

関東平野の土壤中微量有害元素(As, Sb, Pb, Cr, Mo, Bi, Cd, Tl)の地球化学的研究 —土壤地球化学図の基礎研究(第3報)—

寺島 滋¹・太田充恒¹・今井 登¹・岡井貴司¹・御子柴真澄¹・谷口政碩²

Shigeru Terashima, Atsuyuki Ohta, Noboru Imai, Takashi Okai, Masumi Mikoshiba and Masahiro Taniguchi (2002) Geochemistry of toxic trace elements (As, Sb, Pb, Cr, Mo, Bi, Cd, Tl) in the soils from the Kanto District, Japan: Preliminary study for the soil geochemical mapping (part 3). *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 53 (11/12), p. 749-774., 9 figs., 8 tables.

Abstract: We have studied the geochemical behavior and the origin of toxic trace elements in volcanic ash and alluvial soils. The volcanic ash and soil samples were collected from the southern to northeastern Kanto district, Japan. The concentrations of heavy metals containing toxic trace elements in the tephra layers are generally lower than those of loam layers in the Kanto Loam Formation. The tephra layers are proved to be poor in alkali and alkali-earth metals, and rich in Al₂O₃, TiO₂, H₂O, and toxic trace elements in most cases through its weathering process. The elements, such as As, Sb, Pb, Bi and Cd are generally enriched in the uppermost layer of the volcanic ash soils. This may be caused by biogenic concentration process, but not by recent environmental pollution. The vertical variation of the elemental concentrations in alluvial soils are generally smaller than that of volcanic ash soils. Several sand layers derived from basement rocks are found in the core samples. Compared to the mud layers, sand layers are poor in heavy metals including the toxic trace elements. The alluvial soils existed under the effects of saline water in the past tense are significantly dominant in As and Sb, and depleted in Mo. This may result from the fixation and diffusion of these elements during diagenesis. Compared to the crustal abundance, both the volcanic ash and alluvial soils are rich in As, Sb, Pb and Bi, while there is no significant difference in the Cd and Tl contents. The enrichment of the four toxic elements may be caused by biogenic and diagenetic enrichment process, contribution of seawater and the supply of long-range aeolian dust derived from the Asian continent.

Keywords: volcanic ash soil, alluvial soil, toxic trace element, elemental abundance, geochemical behavior, geochemical map, Kanto District

要 旨

土壤地球化学図の作成に関する予察的研究の一環として、関東各地から採取した火山灰質土壌と沖積層土壌中の微量有害元素(As, Sb, Pb, Cr, Bi, Cd, Tl)を分析し、地球化学的挙動を研究した。柱状試料における元素濃度の鉛直分布を支配する要因としては、土壌母材の起源、堆積環境、粒度組成、生物濃集、続成・風化作用の影響等が重要である。Mo, Cr以外の元素は最表層部で高濃度を示す場合が多いが、これは人為的な汚染ではなく、主として生物濃集と考えられた。かつて海水の影響下にあった土壌はAs, Sbに富む傾向があり、海水中元素の吸着を示唆する。関東平野の火山灰質土壌の母材は、北部では主として赤城山、男体山起源の安山岩質噴出物、南部では富士山起源の玄武岩質噴出物である。土壌中の多くの重金属は、母材の起源を反映して北部よりも南部で高いが、As, Pb, Bi, Tlは概括的には南部よりも北部で高濃度を示す。沖積

層土壌には、基盤岩由来の碎屑物が混入する等の理由で系統的な南北変化は存在しない。微量有害元素のほとんどは、テフラ層が風化しても低濃度にならず、As, Sb, Pb等では最大20%程度の濃度増加が推察された。地殻と土壌中の元素濃度を比較した結果、As, Sb, Pb, Biは土壌中に顕著に濃集される傾向があり、その原因としては生物濃集、海水の影響、風化・続成作用の影響、広域風成塵の混入等が考えられた。

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。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。地質調査総合センター(旧地質調査所)では、主として河川

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

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

堆積物を分析試料とする方法により、北関東地域(伊藤ほか, 1991)、仙台市、山形周辺地域(今井ほか, 1997; 2000b; 太田ほか, 2002)の地球化学図を作成した後、現在は日本全土から約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研究を進めている(今井ほか, 2000a; 2002)。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、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、土壌中の元素濃度を直接表示するため、汚染地域が明瞭に識別できる利点がある。これまで土壌汚染の調査・対策に関する法制度としては、「農用地の土壌汚染防止等に関する法律(昭和45年法律第139号)」、「ダイオキシン類対策特別措置法(平成11年法律第105号)」があり、また、公害対策基本法に基づく「土壌の汚染に係る環境基準」が設定されているが、市街地の汚染された土壌を対象とする法律は存在しなかった。そのため、今国会に「土壌汚染対策法案」が提出されたが、この法案の骨子は、1)一定以上の広さの土地、特に有害物質を取り扱う事業所等の廃止時、又は用途の変更時等に、土地の所有者に土壌汚染の調査・浄化を義務づける、2)土壌汚染が見つかった場合には、都道府県がその旨を台帳に登録し、公開する。汚染が浄化された場合には登録を解除する等である。従って、土壌中の有害元素濃度が人為汚染であるか、バックグラウンドレベルであるかの判定作業が極めて重要であり、そのためには土壌中有害元素の広域分布特性、地球化学的挙動の解明等が必要不可欠である。また、浅見(2001)は、地殻と土壌中の元素濃度を比較し、土壌の方が高いものとしてN, C, S, I, Br, Se, Bi, As, Cdを指摘し、このうちN, C, Sについては植物遺体に由来する生物濃縮であるが、その他の元素が土壌に多い理由は判らなると述べている。また、土壌の方が低い元素には、F, Na, Mg, Ca, Sc, Co, Cu, Mn, Tl, Kがあり、アルカリ、アルカリ土類元素とTlについては雨水等による溶脱であろうが、F, Sc, Co, Cu, Mnが低濃度の理由はよく判らなとしている。

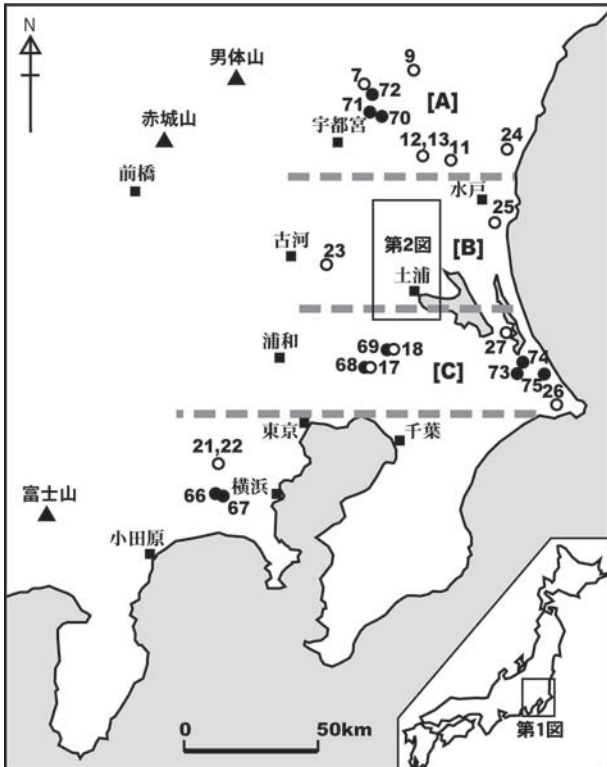
筆者らは、土壌地球化学図の作成に関する基礎的研究を継続しており、これまでに関東平野に分布する火山灰質土壌(寺島ほか, 2001a)、沖積層土壌(寺島ほか, 2001b)中の主成分と主要な微量成分(Ba, Sr, Cu, Ni, Zn, V等)を主としてICP発光分析法で分析した結果を解析し、報告した。

本論文は、ICP発光分析法では分析感度が不十分な元素を中心とした微量有害元素(As, Sb, Pb, Cr, Mo, Bi, Cd, Tl)等をICP質量分析法、原子吸光法等を用いて定量し、元素の広域的分布特性や地球化学的挙動、地殻存在量との関係、特に土壌中で高濃度を示す要因等についての研究結果をまとめたものである。

2. 地形・地質の概要

関東平野の台地や丘陵には、茶褐色 黄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。ローム層の上位に分布する黒土(表土、クロボクと同義)の成因について、古くはローム層の最上位が風化し、これに腐植が加わって黒土化したと考えられていたが、最近では比較的火山活動が静穏な時期に、遠方火山の一次的な噴火堆積物、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(例えば早川, 1995; 鈴木, 1995; 山野井, 1996)が有力となっており、筆者らによる化学組成の検討結果も同様であった(寺島ほか, 2001a)。関東平野における火山灰質土壌の母材の主要供給源は、北部では男体山、赤城山等関東北西部の諸火山で、南部では富士山である。男体山、赤城山からの噴出物が主として安山岩類であるのに対して、富士山では玄武岩類が卓越する。土壌中元素濃度の地域差を解明するため、試料の採取地域を北から南へ、A Dゾーンに区分した(第1図)。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図によれば、富士山の東方に位置する試料採取地点(以下Site no.で表示)21, 22付近が最も厚く約13mであり、富士山から遠いSite 26付近では約2mに減少する。北部の主として男体山、赤城山起源の堆積物は、Site 7付近で厚く、約4mである。B, Cゾーンは、北部の諸火山と南部の富士山の両者の影響をうける地域である(関東ローム研究グループ, 1965)。

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。このうち火山噴出物とその風化生成物の起源・分布特性等は上記と同様である。河川由来碎屑物には、集水域に分布する基盤岩類、堆積物、土壌等が含まれ、それぞれの寄与率は地形や地質特性によって変化する。山地に近く、集水域が小さいBゾーンの沖積層土壌の一部には多量の河川由来物質が含有され、周辺に分布する花崗岩類等の特徴が顕著に現れる場合があるが、逆に平野部では河川由来碎屑物の主体が火山灰起源物質で、全体として火山灰質土壌と同様のこともある。千葉県水質保全研究所(1984)によれば、霞ヶ浦周辺やCゾーンで試料を採取した沖積面一帯は、古くは香取海と呼ばれる太平洋に連なる入り江であったが、利根川や渡良瀬川の人口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。



第1図 火山灰質土壌(○)と沖積層土壌(●)の採取地点と地域区分(A~D).

Fig.1 Sampling sites of volcanic ash soils (○) and alluvial soils (●). The study area is divided into four subareas, A to D.

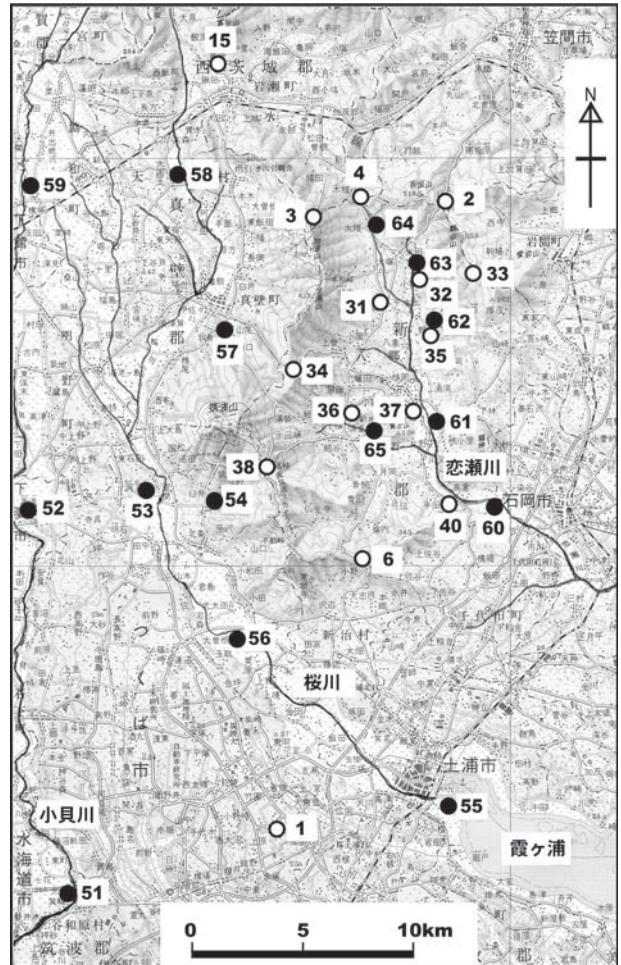
Cゾーンの試料採取地点のように、山地から遠く離れた大河川の流域における河川由来碎屑物は均質化されており、化学組成を支配する要因は主として堆積粒子の粒度組成である(寺島ほか, 2001b).

3. 試料及び分析方法

火山灰質土壌、沖積層土壌の採取にあたっては、関東ローム研究グループ(1965)が作成した図面をもとに、採取地点を選定した(第1図). また、同一地域における火山灰質土壌と沖積層土壌中の微量有害元素濃度の詳細な比較を行う地域としては、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). 各試料の採取地点の詳細や岩相変化の特徴はすでに報告した(寺島ほか, 2001a, b)ので、ここでは以下の議論で重要と考えられる点のみを記述する. なお、採取した柱状試料のうち特に重要と考えられるものについては深度別に詳細な分析を実施し、その他については最表層部(0~10cm)と深度40~50cm部分のみを分析することにした.

3.1 火山灰質土壌

Aゾーンでは、6地点(Site 7, 9, 11, 12, 13, 24)で採取し、このうちSite 7, 12について深度別の分析を行った. Site 7



第2図 つくば市~八郷町及びその周辺地域における火山灰質土壌(○)と沖積層土壌(●)の採取地点. 建設省国土地理院発行20万分の1地菰図「水戸」の一部を使用.

Fig.2 Sampling sites of volcanic ash soils (○) and alluvial soils (●) around the Tsukuba and Yasato areas.

の深度117~145cmには小川スコリア層(略号OS, 男体山起源, 約22000年前, 吉永, 1996)が、245~265cmには鹿沼軽石層(KP, 赤城山起源, 約32000年前, 同)が挟在する. 表層部の黒色度が強く、全分析試料のなかで炭素濃度が最高値を示す特徴がある. Site 12の深度16~28cmには七本桜軽石層(SP, 男体山起源, 約1200年前, 同), 28~36cmに今市スコリア層(IS, 同, 同, 同), 140~170cmにはKPテフラが挟まれる. 本試料は、主としてテフラ層の元素濃度を検討するために分析した.

Bゾーンでは、6地点(Site 3, 4, 6, 15, 23, 25)で柱状試料を、10地点(Site 2, 31~38, 40)で表層試料(0~20cm)を採取した. このうちSite 3, 4, 23, 25について深度別の分析を実施した. Site 3にはテフラ層は認められないが、最表層部の黒色度はSite 7について強く、腐植含有量が多い. Site 4の深度200~300cm, Site 25の110~130cmにはKPテフラが挟在する.

