

神奈川県園芸試験場研究報告 第36号

目 次

第1章 緒 言	1
1. 神奈川県の有機物利用実態と問題点	2
2. 本研究の位置付け	3
第2章 有機物の品質特性	4
1. 主成分による分類	5
2. 紫外部の吸光特性による分類	10
3. 考 察	12
第3章 堆肥化過程における変化	13
1. 化学成分組成の変化	13
2. 微細形態と微生物性の変化	18
3. 貯蔵方法と品質	27
4. 考 察	29
第4章 簡易腐熟度検定法	31
1. 外観色の測定法	32
2. 幼植物検定法	33
3. 円形ろ紙クロマトグラフィー	35
4. 微細形態観察	37
5. 考 察	37
第5章 土壌中における分解特性	39
1. 化学成分組成の変化	40
2. 微生物性の変化	46
3. 微細形態の変化	49
4. 考 察	57
第6章 腐熟度と施用法	59
1. 腐熟度と作物生育（ポット試験）	60
2. 腐熟度と作物生育（圃場試験）	68
3. 土壌の種類と腐熟度	71
4. 腐熟度と施用方法	74
5. 作物に及ぼす影響の解析	81
6. 考 察	83
第7章 総合考察	86
1. 品質特性	86
2. 分解特性	87
3. 施用方法	88
4. おが屑混合鶏ふん堆積物の作り方使い方	89
摘 要	90
謝 辞	92
引用文献	92
Summary	98

おが屑混合鶏ふん堆積物の腐熟度と施用方法について

藤原俊六郎

Shunrokuro FUJIWARA

Decomposition of Poultry Manure Compost Mixed
with Sawdust and Its Effect of Application

論 文 要 旨

有機物は農耕地の地力維持対策に欠かせない。しかし、おが屑等の本質を混合した有機物は、腐熟度が極めて重要であり、生産現場で問題となっている。そこで、おが屑混合鶏ふん堆積物について、腐熟度を中心に品質特性、分解特性、施用方法の3つの面から総合的に検討し、おが屑を含む有機物の特性と利用方法を明らかにすることを試みた。

品質特性では、多種類の有機物の特性を解析し、木質混合有機物の特性は木質に最も強く影響されることを明らかにした。さらに腐熟度検定法についても検討を加え、4つの方法を提案した。

分解特性では、堆肥化過程及び土壤中での分解過程を理化学性、微生物性、微細形態観察について総合的に検討し、野外堆積が木質の分解を促進すること、おが屑と堆肥化物では分解の様式が異なることを明らかにした。

さらに、走査電子顕微鏡による観察により、微生物や微細形態の変化を明らかにした。

施用方法については、腐熟度が作物生育に大きく影響し、完熟した有機物は作物に増収効果をもたらすが未熟有機物は作物の初期生育を著しく阻害すること、未熟な障害は土壌施用後1カ月程度でなくなることを明らかにした。また、実験計画法にもとずいた要因実験を実施することにより、土壌の種類、土壌管理や施用方法により腐熟度の影響がどのように異なるかを明らかにした。

このように、おが屑混合鶏ふん堆積物の品質特性、分解特性、施用方法について総合的に考察することにより、堆肥の製造方法や品質の適正な条件を設定でき、有機物の性質に適した施用方法を明らかにすることが出来た。またこれらの結果は、木質を含むすべての有機物に適用できる。

第1章 緒 言

農業は、かつてはリサイクルシステムそのものであり、身近にある素材を堆肥化して利用していた。しかし、昭和30年代以後の高度成長経済はこれらを大きく変革した。化学肥料の普及は有機物に対する関心を低下させる一方、農業の専作化と規模拡大は畜産と耕種農家の分業化を助長し、耕種農家が自ら堆肥を作ることが少な

くなった。この間に有機物の施用量は激減した。水田についてみると、昭和40年には10aあたり600kg施用されていたものが55年には200kgしか施用されていない(97)。畑でも同様のことがいえる。この結果、各種の連作障害や土壌悪化が進み、有機物の施用が見直されるようになった。昭和50年より、農耕地の地力維持対策として有機物施用の重要性がみなおされ、各地で有機物施用を中心とした「土づくり運動」が展開されている。この運動は地力維持対策として効果をあげつつあるが、露地畑では

有機物の施用量はまだ少なく、その利用方法にも問題があるのが現状である。

また、昭和40年後半から資源の有効利用がみなおされ、人間生活の廃棄物が農業利用されるようになった。このため利用される有機物は堆肥や家畜ふんきゅう肥のような農業系内から生じるものだけでなく、産業廃棄物や汚泥まで含めた幅の広いものになっている。これらの利用は、農耕地の地力維持のため積極的意味を持つ反面、資材による性質の違いが生産現場に混乱をもたらせている。このため有機質資材の性質の把握と利用方法の確立は極めて重要な問題となっているが、現在の「土づくり運動」は有機物の多量施用にのみ力点がおかれ、その質的な効果には全く目がむけられていない。また、有機物の持つ効果を誇張し、有機物が万能薬であるかのような誤った考えも一部にある。このように有機物の利用に関しては、さまざまな混乱があるため、有機物の性質を正確に把握し、その性質に応じた利用方法を確立することが耕種農家から強く望まれている。

1. 神奈川県有機物利用実態と問題点

有機物の利用実態の例として、神奈川県内において利用されている有機物の調査結果を第1-1表に示した。これは昭和54~59年の間に、土壌保全事業(54~57)として285戸の農家の聞き取り調査を実施したもので、その内訳は普通畑野菜栽培農家120戸、飼料作栽培農家10戸、果樹栽培農家80戸、水稲栽培農家75戸である。

これによれば、水田や果樹園では利用が極めて少なく半分以下の農家でしか使われておらず、施用有機物の多くが稲わら等の草類である。逆に、飼料畑はすべて牛ふ

第1-1表 有機物の利用実態

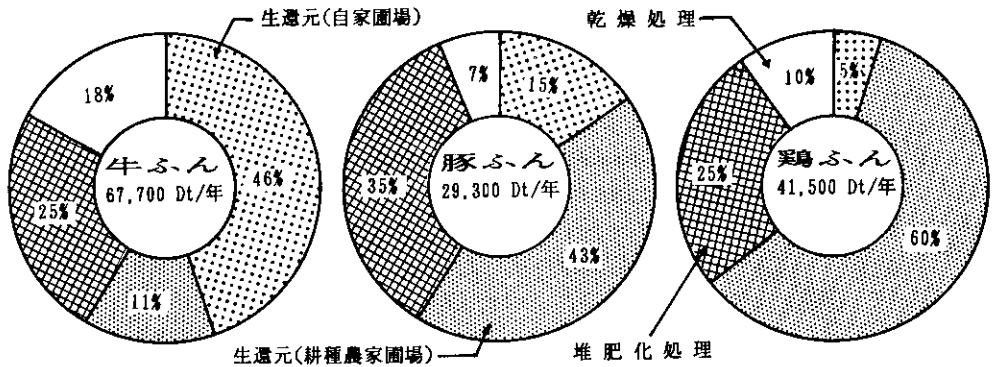
土地利用	有機物の種類			生わら・堆肥等		施用せず
	家畜ふん堆積物	牛ふん	豚ふん	鶏ふん	草類等	
水田比(%)	9.3	—	2.7	1.3	13.3	73.4
(n=75)施用量(t)	1.7	—	3.0	0.4	1.1	
普通畑比(%)	51.7	11.7	6.7	5.0	11.7	13.2
(n=120)施用量(t)	2.0	2.2	2.0	1.5	0.8	
飼料畑比(%)	100	—	—	—	—	—
(n=10)施用量(t)	11.4	—	—	—	—	
果樹園比(%)	10.0	7.5	3.8	—	22.5	56.2
(n=80)施用量(t)	2.9	1.0	4.3	—	1.7	

(注) 比は全圃場に対する有機物施用圃場の比率
施用量は有機物施用圃場の平均値、単位は t/10a

んが施用され平均11tにもおよんでいるが、これは自家飼育牛の排せつ物処理としての牛ふんの利用である。露地畑では87%が有機物を施用し、その大部分が牛ふんを中心とした家畜ふん堆積物である。施用量の平均は家畜ふん2t/10a、わら類1t/10aである。この結果では鶏ふんの施用量が多くなっているが、これは養鶏場の生鶏ふんの処理場として使われている圃場が含まれているためである。また、この調査では施設栽培は含まれていないが、施設栽培圃場はすべての圃場において、1年間に5t/10a以上が施用されており、むしろ有機物の過剰施用が心配されている。神奈川県内で1年間に産出される家畜ふんは、乾物換算すると牛ふん67,700t、豚ふん29,300t、鶏ふん41,500tと推定される(126)。これら家畜ふんの処理形態を、自家圃場に生還元、耕種農家の圃場に生還元、堆肥化処理、乾燥処理に分類した結果を第1-1図に引用(126)した。いずれの家畜ふんも約60%が生のまま圃場に還元されているが、牛ふんは大部分が自家圃場であり、鶏ふんは自家圃場は少ない。これは、飼育農家は飼料用圃場を持ち、そこに施用しているのに対し、養鶏農家は購入飼料に頼り自家圃場を持っていないためである。堆肥化は、牛ふんと鶏ふん25%、豚ふん35%であり、比較的低い割合である。このことは、畜産農家は手のかかる堆肥化に熱心でないことを示している。

神奈川県内の農耕地は28,500ha(56年)あり、すべての家畜ふんを農業利用すると、県内農耕地に対し10aあたり乾物として、500kg、窒素換算すると10kgを家畜ふんだけで供給する潜在量がある。しかし、第1-1表に示したように、県内で使用されているのは牛ふんが主体であり、第1-1図の生産量とは一致しない。ここに有機物処理、流通上の問題があり、家畜ふんを用いた良質の堆肥を製造する方法を普及する必要がある。

また、第1-1表に示したように本県内においては稲わら堆肥の利用は少なく、大部分が家畜ふんである。この家畜ふんのうち堆積物の大部分は、水分調節剤としておが屑等の木質を混合している。特に牛や豚は、敷わらとしておが屑を使用しているため、飼育舎において既にふんと混合していると考えてよい。おが屑等の木質は、粗大有機物として土壌の物理性改善に効果が期待できる反面、土壌施用後に作物の生育障害の原因となることもある。このため、これらおが屑混合家畜ふん堆積物を使用して良い効果をあげた例(95)も多いにもかかわらず、おが屑が混合したものは使いたくないという人々もある。



第1-1図 神奈川県における家畜ふん発生量と処理形態 (126)
(注) 59年度神奈川県畜産課補助事業より作成

このことは、十分腐熟させ正しく利用すれば効果の高い有機物であるが、木質の分解性が極めて悪いため腐熟方法や施用方法が難しく、失敗例が多いためである。おが屑混合家畜ふん堆積物の障害は次の3つが考えられる。

- (1) おが屑に含まれる成分により直接作物に及ぼす生理障害(110)。
- (2) 上壤中における微生物分解に伴う窒素飢餓(148)。
- (3) 木質を利用できる病害虫(コガネ虫、紋羽病(51)等)の増加。

これらはすべて未熟有機物に起因する障害であり、家畜ふんやおが屑の分解を把握し、それに対応した施用方法をとれば解決できる問題である。おが屑混合家畜ふん堆積物は、家畜ふんと木質の分解速度が大きく異なり均一に腐熟が進行しないため、他の資材に比べ腐熟度が極めて重要となる。しかし、おが屑等の木質を含む有機物の分解については、十分な解明がなされていないのが現状であり、この点についての研究が望まれている。

また、近年、有機物の施用法や施用効果について大きな関心が寄せられ、有機物の連用試験の外に、ボカシ堆肥(95)や局所施用(93)等の新しい試みが行われている。有機物の施用に関する試験研究は、全国の農業試験場をはじめ多くの機関で実施されている(101)。しかし、現在利用されている有機物は種類が多く、また地域の気候や土壌、栽培する作物により有機物の効果が異なることなどにより、明確な結論は出ていない。むしろ施設栽培やマルチ栽培のように栽培方法が多様化するにつれ、有機物施用方法についての問題は増加しているといえる。とくに、腐熟度とのかかわりで有機物の施用方法を検討した例はほとんどみられない。

以上示したように、本県内ではおが屑混合家畜ふん堆積物の利用が多く、この有機物は腐熟度に関する問題が最も多い。このため、有機物の適切な利用を行うためには、堆積中や上壤中での分解様式を明らかにし、腐熟度検定の指針を確立したうえで、資材の特性に応じた施用方法を確立することが必要である。このことについての研究要望が農業生産現場では極めて強い。

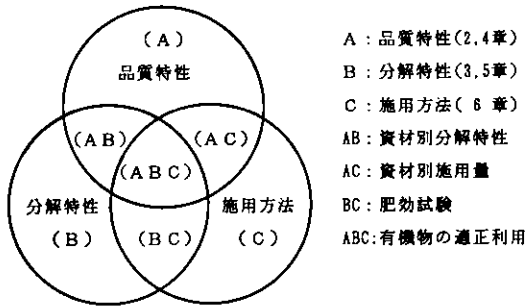
2. 本研究の位置付け

有機物の施用効果を十分に発揮させ、作物生産を安定させるためには、有機物の化学成分や上壤中での特性を正確に把握し、作物に適した施用法を行う必要がある。

これを有機物の適正利用のための要因と規定すると、第1-2図に示したような相互関連で表現できる。本研究は、高養分で易分解性の鶏ふんと、低養分で難分解性のおが屑という相反する性質を持った素材の混合物であり、堆肥化や利用方法が難しいとされているおが屑混合堆積物について、この3要因を総合的に検討したものである。以下、要因別に本論文の構成を説明する。

品質特性(A)は、「有機物の持つ固有の性質」と「腐熟度の違いによる性質」の2つがある。有機物の持つ固有の性質は、化学性については農林水産省の調査(98)があり、1298点の有機物の分析結果が集められ、クラスター分析により類似性が検討されている。また、腐熟度にかかわるものでは、腐熟度検定法としていくつかの報告(32, 47, 70)があるが、現場で簡易に検定できる方法は確立されていない。ここでは有機物の特性を把握し、その品質を簡易に検定する方法を開発するために、広範な有機物について第2章と第4章で品質特性を検討した。

分解特性(B)は、「堆肥化過程における分解」と「土壌中における分解」がある。腐熟過程は熊田(76)らによ



- A: 品質特性(2,4章)
 B: 分解特性(3,5章)
 C: 施用方法(6章)
 AB: 資材別分解特性
 AC: 資材別施用量
 BC: 肥効試験
 ABC: 有機物の適正利用

第1-2図 有機物適正利用のための要因と論文の構成

り、土壤中の分解過程は WAKSMAN ら (127, 134~139) によりかなり明確にされている。しかし、同一有機物について、腐熟過程と土壤中の分解過程を連続して検討した例はない。このため、木質という難分解性物質を含むおが屑混合堆積物について、第3章では堆肥化過程、第5章では土壤中における分解特性を検討した。

施用方法(C)は、「量」、「位置」、「時期」、「土壌」、「作物」など多くの問題を含むが、これらの個々の問題については各県農試等で連用試験を始め多くの試験が実施されている。しかし、体系的にこれらの要因を検討した例はみられない。腐熟度に最も問題のあるとされるおが屑混合家畜ふん堆積物について、主として腐熟度との関連を中心に施用方法を第6章で検討した。

品質特性と分解特性の相互にかかわるもの(AB)として、資材別分解特性の把握があげられるが、これには志賀ら(11)の詳細な研究がある。また、品質特性と施用方法の相互にかかわるもの(AC)として資材別の施用方法が考えられる。これは、各県それぞれの実態にあわせた資材別施用基準(102)が作成されつつある。さらに、分解特性と施用方法にかかわるもの(BC)として肥効特性がある。これは分解特性のなかでも作物生育とのかかわりを重視したものであり、各県農試において有機施用試験として広く実施されている。

このように、それぞれ個別の研究は広く行われ、多くの知見が得られているが、総合的(第1-2図のABCに相当)に有機物の研究を実施した例は少ない。そのため本研究では、有機物の総合的特性を検討し、難分解性の木質を堆積時の水分調節のために混合することが、有機物の性質を大きく規定することを明らかにしたうえで、木質を含む有機物のひとつとして、おが屑混合鶏ふん堆積物を取りあげた。そして、主としておが屑混合鶏ふん堆積物について、堆肥化物の最も重要な要因である

腐熟度を中心とした視点から、腐熟過程の変化、土壤中での分解様式、作物に及ぼす影響などについて総合的に検討し、積極的な利活用の方法を確立した。

これらの結果は、主としておが屑混合鶏ふん堆積物について得られたものであるが、おが屑等木質を含む有機物はほぼ同じ性質を持つため、おが屑等木質を含む有機物にも活用が可能である。したがって、本論文で得られた成果は、木質を含む幅広い有機物(たとえば家畜ふん、汚泥類、産業廃棄物など)について適用でき、それら有機物について農業利用上の指針を与えたものである。

なお、本論文は東京大学に学位申請論文として提出したものである。

第2章 有機物の品質特性

農業利用される有機質資材(有機物)は、かつては稲わらや草類、落葉等に家畜ふんを混合して堆積発酵する方法によって作られ、養分的なバランスも適切であった。また施用する量も少なく、使用する場所も水田や露地畑であり養分の過剰蓄積などの問題はなかった。しかし時代とともに有機物の種類は多様化し、農業系外の資材も多く利用されるようになった。

現在、利用されている有機物は種類が多く、養分的には格差が極めて大きい。また、土壤中における分解速度も、数週間で分解するものから数年を必要とするものまで多岐にわたる。さらに、施設栽培など栽培技術の多様化がこれに加わり、有機物使用に混乱が生じる原因となっている。このため生産現場では、有機物の品質評価について大きな関心がよせられている。

有機物の研究を進めるためには、その品質を正しく把握することが大切である。有機物の品質は、各種の有機物をもつ固有の性質と腐熟度の違いによるものの二つにおいて考えることができる。腐熟度にかかわる問題は第4章で示し、ここでは有機物の持つ固有の性質について検討した。

有機資材の品質特性は、堆きゅう肥(33)、家畜ふん尿(67, 85)、都市ゴミ(143)など個別についての報告はあるものの、広範な有機質物についての調査は少ない。このため農林水産省は、土壤保全調査事業の一環として有機物の全国調査を各県農試に依頼し1298点の分析結果を集めた(98)。ここでは、その調査の本県担当分として採取した県内産の有機物(30点)を用い、統計的手法による品質分類を行った。また、有機物の特性を簡易に把握する

ことを目的として、紫外部の吸光特性からの分類を併せて試みた。

1. 主成分による分類

有機物は、その種類により各種成分含量や土壌中での分解様式が異なり、作物に及ぼす影響も異なるため、特性を正確に把握する必要がある。しかし、多くの場合有機物は、単一素材ではなく、各種の素材が混合されている。また、堆積期間の長短による腐熟の差異が成分に影響を及ぼすことがある。このため、素材だけで有機物の分類をすることには問題がある。そこで、成分含量から有機物の分類を行うために、多変量解析による方法を検討した。

分類のためには、主成分分析、クラスター分析等があるが、ここでは最も基本的であり、多数の特性値のもつ情報を総合特性値に変換できる主成分分析による分類を試みた。また分類にあたっては、有機物のもつ特性を重視するために、灰分の影響を除いた乾燥有機物当たりの成分含量 (Ash free 値) を使用した。

1) 実験方法

(1) 供試有機物

鶏ふん堆積物、豚ふん堆積物、牛ふん堆積物、下水汚泥、し尿汚泥および食品産業汚泥など30点を、県内の養鶏場、養豚場、堆肥センター、農家、下水処理場、し尿処理場、食品工場から1979年に採取した。

有機物は採取後すぐにガラス室内に薄く拡げ風乾した後、ウィリー粉砕機で粉砕したものを、高速振動式粉砕機 (平工TI-100) で微粉化し、分析に供した。

(2) 成分分析方法

山田ら(145~146)の分析結果を引用した。分析方法は「堆きゅう肥等有機物分析法」(99)に準じているが、窒素無機化率については次の方法による。

窒素無機化率は、びん培養法(15)による。土壌は火山灰土壌(土性I、腐植に頗る富む)乾土20gに窒素10mg相当量の有機物を加え、最大容水量の60%の水分状態で30°Cに56日間保持した後、2N塩化カリウム溶液で抽出し、BREMNER(8)の方法により無機態窒素量を測定した。無機化率は、56日培養後の無機態窒素量から試料に含まれる無機態窒素量を差し引いた値を、有機物に含まれる窒素量で除して求めた(146)。

(3) 解析方法

第2-1表に示した18項目の分析結果のなかから、有機物としての特性を代表すると考えられる9項目を選定し、Ash Free 値に換算して主成分分析を行った。主成分分析は FACOM-M160 の多変量解析パッケージ

(MULVA/X) を利用し、相関係数行列から計算した。

2) 結果及び考察

(1) 有機物の性質

有機物の種類と分析結果(乾物含量)は第2-1表に示した。供試有機物は、鶏ふん堆積物4点、豚ふん堆積物3点、牛ふん堆積物5点、木質堆肥2点、下水処理汚泥4点、し尿処理汚泥5点、食品産業汚泥7点、計30点であり、稲わら堆肥は含まれていない。

鶏ふん堆積物のうち、1は連続堆肥化処理によるもの、2は火力乾燥によるものであり、ともにおが屑などの水分調節材は含んでいない。このため、窒素、リン酸、カリウム、カルシウムの含量が多く、窒素無機化率も30%以上あり、肥料的効果の大きい資材である。3と4は、鶏ふんとおが屑を重量で約1:1に混合し、堆積発酵したものである。おが屑の混合により、セルロース、リグニンが増え炭素成分が増加するが窒素が減少するため、C/N比が高くなり窒素無機化率が負になる。また、鶏ふん堆積物は全体的にCECが低い傾向にある。

豚ふん堆積物のうち、5は連続堆肥化処理によるものであるが、6と7はスクレュープレスにより尿や水分を除いた脱水物であるため生ふんに比べpHが低く、灰分、リン酸、塩基成分が少なく、セルロースやヘミセルロースのような繊維成分が多くなっている。豚ふんは鶏ふんにくらべカルシウムが少なくCECが高いが、その他の性質は類似しており肥料的効果が高い。しかし脱水処理により炭素成分が増加し肥料的性格は弱くなる、これはおが屑を混合した場合と性格が類似している。

牛ふん堆積物のうち、8は敷わら程度(約20%)のおが屑を含み、9~12はおが屑を水分調節材として利用している。また10と11には豚ふんも混合されている。牛ふん堆積物は他の家畜ふん堆積物に比べ肥料成分が少なく、稲わら堆肥に性質が似ており、有機物としての性質は良い。しかし、おが屑の混合により炭素成分がさらに増加し、C/N比や還元糖割合が増加するのは他の家畜ふん堆積物と同じである。

木質堆積物のうち、13はキノコ(エノキタケ)廃培地を堆積したものであり、14は窒素源として少量の鶏ふんを混合したパーク堆肥である。ともにセルロース、リグニンが多いため、C/N比が高く窒素無機化率は負である。また、CECはやや低い。

下水処理汚泥は、県内の下水処理場から採取したものであり、15と17は高分子凝集剤を、16と18は石灰を混合した後、脱水処理をしている。石灰処理をしたものはカルシウムが10%をこえ、pHも非常に高くなっている。

第2-1表 有機物分析結果

(成分含量は乾物%、分析は山田 (145, 146) による)

No.	種類	pH	EC mS/cm	灰分	P ₂ O ₅	CaO	K ₂ O	MgO	全炭素	全窒素	C/N比	ヘミセル ロース	セルロ ース	リグニン	還元糖 割合	CEC (meq)	アンモニ ア態窒素	硝酸態 窒素	窒素無 機化率
1	鶏ふん堆積物	7.88	6.72	41.0	8.28	14.89	3.86	1.17	30.1	3.11	9.7	13.1	8.5	5.5	28.9	42.7	0.137	0.008	34.2
2	鶏ふん乾燥物	6.81	6.09	33.8	9.58	14.29	3.07	1.05	35.2	4.31	8.2	13.6	8.6	5.3	25.3	39.7	0.167	0.003	48.4
3	おが屑鶏ふん	8.13	2.69	22.4	2.13	8.77	1.26	0.58	41.5	1.28	32.4	9.7	28.2	22.9	36.5	33.6	0.052	0.014	-18.2
4	"	6.99	7.77	30.5	5.09	12.63	2.61	0.97	39.6	1.76	22.5	8.0	22.9	16.2	31.2	37.5	0.311	0.003	-24.4
5	豚ふん堆積物	7.64	4.91	23.8	9.48	5.48	3.01	1.56	41.3	3.73	11.1	12.9	9.0	7.1	21.3	75.1	0.185	0.004	15.5
6	豚ふん脱水物	6.40	0.64	4.9	0.87	1.10	0.11	0.25	48.4	1.71	28.4	32.2	22.0	12.8	44.8	34.9	0.026	0.002	-11.7
7	"	6.67	0.92	10.1	1.88	2.41	0.14	0.28	44.3	2.39	18.6	29.0	12.2	11.6	37.2	37.3	0.093	0.002	9.2
8	牛ふん堆積物	7.66	1.63	40.2	2.79	4.66	0.76	1.32	31.4	2.53	12.4	6.9	10.0	17.0	21.6	71.6	0.038	0.046	6.0
9	おが屑牛ふん	7.92	2.97	18.0	3.43	3.42	1.35	1.05	41.9	2.04	20.5	10.2	26.5	13.0	35.0	46.9	0.086	0.039	-2.4
10	"	8.14	3.11	15.7	1.85	2.15	1.61	0.82	44.0	1.83	24.1	10.9	23.6	22.5	31.3	56.8	0.005	0.047	-1.6
11	"	6.26	3.36	18.4	3.38	3.40	0.98	0.88	42.6	2.24	19.0	10.3	22.6	24.3	31.0	50.1	0.014	0.242	-5.8
12	"	7.32	2.43	14.9	2.22	1.19	1.43	0.95	44.8	1.55	29.0	12.7	25.4	27.2	34.0	47.5	0.040	0.040	0.4
13	木質 廃培地	6.00	2.36	5.0	2.58	0.07	0.98	0.75	48.7	1.39	35.0	16.6	28.7	25.8	37.2	30.8	0.112	0.004	-13.5
14	木質 パーク	8.27	2.22	23.6	2.97	6.99	1.18	0.80	42.2	1.40	30.1	9.8	24.1	23.3	32.2	43.6	0.055	0.005	-26.0
15	下水処理汚泥	6.21	0.95	38.6	1.48	1.43	0.27	0.82	38.4	2.92	11.9	5.2	12.5	5.3	20.3	66.2	0.229	0.003	15.0
16	"	9.68	3.54	45.2	3.01	15.99	0.16	0.59	30.8	4.70	6.6	4.6	3.2	3.7	10.2	65.3	0.005	0.003	48.6
17	"	6.82	0.20	56.2	3.92	2.90	0.31	1.34	28.6	1.62	17.6	1.4	6.5	6.3	11.1	59.5	0.059	0.002	-16.3
18	"	7.66	1.23	67.8	1.71	12.96	0.32	0.88	17.2	1.72	10.0	2.2	1.6	5.8	8.9	38.6	0.059	0.002	31.2
19	し尿処理汚泥	6.95	1.01	29.7	8.29	2.18	0.51	0.63	38.4	6.51	5.9	5.0	1.1	7.4	6.4	62.6	0.084	0.003	53.4
20	"	7.60	1.36	53.2	19.72	4.31	0.33	7.50	24.4	5.36	4.6	5.0	6.7	13.6	19.2	36.2	0.120	0.002	46.2
21	"	6.20	0.33	3.3	0.39	0.55	0.02	0.11	46.6	1.34	34.8	13.4	50.0	7.8	54.9	45.3	0.017	0.002	-13.7
22	"	7.91	1.41	69.9	27.24	15.37	0.30	6.74	18.2	1.47	12.4	0.9	6.3	2.8	15.7	25.7	0.115	0.002	-6.8
23	"	7.37	1.82	36.5	10.83	3.95	0.25	3.67	37.5	6.40	5.9	4.1	4.6	12.5	9.3	51.0	0.159	0.008	28.8
24	食品産業汚泥	6.09	11.10	19.0	2.25	4.00	0.39	0.16	47.9	4.72	10.2	1.6	1.3	49.0	2.5	157.2	1.114	0.002	11.0
25	"	6.30	1.02	14.3	3.96	1.67	0.45	0.66	42.7	7.27	5.9	12.8	1.2	4.7	13.2	99.6	0.154	0.005	38.2
26	"	12.24	5.68	58.0	0.87	26.69	0.05	1.40	25.9	3.05	8.5	7.2	0.8	1.2	12.3	39.2	0.006	0.003	44.4
27	"	6.54	0.85	19.1	3.77	1.84	0.33	0.44	40.9	7.06	5.8	10.9	1.8	5.3	12.4	87.0	0.071	0.022	48.6
28	"	6.99	5.37	34.1	19.34	7.11	1.42	1.43	30.8	6.04	5.1	8.1	1.2	4.6	12.0	76.9	0.070	0.006	50.8
29	木質混合汚泥	6.73	1.54	10.0	1.62	1.84	0.35	0.26	50.5	2.63	19.2	13.8	21.5	22.3	28.0	58.1	0.118	0.002	12.0
30	"	8.09	2.28	24.7	2.91	4.48	0.93	0.66	37.7	1.49	25.2	7.0	22.1	20.5	30.9	28.0	0.091	0.004	-5.0

処理場により成分含量が大きく異なるが、全体的に灰分が多く他の成分は少ない。

し尿処理汚泥のうち、19は余剰汚泥、20と22は消化汚泥、21は浄化槽汚泥、23は消化汚泥と余剰汚泥の混合物である。凝集剤については21が無添加、22が石灰、他は高分子凝集剤を使用している。他の汚泥と同様に、石灰処理によりカルシウムが増加する。また浄化槽汚泥は炭素系成分が多く、他の成分はすべて少ない。特に灰分が極めて少ない特徴があり、他の汚泥とは性格が異なっている。この浄化槽汚泥を除くと、全体に全窒素、リン酸、マグネシウムが多く肥料成分が多い特徴がある。

食品産業廃棄物は、食品関連工場より出される汚泥であり、すべて余剰汚泥である。凝集剤として26は消石灰を、25、27、28は高分子凝集剤を使用している。また24はフミン酸を混合し、29と30は水分調節材としておが屑を混合している。消石灰の使用によりpHとカルシウムが極めて高くなり、フミン酸の混合によりグニンが多く、おが屑の混合により炭素系成分とC/N比、還元糖割合が高くなる傾向にある。おが屑の混合しないもの(24~28)は、他の有機物に比べ全窒素が最も多く、そのためC/N比が小さく窒素無機化率が高い。

以上示したように、肥料成分やC/N比、窒素無機化率などに種類による傾向がみられるが、堆積時の混合比率や堆積期間を考慮せず試料を採取したため、同じ種類の有機物間でも非常にふれが大きい。とくに、灰分は堆積場所の状態により大きく異なってくる。このため灰分の影響を除いたAsh free値で比較することが適切とえられる。

(2) 成分相互の関係

第2-1表の項目から有機物の特性を代表すると考え

第2-2表 分析項目の基本統計量 (Ash free 値)

項目	平均値	標準偏差	最大値	最小値
全炭素 (%)	54.08	4.26	65.28	46.71
全窒素 (%)	4.91	3.13	12.82	1.39
C / N 比	16.35	9.80	35.00	4.60
ヘミセルロース (%)	13.28	7.19	33.82	2.03
セルロース (%)	18.26	13.04	52.27	1.45
リグニン (%)	18.61	12.40	60.46	2.88
還元糖割合 (%)	23.82	12.66	54.88	2.47
C E C (meq)	81.92	36.65	194.12	32.40
無機化率 (%)	13.23	25.68	53.39	-25.99

られる9項目を選定し、Ash free 値に換算した。この項目の基本統計量を第2-2表に示した。Ash free 値にすると、大部分の成分は最大値と最小値に10から20倍の開きがみられ変異係数は50%をこえるが、全炭素は例外的に1.5倍以下であり、極めて類似した値を示している。このことは、Ash free 値にすると全炭素はほぼ一定の値になることを示している。ここでは全炭素含量が約54%であったが、広瀬(39)、WAKSMAN(42)、ALEXANDER(11)により50%程度であることが報告されている。この違いとしては、セルロースとリグニンの理論的炭素含量がそれぞれ約44%と約65%であるため、有機物の構成成分や腐熟度によっても異なってくること、汚泥類は炭酸塩の形で無機態炭素を含む可能性があること等が考えられる。

Ash free 値について各項目間の相関係数行列を第2-3表に示した。全炭素、C/N比、セルロース、還元糖割合、C E C、窒素無機化率の6項目間に高い相関がみられ、なかでもC/N比は他の成分と最も高い相関を示

第2-3表 相 関 係 数 行 列 表

(Ash free 値の相関係数)

項目	全炭素	全窒素	C/N比	ヘミセルロース	セルロース	リグニン	還元糖割合	C E C	無機化率
全炭素	—	0.226	-0.249	-0.509**	-0.218	0.172	-0.499**	0.404*	-0.040
全窒素	0.225	—	-0.882**	-0.261	-0.770**	-0.218	-0.794**	0.530**	0.866**
C / N 比	-0.249	-0.882**	—	0.252	0.877**	0.272	0.834**	-0.668**	-0.854**
ヘミセルロース	-0.509**	-0.261	0.252	—	0.126	-0.354	0.588**	-0.562**	-0.619
セルロース	-0.218	-0.770**	0.877**	—	0.221	0.221	0.869**	-0.679**	-0.799**
リグニン	0.172	-0.218	0.272	-0.354	0.221	—	-0.001	0.140	-0.371
還元糖割合	-0.499**	-0.749**	0.834**	0.588**	0.869**	-0.001	—	-0.827**	-0.637**
C E C	0.404*	0.530**	-0.668**	-0.562*	-0.697**	0.140	-0.827**	—	0.430*
無機化率	-0.040	0.866**	-0.854**	-0.019	-0.799**	-0.371	-0.637**	0.430*	—

n = 30 ** : 危険率 1% 有意 * : 危険率 5% 有意

している。このことから C/N 比を測定すれば、他の成分含量の推定が可能であるといえる。また、全炭素とヘミセルロースは他の項目間との相関が小さく、リグニンは相関を示さない。全炭素が他の項目と相関が小さいのは、全炭素含量がほぼ一定となるためであり、これが C/N 比と全窒素の相関を高める原因となっている。

Ash free 値の全炭素含量がほぼ一定であるため、全窒素含量から C/N 比が推定できる可能性がある。第 2-1 図に全窒素含量 (Ash free 値) と C/N 比の関係を示した。これによると直線回帰よりも対数回帰モデルの適用性がよく、次式が得られ、相関係数は 0.993 (n=30) と極めて高かった。

$$\ln Y = 3.938 - 0.965 \times \ln X \quad (X: \text{窒素}, Y: \text{C/N 比})$$

この式を利用すれば、灰分と全窒素の測定で C/N 比が推定できるため、現場で迅速な判断が可能となる。

C/N 比と窒素無機化率の関係は広瀬ら(39)により明らかにされ、C/N 比 20 以下では無機態窒素が生成されるとしている。本報告に用いた試料を解析した結果(46)も同様に C/N 比 20 程度が無機化の限界値となっている。この結果と第 2-1 図との関係から、C/N 比 20 のとき灰分の影響を除去した Ash free の全窒素含量は 2.6%、C/N 比 10 のとき全窒素は 5.3% に相当する。このことから、灰分を除去した有機物中に全窒素が 2.5~5.0% あれば良好な窒素の無機化を示すといえ、これより多ければ窒素が多量に発現するための窒素過多、少なれば窒素飢餓が起こる可能性が高いといえる。

(3) 主成分分析による分類

主成分分析に使用した 9 項目の基本統計量及び項目間の相関係数行列は、第 2-2 ~ 2-3 表に示してある。この 9 項目について相関係数行列から計算し、各主成分の

寄与率を第 2-4 表に示した。各主成分の寄与率は第 1 主成分 (Z1) で 56.35%、第 2 主成分 (Z2) で 22.54% であり、第 2 主成分までで 78.89% の説明ができる。第 3 主成分以下の寄与率は 8% 以下であり、ほとんど意味をもたない。

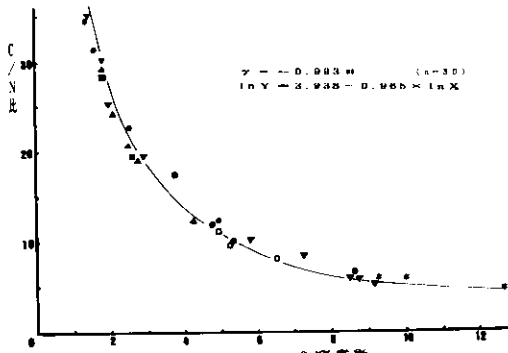
第 1 主成分と第 2 主成分にたいする各項目の因子負荷量を第 2-2 図に示した。これによると、第 1 主成分 (Z1) は C/N 比、還元糖割合およびセルロースが多く、全窒素、窒素無機化率および CEC が小さいことを示し、第 2 主成分 (Z2) はヘミセルロースが多く、リグニンが少ないことを示している。すなわち、第 1 主成分は炭素型か窒素型か、第 2 主成分は易分解性か難分解性か、を示している。全炭素は第 1 主成分、第 2 主成分ともに意味を持っていないが、これは Ash free 値では全炭素はほぼ一定の値を示すためである。

供試有機物の第 1 主成分、第 2 主成分に対する散布状態を第 2-3 図に示した。図中では有機物の特性を明らかにするため、種類別に印を変えてある。この図から有機物を、5 つのグループに分けることができた。分類にあたっては、寄与率の高い第 1 主成分を優先してグループ分けした。なお、21 (浄化槽汚泥) と 24 (フミン酸混合汚泥) はやや傾向が異なるので、グループ分けから除外した。各グループに属する有機物群は次に示した。

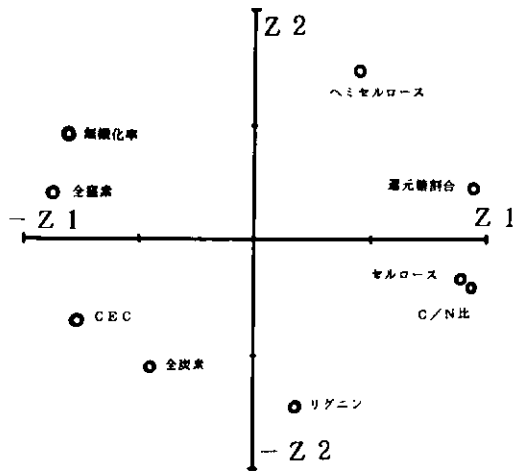
- I グループ: 家畜ふん堆植物群 (鶏ふんおよび豚ふん堆植物)
- II グループ: 家畜ふん脱水物群 (脱水豚ふん堆植物)
- III グループ: 木質混合堆植物群 (木質堆肥, 木質混合堆植物)
- IV グループ: 汚泥堆植物群 (下水汚泥, し尿汚泥, 牛ふん堆植物)
- V グループ: 汚泥堆植物群 (し尿汚泥, 食品産業汚泥)

第 2-5 表にグループ別の平均成分量を示した。I グループは、全窒素が多く、C/N 比と還元糖割合が低く、窒素無機化率が高いため肥料効果が大い。このグループには、おが屑等を混合しない鶏ふん堆植物や豚ふん堆植物が該当する。これらの生ふんを脱水し堆積すると水溶性易分解物質が減少するため、全窒素が減少し C/N 比が高く、ヘミセルロースやリグニンに富む II グループになる。窒素無機化率はほぼ 0 であり肥料効果は小さい。

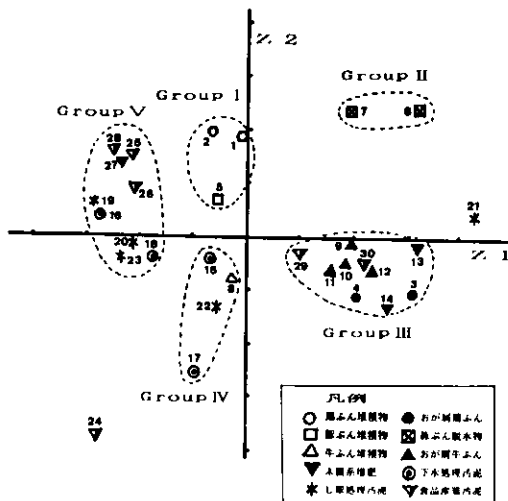
III グループは C/N 比や還元糖割合が高く、セルロースやリグニンに富む。木質を含むすべての有機物がこのグループに入る。窒素無機化率は負であり、肥料効果は



第 2-1 図 全窒素含量 (Ash free 値) と C/N 比の関係



第2-2図 第1第2主成分に対する各項目の因子負荷量



第2-3図 第1第2主成分による有機物の分類

期待できないだけでなく、施用方法によっては窒素飢餓を起こす可能性がある。

汚泥類は二つのグループに別れる。IVグループはC/N比が高く、セルロースが多くて窒素無機化率はほぼ0であり、肥料効果は小さい。Vグループはセルロースが最も少なく、窒素無機化率が高いため肥料効果が期待できる。また、CECが高いのは、両グループに共通する特徴である。

このように統計的手法を使うことにより、従来知られている有機物の特性とほぼ矛盾することなく、有機物の分類が可能となった。有機物の分類に統計的手法を使う試みは、木下ら(67)が家畜ふん尿堆積物について実施した例がある。これは157点の家畜ふん尿とその乾燥物や堆積物を供試して、C/N比や無機成分組成について主成分分析したものであるが、有機成分組成にはふれていない。また、農林水産省農蚕芸農産課の調査(98)によるクラスター分析がある。これは1298点にも及ぶ試料を解析しており、堆肥や家畜ふん堆積物とおが屑混合家畜ふん堆積物では異なるグループになるとしている。この調査は全国各県で実施されたデータを取りまとめたものであるが、県間により分析誤差がみられ、集計上やや問題を残している。また、これらの解析は共に、各成分の乾物含量を利用しているところに問題があると考えられる。有機物は堆積場所や切り返しの方法により土砂の混合がみられ、灰分の含量が大きく異なることがあり、乾物含量が変動する原因となる。ここでは、この影響を防ぐために、Ash free 値に換算した結果、有機物の特徴が明確に把握できた。

この解析の結果では、第1主成分が炭素型か窒素型か、第2主成分が易分解性か難分解性か、という区分になる。このことは従来いわれていた有機物の分類基準と一致するため、適切な分類基準と考えられる。この基準

第2-4表 各主成分の寄与率

主成分	寄与率	累積寄与率
1	56.35%	56.35%
2	22.54%	78.89%
3	7.97%	86.86%
4	5.12%	91.98%
5	4.64%	96.62%
6	1.64%	98.26%
7	0.88%	99.14%
8	0.84%	99.98%
9	0.02%	100.00%

第2-5表 有機物のグループ別平均値

項目 (調査点数)	グループ別平均値 (Ash free 値)					全体 (30)
	Group I (3)	Group II (2)	Group III (10)	Group IV (4)	Group V (9)	
全炭素 (%)	52.77	50.06	53.19	58.75	54.46	54.08
全窒素 (%)	5.56	2.23	2.20	4.39	8.86	4.91
C/N 比	9.67	23.50	25.33	13.58	6.48	16.35
ヘミセルロース (%)	19.91	33.03	12.99	6.57	10.96	13.28
セルロース (%)	13.07	18.38	30.27	18.14	4.79	18.26
リグニン (%)	25.17	41.01	32.58	17.15	11.55	18.61
還元糖割合 (%)	8.90	13.15	26.12	15.11	12.15	23.82
CEC (meq)	76.93	39.11	52.79	112.11	103.16	81.92
窒素無機化率 (%)	32.70	-1.23	-9.43	-0.05	43.36	13.23

で分類した結果、有機質素材の違いにより5つのグループに分けることができたが、木質を含むものはすべて同じグループに分類された。このことは、水分調節剤として利用されているおが屑やパルクのような木質が、有機物の特性に極めて強く影響していることを示している。

2. 紫外部の吸光特性による分類

有機化合物は紫外部にさまざまな形の吸収スペクトルを持つことが知られており、生体試料の定性(49)等に多く利用されている。腐植研究の分野においても利用されており、熊田ら(75)は陸稲のアルカリリグニンの吸収スペクトルを調べ280nmに吸収を、また林ら(37)はアルカリ抽出したリグニンに290nmの吸収を認めている。また、加藤(58)は示差吸収スペクトルにより、水田の水溶性有機物を検討している。このように腐植の分野においても、紫外部の吸光特性からさまざまな情報が得られる可能性がある。そこで、堆肥化過程にみられるさまざまな化学変化や微生物活動に影響されやすいと考えられる熱水抽出液について、紫外部吸収スペクトルの特性を調査し、そのパターンから分類を試みた。

1) 実験方法

粉碎堆肥0.5gに熱水約80mlを加え、60°C恒温器に3時間保持した後冷却し100ml定容する。その後、ろ紙(No.6)でろ過し、ろ液10mlを水で100mlに希釈(500ppm相当)した。この希釈液について200nmから400nmの吸光特性を、水を対照としてダブルビーム分光光度計

