

水処理廃棄物の有効利用と環境保全に関する研究

Effective utilization of sludges produced from water purification process

- 代表研究者 東京農業大学農学部教授 麻生末雄
Prof., Faculty of Agriculture, Tokyo Univ. of Agriculture
Sueo Asō
- 協同研究者 東京農業大学農学部教授 蜷木翠
Prof., Faculty of Agriculture, Tokyo Univ. of Agriculture
Midori NINAKI
- (前)埼玉県農業試験場化学部長^{a)} 鈴木清司
Chief of Agro-Chem. Section, Saitama Agricultural Experiment
Station
Seiji SUZUKI
- 埼玉県農業試験場化学部長 細谷毅
Chief of Agro-Chem. Section, Saitama Agricultural Experiment
Station
Takeshi HOSoya
- (前)神奈川県農業総合研究所技術研究部土壌肥料科長^{b)} 鎌田春海
Chief of Soil and Fertilizer Section, Agricultural Inst. of
Kanagawa Pref.
Harumi KAMATA
- (前)三重県農業技術センター環境部環境調査研究室長^{c)} 石川裕一
Chief of Environmental Investigation Lab., Environment Section, Mie
Agro-Technical Center
Hirokazu ISHIKAWA
- (前)三重県農業技術センター環境部技師^{d)} 児玉幸弘
Technical Expert, Environment Section, Mie Agro-Technical Center
Yukihiro KODAMA
- 東京農業大学農学部教授 麻生昇平
Prof., Faculty of Agriculture, Tokyo Univ. of Agriculture
Shōhei Asō

Recently, the total amounts of sludges produced from water purification process are increasing followed by the increasing demand of city water in Japan. It has been reached 300 thousand DS-tons per year, and how to deal these sludges is one of the important social problem.

Since main composition of these sludges is soil portion in raw water which is carried from basin, the utilization to agriculture has been considered. But this kind of study is doing at several prefecture independently.

The purpose of this study is to clarify the present situation, problems and effective utilization

^{a)} (現)埼玉県農業試験場専門調査員, ^{b)} (現)神奈川県農業総合研究所技術研究部長, ^{c)} (現)三重県農業技術センター開発企画部専門技術員, ^{d)} (現)三重県農業技術センター伊賀センター栽培研究室長

of sludges produced from water purification process.

The work was conducted as three-year project research for the fiscal year, 1983-1986, and the following summarized results were obtained.

1. Present dealing situation

The enquête was conducted on 78 water purification plants which had sent their sludges for our sample. Although effective utilization showed about 14% of sludge dealing, but 41% water purification plants want to examine agricultural utilization.

2. Physical and chemical nature

262 sludges were collected by the co-operation of 78 water purification plants covered all parts of Japan. These sludges were chemically analyzed, and the results were classified according to the treatment methods and sampling month.

From these results, although standard deviation of elements content in sludges was higher, Al_2O_3 content especially soluble Al_2O_3 , MnO and phosphate absorption coefficient were higher than general soil. And pH, CaO content were higher in "lime treated sludge", Na_2O content was higher in "polymer treated sludge". Also seasonal variation of elements content was recognized. It is necessary to consider these nature of sludges for agricultural utilization.

3. Utilization to Agriculture

3.1 Soil amendment or soil dressing

Field experiment was carried out cultivating taro, potato and onion successively under humic volcanic ash soil. And soil amendment of "lime treated sludge" was effective to each crops. These effects were mainly based in the correction of soil acidity, but excess application of sludges (2-10 ton/10 a) and Mg balance should be noticed.

Also field experiment was carried out cultivating soybean (edamame), sorgo, spinach, rye, soybean (edamame) and sorgo successively under alluvial soil. And large amount of "sludge treated without the addition of chemicals" (100 ton/10 a) can be used as soil dressing material. Problems of Mn excess and higher EC derived from nitrogen mineralization were appeared in the first cultivated plant, but these tendencies were dissolved from the second cultivated plant. The application of rice straw and iron manufacturing slag showed good effect.

3.2 Mixing material of nursery bed

As the mixing material of nursery bed, "polymer treated sludge" was useful for rice seedling and "sludge treated without the addition of chemicals" was useful for floriculture and vegetables.

4. Behavior of elements in soil-plant system

Behavior of elements in soil-plant system was checked by lysimeter under humic volcanic ash soil comparing the application effect of five kinds of sludges different from their treatment method. The yields of application plots were lower on the first cultivated plant (maize), but it became higher on the second cultivated plant (spinach), and it showed better growth than non-application plot. Movement of Ca^{2+} and SO_4^{2-} to lower layer were recognized by the analysis of soil solution, and it was considered that the notice from the standpoint of environment is necessary.

研究目的

近年における人口の増加と都市集中化、生活様式の近代化、地下水の揚水規制などを反映して、水道水の需要量は著しく増加した。河川、湖沼などから取水した原水を水道水として配水するに当たっては、浄水場において一定の基準まで浄化しなければならない。浄化過程で発生する水処理廃棄物（浄水場発生土または浄水ケーキ）は、水道水の需要に伴って激増し〔昭和59年度に全国で

238,633 (DS-t/年) (浄水能力1万 m^3 /日対象)), その処分については年々重要性を増すとともに早急な解決が望まれている。

浄水場発生土の処分方法は、砂利採取跡地などの内陸処分地への埋立て投棄処分が最も多いが〔昭和59年度に全国で67%程度〕、処分量に限度があり、また、大都市周辺などでは環境保全、住民対策上からも非常に困難な状態になってきている。したがって浄水場発生土の適正な処分方法の

表 1. 浄水ケーキ量と処分方法の推移 (全国).