Cゾーンでは、5地点(Site 1, 17, 18, 26, 27)で柱状試料

を採取した。全試料について堆積年代を指示するテフラ層は認められないが、鈴木(1995)が求めた最近5万年間に堆積した土層の層厚分布図によれば、Site 17, 18は3~4m、その他は2~3m程度である。Site 17の120cm以深、18の190cm以深、26の200cm以深ではその上位に比べてFe, Ti等が激減しており、堆積環境が異なる(例えば水域での堆積)可能性がある。

Dゾーンでの採取地点は、Site 21と22である。Site 21の層相変化については既報(寺島ほか, 2001a)で述べたが、最表層部から深度60cmまで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1万年前~数千年前; 同), 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。深度330~340cmには粗粒のスコリア質テフラがあり、これは相模野上部スコリア(S1S, 関東ローム研究グループ, 1965)の可能性もある。Site 22は全長130cmであり、化学組成の特徴から富士黒土層の最下部程度までが含まれる。

3.2 沖積層土壌

Aゾーンの試料は、Site 70, 71, 72であり、深度別の分析は70について実施した。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にある。河川由来の砂質粒子の混入は少ないが、深度0~80cmにはテフラ起源と考えられる風化砕屑物が認められ、全体的にはシルト質である。

Bゾーンでは、同一地域における火山灰質土壌、沖積層土壌、河川堆積物における元素濃度の比較等の目的もあって合計15地点(Site 51~65)で採取し、深度別の分析は51, 53, 64について行った。Site 51は、小貝川水系の北海道市大崎町に位置する。全体として粘土質で、砂質粒子やテフラ起源砕屑物は認められない。Site 53は、つくば市中菅間の西方の桜川流域内にある。全体的にシルト質で、赤褐色の酸化鉄鉱物と河川由来と考えられる風化砕屑物が含有される。Site 64は、恋瀬川の最上流域である八郷町大増の北方にあり、試料はシルト質で、90cm以深は花崗岩由来の砂質粒子に富む。

Cゾーンでは、5地点(Site 68, 69, 73~75)で試料を採取し、69, 74について深度別分析を実施した。Site 69は、取手市青柳の東方に位置し、地形的には主として小貝川の影響下で堆積したと考えられるが、利根川にも近いため、若干の影響があった可能性もある。0~80cmは粘土質で、それ以深は砂層である。深度50cm以浅には6%以上の炭素が含有されており、沖積層土壌としてはSite 74の80cm以深について高濃度である。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地点に位置する。0~40cmは少量の粘土~シルトを含む砂層で、それ以深では粘土が卓越する。80~100cmにおける炭素の高濃度は多量の植物片に由来する。

Dゾーンの試料のうち、Site 66は海老名市大谷の西方約

400mに、67は綾瀬市伊勢山の南方約100mに位置する。いずれの試料もシルト質で、テフラ風化物が認められる。主成分等の分析値から見て、両試料とも富士山起源の火山灰を主体とするが、河川由来の砕屑物の混入量は66の方が多い。なお、沖積層土壌の多くは現在耕作中の水田で採取したため、表層部20~30cmは攪拌されている。

3.3 分析方法

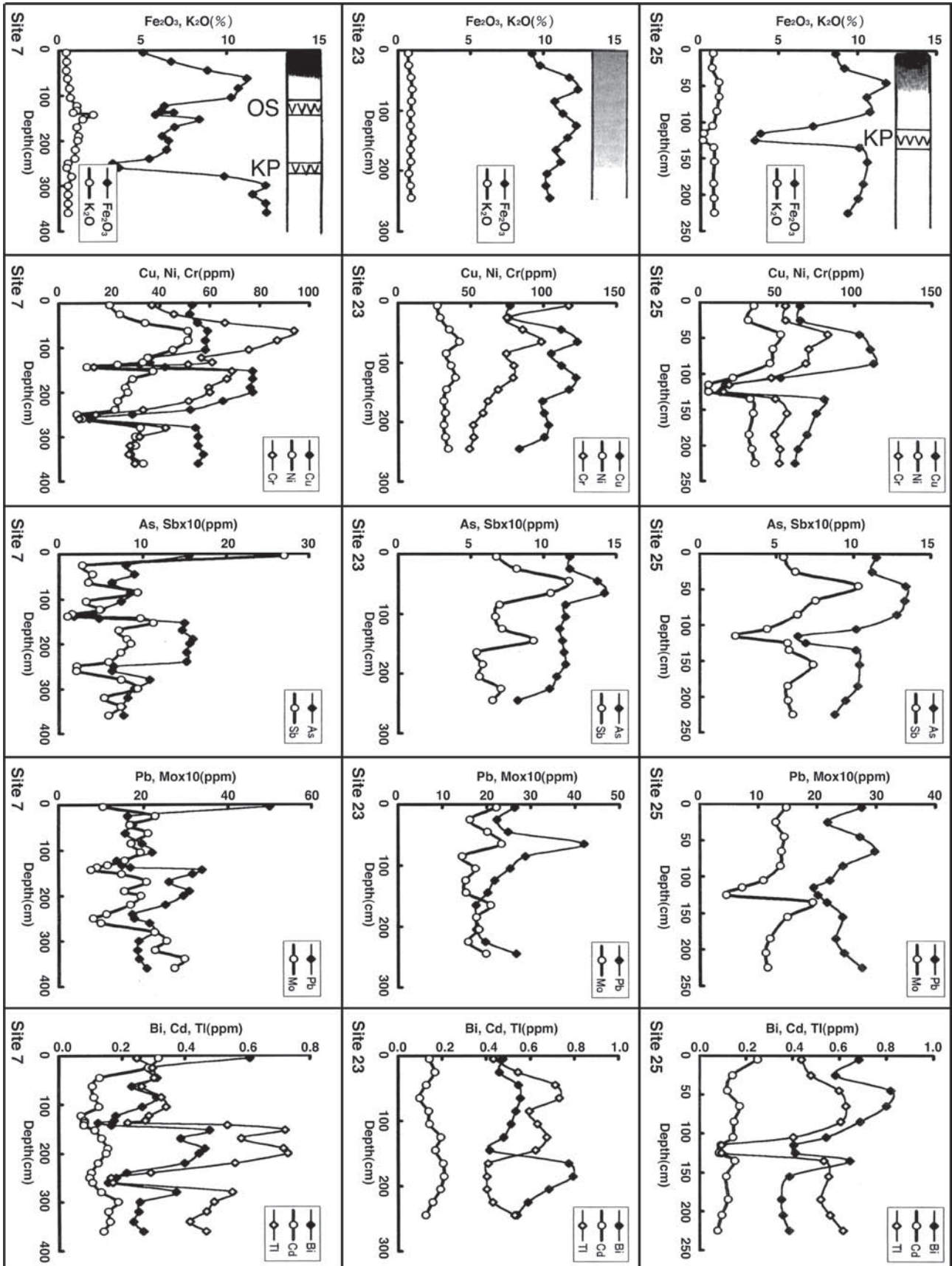
試料中の小石、植物片等はハンドピックで除き、約80°Cで2~3日間乾燥した後、石川式めのう粉碎器で粉碎して分析試料とした。この粉末試料0.1gを白金皿に採り、フッ化水素酸4ml、過塩素酸2ml、硝酸2mlで分解し、蒸発乾固した後に硝酸(1+1)2.5mlと蒸留水約5mlを加えて加温・溶解した。ろ紙(5C)を用いてろ過した後、蒸留水で希釈して正しく50mlとした。横河アナリティカルシステムズ製HP-4500型ICP質量分析装置を用い、岩石標準試料JB-1を検量線用の標準とし、Inを内標準とする方法(Imai, 1990)でAs以外の微量元素を測定した。Asは連続水素化物発生-原子吸光法(寺島, 1984)で、全炭素、全硫黄(以下T. C, T. Sと略記)は、燃焼-赤外吸収法(Terashima *et al.*, 1983)で測定した。なお、今回分析した試料中には炭酸塩炭素はほとんど含有されないため、T. C濃度は有機炭素濃度とみなして差し支えない。

4. 結果と考察

各試料についてAs, Sb, Pb, Cr, Mo, Bi, Cd, Tl, T. C, T. Sを定量した結果を第A-1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、火山灰質土壌の結果を第3, 4図に、沖積層土壌のそれを第5, 6図に示した。第A-1表、第3~6図には、今回分析した元素の挙動を主成分や他の微量元素のそれと比較するため、既報(寺島ほか, 2001a, b)の分析成分のうちFe₂O₃, K₂O, Cu, Ni等の分析値を加えてある。このうちFe₂O₃, Cu, Niは苦鉄質火成岩類に、K₂Oは珪長質火成岩類に多く含有される成分の代表として選定した。第3~6図において、Fe₂O₃とK₂O濃度の鉛直変化の深度方向には、主として腐植含有量の増減に対応すると考えられる肉眼観察にもとづく土壌の黒色度の相対的变化と、火山灰が挟在する場合はその略号と深度、砂層の深度等が示してある。また、火山灰質土壌、沖積層土壌における元素間の相関係数を算出し、第1表に示した。

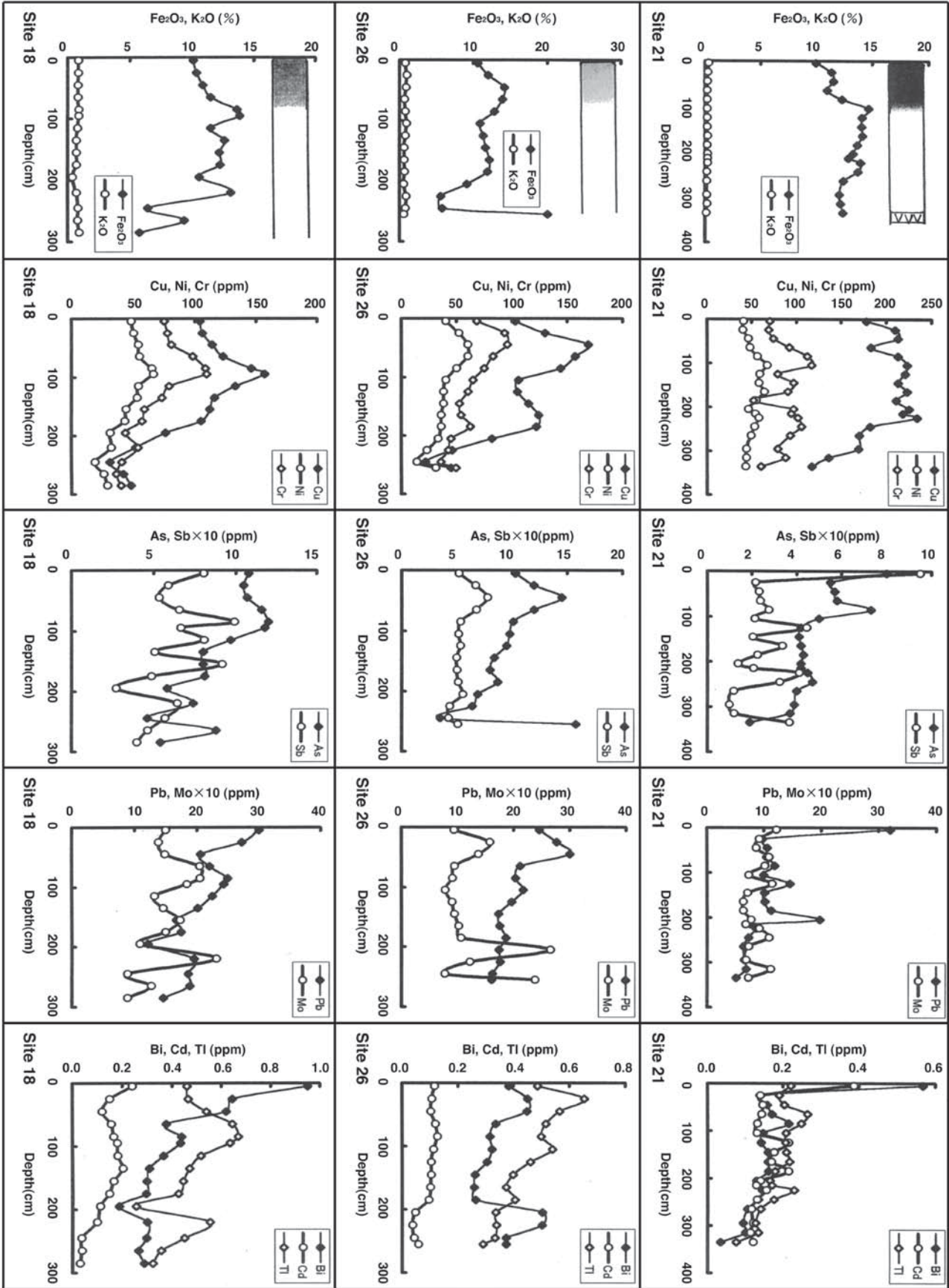
4.1 元素濃度の鉛直変化の特徴とその成因

1) 火山灰質土壌 第3, 4図からわかるように、元素濃度の鉛直変化に最も大きな影響を与えるのはテフラ層である。Site 7のOS, KP, Site 25のKP, Site 21の未同定テフラの層準ではほとんどの元素がその上下の層準に比べて低濃度を示しているが、作図しなかった他の柱状試料におけるテフラ層でも同様な傾向が認められる(第A-1表)。いずれのテフラ層でも各種元素が低濃度を示す最大の原因は、調査



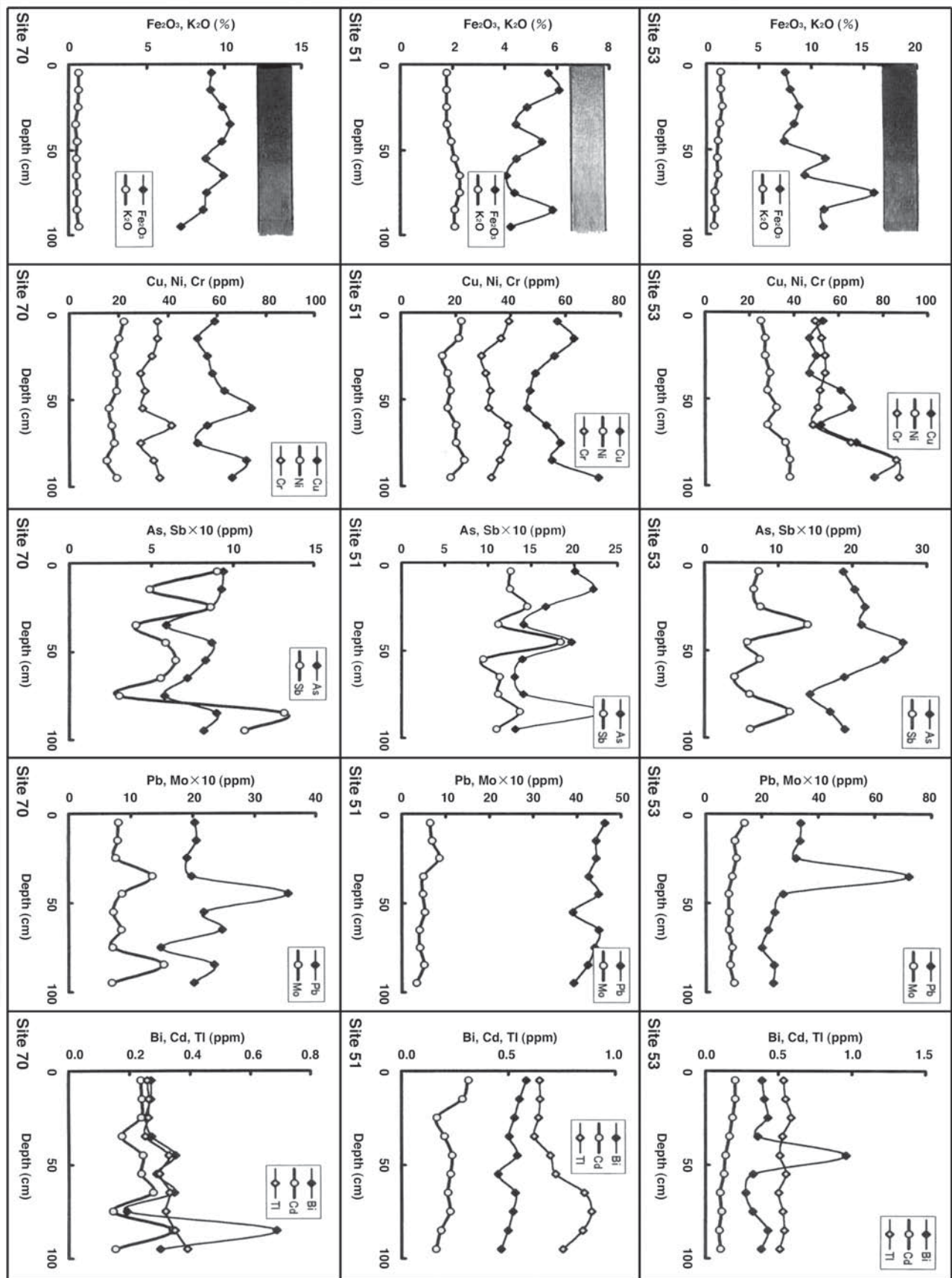
第3図 柱状試料(sites 7, 23, 25)中成分濃度の鉛直変化。

Fig.3 Vertical variations of the elemental concentrations at sites 7, 23 and 25.



