

農山村における未利用有機資源の活用 (III)

——発酵熱利用によるハウス暖房 (その1) ——

酒 井 信 一

信州大学農学部

Efficient Utilization of Unused Organic Resources in Rural District (III) — Greenhouse heating by Fermentation Heat (1) —

Shinichi SAKAI

Faculty of Agriculture, Shinshu University

Abstract : As reported in the previous papers¹⁾²⁾³⁾ of this journal, raw garbage tossed into a rotating barrel supplying with fermenting bacteria (Z Bacteria) was converted to livestock feed or unripened compost after 3~4 hours fermentation treatment. As the unripened compost which was properly watered and aired kept continuously high-temperature fermentation for 2~3 months, it became ripe compost. In our laboratory, the greenhouse was heated experimentally by the apparatus shown in Fig.5 and 6. About 5-ton unripened compost was placed in the fermentation ditches in the greenhouse with 53 m², in order to play a role of heater. The greenhouse was started to heat by fermentation from early January. During the period of 3 months experiment, the air temperature outside of the greenhouse sometimes fell down less than -10°C, but the temperature records in the greenhouse showed that the minimum daily temperature was 5°C higher than that in outside, and the soil temperature below 15 cm from surface at the middle of the ridge was always maintained above 10°C. The unripened compost put into the heater, ripened with the time. The compost which was tossed into the ridges reduced in volume of about 80% by ripening in early spring, and it was returned to the farm.

Key words : heating the greenhouse, fermentation heat, compost, ripening

ハウス暖房、発酵熱、堆肥、熟成

I はじめに

1960年代に始まった高度経済成長以後、農業の近代化の波の中でハウス栽培が急激に増大し、それに伴う暖冷房のための化石エネルギーの消費量も増大の一途をたどっている。一方、安全な食料を求める消費者の声の高まりの中で、最近有機物残渣の堆肥化と熟成堆肥の農地への施用も各地で軌道にのりは始めている。しかし、堆肥の熟成には長時間を要するので、堆積熟成のために広い用地の確保が必要であること、悪臭の発生に対する対策を講じなければならないことなどいろいろな問題を抱えている。本研究は、これらの問題に対処するために行われている小規模分散化のための

一連の実験的研究の一環に位置づけられるものである。本報告では、発酵熱利用によるハウス暖房について取り上げられているが、主たる目的は、作物栽培用のガラス室あるいはビニールハウスを活用した未熟堆肥の分散熟成である。

先の報告¹⁾²⁾³⁾で述べたように、発酵回転ドラムに発酵菌 (Z 菌) とともに投入された生ゴミは 3~4 時間の混合・加熱処理を経て、家畜のエサまたは未熟堆肥に変わる。堆積された未熟堆肥は適当な水分補給と空気補給を行ってやれば、2~3 カ月にわたって高温発酵を続ける。本報告は図 5 および図 6 に示すような、奥行き 1250cm、幅 420cm、面積 52.5m² のガラス室内に設置されたコンクリート側溝を利用した三連の発酵溝に

農山村における未利用有機資源の活用 (III)

投入された未熟堆肥の熟成過程に発生する発酵熱によるハウス暖房実験について第1回目の結果をまとめたものである。

II 予備実験

本実験に先立って、1977年12月中旬から1978年5月中旬までの間、図1に示すようなビニールハウスを使用して予備実験が行われた。

発酵試料の原料及び組成は表1の通りである。含水率は63%、単位体積重さは0.42kg/ℓである。製造工程

表1 発酵試料の原料組成 (予備実験)

材 料 名	体 積 (%)	質 量 (%)
残飯・野菜屑・鶏ガラ等	12.7	20.8
魚のアラ (魚市場より)	8.0	24.5
血液 (屠殺場より)	7.6	16.7
オガクズ	70.1	36.6
米 ヌ カ	1.6	1.4
発 酵 菌 (Z菌)	(0.015)	(0.010)

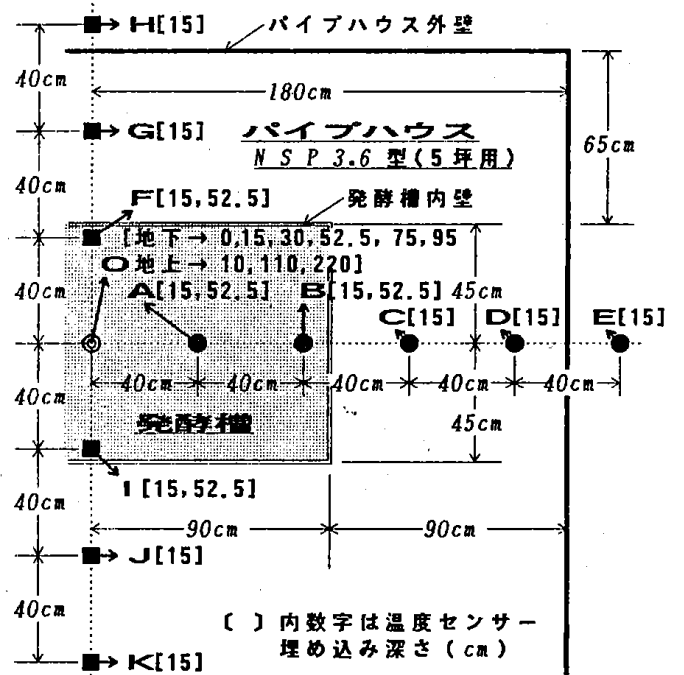


図2 パイプハウス温度測定点 [予備実験]

