

下水汚泥の農業利用に関する研究

(第1報) 下水汚泥の品質と施用実態について

* * * ** *

広瀬和久・石川裕一・米野泰滋・戸田鉦一・児玉幸弘

Studies on Utilization of Sewage Sludge in the Field
of Agriculture

1. Chemical properties of sewage sludge and realities
of sludge application to paddy soil

Kazuhisa HIROSE, Hirokazu ISHIKAWA, Taizi YONENO,
, Koichi TODA and Yukihiro KODAMA

緒言

近年、河川や湖沼等の水質浄化、富栄養化防止対策として、生活雑排水の対策が重要課題として取り上げられている。また産業活動や都市化の進展に伴って、排出水の増加も問題となっている。これら諸問題の抜本的な解決策は下水道の整備であるが、本県における下水道の普及率(人口当り)は1984年度末で6.2%であり、全国平均の33%に比べてわずか $\frac{1}{5}$ に過ぎない。このため本県では、流域下水道の整備が県政の重点施策として推進されており、2年後の1987年には、北勢沿岸流域下水道(北部処理区)の一部供用が開始される予定である。

一方、下水道の整備に伴い終末処理場から大量に発生する下水汚泥は、現在大部分が陸上または海面埋立処分されている。しかし埋立処分は周辺の環境汚染の恐れがあり、場所の確保も年々困難になって来ている。

そこで下水汚泥を資源として有効利用することが考えられ、一部は建設資材やガス発電として利用されているが、ほとんどは有機質肥料として緑農地利用されている。しかし下水汚泥は窒素、りん酸等の肥料成分を含有する反面、重金属含量も高く、また病原菌等の混入する恐れもあり、使用に際しては慎重を要する。

本研究は、下水汚泥の農業利用の可能性と問題点を検討するため、1982年から調査を行なったものであるが、まず第1段階として県下の代表的な下水汚泥について、その品質(化学性)と、下水汚泥を施用したは場の実態について調査した結果を取りまとめ報告する。

調査方法

1. 汚泥の品質調査

県下の下水道終末処理場のうち代表的な5処理場を選

び、汚泥の品質変動を調査するため、1982年度は6月と12月の2回、1983年度は5月、8月、11月及び2月(春、夏、秋、冬)の4回、汚泥(脱水ケーキ)を約2kg採取し、風乾・粉碎して分析試料とした。

分析方法は、一般成分、重金属元素とも「肥料分析法⁸⁾」、「下水汚泥分析法⁷⁾」により分析を行ったが、PHと水分以外の項目は、強酸分解による全量分析値である。

2. 農用地の施用実態調査

農用地利用を行っている、2ヶ所の処理場の汚泥を施用したは場及びその周辺のは場について、調査を行った。1982年には4地区、12地点の畑土壌を20点採取し、1983年には1地区、3地点のナシ園土壌を9点採取し、風乾・調製して分析試料とした。

分析方法は、一般成分は「土壌養分分析法¹⁾」により、重金属元素は「土壌及び作物体中の重金属の分析法⁴⁾」により、分析を行った。

調査成績

1. 汚泥の品質調査

(1) 下水道終末処理場

県下の代表的な5ヶ所の下水道終末処理場について調査を行った。

第1表に示した5処理場の規模を比較すると、B処理場が処理人口、処理水及び発生汚泥量とも最大であり、C処理場の脱水ケーキの焼却処理も、ここで行われている。

次いで、E、C、A処理場の順であり、D処理場は処理人口、処理水及び発生汚泥量とも、いずれも最小である。5処理場のうち、生活雑排水のみを処理しているのがA、C、Dの3処理場であり、他の2処理場には工場排水が流入し、その割合はB処理場で13%、E処理場

第1表 調査対象下水処理場の状況

| 試料 番号 | 処理場名 | 処理人口 (人) | 処理水量 (m ³ /日) (内工場排水量) | 汚泥発生量 (m ³ /月) | 使用 凝集剤 | 試料採取 年月日 | 採取汚泥 の形態 |
|----------|------|-------------|--------------------------------------|------------------------------|--------------|-------------|-------------|
| 1 | A | 9,732 | 3,016 (0) | 180 | 有機高分子 | 1982. 6. 23 | 脱水ケーキ |
| 2 | | | | | | " 12. 9 | " |
| 3 | B | 44,900 | 46,862 (6,185) | 80,000 | 有機高分子 | 1982. 6. 23 | 脱水ケーキ |
| 4 | | | | | | " 12. 9 | " |
| 5 | | | | | | 1983. 5. 24 | " |
| 6 | | | | | | " 8. 24 | " |
| 7 | | | | | | " 11. 10 | " |
| 8 | | | | | | 1984. 2. 1 | " |
| 9 | C | 13,916 | 8,739 (0) | 17,000 | 消石灰 塩化第2鉄 | 1982. 6. 23 | 脱水ケーキ |
| 10 | | | | | | " 12. 9 | " |
| 11 | D | 4,618 | 1,000 (0) | 510 | 塩化第2鉄 | 1982. 6. 23 | 脱水ケーキ |
| 12 | | | | | | " 12. 9 | " |
| 13 | | | | | | 1983. 5. 24 | " |
| 14 | | | | | | " 8. 24 | " |
| 15 | | | | | | " 11. 10 | " |
| 16 | | | | | | 1984. 2. 1 | " |
| 17 | E | 17,280 | 14,592 (426) | 1,700 | 消石灰 塩化第2鉄 | 1982. 6. 23 | 脱水ケーキ |
| 18 | | | | | | " 12. 9 | " |
| 19 | | | | | | 1983. 5. 24 | " |
| 20 | | | | | | " 8. 24 | " |
| 21 | | | | | | " 11. 10 | " |
| 22 | | | | | | 1984. 2. 1 | " |
| 計 | | 90,446 | 74,209 | 99,390 | | — | |

で3%である。また脱水のための凝集剤として、A及びB処理場では有機高分子剤を、C及びE処理場では消石灰と塩化第2鉄を、D処理場では塩化第2鉄を、それぞれ使用している。

