



Title	沖縄島における浄水汚泥の主要構成成分と理化学性(生産環境学科)
Author(s)	渡嘉敷, 義浩; 親富祖, 明; 志茂, 守孝
Citation	琉球大学農学部学術報告 = The Science Bulletin of the Faculty of Agriculture. University of the Ryukyus(39): 85-95
Issue Date	1992-12-01
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/3812
Rights	

沖縄島における浄水汚泥の主要構成成分と理化学性

渡嘉敷義浩*・親富祖明**・志茂守孝*

Yoshihiro TOKASHIKI, Akira OYAFUSO and Moritaka SHIMO:
The main constituents and physical and chemical properties
of water filtering sludge in Okinawa island

Summary

For the purpose of effective using the water filtering sludge as a soil dressing material in Okinawa island, the sludges which were collected from Ishikawa, Chatan, Koza and Nishihara water purification plant were studied on the main constituents and physical and chemical properties. And furthermore these properties of the sludge were compared with these of arable soils. The results are summarized as follows.

1) The primary mineral of the sludges was mainly consisted of quartz accompanied by a small amount of feldspars in Ishikawa's and calcite in Koza's sludge. In the clay fraction the sludges included kaolinite and illite as the main minerals accompanied by a moderate amount of vermiculite-chlorite intergrade, in addition, goethite in both Ishikawa's and Chatan's sludge.

2) It was contained about 5 to 16 % in organic matter which was higher than 2 % in arable soils.

3) The texture was clayey in both Ishikawa's and Chatan's, sandy in Nishihara's and silty in Koza's sludge, respectively.

4) The sludges showed slightly alkaline reaction, and their total nitrogen were higher twice than this in arable soils.

5) The CEC was about 5 to 16 me/100g. The value for exchangeable calcium was about 7 to 53 me/100g and was considerably higher in the sludges than this in acidic Kunigami mahji soil.

6) The value for available phosphate was about 7 to 8 mg/100g in Nishihara's sludge and the value was larger 17 times than this in the other sludge. The phosphorus absorption coefficient was about 2,400 to 2,700 mg/100g and the value was considerably higher 3 to 5 times than this in arable soils.

From the results of these experiments, it was considered that it will be

* 琉球大学農学部生産環境学科

** 沖縄県農林水産部

possible to use the sludge effectively as a soil dressing material in Okinawa island because the physical and chemical properties of the sludges were better on the whole than these in arable soils.

緒 言

水の需要量は文明の発達や経済活動の向上に対応して増大し、水資源の確保と良質で安全な水道水の供給は、今後ますますその重要性を増すことが考えられる。そして、河川水や貯水池からの原水に含まれる土砂を主体とする微細な無機物や有機物からなるSS（懸濁物質）を浄化して、水道水を供給する浄水場の存在とその機能はきわめて重要である。その浄水場から排出されるこれらのSS主体の浄水汚泥は、産業廃棄物に指定されているため、そのほとんどが特定場所に投棄されているのが現状である。最近の水道水の需要量増加に伴って浄水汚泥の発生量は莫大となり^{3,22)}、沖縄県では昭和63年度に年間8,900 t、1日当り25 tの浄水汚泥の発生量があり、その搬出経費として年間2,360万円の予算が執行されている²⁰⁾。浄水汚泥の運搬投棄には、多大の経費を必要とし、全国的にもその処分対策および有効利用化が問題とされつつあり、これらを所管する県企業局では、浄水汚泥の農業利用化に対する期待が大きいと考えられる。

他方では、産業廃棄物の有効資源化やそれらのリサイクル化の機運が社会的にも高まり、浄水汚泥の有効利用に関する基礎研究や技術開発が、他府県の農業試験場や大学等の研究機関でも行なわれ、客土資材や培養土、土壌改良資材などといった農業面への利用が考えられている。戸田ら²²⁾は浄水汚泥の理化学性を調べ、一般化学性では一般耕土と大きな差異がなく、各種用土として十分に利用し得るが、施肥面に多少留意する必要があること、可溶性重金属類等ではマンガン、アルミニウムに問題があること、そして、耐水性にすぐれていること等を報告している。また、麻生ら³⁾は、カルシウム、窒素などのリサイクル化の観点から有効な農業資材であり、地力維持効果も認められたこと、公害に関する各種の元素含量が法令上の規制値以下であること、リン酸吸収係数が高いこと、疎水性のために水管理に注意が必要であることなどを報告している。鎌田ら⁹⁾も、浄水汚泥の理化学性を調べ、粘土含量は16~18%で、粘土鉱物組成はアロフェンや層状ケイ酸塩鉱物が多く、他にゼオライトや石英が含まれること、pHは7.5~8.0でやや高いことなどを報告している。

浄水汚泥の性質は主に河川流域における土壌の性質や水質等の影響によって決まるが、浄化処理過程での薬品類の添加や、汚泥処理の方法によって大きく変化する²⁾。そのため浄水汚泥の有効利用化をはかるには、浄水汚泥の主要構成成分とその理化学性を調べ、その資材特性を明らかにする必要がある。また、浄水汚泥を客土資材として農業利用化をはかるには、農・畜産物などの食糧生産に対して安全性が保証されることや、さらに農業用地やその周辺用地が有害物質などで汚染されないことなどの検討にも、特に注意を払う必要があると思われる。本研究では、先ず、浄水汚泥の理化学性と主要な鉱物組成を調べて、客土資材としての農業利用化に関する知見を得ることが目的である。

