

3. たい肥の作り方

1) たい肥とは

元来は、たい肥は野草、わら、落ち葉などの植物残さに適度な水分を与えて堆積し発酵させたものの、きゅう肥は家畜ふん尿のしみ込んだ敷き料をたい肥と同様にして発酵させたものを指す。しかし現在では、農作業形態や家畜の飼養形態が変わったために、利用できる有機物素材の形態と収集できる量が変わり、稲わら、野草、落ち葉などはほとんど使用されることがなくなり、家畜のふん尿とおがくず、モミ殻などの副資材を混合したものが原料の中心になった。このように、たい肥・きゅう肥と呼ばれるものの実態が大きく変わり、これに伴って名称も変わってきた。

そこで、以下では最近の一般的な呼び方に従って、有機物を好気的な条件下で発酵させたものを、素材による区分をしないで一括して「たい肥」と呼ぶ。たい肥のうち、家畜ふんを素材の主体とするものだけを区分して呼ぶ場合には「家畜ふんたい肥」または「きゅう肥」という。

さらに「家畜ふんたい肥」を畜種別に区分する必要がある場合には「牛ふんたい肥」「豚ふんたい肥」などと呼び、副資材も区分する場合は「牛ふんおがくずたい肥」などと呼ぶことが多い。

なお、家畜ふんなどを、ほとんど発酵させないままで乾燥したものは「乾燥牛ふん」「乾燥鶏ふん」などと呼び、たい肥とは別に扱う。

2) たい肥化の目的

「たい肥化」は、有機物を好気的な条件下で発酵させることである。これは有機物が微生物によって分解され無機化してゆく過程で、「腐敗」とまったく同じことである。嫌気的条件下でも微生物によって有機物は分解されるが、後述する理由（たい肥化の処理条件の項を参照）で嫌気的な分解はたい肥化の目的に合致しない。

たい肥化の目的あるいは効果は、次の3点である。

(1) 作物にとって安全なものにする

農地に有機物を施用する主な目的は、作物への養分の供給と土壌の物理・化学性の改善である。しかし、あまり分解の進んでいない有機物を土壌に鋤込むと、その中の分解しやすい部分は急速に分解する。施用後、作付けまでの期間が短いと、急激な分解による土壌の還元化や分解過程で生じる脂肪酸などの中間生成物が作物に害を与えたり、急増する微生物が土壌の窒素を奪って作物が黄化する窒素飢餓などの現象が起きる。また、当初から素材に防腐剤などの作物に対する生育阻害物質が含まれていることもある。

生の素材に含まれる分解の早い部分を易分解性有機物と呼ぶが、この易分解性有機物や生育阻害物質を鋤込む前に分解させて、ある程度安定なものにしておくことが必要である。

(2) 取り扱いやすくする

わら類のように長くかさ高いもの、ふん尿のように悪臭や不潔感があるもの、高水分で流動性のあるものなど、生の素材の取扱い性の悪さを、細切、水分調整、発酵による変質などによって改善する。

(3) 雑草種子・病原菌などを死滅させる

発酵に伴う温度上昇によって、素材中の雑草種子、病原菌、寄生虫卵などを死滅させ、農業上あるいは人に安全なものにすることができる。

3) たい肥化のための処理条件

たい肥化は好気性微生物による素材の分解であるから、多様な微生物が増殖するのに適した条件を与えることが良好なたい肥を迅速に作る要件になる。

(1) 栄養源

有機物の分解の速さとC/N比には密接な関係があつて、分解に関わる微生物の栄養源の指標となっている。たい肥を発酵させる土壌微生物の菌体を構成する元素の割合は、炭素100に対して窒素15、リン11.6、カリウム9.8とされている。たい肥化する有機物素材の多くはC/N比がこれよりも高いので、微生物を盛んに増殖させるためには菌体を構成する窒素の供給が最も重要であり、一般に素材のC/N比が低いほど発酵が早く進む。素材のC/N比がおおむね30以下であれば速やかに発酵するとされている。

