

◆ 下水道特集 ◆

下水汚泥と牛糞の融合コンポスト化法の開発

森田弘昭* 原田一郎** 斎野秀幸***

1. はじめに

平成 10 年度末現在、日本の下水道普及率は 58%と過半数に達し、全 3,230 市町村のうち 2,193 市町村で下水道事業が実施されている。下水道整備の進展に伴い下水処理過程で発生する汚泥量も年々増加している。平成 9 年度末現在、発生下水汚泥量は乾燥重量で 186 万トンに達しているが、下水汚泥の最終処分場は不足している。そのため、下水汚泥の有効利用を促進することが求められている。

平成 9 年度末現在、緑農地利用された下水汚泥は全発生量の 14%となっている。日本における緑農地利用の手法は、従来より脱水、乾燥またはコンポスト化された下水汚泥の肥料または土壌改良材としての利用であった。なかでも下水汚泥のコンポスト化は、病原体の不活化、製品の安定化並びに取り扱い性の改善の観点から一般に最も効果的な方法であり、コンポストは日本の下水汚泥の緑農地利用の 67%を占めている。

今後、中小都市における下水道の拡大につれ、日本では中小規模の下水処理場が急速に増加すると考えられるが、そこでは後背地に緑農地を抱えており下水汚泥を有機質資材として利用しやすいといえる。しかし、有機質肥料を使用している農家はよりよい製品を求めており、下水汚泥の緑農地利用を推進する上で品質の改良が必要である。

下水汚泥は適量の有機物、窒素及びリン分を含有している。加えて、易分解性有機物が十分に存在するため、下水汚泥のコンポスト化は活発かつすみやかに進行する。しかし、下水汚泥中には肥効成分であるカリウムが不十分である。対照的に、家畜廃棄物の牛糞は粗繊維分を含み、コンポスト過程は低温で緩慢であり、牛糞の窒素-炭素比 (C/N) は有機肥料の適正值よりも大きいという欠点を有するが、下水汚泥よりもカリウム分を多く含んでいる。したがって、下水汚泥と牛糞の

融合コンポスト化を行うことにより、有機物の分解が良好に進むとともに両者の有用な特徴が融合し製品の品質が向上すると考えられる。

2. 調査の目的

下水汚泥コンポストの品質を改良するため、牛糞の融合コンポストに関する調査を行った。まず、下水汚泥と牛糞の混合物のコンポスト化過程及び肥効成分の確認を目的に、ベンチスケールの発酵槽を用いたコンポスト化実験を行った。次に、下水汚泥と牛糞の融合コンポスト化の実用化を目指し、野積み方式を用いた大規模な実験を実施し必要なデータを得た。さらに、幼植物試験及び施用試験を行い融合コンポストの肥効を把握した。本論文では、これらのコンポスト化過程、コンポスト製品の肥効成分、幼植物試験及び施用試験の結果を報告する。

3. 調査概要

3.1 実験方法

それぞれの目的に応じて 5 年間にわたり 3 種類の実験を行ってきた。以下に、3 つ実験方法について説明する。

(1) 基礎発酵実験

実際の下水処理場で発生した消化乾燥汚泥及び無消化乾燥汚泥の双方を用いてベンチスケールのコンポスト化実験を行った (写真-1)。牛糞と下水汚泥の混合比は乾燥重量で 1 : 1、1 : 0.5、1 : 0.3 及び 1 : 0.1 に変化させた。混合物の初期含水率は予備実験の結果から約 60%に設定した。原料を直径 30cm 高さ 1m の円筒形の発酵槽に投入後、連続通気し 1~30 日ごとに切り返し 91 日間発酵させた。発酵物の性状及び成分を分析するとともに温度を連続計測した。

