

農山村における未利用有機資源の活用 (I)

— 各種有機物残渣の醗酵処理について —

酒井 信一* · 窪田 譲**

* 信州大学農学部

** ハナマルキ株式会社

Efficient Utilization of Unused Organic Resources in Rural District (I)

— On Fermentation Treatment of Various Organic Residues —

Shinichi SAKAI* and Yuzuru KUBOTA**

* Faculty of Agriculture, Shinshu University

** Hanamaruki Foods Inc.

Abstract : This study is dealt with a recyclic utilization of unused organic wastes in rural district.

In this paper, the authors presented our practical method for the fermentation treatment of various organic wastes using aerobic bacteria under the condition of high temperature.

The raw materials such as all organic matters existing in the domestic wastes, various industrial organic wastes (excluding harmful substances) and the residues of agriculture, forestry, livestock and fisheries were made into the livestock feed. If some of them were not suitable for feed, they were altered into the compost.

The bacteria including several kinds of bacilli were added to these raw materials whose water contents have been adjusted by mixing sawdust or chaff, then put into the rotating drum for fermentation. After mixing and heating for 3-4 hours, a sweet-sour and good smelling feed or unripened compost were produced. The piling unripened compost gradually turned into the ripened compost for 2-3 months afterwards.

Key word : organic wastes, fermentation treatment, high-temperature microorganisms

有機廃棄物, 醗酵処理, 高温微生物

1. はじめに

第二次世界大戦後まで続けられてきた堆厩肥の農地還元を基本とした有畜農業は1960年代にはじまった高度経済成長と軌を一にして制定された農業基本法のもとで大きく変化し、わが国の農業は土地生産性の向上から労働生産性の向上に比重が移行し、化石エネルギー消費型の工業的農業への道を歩みはじめた。

たしかに現代工業社会では、技術革新、合理化により短時間に大量の「物」が作られるようになり、そして今日の繁栄をもたらした。しかしその中で、私達は地球が蓄えてきた資源を食いつぶしながら生きており、

本来資源を創造する役割を担うべき農業までもがこれに追随してきた。

基本法農政のもとで、農地の基盤整備、農作業の機械化、施設の集中化・大型化、特定作目の産地化などが進み、労働生産性は向上し、化学肥料や農薬の使用は農作物の多収と作柄の安定に大きな役割を果たしてきた。しかし一方、これらの多用にともなう有機物の農地への還元の減少によって、土壤中の微生物や小動物の種類と数が減少すると同時に、それらのバランスがくずれてきている。

本報告は、先の報文¹⁾で示したような、私達グループが行っている「農山村における有機未利用資源の循環

的再利用」に関する一連の研究の一つに位置づけられるものである。ここでは、次報以降の共通の基礎となる好気性・好熱性微生物による各種有機物残渣の醗酵処理の実際について報告する。

2. 醗酵処理に使用した微生物の性状

従来、生ゴミ、畜糞、汚泥などの有機物残渣の醗酵処理による飼・肥料化に当たっては、経験的なものに片寄り、微生物生態の変化、微生物の分解能など、微生物の側からの生理学的性質をとおしての飼・肥料化プロセスの究明は不十分であった。これは、被醗酵材料（各種有機物残渣）の組成が千差万別であるばかりでなく、またその量や混入割合が一定でない上に、飼・肥料化処理以前に既に原料の中に多種多様な微生物が混在しており、これらが究明への障害となっているからである。

しかし、各種の飼・肥料化条件のもとで、多くの場合重要な役割を果たす微生物は好熱菌（耐熱菌、高温菌）である。細菌としてはBacillus群に属するものが多く、代表的なものはBacillus stearothermophilus, Bacillus coagulansなどであり、また放線菌ではStreptomyces thermoviolaceus, 糸状菌ではAspergillus fumigatus Chaetomium thermophili, Thermomyces Lanuginosus, Penicillium dupontiなどがあげられる。このうち最も高温上昇を示し、しかも土壌菌として飼・肥料化にあたって優勢増殖がみられるものはBacillus群に属するものがほとんどである。

