

生活雑排水汚泥の化学組成と汚泥経由重金属排出量

渡 辺 義 人・山 本 満寿夫
信州大学繊維学部

Chemical Composition of Gray-water Sludge and Amounts of Heavy Metals Discharged via the Sludge

Yoshito WATANABE and Masuo YAMAMOTO
Fac. Textile Sci. & Technol., Shinshu Univ.

Abstract : Surveys on the chemical composition of gray-water sludge were carried out to evaluate the content level of sludge's chemical components and to estimate the amounts of heavy metals discharged from gray water via the sludge. Samples were collected from the treatment plant of gray-water sludge.

- 1) The mean contents of C, N, P, K, Ca, and Mg in the sludge were 46%, 2.5%, 0.58%, 0.20%, 1.0% and 0.16%, respectively. These contents were high in C and low in other elements as compared with those reported for sewage sludge. Also, the contents of 5 elements except K in the gray-water sludge was higher than vegetable compost.
- 2) The content level of toxic heavy metal in the gray-water sludge was an intermediate level between night soil sludge and sewage sludge. The mean contents of each heavy metal in the sludge were 1.6 ppm for Cd, 28.0 ppm for Cr, 147 ppm for Cu, 7.3 ppm for Hg, 93.6 ppm for Mn, 15.6 ppm for Ni, 55.1 ppm for Pb and 882 ppm for Zn. The high value of Hg may be caused by originating from other than gray water.
- 3) In order to estimate the amounts of heavy metals discharged from gray-water via sludge, per capita loadings were calculated on the basis of contents of heavy metals and the amount of sludge generated from gray-water ($3.4\text{g d. w.} \cdot \text{cap}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$). Per capita loadings of each heavy metal were 3~10 Cd $\mu\text{g} \cdot \text{cap}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 68~115 Cr $\mu\text{g} \cdot \text{cap}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 430~750 Cu $\mu\text{g} \cdot \text{cap}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 240~320 Hg $\mu\text{g} \cdot \text{cap}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 44~68 Ni $\mu\text{g} \cdot \text{cap}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 130~240 Pb $\mu\text{g} \cdot \text{cap}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ and 2000~4000 Zn $\mu\text{g} \cdot \text{cap}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$.

Key words : gray-water sludge, chemical composition, fertilizer components, heavy metal
雑排水汚泥、化学組成、肥料成分、重金属

1. はじめに

長野県内に一般家庭の生活雑排水処理を目的とした簡易沈殿槽が普及しはじめたのは昭和40年代後半頃と推定されるが、昭和53年度に長野県が「家庭雑排水処理指導要項」を全国に先駆けて制定するにおよび、その後の簡易沈殿槽の設置数は急速に増加し、昭和62年度には、設置数17万基を越え、沈殿槽による処理人口は長野県人口の32%に達している。

簡易沈殿槽にはいくつかのタイプが考案されているが、ほとんどは3槽式で、容量も200~250 lのものが多く、長野県¹⁾の調査によるとこの沈殿槽により、平均して雑排水中の懸濁物は約50%、BODで30%前後が除去できる。ただし、こうした除去率を維持するためには、沈殿槽にたまった汚泥を定期的に引き抜くなどの保守管理を十分に行うことが必須の条件である。こうしたことから長野県内のいくつかの地域に生活雑排水汚泥専用の処理施設が設置され、各家庭の沈殿槽が

生活雑排水汚泥の科学組成と汚泥経由重金属排出量

ら定期的に収集、搬入した沈殿汚泥を一括して処理する方策が図られるようになってきた。処理施設に搬入された汚泥は脱水処理後、そのほとんどが埋め立て処分されるか、コンポスト化して農地に還元されている。

本研究はこのように家庭から直接排出されて沈殿槽に沈殿・堆積した生活雑排水汚泥の化学組成を明らかにし、雑排水汚泥の肥料としての適否や重金属濃度のレベルおよび汚泥経由重金属排出負荷原単位について調査検討したものである。調査は汚泥処理施設に搬入された沈殿汚泥を対象に行った。なお、生活雑排水は一般には厨房排水のほかに洗濯排水や風呂排水などが含まれるが、簡易沈殿槽の構造および機能上、洗濯、風呂排水を除いて処理した方が効果的なため、厨房排水が主な処理対象となっている。従って、本研究で対象とした雑排水汚泥は主に厨房排水起源のものである。

