

家畜糞の発酵と発酵装置に関する研究

鳥山 昇*・五味英久*・浅海哲夫**・加藤哲郎***

Studies on the Fermentation of Domestic Animals' Feces and the Installation

Noboru KARASUYAMA, Hidehisa GOMI, Tetsuo ASANOUMI and Teturo KATO

(要 旨)

(1) 家畜糞を効率よく発酵処理するため、発酵に適正な含水率と、発酵助材である鋸屑等の混合割合などについて発酵槽を使用して基礎的な試験を行った。

試験の結果は、発酵に適正な含水率は60%±3で、この含水率にするための鋸屑の混合割合(容積)は生糞(肉用牛)と同等量が良く、堆積の高さ1.2~1.4mで発酵温度は、上、中、下層で差はあるが、上層で60~78°Cの上昇があった。発酵材料も約2週間で、黒褐色となり堆肥臭になり、粘性がなく、腐熟の問題は残るが、取り扱いに問題のない状態になった。

(2) 鋸屑を使用した生糞発酵処理の省力化のため、発酵装置の試作及び本装置を使って、発酵試験を行った。装置は、箱形の一次発酵槽に無端歯の2本の鎖に攪拌板を4枚等間隔に結着してある。この無端歯の鎖をモーターで循環することにより、糞と鋸屑の混合と切返しを行う。発酵方法は、一次発酵槽(容積約25m³)に既に発酵中の材料を約15m³(含水率約65%)を投入しておき、これに、1日分の生糞と、同量の鋸屑を投入し、発酵中の材料と混合して発酵を促進する。

一次発酵槽からの取り出しは、取出口の仕切板を調整して、1日の投入量と同等量を取り出し、それを堆積して本発酵を行う。空気補給による好気性発酵を図るため、一次発酵槽と二次発酵槽は底板と多孔板との間に空隙を設け、ブローで空気補給を行う。

この装置を使って1日当り生糞0.6m³と鋸屑0.6m³を毎日1回連続して投入し、発酵試験を行った結果一次発酵槽での発酵は、発酵温度50~60°Cを継続した。一次発酵槽から連日1日の投入量と同等量を取り出し、二次発酵槽に順次堆積(高さ1.2~1.4m)して本発酵を行う。この結果は、発酵温度は夏冬で最高温度に達するのに4~5日の差があったが、上層が70°C以上で最も高く、中層、下層の順であった。

各層の水分は空気補給で、下、中、上層の順で乾燥し、空気を補給しない場合と逆の結果が見られた。発酵状態は、発酵日数7~14日間で(腐熟は未確認)堆肥臭となつた。

* 東京都畜産試験場

青梅市新町715

** 東京都肥飼料検査所

港区海岸1-7-7

*** 東京都農業試験場

立川市富士見町3-10

まえがき

都市畜産では、畜舎汚物の取扱いが問題となり、畑地還元および肥料として販売するにしても何んらかの処理が必要である。そのため、各種の処理施設や機械で乾燥、発酵および焼却して処理されている。石油ショック以降、火力による乾燥が減少し、ビニールハウスによる乾燥と発酵処理が普及している。天日乾燥は、別にして、発酵処理するには、生糞の含水率75~80%のものを約60%にする必要がある、この減水に、天日乾燥するか、鋸屑等を混合している。この鋸屑等を混合する場合は、能率よく均一に混合することや、発酵途中の切返しなどの作業増および鋸屑の腐熟が違いため、施肥の方法にも問題がある。このため、鋸屑等を混合して発酵処理する場合の適正な含水率や鋸屑の混合割合を検討し、腐熟の促進や省力のための発酵装置の試作を行った。なお、家畜糞の施肥による雑草の繁茂が問題となるので、一部発酵堆肥の雑草種子の死滅について調査を行った。

試験材料および方法

1. 昭和50年度は、鋸屑混合および家畜糞の予乾による発酵について基礎的データをを得るための試験を行った。

(1) 発酵供試材料 肉用牛糞(ホル雄, 配合飼料, 稲ワラ給与)

鋸屑(主としてラワン材)

- (2) 発酵枠 1㎡枠1枠(1.0×1.0×1.0^m)
全面空気接触
- 3.3㎡枠2枠(1.5×1.5×1.5^m)
- (3) 施設および機械
ビニールハウス, 1枠(65㎡)
スクリューコンベアー 1台
- (4) 調査項目
含水率, 発酵温度, 鋸屑の混合割合, 雑草種子死滅

2. 昭和51~53年度に、鋸屑を混合して発酵させる装置の開発およびその装置での発酵方法と発酵過程の理化学的变化を分析し、腐熟の考察を試みた。

- (1) 発酵供試材料 肉用牛糞, 鋸屑(前回1と同じ)
- (2) 発酵装置 一次発酵槽, 二次発酵枠(図2, 図3, 参照)
- (3) 調査項目 1) 発酵過程の理化学的变化
水分, P^H, C.O.D EC NH₄-N, NO₃-N, T-N, T-P₂O₅, T-K₂O, 強熱損失(全有機物), 重金属8種, 大腸菌群, 細菌, 放線菌, 糸状菌
- 2) 発酵装置の改良, 実用化の検討

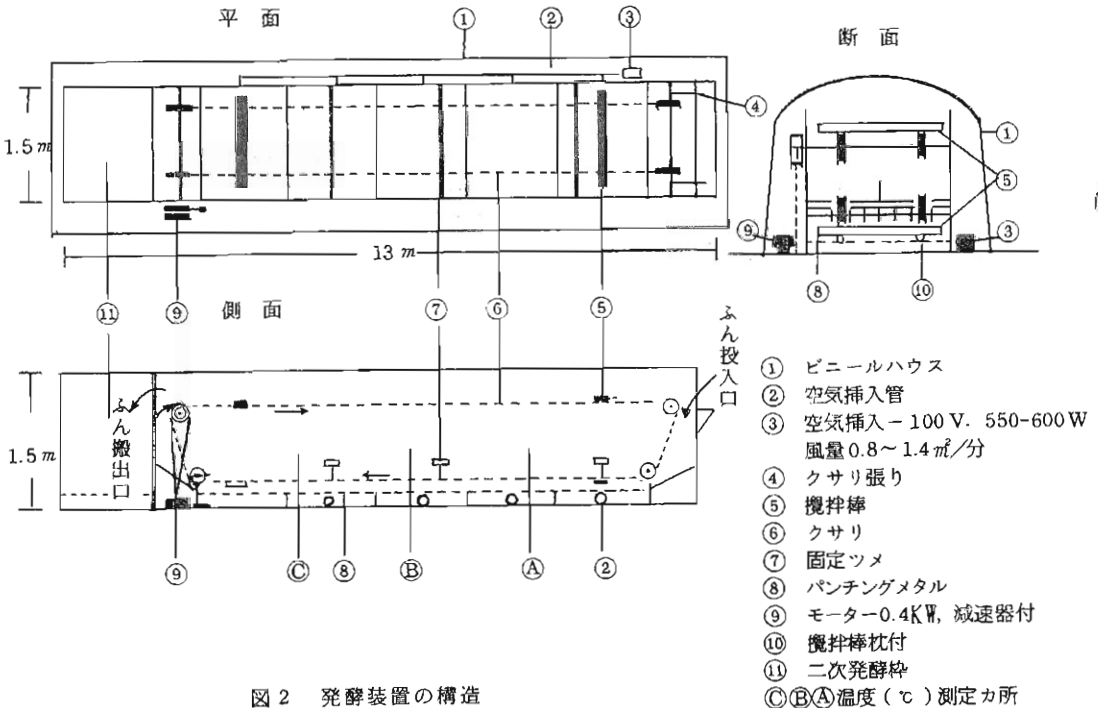


図2 発酵装置の構造

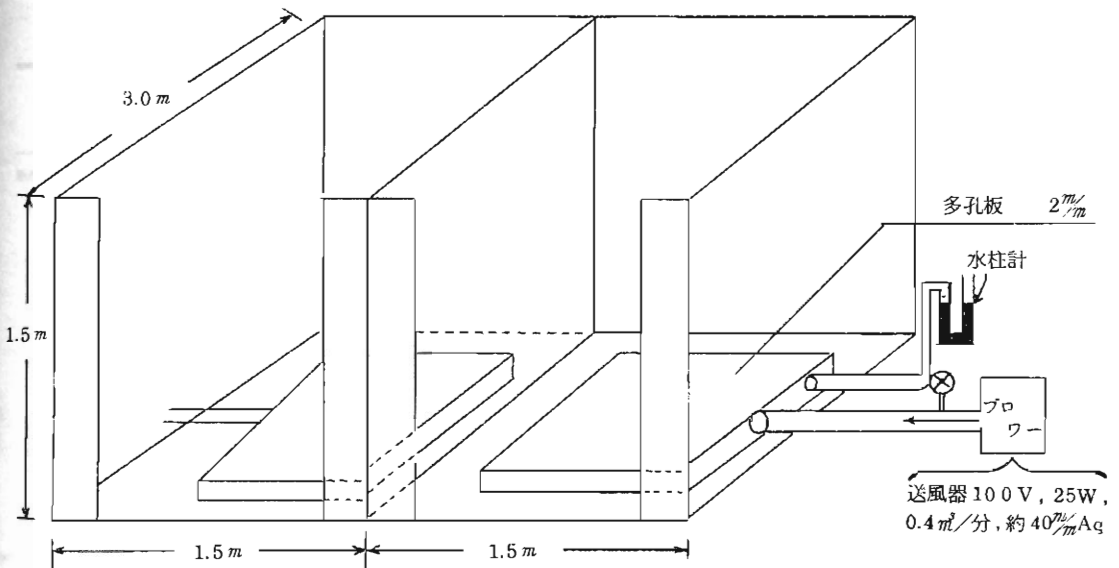


図3 二次発酵枠(2枠)

試験結果

1 生糞と鋸屑混合による基礎試験

昭和50年度は、基礎試験として発酵に最も適した含水率や鋸屑の混合割合などの資料を得るため、発酵枠に堆積した。その結果は、表1及び図1のとおりである。

発酵は主に一次発酵で不快臭、汚物感、粘性等を減少し、「もどり現象」がなく、取扱いが容易になることを目安に、生糞(含水率75~82%)と鋸屑(含水率22~35%)を使用し、その混合は、主にスクリュウコンベアーで行った。発酵の状態は、夏冬の外気温の差や含水率および堆積の規模、堆積の方法で異なる。鋸屑の混合割合(容積)は、生糞と同等量で含水率60~65%になる。発酵温度の上昇の最も良い状態で、60°C以上を15~20日間持続しても、中、下層で悪臭が枯詰込時より、強く感じられるときが、しばしば見られた。

生糞のみの発酵は、ビニールハウス(自動攪拌機付)で予乾して枯詰して発酵させた。生糞だけでは、予乾中含水率60~65%付近で粘土状となり、塊形状を呈し、通気性が著しく低下するので、十分な発酵は期待できなかった。この場合、含水率約55%まで予乾すると細粒になり、腐熟は別として発酵に良い条件となった。

高含水率(65~75%)では、切返し後も、外気に触れる表面の10~20cmは腐植色になるが、それ以下の層は黄色を帯びて、2~3回切返しを行っても切返し前と同様な状態であり、逆に悪臭が強く感じられた。

2. 雑草および牧草種子死滅試験

発酵堆肥を施用した場合に雑草繁茂が問題となるため発酵材料の枯詰時に供試種子を入れ、その種子の生死を調査した。

調査の方法は、供試種子の生死を調べるため、あらかじめ、シャーレに播種し、20°Cの恒温器で発芽の有無を調べた。その種子と同種の種子を発酵材料の上、中、下層の3カ所に入れ、日数経過後、取出し、再度、前回と同様にシャーレで発芽の有無を調査した。発酵材料中の種子は、容易に採取できるように、ガーゼに挟んだ。調査の結果は、表2のとおりである。発酵材料前のシャーレでの発芽は、5日目で牧草種子5種的全種が発芽した。雑草種子は6種の内、2種のみ、6日目に発芽を見たが、その他の種子は15日経過後も発芽しなかった。

表2の種子をガーゼで挟み、発酵材料に入れた。発酵材料の含水率および発酵温度は表3のとおりである。

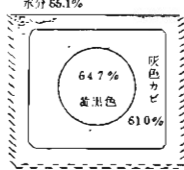
発酵枠からの取り出しは、牧草種子14日目、雑草種子は15日目である。取り出した種子を前回と同様にシャーレで発芽試験をした。表4のとおり、牧草種子は、播種後、10日目で全種子の発芽が見られなかった。雑草種子は、表2の発芽した2種および発芽のなかった4種も発芽しなかった。

