

下水汚泥の重金属バックグラウンド

—農業利用のために—

北海道大学工学部 寺町和宏
〃 神山桂一

1.はじめに 都市計画は都市廃棄物処理を考えた上でなされなければならないことが今では常識になっている。本論文は都市下水処理過程から出てくる下水汚泥の処理或は利用という観点からその重金属含有量について検討したものである。言うまでもなく都市下水道には重金属その他有害物を含む廃水を入れるべきではない。しかしながら現実にはきめ細かな規制をすることは難しく、その結果高濃度の重金属を含む汚泥の分析値が種々報告されている。食物連鎖による濃縮ということを考えれば下水中の重金属濃度が例えば0.1 PPM増加しただけで汚泥には100 PPM程度の増加になる訳であるから汚泥処理、処分にとって重大な問題となる。そのような観点から重金属を含む工場廃水を全てカットした場合の重金属量を知ることが必要となるだろう。筆者らは工場の全くない団地の下水汚泥や工場廃水の流入がある処理場の汚泥中の重金属を測定し（その一部を報告した¹⁾。その中で汚泥の脱水時に用いる薬品の影響やガリンスランド廃水の影響があることを示唆した。ここでは更に真の下水汚泥重金属のバックグラウンドについて検討した結果を述べ、最後に汚泥処理処分について農業利用の見地から論ずる。

2. 下水及び汚泥の分析法とD₂ Lampによる補正

下水及び活性汚泥の分解方法をフローシートで図-1に示す。下水は図に示すように固形有機物を完全に分解した。分析法：As; 還元臭化Ag-DDTC-CHCl₃比色法、²⁾Hg; 還元臭化冷原子吸光法(H₂SO₄とHNO₃による加熱還流分解)。その他は全て原子吸光H-508を用いた。蒸留水は全パイレックス製蒸留装置によるもので、ガラス器具も全てパイレックス製のものをを用いた。

原子吸光法による定量法の問題としてカルシウムやナトリウム等の塩類が多量に存在する場合の分子吸光によるプラスの誤差である。特に測定する重金属が低濃度の場合には大きなプラスの誤差を招く（筆者の経験では希釈して測定できる濃度のものはほとんど影響はない）。分子吸光は短波長のもの程大きく実際のサンプルと塩類のD₂ Lampによる分子吸収を図-2に示す。図は計器の感度が最低の場合で感度を上げて測定する場合はD₂ Lampによる補正も同条件で行なわなければならない。図-2より明らかなように分解したサンプルをそのまま希釈なしで噴霧する場合は特にZn, Cd, Co, Ni等については分子吸光のバックグラウンドを差引かねばならない。本文のデータは全てD₂ Lamp補正を行なったものである。

3. 分流通地地下水処理場における実験

工場廃水の流入が全く無い札幌市近郊の団地下水処理場（処理人口23,000、エプロクセレーター、分流通）におい

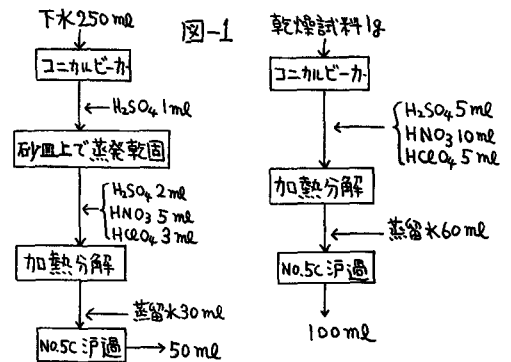
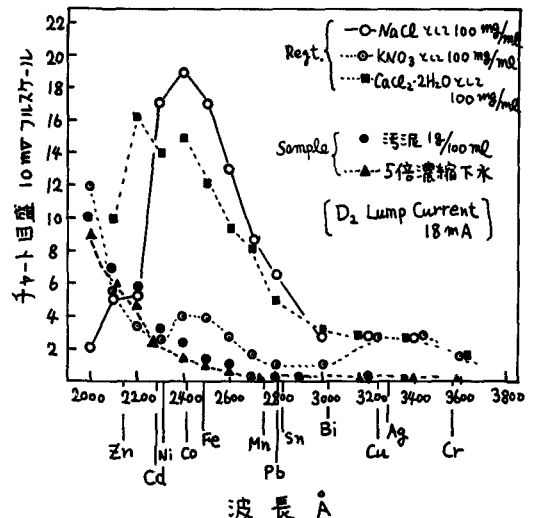


