

農山村における未利用有機資源の活用 (II) —— 堆肥の熟成 (基礎実験) ——

酒 井 信 一* · 大 泉 和 夫**

* 信州大学農学部

** 蚕糸砂糖類価格安定事業団

Efficient Utilization of Unused Organic Resources in Rural District (II) —— Ripening for Compost Making (Fundamental Experiment) ——

Shinichi SAKAI* and Kazuo OIZUMI**

* Faculty of Agriculture, Shinshu University

** Japan Raw Silk and Sugar Price Stabilization Agency

Abstract : The making of organic wastes into the compost is the effective means toward a recycling utilization of unused organic resources. This experiment were conducted to determine suitable shapes, sizes and structures of the simplified ripening tank, by which the compost of good quality can be produced in simple step at the corner on the field. The six kinds of tanks were chosen such as four cylindrical geogrid tanks with different diameter, a rectangular prism geogrid tank and a cylindrical tank coated with a layer of heated insulator. The experimental results were as follows ; if the production scale was smaller, the progress of the rapid ripening became tardy, on the contrary, if it was larger, the ripening at middle part of the tank became inactive due to oxygen shortage. From the results, it was revealed that the geogrid cylindrical tank with 1.5~2.0 m in diameter and 1.0 m in height is one of the suitable and practical type in which smooth ripening goes on for a long time.

Key words : compost, ripening tank, geogrid, fermentation treatment

堆肥, 熟成槽, 土木用網目状構造体, 発酵処理

I はじめに

農業の近代化にともないわが国の農業は化学肥料、農薬および除草剤などに多くを依存し、経済性を優先するあまり、耕地に対する有機物施用量は著しく減少しており、地力の低下が問題になっている。その主な原因は堆肥作りおよび耕地への堆肥施用に多くの労力がかかること、堆肥を生産するための大型施設の建設とランニングに多くの経費がかかることなどである。

本研究は、これらの現状をふまえ、さらに、各農家が堆肥を作っていた過去の有畜農業の復活がきわめてむずかしいという前提に立ち、①耐久性があり、扱い

易く、安価な簡易熟成槽で、②あまり手間をかけずに、③各農家が自前で、納得のいく熟成度の堆肥を作成する、方策を探るための基礎データを得るために行われた。

なお、本実験については、先に、別報¹⁾及び著書²⁾中の有機資源のリサイクルの項で一部報告している。したがって一部重複する部分もあるが、本報ではその全体と詳細について報告することにする。

II 熟成槽の種類と構造

本実験に用いられた熟成槽は図-1のような直径の異なる4種類の網目円筒(テンサーZとよぶ)、直方体

の金網カゴおよび円筒形断熱槽の計六ヶである。

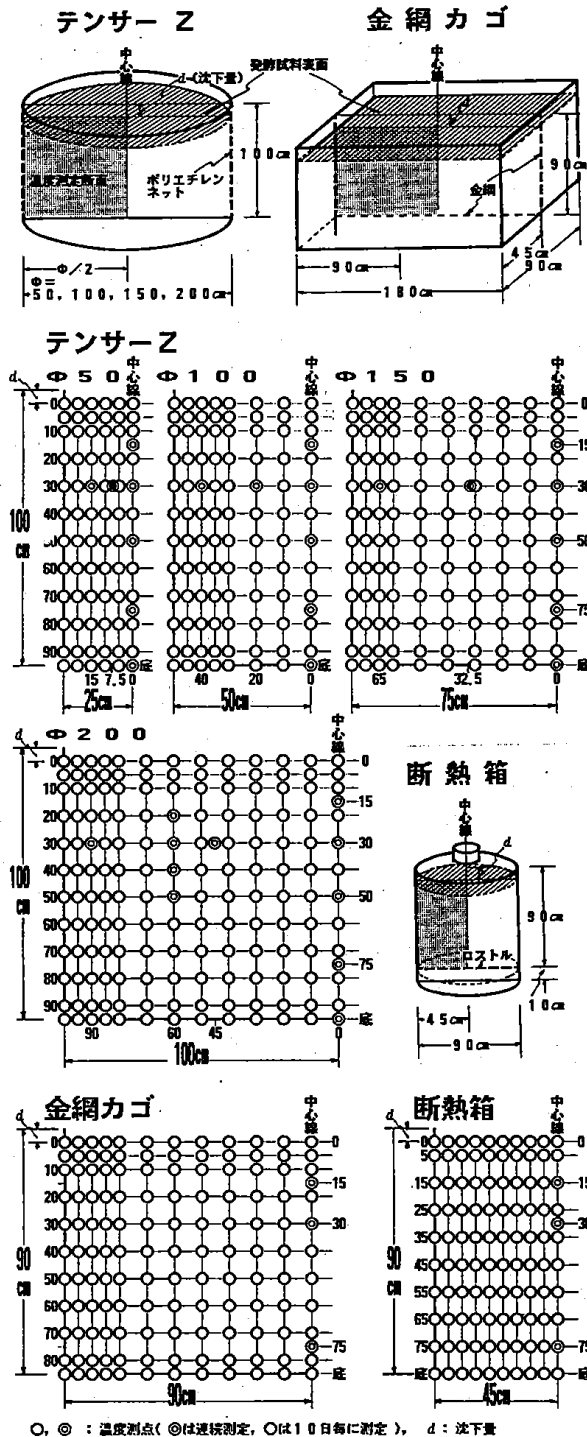


図-1. 熟成槽の形状寸法および温度測点

センサー Z は図-2 に示すような幅 1 m の高密度ポリエチレンの一軸延伸有孔シートを所定の長さに切断して円筒形に組み立てたものである。構造体材料はジオテキスタイル³⁾ の一種で、材料の特性は単位面積当たりの質量が 870g/m²、単位幅当たりの引張強度(単糸強度×1 m 当たりの単糸数)縦方向 58,840 N/m、横方向 12,750 N/m、破断点伸度 12.3%、熱安定範囲 -60℃