雑草種子は、種類によって発芽を誘発するのに複雑な条件があるようで、これを究明しないと十分な検討ができない。今後の課題である。

表1 発酵試験の概要

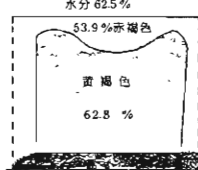
調査期間	発酵開始				最高温度に達した日数				切返し後の最高日数温度				終了時日数温度					
	容積割合%		容積 (m ³)	水分 %	上部 (°C)	日数	中心部 (°C)	日数	切返し時日数	上部 (°C)	日数	中心部 (°C)	日数	日数	上部 (°C)		中心部 (°C)	中心部 水分%
	生ふん	総屑																
8月21日~28日	70	30	1.0	67.7	60	8	60	5						8	60	58	61.0	容積1割は全面空気接触
8月15日~9月13日	50	50	2.3	58.2	78	2	78	2	13	77	3	77	4	30	39	51	51.4	
8月28日~9月13日	50	50	2.0	63.4	78	3	72	3					17	54	62	58.3		
9月2日~13日	100	/	1.0	55.2	72	1	76	2					12	32	62	51.2	ハウスで予乾	
10月14日~25日	70	30	2.5	66.0	65	8	66	10	18	74	5	74	5	32	47	47	57.8	ハウスで予乾
10月7日~24日	40	60	1.0	50.2	72	8	68	2					12	68	54	46.3		
10月28日~12月15日	100	/	2.0	76.0	54	4	45	10	11	42	8	47	8	50	18	10	73.4	
10月28日~11月11日	100	/	1.0	80.6	19	3	20	4					13	14	16	79.0	ハウスで予乾	
11月13日~25日	100	/	1.0	60.0	50	7	49	9					11	43	49	58.2		
12月15日~11月14日	60	40	2.0	71.0	50	16	56	15					30	27	47	68.8		
4月2日~20日	50	50	1.0	65.1	53	8	62	8	8	77	7	66	4	19	70	64	64.7	ハウスで予乾
4月12日~24日	50	50	2.0	62.5	68	4	75	12					13	68	74	61.0		
4月21日~5月7日	50	50	1.0	60.2	73	8	72	8					16	64	68	62.5		

オガクズ混合 鉄枠(全面空気接触)



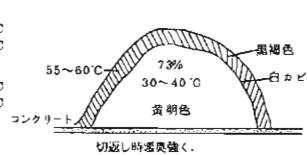
最高温度
枠込後8日上層53°C
中層62°C
切返し8日目
最高温度
切返し後8日上層77°C
7日中層66°C

オガクズ混合 木枠2m



最高温度
枠込後
4日目上層68°C
12日中層75°C
終了時
13日上層68°C
中層74°C

オガクズ混合自然増湿



切返し時湿度強く、
切返し後も同じ発酵となる。

作業の発酵温度の変化

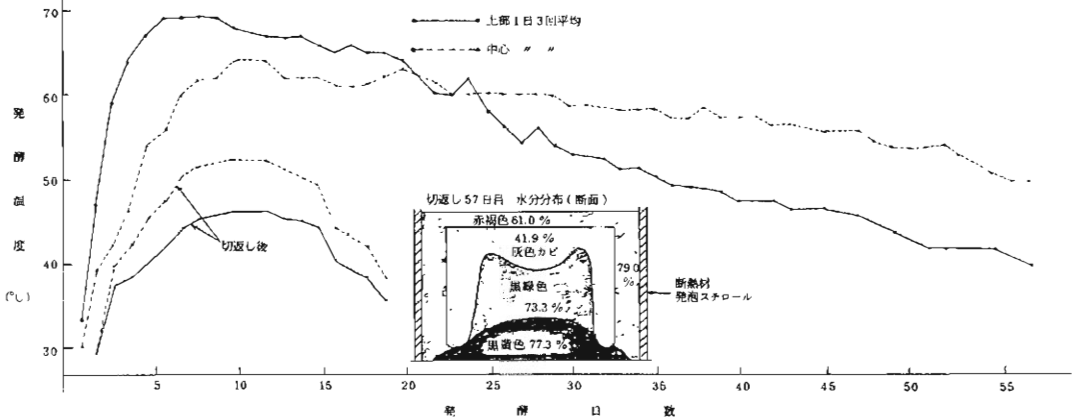


図1 中央断面水分分布

表 2 発芽調査（発酵材料処理前）

牧 草 種 子			雑 草 種 子		
種 子 名	発芽の有無	発芽の方法	種 子 名	発芽の有無	発芽の方法
ケンタッキー-31F	○	シャーレに	アレチノギク	○	牧草種子と 同じ播種後 6日目 15日目後発 芽無
チモシー	○	播種恒温器	ネコジャラシ	×	
バビア	○	20°Cで播	ヒメシバ	×	
ペレニアル	○	種後5日目	ダイオウ	○	
クリムソクローバー	○		タデ	×	
			ノビエ	×	

表 3 発酵材料の内容

発 酵 材 料	発 酵 開 始 水 分	発 酵 温 度 5 日 目			種 子 取 出 日 数	種 子 取 出 時 温 度			備 考
		上 層	中 層	下 層		上 層	中 層	下 層	
牧草種子 (1.0 m ³) 糞 50% 鋸屑 50%	% 62.0	°C 74.0	°C 74.0	°C 64.0	14日目	°C 68.0	°C 55.0	°C 72.0	発酵材料=容積割合 糞=肉用牛(雄ホル)
雑草種子 (1.5 m ³) 糞 40% 鋸屑 60%	53.2	72.0	68.0	74.0	15日目	47.0	47.0	24.0	

表 4 発芽調査（発酵材料処理後）

牧 草 種 子			雑 草 種 子		
種 子 名	発芽の有無	発芽の方法	種 子 名	発芽の有無	発芽の方法
ケンタッキー-31F	×	表2と同じ	アレチノギク	×	表2と同じ
チモシー	×	シャーレ播	ネコジャラシ	×	シャーレ播
バビア	×	種後10日目	ヒメシバ	×	種後10日目
ペレニアル	×	発芽無	ダイオウ	×	発芽無
クリムソクローバー	×		タデ	×	
			ノビエ	×	

3. 発酵装置の開発と発酵試験

昭和51～53年度に実験用として発酵装置の開発とその装置を使って発酵試験を行った。

(1) 発酵装置の構造

装置の構造は(図2参照)、一次発酵槽と二次発酵槽とからなる。一次発酵槽は(混合、一部発酵)容積約25 m^3 (幅1.5×長11.0×高1.5 m)であり、槽内に2本の無端帯の鎖に、攪拌板(幅50×肉厚20×長1,200 $\frac{mm}{m}$)を4枚等間隔に結着してある。2本の無端帯の鎖を時間当たり約1回循環させながら、攪拌板を移動することで槽内発酵中の材料に生糞と鋸屑を混合する。

槽の底部は、多孔板と底板との空隙に送風器(単相100V、500W、風量約3 m^3 /分、1,150 $\frac{mm}{m}$ Ag)を調整して空気補給を行う。動力は、電動モーター(200V、0.4KW)1台に減速器付である。その他、混合を良くするため、固定爪が設けてある。一次発酵槽の材質は鉄材を使い、屋根はビニールハウスで覆ってある。

二次発酵槽(図3)は、一次発酵槽から取り出した発酵中の材料を堆積して、空気を補給しながら本発酵を行う。

(2) 発酵装置の運転操作

装置の操作、発酵方法は、図4のとおりである。発酵槽内に前もって水分調整した発酵中の材料(発酵タネ、含水率約65%)を約15 m^3 を収容しておき、鎖を循環しながら、一日分(成牛20頭分、0.5～0.6 m^3)の生糞および水分調整材を交互に槽内に投入する。投入された発酵材料は、槽内で攪拌板の移動により混合と発酵を促す。

一次発酵槽からの取り出しは、翌日、取出口の仕切板を調整することにより投入量と同量が鎖の循環で取り出される。

取り出した発酵材料は、二次発酵槽で再発酵を行う。

発酵槽(図3参照)の底部の多孔板の間隙に送風して空気を補給する。

(3) 発酵装置による発酵試験の結果

1) 生糞のみの発酵試験

(一次発酵槽内)

一次発酵槽内に鋸屑で水分調整(含水率約65%)した発酵中の材料(約15 m^3)に1日当たり約0.6 m^3 の生糞(含水率約80%)を連日投入した。装置の運転は、日中約7時間稼働し、夜間は停止した。

一次発酵槽内の含水率の推移と発酵温度は図5のとおりである。含水率は、一次発酵槽から取り出し直後、温度は投入直前に槽の両端部分と中央の中間を測定した。

投入を開始してから、8日間は温度の上昇をみたが、それ以降は生糞の投入量が増加するにつれ、水分が次第に高くなり、温度は下降した。発酵材料は粘性を増し、微密となり、通気性が低下するので十分な発酵は期待できなかった。

一次発酵槽内の理化学的経時変化は表5のとおりである。微生物の経時的変化はあまり大きな変化はなかった。

種類別では、大腸菌群は高い値を維持したが、それでも温度上昇につれ減少し、 10^7 から 10^5 へと減少した。しかし、大腸菌群は衛生上 10^2 以下まで減少することが望ましく、また、大腸菌群は熱に弱く、易分解性有機物の存在を示すものであることから考えれば必ずしも十分な発酵が進んでいるとは云えない。糸状菌も 10^6 から、温度が上昇するに従って 10^4 へとやや減少しているが、この菌も孢子状態になるものは熱に弱く十分に発熱すれば 10^2 以下になることが多いと云うことからすれば、やはり高い値に推移していたと云える。

好気性細菌は発酵初期、温度が最高値に達した段階、温度が下がった段階ともすべて 10^{10} のままで変化しなかった。これらの菌の種類について特にとらえていないが、一般に発酵が進むと熱に弱い細菌が減少し、それに伴って全細菌数も減少し、その後、耐熱性のものが優勢になって、それに伴って全細菌数も増えてくることからみて、

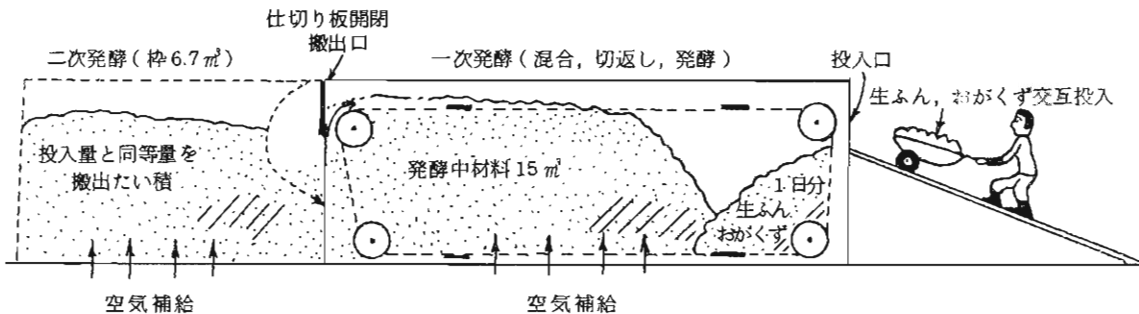


図4 発酵装置の運転方法

数量的にだけ細菌をとらえても、発酵が大きく変化しながら進んでいる様子はないとみられる。放線菌についても細菌同様終始 10^7 で変化がなかった。

T-N, T-P₂O₅, T-K₂O の経時変化は、T-N は、1.88~2.44% の範囲で時間経過によって若干増加の傾向を示した。T-P₂O₅, K₂O は、変化はみられなかった。

(二次発酵槽による発酵)

一次発酵槽から取り出される発酵材料を 1.0 m³ と 5.5 m³ を 2 槽に堆積した。1.0 m³ の発酵温度の推移は図 6 のとおりである。1.0 m³ (堆積高さ 1.0 m) の堆積では最高温度は上層で 70°C 近くの温度上昇をみたが、中層は 55°C 以下、下層は 35°C 以下の最高温度に達し、その後下後した。発酵開始 27 日目のサンプリング時でも中、下層は不快臭が残り、十分な発酵でなかった。この 1.0 m³ 槽は空気補給は行っていない。

経時的な理化学的变化は、表 6 のとおりである。この 1.0 m³ では、やや温度が下がり始めてはいるが、まだ割合高いところの発酵開始 18 日目と、殆んど常温まで下った 27 日目とを比較した。

上層では大腸菌群が 10^4 のまま変化なく、糸状菌も 10^3 を維持しており、細菌は 10^8 から 10^9 へと増加し、放線菌は 10^6 から 10^6 以下へと減少している。下層では大腸菌群が 10^3 から 10^2 へと減少した。細菌はやや増加した。全体的には、大腸菌群や糸状菌等の数は一次発酵槽時より減少しているが、18 日目と 27 日目の 2 回のサンプル

