

最終処分場浸出水等の適正管理に向けた水質特性の把握

小口文子^{1, 2}・北原清志¹・酒井文雄¹

県内の一般廃棄物最終処分場及び産業廃棄物最終処分場において実施している水質等実態調査で得られた浸出水及び浸透水の水質データを先行研究による水質評価手法¹⁾を参考に統計解析した結果、6つのグループに分類できた。それらのグループに属する施設には最終処分場の型や埋立物に共通の特徴がみられた。さらに、浸透水、放流水の基準値超過がみられる施設や浸出水の汚濁負荷が高い施設は特定のグループに属した。また、グループにより電気伝導率と高い相関がみられる項目が異なっていた。グループの特徴に応じ、経年データと併せてみることによって適正な維持管理への活用が期待される。

キーワード：廃棄物最終処分場、浸出水、浸透水、飛灰処理物、電気伝導率、COD、BOD

1 はじめに

廃棄物最終処分場における維持管理基準の遵守状況を確認し、廃棄物行政の監視、指導の基礎データを得ることを目的に、県内最終処分場の雨水等が埋立地の廃棄物層に浸透して発生する浸出水、浸透水（安定型産業廃棄物処分場の場合）、これらを水処理施設で処理した放流水及び周辺地下水等を対象とした「廃棄物最終処分場水質等実態調査」（以下、実態調査）を一般廃棄物最終処分場では1991年度から、産業廃棄物最終処分場では1987年度から毎年一定の施設を選定した上で継続して実施し、全県網羅的に把握している。

本研究では、実態調査で得られた一般廃棄物最終処分場及び産業廃棄物最終処分場の浸出水及び浸透水の水質データを統計解析し、水質特性に応じて最終処分場を分類した。さらに、最終処分場の型（一般廃棄物、産業廃棄物（安定型・管理型）、埋立物や水質基準適合状況と照らし合わせ、水質特性との関連性の把握を試みた。

その結果、今後の適正な維持管理に向けて、留意すべき施設群や水質項目などについての知見が得られたので報告する。

2 調査方法

2.1 調査対象施設

統計解析の対象とした施設の概要を表1に、詳細

を表1-1、表1-2に示す。施設を分類するにあたっては、2012年度から2021年度に実態調査を実施した施設のうち、一般廃棄物最終処分場（以下、一廃処分場）22施設、産業廃棄物最終処分場（以下、産廃処分場）21施設、計43施設における直近の調査3回分の浸出水及び浸透水（以下、浸出水等）129試料の水質データを用いた。

2.2 測定項目と測定方法

測定項目は「一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める省令」（以下、基準省令）において定められている基準項目のほか、電気伝導率(EC)、無機イオン成分(Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻)を合わせた50項目とし、測定方法はJIS K 0102に準拠した。

表1 調査対象施設の概要
(2012年度～2021年度調査分)

対象とした施設	主な埋立物	施設数	試料数 (直近3回分)
一般廃棄物 最終処分場	不燃ごみ、破碎ごみ・処理残渣等	5	15
	焼却残渣(主灰のみ)+不燃ごみ、破碎ごみ・処理残渣等	4	12
	焼却残渣(飛灰含む)	3	9
	焼却残渣(飛灰含む)+不燃ごみ、破碎ごみ・処理残渣等	10	30
安定型産業廃棄物 最終処分場	安定型品目	16	48
管理型産業廃棄物 最終処分場	管理型品目	5	15
合計		43	129

1 長野県環境保全研究所 循環型社会部 〒380-0944 長野市安茂里米村 1978

2 現：長野県環境保全研究所 企画総務部 〒380-0944 長野市安茂里米村 1978

表1-1 調査対象施設の詳細
(一般廃棄物最終処分場 22施設)

