

焼却灰埋立地における浸出液の経時変化について (第一報)

吉田 豊* 中山 和好* 成富 武治*
永田 知子* 小室 芳洵* 海保新太郎*

I. はじめに

「ごみ戦争」という言葉で形容されたごとく、都市におけるごみ処理問題は都市行政において大きな問題であった。現在においても引き続きその状態は変わっていない。ごみ処理としての埋立処分は、ごみの増大化によりごみ埋立用地確保の困難性と埋立ごみによる悪臭、ハエの発生、埋立地浸出液による汚染等二次公害¹⁾も引き起こした。最近では増大化するごみを廃棄物としてでなく資源としての見直しという方向もあるがわずかである。この増大化して行くごみの処理に対し厚生省は、ごみの減容化とごみ質の安定化という事で「ごみ処理施設構造指針」(案)²⁾によりごみ焼却後、焼却灰の埋立てという方法に方向づけている。しかし、これでごみ処理問題が解決されたわけではない。焼却灰の埋立てにおいても埋立用地確保の問題は残るうえ、新たに焼却灰埋立てに関する問題点を生じさせている。生ごみ埋立てに関する調査、研究は多く報告されている³⁾⁻⁷⁾が焼却灰埋立てに関する調査、報告は少なく、⁸⁾まだ不明な点が多い。焼却灰の性状、焼却灰からの溶出物、埋立地浸出液の性状及び環境への影響、浸出液の処理等種々の問題がある。そこで今回それらの問題を明らかにしていくための一段階として、焼却灰のみを埋立てている埋立地の浸出液の性状及び経時変化について調査したので報告する。

II. 埋立地と埋立の概要

調査を実施したC市埋立処理地の概要は、埋立面積約7万㎡、埋立容積約30万㎡であり山間の谷津地を利用して造成された。

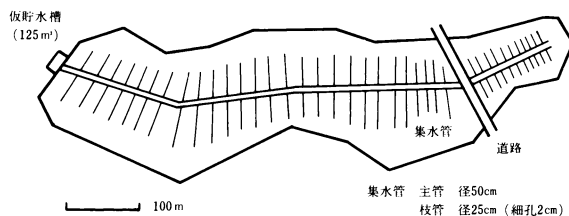


図1 埋立地概要平面図

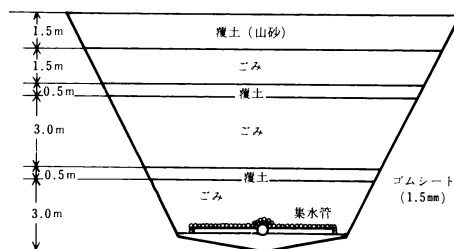


図2 埋立概要断面図

(図-1、図-2参照)埋立地は浸出液による地下水への汚染防止のため、底部と側壁全面にゴムシート(厚さ1.5mm)が張りめぐらされた構造となっている。底部には浸出液排除のため集水管を埋設しその末端に仮貯留槽(125㎡)を設けている。埋立は1977年9月より始まり3年間で終了予定で、焼却灰と粗大ごみのみを埋立てる計画である。現在までの埋立は市内K、S2焼却場(各々連続焼却炉、焼却量450t/日)よりの焼却灰のみを埋立てている。埋立量は1977年9月埋立開始より1978年11月末まで47,719t、月平均3,181t(図-3のとおりである。埋立は図-2の様に山砂とのサンドイッチ工法であり山砂使用量は現在まで8,861t、月平均590tである。

浸出液の処理は現在仮貯留槽を設けバキューム車で毎日汲み出し海洋投棄処分しているが、処理施設を埋立地付近に建設中であり完成後は処理した後公共用水域に放流される予定である。浸出液の汲み出し量は図-4の通

* 千葉県衛生研究所
(1979年5月10日受理)