図-2 D₂ Lampによる分子吸光



て通日調査を行ない流入下水と最初沈殿池流出水（以下沈後水とする）の分析を行なうとともに薬注脱水分離液の影響を除く為流入下水を直接用いて回分式で活性汚泥の馴養を行なった。この実験はまず、朝9時、午後4時、夜8時の流入下水を用い、20Lの曝気槽で1日3回、回分式で一週間馴養し最後の通日調査の日に更に9:00、13:00、16:30、20:00（2回）24:00の流入下水を用いて連続6回の回分馴養を行なった。種汚泥は同処理場の曝気槽混合液をそのまま用いた。基質として用いた下水の濃度はCOD_{Cr}で400~800ppmであり、馴養期間中のMLSSは1600~2000ppmであった。このようにして馴養された汚泥の重金属の分析は通日調査日における回分馴養0, 2, 4, 6回目の後のものについて行なった。それらをA-1, 2, 3, 4とする。

B: 同処理場の曝気槽混合液を遠心分離した汚泥

C: 同処理場薬注真空脱水汚泥、薬注率は塩化オ2鉄8%, 消石灰18%で含水率は約80%であった。薬注率が高いのは汚泥がバルキングで脱水性が悪い為である。

D: O市薬注脱水汚泥、標準活性汚泥法処理区域に重金属を排出するような工場はないと思われる。

E: 農村地域にある町村共同の屎尿処理場で、屎尿には重金属廃液の影響はないと考えられている。処理方式は好気性2段曝気法である。

以上の汚泥の他に脱水用塩化オ2鉄溶液（全蒸発残留物360g/L）、消石灰、脱水分離液、生屎尿（E）の分析を行なった。これらの結果をまとめて表-1、表-2に示す。表-1の結果より流入下水に対し沈後水が分離液の影響を受けているとはみられない。それは分離液の量が50%で流入下水量に対し毎時5%程度である為であろう。しかしながら最初沈殿池である程度の重金属除去率が期待出来るこ

流入下水 時系列	Cd	Pb	Mn	Cr	Zn	Fe	Ni	Cu	Co	As	Hg	COD _{Cr}
9:00	↑	0.023	0.12	0.03	0.26	1.10	↑	0.15	↑			820
10:00	↑	0.014	0.066	0.02	0.42	0.24	↑	0.15	↑			520
12:00		0.050	0.046	0.004	0.24	0.75		0.11				370
13:00		0.008	0.066	0.015	0.24	0.80		0.073			0.006	470
15:00		0.035	0.044	0.010	0.25	0.91		0.070				320
16:30		0.014	0.080	0.018	0.15	0.50		0.052				390
18:00	0.002	0.016	0.050	0.008	0.23	0.87	0.005	0.081	0.005	0.003		330
20:00	0.006	0.012	0.064	0.025	0.22	0.90	以下	0.050	以下	以下	0.002	500
22:00		0.002	0.055	0.013	0.33	1.50		0.051				500
24:00		0.010	0.062	0.016	0.22	0.57		0.080			0.002	450
5:00		0.036	0.037	0.005	0.10	0.42		0.005				100
8:00		0.020	0.066	0.014	0.45	1.35		0.046				570
9:00	↓	0.015	0.066	0.014	0.41	1.40		0.072	↓			570
平均		0.020	0.063	0.015	0.27	0.87		0.076			0.007	455

