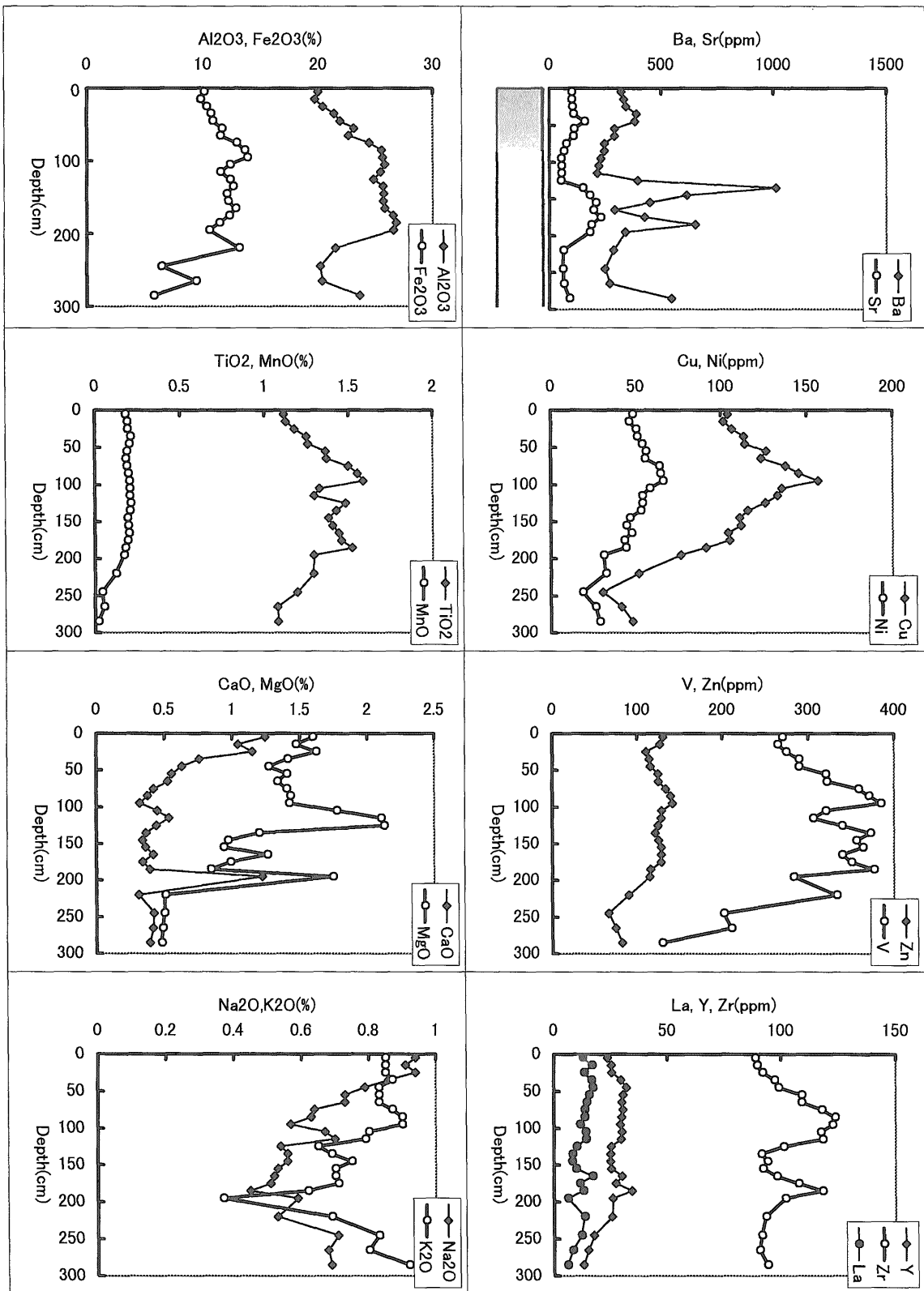


第6図 柱状試料 (site 7) 中成分濃度の鉛直変化.  
Fig. 6 Vertical variation of the elemental concentrations at site 7.

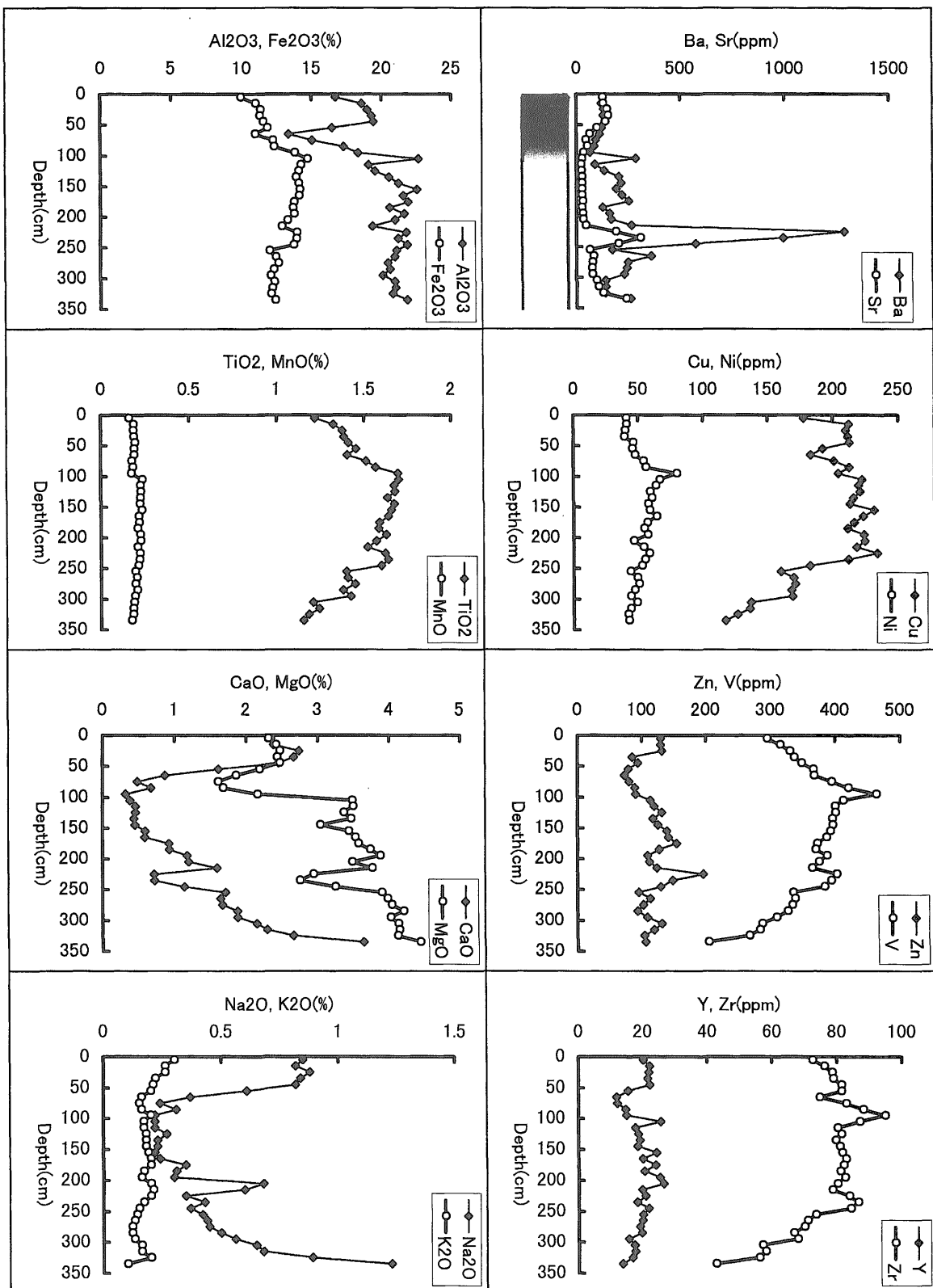


第7図 柱状試料 (site 12) 中成分濃度の鉛直変化。

Fig. 7 Vertical variation of the elemental concentrations at site 12.

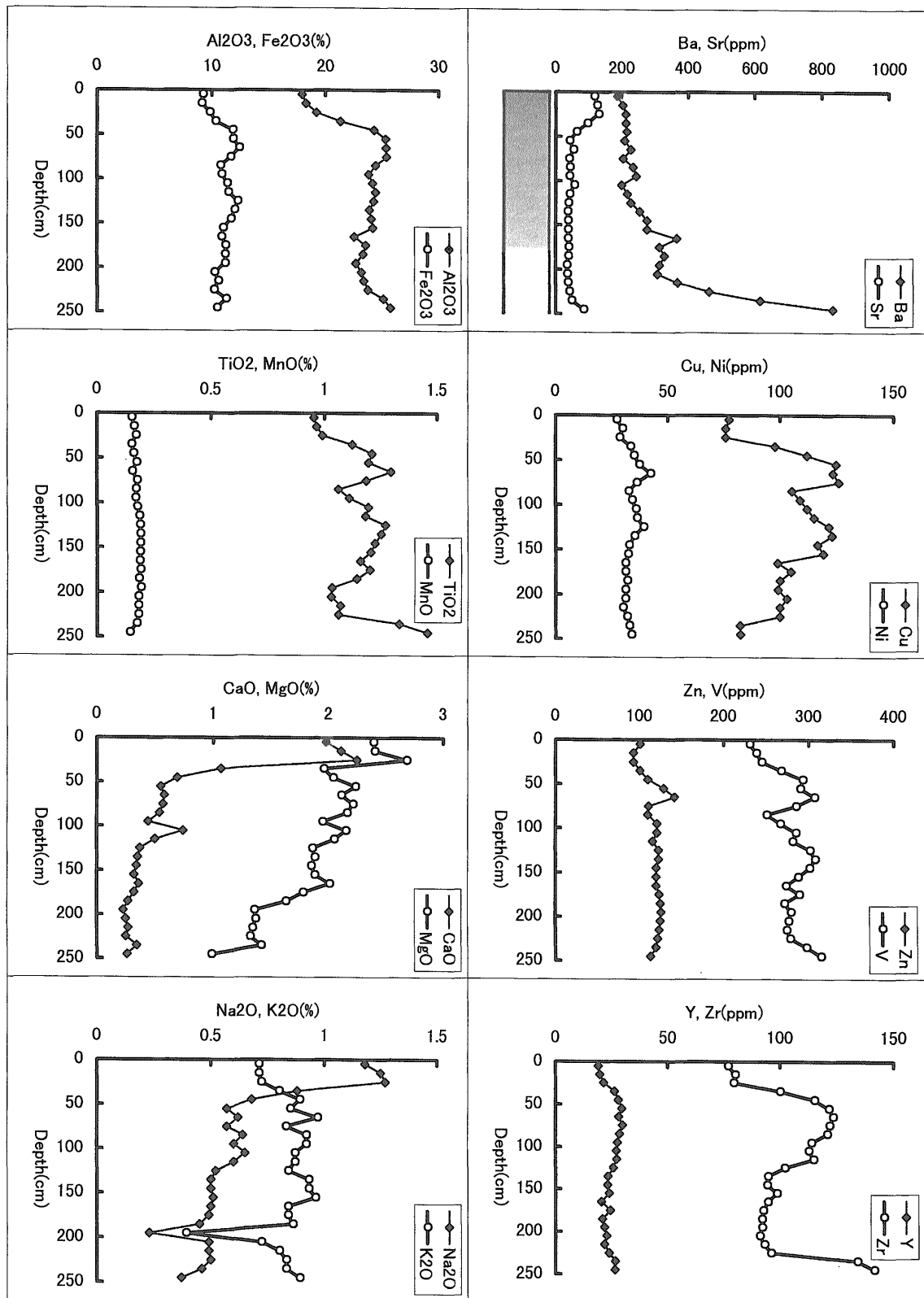


第 8 図 柱状試料 (site 18) 中成分濃度の鉛直変化。  
 Fig. 8 Vertical variation of the elemental concentrations at site 18.



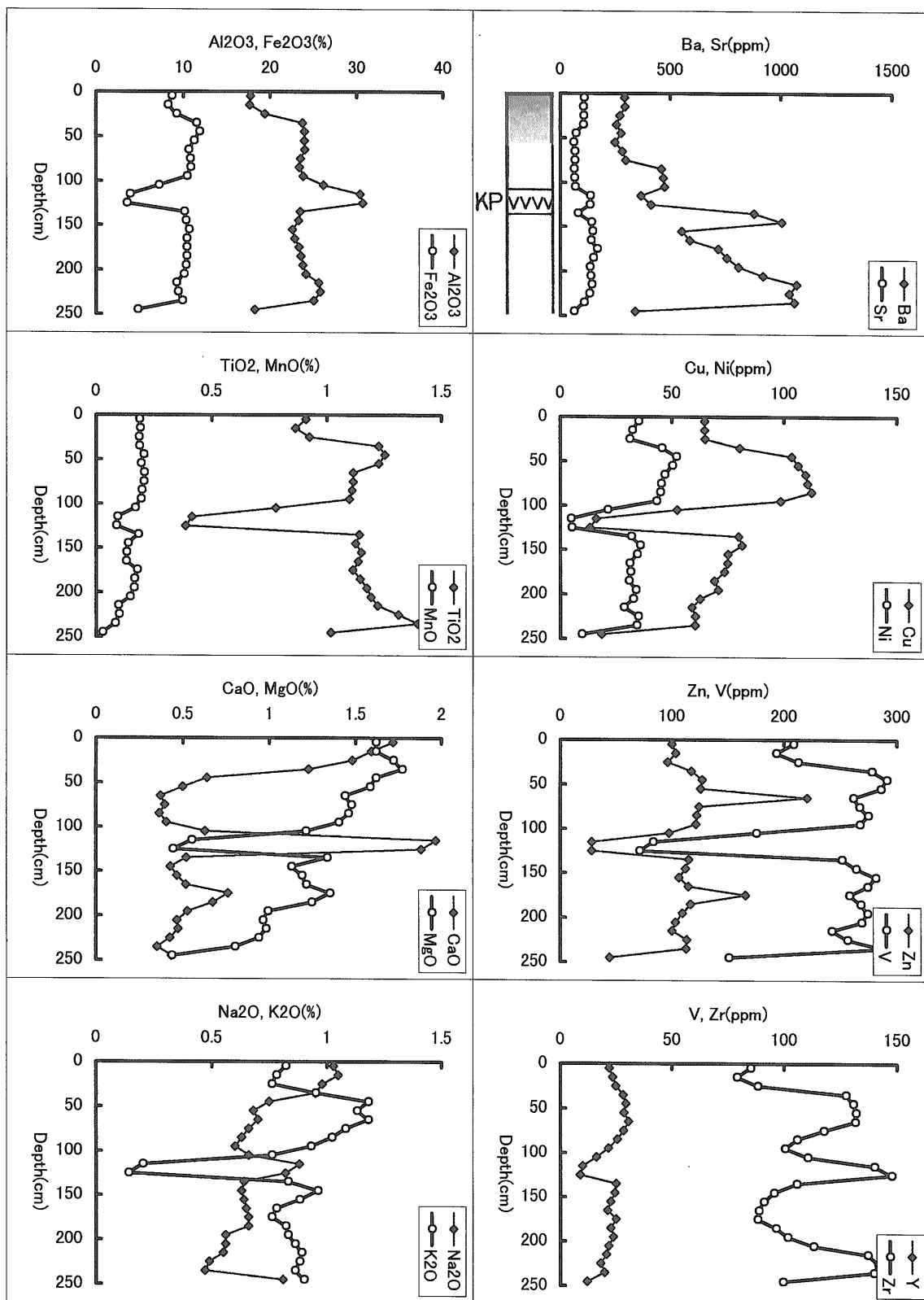
第9図 柱状試料 (site 21) 中成分濃度の鉛直変化。

Fig. 9 Vertical variation of the elemental concentrations at site 21.



