

高島浄化センターコンポスト化事業 —下水道リサイクル肥料が目指す地産地消—

榎田 祐介¹・手塚 聡²

^{1,2}滋賀県 琵琶湖環境部 下水道課 (〒520-8577滋賀県大津市京町四丁目1番1号)

下水汚泥のコンポスト化は、汚泥処理にかかるコストを縮減しつつ、CO2削減、資源循環、地産地消を実現する手法の一つである。一方、コンポスト化を事業として成功に導くには、下水汚泥への忌避感の払拭をはじめとして、製造した肥料が地域に受け入れられ活用される必要がある。本報告では、これらを実現するための事業スキームの具体手法や、製造した肥料の利活用推進に係る普及啓発活動に至る事業の全体像を、肥料の効果や安全性に関する定量的分析結果を交えて報告する。

キーワード 下水道, 下水汚泥, バイオマス, 汚泥発酵肥料, 地産地消, 資源循環, 連携構築

1. はじめに

下水処理場(浄化センター)では、汚水を物理的沈殿、微生物による生物的分解、化学的凝集等の作用により、汚水に含まれる有機物等を取り除き、きれいな水にして琵琶湖に放流している。この過程で汚水に含まれる固形物や汚れを食べて増殖した微生物が沈殿したものが「下水汚泥(以下、「汚泥」という)」であり、琵琶湖流域下水道として滋賀県が所管する湖南中部、湖西、東北部、高島の4つの浄化センター(図-1)で発生する汚泥量は、年間12万トンに達し、この処理には多大のコストが投じられている。

汚泥に含まれる有機分をバイオマスとしてとらえて、燃料や肥料として有効利用することが求められており、平成27年度下水道法改正により汚泥の有効利用が努力義務として明文化されたところである。

当県における令和2年度末時点における汚泥の有効利用率はわずか20%であり、全国で最低レベルとなっている。汚泥の大部分を焼却したのち焼却灰を埋め立て処分しているのが現状である。

そのため、有効利用率の向上を目指して、湖西浄化センターでは平成27年度より汚泥を蒸し焼きにして炭化し、固形燃料として売却する「汚泥燃料化事業」を開始したのを皮切りに、平成31年度には湖南中部浄化センターにおいて、県内下水処理場としては初めてとなる、汚泥をメタン発酵してメタンガスを取り出す「嫌気性消化」の導入を決める(令和8年度供用予定)など、汚泥の有効利用の推進を図っている。

今般、高島浄化センターにおいても、従来の産廃処分から転換し、場内に汚泥処理施設を新設して処理を自ら

行うこととし、処理方式として、汚泥を好気性発酵により分解安定化して肥料を製造・販売する「コンポスト化」を県内下水処理場として初導入することとなった。

本稿では、このコンポスト化施設の設計・建設・維持管理運営、および肥料の利活用までをDBO方式により一体で実施する「高島浄化センターコンポスト化事業」について述べるとともに、施設の供用開始に先駆けて実施している肥料の利用促進のための普及啓発活動について報告する。

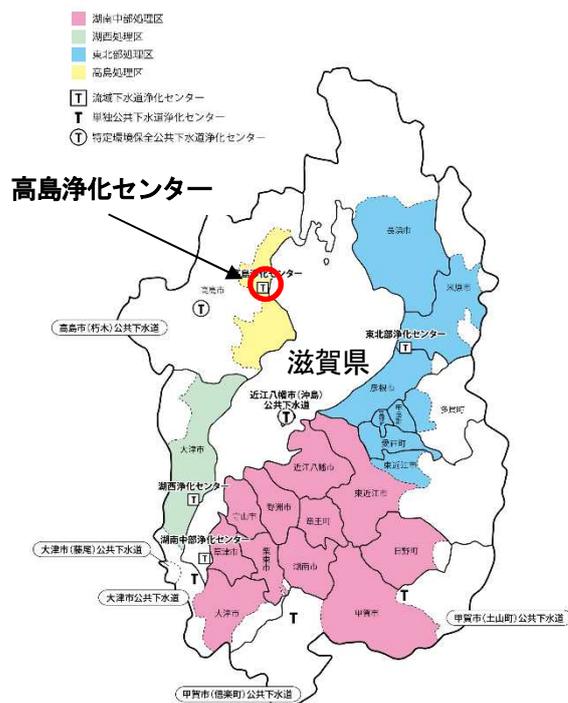


図-1 琵琶湖流域下水道処理区域図

2. 高島浄化センターにおける汚泥処理方式の選定

高島浄化センターは、滋賀県北西部の高島地域をカバーする下水処理場であり、規模としては4つの浄化センターのうちで最も小さいものの、1日あたり約10トン、年間約4千トンの汚泥が発生している(表-1)。汚泥の処分方法として、平成9年度の浄化センター供用開始以来、県外へ産廃処分を行ってきたが、平成29年度に処分単価が前年度比で約1.6倍に高騰したことから新たな処分方式を検討する必要が生じた。