りである。

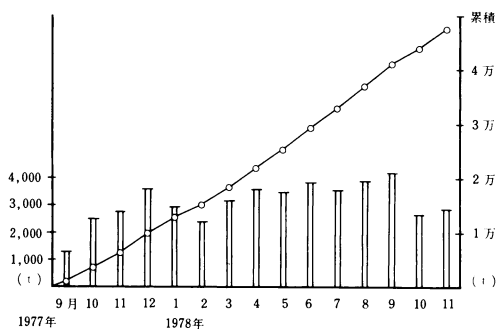


図3 焼却灰埋立量

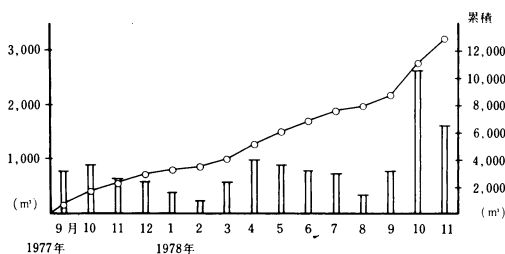


図4 浸出液の仮貯水槽からの汲上げ量

III. 調査方法

1. 浸出液の性状調査

調査期間は1977年11月より1978年11月まで行い、サンプリングは仮貯留槽にて行なった。調査項目と分析方法は表-1のとおりである。pH、酸消費量、リン酸、BOD、

表1 調査項目と分析方法

調査項目	分析方法
PH、酸消費量(pH5)、全蒸発残留物、強熱残分、BOD、COD、フェノール類、n-ヘキサン抽出物質、F ⁻ 、T-CN、Cd、Pb、Cr ⁶⁺ 、T-Cr、As、Zn、Cu、Fe、Mn、Ca、SO ₄ ²⁻	JISKO102に準拠
T-N(ケルダール窒素)、NH ₃ -N、alb-N、Cl ⁻ 、T-P、大腸菌群数	下水試験法
有機リン、アルキル水銀、総水銀、PCB、浮遊物質	環境庁告示
NO ₃ ⁻	サリチル酸法
硬度	EDTA滴定

COD、総窒素(ケルダール窒素)、アンモニア性窒素、アルミノイド性窒素、全蒸発残留物、強熱残分、塩素イオン、硫酸イオン、カルシウム、硬度については2期(1977年11月~1978年1月、1978年7月~10月)に分け約1週間の間隔で、鉛、カドミウム、総クロム、6価クロム、ヒ素、総水銀、亜鉛、銅、鉄、マンガン、アルキル水銀、シアン、PCB、有機リン、フェノール類、フッ素、n-ヘキサン抽出物質、大腸菌群数、浮遊物質、硝酸イオンについては2ヶ月間隔にて調査した。

2. 焼却灰の性状調査

K・S焼却場より持ち込まれた焼却灰について組成、成分分析(主に重金属)、溶出試験を行なった。

組成分析は焼却灰を105℃で24時間乾燥、室温にて放冷後手にて砕き5mm目のふるいより大きいものについて金属類、ガラス類、未燃焼物(紙類)に分けそれぞれの重量を求めた。

成分分析は5mm目のふるいを通過した細粒試料について行なった。鉄、亜鉛、銅、マンガン、鉛、カドミウム、ヒ素は王水分解後JISKO102に準じて、水銀、シアンは乾燥前のものを公害分析指針・土壤編⁹⁾により行なった。

溶出試験は環境庁告示第13号・有害産業廃棄物判定法に従って行なった。又、有機性のものと合併し埋立てると有機酸(主として酢酸)により埋立内部のpHが低下するという報告¹⁰⁾もあり、酢酸酸性(pH4)による溶出試験も併せ行なった。

焼却灰埋立量、浸出液汲み出し量は埋立地管理事務所、降雨量は同市内測候所の測定記録によった。

IV. 結果及び考察

1. 焼却灰の性状

(1) 組成分析

表2 埋立焼却灰組成 1978年8月23日

	K焼却場焼却灰	S焼却場焼却灰
金属類	17.5%	9.2%
ガラス類	27.4	27.5
未燃物(紙類)	1.4	0.5
5mm以下	53.7	62.8
乾燥物	14.5kg中	23.0kg中
熱灼減量	4.0%	5.1%

埋立てているK、S焼却場の焼却灰の重量組成は表-2のとおりであった。いずれもガラス類が約30%を

占め、空かんを主とした金属類が目立った。金属類は17.5%、9.2%と差があったが持ち込まれる際のサンプリング誤差などのためと考えられる。ガラス類と金属類の合計は全重量の37%、44%を占めた。この値は他の報告値¹¹⁾と類似した値を示した。熱灼減量はそれぞれ4.0%、5.1%であり、「ごみ焼却処理施設構造指針」(案)に示されている焼却能力7%以下の範囲内であった。参考として表-3にC市の生ごみ組成の一例を示す。一般的な都市ごみの成分組成である。

