

し尿処理場における余剰汚泥の砂質土壌への利用 (1)

— 余剰汚泥の化学的成分 —

片岡 功・片岡 一郎

(農学部応用分析化学研究室)

The Application of Surplus Sludges from Human Waste Disposal Plants to Sandy Soil (1)

— Chemical Component of Surplus Sludges —

Isao KATAOKA and Ichiro KATAOKA

Laboratory of Applied Analytical Chemistry, Faculty of Agriculture

Abstract : To apply surplus sludges from human waste disposal plants to sandy soils, widely distributed in coastal districts in Kochi Prefecture, the chemical components of these sludges were examined in report (1).

1) In moist sludges, gross moisture content (%) was 90.9 ~ 64.9, the color black (mainly with FeS), brown or rarely yellow, sulfide-S (ppm) 257 ~ 27 and 1N-H₂SO₄ soluble Fe(II)/Fe(III) various.

2) In air-dried sludges, residual moisture was 28.50 ~ 5.50 %, the color brown or black (rarely yellow, grayish white or orange), sulfide-S 124 ~ 19 ppm. Sulfide-S and Fe(II) contents of sludges decreased with air-drying (by oxidation).

3) The color of sludge ashes on ignition was orange, brown, grayish white or gray (rarely red or yellow) and the ash content (%) of sludges varied from 52.07 to 8.34 owing to the influence of inorganic coagulating agents added. Many sludges showed alkaline reaction and those pH values generally decreased with air-drying (by oxidation of sulfide-S). Especially, the sludges to which a large quantity of Ca(OH)₂ added showed higher pH value.

4) K₂O content (%) of air-dry sludges was 0.44 ~ 0.05 and CaO (%) 35.89 ~ trace. The sludge to which a large quantity of Ca(OH)₂ added showed higher CaO per cent.

5) Total P₂O₅ content (%) of air-dry sludges was 11.73 ~ 0.82, $\frac{N}{5}$ -HCl soluble P₂O₅(%) 10.02 ~ 1.57 and the solubility ratio (%) to total P₂O₅ 100 ~ 47.

6) Inorganic N in moist sludges is mostly composed of NH₃-N. Sludges being diluted with addition of coagulating agents, the total N content (%) (air-dry basis) varied from 8.29 to 0.92. Inorganic N (I. N)-forming ratio (%) of organic N in sludges added to the sandy soil (HAMAKAIDA sandy loam) varied from 41 ~ 2. Higher pH value (especially based on a large quantity of Ca(OH)₂ applied), higher salt concentration based on inorganic coagulating agents added, higher soluble Al and Cl percentages of sludges are considered to be the cause of lowering of I. N forming ratio.

7) The sludge to which FeCl₃, Fe₂(SO₄)₃ or Al₂(SO₄)₃ applied showed higher Cl, SO₄ or Al. percentage

緒 言

し尿処理場、下水処理場、産業廃水処理などで副生する余剰汚泥は脱水してケーキとなし、焼却あるいは廃棄される現状にあるが、焼却設備、焼却費、廃棄場所などに難点がある。その利用法として、飼、肥料化、建材への利用などが考えられ、また、埋立にも用いられている。

一方、わが国の土壌は温暖多雨気候下で、多毛作栽培を余儀なくされ、土壌有機物の減耗をきたし、地力の低下が問題である。筆者の一人¹⁾は、日本土壌協会の協力のもとに、開拓地における参考資料とするために、砂質土壌を選び、地力減耗防止、多肥栽培に伴う報酬漸減率増大の緩和を目的として堆肥連用試験を計画し、13年間の試験の結果、堆肥の連用が、その目的さらには、土壌の

理学性の改善に有効であることを再認識した。しかしながら、堆肥の多量施用は、その原料確保の点で、難点がある。

本研究は、高知県のし尿処理場が主として海岸地方に存在するために、海岸地方に広く分布する砂質土壌への有機質資源としての汚泥の利用について若干の検討を行なったもので、第1報は汚泥の化学的成分についてである。

供 試 汚 泥

し尿処理場（9ヶ所，うち東京都3ヶ所）の余剰汚泥と、参考として、下水処理場の余剰汚泥を供試した。

試料略号

試料番号は処理場の区別略号と現場での汚泥の通称を英頭文字で略記して結び、（ ）に酸化（OX）、消化（DG）、化学方式（CH）を付した。

KO-SC (OX) : sludge cake (oxidation), 汚泥ケーキ (酸化)

BA-SS (OX) : surplus sludge (oxidation), 余剰汚泥 (酸化)

BA-AS (OX) : aggregation sludge (oxidation), 凝沈汚泥 (酸化)

CH-HW : human-waste residue, し渣

CH-SS (OX) : surplus sludge (oxidation), 余剰汚泥 (酸化)

NI-CS (OX) : condensed sludge (oxidation), 濃縮汚泥 (酸化)

