

浄水汚泥の農業利用に関する研究（予報）

物理・化学的特性について

戸田 敏一*・戸波多美子*・大森 瑩一*・安田 典夫*
 広瀬和久*・石川 裕一*・米野 泰滋*

Studies on the Agricultural Utilization of Wastewater-sludge at Waterworks

On the physical and chemical property

KŌICHI TODA, TAMIKO TONAMI, EIICHI ŌMORI,
 NOBIO YASUDA, KAZUHISA HIROSE, HIROKAZU ISHIKAWA and
 TAIJI YONENO.

緒 言

家庭や工場等に供給される水道水のうち、河川の表流水等を水源とするものにおいては、原水中に浮遊物質を含むため、浄水場において、一旦浄化処理を行った上で配水されている。浄水過程で沈降した汚泥は、従来、河川に放流されていたが、下流域の水質汚濁防止の観点から、近年、処理施設の設置が義務づけられるに至った。本県では、昭和47年から汚泥処理施設の設置に着手し、現在、上水道、工業用水道を併せて6浄水場に設置され、稼動している。これらの浄水場から排出される処理汚泥は、産業廃棄物に指定されているため、現状では、その殆んどが浄水場の敷地内の特定場所に投棄処分されている。汚泥の年間総排出量は、第1表に示したように乾物換算2,500 tである。汚泥の運搬投棄には、多大の経費を必要とし、近い将来には用地取得の問題もあって、これを所管する県企業庁では、汚泥の農業利用に対する期待が大きい。

元来、浄水汚泥は、河川の集水域から流水の営力によって浮遊、流下した土砂を主体とするものであり、浄水過程において注入している薬液による多少の変質はあるとしても、河川流域に広がる耕地の土壌とはほぼ同質のものと思われる。

汚泥の農業上の用途としては、砂礫質土壌、あるいは黒色土壌の農地への客土、花木、芝栽培跡地への戻し客土、鉢花用土、水稻・やさいの育苗用土、施設やさいの床土などが挙げられる。中でも、近年、移植作業の機械化・育苗等作業の集団化、温室等施設の増加及び規模拡大などが進んだため、農業の現場では、客土を除く各種用土の需要が増加している。従来、これらの用土は、田土又は山土に依存してきたが、用土の採取・堆土等には多くの労力を要する¹⁾ため、水稻育苗用培土を市販品に求めているように、他の用土についても、より安直な入手を望む声大きい。第2表は、用土（原土）の作目別需要を概算したものであり、年間総需要量は44,570 tに

第1表 浄水場の概要

三重県企業庁調べ

浄水場名	所在地	工水・上水の別	水源	給水量(千t)		汚泥発生量(D.s.t)		備考
				昭52	昭53	昭52	昭53	
伊坂	四日市々伊坂町	工水	員弁川	67,736	45,405	13,160	6,850	
沢地	桑名郡多度町沢地	"	長良川	41,731	35,356	5,674	6,000	
山村	四日市々山村町	"	岩屋ダム (木曾川)	49,737	74,086	4,230	9,640	
播磨	桑名市播磨	上水	/"	1,711	4,036	121	395	昭52は3~12月 昭53は1~12月
高野	一志郡一志町高野	"	君ガ野ダム (雲出川)	6,686	10,541	1,375	1,722	
志摩	志摩郡磯部町恵利原	"	神路ダム (神路川)	44,716	46,900	955	537	

* 環境部

第2表 作物の種類別各種用土（原土）の需要量

作物の種類 (作付面積ha)	育苗			本圃			
	総鉢数	培地量(t)	原土量(t)	植付株数	培地量(t)	原土量(t)	
水稲 (48,000)	-	27,072	27,072	-	-	-	
やさい	ガラス室 トマト (13.4) きゅうり (2.9) その他 (0.1)	803,400	550	385	407,500	12,225	8,558
	ビニルハウス トマト (104.4) きゅうり (45.9) いちご (88.4) その他 (37.6)	4,488,450	3,820	2,674	-	-	-
	ビニルトンネル すいか (87.0) トマト (68.5) きゅうり (66.0) その他 (104.4)	-	5,362	3,753	-	-	-
	露地 なす (30.0) トマト (20.0) かぼちゃ (20.0) その他 (80.0)	-	1,750	1,225	-	-	-
花き鉢物	シクラメン (236) 観葉 (6.88)	1,806,000	1,806	903	-	-	-
	ポットマム (0.71) その他 (2.70)						
計	-	40,360	36,012	-	12,225	8,558	

