

今からでもやろう環境対策

— 豚ふん尿処理 —

独立行政法人 農業技術研究機構 畜産草地研究所 羽 賀 清 典

1. 養豚のふん尿処理は堆肥化と浄化槽

養豚では、ふんと尿を分離し、ふんは堆肥化、尿は浄化槽がメジャーな方法となっている。酪農や肥育牛には污水处理がほとんどない。なぜ養豚だけが污水处理で悩まなければいけないのだろうか。とはいっても、環境をクリアしている先進的な養豚家には、必ずといっていいほどきちんとした堆肥化施設と污水处理施設がある。その理由を表1の(1)から(8)に沿って考えてみよう。

表1 ふんと尿を分離し、ふんは堆肥化、尿は浄化槽になる筋道の(1)～(8)

(1) ふん尿混合液は、臭気が強くなる。
(2) ふん尿混合液は、堆肥化には薄すぎる。
(3) ふん尿混合液は、污水处理には濃すぎる。
↓
(4) ふん尿混合液の持って行き場に困る。
↓
(5) ふん尿混合液は、素堀になることがある。
↓
(6) 豚舎でふん尿分離を余儀なくされる。
(7) ふん尿分離したふんは、堆肥化して耕種利用する。
(8) ふん尿分離した尿は、浄化槽で処理し放流する。

ふん尿分離をしない場合、ふん尿混合液は(1)臭気が強くなり、(2)堆肥化には濃度が薄すぎ、(3)污水处理には濃すぎる中途半端で処理しにくいものになる。その理由は、豚は尿の量がふんの量に比べて多いからである。牛の尿の量はふんの量の半分以下だが、豚の尿はふんの2倍ある。ア

ンモニアのほとんどは尿から発生し、臭気も強い。尿の量が多いことが、ふん尿混合液の処理を難しくしている。

ふん尿混合液を液肥に使おうと思っても、現状の養豚ではままならないことが多い。(4)持って行き場がなくなり(5)素掘りになってしまうかもしれない。しかし、平成16年11月からの「家畜排せつ物法」では、素堀と野積みは禁止である。

ふん尿混合では処理が難しいとなると、豚舎において(6)ふんと尿を分離し、(7)ふんは堆肥化、(8)尿は浄化槽(活性汚泥処理施設)で処理することになる。堆肥化も浄化槽も確立された確実な技術だからである。汚濁物質のほとんどはふんの中にある。ふん尿分離によって汚濁物質のほとんどは堆肥化で処理され、必然的に浄化槽の必要容積を小さくすることができる。ゴミ処理においては「混ぜればゴミ、分ければ資源」という有名な格言がある。豚ふん尿についても同じことがいえる。

以下では、堆肥化と污水处理について概説する。

2. 堆肥化の主役と基本条件

堆肥化の主役は微生物である。しかも空気が好きな好気性微生物である。空気の嫌いな微生物を嫌気性微生物というが、堆肥化では嫌気性微生物は脇役である。堆肥化を順調に進めるためには、

好気性微生物の活動を活発にする適正な環境条件を整える必要がある。

基本条件には、①栄養源、②水分、③空気、④微生物、⑤温度、⑥堆肥化期間の6つがある。この基本6条件の数値的な目安については、表2に整理した。

(1) 栄養源 (基本条件①)

家畜ふんの中には、分解しやすい有機物(易分解性有機物)が多量に含まれている。それが堆肥化の微生物の栄養源となる。分解しやすいとは、微生物によって分解しやすい有機物である。また悪臭や水質汚濁の原因となる汚染源の有機物でもある。したがって、分解しやすい有機物を分解して無害にすることが、環境汚染を防ぐことになる。因みに、分解しやすい有機物は、污水处理で言えば生物化学的酸素要求量(BOD)に相当するものである。