従来、下水処理場で発生する汚泥のように工場排水やし尿排水など生活雑排水以外の排水由来の汚泥が混入している下水汚泥の化学組成についての報告はかなり多いが、厨房排水を主とする生活雑排水由来のみの下水汚泥の化学組成に関する地見は未だ極めて少ない。こうした研究は雑排水汚泥の資源としての有効利用や汚泥中の有害金属による環境汚染を評価するための基礎試料として欠かせないだけでなく、台所からどのくらい重金属が排出されるか、いわば日常の生活を介した重金属の循環過程を知る手懸かりを与えるものである。

(1) 調査方法

今回調査対象とした汚泥処理施設は上田市の家庭排水浄化センターである。現在、上田市内に設置されている一万基程の沈殿槽から年間8100m³の汚泥を搬入し、処理をしている。この施設では汚泥は脱水後、有機資材を使わずにそのまま20日間高温発酵して堆肥化されている。調査はこの施設が稼動を開始した日より1か月半後の昭和60年11月15日から翌61年12月まで計8回行った。

図1は汚泥処理施設の処理フローシートである。ここに示したA、B、C、が試料採取箇所である。

Aは貯留槽汚泥で、搬入された汚泥から固形物が取り除かれたあと数日間曝気され、均質化されたもので水分含量は95%前後である。

Bは脱水機により水分含量が65%程度まで脱水された汚泥で、脱水ケーキと称しているものである。

Cは高温発酵による完熟した汚泥堆肥である。

(2) 分析方法

貯留槽汚泥は採取した試料をよく攪拌したのち、

3000rpmで10分間遠心分離機にかけ、沈殿した汚泥を集め、105℃で乾燥し、粉末にした。

脱水ケーキは適度の大きさに碎片して貯留槽汚泥と同様乾燥し、粉末にした。

堆肥は油分が多く、粉末化できなかったため、できるだけこまかくほぐして乾燥し、分析に供した。

汚泥の各成分の分析方法は次の通りである。

炭素と窒素：CHNコーダー(柳本、MT-3)によった。

ナトリウムとカリウム：原子吸光法(島津、AA-610)によった。

水銀：環境庁の底質調査法に準拠した(平沼、水銀濃度計使用)。

重金属類とりん：図2に示すフローシートに従って行った(セイコー電子工業、SPS-1000型ICP発光分光分析装置使用)