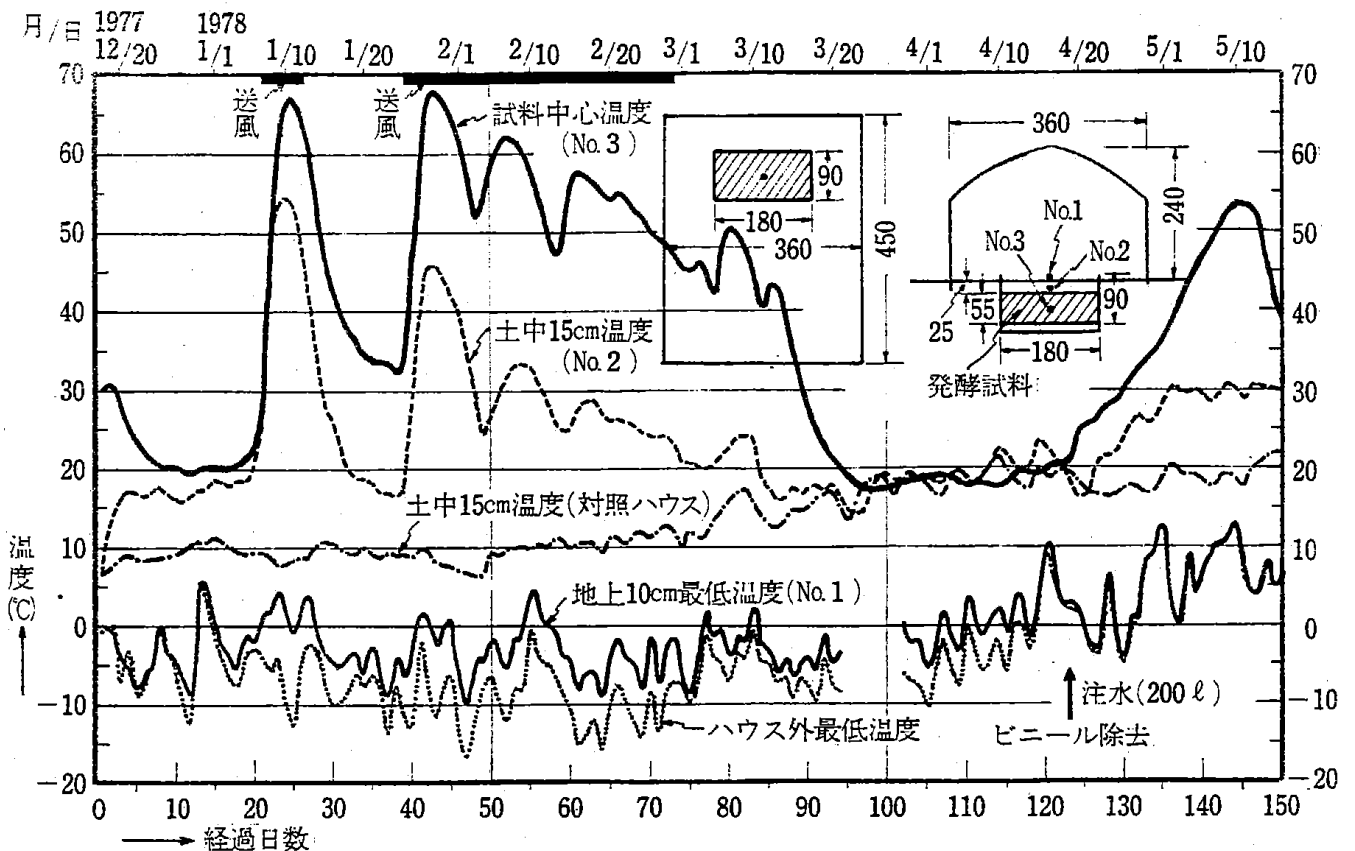


図1 土中埋設試験 試料内・土中・地上およびハウス外温度 [予備実験] (1977~1978年)

は、発酵回転ドラム内での混合・加熱3時間→ドラム内に静置15時間→取り出し後直ちに袋詰め(40ℓのビニール袋)である。袋詰めしたもの(発酵試料=未熟堆肥)は逐次ビニールハウスに搬入し、発酵槽に投入された。

発酵槽は、図1に示すような長辺180cm、短辺90cm、高さ105cmの直方体で、側面および底面は平織金網(線径1.0mm、網目2.5メッシュ)でおおわれている。埋め込み深さは95cm、底部に15cmの空間を設けるためにロストルの上にステンレス平織金網(線径1.0mm、網目10メッシュ)が設置されている。発酵試料の投入厚さは55cm、その上は25cm厚さの土で被覆された。

1977年12月20日発酵試料投入及び覆土。発酵試料内、土中およびパイプハウス内の地上部の温度測点は図2の通りである。なお、試験ハウスから2m離れた所に設置された対照ハウス内の対応点にも温度測点が設けられている。

発酵試料中心(測点No.3→地表より52.5cm、試料表面より27.5cm深さ)の試料内日最高温度の推移は図1

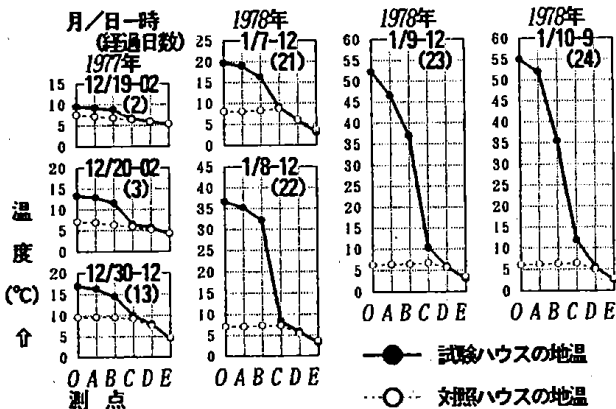


図3 測点O~A~B~C~D~Eの深さ15cmの土中温度 [予備実験]

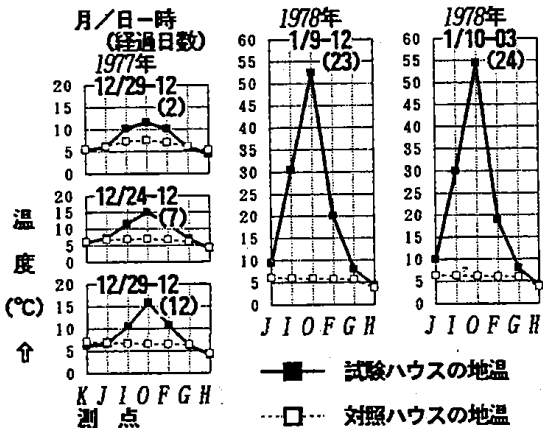


図4 測点K~J~I~O~F~G~Hの深さ15cmの土中温度 [予備実験]

上部の実線で示すように ①ほとんど通気のない状態で約3週間20℃前後で発酵を続け、②21日目からの下部空間よりの送風とともに急上昇し67℃に達したが、③送風停止とともに再び降下、④39日目の下部よりの再送風により再び上昇し68℃に達したが、⑤以後徐々に降下し75日目の送風停止時には50℃を切り、⑥87日目より急降下をはじめ94日目には20℃を割り、⑦123日目の撒水(200ℓ)により再び上昇し144日目には54℃