だけで発酵の進みを論じるのは無理のようである。

発酵槽 5.5 m³ の発酵は 1.0 m³ と同様に連日一定量取り出される発酵材料を順次堆積した。結果は、図 7 のとおりである。発酵温度は最高で上層、50°C、中層 38°C、下層 30°C 以下であった。発酵開始から、19 日目の切返し後の発酵温度も、好条件時のような温度上昇は見られず、切返し時の悪臭が強く、肉眼的な観察でも十分な発酵ではなかった。

理化学的な経時変化は、表 7 のとおりである。発酵開始 19 日目と切返し後 23 日目について、各層をサンプリングして比較した。上、下層とも大腸菌群では大きな経時変化はみられない。しかし、同じ日に上層と下層とを比較してみると温度の高い上層の方が少なく、下層が多くなっている。細菌、放線菌も同様の傾向で、経時変化よりもむしろ場所による違いの方が大きい。糸状菌では同じ日を見ると下層の方が多く、経時的に見ると 42 日目の方が増加している。全体的には菌数は一次発酵槽のときよりは減少している。これら菌数の変化と、発酵温度が上層で最高約 50°C、下層では約 30°C とあまり上昇しなかったことを考慮すると、まだ発酵の可能性を残しているし、また、1 槽の中で発酵が均一に行われていないことを示している。1~2 月中の発酵で外気温度も低くかつたが、生糞の混合が高くなると、粘性が強くなり、塊形状となるため、著しく通気性が低下し、このため、好気性発酵が十分でなく今後の検討が必要である。

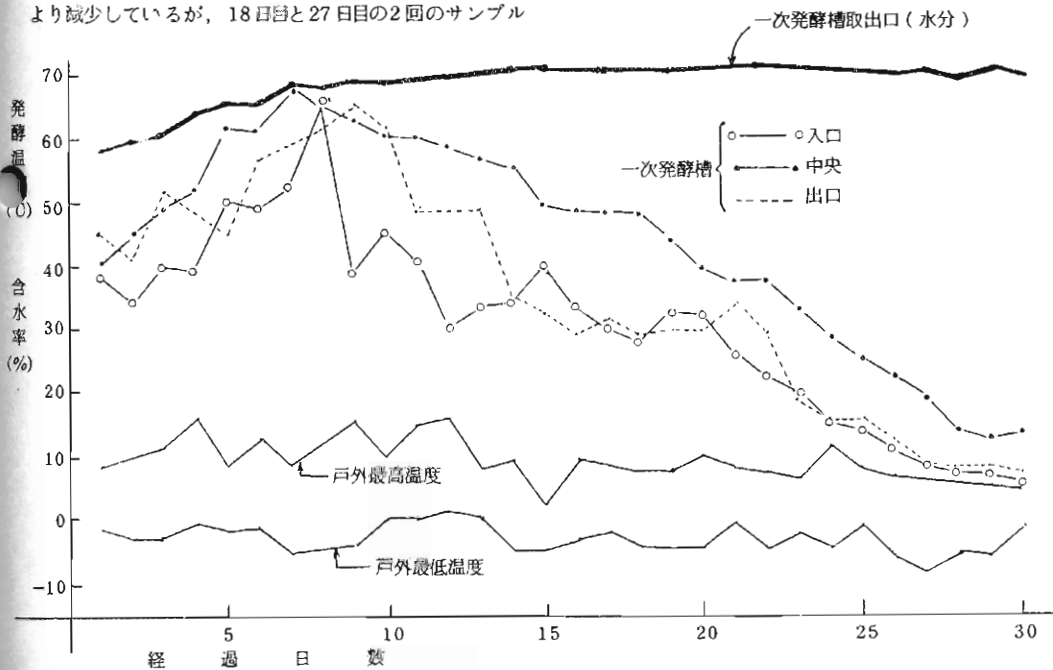


図 5 一次発酵槽内の発酵

表5 一次発酵槽内の理化学的変化

(都農業試験場)

資料採取	水分含量 (%)	pH	大腸菌群 $\times 10^2$	細菌 $\times 10^7$	放線菌 $\times 10^6$	糸状菌 $\times 10^3$	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	摘要
取出口 ※3日目	60.2	7.7	230,000	2,200	26	500	1.88	2.91	2.38	※ 発酵中の材料約15 m^3 に生ふんを投入(0.6 $\text{m}^3/\text{日}$)開始からの経過 日数 大腸菌群=乳糖ブイオン 培地 28 $^{\circ}\text{C}$, 2週間 細菌と放線菌=アルブミン 寒天培地 28 $^{\circ}\text{C}$ 2週間 糸状菌=ローズベンガ 寒天培地 25 $^{\circ}\text{C}$ 1週間
搬出口 4日目	61.8	7.9	6,000	1,500	22	230	2.02	2.60	2.52	
取出口 6日目	64.4	8.0	45,000	4,500	30	410	2.13	2.65	2.49	
搬出口 7日目	61.5	7.9	2,000	1,000	12	13	2.15	2.72	2.52	
取出口 9日目	63.1	8.0	6,000	2,800	39	370	2.16	2.99	2.52	
取出口 18日目	67.6	8.4	10,000	1,200	32	540	2.44	2.84	2.54	

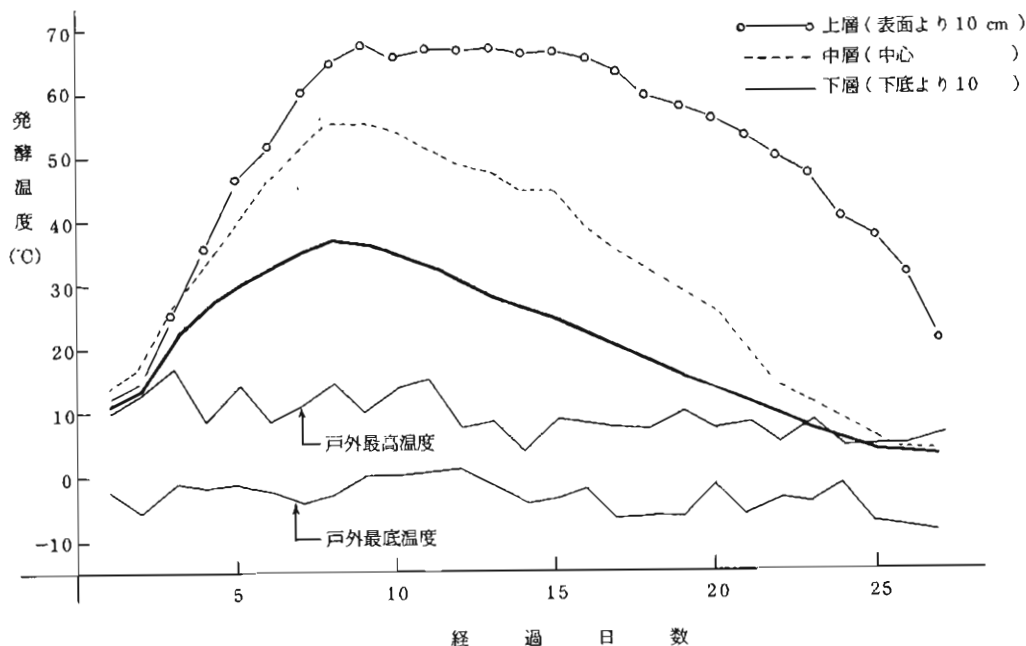


図6 二次堆積の発酵

表6 二次発酵槽の発酵(1 m³槽)の理化学的变化

(都農業試験場)

採 取	水分含量 (%)	P H	大腸菌群 ×10 ⁷	細 菌 ×10 ⁷	放線菌 ×10 ⁶	糸状菌 ×10 ³	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	摘 要
発酵十八日開始	上層 (表面 20cm)	62.2	7.9	130	52	5.3	5.2	2.48	2.86	微生物培養は表5と同じ
	中層 (中心)	59.9	8.9	20	8.9	<10 ⁶	1.8	2.07	2.97	
発酵開始二十七日目	上層 (")	65.7	7.7	140	250	<10 ⁶	9.9	2.39	2.99	
	中層 (")	61.1	8.8	2	58	<10 ⁶	<10 ³	2.18	2.93	
	下層 (底より 20cm)	64.3	7.6	48	91	<10 ⁶	2.7	2.49	3.04	

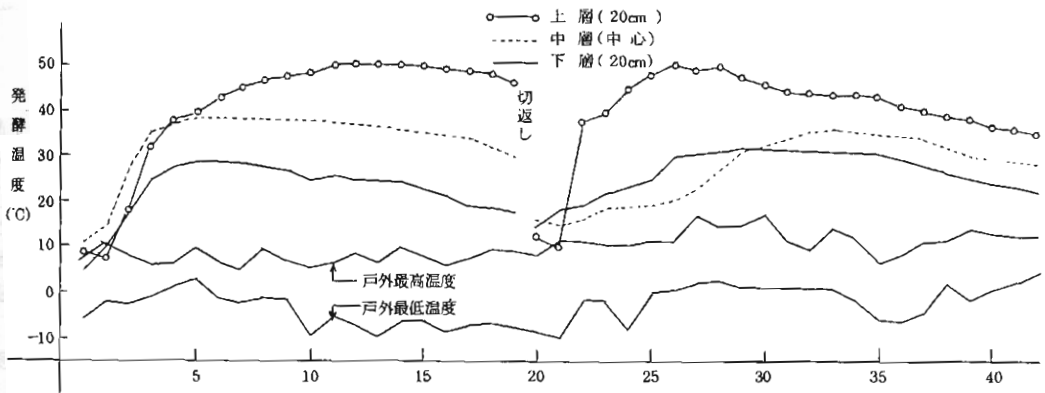


図7 二次発酵槽の発酵(5.5 m³)

表7 二次発酵槽(5.5 m³)の理化学的变化

(都農業試験場)

資 料 採 取	水分含量 (%)	P H	大腸菌群 × 10 ²	細 菌 × 10 ⁷	放線菌 × 10 ⁶	糸状菌 × 10 ³	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	摘 要	
* 発酵開始十九日目(初返し)	上(中心)	66.9	7.9	21	18	<10 ⁶	16	2.31	3.04	2.87	※中央断面中心部 上 中 右 下
	中 心	69.4	8.8	43	2.4	11	<10 ³	2.22	2.84	2.88	
	下(中心)	69.1	8.2	160	49	12	23	2.63	3.17	2.76	
	側(中右)	66.6	8.3	66	640	3.2	100	2.61	3.31	2.85	
切 返 し 後 二 十 三 日 目	下(右側)	69.4	7.8	26	200	24	84	2.32	3.38	2.98	中央断面 上 上 上 右 中 左 下 下 下 右 中 左
	下(中心)	69.8	7.9	56	72	21	110	2.49	3.53	2.97	
	下(左側)	69.4	7.7	43	100	32	520	2.29	2.80	2.92	
	上(右側)	69.1	6.7	16	14	26	27	2.74	3.68	3.42	
	上(中心)	66.9	7.7	10	0.7	<10 ⁶	2.3	2.30	3.31	3.07	
	上(左側)	67.9	7.3	15	99	30	510	2.51	3.39	3.13	

2) 生糞と鋸屑混合(1/2 : 1/2)の発酵試験 (一次発酵槽内)

一次発酵槽内には、前回1)と同様に既に発酵中の材料を約15m³投入しておき、これに、生糞と鋸屑を容積で同等量を1日当り約1.2m³連日投入した。投入後の混合のため1日約7時間稼動した。

発酵温度や含水率の測定は前回と同様であるが、中央部は測定しなかった。槽内の水分および温度変化は図8のとおりである。槽内の水分は65~70%の範囲で変動した。発酵温度は投入口付近で55~65°C、取出口付近で40~55°Cの範囲で推移した。投入口の発酵温度が取出口より高いのは攪拌板の循環中に、投入された未発酵の生糞と鋸屑は槽の底部を取出口方向に移動し、一方、取出口から投入口への表面部の発酵中の条件のよい材料が移動するためである。

(二次発酵槽による発酵)

一次発酵槽から、取出した材料を一日当り約6.0m³を順次堆積(高さ1.3~1.4m)した。槽の底部から、空気補給(図3参照、単相100V、500W、風量3.1m³/分、1.150%Agから、途中100V、25W、風量0.4m³/分、

