

## 関東平野における沖積層土壌の化学組成 —土壌地球化学図の基礎研究 (第 2 報)—

寺島 滋<sup>1</sup> 太田充恒<sup>1</sup> 今井 登<sup>1</sup> 岡井貴司<sup>1</sup> 御子柴真澄<sup>1</sup> 谷口政碩<sup>2</sup>

Shigeru TERASHIMA, Atsuyuki OHTA, Noboru IMAI, Takashi OKAI, Masumi MIKOSHIBA and Masahiro TANIGUCHI (2001) Chemical composition of the alluvial soils from the Kanto District, Japan : Preliminary study for the soil geochemical mapping (part 2). *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 52 (8) p. 347-369, 11 figs., 6 tables.

**Abstract :** A total of 240 alluvial soils collected from the southern to northeastern Kanto district, Japan, were analyzed for major and minor elements to characterize the geochemical map of soil. It has been considered that these alluvial soils originated mainly from clastic materials derived from basement rocks and altered volcanic ashes. The chemical composition change of clastic materials from basement rocks in alluvial soils reflects the geology of catchment areas, whereas the change of altered volcanic ashes depends mainly on erupted volcanoes. The vertical variations of the elemental concentrations in alluvial soils are generally smaller than volcanic ash soils. Several sand layers derived from basement rocks are found in the cores. Compared to the mud layers, sand layers are poor in  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  and heavy metals, but rich in alkali and alkali-earth metals in most cases. The elution and/or deposition of chemical elements result from the decreasing grain size during weathering. Compared to the volcanic ash soils, the alluvial soils are rich in alkali and alkali-earth metals, and depleted in  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  and heavy metals. The sedimentation rate of alluvial soils is estimated about 0.3 to 1.2 mm/yr at some places. It is less than or equal to the rate of recent lake sediments, but much higher than volcanic ash soils (0.03-0.08 mm/yr).

### 要 旨

土壌地球化学図の作成に関する予察的研究の一環として、関東各地の沖積層から柱状試料を採取して主・微量元素を分析し、土壌の母材や元素の広域分布特性、地球化学的挙動等を研究した。沖積層土壌の母材は、主として火山噴出物と河川由来碎屑物であり、両者の割合は地形・地質的な要因で変化する。沖積層土壌における元素濃度の鉛直変化は、火山灰質土のそれに比べて小さかった。これは堆積速度が速く、表層～下層の風化度や腐植含有量の差が小さいためと考えられた。沖積層土壌中の砂質粒子は主として河川由来である。砂質粒子は風化・変質に伴って微細化するが、この際アルカリ・アルカリ土類金属が溶出・流失し、細粒部分ではアルミニウム、チタン、各種重金属等が相対的に高濃度になる。山間部の規模が小さい沖積面では、集水域の基盤地質と土壌の化学組成の特徴は類似する。広大な平野部を流下する河川の下流域では、基盤岩碎屑物は均質化されており、粒度組成の相違が化学組成を変動させる主因である。沖積

層土壌の化学組成は、同一地域の火山灰質土に比べてアルミニウム、チタン、重金属類に乏しく、アルカリ・アルカリ土類金属に富む特徴があり、概括的には河川や湖沼の堆積物に類似する。

### 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（2000 a）で、日本の他機関でのそれは寺島ほか（2001）で紹介した。地質調査総合センター（旧地質調査所）では、北関東をはじめ、幾つかの地域の地球化学図を作成した（伊藤ほか、1991；今井ほか、1997；2000 b）後、日本全土における元素分布の特徴を解明するため、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、環境省の地球環境保全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 3,000 個の河川堆積物

Keywords : alluvial soil, chemical composition, geochemical behavior, geochemical map, Kanto District

<sup>1</sup> 地球科学情報研究部門 (Institute of Geoscience, GSJ)

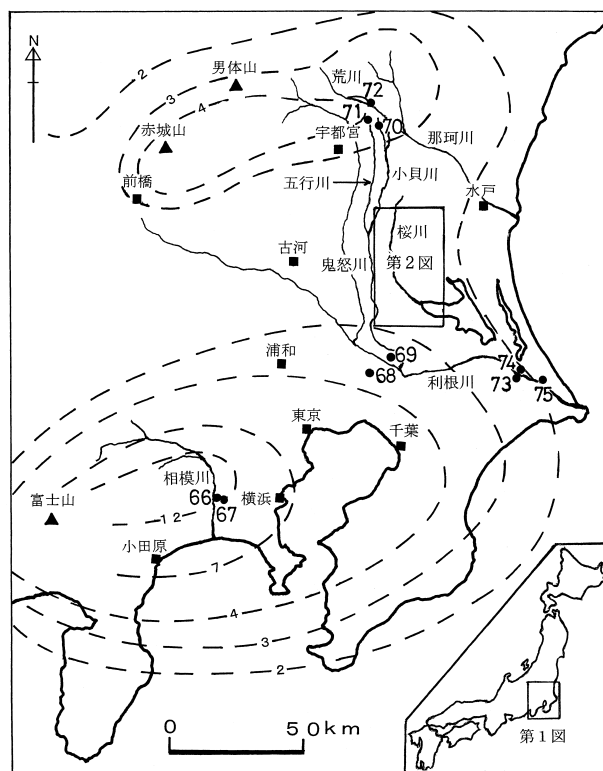
<sup>2</sup> 地圏資源環境研究部門 (Institute for Geo-Resources and Environment, GSJ)

を採取し、有害微量元素 (As, Be, Cd, Hg, Mo, Sb 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、河川水が割削・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な試料である。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も多く、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。寺島ほか (2001) では、関東平野に広く分布する関東ローム層とその上位の黒土 (以下両者を併せて火山灰質土と言う) について研究した。そして、1) 関東ロームの上位が風化して黒土が生成したのではなく、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ること、2) 関東の北部と南部における火山灰質土の化学組成には明瞭な相違があり、その特徴は北部では赤城山及び男体山の、南部では富士山起源の噴出物の化学組成に一致すること、3) 火山灰質土壌が風化すると、シリカ、アルカリ・アルカリ土類金属が溶脱して濃度を減じ、 $Al_2O_3$ 、 $TiO_2$ 、 $H_2O$  及びほとんどの重金属が相対的に高濃度になること、4) 同一地域で試料を採取しても河川堆積物と火山灰質土の化学組成は異なる場合が多いこと等を明らかにした。

関東ローム研究グループ (1965) によれば、関東平野の 6~7 割は関東ロームに覆われているが、その他の大部分は沖積層である。沖積層土壌の化学組成については、いくつかの研究 (Kuma and Kawaguchi, 1976; 若月ほか, 1978; 上野ほか, 1992; 加藤ほか, 2000) があるが、広域的变化の特徴、母材の起源、火山灰質土や河川堆積物との関係等についての詳細は報告されていない。本報告は、沖積平野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、関東各地で採取した沖積層土壌の柱状試料を分析し、既報の火山灰質土壌や河川堆積物における元素分布、地球化学的挙動との相違等について研究した結果をまとめたものである。



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).

## 2. 地理・地質の概要

関東平野における沖積層土壌の母材は、火山噴出物、河川由来碎屑物、広域風成塵等であるが重要なのは前二者であり、それぞれの寄与率は試料採取地点の地理的・地質的状况によって変化すると考えられる。第1図は、本研究の試料採取地点と、鈴木 (1995) が求めた過去 5 万年間に堆積した地層の層厚分布を示したものである。層厚は、北関東では赤城山、男体山、南関東では富士山の東方で増加しており、それぞれの火山からの噴出物とその風化生成物等が偏西風によって運ばれ堆積した結果とされており、これは火山灰質土の化学分析の結果 (寺島ほか, 2001) とも調和的である。

河川由来碎屑物の母材は、集水域に分布する基盤岩類や堆積物、土壌等である。そして、集水域的状况によっては基盤岩由来の碎屑物はほとんど含まれない場合もあるが、一般的には基盤岩類の影響が最も大きい。ここでは重要な河川とその流域地質の概要を述べ、各試料の採取地点の河川状況と周辺地質については 3.2, 4.3 で述べる。第1図において、最北部の Site 72 は、栃木・茨城県下を流れて太平洋に注ぐ那珂川の支流の荒川流域にあり、この集水域には第四紀の安山岩類や新第三紀のデイ



第2図 つくば市及びその周辺地域における試料採取地点. 建設省国土地理院発行 20万分の1地形図「水戸」の一部を使用.  
Fig. 2 Sampling sites around the Tsukuba area.

サイト, 流紋岩類が分布する. 鬼怒川は, 現在は宇都宮市の東方を流下し, 水海道市の南方で利根川と合流するが, 以前は第2図の筑波山の西方, 現在の桜川の中・下流域を流れて霞ヶ浦に注いでいた (池田ほか, 1977). 従って, 現在の桜川, 小貝川の堆積物の一部は鬼怒川起源と考えられる. 小貝川の支流の五行川は, 集水域の状況からみて基盤岩由来の碎屑物の大部分は鬼怒川起源であろう. 鬼怒川の流域には, 第四紀の安山岩, 流紋岩等の火山岩類, 白亜紀後期以降のデイサイト, 流紋岩,

花崗岩類が露出する. 利根川の流域面積は広大で, その堆積物は関東北西部に分布するすべての岩種の影響を受ける. ここでは新第三紀~第四紀の安山岩~流紋岩等の火山岩類が卓越し, ついで古生代~中生代の堆積岩類が分布する. 千葉県水質保全研究所 (1984) によれば, 霞ヶ浦周辺や現在の利根川の中・下流域一帯は, 古くは香取海と呼ばれる太平洋に連なる入江であったが, 利根川や渡良瀬川の人工的な流路変更とそれに伴う大量の土砂の運搬及び関東周辺地域の地盤の上昇等によって海との連

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	River system	Core length (cm)	Color of surface soil	Sand layer (cm)
A	70	Inarisawa, Haga t., Tochigi pref.	Ohkawa	100	dark gray	
	71	Hanaoka, Takanezawa t., Tochigi pref.	Gogyougawa	100	dark gray	
	72	Kuwaezakasita, Kitsuregawa t., Tochigi pref.	Arakawa	90	gray	
B	51	Ohsaki, Mizukaido c., Ibaraki pref.	Kokaigawa	110	dark gray	
	52	Takasai, Shimozuma c., Ibaraki pref.	Kokaigawa	125	brownish gray	
	53	Nakasugama, Tsukuba c., Ibaraki pref.	Sakuragawa	100	dark gray	
	54	Kamicho, Tsukuba c., Ibaraki pref.	Sakuragawa	100	dark gray	
	55	Hasugawarashinmachi, Tsuchiura c., Ibaraki pref.	Sakuragawa	110	dark gray	40-110
	56	Tamadori, Tsukuba c., Ibaraki pref.	Sakuragawa	60	gray	
	57	Kanai, Makabe t., Ibaraki pref.	Sakuragawa	60	gray	0-60
	58	Kisaki, Yamato v., Ibaraki pref.	Sakuragawa	110	gray	
	59	Mukoukawasumi, Kyowa t., Ibaraki pref.	Kokaigawa	110	black	
	60	Nakasitsuku, Chiyoda t., Ibaraki pref.	Koisegawa	100	brownish gray	40-60
	61	Shimohayashi, Yasato t., Ibaraki pref.	Koisegawa	110	brownish gray	
	62	Daruma, Yasato t., Ibaraki pref.	Koisegawa	80	gray	
	63	Omi, Yasato t., Ibaraki pref.	Koisegawa	100	gray	
	64	Ohmasu, Yasato t., Ibaraki pref.	Koisegawa	100	gray	90-100
65	Sugama, Yasato t., Ibaraki pref.	Koisegawa	100	gray		
C	68	Shinfunato, Shonan t., Chiba pref.	Ohtsugawa	103	gray	90-103
	69	Aoyanagi, Toride c., Ibaraki pref.	Kokaigawa	100	black	80-100
	73	Kinouchi, Omigawa t., Chiba pref.	Kurobegawa	80	dark gray	50-80
	74	Shimokoborishinden, Omigawa t., Chiba pref.	Tonegawa	100	gray	0-40
	75	Higashitakarayama, Hazaki t., Ibaraki pref.	Tonegawa	50	gray	0-50
D	66	Ohya, Ebina c., Kanagawa pref.	Sagamigawa	100	brownish gray	
	67	Iseyama, Ayase c., Kanagawa pref.	Mekujirigawa	100	black	

絡が悪くなり、今から約350年前に淡水化したとされている。

### 3. 試料及び分析方法

#### 3.1 試料採取地点の選定と採取方法

上述したように、関東地方に降下した火山灰の主要供給源としては北部では赤城山と男体山が、南部では富士山が重要なので、これを考慮すると共に各沖積面の形成に関与した河川の流域の地質特性、前報で検討した火山灰質土及び河川堆積物試料の採取位置との関係に配慮して、沖積層土壌の採取位置を第1~2図のように定めた。また、化学組成の地域別特徴を把握するため、調査地域を北から南へA~Dゾーンに区分する(第1表)。試料の採取地点は、いずれも関東ローム研究グループ(1965)作成の付図において沖積層に区分されている地域内にある水田であり、原則として道路や水路から30m以上離れた地点を選び、半円形オーガ(穴径3cm, 大起理工業製)を打ち込み、全長50~125cmの柱状試料を採取した。採取した試料の一部には砂層が卓越するものがあるが、その地点の周囲では類似的傾向があり、特殊な部分を取り出したわけではない。

#### 3.2 試料の概要

各柱状試料の採取地点(以下Site no.で表示)、河川系区分、コア長、乾燥・粉碎後の試料の平均的な色調、砂

層の深度等を第1表に示した。なお、岩相は試料の肉眼観察結果をもとに砂、シルト、粘土に区分した。河川系については、それぞれの沖積面が形成された当時の河川系が重要であるが、いずれの試料採取地点も現在と同じであったと仮定して議論を進める。また、各柱状試料の表層部20~30cm以浅は耕作により攪拌されている。

##### 1) Aゾーンの試料

Aゾーンの3本の柱状試料は、降下火山灰のほとんどは関東北西部の赤城山、男体山等から供給されたと考えられる栃木県東部で採取した。Site 70の沖積面は、栃木~茨城県下を流下する小貝川の上流域の小さな支流である大川の流域内に位置し、周辺丘陵との標高差は最大100m程度である。大川の河川規模が小さいためか、河川由来の砂質粒子の混入は少ない。本柱状試料の0~80cmにはテフラ起源と考えられる風化碎屑物が認められ、全体的にシルト質である。Site 71は、茨城県下館市の南方で小貝川と合流する五行川の上流域にある。本試料はシルト質で、0~30cm, 70~100cmには河川由来と考えられる少量の細砂が、40~70cmでは少量のテフラ風化物が認められる。Site 72は、那珂川の支流である荒川の流域内に位置する。全層準が砂質シルトで、砂質粒子は深度30~60cmと70~90cmの層準で相対的に多い。

##### 2) Bゾーンの試料

Bゾーンの試料は、降下火山灰の影響としては関東北西部の火山と南部の富士山の両者の影響を受けていると

考えられる (寺島ほか, 2001). この地域では, 合計 15 本の柱状試料を採取したが, このうち 60~65 は恋瀬川, 53~58 は桜川, Site 51, 52, 59 は小貝川水系からの試料である (第 2 図).

