

特集

廃棄物のリサイクル

下水汚泥の緑農地への利用

Utilization of Sewage Sludge to Farm and Green Place

松崎 敏 英*

Toshihide Matsuzaki

1. はじめに

わが国初の散水戸床法による下水終末処理場が都下三河島で運転を開始したのは、今から68年前の大正11年である。しかし、それより30年前の明治25年に、すでに世界初の生物処理法による下水処理場が英国のリフィールドで運転を開始した。

英国環境庁のR・C・Ramsayは¹⁾、「下水汚泥の緑農地利用に関する国際シンポジウム」において、英国では下水汚泥の処理処分は、全く問題になっていない、と発言し日本側関係者の関心を引いた。それは、英国の下水道普及率が長い間96%の高い水準を維持しており、その結果、ほとんど汚泥の発生量に変化がなく、汚泥の処理処分が緑農地利用を含め、きわめて計画的に遂行できる100年にわたる社会的歴史的な背景があったからである。

ひるがえって、わが国の現状はあまりにも貧しい。下水道の普及率は、先進諸国の半分以下の42%に過ぎない。ところで、今後10か年間に430兆円もの公共投資が見込まれるが、おそらくその多くは下水道や終末処理施設の建設に向けられよう。国や自治体の顔である下水処理施設ができて、尻の始末はどうなるのだろうか。下水処理に関する限り、わが国は発展途上国といわざるを得ない。

ここでは、有機質資材としての汚泥の農業利用の可能性とその限界についてとりまとめた。

2. 汚泥の肥効と凝集剤の影響

汚泥は下水処理の過程で排出される廃棄物であって、農業利用を考えた“目的生産物”ではない。廃棄しやすくするには、減量とハンドリングの容易さのみが追求される。例えば96%以上に及ぶ余剰汚泥の水分除去に使われる凝集剤は、汚泥の性質を著しく変化させる。

* 富士見工業㈱技術顧問 東京農業大学客員教授
〒422 静岡市富士見台1-19-47

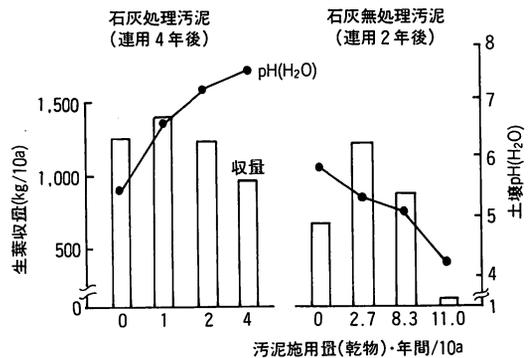


図-1 ホウレンソウの収量と土壌pHに及ぼす石灰処理及び無処理汚泥施用の影響

図-1²⁾に消石灰と塩化第二鉄で凝集脱水した汚泥と、凝集剤を全く使用せず、砂戸床で乾燥した天日乾燥汚泥のホウレンソウに対する施用効果を示した。

石灰処理汚泥を連用した畑の土は、施用量が多いほどアルカリ化し、pHが7を越えると、明らかに減収した。また、天日乾燥汚泥を多用すると、2年後にはホウレンソウの収量は、皆無に近くなった。その原因は、汚泥中に含まれる多量の窒素が無機化して硝酸に、また硫黄が酸化して硫酸に変化したことによる土壌の強酸性化であった。

石灰・塩化第二鉄処理汚泥と有機高分子処理汚泥の特性を表1³⁾に示した。これらの数値から分かるように、凝集剤が汚泥の質と土壌の反応に少なからぬ変化を与え、ホウレンソウの収量に影響したわけである。

このような農業資材の土壌や農作物に対する影響は、汚泥に限ったことではない。石灰資材を多用すれば土はアルカリ性になるし、石灰が少なく窒素含量の高い有機質肥料を多用すれば、土壌は酸性化する。しかし、適量を適正な方法で施用すれば、汚泥は化学肥料と堆きゆう肥の中間的な優れた効果を示す有機資材である