～80℃である。色は黒色で、紫外線、酸、アルカリ、バクテリア、菌類、害虫に対する耐性が大である。また、軽量で、適度の屈曲性をもち、切断が容易である。切断部の網目を噛み合わせて鉄筋等を挿し込むことによって立体的な構造が簡単に組立てられ、さらに分解もきわめて容易である。これは現在、土木関係で広く利用されており、マットレス工法、組立て蛇カゴ工法、グリッド工法、急勾配盛土工法、編柵工などに用いられている。

金網カゴは上面を除く 5 面が目合寸法 3.3cm の金網よりなる直方体である。

断熱槽は FRP 製円筒の周面に発泡スチロールを 3 cm 厚さに吹きつけたもので、上面中央に直径 32cm の試料投入口が開口し(蓋付)、その横に直径 7.8cm の排気筒が取り付けられている。また内部には、底部に空間をつくるために底面より 10cm 高さに心の間隔 5 cm の鉄筋スクリーン(ロストル)が取り付けられている。下部空間の壁面には幅 30cm、高さ 8 cm の給気口兼試料取り出し口(扉付)が設置されている。

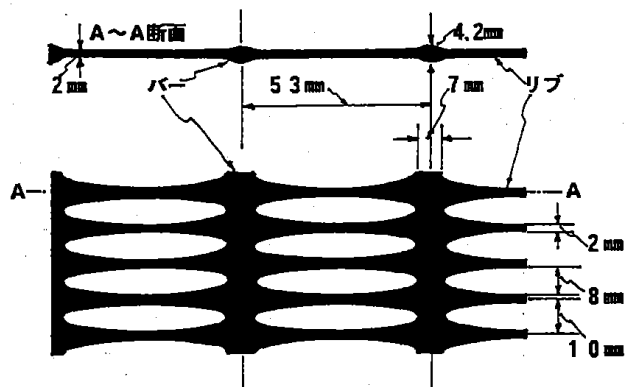


図-2. センサー Z 壁体の形状寸法

III 発酵試料

熟成槽に投入した発酵試料⁴⁾の原料およびその配合は表-1 の通りである。

表-1. 発酵試料の原料配合割合・含水率

| | 体積 (%) | 質量 (%) | 含水率 (%) |
|-------|--------|--------|---------|
| 鶏 フ ン | 61.0 | 70.8 | 65 |
| 生 ゴ ミ | 13.6 | 23.0 | 87 |
| カンナクズ | 23.7 | 5.0 | 9 |
| 米 ヌ カ | 1.7 | 1.2 | 17 |

鶏フンは前報⁴⁾に示した方法で作成された、発酵飼料を与えて鶏を飼育していた実験農場¹⁾の平飼式鶏舎の床面から採取したものであり、生ゴミは青果市場からの残渣およびレストランからの調理カスや残飯である。

投入試料の作成は1.5トン用の発酵回転ドラムを使用して行われた。一回の作成量が約2m³、1tであったので、熟成槽への総投入量7.9m³を確保するため、試料作成は1983年10月10～10月15日にわたって5回にわけて行われた。各回とも100グラムのZ菌⁴⁾を添加し、発酵回転ドラム内で約3時間混合・加温しながら発酵処理を行い、取り出した発酵試料は逐次熟成槽に投入した。発酵回転ドラムへの投入時の原料の平均含水率は約67%、取り出した発酵試料の含水率は約65%であった。

IV実験の経過

センサーZは、いずれも写真-1のように切断部の網目を噛み合わせて鉄筋を挿し込み円筒形に組立てられ、写真-2のようにそのまま地上に設置された。また金網カゴは底面からも空気が供給されるように下部に15cmの空間を設けて設置された。

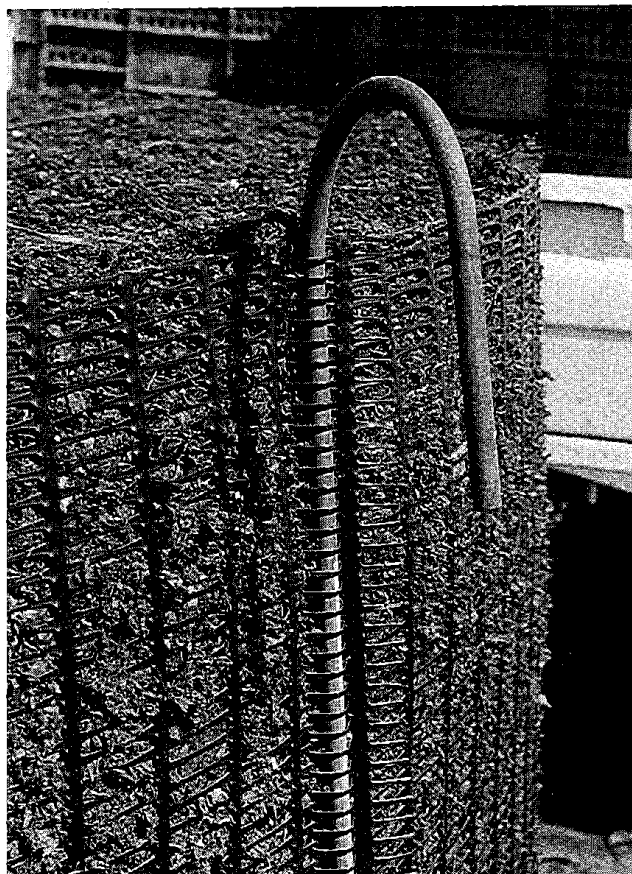


写真-1. センサーZの組立て接合部



写真-2. 熟成槽の設置状況

熟成槽への発酵試料の投入は、センサーZの場合はいずれも上端まで(投入量はΦ50が0.20m³、Φ100が0.79m³、Φ150が1.77m³、Φ200が3.14m³)、金網カゴの場合も上端まで(投入量は1.46m³)、断熱槽の場合は底部のスクリーンより上部85cmのところまで(投入量は0.54m³)行われた。

