

関東地域の土壌, 河川堆積物, 東京湾堆積物の化学組成とバックグラウンド評価

寺島 滋¹・今井 登¹・立花好子¹・岡井貴司¹・
御子柴(氏家)真澄¹・太田充恒¹・久保田 蘭¹

Shigeru Terashima, Noboru Imai, Yoshiko Tachibana, Takashi Okai, Masumi (Ujiie) Mikoshiba, Atsuyuki Ohta and Ran Kubota (2007) Chemical composition and background evaluation of soils and stream sediments from Kanto district, and marine sediments from Tokyo Bay. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 58(3/4), p.69 - 91, 8 figs, 7 tables.

Abstract: In order to evaluate the background abundance and anthropogenic contamination of chemical constituents, a total of 810 samples such as soils and stream sediments from the Kanto district, and marine sediments from the Tokyo Bay were analyzed for major and minor constituents. The background abundance of constituents are controlled mainly by the mode of occurrence, distribution of grain size, concentration and diffusion during the process of weathering and diagenesis, and biogenic enrichment. The effect of recent anthropogenic contamination in the studied natural forest soils is estimated to be negligible. However, significant amounts of P₂O₅, Cd and U which derived mainly from the phosphatic fertilizer are detected in the cultivated and paddy field soils. High concentrations over background abundance are found for As, Cu, Hg, Pb, Sb, Sn and Zn in the soils from parks and residential lands indicating the contamination by the anthropogenic source constituents. The stream sediments obtained around the old mineral deposits such as Ashio, Takatori and Hitachi are much dominant in several constituents. The high concentrations of Cr and Ni in the sediments from the Kanto Mountain are caused by clastic materials derived from the basement ultramafic rocks. The sediments collected around the urban industrial areas are generally abundant significantly in some elements of anthropogenic source constituents such as Zn, Sn, Pb, As, P₂O₅, Hg, Cd, Bi, Cu and/or Sb. The upper layer sediments in the middle to northern region of the Tokyo Bay are mostly dominant in Pb, Zn, Sn, Cd, Bi, Sb and Cr by the recent environmental contamination, whereas the sediments in the southern region have lower background abundances. The average background abundances of Al₂O₃, TiO₂ and most heavy metals are clearly higher in the soils than the Tokyo Bay sediments, with the stream sediments showing intermediate abundance. The different concentrations of chemical constituents among the studied soils, stream sediments and Tokyo Bay sediments may be formed mainly during the process of weathering and diagenesis of parent materials.

Keywords: soil, stream sediment, marine sediment, chemical constituent, anthropogenic contamination, background abundance, Kanto district, Tokyo Bay

要 旨

土壌及び堆積物中成分濃度に対する人為的附加を正しく評価してバックグラウンド(自然存在度)を明らかにするため、関東地域で採取された土壌329試料、河川堆積物191試料、東京湾堆積物310試料の主・微量成分の分析値を解析した。土壌や堆積物中の成分濃度を支配する要因としては、母岩や母材中の存在量、粒度組成、風化・続成作用に伴う移動と濃集、生物濃縮の影響等が重要である。市街地から離れた自然林の土壌中成分濃度に対する人為的附加は無視できた。畑地や水田土壌では、施肥に起因するP₂O₅、Cd、Uの附加が認められ、公園や宅地土壌中Pb、Zn、Sb、Sn、Hg等の高濃度も人為的附加と考えられた。旧鉱山地域の河川堆積

物では多くの成分濃度が高いが、人為的な鉱山開発が主原因であろう。超苦鉄質岩地域の堆積物はMg、Cr、Ni等に富むがこれは自然要因である。大都市周辺地域の河川堆積物中のZn、Sn、Pb、P₂O₅、As、Hg、Cd、Bi、Cu、Sb等濃度に人為的附加が認められた。東京湾の堆積物では、湾央・湾奥部の柱状試料の上位層準では人為的附加によりPb、Zn、Sn、Cd、Bi、Sb、Cr等が高濃度を示すが、湾口部の砂質堆積物ではこの影響は無視できる。関東地域の土壌、河川堆積物、東京湾堆積物における成分濃度のバックグラウンド値を比較すると、地質試料の風化・変質過程で残留物中に保持されやすい成分(Al₂O₃、TiO₂、重金属類等)は土壌中で、風化・変質に伴って移動・流失する成分(アルカリ、アルカリ土類金属等)は東京湾堆積物中で最高濃度が得られた。

¹地質情報研究部門(Institute of Geology and Geoinformation, GSJ).

1. はじめに

関東地域の土壌に関連して、金井ほか(1988)は第四紀後期テフラの化学組成を明らかにし、上野ほか(1992)は関東ローンを母材とする水田土壌中元素の地球化学的挙動を研究した。関東をはじめ日本各地の沖積土の化学組成の概要は加藤ほか(2000)が報告している。筆者らは、日本全土を対象とした土壌地球化学図の作成を目標とした基礎的研究を継続しており、関東地域における火山灰質土、褐色森林土、沖積土等の主・微量成分の化学組成を解明するとともに、土壌母材の起源、基盤地質との関係、土壌化に伴う元素の移動と濃縮等について報告した(寺島ほか, 2001a,b; 2002; 2004a,b)。寺島ほか(2004b)によれば、都市部の公園や宅地等で採取した土壌中には地質的な要因では説明不可能な高濃度のCu, Zn, Pb, Sn, Sb等が含有される場合があり、これは主として人為的な附加と考えられたが分析例が少なく、バックグラウンドとの関係解明は困難であった。そこで、本研究では東京都心部及び千葉市周辺で新たに採取した表層土壌56試料の分析結果を加え、人為的附加を正しく評価する手法を研究した。

関東地域の河川堆積物の化学組成については、北関東を中心とする上岡ほか(1991)、伊藤ほか(1991)の研究があり、神賀・田切(2003)は渡良瀬川流域、宮田川流域を対象として鉱山閉山後の汚染レベルを研究している。今井ほか(2004)は、日本全土から系統的に蒐集された約3,000個の河川堆積物中53成分を分析し、地球化学図を作成した。この研究においても旧鉱山の周辺や都市部の河川で採取された試料には人為的附加に起因する元素の高濃度が認められるが、バックグラウンドとの関係は詳しく議論されていない。東京湾堆積物中の元素等濃度に人為的な影響が存在することは多くの研究者が指摘しているが(海上保安庁, 1980; 松本, 1983; 松本ほか, 1983; 大嶋ほか, 1992)、正確なバックグラウンド値の算出方法は提示されていない。本研究では、関東地域の土壌、河川堆積物及び東京湾堆積物における人為的附加を評価し、正確なバックグラウンド値を求めるための研究を実施して良好な結果を得たので報告する。

2. 関東地域の土壌、河川堆積物、東京湾堆積物の概要

2.1 土壌

関東ローン研究グループ(1965)によれば、関東の平野部に分布する土壌の6~7割は火山灰質土であり、その他の大部分は沖積土である。山地や急斜面上に降下した火山噴出物は流失する傾向があり、このような地域には主として褐色森林土が分布する。関東地域における火山灰質土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、赤城山等の噴出物が主として安山岩質であるのに対して、富士山では玄武岩質岩が卓越する。褐色森林土の主要母材は表層地質を構成する諸岩石の風化物であり、これに若干の火山噴出物等が混入している(寺島ほか, 2004a, b)。

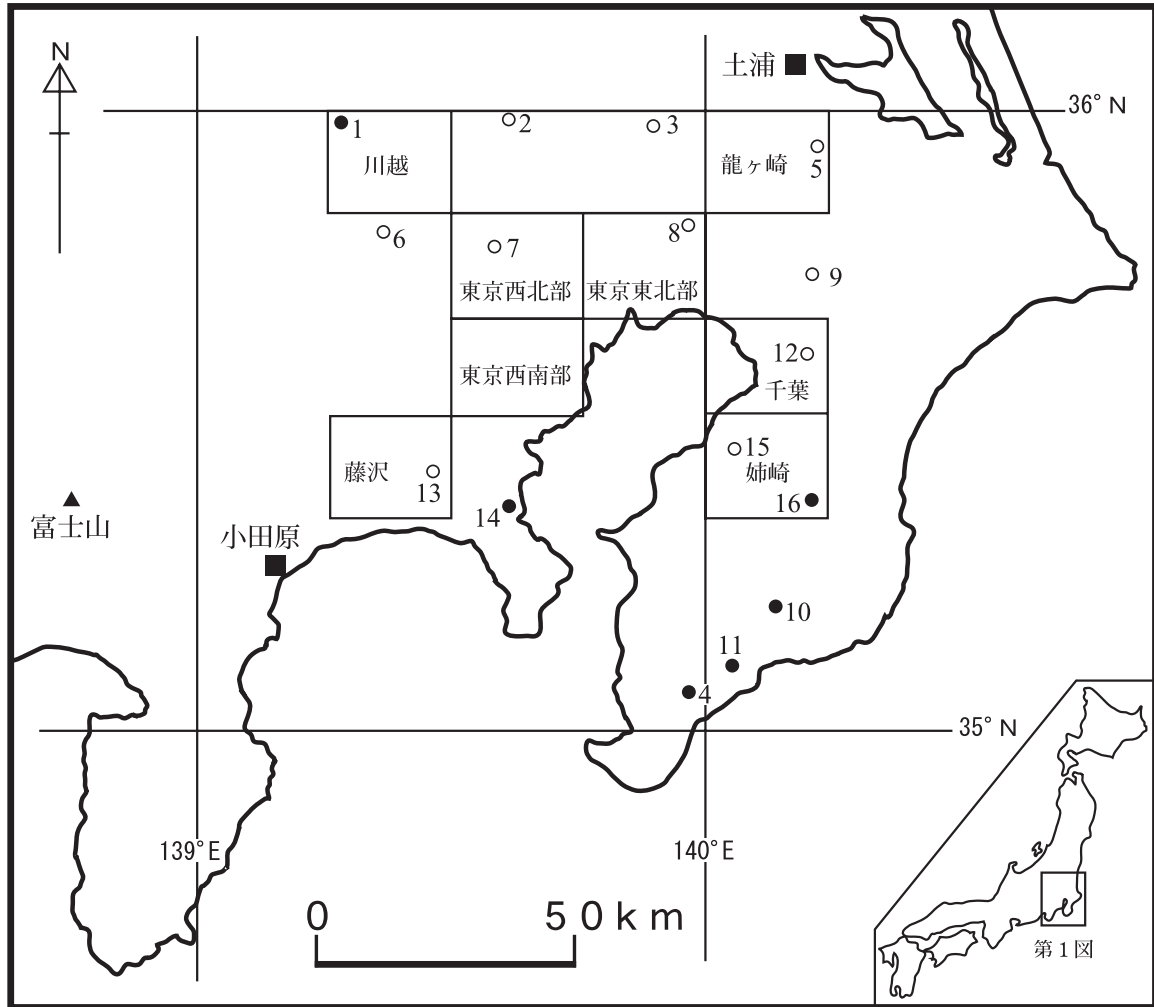
沖積土(現在の河岸・海岸平野を最終的な堆積面とする地域に分布する土壌)の母材は、火山噴出物とその風化生成物、河川由来碎屑物、広域風成塵等である。このうち火山噴出物とその風化生成物の起源・分布特性等は上記の火山灰質土と同様である。河川由来碎屑物には、集水域に分布する基盤岩類、堆積物、土壌等が含まれ、それぞれの寄与率は地形や地質特性によって変化する(寺島ほか, 2001b)。

2.2 河川堆積物

今井ほか(2004)のデータのうち、20万分の1地形図「横須賀」、「大多喜」、「東京」、「千葉」、「宇都宮」、「水戸」の範囲内で採取された191試料を解析対象とした。関東地域の各河川の上流域には火山岩類、深成岩類、堆積岩類が露出し、中・下流域には沖・洪積層が分布する。房総半島南部には古・新第三紀の泥岩、砂岩、礫岩、凝灰岩等が露出し、伊豆半島東部・丹沢山地では苦鉄質火成岩類が卓越する。赤城火山周辺には主として安山岩類が、一部にデイサイト等が分布する。関東山地には各種の変成岩類、堆積岩類が分布し、超苦鉄質岩を源岩とする緑色片岩はCr, Niの供給源として重要である。足尾山地では堆積岩類と花崗岩類が、八溝山地では堆積岩類が、筑波山地では花崗岩類、はんれい岩類、変成岩類が、阿武隈山地では変成岩類が卓越する。中・下流域の河川堆積物は、上流域の堆積物に比べて地域差が小さい特徴があるが、人口が密集する大都市周辺では人為的な影響によって高濃度を示す成分がある(今井ほか, 2004)。

2.3 東京湾堆積物

東京湾では、概括的に横浜・木更津の線よりも北側では細粒のシルト質堆積物が卓越し、これよりも南側では粗粒で貝殻片に富む砂質堆積物が多い。東京湾内における堆積物の堆積速度は、湾奥部の荒川河口から多摩川河口にかけての海域が最も速く、その東方及び南方に向かって遅くなり、木更津沖から湾口部では現在は無堆積域とされている(松本, 1983)。服部(1983)によれば、東京湾の湾口部では年間を通じて底層水が流入し、表層水が流出する傾向がある。湾央・湾奥部の海水の流向は主として風の作用で決定され、冬季は卓越する北寄りの風で千葉県側の表層水が湾口部へ南下し、湾奥では底層水が湧昇するとともに全体的には時計回りの環流が認められる。夏期には、南西風に対応



第1図 火山灰質土(○), 褐色森林土(●)柱状試料の採取地点と表層試料を採取した8地域(川越, 龍ヶ崎, 東京西北部, 東京東北部, 東京西南部, 千葉, 藤沢, 姉崎).

Fig. 1 Sampling sites for core samples of volcanic ash soils (○), and brown forest soils (●). Surface soils are collected from the eight surrounded subareas.

して冬季とは逆の反時計回りの環流が観測され, 表層水温の上昇と淡水供給量の増加によって成層構造が安定化して底層水中の溶存酸素が減少し, 硫酸還元に起因する硫化水素の発生が認められる(服部, 1983).

3. 試料及び分析方法

3.1 土壌

柱状試料: 関東南部の16地点で採取した(第1図). このうち地点1, 4, 10, 11, 14, 16は褐色森林土で, その他は火山灰質土である. 褐色森林土の採取地点の表層地質は, 地点1が緑色片岩, 11が玄武岩であり, その他は泥岩である. 試料採取地点は褐色森林土, 火山灰質土のいずれも市街地から離れた常緑樹林または落葉樹林である. 各採取地点では, 落葉, 小枝等を取り除き, スコップを用いて深度20~30 cmの穴を掘り, その壁面

から深度方向に5~10 cm毎に1試料を採取した. 更にこの穴の下底に半円形オーガ(穴径3 cm, 大起理工工業製)を打ち込み, 全長80~100 cmの柱状試料を採取した. 採取した深度別試料は各5~20 gである.