筆者らが醗酵処理に際して用いた微生物は、長野県伊那市の畑土壌から分離されたBacillus群の中から性状が一部異なるタイプの菌株5種類を選別し、被飼・肥料化材料の多様性に対応するように混じ、複合菌の形でこれを独自の創造培地を用い、滅菌を施すことなく、pH、水分、温度、空気の調節を行ない、継代培養

により菌の馴養強化を行ったものである。その用途は、被飼・肥料化材料中に混在している多種の微生物との拮抗問題を短時間内に克服し、所期の目的を達することを期待したもので、事実、実験で複合菌の質の向上（活性化）と菌数の高度維持、品質の長期安定化（芽胞形で保管される）に成功し、各種有機物残渣の分解進行速度が短縮される利点をもつに至った（以下この複合菌をZ菌と呼ぶことにする）。被飼・肥料化材料に混入するときのZ菌の性状は淡褐色の粗い粉末状で、pHは約7.5、含水率12%以下である。100℃10分間の液中加熱処理後の乾物1グラム中の有効菌数（芽胞）は 1.2×10^6 以上である。

3. 醗酵処理に使用した醗酵機

被飼・肥料化材料の醗酵を順調に進行させるためには、その中で活動する微生物達の増殖にとって最適な環境条件を作り出してやるのが最も大切である。すなわち、うまく醗酵させるコツは「酸素」「温度」「水分」「栄養分」「水素イオン濃度」などのバランスをうまく保ってやることである。

醗酵処理に使用している醗酵機には数種のものがあるが、いずれも、前章で述べたZ菌が被飼・肥料化材料の中で増殖・活動し易く、持っている能力を大きく発揮できるような環境条件づくりに配慮して作成されたものである。その代表的なものは図-1に示すような醗酵回転ドラムである。これは排気筒を除く本体寸法が巾1,400mm、長さ4,400mm、高さ2,200mmで、鋼鉄製で総質量は2.6tである。中央部の円筒形の回転ドラムは内径1,200mm、長さ4,000mmで、内壁には螺線状にチャンネルが取り付けられている。回転ドラムの内容積は4.5 m^3 であるが、1回当たりの醗酵原料の投入量は約3 m^3 、1.5tである。