熟成槽内の発酵試料の温度変化を測定するために、発酵試料内の主要点34点(図-1の◎で示した点)に

温度センサーを埋設し温度を連続記録した。また、発酵飼料投入後10日目毎の発酵試料内の温度分布図を画くために、測定断面に組まれた5～10cmメッシュの交点の温度を測定した。

外気温は隣接のハウス内の風通しのよい日陰(地上60cm)に設置された温度センサーにより測定した。

実験は、低温期で発酵にとっての条件が最も厳しい冬季間における熟成の過程を観測するために1983年10

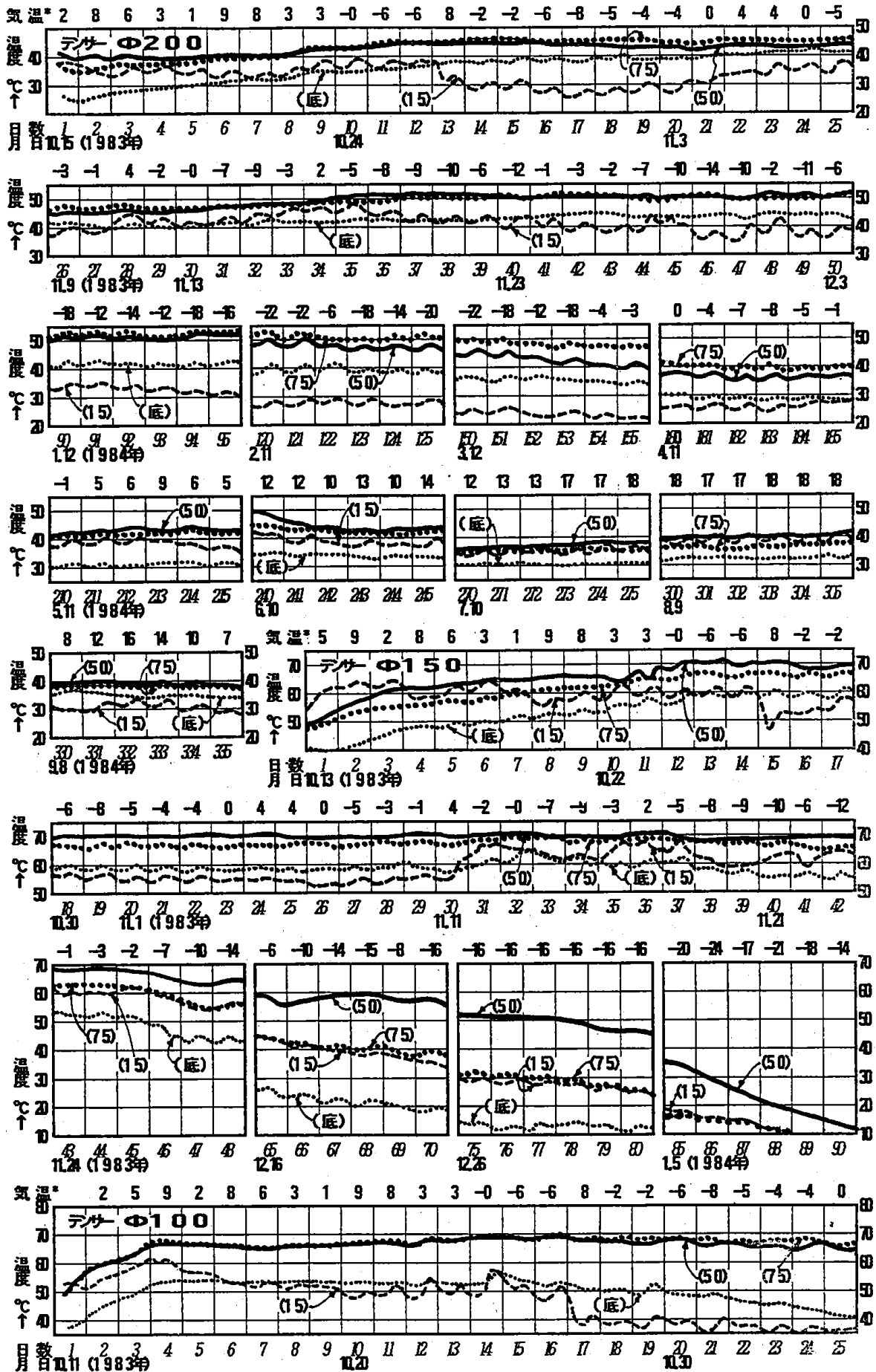


図-3. 中心線鉛直方向の主要点試料内の温度推移

農山村における未利用有機資源の活用 (II)