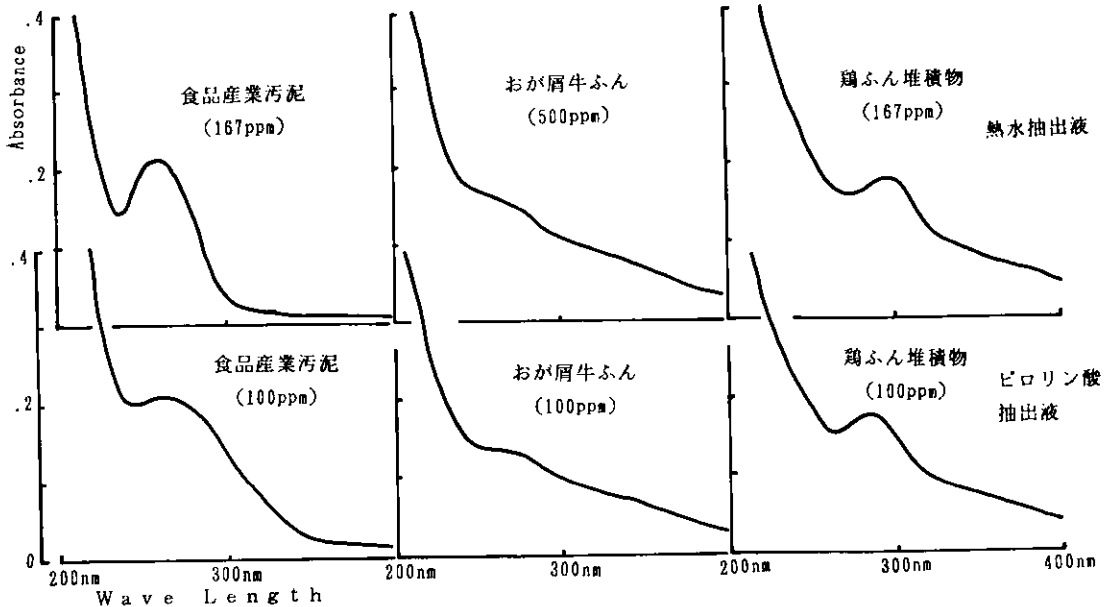
(日立220A)により測定した。

2) 結果及び考察

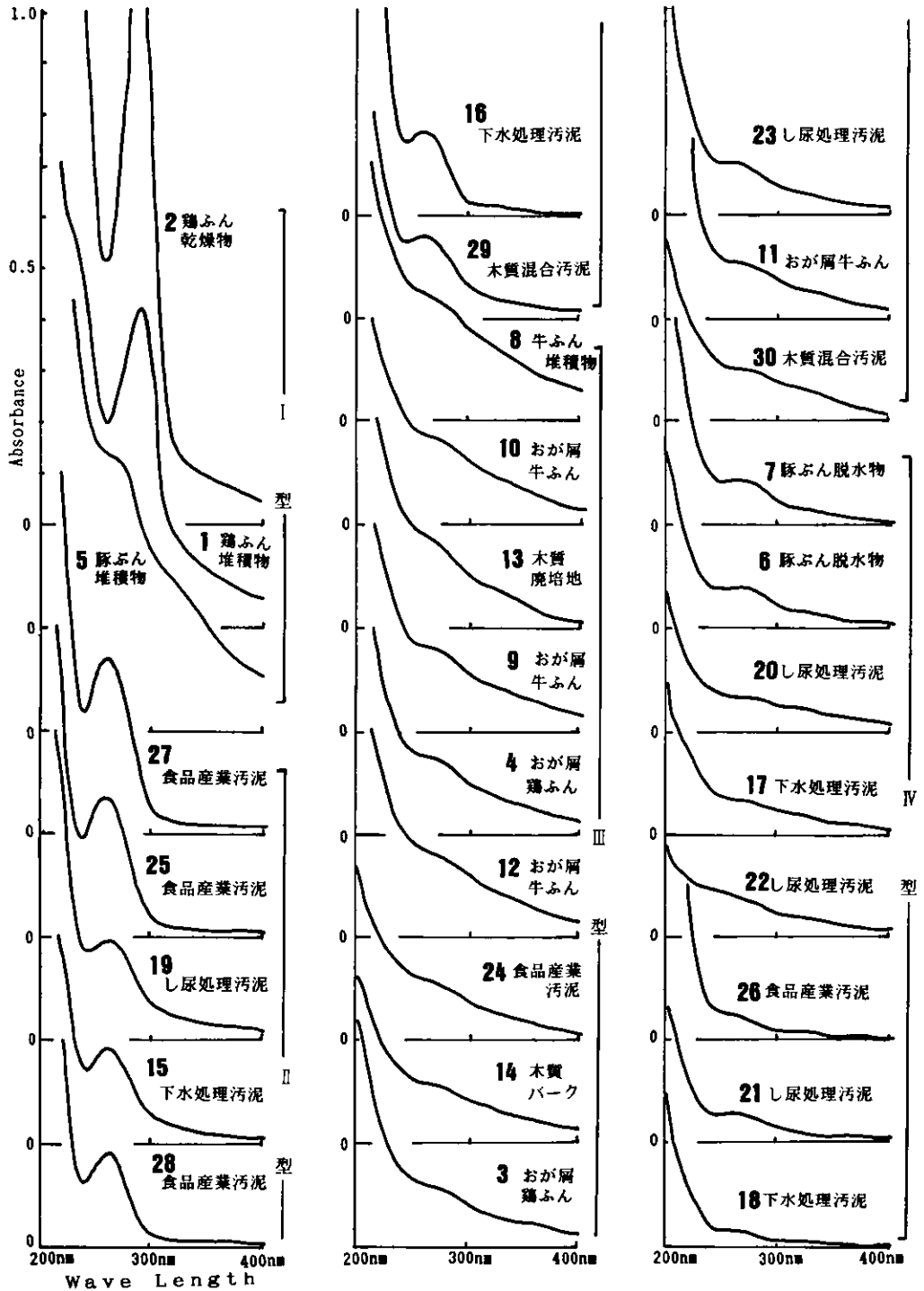
実験に先立ち、弘法・大羽法(74)による腐植物質の抽出法(0.1Mピロリン酸抽出)と熱水抽出を比較した。3種類の有機物について両方法の吸光特性を比較した結果を、第2-4図に示した。ピロリン酸抽出液は有機物の種類による抽出量の差が少なく、100ppm(試料0.1g/l)で3種類とも類似した吸光度を示した。しかし、熱水抽出液では種類による差が大きく、ピロリン酸抽出液と吸光度を同一にすると、食品産業汚泥、おが屑牛ふん、鶏ふん堆積物でそれぞれ3.75倍、5倍、1.67倍の濃度となった。これは熱水抽出法は試料により抽出量に差があることを示している。吸光パターンは両方法とも類似しているが、食品産業汚泥では熱水抽出法が特徴がわかりやすい傾向にあった。以上の結果から、熱水抽出法はピロリン酸抽出法よりも有機物の特徴がでやすいことが期待できる。

有機物を60°Cで3時間熱水抽出した液の紫外部(200nm~400nm)吸光特性を測定し、主として230nmから400nmのパターンの類似度別に配列したものを第2-5図に示した。

吸光パターンからは4つの分類ができる。I型の鶏ふん豚ふん堆積物は全体に強い吸光を示し、とくに乾燥鶏ふん(2)では290nmに強い吸収がみられるが、堆肥化物ではそれが弱くなっている。



第2-4図 抽出法の違いによる紫外部吸光特性に及ぼす影響
(上段は熱水抽出液、下段はピロリン酸抽出液を示す)



第2-5図 各種有機物熱水抽出液の紫外部吸光特性
(有機物0.5g/水1ℓ相当で測定)

II型は、260nmに吸光の山を持つものであり、高分子凝集剤を使用した汚泥がすべてこの型に入るため、この吸光は高分子凝集剤の使用に原因したものと考えられる。

III型は、短波長から長波長にかけて比較的緩やかに吸光度が減少している。木質混合物がこの型になるが、木質の特性が大きく影響したものと見える。この型に汚泥が(23, 24)含まれるが、23は消化汚泥と活性汚泥の混合物、24は汚泥にフミン酸を混合したものである。

IV型は250nmから長波長にかけて極めて緩やかな吸光を示すもので、高分子凝集剤を使わない汚泥がこの型に入る。また、この型に豚ふん脱水物が入ることから、汚泥はすべて脱水処理が行われているため、脱水処理され水溶性成分が除去されたものがこの型になると考えられる。

紫外部吸光特性による分類はさまざまな要因による変化をうけやすく、分類に適用することには問題があるかもしれない。しかし熱水抽出液は、微生物活動と直接関係する成分が含まれているため、有機物の特性を考える上でひとつの指標となりうるということが考えられる。ここでも、家畜ふんや汚泥などそれぞれが特徴あるパターンを示し、大まかな有機物の分類の参考にすることができた。このことは、全く種類の不明な有機物の性質解明に、この方法が役立つことを示している。この分類によっても、木質を含む有機物がひとつのグループになったことは、木質混合有機物の特性は木質に大きく影響されることを示している。

3. 考 察

有機物の品質特性は、有機物の主原料の特性に影響されることは当然であるが、混合物の特性や堆積期間等によっても変化してくる。このため有機物の品質特性を検討した。有機物の品質分類は、熊田(76)は炭素からみた腐朽方式について、志賀(111)は窒素の放出特性について検討しグループ化しているが、これらの分類はすべてC/N比を中心としたものである。C/N比と有機物の分解とが関連深く、すべての有機物は分解すれば10に近い数字を示す(76)ことはよく知られており、有機物分解の重要な指標として用いられている。

また、有機物中の全炭素含量(Ash free値)はほぼ一定の値であり、約50%であることが広瀬(39)、WAKSMAN(142)、ALEXANDER(1)により報告されている。ここでは有機物中の全炭素含量が約54% (第2-2表)でありやや異なっている。この違いとしてはセルロースとリグニンの理論的炭素含量がそれぞれ約44%と約65%である

ため、有機物の構成成分や腐熟度によって変化すること、汚泥類は炭酸塩の形で無機態炭素を含む可能性があることなどが考えられる。このように有機物中の全炭素含量はほぼ一定である(第2-1図)ため、全窒素と粗灰分を測定すれば、全炭素を分析することなくC/N比を推定することができる。このことは、全炭素の分析装置を持たない機関(たとえば県農業改良普及所)でも、C/N比を推定することが可能となることを示しており、利用価値は大きい。

このようにC/N比は、有機物の腐熟度や土壌中での肥料効果を判断するには重要な指標であるが、有機物の多様化に伴い、炭素や窒素化合物の種類が重要な要因となってくると考えられる。そのため、ここでは主として炭素化合物を中心にして主成分分析を行った結果、第1成分は炭素型か窒素型か、第2成分は速効性か緩効性かにより有機物が分類できることが明らかとなった。すなわちC/N比の高低が主要な要因であり、次の要因として微生物により分解されやすいヘミセルロースと、分解されにくいリグニン含量により有機物の性格が決定されることを示している。これは従来、経験的にいわれていたことと一致するため、この分類は適切と考えられる。

この分類結果、家畜ふん群、木質混合有機物群、高C/N汚泥群、低C/N汚泥群に分類できた(第2-3図)。この分類では、汚泥群は2つのグループ間で汚泥の種類に明確な差はみられず、また家畜ふんも牛ふんは高C/N汚泥群に入っているが、おが屑等木質を混合したものはすべて同じグループに入った。これは水分調整材として混合されるおが屑等木質は、通常、等量程度の家畜ふんや汚泥等と混合されるため、木質成分が有機物の特性に大きく影響していることを示している。

熱水抽出液の持つ紫外部吸光特性から分類を試みた結果、家畜ふん群、木質混合有機物群、高分子凝集剤使用汚泥群、脱水処理有機物群に分けることができた(第2-5図)。紫外部は、核酸や蛋白質など有機化合物では特異な吸光をしめすことが知られており、有機物中の易分解成分に関する情報は、この方法によってある程度把握可能と考えられる。CHANYASAKら(10)は水抽出有機物中のC/N比が有機物の腐熟度と関連が深く、完全した有機物は5~6であるとしている。また、水抽出液に作物種子発芽抑制物質が含まれていることも知られている(148)。このように水あるいは熱水抽出液中には、微生物や作物生育に対し有効または有害な物質が含まれているため、熱水抽出液の特性を把握することは極めて意味がある。ここに示した手法も有機物の特性を知るために

は有効な方法であるが、今後さらに多くのデータを積み重ねる必要があろう。

以上示したように、成分特性からみた分類においても、熱水抽出液の紫外部吸光特性からみた分類でも、おが屑を含む有機物はすべてひとつのグループに集約でき、おが屑が有機物の特性を決定していることがわかった。このことは、ひとつの種類のおが屑混合堆積物の堆肥化過程や土壌中での分解特性を把握しておけば、すべてのおが屑混合有機物に適応できる可能性のあることを示している。

4. 要 約

(1) 有機物の特性を把握するため、県内産有機物の成分分析結果をもとに有機物の分類を試みた。供試した有機物は、家畜ふん堆積物12点、木質堆積物2点、汚泥類堆積物16点、合計30点であった。

(2) 成分含量を有機物あたりの含量 (Ash free値) に換算した結果、全炭素含量は54%ではほぼ一定の値を示した。このため、灰分と全窒素の値から次式によってC/N比を推定できることが明らかとなった。

$$\ln(C/N比) = 3.938 - 0.965 \times \ln(TN\%)$$

(3) 9項目について主成分分析を行った結果、家畜ふん堆積物群、家畜ふん脱水物群、木質混合堆積物群、高C/N汚泥群、低C/N汚泥群の5つに分類することができた。

(4) 熱水抽出液の紫外部吸光特性から分類を試みた結果、家畜ふん堆積物、木質混合堆積物群、高分子凝集剤使用汚泥群、脱水処理有機物群の4つに分類することができた。

(5) 以上の結果、木質混合堆積物は常にひとつのグループを形成し、木質混合有機物の特性は木質に最も強く影響されることが明らかとなった。このことは、木質混合有機物は、すべて共通の性質をもつことを示している。

第3章 堆肥化過程における変化

有機質資材は、生のまま土壌施用したのでは農作物に害を及ぼすことが多い。そこで有機質資材を堆積し、微生物の活動を利用して分解させ、農業利用に適したものにすることが堆肥化である。堆肥化の目的を整理すると次の3点である。

- ① 施用後の分解に伴う障害(ガス害や窒素飢餓等)を未然に防ぐために、C/N比を適正にする。
- ② 作物に有害な物質(フェノール性酸・有機酸・雑草種子・有害細菌等)を、あらかじめ除去する。

③ 汚物感をなくし、農業者が取り扱い易く、また周囲の環境に害を与えることのないようにする。

堆積発酵により微生物の働きで上記目的を達成でき、堆積物を土壌施用することにより地力を高め、直接あるいは間接的に作物生産に寄与することが出来る。このような堆肥化の方法や堆肥の役割については、古くから研究が行われており多くの知見がある。なかでも稲わら堆肥や家畜ふん堆肥およびパーク堆肥については研究がすすみ、成書(34, 65, 94)がある。しかし、水分調節剤として利用されているおが屑等木質を含む有機物については、堆肥化過程における分解についての研究が少なく、不明な点が多い。また、木質が混合することにより、先に示した堆肥化目的のうち、C/N比と有害物質については、極めて重要な問題となるといえる。

前章において有機物の品質特性を検討するなかで、おが屑等木質の混合した有機物は、性質が木質に極めて大きく影響されることを明らかにした。そのためここでは、腐熟化が極めて重要であるにもかかわらず、その堆肥化過程が十分に解明されていないおが屑混合有機物の堆肥化過程の解明を試みた。なかでも、おが屑混合鶏ふん堆積物は、易分解性の鶏ふんと難分解性の木質という両極の性質を持つ資材の組み合わせのため、その解明が十分なされていない。そのため、木質を含む有機物の腐熟過程を把握することを目的として、おが屑混合鶏ふん堆積物を代表としてとりあげ、堆積に伴う化学成分やおが屑の微細形態、微生物相の変化について総合的に検討した。併せて堆肥の貯蔵方法についても検討し、堆肥化の持つ意味と共に効率的な堆肥の作り方についても考察した。

1. 化学成分組成の変化

植物体の腐朽化過程における有機成分の変化は多くの研究がある。なかでも稲わら堆肥の堆肥化過程における有機成分の変化は、熊田ら(79)の報告を始めとして多くの研究があり、その実態がかなり明らかになっている。しかし、おが屑等の木質を含む有機物については、愛知農総試(36, 60~62)や渡辺ら(144)の研究がある程度で、木質部の分解について十分な解明がなされていない。

ここでは、おが屑混合鶏ふん堆積物について腐熟に伴う化学成分の変化を把握し、色調や発芽率と対比することにより、堆肥化過程の変化を総合的に明らかにすることを試みた。

1) 実験方法

(1) 供試有機物

松田養鶏農場(神奈川県足柄上郡松田町)製造のおが

屑混合鶏ふん堆積物を供試した。製造方法は次の通りである。

鶏舎から出された生鶏ふんに対し、容量比で約2倍のおが屑及び木屑(フレナ屑と呼ばれるやや大型の製材屑)を水分調節のために混合する。木質の樹種は時期により多少異なるが、ラワン材が主体であり少量のマツ類を含んでいる。これを堆肥舎内に、約50^mの規模で4カ月間堆積する。この間、最初の2カ月間は月に約2回、その後は月に約1回、ベイローダで切り返しを行う。4カ月間堆積されたものは農家に販売され、農家圃場に野外堆積された後、畑に施用されることが多い。この使用形態に合わせて、4カ月間堆積したのから約1^m取り、屋外に3カ月間(1978年5月10日～8月10日)堆積した(野外堆積)。堆積期間は屋内堆積期間から通算して7カ月間に相当する。

試料の採取位置は、堆肥舎内堆積物は表面から20～30 cm、屋外堆積物の中心部とした。約1 kgの試料を採取し、ビニル袋内でよく混合した。一部はこのまま分析に用い(生試料)、残りはガラス室内に薄く拡げ乾燥した後、ウイリー粉碎機で粉碎した(粉碎試料)。さらに一部の粉碎物を高速振動式粉碎機(平工TI-100)で微粉化した(微粉試料)。

(2) 色調測定法と幼植物検定法

ア 外観色: 微粉試料を小型シャーレ(直径30mm)に厚さ5 mm程度になる量を取る。シャーレは反射光を小さくするために黒色紙の上に置き、色彩色差計(ミノルタ色彩色差計CR-100)の受光部(ガラス板付き10mm径)をあて、D-6500のYxy値を3回測定し、その平均値を求めた。

イ アルカリ抽出液: 微粉試料0.5 gを0.1 N水酸化ナトリウム液100 mlで100°C 30分間抽出し、遠心分離した後さらに10倍に希釈し、ダブルビーム分光光度計(日立220A)により400, 600nmの吸光度を測定し、熊田ら(79)の方法に準じ $d \log K$ を求めた。

ウ 熱水抽出液: 微粉試料5 gを60°Cの熱水100 mlで3時間抽出した液を遠心分離し、水で10倍に希釈する。この液に等量の水、または0.1 N水酸化ナトリウム液を加える。このとき試料抽出割合は2.5 g/lに相当する。この液について200nmから400nmの吸光特性を、水および0.05 N水酸化ナトリウム液を対照として、ダブルビーム分光光度計(日立220A)により測定した。

エ 幼植物検定: 微粉試料5 gを60°Cの熱水100 mlで3時間抽出した液について、コマツナ(ごせき晩生)を播種して室温(平均20°C)に保持し、3日後の発芽率と6

日後の生長量を測定した(24)。

(3) 化学成分の分析方法

ア pH, EC: 粉碎試料に対し10倍量の水を加え(1:10法)30分間振とう後、pHメータ(日立堀場F-7 DE)とECメータ(東亜CM-6 A)で測定した。

イ 全炭素・全窒素: 全炭素と全窒素は微粉試料を用い、CNコーダー(柳本MT-500)により測定した。

ウ 有機成分: 微粉試料を用い、WAKSMAN⁽¹³⁶⁾の近似分析法を井ノ子が改良した方法⁽⁹⁹⁾によって、ヘミセルロース、セルロース、リグニンを測定した。また、井ノ子の記載⁽⁹⁹⁾にしたがってヘミセルロースとセルロースの合計値を還元糖とし、これらの炭素含有率が全炭素にしめる割合を還元糖割合として表示した。

エ 灰分と無機成分: 微粉試料を用い、灰分は550°Cで4時間灰化した。無機成分は硝酸と過塩素酸による湿式分解後、リン酸はパナドモリブデン酸比色法⁽¹⁰⁹⁾、カルシウム、マグネシウム、カリウムは原子吸光光度計(日立207)により測定した。

オ 無機態窒素: 微粉試料1 gに10%塩化カリウム溶液50 mlを加え、1時間振とう抽出した後BREMNER⁽⁸⁾の方法により、アンモニア態窒素と硝酸態窒素を測定した。

カ 総フェノール量: 微粉試料5 gを60°Cの熱水100 mlで3時間抽出後遠心分離した液を、水でさらに5倍に希釈した液についてFOLIN氏法⁽¹⁰⁹⁾により測定した。なお標準としてフェノール液を使用し、フェノール量として表示した。

2) 結果及び考察

(1) 堆肥化処理

この養鶏場はウインドレス方式で約10万羽の産卵鶏を飼育しており、1日10 t以上の生ふんが排せつされる。生ふんは毎日トラックにより堆肥舎(250^m、コンクリート床、スレート屋根付き)に運ばれ、木質と容積化で約1:2の割合で混合し、約50^mの規模で4カ月間堆積する。その間、最初の2カ月は月に約2回、以後は月に約1回程度ベイローダにより切り返しを行う。その様子は写真3-1に示した。

堆積期間中の堆積物の品温と水分含量を第3-1図に示した。堆積後数日で温度が上昇し始め、1カ月目で60°Cをこえ、色は茶褐色になってくる。2～3カ月目には発熱は最高となり、70°Cにおよんだ。この間の水分含量は60～65%であった。4カ月目には品温は65°C、水分含量は55%以下に低下し、色は暗茶褐色となる。

4カ月間堆積した後、農家に販売されるが、この段階

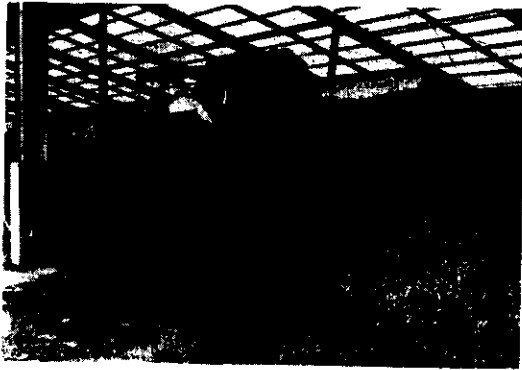
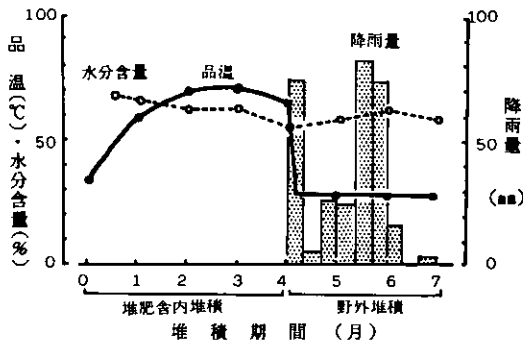


写真3-1 おが屑混合鶏ふん堆積物の製造風景
(松田町寄松田養鶏農場, 切り返し風景)



第3-1図 堆積期間中の品温・水分含量と降雨量

ではまだ腐熟は十分でなく追熟が必要である。このため農家は堆肥舎か圃場に堆積し、二次発酵を行う。この利用形態に合わせて、屋外に3カ月間堆積した。この野外堆積期間中には、降雨による養分溶脱があると考えられるため、その間の旬別降雨量を第3-1図に併せて示した。3カ月間の野外堆積により色はやや黒みが出て手触りも良く、腐熟した感じがする。

第3-1表 堆肥色調の変化

堆積期間(月)		0.5	1	2	3	4	5	6	7
色彩色差計測定値(D 6500)	Y	22.5	18.4	16.2	14.7	14.6	12.5	13.1	13.2
	x	0.355	0.355	0.357	0.351	0.353	0.352	0.354	0.358
	y	0.361	0.358	0.359	0.353	0.353	0.355	0.354	0.356
アルカリ抽出液(g/l)	400nm	0.289	0.411	0.407	0.522	0.516	0.644	0.715	0.699
	600nm	0.042	0.069	0.069	0.096	0.087	0.100	0.115	0.125
	$\Delta \log K$	0.247	0.342	0.338	0.426	0.429	0.544	0.600	0.574

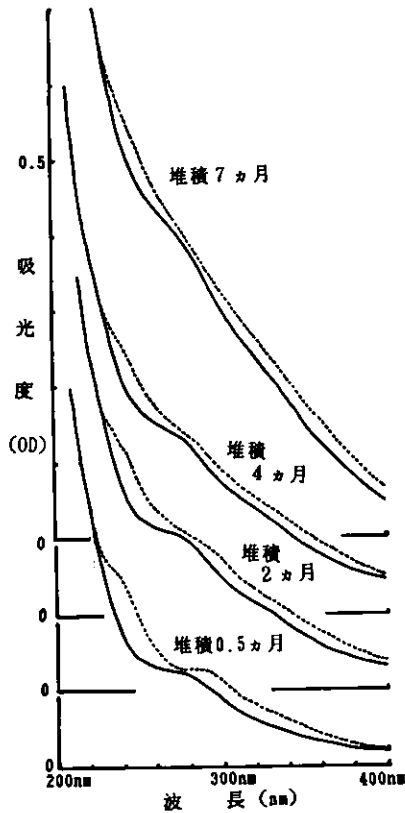
(2) 色調と吸光特性

有機物の腐熟に伴い、外観色が暗褐色に変化することは良く知られている。外観色は水分含量によって異なり、高水分では暗色に、低水分では明色になる。色調を計測する場合は明色の方が差が出やすいため、ここでは乾燥物について色調を測定し、その結果を第3-1表に示した。

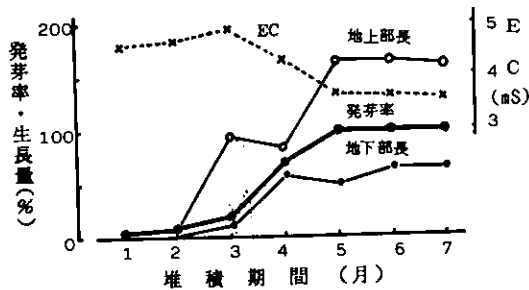
色調の表示には数種の色体系があるが、ここではCIE表色法(J I S Z 8701)によるY x yによる表示(63)を採用した。Yは反射率を表す数字で100が白色、0が黒色を示し、x yは色度を示す。堆積に伴いY値は減少傾向にあり、5カ月目で最低となる。その後わずかに増加するが、これは降雨による溶脱の影響によると考えられる。x y値は変化しなかった。これは、腐熟に伴う色の变化は、色調は同じで明度だけが低下することを示しており、Y値が13程度になることが完熟の目安といえる。

アルカリ抽出液の吸光度は堆積に伴い増加し、外観色の変化とよく一致している。熊田ら(77)はこのことに着目し、400nmと600nmの差($\Delta \log K$)が腐植の生成の尺度となりうるとしている。本実験の結果でも堆積に伴い $\Delta \log K$ は増加し、5カ月目以後は0.5以上の値でほぼ安定しており、腐植の生成が安定したものと考えられる。

熱水抽出液及びその液をアルカリ性にした液の紫外部吸収スペクトルを第3-2図に示した。リグニンには210nmにエチレンバンド、280nmにベンゼノイドバンドの吸収帯を持ち、アルカリ側においてはフェノラート基生成のため、吸収度が増加し長波長側にシフトするとされる(6, 86)。第3-2図に示したように堆積0.5カ月目の試料の水溶液では275nmに吸収帯をもつが、アルカリ液中では240nmと290nmに吸収帯が変化することから、リグニンに由来する吸収と考えてよい。堆積に伴いこの傾向が弱くなり、堆積7カ月目にはほとんどこの傾向が認められなくなる。このことは、堆積に伴いリグニンの質



第3-2図 水抽出液の吸光特性
(—熱水抽出液,アルカリ添加液)



第3-3図 堆積に伴う幼植物検定結果と抽出液ECの変化

的变化が起こり、熱水可溶性リグニンが減少していることを示している。渡辺ら(143)は、都市ごみコンポストのピロリン酸抽出液の紫外外部吸光を測定し、堆積に伴いアルカリリグニンに起因する270nmの吸光が減少するとしている。この結果と本実験結果は類似しており、堆肥化過程で可溶性のリグニンが消費され腐植様物質群が生成されると考えられる。

(3) 幼植物検定

腐熟度検定として作物種子による発芽試験が行われている(148)。しかし、おが屑混合鶏ふん堆積物は肥料成分が多く、直接その上種子を播くと、かなり腐熟のすすんだ物でも発芽障害を起こす(20)。そのため、熱水抽出液によるコマツナ幼植物検定を実施し、その結果を第3-3図に示した。この図は、水で栽培したコマツナの発芽率と地上部(莖長)及び地下部長(根長)を100とした指数で示したものであり、併せて抽出液のECも示した。

発芽率は2カ月目までは、ほぼ0であるが、堆積5カ月目で100%になる。しかし、根部はやや黄化し先端が褐変していた。地上部長は3カ月目で100%をこえ、野外堆積したものは170%になった。これは、抽出液中に含まれる肥料分による効果と考えられる。これに対し、地下部長は4カ月目以後ほぼ一定になるが60%程度であった。しかし、2カ月間野外堆積したもの(6カ月目)からは、根が白く健全になる傾向にあった。

これらのことから、おが屑混合鶏ふん堆積物は4カ月間の堆積では不十分であり、さらに2カ月以上の堆積が必要であることがわかる。

(4) 化学成分の変化

堆肥化に用いた原料の特性と、堆積に伴う化学成分の変化を第3-2表に示した。水分はおが屑約30%、鶏ふん約80%であり、これを混合し約65%程度に水分を調節し堆積発酵させる。この間水分は55~65%の間にあり、良好な水分状態が維持されている。分析試料は大規模に堆積した山から採取したため、一定の場所から採取した試料採取時のバラツキは避けられない。

pHは7をこえるが、これは鶏ふんには石灰やアンモニアが多いためであり、pH測定時に長時間振とうするとアンモニアが揮散し、pHが低く評価されることがある。堆積期間中は7~7.5で推移するが、野外堆積により9を超える。7カ月目では7.6に低下しているが、これは硝酸が生成したためである。またECも極めて高く、鶏ふんでは8以上あるが、堆積に伴い低下し、6あるいはそれ以下になった。

無機態窒素は、風乾物を供試したため生堆肥にくらべアンモニアの減少は避けられない。分析結果からみると、堆積初期はアンモニア態窒素が極めて多く硝酸態窒素はほとんどみられないが、野外堆積によりアンモニア態窒素は激減し、硝酸態窒素が増加する。堆積7カ月目は硝酸態窒素は259mgもあった。硝酸態窒素の発現が腐熟と関係の深いことはよく知られている。この考えによ

第3-2表 堆積に伴う化学成分の変化

(水分を除き乾物含量)

項目	試料名		堆積期間(月)、4ヵ月までは堆肥舎内、以後は野外堆積								
	原	料	0.5	1	2	3	4	5	6	7	
水分 (%)	29.8	77.2	67.2	64.1	62.0	62.6	54.4	57.7	61.5	57.3	
PH (1:10)	5.62	7.57	7.32	7.22	7.47	7.38	7.47	9.18	9.09	7.61	
EC (1:10)	0.42	8.65	8.10	6.70	5.85	6.65	6.10	6.75	6.31	5.19	
粗灰分 (%)	0.93	36.1	27.6	25.1	26.0	31.6	32.1	37.2	45.4	40.4	
全炭素 (%)	47.1	35.5	40.9	40.5	39.3	36.3	35.1	31.6	27.1	28.6	
全窒素 (%)	0.06	2.91	1.24	1.46	1.48	1.32	1.55	1.58	1.69	1.65	
C/N 比	785	12.2	33.0	27.7	26.6	27.5	22.6	20.0	16.0	17.3	
ヘミセルロース (%)	15.5	20.3	18.9	19.7	18.2	16.0	11.7	12.0	8.2	9.3	
セルロース (%)	35.4	8.6	25.4	25.1	26.5	24.2	24.1	25.7	20.3	20.7	
リグニン (%)	30.6	9.5	22.9	23.2	21.7	21.2	18.5	18.1	17.3	16.6	
還元糖割合 (%)	43.2	32.6	43.3	44.2	45.5	44.3	40.8	47.7	42.1	42.0	
無機窒素 (mg/100g)	NH ₄ -N	—	800	903	663	467	365	337	143	17	16
	NO ₃ -N	—	—	2.5	1.1	5.4	3.9	2.9	9.3	20.7	258.9
無機成分 (%)	CaO	1.7	12.0	12.2	9.6	10.9	12.4	13.9	15.9	15.1	19.1
	MgO	0.03	0.99	0.70	0.59	0.74	0.94	1.10	1.18	1.25	1.49
	K ₂ O	0.13	2.94	1.82	1.84	2.28	2.50	2.69	3.41	3.53	2.01
	P ₂ O ₅	0.02	5.04	3.32	3.00	3.07	4.13	4.93	5.35	5.19	6.62
全フェノール (%)	0.26	0.26	0.37	0.38	0.34	0.34	0.33	0.44	0.35	0.11	

れば6カ月目で完熟したといえる。

粗灰分はバラツキがあるが、堆積に伴い増加傾向にある。無機成分も同様に堆積に伴い増加傾向にある。これらの傾向は堆積に伴う有機物の分解により相対的に増加したものと見える。しかし、例外的に7カ月目のカリウムだけは減少している。これはカリウムは水溶性であるため、降雨による流出と考えられる。

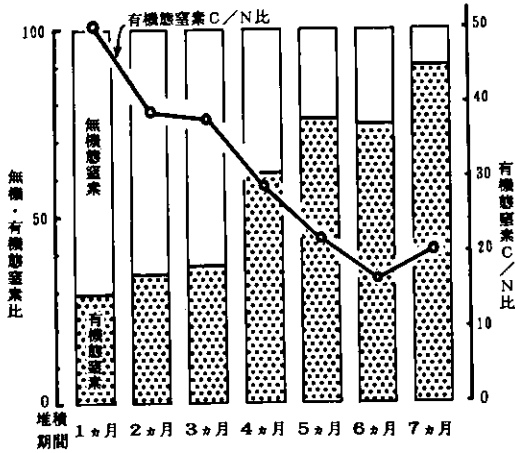
全炭素は6カ月目までは漸減傾向にあったが、7カ月目では増加していた。これは試料採取時の誤差によると考えられる。このことは粗灰分の6カ月目と7カ月目の違いからも推察出来る。全窒素は堆積に伴い増加傾向にあり、この結果 C/N 比は堆積初期の33から6カ月目には16まで低下した。しかし、3カ月目までの変化は小さく、この期間は分解が進まないか、あるいはアンモニアの揮散によることが考えられる。

ヘミセルロースは全期間にわたって減少の傾向がみられた。しかしセルロースは5カ月目まではほとんど変化がなく、以後分解する傾向にあった。リグニンは全期間にわたって減少の傾向にあったが、大きな変化ではなかった。計算上、ヘミセルロースは約45%、セルロースと

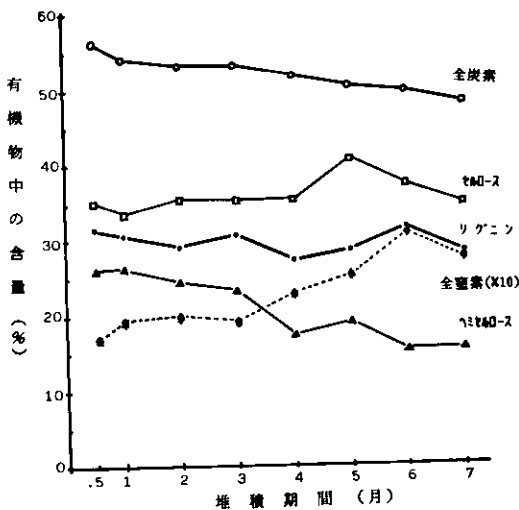
リグニンは約20%が鶏ふんに由来するものであり、その他が木質に由来するものである。この成分変化のうち、いずれに由来する成分が優先的に変化しているのかは、本手法では把握できない。

フェノール性物質は堆積による変化が小さく、逆に野外堆積によりやや増加した後減少した。7カ月目の減少は降雨による影響が考えられる。しかし7カ月目を除いて含量に変化のないことから、幼植物に及ぼす障害の正因とは考え難い。

第3-2表から有機態窒素と無機態窒素の比率、及び全炭素と有機態窒素の比率 (C/N比) を求め、第3-4図に示した。有機態窒素は堆積4カ月目以降は50%をこえ、7カ月目では約90%となり大部分の窒素が有機化している。全炭素は炭酸塩を含む可能性もあるが、一部の試料を TYURIN 法(15)と比較したところ大きな差はられず、全炭素の大部分は有機態炭素と考えられる。有機態の炭素と窒素による C/N 比を求め、図中に併せて記載した。これによると、第3-2表に示した C/N 比より減少傾向が著しいが、これは堆積期間中に窒素の有機化が急速に進むためである。炭素と窒素の比率を考



第3-4図 堆積に伴う窒素の形態変化と有機態窒素C/N比 (全炭素/有機態窒素)



第3-5図 堆積に伴う成分変化

(注) 有機物あたりの含量 (Ash free値) で表示した、ただし全窒素の値は10倍してある。

る場合に、全含量を用いる場合と有機態含量を用いる場合があるが、堆積期間中に全窒素含量が減少することなく窒素の有機化が進むことから、堆肥化の程度を判定するには、全含量による比 (C/N比) の方が適切であると考えられる。

堆肥化過程における有機成分の分解を知るために、乾燥有機物あたりの含量 (Ash free値) による成分変化を第3-5図に示した。全炭素とヘミセルロースは経時的

に減少するが、セルロースは4カ月目までは変化がなく、野外堆積期間中に減少する。セルロースは4カ月目と5カ月目の間に増加傾向がみられるが、これは野外堆積時の降雨により流亡した成分があり相対的に増加したこと、堆肥舎内堆積物と野外堆積物に質的な差があったことの両方が考えられる。リグニンは多少の誤差はあるが、堆積に伴いやや減少する。全窒素は堆積に伴い増加傾向にあるが、7カ月目では減少している。これはこの頃は硝酸態窒素の生成が多いところから、生成した硝酸が降雨のために流亡したことが考えられる。

WAKSMANら(133)や熊田ら(78)の報告では堆肥化過程でセルロースが減少し、リグニンが増加することが報告されている。ここでは第3-4図に示したように、全炭素は一定の比率で減少してゆくにもかかわらず、セルロースやリグニンの変化は激しくない。これはセルロースはリグノセルロースを形成したり、ミセルを形成し結晶構造をもつなどの複雑な存在様式を示す(86)ため、素材の違いによって微生物の分解特性が大きく異なると考えられる。また、リグニンはほとんど変化がみられないが、熱水抽出液の紫外外部吸光特性 (第3-2図) からわかるように質的には変化している。

2. 微細形態と微生物性の変化

森林生態系における落葉の分解については GARETT (29) によって分解過程が明らかになっている。堆肥化についても同様な過程が説明されている(94)が、その実態を証明した報告は少ない。そのため、おが屑混合鶏ふん堆積物を経時的に直接顕微鏡で観察することにより、堆肥化過程におこる形態的变化と関与する微生物を明らかにすることを試みた。

堆肥はその色調と形態から顕微鏡観察に適した素材ではないが、走査電子顕微鏡を使えば観察が可能である。さらに、木質を分解する微生物を知るために、木質を微生物の「餌」として堆積物中に埋設し、これに付着する微生物を観察する方法を考察した。また併せて微生物分解の結果として生じる窒素の有機化についても調査し、窒素の肥効面からの検討も加えた。

1) 実験方法

(1) 供試有機物

松田養鶏農場 (神奈川県足柄上郡松田町) 製造のおが屑混合鶏ふん堆積物を供試した。堆積期間は屋内堆積4カ月、野外堆積3カ月、計7カ月間としたが、一部の調査には野外に2年間堆積したものも供試した。

(2) 分析方法

ア 微生物分析: 採取後すぐに、希釈平板法(14)により

分析した。培養条件は、細菌と放線菌はアルブミン寒天培地で28°C12日間、糸状菌はローズベンガル寒天培地で28°C5日間とした。微生物数は、乾物1gあたりの個数で示した。

イ 窒素無機化率：びん培養法(15)によった。土壌は平塚沖積土壌（土性SCL，腐植含む）20gに乾燥粉碎有機物1gを加え、最大容水量の60%の水分状態で30°Cに30日間培養し、BREMNER(8)の方法により無機態窒素量を求めた。

ウ 土壌中の分解性：乾燥粉碎有機物1gを土壌10gと混合し、ガラス繊維ろ紙法(82)によった。ろ紙封入物をプラスチック容器（W40×D30×H20cm）に土を満したものに埋設し、30°C恒温器に1年間保持した。埋設時と1年後の試料を乾燥粉碎し、CNコーダ（柳本MT-600）により分析した。土壌は平塚沖積土壌（土性SCL）を使用し、保持期間中の水分は最大容水量の50~60%に保った。

(3) 観察方法

ア 微細形態観察：採取直後の有機物約5gをピーカにとり、100mlの滅菌水に分散させる。1~2分後、沈降した木片をガーゼでろ別し、少量を薄層として時計皿に拡げ、60°Cの通風乾燥器で30分以内に乾燥させた。このようにして脱水した木片をアルミプレートにとり、金蒸着処理（エイコー、イオンコーダIB-2）後、走査電子

顕微鏡（日立・明石MSM4C-101）により観察した。

イ 微生物観察：木質としてラワン材を供試し、横断面（木口）と径断面（柀目）の二断面について、厚さ0.1mm以下の薄片を作成した。薄片の一部は、エタノール・ベンゼン処理による脱脂を行った。

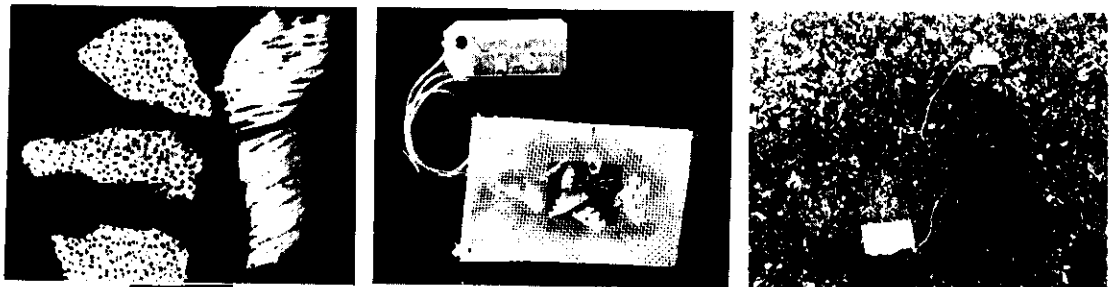
これを約50mgとり、各堆積期間のおが屑鶏ふん堆積物5gと混合した後サランネットに封入し、堆積物の表面から20~30cmの所に埋設した。埋設方法は写真3-2に示した。15日後（野外堆積物は一部30日後）に堆積物中から取り出し、一部はLacto Phenol Cottonblue液で染色し光学顕微鏡で観察し、さらに一部は乾燥後、走査電子顕微鏡で観察した。

2) 結果及び考察

(1) 微生物数の変化

希釈平板法により測定した結果を第3-3表に示した。堆肥化過程で発熱の著しい時期の微生物数は極めて少なく、4カ月目までは糸状菌 10^3 以下、放線菌 10^4 以下、細菌は 10^5 程度であった。最も温度の上昇する3カ月目は、最も菌数が少なかった。

野外堆積により、温度の低下や降雨による影響等から微生物数は大幅に増加し、野外堆積1カ月間（5カ月目）で糸状菌は 10^6 に、放線菌は 10^6 に、また細菌は 10^6 に、それぞれ 10^2 ~ 10^3 程度増加することが確認された。野外堆積3カ月目（7カ月目）では糸状菌はさらに10倍と



木材薄片の作成

サランネットに封入
（木材薄片+堆肥）

堆肥中に埋設
（15日間）

写真3-2 ラワン薄片の有機物中埋設方法

第3-3表 微生物相の変化

（希釈平板法による乾物1gあたりの生菌数）

堆積期間		1カ月	2カ月	3カ月	4カ月	5カ月	6カ月
糸状菌		1.0×10^3	$< \times 10^3$	$< \times 10^3$	$< \times 10^3$	1.3×10^6	1.8×10^6
放線菌		$< \times 10^4$	$< \times 10^4$	$< \times 10^4$	$< \times 10^4$	8.5×10^6	2.5×10^7
細菌		1.1×10^5	1.4×10^5	0.3×10^5	3.5×10^5	2.3×10^8	4.1×10^8