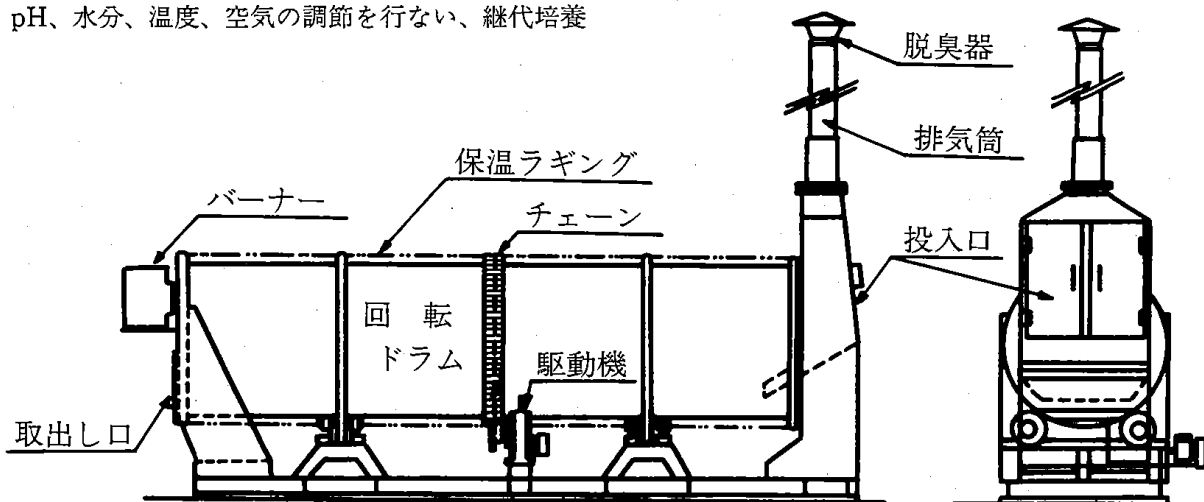


図-1 醗酵回転ドラム

駆動部の電動機の出力は1.5KW、運転時のドラムの標準回転数は60Hzの場合1.42rpm ($0.0237 S^{-1}$)である。

加熱は醗酵生成物取り出し口の上部に取り付けられた灯油バーナーにより、炎が直接ドラム内の上部空間に吹き出す直火方式で行なわれる。バーナーのノズル径は1.5G、灯油の消費量は1時間当たり約6.2ℓである。

4. 醗酵処理

生ゴミ、畜糞、汚泥などの含水率は一般に75~95%である。これは微生物にとっては水分は十分な状態であるが、好気性菌の活動を期待する場合には空隙の水が通気を阻害するのでマイナス要因となる。そのため、水分調整をして含水率を65%前後に下げ、全体に常に適量の空気(酸素)が供給される条件を整える措置を施すことが必要である。水分調整材料としてはオカグズや破砕モミガラが使用されることが多いが、被醗酵材料が畜糞や汚泥の場合には通気不良を改善するためにモミガラやカンナグズなどが併用される。

水分調整された被醗酵材料は、米ヌカあるいはフスマで増量されたZ菌(増量は使用直前に行われなければならない)を加えながら醗酵回転ドラムに投入される。

ドラムの回転にともなって内容物は混合され、水分分布が一樣となると同時に全体に空気が供給される。直火方式の加熱によりドラム上部の空間を熱風が走り、内容物の温度を徐々に上昇させる。

Z菌の中の孢子状態のBacillusは熱ショックを受けて逐次発芽し、栄養型になり、約1時間の誘導期を経て対数増殖期に入り爆発的にその数を増やしていく。そして約2時間後には内容物の温度は60℃を越え、約3時間後にはBacillusの増殖の適温である75℃前後(このときBacillusが活動している液体部分の温度は53℃前後になっている)に達する。

被醗酵材料投入後約3時間を経たのち醗酵回転ドラムの運転および加熱を停止し、そのままドラム内で内容物を約15時間静置醗酵させる。その間、内容物はBacillus群の呼吸にともなう発熱により65℃前後の温度を持続する。

醗酵飼料として使用する場合は、被醗酵材料投入時から約18時間の醗酵処理を経たものをそのまま家畜に与えてもよいが、更に15時間ぐらい高温醗酵を持続させればより安定した醗酵飼料となる。

堆肥として使用する場合は、取り出した内容物を熟

成槽に移し、更に2~3ヶ月熟成させる必要がある。但し取り出した内容物を直ちに熟成槽に移すことが可能な場合は後半のドラム内での静置醗酵を省いてもよい。

醗酵飼料作り、堆肥作りいずれの場合も、一回の醗酵処理量が2m³を下廻ると良好な醗酵が難しくなる。

5. 醗酵処理の事例

醗酵処理のいくつかの例を示せば図-2の通りである。以下、図-2のA、C、D、F、HおよびIについてその詳細を示す。

〔試料A〕

試料Aは豚および鶏の餌として作成したものである。

原料の使用量および醗酵飼料の生成量は表-1と通りである。醗酵回転ドラムへの原料投入は午前11時、ドラムの回転および加熱停止は午後3時、ドラムからの内容物の取り出しは翌日の午前9時である。

表-1 試料Aの原料配合および含水率

(1978・1・18)

