

家畜ふん堆肥化過程で発生する滲出液の環境負荷

田邊眞・川村英輔・倉田直亮

Studies on the Environmental Effect of the Discharge that Occur from
the Animal Waste Composting System

Makoto TANABE, Eisuke KAWAMURA and Naosuke KURATA

家畜ふんの不適切な管理が環境汚染の原因となることから、家畜ふん堆肥化過程で発生する滲出液の量及び成分の把握と、滲出液の土壌への環境負荷状況について、当所の家畜ふん堆肥化施設で調査した。

滲出液は、堆肥舎では堆肥化物(ふん+戻し堆肥) $1\text{m}^3 \cdot 1$ 日あたり $4.1 \sim 26.0\text{m}^3$ 発生し、電気伝導率が $27.4 \sim 44.9\text{mS/cm}$ と高く、カリウムイオンが $60.4\text{g/m}^3 \cdot \text{日}$ 滲出していた。密閉型強制発酵機では、堆肥化物 $1\text{t} \cdot 1$ 日あたり 161.9l 発生し、 $\text{pH}9.3$ とアルカリ性で電気伝導率は 20.1mS/cm であった。アンモニウムイオンが $1465.9\text{g/t} \cdot \text{日}$ 滲出していた。閉鎖型堆肥化ハウスでは、 $219.0\text{l/t} \cdot \text{日}$ 発生し、電気伝導率 2.2mS/cm で、亜硝酸イオンが $27.0\text{g/t} \cdot \text{日}$ 滲出していた。滲出液には高濃度のイオン成分が含まれ、滲出液の環境への負荷が懸念される。

堆肥盤や密閉型強制発酵機周辺の土壌には、畑の土壌に比べて塩類やアンモニウムイオン、硝酸イオンの含有量が多く、滲出液が堆肥化施設から土壌に流出していると考えられた。

キーワード：家畜ふん処理、環境負荷、滲出液、土壌汚染

近年、家畜ふんの不適切な管理が水質汚濁などの環境汚染の原因として指摘されている¹⁾。田邊らは、神奈川県内の酪農家において牛ふん堆肥化施設から塩類成分が環境中に流出している可能性を報告している²⁾。

家畜ふん堆肥化施設では、家畜ふんを堆肥化する過程で生じる排汁や結露水が滲出液として発生する。しかし、この滲出液の発生量や環境に与える影響についての報告は少ない^{3), 4)}。

そこで本研究では、滲出液の環境への影響を明らかにするため、家畜ふん堆肥化施設から発生する滲出液の量や成分を把握するとともに、施設周辺土壌への影響を調査した。

材料及び方法

1. 調査対象施設

当所で使用している堆肥舎、密閉型強制発酵機、閉鎖型堆肥化ハウスの3ヶ所の家畜ふん堆肥化施設

を対象に調査した。堆肥舎は、鉄骨スレート屋根造りで幅 21m × 奥行 11m 、密閉型強制発酵機は発酵槽容積 9.0m^3 の縦型強制発酵装置、閉鎖型堆肥化ハウスは、幅 8m × 長さ 35m の軽量鉄骨ビニールハウスで、内部に 174m^2 の発酵乾燥床及び深さ 50cm の攪拌移送機を備えている。

2. 堆肥化処理状況

堆肥舎では、主に肉牛ふん、牛舎敷料及び残飼を処理した。ふん、敷料と残飼に対して戻し堆肥を約 $1/20$ 容量混合したものを堆肥化物として堆肥化を行った。堆肥化物処理量は1日あたり平均 1.2m^3 で、堆肥化物の滞留は平均13週間であった。堆肥化物は、堆積開始後4週間以内の堆積物(堆積1)、堆積後4~7週間経過した堆積物(堆積2)、堆積後7~10週間経過した堆積物(堆積3)及び堆積後10~13週間経過した堆積物(堆積4)の4山で、切り返しを3回行い切り返し間隔は平均22.2日であった。