RY-PC (OX) : primary cake (oxidation), 一次ケーキ (酸化)

RY-SC (OX) : secondary cake (oxidation), 二次ケーキ (酸化)

KA-DS (DG) : digestion sludge (digestion), 消化汚泥 (消化)

KA-SS (OX) : surplus sludge (oxidation), 余剰汚泥 (酸化)

AK-DS (DG) : digestion sludge (digestion), 消化汚泥 (消化)

KN-DS (DG) : digestion sludge (digestion), 消化汚泥 (消化)

KN-SS (OX) : surplus sludge (oxidation), 余剰汚泥 (酸化)

SE-DC (CH) : dehydration cake (chemical), 脱水ケーキ (化学)

(参考) 下水処理場よりの試料

SH-DC (OX) : dehydration cake (oxidation), 脱水ケーキ (酸化)

(備考) 同一処理場より2試料を供試したものは、上記のうち、最初に記したものが、はじめの工程で、次に記したものが、終の工程で生じた汚泥である。

凝集剤

汚泥試料の凝集のために使用された凝集剤は、Table 1 のとおりであった。

湿試料, 風乾試料

供試汚泥は湿試料と、風乾試料を用い、湿試料は、脱水機である程度脱水した試料（夾雑物の含まれるものは、できるだけ除く）を、できるだけ早く供試し、風乾試料は、風乾後振動ミルで粉碎し、径2mmのフルイでふるい、2mm以下の部分を供試した。

Table 1. Coagulating agents used for sludges

sludge sample	inorganic	organic (high polymer)
KO-SC (OX)	Fe ₂ (SO ₄) ₃ , Al ₂ (SO ₄) ₃ , Ca(OH) ₂	○
BA-SS (OX)	—	○
BA-AS (OX)	Al ₂ (SO ₄) ₃	○
CH-HW	—	—
CH-SS (OX)	—	○
NI-CS (OX)	—	—
RY-PC (OX)	—	—
RY-SC (OX)	—	○
KA-DS (DG)	—	—
KA-SS (OX)	FeCl ₃	—
AK-DS (DG)	—	—
KN-DS (DG)	Fe ₂ (SO ₄) ₃ , carbide residue	—
KN-SS (OX)	FeCl ₃	—
SE-DC (CH)	Fe ₂ (SO ₄) ₃ , Ca(OH) ₂	—
SH-DC (OX)	Ca(OH) ₂	—

供 試 土 壌

砂質土壌として、高知県南国市浜改田、海浜より 300 m 内部のイモ畑の土壌を用いた。付近は砂質土壌地帯で、ビニールハウスが多い。供試土壌は、風乾細土で、日本農学会法によれば、粗砂 69.7%、細砂 14.4%、微砂 2.2%、粘土 13.7% で砂壤土である。

土壌略称 **HAMAKAIDA** sandy loam

実 験 方 法

水分 概略水分 (風乾)、熱乾水分 (110°C)

灰分 バーナーによるが、参考として電気炉にもよる。

試料の色 湿試料、風乾試料、灰分の色を、Munsell 記法の translation of color names²⁾ によって示した。

pH ガラス電極での測定に便な程度に水を加えた。湿試料は (1+10) ケン濁液について、風乾試料は (1+2.5)、水不足のときは (1+10) ケン濁液について測定。

Fe (II, III, 1N-H₂SO₄ soluble) 汚泥の凝集に、FeCl₃、Fe₂(SO₄)₃ などが用いられたものがあり、これらの Fe は汚泥と共に凝集沈殿して、老化がまだ進んでいないものであるから、1 N-H₂SO₄³⁾ で処理して、溶解した Fe をもって、それらの目安とした。処理液は、Fe(II) は吸光度法 (ジピリジルで発色、λ_{max} 525 mμ) で、Fe(III) は、共存する Fe(II) を酸化して、吸光度法 (ロダンカリで発色、λ_{max} 480 mμ) で定量の後、さきに求めた Fe(II) をさしひいて Fe(III) を求めた。

灰化、P₂O₅、K₂O、CaO 植物無機成分の分析に準じ、風乾汚泥 (< 2 mm) 一定量を乾式灰化し⁴⁾、HCl を加えて蒸発乾固をくりかえし、120°C で乾燥して、ケイ酸分離の操作を行ない、最後に HCl を加えて、加温し、ろ過洗浄したロ液を一定量となして、灰化供試液とした。灰化供試液からは、一つは、モリブディック法 (容量法) で、P₂O₅ を定量し、一つは、炎光分析で K₂O を定量し、一つは、キレート滴定法で CaO を定量した。