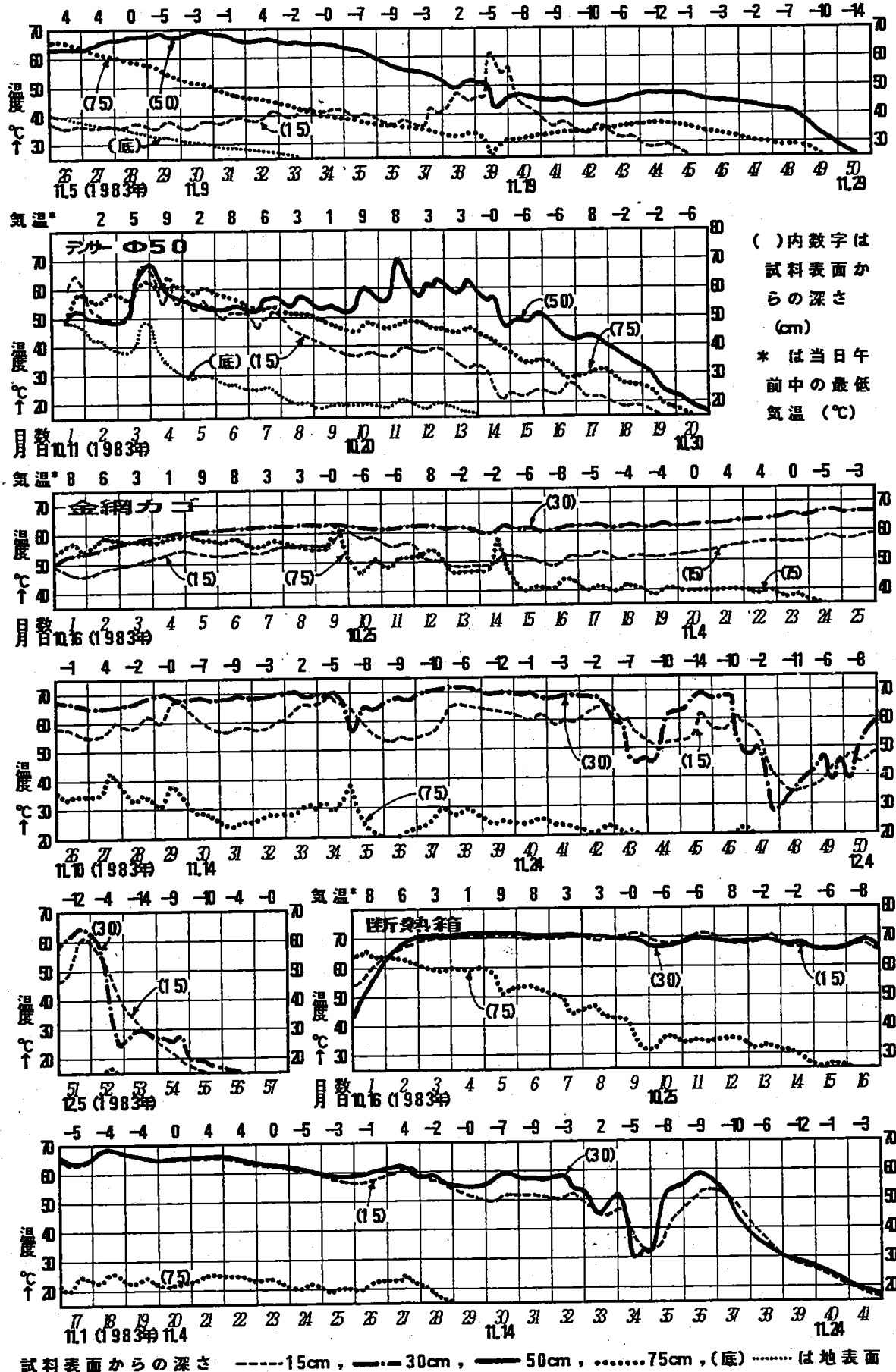


図-3. 中心線鉛直方向の主要点飼料内の温度推移 (つづき)