表層試料: 5万分の1地形図「川越」, 「龍ヶ崎」, 「東京西北部」, 「東京東北部」, 「東京西南部」, 「千葉」, 「藤沢」, 「姉崎」の範囲内(第1図)で採取した155試料を研究対象とした. 各地形図の南北方向を4等分, 東西方向を5等分して20区画に分割し, 各区画内における火山灰質土と沖積土の分布面積を関東ローム研究グループ(1965)の研究結果を基に比較し, 多い方をその区画の試料として各区画の中心部付近で採取した. 火山灰質土では, 自然土壌が分布する常緑樹林または落葉樹林での採取を原則とし, これらが存在しない地域では竹林, 畑地, 公園, 宅地等で採取した. なお, 一部の表層試料の母材には火山灰のほかに基盤岩風化物が含

まれるが、火山灰質土に含めて扱うことにした。沖積土の分布域はほとんどの場合水田として利用されているので原則として水田で採取し、水田がない地域では畑地や公園等できるだけ人為的な影響が少ないと考えられる場所で採取した。各地点では、落葉等を除いた後、深度0～20 cm部分を約1 kg採取した。室温乾燥後2 mmの篩を通過した部分約20 gを分析試料とした。

3.2 河川堆積物

原則として河川の本・支流の合流点付近において支流の河床にある堆積物が採取された(今井ほか, 2004)。本流沿いに採取地点の間隔が大きいときは適当な間隔で複数以上の試料が採取されている。試料採取地点の詳細はホームページ (<http://www.aist.go.jp/RIODB/geochemmap/>) 上に公開されているのでここでは割愛する。河川堆積物の地域別特徴を把握するため、山地が主体の地域を房総南部、伊豆東部、丹沢山地、赤城火山、関東山地、足尾山地、八溝山地、筑波山地、阿武隈山地に分けた。丘陵-平野部は北緯36°、東経140°の線を基準にして関東平野を東西南北にほぼ4等分することにした。この区分によれば、関東平野西北部は埼玉県中・北部、群馬県東南部、栃木県南部、茨城県西部であり、同東北部は茨城県中・北部、同西南部は神奈川県、東京都の中・東部、埼玉県東南部、千葉県西北部(東京23区をはじめとする最も都市化された地域)、同東南部は千葉県中・北部と茨城県南部である。なお、かつて活発な鉱山活動が展開された足尾、日立、高取周辺地域の堆積物は他の地域とは明らかに異なるので個別に扱う必要がある。各試料採取地点では、河床または流水下のできるだけ細粒な堆積物を約1 kg採取し、自然乾燥した後、80メッシュの篩を通過した部分をそのまま分析試料とした。

3.3 海底堆積物

東京湾の堆積物は、環境省による環境保全研究委託費による「日本沿岸海域地球化学図による有害元素等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16～19年度、今井 登グループ長)」の一部として、2004年の11～12月に湾内のほぼ全域から採取された合計29本の柱状試料であり、採取地点は第2図に示した。各試料は半分割して層相変化を記載した後、深度方向に2.5～5 cm毎に分割し、合計310個の試料を得た。いずれの試料も室温乾燥した後、ビニール袋に保存した。

3.4 試料の粉碎と分析方法

80メッシュ以下の河川堆積物はそのまま、その他の試料は石川式めのう粉碎器で約100メッシュ以下に粉碎し、ビニール袋に保存して分析試料とした。

分析試料0.2 gをテフロンビーカ(50 ml)に採り、フッ化水素酸8 ml、過塩素酸3 ml、硝酸3 mlを加え、加熱分解し、蒸発乾固した。硝酸(1+1)5 mlを加えて加温溶解した後メスフラスコに移し入れ、精製水で正しく100 mlとした。

本溶液中のAl, Fe等の主要成分は日本ジャーレル・アッシュ製IRIS Advantage/AP型ICP発光分析装置で、その他の微量元素は横川アナリティカシステムズ製HP-4500ICP質量分析装置等を用い、Imai (1990), 今井ほか(2004)の方法で測定した。

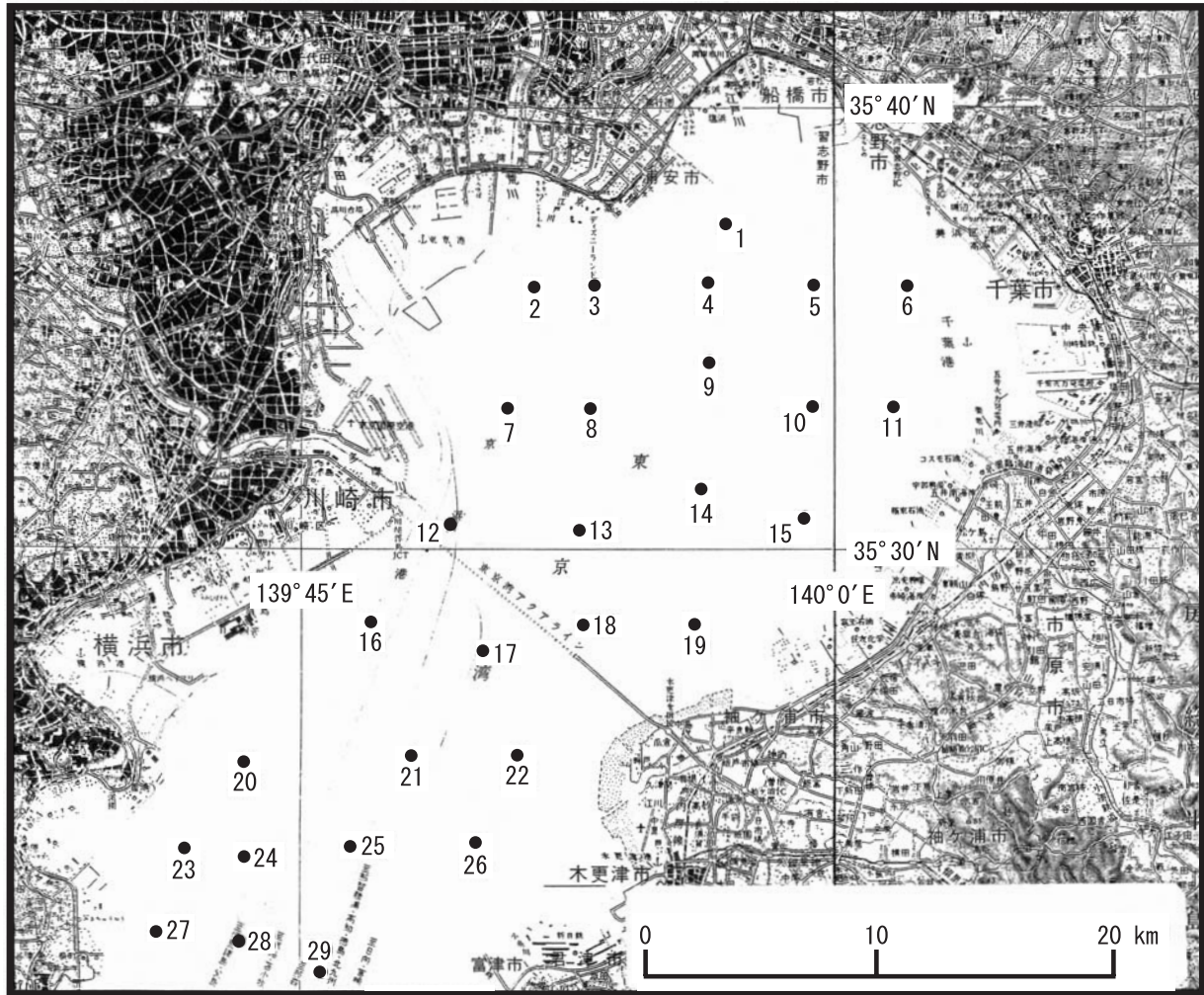
4. 結果と考察

4.1 土壌

4.1.1 柱状試料

柱状試料は褐色森林土と火山灰質土に分けて各試料の採取地点別に主・微量成分濃度の平均値を算出して第1表に示した。褐色森林土では、Fe₂O₃, Co, Cr, Cu, Ni等の濃度が緑色片岩地域(地点1)と玄武岩地域(地点11)の土壤中で高く、泥岩地域(地点4, 10, 14, 16)で低い特徴があるが、これは母岩の化学組成の相違に起因する。火山灰質土の場合、全体的には地点別平均値の差は小さい。しかし、やや詳しく見ると地点13におけるMgO, CaO, Na₂O, Sr濃度が他地点よりも高く、Ce, Cs, La, Li, Rb, Th, Tl等が低い。地点13は今回研究対象にした柱状試料の中では富士山起源の火山灰の影響を最も強く受ける場所であり、他地点よりも堆積速度が速く、風化の影響が小さいことが考えられる。火山灰質土中のK₂O, As, Be, Pb, Rb, Th等は調査地域の北部(地点2, 3, 5)に比べて南部(地点12, 13, 15)のほうがやや低濃度である。これは南部地域の火山灰が主として富士山起源の玄武岩質であるのに対して北部地域では関東北西部の火山に由来する安山岩質火山灰が混入しているためである(寺島ほか, 2004b)。

柱状試料における成分濃度の鉛直変化については寺島ほか(2004a,b)で詳しく検討した。下層部よりも表層部で高濃度を示す成分は水分, TOC(有機炭素), Mn, Ca, Na, P, As, Sb, Sr, Zn, Pb, Cd, Bi, Mo, Sn, Hg等で、逆に下層部で濃度が高いのはAl, Ti, Fe, Li, Cs, Cu, Tl, Be, Co, Cr, Ni, V, Ga, La, Ce, Th, U, Y, Zr等であり、Mg, Ba, K, Rbでは明瞭な鉛直変化は認められなかった。土壌表層で多くの成分が高濃度を示す原因は主として生物濃縮である。筆者らが日本の山野に自生する各種植物を分析した結果、濃縮効果が大きい元素はP, Sb, Zn, Cd, Cu, Caであり、濃縮効果が認められる元素はMn, Pb, Bi, Sr, K, Mo, As, Sn、一部の植物で濃縮効果がある元素はMg, Ba, Rb、濃縮効果が認められない元素はTi, Al, Fe, Na, Li, Cs, Be, Sc, Cr, Co, Ni, V, Ga, La, Ce, Y, Zr, Tl, U, Thであった(寺島ほか, 2004a, b)。



第2図 東京湾における柱状試料の採取地点。国土地理院発行、20万分の1地勢図「東京」と「千葉」の一部を使用。

Fig. 2 Sampling sites for core samples of marine sediments from the Tokyo Bay. Topographic map "Tokyo" and "Chiba" at 1:200,000 in scale by Geographical Survey Institute of Japan.

なお、Cuのように生物濃縮の効果が大きいにもかかわらず表層で低濃度を示す元素は土壌化に伴う溶脱の影響であろう。

4.1.2 表層試料

表層試料の地域別平均値(第1表)を比較すると、川越地域におけるCr(112 ppm)とNi(91 ppm)が他地域よりも明らかに高い。これは緑色片岩分布域とその周辺の試料が高値を示すためである。東京西北部、東京東北部、東京西南部では P_2O_5 、Cd、Cu、Pb、Sb、Sn、Zn等の濃度が高い特徴がある。この原因を考察するため土地の利用形態との関係を検討することにした。まず、火山灰質土と沖積土に分け、前者については常緑樹林、落葉樹林、竹林・草地、畑地、公園・宅地に区分し、後者については水田、畑地、公園・宅地に分けて平均値を算出し、第2表に示した。 P_2O_5 、Cd、Cu、Hg、Pb、Sb、Sn、U、Zn等は、火山灰質土、沖積土のいずれについても畑地や公園・宅地で高い場合が多いが、その他の成

分については本質的な濃度差は存在しない。畑地や公園・宅地で高濃度を示す成分はいずれも人為的附加が主な原因であり、肥料のほか食品用の缶類や塗料関連物質が疑われるが詳細は不明である。

4.1.3 施肥の影響

火山灰質土、沖積土のいずれにおいても畑地土壌で P_2O_5 、Cd、U濃度が高い傾向があるのは主として施肥の影響と考えられる。 P_2O_5 は磷酸肥料として附加され、アロフェン等非晶質物質との結合あるいは吸着により保存される(加藤, 1970; 吉田・金谷, 1975)。Govindaraju (1994)によれば、りん鉱石標準試料には125~141 ppmのU、18~131 ppmのCdが含有されている。これらの値は元素の地殻存在量(U, 1.7 ppm; Cd, 0.1 ppm; Wedepohl, 1995)に比べて100~1,000倍に相当するので磷酸肥料に伴ってU、Cdが畑地に供給されて濃度を増加させたと考えられる。磷酸肥料は水田においても使用されているので、 P_2O_5 、Cd、U濃度のバック

第1表 土壌の採取地点または地域別の平均化学組成.

Table 1 Regional variation of average constituent concentrations of the soils from the Kanto District.