注：三重県農業技術センター作物部及び園芸部試算

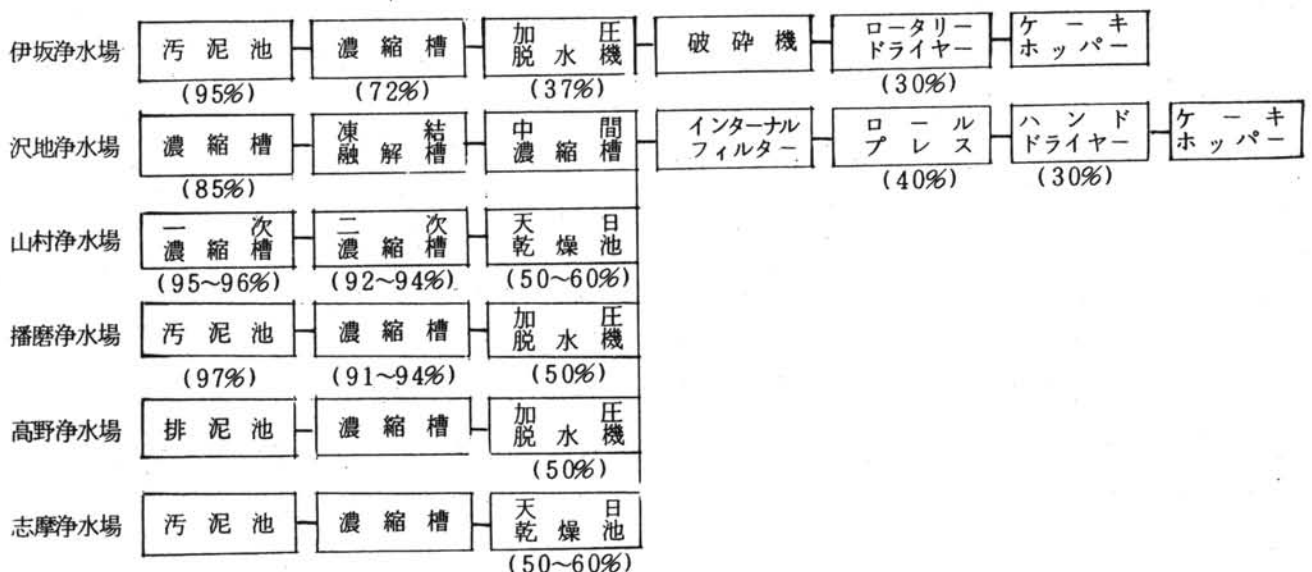
達する。したがって、浄水汚泥がこれらの用土として適性があれば、農業利用への道は正に洋々たるものがあり、むしろ、その量の貧弱さを嘆かねばならない。

各種用土の適性条件は、①理化学的性質が好適範囲にあること、②作物の生育に支障を来すほどの有害物質を含まないこと、③質・量ともに時期的、年次的変動が少ないこと、などが挙げられる。しかし、これらの条件は、作物の種類、用法によって、かなり幅のあるものであり、さらに、有機物など添加・混合資材の質量、栽培法などによる可変的な要素を多分に持っている。そこで、以上の事柄について検討を加えるのが、本研究の命題である。

幸いにして、県下の浄水場の汚泥処理は、いずれも無薬法を採用しており、各種用土として基本的には適性を有するものと思われる。しかし、第1図にも見られるように、伊坂、沢地両浄水場以外の汚泥については、最終

工程がフィルタープレスもしくは天日乾燥であるため、高水分と形状が粗大であって、そのまま用土とはなり得ない。したがって、これらの汚泥については、農業利用以前の問題として、汚泥処理の中に乾燥・破砕工程を加える必要がある。

筆者らが本研究に着手したのは、昭和51年度からである。当初、沢地浄水場から排出される汚泥の形状から、各種用土の素材として利用できるのではないかと考え、研究各部及び農業改良普及所の関係者と共に、汚泥の理化学分析と各種作物について一連の栽培試験を行った²⁾。その成果として、沢地浄水場の汚泥については、産業廃棄物の適用除外を受け、昭和52年度から県企業庁と県花植木振興会との間に売買契約が交され、総て鉢花用土として利用されている。これを契機として、昭和52年度からは県企業庁の委託を受け、他の浄水場の汚泥についても検討を始めることとなった。本来、研究成果の報告は



第1図 汚泥処理フローシート (水分含量%)

調査試験の完了を待って行うべきであるが、産業廃棄物のリサイクルについては、全国的な関心事でもあるのであえて予報として報告することとした。

分析試料

分析には、伊坂・沢地・山村の3浄水場の汚泥を用いた。試料の採取は、伊坂浄水場が昭和53年度に3回、沢地浄水場は昭和52～53年度に亘り5回採取し、山村浄水場の汚泥は昭和53年度に1回採取した。

伊坂浄水場の汚泥は、フィルタープレスで脱水後、ロータリードライヤーに送り、燈油バーナーからの熱風により500℃、15分間処理し、水分含量30%程度にした処理直後の汚泥を採取し、ビニール袋に詰め密封したものを実験室に送付を受け、分析項目によっては、そのまま分析に供用し、それ以外は、風乾後、粉碎、篩別して、2mm以下の粒子に調整したものを分析に供した。

沢地浄水場の汚泥は、ロールプレスで脱水後、ドライヤーで80℃、15分間電熱からの熱風により乾燥して、水分含量30%程度とした処理汚泥を、伊坂の場合と同様に採取調整して分析試料とした。

