

## 堆肥化処理過程において発生する臭気物質の解明

藤原望・関俊雄・井上雅美<sup>1)</sup>・海老沢重雄

1) 退職

The solution of malodor emission during Composting

Nozomi FUJIWARA・Toshio SEKI・Masami INOUE・Shigeo EBISAWA

### 要 約

本研究では悪臭問題となりやすい豚を対象とし、実規模を想定した堆肥化での含水率の違いと季節の違いによる臭気発生への影響について調査するとともに、臭気発生を抑制する目的で切り返し後に戻し堆肥を被覆した場合の臭気発生抑制効果を検討した。また、堆肥化過程で発生する臭気の拡散状況下での捕集可能距離を検討した。その結果、適正な水分率に調整することにより臭気の発生が低く推移した。また、低級脂肪酸は夏期での発生が多い傾向となった。さらに、切り返し後に戻し堆肥を被覆することにより、臭気発生を抑制することができた。

キーワード：豚ふん、堆肥化、臭気、戻し堆肥

### 緒 言

近年、畜産経営においては、混住化や畜産農家の規模拡大、さらに住民の環境意識への高まり等により、様々な環境問題が発生している。本県の畜産業に起因する苦情発生割合では悪臭関連が7割と最も多い。さらに畜種別では豚が半数を占めており、養豚経営にとって悪臭問題が依然として大きな問題となっている。

悪臭の発生原因となる施設としては、畜舎、ふん尿処理施設があげられる。その中で、攪拌方式の堆肥化処理施設には、脱臭装置が付いているものがあるが、多くは開放型の堆肥舎であり、切り返し等を行う際に臭気が拡散され、悪臭の原因となる場合が多い。

堆肥化過程で発生する臭気物質については、Kurodaら<sup>1)</sup>や新田ら<sup>2)</sup>が小型堆肥化装置を用いて悪臭の原因となるアンモニア、硫黄化合物、低級脂肪酸の発生動向を調べている。しかし、いずれも小規模での試験であり、実規模の堆肥化による臭気発生を調査している事例は少ない。

通常、臭気を定量評価するには、臭気の拡散が起こらない密閉された状況下で行う必要がある。しかし、風や温度などの影響を受けやすい実際の農家では、外的環境要因、特に風での拡散により臭気が低濃度になってしまうため、現場での捕集技術はいまだ不十分である。

そこで、本研究では悪臭問題となりやすい豚を対象とし、実規模を想定した堆肥化での含水率の違いと季

節の違いによる臭気発生への影響について調査するとともに、臭気発生を抑制する目的で切り返し後に戻し堆肥を被覆した場合の臭気発生抑制効果を検討した。また、堆肥化過程で発生する臭気の拡散状況下での捕集可能距離を検討した。

### 材料および方法

1 堆肥化過程で発生する臭気物質の発生パターンの把握

1) 含水率の違いによる臭気発生パターンの把握  
豚ふんへオガコを混合して水分調整し、上部からブローワーによって常時吸引されるチャンバーへ堆積した(図1)。堆積量は750 kgとした。堆肥化において豚ふんをオガコで水分調整する場合に適当とされる水分率62%以下にそった<sup>3)</sup>低水分区(水分率:約60%)及び水分が高めの高水分区(水分率:約66%)を設置し、臭気の発生状況について調査した。

堆肥化期間中の切り返しは5週目までは週に1回、その後は2週に1回行った。また、切り返し前と翌日に排気管から臭気を捕集した。測定する臭気物質は、畜産施設で特徴的な臭いとされるアンモニア、低級脂肪酸(プロピオン酸、ノルマル酪酸、イソ吉草酸、ノルマル吉草酸)、硫黄化合物(硫化水素、メチルメルカプタン、硫化メチル、二硫化メチル)とした。アンモニアは検知管(北川式)、低級脂肪酸及び硫黄化合物はガスクロマトグラフ(GC-14B、島津)により分析した。

臭気の排出量は豚ふん 100kg あたりの値を算出した。

堆積物の水分は、恒温機により 65°C24 時間で通風乾燥して測定した。pH は、10 倍量の蒸留水で希釈、浸透し、pH メーター (D-22, 堀場) により測定した。また、600°C で 2 時間灰化することにより有機物率を求めた。全窒素 (T-N) は、ケルダール法 (DK8・スーパーケル 1500, アクタック)、無機体窒素 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ) は水蒸気蒸留法により測定した。生物化学的酸素要求量 (BOD) は抽出水を直読式 BOD センサー (BOD センサーシステム, アクタック) により測定した。リン酸はバナドモリブデン酸比色法 (SPCA-6210, 島津), カリ, カルシウム, マグネシウム, 銅, 亜鉛は原子吸光光度法 (SPCA-6210, 島津) により分析した。炭素, C/N は乾式燃焼法 (JM1000, 株式会社ジェイサイエンスラボ) により測定した。