施設名	埋立物					埋立容量 (m ³)	埋立開始から採水までの期間(年) (埋立終了:□)			埋立終了年
	焼却残渣 飛灰固化物	溶融 スラグ	不燃 ごみ	破砕ごみ・処理 残渣	粗大 ごみ 他		埋立	埋立		
								1回目	2回目	
A				○		140,000	26	27	28	2017
B			○			21,000	39	40	41	
C			○		○	82,000	31	32	34	2019
D			○			140,000	14	15	16	
E			○			14,000	20	23	26	
F	○		○			21,000	14	19	22	
G	○		○			23,000	18	21	24	
H	○			○		7,400	15	19	22	
I	○	○	○			3,200	12	16	20	
J	○					72,000	26	27	28	
K	○	○				38,000	20	20	22	2017
L	○	○				22,000	5	6	10	
M	○	○	○			740,000	26	28	31	
N	○	○		○		34,000	25	25	27	
O	○	○		○		26,000	22	24	24	
P	○	○		○		23,000	21	22	25	
Q	○	○		○		53,000	18	21	24	
R	○	○	○			61,000	19	20	21	
S	○	○	○			1,800	12	15	16	2017
T	○	○	○			85,000	11	15	17	
U	○			○		42,000	9	13	15	
V	○	○	○		○	100,000	4	7	10	

表1-2 調査対象施設の詳細
(産業廃棄物最終処分場 21施設)

施設名	埋立物						埋立容量 (m ³)	埋立開始から採水までの期間(年) (埋立終了:□)			埋立終了年
	安定型品目			管理型品目				埋立	埋立		
	廃プラ	ゴムくず	金属くず	ガラ陶器くず	がれき類	品目			1回目	2回目	
a	○	○	○	○	○	○	320,000	23	24	25	2004
b	○	○	○	○	○	○	500,000	21	22	23	2008
c						○	5,900	23	24	25	2007
d	○	○	○	○	○	○	100,000	11	11	12	
e				○	○	○	680,000	19	21	23	
f	○	○	○	○	○	○	370,000	30	32	33	2000
g	○	○	○	○	○	○	130,000	20	22	25	2004
h				○	○	○	15,000	21	22	23	
i	○			○	○	○	35,000	21	22	23	2012
j	○			○	○	○	40,000	27	28	29	
k	○	○	○	○	○	○	67,000	25	28	31	
l	○	○	○	○	○	○	95,000	24	28	30	
m	○	○	○	○	○	○	79,000	27	31	33	
n	○		○	○	○	○	21,000	29	32	35	
o	○	○	○	○	○	○	63,000	35	38	41	
p	○	○	○	○	○	○	120,000	36	37	38	
q	○	○	○	○	○	○	53,000	30	32	34	
r				○	○	○	16,000	20	22	24	
s	○	○	○	○	○	○	47,000	18	21	23	2011
t				○			50,000	20	22	24	
u	○	○	○	○	○	○	330,000	26	27	28	

2.3 浸出水等の水質の特徴による処分場の分類

処分場を浸出水等の水質の特徴により分類するため、有機成分指標として COD, BOD 等の項目を、無機成分指標として Na⁺, K⁺等のイオン成分項目を選択し、主成分分析を実施した。さらに、各データとの関連性を示す固有値(各主成分が含む情報の大きさ)が1以上になった(元の変数1個分以上の情報を持つ成分)第1主成分及び第2主成分から得た主成分得点を用いて階層的クラスター分析(凝集法)を行い、浸出水等をグループに分類した。統計解析は、エクセル統計(株式会社社会情報サービス)を用いて行った。解析上、測定値が報告下限値未満である場合は、報告下限値の半値として扱った。なお、これらの解析は長森ら¹⁾、平川ら²⁾の水質評価手法を参考にした。

3 結果及び考察

3.1 浸出水等の水質の特徴による処分場の分類

浸出水等の水質データについて、処分場の型によって各項目の濃度範囲や EC 値への寄与率が異なることが予測されたため、処分場を一廃処分場、安定型産廃処分場、管理型産廃処分場に於いて、測定項目間の相関係数を求めた。確認した相関のうち、無機成分項目を代表して EC と相関係数が高い項目を、有機成分項目を代表して COD と相関係数が高い項目を表2に示す。すべての処分場の型で、EC 値及

表2 処分場の型による項目間の相関係数(抜粋)

【EC値との相関】 : p<0.01

測定項目	一廃処分場	安定型産廃処分場	管理型産廃処分場
COD	0.49	0.54	0.99
BOD	0.04	0.23	0.96
T-N	0.13	0.44	0.96
NH4-N	0.06	0.54	0.94
Na ⁺	0.98	0.82	1.00
K ⁺	0.98	0.46	0.98
Ca ²⁺	0.93	0.83	0.88
Cl ⁻	0.99	0.69	1.00
SO ₄ ²⁻	0.08	0.70	-0.60