$\frac{N}{5}$ -HCl soluble P_2O_5 土壤の可給態養分の定量法のうち、 $\frac{N}{5}$ -HCl 浸出法⁵⁾に準じ、風乾汚泥 (< 2 mm) 一定量を $\frac{N}{5}$ -HCl で浸出し (40°C, 5時間), ケイ酸分離したロ液について、モリブディック法 (容量法) で P_2O_5 を定量した。

total N 常法による。

NH₃-N 土壤の NH₃-N 定量法に準じて、10% KCl 溶液 (汚泥はアルカリ性を呈するものがほとんどであったから KCl 溶液に少量の H₂SO₄ を加えた) で浸出し⁹⁾、定容となし、乾燥口過したロ液一定量をアルカリ性で水蒸気蒸留し、希薄 H₂SO₄ 溶液に吸収させ、ネスラー試薬を加えて、吸光光度法 (λ_{max} 420 m μ) で定量した。

NO₃-N 土壤の NO₃-N 定量法に準じて、汚泥を水で振とう浸出し⁷⁾、定容となして振りまぜた後、乾燥ビーカーにうつし、沈降性炭酸カルシウムを加えてまぜ、静置後、乾燥口過したロ液を供試液とし、その一定量を取り、加藤ら⁸⁾の方法によって、吸光光度法 (λ_{max} 528 m μ) で定量した。

NO₂-N NO₃-N 浸出液について、G. R. 試薬によって発色させ、吸光光度法 (λ_{max} 518 m μ) で定量した。

urea-N 肥料尿素定量法に準じて水で浸出し⁹⁾、乾燥口過し、ロ液一定量をとって、ジアセチルモノオキシムによって発色させ¹⁰⁾、吸光光度法 (λ_{max} 480 m μ) で定量した。

風乾汚泥中の有機-Nの畑状態における無機化 土壤の乾土効果測定法⁶⁾に準じ、土壤 (HAMA-KAIDA sandy loam) 100 g をブランクとし、それに total N として 40 mg にあたる風乾汚泥 (< 2 mm) を添加し、土壤の容水量の 60% となるように水を添加して畑状態となし、30°C の恒温器中で、毎日、水分減量を補給しつつ、3週間放置後、NH₃-N+NO₃-N の合量を測定し、土壤のみのブランク値を差し引き、次のようにして、有機-Nの無機化率を求めた。

40 : N (mg, as total N) added to the soil (100 g) with sludge samples.

I. N (3W) : Inorganic N (mg, NH₃-N+NO₃-N) found in the soil-sludge mixture after 3 weeks-incubation (30°C, field condition).

I. N (O) : Inorganic N (mg, NH₃-N+NO₃-N) originally found in sludge samples.

I. N (S) : Inorganic N (mg, NH₃-N+NO₃-N) found in the soil (100 g) after 3 weeks-incubation (30°C, field condition).

I. N-forming ratio (%) : Inorganic N-forming ratio (%) of organic N in sludge samples.

I. N-forming ratio (%)

$$= \frac{I. N(3W) - I. N(O) - I. N(S)}{40 - I. N(O)} \times 100 \quad \dots \dots \dots (1)$$

sulfide-S 杉山元医器製作所の As 検出器を利用し、酢酸鉛試験紙をはめ、予備実験により定めた条件として、1 ml が 5~50 μ g S に当る Na₂S 標準液 1 ml を装置にとり、90°C に加温した 1N-H₂SO₄ 49 ml を加え、フタをし、90°C 恒温器に 10 分間放置して、着色させた試験紙を標準にした。試料は一定量 (少量) を同様に装置にとり、1N-H₂SO₄ (90°C) を 50 ml 加え、恒温器に 10 分放置して試験紙を着色させ、あらかじめ着色した標準試験紙と比較して、半定量的に sulfide-S を求めた。

SO₄ 試料は、凝集剤に Fe₂(SO₄)₃, Al₂(SO₄)₃ が用いられたり、乾燥により硫化物が酸化されて SO₄ を含む。浸出液は、Al 定量法で処理した $\frac{N}{5}$ -HCl 浸出液を用い、吸光光度法 (クロム

Table 2. The color change of sludge samples in accordance with wetting, drying and ignition

Sludge sample	Moist sludge (gross moisture, %)	Air-dry sludge (residual moisture, %)	Ash	
			elec. oven (550°C)	ignition
KO-SC (OX)	greenish black (82.7)	light gray (surface), dull yellowish brown (inner) (18.04)	bright reddish brown	dull yellow orange
BA-SS (OX)	brownish black (86.1)	black (surface), brownish black (inner) (17.08)	light gray	light gray
BA-AS (OX)	brownish black (83.0)	dark brown (28.50)	dull yellow orange	light gray
CH-HW	yellowish brown (64.9)	grayish yellow (18.13)	light reddish gray	light brownish gray
CH-SS (OX)	grayish olive (90.9)	black (12.53)	reddish orange with white mottles	dull orange
NI-CS (OX)	olive black (66.7)	grayish yellow (12.50)	orange	dull orange
RY-PC (OX)	dull yellow	grayish yellow brown (9.95)	orange	dull orange
RY-SC (OX)	brownish black	reddish black (16.91)	light gray	light gray
KA-DS (DG)	brownish black (66.2)	dull yellowish orange (surface), dull yellow (inner) (21.73)	light purplish gray	light gray
KA-SS (OX)	olive black (83.6)	black (13.24)	dark red	dark reddish brown
AK-DS (DG)	brownish black (69.0)	dull yellowish brown (18.00)	grayish white	light gray
KN-DS (DG)	dull yellowish brown	dull yellowish orange (11.07)	red	yellow brown
KN-SS (OX)	black	reddish black (18.42)	red	dark reddish brown
SE-DC (CH)	olive yellow	light gray (5.50)	light reddish gray	pale yellow
SH-DC (OX)	black (78.1)	dull yellow orange (11.82)	brownish black	dark reddish brown