年度	昭和 56	57	58	59
ケーキ量 (DS-t/年)	238,796 323 (場)	275,595 331	277,578 356	238,633 361
処分方法と処分比率 (%)				
埋立	68.6	66.4	68.7	66.8
有効利用	11.6	12.7	11.5	14.1
その他	19.8	20.9	19.8	19.1

(浄水能力 10,000 m³/日以上対象)

開発が要望され、特にこれの有効利用は、資源活用の面からも重要な課題となっている。

浄水場発生土は、取水した河川・湖沼水中の土砂が主体をなすところから、客土資材や土壌改良資材などとして農業利用が考えられるに至った。しかしながら、農業への有効利用については、4～5 都県で基礎的な試験研究が報告されている程度で、全国的な視野での試験研究はなされていなかった。このような状況から、本研究は、各浄水場における各種の処理工程で発生する浄水場発生土について、農業利用の現状と問題点を調査、研究して利用上の対応策や農業生産に対する効果を検討した。また、各種の排水処理方式による浄水場発生土の理化学性を検討し、環境保全の立場から安全性なども考慮して、農業利用の指針、方策を考究した。

研究経過および成果

本研究は、4 研究機関の実質 14 名以上の協同で行なったが、全国的視野で、浄水場発生土の農業への有効利用の検討を目標としたものである。このため、浄水場発生土の理化学性分析に当たっては 1 府 1 道 35 県にわたる 78 浄水場から試料を提供していただいた。記して感謝の意を表する次第である。

研究は、当初の計画の線に沿って、次の 3 項目に大別して実施したので、以下各項目に従って報告する。

1. 浄水場発生土の処分方法の現状調査
2. 浄水場発生土の理化学性
3. 浄水場発生土の農業利用
 - 3.1 土壌改良資材または客土材としての利用
 - 3.2 育苗培土資材としての利用

3.3 土壌-作物系における成分の挙動

浄水場発生土を農業生産に有効利用するに当たっては、多面的、総合的にかつ長期間にわたる影響調査を必要とするものであり、なお検討すべき点は多く残されているが、全国的な視野で浄水場発生土の農業利用を検討したのは初の試みであり、所期の成果が得られた。

1. 浄水場発生土の処分方法の現状調査

昭和 59 年度における全国の水道の給水量 150 億 m³ に対して、発生した浄水場発生土は乾土換算 30 万 t を超えるものと概算されている。

本研究では、まず、浄水場発生土の処分方法別にその状況を調査した。このため、(社)日本水道協会が全国の浄水場について実施している施設の概要調査の数値から処分方法の推移をまとめて表 1 に示した。

処分方法として各年度ともに埋立処分が最も多いが、昭和 56 年度 68.6% から 59 年度 66.8% とわずかに減少傾向を示した。これに対して有効利用は 15% 以下と少ないが、56 年度の 11.6% から 59 年度では 14.1% と増加する傾向がみられた。また、その他 (各浄水場処分など) は 19.1～20.9% の範囲で年度間に大差がなかった。

しかしながら、有効利用の内容は不詳であったので、これら有効利用の内容を主体として排水処理工程の将来展望を含めて全国の浄水場へアンケート調査を実施し、その結果を取りまとめて表 2 に示した。

表から明らかなように、各浄水場処分などが不可能になった場合に 41.1% が有効に利用することを考えており、農業利用およびこれに準ずる利用が多い。また、将来を展望したとき、多くの処

表2. アンケート調査結果.

(昭和61年度調査)

解答率 (ケーキ提供浄水場を対象とした)		70.7%	
1. ケーキの多量排出月 (各浄水量で1, 2位の月による)			
4月	10.6%	7月	48.9%
5月	14.9%	8月	34.0%
6月	23.4%	9月	19.1%
10月	19.1%	11月	4.3%
		12月	2.1%
2. ケーキの処分方法			
(1) 埋立処分地の農地化計画			
有	10%	無	90%
(2) 浄水場内処分等が不可能になった場合の処分方法			
1) 埋立	47.1%		
2) 有効利用	41.1%		
		① 農業利用	17.6%
		② 庭園, 樹木用地の客土等	23.5%
(3) 農業利用について (解答率 31.9%)			
1) 土壌改良資材	20.0%	2) 培土資材	20.0%
3) 客土資材	40.0%	4) その他	20.0%
3. ケーキの処分方法を考えた場合の望ましい排水処理工程			
(1) 脱水前処理の方式 (解答率 89.3%)			
1) 無薬注	66.7%	① 自然処理	33.3%
		③ 記載なし	25.0%
2) 薬注	16.7%	① 石灰処理	4.2%
		③ 検討中	4.2%
3) 特に考えていない	16.6%	(このうち大部分は無薬注処理を採用している)	
(2) 脱水方法			
1) 機械脱水	40.8%	① 加圧	22.2%
		③ 造粒	3.7%
		② 真空	7.4%
		④ その他	6.5%
2) 天日乾燥	40.7%		
3) その他(併用方式)	18.5%		

理場が脱水前処理を無薬注とし、続く脱水方法としては天日乾燥方法、加圧脱水方法などを希望する傾向が認められた。

2. 浄水場発生土の種類と理化学性

2.1 浄水場発生土の種類

浄水場発生土は、排水処理施設における脱水処理前の工程から薬注処理と無薬注処理に大別され、さらに各処理方法によっておおむね次の4種類に分類することができる。

I. 薬注処理

1. 石灰処理: 硫酸処理 (硫酸を対固型物量の35~36%添加) してアルミニウムを回収し、濃縮性を高める。不溶分は沈殿濃縮した後に石灰処理 (消石灰を対固型物量の30~40%添加) をしてから、加圧または真空脱水したもの。形状は、塊状または板状を呈し、大型のことが多い。