ったが、放線菌と細菌は2倍程度の増加にとどまった。

堆肥舎内堆積期間中の微生物は少ないが、この期間では好温菌が活動している時期のため、ここで測定した方法ではその微生物が把握出来ないためと考えられる。加藤ら(6)は、おが屑と混合した牛ふん、豚ふん、鶏ふん堆積物について、堆積期間中の微生物数を本方法と同じ方法で調査している。その結果、鶏ふん混合物は他のふんに比べ細菌数は同等であるが、放線菌と糸状菌が極めて少なく 10^5 レベルでは検出できないとしている。この報告は 120ℓ ほどの小規模実験のため発熱が弱く、本堆積物のように大規模でしかも 70°C をこえる発熱をしている堆積物とは比較できないが、放線菌と糸状菌の少ないことでは一致した結果を示している。

(2) 土壌中での分解特性

有機物を堆積すると、微生物により分解される。同様に有機物を土壌施用すると微生物による分解をうけ、未熟なものほどその分解性は著しい。そのため、土壌中での分解性(主として窒素)を調査し、その特性から腐熟の程度を知ることが行われている。そこで堆積期間の違いによる土壌中での分解特性を知るために、窒素無機化率と土壌中に1年間埋設し、その間の窒素と炭素の分解性を調査した結果を第3-4表に示した。

窒素無機化率は、30日後の無機化窒素量から有機物のもつ無機態窒素量を引いた値を、有機物中の全窒素量で割って求めた。30日間の培養では無機化率はすべて負であり、窒素は有機化傾向にある。堆肥舎内堆積の4カ月間は -20% をこえ、野外堆積により無機化率が -10% 程度に低下した。

1年間土壌中に埋設した場合、全炭素は半減する傾向にあり、5カ月目までは 50% 以上の分解率を示し、6カ月以上の堆積では 40% に低下した。全炭素は逆に3カ月

第3-4表 堆積期間の異なる有機物の土壌中での分解特性

堆積期間	項目	窒素無機化率	土壌埋設1年後の残存率	
		30日後 (%)	全炭素(%)	全窒素(%)
0.5カ月		-33.8	42.7	112.7
1カ月		-32.3	45.0	119.7
2カ月		-22.6	44.2	113.9
3カ月		-19.8	45.1	102.3
4カ月		-22.3	44.2	94.6
5カ月		-11.1	47.9	86.4
6カ月		-9.5	62.1	77.5
7カ月		-9.8	60.0	78.7

までは増加し窒素の取り込みが行われていたが、4カ月以後は窒素が減少していた。この窒素の減少は、無機態窒素が水の移動に伴うかまたはガス(脱窒)として埋設容器系外へ放出されたものと考えられる。30日間の窒素無機化率(x)と1年後の窒素残存率(y)との間には高い相関がみられ、次の回帰式が得られた。

$$y = -1.57x + 66.5 \quad (r = -0.918^{**}, n = 8)$$

以上の結果から、おが屑混合鶏ふん堆積物は7カ月堆積したものでも土壌中での分解が盛んであり、3カ月以内の堆積期間では窒素の有機化が土壌施用後1年間も継続することを示している。このため未熟な堆積物では、土壌施用後に窒素肥料の増肥を行わないと窒素飢餓の危険性があるといえるが、ここで示した結果は 30°C の培養であり、野外での分解速度はもっと緩慢なため、連用した場合以外はそれほど問題とならないといえる。

(3) 微細形態観察

走査電子顕微鏡観察の試料は、臨界点乾燥によるのが一般的であるが、ここでは簡易化の意味から 60°C 通風乾燥による方法を試みた。その結果、木質や細胞壁の硬い細菌の観察は、この方法で十分実用になることが明らかとなった。この方法によれば極めて簡単に試料が作成できる。走査電子顕微鏡により300倍と5000倍で観察した結果を、写真3-3~3-5に示した。

木質はラワン材とマツ類であるが、ここではラワンの形態を示した(1, 2)。切断面は鋭く、拡大した表面は平坦である。堆積15日目では鶏ふんの粒子が付着しているが、拡大すると表面はほとんど分解されていない(3, 4)。

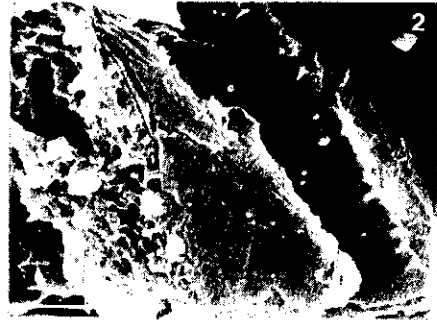
堆積1カ月目でも同様に木質は分解されていないが、ふんの粒子が微細なところにも入り込んでいる(5, 6)。

堆積2カ月目では表面の凹凸がみられるようになり(7, 8)、木質の分解が始まりつつあることがわかる。3カ月目でもほぼ同様である(9, 10)。この時期までは発熱が著しい時であり、微生物もほとんど観察されなかったが、4カ月目になると温度が低下するため短桿菌が時々みられるようになる(12)。木質は繊維質の結束の開裂の徴候がみられるもの(11)もあり、部分的には分解が進んでいる。ここに示したもの(12)は分解の進んだところであり、大部分の木質では繊維の開裂傾向は認められず、堆肥舎内堆積の4カ月では木質分解はあまり進まない。

これを野外堆積すると木質構造の変化がみられるようになる。堆積5カ月目(野外堆積1カ月)では表面の凹凸が著しく、小さな亀裂と短桿菌の付着が多く観察され



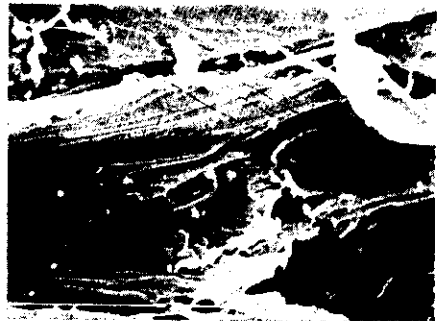
(1) ラワン材おが屑(300倍)



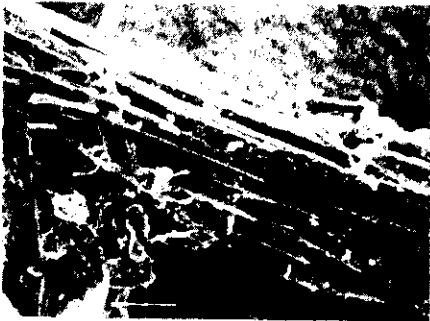
(2) ラワン材おが屑(5000倍)



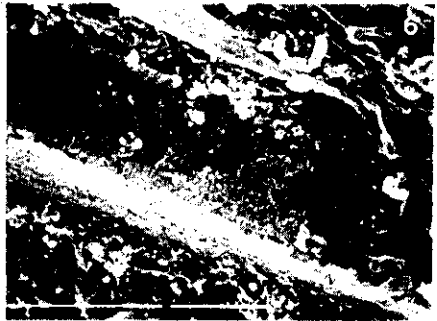
(3) 堆積 15日目(300倍)



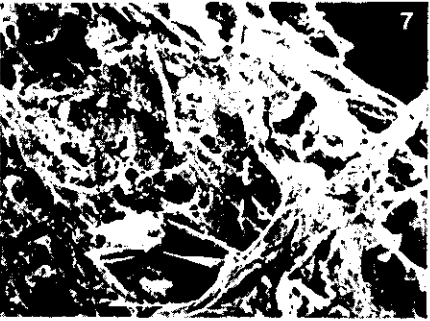
(4) 堆積 15日目(5000倍)



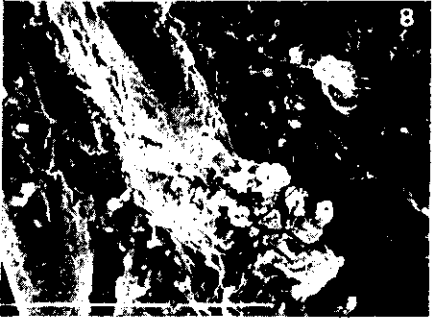
(5) 堆積 1ヵ月目(300倍)



(6) 堆積 1ヵ月目(5000倍)

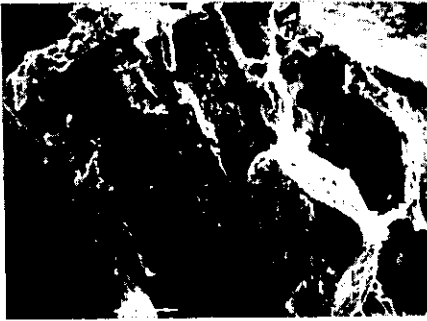


(7) 堆積 2ヵ月目(300倍)



(8) 堆積 2ヵ月目(5000倍)

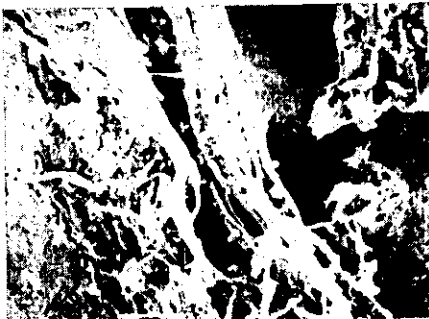
写真3-3 堆積中のおが屑の微細構造変化(その1. おが屑~堆積2ヵ月)



(9) 堆積3ヵ月目(300倍)



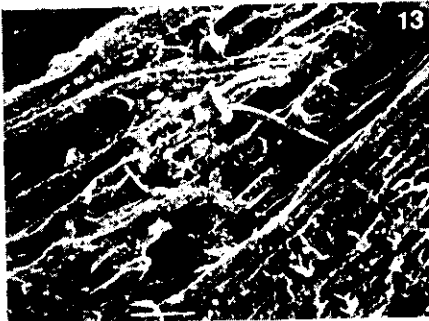
(10) 堆積3ヵ月目(5000倍)



(11) 堆積4ヵ月目(300倍)



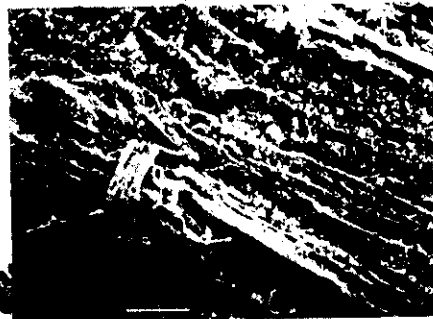
(12) 堆積4ヵ月目(5000倍)



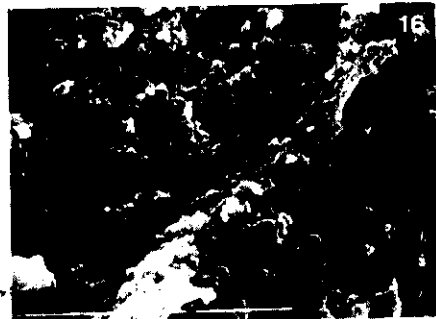
(13) 堆積5ヵ月目(野外堆積1ヵ月, 300倍)



(14) 堆積5ヵ月目(野外堆積1ヵ月, 5000倍)

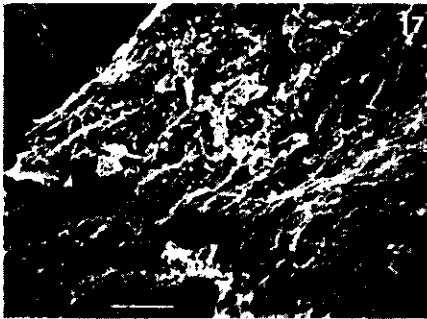


(15) 堆積6ヵ月目(野外堆積2ヵ月, 300倍)

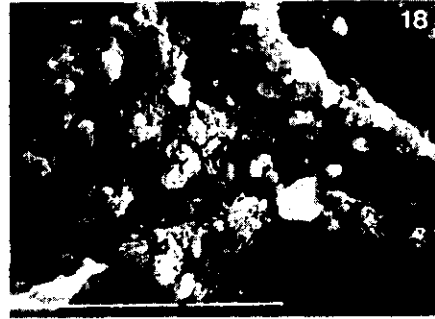


(16) 堆積6ヵ月目(野外堆積2ヵ月, 5000倍)

写真3-4 ■堆積中のおが屑の微細構造変化 (その2. 堆積3ヵ月~6ヵ月)



(17) 堆積7ヵ月目(野外堆積3ヵ月,300倍)



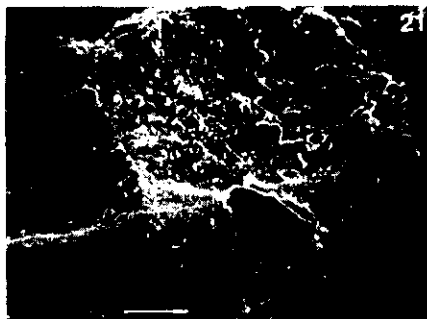
(18) 堆積7ヵ月目(野外堆積3ヵ月,5000倍)



(19) 堆積7ヵ月目(野外堆積3ヵ月,300倍)



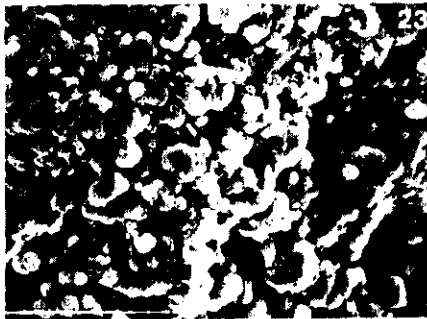
(20) 堆積7ヵ月目(野外堆積3ヵ月,5000倍)



(21) 堆積7ヵ月目(野外堆積3ヵ月,300倍)



(22) 堆積7ヵ月目(野外堆積3ヵ月,5000倍)



(23) 堆積28ヵ月目(野外堆積24ヵ月,1500倍)



(24) 堆積28ヵ月目(野外堆積24ヵ月,5000倍)

写真3-5 堆積中のおが屑の微細構造変化 (その3. 堆積7ヵ月以上)

る (14)。堆積 6 カ月 (野外堆積 2 カ月) ではこの傾向がさらに明確になり、低倍率で観察しても小さな亀裂が認められ (15)、表面は凹凸に富む状態 (16) となる。堆積 7 カ月日 (野外堆積 3 カ月) になると、更にこの特徴が明確になる。木質に大小の亀裂がみられ (17, 19)、表面構造は微細な孔隙が多く、その間には $0.7 \times 1.2 \text{ nm}$ 程度の大きさの短桿菌が存在しているのが観察される (18, 20)。この短桿菌の出現数と希釈平板法による細菌数とは、一致した傾向を示している。しかし、ここでは木質の表面構造を観察するため、水で洗浄している。このことから、実際に堆積物中に存在する微生物よりかなり少なく、限られた種類しか観察されてないと考えられる。

植物体は、その部分により微生物による分解性が異なることはよく知られているが、ここで供試した木質がすべて同様の分解を示しているわけではない。いままで示した例は平均的またはそれ以上に分解されている部分であるが、分解しにくい例を 21, 22 に示した。21 は内皮に近い部分とみられ、亀裂がみられる以外は分解を受けた状態が観察されない。表面の菌糸様のものは繊維状組織である。22 はマツ類の仮導管のトールスとその周辺組織であり、ふんの粒子や微生物活動の痕跡がみられるが、組織の分解は進んでいない。トールスとその周辺組織はリグニン含量が非常に多いといわれており (72)、そのために微生物分解を受けにくいものと考えられる。

また、参考として野外に長期間堆積 (2 年間) したものを観察した結果を 23, 24 に示した。ここでは極めて異なる形態がみられ、丸い粒状のものが重なった構造がみられた。その間には糸状菌の菌糸や細菌の活動の跡がみられる (23)。これを拡大するとさらに小さな粒状構造が明らかとなり、 $1 \sim 2 \text{ nm}$ の粒状であることが解る。この形態は KOSIKOVA (73) が走査電子顕微鏡で観察した Lignin-Saccharidic Complex のリグニン部と形態が類似しており、木質が分解しリグニンが残ったことが考えられる。このような形態は 7 カ月程度の堆積ではみられず、長期間堆積したものに特有の形態であったが、この形態を示すものは過分解であり、有機物としての利用する場合には適していないといえる。

(4) 木質に付着する微生物

希釈平板法では堆積物中の微生物を把握することはできず、また堆積物を直接観察することも、ふんの妨害が大きく困難である。そこで木質を分解する微生物を知るために、ラワン材の薄片を堆積期間の異なる有機物中に埋設し、付着している微生物を観察した。ラワン薄片は、

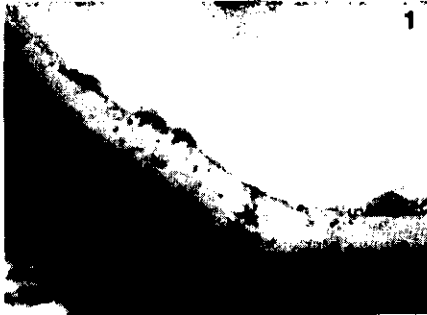
エタノール・ベンゼンによる脱脂処理をしたものとしないうもの両方を埋設した。脱脂処理をしたものの方が菌の付着は多かったが、菌の種類はいずれも差はなかった。そのため主として脱脂処理物の観察結果を写真 3-6 ~ 3-7 に示した。

堆積初期 (0.5 カ月) に埋設したものは菌の種類が少なく、細菌がみられるだけであった。光学顕微鏡で観察した結果 Lact Phenol Cottonblue で染色された細菌様集団がみられる (1)。木質も青く染色されているが、これは鶏ふんが付着したためである。これを走査電子顕微鏡で観察すると、導管にそって多数の菌が付着しているのが観察された (2)。これを拡大すると、連鎖桿菌が数多く存在している (3, 4)。この時期は化学成分や表面の微細構造の変化が認められなかったことから、木質の分解に関与する菌ではなく、鶏ふんの易分解性物質の分解に関与する菌と考えられる。

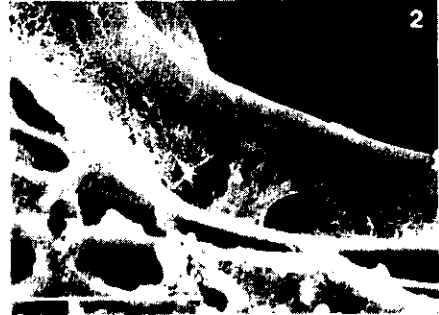
発熱の最も著しい堆積中期 (2 ~ 3 カ月) では光学顕微鏡で観察すると放線菌様のものがみえる (5, 6)。これを走査電子顕微鏡でみると米粒様の放線菌らしい微生物 (7, 8) と、球形の胞子をもつ *Thermoactinomyces* と考えられる放線菌 (9, 10) の 2 種類が観察された。これらの微生物は、 60°C 以上の極めて高い温度条件で活動する微生物である。この時期はセルロースやリグニンの分解は少なく、主としてヘミセルロースが分解されるため、これらの微生物はヘミセルロース分解に関与していると考えられる。

堆積後期 (野外堆積 3 カ月) には、微生物の種類や量が極度に増加する。光学顕微鏡で観察すると糸状菌が非常に多くみられ、導管部に集中して菌糸が伸びている (11)。さらに胞子を形成しているものもあり菌種不明の不完全菌 (12) や、*Verticillium* 様の胞子 (13) がみられた。走査電子顕微鏡によると、木質に有機物の小片が付着し、そこから糸状菌の菌糸が様々な方向に伸びている (14)。また組織の表面には各種微生物の活動のあとがみられ、糸状菌の菌糸の遺体や胞子、放線菌の菌糸や細菌が数多くみられる (15, 16)。この時期はセルロースの分解が盛んな時期であり、多様な微生物の働きにより、木質分解が進むことを示している。なお、堆積後期の光学顕微鏡写真の一部 (12, 13) は、埋設 30 日後のものである。

このように、堆積物中に木質の薄片を埋設することにより、その分解に関与する微生物を直接捕らえることが出来る。この方法は TRIBE (130) のセロファン膜法に類似しているが、セロファンのように異なる基質を用いる



(1) 堆積初期(0.5ヵ月) 光学 600倍



(2) 堆積初期(0.5ヵ月) 電顕 1000倍



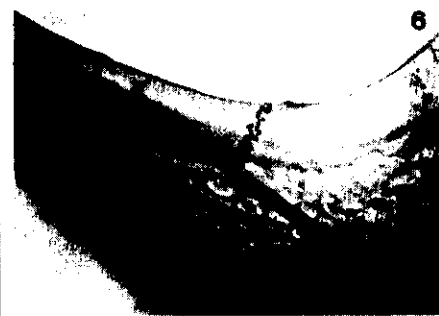
(3) 堆積初期(0.5ヵ月) 電顕 8000倍



(4) 堆積初期(0.5ヵ月) 電顕10000倍



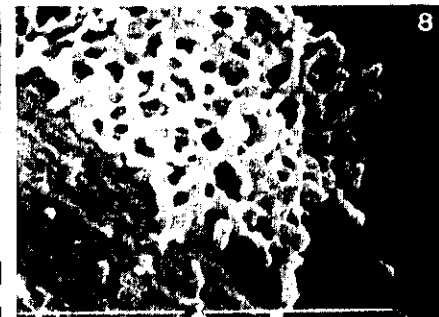
(5) 堆積中期(2~3ヵ月) 光学 600倍



(6) 堆積中期(2~3ヵ月) 光学 600倍

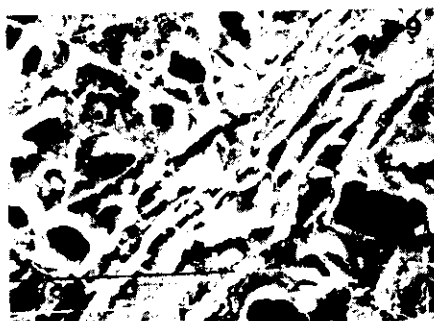


(7) 堆積中期(2~3ヵ月) 電顕 1000倍

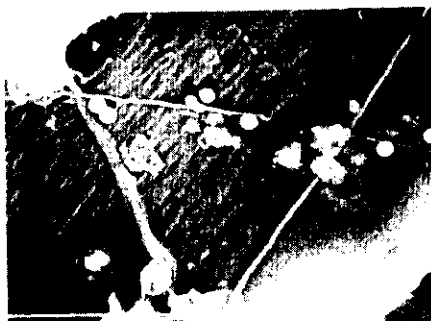


(8) 堆積中期(2~3ヵ月) 電顕10000倍

写真3-6 ラロン材薄片埋設物に生育する微生物(その1, 堆積初期~中期)



(9) 堆積中期(2~3ヵ月) 電顕 1000倍



(10) 堆積中期(2~3ヵ月) 電顕 5000倍



(11) 堆積後期(野外堆積) 光学 300倍



(12) 堆積後期(野外堆積) 光学 300倍



(13) 堆積後期(野外堆積) 光学 150倍



(14) 堆積後期(野外堆積) 電顕 700倍



(15) 堆積後期(野外堆積) 電顕 1000倍



(16) 堆積後期(野外堆積) 電顕 5000倍

写真3-7 ラソン材薄片埋設物に生育する微生物 (その2. 堆積中期~後期)

ことなく、分解基質を直接使用するため、実態を正しく反映した微生物活動が把握できると考えられる。また非常に簡易であり、堆肥のように黒色のものでも脱色処理をすることなく、取り出した後すぐに光学顕微鏡観察できる利点がある。使用する木質は、あらかじめエタノール・ベンゼン等で脱脂しておくことが好ましい。ここで用いたラワンでは処理の有無はあまり問題にはならなかったが、スギ材を用いて行った実験では脱脂処理しないものには菌の付着が認められなかった。スギ材の薄片を同様に埋設したところ、15日程度では菌の付着が極めて少なく、より長期間の埋設を必要とするため、実用にはならないと考えられる。このため、本方法には脱脂処理した広葉樹が適している。また、埋設する薄片はカッターナイフで作成したが、可能な限り薄くすることが必要であり、木片を水に浸したうえで削ると容易に厚さ0.1mm程度の薄片が作成出来る。

3. 貯蔵方法と品質

有機物を自家製造している農家以外では、購入した有機物を一時的に堆積貯蔵し、さらに腐熟化（二次発酵）させて利用するのが一般的である。貯蔵の方法は、そのまま野外に堆積し雨ざらしにする場合もあれば、ビニル等をかけ降雨をさける事もある。また小規模な屋根付きの堆積場に貯蔵することもある。さらに近年では通気性のあるポリプロピレン性の袋に入れ、堆積すること^(124, 125)やコンテナの利用も検討されている。

貯蔵は、有機物分解を中断し養分の保存を目的とする場合もあれば、有機物を積極的に進め腐熟化を目的とする事もある。そこで、これらの貯蔵方法の違いが有機物の品質に及ぼす影響について検討した。

1) 実験方法

(1) 供試有機物

松田養鶏農場（神奈川県足柄上郡松田町）製造の、堆肥舎内に約5カ月間堆積されたおが屑混合鶏ふん堆積物を供試した。

(2) 貯蔵方法

ア 野外堆積：屋外の幅1.7m、奥行き1.43mのコンクリート囲いの内に高さ60cmに堆積した。堆積量は1.45^mである。

イ 室内貯蔵：厚さ10cmの発泡スチロールで作った、幅90cm奥行き40cmの容器に高さ35cmに堆積し、上にベニヤ板を置き直射日光を避けた。さらに降雨の影響を避けるために、ガラス室内に保持した。容積は126ℓである。

ウ ポリプロピレン袋貯蔵：小孔があり通気性のあるポリプロピレンの袋（50×65cm）に20kgを詰め、2列5段

に堆積した。この方法は以下袋詰め貯蔵と略す。

貯蔵期間は、1981年3月10日から9月17日までの6カ月間とし、この間、堆積及び重量の変化は1月毎、分析試料は3月毎に採取した。採取部位は、野外堆積は上・中・下の3カ所、その他は中心部とし、採取後ガラス室に拡げ乾燥したものを粉碎し、分析試料とした。

(3) 分析方法

ア 全炭素・全窒素：全炭素と全窒素は微粉試料を用い、CNコーダー（MT-500）柳本により測定した。

イ 無機成分：3章1に同じ。

2) 結果及び考察

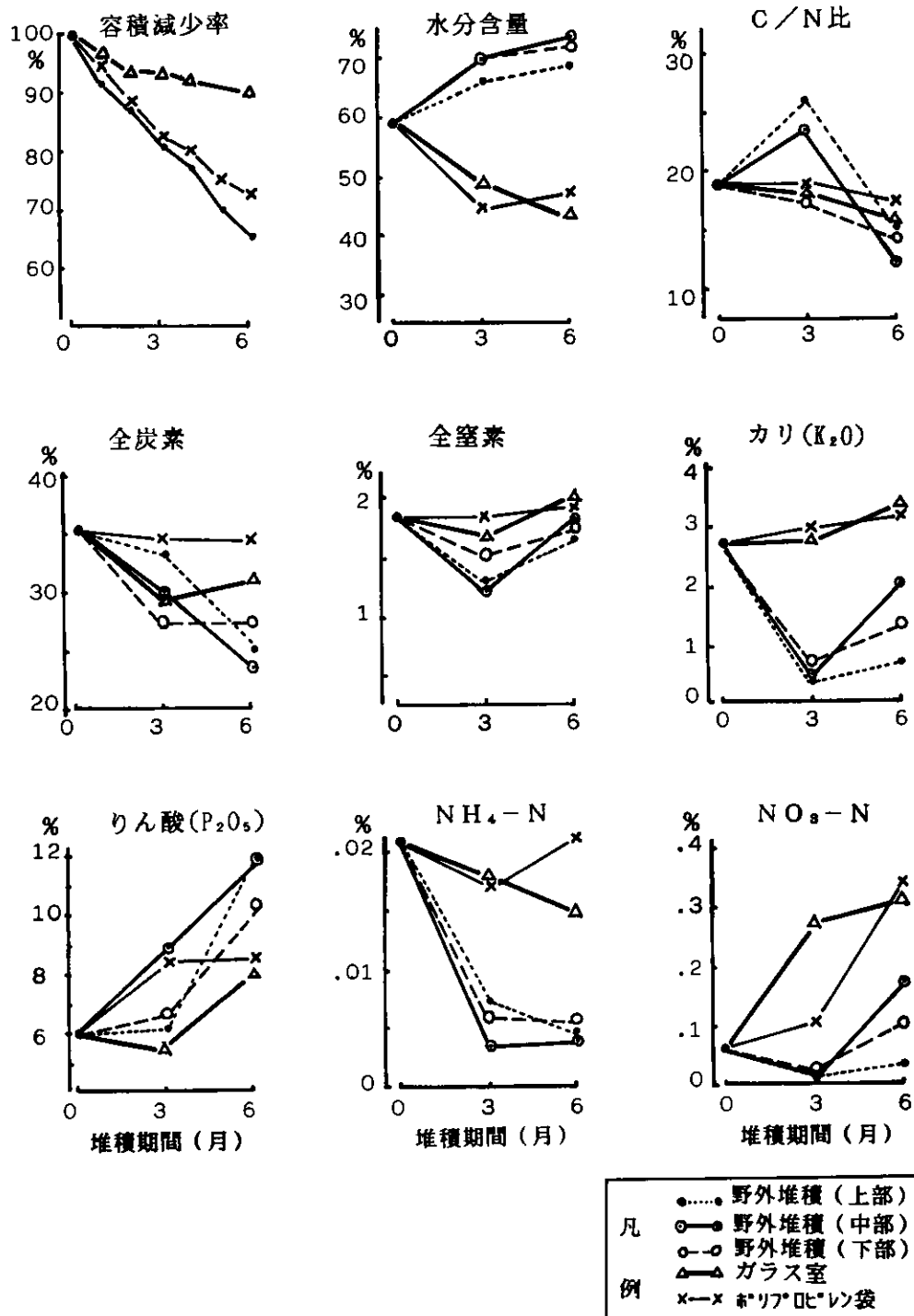
おが屑混合鶏ふん堆積物の貯蔵時の品質変化を知るために、野外貯蔵、室内貯蔵および袋詰め貯蔵について調査した。6カ月間にわたって調査した結果を第3-6図に示した。

容積の変化は室内（ガラス室）に貯蔵したものでは、6カ月で10%の減少に過ぎなかったが、野外堆積では55%の減少がみられた。これは分解の差ではなく、野外堆積では降雨の影響による鎮圧によるものである。袋詰め貯蔵したものは容積の把握が困難なため、重量の減少率を表示した。6カ月後には重量は28%減少していたが、これは水分の蒸散によるものであり、容積の減少は室内貯蔵とはほぼ同じと考えられる。

水分含量は野外堆積では降雨のため増加し、層位別では下層になるほど高い。室内貯蔵は水分の補給をしなかったため減少傾向にあり、3カ月目で約50%、6カ月目で約40%に低下した。袋詰めでは試料採取時の誤差はあるが、室内貯蔵とはほぼ同じ傾向を示した。全炭素は35.5%であったが経時的に減少し、6カ月後には袋詰め34.4%、室内31.2%、野外（中心部）23.5%であった。袋詰めが最も減少率が小さくわずかに1%の減少であったが、野外堆積では10%もの減少となり、しかも中心部の減少が最も著しい。これに対し、全窒素は変化が少ない。野外堆積では3カ月目に減少傾向がみられたが、下部よりも上部にこの傾向が著しいことから、これは降雨による流亡と考えられる。

C/N比は最初19.0であったものが、6カ月後には袋詰め17.3、室内15.6、野外堆積12.6と減少した。しかし、野外堆積の上部と中部では3カ月目に23~26に増加している。これは、降雨による窒素成分の流亡が影響したものである。

無機成分のうち、代表的な変化を示したカリウムとリン酸を図示した。カリウムは室内と袋詰めの共に屋内に貯蔵したものはやや増加する傾向にあるが、野外貯蔵で



第3-6図 貯蔵中の変化

(注) 容積減少率は貯蔵開始時を100とした指数で示した。またポリプロピレン袋区は重量減少率で示した。水分を除く成分含量は乾物含量で表示した。

は3カ月目に一度減少する。これに対し、リン酸は多少の誤差はあるが経時的に増加している。またここでは図示を略したが、カルシウムとマグネシウムもリン酸と類似した変化を示した。カリウムとこれらの成分の変化の差は、カリウムが水に対する溶解性が最も高いため、降雨の影響を受けやすいためである。

無機態窒素も降雨に影響されやすいため、アンモニア態、硝酸態共に野外堆積に比べ室内と袋詰めでは多い傾向がみられた。アンモニア態窒素は袋詰めを除き経時的に減少し、その傾向は野外堆積で著しい。袋詰めでの不規則な変化は試料採取時の誤差と考えられる。逆に硝酸態窒素は経時的に増加するが、野外堆積では増加率が小さい。6カ月目の袋詰めと室内では全窒素の15%を占めるまでに硝酸態窒素が増加する。野外堆積では中心部の増加が最も大きい。

以上示したように、貯蔵時に最も影響するのは雨水であり、降雨により、カリウムや無機態窒素は減少する。このため養分を無駄なく貯蔵するには、降雨を避ける手段を構ることが必要である。屋内にそのまま堆積したのでは水分が低下し、微生物の生育に適した条件が維持されないため定期的に水を補給し、水分を60%程度に保てば、より分解が促進されると考えられる。

ポリプロピレン袋詰めによる堆肥化について、その利便性について検討している報告(124, 125)があるが、本実験からはポリプロピレン袋詰めの効果はみだせなかった。また、野外堆積は降雨により窒素成分が流亡するにもかかわらず、C/N比が最も小さくなった。このことから、おが屑鶏ふん堆積物のように肥料成分の高い資材は、肥料成分が多少減少しても、雨水により多少養分を流亡させることが有機物の腐熟促進のためには必要であると考えられる。

以上の結果、おが屑混合鶏ふん堆積物については、肥料成分をむだなく貯蔵するためには室内に貯蔵し適切な水分管理を行うことが大切であるが、多少の肥料成分を犠牲にしても木質の分解を速めるためには、野外堆積が適していることが明らかとなった。

4. 考 察

麦わらや稲わらのような植物遺体の堆肥化過程については、化学成分では WAKSMAN らの研究(134~142)や、熊田らの一連の研究(78, 79, 120, 121)があり、微生物では POINCELOT (106) によって堆肥中から各種の微生物が分類され、その実態がかなり明らかとなっている。また、バーク堆肥については河田(65)の体系的研究がある。しかし、現在最も一般的に使われているおが屑混合畜ふん

堆積物については、愛知県農総試の一連の研究(36, 60~62)がある程度で、体系だてた研究は少ない。ここでは、堆肥化過程の明確でない、おが屑混合鶏ふん堆積物の腐熟過程について、化学性のみならず微生物性や微細構造観察まで含めて総合的に検討した。

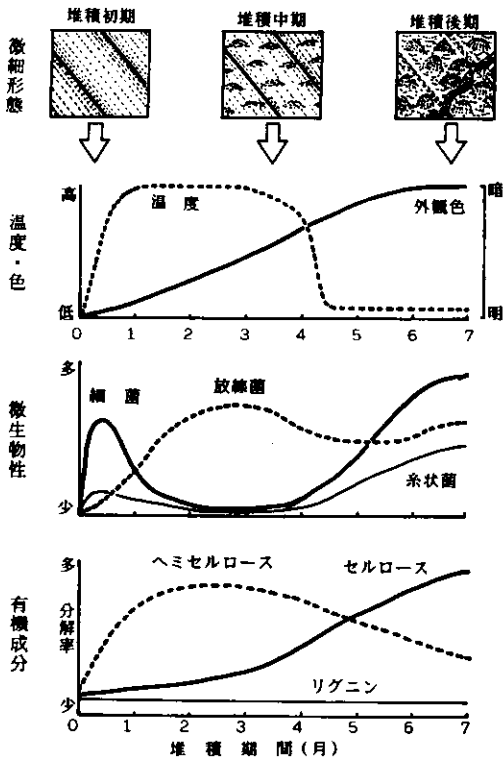
おが屑混合鶏ふん堆積物は、易分解性の鶏ふんと難分解性の木質の混合物であるため、木質の分解状態の把握が最も重要である。そこで堆積物中の木質の分解を走査電子顕微鏡により観察し、他の理化学性との関係を検討した。植物遺体の分解過程を顕微鏡観察することは、和田らの一連の研究(66, 87, 89, 107, 108, 131)があり、走査電子顕微鏡により水稻根の観察を行っている例(88)がある。他に植物根の分解を走査電子顕微鏡で観察した例は GRAY 以来幾つかの報告(9, 12, 13)ある。また、木質分解を走査電子顕微鏡で観察した例は Soft Rot に関係した報告(17, 27, 31)はあるが、堆肥化過程での観察例はほとんどみられない。

分解過程を解明するために顕微鏡観察は極めて有効な方法であるにもかかわらず堆肥化過程での観察がみられないのは、堆肥のもつ色と形状のためといえる。事実、おが屑混合鶏ふん堆積物をそのまま乾燥して観察すると、ふんの粒子だけが見え目的が達せられない。そのため木質の微細構造観察に限定した方法により観察した結果、堆肥化過程における木質の分解様式を明らかにすることができた。本章で得られた結果をもとに分解様式を模式化したものを第3-7図に示した。おが屑混合鶏ふん堆積物の分解は、3段階に別けて考えることができる。

堆積初期：堆積1カ月までの発熱上昇期である。この期間に外観色は褐色になり(第3-1表)、ECとアンモニア態窒素は減少し、全窒素は増加し窒素は有機化傾向にあるが、全炭素や有機成分組成は全く変化しない(第3-2表)。また、木質は全く分解されていない(写真3-3)。従ってこの時期は鶏ふん中の易分解性有機物の分解時期であり、分解に関与する微生物は主として細菌(写真3-6)であると考えられる。

堆積中期：堆積2~4カ月目にあたり、最高発熱期に相当する。外観色は暗褐色となり、アンモニア態窒素の減少はわずかで有機化傾向は小さくなり、全炭素とヘミセルロースが減少する。また、木質の表面に微細な凹凸がみられるようになり(写真3-3~4)、ヘミセルロースなどで構成される繊維の結合組織が分解されはじめていると考えられる。この時期には主として数種の放線菌が活発に活動する(写真3-6)。

堆積後期：野外堆積による後熟期である。外観色はほ



第3-7図 堆肥化過程における木質の分解様式模式図

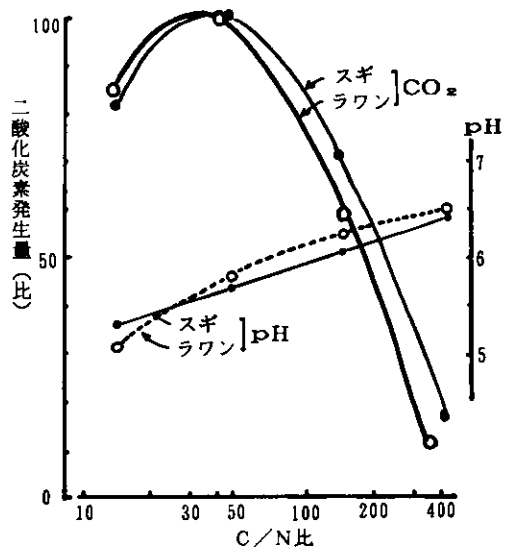
は暗褐色で一定し、アンモニアが酸化され硝酸が生成されてくる。有機成分はすべて減少傾向にあるが、なかでもセルロースの分解が進む。木質表面の微細な傷が多くなり(写真3-4~5)。セルロースの結晶構造が破壊されつつあることを示している。この時期にはすべての微生物数が飛躍的に増加するが、なかでも細菌と糸状菌が著しく活動している(写真3-7)。

以上の結果から、堆積初期は鶏ふん分解期、堆積中期は結合組織分解期、堆積後期は繊維分解期に相当するといえる。それぞれの分解期に斎藤らの方法(107)により、ろ紙片(東洋ろ紙No.3)を15日間埋設し重量の減少率を調査した結果、分解率は堆積後期>堆積中期>堆積初期であり、この分解区分の妥当性を示していた。GARETT(29)は植物遺体分解過程を、糖依存菌により炭水化物の分解する第1段階、セルロースの分解する第2段階、リグニンの分解する第3段階に区分している。堆肥化過程での分解をこれに適応させれば、糖依存菌による第1段階が堆積初期から中期に相当し、セルロース分解の第2

段階が堆積後期に相当すると考えられ、リグニン分解の第3段階はみられない。これは堆肥化過程は、植物遺体の分解と異なり、リグニン等による腐植生成を目的とした分解のためである。

加藤ら(61)は、牛ふん、豚ふん、鶏ふんとおが屑を約1:1に混合し、堆積期間中の理化学的や微生物数を検討した結果、鶏ふん混合物は豚ふん混合物に比べ微生物数が少なく、完全までに長期間の堆積を必要であるとしている。しかし、この試験は極めて小規模であることと、堆積時のC/N比が牛ふん区56、豚ふん区25、鶏ふん区11と大きな差があり、条件設定に問題があるため正確な比較はできないが、鶏ふん区は養分過剰のために腐熟が遅れたと考えられる。このことは、貯蔵試験において野外堆積区の分解速度が速いことにも示されており(第3-6図)、おが屑混合鶏ふん堆積物のように養分含量の高い有機物を速く腐熟させるためには、ある程度養分減少させることが必要であるといえる。

稲わら堆肥を作るためには、堆積時のC/N比が30~40が良いとされている(94)。堆肥化過程ではなく土壌中の木質分解について窒素レベルを変えて二酸化炭素の発生量を調査した結果を第3-8図に示した。この図は、30°Cで70日間培養後の二酸化炭素積算値を示したもので、スギ、ラワンそれぞれの最大値87mg、556mg/100gを100とした比率で示してある。また、窒素源として硫酸を利用したためpHの変化も併せて示した。これによるとスギ、ラワンともに低C/N比ではpHの低下がみ



第3-8図 C/N比の違いによる二酸化炭素発生量の変化

られるものの、C/N比30~40に最大分解点があり、経験的に稲わら堆肥でいわれていた数値と一致したことは興味深い。ALLISON(2)が shortleaf pine を用いて窒素レベルを変えて分解率を調査した結果、木質に対し1%の窒素添加(C/N比約50相当)が最大分解率を示すことを認めている。これらのことから、堆肥化においても木質分解を主体に考えるならば堆積初期にC/N比を30~40にすることが好ましいといえる。本実験で供試したおが屑混合鶏ふん堆積物は、堆積時にはC/N比35程度で混合されており最適な条件に設定されているといえる。

松崎(85)によれば家畜ふんは約2週間で分解が完了するとしている。おが屑混合家畜ふん堆積物において、家畜ふんと木質が別に分解すると仮定すれば、堆積1カ月目には家畜ふんの分解は完了しているといえる。しかし、アンモニア態窒素が減少し、硝酸態窒素が発現するまでに6カ月以上を要していることから、木質と混合することにより鶏ふんの分解がかなり遅れているといえる。これは混合した木質によって鶏ふんの塊が隔離状態となり、分解微生物の移動が妨げられること、多孔質な木質にアンモニアや易分解性有機物が入り込んでいることなどが考えられるが、鶏ふんと木質がそれぞれ無関係に分解しているのではないことを示している。

以上示した結果は、おが屑混合鶏ふん堆積物についてのものであるが、堆積する有機物は異なっても、おが屑を混合したものは木質の分解が最も重要なことから、ほぼ類似した分解状態を示すと考えられる。このことは、ここに示した結果は、木質を含むあらゆる有機物に適用できることを示している。

4. 要 約

- (1) 50㎡以上の大規模で製造されているおが屑混合鶏ふん堆積物を7カ月間堆積(4カ月間堆肥舎内、3カ月間野外堆積)し、その期間の変化を外観色、理化学性、微生物性、微細形態変化について総合的に検討した。また併せて貯蔵方法についても検討した。
- (2) 堆積に伴い外観色、アンモニア態窒素、C/N比、ハミセルロースが経時的に減少するが、セルロースは野外堆積によって減少する。また幼植物検定結果、野外堆積2カ月を含めて6カ月以上の堆積を必要とすることが明らかとなった。
- (3) 走査電子顕微鏡によりおが屑の微細構造の観察をした結果、化学成分の変化とよく一致しており、野外堆積によりおが屑の繊維組織が分解することが明らかとなった。堆積6カ月以上になると凹凸が著しく、微生物が多

く観察される、この状態になると完全しているといえる。

- (4) おが屑混合鶏ふん堆積物の微生物は希釈平板法では把握しにくいので、ラワン材薄片を埋設し、それに付着する微生物を観察する方法を考案した。この手法によって、堆積期間中に細菌→放線菌→糸状菌・細菌と微生物が遷移する様子が観察された。
- (5) 二次発酵に適した方法を知るために、野外堆積、屋内堆積、袋詰め屋内堆積の3つについて検討した。その結果、野外堆積は有機物の分解を促進させることが明らかとなった。おが屑混合鶏ふん堆積物のように肥料分の高い有機物は、野外堆積によりやや養分を流出させることが木質分解を早めることになる。
- (5) 以上の結果から、おが屑混合鶏ふん堆積物の分解過程は3段階に分けることができた。第1段階は細菌が主として働く鶏ふん分解期、第2段階は放線菌が主として働き、発熱の著しい結合組織分解期、第3段階は糸状菌や細菌等多くの微生物が働く繊維分解期である。