たい肥化する素材の組み合わせと量を決めるにあたって、水分を適正範囲に調整するためにおがくずなどの副資材を加えるときには特に注意が必要で、素材全体のC/N比を調整するために、場合によっては化学肥料を添加することもある。

以前から、稲わらや落ち葉などを材料にするとき、石灰窒素を添加してカルシウムによる繊維の分解促進と窒素添加の相乗効果によりたい肥化を促進する技術が開発・普及され、速成たい肥と呼ばれている。(表Ⅱ-2-3 「各種は場残さのC/N比」参照)

(2) 水分

たい肥化に適した水分は60~70%とされ、低すぎると微生物一般の活動が抑制され、高すぎる場合には内部が嫌氣的になって好気性微生物の活動に適しなくなる。しかし、酸素供給がよくできる条件下では、かなりの高水分であってもよく発酵することが知られている。比較的高水分の素材をたい肥化する場合には強制通気や、粉碎しないもみがら等の孔隙量の多い物を混ぜるとたい肥化促進の効果が高い。

堆積の比重を下げることは内部への通気性を高める効果が高いことが知られており、この目的で吸水性がなく分解もしない発泡コンクリートや発泡スチロールのやや大きい碎片を混合し、発酵の終わった後ふるい分けて回収し再利用することも行われている。

家畜ふんは一般に単独では水分が高すぎるため、予備乾燥をするか低水分の副資材を混ぜて水分調整をすることが必要である。また、稲わらなどの低水分の素材には加水が必要である。

(3) 酸素供給

酸素が供給されない、または不十分な条件下では嫌気性の微生物によって有機物が分解される。しかし、嫌氣的な分解は、酸化に比べてエネルギーの利用効率が低いために分解速度が非常に遅い。さらに、嫌氣的な分解途上の有機物には悪臭の強い物質や植物の生育阻害物質が多く含まれる。ま

た、嫌気性微生物による有機物の分解生成物は、好氣的条件下では易分解性の有機物であるので、ほ場などに散布・鋤込みをした場合には直ちに急速な好氣的分解が始まる。このために、嫌氣的分解はたい肥化には利用できず、酸素の供給が不可欠である。

一般に素材を堆積した状態では、表面から空気の浸透がある20～30cmまでの部分が最も発酵が早く進む。そこで、堆積は適水分の維持と発酵熱の蓄積ができる範囲で、表面積が多く、内部には間隙が多く、密度が低いことが望ましい。たとえば、水分調整材としてもみがらを使用する場合には粉碎するよりも原形のまま使用するほうがよいことが経験的に知られている。

堆積内部を冷やし過ぎない程度の、適度な強制通気も発酵促進効果が高く、1時間当たり堆積量の2～4倍の通気量が適当とされている。堆積の切り返しは、素材を均一化するとともに堆積の内部に酸素を供給し、新しい表面を作ることが直接の目的であり、頻繁に行うことは発酵促進の効果があって望ましい。

(4) 温度

一般に発酵の過程では発熱が起きる。発酵条件が整い、素材の堆積の大きさ（厚さ）が十分であれば発酵熱が蓄積されて内部の温度は60～80度に達し、数日間維持される。このような高温は有機物の分解には必ずしも必要でないが、有害微生物を死滅させるために必要である。ほとんどの病原菌・寄生虫卵は50～65℃で数分～数十分で死滅し、雑草種子も60℃で2日後には完全に発芽力を失う。このほか、水分の蒸発により乾燥が進む。

冬季には、堆積が小さく微生物活動が維持される程度に保温されないと、たい肥化があまり進まないことも起こる。

表IV-3-1 病原菌および寄生虫の死滅速度
(Golueke 1977年)

種類	温度(℃)	時間(分)
チフス菌	55～60	30
サルモネラ菌	56	60
	60	15
赤痢菌	55	60
ブドウ球菌	50	10
連鎖球菌	54	10
結核菌	66	15～20
ジフテリア菌	55	45
大腸菌	55～60	15～20
条虫	55～60	5
アメリ鉤虫	45	50
回虫	60	15～20

