異なる形式の廃棄物処分場の浸出水中の 微量有機成分の計測とその浸出水処理過程での挙動

山田 和哉* 浦瀬 太郎**
松尾 友矩* 鈴木 規之***

Constituents of Organic Pollutants in Leachates from Different Types of
Landfill Sites and Their Fate in the Treatment Processes

Kazuya YAMADA*, Taro URASE**
Tomonori MATSUO*, Noriyuki SUZUKI***

* Dept. of Environmental Engineering, Univ. of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656 Japan

** Environmental Science Center, Univ. of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033 Japan

*** Environmental System Div., Kanazawa Inst. of Technol., 7-1, Ohgigaoka, Nonoichi-cho, Ishikawa-gun, Ishikawa 921-8501 Japan

Abstract

Constituents of organic pollutants in leachates from different types of landfill sites were measured by gas chromatograph – mass spectrometry (GC/MS). The leachates contained various volatile and semi-volatile compounds, some of which were regarded as endocrine disrupting chemicals. The leachate from a site filled with more plastic waste contained more micropollutants such as plastic additives than the leachate from a site filled mainly with incinerator ash waste. These micropollutants were decreased in their concentrations along the treatment processes of the leachates. Leachates from least controlled sites where only non hazardous industrial wastes can be dumped legally also contained micropollutants. The changes in the concentration along with the age of the sites were explained by water – octanol partitioning coefficient.

Key words : landfill leachates, plastic additives, endocrine disrupting chemicals, organic pollutants

1. はじめに

廃棄物処分場において生じる浸出水による環境影響の懸念は、処分場立地を困難にする大きな原因となっている。わが国では廃棄物処分場の多くが山間部に位置することから、浸出水によって水源が汚染され、ヒトの健康にまで影響が及ぶ可能性も否定できない。

ダイオキシン問題に続いて、内分泌攪乱化学物質問題が新たな環境問題として認識されるようになり、ここ数年の間にも微量汚染化学物質による環境問題をめぐる動きが活発になっている。現在、60種類以上の物質が内分泌攪乱化学物質として認められているが¹⁾、その中にはプラスチックの可塑剤であるフタル酸エステル類や樹脂原料、酸化防止剤に使われるビスフェノールAなど、浸出水中から検出されたという報告例²⁾が数多く見られる物質も含まれている。

産業の発展に伴い、人間活動において生産、消費、そして廃棄される化学物質が量、種類とも飛躍的に増加している一方で、浸出水中に含まれる有害物質については極めて情報が少ない。浸出水中に含まれる微量汚染物質の同定・定量とその水環境中での適切な管理は、重要な課題であると考えられる。

そこで本研究では、これらの物質をはじめとする浸出水中の微量有機汚染物質を同定・定量し、処分場種類との関係、排水処理過程における消長、埋立年数の経過にともなう消長を明らかにすることを目的として研究を行った。

2. 調査地点の概要

試料を採取した7つの廃棄物処分場の概要を Table 1 に示す。処分場種類の内訳は、管理型の一般廃棄物処分場2カ所（処分場A、D）、管理型の産業廃棄物

* 東京大学工学系研究科都市工学専攻 〒113-8656 文京区本郷 7-3-1

** 東京大学環境安全研究センター 〒113-0033 文京区本郷 7-3-1

*** 金沢工業大学環境保全システム 〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇ヶ丘 7-1

処分場2カ所(処分場B, C)、安定型の産業廃棄物処分場3カ所(処分場E, F, G)である。処分場B, C, Dでは現在も埋立が進行中、処分場E, F, Gでは埋立が終了しており、処分場Aでは一部の区域で埋立が終了している。

管理型の処分場A～Dでは、排水処理施設で浸出水の処理が行われている。処理フローは、生物処理→凝集沈殿→砂ろ過→活性炭吸着が基本であるが、処分場Bではこれに加えて砂ろ過の前に薬剤酸化処理を行っており、処分場Cでは、生物処理を行っていない。今回調査対象とした安定型処分場E, F, Gはすでに閉鎖されており、埋立中は稼働していたと考えられる廃水処理施設もすでに運転していない状況であった。

一般廃棄物処分場に埋め立てられている廃棄物については、処分場Dでは焼却残灰の占める割合が高く、処分場Aではプラスチックフィルム類などは不燃物として収集されそのまま埋め立てられているため不燃物の割合が高い点が特徴的である。

