
我が国における土壌の浄化機能と廃棄物処理

Correlation between cleaning by soil environment and various wastes

代表研究者	日本大学農獣医学部教授	松坂 泰明	
	Prof., College of Agriculture and Veterinary Med., Nihon Univ.		
	Yasuaki MATSUZAKA		
協同研究者	日本大学農獣医学部教授	矢崎 仁也	
	Prof., College of Agriculture and Veterinary Med., Nihon Univ.		
	Jinya YAZAKI		
	日本大学農獣医学部助教授	山本 一彦	
	Assoc. Prof., College of Agriculture and Veterinary Med., Nihon Univ.		
	Kazuhiko YAMAMOTO		
	日本大学短期大学部農業科助教授	飯塚 統	
	Assoc. Prof., Junior College of Agriculture, Nihon Univ.		Osamu IIZUKA
	日本大学農獣医学部専任講師	小島 博文	
	Lecturer, College of Agriculture and Veterinary Med., Nihon Univ.		
	Hirobumi KOJIMA		
	日本大学農獣医学部助手	隅田 裕明	
	Assist., College of Agriculture and Veterinary Med., Nihon Univ.		
	Hiroaki SUMIDA		

This study carried on from 1980 to 1982 was consisted of following four main items. Results obtained in each item are summarized as follows:

I. Changes of soil chemical properties by application of various composts.

In this experiment, ten kinds of major agricultural soils (Sand-dune Regosol, two Andosols, two Brown Forest soils, Gray Upland soil, Red soil, Dark Red soil, Brown Lowland soil, Gray Lowland soil and Gley soil) and three kinds of composts produced from various wastes such as pig waste, sewage sludge and city refuse were examined. During six months of incubation under controlled condition, periodical changes of soil chemical properties were analyzed. Generally speaking, changes of chemical properties during six months were prominently and evidently varied from soil to soil. But it was appeared that there were little or no chemical changes causing serious damages for plant growth. In other words, each soil has more or less cleaning capacities for application of waste composts, but these capacities are greatly different from soil to soil. Through this experiment, it was suggested that the guiding principles of application of wastes should be proposed according to the various cleaning capacities of each soil group.

II. Decomposition of composts by various soils.

In this experiment, daily CO₂ production from eight mayor agricultural soils (almost same as experiment I) by application of three kinds of wastes composts (same as experiment I) were determined. From the results of this experiment, it was clarified that; 1) daily CO₂ production showed two peaks: first sharp peak appeared within one week after application and second weak peak appeared after about 14-18 days of application; 2) the appearance of first peak of CO₂ production was more obvious in high-humic soils than in low-humic soils; 3) on the other hand, the appearance of second peak of CO₂ production was more obvious in low-humic soils; 4) total production of CO₂ during 60 days of incubation increased with the amount of composts applied; 5) generally, the rate of decomposition of wastes composts are estimated to be faster in high-humic soils com-

pared with low-humic soils, namely it shows that high-humic soils have priming effect for decomposition of wastes composts.

III. Leaching of several components from soils applied composts.

By soil column experiment, leaching of several components from soils with percolating water was measured at ten days interval in order to know the pollution of ground water by application of wastes composts. In this experiment, three kinds of soils (Sand-dune Regosol, Red soil and Andosol) and two kinds of composts (city refuse compost and sewage sludge compost) were examined. From the results of this experiment, it was clarified that the leaching of several components from soils were varied with soils, namely the total amounts of substances leached out with percolating water are rather small in the case of heavy or high-humic soils compared with light or low-humic soils.

IV. Field experiment.

In order to clarify the effects of application of composts on crop production and on soil properties, field experiments were carried out at two different fields. One field in Yamanashi Agr. Exp. Station is characterized by low-humic soils (Brown Forest soil), and another field in Fujisawa Farm of Nihon University is characterized by high-humic soils (Thick High-humic Andosol). Each field has the same experiment plots of 0, 2, 10 tons/10 a application of city refuse compost and sewage sludge compost. From the results of two years' experiment, it became clear that: 1) in the case of low-humic soils, the yield of crops was markedly increased with application of compost from the first crop of experiment; 2) on the other hand, in the case of high-humic soils, the increase of crop yield was clearly appeared after third crop (after one year of application of composts); 3) these results show that even high-humic soils have the cleaning capacity of wastes and after a given period of application the fertilizing effect of composts is expected.

研究目的

堆肥に代表される有機質資材の農耕地への投与の減少に伴い、我が国農耕地土壌の地力の減耗が懸念され、農業生産上由々しい問題となってきた。一方、家畜ふん尿、都市ゴミ、余剰汚泥など生活、産業に由来する有機性廃棄物は年々多量に産出され、公害を引き起こす原因ともなり、それらの処理、処分方法が一大社会問題ともなっている。これら有機性廃棄物は“安全である”ならば、土壌への有機物給源として積極的に活用を図ることが望ましく、安全性の立場からの研究が数多くなされてきている。

一方、我が国の土壌は、その地理的、地質的特性から極めて多くの種類が存在しており、土壌の種類に応じて有機物に対する応答は当然異なることが予想される。有機性廃棄物の土壌中での分解や肥料効果発現の様相、含有重金属元素の挙動などは、土壌の種類や条件により大きく左右され、したがって土壌の浄化機能は、土壌の種類、その環境条件によって相違すると考えられる。本研究は、本邦に分布する各種土壌別の種々の廃棄物に

対する応答の差異を明らかにし、土壌への廃棄物投与の指針を得ることを目的とする。

研究の経過および成果

上記目的を達成するため、昭和 55 年度以降次の課題について研究を実施した。Ⅰ. 各種コンポスト施用による土壌化学性、土壌物理性および土壌腐植形態の経時的変化、Ⅱ. 各種土壌における有機物の分解特性、Ⅲ. コンポスト施用に伴う土壌からの各種成分の溶出、Ⅳ. コンポスト施用圃場試験。これら研究は現在なお継続実施中であるが、本報ではこれらのうち昭和 57 年度末までに得られた成果について報告する。なお課題Ⅰのうち土壌物理性および土壌腐植形態の経時的変化についてはデータ未整理のため本報においては削除した。

(供試土壌)

本邦の農耕地土壌は、16 土壌群、56 土壌統群、320 土壌統に分類される。16 土壌群につきその分布面積、分布比率、主な利用形態などを表 1 に記す。なお、表 2 には本報告で用いた供試土壌とそれらの一般的性質を示した。(供試コンポスト)

