

Ⅳ．ホイルローダー等による堆肥化処理業務のあり方

1. 切り返し作業の留意事項

切り返しの必要性は前述したとおりであるが、実際にホイルローダーやフロントローダーを用いて作業を行う際には、幾つかの留意すべきポイントがある。

次に掲げる事項は、いずれも実際に堆肥処理を行うオペレーターにとって不可欠な留意点であるので、十分に理解しておく必要がある。

(1) 堆肥の山は、表面積を広く、低くつくる

堆肥化は好気性微生物の働きによるものであるから、実際に堆肥化が進んでいるのは、酸素の供給が可能な表層部分のみである。また、堆肥の山を高く積み上げると自重により下層の空隙が無くなり、酸素を供給できなくなるため、嫌気性微生物の活動を促すことになる。

したがって、効果的に堆肥化を行うためには、堆肥の山の表面積をできるだけ広くとるとともに、山の高さを低くすることが望ましい。

しかしながら、現実には堆肥舎のスペース、原料資材の量、堆肥化に要する期間等の制約があることから、必ずしも十分な対応がとれるわけではない。

こうしたことから、実際に堆肥処理を行う者は、試行錯誤を繰り返しながら、それぞれの条件にあった堆肥の山の形状を見い出す必要がある。

(2) 切り返しの際には通気性の確保に気を付ける

堆肥化は好気性微生物の働きによるものであるから、堆肥の山はできるだけ酸素を供給できる空隙を多くすることが望ましい。このため、切り返しを行う際には、ローダーのバケットを小刻みに動かしながら積み替えを行うなど通気性の確保に気を配った作業が必要である。

この場合、通気性の目安となる容積比重は、0.5kg/リットル以下が望ましい。

(3) 常に温度計でチェックする

堆肥化の状況を把握するため、常に温度計でチェックする必要がある。この場合、温度を計測する位置は、堆肥の状態にもよるが、好気性微生物が活発に働いている表層から1m以内の部分が好ましい。通常、切り返した翌日には温度は70℃程度まで上昇するが、もし温度の上昇が十分でなかったならば、①既に有機物の分解がかなり進んでいる、②水分不足や酸素不足により好気性微生物の働きが抑えられている、等の理由が考えられる。

また、温度のチェックは、切り返しのタイミングをつかむために重要な役割を果たす。効率的に堆肥化を進めようとするならば、温度があまり下がらないうちに早めに切り返しを行うことが望ましい。

(4) 常に視覚でチェックする

堆肥化の状況を把握するため、常に視覚でチェックする必要がある。酸素の供給が十分で堆肥化が進むと、原料資材は黒褐色を帯びてくる。逆に、嫌気的な部分は黄緑色を呈する。特に、堆肥化初期は、堆肥化が進んだ表層と堆肥化が進んでいない部分との境界が鮮明に見える。

また、好気性微生物が盛んに活動していれば、表層付近に放線菌や糸状菌による白色の菌糸が見

られることもある。

さらに、繊維質作物資材や木質資材が混入していれば、これらの形状が壊れた様子から、堆肥化の進み具合を判断することができる。

(5) バケットで運搬した回数でおよその容積を把握する

堆肥化が進むにつれて、水分の蒸散や有機物の分解が起こるため、重量及び容積が徐々に小さくなっていく。

重量を頻繁に測定するのは困難であるが、容積は切り返しを行う度にバケットで運んだ回数を記録しておけばおよその見当はつく。また、容積を把握できれば、容積比重を乗じることによっておよその重量も推計できる。

堆肥化を行う場合、限られた堆肥舎のスペースを上手に利用することが必要である。したがって、重量や容積の変化をあらかじめ把握しておくことは、作業を計画的に進める上で非常に有効である。また、圃場への堆肥還元を計画する際にも有効である。

(6) 副資材を有効に活用する

いくら頻繁に切り返しを行っても、酸素を送り込む空隙が少なければ好気性微生物の活動は見込めない。したがって、このような場合には、細断した乾草やモミガラなどの副資材を適量投入することにより空隙を確保することが望ましい。

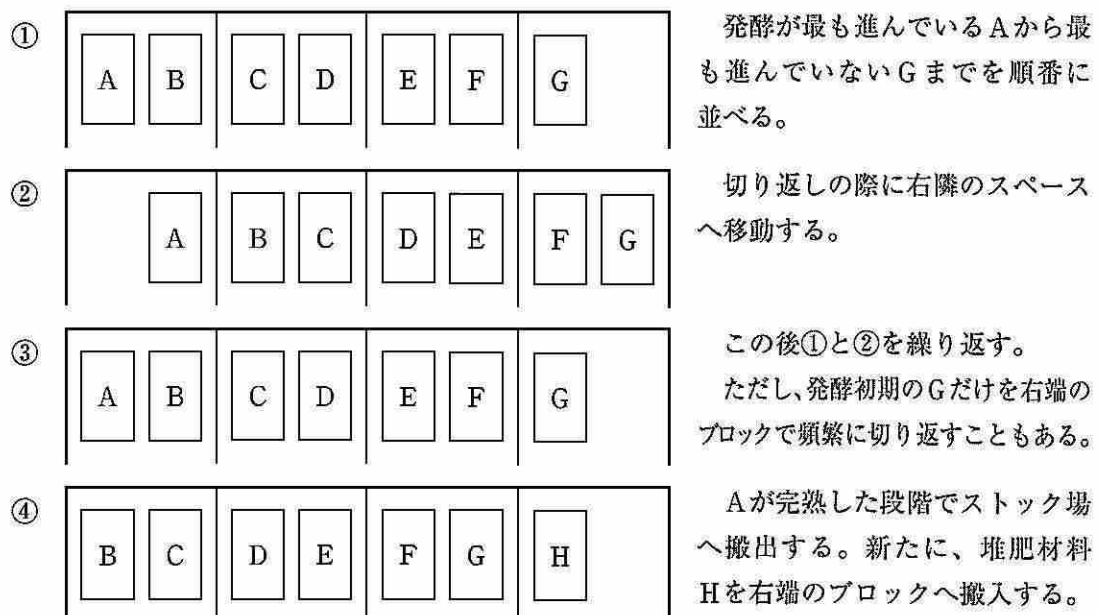
また、気温の低さ等から発酵温度の立ち上がりが思うように行かない場合には、起爆剤として易分解性炭水化物の含有率が高い副資材（米糠やビール粕等）を投入するとよい。

