

環境汚染調査における金属抽出法に関する研究(第2報) —産業廃棄物最終処分場における覆土汚染調査—

Metal Leaching Method for Investigation of Environmental Pollution (II)

—Researching on Metal Contamination
in molding of industrial waste landfills—

小野 雄策 小林 進 稲村 江里

要 旨

産業廃棄物を埋め立てた場合、廃棄物から金属類が溶出し覆土を汚染する可能性が考えられる。特に、汚濁成分を多く含んだ産業廃棄物を埋め立てた管理型処分場の覆土は、金属類により汚染されている可能性が強い。そこで、覆土中に蓄積されている金属類を的確に抽出し汚染状況を把握することが必要となってくる。

本報告では、覆土中に蓄積されている金属類の抽出方法について検討した。抽出方法としては前報で用いた酸分解法と「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」で用いられている水溶出法(環境庁告示第13号)の二法をとりあげ比較検討した。また、この方法により得られたデータについて主成分分析を行い、最終処分場の汚染状況を推定した。その結果、酸分解法による場合は覆土中の重金属汚染を解明しえたが、水溶出法による場合は重金属汚染よりむしろ塩類汚染(一部重金属汚染を含む)しか解析できなかつた。しかし、覆土中に可溶性塩類が高濃度に蓄積されている場合は、重金属類が覆土中にかなり蓄積されている可能性が強いことが判明した。

1 はじめに

前報¹⁾では、土壤中に蓄積されている汚染物質、特に重金属類による土壌汚染を解明するため、金属抽出法として熔融法と酸分解の二法について検討した。熔融法は全金属量を測定しうる方法であり、また、酸分解法は土壌骨格をなすケイ酸鉱物を残して蓄積性の高い金属類をすべて抽出可能な方法である。この二法について比較検討した結果、蓄積性の高い金属類を測定する場合は熔融法と酸分解法による金属値が高い相関性のあることが判明した。さらに、ある金属化学工場の周辺土壌等の重金属濃度について、熔融法と酸分解法により測定し、主成分分析を行ったところ、二法とも汚染度の違いにより明確なグルーピングが可能であった。

本報では、重金属類の蓄積性が高い産業廃棄物の埋立地土壌(覆土)について、前報で用いた酸分解法と環境庁告示による「産業廃棄物に含まれる金属類の検

定方法」²⁾(以下、「水溶出法」という。)とを比較し、覆土中の金属濃度により汚染度の差が明確に推定できるか検討を加えた。なお、水溶出法は産業廃棄物が埋立判定基準に適合するか否かを検査するための試験法である。また、この試験法は、産業廃棄物を埋め立てる際に廃棄物中の有害物質が埋立地の土中水や雨水などにより溶出拡散し、環境を汚染することを防止するために考えられた方法である。

埋立地としては、幾分汚濁成分を多く含んだ産業廃棄物を埋め立てている管理型処分場を県内から4か所選んだ。さらに、酸分解法と水溶出法により覆土中の金属濃度について比較検討し、汚染度の解明を行った。

データの解析法は、前報同様主成分分析により行った。

2 実験方法

2・1 実験試料

産業廃棄物を陸上埋立する場合は環境庁告示第13号による溶出試験を行い、判定基準に適合したものについて処分を行っている。また、判定基準に適合した廃棄物はその種類によって、埋立地の構造が異なる安定型処分場と管理型処分場に分けられている。

管理型処分場の廃棄物の種類及び構造や維持管理基準を図1に示す。管理型処分場とは、廃棄物から溶出される汚濁成分が埋立地から公共用水域や地下水へ拡散することを防止するために、水域汚染防止措置が講じられているものをいう。

今回用いた試料は、主にこの管理型処分場の覆土で埋立閉鎖後1～2年経過したものである。

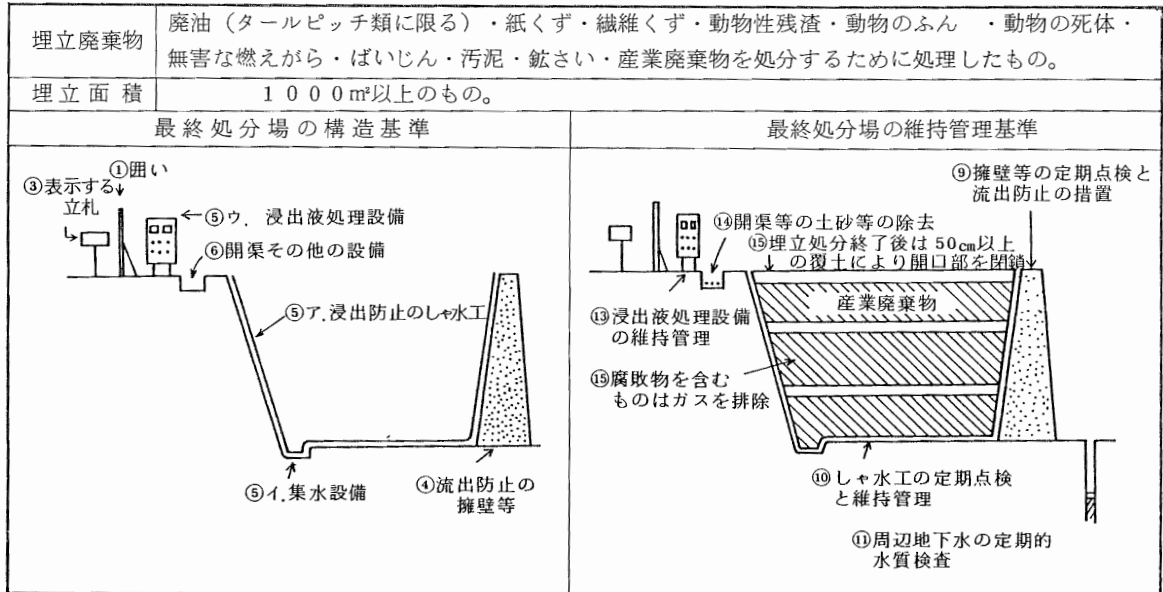


図1 管理型処分場の構造および維持管理基準

2・1・1 最終処分場の状況

県内から選んだ4か所の管理型処分場について、図3～6に示す。また、埋立廃棄物の種類と廃棄物の埋立比率を図2に示す。

A社の最終処分場は埋立後1年半経過しており、管理型処分場と安定型処分場とがほぼ半分ずつに分れており、覆土の厚さは予定覆土50cmに満たないか所が多かった。また、管理型処分場は、ビニールシートにより地下水と遮断されていた。