表 1. 本邦農耕地土壌の種類と分布

土 壤 群	面積 (100 ha)	同 比率 (%)	主 な 利 用 形 態	本報にお ける供試 土壌名
1 岩 屑 土	148	0.3	畑	
2 砂 丘 未 熟 土	242	0.5	畑	浜岡
3 黒 ボ ク 土	9,542	18.6	畑	根釧, 筑波
4 多 湿 黒 ボ ク 土	3,488	6.8	水田	
5 黒 ボ ク グ ラ イ 土	526	1.0	水田	
6 褐 色 森 林 土	4,431	8.6	畑	佐原, 蕪崎
7 灰 色 台 地 土	1,575	3.1	畑, 水田	那覇
8 グ ラ イ 台 地 土	446	0.9	水田	
9 赤 色 土	452	0.9	畑	豊橋
10 黄 色 土	3,262	6.4	畑, 水田	
11 暗 赤 色 土	370	0.7	畑	石垣
12 褐 色 低 地 土	4,081	8.0	畑, 水田	平塚
13 灰 色 低 地 土	11,418	22.3	水田	立川
14 グ ラ イ 土	9,047	17.7	水田	土浦
15 黒 泥 土	778	1.5	水田	
16 泥 炭 土	1,419	2.8	水田	
計	51,226	100		

備考 1) 「農耕地土壌の分類」(農業技術研, 58.3)による

有機質廃棄物には多くの種類があるが、本研究においてはそのうち代表的と考えられる豚ふん、下水汚泥および都市ゴミの3種を選び、これらをコンポスト化したものを試験に供した。供試3種コンポストの一般分析値を表3に示す。なお圃場試験には、生産地の異なるコンポストを用いたので、これについては別途に記す。なお、今回供試したコンポストの Cd, Cu, Zn など有害重金属の含量はいずれも規制値をはるかに下回るものであった。

I. 各種コンポスト施用による土壌化学性の経時的変化

土壌に有機物を添加すると直ちに土壌微生物による活発な分解が始まり、さまざまな分解生産物が生産されるとともに、これら分解生産物は土壌本来の化学性に大きな影響をもたらす。本実験はそのような化学性の変遷を定量的に把握することにより、各種土壌の浄化機能を検討しようとした

表 2. 供試土壌一覧

土壌名	土性	pH (H ₂ O)	T-C (%)	T-N (%)	C/N	CEC meq/100g	塩基 飽和度 (%)	該当する土壌統群名
浜 岡	S	7.6	0.1	0.01	10.0	1.3	69.0	砂丘未熟土
根 釧	SIL	5.7	6.6	0.44	15.0	40.5	27.6	厚層多腐植質黒ボク土
筑 波	L	5.8	5.5	0.38	14.5	38.6	10.9	淡色黒ボク土
佐 原	CL	6.1	3.1	0.20	15.5	37.0	44.6	細粒褐色森林土
蕪 崎	LiC	4.9	2.0	0.10	20.0	15.3	9.2	細粒褐色森林土
那 覇	HC	8.4	2.0	0.20	10.0	33.0	103.0	灰色台地土石灰質
豊 橋	LiC	5.3	1.4	0.16	8.8	12.4	32.3	細粒赤色土
石 垣	HC	8.4	0.9	0.10	9.0	25.8	90.3	細粒暗赤色土
平 塚	SL	6.4	1.7	0.21	8.1	28.6	63.3	中粗粒褐色低地土
立 川	SIL	5.9	3.5	0.30	11.5	28.8	31.9	中粗粒灰色低地土
土 浦	LiC	5.8	4.0	0.26	15.4	28.3	47.4	細粒グライ土

備考: 土壌統群名中 ~~~ の部分は土壌群名を示す

表 3. 供試コンポスト一覧

コンポスト名	pH* (H ₂ O)	EC* (mS/cm)	T-C (%)	T-N (%)	C/N	有効態リン酸 (mg/100g)	全塩基 (mg/100g)	備考 (産地名)
豚 ぶ ん	6.9	6.3	41.8	4.4	9.5	404	61.6	平 塚 市
下 水 汚 泥	6.8	2.2	42.2	3.0	14.1	206	25.1	町 田 市
都 市 ゴ ミ	7.6	8.8	33.9	2.7	12.6	25	93.3	福 岡 市

* 乾物: 水=1:5

ものである。

実験には、風乾土 100g を用い、これに乾物 10g の割合でコンポストを加え、最大容水量の 60% の水分条件で、40°C に保温静置し、スタート時、3 か月後および 6 月後における諸成分の

変化を調べた。本報では、調査項目のうちの主要なものについて若干の考察を加えながら要約することにする。なお論議の対象とした項目について、スタート時と 6 か月後の値を表 4 に一括して示した。