(7) 発酵ステージの順に並べる

空いたスペースを利用して、次から次からと新しい堆肥材料を無秩序に堆肥舎に持ち込んでいたのでは、計画的かつ効率的な作業は見込めない。

堆肥舎内では、発酵初期、発酵中期、発酵後期の順に堆肥の山を並べ、処理状況に応じて切り返ししながら移動させていくと作業を計画的かつ効率的に進めることができる。

図9 堆肥舎内での堆肥の山の移動例



「堆肥化の実践」編

(8) 作業中は安全確保のため周囲に人を近づけない

ホイールローダーによる切り返しを行う場合、かなり頻繁に複雑な操作が求められる。したがって、オペレーターの注意は前方に集中し、周囲への注意が疎かになりがちである。このため、作業を行う時は、あらかじめ付近に人を近づけないようにしておくことが望ましい。

(9) 試行錯誤を繰り返す

堆肥化を行おうとする場合、与えられた条件下で最も効率的に処理する手段を模索することが必要である。

場合によっては、地域の食品工場などから容易に入手できる粕類等の未利用資源を副資材として投入すると良い結果につながる可能性がある。また、ホイールローダーにこだわらず、マニユアスプレッダーなどに作業機を利用して切り返しを行ってみる方法もある。

家畜改良センター本所では、初期発酵を終え、乾牧草がある程度破碎された状態になった場合にマニユアスプレッダーを用いて堆肥の切り返しを効果的に行っている。

また、新冠牧場では、使用しなくなったマニユアスプレッダーを改造し、切り返し専用機械として利用している。

このように、実際に堆肥処理を行う者には、最も効率的に処理する手段を見出すために「まずは、試しにやってみよう。」とする姿勢が必要である。



写真9 容積比重の測定

センター本所では4リットル容量のプラスチック箱に堆肥を入れて上皿秤で重さを量り、容積比重を算出している。

ここでは、堆肥の重さが1.6kgなので容積比重は $1.6 \div 4 = 0.4\text{kg/リットル}$ となる。



写真10 副資材の投入

畜舎から搬出した更褥物の水分や通気性を調整するため、堆肥化処理を行う前に副資材を投入することもある。ここでは、ビール粕を使用している。

写真11 堆肥の温度測定

この温度記録計は長期間のデータの記録が可能である。

記録されたデータは、後で表計算ソフトで整理することができる。

ここでは、右側のステンレス管の先端（深さ30cm）にチャンネル1のセンサーを取り付け、左側のステンレス管の先端（深さ70cm）にチャンネル2のセンサーを取り付け、それぞれの温度変化を記録させている。

液晶板には、写真のようにチャンネル番号と記録温度が数秒間隔で交互に表示される。

センターでは、センサー部分を設定した深さに正確に埋設したいこと、センサーが水に弱いこと等から、先端に砲金のセンサーカバーを取り付けた全長1mのステンレス管を作成し利用している。





写真12 放線菌の層

堆肥が良好に発酵していると、酸素が豊富な表層部に白い放線菌の層を見ることができる。

換言すると、放線菌が見えない部分は酸素が不足している状態であり、切り返すことによって酸素を供給する必要がある。



写真13 堆肥の形状の変化

堆肥化処理前の堆肥材料は、水分が高く、家畜ふんが塊状であり、敷き料である乾牧草の形状がはっきり見える。

堆肥化処理中の堆肥材料は、水分が低くなり、家畜ふんの塊が砕け、敷き料である乾牧草が細くなる。

長期間の堆肥化処理後の堆肥材料は、水分がかなり低く、粒状であり、敷き料である乾牧草の形状はほとんど見えない。

(参考) 新冠牧場における堆肥切り返し用マニユアスプレッダーの改造

(1) 目 的

新冠牧場では、従来からホイルローダーによる堆肥の切り返し作業を実施してきた。

しかしながら、

- ①このようなホイルローダーによる切り返し作業は、バケットを小刻みに振動させるために機械に対する負担が大きいこと。
- ②新冠牧場の場合、大量の乾牧草を細断せずに敷き料として利用しているため、バケットによる作業が行いづらいこと。

等から、廃用予定の古いマニユアスプレッダー（NH510、昭和44年導入）を改造し、堆肥中の乾牧草を細断しつつ切り返し作業を効率的に行うこととした。

(2) 改造内容

1) 後部ビーターの改造

改造に供用したマニユアスプレッダーには3本のビーターがあり、前部2本のビーターが堆肥を砕き、後部1本のビーターが掻き出した堆肥を広範囲に散布する構造となっている。

しかし、堆肥を切り返す場合、このように堆肥を広範囲に散布する後部ビーターの機能は不都合である。このため、切り返し後の堆肥をマニユアスプレッダーの後方で適当な高さに堆積できるように鋼材のアンクル（60×60 mm、厚さ5 mm）を後部ビーターに水車状に取り付けた。

2) 車高の改造

切り返し後の堆肥の堆積高を2 m程度とするため、車高を70 cm 高くし、地上から後部ビーターまでの高さを1 m50 cm とした。また、これに伴い各箇所強度が必要となったため、主フレームの補強を行った。

(3) 改造に要した資材及び経費

改造に要した資材及び経費は、下の表のとおりである。

品 目	金 額 (円)
アンクル類	22,191
鋼 板 類	25,000
平 鋼 類	3,734
丸 鋼 類	3,293
ボルト、ナット類	16,884
計	71,102

(4) 成果の概要

改造マニユアスプレッダーでの切り返し作業によって、堆肥は従来より細かく砕かれ、扇状に飛び散ることもなく、堆積高は2 m20 cm、幅1 m50 cm程度となった。

また、ホイルローダーによる切り返しに比べ自重による潰れが少ないことから、堆肥の通気性が良好であり、切り返し直後から急激な温度上昇と水分蒸散が可能となった。



写真14 改造マニアスプレッダー

作業風景

ホイルローダーで堆肥をマニアスプレッダーの荷台に載せ、後方へ切り返している。



後部ビーターの改造

鋼材アングルを後部ビーターに水車状に取り付け、堆肥の拡散を防いでいる。



2. データの収集

家畜改良センターでは、担当者が堆肥調製に係る日々の業務を現場に設置した様式1の野帳カードに記録している。

このような記帳を行うことにより、堆肥の経時的変化が的確に把握でき、作業を行う複数の担当者間の連絡に役立っている。

各牧場においても、工夫を凝らしてこのように記録を残すことが望ましい。

様式1 野帳カード（記入例）

堆肥の名称 A					
日 付	位 置	副資材	バケツ数	容積比重	備 考
4/ 1	1 E→1 W	戻し堆肥 5	30		
4/ 4	1 W→1 E		29		蓄熱状態良好
4/ 7	1 E→1 W		23	0.47	全体的に未分解
4/ 9	1 W→1 E		20	0.45	頂部に放線菌
4/11	1 E→1 W		20	0.45	
4/14	1 W→1 E		19	0.46	
4/16	1 E→1 W		19	0.42	水分が底部に滞留
4/18	1 W→2 E		17	0.47	放線菌が全体に拡散
4/21	2 E→1 W		17	0.45	
4/24	1 W→2 E		16	0.43	
4/25	2 E→1 W		15	0.41	
4/28	1 W→2 E		14	0.40	
5/ 2	2 E→2 W		14	0.40	
5/ 8	2 W→2 E		14	0.38	
5/13	2 E→2 W		13	0.40	マニュアルスプレッダー利用
5/15	2 W→2 E		12	0.41	カビ臭い
5/19	2 E→2 W		11	0.41	
5/22	2 W→3 E		11	0.38	
5/23	3 E→3 W		11	0.35	

