

家畜ふん堆肥の品質因子に関する研究

－3. 灰分測定による腐熟度評価－

脇阪 浩、阿部正夫¹、杉本俊昭²、斎藤忠史³

¹栃木県農業大学校

²栃木県畜産振興課

³栃木県酪農試験場

要約 腐熟度は家畜ふん堆肥の品質を左右する大きな要因であり、その指標や評価法は数多く報告されている。また腐熟の進行に伴って推移する因子も数多い。しかし、(1)堆肥化スタート時の状態が違う(2)由来の異なる易分解性有機物が混在する可能性がある(3)簡易であると値の意味するものがわかりにくい、の3つの理由により決め手が無いのが現状である。そこで、(1)スタート時も測る(2)有機物だけを測る(3)一般的な分析手法を用いる、という対処法で「灰分測定による評価法」を提案した。

水分調整済乳牛ふんを500Lコンテナ内で堆肥化させた際の有機物分解割合の推移を見ると、約50%分解が進行した時点で安定し、完熟と仮定できた。さらに有機物分解割合が50%に至るまでの季節別の推移を見ると、夏場では完熟となる期間を経過しても、冬場は6割程度しか分解が進行しなかった。

酪農家の生産した堆肥を測定したところ、有機物分解割合の平均は23.9%（スラリーの乾燥処理除く）であり、30%以上で有れば完熟であると評価できると考えられる。

緒言

肥料取締法の改正により堆肥の成分等の表示が義務づけられ、「成分分析と表示」に関しては一歩前進した感があるが、こと「品質」というあいまいなものに関しては、判断・評価・考え方など様々な声が現場から上がっている。

本県では平成13年度より堆肥共励会を開催し、当場で策定した評価基準を元に審査基準を定めているが、そこでは化学分析9項目、現物評価3項目、併せて12項目で総合的に評価している。（「1. 家畜ふん堆肥品質評価基準の策定」に詳細）

しかし、より単純な方法で堆肥の品質を容易に判断する手法を求める現場の声は強いものの、いくつ

かの理由から決定打は無いのが現状である。

そこで、家畜ふん堆肥の品質向上と流通促進に資することを目的として、従来から行われている手法を元に、合理的でわかりやすい、堆肥の腐熟度を判断するひとつの方法を考察した。

腐熟度の測定が難しい理由

腐熟の程度を表すために、さまざまな方法が報告・提唱されている。（表-1）

しかし、最適な唯一の手法となると、現状ではなかなか困難な状況にある。その理由としては、以下の3点が考えられる。

表-1 腐熟の指標および腐熟度評価法

A.微生物活動からの判定	
1) 推積物の温度	Golueke (1972)
2) BOD	羽賀・原田 (1984)
3) 酵素活性	Godden ら(1986)
4) ガス発生量 (ポリ袋法)	吉野 (1979)
B.生物を用いた判定	
1) 発芽試験	藤原ら (1980)、長田ら (1985)
2) 幼植物試験	高橋 (1976)、河田 (1981)
3) ミミズを用いた試験	吉野 (1979)
4) 花粉管生長テスト	若澤ら (1986)
C.物理性からの判定	

1) 物体色	菅原ら (1979)
2) 微細形態の観察	藤原ら (1980)
3) 篩別残渣重量	日向 (1981)
D.化学性からの判定	
1) C/N 比	Poincelot (1975)、Golueke (1981)
2) 水抽出物の C/N 比	Chanyasak・久保田 (1981)
3) 還元糖割合	井ノ子・原田 (1979)
4) アンモニアの不検出	Spohn (1978)、森・木村 (1984)
5) 硝酸イオンの検出	原田 (1983)、Finstein (1985)
6) COD	Lossin (1971)
7) pH	Jann ら (1960)
8) EC	日向 (1981)
9) 揮発性成分	羽賀ら (1978)
10) 遊離アミノ酸	原ら (1991)
11) 水抽出物のゲルクロマトグラフィー	吉田・久保田 (1979)
12) CEC	原田・井ノ子 (1980)
E.腐植物質による判定	
1) 円形濾紙クロマトグラフィー	Hertelendy (1974)、井ノ子 (1979)
2) 腐植物質含量	Morel (1982)、渡辺・栗原 (1982)
3) 沈殿部割合	菅原・井ノ子 (1981)
F.総合判定	
1) 評点法	川辺・高野 (1979)、原田 (1983)
2) 判別スコア値	下水汚泥資源利用協議会 (1985)
3) 近赤外分光分析法	中谷・原田 (1994)