沖縄島で排出される浄水汚泥の概要および供試試料

浄水汚泥は次のようにして排出されている。先ず、土砂や浮遊物質を含んだ原水は、沖縄本島内の主要施設¹⁸⁾ (Fig. 1) を経由して各浄水場へ送られる。各浄水場での原水は、河川水中の粗い土砂が貯水場および沈砂池で除去され、それから着水井、混和池へと送水される¹⁹⁾ (Fig. 2)。その混和池では、凝集剤の効果をよくするために水酸化ナトリウムが添加されて、原水中のpHが弱アルカリ性に調整された後、硫酸アルミニウムが添加されて原水中の浮遊物質は凝集される。それらの凝集された浮遊物質

は沈澱池で沈降する。その沈澱物は排水処理場へと運ばれる。そこでは、沈澱物の濃縮および脱水性を向上させるために高分子凝集剤のポリアクリルアミドが添加されて濃縮され（薬注処理）、またはその凝集剤が添加されずに濃縮され（無薬注処理）、遠心脱水や加圧脱水、あるいは脱水処理後にさらに加熱乾燥する等の各々の脱水処理を行った後、浄水汚泥として廃棄されている。

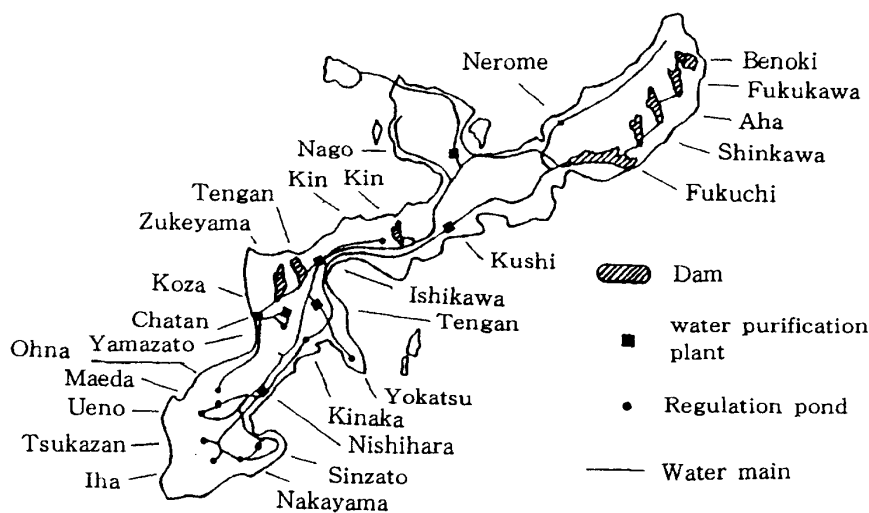


Fig. 1. The outline of the institution for waterworks in Okinawa island

Water filtering system: A=intake pond, B=mixing pond, C=flocculating pond, D=deposit pond, E=filter pond, F=filtrate pond, G=water pump
 Sludge separation system: H=concentrated sludge tank, I=chemicals tank, J=dehydration apparatus, K=separated water and drainage, L=belt conveyer, M=sludge, N=dryer

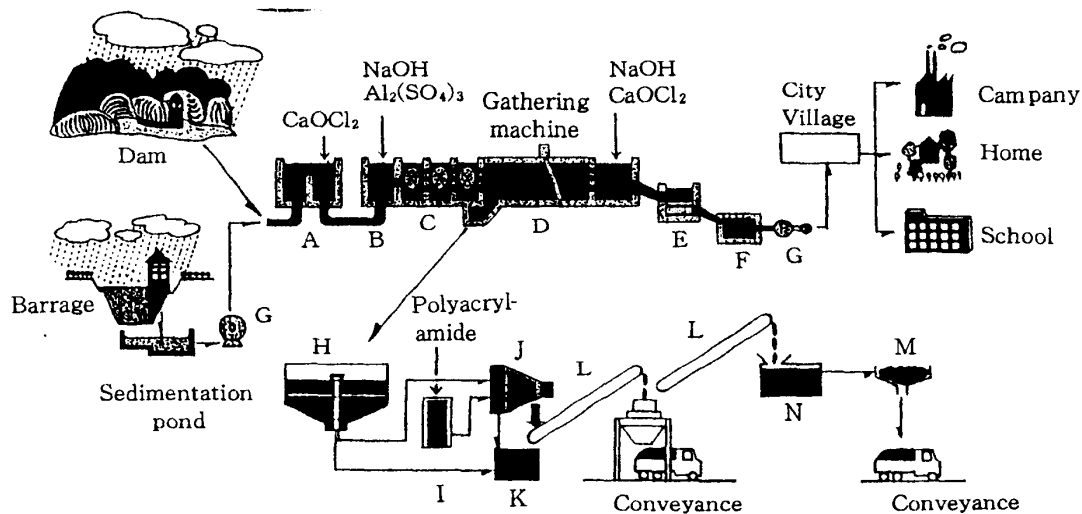


Fig.2. The process of the water filtering and sludge separation system in water purification plant