(注) 1.「位置」の欄には、堆肥舎の「切り返し前の場所→切り返し後の場所」を記入する。

因みにセンター本所の堆肥舎は、1 E、1 W、2 E、2 W、3 E、3 W、4 E、4 Wの8ブロックから構成される。

2.「副資材」の欄には、投入した副資材の種類と量（フロントローダーのバケツ数）を記入する。

3.「バケツ数」の欄には、切り返し時のバケツ数を記入する。

4.「容積比重」の欄には、切り返し後の堆肥の容積比重を記入する。

5.「備考」の欄には、切り返し担当者が観察したこと等を記入する。

3. データー整理及び考察

収集したデーターは、後で整理して考察するとよい。考察することによって、これらのデーターは次の作業に活用することができる。

図10及び11は、家畜改良センター本所で平成9年4月2日に作業を開始した堆肥「A O」及び「A P」（家畜改良センターでは堆肥の山にアルファベットの名称を付けている。）の経時的変化を記録したものである。

この記録から次のようなことを読み取ることができる。

- ① 表層から30cmの深さの位置の温度変化をみると、「A O」、「A P」のいずれも、当初から切り返し直後の立ち上がりがスムーズである。これは、堆肥の表層付近では、水分及び酸素の供給が十分であったため、微生物の活性が高かったことによるものと考えられる。

また、4月半ばからは、「A O」、「A P」のいずれも、表層から30cmの深さの位置の温度変化をみると、温度低下が早くなっている。これは、堆肥全体の発酵熱による水分の蒸散が盛んであるため、表層付近の微生物への水分の供給が不十分になっていることによるものと考えられる。

- ② 表層から70cmの深さの位置の温度変化をみると、「A O」、「A P」のいずれも、当初は切り返し直後の立ち上がりがスムーズではなかったが、4月半ばから切り返し直後の立ち上がりがスムーズになっている。

当初の切り返し直後の立ち上がりがスムーズでなかった理由は、堆肥中の水分が多いため、気層が確保できず、微生物への酸素の供給が不十分であったことによるものと考えられる。また、4月半ばからの切り返し直後の立ち上がりがスムーズになっている理由は、発酵熱による水分蒸散にともない70cmの深さの位置であっても堆肥中の気層が確保でき酸素の供給が十分となったこと、堆肥中の微生物がかなり増殖していたこと等によるものと考えられる。

- ③ バケツ数の変化をみると、「A O」、「A P」のいずれも、当初30杯あった堆肥が1ヶ月後には約半分まで減少した。センター本所の場合、現行の堆肥処理体系であれば、水分蒸散や有機物の分解などにより約1ヶ月間で堆肥の体積を約半分まで縮小できるものと考えられる。

また、こうしたことから作業開始後1ヶ月後の堆肥舎内の作業スペースを見込むことができる。

- ④ 容積比重をみると、「A O」、「A P」のいずれも、概ね基準の0.5kg/リットルを下回る水準で推移している。このことから、切り返し作業は、期間中を通じて通気性の確保に気を配った適正な作業であったと考えられる。