酸バリウム——酸ケン濁法, A法¹¹⁾, λ_{max} 540 m μ) で定量した。

Cl 試料を土壤の Cl⁻ 定量に準じて水で浸出し¹²⁾, 口液の Cl⁻ を Mohr 法で定量した。

Al($\frac{N}{5}$ -HCl soluble) 汚泥の凝集に Al₂(SO₄)₃ が用いられたものがあり, Al は植物に有害である (火山灰土の活性アルミナなど)。ここでは, 土壤の $\frac{N}{5}$ -HCl 処理⁵⁾ に準じて汚泥を処理し, 処理液について, 吸光光度法 (アルミノン法, λ_{max} 525 m μ) で定量した。

実験結果および考察

湿潤, 乾燥, 灼熱と汚泥の色の変化 汚泥の湿潤, 風乾, 灼熱にともなう色の変化を Table 2 に示す。

湿潤汚泥の概略水分は90.9~64.9%で, 色は黒, 褐, 時に黄色の系統を示し, 風乾汚泥の残留水分は28.50~5.50%で, 色は褐, 黒, 黄, 灰白, 橙などの色を示し, 褐, 黒色の系統が多かった。灰分の色は, 橙, 褐, 灰白または灰色が多く, 時に赤, 黄色系統の色を示した。

汚泥の sulfide-S, Fe(II, III) 含量 汚泥の sulfide-S, Fe(II, III) 含量を Table 3 に示す。

Table 3. Sulfide-S and Fe(II, III) contents of sludge samples

Sludge Sample	Gross moisture (%)	Sulfide-S (ppm)	1 N-H ₂ SO ₄ soluble		
			Fe(II) (%)	Fe(III) (%)	Fe(II)/Fe(III)
KO-SC (OX) {	moist	67			0.60
	air-dried	62	0.15	2.16	0.07
BA-SS (OX) {	moist	35			0.02/trace
	air-dried	115	0.065	0.074	0.89
BA-AS (OX) {	moist	150			5.5
	air-dried	82	0.026	0.013	2.0
CH-HW (OX) {	moist	76			3.3
	air-dried	31	0.028	0.057	0.49
CH-SS (OX) {	moist	28			0.017/trace
	air-dried	124			
NI-CS (OX) {	moist	119			6.4
	air-dried	93	0.17	0.12	1.4
KA-DS (DG) {	moist	57			23.0
	air-dried	31	0.025	0.077	0.32
KA-SS (OX) {	moist	27			3.62
	air-dried	19	0.34	1.74	0.20
AK-DS (DG) {	moist	110			1.68
	air-dried	38	0.036	0.088	0.41
SH-DC (OX) {	moist	257			0.69
	air-dried	29	0.038	3.12	0.012

Sulfide-S は、湿潤汚泥で 257~27 ppm, 風乾汚泥で 124~19 ppm を示した。湿潤汚泥は概略水分 90.9~64.9% であり、この水分を考慮して湿潤汚泥の sulfide-S を風乾汚泥に換算すれば、さらに高い値になる。湿潤汚泥の sulfide-S は風乾により酸化されて減少する。

老化度のきわめて低い酸化鉄, オキシ水酸化鉄 (以上, 俗称 $Fe(OH)_3$) および $Fe(OH)_2$ の目安として, 1N- H_2SO_4 可溶 $Fe(II, III)^{3)}$ を求め, $Fe(II)/Fe(III)$ を求めたが, その比は, 湿潤汚泥において大で, 風乾汚泥において小であった。すなわち, 風乾による $Fe(II)$ の $Fe(III)$ への酸化を示す。(湿潤汚泥は夾雑物を含むものがあり, 篩別困難であったため, Table には $Fe(II)$, $Fe(III)$ の絶対量は示さず, $Fe(II)/Fe(III)$ のみ示した。