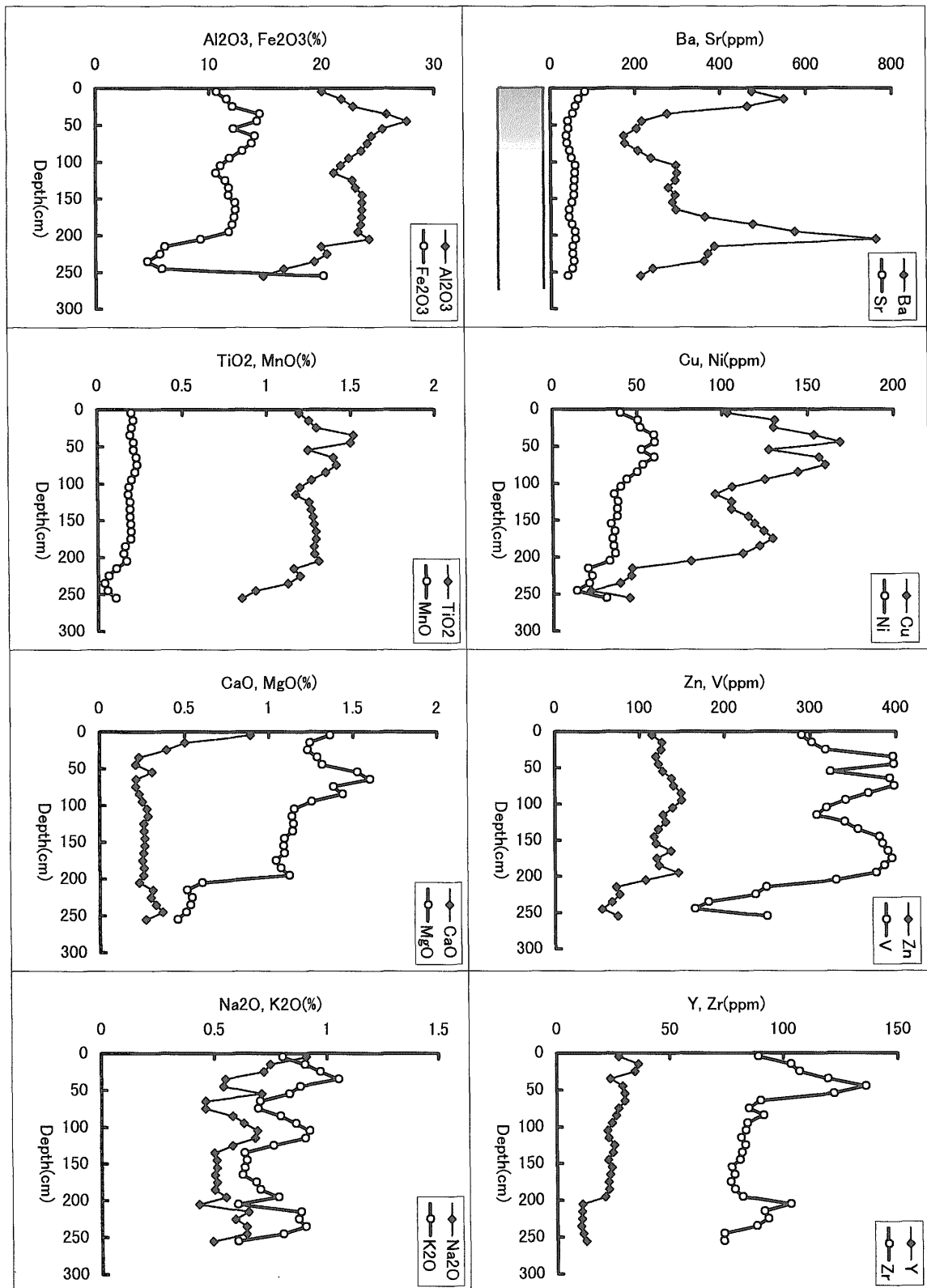
第10図 柱状試料 (site 23) 中成分濃度の鉛直変化.

Fig. 10 Vertical variation of the elemental concentrations at site 23.



第 11 図 柱状試料 (site 25) 中成分濃度の鉛直変化.

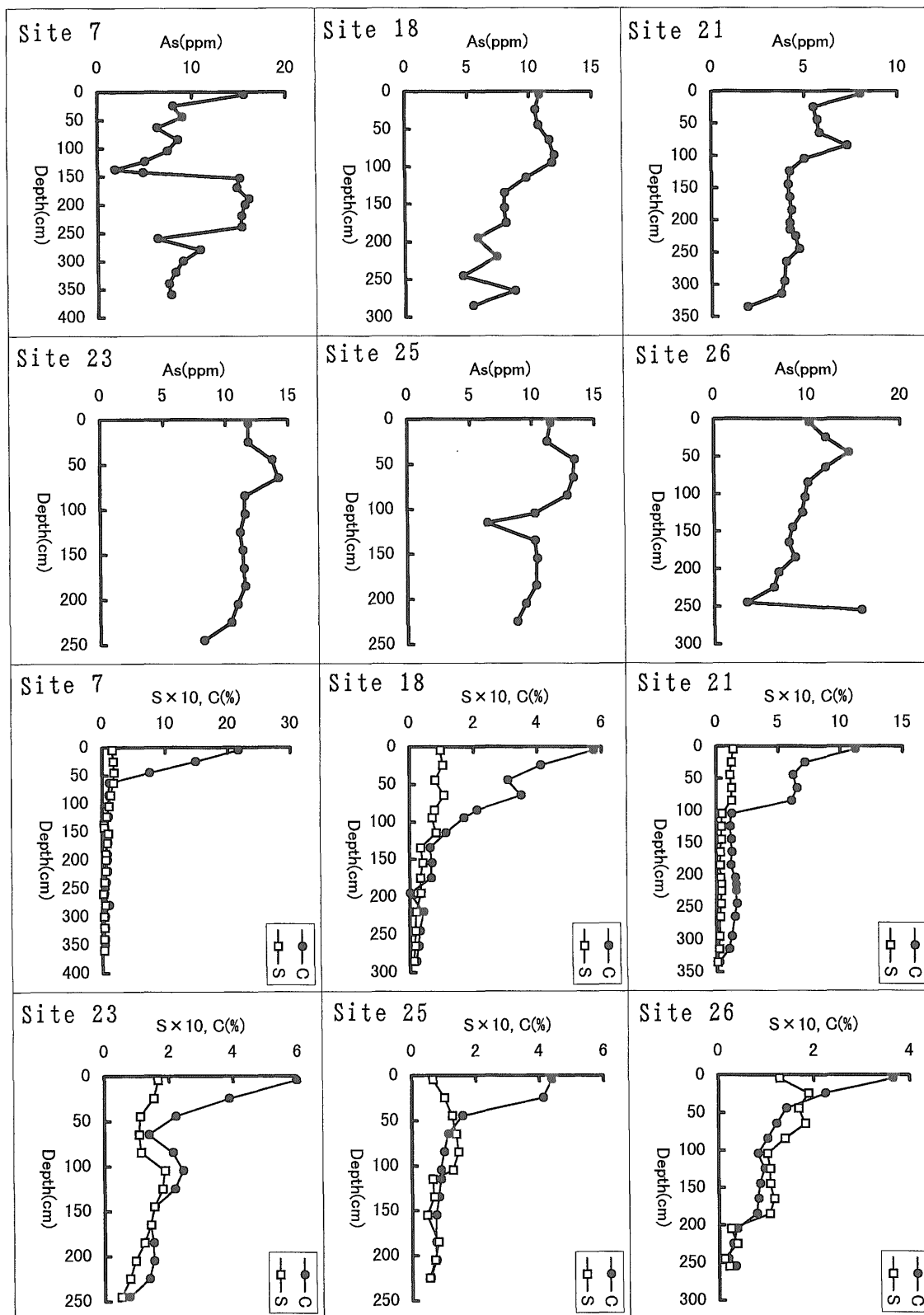
Fig. 11 Vertical variation of the elemental concentrations at site 25.



第 12 図 柱状試料 (site 26) 中成分濃度の鉛直変化.

Fig. 12 Vertical variation of the elemental concentrations at site 26.





第13図 6柱状試料中As, S, C濃度の鉛直変化。

Fig. 13 Depth profile of As, S and C concentrations in six core samples.

第2表 テフラ層の平均化学組成.

Table 2 Average elemental concentrations of tephras.

Tephra name	(n)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Ba (ppm)	Sr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Zn (ppm)	V (ppm)	Y (ppm)	Zr (ppm)
Shichihonzakura pumice (SP), A	3	19.76	9.65	0.86	0.18	3.30	3.10	1.52	0.47	181	160	33	21	91	178	21	89
, B	3-5	17.80	10.10	0.79	0.22	5.73	4.45	2.36	0.71	n.g.	n.g.	13	20	105	n.g.	n.g.	n.g.
Imaichi scoria (IS), A	2	23.48	9.68	1.22	0.18	1.27	1.09	0.66	0.42	155	61	25	17	52	122	30	182
, B	3-7	23.02	11.90	0.92	0.23	1.71	1.69	0.72	0.31	n.g.	n.g.	33	23	93	n.g.	n.g.	n.g.
Ogawa scoria (OS), A	6	21.23	6.38	0.47	0.11	2.64	3.41	1.38	1.16	261	110	38	30	75	115	13	44
Kanuma pumice (KP), A	17	29.51	3.16	0.34	0.08	2.02	0.52	1.08	0.29	142	151	10	6	35	51	7	132
, B	3-18	28.17	3.10	0.33	0.08	3.17	0.57	1.49	0.38	n.g.	n.g.	13	22	37	n.g.	n.g.	n.g.

A, This study; B, Kanai et al. (1988); n.g., not given.

第3表 SiO<sub>2</sub>及び強熱減量(LOI)の分析結果.

Table 3 Analytical results for SiO<sub>2</sub> and loss on ignition (LOI).

Site No.	Depth (cm)	SiO <sub>2</sub> (%)	LOI (%)	Remarks	Site No.	Depth (cm)	SiO <sub>2</sub> (%)	LOI (%)	Remarks
4	215	34.0	28.1	KP	21	95	33.5	22.4	KP
	285	37.6	26.1			195	37.4	19.8	
	335	54.4	11.4			5	31.3	35.0	
	415	61.5	7.6			45	34.0	27.3	
7	5	25.5	53.1	OS	23	85	28.6	34.2	OS
	63	32.0	24.9			215	31.9	25.8	
	138	43.7	12.2			225	31.8	25.3	
	143	55.2	11.0			295	34.1	23.6	
12	153	45.8	17.4	KP	25	335	38.6	14.9	KP
	200	50.2	16.6			5	41.5	22.0	
	260	41.2	19.4			65	36.3	19.4	
	300	40.5	17.0			185	36.8	22.4	
18	4	41.1	20.6	SP	26	245	41.5	17.6	SP
	22	46.3	12.4			5	44.7	21.6	
	34	38.2	23.8			85	37.1	22.3	
	45	45.8	14.8			115	31.8	27.9	
18	95	45.2	16.6	IS	26	185	42.7	17.2	IS
	155	45.1	17.3			5	39.8	22.6	
	185	46.2	15.4			45	30.0	22.0	
	5	41.9	23.2			145	37.2	21.8	

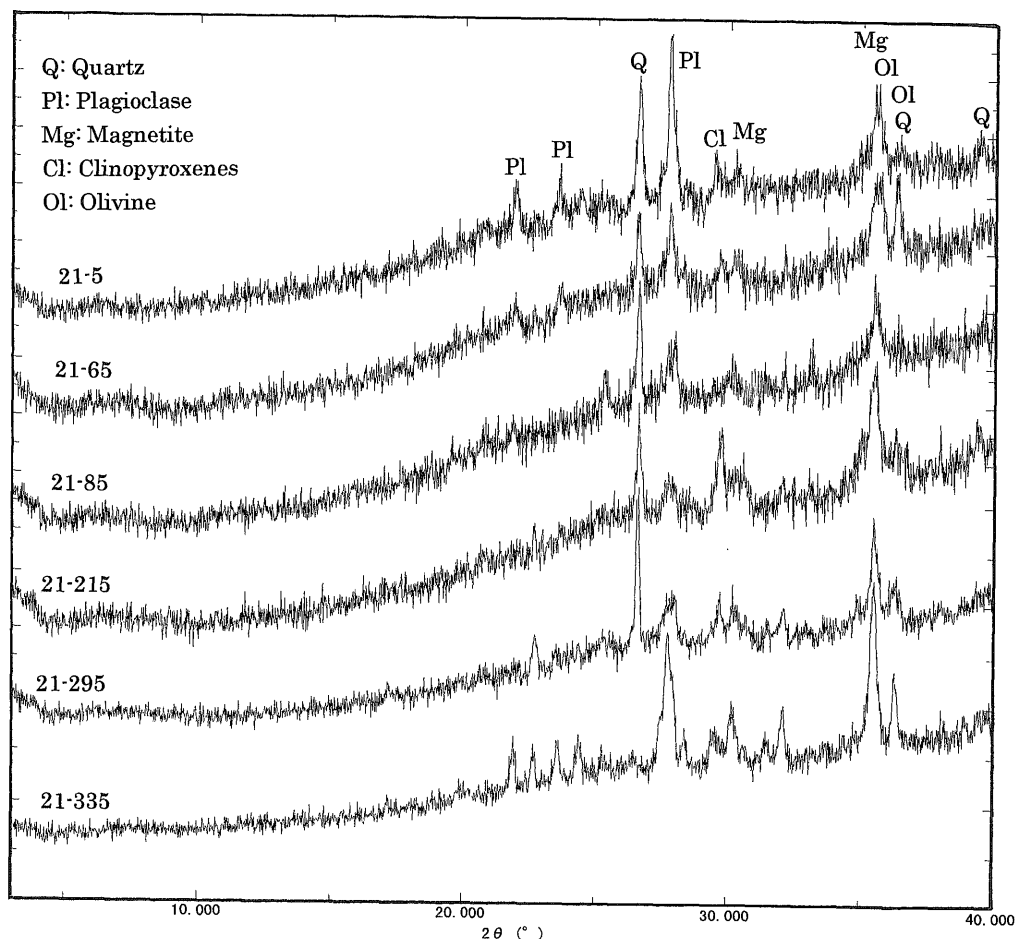
除いて K<sub>2</sub>O の濃度が高く、K<sub>2</sub>O の方が溶脱の影響を受けにくいことを示している。Site 21 地点における火山灰質土の母材は、主として玄武岩質でもともと K<sub>2</sub>O 濃度が低く、またこの柱状試料の下層部には堆積粒子が粗粒な部分があるため風化の影響を受けにくく、結果として多量の Na<sub>2</sub>O が残留していると解釈される。Site 4 の最下位では、K<sub>2</sub>O 濃度が 4.21% で異常に高い。X 線回折による鉱物分析の結果によれば、この試料中にはカリウム長石が認められたので、周辺に分布する花崗岩類起源の碎屑物の混入が考えられる。

ところで、黒土の成因に関する母材生成説(例えば松井, 1967)では、ローム層の表層が風化し、これに腐植が付加されて黒土が形成されたと考えるが、第 3~12 図によれば、風化に伴って濃度を減ずるはずの CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O がほとんどの場合に表層部で高濃度を示しており、母材生成説は否定される。第 14 図は、Site 21 の柱状試料の表層から下層にかけて 6 試料を選定し、X 線回折を実施した結果を示したものである。最表層では石英よりも斜長石の回折線が強いが、深度 85~300 cm

では石英のほうが強く、最下位のスコリア層では斜長石が卓越する。富士山起源の噴出物には石英は含有されないとされており(関東ローム研究グループ, 1965)、もしそうだとすれば第 14 図に認められる石英は主として広域風成塵起源と考えられるが、これについては別の機会に議論するとして、スコリア層を除く下層部よりも表層部で斜長石が卓越する事実は CaO や Na<sub>2</sub>O が高濃度を示すことと調和的であり、風化が充分進んでいないことを意味している。逆に、風化が最も進んでいる層準をこの X 線チャートから読みとることは不可能であるが、風化の影響を受けやすいアルカリ、アルカリ土類金属の濃度が低く、しかも腐植が含まれる層準は深度 60~100 cm であり、この層準が富士黒土層と考えられる。

### 3) Ba, Sr

この両元素の鉛直分布を概観すると、テフラ層等一部の層準を除くと Sr よりも Ba の濃度が高い特徴がある(第 3~12 図)。Sr よりも Ba 濃度が高い傾向は、大陸地殻における平均存在量(第 4 表, Taylor, 1964)や、広域風成塵の一部を構成すると考えられる中国内陸部の砂漠



第 14 図 柱状試料 (site 21) の X 線粉末回折図。

Fig. 14 X-ray diffraction patterns for selected samples from site 21.