【COD値との相関】

測定項目	一廃処分場	安定型産廃処分場	管理型産廃処分場
BOD	0.50	0.38	0.93
T-N	0.82	0.55	0.96
NH4-N	0.56	0.80	0.95
Na ⁺	0.43	0.71	0.98
K ⁺	0.47	0.60	0.96
Ca ²⁺	0.55	0.26	0.89
Cl ⁻	0.47	0.35	0.99
SO ₄ ²⁻	0.09	0.11	-0.61
EC	0.49	0.54	0.99

び SO_4^{2-} 以外の無機成分項目間と、COD 及び有機成分項目間で有意な相関 ($p<0.01$) がみられた。よって、有機成分指標として COD, BOD, T-N 及び $\text{NH}_4\text{-N}$ を、また、無機成分指標として Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- 及び EC を用いることとし、これらの指標により主成分分析を行った。その結果、第1主成分(寄与率75%)と第2主成分(寄与率12%)の累積寄与率が87%となり、この2つの主成分を用いて評価することとした。

なお、安定型産廃処分場では EC 値と SO_4^{2-} に関しても 0.70 と高い相関がみられ、処分場の型による特徴を反映すると考えられるため、項目ごとの濃度について解析する際は SO_4^{2-} も併せて解析することとした。

第1主成分と第2主成分の固有ベクトルを図1に示す。第1主成分は全ての項目が正の値を示したことから、浸出水中の有機成分及び無機成分の変数が総合的に関係している汚濁の総量を表していると考えられる。第2主成分は有機成分が負の値を示し、無機成分は正の値を示していることから、有機成分と無機成分が浸出水へ溶出する際のバランスを表している指標と考えられる^{1),2)}。これらの結果は、長

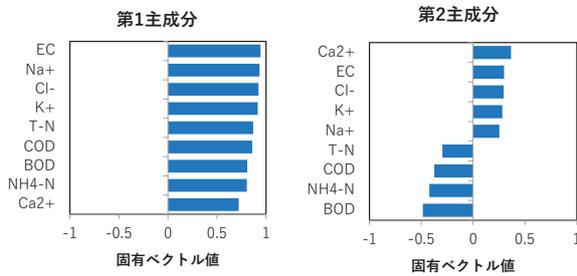


図1 主成分による固有ベクトル

森ら¹⁾による一廃処分場の浸出水の調査結果及び平川ら²⁾による処分場関連水の調査結果と比較して解析に用いた指標項目はいくつか異なるが、ほぼ同様の結果であった。

次に水質による浸出水等の分類を行うため、第1主成分得点と第2主成分得点を用いて階層的クラスター分析(凝集法)を行った。その結果、図2に示す6つのグループに分けられた。また、各グループの項目別測定結果平均値を図3に示す。これらの図から、各グループの水質の特徴が無機成分指標及び有機成分指標のグラフのパターンとして読み取れる。各グループの水質の特徴を表3に示す。第1主成分で表される汚濁総量はグループVIが一番高く、IV, V及びII, IIIと続き、Iが最も低くなっていた。グループIII, Vは、グループ内の一廃処分場と産廃処分場で無機成分指標を中心に水質の特徴が異なったため、IIIをIII-1(一廃処分場)、III-2(産廃処分場)、同