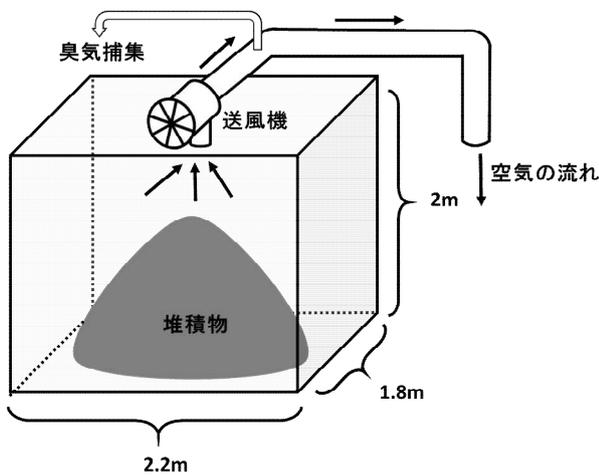


図1 臭気測定用チャンバー

2) 季節の違いによる臭気発生パターンの把握及び戻し堆肥被覆による臭気抑制効果の検討

オガコにより水分調整した (夏期水分率: 約 53%, 冬期水分率: 約 60%) 豚ふん 750 kg をチャンバーへ堆積し、切り返しを週に 1 回、堆肥の温度が低下してからは 2 週に 1 回行い堆肥化した。簡易的な臭気抑制対策として、切り返し後に戻し堆肥を被覆する戻し堆肥区を設置し、臭気発生への影響を調査した。戻し堆肥被覆量は 50 kg で、堆肥全体を 5 cm 程度覆うことができる量とした。戻し堆肥は、豚ふんを発酵温度が低下するまで堆肥化して完熟させたものを使用した。

試験期間は夏期 (7 月～10 月) 及び冬期 (1 月～3 月) とした。アンモニアは夏期では検知管、冬期では光音響マルチガスモニター (1412, INNOVA) を用いて分析した。低級脂肪酸及び硫黄化合物はガスクロマトグラフにより分析した。堆肥成分については、1) と同様の方法で分析した。

2 堆肥化施設における捕集可能距離の検討

現場での臭気の捕集方法を検討するため、臭気が拡散している状態での臭気発生源からの捕集可能距離を調査した。水分調整した豚ふん 1 t をチャンバーへ堆積し、週に 1 回切り返して堆肥化した。臭気は堆積物の表面 (0 m), 2 m, 5 m 地点で捕集し、分析に用いた。臭気物質のアンモニアは検知管、低級脂肪酸及び硫黄化合物はガスクロマトグラフにより分析した。

## 結果および考察

1 堆肥化過程で発生する臭気物質の発生パターンの把握

1) 含水率の違いによる臭気発生への影響

堆肥温度は、低水分区では堆肥化直後から上昇したが、高水分区では発酵が遅れる傾向にあり、試験期間中の最高温度は低水分区 72.6°C, 高水分区 61.5°C となった (図 2)。白石ら<sup>4)</sup>が行った豚ふんの堆肥化試験においても同様な結果が得られており、高水分にすることによって通気性が悪くなったことが影響したものと考えられる。

アンモニアの発生推移を図 3 に示した。両区ともに堆肥化温度の上昇とともにアンモニアの発生量が増加した。高水分区では発酵の遅れからアンモニアの発生ピークも遅れ、低水分区が 3 週目に対し、高水分区では 4 週目となった。期間中の最大値は低水分区で 12.2 mg/min/100kg, 高水分区で 35.9 mg/min/100kg となり、高水分区において顕著に発生した。低級脂肪酸は、両区ともに堆積直後の発生量が最も多く、特に高水分区で多く発生した (図 4)。また、堆肥化が進むにつれて検出されなくなった。硫黄化合物については、低水分区で 2 週目以降は発生量が低減したが、高水分区では堆肥化後半まで発生した (図 5)。アンモニア及び硫黄化合物は嫌気性発酵になると高濃度で発生することが知られている<sup>5)</sup>。高水分区で多く検出されたことから、通気不良により嫌気性発酵していたことが推測される。また、オガコは臭気の吸着能力があるため<sup>5)</sup>、堆積初日の低水分区での低級脂肪酸の大幅な低下は、オガコを多く混合させたことによる吸着が起こったものと思われる。