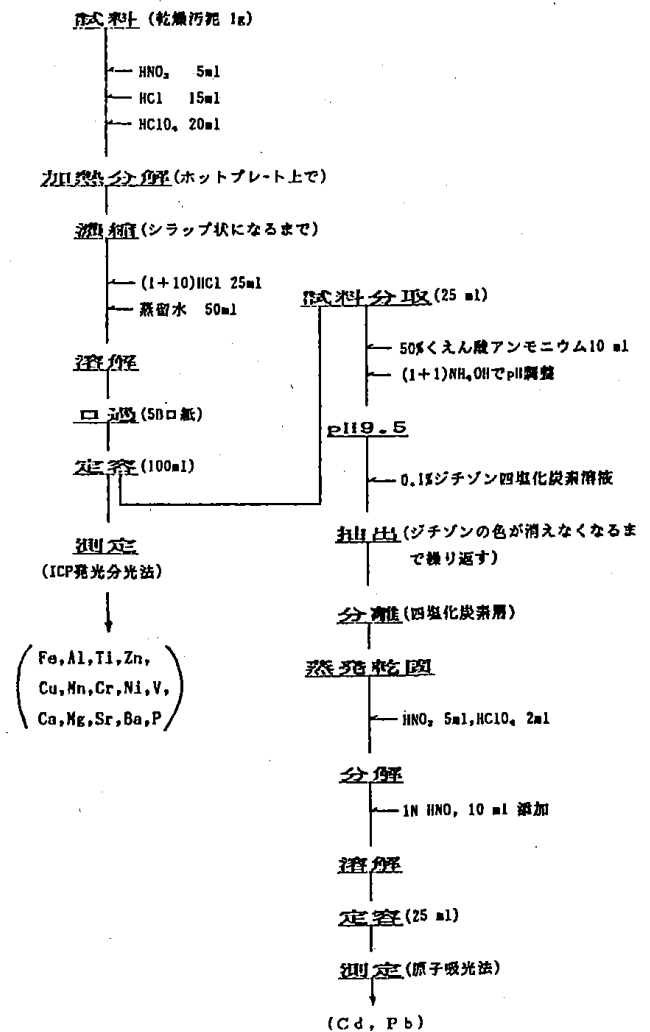


図2. 汚泥・肥料の金属分析法フローシート

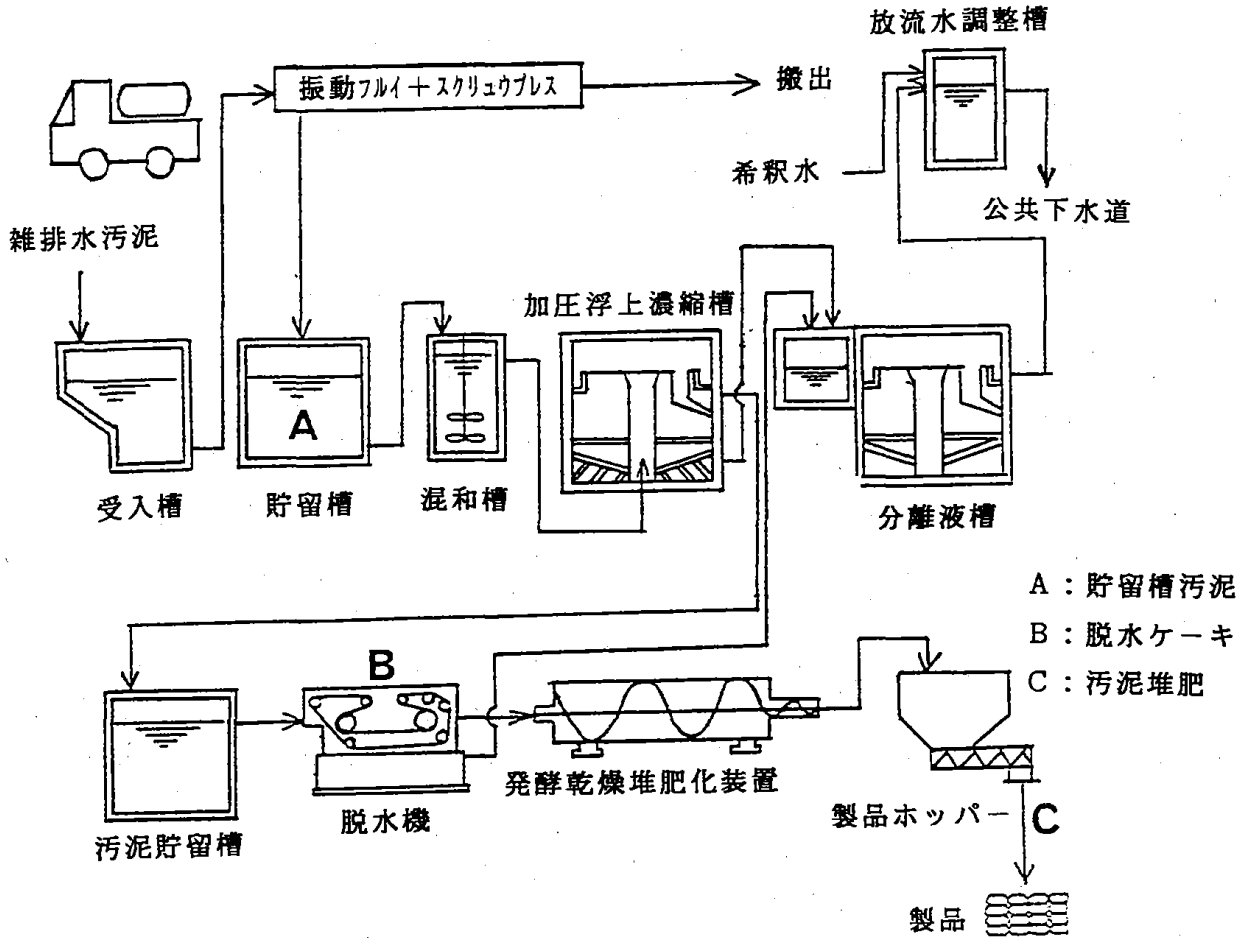


図1. 生活雑排水汚泥処理施設の基本フローシートと試料採取場所

3. 結果と考察

(1) 雑排水汚泥の主成分組成

表1は炭素をはじめ、汚泥の主成分と思われる8成分について分析した結果である。表1には図1に示したA、B、Cの3カ所から採取した貯留槽汚泥、脱水ケーキおよび汚泥堆肥について8回の調査における最小値、最大値、平均値ならびに変動係数が示されている。全般的にみると貯留槽汚泥(A)、脱水ケーキ(B)、および汚泥堆肥(C)における8成分の各濃度は、3者いずれも極めて近い値であり、処理工程での変動はほとんどない。各濃度の変動係数は成分によって異なるが、炭素は5~9%、窒素、りんは15~20%程度と相対的に低く、汚泥中のこの3成分の組成が比較的一定であることを示唆している。これらに比べて他の4成分は20~40%とばらつきが大きい。表2は表1の汚泥肥料のデータから、炭素と肥料の主要成分である窒素、りん、カリウム、カルシウム、マグネシウムの5成分を選び、それらの平均濃度について、比較のために山添²⁾がまとめた下水汚泥(下水処理場のもの)

の)と堆肥(わら類や野菜くずなどを主原料とし、家畜ふん尿を混合しないもの)の平均値を比較して示したものである。なお、りん、カリウム、カルシウム、およびマグネシウムは慣習に従って、各酸化物に換算した濃度で表示してある。これによると窒素とりん酸は下水汚泥に比べて低いものの、堆肥より明らかに高く、逆にカリは下水汚泥と同様堆肥よりかなり低い。汚泥中のカリが低いのはカリが非常に水に溶けやすく、沈殿しにくいと思われる。石灰は堆肥に比べてやや低く、苦土も約半分と低い。下水汚泥のカルシウム濃度が際立って高いのは、処理場によっては凝集剤として石灰を多量に使用しているからである。この表には下水汚泥と堆肥の炭素濃度が示されていないが、それぞれの平均的な値はいずれもおおよそ20~30%の範囲³⁾なので、雑排水汚泥の45%は有機性汚泥としては極めて高い炭素濃度である。これは油分が非常に多いためで、C/N比も18と下水汚泥よりかなり高く、雑排水汚泥の特徴といえる。このように雑排水汚泥の化学的組成から肥料としての適否をみると、カリの濃度が低く、肥料三成分のバランスが悪いという短所はある