Sample	(n)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	As (ppm)	Ba (ppm)	Be (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)
Core sample, Brown forest soils															
ST-1	12	18.84	1.15	14.60	0.20	6.58	1.69	0.42	0.23	0.09	4.3	236	1.14	0.21	0.20
ST-4	9	15.42	0.70	6.82	0.06	1.49	1.20	1.11	1.22	0.04	7.0	282	1.13	0.21	0.09
ST-10	10	15.93	0.75	7.57	0.19	1.39	0.84	0.68	0.96	0.07	5.9	444	0.89	0.25	0.20
ST-11	9	18.29	1.76	13.92	0.30	1.75	0.79	0.38	1.80	0.18	7.4	138	0.59	0.12	0.29
ST-14	9	16.29	0.75	7.80	0.12	1.48	1.53	1.05	0.78	0.07	6.2	n. d.	1.04	n. d.	0.22
ST-16	10	18.84	0.70	8.82	0.12	1.25	0.91	0.78	0.77	0.05	5.6	257	0.84	0.13	0.09
Average	(59)	17.35	0.97	10.10	0.17	2.50	1.18	0.72	0.92	0.08	6.0	241	0.95	0.19	0.18
Core sample, Volcanic ash soils															
ST-2	11	20.59	0.86	9.76	0.14	2.13	1.19	0.73	0.67	0.11	11.2	179	1.17	0.40	0.21
ST-3	11	22.01	1.03	10.79	0.15	1.55	1.14	0.68	0.68	0.15	12.1	162	1.28	0.38	0.23
ST-5	11	20.28	0.87	9.88	0.17	1.44	1.01	0.67	0.68	0.14	9.8	215	1.20	0.35	0.21
ST-6	11	19.93	1.15	11.79	0.18	1.93	0.75	0.51	0.49	0.18	8.1	144	1.04	0.26	0.26
ST-7	11	18.78	1.13	10.88	0.18	1.85	1.26	0.75	0.48	0.23	8.5	199	0.95	0.30	0.37
ST-8	12	21.47	1.15	11.81	0.19	1.94	0.79	0.56	0.57	0.16	9.4	174	1.15	0.32	0.27
ST-9	11	19.55	0.97	10.66	0.18	1.50	1.03	0.62	0.59	0.17	9.9	167	1.12	0.30	0.20
ST-12	10	20.05	0.99	10.66	0.17	1.76	1.28	0.60	0.46	0.18	7.7	160	0.94	0.26	0.25
ST-13	16	15.81	1.03	9.54	0.16	2.78	3.91	1.16	0.34	0.36	4.5	n. d.	0.60	n. d.	0.43
ST-15	11	18.12	1.00	9.56	0.19	1.36	1.38	0.66	0.49	0.32	7.8	189	0.85	0.29	0.38
Average	(115)	19.50	1.02	10.50	0.17	1.87	1.48	0.71	0.54	0.21	8.7	163	1.01	0.31	0.29
Surface sample, Volcanic ash soils and alluvial soils															
Kawagoe	19	17.17	1.12	9.49	0.20	2.37	1.40	1.04	1.02	0.46	10.4	341	1.51	0.38	0.50
Ryugasaki	20	16.70	0.68	6.84	0.12	1.41	1.89	1.25	1.26	0.31	13.4	343	1.08	0.39	0.36
Tokyo seihokubu	20	18.33	1.04	10.31	0.17	2.12	1.78	0.83	0.76	0.62	11.5	252	1.00	0.43	0.64
Tokyo tohokubu	21	16.36	0.82	8.55	0.14	1.81	2.02	1.27	1.12	0.62	11.9	328	1.05	0.54	0.53
Tokyo seinanbu	22	18.40	1.06	9.78	0.16	1.70	2.26	1.05	0.82	0.44	11.4	309	0.88	0.50	0.55
Chiba	14	17.98	0.79	8.81	0.13	1.45	2.03	1.07	0.87	0.24	7.6	261	0.90	0.29	0.29
Fujisawa	20	16.85	1.05	9.94	0.15	2.30	3.43	1.26	0.53	0.38	5.7	n. d.	0.73	n. d.	0.37
Anesaki	19	17.35	0.78	7.35	0.13	1.47	1.96	1.36	1.05	0.25	8.3	278	0.89	0.21	0.28
Average	(155)	17.38	0.92	8.90	0.15	1.84	2.11	1.14	0.93	0.42	10.2	282	1.00	0.40	0.45
All the samples	(329)	18.12	0.97	9.68	0.16	1.97	1.72	0.92	0.79	0.29	8.9	233	1.00	0.33	0.34
Core sample, Brown forest soils															
ST-1	12	31	74	548	2.14	138	24	3.42	0.07	0.095	12	19	0.37	0.71	531
ST-4	9	34	17	50	4.43	48	17	2.06	0.07	0.067	17	28	0.68	6.41	23
ST-10	10	27	20	45	4.18	62	18	2.03	0.10	0.081	12	30	1.01	5.26	26
ST-11	9	16	48	158	2.09	130	23	2.69	0.06	0.117	8	18	0.72	4.08	88
ST-14	9	26	21	29	3.02	52	19	2.06	0.12	0.078	13	26	0.65	2.99	30
ST-16	10	27	25	34	2.53	51	20	2.32	0.04	0.063	12	24	0.41	0.96	26
Average	(59)	27	36	161	3.03	82	20	2.47	0.07	0.084	12	24	0.63	3.34	138
Core sample, Volcanic ash soils															
ST-2	11	38	29	42	3.94	103	24	3.81	0.10	0.096	17	23	1.05	2.04	35
ST-3	11	39	32	50	4.05	129	26	4.34	0.09	0.104	18	22	1.44	2.85	39
ST-5	11	36	29	44	3.83	107	23	3.82	0.11	0.085	18	24	0.79	2.13	34
ST-6	11	33	38	63	3.27	146	24	3.04	0.08	0.101	15	19	0.99	3.24	50
ST-7	11	29	35	61	3.18	144	23	2.93	0.12	0.099	15	16	1.05	2.59	49
ST-8	12	37	35	61	3.89	139	25	3.38	0.10	0.102	18	21	1.23	2.38	48
ST-9	11	36	32	49	3.85	125	23	3.92	0.09	0.097	18	25	0.90	2.71	38
ST-12	10	29	30	40	3.01	127	21	3.48	0.07	0.082	14	20	0.96	3.22	36
ST-13	16	18	31	43	1.22	139	18	2.29	0.08	0.072	9	9	0.69	2.24	40
ST-15	11	29	31	44	2.98	133	21	2.51	0.10	0.079	16	20	0.91	2.52	35
Average	(115)	32	32	50	3.24	130	23	3.30	0.09	0.091	15	19	0.99	2.57	41

第1表 つづき.
Table 1 Continued.

Sample	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Ga	Hf	Hg	In	La	Li	Mo	Nb	Ni	
(n)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	
Surface sample, Volcanic ash soils and alluvial soils															
Kawagoe	19	43	34	112	3.93	99	21	2.14	0.16	0.085	22	31	1.08	5.53	91
Ryugasaki	20	33	19	29	4.36	66	18	2.50	0.14	0.069	16	24	1.05	4.74	24
Tokyo seihokubu	20	31	33	66	3.37	152	21	2.40	0.26	0.093	16	18	1.46	4.39	51
Tokyo tohokubu	21	33	24	61	4.00	207	19	2.35	0.41	0.083	17	23	1.74	5.19	41
Tokyo seinanbu	22	30	28	65	3.03	170	19	1.88	0.23	0.091	14	18	2.50	4.08	44
Chiba	14	26	24	35	2.56	88	18	2.41	0.18	0.073	13	20	0.79	3.04	28
Fujisawa	20	22	32	48	1.92	135	20	2.29	0.14	0.079	11	14	0.80	2.98	38
Anesaki	19	28	21	33	2.81	69	19	2.39	0.09	0.062	14	23	0.89	3.56	25
Average	(155)	31	27	57	3.27	126	19	2.29	0.20	0.080	15	21	1.33	4.23	43
All the samples	(329)	31	30	73	3.22	119	21	2.67	0.14	0.084	15	21	1.09	3.49	59

Sample	Pb	Rb	S	Sb	Sn	Sr	Th	Tl	U	V	Y	Zn	Zr	
(n)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	
Core sample, Brown forest soils														
ST-1	12	14	10	0.05	0.09	0.84	50	4.29	0.22	0.96	296	16	120	80
ST-4	9	16	58	0.03	0.61	1.60	109	5.88	0.35	1.14	156	12	89	76
ST-10	10	16	42	0.05	0.52	1.62	76	5.00	0.40	1.39	199	15	110	57
ST-11	9	7	42	0.06	0.76	1.42	60	1.26	0.37	0.70	322	29	142	103
ST-14	9	25	37	0.03	0.41	1.59	129	4.68	0.32	1.38	171	14	111	62
ST-16	10	14	29	0.03	0.13	0.83	106	5.08	0.27	1.21	194	14	90	47
Average	(59)	15	35	0.04	0.42	1.29	86	4.38	0.32	1.13	226	17	110	71
Core sample, Volcanic ash soils														
ST-2	11	25	35	0.15	0.58	2.02	79	7.81	0.36	1.52	257	19	117	86
ST-3	11	23	36	0.14	0.44	2.31	76	7.58	0.37	1.55	309	21	119	96
ST-5	11	20	35	0.13	0.45	1.58	74	6.99	0.40	1.55	261	21	109	86
ST-6	11	21	24	0.18	0.70	1.79	49	4.91	0.33	1.27	321	19	111	102
ST-7	11	24	21	0.15	0.74	2.23	79	4.32	0.30	1.15	304	18	138	93
ST-8	12	21	31	0.18	0.50	1.98	53	5.68	0.34	1.50	327	21	124	111
ST-9	11	18	33	0.13	0.36	1.58	76	6.62	0.34	1.37	292	20	104	94
ST-12	10	15	22	0.12	0.37	1.56	82	4.24	0.27	1.15	303	19	106	86
ST-13	16	15	10	0.10	0.73	1.46	190	1.84	0.15	0.76	274	17	95	69
ST-15	11	17	24	0.13	0.45	1.57	96	5.06	0.30	1.12	299	20	120	55
Average	(115)	20	26	0.14	0.54	1.80	90	5.36	0.31	1.27	294	19	114	87
Surface sample, Volcanic ash soils and alluvial soils														
Kawagoe	19	28	44	0.07	0.85	2.65	85	6.26	0.39	2.32	248	18	148	70
Ryugasaki	20	28	49	0.09	1.02	2.44	125	5.93	0.44	1.89	172	18	125	66
Tokyo seihokubu	20	64	32	0.12	2.01	4.15	88	4.95	0.31	2.07	273	17	221	83
Tokyo tohokubu	21	64	45	0.10	2.22	10.43	121	5.31	0.34	1.97	201	16	255	81
Tokyo seinanbu	22	67	35	0.10	1.51	5.60	123	4.31	0.30	1.33	271	18	204	72
Chiba	14	27	29	0.08	0.84	3.39	140	3.64	0.27	1.21	227	15	131	64
Fujisawa	20	20	18	0.07	0.73	1.89	195	2.46	0.16	1.03	283	19	131	72
Anesaki	19	17	38	0.07	0.55	1.66	143	5.43	0.30	1.48	204	16	105	50
Average	(155)	41	36	0.09	1.25	4.13	127	4.81	0.31	1.67	235	17	168	70
All the samples	(329)	29	33	0.10	0.86	2.80	107	4.93	0.31	1.44	254	18	139	76

クグラウンド評価においては考慮する必要がある。火山灰質土、沖積土の両者において畑地土壤中のK₂O濃度が他よりもやや高く(第2表)、カリ肥料の影響が疑われた。しかし、K₂Oに富む火山灰質土は山間部や丘陵付近で採取されたもので、主成分の化学組成によれば土壌母材に火山灰のほか基盤岩由来の碎屑物が含有

されるためであり、これらを除外するとK₂O濃度は0.65%(n=19)で特に高くはないことが判明した。沖積土では、多摩川付近の2地点でK₂Oが2.60%以上を示す試料があり、河川由来のK₂Oに富む碎屑物が原因と考えられた。したがって、肥料として人為的に附加されたカリウム量は本研究では評価できない程度の少量で

第2表 土地の利用形態別の土壌の平均化学組成.

Table 2 Average constituent concentrations of the soils from the different fields.

	(n)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	As (ppm)	Ba (ppm)	Be (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)
Volcanic ash soils															
Evergreen trees	19	17.08	0.93	8.80	0.16	1.93	2.07	0.99	0.66	0.27	8.9	211	0.86	0.36	0.41
Deciduous trees	22	17.97	1.06	10.38	0.18	1.95	1.66	0.72	0.45	0.26	8.1	207	0.83	0.44	0.38
Banboo & Grass	7	17.62	1.00	9.52	0.18	1.78	1.93	0.84	0.58	0.31	9.0	216	0.88	0.44	0.35
Cultivated field soils	29	18.79	1.11	10.40	0.19	1.95	1.73	0.85	0.79	0.75	12.3	264	1.09	0.44	0.57
Parks & Residential lands	9	19.27	1.10	10.60	0.17	1.99	1.75	0.79	0.64	0.39	8.7	256	0.94	0.42	0.49
Avg. Volcanic ash soils	(86)	18.16	1.05	9.99	0.18	1.94	1.81	0.84	0.64	0.44	9.8	233	0.94	0.42	0.46
Alluvial soils															
Paddy field soils	47	16.64	0.78	7.47	0.11	1.65	2.37	1.51	1.24	0.35	10.3	322	1.10	0.30	0.38
Cultivated field soils	10	16.00	0.72	7.04	0.13	1.76	2.14	1.64	1.61	0.54	11.4	397	1.17	0.54	0.35
Parks & Residential lands	12	15.94	0.80	8.28	0.13	1.90	3.15	1.41	1.19	0.50	10.9	383	0.96	0.48	0.70
Avg. Alluvial soils	(69)	16.43	0.77	7.56	0.11	1.71	2.47	1.51	1.28	0.40	10.6	343	1.08	0.37	0.44
All the average	(155)	17.38	0.92	8.90	0.15	1.84	2.11	1.14	0.93	0.42	10.2	282	1.00	0.40	0.45

	(n)	Ce (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cs (ppm)	Cu (ppm)	Ga (ppm)	Hf (ppm)	Hg (ppm)	In (ppm)	La (ppm)	Li (ppm)	Mo (ppm)	Nb (ppm)	Ni (ppm)
Volcanic ash soils															
Evergreen trees	19	27	29	68	2.8	106	19	2.5	0.16	0.077	14	19	1.1	3.4	51
Deciduous trees	22	27	33	65	2.5	134	21	2.4	0.15	0.093	12	16	1.3	2.7	54
Banboo & Grass	7	29	30	44	2.9	115	20	2.6	0.15	0.085	14	18	1.0	3.1	36
Cultivated field soils	29	33	32	63	3.3	136	22	2.5	0.19	0.089	17	21	1.3	4.6	46
Parks & Residential lands	9	29	32	60	3.0	156	21	2.6	0.54	0.090	14	17	1.4	3.7	45
Avg. Volcanic ash soils	(86)	29	32	62	2.9	129	21	2.5	0.21	0.087	14	19	1.2	3.6	48
Alluvial soils															
Paddy field soils	47	32	21	45	3.6	73	18	2.1	0.14	0.066	16	25	0.9	4.7	36
Cultivated field soils	10	38	20	49	4.8	83	18	2.2	0.49	0.072	19	27	1.2	6.2	34
Parks & Residential lands	12	31	22	69	3.4	351	18	1.9	0.22	0.085	15	21	3.8	5.2	43
Avg. Alluvial soils	(69)	33	21	50	3.7	123	18	2.0	0.20	0.070	16	25	1.5	5.0	37
All the average	(155)	31	27	57	3.3	126	19	2.3	0.20	0.080	15	21	1.3	4.2	43

	(n)	Pb (ppm)	Rb (ppm)	S (ppm)	Sb (ppm)	Sn (ppm)	Sr (ppm)	Th (ppm)	Tl (ppm)	U (ppm)	V (ppm)	Y (ppm)	Zn (ppm)	Zr (ppm)	
Volcanic ash soils															
Evergreen trees	19	25	28	0.10	0.85	2.27	122	4.38	0.29	1.25	251	18	126	65	
Deciduous trees	22	43	20	0.11	1.08	2.74	110	3.46	0.26	1.02	290	17	144	80	
Banboo & Grass	7	27	28	0.09	0.72	2.10	130	4.50	0.28	1.16	274	18	129	72	
Cultivated field soils	29	36	35	0.09	1.24	3.48	92	4.81	0.32	2.39	289	18	170	78	
Parks & Residential lands	9	58	29	0.13	1.81	5.07	92	4.32	0.29	1.13	290	17	237	86	
Avg. Volcanic ash soils	(86)	37	29	0.10	1.13	3.08	106	4.29	0.29	1.56	280	18	157	76	
Alluvial soils															
Paddy field soils	47	23	43	0.06	0.84	2.30	155	5.34	0.33	1.86	184	17	129	59	
Cultivated field soils	10	40	62	0.06	1.58	4.38	138	6.74	0.40	2.20	155	16	159	71	
Parks & Residential lands	12	140	45	0.11	3.47	20.15	153	4.95	0.33	1.33	187	15	404	73	
Avg. Alluvial soils	(69)	46	46	0.07	1.40	5.51	152	5.46	0.34	1.81	181	16	182	63	
All the average	(155)	41	36	0.09	1.25	4.13	127	4.81	0.31	1.67	235	17	168	70	

あったか、あるいは附加されたカリウムの大部分が土壌中に蓄積されずに流出していることが考えられる。

4.2 河川堆積物

今井ほか (2004) のデータから、3.2で述べた地域別の成分濃度平均値を算出して第3表に示した。旧鉱山の足尾、高取、日立周辺地域の堆積物には著しく高濃度

のAs, Bi, Cd, Cu, Mo, Pb, Sb, Sn, Tl, Zn等が含有されており、一部の旧鉱山周辺ではFe₂O₃, MnO, Ba, Cs, Li等の濃度も高い。房総半島南部の試料は、P₂O₅, As, Cd, Sb等に乏しい特徴がある。伊豆半島東部、丹沢山地、赤城火山では、他地域に比べてFe₂O₃, MgO, CaO, Co, Sc, V等の濃度は高く、Be, Ce, Cs, La, Li, Rb, Th, Tl, Uは低い。これは当該地域に分布する苦鉄質火成岩類の影

関東地域の土壌、河川堆積物、東京湾堆積物の化学組成とバックグラウンド評価(寺島ほか)

第3表 河川堆積物の地域または集水域別の平均化学組成.