埋立廃棄物の種類は、管理型処分場で汚泥と燃えがらが約98%を占め、安定型処分場で廃プラスチック類と建設廃材が約93%を占めていた。両処分場ともに、覆土中に廃棄物の混入は少なかった。

B社最終処分場は埋立後1年半経過しており、処分場内から浸出液が漏れないように埋立地の周囲に粘土層まで二重のシートパイルを打ち込み、埋立地を約

1000㎡単位として3～5mおきに区画をつくるポンド方式により埋め立てられていた。各ポンド（区画）内は、最初にシートパイルを打ち込み、次にビニールマットを敷き、廃棄物を埋め立ててからシートパイルを取り除き覆土を1m位施し、次のポンドを掘る方式をとっている。

覆土の断面は、ほとんど色や質も変わらず廃棄物の混入が認められなかった。

廃棄物の種類は、汚泥と廃プラスチック類で約86%を占めていた。

C社最終処分場は埋立後2年経過しており、埋立地の一部を掘さく機により溝を掘り一連の断面について試料を採取したものである。

この埋立地は素掘りの後、ビニールシートを敷き廃棄物を埋め立てて、50cmの覆土をほどこしたところである。ここはもと、砂の採取あと地のため、覆土の深

い黒かっ色部分は砂が使われていた。また、廃棄物の混入が覆土全層にわたりみられた。

埋立廃棄物の種類は、汚泥・廃プラスチック類・燃えがら・紙くずが主で、これらで約93%を占めていた。

D社最終処分場は、山林の緩い傾斜地を埋め立てた所で、埋立後1年半経過した埋立地である。

この埋立地は中央に農業用水を通した鉄管の水路が

走っており、回りをビニールシートで囲み、廃棄物を埋め立てた後覆土を50cmほどこした処分場である。

覆土断面をみると、廃棄物の混入が各層にみられ、覆土の色も採取地点により異なり、茶かっ色と黄かっ色の二種類の覆土が使われていた。

廃棄物の種類は、汚泥と廃プラスチック類で約93%を占めていた。

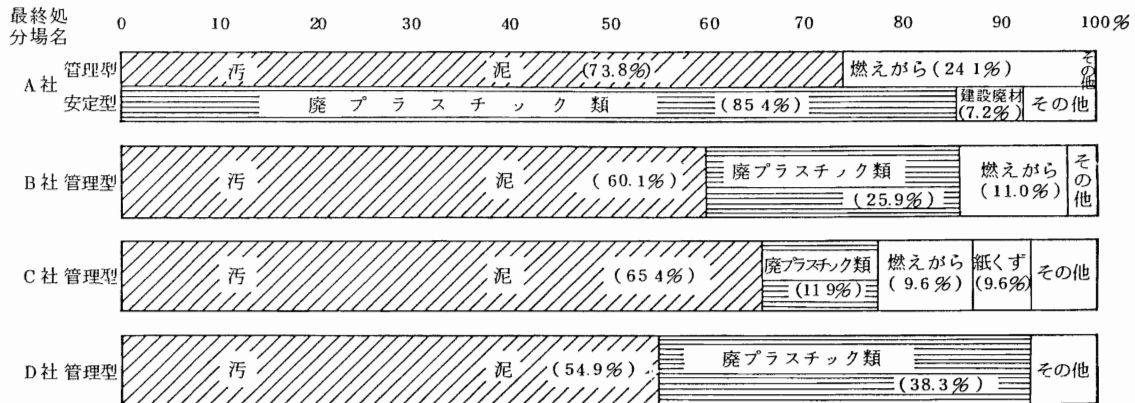
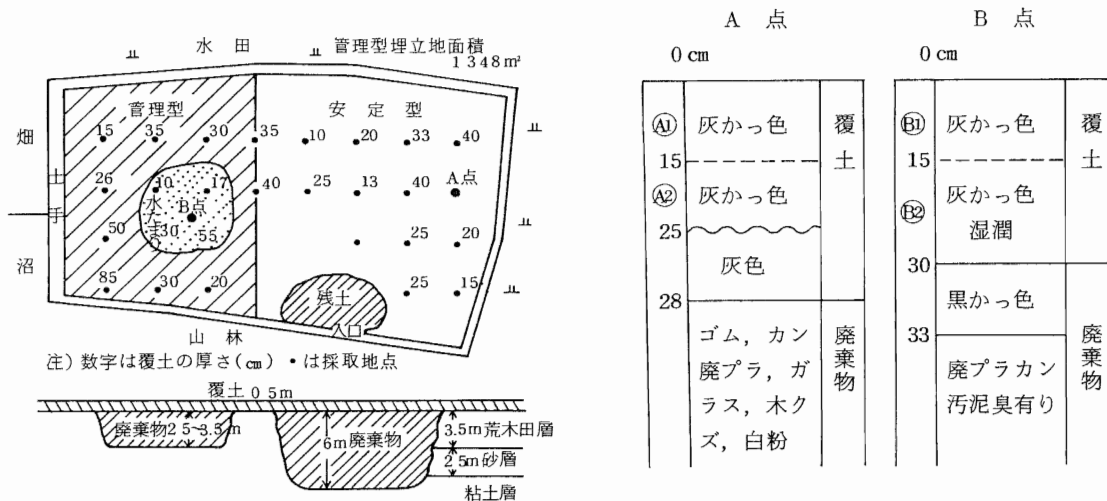


図2 埋立廃棄物の種類と比率



(埋立予想断面図)

(採取地点断面図)

