

令和 3 年 8 月 26 日現在

機関番号：82114

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K14550

研究課題名（和文）ミミズと刈草を活用した汚泥堆肥化技術の開発

研究課題名（英文）Development of vermicomposting technology using sewage sludge and grass clippings

研究代表者

山崎 廉予（Yamasaki, Yukiyo）

国立研究開発法人土木研究所・土木研究所（先端材料資源研究センター）・研究員

研究者番号：10647382

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ミミズ・汚泥・刈草すべてを活用した、汚泥処理技術の開発を目的とした。

汚泥の水分を排水できるシステムとした場合、脱水汚泥でなくても、ミミズの飼育が可能であった。下水処理場の最初沈殿池濃縮汚泥を餌としたミミズ飼育では、汚泥の減容化が達成できる可能性が高く、余剰汚泥、消化汚泥では、汚泥投入量や混合方法等を工夫することで、堆肥化の可能性がみられた。混合方法は、重層混合や刈草混合により、ミミズの生存率を上昇させられることが示された。以上より、下水汚泥や地域バイオマスである刈草を活用したミミズの飼育、堆肥化は可能であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

下水処理場における汚泥の発生量削減や有効利用方法の開発、河川堤防等の刈草等の活用は、省コスト化や、資源活用の点で、常に課題である。本研究では、ミミズを用いた下水汚泥の堆肥化による、低エネルギーかつ低コストな下水汚泥利用技術の開発を目指した。

本研究において、脱水前の下水汚泥を、ミミズ飼育に活用できることを示し、脱水にかかるエネルギー削減の可能性を示した。汚泥の種類毎のミミズ飼育方法の一案を示し、汚泥の処分にかかるエネルギーの削減または有効利用につながる可能性を示した。また、刈草の活用が、堆肥化、ミミズの成長の安定化に有用な可能性を示し、未利用のバイオマスの活用の可能性を示すことができた。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research was to develop a sludge treatment technology that utilizes earthworms, sludge, and mowing.

When the system drained water from the sludge, earthworms were able to reproduce in the sludge before dehydration. When primary sludge generated at the wastewater treatment plant was used as food, earthworms were able to breed, laying large number of eggs. When excess or digested sludge was used as food, earthworms were propagated by adjusting the sludge input amount or using the mixing method. Layer and mowing mixing increased the viability of earthworms. The results of this study showed that earthworms can be propagated and composted using the regional biomass of sewage sludge or grass clippings.

研究分野：環境工学

キーワード：汚泥堆肥化 貧毛類 下水汚泥 刈草

### 1. 研究開始当初の背景

下水処理場では、汚泥の発生量の削減のため、濃縮・消化・脱水・焼却などのプロセスが採用されている。脱水プロセスにおいては、様々な脱水機の機種が開発されているが、電力消費量が多いことが問題である。また、脱水効率を高めるために薬品を添加するが、コストが高いことや、薬品が添加されることで、その後の処理物が有効利用しにくいことが問題である。消化プロセスは、有機物の分解をさらに進めることで、汚泥量を減らす目的があるが、分解率が50%程度であり、スケールメリットが発現しにくいなどの理由により、小規模の下水処理場での採用は多くない。様々な手法で汚泥量を減らす技術が開発されているが、少なからず課題も残っている。

このように、汚泥処理技術は様々な手法で開発検討がなされているが、汚泥処理技術の飛躍的な革新のためには、今までと視点を変えた、安価で簡易的な手法を開発する必要がある。

汚泥処理技術と並行して、下水汚泥の有効利用技術の開発も盛んに行われている。その一つに肥料化がある。下水汚泥は、植物の生存に欠かせない栄養塩を多く含むため、肥料としては有効な材料である。しかし、流入下水の水質によっては汚泥に有害な重金属が含有する恐れもあり、汚泥の有効利用方法の中で堆肥化は、30%程度の普及にとどまり、必ずしも全国的に進んでいるわけではない(平成26年度下水道統計)。さらに、肥料化の工程には、汚泥の乾燥も必須であり、多くのエネルギーを必要とする。