堆肥成分の理化学成分値を表 1 に示した。高水分区ではオガコの混入量が少なかったため、低水分区に比べ堆肥成分の含有量が高い結果となった。

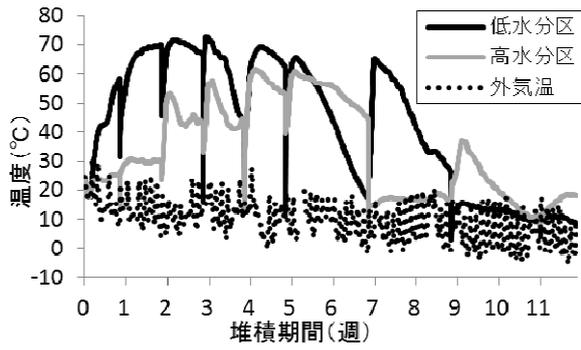


図2 含水率の違いによる堆肥温度の推移

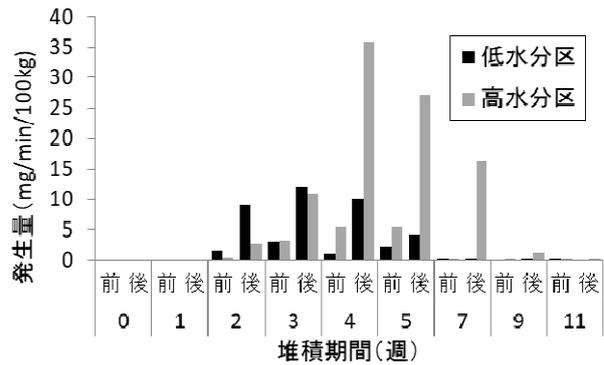


図3 含水率の違いによる切り返し前後のアンモニアの発生推移

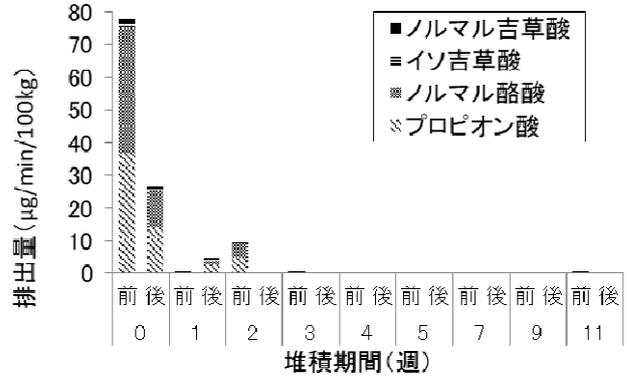
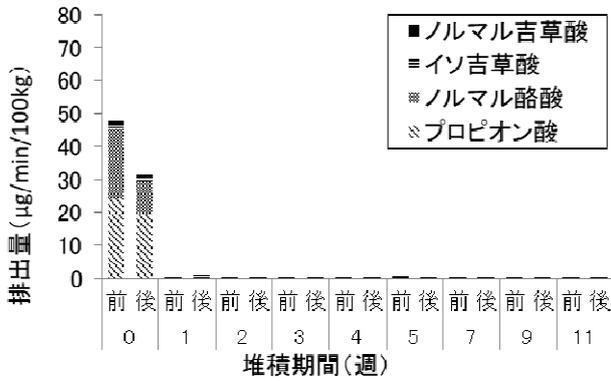


図4 含水率の違いによる低級脂肪酸の切り返し前後の発生推移 (左図：低水分区, 右図：高水分区)