なお発生した汚泥の処理処分方法は、B、C、D処理場では焼却後、陸上埋立処分を行っている。残りのA、Eの2処理場では農用地利用を行っており、A処理場の脱水ケーキは、ミミズ養殖業者が引き取りミミズふんとして、またE処理場では脱水ケーキあるいは乾燥ケーキとして、それぞれ畑、樹園地等に施用されている。

(2) 下水汚泥中の一般成分

県下の5処理場の汚泥(脱水ケーキ)を2年間に2～

6回採取し、水分、pH等の一般成分について分析調査を行った。

水分は脱水ケーキとしては平均的な値の80%前後であるが、処理場間で差があり、E処理場で高く、C処理場で低い傾向が認められた。しかし、両処理場とも凝集剤(消石灰+塩化第2鉄)及び脱水方式(真空脱水)が同じであり、水分の差は汚泥の質による影響が大きいものと考えられる。

凝集剤として消石灰と塩化第2鉄を併用している、C及びE処理場ではpHと石灰含量が高く、pHは7～12、石灰は13～35%であり、E処理場よりC処理場の方が高かった。しかし窒素、りん酸、加里の3要素と

第2表 下水汚泥中の一般成分

(単位：乾物当りの%)

| 試料番号 | 処理場名 | 水分 | pH | 炭素 (T-C) | 窒素 (T-N) | C/N | りん酸 (P-P ₂ O ₅) | 加里 (P-K ₂ O) | 石灰 (T-CaO) | 苦土 (T-MgO) |
|------|------|------|-------|-------------|-------------|-------|---|----------------------------|---------------|---------------|
| 1 | A | 79.5 | 6.27 | 42.1 | 5.86 | 7.18 | 3.08 | 0.33 | 1.37 | 0.38 |
| 2 | | 84.2 | 6.03 | 34.7 | 5.09 | 6.82 | 3.26 | 0.30 | 1.71 | 0.36 |
| 平均 | | 81.9 | 6.15 | 38.4 | 5.48 | 7.00 | 3.17 | 0.32 | 1.54 | 0.37 |
| 3 | B | 80.0 | 6.48 | 31.6 | 4.62 | 6.84 | 6.78 | 0.37 | 2.57 | 1.02 |
| 4 | | 82.4 | 7.00 | 36.8 | 5.94 | 6.20 | 2.70 | 0.39 | 1.98 | 0.89 |
| 5 | | 82.5 | 6.99 | 31.5 | 4.20 | 7.50 | 6.13 | 0.44 | 2.41 | 1.79 |
| 6 | | 79.7 | 6.65 | 29.1 | 3.59 | 8.11 | 4.85 | 0.44 | 2.67 | 0.91 |
| 7 | | 83.2 | 6.95 | 32.6 | 5.09 | 6.40 | 5.30 | 0.43 | 2.50 | 0.90 |
| 8 | | 81.2 | 7.65 | 32.5 | 5.30 | 6.13 | 4.43 | 0.44 | 2.29 | 0.78 |
| 平均 | | 81.5 | 6.95 | 32.4 | 4.79 | 6.86 | 5.03 | 0.42 | 2.40 | 1.05 |
| 9 | | C | 80.5 | 12.20 | 22.0 | 3.62 | 6.08 | 2.54 | 0.19 | 30.66 |
| 10 | 80.8 | | 12.18 | 18.1 | 2.31 | 7.84 | 0.71 | 0.08 | 35.60 | 0.67 |
| 平均 | 80.7 | | 12.19 | 20.1 | 2.97 | 6.96 | 1.63 | 0.14 | 33.13 | 0.66 |
| 11 | D | 83.5 | 5.98 | 37.1 | 7.77 | 4.77 | 4.88 | 0.50 | 0.47 | 0.35 |
| 12 | | 79.1 | 6.64 | 39.5 | 8.36 | 4.72 | 2.38 | 0.76 | 0.50 | 0.57 |
| 13 | | 81.6 | 5.90 | 37.3 | 6.41 | 5.82 | 3.94 | 0.51 | 0.40 | 0.40 |
| 14 | | 82.1 | 5.89 | 37.3 | 6.17 | 6.05 | 4.08 | 0.55 | 0.52 | 0.42 |
| 15 | | 82.2 | 6.70 | 37.4 | 5.43 | 6.89 | 3.07 | 0.38 | 0.41 | 0.37 |
| 16 | | 78.8 | 7.00 | 43.8 | 5.60 | 7.82 | 3.00 | 0.40 | 0.51 | 0.28 |
| 平均 | | 81.2 | 6.35 | 38.7 | 6.62 | 6.01 | 3.56 | 0.52 | 0.47 | 0.55 |
| 17 | E | 80.0 | 11.13 | 25.2 | 3.34 | 7.54 | 2.17 | 0.25 | 19.82 | 1.00 |
| 18 | | 85.1 | 10.10 | 29.4 | 4.52 | 6.50 | 1.24 | 0.17 | 18.92 | 0.92 |
| 19 | | 84.3 | 10.40 | 25.4 | 2.98 | 8.52 | 2.60 | 0.18 | 21.47 | 1.02 |
| 20 | | 82.4 | 11.75 | 19.7 | 1.84 | 10.71 | 2.26 | 0.18 | 26.13 | 1.02 |
| 21 | | 85.2 | 7.20 | 24.7 | 2.37 | 10.42 | 2.93 | 0.28 | 17.77 | 1.15 |
| 22 | | 83.0 | 8.10 | 29.3 | 4.18 | 7.01 | 3.19 | 0.26 | 13.85 | 0.96 |
| 平均 | | 83.3 | 9.78 | 25.6 | 3.21 | 8.45 | 2.40 | 0.22 | 19.66 | 1.01 |
| 総平均 | | 81.9 | 7.96 | 31.7 | 4.75 | 7.09 | 3.43 | 0.36 | 9.30 | 0.81 |

(参考)

| | | | | | | | | | |
|------|------|-----|------|------|------|------|------|-------|---|
| 下水汚泥 | 58.4 | 7.9 | 24.9 | 3.58 | 7.9 | 5.18 | 0.32 | 10.42 | — |
| 堆肥 | 74.6 | 7.8 | 28.0 | 1.64 | 18.7 | 0.77 | 1.76 | 1.99 | — |