Table 1. The state of water purification plant in Okinawa island

water purification plant	water source	production (t/year)	disposal cost (1,000yen/year)	dehydration system (water content)
Kushi	Fukuchi dam, Government operated dam	2,979	8,638	centrifuge, add *HPF (79.0%)
Nago	Taiho, Henan and Genga river	393	1,139	centrifuge, add *HPF (59.9%)
Ishikawa	Taiho, Henan and Genga river, Kin and Tengan dam, primary water of kushi plant	1,878	4,507	centrifuge, add *HPF (69.7%) pressure press, add Ca(OH) ₂ (57.4%)
Koza	Hijya and Nagata river, Kadena well	1,790	4,565	centrifuge, add *HPF (64.3%)
Nishihara	primary water of Kushi plant, Kadena well	1,334	3,402	centrifuge, add *HPF (82.3%)
Chatan	primary water of kushi plant, Tengan dam, Nagata river, Kadena well	530	1,350	pressure press (61.0%)
Total		8,904	23,601	(ave. 67.7%)

* HPF=high polymer flocculant (polyacrylamide)

供試試料は、水源や脱水処理方式が異なる²⁰⁾ (Table 1) 石川、北谷、コザの各浄水汚泥に西原の加熱乾燥処理前後の浄水汚泥の計5種類を用いた。いずれの試料も1989年5月に採取して、7~10日間ときどき粉碎しながら風乾させた後、粒径2mm以下に粉碎して調整した試料を用いた。各供試試料では、北谷汚泥は高分子凝集剤を添加しない無薬注処理による加圧脱水、石川およびコザの両汚泥は高分子凝集剤を添加した薬注処理による遠心脱水、西原汚泥は同じく薬注処理による遠心脱水、およびその後の加熱乾燥脱水がそれぞれ施されているのが特徴である。

分析項目および方法

1、主要構成成分

浄水汚泥の主要な鉱物組成を調べるため、風乾試料をメノウ乳鉢でさらに粉碎して調整した粉末試料について、乱方位法によりX線回折法を適用し、一次鉱物組成を調べた⁵⁾。そして、器械分析⁴⁾によって採集した粘土部分(粒径2μm以下)については、定方位法によるX線回折法を適用し、脱鉄処理後の二次鉱物組成を調べた²⁵⁾。

また、浄水汚泥の有機物含量を求めるため、同様に粉碎して調整した粉末試料(粒径0.5mm以下)について、湿式分解法(小坂・本田・井蹟法)を適用して有機態炭素含量を求め、それに換算係数の1.724を積して有機物含量を算出して求めた⁷⁾。

2、理化学性

浄水汚泥の物理性については、H₂O₂処理後の試料の粒径組成を、沈定法およびピペット法の併用によって調べた⁴⁾。

また、浄水汚泥の化学性については、常法を適用して次のように行った。pHは、試料とH₂OまたはKCl溶液との比が1:2.5の浸出液を30分間往復振とう後、それらの懸濁液をpH計で測定⁶⁾し、またECは、試料とH₂Oとの比が1:5の浸出液を60分間往復振とう後、それらの懸濁液のろ過液をEC計で測定した⁶⁾。全窒素は、メノウ乳鉢でさらに粉碎した粉末試料(粒径0.5mm以下)について硫酸分解法を適用して分解し、その分解液を塩入・奥田法によってアルカリ蒸留し⁷⁾、2%ホウ酸液を1/56規定硫酸標準液で滴定して測定した¹⁵⁾。

交換性塩基は、試料と酢酸アンモニウム溶液(pH7)との比が1:10の浸出条件で浸出される塩基

類について、Ca、Mg、KおよびNaの各元素を原子吸光法を適用して測定した⁶⁾。CECは、交換性塩基類の浸出処理後の試料について、アルコール洗浄による過剰塩除去後⁶⁾、交換性塩基類の測定と同様の浸出条件で、塩化ナトリウム溶液によって浸出される NH_4^+ についてサリチル酸法を適用し、667nmの波長で比色測定して求めた¹³⁾。可給態リン酸は、トルオーグ法（原法）を適用¹⁴⁾し、試料と浸出溶液との比が1：200の浸出ろ過液について、比色測定法にはギニアグリーンB法²³⁾を適用し、630nmの波長でPを測定して求めた。リン酸吸収係数は、関谷の方法を適用し、試料に浸出溶液を加えた24時間後のろ過液の一部について、バナドモリブデン酸法によって460nmの波長でPを比色測定し、浸出処理前後の溶液中のリン酸の濃度差を吸着量とした⁷⁾。

結果および考察

1、浄水汚泥の主要構成成分

各浄水汚泥の一次鉱物および二次鉱物組成をX線回折法によって調べたが、いずれの試料のX線回折図もそれぞれほぼ類似する特徴を示した。ここではそれらを代表して、石川浄水汚泥の粉末試料および粘土部分のX線回折図を示した。そして、各浄水汚泥について同定した鉱物組成は、まとめてTable 2に示した。

粉末試料のX線回折図（Fig. 3）では、石英（4.26Å、3.34Å、2.46Å、2.28Å、1.82Å、1.54Åなど）による回折線がもっとも強く、その他に長石（3.67Å、3.20Åなど）の明瞭な回折線が附随した。両一次鉱物の回折線の外に、粘土部分の主体をなす層状ケイ酸塩鉱物のイライト、カオリナイトなどの回折線も認められた。このような特徴から、浄水汚泥の一次鉱物組成（Table 2）は、いずれも石英が主要鉱物で、その他に石川浄水汚泥には長石、コザ浄水汚泥には方解石（3.04Å）も認められた。

粘土部分のX線回折図（Fig. 4）では、Mg飽和、風乾試料の14Å付近の回折線はグリセロール処理後も18Å付近へ移行せず、K飽和、風乾試料および105～550℃加熱処理後、徐々に10Å付近に収縮して低角側にゆるやかに傾斜し、10Å付近の回折線への移行が不完全であることより、パーミキュライト-