第 4 表 地域別の成分濃度平均値。

Table 4 Regional average elemental content.

Sample	(n)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Ba (ppm)	Sr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Zn (ppm)	V (ppm)	Y (ppm)	Zr (ppm)
A zone, whole	94	22.33	8.50	0.87	0.13	1.12	1.54	0.80	0.73	380	108	56	30	89	184	20	99
, upper 50cm	25	20.42	8.48	0.86	0.11	0.90	1.37	0.68	0.58	324	84	54	32	90	193	20	91
B zone, whole	127	22.91	9.02	0.97	0.14	0.70	1.32	0.67	0.91	362	76	82	33	102	218	23	103
, upper 50cm	35	19.06	8.77	0.93	0.14	1.13	1.54	0.87	0.79	256	92	86	35	98	218	26	90
C zone, whole	100	22.23	10.99	1.23	0.17	0.50	1.18	0.64	0.76	332	80	116	45	114	306	23	95
, upper 50cm	30	20.66	11.03	1.21	0.19	0.87	1.48	0.77	0.76	284	84	128	50	114	305	25	95
D zone, whole	47	19.73	12.63	1.47	0.20	1.48	3.00	0.51	0.19	211	90	192	52	108	358	20	77
, upper 50cm	10	17.77	11.02	1.30	0.18	2.80	2.47	0.92	0.26	146	155	185	38	102	308	21	74
All the samples	368	22.17	9.89	1.08	0.15	0.85	1.55	0.67	0.73	339	87	99	38	103	251	22	95
All upper samples	100	19.76	9.60	1.03	0.15	1.16	1.57	0.80	0.68	270	94	100	39	101	247	24	90
Desert sands(China), (A)	62	10.28	3.11	0.41	0.07	8.66	1.93	2.11	2.18	491	240	18	n.g.	52	50	n.g.	n.g.
Andesites, Mt. Akagi, (B)	7	18.29	7.45	0.60	0.11	6.53	2.91	2.60	1.23	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Andesites, Mt. Nantai, (B)	14	17.26	8.36	0.66	0.12	7.38	3.62	2.80	1.30	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Basalts, Younger Fuji, (C)	11	17.29	12.15	1.38	0.16	10.25	5.87	2.65	0.65	213	399	181	44	98	383	26	86
Basalts, Older Fuji, (C)	7	18.93	11.20	1.00	0.15	10.04	5.74	2.58	0.38	140	391	85	30	85	296	19	50
Continental crust, (D)		15.55	8.05	0.95	0.12	5.81	3.86	3.18	2.52	425	375	55	75	70	135	33	165

(A), Ishii et al. (1995); (B), Chihara (1968); (C), Togashi and Terashima (1997); (D), Taylor (1964); (n), number of samples; n.g., not given.

砂においても認められており (石井ほか, 1995), 特に注目すべきことではない。しかしながら, 富士山の玄武岩中の Ba 濃度は Sr 濃度の 1/2 以下の場合が多い (Togashi and Terashima, 1997) にもかかわらず, 富士山の噴出物を主体とする Site 21 のローム層では Sr よりも

Ba の濃度が高い。この原因として岩石と噴出物の化学組成の差を考えることもできるが, 両者における重金属類の調和的分布を考慮すると, 風化に伴う溶脱と流出挙動の相違が Ba と Sr の濃度差の主因であろう。

各柱状試料における Ba 濃度の鉛直変化をやや詳しく

見ると、テフラ層の直下では例外なく高濃度を示している(第5~7, 11図)。他元素の鉛直変化や岩相の観察結果から判断してテフラの噴出に先だってBaに富む噴出物が降下したとは考えられず、テフラ層やその上位の地層から溶出したBaが沈積したと解釈される。Baの沈殿としては、硫酸バリウムが最も一般的であるため、代表的な柱状試料について全硫黄の定量分析を実施した。その結果、全硫黄濃度は最表層から下位に向かって一様に減少する場合が多く、Baに富む層準で高濃度を示す傾向はなかった(第13図)。従ってBaの濃集を硫酸塩の生成で説明することは困難であり、他の存在形態を考慮する必要がある。

#### 4) その他の微量元素

Cu及びその他の微量元素の鉛直分布に関しては、関東南部の試料を中心に富士山の噴出物の影響が大きいと考えられる。富士山起源の噴出物が新期富士テフラ、富士黒土、古期富士テフラ層に区分されることは既に述べたが、それぞれの時代の噴出物には幾つかの特徴が認められている(坂上ほか, 1983; 岡崎ほか, 1983; Miyaji *et al.*, 1992; Togashi and Terashima, 1997)。一例として、Togashi and Terashima (1997)のデータをもとに、化学組成の類似性から2.3万年以前に噴出した玄武岩を古富士、それ以降のものを新富士に、暫定的に区分して主・微量成分濃度の平均値を算出して第4表に示した。主成分ではTiO<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>Oに明らかな差が認められ、いずれも新富士で高い。微量元素では、SrとZnを除く各元素濃度に顕著な差が認められ、特にCuは古富士での85ppmが、新富士では2倍以上の181ppmに増加している。

既に述べたように、Site 21の火山灰質土は主として富士山起源の噴出物で構成されており、今から数千年~1万年前の噴出物を主体とする富士黒土層が深度60~100cmに存在することは、最近の約1万年間で1m堆積したことになる。この値は、鈴木(1995)が求めた過去5万年間の堆積速度から算出した値(第1表)に比べてかなり小さいが、これは層準別に堆積速度が異なるためと考えられる。すなわち、当該地域で過去5万年間に堆積した約13mのうち92%に相当する12mは富士火山の活動が活発だった今から1万年よりも前の4万年間に堆積したと解釈される。ところで、第4表に示した富士山の玄武岩の化学組成から類推すると、約2.3万年以降の火山灰質土に含有されるCu等の微量元素濃度はそれ以前のものよりも高いことが期待される。実際にCu、Ni、V、Zrの濃度は最下位から上位に向かって増加している(第9図)。そして、Ni、V、Zrでは富士黒土層の下底付近に最大値があり、そこから最上位に向かっては濃度を減じている。Cuの最大値は、Site 21ではNi、V等と一致しないが、この試料の採取地点の南南東約1.3kmの地点で採取したSite 22の富士黒土層の下底と考えら

れる深度105cmで最大濃度を示している(第A-1表)。従って、原則的には富士山起源の火山灰を主体とする堆積物は、富士黒土層の下底付近で多くの重金属が最大濃度を示すと考えられる。そして、最大濃度の層準の上位で濃度を減じる原因は、腐植や水分の増加と、広域風成塵起源物質の混入、さらに1707年の宝永噴火では苦鉄質元素に乏しい安山岩質軽石と黒曜岩塊が噴出した(岡崎ほか, 1983)とされているので、噴出物の組成変化も考えられる。

第1図からわかるように、Site 17, 18は21, 22について富士山起源の火山灰の影響が大きい試料である。そしてSite 17では深度45~55cmに、18では85~95cmでCu等の重金属が最大濃度を示しており(第A-1表, 第8図)、この層準が富士黒土層の下底に相当するであろう。Site 1については、深度40~50cmにCu、V等に富む層準があるが、それよりも下位で最大濃度が得られており、富士黒土層の影響評価が困難である。本試料の採取地点の周辺には沼地や湿地があることから、表層水や地下水の影響が考えられる。Site 26の深度50~60cmではCu、Ni、Zr等が高濃度を示しており、この層準が富士黒土層であろう。

Site 7は、富士山起源の噴出物の影響がほとんどないことを予想して採取したが、微量元素の濃度やその鉛直変化の特徴(第6図)からみて妥当である。本試料のKPの上位では、下位に比べてNi、V、Zrは低濃度であるがCuは明らかに高い。一方、Site 12ではCu、Ni、V、ZrのいずれもがKPの下位よりも上位で高い。これはKPの上位に分布するロームの供給源がSite 7と12では異なるためと解釈される。Site 12の深度40~60cmにはCu濃度が130ppmを超える層準がある。この層準はISの直下にあることから1.2~1.5万年前の堆積層である。Cu濃度はSite 4においてもKPから上位に向かって増加し、深度70~80cmで120ppm以上となる。SP、IS中のCu濃度は平均33ppm以下(第2表)、斎藤(1984)による北関東地域の各種テフラ中のCu濃度の平均値が22ppm、Site 7でのCu濃度の最高が84ppmでいずれも低いことを考慮すると、Site 4, 12におけるCuに富む層準は富士山の噴出物の影響をうけている可能性がある。

代表的柱状試料についてAsを定量した結果は第13図に示してある。鉛直変化の傾向はCuのそれに類似するが、Cu濃度が富士山起源の堆積物で高いのに対して、As濃度はSite 21で平均4.7ppm(n=18)と低く、北関東起源の堆積物で高い。特に、Site 7の深度150~245cmでは約15ppmの高値を示している。

#### 4.3 化学組成の時代差と地域差

調査地域を北から南へA~Dに区分するとともに、各柱状試料の表層部0~50cmと、全試料についての元素

濃度の平均値を算出した(第4表)。表層部50cmは、堆積速度の推定値(第1表)によれば主として完新世に堆積したものであり、それより前の時代を含む堆積物との間にどのような差があるかを検討するためである。CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Ba, Sr等風化の影響を受けやすい成分の場合は、Baがいずれの地域でも表層試料で低濃度を示すほか一定の傾向はない。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は、表層試料で2~4%低い、これは4.2で述べたように、主として腐植、水分、SiO<sub>2</sub>等が多いためであろう。Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, Cu, Ni, Zn, V等における濃度差は極めて小さく、完新世以前と以降の堆積物に根本的な相違は存在しないと判断される。

第4表の地域別平均値から明らかなように、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, Cu, Ni, V等は最も北方のAゾーンで低く、南方に向かって増加し、Dゾーンで最大値を示している。これは、関東平野の北部に位置する赤城山や男体山の噴出物が主として安山岩質(茅原, 1968)であるのに対して、富士山起源の噴出物が玄武岩質である(Miyaji ほか, 1992)ことと調和的である。第4表には、広域風成塵の起源物質の一つと考えられる中国内陸部の砂漠砂の平均化学組成(石井ほか, 1995)も示してある。砂漠砂は、赤城山、男体山、富士山の岩石に比べてK<sub>2</sub>O, Baに富む特徴があるが、その他については同程度か明らかに低く、特に重金属類の供給源としては無視できるであろう。第15図に、表層部試料におけるCuとFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>濃度の関係図を示した。これらの図からわかるように、AゾーンとDゾーンの試料が同一範囲にプロットされることはなく、またB, Cゾーンから採取された試料のプロット範囲もある程度は限定される。従ってこれらの図は、関東平野における火山灰質土の母材の起源を推定

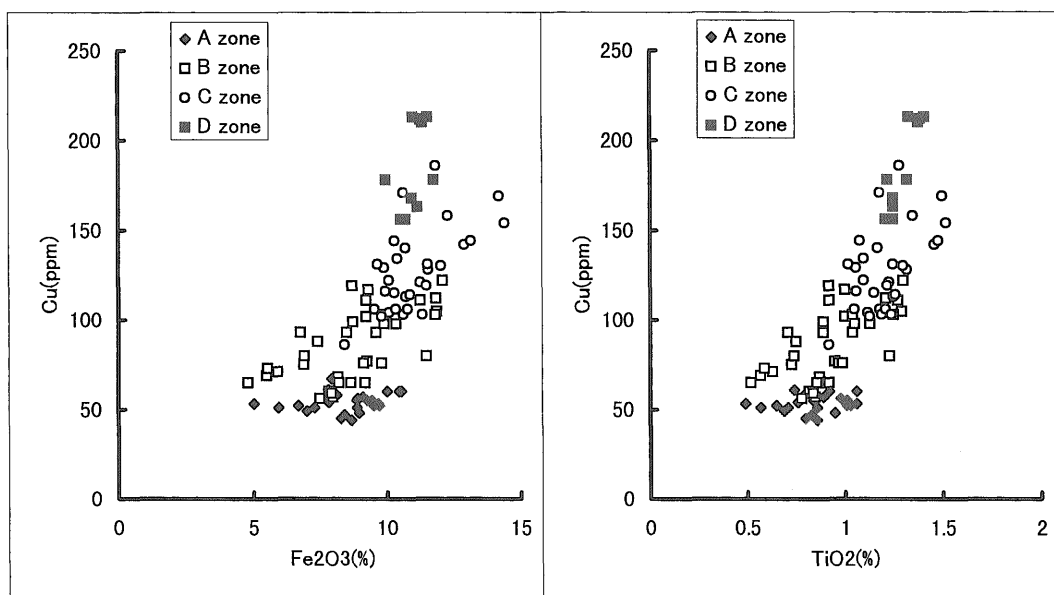
する上で有用と考えられる。

#### 4.4 土壌と河川堆積物の化学組成の相違

Lis and Pasieczna (1995)は、ポーランドの地球化学図において土壌と河川堆積物を分析試料とした結果を提示しているが、この場合CuやZnの濃度分布は比較的良く一致している。菅・黒沢(1996)は、北海道中央部の地球化学図において元素濃度を支配する要因として基盤岩類の影響が大きいことを指摘している。一般に、土壌の母材が基盤岩類に由来する場合は土壌と河川堆積物の化学組成は類似すると考えられるが、関東平野のように火山灰質土が広く分布する地域においては土壌と河川堆積物の化学組成は異なることが予想されたので、若干の検討を加えることにした。

1/5万真壁図幅(宮崎ほか, 1996)によれば、土壌と河川堆積物の化学組成を比較するために採取した土壌試料のうち、Site 2ははんれい岩類、3, 4は花崗岩類、6, 33は変成岩類、34, 38はトータル岩類が基盤岩石として分布する。しかし、いずれの地点においても表層部は1~3mの火山灰質土に覆われており、分析試料は表層0~20cmから採取した。従って、他の試料を含めて本目的のために採取した土壌はいずれも第四紀の火山灰質土であり、基盤岩類の影響はほとんど受けていない。河川堆積物については、採取地点の地質よりもその河川の集水域の地質が重要である。各試料の採取河川の集水域に分布する主要岩石は、Site 102ははんれい岩類、104, 109, 111は変成岩類であり、その他はいずれも花崗岩類が卓越し、112は調査範囲全域が集水域である。

土壌及び河川堆積物の分析結果は第A-1表に、各成分について最小値、最大値、平均値を算出した結果を第



第15図 銅濃度と鉄及びチタン濃度との関係図。  
Fig. 15 Plots of Cu vs. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and TiO<sub>2</sub> contents.