表3 C市生ごみ組成例 1978年8月21日調べ

紙	35.9%
硝子	9.7
厨芥	12.1
布	4.9
草木	5.1
プラスチック	11.9
金属	9.5
せともの、砂石	1.2
その他	9.7
8220g中	

(2) 成分分析

5mm以下細粒試料の重金属類は表-4のとおりである。鉛、カドミウム、ヒ素、水銀などの有害物質、そして鉄、亜鉛、マンガン、銅などもかなり含まれている。重金属の中で鉄の占める割合は約90%と高い。仮に組成分析での金属類について、約90%が鉄の割合だとすると、焼却灰全量中に占める鉄の割合は、K焼却灰20%、S焼却灰14%となる。

表4 埋立焼却灰の重金属 (5mm以下細粒試料)

	埋立場でサンプリング (1978年6月7日)	K焼却場灰	S焼却場灰
Fe (%)	6.3	8.5	8.8
Zn "	0.37	0.47	0.51
Cu "	0.11	0.11	0.11
Mn "	0.11	0.13	0.08
Pb "	0.14	0.42	0.17
Cd (ppm)	44	32	30
As "	5.1	5.7	12
Hg "	1.4	0.49	0.51
CN ⁻		0.17	不検出

(3) 溶出試験結果

試験結果は表-5に示すとおりであり、環境庁告示の試験法においてはK、S焼却灰共わずかに鉛が溶出された。溶出後のpHは12~13と上昇している。これは他の報告⁸⁾にもあるとおりナトリウム、カルシウム、カリウムなどの酸化物が水と反応し、OH⁻を生成し高pHを示したと考えられる。鉛、水銀の溶出が起きたのはこの高pHにより、アルカリ性側での溶出が起った可能性が考えられる。¹²⁾

表5 埋立焼却灰の溶出試験

	埋立場でサンプリング (1978・6・7)		K焼却場灰		S焼却場灰	
	環境庁告示	pH4	環境庁告示	pH4	環境庁告示	pH4
Cd	—	2.2	0.02	0.80	—	0.36
Pb	0.02	28	2.4	3.7	0.18	1.8
As	—	—	0.01	0.20	—	0.22
T-Cr			>0.07	1.1	—	1.9
Cn ⁶⁺			—	—	—	—
T-Hg	—	0.0092	0.0009	0.012	—	0.006
CN ⁻	—	—	—	—	—	—
Fe	—	460	2.1	76	0.16	25
Zn	0.03	270	2.7	290	0.32	150
Mn	—	18.0	0.17	29	0.17	29
Cu	0.04	2.5	1.5	6.0	0.11	6.8
溶出後のpH	11.9	4.3	13.1	4.9	11.8	4.9

— 不検出 (mg/ℓ)

pH (酢酸酸性) における溶出試験では有害金属を含め金属類の溶出が見られ、鉄、亜鉛などかなり溶出した。しかし現実の問題として、環境庁告示法で強アルカリ性を示した様に焼却灰そのものが強アルカリ性であることを思うと、pH4の様な低酸性側に下るとい状態はほとんど無いと想像される。

2. 浸出液と降雨の関係

浸出液そのものが降雨に由来するものだが、降雨による浸出液の性状変化は図-5のとおりであった。pHを除き全蒸発残留物、塩素イオン、BOD、COD、カルシウム、総窒素は降雨後1日目あたりで最低値を示し、その後3~4日で降雨前の値に近づいている。BODは降雨後4日で降雨前より高い値を示した。pHはさほど変化が無く降雨後わずかに上昇した。しかしこの関係は埋立場の構造、埋存量などにより変化する可能性も考えられる。

3. 浸出液の性状変化

埋立後の内部は嫌気状態となり嫌気的反応が進行している様である。浸出液の色は淡黄緑色又は黒緑色を呈し透視度は通常5~10度を示すが降雨直後は色も薄く透視度も高い、浮遊物質、沈降物質は少ない。浮遊物質は硫

