

下排水処理施設における重金属の挙動と 汚泥の緑農地利用についての検討

高 島 正 信*

Basic Studies on the Behavior of Heavy Metals in Wastewater Treatment Plants and the Agricultural Use of Sludge

Masanobu TAKASHIMA

Heavy metal content of wastewater and sludge was analyzed for three different sizes of wastewater treatment plant. By using an Inductively Coupled Plasma Spectrometer (ICP), the heavy metals investigated were Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn.

The level of those metals in wastewater was $Zn > Cu > Cr \sim Ni \sim Pb > Cd$. A significant portion of those metals was transferred to sludge and accumulated in it. The level of those metals in sludge was below the level of regulations imposed on sludge re-use as a fertilizer *et al.*, but well above the level present in the nature. To prevent the release of harmful heavy metals to environment, it is desired to control the industrial use of metals, and to recover metals from sludge.

1. はじめに

下水道等の普及に伴い下排水処理施設から発生する汚泥量は年々増加の一途であるが、この発生汚泥の最終処分は大きな課題となっている。現在、大都市から発生する下排水汚泥の大半は直接埋め立て処分か、あるいは焼却後埋め立て処分される場合がほとんどであるが¹⁾、今後建設予定の下排水処理施設は地方都市が大半であり、下排水汚泥の大部分が有機成分であることを考慮すると、特に地方都市では有機肥料あるいは土壌改良材として緑農地利用することが最も望ましい形態であると考えられる。しかし現状では、汚泥中の重金属含有量が高いことなどから敬遠されている。

本報告では、こうした背景から、主に家庭からの排水を受け入れる処理施設を対象として、下排水および汚泥に含まれる重金属量を調査し、発生する汚泥の有効利用について検討してみた。

2. 実験および分析方法

2. 1 対象とした処理施設

実験を行うにあたって、まず福井県内のHK、SおよびHの3カ所の処理施設から直接下排水および汚泥を採取した。HKおよびSはともに小規模施設で生活排水のみを処理しており、一方、Hは大規模で一部工場排水の受け入れがある。採取したサンプルは、原水、放流水、返送汚泥、脱水ケーキなどである。各処理施設の概要を表-1に示す。

*建設工学科 土木工学専攻

表-1 対象とした処理施設の概要

処理施設	対象排水	処理能力 ($\text{m}^3/\text{日}$)	処理方法	
			水系	汚泥系
H K	農業集落排水	125	嫌気ろ床-接触ばっき	貯留
S	下水	1,557	長時間ばっき	貯留-脱水
H	下水	66,000	標準活性汚泥	濃縮-嫌気性消化-脱水

2. 2 対象とした重金属

下排水汚泥を有機肥料として使用する場合は特殊肥料として分類されるが、現在それに関わる重金属含有量の基準として肥料取締法による基準、最近農林水産省から発表された有機肥料の民間推奨基準、農用地における重金属の蓄積防止を努めるための管理指標として環境庁から出された暫定基準がある。これらの基準を参考に表-2に示す。

本実験では、カドミウム (Cd)、クロム (Cr)、銅 (Cu)、ニッケル (Ni)、鉛 (Pb) および亜鉛 (Zn) の6種類の重金属を調査対象とした。これら6種類の重金属を選択した理由は、肥料取締法によりCdについては含有量の基準が定められ、Cd、CrおよびPbについては肥料からの溶出量が規制されているからである。Cu、NiおよびZnについては植物等に与える影響が危惧される重金属であり、とりわけCuとZnについては農林水産省の民間推奨基準に盛り込まれている。さらに、Znについては環境庁通達によって農用地における管理指標となっている。

表-2 下水汚泥の農地利用に関連する規制等のまとめ

肥料取締法	環境庁-土壤汚染に関わる管理基準	農水省-有機質肥料等の推奨基準
As : 50mg/kg乾物 Cd : 5mg/kg乾物 Hg : 2mg/kg乾物	Zn : 120mg/kg乾物	肥料取締法に適合、加えて Cu : 600mg/kg乾物 Zn : 1,200mg/kg乾物

2. 3 前処理法

試料の前処理法として、分解力が比較的強く、操作に危険性が少ない王水分解法を用いた。この方法の手順は、まず試料の適量をビーカーにとり、硝酸5mlおよび塩酸15ml (1:3の割合)を加えて時計皿で覆い熱板上でゆるやかに加熱し、内容物が10~15mlに近づいたところで放冷する。その後硝酸5ml、塩酸15mlを加えて加熱する操作を2回繰り返す、最終的に内容物が5~10mlになるまで加熱をつづけ放冷する。その液に塩酸2.1mlを加えてろ紙5Bでろ過し、ろ紙を水で洗浄した後全量を50mlとし、分析試料とする。なお、重金属濃度が低いと予想されるもの (原水および放流水) については、最高2lまでのサンプル量を使用した (濃縮倍率最高40倍)。