表1 下水汚泥の化学的特性

汚泥の種類	pH	EC (mmho/cm)	粗SiO ₂ (%)	L.I (%)	C/N	全 量 (%)							
						C	N	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na	
石灰処理汚泥	\bar{X}	9.92	5.62	19.6	63.5	8.9	19.1	2.3	2.53	0.07	14.12	0.64	0.08
	14 CV (%)	15	60	65	14	18	24	39	30	57	37	34	38
有機高分子(凝集剤処理)汚泥	\bar{X}	6.05	2.35	32.7	55.1	8.1	23.7	3.0	3.69	0.17	1.26	0.57	0.09
	7 CV (%)	7	26	32	28	10	36	36	48	65	68	42	44

pH, EC, C/N以外は乾物当り (%) (北海道中央農業試験場)

ことを示すものである。年間10a当り1t程度の施用ならば、汚泥は長期にわたって高い肥効を示すことが他の多くの試験でも実証させている。

ところで、凝集剤による汚泥の脱水は、廃棄物としての汚泥の性状を良好にするが、なおかつ農業利用にはなじまない。汚泥の堆肥化処理は、発熱を伴う好気性発酵による水分の蒸散、有機物の安定化、悪臭の除去、病原菌や雑草の種子を死滅させるなどの巾広い効果がある。ところで諸外国における汚泥の緑農地還元は、多くの場合消化汚泥を機械脱水することなく、そのまま液状散布されるのに対し、わが国では堆肥化された、いわゆる汚泥コンポストとして施用されることが多い。日本下水道事業団は、詳細なマニュアル「下水汚泥コンポスト化施設設計指針」を作成し、汚泥のコンポスト化による農業利用を奨励している。

表2 汚泥の堆肥化による主要成分の変化

種 類	水分 (%)	T, C (%)	T, N (%)	C/N
脱 水 汚 泥	65.0	30.0	4.33	6.9
10日間醗酵処理汚泥	35.6	24.4	2.19	11.1
31日間醗酵処理汚泥	35.8	20.1	2.00	10.1

注：水分は原物，その他は乾物で表示 (山田，松崎)

汚泥の好気性発酵処理は、前述のような優れた利点がある反面、表2に示したように、短期間に著しく多量の窒素が無機化し、アンモニアガスとなって揮散する。このことは、環境に対する悪影響だけでなく、肥料経済的にも改善を要する問題点である。

3. 汚泥中の重金属の与動と規制値

汚泥の緑農地利用における最大関心事の一つは、いかにして重金属に対する安全性を確保するかである。

有害物質の規制は、それぞれの物質の濃度規制と総量規制の両面から行われなければならない。農水省は、肥料取締法でひ素、カドミウム及び水銀の濃度を、そ

れぞれ50, 5, 2 ppm以下に規制している。

これに対し、環境庁は土壤中の亜鉛濃度の上限を120ppmとする土壤管理基準を設定している。亜鉛を規制対象の重金属とした理由は、汚泥等の有機性都市廃棄物に含まれる重金属類の中で、亜鉛濃度が最も高いことと、亜鉛濃度が高いものほど他の重金属類の濃度も高い傾向があるなどの理由による。いずれは、亜鉛以外の重金属についても管理基準を設定する必要があるかも知れないが、当面は亜鉛を重金属の代表と見なしたわけである。

また、もう一つの理由は、諸外国においても、亜鉛当量(亜鉛の植物被害を1とした場合、銅はその2~3倍、ニッケルは3~4倍の影響がある)の概念を導入した規制値があることなどがその理由である。

ところで、諸外国におけるこの種の規制値はどのようになっているのだろうか。表3⁵⁾と表4⁶⁾に汚泥の緑農地利用に先進的な国々における汚泥中及び土壤中の重金属濃度の規制値を示した。