(2) 実用規模実験

実用規模実験は野積み方式で自走式の切り返し装置を用いて行った (写真-3)。この方法は、原料を積み上げ自然通気で時々切り返すという最も簡

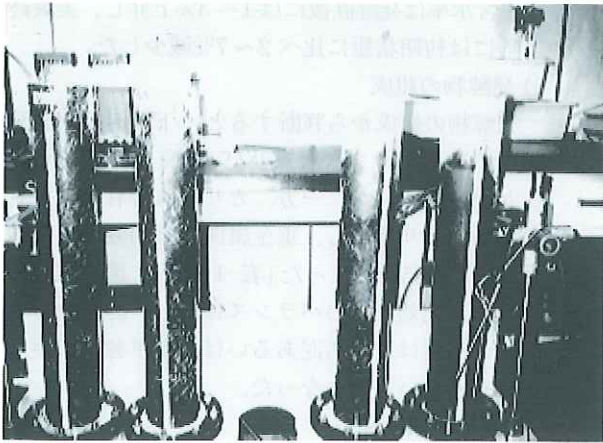


写真-1 基礎発酵実験

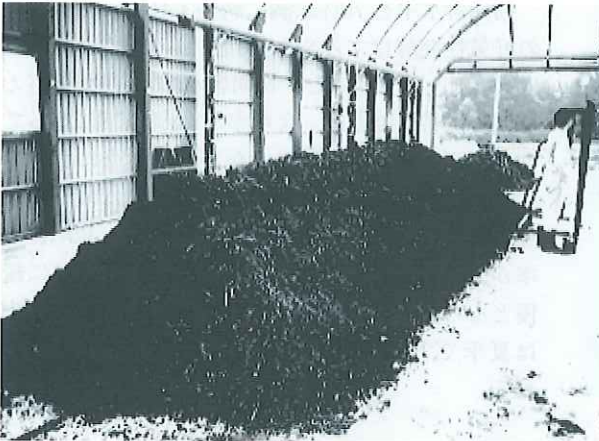


写真-2 実用規模実験



写真-3 切り返しの様子

易なコンポスト化方法であり、小規模の処理場に
適している。本実験では、パーク^{注1)}敷料^{注2)}の
乳牛糞及び麦桿^{注3)}敷料の肉牛糞を農家から入手
し、消化乾燥汚泥、下水汚泥コンポスト及び OD
法^{注4)}の無消化余剰脱水汚泥を用いた。原料は一

山あたり 10m³ 以上とし、牛糞と下水汚泥
の混合比は乾燥重量で 1 : 0.1~1 : 1 の間
に調整した。含水率及び原料の種類などの
初期条件をいくつか設定した。発酵期間は
40 日以上とし、夏季及び冬季の双方で行っ
た。発酵期間中温度を連続測定し、適宜発
酵物の性状及び組成を分析した。

(3) 幼植物試験および施用試験

基礎発酵実験の原料及び製品を用いて、
ノイバウエル幼植物試験を行い、発芽率及
び生体重を測定した。次に、下水汚泥と牛
糞の融合コンポストの施用試験を実施し
た。実用規模実験で得られたコンポストを
施用して、試験農場でキャベツ、てんさい
及び小豆を栽培した。牛糞と下水汚泥の混
合割合の異なる 2 種類の融合コンポストを
用い、施肥量をいくつか変化させた。収量
の増分、肥効成分の無機化率及び吸収率の
観点から、作物及び土壌を分析した。

3.2 結果および考察

一連の実験から、下水汚泥と牛糞の融合
コンポストにおける発酵過程及び肥効成分
に関する基礎的なデータが得られた。その
結果、実用化を前提とした自然通気の野積
み方式でも、下水汚泥と牛糞の融合コンポ
ストが製品の高品質化に有効な手法である
ことがわかった。また、最適なコンポスト
化条件及び融合コンポストの望ましい施用
量についてもこれらの実験に基づき検討で
きた。

(1) 基礎発酵実験

1) 温度

基礎発酵実験においては、混合物中の有
機物の安定した好気性発酵が観察された。
下水汚泥の混合割合が大きいくほど、最高
温度及び温度の上昇速度ともに増加した
(図-1 参照)。また、好気性発酵が進むにつ
れ混合物中の有機物量は減少した。これら
の結果により、下水汚泥は牛糞より生分解