2. 高分子処理: 高分子凝集剤処理 (ポリアクリ

ルアミドを対固型物量の0.2~0.4%添加、ただし凝集補助剤としてケイ酸ナトリウムを固型物量の3~6%の割合で添加することがある) した後に加熱造粒脱水したもの。形状は、粒状を呈し、粒径1~2mmのものが大部分を占めており、取扱いが容易である。

II. 無薬注処理

3. 自然処理: 自然濃縮処理後に加圧脱水したもの。形状は板状ないし塊状で比較的崩壊しにくい。

4. 凍結処理: 凍結融解処理後に加圧脱水したもの、分類の便宜上、直接加圧脱水したものを含めた。形状は塊状で4~10mmのものが大部分を占める。耐水性高く安定した土塊である。

浄水場発生土の排出量は、おおむね原水の濁度と処理水量によってきまる。一般の河川では7月~9月に濁度が高まり、また水道水としての供給

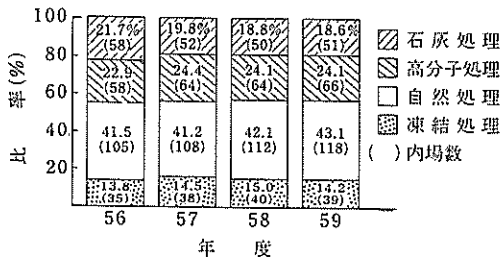


図1. 浄水ケーキ脱水前の処理方法の推移。

量が増加する関係から、この間に排出される浄水場発生土の量は年間の約44%に達する。

なお、排水処理工程のうち脱水前処理方法は図1に示すとおり昭和56年度では全国の浄水場のうちで21.7%が石灰処理を採用していたが、石灰処理では消石灰を対固型物質の30~40%添加することから、排出発生土量が増大するため、59年度では18.6%へ減少している。自然処理は各年次で最も多く、昭和56年度41.5%であったが59年度で43.1%と増加を示してアンケート調査の傾向と一致がみられた。

2.2 浄水場発生土の理化学性

浄水場発生土の農業利用に当たっては、その理

化学性を把握し、作物、土壌、周辺環境への影響について検討する必要がある。そこで全国の浄水場に発生土の提供を依頼した結果、37道府県にわたる78浄水場浄水場の協力が得られ、年間変動をも考慮して、年間2~4回にわたる262点の発生土の提供を受けた。

これらの発生土の化学組成を表3に、化学性を表4に示した。発生土は取水中の浮遊物質を主成分とし、これに凝集剤などに由来する成分が混在している。浮遊物質は大部分が土壌粒子であると考えられるので、土壌に準じた方法で分析した。

発生土の理化学性は、原水の性質、浄水・排水処理工程で添加される薬品および処理方法によって特徴づけられるものと考えられる。すなわち、 Al_2O_3 含量は石灰処理で8.60~27.8%、高分子処理で10.2~29.6%、自然処理で4.81~34.5%、凍結処理で7.70~45.5%である。特に可溶性 Al_2O_3 が土壌に比べて多く、Alが結晶化せず遊離な状態で存在している比率の高いことが明らかである。このような遊離アルミニウムの多い発生土を土壌に添加すれば、土壌のリン酸吸収係数に影響することが考えられる。CaOは0.20~22.9%を

表3. 浄水ケーキの化学組成。

(%)

種類	項目														
	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	S- SiO ₂	S- Al_2O_3	W- CaO (ppm)	W- MgO (ppm)	W- K_2O (ppm)	W- Na_2O (ppm)	強熱 減量	
石灰処理	平均	13.9	4.96	0.20	13.2	0.84	0.61	0.48	1.14	5.98	1312.3	10.3	58.0	196.7	23.2
	最高	27.8	8.51	0.48	22.9	1.83	2.08	1.48	2.41	19.8	2863.6	48.7	110.9	582.0	38.4
	最低	8.60	2.64	0.09	0.24	0.46	0.15	0.15	0.33	2.41	206.0	1.06	20.3	64.5	9.02
	CV (%)	25.7	36.5	47.0	45.6	41.5	66.3	72.6	42.1	56.2	45.5	97.7	40.4	60.7	27.2
高分子処理	平均	17.8	5.74	0.45	1.45	0.85	0.53	0.99	0.73	4.99	425.6	83.6	77.0	750.7	18.2
	最高	29.6	9.21	3.38	6.48	1.69	1.36	7.42	2.30	14.3	1191.3	340.7	190.0	4020.0	29.1
	最低	10.2	1.66	0.08	0.35	0.25	0.15	0.16	0.26	0.41	55.7	5.36	18.8	56.2	7.99
	CV (%)	28.0	34.3	175.9	122.2	50.5	62.8	148.8	90.3	70.9	79.5	116.6	62.9	140.7	32.0
自然処理	平均	17.5	5.38	0.20	0.75	1.03	0.57	0.36	0.77	5.17	478.1	54.1	77.2	198.1	18.2
	最高	34.5	10.8	0.88	1.89	1.95	2.07	1.31	2.23	18.5	1731.6	332.6	608.6	2100.8	43.0
	最低	4.81	1.84	0.02	0.25	0.22	0.14	0.09	0.11	0.47	88.3	6.1	11.2	23.1	4.76
	CV (%)	32.5	29.8	67.7	37.8	42.7	74.3	66.9	72.2	63.9	58.2	104.4	110.5	117.2	34.7
凍結処理	平均	21.3	5.17	0.31	0.60	0.89	0.50	0.31	1.05	6.84	420.0	36.9	81.4	176.2	22.7
	最高	45.5	9.51	4.32	1.27	2.68	1.53	1.14	4.37	28.0	1937.6	179.4	454.6	478.0	46.1
	最低	7.70	1.83	0.07	0.20	0.28	0.11	0.07	0.15	0.61	101.0	2.95	14.9	22.3	9.81
	CV (%)	33.6	33.5	183.3	40.0	49.8	60.7	69.3	61.1	68.4	68.6	87.4	65.1	53.6	28.2

表4. 浄水ケーキの化学性.