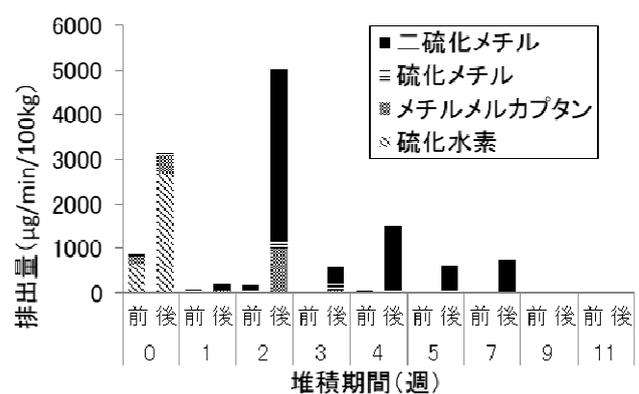
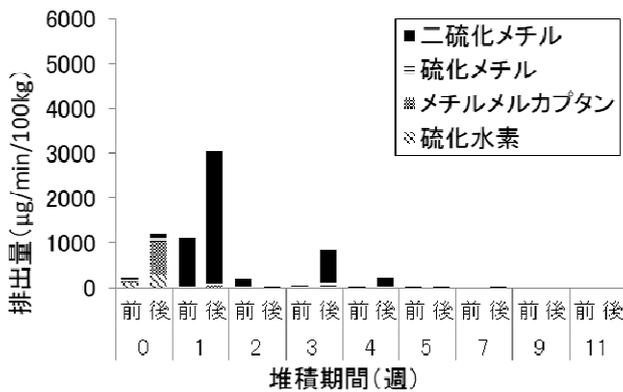


図5 含水率の違いによる切り返し前後の硫黄化合物の発生推移 (左図：低水分区, 右図：高水分区)

表1 含水率の違いによる堆肥成分の理化学成分値

		低水分区		高水分区	
		開始時	終了時	開始時	終了時
水分	%	60.2	46.4	66.2	56.3
pH		6.7	8.6	6.6	9.1
有機物	DM%	85.5	82.3	87.9	74.2
T-N	DM%	3.4	3.2	4.0	4.5
NH <sub>4</sub> -N	mg/DM100g	629.8	240.6	629.8	362.5
NO <sub>2</sub> -N	mg/DM100g	0.0	0.0	0.0	5.1
NO <sub>3</sub> -N	mg/DM100g	0.0	59.2	0.0	2.7
BOD	mgO <sub>2</sub> /DMg	151.1	8.8	185.3	18.9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	DM%	3.5	1.5	3.0	6.8
K <sub>2</sub> O	DM%	2.0	2.4	1.5	2.8
CaO	DM%	1.2	1.6	1.1	1.9
MgO	DM%	1.9	2.1	1.2	3.1
Cu	mg/DMkg	187.1	197.9	139.2	283.2
Zn	mg/DMkg	503.6	530.4	402.4	667.3
C	DM%	42.7	37.2	43.5	35.8
C/N		12.7	14.4	14.2	12.6

2) 季節の違いによる臭気発生パターンの把握及び  
戻し堆肥被覆による臭気抑制効果の検討

堆肥温度は堆肥化開始直後から上昇し、夏期では4週目、冬期では2週目で最高温度に達した(図6)。

アンモニアは、夏期、冬期ともに堆肥温度の上昇に伴って発生量が増加した(図7)。低級脂肪酸は堆肥化開始から2週目までが発生量が多く、また冬期に比べ夏期の発生量が多くなる結果が得られた(図8, 9)。

小山ら<sup>6)</sup>は、ふん尿中のpHが高いと低級脂肪酸の発生が抑制すると報告している。夏期では、堆肥化開始時のpHが低かったことから、冬期よりも低級脂肪酸を中心として臭気が発生したことが考えられる。また、低級脂肪酸は堆肥化前のふん尿からの発生が主なことから、低級脂肪酸の発生を抑制するためには早急に堆肥化してふん尿である状態を短くすること、pHを上げてアルカリ性にする必要があると考えられる。

硫黄化合物については、夏期、冬期ともに発生はばらつきが大きかったが、堆肥化開始から4週目以降は大きな発生は認められなかった(図10, 11)。

戻し堆肥を切り返し後に被覆することで戻し堆肥区で切り返し後の発酵温度の上昇が後半まで続いたことから、戻し堆肥を被覆することで堆積量が多くなり、発酵期間が延びたことが示唆された。アンモニア、低級脂肪酸ともに対照区に比べて顕著な発生量の低下がみられた。硫黄化合物については、戻し堆肥区で突発的な発生がみられたが、原因は不明である。