図3 A社最終処分場のサンプリング場所および地形と構造

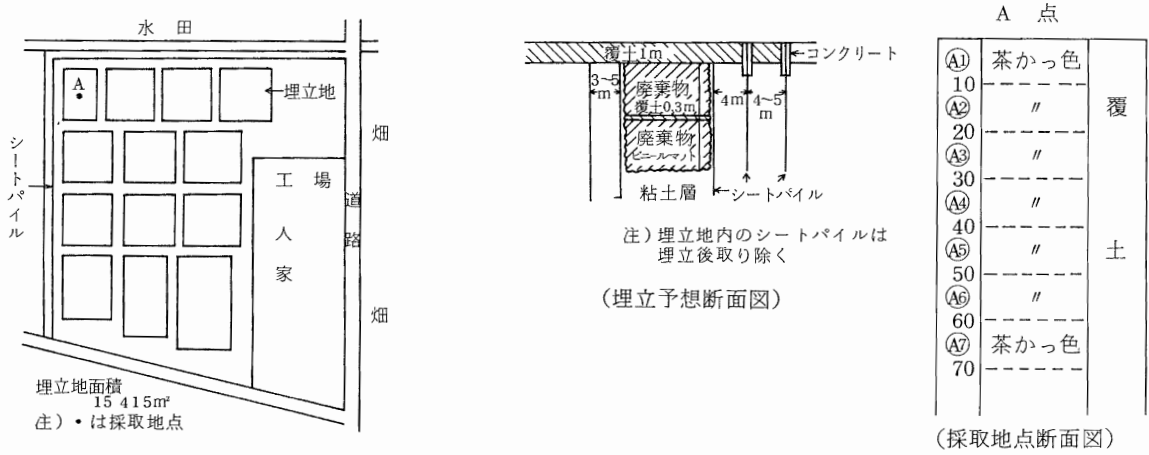


図4 B社最終処分場のサンプリング場所および地形と構造

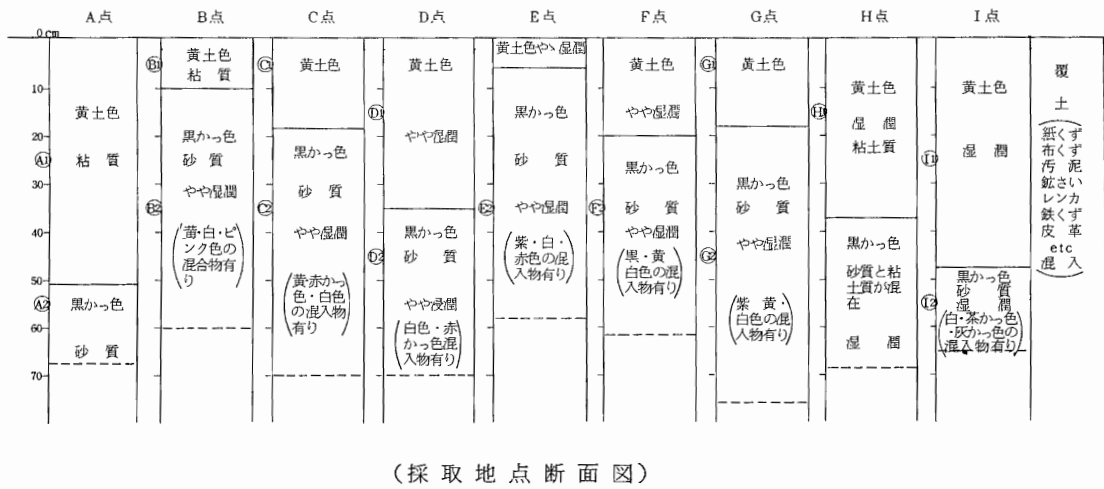
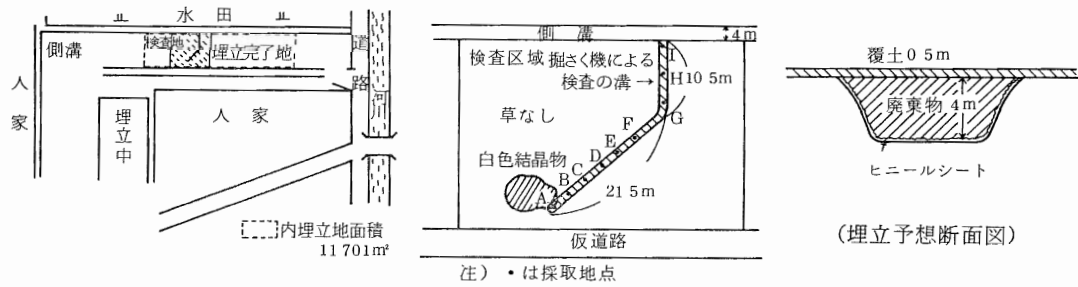