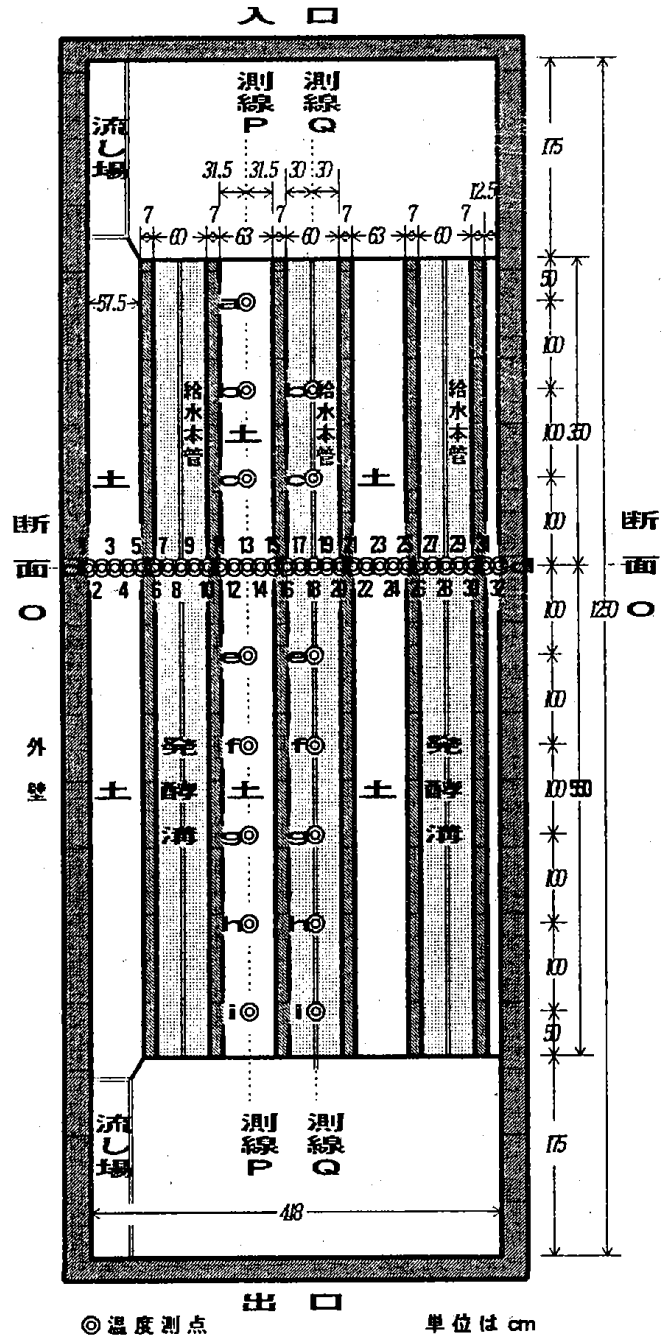


図5 ガラス室平面図および温度測点

に達したが以後再び降下に転じた。上記の①～⑤は発酵試料の高温発酵を維持するためには酸素の供給がきわめて重要であることを示しており、⑥～⑦は高温発酵にともなう水分放出による水分不足が高温発酵維持に大きく影響することを示している。

図1の中段の破線は試験ハウスおよび発酵槽中央地下15cm (測点No.2) の日最低地温、鎖線は対照ハウス内の対応測点の日最低地温の推移を示したものである。また、図3および図4は試験ハウス及び対照ハウスの対応測点における地下15cmの日最低地温の分布を示したものである。発酵槽からの発酵熱は周辺の土中に伝わって行くが地温の上昇はおおよそ発酵槽壁面から数十cmの範囲であることを示している。

図1の下段の実線および点線は試験ハウスの発酵槽中央地上10cm (測点No.1) の日最低気温およびハウス外 (地上60cm) の日最低気温の推移を示したものである。発酵が順調に進行している時は10℃以上の気温上昇が認められる。

III 実験装置及び実験方法

図5および図6に示すようなガラス室内に、60×60cmの道路側溝を利用して3本の発酵溝を設置した。この発酵溝の大きさは高温発酵を安定的に持続させるための必要最小限の大きさで、これより小さいと良好な熟成の進行は難しくなる。なお実際の現場に適用する場合には素掘りの溝でよい。側溝上面は、入口および出口の流し場横の地表面より55cm上部に位置し、側溝間およびガラス室側壁との間は側溝上面のレベルまで土が投入された。この部分は作物を栽培するための畝を想定して設けられたものである。発酵溝の底には、投入した発酵試料が好気性発酵を持続するために必要な空気を適宜供給するために、床面中央延長方向に直径40mmの有孔パイプ (両側面に孔径4mmの孔が50mm間隔で開口) が設置され、送風機 (日立ミニシロッコ型ファン) に連結された。さらに、空気が発酵試料全体を万遍なく分散上昇するように、発酵溝底部の厚さ8