恋瀬川水系: Site 60 の試料は, 茨城県千代田町中志筑の北東部で採取した. 本地点は, 恋瀬川水系の最下流に位置する. 試料は全体的にシルト質であり, 全層準に河川由来の碎屑物が認められ, 特に 40~60 cm は砂層である. Site 61 は, 八郷町下林の西方にあり, 全体的には粘土質であるが, 風化碎屑物が認められ, 70 cm 以深でやや多い. Site 62 の試料は, 八郷町達磨の北東部の小河川付近で採取した. 試料は粘土質であり, 全層準に少量の風化碎屑物が認められる. Site 63 は, 八郷町小見の北東部にある. 試料は粘土質であり, 全層準に少量の風化碎屑物が混入している. Site 64 は, 八郷町大増の北方にあり, 恋瀬川水系の最上流部に位置する. 試料はシルト質であり, 90 cm 以深は 2~3 cm 毎の砂・泥互層であったが, この部分では砂層のみを分析した. Site 65 は, 八郷町須釜の北東部にあり, この地点は恋瀬川の支流の一つである川又川中流域である. 全体的には粘土質で, 全層準に砂質粒子が混入しており, 70~80 cm は砂質粒子に富んでいる.

桜川水系: Site 53 は, つくば市中菅間の西方に位置する. 全体としてシルト質で, 赤褐色の酸化鉄鉱物と河川起源と考えられる風化碎屑物が認められる. Site 54 は, つくば市上町にあり, 筑波山麓とその南方の山地からの碎屑物の供給があったと考えられる. 本試料は, 全体として砂質シルトで, 40~80 cm は砂質粒子がやや多く, 部分的に径 1~2 cm の小石も認められたが小石は除外して分析した. Site 55 は, 桜川が霞ヶ浦に流入する河口付近にある. 本試料の表層では粘土が卓越するが, 下位に向かって砂質粒子が増加し, 40 cm 以深は砂層である. Site 56 は, 桜川の河口から約 12 km 上流のつくば市玉取の北東部にある. 本試料の 0~30 cm は腐植に富むシルトで, 少量の酸化鉄鉱物 (赤褐色) が認められる. 30~60 cm は, 腐植をほとんど含まない灰色がかったシルト質堆積物である. このシルト質堆積物は, 更新世後期に古鬼怒川によって形成された桜川段丘堆積物 (宇野沢ほか, 1988) と考えられる. 従って, 沖積層の土壌を研究対象とした本研究では除外すべきであろうが, 比較のために分析した. Site 57 の試料は, 茨城県真壁町金井の東方にある小河川の近くで採取した. 本試料は, 全体としては花崗岩質の砂層であり, 表層部 (0~30 cm) では少量の腐植とシルト~粘土粒子が認められる. Site 58 は, 桜川水系の試料では最上流に位置する茨城県大和村木崎の北方にある. 本試料の 0~30 cm には河川起源と考えられる極く少量の風化碎屑物が認められ, また赤褐色の鉄酸化物が不均質に分布するが, 全体的には粘土質である.

小貝川水系: Site 51 の試料は, 水海道市大崎町で, Site 52 のそれは下妻市高道祖本で採取した. いずれも粘土質で砂質粒子やテフラ起源碎屑物はほとんど認められない. Site 59 は, 茨城県協和町向川澄にあり, 前二者と共に小貝川の流域内にある. そして Site 51 と 52 の間で小貝川に流入する主要河川はないが, Site 52 と 59 の間に位置する下館市南方において五行川と小貝川が合流する. 下館市以北における五行川の流域面積は小貝川のそれよりも明らかに広い. 従って河川由来物質の供給は, 小貝川よりも五行川の方が多いと考えられる. Site 59 の土壌は, Site 51, 52 に比べて全体的に腐植に富む特徴があり, また, 0~80 cm は粘土質, 80~110 cm はシルト質で砂質粒子も含まれる.

### 3) C ゾーンの試料

C ゾーンの試料は, B ゾーンのそれと同様に火山灰の影響としては関東北西部の諸火山と南部の富士山の両者が関与しているが, B ゾーンよりも南部に位置するため, 相対的に富士山の寄与が大きいと考えられる. Site 68 は, 千葉県沼南町新舟戸の大津川流域に位置し, 手賀沼までの距離は約 500 m である. 表層から深度 90 cm までは少量の砂質粒子を含む粘土で, それ以深は砂層である. Site 69 の試料は, 取手市青柳の東方で採取した. 0~80 cm は粘土質で, それ以深は砂層である. Site 73 の試料は, 千葉県小見川町木内の東方約 700 m で採取した. この地点は, 利根川支流の黒部川流域内にある. 本試料の 0~30 cm は少量の砂を含む粘土で, 30~50 cm は砂に乏しい黒色粘土, それ以深は砂層である. Site 74 は, 千葉県小見川町下小堀新田の利根川と常陸利根川の間点に位置する. 本試料の 0~40 cm は少量のシルト~粘土を含む砂層で, 40~100 cm は粘土であり, 80~100 cm には多量の植物片が認められた. Site 75 は, 茨城県波崎町東宝山の東方にあり, 常陸逆水門の下流約 1.5 km, 利根川まで約 50 m の地点である. シルト~粘土粒子は相対的に表層部に多く, 下位に向かって減少するが, 全体としては砂層である.

### 4) D ゾーンの試料

D ゾーンの試料では, 降下火山灰のほとんどは富士山起源であり, 関東北西部の火山の寄与は無視できると考えられる (第 1 図). Site 66 は, 海老名市大谷の西方約 400 m で, 相模川の本流から約 1.7 km の地点にある. 試料はシルト質で, 全体的にテフラ風化物が認められる. Site 67 は, 綾瀬市伊勢山の南方約 100 m, 目久尻川の北方約 100 m の地点にある. Site 66 と同様にシルト質でテフラ風化物が認められる. 目久尻川は, 相模川の小さな支流で, 上流域の台地や丘陵は関東ロームに覆われており, 基盤岩の露出は見られないため河川堆積物の影響があったとしても, その起源は主として富士山の噴出物と考えられる.

### 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、石川式めの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 は完全に溶出しないが、同種試料中含有量の相対的な比較は可能である。

## 4. 結果と考察

### 4.1 海水の影響評価

2 で述べたように、霞ヶ浦周辺や C ゾーンの試料採取地点一帯は、今から約 350 年以前は海水の影響を受けていたと考えられる。海水の影響を受けた堆積物を母材とする土壌には、碎屑物由来の元素のほかに海水由来の元素が含有される場合がある。そこで、本研究で採取した沖積層土壌における海水の影響を評価するため、C ゾーンの試料を中心に 31 試料を選び、陸水に比べて海水中の濃度が極めて高い塩素をチオシアン酸第二水銀吸光度法で分析した。その結果、Site 74 以外の試料では、希硝酸可溶性塩素の含有量は 100 ppm 程度かそれ以下のバックグラウンドレベルであった。Site 74 では、下層に向かって濃度が増加し、最大値は 2,240 ppm であった。これに対して、東京湾の羽田沖で採取した海底堆積物からは 24,000 ppm の塩素が検出された。この結果、Site 74 のみがわずかに海水の影響を受けていると考えられた。しかし、この試料についても今回分析した元素に関しては、海水の影響は無視してさしつかえないと判断された。

### 4.2 化学組成の鉛直変化の特徴

25 本の柱状試料から得られた 240 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、代表的柱状試料について 10 元素濃度の鉛直分布図を作成した結果を第 3~7 図に示した。

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

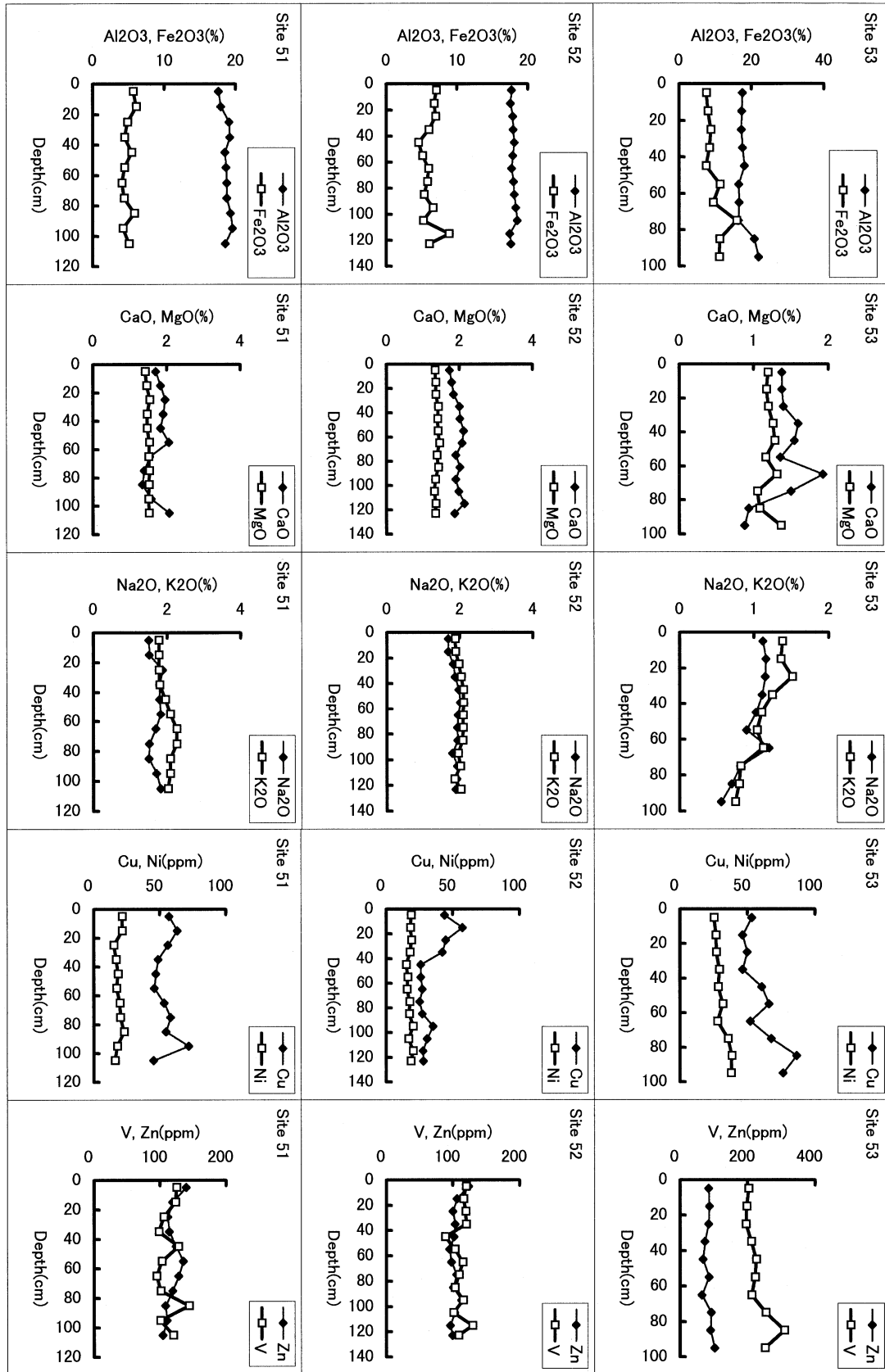
火山灰質土壌におけるこれら成分濃度の鉛直変化については寺島ほか (2001) で報告したが、ほとんどの柱状試料において最表層部から深度 50~100 cm に向かって濃度が増加する傾向があり、その原因は表層部では腐植物質や水分による希釈効果が大いこと、及び土壌の風化が進行するとシリカ、アルカリ土類金属、アルカリ金属の濃度が減少し、相対的に  $Al_2O_3$  及び  $Fe_2O_3$  等重金属の濃度が増加するためと解釈された。第 3~7 図及び第 A-1 表からわかるように、沖積層土壌では全体的傾向として表層~下層の濃度変化が小さく、一部を除外すると

ほぼ一定の化学組成を示している。これは、土壌母材の供給源に顕著な変化がなく、また表・下層における堆積粒子の風化度や腐植含有量の差が小さいことに起因するであろう。Site 55 の 40 cm 以深、Site 64, 68, 69, 73 の下層部ではいずれも  $Al_2O_3$  等の濃度が低いが、これらは岩相が砂層であるためであり、砂層及び砂に富む層準はシルト~粘土層に比べて例外なく低濃度を示すと言える。Site 56 の 30 cm 以深の古鬼怒川起源とされる桜川段丘堆積物は、 $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $MnO$  の濃度が上位の沖積層よりも明らかに低い (第 A-1 表)。Site 53, 58, 66, 67, 70 では、いくつかの層準で  $Fe_2O_3$  が 10% 以上、 $MnO$  が 0.2% 以上の高濃度を示しており、この原因としては風化・続成作用の影響と起源物質の特性の両者が考えられるが、これについては 4.2 で検討する。