図5 C社最終処分場のサンプリング場所および地形と構造

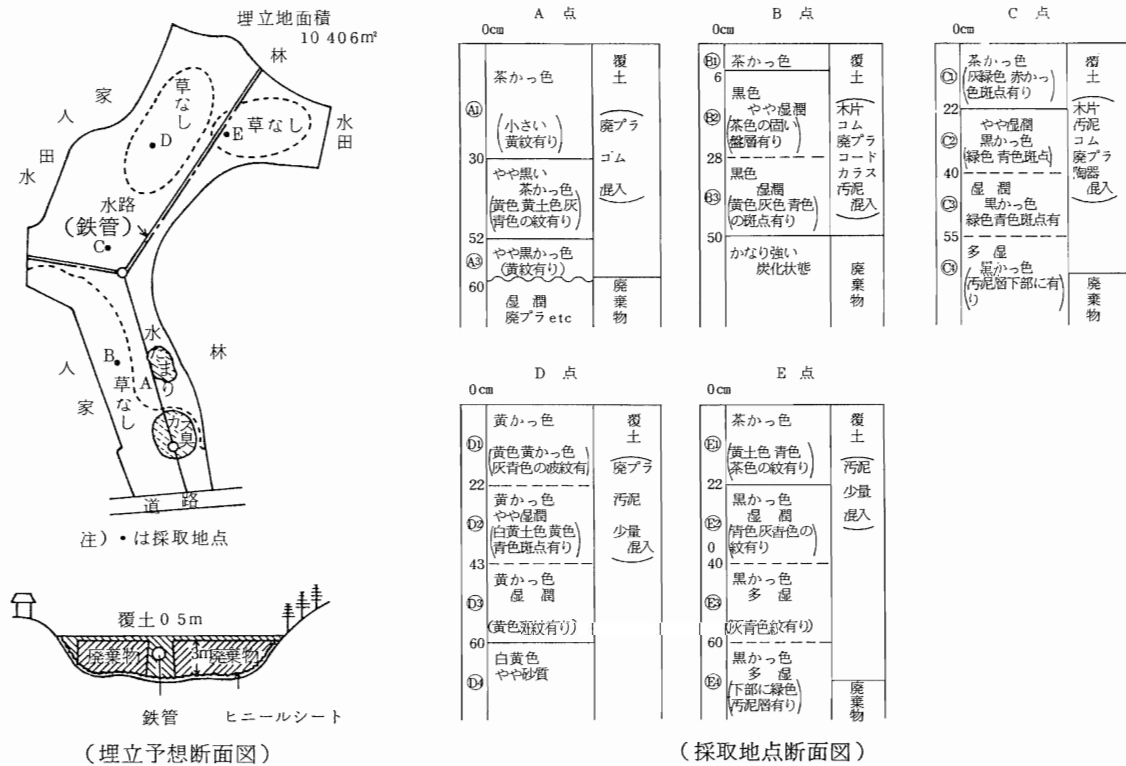


図6 D社最終処分場のサンプリング場所および地形と構造

2・1・2 試料の調整

採取した覆土について、廃棄物や小石等を取り除いた後、すぐに5mmのふるいで篩らし、四分法により酸分解用と水溶出用の試料とに分取した。

2・2 分析方法

酸分解法は、前報でもふれたように溶融法に匹敵する方法で、土壌骨格を残してすべての蓄積性金属類を抽出可能な分析法である。他方、環境庁告示第13号による水溶出法は、水可溶性物質を抽出する方法であり、蓄積性金属の一部が抽出可能な分析法である。

2・2・1 酸分解法

前報で用いた硝酸・過塩素酸・硫酸(20:5:2)の三混酸による分解方法による。

2・2・2 水溶出法

「産業廃棄物に含まれる金属類の検定方法」(昭和

48年環境庁告示第13号)による方法を用いた。この方法のうち、陸上埋立処分の方法を運用した。

小石・異物等を除去し、5mmのふるいを通したものを試料とし、これに10倍量の溶媒(純水に塩酸を加えpH値が5.8~6.3となるようにしたもの)を加えて混合し、混合液が500ml以上となるようにした。この混合液を常温・常圧で6時間振とう後(毎分200回、振とう幅4~5cmとする)、孔径1μmのガラスファイバーろ紙を用いてろ過したものを2・2・1の酸分解法にて分解後、金属類を測定した。

2・3 金属分析法

K・Na・Fe・Mn・Cu・Zn・Crは、試料液を直接原子吸光度法で測定した。Ca・Mgは、La添加後原子吸光度法で測定した。Cd・Pb・Niは、ジエチルジチオカルバミン酸ナトリウム(DDTC)ーメチルイソブチルチトン(MIBK)抽出法にて抽出後、原子吸光度法にて測定した。

3 結果および考察

3・1 酸分解法と水溶出法の比較

県内4か所の最終処分場の覆土について、酸分解法と水溶出法を行い金属類を測定した。

酸分解法が蓄積性の金属類をほぼ全量抽出しうるものと仮定し、これを全量値とみなして水溶出される金属類の溶出率を求めたものが表1である。

表1の各成分のうちNaは、処分場ごとに比較しても総計をみても、他の金属に比べ平均値が高く変動係数が低いことが分かる。このことから、Naは特異的に溶出されやすい金属であり、換言すれば土壌脱着力の大きい金属であるとも言える³⁾。

C社最終処分場は、K・Na・Ca・Mgの溶出率が特に高かった。また、溶出液pH値がアルカリ性に傾いていたため、重金属類が水酸化物を形成し溶出しにくくな

っていた。特に、Cd・Fe・Crは不検出であった。

水溶出法は、Na以外の金属の変動係数が高くかつ処分場間の差も大きいため安定した溶出率が得にくいことが判明した。これは、水可溶性の金属化合物の形態や金属と土壌との物理化学的な反応性（吸着など）の違いによるものと考えられる。さらに、処分場内の金属類の溶出は水可溶性のものだけでなく、処分場内で生産されるpH値の低い有機酸濃度⁴⁾の違いにより金属類の溶出に差が生じているものと思われる。

水溶出法は廃棄物そのものから溶出される有害物質を測定するために考えられた方法であり、環境調査に運用することは元来困難である。そのため、フィールドの試料、特に覆土等に水溶出法を用いた場合には、重金属類が溶出しにくいいため溶出量の多い塩類によって環境汚染状況を調査しなければならなくなり、十分な解析が困難となる。

表1 各金属溶出率

処分場名		K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	Cr
A社	検体数 n	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	平均値 又	056	343	120	085	045	020	131	078	086	不検出	169	040
	標準偏差 S.D.	021	027	010	009	016	013	061	025	025	—	148	019
	変動係数 C.V.	36.8	7.8	8.0	10.0	36.8	65.3	46.8	31.4	28.7	—	87.5	47.0
B社	検体数 n	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	平均値 又	066	621	111	045	187	118	030	069	081	不検出	020	011
	標準偏差 S.D.	023	132	036	028	196	040	026	020	032	—	034	020
	変動係数 C.V.	34.2	21.2	32.1	63.0	10.5	33.8	85.8	29.7	39.1	—	17.1	17.8
C社	検体数 n	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	平均値 又	629	479	574	128	不検出	008	008	002	023	不検出	005	不検出
	標準偏差 S.D.	534	174	362	130	—	016	013	001	027	—	009	—
	変動係数 C.V.	84.8	36.3	63.0	10.0	—	20.9	17.2	60.2	11.6	—	17.5	—
D社	検体数 n	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
	平均値 又	071	149	270	178	063	094	030	076	052	不検出	101	018
	標準偏差 S.D.	035	54.1	168	086	106	14.8	060	093	077	—	110	054
	変動係数 C.V.	48.7	43.0	61.9	47.9	16.8	15.7	19.9	12.1	14.8	—	10.9	29.2
総計	検体数 n	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
	平均値 又	264	239	337	534	060	061	032	049	050	不検出	061	013
	標準偏差 S.D.	411	211	299	935	118	104	054	068	057	—	097	036
	変動係数 C.V.	15.6	8.83	8.89	17.5	19.7	17.1	17.1	13.7	11.4	—	16.0	28.4