(表-1) ppm

沈後水 時系列	Cd	Pb	Mn	Cr	Zn	Fe	Ni	Cu	Co	As	Hg	COD _{Cr}
9:00	↑	0.007	0.082	0.13	0.16	0.4	↑	0.025	↑			420
10:00	↑	0.015	0.070	0.003	0.19	1.0		0.026				430
11:00		0.011	0.064	0.030	0.20	1.0		0.025				400
12:15		0.015	0.050	0.020	0.16	0.45		0.022				320
14:00		0.015	0.333	0.016	0.14	0.50		0.023				280
15:00	0.002	0.020	0.050	0.016	0.12	0.42	0.005	0.019	0.01			280
16:00	以下	0.015	0.045	0.016	0.16	0.51	以下	0.023	以下			300
18:00		0.007	0.040	0.016	0.13	0.31		0.021				250
20:00		0.004	0.056	0.007	0.17	0.30		0.023				300
22:00		0.007	0.053	0.003	0.14	0.25		0.026				340
24:00		0.011	0.064	0.007	0.14	0.66		0.024				370
8:00	↓	0.010	0.072	0.010	0.11	0.70	↓	0.017	↓			130
平均		0.012	0.077	0.014	0.15	0.54		0.023				318

*空白は測定値なし

表-2 汚泥中の重金属 mg/MLSS.dry kg

	Cd	Pb	Mn	Cr	Zn	Fe	Ni	Cu	Co	As	Hg	VSS%
A-1	0.5	7.3	120	41.6	1700	5200	7.0	406	0.6	3.7		83
A-2	2.5	10	123	44.0	1600	4600	10.0	374	1.0			83
A-3	1.7	3.6	120	43	940	2100	7.7	148	0.6		1.0	81
A-4	1.0	9	120	42	830	2040	4.0	171	0.6	3.7	1.3	82
B 9:00	0.6	8.0	98	38	1180	5040	1.4	116	1.0	7.0	1.0	85
〃 12:00	0.6	8.5	101	43	1180	5040	3.4	118	1.2		1.2	85
〃 15:00	1.7	13.0	105	42	730	2400	3.4	93	2.4	4.0		85
〃 19:00	1.3	9.1	99	45	1360	5100	4.7	112	1.8		1.0	86
〃 24:00	0.4	8.0	97	43	1340	4550	3.4	95	3.1	3.0		85
〃 8:00	2.0	5.0	95	43	1480	5310	4.7	137	3.1			84
C ₁ 脱水汚泥	2.1	22	233	130	600	24,500	25	55	3.0	3.9	0.6	72
C ₂ 汚泥	2.3	24	290	148	1120	28,400	18	91	2.4	3.7		72
D ₁ 〇市薬注汚泥	2.7	27	600	170	885	21,400	30	100	9.2	6.3		50
E ₁ 屎尿	1.7	20	286	32	944	2,280	5.4	120	Tr	5.7	2.7	78
FeCl ₃	Tr	5.1	1,450	1,070	1,360		54	23	13	Tr	0.008	(64)
Ca(OH) ₂	0.5	65	30	11	5.5	550	5	10	Tr	2.6	0.02	
脱水分離液	Tr	0.2	0.3	0.2	0.5	18	0.13	0.083	0.018	0.018		
生屎尿	0.02	0.05	0.9	0.06	5	8	0.035	0.38	Tr		0.005	