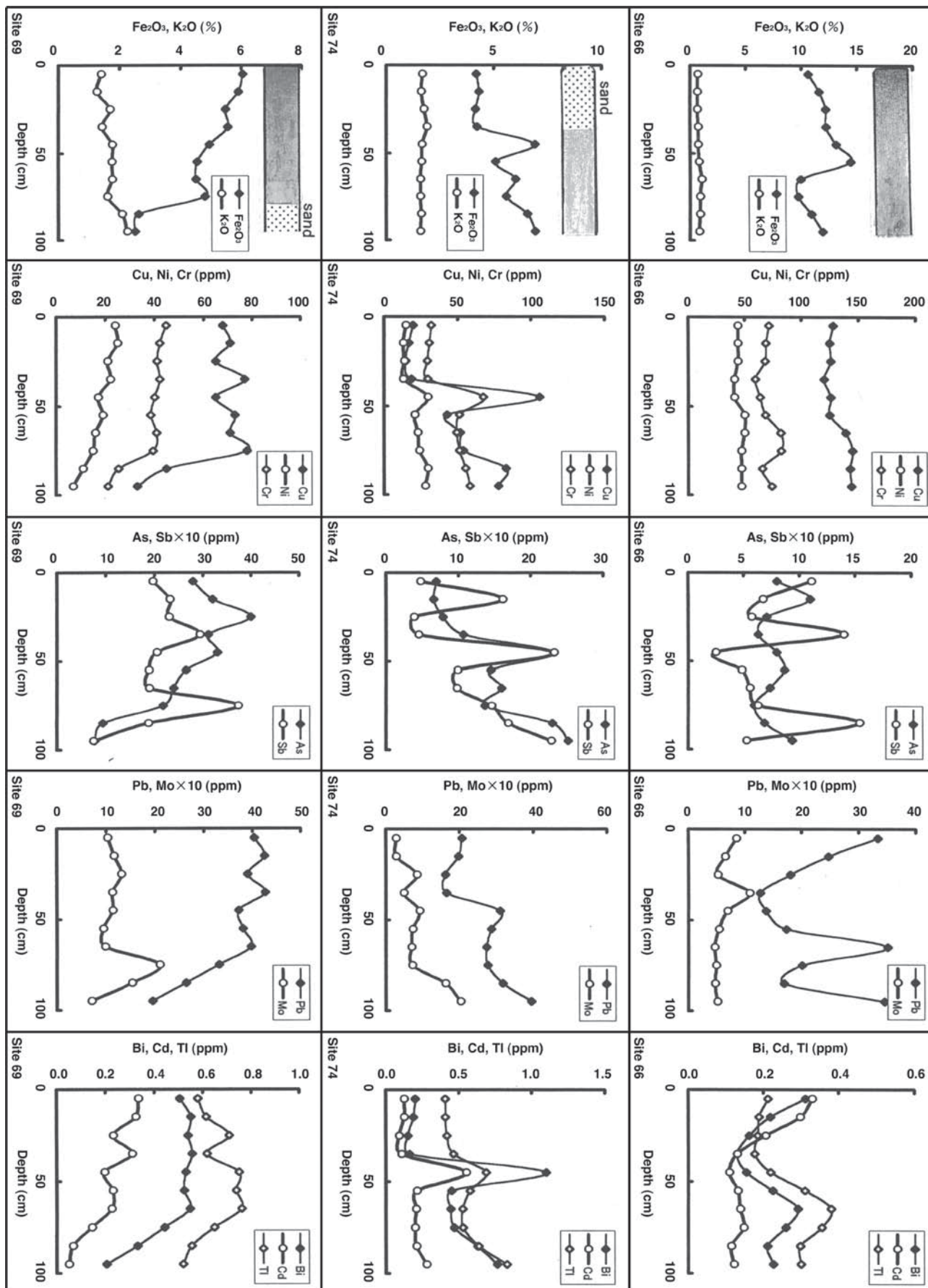
第4図 柱状試料(sites 18, 26, 21)中成分濃度の鉛直変化。

Fig.4 Vertical variations of the elemental concentrations at sites 18, 26 and 21.



第5図 柱状試料(sites 70, 51, 53)中成分濃度の鉛直変化。

Fig.5 Vertical variations of the elemental concentrations at sites 70, 51 and 53.



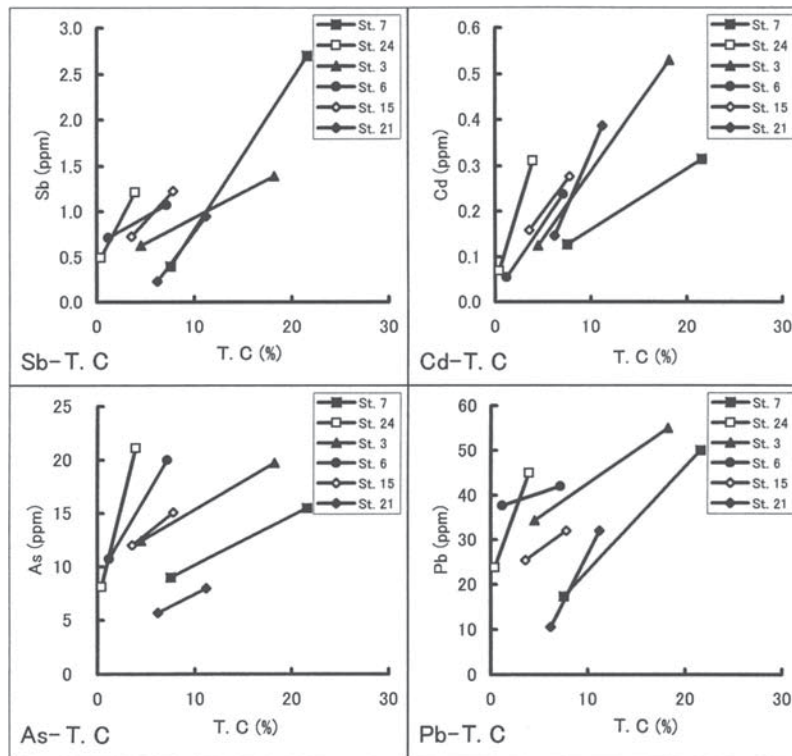
第6図 柱状試料(sites 69, 74, 66)中成分濃度の鉛直変化。

Fig.6 Vertical variations of the elemental concentrations at sites 69, 74 and 66.

第1表 測定値間の相関関係

Table 1 Correlation coefficient matrix of the elemental concentrations in volcanic ash soils and alluvial soils.

	Fe	K	Cu	Ni	As	Sb	Pb	Cr	Mo	Bi	Cd	Tl	T. C
Volcanic ash soils (n=166)													
K	-0.15												
Cu	0.71	-0.29											
Ni	0.80	-0.08	0.80										
As	-0.07	0.53	-0.13	0.03									
Sb	-0.10	0.44	-0.13	0.02	0.72								
Pb	-0.26	0.52	-0.17	-0.08	0.67	0.67							
Cr	0.68	-0.04	0.78	0.87	0.14	0.06	-0.04						
Mo	0.17	0.37	-0.13	0.13	0.51	0.43	0.43	0.12					
Bi	-0.16	0.35	-0.19	-0.01	0.65	0.47	0.39	0.02	0.35				
Cd	-0.02	-0.11	0.16	0.11	0.31	0.40	0.37	0.08	0.17	0.31			
Tl	0.10	0.72	-0.04	0.16	0.69	0.55	0.66	0.19	0.60	0.37	0.14		
T. C	-0.25	-0.27	0.07	-0.06	0.20	0.37	0.36	0.05	-0.01	0.25	0.66	-0.10	
T. S	0.05	0.12	0.15	0.19	0.32	0.26	0.31	0.36	0.06	0.20	0.30	0.30	0.47
Alluvial soils (n=107)													
K	-0.73												
Cu	0.70	-0.54											
Ni	0.83	-0.62	0.85										
As	0.06	-0.17	0.11	0.13									
Sb	-0.12	-0.08	0.19	0.01	0.58								
Pb	-0.24	0.30	-0.03	-0.09	0.49	0.43							
Cr	0.61	-0.54	0.66	0.83	0.08	0.05	-0.04						
Mo	0.23	-0.42	0.19	0.16	0.57	0.48	0.09	0.15					
Bi	-0.20	0.22	-0.01	-0.08	0.45	0.40	0.58	0.04	0.19				
Cd	0.20	-0.38	0.34	0.25	0.46	0.49	0.42	0.29	0.36	0.50			
Tl	-0.59	0.76	-0.41	-0.47	0.32	0.26	0.62	-0.36	-0.07	0.59	-0.04		
T. C	0.24	-0.47	0.36	0.33	0.53	0.44	0.31	0.39	0.69	0.40	0.54	-0.06	
T. S	0.02	-0.05	0.14	0.13	0.33	0.31	0.14	0.13	0.53	0.39	0.27	0.19	0.54



第7図 火山灰質土壤におけるAs, Sb, Pb, Cd 濃度とT.C濃度の関係。

Fig.7 Relationship between As, Sb, Pb or Cd content vs T. C content of the selected volcanic ash soils.

地域に分布するテフラが研究対象とした元素に乏しいためである。一般にテフラ層は堆積速度が速く生物濃集の影響が極めて少ないことも考慮すべきであろう。第3, 4図において, Fe_2O_3 , Cu, Cr, Niはほとんどの場合最上位から深度50~100cmに向かって高濃度になるが, これは表層土壌が水分を多く含む腐植土や粘土鉱物に相対的に富んでいるため, その希釈効果によると考えられた(寺島ほか, 2001a)。しかし, As等他の微量有害元素の鉛直分布は, Fe_2O_3 等とは異なっている。Site 7, 21の最表層部ではAs, Sb, Pb, Bi等の濃度が下位の層準に比べて明らかに高濃度である。この原因として, まず近年の人為的汚染の影響を検討したが, 試料採取地点の近くに人家や工場, 廃棄物処理場等が存在しないことから, その影響は無視できると判断される。Site 7, 21の最表層部におけるT. C濃度は, 前者が21.6%, 後者が11.2%で極めて高く, 生物濃集の影響が考えられるので, 代表的柱状試料の表層部におけるAs, Sb, Pb, Cd濃度とT. C濃度の関係を検討した。第7図からわかるように, 各元素濃度にはかなりの相違があるが, 同一柱状試料に限定すればT. C濃度との間に明瞭な正の関係が存在し, 生物濃集の存在を強く示唆する。浅見(2001)によれば, 多くの重金属が各種植物の生育に伴って根や茎, 葉等に蓄積され, 枯れると表層土壌に還元される。従って, 表層土壌における重金属の高濃度の原因の一つは生物濃集と考えられる。Fe, Cu, Ni, Cr等も程度の差はあっても生物濃集の影響を受けることが考えられるが, これら元素は表層付近で高濃度を示さない場合が多い(第3~6図)のでその理由を考える必要がある。このうちFeについては, 土壌中の含有量が多いので植物濃集の影響よりも, 腐植や水分による希釈効果の影響の方がより強く現れるためと解釈される。Cu, Ni, Crに関しては, 希釈効果よりも植物による濃集効果が小さいことや, 植物が枯れた後の続成過程で水溶性の有機錯体等の形態で流失することが考えられるが, これについては今後の研究が必要である。

2) 沖積層土壌 第6図のSite 69, 74の鉛直分布図によれば, K_2O 以外のほとんどの元素は砂層で低濃度を示す傾向がある。作図しなかった他の柱状試料においても同様であり, 沖積層土壌における元素濃度の鉛直変化を支配する要因としては粒度組成の影響が大きいことを示している。第5, 6図によれば, Cu, Ni, Crの鉛直分布の傾向が Fe_2O_3 のそれに類似するのに対して, As, Sb等他の微量元素は類似の傾向を示さない場合が多い。このことは, 元素間の相関係数にも現れており, FeとCu, Ni, Crとの間には強い正相関($r=0.61$ 以上)があるのに対して, その他の元素との間には明瞭な正相関は存在しない(第1表)。火成岩類において, Pb, Bi, Tlは苦鉄質岩よりも珪長質岩に多く含有されることは古くから知られている(Turekian and Wedepohl, 1961)が, 沖積層土壌ではKとTlの間のみ正相関($r=0.76$)が存在し, Pb, Biとの関係は不明瞭($r=0.30$ 以下)である。このことは, 土壌化の過程におけるKとTlの挙動は

類似するが, Pb, Biは異なることを示唆する。Site 53の深度30~40cmではSb, Pbが, 40~50cmではAs, Biがその上下の層準より明らかに高濃度である(第5図)。この試料の深度70~80cmには続成作用によると考えられる酸化鉄濃集部が認められるので, 堆積環境の変化に伴って各元素が特定の層準に濃集した可能性がある。

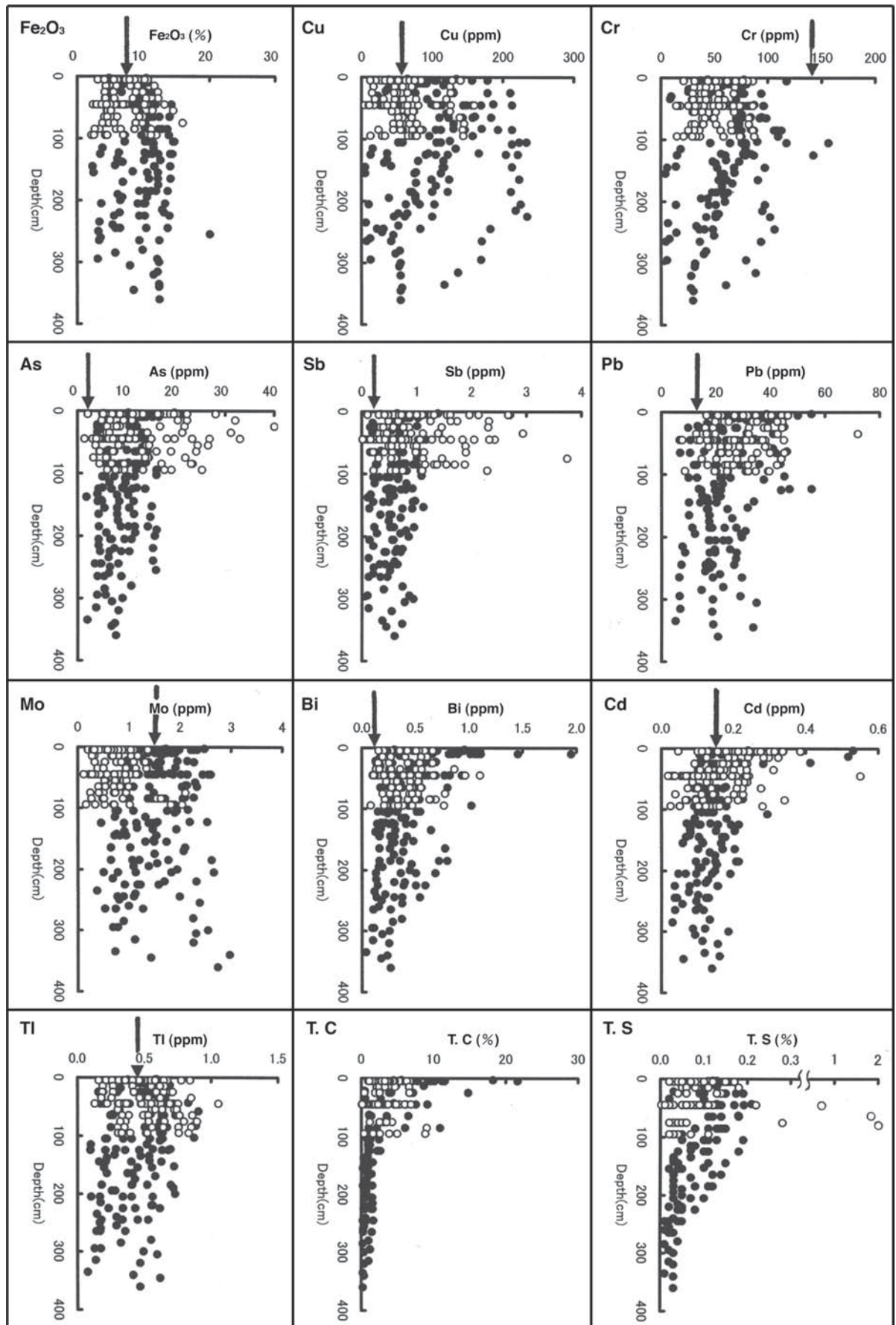
第8図は, 火山灰質土壌と沖積層土壌における鉛直分布の全体的な特徴を把握するため, 各元素について全分析値を同一図面にプロットしたものである。 Fe_2O_3 は表層部で低濃度を, Cu, Cr, Moでは顕著な鉛直変化が無く, その他はいずれも表層部で高濃度を示す傾向がある。上述のように, 表層部における Fe_2O_3 の低濃度は腐植物質や水分の増加によるもので, As, Sb, Pb, Bi, Cd, Tl等が表層部で高濃度を示すのは, 主として生物濃集と考えられる。火山灰質土壌と沖積層土壌における元素の濃度差を概観すると, Moのみは火山灰質土壌で高く, As, Sb, T. Sでは沖積層土壌で高濃度を示す試料があり, その他の元素には顕著な相違は認められない。なお, 第8図の元素濃度軸の矢印は元素の地殻存在量を示すが, これについては4.7で検討する。