栄養バランスとして、C/N比(炭素と窒素の比率)が基準となる。牛ふんでC/N比は15～20、豚ふんで10～15、鶏ふんで6～10くらいの低い

値で、窒素の割合が高く過剰なのが家畜ふんの特徴である。堆肥化がうまく進行すると、多量のアンモニアが発生するのは、C/N比が低いためである。

(2) 水分 (基本条件②)

生ふんの水分は約80%と高いため、55～70%くらいの通気性が良くなる水分に調整する必要がある。堆肥化の主役の好気性微生物に酸素(空気)を送るために、通気性を確保しなければならない。通気性の確保には水分調整が必要であり、水分調整方法には、ハウスを利用した予備乾燥や水分の少ない副資材(オガクズ、イナワラ、戻し堆肥など)を混合する方法が一般的に行われている。

通気性の発現する水分は、畜種や副資材の種類によって異なる。豚ふんや鶏ふんは、牛ふんよりも通気性の発現する水分が低いので、水分調整に気を付ける必要がある。一般的に通気性の発現する水分は、予備乾燥や戻し堆肥を混合した場合は豚ふんで55%以下、牛ふんで68%以下、オガクズやモミガラなどの副資材を混合した場合は豚ふんで

表2 堆肥化の基本6条件の目安

条 件	目 安
1. 栄養分は十分にあるか	… 十分にある。 BOD 数万 mg/kg 以上が目安。 C/N は窒素過多。
2. 水分は適当か	… 55～70%程度に調整する。 通気性の良くなるような水分。 容積重 0.5 kg/リットルにできるだけ近づける。
3. 空気(酸素)は十分に送られているか	… 通気性が良くなるように堆積する。 攪拌または時々繰り返す。 強制通気の場合は 50～300 リットル/分・m ³ が目安。
4. 微生物は沢山いるか	… 十分にいる。戻し堆肥で十分。
5. 温度は上昇しているか	… 60℃以上が数日間続くように。
6. 時間をかけているか	… 家畜ふんのみ場合は2カ月、 イナワラ、モミガラなどの作物残渣を混合した場合は3カ月、 オガクズ、パークなど木質資材を混合した場合は6カ月が目安。

62%以下、牛ふんで72%以下といわれている。それだけ、豚ふんの堆肥化は難しいのである。

(3) 空気（基本条件③）

主役の好気性微生物は酸欠状態では十分に働くことができない。堆肥中の微生物に空気を送る必要がある。微生物に空気が届かなくなると、堆肥の温度は低下し、嫌気性になって、悪臭を放つようになるからである。

微生物に空気を送るもっとも標準的なやり方は、生ふんの水分調整を行って通気性を改善してから、堆積または発酵槽に充填し、適宜切り返しや攪拌を行う方法である。さらに、堆肥舎の床面や発酵槽の下部から強制通気を行う方法が有効である。堆積原料の種類、水分、気温などによって通気量は異なるが、おおよそ50～300 L/分・m³である。

(4) 微生物（基本条件④）

生ふん1gの中には1,000万～1億個の多種類の微生物が生きている。堆肥化のための微生物は、ふん中、空気中、畜舎、堆肥舎など自然に存在するもので十分である。とくに外から添加する必要はない。むしろ、今まで述べてきたように、好気性微生物が活動できる基本的な条件を整えることのほうが重要である。最近では製品堆肥を水分調整に利用する戻し堆肥方式が多くなってきた。このような戻し堆肥の中には、各現場に適応した有効な微生物が多く存在し、堆肥化の微生物源となっている。

(5) 温度の上昇（基本条件⑤）

分解しやすい有機物を微生物が盛んに分解すると発熱し、堆肥の温度が上昇する。その温度は70～80℃にもなる。堆肥の温度が上昇したことのメリットには、次の4点がある。①微生物が有機

物を盛んに分解している証拠で、堆肥化が順調な証拠である。②温度が高いほど、微生物の活性が高くなる。③水分が蒸発し、堆肥の水分が低下する。そして、④人体病原菌や寄生虫、雑草種子が死滅することである。病原菌などは60℃付近の温度で短時間に死滅することが知られている。また、雑草の種子も60℃付近で発芽能力を失う。そのため、堆肥の全体が高温を経験するように、攪拌・切り返し作業が重要である。