また、容積比重とバケツ（容量1.0 m³）数から、5月22日時点でのおよその重量は、次のように算出できる。

$$\text{「A O」} = 0.44 \text{ kg/リットル} \times 17 \text{ m}^3 = 7.48 \text{ t}$$

$$\text{「A P」} = 0.32 \text{ kg/リットル} \times 11 \text{ m}^3 = 3.52 \text{ t}$$

図10 堆肥「A O」の経時的変化

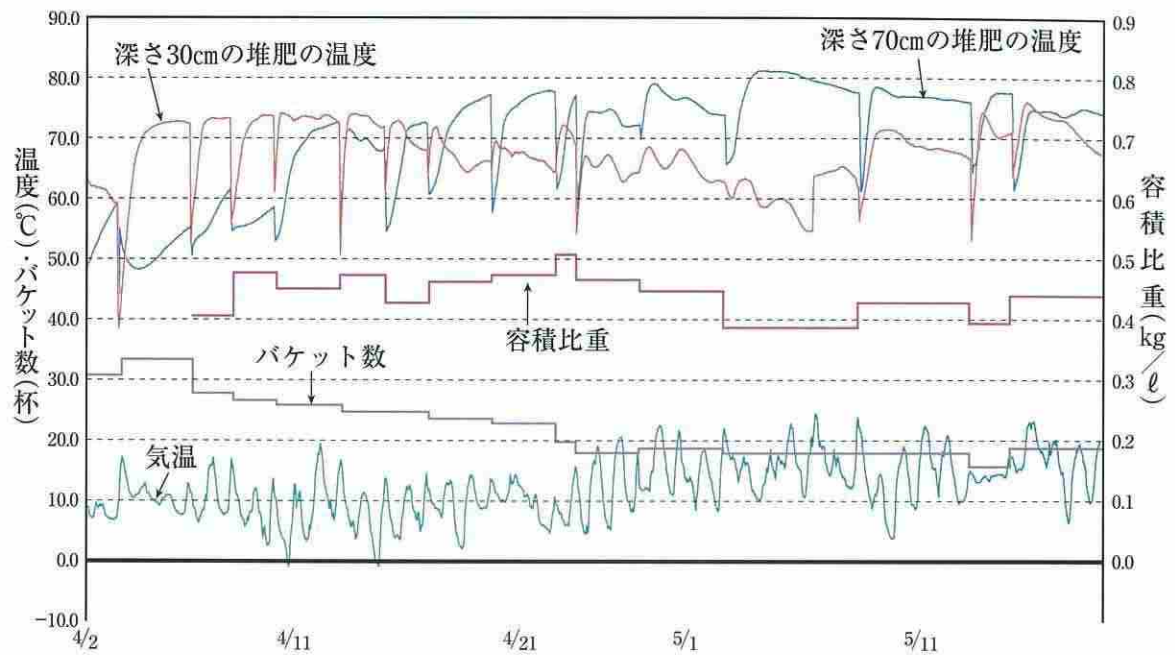
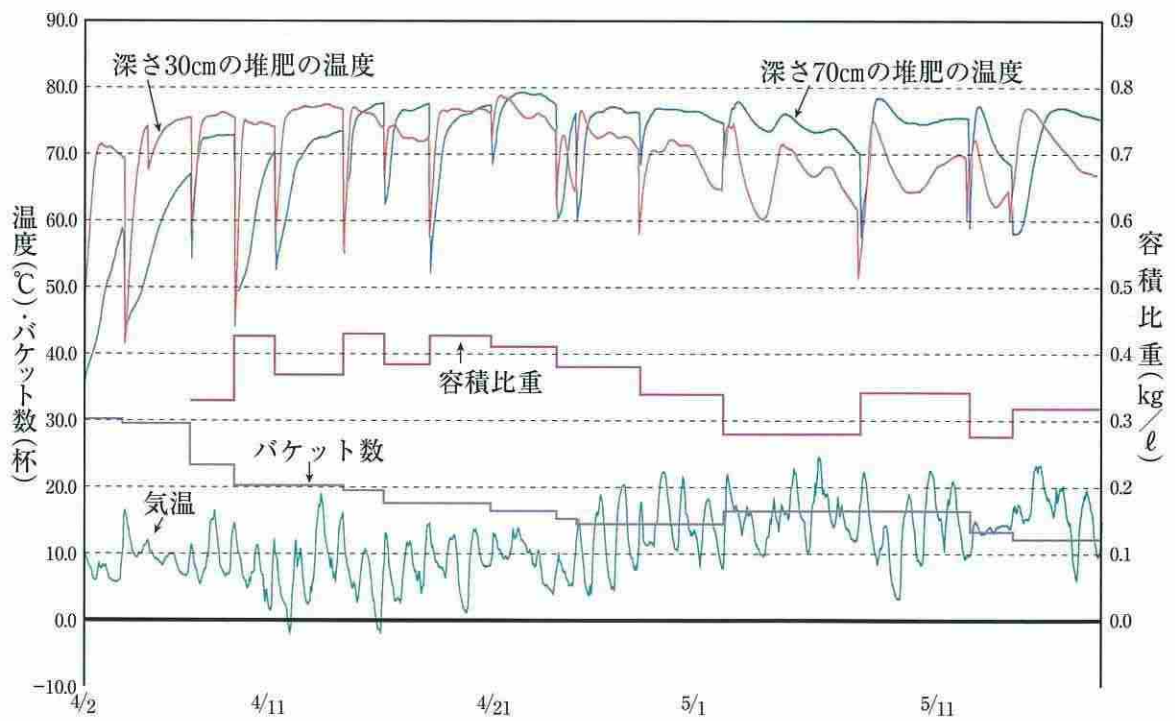


図11 堆肥「A P」の経時的変化



V. 堆肥の腐熟度判定

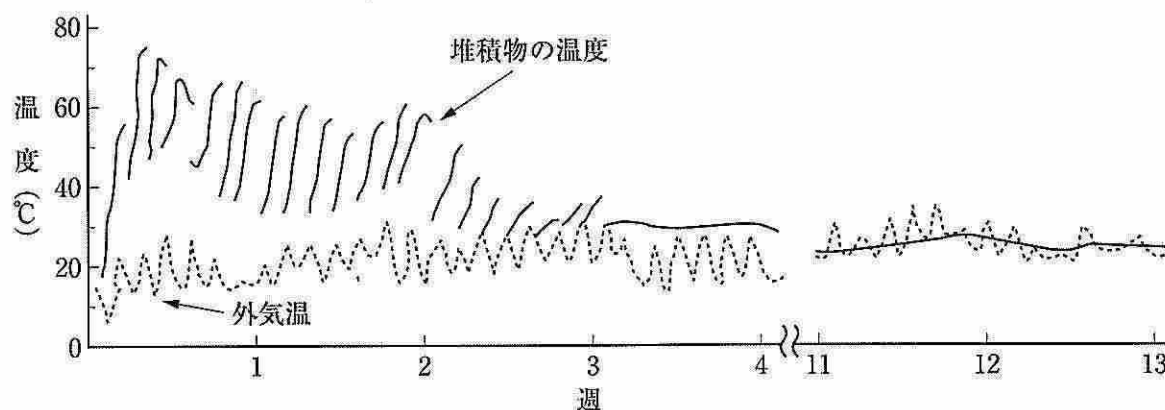
堆肥の腐熟度判定法については数多くの提案がなされているが、ここでは実用的な3つの手法について紹介する。

1. 堆積物の温度変化

堆肥化の過程では、原料資材中の易分解性有機物が微生物によって好氣的に分解される際に発熱が起こり、堆積物の温度は急速に上昇して60～70℃あるいは80℃付近にまで達する。その後、温度はしだいに低下してくるが、切り返しを行って空気を供給すれば再び上昇する。このような温度の上昇・低下は、原料資材中に易分解性有機物が存在する限り繰り返される。図12はその一例として牛ふんの堆肥化過程での温度変化を示している。このように堆積物の温度が上昇することは、堆肥化が順調に進行していることを示すものと考えられる。また、堆積物の温度が外気温とほぼ同じ程度まで下がり、切り返しを行っても発熱しなくなれば堆肥は一応安定化したものと考えられており、堆肥製造の場における実用的な指標として一般的に用いられている。

しかし、堆肥の管理が不適切であればこのような温度の上昇・低下が必ずしも腐熟の指標にならないことがある。それは、①堆肥化の過程で乾燥が進み含水率が過度に低下した場合、②切り返し作業が不適切であるため内部に酸素が供給できていない場合などでは、微生物の活動が阻害されるため、温度が低下してくるからである。このような場合には、たとえ有機成分が組成的に未熟であっても発熱しなくなるので注意する必要がある。

図12 切り返しによる堆肥の温度変化



2. 発芽試験

堆肥中の生育阻害物質の有無を調べるためには、植物の種子を用いた発芽試験が簡易である。まず、堆肥に20倍量程度の蒸留水を加えて、室温で30分間往復振とうし、濾紙を用いて濾過したものを抽出液とする。

ガラスシャーレ等の容器に脱脂綿を敷き、抽出液を十分に入れる。脱脂綿の上にコマツナの子50粒を播種し、20℃の恒温器に静置し、対照区（抽出液の代わりに蒸留水を入れたもの）がすべて発芽した時点で発芽率を調べる。コマツナを用いる理由は、発芽が早いこと、発芽率が良いこと等である。ただし、塩類含有率が高い堆肥では抽出液の塩類濃度が高くなり、濃度障害を起こして発芽率が低下することがあるので注意を要する。