注) 溶出率平均値および変動係数は、%

3・2 酸分解法による覆土中金属濃度

酸分解法による覆土中金属濃度について表2に示す。各金属の変動係数をみると、各社処分場内の変動係数は低いものの、総計では高い場合が多い。これは、処分場内の濃度変動は少ないが処分場間の濃度差が大きいことを意味し、明らかに汚染量の違いが表れているものと考えられる。特に、C社最終処分場の各金属濃度は、K・Mgを除き総計の平均値濃度を上回り、かな

り高い濃度が土壌中に蓄積されているものと考えられる。

A社及びB社最終処分場の金属濃度は、ほとんど同程度の濃度を示し、K・Na・Mgを除き総計の平均値を下回り金属濃度が低い処分場であるように考えられる。

表2 覆土中金属濃度

処分場名		K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	Cr
A社	検体数 n	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	平均値 \bar{x}	4920	2600	12200	7210	31500	417	482	111	345	0.51	35.4	51.2
	標準偏差 S.D.	626	243	624	343	1090	191	56	357	47	0.41	35.1	79
	変動係数 C.V.	12.7	9.4	5.1	4.8	3.5	4.6	11.6	32.3	13.5	80.8	99.1	15.4
B社	検体数 n	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	平均値 \bar{x}	3820	1860	11400	6940	35200	701	515	909	385	0.19	22.3	53.9
	標準偏差 S.D.	311	277	1050	429	2910	914	60	62	71	0.04	9.4	19.2
	変動係数 C.V.	8.1	14.9	9.1	6.2	8.3	13.0	11.7	6.8	18.3	20.0	40.3	35.6
C社	検体数 n	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	平均値 \bar{x}	2560	1660	43000	4530	77900	63100	124	1980	242	3.67	33.3	27.2
	標準偏差 S.D.	1030	831	7820	1240	17900	62700	42.2	494	144	2.43	25.7	18.3
	変動係数 C.V.	40.3	50.1	18.2	27.4	23.0	99.4	34.0	25.0	59.8	66.1	77.1	67.4
D社	検体数 n	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	15
	平均値 \bar{x}	2440	999	5570	3810	41300	559	740	192	37.1	0.30	31.2	58.4
	標準偏差 S.D.	247	252	1160	499	4930	103	195	730	12.1	0.12	22.6	24.3
	変動係数 C.V.	10.1	25.2	20.9	13.1	11.9	18.4	26.3	38.1	32.7	39.0	72.3	41.7
総計	検体数 n	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
	平均値 \bar{x}	2940	1520	20200	4890	52200	22400	85.4	791	10.8	1.48	12.4	13.1
	標準偏差 S.D.	1030	710	17500	1520	21900	46600	40.3	915	12.8	2.13	19.7	14.7
	変動係数 C.V.	35.0	46.8	86.5	31.2	42.0	20.8	47.1	11.6	11.8	14.4	15.9	11.2

注) 平均値の単位はmg/kg (乾物値当りに換算)。C.V.は%

3・2・1 主成分分析

覆土中の各金属濃度の総合的な汚染度を求めるために主成分分析を行い、そのスコアから汚染度の高い処分場や汚染地点を判断した。

取り上げた変数、この場合は各金属元素であるが、重金属汚染を明らかにすることを目的とするので、Fe・Mn・Cu・Zn・Ni・Cd・Pb・Crを取り上げた。さらに、表2から明らかのように塩類の蓄積も多いので、土壌蓄積性が高く濃度の高いCaも加えて解析を行った。

覆土中金属濃度の相関係数を表3に示す。表3で求めた単相関の関係を図7にまとめると、Ni・Zn・Cu・CrとFe・Cd・Pb・MnとCaの三つのグループが相互に結合した関係を示した。

相関行列により主成分分析を行い、固有値と累積寄与率を表4に示した。累積寄与率は第1、第2主成分(Z₁・Z₂)だけで全変動の90%を示し、かつ、第3主成分の固有値が1を切り、かなり低い値を示したので、Z₁・Z₂について検討を行うことにした。

第1主成分Z₁について、表5の因子負荷量をみるとすべての金属が正を示し、Crが幾分低い他はすべての金属が0.79以上と高い値を示した。特に、Ca・Fe・Cdは0.9以上を示した。

Crの因子負荷量が低かったのは、土壌との吸着性などが他の金属と異っていたか、もしくは、前報¹⁾でも論じたように酸分解法で抽出しにくい金属であると考え

表3 覆土中金属類の相関係数

	Ca	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	Cr
Ca	1								
Fe	0.81	1							
Mn	(0.66)	0.81	1						
Cu	(0.64)	(0.63)	(0.37)	1					
Zn	0.92	0.75	(0.54)	0.72	1				
Ni	0.73	(0.58)	(0.36)	0.84	0.71	1			
Cd	0.76	0.87	0.95	(0.55)	(0.69)	(0.53)	1		
Pb	(0.68)	0.83	0.98	(0.43)	(0.57)	(0.37)	0.95	1	
Cr	(0.63)	(0.43)	(0.08)	0.81	0.71	0.89	(0.31)	(0.13)	1

注) 相関係数が0.7未満のものは()で表示した。

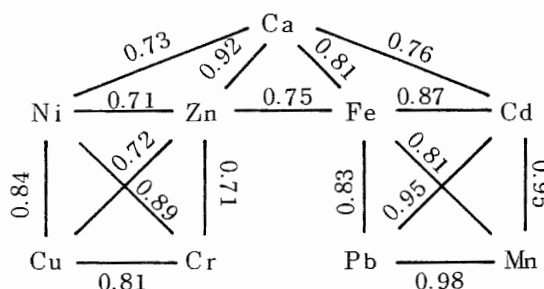


図7 金属類の相関関係 (酸分解法)

表4 固有値と累積寄与率

主成分	(酸分解法)				
	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅
固有値	6.22	1.89	0.40	0.20	1.14
累積寄与率	0.69	0.90	0.95	0.97	0.98

表5 固有ベクトルと因子負荷量

金属名	第1主成分 Z ₁		第2主成分 Z ₂	
	固有値	因子負荷量	固有値	因子負荷量
Ca	0.37	0.92	0.05	0.06
Fe	0.36	0.91	-0.16	-0.22
Mn	0.31	0.79	-0.43	-0.60
Cu	0.32	0.79	0.32	0.44
Zn	0.36	0.89	0.15	0.20
Ni	0.32	0.79	0.37	0.51
Cd	0.36	0.90	-0.28	-0.39
Pb	0.33	0.81	-0.40	-0.56
Cr	0.26	0.65	0.53	0.73