項目種類	pH	C.E.C. (H ₂ O)	交換性塩基 me				E.C. (μs/cm)	T-C (%)	T-N (%)	C/N	可給態 リン酸 (mg/100g)	リン酸 吸収係数 (mg/100g)	
			CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O							
石灰処理	平均	9.94	19.7	72.8	1.84	2.21	4.12	1843	4.69	0.45	12.6	2.66	2980
	最高	13.3	35.2	125.9	6.69	3.17	5.06	4010	8.22	1.54	17.8	11.4	3335
	最低	6.98	7.86	6.35	0.29	1.34	3.09	360	1.30	0.08	4.23	0.76	2140
	CV (%)	16.2	37.7	59.0	77.1	19.7	13.9	54.8	33.6	79.6	29.5	86.9	8.20
高分子処理	平均	6.81	33.2	13.9	2.13	2.14	5.85	2414	4.13	0.42	9.9	6.72	2464
	最高	8.08	81.7	29.7	6.12	3.87	22.0	13300	8.53	1.14	20.4	31.0	3546
	最低	5.56	9.15	3.16	0.17	0.56	0.62	405	1.28	0.15	6.50	0.76	1534
	CV (%)	11.3	65.8	61.3	72.6	45.2	89.1	148.1	43.4	46.0	33.9	116.5	19.5
自然処理	平均	6.51	21.7	10.4	1.36	2.08	3.53	745	3.41	0.35	10.5	4.01	2566
	最高	7.84	51.8	22.0	6.17	4.35	8.39	2470	8.09	0.91	20.8	19.9	3650
	最低	5.26	5.42	2.50	0.10	0.93	0.90	137	1.03	0.09	3.58	0.02	696
	CV (%)	6.7	41.2	47.7	82.2	32.9	30.4	58.8	43.9	46.1	31.4	116.1	20.7
凍結処理	平均	6.60	21.1	8.01	1.03	2.06	3.48	722	3.82	0.38	10.6	3.21	2817
	最高	7.57	38.3	20.1	14.2	4.46	6.85	2250	11.9	1.13	22.6	20.8	3616
	最低	5.00	9.23	1.54	0.07	0.55	1.38	219	1.21	0.09	6.56	0.02	1301
	CV (%)	6.2	28.3	47.3	140.7	29.9	24.2	59.6	54.1	55.7	24.8	123.9	14.1

表5. 浄水ケーキ化学組成の時期的変動.

％: 平均値

項目種類	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	S-SiO ₂	S-Al ₂ O ₃	W-CaO (ppm)	W-MgO (ppm)	W-K ₂ O (ppm)	W-Na ₂ O ₃ (ppm)	強熱 減量
石灰処理														
6~7月	13.3	4.67	0.19	15.3	0.78	0.42	0.57	1.11	5.67	1582.8	11.4	69.1	236.2	24.1
8~9月	12.5	5.10	0.16	12.4	0.94	0.83	0.50	0.97	4.38	1212.9	8.67	50.6	146.7	18.4
10~11月	14.5	5.11	0.23	12.3	0.99	0.60	0.43	1.32	6.48	1357.6	16.0	56.2	218.1	24.2
12~2月	15.2	5.01	0.23	12.5	0.70	0.64	0.42	1.16	7.24	1089.3	5.62	54.9	182.2	25.5
高分子処理														
6~7月	15.7	4.98	0.19	0.78	0.84	0.44	1.93	0.41	3.03	377.7	75.2	78.1	1012.9	17.3
8~9月	18.2	5.85	0.25	1.69	0.87	0.49	0.57	1.02	5.66	390.7	133.2	73.2	876.9	17.7
10~11月	17.7	5.86	0.69	1.60	0.87	0.47	0.37	0.79	6.46	448.5	73.5	84.6	354.8	17.0
12~2月	19.2	6.13	0.65	1.62	0.83	0.69	1.10	0.66	4.76	475.0	54.0	73.8	740.7	20.2
自然処理														
6~7月	16.9	4.90	0.19	0.68	0.90	0.28	0.20	0.67	4.53	538.7	61.4	88.3	265.5	19.2
8~9月	17.1	5.04	0.18	0.72	1.07	0.54	0.28	0.90	5.53	412.3	46.5	72.0	193.4	17.5
10~11月	15.3	4.88	0.19	0.73	0.95	0.43	0.26	1.01	5.03	373.8	60.2	66.4	205.3	17.0
12~2月	19.5	6.24	0.24	0.83	1.15	0.88	0.59	0.61	5.48	534.9	50.3	78.2	146.3	18.5
凍結処理														
6~7月	19.6	4.89	0.30	0.60	0.92	0.31	0.16	0.96	6.30	451.9	38.7	94.0	192.7	22.5
8~9月	20.9	5.25	0.32	0.58	0.98	0.45	0.25	1.19	7.29	334.0	35.2	71.6	176.7	21.4
10~11月	17.2	3.94	0.33	0.51	0.80	0.36	0.19	1.27	4.59	403.4	35.1	103.2	212.0	21.0
12~2月	24.8	5.87	0.29	0.65	0.83	0.77	0.53	0.94	7.93	465.7	37.4	68.9	146.5	24.4