処分場Aにおいては、埋立年数の異なる4つの区域A-1(埋立開始後24年, 埋立終了後10年), A-2(埋立開始後20年, 埋立中), A-3(埋立開始後16年, 埋立中), A-4(埋立開始後8年, 埋立中)のポンプ井から浸出水原水を採取した。また、排水処理施設で処理原水、凝集沈殿後の処理水、活性炭吸着後の処理水を採取した。処分場B, C, Dにおいては、排水処理施設で処理原水、活性炭吸着後の処理水を採取した。処分場E, F, Gにおいては、埋立地内の井戸から浸出水原水を採取した。

3. 分析方法

揮発性の高い微量有機成分については、ページ&トラップーガスクロマトグラフィー質量分析法で分析した。中揮発性の微量有機成分については、固相抽出ディスク(3M社製, C18, 直径47mm)を用いてFig.1に示す手順で抽出操作を行った後GC/MSで分析を行った。それぞれ、まず定性分析により物質を同定した。同定の信頼性については、ライブラリ検索によっておおよその構造は分かったが異性体の判別まではできなかったものから、標準物質とリテンションタイムが一致することを確認したものまで、さまざまである。なお固相抽出法の弱点として、回収率の低い物質や安定しない物質があることが一般に挙げられている。また、GC/MSクロマトグラム上でピークが大きくても同定

Table 1 Characteristics of investigated landfill sites

Name	Type of site	Composition of waste	Note
Site A	Controlled	Incineration ash 30%, incombustible waste 45%, industrial waste 8%, others 17%(1996)	Partially closed
Site B	Controlled	industrial solid waste (sludge, etc.)	In operation
Site C	Controlled	industrial solid waste (sludge, construction waste, etc.)	In operation
Site D	Controlled	incineration ash 76%, incombustible waste 10%, others 14%(1996)	In operation
Site E	Least controlled	Industrial solid waste	Closed
Site F	Least controlled	Industrial solid waste	Closed
Site G	Least controlled	Industrial solid waste	Closed

Fig.1 Procedure of solid extraction

できなかった物質も多くあったことから、ここで検出した物質は、中揮発性物質の全てではない。次に、中揮発性の微量有機成分のうち検出頻度が高かったものについて、標準物質を用いてSIM法により定量分析を行った。今回定量した物質については、一部を除き浸出水中での回収率が80%以上あることを確認しており、また、マトリックス効果により見かけの回収率が100%を越える回収率の物質もあった。

GC/MSの運転条件は、装置: Hewlett Packard社製 HP5890 II (GC), Hewlett Packard社製 HP5972(MS), カラム: HP-5(長さ25m, 内径0.2mm, 膜厚0.5 μ m), カラム温度: 50 $^{\circ}$ C(4分)→30 $^{\circ}$ C/分(5分)→10 $^{\circ}$ C/分(7分)→270 $^{\circ}$ C(9.5分), 注入口温度: 250 $^{\circ}$ C, 検出器温度: 280 $^{\circ}$ C, オートインジェクター: Hewlett Packard社製 HP7673, 注入法: スプリットレス法, キャリヤーガス(He)流量: 0.426ml/分とした。なお、ページ&トラップ(Tekmar社製3000J)使用時にはGCカラムにGLサイエンス社製AQUATIC(長さ60m, 内径0.25mm, 膜厚1.0 μ m)を使用した。

4. 結果と考察

4.1 浸出水中の微量有機成分の同定・定量

GC/MS分析により、揮発性有機成分として36種類、中揮発性成分として63種類の微量有機成分を同定した。その一覧をTable 2, Table 3に示す。数回にわたる調査および数本の処分場井戸の結果をまとめて示したので、表中に示したようにサンプル数は、3から18となっている。検出と判断した濃度は、揮発性有機化合物でおおよそ0.1 μ g $\cdot$ l $^{-1}$ 、中揮発性成分ではSIM定量のTable 4に示した化合物は0.2 μ g $\cdot$ l $^{-1}$ 程度、それ以外は、数 μ g $\cdot$ l $^{-1}$ である。また、Table 4には、定量分析の結果を示す。

揮発性成分では、環境基準項目に含まれるcis-1,2-ジクロロエチレンやベンゼンなどをはじめとして、芳香族化合物、ケトン類などを多数同定した。また、1,4-

Table 2 Volatile organic compounds detected in landfill leachates from site A and D.