Table 3 Regional variation of average constituent concentrations of the stream sediments from the Kanto District.

Area	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	As	Ba	Be	Bi	Cd	Ce	
(n)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	
Around the Ashio Mine	6	0.62	6.35	0.17	2.84	2.43	1.71	2.07	0.15	118.0	413	1.82	5.71	1.01	52
Around the Takatori Mine	3	0.94	8.02	0.89	2.55	1.15	1.11	1.72	0.21	113.0	471	7.20	3.10	10.37	33
Around the Hitachi Mine	3	0.79	13.88	0.13	3.68	3.05	1.77	0.94	0.12	163.0	1786	0.93	9.34	4.76	24
Southern Boso Peninsula	16	0.86	7.16	0.12	3.93	3.33	2.17	1.38	0.08	3.5	330	0.88	0.13	0.10	22
Eastern Izu Peninsula	5	0.88	9.85	0.17	4.47	4.83	1.51	0.47	0.24	18.6	161	0.52	0.15	0.27	10
Tanzawa Mountain	10	0.82	9.18	0.16	5.19	5.83	2.41	0.89	0.14	7.0	215	0.55	0.04	0.12	13
Akagi Volcano	8	0.71	8.04	0.19	5.63	5.64	2.01	0.79	0.20	7.1	253	0.80	0.17	0.16	20
Kanto Mountain	14	0.88	6.15	0.14	3.44	2.26	2.06	1.89	0.16	6.1	405	1.33	0.20	0.14	33
Ashio Mountain	5	0.65	6.03	0.17	3.13	2.30	1.34	1.86	0.13	11.4	553	1.40	0.25	0.14	39
Yamizo Mountain	13	0.80	5.54	0.13	2.85	2.20	1.80	1.62	0.13	10.7	432	1.14	0.11	0.13	42
Tsukuba Mountain	3	0.74	4.76	0.10	2.16	1.88	2.25	1.98	0.14	12.3	482	1.83	0.10	0.11	65
Abukuma Mountain	4	0.74	4.83	0.11	2.65	2.97	2.50	1.73	0.16	9.0	407	1.18	0.10	0.13	38
S-W Kanto Plain	29	0.83	7.72	0.14	3.73	3.24	2.04	1.35	0.25	8.6	335	0.95	0.23	0.29	26
S-E Kanto Plain	29	0.82	7.40	0.13	3.72	3.48	2.19	1.29	0.12	7.4	304	0.88	0.09	0.09	28
N-W Kanto Plain	27	0.72	6.85	0.14	3.79	3.39	1.93	1.43	0.23	9.7	382	1.03	0.27	0.20	29
N-E Kanto Plain	16	1.08	7.05	0.14	3.10	2.11	1.71	1.34	0.20	10.7	379	1.09	0.12	0.19	34
All the average	191	0.82	7.24	0.15	3.69	3.23	1.98	1.39	0.17	16.0	375	1.11	0.53	0.43	29

Area	Co	Cr	Cs	Cu	Ga	Hf	Hg	La	Li	Mo	Nb	Ni	Pb	Rb	
(n)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	
Around the Ashio Mine	6	19	56	7.6	457	17	1.23	0.07	26	32	3.1	7.8	26	105	84
Around the Takatori Mine	3	47	59	10.6	2403	17	1.17	0.12	19	65	3.3	6.0	49	51	91
Around the Hitachi Mine	3	50	133	2.0	2953	14	0.70	0.32	12	19	13.9	5.7	83	347	27
Southern Boso Peninsula	16	18	62	1.9	30	14	1.18	0.03	12	24	1.0	5.2	27	24	46
Eastern Izu Peninsula	5	36	92	1.6	95	15	1.24	0.09	5	17	1.4	1.4	41	24	9
Tanzawa Mountain	10	28	125	1.1	81	15	1.16	0.01	6	13	1.3	1.7	41	13	17
Akagi Volcano	8	25	54	1.8	37	17	1.51	0.02	10	18	1.1	3.9	26	28	24
Kanto Mountain	14	20	165	3.1	65	16	1.41	0.06	17	30	1.2	9.8	65	23	66
Ashio Mountain	5	15	47	4.3	42	14	1.26	0.04	19	29	1.9	6.8	25	23	70
Yamizo Mountain	13	14	39	2.8	22	15	1.12	0.05	23	20	0.9	6.4	14	20	70
Tsukuba Mountain	3	15	31	3.1	22	15	0.90	0.04	34	27	0.6	6.7	13	22	83
Abukuma Mountain	4	11	51	2.4	20	14	1.03	0.03	21	20	0.7	8.0	19	18	65
S-W Kanto Plain	29	24	85	2.7	72	16	1.23	0.10	14	25	1.6	5.5	43	34	44
S-E Kanto Plain	29	18	48	1.8	20	14	1.00	0.02	15	22	0.8	4.6	18	28	43
N-W Kanto Plain	27	18	55	3.3	46	15	1.29	0.05	15	23	1.2	5.6	28	24	44
N-E Kanto Plain	16	19	43	3.0	41	15	1.26	0.07	19	25	1.3	6.6	18	25	55
All the average	191	21	70	2.8	141	15	1.20	0.06	16	24	1.5	5.6	31	33	49

Area	Sc	Sb	Sn	Sr	Ta	Th	Tl	U	V	Y	Zn	Zr	
(n)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	
Around the Ashio Mine	6	13	2.37	17.2	132	0.79	10.7	1.07	1.9	126	19	223	37
Around the Takatori Mine	3	13	1.30	22.1	88	0.39	6.2	1.54	1.4	209	17	596	45
Around the Hitachi Mine	3	19	18.67	63.5	155	2.33	2.6	0.75	1.1	184	17	1206	27
Southern Boso Peninsula	16	20	0.38	2.8	148	0.38	3.9	0.31	0.9	167	14	116	41
Eastern Izu Peninsula	5	28	0.70	4.4	187	0.20	0.9	0.16	0.4	282	17	185	46
Tanzawa Mountain	10	30	0.43	1.5	227	0.22	1.2	0.15	0.3	227	18	84	40
Akagi Volcano	8	24	0.94	2.2	178	0.37	3.0	0.27	0.7	160	15	135	55
Kanto Mountain	14	14	0.72	3.2	124	0.75	5.4	0.50	1.3	140	16	122	52
Ashio Mountain	5	13	1.18	4.3	85	0.63	6.9	0.57	1.4	135	12	126	42
Yamizo Mountain	13	14	0.55	2.2	113	0.49	8.0	0.39	1.2	126	15	97	40
Tsukuba Mountain	3	10	0.27	2.4	131	0.60	16.5	0.45	1.5	96	15	83	29
Abukuma Mountain	4	12	0.40	2.2	163	0.63	7.2	0.35	1.1	110	17	92	35
S-W Kanto Plain	29	20	1.03	4.7	150	0.52	4.3	0.45	1.0	178	16	203	43
S-E Kanto Plain	29	19	0.34	1.7	153	0.42	4.6	0.29	0.9	153	15	104	33
N-W Kanto Plain	27	17	0.81	4.0	137	0.56	5.7	0.43	1.2	142	15	181	46
N-E Kanto Plain	16	18	0.58	3.4	103	0.54	6.3	0.38	1.2	148	17	156	44
All the average	191	18	1.00	4.8	143	0.53	5.2	0.42	1.0	159	16	167	42

第4表 東京湾堆積物の採取地点別平均化学組成.

Table 4 Regional variation of average constituent concentrations of the marine sediments from the Tokyo Bay.

Site no.	Sediment	(n)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	Ba (ppm)	Be (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)	Ce (ppm)
1	Fine silt	12	0.64	5.87	0.09	3.21	4.09	2.98	1.52	0.13	232	1.05	0.41	0.20	27
2	Very fine silt	18	0.67	5.82	0.08	3.47	1.12	3.39	1.86	0.21	268	1.39	0.86	0.73	28
3	Very fine silt	12	0.67	6.13	0.09	3.38	1.83	3.90	1.81	0.18	254	1.26	1.00	0.95	27
4	Fine silt	13	0.69	6.29	0.10	3.38	3.51	3.77	1.68	0.15	239	1.18	0.78	0.68	29
5	Fine silt	9	0.61	6.02	0.09	3.31	2.78	4.71	1.69	0.16	217	1.03	0.73	0.66	22
6	Fine silt	11	0.71	6.68	0.09	3.36	4.63	3.18	1.61	0.14	241	1.08	0.29	0.15	24
7	Very fine silt	13	0.61	5.73	0.10	3.31	1.19	4.52	1.85	0.18	222	1.22	1.40	1.01	19
8	Fine silt	14	0.62	5.56	0.09	3.24	1.43	4.98	1.67	0.18	187	1.08	1.22	1.10	17
9	Fine silt	6	0.60	5.88	0.09	3.29	1.87	3.60	1.67	0.14	222	1.13	0.77	0.59	20
10	Fine silt	11	0.56	5.62	0.08	3.15	1.51	4.00	1.59	0.15	194	1.05	0.85	0.86	17
11	Fine silt	13	0.59	6.02	0.08	3.04	2.14	3.61	1.50	0.15	198	1.01	0.74	0.68	18
12	Fine silt	13	0.56	5.56	0.12	3.20	1.76	4.35	1.76	0.17	211	1.14	1.11	0.94	19
13	Fine silt	10	0.54	5.55	0.13	3.35	1.72	4.84	1.65	0.18	185	1.02	1.18	1.27	17
14	Fine silt	13	0.60	5.67	0.10	3.35	1.88	4.16	1.69	0.15	199	1.09	0.78	0.69	18
15	Fine silt	11	0.68	6.12	0.09	3.39	2.25	4.38	1.54	0.16	195	1.03	0.78	0.68	18
16	Fine silt	12	0.55	5.50	0.12	3.18	2.08	3.80	1.72	0.14	223	1.14	1.09	0.62	22
17	Fine silt	13	0.55	5.59	0.13	3.28	2.28	4.01	1.56	0.15	195	1.04	0.78	0.70	20
18	Medium silt	10	0.59	5.82	0.09	3.12	3.17	3.38	1.60	0.12	229	1.03	0.47	0.32	22
19	Fine sand	11	0.53	5.51	0.07	3.29	8.89	2.89	1.39	0.10	235	0.89	0.23	0.17	26
20	Medium silt	11	0.58	5.78	0.15	3.10	3.43	3.66	1.59	0.15	220	1.09	0.83	0.51	23
21	Coarse silt	8	0.67	7.43	0.12	3.97	4.88	3.35	1.55	0.15	229	1.03	0.42	0.24	24
22	Medium silt	9	0.64	6.77	0.12	3.76	4.26	3.58	1.59	0.16	225	1.03	0.64	0.41	24
23	Medium sand	5	0.76	7.83	0.13	4.29	13.81	2.81	1.13	0.18	203	0.77	0.23	0.16	25
24	Coarse sand	10	0.43	7.93	0.17	3.79	20.30	2.03	0.95	0.17	129	0.54	0.20	0.10	20
25	Fine sand	12	0.57	5.84	0.09	3.07	4.29	2.99	1.48	0.11	238	0.93	0.39	0.27	20
26	Fine sand-silt	9	0.42	5.22	0.10	2.86	16.47	2.37	1.11	0.11	170	0.71	0.26	0.13	23
27	Very fine sand	6	0.08	0.80	0.03	1.16	39.15	1.53	0.24	0.08	30	0.15	0.17	0.10	6
28	Fine sand	7	0.24	3.54	0.19	2.45	31.62	1.42	0.50	0.11	89	0.36	0.18	0.11	14
29	Medium-coarse sand	8	0.51	5.14	0.07	2.91	4.57	2.78	1.39	0.07	258	0.89	0.09	0.07	19
All the average		(310)	0.58	5.81	0.10	3.24	5.36	3.59	1.54	0.15	210	1.02	0.70	0.57	21

Site no.	Sediment	(n)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cs (ppm)	Cu (ppm)	Ga (ppm)	Hf (ppm)	La (ppm)	Li (ppm)	Mo (ppm)	Nb (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Rb (ppm)
1	Fine silt	12	15	80	3.7	51	15	1.43	14	51	2.2	6.0	38	23	51
2	Very fine silt	18	17	156	5.1	100	16	1.49	16	49	1.7	7.7	63	53	72
3	Very fine silt	12	16	155	5.3	92	17	1.53	15	56	4.1	7.3	57	49	67
4	Fine silt	13	16	115	4.9	69	16	1.55	15	58	4.5	6.6	48	38	65
5	Fine silt	9	14	94	4.1	61	14	1.38	12	55	5.1	5.9	43	35	48
6	Fine silt	11	16	75	3.8	47	16	1.61	12	59	3.6	6.2	37	17	44
7	Very fine silt	13	15	125	4.6	130	15	1.36	11	57	3.5	6.3	49	70	59
8	Fine silt	14	14	119	4.2	88	14	1.31	10	53	4.0	5.5	47	53	51
9	Fine silt	6	14	109	4.4	65	15	1.33	12	62	5.3	5.7	45	35	56
10	Fine silt	11	14	101	4.1	68	14	1.30	10	56	7.1	5.1	43	38	51
11	Fine silt	13	14	84	3.6	62	14	1.38	10	55	5.6	5.0	40	30	44
12	Fine silt	13	14	101	4.2	74	14	1.26	11	58	4.1	5.3	39	44	53
13	Fine silt	10	14	107	3.8	74	13	1.27	10	55	3.8	4.8	40	50	51
14	Fine silt	13	14	97	4.0	63	14	1.27	10	62	6.8	5.5	43	45	51
15	Fine silt	11	15	90	3.3	65	14	1.38	10	53	5.6	4.9	39	38	35
16	Fine silt	12	13	88	4.1	66	14	1.30	12	58	3.0	5.6	35	49	64
17	Fine silt	13	14	80	3.5	55	14	1.36	11	55	2.4	5.0	33	42	52
18	Medium silt	10	14	71	3.3	38	15	1.49	11	50	2.9	4.9	28	27	52
19	Fine sand	11	14	51	2.6	27	14	1.34	12	40	2.3	4.0	21	15	42
20	Medium silt	11	15	74	3.7	66	15	1.53	12	52	2.0	5.2	31	39	53
21	Coarse silt	8	20	62	3.1	49	16	1.56	11	45	2.3	4.3	30	22	47
22	Medium silt	9	18	69	3.4	51	15	1.54	12	51	2.5	4.7	32	30	55
23	Medium sand	5	21	47	1.9	66	14	1.62	11	25	1.6	2.8	25	15	33

第4表 つづき.
Table 4 Continued.