4.2 海水の影響

2. で述べたように, Cゾーンの沖積層土壌を採取した地域一帯は約350年以前は海水の影響を受けていたと考えられる。海水の影響評価のため, 陸水に比べて海水中の濃度が極めて高い塩素を希硝酸(0.1M)で溶出させ, チオシアン酸第二水銀吸光光度法で定量した結果, Site 74ではCl濃度が200ppm以上で明らかに海水の影響があると判断された(寺島ほか, 2001b)。今回のT. Sの分析結果でもSite 74の40cm以深では0.28~2.08%のT. Sが検出された(第A-1表)。海底堆積物におけるT. S濃度と堆積環境についてはTerashima *et al.*(1983)で報告したが, 駿河湾, 小浜湾のような酸化的環境下の堆積物は0.1~0.2%で特に高濃度を示さず, 還元的環境下の堆積物が高い。特に, T. S濃度が1%を越える堆積物は, 夏期に底層水の溶存酸素が完全に消失する現在の東京湾のような環境下の試料である。今回分析した他の試料からは高濃度のT. Sは検出されていないが, これは堆積当時の堆積物がT. Sに富まなかったことや海水の影響が無くなった後に雨水等によって流失したと解釈される。他の元素のうち, Cゾーンの沖積層土壌で高値を示すAs, Sb, Mo等(第2表)については海水の影響を考慮すべきであり, 4.3でさらに検討を加えるが, As, Sbについては明らかな濃度増加が推察される。

4.3 地域別平均値

上述のように, Aゾーンの火山灰質土壌は主として関東北西部の火山の噴出物を, Dゾーンのそれは富士山の噴出物を母材とするため, 元素によっては明瞭な地域差が期待できる。そこで, 火山灰質土壌と沖積層土壌の両者につい



第8図 全火山灰質土壌(●)及び沖積層土壌(○)における12成分濃度の鉛直変化。

Fig.8 Depth profile of the elemental concentrations in all the volcanic ash soils(●) and the alluvial soils(○).

て地域別平均値を算出した(第2表)。まず火山灰質土壌に注目すると、Fe₂O₃、Cu、Ni、Crは北部のAゾーンで最も低く、B、Cの順に増加し、Dゾーンで最高値を示す。逆にMoはAゾーンが高く、Dゾーンが低い。As、Sb、Pb、Bi、Tlは、Dゾーンが最も低いので、Moと同様にDからAゾーンに向かって高濃度になることが期待されるが、いずれの元素もAよりもBゾーンで濃度が高い。この原因の一つは、Aゾーンの試料には約29%に相当するテフラ試料が含まれるのに対して、Bゾーンのテフラ試料は10%と少ないためと考えられる。

沖積層土壌では、基盤岩由来の碎屑物の影響により、Fe₂O₃、Cu、Ni、Crをはじめほとんどの元素で明瞭な南北変化は認められない。ところで、As、Sb、Moはいずれも苦鉄質火成岩類に多く含有される元素であるにもかかわらず、苦鉄質元素に乏しいCゾーンで高濃度を示している(第2表)。この原因として、Cゾーンでのみ生物濃集や続成作用の影響が大きかったと考えるのは不自然であり、この地域が海水の影響下にあったことに起因すると解釈すべきであろう。Nozaki(1997)によれば、北部太平洋における海水中の元素濃度は、Fe 0.003、Cu 0.15、Ni 0.48、Cr 0.212、As 1.2、Sb 0.20 μg/kgであり、Sb濃度はCuやCrと同程度、As濃度は約5倍である。一方、一般岩石中のAs、Sb濃度はCu、Crよりも低いので、海水中の各元素が一定の割合で堆積物中に移行すれば、As、Sbの濃度増加率が重金属のそれよりも高くなる。沖積層土壌のうち、重金属濃度がCゾーンとほぼ等しいBゾーンのAs、Sb濃度を海水の影響がなかった場合の濃度と仮定すれば、海水の影響によりAsは5.27ppm、Sbは0.65ppmの濃度増加があったことになる。海水中のMo濃度は10 μg/kgでAs、Sbよりも高濃度である。しかし、Cゾーンの沖積層におけるMo濃度は0.96ppmで他地域の沖積層(0.62-0.86ppm、第2表)よりも若干高いがAs、Sbよりも明らかに低い。モリブデン酸イオン(MoO₄²⁻)が他の重金属やAs、Sb等よりも水に溶解し易く、土壌や堆積物から溶出して海水中に濃集したと考えられる。Moは、A~Dゾーンのいずれにおいても火山灰質土壌よりも沖積層土壌で低濃度を示し、他元素にない特徴を有するが、沖

積層土壌のほうが水の影響をより強く受けており、この事実もMoが他元素よりも水に溶出しやすいことを示唆している。

4.4 テフラ層の風化に伴う微量元素の挙動

火成岩類のように、同一岩体において新鮮な部分と風化部分が明瞭に区分できる場合は、風化に伴う元素の挙動は解明し易い。テフラ層は、程度の差はあってもすべて風化の影響が存在し、また堆積時における下位の地層からの碎屑物の混入や堆積後の上位地層からの物質移動が無視できないため、厳密な意味で風化に伴う元素の挙動を解明することは不可能である。しかしながら、元素の地球化学的挙動を研究する場合、風化の影響評価は極めて重要である。そこで、ここでは分析した各テフラ層の中で風化に伴って最も減少しやすいとされているCaO濃度を指標とし、CaOが最高濃度を示す層準を”新鮮”なテフラ層と仮定して検討を加えることにした。本来ならば、CaOが最低濃度の層準を風化が最も進んだものにすべきであるが、この層準はほとんどの場合テフラ層の最上位にあり、上位の地層の影響をうけやすい。例えば、第A-1表のSite 7、深度120~145cmはOSテフラの層準であるが、Moは最上位で最大値(1.55ppm)を示し、下位に向かって濃度を減じ、最下位では0.75ppmである。As、Sbについては、最上位、最下位で濃度が高く、中間で低い。このような傾向は他のテフラ層や元素においても認められ、必ずしも一定の傾向は存在しない。従って、最上位の層準を風化テフラと仮定することは適切でないため、ここではテフラ層全体の平均値を求め、”新鮮”なテフラと比較することにした。第3表からわかるように、Al、Ti、Fe、Ni等では多くの場合にテフラ層全体よりも”新鮮”な部分が低濃度で、これら元素は風化に伴ってやや増加することを示している。その他の元素のうち、As、Sb、PbについてはAl等と同様に”新鮮”な部分で低く、風化に伴ってやや増加するが、Cr、Mo、Bi、Tlについては一定の傾向は存在しない。以上の検討結果から、テフラ層が風化しても微量有害元素のほとんどは低濃度にならず、As、Sb等には若干の増加傾向があり、これはアルカリ・アルカリ土類元素

第2表 地域別の成分濃度平均値

Table 2 The averaged elemental concentrations for four regions; A, B, C and D.

Sample	(n)	Fe ₂ O ₃ (%)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Pb (ppm)	Cr (ppm)	Mo (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)	Tl (ppm)	
Volcanic ash soils	, A zone	41	8.15	52	28	9.63	0.64	23	44	1.76	0.41	0.14	0.42
	, B zone	59	8.83	80	32	11.69	0.73	31	59	1.57	0.56	0.15	0.54
	, C zone	41	11.12	113	44	9.45	0.61	24	69	1.53	0.40	0.14	0.48
	, D zone	25	12.61	192	51	4.85	0.30	12	90	0.96	0.18	0.15	0.20
Alluvial soils	, A zone	14	8.05	57	18	9.61	1.10	25	37	0.86	0.35	0.22	0.38
	, B zone	54	5.94	47	20	11.97	0.80	33	45	0.62	0.44	0.15	0.62
	, C zone	27	5.12	53	19	17.24	1.45	27	41	0.96	0.39	0.19	0.53
	, D zone	12	11.48	135	45	7.39	0.84	23	73	0.62	0.21	0.18	0.24
All the volcanic ash soils	166	9.80	98	37	9.60	0.61	25	63	1.52	0.43	0.15	0.45	
All the alluvial soils	107	6.63	59	22	12.48	1.01	29	46	0.74	0.39	0.18	0.53	
All the soils	273	8.56	83	31	10.73	0.77	27	56	1.21	0.41	0.16	0.48	

等の減少による相対的増加と、上位の地層からの移動の影響と解釈される。このうち上位の地層からの元素移動は、その地点における土層全体の元素濃度の増減に影響しないので、土層全体としてはアルカリ・アルカリ土類金属等の流失に伴う相対的増加のみであり、これはAl, Fe, Ti等の濃度変化から見て最大20%程度と考えられる。

4.5 土壌と河川堆積物の比較

同一地域(茨城県下八郷町周辺)で採取した火山灰質土壌、沖積層土壌、河川堆積物における元素濃度を比較した結果、概括的には沖積層土壌と河川堆積物には類似性があり、火山灰質土壌とは異なる傾向があった(寺島ほか, 2001a,b)。本研究で新たに分析した元素のうち, As, Sb, Cr,

Moについては他の重金属と同様に火山灰質土壌で平均値が高く、沖積層土壌、河川堆積物で低い傾向があるが、Pb, Bi, Cd, Tlについては3者の濃度差は小さい(第4表, 第9図)。Pb, Bi, Tlの濃度差が小さい理由の一つは、試料採取地点の後背地に分布する花崗岩類がPb, Bi, Tl等に富み、その碎屑物が沖積層土壌、河川堆積物中に含有されるためと考えられる。第9図において、点線内は火山灰質土壌の値がプロットされる範囲である。一般の地質試料であればCd-Fe間には正の相関が期待される(Turekian and Wedepohl, 1961)がその傾向はなく、特にFeに乏しい3個の火山灰質土壌のCd濃度が他よりも高いが、これは生物濃集の影響と考えられる。

第3表 テフラ層における成分濃度の平均値と”新鮮”部分の比較。

Table 3 The geochemical behavior at the tephralayers during the weathering process.

The Avg. indicate the averaged elemental concentrations of the tephra layers. The “Fresh” part is defined as the part of the tephra layers which has the highest Ca abundances.

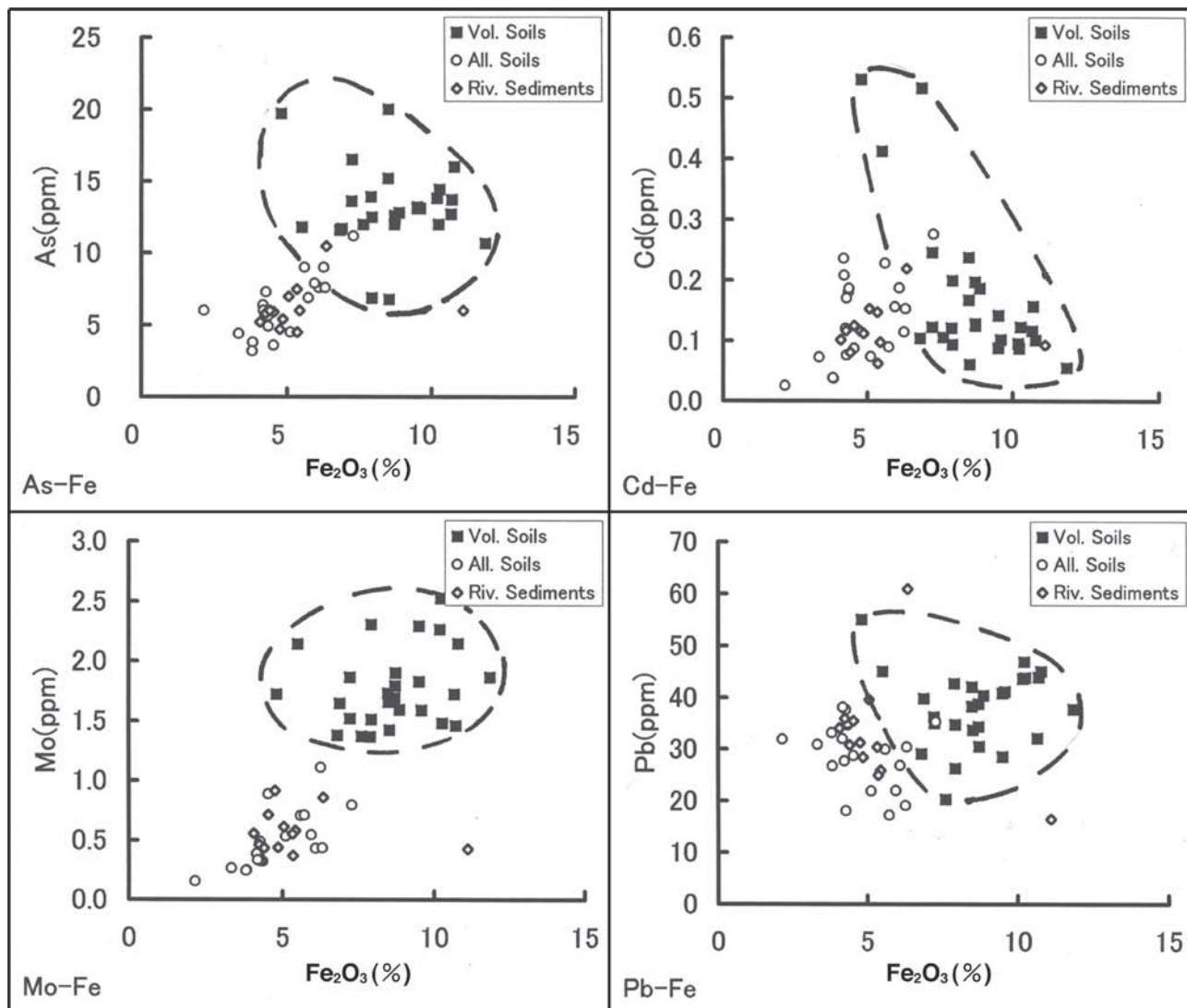
Tephra	(n)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	MnO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	Cu (ppm)	Ni (ppm)
Shichihonzakura pumice (SP), Avg.	(3)	19.76	9.65	0.86	0.18	3.30	1.52	33	21
Shichihonzakura pumice (SP), “Fresh” part		19.00	9.85	0.79	0.19	3.55	1.73	34	20
Imaichi scoria (IS), Avg.	(2)	23.48	9.68	1.22	0.18	1.27	0.66	25	17
Imaichi scoria (IS), “Fresh” part		22.20	9.04	1.16	0.19	1.57	0.92	26	15
Ogawa scoria (OS), Avg.	(6)	21.23	6.38	0.47	0.11	2.64	1.38	38	30
Ogawa scoria (OS), “Fresh” part		23.19	6.82	0.48	0.11	5.70	1.10	32	23
Kanuma pumice (KP), Avg.	(17)	29.51	3.16	0.34	0.08	2.02	1.08	10	6
Kanuma pumice (KP), “Fresh” part		26.06	2.47	0.29	0.07	3.87	1.85	5	4
Tephra	(n)	As (ppm)	Sb (ppm)	Pb (ppm)	Cr (ppm)	Mo (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)	Tl (ppm)
Shichihonzakura pumice (SP), Avg.	(2)	4.40	0.20	15	26	1.11	0.14	0.11	0.31
Shichihonzakura pumice (SP), “Fresh” part		4.00	0.20	13	26	0.97	0.13	0.11	0.30
Imaichi scoria (IS), Avg.	(2)	4.70	0.36	27	9	1.70	0.30	0.16	0.54
Imaichi scoria (IS), “Fresh” part		4.00	0.19	31	8	1.90	0.44	0.16	0.50
Ogawa scoria (OS), Avg.	(4)	3.90	0.43	20	46	1.09	0.16	0.08	0.33
Ogawa scoria (OS), “Fresh” part		1.80	0.10	17	51	0.90	0.12	0.08	0.22
Kanuma pumice (KP), Avg.	(10)	6.01	0.32	22	10	0.73	0.22	0.08	0.15
Kanuma pumice (KP), “Fresh” part		5.40	0.13	17	4	1.31	0.28	0.06	0.20

第4表 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、河川堆積物中の重金属・有害元素濃度の最小、最大、平均値。

Table 4 The geochemical features of heavy metals and toxic elements among three kinds of samples(volcanic ash soils, alluvial soils and river sediments) around the Yasato area.