(注) 農林水産省による調査結果¹⁵⁾

第3表 下水汚泥中の重金属元素

(単位：乾物当りのppm)

| 試料番号 | 処理場名 | 砒素 (T-As) | カドミウム (T-Cd) | 水銀 (T-Hg) | 亜鉛 (T-Zn) | 銅 (T-Cu) | 鉛 (T-Pb) | 鉄 (T-Fe) |
|------|------|--------------|-----------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| 5 | B | 11.42 | 2.42 | 3.01 | 1,359 | 359 | 95.0 | 54,900 |
| 6 | | 1.444 | 2.64 | 3.81 | 1,592 | 420 | 122.0 | 53,900 |
| 7 | | 13.94 | 2.29 | 3.14 | 1,178 | 357 | 68.3 | 54,400 |
| 8 | | 9.72 | 2.00 | 2.76 | 1,245 | 357 | 76.0 | 43,300 |
| 平均 | | 12.38 | 2.34 | 3.18 | 1,344 | 373 | 90.3 | 51,600 |
| 13 | D | 2.27 | 1.36 | 1.27 | 792 | 117 | 27.1 | 38,600 |
| 14 | | 2.79 | 1.76 | 2.10 | 967 | 161 | 35.2 | 42,400 |
| 15 | | 3.00 | 1.46 | 1.39 | 823 | 151 | 27.6 | 42,200 |
| 16 | | 1.58 | 1.24 | 0.78 | 892 | 107 | 17.1 | 20,100 |
| 平均 | | 2.41 | 1.46 | 1.39 | 867 | 134 | 26.8 | 35,800 |
| 19 | E | 4.46 | 3.82 | 0.64 | 832 | 164 | 52.9 | 57,900 |
| 20 | | 4.44 | 3.97 | 1.11 | 927 | 184 | 68.9 | 47,200 |
| 21 | | 4.43 | 3.41 | 1.03 | 824 | 194 | 63.0 | 57,900 |
| 22 | | 4.72 | 2.07 | 0.95 | 740 | 165 | 23.9 | 46,900 |
| 平均 | | 4.51 | 3.32 | 0.93 | 831 | 177 | 52.2 | 52,500 |
| 総平均 | | 6.43 | 2.37 | 1.83 | 1,014 | 228 | 56.4 | 46,600 |

(参考)

| | | | | | | | |
|------|------|------|------|-------|-----|------|---|
| 下水汚泥 | 4.55 | 2.79 | 1.37 | 1,109 | 184 | 36.8 | — |
| 堆肥 | 2.22 | 0.82 | 0.11 | 82 | 28 | 9.5 | — |

(注) 農林水産省調査による調査結果¹⁵⁾

炭素については、両処理場で低くなった。このことは、海老原ら²⁾や鎌田ら⁵⁾によっても確められているが、消石灰等の使用により汚泥の量が増加した結果、窒素等の濃度が低下したものと考えられる。C/N比はほぼ7前後であるが、窒素の少ないE処理場で高く、窒素の多いD処理場で低い。また苦土については、B、E処理場で高く、A処理場で低い傾向が認められた。

脱水ケーキの採取時期による品質の差はあまり明確ではないが、夏期(8月)採取では石灰が高く、炭素、窒素及びりん酸は低くなった。逆に冬期(2月)採取では石灰、苦土が低く、炭素、窒素は高くなる傾向が認められた。これについては、松崎^{9),10)}らは処理場の冬期の浄化能力の低下とともに、摂取する食品の質や量にも影響があると述べている。

(3) 下水汚泥中の重金属含量

第1表に示した下水処理場のうち、B、D、Eの3処理場について、脱水ケーキを年4回(春、夏、秋、冬)採取し、重金属元素について分析調査を行った。

砒素、水銀、亜鉛、銅及び鉛の5元素については、B処理場で最も高い値を示し、カドミウムと鉄についてはE処理場で高く、D処理場はいずれの重金属も低かった。これはB、E処理場には工場排水が流入しているのに対して、D処理場は生活雑排水のみであるためと考えられる。なお鉄については、D、E両処理場では塩化第2鉄が凝集剤として使用されている。

脱水ケーキの採取時期による重金属含量の差をみると、3処理場とも夏期(8月)採取で高くなる傾向を示したが、これは、夏期には下水の処理過程において活性汚泥

の働きが良くなり、汚泥の濃縮率が高くなるためであると考えられる。その結果、処理場からの排水の塩類濃度については、逆に夏期で低く、冬期で高くなる傾向が認められる¹²⁾。

2. 農用地の施用実態調査

(1) 調査対象ほ場

下水処理場の汚泥（脱水ケーキまたは乾燥ケーキ）を農用地に施用し、農作物を栽培しているほ場、及びその対照として周辺の無施用ほ場について、実態調査を行った。

現在、県下で汚泥の農用地利用を実施しているのは、A、Eの2処理場のみである。このうちA処理場の脱水ケーキは、ミミズ養殖業者によりミミズふんとして、I地区に施用されているが、ミミズふんの主体は近畿地域

の食品工場の汚泥であり、A処理場の脱水ケーキの割合は2%にすぎない。I地区ではミミズ養殖業者が200t/10a施用したが、麦、ジャガイモ等の生育は良好であった。

一方、E処理場の汚泥は、F、G、H及びJ地区で使用された。F地区ではE処理場の乾燥ケーキを20t/10a施用し、菊を栽培したが、生育と排水が良好であったので今後も施用を希望している。

G地区はほ場整備後の排水不良対策として、脱水ケーキ500t/10aをほ場で約10ヶ月放置乾燥後、深耕（約60cm）し、サトイモを栽培したが、大量に施用したため生育むらを生じ、また悪臭が強く近所の住民から苦情があった。