月上旬に開始し、1984年の11月まで約1年間続けられた。

1984年の冬は特に寒さが厳しく1月20日には最低気温の極-34℃を記録した¹⁾。

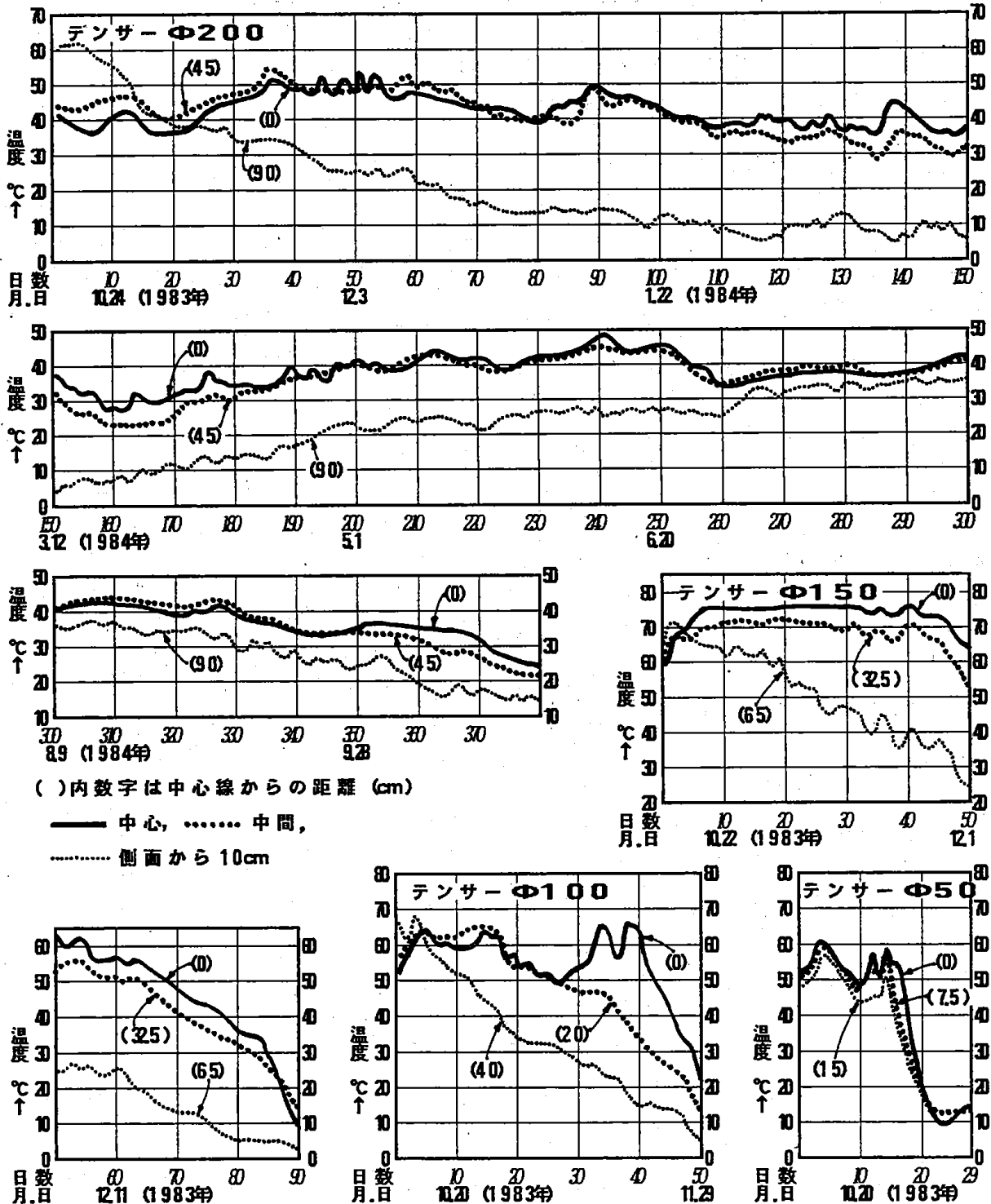
V 結果と考察

図-3は熟成槽中心線鉛直方向の主要点の試料内温度推移、図-4は発酵試料表面から30cm深さの主要点

の温度推移、図-5は試料内温度分布の推移¹⁾を示したものである。

図-3および図-4に示すようにセンサーΦ200を除いては、発酵試料投入後試料内温度は急速に上昇し2~3日後には最高部の温度は60℃を越えた。そして、センサーΦ150の場合は4日目には70℃を越え、これが約7週間持続したが、以後周壁部からの冷却が急速に内部に進行し約3ヶ月で発酵は停止した。また、テン

図-4. 表面から30cm深さの主要点試料内の温度推移



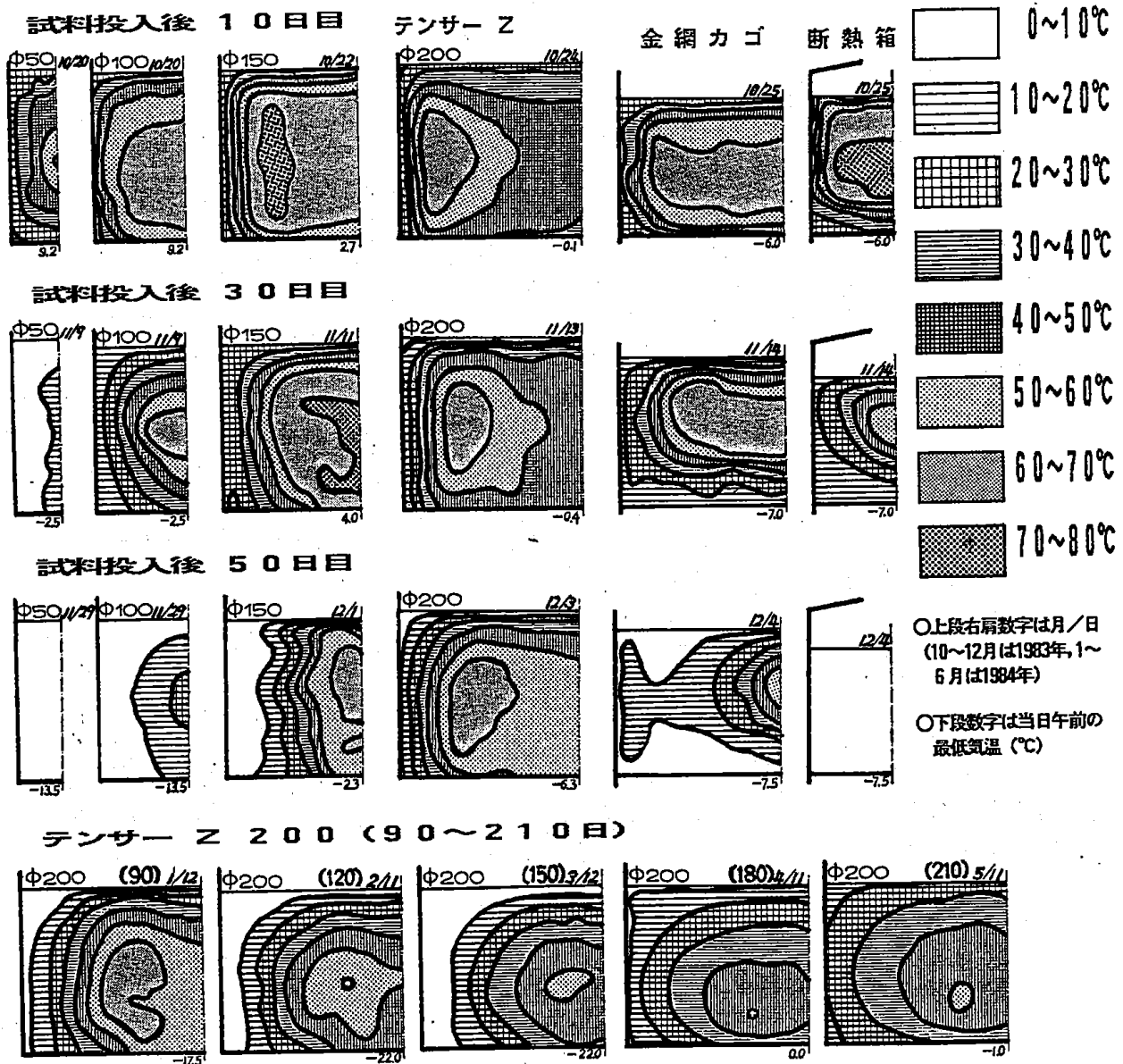


図-5. 試料内の温度分布

サーΦ100では70°Cに達することなく60°C台を約5週間維持した。さらに、センサーΦ50では周面の網目からの外気の流入が活発で放熱が多く、また水分の放出も多いため約2週間後には50°Cを割り、以後温度は急降下し発酵は停止した。センサーΦ200の場合は約5週間に亘り60°C付近を低迷したが、日時の経過とともに空気が徐々に内部に進入するようになり、高温部は徐々に内部に移動し、以後約20週間60°C台を持続した。図-5は、センサーZにおいては側壁のネットから侵入した空気が壁頂（試料表面との交点）を中心とした円弧をえがきながら上方に移動していく様子を示している。したがってセンサーΦ200においては中央部の円錐体の部分が酸素欠乏のため発酵の進行が不活発になっている。