2. 4 重金属濃度の測定

分析装置として高周波プラズマ発光装置（Inductively Coupled Plasma Spectrometer、ICP）を用いた。使用した波長は、C d：214.438nm、C r：206.149nm、C u：324.754nm、N i：221.647nm、P b：220.351nm、Z n：213.856nmである。濃度算出にあたっては、バックグラウンド補正とピークポイント補正（ピーク位置のずれを補正）を行い、内部標準液補正は用いなかった。

3. 実験結果および考察

分析結果を表－3に整理して示す。実規模の下排水施設では、とりわけ流入原水について流量および水質に関する時間変動、日変動や季節変動が存在する。このため24時間調査を何回か実施することが最も望ましいが、これは容易なことではない。今回の調査では、サンプル採取を1回のみ実施し、その時間は午後2時から3時頃であった。一方、処理水と汚泥に関しては施設内で長期間滞留して緩衝されるため、流入原水に比べると比較的性状は一定であると考えられる。

サンプル採取した時間は1日のうちで最も流量および水質が低い時間帯の一つであり、そのためか原水濃度が処理水濃度よりも低い値を示す重金属があった。こうした理由により表－3では、SおよびH浄化センターの物質収支における流入側と流出側（放流水および排出汚泥）の量が一致するように原水濃度を補正してある。HK処理場では検出限界以下のものが多かったため物質収支がとれず、補正しないそのままの値を挙げてある。

表－3 分析結果（ND：検出されず）

施設	種類		C d	C r	C u	N i	P b	Z n
HK	原水	mg/l	ND	ND	0.0053	ND	ND	0.030
	放流水	mg/l	ND	ND	0.0008	0.0011	0.0015	0.003
	嫌気第1槽	mg/l	0.00095	0.017	0.27	0.016	0.026	0.68
	沈殿槽	mg/l	0.0033	0.036	0.36	0.038	0.045	1.4
	貯留槽	mg/l	0.0023	0.034	0.32	0.032	0.052	1.4
S	原水	mg/l	0.00008	0.0020	0.018	0.0027	0.0061	0.042
	放流水	mg/l	ND	0.0006	0.003	0.0013	0.0047	0.021
	返送汚泥	mg/l	0.00025	0.014	0.19	0.016	0.025	0.22
	汚泥貯留槽	mg/kg	0.89	10	120	11	9.1	170
	脱水ケーキ	mg/kg	0.73	13	130	11	12	180
H	原水	mg/l	0.00029	0.0079	0.017	0.0032	0.0024	0.049
	放流水	mg/l	ND	0.0027	0.003	0.0020	ND	0.022
	初沈流出水	mg/l	0.0014	0.0067	0.011	0.0020	ND	0.051
	返送汚泥	mg/l	0.0093	0.066	0.47	0.029	0.077	0.98
	汚泥濃縮槽	mg/l	0.012	0.15	0.79	0.075	0.13	2.7
	嫌気消化槽	mg/l	0.14	1.0	6.2	0.55	0.96	15
	脱水ケーキ	mg/kg	5.2	93	260	23	43	550

3. 1 重金属濃度と処理施設の比較

各重金属の含有量は、原水および放流水についてはC dが検出限界以下 $\sim 0.0003\text{mg}/\ell$ 、C rが検出限界以下 $\sim 0.008\text{mg}/\ell$ 、C uが $0.0008\sim 0.02\text{mg}/\ell$ 、N iが検出限界以下 $\sim 0.003\text{mg}/\ell$ 、P bが検出限界以下 $\sim 0.006\text{mg}/\ell$ 、Z nが $0.003\sim 0.05\text{mg}/\ell$ であり、 $Z n > C u > C r \approx N i \approx P b > C d$ の順序であった。また、水系よりも汚泥系の方が重金属含有量が高く、汚泥系では処理が進むにつれて含有量が高くなり、濃縮されていく傾向がうかがえる。

各処理施設を比較してみると、規模が大きくなっていくほど($H K < S < H$)、重金属濃度が高くなっていく傾向がみられる。H浄化センターの場合には、工場排水の受け入れがあることから当然の結果とも思われるが、規模が大きくなるほど様々な重金属の汚染源が存在していくことにも起因するかもしれない。大規模の方が処分すべき、あるいは再利用できる汚泥量が多いことは明らかであるが、重金属含有量の点からみると、小さな処理施設の方が緑農地利用により向いていることがわかる。