H地区では脱水ケーキ100～200t/10aを施用

第4表 調査対象ほ場の状況

| 試料番号 | 地区名 | 地目 | ほ場番号 | 土層 | 試料採取年月日 | 施用汚泥 | 施用年月 | | | |
|------|-----|-------------|------|----|-------------|---|----------|---|---------------------|----------|
| 1 | F | 畑 | 1 | 1 | 1982. 6. 28 | 乾燥ケーキ (20t/10a) | 1981. 4. | | | |
| 2 | | | | 3 | | | | | | |
| 3 | | | | 2 | | | | 1 | 無施用 | — |
| 4 | G | 畑 | 3 | 1 | 1982. 6. 28 | 脱水ケーキ (500t/10a) | 1981. 6. | | | |
| 5 | | | | 2 | | | | | | |
| 6 | | | | 4 | | | | 1 | " | " |
| 7 | | | | | | | | 2 | | |
| 8 | | | | 5 | | | | 1 | 無施用 | — |
| 9 | H | 畑 | 6 | 1 | 1982. 6. 28 | 脱水ケーキ (200t/10a) | 1980. 1. | | | |
| 10 | | | | 2 | | | | | | |
| 11 | | | | 3 | | | | | | |
| 12 | | | | 7 | | | | 1 | 無施用 | — |
| 13 | | | | 8 | | | | 1 | 脱水ケーキ (100t/10a) | 1980. 1. |
| 14 | | | | | | | | 3 | | |
| 15 | 9 | 1 | 無施用 | — | | | | | | |
| 16 | I | 畑 | 10 | 1 | 1982. 8. 24 | 脱水ケーキ(ミミズ糞) 脱水ケーキ(") (200t/10a) | 1981. 7. | | | |
| 17 | | | | 1 | | | | | | |
| 18 | | | | 2 | | | | | | |
| 19 | | | | 1 | | | | | | |
| 20 | 12 | 2 | 無施用 | — | | | | | | |
| 21 | J | 果樹園 (ナシ) | 13 | 1 | 1983. 7. 27 | 脱水ケーキ (10t/10a) | 1978. ~ | | | |
| 22 | | | | 2 | | | | | | |
| 23 | | | | 3 | | | | | | |
| 24 | | " | 14 | 1 | 1983. 8. 1 | 脱水ケーキ (2t/10a) | 1980. | | | |
| 25 | | | | 2 | | | | | | |
| 26 | | | | 3 | | | | | | |
| 27 | | " | 15 | 1 | " | 無施用 | — | | | |
| 28 | | | | 2 | | | | | | |
| 29 | | | | 3 | | | | | | |

し、ハウレンソウ、ピーマン等を栽培したが、生育は良好であり追肥も不要であった。しかし窒素過剰になりがちであり、悪臭も強いので今後は乾燥ケーキを希望している。

J地区ではナシ園に脱水ケーキを、約5年前から毎年約2t/10a施用しているが、ナシの生育は良好であり、土壤の保水性も良くなった。しかし脱水ケーキは悪臭が強く、取扱いにくいので、他の地区と同様に乾燥ケーキ

を希望している。

(2) 土壌中の一般成分

汚泥を施用したほ場及びその周辺の無施用ほ場について、土壌中の一般成分を分析調査した。

凝集剤として消石灰を使用しているE処理場の汚泥を大量に施用したG、H地区のは場は、周辺の無施用ほ場に比べて、pHと石灰含量が高く、置換性石灰含量が1,000mg(土壌100g当り)を超えた。しかし同じ

第5表 土壌中の一般成分

(単位：乾土当り)

| 試料 番号 | 地区名 (地目) | 圃場 番号 | 水分 (%) | pH | 全炭素 (%) | 全窒素 (%) | C/N | 陽イオン 交換量 (me/100g) | Ex-CaO mg/100g | Ex-MgO mg/100g | Ex-K ₂ O mg/100g | りん酸 吸収係 数 | 可給態 りん酸 mg/100g |
|----------|-------------|----------|-----------|------|------------|------------|------|--------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------------|
| 1 | F (畑) | 1 | 4.0 | 5.85 | 1.34 | 0.15 | 8.9 | 17.9 | 27.9 | 8.5 | 44.9 | 583 | 58.2 |
| 2 | | | 1.4 | 4.12 | 0.61 | 0.07 | 8.7 | 17.4 | 100 | 9.2 | 23.0 | 486 | 17.0 |
| 3 | | 2 | 2.9 | 5.51 | 1.33 | 0.12 | 11.1 | 19.6 | 182 | 19.8 | 56.5 | 495 | 25.8 |
| 4 | G (畑) | 3 | 1.1 | 7.78 | 1.94 | 0.18 | 10.8 | 12.6 | 1,298 | 31.6 | 27.8 | 937 | 19.0 |
| 5 | | | 2.0 | 6.02 | 0.10 | 0.01 | 10.0 | 5.6 | 55 | 9.9 | 8.4 | 187 | 9.2 |
| 6 | | 4 | 2.8 | 7.70 | 2.26 | 0.22 | 10.3 | 17.0 | 1,167 | 19.2 | 28.9 | 932 | 26.0 |
| 7 | | | 1.6 | 5.23 | 0.86 | 0.08 | 10.8 | 16.1 | 124 | 12.9 | 28.4 | 456 | 31.0 |
| 8 | | | 1.8 | 5.40 | 0.91 | 0.07 | 13.0 | 16.8 | 98 | 12.8 | 29.1 | 491 | 19.8 |
| 9 | H (畑) | 6 | 1.9 | 6.71 | 0.87 | 0.07 | 12.4 | 16.3 | 274 | 13.5 | 22.5 | 771 | 9.4 |
| 10 | | | 2.4 | 7.07 | 0.84 | 0.08 | 10.5 | 16.6 | 852 | 16.8 | 12.8 | 1,028 | 6.5 |
| 11 | | | 2.5 | 4.70 | 0.24 | 0.04 | 6.0 | 16.2 | 129 | 17.5 | 5.4 | 967 | 0.3 |
| 12 | | 7 | 2.0 | 5.33 | 0.70 | 0.05 | 14.0 | 14.6 | 69 | 14.7 | 19.9 | 655 | 9.4 |
| 13 | | | 3.7 | 7.52 | 3.99 | 0.27 | 14.8 | 28.6 | 1,353 | 40.9 | 44.7 | 1,358 | 18.3 |
| 14 | | | 1.6 | 4.80 | 0.17 | 0.02 | 8.5 | 10.5 | 112 | 20.1 | 4.8 | 526 | 0.4 |
| 15 | 9 | 2.4 | 5.38 | 2.77 | 0.13 | 21.3 | 23.8 | 115 | 29.0 | 33.6 | 865 | 23.7 | |
| 16 | I (畑) | 10 | 2.7 | 7.10 | 1.46 | 0.20 | 7.3 | 13.2 | 130 | 78.6 | 11.6 | 460 | 28.3 |
| 17 | | 11 | 6.7 | 7.28 | 8.86 | 0.79 | 11.2 | 30.3 | 995 | 145.8 | 67.3 | 1,189 | 281.9 |
| 18 | | | 2.4 | 5.80 | 0.24 | 0.01 | 24.0 | 14.6 | 44 | 47.5 | 50.5 | 491 | 12.9 |
| 19 | | 12 | 2.0 | 6.39 | 0.13 | 0.01 | 13.0 | 10.0 | 111 | 72.5 | 0.3 | 386 | 17.5 |
| 20 | 2.1 | | 5.92 | 0.23 | 0.01 | 23.0 | 10.5 | 97 | 61.3 | 28.4 | 362 | 18.7 | |
| 21 | J (ナシ園) | 13 | 1.6 | 4.42 | 2.23 | 0.20 | 11.2 | 16.8 | 135 | 11.1 | 53.0 | 292 | 67.8 |
| 22 | | | 1.4 | 4.06 | 0.64 | 0.07 | 9.1 | 13.6 | 34 | 4.3 | 30.4 | 220 | 58.2 |
| 23 | | | 1.2 | 4.31 | 0.30 | 0.03 | 10.0 | 11.9 | 15 | 4.7 | 36.5 | 208 | 13.3 |
| 24 | | 14 | 1.4 | 3.93 | 1.34 | 0.11 | 12.2 | 16.7 | 6 | 8.5 | 33.1 | 208 | 63.0 |
| 25 | | | 1.3 | 3.67 | 1.18 | 0.09 | 13.1 | 16.4 | 44 | 7.4 | 64.0 | 197 | 61.9 |
| 26 | | | 0.7 | 4.20 | 1.00 | 0.02 | 50.0 | 8.6 | 0 | 3.9 | 21.1 | 93 | 24.8 |
| 27 | | 15 | 1.5 | 5.54 | 1.01 | 0.09 | 11.2 | 15.8 | 145 | 28.3 | 44.0 | 292 | 51.4 |
| 28 | | | 1.4 | 4.65 | 0.48 | 0.04 | 12.0 | 15.2 | 78 | 13.9 | 26.6 | 278 | 19.7 |
| 29 | | | 1.0 | 5.40 | 0.27 | 0.02 | 13.5 | 10.5 | 105 | 11.7 | 14.0 | 208 | 16.8 |
| 総平均 | | | 2.1 | 5.58 | 1.32 | 0.11 | 11.8 | 15.6 | 280 | 26.7 | 30.1 | 537 | 34.8 |