密閉型強制発酵機では、鶏ふんを処理した。ふんと戻し堆肥を重量で約 10 : 1 に混合したものを堆肥化物として装置に投入した。堆肥化物処理量は 1 日あたり平均 328kg であった。

閉鎖型堆肥化ハウスでは、乳牛ふんを処理した。ふんと戻し堆肥を重量で約 1:1 に混合したものを堆肥化物として発酵乾燥床に投入した。堆肥化物処理量は 1 日あたり平均 1,819kg であった。

3. 調査項目と試験方法

(1) 滲出液の量と成分

滲出液の調査は、堆肥舎が 2001 年 5 月～2002 年 2 月、密閉型強制発酵機が 2001 年 10 月～2002 年 1 月、閉鎖型堆肥化ハウスが 2001 年 10 月～2002 年 2 月に実施した。

堆肥化施設への搬入搬出量は、作業ローダーのバケット容量と堆肥化物の容積重から堆肥化物の容積あるいは重量を推計した。

各施設から発生する滲出液は次のように回収した。

堆肥舎：堆肥舎に設置された汚水ます（縦 30cm × 横 30cm × 深さ 50cm）3ヶ所に貯留した液を滲出液とした。汚水ます 1 には堆積 1、汚水ます 2 には堆積 2、汚水ます 3 には堆積 3 と堆積 4 の堆積化物から発生する滲出液がそれぞれ貯留する構造となっている。

密閉型強制発酵機：装置の排気ダクト途中に設置したますに貯留した結露水を滲出液とした。

閉鎖型堆肥化ハウス：ハウス内壁フィルム面の結露水を滲出液とした。ハウス内壁のフィルム面幅 60cm に設置した結露水トラップ装置 2カ所の結露水量から、ハウス全体の発生量を推定した。

各装置の滲出液は、それぞれ月に 1～3 回、発生量、性状及びイオン成分を測定した。

滲出液の性状は pH と電気伝導率（EC）を電極法で測定した。イオン成分は、イオンクロマトグラフ法により陰イオンは塩素イオン(Cl⁻)、亜硝酸イオン(NO₂⁻)、硝酸イオン(NO₃⁻)、リン酸イオン(PO₄²⁻)、硫酸イオン(SO₄²⁻)を、陽イオンはナトリウムイオン(Na⁺)、カリウムイオン(K⁺)、アンモニウムイオン(NH₄⁺)、マグネシウムイオン(Mg²⁺)、カルシウムイオン(Ca²⁺)を測定した。

(2) 土壌のイオン成分

滲出液の施設周辺土壌への影響を推定するため、土壌のイオン成分を測定した。堆肥化施設周辺の土壌として、当所内のコンクリート堆肥盤の横 2m 地点の土壌及び密閉型強制発酵機の排気ダクトに設置した滲出液貯留ますの横 1m 地点の土壌を採取した。また、比較のため当所内の飼料畑及び鶏

舎の横 5m 地点の土壌も採取した。

土壌採取は、手動式動的回転式サウンディング試験装置（東邦地下工機社）を用いて、各地点それぞれ地下 0～1m、地下 1～2m、地下 2～3m の 3ヶ所から行った。土壌成分の分析は、pH、EC、Cl⁻、NO₂⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻、Na⁺、K⁺、NH₄⁺、Ca²⁺を土壌環境分析法⁵⁾に準じて測定した。

結果及び考察

1. 滲出液の量と成分

(1) 堆肥舎

調査期間中、堆肥化物の温度は堆積 1 から堆積 4 のいずれも堆積表面下 100cm の温度が 60℃ を超え、良好な堆肥化発酵が進んでいた（表 1）。

表 1 堆肥舎での堆肥化物の量と温度

	堆積量 (m ³)	温度 (°C)		
		15cm	30cm	100cm
堆積 1	26.7	63.6	66.3	62.6
堆積 2	22.8	55.6	64.4	72.1
堆積 3	20.2	52.9	61.0	73.0
堆積 4	15.8	46.6	56.5	70.3