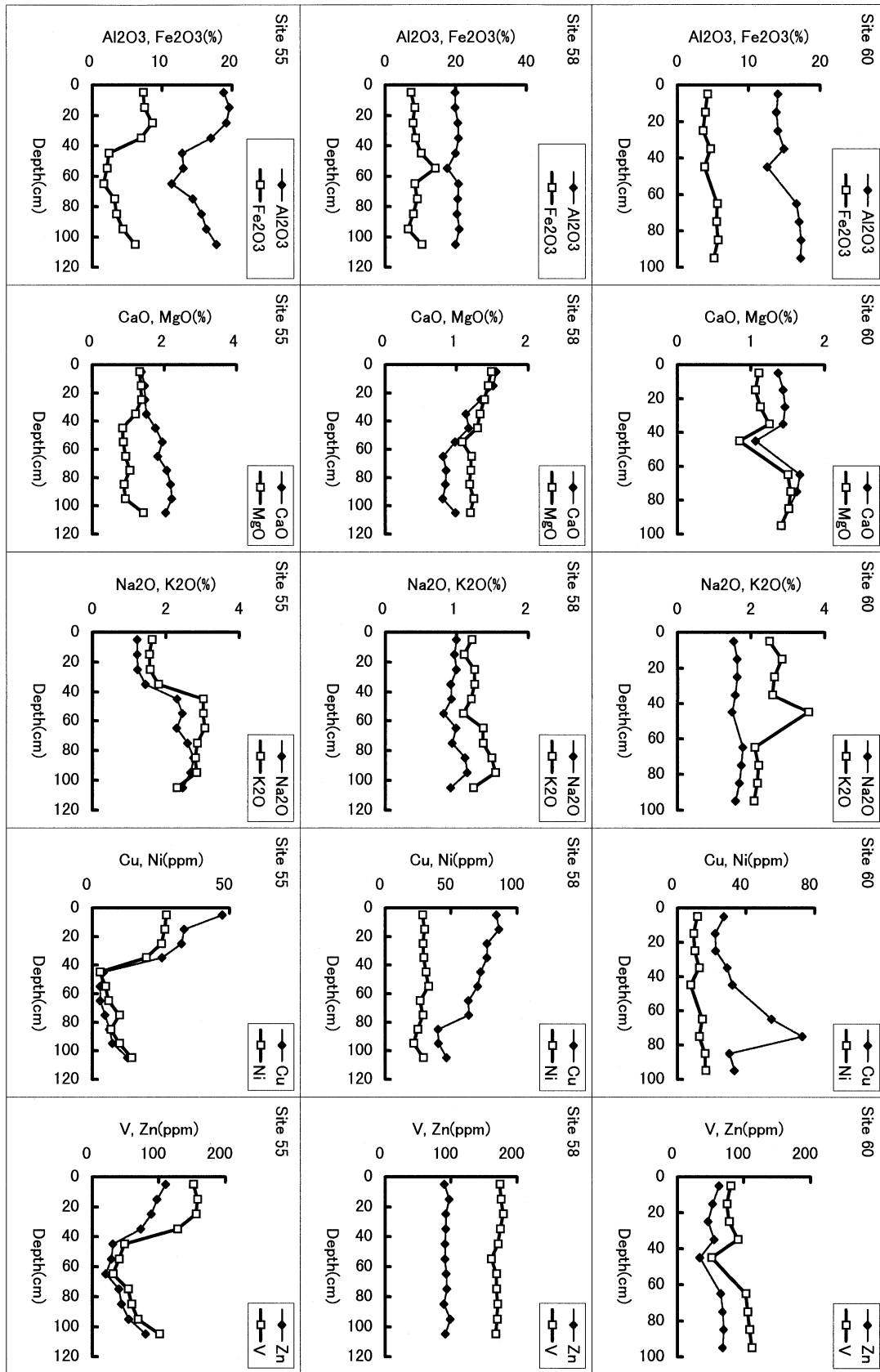
#### 2) $CaO$ , $MgO$ , $Na_2O$ , $K_2O$

これらの成分は、いずれも風化作用に伴って溶脱されるが、第 3~7 図の鉛直分布を検討すると必ずしも類似の変化を示していない。この原因は、沖積層土壌の母材に含有されるこれら成分の濃度差が大きいこと、及び風化に伴う溶脱挙動が成分により異なるためと考えられる。まず、1) で述べた成分の鉛直変化に大きな影響を与えた砂質粒子との関係を検討すると、Site 68, 69, 73, 74 の砂層ではほとんどの場合に  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$  が高濃度を示す。そして、Site 55 の砂層では  $MgO$  以外は高濃度であるが、Site 60, 64 では  $K_2O$  のみが高濃度である。この結果は、砂質部分は泥質部分に比べて風化の影響が小さく、 $CaO$ ~ $K_2O$  の濃度が高い場合が多いが、砂質粒子の母材が花崗岩類のようにアルカリ土類金属に乏しい場合は  $CaO$ ,  $MgO$  濃度が高くないと考えられる。富士山起源の火山灰を主な母材とする Site 66, 67 の表層部は、砂質粒子を多く含まないが  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$  の濃度が高く、 $K_2O$  の鉛直分布は Site 66 と 67 で異なっているので、文献のデータを加えて以下の検討を行った。

上野ほか (1992) は、Site 66 の北東方向約 12 km の横浜市長津田の水田で沖積層土壌を採取し、いくつかの元素を分析している。そこで、 $CaO$ ~ $K_2O$  のデータを本研究結果と比較することにし、第 8 図を作成した。この図からわかるように、いずれの成分も深度約 30 cm で最大濃度を示し、その上下の層準で低濃度となる傾向は Site 67 の場合とほとんど同じである。横浜市長津田は、鶴見川の支流恩田川の流域内にあり、この川の上流域は台地や丘陵であるため河川由来の碎屑物の影響があったとしても Site 67 の場合と同様に富士山起源の噴出物と考えられる。従って、富士山起源の噴出物を主な母材とする沖積層では第 8 図の Site U-2, 67 のような鉛直分布を示し、これに対して相模川のような大河川の流域では、富士山起源の噴出物と共に基盤岩由来の碎屑物の供給があるため Site 66 のように最大濃度を示す層準が不明瞭



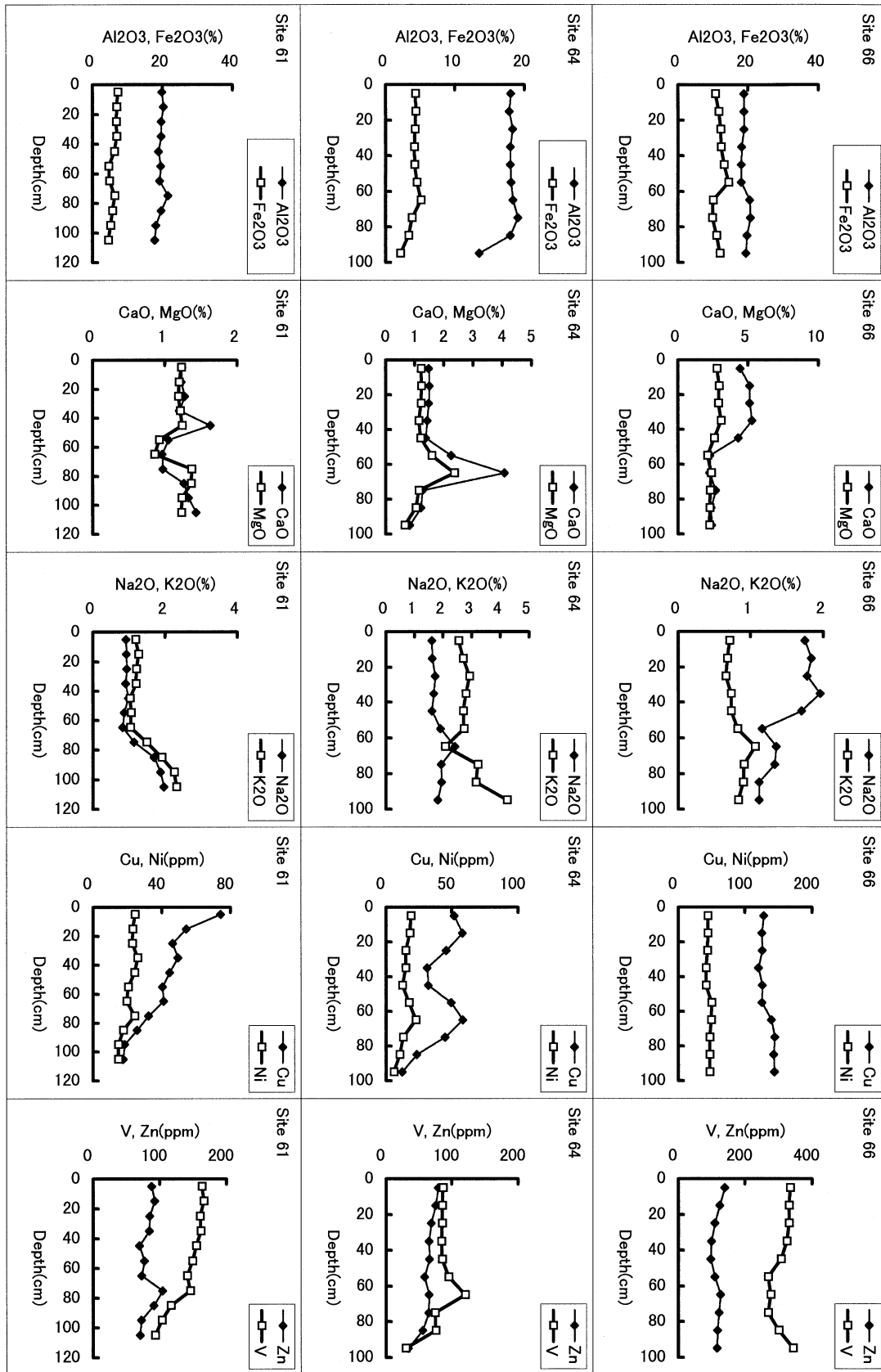
第3図 柱状試料 (sites 51-53) 中成分濃度の鉛直変化。  
 Fig. 3 Vertical variation of the elemental concentrations at sites 51 to 53.



第4図 柱状試料 (sites 55, 58, 60) 中成分濃度の鉛直変化。

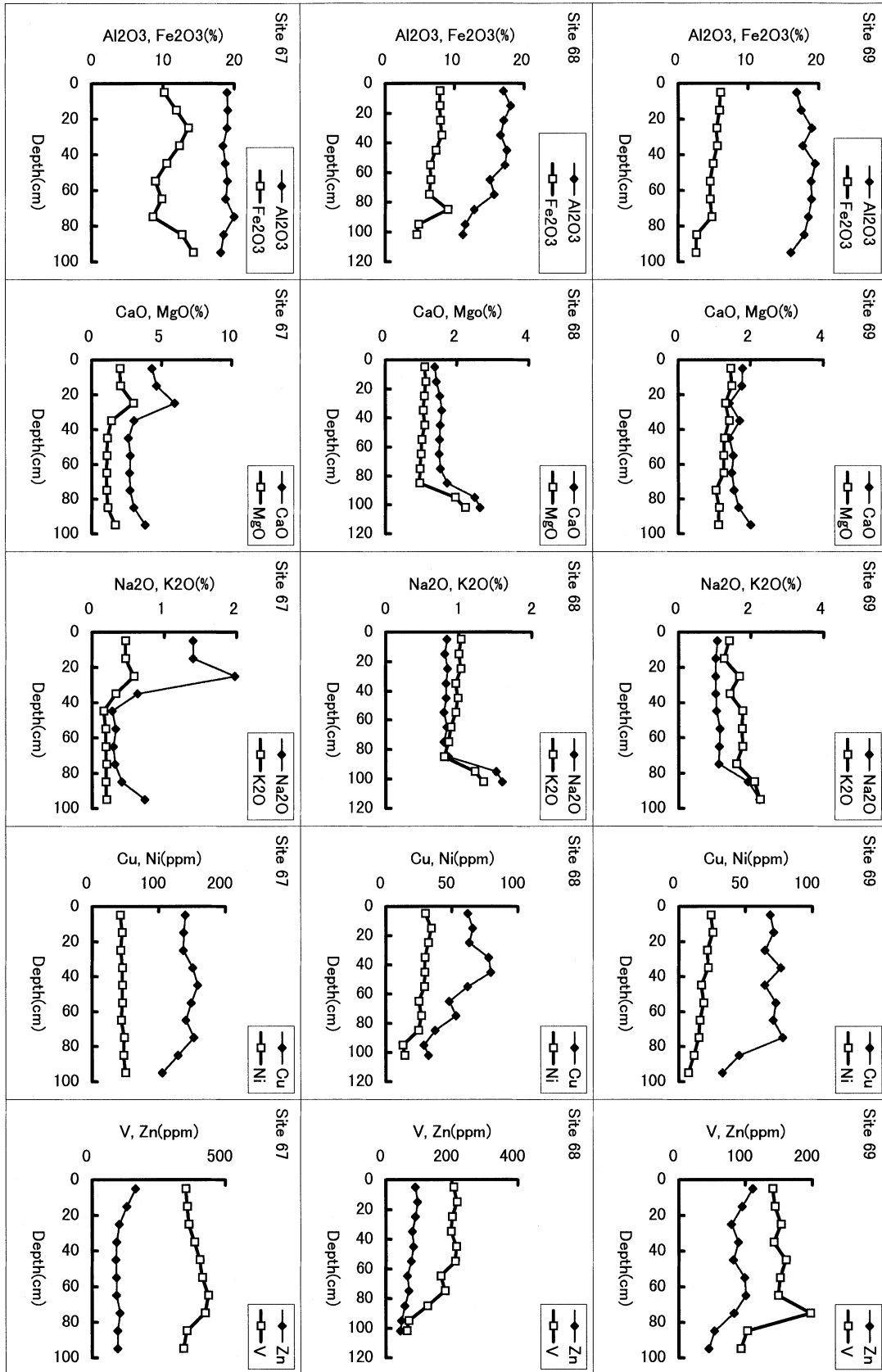
Fig. 4 Vertical variation of the elemental concentrations at sites 55, 58 and 60.