なお, 色との関係について, 全試料中, 量も黒い SH-DC (湿色, 黒) は風乾物中の 1N- H_2SO_4 可溶 $Fe(II+III)$ が 3.16% と最高であり, これらの Fe は湿潤汚泥中では大部分 $Fe(II)$ と考えられ, 湿潤汚泥中の sulfide-S も 257 ppm で最高を示し, 湿潤汚泥の黒色が FeS に影響されているようである。この汚泥は焼けば, Fe_2O_3 によって赤味をおびる。KO-SC も湿色が緑黒で, 湿潤汚泥の $Fe(II+III)$ が 2.31% で, 焼けば赤味を増し, KA-SS も湿色がオリーブ黒で, $Fe(II+III)$ が 2.08% で焼けば赤味を増す。Fe 含量が少ないものは, 湿潤汚泥の FeS による黒味も少なく, 焼いても赤味はおびない。

汚泥の pH, 灰分含量 風乾汚泥の ash 含量 (Table 4) は 52.07~8.34% とかなりの変動を示した。このうち ash 40% 以上を示す KO-SC (52.07%), BA-AS (40.44%), KN-DS (42.50%), SE-DC (46.20%), SH-DC (40.04%) はいずれも, 無機凝集剤を使用したものである (Table 1 参照)。灰分の多いものは, 汚泥の減量を目的とする焼却炉での焼却効果が当然低くなる。

Table 4. Ash content of sludge samples

Sludge sample (air-dried, <2mm)	Total ash on ignition (%)	Sludge sample (air-dried, <2mm)	Total ash on ignition (%)
KO-SC (OX)	52.07	KA-DS (DG)	31.39
BA-SS (OX)	24.07	KA-SS (OX)	15.78
BA-AS (OX)	40.44	AK-DS (DG)	39.56
CH-HW	23.81	KN-DS (DG)	42.50
CH-SS (OX)	12.45	KN-SS (OX)	29.04
NI-CS (OX)	15.81	SE-DC (CH)	46.20
RY-PC (OX)	8.34	SH-DC (OX)	40.04
RY-SC (OX)	11.18		

汚泥はアルカリ性を示すものが多く, また, 湿潤汚泥は乾燥によって pH が一般に低下したのは, sulfide-S の酸化によるものと考えられる。(干沢地における硫化物の酸化と土壌の酸性化) 極端に pH の高い KO-SC (湿潤汚泥 pH 12.70(1+10)), SE-DC(CH) (風乾汚泥 pH 12.42(1+10)), SH-DC (湿潤汚泥 pH 12.10(1+10)) はいずれも凝集に $Ca(OH)_2$ を使用したものである。(Table 5, 1)

汚泥の K_2O , CaO 含量 風乾泥の K_2O , CaO 含量を Table 6 に示す。 K_2O 含量は 0.44~0.05% を示したが, CaO は 35.89~trace と大きい変動を示した。最高の CaO 35.89% を示す SE-DC(CH) は化学方式によるもので $Ca(OH)_2$ を汚泥の凝集に多量加えたものである。22.23% を

Table 5. pH of sludge samples

Sludge samples	pH (suspension)	Sludge samples	pH (suspension)
KO-SC { moist (OX) { air-dried	12.70 (1+10) 8.50 (1+2.5)	KA-DS { moist (DG) { air-dried	8.90 (1+10) 7.98 (1+10)
BA-SS { moist (OX) { air-dried	8.25 (1+10) 7.23 (1+2.5)	KA-SS { moist (OX) { air-dried	4.15 (1+10) 5.63 (1+2.5)
BA-AS { moist (OX) { air-dried	7.00 (1+10) 7.30 (1+2.5)	AK-DS { moist (DG) { air-dried	8.99 (1+10) 8.14 (1+10)
CH-HW { moist air-dried	8.79 (1+10) 7.76 (1+10)	KN-DS, air-dried (DG)	9.38 (1+10)
CH-SS { moist (OX) { air-dried	7.00 (1+10) 6.93 (1+10)	KN-SS, air-dried (OX)	4.80 (1+10)
NI-CS { moist (OX) { air-dried	7.42 (1+10) 6.53 (1+10)	SE-DC, air-dried (CH)	12.42 (1+10)
RY-PC, air-dried (OX)	6.24 (1+10)	SH-DC { moist (OX) { air-dried	12.10 (1+10) 8.90 (1+2.5)
RY-SC, air-dried (OX)	6.39 (1+10)		

Table 6. K₂O and CaO contents of Sludge samples

Sludge sample (air-dried, <2mm)	K ₂ O (%)	CaO (%)	Sludge sample (air-dried, <2mm)	K ₂ O (%)	CaO (%)
KO-SC (OX)	0.13	8.16	KA-DS (DG)	0.36	trace
BA-SS (OX)	0.35	3.08	KA-SS (OX)	0.29	1.68
BA-AS (OX)	0.13	0.91	AK-DS (DG)	0.21	0.57
CH-HW	0.37	2.92	KN-DS (DG)	0.12	22.23
CH-SS (OX)	0.39	0.99	KN-SS (OX)	0.18	0.90
NI-CS (OX)	0.28	1.97	SE-DC (CH)	0.05	35.89
RY-PC (OX)	0.12	1.14	SH-DC (OX)	0.26	5.16
RY-SC (OX)	0.44	1.55			