3. 2 重金属の処理施設内での挙動

重金属の処理施設内での挙動をSおよびH浄化センターについて、それぞれ図-1、2に示す。全体の傾向としては、S浄化センターとH浄化センターでは大きな違いはみられず、流入量に対する放流量は、C dで0%、C rで28~34%、C uで15~17%、N iで51~60%、P bで0~78%、Z nで41~51%であり、原水中の残りの重金属が汚泥側に移行していることがわかる。したがって、今回の調査では、汚泥への蓄積性が高いものの順序として $C d > C u > C r > Z n > N i$ という結果が得られたが、蓄積性は原水中の濃度にも関係すると思われるため、常にこの順序であるとは言い切れない面がある。しかし、蓄積性が高いC d、C u、C rに関しては、放流水中の重金属はほとんど問題とならず、多くは汚泥側で問題となることが推察される。

例外的な存在としてP bがあり、0%~78%と処理施設によって大きく異なる結果が得られた。この理由として、たまたま水質変動の影響を受けたとか、I C P分析においてはP bの分析感度が最も低いいため不正確さが大きかったことなどが考えられる。

3. 3 汚泥の農業利用についての検討

ここでも脱水ケーキを搬出しているSおよびHの両施設のみについて考察する。S浄化センターをみてみると、郊外に位置し、工場排水の流入がないため特殊肥料の基準および有機肥料の推奨基準を十分に満たしているが、Z nに関しては $176\text{mg}/\text{kg}$ 乾燥土壌と環境庁の指導基準を超えている。したがって、環境庁の通達を満たすことは生活排水のみの処理についても大変に難しいと考えられ、基準をゆるめるか、あるいはZ nの発生源と言われるシャンプー、リンス、洗剤など²⁾の製造段階から見直す必要もあるといえるだろう。

H浄化センターの場合には、特殊肥料および有機肥料の基準値をクリアーしているものの、工場排水を受け入れていることもあってS浄化センターに比べて10倍前後も重金属濃度が高い。

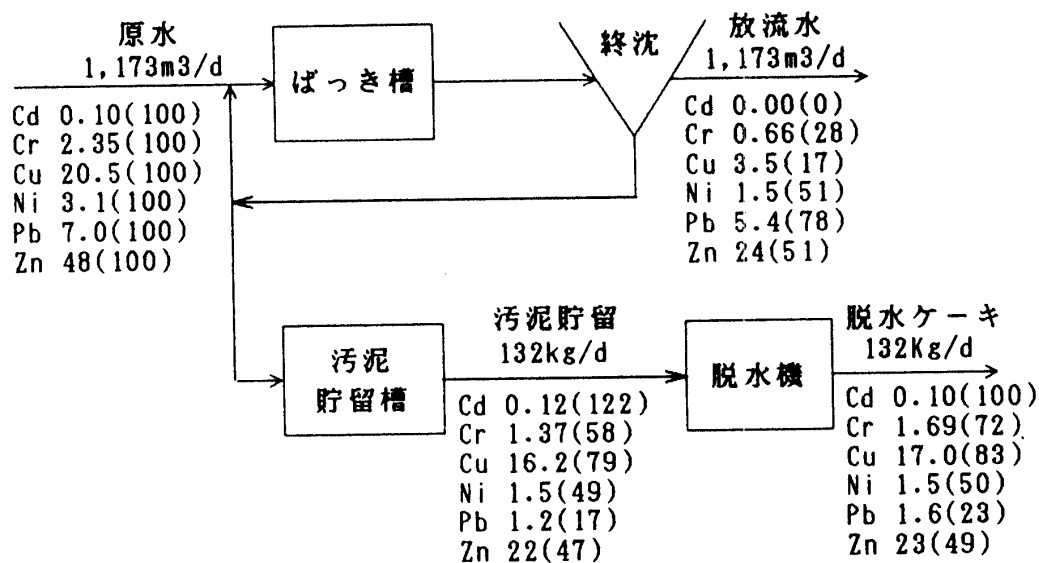


図-1 S浄化センターにおける重金属の挙動
(単位はg/日、かっこ内は流入に対する%)