E処理場の汚泥でも施用量の少ないF, J地区では, 周辺の無施用は場とあまり差がないことから考えて, 石灰処理汚泥については, pHが6.5以上の土壌への施用は避けるべきであり, 酸性土壌においてもpH等に注意しながら, 適正な施用を行うべきである. また施用量の多いほ場では他の成分も含量が高く, りん酸吸収係数の増加も顕著であった.

ミミズふんを大量に施用したI地区でも, 同様の傾向が認められ, 特にNo17の土壌はpH, 炭素, 窒素等ほとんどの項目で高い値を示し, かなり過剰に施用されたことが, この結果からも推察できる.

(3) 土壌中の重金属含量

汚泥を施用したほ場及びその周辺の無施用ほ場について, 土壌中の重金属含量を分析調査した.

第6表 土壌中の重金属元素

(単位: 乾土当りのppm)

| 試料 番号 | 所在地 (地目) | ヒ素 | | カドミウム | | 水銀 | | 亜鉛 | | 銅 | | 鉛 | | 鉄 |
|----------|-------------|------|------|-------|------|------|-----|------|-------|-------|------|------|--------|---|
| | | 全量 | 可溶性 | 全量 | 可溶性 | 全量 | 全量 | 可溶性 | 全量 | 可溶性 | 全量 | 可溶性 | 全量 | |
| 1 | F (畑) | 3.88 | 1.57 | 0.16 | 0.15 | 0.21 | 127 | 26.7 | 18.7 | 4.00 | 10.0 | 1.72 | 38,800 | |
| 2 | | 3.82 | 0.60 | 0.02 | 0.02 | 0.21 | 91 | 2.6 | 13.4 | 1.32 | 7.1 | 1.11 | 39,100 | |
| 3 | | 4.20 | 0.81 | 0.15 | 0.10 | 0.20 | 132 | 16.1 | 15.0 | 1.90 | 8.7 | 1.49 | 45,700 | |
| 4 | G (畑) | 2.96 | 0.78 | 0.34 | 0.04 | 0.14 | 240 | 2.1 | 32.3 | 1.04 | 9.6 | 1.01 | 40,900 | |
| 5 | | 1.71 | 0.27 | 0.03 | 0.00 | 0.03 | 51 | 1.1 | 5.1 | 0.70 | 1.5 | 0.00 | 24,400 | |
| 6 | | 3.94 | 1.58 | 0.42 | 0.03 | 0.15 | 243 | 3.7 | 41.2 | 0.42 | 14.2 | 1.13 | 41,900 | |
| 7 | | 5.46 | 1.29 | 0.11 | 0.08 | 0.07 | 101 | 5.3 | 11.4 | 1.24 | 6.8 | 1.53 | 37,800 | |
| 8 | | 3.50 | 0.77 | 0.15 | 0.10 | 0.09 | 109 | 6.0 | 13.2 | 1.84 | 6.8 | 1.43 | 42,800 | |
| 9 | H (畑) | 6.15 | 0.21 | 0.10 | 0.09 | 0.23 | 112 | 20.3 | 20.0 | 5.62 | 20.9 | 6.43 | 29,600 | |
| 10 | | 6.22 | 0.16 | 0.14 | 0.14 | 0.16 | 123 | 36.1 | 23.1 | 6.64 | 20.9 | 3.93 | 33,300 | |
| 11 | | 6.37 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 80 | 1.4 | 15.0 | 0.82 | 17.8 | 5.97 | 35,500 | |
| 12 | | 7.48 | 0.15 | 0.05 | 0.05 | 0.16 | 73 | 4.0 | 15.5 | 2.24 | 19.4 | 6.58 | 26,400 | |
| 13 | | 5.44 | 1.10 | 0.44 | 0.08 | 0.28 | 198 | 3.0 | 32.9 | 0.12 | 25.4 | 1.56 | 25,000 | |
| 14 | | 1.33 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.02 | 40 | 0.9 | 3.5 | 0.23 | 7.5 | 0.77 | 23,600 | |
| 15 | | 4.39 | 0.61 | 0.15 | 0.13 | 0.25 | 68 | 9.7 | 17.5 | 2.48 | 23.0 | 5.46 | 18,300 | |
| 16 | I (畑) | 3.02 | 0.40 | 0.23 | 0.19 | 0.11 | 99 | 18.5 | 33.4 | 12.63 | 23.9 | 5.72 | 24,700 | |
| 17 | | 3.00 | 1.04 | 0.37 | 0.18 | 0.14 | 194 | 81.2 | 571.0 | 44.45 | 19.6 | 0.96 | 22,900 | |