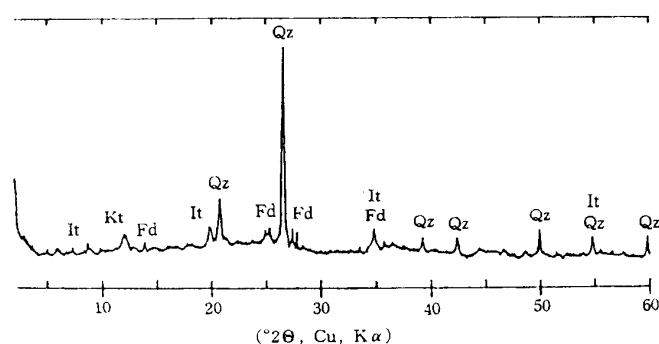


Fig. 3. Random oriented X-ray diffractograms of Ishikawa's sludge powder
For Abbreviations see Table 2.

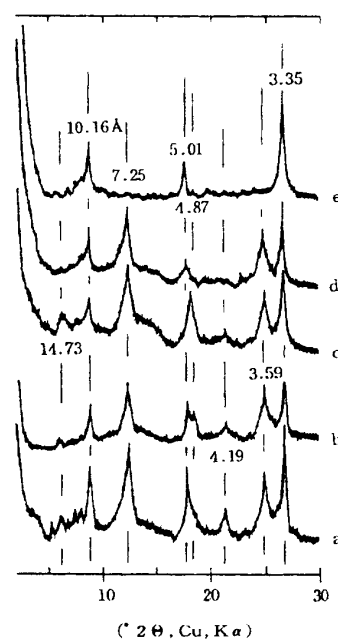


Fig. 4. Oriented X-ray diffractograms of deferrated clay fraction of Ishikawa's sludge
Treatment: a=air-dried Mg-clay, b=saturated Mg-clay with glycerol, c=air-dried K-clay, d=heated K-clay to 300°C, e=heated K-clay to 550°C

クロライト中間種鉱物によるとみなした。さらに、Mg飽和、風乾試料の10Å付近の回折線は、同一試料のグリセロール処理後も11Å付近に移行せず、さらにK飽和、風乾試料およびその加熱試料でもそのまま残存することよりイライトによるとみなした。また、Mg飽和、風乾試料の7Åおよび3.5Å付近の両回折線は、K飽和、風乾試料ではそのまま残存して、K飽和、550℃加熱処理後にいずれも消失すること、およびハロイサイト(7Å)の回折線の数値より小さいことよりカオリナイトによるとみなした。そして、各回折線の強度からカオリナイトやイライトが主体で前者が優勢であり、パーミキュライト-クロライト中間種鉱物が随伴することを推定した。また、X線回折図には、MgおよびK飽和、両風乾試料に4.19Åの回折線が認められ、その回折線はK飽和、300℃加熱後に消失することよりゲーサイトによるとみなした。

Table 2. Summary of the main constituents of the water filtering sludges

Sample	Inorg. matter			Org. matter (%) [*]
	Primary mine.	Clay mine.	Oxide	
Ishikawa	Q z >> F d	K t > I t >> V t-C h	G t	7.4
Chatan	Q z	K t, I t > V t-C h	G t	4.5
Koza	Q z >>> C a	K t, I t, V t-C h	—	10.9
Nishihara	Q z	K t > I t > V t-C h	—	15.5
Nishihara (oven-dry)	Q z	K t, I t > V t-C h	—	11.7

* On the oven-dry basis of the material.

Abbreviations : Ca = calcite, Fd = feldspar, Gt = geothite, It = illite, Kt = kaolinite,
Qz = quartz, Vt-Ch = vermiculite-chlorite intergrade

各浄水汚泥の二次鉱物組成 (Table 2) は、いずれの浄水汚泥ともカオリナイト、イライトが主体を占め、パーミキュライト-クロライト中間種鉱物も随伴する特徴を示した。一般に、カオリナイトのCECは、2~10 me/100g、イライトのそれは10~15 me/100gをそれぞれ示し、比表面積はいずれも10~55 m²/gを示し、層状ケイ酸塩鉱物中では、比較的養分保持力の小さいグループに属する²⁶⁾。また、クロライトの両数値もカオリナイトのそれらに一致する。すなわち、このような浄水汚泥の主要粘土鉱物組成では、養分保持力に関わる荷電の主体は変異荷電に依存することが示唆され、pHがアルカリ性の場合には陽イオンの吸着体になることを示唆している。また石川および北谷試料では、ゲーサイトも同定された。このことは、浄水汚泥の粘土部分にはかなりの量の遊離酸化鉄が含有され、常法の脱鉄処理回数2回では十分に除去されなかったことを示唆している。ゲーサイトは変異荷電を有する鉱物で、表面荷電ゼロ点 (ZPC) はpH7.5~8にあり、一般の土壌のpHでは、ゲーサイトは正に帯電している¹⁷⁾ことが知られている。すなわち土壌pHが酸性の場合には陰イオンの吸着体に、pH8以上のアルカリ性では陽イオンの吸着体になることを示唆している。