第4章 簡易腐熟度検定法

有機物は堆積することにより微生物の働きで分解される。これを「腐熟」といい、その程度を「腐熟度」という。腐熟度は分解の程度を示す言葉であり、「完全」は完全に分解されたという意味でとらえられがちであるが、有機物は作物生産の向上と安定のために使用されるものであり、その目的に完全に適合した時を「完全」ということが適切である。すなわち、施用された有機物が作物や作物生産環境に悪影響を及ぼすことなく、土壤中で微生物の活動を活性化し、その分解産物が作物に養分を供給することにより作物を増収させる状態にまで腐熟させることである。このように、完全とは有機物分解の限られた一段階を指すため、その判定が極めて困難である。

有機物の腐熟度は、色、香、手触りなどから判定されることが多い。しかし、これでは正確な判定は出来ないのは当然である。現在まで腐熟度判定の指標として考えられた方法には、生物の反応を利用する方法と化学分析による方法の二つがある。生物の反応はミミズ(147)や作物種子(110)を使い、有機物中の有害物質の検定をする方法である。また化学分析はC/N比(76)、BODやCOD(85)、還元糖割合(43)などを測定し、その量から土壤中での変化を予測する方法である。このように作物生育阻害物質は微量のため分析よりも生物反応により判定し、土

壤中での分解は化学分析結果から判定しているのが現状であり、総合的に簡易に腐熟度検定ができる方法はないといえる。

前章においては、おが屑混合鶏ふん堆積物について腐熟過程を化学成分組成や微細形態の変化等総合的に検討した。ここでは前章の結果で明らかになった腐熟過程の変化をふまえて、簡易に実施できる腐熟度検定法について検討した。さらに、その方法について幅広い有機物への適用性を検討し、有機物の種類別に腐熟度の簡易検定法について考察した。

1. 外観色の測定法

堆積された有機物は腐熟に伴い暗褐色化することはよく知られ、経験的に外観色から腐熟度を判定することが行われている。有機物の色の評価は、外観色をマンセルの色体系にあてはめ表現する方法(144)と、抽出液の色調を吸光特性から表現する方法(77)が試みられている。ここでは、生産現場で迅速かつ簡易に判定できる外観色の判定について検討した。

1) 実験方法

(1) 供試有機物：松田養鶏農場（足柄上郡松田町）及び中央養鶏場（愛甲郡愛川町）製造のおが屑混合鶏ふん堆積物を乾燥後、微粉砕した。

(2) 測定方法：微粉砕した試料を小型シャーレに、厚さ5mm程度になる量を取り、反射光を最小にするためシャーレを黒色紙の上に置く。これに色彩色差計（ミノルタCR-100）の受光部（直径10mmガラス板付き）をあて、D-6500のY×Yを測定する。部位を変え3回測定し、その平均値をとった。

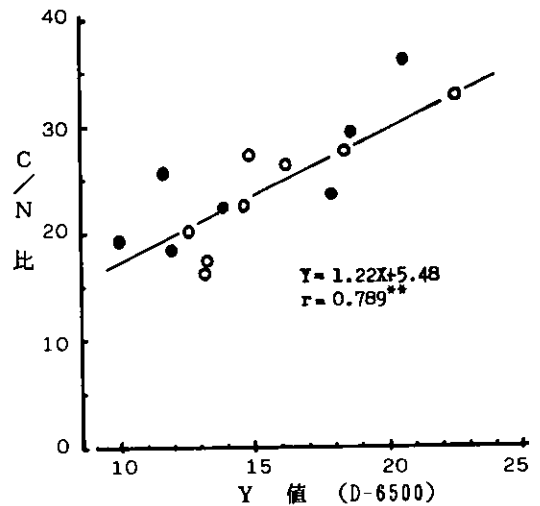
2) 結果及び考察

有機物は堆積中に微生物の働きにより複雑な有機化学的反応を起こし、黄褐色から暗褐色に変化してゆく。この色の变化を正確に把握できれば腐熟度を簡易に判定することができる。簡易な方法として色票を利用した色の判定が考えられるが、人間の眼は暗色の比較は正確ではなく、機械を使用した色の測定が望ましい。また有機物は水分含量により色調が異なり、低水分では黄色味が、高水分では黒色味が強くなるという性質がある。このためここでは乾燥粉碎有機物の反射光を、携帯可能な小形の色彩色差計を利用して測定した。色調の表示には数種の色体系があるが、ここではCIE表色法（JISZ8701）によるY×Yによる表示(63)を用いた。

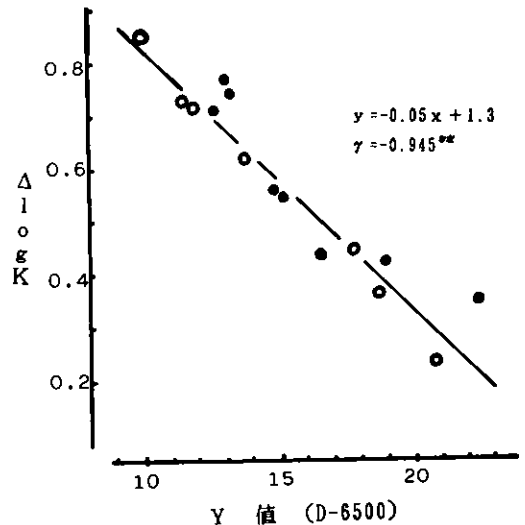
2カ所の養鶏場で製造されたおが屑混合鶏ふん堆積物について測定した結果、Y値は腐熟に伴い変化したが、x・yは共に0.35～0.36の類似した値を示し腐熟に伴う変

化は認められなかった。すなわち腐熟過程では色調の変化はわずかであり、明度だけが変化する。このためY値とC/N比との関係を第4-1図に示した。図中には2カ所の製造所を印を変えて示したがほぼ同じ傾向であり、Y値から容易にC/N比が推定できることを示している。この結果、Y値が12～13になればC/N比が20程度となり、十分に腐熟している有機物であるといえる。

他に有機物の色調を測定する方法として、アルカリ抽出液による方法がある。外観色とアルカリ抽出液の色調



第4-1図 粉碎試料のY値とC/N比の関係



第4-2図 粉碎試料のY値とΔlogKの関係

を比較するために、熊田(77)の方法により求めた $\Delta \log K$ と Y 値との比較を第 4-2 図に示した。図からは指数モデルの方が適合性が良いように見えるが、直線回帰においても高い相関を示した。これは $\Delta \log K$ が有機物中の暗褐色腐植物質をアルカリで抽出し、定量する方法であることを考えれば当然の結果である。

これらのことから、Y 値が有機物の腐熟度を表す指標として利用出来ることがわかる。SUGAHARAら(116)は水積み稲わら堆肥の色調をカラーアナライザーを利用して解析し、Y 値が C/N 比と相関が高いことを報告している。この結果は本結果と一致し、有機物の腐熟度検定に Y 値が幅広く使えることがわかる。この報告から原料の稲わらを除く 20 点について再計算した結果、及び街路樹せん定屑堆肥(23)について測定した結果を示すと次の関係式が得られる。

おが屑鶏ふん堆積物：C/N 比 = 1.22 Y 値 + 5.48

($r : 0.789^{**}$, $n = 15$)

水積み稲わら堆肥：C/N 比 = 1.59 Y 値 - 8.17

($r : 0.851^{**}$, $n = 20$)

街路樹せん定屑堆肥：C/N 比 = 2.37 Y 値 + 0.49

($r : 0.953^{**}$, $n = 7$)

このように資材により回帰式が異なるため、普遍的に外観色だけで腐熟度検定を行うことは出来ないが、限られた資材を使う場合には有用な手法である。しかし、菅原ら(117)が報告しているように、連続堆肥化処理のように原料と製品を混合する方法では堆積直後から暗褐色になるため、判断を誤りやすい。さらに乾燥させない生の有機物は黒色が強いので数値が小さくなり、粉砕しない有機物では測定回数を多くしないと測定誤差が多くなる。このような制限があるが、比較的安価な携帯用の色彩色差計による Y 値の測定は、堆肥センターのようにほぼ同じ資材による有機物を作成する場合の品質管理には極めて有効な方法である。

2. 幼植物検定法

作物生育に及ぼす直接の障害を検定するには、直接植物種子で検定することが好ましい。有機物の腐熟度検定に植物種子を使用することは、古くから試みられていた。その方法は、二十日ダイコン(110)やキュウリ(140)、ハクサイ(69)の種子を利用し、発芽率や生育量を調査するものであり、多くは土壌と混合しノイバウエルボットで栽培することが多い。ここでは熱水抽出液による幼植物検定法について検討した。

1) 実験方法

(1) 供試有機物

おが屑混合鶏ふん堆積物及び第 2 章で用いた有機物等。

(2) 発芽試験法

乾燥後粉砕した有機物 5 g を 200 ml 容三角フラスコにとり、60°C の熱水 100 ml を加え、アルミホイルで蓋をする。時々攪拌しながら 60°C の恒温器に 3 時間保持し、冷却後ガーゼ 2 枚を重ねてろ過する。このろ液 10 ml を、あらかじめろ紙 2 枚を敷いてあるシャーレに分注し、その上からコマツナを 30~50 粒播く。このとき対照として水を 10 ml 入れたものを用意しておく。シャーレに蓋をし、室温に保持して 3~6 日後に発芽率と根の状態を観察する。

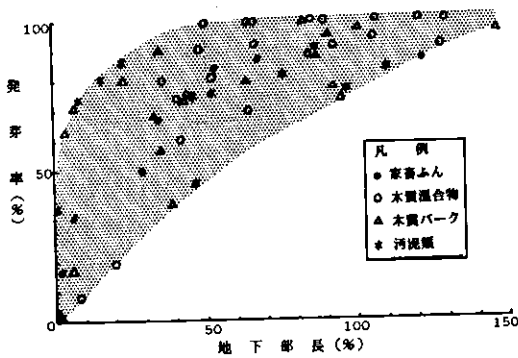
発芽率と根長を測定し、水で栽培した対照区を 100 としたときの比率 (%) で表示する。さらに根を切り取り Lacto Phenol Cotton blue 液で染色し、100~150 倍の光学顕微鏡で観察する。

2) 結果及び考察

幼植物による腐熟度検定はよく知られており、有機物と土壌を混合するのが一般的であるが、水抽出液による方法もある。土壌混合では土壌の性質による影響が見られ、水抽出液では抽出が不十分な恐れがある。このため 60°C 抽出法を考案した。この条件設定は堆積中の品温に近い温度で 3 時間抽出することにより、抽出と共に弱い殺菌効果をもたせるよう設定したものである。また、ろ紙の上に種子を播くことにより発芽の状態が非常に解り易い。

作物種子としてコマツナを選んだが、これは全国どこでも得やすく、発芽力が強く、発芽適温も極めて幅広く、取り扱い易いためである。数種の作物種子について検討した結果(20)、より微妙な生育阻害物質を調査するときはレタス種子が適していたが、幅広い有機物の腐熟度検定にはコマツナが最も適している。

腐熟が進むに従い発芽率が良くなることはよく知られている。本方法により堆積に伴う発芽率を調査した結果は、第 3 章の第 3-3 図に示したように腐熟度と良く一致する。これは同一資材の堆積中の変化についてみられる傾向であり、有機物の種類によっては発芽はするが根に著しい障害を及ぼすものもある。その例を第 4-3 図に示した。この図は 60 点の有機物について発芽率と地下部長(根長)の関係を示したものである。この図から発芽率と根の障害は同じ変化を示すものではなく、発芽率が良くても根部に障害を及ぼすものが多くあることがわかる。図中には種類別に記号を変えて示したが、家畜ふんは比較的発芽率と根長の関係が一致しているのに対



第4-3図 発芽率と地下部長(根長)の関係
(水で栽培した対照区100をとって表示した。)

し、木質や汚泥類は発芽率が良くても根に障害を及ぼすものがある。このため、これらの有機物は発芽率の検定だけでは不十分であり、根の観察が必要である。

発芽及び根の生育阻害因子としては、有害物質の存在と養分濃度の過剰が考えられる。家畜ふんでは養分過剰(主としてアンモニア)による障害のため、発芽率と根

長とがほぼ比例するのに対し、木質や汚泥類は微量な有害物質(フェノール性酸等)が含まれており、発芽は抑制しない場合でも根に障害を及ぼすことがある。このため腐熟度検定は、発芽率の測定だけでは不十分であり、併せて根の状態を観察する必要がある。

発芽率は良いが根に障害を及ぼすものについては、根の顕微鏡観察が有効である。その例を写真4-1に示した。これは街路樹せん定屑堆肥(23)の例を経時的に示したものである。堆積2カ月では細根は少なくまばらであり、太く短く、その周囲には微生物の集団がみられる。4カ月になると細根は対照区と同様に細く長くなるが、周囲に微生物がみられる。6カ月になると対照区とほぼ同様になり、微生物もみられない。この写真(2, 3)にみられる微生物の集団は抽出液中の易分解性有機物を利用して増殖したものと考えられ、堆積に伴う易分解性物質群の減少に対応している(23)。そのため、微生物の発生程度から有機物中の易分解性有機物の量を推定することも可能となるといえる。

以上示したように、有機物の腐熟度検定に熱水抽出液



(1) 対照区



(2) 未熟堆積2ヶ月目



(3) 中熟堆積4ヶ月目



(4) 完熟堆積6ヶ月目

写真4-1 幼植物検定における根の状態(街路樹せん定屑堆肥, コマツナ, 光学顕微鏡150倍)

による幼植物検定は有効であり、発芽率と根長からおおまかな障害性を知り、顕微鏡による細根観察から微弱な障害性を知ることができる。このように、発芽率と根の観察を併せて行うことにより、この手法はあらゆる種類の有機物に適用可能である。

3. 円形ろ紙クロマトグラフィー

HERTELENDY(38)は、ろ紙による1次展開クロマトグラフィーに生じるパターンが都市ごみコンポストの腐熟度と関係の深いことを報告している。井ノ子(44)はこれを改良し、都市ごみコンポストへの適用法を確立した。この方法は、特別な器具も必要とせず簡易なため、他の有機物への適応性について検討した。

1) 実験方法

(1) 供試有機物

おが屑混合鶏ふん堆積物及び連続堆肥化処理により製造された鶏ふん、豚ふん、牛ふん堆積物。

(2) 実験方法

ア ろ紙の調整：直径9cmのろ紙(No.5C)を15~20枚シャーレの上蓋に入れ、0.5%硝酸銀水溶液を加え、過剰の溶液を傾斜法により、除いた後、105℃の乾燥器に約2時間保持して乾燥させる。これに第4-4図に示したような切れ込みを作った。

イ 抽出液の作成：乾燥粉砕有機物100mgに0.1N水酸化ナトリウム液10mlを加え、時々攪拌しながら数時間(2

~16時間)保持後、遠心分離し上澄液をとる。これを展開に用いる。

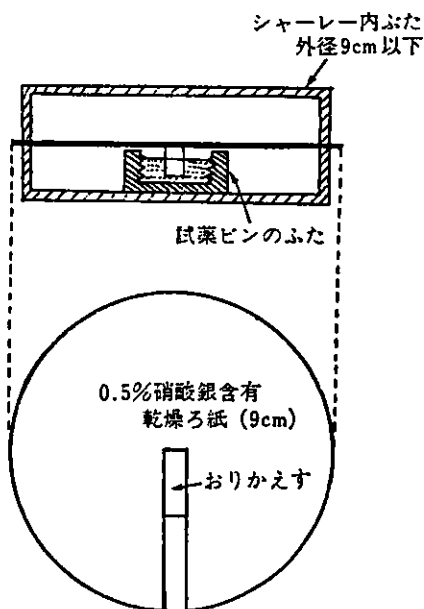
ウ 展開方法：展開装置はコンウェイの微量拡散ユニットを2個利用するが、第4-4図に示したようにシャーレの内蓋と試薬ビンの蓋を利用することもできる。中心部に抽出液約2mlを入れ、ろ紙の一端を浸し、もう1枚のユニットまたはシャーレをかぶせ蒸発を防止して展開する。

中心部から液が浸みて円を描くが、この円が直径約6cmになるとろ紙を取り出し、液吸い上げ部を切り取る。通常、展開時間は15~30分であるが、条件によっては1時間をこえる場合もある。展開の完了したろ紙は直射日光を避け、室内で乾燥させる。

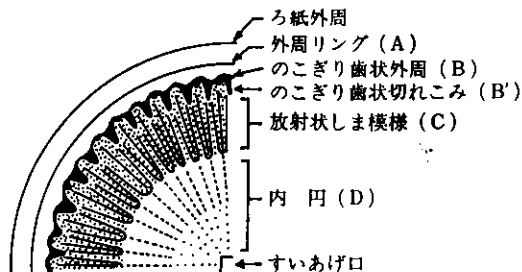
2) 結果及び考察

クロマトグラムの模式図を第4-5図に示した。この模式図は各部の名称を示したものであり、抽出液の到達点(外周リング状部)の約5mm内側に、のこぎり歯状の模様が見られる。この部分は暗褐色をした「のこぎり歯状外周」と淡褐色をした「のこぎり歯状切れこみ部」に分けることができる。さらに、その内側に約2cm程度の「放射状しま模様部」があり、中心部には、直径2~3cm程度の白色または淡黄色をした「内円」がある。これらの模様のうち、のこぎり歯状切れこみの凸凹の程度で腐熟度が検定できる。未熟な有機物では切れこみ(B)がなだらかであるが、腐熟するにしたがい凹凸が著しくなる。

各種有機物について、腐熟に伴うクロマトグラムの変化を調査した結果を写真4-2に示した。鶏ふん堆積物(KC)は未熟物(KC-1)からのこぎり歯状の発現がわずかに認められたが、のこぎり歯状外周と切れこみ部とに分かれてはいない。中熟物(KC-2)ではこれらの分離が認められ、完全物(KC-3)になるとのこぎり歯状切れこみの発達が著しくなる。また、豚ふん堆



第4-4図 円形ろ紙クロマトグラフィーの簡易装置



第4-5図 円形ろ紙クロマトグラムの模式図

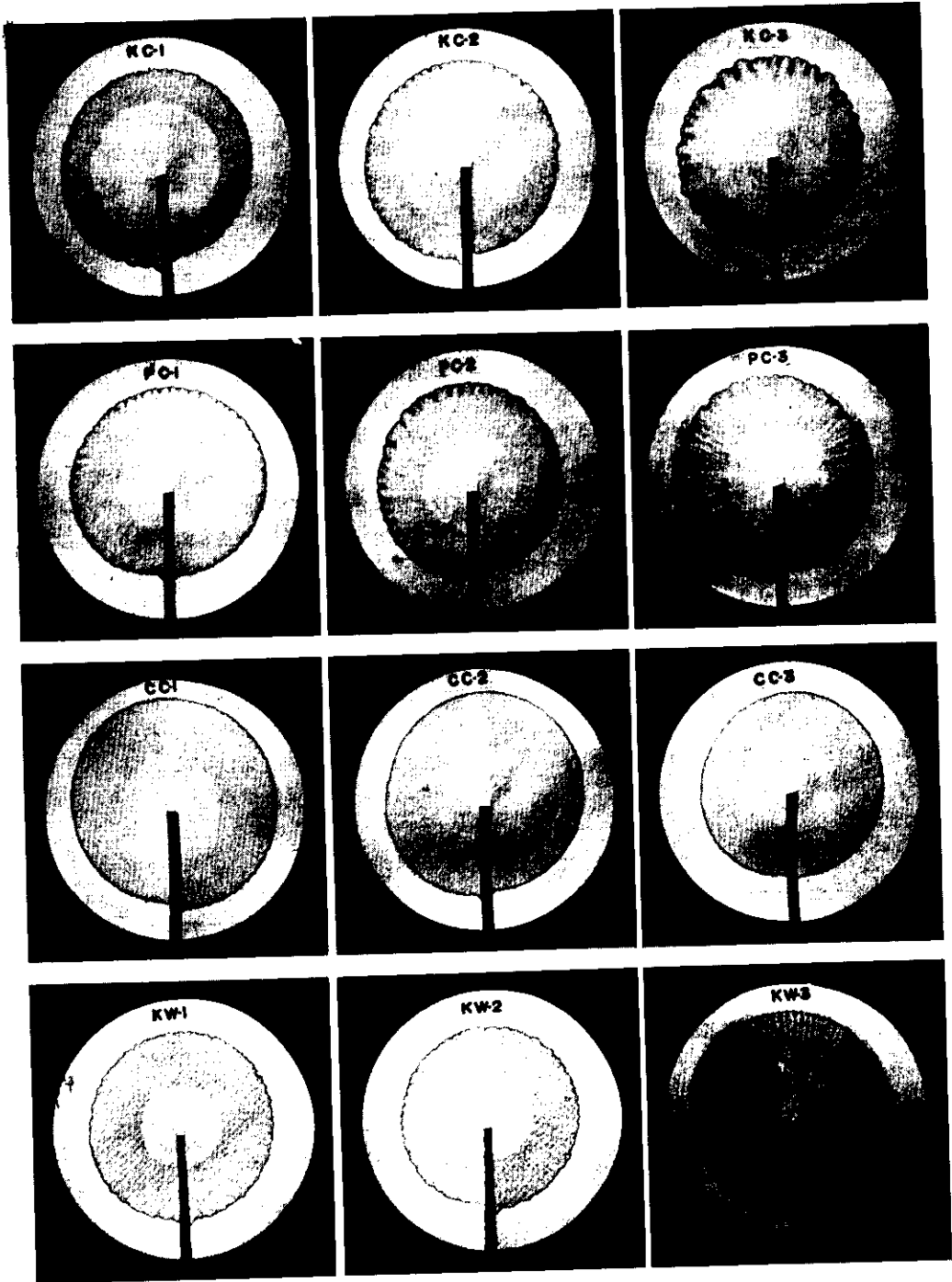


写真4-2 各種家畜ふん堆積物の円形ろ紙クロマトグラム

- (注) KC : 鶏ふん堆積物
 PC : 豚ふん堆積物
 CC : 牛ふん堆積物
 KW : おが屑混合鶏ふん堆積物
- 1 : 未熟 (堆積11日)
 2 : 中熟 (堆積10日程度)
 3 : 完熟 (堆積1ヵ月程度)

積物 (PC) は傾向が鶏ふん堆積物に類似しているが、完熟物 (PC-3) では切れこみが鶏ふん堆積物に比べやや浅いため鶏ふん堆積物ほど明瞭な判定はできない。

牛ふん堆積物 (CC) は、鶏ふん堆積物や豚ふん堆積物でみられた傾向が全く認められなかった。すなわち、切れこみは未熟時 (CC-1) から小さく、腐熟化に伴い、逆にさらに小さくなる傾向がみられた。おが屑混合鶏ふん堆積物 (NW) も同様な傾向にあり、この方法では腐熟度検定が出来ない。

のこぎり歯状切れこみの発現について HERTELENDY (38) は腐植の生成によるとしている。本報告に供試した試料を 0.1 N 水酸化ナトリウム溶液で抽出した後、抽出液を硫酸で酸性化し、腐植酸画分とフルボ酸画分に分離したものについて同様にクロマトグラフィーを試みた結果、腐植酸画分では明確なのこぎり歯状切れこみが認められず、フルボ酸画分にのこぎり歯状切れこみが認められた。このことから、のこぎり歯状部分の発現は、糖類、アミノ酸類、フェノール性物質群の重合に伴うメラノイジン様物質群の生成と、その生成物のろ紙に対する親和力の差異によると考えられる。

本手法は木質が混合した有機物では検定不可能 (45) であり、使用の場が限定されるが、都市ごみコンポスト、鶏ふん堆積物、豚ふん堆積物、製紙スラッジ堆積物 (112) については極めて優れた方法である。

4. 微細形態観察

おが屑が混合した有機物は、直接に作物生育を阻害をする障害と間接的な窒素飢餓の2つの障害が考えられる。前者は幼植物検定で把握できるが、後者は長期間の培養試験を実施する以外に方法はない。しかし、それらの害がおが屑に由来するものであるとすれば、おが屑を直接観察することにより判定することが可能になると考えられる。そのため、走査電子顕微鏡によるおが屑の微細形態観察の腐熟度検定への適用の可能性について検討した。

1) 実験方法

(1) 供試有機物

おが屑混合鶏ふん堆積物 (愛川町産)、おが屑混合豚ふん堆積物 (平塚市産) およびパーク堆肥 (山北町産) の未熟物と完熟物。

(2) 実験方法

採取した有機物約 5 g ビーカーに取り、100 ml の滅菌水に分散させる。1~2 分後、沈降した木片をガーゼでろ別し、少量を薄層として時計皿に拡げ、60℃の通風乾燥器で30分以内に乾燥させた。このようにして脱水した木

片をアルミプレートにとり、金蒸着処理 (エイコーイオンコーダ IB-2) 後、走査電子顕微鏡 (日立・明石 MSM4 C-101) により観察した。

2. 結果及び考察

前章 (第3章) において堆積に伴う木質分解の状態を明らかにしたが、ここではパーク堆肥、おが屑混合豚ふん堆積物及びおが屑混合鶏ふん堆積物について、それぞれ未熟物と完熟物の微細構造観察を行った結果を写真 4-3 に示した。

パーク堆肥は分解し難いことはよく知られているが、未熟物 (1) と完熟物 (2) では、凹凸の著しさに大きな違いがみられる。おが屑豚ふん堆積物においても同様に未熟物 (3) と完熟物 (4) では、微細構造の凹凸に著しい差があり、また細菌が数多くみられる。おが屑混合鶏ふん堆積物は前章においても示した。ここでは異なる養鶏場で製造されたものを供試したが、これも同様な差が未熟物 (5) と完熟物 (6) の間に認められる。このように木質を含む有機物は、ほぼ同様な木質の分解様式が認められる。

腐熟度の判定基準は、1000倍以下の低倍率で観察したとき繊維組織に垂直方向に微細な亀裂がみられること、5000倍程度で繊維組織間を観察したとき表面に凹凸が著しいことである。このような状態であれば、土壌施用しても問題のない程度まで腐熟しているといえる。

観察試料は、完全に水分を除去することが必要であり、臨界点乾燥が用いられている。しかし木質は組織が硬いため、有機溶媒で処理しただけで観察する場合 (27) もある。木質だけの観察ではアルコール置換することなく、通風乾燥するだけでも観察可能である。この場合、菌糸は完全につぶれ、胞子や細菌も損傷を受け変形するが、その変形により木質組織と見分けることが容易となり、腐熟度検定にはこの乾燥方法で十分に目的を達することができる。

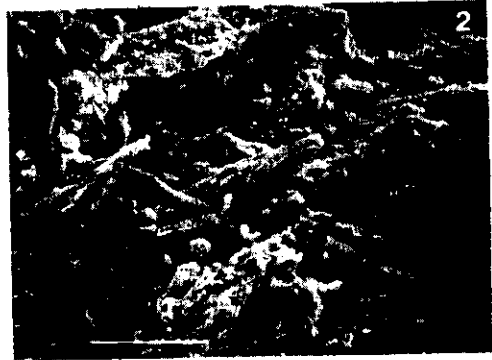
5. 考 察

かつての稲わら堆肥主体の時代では、腐熟度について外観だけの判断でそれほど問題を起こすことはなかった。しかし、有機物の多様化や製造者と使用者の分化に伴い、腐熟度は堆積期間や外観だけでは一律に評価できなくなってきた。この結果、有機物使用の場において様々な混乱が起り、有機物の規格作りが重要な課題となっている。なかでも腐熟度の問題が大きく、腐熟度の簡易検定法開発についての要望は耕種農家に多い。

腐熟度の指標は C/N 比が良く使われているが、その他にも有機物の理化学的性質や生物反応を用いた方法など多くのものがある。井ノ子 (47) や原田 (32) はこれらを総合的



(1) おが屑混合鶏ふん堆積物(500倍)
堆積2ヵ月, C/N比 24.9



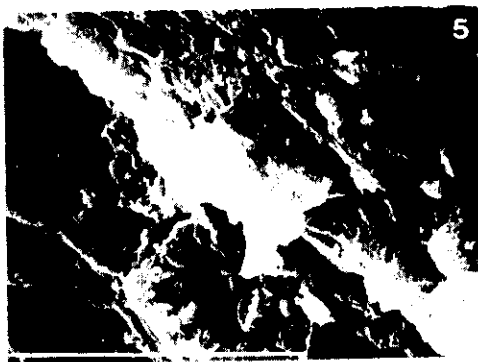
(2) おが屑混合鶏ふん堆積物(500倍)
堆積6ヵ月, C/N比 19.7



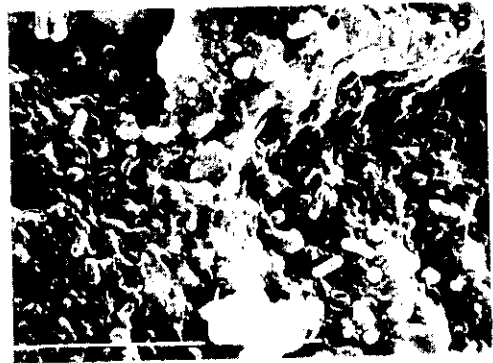
(3) おが屑混合豚ふん堆積物(5000倍)
堆積3ヵ月, C/N比 17.5



(4) おが屑混合豚ふん堆積物(5000倍)
堆積6ヵ月, C/N比 16.9



(5) バーク堆肥 (5000倍)
堆積1ヵ月, C/N比 50.2



(6) バーク堆肥 (5000倍)
堆積4ヵ月, C/N比 42.0

写真4-3 走査電子顕微鏡による有機物中の木質の微細構造観察例

第4-1表 腐熟度検定法の適用性

有機物の種類	外観色	幼植物	円形ろ紙	形態観察
稲わら堆肥	◎最適	○適	×不可	△一部可
牛ふん堆積物	◎最適	○適	×不可	×不可
豚ふん堆積物	○適	○適	◎最適	×不可
鶏ふん堆積物	○適	○適	◎最適	×不可
おが屑混合家畜ふん堆積物	○適	◎最適	×不可	◎最適
パーク等木質堆積物	×不可	◎最適	×不可	◎最適
都市ごみコンポスト	○適	○適	◎最適	×不可
汚泥堆積物	○適	○適	△一部可	×不可
検定に必要な日数	1日	3~6日	1日	1日

に解説しているが、簡易かつ明確な検定基準はないとしている。ここでは、外観色、幼植物試験、円形ろ紙クロマトグラフィー及び微細形態変化について検討した。その結果を要約し、各種有機物への適用性を整理したものを第4-1表に示した。

ここに示した4つの方法は、共にすべての有機物に最適な方法はなく、どの方法も限界がある。最も適用性の高いのは幼植物試験であるが、検定に要する時間がかかり、また直接作物根に障害を及ぼす物質は判定できるが、それ以外の間接的障害は把握できないという欠点がある。

外観色の判定は最も簡単にでき適用性の広い方法であるが、連続堆肥化処理により製造されたものや、コーヒー粕のように最初から暗色なものには適用できない。円形ろ紙クロマトグラフィーは簡易な良い方法であるが、おが屑を含まない豚ふんと鶏ふんの堆積物、都市ごみコンポストおよび一部の汚泥(製紙スラッジ)などしか適用できない。微細形態観察は木質を含む堆積物はすべて迅速に検定でき、なれば微細形態の変化から土壌中での分解様式を推定することも可能であるが、高価な装置を必要とする欠点がある。

このように1つの方法で対応可能なものはないため、原材料の不明な堆積物については複数の方法を組み合わせることが必要となる。近年、花粉管の伸長が植物根に類似していることから、これを腐熟度検定に、用いた報告(70)もあるが、これも有機物中の有害物質の検索には有効であるものの、幼植物試験と同じ限界性がある。また、森(90)はガスセンサーを用い、アンモニアガスを検知する方法を提案している。しかし、これもすべての有機物に適用することは困難である。このため現在のところ、ここに示した方法の1つと、C/N比または硝酸の

発現等の化学性と組み合わせれば、かなり信頼度の高い腐熟度検定が可能となるといえる。特におが屑等の木質を含む家畜ふん堆積物は、幼植物検定により有害成分の有無を検定し、微細形態観察により木質の分解程度を把握し、土壌施用後の特性を推測すれば、化学分析をすることなく腐熟度を容易に検定することができる。

6. 要 約

- (1) 有機物の簡易腐熟度検定法について検討した。外観色はあらゆる有機物で暗褐色に変化するため、微粉砕した試料のY値を測定すれば腐熟度が検定可能である。
- (2) 熱水抽出液による幼植物検定は、あらゆる有機物に適用できる。また、発芽率よりも根の状態を観察することにより、微妙な障害も検定可能である。
- (3) 円形ろ紙クロマトグラフィーは簡易にできる良い方法であるが、都市ゴミコンポスト、鶏ふん堆積物、豚ふん堆積物、製紙スラッジ堆積物にしか適用できない。
- (4) 走査電子顕微鏡による微細構造観察はおが屑を含むすべての有機物に適用でき、迅速かつ正確に判定できるが、高価な機器を必要とする欠点がある。
- (5) 以上の方法はすべて限界があり、単独の方法ですべての有機物の腐熟度検定を行える方法はない。このため、この方法の一つとC/N比や硝酸態窒素の発現などの化学性を組み合わせれば正確な検定が可能となる。
- (5) おが屑等の木質を含む家畜ふん堆積物は、幼植物検定により有害成分の有無を検定し、微細形態観察により分解の程度を把握することが好ましい。

第5章 土壌における分解特性

有機物の施用技術確立のためには、土壌中での有機物の分解特性を把握する必要がある。土壌中における有機物の分解特性についてはWAKSMANの一連の研究(127, 133~142)により体系立てられ、その後も多くの研究がある。しかし、時代とともに有機物の種類は多様化し、近年の農耕地には、おが屑等のようになっては考えられなかった資材が多量に施用されるようになった。にもかかわらず、このおが屑等木質混合有機物の土壌中における分解特性は不明な点が多く、生産現場では施用方法を誤り、窒素飢餓などの問題を起こす原因となっている。

おが屑混合家畜ふん堆積物は一般的に利用されており、その施用試験は全国の各県農試等で極めて多く実施されている。しかし、これらは肥効試験が主体であり、多くの場合分解特性までには注意が払われていない。また、土壌中における有機物の分解特性を把握する場合

も、培養試験による窒素無機化率や炭酸ガス発生量から推測するのが一般的であり、圃場状態での分解特性を把握した例は少ない。

作物を栽培している圃場における有機物分解研究の体系的なものとしては、志賀ら(11)が水田土壤中での各種有機物の分解特性を総合的にとりまとめた報告がある。これは、稲わらから汚泥まで含めた多種類の有機物について水田土壤中での分解特性を把握し、長期運用時の集積モデルまで作成したものである。しかしこれらの報告は、土壤中での分解の様式を化学成分から検討したものであり、微生物的な見地をあわせて考察してはいない。さらに畑土壌での分解特性は、加利用の形態が多様なことから、いまだに明確にされていないことが多い。

おが屑混合家畜ふん堆積物は、難分解性の木質と分解の速い家畜ふんの混合物であり、土壤中での分解様式を正確に把握しておかないと、施用後に長期間にわたって窒素飢餓を生じるなど問題を起こすことがある。そのためここでは、おが屑混合家畜ふん堆積物として第3章において堆肥化過程の明らかとなったおが屑混合鶏ふん堆積物を供試し、畑土壌中における分解特性を化学的、微生物的、形態学的見地から総合的に検討した。また、堆肥化物とその原料の特性を比較することにより、堆肥化過程と土壤中での分解特性の違いを検討し、農業利用における堆肥化の意味を明らかにすることを併せて試みた。

1. 化学成分組成の変化

有機物の畑土壌中での長期的分解特性を知るために、おが屑鶏ふん堆積物とその原料であるおが屑を、前田ら(82)の提唱したガラス繊維ろ紙法により作物栽培畑に埋設し、化学成分組成を検討した。この方法による分解特性の把握には志賀ら(11)の詳細な研究があるが、ここでは、堆肥化することの意味を検討するために、堆肥化物とその原料の分解特性を検討した。また、得られた成分組成の変化から数学モデルを作り、施用後10年間にわたっての有機物の分解特性を推定した。

1) 実験方法

(1) 有機物の埋設方法

作物を栽培している圃場の作土層に、ガラス繊維ろ紙法(82)により有機物を埋設し、経時的に取り出し分析した。

ア 供試有機物：ラワン材とマツ類の混合したおが屑と木屑(ブナ屑)の混合物(以下おが屑と略す)と、このおが屑と鶏ふんを混合し(重量で約1:1)、堆肥倉内で6カ月間堆積発酵したおが屑混合鶏ふん堆積物(以

下堆肥と略す)を使用した。有機物は乾燥や粉砕をせず、5mmのふるいを通過したものを使用した。水分含量は、おが屑8.8%、堆肥42.4%であった。

イ 埋設方法：乾土あたり約10%の炭素量に相当する有機物を混合し、ガラス繊維ろ紙法により埋設試験を実施した。すなわち、ガラス繊維ろ紙(Wattman GF/A, 15cm)筒に、平塚圃場の風乾細土(水分4.3%)10g、とおが屑2.5gまたは堆肥10gを混合したものを入れ封をした。それを1mm目のサランネットで作った袋に入れ、さらに3mm目のサランネットの袋に入れた。これを、平塚畑(灰色低地土・藤代統・土性SCL・腐植含む)の作土層15cmの部分に埋設した。また対照として、土壌だけを封入した区をあわせて設けた。

ウ 埋設期間：1979年8月から84年8月までの5年間埋設し、この間経時的に掘り出した。埋設部位が株間にあたるようにし、夏作スイートコーン、冬作キャベツを毎年栽培した。栽培にあたっては、化学肥料は標準量施肥したが、有機物はその影響を防ぐために施用しなかった。

(2) 分析方法

掘り出し後、60℃通風乾燥器で乾燥させ、全量を高速振動式粉砕機(平川TI-100)で微粉砕し、分析試料とした。

ア 全炭素窒素：成分全炭素と全窒素はCNコーダー(柳本MT-500)により測定し、無機態窒素はBREMNER(8)法によった。

イ 有機成分組成：3章1に同じ。

ウ 灼熱減量：550℃灰化法によった。

エ 抽出液吸光特性：試料0.5gを0.1N水酸化ナトリ

第5-1表 供試資材の成分組成

(水分を除き乾物含量)

項目	おが屑	堆肥	土壌	
水分 (%)	8.8	42.4	4.3	
粗灰分 (%)	1.6	32.9	96.4	
全炭素 (%)	51.2	34.9	1.02	
全窒素 (%)	0.11	1.81	0.10	
C/N比	465.5	19.3	10.2	
ヘミセルロース (%)	15.0	7.3	0.15	
セルロース (%)	34.5	18.6	0.18	
リグニン (%)	31.0	18.1	0.55	
還元糖割合 (%)	38.7	29.7	12.9	
無機窒素 (mg/100g)	NH ₄ -N	64.4	4.4	2.0
	NO ₃ -N	3.7	1.2	0.1

ウム液100mlで、100°C、30分間抽出し、400nmと600nmの吸光度を測定し、 $\log K$ を求めた。

2) 結果及び考察

(1) 成分組成の変化

供試した有機物および土壌の分析結果は第5-1表に示した。供試したおが屑は、ラワン材が主体であるがマツ類も混合しており、おが屑と木屑(ブレナ屑)が混合したものであり、やや大型である。堆肥は、このおが屑に鶏ふんを混合し、堆肥舎内で6カ月間堆積発酵したものであり、作物には障害を及ぼさない状態にまで腐熟させたものである。C/N比は、おが屑465.5、堆肥19.3であった。圃場は平塚の野菜栽培普通畑(灰色低地上・藤代統)を利用した。

埋設にあたっては、一般に畑施用される有機物の実態に近づけるため、これらを乾燥粉砕することなく5mmのふるいを通したものを試料とした(写真5-1)。また有機物の混合比率は、乾上あたり炭素として5%以下で行われる(11)ことが多いが、ここでは10%程度になるよう多量の有機物を混合した。これは有機物の微細形態観察もあわせて実施したため、有機物を検索しやすくしたことによる。埋設圃場は第5-1図に示したように、キャベツ、スイートコーンを連年栽培した。埋設物を5年間(60カ月)にわたって経時的に採取し、分析した結果を第5-2表に示した。

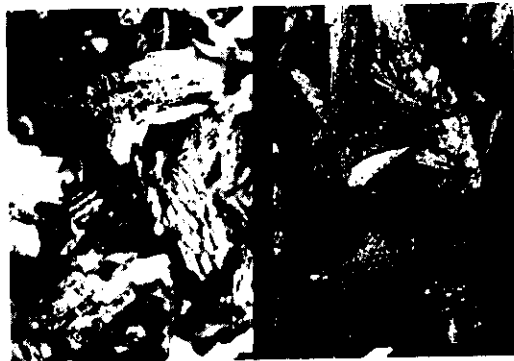
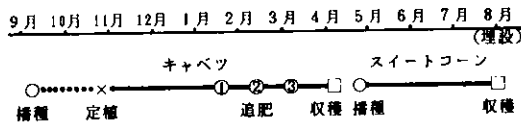


写真5-1 埋設有機物の拡大写真(3倍)



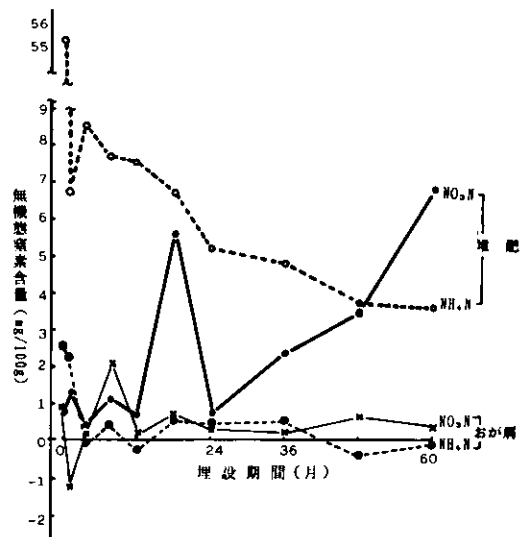
第5-1図 埋設試験畑作付体系
神奈川農総研所内畑(灰色低地上)

果を第5-2表に示した。この間、土壌だけ埋設した区では無機態窒素を除きほとんど変化が認められなかったため、分析の一部を省略した。

残存率(全重)は、掘り出し時乾物重量(A)の埋設時乾物重量(B)に対する比率(A/B×100)であり、土壌と有機物の混合物の重量変化率である。この値は埋設期間に比例して減少傾向にあり、60カ月目でおが屑区、堆肥区ともに約85%であったが、おが屑区はまだ減少中であるのに対し、堆肥区では24カ月目ではほぼ一定になる傾向がみられた。これは堆肥の分解が24カ月目から緩やかになるのに対し、おが屑は60カ月目でもなお分解が継続していることを示している。

全炭素は残存率とほぼ同じ傾向を示し、おが屑区は60カ月目で埋設時含量の22%になったが分解は継続しているのに対し、堆肥区では36カ月目で58%となり以後一定となる。これに対し全窒素は傾向が異なり減少傾向はみられず、堆肥区ではほぼ一定の値(0.7%)で変化はなかった。おが屑区は12カ月目から18カ月目の間に急激に増加し約2倍になったが、その他の期間ほとんど変化しなかった。この結果、C/N比は全炭素とはほぼ同じ傾向を示した。土壌のC/N比は10程度であり、堆肥区は36カ月目で約10となり分解が完了したことを示しているが、おが屑区では60カ月目でも約16であり分解は継続している。

有機成分のうち、ヘミセルロースとセルロースは全炭



第5-2図 無機態窒素含量の変化
(土壌の影響を除外した値)

第5-2表 化学成分組成の変化

(埋設物中の乾物%で表示)