一方、河川事業においては、堤防や河川敷で刈り取られた草木や樹木を、農業や畜産業、またはエネルギー資源として有効活用する取組が推進されている。中でも刈草の堆肥化は技術がほぼ確立されており、刈草の有効利用方法としては代表的であるが、除草面積に対する利用割合では、約14%にとどまっている(財務省HP、平成26年度、直轄河川の堤防除草に係る経費)。

自然界に目を向けると、有機物や生物の枯死体、腐敗物等を分解する生物は多く存在しており、これらの生物の働きによって生態系が成り立っていることは周知の事実である。中でもミミズ(シマミミズ: *Eisenia fetida*)は土壌改良効果があることが一般常識レベルで知られており、家庭用の生ゴミ処理のためのミミズコンポストも開発・販売されている。数十年前には、ミミズを利用した食品工場排水処理汚泥の有効利用技術の企業化に成功しており、現在でも家畜ふん尿を利用したミミズコンポストなどが生産されている。

貧毛類を用いた汚泥処理に関する研究は、牛糞等の動物性廃棄物を用いた堆肥化に関する研究が多く行われている<sup>1)2)</sup>。貧毛類を用いない場合と比較して、堆肥化の安定化や成熟度が優れており、廃棄物中に存在する人間の病原菌やその他の細菌類は、ミミズ堆肥化後に大幅に減少する可能性がある<sup>3)</sup>。また、生ゴミや処理場の脱水汚泥を用いたミミズ堆肥の研究の報告もいくつかあり<sup>4)5)</sup>、国内外において数十年前から知見が蓄積されているが、生物の管理の難しさや、生物濃縮の懸念などの問題から、広く普及するには至っていないのが現状である。

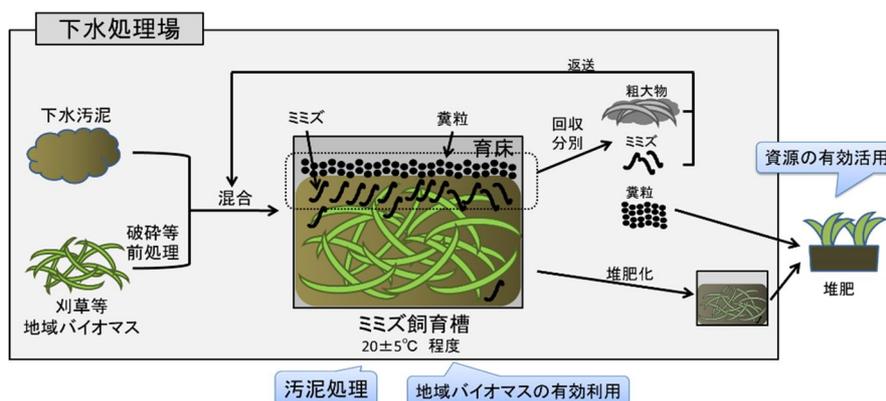


図 本研究で開発するシステムの概念図

## 2. 研究の目的

下水道と河川、それぞれの分野において、污泥、刈草等廃棄物の処理技術の開発、検討が行われている。また、ミミズを活用した廃棄物処理技術が近年、再度着目されてきている。これらに共通するキーワードは“堆肥化”である。

そこで本研究では、ミミズ・污泥・刈草すべてを活用した、污泥処理技術および、これらの資源の有効活用システムの開発を目的とする。ミミズに、下水污泥と刈草の混合物を餌として与え、排泄物(糞粒)を得る(ミミズコンポスト)とともに、下水污泥と刈草の混合による堆肥化を同時に行う方法について、開発を行う。

## 3. 研究の方法

ミミズは、ツリミミズ科のシマミミズ(*Eisenia foetida*)を用いた。約 300g ~ 500g の土中でミミズ 5 ~ 10 匹を飼育し、土の性状やミミズの成長過程を観察した。飼育容器は、1000mL 容の PP 製びんを加工し、下部に直径約 5 mm の穴を 20 箇所程度あけ、ろ液を排出できるシステムとした。