処分費が高騰した状況では処分が継続できないため、平成30年度より隣接処理区の湖西浄化センターの汚泥燃料化施設へ5年間の暫定措置として搬出し、その間に産廃処分に代わる新たな汚泥処理方法を模索することとなった。

当県では、知事の附属機関として「滋賀県下水道審議会」を組織して、下水道事業に係る重要事項について調査審議することとしており、高島浄化センターの次期汚泥処理方式の基本方針について、平成31年2月に知事より審議会会長に諮問された。

審議会において、複数の処理方式を比較検討し、処理の安定性や環境への配慮、汚泥の有効利用、ライフサイクルコストといった複数の評価視点から総合的な審議を行った結果、「コンポスト化」が適当であるとして、令和2年2月に知事に答申いただいた。

さらに、答申には「コンポスト製品の安全性や有効性を担保するとともに、浄化センターが高島地域の循環と共生の一端を担う重要性を鑑み、地域住民と連携して地産地消による資源循環を構築すること。」という一文が添えられていた。これが本事業に特徴的な部分であり、この取り組みについては特に後半に記載する。

3. 下水汚泥コンポスト化とは

有機物が微生物の働きによって分解することを発酵と言い、好氣的発酵を利用して有機物を植物が利用しやすい形に分解・安定化させる工程をコンポスト化(堆肥化

とも言う)と呼んでいる。

このうち、下水汚泥を原料としてコンポスト化により製造した肥料は、肥料の品質の確保等に関する法律(以下、肥料品質確保法という。)により所定の基準をクリアし肥料登録することで「汚泥発酵肥料」に分類される。

本事業は、下水汚泥を“コンポスト化”し、“汚泥発酵肥料”を製造して、“下水道リサイクル肥料”として販売するものである。

汚泥は成分のおよび量的に肥料原料としての価値が高く、そこから生産された肥料は安定した純国産肥料として、地域にとって自給できる貴重な資源であるとされる。

汚泥を原料とした汚泥発酵肥料の特徴として、表-2に示すとおり3大肥料成分(窒素N、リンP、加里K)のうち、窒素、リンが豊富に含まれ、有機質肥料として利用できることや、製造時の発酵熱によって有害な微生物・寄生虫・種子等が死滅・不活性化するとともに、汚泥特有の臭気が減少することなどがあげられる。

本事業では、肥料を浄化センターでの受け渡しによる販売とすることで、流通コストがかからず非常に安価に販売できることから、利用者の肥料代の縮減にもつながり、昨今の化学肥料価格の高騰にあって、代替肥料として使用可能な、価値の高い肥料と考えている。また、図-2のとおり、CO2削減効果としても他の汚泥処理方式よりも優れている。

なお、全国で発生する下水汚泥の約15%が肥料原料として活用されており、自治体が運営する下水汚泥コンポスト化施設も全国に30か所程度が存在する。

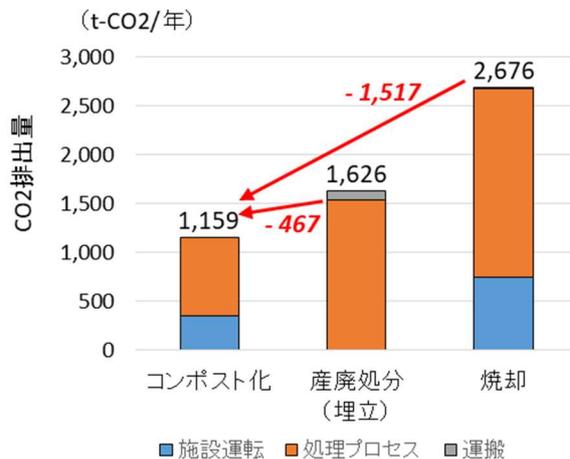


図-2 汚泥処理方式によるCO2排出量

表-1 高島浄化センター概要 (令和2年度末時点)