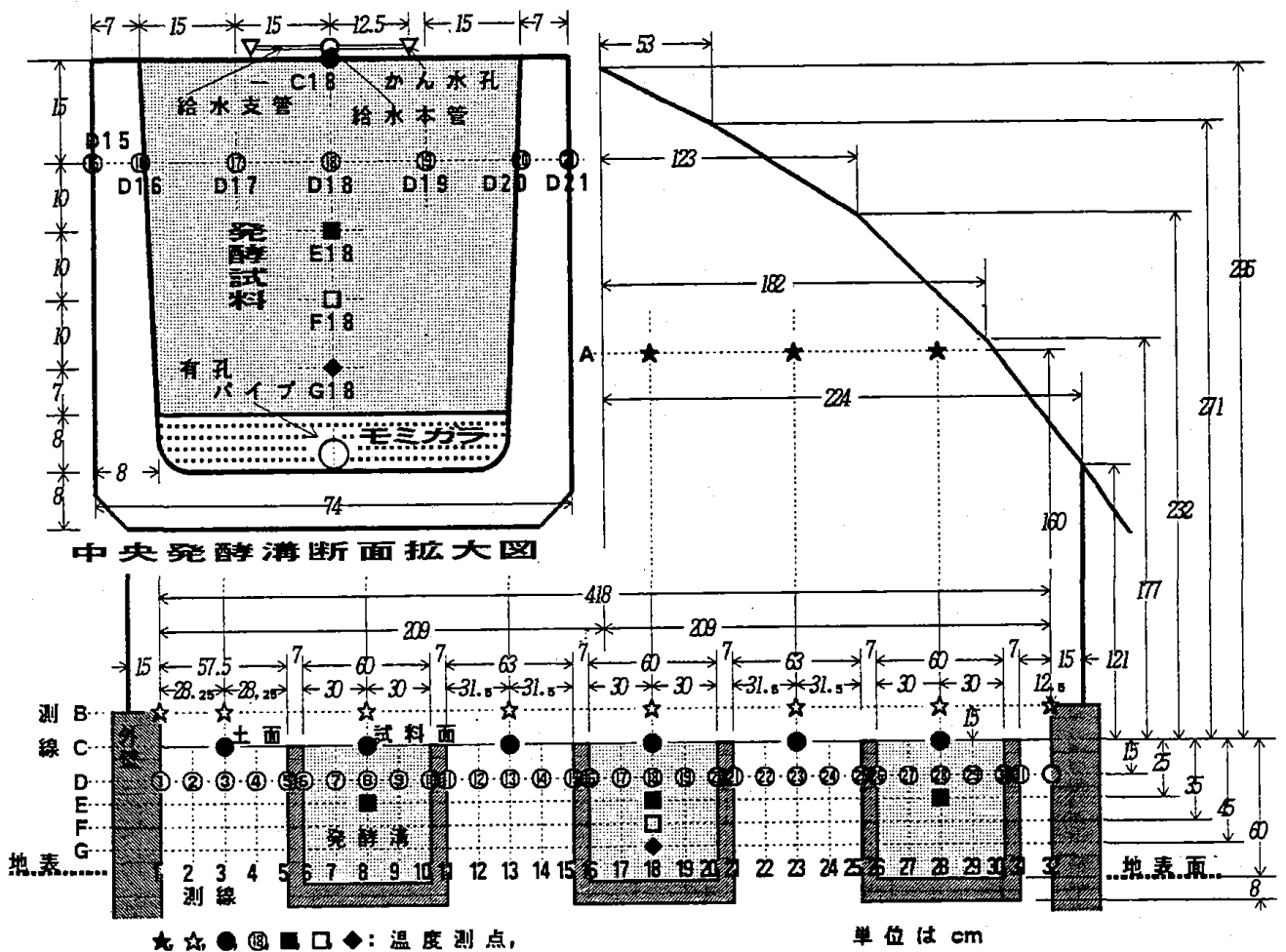


図6 [0-0断面] 断面図および温度測点

cmの部分にモミガラが投入された。

発酵溝に投入された未熟堆肥(発酵試料)の原料組成は表2の通りである。豚糞はケージ式養豚場から搬入した生豚糞、オガクズはスギ・ヒノキ・カラマツなど針葉樹のもの、モミガラは未破碎のもの、Z菌は文献²⁾に示した好気性・高温菌(数種類の Bacillus よりなる複合菌)である。

発酵試料の作成および発酵溝への投入手順は次の通りである。①豚糞・オガクズ・モミガラを攪拌搬送スクリーで攪拌・混合しながら発酵回転ドラム内に投入(米ヌカで増量したZ菌を添加しながら)、②発酵回

表2 発酵試料の原料組成(第1回実験)

材料名	体積 (%)	質量 (%)	含水率 (%)
生豚糞	32.6	71.8	79.0
オガクズ	32.6	16.4	15.3
モミガラ	32.6	9.8	14.3
米ヌカ	2.0	2.0	13.2
Z菌	0.041	0.025	9.5
合計	100.0	100.0	平均(60.9)

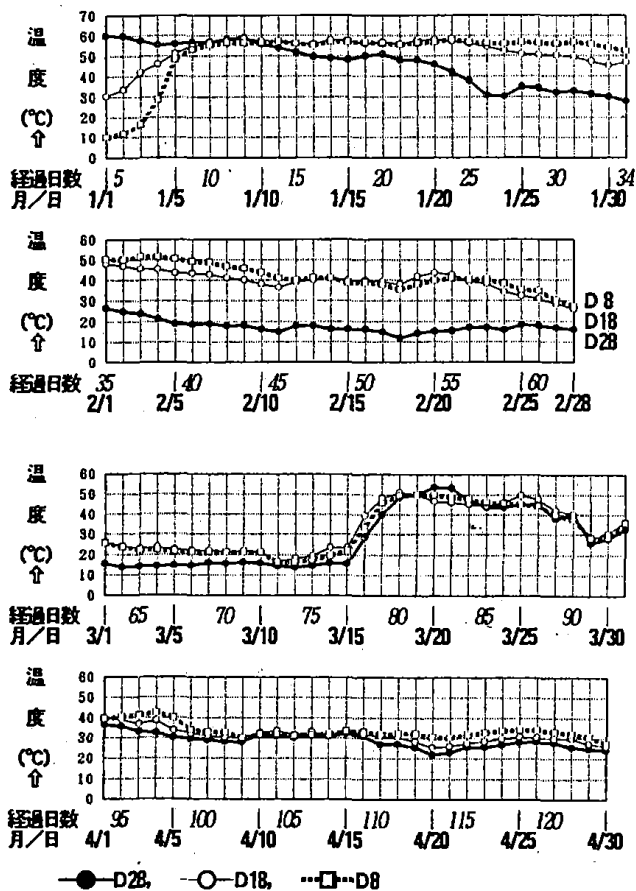


図7 測点D8, D18, D28の試料内日最高温度の推移(1979)

転ドラム内での混合・加熱3時間、③取り出した発酵試料を直ちにガラス室に搬入、④図5右側の溝の奥より逐次投入(発酵溝上端まで)。

発酵回転ドラムによる発酵試料の一回の作成量は約2m³であったので、総投入量8.5m³を確保するために発酵処理は5回にわけて、1977年12月26日から12月28日までの3日間にわたって行われた。したがって経過日数は投入完了時の12月28日を起点とした。

発酵試料投入完了後、試料表面に図5、図6および写真(この写真は1979年3月11日に撮影したものであるが、熟成の進行によって試料面は約7cm沈下している)に示すような点滴かん水装置を設置した。これは高温熟成にともなう蒸発によって失われる水分を適宜補給するためである。給水本管は内径18mm、奥行方向25cm間隔に左右にのびる長さ12.5cm、内径5mmの給水