3. ジフェニルアミンによる硝酸態窒素の検出

原料資材中の窒素化合物が分解されると最初はアンモニウム態窒素が多量に生成されるが、堆肥化の進行に伴いアンモニア酸化菌及び亜硝酸酸化菌の作用によって硝酸態窒素が増加してくる。ここでの腐熟度判定法は、ジフェニルアミンを用いて定性的にこの硝酸態窒素を検出する方法である。

まず、堆肥に蒸留水を加えて攪拌し、濾過して濾液の一部を呈色反応皿にとる。これにジフェニルアミン溶液（濃硫酸25mlにジフェニルアミン30mgを溶解させたもの）を数ml加え、発現する青色を観察する。濃青色を呈した場合は、硝酸態窒素が多量に存在しており、腐熟が進んでいるものと判断してよい。

ただし、この手法は牛ふん堆肥には有効であるが、鶏ふん堆肥のように十分腐熟させてもアンモニア態窒素の蓄積が著しく、硝酸態窒素の発現がほとんど認められない場合には使用できない。



写真15 発芽試験

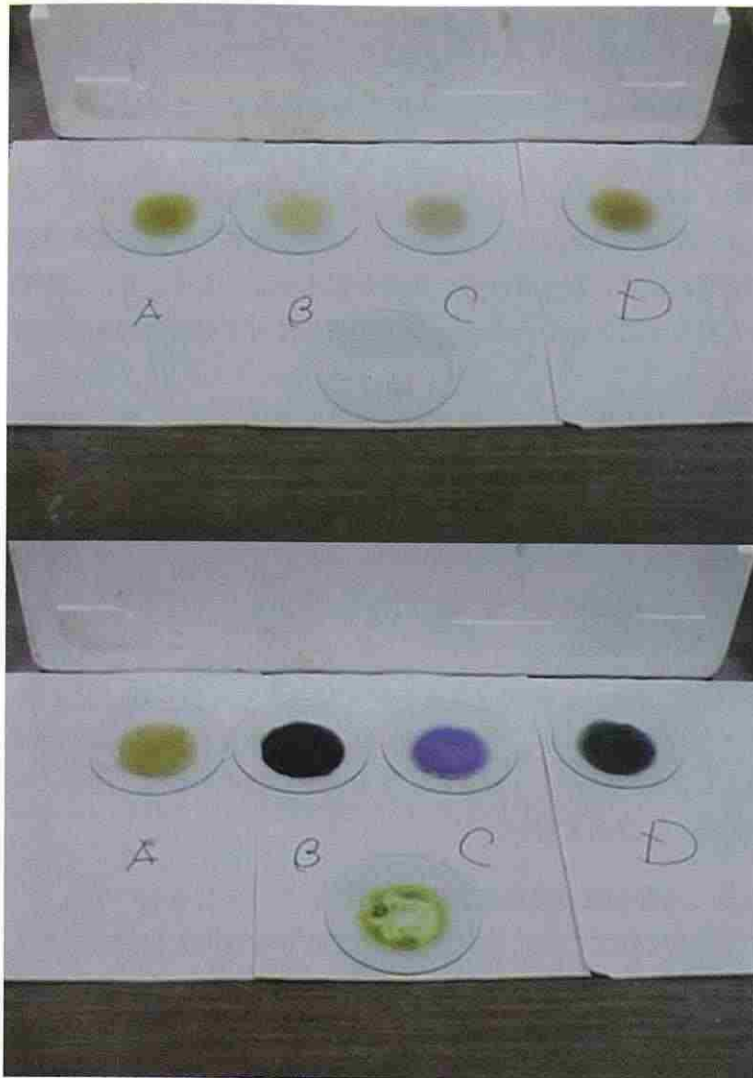
堆肥の抽出液を浸透させた脱脂綿の上に小松菜の種子を並べ発芽状況を調べる。

左列は蒸留水を用いたコントロール、中列は牛ふん堆肥の抽出液を用いた試験区、右列は鶏ふん堆肥を用いた試験区の発芽の経時的变化である。

コントロールと同様な発芽状態を示した牛ふん堆肥は圃場へ散布しても飼料作物に障害は与えないであろうと考えられる。

しかし、発芽状況が悪い鶏ふん堆肥は、このまま圃場へ散布すると飼料作物に障害を与える恐れがあると考えられる。

写真16 ジフェニルアミンテスト



反応前

4種類(A、B、C、D)の堆肥の抽出液とコントロールである蒸留水を各々ガラス皿に入れ、ジフェニルアミンを滴下する。

反応後

濃青色を呈したBは硝酸態窒素が多く、腐熟度が進んでいると考えられる。

C及びDは硝酸態窒素が少なく、腐熟度が不十分であると考えられる。

Aは硝酸態窒素が検出されず、全く腐熟が進んでいないものと考えられる。

Ⅵ. 堆肥の利用

1. 家畜ふん尿の成分的特徴

牛ふん中には、窒素・リン酸・カリが比較的バランスよく含まれている。しかし、窒素の割合が低いと、他の家畜と比べてT-C（全炭素量）があまり変わらないにもかかわらず、C/Nが高い。また、T-Cは大部分が有機物と見なすことができるが、他の家畜に比べて難解性のものが多く、堆肥化に要する期間が長い。

牛尿は、カリの含有量が極めて高い。十分な面積の還元圃場があれば問題はないが、狭い圃場への還元を繰り返すとカリが集積して粗飼料のマグネシウム含量が低下し、牛のグラスステニー（低マグネシウム血症）を引き起こす恐れがあるので注意する必要がある。

豚ふんは、牛ふんに比べリン酸含有量が高く、窒素も比較的多い。T-Cが高いが、C/N比は牛ふんと鶏ふんの中間となっている。また、有機物の分解性や堆肥化に要する期間も牛ふんと鶏ふんの中間となっている。

鶏のふんは、実際にはふんと尿の混合物であり、窒素の含有量がかなり多い。この他、リン酸、カリ、カルシウムなども高いレベルで含有されており、肥料成分に富んだ有機質資材である。窒素が多いと、C/N比は牛ふんや豚ふんに比べてかなり小さい。また、有機物の分解は、牛ふんや豚ふんに比べて容易であり、堆肥化に要する期間も短い。

表5 家畜ふん尿の成分含有率（乾物中％）

	乾物率	N	P ₂ O ₅	K ₂ O ₅	CaO	MgO	T-C	C/N
牛ふん	19.9	2.19	1.78	1.76	1.70	0.83	34.6	15.8
牛 尿	0.7	27.1		88.6	1.43	1.43		
豚ふん	30.6	3.61	5.54	1.49	4.11	1.56	41.3	11.4
豚 尿	2.0	32.5						
鶏ふん	36.3	6.18	5.19	3.10	10.98	1.44	34.7	5.6