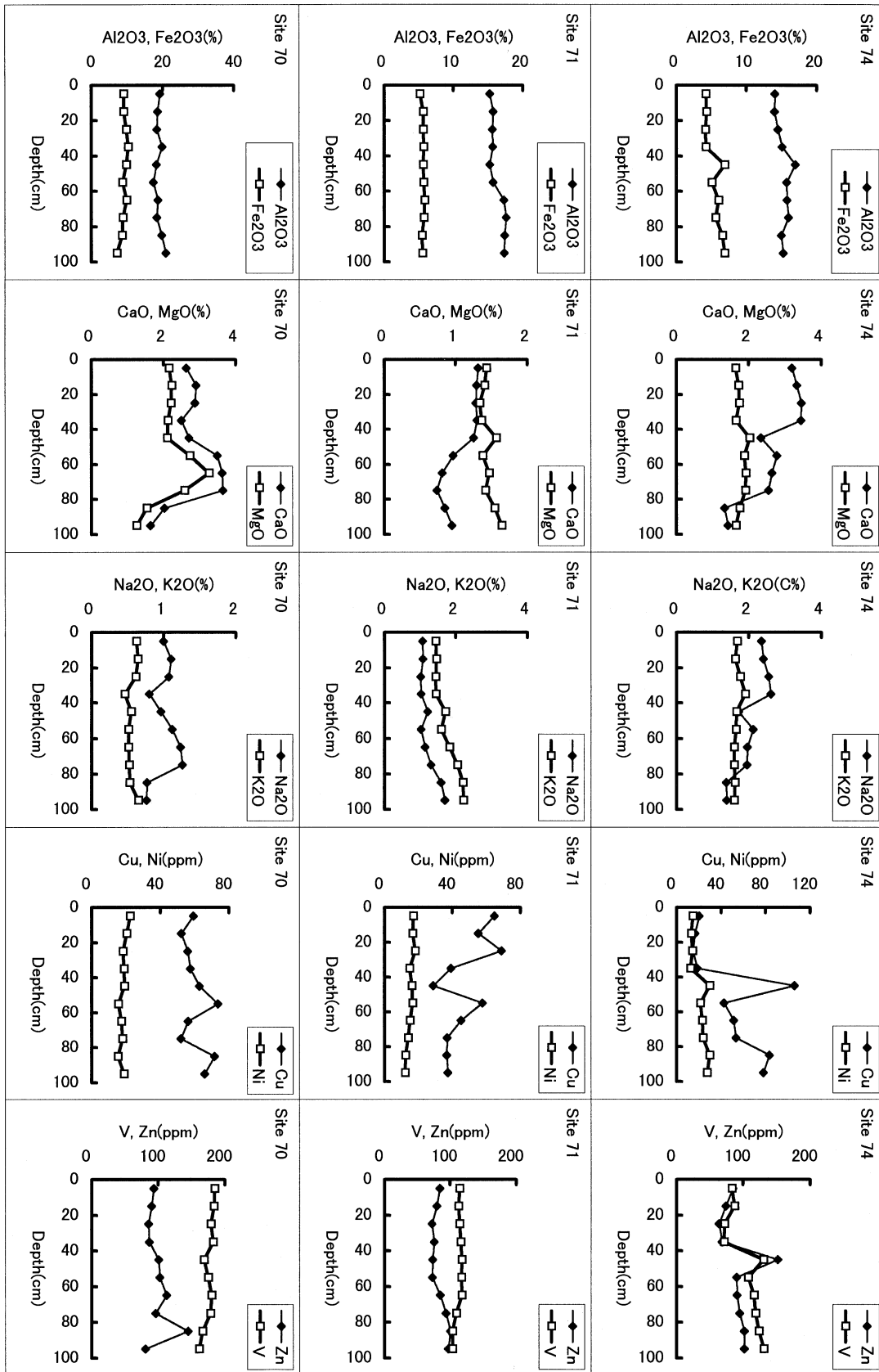


第5図 柱状試料 (sites 61, 64, 66) 中成分濃度の鉛直変化.

Fig. 5 Vertical variation of the elemental concentrations at sites 61, 64 and 66.

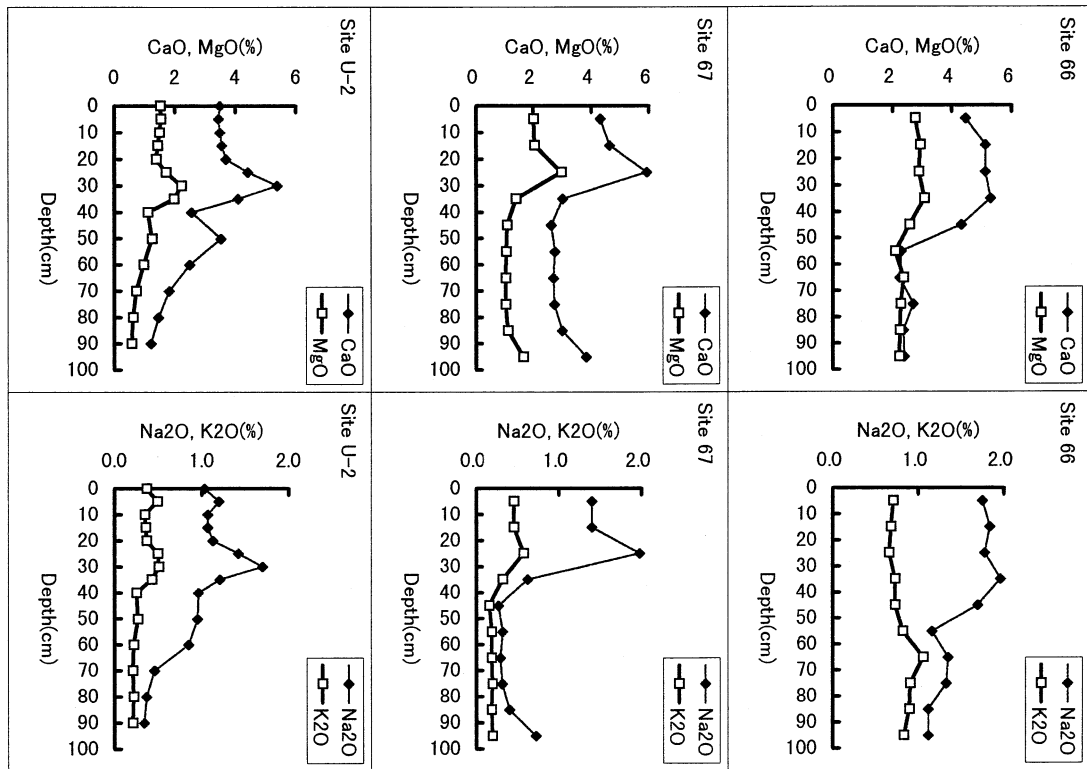


第6図 柱状試料 (sites 67, 68, 69) 中成分濃度の鉛直変化。  
 Fig. 6 Vertical variation of the elemental concentrations at sites 67, 68 and 69.



第7図 柱状試料 (sites 70, 71, 74) 中成分濃度の鉛直変化.

Fig. 7 Vertical variation of the elemental concentrations at sites 70, 71 and 74.



第8図 柱状試料 (sites 66, 67, U-2) 中成分濃度の鉛直変化。

Fig. 8 Vertical variation of the elemental concentrations at sites 66, 67 and U-2. Data of site U-2 are from Ueno *et al.* (1992).

で、下層部の  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  濃度が相対的に高い堆積層が形成されたと解釈される。富士山の噴出物を母材とする土壌の表層部でアルカリ・アルカリ土類金属濃度が増減するのは、富士山の噴出物の化学組成の変動を反映している可能性があり、これについては今後の研究課題としたい。

なお、Dゾーンの試料に限ったことではないが、カリウムは、りん、窒素と同様に肥料として散布されており、また植物の濃縮作用により表層部に濃集し易いとも言われるが、第3～8図からわかるように  $\text{K}_2\text{O}$  濃度は表層部で低い場合や、特に変化しない場合が多い。この原因としては、肥料として人為的に付加されたカリウムの量が  $\text{K}_2\text{O}$  の鉛直分布に影響しない程度であったか、あるいは付加されたカリウムが地層中に残留しないで流出してしまったことが考えられる。

### 3) 微量成分元素

$\text{Cu}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Zn}$  等の重金属は、一般に珪長質岩よりも苦鉄質岩に多く含有されており、主成分の鉄やマンガンと同じ地球化学的挙動を示す場合が多い。第3～7図を概観すると、一部を除き鉄と同様な鉛直変化を示している。これは、鉄と同様に砂層では低濃度で、母材の風化・変質に伴って微細な粒子に濃集しやすいためである。 $\text{Cu}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{V}$  等の鉛直分布は、近年の人為汚染の影響で変化している可能性があるため、これについて検討する。Site 52 では、 $\text{Cu}$  のみが表層付近で高濃度を示してい

る。しかし、その濃度は 50 ppm 前後で、この値は沖積層土壌全体の平均値 (51 ppm, 第2表) と同程度で、Site 51, 53 の下層部の値 (55～80 ppm) よりもやや低い (第3図)。従って、Site 52 における  $\text{Cu}$  濃度の変化は人為的な影響以外の要因によると考えられる。Site 55 の表層部では、 $\text{Cu}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{V}$  のいずれもが高濃度であるが、これは下層部が砂層であることによる相対的な濃度変化である。その他の試料に関しては、Site 58, 61, 71 における  $\text{Cu}$  を除外すると表層部で高濃度を示さない。Site 58, 61, 71 における  $\text{Cu}$  に関しては、人為汚染を否定する積極的な根拠は存在しないが、これらの水田のみで人為汚染が進んでいるとは考えにくい。また、これら試料における  $\text{Cu}$  の最高濃度 (86 ppm) は、富士山の噴出物を母材とする Site 66, 67 の試料の最低値 (106 ppm) よりも低い。以上のことから、本研究で分析した試料に関しては、顕著な重金属汚染は存在しないと結論できる。沖積層土壌における  $\text{Ba}$  の鉛直分布は  $\text{K}_2\text{O}$  に、 $\text{Sr}$  のそれは  $\text{CaO}$  に類似しており、ほぼすべての砂層及び砂に富む層準で高濃度を示した。これは  $\text{Ba}$ ,  $\text{Sr}$  の両者が母材の風化・変質に伴って溶脱・流失するために細粒部分では低濃度になると考えられる。 $\text{Ba}$  に富む層準は、ほとんどの場合に  $\text{K}_2\text{O}$  濃度が高く、それは花崗岩起源の碎屑物に由来し、カリウム長石や黒雲母が  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Ba}$  に富むためと解釈される。

第2表 試料採取地点別の成分濃度平均値.

Table 2 Average elemental concentrations of each site.

Zone name	Site No.	(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	70	10	18.98	9.18	0.71	0.19	2.80	2.22	1.01	0.56	362	173	61	18	99	176	23	91
	71	10	16.30	5.63	0.49	0.11	1.08	1.46	1.22	1.74	437	84	47	15	84	113	24	61
	72	9	17.27	5.24	0.66	0.08	1.70	1.43	1.27	1.44	458	130	55	15	88	143	20	75
	(ave.)	29	17.52	6.73	0.62	0.13	1.87	1.71	1.16	1.24	418	129	54	16	91	144	23	76
B(Koisegawa)	60	9	15.36	4.69	0.50	0.07	1.45	1.26	1.63	2.52	620	164	36	12	58	90	12	33
	61	11	19.46	5.93	0.71	0.11	1.23	1.18	1.18	1.44	442	124	40	21	83	141	21	62
	62	8	14.38	4.88	0.62	0.08	1.22	1.35	0.93	1.42	432	111	31	22	67	126	13	51
	63	10	17.29	6.22	0.81	0.10	1.73	2.57	1.05	1.86	424	127	39	22	79	148	18	46
	64	10	17.73	4.03	0.54	0.06	1.70	1.28	1.84	2.91	488	166	41	15	64	82	17	38
	65	10	17.80	4.84	0.69	0.07	2.05	2.27	1.01	1.31	413	165	33	17	70	132	17	42
(ave.)	58	17.16	5.13	0.65	0.08	1.57	1.66	1.28	1.91	468	143	37	18	71	120	17	46	
B(Sakuragawa)	53	10	18.05	9.91	0.83	0.18	1.39	1.21	0.98	1.11	426	126	61	31	84	228	26	93
	54	10	16.55	5.99	0.67	0.10	1.60	1.48	1.58	2.36	691	186	34	20	79	121	17	36
	55	11	16.01	4.85	0.47	0.08	1.80	1.10	2.06	2.40	601	184	16	14	61	91	14	37
	56	6	14.21	6.64	0.51	0.13	1.45	1.02	1.60	1.96	504	124	26	17	74	125	19	57
	57	6	14.32	2.70	0.37	0.05	1.27	0.88	1.91	4.54	893	199	38	5	48	39	10	13
	58	11	20.18	8.97	0.81	0.23	1.09	1.27	0.98	1.28	535	109	66	28	93	171	30	82
	(ave.)	54	16.95	6.80	0.64	0.13	1.44	1.19	1.48	2.12	594	153	41	20	75	136	20	56
B(Kokaigawa)	51	11	18.73	4.95	0.50	0.07	1.75	1.50	1.69	1.98	589	153	55	19	120	113	28	69
	52	13	17.91	6.19	0.53	0.13	1.96	1.38	1.89	2.01	561	179	34	18	104	112	26	70
	59	11	17.49	3.39	0.69	0.05	1.07	0.92	0.91	1.09	470	97	37	16	62	148	22	86
	(ave.)	35	18.03	4.92	0.57	0.09	1.61	1.27	1.52	1.71	541	145	42	18	96	124	25	75
C	68	11	15.44	6.97	0.66	0.07	1.72	1.23	0.96	1.01	285	139	55	26	73	168	17	57
	69	10	18.11	4.69	0.53	0.07	1.63	1.27	1.28	1.70	494	132	64	18	84	143	24	65
	73	8	15.11	4.20	0.49	0.06	2.87	1.39	2.07	1.31	325	195	37	13	54	105	14	44
	74	10	15.25	5.40	0.45	0.08	2.65	1.79	2.04	1.67	388	175	49	21	93	104	18	52
	75	5	13.81	4.38	0.40	0.08	3.36	1.90	2.36	1.68	388	207	13	14	66	78	13	38
	(ave.)	44	15.76	5.30	0.52	0.07	2.31	1.47	1.64	1.45	375	163	48	19	76	126	18	53
D	66	10	19.14	11.71	1.10	0.14	3.64	2.55	1.51	0.80	329	232	132	45	117	309	27	82
	67	10	18.87	11.24	1.27	0.22	3.55	1.55	0.78	0.30	236	227	140	45	106	383	24	86
	(ave.)	20	19.00	11.47	1.18	0.18	3.59	2.05	1.14	0.55	282	230	136	45	111	346	26	84
All the samples		240	17.18	6.23	0.65	0.10	1.89	1.50	1.40	1.65	468	155	51	21	82	147	20	60

### 4.3 集水域地質との関係

火山噴出物や広域風成塵等の分布特性を考慮すると、A～Dの各ゾーン内部においては火山噴出物の寄与はほぼ一定と見なすことができるので、沖積層土壌の化学組成の変動は主として河川由来砕屑物の供給量とその化学組成によって支配されることになる。そこで、各柱状試料別の平均値を算出し（第2表）、集水域地質との関係を検討することにした。

#### 1) Aゾーン

3本の柱状試料は、それぞれ異なる河川流域で採取した。Site 70は、他に比べてFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MnO、CaO、MgO等に富む特徴がある。Site 71と72では、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MnO、Na<sub>2</sub>O等約半数の濃度はほぼ一致するが、その他は異なっており、集水域の地質を反映すると考えられる。3.2で述べたように、Site 70の集水域には山地がなく、河川由来の砕屑物が供給されたとしてもその主要部分は火山噴出物と考えられる。既報（寺島ほか、2001）のように、本地域に供給された火山噴出物は主として安山岩質であり、そのFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>濃度は7.5～8.4%、MnOは0.11～0.12%程度と見積もられる。従ってSite 70におけるFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 9.18%、MnO 0.19%の高濃度は、火山噴出物の風化・続成過程における濃集と考えられる。風化・続成過程での濃集の一つは、風化に伴ってシリカやアルカリ・アルカリ土類が溶出・流失することによる相対的な濃集で、他