示した KN-DS(DG) も carbide residue を使用したものである。8.16%を示した KO-SC (OX), 5.16%を示した SH-DC(OX) も Ca(OH)₂ を使用したものである。(Table 1 参照)

Total P₂O₅, $\frac{N}{5}$ -HCl 可溶 P₂O₅ 含量 風乾汚泥の P₂O₅ 含量を Table 7 に示す。P₂O₅ 含量は 11.73~0.82%を示した。凝集剤を異にする産業廃水活性汚泥(乾燥)の P₂O₅ が 6 点について 2.45~4.49%¹³⁾ であることからみて、し尿処理場における余剰汚泥には P₂O₅ のかなり富化したものがあった。

Table 8 には若干の汚泥の $\frac{N}{5}$ -HCl 可溶 P₂O₅ 含量と total P₂O₅ に対する比率を示した。

$\frac{N}{5}$ -HCl 可溶 P₂O₅ は 10.02~1.57%で total P₂O₅ に対する可溶率は 100~47%で、凝集剤を異にする産業廃水活性汚泥(乾燥)(5点)のペーテルマン氏液可溶 P₂O₅ の total P₂O₅ に対する可溶率が 66~75%¹³⁾、2%クエン酸可溶 P₂O₅ の可溶率が 54~70%¹³⁾ に比して、可溶率がかな

Table 7. P_2O_5 content of sludge samples

Sludge sample (air-dried, <2mm)	P_2O_5 (%)	Sludge sample (air-dried, <2mm)	P_2O_5 (%)
KO-SC (OX)	2.90	KA-DS (DG)	11.73
BA-SS (OX)	5.62	KA-SS (OX)	4.02
BA-AS (OX)	7.23	AK-DS (DG)	10.33
CH-HW	7.70	KN-DS (DG)	3.89
CH-SS (OX)	2.03	KN-SS (OX)	8.10
NI-CS (OX)	1.24	SE-DC (CH)	1.27
RY-PC (OX)	0.82	SH-DC (OX)	2.23
RY-SC (OX)	3.32		

Table 8. $\frac{N}{5}$ -HCl soluble P_2O_5 content of sludge samples and the ratio of that to total P_2O_5 content

Sludge sample (air-dried, <2mm)	$\frac{N}{5}$ -HCl soluble P_2O_5 (%)	Soluble ratio (%) $\frac{P_2O_5 \left(\frac{N}{5} - HCl \right)}{T. P_2O_5} \times 100$
KO-SC (OX)	2.90	100.0
BA-AS (OX)	6.38	88.2
RY-SC (OX)	1.57	46.6
KA-DS (DG)	10.81	92.2
AK-DS (DG)	10.02	97.0

り高いものがある。

total N, NH_3-N , NO_3-N , NO_2-N , urea-N および organic N の無機化 風乾汚泥の total N は8.29~0.92% (Table 9) でかなりの変動があり, RY-PC(OX), NI-CS(OX), CH-HWなどをのぞけば, 灰分が少ない試料ほど total N の量が多いことを示した。

Table 9. Total N content of sludge samples

Sludge sample (air-dried, <2mm)	Total N (%)	Sludge sample (air-dried, <2mm)	Total N (%)
KO-SC (OX)	1.10	KA-DS (DG)	2.75
BA-SS (OX)	5.15	KA-SS (OX)	6.37
BA-AS (OX)	1.68	AK-DS (DG)	2.59
CH-HW	2.16	KN-DS (DG)	1.51
CH-SS (OX)	8.29	KN-SS (OX)	4.12
NI-CS (OX)	2.06	SE-DC (CH)	0.92
RY-PC (OX)	2.21	SH-DC (OX)	3.13
RY-SC (OX)	7.29		

次に、若干の湿潤汚泥中の数種の形態の N 含量を Table 10 に示す。

Table 10. Contents of several forms of nitrogen in moist sludge samples

Moist sludge sample	Gross moisture (%)	Urea-N (ppm)	NH ₃ -N (ppm)	NO ₃ -N (ppm)	NO ₂ -N (ppm)
CH-HW	64.9	2.87	2938	2.26	1.62
CH-SS (OX)	90.9	0.58	463	2.53	1.96
NI-CS (OX)	66.7	1.30	626	0.46	0.60
KA-DS (DG)	67.6	8.13	1661	0.62	1.95

湿潤汚泥では organic N としての urea-N は少なく (protein-N は分析しなかったが、他の試料の風乾物の分析では多かった。), inorganic N の中では NH₃-N が圧倒的に多い。風乾汚泥を土壌 (HAMAKAIDA sandy loam) 100 g に、total N として 40 mg 添加し、畑状態で、30°C、3週間 incubation の結果、汚泥 organic N の無機化率を(1)式によって求めたものが Table 11 である。