約40%Agに交換)を行った。結果は図9のとおりである。空気の補給は、床静圧で約500%Agから、2~5%Agに調整した。

下層は当初から温度上昇が低く、約2~5%Agで上昇したが、上、中層は下降した。上、中層は70°C以上で約10日間維持しており、下降する段階にあたってと思われる。

発酵槽内の腐熟に関すると思われる諸成分の経時的変化は表8のとおりである。

発酵開始11日目のサンプリングで含水率は上層66.8%中層63.6%、下層62.8%であった。下層は全面にカビの発生がみられ、糞臭は感じられなかったが、上、中層は若干残っていた。19日目のサンプリングの含水率では、上層66.1%、中層56.7%、下層57.1%で中、下層とも全面にカビの発生が見られた。上層は腐植色を呈し、中、下層とも不快臭はなく取り扱いに問題はないものと思われる。26日目のサンプリングは、含水率で中、下、上層の順に乾燥が進み、中、下層は全面カビが発生し、この段階で各層とも不快臭は感じられなかった。

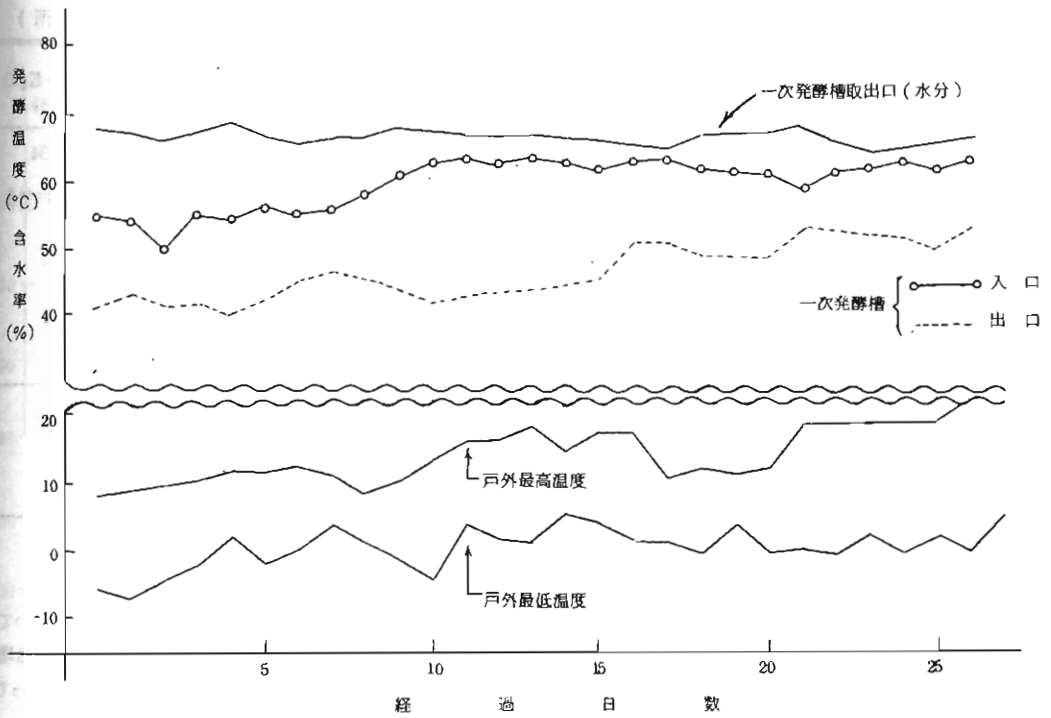


図8 一次発酵槽内の発酵

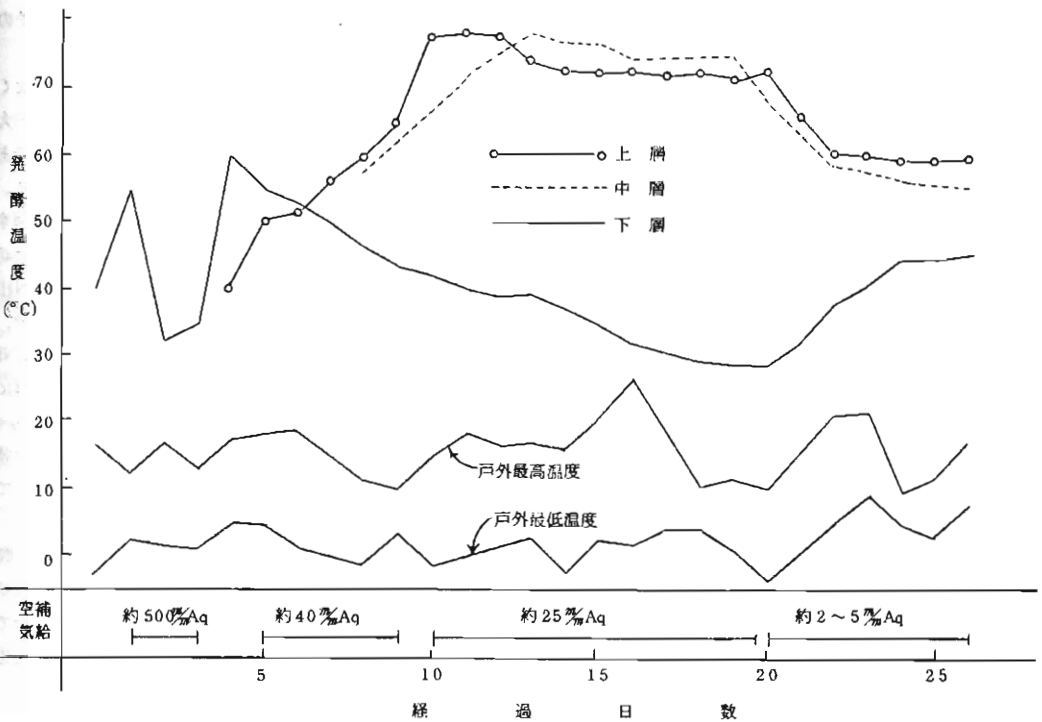


図9 二次発酵槽の発酵 (約 6.0 m³)

表8 二次発酵槽(約6.0 m³)の理化学的变化 (都肥飼料検査所)

		水分 (%)	有機物 (%)	P ^H	EC (nv/cm)	COD (ppm)	NH ₄ -N (mg%)	NO ₃ -N (mg%)	T-N (%)	T-P ₂ O ₅ (%)	T-K ₂ O (%)
発酵開始日	上層	66.8	86.5	7.9	8.93	6,390	581	trace	2.41	2.35	2.34
	中層	63.6	85.7	8.5	6.78	6,960	255	trace	P ^H , EC, CODは乾物当り10に調整したものの他の成分は乾物値		
	下層	62.3	85.4	8.6	5.74	5,520	183	trace			
十九日	上層	66.1	85.7	8.7	7.15	7,520	478	trace			
	中層	56.7	85.5	8.4	5.88	6,990	215	trace			
	下層	57.1	84.2	8.4	5.71	3,780	114	trace			
二十六日	上層	60.7	83.0	8.5	6.63	5,990	272	trace	※	※	※
	中層	55.0	83.9	8.0	6.14	4,930	158	trace	2.11	2.86	2.34
	下層	58.4	83.3	8.3	6.54	3,660	192	trace			

各層の理化学的な経時変化および各分析値の変化を図示すれば、図10、図11、図12に示すとおりである。発酵中におけるNE₄-N、CODについては、明らかに日数の経過とともに低下している。有機物は鋸屑の量との関係で大きく変動していないように思われるが、糞そのものの分解は進んでいると思われる。ECは、26日目にわずかであるが上昇している。これは下層の分解が19日目頃を境にして、再び起きたものと思われる。P^Hは、分解による好気的条件の増大により、上昇し、NH₄-Nの減少より低下するものと思われる。各層別の変化については、毎日、一次発酵槽から、約1.2 m³を順次積み込んだので、各層とも発酵日数、下層と上層では約7日に差があり、上層のNH₄-Nは高い推移で低下していた。これは、当初から、19日目までの通気量の影響とも思われるが、発酵が進むに従って、中、下層ともあまり差異がなくなっていた。下層については、26日目に上昇した。上層のCODについては、19日目に上昇し、また、中層については、高い推移が11日目、19日目と続いたのち低下していた。下層は、19日まで大きく変化し、その後26日まで小さく変化していた。上層部分が槽に積込まれている時点で、中層部は、活発な分解を示し、続いてある程度分解された上層が遅れて最盛期を迎えるものと思われる。

下層については、最初に分解しはじめたことと、通気量との関係で19日目に、一時分解が停止し、通気量の変化により、ゆるやかに再分解を始めたと思われる。

ECについては、上層の変化が最も大きく低下する傾向にあり、下層は通気量の変化による塩類の下降も考え

られるが、再分解による上昇とも思われ、中層については、好気的条件から、やや嫌気的条件への移行による増大と思われ、概してNH₄-Nの傾向と似た傾向をとっていた。

P^Hについては、上層のみ19日目に上昇した。これは、嫌気的条件が好気的条件に変わったためと思われ、その後低下した。

有機物の変化については、見掛上は大きな変動はなく、有機物分解率は上層で最も大きく23.8%、中、下層が大差なく13.0%、14.7%であった。鋸屑混合量が半量であることから、実際には、糞の分解は大きいと思われる。以上のことから、腐熟の判定の一助となる要件を整理すると、ここでは、有機物含量の低下、P^Hの一定の値への集束が考えられるが、NH₄-NとECの関係およびNH₄-NとCODの関係は、図13、図14に示すとおりで、NH₄-NとEC、NH₄-NとCODの関係を見ると、NH₄-NとECには、高い相関が見られ、NH₄-Nが発酵につれ、減少すると同時にECも減少する。また、NH₄-NとCODについては、相関がありそうであるが、有意性も低く、断定はできないが、これらは、例数が極めて少く今後の検討課題である。

発酵開始26日目の試料について重金属について肥料取締法で規制値が設けられている物質について分析した結果は表10のとおりでT-AS、T-Cd、T-Hgについては規制値以下であり、他の重金属も問題はないものと思われる。