(6) 時間をかける（基本条件⑥）

切り返しても、温度が上昇しなくなるまでの堆肥化期間が必要である。堆肥化期間の一応の目安としては、堆積方式の場合、家畜ふんのみでの堆肥化で2ヶ月程度、作物収穫残渣との混合物で3ヶ月程度、オガクズなど木質物との混合物では6ヶ月程度が妥当といわれている。堆肥化方式によっても堆肥化期間は異なるが、その期間については堆肥化施設設計マニュアル（中央畜産会発行）に記載されている。

3. 堆肥化過程の悪臭対策

悪臭の少ない堆肥を作るには、好気的な堆肥化を行うことである。主な悪臭物質である硫黄化合物や揮発性脂肪酸は嫌気性条件で大量に発生するからである。硫黄化合物は卵やキャベツが腐ったような臭い、揮発性脂肪酸は酸っぱい臭いや靴下のむれた臭いである。

好気的な堆肥化においても、大量のアンモニアの発生は避けることができない。アンモニア濃度が200～300 ppmの場合には、ロックウール脱臭装置などが有効である。また、アンモニア濃度が数千 ppmの高濃度の場合には、燃焼脱臭装置などが有効である。ただし、脱臭装置の設置には経費

がかかるので、なるべく悪臭を出さない堆肥化を行うことが望ましい。

4. 肥料成分と腐熟

堆肥は肥料的価値と有機物としての価値の両方を持っている。したがって、有機質肥料としては、肥料成分含有量と腐熟度の両方が重要な尺度となっている。肥料成分については、1999年の肥料取締法の改正によって、特殊肥料届出の家畜ふん堆肥の表示義務が決められた。表示項目は①一般表示事項（名称、表示者氏名、重量など）、②原料、③主要な成分含有量などの3つである。

腐熟した堆肥とは、農地に施用しても作物に障害を起こさず、土壤微生物に活動エネルギーを十分に与えて地力を増進し、作物生産を高めるものとされている。現在までに研究された腐熟の指標及び腐熟度判定法は30種類くらい知られている。しかし、どんな試料にも共通に適用できる絶対的な方法はなく、今も研究中である。簡単にできる方法でよく使われるのは、堆積温度、コマツナ種子の発芽試験、硝酸態窒素の検出などである。簡単に発芽試験ができる発芽シートや硝酸態窒素の検出用試験紙が市販されている。

5. 堆肥の塩分の問題

堆肥の塩分が問題だと言われる。この塩分は食塩ではなく、肥料成分のアンモニウム塩、硝酸塩、リン酸塩、カリ塩が大半を占めている。肥料成分が過剰になることが、いわゆる塩分過剰である。化学肥料と共存した堆肥利用を推進するために、肥料成分を過剰に施用しないために、また環境を汚染しないためにも、堆肥の成分の把握が重要である。

塩分濃度を測る指標に電気伝導率(EC)がある。群馬県の畜産試験場のデータでは、ECが4.45 mS/cmの豚ふん堆肥を標準施用(2t/10a)した場合の土壤のECの上昇は0.163 mS/cmであった。一方、化学肥料(硫安や15-15-15化成)を窒素20 kg/10aの割合で施用した場合の土壤のECの上昇は、各々0.154 mS/cm、0.252 mS/cmであった。このデータを見ると、適正な肥料成分の施用量ならば、堆肥による土壤の塩分の増加は化学肥料とそれほど変わらないことがわかる。適正施用した堆肥が塩分過剰を引き起こすことはない。