5表に示した。土壌の母材は、ほぼ同時期に供給された火山灰やその風化生成物が主体であり、調査範囲も南北17 km、東西9 km程度と狭いため類似の化学組成を示すと考えられた。しかし、主成分ではMnO, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, 微量元素ではSr, V, Y, As等の濃度には約2倍かそれ以上の差が存在する。これは主として風化度の強弱や腐植含有量の多少に起因するであろう。河川堆積物の場合は、はんれい岩類が分布する地域で採取したSite 102はFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>をはじめとする重金属に富み、K<sub>2</sub>O, Baに乏しいはんれい岩の特徴がある。花崗岩類が分布する地域で採取した堆積物は、一般の花崗岩に比べてFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>濃度がやや高く、Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>Oに乏しいが、全体的特徴は花崗岩類に類似している。従って、河川堆積物は主として基盤岩起源の碎屑物で構成され、これに少量の土壌由来の堆積粒子が加わっていると考えられる。

全試料について、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>と微量元素濃度の関係図を作成した結果、Ba, Srとの間には負の相関が、その他の元素では正相関を示すことがわかった(第16図)。そして土壌と河川堆積物の化学組成の平均値を比較すると、風化に伴って溶脱しやすい成分(CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Ba, Sr)は土壌で低く、その他の成分は河川堆積物の方が低い(第5表)。特に、土壌中のCu, Ni, V, As等の濃度は河川堆積物の2倍かそれ以上の高濃度を示している。従って火山灰質土の分布する地域において河川堆積物中の微量元素濃度から土壌中のそれを評価するのは困難であり、土壌の化学組成については個別の調査・研究が必要である。

#### 4.5 土壌地球化学図の作成における留意点

河川堆積物は、採取地点よりも上流域に分布する各種基盤岩類の碎屑物が主体で、これに少量の土壌起源物質が付加された試料である。このため少数試料によって広い調査地域をカバーすることが可能であり、日本全土を対象とした地球化学図の作成では最も効率的な方法と言える。しかしながら、人間生活において必要不可欠な存在である土壌は、必ずしも基盤岩碎屑物やその風化物を

母材としているとは言えず、また土壌中における微量有害元素のバックグラウンド値や土壌環境中での挙動は、河川堆積物におけるそれとは明らかに異なっている。従って、近年の産業活動に伴う有害元素による土壌汚染やそれに付随する地下水汚染の実態を正しく評価し、適正かつ効率的な修復技術の確立のためには、まず土壌における有害元素のバックグラウンド値を把握し、土壌中での動態を解明する必要がある。本研究で明らかになった土壌地球化学図の作成における留意点は以下のようにまとめられる。

##### 1) 土壌母材の解明

本研究で分析した土壌の母材は、いずれも火山噴出物を主体とするものであったが、八溝山地南部の堆積岩類分布域では基盤岩起源と考えられる鉱物を含有する土壌が分布し(関ほか, 2000)、同じ関東平野であっても河川や湖沼、海岸周辺の低地には沖積層が分布しており、そこでの土壌母材は河川堆積物や火山灰、両者の混合物及びそれらが水の作用で変質したものなど多種、多様であると考えられる。また、近くに火山のない地域では、基盤岩碎屑物やその風化物と広域風成塵が主要な母材となるケースも考えられる。

##### 2) 試料の選定と採取

火山噴出物を主体とする土壌では、給源火山とその分布範囲が解明されれば試料の選定と採取方法は比較的容易に決定できる。沖積層及びその他の地域の土壌では、予備調査を実施して広域代表性を把握するとともに、深度方向での元素濃度の分布特性を解明し、目的に合致する試料採取密度を設定する必要がある。

##### 3) 土壌中元素濃度のバックグラウンド値

土壌中元素濃度のバックグラウンド値を確立することは、人為的な汚染の評価において必要不可欠である。バックグラウンド値を支配する要因としては、母材中の存在量、風化に伴う溶脱と濃集、植生の影響等が考えられ、これらの影響は元素ごとに異なるであろう。日本における土壌中微量有害元素のバックグラウンド値は、極めて少数のデータが公表されているのみである。

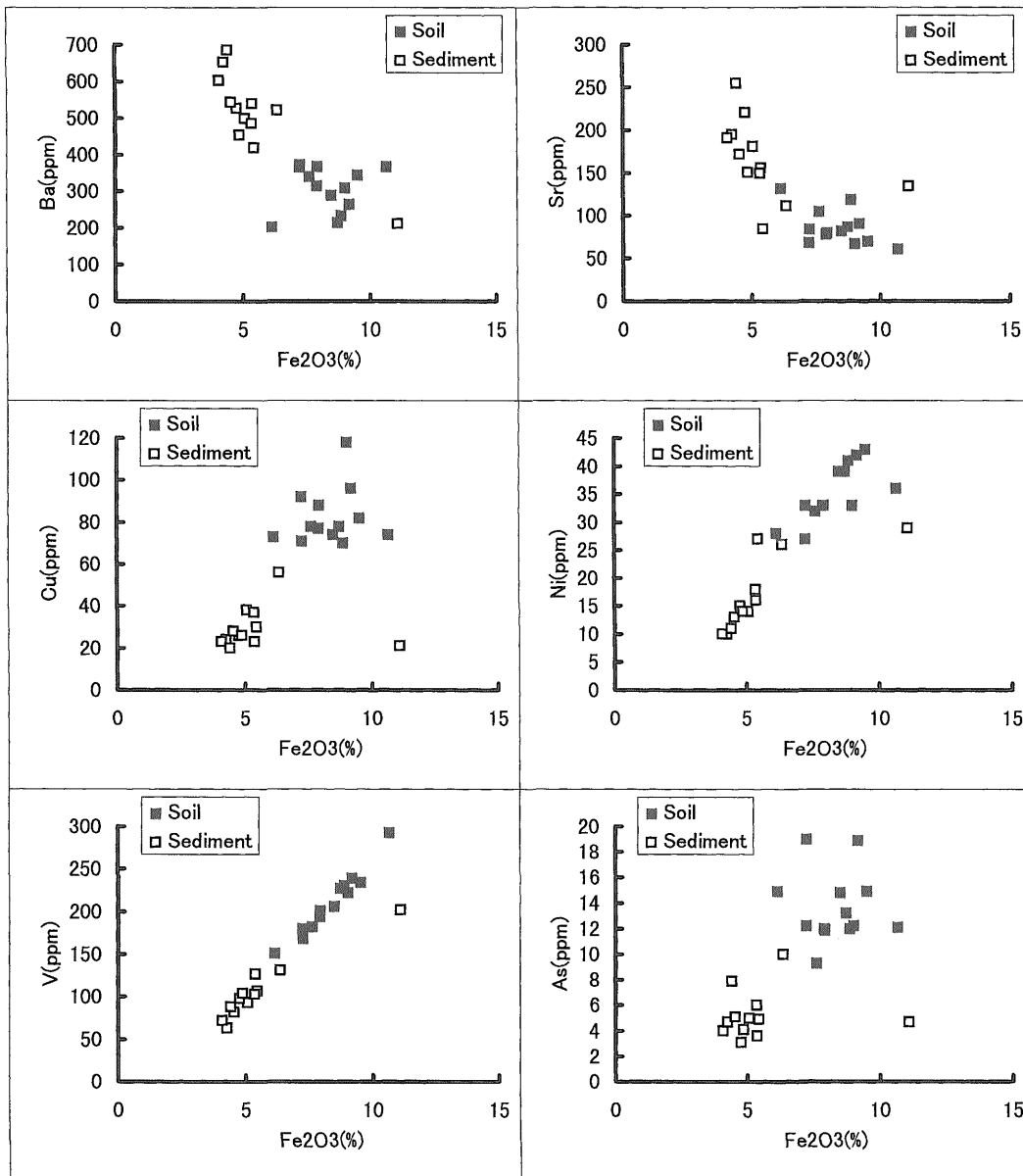
##### 4) 土壌中での微量有害元素の挙動解明

第5表 八郷町及びその周辺地域で採取した土壌と河川堆積物中の成分濃度の最小、最大、平均値。

Table 5 Minimum, maximum and average element content in the soils and the river sediments collected around the Yasato area.

		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Ba	Sr	Cu	Ni	Zn	V	Y	Zr	As
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
Soils	min.	16.42	6.13	0.66	0.08	0.50	0.86	0.63	0.64	203	61	70	27	81	151	13	65	9
	max.	21.89	10.66	1.17	0.32	2.03	2.10	1.21	1.39	373	119	118	41	151	293	58	105	19
	ave.	18.44	8.34	0.90	0.18	1.06	1.39	0.90	0.95	307	86	82	35	113	210	25	85	14
Sediments	min.	11.44	4.07	0.46	0.06	0.82	0.90	0.89	0.70	212	85	20	10	73	63	7	27	3
	max.	16.98	11.10	1.58	0.22	3.00	5.55	2.62	3.20	686	255	56	29	147	202	16	42	10
	ave.	14.96	5.46	0.76	0.10	1.65	1.64	1.88	2.12	512	167	29	17	106	106	12	33	5
Conti. crust (A)		15.55	8.05	0.95	0.12	5.81	3.86	3.18	2.52	425	375	55	75	70	135	33	165	1.8

(A), Taylor (1964)



第 16 図 八郷町及びその周辺地域で採取した土壌 (■) と河川堆積物 (□) 中の元素濃度の相違。

Fig. 16 Difference of the elemental concentrations between the soils (■) and the river sediments (□) collected around the Yasato area.

河川堆積物は、基本的に流水の影響を強くうけており、風化に伴って碎屑物から溶脱した成分のほとんどは流失する。また、淘汰作用により、特定鉱物が濃集したり、逆に欠乏する場合がある。これに対して土壌では風化によって溶脱する成分のうち、アルカリ、アルカリ土類元素の多くは流失するが、重金属類は残留すると考えられる。しかし、微量有害元素である、B, Bi, Cd, Hg, Sb, Se, Sn, Tl 等の土壌中での挙動はほとんど解明されておらず、今後の研究が必要である。

## 5. まとめ

関東地方における土壌地球化学図の作成に関する予察的研究として、関東各地の台地や丘陵部から採取した 19 本の柱状試料と、同一地域で採取した土壌と河川堆積物の主・微量元素を分析し、以下の結論を得た。

1) 火山灰質土中に挟在するテフラの化学組成は、ロームのそれとは明らかに異なり、噴出火山や噴出時期によって特徴ある組成変化を示す。テフラ及びロームは、風化の進行に伴って  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , Ba, Sr が溶脱・流失して濃度を減じ、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  及び多くの微量重金属が相対的に増加する。

風化の強弱は、試料の採取地点、層準内の位置、粒度組成等によって異なるため、これらを考慮した元素濃度の評価が必要である。

2) 従来ローム層の最上位が風化し、これに腐植が付加されて黒土が生成するという考えがあったが、黒土部分には風化に伴って濃度を減ずるはずのCaO, MgO, Na<sub>2</sub>O等が多い傾向があり、ロームの風化による黒土の生成は考えにくい。黒土の母材は、ロームと同様に火山噴火に伴う一次堆積物、近傍裸地からの風塵再移動堆積物、大陸起源の広域風成塵等であり、それぞれの寄与率は地域と時代によって変化していると考えられた。

3) 従来の研究により、関東南部の火山灰質土の母材は主として富士山から、関東東部では赤城山と男体山からの供給が重要なことが知られていたが、化学組成の研究結果もこれを支持している。特に、Cu存在量は関東東部の火山灰質土では平均60 ppm以下で低く、南部では180 ppm以上の高値を示し、給源火山の噴出物中Cu濃度と調和的である。

4) 富士山の玄武岩の化学組成は、時代によって変化したことが知られている。主として富士山起源の火山灰を母材とする火山灰質土の柱状試料を分析した結果、玄武岩に認められる組成変化と火山灰質土のそれには類似性があり、火山灰質土の化学組成は、火山活動の歴史を解明する上で貴重なデータを提供すると考えられた。

5) 同一地域で採取した表層土壌と河川堆積物の化学組成を比較検討したが、基本的に類似点は見いだせなかった。これは、土壌の母材が主として火山灰であるのに対して、河川堆積物の場合は基盤岩類の碎屑物が主体で、これに少量の土壌起源物質を含有するためであろう。従って、河川堆積物を分析試料として作成した地球化学図から、土壌における微量有害元素のバックグラウンド値を評価することは困難であり、土壌については個別の調査・研究が必要である。

6) 土壌地球化学図の作成にあたっては、本研究では未検討の沖積面に分布する土壌の研究も重要である。土壌の起源物質としては、河川堆積物、火山灰、広域風成塵等が考えられるが、その混合比率と広域分布特性、海水準変動の影響等に伴う元素の挙動はほとんど解明されていない。

謝辞 本研究を行うにあたり、富樫茂子地殻化学部長及び地殻熱部谷口政碩主任研究官からは種々貴重な助言をいただいた。厚く御礼申しあげる。

## 文 献

- 阿久津純(1960) 表層地質図「宇都宮」及び同説明書。経済企画庁, 38 p.  
茅原一也(1968) 那須火山帯。柴田秀賢編「日本岩

石誌 III”, 朝倉書店, 東京, 291-341.