Site no.	Sediment	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cs (ppm)	Cu (ppm)	Ga (ppm)	Hf (ppm)	La (ppm)	Li (ppm)	Mo (ppm)	Nb (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Rb (ppm)	
24	Coarse sand	10	16	35	1.4	29	9	0.94	9	17	0.9	1.8	20	16	27
25	Fine sand	12	16	52	2.5	34	14	1.33	10	37	1.8	4.2	22	25	37
26	Fine sand-silt	9	13	44	2.2	25	11	1.04	11	32	1.4	3.1	23	15	36
27	Very fine sand	6	3	15	0.6	13	2	0.23	3	9	1.3	0.7	12	11	8
28	Fine sand	7	9	21	0.8	13	5	0.49	7	13	1.6	1.3	15	13	17
29	Medium-coarse sand	8	14	36	1.6	17	13	1.07	9	31	0.9	3.3	15	12	43
All the average		(310)	15	87	3.6	61	14	1.33	11	49	3.3	5.1	37	35	49

Site no.	Sediment	Sc (ppm)	Sb (ppm)	Sn (ppm)	Sr (ppm)	Ta (ppm)	Th (ppm)	Tl (ppm)	U (ppm)	V (ppm)	Y (ppm)	Zn (ppm)	Zr (ppm)	
1	Fine silt	12	15	0.53	2.4	188	0.56	4.8	0.49	1.8	119	16	115	52
2	Very fine silt	18	11	1.28	6.2	104	0.72	4.8	0.67	1.6	123	17	275	54
3	Very fine silt	12	14	0.98	7.0	127	0.68	5.1	0.79	2.0	123	18	338	54
4	Fine silt	13	16	0.81	5.2	177	0.61	5.2	0.66	2.8	123	19	272	55
5	Fine silt	9	13	0.73	4.9	153	0.55	4.1	0.73	2.0	118	16	263	49
6	Fine silt	11	16	0.51	2.3	214	0.57	4.3	0.50	2.1	139	17	95	58
7	Very fine silt	13	11	0.98	6.3	102	0.61	3.9	0.81	1.8	116	14	358	48
8	Fine silt	14	11	0.77	6.7	103	0.54	3.6	0.86	1.5	108	14	385	47
9	Fine silt	6	13	0.78	3.8	118	0.53	4.0	0.57	3.0	118	14	235	47
10	Fine silt	11	12	0.74	4.6	106	0.49	3.5	0.73	2.3	119	13	295	45
11	Fine silt	13	13	0.67	4.7	128	0.47	3.6	0.67	2.5	129	14	237	49
12	Fine silt	13	12	0.84	5.9	118	0.53	3.9	0.72	1.5	120	13	292	44
13	Fine silt	10	12	0.82	6.3	117	0.47	3.4	0.84	1.1	121	12	370	45
14	Fine silt	13	12	0.71	4.4	119	0.54	3.7	0.71	2.8	116	13	263	44
15	Fine silt	11	14	0.65	4.5	138	0.48	3.4	0.64	2.7	134	13	273	49
16	Fine silt	12	13	0.69	4.5	134	0.55	4.4	0.58	1.8	110	14	246	45
17	Fine silt	13	14	0.61	4.2	137	0.49	3.9	0.63	1.5	107	13	263	48
18	Medium silt	10	16	0.50	2.4	170	0.48	4.2	0.55	2.1	111	15	175	53
19	Fine sand	11	16	0.46	1.5	439	0.40	3.6	0.50	3.2	94	15	97	47
20	Medium silt	11	16	0.62	5.1	176	0.51	4.4	0.58	1.4	105	15	224	54
21	Coarse silt	8	19	0.58	2.2	241	0.42	3.8	0.51	1.9	144	16	141	56
22	Medium silt	9	17	0.64	3.1	209	0.45	4.2	0.59	2.0	128	16	194	54
23	Medium sand	5	20	0.32	2.2	592	0.27	2.7	0.31	1.3	175	19	108	58
24	Coarse sand	10	13	0.51	1.3	978	0.17	1.8	0.16	0.9	106	14	97	35
25	Fine sand	12	15	0.45	2.4	200	0.41	3.3	0.53	1.4	110	13	159	47
26	Fine sand-silt	9	13	0.40	1.5	638	0.30	2.9	0.32	1.3	89	15	80	38
27	Very fine sand	6	2	0.18	1.4	1261	0.07	0.7	0.09	0.8	26	4	47	8
28	Fine sand	7	7	0.34	1.1	1057	0.11	1.3	0.10	0.7	63	11	54	19
29	Medium-coarse sand	8	14	0.38	1.2	226	0.31	3.4	0.40	1.1	97	11	64	37
All the average		(310)	13	0.68	4.1	249	0.48	3.8	0.59	1.9	115	14	222	47

響である(今井ほか, 2004)。関東山地の堆積物は、全体の平均値の2倍を越えるCr, Niを含有するが、これは川越地域の土壌で述べたと同様に本地域に分布する緑色片岩等の影響である。足尾山地、八溝山地、筑波山地、阿武隈山地の堆積物は、Fe₂O₃, CaO, Co, Cr, Sc, V等に乏しく、Ba, Ce, Li, Rb, Th等に富む特徴があり、全体的には珪長質な岩石が卓越することを示唆している。丘陵 - 平野部の堆積物に関しては、Fe₂O₃, MnO, K₂O, Be, Ga, Li, Sc, U, Y等の地域別濃度差は小さいが、P₂O₅, Bi, Cd, Cu, Hg, Mo, Pb, Sb, Sn, Tl, Znではかな

りの濃度差があり、多くの成分が西南部で最高値を、東南部で最低値を示している(第3表)。西南部で濃度が高い原因は主として人為的な附加であり、東南部で低いのは基盤岩起源碎屑物の供給源から離れていることに加えて人口密集地が少なく人為的附加が少ないことが考えられる。

4.3 東京湾堆積物

4.3.1 地点別濃度変化

各柱状試料別の成分濃度の平均値を第4表に示した。

まず主成分濃度を概観すると、細粒のシルト質堆積物が分布する湾央・湾奥(地点1~22)では、CaOをのぞいて濃度差が小さい特徴がある。CaO濃度の変化は含有される貝殻片の多少が主原因であり、地点2の1.12%から地点27の39.15%まで大きく変化しており、湾央・湾奥部よりも湾口部(地点23~29)で高い傾向がある。他の主成分は、概括的にはCaO濃度の増加に伴って減少している。ただし、地点24では、CaO濃度が高い(20.30%, 第4表)にもかかわらず、Fe₂O₃濃度(7.93%)も高い。この地点に供給される岩石起源の碎屑物でこのような組成を有するものは考えられないので、続成作用に伴うFe₂O₃の濃集であろう。微量元素の場合、SrのみはCaOに富む堆積物で濃度が高く、その他はCaOの増加に伴って減少している。Bi, Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Tl, Zn等については湾央・湾奥部に多くの高濃度地点があるが、主として人為的附加と考えられる。

4.3.2 鉛直濃度変化

上述のように、CaO濃度は地点別に大きく変化するが、同一柱状試料においても鉛直濃度が異なる場合が多い。地点4では表層部で約1.5%、深度約40 cmで8.5%程度、地点6では表層直下が約13%、深度約10 cmでは約2%に変化しており(第3図)、東京湾における貝類の繁殖と生育あるいは貝殻片の堆積と保存条件は海域的な相違とともに時代的にも異なることを暗示している。第3図によれば、Fe₂O₃、MnOの鉛直濃度変化はCaOに比べて小さいが、他の主成分も同様である。微量元素(Cu, Pb, Zn, Bi, Cd, Sb等)の鉛直濃度変化には幾つかのパターンがあり、代表例を第3図に示した。地点4では下層部では低く、表層に向かって高濃度になり、深度約13 cmの層準で最大値を示し、その上位では低下する傾向がある。この原因は人為的に供給されたCu, Pb, Zn等の濃度が1970年頃に最大となり、その後は減少傾向にあることに起因するとされている(松本, 1983)。地点4と同様な変化は地点3, 5, 7, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 18等でも認められ、これら地点は東京湾において堆積速度が相対的に速い海域である。地点6では、いずれの微量元素も下層部では低濃度であり、Cu以外の元素は深度5~10 cmから最表層部に向かって高濃度になる。このように下位層準では低濃度で、上位に向かって濃度が増加する傾向は地点1, 11, 19, 20, 21, 22, 25, 27等でも認められる。これら地点はいずれも堆積速度が遅い海域であり、人為的に供給されて堆積速度が速い海域に一時的に沈積した微量元素類が主として波浪に起因する底質の巻き上げ等により堆積速度が遅い海域へ再移動していることを強く示唆する。

地点12は、多摩川の河口付近にあり(第2図)、堆積速度は速く、人為的な微量元素の供給も多いと考えら

れるが地点4のような鉛直濃度変化は認められず、深度50 cm前後に低濃度の層準がある。この原因を解明するため海上保安庁(1980)、松本(1983)、松本ほか(1983)、大嶋ほか(1992)のデータを比較検討した。その結果、多摩川の下流域から河口付近の堆積物は、洩江水害の原因となった台風(1974年)に由来する洪水堆積物の影響を受けており、その堆積物は主として非汚染地域から供給されたために微量元素に富まない特徴があり、地点12の深度50 cm前後の堆積物がそれに相当すると判断された(寺島ほか, 2006)。洪水堆積物の影響は地点12のほか8, 17において認められた。地点24は、最表層部のSbを除外すると全体として濃度が低く、鉛直濃度変化も小さいが、地点23, 26, 28, 29もほぼ同様であり、これらの海域は人為的な元素の供給が少なく、堆積環境の変化もほとんどなかったことを示している。

5. 人為的影響の評価

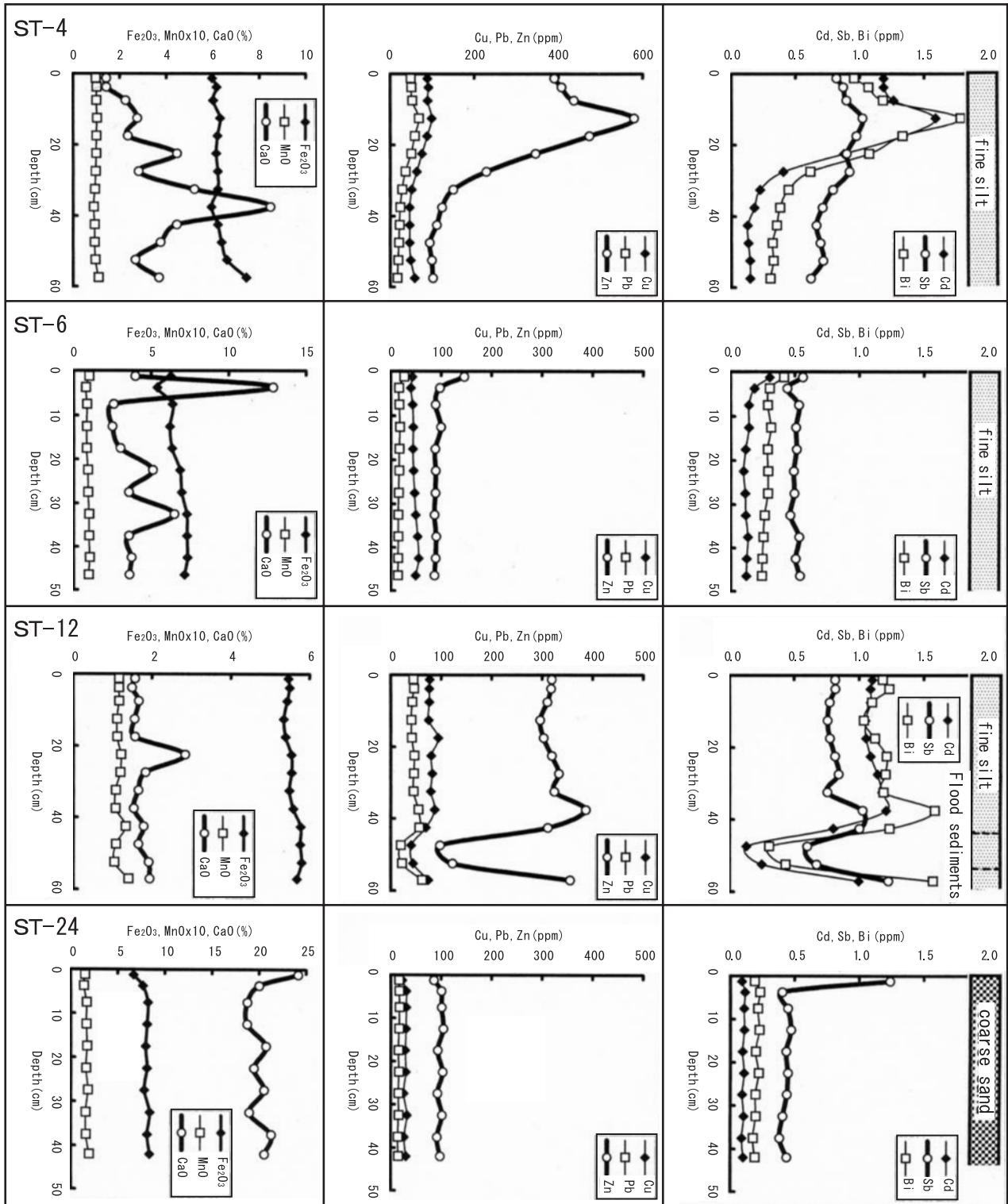
5.1 土壌

5.1.1 バックグラウンド値の算出方法

土壌中成分濃度に対する人為的附加は、原則として以下の方法で評価した。1)柱状試料は地点別、表層試料は種類別(火山灰質土と沖積土)-利用形態別(火山灰質土は常緑樹林、落葉樹林、竹林・草地、畑地、公園・宅地の5区分、沖積土は水田、畑地、公園・宅地の3区分)の平均値を算出する。2)地点あるいは種類別-利用形態別毎に平均値の2倍を越える値を抽出する。3)抽出した高値の原因が自然要因(火山灰の性質や基盤岩の種類、風化・続成作用や生物濃縮の影響等)で説明できない場合を人為的な影響とみなして除外する。4)除外されない値について再び地点別あるいは種類別-利用形態別の平均値を求める。5)平均値の1.5倍を超える値についてその原因が自然要因で説明できない場合を人為的附加とみなして除外する。6)以上の操作で除外されない値をバックグラウンド値とする。なお、畑地におけるP₂O₅のように多くの試料に人為的な影響がある場合は同種試料で人為的附加の影響がない試料の値を利用する等他の方法を採用する必要がある。前記のように2段階の除外操作を行う理由は、顕著な高濃度を示す試料が存在する場合、その値によって全体の平均値が高くなり、人為的影響の正しい評価が困難になるからである。

5.1.2 火山灰質土と褐色森林土

柱状試料中の成分濃度を5.1.1の方法で評価した結果、褐色森林土、火山灰質土のいずれに関しても人為的附加は認められなかった。これは試料採取地点が市街地から離れた針葉樹林または落葉樹林中であること、付近に廃棄物等が投棄されていない場所が選定された



第3図 東京湾堆積物における9成分の鉛直濃度変化。

Fig. 3 Vertical variation of the nine constituents concentrations in four core samples from the Tokyo Bay.

ためであろう。表層試料に関しても常緑樹林、落葉樹林、竹林・草地は基本的には人為的影響はないと予想した。しかし、一部試料中のCd, Hg, P₂O₅, Pb, Sb, Sn, Znに人為的附加があり、合わせて14個のデータが除外

された。表層試料は5万分の1地形図1枚について20箇所採取する必要がある、市街地等から十分に離れた地点のみを選定することが困難であったためであろう。畑地では多くの試料中のP₂O₅, Cd, U等に、公園・宅地

第5表 表層土壤中10成分濃度の単純平均値とバックグラウンド値の比較。

Table 5 Comparison of the arithmetic average abundances (A) and the background abundances (B) for ten constituents in the surface soils.