山村の汚泥については、50～60日間天日乾燥を行い、水分含量50%程度の投棄直前のものを採取し、前2者とほぼ同様に調製して分析に供した。

なお、試料の採取から調製までの保存期間は、採取時期によって必ずしも一定でない。

分析方法

1. 一般化学性²⁾

(1) pH (H₂O・KCl)；水懸濁液もしくは、n-KCl 浸出液について、ガラス電極法により測定した。

(2) 全炭素 (T-C)；Tyurin の簡易測定法により分析した。

(3) 全窒素 (T-N)；ケルダール法による硫酸分解液について、セミマイクロ蒸溜法により測定した。

(4) アンモニア態窒素、硝酸態窒素 (NH₄-N, NO₃-N)；風乾細土と、風乾後畑状態下に80℃で熟成した試料につき、改良型コンウエイ微量拡散分析法により分析した。

(5) 塩基置換容量 (CEC)；セミマイクロ Schollenberger 法に基づく、10%塩化ナトリウム抽出液について、ホルモール法により分析した。

(6) 置換性石灰・苦土・加里 (Ex. CaO・MgO・K₂O)；セミマイクロ Schollenberger 法によるpH 7.0 n-醋酸アンモニウム抽出液について、原子吸光分光光度法により測定。

(7) 可給態リン酸 (Truog-P₂O₅)；Truog 法による浸出

液について、モリブデン青法により比色定量した。

(8) 磷酸吸収率；2.5%磷酸アンモニウム液を加えその吸収残液について、バナドモリブデン法により比色定量した。⁷⁵

2. 浄水汚泥の重金属類等⁴⁾

(1) 可溶性カドミウム・銅・亜鉛・ニッケル・クロム、鉛・マンガン (0.1 n-HCl 可溶Cd・Cu・Zn・Ni・Cr・Pb・Mn)；0.1 n-HCl 浸出液について、原子吸光分光光度法により測定した。なお、マンガンは、pH 7.0 n-NH₄AO₆ 浸出液について測定した。

(2) 可溶性アルミニウム (pH 4.0 n-NH₄AO₆ 溶 Al₂O₃)；pH 4.0 醋酸アンモニウム浸出液について、アルミノン比色法により分析した。

(3) 可溶性砒素 (n-HCl 可溶As)；n-塩酸浸出液について、ひ化水素発生装置を用いて原子吸光分光光度法により測定した。

3. 浄水汚泥の理化学性⁵⁾

(1) 粒径組成及び土性；過酸化水素水及びカルゴンで分散した後、ピペット法により測定した。

(2) 土塊の大きさ別組成と形状；伊坂・沢地浄水場の処理直後の汚泥について、5, 4, 3, 2, 1, 0.5, 0.25 mmの篩を使って順次篩別し、乾燥後、秤量した。

なお、伊坂浄水場の汚泥については、ロータリードライヤー内の温度を200℃・300℃・400℃・500℃の4段階に処理した試料についても上記と同様に測定した。

(3) 土塊の耐水性；伊坂・沢地浄水場の処理直後の汚泥について、耐水性団粒測定器に5, 4, 3, 2, 1 mmの篩をセットして、水中で篩別し、乾燥後秤量した。

(4) 三相分布・仮比重・真比重；伊坂・沢地浄水場の処理直後の汚泥を、100cc容実容積測定管に詰め、一旦、最大容水量の水を含ませた後、加圧板法によりpH 1.5の水分量とし、実容積測定器にかけて三相分布を測定した。

なお同一試料について、乾燥後、秤量して、仮比重・真比重を求めた。

第3表 一般化学性 (その1)

浄水場名	試料採取 年 月 日	pH		T-C (%)	T-N (%)	C/N
		H ₂ O	KCl			
伊坂	昭53. 7. 7	6.9	6.5	1.91	0.25	7.6
	" 10. 2	6.9	6.4	2.11	0.25	8.4
	昭54. 1.29	7.4	6.6	2.50	0.32	7.8
	平均	7.1	6.5	2.17	0.27	8.0
	昭52. 7. 1	5.9	-	2.41	0.22	11.0
沢地	" 9.19	6.3	-	2.43	0.22	11.0
	昭53. 3.13	6.5	-	2.27	0.21	10.8
	" 7. 7	6.1	5.6	2.24	0.24	9.3
	" 10. 6	6.3	5.9	2.29	0.23	10.0
	平均	6.2	5.8	2.33	0.22	10.4
山村	昭53. 7. 7	6.0	5.8	4.30	0.53	8.1

伊坂浄水場の汚泥については、(2)の項で述べたように乾燥時の温度を4段階に処理した汚泥についても、上記と同じ方法で測定した。

(5) 有効水分；(4)の項と同じ試料について、加圧板法によりPF30のときの水分量を求め、先に測定したPF1.5のときの水分量から有効水分量を求めた。

第4表 一般化学性(その2)