わが国のカドミウムと水銀の規制値は、欧米諸国の数倍から十数倍の厳しい値であるが、規制の対象となる重金属の数は少ない。いずれにしても、汚泥に限らず資材中の有害物質の濃度は低いほどよいのは当然だが、長期的には土壤中にどれだけ持ち込まれ、蓄積されるかが重要である、そのためにも、あらためて札幌市下水道局等で行われているような、きめ細かなモニタリングの必要性を痛感するものである。

農地は施肥や耕耘など、人為的なインパクトが加わることと、無数の微生物が息息するため時々刻々変化している。図-2⁷⁾はキャベツに対して、脱水汚泥を10a当り1作に0.4t、年間0.8tを化学肥料と併用して5か年間連用した試験結果である。この間、土壤のpHは6.6から5.3に低下した。それに反比例するように、キャベツの外葉及び結球部の亜鉛濃度は、明らかに上昇している。

この試験結果は、次のように考察される。その一つ

表3 農業利用汚泥中の最大許容重金属濃度 (mg/kg・乾物)

元素名	ベルギー	デンマーク	フランス ⁽²⁾	西ドイツ	オランダ	スコットランド ⁽³⁾ (英国) ⁽³⁾	スイス	EEC 通達	日本
ヒ素	10				10				50
カドミウム	10	8	20	20	5	20	30	20~40	5
コバルト	20						100		
クロム	500		1,000	1,200	500	2,000	1,000	750 ⁽¹⁾ ~	
銅	500		1,000	1,200	600	1,500	1,000	1,000~1,750	
水銀	10	6	10	25	5	7.5	10	16~25	2
マンガン	500								
モリブデン						25	20		
ニッケル	100	30	200	200	100	100	200	300~400	
鉛	300	400	800	1,200	500	500	1,000	750~1,200	
セレン	25		100						
亜鉛	2,000		3,000	3,000	2,000	2,000	3,000	2,500~4,000	

(1) 以前に提案された推奨値

(B. LeFèvre)

(2) フランス 参考値、クロム、銅、ニッケル、亜鉛の参考値の合計は4,000mg/kg

最大許容濃度は、参考値の合計の2倍と定義される。

(3) 英国 牧草地に散布される汚泥中のヒ素の濃度は、乾重で3,500mg/kgを超えてはならない。
スコットランド：スコットランド農業大学の勧告（1981）より

表4 農地土壌中の微量元素に対する各国の最大許容レベル

元素	西ドイツ [†]	スコットランド [‡]	EEC [§]	カナダ [*]	日本
	土壌中の許容レベル (mg・kg ⁻¹ 乾土)				
As	20	12		14	
B	25				
Cu	3	1.6	1 3	1.6	
Co	50			20	
Cr	100	120		120	
Cu	100	80	50 140	100	
Hg	2	0.4	1 1.5	0.5	
Mo	5	2		4	
Ni	50	48	30 75	32	
Pb	100	90	50 300	60	
Se	5	2.4		1.6	
Zn	300	150	150 300	220	120

† Kloke, 1982

(A.L. Page他)

‡ Scottish Agricultural Colleges, 1981

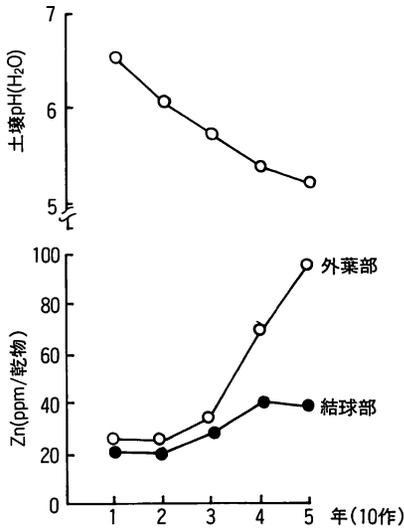
§ EEC, 1986: 下限・推奨レベル, 上限・遵守業務レベル

* Ontario Ministry of Agricultural & Food, 1974

は、汚泥中の重金属の濃度規制と総量規制は、最優先されなければならないこと。その二つは、農作物栽培の基本である土壌pHを適正に維持管理することにより、農作物による重金属吸収を抑制することが出来ることである。この調査結果は、汚泥施用土壌の重金属濃度のモニタリングとともに、土壌診断の重要性を示唆するものでもある。