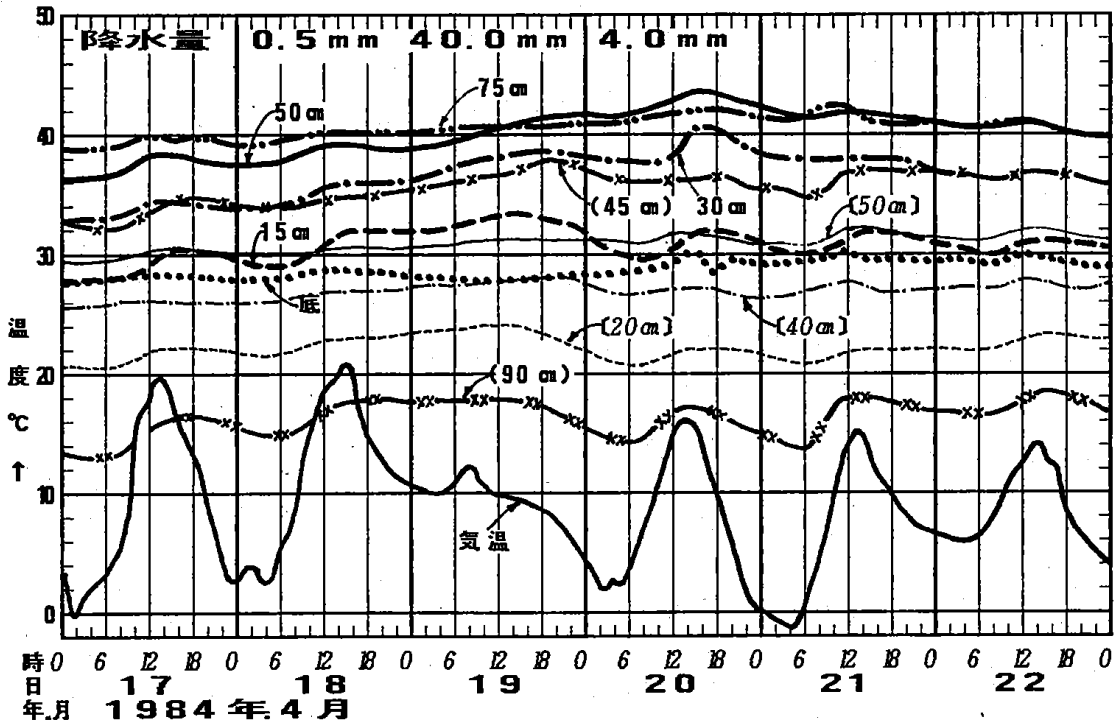
金網カゴの場合は底面からの空気の供給があるため初期の発酵は活発で約6週間に亘り60°C台を持続したが、7週間後には底面からの冷却が急激に進行し8週間後には発酵が停止した。

断熱箱は周面が断熱材で囲まれており、底面からの空気の供給があるため発酵の立ち上がりは速く、2日目には中央部の温度は70°Cを越えたが、水分の放出が多く、空気の流通も良かったため、約1ヶ月後には水分不足と、放熱過多のため試料内温度は急激に低下し6週間後には発酵が停止した。

図-6は雨水の侵入が発酵に及ぼす影響をみるために夜半から午前中にかけて40mmの降水量を記録した1984年の4月19日前後の試料内温度の変化を示したものである。40mmの雨水の侵入によって、水分不足気味

で発酵が低下していた部分が再び温度上昇するが、影響を受ける部分は表面からおおよそ60cmまでであることを示している。

デナーΦ200



『中心線，表面からの深さ』15cm——，30cm- - -，50cm——，75cm——，底.....
 『中心線から水平距離60cm，表面からの深さ』(20cm)-----，(40cm)-----，(50cm)——
 『深さ30cm，中心からの水平距離』(45cm)——x—，(90cm→周面から10cm)——xx——

図-6. 降雨後の試料内温度変化

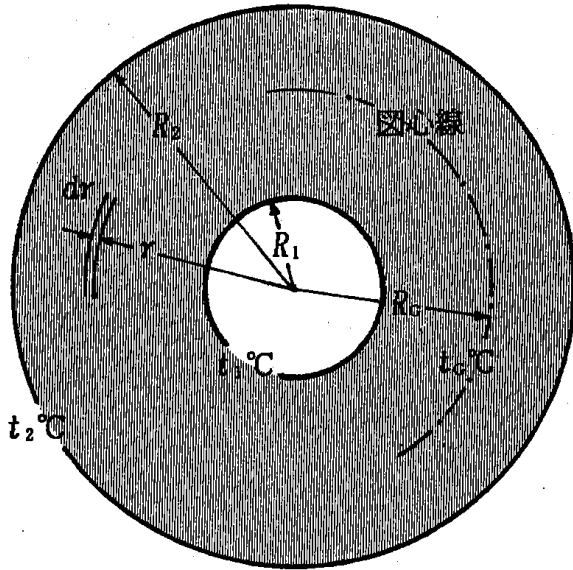
表-2は試料投入後10日目毎に測定した図-1の格子点の温度から画いた等温線(図-5)から求めた温度階級別堆積割合、試料内の平均温度、および試料体積を示したものである。温度階級別体積割合は、平面において隣接する等温線が形成する回転リング(図-7)を深さ方向に積算した筒状の回転体の体積を、全体積で除したものを百分率であらわしたものであり、試料内平均温度は、回転リングの同心線の位置の温度にリングの面積を乗じたものの総積算値を全体で除したものである。

