

◆ 報文 ◆

下水汚泥の緑農地利用の実態について

斎野秀幸*

1. はじめに

平成 11 年度末現在、我が国の下水道普及率は 60%に達しているが、普及率の増加とともに下水汚泥の発生量も年々増加してきており、平成 10 年度末現在、下水汚泥の発生量は濃縮時の乾燥重量ベースで 186 万 t/年に達している(図-1)。その一方で、廃棄物の最終処分場が逼迫してきていることからあらゆる資源のリサイクルが求められており、下水汚泥もセメント原料化などの建設資材利用やコンポストなどの緑農地利用が進められているが、依然として陸上埋立などの処分量は大きな割合を占めており(図-2)、積極的な下水汚泥リサイクルが求められている。

今後の我が国の汚泥は、既に整備を終えた大都市から継続的に発生するものと、下水道普及の遅れている人口 5 万人未満の市町村が下水道整を進めることにより新たに発生していくものとが予想される。規模の小さいこれらの市町村の後背地に

は緑農地が広がっている場合が多いことから、今後それらの市町村における下水汚泥の有効利用を考えていく上で緑農地利用が有望であると考えられる。

ところで、下水汚泥を肥料として生産する際に肥料取締法による規制に従わなければならぬ。肥料取締法は、農業生産力の維持増進を図ることを目的に、肥料の品質保全および肥料の公正な取引に資することを目標として昭和 25 年 5 月に制定された²⁾。この中で下水汚泥由来である乾燥汚泥や下水汚泥コンポストは「特殊肥料」として扱われてきた。特殊肥料とは農家の経験や感覚によって識別できる肥料、または肥料の価値が必ずしも含有成分量のみに依存しない肥料であり³⁾、たい肥などが該当する。現在、環境と調和した持続性の高い農業生産方式が重要視されてきているため、化学肥料を節減し、たい肥等の有機質肥料に移行する傾向にあることから、たい肥等特殊肥料の流通量は年々増加してきている。このため、たい肥等の利用者において特殊肥料の品質表示に対するニーズが高まっている。そこで、平成 11 年 7 月に肥料取締法が改正され(平成 12 年 10 月施行)、それらの肥料を特殊肥料から普通肥料へと移行し、品質表示を義務付けるとともに届出制を登録制へと変更した。これにより、下水汚泥肥料も普通肥料へと移行した。

これらの状況から、今後は下水汚泥の緑農地への利用が必要であるが、同時にその適正な流通と利用も必要となってきているものと考えられる。そこで旧土木研究所では、下水汚泥の緑農地利用の実情を把握し、今後の緑農地利用の促進を図るために参考資料を得ることを目的として調査を実施した。本調査では、全国 55箇所の処理場に対して乾燥汚泥およびコンポストの品質等についてアンケート調査を行い、実態について集計した。

2. 調査の方法

調査対象は国庫補助を受けて建設されたすべて

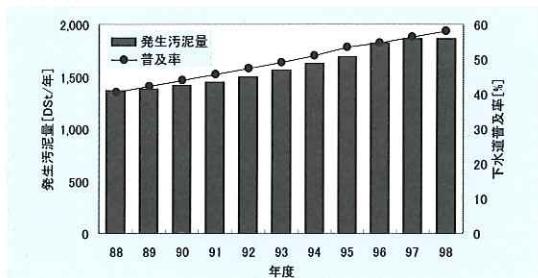
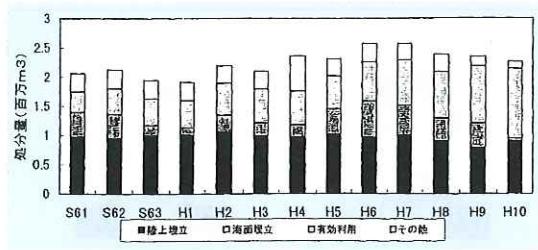