注；温度は、調査期間中に週 1 回 9 時に、堆積表面下 15cm、30cm、100cm の温度を測定した平均値

滲出液の発生量は、堆肥化物 1m³・1 日あたり平均で汚水ます 1 が 26.0ml/m³・日、汚水ます 2 が 25.2ml/m³・日、汚水ます 3 が 4.1ml/m³・日で堆肥化が進むほど減少した（表 2）。これは堆肥化が進むにつれて堆肥化物の水分が低下したためと考える。滲出液の発生量はかなりばらついていた。堆肥舎に搬入されるふんや敷料の水分は飼養状況や天候等によりかなり差があることから、滲出液の発生量は堆肥化物の水分に影響されると考えられ

表 2 堆肥舎における滲出液量と性状

	滲出液量 (ml/m ³ ・日)	pH	EC (mS/cm)
汚水ます 1	0.2～59.5 (26.0)	7.0～9.3 (7.9)	2.7～121.0 (44.9)
汚水ます 2	12.5～35.9 (25.2)	7.1～9.1 (7.8)	0.7～88.8 (32.4)
汚水ます 3	1.8～9.0 (4.1)	7.1～8.9 (7.7)	4.2～141.4 (27.4)

注；滲出液量は堆肥化物 1m³・1 日あたりの ml 下段カッコ内は平均値

る。

滲出液の pH は、全体では pH7.0~9.3 とばらついていたが、汚水ます毎に差はなく堆肥化が進んでも pH の変化はみられなかった。滲出液の EC は、全体では 0.7~141.4mS/cm とかなりばらつきがみられた。堆肥化が進むにつれて EC 値は低下した。

滲出液は高濃度のイオン成分を含み、特に K^+ は 2,895.1~4,110.8mg/l、 Cl^- は 1,419.5~2,530.2mg/l と高濃度であった（表 3）。堆肥化が進むにつれて滲出液の NH_4^+ 濃度は低下し、 NO_3^- 濃度は上昇した。

堆肥化物から滲出するイオン量は、 K^+ が最も多く全体で堆肥化物 $1m^3 \cdot 1$ 日あたり $60.4mg/m^3 \cdot 日$ 、次いで Cl^- $34.5mg/m^3 \cdot 日$ 、 NH_4^+ $19.9mg/m^3 \cdot 日$ 、 Na^+ $13.4mg/m^3 \cdot 日$ の順であった。

堆肥化が進むと、 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- の塩類や NH_4^+ の滲出量は減少したが、 NO_3^- の滲出量は増加した。 NO_3^- 量の増加は堆肥化過程で硝化作用によりアンモニアが硝酸に酸化されるためと考えられる。

当所の堆肥舎から 1 日に排出されるイオン量を計算すると、 K^+ $5.2g$ 、 Cl^- $2.9g$ 、 NH_4^+ $1.7g$ 、 Na^+ $1.1g$ となり、環境への負荷を考えると滲出液の適正な管理や処理が必要である。滲出液の処理方法としてほ場散布など土壌還元が考えられるが、滲出液のイオン濃度、特に K^+ が高いことから植物への影響や環境負荷を考慮して行う必要がある。

環境負荷低減の観点から、滲出液の発生を抑制することは重要である。今回の試験成績から、堆肥化時の水分調整を適正に行うことで、滲出液の発生量を抑えることができると考える。

表 3 堆肥舎での滲出液のイオン成分

(上段；濃度、mg/l、下段；堆肥化物 $1m^3 \cdot 1$ 日あたりの量、 $mg/m^3 \cdot 日$)