項目	内容
位置	高島市今津町今津 および新旭町糺庭地先
処理場面積	約 7.5ha
処理区域面積	2,052.9 ha
処理対象人口	40,953 人
下水排除方式	分流式
処理方法	1~2号池 凝集剤添加循環式硝化脱窒法 + 急速ろ過法
	3~5号池 凝集剤添加ステップ流入式 多段硝化脱窒法 + 急速ろ過法
処理水量(日最大)	16,400 m ³ /日
流入水量(日平均)	14,072 m ³ /日
発生汚泥量(脱水ケーキ)	10.3 t/日

表-2 有機質肥料・堆肥の特徴

項目	下水汚泥肥料	牛糞堆肥	鶏ふん堆肥	生ごみ堆肥	パーク堆肥
C/N比	5~8	17~25	5~8	8~12	30~60
養分含有量(現物%)	大 N: 4~6 P: 4~6 K: <0.5	小 N: 1~2 P: 1~2 K: 1~2	大 N: 4~6 P: 4~6 K: 2~3	中 N: 2~3 P: 1~2 K: 2~3	小 N: 1~2 P: 0.5~2 K: 0.5
土壌改良効果	小	大	小	中	大
備考	各種微量元素を豊富に含む	牛種や飼料の種類で異なる	臭気が大病原菌懸念	塩分、異物混入の可能性	発酵促進剤(汚泥堆肥等)を添加

4. 官民連携による事業スキーム

汚泥処理施設では、大量の汚泥を安定的に処理するため、施設運転の信頼性に加え、処理の結果生じる製造物を長期間安定して捌いていくことが求められるが、下水道管理者に肥料の販売ノウハウはなく、販売先の安定的確保に苦慮することは明白である。

一方、コンポスト化技術を有する事業者は、自ら製造した肥料の性状を熟知し、利活用や販売にかかるノウハウを保有していることから、肥料の利活用の観点から長期的な運営体制を確保することが事業の安定実施につながるとして、これに適した事業スキームを選定した。

本事業では、図-3に示すように、設計・建設・維持管理・利活用を一体で事業化し、民間の技術やノウハウを活用することができる官民連携手法（PPP/PFI方式）により実施することとした。製造したコンポストは全量を事業者が買い取り、有効利用を行うことを義務付けることで、事業者の肥料利活用のノウハウを活かすとともに、県は肥料販売に伴うリスクを回避できるメリットがある。

PPP/PFI手法の選定については、PFI方式やDBO方式があるが、調達コストが比較的安く、入札手続きに要する期間も短いDBO方式を採用することとし、維持管理期間を20年間として、総事業費約28億円を見込み、「高島浄化センターコンポスト化事業」が始動した。

PFI法の手続きに準じて、実施方針の策定などの手順を踏み、令和4年3月に事業者を特定したところである。今後、設計・建設を経て令和5年度の施設供用・肥料販売開始を目指している。

県の役割としては、事業者のモニタリングにより適正な施設運転を監視するとともに、肥料が地域で有効利用されるよう必要な支援を行っていくことである。

5. マイナスイメージと忌避感

当県で初めての汚泥発酵肥料の製造であり、いかに事業者ノウハウがあろうと、いきなり「どうぞ使ってください」と言って受け入れられるものではない。

汚泥発酵肥料には「下水」「汚泥」からくる臭い・

汚いといったマイナスイメージや、汚泥に含まれる重金属への忌避感があるということが、他自治体の先事例等から認識しており、その克服には相当の努力が必要なことは覚悟していた。

汚水には重金属（ヒ素、カドミウム等）が含まれる可能性があり、これらは汚水処理の過程で汚泥に移行する。そのため、肥料品質確保法で汚泥発酵肥料における重金属の含有量が公定規格として定められている。

この基準をクリアしたものが一般に流通しているが、農地にわずかでも重金属が含まれている可能性のある汚泥発酵肥料を投入することを忌避するものと思われた。

6. コンポスト利用推進に向けて

このようなマイナスイメージや忌避感等から、コンポスト利用に係る課題を把握し、今後の普及啓発の方針について議論するため、令和2年1月に県・市の農政関係者や農業団体を交えた「下水汚泥肥料の利活用検討に関する意見交換会」を行った（図-4）。意見交換会には、国土交通省の下水道エネルギー拠点化コンシェルジュ派遣事業により、専門家の派遣をいただき他府県先事例の紹介や意見交換におけるアドバイス等を頂戴した。