図-1 下水道普及率と発生汚泥量の推移

図-2 下水汚泥の最終処分量¹⁾

のコンポスト施設 23 箇所と、綠農地利用を行っている汚泥乾燥施設がある 32 箇所の下水処理場すべてである。調査は調査票を送付し回答を依頼するアンケート方式で、調査対象のすべての下水処理場から回答を得た。調査項目は①改正肥料取締法における重金属など規制項目の値、②コンポスト施設、または乾燥施設の現状(建設費、運転費、生産量等、基本的な情報)③コンポストに加える副資材(コンポスト施設のみ)等である。なお、②は平成 10 年度のデータ、その他は平成 11 年度末のデータである。なお、コンポストとは汚泥を好気性発酵させたもので、有機分がある程度分解し、安定している。乾燥汚泥とは加熱により水分を気化蒸発させ、乾燥させた汚泥である。

3. 調査結果

3.1 肥料取締法における規制項目について

調査の対象とした項目は表-1 の通りである。なお、施設によっては表-1 の項目を測定していない場合もあるため、必ずしもすべてのデータを得られているわけではない。結果を表-2 に示す。乾燥汚泥において鉛の含有量が改正後の肥料取締法を満たさないものが 1 箇所あったが(なお、調査時は改正肥料取締法施行前であったため、これが肥料取締法に違反しているわけではない。)、これ以外は規制値を超過する項目はなかった。一般に三大栄養塩と言われており肥効成分である窒素、リン、カリウムは従来から言われているように、窒素、リンの含有量は非常に多いが、カリウムが不足しているという結果になった。また、改正肥料取締法では銅 300mg/kg、亜鉛 900mg/kg、石灰 150mg/kg 以上含有する場合は生産者保証票に含有量を記載することとされている。これに該当する施設数はコンポストで銅 22 箇所中 10 箇所、亜鉛 23 箇所中 7 箇所、石灰 8 箇所中 3 箇所、乾燥汚泥で銅 21 箇所中 11 箇所、亜鉛 24 箇所中 8 箇

所、石灰 3 箇所中 2 箇所であった。

図-3 には肥料取締法により規制されている重金属 6 項目について、濃度分布を集計した結果を示す。縦軸は 6 種類の重金属の規制値をそれぞれ 1 としたときのそれぞれのコンポスト、乾燥汚泥の重金属含有量を割合を示しており、1 を超すと規制値を満たしていないことを表す。図中の×は平均値、□は 20~80% 値、上下の引き出し線は分布の範囲を示す。「(データ数)」は測定を行っていた施設数である。なお、アンケートを行った時点では肥料取締法改正前でありニッケル、クロム、鉛については規制されていなかったため、これらのデータ数が少なくなっている。この図からも鉛を除くほぼすべてのコンポスト、乾燥汚泥が規制値を満たしていることがわかる。また、ほとんどの場合で基準値を大きく下回っており、80% 値ではほぼすべての項目が 0.5 を下回っていることがわかった。しかし、データの範囲を見ると、施設によってはカドミウム、水銀、鉛の含有量が大きくなっていることもあり、注意を要することがわかった。図-4 には図-3 と同様の形式で下水汚泥肥料に適用される、金属等を含む産業廃棄物に関する判定基準を定める総理府令に関わる溶出量規制値を示す。カドミウム、砒素は特異的に規制値付近までの溶出量が見られる場合があったが、ほとんどの施設では全く検出されないか、もしくは大きく規制値を下回っており、大部分で安全性が確認できた。

3.2 コンポスト施設の建設費用、運転費用

コンポスト施設または乾燥施設の生産量と生産量あたりの建設費、運転経費の関係を図-5~8 に示す。なお、コンポスト施設は立形、横形、堆積形の 3 形式に分けて示す。ここで、「生産量」とは施設に投入された脱水汚泥量(天日乾燥の場合は濃縮汚泥等)のことを意味し、「生産量あたりの建設費」とは耐用年数を 15 年とし⁴⁾、15 年間で投