1. 原材料の状況が様々

いろいろな方法が報告される理由は、堆肥の腐熟の進行に伴って変化する性状（測定値）は実はたくさん存在するからである。表-2は「1. 家畜ふん堆肥品質評価基準の策定」で報告した結果の概要を簡略に示したものだが、出入りの無い無機物（ミネラル）以外はほとんどの項目で変化が確認できる。これだけ堆肥化

の程度を示す可能性のある数値があるにもかかわらず、全ての堆肥の腐熟度を客観的に評価する手法が無いのは、堆肥化スタート時の状態（副資材との混合割合等）がすでに異なっているためである。

即ち、同じ原材料が腐熟する過程を示すのは容易であるが、もともとの状態の異なる堆肥を同じ尺度で評価・判断することが困難なのである。

表-2 堆肥化期間と各種測定値との関係

	期間が長いと上がるもの		期間が長いと下がるもの	
かなり関係がある ($p < 0.01$)	形状・触感 苦土（濃度） 石灰（濃度） 灰分（濃度） 全窒素（濃度） ナトリウム（濃度） リン酸（濃度）	透視度（塩化カリ） 発芽試験 加里（濃度） 硝酸態窒素（濃度） 硝酸態窒素（量） EC	水分（割合） 水分（量） 全炭素（量） 全炭素（濃度） 有機物量 容積重	C/N 比 全窒素（量） アンモニア態窒素（濃度）
やや関係がある ($p < 0.05$)	臭気 透視度（水）		アンモニア態窒素（量）	
あまり関係ない	易分解有機物 Na/K 比		リン酸（量） 灰分（量） 加里（量） 苦土（量）	pH 石灰（量） ナトリウム（量）

2. 易分解性有機物の由来の問題

次に「完熟」と易分解有機物について考察する。

堆肥の「完熟」の定義は必ずしも明確なものではないが、畜産（堆肥生産者）側としては、「易分解性有機物の分解」をもって完熟とする、という判断が通例となっている。

具体的には、「乾物の40%（有機物の50%）が分解した時点」と畜産環境アドバイザー養成研修会では解説され、本試験でも同様の結果を得た。数値が明確になったことで、一見完熟が科学的に判定できそうにも思える。実際、腐熟度測定手法探求の方向性は多くが易分解性有機物の測定法へ向いている。

易分解性有機物を定量する手法はいくつか報告されているが、その一つに飼料分析で繊維分の分析に用いられる「ADF（酸性デタージェント繊維）分析法」がある。

堆肥化に伴う易分解性・難分解性有機物量の推移は図-4のとおりである。

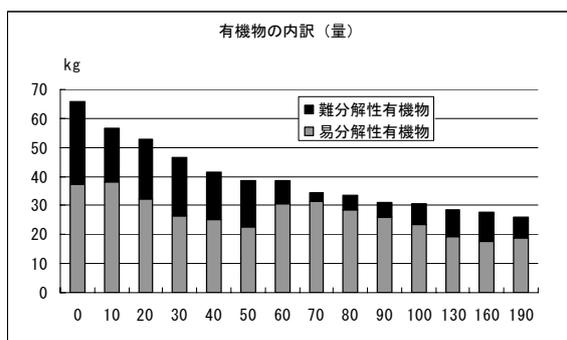
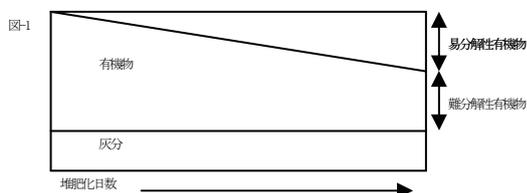


図-4 堆肥化に伴う有機物量の推移

この結果によると、易分解性有機物は完熟状態になっても消失はせず、むしろ難分解性有機物の方が減少する。

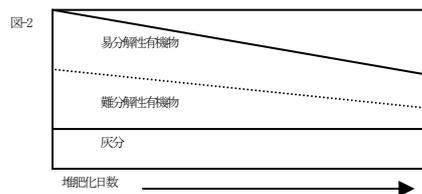
この現象について推測してみた。

図-1は、腐熟の説明によく使われる図である。

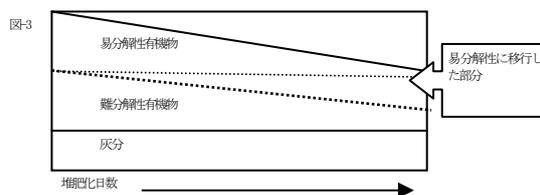


灰分は基本的に変化せず、有機物が減少する。この図に於いては、分解性の難易は明記されていないが、減少した部分が易分解性、そして残存しほとんど減少しなくなった部分が難分解性と説明されるため、堆肥化の過程に於いて、難分解性有機物はほとんど無変化で、易分解性有機物のみ減少し消滅する、と理解してしまう。