化物を形成しているものが多いのか、測定時のろ紙上は黒色を呈している。臭いは焼却灰特有の強いいぶり臭を呈し又、硫化水素臭も強く感じられる時が多い。

吸着、ろ過、嫌気性分解などの作用を経ず短期間に貯留槽に流れ込んだ事が考えられる。その後、埋立が貯留槽から遠くへ進められて行くにつれ、低い値となっている。

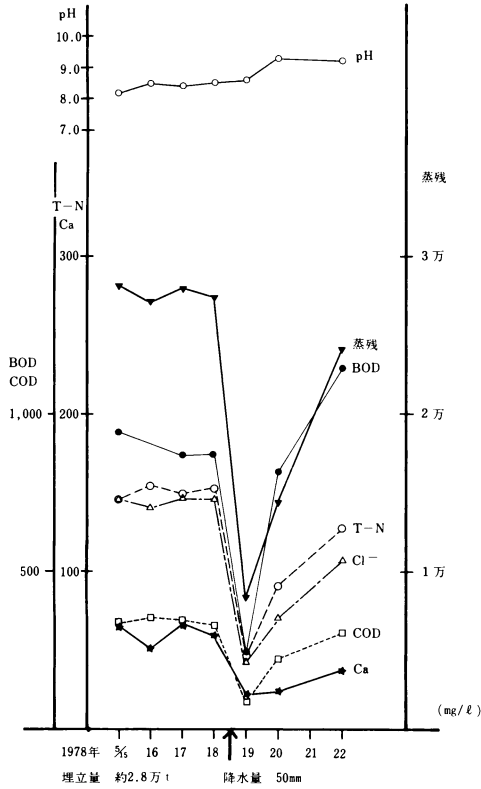


図5 降雨と浸出液性状の関係

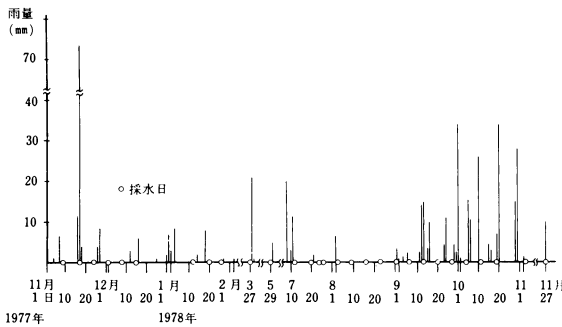


図6 採水日と降雨日の関係

浸出液の性状変化は次の通りであり、採水日と降雨日の関係を図-6に示した。2日降雨があった1978年10月3日に最低値を示す項目が多く、1977年11月16日に低値を示したのも降雨直後のためである。調査開始直後の11月9日にBOD, COD, 全蒸発残留物, 塩素イオンが最大値を示した。これは埋立が仮貯留槽近くであったため、