注 1) パーク：木材の皮、おがくず等

注 2) 敷料：牛舎などに敷く排泄物の水分を吸収するためのわ
ら、おがくず等

注 3) 麦桿：麦わら

注 4) OD 法：楕円形など、無終端水路の活性汚泥の反応槽を有
する二次処理施設

性の高い有機物を多く含み、混合物のすみやかな温度上昇に効果があることがわかった。

2) 含水率

初期含水率を 60%程度に調整すれば直ちに好気性発酵が始まったが、最適な初期含水率は副資材や発酵槽の種類によって変わるものと考えられ

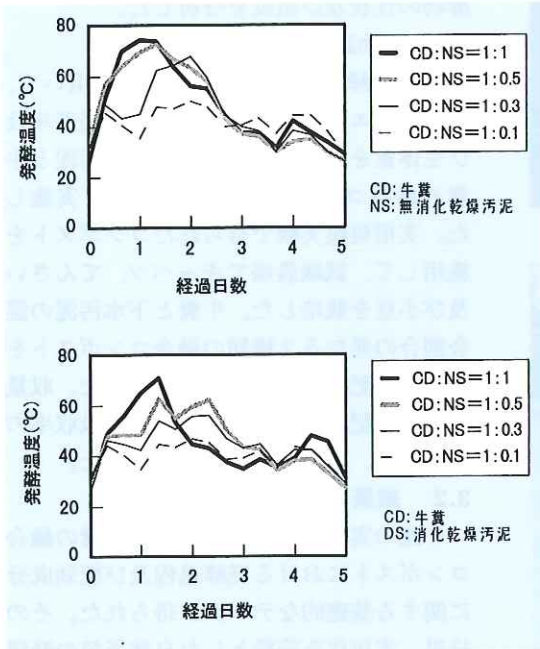


図-1 基礎発酵実験における温度変化

表-1 基礎発酵実験における原料及び発酵物の組織

	含水率 (%)	VS/TS ^{注5)} (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	C/N (-)	アルカリ度 (%)	pH	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
原料										
牛糞 (CD)	—	83	2.3	2.1	1.7	18	13	7.2	30	115
無消化乾燥汚泥 (NS)	—	83	8.2	7.4	1.2	5.4	12	5.9	127	371
消化乾燥汚泥 (DS)	—	65	4.5	5.5	0.4	6.8	20	5.4	657	1485
融合コンポスト (91日経過)										
CD : NS=1 : 1	56	78	4.8	5.6	1.8	8.8	15	7.2	106	320
CD : NS=1 : 0.5	59	77	4.1	4.7	2.0	10	16	6.8	81	245
CD : NS=1 : 0.3	54	78	4.4	3.8	2.0	11	16	6.5	64	198
CD : NS=1 : 0.1	58	79	3.2	3.2	2.0	13	16	6.3	54	172
CD : DS=1 : 1	58	67	3.9	4.6	1.2	8.7	20	6.2	444	1017
CD : DS=1 : 0.5	60	71	3.7	3.6	1.5	11	17	6.0	293	682
CD : DS=1 : 0.3	60	74	2.7	3.3	1.7	12	18	6.0	217	516
CD : DS=1 : 0.1	60	77	2.9	2.8	1.9	14	16	6.2	105	280
牛糞単独	57	78	2.6	2.5	2.1	16	15	7.1	46	146
消化汚泥単独	49	58	4.7	6.3	0.5	6.0	24	7.0	768	1735

注 5) VS/TS : 強熱減量/蒸発残留物。有機物質量の日安となる指標

る。含水率は発酵直後には 1~3%上昇し、実験終了時には初期状態に比べ 2~7%減少した。

3) 発酵物の組成

発酵物の組成から判断すると、下水汚泥が発酵物中の窒素、リン含有量及び C/N 比を改善したことが確認された。一方、カリウム含有量は牛糞の添加により増加し、重金属濃度は両者の混合割合に応じた結果となった (表-1 参照)。混合原料の発酵物は肥効成分のバランスに優れ、融合コンポストの品質は下水汚泥あるいは牛糞単独コンポストよりも良いものとなった。