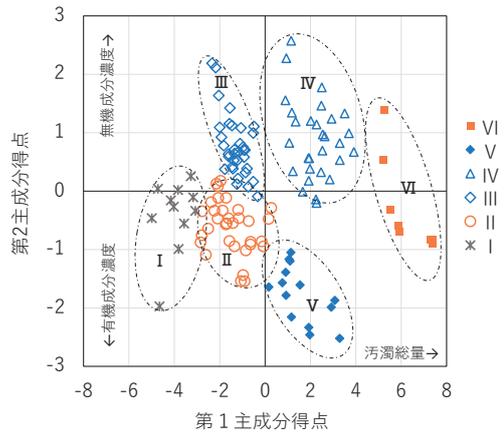


図2 主成分分析得点とクラスター分析によるグループ分類

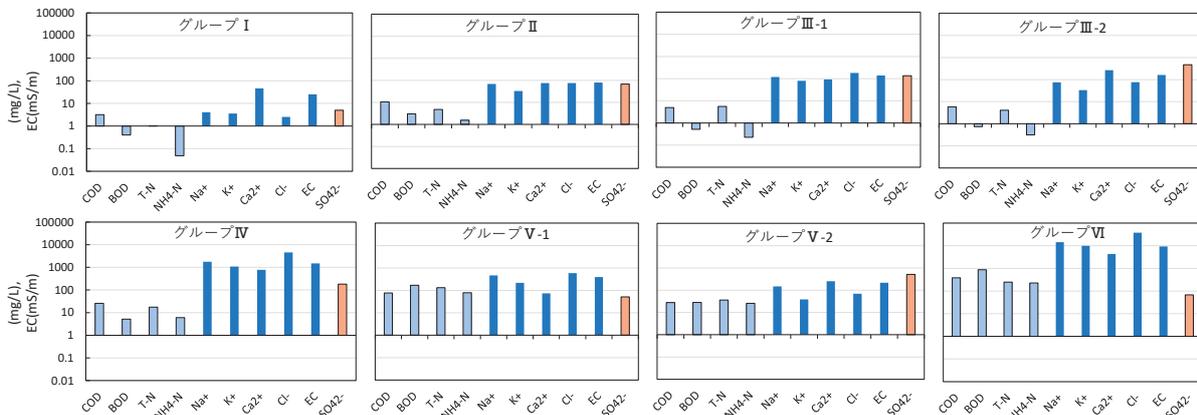
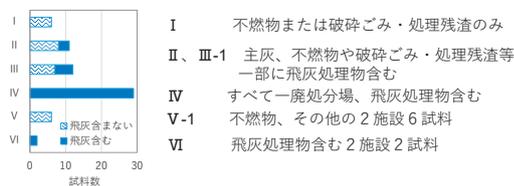


図3 対象試料全体と各グループの項目別測定結果平均値(グラフは対数目盛表示)

表3 各グループの特徴

グループ	第1主成分 得点 (平均)	第2主成分 得点 (平均)	水質の特徴
I	-3.93	-0.41	有機成分、無機成分とも最も低い
II	-1.49	-0.61	全体の濃度レベルが低めであり、グループIとIIIの間
III-1	-1.17	0.82	濃度レベルの低い無機成分溶出型
-2	-1.35	0.73	(III-2はSO ₄ ²⁻ とCa ²⁺ の濃度が高い)
IV	2.23	0.89	濃度レベルの高い無機成分溶出型
V-1	2.35	-2.16	有機成分溶出型 (V-1はBOD濃度が高い)
-2	0.98	-1.47	(V-2はSO ₄ ²⁻ とCa ²⁺ の濃度が高い)
VI	6.23	-0.28	有機・無機両成分溶出型、最も濃度レベル高い

一般廃棄物最終処分場



産業廃棄物最終処分場

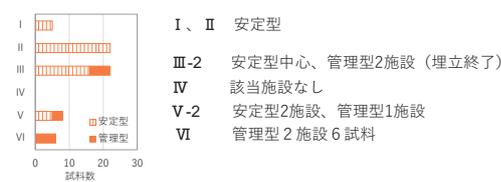


図4 各グループの試料数と処分場の型、埋立物

様にVをV-1, V-2に分けて検討した。

次に各グループの試料数とそれらが由来する処分場の型や埋立物を図4に示す。グループ別の埋立物は、一廃処分場ではグループIは不燃ごみまたは破碎ごみ・処理残渣であった。グループII, IIIは主灰、不燃ごみ及び破碎ごみ・処理残渣であり、一部で飛灰処理物が含まれていた。グループIVは一廃処分場のみで、全てが飛灰処理物を含んでおり、無機成分指標の濃度が高いことと対応していた(図3)。

グループVは主に不燃ごみ等の他、燃やせないごみとして可燃ごみ(生ごみや廃プラスチック等)を含む2施設が属していた。

産廃処分場では安定型の埋立物は安定5品目とされているところが多く、それらの埋立割合もほとんど不明であったため、安定型、管理型の別のみで示した。全体としては、安定型は21施設中16施設と多かった。グループI, IIではすべて安定型であり、グループIIIでは安定型と埋立を終了した管理型2施設が属していた。グループVには安定型2施設と管理型1施設が属していた。グループVIは管理型のみ2施設が属していた。

3.2 浸出水等の水質基準適合状況

3.2.1 各グループと基準適合状況の概要

各グループにおける浸出水、浸透水等の水質基準適合状況(同時に採取した放流水、周辺地下水の状況

表4 各グループにおける浸出水、浸透水等の水質基準適合状況(同時に採取した放流水、周辺地下水の状況を併記)