Compound name	Contaminated samples(%)	
	Raw leachate (n=10)	Treated (n=3)
1 Benzene	80	67
2 Carbon disulfide	20	0
3 Chlorobenzene	60	0
4 1,2-Dichlorobenzene	70	0
5 1,4-Dichlorobenzene	100	0
6 cis-1,2-Dichloroethylene	60	0
7 3,3-Dimethyl-2-butanone	50	0
8 4,4-Dimethyl-2-pentanone	90	0
9 2,4-Dimethyl-3-pentanone	80	0
10 Dimethyldisulfide	10	0
11 2,5-Dimethylfuran	40	0
12 Dimethylsulfide	20	0
13 Dimethyltrisulfide	20	0
14 1,4-Dioxane	70	0
15 Ethyldimethylbenzene	50	0
16 Ethylmethylbenzene (2 isomers)	80	0
17 Eucalyptol	60	0
18 Methyl Isobutyl Ketone	60	0
19 3-Methyl-2-pentanone	50	0
20 2-Methyl-2-propanol	70	0
21 4-Methyl-3-hexanone	50	0
22 1-Methyl-4-propyl-7-oxabicycloheptane	60	0
23 3-Methyl-4-heptanone	60	0
24 Methyl-isopropyl-benzene (4 isomers)	70	0
25 Methylpropylbenzene	60	0
26 1,3-Oxathiolane	70	33
27 2-Propanol	30	0
28 Propylbenzene	30	0
29 Styrene	70	0
30 Tetrahydrothiophene	40	0
31 Thiophene	20	0
32 Toluene	70	0
33 Trimethylbenzene (3 isomers)	90	0
34 o-Xylene	80	0
35 m-,p-Xylene	80	33

ジオキサン、含イオウ化合物も検出された。中揮発性成分では、ビスフェノール A、ベンゼンスルホンアミド類、2-Hydroxy benzothiazole などが高濃度で検出された。フタル酸エステル類、有機リン酸トリエステル類などは、SIM 測定であるため検出頻度は高いものの濃度的には数 $\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ もしくはそれ以下であることが多かった。この中揮発性画分には、プラスチック添加剤、ゴム添加剤と考えられる物質が多かった。処分場毎では処分場 A と B で、検出される物質が多種類であった。トリアジン系物質、イブプロフェンのように処分場 B でのみ検出された化合物もあった。

産業廃棄物処分場からもさまざまな有機成分が検出された。このうち安定型の処分場 F, G からビスフェノール A、ベンゼンスルホンアミド類などが高濃度で検出された。安定型の処分場は浸出水処理施設が義務づけられておらず、プラスチックを埋め立てれば、このような物質は浸出水から環境中に流れ出ることになると考えられる。

4.2 浸出水から検出された内分泌攪乱化学物質

内分泌攪乱化学物質のリスト¹⁾に挙げられている物質としては、処分場 A~D の浸出水からフタル酸ジ-2-エチルヘキシル、ビスフェノール A が 100% の検出率

Table 3 Semi-volatile organic compounds in landfill leachates from site A, B, C and D.