原 料	体 積 (ℓ)	質 量 (kg)	含水率 (%)
屠場からの血液	230	217	87.3
鶏ガラ・残飯・野菜クズ	400	250	70.3
魚のアラ	240	155	73.4
オカグズ	1,200	225	15.8
米ヌカ	40	15	13.0
(Z菌)	(0.4)	(0.1)	(9.4)
① 合計 (平均)	2,110	862	(60.0)
② 醗酵試料	1,405	689	55.1
② ÷ ①	0.67	0.80	

〔試料C〕

試料Cは家庭用醗酵ゴミ箱に醗酵助材として投入するために作成されたものである。

原料の使用量および醗酵試料の生成量は表-2の通りである。鶏ガラおよび内臓はブロイラーの解体場から導入。またコーヒー豆のしぼりカスはS乳業より導入したもので、これはコーヒーの濃縮液を製造する過程で排出される粗砂状の豆カスである。醗酵回転ドラムへの原料投入は午後3時、ドラムの回転および加熱停止は午後6時、ドラムかちの内容物の取り出しは翌日の午前9時である。

試料	原料配合割合 (%)						時間 (hr)	含水率 (%)	比重 (kg/ℓ)	
	上段は 体積百分率 下段は 重量百分率 ■■■■■ は水分調整材						運転 静置	投入時 取出時	投入時 取出時	
A	血液	生ゴミ	魚アラ	オガクズ	米ヌカ	Z菌	4 18	60.0 55.1	0.41 0.49	
	10.9	19.0	11.4	56.8	1.9	0.019				
B	血液	生ゴミ	魚アラ	オガクズ	米ヌカ	Z菌	3 15	62.8 56.0	0.42 0.50	
	7.6	12.7	8.0	70.1	1.6	0.015				
C	鶏ガラ	コーヒー	豆しぼりカス	オガクズ	モミガラ	米ヌカ	Z菌	3 15	59.3 50.1	0.39 0.43
	10.0	40.0		30.0	10.0	10.0	0.020			
D	玉ねぎ	乾燥鶏糞	オガクズ	米ヌカ	Z菌	3 13	69.6 64.0	0.47 0.60		
	46.8	13.3	33.7	6.2	0.031					
E	豚糞	破碎モミガラ	米ヌカ	Z菌	3 0	65.9 65.4	0.62 0.63			
	49.0	49.0	2.0	0.020						
F	豚糞	オガクズ	モミガラ	米ヌカ	Z菌	3 10	60.9 47.0	0.47 0.39		
	32.6	32.6	32.6	2.0	0.041					
G	人糞処理消化汚泥	オガクズ	モミガラ	米ヌカ	Z菌	3 15	64.1 62.8	0.45 0.57		
	39.2	29.4	29.4	2.0	0.020					
H	人糞処理余剰汚泥	破碎モミガラ	米ヌカ	Z菌	3 0	65.5 64.8	0.57 0.58			
	47.6	47.6	4.8	0.048						
I	生ゴミ	堆肥	オガクズ	フスマ	Z菌	2 0	63.3 61.1	0.54 0.71		
	54.8	25.7	15.5	4.0	0.099					
	69.4		22.5	6.7	1.4	0.047				

図-2 醗酵試料作成例

表-2 試料Cの原料配合および含水率
(1978・6・19)

原 料	体 積 (ℓ)	質 量 (kg)	含水率 (%)
鶏ガラ・内臓	200	125	70.6
コーヒー豆のしぼりカス	800	445	78.9
オガクズ	600	121	16.9
モミガラ	200	16	13.4
米ヌカ	200	75	13.0
(Z菌)	(0.4)	(0.1)	(9.3)
① 合計 (平均)	2,000	782	(59.3)
② 醗酵試料	1,485	637	50.1
② ÷ ①	0.74	0.81	

【試料D】

試料Dは佐賀県からの依頼により、貯蔵中の玉ねぎの不良品の堆肥化のために行った実験で作成されたものである。

原料の使用量および醗酵飼料の生成量は表-3の通りである。玉ねぎは青果市場より購入し、チョッパーで大凡1/15ぐらい破碎した。また乾燥鶏糞は農業協同組合から購入した。醗酵回転ドラムへの原料投入は午後5時、ドラムの回転および加熱停止は午後8時、ドラムからの内容物の取り出しは翌日の午前9時である。