表 4. コンポスト施用による土壌化学性の変化

項目 ** コンポスト 土壌	月*	pH (H ₂ O)		EC (mS/cm)		T-C (%)		NH ₄ -N (mg/100g)		NO ₃ -N (mg/100g)		ava. P ₂ O ₅ (mg/100g)		Ex. Ca (meq/100g)	
		0	6	0	6	0	6	0	6	0	6	0	6	0	6
		根 釧	C CD SS PE	5.9 6.6 6.2 6.3	5.4 6.2 5.3 5.6	0.2 0.9 0.3 0.6	0.3 1.6 0.7 1.3	7.7 8.0 8.2 8.7	7.2 7.6 7.5 7.8	10 5 40 37	1 1 1 1	18 8 24 38	36 62 72 88	2 2 6 11	4 6 9 16
筑 波	C CD SS PE	5.7 6.4 6.2 6.2	5.4 6.1 5.5 5.4	0.1 0.8 0.3 0.8	0.2 1.5 0.8 1.4	5.7 6.9 8.4 8.1	3.9 5.3 6.5 5.9	11 2 53 35	2 1 4 3	4 4 104 23	25 92 4 160	1 3 1 2	1 4 3 5	3 13 4 7	3 17 5 10
佐 原	C CD SS PE	6.0 7.1 6.2 6.4	5.6 6.3 5.0 5.2	0.1 0.8 0.5 0.6	0.3 1.9 1.1 1.9	2.7 3.7 6.9 5.9	2.6 3.7 5.2 4.9	1 3 37 28	1 1 1 1	2 2 4 4	14 82 71 105	7 4 11 18	3 5 20 52	14 26 14 17	10 19 10 12
韭 崎	C CD SS PE	5.1 7.0 5.7 6.3	4.9 6.3 4.9 4.8	0.1 1.1 0.3 0.8	0.2 1.9 0.6 0.9	2.1 3.9 5.2 5.1	1.8 2.7 4.7 4.1	1 3 ND 35	1 1 1 7	2 2 2 4	2 65 18 100	3 5 29 46	2 32 24 94	1 14 3 6	1 12 2 6
那 覇	C CD SS PE	8.0 7.9 7.8 8.0	8.0 7.7 7.5 7.3	0.2 0.9 0.4 0.7	0.6 1.6 1.2 1.7	2.1 4.5 8.0 7.3	1.6 3.3 3.9 4.4	3 1 31 25	1 1 1 1	2 2 4 4	28 49 54 92	2 15 50 125	2 18 30 122	34 26 30 30	29 24 31 33
豊 橋	C CD SS PE	5.3 7.0 6.2 6.7	4.7 7.0 4.9 5.2	0.1 1.2 0.5 0.7	0.2 1.5 0.7 1.4	1.8 3.7 4.5 4.1	1.1 2.5 3.7 3.5	4 3 27 23	1 1 2 2	38 5 12 5	20 96 44 138	36 28 47 47	36 34 78 82	3 9 3 7	3 14 4 7
石 垣	C CD SS PE	8.2 7.8 7.9 8.0	8.2 7.8 7.6 7.5	0.2 0.9 0.4 0.7	0.3 1.6 1.0 1.8	1.0 3.9 5.7 5.0	0.7 2.4 3.2 3.2	1 1 35 32	1 1 1 1	2 2 2 4	12 49 140 82	8 24 40 144	7 33 36 162	21 19 19 18	18 19 24 25
平 塚	C CD SS PE	6.4 7.2 6.6 6.7	5.9 7.0 5.0 5.6	0.1 0.9 0.4 0.7	0.3 1.9 1.2 1.8	1.6 4.3 5.3 4.8	0.9 2.9 3.7 3.7	5 3 29 21	1 1 2 3	40 5 12 14	32 138 142 210	4 4 11 13	3 4 13 24	13 23 14 16	16 30 17 20
立 川	C CD SS PE	5.9 6.9 6.3 6.5	5.5 6.4 5.0 5.3	0.1 0.8 0.2 0.7	0.3 1.9 1.0 1.8	3.5 5.2 6.8 6.4	3.1 4.2 5.7 5.3	4 2 51 37	1 1 3 3	6 6 11 21	22 96 85 196	31 23 51 53	35 36 55 62	7 17 8 10	8 21 10 13
土 浦	C CD SS PE	6.0 6.9 6.2 6.6	5.2 6.7 5.4 6.0	0.2 1.4 0.3 0.7	0.7 1.9 2.0 2.0	3.9 4.4 5.1 5.1	3.7 4.0 4.2 4.5	31 13 68 56	2 3 6 18	2 2 2 10	28 56 76 100	8 12 18 31	11 18 24 29	10 20 11 13	13 30 15 19

* 0 は保温静置開始直後、6 は 6 カ月を示す

** C: 無添加対象区, CD: 都市ゴミ区, SS: 下水汚泥区, PE: 豚ふん区

1) pH(H₂O) コンポスト添加により那覇、石垣のアルカリ性土壌を除き pH は上昇する。上昇の程度は都市ゴミ>豚ぶん>下水汚泥の順を示す。保温静置6か月後コンポスト無添加の土壌は上記アルカリ性土壌を除き pH はすべて 0.5 前後低下するが、黒ボク土壌は低下の程度がやや少なく、葦崎土壌のみ 1 以上の低下を示した。コンポスト添加の諸区を見ると、都市ゴミ区では各土壌とも 6 か月後に至ってもほとんど pH の低下は見られないが、下水汚泥、豚ぶんの両区は、土浦土壌を除き概ね pH は低下する。低下の程度がとくに大きいのは平塚、豊橋、立川、佐原の各土壌で、黒ボク土壌の低下は顕著でない。

2) 電気伝導率 EC コンポスト無添加の場合各土壌とも 6 か月後に 0.1~0.2 mS/cm 上昇するが、土浦土壌は特異的に 0.5 mS/cm も上昇する。コンポストを添加すると添加直後にすべて EC は上昇するが、この上昇の程度は都市ゴミ>豚ぶん>下水汚泥の順である。コンポスト添加後 6 か月を経ると各区とも顕著に EC は上昇、その程度は豚ぶん≧都市ゴミ>下水汚泥の順となる。このような EC の上昇はほぼ可溶性塩類の増大に対応する。なお、土壌間の差異はあまりめいりょうでない。

3) 全有機態炭素含量 T-C コンポスト無添加の土壌でも保温静置6か月間に顕著な有機物分解が起こり T-C は減少する。とくに減少率が 25~30% を超えるのは、平塚、豊橋、筑波、石垣、那覇の各土壌で、筑波を除くといずれも低腐植質土壌である。筑波がこのグループにはいるのは、採取場所が林地内であり可分解性有機物が多いためかと考えられる。

コンポスト添加により各土壌とも T-C が増大するのは当然であるが、その増大の順序は下水汚泥>豚ぶん>都市ゴミで、この順序は明らかにコンポスト自体の T-C を反映する。コンポスト添加の各土壌とも、6 か月の保温静置により明らかに T-C は減少するが、この減少にははっきり異なる二つの傾向が見られ、この傾向により土壌を二つのグループに分けることができる。一つは平塚、豊橋、筑波の各土壌で、これら土壌のコンポ

スト添加区の T-C の減少は、コンポスト無添加区の T-C の減少を下まわる。すなわち、これらの土壌では、6 か月の間にコンポスト添加による土壌有機物の富化が認められることになる。他のグループは上記 3 土壌以外の土壌で、これら土壌では、コンポスト添加区の T-C の減少率はコンポスト無添加区の T-C の減少率を明らかに上まわる。このことは 6 か月の保温静置の間にコンポスト由来の T-C が、土壌由来の T-C よりも速やかに減少することを意味し、コンポスト添加による土壌有機物の富化が、第 1 のグループの土壌に比べ劣ること、換言すればコンポストの分解が速いと結論づけられる。以上の傾向について 3 種のコンポスト間の値を比較すると、土壌によって値のバラツキが大きく一定の傾向は認められない。したがってコンポスト間の差ははっきりしないといえよう。

6 か月間の T-C の減少、すなわち、分解率を遠観的に見ると、石垣、那覇のようなアルカリ性土壌はとくに高く、根釧、土浦、立川の各土壌は明らかに低い。石垣、那覇は高温下で生成し、一方、根釧は低温下で生成した土壌である。また土浦、立川は本来水田土壌であった。このことがこれら土壌の微生物相に差をもたらし、その結果が分解率に反映したものと考えられる。