グループ	一廃処分場					産廃処分場					
	施設数	施設内訳*	浸出水が放流水の基準値<	放流水の基準値不適合	周辺地下水の基準値不適合	施設数	施設内訳*	安定型		管理型	
								浸透水の基準値不適合	浸出水が放流水の基準値<	放流水の基準値不適合	周辺地下水の基準値不適合
I	2	A,B	0	0	0	安定型 2	i,l	0	-	-	-
II	6	F,J,H, I,O,S	4/2 [pH]	1/1 [pH]	0	安定型 10	f,g,h,k,l, n,o,q,r,u	0	-	-	5/2 [Pb, NO3-N]
III	6	E,G,I,O, Q,S	2/1 [pH]	0	0	安定型 6	j,m,n,s,t,u	3/1 [Se]	-	-	6/3 [NO3-N, B, Pb, As]
						管理型 2	a,c	-	0	0	0
IV	11	J,K,L,M, N,P,Q,R, T,U,V	12/4 [pH, COD, SS, Pb]	0	0	-	-	-	-	-	-
V	2	C,D	7/2 [BOD, COD, SS]	0	0	安定型 2	g,p	3/2 [BOD, COD]	-	-	0
						管理型 1	d	-	1/1 [BOD]	0	0
VI	2	N,U	3/2 [COD, SS, Cd]	0	1/1 [Cd]	管理型 2	b,e	-	[pH, BOD, COD, フェノール、D-Fe]	0	1/1 [1,4-ジチソ]

*表1の施設名と対応

況を併記)を表4に示す。施設によっては複数のグループに跨るものがあったがそのままそれぞれのグループの施設数として数えた。放流水や浸透水の水質基準適合状況を見ると、グループI~IIIに属する施設では、一廃処分場1施設の放流水のpHと安定型産廃処分場1施設の浸透水のセレンの他は、基準超過はみられなかった。

一方、グループIV~VIについては、浸透水でBOD及びCODの基準超過が3件みられた。

また、一廃処分場や管理型処分場の浸出水はただちに放流水基準は適用されないが、廃止を想定して放流水基準を上回った項目は、グループI~VI全体ではpH(放流水基準pH8.6)で18件あった。グループIV~VIではBOD(10件)、COD(10件)、SS(4件)、フェノール(3件)、溶解性鉄(1件)、鉛(1件)及びカドミウム(1件)が放流水基準を上回った。これらのグループの分類は適正な維持管理を指導していくための基礎データとして、参考になると考えられる。

以下にグループ分けと検出項目との特徴的な関係を示す。

3.2.2 pHとの関係

pH基準超過のグループの内訳をみると、グループII、III-1、IV及びVIの一廃処分場や管理型産廃処分場の浸出水であり、飛灰処理物またはばいじんを埋立物に含む処分場であった。

3.2.3 ホウ素及び1,4-ジオキサン濃度との関係

ホウ素及び1,4-ジオキサンはグループごとの分布に特徴がみられた。各グループにおける浸出水等のホウ素と1,4-ジオキサンの濃度分布を図5に示す。

ホウ素はグループIII-2及びV-2で数mg/Lから最高18mg/L検出され、ばらつきが大きかった。これ

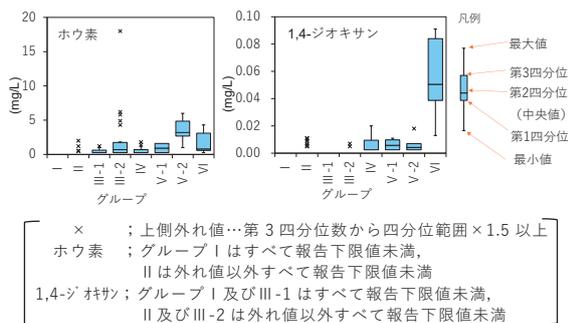


図5 ホウ素と1,4-ジオキサンの濃度分布

は貴田らの報告³⁾のホウ素濃度が一廃処分場の浸出水で数mg/L程度とばらつきが小さく、安定型及び管理型産廃処分場浸出水で最高20mg/L前後とばらつきが大きかったとする傾向と一致していた。