示し、特に石灰処理では平均 13.2%で、他の処理の平均 0.60~1.45%に比較して著しく多かった。Na₂O は 0.07~7.42%を示し、特に高分子処理で

は平均 0.99%で、他の処理の平均 0.31~0.48%に比較して 2 倍以上も高かった。これは、補助剤として添加されたケイ酸ナトリウムの影響と考え

表 6. 浄水ケーキ化学性の時期的変動,

(平均値)

	pH (H ₂ O)	C.E.C me	交換性塩基 me				E.C. (μ s/cm)	T-C (%)	T-N (%)	C/N	可給リン酸 (mg/100 g)	リン酸 吸収係数 (mg/100 g)
			CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O						
石灰処理												
6~7月	9.58	20.0	66.3	1.47	2.26	4.01	1546	4.79	0.51	11.8	2.77	3084
8~9月	9.92	22.2	70.4	2.10	2.12	3.98	1690	4.69	0.35	13.6	3.53	2961
10~11月	9.85	17.8	83.7	2.41	2.41	4.39	2067	4.62	0.47	12.9	1.44	2964
12~2月	10.4	19.0	71.9	1.51	2.06	4.14	2080	4.66	0.47	12.3	2.85	2908
高分子処理												
6~7月	6.80	34.3	11.1	1.76	2.36	6.44	3185	4.45	0.44	10.6	6.44	2461
8~9月	6.80	30.7	15.4	2.85	2.00	5.60	2302	3.71	0.35	10.7	6.42	2557
10~11月	6.96	25.3	16.0	2.25	1.96	3.55	1036	4.44	0.44	10.5	5.87	2613
12~2月	6.70	40.6	13.2	1.68	2.22	7.37	2969	4.04	0.48	8.34	7.83	2277
自然処理												
6~7月	6.35	20.8	10.4	1.34	1.85	3.23	850	3.58	0.36	10.5	4.10	2488
8~9月	6.49	20.0	9.22	1.35	2.35	3.46	680	3.32	0.35	9.87	4.24	2752
10~11月	6.69	26.8	11.7	1.70	2.30	3.83	571	3.45	0.32	12.0	2.47	2542
12~2月	6.54	20.6	10.6	1.18	1.94	3.63	809	3.32	0.34	10.0	4.64	2512
凍結処理												
6~7月	6.46	21.1	7.60	1.30	2.06	3.09	832	3.63	0.35	10.9	2.59	3018
8~9月	6.69	20.4	8.82	0.99	2.20	3.18	531	4.04	0.37	11.5	243	2982
10~11月	6.69	22.0	7.51	0.77	2.07	3.73	658	4.03	0.43	10.2	3.02	2598
12~2月	6.60	21.3	7.94	0.94	1.94	3.93	804	3.73	0.38	9.89	4.41	2617

られる。MnO は 0.02~4.32% を示し、土壌中の含有量 (0.02~0.17%) に比べて高く、過剰になれば植生へ影響するものと考えられた。

化学性について、pH (H₂O) は 5.0~13.3 を示し、石灰処理では平均 9.94 で、他の処理の平均 6.51~6.81 に比較して高かった。陽イオン交換容量 (CEC) は 5.42~81.7 me を示し、特に高分子処理では平均 33.2 me で、他の処理の平均 19.7~21.7 me に比較して高い値を示した。交換性 CaO は石灰処理で、また交換性 Na₂O は高分子処理で著しく高い値を示して、全含有量と同様に処理方法による影響がみられた。全窒素は 1.03~11.9%、全窒素は 0.08~1.54% で、取水源による相違がみられた。リン酸吸収係数は一般に高く、696~3650 と前述のとおりアルミニウムの影響と考えられた。

発生土の成分は、年間における降水量の相違が河川流量、濁度などの影響により時期別変動が考えられる。そこで試料を 6~7 月、8~9 月、10~11 月、12~2 月ごとに取りまとめて表 5、6 に示

した。全般的に Al₂O₃、MnO、K₂O は 12~2 月に比較的高くなり、他の成分ではむしろ低下する傾向がみられた。Al₂O₃ については濁度の低い時期に凝集効果を高めるため凝集剤の添加比率が一般に高まるためと考えられた。CaO は石灰処理で 6~7 月に 15.3% と高く、他の時期では低下して Al₂O₃ とは異なった傾向を示した。

重金属の含有量および時期別変動について表 7、8 に示した。重金属含有量は一般に低く、農業利用上問題を生じることほとんどないものと考えられたが一部に高い値を示すものがあった。例えば、Cd 16.1 ppm を示した特異例もあり、また各処理ともに 12~2 月に幾分高くなる傾向があった。

なお、X 線回折により発生土中の粘土鉱物を検索した結果、アロフェン、クロライト、カオリナイト、モンモリロナイト、イライト、パーミキュライトなどが検出され、一次鉱物として石英、長石などの存在が認められた。しかも一部を除いては、一般に各鉱物が同程度に混在しており、浄水

表7. 浄水ケ-キ重金属含有量.

(乾物 ppm).