表-3 試料Dの原料配合および含水率
(1978・10・21)

原 料	体 積 (ℓ)	質 量 (kg)	密 度 (kg/m ³)	含水率 (%)
玉ネギ	300	210.5	701	92.9
乾燥鶏糞	85	31.2	367	18.0
オガクズ	216	45.4	210	15.6
米ヌカ	40	15.0	375	13.0
(Z菌)	(0.2)	(0.05)	(250)	(9.2)
① 合計 (平均)	641	301.9	471	(69.6)
② 醗酵試料	426	255.3	600	64.0
② ÷ ①	0.66	0.85		

【試料F】

試料Fは長野県の伊那共同養豚場(ケージ飼育)から排出される豚糞の堆肥化のために行った実験で作成されたものである。

原料の使用量および醗酵飼料の生成量は表-4の通りである。ここでは通気を良好にするために未破碎のモミガラを併用している。醗酵回転ドラムへの原料投入は午後6時、ドラムの回転および加熱停止は午後9時、ドラムからの内容物の取り出しは翌日の午前7時である。

表-4 試料Fの原料配合および含水率
(1978・6・29)

原 料	体 積 (ℓ)	質 量 (kg)	含水率 (%)
豚糞	640	564	79.0
オガクズ	640	129	15.3
モミガラ	640	77	14.3
米ヌカ	40	15	13.2
(Z菌)	(0.8)	(0.2)	(9.5)
① 合計 (平均)	1,960	785	(60.9)
② 醗酵試料	1,480	575	47.0
② ÷ ①	0.76	0.73	

【試料H】

試料Hは長野県の伊南衛生センターの人糞尿余剰汚泥の堆肥化実験で作成されたものである。

原料の使用量および醗酵試料の生成量は表-5の通りである。破碎モミガラは、水分調整と通気調整の両者の役割を果たさせるために使用した。これは長野県の伊那農業協同組合のカントリーエレベーターに併設されているモミガラ破碎機で製造したものである。醗酵回転ドラムへの原料投入は午後1時、午後4時にドラムの回転および加熱を停止し、直ちに内容物を取り出した。

表-5 試料Hの原料配合および含水率
(1978・5・16)

原 料	体 積 (ℓ)	質 量 (kg)	含水率 (%)
人糞尿処理余剰汚泥	400	361	83.8
破碎モミガラ	400	100	7.4
米ヌカ	40	15	13.3
(Z菌)	(0.4)	(0.1)	(9.2)
① 合計 (平均)	840	476	(65.5)
② 醗酵試料	810	466	64.8
② ÷ ①	0.96	0.98	

なお、以上のA~Hの醗酵試料の作成において使用された醗酵回転ドラムは前章の図-1に示したものである。

【試料I】

試料Iはオランダのアイントホーヘン工業大学において行った醗酵熱利用温水取水実験で、熟成槽に投入するために作成した醗酵試料である。

使用した醗酵回転ドラムは、ドラムの内径492mm、長さ520mm、内容積100ℓの実験機である。ドラムの回転速度は6.4rpm、加熱はガソリントーチバーナーで行わ

れた。

熟成槽の有効内容積276ℓを満たすために、醗酵試料は7回にかけて作成した。原料の使用量および醗酵試料の生成量は表-6の通りである。生ゴミはスヘルトヘンボス市において大学と自治体が共同で行っている家庭からの生ゴミ分別収集実験で集められた厨芥ゴミを再度分別したものである。原料中の前回の堆肥は水分調整材の一部として再利用したものである。Z菌の増量剤としては米ヌカの入手が困難であったので、代りにフスマを使用した。醗酵回転ドラムへの原料投入後、直ちに回転・加熱を開始し、2時間後に取り出された内容物は逐次熟成槽に投入された。