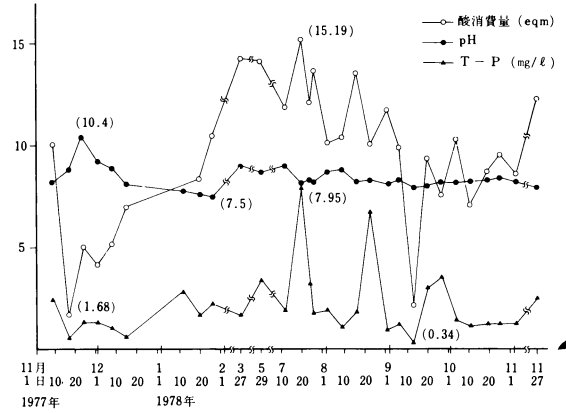


図7 pH, 酸消費量, T-Pの変化

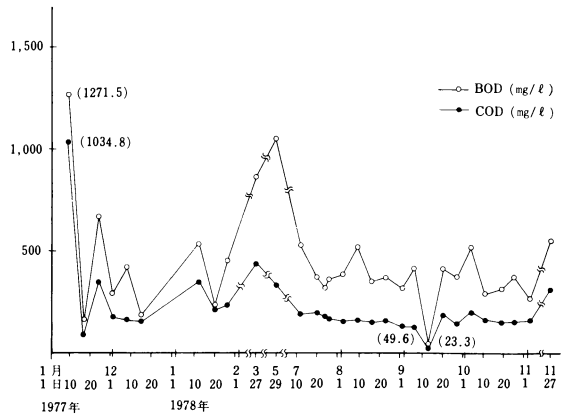


図8 BOD, CODの変化

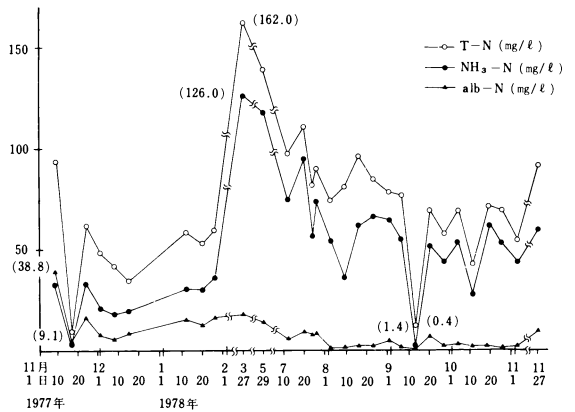


図9 窒素化合物の変化

(1) pHの変化

図-7に示す様に、生ゴミ埋立の場合浸出液は弱酸性からアルカリ性に移行して行く様であるが⁽⁴⁾焼却灰の場合初めからアルカリ性を示した。これは生ごみに比べ有機酸を生じさせる有機物が少ないのと、ナトリウム、カルシウム、カリウムなどの酸化物が多いためと考えられる。1977年11月17日、1978年7月12日、8月2日、9月6日、10月11日等降雨直後わずかながらpHが上昇している。埋立後1年頃からpHの変動は少なく8.0~8.5に落着いている。

(2) 酸消費量の変化

図-7に見られるごとく1.68~15.19eqmを示した。酸消費量は地下水においては炭酸イオン、ヒドロ炭酸イオン量を示すが、この場合強塩基、弱塩基、金属水酸化物などの量を示すものと思われる。降雨直後低い値を示し降雨が少ない7月~9月にかけ高い値を示した。

(3) リン酸イオン

図-7に見られるごとく7月20日、7.95mg/l、8月23日、6.78mg/lと高い値を示し又、この時は浮遊物質が通常に比べ多く見られた。浮遊物質測定時のリン酸イオン濃度は次のようであった。浮遊物質138.0mg/lーリン酸イオン3.02mg/l、118.7~3.41、83.3~3.20、83.0~2.50、74.0~2.80、50.8~2.50、36.0~1.7。浮遊物質濃度が高いとリン酸イオンも多い傾向にあり、リン酸イオンが浮遊物質を構成しているか又、吸着されている事が考えられる。降雨との関係はそれほど見られない。

(4) BODの変化

図-8のとおり。生ゴミ埋立の場合BODは当初数万ppmと高い値を示すが、今回の焼却灰埋立では最高で1,271.5mg/lであった。1978年7月以後300~500mg/lの間で変化している。大山らは焼却灰の熱灼減量とpH6での溶出液BODの関係を、熱灼減量10%でBOD30ppm、40%で1,000ppmと報告¹³⁾している。又、高見沢ら¹⁴⁾は焼却灰の溶出試験において熱灼減量18.8%で98ppm、6.2%で71ppmとの結果を報告している。しかし実験の埋立地浸出液は高い値を示し熱灼減量が7%以下においても嫌氣的分解を受ける有機物がかなり残っている事がわかる。

(5) CODの変化

図-8の様にBODと同様な経時変化を示した。BOD/CODは1~3であり生ごみ埋立で当初10以上との報告⁽¹⁾に比べ小さい。又、BOD/CODの比が高いほどその有機質は易分解と言われている。今回、