- 藤沢 徹(1983) 関東地方における火山灰土壌の分布とその二三の特徴。黒部隆教授退官記念論文集「火山灰と土壌」, 博友社, 東京, 245-251.  
早川由紀夫(1995) 日本に広く分布するローム層の特徴とその成因。火山, 40, 177-190.  
一國雅巳(1972) 無機地球化学。培風館, 東京, 148 p.  
今井 登・岡井貴司・遠藤秀典・田口雄作・石井武政・上岡 晃(1997) 仙台市周辺の地球化学図と環境評価。地質ニュース, 513, 26-30.  
今井 登・寺島 滋・岡井貴司・金井 豊・御子柴真澄・上岡 晃・富樫茂子・松久幸敬・谷口政碩・横田 節哉(2000 a) 地球化学図による全国的な有害元素のバックグラウンドと環境汚染評価手法の高度化に関する研究。平成11年度環境保全研究成果集, 56-1~56-14.  
今井 登・岡井貴司・遠藤秀典・石井武政・田口雄作・上岡 晃(2000 b) 山形市周辺地域の地球化学図。遠藤秀典編「地質環境アトラス」, 地質調査所, 印刷中。  
石井武政・磯部一洋・水野清秀・金井 豊・松久幸敬・溝田智俊・銭 亦兵・寺島 滋・奥村晃史(1995) 中国砂漠地域の表層地質形成過程と堆積環境の研究—特に風成層の特徴とその起源について—。地調月報, 46, 651-685。  
伊藤司郎・上岡 晃・田中 剛・富樫茂子・今井登・金井 豊・寺島 滋・宇都浩三・岡井貴司・氏家真澄・柴田 賢・神谷雅晴・佐藤興平・坂本 亨・安藤 厚(1991) 地球化学アトラス—北関東—。地質調査所出版物, 35 p.  
上岡 晃・関 陽児・月村勝宏・金井 豊・金沢康夫・濱崎聡志・中嶋輝允(2000) 火山灰風化土壌中の微量元素の挙動。2000年度日本地球化学会第47回年会講演要旨集, p. 195。  
菅 和哉・黒沢邦彦(1987) 北部北海道における土壌重金属の地球化学図。北海道立地下資源調査所調査研究報告第17号, 30 p.  
菅 和哉・黒沢邦彦(1996) 北海道中央部における土壌元素の地球化学図。北海道立地下資源調査所調査研究報告第26号, 38 p.  
金井 豊・坂本 亨・安藤 厚(1988) 関東平野北東部における第四紀後期テフラの主成分及び微量成分組成。地調月報, 39, 783-797。  
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, 東京, 378 p.  
Lis, J. and Pasieczna, A. (1995) *Geochemical atlas of Poland*. Polish Geological Institute, 125 p.  
町田 洋(1964) Tephrochronology による富士



- 火山とその周辺地域の発達史—第四紀末期について—(その1). 地学雑, **73**, 293-308.
- 町田 洋(1977) 火山灰は語る, 火山と平野の自然史. 蒼樹書房, 東京, 311 p.
- 松井 健(1967) 黒土の土壌生成学的意義. 第四紀研究, **6**, 41-42.
- Miyaji, N., Endo, K., Togashi, S. and Uesugi, Y. (1992) Tephrochronological history of Mt. Fuji. In Kato, H. and Noro, H., eds., *Volcanoes and Geothermal Fields of Japan*. 29th IGC Field Trip Guide Book, **4**, 75-109. (Geol. Surv. Japan).
- 宮崎一博・笹田政克・吉岡敏和(1996) 真壁地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 103 p.
- 岡崎正規・鈴木創三・坂上寛一(1983) 静岡県湯船原における新規富士火山灰の風化過程における有機・無機成分の動態(第4報). 黒部隆教授退官記念論文集「火山灰と土壌」, 博友社, 東京, 71-76.
- 斎藤武夫(1984) 北関東地方の第四紀テフラ中のカドミウム, 銅, 鉛, ニッケルおよび亜鉛濃度. 日本化学会誌, 1984, 552-556.
- 坂上寛一・浜田竜之介・黒部 隆(1983) 静岡県湯船原における新規富士火山灰層の細区分と腐植の断面分布. 新規富士火山灰の風化過程における有機・無機成分の動態(第1報). 黒部隆教授退官記念論文集「火山灰と土壌」, 博友社, 東京, 39-49.
- 関 陽児・金井 豊・上岡 晃・月村勝広・濱崎聡志・金沢康夫・中嶋輝允(2000) 八溝山地南部の堆積岩分布域における土壌の構成鉱物とその起源. 地調月報, **51**, 129-141.
- 椎川 誠・金山道雄・滝沢行雄(1984) 秋田県の地球化学図. 秋田大学教育学部地学教室, 29 p.
- 鈴木毅彦(1995) いわゆる火山灰土(ローム)の成因に関する一考察—中部～関東に分布する火山灰土の層厚分布—. 火山, **40**, 167-176.
- Tanaka, T., Kawabe, I., Hirahara, Y., Iwamori, I., Mimura, K., Sugisaki, R., Asahara, Y., Ito, T., Yarai, H., Yonezawa, C., Kanda, S., Shimizu, O., Hayashi, M., Miura, N., Mutoh, K., Ohta, A., Sugimura, K., Togami, K., Toriumi, T. and Matsumura, Y. (1994) Geochemical survey of the Sanageyama area in Aichi Prefecture for environmental assessment. *Jour. Earth Planet. Sci. Nagoya Univ.*, **41**, 1-31.
- Taylor, S.R. (1964) Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **28**, 1273-1285.
- 寺島 滋・今井 登・富永 衛・平田静子・谷口政碩(2000) 地質調査所土壌標準試料 JSO-2 の調製. 分析化学, **49**, 319-324.
- Togashi, S. and Terashima, S. (1997) The behavior of gold in unaltered island arc tholeiitic rocks from Izu-Oshima, Fuji, and Osoreyama volcanic areas, Japan. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **61**, 543-554.
- 山野井徹(1996) 黒土の成因に関する地質学的検討. 地質雑, **102**, 526-544.
- 山本鋼志・田中 剛・川邊岩夫・岩森 光・平原靖大・浅原良浩・金 奎 漢・Chris Richardson・伊藤 貴盛・Cristian Dragusanu・三浦典子・青木 浩・太田充恒・榊原智康・水谷雅治・水谷嘉一・宮永直澄・村山正樹・仙田量子・高柳幸央・井上裕介・川崎啓介・高木真理・根布悟志・稲吉正実(1998) 愛知県豊田市北東部の領家花崗岩地域の地球化学図. 地質雑, **104**, 688-704.
- 吉永秀一郎(1996) 関東ローム層中に含まれる微細石英の堆積速度の約10万年間の変化—北関東喜連川丘陵早乙女の例—. 第四紀研究, **35**, 87-98.
- 宇野沢 昭・磯部一洋・遠藤秀典・田口雄作・永井茂・石井武政・相原輝雄・岡 重文(1988) 筑波研究学園都市及び周辺地域の環境地質図説明書. 特殊地質図(23-2), 地質調査所, 139 p.

(受付: 2000年10月17日; 受理: 2001年1月10日)

第 A-1 表 分析結果.  
Table A-1 Analytical results.

Site No.	Depth (cm)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Ba (ppm)	Sr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Zn (ppm)	V (ppm)	Y (ppm)	Zr (ppm)
1	3	19.21	10.40	1.10	0.20	1.51	1.84	0.93	0.74	193	105	134	51	105	288	26	90
	8	19.12	10.30	1.08	0.19	1.60	1.71	0.97	0.70	189	105	144	51	99	287	25	91
	13	19.54	9.94	1.06	0.18	1.62	1.64	0.99	0.69	188	106	116	50	94	274	24	90
	18	19.73	10.70	1.17	0.19	1.10	1.49	0.82	0.71	195	85	140	48	92	295	24	95
	23	17.42	9.91	1.06	0.18	1.47	1.70	0.93	0.69	190	93	129	49	103	275	18	86
	28	18.80	9.66	1.02	0.17	1.89	1.83	1.03	0.70	185	116	131	50	109	271	23	87
	33	17.45	10.09	1.10	0.19	1.54	1.78	0.96	0.69	186	100	122	49	95	284	20	87
	38	17.33	10.62	1.18	0.18	1.05	1.62	0.82	0.70	193	76	171	55	98	306	19	91
	43	22.12	11.82	1.28	0.19	0.67	1.44	0.69	0.81	196	64	186	54	106	325	25	107
	48	22.46	12.29	1.35	0.19	0.51	1.61	0.62	0.82	189	50	158	59	112	329	23	115
	58	21.48	11.45	1.21	0.18	0.77	1.70	0.69	0.74	179	60	159	55	112	313	25	106
	63	20.19	11.14	1.20	0.16	0.48	1.49	0.62	0.74	173	43	160	53	113	303	17	113
	68	20.48	10.70	1.14	0.18	0.52	1.52	0.68	0.74	185	59	177	51	116	281	20	110
	73	21.56	10.97	1.18	0.17	0.45	1.41	0.64	0.74	176	41	193	52	118	294	23	111
	78	21.03	10.84	1.14	0.18	0.46	1.77	0.68	0.75	186	42	179	57	121	285	23	109
	83	22.49	10.79	1.10	0.20	0.31	1.43	0.57	0.69	212	35	170	50	120	275	31	107
	88	22.47	12.37	1.26	0.17	0.21	1.33	0.45	0.63	211	31	199	57	129	339	24	89
	93	23.20	12.45	1.30	0.22	0.18	1.17	0.40	0.60	218	32	173	56	125	354	29	86
	98	23.05	12.61	1.33	0.22	0.21	1.25	0.40	0.61	244	76	167	52	129	358	28	88
	108	22.15	11.53	1.23	0.19	0.69	1.39	0.64	0.74	203	60	213	55	115	317	27	101
113	22.10	12.00	1.27	0.19	0.32	1.17	0.47	0.64	246	41	173	51	120	345	26	92	
118	22.66	12.00	1.30	0.16	0.20	1.01	0.44	0.66	305	36	171	53	121	347	28	92	
123	21.79	11.73	1.27	0.20	0.18	0.99	0.47	0.73	362	42	166	51	123	338	22	87	
128	23.12	11.48	1.27	0.20	0.20	0.94	0.50	0.78	368	102	161	51	123	329	23	91	
3	3	9.28	4.81	0.52	0.10	0.97	1.02	0.78	0.53	164	113	65	22	83	116	12	50
	8	12.09	5.91	0.63	0.12	1.33	1.16	1.00	0.65	206	140	71	27	92	146	15	65
	13	14.46	6.89	0.73	0.12	1.47	1.53	1.07	0.69	215	120	75	32	85	168	19	73
	18	13.28	6.90	0.74	0.12	1.55	1.50	1.07	0.69	227	154	80	29	76	174	16	72
	23	11.84	5.51	0.57	0.12	1.24	1.17	0.89	0.58	187	123	69	23	87	133	15	57
	28	10.77	5.54	0.59	0.12	1.20	1.21	0.88	0.59	184	149	73	26	89	137	13	55
	33	16.25	6.76	0.71	0.14	1.51	1.32	1.08	0.73	238	97	93	28	102	165	21	76
	38	16.64	7.40	0.75	0.13	1.50	1.31	1.09	0.74	243	100	88	32	91	176	21	82
	43	20.35	8.71	0.89	0.14	1.33	1.38	1.07	0.82	279	97	99	35	97	204	27	98
	48	21.04	9.22	0.92	0.15	0.87	1.19	0.88	0.86	285	80	111	35	104	214	31	101
	58	20.84	9.50	0.99	0.13	0.65	1.18	0.82	0.93	287	79	120	39	109	223	25	104
	73	21.19	9.21	0.95	0.13	0.74	1.18	0.86	0.93	293	77	105	38	108	216	27	109
	78	20.21	9.38	0.97	0.13	0.89	1.16	0.81	0.95	319	88	111	42	105	223	23	105
	83	23.12	10.18	1.04	0.14	0.65	1.25	0.80	1.06	322	68	130	44	182	234	26	116
	88	21.51	9.85	1.01	0.13	0.38	1.14	0.70	1.04	273	54	109	44	109	228	23	108
	93	20.73	10.32	1.08	0.15	0.31	1.18	0.74	1.12	280	50	120	50	118	246	17	111
	98	23.88	10.55	1.08	0.15	0.37	1.27	0.71	1.12	291	54	119	48	114	246	27	123
	103	21.57	10.78	1.08	0.15	0.32	1.24	0.71	1.12	281	51	125	50	116	247	20	109
	108	21.10	9.96	1.00	0.14	0.35	1.20	0.70	1.08	271	50	117	46	108	229	22	108
	113	23.68	10.65	1.07	0.15	0.32	1.29	0.70	1.12	282	50	114	48	126	247	26	114
118	23.45	10.58	1.05	0.14	0.29	1.26	0.68	1.14	287	49	100	47	112	246	26	113	
123	23.12	10.22	1.03	0.15	0.32	1.27	0.68	1.14	280	49	95	46	111	238	30	114	
4	5	20.53	8.70	0.92	0.18	0.84	1.43	0.80	0.79	296	71	119	32	42	214	51	99
	15	21.68	9.30	1.00	0.21	0.58	1.30	0.68	0.80	321	62	117	34	119	230	65	110
	25	21.78	9.22	1.00	0.18	0.53	1.33	0.69	0.80	381	65	102	34	131	225	48	113
	35	22.91	9.59	1.04	0.18	0.57	1.39	0.72	0.85	421	69	93	34	111	233	45	116
	45	23.43	9.88	1.04	0.17	0.52	1.41	0.73	0.93	376	63	103	37	113	243	40	120
	55	24.60	10.68	1.11	0.16	0.39	1.50	0.63	0.98	301	51	120	40	123	265	24	116
	65	24.63	10.60	1.12	0.17	0.35	1.54	0.61	0.95	291	46	129	42	114	268	23	127
	75	23.25	10.26	1.11	0.16	0.29	1.37	0.61	0.92	276	41	130	38	109	263	17	125
	85	25.25	10.40	1.13	0.17	0.31	1.49	0.56	0.90	284	43	128	36	130	268	27	125
	95	26.08	10.87	1.17	0.16	0.25	1.37	0.48	0.84	280	40	124	38	112	280	37	121
	105	24.17	10.58	1.09	0.17	0.41	1.37	0.71	1.04	275	56	92	42	112	242	28	116
	115	23.81	10.60	1.09	0.17	0.33	1.27	0.64	1.04	283	54	93	44	113	246	26	116
	125	24.14	10.70	1.12	0.17	0.27	1.32	0.61	1.10	311	48	91	43	112	256	24	112
	135	23.14	10.38	1.06	0.16	0.30	1.33	0.61	1.01	286	45	94	42	108	244	23	110
	145	23.60	10.55	1.04	0.17	0.26	1.28	0.54	0.90	258	41	88	40	108	243	25	104
	155	22.83	10.08	1.00	0.16	0.21	1.14	0.48	0.80	228	34	82	34	105	235	18	101
	165	24.37	9.75	0.97	0.15	0.22	1.17	0.43	0.80	220	38	77	35	103	226	16	103
	175	24.72	8.92	0.89	0.13	0.22	1.09	0.41	0.71	202	32	58	31	98	204	18	105
	185	24.39	7.80	0.78	0.13	0.30	1.15	0.47	0.62	185	33	41	21	86	163	12	113
	195	23.83	6.81	0.67	0.12	0.52	1.31	0.59	0.61	168	45	39	17	85	133	12	107
205	31.77	3.62	0.38	0.07	0.97	0.70	0.69	0.29	85	79	10	8	46	61	9	142	
215	32.31	3.44	0.36	0.08	1.00	0.52	0.71	0.29	70	80	6	6	30	58	8	155	
225	32.94	3.41	0.36	0.08	1.01	0.41	0.64	0.20	60	81	4	5	30	58	8	155	

第 A-1 表 続き.  
Table A-1 (Continued).