6. 耕種のニーズと、畜産から耕種へのメッセージ

耕種のニーズを調べたアンケート(日本土壤協会)によると、特別栽培米生産農家が家畜ふん堆肥を使い始める条件は次のようになった。完熟で、雑草種子の混入が無く、品質が安定した高品質堆肥を望むものが26%、散布しやすい乾燥品が9%、重金属や病原菌のない安全性が2%で品質関連が合計37%に上った。次に低コストを望むものが20%であった。さらに、運搬・散布に関するものとして、散布請負10%、少労力9%、散布機械8%、入手可能5%、輸送2%を加え合計して34%になった。これから堆肥を使おうと考えている熱心な農家の考えは、①高品質、②低コスト、③運搬・散布の3つに集約されるものと考えられる。そこで、図1のように、堆肥を作る畜産から耕種へのメッセージを考えてみた。「安全で安定した品質の、安心して使える堆肥を安価に運搬・散布する」。畜産の方から、このような篤いメッセージで耕畜連携の扉を開くために、耕種が使いたがるような、良質堆肥の生産が必要である。

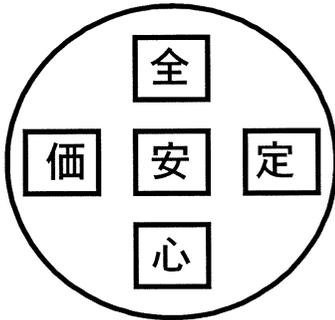


図1 堆肥をつくる畜産から耕種へのメッセージ
(安全で安定した品質の, 安心して使える堆肥を安価に運搬・散布する。)

放流するのか, 最終的な出口によって自ずと処理方法も異なってくるからである。

貯留槽に貯めただけの液肥は, 嫌気性条件なので臭気も強く, 利用範囲も限られる。一方, 空気を送って好気性条件で微生物を働かせると, 臭気が低減し使いやすい液肥になる。空気を送ることを曝気(ばっき)という。簡易曝気法は簡易な曝気装置で好気性条件を作り, 液肥の臭気を低減する方法である。簡易曝気法には, 曝気槽の形状, 使用する資材, 曝気方法などの違いによって, 色々な方法がある。

7. 汚水処理技術の種類

汚水処理には, 図2に示すようないくつかの方法がある。図2では, 処理水が最終的にどこへ行くのかを主眼にして, 処理方法を分類した。処理したあとは液肥利用なのか, 堆肥なのか, 河川へ

メタン発酵法は, 嫌気性条件だが大量のメタン細菌によってバイオガス(メタンガス)を生産する方法である。臭い有機酸が分解されてバイオガスになるので, 液肥の臭気は低減される。しかし, 処理水を河川等へ放流する場合には, まだ汚