の一つは還元的な堆積層から鉄やマンガンが溶出し、酸化的環境下で再沈殿するものである。Site 70でのFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>濃度は前者で説明できるが、MnOについては後者を考慮すべきであろう。鉄やマンガンが続成過程で濃集する現象は極めて一般的であり、海底におけるマンガンノジュールや鉄-マンガンクラストとして良く知られており、また上野ほか（1992）は、沖積層土壌における鉄、マンガン等の溶脱と集積について検討している。

#### 2) Bゾーン

恋瀬川流域：Site 61は、恋瀬川流域の最下流に位置しており、もしこの沖積層が形成された当時にも現在と同様の水の移動があったとすれば、この流域の試料全体の平均的組成を示すことが期待できる。しかし、いくつかの成分濃度は流域全体の平均値に近いが、TiO<sub>2</sub>、Ni、Znは最低値、Baは最大値を示すなど花崗岩砕屑物の混入を示唆している。花崗岩砕屑物の供給源としては、付近に分布する段丘堆積物と、やや離れた地域に露出する花崗岩類（以下恋瀬川及び桜川流域の地質は宮崎ほか（1996）による）が考えられるが、いずれにしても沖積層が形成された当時の水の移動は限定的であったと言えよう。Site 61の周辺では、友部層が卓越するが、この試料はAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>や重金属に富み、アルカリ・アルカリ土類金属に乏しい特徴がある。Site 62は、本地域の試料ではAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が最低値で、重金属濃度も低い。重金属に乏しい

源岩としては、花崗岩や砂岩が考えられるが、この試料では  $K_2O$  も低いので、付近に分布する砂岩由来変成岩の影響であろう。Site 63, 64 の集水域では、花崗岩類が卓越する。そして Site 64 では重金属は概して低く、 $K_2O$  に富み、集水域の地質と良好な対応関係を示している。しかし、Site 63 の試料は花崗岩類に乏しいはずの  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $MgO$  等に富んでいる。従って、この試料では地形や水理の関係から流域での露出面積は約 20% と小さいが、道祖神峠とその南西部に分布するはんれい岩の影響が現れていると解釈される。Site 65 の試料は、 $CaO$ ,  $MgO$  に富む以外にこれといった特徴がなく、集水域地質との関係は不明瞭である。

桜川流域：各試料の化学組成を概観すると、恋瀬川流域の場合と同様に相互に類似する試料は存在しない。特に  $Fe_2O_3$  濃度は 2.70~9.91% と大きく変化する(第 2 表)。Site 53, 58 は鉄等の重金属に富み、また赤褐色の鉄酸化物が認められることから、風化・続成過程における濃集と考えられる。Site 54 は、多くの成分濃度が桜川流域全体の平均値に近いが、これは試料採取地点がある集水域の地質がトータル岩、変成岩、山麓緩斜面堆積物等桜川流域全体の傾向と一致するためであろう。Site 57 は、 $Al_2O_3$  や重金属に乏しく、 $K_2O$  と Ba に富んでいるが、これは本試料の主体がトータル岩、花崗岩起源の砂質粒子であることに起因する。Site 55, 56 は、いずれも重金属に乏しいが、前者には砂層が、後者には桜川段丘堆積物が含まれるためである。桜川流域の試料では、集水域の地形から見て Site 54, 57, 58 の試料は古鬼怒川の影響を受けていないと考えられる。

小貝川流域：前述したように、Site 51, 52 が小貝川と五行川から碎屑物の供給を受けるのに対して、59 は小貝川のみである。Site 51 と 52 の化学組成は比較的類似しており、59 に比べて  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ , Sr, Zn 等に富む特徴がある。五行川の碎屑物は、主として古鬼怒川に由来するので、小貝川の堆積物よりも鬼怒川の堆積物が  $Fe_2O_3$  等に富むことが予測されるが、これについては現在進行中の河川堆積物を分析対象とする地球化学図の研究で詳細に検討したい。

### 3) C ゾーン

C ゾーンでは、Site 68 のみが  $Fe_2O_3$ , Ni, V 等に富み、 $Na_2O$ ,  $K_2O$ , Ba に乏しい。これは、集水域が小さく山地もないため岩石由来の碎屑物の混入が少ないためであろう。Site 73~75 では、砂層の割合が大きい  $K_2O$ , Ba 濃度は特に高くなく、花崗岩由来の砂質粒子が少ないことを示唆しているが、実際に利根川流域では花崗岩類の露出は少ない。Site 74 では泥層の上位に砂層があり、この砂層は利根川の流路変更後に形成されたと考えられ、また化学組成の類似性から Site 75 の砂層についても同様であろう。このように、C ゾーンの沖積面の形成過程は複雑であるが、試料の化学組成は A, B ゾーンの場合

に比べて全体として変動が小さい(第 2 表)。これは、山地から遠く離れた沖積層土壌では基盤岩由来の碎屑物が均質化されており、試料の化学組成は主として粒度組成によって支配されることを示唆している。

### 4) D ゾーン

D ゾーンの試料は、他地域に比べて  $Fe_2O_3$  等重金属に富む特徴を有している(第 2 表)。これは、本地域の土壌母材が主として富士山の噴出物であることに起因する。参考までに富士山で採取された玄武岩の化学組成を第 3 表に示した。富士山の玄武岩と D ゾーンの土壌中の  $Al_2O_3$  や幾つかの重金属濃度はほぼ一致している。Site 66 は、67 に比べて  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ , Ba 濃度が高い。この原因として風化度の相違も考えられるが、 $CaO$ , Sr 等の濃度はほぼ等しいので、河川由来堆積粒子の混入率が異なるためであろう。

## 4.4 沖積層土壌の化学組成の特徴

本研究で分析した沖積層土壌の各ゾーン別の平均値と、火山灰質土壌(寺島ほか, 2001; 主として完新世に堆積したと考えられる表層部 50 cm) のそれを比較して第 3 表に示した。この表には、広域風成塵の一部を構成する中国内陸部の砂漠砂、関東北西部火山の噴出物の化学組成を代表すると考えられる赤城山、男体山の安山岩類、関東南部に降下した火山灰の組成を代表する富士山の玄武岩類、さらに加藤ほか(2000)が報告した日本全国の沖積層土壌 336 試料の平均値も併せて示した。本研究で得られた関東平野の沖積層土壌の平均値は、全国平均に比べて  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , Cu, V がわずかに高く、その他は同程度かやや低いと全体的には類似している。

沖積層土壌と火山灰質土壌の各ゾーン別の平均値を比較すると、若干の例外はあるが  $Al_2O_3$  や重金属等風化によって濃度を減じない傾向のある元素のほとんどは沖積層よりも火山灰質土壌が高濃度で、 $CaO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ , Ba, Sr 等風化によって溶脱・流失する元素は火山灰質土壌で低い。つぎに化学組成の南北方向の変化に注目すると、火山灰質土壌では重金属のほとんどが最南部の D ゾーンで最も高く、北部に向かって漸減する。しかし、沖積層土壌では D ゾーンのみは他よりも高いが、A~C ゾーンでは系統的な変化は認められない(第 3 表, 第 9 図)。この結果は、火山灰質土壌では火山噴出物の特徴を直接反映して南から北へ重金属濃度が減少するのに対して、沖積層土壌では河川起源堆積粒子の希釈効果により、火山噴出物の化学組成変化がそのまま反映されないことを意味する。

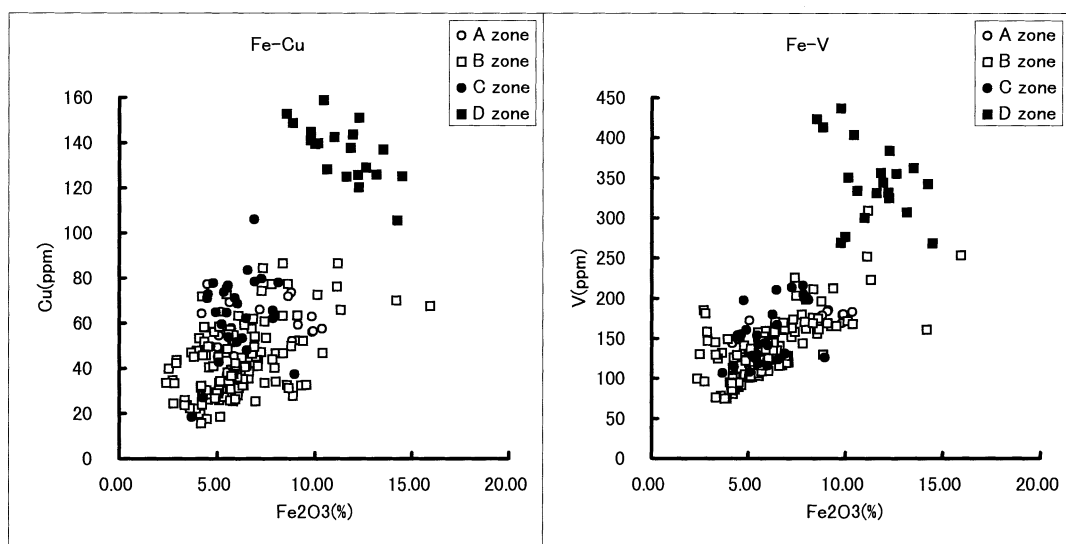
第 4 表, 第 10 図は、茨城県下の八郷町周辺で採取した沖積層土壌、火山灰質土壌、河川堆積物の化学組成を比較したものである。沖積層土壌と河川堆積物の化学組成は類似しているが、火山灰質土壌は前二者に比べて重金属に富み、アルカリ・アルカリ土類金属に乏しい。第 11

第3表 地域別の成分濃度平均値.

Table 3 Average elemental concentrations of four regions.

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, Alluvial soils	29	17.52	6.73	0.62	0.13	1.87	1.71	1.16	1.24	418	129	54	16	91	144	23	76
A zone, Volcanic ash soils (A)	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, Alluvial soils	147	17.29	5.69	0.63	0.10	1.53	1.39	1.41	1.94	532	147	40	19	78	127	20	57
B zone, Volcanic ash soils (A)	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, Alluvial soils	44	15.76	5.30	0.52	0.07	2.31	1.47	1.64	1.45	375	163	48	19	76	126	18	53
C zone, Volcanic ash soils (A)	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, Alluvial soils	20	19.00	11.47	1.18	0.18	3.59	2.05	1.14	0.55	282	230	136	45	111	346	26	84
D zone, Volcanic ash soils (A)	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 alluvial soils	240	17.18	6.23	0.65	0.10	1.89	1.50	1.40	1.65	468	155	51	21	82	147	20	60
All the volcanic ash soils (A)	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), (B)	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, (C)	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, (C)	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, (D)	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, (D)	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
Japanese alluvial soils(E)	366	16.50	5.68	0.72	0.10	2.40	1.68	2.05	2.18	494	182	41	32	118	115	n.g.	n.g.

(A), Terashima et al. (2001); (B), Ishii et al. (1995); (C), Chihara (1968); (D), Togashi and Terashima (1997); (E), Kato et al. (2000); (n), number of samples; n.g., not given.



第9図 鉄濃度と銅及びバナジウム濃度との関係図.

Fig. 9 Plots of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vs Cu and V contents.

第4表 八郷町及びその周辺地域で採取した沖積層土壌, 火山灰質土壌, 河川堆積物中の成分濃度の最小, 最大, 平均値.

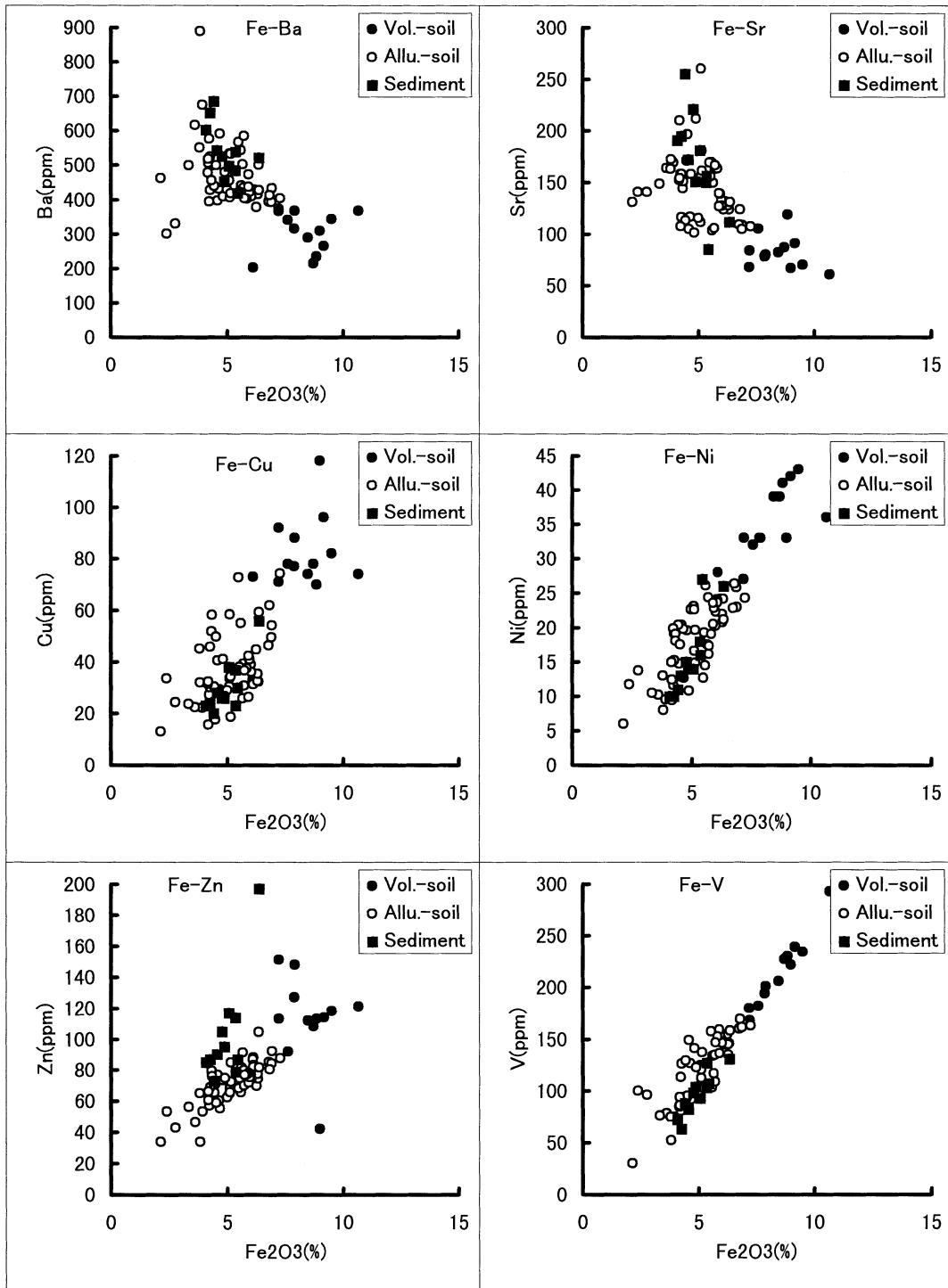
Table 4 Minimum, maximum and average elemental concentrations in the alluvial soils, volcanic ash soils and the river sediments collected around the Yasato area.