Site No.	Depth (cm)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Ba (ppm)	Sr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Zn (ppm)	V (ppm)	Y (ppm)	Zr (ppm)
4	235	31.70	3.35	0.34	0.07	1.07	0.43	0.68	0.16	83	86	6	5	36	53	6	150
	245	31.99	2.99	0.34	0.07	1.31	0.38	0.77	0.18	62	104	8	6	28	50	6	145
	255	31.52	3.00	0.33	0.08	1.40	0.39	0.80	0.18	65	112	6	6	29	46	6	140
	265	29.13	3.31	0.34	0.09	1.73	0.49	0.96	0.18	66	137	7	4	33	49	6	128
	275	30.15	3.16	0.33	0.07	1.97	0.42	1.08	0.20	136	157	8	7	37	45	7	129
	285	26.70	3.15	0.34	0.07	1.91	0.42	1.01	0.19	67	145	10	9	40	43	6	129
	295	30.25	3.08	0.32	0.11	1.97	0.38	1.00	0.18	69	153	13	10	38	39	9	124
	305	20.64	7.92	0.90	0.10	0.13	0.69	0.32	1.54	1138	50	53	19	109	150	23	59
	315	22.47	8.38	0.93	0.11	0.13	0.70	0.29	1.59	1167	60	63	18	93	156	29	57
	325	20.95	8.02	0.88	0.10	0.12	0.65	0.29	1.69	985	57	62	19	86	159	25	49
	335	23.09	8.31	0.88	0.11	0.16	0.71	0.30	1.73	872	57	57	18	85	156	28	48
345	24.13	8.52	0.91	0.09	0.22	0.90	0.26	1.75	796	59	55	26	96	168	33	54	
355	21.47	6.85	0.79	0.07	0.14	0.79	0.24	2.10	732	57	42	21	91	124	26	41	
375	19.67	5.99	0.71	0.07	0.14	0.86	0.20	2.66	651	65	39	20	83	98	20	30	
395	18.34	5.95	0.81	0.05	0.12	1.52	0.19	3.55	735	78	41	24	95	82	30	10	
415	18.13	6.38	0.92	0.04	0.10	1.90	0.19	4.21	809	95	35	30	107	94	34	8	
6	5	19.73	8.49	0.89	0.09	1.37	1.39	0.90	0.87	248	92	93	37	114	224	22	81
	15	22.19	9.88	1.05	0.07	1.31	1.60	0.92	0.91	281	90	98	46	95	253	27	94
	25	25.58	12.09	1.30	0.06	0.37	1.30	0.50	0.95	276	49	122	53	106	321	23	106
	35	26.16	11.24	1.27	0.06	0.24	1.23	0.42	1.05	287	41	111	51	100	310	19	98
	45	26.14	11.85	1.29	0.08	0.21	1.27	0.40	1.07	301	37	105	50	106	306	20	101
7	5	12.40	5.02	0.49	0.10	0.74	0.97	0.51	0.42	115	46	53	20	74	108	17	58
	15	14.16	5.94	0.57	0.10	0.80	1.22	0.58	0.46	125	48	51	22	72	129	20	68
	25	16.61	6.68	0.65	0.11	0.84	1.31	0.62	0.46	161	51	52	24	65	145	24	79
	35	18.99	8.11	0.79	0.13	0.71	1.64	0.55	0.44	131	43	58	30	78	179	28	93
	45	20.13	8.86	0.84	0.14	0.73	1.84	0.48	0.43	130	44	55	34	76	197	27	104
	55	21.49	8.89	0.84	0.15	0.74	1.72	0.60	0.50	146	46	46	33	75	198	28	111
	63	25.31	11.23	1.02	0.18	0.49	2.28	0.47	0.50	135	35	59	51	100	241	19	106
	68	25.18	10.80	1.00	0.17	0.55	2.17	0.59	0.53	143	43	74	50	94	230	25	111
	85	23.99	10.71	0.99	0.17	0.49	2.43	0.47	0.61	168	41	58	51	126	234	23	94
	105	23.40	10.28	0.94	0.18	0.78	2.82	0.63	0.68	196	48	58	45	104	216	18	92
	115	24.08	9.13	0.83	0.16	1.03	3.13	0.74	0.75	211	57	55	41	90	187	21	89
	118	21.83	7.35	0.58	0.12	1.48	3.82	1.16	0.99	235	82	44	40	79	132	16	68
	123	21.40	6.27	0.44	0.10	1.75	3.69	1.23	1.05	252	89	36	35	66	104	14	50
	128	21.71	6.02	0.36	0.10	2.67	4.16	1.33	1.01	247	106	35	36	60	94	10	31
	133	21.49	6.09	0.42	0.11	2.12	3.76	1.32	1.05	227	99	36	33	85	97	12	40
	138	23.19	6.82	0.48	0.11	5.70	3.49	1.10	0.83	187	166	32	23	66	141	9	26
	143	17.78	5.73	0.55	0.12	2.13	1.52	2.12	2.02	421	117	42	11	96	121	17	48
	148	20.04	8.16	0.77	0.16	0.65	1.80	0.94	1.59	952	71	72	42	171	192	22	80
	153	20.21	8.36	0.83	0.14	0.59	1.67	0.73	1.40	1200	65	77	37	107	202	22	93
	158	21.53	8.45	0.87	0.14	0.62	1.64	0.73	1.24	1149	95	79	39	106	201	22	98
	163	20.37	8.29	0.85	0.14	0.75	1.79	0.78	1.09	825	107	84	38	109	198	22	97
	170	19.94	6.87	0.72	0.12	0.69	1.64	0.83	1.05	349	66	77	23	91	157	18	76
	180	20.36	6.24	0.69	0.11	0.43	1.29	0.73	1.13	559	108	81	11	79	134	20	79
190	19.50	6.13	0.67	0.11	0.32	1.09	0.61	1.14	632	115	76	9	81	130	20	77	
200	20.14	6.51	0.72	0.12	0.33	1.14	0.49	1.09	515	128	77	9	102	142	20	76	
210	20.05	6.52	0.71	0.12	0.36	1.17	0.56	0.96	449	128	72	12	87	142	18	70	
220	19.85	6.40	0.69	0.12	0.35	1.19	0.52	0.95	412	136	65	12	93	139	16	72	
230	20.09	6.30	0.68	0.12	0.37	1.27	0.55	0.93	371	150	61	16	129	137	15	74	
240	18.50	5.37	0.56	0.12	1.31	2.01	1.11	0.92	277	94	52	22	80	112	11	80	
250	25.68	3.19	0.36	0.09	2.11	0.95	1.33	0.53	162	157	29	7	46	53	7	129	
260	27.80	3.55	0.36	0.13	2.63	1.10	1.34	0.45	151	186	12	9	48	57	7	115	
270	22.10	8.81	0.86	0.17	0.70	1.60	0.56	0.75	381	120	51	12	120	160	18	75	
280	23.87	9.86	0.97	0.18	0.65	1.51	0.56	0.73	384	147	54	32	122	219	23	99	
290	26.29	11.74	1.18	0.20	0.39	0.88	0.36	0.65	725	118	62	32	119	259	31	117	
300	26.76	12.36	1.24	0.20	0.39	0.87	0.32	0.53	710	128	55	30	119	274	29	120	
320	27.14	11.55	1.12	0.20	0.44	0.84	0.37	0.52	414	171	55	30	112	237	30	110	
340	26.79	12.35	1.22	0.21	0.43	0.76	0.35	0.53	471	198	57	28	129	262	32	114	
360	26.85	12.39	1.26	0.22	0.24	0.60	0.24	0.52	527	151	55	33	129	271	30	136	
370	27.00	10.59	1.11	0.19	0.21	0.46	0.20	0.50	454	100	41	28	103	218	23	160	
9	5	17.02	7.00	0.69	0.15	0.69	1.38	0.71	0.73	255	57	49	30	105	150	21	76
	15	20.81	8.40	0.83	0.16	0.69	1.64	0.73	0.81	347	59	47	35	85	178	27	95
	25	20.67	8.88	0.86	0.17	0.61	1.77	0.73	0.81	338	55	51	40	91	189	25	98
	35	22.51	9.08	0.89	0.14	0.61	1.61	0.76	0.81	299	58	57	38	86	195	25	104
	45	24.84	10.00	0.92	0.15	0.56	2.25	0.79	0.86	235	64	60	46	90	206	22	106
11	5	16.65	7.28	0.71	0.16	2.05	1.74	1.02	0.48	206	112	51	22	91	156	20	70
	15	19.54	8.27	0.80	0.16	2.12	1.89	1.04	0.43	283	129	45	23	78	172	24	84
	25	17.69	7.80	0.74	0.17	2.25	1.98	1.11	0.50	218	128	61	24	96	166	21	71
	35	19.41	7.81	0.76	0.16	2.12	1.72	1.04	0.46	245	147	54	21	81	164	23	80

第A-1表 続き.

Table A-1 (Continued).

Site No.	Depth (cm)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Ba (ppm)	Sr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Zn (ppm)	V (ppm)	Y (ppm)	Zr (ppm)
11	45	20.07	8.66	0.86	0.16	2.20	1.92	1.05	0.44	231	140	44	21	96	179	24	90
	55	23.65	9.78	1.01	0.18	2.28	2.06	1.10	0.49	436	167	36	22	89	186	27	122
	65	23.87	10.09	1.08	0.19	1.86	2.03	1.01	0.56	360	135	65	25	96	182	28	132
	75	23.44	9.72	1.01	0.18	2.19	2.06	1.06	0.46	281	139	31	21	87	183	27	117
	85	23.36	8.97	0.94	0.17	2.23	1.85	1.10	0.49	289	145	28	22	81	170	26	114
	95	24.50	9.67	1.06	0.18	1.68	1.70	0.97	0.60	460	152	48	26	99	171	29	146
12	105	24.70	10.20	1.11	0.16	0.56	1.40	0.72	1.06	557	136	116	45	117	230	27	129
	4	20.80	8.88	0.89	0.11	2.37	2.28	1.19	0.53	394	131	39	26	80	189	31	101
	12	22.36	8.68	0.88	0.10	2.16	1.80	1.07	0.50	225	121	47	24	74	177	32	106
	18	19.29	9.68	0.88	0.18	3.24	3.10	1.46	0.43	192	155	37	24	98	188	23	82
	22	19.00	9.85	0.79	0.19	3.55	3.53	1.73	0.55	194	179	34	20	102	180	19	75
	26	20.99	9.41	0.92	0.18	3.11	2.67	1.37	0.43	158	145	28	18	73	165	22	111
	30	24.76	10.32	1.28	0.17	0.98	0.98	0.40	0.20	95	44	23	19	45	127	29	199
	34	22.20	9.04	1.16	0.19	1.57	1.20	0.92	0.64	214	79	26	15	59	118	31	166
	38	25.69	9.33	1.11	0.15	1.45	1.43	0.99	0.61	610	125	54	22	102	153	26	160
	45	25.64	10.04	1.09	0.08	0.52	1.10	0.77	0.85	708	141	149	44	98	223	18	145
	55	25.46	10.61	1.14	0.09	0.37	1.12	0.72	0.89	726	130	134	48	93	251	18	132
	65	25.02	10.34	1.06	0.08	0.28	1.13	0.61	0.89	381	116	86	46	89	244	19	116
	75	24.30	10.33	1.08	0.10	0.27	1.21	0.55	0.90	367	106	89	49	87	252	19	118
	85	24.89	10.00	1.05	0.11	0.28	1.19	0.57	0.90	369	95	101	50	85	243	24	125
	95	22.99	9.69	1.02	0.11	0.24	1.08	0.58	0.91	397	80	96	48	85	240	16	113
	105	24.26	9.71	1.03	0.13	0.24	1.12	0.53	0.90	358	84	90	44	81	236	21	114
	115	22.41	9.22	0.98	0.12	0.22	1.08	0.51	0.77	327	85	82	40	79	227	11	105
	125	20.48	8.69	0.95	0.13	0.25	1.17	0.39	0.60	317	91	70	39	78	210	10	104
	135	24.55	7.36	0.79	0.11	0.39	1.15	0.52	0.67	334	133	52	28	69	169	13	112
	145	26.33	2.30	0.26	0.06	3.62	0.42	1.87	0.53	173	268	5	3	27	37	7	96
	155	26.06	2.47	0.29	0.07	3.87	0.49	1.85	0.53	221	285	5	4	31	37	8	109
	165	26.20	2.43	0.28	0.07	3.92	0.39	1.86	0.55	166	276	7	3	32	35	9	118
	175	22.72	9.37	0.99	0.13	0.61	1.13	0.70	0.87	466	104	77	37	92	220	21	97
185	22.59	9.40	0.95	0.14	0.61	1.24	0.74	1.09	647	100	72	38	87	224	24	87	
195	22.30	9.14	0.87	0.16	0.87	1.33	0.74	0.87	634	100	55	29	89	206	22	74	
13	5	19.48	8.94	0.95	0.06	0.58	1.05	0.53	0.62	400	72	48	32	100	222	10	89
	15	21.25	9.71	1.01	0.05	0.59	1.03	0.53	0.58	425	85	52	34	92	247	12	99
	25	22.74	9.42	1.01	0.04	0.58	1.01	0.52	0.58	468	93	55	35	83	235	14	108
	35	25.43	10.53	1.06	0.03	0.29	0.78	0.30	0.42	549	92	60	38	83	244	15	114
	45	25.75	10.43	1.06	0.03	0.24	0.70	0.27	0.41	560	96	60	40	83	246	16	114
15	5	17.55	7.97	0.85	0.13	1.49	1.75	0.93	0.72	232	96	57	36	126	204	21	81
	15	17.47	7.82	0.82	0.12	1.01	1.43	0.76	0.69	219	72	60	35	79	197	21	83
	25	17.92	7.91	0.84	0.13	0.93	1.50	0.72	0.68	222	68	59	34	82	197	22	86
	35	17.14	7.49	0.78	0.11	1.10	1.51	0.77	0.67	209	76	56	30	85	188	21	79
	45	18.41	8.16	0.87	0.13	0.79	1.39	0.68	0.70	231	61	68	35	84	202	22	90
	55	23.69	10.21	1.07	0.15	0.60	1.55	0.68	0.86	279	60	84	44	105	247	28	119
	65	23.14	9.90	1.05	0.15	0.62	1.47	0.70	0.88	277	60	74	42	100	238	25	116
	75	25.69	10.66	1.11	0.16	0.40	1.52	0.61	0.95	298	49	89	49	126	255	27	126
	85	25.70	10.39	1.13	0.15	0.40	1.45	0.63	0.95	299	50	92	49	112	251	26	130
	95	23.08	10.25	1.15	0.15	0.27	1.35	0.58	0.92	303	41	100	44	114	253	14	129
17	115	24.96	10.16	1.12	0.16	0.33	1.41	0.54	0.80	303	43	93	41	114	251	20	121
	5	17.65	9.54	1.05	0.17	1.11	1.50	0.73	0.57	206	75	106	43	146	264	22	79
	15	17.38	10.28	1.15	0.18	1.13	1.61	0.76	0.57	210	76	115	47	99	284	20	82
	25	19.04	11.56	1.32	0.21	0.87	1.65	0.64	0.58	220	75	128	56	98	326	19	92
	35	22.59	12.91	1.46	0.21	0.49	1.61	0.57	0.69	226	62	142	63	121	365	26	105
	45	22.82	13.16	1.48	0.21	0.43	1.54	0.55	0.70	227	60	144	62	111	368	24	107
	55	22.02	13.88	1.54	0.18	0.19	0.71	0.42	0.73	384	133	127	54	112	405	15	105
	65	22.22	13.27	1.41	0.17	0.22	0.65	0.48	0.80	368	113	105	47	103	363	17	104
	75	23.50	11.01	1.18	0.11	0.23	0.49	0.48	0.72	350	89	71	33	107	259	13	102
	85	21.47	10.53	1.19	0.13	0.21	0.44	0.46	0.74	367	81	68	33	93	241	8	99
	95	21.06	9.57	1.21	0.16	0.23	0.42	0.50	0.69	392	82	65	32	94	224	7	97
	105	25.66	8.63	1.08	0.16	0.26	0.48	0.52	0.76	462	94	59	33	93	200	13	98
	115	24.49	8.02	1.02	0.12	0.27	0.48	0.55	0.84	470	90	59	32	91	191	13	93
	125	24.84	8.25	0.99	0.08	0.26	0.49	0.57	0.88	478	89	57	33	89	191	14	92
	135	24.28	7.24	0.97	0.04	0.28	0.48	0.64	0.92	515	90	56	31	88	170	13	88
145	23.05	6.52	0.82	0.03	0.36	0.48	0.73	1.04	486	93	48	29	80	151	14	77	
155	20.66	5.75	0.63	0.03	0.48	0.53	0.94	1.23	456	94	38	24	71	118	13	61	
18	5	20.00	10.09	1.12	0.18	1.25	1.60	0.94	0.85	323	101	104	48	131	270	24	89
	15	19.74	9.80	1.13	0.19	1.05	1.47	0.91	0.85	335	101	102	46	127	265	26	89
	25	20.44	10.34	1.18	0.19	1.15	1.62	0.94	0.85	346	103	106	50	111	275	26	92
	35	21.42	10.71	1.25	0.21	0.76	1.41	0.86	0.87	392	109	113	51	114	289	30	97
	45	21.97	10.86	1.26	0.20	0.63	1.27	0.79	0.83	386	159	114	54	116	289	32	99
	55	23.13	11.64	1.36	0.19	0.55	1.40	0.73	0.83	294	110	127	56	125	321	31	109