Table 11. I. N-forming ratio of organic N in sludge samples (1)
Soil : HAMAKAIDA sandy loam (air-dried, < 2 mm)
Sludge : air-dried, < 2 mm

Soil used (g)	Sludge used (g)	Total N (mg) added to the soil from sludge samples	A I. N (3W) (mg)	B I. N (O) (mg)	C I. N (S) (mg)	D A-B-C (mg)	E 40-I. N (O) (mg)	I. N-forming ratio (%) $\frac{D}{E} \times 100$
(100)	—	—	—	—	3.01	—	—	—
(100)	KA-DS (1.4555)	40	28.22	16.81	3.01	8.40	23.19	36.2
(100) (DG)	KA-DS (1.5444)	40	19.32	13.76	3.01	2.55	26.24	9.7
(100)	KN-DS (2.6490)	40	8.45	3.31	3.01	2.13	36.69	5.8
(100)	RY-SC (0.5487)	40	19.64	0.28	3.01	16.35	39.72	41.2
(100) (OX)	BA-SS (0.7767)	40	13.24	0.33	3.01	9.90	39.67	25.0
(100)	KO-SC (3.6364)	40	4.34	0.47	3.01	0.86	39.53	2.2
(100)	CH-HW (1.8519)	40	26.70	13.72	3.01	9.97	26.28	37.9

風乾汚泥 organic N の無機化率は畑状態、3週間、30°C において、41~2%とかなりの変動があった。

Table 12 は汚泥 organic N の無機化率を高いものから低いものへならべ、これに無機化に影響すると思われる pH, Al, Cl などをならべたもので、無機凝集剤の使用が Ash (%) の増大 (塩類の増大) を伴い、また、あるものは極端な石灰の使用が pH 上昇に影響して無機化率を低下している。(汚泥は一般に pH が高いが、土壌に添加されれば、土壌の緩衝能により、極端に CaO

の多い汚泥以外は、Table 12 のように、土壌自身の pH に近づく。) 最も無機化率の低い試料は、希薄酸可溶 Al と Cl 含量の高い汚泥の場合であった。

Table 12. *I. N-forming ratio of organic N in sludge samples (2)*
— referring to some properties of sludges

Sludge sample	I. N-forming ratio (%)	Total N (%)	Sludge (g) used in incubation	Some properties of sludge (air-dried)					pH* of soil sludge mixture at the end of incubation
				ash (%)	CaO (%)	$\frac{N}{5}$ -HCl soluble Al (%)	Cl (%)	pH (suspension)	
RY-SD	41.2	7.29	0.5487	11.18	1.55		0.15	6.39(1+10)	5.35
CH-HW	37.9	2.16	1.8519	23.81	2.92		0.75	7.76(1+10)	5.37
KA-DS	36.2	2.75	1.4555	31.39	trace	0.59	0.62	7.98(1+10)	7.60
BA-SS	25.0	5.15	0.7767	24.07	3.08		0.09	7.23(1+2.5)	5.10
AK-DS	9.7	2.59	1.5444	39.56	0.57	0.75	0.13	8.14(1+10)	4.93
KN-DS	5.8	1.51	2.6490	42.56	22.23	0.73	0.06	9.38(1+10)	7.65
KO-SC	2.2	1.10	3.6364	52.07	8.16	5.60	3.52	8.50(1+2.5)	

* 1+2.5 suspension of the mixture (air-dried) was used. pH of the soil alone at the end of the incubation showed 4.92.

Cl, SO₄, Al 含量 風乾汚泥の Cl (%) は 3.52~0.06% (Table 13) で、このうち、最高を示すものは海水使用 (希釈水) によるものであり、2.49, 1.19%を示したものは、凝集剤に FeCl₃ を使用したものである。

Table 13. *Cl content of air-dry sludges*

Sludge sample	Cl (%)	Sludge sample	Cl (%)
KO-SC (OX)	3.52	KA-DS (DG)	0.62
BA-SS (OX)	0.09	KA-SS (OX)	1.19
BA-AS (OX)	0.06	AK-DS (DG)	0.13
CH-HW	0.75	KN-DS (DG)	0.06
CH-SS (OX)	0.36	KN-SS (OX)	2.49
NI-CS (OX)	0.21	SE-DC (CH)	0.10
RY-PC (OX)	0.07	SH-DC (OX)	1.41
RY-SC (OX)	0.15		

$\frac{N}{5}$ -HCl 処理によって求めた風乾汚泥の Al, SO₄ は Table 14 のとおりであり、Al が含量が高く、16.83, 5.60%を示す試料はいずれも Al₂(SO₄)₃ を凝集剤に使用したものである。SO₄(%) の多い試料も凝集剤に硫酸塩を使用したものである。

Table 14. Al and SO₄ contents of air-dry sludges with $\frac{N}{5}$ -HCl treatment