Compound name	Contaminated samples(%)	
	Raw leachate (n=18)	Treated (n=8)
1 Acetophenone	11	13
2 Ametryne	6	13
3 2,2'-Azobis(isobutyronitrile)	72	38
4 Benzophenone	6	0
5 Bis(2-ethylhexyl) phthalate	100	100
6 Bisphenol A	100	100
7 Butyl butylate	22	38
8 N-Butylbenzenesulfonamide	100	63
9 4-Butylbenzoic acid	6	0
10 p-tert-Butylphenol	94	38
11 Caffeine	6	13
12 Camphor	72	0
13 1-Chloro-3-phenoxy-2-propanol	6	0
14 p-Chloroaniline	6	0
15 2-Chloro-p-toluidine	17	0
16 p-Cresol	6	0
17 N-Cyclohexyl acetamide	6	0
18 Dibutyl phthalate	78	75
19 3,5-Dibutyl-4-hydroxyphenyl 3-propioic acid	50	13
20 2,6-Dichlorobenzonitrile	6	0
21 Diethyl phthalate	61	63
22 N,N-Diethyl-m-tolamide	67	0
23 2,6-Diisopropylphenyl isocyanate	33	38
24 Dimethyl phthalate	28	25
25 Diphenylamine	50	0
26 o-Ethoxy benzamide	50	0
27 2-Ethyl-1-hexanol	11	0
28 N-Ethyl-4-methylbenzenesulfonamide	67	25
29 Fenchone	11	0
30 Hexadecanoic acid methyl ester	6	0
31 9-Hexadecenoic acid methyl	6	0
32 2-Hydroxybenzothiazole	61	13
33 Ibuprofen	11	0
34 1H-Indole	6	0
35 2-Isopropylphenol	78	13
36 3-Isopropylphenol	78	13
37 L-(-)-Menthol	67	0
38 Naphtalene	33	0
39 Naphtol	6	0
40 Nicotine	28	0
41 Nitrobenzene	0	13
42 Oleic acid	6	0
43 2-Phenyl-2-propanol	72	25
44 2-Phenylphenol	39	0
45 Propylphenol	11	0
46 Simazin	6	0
47 Tetramethylphenanthrene	17	0
48 Tetramethylpyrazine	28	0
49 p-Toluidine	6	0
50 Triacetanamine	6	0
51 1,3,5-Triazine-2,4,6-trione	11	13
52 Tributylphosphate	94	38
53 Triethyl phosphate	28	63
54 3,3,5-Trimethyl cyclohexanol	6	0
55 3,3,5-Trimethyl cyclohexanone	44	0
56 2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol	56	38
57 2,3,5-Trimethyl-6-ethylpyrazine	6	0
58 N,N,4-Trimethylbenzenesulfonamide	67	13
59 Trimethylpyrazine	17	0
60 Tris(2-chloroethyl) phosphate	17	25
61 Tris(2-chloropropyl) phosphate	6	25
62 Tris(butoxyethyl) phosphate	11	13
63 Xylenol	56	0

Table 4 Concentration of organic compounds in landfill leachates (1/2)

sample	site A (raw leachate)				site A (Treatment process)			site B Raw leachate
	A-1	A-2	A-3	A-4	Influent	After Coagulation	After AC Adsorption	
TOC (mg/l)	160	160	450	380	330	150	90	490
Bis(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP)	42	110	55	74	260	97	33	-
Dibutyl phthalate (DBP)	3.4	4.4	0.7	3.7	7.7	5.2	1.2	3.6
Dimethyl phthalate (DMP)	0.1	ND	ND	ND	12	8.7	0.5	9.0
Diethyl phthalate (DEP)	0.3	0.7	0.4	ND	0.3	1.3	0.1	1.3
Triethyl phosphate (TEP)	ND	ND	ND	2.3	7.0	1.0	ND	15
Tributyl phosphate (TBP)	5.8	0.7	1.2	1.8	1.6	1.7	ND	1.7
Tris(2-chloroethyl) phosphate (TCEP)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6.8
Tri(butoxyethyl) phosphate (TBXP)	ND	ND	ND	6.5	ND	ND	ND	ND
Bisphenol A	310	1100	5400	1000	3400	170	0.5	2800
Camphor	1.4	100	110	130	45	2.9	ND	10
Diphenylamine	0.5	0.6	0.5	0.7	ND	ND	ND	3.8
3-Isopropylphenol	3.9	18	42	20	22	1.6	ND	-
2-Isopropylphenol	4.0	18	42	20	13	3.1	ND	-
p-t-Butylphenol	43	78	120	84	140	28	ND	43
2-Phenyl-2-propanol	31	ND	52	93	53	8.8	ND	-
N-Butylbenzenesulfonamide	170	310	190	330	270	210	4.6	260
N-Ethyl-p-toluensulfonamide	14	14	22	34	31	31	ND	-
2,2'-Azobis(isobutyronitrile)	15	13	20	38	18	44	22	-
2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol	7.3	8.1	15	13	7.8	120	6.6	8.7
2-Hydroxybenzothiazole	180	250	360	450	250	57	0.8	510