第 A-1 表 続き.

Table A-1 (Continued).

Site No.	Depth (cm)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Ba (ppm)	Sr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Zn (ppm)	V (ppm)	Y (ppm)	Zr (ppm)
18	65	22.68	11.51	1.37	0.18	0.52	1.34	0.73	0.83	293	107	123	55	126	322	30	109
	75	24.50	12.91	1.50	0.19	0.42	1.40	0.64	0.87	248	77	138	64	134	359	31	118
	85	25.55	13.62	1.55	0.20	0.38	1.43	0.63	0.90	249	66	146	65	139	371	30	124
	95	25.67	13.85	1.59	0.20	0.32	1.42	0.57	0.90	233	54	157	66	142	384	29	123
	105	25.83	12.34	1.33	0.21	0.45	1.78	0.67	0.80	223	54	136	58	129	320	30	117
	115	25.47	11.51	1.30	0.20	0.53	2.11	0.70	0.79	216	53	133	54	129	306	30	118
	125	24.87	12.35	1.48	0.21	0.44	2.13	0.54	0.65	398	52	126	54	125	339	25	101
	135	25.68	12.60	1.43	0.20	0.36	1.20	0.56	0.69	1013	150	116	53	121	373	25	91
	145	25.76	12.07	1.38	0.19	0.34	0.97	0.56	0.75	617	180	111	47	125	356	25	94
	155	25.68	12.19	1.41	0.20	0.36	0.93	0.53	0.70	450	208	112	44	128	364	25	92
	165	25.84	12.81	1.44	0.20	0.42	1.26	0.52	0.70	293	197	104	47	128	340	30	98
	175	26.57	12.26	1.46	0.19	0.34	0.99	0.51	0.71	428	229	105	43	128	351	27	108
	185	26.85	11.44	1.52	0.18	0.39	0.84	0.45	0.62	655	188	91	44	116	376	35	118
	195	26.61	10.56	1.29	0.17	1.22	1.74	0.59	0.37	343	182	76	31	115	283	26	102
	220	21.51	13.11	1.29	0.12	0.31	0.50	0.53	0.69	288	63	52	32	90	333	26	93
	245	20.21	6.44	1.19	0.04	0.42	0.50	0.71	0.83	250	61	31	19	66	201	18	92
265	20.36	9.37	1.08	0.05	0.42	0.48	0.68	0.80	271	63	42	26	75	210	15	90	
285	23.64	5.75	1.08	0.02	0.39	0.48	0.69	0.92	546	91	48	29	82	129	13	94	
21	5	16.74	9.96	1.22	0.16	2.35	2.30	0.85	0.30	128	126	178	41	130	295	20	73
	15	18.59	10.98	1.33	0.18	2.39	2.41	0.82	0.26	122	128	213	41	130	315	22	76
	25	19.01	11.35	1.38	0.18	2.74	2.47	0.88	0.26	135	147	210	40	132	330	22	79
	35	19.32	11.28	1.39	0.18	2.67	2.43	0.84	0.22	132	152	212	39	86	337	22	79
	45	19.45	11.54	1.41	0.19	2.46	2.47	0.82	0.21	142	140	213	46	95	348	22	81
	55	16.48	11.85	1.46	0.19	1.62	2.18	0.61	0.20	125	99	193	46	80	366	16	81
	65	13.39	10.97	1.41	0.19	0.87	1.85	0.37	0.16	114	63	183	48	74	368	12	75
	75	15.05	12.23	1.51	0.17	0.48	1.61	0.24	0.15	96	44	201	54	81	394	12	83
	85	17.31	12.30	1.57	0.18	0.68	1.67	0.31	0.16	88	52	213	56	90	420	15	88
	95	18.36	13.79	1.70	0.17	0.33	2.15	0.22	0.20	67	33	204	80	91	464	15	95
	105	22.67	14.69	1.70	0.23	0.39	3.48	0.22	0.17	288	26	223	67	114	412	26	87
	115	19.10	14.23	1.68	0.22	0.46	3.49	0.22	0.17	91	22	220	64	120	400	18	80
	125	19.56	14.07	1.68	0.22	0.46	3.36	0.27	0.18	136	24	221	59	132	400	19	81
	135	20.54	13.86	1.64	0.22	0.44	3.47	0.23	0.18	206	25	216	61	118	396	19	80
	145	21.25	14.06	1.67	0.22	0.45	3.04	0.23	0.18	217	25	213	58	126	396	19	81
	155	22.56	14.15	1.66	0.23	0.59	3.43	0.22	0.19	193	26	232	59	140	392	24	82
	165	21.57	14.10	1.64	0.21	0.59	3.53	0.24	0.20	221	26	223	64	142	387	20	83
	175	21.91	13.74	1.59	0.21	0.92	3.57	0.35	0.20	255	31	216	57	155	372	24	82
	185	20.60	13.66	1.58	0.21	0.93	3.74	0.31	0.17	129	27	211	55	128	370	21	81
	195	21.64	13.74	1.63	0.22	1.18	3.88	0.30	0.16	161	31	224	57	110	387	25	82
205	20.98	13.27	1.57	0.22	1.20	3.48	0.68	0.20	170	32	225	46	113	375	27	80	
215	19.37	12.87	1.52	0.20	1.59	3.77	0.60	0.21	268	45	218	54	124	364	20	79	
225	21.79	13.94	1.62	0.22	0.72	2.94	0.35	0.20	1288	189	234	58	196	402	21	84	
235	21.22	13.90	1.64	0.22	0.72	2.75	0.43	0.17	996	309	212	55	149	394	18	86	
245	21.87	13.70	1.60	0.21	1.14	3.25	0.37	0.15	576	203	182	53	130	384	22	84	
255	21.09	11.98	1.40	0.19	1.71	3.90	0.42	0.14	175	63	160	44	96	335	20	73	
265	20.96	12.41	1.41	0.20	1.64	3.98	0.44	0.13	362	81	170	49	114	338	20	71	
275	20.48	12.61	1.45	0.19	1.67	4.04	0.45	0.12	252	77	171	50	103	334	19	70	
285	20.62	12.29	1.38	0.20	1.88	4.21	0.50	0.12	245	75	168	47	94	326	20	67	
295	20.11	12.05	1.42	0.19	1.88	4.02	0.56	0.13	233	76	169	44	109	309	16	68	
305	20.95	12.31	1.21	0.18	2.15	4.13	0.65	0.16	143	97	137	49	132	287	17	57	
315	21.03	12.15	1.24	0.18	2.29	4.15	0.68	0.16	140	105	136	44	120	284	18	58	
325	20.79	12.05	1.18	0.18	2.66	4.12	0.89	0.20	140	126	127	42	105	267	17	56	
335	21.84	12.37	1.15	0.17	3.64	4.44	1.23	0.10	262	238	117	43	106	203	14	43	
22	5	16.13	10.52	1.21	0.16	3.03	2.49	1.12	0.34	152	162	156	33	116	277	19	68
	15	17.02	11.15	1.25	0.17	3.53	2.64	1.20	0.34	194	187	163	35	109	291	20	73
	25	18.12	11.76	1.32	0.18	2.81	2.67	0.86	0.24	164	158	178	40	85	312	20	70
	35	16.76	10.93	1.25	0.17	3.50	2.67	1.02	0.24	152	193	168	37	80	285	19	68
	45	16.55	10.70	1.25	0.16	2.56	2.19	0.76	0.17	138	156	156	30	61	290	19	70
	55	17.59	11.30	1.27	0.17	2.51	2.32	0.58	0.15	134	151	167	36	63	314	19	71
	65	17.73	11.05	1.25	0.17	1.60	2.32	0.40	0.16	133	86	143	37	60	313	19	69
	75	18.35	12.42	1.43	0.18	0.56	1.59	0.22	0.16	112	45	186	55	77	336	22	80
	85	19.10	12.80	1.46	0.19	0.50	1.64	0.20	0.17	111	43	193	53	75	346	24	81
	95	21.09	13.24	1.62	0.20	0.31	2.25	0.17	0.16	78	26	212	62	91	480	25	88
	105	23.87	14.51	1.79	0.22	0.24	2.41	0.15	0.16	67	20	233	71	87	534	26	98
115	24.60	14.44	1.76	0.22	0.26	2.94	0.20	0.19	69	21	216	80	86	484	26	100	
125	22.12	14.38	1.58	0.21	0.43	3.04	0.40	0.40	116	35	204	85	127	400	22	97	
23	5	17.95	9.24	0.95	0.15	1.98	2.39	1.18	0.71	187	117	77	27	101	231	19	77
	15	18.28	9.12	0.97	0.16	2.11	2.40	1.25	0.71	203	125	76	30	93	238	20	80
	25	19.21	9.80	0.99	0.17	2.25	2.68	1.27	0.72	213	130	76	29	93	245	22	79
	35	21.32	10.33	1.13	0.15	1.07	1.96	0.88	0.80	213	96	98	34	101	268	26	100

第A-1表 続き.

Table A-1 (Continued).