意見交換会では、農政関係者から、下水道リサイクル肥料で生産された農産物へのイメージ低下や、原料の汚泥に含まれる重金属の影響への懸念が示された。一方、利活用を円滑に進めるために必要な取り組みとして、利用者が自ら安全性や肥料効果等を確認して使用を判断できるように必要な試験・実験を行って関連データを整理し公表することや、計画的な普及啓発活動により地域住民



図- 4 意見交換会（右：佐賀市の汚泥発酵肥料で育ったトマトの試食）



図- 3 コンポスト化事業イメージ

に肥料が受け入れられるよう入念な準備を行っていくこと、利用先を農地だけでなく、公園等の緑地も含めて様々な利用先の開拓が重要であることが認識された。

そこで、試験的に汚泥を原料とした肥料を製造して安全性や肥料の成分を確認したうえで、試験圃場や協力農家において試験肥料を利用した栽培試験等を行い、肥料効果や栽培された農作物の安全性を確認するとともに、その結果をもとに普及啓発を進めていくこととした。また、継続的な取り組みとするため「高島浄化センターコンポスト利活用推進計画」を策定し、効果的な利用促進と普及啓発活動を推進していくものとした。

以降はこの取り組みについて紹介する。

7. 栽培試験の実施

(1) 汚泥を原料とした肥料の試験製造

令和元年度に、(一財)日本土壌協会にて約100kgの試験肥料を委託製造し、成分分析等を実施した。その結果、窒素、リンを中心とした肥料成分を含み、重金属の含有量は公定規格よりも十分低いことが確認された。また、植物の発芽、生育状況、異常状況(枯死など)を確認する植害試験で異常は見られなかった。

この結果を受けて、令和2年度には、さらに約5トンの試験肥料を製造し、継続的な栽培試験や普及啓発活動を実施していくこととした。製造した試験肥料の成分分析結果を表-3に示す。前述の汚泥発酵肥料の特徴のとおり、窒素、リンを有効な成分として含んでおり、重金属含有量は公定規格内であった。植害試験(図-5)もクリアし、肥料として登録可能な水準を有することが示された。令和3年12月に肥料登録が完了(登録番号:生第106973号)しており、通常の肥料と同等に利用可能となった。

また、大腸菌などの有害微生物は検出されず、汚泥特有の臭いもほとんどなく、製造工程において適切な発酵

が行われたことが確認できた。

この結果から、高島浄化センターで製造される汚泥発酵肥料は、肥料として有効な成分を含んでいるとともに、重金属含有量は公定規格を大幅に下回っており安全であることが確認された。

(2) 試験圃場における栽培試験

栽培試験は、試験肥料によって様々な農作物を栽培し、化学肥料など他の肥料で育てたものと比較することで、肥料の効果や安全性を確認する試験である。なお、試験にあたっては、農政担当部局へ事前相談を行いながら計画を行った。

試験フィールドとして、県農業技術振興センターへ試験委託が可能か照会したが、空きがないとのことであった。そこで、栽培試験用地として、また継続的な普及啓発フィールドとしての活用も見込んで、高島浄化センター内に試験圃場(ほじょう)を整備することが効果的と判断し、約400m²を造成した(圃場A)。

令和2年度の秋からコマツナの栽培試験を開始した。翌令和3年度には、カボチャ、エダマメ、カブを栽培した(図-6)。

試験概要としては、①下水道リサイクル肥料、②他自治体の下水汚泥肥料、③鶏糞肥料、④化学肥料の4試験区を設け、あらかじめ実施した土壌診断の結果により、肥料成分が同一になるよう各肥料を調整し、施肥した。追肥はしなかった。

収穫物した農作物は、大きさや重さ等を計測ののち、一部を成分分析のため分析業者へ引き渡し、残りを食味試験(食べ比べ)に供した。

成分分析は、糖度や味成分等を計測するとともに、重金属等の含有量も計測した。結果を表-4に示す。

簡単にまとめると、下水道リサイクル肥料は他の肥料に比べると以下のとおりであった。

コマツナにおいては収量が劣ったが、食味で優っていた。

カボチャにおいては収量で同等で、食味で若干劣っ

表-3 試験肥料分析結果

(上:肥料成分、下:重金属含有量)