表-1 対象項目

肥料取締法(含有量)	砒素、カドミウム、水銀、ニッケル、クロム、鉛
肥料取締法(溶出量) (金属等を含む産業廃棄物に関する判定基準を定める総理府令に関わる溶出量)	アルキル水銀、水銀、カドミウム、鉛、有機燐、六価クロム、砒素、シアノ、PCB、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、ジクロロメタン、四塩化炭素、1,2-ジクロロエタン、1,1-ジクロロエチレン、シス 1,2-ジクロロエチレン、1,1,1-トリクロロエタン、1,3-ジクロロプロパン、チウラム、シマジン、チオベンカルブ、ベンゼン、セレン
生産者保証票に関わる成分(含有量)	窒素、リン、カリウム、銅、亜鉛、石灰
その他(溶出量)	銅、亜鉛、フッ素、ホウ素

表-1 規制項目の含有量・溶出量

	項目	単位	規制値	乾燥汚泥				コンポスト			
				測定数	平均	最大値	最小値	測定数	平均	最大値	最小値
肥料取締法	水銀	[mg/kg]	2	24	0.84	1.9	0.040	23	0.67	1.9	0.13
	カドミウム	[mg/kg]	5	24	1.5	3.7	n.d.	23	1.5	3.2	0.40
	鉛	[mg/kg]	100	17	28	130	n.d.	13	26	54	0.68
	砒素	[mg/kg]	50	21	4.8	21	n.d.	20	4.7	10	1.1
	ニッケル	[mg/kg]	300	11	21	36	0	7	22	45	0.46
	クロム	[mg/kg]	500	10	41	117	21	11	47	125	14
産業廃棄物に関する規制値	アルキル水銀	[mg/l]	n.d.	120	n.d.	n.d.	180	n.d.	n.d.		
	水銀	[mg/l]	0.005	12	0.000042	0.00050	n.d.	18	0.000072	0.0011	n.d.
	カドミウム	[mg/l]	0.03	12	0.0037	0.030	n.d.	18	0.00028	0.0020	n.d.
	鉛	[mg/l]	0.3	13	0.0042	0.030	n.d.	18	0.0067	0.030	n.d.
	有機燐	[mg/l]	1	13	0.0077	0.10	n.d.	17	0	n.d.	n.d.
	六価クロム	[mg/l]	1.5	13	0.0077	0.10	n.d.	18	0	n.d.	n.d.
	砒素	[mg/l]	0.3	13	0.0023	0.030	n.d.	18	0.022	0.26	n.d.
	シアノ	[mg/l]	1	13	0.0077	0.10	n.d.	18	0.00028	0.0050	n.d.
	PCB	[mg/l]	0.003	13	0.000038	0.00050	n.d.	18	0	n.d.	n.d.
	トリクロロエチレン	[mg/l]	0.3	12	0.0025	0.030	n.d.	17	0	n.d.	n.d.
	テトラクロロエチレン	[mg/l]	0.1	12	0.00083	0.010	n.d.	17	0	n.d.	n.d.
	ジクロロメタン	[mg/l]	0.2	12	0.0017	0.020	n.d.	16	0	n.d.	n.d.
	四塩化炭素	[mg/l]	0.02	12	0.00017	0.0020	n.d.	16	0	n.d.	n.d.
	1,2-ジクロロエタン	[mg/l]	0.04	12	0.00033	0.0040	n.d.	160	n.d.	n.d.	
	1,1-ジクロロエチレン	[mg/l]	0.2	13	0.0017	0.020	n.d.	16	0	n.d.	n.d.
	シス-1,2-ジクロロエチレン	[mg/l]	0.4	12	0.0033	0.040	n.d.	16	0	n.d.	n.d.
	1,1,1-トリクロロエタン	[mg/l]	3	12	0.025	0.30	n.d.	16	0	n.d.	n.d.
	1,1,2-トリクロロエタン	[mg/l]	0.06	12	0.00050	0.0060	n.d.	16	0	n.d.	n.d.
	1,3-ジクロロプロパン	[mg/l]	0.02	12	0.00017	0.0020	n.d.	16	0	n.d.	n.d.
	チウラム	[mg/l]	0.06	12	0.00050	0.0060	n.d.	16	0	n.d.	n.d.
	シマジン	[mg/l]	0.03	12	0.00025	0.0030	n.d.	16	0	n.d.	n.d.
	チオベンカルブ	[mg/l]	0.2	12	0.0017	0.020	n.d.	16	0	n.d.	n.d.
	ベンゼン	[mg/l]	0.1	12	0.00083	0.010	n.d.	16	0.000063	0.0010	n.d.
	セレン	[mg/l]	0.3	12	0.0025	0.030	n.d.	16	0.00032	0.0051	n.d.
記載	銅	[mg/kg]	300	21	333	730	0.015	22	285	650	104
	亜鉛	[mg/kg]	900	24	919	4200	0.040	23	893	2500	170
肥効成分	窒素	[%]		19	4.6	7.4	2.0	19	2.7	6.3	0.62
	リン	[%]		19	3.3	6.9	0.68	18	3.8	21	0.99
	カリウム	[%]		18	0.22	0.41	0.060	18	0.30	0.76	0.06
その他	石灰	[%]		3	18	33	3.2	5	1	2.3	0.33
	銅	[mg/l]		9	0.53	1.2	n.d.	5	2.7	9	0.48
	亜鉛	[mg/l]		9	0.46	1.1	0.22	8	12	25	0.015
	フッ素	[mg/l]		2	0.00	n.d.	n.d.	20	0.90	0.070	
	ホウ素	[mg/l]		0	—	—	—	1	0	n.d.	n.d.