4) アンモニア態窒素 NH₄-N 保温静置開始時のコンポスト無添加区の土壌の NH₄-N は、土浦、根釧、筑波の 3 土壌を除きいずれも 5 mg/100 g 以下で少ない。土浦が 31 mg と異常に高い値を示すのは還元性の強い水田土壌であり、また根釧、筑波が 10 mg と高いのは、前者は低温で施肥窒素の硝酸化成が遅れたため、一方、後者は森林下で多量の易分解性有機物を含むためと考えられる。3 種コンポストのうち、豚ぶん、下水汚泥の添加区は各土壌とも NH₄-N は急増するが、これは両コンポストの含有する NH₄-N のためである。都市ゴミの場合はコンポスト自体が NH₄-N を含まないため、その添加によって土壌の NH₄-N は増加せず、むしろ減少の傾向を示す。この減少は、保温静置開始とともに微生物による NH₄-N の固定(有機化)に起因すると考えられる。

保温静置6か月の間に各土壌とも $\text{NH}_4\text{-N}$ は顕著に減少し、豚ふん、下水汚泥添加の場合でも $1\sim 2\text{mg}$ が残存するにすぎない。これは絶好な条件下で急速に硝化作用が進行するためである。土浦土壌は唯一の例外で $6\sim 18\text{mg}$ の $\text{NH}_4\text{-N}$ が残存するが、これは明らかに還元土壌の影響といえる。筑波、立川土壌がわずかに高いのも同様な理由が考えられるが、葦崎豚ふん区の異常値は説明できない。

5) 硝酸態窒素 $\text{NO}_3\text{-N}$ 保温静置開始直後のコンポスト無添加区の土壌の $\text{NO}_3\text{-N}$ は、根釧、平塚、豊橋の3土壌を除きいずれも $5\text{mg}/100\text{g}$ 前後以下と低い値を示す。根釧が 18mg 、平塚、豊橋が 40mg 前後と異常に高い値を示すのは恐らく施肥の影響と思われる。筑波、葦崎が低いのは未墾地であり、土浦が低いのは水田のためであろうが、その他の土壌の低いのは、たとえ既耕地であっても施肥後十分な時間の経過があったためであろう。コンポスト添加により平塚、豊橋の両土壌では顕著に $\text{NO}_3\text{-N}$ が減少する。また、根釧土壌でも都市ゴミ添加の場合同様に $\text{NO}_3\text{-N}$ が減少する。これは保温静置開始とともに微生物による有機化が行なわれるためと考えられる。当初から $\text{NO}_3\text{-N}$ の少ない他の土壌ではこのような現象は全く見られない。

保温静置6か月後コンポスト無添加の土壌は平塚、豊橋、葦崎の3土壌を除きいずれも $10\sim 25\text{mg}$ の $\text{NO}_3\text{-N}$ の増加が見られ、無添加でもかなりの硝酸化成分が起ることが分かる。保温静置当初に多量の $\text{NO}_3\text{-N}$ を含んでいた平塚、豊橋両土壌では6か月後にむしろはっきりした減少を示した。このことは微生物による有機化と考えるよりも、何らかの理由により脱窒が起こったと考える方が妥当であろう。

コンポスト添加6か月後の $\text{NO}_3\text{-N}$ はいずれの土壌の場合も明らかに増大しており、この間活発な硝化作用が進行したことを示している。硝酸化成分(コンポスト添加区 $\text{NO}_3\text{-N}$ -無添加区 $\text{NO}_3\text{-N}$)が 80mg を超えるのは平塚の各区、豊橋の都市ゴミおよび豚ふん区、立川の豚ふん区、筑波の下水汚泥および豚ふん区、葦崎、佐原の豚ふん区、石

垣の下水汚泥区である。全般を通じコンポスト間では豚ふんの硝酸化成分が最も高いように見受けられる。一方、硝酸化成分が 30mg 以下の値を示すのは根釧の各区、土浦の都市ゴミ区、葦崎の下水汚泥区、那覇の都市ゴミ、下水汚泥の両区である。これは土壌が本来持つ硝化力の違いを示すものといえよう。とくに根釧土壌の化成分が劣るのは低温という土壌生成条件に起因すると考えられる。

6) 有効態リン酸 P_2O_5 コンポスト無添加の各土壌の有効態 P_2O_5 含量にはかなりの幅がある。根釧、筑波、豊橋、那覇の各土壌の有効態 P_2O_5 はいずれも $2\text{mg}/100\text{g}$ 以下であるが、これは根釧、筑波は火山灰土壌のため、豊橋はパン土質酸性土壌のため、那覇はアルカリ性でしかも未耕地のためであろう。土浦が高いのは水田土壌が原因であり、立川が異常に高い値を示すのは施肥の影響と見てよい。

コンポストを添加すると有効態 P_2O_5 含量は直ちに増大する。この増大の最も顕著なのは、火山灰の影響がないかまたは極めて小さい豊橋、立川、葦崎、那覇、石垣の各土壌であって、純粋な火山灰土壌である根釧、筑波、火山灰の影響が強いと考えられる平塚、佐原の各土壌での増量はわずかである。このことから火山灰土壌ではコンポスト中の有効態 P_2O_5 が添加後直ちに固定されるものと考えられる。コンポスト間の比較では各土壌を通じ、都市ゴミ<下水汚泥<豚ふんの順に有効態 P_2O_5 含量を高める傾向が見受けられる。

保温静置6か月後の値を見ると、コンポスト無添加の土壌では土浦、立川で微増するほか、他の土壌ではほとんど増減が見られない。コンポスト施用の各区は6か月後に有効態 P_2O_5 は増えるが、とくに 25mg を超える増量を示すのは、豊橋の下水汚泥および豚ふん区、葦崎の都市ゴミおよび豚ふん区、佐原の豚ふん区である。一般的に見てコンポスト間の比較では豚ふん区の増量が他のようである。土壌間では根釧、土浦、立川、筑波の各土壌ではコンポスト施用による増加量は他の土壌に比べ比較的少ない。これは土浦、立川は水田土壌で、スタート時から有効態 P_2O_5 が多く、また

根釧、筑波は火山灰土壌で P_2O_5 固定量が大きいためであろう。なお那覇、石垣のようなアルカリ性土壌の有効態 P_2O_5 の消長は他の土壌と多少異なる傾向を示すようである。