しかし実際には、図-2の様な変化をたどる。



易分解性・難分解性ともに減少し、特に完熟まで（堆肥化の初期）は難分解性有機物の減少が著しい。つまり、図-1の模式図とは逆の現象が見かけ上確認される。それは図-3のように考えるとよい。



生ふんの状態で区分されている難分解性・易分解性有機物のうち、易分解有機物は急激に減少する。一方の難分解性有機物も、いつまでも難分解性のままではない。堆肥化の過程において、徐々に分解され、それは易分解性有機物として溶出される。つまり、堆肥化過程で分画される易分解性有機物には、もともと易分解性であったものと、難分解性有機物から移行したものの2種類が混在していることになる。

図-3の「易分解に移行した部分」を難分解性に含めると、図-1に一致することがわかる。

以上はあくまで推測ではあるが、少なくとも見かけ上由来の異なる易分解性有機物が混在しているとすれば、その2種類を区分し定量する測定方法をとらない限り、腐熟度測定に即応させることは難しいと言える。

3. 測定方法が難しい、また意味がわかりにくい

BOD（生物学的酸素要求量）の測定は腐熟度を示す重要な指標となるが、その測定には設備と時間と技術を要す。同様に、有効な手法であってもその測定が研究室レベルでなければ困難であるような手法では、波及性を考える上で問題となる。なるべく簡易な測定法によることが望ましいことは言うまでもない。

また、簡易な手法であり、その数値が腐熟度と高い関連がある指標値であっても、その数値が何を表しているのかがわかりにくいと、判断材料としてなじみづらいという事も言える。

結果及び考察

前項1～3で述べた問題点に対処するにはどうす

れば良いか。

1. 原材料の状況が様々
→堆肥化スタート時も測定する。
2. 易分解性有機物の由来の問題
→有機物だけを見る。
3. 測定方法が難しい、また意味がわかりにくい
→通常の堆肥分析の手法を用いる。

以上によりほぼ回避できると考えられる。

そこで、試験研究ではごく一般的に行われている、灰分測定により有機物量の推移等を測定する手法を、現地に於ける腐熟度の判定手段として用いることを提案する。

1. 考え方

- ・乾物から灰分(強熱残量)を差し引いた値を有機物量とする。
 - ・灰分は不変とする。
- の2点を前提とする。

堆肥化スタート時(ふん尿と副資材を混合して調整された状態)と、判定したい堆肥の灰分(乾物中)を測定する。当然値としては相対的に増加しているが、灰分自体が不変とすれば、そこから減少した有機物量を算出できる。その減少した割合が50%より多いか少ないかで推定ができる。

2. 測定方法

- (1)堆肥化スタート時の生ふんを採取し、充分混和して乾燥させる。(105℃で6時間以上)
この際、併せて水分も測定できる。
磁製の容器の風袋重を測定し、乾燥したふんをよく混ぜて(できれば粉碎して)5~10g程度とり再度秤量し、電気マッフル炉で焼く。(450℃4時間以上)
灰化後、容器ごと秤量する。

$$\text{【灰分 (\%) = 灰の重量} / \text{採取量} \times 100\text{】}$$

- (2)腐熟度を測定したい堆肥も同様に測定する。

- (3)以下の順に計算する。

A	原材料の灰分	
B	原材料の有機物割合	100-A
C	堆肥の灰分	
D	堆肥の有機物割合	100-C
E	灰分が不変とした場合の有機物量	(A×D)÷C
F	堆肥化までの有機物減少量	B-E
G	有機物減少割合	F/B

3. 備考

- (1)灰分という、一般的な堆肥分析項目を利用するだけなので、合理的でわかりやすい判定法であり、自分

の生産した堆肥の「有機物分解割合」を把握しておけば、流通時に未熟・完熟の程度を判断する材料になる。(2)数値のばらつきを除くため、乾燥したサンプルはできれば粉碎し、さらに2~3点反復をとると良い。(特に生ふん)

(3)灰化に必要な電気マッフル炉は、県では限られた機関にしか無く、外注すれば数千円の費用がかかる。畜産草地研・家畜生産管理部から簡易な灰化法も報告されているが、当方の考え方としては、現場指導員の負担を軽減するために、関係機関の協力で機器を利用させてもらう方向で進めていきたいと考える。なお、当試験場においては機会ある毎にこの評価法を積極的に活用していきたいと考える。

4. 実証試験結果

(1)堆肥化に伴う推移(その1)