2. 牛ふん堆肥の成分的特徴

牛ふんは概して繊維質を多く含み、肥料成分含有率は鶏ふんや豚ふんに比べて低い。また、牛ふんの肥料成分含有率は給与する飼料によって大きく変動し、粗飼料を主体とする場合には繊維質とカリの含有率が高くなり、窒素・リン酸・カルシウム・ナトリウム等の含有率が低くなる。このような牛ふん堆肥では難分解性有機物が多くなるため、肥料としてよりは土壌改良資材としての性格が強くなる。一方、濃厚飼料を主体に給与した場合には肥料成分含有率が高くなり、これらの違いは極めて顕著である。

表6 飼料の種類と牛ふんの成分含有率（乾物中％）

飼 料	N	P	K	Na	Ca	Mg	C/N比
牧草のみ	1.26	0.49	1.20	0.15	0.58	0.32	34.6
牧草+ 配合 4 kg	2.19	0.92	0.62	0.25	1.54	0.56	19.6
牧草+ 配合 8 kg	1.97	1.27	0.63	0.27	1.42	0.47	21.7
牧草+ 配合12kg	2.94	1.74	0.38	0.53	2.20	0.55	14.6

牛ふん堆肥を処理しようとする場合、副資材として、オガクズ、粕がら、乾牧草等を用いることがある。これらの副資材を混合した堆肥は肥料成分含有率が低くなり、土壌改良資材的性格がさらに強くなる。

乳用牛のふんは水分含有率が極めて高いため、これに副資材を混合して水分を調整しようとする多量の副資材が必要となる。そこで、一部にはふんを固液分離機にかけて搾り、分離液は畑に散布し、固形物を堆肥化する方式もとられている。ただし、この場合には、水溶性成分や易分解性有機物のかなりの部分が分離液に移行し、繊維質の多い堆肥となる。

一方、肉用牛においては、踏み込み式牛舎で飼養する形態が多くとられており、オガクズ・粕がらなどの敷き料にふんと尿の全量を混合した堆肥となるため、カリの含有率が比較的高くなることが考えられる。

牛ふん堆肥は、一般的に肥料成分含有率が低く、また土壌中での分解も遅いため、土壌改良資材と見られている。しかし、牛ふん堆肥の使用効果は単に土壌の物理性改善の効果だけではなく、速効性ではないが養分供給の効果も有している。すなわち、牛ふん堆肥の窒素の肥効率は低い、土壌中に蓄積されて地力窒素となり、徐々に養分を供給するようになるため、地力の維持・増強には有効な資材である。

3. 家畜ふん堆肥の施用効果

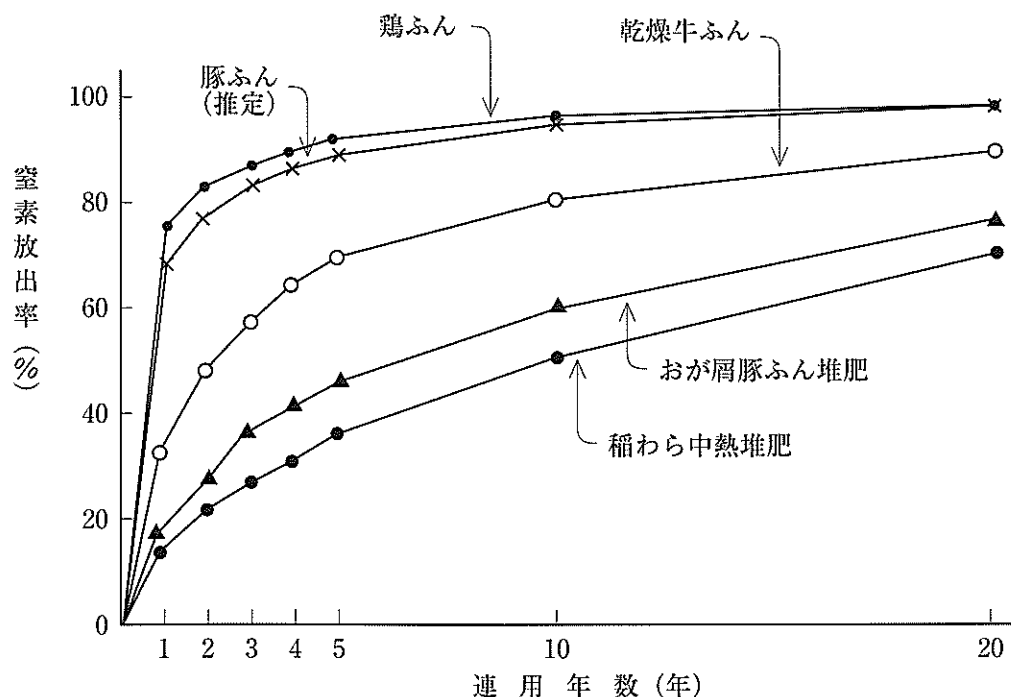
堆肥には肥料としての効果の他にも、化学肥料では代替できない多くの効果がある。堆肥の施用効果は、直接的効果（植物養分の供給）と間接的効果（土壌の化学性、物理性及び生物性の改善）に大別して考えることができる。

（1）植物養分の供給

家畜ふん堆肥には、窒素・リン酸・カリ・カルシウム・マグネシウムなどの多量要素、さらに鉄・銅・亜鉛・マンガン・ホウ素などの微量元素が含まれている。また、稲わらや粕がらを副資材として用いた堆肥では、特にケイ酸の含有率が高い。このため、家畜ふん堆肥を施用すれば、土壌中でこれら植物養分の供給源となる。

この場合、特徴的であるのは肥効が緩効的なことであり、また連年施用することによってその効果が累積していくことである。すなわち、堆肥中の有機物は土壌中でゆっくり分解されて、養分を徐々に放出する。施肥した年に分解されずに残った有機物は、翌年以降に分解されて養分を供給する。堆肥を連用するとこのような未分解の有機物が土壌中に蓄積し、土壌有機物となって土壌養分供給力がしだいに増大していく。作物が吸収する窒素のかなりの部分は、このような土壌中に蓄積された有機物から供給される窒素（これを土壌窒素あるいは地力窒素という）に依存することが知られている。