なお、麻生²⁾は、浄水汚泥の鉱物組成の結果から粘土画分ではアロフェン、クロライト、カオリン、モンモリロナイト、イライト等が多く、シルト画分では、石英、長石が多く、アロフェン、クロライトなどが認められていること、しかも各鉱物がほぼ均一に器械的に混在していることから、取水河川水が広範囲にわたって集水され、いろいろの土壌を包含していることを意味し、河川流域の土壌に強く影響されることを示唆すると述べている。これと同様に、沖縄本島の浄水汚泥の鉱物組成 (Table 2) もほぼ均一で、各浄水場では、水源は異なるがいずれも沖縄本島北部のいわゆる国頭マージ土壌地帯の河川水が主体であり、その土壌 (赤色土や黄色土) の主要粘土鉱物組成がカオリナイトやイライトやパーミキュライト-クロライト中間種鉱物である⁸⁾ことから、浄水汚泥の鉱物組成は河川流域の土壌に強く影響されることを示唆するという事に一致している。

各浄水汚泥中の有機物含量 (Table 2) では、無薬注処理の北谷浄水汚泥は4.5%を示し、他の薬注処理の浄水汚泥に比較して最も低い値を示した。石川およびコザの浄水汚泥はそれぞれ7.4、1.9%で、西原浄水汚泥は15.5%を示して最も高い値を示した。加熱乾燥した西原浄水汚泥では、乾燥前に比べて乾燥後の値が11.7%と低くなっているが、その原因は加熱乾燥処理によって薬注処理有機物の分解が生じたことによるものと思われる。また、無薬注処理の北谷汚泥に比べて薬注処理した浄水汚泥の有機物含量が高いのは、浄水汚泥として廃棄される前の排水処理の工程 (Fig. 2) で使用された有機系凝集剤のポリアクリルアミド (ポリマー) の残留に起因すると考えられる。

一般に、土壌中の有機物 (腐植) 含量は、3~5%あることが良い土の目安¹⁰⁾とされている。また、三好¹²⁾は、火山灰土の作土で5%以下、非火山灰土のそれで2%以下の場合には、風食や水食などによって作土が失われ、地力が低下している可能性が多いと述べている。これらのことから、浄水汚泥中の有機物含量は、いずれも良い土の目安以上の高い値を示し、その点で客土資材として農業利用する上では有用であると考えられる。

2、浄水汚泥の理化学性および耕地土壌との比較

各浄水汚泥の理化学性の分析結果と耕地土壌の理化学性については、Table 3にとりまとめて示した。各耕地土壌の理化学性は足立・與古田¹⁾の沖縄本島土壌の理化学的性質から引用して示した。彼ら¹⁾は、沖縄県内主要土壌について、地力保全基本調査総合成績書等の既存試料を整理し、特に畑土壌の理化学的性質を母材別に整理して、土壌の診断基準の観点では、多くの土壌がpH、CEC、交換性塩基の基準値を満たしていないこと、そして、生産力阻害要因による土壌分級では、畑土壌の99%がⅢ、Ⅳ等級の不良土壌に属し有効土層の深さ、耕耘の難易、養分の豊肥に関わる諸性質が阻害因子になっていることなどを挙げている。

Table 3. Physical and chemical properties of the water filtering sludges and typical arable soils in Okinawa island

Sample	particle-size dist. (%) [*]			Tex- ture	pH		EC mS/cm	Org. matter (%) [*]	Total N	CEC	Exchangeable bases				Avail. P ₂ O ₅ , ad. phos. mg/100g ⁻	
	Sand	Silt	Clay		(H ₂ O)	(KCL)					Ca	Mg	K	Na		
Ishikawa	3.1	35.6	61.4	HC	7.05	7.01	0.45	7.4	0.48	4.8	7.4	0.3	0.1	0.4	0.1	2,620
Chatan	3.8	42.4	53.7	HC	7.64	7.51	0.52	4.5	0.23	11.6	23.1	0.2	0.4	0.4	0.2	2,430
Sludge Koza	7.5	87.1	5.3	SiL	7.51	7.45	0.90	10.9	0.48	5.1	52.6	0.3	0.2	0.4	0.4	2,750
Nishihara	41.5	14.8	43.7	LiC	7.25	7.15	0.86	15.5	0.78	14.7	17.1	2.2	0.2	1.8	6.8	2,670
Nishihara (oven-dry)	30.6	15.1	54.2	HC	7.11	7.01	1.04	11.7	0.82	16.2	14.6	1.7	0.1	1.1	8.1	2,710
Soil ^{**} Kunigami mahji	48	26	26	LiC	4.9	4.1		1.8	0.09	11	2	0.4	0.2	0.2		906
Shimajiri mahji	25	34	49	HC	7.1	6.2		2.3	0.14	18	23	1.5	0.4	0.4		817
Jahgaru	15	45	40	LiC	7.5	7.0		1.9	0.13	23	45	2.5	0.4	0.3		553

* On the oven-dry basis of the material.

** The data was cited from the paper (Adachi and Yokota, 1981).

物理性としての粒径組成では、他の浄水汚泥に比べ西原浄水汚泥では、砂含量が多い特徴を示した。また、シルト含量の多いコザを除く他の浄水汚泥は比較的に粘土含量が多い土性の特徴を示し、浄水汚泥の土性はほとんどが強粘質 (LiC、HC) で、コザ汚泥だけは壤質 (SiL) の特徴を示した。元来、浄水汚泥の内容物は、原水中の浮遊物質の土壌コロイドが主体であり、コロイド粒子より大きい粒子の混入は、ほとんど考え難い。そのために、汚泥処理工程 (Fig. 2) における条件の差異により、土粒子の構造の堅固さが異なることによると考えられる。すなわち、石川や北谷は比較的に構造が弱く、コザはその次に弱く、西原は最も強い構造を有して細粒化し難いことが推察される。土性は作物の生産性と最