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)
Alluvial soils	min.	12.63	2.15	0.31	0.02	0.84	0.66	0.40	0.81	302	101	13	6	34	30	6	14
	max.	21.55	7.28	0.96	0.18	4.07	2.95	2.41	4.23	889	260	74	26	105	169	24	78
	ave.	58	17.16	5.13	0.65	0.08	1.57	1.66	1.28	1.91	468	143	37	18	71	120	17
Volcanic ash soils (A)	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
	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
	ave.	13	18.44	8.34	0.90	0.18	1.06	1.39	0.90	0.95	307	86	82	35	113	210	25
River sediments (A)	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
	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
	ave.	12	14.96	5.46	0.76	0.10	1.65	1.64	1.88	2.12	512	167	29	17	106	106	12
Japanese upper crust (B)		14.67	5.39	0.62	0.11	3.90	2.53	2.72	2.42	458	225	25	38	74	110	26	135

(A), Terashima et al. (2001); (B), Togashi et al. (2000)

図は, 霞ヶ浦に流入する桜川の流域で採取した沖積層土壌の重金属濃度と, 霞ヶ浦の湖底堆積物 (大山入; 寺島ほか, 1991) のそれを比較したものである. 沖積層土壌における濃度変化の範囲は湖底堆積物に比べて大きい

が, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, Cu 濃度の平均値はほぼ一致した. Ni, Zn 濃度は湖底堆積物のほうがやや高いが, これは近年になって人為的に付加された部分の影響と考えられる. 以上のことから, 沖積層土壌の化学組成は概括的には河



第10図 八郷町及びその周辺地域で採取した火山灰質土壌(●), 沖積層土壌(○), 河川堆積物(■)中の元素濃度の比較.

Fig.10 Comparison of the elemental concentrations among the volcanic ash soils (●), alluvial soils (○), and river sediments (■) collected around the Yasato area.

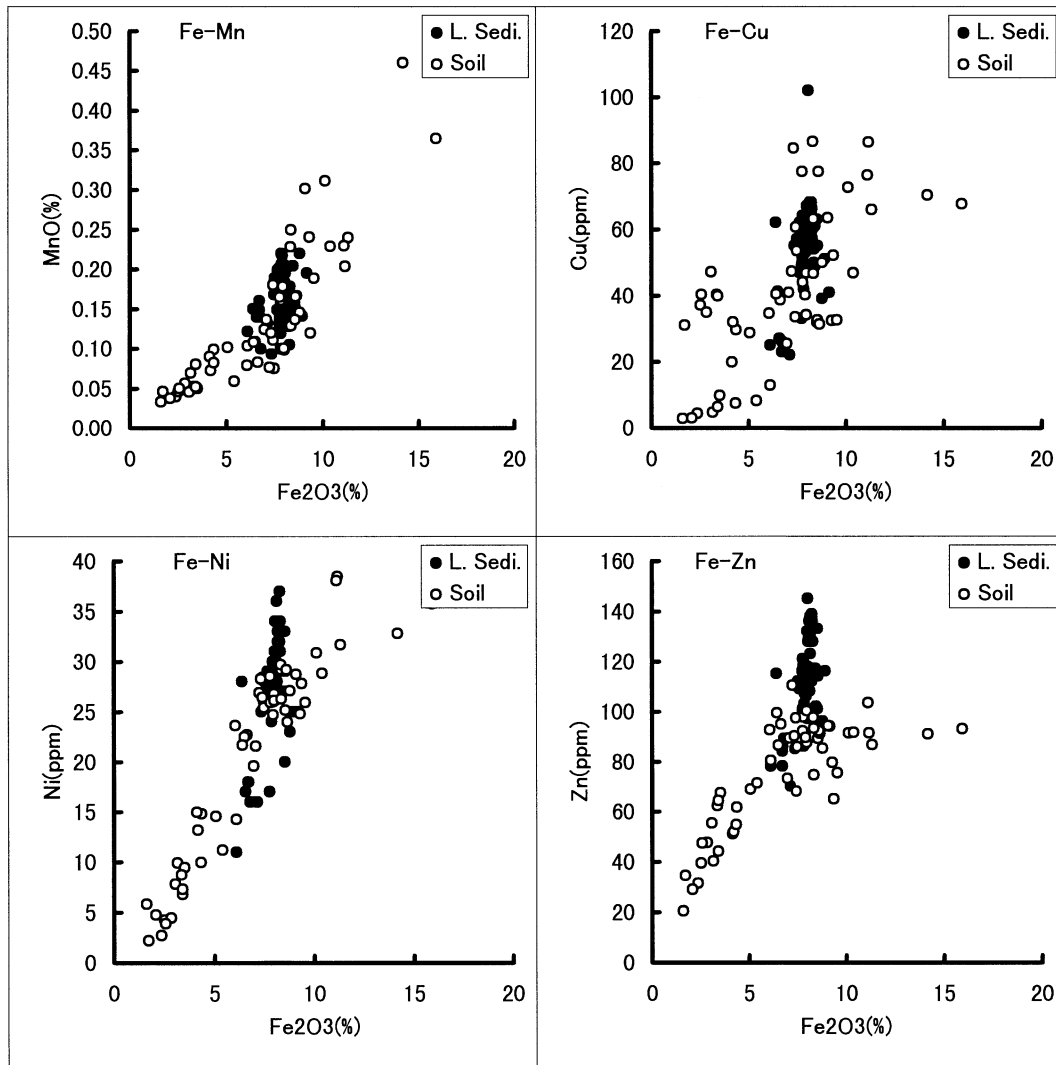
川堆積物や湖沼堆積物に類似し、火山灰質土壌とは相違点が多いと結論される。

#### 4.5 沖積層土壌の堆積速度

火山灰質土壌の堆積速度については寺島ほか(2001)で議論したが、Dゾーンを除外すると0.03~0.08 mm/年

であった。つくば市周辺の沖積層土壌については、宇野沢ほか(1988)が腐植土や材化石を用いた<sup>14</sup>C年代の測定結果を報告しているので、そのデータをもとに5地点における堆積速度を算出した(第5表)。その結果によれば、堆積速度は集水域の上流部よりも下流部で速い傾向が認められ、0.34~1.2 mm/年である。この値は、Dゾー





第 11 図 霞ヶ浦の湖底堆積物 (●) と桜川流域の沖積層土壌 (○) 中の元素濃度の比較。

Fig. 11 Comparison of the elemental concentrations between the Lake Kasumigaura sediments (●) and the alluvial soils collected around the Sakuragawa river (○).

ンを除く火山灰質土壌の堆積速度の約 10 倍に相当する。第 5 表には、日本の代表的湖沼における堆積速度も示してある。同一湖沼においても堆積速度の早い場所と遅い場所があるが、全体としては 0.2~5.6 mm/年である。従って、沖積層土壌の堆積速度は、概括的には現在の湖沼における堆積速度と同じかやや遅い程度であったと言える。

## 5. ま と め

土壌地球化学図の作成に関する予察的研究の一環として、関東各地の沖積層から採取した 25 本の柱状試料について主・微量元素を分析し、以下の結果を得た。

1) 沖積層土壌の母材は、火山噴出物とその風化生成物、河川由来碎屑物、広域風成塵等であるが、重要なのは前二者であり、化学組成を支配する要因としては火

山、河川起源物質の供給源とその混合割合、堆積粒子の粒度組成、風化・変質に伴う溶脱と濃集等が重要と考えられた。

2) 沖積層土壌における元素濃度の鉛直変化は、火山灰質土のそれに比べて小さかった。これは土壌母材の供給源に顕著な変化がない場合が多く、また表層・下層における風化度や腐植含有量の差が火山灰質土のそれに比べて小さいためと解釈された。

3) 沖積層土壌中の火山起源物質の粒径は概して細粒であり、砂質粒子は主として河川由来であった。砂質粒子は風化・変質に伴って微細化し、アルカリ・アルカリ土類金属が溶出・減少し、細粒部分ではアルミニウム、チタン、重金属等が相対的に増加する。鉄やマンガンは、堆積層の酸化・還元状態の変化に伴う溶出と再沈殿で金属酸化物として濃集する場合もある。

4) 火山起源物質の影響が同程度の地域内において

第5表 沖積層土壌と湖沼堆積物の堆積速度。

Table 5 Sedimentation rates of the alluvial soils and the lake sediments.

Sample & Area	Sedimentation rate (mm/yr)	Reference
Alluvial soils, Hasunomagawa (Tsukuba c.)	0.34	Unosawa et al.(1988)
, Higashiyatagawa (Tsukuba c..)	0.52	do.
, Higashiyatagawa (Kukizaki t.)	0.98	do.
, Ushikunuma (Ushiku c.)	1.08	do.
, Ushikunuma (Ushiku c.)	1.2	do.
Lake sediments, Lake Kasumigaura	0-4(ave. 1.5)	Inouchi et al.(1983)
, Lake Hamana	1.6-4.8	Ikeya et al.(1987)
, Lake Biwa	0.8	Matsumoto(1975)
, Lake Biwa	2.4	Kamiyama et al.(1982)
, Lake Shinji	0.2-5.6	Kanai et al.(1997)
, Lake Suigetsu	1.1	Matsuyama(1974)
, Lake Nojiri	0.2	Tsukada(1967)

は、沖積層土壌の化学組成は集水域の地質を反映して変化する。山間部の規模が小さい沖積面では試料採取地点近傍の基盤地質と碎屑物の粒度組成が重要であるが、広大な平野部を流下する河川の下流域では基盤岩由来碎屑物の組成は均質化され、主として粒度組成の相違が化学組成の変動要因となる。

5) 沖積層土壌の化学組成は、同一地域の火山灰質土のそれに比べてアルミニウム、チタン、重金属類に乏しく、アルカリ・アルカリ土類金属に富む特徴があり、概括的には河川堆積物や湖沼堆積物に類似する。また、つくば市周辺地域における沖積層土壌の堆積速度は、日本の代表的湖沼における速度と同じかやや遅い程度であった。

## 文 献

千葉県水質保全研究所 (1984) 手賀沼の底質—汚染泥の堆積と性状—. 水保研資料 no. 39, 49 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.  
 池田 宏・小野有五・佐倉保夫・増田富士雄・松本栄次 (1977) 筑波台地周辺低地の地形発達—鬼怒川の流路変更と霞ヶ浦の成因—. 筑波の環境研究, no. 2, 104-113.  
 池谷仙之・和田秀樹・大森真秀 (1987) 浜名湖のボーリング柱状試料について. 静岡大学地球科学研究報告, 13, 67-111.  
 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. 地質調査所地質環境アトラス「山形市周辺地域」 p. 37-40.

井内美郎・斎藤文紀・横田節哉 (1983) 霞ヶ浦湖底泥の堆積速度—火山灰を用いた堆積速度算定法—. 地質学雑誌, 89, 125-128.

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.

Kamiyama, K., Okuda, S. and Koyama, M. (1982) Vertical distribution of <sup>137</sup>Cs and its accumulation rate in lake sediments. *Jap. J. Limnol.*, 43, 35-38.

金井 豊・井内美郎・山室真澄・徳岡隆夫 (1997) 島根県宍道湖の底質における堆積速度と堆積環境. 地球化学, 32, 71-85.

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.

加藤邦彦・小原 洋・中井 信・東 照雄 (2000) 日本の沖積土壌における元素組成—その地域性および農耕地土壌分類との関係—. 日本土壤肥料学雑誌, 71, 143-153.

Kuma, K. and Kawaguchi, K. (1976) Soil material classification for paddy soils in Japan. *Soil. Sci. Plant Nutr.*, 22, 111-124.

松本英二 (1975) 210Pb法による琵琶湖湖底泥の堆積速度. 地質学雑誌, 81, 301-305.

Matsuyama, K. (1974) Vertical distribution of

- some chemical substance in surface sediments of a meromictic Lake Suigetsu. *Jour. Ocean. Soc. Japan*, **30**, 209-215.
- 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, 103p.
- 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.
- 寺島 滋・井内美郎・斎藤文紀・宮田雄一郎・片山肇・寺島美南子 (1991) 湖沼浚渫域の底質における元素の鉛直分布と化学的性質. *地調月報*, **42**, 387-407.
- 寺島 滋・今井 登・岡井貴司 (2001) 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. *地調月報*, **52**, 9-40.
- 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.
- Togashi, S., Imai, N., Okuyama-Kusunose, Y., Tanaka, T., Okai, T., Koma, T. and Murata Y. (2000) Young upper crustal chemical composition of the orogenic Japan Arc. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, vol. **1**, Paper number 2000GC000083.
- 塚田松雄 (1967) 野尻湖における化石枝角類と生態的秩序. *第四紀研究*, **6**, 101-110.
- 上野広行・鶴見 実・一國雅巳 (1992) 関東ロームを母材とする水田土壌中の化学元素の分布と移動. *地球化学*, **26**, 83-94.
- 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, 139p.
- 若月利之・片山幸士・石田紀郎・松雄嘉郎 (1978) 沖積および洪積土壌の風化過程における諸元素の挙動 (第2報), 元素の相対的 resistate 性, hydrolyzate 性, および oxidate 性. *日本土壌肥科学雑誌*, **49**, 39-45.