と及び流入水の有機物濃度が沈後水のそれより低いことを考えるとPb, Cr, Mn等においてはほとんど除去されていないことから、脱水分離液による影響が少なからずあるものと思われる。確かに薬注脱水による影響は表-2の重金属分析結果から知ることが出来る。脱水汚泥においてPb, Mn, Cr, Fe, Ni, CoはA及びB汚泥の値と比べていづれも高い値を示している。これは塩化オ2鉄及び消石灰の分析値からもわかるように明らかにそれ等薬品による増加と考えられる。A汚泥とB汚泥の重金属濃度に大きな差がみられなかったことは、脱水分離液による影響の度合とA汚泥の馴養に用いた下水が沈殿過程を経ていないことなどによるものと考えられる。塩化オ2鉄がこれ程種の重金属を多量に含んでいることはその生産過程から推測される。同処理場で使用している塩化オ2鉄溶液はリ-グ工場から出る副産物であり、それはおそらく排ガスとしての塩素ガス→塩酸→鉄リズ→ $FeCl_3$ といった過程から生成されるものである為種の重金属を多量に含んでいるものと思われる。消石灰は鉱石としての石灰石に含まれる不純物に帰因するものであり充分な精製を受けていない為と考えられる。したがって良質な薬品を使用すればいい訳であるが、薬品は出来るだけ低廉であることが望まれるのでその純度に関心が払われないことは否定出来ない現状であろう。

4. 工場废水を含む下水汚泥の検定

ある下水処理場の下水汚泥が有害重金属でどれ位汚染されているかは前節で求めたAの値と比較することにより明らかになる訳であるが、より明確にする為には余り大きな変化のみされないZnに対して各重金属濃度を両対数プロットすることが有効である。

図-3はZn, Pb, Crを両対数プロットしたものである。

図中には工場废水の流入があると思われるS市T合流式下水処理場の値と、当団地下水処理場のB及びCの値をプロットした。前述したように明らかに薬注脱水汚泥は汚染されていることがわかる。又下処理場においては熱処理脱水法を採用してより薬品を一切使用していないにもかかわらず大きな汚染を示している。したがって工場からの重金属の排出が充分予想される訳である。そこで下処理場において通日調査を行なった結果を図-4に示す。明らかにPbとCrは異常値を示しており、その値から察するところ排出源においては非常な高濃度で排出されたものと思われる。又酸可溶性部分の濃度(濃硝酸を加えてPHを1以下とし、10分間混合した後濾過したもの)は図中のピーク濃度において全濃度の90%以上占めたことから排出時の重金属の形態が察知出来た。

5. 汚泥の処理処分方法

現在行なわれている汚泥の処理処分方法についてまよめてみると図-5のようになる。種の経路が考えられているが下水処理場の立地条件によって大きく左右され

図-3 重金属の両対数プロット

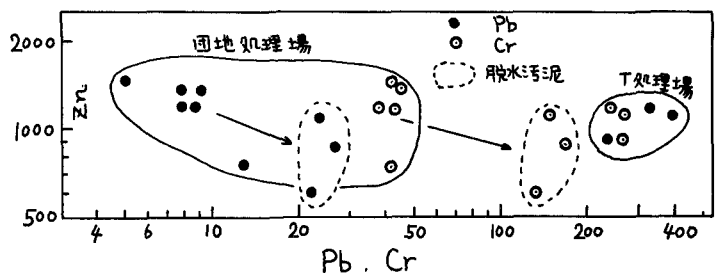
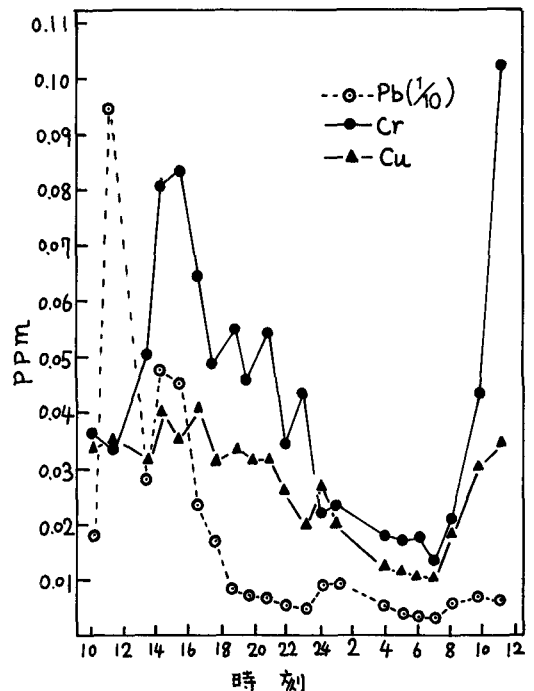