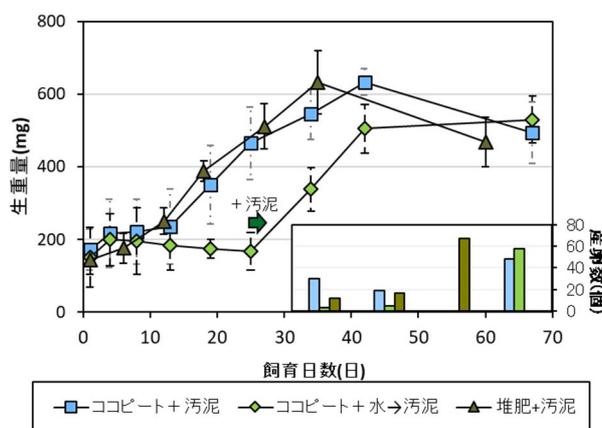
飼育の土は、ココピート、本研究室で事前に作製したミミズ堆肥、A 下水処理場の最初沈殿池の重力濃縮污泥(以下、「初沈污泥」)、余剰污泥の機械濃縮污泥(以下、「余剰污泥」)または消化污泥、刈草の破砕物を適宜混合して用いた。刈草は、研究所内で刈取り、乾燥後、粉碎して用いた。

人工気象器内において、25°C、暗所で約 2 週間 ~ 2 カ月間飼育を行った。この間、定期的に、水または污泥の追加を行い、適宜、土の含水率、pH、EC の測定、根長測定方法による堆肥の腐熟度判定<sup>6)</sup>を行った。ミミズは、定期的に取り出し、個々の生重量、産卵数を測定した。

## 4. 研究成果

### (1) 最初沈殿池污泥を用いたミミズの飼育実験<sup>7)</sup>

ココピートに、初沈污泥または水を添加した系(系列 1、2)、事前に作製したミミズ堆肥に初沈污泥を添加した系(系列 3)の 3 系列におけるミミズの飼育結果を図-1 に示す。初沈污泥は脱水せずに添加したため、土の含水率が 80% 以上と高いが、系列 1、3 で、安定したミミズの成長がみられた。40 日以降に初沈污泥の追加量を増やすと、成長がみられなくなったため、初沈污泥の添加量は調整が必要であると考えられた。系列 2 では、25 日以降に初沈污泥の添加に変更した後、成長がみられたことから、初沈污泥がミミズの餌として有用であることが示された。産卵数は、系列 1 ~ 3 で同程度であった。しかし含水率は、ココピートを用いた系列 1、2 で上昇傾向を示したため、含水率の安定の観点からは、堆肥と污泥の混合の方がよいことが示された。



(a) 生重量と産卵数 (b) 土の含水率と追加量

図-1 シマミミズの飼育結果

### (2) 污泥種類の違いによる貧毛類飼育比較実験

初沈污泥、余剰污泥および消化污泥を餌とした、ミミズの成長比較実験を行った。各実験ケースにおける、土の含水率、pH、EC の変化およびミミズの産卵数、生重量増加率を表-1 に示す。污泥投入量、含水率は、2 週間毎の平均値を示している。

ミミズの生重量は、初沈污泥では投入量に関わらず増加傾向を示したが、余剰污泥や消化污泥では、投入量で差がみられ、消化污泥では、終了時に死滅した。含水率は、污泥を添加後 84 ~ 92% まで上昇したが、2 週間後は、いずれも 79 ~ 87% に低下した。生重量増加率は、污泥添加後および 2 週間後の含水率と高い相関を示しており、本研究の範囲では、含水率が高いほど生重量増加率が高い傾向を示した。産卵数は、初沈污泥において他の污泥よりも多く、初沈污泥がミミズの飼育に適していることが示された。余剰污泥においては、污泥投入量が異なる I 系と II 系で