図13 堆肥連用に伴う窒素放出率の変化
（毎年施用する堆肥中の窒素を100とした場合）



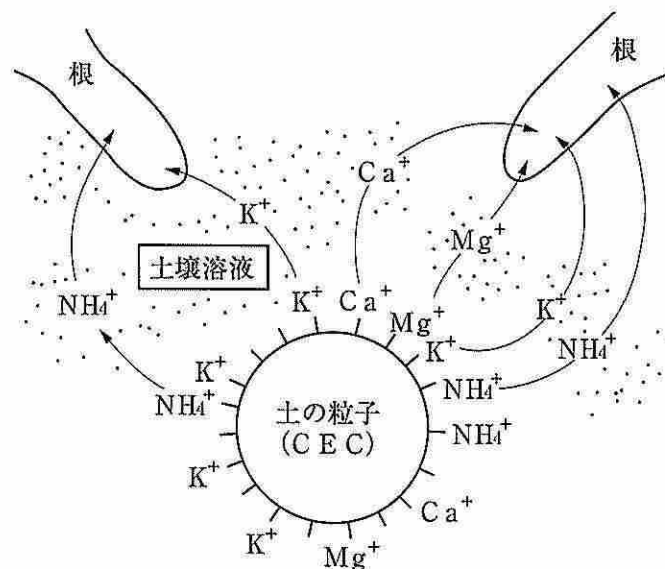
(2) 土壌の化学性の改善

堆肥中に含まれるある種の有機物、あるいは土壌中で有機物が分解される際に生成される中間分解産物にはキレート作用を有する物質が存在する。キレート作用とは、有機化合物が多価の金属イオンと結合して、その金属イオンを不活性の状態に保つことである。わが国に広く分布する火山灰土壌や酸性土壌には活性アルミニウムが多く含まれており、それによって作物の根が障害を起こしたり、施肥したリン酸が強く吸着（固定）されて作物が吸収できなくなったりする。しかし、堆肥を施用すればキレート作用によって活性アルミニウムと結合し、その害作用が抑えられる。また、土壌中に蓄積された有機物のあるものはアルミニウムや鉄などと結合して分解されにくい状態で存在しているが、これに堆肥を施用すると堆肥中のキレート物質がそのアルミニウムや鉄などと結合して、土壌有機物を分解されやすい状態に変える効果があるともいわれている。

また、堆肥の施用によって、土壌の陽イオン交換容量（CEC）が増大する。陽イオン交換容量は塩基置換容量とも呼ばれるが、これは土壌粒子表面に存在するマイナス荷電の量であり、土壌粒子が静電的に吸着・保持できる陽イオンの量を示している。土壌を構成する物質のうち、粘土と土壌有機物は陽イオン交換能を有し、陽イオンとして存在する養分（ NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} など）が逃げないように土壌中に保持しておく能力がある。このような静電的に吸着されたイオンは、上に述べたキレート結合やリンの固定などのように強固な結合でなく、作物根によって容易に吸収される。土壌中に養分を保持していくためには極めて重要な性質である。

さらに、堆肥の施用によって土壌の緩衝作用が増大する。緩衝作用は、酸やアルカリを添加した場合、これらの影響を打ち消してpHを大きく変化させない作用である。たとえば、硫酸などの化学肥料のみを連用すれば土壌が酸性化してくるが、堆肥を併用すればpHの変化を矯正し、酸性化を抑制することができる。また、早ばつや低温などで気象条件が悪化した場合にも、堆肥を施用した土壌ではそれらの影響をやわらげる作用があるといわれており、このような作用も広い意味で緩衝作用と考えられる。

図14 土壌中の陽イオン模式図

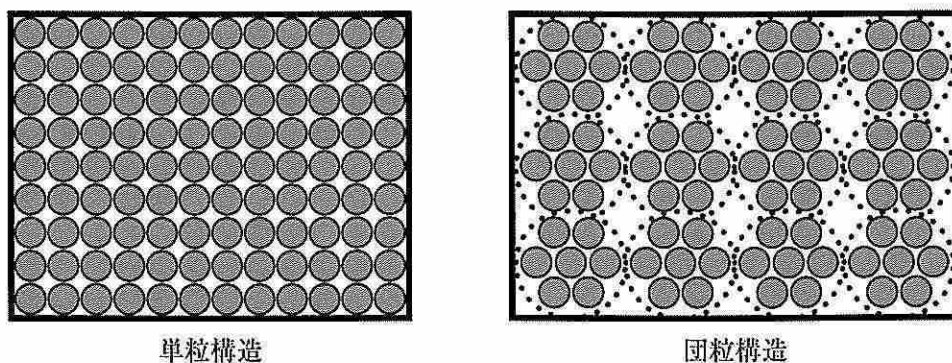


(3) 土壌の物理性の改善

堆肥を連年施用していくと土壌有機物含量がしだいに増加し、土壌の物理性が改善される。特に腐植の乏しい粘土質の土壌などではその効果が顕著である。土壌中に有機物含量が高くなると、土壌の団粒化が進んで土が膨軟になる。団粒化とは、土壌の単一粒子（一次粒子）が集合して二次粒子となり、これがさらに集合して多次の集合体を形成することである。団粒構造になると土壌中の空隙量が増加し、通気性と透水性が良好になる。図15は、堆肥を連用した土壌では空隙率（気相＋液相）が増加し、固相率が減少することを示している。

このように、団粒構造が発達して土が膨軟になれば、作物の根が良く発達して養分や水分の吸収能力が高まる。団粒構造が発達した土壌では、非毛管孔隙と毛管孔隙の両方が適当な割合で存在する。非毛管孔隙は比較的大きな孔隙であり、そこでは毛管作用はほとんど行われず排水や通気に役立つ。また、毛管孔隙は小さな孔隙であり、水を保持するのに役立つ。したがって、このような土壌では透水性が良いだけでなく、保水性も増大し旱ばつの被害を受けにくくなる。また、粘着性・可塑性が減少し、乾燥しても粒子の固結性が弱まるので、耕耘が容易になる。

図15 単粒構造と団粒構造



(4) 土壌の生物性の改善

堆肥を施用すると、土壌中にミミズやダニなどの小動物の数が増加する。施用した堆肥はこれらの土壌動物の活動によって土壌中で分散され、さらに微生物によって分解されやすい状態になる。堆肥中には多くの微生物が含まれており、また、堆肥の有機物が微生物の培養基となるため土壌微生物の数は大きく増加する。

土壌の生物性を改善する目的は、生物活性を高めることによって物質循環を促進することである。堆肥などの有機物を施用すると微生物が増殖し、施用した有機物だけでなく土壌中に蓄積されていた有機物の分解も促進されるようになる。これをプライミング効果（起爆効果）とよび、これによって窒素の無機化などが促進され、多くの養分が放出される。また、無機化された窒素の一部は増殖した微生物の菌体に取り込まれ、再び土壌中に蓄積され長期間にわたって土壌窒素を発現して生産力に寄与するようになる。さらに、堆肥を施用した土壌ではアゾトバクターやクロストリジウムなどの窒素固定菌の活性が高くなり、根粒の着生も良好になるといわれている。