我々が調査した焼却灰埋立地浸出液については難分解性のものという事が考えられる。

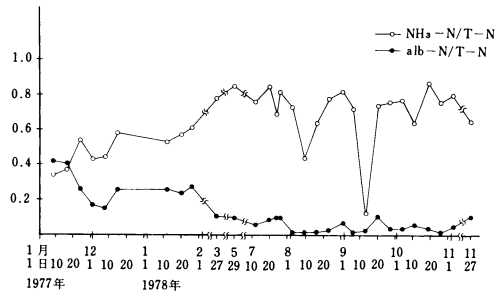


図10 NH₃-N/T-N, alb-N/T-Nの変化

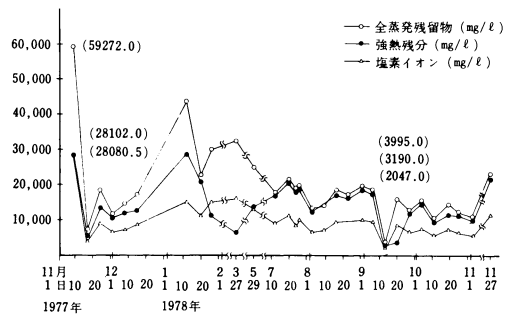


図11 全蒸発残留物、強熱残分、Cl の変化

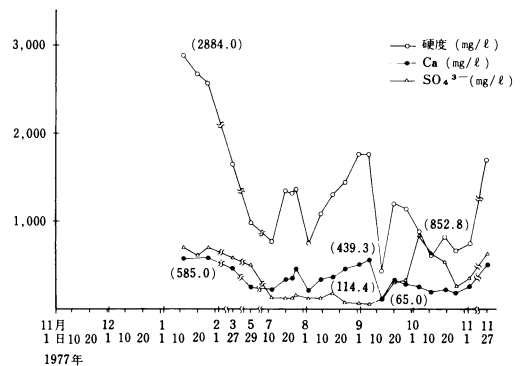


図12 SO₄²⁻, Ca, 硬度の変化

(6) 窒素化合物の変化

図-9に見られるごとく総窒素は埋立開始後半年で最高値162.0mg/lを示し、以後低下して来ている。アンモニア性窒素も同様な変化を示し最高値126.0mg/lを記録した。アルブミノイド性窒素は埋立当初に最高値38.8mg/lを示した。総窒素、アンモニア性窒素は降雨による変動が大きい。総窒素とアンモニア性窒素、アルブミノイド性窒素の比を見ると図-

10の様に、当初アンモニア性窒素、アルミニウム性窒素が同割合となっていたが埋立経過と共にアルミニウム性窒素の割合は小さくなり、0.1以下となった。これは前にも述べた様に埋立が奥に進められているため、アルミニウム性窒素が嫌氣的分解を受ける時間が多くなったためと考えられる。有機性窒素が多いという事はアンモニア性窒素が溶出される事も想像される。

(7) 全蒸発残留物、強熱残分の変化

図-11の様に埋立当初に最高値を示し、1万ppm以上と高い値を示す事が多い。高月の報告¹⁰⁾によると焼却灰溶出試験の溶出液はCaCO₃、Ca(OH)₂、NaCl、KCl、CaSO₄などが主体であるという事であり、全蒸発残留物は白い結晶状になったものが多い見られた。

強熱残分も高い値を示したが測定時に問題があった。それは恒量値を得るという事が難しく、加熱時間と共に減量して行く様な事が多かった。高月の言うごとく無機塩類の分解、熔融反応が起っているものと考えられるので、強熱残分、熱灼減量から未燃有機物を表わすという事は意味がない事と思われる。

(8) 塩素イオンの変化

他の報告⁵⁾からもうかがえるが焼却灰の入った埋立浸出液の塩素イオン濃度は高く、図-11の様に今回の調査においても高い値を示した。一般に生ごみの0.3~0.4%が可燃性塩素(塩化ビニル等)と言われ、¹⁵⁾塩化水素ガスとして排出されるが灰中にもかなりの量が残るものと考えられる。この様な高濃度塩素イオンを含む排水の問題として水稻等に対する塩害の問題があり、NaClで500ppmから水稻に影響があるという報告¹⁶⁾もある。又、他の水利用の事を考えると塩素イオンの処理を考えなければならない。

(9) 硫酸イオンの変化

図-12の様な結果であった。硫酸イオン濃度が7月~9月に低くなったのは降水量が少なかった事又、気温の上昇により還元が進み硫化水素になった事が考えられる。ごみ中のイオウ分は0.05~0.2%と言われ、¹⁷⁾1/4程度は大気に排出されるが大部分は焼却灰とばいじんに残ると言われている。浸出液中のイオウ分は放置しておく酸化還元電位の上昇によりコロイド粒子を形成し白濁するのが見られ、硫化水素、硫酸イオン濃度が30ppm以上になると白濁が生じると報告されている。¹⁸⁾