4. おわりに

わが国で年間に発生する下水汚泥は、乾物換算で120万tといわれている。これを1人当りに換算すると約75g/日の貴重な有機質資源に相当する。下水道普及率は、今後飛躍的に増加することは、まず間違いなし、資源リサイクリングは、今や避けて通ることの



(注) 脱水汚泥0.4t(乾物)/10a, 年間2回施用

図-2 汚泥施用畑のpHの変化がキャベツの垂鉛濃度に及ぼす影響(和地, 松崎)

できない地球的な問題になっている。

かつて、わが国における下肥の農業利用は、世界の注目的であった。わが国の下水道普及率が著しく低い原因は、社会資本投資の立ち遅れ、という意見が多いが、私は下肥の農地還元がそれを一層助長していたのではないかと思う。三浦半島のダイコン畑に、今なお残るふん尿溜と、京浜地区から海路を運ばれた下肥を揚陸した波止場の残がいを見ると、当時を知る者にとっては、まさに今昔の感がある。汚泥コンポストは、この下肥を堆肥に変身させた貴重な資源である。

建設省及び日本下水道事業団が、日本土壌協会に委託した調査結果によれば、昭和62年現在、1都、8県、4市に農耕地に対する汚泥施用基準が設定されている。また、未設定であっても74%の自治体が、その必要性

を認めている。

農業関係の試験研究機関の調査結果を総合すると、10a当り水稻で0.5t, 畑作物で年間0.5~1.0tを限界とする施用量が一般的である。この程度の施用量であれば、汚泥は土壌の反応や塩基組成に大きな影響を与えず、かつ堆肥やその他の有機質資材に代替できる資源であるとの見方が支配的である。

さらに、この貴重な有機質資源を恒久的に利用しようとするならば、住宅排水と工場排水の分離や、家庭の段階で手選別されたゴミと汚泥を混合したコンポスト処理の他、石灰処理汚泥と高分子凝集剤処理汚泥を混合してから堆肥化するなどの新しい技術開発を推進したい。

要は農業にとって汚泥を安全にして、かつ有効な“目的生産物”にするようなシステムの改善と品質管理を望むものである。

参 考 文 献

- 1) R.C.Ramsay; 下水汚泥の処理利用のためのガイドライン並びにモニタリング法, 下水汚泥の緑農地利用国際シンポジウム会議録, 下水汚泥資源利用協議会 (1983) 215-234
- 2) 松崎敏英, 和地清; コンポストの施用効果, 下水汚泥資源利用協議会 (1985) 81-88
- 3) 北海道立農試; 下水汚泥の化学性と農地利用について, (1982) 5
- 4) 山田裕, 松崎敏英; 脱水汚泥と発酵処理汚泥の肥効解析, 下水汚泥の有効利用に関する共同研究報告, 神奈川県 (1986) 31-39
- 5) B. LeFèvre; 下水汚泥の農地利用のためのガイドライン, 下水汚泥の緑農地利用国際シンポジウム会議録, 下水汚泥資源利用協議会 (1988) 117-126
- 6) A.L.Page他; 都市下水汚泥の緑農地利用, 下水汚泥の緑農地利用国際シンポジウム会議録, 下水汚泥資源利用協議会 (1988) 145-171
- 7) 和地清, 松崎敏英; 土壌及び農産物に対する汚泥施用の影響, 環境部会共研報, 神奈川県 (1984) 23-32