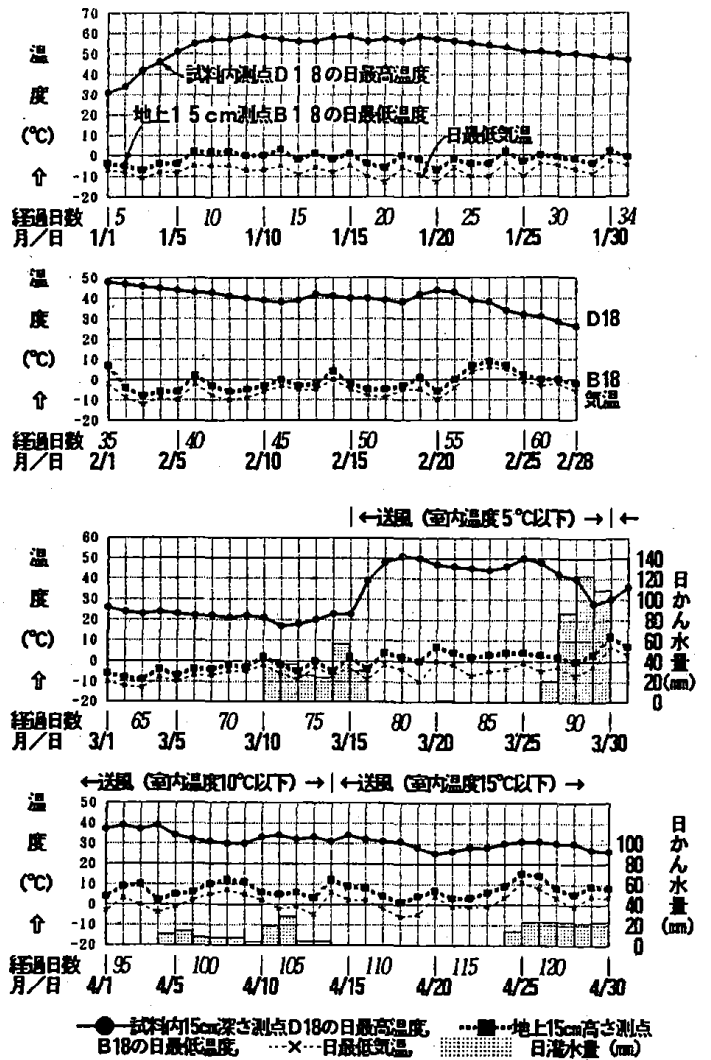
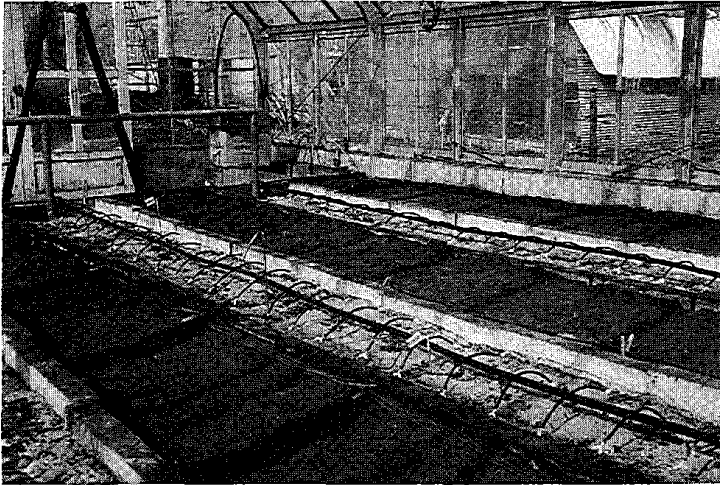


図8 測点D18の日最高温度, 測点B18の日最低温度, 日最低気温および日かん水量(1979年)



支管がとりつけられ、その先端に一定量の水滴が滴下するように調節された点滴かん水孔が開口している。かん水量の制御は給水本管の入り口に設置した流量計とタイムスイッチによって行われた。

温度測定は次の点に温度センサーを設置し、自記記録計にアナログ記録させることによって行った。①投入試料の発酵の進行経過を見るために発酵溝内30点(ただし測線Qのb~iの埋め込み深さは25cm)、②発酵熱の土中への伝導を見るために土中に28点(ただし測線Pのa~iの埋め込み深さは15cm)、③発酵熱によるハウス空間の温度上昇を見るためにハウス内の地上部に14点、④畝間及びハウス内の暖房効果を見るために隣接のガラス室(対照ハウス)内の主要点に5点(図6のA13、B13、C13、D13およびD3に対応する点)、⑤外気温を測定するために屋外に1点(対照ハウス横の地上60cm高さの日陰)。

IV 実験結果および考察

図7は中央発酵溝O-O断面(図5)の試料内15cm深さ(図6の測点D8、18、28)の日最高温度の推移、図8は測点D18の日最高温度および地上15cm高さ(測点B18)の日最低温度の推移を示したものである。発酵試料投入は先に述べたように1977年12月26日から12