浄水場名	試料採取 年月日	風乾物中(mg)			30℃畑状態で熟成					
		NH ₄ -N	NO ₃ -N	計	14日後(mg)			26日後(mg)		
					NH ₄ -N	NO ₃ -N	計	NH ₄ -N	NO ₃ -N	計
伊坂	昭53. 7. 7	11.7	0.2	11.9	12.7	1.9	14.6	19.8	0.0	19.8
	" 10. 2	16.1	2.1	18.2	23.5	0.1	23.1	25.4	0.3	25.7
	昭54. 1.29	13.2	2.1	15.3	15.0	8.3	23.3	29.5	5.3	34.8
	平均	13.7	1.5	15.1	17.1	3.4	20.3	24.9	1.9	26.8
沢地	昭53. 7. 7	19.8	1.7	21.5	21.0	3.3	24.3	19.2	0.4	19.6
	" 10. 6	10.1	1.3	11.4	12.9	2.6	15.5	15.6	0.8	16.4
	平均	15.0	1.5	16.5	17.0	3.0	19.9	17.4	0.6	18.0
山村	昭53. 7. 7	0.5	36.5	37.0	6.2	36.1	42.3	11.4	41.5	52.9

第5表 一般化学性(その3)

浄水場名	試料採取 年月日	CEC (me)	Ex. CaO (mg)	CaO 飽和度 (%)	Ex. MgO (mg)	Ex. K ₂ O (mg)	Truog P ₂ O ₅ (mg)	磷酸吸 収系数
伊坂	昭53. 7. 7	22.8	331	52	1	19	4.3	1,682
	" 10. 2	27.5	362	47	3	20	3.7	1,721
	昭54. 1.29	28.7	353	44	17	23	1.8	1,732
	平均	26.3	349	47	7	21	3.3	1,712
沢地	昭52. 7. 1	16.9	171	36	3	22	16.7	-
	" 9.19	15.2	162	38	3	16	14.2	-
	昭53. 3.13	15.5	154	35	6	17	9.0	-
	" 7. 7	19.9	181	32	10	19	12.4	1,418
	" 10. 6	20.3	172	30	6	19	7.6	1,416
平均	17.6	168	34	6	19	12.0	1,439	
山村	昭53. 7. 7	27.9	296	37	6	26	1.3	2,470

結果と考察

1. 浄水汚泥の一般化学性

浄水汚泥の一般化学性分析の結果は、第3表から第5表に亘って掲載した。

浄水汚泥の性質は、一般化学性に限らず、理化学性及び重金属類等の含量についても、原水中の浮遊物質の主体をなす土砂の母材、原水の水質によって異なり、これらは水源が同一であっても出水時と寡雨時では質的にも、量的にも大きく変化する。さらに、浄水過程での薬液の注入量、汚泥の処理方法、試料採取から調整までの放置日数及びその間の水分含量、温度などの諸条件によっても影響される。したがって、汚泥の性質は、水源を異にする各浄水場間で差があり、同じ浄水場でも時期により年次によって異なるものと考えられる。しかし、汚泥処理は短時日に沈積したものをその都度処理するのではなく、伊坂、沢地浄水場では、それぞれ2、3ヶ年に亘って浄水池に沈積した汚泥を抜取って処理しており、また、山村浄水場では、浄水池の沈泥を1日に1～3回クラリファイヤーで掻き寄せ、汚泥池及び濃縮槽に1ヶ月間程度滞留させたものを天日乾燥して、特に伊坂・沢地浄水

場の汚泥については時期的な変動が、かなり消去されているものと思われる。

(1) pH(H₂O・KCl)；pH(H₂O) では、平均値において、伊坂の汚泥が7.1で中性、沢地・山村がそれぞれ6.2、6.0を示し微酸性である。pH(KCl)では、伊坂が6.5、沢地・山村がいずれも5.8を示し、一般耕地土壌と差がない。採取時期による差も少ない。伊坂浄水場の汚泥のpHが高いのは、原水を取水している員弁川の上流域に石灰岩が可成り広域に分布していることと関連があると思われる。

(2) 全炭素(T-C)；浄水場別に見ると、平均値で、伊坂が2%強で沖積地の一般耕土に似ている。山村は4.3%を含み、前2者に比べて著しく含量が高く、腐植に富んでいる。これを時期別に見ると、伊坂のものに1時期や、高いものがあるほかは差がない。

(3) 全窒素(T-N)；全窒素では、平均値で伊坂0.27%、沢地0.22%を示し、一般耕土の含量の範囲にある。山村は0.53%もあって窒素的に著しく肥沃である。これらは全炭素量とよく対応している。時期的変化についても前項と同じである。

(4) 炭素率 (C/N)；炭素率は、伊坂・山村が8程度、沢地は10であり、いずれも一般耕土に比べて低く、汚泥中の有機物が易分解性のものを主体としていていると考えられる。採取時期による数値は、いずれも近似している。

(5) 風乾細土中の無機態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$)；風乾物中の無機態窒素含量については、伊坂・沢地の汚泥では、汚泥処理後、風乾調整までの間に無機化したものが主体であり、この期間の長短と、放置期間中の条件によって無機化量にかなり影響があったと思われる。山村については、天日乾燥の過程で無機化が進んだものと考えられる。いずれの汚泥も無機態窒素量はかなり多く、採取時期による変動も大きい、平均値では、それぞれ15.1 mg, 16.5 mgを示し、山村は37.0 mgと高かった。