(2) 実用規模実験

1) 初期含水率

初期含水率を 70%未満に調整すれば、混合原料の好気性発酵はすみやかに始まり 65℃以上の温度が 10 日以上続いた。初期含水率が 70%を超える混合原料の温度は、含水率が 60%以下になっても 65℃に達することはなかった。冬季においては、初期含水率を 60%程度に調整すれば夏季と同様に旺盛な発酵が観察された。しかし、初期含水率が 65%を超えた場合、温度上昇が明らかに緩慢となった。以上の結果から、適切な初期含水率は夏季で 70%以下、冬季では 65%以下が求められる。

2) 混合比率及び原料の種類

実験結果は基礎実験と同様であった。温度の上昇速度は下水汚泥の混合率の増加につれて上昇し、肥効成分の組成は両原料の混合割合に応じたものとなった(表-2 参照)。さらに、原料と副資材の種類が発酵状況にかなり影響を及ぼしていることが確認された。具体的には乾燥汚泥を用いた場合に比べ、汚泥コンポスト製品を用いた混合原料では温度上昇が若干速かった(図-2 参照)。

3) 加水

初期含水率が70%を超える原料と木片を含んだ原料を除き、含水率は発酵初期に急速に減少し、発酵開始後およそ40日後には30~45%まで低下した。含水率の減少は冬季より夏季の方が速かつ

た。含水率がおおよそ25%まで低下すると、温度は急激に低下し有機物量も変化しなくなった。そこで、水分補給の条件を変えた発酵実験を行った。その結果、含水率を30%以上に保った混合物では高温が続いたのに対し、加水を行わなかったものは急速に温度が低下した(図-3 参照)。これらは、含水率が25%を下回ると微生物の活性に影響が生ずることを示している¹⁾。また、カリウムを多く含んだ牛尿を水の代わりに加えると発酵物中のカリウム量を豊富にできることがわかった。なお、切り返すたびに発酵温度が急減するため、図-3の温度変化は振幅が大きくなっている。

4) 外気温

上述したように、外気温が氷点下10度になる

表-2 実用規模実験における原料及び発酵物の組織

	含水率 (%)	VS/TS ^{注5)} (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	C/N (-)	アルカリ度 (%)	pH	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
原料										
乾燥汚泥	15	64	5.4	8.5	0.38	5.8	5.6	7.2	385	994
下水汚泥コンポスト(SC)	28	45	2.3	4.2	0.21	10	25	7.8	131	421
牛糞(CD)	71	78	2.5	2.3	2.9	16	5.3	8.1	35	160
融合コンポスト(76日経過)										
CD : DS=1 : 0.1	32	73	2.4	4.0	3.5	15	8.0	7.9	81	276
CD : DS=1 : 0.5	24	69	3.0	5.7	2.5	11	7.3	7.4	176	485
CD : SC=1 : 0.1	31	67	2.4	3.4	3.3	15	10	8.1	46	202
CD : SC=1 : 0.5	23	59	2.4	3.8	2.3	13	17	7.9	68	277