Sample	(n)	Fe ₂ O ₃ (%)	Cu (%)	Ni (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Pb (ppm)	Cr (ppm)	Mo (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)	Tl (ppm)
Volcanic ash soils	min.	3.08	6	4	5.3	0.12	20	4	0.37	0.11	0.06	0.10
	max.	11.85	130	50	20.0	1.39	55	90	2.52	1.95	0.53	0.90
	avg. (31)	7.96	77	31	12.2	0.75	37	57	1.61	0.56	0.16	0.55
Alluvial soils	min.	2.15	13	6	3.2	0.16	17	15	0.15	0.12	0.03	0.36
	max.	7.28	74	26	11.2	1.74	38	81	1.11	0.86	0.28	0.85
	avg. (20)	4.80	40	17	6.3	0.58	29	46	0.48	0.47	0.14	0.58
River sediments	min.	4.07	20	10	4.5	0.16	16	34	0.37	0.16	0.06	0.22
	max.	11.10	56	29	10.5	1.20	61	96	0.91	0.72	0.22	0.68
	avg. (12)	5.46	29	17	6.2	0.43	33	47	0.58	0.41	0.12	0.53
Japanese upper crust (A)		5.39	25	38	6.5-7.1	0.61	17	84	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.

(A), Togashi *et al.* (2000); n.g., not given



第9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, 河川堆積物中元素濃度の比較.

Fig.9 Comparison of the elemental concentrations among the volcanic ash soils, the alluvial soils and the river sediments around the Yasato area.

4.6 土壌とその母材の化学組成の関係

第5表は, 関東平野の火山灰質土壌の母材の化学組成を代表すると考えられる, 男体山と赤城山起源の”新鮮”なテフラ(SP, IS, OS, KP), 富士山の噴出物(玄武岩類と未同定のテフラ)の化学組成とA~Dゾーンの火山灰質土壌の化学組成の平均値を比較したものである. 男体山・赤城山の噴出物の代表として安山岩質火山岩のデータを加えるべきであるが, As, Sb等本研究で対象とした元素のデータは入手できなかった. 火山灰質土壌中の Fe_2O_3 , K_2O , Cu, Ni, Cr, Mo, Cdの濃度は, Aゾーンでは男体山や赤城山起源の各種テフラ及び想定されるそれらの混合物, Dゾーンでは富士山起源の噴出物と想定される混合物の元素濃度に類似しており, B, CゾーンではA, Dゾーンの場合と同じ母材がそれぞれ一定の割合で混合したと考えて大きな矛盾はない. これに対して, As, Sb, Pb, Bi, Tlについては土壌と想定される土壌母材中の濃度に不一致が認めら

れる. ISテフラ中のPb, Bi, Tl濃度は, A~Cゾーンの土壌中濃度に匹敵するが, ISテフラの噴出量は少なく, 分布域が限定されるため, B, Cゾーンの土壌中元素の供給源にはならない. その他テフラ中のPb, Bi, Tl濃度はいずれも低い. 従って, As, Sb, Pb, Bi, Tlはいずれもテフラ等の想定される土壌母材に比べて土壌中で高濃度を示す傾向がある.

4.7 土壌中元素濃度と地殻存在量との関係

第6表は, 本研究で分析した試料に含有される元素濃度の平均値と, 浅見(2001), 加藤ほか(2000)による土壌, Turekian and Wedepohl(1961)が推定した頁岩の値, さらに元素の地殻存在量としてこれまでに発表された代表的な値を比較して示したものである. まず, 土壌と頁岩の値に注目すると, 本研究で得られた火山灰質土壌のCuは他の値の2倍以上であるが, これは主として富士山起源の火山灰がCuに富むためであり, その他については顕著な相違

はなく、このことは本研究で分析した土壤が特殊な試料でないことを示す。地殻存在量に関しては、Fe(4.10~7.07%)、Cu(25~77ppm)、Bi(0.06~0.20ppm)等に不一致がある

が、ここでは全体の平均値を算出し、その値と本研究で得られた土壤の値から濃縮係数(土壤中元素濃度/地殻存在量)を求めて第6表に示した。火山灰質土壤と沖積層土壤

第5表 火山灰質土壤、テフラ、富士山噴出物の化学組成。

Table 5 The chemical compositions of the volcanicash soils, the tephtras and the basalts of Mt. Fuji.

Sample	Fe ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Pb (ppm)	Cr (ppm)	Mo (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)	Tl (ppm)
SP tephra (St. 12, 20-24 cm)	9.85	0.55	34	20	4.00	0.20	13	26	0.97	0.13	0.11	0.30
IS tephra (St. 12, 32-36 cm)	9.04	0.64	26	15	4.00	0.19	31	8	1.90	0.44	0.16	0.50
OS tephra (St. 7, 135-140 cm)	6.82	0.83	32	23	1.80	0.10	17	51	0.90	0.12	0.08	0.22
KP tephra (St. 12, 150-160 cm)	2.47	0.53	5	4	5.40	0.13	17	4	1.31	0.28	0.06	0.20
A zone, volcanic ash soils	8.15	0.72	52	28	9.60	0.64	23	44	1.76	0.41	0.14	0.42
B zone, volcanic ash soils	8.83	0.85	80	32	11.69	0.73	31	59	1.57	0.56	0.15	0.54
C zone, volcanic ash soils	11.12	0.75	113	44	9.45	0.61	24	69	1.53	0.40	0.14	0.48
D zone, volcanic ash soils	12.61	0.20	192	51	4.85	0.30	12	90	0.96	0.18	0.15	0.20
Basalts, younger Fuji (A)	12.15	0.65	181	44	n.g.	n.g.	n.g.	83	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Basalt, Mt. Fuji (JB-3)	11.82	0.78	194	36	1.84	0.12	6	58	1.09	0.02	0.08	0.05
Basalts, older Fuji (A)	11.20	0.38	85	30	n.g.	n.g.	n.g.	53	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Mt. Fuji tephra (St. 21, 330-340 cm)	12.37	0.10	117	43	1.90	0.37	5	61	0.72	0.04	0.12	0.08
Desert sands (China, B)	3.11	2.18	18	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Loess soil (China, C)	4.48	2.42	24	32	13.0	1.04	21	68	1.16	0.3	0.13	0.59

(A), Togashi and Terashima (1997); (B), Ishii *et al.* (1995); (C), Govindaraju (1994)

第6表 土壤と地殻における成分濃度の比較。

Table 6 The elemental concentrations of the soil samples with the reported data of the other regions and crustal abundance.

	Al (%)	Ti (%)	Fe (%)	Mn (%)	Ca (%)	Na (%)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Zn (ppm)
A) Volcanic ash soils (Terashima <i>et al.</i> , 2001a)	10.46	0.62	6.71	0.120	0.83	0.59	100	39	101
B) Alluvial soils (Terashima <i>et al.</i> , 2001b)	9.09	0.39	4.36	0.080	1.35	1.04	51	21	82
Soils (Asami, 2001)	7.10	0.50	4.00	0.0432	1.50	0.50	19	18.6	59.9
Japanese alluvial soils (Kato <i>et al.</i> , 2000)	8.73	0.43	3.97	0.100	1.72	1.52	41	32	118
World shales (Turekian and Wedepohl, 1961)	8.00	0.46	4.72	0.085	2.21	0.96	45	68	95
<i>Crustal abundance</i>									
Goldschmidt (1954)	8.13	0.44	5.00	0.100	3.63	2.83	70	100	80
Taylor (1964)	8.23	0.57	5.63	0.095	4.15	2.36	55	75	70
Bowen (1979)	8.20	0.56	4.10	0.095	4.10	2.30	50	80?	75
Levinson (1980)	n.g.	0.57	n.g.	0.095	n.g.	n.g.	55	75	70
Taylor and McLennan (1995)	8.41	0.54	7.07	0.140	5.29	2.30	75	105	80
Wedepohl (1995)	7.96	0.40	4.32	0.072	3.85	2.36	25	56	65
C) Average crustal abundance	8.19	0.51	5.22	0.099	4.20	2.43	55	82	73
Enrichment factor: A/C	1.28	1.21	1.28	1.21	0.20	0.24	1.82	0.47	1.38
Enrichment factor: B/C	1.11	0.76	0.83	0.80	0.32	0.43	0.93	0.26	1.12
	As (ppm)	Sb (ppm)	Pb (ppm)	Cr (ppm)	Mo (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)	Tl (ppm)	
A) Volcanic ash soils (this study)	9.6	0.61	25	63	1.52	0.43	0.15	0.45	
B) Alluvial soils (this study)	12.5	1.01	29	46	0.74	0.39	0.18	0.53	
Soils (Asami, 2001)	6.82	0.37	17.2	25.7	1.2	0.34	0.295	0.31	
Japanese alluvial soils (Kato <i>et al.</i> , 2000)	n.g.	n.g.	31	69	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	
World shales (Turekian and Wedepohl, 1961)	13	1.5	20	90	2.6	n.g.	0.30	1.40	
<i>Crustal abundance</i>									
Goldschmidt (1954)	5	(1)	16	200	2.3	0.20	0.18	0.30	
Taylor (1964)	1.8	0.2	12.5	100	1.5	0.17	0.20	0.45	
Bowen (1979)	1.5	0.2	14	100?	1.5	0.05	0.11	0.60	
Levinson (1980)	1.8	0.2	13	100	1.5	0.17	0.20	0.45	
Taylor and McLennan (1995)	1.0	0.2	8	185	1.0	0.06	0.10	0.36	
Wedepohl (1995)	1.7	0.3	15	126	1.1	0.09	0.10	0.52	
C) Average crustal abundance	2.1	0.2	13	142	1.5	0.12	0.15	0.45	
Enrichment factor: A/C	4.50	3.05	1.93	0.44	1.02	3.52	1.00	1.00	
Enrichment factor: B/C	5.85	5.05	2.24	0.32	0.50	3.19	1.21	1.19	

の間に若干の相違があるものの, Al, Ti, Fe, Mn, Zn, Cd, Tlの濃縮係数は0.76~1.38の範囲内にあり, これら元素とCuは特に土壤に濃縮されないとすることができよう。

Ca, Na, Ni, Crの濃縮係数は0.47以下でいずれも濃度を減じている。このうちCa, Naは土壤化に伴う風化作用で流失したとする従来からの解釈と矛盾しないが, Ni, CrはFe, Mn等の挙動から見て流失の影響は無視できると考えられる。Ni, Crの含有量は, 岩石の種類によって大きく変化する特徴があり, 例えば花崗岩類や流紋岩類では20~30ppm以下の試料が多いのに対して, かんらん岩や蛇紋岩等の超苦鉄質岩類では2000ppmを越える。従って, 土壤母材に超苦鉄質岩類または類似試料が含まれなければNi, Cr濃度は低くなるはずであり, 本研究で分析した土壤はこれに相当するので, 土壤化に伴って濃度が減少したわけではない。Moに関しては, 沖積層土壤の濃縮係数のみが低値(0.50)であるが, これは4.3で述べたように主として水的作用によるMoの溶出と考えられる。As, Sb, Pb, Biの濃縮係数は1.93~5.85の範囲にあり, 明らかに土壤中で高濃度である。

4.8 As, Sb, Pb, Bi濃度が土壤中で高い理由

As等が土壤母材や地殻存在量に比べて土壤中で高濃度を示す理由としては, 生物濃集, 海水の影響, 風化の影響等が考えられることは既に述べた。このうち海水の影響は沖積層土壤の一部のみへの影響であり, 風化の影響は最大20%程度と考えられる(4.4参照)ため, 主要因とは成り得ない。生物濃集の影響は, 試料の採取地点の環境や表土の状況によって大きく変化するため, 定量的な検討は困難であるが, 若干の検討を加えることにした。まず, 代表的な5

本の柱状試料について, 試料中のT. C濃度別にA(2%以上), B(1-2%), C(1%以下)に区分し, 各元素等の濃度の平均値を算出した(第7表)。この表で, 生物濃集の影響はAが最も大きく, Cでは無視できると仮定する。As, Sb等いくつかの元素濃度は, 多くの柱状試料でA, B, Cの順に低下しており, 生物濃集の存在を示している。Fe₂O₃, Cu, Ni, Cr, Moについては, 一部を除いてA, B, Cの順に濃度が低下する傾向がないため, 本研究では生物濃集の影響はないと解釈する。各元素等のA/C比を求め, これを生物濃集係数とし(表への提示は省略), 各元素別の平均値を算出した結果, As 1.28, Sb 1.26, Pb 1.21, Bi 1.38, Cd 1.54, Tl 1.07であった。第3~6図, 第A-1表からもわかるように, 生物濃集は土壤の最表層部0~20cm付近への影響であり, 2~3mまでの深度を考慮した場合の生物濃集係数として前記の値はほぼ妥当と判断される。従って, 生物濃集の影響のみではAs, Sb, Pb, Biが土壤中で高濃度を示す理由は説明できない。

他の要因としては広域風成塵が考えられており, 井上ら(1990)は, 完新世以降の日本における広域風成塵の堆積速度を3.6~7.1mm/1000年と推定している。一方, 鈴木(1995)が求めた関東平野における過去5万年間の堆積速度から筆者らが推定した堆積速度は, Site 25で36mm, 26で38mm/1000年であり(寺島ほか, 2001a), 富士黒土層の層準を基準とすれば, Site 21では約100mm/1000年となる。従って, 前の2地点では最大20%, Site 21では7%程度が広域風成塵由来の堆積物の可能性がある。広域風成塵の類似物質としての中国タクラマカン砂漠の堆積物の平均値(石井ほか, 1995), 中国産の風成土壤標準試料(Govindaraju, 1994)の化学組成を第5表に示した。風成土

第7表 T. C濃度とFe₂O₃及び有害元素濃度の関係。

Table 7 The relationships between the concentrations of iron oxide, toxic elements, and total carbon.