Table 4 Concentration of organic compounds in landfill leachates (2/2)

sample	site B	site C		site D		site E	site F	site G
	Effluent	Raw leachate	Effluent	Raw leachate	Effluent	Raw leachate	Raw leachate	Raw leachate
TOC (mg/l)	210	360	35	140	12	53	150	110
Bis(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP)	-	-	-	-	-	-	-	-
Dibutyl phthalate (DBP)	1.5	3.6	2.9	-	-	-	-	-
Dimethyl phthalate (DMP)	0.0	0.5	0.0	ND	ND	ND	ND	ND
Diethyl phthalate (DEP)	0.9	0.2	0.1	ND	ND	ND	ND	0.5
Triethyl phosphate (TEP)	1.1	0.9	2.0	1.0	0.1	ND	11	3.8
Tributyl phosphate (TBP)	ND	0.2	0.1	0.2	ND	ND	29	8.5
Tris(2-chloroethyl) phosphate (TCEP)	0.2	21	10	ND	ND	ND	ND	ND
Tri(butoxyethyl) phosphate (TBXP)	0.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	27
Bisphenol A	5.1	15	1.2	26	0.9	ND	490	270
Camphor	ND	ND	ND	46	ND	ND	ND	ND
Diphenylamine	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5.4	3.6
3-Isopropylphenol	-	-	-	3.1	ND	ND	ND	ND
2-Isopropylphenol	-	-	-	3.1	ND	ND	ND	ND
p-t-Butylphenol	ND	1.6	0.6	2.4	ND	ND	35	20
2-Phenyl-2-propanol	-	-	-	4.2	0.3	ND	11	9.7
N-Butylbenzenesulfonamide	0.9	2.4	0.9	28	ND	ND	840	3100
N-Ethyl-p-toluensulfonamide	-	-	-	0.4	0.1	ND	14	9.2
2,2'-Azobis(isobutyronitrile)	-	-	-	8.7	ND	ND	85	12
2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol	ND	10	28	140	0.2	ND	ND	ND
2-Hydroxybenzothiazole	ND	5.6	ND	ND	ND	ND	1100	900

 $\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$, average (n=1~4)

ND: not detected, - : not measured

で検出された。ただし、フタル酸ジ-2-エチルヘキシルに関しては、分析操作の通気乾燥段階において大気中からのコンタミネーションの影響がかなりあるため定量値は一部省略している。また、フタル酸ジブチル（原水中で検出率 78%）、フタル酸ジエチル（61%）も高い検出率で検出された。その他にも、農薬のシマジン、医薬品原料のベンゾフェノンと同定されるピークがそれぞれ 1 サンプル（6%）ずつではあるが検出された。

また、アルキルフェノール類のなかではノニルフェノールなどは分析対象ではないが、炭素数の少ない *tert*-ブチルフェノールやイソプロピルフェノールは高頻度で検出された。これらの短鎖のアルキルフェノール類も内分泌攪乱物質である可能性がある⁶⁾。

浸出水には、ベンゼンスルホンアミド系の物質などベンゼン環とイオウが含まれる物質群や GC/MS チャー

ト上ではピークが見られるが同定できない物質など今回の試験法で存在が確認される物質だけでも、実際には多くの物質が含まれていた。これらが、内分泌攪乱物質であるかどうか、情報がない段階では、浸出水中の内分泌攪乱物質の全貌を知ることとはできない。ただ、濃度的には、ビスフェノール A は $\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ オーダーで含まれており要注意であるといえる。

4.3 プラスチックごみなどの焼却処理の影響

都市ゴミを主体とする 2 つの一般廃棄物処分場 A と D での個々の物質の検出状況を Fig.2 に示す。ほとんどのごみを焼却してから埋め立てている処分場 D よりも、プラスチック類などを不燃ごみとして収集しそのまま埋め立てている処分場 A の方が、浸出水から検出される物質が多種類・高濃度であった。1996 年の受け入れ実績で、灰を除く不燃物の埋め立て量全体に占める割合は、処分場 A で 45%、処分場 D で 10%と

Fig.2 Concentration of several organic compounds in leachates at influent of treatment plant of site A and D

っており、この差がそのまま検出濃度として現れている。ダイオキシン類の測定は行っていないが、 $\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ オーダーで含まれるプラスチック添加剤などの揮発性の物質群の制御という観点に限れば、適正な焼却を行うことは利点大きいと言える。