1,4-ジオキサンは、グループVIの産廃管理型処分場では0.05~0.10mg/L程度検出された。

また、周辺地下水の検査結果について、地下水環境基準との適合状況を併せて比較した結果(表4)、一廃処分場ではカドミウムの地下水等検査項目の基準超過(1件)があった。また、産廃処分場では鉛(3件)、ヒ素(2件)及び1,4-ジオキサン(1件)の地下水等検査項目の基準超過、並びに硝酸性窒素(5件)及びホウ素(1件)の地下水環境基準超過があった。基準超過原因が明確になっていないものもあるが、このうち、周辺地下水のホウ素が環境基準1.0mg/Lを超えた施設はグループIII-2の産廃安定型処分場(m処分場)であった。また、1,4-ジオキサンが地下水等検査項目の基準0.05mg/Lを超えた施設はグループVIの産廃管理型処分場(b処分場)であり、浸出水等でも比較的高濃度でこれらの物質が検出されていた。ホウ素は陰イオンとしてふるまうため、廃棄物や土壤に吸着しにくくホウ酸として安定して存在する。このためホウ素は生物処理や凝集沈殿処理など、通常の水処理では除去が困難な物質である³⁾。また、1,4-ジオキサンは難分解性で水溶性も有していることから廃棄物層内から移動しやすく、同様に、通常の水処理では除去が困難な物質である⁴⁾。これらが高濃度で検出されやすいグループでは、周辺地下水の水質測定結果と合わせて今後も注視していく必要があると考えられる。

3.2.4 電気伝導率との関係

各グループのECと、有機成分項目、無機成分項目との相関を表5に示す。すべてのグループで複数の無機成分項目との相関がみられた。グループV-1

表5 グループごとのEC値及び各項目の相関

項目	I	II	III-1	III-2	IV	V-1	V-2	VI
COD	0.21	0.21	0.04	-0.23	0.47	0.81	0.30	0.75
BOD	-0.46	0.27	0.47	0.04	0.50	0.66	0.16	0.88
T-N	0.42	0.47	-0.18	-0.28	0.46	0.84	0.10	0.52
NH ₄ -N	0.62	0.11	0.01	0.03	0.15	-0.16	0.45	0.46
Na ⁺	-0.19	0.95	0.88	0.07	0.83	1.00	0.58	0.99
K ⁺	0.91	0.88	0.88	0.23	0.94	1.00	0.83	0.99
Ca ²⁺	0.98	-0.02	0.22	0.68	0.85	0.44	0.76	0.07
Cl ⁻	-0.08	0.94	0.67	0.19	0.99	1.00	0.79	1.00
SO ₄ ²⁻	すべて下限値未満	0.29	0.15	0.68	-0.15	0.98	0.65	-0.54
(n)	(11)	(33)	(12)	(22)	(29)	(6)	(8)	(8)

□ : p<0.01

及びVIでは、無機成分項目ほど明確でないが COD や BOD などの有機成分項目とも正の相関がみられた。また、グループIII-2及びV-2では SO_4^{2-} 及び Ca^{2+} との相関が 0.65~0.76 と比較的高いのが特徴的であった。両グループにおける SO_4^{2-} 及び Ca^{2+} の濃度は数百から 1000mg/L オーダーであった(図3)。これらは、過去に埋めたてられた廃石膏ボードに起因する可能性が考えられた。複数の成分と相関が高い EC は、測定が簡便であり、維持管理・モニタリングに有効な手段であると考えられる。

3.2.5 鉛濃度と埋立年数、pH 及び EC との関係

浸出水等における鉛濃度と埋立年数、pH 及び EC の関係を図6に示す。埋立年数による解析のため対象とした43施設において2000年度から2021年度に採取した浸出水等のすべての水質データを用いた。

埋立開始から数年の間に放流水の基準前後の濃度の鉛の溶出がみられたL処分場及び比較的濃度が高かったU処分場は飛灰処理物を埋め立てている一廃処分場であり、グループIVに該当する。共にECがおおむね1,000mS/m以上、pHがLの測定時の一部とUすべての測定時でpH10以上であった。埋立年数との関係を見ると20年以上の試料ではN処分場の1試料を除き、0.01mg/L未満(放流水の基準は0.1mg/L、浸透水、周辺地下水の基準は0.01mg/L)であった。なお、Nは埋立から25年経過していたが、EC値は例年の約5倍で11,000mS/m、鉛は0.097mg/L、カドミウムも0.16mg/L検出されていた。Nではこのとき、掘り返して地域外の民間処分場へ搬出中であり、埋立地内の環境が変化していたと考えられる。長森らによる一般廃棄物最終処分場浸出水のEC値と重金属類濃度の解析では、EC値の