も密接な関係のある項目の排水性、透水性、保水性、養分吸着力、養分含量、根群伸長の良否などと関連深いこと¹²⁾が知られている。一般には、壤質や粘質の土は団粒ができやすく、保水力も比較的にかき多いものが多いと言われている。土性では、コザ浄水汚泥のシルト質壤土を除き、石川、北谷および西原(熱乾)の各浄水汚泥は島尻マーヅに類似して、重埴土の特徴、西原浄水汚泥は国頭マーヅやジャーガルに類似して軽埴土の特徴をそれぞれ示した。

化学性としては、pHの(H₂O)および(KCl)の両浸出液のpHの差が1よりも小さく、また、各浄水汚泥とも弱アルカリ性のpH(H₂O)7.1~7.6の範囲を示した。このことは、浄水汚泥中の負荷電がほとんど塩基類で満たされていることを示唆している。そして、浄水場で処理される原水のpHは、6.7~8.0および総硬度は33~270のそれぞれの範囲を示し²¹⁾(Table 4)、いずれも高いこと、浄水場における浄水処理工程(Fig. 2)での水酸化ナトリウム添加などによるものと思われる。硬度は、水中に存在するCa²⁺やMg²⁺の合計量を、これらに対応するCaCO₃のmg/lに換算したもので、その1mg/lの溶液は硬度1に相当する¹⁴⁾。通常、20以上のものを硬水、10以下のものを軟水と称しているもので、沖縄県の水質はこれらの塩基類に富む著しい硬水であると言える。作物にとって好ましいpHは、作物の種類によっても異なるが、大部分の作物は、pH(H₂O)6.0~7.0の範囲で順調に生育する¹²⁾ことは知られている。いずれの浄水汚泥のpHも、島尻マーヅやジャーガルの中性~弱アルカリ性に類似する特徴を示した。浄水汚泥のECは、0.45~1.04 mS/cmの範囲を示した。一般に、ECは土壌中の塩類濃度の指標として測定されるが、作物に濃度障害の出現する恐れのあるEC値は、0.8~1.5 mS/cm以上である¹²⁾ことが知られている。その点、いずれの浄水汚泥も植物栽培上の栽培培地としては、作物の生育に適當の妥当な範囲を有する特徴を示した。

Table 4. The water quality of raw and filtering water of the water purification plant in Okinawa island

Water purification plant	pH	Hardness		Total-N	K	Na	PO ₄ ⁻³	Cl ⁻¹	SO ₄ ⁻²	
		Total	Ca							
Ishikawa	Raw	7.3 (6.8~7.9)	60 (30~112)	46 (20~92)	0.36 (0.09~0.89)	1.31 (0.83~2.55)	17.4 (15.0~21.5)	0.03 (0.00~0.08)	23.8 (18.0~30.2)	13.6 (10.8~17.8)
	Filtering	7.6 (7.4~7.8)	52 (40~70)	39 (30~52)	0.29 (0.69~0.14)	1.22 (0.93~2.19)	21.0 (18.0~24.9)	0.01 (0.00~0.03)	25.2 (20.5~29.0)	18.1 (12.8~31.5)
Chatan	Raw	7.1 (6.9~7.3)	126 (92~142)	110 (82~125)	0.67 (0.34~1.14)	1.36 (0.89~2.16)	20.7 (17.9~29.3)	0.05 (0.02~0.15)	30.6 (22.8~47.0)	17.6 (15.1~20.4)
	Filtering	7.4 (7.3~7.5)	134 (94~181)	116 (82~161)	0.59 (0.32~0.98)	1.35 (0.90~1.85)	24.2 (20.0~34.1)	0.02 (0.00~0.04)	34.1 (24.0~54.5)	25.8 (19.2~39.1)
Koza	Raw	7.5 (7.3~8.0)	222 (14~270)	200 (132~252)	1.56 (0.63~2.28)	2.56 (0.89~3.97)	30.2 (19.0~38.5)	0.37 (0.03~0.69)	41.0 (28.3~50.0)	28.1 (16.7~46.4)
	Filtering	7.1 (7.0~7.2)	181 (128~234)	163 (114~206)	1.11 (0.72~1.14)	1.92 (0.97~2.58)	26.0 (20.0~32.4)	0.04 (0.02~0.06)	37.4 (28.5~47.0)	34.5 (26.0~47.8)
Nishihara	Raw	6.8 (6.7~7.0)	59 (33~78)	43 (22~60)	0.38 (0.10~0.75)	1.29 (0.82~1.79)	18.5 (15.5~21.0)	0.10 (0.03~0.16)	27.4 (21.0~32.2)	16.5 (12.8~28.0)
	Filtering	7.5 (7.3~8.1)	60 (38~78)	45 (28~62)	0.38 (0.10~0.72)	1.34 (1.01~1.81)	22.3 (18.7~25.3)	0.04 (0.02~0.07)	29.5 (21.0~43.5)	18.6 (13.2~32.2)

The data was cited from the annual report of water quality (Okinawa government enterprise bureau, 1981).