無機態窒素の内容について見ると、伊坂・沢地ではアンモニア態が主体となっており、山村の汚泥は、殆んどが硝化作用を受けて $\text{NO}_3\text{-N}$ となっていて、汚泥処理法の相違をよく反映している。

一般耕土に比べて無機態窒素量が高いのは、いずれの汚泥も炭素率が小さく、処理過程に無機化を促進する工程を持つことが挙げられる。すなわち、伊坂には500℃15分の熱乾工程があり、沢地では凍結融解と80℃15分間の熱乾工程が、山村は天日による乾・湿の繰り返しがある。

以上のことから、これらの汚泥を培地として利用する場合には、汚泥中の窒素量を考慮に入れて肥培管理を行う必要がある。

(6) 畑状態下に熟成後の無機態窒素；風乾土中の無機態窒素量に比べて、熟成後の無機態窒素は増加しており、熟成日数については、14日より26日間のものの方が無機化量が多い。伊坂・沢地の汚泥は、採取時期によって無機化量に差がある。また、伊坂の汚泥の方が沢地のものより無機化量が多い。さらに、山村の汚泥は、26日後には52.9 mgを示し多量の窒素が無機化した。これら浄水場による差異は、汚泥中の易分解性有機物の全窒素量及び炭素率とよく見合っている。

無機態窒素の内容について見ると、アンモニア態窒素の増加は明らかに認められるが、硝酸態窒素については熟成することによって減少するものが多かった。これは、熟成の際の水の添加量が多く、やゝ過湿気味に熟成管理されたため、脱窒を起したのではないかと、あるいは熱乾処理による硝酸化成菌の死滅などが考えられるので再検討の必要がある。なお、伊坂の汚泥については、熱乾の際の温度を400℃と500℃にした2つの処理汚泥について分析したが、400℃処理では、明らかに窒素の無機化量は少なくなった。

(7) 塩基置換容量 (CEC)；塩基置換容量は、汚泥

中の粘土と腐植の質量によって左右される。平均値では伊坂26.3me, 沢地17.6me, 山村27.9meであって、伊坂・山村の汚泥に高く、沢地は一般耕土並である。伊坂・沢地の汚泥は、採取時期によって多少差異がある。

(8) 置換性石灰・苦土・加里 (Ex. $\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot\text{K}_2\text{O}$) 及び石灰飽和度；置換性石灰含量は、平均値で伊坂350 mg, 沢地170 mg, 山村300 mg程度であり、伊坂の汚泥が最も高く、pH値とよく対応している。時期的変動は比較的小さい。

石灰飽和^度では、伊坂47%, 山村・沢地はそれぞれ37% 34%であって、一般耕土としてはいずれも中庸である。

置換性苦土は、伊坂7 mg, 沢地・山村は共に6 mgで、含量が低く、培地として利用する場合には、苦土肥料を多用する必要がある。

置換性加里は、伊坂・沢地の汚泥が20mg内外、山村は26.4 mgもあって、いずれも含量が高い。

(9) 有効態リン酸 (Truog P_2O_5)；有効態リン酸含量は、平均値で伊坂3.3 mg, 沢地12.0 mg, 山村1.3 mgであり、沢地の汚泥には一般耕土程度含まれているが、伊坂・山村の汚泥中の含量は低い。伊坂・沢地については、採取時期による差がかなり認められる。したがって、伊坂・山村の汚泥の利用に当たっては、リン酸肥料を多用する必要がある。なお、汚泥中の有効態リン酸含量は、原水の水質、浄水過程での硫酸ばん土の添加量と、密接な関係があると思われる。

(10) リン酸吸収係数^係；リン酸吸収係数は、伊坂1,700, 沢地1,400, 山村2,500程度であり、一般耕土に比べていずれも高く、殊に山村の汚泥は、かなり高い値を示している。この原因については前項で述べたように、添加した硫酸アルミニウムの影響が大きいものと考えられる。

2. 浄水汚泥の重金属類等

原水中に含まれる浮遊物質は、微細な土砂を主体とするため、その成分内容は河川を浮遊、流下する過程で水質の影響を強く受けるものと考えられる。近年、工場・事業所等からの排水によって水域の汚染が問題となっている折柄、重金属類等についても、浮遊物質がこれを吸着濃縮し、汚泥中の含量を高くしている懸念があるためそれらの濃度について測定し、検討を加えた。その結果は第6表のとおりである。