検体名	窒素(N)	リン酸(P2O5)	加里(K2O)	C/N比
試験肥料(R2年度)	3%	4%	1%	7.5

項目	単位mg/kg					
	ヒ素	カドミウム	水銀	ニッケル	クロム	鉛
試験肥料(R2年度)	4	1未満	0.13	10	9	8
判定	OK	OK	OK	OK	OK	OK
公定規格(肥料取締法)	50	5	2	300	500	100

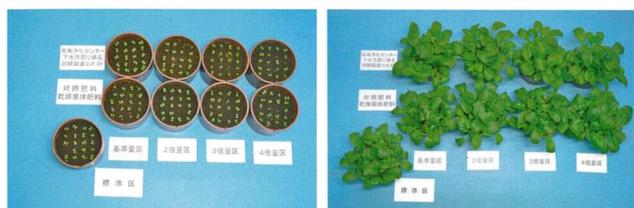


図-5 植害試験(左:発芽状態、右:生育状態)



図-6 カボチャ栽培状況(新聞社取材時)

ていた。

エダマメは天候不順により全試験区で不作となり、一部の分析(重金属含有量のみ)しかできなかった。

また、重金属等の作物への移行に有意な差は認められなかった。

わずかな栽培サンプルで評価を下すことは難しいが、少なくとも他の肥料と変わりなく使えることが確認されたと考えている。

栽培試験は、肥料製造者として品質確認の観点から事業期間に渡って実施していく必要があると考えており、引き続き様々な作物を栽培し、下水道リサイクル肥料の効果的な使い方の提案に繋げていきたいと考えている。

なお、栽培試験における農作業等については委託をしているが、職員も積極的に作業に関与することで、職員自身の下水道リサイクル肥料への理解を深め、普及啓発への意識を高められるよう努めた。

表- 4 収穫物分析結果

コマツナ	葉長平均 (cm)	重量平均 (g)	総ビタミンC (mg/100g)	1位 4位 を着色した。		食味試験 評価順位
				旨味成分 (mg/100g)	糖度	
①高島肥料	17.0	15.1	64	29	4.3	1
②他処理場	17.9	19.2	57	19	3.9	4
③鶏糞堆肥	22.0	26.5	53	19	4.4	2
④化学肥料	21.2	21.9	41	15	3	3

カボチャ	実の直径 (cm)	重量平均 (g)	総ビタミンC (mg/100g)	旨味成分 (mg/100g)	糖度	食味試験 評価順位
②他処理場	19.4	2,090	18	11	9.9	2
③鶏糞堆肥	19.3	2,115	14	17	8.5	3
④化学肥料	18.9	1,973	17	19	10.2	1



図- 7 チラシ(コンポストレポート Vol.5)

例えば、試験作物の種まきや、収穫などのタイミングで職員の参加を募り、イベント的に農作業を行うことで体験を共有した。記念撮影やチラシの作成(図-7)により、参加者の体験をカタチに残し、それを見た人への波及効果を狙った。

(3) 協力農家における試験利用

試験圃場での栽培試験の他に、普段から農業をしている方(圃場B、C)に実際に肥料を使っただき、栽培モニタリングを実施するとともに、使用感等の感想をヒアリングした。

試験肥料であることから、収穫物の出荷・販売はできないとの条件で試験に協力していただき、使用前後の土壌診断や収穫物分析を行った。

協力農家の感想としては、圃場B、Cともに「普段使っている肥料と同じように育った。」とのことであった。圃場Cでは「肥料が粉体のため風で飛散しやすい、粒状・ペレットの方が使いやすい」とのアドバイスを頂戴した。

圃場Cでは、20年近く化学肥料を使用しない農業を継続されており、下水道リサイクル肥料の資源循環の考えに賛同いただき、引き続きの利用を希望されている。

8. 普及啓発活動の推進

答申の文言にある、地域住民と連携して地産地消による資源循環を構築するためには、計画的に普及啓発活動を進めていく必要がある。

(1) 連携体制の構築

全国的なネットワークとして「BISTRO下水道」がある。国交省、(公社)日本下水道協会、下水道広報プラットフォームが推進する取り組みで、下水道から出た資源(肥料等)を利用して食材を生産し、循環型社会の構築に寄与しながら、安全でおいしい食材を作る手法として注目されている。

当県では、計画の当初よりBISTRO下水道の取り組みを参考にしつつ、令和3年1月に開催された第15回BISTRO下水道推進戦略チーム会合において当県の取り組みを紹介するとともに、全国の先進自治体と意見交換を実施した。