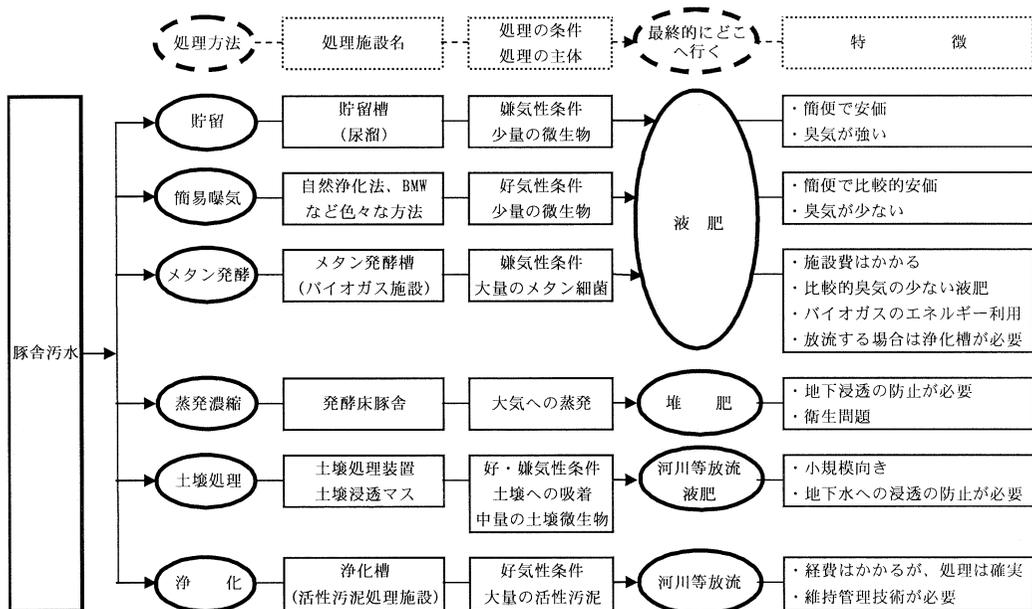


図2 最終的にどこへ行くのかを考えた豚舎汚水処理方法の特徴

濁物質濃度が高いので、浄化槽で処理する必要がある。

発酵床豚舎は敷料の堆肥化によって水分を蒸発させ、汚水を出さないようにする方法といえるであろう。飼養密度や衛生問題に留意する必要がある。また、土壌を利用した汚水処理では地下水への浸透がないように、処理水を回収する必要がある。今回の「家畜排せつ物法」は地下水の硝酸性窒素汚染が引き金のひとつとなっているため、地下水汚染は防がなければならない。

養豚経営のほとんどは、処理水を放流するしかないであろう。放流できる処理水を得るためには浄化槽（活性汚泥処理施設）を利用することが標準的である。養豚ではふんと尿を分離し、ふんは堆肥化、尿は浄化槽がメジャーな方法となっている。浄化槽は好気性条件下で大量の微生物（活性汚泥）によって汚水を浄化する方法である。

8. 水質規制項目の特徴

表3には水質汚濁防止法で決められた放流基準項目の中で、畜産に関係の深い項目だけを選び、

基準や性質や測定法について概説した。表3は生活環境項目だけだが、これに加えて有害物質項目として硝酸性窒素+亜硝酸性窒素+0.4×アンモニア性窒素の含量が1,500 mg/L（平成16年6月までの暫定で本基準は100 mg/L）と決められている。

9. 浄化槽と活性汚泥

浄化槽の中心的な役割をはたしているのが曝気槽であり、その曝気槽の中に生きている活性汚泥が浄化の主役である。活性汚泥とは、汚水を浄化する能力（活性）のある微生物のかたまり（汚泥）である（写真1）。活性汚泥の微生物も、空気が大好きな好気性微生物である。活性汚泥を静置すると、塊となって速やかに沈み、上澄み液が透明できれいな処理水となる。活性汚泥はこのような優れた浄化能力・凝集性・沈降性が特徴である。しかし、活性汚泥の微生物は特殊な微生物というわけではない。メーカーによって培われたノウハウは色々あるが、豚舎汚水に適合して自然発生的に培養される微生物の塊である。

表3 放流基準項目の性質

項目	排水基準	性質	測定法
pH	5.8～8.6	7が中性、高いとアルカリ性、低いと酸性	pH電極または試験紙
BOD	160mg/L (日間平均120mg/L)	微生物学的に酸化分解される成分	20℃, 5日間培養
COD	160mg/L (日間平均120mg/L)	化学的に酸化分解される成分	100℃, 30分間反応
SS	200mg/L (日間平均150mg/L)	浮遊・懸濁している成分	1μm以上の粒子
大腸菌群数	日間平均3,000個/cm ³	ふん便性の細菌数	37℃, 20時間培養
窒素	120mg/L (日間平均60mg/L)	窒素を含む成分	窒素含有量の分析
リン	16mg/L (日間平均8mg/L)	リンを含む成分	リン含有量の分析