7) 交換性 Ca 保温静置開始時のコンポスト無添加区を見ると、豊橋、筑波、葦崎の Ca 含量は顕著に低い。これは豊橋が強酸性土壌であり、後 2 者は未墾地のためであろう。石垣、那覇が極めて高いのは遊離の $CaCO_3$ を含むためである。また、根釧と佐原土壌が予想外に高いのは炭カル等施肥の影響と考えられる。コンポスト添加により那覇、石垣両土壌を除き交換性 Ca 量は増大する。この増大はアルカリ性土壌を除く各土壌とも、都市ゴミ区が最大で、豚ぶん区がこれに次ぎ、下水汚泥区ではほとんど増えないか、たとえ増えたとしてもごくわずかである。これはコンポスト自体の交換性 Ca 含量の大小に対応する。

保温静置 6 か月後、根釧、土浦、平塚の各土壌はコンポスト添加の有無にかかわらず交換性 Ca 含量は増大する。とくに都市ゴミ区の増加量が大きい。豊橋、立川、筑波の各土壌はコンポスト無添加では交換性 Ca はほとんど増えないが、コンポスト添加により多少の増加を示し、この場合も都市ゴミ区の傾向が顕著である。那覇、石垣の両土壌はコンポスト無添加区の交換性は明らかに減少し、コンポスト添加の場合は豚ぶん区と下水汚泥区のみ増大する。これはアルカリ性という特殊な条件下で、他の土壌とは全く異なる反応が進行する結果と想定される。

8) 総括 以上コンポスト施用による土壌化学性の経時的消長を項目ごとに詳細に述べた。40°C、しかも好適水分条件下による保温静置で、対土壌比 10% という多量のコンポストを施用した室内実験の条件は、現実の圃場条件とは極めて異なるいわばドラスチックなものである。つまり、ドラスチックな条件によって化学性の変化の幅を最大限に把握しようとした。得られた結果を遠観的に見ると、6 か月の保温静置間に化学性はかなり大幅に変移するものの、植生に対し決定的な障害を及ぼすと考えられる化学性の悪変はほとんど見られなかった。この点からすれば供試した各土壌と

も廃棄物の投入に対しそれなりの浄化能を有するといえる。しかし、これはあくまで遠観的な話であって、詳細について見れば土壌によりさまざま異なる応答を示すことも明らかである。少なくとも本実験により、土壌の種類により、廃棄物添加に伴う化学性の変化の方向ないし傾向が明らかになったわけで、このことは現実の圃場に対する廃棄物投与に対し、土壌の種類別に一つの具体的指針を提示したものといえる。

II. 各種土壌における有機物の分解特性

土壌に添加された有機物は、土壌微生物の栄養給源として分解され CO_2 となる。したがって有機物の分解の様相は、発生する CO_2 を経時的に測定することで把握しうる。本実験では、風乾土 50 g にコンポスト乾物 5 g (10%) および 15 g (30%) の割合で添加し、最大容水量の 55% の水分状態で 30°C に保温静置し、発生する CO_2 を 1/2 N-KOH で捕集し、経時的に CO_2 発生量を測定した。

供試コンポストは実験 I と同様に、都市ゴミ、下水汚泥、豚ぶんの 3 種を用い、また、供試土壌は実験 I の立川、筑波を除く 8 土壌である。本実験の結果を要約すると次のとおりである。

1) 各土壌の各コンポスト添加区とも、有機物分解のパターンはかなりよく類似している。すなわち、保温静置直後から活発な有機物の分解が始まり、ほぼ 1 週間以内に 1 日当たりの CO_2 発生量は最高のピークを示す。このピーク後 CO_2 発生量は急速に低下するが、14 ないし 18 日後に 2 回目のピークが見られる。もちろん、2 回目のピークは最初のピークに比べると極めて小さく、はっきりしたピークを認めがたい場合もある。第 2 回ピーク以後の 1 日当たり CO_2 発生量は漸減し、山すそ状をなして 60 日目に至る。以上の有機物分解のパターンを模式的に示すと図 1 のとおりである。

2) 1 日当たり CO_2 の発生量を子細に検討すると、どの土壌の場合もコンポスト 30% 添加区の方が 10% 添加区に比べ明らかに高く、平均的に見た場合 2~3 倍に達する。すなわち、添加有機物量とほぼ比例的に分解量が多くなることを示

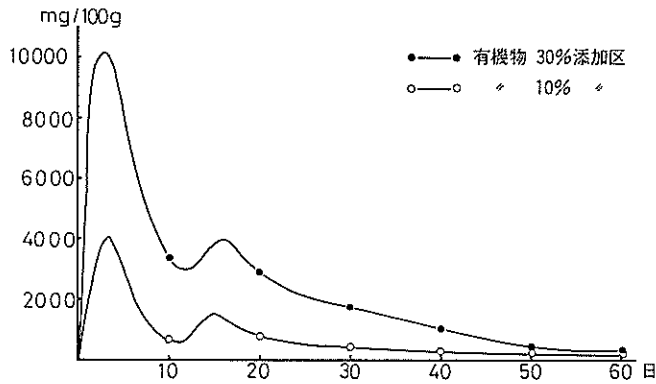


図 1. 炭酸ガス発生量の経時変化

す。

3) 初期ピーク時の1日当たり CO_2 発生量を土壌間で比較すると、腐植含量の高い土壌ほど大きく、土壌が本来持っている腐植が、新たに加えられた有機物の分解に対し一種のプライミング効果を示すことが明らかである。これに対し、2次ピークがめいりょうに認められるのはむしろ腐植含量の低い土壌である。この2次ピークの生ずる原因についての的確な説明はできないが、添加コンポスト自体の有機化合物組成によるものと思われ、これについては現在検討を進めている。なお、初期発生量の少ない土壌ほど後期に至るまで比較的高い CO_2 発生を維持する傾向が認められた。

4) 3種のコンポストの分解の様相を比較する

と、供試したすべての土壌を通じ、保温静置の初期(約20日間)における1日当たり CO_2 発生量は都市ゴミ区が最も高く、豚ふん区は都市ゴミ区にはほぼ匹敵するかあるいは多少劣る程度で、下水汚泥区は明らかに最も劣る。すなわち、3種コンポストの初期における分解されやすさの順序は、都市ゴミ \geq 豚ふん \gg 下水汚泥ということになる。この順序はそれぞれのコンポストの、分解の難易度を異にする有機物組成の違いを反映するものであろう。例えば炭素率の高いコンポストほど分解の進行が遅いこともその反映の一つといえる。保温静置の後半(20日目以後)に至ると、コンポスト間のこのような差はしだいに小さくなり、時には順序が逆転する結果すら見受けられ