| 18 | | 3.32 | 0.23 | 0.01 | 0.00 | 0.14 | 57 | 1.7 | 12.8 | 1.93 | 13.1 | 2.91 | 19,600 | |
| 19 | | 2.53 | 0.19 | 0.09 | 0.05 | 0.17 | 57 | 6.0 | 9.5 | 1.58 | 10.8 | 1.58 | 19,200 | |
| 20 | | 2.37 | 0.16 | 0.09 | 0.06 | 0.19 | 57 | 7.0 | 13.2 | 3.36 | 10.8 | 1.68 | 18,300 | |
| 21 | J (ナシ園) | 4.50 | 1.85 | 0.19 | 0.09 | 0.11 | 62 | 24.1 | 105.1 | 51.82 | 17.7 | 4.39 | 34,900 | |
| 22 | | 6.14 | 2.58 | 0.11 | 0.01 | 0.09 | 38 | 2.7 | 30.3 | 8.38 | 9.5 | 1.62 | 35,200 | |
| 23 | | 1.92 | 0.47 | 0.11 | 0.02 | 0.04 | 37 | 3.1 | 13.2 | 1.62 | 6.2 | 1.21 | 34,200 | |
| 24 | | 2.96 | 1.27 | 0.18 | 0.04 | 0.07 | 41 | 3.1 | 31.3 | 7.68 | 13.6 | 3.84 | 26,700 | |
| 25 | | 3.49 | 1.52 | 0.15 | 0.02 | 0.07 | 38 | 2.4 | 32.4 | 9.19 | 12.6 | 2.53 | 26,300 | |
| 26 | | 2.55 | 0.99 | 0.13 | 0.00 | 0.04 | 27 | 1.2 | 10.9 | 2.73 | 5.5 | 1.01 | 17,100 | |
| 27 | | 3.05 | 0.97 | 0.29 | 0.10 | 0.06 | 31 | 5.7 | 20.9 | 6.63 | 12.1 | 2.45 | 28,900 | |
| 28 | | 2.41 | 0.80 | 0.18 | 0.07 | 0.08 | 36 | 2.6 | 16.5 | 2.63 | 7.0 | 1.41 | 33,500 | |
| 29 | | 1.94 | 0.35 | 0.19 | 0.07 | 0.03 | 38 | 2.2 | 9.7 | 1.41 | 4.2 | 0.71 | 26,300 | |
| 総平均 | | 3.79 | 0.79 | 0.16 | 0.06 | 0.12 | 82 | 10.4 | 50.0 | 6.44 | 12.6 | 2.49 | 28,800 | |
| (参考) | | | | | | | | | | | | | | |
| 畑(表層) | | 9.48 | 0.71 | 0.40 | 0.20 | — | 65 | 7.0 | 28.2 | 1.20 | 15.9 | 1.47 | — | |
| 樹園地(々) | | 9.95 | 0.70 | 0.40 | 0.20 | — | 71 | 15.1 | 58.4 | 9.40 | 28.1 | 3.60 | — | |

(注) 環境庁による調査結果⁶⁾

土壌中のひ素、水銀、鉛及び鉄については、下水汚泥施用の影響はほとんどなく、周辺の無施用土壌とはほぼ同じである。しかし亜鉛については、汚泥を大量に施用したほ場の土壌中濃度は、200 ppm（全量）以上の高い値であった。しかしG、H地区は石灰処理汚泥であったため、土壌のpHが高くなり、塩酸可溶の亜鉛は少なくなった。I地区では石灰処理汚泥でなかったため、可溶性の亜鉛も高い値を示した。

またカドミウムも亜鉛と同様の傾向を示し、汚泥を施用した土壌で濃度が高くなった。銅についても同様の傾向が認められ、特にミズふんを施用したI地区の土壌で571 ppmの最高値を示し、可溶性の銅も44 ppmの高い値であった。なおJ地区（ナシ園）でも105 ppm（可溶性は51 ppm）のやや高い値であったが、これは汚泥施用の影響はもちろんであるが、農薬（ボルドー液等の銅剤）の影響も考えられる。

論 議

1. 汚泥の処分と有効利用

下水道の整備に伴って汚泥発生量は全国的に増加しているが、汚泥の最終処分量は1978年からほとんど変化していない。これは汚泥の脱水効率や焼却率の向上とともに、埋立処分地の確保が年々困難になることから、必然的に焼却等による最終処分量の減量化が進められているためであろう。しかしこれらの減量化にも限度があり、増大する下水汚泥の処理処分対策は重要な問題となっている。

1983年度に全国の下水処理場で発生した汚泥の処理処分状況¹³⁾をみると、汚泥の処理性状別では、脱水ケーキが全体の75%（1,658,400 m³）を占め、次いで焼却灰が15%、消化汚泥が8%、乾燥汚泥が2%の順であった。また処分形態別では、陸上及び海面埋立が76%と大部分を占め、有効利用されたのは14%に過ぎなかった。