区	埋設期間(月)	0	1	4	8	12	18	24	36	48	60	
おが屑埋設区	残存率(全重)	100.0	99.2	98.5	98.2	97.0	95.2	89.9	87.7	86.5	85.3	
	全炭素	10.76	10.22	10.11	9.94	9.38	7.74	5.76	3.65	3.16	2.24	
	全窒素	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.18	0.17	0.17	0.15	0.14	
	C/N比	119.6	113.6	112.3	110.4	93.8	43.0	33.9	21.5	21.1	16.0	
	ヘミセルロース	2.75	2.66	2.71	2.70	2.40	2.06	1.51	0.79	0.63	0.44	
	セルロース	7.87	7.79	7.45	7.21	6.60	4.47	3.04	2.19	1.58	1.27	
	リグニン	7.31	7.24	6.95	6.51	5.95	4.98	4.02	2.29	2.03	1.45	
	還元糖割合	39.5	40.9	40.2	39.9	38.4	33.8	31.6	32.7	28.0	30.5	
	粗灰分	23.1	22.1	21.5	21.0	19.5	16.3	12.7	9.4	8.0	6.6	
	無機窒素 (mg/100g)											
	NH ₄ -N	57.2	14.6	11.9	10.5	9.4	8.8	7.3	7.0	6.2	5.5	
	NO ₃ -N	0.8	3.3	0.6	1.3	0.7	7.4	0.8	2.7	3.8	8.4	
ΔlogK (g/ℓ)	0.089	0.092	0.097	0.103	0.107	0.131	0.126	0.113	0.107	0.117		
堆肥区	残存率(全重)	100.0	97.8	94.8	92.9	89.8	88.1	85.8	85.7	85.0	85.0	
	全炭素	12.31	12.32	11.85	11.36	10.31	9.30	8.13	7.71	7.58	7.92	
	全窒素	0.72	0.70	0.73	0.73	0.74	0.72	0.70	0.72	0.72	0.72	
	C/N比	18.49	17.60	16.23	15.56	13.93	12.92	11.61	10.42	10.50	11.00	
	ヘミセルロース	2.10	2.10	1.93	1.55	1.43	0.77	0.32	0.33	0.27	0.26	
	セルロース	7.24	6.36	4.83	4.23	3.16	2.29	1.58	1.42	0.95	0.81	
	リグニン	9.39	8.68	7.33	7.38	7.09	6.12	5.49	5.17	5.20	5.52	
	還元糖割合	28.1	27.2	22.8	20.4	17.8	13.2	9.4	9.1	6.4	5.4	
	粗灰分	28.4	25.3	23.1	22.4	19.8	17.6	16.3	15.2	14.8	14.8	
	無機窒素 (mg/100g)											
	NH ₄ -N	4.5	10.1	3.1	3.2	2.2	2.6	2.5	2.7	2.0	2.7	
	NO ₃ -N	0.9	0.6	0.3	2.3	0.2	2.5	0.4	0.5	1.1	1.8	
ΔlogK (g/ℓ)	0.428	0.464	0.473	0.492	0.517	0.518	0.567	0.552	0.580	0.585		
土壌単独区	残存率(全重)	100.0	100.1	100.3	100.3	100.4	100.4	100.3	100.4	100.3	100.3	
	全炭素	1.02	1.02	0.99	1.00	1.01	1.00	1.03	1.00	1.01	0.99	
	全窒素	0.10	0.11	0.10	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	
	C/N比	10.20	9.27	9.90	9.09	10.01	10.00	11.44	11.11	11.22	11.00	
	ヘミセルロース	0.15									0.14	
	セルロース	0.18									0.18	
	リグニン	0.55									0.51	
	無機窒素 (mg/100g)											
	NH ₄ -N	2.0	7.9	3.3	2.8	1.9	2.1	2.1	2.2	2.5	1.9	
	NO ₃ -N	0.1	2.0	0.2	0.2	0.1	1.8	0.1	0.3	0.5	0.1	

表と同じ傾向を示した。リグニンはやや傾向が異なり、おが屑区では全期間ほぼ同じ分解率を示し減少したが、堆肥区では36カ月目を最低にして以後やや増加する傾向がみられた。還元糖割合は、おが屑、堆肥区ともに減少傾向にあり、堆肥区では28%から5.4%へと減少の幅が極めて大きく、その減少は24カ月目までが著しかった

が、おが屑区では減少幅が小さかった。

以上示した成分は、全窒素を除きすべて減少傾向にあったが、無機態窒素はかなり不規則な変化を示した。アンモニア態窒素は堆肥区では含量が高く、経時的に減少傾向にあるが、おが屑区では土壌とはほぼ同じであった。すべての区で1カ月目の含量が高いが、これは土壌も同

様に高いことから施肥の影響を受けた結果と考えられる。硝酸態窒素は変化が不規則であり、1カ月目と18カ月目、60カ月目の増加は施肥の影響によると考えられる。

この施肥の影響を除くため、各区の含量から土壌の含量を引いた値を第5-2図に図示した。おが屑区は、1カ月目にアンモニア態窒素が多く硝酸態窒素が少なく、8カ月目に硝酸態窒素が多かった外はほぼ土壌と同じであった。堆肥区は1カ月目にアンモニア態窒素が減少し硝酸態窒素がやや増加していたが、これは鶏ふんに由来するアンモニアが土壌中で酸化され、生成した硝酸が流去したためと考えることができる。アンモニア態窒素はその後減少するが、硝酸態窒素は18カ月目に大きく増加した。この原因としては、この時期は2月であり作物(キャベツ)に追肥した直後であること、冬季のため作物生育が遅く硝酸態窒素が利用されなかったことなどが考えられる。36カ月目以後増加の傾向にあるのは有機物の分解に由来するためであり、36カ月目以後は年に一度夏季(8月)に調査しているため単純な増加傾向を示しているが、冬季にも調査すれば18カ月目と同様に不規則な変化を示すことが考えられる。

灼熱減量は残存率(全重)とほぼ同様な変化を示し、灼熱減量(x)と残存率(y)の間には次の関係式が得られた。

$$\text{おが屑埋設区 } y = 0.94x + 78.5 \quad (r = 0.996^{**})$$

$$\text{堆肥埋設区 } y = 1.14x + 67.9 \quad (r = 0.993^{**})$$

このことから埋設物重量の変化は、分解に伴う有機物の含量変化を正しく表しているといえる。

アルカリ抽出液の $\Delta \log K$ を測定し、腐植化度を調査した結果、堆肥とおが屑では異なる傾向がみられた。堆肥では24カ月目までは顕著に増加したが、その後はほぼ一定となる傾向にあり、重量の減少とほぼ一致した変化を示した。しかし、おが屑は12カ月目まではわずかに増加傾向にあったが、18カ月を過ぎると逆にわずかな減少傾向を示し、90カ月目ではやや増加している。この違いは、堆肥とおが屑の分解様式の違いを、示していると考えられる。

(2) 有機物の分解速度

土壌中における有機物の分解様式とその速度を知るために、第5-2表に示した結果から有機物中の成分含量を計算した。その計算式は次に示した。

$$\text{埋設物分析値}(\%) / 100 \times \text{全重}(\text{g})$$

$$= A \text{ (袋内全体の成分量)}$$

$$\text{土壌分析値}(\%) / 100 \times \text{土壌量} (9.57 \text{ g})$$

$$= B \text{ (袋内土壌の成分量)}$$

$$\text{全重} - \text{土壌量} (9.57 \text{ g}) = \text{有機物の粗灰分量}$$

$$= C \text{ (袋内の有機物重量)}$$

$$\text{有機物中の成分含量}(\%) = (A - B) / C \times 100$$

第5-3表 分解速度数式モデルの係数

区	係数名	Ka	Kb	A	B	C
おが屑	有機物残存率	-0.0776	-0.0844	1067.2	-990.62	20.181
	全炭素	-0.0096	-0.0440	74.464	-15.228	12.553
	全窒素	-0.1040	-0.0900	12.424	-13.652	1.3513
	C/N比	-0.0960	-0.1009	99.369	-96.032	3.0217
堆肥	ハミセルロース	-0.0540	-0.0600	139.49	-130.49	4.3316
	セルロース	-0.0980	-0.1000	1137.9	-1118.7	21.120
	リグニン	-0.0464	-0.0536	132.80	-114.07	16.808
	有機物残存率	-0.0879		58.521		39.743
おが屑	全炭素	-0.1800		-8.0662		57.407
	全窒素	-0.0520		-3.1067		5.6800
	C/N比	-0.0666		8.7821		10.206
	ハミセルロース	-0.0976	-0.1784	25.005	-18.227	0.9554
	セルロース	-0.0462		23.135		4.5186
	リグニン	-0.0248		-8.0539		43.208

(注) 数式モデルは次の式を使用した。

$$y = A \cdot e^{K_a \cdot x} + B \cdot e^{K_b \cdot x} + C$$

$$y = A \cdot e^{K_a \cdot x} + C$$

ただし、おが屑のC/N比についてはyとして $\ln y$ を用いた。

この式によって求められた有機物中の成分含量値と、その経時的变化を非線形モデル⁽⁹¹⁾にあてはめ、10年後までの変化を予測した結果を第5-3～5-9図に示した。数学モデルは、 x を埋設期間(月)、 y を有機物中(Ash free)の各成分含量とし、一次反応式($y=A \cdot \exp(Ka \cdot x) + C$)および一次並発反応式($y=A \cdot \exp(Ka \cdot x) + B \cdot \exp(Kb \cdot x) + C$)を適用した。二つのモデルに分けた理由は、堆肥は土壤中で経時的に変化することから一次反応式としたが、おが屑は最初の1年間はほとんど分解せずLag phaseを持つため並発反応式としたことによる。また、ヘミセルロースはセルロース分解にともない再合成される可能性がある⁽¹²⁷⁾ため、堆肥の場合も一次並発反応式を利用した。

非線形モデルの計算は、金野⁽¹⁰⁰⁾の開発したパソコン用プログラムに改良を加えたものを使用した。これらの計算結果から得られた数式モデルの係数を第5-3表に示した。なお、おが屑のC/N比については y として自然対数値(ln)を使用したため、この表の係数をあてはめる時は注意が必要である。

有機物残存率の変化を第5-3図に示した。堆肥は数式モデルの適合性が良く、3年ではほぼ有機物の分解が完了することがわかり、そのとき約40%のものが腐植として土壤中に残存する。おが屑はやや適合性が悪いものの、6年目頃から分解が緩やかになり、数式モデルでは定数項(C)が20.18(第5-3表)であり20%もの有機物が残留することになるが、この数字はやや高めに評価し過ぎていると考えられる。

全炭素、全窒素およびC/N比の変化を第5-4～5-6図に示した。全炭素は堆肥では約57%で一定しているが、おが屑では減少傾向がみられた(第5-4図)。全窒素は3年目ではほぼ一定になる傾向にあり、このとき堆肥5.3%、おが屑1.4%であった(第5-5図)。

数式モデルによる解析結果、C/N比は堆肥では3年目に11となったが、おが屑では5年目以後ほぼ一定になるものの約20であり、高すぎる値となった(第5-6図)。これはおが屑のC/N比の変化が大きいため適切な数式モデルが出来なかったことによる。また、有機物中の炭素含量はほぼ一定の値となるにもかかわらず、おが屑では減少の傾向にあるが、これは全窒素含量が低いレベルで一定となっている。(第5-5図)ことから、窒素量に規制され炭素が消費されることを示している。全炭素と全窒素の数式モデルでは、10年後に全炭素14.9%、全窒素1.35%でありC/N比は11となる。この結果は、さきのC/N比の予測結果(第5-6図)よりは妥当性が

あると考えられる。

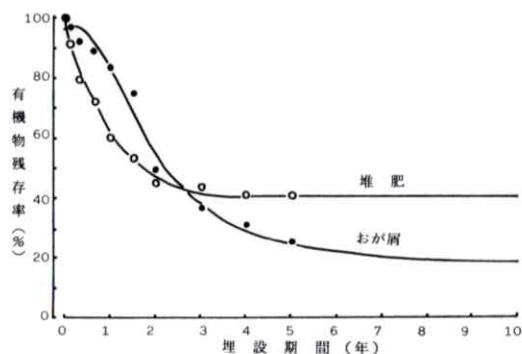
ヘミセルロースは有機物の分解過程で分解と再合成が繰り返されるため一次並発反応式を利用した。結果は第5-7図に示したように多少の誤差はみられるが、比較的妥当なモデルが得られた。堆肥では3年目に1.7%となり以後は1%程度の値を示し、おが屑では緩やかな減少が継続し、10年目でも4.4%の含量を示した。

セルロースは第5-8図に示したように、おが屑と堆肥ともに5年目以後分解が緩やかになった。5年目の含量はおが屑約22%、堆肥約6%であった。

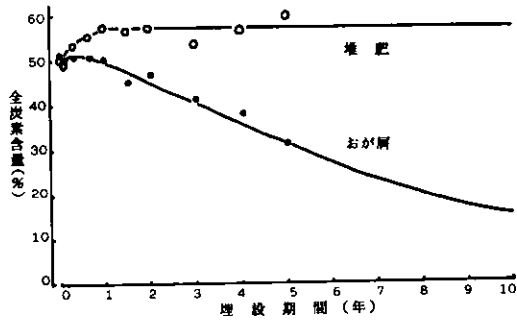
リグニンの変化は第5-9図に示したように、おが屑と堆肥では傾向が大きく異なる。堆肥では緩やかに増加の傾向にあり、最終的には43%になるが、おが屑では減少傾向が長期間にわたって継続する。リグニンの変化は全炭素の変化と類似している。

以上、非直線モデルによるあてはめを行った結果をグラフ(第5-3～5-9図)から判断すると、堆肥は2～3年、おが屑は6～9年までに分解の大部分が完了し、これを経過すると分解が極めて弱くなる。しかし、10年をこえても堆肥で約20%、おが屑で約40%近い有機物が残存することは、分解が長期間にわたって継続することを示しており、施用された木質系有機物は、かなりの長期間にわたって土壤環境に影響を及ぼすといえる。

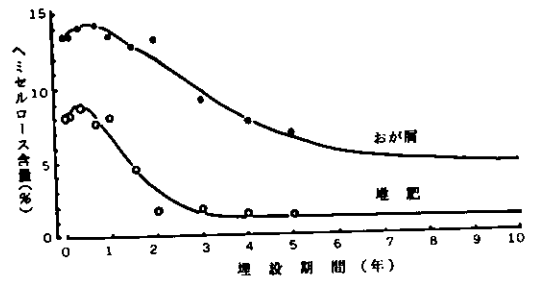
有機物分解や集積に対する数学モデルの導入は、井ノ子⁽⁴⁶⁾によればJENNY⁽⁵⁰⁾が基礎を作ったとしている。近年では、STANFORDら⁽¹¹⁵⁾が土壤窒素の無機化解析に反応速度論的方法を導入し、新しい展開をむかえている。とくに金野ら^(71, 118)の窒素無機化に関する報告は実験から得た速度定数を使用し、信頼の高いモデルを提案している。また、志賀ら⁽¹¹¹⁾は年毎の残存率と施用量の積和から集積量を説明するモデルを作っている。これ



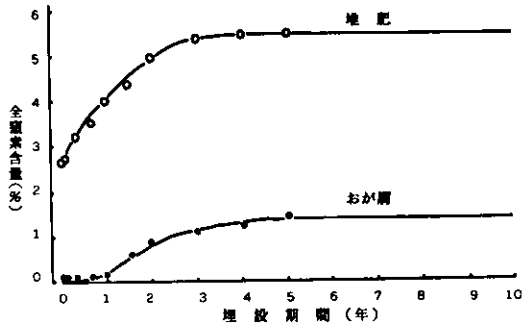
第5-3図 有機物残存率の経時変化



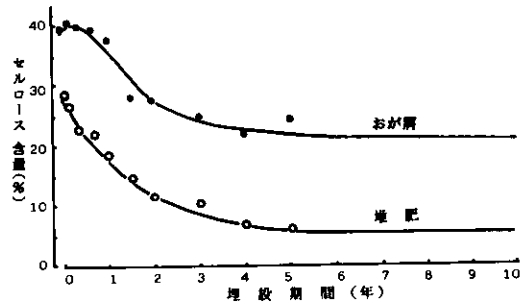
第5-4図 全炭素含量の経時変化 (有機物中の%)



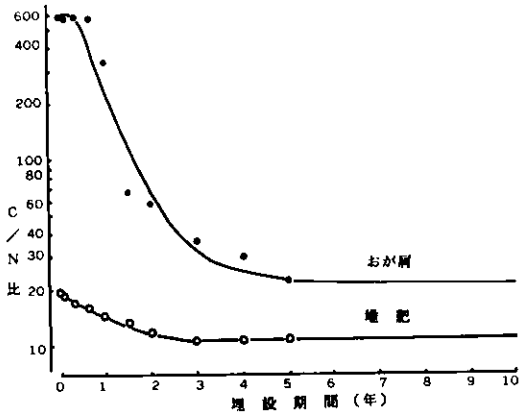
第5-7図 ヘミセルロース含量の経時変化 (有機物中の%)



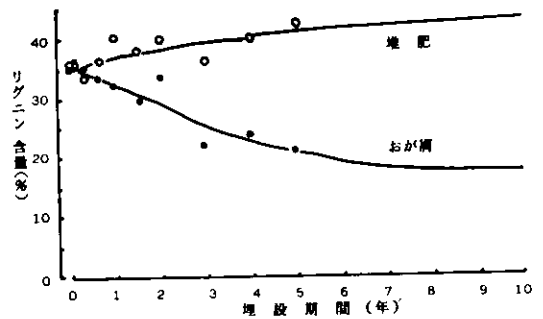
第5-5図 全窒素含量の経時変化 (有機物中の%)



第5-8図 セルロース含量の経時変化 (有機物中の%)



第5-6図 C/N比の経時変化 (縦軸は指数値で表示)



第5-9図 リグニン含量の経時変化 (有機物中の%)

らに比べ、ここで用いたモデルは固定した定数(速度定数、温度定数など)を使わず、単に得られたデータからのみ解析した。そのため信頼性ではやや劣り、長期予測へのあてはめには問題があるが、用いた数学モデルの適用性は良く、10年程度の予測としては十分に対応出来るといえる。しかし、おが屑の全炭素の変化モデル(第5-4図)では有機物中の全炭素が減少を続けることになり、通常、有機物の約50%が炭素であることを考え合わせれば、やや実態と異なる結果となっている。これは、有機物あたりの含量(Ash free値)の評価に問題があると考えられる。すなわち、おが屑では有機物含量が5年間に約80%も減少しており(第5-3図)、埋設物中の有機物含量が極めて少なくなる。この結果、有機物中の含量に換算するとき誤差が拡大したことが考えられる。このことは、第5-3図においておが屑の有機物残存率が40%以下になった頃から全炭素(第5-4図)が減少傾向にあることから推定できる。以上示したように、数学モデルによる分解特性の解析には、おが屑では信頼性に問題があったが、堆肥ではほぼ良好なモデルが得られた。

2. 微生物性の変化

有機物の施用が土壤中の微生物性に及ぼす影響については多くの研究があり(41, 60, 122~123)、有機物が土壌微生物の種類や量を豊かにすることが知られている。しかし、有機物施用が微生物相に及ぼす影響の持続性や、有機物の化学成分と微生物相との関係については不明な点が多い。ここではガラス繊維ろ紙法により、野菜を栽培している露地畑に埋設したおが屑と堆肥が微生物相に及ぼす影響を経時的に検討し、化学成分と微生物相の相互関係を考察した。

1) 実験方法

(1) 供試試料

化学成分組成の変化の項と同じ有機物を用い、同じ方法によった。すなわち堆肥及びおが屑を土壌と混合し、ガラス繊維ろ紙法により平塚畑に埋設した。この試料を経時的に掘り出し、直ちに微生物の分析をした。

(2) 分析方法

微生物は微生物実験法(14)にしたがって分析した。試料の一部で水分を測定し、結果は乾物1gあたり生菌数で表した。使用した培地は次に示した。

ア 糸状菌・細菌・放線菌：希釈平板法。糸状菌はローズベンガル寒天培地、細菌と放線菌はアルブミン寒天培地を利用し、28℃に糸状菌5~7日、細菌と放線菌は10~14日間培養し、計数した。

イ アンモニア・亜硝酸酸化細菌：最確法。アンモニア酸化細菌計数培地と亜硝酸酸化細菌計数培地により28℃に28日間培養し、計数した。

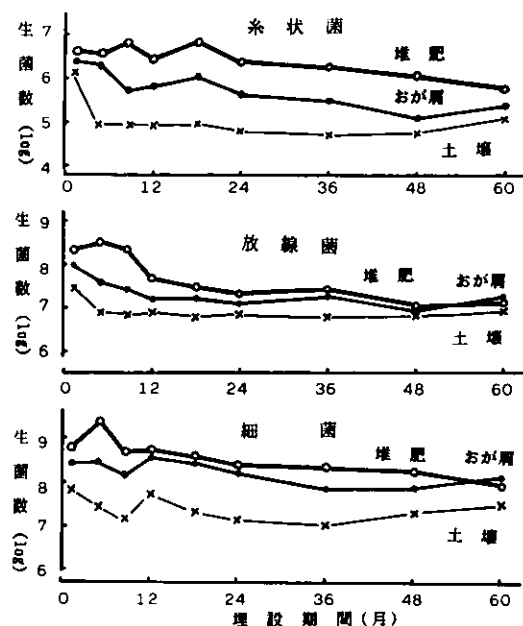
ウ セルロース分解菌：最確法。DUBOSのセルロース培地(14)により28℃で日間培養し、ろ紙の分解程度から判定した。

2) 結果及び考察

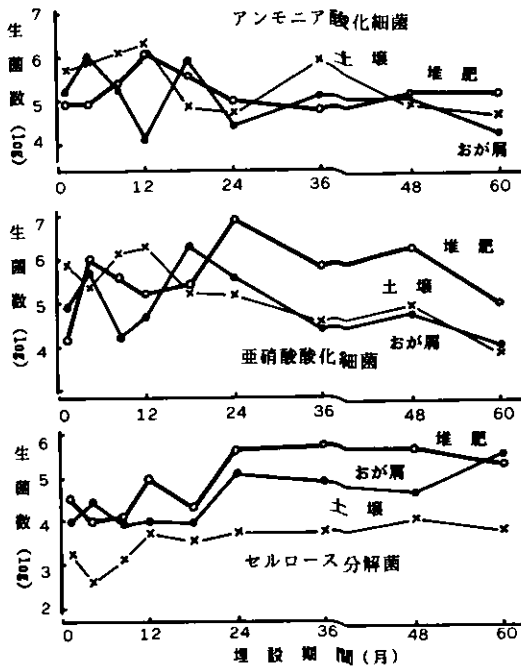
(1) 微生物の変化

微生物調査結果を第5-10~5-11図に示した。これは横軸を埋設期間(月数)、縦軸を生菌数の指数化したものとし、経時的な変化を明示したものである。第5-10図は希釈平板法による一般微生物、第5-11図は最確法による機能別微生物を示している。

糸状菌は、堆肥>おが屑>土壌の傾向が全期間にわたって継続し、その差はほぼ5~10倍である。土壌の試験開始時の菌数が異常に多いが、これは使用した土が8月上旬のスイートコーン栽培後の土壌であり、残根の分解のために糸状菌(主として *Aspergillus niger*) の胞子が土壌中に混合していたためである。これも4カ月目には元のレベルになり以後 10^5 の菌数を維持する。60カ月目には、堆肥、おが屑、土壌が類似した値になりつつある。



第5-10図 土壌埋設中の微生物数経時変化 (その1)



第5-11図 土壤埋設中の微生物数経時変化 (その2)

放線菌と細菌はともに類似した傾向を示す。すなわち、48カ月目までは堆肥>おが屑>土壌の傾向にあるが、60カ月目には堆肥とおが屑が逆転する。また、ともに土壤埋設直後の差が大きく、12カ月目以内にはその差が小さくなる。土壌は、全期間を通じて菌数の変化は少ない。

アンモニア酸化細菌は施肥の影響をうけるため、土壌の変化も不規則であり明確な傾向は把握できないが、堆肥の変化は比較的緩やかであり、12カ月目を最大とし以後10⁵程度の菌数を維持する。おが屑は冬季(8,18カ月目)に多くなる傾向がみられるが、24カ月以後は全体に類似した値を示すようになる。

亜硝酸酸化細菌も24カ月目までの変化が激しく、その変化はアンモニア酸化細菌に似ている。24カ月以後は堆肥>おが屑>土壌であり、堆肥は10倍以上多い。

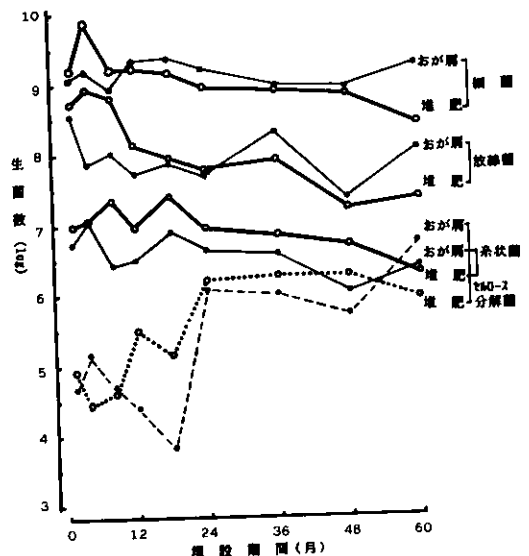
セルロース分解菌は季節の変動がややあり、冬季には減少するがその変動幅は小さい。12カ月目までは堆肥>おが屑>土壌であるが、それ以後は堆肥>おが屑>土壌となった。しかし、60カ月目には堆肥とおが屑が逆転した。また、ろ紙片につく微生物は糸状菌が多くみられ

た。有機物の微生物性に及ぼす影響を知るために、先の化学成分の項(5章1)で示した式を用いて有機物あたりの菌数に換算したものを第5-12図に示した。この式を微生物に利用することには問題があるかもしれないが、有機物の影響を埋設物中の微生物数でみた場合よりも明確にすることができる。

細菌は、堆肥では4カ月目が最大となり、8カ月目にはもとのレベルにもどる。以後は漸減傾向にあるが、60カ月目では急減する。これに対し、おが屑では48カ月目まではほぼ一定で、堆肥と類似した値を示すが、60カ月目では逆に増加傾向にあった。これは、堆肥は48カ月目ではほぼ分解が完了しているのに対し、おが屑では分解が継続し、細菌の養分が十分に供給されていることを示している。

放線菌は、堆肥では8カ月目までが多く、以後は減少傾向にある。これに対し、おが屑は1カ月目では堆肥とほぼ同等であったが4カ月目には減少し、24カ月目まではほぼ一定の値を示す。以後は増減があるが、堆肥よりも菌数が多くなる。

糸状菌は、堆肥では暫減傾向にある。8カ月目と18カ月目にピークがあるが、これはともに冬季にあたり、糸状菌の胞子が増加したためと考えることができる。おが屑は堆肥より菌数が少なく、全体の変化の様子は堆肥と類似しているが、60カ月目では堆肥よりも多くなった。これは、堆肥の分解が48カ月目までには完了しているの



第5-12図 有機物あたりの微生物数経時変化

第5-4表 微生物数と化学成分の相関

化学成分名	糸状菌	放線菌	細菌	セルロース分解菌
全炭素	0.819**	0.750**	0.764**	-0.518*
全窒素	0.657**	0.357	0.433	0.353
C / N 比	-0.121	0.020	-0.040	-0.578*
ヘミセルロース	0.794	0.449	0.414	-0.826**
セルロース	0.257	0.506*	0.411	-0.790**
リグニン	0.816**	0.715**	0.441	-0.453
還元糖割合	-0.269	0.124	0.234	-0.677**

(注) 埋設物中の乾物含量値により求め、菌数は対数値とした。n = 18

** 危険率1%有意 * 危険率5%有意

に対し、おが屑は60カ月目にも分解が継続しているためと考えられる。

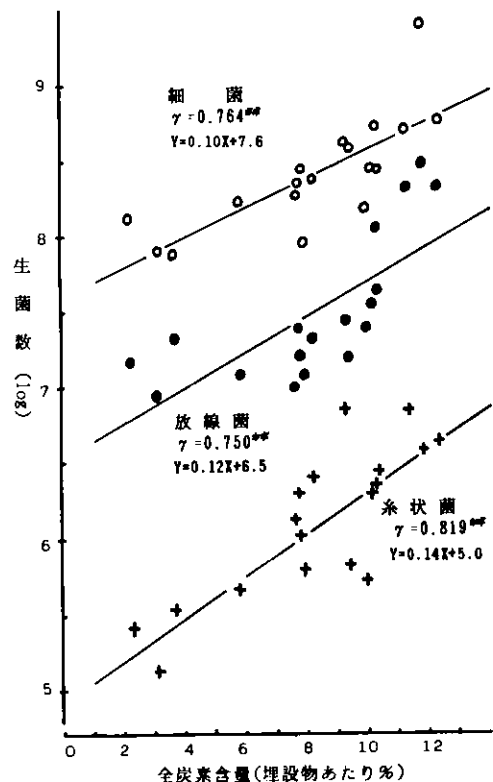
セルロース分解菌は、堆肥、おが屑ともに24カ月目までの増加が著しく、1カ月目の10倍以上となっている。堆肥は48カ月目以後減少傾向にあるが、おが屑ではさらに増加している。おが屑、堆肥共に18カ月目に減少しているが、この時期は冬季であり、また施肥直後であることが影響したと考えられる。

(2) 微生物と化学成分の関係

微生物性と化学性の関係を検討するために、微生物の指数値と化学成分組成（第5-2表）との相関係数を計算したものを第5-4表に示した。これによると、糸状菌は全炭素・全窒素・リグニンと、放線菌は全炭素・セルロース・リグニンと、細菌は全炭素とそれぞれ正の相関がみられた。これに対し、セルロース分解菌は全窒素およびリグニンを除くすべての成分と負の相関を示し、とくにヘミセルロースとセルロースとの相関が高い。このことは、糸状菌・放線菌・細菌は基質に比例して増減するのに対し、セルロース分解菌が増加すれば炭素成分が減少することを示している。

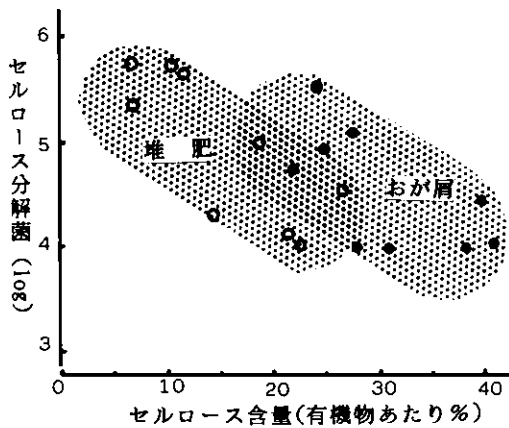
全炭素はすべての微生物と相関がみられたため、第5-13図に微生物数（指数値）と全炭素含量の関係を図示した。これは、おが屑埋設区と堆肥埋設区を一緒に表示したものであり、ややバラツキもあるが微生物数と全炭素含量の関係が密であることがわかる。得られた回帰直線の傾きは、糸状菌>放線菌>細菌であり、この順に炭素含量の変化に影響されやすいといえる。また回帰式の定数項は、糸状菌 5.0、放線菌 6.5、細菌 7.6であり、これは全炭素0%のときの微生物数といえる。この値は、第5-10図に示した土壌のみ埋設した区、全期間（5年間）を通じた微生物数の平均値が、糸状菌

5.05、放線菌6.95、細菌7.40であることを考えれば、良く一致しており、この直線回帰モデルが適切であることがわかる。セルロース分解菌はすべての炭素成分と高い相関がある（第5-4表）が、炭素源を利用する菌のため当然の結果といえる。セルロース分解菌の影響を知る

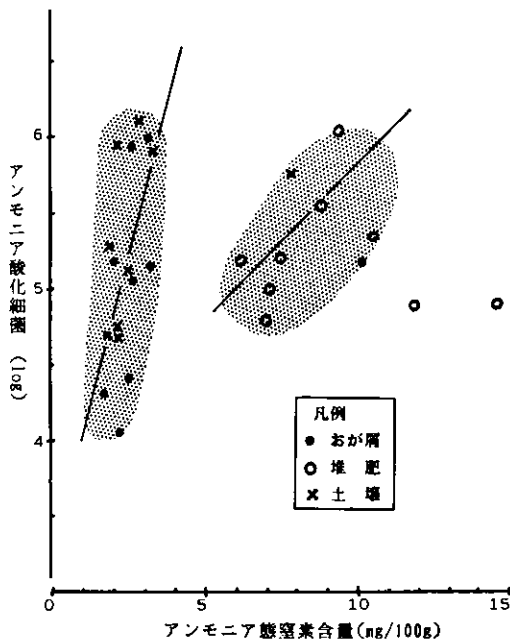


第5-13図 微生物と全炭素の関係

(注) 埋設物乾物あたりで表示。細菌数は指数値。



第5-14図 セルロース分解菌とセルロース含量の関係



第5-15図 アンモニア酸化細菌とアンモニア態窒素の関係

(注) 埋設物乾物あたりで表示。細菌数は指数値。

ために、有機物あたりの含量に換算したセルロース含量 (%) とセルロース分解菌数 (有機物 1 g あたりの菌数の指数値) の関係を、第5-14図に示した。これによると、おが屑と堆肥では平行して分布する2つの集団に分

けることができた。このことは、菌数と分解速度の関係はおが屑でも堆肥でも類似しているが、有機物中のセルロース存在形態に違いがあるため、平行に分布する2つの集団になったと考えることができる。

窒素成分と微生物数との関係は、施肥の影響を受けるために明確に把握することは困難であるが、第5-15図にアンモニア酸化細菌数 (埋設物 1 g あたりの菌数の指数値) とアンモニア態窒素 (埋設物 100 g あたりの mg 数) の関係を図示した。これによるとおが屑・土壌と堆肥の2つの集団に分けることができ、アンモニア態窒素量に比例してアンモニア酸化細菌が増加するといえる。しかし、おが屑と土壌では埋設1カ月目、堆肥では4カ月目までデータは分布からはずれ、アンモニア態窒素が多いにもかかわらず細菌数が少ない。これは埋設直後ではアンモニア酸化細菌の増殖が十分でないためであり、アンモニア態窒素が多い堆肥にその傾向が著しい。

硝酸態窒素は、アンモニア酸化細菌や亜硝酸酸化細菌と明確な関係がみいだせなかったが、これは作物吸収や流出の影響が大きいためと考えられる。

3. 微細形態の変化

前章 (3章2) において、堆肥化過程の本質の変化を走査電子顕微鏡を用いて検討したが、ここでは同じ手法により土壌中における有機物の分解過程を観察した。植物組織の分解過程を走査電子顕微鏡を用いて形態学的に観察することは GRAY(30) を始めとし多くの研究がある。最近では宮下ら(88)による水田状態における水稲根の分解や、鈴木ら(123)による水耕栽培におけるトマト根の観察などいろいろな場で利用され、分解様式の解明に役だっている。

また、本質の微生物による分解過程を走査電子顕微鏡で観察することは、木材腐朽菌、特に軟腐朽菌について多くの報告がある(17, 27, 30)。しかし、土壌中における堆肥化された木質の分解を報告した例はほとんどみられない。ここでは、おが屑およびおが屑混合鶏ふん堆積物の土壌中における分解を、木質の形態変化を中心に検討した。

1) 実験方法

(1) 供試試料

微生物分析の項と同じ試料を用いた。すなわち、堆肥およびおが屑を土壌と混合し、ガラス繊維ろ紙法により所内如に埋設した。これを経時的に掘り出し、形態観察試料とした。

(2) 観察方法

埋設物約 2 g を 50 ml の滅菌水に入れ緩く攪拌し分散し

た後、目の荒いガーゼを通し、有機物をろ別する。ピンセットで有機物を集め、60%エチルアルコールに浸す。順次アルコール濃度を高め、100%アルコールに浸した後、アセトン中に移す。これを薄く時計皿に拡げ風乾した後、恒温器中で短時間乾燥させる。

このようにして脱水した有機物をアルミプレートにとり、金蒸着処理（エイコーイオンコーダIB-2）後、走査電子顕微鏡（MSM4C-101）により微細形態を観察した。

2) 結果及び考察

木質の観察を目的とし、水で土壌を軽く洗いとっているため、土壌中での存在時にくらべ、微生物が少なくなっている。また、乾燥過程で特別な固定も臨界点乾燥も行わず、水を有機溶媒に置き換えるだけの簡易な乾燥方法をとった。これは操作の簡易化とともに、菌糸に若干の損傷を与え変形させることにより、木材の繊維組織と識別し易くしたためである。

観察は走査電子顕微鏡により、組織の全体的な把握を低倍率（500倍以下）で、繊維間の結合組織を1500～5000倍で観察した。観察結果は、写真5-2～5-7に示した。

(1) おが屑の形態変化

おが屑はラワン材が主体であるため、ここではラワンの形態を示した。切断繊維は細く鋭利であり、組織の表面は平坦である（1, 2）。埋設1カ月目では木材組織は変化がみられないが、糸状菌の胞子が数多く付着していた（4）。この時期は微生物分析においても糸状菌が多い時期にあたっているが、胞子が主体で菌糸はほとんどみられない。胞子は乾燥時に変形しているため赤血球型をしているが、本来は球形である。4カ月目および8カ月目においても同様に組織の変化はみられないが、糸状菌や放線菌の菌糸が目立つようになる。また、組織の表面に土壌等の微細粒子の付着が多くなる（5～8）。

12カ月目は土壌を除去した物としない物について観察した。土壌付きの場合、木材表面に糸状菌の菌糸がみられ、微生物の活動がうかがえる（11, 12）。しかし水洗して表面を観察すると、ほとんど分解をしていない（9, 10）。化学分析結果においても12カ月目までは分解が認められず、形態観察の結果とよく一致している。

18カ月を経過すると、切断面はやや丸味をおび（13）、組織表面にも分解の跡がみられ（14）、この頃から分解が始まっている。24カ月目もほぼ同様の状態であるが、菌糸がやや多く見られた（15, 16）。

36カ月目では、表面に糸状菌の菌糸が著しく増殖して

いるのが見られるものがあった（17）。微生物分析の希釈平板法においては、これらの菌糸は集団化し、1つのコロニーしか形成しないため、直接観察の結果とは一致しないと考えられる。しかし直接観察結果にはバラツキが多く、すべての木材表面が菌糸で覆われているわけではない。また拡大すると糸状菌とともに放線菌の菌糸もみられた（18）。組織の表面は凹凸が激しくなり、分解を受けていることがわかる。化学成分分析の結果からもこの時期は成分変化の最も著しい時であり、形態観察結果とよく一致している。

48カ月目では糸状菌の菌糸はあまり見られず、土壌粒子の付着が多く見られた（19）。拡大すると表面には微生物によると考えられる微細な穴が多く見られ、繊維の結合組織が分解されていると考えられる（20）。この穴状の分解は、堆肥化過程ではみられないものであった。この分解様式に類似したものとしては、GREAVES⁽³¹⁾の写真にみられる円形軟腐朽（round ended soft rot）がある。

60カ月目では結合組織が分解され、繊維組織が残っている状態が観察された（21）。ひだ状の繊維の間には微生物や土壌粒子が見られる。土壌付きの場合はこの状態が解りにくい、木材組織の間に土壌や微生物が入り込んでいる（23, 24）。この状態も堆肥化過程ではみられないものであり、48カ月以後は堆肥過程ではみられなかった分解様式を示していた。

(2) 堆肥の形態変化

堆肥化されたおが屑は、既に木材組織が分解されているため切断面はなだらかであり（25）、拡大すると表面構造には亀裂と数多くの細菌の付着が見られる（26）。

1カ月目では組織の変化はほとんどないが（27）、おが屑と同様に糸状菌の胞子が多く見られた（28）。この胞子はおが屑に付着していたもの（4）に比べると大形のものである。

4カ月目と8カ月目はほぼ類似しており、組織の変化はそれほど見られないが、土壌粒子の付着が多くなり、菌糸が見られるようになる（29～32）。ここに見られた菌糸は表面に突起をともなる特徴的な菌であり *Aspergillus* と推測された。

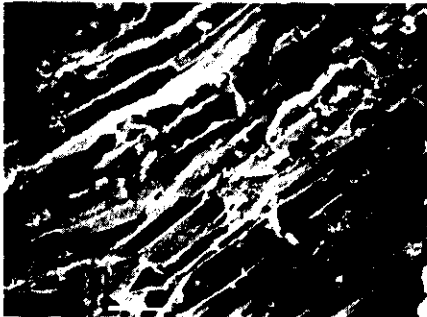
12カ月を経過すると、木質の表面は更に丸味を帯び、凹凸が著しくなる（33, 34）。土壌付きでは表面が土で覆われ構造は解りにくい、菌糸が見られる（36）。この写真の左上にみられる螺旋状のものは木材組織（導管）の一部である。また35の写真は、土壌中に混ざっていた雑草の種子が発芽し、根が木質の割れ目から伸びて



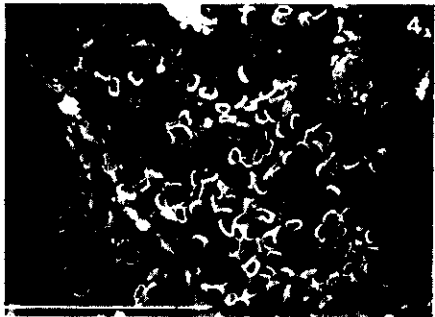
(1) おが屑原料(500倍)



(2) おが屑原料(5000倍)



(3) おが屑埋設 1ヵ月目(300倍)



(4) おが屑埋設 1ヵ月目(1500倍)



(5) おが屑埋設 4ヵ月目(300倍)



(6) おが屑埋設 4ヵ月目(1500倍)



(7) おが屑埋設 8ヵ月目(300倍)



(8) おが屑埋設 8ヵ月目(1500倍)

写真5-2 おが屑の微細形態変化(その1原料~埋設8ヵ月)



(9) おが屑埋設 12ヵ月目(300倍)



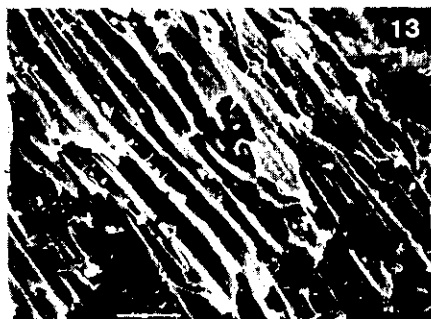
(10) おが屑埋設 12ヵ月目(5000倍)



(11) おが屑埋設 12ヵ月目・土付き(300倍)



(12) おが屑埋設 12ヵ月目・土付き(1500倍)



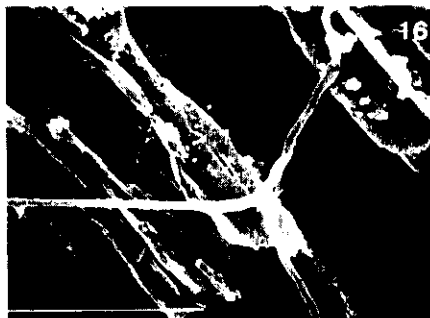
(13) おが屑埋設 18ヵ月目(300倍)



(14) おが屑埋設 18ヵ月目(1500倍)

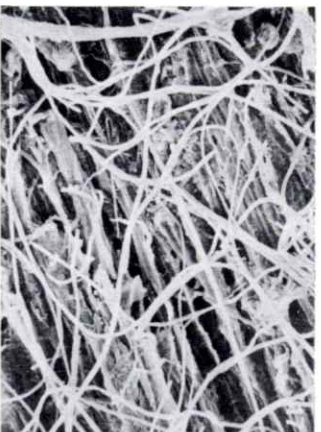


(15) おが屑埋設 24ヵ月目(300倍)

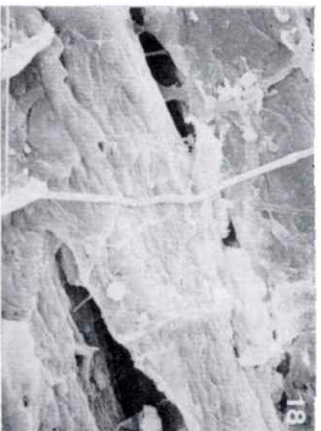


(16) おが屑埋設 24ヵ月目(1500倍)

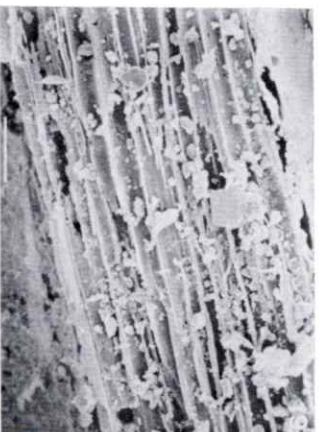
写真5-3 おが屑の微細形態変化(その2 埋設12~24ヵ月)



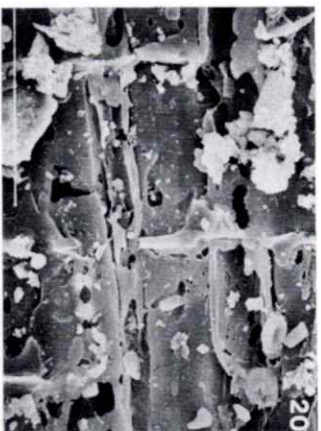
(17) おが屑埋設 36ヵ月目(500倍)



(18) おが屑埋設 36ヵ月目(1500倍)



(19) おが屑埋設 48ヵ月目(300倍)



(20) おが屑埋設 48ヵ月目(1500倍)



(21) おが屑埋設 60ヵ月目(300倍)



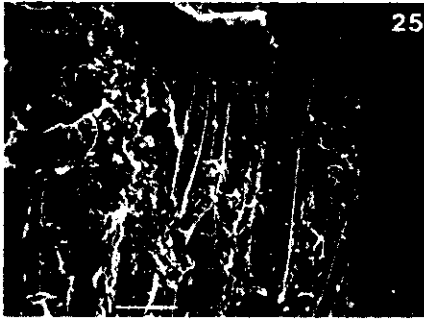
(22) おが屑埋設 60ヵ月目(1500倍)