n.d. (not detected)

「測定数」は測定を行っている施設数

「平均」はn.d.を0として計算

「環境基準」は土壤環境基準

入される総脱水汚泥量(年間生産量×15)あたりの建設費とした。また、施設によっては建設費、運転費のデータが無い場合もあった。また、データのある施設のうち、コンポスト施設2箇所、

汚泥乾燥施設1箇所では施設能力に比べて実際の投入汚泥量が極めて小さく、投入汚泥量あたりの費用が極めて大きくなつたために、特異施設として割愛した。コンポストについては、生産量と生

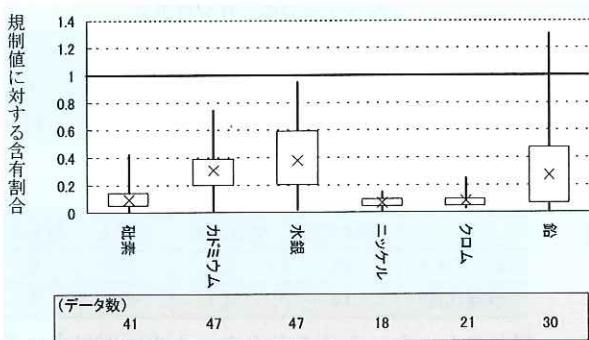


図-3 重金属含有量

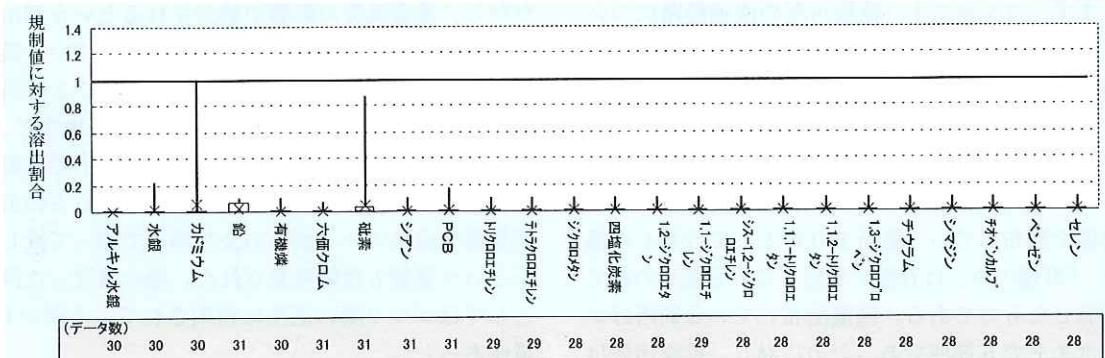


図-4 規制項目の溶出量

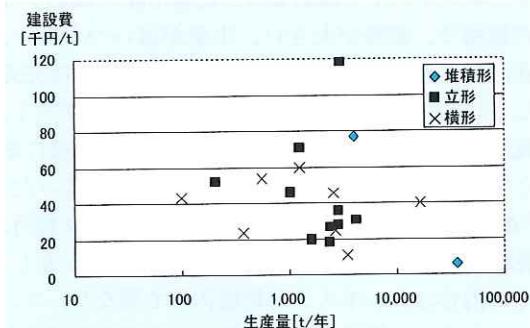


図-5 生産量と生産量あたりの建設費 (コンポスト)