産卵数に大きな差がみられた。産卵数は pH とやや相関がある傾向を示しており、I 系では pH が低いことが、産卵数が低い原因と想定された。消化汚泥では、ミミズの成長が終了時直前までみられたが、産卵はほぼみられなかった。初沈汚泥の系において、実験終了時の EC を比較すると、ミミズを投入した I 系、II 系が III 系よりも高く、ミミズによる堆肥化がみられた。また、余剰汚泥では、汚泥の投入量が多い I 系では EC が高すぎて、測定できなかった。II 系では堆肥の EC として数値に問題なく、ミミズの生育も良好であったことから、余剰汚泥を用いたミミズ飼育においては、汚泥の減容化には不向きであるが、堆肥化には適している可能性が示唆された。消化汚泥では、ミミズの生重量の増加も一定期間みられていたため、汚泥投入量や混合方法等を工夫することで、ミミズによる持続的な汚泥減容化の可能性が考えられる。

表 1 各実験ケースにおけるミミズ飼育結果

	投入ミミズ(匹)	汚泥投入量(g)	含水率(%)		pH		EC(mS/cm)		産卵数(個)	生重量増加率*1
			汚泥添加後	2週間後	開始時	終了時	開始時	終了時		
初沈I	10	300	89	85	7.3	7.6	0.98	1.16	504	1.27
初沈II	10	200	87	84	4.6	5.9	0.96	1.52	401	1.37
初沈III	0	200	86	84	5.3	6.0	1.99	0.66	-	-
余剰I	10	120	87	81	7.1	4.9	>4	>4	10	0.87
余剰II	10	100	88	83	4.9	5.1	1.81	3.42	134	1.32
余剰III	0	100	83	81	5.5	4.1	1.78	1.97	-	-
消化I	10	150	92	87	6.3	5.7	3.22	1.23	3	(2.35)*2
消化II	10	100	87	79	4.7	3.9	0.92	0.15	2	(0.7)*2
消化III	0	100	84	82	5.4	3.5	2.7	1.75	-	-

\*1 終了時の生重量合計 / 開始時の生重量合計

\*2 終了時に死滅していたため、終了時前までの増加率

上記の結果より、初沈汚泥でのミミズ飼育において、ミミズの生育状況や産卵数が良好であり、汚泥の減容化が達成できる可能性が高いことが示された。余剰汚泥は、ミミズの餌とすることで、減容化は難しいが、汚泥の混合割合の調整によって、堆肥化が可能であることが示唆された。消化汚泥では、ミミズの生重量の増加も一定期間みられていたため、汚泥投入量や混合方法等を工夫することで、ミミズによる持続的な汚泥減容化の可能性が考えられた。

### (3)混合方法、刈草混合による貧毛類飼育比較実験<sup>8)</sup>

初沈汚泥、余剰汚泥および消化汚泥とミミズ堆肥を混合した場合、重層した場合、および地域バイオマスであるイネ科の刈草と余剰汚泥または消化汚泥を、ミミズ堆肥に重層した場合について、ミミズの飼育実験を行った結果を図-2、表-2 に示す。ミミズ堆肥に対するそれぞれの汚泥の混合割合は、TS 比で示している。

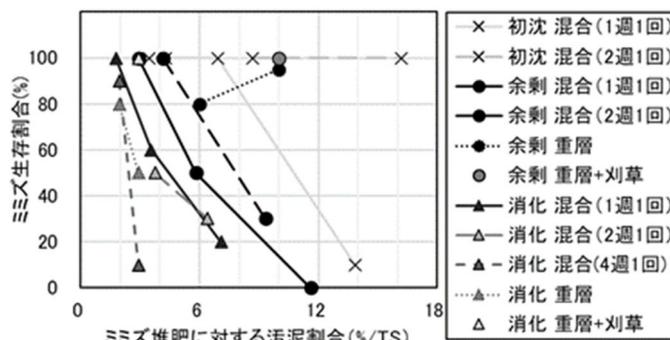


図-2 各条件におけるミミズの生存割合

表-2 ミミズ産卵数、堆肥の性状(一部)