(23) おが屑埋設 60ヵ月目・土付き(1000倍)



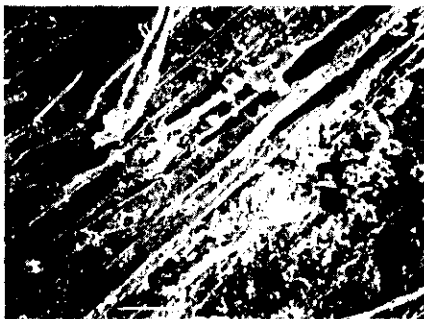
(24) おが屑埋設 60ヵ月目・土付き(2000倍)



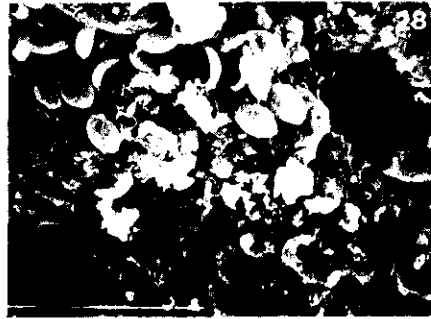
(25) 堆肥原料(300倍)



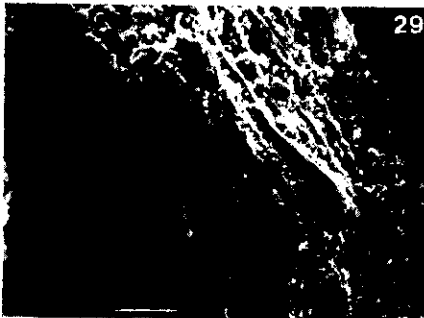
(26) 堆肥原料(5000倍)



(27) 堆肥埋設 1ヵ月目(300倍)



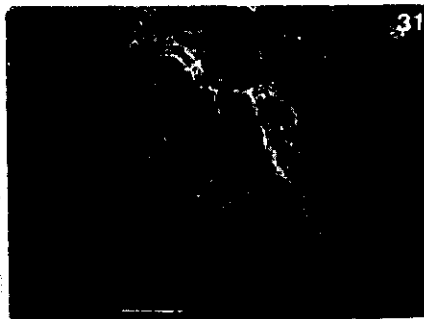
(28) 堆肥埋設 1ヵ月目(1500倍)



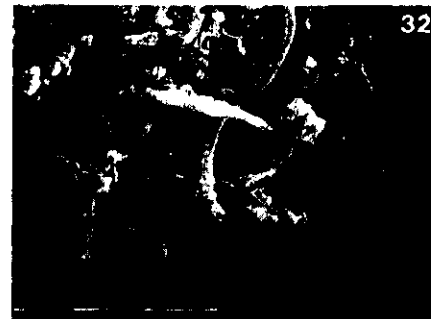
(29) 堆肥埋設 4ヵ月目(300倍)



(30) 堆肥埋設 4ヵ月目(1500倍)



(31) 堆肥埋設 8ヵ月目(300倍)



(32) 堆肥 8ヵ月目(1500倍)

写真5-5 堆肥中の木質の微細形態変化 (その4 原料~埋設8ヵ月)



(33) 堆肥埋設 12ヵ月目(300倍)



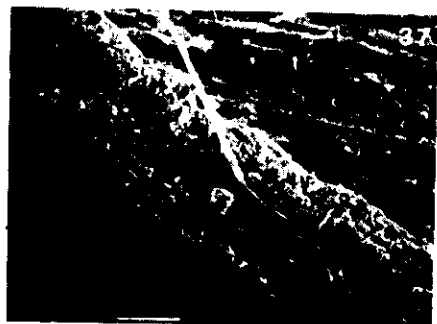
(34) 堆肥埋設 12ヵ月目(5000倍)



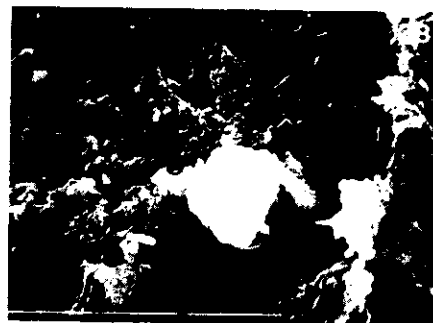
(35) 堆肥埋設 12ヵ月目(50倍)



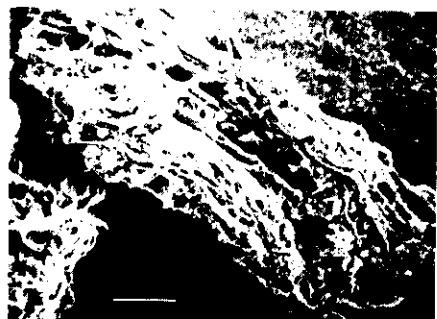
(36) 堆肥埋設 12ヵ月目(1500倍)



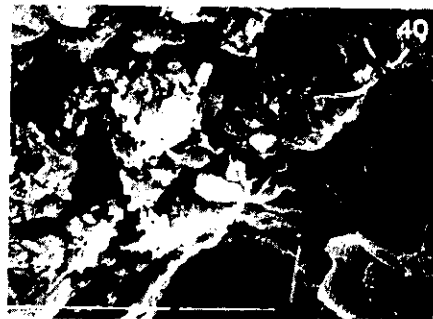
(37) 堆肥埋設 18ヵ月目(300倍)



(38) 堆肥埋設 18ヵ月目(5000倍)

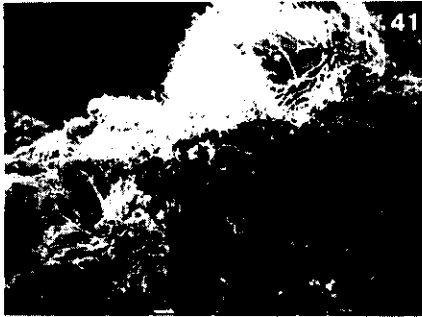


(39) 堆肥埋設 24ヵ月目(300倍)



(40) 堆肥埋設 24ヵ月目(5000倍)

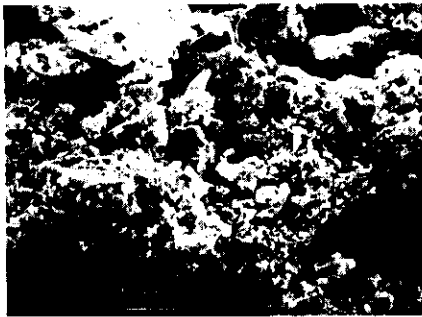
写真5-6 堆肥中の木質の微細形態変化 (その5 埋設12~24ヵ月)



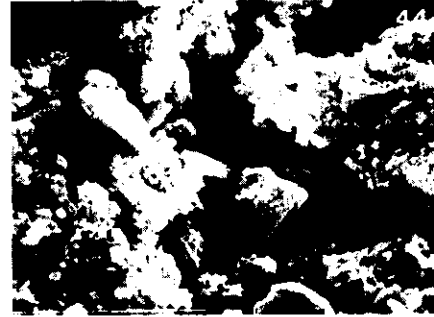
(41) 堆肥埋設 36ヵ月目(100倍)



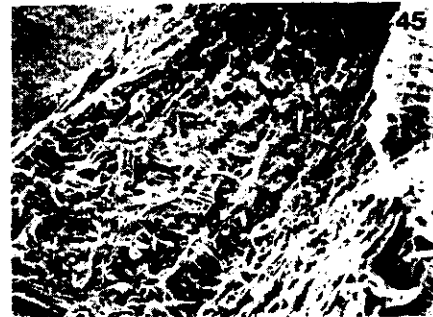
(42) 堆肥埋設 36ヵ月目(1500倍)



(43) 堆肥埋設 48ヵ月目(300倍)



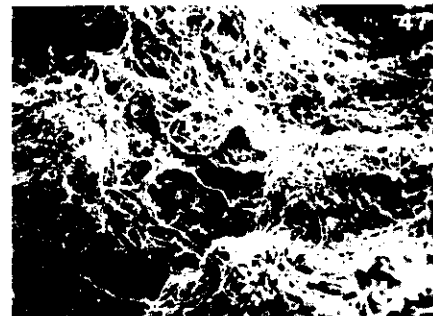
(44) 堆肥埋設 48ヵ月目(1500倍)



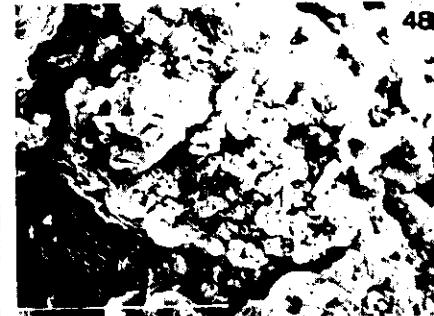
(45) 堆肥埋設 60ヵ月目(300倍)



(46) 堆肥埋設 60ヵ月目(1500倍)



(47) 堆肥埋設 60ヵ月目・上付き(300倍)



(48) 堆肥埋設 60ヵ月目・上付き(1500倍)

写真5-7 堆肥中の木質の微細形態変化 (その6 埋設36~60ヵ月)

いる状態である。

18カ月目も24カ月目も類似しており、糸状菌や細菌がみられ、微生物による分解が活発に行われていることを示している(37~40)。この頃になると、有機物の分解がすすみ微細片になるため、有機物の検索が困難になる。

36カ月目では微生物活動の盛んな部分を示した。41の写真では、木材の軟腐朽菌として知られている(26) *Chaetomium globosum* と考えられる菌が見られた。また拡大すると、糸状菌・放線菌・細菌のすべてが数多く見られ(42)、活発な微生物分解が行われていることを示している。48カ月目になると、有機物の量は極めて少なくなる。その構造は亀裂が多く凹凸が著しくなり、その間に土壌粒子が入り込み、有機物と土壌の見分けが困難になる(43, 44)。

60カ月目では有機物の分解が進みラワン材はほとんど見られず、針葉樹の分解し難い部分が目につく。そのため、ここに示した写真(45, 46)では60カ月目以前より未分解にみえる。46の写真は仮導管部と考えられ、このように未分解な組織には各種の菌が付着し、分解が継続している。土壌付きでは丸味をもった凹凸の著しい組織に微生物活動の跡がある(48)が、場合によっては菌糸が有機物を覆いつくしているもの(47)も見られた。この状態は、MARTIN(83)のいう団粒形成に寄与する糸状菌のイメージと一致し、土壌の物理性改良に有機物が関与する状況が推察された。

以上の形態観察の結果、堆肥分解過程は表面の凹凸が著しくなり、繊維と垂直方向に亀裂が入り微細な破片となるが、おが屑では堆肥化過程や堆肥の分解ではみられなかった穴あき状分解や繊維のしわ状模様が観察された。このことは、堆肥とおが屑では関与する微生物が異なることを示していると考えられる。

4. 考 察

(1) 土壌中での分解速度

おが屑とおが屑混合鶏ふん堆積物(堆肥)の如土壌における分解状態を、ガラス繊維ろ紙法により5年間にわたって調査した。その結果、堆肥は経時的に分解率が低下する傾向にあるが、おが屑は埋設後1年間は全く分解せず、1年を過ぎると分解が始まった。これはC/N比の高さ(100以上)と、おが屑に含まれる脂質やフェノール類が微生物分解を抑制したためと考えられる。KOLENBRANDER(68)も同様の結果を得ているが、志賀ら(11)の例ではLag phaseは認められない。この違いは試料の粒径によると考えられ、志賀らの報告は粉碎した有機物を供試しているのに対し、ここではかなり大きな

数mm程度の木質を埋設したためといえる。このおが屑の成分変化と走査電子顕微鏡による微細形態観察結果とはよく一致しており、埋設後1年間は木質の表面構造に全く変化は認められなかった。

おが屑の分解が著しいのは1年目から3年目の間である。この期間は形態観察からも変化がうかがえた。この間のC/N比は平均40程度であり、第3-7図(第3章)における木質分解に最も適したC/N比と一致している。また、おが屑の全炭素含量を50%、分解後C/N比を10と仮定すると、おが屑1tを分解するためには50kgの窒素が必要な計算となる。しかしこの間には炭素の分解があるため、実際に必要な窒素はより小さくなる。第5-3図によると1年目から3年目の間に約65%の有機物が分解され、この間に約1%の窒素が増加している(第5-5図)。この窒素1%は、土壌中の未分解な有機物35%に含まれる量であるため、原料有機物含量(おが屑)に換算すると0.35%に相当する。このことは、おが屑1tが1年目から3年目の2年間に分解するために必要な窒素量は約3.5kgであることを示しており、1年間に2kg程度の窒素を施用すれば窒素飢餓の問題は起きないといえる。しかし、露地畑においては窒素の流出等があるため、3kg程度の窒素の増肥が必要となる。

これに対し、堆肥は第5-5図では窒素が増加しているようにみえるが、これは有機物の減少と一致しており、分解期間を通じて窒素量は変化しない。堆肥が分解中に窒素の有機化をおこさないという結果は、第3章の第3-4表に示した結果と矛盾する。これは試料の粉碎処理による影響と考えられる。すなわち、3章で示した結果は微粉碎した試料を用いたため未分解状態の木質部が現れ、分解が速やかに進んだが、ここでは未粉碎試料を用いたため堆肥化により腐植化した木質の周囲よりゆくり分解したと考えられる。また、有機物をガラス繊維ろ紙に包み保護した状態で埋設試験を実施したが、実際の現場では耕うんに伴う物理的分解、植物根や小動物による物理化学的分解による影響があり、ここに示した結果より分解がやや促進されることが考えられる。

化学成分分析値から、数学モデルにより10年間の変化を予測した。その結果、堆肥は土壌施用後2年間に主な分解は完了し、3年目以後はほぼ一定の値となるが、おが屑は分解が長期にわたり、分解が安定するまでに6年以上を必要とすることが明らかとなった。さらに、堆肥は施用量の約40%、おが屑は20%が残存することが示唆された。ここで示した分解に必要な期間は分解が完了する期間ではなく、主な分解(90%以上)が終了する期間

第5-5表 各種木質の分解率

(60日培養後に心材1gから発生するCO₂-C量)

針葉樹 (点数) CO ₂ -C	広葉樹 (点数) CO ₂ -C
マツ類 (n=10)* 70mg	カン類 (n=4)* 147mg
スギ類 (n=5)* 21mg	クルミ類 (n=2)* 144mg
モミ類 (n=4)* 68mg	その他 (n=3)* 139mg
平均値 (n=19)* 60mg	平均値 (n=9)* 143mg
マツ類 (n=3) 62mg	ク　　リ (n=1) 127mg
ヒノキ (n=1) 58mg	シラカン (n=1) 110mg
ス　　ギ (n=1) 60mg	サ　　クラ (n=1) 75mg
ツ　　ガ (輸入材) 80mg	ラワン(輸入材) 98mg
平均値 (n=6) 64mg	平均値 (n=5) 102mg

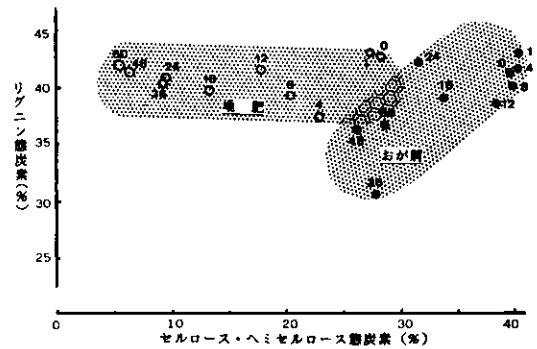
(注) * は ALLISON の実験値(2)より作成した。

であり、有機物はさらに長期間にわたって分解が継続する

堆肥化されたものは、多少の腐熟度に違いがあっても分解速度は類似していると考えられるが、おが屑は樹種によって大きな差がみられる。樹種による木質の分解特性の違いは、ALLISON(2)により詳細に検討されている。ALLISONの報告や著者の実験結果をもとにして、30℃、60日間の培養時に木質1gから発生する二酸化炭素量を樹種別に整理して第5-5表に示した。ここに示したものはすべて窒素は混合せず、木質を土壤に混合しただけのものである。これによると、針葉樹は約60mgCO₂-C/60日で類似しているが、広葉樹はかなりバラツキがあるものの、針葉樹の1.5～2倍の二酸化炭素発生量がみられ、分解し易いことを示していた。広葉樹のなかでもサクラの発生量が少ないが、これはフェノール類を多量に含むためである。ラワンは南洋材の総称のため分解し易いものとし難いものがあり、試料により大きな差がみられる。本実験に供試したおが屑は78mgCO₂-C/60日であり、針葉樹とラワンの中間の値を示していた。このことから、針葉樹では本実験と同様に土壤施用後6年程度で大部分の分解を終え、1～3年目に窒素を木質1tあたり年3kg程度増肥してやれば、広葉樹ではこの倍近い速度で分解されるものがあるため、その期間には窒素を木質1tあたり5kg程度増肥する必要があると考えられる。

(2) おが屑と堆肥の分解様式の違い

堆肥は3年目までは経時的に分解し、以後はほぼ一定の値を持続するのに対し、おが屑は最初の1年間ほとんど分解しないことは先に述べた。これ以外に有機物中の



第5-16図 繊維成分とリグニンの分解様式の違い

成分変化についてもおが屑と堆肥では分解様式が異なる。すなわち、堆肥は分解に伴い全炭素やリグニンがほぼ一定になるのに対し、おが屑ではともに減少傾向がみられた。通常、Ash free 値とした有機物あたりの炭素含量は54%程度でほぼ一定しているため、このことは埋設物内の有機物含量の評価に問題があるといえる。しかし、灼熱減量あたりの成分量に計算してもほぼ同様のことが言えるため、減少率には差があってもセルロースとリグニンが共に減少傾向にあることは確かである。

分解様式の違いをみるため、第5-16図に繊維成分とリグニン含量の関係を示した。これは第5-2表に示した化学成分の分析結果から、全炭素含量に対するセルロースとヘミセルロースの含量の炭素含量(還元糖割合と同じ)とリグニン態の炭素含量を計算し、図示したものである。計算にあたっては、セルロースとヘミセルロースの炭素を40%、リグニンの炭素を60%とした。図中には埋設期間も併せて示した。これによると、堆肥とおが屑では分解の様式が異なることがわかる。すなわち、堆肥ではリグニンは分解せずセルロースやヘミセルロースが分解するが、おが屑はリグニンとセルロースやヘミセルロースがほぼ同じ割合で分解する。堆肥のリグニンはやや増加傾向にあるが、これは分解過程でリグニンが再合成されたのではなく、他の成分が分解されたために相対的に増加したのと考えられる。この分解様式の違いは、有機物あたりの含量で示した結果(第5-7～9図)とも一致する。

この分解様式の違いは形態的にも表れており、堆肥の分解は凹凸が著しくなり亀裂が生じ細片になってゆくが、おが屑は写真5-4に示したように穴あき分解や繊維のしわ状構造などが観察された。このおが屑の分解様

式は、堆肥化過程や堆肥の土壤中での分解ではみられないものであった。また、第5-2表に示したようにアルカリ抽出液の吸光特性 ($D \log K$) にも違いがみられ、おが屑の分解様式は堆肥の分解様式とは異なることを示している。

菌類による木質分解には、セルロース等の炭水化物が分解しリグニンと比較的未分解の状態に残る褐色腐朽 (brown rot) と、リグニンを含めすべての木材成分が分解する白色腐朽 (white rot) の2つがある⁽⁸⁶⁾。これは担子菌類による分解の分類であり、土壤中での細菌による分解とは異なると考えられるが、第5-16図から、おが屑は白色腐朽に、堆肥は褐色腐朽に類似した分解様式を示すと推測される。

堆肥は土壤中の分解過程で凹凸が著しくなり、微細な孔隙が増加してゆく。そのため水で洗浄して観察したにもかかわらず、微細な凹地の中に微生物が数多く観察された。このことは、堆肥を施用することにより、土壤中に微生物に適した生活空間を提供していることを示している。また、堆肥化により褐色腐朽に類似した分解様式となり、土壤中におけるリグニン分解が抑制されることは、農耕地に対する腐植様有機物の蓄積効果が大きくなることを示している。農耕地における腐植の重要性はよく知られたことであり⁽¹⁸⁾、このことから農耕地の地方増強のためには、新鮮有機物よりも堆肥化された有機物の方が効果が大きいといえ、ここに堆肥化することの重要性がある。

5. 要 約

- (1) ガラス繊維ろ紙法により、おが屑及びおが屑混合鶏ふん堆積物 (堆肥) の土壤中における分解特性を5年間にわたって、化学成分、微生物性、微細形態変化について総合的に調査した。
- (2) 化学成分分析結果を非直線モデルにあてはめたところ、堆肥は2~3年、おが屑は6~9年で主な分解は終わるが、完全に分解するにはかなり長期間が必要であることが明らかとなった。またおが屑は、最初の1年間はほとんど分解されず、1~3年目の間に急激に分解する。
- (3) 微生物分析結果、細菌、放線菌、糸状菌ともに埋設直後に変動が激しく、堆肥>おが屑>土壌の傾向にあるが、4年以上経過すると差がみられなくなる。アンモニア酸化細菌と亜硝酸酸化細菌は施肥の影響を受けるため、明確な傾向が認められなかった。
- (4) 微生物性と化学分析結果を比較したところ、全炭素含量と微生物数の相関が極めて高く、細菌・放線菌・糸

状菌は正、セルロース分解菌は負の相関を示す。また、アンモニア態窒素はアンモニア酸化細菌と相関がみられたが、硝酸態窒素は微生物数と相関がみられなかった。

(5) 走査電子顕微鏡による微細形態観察結果、おが屑は最初1年間は全く分解せず、それ以後徐々に分解され、5年目には繊維構造を残したシワ状の形態を示した。これに対し、堆肥は組織が細分化されるだけであり、おが屑と堆肥の分様式の違いが明らかとなった。

(6) 以上の結果から、土壤中におけるおが屑と堆肥の分解様式には差があり、堆肥はセルロースが減少し、リグニンが残り、土壤中の腐植の増加に寄与するが、おが屑はセルロースとリグニンが共に減少する。この違いは、微細形態観察結果からも裏付けられた。このことから、土壤中の腐植増加のためには、堆肥化することが必要であることが明らかとなった。

第6章 腐熟度と施用法

有機物を農耕地に施用することが大切であることや、施用にあたっては未熟なものを避け完全させて施用する必要があることは、よく知られている。しかし、有機物の腐熟の違いが作物生育に及ぼす影響については、意外に不明な点が多い。これは有機物の種類と施用法の多様化により、作物生育に及ぼす影響を解析することが困難となっているためである。とくに、おが屑等の木質を混合した家畜ふん堆積物については、難分解性の木質と易分解性の家畜ふんの混合系であるため、その障害や効果の解析は複雑であり、それが問題を不明確とする要因となっている。

おが屑混合家畜ふん堆積物の作物に及ぼす影響は、木質を中心とした障害の検討^(81, 149)や、施用効果試験^(59, 103, 119)はなされているものの、総合的に腐熟度の違いが作物に及ぼす影響について検討した例はほとんどみられない。そのため、堆肥化過程 (第3章) や土壤中での分解特性 (第5章) の明らかとなったおが屑混合鶏ふん堆積物について、腐熟度が作物生育に及ぼす影響を検討した。

ここでは腐熟度を中心に、各種の施用法が作物生育に及ぼす影響について、要因実験をポット試験により実施した。すなわち、半ふん堆積物との対比による有機物の施用効果と腐熟度が作物生育に及ぼす影響の解明、土壌の種類や施用方法の違いによる腐熟度の影響について検討を加えた。併せて施設栽培土壌のような高濃度養分をもつ土壌における有機物の施用効果についても検討を加

第6-1表 供試有機物一覧

有機物名	処理内容	製造場所
おが屑	ラワン, マツ, スギ等混合	松田養鶏 農場(松 田町寄)
鶏ふん	生鶏ふん	
おが屑混合鶏ふん 堆積物(未熟)	おが屑と鶏ふんを混合し, 堆肥舎内堆積15日	
おが屑混合鶏ふん 堆積物(完熟)	6ヵ月堆積堆(肥舎内堆積 4ヵ月, 野外堆積2ヵ月)	
牛ふん堆積物 (未熟)	少量のおが屑を含む牛ふん を乾燥後, 堆積1週間	小沢農場 (伊勢原 市高部 屋)
牛ふん堆積物 (完熟)	上記未熟物を堆肥舎内に6 ヵ月間堆積	

第6-3表 供試土壌の理化学性

		(成分は乾土含量)		
土性	CL	TruogP ₂ O ₅ 9.3mg/100g		
湿土色	10YR4/6	置換性	CaO	509 "
礫含量	10.3%	塩基	MgO	105 "
最大容水量	112%		K ₂ O	83 "
pH(H ₂ O)	6.68	CEC		38.7meq
pH(KCl)	5.33	塩基	CaO	5.25 %
EC(mS/cm)	0.13	飽和度	MgO	2.03 "
全炭素	0.66%		K ₂ O	4.6 "
全窒素	0.06%	計		7.74 "
C/N比	11.0	HN ₄ -N		0.8mg/100g
		NO ₃ -N		0.2mg/100g

えた。これらの結果から、畑地に対する有機物の施用効果と有機物の腐熟化の意味を明らかにし、障害のない効果的な有機物の施用方法について考察した。

1. 腐熟度と作物生育(ポット試験)

おが屑混合家畜ふん堆積物は、広く利用されている。しかし、作物に及ぼす影響については、農耕地に連用した場合の効果試験が主体であり、腐熟度の違いが作物に及ぼす影響については不明確な点が多い。そのため、おが屑混合鶏ふん堆積物について、農耕地に最も一般的に施用されている牛ふん堆積物と比較しながら、作物生育に及ぼす影響をポット栽培により検討した。さらに窒素と炭素の放出について分解モデル試験を併せて実施し、この結果とポットにおける閉鎖系内での窒素成分の動きを検討することにより、主として化学性から有機物の施用効果を解明することを試みた。

1) 実験方法

(1) 供試資材

ア 有機物: おが屑混合鶏ふん堆積物とその原料(おが屑, 鶏ふん), および牛ふん堆積物を供試し、風乾後粉砕したものを使用した。その概要は第6-1表に示した。また、それぞれの有機物の分析結果を第6-2表に示した。

イ 土壌: 淡色黒ボク土壌(表層多腐植黒ボク土 鯉淵統次層, 腐植含む, 土性CL)を供試し、1/5000a ワグネルポットに3.06kg(水分42.5%, 乾土1.76kg相当)を詰めた。土壌の分析結果は(第6-3表)に示した。

(2) 試験区

有機物の種類, 腐熟度, 施用量についてそれぞれ2水準を設定し、L8直交表による割り付けを行った。その因子と水準は第6-4表に、試験区の構成は第6-5表

第6-2表 供試有機物の分析結果

有機物名	水分 (%)	全炭素 (%)	全窒素 (%)	C/N 比	無機窒素(mg/100g)			P ₂ O ₅ (%)	塩基成分 (%)		
					NH ₄ -N	NO ₃ -N	合計		CaO	MgO	K ₂ O
おが屑	10.8	60.8	0.08	760.0	17.0	0.3	17.3	0.01	0.31	0.22	0.21
鶏ふん	70.9	38.4	4.37	8.8	493.5	5.9	499.4	6.45	15.63	1.27	2.95
鶏堆(未熟)	64.4	46.0	1.76	26.1	201.5	3.3	204.8	3.38	10.00	0.93	1.35
〃(完熟)	64.0	36.3	1.99	18.2	35.5	193.5	229.0	7.44	16.70	1.51	2.51
牛堆(未熟)	79.2	44.8	2.32	19.3	56.2	3.0	59.2	3.33	3.80	1.14	1.27
〃(完熟)	68.3	27.0	1.95	13.8	4.2	99.4	103.6	4.28	4.34	1.78	1.29

第6-4表 因子と水準 (L8直交表)

因 子	水準 1	水準 2
K(有機物の種類)	鶏ふん堆積物	牛ふん堆積物
M(腐 熟 度)	未熟物	完熟物
Q(施 用 量)	標準(C1%相当)	多量(C2%相当)

第6-5表 ポット試験の試験区構成

区	有機物の種類	腐熟度	施用量(ポット)
1	—	—	—
2	お が 屑	—	C1%相当(29.0g)
3	鶏 ふ ん	—	" (45.8g)
4	鶏ふん堆積物	未 熟	C1%相当(38.3g)
5	"	完 熟	" (48.5g)
6	牛ふん堆積物	未 熟	" (39.2g)
7	"	完 熟	" (65.0g)
8	鶏ふん堆積物	未 熟	C2%相当(76.6g)
9	"	完 熟	" (97.1g)
10	牛ふん堆積物	未 熟	" (78.5g)
11	"	完 熟	" (130.0g)

に示した。

(3) 栽培方法

ア 供試作物：コマツナ(ごせき晩生)，1ポットに9株播種。

イ 栽培時期：第1回 1981年5月11日～6月2日
 第2回 6月3日～6月24日
 第3回 6月24日～7月15日
 第4回 9月14日～10月12日

(注) 7月16日から9月13日までは栽培せず，裸地状態で水分を補給しながら保存した。

ウ 栽培方法：1/5000aワグネルポットにコマツナ9株を植え，連続して3回栽培した。夏季の間の60日間は無栽培(水分は補給)とし，その後1回栽培したため合計4回の栽培となる。

有機物は乾燥粉砕物を，乾土あたり炭素として1%と2%に相当する量を全層に混合した。有機物は乾燥物のため，別に採取したそれぞれの生有機物を1000倍の滅菌水で抽出した液10mlを種菌として接種した。化学肥料は燐加安42号をポットあたり7.14g施肥した。これはN, P₂O₅, K₂Oとしてそれぞれ1gに相当する。有機物と化学肥料の施用は最初1回だけであり，2回目以後は残効で栽培した。

ポットは所内のガラス網室を利用し，晴天日は網室，夜と雨天時はガラス室内においた。2回目以後は施肥せず残効で栽培したが，次回の栽培直前にポットから土を全量取り出し，残根をすき込み土をよく混合し播種した。

(4) 作物体の調査・分析方法

ア 葉色測定：野菜用色票(土壤保全対策協議会作成)(21)により全葉を測定し，平均値をとった。

イ 分析試料の作成：収穫後60～70℃の通風乾燥器で乾燥し，コーヒーミルで粉砕したものを分析試料とした。

ウ 窒素成分：全窒素はケルダール法によって求めた窒素含量と，フェノール硫酸法(96)によって求めた硝酸態窒素含量の合計とした。

エ リン酸・塩基成分：湿式分解後，リン酸はバナドモリブデン酸比色法(96)，塩基成分は原子吸光度計法(96)によった。

(5) 土壌の分析方法

ア 試料の作成：土壌を採取後，ガラス室内に薄く拡げて風乾し，2mmのふるいを通し，礫を除いたものを分析試料とした。

イ pH, EC: pHは1:2.5抽出法によりpHメータ(日立増場F-7DE)で，ECは1:5抽出法によりECメータ(東亜CM-6A)でそれぞれ測定した。

ウ 可給態リン酸: 0.002N硫酸抽出によるTROUG法(96)によった。

エ 置換性塩基・CEC: 置換性塩基は0.1N酢酸アンモニウム抽出後原子吸光度計法により，CECはセミマイクロSCHOLLENBERGER法(96)により測定した。

オ 無機態窒素: 10%塩化カルウム溶液で抽出した後BREMNER(8)の方法により，アンモニア態窒素と硝酸態窒素を測定した。

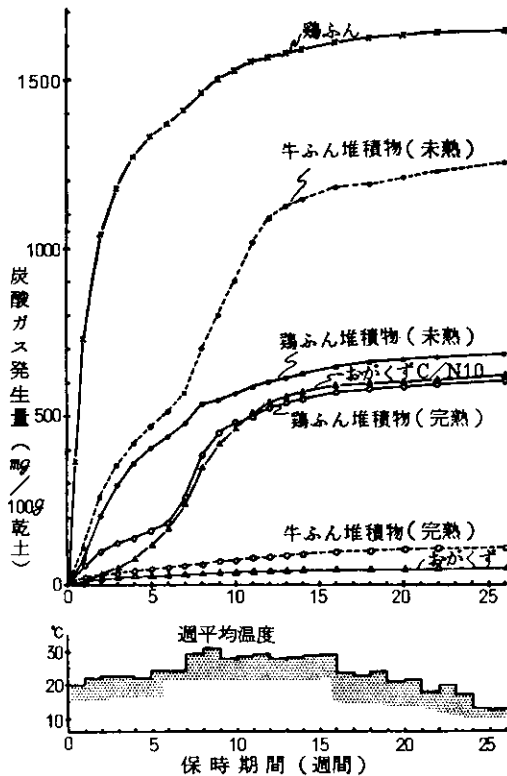
(6) 有機物の分解特性

ア 無機態窒素発現量: 乾土あたり炭素として1%に相当する量の有機物に加え，最大容水量の約60%に相当する水分とした。ポリエチレンフィルムで蓋をし，コマツナ栽培試験と同じ温度条件に26週間保持した。一定期間毎に採取し，無機態窒素量を求めた。また，おが屑に硫酸添加し，C/N比10をとした区を併せて設けた。

イ 炭酸ガス発生量: 乾土あたり炭素として1%相当する量の有機物に加え，コマツナ栽培試験と同じ条件に26週間保持した。炭酸ガス発生量は，田辺の簡易法(14)を改良した方法(22)によった。

2) 結果及び考察

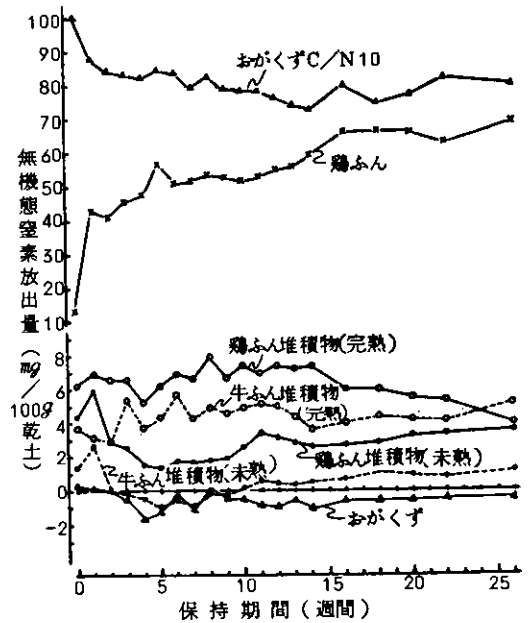
(1) 有機物の分解特性

第6-1図 CO₂発生量計算値の変化

有機物の標準施用量を乾土あたり炭素1%相当としたが、これは10aあたりの作土量が約100tであるため、水分50%程度の有機物が約8~10t(全炭素10~15%)混合された値と同じになる。この量は現実の施用量よりやや多いが、有機物は土壤中で不均一に分布し局部的に高濃度になっていることを考えれば、ポットにおけるモデル系としては適当な値と考えられる。炭素2%は15~20tの有機物に相当する。

有機物の分析結果は第6-2表に示した。おが屑は窒素含量が少なくC/N比は760あったが、鶏ふんでは全窒素が4.37%と多いためC/N比は8.8であった。鶏ふん堆積物は、牛ふん堆積物に比べおが屑の混合量が多いためC/N比が高いが、共に完熟物は硝酸態窒素が全窒素の5~10%発現している。また、鶏ふん堆積物は全般に成分が多く、とくに無機態窒素とカルシウムが多い。

栽培期間中の有機物の分解状態を知るために、炭素と窒素の無機化率を検討した結果を第6-1~6-2図に示した。おが屑はほとんど炭酸ガスの発生がみられなかったが、窒素源を添加しC/N比を10にしたものは5~10週目に発生量が増加し、おが屑の分解がうかがえた。



第6-2図 無機態窒素(アンモニア態窒素+硝酸態窒素)放出量の変化

鶏ふんは初期の発生が著しく、2週間でほぼ分解が完了する。鶏ふん堆積物についてみれば、未熟物は8週目まで分解が著しいが、完熟物は最初の4週間と7~12週間の2段階の発生がみられた。前期の分解は鶏ふんと、後期の分解はおが屑と分解期が一致している。牛ふん堆積物については、未熟物は鶏ふんに次いで発生量が多く、7週目を境に2段階に分かれた分解を示していた。完熟物は発生量が非常に少なく、おが屑よりやや多いだけであった。

図の下部に測定期間中の週平均温度を記載した。夏期にあたる7週目から急に温度が高くなり30°Cにおよび、この時期に炭酸ガス発生量が変化する。牛ふん堆積未熟物ではこのために2段階の分解になったと考えられるが、鶏ふん堆積完熟物とおが屑C/N10は変化幅が大きく、温度の影響だけではないと考えられる。同様の処理物を30°Cの恒温器中に保持した結果(22)、鶏ふん堆積完熟物では2段階の分解となったが、牛ふん堆積未熟物ではこの傾向がみられなかったことから、2段階の分解は木質分解に由来しているといえる。

無機態窒素の発現性は、おが屑は2週目以後負の値となり、土壌から窒素の吸収(有機化)が行われる。C/N10ではすぐに窒素の吸収がみられ、20週目で吸収がなくなり、ほぼ一定の値を維持する。鶏ふんは1週目から急激に無機態窒素が発現し、もとの3倍にも増加するが、

第6-6表 処理区別 コマツナ 収量の推移 (ポットあたり)

処理区名	作 期	1作(5/11~6/2)		2作(6/3~6/24)		3作(6/25~7/15)		4作(9/14~10/12)	
		生g	乾物g (%)	生g	乾物g (%)	生g	乾物g (%)	生g	乾物g (%)
1. 対 照 区		28.4	2.1 (100)	40.5	2.6 (100)	40.5	3.2 (100)	24.5	1.3 (100)
2. おが屑	C1%	20.6	1.4 (67)	71.2	4.0 (154)	60.6	4.8 (150)	19.1	1.2 (92)
3. 鶏ふん	"	20.9	1.7 (81)	46.7	2.9 (112)	63.3	4.3 (134)	35.7	2.3 (177)
4. 鶏ふん堆肥(未熟)	"	41.5	3.1 (148)	55.7	3.5 (135)	56.4	4.0 (125)	45.3	2.7 (208)
5. " (完熟)	"	64.2	4.9 (233)	37.3	2.6 (100)	43.6	3.6 (113)	40.4	2.2 (169)
6. 牛ふん堆肥(未熟)	"	47.7	3.4 (162)	45.4	3.0 (115)	52.9	4.7 (128)	50.5	2.9 (223)
7. " (完熟)	"	69.3	4.7 (224)	50.6	3.0 (115)	55.0	4.3 (134)	33.3	2.2 (169)
8. 鶏ふん堆肥(未熟) C2%	"	42.6	3.1 (148)	49.9	3.3 (127)	54.4	4.1 (128)	54.2	3.0 (231)
9. " (完熟)	"	51.8	4.2 (200)	31.7	2.2 (85)	43.3	3.4 (106)	41.5	2.4 (185)
10. 牛ふん堆肥(未熟)	"	51.0	3.6 (171)	46.9	3.0 (115)	56.9	4.6 (144)	51.9	2.9 (223)
11. " (完熟)	"	66.3	4.6 (219)	38.3	2.5 (96)	47.3	4.0 (125)	43.2	2.5 (192)

この大部分がアンモニア態であり、大部分が硝酸態になるまでは10週間を要した。また無機態窒素の発現は26週まで継続した。

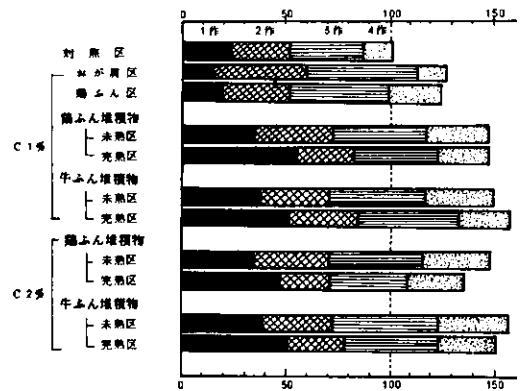
堆積物では、未熟物はいずれも2週目から10週目までは無機態窒素の有機化がみられ、その後は徐々に無機化する。完熟物では、牛ふん堆積物は26週目まではほぼ一定の値を示し、窒素の有機化はみられなかった。しかし、鶏ふん堆積物は14週目まではほぼ一定であったが、以後は有機化傾向がみられた。この有機化は木質の分解に由来すると考えられる。

(2) コマツナ生育収量

最初に施肥しただけでコマツナを連続して栽培したが、これは生育期間の長い作物を想定し、その部分的な生育相を把握するために考えた方法である。4作にわたって栽培した結果を第6-6表に示した。1作目は発芽時からおが屑区と鶏ふん区の生育が悪く、収量は対照区に比べ、おが屑区33%、鶏ふん区29%の減収となった。有機物を施用した区では発芽時から生育が良く、葉色も濃く、対照区の1.5~2.5倍もの高収量を示した。また、腐熟度による影響は明確であり、いずれの有機物も完熟区は未熟区の約1.5倍の収量を示した。

2作目では処理区間の差は1作目ほど小さくなく、また1作目の逆の傾向が見られた。すなわち、対照区に比べ、おが屑区は54%、鶏ふん区は12%増収し、完熟区に比べ未熟区が増収する傾向にあった。これは、おが屑や未熟有機物中の作物生育阻害物質が、1作目の栽培期間中に土壌中で分解され、無害化したことを示すと考えられる。

乾物収量指数 (%)



第6-3図 コマツナ4作の乾物収量指数

(注) 対照区の乾物収量4作合計値を100とした。

3作目は初夏にあたり生育が良かった。処理区の差は2作目に類似していた。3作目を収穫後、夏季の60日間には土壌水分をほぼ一定に保持した後、4作目を播種した。その結果、対照区とおが屑区は肥料欠乏のために生育が不良であり、葉色も淡かった。鶏ふん区は1作目では減収したものの、以後は収量は増加する傾向にあり、鶏ふんを持つ肥料効果が現れていることがわかる。

対照区の乾物収量4作合計値(9.2g)を100としたとき、各処理区の収量の比率を第6-3図に示した。各作毎の収量の傾向は前述したように1作目に著しい差がみられたが、各作を加算してゆくと差が小さくなる傾向がみられた。4作を合計すると、すべての区で対照区より多く、特に有機物を施用した区では約50%の増収となっ

第6-7表 3 作 取 穫 後 土 壌 の 化 学 分 析 結 果

(成分含量はmg/100g乾土)

処理区名	項 目	pH	EC	無機窒素		Truog	置換性塩基				CEC	塩基飽
		(H ₂ O)	(mS/cm)	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	(meq)	和度%
1.	対 照 区	5.42	0.67	0.9	17.9	10	597	145	69	37	38.3	77.2
2.	お が 屑 (C1%)	5.57	0.59	0.4	5.4	7	590	153	51	47	40.1	74.1
3.	鶏 ふ ん "	5.97	1.39	1.4	62.0	41	962	177	134	50	41.2	111.5
4.	鶏ふん堆肥(未熟) "	5.95	0.82	0.4	15.4	37	828	165	86	52	40.7	97.2
5.	" (完熟) "	6.45	0.91	0.4	14.4	169	1142	185	121	61	45.0	116.6
6.	牛ふん堆肥(未熟) "	5.90	0.88	0.7	16.0	26	730	181	84	56	41.1	89.5
7.	" (完熟) "	5.92	0.78	0.3	7.5	40	804	197	96	61	43.7	92.7
8.	鶏ふん堆肥(未熟)(C2%)	6.17	0.99	0.8	23.7	79	1065	179	112	55	43.3	113.7
9.	" (完熟) "	6.63	1.29	0.5	32.2	313	1326	224	202	76	46.0	136.3
10.	牛ふん堆肥(未熟) "	5.88	1.17	1.3	28.5	36	828	196	112	69	42.9	97.0
11.	" (完熟) "	6.09	1.01	0.5	18.3	100	931	230	145	66	46.0	103.7

た。おが屑区は、1作目ではおが屑に含まれる有害物質(フェノール性酸など)により減収したが、2作目からは対照区より増収している。このことは、これらの有害物質は比較的速く土壤中で分解され、その後は、おが屑の施用が土壌の物理性の改善に役立ち、対照区より増収したものと考えられる。

鶏ふん区は易分解性有機物が多く、土壤中で急激に分解するためその障害で1作目は減収する。2作目以後はこれらの障害は無くなるものの、土壌中の肥料成分濃度が高すぎるために、他の有機物ほど収量が増加しなかったものと考えられる。

有機物の腐熟度は1作目では極めて大きな影響がみられたが、各作を合計する毎にその差は小さくなる傾向にあった。また施用量についてみると、多量施用の炭素2%区は標準施用の炭素1%区に比べ、未熟物では同等もしくは増収したが、完熟物では逆に減収する傾向がみられた。このことは、有機物の施用量に適量があり、過剰施用はかえって害になることを示している。