られる。

このことから、ほとんどすべての金属が Z₁ と高い相関があり、これら金属の Z₁ のスコアは総合的な汚染度を表わしている。

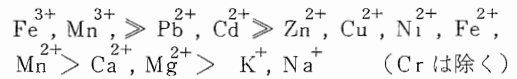
第2主成分 Z₂ は、主に土壌の性質を強く表わすものであった。

廃棄物から溶出する金属類が土壌に吸着される場合金属陽イオンが土壌に吸着される強さは、一般に、原子価の高いものは低いものより、また、同一原子価のイオン間では原子量の大きいものが小さいものより強い吸着力を示す。⁵⁾

廃棄物から溶出し移動拡散して土壌に吸着される金属の原子価は、通常、 $K^+, Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Fe^{3+}, Fe^{2+}, Mn^{3+}, Mn^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}, Ni^{2+}, Cd^{2+}, Pb^{2+}, Cr^{6+}, Cr^{3+}$ と考えられる。

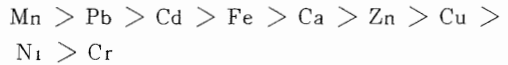
Fe・Mn は土壌中で安定すると Fe^{3+}, Mn^{3+} として吸着保持されるものと考えられる。また、Cr は、一般に、溶解してすぐに水和物などと錯体を形成しやすいので金属単体として土壌に吸着されない場合が多い。したがって、Cr の錯体は、金属単体とは電荷及び原子価を異にした形で土壌中を移動拡散し蓄積されるものと考えられる。

そこで、これら金属イオンの土壌吸着力を順番に列挙すると、



となる。

Z₂ の因子負荷量について、負の大きいものから順番に正の大きい方に列挙すると、



となり、Fe・Caを除く金属類は土壌の吸着力とはほぼ一致した。吸着力の強い金属は負を示し、弱いものは正を示した。これは、図7の相関関係と近似した。

また、因子負荷量の大きさと土壌吸着力の大きさが異なった Fe・Ca は、原子価や金属イオン濃度の違いさらには土壌の物理化学的性質の違いなどにより順位が異なったものと考えられる。さらに、この違いのもうひとつの大きな要因は、廃棄物の土壌への混入が大きな影響を与えていることである。

3・2・2 各主成分のスコア

各処分場ごとに Z₁・Z₂ のスコア値をまとめて図示すると、図8、9のようになる。

総合的な汚染度を示す Z₁ のスコアをみると、C社最終処分場がとりわけ高い濃度の金属類により汚染されていることが分かる。図5のC社処分場の採取地点断面図によると、覆土の全採取地点及び全層で多種多量の廃棄物の混入が認められており、廃棄物が覆土に直接影響を与えている可能性が高い。

また、心土より表土の方に多くの金属類が蓄積していた。これらは、土壌の性質を示す Z₂ のスコアからも明らかのように、表土と心土で覆土が明らかに異なっていたためである。このことは、表土が粘土質の金属蓄積性の高い土壌であり、心土は砂質の金属蓄積性の乏しい土壌であるという事実を示した図5からもよく分かる。

これらのことから、覆土中に廃棄物が多量に混入すると金属類が覆土に蓄積しやすいこと、さらに、廃棄物に近い部分に砂質土を用いた場合は、とりわけ表土に多くの金属類が蓄積しやすいことが判明した。

他の最終処分場の Z₁ スコアをみると、ほぼ似たような汚染度を示しているが、なかでもD社最終処分場のA・B・C地点が幾分汚染されていた。

Z₂ のスコア値をみると、A・B・C地点はD・E地点と若干異なった土壌であった。図6の断面図からも明らかのように、D地点は土壌が異なり、その他は同様な土壌に見えるが、A・B・C地点は廃棄物の混入

が多く、D・E地点は廃棄物の混入が少ないなど土壌の性質を異にしていた。廃棄物の混入の多いA・B・C地点が、幾分汚染されていたことから、やはり覆土中への廃棄物の混入は避けるべきである。

A社及びB社の処分場はZ₁スコアが低いことからあまり汚染されていないことが分かる。これら処分場の覆土は廃棄物の混入も少なく安定しており、しかも、B社の行っているポンド方式は環境汚染防止上、安全かつ安定した工法であると考えられる。

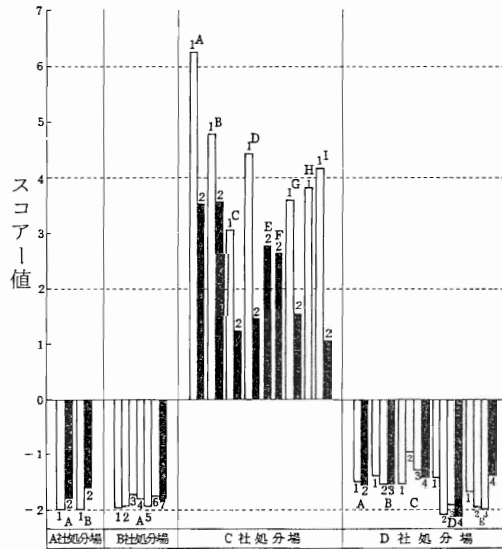


図8 Z₁ スコア（酸分解法）
（図中の記号は図3～6の試料採取地点名を、黒塗りの棒グラフは廃棄物と接しているか又は近傍の覆土を示す。）

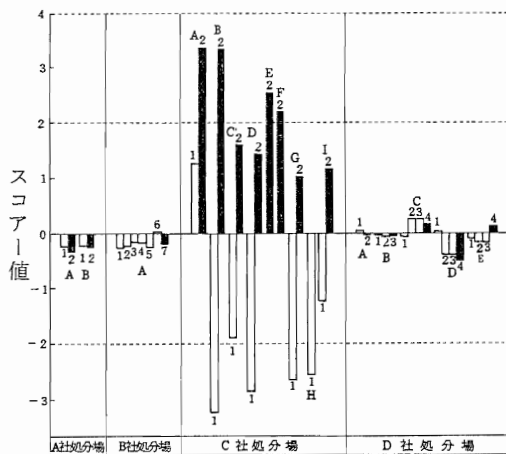


図9 Z₂ スコア（酸分解法）
（記号及び黒塗りの棒グラフは図8と同様である）

3・3 水溶出法による覆土中金属濃度

水溶出法における覆土の溶出液中の金属濃度を表6に示す。

すべての最終処分場で溶出されなかった金属は、Cdであった。また、一部最終処分場で検出されなかった金属は、C社のFe・Crであった。これは、C社の溶出液pH値がアルカリ性に傾いていたため、Fe・Crといった重金属類が溶出しにくくなったり、たとえ溶出しても溶出液中で再び不溶性物質を形成したためと考えられる。また、一般に塩類の溶出量が高く、重金属類の溶出量が低いことが目立った。