この有効利用の内訳をみると、緑農地利用と建設資材利用に大別されるが、後者は焼却灰のみの利用に限られ、その割合も7%に過ぎない。残りの93%は緑農地で、肥料あるいは有機質資材として利用されている。また利用性状別では、脱水ケーキが79%を占め、次いで焼却灰が10%、コンポストが8%、乾燥汚泥が2%、消化汚泥が1%の順であった。

本県における汚泥の処理処分状況も同様であり、発生した汚泥の90%が陸上埋立され、残りの10%が緑農地利用され、その性状は脱水ケーキが大部分である。この脱水ケーキのままでの利用は、施用時の取扱い性とともにも悪臭、病原菌等の環境衛生上の問題もあり、これら

の問題の少ないコンポスト（発酵堆肥）化が研究されている⁴⁾。また施用実態調査の結果からも、農家の希望は乾燥ケーキであり、脱水ケーキの希望はなかった。しかし本県では乾燥ケーキが少量作られているに過ぎず、農家にとって理想的な性状であるコンポストは、全く作られておらず今後の課題となっている。

2. 一般汚泥との比較

今回調査した県下の下水汚泥の成分を、全国の一般的な下水汚泥及び堆肥の成分と比較する。

まず一般成分では、第2表の下段に挙げた全国の下水汚泥¹⁵⁾と比較すると、今回調査した汚泥が脱水ケーキであったため、乾燥ケーキを含んでいる全国の汚泥より、水分は高いが、脱水ケーキとしては平均的な値である。その他の成分についても、炭素と窒素はやや高く、りん酸はやや低い傾向であるが、全体的には大差なく標準的なものであると考えられる。

また同じ有機質資材として競合すると考えられる堆肥¹⁵⁾（稲わら、麦稈が主体）と比較すると、下水汚泥は窒素とりん酸が高く、炭素率と加里は低い。特に石灰処理汚泥については、pHと石灰含量が高いので注意を要する。

次いで重金属元素については、第3表の下段に挙げた全国の下水汚泥と比較すると、平均的には大差ないが処理場間では差がみられる。工場排水の流入率の高い（13%）B処理場では、ひ素、水銀、鉛の含量が高く、全国の汚泥と比較して2～3倍の値であった。また堆肥¹⁵⁾と比較すると、いずれの元素も下水汚泥の方が高く、3～12倍の高濃度である。

下水汚泥を肥料として農用地に施用する際の基準である、特殊肥料の指定基準値と、第3表の結果を比較すると、ひ素（基準値：50 ppm）とカドミウム（5 ppm）は基準値以下であった。しかし水銀（2 ppm）については、B処理場では採取した4点の汚泥全てが、またD処理場では1点の汚泥が基準値を超えたので、これらの汚泥については、肥料として使用することはできない。

3. 一般土壌との比較

下水汚泥を施用したほ場の土壌中の重金属含量を、全国及び本県の一般的な土壌と比較する。

まず重金属元素の全量値については、第6表の下段に挙げた自然賦存量⁶⁾と比較すると、ひ素、カドミウム、鉛はほとんど差がなく、水銀、鉄についても一般的な土壌と差がないものと考えられる。しかし亜鉛と銅については、汚泥を大量に施用した土壌で高い値を示した。このことは、海老原ら^{2,3)}によっても、汚泥の連用により土壌中の亜鉛、銅、カドミウムの蓄積が確かめられている。

次いで重金属元素の可溶性の値については、第6表の下段⁶⁾及び米野ら¹⁷⁾による本県の耕地土壌の調査結果と

比較すると、全量値の結果と同様に、ヒ素、カドミウム、鉛はほとんど差のない値であるが、亜鉛と銅については、汚泥を大量に施用した土壤で高い値を示した。

以上の結果から、下水汚泥の施用による重金属の土壤への影響としては、亜鉛と銅の蓄積が顕著であった。亜鉛については、1984年1月8日付の環境庁水質保全局長通達（農用地における土壤中の重金属等の蓄積防止に係る管理基準）の120 ppmを超えた土壤が7点あり、その中でも脱水ケーキを大量に施用した、G、H、Iの3地区で200 ppm以上の、高い値を示した。

また銅については、1983年6月、「汚泥の農用地等還元問題研究会」¹⁶⁾が重金属の土壤中許容濃度（亜鉛：120 ppm、銅：80 ppm）を設定し、汚泥の農用地等への還元に係る指針（ガイドライン）とした。銅はこのガイドラインの80 ppmを超えた土壤が、IとJ地区で1点ずつあり、このうちI地区の土壤は571 ppmであり、ガイドラインの約7倍の高濃度であった。

管理基準あるいはガイドラインを超えた土壤は、ほとんどが汚泥を大量に施用しており、その結果が亜鉛と銅の蓄積となって現われている。従ってこれらの土壤へは今後は汚泥の施用を中止し、これ以上の重金属の蓄積を防止すべきである。また重金属濃度の低い土壤への汚泥の施用についても、土壤中の重金属（特に亜鉛と銅）濃度を測定し、管理基準やガイドラインを超えないように注意する必要がある。

結 論

わが国で発生する下水汚泥のうち、肥料あるいは建設資材等として有効利用されているのは14%に過ぎず、残りは埋立処分されている。しかし年々その処分地の確保は困難になっており、有効利用の方法が検討されている。有効利用された汚泥のうち緑農地利用されたものは93%と大部分であり、その性状は脱水ケーキがほとんどである。しかし脱水ケーキのままの施用は、悪臭や害虫等による環境汚染、病原菌や雑草の種子等保健衛生、取扱い性や作物生育阻害等の種々の問題を生じる。

これらの諸問題は脱水ケーキをコンポスト化することにより、かなり軽減されるものと考えられる。このコンポスト化の方法は、脱水ケーキのみの無添加方式と脱水ケーキに、おがくずやもみから等の有機質資材を混合する添加方式に大別される。無添加方式は、プラントの運転の容易さや有機質資材を確保しなくてもよい等の利点があり、添加方式は、有機質資材の添加による増量に伴う重金属濃度の低下や、施用土壤の物理性の改善等の利点が考えられる。どちらの方式を採用するかは、その処理場の汚泥の品質、おがくず等の有機質資材の有無等の諸