	P ₂ O ₅ (%)		As (ppm)		Cd (ppm)		Cu (ppm)		Hg (ppm)	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Volcanic ash soils										
Evergreen trees	0.27	0.27	8.9	8.9	0.41	0.39	106	106	0.16	0.16
Deciduous trees	0.26	0.26	8.1	8.1	0.38	0.37	134	134	0.15	0.14
Bamboo & Grass	0.31	0.26	9.0	9.0	0.35	0.35	115	115	0.15	0.15
Cultivated field soils	0.75	0.29	12.3	10.2	0.57	0.46	136	129	0.19	0.12
Parks & Residential lands	0.39	0.30	8.7	8.7	0.49	0.49	156	156	0.54	0.16
Avg. Volcanic ash soils	0.44	0.27	9.8	9.0	0.46	0.41	129	127	0.21	0.14
Alluvial soils										
Paddy field soils	0.35	0.15	10.3	8.5	0.38	0.19	73	64	0.14	0.10
Cultivated field soils	0.54	0.22	11.4	10.4	0.35	0.21	83	61	0.49	0.11
Parks & Residential lands	0.50	0.19	10.9	8.4	0.70	ND	351	75	0.22	0.11
Avg. Alluvial soils	0.40	0.17	10.6	8.8	0.44	0.20	123	64	0.20	0.10
All the average	0.42	0.25	10.2	8.9	0.45	0.37	126	102	0.20	0.12

	Pb (ppm)		Sb (ppm)		Sn (ppm)		Zn (ppm)		U (ppm)	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Volcanic ash soils										
Evergreen trees	25	25	0.85	0.80	2.27	2.27	126	126	1.25	1.25
Deciduous trees	43	27	1.08	0.67	2.74	2.50	144	141	1.02	1.02
Bamboo & Grass	27	27	0.72	0.72	2.10	2.10	129	129	1.16	1.16
Cultivated field soils	36	27	1.24	1.06	3.48	2.48	170	152	2.39	1.27
Parks & Residential lands	58	36	1.81	0.97	5.07	3.70	237	170	1.13	1.13
Avg. Volcanic ash soils	37	27	1.13	0.87	3.08	2.46	157	141	1.56	1.14
Alluvial soils										
Paddy field soils	23	20	0.84	0.73	2.30	2.10	129	126	1.86	1.45
Cultivated field soils	40	26	1.58	1.01	4.38	2.68	159	118	2.20	1.40
Parks & Residential lands	140	30	3.47	1.02	20.15	2.98	404	186	1.33	1.33
Avg. Alluvial soils	46	21	1.40	0.77	5.51	2.23	182	128	1.81	1.39
All the average	41	25	1.25	0.83	4.13	2.36	168	135	1.67	1.25

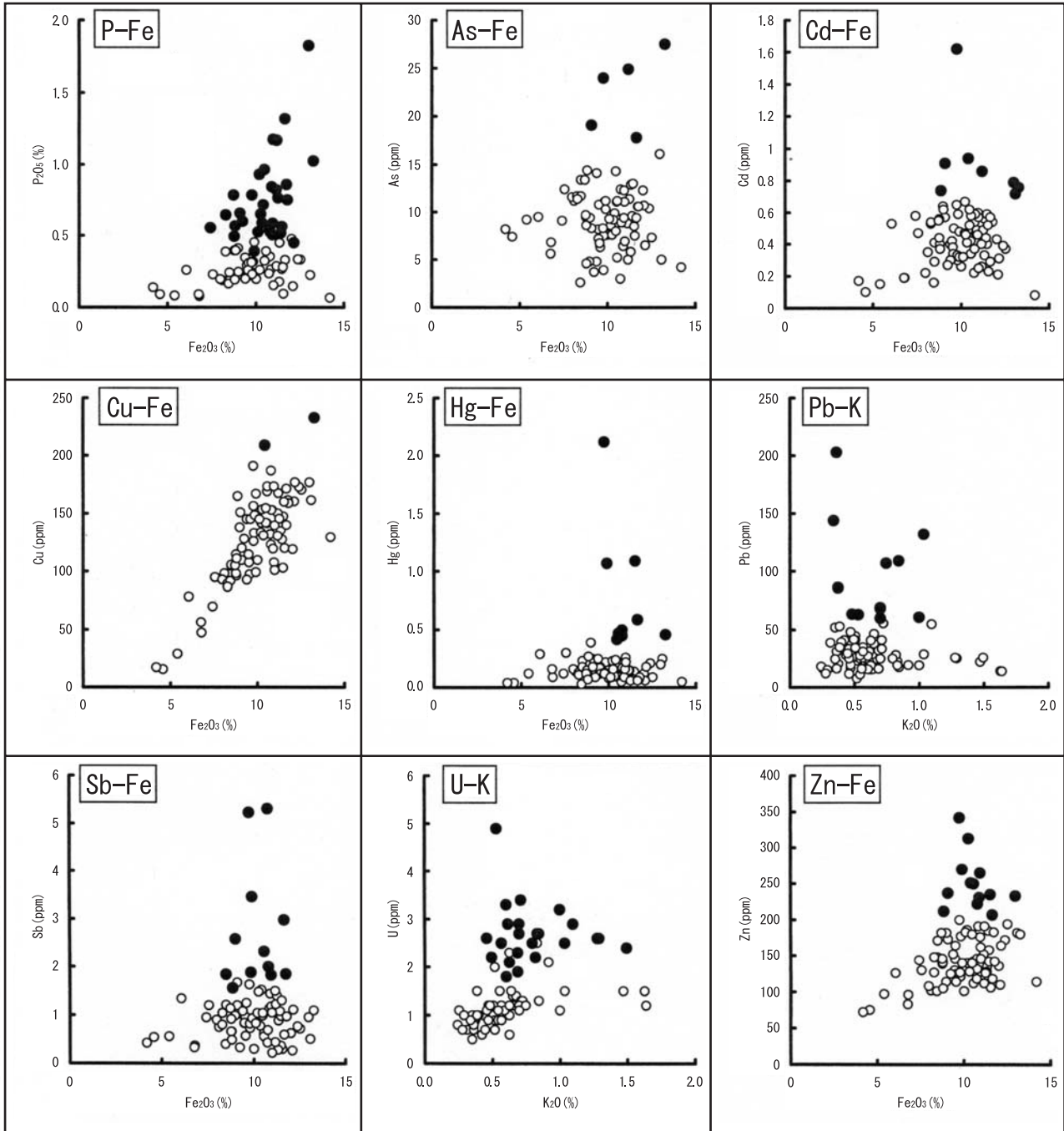
A: Arithmetic average abundances for all the samples.

B: Estimated natural background abundances for the selected samples.

ND: No data.

ではPb, Zn等に人為的附加の影響が存在し、それぞれの平均値を基準にしても正しいバックグラウンド値が得られないことが判明した。火山灰質土は、母材の起源から考えて土地の利用形態に関係なくほぼ等しい成分濃度を示すはずである。そこで、常緑樹林、落葉樹林、竹林・草地におけるバックグラウンド値の平均を畑地及び公園・宅地の利用形態別平均値と仮定し、5.1.1の操作によってバックグラウンド値を算出することにした。その結果、畑地土壌(全29試料)では、P₂O₅は27, Cd, Znは6, Uは23試料のデータが除外された。表層試料のうち全火山灰質土中の41成分(第2表参照)について人為的附加の有無を検討した結果、P₂O₅, As, Cd, Cu, Hg, Pb, Sb, Sn, U, Znの10成分に影響があると判断され、これら成分の土地の利用形態別平均値と

バックグラウンド値の平均を比較して第5表に示した。人為的な影響が認められる10成分のうち、Pb, Uは珪長質岩に多く含有され、その他は苦鉄質岩に多いとされている(Turekian and Wedepohl, 1961)。そこで、前者についてはK₂O濃度、後者についてはFe₂O₃濃度との関係をプロットするとともに人為的附加の有無を区別し、第4図を作成した。CuあるいはZnとFe₂O₃濃度との間には正の相関が認められるがその他については明瞭な正負の相関はなく、土壌中微量元素濃度に対する母材の岩質の影響は限定的であることを示唆している。また、土壌中の成分ではP₂O₅, U, Cd, Pb, Sb, Zn等が人為的附加の影響を受けやすいが、このうちP₂O₅, U, Cdの影響は4.1.3で述べた施肥の影響であり、その他は主として公園・宅地における高濃度値である。



第4図 火山灰質表層土壌におけるFe₂O₃あるいはK₂O濃度とP₂O₅, As, Cd, Cu, Hg, Pb, Sb, U, Zn濃度の関係. 白丸は自然バックグラウンド, 黒丸は人為的な附加があると判断された値.

Fig. 4 Plot of Fe₂O₃ or K₂O content vs P₂O₅, As, Cd, Cu, Hg, Pb, Sb, U and Zn content in the surface volcanic ash soils. Open circles mean background abundances, and solid circles are assumed containing significant amounts of anthropogenic source constituents.

5.1.3 沖積土

沖積土についても利用形態別平均値を基準とする人為的附加の評価を検討したが、水田、畑地におけるP₂O₅、公園・宅地でのP₂O₅、Cd、Cu、Pb、Sb、Sn、Znのように半数以上の試料が人為的な影響を受けており、正しいバックグラウンド値の算出が困難であった。そ

こで、沖積土中のP₂O₅、Cdについては寺島ほか(2002)で採取した柱状試料の表層下20 cm以深の41試料を新たに分析してその平均値(P₂O₅=0.17%, Cd=0.174 ppm)を、Uの場合はすべての試料について人為的な影響が無いと判断された公園・宅地試料の平均値(1.33 ppm, 第2表)を、その他の成分については人為的な影響

第6表 河川堆積物中15成分の地域または集水域別のバックグラウンド値.

Table 6 Regional variation of background abundances of the fifteen constituents in the stream sediments.

Area	P ₂ O ₅ (%)	As (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)	Cs (ppm)	Cu (ppm)	Hg (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Sb (ppm)	Sn (ppm)	Tl (ppm)	Zn (ppm)
Southern Boso Peninsula	0.07	3.3	0.09	0.08	62	1.90	21	0.02	0.8	27	12	0.3	1.6	0.31	93
Eastern Izu Peninsula	0.15	10.0	0.12	0.17	92	1.64	95	0.05	1.4	41	16	0.7	1.8	0.16	103
Tanzawa Mountain	0.14	7.0	0.04	0.12	125	1.09	81	0.01	1.3	41	13	0.4	1.5	0.15	84
Akagi Volcano	0.15	5.1	0.16	0.16	35	1.84	37	0.02	1.1	17	18	0.6	1.7	0.27	120
Kanto Mountain	0.13	5.6	0.18	0.14	165	3.12	40	0.05	1.0	65	20	0.6	2.6	0.50	104
Ashio Mountain	0.13	11.4	0.25	0.14	47	4.28	42	0.04	1.9	25	20	1.1	2.3	0.57	101
Yamizo Mountain	0.12	10.7	0.11	0.12	39	2.80	22	0.05	0.9	14	19	0.5	2.2	0.39	97
Tsukuba Mountain	0.14	4.0	0.10	0.11	31	3.07	22	0.04	0.6	13	22	0.3	2.4	0.45	83
Abukuma Mountain	0.11	9.0	0.10	0.13	51	2.38	20	0.03	0.7	19	18	0.4	2.2	0.35	92
S-W Kanto Plain	0.17	7.2	0.13	0.18	75	2.74	52	0.05	1.3	41	21	0.7	2.5	0.41	119
S-E Kanto Plain	0.11	6.0	0.09	0.09	48	1.75	20	0.02	0.8	17	14	0.3	1.4	0.29	99
N-W Kanto Plain	0.15	8.4	0.18	0.15	47	2.96	34	0.04	1.2	28	19	0.7	2.3	0.43	106
N-E Kanto Plain	0.17	9.2	0.12	0.17	43	2.96	33	0.04	1.1	18	20	0.6	2.3	0.38	106
All the average	0.13	7.6	0.13	0.13	66	2.47	37	0.03	1.1	29	17	0.5	2.0	0.36	101

が最も小さいと考えられる水田土壌の平均値(第2表)を基準として火山灰質土と同様な操作を実施してバックグラウンド値を算出し、第5表に示した。沖積土の公園・宅地についてはCdのバックグラウンド値が示されていないがすべての試料が0.37 ppm以上で除外されたためであり、P₂O₅, Cu, Pb, Sb, Sn, Znについても12試料中8試料以上が除外され、火山灰質土の場合と同様に公園・宅地の土壌は人為的附加の影響を受けやすいことが判明した。

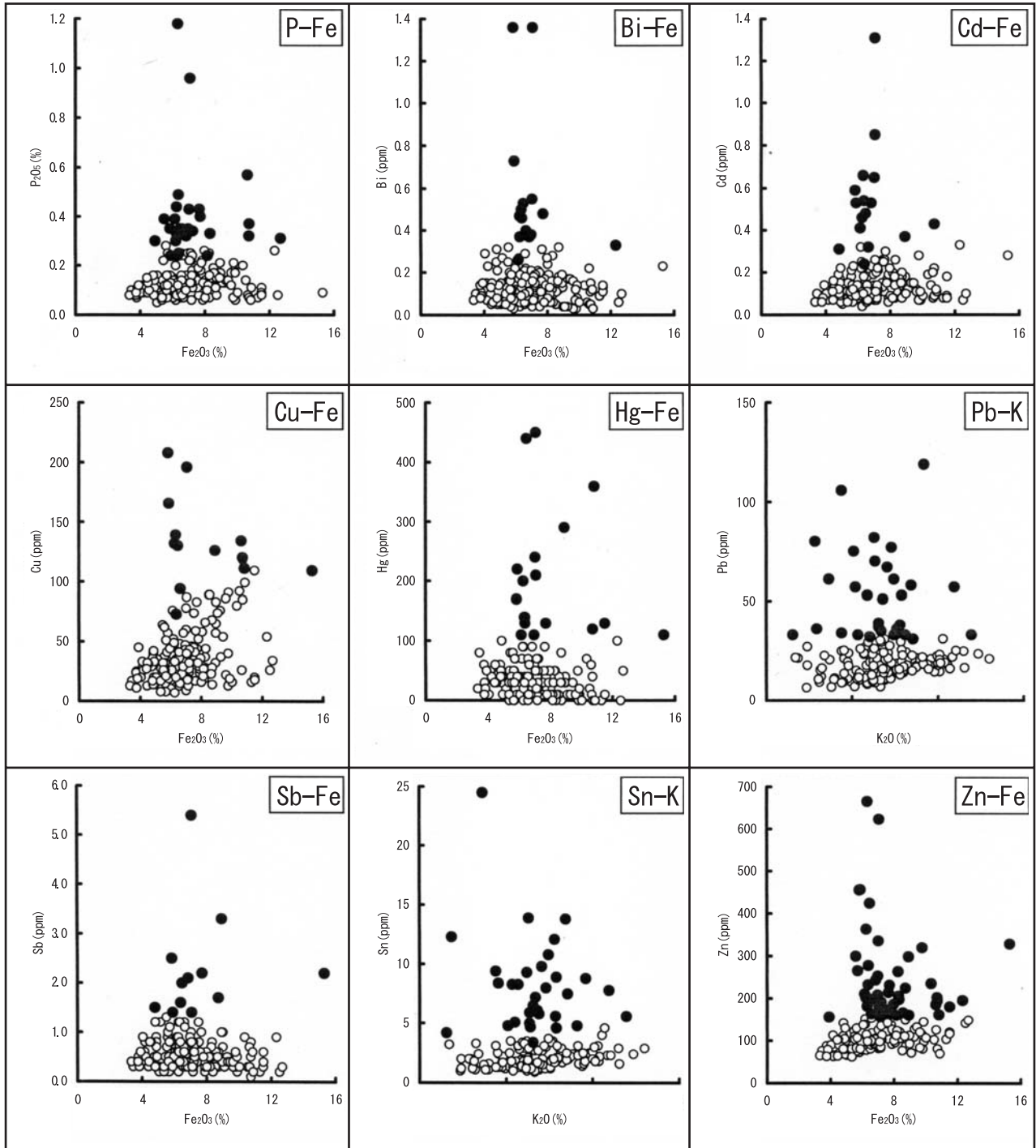
5.2 河川堆積物

4.2で述べたように、旧鉱山の足尾、高取、日立周辺地域の堆積物は多くの微量成分濃度が高く、主成分濃度にも他の地域とは異なる傾向がある。鉱床周辺の河川堆積物は、自然状態であってもある種の元素は高濃度を示すが、もし人為による鉱山開発がなかった場合の元素濃度は現在認められるレベルよりもはるかに低濃度と考えられる。このため、本研究では足尾、高取、日立周辺地域の堆積物は人為的附加の影響を受けていると判断し、主成分を含めすべてのデータを除外することにした。他の地域に関しては、地域別あるいは河川流域別の成分濃度(第3表)を基準とし、5.1.1で述べた土壌の場合と同じ2段階の除外操作を行って人為的附加の影響を受けているデータを除外した。その結果、地域別あるいは河川流域別平均値の2倍(第1段階)、あるいは1.5倍(第2段階)を超えるデータで自然要因と判断されたのは超苦鉄質岩が分布する地域の堆積物におけるMg, Cr, Niのみと考えられた。191試料中の40成分(第3表)について検討した結果、15成分に人為的附加が認められ、除外されたデータ数は多い順にZn48, Sn32, Pb31, P₂O₅27, As22, Hg18, Cd16, Bi15, Cu14,