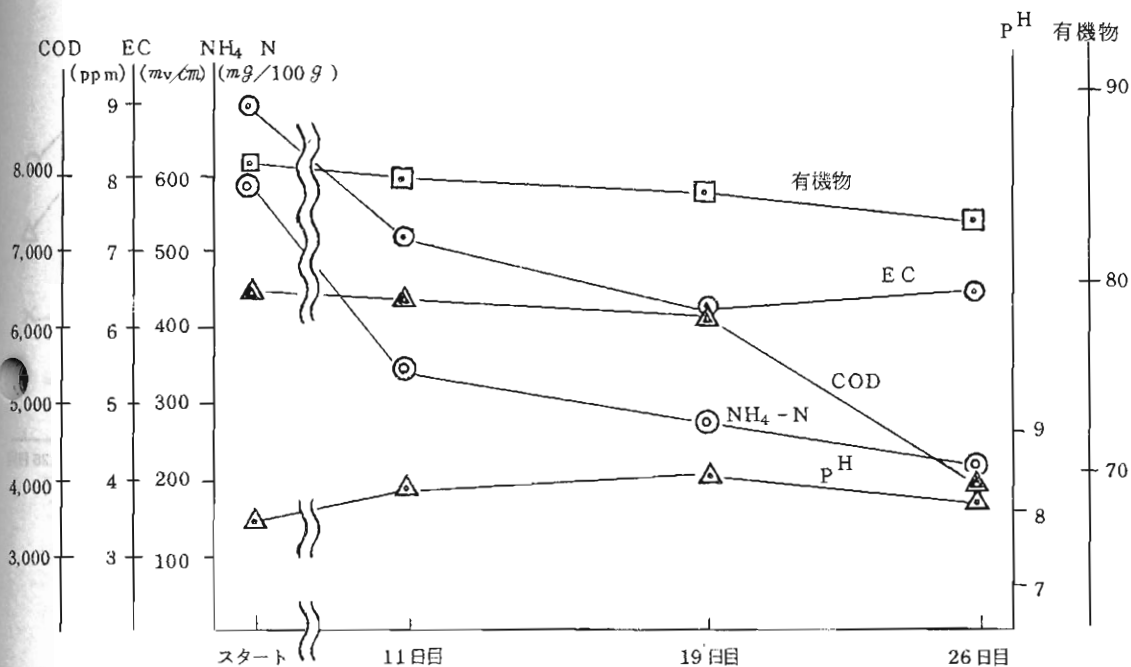


図 10 全層平均による変化

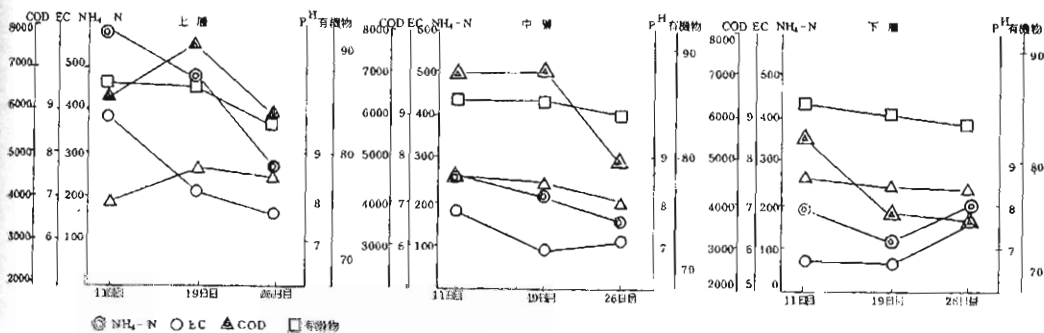


図 11 各層別の変化

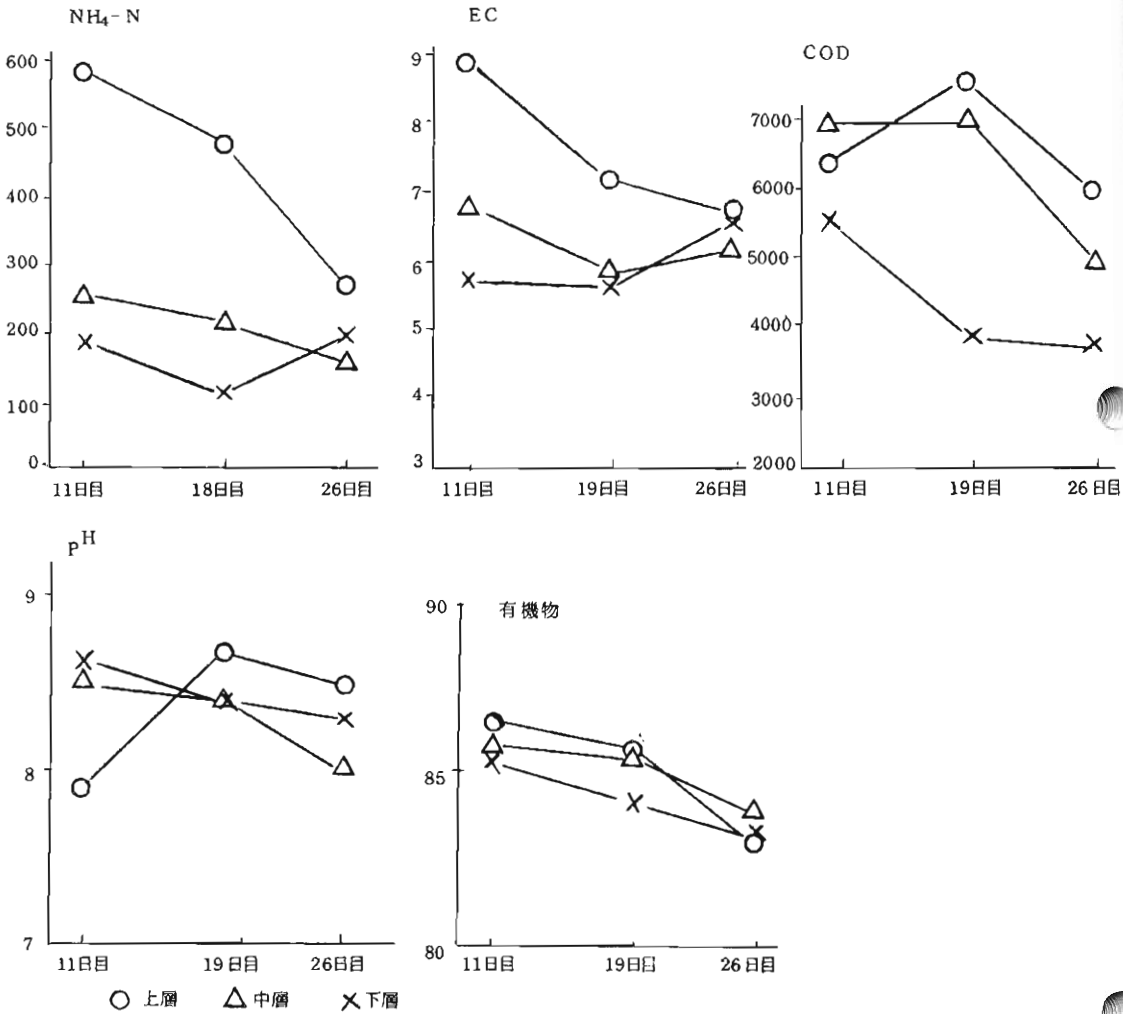


図12 成分別各層の変化

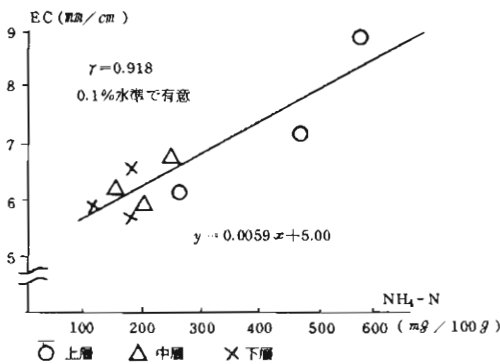


図13 ECとNH₄-Nの相関

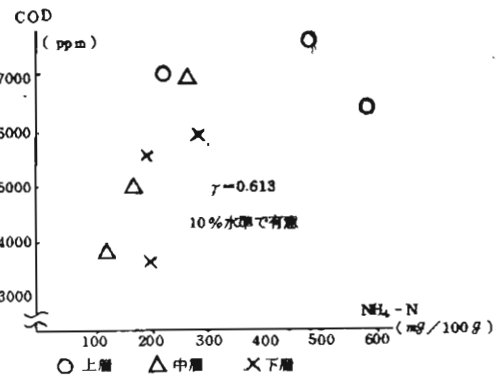


図14 CODとNH₄-Nの相関

表10 発酵開始26日目の重金属分析 (都肥飼料検査所)

	水分 (%)	T-CaO (%)	T-MgO (%)	T-AS (ppm)	T-Cd (ppm)	T-Hg (ppm)	T-Cu (ppm)	T-Zn (ppm)	T-pb (ppm)
三層混合	58.1	2.43	1.05	0.7	0.4	0.04	39	164	3.8

(値は乾物値)

3) 生糞 $\frac{2}{4}$; 発酵乾燥堆肥 $\frac{1}{4}$, 鋸屑 $\frac{1}{4}$ 混合による発酵試験

(水分調整材としての発酵乾燥材料による発酵)

発酵した材料を乾燥して、水分調整材にするため、前回、2)の生糞 $\frac{1}{2}$ と鋸屑 $\frac{1}{2}$ の混合発酵試験で二次発酵枠詰込後に一次発酵槽に残留した材料を、二次発酵枠に約6日間で順次約6.0 m³ 堆積(高さ1.4~1.5 m)した。堆積中の発酵温度の変化は、図15のとおりである。上層は、70°C以上の温度上昇があり、下層は40°C前後、中層は、上、下層の中間で推移した。発酵材料の含水率は発酵開始24日目で上層66.3%、中層65.4%、下層61.8%である。

24日間の発酵中に空気補給は、床静圧で前半約2%、後半約25% Agである。

(一次発酵槽内)

一次発酵槽には、前回、1)と同様に既に約15 m³の発酵中の材料を収容しておき、そこに、生糞 $\frac{2}{4}$ と水分調整材として準備した発酵堆肥 $\frac{1}{4}$, 鋸屑 $\frac{1}{4}$ (容積割合)を1日当たり約1.2 m³ 連続投入した。

一次発酵槽の運転は前回と同様に投入時から約7時間稼働し、その後は停止した。一次発酵槽の含水率および発酵温度の変化は図16のとおりである。投入口では、55~65°C、取出口は45~55°Cの範囲で推移した。含水率は、取出口から取り出した直後の水分で67.0~71.0%の範囲であった。

(二次発酵枠による発酵)

二次発酵枠には、一次発酵槽から取出した材料、約6.0 m³を10日間で順次堆積した。堆積の高さは1.3~1.4 mである。

発酵温度の変化は図17のとおりである。上、中層は70°Cが約10日間持続し、発酵開始25日より下降した。下層は60°Cまで上昇し、それ以降は下降して15日目あたりから上昇し、25日目より下降した。

空気補給の床静圧は、堆積開始5日目から10日間に約5% Ag、17日目から11日間に約25% Agである。各層の発酵状態は、14日目のサンプリングで、上、中層は、黒褐色を呈して、不快臭は感じられなかった。下層は、乾燥が上、中層より進み、白カビの発生がみられた。不快臭は

残っているが、この時点で切返し、混合すれば発酵がより促進すると思われる。発酵期間を1カ月計画したので、発酵温度の変化は30日間測定したが、それ以後は測定しなかった。

理化学的变化は、30日以後、放置したものを1回入れて4回分析した。結果は表11のとおりである。これを図示すると、図18、図19、図20のとおりである。

堆積中において、EC、NH₄-Nは、低下する傾向にあった。P^Hは、平均的には、あまり変動はなかった。CODについては、23日目で上昇した後下降した。堆積を経ることにより、NO₃-Nが出てきている。有機物については、減少している。これらのことを、各層別の変化でみると、NH₄-Nは、上、中層とも減少し、特に上層は、85日目でNO₃-Nの多量の発生が見られた。下層においては、前回試験と同様に発酵途中で減少した後、上昇し、さらに85日目に減少している。このことは、下層がより日数を経ているため、この中間日付近で、発酵が弱く温度変化をみると若干のずれがあるが、その時の易分解性有機物の量の分解程度によって生じる通気量、水分等の影響をうけるものと思われる。

CODもECも、前回試験と同様なことが言える。CODについては、上、中層とも中間付近で上昇し、後減少する。ECについては、上層は、直線的に下降し、中層は、中間付近では、サンプルのバラツキが考えられる程度のわずかな変化を示すのみである。下層においては、ほぼ、COD、NH₄-Nの変化と同様な変化を示す。

下層は約1ヶ月の間で分解によって生ずる炭酸塩の増加よりも、電解質の塩類が集積するようである。これは、下層の再発酵がおきるためか、上、中層あたりからの浸透によるものかは不明である。

85日目を見ると、上層において、EC、NH₄-N、CODの減少が大きく、NO₃-Nが多量発生している。中、下層においては、NH₄-N、ECは、ゆるやかに低下し、CODは、ゆるやかに上昇している。このことは、上層における発酵は、後熟期を迎え、中、下層は、その前の段階とも考えられるが、長期的な調査が必要である。

P^Hについては、上、中層は上昇している。有機物については、減少しており、有機物分解率は、上層で19.9

%, 中層18.5%, 下層10.6%であり, 上層が前回と同じく最も大きく, 下層の分解が遅れているようである。以上のことから, 前回試験と同様に, $\text{NH}_4\text{-N}$ とECの関

係を図示すると, 図21のとおりである。 $\text{NH}_4\text{-N}$ とCOの相関は明確ではなかった。

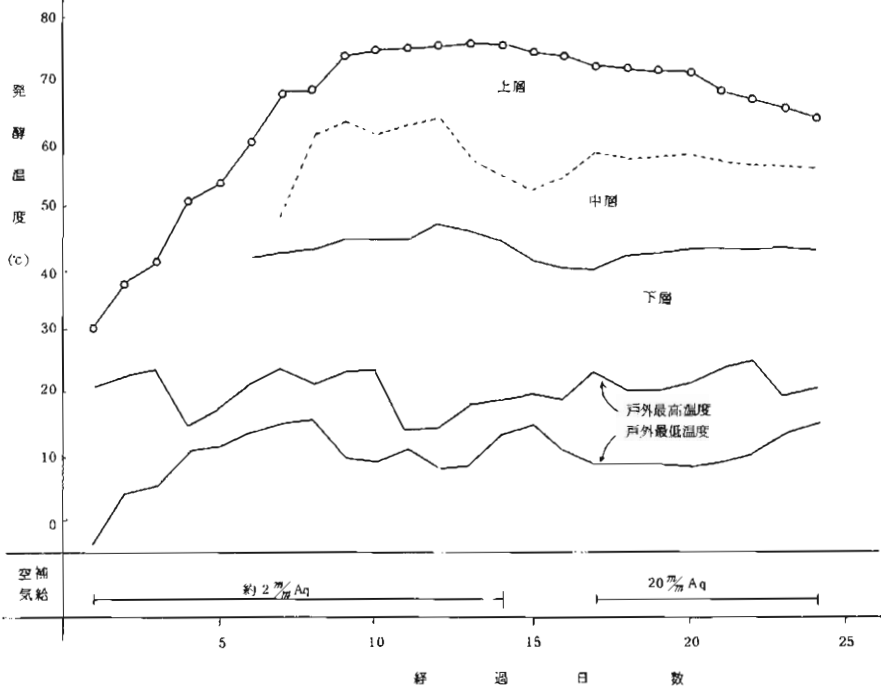


図15 生糞 $\frac{1}{2}$ と鋸屑 $\frac{1}{2}$ (容積, 堆積約6.0 m^3)