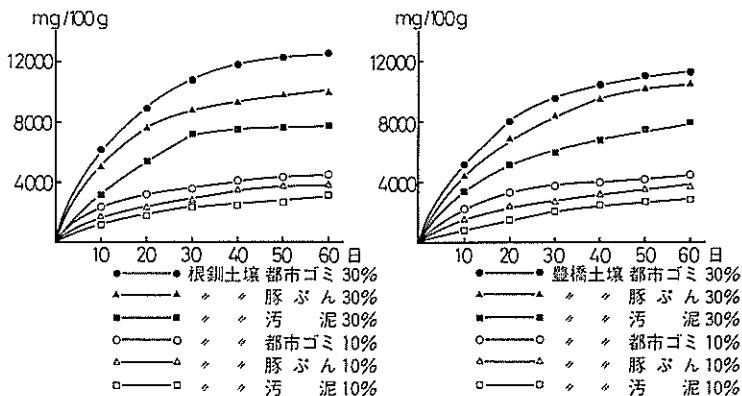


図 2. 炭酸ガス発生量の積算値

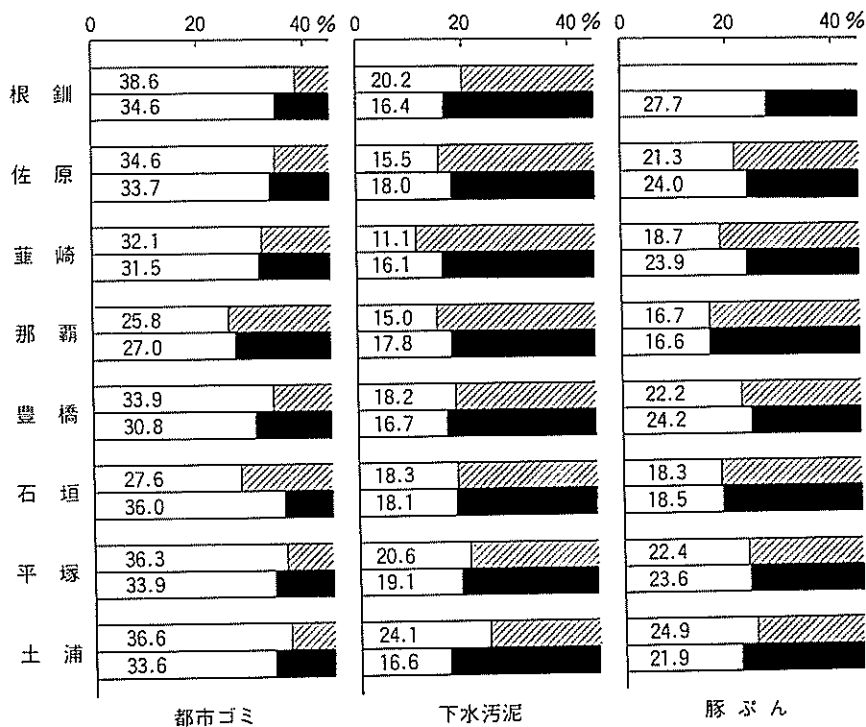


図 3. 土壌別各コンポスト分解率

る。すなわち、易分解性有機物の急速な分解が一段落したあとは、各コンポストともほぼ一様にゆるやかな分解が進むと考えられる。

5) 保温静置 60 日間の CO₂ 発生量の積算値の代表例を図 2 に示した。このパターンは各土壌、各コンポストともほぼ一様である。

6) 上記積算値を基にして保温静置 60 日間における各土壌のコンポスト分解率を示したのが図 3 である。この表から次のことが明らかである。
 (イ). コンポスト添加量が多いと分解率は低下するが、その低下の程度は比較的僅かである。
 (ロ). 各土壌を通じ最も分解率の高いコンポストは都市ゴミで、豚ふんがこれに次ぎ、下水汚泥は最も劣る。
 (ハ). 腐植含量の高い土壌ほどコンポストの分解率が高い傾向が見られる。これは保温静置初期 (1 週間) の活発な分解が後期にまで影

響を及ぼすためであろう。(ニ). 那覇、石垣両土壌の都市ゴミ、豚ふん両コンポストの分解率は他の土壌に比べ明らかに低い。これは両土壌とも腐植含量が低く、しかもアルカリ性という特異条件下で、分解微生物の質および量を明らかに異にするためと考えられる。

III. 土壌からの各種成分の溶出

以上述べた I, II の各実験はいずれも閉鎖系で行なわれた。したがってコンポストの分解によって生じた生成物や、可動化した各種土壌成分はすべて系内にとどまったままである。しかし、実際の圃場は完全な開放系であり、コンポスト施用に伴う生成物や可動化した土壌成分の一部は雨水などによって溶出して土壌系外に去り、地下水などの環境にインパクトを与えるおそれなしとしない。本実験はこのことを考慮に入れて実施したモ

デル実験である。

供試した土壤は、最も溶脱の起こりやすいと考えられる砂丘未熟土（浜岡）、比較的溶脱の起こりにくいと考えられる表層多腐植質黒ボク土（根釧）、両者の中間と考えられる細粒赤色土（豊橋）の3種、コンポストとしては下水汚泥、都市ゴミの2種を用いた。溶脱実験に用いたカラムは内径41 mm、高さ500 mmのガラス円筒で、この円筒にコンポスト10%添加の表層土と無添加の下層土を充てん、最大容水量の60%の水分状態で30°Cに保温静置した。この間10日目ごとに75 mlを灌水し、そのつど浸透水を採取して分析に供した。本実験の結果を要約すると次のとおりである。

1) 3種土壤とも汚泥区の浸透水は初期にめいりょうなpHの低下が見られる。70日目以後は各土壤各コンポスト区ともpHの変動の幅は比較的小さくなる。

2) 根釧を除く各土壤で、コンポスト添加の場合初期のECが上昇した。この傾向は都市ゴミでとくに顕著であった。どの土壤も70日目以後はECの変化はほとんど見られなかった。

3) 着色有機物の溶出は、都市ゴミを添加した浜岡および豊橋土壤で顕著に見られ、この傾向はほぼ70日目ごろまで継続した。一方、下水汚泥添加の場合は、この両土壤においてむしろ70日目以後に着色有機物の溶出が認められた。多腐植質の根釧土壤ではほとんど溶出が認められなかった。

4) $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 Org-N のカラム内での生成と浸透水による溶出は、土壤およびコンポストにより傾向を異にする。浜岡土壤の汚泥区では