4.4 排水処理施設での微量有機成分の消長

Fig.3 にいくつかの揮発性有機成分の排水処理施設（処分場A）での濃度の変化を示す。原水中からは $100 \mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ を超える高濃度で検出された物質もあったが、砂ろ過・活性炭吸着などの高度処理により、ほとんどの物質が $10 \mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 以下の低濃度まで減少していた。一方、TOC でみると、流入濃度 $330 \text{mg} \cdot \ell^{-1}$ に対して生物処理では除去されず、凝集・吸着である程度除去され、最終的に $90 \text{mg} \cdot \ell^{-1}$ となった。TOC のほとんどは、生物難分解性のフミン質などの色度成分であると考えられる。TOC の除去率に比較して今回測定対象とした微量有機物質は処理施設内でよく除去されていた。固相抽出で測定できる物質はある程度疎水性を持っているので、活性炭処理などによって処理され易いためであると考えられる。しかし、内分泌攪乱化学物質などは、きわめて低濃度で作用すると言われており、処理水中には測定可能なレベルで、これらの物質が残っていることには注意が必要である。

他の管理型の処分場 B, D でも Table 4 に示したように、本研究で測定対象とした微量有機成分はかなり良く処理されていた。揮発性成分については、処理水からはほとんど検出されなかったが、処分場 A では、曝気プロセスが処理過程にあるため、有害成分が大気中に揮散していることも考えられる。

4.5 埋立年数の経過による微量有機成分の消長

Fig.4 に処分場Aの埋立年数の異なる4つの区域におけるいくつかの有機成分の検出濃度を示す。埋立が終了した古い埋立区域A-1では、埋立中の区域に比べて各成分とも濃度が低くなっている。しかし、埋立中の区域に比べてどれだけ濃度が低いのかという程度については、成分によって差が見られる。そこで本研究

Fig.3 Concentration change of several organic compounds along treatment process (site A)

Fig.4 Concentration of several organic compounds in leachates from differently aged sites

Fig.5 Concentration decrease in organic compounds in leachates along with age of the sites and their octanol/water partition coefficient (logPow)

では、個々の有機成分の親水性を表すオクタノール／水分配係数（以下、logPow 値とする）に注目し、埋立年数の経過による消長との関係について考察する。

処分場Aの各埋立区域で埋立物の組成は厳密には同じものとは限らないが、現在の埋立区域A-4と埋立区域A-1での検出濃度の比は、有機成分が十数年の埋立年数の経過後、処分場内にどれだけ残留しているかを表す指標となりうる事が考えられる。

Table 5 Octanol/water partition coefficients of organic compounds

Compound	logPow	reference
Bis(2-ethylhexyl) phthalate	3.98-4.89	8), *
Dibutyl phthalate	4.72-7.9	8), *
Triethyl phosphate	0.09	7)
Tributyl phosphate	4.00	7)
Tri(butoxyethyl) phosphate	3.76	7)
Bisphenol A	3.32	*
Diphenylamine	3.34	8)
3-Isopropylphenol	2.28	9)
2-Isopropylphenol	2.28	9)
p-tert-Butylphenol	3.1-3.31	*
2-Phenyl-2-propanol	2.27	9)
N-Butylbenzenesulfonamide	2.38	9)
N-Ethyl-p-toluenesulfonamide	2.01	9)
2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol	0.09	9)
2-Hydroxybenzothiazole	0.87	9)

*: database on National Institute for Environmental Studies
home page (<http://www.nies.go.jp>)

Fig.5 は、浸出水中の微量有機成分について、埋立区域 A-4 と埋立区域 A-1 での検出濃度の比と logPow 値とをプロットしたものである。それぞれの成分の logPow 値については Table 5 に示す。logPow 値が文献⁷⁾およびインターネットから得られなかった物質については、横田の logPow 予測法マニュアル⁹⁾に基づいて算出した。この方法では、化合物を水素結合性置換基 (O 原子または N 原子を含む置換基) の有無によって場合分けし、logPow 値を分子屈折の一次関数として表している。分子屈折の値は、物質の分子式・構造式より計算できる。

Fig.5 において、縦軸方向の値が 1 に近いものは埋立年数が経過しても浸出水中の濃度があまり変化しない成分、0 に近いものは埋立年数が経過すると浸出水からは検出されなくなる成分であると説明される。この値と logPow 値との関係を直線回帰によって求めたところ、ばらつきは大きいものの、両者の間には正の関係が見られる。Fig.5 中の () でくくった測定限界付近のデータおよび定量的測定に難のある logPow の小さい物質を除くとさらに関係がはっきりする。