Site No.	Total carbon	(n)	Fe ₂ O ₃ (%)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Pb (ppm)	Cr (ppm)	Mo (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)	Tl (ppm)
7	A	3	6.85	53	26	10.8	1.13	28	49	1.66	0.40	0.24	0.28
	B	2	10.60	57	45	8.5	0.67	19	74	2.02	0.30	0.12	0.38
	C	11	8.96	64	30	12.0	0.72	24	48	2.02	0.33	0.14	0.52
23	A	6	10.87	101	33	11.9	0.79	25	85	1.76	0.50	0.15	0.60
	B	6	11.09	107	34	11.6	0.72	22	65	1.85	0.64	0.17	0.50
	C	1	10.44	83	34	8.2	0.65	27	49	1.98	0.54	0.12	0.53
25	A	2	8.91	65	33	11.4	0.58	25	56	1.39	0.63	0.20	0.46
	B	3	11.06	108	48	13.2	0.80	27	74	1.40	0.77	0.15	0.61
	C	6	9.61	67	31	9.9	0.58	24	50	1.33	0.45	0.12	0.53
18	A	5	11.28	119	54	11.1	0.71	25	88	1.69	0.61	0.17	0.56
	B	2	12.68	145	60	10.8	0.73	23	94	1.58	0.40	0.18	0.57
	C	8	10.29	73	35	7.0	0.53	17	51	1.39	0.28	0.10	0.41
26	A	2	11.33	117	46	11.2	0.59	26	81	1.25	0.42	0.11	0.57
	B	3	13.67	157	57	12.2	0.66	24	85	1.07	0.37	0.12	0.53
	C	9	10.96	85	32	8.6	0.50	18	52	1.30	0.35	0.08	0.39
Average crustal abundance			7.46	55	82	2.1	0.20	13	142	1.50	0.12	0.15	0.45

Total carbon content: A, more than 2 %; B, 1 to 2 %; C, less than 1 %.

壤中の元素濃度はAs 13, Sb 1.04, Pb 21, Bi 0.3, Tl 0.59ppmでほとんどの火山噴出物よりも高く、日本の土壤における、As, Sb, Pb, Bi等の高濃度の要因として重要と考えられる。これに関しては、広域風成塵そのものの化学組成の解明と、各地域における正確な寄与率の把握を必要とする。これについては、現在科学技術振興調整費による大規模な国際共同研究が実施されており(金井, 2001)、近い将来詳細な議論が可能となろう。その他の要因としては、As, Sb, Pb, Bi等はいずれも揮発性の元素で、水素化合物の生成も知られていることから、火山ガスに含有される可能性があり、これについても今後の研究が必要である。

5. まとめ

土壤地球化学図の作成に関する予察的研究として、関東各地から採取した火山灰質土壤、沖積層土壤の柱状試料について微量元素(As, Sb, Pb, Mo, Cr, Bi, Cd, Tl)を定量し、水平-鉛直方向への分布特性や地球化学的挙動を研究し、以下の結論を得た。

1) 柱状試料における元素濃度の鉛直分布を支配する要因としては、土壤母材の起源、堆積環境、粒度組成、生物濃集、風化作用の影響等が重要であり、Mo, Crを除く微量元素は表層部で高濃度を示す場合が多いが、これは人為的な影響ではなく、主として生物濃集と考えられた。Mo, Cr等が表層で高濃度を示さないのは、生物濃縮の影響よりも続成過程における溶脱が原因であろう。

2) かつて海水の影響下にあったと考えられる土壤の一部からは、多量の塩素や硫黄が検出されたが両者とも低濃度の試料も多かった。海水の影響が無くなった後の雨水等の作用で溶脱したと解釈される。海水の影響により、As, Sb濃度は増加するが、Moは海水中濃度が高いにもかかわらず土壤では低濃度を示し、水への溶出が顕著なことを示唆している。

3) 関東北部の火山灰質土壤の母材は、主として赤城山、男体山起源の安山岩質噴出物で、南部のそれは富士山の玄武岩質噴出物である。母材の起源を反映して重金属の多くは関東南部の土壤で高く、北部に向かって減少する。As, Pb, Bi, Tl等は、逆に富士山起源の噴出物が低濃度であるため、概括的には北部の土壤が高濃度である。沖積層土壤には、河川由来碎屑物が混入するため元素濃度の系統的な南北変化は認められない。

4) テフラ層の風化に伴う微量元素有害元素の挙動を研究した。“新鮮”なテフラが入手できず、また、上下の地層からの移動・混入等があるため厳密な評価は困難であるが、今回分析した微量元素有害元素はTlを含めて明らかな溶脱の影響はなく、As, Sb, Pb等では最大20%程度の濃集が推定された。

5) 茨城県の八郷町周辺で採取した火山灰質土壤、沖積層土壤、河川堆積物の元素濃度を比較した。As, Sb, Cr, Moは他の重金属と同様に火山灰質土壤で高く、沖積層土

壤、河川堆積物で低濃度であった。これは本地域に重金属やAs, Sb等に富む基盤岩類の分布が少ないことに由来する。

6) いくつかの元素について地殻と土壤中の濃度を比較した。火山灰質土壤と沖積層土壤で若干の違いはあるが、Al, Ti, Fe, Mn, Zn, Cd, Tl濃度は概括的に一致した。Ca, Na, Ni, Crは土壤中で低く、このうちCa, Naは従来から言われている土壤化に伴う溶脱であろう。Ni, Crは蛇紋岩等の超苦鉄質岩類にのみ濃集している元素であり、この影響を受けない土壤、堆積物はNi, Crに乏しいのが普通で、土壤化に伴う溶脱ではない。Moは、沖積層土壤でのみ低濃度で、水の作用による溶脱と解釈される。As, Sb, Pb, Biは、土壤中に顕著に濃集される元素であり、その原因としては、生物濃集、海水の影響、風化の影響、広域風成塵の混入等が考えられた。さらに、具体的なデータはないが、火山ガスの影響についても検討すべきであろう。

文献

- 浅見輝男(2001) 日本土壤の有害金属汚染。アグネ技術センター、東京、402p。
- Bowen, H. J. M.(1979) Environmental chemistry of the elements. Academic Press, London, New York, Toronto, Sydney, San Francisco, 333p。
- 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, 49p。
- Goldschmidt, V. M.(1954) Geochemistry. Muir, A. ed., Clarendon Press, Oxford, 730p。
- Govindaraju, K.(1994) 1994 compilation of working values and sample description for 383 geostandards. Geostandards Newsletter, 18, 33。
- 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。
- Imai, N.(1990) Multielement analysis of rocks with the use of geological certified reference material by inductively coupled plasma mass spectrometry, Anal. Sci., 6, 389-395。
- 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(2000a) 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(2000b) 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「山形市周辺地域」”, 地質調査

- 所, p.37-40.
- 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(2002) 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12年度環境保全研究成果集, 54-1~54-14.
- 井上克弘・成瀬敏郎(1990) 日本海沿岸の土壌および古土壌中に堆積したアジア大陸起源の広域風成塵. 第四紀研究, 29, 209-222.
- 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, 35p.
- 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, 30p.
- 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, 38p.
- 金井 豊(2001) 風成ダストプロジェクトの概要と地質・地球化学におけるエアロゾル研究. 地質ニュース, 565, 11-23.
- 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, 378p.
- 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—. 日本土壌肥料学雑誌, 71, 143-153.
- Levinson, A. A.(1980) Introduction of Exploration Geochemistry. 2nd ed., Applied Publishing, Wilmette, Illinois, 614p.
- 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). 地学雑誌, 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, 311p.
- Nozaki, Y.(1997) A fresh look at element distribution in the North Pacific Ocean. EOS. Trans, 78, 221.
- 太田充恒・今井 登・岡井貴司・遠藤秀典・川辺禎久・石井武政・田口雄作・上岡 晃(2002) 山形市周辺地域における元素分布の特徴について—山形盆地南部地域の地球化学図—. 地球化学, 36, 109-125.
- 権川 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, 29p.
- 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.
- Taylor, S. R. and McLennan, S. M.(1995) The geochemical evolution of the continental crust. Reviews Geophys., 33, 241-265.
- 寺島 滋(1984) 連続水素化物生成-原子吸光法による地質試料中のヒ素とアンチモンの定量. 分析化学, 33, 561-563.
- Terashima, S., Yonetani, H., Matsumoto, E. and Inouchi, Y. (1983) Sulfur and carbon contents in recent sediments and their relation to sedimentary environments. Bull. Geol. Surv. Japan, 34, 361-382.
- 寺島 滋・今井 登・岡井貴司(2001a) 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.
- 寺島 滋・太田充恒・今井 登・岡井貴司・御子柴真澄・谷口政碩(2001b) 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的研究(第2報)—. 地調月報, 52, 347-369.
- 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) Younger upper crustal chemical composition of the orogenic Japan Arc. Geochemistry Geophysics Geosystems, vol. 1, Paper number 2000GC000083.
- Turekian, K. K. and Wedepohl, K. H.(1961) Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. Geol. Soc. America Bull., 72, 175-192.

Wedepohl, K. H.(1995) The composition of the continental crust. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59, 1217-1232.

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.

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.

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.

(受付:2002年6月12日;受理:2002年12月17日)

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

Site No.	Depth (cm)	Fe ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Pb (ppm)	Cr (ppm)	Mo (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)	Tl (ppm)	T. C (%)	T. S (%)
A zone, volcanic ash soils															
7	0-10	5.02	0.42	53	20	15.5	2.70	50	37	1.04	0.61	0.31	0.25	21.60	0.16
	20-30	6.68	0.46	52	24	8.0	0.28	16	46	2.26	0.28	0.28	0.30	14.80	0.17
	40-50	8.86	0.43	55	34	9.0	0.40	17	66	1.67	0.31	0.13	0.30	7.52	0.19
	60-65	11.23	0.50	59	51	6.3	0.35	16	94	2.10	0.23	0.10	0.26	1.07	0.18
	80-90	10.71	0.61	58	51	8.5	0.93	20	87	1.70	0.31	0.11	0.32	1.02	0.13
	100-110	10.28	0.68	58	45	7.4	0.32	22	76	1.92	0.26	0.13	0.34	0.96	0.11
	120-125	6.27	1.05	36	35	5.0	0.48	14	56	1.55	0.18	0.07	0.28	0.97	0.07
	130-135	6.09	1.05	36	33	4.0	0.16	15	61	1.15	0.18	0.08	0.27	n.d.	n.d.
	135-140	6.82	0.83	32	23	1.8	0.10	17	51	0.90	0.12	0.08	0.22	0.28	0.03
	140-145	5.73	2.02	42	11	4.8	0.97	34	14	0.75	0.17	0.08	0.54	0.36	0.03
	150-155	8.36	1.40	77	37	15.0	1.12	32	69	1.47	0.48	0.11	0.72	0.90	0.10
	165-175	6.87	1.05	77	29	14.7	0.71	26	67	2.06	0.39	0.13	0.58	0.84	0.07
	185-195	6.13	1.14	76	26	16.0	0.80	31	59	1.54	0.46	0.15	0.71	0.72	0.05
	195-205	6.51	1.09	77	27	15.6	0.85	29	60	1.93	0.44	0.15	0.73	0.72	0.05
	215-225	6.40	0.95	65	23	15.2	0.73	25	51	1.68	0.40	0.12	0.56	0.77	0.05
	235-245	5.37	0.92	52	22	15.2	0.59	17	33	1.12	0.21	0.10	0.29	0.53	0.03
	245-255	3.19	0.53	29	7	6.5	0.21	18	14	0.80	0.18	0.10	0.17	n.d.	n.d.
	255-265	3.55	0.45	12	9	6.3	0.20	21	8	0.99	0.16	0.10	0.17	0.26	0.01
	275-285	9.86	0.73	54	32	10.8	0.74	23	42	2.24	0.37	0.13	0.55	1.02	0.04
	295-305	12.36	0.53	55	30	9.0	0.93	19	32	2.54	0.26	0.19	0.49	0.37	0.03
315-325	11.55	0.52	55	30	8.2	0.54	19	28	2.26	0.25	0.16	0.47	0.38	0.03	
335-345	12.35	0.53	57	28	7.5	0.73	19	28	2.96	0.24	0.16	0.42	0.36	0.03	
355-365	12.39	0.52	55	33	7.7	0.59	21	30	2.72	0.27	0.14	0.47	0.22	0.03	
9	0-10	7.00	0.73	49	30	15.3	0.82	36	51	1.97	0.87	0.33	0.50	10.15	0.10
	40-50	10.00	0.86	60	46	12.0	1.09	24	77	2.55	0.35	0.16	0.56	1.20	0.14
11	0-10	7.28	0.48	51	22	10.0	0.86	24	33	1.39	0.69	0.33	0.33	9.60	0.10
	40-50	8.66	0.44	44	21	4.8	0.43	17	28	1.18	0.24	0.12	0.33	3.68	0.11
12	0-8	8.88	0.53	39	26	5.3	0.34	18	37	1.67	0.31	0.13	0.38	4.48	0.11
	16-20	9.68	0.43	37	20	4.8	0.20	17	26	1.25	0.16	0.12	0.32	n.d.	n.d.
	20-24	9.85	0.55	34	20	4.0	0.20	13	26	0.97	0.13	0.11	0.30	0.46	0.03
	28-32	10.32	0.20	23	19	5.4	0.54	23	10	1.51	0.17	0.16	0.58	n.d.	n.d.
	32-36	9.04	0.64	26	15	4.0	0.19	31	8	1.90	0.44	0.16	0.50	0.49	0.02
	40-50	10.04	0.85	149	44	13.7	0.74	28	66	2.44	0.93	0.06	0.59	0.44	0.03
	90-100	9.69	0.91	96	48	16.0	0.82	31	75	1.89	1.02	0.09	0.62	0.39	0.05
	140-150	2.30	0.53	5	3	4.9	0.39	14	6	0.82	0.30	0.07	0.16	n.d.	n.d.
	150-160	2.47	0.53	5	4	5.4	0.13	17	4	1.31	0.28	0.06	0.20	0.20	0.02
180-190	9.40	1.09	72	38	14.2	0.95	27	51	2.61	0.72	0.15	0.69	0.22	0.03	
13	0-10	8.94	0.62	48	32	13.6	0.88	23	57	2.33	1.09	0.12	0.52	4.70	0.04
	40-50	10.43	0.41	60	40	14.2	0.71	27	57	2.59	0.69	0.03	0.47	0.87	0.03
24	0-10	7.92	0.76	67	34	21.1	1.21	45	49	2.26	1.10	0.31	0.56	3.90	0.04
	40-50	9.67	0.67	53	35	8.1	0.49	24	48	2.14	0.56	0.07	0.39	0.42	0.07
A zone, alluvial soils															
70	0-10	9.15	0.62	59	22	9.4	0.90	20	36	0.79	0.27	0.24	0.26	4.60	0.12
	10-20	9.12	0.64	52	20	9.3	0.49	21	36	0.79	0.27	0.24	0.26	4.64	0.11

関東平野の土壤中微量有害元素の地球化学的研究(寺島ほか)