(受付: 2001年7月12日; 受理: 2001年10月30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)
51	5	17.62	5.68	0.51	0.07	1.71	1.41	1.51	1.77	521	122	57	22	140	125	27	67
	15	17.93	6.08	0.51	0.09	1.84	1.46	1.52	1.77	520	134	63	21	119	123	27	68
	25	19.12	4.86	0.54	0.09	1.96	1.54	1.88	1.77	550	158	56	15	112	105	29	83
	35	19.20	4.43	0.54	0.06	1.90	1.47	1.80	1.79	556	155	49	17	114	98	31	80
	45	18.52	5.43	0.52	0.09	1.84	1.47	1.80	1.95	587	151	47	18	125	128	31	66
	55	18.66	4.44	0.49	0.07	2.06	1.53	1.83	2.08	605	155	46	17	135	103	28	63
	65	18.79	4.07	0.49	0.06	1.54	1.51	1.69	2.26	658	140	53	20	128	95	28	67
	75	18.78	4.37	0.46	0.06	1.40	1.53	1.52	2.26	646	130	58	20	119	101	25	60
	85	19.30	5.84	0.49	0.06	1.34	1.52	1.51	2.08	627	241	55	23	108	144	28	70
	95	19.57	4.22	0.52	0.06	1.58	1.50	1.71	2.08	636	144	72	18	111	100	27	70
	105	18.56	5.08	0.48	0.07	2.07	1.52	1.83	2.02	576	152	45	16	104	120	24	64
52	5	17.70	7.09	0.53	0.14	1.73	1.33	1.69	1.88	542	150	44	19	124	120	26	71
	15	17.58	6.78	0.52	0.14	1.80	1.35	1.69	1.89	546	164	58	18	107	116	25	69
	25	17.89	6.99	0.52	0.11	1.85	1.36	1.83	1.98	566	180	45	19	100	120	25	69
	35	17.96	6.03	0.53	0.15	2.01	1.43	1.88	2.04	567	186	42	18	104	120	27	69
	45	18.12	4.53	0.52	0.09	2.02	1.41	1.98	2.10	592	190	26	15	102	89	24	70
	55	17.88	5.11	0.50	0.14	2.12	1.42	2.02	2.10	571	190	26	16	96	103	23	64
	65	17.72	5.95	0.52	0.17	2.08	1.46	1.96	2.09	571	187	27	16	98	115	26	71
	75	17.98	5.82	0.55	0.13	1.91	1.38	1.94	2.09	575	180	25	18	106	110	26	75
	85	18.10	5.35	0.54	0.11	2.02	1.43	1.95	2.08	563	179	27	17	101	103	26	73
	95	18.33	6.61	0.53	0.15	1.91	1.35	1.81	1.96	553	173	36	20	114	116	27	71
	105	18.51	5.22	0.56	0.11	1.99	1.32	1.94	2.02	568	188	31	17	103	101	29	76
	115	17.45	8.88	0.51	0.15	2.14	1.36	1.93	1.86	518	188	28	20	96	130	26	67
	123	17.61	6.06	0.52	0.10	1.88	1.35	1.90	2.03	555	173	28	18	100	109	27	69
53	5	17.58	7.50	0.77	0.07	1.38	1.19	1.12	1.38	445	118	53	25	86	203	25	86
	15	17.42	8.00	0.74	0.10	1.38	1.17	1.16	1.36	441	121	47	27	87	198	25	86
	25	17.25	8.81	0.73	0.15	1.40	1.20	1.15	1.51	481	128	50	27	85	196	24	80
	35	17.62	8.37	0.77	0.13	1.60	1.26	1.11	1.24	417	133	47	29	75	211	25	88
	45	18.10	7.44	0.82	0.18	1.55	1.28	1.03	1.10	399	124	61	28	68	226	27	91
	55	16.53	11.34	0.82	0.24	1.36	1.16	0.90	1.04	391	111	66	32	87	223	24	91
	65	16.69	9.39	0.69	0.12	1.93	1.31	1.20	1.12	382	140	52	28	65	212	23	75
	75	16.43	15.94	0.78	0.36	1.50	1.05	0.82	0.82	361	120	68	36	93	253	26	90
	85	20.82	11.18	1.11	0.20	0.94	1.08	0.70	0.80	448	130	86	38	91	309	26	125
	95	22.03	11.13	1.13	0.23	0.88	1.37	0.56	0.75	499	134	76	38	103	252	30	123
	54	5	17.09	6.07	0.72	0.08	1.52	1.51	1.52	2.22	633	172	35	24	92	125	19
15		18.03	6.65	0.77	0.08	1.56	1.59	1.51	2.08	639	174	39	23	95	141	21	41
25		18.75	7.83	0.79	0.16	1.66	1.76	1.51	2.08	679	180	44	26	98	144	20	42
35		19.33	8.00	0.83	0.10	1.53	1.73	1.37	1.87	577	169	34	26	100	162	27	43
45		15.69	5.08	0.59	0.10	1.68	1.42	1.79	2.58	671	208	29	15	69	101	14	29
55		14.20	4.37	0.51	0.10	1.66	1.19	1.69	3.00	803	204	30	15	62	94	12	32
65		13.28	4.15	0.50	0.09	1.63	1.10	1.66	2.72	748	194	20	15	51	92	11	31
75		13.68	4.20	0.51	0.07	1.61	1.11	1.66	2.83	809	195	32	13	52	94	11	33
85		17.03	6.51	0.74	0.11	1.49	1.61	1.45	2.12	676	170	41	22	87	135	20	42
95		18.41	7.09	0.77	0.14	1.63	1.80	1.65	2.08	681	193	41	22	89	128	20	35
55		5	18.81	7.25	0.74	0.08	1.37	1.31	1.22	1.62	504	123	47	27	110	152	25
	15	19.64	7.43	0.78	0.11	1.45	1.35	1.22	1.55	480	124	33	26	97	158	26	68
	25	19.20	8.57	0.75	0.14	1.46	1.36	1.23	1.57	492	127	33	25	89	156	26	67
	35	16.98	6.98	0.62	0.12	1.51	1.19	1.45	1.80	534	139	25	20	73	128	21	50
	45	12.90	2.38	0.26	0.04	1.75	0.84	2.31	3.02	695	200	4	3	31	48	7	18
	55	13.03	2.10	0.23	0.04	1.95	0.86	2.45	3.02	668	213	3	5	29	40	6	14
	65	11.35	1.63	0.17	0.03	1.81	0.92	2.30	3.06	691	201	3	6	20	31	5	11
	75	14.42	3.16	0.31	0.07	2.07	1.03	2.60	2.85	662	220	5	10	40	54	8	20
	85	15.65	3.43	0.33	0.08	2.17	0.87	2.76	2.80	663	235	6	7	44	59	9	23
	95	16.31	4.35	0.39	0.08	2.20	0.91	2.68	2.83	660	237	7	10	55	69	9	24
	105	17.79	6.11	0.64	0.10	2.03	1.42	2.46	2.30	564	201	13	14	80	101	16	42
56	5	14.85	8.67	0.61	0.17	1.52	1.08	1.20	1.44	421	121	31	24	91	161	21	62
	15	14.74	9.31	0.63	0.24	1.52	1.06	1.14	1.40	429	116	32	25	79	165	21	66
	25	14.76	9.56	0.64	0.19	1.48	1.08	1.15	1.40	411	112	33	26	75	165	22	69
	35	13.84	5.42	0.47	0.06	1.40	1.02	1.99	2.41	582	134	8	11	71	103	19	50
	45	14.03	3.52	0.41	0.05	1.37	1.03	2.11	2.55	591	132	10	9	67	82	18	48

関東平野における沖積層土壌の化学組成 (寺島 ほか)

第 A-1 表 (2) 分析結果.

Table A-1 (2) 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)
56	55	13.02	3.37	0.33	0.05	1.41	0.84	2.00	2.58	591	130	40	9	62	74	15	45
57	5	15.14	3.08	0.42	0.04	1.47	1.00	2.00	3.70	840	196	47	8	55	51	12	18
	15	15.61	3.43	0.46	0.05	1.53	1.07	1.95	3.56	764	194	40	7	64	58	15	21
	25	14.43	2.54	0.34	0.05	1.23	0.81	1.94	6.65	981	205	37	4	40	35	9	13
	35	12.31	1.74	0.25	0.05	0.96	0.58	1.64	4.64	993	194	31	2	35	22	7	8
	45	14.64	2.86	0.39	0.06	1.24	0.94	1.98	4.45	898	205	35	4	48	35	8	11
58	55	13.81	2.58	0.37	0.05	1.19	0.86	1.96	4.24	883	202	40	4	47	31	8	9
	5	19.90	7.34	0.79	0.12	1.56	1.48	1.00	1.21	483	116	84	28	90	174	27	86
	15	19.88	8.35	0.79	0.23	1.52	1.44	0.97	1.10	481	116	86	30	98	176	28	82
	25	20.66	7.79	0.82	0.16	1.34	1.39	1.00	1.25	523	118	77	28	92	179	29	88
	35	20.87	8.62	0.82	0.17	1.14	1.33	0.92	1.25	538	110	77	29	92	175	29	81
	45	19.95	10.14	0.80	0.31	1.17	1.29	0.93	1.20	513	108	73	31	91	171	29	84
	55	17.71	14.20	0.70	0.46	0.98	1.08	0.82	1.09	489	92	70	33	91	161	29	69
	65	20.86	8.37	0.85	0.25	0.81	1.21	0.99	1.37	583	101	63	26	93	169	31	86
	75	20.62	9.11	0.85	0.30	0.86	1.20	0.94	1.37	589	103	63	29	94	169	31	85
	85	20.45	7.95	0.82	0.18	0.85	1.18	1.12	1.49	575	112	40	25	89	170	32	81
95	21.02	6.43	0.87	0.11	0.81	1.24	1.15	1.54	589	116	40	22	99	170	34	81	
59	105	20.01	10.41	0.82	0.23	0.99	1.19	0.92	1.23	523	105	47	29	92	168	30	82
	5	17.07	5.55	0.68	0.11	1.74	1.51	0.93	1.10	427	121	49	23	96	151	23	85
	15	16.95	3.96	0.66	0.10	1.62	1.12	0.64	0.80	404	116	48	19	56	149	23	75
	25	16.22	3.68	0.63	0.07	1.10	0.76	0.45	0.69	395	94	47	18	48	132	23	66
	35	18.48	2.53	0.71	0.04	0.71	0.77	0.77	0.95	442	78	40	16	62	130	23	85
	45	18.57	2.93	0.73	0.03	0.70	0.74	0.77	0.95	447	74	44	13	61	147	30	95
	55	17.29	2.92	0.72	0.04	0.79	0.78	0.86	1.00	424	78	42	16	60	158	35	91
	65	17.24	2.73	0.76	0.03	0.77	0.78	1.05	1.23	463	83	35	12	60	185	25	100
	75	17.56	2.83	0.74	0.03	0.85	0.84	1.08	1.32	506	90	33	16	61	181	20	97
	85	17.07	3.33	0.67	0.03	1.02	0.87	1.12	1.28	525	102	24	15	60	145	16	87
60	95	17.81	3.47	0.62	0.03	1.16	0.92	1.11	1.34	568	113	24	15	58	125	13	82
	105	18.08	3.35	0.62	0.03	1.33	1.00	1.20	1.34	573	122	26	17	62	130	13	78
	5	14.11	4.24	0.45	0.06	1.37	1.11	1.54	2.50	577	158	27	12	63	81	11	31
	15	13.91	3.93	0.41	0.06	1.44	1.06	1.63	2.84	675	169	22	10	53	75	10	29
	25	14.15	3.62	0.43	0.07	1.47	1.13	1.63	2.64	616	164	22	10	47	78	10	28
	35	14.99	4.68	0.52	0.08	1.44	1.25	1.58	2.58	591	158	29	13	55	91	12	36
	45	12.63	3.83	0.32	0.05	1.07	0.85	1.50	3.56	889	172	32	8	34	52	7	18
	65	16.74	5.58	0.57	0.09	1.67	1.50	1.78	2.10	543	170	55	14	66	103	13	36
	75	17.07	5.50	0.61	0.09	1.63	1.54	1.74	2.20	567	169	73	13	68	106	14	39
	85	17.33	5.72	0.62	0.09	1.51	1.51	1.69	2.17	584	163	31	16	70	109	15	40
61	95	17.30	5.11	0.62	0.07	1.42	1.41	1.59	2.08	534	155	33	17	68	112	15	39
	5	19.87	7.28	0.76	0.09	1.24	1.23	0.92	1.18	404	107	74	24	88	163	23	75
	15	20.26	6.93	0.77	0.09	1.23	1.20	0.93	1.26	433	109	54	23	92	166	23	78
	25	19.60	6.78	0.73	0.09	1.28	1.19	0.94	1.20	394	109	46	23	85	160	22	73
	35	19.59	6.90	0.75	0.09	1.20	1.21	0.91	1.19	392	105	50	26	84	161	23	75
	45	18.85	6.27	0.71	0.10	1.63	1.24	0.98	1.02	378	128	45	24	70	155	21	69
	55	19.52	4.59	0.71	0.08	1.05	0.92	0.87	1.06	397	105	40	20	77	149	24	65
	65	19.23	4.82	0.69	0.07	0.96	0.86	0.82	1.03	409	101	41	20	73	141	24	64
	75	21.55	6.36	0.80	0.16	0.97	1.37	1.14	1.48	501	124	32	24	105	146	23	58
	85	19.67	5.67	0.69	0.13	1.27	1.37	1.69	1.90	502	150	26	17	91	117	20	45
62	95	18.14	5.16	0.60	0.18	1.32	1.23	1.87	2.25	532	161	19	15	72	103	17	40
	105	17.77	4.49	0.60	0.11	1.43	1.23	1.96	2.31	520	171	18	15	71	93	15	37
	5	15.00	5.61	0.63	0.10	1.24	1.30	0.86	1.43	441	103	37	26	82	134	15	56
	15	15.13	5.71	0.64	0.10	1.26	1.28	0.86	1.40	434	105	39	24	80	134	15	58
	25	14.39	5.10	0.61	0.08	1.11	1.34	0.94	1.57	455	112	30	23	65	125	13	49
	35	14.30	4.66	0.65	0.07	1.29	1.46	0.97	1.38	432	117	28	20	61	126	12	50
	45	14.22	4.28	0.62	0.06	1.26	1.41	0.96	1.38	427	116	30	19	62	126	12	49
	55	14.87	4.46	0.63	0.06	1.17	1.37	0.93	1.42	439	113	30	20	65	129	13	53
	65	14.37	4.99	0.63	0.11	1.27	1.33	0.98	1.40	430	116	29	23	63	123	12	50
	75	12.75	4.24	0.58	0.07	1.17	1.31	0.92	1.36	395	107	24	20	57	113	11	44
63	5	16.99	6.10	0.85	0.10	1.96	2.52	1.11	1.83	417	126	33	24	87	147	19	54
	15	16.82	6.14	0.84	0.10	1.81	2.55	1.08	1.90	428	126	32	24	83	146	18	48
	25	16.88	6.12	0.81	0.10	1.75	2.54	1.08	1.80	429	124	31	24	82	145	17	45

第 A-1 表(3) 分析結果.