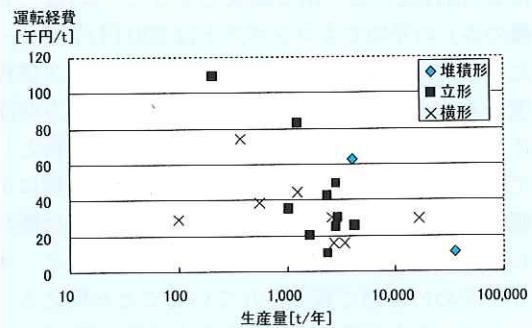


図-6 生産量あたりの運転経費 (コンポスト)

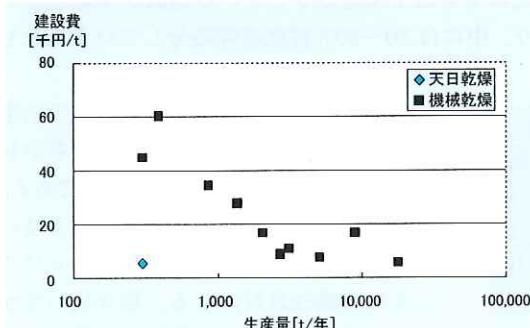


図-7 生産量と生産量あたりの建設費 (乾燥)

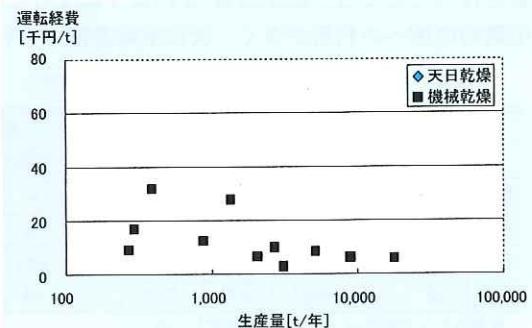


図-8 生産量と生産量あたりの運転経費 (乾燥)

産量あたりの建設費には相関が見られなかったものの、立形の場合生産量と生産量あたりの運転経費には相関係数 -0.8 程度の相関が見られ、スケールメリットがはたらいているものと考えられた。また、堆積形は 2 施設しかなかったために不確かではあるが、同じくスケールメリットがはたらいているものと考えられた。乾燥汚泥については、逆に生産量と生産量あたりの建設費の方が相関があり、相関係数は -0.86 程度であった。また、全体的に見てもコンポ