第A-1表 続き
Table A-1 Continued

Site No.	Depth (cm)	Fe ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Pb (ppm)	Cr (ppm)	Mo (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)	Tl (ppm)	T. C (%)	T. S (%)
	20-30	9.87	0.61	56	18	8.6	0.86	19	33	0.75	0.25	0.24	0.26	n.d.	n.d.
	30-40	10.38	0.46	58	19	5.9	0.40	20	29	1.34	0.27	0.17	0.25	n.d.	n.d.
	40-50	9.85	0.55	63	19	8.7	0.58	35	31	0.85	0.35	0.24	0.33	5.30	0.11
	50-60	8.80	0.51	74	16	8.3	0.65	22	30	0.71	0.29	0.24	0.30	n.d.	n.d.
	60-70	9.93	0.51	56	17	7.2	0.55	25	41	0.84	0.35	0.28	0.33	n.d.	n.d.
	70-80	8.85	0.52	52	18	5.8	0.30	15	29	0.70	0.19	0.14	0.32	3.51	0.06
	80-90	8.64	0.53	72	15	9.0	1.31	23	34	1.52	0.69	0.34	0.35	n.d.	n.d.
	90-100	7.19	0.65	66	19	8.2	1.07	20	36	0.69	0.30	0.15	0.39	4.92	0.11
71	0-10	5.19	1.44	65	17	17.8	1.61	44	46	1.09	0.59	0.30	0.59	6.71	0.15
	40-50	5.65	1.71	29	16	14.9	1.62	37	39	0.90	0.43	0.16	0.68	4.54	0.09
72	0-10	5.02	1.38	49	17	12.0	2.66	32	62	0.62	0.41	0.26	0.52	3.30	0.09
	40-50	5.06	1.59	45	13	9.4	2.42	19	39	0.46	0.21	0.08	0.50	0.54	0.06
B zone, volcanic ash soils															
3	0-5	4.81	0.53	65	22	19.7	1.39	55	44	1.72	0.96	0.53	0.59	18.20	0.13
	10-15	6.89	0.69	75	32	11.7	0.72	40	57	1.64	0.35	0.52	0.69	8.66	0.13
	20-25	5.51	0.58	69	23	11.8	1.01	45	47	2.14	0.69	0.41	0.62	n.d.	n.d.
	40-45	8.71	0.82	99	35	12.4	0.63	34	64	1.79	0.33	0.12	0.83	4.48	0.21
	55-60	9.50	0.93	120	39	13.1	0.72	41	75	2.29	0.36	0.09	0.90	n.d.	n.d.
	80-85	10.18	1.06	130	44	13.8	0.80	44	84	2.26	0.34	0.10	0.88	n.d.	n.d.
	100-105	10.78	1.12	125	50	16.0	1.08	45	90	2.15	0.33	0.10	0.87	n.d.	n.d.
	120-125	10.22	1.14	95	46	12.0	0.92	47	84	2.52	0.28	0.09	0.69	n.d.	n.d.
4	0-10	8.70	0.79	119	32	12.0	0.62	39	65	1.69	0.26	0.20	0.62	4.94	0.17
	30-40	9.59	0.85	93	34	13.1	0.69	41	70	1.59	0.26	0.10	0.65	2.64	0.10
	70-80	10.26	0.92	130	38	14.4	1.00	44	73	1.48	0.26	0.12	0.62	n.d.	n.d.
	120-130	10.70	1.10	91	43	13.7	0.80	44	87	1.46	0.26	0.16	0.63	n.d.	n.d.
	190-200	6.81	0.61	39	17	11.6	0.70	29	38	1.38	0.15	0.10	0.28	n.d.	n.d.
	200-210	3.62	0.29	10	8	6.6	0.13	23	14	0.50	0.13	0.07	0.10	n.d.	n.d.
	230-240	3.35	0.16	6	5	6.2	0.12	27	6	0.37	0.12	0.08	0.15	n.d.	n.d.
	260-270	3.31	0.18	7	4	5.3	0.33	30	4	0.53	0.11	0.10	0.17	n.d.	n.d.
	290-300	3.08	0.18	13	10	5.6	0.86	29	5	0.77	0.11	0.09	0.18	n.d.	n.d.
	300-310	7.92	1.54	53	19	6.9	0.77	35	31	2.30	0.19	0.09	0.59	n.d.	n.d.
	340-350	8.52	1.75	55	26	6.8	0.44	34	30	1.42	0.18	0.06	0.62	n.d.	n.d.
6	0-10	8.49	0.87	93	37	20.0	1.07	42	69	1.65	0.58	0.24	0.47	7.13	0.10
	40-50	11.85	1.07	105	50	10.7	0.72	38	77	1.86	0.30	0.05	0.58	1.17	0.11
15	0-10	7.97	0.72	57	36	15.1	1.22	32	62	1.79	0.70	0.28	0.50	7.79	0.09
	40-50	8.16	0.70	68	35	12.0	0.73	25	67	1.46	0.77	0.16	0.62	3.56	0.14
23	0-10	9.24	0.71	77	27	11.8	0.67	26	117	2.21	0.48	0.14	0.43	5.98	0.17
	20-30	9.80	0.72	76	29	11.8	0.81	22	75	1.62	0.46	0.17	0.54	3.86	0.15
	40-50	11.82	0.89	112	35	13.7	1.17	25	86	2.01	0.55	0.13	0.71	2.20	0.11
	60-70	12.40	0.97	123	42	14.2	1.05	42	98	2.32	0.56	0.10	0.73	1.37	0.11
	80-90	10.78	0.92	105	33	11.5	0.69	29	74	1.45	0.53	0.14	0.60	2.12	0.11
	100-110	11.35	0.87	112	36	11.5	0.67	25	79	1.74	0.51	0.14	0.63	2.43	0.19
	120-130	12.25	0.84	122	39	11.1	0.71	22	79	1.52	0.48	0.19	0.68	2.18	0.18
	140-150	11.68	0.93	117	33	11.3	0.93	20	68	1.53	0.42	0.17	0.62	1.54	0.15
	160-170	10.86	0.84	99	31	11.4	0.54	18	61	2.09	0.77	0.20	0.41	1.42	0.14

第A-1表 続き
Table A-1 Continued

Site No.	Depth (cm)	Fe ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Pb (ppm)	Cr (ppm)	Mo (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)	Tl (ppm)	T. C (%)	T. S (%)
	180-190	11.18	0.86	100	32	11.5	0.58	18	58	1.76	0.79	0.21	0.40	1.50	0.12
	200-210	10.24	0.72	103	31	10.9	0.56	18	51	1.82	0.68	0.19	0.40	1.51	0.10
	220-230	10.18	0.83	100	32	10.4	0.70	20	52	1.57	0.59	0.16	0.43	1.38	0.08
	240-250	10.44	0.89	83	34	8.2	0.65	27	49	1.98	0.54	0.12	0.53	0.75	0.05
25	0-10	8.64	0.82	65	35	11.5	0.54	28	56	1.48	0.68	0.25	0.44	4.38	0.07
	20-30	9.17	0.76	65	31	11.2	0.62	22	56	1.29	0.58	0.14	0.48	4.10	0.10
	40-50	11.81	1.18	103	52	13.4	1.03	27	83	1.43	0.82	0.12	0.60	1.58	0.13
	60-70	10.58	1.18	110	47	13.3	0.75	30	70	1.39	0.80	0.17	0.63	1.12	0.14
	80-90	10.78	1.02	112	45	12.8	0.63	24	68	1.37	0.69	0.15	0.61	1.00	0.15
	100-110	7.17	0.76	52	21	10.2	0.44	22	46	1.08	0.54	0.14	0.40	0.91	0.13
	110-120	3.83	0.20	16	5	6.4	0.23	19	19	0.72	0.40	0.09	0.10	0.90	0.07
	120-130	3.48	0.14	13	5	6.9	0.57	20	15	0.45	0.41	0.09	0.10	n.d.	n.d.
	130-140	10.10	0.83	80	32	10.2	0.58	22	48	1.92	0.64	0.15	0.53	0.83	0.07
	150-160	10.61	0.88	75	34	10.4	0.74	24	56	1.49	0.39	0.12	0.55	0.74	0.05
	180-190	10.35	0.82	69	31	10.3	0.57	23	48	1.20	0.35	0.12	0.52	0.73	0.08
	200-210	10.04	0.86	63	33	9.5	0.58	25	51	1.12	0.36	0.10	0.56	0.74	0.07
	220-230	9.38	0.88	61	35	8.8	0.61	28	51	1.16	0.39	0.08	0.62	0.56	0.05
2	0-20	7.23	0.75	71	33	16.5	0.87	35	60	1.86	1.95	0.25	0.52	n.d.	n.d.
31	0-20	8.72	0.85	78	39	12.6	0.66	31	63	1.90	1.06	0.13	0.49	n.d.	n.d.
32	0-20	8.86	0.80	70	41	12.8	0.82	40	67	1.59	1.11	0.19	0.41	n.d.	n.d.
33	0-20	9.50	0.91	82	43	13.2	0.83	29	75	1.83	1.01	0.14	0.64	n.d.	n.d.
34	0-20	8.48	1.02	74	39	15.2	0.75	38	67	1.73	1.45	0.17	0.67	n.d.	n.d.
35	0-20	7.92	1.08	88	33	12.5	0.73	26	57	1.51	0.90	0.20	0.47	n.d.	n.d.
36	0-20	10.66	1.32	74	36	12.7	0.76	32	80	1.72	0.81	0.12	0.66	n.d.	n.d.
37	0-20	7.22	1.39	92	27	13.6	0.77	36	54	1.52	1.09	0.12	0.52	n.d.	n.d.
38	0-20	7.61	0.80	78	32	12.0	0.51	20	59	1.37	0.85	0.11	0.56	n.d.	n.d.
40	0-20	7.89	1.07	77	33	13.9	1.02	43	64	1.37	0.66	0.12	0.55	n.d.	n.d.
B zone, alluvial soils															
51	0-10	5.68	1.77	57	22	20.1	1.26	46	39	0.65	0.58	0.31	0.65	2.98	0.07
	10-20	6.08	1.77	63	21	22.2	1.25	44	36	0.69	0.55	0.28	0.65	2.45	0.06
	20-30	4.86	1.77	56	15	16.7	1.45	44	29	0.86	0.53	0.16	0.64	n.d.	n.d.
	30-40	4.43	1.79	49	17	14.1	1.11	43	31	0.48	0.50	0.20	0.62	n.d.	n.d.
	40-50	5.43	1.95	47	18	19.7	1.83	45	33	0.48	0.54	0.24	0.70	1.05	0.03
	50-60	4.44	2.08	46	17	14.0	0.94	39	32	0.52	0.45	0.23	0.72	n.d.	n.d.
	60-70	4.07	2.26	53	20	13.1	1.13	45	39	0.40	0.53	0.22	0.86	n.d.	n.d.
	70-80	4.37	2.26	58	20	14.1	1.11	44	39	0.41	0.52	0.23	0.89	2.97	0.04
	80-90	5.84	2.08	55	23	23.3	1.37	42	36	0.50	0.50	0.18	0.85	n.d.	n.d.
	90-100	4.22	2.08	72	18	13.2	1.10	39	33	0.33	0.47	0.16	0.76	1.60	0.03
52	0-10	7.09	1.88	44	19	22.2	1.10	38	35	0.77	0.42	0.17	0.63	1.52	0.03
	40-50	4.53	2.10	26	15	11.7	0.85	32	32	0.44	0.37	0.11	0.62	0.45	0.03
53	0-10	7.50	1.38	53	25	18.8	0.73	34	50	1.37	0.39	0.20	0.53	3.46	0.08
	10-20	8.00	1.36	47	27	20.3	0.66	33	52	1.04	0.41	0.20	0.55	n.d.	n.d.
	20-30	8.81	1.51	50	27	21.7	0.75	32	54	1.08	0.43	0.18	0.59	2.52	0.06
	30-40	8.37	1.24	47	29	21.2	1.39	72	54	0.94	0.36	0.16	0.53	n.d.	n.d.
	40-50	7.44	1.10	61	28	26.8	0.57	28	52	0.81	0.96	0.14	0.51	3.52	0.07

第A-1表 続き
Table A-1 Continued

Site No.	Depth (cm)	Fe ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Pb (ppm)	Cr (ppm)	Mo (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)	Tl (ppm)	T. C (%)	T. S (%)
	50-60	11.34	1.04	66	32	24.3	0.75	25	51	0.83	0.33	0.13	0.55	n.d.	n.d.
	60-70	9.39	1.12	52	28	18.9	0.41	22	49	0.82	0.28	0.10	0.50	n.d.	n.d.
	70-80	15.94	0.82	68	36	14.3	0.61	20	66	0.94	0.32	0.11	0.53	2.50	0.05
	80-90	11.18	0.80	86	38	17.0	1.15	24	86	0.87	0.43	0.10	0.54	n.d.	n.d.
	90-100	11.13	0.75	76	38	19.0	0.62	24	87	1.01	0.38	0.10	0.51	2.53	0.07
54	0-10	6.07	2.22	35	24	5.0	0.92	32	50	0.87	0.37	0.10	0.77	1.90	0.04
	40-50	5.08	2.58	29	15	4.3	0.16	27	42	0.56	0.30	0.06	0.72	0.76	0.02
55	0-10	7.25	1.62	47	27	16.7	0.58	38	56	0.94	0.53	0.24	0.67	3.90	0.09
	40-50	2.38	3.02	4	3	7.1	0.39	25	18	0.30	0.10	0.03	0.52	0.63	0.08
56	0-10	8.67	1.44	31	24	16.3	1.00	27	42	0.66	0.34	0.17	0.52	2.68	0.05
	40-50	3.52	2.55	10	9	3.0	0.79	25	15	0.22	0.26	0.03	0.70	0.07	0.02
57	0-10	3.08	3.70	47	8	2.1	0.11	30	21	0.20	0.24	0.05	0.84	0.94	0.02
	40-50	2.86	4.45	35	4	1.4	0.04	34	14	0.11	0.17	0.02	1.05	0.04	0.00
58	0-10	7.34	1.21	84	28	19.5	0.67	38	60	0.87	0.50	0.27	0.55	4.41	0.10
	40-50	10.14	1.20	73	31	18.1	1.28	33	59	1.04	0.46	0.17	0.56	3.52	0.09
59	0-10	5.55	1.10	49	23	13.2	2.13	39	70	1.36	0.41	0.39	0.53	6.12	0.12
	40-50	2.93	0.95	44	13	6.8	0.79	33	67	0.53	0.37	0.13	0.51	3.70	0.05
60	0-10	4.24	2.50	27	12	5.5	0.50	28	34	0.36	0.22	0.12	0.50	1.81	0.05
	40-50	3.83	3.56	32	8	3.8	0.18	27	26	0.25	0.12	0.04	0.57	0.36	0.01
61	0-10	7.28	1.18	74	24	11.2	1.32	35	62	0.79	0.49	0.28	0.55	3.65	0.08
	40-50	6.27	1.02	45	24	9.0	0.34	19	45	1.11	0.28	0.11	0.36	4.80	0.09
62	0-10	5.61	1.43	37	26	9.0	0.58	30	81	0.71	0.36	0.23	0.48	3.96	0.09
	40-50	4.28	1.38	30	19	7.3	0.43	18	49	0.49	0.21	0.08	0.36	2.42	0.07
63	0-10	6.10	1.83	33	24	7.6	0.31	27	76	0.43	0.42	0.19	0.47	3.70	0.09
	40-50	6.32	1.82	35	22	7.6	0.32	30	73	0.43	0.45	0.15	0.55	2.80	0.06
64	0-10	4.34	2.55	52	19	5.6	0.68	35	48	0.32	0.66	0.18	0.65	3.49	0.09
	10-20	4.35	2.70	58	18	4.9	1.74	35	47	0.32	0.61	0.19	0.65	3.22	0.08
	20-30	4.28	2.93	46	15	6.0	0.33	38	38	0.32	0.66	0.17	0.69	n.d.	n.d.
	30-40	4.17	2.80	31	15	6.4	0.90	32	44	0.38	0.86	0.24	0.85	n.d.	n.d.
	40-50	4.19	2.70	32	12	6.0	1.06	38	36	0.33	0.67	0.21	0.68	2.81	0.07
	50-60	4.54	2.73	50	18	3.6	0.54	29	32	0.89	0.53	0.09	0.63	n.d.	n.d.
	60-70	5.12	2.08	58	23	4.5	0.21	22	39	0.53	0.47	0.07	0.49	n.d.	n.d.
	70-80	3.81	3.21	45	13	3.2	0.53	33	32	0.24	0.77	0.04	0.79	1.16	0.02
	80-90	3.34	3.14	24	10	4.4		31	31	0.26	0.64	0.07	0.75	n.d.	n.d.
	90-100	2.15	4.23	13	6	6.0		32	15	0.15	0.34	0.03	0.76	0.48	0.07
65	0-10	5.96	1.29	41	23	7.9	0.46	22	54	0.54	0.35	0.16	0.46	3.59	0.08
	40-50	5.74	1.14	36	17	6.9	0.16	17	58	0.71	0.39	0.09	0.47	6.00	0.22
B zone, river sediments															
101	0-5,R.S.	4.25	3.20	24	10	5.8	0.26	36	35	0.46	0.34	0.12	0.68	n.d.	n.d.
102	0-5,R.S.	11.10	0.70	21	29	6.0	1.20	16	96	0.43	0.16	0.09	0.22	n.d.	n.d.
103	0-5,R.S.	5.06	2.30	38	14	7.0	0.39	40	42	0.61	0.44	0.15	0.61	n.d.	n.d.
104	0-5,R.S.	5.44	1.82	30	27	6.0	0.21	26	64	0.58	0.34	0.10	0.55	n.d.	n.d.
105	0-5,R.S.	4.76	2.08	26	15	4.7	0.25	31	34	0.91	0.36	0.12	0.49	n.d.	n.d.
106	0-5,R.S.	4.54	2.56	28	13	5.9	0.36	35	34	0.71	0.46	0.12	0.63	n.d.	n.d.
107	0-5,R.S.	4.07	2.62	23	10	5.2	0.42	34	37	0.55	0.54	0.10	0.60	n.d.	n.d.