表-6 試料Iの原料配合および含水率
(1983・1・28~)

原 料	体 積 (ℓ)	質 量 (kg)	密 度 (kg/m ³)	含水率 (%)
生ゴミ	194	133.6	689	72.5
前回の堆肥	91	43.4	477	53.9
オガクズ	55	12.8	230	11.4
フスマ	14	2.8	200	9.4
(Z菌)	(0.35)	(0.091)	(260)	(9.2)
① 合計 (平均)	354	192.6	544	(63.3)
② 醗酵試料	255	181.3	711	61.1
② ÷ ①	0.72	0.94		

6. おわりに

以上のべてきたように、良い醗酵処理を行なうに当たってまず第一に配慮しなければならないことは、醗酵の過程で主働的役割を果たす微生物(ここではZ菌)が住み易い状態に被試・肥料化材料の状態をできるだけ近づけてやることである。微生物の活動・増殖には多くの環境要因、たとえば水分と浸透圧、酸素(空気)、温度、水素イオン濃度、光線、栄養素および他の微生物との相互作用などが複雑にからみ合いながら関係している。生ゴミ等の醗酵処理に当たっては、これらのうちの特に水、酸素、温度のバランスに留意することが大切である。水は微生物の生育には必要不可欠

なものである。微生物は生ゴミ等の中の自由水中に溶出した栄養素を取り込んで生育するからである。しかし、生ゴミ等に含まれている水が多すぎると、空隙にある水が空気の流通を妨げるので好気性微生物の活動が阻害される。また通気が良すぎると醗酵熱が奪われるので高温を維持することが難しくなり、高温微生物の活動は低下することになる。現場における醗酵の良否の判定は「におい」で行なうのが最も確かである。悪臭が残っているものは、特に、家畜のエサとして使用することは絶対に避けなければならない。

第二は、醗酵処理に使用する原料はできるだけそれぞれの現場近くから入手するよう心掛けることである。すなわち、原料配合を先に決めるのではなく、近くで得られる安価な、あるいは処分費付きの材料を上手に組合わせて使用することをまず考えるようにしたい。図-2にいくつかの配合例を示したが、これはあくまでも参考例であるに過ぎない。また、栄養的に片寄りのある玉ねぎのようなもの場合には醗酵促進材として少量の鶏糞を混入するとか、長期間に亘る醗酵熱利用を期待する場合には長時間高温を出し続けるコーヒー豆のしぼりカスを混入するなど、ケースバイケースでそれぞれに適した方式や配合を当事者が工夫して見出すことが必要である。

第三は、微生物は生きものであることを常に念頭に置いて事に当たることである。醗酵処理の省力化を図るために機器類を使用することは避けられないことであるが、機器任せにならないように注意しなければならない。私達は醗酵処理の主役である微生物達を直接目で見ることができないため、とかく扱いが疎かになりがちであるが、たとえば鶏を飼っているのと同じような気持ちで面倒をみてやる必要がある。

本報では、各種有機物残渣の醗酵処理の一手法について述べたが、次報以下では、堆肥化する場合の後段の熟成、および熟成段階で発生する醗酵熱の利用、さらに堆肥の施用が畑地土壤におよぼす影響等について順次報告する予定である。

文 献

- 1) 酒井信一：農山村からリサイクル社会を構想する。信州大学環境科学論集，第10号，pp. 58-85, 1988
- 2) 酒井信一：夢のある農業をめざして。技術と経済。No.176, pp. 76-114, 1981
- 3) 松田松二、酒井信一ほか：自然との共存——新・環境科学論——。pp. 252-274, 共立出版, 1982
- 4) 菅原 聡、酒井信一ほか：続・自然との共存——農業新戦略——。pp. 47-49, 133-139, 183-187, 共立出版, 1987
- 5) 篠原 昭、酒井信一ほか、バイオテクノロジー入門。pp. 167-173, 培風館, 1986