バーンクリーナ搬出の乳牛ふんにおが屑を混合し、300 $\frac{1}{2}$ で210kg(容積重700kg/m³)に調整したものを10日毎に切り返しとサンプリングをしながら堆肥化を行った時の有機物量の推移は図-5に示すとおり。

(※「1. 家畜ふん堆肥品質評価基準の策定」の「II 堆肥化過程における品質の推移」の結果の引用)

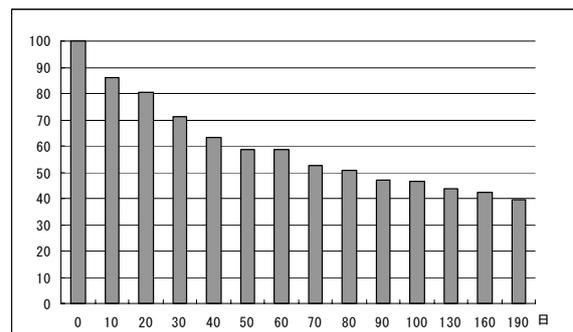


図-5 堆肥化の進行に伴う有機物量の推移

有機物分解割合が50%を越えた段階で分解率や品温変化が安定し、ほぼ完熟したと仮定できた。

(2)堆肥化に伴う推移(その2)

次に、有機物分解割合50%を到達点として、そこに至るまでの過程について、季節による差(外気温の影響)を併せて調査した。

試験容積が小さいので、外気温の影響をストレートに受けたため、冬期を経過した場合の堆肥化期間は、夏場のそれに比して3倍の期間を要した。ここから堆肥化期間は外気温の影響が非常に大きいことがわかったが、重要なのは、夏場であれば既に完熟に至った期間であっても、冬場であればその期間では6割程度しか堆肥化が進行していない、という事実が数値とし

て把握できた、ということである。

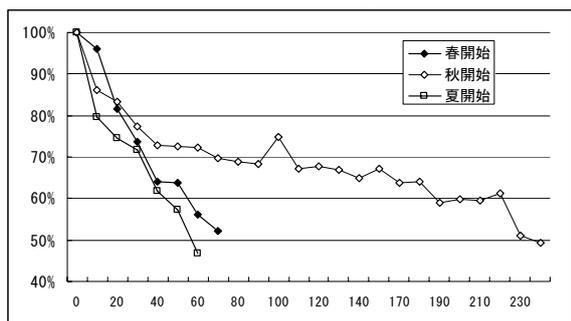


図-6 有機物量の推移の季節による差

文 献

※「1. 家畜ふん堆肥品質評価基準の策定」に全て集約したため省略。

(3)現地実証試験

さらに、実際に県内の畜産農家において生産されている堆肥について、調査を行った。

調査対象は、酪農 21 戸、肉牛 2 戸、養豚 2 戸、養鶏 1 戸、生ゴミ混入堆肥センター 2 戸の計 28 戸である。

例数の確保できた酪農における有機物分解割合の数値の分布は図-7 のとおりである。

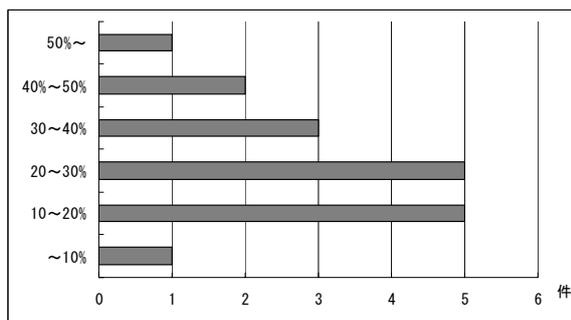


図-7 有機物分解割合の分布 (酪農)

なお、スラリーの乾燥処理を行っている 3 戸については、分解がほとんど進んでいなかったため、割愛した。(但し、スラリーの乾燥処理においても、開始時点での戻し堆肥による調整が充分に行われているれば、それなりの分解を確保できることも確認している。)

酪農家の生産堆肥の有機物分解割合の平均値は 23.9%であった。調整済生ふんを単体で堆肥化処理させる場合 (前述の試験(1)(2)) は分解割合が 50%まで進んだが、実際の堆肥化処理のように、古い堆肥に新しい生ふんが混合していく場合には、ほとんど 50%までは至らなかった。理由としては、難分解性有機物の割合が増加することによるものと推察している。

また、製品堆肥の水分、および副資材と、有機物分解割合との明確な関連性は今回は確認できなかった。

この数値は、自分の牧場で生産する堆肥の指標値として把握しておくもので、絶対評価に用いるにはまだ検討の余地はあるが、現在までのところ、酪農においては「10%以下では未熟、30%以上であれば完熟」と判断できると考えている。