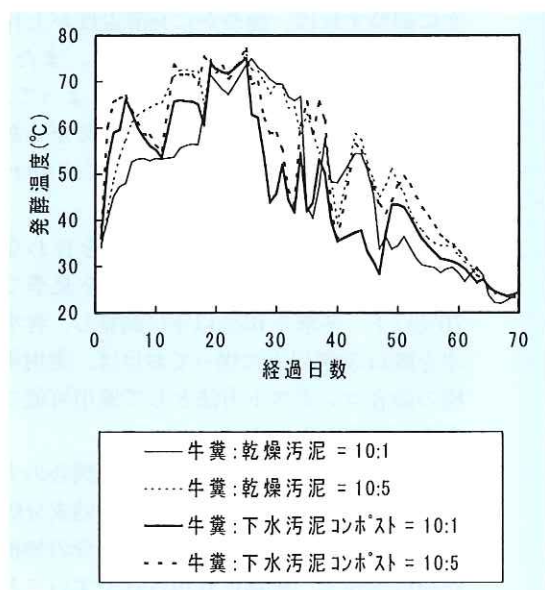


図-2 実用規模実験における温度変化

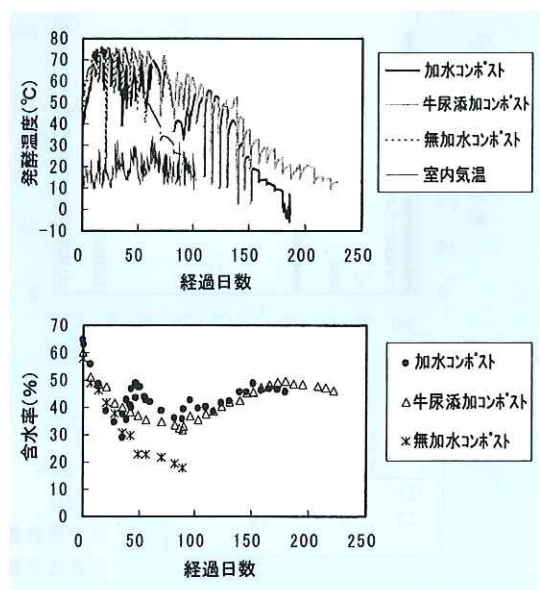


図-3 実用規模実験における温度及び含水率変化

冬季でも、牛糞を混合した下水汚泥の旺盛な発酵が観察された。また、混合の頻度などの条件によっては、夏季と同様冬季でも混合物の乾燥が進むにつれ温度が低下した。

(3) 幼植物試験及び施用試験

幼植物試験においては全てのケースで発芽率はほぼ 100%であった。コマツナの収量は、生下水汚泥、生牛糞、下水汚泥単独コンポスト及び牛糞単独コンポストに比べ、融合コンポストを用いた

場合に最大となった(図-4 参照)。融合コンポストは肥効の観点から有用であるといえる。生牛糞の施用はコマツナの成長を阻害するおそれがあるが、コンポスト化によりこの問題は解消され、さらに下水汚泥と混合することにより肥効が改善されることが確認された²⁾。

キャベツを用いた施用試験では、下水汚泥の混合割合が大きいほど収量及び肥効成分吸収率とも増えることがわかった(図-5 参照)。とくに、融合コンポストを用いたキャベツの中間収量は化成肥料のみ用いた場合よりも大きく上回った。これらの結果は、下水汚泥の無機化速度が速く、下水汚泥から得られる窒素化合物の方が牛糞からのものに比べ利用しやすいことを示している³⁾。

しかし、下水汚泥に起因する窒素の過剰施用により、葉部の成長が過大となり収穫されたてん菜中の糖量が減少した。一方、追肥として融合コンポストを施用した場合、小豆の収量およびさや数はともに増加した。下水汚泥と牛糞の最適な混合比及びコンポストの施用量は作物の種類に応じて調査する必要がある。

3.3 結論

基礎発酵実験では、下水汚泥は牛糞より生分解性の高い有機物を多く含むため、牛糞を混合した場合でも初期含水率を60%程度に調整すれば、速やかに発酵温度が上昇し十分に発酵することがわかった。また、下水汚泥に牛糞を添加することによって、下水汚泥中に不足している肥効成分であるカリウムを補うことができることがわかった。

実用規模実験では、強制通気を行わない野積み方式でも、初期含水率を夏季で70%以下、冬季で65%以下に調整し、含水率を概ね30%以上に保っておけば、実用規模の融合コンポスト方法として適用可能であることがわかった。

施用試験では、下水汚泥の混合割合の大きい融合コンポストほど収量、肥効成分吸収率ともに増加するほか、肥効成分の無機化速度が速く、植物に利用されやすいことがわかった。ただし、植物によっては窒素