$\text{NH}_4\text{-N} \gg \text{NO}_3\text{-N} \geq \text{Org-N}$ 、都市ゴミ区では前期は $\text{Org-N} \gg \text{NH}_4\text{-N}$ 、後期は $\text{NO}_3\text{-N} \gg \text{Org-N}$ となった。豊橋土壤の汚泥区では $\text{NH}_4\text{-N} > \text{NO}_3\text{-N} > \text{Org-N}$ 、都市ゴミ区では $\text{Org-N} > \text{NH}_4\text{-N} \gg \text{NO}_3\text{-N}$ 、また、根釧土壤では全般的に上記2土壤に比べ窒素成分の溶出は少なかった。

5) 各種イオンの溶出は、すべての土壤で都市ゴミの添加により顕著に増大する。中でも Na^+ の溶出が最もめいりょうで Ca^{++} がこれに準じたが、これら両イオンの大半は浸透水中で Cl^- と対応する。汚泥添加の場合、浸透水中の濃度は $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} \approx \text{NH}_4^+$ の順を示し、都市ゴミとは顕著に傾向を異にし、これらイオンは主に SO_4^{--} と共存して溶出することが明らかとなった。

6) 以上の傾向は浸透実験終了後のカラム内土壤の分析によっても裏づけられた。また、表層からの成分の移動が下層土壤に及ぼす影響について見ると、都市ゴミ添加の場合が顕著であって、とくにpH、EC、交換性Caにめいりょうな変化を生じた。

7) 各主要成分の溶出率の検討の結果、コンポスト添加土壤からの成分の溶出は、土壤本来のイオン吸着力、保持力に主に依存し、これにコンポスト自体の性質が複雑にからみ合うことが分かった。

IV. コンポスト施用圃場試験

実際の圃場にコンポストを施用した場合の作物の生育収量および土壤に及ぼす影響を知るため、極端に土壤条件の異なる2か所で圃場試験を実施した。1か所は山梨県農業試験場、他の1か所は藤沢の日本大学農場で、前者の土壤は腐植含量の低い細粒褐色森林土、後者の土壤は厚層多腐植質

表 5. 供試土壤の化学性

層位	pH (H_2O)	EC (mS/cm)	T-C (%)	T-N (%)	C/N	交換性塩基 (meq/100g)				微量元素 ppm			有効態 りん酸 (mg/ 100g)	CEC (meq/ 100g)	石灰飽 和度 (%)	
						Ca	Mg	K	Na	Cd	Cu	Zn				
山梨	上層	6.1	0.17	0.8	0.07	11.4	12.8	3.2	1.1	0.2	1.64	38.6	84.6	4.1	17.0	75.3
	下層	5.9	0.12	0.6	0.06	10.0	8.6	3.8	0.6	0.2	1.58	38.6	85.0	4.8	16.4	52.4
藤沢	上層	5.2	0.08	6.7	0.57	11.8	2.9	0.2	0.2	0.1	0.59	56.6	18.9	4.1	45.6	6.4
	下層	5.6	0.05	6.8	0.53	12.8	7.8	0.4	0.2	0.3	—	—	—	3.3	50.8	15.4

微量元素：山梨は硝酸過塩素酸分解、藤沢は1M塩酸浸出

表 6. 供試コンポストの成分組成

有機物	pH	T-C (%)	T-N (%)	C/N	T-P ₂ O ₅ (%)	交換性塩基 (%)			微量元素				備考
						K ₂ O	CaO	MgO	Cd(ppm)	Cu(ppm)	Zn(ppm)	Mn(%)	
下水汚泥	5.8	37.0	1.51	24.5	1.12	0.48	0.87	0.30	2.2	113	660	0.21	天童市産
都市ゴミ	7.9	35.2	2.79	12.6	1.90	0.54	5.99	1.33	2.5	208	1137	0.15	福岡市産

黒ボク土である。表 5 に両土壌の化学性を、また表 6 に供試コンポストの成分組成を示す。試験設計は両圃場共通で 1 区 8 m² とし、処理は都市ゴミコンポスト 2 t, 10 t/10 a 施用区、下水汚泥コンポスト 2 t, 10 t/10 a 施用区、それに無施用の対照区の 2 区を加え計 6 区 3 連制とした。

供試作物は第 1 年目 (昭和 56 年) に両圃場共通に春作はスイートコーン、秋作はハクサイ、第 2 年目 (昭和 57 年) の春作は、山梨ではコカブ、藤沢ではバレイショ、秋作は両圃場ともハクサイとした。なお、山梨では 2 年目春作に先がけてコンポストを再度施用したが、藤沢ではコンポストの施用を行わず、第 1 年目施用の残効を検討することにした。これは両土壌の本来の腐植含量の差を考慮したためである。なお、両圃場とも作付前後の各区の土壌分析と、作物体の分析を行ない、土壌の理化学性の変化と作物の養分および有害重金属吸収の実態を検討した。本報では詳細なデータの記載は省略し、試験の結果のみを要約すると次のとおりである。

1) 山梨圃場での作物収量 各作ともコンポストの施用効果は顕著でありめいりょうに増収をもたらした。両コンポスト間では、都市ゴミコンポストが下水汚泥コンポストに比べはるかに優る。また 2 t 区と 10 t 区を比べると、10 t 区の優位はとくに秋作において顕著で、このことは秋作時までにはコンポストの分解が十分に進むためと考えられる。作物体の分析結果を見ると、明らかに増収したコンポスト区でも養分元素の含有率は必ずしも増加しておらず、作物の収量増は肥料成分の供給とともに、コンポスト施用による土壌の物理性改善効果によると考えられる。なお、このことは土壌分析の結果からも確かめられた。山梨ではホウ素欠乏によるハクサイの生育障害がしばしば見られるが、今回の試験のコンポスト施用区では

全くホウ素欠乏が見られなかった。このこともコンポストの効果として特筆に値する。

2) 藤沢圃場での作物収量 第 1 年目のスイートコーン、ハクサイの収量は区間の値にバラツキが大きく、コンポスト施用効果は都市ゴミ 10 t 区でわずかに見られる程度でありはっきりしない。しかし第 2 年目のバレイショ、ハクサイではコンポスト施用効果がめいりょうに現われ、はっきりと収量差が認められるに至った。コンポスト間の差および施用量による差も、作を重ねるにつれはっきり現われるようになり、第 4 作のハクサイでは下水汚泥よりも都市ゴミ区が、また 2 t 区よりも 10 t 区の収量が大きであった。

3) 総括 以上の結果からいえることは、山梨のような腐植含量の低い土壌では、コンポストは施用直後から増収効果が現われること、しかも施用量を増せば増すほど効果が大きいこと、一方、藤沢のような腐植含量の高い土壌では、コンポスト施用直後には増収効果は現われないが、施用 2 年目以降に効果の現われることである。多腐植質の土壌に 10 a 当たり 10 t という多量のコンポストを施用しても害作用が出ないばかりか、2 年目以降に効果が現われることは、多腐植質の土壌でも、廃棄物に対する有意な浄化機能とさらに肥効発現効果を持つことはとくに注意に値する結果と考える。