(10) カルシウム、硬度の変化

図-12の様にカルシウムは114.4~585.0mg/l、硬

度は439.3~2,884.0mg/lで変化した。

(11) 重金属、その他の項目について

表-6に見られる様に金属の中では鉄、マンガンが高い。鉛、カドミウムについて寺島らは、ごみ焼却灰中心の埋立地浸出液で最高8.46ppm、0.5ppm検出したと報告⁸⁾しているが我々の今回の調査ではいままでも検出されていない。水銀についても同様である。亜鉛、銅、総クロムの量も極くわずかであった。鉄、マンガンについては還元状態が進行する中でMn²⁺、Fe²⁺が溶出して来る。そしてマンガンについては還元状態へ変化する過程では溶解性マンガンで占められると言われている通りの結果を示している。他にフェノール類、フッ素がわずかながら検出された。工業的にフェノールはフェノール樹脂、消毒剤、防虫剤などに使用され、フッ素もフッ素樹脂、ガラス工業、接着剤等に使用される様である。n-ヘキサン抽出物質も少なくないが、これはコロイド状イオウなどの無機性成分も含まれている様に考えられる。

表6 浸出液の重金属類、その他の項目の変化

	1977年 11.9	1978年 1.12	3.27	5.29	7.24	9.20	11.27
Pb	—	—	—	—	—	—	—
Cd	—	—	—	—	—	—	—
Cr ⁺⁺	—	—	—	—	—	—	—
T-Cr	1.10	—	—	—	0.02	—	—
As	—	—	0.01	0.01	0.02	—	—
T-Hg	—	—	—	—	—	—	—
Ar-Hg	—	—	—	—	—	—	—
CN ⁻	0.05	—	—	—	—	—	0.68
有機リン	—	—	—	—	—	—	—
PCB	—	—	—	—	—	—	—
Zn	0.05	0.05	0.03	0.04	0.03	0.02	0.01
Cu	0.23	0.36	0.06	0.01	0.01	0.06	0.13
Fe	2.3	2.5	1.4	1.3	6.0	2.6	2.3
溶解性-Fe	0.44	0.45	0.84	0.12	1.6	1.3	0.27
Mn	7.2	6.4	5.0	2.1	3.6	2.8	2.8
溶解性-Mn	5.6	6.2	4.7	0.92	3.6	2.4	2.6
フェノール類	1.4	0.46	0.70	1.7	0.13	0.78	1.2
F ⁻	3.0	1.4	0.20	0.40	0.70	—	0.80
n-ヘキサン抽出物質	33	19	1.7	7.0	10	8.6	—
太陽菌群数(個/ml)	18	200	0	12	350	78	39
SS	83.0	74.0	36.0	118.7	83.3	138.0	50.8
NO ₃ ⁻	—	—	0.4	—	—	0.3	—

— 不検出 (mg/l)

4. 浸出液処理上の問題点

調査期間が約1年と短い現在の結果から浸出液をそのまま公共用水域に放流する事には問題が多い。

有機性成分・BOD、CODはいずれも高く処理が必要である。生物処理においてはBOD/CODから難分解性であ

る事も考えられる。生物処理における栄養バランスを見る時BOD/N・16~20が最適と言われるが埋立経過と共に4~10を示し窒素化合物が多く、一方PではBOD/P・90で最適と言われているが今回の調査では200以上とBOD量に比べPが少ない。活性汚泥法においては塩素イオン濃度が問題となるが5,000~8,000ppmまではあまり影響がなく、これ以上となると汚泥の呼吸が抑圧されると言われる。²⁰⁾しかし10,000ppmでも透視度が少し悪化する程度とも言われ問題が無い様に思われる。

塩素イオンの塩害については先に述べたが、除去方法としてはイオン交換法、電気透析法、逆浸透法、蒸発法など考えられる。しかし浸出液の塩素イオン濃度、溶解性成分、処理量、及び経済性などの面を考える時、最適な方法の選択が難しく問題がある。