図-4 T処理場流入下水中の重金属



ていることが多いようである。と言うことは逆に下水処理場を作る場合立地条件を選択することによって望ましい汚泥処理処分の方法を採用するということであろう。図におけるいづれの経路をとってみても問題を含んでいるものは「かりであるが、経費が安いこと二次汚染を出さないこと、という点から考えてみるとD,E,Fを経て農業利用が最も良いように思われる。もちろん前提として高濃度の重金属、PCB等の有害物が入

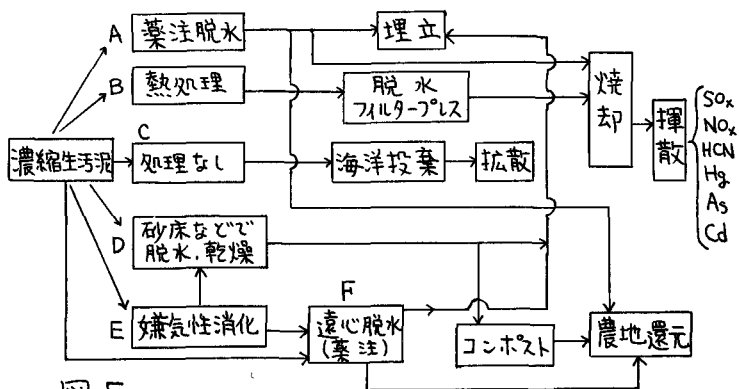


図-5

っていないことが必要である。時間とエネルギーが最も少ない(海洋投棄は論外として)と思われる薬注脱水による経費について検討してみると表-3のようである。これは前述の団地下水処理場における昭和48年度諸経費の月平均値である。実に43%が薬品代となっている。

いかなる水処理過程においてもその系に他から物質を投入することは処理の原則からはずれるものであり、まして更に利用の可能性を無くする形で処理処分を行なうことは資源の有効利用という観点からも良くない考える。すでに述べたように薬注脱水は汚泥量を増やすばかりでなく重金属の汚染源になっていることを考えると非常に不合理な方法と言わざるを得ない。

6. 水処理システムと農業の生態学的結合

近年の農業における地力の低下は化学肥料の多使用と有機質の欠乏等による土壌生態系の破壊によると言われてしている。吉田³⁾は日本農業における化学肥料の多施と有機物還元の激減が土壌を破壊していると論じ、その中で、有機物を還元しないときには、化学肥料が土壌腐植の分解を促進することによって土壌の破壊が進行することを明らかにしている。さらに高井⁴⁾は《今日、有機物還元の激減、大量の化学肥料の投入による土壌からの最大限の収奪あるいは農薬、重金属の汚染など、土壌の破壊は現実に行っている。土壌の生産機能—農林業と景観を維持する—だけでなく、その分解能—環境汚染を防止し、農林業の再生産を保障する—を破壊し、ついに文明の存在を危くするにいたらないとは言えない。》と述べている。さらに江川は土壌肥料研究のこれからの前進のために^{5) 6) 7)}の中でジャックスの言葉をかりながら以下のように述べている。土壌肥沃度の本質は《土壌と何らかの接触を保っている生物集団、すなわちすべての植物、動物、微生物が高水準の生活を営み得るかどうかという成否の証作と尺度であり》それゆえにそれは、《単純な物理化学的な現象というよりもむしろ生物物理学的な現象である》。しかし近年における化学工業の農業への急激な浸透はこのような土壌肥沃度の本質的な形成や維持と関連している自然界における土壌—植物—動物の調和的な共存の問題などはほとんど無視してひたすら高度の生産を追求するの役に立ってきた。しかし土地から最大限の収量を奪取するためのこのような化学的資材を大量に投入しつづけることが土壌—植物—動物系に対してどのような影響を与えるかという問題は最近にいたってようやく科学者たちの注意と関心を引く問題になろうとしている…。以上のような農学者達の