スト施設よりは汚泥乾燥施設の方が生産量と経費に強い相関が見られ、スケールメリットがはたらきやすいことがわかった。これは、コンポスト施設には多くの付帯設備があることから必ずしも施設の規模だけが経費に関係するわけではないためと考えられる。また、全体的に乾燥汚泥の方が経費が低めになっているが、コンポストには有機物が安定化している、製品の臭気が少ない等のメリットがあるため、必ずしも乾燥汚泥がコンポストよりも優れているというわけではない。

3.3 利用状況

まず、コンポスト、乾燥汚泥の流通経路について調査した。コンポストは半数以上の13箇所で使用者に直接販売されており、9箇所では農協を通じて販売されていた。一方、乾燥汚泥はほぼすべての箇所で利用者に直接販売(または配布)されていた。販売価格を表-3に示す。「無償込み」とは無償で配布している箇所を0円として計算した場合、「有償のみ」是有償で販売している箇所のみで計算したものである。無償配布している箇所はコンポストで5箇所であったのに対し、乾燥汚泥は21箇所あったため、「無償込み」の平均販売価格に20倍程度の差が出る結果となった。また、「有償のみ」の平均でもコンポストは330円/袋であったのに対し、乾燥汚泥は94円/袋となり、3倍程度の差があった。全体としてコンポストの方が高くなっているがこれはコンポストの方が肥料として使いやすいためと考えられる。また、一般に市販されている牛糞たい肥やバークたい肥等は概ね1,000円/20kg袋程度であることを考えると、かなり安めの価格で販売されていることが伺える。

次に、下水汚泥の有効利用先を水田、畑、牧地、家庭菜園、その他の5種類に分けてアンケート調査を行ったところ、結果は表-4のようになった。圧倒的に畑への利用が多く、次に家庭菜園での利

表-3 コンポスト、乾燥汚泥の有効利用先

単位	コンポスト			乾燥汚泥		
	平均	最大	最小	平均	最大	最小
無償 込み	バラ [円/t]	3,131	11,550	0	4	100
	袋 [円/20kg]	259	700	0	13	111
有償 のみ	バラ [円/t]	4,175	11,550	525	100	100
	袋 [円/20kg]	330	700	150	94	111

*袋あたりの料金は1袋20kgに換算した値

*「無償込み」は無償配布を0円としてカウントした平均、「有償のみ」は有償配布箇所のみの平均

表-4 下水汚泥の有効利用先

	水田	畑地	牧地	家庭菜園	その他
コンポスト	5	22	2	19	16
乾燥汚泥	3	25	1	12	14

*複数回答可

表-5 コンポスト、乾燥汚泥の在庫状況

	ほぼ完売	生産調整	在庫大	無回答
コンポスト	15	4	4	0
乾燥汚泥	14	4	9	5

用が多かった。このことから、下水汚泥は主に米以外の野菜に対して使われていると考えられる。ただし、重金属等の影響が懸念されるという理由で、農地への施肥をしないように指導している箇所も、コンポストで2箇所、乾燥汚泥で2箇所あった。また、その他の中では公園や緑地など、公共施設に利用されている例がコンポストで6箇所、乾燥汚泥で5箇所となっており、それらの公共施設や道路ののり面等の公共事業で使って欲しいという要望も数箇所見られた。他に目立った例としてはゴルフ場の芝生に利用されている例が6箇所あった。

表-5はコンポスト、乾燥汚泥の在庫状況を示す。コンポストでは約2/3、乾燥汚泥では約半分の箇所で、需要が大きい、生産が追いつかない、在庫はごく少量であるなど、需要が高くほぼ完売しているという回答を得た。一方、コンポスト、乾燥汚泥ともに4箇所ずつ計8箇所では需要に応じて生産を調整し在庫が出ないようにしていた。「在庫大」になっているのはコンポストで4箇所、乾燥汚泥では9箇所という結果になった。しかし、その内容はコンポストと乾燥汚泥で異なり、コンポストでは4箇所のうち3箇所は在庫が年間生産量のおよそ10~30%程度であるのに対し、乾燥汚泥は半分以上産廃処分している施設が半数程度あり、中には80~90%程度産廃処分している施設もあった。