表-2. 温度階級別体積割合(%), 試料内温度, 試料体積

| 堆肥種類 | 経過日数 | 月 | 日 | 気温 | | 試料内温度 | | 温度階級 (n℃台) | | | | | | | | | | 別体積割合 | 試料体積 (m) |
|---------|------|----|----|------|-------|-------|----|------------------------|----|----|----|----|----|----|----|---|------|-------|----------|
| | | | | 最高 | 最低 | 平均 | 最高 | 0 10 20 30 40 50 60 70 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | | | | |
| デナーΦ200 | 10 | 10 | 24 | 11.0 | -0.1 | 47 | 69 | - | 2 | 11 | 15 | 30 | 20 | 22 | - | - | 2.98 | | |
| | 20 | 11 | 3 | 17.0 | -4.2 | 42 | 67 | - | 2 | 21 | 15 | 31 | 23 | 8 | - | - | 2.89 | | |
| | 30 | 11 | 13 | 7.0 | -0.4 | 43 | 68 | - | 13 | 10 | 11 | 24 | 28 | 14 | - | - | 2.88 | | |
| | 40 | 11 | 23 | 13.3 | -11.8 | - | - | - | 10 | 14 | 12 | 15 | 32 | 17 | - | - | 2.86 | | |
| | 50 | 12 | 3 | 10.0 | -6.3 | 40 | 68 | - | 7 | 13 | 11 | 12 | 13 | 28 | 16 | - | 2.84 | | |
| | 60 | 12 | 13 | 9.0 | -12.3 | 38 | 65 | - | 5 | 21 | 14 | 6 | 18 | 24 | 12 | - | 2.83 | | |
| | 70 | 12 | 23 | 3.5 | -3.5 | 33 | 65 | - | 14 | 16 | 15 | 14 | 15 | 21 | 5 | - | 2.82 | | |
| | 80 | 1 | 2 | 5.8 | -14.0 | 32 | 62 | - | 8 | 26 | 16 | 11 | 17 | 19 | 3 | - | 2.81 | | |
| | 90 | 1 | 12 | 0.0 | -17.5 | 31 | 67 | - | 19 | 18 | 14 | 13 | 10 | 15 | 11 | - | 2.81 | | |
| | 100 | 1 | 22 | 1.0 | -6.7 | 28 | 64 | - | 23 | 19 | 14 | 12 | 12 | 17 | 3 | - | 2.81 | | |
| | 110 | 2 | 1 | -0.5 | -17.0 | 24 | 61 | - | 31 | 16 | 15 | 13 | 12 | 13 | 0 | - | 2.80 | | |
| | 120 | 2 | 11 | 2.0 | -22.0 | 23 | 61 | - | 32 | 18 | 15 | 11 | 13 | 11 | 0 | - | 2.77 | | |
| | 130 | 2 | 21 | 4.0 | -19.8 | 26 | 59 | - | 7 | 35 | 21 | 16 | 12 | 9 | - | - | 2.75 | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|------|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|------|
| 140 | 3 | 2 | -3.0 | -24.0 | 20 | 58 | 42 | 27 | 13 | 10 | 12 | 6 | - | - | 2.74 |
| 150 | 3 | 12 | -5.8 | -22.0 | 18 | 53 | 20 | 20 | 14 | 13 | 10 | 10 | 1 | - | 2.73 |
| 160 | 3 | 22 | -0.1 | -19.5 | 21 | 51 | 25 | 25 | 17 | 15 | 12 | 0 | 2 | - | 2.72 |
| 170 | 4 | 1 | 6.0 | -2.3 | 4 | 45 | 32 | 28 | 26 | 16 | 11 | 2 | 0 | - | 2.72 |
| 180 | 4 | 11 | 8.2 | 0.0 | 25 | 51 | 6 | 28 | 22 | 22 | 14 | 2 | 0 | - | 2.72 |
| 190 | 4 | 21 | 15.8 | -1.5 | 32 | 55 | 2 | 48 | 27 | 19 | 16 | 4 | 1 | - | 2.71 |
| 200 | 5 | 1 | 12.0 | 4.3 | 32 | 51 | 2 | 48 | 27 | 19 | 16 | 4 | 1 | - | 2.71 |
| 210 | 5 | 11 | 23.5 | -1.0 | 32 | 55 | 19 | 49 | 33 | 29 | 13 | 13 | - | - | 2.70 |
| 220 | 5 | 21 | 20.0 | 6.1 | 29 | 51 | 19 | 47 | 40 | 33 | 16 | 10 | - | - | 2.68 |
| 230 | 5 | 31 | 18.7 | 8.6 | 31 | 45 | 1 | 47 | 38 | 38 | 16 | 10 | - | - | 2.68 |
| 240 | 6 | 10 | 16.2 | 12.2 | 33 | 54 | 56 | 54 | 46 | 33 | 10 | 10 | 5 | 3 | 2.67 |
| 250 | 6 | 20 | 25.0 | 15.7 | 30 | 57 | 57 | 57 | 57 | 43 | 30 | 10 | - | - | 2.67 |
| 260 | 6 | 30 | 25.0 | 13.0 | 30 | 59 | 59 | 59 | 40 | 43 | 30 | 10 | - | - | 2.65 |
| 270 | 7 | 10 | 29.8 | 11.8 | 31 | 41 | 41 | 41 | 40 | 38 | 7 | 4 | 1 | - | 2.63 |
| 280 | 7 | 20 | 30.5 | 16.2 | 31 | 44 | 44 | 44 | 21 | 21 | 7 | 6 | 3 | 3 | 2.61 |
| 290 | 7 | 30 | 32.4 | 14.0 | 33 | 41 | 41 | 41 | 19 | 19 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2.60 |
| 300 | 8 | 9 | 31.8 | 17.5 | 37 | 36 | 36 | 36 | 14 | 14 | 44 | 31 | 1 | - | 2.59 |
| 310 | 8 | 19 | 32.3 | 19.0 | 38 | 45 | 45 | 45 | 14 | 14 | 44 | 31 | 1 | - | 2.57 |
| 320 | 8 | 29 | 28.1 | 9.8 | 36 | 45 | 45 | 45 | 5 | 5 | 55 | 31 | 1 | - | 2.54 |
| 330 | 9 | 8 | 22.0 | 8.2 | 33 | 48 | 48 | 48 | 27 | 27 | 24 | 24 | 1 | - | 2.51 |
| 340 | 9 | 18 | 16.0 | 10.2 | 38 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 57 | 31 | 1 | - | 2.43 |
| 350 | 9 | 28 | 24.2 | 3.8 | 29 | 41 | 41 | 41 | 56 | 56 | 44 | 1 | 0 | - | 2.38 |
| 360 | 10 | 8 | 18.0 | 1.0 | 26 | 38 | 38 | 38 | 19 | 19 | 38 | 31 | 9 | 0 | 2.34 |
| 370 | 10 | 18 | 19.5 | 1.2 | 21 | 34 | 34 | 34 | 40 | 40 | 51 | 9 | 0 | - | 2.31 |
| 380 | 10 | 28 | - | 4.8 | 22 | 31 | 31 | 31 | 45 | 45 | 55 | 0 | - | - | 2.28 |
| 390 | 11 | 7 | - | - | 14 | 25 | 25 | 25 | 27 | 27 | 63 | 10 | - | - | 2.25 |