条件を考慮に入れて、決められるべきであろう。

また鎌田ら⁵⁾により、汚泥の発酵が進むにつれて、亜鉛や銅は作物に吸収されにくくなることが確かめられているが、逆に水分の減少等により重金属濃度は上昇することもあるので、重金属の問題を根本的に解決するには、汚泥中の含量を減少させる必要がある。これには、重金属濃度の高い廃水の下水道への排出を制限する方法と、汚泥中の重金属を除去する方法¹¹⁾が考えられる。汚泥の農用地利用を進めるには、排出者である処理場は使用者である農家にとって、扱い易く、重金属含量の低い安全な、また品質の安定した安価な製品を作る努力が必要である。今日、畜産廃棄物やし尿汚泥等各種の有機質資材が競合する中で、下水汚泥の農用地利用を図るためには、販売供給を円滑に行う流通体制の確立が、最も重要である。

今回の調査結果から、汚泥中の水銀含量が特殊肥料の指定基準を超えたものや、汚泥施用土壤の亜鉛含量が管理基準を超えたもののあることがわかった。今後このような問題が起らないようにするためには、施用汚泥の選択、施用方法、施用量等に留意する必要がある。そのためには1985年に定められた本県の農林水産部長通達の事項を、遵守しなくてはならない。すなわち、施用汚泥は特殊肥料として届出済のもので、肥料成分や重金属含量の明らかにされたものに限ること。また対象農用地土壤のpHや石灰含量等の一般化学性や、重金属含量を分析調査し、適正な施用を行い、亜鉛の管理基準を超えないようにすること。施用汚泥はできる限りコンポストを用い、食用以外の農作物に使用し、施用時に付近の環境を汚染しないように、細心の注意を払う必要がある。

現在、本県の下水道普及率は低く、今後に予定されている流域下水道や公共下水道等の整備に伴い、汚泥の発生量は急増するものと考えられ、汚泥の有効利用の観点から農業利用が切望されている。従来下水汚泥の農業利用については、農業関係者はあまり積極的ではなかった。しかし、扱い易く安全で、安定した品質の安価な製品であれば、農業も社会を構成する一員であるので、環境浄化あるいは資源の再利用の上からも、農業利用について考えるべきである。

しかしながら、下水汚泥の農業利用については、本県としての十分な研究及び態勢は未だ確立されていない。

それにはまず、農業利用についての研究、すなわち汚泥のコンポスト化、作物別の施用量や施用方法等の検討を進める必要がある。また県下の農用地土壤の、地域や種類別の重金属含量の調査、汚泥の安全使用等の農業利用問題を検討するための委員会の設置も必要である。

摘要

三重県下の代表的な下水道終末処理場の汚泥の品質、及び汚泥を利用した農用地の実態調査を行い、下水汚泥の農用地利用の可能性について検討を行った。

1. 県下において、下水汚泥の農用地利用を行っているのは、2ヶ所の処理場のみであり、他は陸上埋立処分されている。
2. 発生する汚泥のうち緑農地利用されるのは10%に過ぎず、その性状も脱水ケーキがほとんどである。
3. 凝集剤として消石灰を使用している処理場の汚泥は、pHと石灰含量が高く、窒素、りん酸、加里含量は低い。
4. 夏期採取の汚泥は石灰と重金属含量が高く、窒素含量は低いが、冬期採取では逆の結果である。
5. 工場排水が流入している2ヶ所の処理場の汚泥は他に比べて重金属含量が高い。
6. 汚泥を施用したほ場の作物の生育は、ほぼ良好であるが、脱水ケーキの取扱い性と悪臭に問題がある。
7. 石灰処理汚泥を多量に施用したほ場では、pHと石灰含量が高くなった。
8. 汚泥を多量に施用した土壌への重金属の影響については、亜鉛と銅の蓄積が顕著であった。

謝辞

本研究の実施にあたっては、各下水処理場、担当農家、下水道課、農蚕園芸課、生活環境部総務課等、各関係機関各位の御協力をいただいた。これらの方々に対して厚く感謝の意を表す。

文献

- 1) 土壤養分測定法委員会(1970): 土壤養分分析法, 養賢堂
- 2) 海老原武久, 山田要, 松村蔚(1979): 汚泥の農用地利用に関する研究—第1報 汚泥の理化学性と連用試験について, 群馬県農業試験場報告, 19, 49~58
- 3) 海老原武久, 山田要, 松村蔚(1982): 汚泥の農用地利用に関する研究—第2報 汚泥の連用が土壌・作物に及ぼす影響, 群馬県農業試験場報告, 22, 49~58.
- 4) 下水汚泥資源利用協議会(1985): 下水汚泥コンポストの指標(その2)
- 5) 鎌田賢一, 南松雄(1981): 下水汚泥中の重金属の形態, 日本土壤肥料学雑誌, 52(5), 385~391
- 6) 環境庁水質保全局土壤農業課(1984): 土壤汚染環境基準設定調査—カドミウム等重金属自然賦存量調査
- 7) 越野正義 他(1983): 下水汚泥分析法, 下水汚泥資源利用協議会
- 8) 越野正義 他(1982): 肥料分析法, 農林水産省農業技術研究所
- 9) 松崎敏英(1975): 汚泥の農業利用に関する研究, 神奈川県農業総合研究所研究報告, 115, 1~15
- 10) 松崎敏英, 和地清(1983): わが国における下水汚泥の農地還元, 下水汚泥の緑農地利用, 下水汚泥資源利用協議会, 26~42
- 11) 中山大樹(1985): 下水汚泥からの重金属除去方法に関する研究, 再生と利用, 8(28), 6~11
- 12) 日本土壤肥料学会(1979): 下水汚泥—リサイクルのために, 博友社
- 13) 日本下水道協会(1985): 日本の下水道
- 14) 農林水産技術会議事務局(1971): 土壌及び作物体中の重金属の分析法
- 15) 農林水産省(1981): 下水汚泥堆積物及び堆肥の調査
- 16) 汚泥の農用地等還元問題研究会(1983): 汚泥の農用地等への還元問題について
- 17) 米野泰滋, 安田典夫, 戸田鉦一, 戸波多美子, 広瀬和久, 児玉幸弘, 石川裕一(1985): 三重県の農耕地土壌に関する研究—第4報 土壌の重金属類等の含量について, 三重農技研報, 13, 97~107