また、庁内部局横断の取り組みとしては、「6. コンポスト利用推進に向けて」記載のとおり、農政関係者を中心に連携体制の構築に努めてきた。令和2年度から、これまで3回の勉強会や意見交換会を開催し、学識経験者や専門家、協力農家を交えて、栽培試験結果等を共有し、意見を頂きながら進めている。

(2) 協力者の開拓

下水道リサイクル肥料の安全性が確認されたことから、利用先開拓として高島市内およびその周辺地域にお

いて、様々な機関、団体、企業等に下水道リサイクル肥料の利用が可能かヒアリングを行った。ヒアリング結果として試験協力者リストを表-5に示す。

公園等においては、指定管理者にアプローチして花壇などでの利用が出来ないか売り込みを実施し、現在3か所の公園等で使用していただいている。現場で花壇を世話している方から高評価で「これまで花が咲きにくかったところにも花が良く咲いた」「お客さんにもきれい咲いていると言われた」などのお言葉を頂いている。

また、会社としてもSDGsへの取り組みを求められている中で、下水道リサイクル肥料の利用は資源循環としてPRしやすい、との感想をいただいたところである。県としても、写真のような看板(図-8)を製作し、現地に掲示して来場者への普及啓発を図っている。この看板をご覧になった農業者から問い合わせがあったり、SNSに掲載されたりと、概ね好評である。

(3) 広報展開

内外へのPRとして、県ホームページでの紹介ページの作成のほか、様々な機会をとらえて認知度向上を図っている。

特に積極的な新聞社等への資料提供、取材対応を心掛けて、時機を逸しないようアンテナを張っている。

今後はSNS等を活用した効果的なPR方法についても検討が必要と考えている。

表- 5 緑地利用の試験協力者

No	利用先	利用目的
1	近江富士花緑公園	花壇
2	地球市民の森	樹木
3	びわ湖こどもの国	花壇
4	湖西浄化センターバラ園	花壇
5	道の駅あいとうマーガレットステーション	花壇
6	箱館山	花壇
7	ラコリーナ	樹木
8	高島市内小学校(7校)	花壇



図- 8 肥料を使用した花壇と看板(こどもの国)

9. 今後の課題

課題として、特に以下の2点を認識している。

1点目は、今後、このような取り組みを事業期間を通じて継続していくために、職員以外のキーマンとなるべき人物を発掘していく必要がある。現時点でも熱意のある協力者が複数おられるが、今後の事業開始に向けて引き続き関係を保つことが重要である。

もう1点は、肥料中に存在する重金属等の問題である。法律上の公定規格を満足しているものであるが、土壌への蓄積などの影響を懸念する声もある。一般的な肥料と同様に、適正な使用量や土壌改良材との併用など、効果的な使い方や留意点について分かりやすく整理していく。他自治体における先行事例で重金属の土壌への蓄積は確認されないとするモニタリング結果が公表されているが、当県においても継続的に調査していく予定である。

10. まとめ

以上が現状の取り組みである。

下水道リサイクル肥料は肥料として有効な成分を含んでおり、重金属の安全性に問題は無いことが確認され、化学肥料と比べても遜色なく育つことが分かった。

ただし、肥料の効果は、土壌の状態(組成、含有成分)や作物によって異なることから、試験圃場や協力農家におけるデータ蓄積に加えて、実際の使用者の感想などもしっかりとモニタリングしていくことが重要と考える。

令和3年度末に事業者が決定することから、事業者と連携した取り組みも重要であり、県としての知見をしっかりと共有し、事業者が有するノウハウと合わせて効果的な普及啓発を推進していく。県としては、肥料の安全性への説明責任を果たすため、引き続き栽培試験等を実施していく必要があると考えている。

下水道は私たちの生活に無くてはならないインフラであるが、住民とのつながりは希薄で、関心を向けられないものであった。今回、汚泥という埋もれた資源を肥料として有効利用することをきっかけに、地産地消や資源循環といったキーワードによって地域とのつながりが出来ていくことに、今後のさらなる展開に大きな期待感を寄せているところである。

謝辞: 本稿に示した成果においては、(公財)淡海環境保全財団の皆様の精力的な活動によるご協力に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) (公財)日本下水道新技術機構:下水道由来肥料の利活用マニュアル(2019年)