有機態炭素および全窒素の含量はいずれも、有機物含量と同様に、無薬注処理の北谷浄水汚泥が薬注処理による他の浄水汚泥の半分以下の値を示した。浄水汚泥中に含有される炭素や窒素の供給源は、河川の浮遊物質に由来する原水中の有機物の他に、薬注処理の汚泥処理工程(Fig. 2)中に添加される有機系高分子凝集剤のポリアクリルアミド(ポリマー)に由来するものが考えられる。麻生²⁾は、浄水汚泥中のポリマー中の炭素が、加熱処理によって有効化し、その有効化量(NH₃-N生成量)が200℃でピークを示すことを述べている。そして、このNH₃の生成は、汚泥処理工程で添加された凝集補助剤のケイ酸ソーダによるアルカリ性化と加熱により、アミノ基がイミド化し、その時にNH₃が遊離するものと考察している。西原浄水汚泥の風乾物の全窒素量より熱乾物の全窒素量が若干低いのは、そのことによ

るものと考えられる。また、西原浄水汚泥では、有機態炭素や全窒素含量がいずれも他の浄水汚泥より高いことから、原水中由来の有機物含量も多いことが推察される。いずれの浄水汚泥も、全窒素および有機物含量は代表的耕地土壌中の倍以上の高い値を示し、両含量において優る特徴を示した。

CECは、養分保持力の指標として用いられるが、石川およびコザ浄水汚泥で約5 me/100gと小さく、次に北谷浄水汚泥が約12 me/100gで、西原浄水汚泥で約15 me/100gの最も大きい値をそれぞれ示した。その傾向は、薬注処理した浄水汚泥間では有機物含量の多い浄水汚泥では高く、その差異に一致した。この点では、西原浄水汚泥は、他の浄水汚泥に比べて農業用客土資材として、最も好ましい特徴を有した。石川およびコザ浄水汚泥のCECは国頭マージの半分以下の小さい値を示し、他の北谷および西原浄水汚泥は、いずれも両マージの範囲内の値を示して、ジャーガルよりはかなり小さかった。

交換性塩基中の特に交換性Caについては、北谷浄水汚泥が約23 me/100gおよびコザ浄水汚泥が約53 me/100gと著しく高い値を示し、両浄水汚泥のその特徴は酸性土壌への石灰中和資材としての有用性を示唆した。浄水場における原水中の総硬度やカルシウム硬度は、いずれも北谷やコザの両浄水場で著しく高く²¹⁾ (Table 4)、両浄水場で交換性Ca含量が最も高いのとはよく一致し、原水由来のものが多いと考えられる。また、土壌中の交換性塩基には塩基間のバランスが必要で、通常、良好な畑地土壌は塩基飽和度が70~80%、各塩基の比率はCa:Mg:K:Na=70~80:15~25:5:5程度である¹¹⁾ことが知られている。このような条件にやや近いのは、西原浄水汚泥であるが、その塩基飽和度は約145%で大きく、交換性CaはKの約9倍で多いことが異なる。交換性Ca含量はいずれの浄水汚泥も国頭マージよりは多く、北谷浄水汚泥は島尻マージに近似し、コザ浄水汚泥はジャーガルより多い特徴を示した。そして、西原浄水汚泥の交換性Ca含量は、島尻マージの値より若干少なかったが、交換性Mg含量は島尻マージとジャーガルの値の範囲内を示した。また、西原浄水汚泥の交換性Na含量は、いずれの耕地土壌よりもかなり高い特徴を示した。そのことを除き、浄水汚泥の交換性KとNaは、いずれも耕地土壌のそれらに類似した。

西原浄水汚泥の可給態リン酸含量は、石川、北谷およびコザ浄水汚泥のそれに比較して、17倍以上も多い特徴を示した。しかし、原水中のリン酸イオン含量は、コザ浄水場の方が西原浄水場のより高い特徴を示した²¹⁾ (Table 4)。普通、可給態リン酸含量はほとんどの畑作物、野菜を通じて10~30 mg/100gが適した値である¹²⁾ことが知られているので、西原浄水汚泥を除き浄水汚泥中には可給態リン酸含量が著しく少ないことを示している。このことは、先の有機態炭素や有機物含量のところでも述べたように、西原汚泥で原水中由来の有機物含量が多いことの推察を支持するように思われる。

他方、いずれの浄水汚泥も、2,400 mg/100g以上の著しく高いリン酸吸収係数を示した。これは浄水処理工程 (Fig. 2) で添加される硫酸アルミニウム由来のアルミニウムや無機成分中のゲーサイトなどの和水酸化物の存在 (Table 2) に起因していると考えられる。また、交換性のCa²⁺やMg²⁺が測定液のリン酸イオンと反応して、難溶性の両リン酸塩を形成して沈澱する¹⁶⁾ことにもよることが考えられる。いずれにせよ、このことはリン酸肥料施用の際には、植物栽培培地中のリン酸が固定され、栽培上好ましくない影響を及ぼすことを示唆している。一般に、リン酸吸収係数の1,700 mg/100g以上を火山灰土壌の目安の概数値に用い¹²⁾、その値が1,500 mg/100g以上の土壌ではリン酸固定力が大きいので、堆肥の増施などの十分な土壌管理が必要である。各浄水汚泥のリン酸吸収係数は、耕地土壌のそれに比べて3~5倍のかなり高い値を示す特徴が見られ、リン酸肥料の施用上で耕地土壌に劣ることを示した。

これらのことから、いずれの浄水汚泥の理化学性も、県内肥沃土壌のジャーガルや島尻マージの理化学性と幾つかの類似性を示し、有機物や窒素および交換性Ca含量などは両土壌に優る性質を有する特徴も示した。いずれにせよ、各浄水汚泥は、代表的な耕地土壌の理化学性に比べて、農業用客土資材としての理化学性の長所を多く有するが短所もそれぞれ有することを示した。