表IV-3-2 牛ふんたい肥埋設の雑草種子の発芽率
(高橋ほか 1978年)

種類	埋設条件		対照
	50℃未満	60℃ 2日間	
メヒシバ	96	0	74
ノビエ	72	0	87
カヤツリグサ	56	0	30
シロザ	26	0	16
オオイヌタデ	8	0	53
スベリヒユ	85	0	91
イヌビユ	68	0	70
エノキグサ	7	0	51
クワクサ	26	0	19
陸稻	75	0	98
大麦	16	0	96

(5) 微生物

たい肥化の主体となる微生物は細菌、放線菌、糸状菌などであるが、一般に上記の条件が整えばたい肥化がよく進むことが確かめられており、とくに種となる微生物を加える必要はないと考えられている。たい肥化に関与する微生物は極めて種類が多く、素材の種類と分解の各段階、水分や温度、酸素濃度などの環境条件に応じて異なる。元より素材には多様な微生物が多量に含まれている。

たい肥化を促進する効果があるという多くの微生物資材が市販されているが、それらの特定の微生物を少量加える場合の効果はよくわかっていない。連続式のたい肥化施設では、製品になったたい肥の一部を水分調整を兼ねて素材に混合する方法が採られることがあり、戻したい肥方式と呼ばれている。戻したい肥は、発酵に関与する多様な微生物をたい肥化の初期段階に多量に与えることができるので合理的な方法と考えられている。

4) たい肥化の方法

たい肥を作るには、基本的には前項の諸条件を満足するように素材を調整して堆積し、ときどき攪拌・切り返しを行えばよい。

小規模に行う場合の、発酵熱の蓄積に必要な最小の堆積の大きさについては明確な資料が見あたらないが、冬期以外は70～80 cm以上の厚さがあれば十分可能であり、数立方メートル以上の素材があれば可能である。

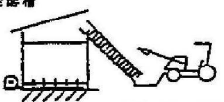
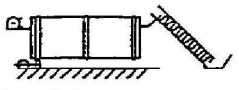
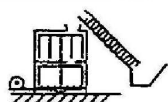
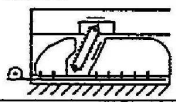
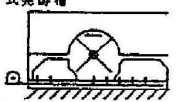
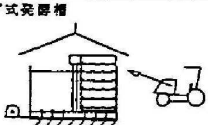
適当な条件を与えると堆積内部の温度は2～3日で60℃以上に上昇し、7～10日程度経過すると酸素供給不足のために内部の発酵が停滞して温度も下降する。このため、よい発酵をさせるには、内部の温度を維持するために最初の1ヶ月程度の間に4～5回の切り返しを行うのが望ましい。

家畜ふんなどを中心としたたい肥づくりに使用される大規模のたい肥化施設はいくつかの方式があり、図IV-3-1のように分類される。しかし、いずれも上記のたい肥化の原理によるもので、強制通気や素材の移動、切り返しをおこなう機械化の体系だけが異なっている。

易分解性有機物の大部分が分解して、切り返しをしても堆積の温度があまり上昇しなくなるまでを一次発酵、それ以降堆積し続けた場合に進む緩やかな分解を二次発酵と区分して呼ぶことがある。一次発酵に要する期間は素材と発酵条件によって大きく異なり、一概に言えないが、条件をよく整えた場合には連続攪拌方式で1ヶ月程度、堆積・切り返し方式では2～3ヶ月で終了する例が多い。

なお、おがくず、バーク（粉砕した樹皮）、プレーナーくず（電動かんなの屑）などの木質素材は細胞壁に多くのリグニンを含む。リグニンは極めて難分解性の物質で、これを完全に分解できる菌は木材腐朽菌の一部だけであるといわれる。これらの資材は分解が遅く、好適な条件を与えてたい肥化処理をしても長期間原形を保っている。これらの粗大有機物を多く含むたい肥は土壌の物理性を改善する効果が高く、それが長期間維持される点で好ましい一面を持つ。一方、分解の遅い木質部分のC/N比が高いために、一次発酵を終わっていても多量に施用すると窒素飢餓の原因になり得るし、水田では水面に浮いて作業の妨げになるなどの問題を起こすことがある。