Naの変動係数は、他の金属に比べ処分場ごとでも総計でも低い値を示した。しかし、他の金属では処分場間で変動係数の差が大きかった。これは、溶出する金属化合物の形態や土壌中の金属マトリックスが処分場間で異っているためである。

3・3・1 主成分分析

覆土を水溶出した溶出液中の金属濃度から、特に土壌蓄積性の重金属汚染を主成分分析により求めることはかなり困難であると考えられる。3・1及び3・3の結果からも分かるように重金属類の溶出量がかなり低いこと、また、安定した抽出率が得にくいことなどにより、重金属について処分場間の差位や採取地点の違いを明確に比較することは難しいと考えられる。

そこで、3・2とは異なった観点より汚染度を主成分分析により求めることにした。

主成分分析を行うにあたり、変数として溶出量の多い金属を選択した。すなわち、移動拡散しやすい水可溶性金属による潜在的な土壌蓄積の汚染を推定しよう試みた。選択された金属は、K・Na・Ca・Mg・Mn・Zn・Niの7元素で、不検出データの多いCd・Fe・Cu・Ni・Pb・Crを除き主成分分析を行った。

これら7元素の相関係数を表7に示す。表7で求めた単相関の関係を図10にまとめると、Mgを中心に塩類と重金属類が結合した形となった。

この相関行列により主成分分析を行い、表8に固有値と累積寄与率を求めた。固有値をみると第1・第2主成分（Z₁・Z₂）までで累積寄与率が70%を示したので、Z₁・Z₂について解析し、その固有ベクトルと因子負荷量を表9に示した。

第1主成分Z₁の因子負荷量をみると、すべての金属が正を示し、最も高い因子負荷量の金属はMgで0.93

を示し、Zn・Kを除くすべての金属が0.7以上を示した。

表6 覆土溶出液中における金属濃度

処分場名		K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	Cr
A社	検体数 n	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	平均値 \bar{x}	2.08	6.83	11.3	4.75	10.8	0.065	0.048	0.063	0.023	不検出	0.028	0.015
	標準偏差 S.D.	0.62	0.50	0.50	0.47	4.04	0.045	0.021	0.013	0.005	—	0.017	0.006
	変動係数 C.V.	29.8	7.3	4.4	9.79	37.3	69.4	43.4	20.1	22.2	—	62.1	38.5
B社	検体数 n	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	平均値 \bar{x}	1.96	8.63	9.59	2.25	53.9	0.61	0.013	0.047	0.024	不検出	0.003	0.004
	標準偏差 S.D.	0.83	1.84	3.00	1.35	60.6	0.16	0.013	0.014	0.011	—	0.005	0.008
	変動係数 C.V.	42.1	21.4	31.3	60.0	11.2	26.3	97.5	29.3	46.7	—	17.1	18.4
C社	検体数 n	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	平均値 \bar{x}	10.1	68.0	193	49.5	不検出	4.92	0.009	0.035	0.030	不検出	0.005	不検出
	標準偏差 S.D.	7.49	45.6	118	55.9	—	15.3	0.015	0.023	0.018	—	0.005	—
	変動係数 C.V.	73.9	67.1	61.3	113	—	31.1	17.4	65.3	59.1	—	11.1	—
D社	検体数 n	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
	平均値 \bar{x}	1.12	11.3	10.0	4.43	18.3	0.28	0.015	0.098	0.012	不検出	0.018	0.008
	標準偏差 S.D.	0.56	6.72	6.74	2.15	30.4	0.37	0.033	0.15	0.020	—	0.019	0.023
	変動係数 C.V.	49.9	65.5	67.2	48.5	16.7	13.3	21.7	15.3	16.1	—	10.5	30.5
総計	検体数 n	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
	平均値 \bar{x}	4.49	29.8	73.8	19.8	17.0	1.93	0.016	0.064	0.021	不検出	0.012	0.005
	標準偏差 S.D.	5.97	38.4	110	38.6	34.4	8.99	0.025	0.097	0.018	—	0.015	0.015
	変動係数 C.V.	133	52.1	14.9	19.5	20.2	46.6	16.3	15.1	84.7	—	13.0	29.9

注) 平均値の単位は、 mg/l 。C.V.は%。

表7 溶出液中金属類の相関係数

	K	Na	Ca	Mg	Mn	Zn	Ni
K	1						
Na	0.63	1					
Ca	(0.26)	0.57	1				
Mg	(0.07)	0.67	0.75	1			
Mn	(-0.02)	(0.38)	(0.39)	0.83	1		
Zn	(-0.17)	(-0.15)	(-0.15)	(-0.05)	(0.03)	1	
Ni	(0.19)	(0.38)	(0.38)	0.57	0.59	0.50	1

注) 相関係数が0.5未満のものは()で表示した。

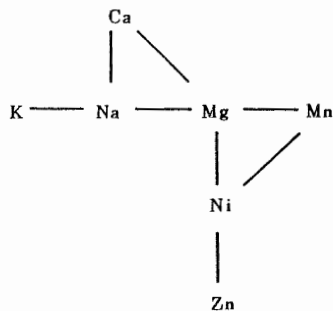


図10 金属類の相関関係 (水溶出法)

表8 固有値と累積寄与率 (水溶出法)

主成分	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅
固有値	3.33	1.57	1.10	0.53	0.30
累積寄与率	0.48	0.70	0.86	0.93	0.98

表9 固有ベクトルと因子負荷量 (水溶出法)

金属名	第1主成分Z ₁		第2主成分Z ₂	
	固有値	因子負荷量	固有値	因子負荷量
K	0.21	0.38	0.48	0.61
Na	0.44	0.80	0.33	0.41
Ca	0.43	0.78	0.16	0.20
Mg	0.51	0.93	-0.08	-0.10
Mn	0.42	0.76	-0.26	-0.33
Zn	0.006	0.01	-0.63	-0.79
Ni	0.39	0.71	-0.40	-0.51