要 約

農業用客土資材として有効利用するために、沖縄島の石川、北谷、コザ、西原の各浄水汚泥の主要構成成分と理化学性とを調べ、さらに県内の代表的耕地土壌の理化学性とも比較した。得られた結果は、次のように要約することができる。

- 1) 一次鉱物はいずれも石英が主体で、その他に石川汚泥では長石、コザ汚泥では方解石が附随した。二次鉱物はいずれもカオリナイトやイライトが主体で、それらの他にパーミキュライト-クロロイト中間種鉱物が附随した。石川および北谷汚泥ではゲーサイトも随伴した。
- 2) 有機物含量は約5~16%で、いずれも耕地土壌の約2%より高かった。
- 3) 土性は一般に粘土含量が高く、西原汚泥で砂含量、コザ汚泥でシルト含量がそれぞれ高かった。
- 4) pH(H₂O)はいずれも弱アルカリ性を示し、全窒素含量はいずれも耕地土壌より倍以上高かった。
- 5) CECは約5~16 me/100gを示した。交換性Ca含量は約7~53 me/100gで、いずれも酸性土壌の国頭マージよりかなり高かった。
- 6) 可給態リン酸含量は西原汚泥で約7~8 mg/100gで、他の汚泥より1.7倍以上も高かった。リン酸吸収係数は約2,400~2,700 mg/100gで、耕地土壌より3~5倍も著しく高い値を示した。

以上のことから、浄水汚泥の資材特性は耕地土壌に対して全体的には優るものが多く、農業用客土資材として有効利用できる可能性が高いと考えられる。

引用文献

- 1) 足立嗣雄、與古田幹也 1981 主要土壌群の生産的特性、沖縄に分布する特殊土壌の生産的特性、九州農試研究資料、60、p 15
- 2) 麻生昇平 1983 浄水ケーキの理化学的特性、浄水処理ケーキ、特性と農業利用上の問題点、日本土壌肥料学会編、p 13~50、博友社
- 3) 麻生末雄、麻生昇平、武長 宏、良羽雅昭、米安 晟、狩俣貴清 1982 浄水場発生ケーキの農業利用、農業及び園芸、57(1)、p 221~226
- 4) 青嶺重範、原田登五郎 1977 土壌肥料学実験ノート、p 9~13、養賢堂
- 5) Brindley, G.W. and Brown, G. 1984 Crystal Structures of Clay Minerals and their X-ray Identification, Mineralogical Society, London
- 6) 土壌標準分析・測定法委員会 1986 土壌標準分析・測定法、p70~76、p150~160、博友社
- 7) 土壌養分測定法委員会 1968 土壌養分分析法、p127~135、p171~178、p251~253、養賢堂
- 8) 浜崎忠雄 1979 南西諸島の母材と土壌、ペドロジスト、23、p43~57
- 9) 鎌田春海、山田 裕、井上隆弘、郷間光安、藤原俊六郎、松崎敏英 1982 浄水汚泥の農業利用上の特性、浄水汚泥の農業利用に関する開発研究、神奈川県農業総合研究所研究報告、123、p 1~16
- 10) 前田正男、松尾嘉郎 1974 図解土壌の基礎知識、p148~155、農文協
- 11) 松田敬一郎 1984 土壌の化学的性質、土壌学、山根一郎、浜田竜之介、吉永長則、浅見輝男、松田敬一郎、佐久間敏雄、小川達治、湯村義男共著、p83、文永堂出版
- 12) 三好 洋 1978 土壌診断法、作物別観察・調査・分析、p168~222
- 13) Nelson, D.W. 1983 Determination of ammonium in KCL extracts of soils by the salicylate method, Soil Sci. Plant Anal., 14(11), p1051~p1062
- 14) 日本分析化学会北海道支部編 1966 水の分析 (第3版)、p192~193、化学同人
- 15) 西垣 晋、渋谷政夫 1979 新しい角度から見た分析法、作物試験法、戸刈義次、松尾孝嶺、畑村

又好、山田 登、原田登五郎、鈴木直治編、p414~429、農業技術協会

- 16) 南條正巳、牧野知之、庄子貞雄、高橋 正 1991 スメクタイト質土壌のリン酸吸収係数における交換性イオンの役割、日本土壌肥科学雑誌、62、p 41~48
- 17) 岡崎正規、佐藤幸夫 1989 水和酸化物、土の化学、季刊化学総説、日本化学会編、p68~71、学会出版センター
- 18) 沖縄県企業局 1985 石川浄水場施設概要
- 19) 沖縄県企業局 1988a わたしたちの水道水、p 1~17
- 20) 沖縄県企業局 1988b 浄水場毎の施設状況（昭和63年度実績）資料
- 21) 沖縄県企業局 1991 水質年報（平成元年度）、p 79~121
- 22) 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 1980 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、三重県農業技術センター報告、8、p73~80
- 23) 桐栄恭二、大島光子、桑木 亨 1985 ヘテロポリ酸とギニアグリーンBとの水溶液における発色に基づく微量リンの吸光光度定量、分析化学、34、p796~799
- 24) Truog, E. 1930 The determination of the readily available phosphate of soils, Journal of the American Society of Agronomy, p 874~882
- 25) 和田光史 1966 粘土鉱物の同定および定量法、日本土壌肥科学雑誌、37、p 9~17
- 26) 和田光史 1981 土壌粘土によるイオンの交換・吸着反応、土壌の吸着反応、基礎と応用、日本土壌肥科学会編、p 9~14、博友社