	Cl^-	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{2-}	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
汚水	2530.2	32.1	18.1	278.2	543.9	933.4	1282.8	4110.7	139.4	296.6
ます 1	65.7	0.8	0.5	7.2	14.1	24.2	33.3	106.8	3.6	7.7
汚水	1419.5	1.1	3.0	192.9	396.2	559.3	868.8	2895.1	263.2	207.8
ます 2	35.7	0.0	0.1	4.9	10.0	14.1	21.9	72.9	6.6	5.2
汚水	2512.0	4.0	458.3	78.0	673.7	803.0	229.0	4009.4	179.8	116.5
ます 3	10.2	0.0	1.9	0.3	2.7	3.3	0.9	16.3	0.7	0.5
全体	34.5	0.4	1.2	4.2	8.9	13.4	19.9	60.4	3.6	4.1

(2) 密閉型強制発酵機

密閉型強制発酵機の滲出液発生量は、平均で堆肥化物 $1t \cdot 1$ 日あたり 161.90 であった（表 4）。冬期は滲出液の発生量が増加し、1 月は、10 月に比べて 2 倍量以上の滲出液が発生した。これは、密閉型強制発酵機の排気温度は季節に関わらず $40 \sim 50^\circ C$ と一定である⁶⁾ ことから、気温と排気温度の差が大きい冬期ほど排気ダクト内に発生する結露水が多くなるためと考える。

滲出液の性状は、pH $9.1 \sim 9.7$ とアルカリ性で、EC は $15.2 \sim 34.7mS/cm$ であった（表 5）。滲出液のイオン濃度は、 NH_4^+ が最も高く $2,969.8mg/l$ で、次に K^+ が $117.8mg/l$ であった（表 6）。堆肥化物 $1t \cdot 1$ 日あたりでは NH_4^+ は $1,465.9g$ 、 K^+ は $58.1g$ 滲出した。これをもとに試算すると、当所の密閉型強制発酵機から毎日 $480g$ の NH_4^+ が滲出液として排出されていることになる。

本多らは、密閉型強制発酵機の排気には高濃度

のアンモニアが含まれることを報告している⁶⁾。アンモニア臭気を高濃度に含む排気が結露して生じた滲出液にはアンモニアが高濃度に溶解していることがわかった。アンモニアは毒性があることから、密閉型強制発酵機の滲出液を処理するには、アンモニアを硝化・脱窒させるなど無害化することが必要である。

家畜ふん堆肥化時にはアンモニアを多量に含み温度が高く多湿な臭気が発生する。臭気対策の観点から、臭気を冷却することで排気中のアンモニアが効率に除去できる可能性があることがわかった。

(3) 閉鎖型堆肥化ハウス

閉鎖型堆肥化ハウスの滲出液量は、堆肥化物 $1t \cdot 1$ 日あたり平均 93.50 であった（表 4）。滲出液量は冬期に減少する傾向がみられた。田邊らは、閉鎖型堆肥化ハウスでは冬期にハウス内の温度が低下し発酵乾燥床からの水分蒸散量も低下するこ

とを報告している⁶⁾。ハウス内及び排気ダクトの結露水量が減少したのは、ハウス内での水分蒸散量の低下によると考えられる。

表4 密閉型強制発酵機と閉鎖型堆肥化ハウスにおける滲出液量
(堆肥化物 1t・1日あたりの発生量、ℓ)

	密閉型強制 発酵機	閉鎖型堆肥 化ハウス
10月	112.2	143.9
11月	162.4	138.8
12月	163.9	56.8
1月	209.4	60.1
2月	NT	30.5
平均	161.9	93.5

NT；調査せず

表5 密閉型強制発酵機と閉鎖型堆肥化ハウスにおける滲出液のpH、EC

	pH	EC (mS/cm)
密閉型強制 発酵機	9.1~9.7 (9.3)	15.2~34.7 (20.1)
閉鎖型堆肥化 ハウス	7.9~8.8 (8.5)	0.9~2.6 (1.7)