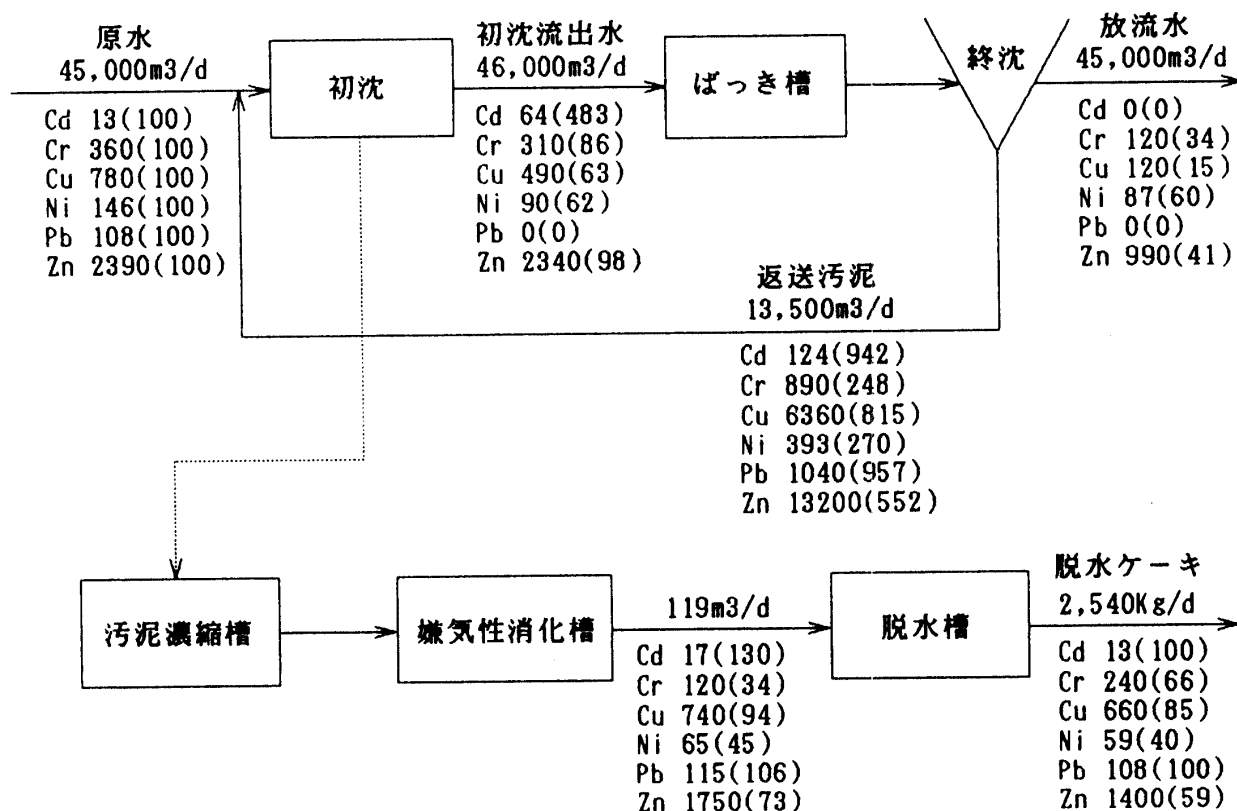


図-2 H浄化センターにおける重金属の挙動
(単位はg/日、かっこ内は流入に対する%)

もちろん、環境庁のZnに関する指導基準を超過している。環境庁の指導基準は自然界に存在する量を基に定められているため、これをはるかに越えるということは、重金属を不必要に環境中に放出することに等しい。そのため、環境管理の面から下排水汚泥の緑農地利用を考えると、汚泥中の有害重金属を経済的に精製除去する方法が必要であると思われる。

4. まとめ

福井県内にある、生活排水を主として処理している3つの下排水処理施設から下排水および汚泥を採取し、ICPを用いて重金属量を調査した結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 下排水中の重金属の濃度は、 $Zn > Cu > Cr \approx Ni \approx Pb > Cd$ の順に高かった。
- (2) 処理施設の規模が大きいほど、重金属濃度が高くなる傾向にある。
- (3) 原水中の重金属は高い割合で汚泥に移行し、その程度は $Cd > Cu > Cr > Zn > Ni$ の順に高かった。Pbについては、明白な傾向がつかめなかった。
- (4) 今回調査した下排水処理施設から発生する汚泥は、対象とした重金属について特殊肥料および有機肥料の推奨基準の基準値内であったが、自然界に存在するバックグラウンドレベルからははるかに高いと推測される。

今後は、環境管理の上から、下排水汚泥を有効利用するために重金属に関する発生源対策や汚泥からの除去方法について検討することが望ましいと思われる。

参考文献

- 1) (社)日本下水道協会：平成4年度版下水道統計（1992）
- 2) 日本下水道事業団技術開発部：下水道汚泥の農地等への施用に関する調査、技術開発部報、p. 115-146（1989）

（平成6年12月8日受理）