生活雑排水汚泥の科学組成と汚泥経由重金属排出量

ものの、窒素とりん酸の濃度が堆肥よりもかなり高いので、カリを補うことにより有機質肥料としての効果は十分期待できる。特に雑排水汚泥中の肥料成分の組

成にばらつきが少ないので、下水汚泥と比べて、より安定した品質の肥料の供給が可能である。

表1 生活雑排水汚泥の主要成分組成 (乾物量当り)

	C	N	P	Na	K	Ca	Mg	Al
	%	%	%	%	%	%	%	%
貯留槽汚泥 (A)								
最小値 (%)	40.0	1.91	0.36	0.04	0.09	0.63	0.07	0.85
最大値 (%)	53.2	2.99	0.42	0.14	0.15	1.08	0.14	2.14
平均値 (%)	46.0	2.39	0.34	0.09	0.12	0.87	0.11	1.40
変動係数 (%)	8.5	15.4	15.8	29.9	18.1	17.4	18.2	31.4
脱水ケーキ (B)								
最小値 (%)	43.3	1.90	0.37	0.02	0.08	0.47	0.05	0.88
最大値 (%)	50.8	3.12	0.64	0.10	0.15	1.20	0.23	2.54
平均値 (%)	47.3	2.61	0.50	0.08	0.11	0.86	0.12	1.79
変動係数 (%)	5.3	16.2	17.5	29.8	19.4	23.8	41.3	30.6
汚泥堆肥 (C)								
最小値 (%)	41.5	2.01	0.47	0.06	0.10	0.53	0.07	1.08
最大値 (%)	48.8	3.56	0.82	0.19	0.30	1.39	0.23	2.21
平均値 (%)	45.8	2.52	0.58	0.11	0.20	1.01	0.16	1.75
変動係数 (%)	5.4	21.9	19.5	38.8	35.5	25.2	31.1	21.5