他に硫化水素、硫酸イオンからコロイド状イオウが析出しトラブルを起こす事が考えられ、曝気による硫化水素の除去、コロイド状イオウの凝集分離が必要になる可能性も予想される。窒素化合物の量も多く富栄養化の問題上からも脱窒素の工程も必要となろう。

VI. 結 び

現在までの調査結果から見ると焼却により安定化されると言っても焼却灰埋立浸出液は高BOD値を示し、焼却灰中にはまだかなりの有機性成分が残っている。今回調査した焼却灰を見ても又、焼却場を見てもよく管理され熱灼減量も低い。この様な事からごみを焼却したからと言っても、まだまだ安定化の面からは疑問視する必要がある。更に塩素イオン濃度の高い事が注目され、公共用水域に対する汚染及び除去方法を考える時間問題が多い。特に内陸部に埋立地を建設した場合注意を要する。

この様に都市ごみの焼却、焼却灰埋立という方法においても二次公害などに注意すべき点、浸出液の処理等問題点が多い事が分った。久しく言われている事だがごみ処理処分という面から見れば、ごみをごみとしてなるべく出さない様な発想をして行かなければならないと感じられる。焼却灰中にもガラス、金属類が約40%も占めており、これらのごみを資源として見直すという事が必要であり、分別収集を徹底しそれらの再利用、再生利用を進めて行く必要がある。又製品を造り出す際にそれが廃品となった時にどの様に処理処分されるのかという様な発想の必要性が感じられる。

今後も引き続き経時変化、浸出液処理の問題等について調査、検討して行くつもりである。最後に分析に御協力をいただいた小岩井技師及び、調査に対し心よく御協力、御便宜をはかっていただいた市関係者の皆様に深く

感謝をいたします。

VII. 文 献

- (1) 本多淳裕他：ごみ埋立における汚水およびガスの排出特性，第29回廃棄物処理対策全国協議会全国大会講演集，1-5，1978
- (2) 厚生省：ごみ処理施設構造指針（案）51年度
- (3) 花島正考他：埋立ごみの模型実験，水処理技術，11巻3号，21-38，1970
- (4) 花島正考他：廃棄物埋立の変遷と動向，第26回廃棄物処理対策全国協議会全国大会講演集，74-83，1975
- (5) 福井博他：廃棄物埋立処分の技術開発に関する研究，神奈川衛研年報，23巻，150-151，1973
- (6) 福井博他：廃棄物の埋立処理技術の開発に関する研究，神奈川衛研年報，24巻，138-139，1974
- (7) 渡辺一法他：埋立地浸出液処理技術の開発に関する研究，神奈川衛研年報，25巻，121-123，1975
- (8) 寺島泰他：都市ごみ焼却残灰の埋立に伴う重金属等の挙動に関する基礎的研究，第29回廃棄物処理対策全国協議会全国大会講演集，77-83，1978
- (9) 千葉盛人他：公害分析指針・5，水・土壤編，共立出版，1972
- (10) 石井他：産業廃棄物金属溶出試験法の検討，第33回公衆衛生学会総会講演集，1974
- (11) 高月紘：焼却灰の性状について，73-74，第29回廃棄物処理対策全国協議会全国大会講演集，1978
- (12) 中村文雄他：懸濁物質から水中への重金属溶出に関する研究，用水と廃水，53-62，19巻11号，1977
- (13) 大山征也他：ごみ焼却場より排出される引出灰，集埃機ダストについて，72-73，第26回廃棄物処理対策全国協議会全国大会講演集，1975
- (14) 高見沢一裕他：ごみ焼却灰の海面埋立地に伴う汚濁物質の生成量，用水と廃水，59-68，20巻11号，1978
- (15) 宮ノ原他：ごみ焼却に伴う塩化水素ガスの対策に関する研究報告，1971
- (16) 宇田川埋他：水稲に対するNaCl濃度の影響に関する試験，千葉県農業試験場業務報告，52-53，1968
- (17) 菱田一雄：ごみ焼却に伴う排ガスとその除じんについて，公害と対策，第4巻10号，1968
- (18) 本多淳裕他：ごみ埋立処分，大阪市環境科学研究所報告，第38集，1975
- (19) 大橋他：衛生工学ハンドブック，756，朝倉書房，1967
- (20) F. J. Ludzack and D. K. Varan Tournal W. P. C. F. 1404, 37, 1965