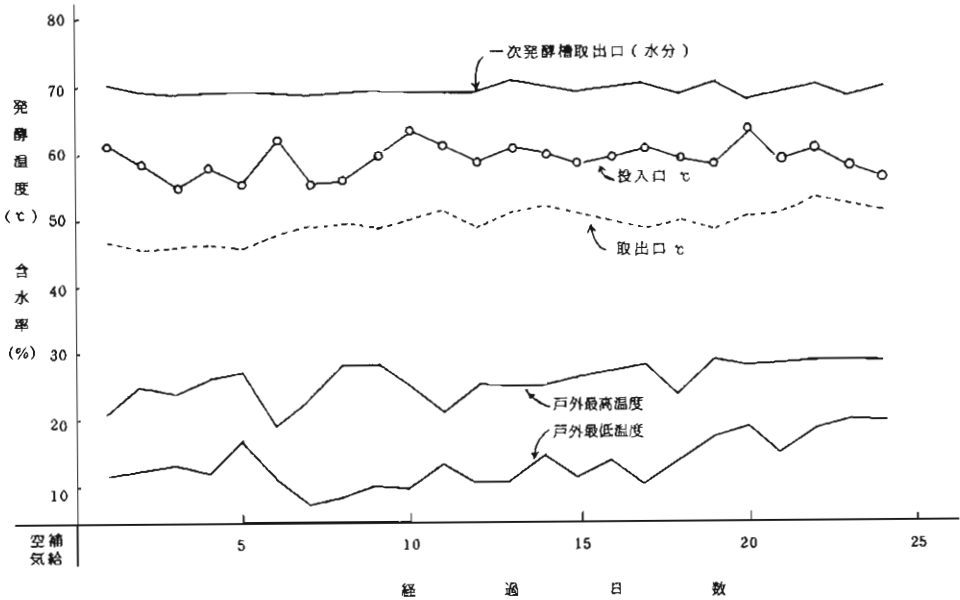


図16 一次発酵槽 (生糞 $\frac{2}{4}$, 鋸屑 $\frac{1}{4}$, 発酵済堆肥 $\frac{1}{4}$ 容積混合)

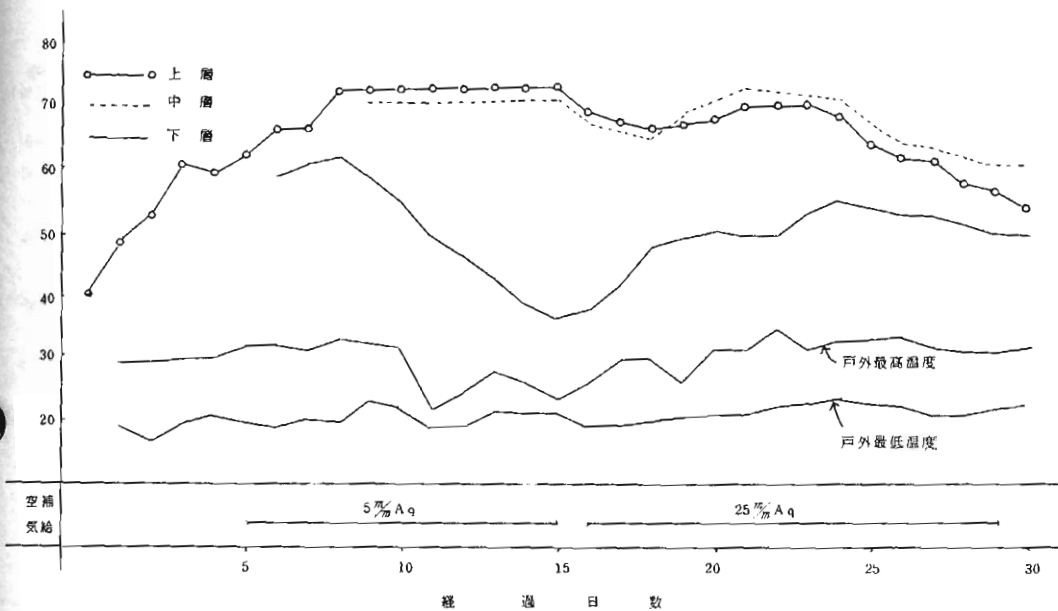


図 17 二次発酵槽の発酵 (約 6.0 m³ 堆積)

表 11 二次発酵槽 (約 6.0 m³) の理化学的变化

(都肥飼料検査所)

		水分 (%)	有機物 (%)	P ^H	EC (mq/cm)	COD (ppm)	NH ₄ -N (mg %)	NO ₃ -N (mg %)
発十 酵開 始日	上層	65.3	84.7	8.7	6.40	4,020	403	4
	中層	65.5	84.3	8.1	7.28	5,020	447	trace
	下層	63.7	83.6	8.5	5.56	4,180	201	11
"二十三日	上層	65.0	84.3	8.6	5.91	5,640	297	20
	中層	61.2	83.6	8.4	5.52	6,120	275	4
	下層	60.7	82.8	8.3	5.23	3,500	88	trace
"三十日	上層	59.1	83.6	8.5	5.60	5,330	289	4
	中層	63.3	82.6	8.3	5.50	4,980	185	4
	下層	60.3	81.9	8.5	5.40	3,930	160	8
"八十五日	上層	71.1	81.6	7.9	3.06	3,140	158	94
	中層	65.6	81.4	8.5	5.01	5,290	150	5
	下層	61.1	82.0	8.6	5.11	4,280	147	5