項目種類	T-Cd	T-Zn	T-Cu	T-Pb	0.1N HCl 可溶				
					Cd	Zn	Cu	Pb	
石灰処理	平均	0.74	175.0	72.0	39.1	0.079	1.88	5.57	3.56
	最高	2.41	314.4	355.8	73.8	0.18	12.3	18.1	7.57
	最低	0.10	69.8	18.5	20.8	0.02	0.01	0.71	0.83
	CV (%)	72.1	32.7	103.5	35.1	6.1	217.0	86.9	57.9
高分子処理	平均	0.63	289.5	45.8	30.6	0.31	21.2	2.23	2.68
	最高	1.84	569.8	86.3	54.9	0.74	55.6	12.3	4.74
	最低	0.04	33.1	13.3	11.5	0.01	0.06	0.29	0.85
	CV (%)	82.8	63.2	47.8	37.9	77.5	95.3	112.1	51.3
自然処理	平均	1.34	194.5	80.4	35.2	0.67	18.2	9.72	3.39
	最高	16.1	763.7	721.1	95.7	9.99	271.1	178.0	27.8
	最低	0.04	79.6	15.1	16.7	0.01	0.44	0.50	0.06
	CV (%)	180.5	61.3	134.8	37.4	219.4	185.5	285.1	115.2
凍結処理	平均	0.98	249.9	220.3	37.7	0.56	17.3	49.5	2.92
	最高	12.7	886.3	581.6	92.3	3.88	178.4	147.1	9.79
	最低	0.02	49.6	16.1	13.8	0.01	0.43	0.02	0.06
	CV (%)	167.8	58.5	394.9	38.8	109.2	138.1	499.7	71.8

表8. 浄水ケ-キ重金属含有量の時期的変動.

(月: 平均 ppm).

	T-Cd	T-Zn	T-Cu	T-Pb	0.1N HCl 可溶			
					Cd	Zn	Cu	Pb
石灰処理								
6~7月	0.62	175.1	87.2	36.4	0.076	2.81	6.79	3.32
8~9月	0.63	164.8	54.9	38.7	0.083	0.89	4.28	3.41
10~11月	0.46	175.6	91.8	36.7	0.063	1.85	5.52	3.39
12~2月	1.20	184.7	58.5	44.0	0.093	2.07	9.60	4.08
高分子処理								
6~7月	0.34	189.0	46.6	26.1	0.30	22.3	3.30	1.66
8~9月	0.35	280.7	45.1	32.2	0.29	13.1	1.76	2.31
10~11月	0.44	237.4	43.0	29.6	0.27	15.0	1.53	3.74
12~2月	1.22	406.2	47.7	33.2	0.34	31.7	2.36	3.07
自然処理								
6~7月	0.59	164.9	81.8	31.8	0.54	17.0	8.95	2.67
8~9月	0.47	164.3	84.6	29.0	0.38	12.8	6.80	2.24
10~11月	1.45	233.2	72.8	36.0	0.98	31.9	15.2	2.65
12~2月	1.93	219.9	80.2	41.9	0.84	13.8	3.99	3.78
凍結処理								
6~7月	0.73	227.4	268.3	37.6	0.49	11.3	49.7	2.67
8~9月	0.84	252.8	206.1	36.2	0.61	15.4	52.5	2.24
10~11月	0.57	163.5	346.6	30.5	0.41	13.7	74.9	2.65
12~2月	1.50	303.1	138.1	42.0	0.58	25.2	35.9	3.78

表9. 石灰処理ケーキの施用量がタマネギ（第3作）跡地土壌の化学性に及ぼす影響（乾土 100 g 当たり）.

項目	用 量								
	pH (H ₂ O)	EC (mS)	T-C (%)	腐植 (%)	有効態リン酸 (mg)	CaO (mg)	MgO (mg)	K ₂ O (mg)	リン酸吸収係数 (mg)
対 照	6.3	0.13	3.56	6.13	8.9	511	32	38	2056
ケーキ 2t	5.9	0.15	3.82	6.57	9.6	450	17	43	2117
“ 10t	6.9	0.18	3.81	6.56	9.8	802	14	45	2118
“ 20t	7.6	0.24	3.60	6.21	6.6	1125	11	48	2216

表10. 冬表層施用した石灰処理ケーキの粒径割合と風化程度（昭和59年4月13日）.

形 状	粒 径	0.5 cm 以下					~1.5	~2.5	~4.0	~7.5
		粒 径 割 合 (%)	硬 度 (mm)	粒 径 割 合 (%)	硬 度 (mm)	粒 径 割 合 (%)	硬 度 (mm)	粒 径 割 合 (%)	硬 度 (mm)	
小 粒	粒 径 割 合 (%)	79.6	(0.01 以下)	59.7	(0.01 以下)	43.0	(0.01 以下)	0		
	硬 度 (mm)	(0.01)	(0.01)	(0.01)	(0.01)	(0.01)	(0.01)			
中 粒	粒 径 割 合 (%)	26.7	(0.01 以下)	20.8	(0.01 以下)	16.5	(0.01 以下)	3.9		
	硬 度 (mm)	(0.01)	(0.01)	(0.01)	(0.01)	(0.01)	(0.01)			
大 粒	粒 径 割 合 (%)	15.8	(0.01 以下)	12.9	(0.01 以下)	4.2	(0.01 以下)	0		
	硬 度 (mm)	(0.3)	(0.38)	(3.1)						