ただ、注意すべき点は、コンポスト施用により土壌中および作物体の重金属含量が漸増することである。山梨の跡地土壌、作物体の分析がこのことを示しているが、この値は規制値をはるかに下回るもので、コンポスト 10 t を今後数 10 年連年施用して初めて規制値に達する値である。とはいえ土壌の種類あるいはコンポストの種類によっては加速的に重金属含量が増える危険性も否定できず、このことは今後十分検討する要ありと考

えられる。

おわりに

本研究は日産科学振興財団の助成により実施したもので、ここにあらためて同財団に深甚の謝意を表す。また、圃場試験の一部を担当された山梨県農業試験場や、供試土壌やコンポストの収集にお世話いただいた各都道府県農業試験場をはじめ多くの関係各位に厚く感謝する。さらに膨大な分析実験の遂行は、日本大学農獣医学部農芸化学科の多数の学生諸君の参画なくしてはとうてい不可能であった。ここに記して謝意を表す。

冒頭にも記したように、本研究は助成期間終了後もなお継続実施している。未着手の土壌群が残されていること、水田条件下での培養実験が残されていることが今後の課題である。今後、本報で報告した分を含め、成果を補足、再編、整理した上で新たな考察を加え、逐次日本大学農獣医学部学術研究報告や日本土壌肥科学雑誌などに公表する予定である。

研究発表

- 1) 渡辺 実, 板川秀雄, 矢崎仁也: 家畜ふんの有効利用に関する研究 (第3報), オガクズ牛ふん堆肥の熟成過程, 土肥要旨集, 27, 257 (1981).
- 2) 豊田敏治, 久保井徹, 松坂泰明, 藤井国博: 下水汚泥の土壌施用が土壌環境に及ぼす影響 (第8報), 連用と成分の地下浸透, 土肥要旨集, 27, 294 (1981).
- 3) 小林峯雄, 久保井徹, 山口武則, 矢崎仁也, 藤井国博: 同上 (第9報), 連用と植物の生育, 土肥要旨集, 27, 295 (1981).
- 4) 隅田裕明, 山田 裕, 鎌田春海, 松坂泰明: 都市ゴミコンポストの農業利用 (第1報), 土肥要旨集, 27, 121 (1981).
- 5) 矢崎仁也, 松坂泰明, 山本一彦, 小嶋博文: 土壌の浄化機能と廃棄物処理 (第1報), 土肥要旨集, 27, 150 (1981).
- 6) 矢崎仁也, 沼田尚弘, 小嶋博文, 山本一彦, 松坂泰明: 土壌の浄化機能と廃棄物処理 (第2報), 砂丘未熟土壌における有機物分解, 土肥要旨集, 28, 283 (1982).
- 7) 山本一彦, 松坂泰明, 隅田裕明, 矢崎仁也, 小嶋博文: 土壌の浄化機能と廃棄物処理 (第3報), 数種土壌における腐植の形態変化, 土肥要旨集, 28, 283 (1982).

- 8) 山本一彦, 隅田裕明, 松坂泰明, 矢崎仁也: 土壌の浄化機能と廃棄物処理 (第4報), 数種の土壌における化学性の変化, 土肥要旨集, 28, 166 (1982).
- 9) 矢崎仁也, 沼田尚弘, 山本一彦, 松坂泰明: 土壌の浄化機能と廃棄物処理 (第5報), 数種土壌における分解特性, 土肥要旨集, 28, 166 (1982).
- 10) 飯塚 統, 渡辺 実, 板川秀雄, 山本一彦, 矢崎仁也, 松坂泰明: 土壌の浄化機能と廃棄物処理, ニヶ所の圃場試験の比較検討, 土肥要旨集, 28, 167 (1982).
- 11) 隅田裕明, 山田 裕, 鎌田春海, 山本一彦, 松坂泰明: 都市ゴミコンポストの農業利用 (第2報), 土肥要旨集, 28, 123 (1982).
- 12) 鎌田春海, 隅田裕明, 山田 裕, 藤原俊六郎, 郷間光安: じん芥堆肥の農業利用について, 化学的性質と分解特性, 神奈川県農総研土壌肥料科試験研究成績, 第13号, 16-22 (1981).
- 13) Jinya Yazaki: Utilization of livestock wastes by various chemical and biological processings, Researches Related to the UNESCO'S Man and the Biosphere Programme in Japan, 148-149 (1982).
- 14) 渡辺 実, 板川秀雄, 矢崎仁也: おがくず牛ふん堆積物の腐熟過程, 土肥誌, 52, (4), 339-346 (1981).
- 15) 山本一彦, 隅田裕明, 松坂泰明, 矢崎仁也: 土壌浄化機能と廃棄物処理 (第7報), 数種土壌における腐植の形態変化, 土肥要旨集, 29, 295 (1983).
- 16) 小口 弘, 隅田裕明, 山本一彦, 松坂泰明, 矢崎仁也: 土壌浄化機能と廃棄物処理 (第8報), 廃棄物施用による養分の溶出 (その1), 土肥要旨集, 29, 296 (1983).
- 17) 渡辺 実, 板川秀雄, 矢崎仁也, 松坂泰明: 土壌浄化機能と廃棄物処理 (第9報), 圃場試験 (その2), 土肥要旨集, 29, 296 (1983).
- 18) 隅田裕明, 小口 弘, 山本一彦, 松坂泰明, 矢崎仁也: 土壌浄化機能と廃棄物処理 (第10報) 廃棄物施用土壌からの養分の溶出 (その2), 土肥要旨集, 29, 172 (1983).
- 19) 小嶋博文, 矢崎仁也, 山本一彦, 松坂泰明: 土壌浄化機能と廃棄物処理 (第11報), 数種土壌における分解特性 (その2), 土肥要旨集, 29, 172, (1983).
- 20) 山本一彦, 隅田裕明, 松坂泰明, 矢崎仁也: 土壌浄化機能と廃棄物処理 (第12報), 数種土壌における化学性の変化 (その2), 土肥要旨集, 29, 173 (1983).
- 21) 飯塚 統, 隅田裕明, 山本一彦, 矢崎仁也, 松坂泰明: 土壌浄化機能と廃棄物処理, 圃場試験, (その3) 多腐植質黒ボク土の場合, 土肥要旨集, 29, 173 (1983).