Site No.	Depth (cm)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Ba (ppm)	Sr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Zn (ppm)	V (ppm)	Y (ppm)	Zr (ppm)
23	45	24.30	11.82	1.21	0.16	0.69	2.04	0.68	0.89	216	63	112	35	110	293	28	115
	55	25.31	11.85	1.20	0.17	0.55	2.23	0.57	0.85	208	42	125	37	129	290	30	122
	65	25.37	12.40	1.30	0.15	0.58	2.11	0.62	0.97	228	53	123	42	142	307	28	124
	75	25.40	11.65	1.19	0.18	0.57	2.21	0.57	0.83	204	41	126	36	111	286	30	122
	85	24.43	10.78	1.06	0.17	0.54	2.16	0.64	0.92	234	44	105	33	110	251	29	121
	95	23.80	10.85	1.11	0.17	0.44	1.95	0.60	0.92	244	42	109	34	121	267	28	114
	105	24.15	11.35	1.20	0.17	0.74	2.15	0.65	0.87	200	56	112	36	121	285	27	113
	115	24.42	11.45	1.18	0.18	0.50	2.05	0.60	0.87	217	43	115	36	116	282	27	115
	125	24.27	12.25	1.27	0.19	0.37	1.86	0.52	0.84	228	38	122	39	123	302	26	102
	135	23.90	12.00	1.25	0.19	0.35	1.88	0.50	0.93	254	36	123	35	123	308	24	95
	145	24.07	11.68	1.22	0.19	0.34	1.85	0.50	0.93	276	38	117	33	120	302	23	94
	155	24.18	11.00	1.20	0.19	0.32	1.88	0.51	0.96	277	37	119	32	120	288	24	99
	165	22.54	10.86	1.16	0.18	0.36	2.01	0.50	0.84	367	37	99	31	120	274	20	95
	175	23.56	11.20	1.20	0.19	0.32	1.78	0.49	0.84	314	39	105	31	124	289	25	93
	185	23.34	11.18	1.14	0.18	0.27	1.63	0.45	0.86	329	39	100	32	125	272	21	92
	195	22.68	11.18	1.03	0.19	0.23	1.36	0.23	0.39	314	34	99	31	126	280	22	92
	205	23.21	10.24	1.03	0.18	0.25	1.37	0.49	0.72	308	35	103	31	125	277	23	91
215	23.39	10.60	1.07	0.18	0.27	1.34	0.49	0.80	369	37	100	30	124	275	22	93	
225	23.74	10.18	1.06	0.18	0.25	1.32	0.50	0.83	464	41	100	32	122	279	24	96	
235	25.10	11.25	1.33	0.17	0.35	1.42	0.46	0.83	616	48	82	33	120	298	27	134	
245	25.72	10.44	1.46	0.14	0.26	0.98	0.37	0.89	834	84	83	34	113	315	27	142	
24	5	19.02	7.92	0.88	0.12	0.76	1.16	0.85	0.76	435	75	67	34	108	197	15	89
	15	23.47	8.89	0.98	0.05	0.52	1.01	0.63	0.64	532	115	56	35	93	220	16	101
	25	24.46	9.25	0.99	0.04	0.40	0.88	0.57	0.64	484	110	55	38	95	226	18	97
	35	23.94	9.49	1.03	0.05	0.42	0.94	0.56	0.62	466	98	52	36	148	237	17	96
	45	23.35	9.67	1.06	0.06	0.35	0.92	0.58	0.67	452	84	53	35	106	242	13	98
	55	25.46	9.71	1.08	0.06	0.33	0.89	0.58	0.71	504	79	49	35	104	246	18	104
	65	24.56	9.39	1.05	0.06	0.32	0.82	0.58	0.66	471	79	49	33	95	236	17	104
	75	21.95	9.09	1.15	0.05	0.32	0.68	0.65	0.78	375	60	37	31	75	240	15	103
	85	22.15	8.78	1.10	0.06	0.37	0.81	0.66	0.76	385	72	43	34	85	230	13	94
	95	17.83	6.24	1.02	0.03	0.53	0.51	0.98	0.90	242	70	25	18	49	187	12	82
25	5	17.75	8.64	0.91	0.19	1.72	1.62	1.03	0.82	293	107	65	35	101	209	22	85
	15	17.66	8.21	0.86	0.19	1.59	1.62	1.05	0.78	296	104	65	32	104	193	24	79
	25	19.41	9.17	0.92	0.18	1.48	1.72	0.98	0.76	273	105	65	31	97	213	25	88
	35	23.74	11.47	1.23	0.19	1.23	1.77	0.95	0.95	257	104	80	46	118	278	28	127
	45	23.96	11.81	1.25	0.20	0.64	1.62	0.75	1.18	279	70	103	52	128	291	30	131
	55	23.97	11.21	1.23	0.19	0.50	1.58	0.68	1.13	250	60	107	50	126	286	29	132
	65	24.00	10.58	1.12	0.21	0.37	1.44	0.70	1.18	284	66	110	47	221	261	31	131
	75	23.53	10.77	1.12	0.20	0.40	1.48	0.66	1.08	300	66	111	45	125	267	28	118
	85	23.36	10.78	1.11	0.20	0.37	1.46	0.63	1.02	461	62	112	45	123	275	26	106
	95	23.84	10.39	1.10	0.19	0.40	1.40	0.60	0.93	470	63	99	43	122	267	22	100
	105	26.18	7.17	0.78	0.17	0.63	1.21	0.66	0.76	475	67	52	21	98	175	16	111
	115	30.40	3.83	0.41	0.09	1.97	0.55	0.88	0.20	369	136	16	5	29	83	10	140
	125	30.72	3.48	0.39	0.09	1.88	0.44	0.82	0.14	414	134	13	5	29	71	9	148
	135	23.45	10.10	1.14	0.18	0.52	1.33	0.64	0.83	881	80	80	32	115	251	25	106
	145	23.28	10.26	1.13	0.14	0.43	1.13	0.63	0.96	1005	141	82	36	112	264	25	96
155	22.56	10.61	1.15	0.13	0.47	1.19	0.64	0.88	553	146	75	34	107	281	23	91	
165	22.83	10.35	1.14	0.13	0.52	1.21	0.65	0.78	590	139	75	31	115	274	21	89	
175	23.33	10.33	1.11	0.18	0.76	1.35	0.66	0.76	719	167	74	31	166	258	25	88	
185	23.54	10.35	1.15	0.16	0.67	1.24	0.66	0.82	758	150	69	31	117	268	23	96	
195	23.80	10.25	1.17	0.16	0.53	0.99	0.56	0.83	811	134	71	34	110	274	24	102	
205	24.16	10.04	1.19	0.14	0.47	0.96	0.56	0.86	922	137	63	33	104	269	22	113	
215	25.60	9.18	1.22	0.09	0.47	0.98	0.55	0.89	1072	142	59	28	100	242	21	137	
225	25.81	9.38	1.31	0.10	0.43	0.94	0.49	0.88	1038	132	61	35	113	256	18	142	
235	25.02	9.84	1.40	0.08	0.35	0.80	0.47	0.86	1061	108	60	34	113	288	20	140	
245	18.24	4.76	1.02	0.03	0.44	0.44	0.81	0.90	342	61	19	10	44	151	12	100	
26	5	20.02	10.62	1.19	0.20	0.89	1.36	0.91	0.80	475	81	103	40	115	290	28	89
	15	21.78	11.53	1.25	0.21	0.50	1.24	0.75	0.90	550	65	131	50	127	301	36	103
	25	22.79	12.04	1.30	0.20	0.39	1.23	0.72	0.97	464	58	130	52	126	317	35	107
	35	25.77	14.42	1.52	0.19	0.23	1.28	0.55	1.05	276	52	154	60	120	396	24	119
	45	27.56	14.21	1.50	0.21	0.21	1.31	0.54	0.88	216	40	169	60	123	397	29	136
	55	25.39	12.10	1.25	0.21	0.31	1.52	0.71	0.83	203	41	127	52	128	323	30	122
	65	24.41	13.94	1.40	0.22	0.22	1.60	0.46	0.70	172	35	157	60	138	393	30	90
	75	24.04	13.68	1.42	0.23	0.21	1.38	0.46	0.69	176	37	160	53	141	397	27	85
	85	23.47	12.86	1.35	0.22	0.23	1.44	0.58	0.79	206	44	144	50	150	368	26	91
	95	22.40	11.72	1.27	0.20	0.25	1.25	0.63	0.86	237	48	125	44	149	340	25	84
	105	21.67	10.93	1.20	0.18	0.28	1.15	0.69	0.92	296	57	106	40	139	318	22	83
	115	21.06	10.54	1.17	0.18	0.28	1.13	0.68	0.90	298	56	96	36	128	307	23	81
	125	22.69	11.36	1.25	0.19	0.26	1.14	0.58	0.76	295	55	105	38	131	339	26	83

関東平野における土壌の化学組成と土壌地球化学図 (寺島 ほか)

第 A-1 表 続き.

Table A-1 (Continued).

Site No.	Depth (cm)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Ba (ppm)	Sr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Zn (ppm)	V (ppm)	Y (ppm)	Zr (ppm)
26	135	22.98	11.64	1.26	0.19	0.26	1.14	0.50	0.63	278	54	105	38	122	355	25	82
	145	23.59	11.63	1.27	0.19	0.27	1.09	0.51	0.64	294	54	115	38	117	380	23	81
	155	23.55	12.21	1.28	0.19	0.27	1.08	0.51	0.63	288	49	119	34	120	384	24	77
	165	23.53	12.20	1.29	0.19	0.26	1.09	0.50	0.62	295	42	124	36	137	390	24	78
	175	23.49	12.12	1.29	0.19	0.25	1.04	0.51	0.68	363	42	129	35	120	394	23	76
	185	23.42	11.93	1.28	0.16	0.26	1.07	0.50	0.70	476	49	122	36	123	386	23	78
	195	23.17	11.63	1.28	0.15	0.26	1.12	0.55	0.78	574	56	112	37	146	376	21	82
	205	24.16	9.15	1.31	0.17	0.23	0.60	0.43	0.60	763	57	82	33	107	329	11	103
	215	19.91	5.98	1.16	0.11	0.31	0.51	0.65	0.88	386	51	47	20	72	248	11	91
	225	20.43	5.59	1.19	0.06	0.30	0.54	0.59	0.87	371	51	46	23	76	235	11	93
	235	19.31	4.48	1.12	0.03	0.33	0.53	0.64	0.90	361	54	39	21	67	180	11	88
	245	16.59	5.78	0.93	0.05	0.37	0.51	0.64	0.80	240	50	22	14	55	164	12	74
	255	14.75	20.07	0.85	0.10	0.27	0.45	0.49	0.60	212	39	45	31	74	249	13	73
27	5	17.27	8.41	0.92	0.24	0.87	1.17	0.77	0.63	289	90	86	33	120	238	29	72
	15	20.51	11.25	1.23	0.18	0.32	1.27	0.55	0.65	256	57	121	42	110	320	25	84
	25	22.11	11.48	1.22	0.19	0.29	1.26	0.60	0.78	352	72	119	44	120	334	24	85
	35	22.52	10.77	1.21	0.19	0.29	1.20	0.65	0.83	438	83	106	42	118	322	22	89
	45	23.10	11.33	1.24	0.18	0.31	1.13	0.65	0.76	443	101	103	39	143	318	23	88
	55	22.83	10.91	1.21	0.18	0.27	1.14	0.66	0.84	520	92	95	39	120	309	22	93
	65	21.54	9.73	1.13	0.17	0.33	0.96	0.73	0.90	558	84	81	34	109	282	19	85
	75	22.77	10.88	1.20	0.18	0.27	1.11	0.65	0.84	564	111	93	38	118	303	23	90
	85	22.81	11.19	1.22	0.18	0.27	1.06	0.60	0.73	459	114	94	37	123	309	23	87
	95	22.24	11.09	1.21	0.17	0.28	1.01	0.61	0.74	473	112	97	37	120	312	20	84
2	10	16.42	7.23	0.77	0.32	1.23	1.62	0.94	0.75	373	84	71	33	151	168	26	68
31	10	19.58	8.72	0.94	0.13	1.32	1.56	1.00	0.85	214	87	78	39	108	227	26	95
32	10	18.23	8.86	0.90	0.17	2.03	2.10	1.21	0.80	234	119	70	41	113	230	22	85
33	10	21.89	9.50	1.00	0.22	0.78	1.57	0.73	0.91	344	70	82	43	118	234	35	98
34	10	19.07	8.48	0.92	0.13	1.03	1.41	0.93	1.02	289	82	74	39	112	206	26	84
35	10	19.37	7.92	0.88	0.18	0.82	1.15	0.74	1.08	367	80	88	33	148	201	19	85
36	10	16.57	10.66	1.17	0.28	0.55	1.06	0.63	1.32	367	61	74	36	121	293	13	103
37	10	18.38	7.22	0.80	0.12	0.50	0.86	0.81	1.39	366	68	92	27	113	180	21	77
38	10	18.06	7.61	0.82	0.21	1.45	1.41	1.11	0.80	341	105	78	32	92	182	24	76
40	10	17.77	7.89	0.87	0.12	0.74	1.22	0.98	1.07	315	78	77	33	127	194	20	76
River sediment																	
101		16.82	4.25	0.46	0.08	1.44	0.90	2.62	3.20	652	195	24	10	87	63	14	27
102		13.51	11.10	1.58	0.22	3.00	5.55	0.96	0.70	212	135	21	29	147	202	16	31
103		16.98	5.06	0.56	0.11	1.58	1.14	2.11	2.30	498	181	38	14	117	93	14	38
104		11.76	5.44	0.90	0.11	0.82	1.77	0.89	1.82	419	85	30	27	87	107	7	28
105		15.21	4.76	0.54	0.08	2.06	1.42	2.46	2.08	526	221	26	15	105	98	11	27
106		16.59	4.54	0.52	0.09	1.66	1.08	2.43	2.56	543	172	28	13	90	82	11	35
107		16.06	4.07	0.51	0.07	1.68	1.06	2.38	2.62	603	191	23	10	85	72	10	29
108		16.16	4.41	0.65	0.06	2.16	1.35	2.38	2.40	686	255	20	11	73	88	13	31
109		11.44	5.36	1.10	0.09	1.61	1.75	1.57	2.00	539	156	23	16	79	127	8	30
110		13.60	4.86	0.82	0.10	1.46	1.22	1.98	2.03	453	151	26	14	95	104	11	36
111		16.39	6.35	0.77	0.10	0.97	1.14	1.06	1.73	522	112	56	26	197	131	12	42
112		15.00	5.34	0.67	0.12	1.40	1.33	1.72	1.94	485	150	37	18	114	103	11	36

第 A-2 表 ヒ素, 全炭素, 全硫黄の分析結果.

Table A-2 Analytical results for As, and total C and S.

Site No.	Depth (cm)	As (ppm)	Total C (%)	Total S (%)	Site No.	Depth (cm)	As (ppm)	Total C (%)	Total S (%)	Site No.	Depth (cm)	As (ppm)	Total C (%)	Total S (%)	
4	215	6.4	0.46	0.094	18	65	11.6	3.50	0.107	23	105	11.5	2.43	0.187	
	285	5.5	0.24	0.024		85	12.0	2.10	0.078		125	11.1	2.18	0.179	
	335	7.0	0.21	0.020		95	11.8	1.70	0.071		145	11.3	1.54	0.152	
	415	2.4	0.72	0.006		115	9.7	1.13	0.083		165	11.4	1.42	0.143	
12	4	5.3	4.48	0.112	21	135	8.0	0.64	0.034	25	185	11.5	1.50	0.122	
	22	4.0	0.46	0.034		155	8.0	0.68	0.040		205	10.9	1.51	0.095	
	34	4.0	0.49	0.023		175	8.1	0.66	0.033		225	10.4	1.38	0.078	
	45	13.7	0.44	0.034		195	5.8	0.67	0.034		245	8.2	0.75	0.050	
	95	16.0	0.39	0.051		220	7.4	0.43	0.019		5	11.5	4.38	0.066	
	155	5.4	0.20	0.015		245	4.6	0.30	0.017		25	11.2	4.10	0.101	
7	185	14.2	0.22	0.028	26	265	8.8	0.27	0.016	26	45	13.4	1.58	0.126	
	5	15.5	21.60	0.160		285	5.4	0.20	0.012		65	13.3	1.12	0.138	
	25	8.0	14.80	0.174		23	5	8.0	11.20		0.136	85	12.8	1.00	0.146
	45	9.0	7.52	0.192			25	5.5	7.15		0.126	105	10.2	0.91	0.128
	63	6.3	1.07	0.179			45	5.7	6.18		0.112	115	6.4	0.90	0.065
	85	8.5	1.02	0.130			65	5.8	6.50		0.124	135	10.2	0.83	0.069
	105	7.4	0.96	0.110			85	7.3	6.05		0.125	155	10.4	0.74	0.047
	123	5.0	0.97	0.069			105	5.0	1.24		0.048	185	10.3	0.73	0.081
	138	1.8	0.28	0.033			125	4.2	1.13		0.042	205	9.5	0.74	0.071
	143	4.8	0.36	0.034			145	4.1	1.20		0.042	225	8.8	0.56	0.054
	153	15.0	0.90	0.096			165	4.2	1.26		0.033	5	10.3	3.65	0.129
	170	14.7	0.84	0.074			185	4.3	1.16		0.028	25	12.0	2.23	0.188
	190	16.0	0.72	0.049			205	4.2	1.51		0.031	45	14.5	1.42	0.168
	200	15.6	0.72	0.052			215	4.2	1.57		0.037	65	12.0	1.21	0.182
	220	15.2	0.77	0.050			225	4.5	1.57		0.039	85	10.1	1.02	0.139
	240	15.2	0.53	0.030			245	4.7	1.63		0.036	105	9.8	0.82	0.102
	260	6.3	0.26	0.011			265	4.0	1.46		0.028	125	9.5	0.96	0.108
	280	10.8	1.02	0.041			295	3.9	1.20		0.023	145	8.4	0.86	0.108
	300	9.0	0.37	0.028			315	3.7	1.00		0.019	165	8.0	0.82	0.115
	320	8.2	0.38	0.031			335	1.9	0.19		0.005	185	8.7	0.79	0.106
340	7.5	0.36	0.028	23	5		11.8	5.98	0.166	205	6.9	0.37	0.025		
360	7.7	0.22	0.025		25		11.8	3.86	0.152	225	6.4	0.29	0.037		
18	5	10.8	5.75		0.097	45	13.7	2.20	0.111	245	3.5	0.18	0.011		
	25	10.5	4.10		0.104	65	14.2	1.37	0.107	255	15.8	0.34	0.021		
	45	10.7	3.08	0.080	85	11.5	2.12	0.113							