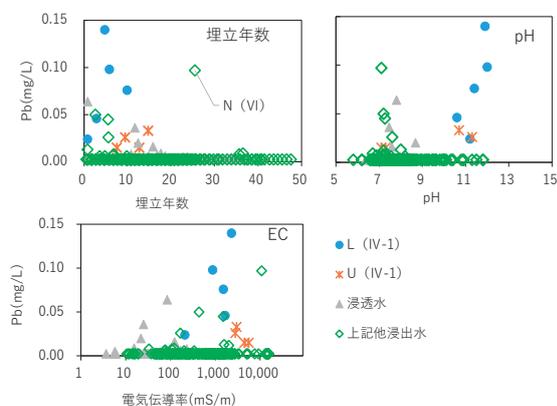


図6 浸出水及び浸透水における鉛濃度と埋立年数、pH及びEC

変化によってこれらの高濃度溶出が推測されること、また、飛灰処理物の埋立に関しては鉛の再溶出が懸念されていることからEC値に注意する必要があることが示唆されている¹⁾。当県でもL、U及びNのような飛灰処理物を埋め立てている一廃処分場ではこれと類似した傾向を示した。特にNではEC値の急増に伴って鉛とカドミウムが検出されており、現場でのECやpHの測定と経年データから異常等を検知するなど、維持管理への活用が期待される。

4 まとめ

県内の廃棄物最終処分場の水質等実態調査で得られた浸出水等の水質データを統計解析し、6つのグループに分類した。さらに、処分場の型、埋立物や水質基準超過状況と照らし合わせ、水質特性の把握を試み、今後の適正管理に向けたモニタリングへの活用について考察した。以下に得られた知見を示す。

- (1) 各グループに属する施設には処分場のタイプや埋立物に共通の特徴がみられ、浸透水、放流水における基準超過がみられる施設や、浸出水における汚濁負荷が高い施設が属するグループがあるなど、いくつかの特徴的な傾向がみられた。
- (2) pH基準超過がある処分場には飛灰処理物またはばいじんを埋立物に含む特定のグループがあった。
- (3) ホウ素及び1,4-ジオキサン濃度が高い特定のグループがあった。浸出水等で比較的濃度が高かった事例は、原因が明確ではないが、同時に採取した周辺地下水でホウ素や1,4-ジオキサンの濃度が地下水等検査項目の基準や環境基準を超過した。いずれも通常の水処理では除去が困難な物質であることから今後も注視していく必要があると考えられた。
- (4) 電気伝導率(EC)は処分場のグループにより、高い相関がみられる項目が異なっていた。相関が高い傾向の成分については、モニタリングのために簡便なECの測定を活用していくのは有効な手段であると考えられた。

文献

- 1) 長森正尚・小野雄策・河村清史・山田正人・小野芳朗(2007) 浸出水質による一般廃棄物最終

- 処分場の評価—その類型化とEC測定の有用性—, 廃棄物学会論文誌, 18 (5) : 325-334
- 2) 平川周作・志水信弘・堀 就英・鳥羽峰樹 (2017) 有機物指標と無機イオン成分を用いた廃棄物最終処分場関連水の特性評価, 環境化学, 27 (2) : 23-28
- 3) 貴田晶子・野馬幸生・山根早百合 (1999) 廃棄物最終処分場浸出水中のホウ素濃度について, 広島県保健環境センター研究報告, 7 : 15-19
- 4) 環境省 : 1,4-ジオキサンの処理技術に関する状況(中央環境審議会水環境部会 排水規制等専門委員会(第4回) 資料7), <https://www.env.go.jp/council/09water/y0912-04/mat07.pdf> (2023年1月確認)

Comparison and evaluation of leachate quality for appropriate management of landfill sites

Fumiko OGUCHI^{1, 2}, Kiyoshi KITAHARA¹ and Fumio SAKAI¹

1 Recycling Society Division, Nagano Environmental Conservation Research Institute, 1978 Komemura, Amori, Nagano 380-0944, Japan

2 Present address : General Affairs and Research Planning Division, Nagano Environmental Conservation Research Institute, 1978 Komemura, Amori, Nagano 380-0944, Japan