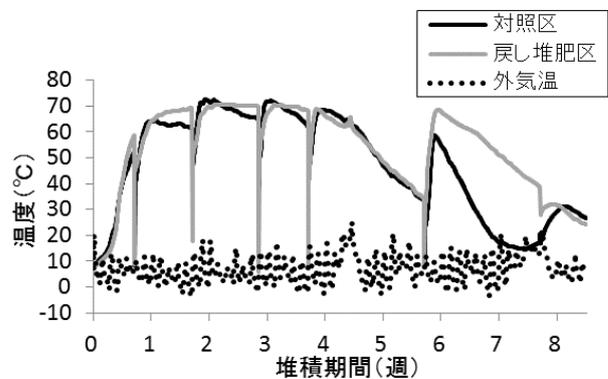
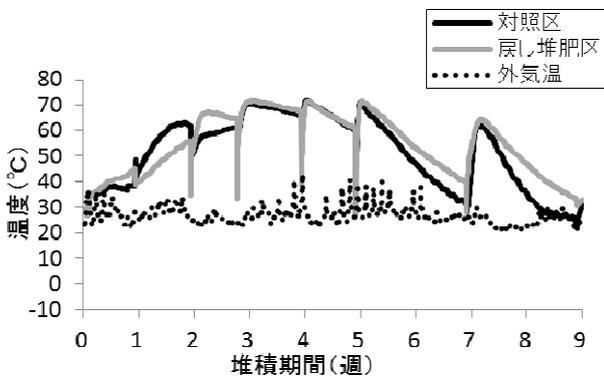


図6 戻し堆肥被覆による堆肥温度の推移 (左図: 夏期, 右図: 冬期)

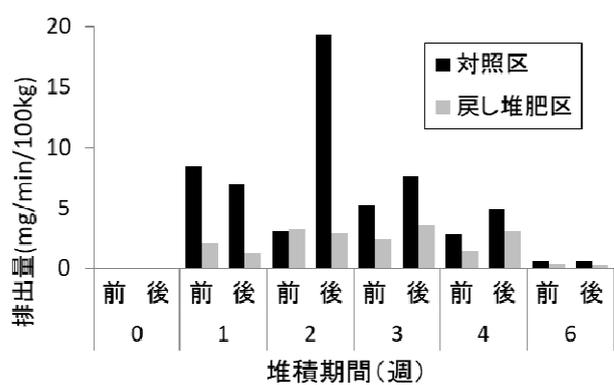
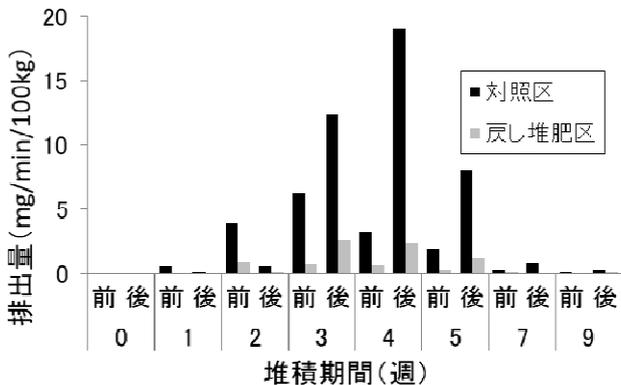


図7 戻し堆肥の被覆による切り返し前後のアンモニアの発生推移 (左図: 夏期, 右図: 冬期)

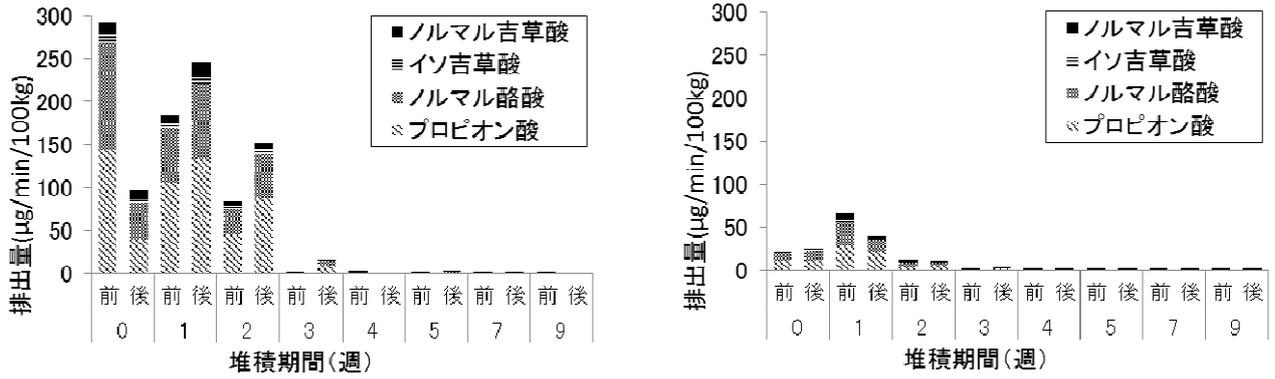


図8 夏期の戻し堆肥の被覆による切り返し前後の低級脂肪酸の発生推移 (左図：対照区，右図：戻し堆肥区)