このことから、Z₁はMgを中心としたNa・Ca・Mn・Ni、さらに因子負荷量の低いK・Znによる総合的な汚染を表わすものと考えられる。

第2主成分Z₂の因子負荷量をみると、Zn・Ni・Mnといった重金属類は負を示し、K・Na・Caなどの塩類は正を示した。同じ塩類のMgは負を示したが、因子負荷量はかなり低かった。

このことから、Z₂は溶出性の違いを示しているものと考えられる。

3・3・2 各主成分のスコア

各処分場ごとにZ₁・Z₂のスコア値を図示すると、図11・12のようになる。

水溶出液が、塩類や一部の重金属によりどの程度汚染されているか検討した。詳細にみると図8・9の酸分解法と大分異なるが、大局的にはほぼ酸分解法と近似したグラフとなった。

水溶出法は、内容的には酸分解法のように重金属類による汚染を直接的に示すものではないが、主に可溶性塩類と一部の可溶性重金属類による汚染であることはまちがいない。

このように、酸分解法と水溶出法が近似することから、可溶性塩類が高濃度に土壌に蓄積している場合は、重金属類の汚染も予想されるため十分に注意を払わねばならない。

図12におけるZ₂の負の領域は主に重金属による汚染を、正の領域は塩類による汚染を示している。A社及びB社のように汚染度の少ない処分場は重金属類の汚染が、汚染度の大きいC社及びD社の処分場は塩類による汚染が、表わされていた。しかし、塩類汚染の大きいC社及びD社は、グラフの変動が大きく十分な解析はできなかった。

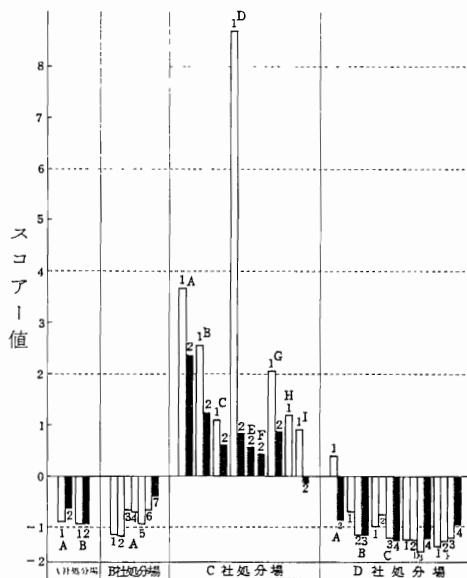


図11 Z₁ スコア（水溶出法）

（記号及び黒塗りの棒グラフは図8と同様である）

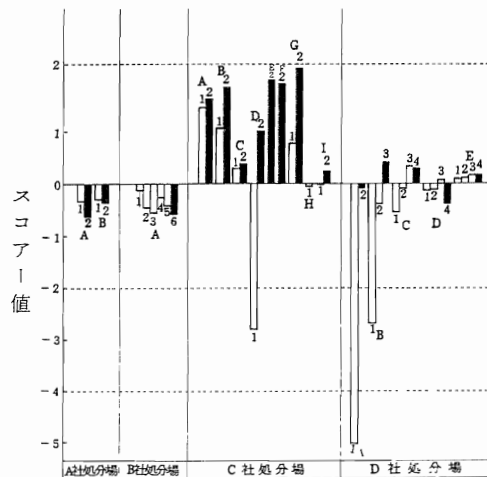


図12 Z₂ スコア（水溶出法）

（記号及び黒塗りの棒グラフは図8と同様である）

4 まとめ

産業廃棄物最終処分場の覆土の汚染状況を調査するため、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」に基づく環境庁告示第13号による水溶出法と前報で用いた酸分解法を用いて、覆土中の重金属汚染が把握できるかどうか検討を行った。

調査した産業廃棄物の最終処分場は、県内4か所の管理型処分場で、その覆土中の金属汚染状況を主成分分析により求めた。

水溶出法と酸分解法を比較した結果、下記のことが判明した。

- (1) 酸分解法が土壌蓄積性の金属類をほぼ全量抽出しうるものと仮定し、これを全量値とみなして水溶出される金属類の溶出率を求めた。その結果、Naだけは他の金属と比べ、溶出率が高く変動係数が低かったものの、他の金属の場合は変動係数が大きく、安定した溶出率が得にくいことが判明した。これは、同一処分場内でも可溶性の金属化合物の形態が異なることや金属と土壌との物理化学的反応機構（吸着など）が異なるためと考えられる。さらに、水溶出法では一般に塩類濃度が高く、また、溶出液pH値がアルカリ性に傾いている場合は特に重金属類が溶出しにくくなっていることが判明した。
- (2) 酸分解法と水溶出法における金属濃度から主成分分析を行った結果、酸分解法により蓄積性の重金属汚染を解明することができたが、水溶出法では重金属類の溶出量が低い、又は不検出データが多いため重金属汚染の解明が困難であった。

そこで、水溶出法で溶出量の多い塩類 (K・Na・Ca・Mg) と一部の重金属類 (Zn・Mn・Ni) により解析を行った結果、第1主成分Z₁のスコアのグラフが酸分解法のZ₁スコアのグラフと近似した。

水溶出法におけるZ₁スコアは、あくまで塩類と一部の重金属類による溶出性の汚染が主であり、蓄積性の重金属汚染を表わすものではない。

しかし、Z₁のグラフが酸分解法と水溶出法で近似することは、可溶性塩類が土壌蓄積するとともに重金属類をも蓄積している可能性を示唆するものである。

文 献

- 1 小野雄策ら；環境汚染調査における金属抽出法に関する研究（第1報），埼玉県公害センター年報，12，163（1985）
- 2 「産業廃棄物に含まれる金属類の検定方法」（昭和48年2月，環境庁告示第13号）
- 3 小林進ら；埋立における下水汚泥金属組成の年間推移，第34回廃棄物処理対策全国協議会全国大会講演集，109（1983）
- 4 石井宮次ら；産業廃棄物溶出試験法の検討，水処理技術，17，201（1976）
- 5 小西千賀三，高橋治助編；土壌肥科学講座2（10版），pp34-45，朝倉書店（1970）