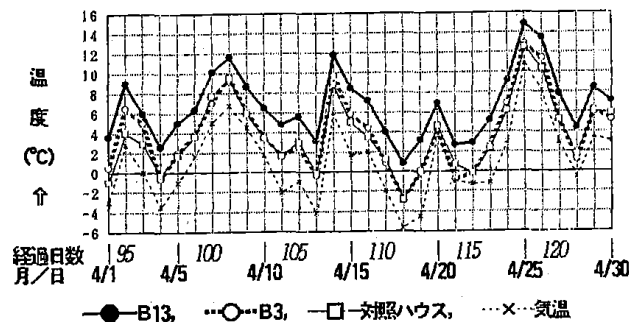
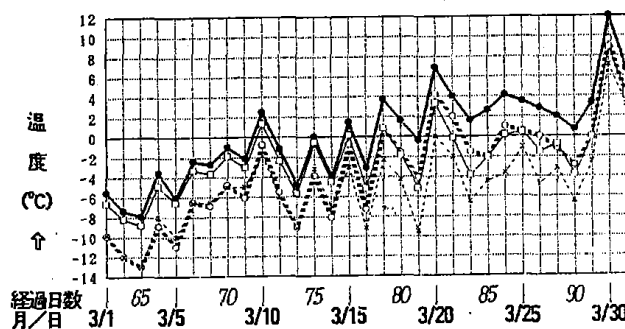
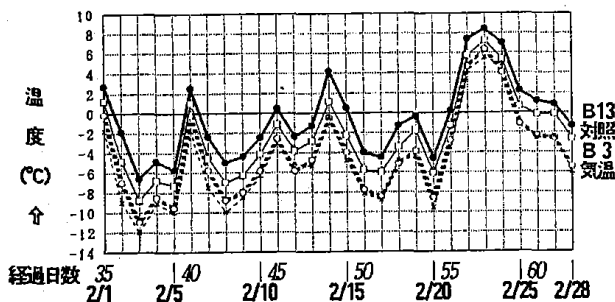
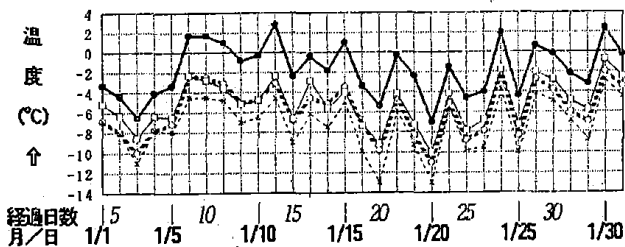
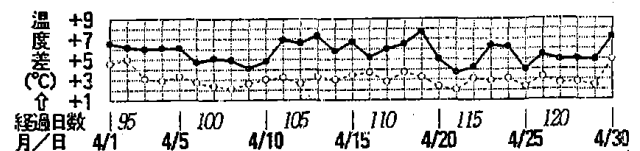
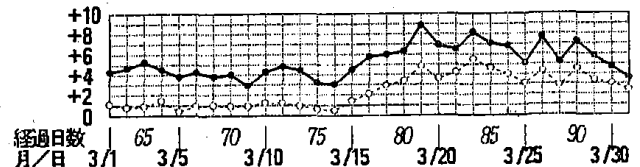
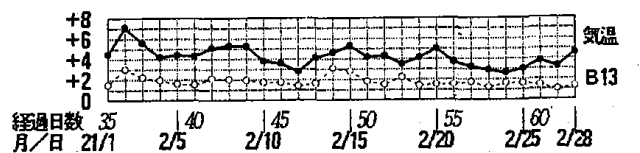
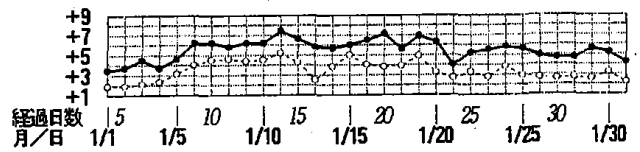


図9 日最低室温 (B13, B3, 対照ハウス) および 日最低気温 (1979年)
 —●— B13, —○— B3, —□— 対照ハウス, —×— 気温
 —●— 地上15cm — × — 地上60cm —



●— (ガラス室内B13の日最低温度) — (日最低気温)
 ○— (ガラス室内B13の日最低温度) — (対照ハウス内の日最低温度)
 (対照ハウスの測点は中央地上15cm), (外気温の測点は地上60cm)

図10 [B13の日最低温度]と対照ハウス内日最低温度および日最低気温との差 (1979年)

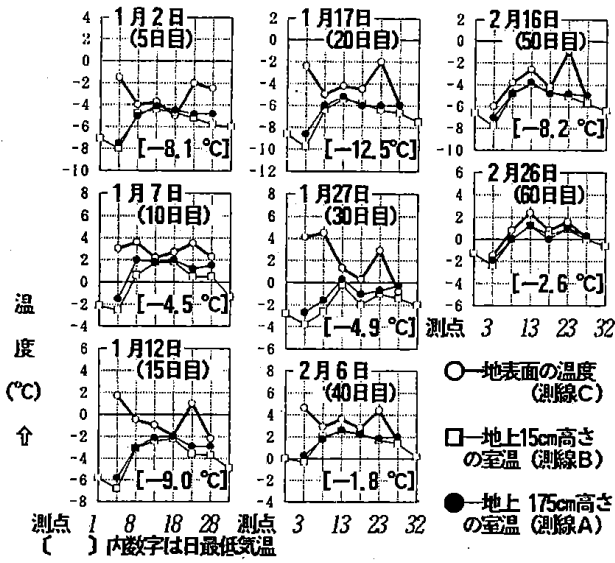


図11 [0~0断面]の地表面、地上15cm高さおよび地上175cm高さの日最低温度 (1979年)

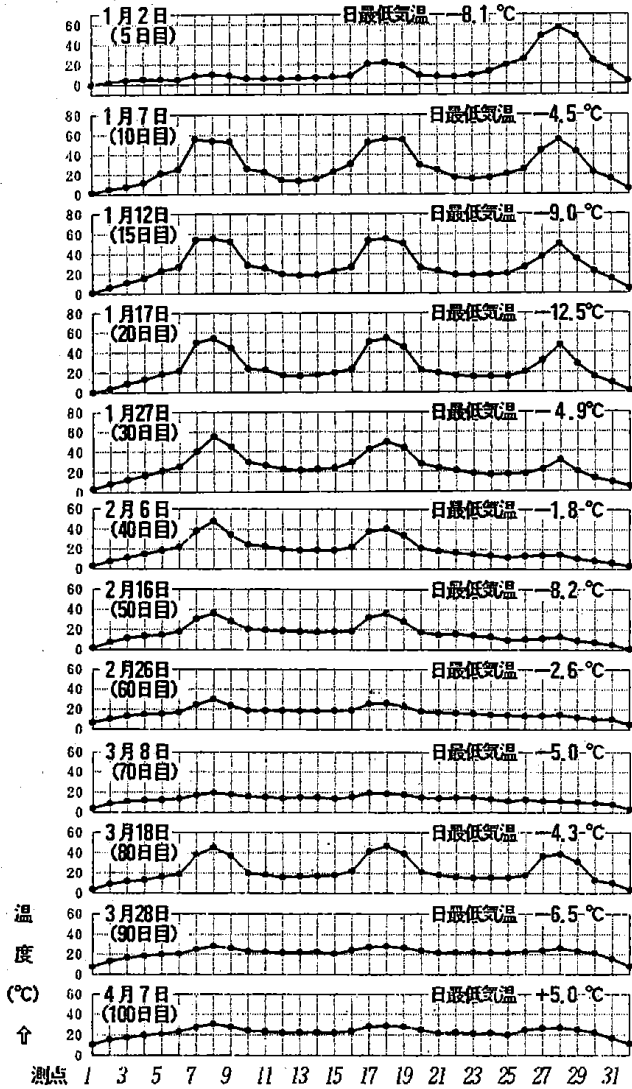


図12 [0~0断面] 測線Dの深さ15cmの日最高温度 (1979年)

月28日までの3日間にわたって行った。したがって経過日数は正確にはD28では+3日、D18では+1日となる。D18において、投入日 (1978年12月27日13時) 29°Cであった試料内温度は12月31日16時には12.2°Cま