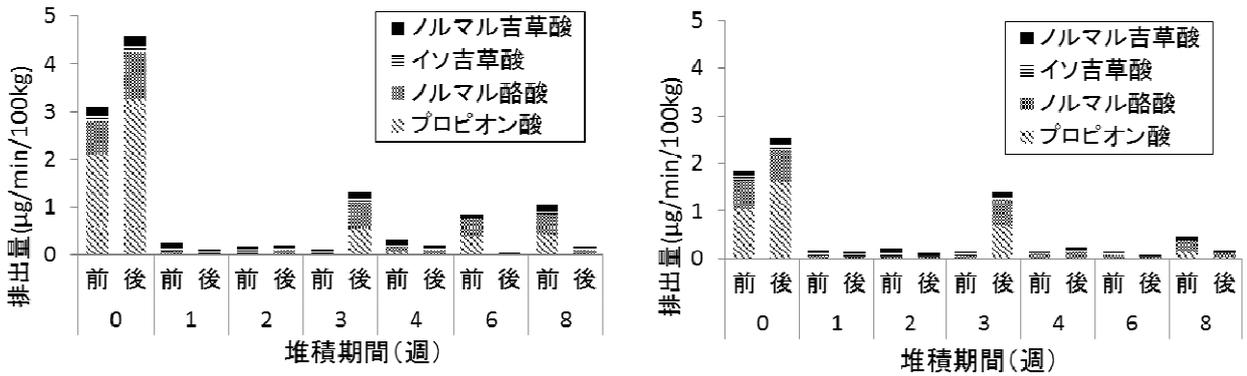


図9 冬期の戻し堆肥の被覆による切り返し前後の低級脂肪酸の発生推移 (左図：対照区，右図：戻し堆肥区)

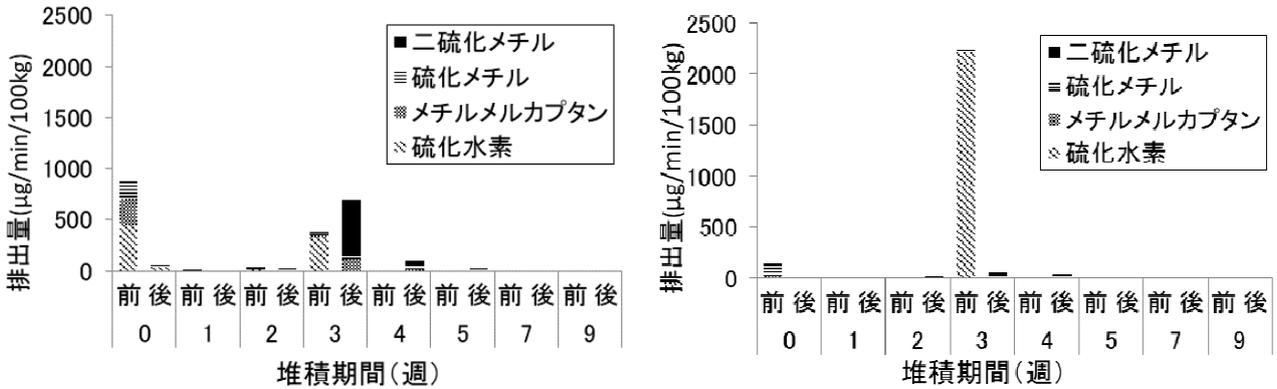


図10 夏期の戻し堆肥の被覆による切り返し前後の硫黄化合物の発生推移 (左図：対照区，右図：戻し堆肥区)