注；()内は平均値

表6 密閉型強制発酵機及び堆肥化ハウスにおける滲出液のイオン成分

(上段；濃度、mg/ℓ、下段；堆肥化物 1t・1日あたりの量、g/t・日)

	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
密閉型強制 発酵機	0.8	0.3	1.2	1.7	17.2	34.9	2969.8	117.8	6.7	23.0
閉鎖型堆肥 化ハウス	0.4	0.2	0.6	0.8	8.5	17.2	1465.9	58.1	3.3	11.4
	1.1	81.4	20.0	16.8	13.6	3.1	166.4	6.6	0.0	0.5
	0.1	7.6	1.9	1.6	1.3	0.3	15.6	0.6	0.0	0.0

(3) 閉鎖型堆肥化ハウス

閉鎖型堆肥化ハウスの滲出液量は、堆肥化物 1t・1日あたり平均 93.5ℓであった(表4)。滲出液量は冬期に減少する傾向がみられた。田邊らは、閉鎖型堆肥化ハウスでは冬期にハウス内の温度が低下し発酵乾燥床からの水分蒸散量も低下することを報告している⁶⁾。ハウス内及び排気ダクトの結露水量が減少したのは、ハウス内での水分蒸散量の低下によると考えられる。

滲出液の性状は、pH7.9~8.8、ECは0.9~2.6mS/cmであった。滲出液のイオン濃度は、NH₄⁺が166.4mg/ℓで最も高く、次いでNO₂⁻が81.4mg/ℓ、NO₃⁻が20.0mg/ℓであった。滲出したイオン量は、堆肥化物 1t・1日あたりNH₄⁺が15.6g、NO₂⁻が7.6g、NO₃⁻が1.9gであった。閉鎖型堆肥化ハウスから毎日NH₄⁺が24.6g、NO₂⁻が12.0g、NO₃⁻が3.0g滲出

している計算となった。

今回の成績から、密閉型の堆肥化施設では、相当量の滲出液が排出されていることが明らかとなった。また、滲出液には毒性があるNH₄⁺やNO₂⁻が高濃度含まれていたことから、適正な管理・処理が必要である。今後、滲出液の無害化や簡易な処理方法の検討が必要である。

また、環境負荷を低減する観点から、家畜ふん堆肥化施設での滲出液の発生を抑制する運転管理技術を検討することも必要である。

2. 土壌のイオン成分

(1) 土壌の性状

密閉型強制発酵機横の土壌のpHは、地下0~1mでpH6.1、地下1~2mでpH5.2、地下2~3mでpH4.5と深くなるに従いpHが低下した(表7)。

堆肥盤及び密閉型強制発酵機から採取した土壌

の EC は、それぞれ 0.56～1.06mS/cm、0.81～1.24mS/cm で、飼料畑や鶏舎横の土壤に比べ高い値を示した。堆肥盤横の土壤は地下深くなるほど EC 値は低下したが、密閉型強制発酵機横の土壤では逆に上昇した。

密閉型強制発酵機横から採取した地下 0～1m の土壤には、乾土 100g あたり K⁺が 1,407meq、Cl⁻が 762meq、Na⁺が 493meq、NH₄⁺が 199meq、NO₃⁻が 126meq 含まれていた (表 8)。これらのイオンは、採材場所が地下深くなるほど土壤中の含有イオン量は減少したものの、地下 2～3m の土壤からも乾土 100g あたり K⁺が 76meq、Cl⁻が 114meq、Na⁺が 90meq、NH₄⁺が 28meq、NO₃⁻が 18meq 検出された。密閉型強制発酵機横の土壤には、飼料畑や鶏舎横の土壤に比べて塩類、NH₄⁺、NO₃⁻がきわめて高濃度に含まれていることがわかった。