これらの木質素材を多く使用したたい肥は、表IV-3-3のように家畜ふんの一次発酵が終わった後にも木質部分の分解が続くので、2次的な発酵期間を十分にとり、対象作物と施用量に留意することが必要である。

方式	施設名および略図	特 徴
堆積方式	堆肥舎（盛） 	ショベルローダなどによって切り返しだけを行う。
	箱形通気発酵槽 	ショベルローダなどによって切り返しを行う。 底部から空気を供給する施設が多い。
攪拌方式	密閉 横型回転式発酵槽（ロータリキルン） 	円筒型の発酵層が低速で回転して原料を攪拌混合、移動する。内部に空気を供給するが、乾燥を目的として加温空気を送ることも多い。
	縦型発酵槽 	単段から複数段まである。中心部を通る主軸に取り付けた攪拌羽根で攪拌し、空気を送り込む。上部投入、下部取り出し。
	開放 横型スクープ式発酵槽 	幅広のチェーンコンベア（スクープ）を移動させながら切り返しを行う。底部から空気を供給する。
	横型ロータリ式発酵槽 	耕耘機のロータリ部と同様の機構の切り返し装置で切り返しを行う。底部から空気を供給する。
	円形スクープ式発酵槽 	円形の発酵槽で、スクープ式の切り返し装置をエンドレスで回転する。投入は発酵槽の周りからショベルローダなどで行う。発酵上部にテントをつり下げ、密閉タイプにすることができる。

図IV-3-1 たい肥化の方式

表IV-3-3 木質混合家畜ふん堆積に伴う成分変化

	堆積日数	水分	灰分	炭素	窒素	炭素率
木質混合牛ふんたい肥 (加藤)	0 日	61.9 %	18.0 %	41.2 %	0.73 %	56.4 %
	28 日	66.4	18.5	37.4	0.76	49.2
	56 日	66.1	26.6	36.9	0.75	49.2
	84 日	66.9	29.7	36.1	0.80	45.1
	147 日	66.9	29.4	35.5	0.90	39.4
木質混合豚ふんたい肥 (加藤)	0 日		10.7	39.8	1.72	23.1
	28 日		9.6	40.9	1.41	29.0
	56 日		10.8	39.5	2.14	18.5
	84 日		15.2	38.5	2.22	17.3
	147 日		17.7	37.3	2.55	14.6
木質混合鶏ふんたい肥 (加藤)	0 日	67.2	27.6	40.9	1.24	33.0
	28 日	64.1	24.1	40.5	1.46	27.7
	56 日	62.0	26.0	39.3	1.48	26.6
	84 日	54.4	32.1	35.1	1.55	22.6
	147 日	57.3	40.4	28.6	1.65	17.3

（「土壌改良と資材」（土壌保全調査事業全国協議会）より抜粋）

5) たい肥の腐熟度判定法と肥料成分測定法

(1) たい肥の腐熟度

「腐熟」という語は、有機物素材に含まれる易分解性有機物や生育阻害物質が分解し、ある程度安定な状態になる、という意味に使われており、内容はたい肥化と同じことである。

これと関連して「完熟たい肥」という語が使われることがあるが、たい肥化は微生物による分解・無機化の過程の一部を、土壌中に施用する前に行わせるもので、文字どおりの完全な分解・無機化は灰化と同じことで目的を外れる。分解は適度であることが必要で、それが進んだものほどよいたい肥である、とする見方は的を射ていない。