表2 生活排水汚泥の肥料成分組成と下水汚泥との比較

成分	雑排水汚泥 (本論文)	下水汚泥 (山添, 1986) ²	堆肥
炭素 (C) %	45.8	-	-
窒素 (N) %	2.52	3.1	1.64
りん酸 (P ₂ O ₅) %	1.33	2.7	0.77
カリ (K ₂ O) %	0.24	0.3	1.76
石灰 (CaO) %	1.41	11.8	1.99
苦土 (MgO) %	0.27	-	0.55

(2) 雑排水汚泥の重金属濃度

表3は雑排水汚泥の重金属濃度を示したものである。表1と同様、貯留槽汚泥 (A)、脱水ケーキ (B)、汚泥堆肥 (C) のそれぞれについての計8回の分析結果である。重金属についても、3つの試料の間に顕著な組成の違いは認められない。各重金属濃度の変動係数をみるとカドミウムと水銀を除き、他の金属はほぼ20%前後であり、最大値のほとんどが最小値の2以内である。含量レベルの低いカドミウムでも40%程度である。このように微量成分でも比較的ばらつきが小さいのは、工場排水が流出する下水処理場の下水汚泥とは

異なった特徴であり、これら重金属が各過程の厨房から定常的に排出されていることが伺える。水銀についてみると、その変動係数は50~60%と他の重金属よりも非常に高く、最小値の1 ppmから最大値の18.2ppmとその変動幅は極めて大きい。また、あとでの述べるように、ほかの有機性汚泥とくらべてもその濃度レベルはかなり高く、販売汚泥肥料としての基準値2 ppmを大幅に越えている。

表4は表2に示した貯留槽汚泥 (A) のデータのうち有害元素として知られている8種類の重金属の平均濃度を、他の有機性汚泥と比較して示したものである。し尿汚泥や下水汚泥の重金属濃度については多くの報告がなされているが、ここには農林水産省の調査結果をまとめた山添²⁾と長野県公害衛生研究所⁵⁾の報告からデータを引用した。この表をみると全般的には雑排水汚泥中の各重金属濃度は、水銀を除きし尿汚泥より高く、下水汚泥よりも低い傾向にあるが、雑排水汚泥が工場排水の影響を全く受けていないことを考えると、各濃度レベルはかなり高い。

水銀についてみると雑排水汚泥が他の有機汚泥に比べて一段と高い濃度レベルであることが注目される。

生活雑排水中の水銀濃度については今回調査を行っていないが、岡田ら⁶⁾によると厨房排水中の平均水銀濃度は0.0414 μ g/lと報告している。この値は一般の下水中の水銀濃度⁷⁾0.3~1.4 μ g/lに比べて1ないし2桁低く、雑排水汚泥の水銀濃度を高くする原因にはなり得ない。このことから水銀には一般の厨房排水以外の排出源あるいは非定期的な排出過程の存在が推測される。厨房排水以外の水銀排出源として考えられるのは歯科医が重填用として使う水銀アマルガムの排水がある。中山ら⁸⁾の調査によると、歯科医の診療室から

の排水と一般の生活雑排水とは合流している場合が多く、その上合流した排水やその汚泥には極めて高い濃度の水銀が検出されたと報告している。このほかに非定期的な排出過程として家庭用の水銀体温計の破損による汚泥への混入の可能性も考えられるが、雑排水汚泥中の水銀の高い原因については今のところ不明である。今後、雑排水汚泥の有効利用や環境保全の面から水銀の排出源とその実態を究明することが急務の課題である。

表 3 . 生活雑排水汚泥の重金属組成(乾物量当り)