第6表 重金属類等

浄水場名	試料採取 年月日	0.1 n-HCl 可溶 (ppm)							pH7.0 n-NH ₄ AO _c 可溶 Mn (ppm)	pH4.0 n-NH ₄ AO _c 可溶 Al ₂ O ₃ (%)	n-HCl 可溶 As
		Cd	Cu	Zn	Ni	Cr	Pb	Mn			
伊坂	昭53. 7. 7	0.1	0.0	1.1	0.5	0.0	0.0	257	40.3	1.46	6.8
	" 10. 2	0.5	0.3	2.2	0.7	0.0	2.0	340	72.0	2.19	7.0
	昭54. 1. 29	0.6	0.6	7.6	1.7	0.0	2.7	361	90.7	2.08	6.0
	平均	0.4	0.3	3.6	1.0	0.0	1.6	319	67.7	1.91	6.6
沢地	昭52. 7. 1	0.3	1.4	16	1.7	1.5	-	206	-	-	5.8
	" 9. 19	0.7	2.5	30	2.1	2.5	-	502	-	-	4.6
	昭53. 3. 13	0.6	1.4	19	4.2	1.7	-	453	-	-	4.8
	" 7. 7	0.4	2.3	28	1.8	0.7	0.0	256	18.3	1.26	7.0
	" 10. 6	0.4	1.7	24	2.3	0.0	2.3	500	159.4	1.40	6.1
平均	0.5	1.9	23	2.4	1.3	1.2	383	88.9	1.33	5.7	
山村	昭53. 7. 7	0.3	0.0	6.2	0.8	0.0	0.9	189	2.9	4.42	10.3

(1) 可溶性カドミウム、銅、亜鉛、ニッケル、クロム鉛、ひ素(0.1 n-HCl 可溶Cd, Cu, Zn, Ni, Cr, Pb, n-HCl 可溶As)；カドミウム、ひ素については、3浄水場とも、亜鉛については沢地の汚泥中の含量が、一般耕土の平均的な値⁶⁾に比較して高いが、農作物の生育を阻害するほどの濃度ではない。また、3浄水場のニッケル、クロム、鉛については、含量が低くて全く問題がない。むしろ、伊坂・山村の銅、亜鉛含量は極めて低く、欠乏症発生の懸念すらある。なお、採取時期による差は全般に大きい。

(2) 可溶性Mn(0.1 n-HCl 可溶Mn, pH7.0 n-NH₄AO_c 可溶Mn)；0.1 n-HCl 可溶のMn含量は、伊坂257~361 ppm、沢地206~502 ppmと著しく含量が高い。

Mn 過剰害と関係が深いと言われるpH7.0 醋酸アンモニウム可溶Mnについても、伊坂40~91 ppm、沢地18~159 ppmの含量があり、マンガン過剰害の発生し易いメロン等の作物では、過剰害のおそれがある。土壌中のマンガンはpHが低くなったり、還元状態が強いほど可溶化しやすく、また、土壌の蒸気消毒によって多量のマンガンが可溶化し、過剰害が発生することが知られている⁷⁾。したがって伊坂・沢地の汚泥を蒸気消毒した場合には、過剰害のおそれを一層増大するものと考えられる。山村の汚泥は、熱乾処理されていないためか、醋酸可溶マンガンは低い、しかし、加熱処理の影響については、別途検討する必要がある。なお、伊坂・山村の汚泥では、採取時

期による変動が大きい、これは、試料採取から調製までの期間の長短、保存条件の差が、かなり影響したものと考える。

(3) 可溶性アルミニウム(pH4.0 n-NH₄AO_c 可溶Al₂O₃)；可溶性アルミニウムは、平均値で伊坂1.91%、沢地1.33%、山村4.42%であり、いずれの汚泥も一般耕土に比較して著しく含量が高い。この原因については、前述したとおりであり、⁸⁾ 燐酸吸収係数と関係がある。栽培作物あるいは、汚泥の使用法によっては、アルミニウム過剰による直接的、間接的な障害発生の懸念がある。

伊坂の汚泥について、汚泥処理における熱乾温度と可溶性重金属類の含量との関係を検討した。その結果については、第7表に示した。表に見られるように、重金属類等のうち、クロム、鉛、ひ素では処理温度による含量の変化はなく、カドミウム、銅、亜鉛、ニッケルは、処理温度を高めると、僅かではあるが、含量の増加が見られる。マンガンについては、塩酸、醋酸可溶とも明らかに含量が増加した。

以上のことから、マンガン以外の重金属類等については、多少の増加はあっても量的に問題はないが、マンガンのについては、強熱処理、殊に500℃で処理すると明らかに含量が高まるので、熱乾工程を省略して、プレスによる脱水汚泥のまま破碎して利用するか、400℃以下で熱乾するにとどめるのも過剰害回避の一手段であろうと考えた。しかし、マンガンの過剰害については、作物の種

第7表 熱乾温度と重金属類等

浄水場名	熱乾温度	0.1 n-HCl 可溶 (ppm)							pH7.0 n-NH ₄ AO _c 可溶 Mn (ppm)	n-HCl As (ppm)
		Cd	Cu	Zn	Ni	Cr	Pb	Mn		
伊坂	200℃	0.5	0.0	1.8	0.6	0.0	2.5	256	25.2	7.2
	300℃	0.5	0.0	1.7	0.7	0.0	2.5	233	21.6	6.9
	400℃	0.5	0.2	1.9	0.6	0.0	1.3	275	38.6	7.2
	500℃	0.5	0.3	2.2	0.7	0.0	2.0	340	72.0	7.0