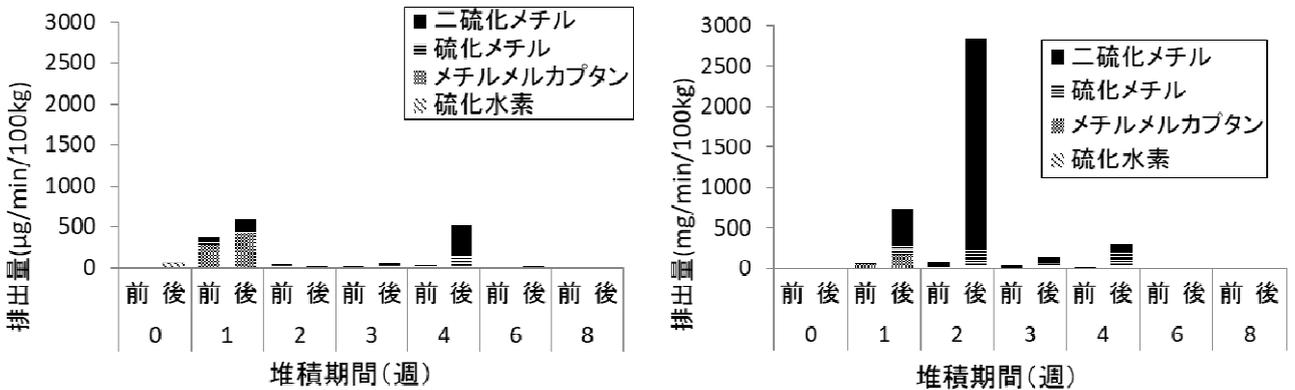


図11 冬期の戻し堆肥の被覆による切り返し前後の硫黄化合物の発生推移 (左図：対照区，右図：戻し堆肥区)

表2 戻し堆肥被覆による堆肥化過程における堆肥成分の理化学成分値 (左図: 夏期, 右図: 冬期)

		対照区		戻し堆肥区		被覆 戻し堆肥			対照区		戻し堆肥区		被覆 戻し堆肥
		開始時	終了時	開始時	終了時				開始時	終了時	開始時	終了時	
水分	%	53.4	26.2	53.5	29.9	53.6	水分	%	59.8	48.2	60.6	47.0	41.6
pH		6.2	9.0	5.8	8.8	7.1	pH		7.1	8.9	7.0	8.9	6.8
有機物	DM%	91.8	86.3	90.7	75.0	70.0	有機物	DM%	85.6	82.2	86.7	74.8	77.7
T-N	DM%	1.8	2.5	1.9	3.0	3.0	T-N	DM%	2.9	3.2	3.0	3.8	2.6
NH <sub>4</sub> -N	mg/DM100g	551.2	236.1	510.2	229.7	32.0	NH <sub>4</sub> -N	mg/DM100g	466.3	337.2	482.9	461.9	269.4
NO <sub>2</sub> -N	mg/DM100g	2.6	51.8	1.9	153.3	108.7	NO <sub>2</sub> -N	mg/DM100g	0.0	23.1	0.0	72.2	9.8
NO <sub>3</sub> -N	mg/DM100g	0.0	8.7	0.0	9.6	13.1	NO <sub>3</sub> -N	mg/DM100g	0.0	98.5	0.0	79.7	78.1
BOD	mgO <sub>2</sub> /DMg	173	40	159	37	58	BOD	mgO <sub>2</sub> /DMg	84.7	7.2	89.4	4.8	6.4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	DM%	3.0	4.0	3.5	7.2	5.7	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	DM%	4.4	3.5	4.4	4.8	4.3
K <sub>2</sub> O	DM%	0.9	1.4	1.0	1.8	2.0	K <sub>2</sub> O	DM%	1.5	2.1	1.4	2.5	2.4
CaO	DM%	0.8	0.9	0.8	1.2	1.1	CaO	DM%	0.9	0.7	0.8	1.0	0.9
MgO	DM%	0.7	0.9	0.7	1.7	2.0	MgO	DM%	1.0	1.3	1.0	1.7	1.4
Cu	mg/DMkg	59.2	83.8	61.9	168.5	288.5	Cu	mg/DMkg	85.1	128.1	103.6	186.7	200.8
Zn	mg/DMkg	308.1	435.5	330.6	788.4	1105.7	Zn	mg/DMkg	370.5	505.7	353.3	598.5	646.4
C	DM%	42.3	40.5	41.9	35.6	30.5	C	DM%	39.7	37.8	39.8	35.0	32.9
C/N		28.4	21.4	24.6	13.5	9.8	C/N		15.4	16.9	14.5	13.5	10.9

試験終了時の全窒素量は対照区より戻し堆肥区で夏期では17%, 冬期では19%程度多くなった(表2)。これより, 戻し堆肥を被覆したことによりアンモニアが戻し堆肥に吸着したことが推察された。また, 戻し堆肥を利用することにより肥料成分が高まった。しかし, 銅や亜鉛含有量も増加してしまうため, 戻し堆肥の繰り返し利用は注意が必要であると考えられる。