条件	産卵数(個)	EC	pH	根長指数(%)
余剰 重層	18	0.67	6.95	110
余剰+刈草	37	0.80	7.89	111
消化 混合	0	0.61	6.97	106
消化 重層	6	0.75	6.91	122
消化+刈草	24	0.88	7.78	115

初沈混合では、混合頻度を減らすと、生存率が上昇した。2週間に1回の混合では、混合割合が16%でも100%の生存率であり、他の汚泥よりも多く混合できる結果であった。余剰では、混合頻度の減少、重層による混合、刈草の混合により、生存率が上昇した。消化では、汚泥割合3%

において、刈草の混合により、生存率が40%から100%に上昇した。これらの結果より、汚泥の混合頻度、混合量の調整によってミミズ飼育が可能であること、重層混合や刈草混合により、ミミズの生存率を上昇させられることが示された。

表-1より、刈草の混合により、pH、ECの上昇および産卵数の増加がみられた。根長指数は、いずれの条件においても、作物に安全な堆肥と判定できる100%を超えていた。

初沈汚泥、余剰汚泥、消化汚泥を餌として、ミミズの飼育を行った。脱水汚泥でなくても、汚泥の混合頻度、混合量の調整によってミミズ飼育が可能であること、重層混合や刈草混合により、ミミズの生存率を上昇させられることが示された。刈草の混合により、産卵数が増加することが示唆された。

上記の結果より、汚泥の混合頻度、混合量の調整によってミミズ飼育が可能であること、重層混合や刈草混合により、ミミズの生存率を上昇させられることが示された。また、刈草の混合により、産卵数が増加することが示唆された。

以上より、下水汚泥や地域バイオマスである刈草を活用したミミズの飼育、堆肥化は可能であることが示された。

#### <参考文献>

- 1) Elvira, C., Sampedro, L., Benitez, E., Nogales, R.: Vermicomposting of sludges from paper mill and dairy industries with *Eisenia andrei*: A pilot-scale study, *Bioresour. Technol.*, Vol.63, No.3, pp.205-211, 1998
- 2) Xie, D., Wu, W., Hao, X., Jiang, D., Li, X., Bai, L.: Vermicomposting of sludge from animal wastewater treatment plant mixed with cow dung or swine manure using *Eisenia fetida*. *Environ. Sci. Pollut. Res.* Vol.23, pp.7767-7775, 2016
- 3) Huang, K., Xia, H., Wu, Y., Chen, J., Cui, G., Li, F., Chen, Y., Wu, N.: Effects of earthworms on the fate of tetracycline and fluoroquinolone resistance genes of sewage sludge during vermicomposting. *Bioresour. Technol.* Vol.259, pp.32-39, 2018
- 4) 川下好則, 平木 纏, 松井 三郎:一般廃棄物を資源としてミミズに給餌するシステムの開発研究,環境技術, Vol.23, No.2, pp.92-94, 1994
- 5) 森忠洋, 岡田光正:シマミミズによる汚泥処理の可能性に関する研究(I), 水質汚濁研究, No.1, Vol.2, pp.127-132, 1978
- 6) 池田加江, 小山 太:家畜ふん堆肥の腐熟度判定における根長測定試験法と発芽インデックス法の精度比較, 福岡県農業総合試験場研究報告, 26, pp.75-78, 2007
- 7) 山崎廉予, 重村浩之: 貧毛類による下水汚泥処理技術の基礎的検討, 第53回日本水環境学会誌, p.258, 2019
- 8) 山崎廉予, 重村浩之:下水汚泥および刈草を用いたミミズ堆肥化技術の検討, 第55回日本水環境学会誌, p.359, 2021

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山崎廉予, 重村浩之
2. 発表標題 貧毛類による下水汚泥処理技術の基礎的検討
3. 学会等名 第53回日本水環境学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山崎廉予, 重村浩之
2. 発表標題 下水汚泥および刈草を用いたミミズ堆肥化技術の検討
3. 学会等名 第55回日本水環境学会年会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------