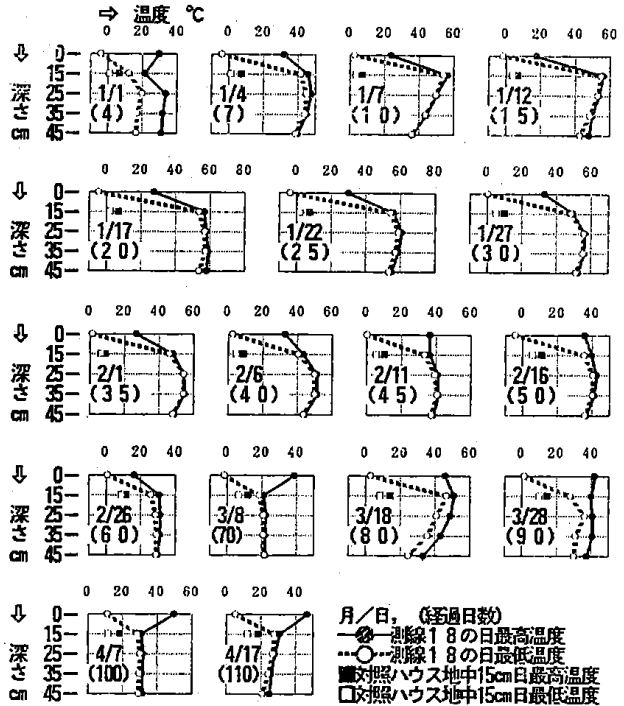


図13 測線18の試料内温度分布および対照ハウス地中温度 (1979年)

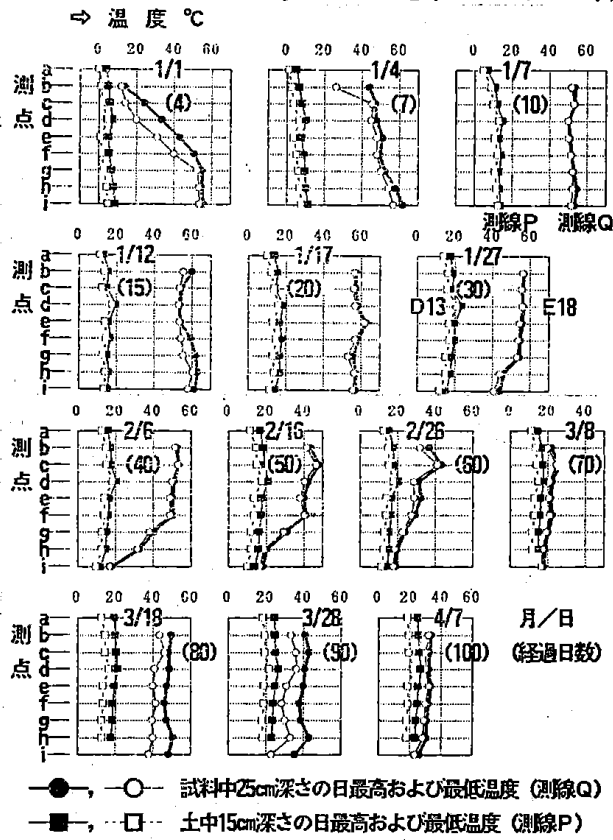


図14 側線Pおよび側線Qの縦断方向温度分布 (1979年)

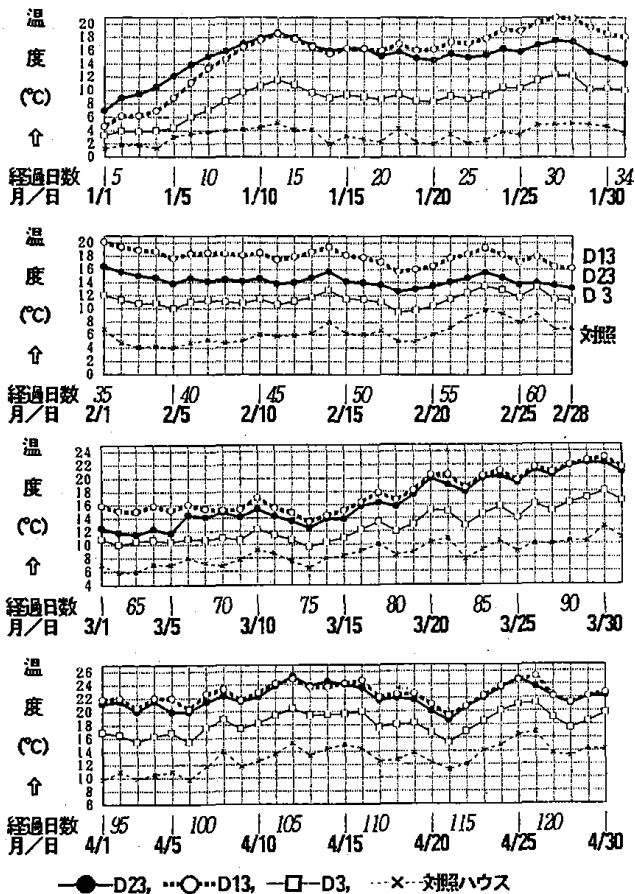


図15 土中15cm 深さ D23, D13, D3, 対照ハウスの日最低地温 (1979年)

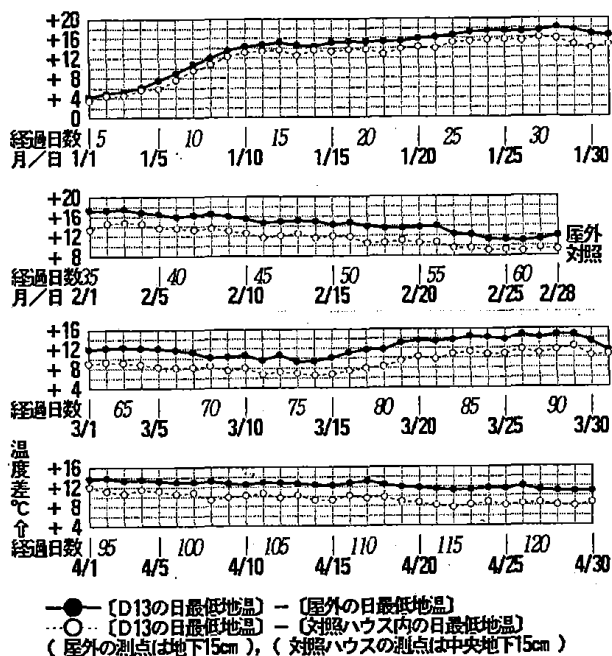


図16 〔ガラス室内D13の日最低地温〕と対照ハウスおよび屋外の日最低地温の差 (1979年)