(3) 土壌分析結果

3作収穫後の土壌分析結果を第6-7表に示した。pHは対照区に比べてすべての区で高く、とくにおが屑鶏ふん堆積物で著しい。これは鶏ふんにはカルシウムが多く含まれているためである。

無機態窒素は大部分が硝酸態であり、3作収穫後のためかなり減少している。とりわけおが屑区が低く、対照区の1/3であった。これは、おが屑の第2、3作目の収量が高かったこととおが屑が分解のため窒素が有機化されたことによると考えられる。鶏ふんでは硝酸態窒素が

多く残存し、またECも高い。

有機物施用に伴い、すべての成分が高くなる傾向にあり、とくに鶏ふん堆積物にその傾向が著しく、塩基飽和度が100%を超える区が多くみられた。有機物の分析結果は第6-2表に示してあるが、これらの有機物の成分が土壌分析結果に強く反映している。

(4) 直交表による要因解析

本実験の4~11区は、第6-4表に示したように3因子2水準のL8型直交配列になっている。有機物の種類(K)、腐熟度(M)、施用量(Q)の3因子のうち、施用量を独立因子とし、交互作用はK*Mだけとした。分散分析結果および有意性の認められた因子の第1水準の平均値を、第6-8~6-13表に示した。第1水準の平均値の表には、有機物施用全区(4~11区)の平均値と対照区(1区)の値を併せて示した。これによれば、有意性の認められた因子の水準間の差と、有機物の施用効果とが併せて読み取れる。

生育収量は第6-8表に示したように、1作目は腐熟度(M)にすべての項目で有意性がみられた。第6-9表によると有機物施用区(4~11区)は対照区(1区)をすべての項目で上回り、有機物の施用効果がうかがえた。また、有意性の認められたすべての項目は、第1水準の値が平均値より低く、完熟物の施用が生育収量に好結果をもたらすことがわかる。2作目についても同様に腐熟度の影響がみられたが、1作目とは逆に第1水準の値が平均値より高く、未熟物の生育が良いことを示している。また、同様の傾向が3作、4作目についても認められた。

第6-8表 生育収量の分散分析結果

作期	項目 要因	項目				
		草丈mm	葉数	葉色	生収量g	乾物収量g
1作 (5/11~ 6/2)	K	17.2*	9.9	9.0	6.1	7.8
	M	30.8*	13.2*	32.0*	24.6*	53.8**
	K*M	0.3	0.5	24.9*	0.1	0.7
	Q	0.7	0.1	3.8	0.6	0.4
2作 (6/3~ 6/24)	K	0.9	76.0*	7.5	0.4	0.0
	M	5.4	0.0	1.5	13.2*	28.9*
	K*M	12.2*	4.0	6.0	7.6	9.7
	Q	2.0	1.0	1.5	4.0	6.2
3作 (6/25~ 7/15)	K	0.1	0.3	24.0*	2.2	7.3
	M	50.6**	1.2	6.0	70.5*	3.6
	K*M	1.2	0.3	13.5*	2.9	0.9
	Q	9.6	0.0	24.0*	0.4	0.0
4作 (9/14~ 10/12)	K	0.1	0.3	3.9	0.1	0.5
	M	9.6	3.0	3.9	21.2*	80.4**
	K*M	0.2	1.3	26.5*	0.8	0.8
	Q	2.2	0.3	1.4	5.1	9.7

* 危険率5%有意 F_{3}^{1} (0.05) = 10.1

** 危険率1%有意 F_{3}^{1} (0.01) = 34.1

第6-9表 生育収量の平均値と第1水準値

作期	項目 要因	項目				
		草丈mm	葉数	葉色	生収量g	乾物収量g
1作 (5/11~ 6/2)	対照区	119	3.9	3.7	28.4	2.1
	平均値	166	4.2	4.3	54.3	4.0
	K	157	—	—	—	—
	M	155	4.0	4.1	45.7	3.3
2作 (6/3~ 6/24)	対照区	165	6.6	4.2	40.5	2.6
	平均値	171	4.9	4.6	4.45	2.9
	K	—	4.8	—	—	—
	M	—	—	—	49.5	3.2
3作 (6/25~ 7/15)	対照区	141	4.7	4.2	40.5	3.2
	平均値	153	5.1	4.5	51.2	4.0
	K	—	—	4.4	—	—
	M	162	—	—	55.2	—
4作 (9/14~ 10/12)	対照区	151	4.4	4.1	24.5	1.3
	平均値	186	5.0	4.4	45.0	2.6
	K	—	—	—	—	—
	M	—	—	—	50.5	2.9
	Q	—	—	—	—	—

第6-10表 コマツナ分析値の分散分析結果

作期	項目 要因	項目					
		T-N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
1作 (5/11 6/2)	K	9.2	9.3	63.3**	0.3	250.2**	23.9*
	M	2.1	23.5*	1.5	0.2	67.0**	21.6*
	K*M	0.1	0.9	69.0**	0.3	3.6	0.2
	Q	0.4	1.6	0.3	0.1	13.2	0.1
2期 (6/3 6/24)	K	0.1	0.1	3.9	10.4*	2.1	4.5
	M	0.6	8.3	1.5	6.6	7.3	7.6
	K*M	1.7	6.4	0.1	10.8*	3.4	0.4
	Q	0.5	2.1	0.3*	29.0*	0.6	0.2
3作 (6/25 7/15)	K	4.6	5.1	0.7	0.3	1.9	31.5*
	M	0.5	9.9	3.2	0.2	3.2	3.0
	K*M	0.0	6.1	0.0	7.6	2.7	13.5*
	Q	1.8	2.1	0.1	0.6	0.3	16.5*
4作 (9/14 10/12)	K	14.3*	10.7*	4.9	0.0	13.8*	1.0
	M	2.0	12.6*	3.9	2.8	310.1**	2.8
	K*M	6.5	8.3	9.8	0.7	86.9**	0.0
	Q	5.7	12.6*	0.1	0.9	4.0	1.2

* 危険率5%有意 F_{3}^{1} (0.05) = 10.1

** 危険率1%有意 F_{3}^{1} (0.01) = 34.1

第6-11表 コマツナ分析値の平均値と第1水準値 (乾物%)

作期	項目 要因	項目					
		T-N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
1作 (5/11 6/2)	対照区	6.26	0.08	1.78	7.83	3.63	1.34
	平均値	8.10	1.28	1.85	6.88	4.03	1.32
	K	—	—	1.79	—	3.71	1.22
	M	—	1.16	—	—	3.86	1.23
2作 (6/3 6/24)	対照区	9.26	1.84	1.74	7.70	4.73	1.31
	平均値	9.14	1.93	1.85	7.59	5.03	1.31
	K	—	—	—	7.42	—	—
	M	—	—	—	—	—	—
3作 (6/25 7/15)	対照区	8.54	2.08	1.08	7.47	4.28	1.31
	平均値	8.17	1.75	1.59	8.57	4.05	1.12
	K	—	—	—	—	—	1.09
	M	—	—	—	—	—	—
4作 (9/14 10/12)	対照区	8.68	2.35	1.41	7.82	5.73	1.44
	平均値	6.85	1.54	1.50	9.76	4.72	1.27
	K	7.63	1.76	—	—	4.80	—
	M	—	1.86	—	—	5.08	—
Q	—	1.30	—	—	—	—	

第6-12表 土壤分析値の分散分析結果

作期	項目 要因	pH (H ₂ O)	EC	無機窒素		Trhog P ₂ O ₅	置換性塩基			CEC	塩基 飽和度
				NH ₄ -N	NO ₃ -N		CaO	MgO	K ₂ O		
3作 (6/14~ 7/15)	K	43.3**	0.9	2.2	3.6	12.0*	74.8**	4.1	2.7	0.9	54.8*
	M	30.9*	0.5	16.3*	1.9	15.0*	37.1**	20.7*	11.1*	82.5**	22.6*
	K*M	11.6*	13.2*	3.6	10.6*	6.3	10.4*	0.4	2.5	0.9	8.6
	Q	6.6	35.7**	15.5*	37.7**	5.1	27.4*	15.9*	13.0*	30.3*	25.1*
4作 (9/14~ 10/12)	K	15.3**	24.9*	7.7	0.2	9.3	73.4**	0.0	3.3	7.2	47.9**
	M	43.9**	0.9	0.2	0.6	11.0*	22.3*	28.3*	28.4*	2.7	37.3**
	K*M	17.4*	52.7**	0.1	3.6	4.5	13.4*	7.4	1.3	0.2	21.2*
	Q	10.7*	47.7**	0.5	4.5	4.2	27.3*	40.5**	14.0*	13.6*	31.4*

* 危険率5%有意F₃¹(0.05) = 1.01** 危険率1%有意F₃¹(0.01) = 34.1

第6-13表 土壤分析値の平均値と第1水準値

(乾土含量)

作期	項目 要因	pH (H ₂ O)	EC (mS/cm)	無機窒素(mg/100g)		Truog P ₂ O ₅ (mg/100g)	置換性塩基(mg/100g)			CEC (meq)	塩基飽 和度%
				NH ₄ -N	NO ₃ -N		CaO	MgO	K ₂ O		
3作 (6/25~ 7/15)	対照区	5.42	0.67	0.9	17.9	9	597	145	69	38.8	77.2
	平均値	6.12	0.98	1.2	19.8	100	957	195	120	43.6	105.8
	K	6.30	—	—	—	149	1090	—	—	—	—
	M	5.98	—	1.4	—	44	863	180	99	42.0	99.4
	Q	—	0.85	1.0	13.6	—	876	182	97	42.6	99.0
4作 (9/14~ 10/12)	対照区	5.81	0.86	0.5	19.5	5	549	147	42	37.2	74.6
	平均値	6.34	1.01	1.3	4.5	64	906	195	79	43.1	101.0
	K	6.44	1.08	—	—	—	1033	—	—	—	109.9
	M	62.5	—	—	—	26	836	176	59	—	93.2
	Q	6.30	0.91	—	—	—	828	172	65	42.0	93.8

有機物の種類(K)は、1作目の草丈、2作目の葉数、3作目の葉色に有意差がみられたが、いずれも鶏ふん堆積物は牛ふん堆積物に比べ小さい値を示していた。また、施用量(Q)については3作目の葉色にのみ有意差がみられ、多量施用の葉色が濃い傾向にあった。

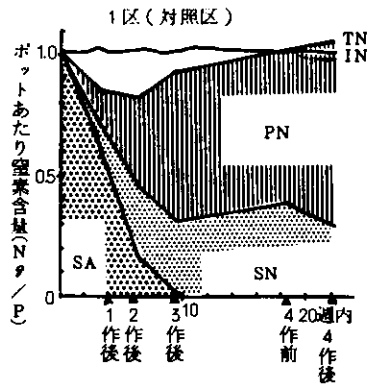
葉色は1作、3作、4作に交互作用が認められたが、これはすべて鶏ふん堆積物では完熟物の葉色が濃く、牛ふん堆積物では未熟物の葉色が濃いことを示している。

コマツナの分析結果は第6-10表と第6-11表に示した。1作目は有機物の種類(K)ではリン酸、カルシウム、マグネシウムに有意差がみられ、牛ふん堆積物が多い傾向にあった。腐熟度(M)では硝酸態窒素、カルシ

ウム、マグネシウムに有意差があり、完熟物が多い。また施用量(Q)にも有意差があり、標準区のカルシウムが多かった。

2作目は種類(K)と量(Q)についてカリウムに有意差があり、牛ふん堆積物と多量施用の場合に高くなった。同様な傾向が3作目のマグネシウムについてみられた。

4作目は種類(K)では窒素成分とカルシウム、腐熟度(M)では硝酸態窒素とカルシウム、量(Q)では硝酸態窒素に有意差がみられ、鶏ふん堆積物の窒素成分とカルシウム、未熟物の硝酸態窒素とカルシウム、多量施用の硝酸態窒素がそれぞれ多い傾向がみられた。



摘要

PN: 作物体吸収窒素を各作毎に加算したもの

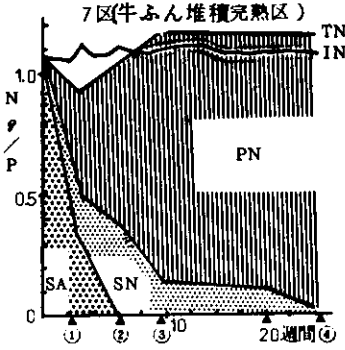
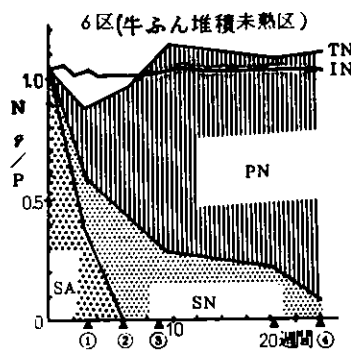
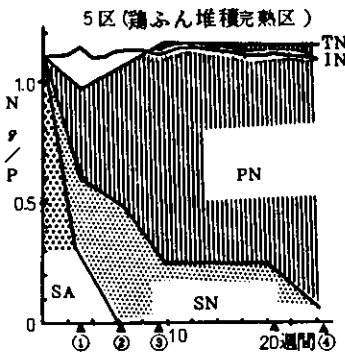
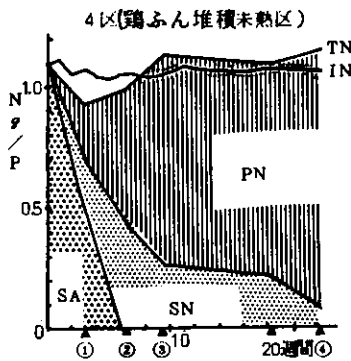
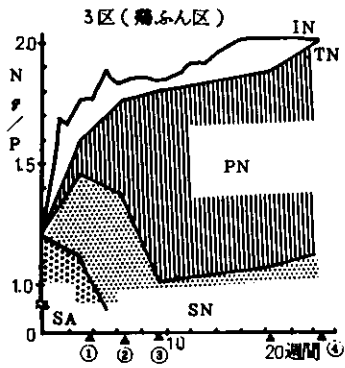
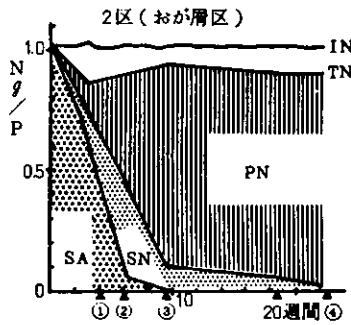
SN: 土壌中の硝酸態窒素

SA: 土壌中のアンモニア態窒素

TN: 土壌および作物体窒素含量の加算値

(PN+SN+SA)

IN: インキュベーションによる無機態窒素の発生量をポットあたりに換算したもの



第6-4図 施用窒素の土壌残存量と作物吸収量の変化

(土壌・作物体の窒素含量をポットあたりに換算した)

交互作用は1作目のリン酸, 2作目のカリウム, 3作目のマグネシウム, 4作目のカルシウムにみられた。カルシウムは鶏ふん, 牛ふん堆積物ともに未熟物が多かったが, それ以外の成分は, 鶏ふん堆積物は未熟物, 牛ふん堆積物は完熟物が多い傾向にあった。

土壌分析結果は第6-12表と第6-13表に示した。有機物施用によりすべての成分含量が高くなる。とくにその傾向は, リン酸とカルシウムに著しい。

各因子について多くの項目で有意差がみられたが, これらはすべて施用した有機物の特性がそのまま反映された結果となっている。すなわち, 有機物の種類(K)では鶏ふん堆積物のpH, リン酸, カルシウム等が多く, 腐熟度(M)では大部分の成分について完熟物の含量が高く, 施用量(Q)では多量施用の成分含量が高い。

以上の結果から, 土壌中の成分含量は施用有機物の性質が直接反映するが, 作物体の成分含量には直接反映しない。作物収量については, 施用直後は未熟物は完熟物に比べ劣るが, 土壌中で1カ月以上経過すると逆に増収し, 最終的には差がなくなる。このことは, 未熟有機物中には作物生育阻害因子があり, 作物の初期生育を阻害するが, 土壌中で比較的速く分解され無害化し, 効果は完熟有機物と同等になることを示している。また施用量についても過剰施用は減収の原因となることが明らかとなった。

(5) 窒素の利用と残存

有機物の肥効のひとつとして窒素の供給がある。そこで栽培試験と同時に実施した窒素培養試験の結果と土壌及び作物体の分析結果をもとに, 窒素の利用率の変化を推定した結果を第6-4図に示した。この図は, ポットあたりに換算した作物吸収量の加算値(PN)及び土壌中のアンモニア態窒素量(SA)と硝酸態窒素量(SN)を算出した値と, これらの合計値(TN)を図示したもので, さらに第6-4図に示した無機態窒素発現量をポットあたりに換算したもの(理論値・IN)を併せて示している。この図からは, ポット内に施用された無機態窒素の作物吸収量と土壌残存量, ならびに理論的無機態窒素発現量が容易に理解できる。

全体に1作と2作は, 土壌中の無機態窒素含量と作物吸収量の合計(TN)が理論窒素量(IN)を下回った。これは土壌中に残されたコマツナ残根や有機物分解の微生物体として, 窒素が有機化したものといえる。対照区(1区)では3作後から4作前までの無栽培期間に無機態窒素量が増加する傾向がみられ, 残根や微生物体として有機化された窒素が無機化している。4作後の窒

素合計(TN)が理論値(IN)を超えたことの原因は不明確であるが, 実験誤差あるいは土壌中の有機物の分解によるものと考えられる。

おが屑区は, 窒素合計(TN)が全期間を通して理論値(IN)を下回り, 窒素の有機化が継続していることを示している。ここで示した理論値は第6-2図のおが屑単独の数値を用いた。4作終了後では土壌中には無機態窒素はほとんど存在しなかった。

鶏ふん区は窒素放出量が極めて大きく, 窒素合計値は他区の2倍近くになっており, 4作終了後でも土壌中には約1gの無機態窒素が残存している。栽培期間を通じて窒素合計(TN)は理論値(IN)を下回ったが, 4作終了時には両者はほぼ一致した。

有機物施用区は4区ともほぼ類似した傾向を示し, 2作目までは窒素合計(TN)が理論値(IN)を下回り, 3作目から逆転する。これは, 2作目までは他の区と同様にコマツナ残根等の形で窒素が有機化し, 以後はこれらが無機化することをしめしている。有機物施用区で無機化が著しい原因としては, 化学肥料の施用によりC/N比を低め, リン酸を補給するなど微生物活動に適した条件となったこと, 作物生育が他の区より良く, 根圏微生物の活動を高めたために有機物の分解が促進されたためと考えることができる。また, 鶏ふん堆積物, 牛ふん堆積物ともに未熟物は3作収穫後から4作前までの無栽培期間に土壌中で窒素の有機化がみられ, 微生物による有機物の分解が継続していることがうかがえた。

4作終了時の土壌中の窒素残存率を比較すると, 対照区に比べおが屑区と有機物施用区は少なく, 無機態窒素が有効に利用されていることがわかる。これは供試した土壌がやや粘土質のため, 有機物の施用による物理性改善効果と推測できる。

以上の解析は実験誤差が含まれやすい要因を含んでいるが, 多少の誤差を許容しても, 有機物の施用により作物体と土壌中の窒素量の合計値が培養発現窒素量から求めた理論値をこえている。このことは, 作物を栽培している場合とそうでない場合の有機物の分解速度が異なり, 作物栽培により有機物分解が促進される可能性があることを示している。

2. 腐熟度と作物生育(圃場試験)

ポット試験において腐熟度の差異が作物生育に及ぼす影響について検討し, 完熟有機物の施用は増収に役立つが, 未熟有機物は初期生育に悪影響を及ぼすことを明らかにした。ポット栽培は閉鎖系であり養分の移動や流亡はないが, 露地畑では養分移動の可能性があるため, 未

熟有機物中の生育阻害物質が可溶性であれば作物に及ぼす影響も異なると考えられる。そのためここでは、圃場において同様な栽培試験を実施し、有機物の腐熟度が作物生育に及ぼす影響について検討した。

1) 実験方法

(1) 無底土管試験

ア 供試有機物：ポット試験と同じ有機物（鶏ふんは除く）を、乾燥させないで生のまま使用した。水分含量は、おが屑11.8%、鶏ふん堆積物（未熟）64.4%、鶏ふん堆積物（完熟）64.0%、牛ふん堆積物（未熟）79.2%、牛ふん堆積物（完熟）68.3%であった。

イ 供試土壌：ポット試験と同じ土壌を内径45cmの土管（1/628 a 相当）に60cmの深さに詰め、所内畑に設置した。

ウ 供試作物：夏作スイートコーン（ハニーバントム）

1981年5月22日播種，8月13日収穫。

冬作キャベツ（YR錦秋）

1986年8月20日定植，10月31日収穫。

エ 栽培方法：有機物は、表層15cmまでの乾土あたり炭素として1%に相当する量を、試験開始時にだけ生で施用した。肥料はN、 P_2O_5 、 K_2O がそれぞれポットあたり10gに相当する量とし、燐加安42号を71.4g毎作施肥し、全量元肥とした。土管あたり2株植え、2速で実施した。

(2) 圃場試験

ア 供試有機物：おが屑混合鶏ふん堆積物を3t/10a施用した。未熟物は約2カ月間堆積，完熟物は約6カ月間堆積したもの。

イ 試験場所：相模原市当麻 石井氏圃場（露地畑）。厚層多腐植黒ボク土 久米川統（土性L，腐現に頗る富む，礫なし）。

ウ 供試作物：ハウレンソウ（バレード）

1982年10月4日播種，11月15日収穫。

第6-14表 無底土管試験の部位別乾物収量(g/株)

処 理 区	作物と作期 部 位	スイートコーン(5/22~8/13)				キャベツ(8/20~10/31)		
		実 部	茎 部	葉 部	計 (%)	結球部	外葉部	計 (%)
対 照 区		84	49	49	182(100)	114	115	229(100)
お が 屑		65	40	40	145(80)	112	98	210(92)
鶏堆積物	(未熟)	108	43	45	196(108)	136	120	256(112)
"	(完熟)	107	49	60	216(119)	119	111	230(100)
牛堆積物	(未熟)	110	53	46	209(115)	129	111	240(105)
"	(完熟)	132	70	59	258(142)	127	100	227(99)

第6-15表 無底土管試験の土壌分析結果

調査時期	処 理 区	pH (H ₂ O)	EC (mS/cm)	Truog P ₂ O ₅ (mg/100g)	置換性塩基(mg/100g)			CEC (meq)	塩基飽和度%
					CaO	MgO	K ₂ O		
スイートコーン 収 穫 後	1. 対 照 区	5.85	0.30	6	586	122	72	36.8	77.4
	2. お が 屑	5.85	0.47	7	600	129	54	34.9	82.9
	3. 鶏堆積物(未熟)	6.03	0.32	18	683	135	79	37.9	86.5
	4. " (完熟)	6.61	0.35	135	1000	159	113	40.6	113.2
	5. 牛堆積物(未熟)	6.22	0.33	16	618	141	71	36.3	84.2
	6. " (完熟)	6.27	0.19	38	678	153	98	39.3	86.2
キャベツ 収 穫 後	1. 対 照 区	5.40	0.12	21	398	89	86	38.0	53.7
	2. お が 屑	5.31	0.15	14	404	83	103	38.9	53.2
	3. 鶏堆積物(未熟)	5.45	0.14	41	484	79	128	39.7	60.3
	4. " (完熟)	6.60	0.12	189	948	144	216	44.9	101.4
	5. 牛堆積物(未熟)	5.57	0.14	35	481	170	128	41.4	61.2
	6. " (完熟)	5.71	0.12	59	520	120	159	42.3	65.9

エ 栽培方法：有機物 3 t/10 a 及び化学肥料（磷加安 42号）を107kg/10 a（N P K各15kg）施用し、播種機により約15cm幅に条播した。あわせて有機物を施用しない対照区を設けた。1区28㎡とし、2連で実施した。

(3) 調査分析方法

作物体及び土壌の分析はポット試験に同じ。収量は土管試験は1株あたりで表示し、圃場試験はkg/10 a で表示した。

2) 結果及び考察

(1) 無底土管試験

所内圃場に埋設した無底土管に淡色黒ボク土壌を充填し、スイートコーンとキャベツを連続して栽培した結果を第6-14表に示した。これは1株当たりの乾物収量で示したものである。

1作目のスイートコーンは、おが屑区（2区）の初期生育が不良であり生育が遅れ、乾物含量は約20%の減収となった。有機物施用により収量は増加した。種類別では鶏ふん堆積物より牛ふん堆積物が多収であったが、ともに未熟物より完熟物の収量が多く、ポット試験と類似した結果を示していた。とくに牛ふん堆積完熟物（6区）では対照区に比べ、全体で42%、実部で57%の増収となった。

2作目のキャベツもおが屑では1作目と同様に減収したが、その差は小さく全重で8%、結球部ではわずか2%の減収にとどまった。有機物の施用により増収し、とくに結球部にその傾向が著しい。未熟物と完熟物の違いは1作目の逆であり、未熟物が増収する傾向にある。

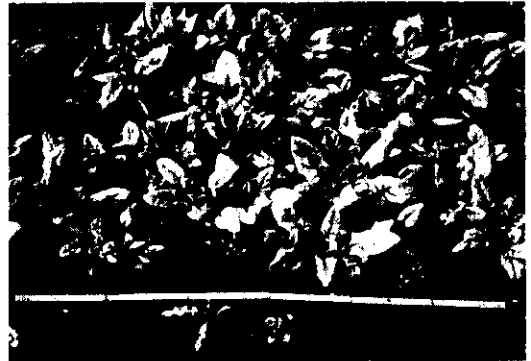
第6-16表 ホウレンソウの生育収量

(収量はkg/10 a)

区名	草丈	葉色	生収量(比)	乾物収量(比)
1 対照区	24cm	4.1	1186kg(100)	91kg (100)
2 未熟区	24cm	4.3	796kg(67)	62kg (68)
3 完熟区	26cm	4.4	1319kg(111)	96kg (105)

た。最も収量の高いのは鶏ふん堆積未熟物（3区）であり、対照区と比べ結球部で19%、全体で12%の増収であった。

腐熟度が作物生育に及ぼす影響は、コマツナを用いたポット試験結果と一致し、1作目には大きく影響するが土壤中で一定期間を経過すると問題はなくなることを示している。しかし、おが屑の障害性はポット試験に比べ長く続き、2作目にもわずかに影響を及ぼした。これはポット試験では乾燥粉砕物を用いたのに対し、ここでは



(1) 未熟区（欠株が多く生育が不揃い）



(2) 完熟区（生育が良く、均一に生育）

写真6-1 有機物の腐熟度の違いがホウレンソウの生育に及ぼす影響

第6-16表 収穫後土壌の分析結果

(乾土含量)

処理 区名	pH (H ₂ O)	EC (mS)	NO ₃ -N (mg/100g)	P ₂ O ₅ (mg/100g)	置換性塩基(mg/100g)			CEC (meq)	塩基飽和度(%)			合計
					CaO	MgO	K ₂ O		CaO	MgO	K ₂ O	
1 対照	6.22	0.11	0.77	8.1	568	89	43	37.8	53.5	11.7	2.4	67.6
2 未熟	6.05	0.11	1.29	13.1	538	82	52	37.9	50.6	10.7	2.9	64.2
3 完熟	6.13	0.10	1.09	15.1	657	96	41	39.7	59.0	12.0	2.2	73.2

ブレナ屑を含む大型の木質を供試したため、土壌での分解が遅れたものと考えられる。

各作の跡地土壌の分析結果を第6-15表に示した。有機物の施用により各成分が増加する傾向にあることはポット試験と同様であった。リン酸とカリは1作目に比べ2作目の含量が多いが、これは化学肥料を毎年施肥したためである。塩基成分等の減少の程度は、コマツナを用いたポット試験の4作収穫後の結果と、本試験の1作収穫後の結果とが類似していた。

(2) 圃場試験

野菜栽培農家の圃場でホウレンソウ栽培試験を実施した結果を第6-16表に、収穫時の作物の状態を写真6-1にそれぞれがした。未熟物(2区)の施用は発芽率を悪くし、発芽の不揃いと初期生育の悪さから、作物生育が不均一となる。このため対照区に比べ30%以上の減収となった。これに対し完熟物(3区)は欠株もなく、草丈も高く、生収量で11%、乾物収量で5%の増収となった。

収穫後の土壌分析結果を第6-17表に示した。対照区に比べ有機物を施用した区はpHが低く、硝酸態窒素とリン酸が多くCECが高い外は大きな差がなく、ポット試験や土管試験のように有機物の性格が直接反映されなかった。この原因は、施用量がポット試験の約1/3程度と少ないためと考えられる。

野菜を連作している熟知において圃場試験結果、未熟

有機物の施用は減収し、完熟有機物の施用は増収となった。しかし、ポット試験や土管試験の結果では未熟有機物は対照区より減収することはなかった。この違いは、ポット試験で用いたコマツナは障害性に対し比較的強い作物であること、また生育期間など作物の性質が異なることが考えられる。また同時に、圃場に施用された有機物は耕うん後みかけ上均一に混合されていても、土壌中で局部的に塊状に分布し、局部的には強い障害を及ぼす可能性があることが考えられる。写真6-1をみても生育の不揃いが目立つが、これは局部的に障害をうけたことを示しており、この考えの妥当性を示している。さらに、圃場試験では生有機物を用いたがポット試験では風乾有機物を用いたため、アンモニアの揮散など成分組成の変化も影響していることも考えられる。

3. 土壌の種類と腐熟度

有機物の腐熟の程度により作物生育に影響のあることは明らかとなったが、土壌の種類により有機物の施用効果や腐熟度の影響が異なることが考えられる。有機物を有効に利用するためには、土壌の性質に適應した施用方法を行うことが必要であるといえる。そのため、神奈川県内の主要な土壌(火山灰土壌、褐色森林土、灰色低地土)を用いて、腐熟度の違いが作物生育に及ぼす影響について検討した。

1) 実験方法

(1) 供試資材

第6-18表 供試土壌の分析結果

土壌の種類	全炭素 (%)	全窒素 (%)	C/N 比	pH (H ₂ O)	EC (mS)	Truog P ₂ O ₅	置換性塩基			CEC (meq)	塩基飽和度 (%)			合計
							CaO	MgO	K ₂ O		CaO	MgO	K ₂ O	
1 黒ボク	12.19	0.663	18.4	6.84	0.36	0.7	804	370	13	42.4	67.6	43.3	0.6	111.5
2 淡色黒	0.25	0.013	19.2	7.00	0.05	6.5	588	166	15	29.8	70.4	27.6	1.1	99.1
3 褐色森	1.97	0.129	15.3	6.59	0.08	39.8	897	161	28	41.0	78.0	19.5	1.4	99.0
4 灰色A	1.16	0.075	15.5	6.37	0.07	79.7	422	122	54	24.3	61.9	24.9	4.7	91.6
5 灰色B	0.67	0.045	14.9	6.74	0.10	50.1	361	135	28	19.2	67.1	34.9	3.1	105.0

第6-19表 供試有機物分析結果

腐熟度	pH	EC	全炭素 (%)	全窒素 (%)	C/N 比	粗灰分 (%)	無機窒素(mg/100g)			P ₂ O ₅ (%)	塩基成分		
							NH ₄ -N	NO ₃ -N	合計		CaO	MgO	K ₂ O
未熟	6.98	8.30	33.3	0.98	34.0	26.5	772.2	4.7	776.9	3.65	11.05	0.66	1.30
完熟	7.69	3.59	31.2	1.51	20.7	32.4	110.3	153.1	263.4	6.15	15.84	1.03	1.43

ア 有機物：中央養鶏場（愛甲郡愛川町）製造のおが屑混合鶏ふん堆積物を供試した。未熟物は約1カ月間、完熟物は約6カ月間堆積したものである。これを乾燥粉砕後、施用した。

イ 土 壤：供試土壌は次の5種類を使用し、塩基飽和度は100%程度の高めに設定した

黒ボク土（厚層多腐植黒ボク土 久米川統，表土，土性L）

淡色黒ボク土（表層多腐植黒ボク土 鯉淵統，次層土，土性CL）

褐色森林土（細粒褐色森林土 尾猿内統，表土，土性LiC）

灰色低地土A（細粒灰色低地土灰色系 藤代統，表土，土性SCL）

灰色低地土B（灰色低地土斑紋なし 姫島統，表土，土性FSL）

(2) 栽培方法

ア 供試作物：コマツナ（みすぎ），1ポットに9株播種。

イ 栽培時期：1986年6月16日～10月8日

ウ 栽培方法：1/5000 a ワグネルポットにコマツナ9株栽培。有機物はポットあたり乾物40g，化学化学肥料はN，P₂O₅，K₂Oとして1g施用した。3連実施。

(3) 作物体及び土壌の調査方法

第6章1に同じ。

2) 結果および考察

供試土壌の分析結果を第6-18表に、有機物の分析結果を第6-19表にそれぞれ示した。土壌は全体に置換性塩基が多くpHがやや高めであるが、施設栽培土壌によくみられる程度の含量である。塩基飽和度は100%程度である。また、リン酸は火山灰土壌では低く10mg以下であったが、それ以外の土壌は高い含量を示していた。供試した有機物のC/N比は未熟物34.0，完熟物20.7であり、未熟物はアンモニア態窒素が，完熟物は硝酸態窒素が多く含まれている。

コマツナ栽培結果を第6-20表に示した。土壌の種類により作物の生産性に差があり，有機物を施用しない対照区の乾物は灰色低地土B5.24g，褐色森林土5.19g，灰色低地土A4.81g，黒ボク土3.83g，淡色黒ボク土3.25gであった。褐色森林土及び灰色低地土の収量が高く火山灰土壌の収量が低い傾向にあり，その差は1.4倍もあった。

各土壌について有機物施用が作物収量に及ぼす効果をみると，黒ボク土は有機物の施用効果がみられ，対照区に比べ未熟区10%，完熟区は13%増収していた。淡色黒ボク土は，有機物の施用効果は大きく，また腐熟度の差が

第6-20表 コマツナ生育収量調査結果

(ポット当たり)

栽培時期	第1作 (9/16～10/8栽培)				第2作 (10/8～11/14栽培)				
	試験区名	草丈mm	葉色	生収量g	乾収量g	草丈mm	葉色	生収量g	乾収量g
1	黒対照	17.1	4.6	59.0	3.83	15.3	5.5	48.3	4.72
2	ボ未熟	18.4	4.6	63.8	4.22	17.5	5.8	65.8	6.32
3	ク完熟	19.1	4.6	64.6	4.33	16.9	6.0	62.5	6.12
4	淡対照	15.7	4.7	42.5	3.25	19.7	6.5	78.8	8.26
5	色未熟	15.6	4.5	46.4	2.88	18.1	6.6	77.4	8.52
6	黒完熟	20.3	4.5	86.2	5.46	19.4	6.6	89.1	9.30
7	褐対照	20.9	4.3	85.4	5.19	19.4	6.5	89.1	9.65
8	色未熟	20.0	4.4	85.0	5.33	18.8	6.7	71.6	9.53
9	森完熟	20.0	4.6	84.6	5.31	20.7	6.6	61.7	10.07
10	灰対照	19.5	4.5	75.3	4.81	18.6	6.5	71.6	7.66
11	色未熟	18.5	4.3	66.9	4.43	17.1	6.4	61.7	6.94
12	A完熟	18.2	4.5	63.8	4.66	18.3	6.6	69.4	6.78
13	灰対照	21.2	4.5	85.3	5.24	19.0	6.7	67.8	7.12
14	色未熟	20.6	4.3	80.0	4.82	17.0	6.1	59.0	6.85
15	B完熟	20.4	4.6	78.5	5.06	17.1	6.7	61.0	6.97

第6-21表 コマツナ収穫後土壌の分析結果

(乾土含量mg/100g)

採土時期	1 作 後 (5/15)						2 作 後 (6/13)							
	上 処	pH	無機態窒素		pH	EC	無機態窒素		Truog	置換性塩基			CEC	塩基飽
号	壤 理	(H ₂ O)	NH ₄ -N	NO ₃ -N	(H ₂ O)	mS/cm	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O	meq	和度(%)
1	黒対	6.45	11.1	22.9	6.46	0.89	1.0	18.8	1.2	910	345	32	43.7	115.0
2	ボ未	6.62	22.9	17.4	6.58	0.99	1.0	19.9	3.9	1055	348	49	47.0	119.0
3	ク完	6.50	14.9	24.1	6.59	0.93	1.2	16.7	10.2	986	325	51	47.1	111.2
4	淡対	6.14	25.7	0.9	5.81	0.86	4.9	0.6	9.1	655	158	24	31.5	100.7
5	色未	6.63	34.2	1.6	6.15	1.01	2.7	10.5	28.6	768	169	42	34.0	107.8
6	黒完	6.39	22.3	1.3	6.21	0.88	2.5	2.3	54.6	796	172	33	33.9	111.3
7	褐対	5.73	11.2	4.1	5.49	0.81	3.0	0.2	19.6	973	157	39	41.2	105.1
8	色未	5.97	7.0	15.4	5.94	0.91	2.0	4.5	41.3	1081	162	59	42.2	113.4
9	森完	6.03	8.9	11.3	5.96	0.93	1.6	2.1	62.3	1123	171	54	42.1	118.0
10	灰対	5.20	3.4	17.6	5.36	0.66	1.3	3.4	41.9	493	121	52	24.5	100.8
11	色未	5.55	3.8	27.1	5.74	0.90	1.5	12.1	65.6	577	126	71	24.9	113.8
12	A完	5.55	2.3	22.9	5.77	0.82	1.7	9.3	88.5	589	132	70	25.8	112.6
13	灰対	6.00	8.0	1.4	5.68	0.55	2.7	1.3	24.2	388	137	36	19.3	110.9
14	色未	6.48	3.3	3.3	6.21	0.72	1.7	5.6	58.6	476	138	44	19.5	127.0
15	B完	6.34	8.7	3.0	6.15	0.70	1.6	3.4	66.7	488	157	44	19.4	134.7

最も顕著に現れ、完熟物は未熟物の2倍近い収量を示した。褐色森林土は有機物の施用によりわずかに増収するが、その差は極めて小さく、腐熟度の差もほとんど現れない。灰色低地上のAとBはほぼ同じ傾向にあり、腐熟度の差は多少現れるものの、有機物の施用により収量が減少した。

コマツナ収穫後の土壌分析結果を第6-21表に示した。供試土壌の性質が跡地土壌にもそのまま反映されており、有機物の施用によりカルシウムやCECなど各種成分含量が高くなる。とくにリン酸にその傾向が最も著しく、完熟物>未熟物>対照区であった。また黒ボク土ではリン酸の土壌吸着が著しく、含量が極めて少なくなっている。この結果より、土壌の種類による有機物の効果の違いは、リン酸含量の違いが影響していることが考えられる。すなわち、土壌によりリン酸の適正域が異なり、黒ボク土では200mg/100gが、灰色低地上では100mg/100gが、海成砂土では20mg/100gが上限値であるとした報告(52)がある。このことから、有機物から供給されるリン酸等の養分の過剰が作物生育に悪影響を及ぼし、有機物施用により減収したと考えることもできる。

また、無機態窒素には土壌間の違いが明確に現れてお

り、アンモニア態窒素は淡色黒ボク土と黒ボク土に多く、硝酸態窒素は淡色黒ボク土と灰色低地土Bに少ない。このことは火山灰土壌、とくに淡色黒ボク土のアンモニア酸化作用が弱いことを示している。

静岡県農試が5年間にわたって枠試験で、黒ボク土、黄色土、灰色低地土におが屑鶏ふん堆積物を連用し、裸麦とカンショを栽培した例がある(40)。これによると有機物無施用では、黒ボク土>灰色低地土>黄色土であり、有機物を適用すると黄色土>灰色低地土>黒ボク土となり、土壌により有機物に対する反応が異なる。試験条件や栽培期間が異なるが、本試験においても土壌の種類により有機物に対する反応性が異なることが確認された。

本試験の場合、土壌の種類による影響は窒素とリン酸が主因と考えられ、黒ボク土ではリン酸固定力が強いためにリン酸等の栄養分に富むおが屑混合鶏ふん堆積物は効果が大きい。また、火山灰の心土である淡色黒ボク土は微生物が極めて少なく(48)、硝酸化成長が遅れる作物に硝酸態窒素を供給できず生育が遅れるが、完熟した有機物を施用することにより硝酸化成長が促進され、作物生育は促進される。しかし、腐熟度による作物生育の違いについては、このことだけでは説明できない。

以上の結果から、土壌の種類により有機物施用効果や腐熟度に対する反応が異なることが明らかとなった。とくに淡色黒ボク土は腐熟度が極めて大きく影響するため、有機物を施用するときは良質の有機物の施用が必要であることが明らかとなった。

4. 腐熟度と施用方法

有機物の施用方法は、表層全面散布が標準である。これは農業機械の利用に伴って一般的になったものであるが、有機物の効率的利用から溝施用等の部分施用やマルチング等多様な施用方法が見直されている。なかでも部分施用は施用量が少なくても効果があるといわれているが、明確にこれを実証した例はみられない。また、か

てはきゅう肥に代表されるように肥料の効果を期待して施用していたが、近年では塩類が多量に集積している施設土壌に有機物を施用し、効果をあげている例も多い。

このように多様な条件下で利用されている有機物の施用効果を明らかにし、効率的な施用方法を確立するためには、それぞれの要因効果を明らかにする必要がある。そこで、腐熟度や土壌の養分含量及び施用位置が作物生育に及ぼす影響を直交表による要因実験により解析した。

1) 実験方法

(1) 供試資材

ア 有機物：中央養鶏場（愛甲郡愛川町）製造のおが屑混合鶏ふん堆積物を風乾粉碎供試した。水分は、未熟物10.6%、完熟物9.8%であった。施用量は乾土当たり炭素として1%にあたる量を想定し、ポット当たり未熟物（約1カ月間堆積）を40g、完熟物（約6カ月間堆積）を45gとした。

イ 土 壌：供試土壌は黒ボク土（久米川統表層土、腐植頗る富む、土性L）と、淡色黒ボク土（鯉淵統次層土、腐植あり、土性CL）の2種類とした。

(2) 試験区と処理方法

土壌の種類と塩基含量、腐熟度、施用方法の4因子についてそれぞれ2水準を設け、L16直交表による割り付けを行った。因子と水準については第6-22表に、試験区の配列については第6-23表にそれぞれ示した。あわせて有機物を施用しない区を設けた（17~20区）。

高塩基土壌は、塩基飽和度をカルシウム80%、マグネシウム35%、カリ15%を目標に改良し、リン酸含量を高めるために熔りんをポット当たり50g施用した。これらの処理をした後、圃場水分状態に保ち1カ月間ガラス室内に保持した。有機物の混合方法はポット内に均一に混合するものと、表層から5cmのところ厚さ数mmの層状に施用するものの2通りとした。

(3) 栽培方法

ア 供試作物：コマツナ（みすぎ）、1ポットに9株播種。

イ 栽培時期：第1回1986年4月12日～5月15日

第2回 5月15日～6月13日

ウ 栽培方法：1/5000 a ワグネルポットにコマツナ9株を植え、連続して2回栽培した。化学肥料は硫酸、過石、硫酸を用いN、P₂O₅、K₂Oとしてそれぞれ1gに相当する量を施用した。

有機物と化学肥料の施用は最初1回だけであり、2回目は残効で栽培した。なお、有機物の施用した区について

第6-22表 因子と水準（L16直交表）

因 子		水準 1	水準 2
B	(土壌塩基)	標準塩基	高塩基
S	(土壌種類)	淡色黒ボク	黒ボク
M	(腐熟度)	未熟	完熟
U	(施用方法)	全層混合	部分施用

第6-23表 試験区構成

区	土壌塩基	土壌の種類	腐熟度	施用方法
1	標準塩基	淡色黒ボク	未熟	全層混合
2	"	"	"	部分施用
3	"	"	完熟	全層混合
4	"	"	"	部分施用
5	"	黒ボク	未熟	全層混合
6	"	"	"	部分施用
7	"	"	完熟	全層混合
8	"	"	"	部分施用
9	高塩基	淡色黒ボク	未熟	全層混合
10	"	"	"	部分施用
11	"	"	完熟	全層混合
12	"	"	"	部分施用
13	"	黒ボク	未熟	全層混合
14	"	"	"	部分施用
15	"	"	完熟	全層混合
16	"	"	"	部分施用
17	標準塩基	淡色黒ボク	-	-
18	"	黒ボク	-	-
19	高塩基	淡色黒ボク	-	-
20	"	黒ボク	-	-

では、それぞれの生有機物を1000倍の滅菌水で抽出した液10mlを種菌として接種した。3連実施。

(4) 作物体及び土壌の調査・分析方法

第6章の1に同じ。

(5) 炭酸ガス発生量：石沢・鈴木(14)の方法により、乾土あたり炭素として1%相当する量のおが屑混合鶏ふん堆積物（未熟物）を加え、30℃で98日間保持した。ポッ