Sb12, Mo7, Cr5, Ni2, TlとCs各1の合計251であった。これらの成分については地域別あるいは河川流域別バックグラウンド値を算出し(第6表)、また除外データの多い9成分についての除外された値とバックグラウンド値の関係を第5図に示した。除外データが多いのは大都市周辺の河川であり、第3表の区分によれば沖・洪積層が分布する関東平野の南西部(東京23区をはじめとする最も都市化された地域)が最も多く、ついで関東平野北西部である。逆に基盤岩由来の碎屑物が卓越する山地とその周辺では少ない。

5.3 東京湾堆積物

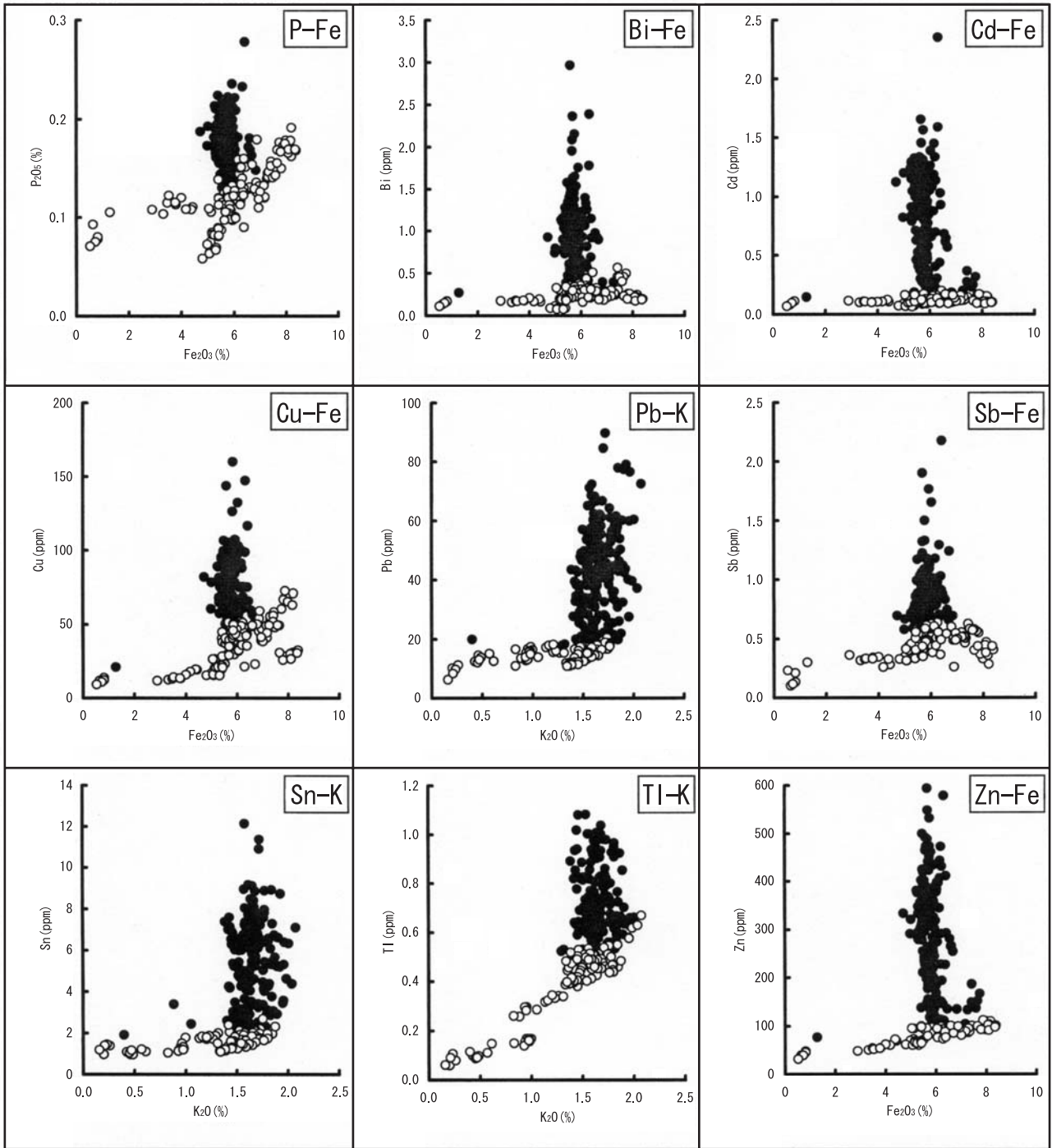
東京湾の場合、いくつかの柱状試料では最上位から最下位まですべての層準の試料に人為的な附加が認められる成分があり、試料の採取地点別平均値を基準にする評価は適用できなかった。そこで、各種成分の濃度と鉛直変化の特徴から判断することにした。まずP₂O₅を除く各主成分については、Fe, Mn濃度の鉛直変化(第3図)に見られるように表層部で特に高濃度を示す傾向はなく、CaO濃度の変化は貝殻片の多少に起因するため人為的附加の影響は無視できると考えられた。微量成分のうちCu, Pb, Zn等の鉛直濃度変化は第3図に示されているが、地点4では深度45 cm以浅、地点6では2.5 cm以浅の堆積物に人為的附加があると判断した。地点12では表層部で高濃度を示す傾向はないが、これは4.3.2で述べたように本来最高濃度を示すべき深度50 cm前後の層準に洪水堆積物が存在するためであり、深度45~55 cmにおけるCuを除き人為的附加の影響を受けている。地点24, 29では鉛直濃度変化はほとんどなく(第3図)、濃度も低いので人為的影響は無視できると判断した。Bi, Cd, Sbの場合も基本的にはCu,



第5図 河川堆積物における Fe_2O_3 あるいは K_2O 濃度と P_2O_5 , Bi, Cd, Cu, Hg, Pb, Sb, Sn, Zn濃度の関係。白丸, 黒丸は第4図参照。
 Fig. 5 Plot of Fe_2O_3 or K_2O content vs P_2O_5 , Bi, Cd, Cu, Hg, Pb, Sb, Sn and Zn content in the river sediments. Open and solid circles are the same as in Fig. 4.

Pb, Znと同様である(第3図)。しかし、地点4のSbはすべての層準で0.62 ppmを越えており、付近の他地点におけるバックグラウンド値よりも高いため、全層準に人為的附加があると考えた。また、地点24ではSb濃度のみが最表層部で顕著に高いが、これも人為的な影

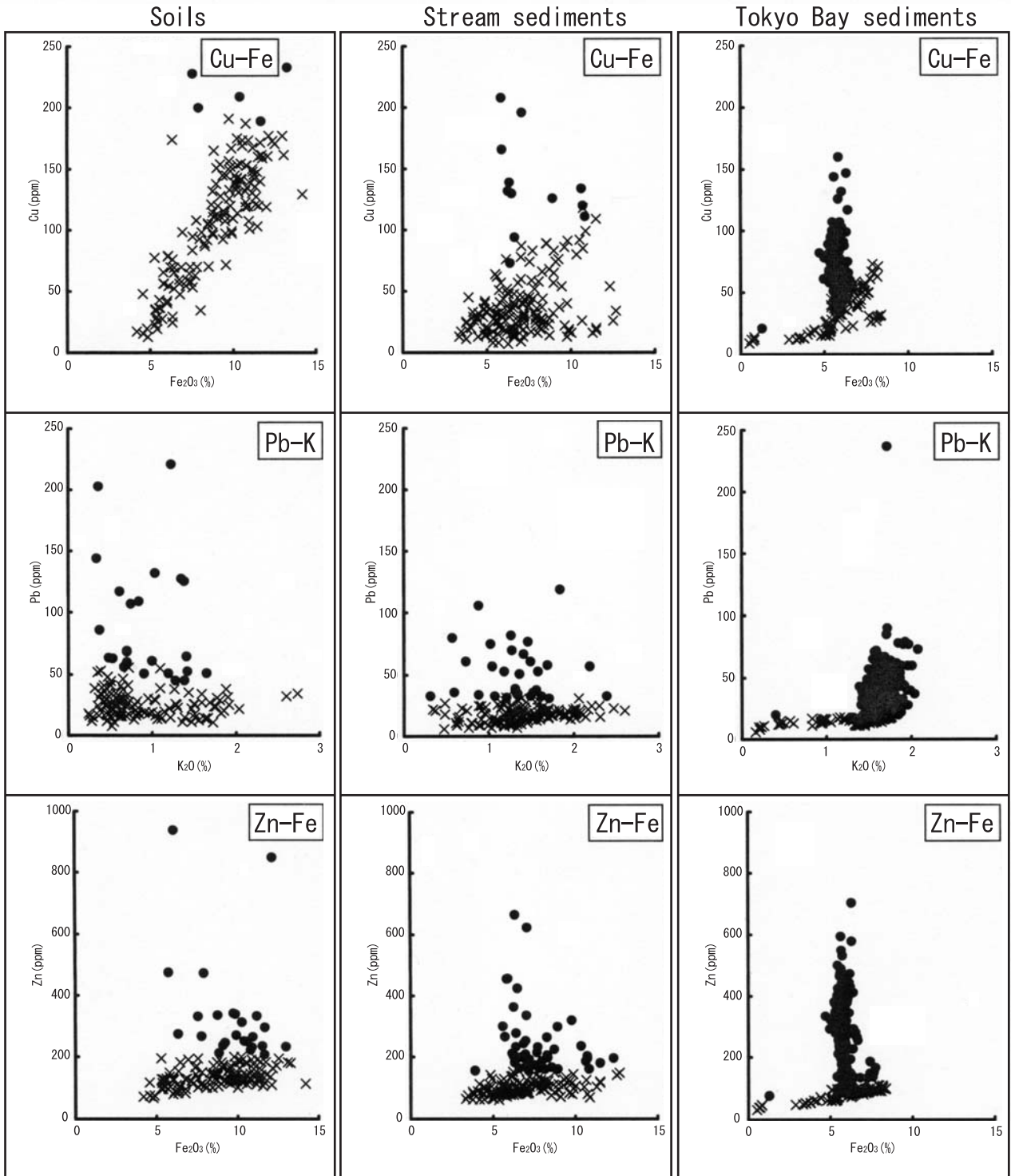
響と判断した。上記のように、付近の他地点よりも顕著に濃度が高い地点や、鉛直変化において表層部等で明らかな濃度増加が認められる部分を人為的な附加と判断することにし、全柱状試料中の全38成分について検討した結果、人為的附加が認められる成分は P_2O_5 ,



第6図 東京湾堆積物における Fe_2O_3 あるいは K_2O 濃度と P_2O_5 , Bi, Cd, Cu, Pb, Sb, Sn, Tl, Zn濃度との関係. 白丸, 黒丸は第4図参照.
 Fig. 6 Plot of Fe_2O_3 or K_2O content vs P_2O_5 , Bi, Cd, Cu, Pb, Sb, Sn, Tl and Zn content in the Tokyo Bay sediments. Open and solid circles are the same as in Fig. 4.

Bi, Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Tl, Znの12成分であり, 特にPb, Zn, Cd, Sn等は全データの64%以上に影響があることが判明した. 多くの成分について人為的附加が存在するのは, 地点8, 7, 2, 3, 12等湾奥部の東京側で採取された試料である. ただし, Moに関しては千葉県側の地点5, 9, 10, 11, 14, 15等で平均5 ppm以

上の高値を示し(第4表), 主要供給源が千葉県側にあることを暗示している. 第6図は, 東京湾堆積物において人為的附加が認められた12成分のうち代表的な9成分について堆積物の母材の起源に関係すると考えられる Fe_2O_3 あるいは K_2O 濃度との関係をプロットしたものである. この図によれば, 人為的附加が認められな