で低下したがふたび上昇に転じ1979年1月5日(経過日数8日目)17時には50℃を越えた。以後30日目まで50℃台、56日まで40℃台を維持したがその後は急激に温度が低下し、72日目には20℃を割った。図8に示すように、3月10日にかん水開始、3月15日までの間かん水(かん水量累計3,500ℓ)。3月15日には、室内温度が5℃以下になった時作動するようにセットした送風機によって送風(送風量は未測定)を開始した。送風と同時に再び温度が上昇し3月18日には50℃まで回復した。以後図8のようにかん水および送風を繰り返した(かん水量累計は3月29日まで9,000ℓ、4月13日まで10,700ℓ、5月7日まで18,646ℓ)が試料内温度は30℃前後で推移した。56日目以降の温度低下は、高温発酵による水分の放出にともなう水分不足に起因するものである。3月15日からのかん水と送風にともなう温度上昇は、水分の存在と空気の供給が高温熟成にとってきわめて重要であることを示している。

図9はガラス室内B13、B3、対照ハウス内中央地上15cmの日最低温度および日最低気温の推移を、図10は〔ガラス室内B13〕と対照ハウス対応点および屋外の日最低温度の差を、図11はO~O断面の地表面、地上15cm高さ、地上175cm高さの日最低温度を示したものである。図8、9、10、11からわかるように試料内温度が40℃以上を維持していた1月上旬から2月上旬にかけては試験ハウス内日最低気温は日最低外気温より5~7℃高い値を示しているが、その後送風開始までの間は+4℃前後を推移し送風開始以後は再び6℃前後の値を示して。しかし、1月から3月下旬にかけてハウス内の日最低気温はほとんど連日零下を記録している。したがって補助暖房なしには作物の栽培は不可能であることがわかる。

図12はO~O断面の側線D(深さ15cm)の分布を、図13は中央溝測線18の日最高・最低温度の深さ方向の分布及び対照ハウスの15cm深さの日最高・最低地温を、図14は測線Qの試料中25cm深さの日最高・最低温度および測線Pの土中15cm深さの日最高・最低地温の縦断方向の分布を示したものである。これらの図から、畝中央の深さ15cmの地温は全体的に高温発酵を始めた1月7日(10日目)以降は常に20℃前後を推移していることがわかる。このことは、試料投入後10日位経過すれば厳寒期においても作物の栽培にとって十分な地温が確保されることを示している。

図15は土中15cm深さ(D23、D13、D3)および対照ハウスの日最低温度を、図16は〔ガラス室内D13〕と屋外および対照ハウス内の日最低地温の差を示したも

のである。これらの図から、発酵溝からの発酵熱による畝間の暖房は極めて効率よく行われることがわかる。

なお、3月15日以後の送風時に測点B18において測定した炭酸ガス濃度（毎朝9時測定）は外気のそれより0.06~0.2%高い値を示すことが観測された。このことは作物栽培にあたって光合成の促進の効果も同時に期待できることを示している。

V 次回の実験に向けて

本実験は、寒冷地における温室の冬期間の暖房を堆肥の発酵熱を利用して行うことの可能性を探ることを目的にして行われたものであるが、以上の結果を踏まえて次回の実験に向けての考察を試みよう。

- ① 本実験では、発酵溝は60×60cmの道路側溝を用いたが、これは投入物の高温熟成の持続が十分可能な形状寸法であるといえる。
- ② 発酵回転ドラムによって一次処理を施した未熟堆肥は、処理後出来るだけ早く（冷めないうちに）発酵溝に投入するようにしたい。なぜならば、高温発酵の立ち上がりが早くなり、暖房効果があらわれるまでの時間を短縮することができるからである。
- ③ 発酵熱の放出によりハウス室内の日最低温度を数度上昇させることができるが、本実験のような方法では、厳寒期のハウス室内暖房のすべてを発酵熱でまかなうことは難しい。しかし、補助暖房と組み合わせることにより、暖房に要するエネルギーを大幅に削減することができる。
- ④ 12月中旬から3月中旬にかけて約3カ月間、日最低気温が連日零下を記録するような寒冷地においては高温発酵の持続期間の延長が望まれる。暖房は、特にハウス内温度が最低になる朝方に高温のピークをもってくるように工夫し、高温発酵の持続期間を長くするようにしたい。
- ⑤ 発酵熱による地温上昇効果は十分期待出来る。しか

し、過度の温度上昇を避けるためにも、昼間の発酵抑制が必要である。

- ⑥ 適切な水分管理及び通気管理は、高温発酵の持続にとってきわめて大切である。本実験では、経過日数72日目からかん水、77日目より送風を開始したが最初から適切な水分管理および通気管理を行う方が高温発酵の持続には有利である。
- ⑦ 発酵試料内の発酵の均一化を図るために、底部からの送風は出来るだけ分散させた方がよい。
- ⑧ 発酵臭の室内への放散を少なくするためには試料表面を適当な厚さの土で覆うとよい。これにより④、⑤の発酵抑制も同時に行うことが出来る。
- ⑨ 発酵の進行は通気ときわめて密接に連動しているため④、⑤、⑦の発酵抑制は適切な通気管理を行うことによって容易に達成することができる。

VI おわりに

前章で述べたように、本実験によって、発酵熱によりハウス暖房の可能性につきある程度までの見通しを得ることができた。しかし、高温発酵の持続時間をさらに延長すること、朝方の室温の上昇をさらに図ること、臭いの発生・放散の抑制すること等、種々の改良点を見出すことが出来たので、これらの点をふまえてさらに実験を継続することにした。その結果については次号で報告する。

なお、本実験における資材および各種測定機器は日立化成工業株式会社の牧田元男氏（故人）にその多くをご提供いただいた。発酵試料の作成等については株式会社五十鈴の池上洋介氏に多大のご協力を頂いた。また実験遂行にあたり京都大学農学部の西口猛氏（現在名誉教授）に種々アドバイスをいただいた。その他、信州大学農学部森林工業科農業工学研究室の専攻生の方々にも種々ご協力をいただいた。ここで、上記の皆様にも心より感謝申しあげる次第である。

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.55~85 (1988)
- 2) 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、信州大学環境科学論集、第11号：pp.27~32, (1989)
- 3) 酒井信一、大泉和夫：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）、信州大学環境科学論集、第12号：pp.55~64, (1990)