表IV-3-4 未熟たい肥の施用によって生じうる障害の原因および腐熟の目的（原田 '90）

原料資材	混合比	障害の原因	腐熟の目的
家畜ふんのみ		・高濃度の無機態窒素 ・土壌の異常還元 ・生育阻害物質	・家畜ふん中の易分解性有機物の分解 ・生育阻害物質の分解
家畜ふん＋繊維質資材	家畜ふん多	・高濃度の無機態窒素 ・土壌の異常還元 ・家畜ふん及び繊維質資材中の生育阻害物質	・家畜ふん中の易分解性有機物の分解 ・生育阻害物質の分解
	繊維質資材多	・窒素飢餓 ・土壌の異常還元 ・繊維質資材及び家畜ふん中の生育阻害物質	・C/N 比の低下 ・家畜ふん及び繊維質資材中の易分解性有機物の分解 ・生育阻害物質の分解
家畜ふん＋木質資材	家畜ふん多	・高濃度の無機態窒素 ・土壌の異常還元 ・家畜ふん及び木質資材中の生育阻害物質	・家畜ふん中の易分解性有機物の分解 ・生育阻害物質の分解
	繊維質資材多	・木質資材及び家畜ふん中の生育阻害物質 ・窒素飢餓 ・土壌の異常還元	・生育阻害物質の分解 ・C/N 比の低下 ・木質資材及び中家畜ふん中の易分解性有機物の分解

そこで、「腐熟度」は農業上有害でない程度を計る尺度と考えると理解しやすい。未熟なたい肥の作物に与える害作用とその原因は表IV-3-4のようにたい肥の素材によって異なる。また、栽培する作物、水田・畑・施設などの環境、施用量により、たい肥に要求される分解の程度すなわち完熟の基準は変わる。このように、性質の異なるいくつかの要素をひとくくりにして腐熟度というひとつの尺度で表そうとするために非常に曖昧な物差しにならざるを得ない事情があり、その曖昧さを残したままこの言葉は使用されている。

(2) 腐熟度の測定方法と判定基準

危惧する害作用によって腐熟度の指標が異なるため、測定・判定方法も多数が提案されている。大きく分けて、発酵の進行状態を把握して腐熟度を推測する方法と、直接に製品の属性を測る方法があるが、どんな素材にも適用できて現地で簡単に使える方法はない。いくつかの指標を組み合わせる総合的に判断することが必要である。

比較的容易に使用できる方法は以下のようなものがある。なお、表IV-3-5「現地における腐熟度の判定基準」を除いて完熟の判定基準値は、素材の種類、たい肥化施設、利用方法に応じて個別に定めるべきものである。

ア. 堆積物の温度変化

堆積を切り返して酸素を供給すると堆積物内部の温度は速やかに上昇するが、この温度の上昇は易分解性有機物が残っていること、およびたい肥化が順調に進んでいることを示している。堆積内の温度が気温に近づき、切り返してもあまり上昇しなくなれば腐熟したとみることができる。生産現場では使いやすくて確かな方法である。

イ. 有機物の残存率

たい肥化の過程で経時的に採取した試料を灰化（電気炉 600℃）して有機物の残存率（灼熱減量）を求め、有機物の分解程度をたい肥化の進行の目安とする。比較的容易に行うことができる。

ウ. ポリ袋法

20×30cm 程度のポリエチレン袋にたい肥約300グラムをいれ、手のひらで押さえて空気を抜いて密封する。25～30℃の室に置いて、ガスの発生による袋の膨らみの度合いから腐熟度を判定する。ガスの発生が少なければ腐熟の進んだたい肥と判定できる。

なお、ポリ袋はガスを容易に通すので、ガスを通しにくい材質の袋を使用するほうがさらによいと考えられている。また、この方法は空気を抜いてしまうので、通常の発酵とは状況が違うことに留意することが必要である。

エ. 硝酸態窒素の検出

窒素を含む有機物が分解されると、初期にはアンモニア態窒素が多く生成されるが、腐熟するに従って酸化菌の作用によってアンモニアは亜硝酸を経て硝酸に変化する。この硝酸態窒素をジフェニルアミンを用いて検出する方法である。

なお、鶏ふん・豚ふんは十分腐熟しても硝酸態窒素がほとんど発現しないので、この方法は牛ふんのみにも適用できる。

たい肥を蒸留水で抽出した液を蒸発皿に取り、ジフェニルアミン溶液（濃硫酸25ミリリットルにジフェニルアミン30ミリグラムを溶解）を数滴加える。試料に硝酸態窒素が存在すれば青色を呈する。濃青色になればかなり腐熟が進んだものと判定する。