注：昭和53年10月2日採取試料

類，用法によって異なるので，今後栽培試験等を通じて検討を深める必要がある。

3. 浄水汚泥の理化学性

浄水汚泥の理化学性については，前出の農業の現場で需要の大きい鉢花用土，各種育苗培土，施設そさいの床土としての利用を主目的として調査検討を進める事とした。

(1) 粒径組成及び土性；粒径組成については，第8表に示した。表によれば，伊坂の汚泥はシルトが最も多く63.3%，次いで粘土19.6%，細砂16.6%であって，粗砂

は0.5%でごく僅かである。沢地の汚泥は前者に比べて，粘土が多く，他の画分はいずれも少なく，土性は伊坂と同じ微砂質埴壤土である。山村の汚泥は，前2者に比べて細砂が多く，粘土含量が少なくて，土性は微砂質埴壤土である。

なお，各浄水場の汚泥は，固結度が高く，可溶性アルミニウム含量が多いためか，過酸化水素水とカルゴン処理だけでは分散が十分でないと考えられるので，今後超音波を併用した場合について検討する。

第8表 粒径組成および土性

浄水場名	採年	取月	取日	粗砂	細砂	シルト	粘土	腐植	土性
				%	%	%	%	%	
伊坂	昭53.	7.	7	0.47	21.85	63.49	14.19	3.3	Silty loam
	"	10.	2	0.79	17.85	57.57	23.79	3.6	Silty clay loam
	昭54.	1.	29	0.12	10.09	68.84	20.95	4.2	"
	平均			0.46	16.60	63.30	19.64	3.7	"
沢地	昭53.	7.	7	0.04	10.91	58.44	30.61	3.9	"
	"	10.	6	0.16	12.77	60.48	26.59	3.9	"
平均				0.10	11.84	59.46	28.60	3.9	"
山村	昭53.	7.	7	0.21	35.60	51.42	12.77	7.4	Silty loam

第9表 土塊の大きさ別組成および形状（4反復平均）

浄水場名	試料採取年月日	単位：%											形状
		5mm以上	4~5mm	計	3~4mm	2~3mm	1~2mm	計	0.5~1mm	0.25~0.5mm	0.25mm以下	計	
伊坂	昭53.10.2	26.5	6.3	32.8	9.9	9.3	18.3	37.5	13.8	9.9	6.1	23.8	団塊
沢地	昭53.10.6	64.3	8.7	73.0	9.6	5.8	6.5	21.9	2.5	1.5	1.4	5.4	果粒

(2) 土塊の大きさ別組成及び形状；伊坂・沢地の汚泥について計測した結果を第9表に示した。表によれば，伊坂の汚泥は，4mm以上の土塊が32.8%，4~1mm37.5%，1mm以下23.8%であって，各種用土に好適した大きさである。沢地のものは，4mm以上10mmまで程度のもものが73%を占めていて，育苗用土とするには更に破碎するか，汚泥処理の際の熱乾前の網目を細かくするなどの工夫が必要である。育苗以外の用土としては，そのまま利

用できるものと考えられる，なお形状については，伊坂の汚泥は表面が丸味を帯びた団塊状であり，沢地は多孔質で角ばった果粒状である。

第10表は，伊坂の汚泥について，熱乾時の温度条件と土塊の大きさ別組成について計測したものである。表によれば，高温で乾燥するほど，土塊の小さいものが増加する傾向があり，殊に500℃の場合にその傾向が強くなるようである。

第10表 処理温度と土塊の大きさ別組成（4反復平均）

浄水場名	単位：%										
	5mm以上	4~5mm	計	3~4mm	2~3mm	1~2mm	計	0.5~1mm	0.25~0.5mm	0.25mm以下	計
伊坂	40.2	5.9	46.1	8.5	7.6	14.8	30.9	12.9	10.1	0.1	23.1
	40.7	3.9	44.6	5.2	5.9	12.8	23.9	11.2	11.1	9.3	31.6
	36.7	4.2	40.9	6.1	6.2	14.0	26.3	12.7	11.3	8.9	32.9
	26.5	6.3	32.8	9.9	9.3	18.3	37.5	13.8	9.9	6.1	23.8

注：昭和58年10月2日採取試料

第11表 土塊の耐水性（2反復平均）

浄水場名	試料採取年月日	単位：%					
		5mm以上	4~5mm	3~4mm	2~3mm	1~2mm	1mm以下
伊坂(400℃)	昭53.10.2	35.0	5.6	6.9	6.4	12.2	34.0
"(500℃)	"	30.2	5.8	8.4	7.7	13.1	35.0
沢地	昭53.10.6	55.5	10.7	12.2	8.9	8.8	4.1

(3) 土塊の耐水性；処理直後の水分状態の汚泥について調査した結果を第11表に示した。表によれば、伊坂・沢地の汚泥は共に耐水性が高く、安定した土塊であり、各種用土に適している。これを第9表と対比して見たとき、多少各画分毎の数値に乱れが見られるが、これは計測上、殊にサンプリングの段階での誤差によるものと考えられる。