Sludge sample	Al (%) $\frac{N}{5}$ -HCl treatment	Sludge sample	SO ₄ (%) $\frac{N}{5}$ -HCl treatment
KO-SC (OX)	5.60	BA-AS (OX)	0.16
BA-AS (OX)	16.83	SE-DC (CH)	trace
AK-DS (DG)	0.75	KA-DS (DG)	trace
KA-DS (DG)	0.59	CH-SS (OX)	trace
KN-DS (DG)	0.73	RY-SC (OX)	trace
KO-SC (OX)	2.32		

要 約

し尿処理場で副生する余剰汚泥の処分方法として、砂質土壌への利用を考え、まず、汚泥の化学的性質を調べた。

1) 湿潤余剰汚泥の概略水分は90.9~64.9%で、色は黒、褐、時に黄色系を示し、黒色の一因はFeSによる。sulfide-Sは257~27 ppm、IN-H₂SO₄可溶Fe(II)/Fe(III)比は種々であるが同一汚泥の風乾物での比より大である。

2) 風乾汚泥の残留水分は28.50~5.50%で、色は褐、黒(時に黄、灰白、橙)色系、sulfide-Sは124~19 ppmで風乾によって酸化減少する。Fe(II)も風乾によって酸化され、Fe(II)/Fe(III)は小となる。

3) 灰分の色は橙、褐、灰白、灰(時に赤—Feが多い、黄)色系、風乾汚泥の灰分は、無機凝集剤の使用に影響されて52.07~8.34%と変動を示した。汚泥のpHはアルカリ性を示すものが多く、風乾(sulfide-Sの酸化)によって一般に低下した。pHの特に大きいものはCa(OH)₂を用いたものである。

4) 風乾汚泥のK₂Oは0.44~0.05%、CaOは35.89%~traceで、多いものはCa(OH)₂、carbide residueの使用による。

5) total P₂O₅(%)は11.73~0.82で、かなりP₂O₅の富化したものがある。 $\frac{N}{5}$ -HCl可溶P₂O₅は10.02~1.57%、可溶率は100~47%であった。

6) 湿潤汚泥のinorganic Nの大部分はNH₃-Nである。風乾汚泥のtotal Nは、凝集剤による汚泥のtotal Nは、凝集剤による汚泥の希釈化に影響されて8.29~0.92%と変動を示した。汚泥organic Nの砂質土壌中での無機化率(畑状態、30°C、3週間放置)は41~2%と顕著な変動を示した。無機化率低下の原因はpHの大なること(無機凝集剤特にCa(OH)₂の多用)、灰分の多いこと(塩類が多い)、特別な例として可溶性Al、塩素含量の大なることが考えられる。

7) 凝集剤FeCl₃、Fe₂(SO₄)₃、Al₂(SO₄)₃の使用によって汚泥のCl、SO₄、Al含量が影響される。

最後に、試料の提供を賜った処理場のかたがた、実験に協力下さった当研究室の北村哲朗氏に感謝の意を表します。

文 献

- 1) 片岡・福川・吉松・北村・山本, 有機質導入による地力保全対策に関する試験, 高知大学学術研究報告, 23, 農学 3, p. 1-9 (1974)
- 2) 農林省振興局研究部監修, 標準土色帖, 日本色彩社, 東京
- 3) 片岡・香川・北村, 合成酸化鉄およびオキシ水酸化鉄の表面積, 結晶子粒度および酸に対する溶解度, 高知大学学術研究報告, 24, 自然科学, 8, 1-13 (1975)
- 4) 戸苅ら, 作物試験法, p. 274-277, 農業技術協会, 東京 (1958)
- 5) 京大農学部農化教室編, 農芸化学実験書第1巻, p. 251, 産業図書, 東京 (昭和40年)
- 6) 低位生産地改良資料第25号, 耕土培養法に基く調査における土壌分析法, p. 72, 農林省農業改良局 (昭和28年)
- 7) 京大農学部農化教室編, 農芸化学実験書第1巻, p. 237, 産業図書, 東京 (昭和40年)
- 8) 三宅泰雄, 北野康, 水質化学分析法, p. 114-120, 地人書館, 東京 (1963); JIS K0101, p. 54-55
- 9) 京大農学部農化教室編, 農芸化学実験書第1巻, p. 282, 産業図書, 東京 (昭和40年)
- 10) Rosenthal H. L., Determination of urea in blood and urin with diacetyl monoxime, Anal. Chem., 27, 1980 (1955)
- 11) 工業用水試験方法, JIS K 0101, p. 60-61, 日本工業規格協会 (1966)
- 12) 京大農学部農化教室編, 農芸化学実験書第1巻, p. 105, 産業図書, 東京 (昭和40年)
- 13) 吉田環, 産業廃水活性汚泥の肥料的利用 (2), 用水と廃水, 4, 23-30 (1976)

(昭和51年 8月17日受理)

(昭和52年 1月14日分冊発行)