最後に利用者からの評価について結果を示す。なお、これは下水道管理者が利用者から得た評価についての回答である。自由回答方式にしたために回答が多岐に及んだが、整理すると、コンポストについては土壤改良材になる、取り扱い性がよい、収量が増す、収穫物の品質が向上する、等があげられた。乾燥汚泥につい

表-6 コンポストの副資材

種類	副資材		コンポスト 生産量 [t/年]	生産量当り 購入価格 [万円/t]	副資材費 /運転費 [%]
	投入量 [t/年]	購入価格 [円/t]			
ウッドチップ	286	7,400	2.12	299	0.708
おがくず	1,578	3,150	4.97	724	0.687
おがくず	1,288	9,800	12.62	2,297	0.550
おがくず	348	3,700	1.29	116.8	1.102
パーク	521	2,835	1.48	626	0.236
破碎モミガラ	220	25,500	5.61	569	0.986
粉碎モミガラ	215	4,000	0.86	790	0.109
豆粕	741	不明	不明	725	
モミガラ	683	24,600	16.80	949	1.770
モミガラ	596	6,300	3.75	1,183	0.317
平均			5.50	828	0.72

[m³/年] または [円/m³]

ては収量が増す、収穫物の品質が向上する、等があげられた。短所はコンポスト、乾燥汚泥とともに取り扱い性が悪い、臭気が気になる、等の回答を得られた。

3.4 コンポストの副資材の利用実態

下水汚泥のコンポスト化は下水汚泥を好気的に発酵させるものであるが、下水汚泥単独では発酵しにくいことが多い。これは、下水汚泥は含水率が高い、粘着性のために空隙が少なく酸素が供給されずに好気的にならない、等のためである。したがって、実際のコンポスト化では、含水率の調整、空隙の確保、あるいは肥効成分の向上等のために下水汚泥に副資材を混合させる場合がある。今回のアンケートでは、それら副資材の価格等についてもアンケートを行った。

コンポスト施設 23箇所のうち、副資材を添加している箇所は 10 箇所、添加していない箇所は 13 箇所であった。副資材の種類、量、及びその価格を表-6 に示す。添加されることが多いのはみがら、おがくずであった。入手価格は平均で年間 550 万円、最高では年間 1,700 万円となった。コンポスト生産量あたりの入手価格を計算すると、平均でおよそ 7,200 万円/t となった。生産量あたりの運転経費と比較すると副資材の価格はかなり小さく抑えられていると言える。

4. おわりに

下水汚泥のリサイクルを考える上で、緑農地利用は外すことができない。しかし、下水汚泥の

緑農地利用にあたっては、下水汚泥中の重金属に関して利用者に根強い不安感が残っている。今回の調査では、その不安とは反対に緑農地利用されている下水汚泥製品中の重金属濃度は規制値をほぼクリアしており、安全性に関しては特に問題が無く、品質管理がきちんとなされていることが伺える。

しかし、規制値を満たしていることに満足せず、更に品質の向上を目指しモニタリングしていく必要があるのは言うまでもない。今回の肥料取締法改正では、下水汚泥が特殊肥料から普通肥料に格上げになったという気持ちで臨み、今後も下水汚泥の緑農地を推進していきたいと考えている。

最後に、本調査にご協力頂いた地方公共団体の方々に謝意を表す。

参考文献

- 建設省都市局下水道部監修：平成 12 年度 日本の下水道 その現状と課題, 2000 年
- (社)日本下水道協会：下水汚泥コンポスト施設便覧, 2001 年
- (財)下水道新技術推進機：下水汚泥コンポスト化施設 計画・設計マニュアル, 1998 年
- 例えば、日本下水道協：下水道施設改築・修繕マニュアル(案), 1991 年

斎野秀幸*



国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室研究官
Hideyuki SAINO