オ. 発芽試験

たい肥中の生育阻害物質の有無を直接検定する方法である。たい肥に10～20倍の水を加え、60℃温浴中で3時間（室温で30分振とう。または30分煮沸でもよい）抽出し、濾過する。約9cmのガラスシャーレに濾紙2枚を敷いて抽出液10mlをとり、コマツナ種子50粒を播種して20℃以下に静置する。蒸留水を用いて同様にした対照区が100%発芽した時点で発芽率を調べる。

カ. 現地における腐熟度の判定基準

古くから生産現場で行われていた判定基準を数量化したもので、たい肥化の経過を総合的に見られる場合あるいは生産者から十分な情報が得られる場合には比較的正確に判定できる方法である。

(3) たい肥成分の測定法

腐熟度とは別に、たい肥を有効に利用するためには肥効を推測することが必要である。

家畜ふんと各種の副資材を使用したたい肥の成分分析事例はかなり多く蓄積されており、それを集計した一般的な値は、表Ⅱ-2-4やⅣ参考資料などに相当数が公表されているので、素材別の大まかな値は把握できる。しかし個々のたい肥は素材の混合比や腐熟の程度が異なるために測定値の変動幅が大きく、正確に知りたい場合には個別に測定することが必要である。

なお、有機質肥料は肥料取締法では特殊肥料に分類され、販売する場合には成分表示が必要である。

一般的な分析方法は以下のとおりである。

ア. 化学的分析法

全炭素の簡易分析法は、試料をるつぽで乾式灰化し減量の50%を全炭素とする乾熱法が使用できる。

全窒素の測定は通常のケルダール法による。C/N コーダを使用できる場合には、全窒素とC/N比を一括して測定できるので、この機械による分析が便利である。

リン、カリウム、カルシウム、マグネシウムには簡便方がなく、試料を灰化したうえで水溶液にし、比色計、吸光度計等によって分析する。分析方法の詳細は「土壌、作物体および水質分析の手引き」（平成7年 農産普及課）を参照願いたい。

表Ⅳ-3-5 現地における腐熟度の判定基準（原田 '84）

色	黄～黄褐色(2)、 褐色(5)、 黒褐色～黒色(10)
形 状	現物の形状をとどめる(2)、 かなり崩れる(5)、 ほとんど認めない(10)
臭 気	ふん尿臭強い(2)、 ふん尿臭弱い(5)、 たい肥臭(10)
水 分	強く握ると指の間から滴る（70%以上）(2)、 強く握ると手のひらにかなりつく（60%前後）(5)、 強く握っても手のひらにあまりつかない（50%前後）(10)
堆積中の 最高温度	50℃以下(2)、 50～60℃(5)、 60～70℃(15)、 70℃以上(20)
堆積期間	家畜ふんだけ・・・20日以内 (2)、20日～2ヶ月(10)、2ヶ月以上(20) 畜ふんと作物収・・・20日以内 (2)、20日～3ヶ月(10)、3ヶ月以上(20) 穫残さの混合物 家畜ふんと木質・・・20日以内 (2)、20日～6ヶ月(10)、6ヶ月以上(20) 物の混合物
切り返し 回数	2回以下(2)、 3～6回(5)、 7回以上(10)
強制通気	なし(0) あり(10)

(注) () 内は点数を示す。
これらの点を合計し、未熟（30点以下）、中熟（31～80点）、完熟（80点以上）とする。

イ. 近赤外分析

全国に流通する一般肥料とは異なり、個人や地域の比較的狭い範囲で使用されるたい肥の場合は、高い精度よりも簡易で迅速な測定が求められる。

今後有望な方法として、近赤外分光分析計を用いる成分の推定が、乾燥・粉碎した試料を持ち込めば1検体を数分で処理できる迅速な方法として期待されている。現在、検量線の作成と検定が行われているが、現段階では精度が十分でないと言われていて実用には至っていない。