表-3 月平均諸経費の割合(5.48)

	使用量	金額 円	費用の割合%
動力電力量 kW	42,648	229.1	33.8
電灯量 kW	1,682	9.2	1.4
塩化ナトリウム kg	6,567	180.6	26.6
消石灰 kg	8,498	110.5	16.3
水道水 m ³	1,146	63.3	9.3
プロパン kg	71	47	6.9
塩素 kg	247	19.5	2.9
暖房用重油 L	1,229	18.4	2.7
灯油 L	18	0.3	0
計		678	100

考えからも水処理システムが農業という自然の生態系の中に組み込まれた形で完成されることが望ましいのではない。化学工業の発展は農業ばかりでなく漁業や人間の生活環境、更にはあらゆる“いのち”を含むべき大自然を無視して成されたことは周知の事実であり、今また下水汚泥処理に際しそれらの問題を無視して都市計画がなされることは一考を要するのではない。古来、尿尿や下水は農地に還元され利用されてきたものであり、下水汚泥もまた同

じような効用があることがすでに明らかにされつつある³⁾。また量的には少ないが積極的に農業林業に利用されている。有機質としての堆厩肥の効用を表-4に示し下水汚泥利用の一助としたい。

7. おわりに

下水汚泥中の重金属量は地域の水道水或は地下水中の重金属濃度の影響を受ける為、定まった値では若干の変動はあるものと考えられる。下水汚泥の重金属バックグラウンドとして筆者らは、工場廃水の流入が全く無い団地下水処理場の流入下水から飼養したA汚泥の平均値を提唱する。それは、Cd 1.4, Pb 7.5, Mn 120, Cr 43, Zn 1270, Fe 3490, Ni 7.2, Cu 275, Co 0.7, As 3.7, Hg 1.2 mg/mLSS-dry.kg (VSS 82%)である。

これらの値からどれ程はずれているかによって下水道への重金属の排出の程度や汚泥処理における薬注の影響等がよくわかるものとする。文明の荒廃は農業の荒廃にあると言われるように下水処理のあり方は文明の盛衰の尺度にもなるのではないが…未完。

最後に本研究をするにあたり江別市大麻団地下水処理場の皆様には多大な御助力をいただいたことを附記し感謝の意を表す。

引用文献

- 1) 寺町, 神山, 活性汚泥中の重金属量に関する一考察 昭和49年度土木学会学術講演論文集
- 2) 公害分析指針 日本分析化学会関東支部編
- 3) 吉田, 日本の耕地の生産力と施肥 農業技術 Vol.26 No.5
- 4) 高井, 人類の生存環境としての土壌 科学 Vol.41 No.11 (1971)
- 5) 6) 7) 江川, 土壌肥料研究のこれからの前進のために 農業技術 Vol.25 No.6, 7, 8.
- 8) 土木学会, 下水汚泥の処理, 処分および利用に関する研究 昭和46年度報告書

表-4 堆厩肥 { A 肥料としての効果
B 有機物として, 安定な腐植としての効果

-
- A. 1) ナトリウム, リン, カリ, ケイ酸等の養分として
2) 必須元素の給源として (Fe, Mn, B, Cu, Zn, Mo, Cl 等)
3) 緩効性肥料として (蛋白質N $\xrightarrow{\text{分解}}$ 無機態N, CO₂, mineral)
4) 微小生物の給源として
- B. 5) 土壌の物理性の改造 (水分の保持, 空気の流通, 団粒構造)
6) 陽イオンの保持者として (粘土の数倍から10倍の交換容量を持つ)
7) 有害物の阻止者として (活性アルミニウムを抑える)
8) 緩衝物質として (Buffer action)
-