第A-1表 続き
Table A-1 Continued

Site No.	Depth (cm)	Fe ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Pb (ppm)	Cr (ppm)	Mo (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)	Tl (ppm)	T. C (%)	T. S (%)
108	0-5,R.S.	4.41	2.40	20	11	6.0	0.16	31	36	0.43	0.39	0.08	0.58	n.d.	n.d.
109	0-5,R.S.	5.36	2.00	23	16	4.5	0.20	25	49	0.37	0.39	0.06	0.40	n.d.	n.d.
110	0-5,R.S.	4.86	2.03	26	14	5.4	0.29	28	35	0.44	0.44	0.11	0.47	n.d.	n.d.
111	0-5,R.S.	6.35	1.73	56	26	10.5	1.01	61	64	0.86	0.72	0.22	0.59	n.d.	n.d.
112	0-5,R.S.	5.34	1.94	37	18	7.5	0.38	30	44	0.55	0.32	0.15	0.52	n.d.	n.d.
C zone, volcanic ash soils															
1	0-5	10.40	0.74	134	51	10.3	0.64	39	77	2.47	0.30	0.24	0.58	5.53	0.12
	10-15	9.94	0.69	116	50	9.6	0.58	31	76	1.62	0.27	0.18	0.53	4.80	0.10
	20-25	9.91	0.69	129	49	8.3	0.69	39	76	1.94	0.27	0.22	0.52	n.d.	n.d.
	40-45	11.82	0.81	186	54	9.8	0.84	32	87	1.62	0.27	0.15	0.65	2.65	0.13
	60-65	11.14	0.74	160	53	10.0	0.70	46	84	2.12	0.25	0.18	0.54	n.d.	n.d.
	80-85	10.79	0.69	170	50	10.3	0.75	36	70	2.09	0.22	0.23	0.87	n.d.	n.d.
	105-110	11.53	0.74	213	55	9.6	0.66	37	79	1.89	0.24	0.29	0.61	n.d.	n.d.
	125-130	11.73	0.73	166	51	9.0	0.51	55	77	2.18	0.22	0.14	0.56	n.d.	n.d.
17	0-10	9.54	0.57	106	43	11.8	0.94	32	72	1.43	1.05	0.27	0.39	6.20	0.12
	40-50	13.16	0.70	144	62	10.3	0.54	20	96	1.54	0.58	0.23	0.51	2.06	0.14
18	0-10	10.09	0.85	104	48	10.8	0.80	30	75	1.50	0.95	0.24	0.46	5.75	0.10
18	20-30	10.34	0.85	106	50	10.5	0.59	27	78	1.38	0.64	0.15	0.47	4.10	0.10
	40-50	10.86	0.83	114	54	10.7	0.53	21	81	1.48	0.62	0.12	0.54	3.08	0.08
	60-70	11.51	0.83	123	55	11.6	0.65	22	98	2.03	0.38	0.16	0.64	3.50	0.11
	80-90	13.62	0.90	146	65	12.0	0.99	25	108	2.04	0.44	0.17	0.67	2.10	0.08
	90-100	13.85	0.90	157	66	11.8	0.66	24	109	1.83	0.43	0.18	0.63	1.70	0.07
	110-120	11.51	0.79	133	54	9.7	0.81	22	79	1.32	0.37	0.18	0.52	1.13	0.08
	130-140	12.60	0.69	116	53	8.0	0.50	20	73	1.45	0.31	0.20	0.47	0.64	0.03
	150-160	12.19	0.70	112	44	8.0	0.92	17	59	1.73	0.30	0.17	0.45	0.68	0.04
	170-180	12.26	0.71	105	43	8.1	0.49	17	57	1.49	0.30	0.15	0.43	0.66	0.03
	190-200	10.56	0.37	76	31	5.8	0.27	12	44	1.08	0.19	0.11	0.26	0.67	0.03
	215-225	13.11	0.69	52	32	7.4	0.64	20	54	2.31	0.30	0.10	0.55	0.43	0.02
	240-250	6.44	0.83	31	19	4.6	0.57	19	41	0.89	0.30	0.04	0.45	0.30	0.02
	260-270	9.37	0.80	42	26	8.8	0.46	19	36	1.27	0.27	0.04	0.36	0.27	0.02
	280-290	5.75	0.92	48	29	5.4	0.40	15	40	0.88	0.29	0.03	0.32	0.20	0.01
26	0-10	10.62	0.80	103	40	10.3	0.52	25	68	0.93	0.38	0.12	0.49	3.65	0.13
	20-30	12.04	0.97	130	52	12.0	0.67	28	94	1.57	0.45	0.11	0.65	2.23	0.19
	40-50	14.21	0.88	169	60	14.5	0.78	30	96	1.36	0.45	0.10	0.56	1.42	0.17
	60-70	13.94	0.70	157	60	12.0	0.68	21	83	0.94	0.34	0.12	0.51	1.21	0.18
	80-90	12.86	0.79	144	50	10.1	0.53	20	75	0.91	0.32	0.13	0.50	1.02	0.14
	100-110	10.93	0.92	106	40	9.8	0.51	22	65	0.77	0.32	0.11	0.54	0.82	0.10
	120-130	11.36	0.76	105	38	9.5	0.53	20	60	0.90	0.30	0.10	0.46	0.96	0.11
	140-150	11.63	0.64	115	38	8.4	0.50	17	53	0.94	0.26	0.10	0.40	0.86	0.11
	160-170	12.20	0.62	124	36	8.0	0.50	17	54	1.02	0.26	0.10	0.37	0.82	0.12
	180-190	11.93	0.70	122	36	8.7	0.51	19	62	1.06	0.26	0.10	0.41	0.79	0.11
	200-210	9.15	0.60	82	33	6.9	0.55	17	45	2.65	0.50	0.05	0.34	0.37	0.03
	220-230	5.59	0.87	46	23	6.4	0.43	18	43	1.21	0.50	0.04	0.34	0.29	0.04
	240-250	5.78	0.80	22	14	3.5	0.42	16	36	0.77	0.37	0.04	0.33	0.18	0.01
	250-260	20.07	0.60	45	31	15.8	0.51	16	50	2.37	0.37	0.06	0.29	0.34	0.02

第A-1表 続き
Table A-1 Continued

Site No.	Depth (cm)	Fe ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Pb (ppm)	Cr (ppm)	Mo (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)	Tl (ppm)	T. C (%)	T. S (%)
27	0-10	8.41	0.63	86	33	10.0	0.70	20	58	1.71	1.04	0.13	0.35	11.54	0.10
	40-50	11.33	0.76	103	39	9.3	0.56	19	65	2.12	0.59	0.12	0.37	0.97	0.10
C zone, alluvial soils															
68	0-10	7.87	1.03	62	30	9.0	0.87	20	51	0.65	0.22	0.20	0.31	2.79	0.10
	40-50	7.28	0.99	80	29	10.4	1.47	17	54	1.02	0.21	0.15	0.31	2.53	0.07
	90-100	4.51	1.22	29	13	17.6	0.21	9	29	1.81	0.08	0.10	0.33	n.d.	n.d.
69	0-10	6.04	1.40	68	24	28.0	1.96	40	45	1.03	0.51	0.34	0.58	6.28	0.17
	10-20	5.90	1.25	71	25	32.0	2.31	42	42	1.16	0.55	0.32	0.61	6.60	0.18
	20-30	5.48	1.68	65	21	40.0	2.30	39	41	1.32	0.54	0.23	0.71	6.66	0.14
	30-40	5.55	1.42	77	22	31.1	2.94	43	42	1.13	0.56	0.31	0.62	n.d.	n.d.
	40-50	4.94	1.76	65	17	33.0	2.05	37	40	1.13	0.53	0.20	0.75	6.86	0.12
	50-60	4.55	1.75	73	19	26.5	1.89	38	38	0.94	0.52	0.23	0.74	n.d.	n.d.
	60-70	4.50	1.76	71	16	24.0	1.90	40	41	0.99	0.55	0.22	0.76	n.d.	n.d.
	70-80	4.80	1.60	78	15	21.8	3.74	33	39	2.10	0.44	0.14	0.65	4.23	0.06
	80-90	2.63	2.09	45	11	9.4	1.88	26	26	1.53	0.33	0.07	0.55	n.d.	n.d.
	90-100	2.51	2.25	33	7	7.7	0.75	20	21	0.71	0.20	0.05	0.52	0.35	0.02
73	0-10	5.50	1.12	75	18	8.6	0.72	21	44	0.59	0.22	0.21	0.35	3.22	0.07
	40-50	3.70	1.23	18	13	6.3	0.72	13	34	0.57	0.12	0.10	0.35	1.90	0.06
74	0-10	4.19	1.68	20	15	7.0	0.48	21	32	0.29	0.20	0.13	0.41	1.48	0.05
	10-20	4.32	1.63	17	13	6.6	1.62	20	31	0.28	0.19	0.13	0.41	n.d.	n.d.
	20-30	4.15	1.76	15	14	7.9	0.39	16	30	0.85	0.15	0.09	0.42	0.41	0.13
	30-40	4.23	1.90	19	13	10.7	0.46	17	30	0.50	0.16	0.11	0.46	n.d.	n.d.
	40-50	6.90	1.66	106	30	23.2	2.32	31	68	0.92	1.10	0.55	0.69	2.28	0.69
	50-60	5.08	1.65	43	21	14.5	0.99	29	51	0.73	0.45	0.21	0.58	n.d.	n.d.
	60-70	6.01	1.60	52	23	16.0	0.98	27	50	0.70	0.45	0.21	0.53	n.d.	n.d.
	70-80	5.59	1.60	54	24	13.7	1.46	28	52	0.72	0.47	0.20	0.53	3.45	0.28
	80-90	6.57	1.62	83	30	23.0	1.69	32	56	1.62	0.63	0.21	0.64	9.04	1.90
	90-100	6.93	1.60	78	28	25.2	2.28	40	58	2.03	0.77	0.28	0.83	8.82	2.08
75	0-10	4.07	1.60	12	12	5.2	0.42	17	31	0.32	0.15	0.11	0.36	1.10	0.05
	40-50	4.39	1.76	11	14	7.2	0.42	14	32	0.28	0.11	0.07	0.36	0.08	0.11
D zone, volcanic ash soils															
21	0-10	9.96	0.30	178	41	8.0	0.95	32	71	1.22	0.57	0.39	0.22	11.20	0.14
	20-30	11.35	0.26	210	40	5.5	0.22	10	69	0.91	0.14	0.14	0.19	7.15	0.13
	40-50	11.54	0.21	213	46	5.7	0.23	11	75	0.86	0.16	0.15	0.20	6.18	0.11
	60-70	10.97	0.16	183	48	5.8	0.24	10	92	1.08	0.17	0.14	0.27	6.50	0.12
	80-90	12.30	0.16	213	56	7.3	0.27	12	112	1.01	0.21	0.13	0.25	6.05	0.13
	100-110	14.69	0.17	223	67	5.0	0.21	10	117	0.73	0.15	0.13	0.21	1.24	0.05
	120-130	14.07	0.18	221	59	4.2	0.44	15	79	1.14	0.14	0.21	0.21	1.13	0.04
	140-150	14.06	0.18	213	58	4.1	0.20	10	97	0.71	0.16	0.18	0.21	1.20	0.04
	160-170	14.10	0.20	223	64	4.2	0.34	10	91	0.64	0.16	0.17	0.22	1.26	0.03
	180-190	13.66	0.17	211	55	4.3	0.22	11	52	0.64	0.16	0.21	0.18	1.16	0.03
	200-210	13.27	0.20	225	46	4.2	0.14	20	97	0.77	0.13	0.14	0.17	1.51	0.03
	210-220	12.87	0.21	218	54	4.2	0.21	8	95	0.68	0.13	0.13	0.17	1.57	0.04
	220-230	13.94	0.20	234	58	4.5	0.41	9	102	0.91	0.15	0.16	0.23	1.57	0.04
	240-250	13.70	0.15	182	53	4.7	0.32	7	106	1.09	0.14	0.13	0.18	1.63	0.04

第A-1表 続き
Table A-1 Continued

Site No.	Depth (cm)	Fe ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Pb (ppm)	Cr (ppm)	Mo (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)	Tl (ppm)	T. C (%)	T. S (%)
	260-270	12.41	0.13	170	49	4.0	0.12	6	93	0.73	0.11	0.12	0.14	1.46	0.03
	290-300	12.05	0.13	169	44	3.9	0.10	7	79	0.68	0.09	0.12	0.13	1.20	0.02
	310-320	12.15	0.16	136	44	3.7	0.12	7	88	1.11	0.10	0.11	0.13	1.00	0.02
	330-340	12.37	0.10	117	43	1.9	0.37	5	61	0.72	0.04	0.12	0.08	0.19	0.01
22	0-10	10.52	0.34	156	33	5.6	0.64	35	62	1.22	0.38	0.31	0.23	9.16	0.13
	20-30	11.76	0.24	178	40	4.0	0.15	14	70	0.98	0.13	0.11	0.15	6.90	0.09
	40-50	10.70	0.17	156	30	3.9	0.10	7	67	0.78	0.14	0.08	0.17	9.13	0.11
	60-70	11.05	0.16	143	37	4.4	0.15	7	76	0.75	0.18	0.09	0.24	n.d.	n.d.
	80-90	12.80	0.17	193	53	5.7	0.26	13	106	1.36	0.24	0.15	0.33	10.90	0.15
	100-110	14.51	0.16	233	71	5.6	0.66	13	156	1.92	0.20	0.13	0.22	n.d.	n.d.
	120-130	14.38	0.40	204	85	6.8	0.44	14	142	1.38	0.26	0.11	0.35	2.61	0.10
D zone, alluvial soils															
66	0-10	10.62	0.71	128	44	8.0	1.11	33	72	0.86	0.31	0.33	0.21	3.00	0.07
	10-20	11.62	0.68	125	44	11.0	0.67	25	69	0.66	0.22	0.30	0.19	2.11	0.05
	20-30	12.21	0.66	126	44	7.1	0.57	18	68	0.52	0.16	0.21	0.19	1.90	0.04
	30-40	12.26	0.73	120	41	6.3	1.40	13	60	1.09	0.13	0.13	0.18	n.d.	n.d.
	40-50	13.16	0.73	126	41	8.0	0.25	14	64	0.69	0.16	0.11	0.22	1.71	0.03
	50-60	14.48	0.82	125	50	8.7	0.49	17	69	0.54	0.23	0.13	0.31	n.d.	n.d.
	60-70	10.00	1.06	139	50	7.4	0.56	35	82	0.47	0.29	0.14	0.38	n.d.	n.d.
	70-80	9.79	0.91	145	47	6.0	0.63	20	82	0.50	0.26	0.15	0.36	3.04	0.03
	80-90	11.00	0.90	143	47	6.9	1.54	17	66	0.47	0.21	0.12	0.30	n.d.	n.d.
	90-100	11.96	0.83	144	47	9.4	0.53	35	74	0.52	0.23	0.12	0.30	3.82	0.04
67	0-10	10.17	0.46	140	42	5.8	1.55	38	86	0.70	0.23	0.34	0.16	5.31	0.11
	40-50	10.46	0.16	159	45	4.1	0.73	8	86	0.39	0.11	0.11	0.13	4.70	0.06