豚ふんへ戻し堆肥を添加することで低級脂肪酸濃度が減少すると報告されている<sup>2)</sup>。吉尾ら<sup>7)</sup>は戻し堆肥を表面被覆することによりアンモニアが低減すると報告している。以上から, 今回の臭気低減は表面被覆することにより臭気が吸着するとともに, 低水分の堆肥を混合することで通気性がよくなり良好な堆肥化が行われたものと考えられる。また, 太田ら<sup>8)</sup>は, 豚ふんを無臭化する放線菌を含んだ戻し堆肥を混合するこ

とにより短期間で無臭化できたと報告していることから, 戻し堆肥中の微生物の増加による働きも関与していたと推察される。また, 夏期, 冬期での臭気物質の発生状況から, 臭気対策は堆肥化開始から約1か月間を重点的に取り組む必要性が示唆された。

## 2 堆肥化施設における捕集可能距離の検討

臭気発生源から近い堆積物表面(0m)では, 臭気の捕集及び分析が可能であったが, 表面から2m, 5m付近では臭気が拡散してしまうため公定法での捕集では検出が困難であった(表3)。これより, 低濃度の臭気の場合は, 長時間の捕集及び濃縮が必要であることが示唆された。だが, 公定法では基本的に短時間での臭気の測定を想定しているため, 長期的捕集・定量に対応する捕集装置の開発が必要である。

表3 堆肥化施設における拡散状況下での臭気発生状況(ppm)

		2日			14日(切り返し)			24日(切り返し)		
		0m	2m	5m	0m	2m	5m	0m	2m	5m
低級脂肪酸	アンモニア	5.70	ND	ND	1.90	0.95	ND	4.75	2.85	0.95
	プロピオン酸	0.01	ND	ND	0.01	ND	ND	ND	ND	ND
	ノルマル酪酸	ND	ND	ND	0.03	ND	ND	ND	ND	ND
	イソ吉草酸	ND	ND	ND	0.01	ND	ND	ND	ND	ND
硫黄化合物	ノルマル吉草酸	ND	ND	ND	0.01	ND	ND	ND	ND	ND
	硫化水素	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	メチルメルカプタン	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	硫化メチル	0.29	0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	二硫化メチル	0.05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND: not detected.

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、臭気測定についてご指導をいただきました国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構畜産研究部門畜産環境研究領域の長田隆博士、安田知子氏に深謝いたします。

## 参考文献

- 1) Kazutaka Kuroda, Takashi Osada, Mitihiro Yonaga, Akane Kanematu, Takako Nitta, Sigenori Mouri, Tomoko Kojima, 1995, Emissions of malodorous compounds and greenhouse gases from composting swine feces, *Bioresource Technology*, 56, 265-271
- 2) 新田孝子・毛利重徳・兼松あかね・小島知子・黒田和孝・長田隆・代永道裕, 1993, 豚糞の堆肥化に伴う発生臭気に対する返送堆肥添加の影響, *沖縄県畜産試験場研究報告*, 31, 83-90
- 3) 農林水産省生産局, 平成 27 年度中央畜産技術研修会, 畜産環境保全 (堆肥化処理・利用技術)
- 4) 白石誠・脇本進行・滝本英二・小林宙・長田隆, 2005, 亜酸化窒素・メタンの発生抑制方法の検討 (II) - 豚ふん堆肥化過程から発生するアンモニア, 亜酸化窒素及びメタン濃度 -, *岡山県総合畜産センター研究報告*, 16, 31-37
- 5) 財団法人畜産環境整備機構, 家畜ふん尿処理・利用の手引き, 1998 年, 初版, 75-114
- 6) 小山太・松原英隆・今村弥生・尾上武・近藤隆一郎, 2011, 養豚堆肥化施設における発生源別の臭気物質の挙動, *日本畜産学会報*, 82, 397-404
- 7) 吉尾卓宏・羽成勤・小沢光男・内田三郎・山形勝吉・林隆・谷田部隆・相馬由和, 1997, 豚ふん堆肥化過程における脱臭方法 (悪臭防止試験), *茨城養豚試験報*, 10, 1-36
- 8) 太田欽幸・池田貢, 1979, 微生物による豚ふんの急速無臭化法, *日本農芸化学会誌*, 53, 277-284