(4) 三相分布及び有効水分など；第12表に示したように、三相分布については、伊坂の汚泥は、液相が多く、気相が少ない。これに対し沢地の汚泥は、気相容積が過大である。これらの特徴は、土塊の大きさ別組成と形状に基づくものと考えられる。

第12表 三相分布と有効水分

浄水場名 (熱乾温度)	PF1.5のときの三相分布(%)			有効水分 (PF1.5 ~3.0)	仮比重	真比重
	固相	液相	気相			
伊坂(200℃)	27.7	44.4	27.9	6.7	0.68	2.45
(300℃)	31.3	45.8	22.9	8.4	0.76	2.43
(400℃)	36.1	42.8	21.1	5.2	0.91	2.52
(500℃)	35.5	42.1	22.4	5.2	0.87	2.45
沢地	25.3	32.0	42.7	2.9	0.66	2.61

注：昭和53年10月2～6日採取試料

有効水分については、沢地の汚泥は伊坂の半分程度であり著しく少い。これは粗孔隙量(PF1.5のときの空隙量)の多少と関係がある。仮比重についても、沢地の汚泥は小さい値を示すが、これは土塊が多孔質で、粗孔隙量が多いためである。なお真比重については、伊坂が2.5内外、沢地2.6でむしろ沢地の汚泥が重い。

鉢花、施設やさい、育苗など各種用土としては、PF1.5のときの三相分布が等分であるか、液相割合がやや高い程度のものが良いとされている。このことから、伊坂の汚泥では、気相割合が小さくて過湿になり易く、沢地のものは気相割合が過大であるため保水性に難点がある。したがって、各種用土として利用するには、それぞれの欠陥を補うよう有機物など添加資材の質量についての検索が必要である。他方、汚泥の処理法についても例えば伊坂では脱水汚泥をそのまま破碎して使用するか、沢地では熱乾前に通す網目を細かくするなどの工夫が必要である。

なお、伊坂の汚泥について、熱乾工程での温度処理と三相分布などの関係について計測した。表に見られるように、熱乾時の温度を高めると、固相が増大し、液・気相が減少する。そのため、有効水分が減って、仮比重が増加する傾向がある。このことは、土塊の大きさ別組成の計測結果とよく一致しており、ここでも熱乾せずに破碎するのが望ましいことを裏付けていて、今後、このことについても検討が必要である。

摘 要

1. 浄水汚泥について、各種用土としての適性を知るため、工業用水道関係の3浄水場の汚泥の理化学性、有害物質の含量及び時期別変化等について検討した。

2. 一般化学性については、一般耕土に比べて大きな差異はなく、採取時期による変化も用土としての均質性を阻害するほどではなかった。したがって、各種用土として十分利用しうる。しかし、窒素肥沃度が高く、磷酸吸収係数が大きいので、施肥面において多少留意する必要がある。

3. 可溶性重金属類等については、マンガン、アルミニウムに問題があり、マンガンは伊坂・沢地の汚泥に、アルミニウムはすべての汚泥に含量が高い。したがって作物、用土、対策資材、あるいは汚泥処理法について検討の要がある。

4. 汚泥はいずれも微砂質埴土～埴土で、土塊の形状は、伊坂が団塊状で中小土塊が多く、沢地は果粒状で大きい。両者とも耐水性にすぐれている。土塊の形状、組成から、伊坂の汚泥は液相が多くて気相に乏しく、沢地の汚泥は、気相が過大で有効水分の少い嫌がある。しかし、両汚泥とも有機物等混合資材の質量を選ぶことにより各種用土として利用が可能である。しかし、これらの点に関しては、別途汚泥の処理法も含めて検討中である。

なお、山村の汚泥については、角柱状の巨大土塊であるため、汚泥処理段階での問題が残っているが、これらについても今後検討を進める予定である。

本研究の実施にあたっては、県企業庁から資料の提供等種々の便宜を与えられた。また、本報告のとりまとめに際して、三重県農業技術センターの伊達一郎専技、山川巖専技、伊藤重雄室長、山口省吾室長、伊藤敏一室長からも資料の提供を受けた。ここに厚く感謝の意を表する次第である。

引用文献

- 1) 三重農技センター営農部；実用化組立試験成績書，(1)～(2) (1971～1972)
- 2) 戸田鉉一，中野直，生杉佳弘，東上剛；浄水ケーキの農業利用について，PPM, vol. 8, No 2 (1977)
- 3) 土壤養分測定法委員会；土壤養分分析法，養賢堂
- 4) 農林省農政局；地力保全調査事業における重金属類の分析法，地力保全対策資料第33号 (1970)
- 5) 土壤物理性測定法委員会；土壤物理性測定法，養賢堂
- 6) 農林省農蚕園芸局；昭和48年度土壤汚染防止対策調査成績，土壤保全対策資料第48号 (1971)
- 7) 静岡農試；温室メロンの蒸気土壤消毒に関する研究特別報告第10号 (1971)