注1: () は、山中式土壌硬度計による値。注2: 石灰処理ケーキ 10 t/10 a 施用区。

場に導入された河川水がかなり広域にわたって集水され、種々の土壌を包含しているものと考えられた。

以上の諸結果から、浄水場発生土の農業利用に当たっては、その理化学性を把握した上で方策を検討する必要性が示された。

3. 浄水場発生土の農業利用

3.1 土壌改良資材または客土材としての利用

(1) 石灰処理ケーキの土壌改良資材としての利用

黒ボク土の畑地に1区1m²の枠試験区を設け、石灰処理ケーキの施用量、形状、施用時期をそれぞれ3段階に変え、3因子、3水準のL27直交試験により作物の生育および跡地土壌の理化学性に及ぼす影響を調べた。ケーキの施用量は、現物（水分50%）を2、10、50 t/10 aとし、形状は、小粒（処理工程内においてスクルーで破碎したもの）、中粒（トラクターのロータリーで破碎したもの）、大粒（無破碎）とした。施用時期は、冬施用・混合、冬施用・春混合、春施用・混合とした。なお、対照として、土壌pHが6.5となるよう消石灰（370 kg/10 a）を施用した区を設けた。

その結果、施用量では第1作のサトイモは2t

区が、第2作のジャガイモは2t区、10t区が対照区より優り、第3作のタマネギはケーキ施用区はいずれも対照区より劣ったが、第4作のダイコンはいずれも対照区より優った。跡地土壌の分析から増収効果は土壌pHの改良にあること、ケーキにはマグネシウム含量が少ないので塩基バランスに注意しなければならないことが示された。

形状および施用時期の影響は、小粒で冬施用した場合が優った。ケーキの風化は小粒で冬施用した場合が最も進み、土壌とよく混合されたためと思われる。したがって、ケーキは粉碎したものを冬期施用の方が効果が大きいと考えられた。

また、ポット試験によりハウレンソウに対する効果、強酸性鉍質土壌（pH（H₂O）4.7）に栽培したトウモロコシに対する石灰処理および高分子処理両ケーキの併用効果が認められ、石灰処理ケーキによる酸性土壌の改良と高分子処理ケーキによる養分の富化および形状による効果が考えられた。

(2) 無薬注処理発生土の畑客土材としての利用

沖積土壌の畑地に、1区15.75m²の試験区を設けて無薬注凍結処理発生土を0、25、50、75、100 t/10 a 客入し、6作（第1作ダイズ（エダマメ）、

表11. 作物収量とその差の検定.

作物	昭和60年度					昭和61年度				
	75t区	100t区	50t区	25t区	0t区	75t区	100t区	50t区	25t区	0t区
エダマメ地上部重 t/10a	1.99	2.03	2.23	2.35	2.40	1.99	1.99	2.11	2.22	2.32
莢実量 kg/10a	807	829	844	877	927	1090	1110	1110	1120	1120
ソルゴー t/10a	7.36	7.47	7.66	7.69	8.00	6.21	6.33	6.37	6.39	6.79
ホウレンソウ t/10a	2.23	2.30	2.36	2.42	2.49					
ライムギ t/10a	7.50	7.88	7.95	8.09	8.22					

注: 同一下線上の2水準には有意差がない (Tukey's Q 検定法) $\alpha=0.25$

表12. シクラメン開花時の生育調査 (昭和62年1月6日).

区	草丈 (cm)	株張り (cm)		葉数	最大葉 (cm)			全 輪 数	葉重 (g)		乾/生 (%)	球重 (g)	根重 (g)		乾/生 (%)
		長	短		長径	短径	葉柄長		生	乾			生	乾	
P ₂ O ₅ 0(mg)	10.0	24.4	21.4	43.6	8.8	7.7	9.4	31.6	112.2	11.2	10.1	27.6	24.8	2.6	10.5
1000	11.5	31.5	26.4	52.2	9.8	8.3	10.0	52.6	140.2	14.1	10.1	29.2	33.6	3.6	10.7
2000	11.9	32.4	28.0	45.6	10.3	8.5	10.9	52.8	148.4	14.5	9.8	31.4	38.4	4.5	11.7
慣行培土	11.8	29.4	25.0	42.6	9.0	7.7	8.2	38.6	149.0	13.1	8.8	32.4	26.4	3.0	11.4

第2作ソルゴー, 第3作ホウレンソウ, 第4作ライムギ, 第5作ソルゴー) にわたって作物を栽培し, その生育を調べると同時に畑土壌の化学性の変化を検討した。

作物の収量は表11に示した。その結果, 発生土を100t/10a客入しても収量に差は認められず, 客土材として農業利用できることが示された。

なお, 発生土の客入に際して注意すべき点と対策を下記する。

1) 窒素の無機化に伴う電気伝導度の上昇

- ① 発生土客入量の制限 (100t/10a以下)
- ② 窒素施用量の軽減 (客入量が50~100t/10aでは, 客入後2作を無窒素とする。)
- ③ 稲わらなどを施用して, 無機化窒素の再有機化を計る。

2) アルミニウム性の増大

土壌pHの低下によりアルミニウム性が増大するので, 酸性土壌改良資材を施用してpHを維持

する必要がある。ただし, 有効リン酸が過剰気味の土壌では, アルミニウム性の増大が作物の生育を阻害することはない。

3) 土壌のMn²⁺の増大および作物のマンガノ過剰吸収

- ① 発生土客入量の制限
- ② 土壌pH(H₂O)を7程度とする。
- ③ 稲わらの施用
- ④ 発生土客入直後には作付を控えるか, または緑肥作物を栽培する。

3.2 培土資材としての利用

(1) 鉢物培土として利用

無薬注発生土をシクラメンおよび観葉植物の培土として利用する場合, 他の有機資材との配合による保水性の改善効果およびリン酸の施用効果について検討した。

その結果, シクラメンを主とする草花類では発生土4:腐葉3:ピートモス2:川砂1の配合, 観葉植物類では発生土5:ピートモス3:腐葉1:川

砂 1 の配合で、両者とも培土 1 l 当たり P_2O_5 2000 mg 程度 (熔リンで 10 g) の元肥施用とする規格培土が設定できた。

(2) 野菜育苗培土としての利用

促成イチゴおよび葉菜 (レタス)、果樹 (トマト) の育苗培土としての規格化を目標として、無薬注発生土と混合する有機資材の種類およびリン酸、窒素の適正施用量を検討した。