	Cd	Zn	Cu	Pb	Mn	Ni	Cr	V	Ti	Hg	Fe
	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	%
貯留槽汚泥 (A)											
最小値 (PPM)	0.9	600	125	38.0	69.7	13.3	19.9	16.3	252	2.1	0.97
最大値 (PPM)	3.1	1180	200	70.8	107	20.2	34.1	33.2	340	18.2	2.08
平均値 (PPM)	1.6	882	147	55.1	93.9	15.6	28.0	23.8	293	7.3	1.39
変動係数 (%)	41.4	19.0	19.8	21.8	13.7	13.5	13.7	23.4	10.9	63.2	28.2
脱水ケーキ (B)											
最小値 (PPM)	1.1	758	106	22.8	68.2	7.9	13.4	17.6	115	1.0	0.66
最大値 (PPM)	3.4	1240	157	58.0	120	14.2	29.7	29.0	350	9.1	1.96
平均値 (PPM)	2.1	1024	141	45.5	89.2	12.1	24.5	22.7	267	3.9	1.29
変動係数 (%)	36.2	14.2	11.4	30.8	18.2	16.4	21.0	20.0	32.3	55.7	28.5
汚泥堆肥 (C)											
最小値 (PPM)	1.0	843	139	28.5	99.0	10.6	19.0	18.6	135	1.0	0.76
最大値 (PPM)	3.8	1510	176	68.8	210	34.2	62.5	30.2	499	9.4	2.34
平均値 (PPM)	2.1	1172	159	51.3	144	20.8	39.3	25.0	327	5.2	1.58
変動係数 (%)	42.8	16.1	8.0	23.0	28.0	34.7	33.7	13.4	34.5	54.3	34.4

表 4 . 生活雑排水汚泥と他の有機性汚泥における重金属の濃度の比較 (PPM)

重金属	雑排水汚泥 (本論文)	し尿汚泥 (山添、1986) ²⁾	下水汚泥 (鹿角ら、1986) ⁵⁾	下水汚泥
Cd	1.6	2.1	2.3	3.0
Cr	28.6	18.1	49.0	54
Cu	147	121	173	300
Hg	7.3	1.1	1.0	2.8
Mn	93.6	-	-	350
Ni	15.6	18.7	37.4	90
Pb	55.1	12.3	48.2	79
Zn	882	740	961	1600

(3) 生活雑排水由来重金属の沈殿汚泥經由排出負荷量
重金属が家庭の台所から沈殿汚泥を經由してどのぐ
らいの量が排出されるかを知るために、雑排水汚泥に

おける各重金属の平均濃度と沈殿汚泥発生量とから一
人一日当りの雑排水沈殿汚泥經由負荷原単位を求めた。
沈殿汚泥発生量は下記に示したように上田市から提供
された資料をもとに算定した。ここで得られた沈殿汚
泥発生量3.4g/日・人は、長野県⁹⁾が調査した簡易沈殿
槽の沈殿汚泥発生量2~7g/人・日の範囲に入る。

生活雑排水沈殿汚泥經由重金属排出負荷原単位の算
出基礎:

- (i) 搬入量=堆肥生産量 56.56トン/年
- (ii) 堆肥水分含量 27%
- (iii) 乾物あたり堆肥生産量 41.3トン/年
- (iv) 汚泥処理施設利用者数 33,280人
- (v) 沈殿汚泥発生量 3.4g/日・人
- (vi) 雑排水沈殿汚泥經由重金属排出原単位

($\mu\text{g}/\text{日}\cdot\text{人}$)

$$=3.4(\text{g}/\text{日}\cdot\text{人})\times\text{汚泥中重金属濃度}(\mu\text{g}/\text{g})$$

表5は有害性重金属について上記の式に基づいて算出した雑排水由来の沈殿汚泥経路排出負荷原単位である。比較のために森ら⁹⁾が調査した厨房排水由来の排出負荷原単位が示されている。本研究で対象とした汚泥は、はじめにも述べたように厨房排水中の懸濁物の一部が沈殿槽に沈殿・堆積したものである。またその沈殿の割合は沈殿槽に流入する懸濁物のおよそ50%である。一般に厨房排水中の重金属のうち可溶態で存在する割合は懸濁態のものよりもかなり少ないとも思われる。これらのことから、表5の本論文の各数値を2倍したものが、ほぼ厨房排水由来の排出原単位に相当する。そのようにして両者を比較すると、ほとんどの重金属で本論文の排出原単位の方が大きいものの、その差はそれほど大きくない。むしろ、発生源における生活様式の違いや排水と汚泥の質的な不均一さを考慮すると両者はかなりよく一致していると見たほうが妥当であろう。