Table A-1(3) 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)	
63	35	16.90	6.31	0.71	0.10	1.68	2.41	1.20	2.21	415	128	32	21	75	135	17	42	
	45	17.11	6.32	0.74	0.10	1.69	2.57	1.03	1.82	416	128	35	22	77	145	17	43	
	55	17.61	6.03	0.80	0.09	1.72	2.57	1.05	1.83	410	133	39	22	77	150	19	45	
	65	17.02	6.04	0.89	0.09	1.67	2.63	1.06	1.86	408	127	36	20	74	146	17	42	
	75	15.95	5.93	0.96	0.10	1.64	2.76	1.19	2.10	472	127	26	21	72	136	17	35	
	85	18.28	6.39	0.75	0.09	1.77	2.58	0.96	1.73	427	131	59	21	82	158	19	49	
	95	19.37	6.83	0.77	0.09	1.64	2.56	0.74	1.51	413	124	62	26	80	169	20	57	
	64	5	18.05	4.34	0.57	0.06	1.48	1.22	1.62	2.55	455	144	52	19	80	86	20	42
		15	17.83	4.35	0.56	0.06	1.52	1.23	1.63	2.70	500	151	58	18	76	86	19	41
		25	18.34	4.28	0.56	0.06	1.49	1.22	1.74	2.93	525	158	46	15	69	86	20	36
35		18.01	4.17	0.54	0.06	1.43	1.14	1.69	2.80	477	152	31	15	66	85	19	37	
45		17.99	4.19	0.56	0.06	1.38	1.20	1.62	2.70	506	154	32	12	66	86	19	41	
55		18.09	4.54	0.59	0.07	2.25	1.59	1.92	2.73	499	196	50	18	59	95	18	44	
65		18.40	5.12	0.66	0.08	4.07	2.36	2.41	2.08	406	260	58	23	66	120	18	65	
75		19.11	3.81	0.58	0.06	1.27	1.15	1.95	3.21	552	163	45	13	65	75	17	30	
85		17.99	3.34	0.53	0.05	1.22	1.04	1.96	3.14	499	149	24	10	56	76	17	29	
95		13.51	2.15	0.31	0.03	0.84	0.66	1.83	4.23	462	131	13	6	34	30	6	14	
65	5	18.92	5.96	0.71	0.07	1.78	2.00	0.77	1.29	422	139	41	23	76	154	19	59	
	15	19.36	5.93	0.74	0.08	1.81	2.03	0.70	1.29	437	139	42	24	78	159	20	62	
	25	19.78	5.54	0.75	0.08	2.08	2.52	1.00	1.24	422	156	38	19	75	157	20	54	
	35	19.83	5.84	0.73	0.08	2.15	2.94	1.04	1.14	402	163	37	19	77	152	21	42	
	45	19.63	5.74	0.72	0.08	2.19	2.95	1.05	1.14	404	166	36	17	77	147	20	41	
	55	19.29	5.15	0.73	0.07	2.22	2.83	1.22	1.35	418	181	34	20	85	137	19	37	
	65	17.09	4.89	0.70	0.07	2.52	2.80	1.73	1.82	480	212	27	11	75	122	16	33	
	75	14.10	4.19	0.66	0.07	2.43	2.53	1.84	2.14	519	210	16	9	61	94	10	21	
	85	15.11	2.40	0.58	0.03	1.71	1.09	0.32	0.81	302	141	34	12	53	100	13	36	
	95	14.89	2.78	0.55	0.02	1.63	1.00	0.40	0.90	330	141	24	14	43	96	11	36	
66	5	18.86	10.62	1.19	0.10	4.46	2.76	1.75	0.71	288	243	128	44	140	334	27	93	
	15	18.82	11.62	1.22	0.14	5.13	2.93	1.84	0.68	281	280	125	44	125	331	27	94	
	25	18.86	12.21	1.21	0.17	5.13	2.89	1.78	0.66	275	284	126	44	110	331	27	92	
	35	18.25	12.26	1.19	0.20	5.30	3.08	1.96	0.73	384	296	120	41	100	325	27	95	
	45	18.14	13.16	1.09	0.21	4.33	2.58	1.70	0.73	298	253	126	41	98	307	27	86	
	55	18.14	14.48	0.95	0.25	2.29	2.10	1.16	0.82	328	187	125	50	109	268	25	72	
	65	20.46	10.00	1.02	0.10	2.26	2.38	1.35	1.06	393	196	139	50	127	276	28	70	
	75	20.74	9.79	1.06	0.08	2.70	2.29	1.33	0.91	353	212	145	47	123	269	28	71	
	85	19.71	11.00	1.01	0.08	2.37	2.25	1.12	0.90	348	186	143	47	118	300	28	72	
	95	19.37	11.96	1.05	0.07	2.41	2.24	1.12	0.83	338	185	144	47	116	344	30	71	
67	5	18.98	10.17	1.28	0.08	4.32	2.02	1.40	0.46	233	227	140	42	163	351	26	94	
	15	19.09	11.84	1.30	0.10	4.65	2.04	1.40	0.46	240	251	138	45	130	356	26	96	
	25	19.02	13.52	1.35	0.22	5.93	2.97	1.98	0.58	259	327	137	43	103	362	28	108	
	35	18.43	12.28	1.24	0.25	3.01	1.41	0.63	0.33	223	204	151	45	92	384	24	83	
	45	18.73	10.46	1.27	0.17	2.63	1.10	0.28	0.16	232	195	159	45	90	404	24	83	
	55	19.07	8.87	1.29	0.09	2.75	1.07	0.33	0.19	233	208	149	45	93	413	25	83	
	65	18.76	9.79	1.28	0.10	2.69	1.05	0.30	0.19	230	204	141	44	93	436	24	82	
	75	19.98	8.55	1.35	0.15	2.74	1.05	0.32	0.20	286	218	153	48	106	423	25	87	
	85	18.52	12.64	1.20	0.56	3.00	1.14	0.41	0.19	229	209	129	47	96	355	21	75	
	95	18.07	14.25	1.14	0.44	3.82	1.66	0.73	0.20	198	226	106	50	96	342	18	69	
68	5	17.01	7.87	0.77	0.10	1.39	1.10	0.84	1.03	335	121	62	30	90	205	19	70	
	15	18.04	7.86	0.80	0.09	1.44	1.13	0.81	1.00	328	125	66	34	96	216	20	70	
	25	17.09	7.91	0.76	0.09	1.53	1.08	0.85	1.03	312	128	63	32	89	200	19	66	
	35	16.59	8.14	0.74	0.06	1.58	1.05	0.83	0.96	316	123	78	30	81	198	18	65	
	45	17.52	7.28	0.79	0.07	1.54	1.09	0.83	0.99	313	123	80	29	84	213	19	68	
	55	17.24	6.49	0.76	0.06	1.51	1.02	0.80	0.96	305	123	62	29	77	210	19	63	
	65	15.09	6.53	0.68	0.05	1.50	1.00	0.84	0.89	257	128	48	25	66	167	18	62	
	75	15.71	6.29	0.73	0.05	1.54	0.96	0.80	0.86	239	131	53	27	70	179	18	65	
	85	12.82	8.98	0.56	0.05	1.73	0.95	0.86	0.80	190	154	37	25	57	126	15	48	
	95	11.56	4.81	0.38	0.07	2.50	1.94	1.52	1.22	262	183	29	13	48	69	10	30	
69	102	11.20	4.51	0.33	0.07	2.65	2.23	1.60	1.34	275	186	32	14	45	63	9	26	
	5	16.87	6.04	0.55	0.09	1.79	1.46	1.08	1.40	425	122	68	24	111	141	24	73	
	15	17.54	5.90	0.56	0.08	1.77	1.48	1.03	1.25	441	121	71	25	95	144	26	80	

関東平野における沖積層土壌の化学組成 (寺島 ほか)

第 A-1 表(4) 分析結果.

Table A-1(4) 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)	
69	25	19.03	5.48	0.48	0.07	1.42	1.31	1.03	1.68	541	121	65	21	79	153	24	55	
	35	17.72	5.55	0.51	0.07	1.70	1.41	1.03	1.42	444	119	77	22	89	142	24	58	
	45	19.51	4.94	0.51	0.06	1.42	1.27	1.05	1.76	568	132	65	17	82	160	25	59	
	55	18.90	4.55	0.54	0.06	1.53	1.25	1.15	1.75	524	130	73	19	99	152	29	71	
	65	19.00	4.50	0.53	0.06	1.49	1.25	1.13	1.76	536	127	71	16	101	149	27	66	
	75	18.55	4.80	0.59	0.07	1.55	1.04	1.12	1.60	440	128	78	15	83	197	31	65	
	85	17.93	2.63	0.57	0.04	1.67	1.13	1.92	2.09	501	149	45	11	54	102	15	68	
	95	16.05	2.51	0.49	0.04	2.01	1.11	2.23	2.25	525	169	33	7	45	93	12	56	
	70	5	19.24	9.15	0.74	0.14	2.63	2.15	1.00	0.62	385	161	59	22	94	185	23	94
		15	18.59	9.12	0.72	0.16	2.91	2.23	1.10	0.64	387	172	52	20	90	183	22	92
25		18.38	9.87	0.68	0.19	2.87	2.21	1.07	0.61	352	170	56	18	85	179	22	84	
35		19.92	10.38	0.81	0.23	2.49	2.12	0.80	0.46	344	151	58	19	87	183	25	111	
45		18.26	9.85	0.67	0.22	2.71	2.10	0.96	0.55	356	166	63	19	101	169	22	90	
55		17.46	8.80	0.65	0.26	3.49	2.73	1.12	0.51	325	196	74	16	102	175	20	75	
65		18.76	9.93	0.74	0.23	3.62	3.26	1.23	0.51	337	214	56	17	113	180	21	82	
75		18.43	8.85	0.67	0.18	3.64	2.58	1.26	0.52	366	213	52	18	96	178	21	79	
85		19.75	8.64	0.70	0.22	2.03	1.53	0.77	0.53	381	158	72	15	145	167	25	102	
95		20.96	7.19	0.73	0.13	1.64	1.25	0.76	0.65	389	126	66	19	81	161	27	102	
71	5	15.26	5.19	0.49	0.07	1.32	1.43	1.08	1.44	387	86	65	17	85	115	24	61	
	15	15.76	5.68	0.49	0.10	1.30	1.41	1.09	1.46	394	87	55	17	81	113	24	58	
	25	15.61	5.65	0.48	0.12	1.28	1.34	1.02	1.44	381	85	69	18	73	115	24	57	
	35	15.69	5.70	0.49	0.12	1.30	1.36	1.03	1.45	391	86	39	15	77	116	24	58	
	45	15.23	5.65	0.49	0.12	1.25	1.57	1.22	1.71	435	88	29	16	74	118	22	59	
	55	15.75	5.73	0.50	0.09	0.97	1.38	1.03	1.60	397	74	58	17	74	117	23	57	
	65	17.28	5.89	0.52	0.10	0.82	1.47	1.15	1.83	451	74	45	15	86	118	27	64	
	75	17.63	5.78	0.49	0.14	0.74	1.42	1.32	2.05	493	79	37	14	94	110	28	66	
	85	17.43	5.50	0.48	0.11	0.85	1.55	1.60	2.20	518	90	37	12	101	104	24	66	
	95	17.35	5.55	0.48	0.15	0.95	1.64	1.70	2.21	526	97	38	12	98	104	24	66	
72	5	15.96	5.02	0.65	0.06	1.59	1.35	1.12	1.38	426	113	49	17	92	128	20	77	
	15	15.80	5.77	0.63	0.06	1.64	1.36	1.21	1.39	436	116	51	14	86	131	20	76	
	25	17.88	5.88	0.62	0.11	1.69	1.29	1.25	1.44	478	133	51	13	86	140	21	75	
	35	16.38	6.92	0.56	0.20	1.83	1.31	1.39	1.59	471	133	54	15	82	128	17	65	
	45	16.93	5.06	0.63	0.06	1.84	1.47	1.47	1.59	462	138	45	13	83	135	18	69	
	55	18.73	4.68	0.69	0.05	1.56	1.30	1.23	1.41	477	134	50	16	101	155	24	81	
	65	19.28	4.49	0.70	0.05	1.36	1.23	1.12	1.29	478	128	77	14	97	154	25	86	
	75	19.26	4.22	0.67	0.04	1.55	1.27	1.20	1.40	480	136	64	13	86	144	22	82	
	85	15.17	5.09	0.76	0.07	2.25	2.25	1.43	1.49	414	138	54	16	81	172	17	61	
	95	15.68	5.50	0.56	0.07	2.48	1.34	1.66	1.12	311	172	75	18	82	130	18	54	
73	5	15.24	5.35	0.54	0.07	2.43	1.25	1.66	1.12	303	166	74	17	66	126	17	52	
	15	15.43	5.26	0.57	0.08	2.72	1.35	1.77	1.12	332	180	59	17	60	128	16	53	
	25	14.72	4.29	0.53	0.05	2.52	1.18	1.78	1.12	309	178	27	12	47	115	15	49	
	35	14.71	3.70	0.52	0.05	2.63	1.24	1.96	1.23	323	191	18	13	43	107	18	51	
	45	15.28	2.83	0.43	0.05	3.31	1.51	2.58	1.59	351	225	8	9	42	77	11	33	
	55	14.80	3.23	0.40	0.06	3.42	1.62	2.56	1.59	331	225	7	7	48	77	10	34	
	65	14.98	3.43	0.40	0.06	3.44	1.60	2.56	1.59	342	225	27	10	46	81	10	32	
	75	14.08	4.19	0.38	0.07	3.20	1.64	2.35	1.68	377	201	20	15	85	83	13	36	
	85	13.99	4.32	0.40	0.07	3.33	1.72	2.40	1.63	379	205	17	13	74	87	13	35	
	95	14.51	4.15	0.36	0.07	3.45	1.74	2.55	1.76	392	218	15	14	64	72	12	35	
74	5	15.07	4.23	0.38	0.08	3.45	1.65	2.61	1.90	415	225	19	13	68	72	14	44	
	15	16.99	6.90	0.58	0.16	2.34	2.03	1.72	1.66	378	159	106	30	152	130	25	68	
	25	15.76	5.08	0.48	0.07	2.78	1.88	2.12	1.65	392	183	43	21	91	108	19	58	
	35	15.78	6.01	0.52	0.11	2.64	1.93	1.96	1.60	385	171	52	23	91	116	21	65	
	45	16.03	5.59	0.52	0.09	2.55	1.91	1.95	1.60	388	168	54	24	95	118	20	61	
	55	15.00	6.57	0.43	0.06	1.34	1.76	1.38	1.62	395	107	83	30	102	123	19	54	
	65	15.24	6.93	0.44	0.06	1.43	1.65	1.39	1.60	380	113	78	28	102	131	21	61	
	75	13.66	4.07	0.38	0.09	3.28	1.76	2.30	1.60	393	205	12	12	65	75	13	37	
	85	13.76	4.62	0.44	0.09	3.23	2.00	2.20	1.60	395	200	16	15	71	85	14	40	
	95	13.72	4.35	0.40	0.08	3.38	1.92	2.37	1.69	384	207	12	14	66	79	13	37	
75	35	14.22	4.46	0.39	0.08	3.40	1.93	2.43	1.75	392	211	14	13	65	74	13	39	
	45	13.70	4.39	0.40	0.08	3.50	1.89	2.50	1.76	375	212	11	14	64	77	12	34	