この図から、logPow 値の小さい比較的親水性の物質は埋立終了後短期間で浸出水とともに流出し、処分場から比較的消失しやすいのに対し、logPow 値の大きい疎水性の物質は年数が経過しても処分場内に残留しやすいと考察される。環境ホルモンと考えられるフタル酸ジ-2-エチルヘキシル、フタル酸ジブチルなどは疎水性の物質であるため、長期間にわたって浸出水から検出され続ける可能性がある。

5. まとめ

廃棄物処分場浸出水に含まれる有機汚染物質の存在状況を明らかにし、処分場種類、埋め立て完了後の経過年数の影響を調べることを目的として、7つの廃棄物処分場から試料を採取し、分析を行った。

GC/MS を用いた分析の結果、浸出水中に含まれる約 100 種類の微量有機成分が同定できた。プラスチック添加剤と考えられるものも多く検出され、フタル酸エステル類やビスフェノール A、アルキルフェノール類など、近年、内分泌攪乱化学物質として考えられている物質も含まれていた。しかし、浸出水処理施

設を持つ 4 つの管理型の処分場では、活性炭吸着などの高度処理によってこれらの微量有機成分はかなり良く除去されていることが示された。一方、本来浸出水を汚染しないもののみを受け入れる安定型 3 箇所の処分場のうち 2 箇所の処分場でも、ビスフェノール A などが高濃度で検出された。安定型にプラスチックの投棄が認められている以上、これは、予想される結果であるが、プラスチック添加剤の多くが内分泌攪乱物質に該当することを加味して安定型に処分できる廃棄物を見直していくことが必要である。

埋め立てられた廃棄物の内容と浸出水の性状との関係に注目すると、2つの一般廃棄物処分場のうち、ほとんどを焼却して埋め立てている処分場に比べて、プラスチック類などをそのまま埋め立てている処分場の方が、廃プラスチックに由来すると考えられる有機汚染物質が種類も多く、濃度も高く検出されることが分かった。

埋立年数の経過による微量有機成分の消長に関してオクタノール/水分分配係数を指標として考察を試みた。その結果、オクタノール/水分分配係数の小さい親水性の物質ほど浸出水とともに流出するなどして短期間で処分場から消失しやすく、例えばフタル酸ジ-2-エチルヘキシルのような疎水性の物質ほど処分場内に残留しやすいと考えられる結果が示された。

謝 辞

神奈川県環境科学センターの惣田昱夫博士には大変お世話になりました。ここに記して感謝いたします。

(原稿受付 1998 年 4 月 27 日)

(原稿受理 1998 年 8 月 18 日)

参 考 文 献

- 1) 環境庁リスク対策検討会(1997)環境ホルモン 外因性内分泌攪乱化学物質問題に関する研究班中間報告書, 環境新聞社.
- 2) 安原昭夫, 宇野由利子, 中杉修身(1993)廃棄物処分場浸出水中の化学成分, 環境化学, 3(3), 539-547.
- 3) 福井博, 田中克彦, 淡路宣男, 平林尚之, 伊東富晴, 小島幸夫(1994)埋立地浸出水に含まれる有機化合物に関する研究—塩化ビニル製しゃ水シートから溶出する有機化合物—, 廃棄物学会論文誌, 5(5), 178-184.
- 4) 中杉修身(1997)未規制物質を対象とした土壌・地下水汚染問題の課題, 用水と廃水, 39(10), 930-935.
- 5) 安原昭夫, 白石寛明, 西川雅高, 山本貴士, 中杉修身, 奥村為男, 川越保徳, 剣持堅志, 永瀬誠, 中野武(1997)廃棄物埋立地浸出水中の有機成分の特性, 第 8 回廃棄物学会研究発表会講演論文集, 750-752.
- 6) Jobling, S. and Sumpter, J. P. (1993) Detergent components in sewage effluent are weakly oestrogenic to fish: An in vitro study using rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) hepatocytes, *Aquatic Toxicology*, 27, 361-372.
- 7) 福島実(1996)有機リン酸トリエステル類の水環境中での動態, 水環境学会誌, 19(9), 692-699.
- 8) 化学工業日報社(1992)国際化学物質安全性カード.
- 9) 横田勇(1991)環境アセスメントのための有害化学物質の分配係数及び吸着係数の予測, 東京大学大学院都市工学専攻博士論文.