水銀については前述したように、厨房排水以外の排出源の存在が推測されたので、計算の対象から除外した。水銀はいうまでもなく典型的な有害重金属の一つであり、今後さらに雑排水汚泥の濃度レベルや排出負荷原単位について検討する必要がある。

3. まとめ

本研究は家庭の厨房排水を主とする雑排水から発生する沈殿汚泥の化学組成を明らかにし、汚泥の肥料と

しての適否や重金属の濃度レベルおよび重金属の排出負荷原単位について調査検討したものである。調査は各家庭の簡易沈殿槽から収集され、雑排水汚泥処理専用施設に搬入された沈殿汚泥を対象に8回行われた。

1) 炭素濃度は約45%と一般下水汚泥と比べてかなり高い。また肥料成分は窒素2.5%、りん酸1.3%であり、下水汚泥より低い。食物性堆肥より窒素で1.5倍、りん酸で約2程高く、0.24%と低めのカリを補うことにより、有機質肥料としての効果が十分期待できる。

2) 有害性重金属の各濃度レベルはし尿汚泥と下水汚泥のほぼ中間にある。各重金属の平均濃度は次のようである。Cd 1.6、Cr 28.6、Cu 147、Hg 7.3、Mn 93.6、Ni 15.6、Pb 55、Zn 882 (ppm)。このうち水銀濃度の7.3ppmは有機質汚泥としては極めて高い。この原因については不明だが、その濃度のばらつきが、他の金属に比べて非常に大きいことから、厨房排水以外からの排出源の存在が推定される。

3) 生活雑排水由来の重金属のうち、沈殿汚泥を経由して排出される重金属量を1人、1日当りの排出負荷原単位として求めた。各重金属の原単位を範囲で示すと、Cd 3~10、Cr 68~115、Cu 430~750、Mn 240~320、Ni 44~68、Pb 130~240、Zn 2000~4000(以上 $\mu\text{g}/\text{人}\cdot\text{日}$)である。こうした排出負荷原単位は今後の重金属の循環を考える上で重要なデータとなろう。

表5. 生活雑排水由来沈殿汚泥経路重金属排出原単位

重金属	沈殿汚泥経路排出負荷量	厨房排水由来排出負荷量
	$\mu\text{g}/\text{日}\cdot\text{人}$ (本論文)	$\mu\text{g}/\text{日}\cdot\text{人}$ (森ほか、1983) ⁹⁾
Cd	5(3~10)	11
Cr	95(68~115)	65
Cu	500(430~750)	700
Mn	320(240~320)	570
Ni	53(44~68)	150
Pb	187(130~240)	95
Zn	3000(2000~4000)	1800

() 内は最小値~最大値

文 献

- 1) 長野県生活環境部・長野県衛生公害研究所：家庭雑排水の処理に関する調査研究、第一次報告、1979
- 2) 山添文雄：有機性廃棄物の農業利用、日本土壤肥料学雑誌、57(1)、96-104、1986
- 3) 高橋和司：下水汚泥の農業利用について、第4回下水道セミナー概要（日本下水道協会）、22-28、1969
- 4) 都留信也：コンポスト利用の将来、有機質廃棄物のコンポストに関するシンポジウム講演集（下水汚泥資源利用協議会）、89-94、1985
- 5) 鹿角孝男・村松絃一・月岡 忠・百瀬敦海：有機汚泥の汚染成分調査、長野県衛生公害研究所報告、9、42-45、1986
- 6) 岡田昌四郎・石沢 肇・高橋理之・川田賢治：流入下水中の重金属類等の由来と特性に関する研究、下水道協会誌、22 (254)、51-69、1985
- 7) 田井慎吾・岡田光正・須藤隆一：生活排水中の重金属の由来について、国立公害研究所報告、第14号、203-209、1980
- 8) 山中すみえ・田中界治・田中久雄・西村正雄：口腔衛生学会雑誌、歯科診療による水銀の環境汚染について、26(4)、307-313、1977
- 9) 森 忠洋・森山 清・荒屋敷秀俊・森 泰・斉藤 寛・中野篤浩・茅野充男：家庭から下水へ排出される重金属の原単位、水質汚濁研究、10、(7)、415-422、1987