* 当日午時の最高気温



$$R_g = \frac{\int_{R_1}^{R_2} 2\pi r^2 dr}{\int_{R_1}^{R_2} 2\pi r dr} = \frac{2(R_2^3 - R_1^3)}{(R_2^2 - R_1^2)}$$

A (回転リングの面積) = $\pi(R_2^2 - R_1^2)$

$$t_g = \frac{(R_2 - R_g)}{(R_2 - R_1)}(t_1 - t_2) + t_2$$

図-7. 試料内平均温度の算定

この実験結果から次のことが明らかになった。

(1) 熟成槽の大きさは高温熟成の持続に非常に大きく影響する。とくに寒冷期には周面等からの放熱が激しいので、直径の小さい熟成槽では高温熟成の持続はのぞめない。しかし、図-5のテンサーΦ200がしめすように、直径が大きくなると周面からの空気の供給が中央まで達しにくくなり、酸素不足のため中央の円錐形の部分の発酵が不活発になる。

(2) テンサー-Zの場合、周面近くの発酵試料は水分が減少し、さらに外気温の影響を強く受けるので、良好な熟成を期待することは出来ない。しかし、この部分は内部からの放熱を抑制する断熱材としての重要な役割を果たしている。この部分の体積割合を減少させ有効熟成部分を増大させるには、できるだけ直径を大きくとった方がよい。

(3) 金網かごや断熱箱のように底面からも空気が供給されるタイプのもは、通気が全面におよび初期の熟成は良好であるが、通気に伴う放熱も多いので、熟成

を長期間持続させるのは難しい。

(4) テンサー-Zは軽量で、運搬・組立・分解が容易であり、きわめて扱いやすい。とくに縫合部の鉄筋を引き抜くだけで分解出来るので、簡単に熟成済みの発酵試料を取り出すことが出来る。これに対して、金網かご(底面にスペースを設けた)や断熱箱は取扱いが面倒であるうえテンサー-Zより高価である。

VI 実用化へのアプローチ

以上のことから、テンサー-Zは堆肥の熟成槽として優れた特性を持つことが明らかになったが、ここでは、別途行ったいくつかの実験結果も合わせ考慮しながら実用化にあたっての問題点を挙げてみよう。

(1) ポリエチレンネットには各種の形状・寸法のものがあるが、テンサー-Zの壁面材としては、幅1mの一軸延伸有孔シートが適している。本実験では図-2に示したような目合寸法53mm×10mmのものをを用いたが、目合寸法110mm×22mmのものを選択した方がよい。何故ならば、①強度がより大である、②分解時の鉄筋の挿入・引き抜きが容易である、③熟成槽の変形が起こりにくい、④発酵試料が網目から漏出することはほとんどないことなどである。なお、類似の有孔シートのなかには耐久性が劣るものがあるので選択に際しては十分注意しなければならない。

(2) 熟成槽の高さは1mとする。何故ならば、1mを越えると、①組立・分解、発酵試料の投入・取り出し等がやり難くなる、②発酵試料内部への空気の侵入がスムーズにいかなくなる、また1mより低いと、①有効熟成部分の割合が少なくなる、②処理量が減少する。

(3) 熟成槽の直径は1.5~2m位とする。ただし、中央に通気パイプを立てて、発酵試料内を通過する空気の透過距離を短くする等の工夫をすれば直径2.5m位まで拡大することができる。

(4) 熟成の良否を左右する最も大きな要因は、投入する発酵試料の水分状態と通気性であるので、適切な水分・通気調整を施したものを投入発酵試料として使用することがのぞまれる。4~5日間高温発酵処理(前処理)を施したものを投入発酵試料として使用すれば、投入時の悪臭の発生を低く抑えることができるし、以後のより良い熟成も期待することができる。

VII おわりに

堆肥の施用に際しては、それが出来るだけ熟成したものであることが望まれる。熟成度の判定には、いろ

いろいろな方法が用いられているが、代表的なものの一つは C/N 比（炭素率）による判定である。一般には炭素率を15以下にさげることが熟成堆肥作りの目標としているが、この値は原材料の種類によってもかなり大きく左右されるので、絶対的なものとは言いがたい。

筆者らは、熟成度の判定は、高温熟成の継続日数とニオイによって行うことにしている。なぜならば、いやなニオイの残っている未熟な堆肥の施用は、土の中の小動物や微生物の活動と増殖にとって好ましくない

と考えているからである。

さきにも述べたように、本実験は、農家が自分達の手で容易に堆肥を作るための簡易熟成槽を見出すことを目的として行われたものである。現場への適用にあたっては、例えば、テンサー-Zを農家の畑の隅や庭先等に置き、集落単位毎に設置した前処理施設で作成した発酵試料を注文に応じて配達し、各農家で熟成させるシステム作り⁵⁾などを今後の課題としたいと考えている。

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巻，pp. 59～65，(1988)
- 2) 酒井信一：バイオテクノロジー入門（篠原昭他編），培風館，pp. 167～174，(1986)
- 3) 岩崎高明：ジオテキスタイルの種類と特性，土と基礎，Vol. 33, No. 5, pp. 9～14，(1985)
- 4) 酒井信一，窪田譲：農山村における未利用有機資源の活用（I）—各種有機物残渣の発酵処理について—，環境科学年報—信州大学—，第11巻，pp. 59～65，(1989)
- 5) 酒井信一：森林科学への道（信州大学森林科学科編），諏訪文化会館出版部，pp. 273～283，(1989)