その結果、無薬注発生土をペーパーポット用としては 5 mm 以下、鉢育苗用としては 10 mm 以下に砕土し、バーク堆肥 1/3 量と混合する。培土 1 l 当たり P_2O_5 でレタス 500 mg、他の野菜では 1000~2000 mg、N で 200~260 mg の施肥が良好であった。

(3) 水稲育苗培土としての利用

高分子凝集剤処理ケーキを重量比で黒ボク土 20%、火山灰下層土 40% と混合した培土では良好な水稲育苗が育成され、各土壤単独培土を上回った。また、貝化石粉砕物などの資材を容量比で 1:1 混合すると保水性の増加による効果が認められた。なお、高分子凝集剤処理ケーキは粒径 1~2 mm のものが 90% 以上を占め培土として適当であるが、N 0.75% を含むので窒素肥料の施用量を減量し、リン酸吸収係数 2400~3240 に見合ったリン酸肥料の増施が必要と考えられた。

無薬注発生土についても高分子凝集剤処理ケーキと同様の効果が認められ、乾物重比で黒ボク土 40%、火山灰下層土 60% と混合した培土が良好であり、またピートモス 30% を混合すると効果が示された。

3.3 土壤-作物系における成分の挙動

屋外ライシメーター (コンクリート製で 1 区 5 m²、深さ 1.8 m、有効土層 1.5 m) に黒ボク土を充てんした。5 種のケーキ——石灰処理 2 種 (1 および 5 区)、高分子処理 (2 区)、凍結処理 (3 区)、自然処理 (4 区)——の各乾土 5 t/10 a 相当を表層 15 cm に均一に混合後、硫酸、過石、塩加を各成分として 14 kg/10 a 相当量を施用して、第 1 作トウモロコシ、第 2 作ホウレンソウを栽培した。また、栽培期間中に土層 15 cm から 150 cm までの 7 層位からポーラスカップを用いて土

壤溶液を採取し、陽イオンとして Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 、 NH_4^+ を、陰イオンとして NO_2^- 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} を分析した。

その結果、第 1 作ではケーキ無添加区 (対照) に比べ各区とも初期生育が不良で、収量は低下したが、第 2 作では収量比が対照区を 100 とすると 1 区 132、2 区 164、3 区 104、4 区 114、5 区 111 を示した。この原因として、第 1 作では、ケーキによる Ca、N などの過剰や土壌との混和状態の悪いことが影響したが、比較的短期間に作物への影響が改善されて第 2 作では、石灰処理区で Ca により pH が 6.2~6.3 となり、高分子処理区ではアクリルアミドから生じた NH_3 が有効利用されたものと考えられた。

また、栽培期間中に採取した土壤溶液については、ケーキの種類によって程度の差はあったが、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} などの下層への移行が認められたので、環境保全にも留意する必要がある。

謝 辞

本研究は、3 か年にわたる日産科学振興財団の助成により行なわれた。ここに深甚なる謝意を表する。

発 表 論 文

- 1) 武長 宏、佐藤 篤、吉羽雅昭、麻生昇平、麻生末雄：浄水場発生ケーキ (高分子造粒脱水) の水稲育苗培土としての利用、土肥要旨集, 31, 272 (1985)。
- 2) 麻生昇平、吉羽雅昭、武長 宏、麻生末雄：浄水場発生ケーキの農業利用——土壌改良剤としての利用——、土肥要旨集, 31, 272 (1985)。
- 3) 麻生昇平、吉羽雅昭、武長 宏、麻生末雄：水処理廃棄物の有効利用と環境保全に関する研究 (第 1 報)——浄水場発生ケーキの一般成分、重金属等について——、土肥要旨集, 31, 167 (1985)。
- 4) 麻生末雄、武長 宏、吉羽雅昭、麻生昇平：水処理廃棄物の有効利用と環境保全に関する研究 (第 2 報)——浄水場発生ケーキの水稲育苗培土としての利用——、土肥要旨集, 31, 167 (1985)。
- 5) 後藤逸男、清水慶一、蜷木 翠：浄水場発生土の農業利用に関する研究 (第 4 報) 畑地に対する客土材としての利用、東京農大農学集報, 3, 209~223 (1985)。
- 6) 後藤逸男、村本稔司、蜷木 翠：浄水場発生土の農業利用に関する研究 (第 5 報) 発生土中のマンガンの挙動、東京農大農学集報, 30(4), 308~317 (1986)。

- 7) 麻生昇平, 吉羽雅昭, 武長 宏, 麻生末雄: 水処理廃棄物の有効利用と環境保全に関する研究——浄水場発生ケーキについて理化学性の年間変動——, 土肥要旨集, 32, 159 (1986).
- 8) 麻生昇平, 吉羽雅昭, 武長 宏, 麻生末雄: 水処理廃棄物の有効利用と環境保全に関する研究——土壌—作物系における成分の挙動——, 土肥要旨集, 33, 162 (1987).
- 9) 麻生末雄, 武長 宏, 吉羽雅昭, 麻生昇平: 水処理廃棄物の有効利用と環境保全に関する研究——浄水場発生土の水稲育苗培土としての利用——, 土肥要旨集, 33, 162 (1987).
- 10) 後藤逸男: 浄水場発生土の農業利用に関する研究, 土肥誌, 58(3), 285~286 (1987).