堆肥盤横の土壤では、飼料畑や鶏舎横の土壤に比べて NO₃⁻、Ca²⁺が多く含まれ、NO₃⁻は乾土 100g あたり地下 0～1m で 2.9meq、地下 1～2m が 6.0meq、地下 2～3m が 7.9meq で、地下深くなるほど含有量が多くなった。

今回の成績から、当所の家畜ふん堆肥化施設周辺土壤には塩類や NH₄⁺、NO₃⁻の含有量が高いことがわかった。これは、施設から発生する滲出液が流出し土壤に浸透したためと推察され、滲出液を適正に管理することの重要性が明らかとなった。

堆肥化施設周辺土壤と飼料畑や鶏舎横の土壤を比べると、EC やイオン含有量にかなり差がみられた。この結果から、家畜ふん堆肥化処理施設から発生する滲出液が環境に流出する状況を把握する手段として、土壤の EC やイオン含有量の測定が有効であると考えられる。

表 7 土壤の pH と電気伝導率

採土場所	pH				電気伝導率 (mS/cm)			
	堆肥盤横	密閉型強制発酵機横	飼料畑	鶏舎横	堆肥盤横	密閉型強制発酵機横	飼料畑	鶏舎横
地下 0-1m	7.3	6.1	6.7	7.6	1.06	0.81	0.19	0.10
地下 1-2m	7.2	5.2	6.8	7.3	0.87	1.24	0.12	0.17
地下 2-3m	7.4	4.5	6.8	7.2	0.56	1.23	0.10	0.29

表 8 土壤のイオン成分

(A ; 堆肥盤横、B ; 密閉型強制発酵機横、C ; 飼料畑、D ; 鶏舎横)

(meq/乾土 100g)

採土場所	Cl ⁻				NO ₂ ⁻				NO ₃ ⁻				SO ₄ ²⁻			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
地下 0-1m	0.1	762	0.1	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	126	0.4	0.8	0.3	140	0.1	1.2
地下 1-2m	0.1	145	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	25	0.2	0.9	0.0	52	0.3	0.5
地下 2-3m	0.3	114	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	7.9	18	0.1	0.1	0.2	43	0.4	0.8
	Na ⁺				K ⁺				NH ₄ ⁺				Ca ²⁺			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
地下 0-1m	0.2	493	0.1	1.2	0.3	1407	0.3	1.9	0.0	199	0.0	0.1	2.2	58	0.2	0.7
地下 1-2m	0.1	103	0.1	0.9	0.3	114	0.1	2.0	0.4	48	0.0	0.2	4.1	38	0.3	0.7
地下 2-3m	0.2	90	0.1	0.9	0.3	76	0.1	1.4	0.2	28	0.0	0.3	5.3	48	0.3	0.2

引用文献

- 1) 農林水産省生産局ホームページ
<http://www.maff.go.jp/chikukan/index.html>
- 2) 田邊眞・川村英輔・倉田直亮. 神奈川県内の酪農家における牛ふん堆肥化施設での塩類と重金属の動態. 神奈川県畜産研究所研究報告, No.90 : 36-40. 2004.
- 3) 家畜糞尿による周辺環境への影響評価. 平成12年度北海道立根釧農業試験場年報, 60. 2000.
- 4) 簡易糞尿堆積法におけるれき汁処理技術の開発. 平成12年度北海道立根釧農業試験場年報, 62. 2000.
- 5) 土壤環境分析法編集委員会編. 土壤環境分析法. 博友社. 1997.
- 6) 本多勝男・川村英輔・倉田直亮. バイオフィルターによる畜産臭気の脱臭に関する試験. 神奈川県畜産研究所 平成10年度試験研究成績書(畜産環境・経営流通・企画調整), 5-9. 1998.
- 7) 田邊眞・川村英輔・倉田直亮. 牛ふんの低コスト消臭型堆肥化ハウス開発研究. 神奈川県畜産研究所 平成13年度試験研究成績書(畜産環境・経営流通・企画調整), 1-5. 2001.