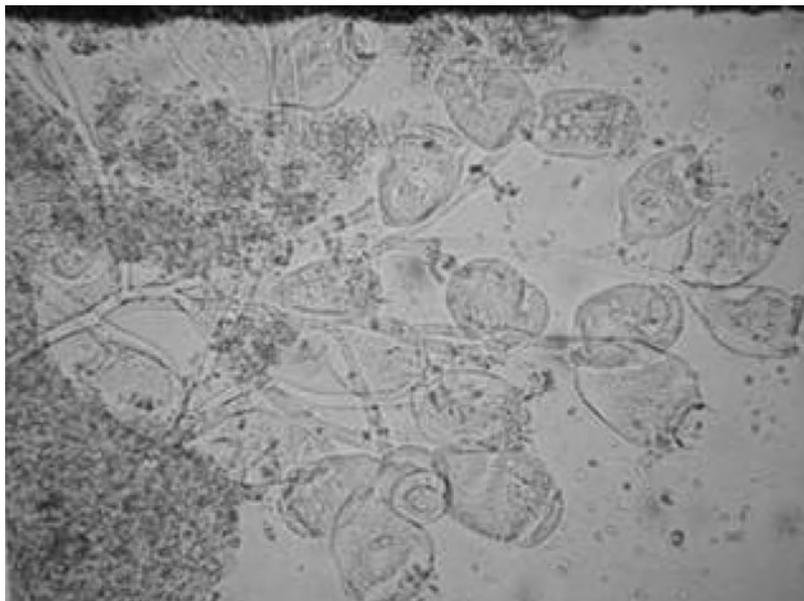


写真1 活性汚泥の顕微鏡写真

10. 曝気槽の運転は4サイクルで浄化処理

曝気槽の運転は沈殿、排出、流入、曝気の4サイクルとなっている。(1) 沈殿では、曝気を止め、活性汚泥を沈めて、浄化した処理水を得る。(2) 排出では、きれいな処理水を曝気槽から排出する。(3) 流入では新たに汚水を曝気槽に流入させる。そして(4) 曝気では、汚水と活性汚泥を混合・曝気して、汚水を浄化する。以上の4サイクルを1

日のタイムチャート形式で示したのが図3になる。このように1日を1回の単位として4サイクルに分ける方式を回分式(かいぶんしき)活性汚泥法と呼ぶ。豚舎の清掃パターンなどと対応する点も多く、使いやすい方式となっている。

11. 自然の恵みに感謝する汚水処理

日本人、1億2,000万人のし尿(下水)は、ほと

	午前9時	午後9時	翌日の午前9時
(1) 沈殿			
(2) 排出			
(3) 流入			
(4) 曝気			

図3 回分式活性汚泥法のタイムチャート

んど活性汚泥法で処理されている。水洗トイレから出た下水や、くみ取りし尿は、最終的には活性汚泥法で処理され、河川や海に放流されている。

あの隅田川が近年きれいになったのも、活性汚泥法のおかげであろう。昔は汚水が隅田川に流れ込んでいた。当時の隅田川は真っ黒なドブ川だった。近年、隅田川には屋形船が浮かび、橋巡りは観光資源となっている。花火大会も夏の恒例行事となっている。なぜ隅田川はきれいになったのか。下水道関係者の努力によって下水を活性汚泥法で処理したため、隅田川に汚水が流入しなくなったことに他ならない。

我々は自然の恵みのきれいな水で、豚を育てる。水が悪ければ豚も健康に育たない。きれいな水を使わせてもらったことで自然の恵みに感謝し、豚舎汚水は浄化してから自然に還すのが、一

流の養豚人の務めだと思う。そのために、活性汚泥法（浄化槽）をうまく使わせてもらおう。今からでもやろう！ 環境対策である。

参考文献

- 1) 畜産環境整備機構 (1998) 家畜ふん尿処理・利用の手引き. 202pp.
- 2) 中央畜産会 (2000) 堆肥化施設設計マニュアル. 246pp.
- 3) 羽賀清典 (2003) 良いたい肥づくりへのプロセス. 養豚界, 第38巻第7号, 40～43 (平成15年7月号).
- 4) 羽賀清典 (2003) 汚水処理, 知っておきたい基本の「キ」, 養豚の友, 第413号, 28～34 (平成15年8月号).