4. 家畜ふん堆肥の施用基準

適正施用量とは、高品質、多収、土壌改良などを目的とした施用量で、基本的には化学肥料との併用を前提としたものである。すなわち、家畜ふん堆肥には各種の肥料成分が含まれているが、そのバランスは作物が要求する養分のバランスとは必ずしも合致しているわけではない。したがって、すべての肥料成分を堆肥で供給しようとするならば、過剰施用になる成分も出てくる。そこで、堆肥中の含有率が高い成分については全量を堆肥で供給し、不足する成分については化学肥料で補うようにするのが望ましい。また、堆肥は遅効性であるため、それだけを施用したのでは作物の初期生育が不良になることがあるが、そのような場合には、速効性の化学肥料を併用することによって欠点を克服することができる。このように、堆肥と化学肥料を併用して、相互に欠点を補い合うような考え方を基本にしたものが適正施用である。

現在、各試験場や都道府県などでは、作物ごとの堆肥の施用基準を示している。しかしながら、実際の堆肥の肥料効果は、連用による有機物の累積や気象条件による有機物の分解速度などによって異なるため、確実な把握は困難である。

したがって、実際には、これらの施用基準を参考にしつつも、それぞれの圃場の条件を検討した上で施肥量を決定する必要がある。

なお、十分な検討を行おうとする場合には、土壌分析結果を利用することが望ましい。

表7 草地・飼料畑における堆肥の施用基準 (t/10a)

草 種	予想収量	牛ふん堆肥	豚ふん堆肥	鶏乾燥ふん
イネ科牧草	5～6	3～4 (14-0-0)	2～3 (8-0-5)	0.5 (8-0-8)
混播牧草	5～6	3～4 (6-0-0)	2～3 (0-0-5)	0.5 (0-0-8)
トウモロコシ	5～6	3～4 (14-7-0)	2～3 (8-0-5)	0.5 (8-0-8)
イタリアンライグラス	4～5	3 (11-0-0)	2 (8-0-4)	0.4 (8-0-6)

注：下段()は、併用する化学肥料(N-P₂O₅-K₂O)の必要量(kg/10a)

おわりに

一般に、堆肥化処理業務というと、これまでは末端の処理業務というイメージがあった。このため、ややもすると目の前の堆肥の山を何とかしようとするもののみに注意が向けられがちである。

しかし、実際の現場に携わる者には、堆肥の原料となる畜舎からの更褥物の質・量をあらかじめコントロールする技術や更褥・運搬作業を含めた一連の合理的な作業体系の検討もあわせて求められる。

例えば、水分が多い更褥物を堆肥化しようとする場合、どのような副資材を投入しようかと考えがちであるが、同時に、「なぜ堆肥化しづらい高水分の更褥物が発生したのか。」を考えてみる必要がある。調べてみると、畜舎の換気性が悪いために敷き料が乾きづらい、給水器の配置や形状が悪いため牛舎内に水が零れる、何らかの原因により家畜の飲水量が多すぎる等の問題が見られることもある。こうした場合は、これらの問題を改善するため、畜舎の改修や給餌方法の見直しなどをあわせて検討する必要がある。

また、大量の堆肥を処理しようとする場合、大規模な施設や大型機械が必要となるが、こうしたものを整備・導入する前に「堆肥原料そのものの量を少しでも抑えられないか。」を考える必要がある。乾牧草が十分にあるからといって、敷き料として大量に使用していたのでは、大量の更褥物が発生し、かなり大規模な施設や多大な労力が必要となる。また、場合によっては、堆肥化に適した水分やC/N比を確保するため、余計な調整作業が必要となる。こうした場合は、先ず飼養管理スタイルそのものを見直す必要がある。

このように、現場に携わる者は、発生した堆肥の山のみを見るのではなく、堆肥が発生するプロセスもあわせて検討して欲しい。

また、前述のように、堆肥化処理業務は、

- ①家畜の防疫
- ②飼料基盤の雑草対策や地力増進
- ③上記に起因する薬品費及び資材費の削減並びに労力の軽減
- ④牧場周辺へ及ぼす環境問題の回避

等を考えると、健全な牧場運営を行うためには、家畜管理や飼料生産と並列して取り組まねばならない重要な業務である。

しかも、堆肥化処理業務は単純な機械作業ではなく、正確な技術理論を理解していなければ成果が期待できない技術である。

こうした視点から、堆肥化処理に携わる職員は技術者としてのプライドを持って業務に取り組んで欲しいものである。

人は、数値に縛られてしまいがちである。言葉は、話す人によってニュアンスが異なり、聞く人も予備知識の不足や先入観などによって誤った受け取り方をしてしまうことが多々ある。そこで、人は数値に頼ってしまう。数値は、事象を最も客観的に表現できる手段だからであろう。

センター本所では堆肥化に関して多少の技術向上が図られたこともあって、最近、関係機関や畜産農家などの来訪者が増えてきている。いずれの方々も、周辺環境への対応に苦慮され、一刻も早く適切な堆肥処理を行いたいと願っておられるようである。

このような方々から決まって尋ねられることがある。

「堆肥の切り返しは、何回行えばよいのですか。」

「堆肥の水分は何%にすればよいのですか。」

「堆肥は何ヶ月でできるのですか。」

このように数値を求めたい気持ちはよく解る。しかし、残念ながら画一的に数値で示せる答えは、どこにも無い。

この小冊子を通じて説明してきたように、堆肥処理技術とは、与えられた条件下（気象、機械、施設、労力、施肥時期等）で、如何に上手に好気性微生物を働かせるかという技術である。

こうしたことから、実際に堆肥処理を行う者に求められるものは、好気性微生物を働かせるために必要な知識と、それぞれが与えられた条件で、最も効果的な好気性微生物の飼い方を見いだそうとする探求心であろう。

決して、市販されているような袋詰めの堆肥肥料を誰もが作らなければならないわけではない。「これが私の牧場では、最も効果的な方法なのです。」と言い切れるのであれば、それはそれで立派な堆肥処理技術ではないだろうか。



家畜改良センター堆肥処理研修プロジェクトチーム

後列左から 大石 進、大竹 剛、金田修一

鈴木清一、岡部昌博

前列左から 宮田雄一、飯村 仁、戸上啓一

家畜改良センター 技術マニュアル 1

堆肥化処理の理論と実践

著 者／家畜改良センター堆肥化処理
研修プロジェクトチーム

発 行／農林水産省 家畜改良センター
企画調整室 企画調整課

発行日／平成10年3月

印刷所／不二印刷株式会社