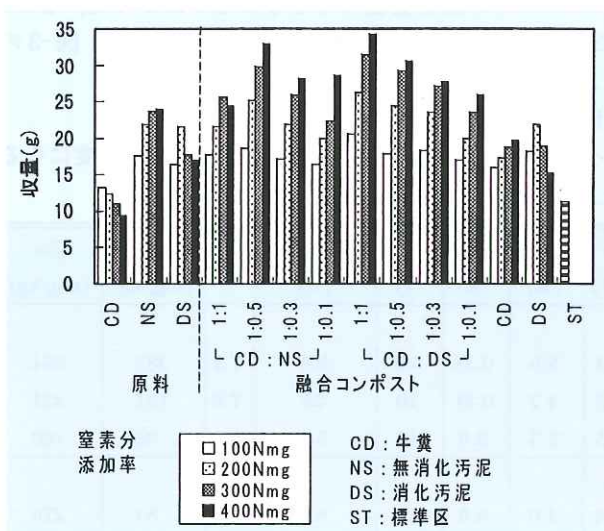


図-4 コマツナの収量

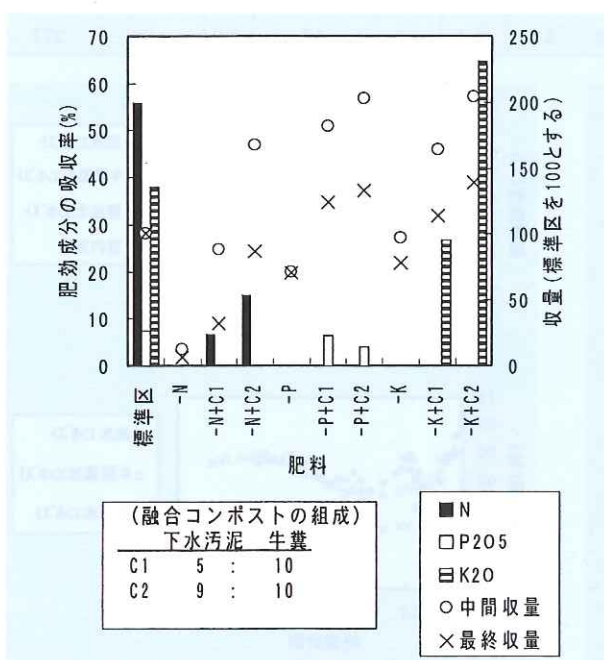


図-5 キャベツの収量及び肥効成分の吸収率

が過剰になる場合があり、注意する必要があった。

なお、本報告では下水汚泥として乾燥汚泥を用いた実用規模実験について述べたが、汚泥の乾燥設備にはコストがかかるほか、エネルギーも消費するため、簡易なコンポスト化とは言えず、実際には脱水汚泥のみを用いることが求められる。そこで、牛糞を混合した脱水汚泥及び返送コンポストを用いた発酵実験を野積み方式で引き続き実施しているところである。

4. おわりに

融合コンポスト化は下水汚泥の有効利用を進める上で効果的な方法であるといえる。今回注目した牛糞はコンポスト原料としてとくに適している。しかし、発酵性及び肥効成分をよりよいものとする他の有機性の原料や副資材も必要である。そこで、下水汚泥の積極的な緑農地利用を可能にするため、引き続き簡易で効果的な融合コンポスト化法を検討することとしている。

参考文献

- 1) 藤田賢二：コンポスト化技術，技報堂，pp.62-66，1993.
- 2) 平山孝浩、渡部春樹、落修一、木村龍介、川崎晃：下水汚泥と牛糞の融合コンポスト化について，再生と利用，Vol.19, No.72, pp.48-51, 1996.
- 3) 日本土壌肥料学会監修：有機性汚泥の緑農地利用，博友社，1991.

森田弘昭*



建設省土木研究所下水道部
汚泥研究室長
Hiroaki MORITA

原田一郎**



建設省都市局下水道部
公共下水道課課長補佐
(前 汚泥研究室主任研究員)
Ichiro HARADA

斎野秀幸***



建設省土木研究所
下水道部汚泥研究室研究員
Hideyuki SAINO