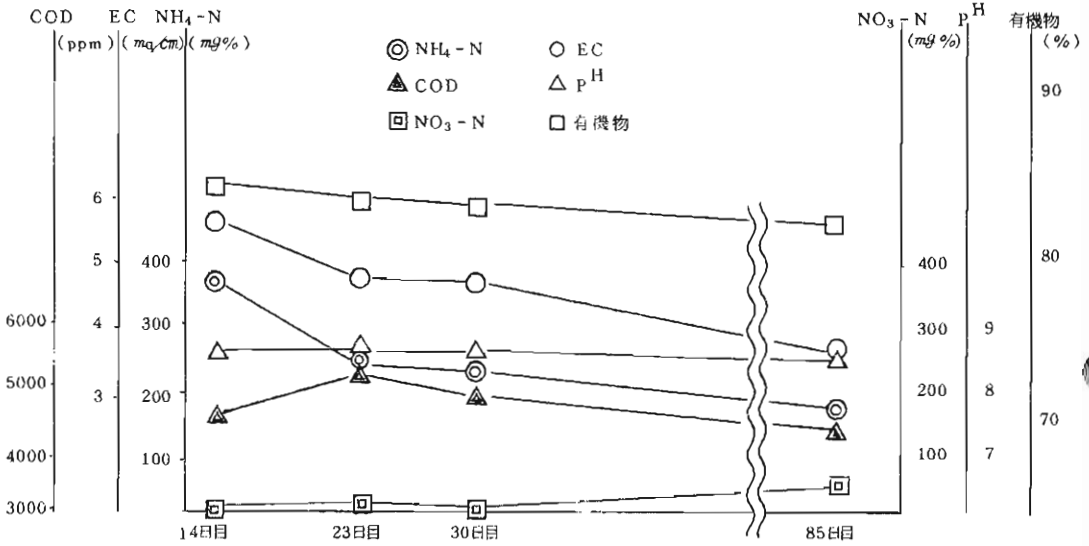


図18 全層平均による変化

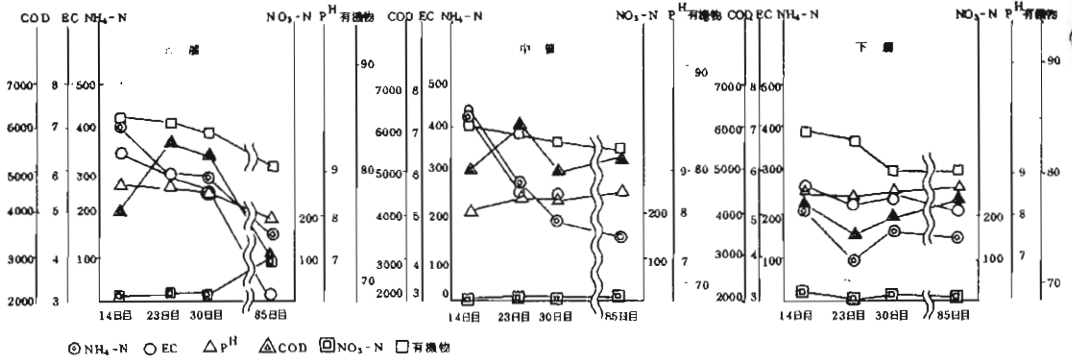


図19 各層別の変化

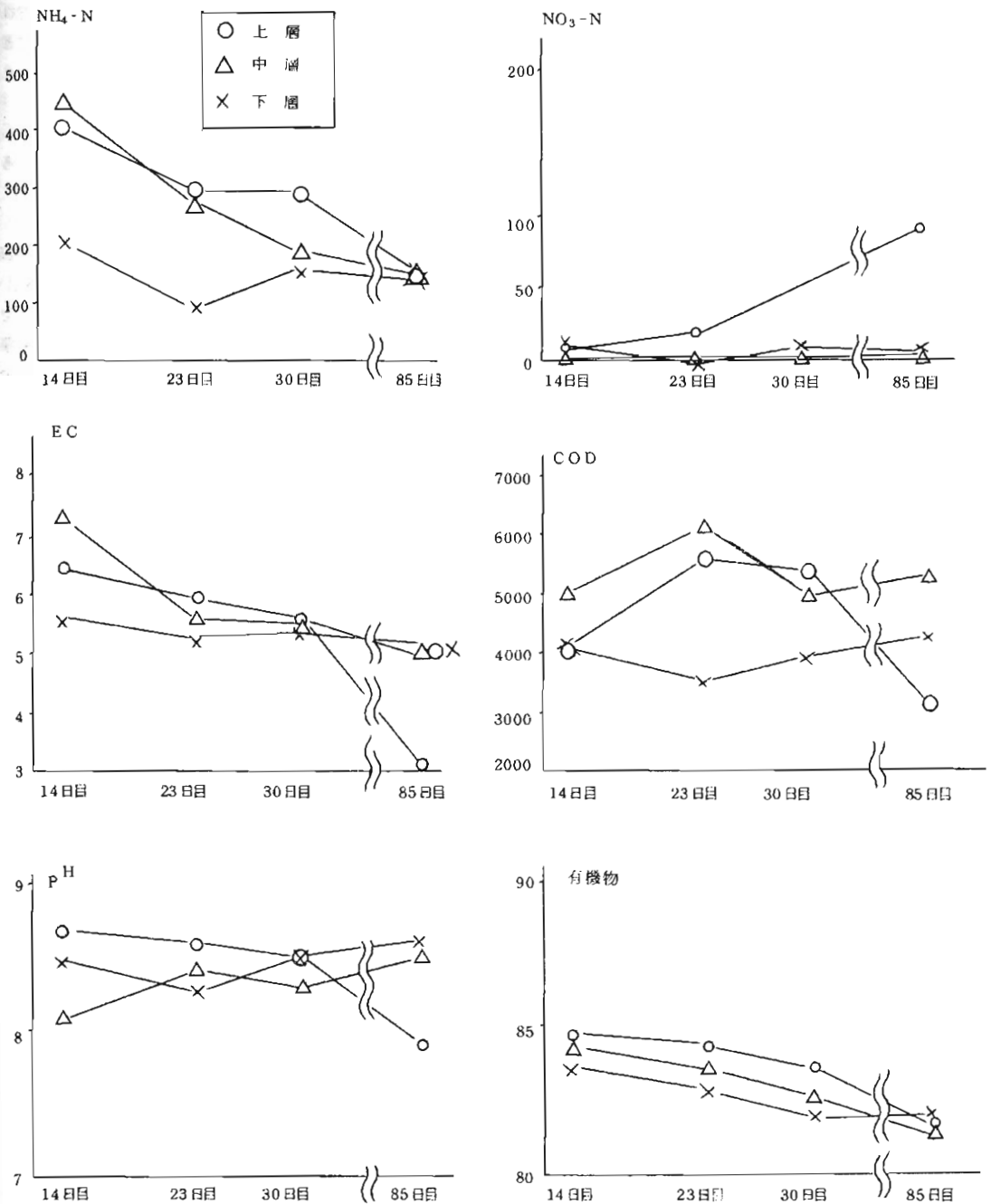


図 20 成分別各層の変化

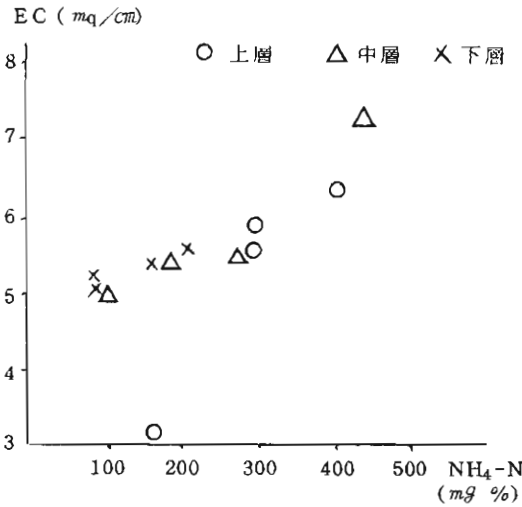


図 21 NH₄-NとECの相関

4) 長期発酵における理化学的变化

前回、2)の生糞 $\frac{1}{2}$ と鋸屑 $\frac{1}{2}$ の試験と同様な方法で、一次発酵槽から二次発酵槽に5日間て約5.5ml、高さ1.2~1.3mに堆積した。詰込み後の発酵温度の推移は、図22のとおりである。上層は、積込み後、8日目で最高78°Cまで上昇し、その後下降と上昇を繰返して60日目で45°Cに下った。54日目のサンプリングで中、下層の含水率が53.6%、51.7%と乾燥したため、60日目に水分補給を行なった。その後63°Cまで上昇したが、再び下降した。途中2回目の水分補給を90日目に行った。80日目から上昇を続け、100日~120日目まで60°Cを維持し、その後は、下降し、さらに140日目から上昇の傾向になった。中、下層も、堆積開始10日目までは、60°Cの上昇があったが、その後、75日目まで下降し、30°C以下まで下降したが、その後100日まで再び上昇を続けた後下降した。

発酵開始から、146日までの温度の変化が水分および空気の補給量と関連しているのか、因果関係は判断しかねるが、長期発酵の途中で水分の変化、P^H、養分などの理化学的な諸条件が変化し、微生物の交代など複雑な過程を経ているものと思われる。

発酵期間146日間の内、4回のサンプルを分析した。

結果は、表12のとおりである。この表を図示すると全層平均の変化は図23のとおりとなる。この図23をみるとNH₄-N、ECは低い値で推移している。ECの値につ

いては、NH₄-Nの量に影響もあると思われるが、NH₄-Nの低い原因については、上層の有機物分解量が、54日目まで少量であることからみて、上層での分解が遅れているためと考えられた。このため、NH₄-Nは日数とともに減少はしているが、その量はわずかであった。また、143日目の上層に多量のNO₃-Nが定量された。EC、CODについては、54日目までゆるやかに減少し、その後、上昇している。P^Hはゆるやかな変化ではあるが、54日目まで上昇し、その後、下降した。有機物は143日間で約40%近く分解している。

各層別および成分別の変化を図示すると図24、図25のとおりである。上層では、54日目にC.O.D.が最も高い値を示している。NH₄-Nは8日目から、大きな変動をみていない。この段階では易分解性有機物の分解より集積があったものとみられ、有機物についてもさほど減少していない。ECについては、より酸化的条件ならびに塩類の下層への集積のためか低下している。143日目になって多量のNO₃-Nが定量された。中層では8日目から54日目までに易分解性有機物の分解とともに、CODが低下し、NH₄-N、ECも減少している。54日目から81日目までには、再度の分解のためか、EC、CODが上昇し、NH₄-Nも脱窒、菌体へのとり込みが予測されるにもかかわらず増加している。この傾向は143日目まで続いている。

有機物分解率も8日~54日目で25.6%、54~81日まで16.8%であり、81日目の易分解性有機物量の増加を示していると思われる。下層については、8日~54日目でNH₄-Nは増加し、ECもわずかに上昇している。しかし、CODは分解により低下している。この理由は、8日目の段階で、下からの通気のために、NH₄-Nの上層への拡散があったものと思われ、54日目のNH₄-Nとの差が出たものと考えられる。54日~81日目では、ゆるやかな分解過程をとっており、いくらか、嫌気的条件下にあるものと思われる。後に通気することにより、分解が促進し、143日目に見られるような結果になったと思われる。また、143日目では水分も高く塩類も集積している。有機物の分解が84日~143日目で大きい。上記の塩類の集積関連があると思われるが、判断がつかいぬる。

以上の結果、CODとNH₄-N、ECとNH₄-Nの関係をみたが、長期堆積においては相関関係がなかった。2)、3)、4)の鋸屑を混入した二次発酵槽の理化学的变化の全分析結果をみると、1ヶ月堆積においては、堆積日数にしたがって、NH₄-N、EC、CODは上層、中層で、一部中間で上昇あるものも下降する。

下層については、これらよりも、はやく分解をはじめ、通気等で停止、再度分解もはじめるために、上、中層と

違った経過をとっている。特に下層に塩類が集積するためか、ECは上昇する。有機物の減少にしても、当初、下層の減少が大きいが、後半は、上、中層の方が大きく減少する。

長期堆積をみると、EC、CODは後半から上昇している。NH₄-Nについては、ゆるやかにではあるが、下降を続けている。有機物の分解率は、最終的には40%以上になった。層別にみると、上、下層のEC、CODは、ほぼ、1ヶ月試験の結果と同じパターンを示している。

最終的には、EC、CODは下層で高く、上層で低い。下層での塩類集積が大きく、両層での分解のパターンのずれがあると思われる。しかし、本試験においては、通気期間や通気量を発酵途中で変えたので、これらの内容によって判断はできなかった。なお、腐熟に関すると思

われる諸成分の相関を各層別、全層平均で表わした結果は、図26、図27のとおりである。図26からみると、条件の設定がランダムあるにもかかわらず、ECとNH₄-Nの相関はあるものと思われ、特に、2)、3)のうち、2)の85日目、3)の81日目および143日目を除いて考えると、例数24点で $r = 0.756$ (0.1%水準で有意)と相関が上がる。このことは、発酵の中途段階までは、ECとNH₄-Nの関係で、熟度の推測がつかうものと言えよう。

また、CODとNH₄-Nにも同じようなことが言え、前記、中途までの相関は、例数24点で $r = 0.665$ (0.1%水準で有意)とやはり上がる。ゆえに発酵の中期までは、CODとNH₄-N、また、ECとNH₄-Nの関係で熟度の度合を推定することができると思われる。しかし、鋸屑の問題があることは、言うまでもない。

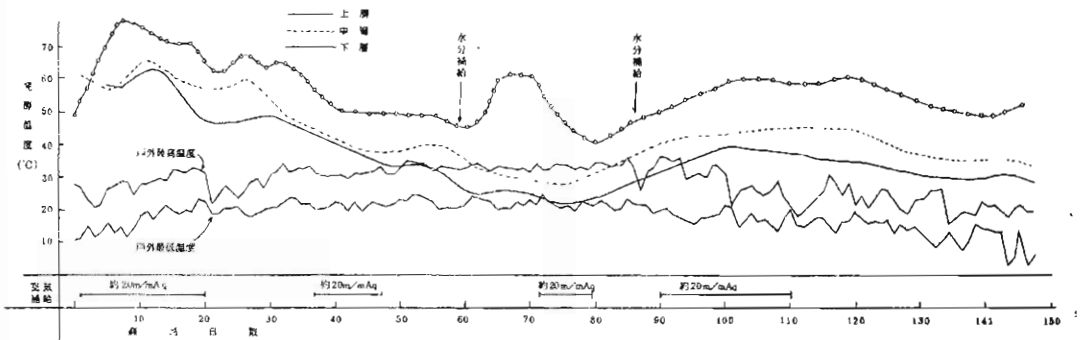


図22 長期発酵における温度変化(生ふん $\frac{1}{2}$, 鋸屑 $\frac{1}{2}$, 容積混合 約 5.5 m^3 たい積)

表12 二次発酵槽(約5.5 m³)の理化学的变化 (都肥飼料検査所)

		水分 (%)	有機物 (%)	pH	EC (mv/cm)	COD (ppm)	NH ₄ -N (mg %)	NO ₃ -N (mg %)
発酵開始	上層	66.8	86.9	8.6	5.24	4,060	218	N.D
	中層	60.7	88.4	8.4	4.97	5,130	262	N.D
	下層	60.5	85.4	8.2	4.71	4,890	82	trace
" 五十四日目	上層	60.7	85.9	8.5	4.81	5,510	216	8
	中層	53.6	85.0	8.5	4.66	4,460	164	2
	下層	51.7	83.5	8.5	4.82	3,670	155	5
" 八十一日目	上層	68.6	81.1	8.2	4.57	5,410	243	10
	中層	64.8	82.5	8.5	5.71	6,190	182	trace
	下層	52.3	83.2	8.5	4.79	3,870	117	trace
" 百四十三日目	上層	64.3	81.1	7.8	3.46	3,580	159	68
	中層	65.4	81.7	8.3	5.45	6,840	212	9
	下層	70.6	78.6	8.3	7.53	5,940	94	4