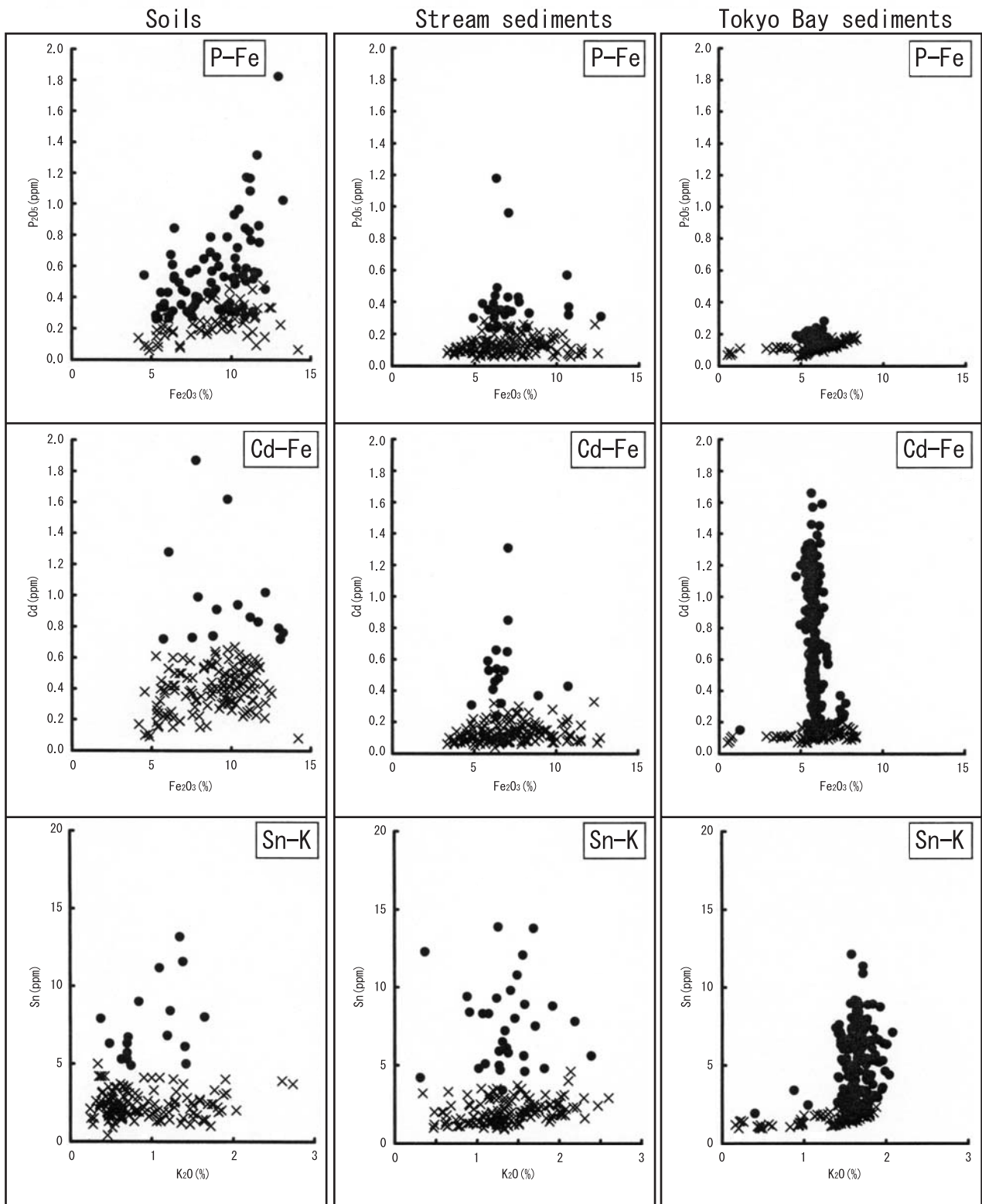
第7図 土壌、河川堆積物、東京湾堆積物におけるCu-Fe₂O₃、Pb-K₂O、Zn-Fe₂O₃濃度分布の比較。×印は自然バックグラウンド、黒丸は人為的な附加があると判断された値。

Fig. 7 Comparison of the Cu-Fe₂O₃, Pb-K₂O and Zn-Fe₂O₃ concentrations among the soils, stream sediments and Tokyo Bay sediments. Crosses mean background abundances, and solid circles are assumed containing significant amounts of anthropogenic source constituents.

い試料中の各成分はFe₂O₃あるいはK₂O濃度との間に正相関があるが、人為的附加のある試料ではその傾向は存在しない。

5.4 土壌-堆積物における化学組成の特徴

関東地域の土壌、河川堆積物、東京湾堆積物におけるCuまたはZnとFe₂O₃、PbとK₂O濃度の関係を第7図



第8図 土壌，河川堆積物，東京湾堆積物における $P_2O_5-Fe_2O_3$ ， $Cd-Fe_2O_3$ ， $Sn-K_2O$ 濃度分布の比較。×印，黒丸は第7図参照。

Fig. 8 Comparison of the $P_2O_5-Fe_2O_3$ ， $Cd-Fe_2O_3$ and $Sn-K_2O$ concentrations among the soils, stream sediments and Tokyo Bay sediments. Crosses and solid circles are the same as in Fig. 7.

第7表 土壌、河川堆積物、東京湾堆積物中成分濃度の単純平均値とバックグラウンド値の比較。

Table 7 Comparison of the arithmetic average abundances and background abundances for various constituents in the soils, stream sediments and Tokyo Bay sediments.

		(n)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	As (ppm)	Ba (ppm)	Be (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)
Soils	Average	329	18.12	0.97	9.68	0.16	1.97	1.72	0.92	0.79	0.29	8.9	233	1.00	0.33	0.34
	Background		18.12	0.97	9.68	0.16	1.97	1.72	0.92	0.79	0.19	8.3	233	1.00	0.33	0.31
Stream sediments	Average	191	10.70	0.82	7.24	0.15	3.69	3.23	1.98	1.39	0.17	16.0	375	1.11	0.53	0.43
	Background		10.70	0.83	7.14	0.14	3.73	3.29	2.01	1.37	0.13	7.6	348	0.99	0.13	0.13
Tokyo Bay sediments	Average	310	9.37	0.58	5.81	0.10	3.24	5.36	3.59	1.54	0.15	ND	210	1.02	0.70	0.57
	Background		9.37	0.58	5.81	0.10	3.24	5.36	3.59	1.54	0.12	ND	210	1.02	0.26	0.12
Continental Crust			15.10	0.68	6.28	0.10	3.70	5.50	3.20	2.40	0.18	1.7	584	2.40	0.09	0.10

		(n)	Ce (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cs (ppm)	Cu (ppm)	Ga (ppm)	Hf (ppm)	Hg (ppm)	In (ppm)	La (ppm)	Li (ppm)	Mo (ppm)	Nb (ppm)	Ni (ppm)
Soils	Average	329	31	30	73	3.22	119	21	2.67	0.14	0.08	15	21	1.09	3.49	59
	Background		31	30	73	3.22	110	21	2.67	0.10	0.08	15	21	1.09	3.49	59
Stream sediments	Average	191	29	21	70	2.80	141	15	1.20	0.06	ND	16	24	1.50	5.60	31
	Background		29	20	66	2.47	37	15	1.20	0.03	ND	15	23	1.10	5.60	29
Tokyo Bay sediments	Average	310	21	15	87	3.57	61	14	1.33	ND	ND	11	49	3.34	5.07	37
	Background		21	15	57	3.57	38	14	1.33	ND	ND	11	49	2.50	5.07	29
Continental Crust			60	24	126	3.40	25	15	4.9	0.04	0.05	30	18	1.10	19.00	56

		(n)	Pb (ppm)	Rb (ppm)	S (%)	Sc (ppm)	Sb (ppm)	Sn (ppm)	Sr (ppm)	Th (ppm)	Tl (ppm)	U (ppm)	V (ppm)	Y (ppm)	Zn (ppm)	Zr (ppm)
Soils	Average	329	29	33	0.10	ND	0.86	2.80	107	4.39	0.31	1.44	254	18	139	76
	Background		21	33	0.10	ND	0.65	1.96	107	4.39	0.31	1.32	254	18	122	76
Stream sediments	Average	191	33	49	ND	18	1.00	4.80	143	5.20	0.42	1.00	159	16	167	42
	Background		17	47	ND	19	0.50	2.00	144	5.10	0.36	1.00	159	15	101	42
Tokyo Bay sediments	Average	310	35	49	ND	13	0.68	4.06	249	3.80	0.59	1.85	115	14	222	47
	Background		15	49	ND	13	0.45	1.60	249	3.80	0.40	1.85	115	14	82	47
Continental Crust			15	78	0.07	16	0.30	2.3	333	8.50	0.52	1.70	98	24	65	203

Average: Arithmetic average abundances for all the samples.

Background: Estimated natural background abundances for the selected samples.

Continental crust: Wedepohl (1995)

ND: No data.

に、P₂O₅またはCdとFe₂O₃、SnとK₂O濃度の関係を第8図に示した。Cuその他のバックグラウンド値に注目すると、いずれの成分も土壌中濃度が最も高く、河川堆積物、東京湾堆積物の順に低下する傾向がある。これは主として母材の風化に伴う各成分の挙動を反映していると考えられる。第7表は、土壌、河川堆積物、東京湾堆積物における各種成分の平均値とバックグラウンド値を比較したものである。Al₂O₃、TiO₂、Fe₂O₃、MnO、P₂O₅、Bi、Cd、Co、Cr、Cu、Ga、Hf、Ni、Pb、Sb、V、Y、Zn、Zrのバックグラウンド値は土壌中で最も高く、東京湾堆積物で最も低い。これら成分の大部分は、地質試料の風化に伴って移動しにくく、残留物中に保持されやすい性質があるため(寺島ほか, 2004a,b)、土壌中で高濃度を示すと考えられる。一方、CaO、Na₂O、K₂O、Cs、Li、Mo、Rb、Sr、Tl、Uは土壌や河川堆積物よりも東京湾堆積物で濃度が高い。これら成分のうちアル

カリ、アルカリ土類金属は地質試料の風化に伴って流失しやすい成分であり、風化作用で移動しやすい成分が海底堆積物に濃集することを暗示している。

6. まとめ

関東地域で採取された土壌329試料、河川堆積物191試料、東京湾堆積物310試料の主・微量成分を分析し、成分濃度に対する人為的附加の影響を正しく評価し、バックグラウンド値を求めるための研究を実施して以下の結論を得た。

1) 各種試料中の成分濃度に対する人為的な附加は、基本的には同種の試料で人為的な附加が無視できる試料における濃度との対比、及び高濃度の原因が自然要因(母岩、母材の種類や性質、風化・続成作用や生物濃縮の影響等)であるかどうかを吟味して評価した。

2) 土壌については、市街地から遠く離れた常緑樹林や落葉樹林で採取された火山灰質土、褐色森林土中の成分に対する人為的附加は無視できた。しかし、同じ樹林であっても市街地付近では少数試料に人為的附加によるCd, Hg, Pb, Sb等の高濃度が認められた。畑地、水田土壌の多くには施肥に起因するP₂O₅, Cd, Uの附加があり、公園・宅地土壌におけるPb, Zn, Sb, Sn, Hg等の高濃度も人為的附加と考えられた。土壌中の主・微量41成分のうち人為的附加が認められたのは10成分(多い順にP₂O₅, Cd, U, Sb, Pb, Zn, Hg, Sn, Cu, As, 合計357データ)である。

3) 旧鉱山周辺の河川堆積物は、多くの微量成分濃度が高く、主成分濃度も他地域とは異なる傾向があるためバックグラウンド値の算出では除外した。超苦鉄質岩が分布する地域の堆積物には高濃度のMg, Cr, Niが含まれるが、これは自然要因である。河川堆積物中の成分で人為的附加が認められたのは、多い順にZn, Sn, Pb, P₂O₅, As, Hg, Cd, Bi, Cu, Sb, Mo, Cr, Ni, Tl, Csの15であり、地域的には東京23区をはじめとする大都市周辺で多く、山間部では少なかった。

4) 東京湾堆積物中の成分濃度は、調査海域、粒度組成、貝殻片の有無、洪水堆積物の影響等によっても変化するが、多くの柱状試料の上位層準では人為的附加に起因する高濃度が認められ、下位層準ではその影響は小さく、無視できる場合が多かった。人為的な附加は、38成分中12成分(多い順にPb, Zn, Sn, Cd, Bi, Sb, Cr, P₂O₅, Tl, Cu, Ni, Mo, 合計2,142データ)に認められ、Moは湾奥部の千葉県側で高く、他の成分は東京側で高い傾向があった。

5) 関東地域の土壌、河川堆積物、東京湾堆積物における各種成分のバックグラウンド値を比較した結果、Al₂O₃, TiO₂, Fe₂O₃, MnO, P₂O₅, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, Hf, Ni, Pb, Sb, V, Y, Zn, Zr等は土壌中で高く、CaO, Na₂O, K₂O, Cs, Li, Mo, Rb, Sr, Tl, Uは東京湾堆積物中で高い傾向があった。岩石・鉱物の風化に伴って残留物中に濃縮しやすい成分は土壌中で高く、風化に伴って失われやすい成分は海底堆積物に蓄積されることを示唆している。

文 献

Govindaraju, K. (1994) 1994 compilation of working values and sample description for 383 geostandards. *Geostandards Newsletter*, **18**, 1-158.

服部明彦 (1983) 東京湾の海洋環境—海水循環と環境要因の概観—. *地球化学*, **17**, 16-26.

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・寺島 滋・太田充恒・御子柴 (氏家) 真澄・岡井貴司・立花好子・富樫茂子・松久幸敬・金井 豊・上岡 晃・谷口政碩 (2004) 日本の地球化学図. 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 209p.

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—北関東一. 地質調査所出版物, 35p.

海上保安庁 (1980) 海洋汚染調査報告-第6号-昭和53年調査結果. 海上保安庁水路部, 74p.

神賀 誠・田切美智雄 (2003) 渡良瀬川流域および宮田川流域の河川堆積物と土壌の汚染の現状—足尾銅山と日立鉱山の閉山後の汚染のレベル. *地質雑*, **109**, 533-547.

上岡 晃・田中 剛・伊藤司郎・今井 登 (1991) 元素の地表分布パターンとその解析—北関東の地球化学図. *地球化学*, **25**, 81-99.

金井 豊・坂本 亨・安藤 厚 (1988) 関東平野北東部における第四紀後期テフラの主成分および微量成分組成. *地調月報*, **39**, 783-797.

関東ローム研究グループ (1965) 関東ローム—その起源と性状—. 築地書館, 東京, 378p.

加藤芳朗 (1970) 東海地方の「黒ボク」土壌のH₂O₂-脱鉄-タム逐次処理によるリン酸吸収係数の変化について. *日本土壌肥料学雑誌*, **41**, 218-224.

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.

松本英二 (1983) 東京湾の底質環境. *地球化学*, **17**, 27-32.

松本英二・加藤甲壬・松永勝彦 (1983) 東京湾における水銀の地球化学. *地球化学*, **17**, 48-52.

大嶋和雄・斎藤文紀・遠藤秀典・横田節哉・池田国昭 (1992) 浅海環境の長期的変遷過程の解明による最適立地の予測技術に関する研究 (東京湾湾奥運河の堆積環境), 平成4年度国立機関公害防止等研究成果報告, 45-II-1 ~ 45-II-20.

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)—. *地調研報*, **52**, 347-369.

- 寺島 滋・太田充恒・今井 登・岡井貴司・御子柴真澄・谷口政碩 (2002) 関東平野の土壌中微量有害元素 (As, Sb, Pb, Cr, Mo, Bi, Cd, Tl) の地球化学的研究—土壌地球化学図の基礎研究 (第3報)—. 地調研報, **53**, 749-774.
- 寺島 滋・太田充恒・今井 登・岡井貴司・御子柴真澄 (2004a) 東海・沖縄地域の非沖積土壌の母材と元素の地球化学的研究. 地球科学, **58**, 317-336.
- 寺島 滋・今井 登・太田充恒・岡井貴司・御子柴真澄 (2004b) 関東平野南部における土壌の地球化学的研究—土壌地球化学図の基礎研究 (第5報) 総括—. 地調研報, **55**, 1-18.
- 寺島 滋・今井 登・岡井貴司・御子柴 (氏家) 真澄・太田充恒・池原 研・片山 肇 (2006) 湖底・海底堆積物中微量セレンの存在量と堆積環境. 地調研報, **57**, 105-119.
- 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.
- 上野広行・鶴見 実・一国雅巳 (1992) 関東ローン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.
- Wedepohl, K. H. (1995) The composition of the continental crust. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **59**, 1217-1232.
- 吉田 稔・金谷 浩 (1975) 火山灰土壌中のアルミニウム化合物の形態とそのリン酸固定容量. 日本土壌肥料学雑誌, **46**, 143-145.
- (受付: 2007年4月6日; 受理: 2007年5月18日)