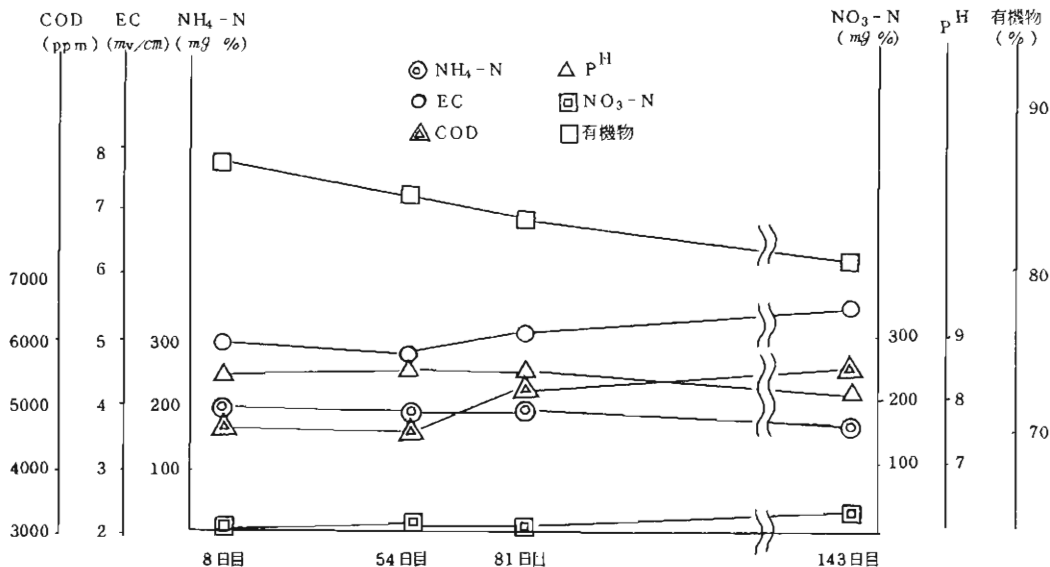


図23 全層平均による変化

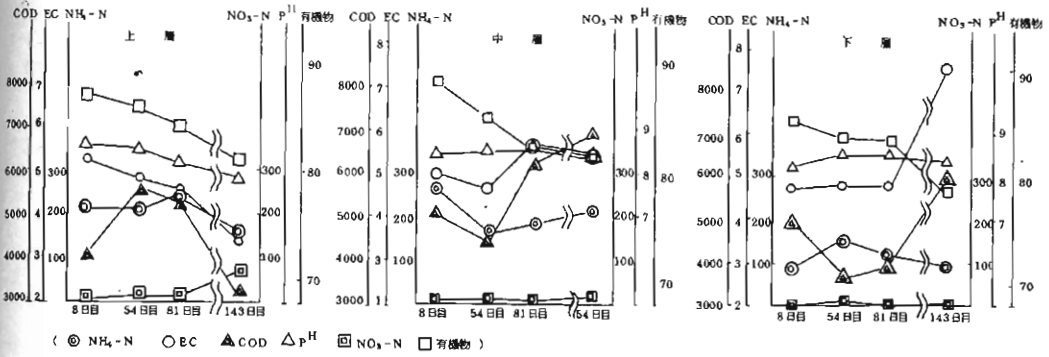


図 24 各層別の変化

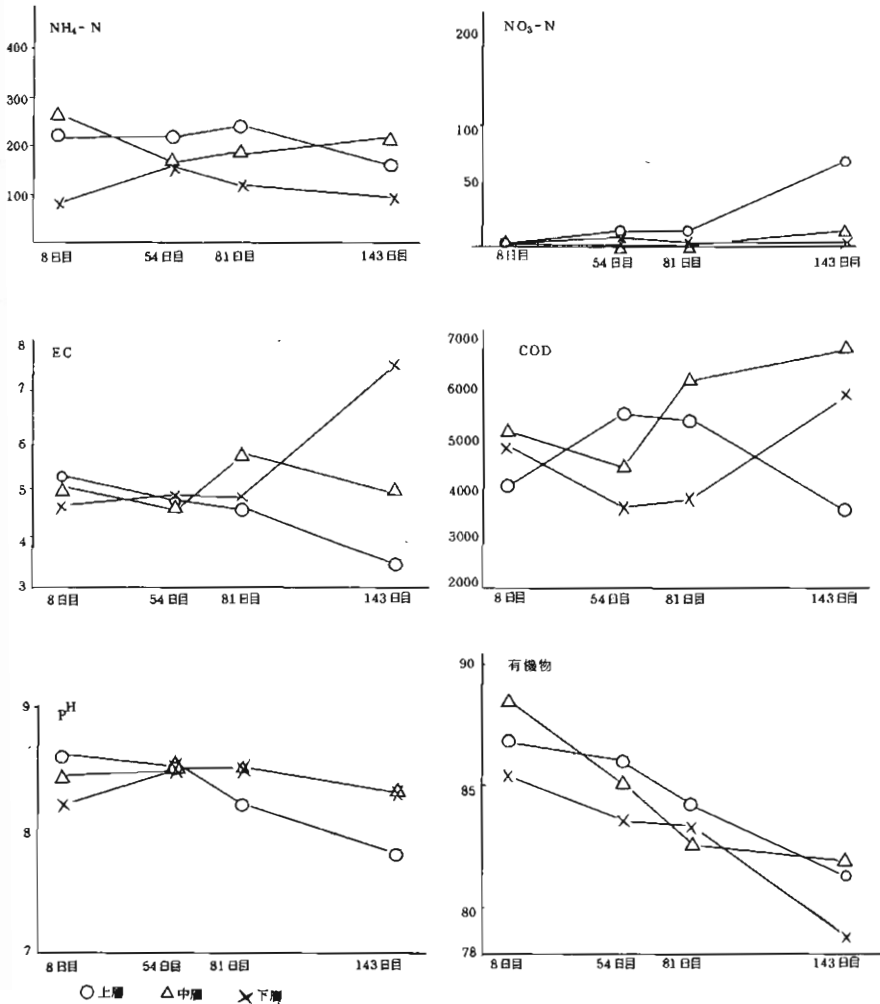


図 25 成分別各層の変化

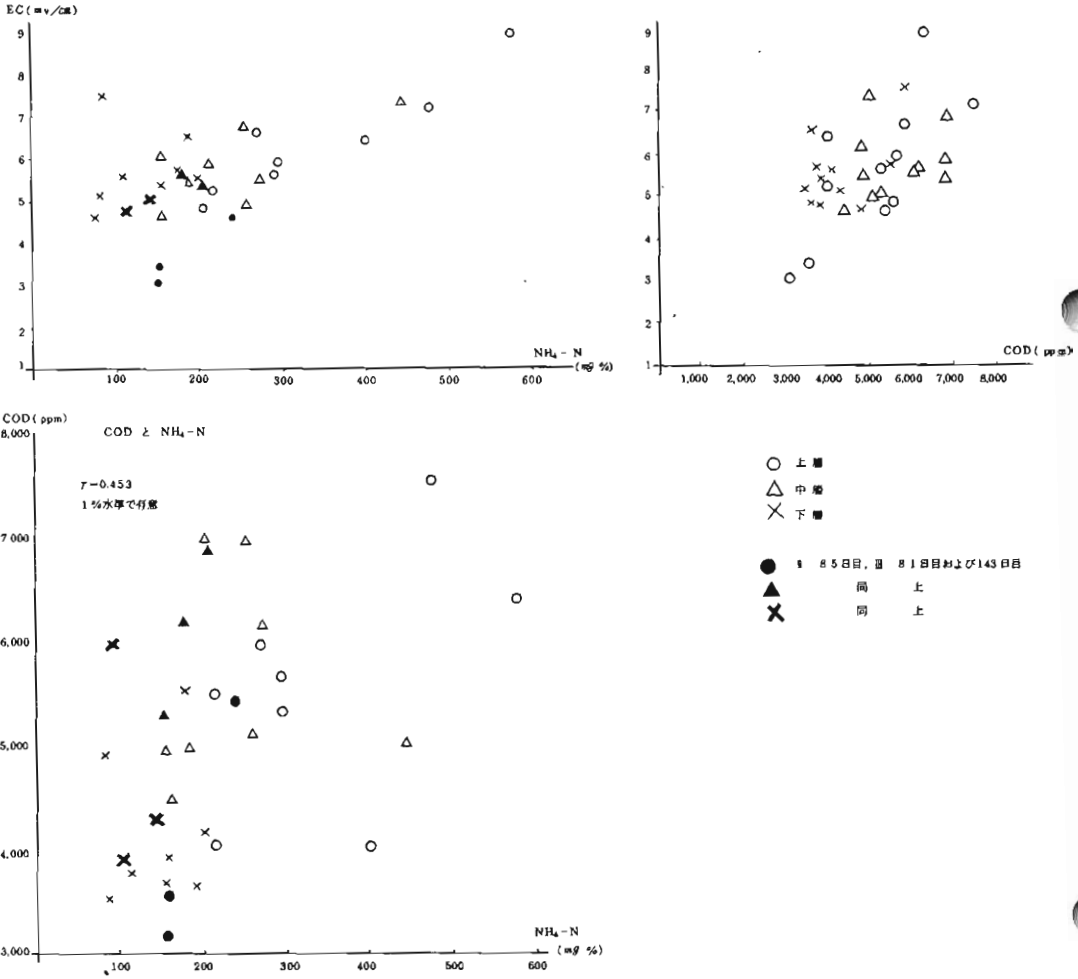


図 26 全試験の諸成分の関係

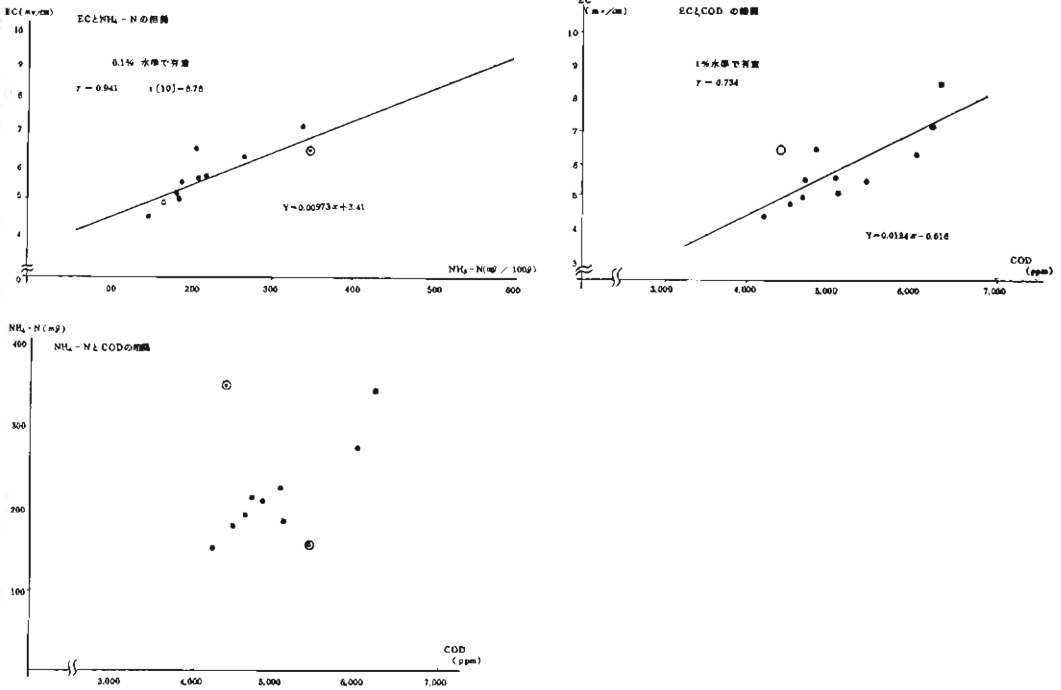


図 27 全層平均による諸成分の関係

ま と め

(発酵槽による基礎試験)

発酵槽による基礎試験では含水率と発酵温度の変化をみて発酵処理する場合の問題を検討した。鋸屑は容積で1/2の混合比が発酵に最もよいが、これより増減することは、処理する側も肥料として利用する側も問題であろう。

生糞のみの発酵では、水分調整にハウスで予乾する場合、含水率の60%付近で粘性が強くなり、塊形になる。

約55%で細粒になり、発酵温度も上昇するが、低水分では、発酵を促進する面から問題であろう。高水分、高温で発酵ができれば、腐熟も進むと考えられるが、生糞のみでの発酵は、発酵の前処理として粗粒化して通気性を高める必要がある。

堆積時の含水率約60%以上の生糞、鋸屑混合で1m以上の堆積高さにした場合、表面10~20cmは腐褐色になるが、それ以下の層は、黄色を帯びて不快感が強くなる

ことが、度々、みられた。普通、畜産農家は、1m以上堆積しているし、鋸屑混合で含水率60%以上がみられるが、このような場合、嫌気性発酵になり、公害の原因になりかねない。この発酵方法が今後の課題である。

(発酵装置と発酵)

鋸屑混合による発酵の、前工程における混合や、途中の切返しの省力を図るため、発酵装置の試作検討をしたが、装置化にかなりの試行錯誤を繰返した。当初は、一次発酵槽で既に発酵中の材料1.5m³以上に、1日当り生糞と鋸屑の同等量1.2m³を混合することで一次発酵を終らせる予定であったが、期待した発酵でなかった。槽内の発酵中の材料15m³をそれ以上に増量することで、混合比を高くして実施したが、装置の駆動部分を改良しないと負荷を掛けられないので中止した。一次発酵槽での発酵中途の材料を二次堆積することで本発酵をするようにした。装置の改良の残った箇所については、現地に設

置して適応試験を実施計画中であるので、その時に改善を検討したい。

空気補給は、一次発酵槽、二次発酵槽で行った。一次発酵槽は、装置の空気漏れや、日中約7時間稼動により槽内の材料が移動するため、温度の差があるので空気の補給効果は十分に検討できなかった。

二次発酵槽の空気補給は、送風器は、風量の強いものから、100V、25W、風量 $0.4\text{ m}^3/\text{分}$ 、約 $40\text{ m}^3/\text{Ag}$ に変わった。

この送風器程度のもので槽堆積 6 m^3 、高さ $1.3\sim 1.4\text{ m}$ 、床静圧で $5\sim 25\text{ m}^3/\text{Ag}$ 程度と思われるが、この範囲で、中、上層の順で乾燥しており、各層を平均して発酵させることはできなかった。床の静圧はもっと低圧の方が発酵に適当なのかどうかは、堆積規模(容積、高さ)含水率など農家の実態に合わせた検討が必要である。

発酵中の理化学的変化の分析は、当初、計画した通りに実施できなかった。そのため、分析例数も少なく、結論するまでの十分な検討資料にならなかった。

発酵試験は、同じ発酵材料でも 1 m^3 と 2 m^3 堆積で発酵に差があり、分析用のサンプル採取を同槽から何回も行うと切返しの状態になり、採取後の発酵がかなり異なる

ものと思われる。1~2回の発酵試験で結論はできないし、数多くのデータを集積して腐熟の判定方法を設定する必要があるが、徹底には発酵堆肥を施用して作物の栽培試験を実施する必要がある。

最近では、鋸屑堆肥は、畜産側も利用する耕種農家側でも問題になっている。生糞のみで発酵処理する方法が今後の課題であろう。

謝 辞

おわりに、本試験の理化学的変化は、東京都肥料検査所および東京都農業試験場の御協力を得た。

装置については、農業機械化研究所、研究第1部の指導を受けた。指導、援助に対して厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) 研究成績53-5:「堆肥製造の機械化に関する研究」, 農業機械化研究所
- 2) 環境保全部: 畜産公害資料No.2「家畜ふん尿コンポストに関する研究」(中核試験), 愛知県農業総合試験場
- 3) 汚泥コンポスト化: 調査報告書, 昭和53年3月, 東京都下水道局計画部技術開発課