トへの施用と同様に、それぞれの土壌について、全層に均一に混合したもの（全層混合）と、表層10mmのところ

2) 結果及び考察

(1) 試験条件の設定と土壌による影響

施設栽培土壌に対する有機物の施用効果を知るために、高塩基土壌での有機物の効果と施用法による差異が

第6-24表 試験開始前土壌分析結果

(乾土含量mg/100g)

試験区名	pH (H ₂ O)	EC mS/cm	無機態窒素		Truog P ₂ O ₅	置換性塩基				CEC meq	塩基飽和度(%)			合計
			NH ₄ -N	NO ₃ -N		CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O		CaO	MgO	K ₂ O	
1 標準淡色黒	7.04	0.04	1.1	0.3	3.1	464	162	10	11	31.8	52.0	25.3	0.7	78.0
2 標準黒ボク	6.06	0.21	1.7	6.3	1.4	439	167	14	7	43.1	36.3	19.2	0.7	56.2
3 高塩淡色黒	7.18	1.08	1.4	0.6	124.4	907	268	280	34	33.4	96.8	39.5	17.8	154.2
4 高塩黒ボク	6.52	1.11	1.8	6.3	5.5	1012	326	409	9	47.8	75.5	33.8	18.2	127.5

第6-25表 コマツナ生育取量調査結果

(取量はポットあたりのg数)

試験区名	栽培時期		第1作 (4/24~5/21栽培)				第2作 (5/24~6/16栽培)				2作計	
	草丈cm	葉色	生取量g	乾物重g	草丈cm	葉色	生取量g	乾物重g	乾物重g	乾物重g	乾物重g	
1 標準未全	10.0	5.3	25.5	2.25 (94)	15.8	6.3	60.1	7.06 (83)	9.31 (85)	9.31 (85)		
2 標準未部	11.8	5.1	35.2	2.46 (103)	18.0	6.8	88.9	9.38 (110)	11.84 (108)	11.84 (108)		
3 標準完全	19.7	5.9	88.7	6.10 (275)	13.7	6.1	45.3	5.66 (66)	12.26 (112)	12.26 (112)		
4 標準完部	17.9	6.2	81.4	6.51 (271)	12.0	5.4	30.1	3.85 (45)	10.36 (95)	10.36 (95)		
5 標黒未全	21.8	5.6	110.7	8.03 (117)	15.9	6.5	65.0	6.86 (120)	14.89 (119)	14.89 (119)		
6 標黒未部	21.3	5.5	99.8	6.51 (95)	16.9	6.8	79.8	8.25 (144)	14.76 (118)	14.76 (118)		
7 標黒完全	22.1	5.7	119.7	8.54 (125)	15.7	6.2	68.7	6.83 (119)	15.37 (122)	15.37 (122)		
8 標黒完部	23.0	5.6	130.0	9.22 (135)	14.8	6.2	62.0	6.68 (117)	15.90 (127)	15.90 (127)		
9 高淡未全	12.3	5.0	35.6	2.52 (110)	17.8	7.0	94.5	9.49 (59)	12.01 (101)	12.01 (101)		
10 高淡未部	14.2	5.4	40.4	2.82 (123)	19.2	7.1	110.1	10.07 (106)	12.89 (109)	12.89 (109)		
11 高淡完全	24.8	5.6	156.5	10.06 (437)	14.1	6.1	58.4	7.27 (76)	17.33 (146)	17.33 (146)		
12 高淡完部	21.8	5.8	113.4	7.80 (339)	14.9	6.0	59.8	6.73 (71)	14.53 (123)	14.53 (123)		
13 高黒未全	21.4	5.5	113.9	8.14 (99)	16.9	6.5	78.8	7.50 (139)	15.64 (114)	15.64 (114)		
14 高黒未部	21.2	5.4	101.6	7.02 (85)	16.8	7.0	83.8	7.99 (148)	15.01 (110)	15.01 (110)		
15 高黒完全	22.2	5.5	115.9	8.24 (100)	16.3	6.6	76.8	7.10 (131)	15.34 (112)	15.34 (112)		
16 高黒完部	23.4	5.4	137.0	9.17 (111)	17.2	6.6	82.6	7.62 (141)	16.79 (123)	16.79 (123)		
17 標淡 --	12.2	5.2	33.0	2.40	18.3	7.0	88.7	8.53	10.93	10.93		
18 標黒 --	19.5	5.5	97.3	6.84	16.1	6.3	65.1	5.72	12.56	12.56		
19 高淡 --	12.4	5.2	32.2	2.30	18.6	7.0	102.0	9.54	11.84	11.84		
20 高黒 --	22.0	5.4	118.8	8.26	14.5	6.2	57.6	5.40	13.66	13.66		

(注) 乾物重の()内はそれぞれの区に対応する有機物無施用区に対する比率を示す。

すなわち1~4は17区を、5~8は18区を、9~12は19区を、13~16は20区を100としている。

作物生育に及ぼす影響について検討した。そのため、第6-22表に示した4因子水準のL16型直交配列による要因解析実験を実施した。また、あわせて対照区としてそれぞれの処理土壤に有機物を加えない区も設け、土壤の種類や塩基含量が作物生育に及ぼす影響についても検討した。

土壤(S)は火山灰土壤を用い、腐植含量差の異なる淡色黒ボク土と黒ボク土の2種類とした。土壤塩基(B)は、塩基飽和度60~80%の標準塩基と130%程度の高塩基とし、さらに高塩基土壤は燐りん肥の施用によりリン酸のレベルも高めたが、黒ボク土ではリン酸の吸着が著しく土壤分析値は低くなっている。前者は露地栽培土壤、後者は施設栽培土壤を想定したものであり、それら土壤の分析結果は第6-24表に示した。

有機物(M)は、前実験(第6章3)と同じおが屑混合鶏ふん堆積物(第6-2表)の風乾後粉碎した物を用いた。有機物の施用方法(U)は、ポット内に均一に混合したもの(全層混合)と、表面から深さ5cmの部分に

厚さ2~3mmの層状に施用したもの(部分施用)とした。

コマツナを2回連続して栽培した結果を第6-25表に示した。有機物を施用しない土壤だけの性質を(17~20区)比較すると、乾物収量の2作合計値で黒ボク土は淡色黒ボク土よりも約15%生産性が高く、また高塩基にすると8%増収する傾向を示した。特に1作目では淡色黒ボク土は生育量が少なく黒ボク土の1/3程度であったが、2作目では逆になり、合計すると15%程度の差になる。このことは、耕作していない淡色黒ボク土は、微生物活性が低い等の作物生育に適さない要因をもっていることが考えられ、作物を一度栽培すればこの要因が消失するといえる。

この有機物を施用しない区を100として、それぞれの土壤に有機物を施用した区の比を求め、表中の()内に示した。これによると、1作目では淡色黒ボク土の有機物の施用効果が極めて大きいことがわかる。このことは、先に述べた淡色黒ボク土の1作目の収量低下はアン

第6-26表 コマツナ分析結果

栽培時期 試験区名	1 作 (4/24~5/21)						2 作 (5/24~6/16)					
	T-N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O	T-N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O
1 標淡未全	10.18	0.04	2.66	1.80	0.64	6.46	5.67	0.15	1.62	3.21	0.92	5.37
2 標淡未部	9.71	0.22	2.35	2.40	0.74	6.53	6.06	0.45	1.27	3.24	1.11	5.63
3 標淡完全	8.07	0.12	1.97	2.39	0.89	6.85	4.95	0.23	1.76	2.89	0.87	5.94
4 標淡完部	7.91	0.05	1.60	2.57	0.97	6.34	5.43	0.01	1.54	2.53	0.80	4.94
5 標黒未全	8.54	1.56	1.78	3.75	1.04	8.33	6.39	0.65	1.07	3.48	1.07	6.55
6 標黒未部	8.79	1.80	1.40	4.76	1.25	7.46	6.56	0.75	1.14	3.00	1.13	7.16
7 標黒完全	8.19	1.53	1.32	4.35	1.22	8.71	5.91	0.50	1.09	3.24	1.05	7.16
8 標黒完部	8.61	1.76	1.25	3.89	1.37	8.11	5.29	0.35	1.08	3.31	1.24	7.10
9 高淡未全	10.64	0.20	2.63	1.59	0.61	6.42	6.85	0.84	1.25	2.24	1.02	9.20
10 高淡未部	10.34	0.29	1.98	1.84	0.72	6.08	6.77	0.99	1.59	2.60	1.16	9.44
11 高淡完全	7.99	1.34	1.49	3.07	1.09	9.37	2.89	0.02	1.21	2.59	0.93	5.89
12 高淡完部	7.76	0.21	1.75	2.22	0.95	8.77	4.36	0.03	1.54	2.22	0.95	6.68
13 高黒未全	8.28	1.51	1.41	3.15	1.01	10.75	6.38	0.64	1.22	2.48	1.00	9.50
14 高黒未部	7.87	1.67	1.46	2.93	1.17	10.05	6.69	0.77	1.21	2.25	1.01	10.80
15 高黒完全	8.16	1.73	1.31	3.74	1.23	11.13	6.40	0.68	1.37	2.85	1.07	10.47
16 高黒完部	8.19	1.77	1.37	3.51	1.41	10.58	5.75	0.54	1.29	2.85	1.17	9.86
17 標淡 --	9.29	0.05	2.89	2.09	0.73	5.27	6.15	0.48	1.34	3.72	1.00	5.10
18 標黒 --	8.49	1.66	0.99	4.56	1.31	6.34	7.00	1.01	0.95	4.27	1.35	6.96
19 高淡 --	9.61	0.35	1.86	1.81	0.67	5.59	6.47	0.82	1.14	4.00	1.37	8.54
20 高黒	8.03	1.55	1.33	3.42	1.15	10.25	6.41	0.62	1.26	3.58	1.30	9.25

(乾物含量%)

第6-27表 コマツナ収穫後土壌分析結果(2作後)

(乾土含量 mg/100g)

試験区名	pH (H ₂ O)	EC mS/cm	無機態窒素		Truog		置換性塩基				CEC meq	塩基飽和度(%)			
			NH ₄ -N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	CaO		MgO	K ₂ O	合計	
1 標淡未全	6.28	0.99	15.4	0.8	39.9	873	157	53	24	32.9	94.6	23.7	3.4	121.7	
2 標淡未部	6.24	0.97	12.7	2.2	58.0	883	159	50	25	32.6	96.6	24.2	3.3	124.0	
3 標淡完全	6.15	0.91	5.3	1.0	54.0	818	159	46	24	32.9	88.7	24.0	3.0	115.3	
4 標淡完部	6.19	0.91	9.8	0.5	64.8	821	156	54	23	32.8	89.3	23.6	3.5	116.6	
5 標黒未全	5.71	0.68	2.8	8.9	5.2	744	176	44	12	44.9	59.1	19.5	2.1	80.6	
6 標黒未部	5.75	0.62	3.0	10.7	5.7	724	149	46	12	45.1	57.3	16.4	2.2	75.8	
7 標黒完全	5.73	0.56	1.2	5.6	7.0	727	133	44	12	44.7	58.0	14.8	2.1	74.8	
8 標黒完部	5.80	0.54	1.8	4.8	9.2	682	122	44	11	44.9	54.2	13.5	2.1	69.7	
9 高淡未全	6.93	1.91	3.7	7.8	159.1	1326	313	245	33	35.2	134.3	44.0	14.8	193.1	
10 高淡未部	7.06	1.87	1.1	12.6	146.4	1402	316	249	33	34.9	143.3	44.9	15.1	203.3	
11 高淡完全	7.04	1.70	1.2	0.9	162.2	1265	290	227	29	35.0	128.9	41.1	13.8	183.3	
12 高淡完部	7.06	1.81	1.2	2.4	145.2	1357	273	247	29	34.9	138.7	38.8	15.0	192.5	
13 高黒未全	6.38	1.89	1.6	8.8	34.7	1537	402	374	26	54.4	100.8	36.7	14.6	152.1	
14 高黒未部	6.39	1.70	1.4	10.9	35.8	1448	379	382	26	52.8	97.8	35.6	15.4	148.3	
15 高黒完全	6.39	1.65	1.3	4.6	47.3	1376	391	375	25	52.6	93.3	36.9	15.1	145.4	
16 高黒完部	6.51	1.75	0.9	2.3	41.5	1389	405	382	25	54.4	91.1	36.9	14.9	142.9	
17 標淡 --	5.85	0.91	5.5	2.1	8.0	695	146	32	21	30.6	81.0	23.7	2.2	106.9	
18 標黒 --	5.63	0.49	1.6	8.4	3.0	604	143	33	7	43.7	49.3	16.2	1.6	67.2	
19 高淡 --	7.10	1.65	0.9	4.8	111.6	1311	326	231	27	34.6	135.1	46.8	14.2	196.1	
20 高黒 --	6.29	1.79	1.2	5.6	27.4	1329	401	361	22	50.3	94.2	39.6	15.2	149.0	

第6-28表 生育収量の分散分析結果

栽培時期 要 因	第1作 (4/24~5/21栽培)				第2作 (5/24~6/16栽培)				2作計
	草丈	葉色	生収量	乾物重	草丈	葉色	生収量	乾物重	乾物重
B	6.5	5.4	2.9	1.7	9.6*	9.8*	22.2**	11.3*	6.7*
S	66.5**	0.0	23.0**	30.2**	2.2	3.7	2.7	0.1	16.4**
M	57.7**	26.8**	27.0**	37.0**	30.6**	33.5**	33.2**	29.5*	4.1
U	0.0	0.2	0.2	0.4	1.1	0.5	2.6	1.0	0.0
B*S	6.5	0.0	2.1	1.4	0.6	0.5	2.8	4.8	3.8
B*M	1.0	2.6	1.3	0.5	0.4	0.1	0.0	0.6	0.9
S*M	0.0	19.9**	9.5*	12.7*	16.4**	8.4*	21.5**	13.7*	0.9
B*U	0.0	0.8	0.2	0.1	0.5	0.2	0.0	0.1	0.1
S*U	0.2	3.9	0.4	0.0	0.3	1.4	0.1	0.4	0.2
M*U	1.1	0.3	0.0	0.1	2.6	7.0*	6.6*	6.1	0.9

(注) **F (1,5,0.01) = 16.3 *F (1,5,0.05) = 6.6

第6-29表 生育収量の平均値と第1水準値

(収量はポットあたり)

栽培時期 要因	第1作 (4/24~5/21栽培)				第2作 (5/24~6/16栽培)				2作計
	草丈cm	葉色	生収量g	乾物重g	草丈cm	葉色	生収量g	乾物重g	乾物重g
平均値	19.3	5.5	94.0	6.6	16.0	6.5	71.5	7.4	14.0
B	—	—	—	—	15.4	6.3	62.5	6.8	13.1
S	16.6	—	72.0	5.1	—	—	—	—	12.6
M	16.8	5.2	70.2	5.0	—	—	—	—	—
U	—	—	—	—	—	—	—	—	—

第6-30表 コマツナ成分の分散分析結果

栽培時期 要因	1作 (4/24~5/21)						2作 (5/24~6/16)					
	T-N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O	T-N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O
B	1.4	2.7	0.2	14.2*	0.1	38.5**	0.0	2.9	0.0	29.9**	0.2	54.8**
S	31.5**	116.7**	45.8**	187.1**	224.7**	62.5**	4.0	6.7*	10.2*	4.9	10.9	27.2**
M	73.9**	7.5	12.9*	22.6**	89.5**	8.1*	10.8*	11.9*	0.5	0.0	1.3	3.7
U	7.6	0.0	1.0	0.2	17.0**	3.1	0.2	0.1	0.0	1.7	4.6	0.3
B*S	2.6	2.5	1.6	8.3*	0.8	8.2*	0.5	0.6	3.3	0.2	4.7	1.2
B*M	0.6	2.3	0.0	5.5	3.6	5.3	1.7	1.6	0.1	4.5	0.5	4.9
S*M	64.5**	0.5	8.9*	7.6	4.4	2.8	2.5	2.5	0.0	5.8	10.9*	5.7
B*U	0.1	2.0	0.1	4.1	1.2	0.4	0.0	0.0	2.3	0.4	0.1	0.4
S*U	3.1	2.5	2.2	0.5	7.1*	0.0	0.9	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1
M*U	1.8	2.5	0.4	8.4*	2.3	0.0	0.2	2.0	0.0	0.1	0.3	1.2

(注) **F (1, 5, 0.01) = 16.3 *F (1, 5, 0.05) = 6.6

第6-31表 成分の平均値と第1水準値

(乾物%)

栽培時期 要因	1作 (4/24~5/21)						2作 (5/24~6/16)					
	T-N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O	T-N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O
平均値	8.24	0.50	1.77	2.96	1.02	8.17	5.48	0.24	1.33	2.81	1.03	7.60
B	—	—	—	3.16	—	7.31	—	—	—	3.11	—	6.23
S	9.01	0.76	2.70	2.24	0.83	7.07	—	0.18	1.47	—	0.97	6.64
M	8.91	—	1.91	2.72	0.91	—	6.08	0.34	—	—	—	—
U	—	—	—	—	0.97	—	—	—	—	—	—	—

第6-32表 土 壤 成 分 の 分 散 分 析 結 果 (2作後)

要因	pH	EC	無機態窒素		Truog		置 換 性 塩 基				CEC	塩基飽和度 (%)		
	(H ₂ O)	mS/cm	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	meq	CaO	MgO	K ₂ O	合計
B	950.7**	1190**	35.5**	6.2	362.4**	1226**	333**	15886**	931**	289.6**	1214**	300.8**	4742**	8432**
S	500.9**	54.6**	30.4**	20.0**	537.0**	0.7	17.6**	974**	681**	2311**	1020**	36.4**	5.8	3214**
M	0.5	9.5*	8.3*	41.0**	2.8	13.3*	2.3	2.1	22.8**	0.1	19.2**	3.0	1.0	86.2**
U	4.1	0.1	0.0	1.6	0.0	0.1	0.7	7.6*	0.1	0.0	1.2	0.6	3.4	1.1
B*S	8.2*	23.6**	24.1**	12.7*	90.5**	44.3**	30.0**	1170**	98.5**	102.3**	5.2	0.9	18.1**	1.0
B*M	3.3	0.6	3.6	9.2*	0.0	1.2	0.1	0.1	6.6*	0.0	0.5	0.0	0.3	1.4
B*M	2.0	0.1	3.2	0.3	0.0	0.2	0.0	1.7*	6.6	0.3	0.3	0.1	0.7	2.4
B*U	0.8	0.0	0.8	0.4	5.7	1.1	0.0	3.7	0.1	0.0	3.1	0.0	1.3	10.4*
S*U	0.2	0.4	0.0	1.0	1.0	5.5	0.2	0.2	0.5	0.1	11.5*	0.2	0.7	36.0**
M*U	0.8	3.3	2.3	3.7	0.4	0.4	0.1	2.0	1.2	2.2	0.0	0.0	0.1	0.1

(注) **F (1, 5, 0.01) = 16.3 F* (1, 5, 0.05) = 6.6

第6-33表 土 壤 成 分 の 平 均 値 と 第 1 水 準 値 (2作後)

(乾土含量mg/100g)

要因	pH	EC	無機態窒素		Truog		置 換 性 塩 基				CEC	塩基飽和度 (%)		
	(H ₂ O)	(mS/cm)	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	meq	CaO	MgO	K ₂ O	合計
平均	6.35	1.27	4.0	5.3	63.5	1086	249	179	23	41.6	95.4	29.7	8.8	133.7
B	6.00	0.76	6.5	-	30.5	784	151	48	18	38.9	74.2	20.0	2.7	97.2
S	6.62	1.38	6.3	3.5	103.7	-	228	146	28	33.9	114.3	33.0	-	133.7
M	-	1.32	5.2	7.8	-	1117	-	-	24	-	98.0	-	-	137.4
U	-	-	-	-	-	-	-	179	-	-	-	-	-	-

モニア酸化細菌等の微生物活性の低下と関係があり、有機物の施用により微生物性が改善された結果と考えることができる。

作物体の分析結果は第6-26表に示した。この結果も1作目に大きな差があり、淡色黒ボク土では窒素とリン酸が多く他の成分は少ない傾向がみられた。これは生育不良によるものである。また、黒ボク土に比べ硝酸態窒素が少ないことは土壤中から十分に窒素が供給されていないことを示し、先に考察したように土壤中でアンモニア酸化細菌が十分に活動していないためといえる。

黒ボク土ではカリウムが多く、カルシウムとマグネシウムが少ない傾向が見られたが、これは土壤中のカリウムの過剰により他の塩基吸収が抑制された結果と考えられる。2作目は大きな差がなく、また有機物を施用しても成分に大きな差は認められなかった。

コマツナを2作栽培した跡地の土壌分析結果を第6-27表に示した。跡地土壌の分析結果は、元の土壌の性質

がそのまま反映されているが、カルシウムが全体に増加している。これは元肥に過リン酸石灰を使用したためである。また、有機物の施用により有機物の性質が土壌成分的にも反映されている。

(2) 直交表による解析

結果をL16直交表による解析を行った。2因子の交互作用はすべて求め、3因子以上の交互作用は誤差項とした。コマツナ生育収量の分散分析結果を第6-28表に、全体の平均値と第1水準の平均値を第6-29表に示した。これによると、1作目では土壌の種類(S)で草丈と収量に有意差が認められ、黒ボク土の生育が良かった。また、腐熟度(M)ではすべての項目に有意差が認められ完熟物は葉色が濃く生育が良い。土壌の種類(S)と腐熟度(M)について葉色と収量に交互効果がみられ、淡色黒ボク土では腐熟度の影響は大きい、黒ボク土では影響が小さい傾向にある。

2作目では、塩基(B)と腐熟度(M)にすべての項

目について有意差がみられ、高塩基土壌と未熟有機物の生育が良いことを示していた。腐熟度については1作目と逆の傾向がみられたが、これは1作目の栽培期間中に未熟な障害が消失し、土壌中には多量の養分が残っていたためである。1作目と同様に土壌(S)と腐熟度(M)に交互作用が認められ、淡色黒ボク土では完熟物の減収傾向が著しく、黒ボク土ではあまり差が認められなかった。また、腐熟度(M)と施用法(U)について葉色と生収量に交互作用が見られた。

2作の合計では、塩基(B)と土壌(S)に有意差がみられ、高塩基と黒ボク土の収量が高い傾向がみられた。

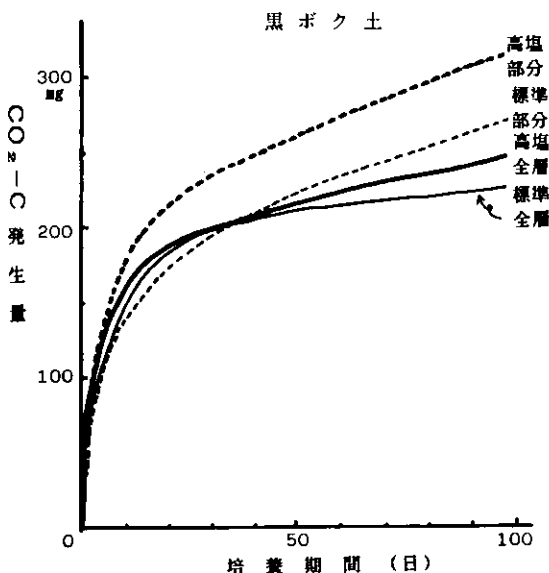
作物体分析結果を第6-30～6-31表に示した。1作目と2作目では有意差のみられた項目はやや異なるが、ほぼ同じ傾向を示していた。すなわち、塩基(B)については1作目、2作目共に標準塩基栽培物のカルシウムとカリウムが多い傾向にあった。土壌(S)では淡色黒ボク土栽培物の全窒素とリン酸含量が多く、その他の成分含量が少ない傾向にあった。腐熟度(M)では未熟物の窒素成分とリン酸が多く、カルシウムとマグネシウムが少ない傾向にあった。また、1作目の施用法(U)にも有意差がみられ、部分施用はマグネシウムが多い傾向がみられた。交互作用は土壌(S)と腐熟度(M)についてみられ、1作目の全窒素とリン酸、2作目のマグネシウムは共に、淡色黒ボク土では未熟物に多く、黒ボク土では差がなかった。

コマツナを2作栽培した跡地土壌の分析結果を第6-32～6-33表に示した。塩基(B)、土壌(S)、腐熟度(M)について多くの成分に有意差がみられ、また塩基(B)と土壌(S)についても交互作用が認められるが、これらは共に素材の性格がそのまま現れたものである。すなわち、高塩基、淡色黒ボク土及び完熟物の成分が多い傾向を示している。また、施用法(U)についてはカリウムに有意差がみられ、全層混合で少なくなる傾向がみられた。

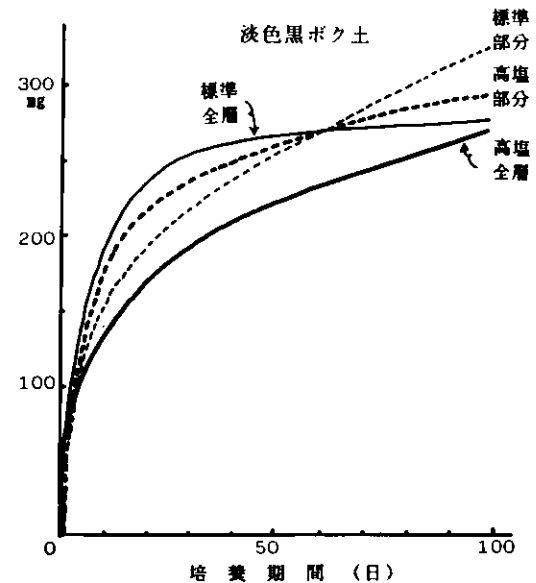
以上直交表による解析を行った結果、1作目の作物収量に及ぼす要因としては有機物の腐熟度と土壌の種類が大きく影響し、塩基含量や施用方法はそれほど影響しないことが明らかとなった。2作目は肥料の残効が影響し、1作目に生育の悪かった区(淡色黒ボク土、未熟有機物)と肥料成分が多量に入っている区(高塩基)の収量が高くなる傾向にある。これを合計すると、腐熟度の影響はなくなり、土壌の種類と塩基含量だけが問題となった。また、土壌成分は素材(土壌の種類や施用資材)の性質が強く反映され、作物体の成分含量は生育の良い物が成分含量が低い傾向を示していた。

(3) 有機物の分解速度

土壌の種類、塩基含量及び施用位置による有機物の分解特性をみるために二酸化炭素の発生量を調査した結果を第6-5図に示した。この図は未熟有機物を混合した土壌を30℃で培養したときに発生した二酸化炭素の量を測定したものから、別に測定した土壌単独の発生量を引



第6-5図 施用法とCO₂-Cの発生量の変化



き有機物に由来する炭素量 (CO²-C) を求め、積算値を表示したものである。

黒ボク土では高塩基、標準塩基共に類似した傾向を示し、30日目から発生量がほぼ一定となり直線状になる。施用方法でみると、高塩基では最初から部分施用の発生量が著しいが、標準塩基では初期は全層混合が多いが、40日目で逆転し部分施用が多くなる。

淡色黒ボク土では、発生量が黒ボク土に比べ全体に多い傾向にある。全層混合では標準塩基は初期から著しいが39日目からは極めて緩やかになるが、高塩基は初期は少ないものの増加の傾向が継続し、98日目ではほぼ同じになる。また、施用方法についてみれば、黒ボク土と同様に高塩基では初期から、標準塩基では60日目から部分施用の量が全層混合より多くなる。

この結果98日目の発生量は、淡色・高塩・部分>黒ボク・高塩・部分>淡色・標準・部分>淡色・標準・全層>淡色・高塩・全層>黒ボク・標準・部分>黒ボク・高塩・全層>黒ボク・標準・全層となった。このことから、全層混合より部分施用が、黒ボク土より淡色黒ボク土の炭素分解率が高く、また黒ボク土では高塩基が、淡色黒ボク土では標準塩基の有機物分解率が高いことが解る。

土壌の種類により塩基含量の影響は異なったが、どちらの土壌でも高塩基では初期から部分施用の分解率が高く、標準塩基では初期は全層混合が多いが40~60日目に逆転し、部分施用の分解率が高くなった。また全層混合では30日目から分解が緩やかになるのに対し、部分施用ではほぼ一定の割合で分解が継続する。

標準塩基土壌におけるこの傾向は、全層混合は有機物と土壌を均一に混合したことにより有機物と微生物の接触する機会が多く、初期分解が著しくなったものと考えられる。これに対し、部分施用では施用直後は微生物が接触する機会が小さいが、微生物が活動を始めると養分が集中しているため、激しい分解が継続するものと考えられる。高塩基土壌では比較的初期から部分施用の分解率が高く、標準塩基土壌と傾向が異なった。これは有機物を全層混合することにより塩基が供給され、過剰な高塩基状態となるために微生物の活動が低下するが、部分施用では有機物の周辺だけは有機物分解菌が活動しやすい条件が維持された結果と推測される。

以上、二酸化炭素の発生量から有機物の分解特性を検討した結果、有機物の分解は、部分施用が全層混合よりも著しいことが明らかとなった。このことは、溝施用等の部分施用を行えば有機物の分解が促進され、短期間に

より高い肥料効果が期待できる可能性を示唆している。

5. 作物に及ぼす影響の解析

腐熟度の異なる有機物が作物生育に及ぼす影響を検討した結果、完熟有機物は増収させる効果があることが明らかとなった。しかし、ポット試験で設定した条件は、窒素栄養的には最大収量が得られる条件であるため、収量を増大させる他の要因を考える必要がある。このためここでは、おが屑混合鶏ふん堆積物の作物に及ぼす増収効果を解明することを目的として、ポット試験により物理的、化学的效果について検討した。

1) 実験方法

(1) 試験区の構成

有機物施用の効果を知るために、第6-34表による因子と水準によりL8直交表に割り付けを行った。試験区は第6-35表に示した。

おが屑は、コナラの心材で作ったおが屑を沸騰した純水で数回洗浄し、乾燥したものを使用し、ポットあたり25g施用した。

(2) 栽培方法

淡色黒ボク土壌(第6章4と同じ)を供試し、1/5000 aワグネルポットにコマツナ(みずぎ)を栽培した。施肥は、化学肥料をポットあたりN、P₂O₅、K₂Oとして各1g施用。栽培期間1986年4月12日~5月15日。3連実施。

第6-34表 因子と水準(L8直交表)

因子	水準 1	水準 2
O (おが屑)	無施用	おが屑 20g
N (窒素)	標準 (1g)	多量 (1.5g)
P (リン酸)	標準 (1g)	多量 (2g)

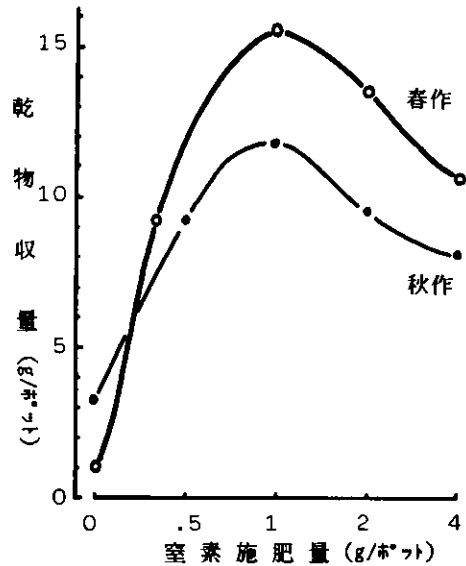
第6-35表 試験区構成

区	有機物	窒素	リン酸
1	—	1.0g	1.0g
2	—	〃	2.0g
3	—	1.5g	1.0g
4	—	〃	2.0g
5	おが屑20g	1.0g	1.0g
6	〃	〃	2.0g
7	〃	1.5g	1.0g
8	〃	〃	2.0g

2) 結果及び考察

ポット試験における肥料の設定条件は、既知の知見(21, 53)から最大収量が得られるよう設定してある。第6-6図に窒素の例を示した。これは作物栄養診断基準設定試験(21)として行われたもので、他の要因を一定にし窒素レベルを変えて黒ボク上にコマツナを栽培した結果である。これによると、異なる時期に栽培しても共に標準量(N1g)で最大収量が得られる。このことは窒素の効果からだけでは有機物による増収効果が説明できないことを示している。また、置換性塩基も作物生育に最も適したバランス(53)に設定してある。そこで、有機物の効果を解明するために物理性(孔隙)と化学性(窒素, リン酸)について検討した。

土壌は前ポット試験(第3章4)に用いたものと同じ土壌(淡色黒ボク土)を利用した。また、おが屑は生育阻害物質の少ないと考えられる広葉樹(コナラ)の心材を利用し、更に熱水で数回洗浄し、幼植物検定(24)により作物根に障害を及ぼさないことを確認して試験に利用した。結果は第6-36表に、分散分析した結果は第6-



第6-6図 窒素施肥量とコマツナ収量の関係

(注) 春作: 1979年4月26日~5月28日栽培
秋作: 1980年9月10日~10月13日栽培

第6-36表 コマツナ生育収量調査結果

項目	生育収量 (ポットあたり)					作物体分析値 (乾物%)					
	草丈 cm	葉色	生収量 g	乾物重 g (比)	T-N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O	
1 無	19.9	6.4	88.1	8.82 (100)	7.81	0.12	1.44	1.92	0.67	6.70	
2 無	20.0	6.5	89.1	8.80 (100)	8.24	0.67	1.90	1.79	0.62	6.21	
3 窒	20.4	6.7	89.0	8.54 (97)	8.48	0.13	1.75	1.56	0.55	5.60	
4 窒	19.7	6.5	83.6	8.12 (92)	8.73	0.09	2.67	1.61	0.62	5.95	
5 有	19.7	6.7	82.3	8.52 (97)	6.36	0.13	1.23	2.19	0.70	6.65	
6 有	20.1	6.3	85.3	8.25 (94)	6.60	0.10	1.73	2.09	0.65	6.46	
7 有	20.3	6.4	82.5	8.29 (94)	7.73	0.20	1.35	1.68	0.51	5.23	
8 有	20.0	6.6	88.6	8.97 (102)	7.97	0.17	1.85	1.74	0.59	5.94	

第6-37表 生育収量及び作物体成分の分散分析結果

項目	生育収量				作物体分析値					
	草丈	葉色	生収量	乾物重	T/N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O
O	1	0	1	0	653*	361*	51	1681*	1	9
N	49	0	0	0	469*	289*	26	4900**	1369*	3025*
P	25	0	0	0	42	225*	162*	36	25	40
O*N	9	0	0	1	77	121	3	256	169*	93
O*P	49	0	2	0	1	9	2	4	1	121
N*P	225*	0	0	0	1	1	1	289*	625*	841*

(注) **F (1, 1, 0.01) = 4052 *F (1, 1, 0.05) = 161

表にそれぞれ示した。

作物収量は8区(おが屑, 窒素及びリン酸多量)を除き, すべて1区(対照)を下回った。分散分析結果, 単因子はすべての項目で有意性が認められず, わずかに草丈についてN(窒素)とP(リン酸)の交互作用に有意差がみられたにすぎなかった。

植物体の分析結果については, すべての因子に有意性がみられた。その結果, おが屑(O)の施用は全窒素含量を低下させ, 硝酸態窒素とカルシウム含量を増加させた。窒素(N)の施用は窒素成分含量を高め, カルシウム, マグネシウム, カリウム含量を低下させ, リン酸(P)の施用はリン酸含量だけを高めた。さらに, 交互作用はおが屑(O)と窒素(N)ではカルシウムとマグネシウムに, 窒素(N)とリン酸(P)の交互作用はカルシウム, マグネシウムとカリウムについてみられた。しかし, おが屑(O)とリン酸(P)は交互作用がみられなかった。

以上の結果, おが屑の施用による物理性の改善, 窒素とリン酸による化学性の改善は, 作物体の成分含量には影響を及ぼすもののコマツナ収量には効果が認められなかった。おが屑の多孔質な点を利用し, 物理性の改善効果を検討しようとしたが, おが屑に含まれる生育阻害物質を除去する目的で熱水洗浄処理をしたため, おが屑の土壤中での分解を促進させ, 土壤中の窒素を有機化する傾向がみられ, 作物体の窒素含量が低下していた。しかし, 栽培期間が短期間なためこの間に有機化された窒素量は極めてわずかであり, 収穫後土壌の分析結果も大きな差は認められなかった。したがってこの点を考慮にいても, 物理性の改善や窒素とリン酸成分の補給が有機物施用にみられる増収効果の主因ではないといえる。

有機物の施用効果として, 化学性や物理性の改善効果以外に有機物中に含まれる, またはその分解中に生成される生理活性物質の影響が考えられる(76)。本実験ではそれらに対する検討は行わなかったが, 単純に化学成分や物理性の改善効果だけでは説明出来ない要因が有機物にはあることが推察された。

6. 考 察

1) 作物生育に及ぼす影響

おが屑混合鶏ふん堆積物は, 肥料効果の高い鶏ふんと難分解性のおが屑を混合したものであり, その性格は複雑である。これと, 最も一般的に使われている牛ふん堆積物を対比したところ, ホット試験及び圃場試験においても同じ傾向を示し, おが屑鶏ふん堆積物は牛ふん堆積物とはほぼ同様の効果を持つことが明らかとなった。おが

未熟区 対照区 完熟区



写真6-2 有機物の腐熟度がコマツナ根に及ぼす影響

屑混合家畜ふん堆積物の施用効果については, 牛ふん(59, 103)や豚ふん(28, 64)のおが屑混合堆積物による試験例があり, 堆きゅう肥と同等あるいはそれ以上の効果があることが報告されている。本試験に用いた鶏ふん堆積物についても, 鶏ふんの持つ肥料効果がおが屑の混合により弱くなり, 「肥料」としてではなく, 「堆肥」としての性格が強くなったことが明らかとなった。

おが屑混合鶏ふん堆積物が作物生育に及ぼす影響を知るために, 腐熟度, 土壌の種類, 土壌の塩基含量, 施用量および施用法が作物生育に及ぼす影響について要因実験を実施した。その結果, 作物収量についてみれば1作目に最も顕著に有機物施用の影響が現れ, 腐熟度と土壌の種類について有意差がみられたが, 他の要因には有意差がみられなかった。このことは, 施用量がある範囲内にある限り, 施用法などの人為的技術よりも有機物や土壌のもつ固有の性質の方が作物生育に強く影響することを示している。

ポット試験や圃場試験において有機物の施用により作物生育が促進され, 増収する効果がみられたが, 他の有機物でも類似事例は多く報告されている。その原因を窒素(129), リン酸や微量元素(11)の富化とするか物理性の改良効果(103, 128)とするか, あるいはそれらの複合(11, 103)とするか論議が別れるところである。本実験結果から

は、これらの要因だけで説明することは困難であり、有機物または有機物分解に関与する微生物から出される微量物質(アミノ酸や核酸など)または生理活性物質(ホルモン)についての検討も必要であることが示唆された。

有機物施用の作物根に及ぼす効果の例を、写真6-2に示した。この写真は腐熟度の異なるおが屑混合鶏ふん堆積物で栽培したコマツナの根部である。対照区(化学肥料だけで栽培)の根は白く伸びているが、未熟区では根が淡い褐色になり量が少なく、障害を受けていることが分かる。これに対し、完全区では根が良く生育しており、細根の間に有機物が数多く付着していることが解る。根の伸長には養分以外に、有機物または有機物分解に関与する微生物から生産される生理活性物質の影響が考えられる(4)。土壤中の生理活性物質に関する研究としては、エチレン(92, 113)やサイトカニン(114)が土壤中の有機物から生成され、作物根に作用する可能性が示唆されている。写真に示した例がこれらの物質群による影響と考えることもできる。

土壤中の生理活性物質の効果について熊田(76)はFLAIG(18)の考えを紹介している。これによれば、「すべての生育因子が最適であるとき最高収量が得られ、生育因子に過不足があれば収量は減退する。過不足の程度が大きいほど生理活性物質による増収効果は大きい、生理活性物質によって最高収量が著しく高まることはない。」としている。この考えにしたがえば、生理活性物質による著しい増収効果は期待できないことになるが、本実験に供試したコマツナのような葉菜類は、成熟したものを収穫するのではなく作物の生育過程で収穫するため、初期生育の差が収量に大きく影響するといえる。すなわち、生育初期における根の活性と収量とは密接な関係にあると考えられ、このため極めて大きな収量差になったといえる。

また、先に示した第6-4図から作物生育に伴う根圏微生物の増加が、土壤中の有機物の分解を促進する可能性のあることが示唆された。今泉ら(42)は圃場試験で裸地と作付け地と比較し、作付け跡では二酸化炭素発生量や培養発現窒素量が多くなることを指摘している。根圏において微生物活性が増大している(122)ことはよく知られているが、根圏の微生物増加による有機物分解の促進が作物生育に寄与している可能性も否定できない。これら根圏をめぐる微生物活性及び生理活性物質については、今後の大きな問題点である。

2) 土壌の種類と作物生育

有機物の施用効果についてさまざまな解釈がされる理

由のひとつに土壌の違いがある。「粘土質の土壌の物理性改善のために粗大有機物を施用する」ように明確な改良目的をもった場合を除き、地力維持対策として有機物を投入する場合は土壌の持つ性質によって有機物施用の効果が異なってくると考えられる。

土壌の種類による有機物施用効果の違いを検討した結果、火山灰土では効果が大きい、褐色森林土や灰色低地上では効果が認められなかった。このことは土壌の種類により有機物の効果が異なることを示している。次に、土壌別に施用効果を考察した。

火山灰土壌は生産力は高くないが、その原因は仮比重が小さいため有効根圏の土壌の絶対量が少ないことと、リン酸の固定力の強さによることが多い。この土壌に対しての有機物の効果は、作物に利用可能なリン酸の供給と腐植様物質群による養分固定力の増大と考えることができる。本実験において黒ボク土で施用効果が著しいのはリン酸が主因と考えられ、淡色黒ボク土では有機物施用による微生物活性増加のため、硝酸化成分が良好になったことが主因となっていると考えられる。褐色森林土や灰色低地上で効果がみられなかったのは、この条件がすでに満足されており、逆に有機物からの養分の供給が養分過剰として作物生育を制限した結果と考えられる。

土壌中の腐植の含量と有機物の影響には関係があり、腐植が少ない土壌ほど有機物の施用効果は大きく、静岡県の裸麦の例(40)でも有機物(豚ふんきゅう肥)の施用効果は灰色低地土や黒ボク土よりも黄色土で現れやすいといえる。このことは、腐植の少ない土壌に有機物を施用することにより、保肥力が増大し肥沃になるためと考えられる。また、心土のように腐植が少なく微生物活性の弱い土壌においても施用効果が大きい。これは有機物や肥料成分を分解するための微生物が増大するためであり、主としてアンモニア酸化細菌と亜硝酸酸化細菌の活性化によると考えられる。

また、施設土壌のような高塩基土壌においても有機物施用効果がみられた。これは有機物の持つ緩衝作用(94)によるものと考えられ、土壌中の過剰な塩基が腐植様物質と結合し、作物生育に適した環境を作っているものと推察される。さらに、高塩基による高pH土壌ではホウ素やモリブデンのような微量元素が不溶化し、作物が微量元素欠乏を起こすことがあるが、有機物の施用効果と考えられる緩衝作用の向上と微量元素の補給により、これらの障害が回避されることがある。

3) 腐熟度と作物生育

いずれの要因試験においても、腐熟度は最も作物生育

に影響を及ぼすことが明らかとなった。また、家畜ふんの種類による差はなく、おが屑混合鶏ふん堆積物と牛ふん堆積物は共に同様な傾向を示した。すなわち、未熟物は作物生育を阻害するが完熟物は作物に増収効果を持ち、未熟有機物の障害は施用直後には著しいが、土壤中で一定期間を経過すると障害性がなくなる。この経過を、作期の短いコマツナを連続栽培することにより把握した結果、作物に障害性を示すのは施用後1カ月以内であり、以後は増収効果を示す。このため未熟有機物を施用するときは、土壤施用後1カ月以上経過して作物を栽培すれば、作物生育に良い結果が得られることが明らかとなった。おが屑混合鶏ふん堆積物の障害性は、原料である鶏ふん及びおが屑が作物生育を阻害する成分を含んでいることによる。生家畜ふんの障害は易分解性有機物の急激な分解に伴うアンモニア、亜硝酸、二酸化炭素等の発生による障害であり、分解は土壤施用後15日程度で完了する(85)。しかし、生ふんも適切な施用をすれば各種の作物に良い効果をあたえ(3)、野菜に対する限界施用量は10aあたり牛ふん100t、鶏ふん50tにも及び(104)、その残効は3～5年も継続する(105)ことが報告されている。

おが屑の障害は短期的には生育阻害物質、長期的には窒素飢餓の2つの面がある。木質の作物に及ぼす障害についてはALLISON(2)が28種の樹皮及び心材について報告しているのを始め、佐藤(110)、吉田(148～150)などの報告がある。その阻害物質はp-クマル酸やバニリン酸等のフェノール性酸である(80, 110, 150)とか、非フェノール性有機物である(149)とかいわれているが、一般に熱水処理することにより障害性が軽減できることは知られている。また、作物に対する影響は樹種によって異なりALLISON(2)、DUNN(16)、BOLLEN(5)、LUNT(81)、河田(65)らによれば、樹種により作物収量に影響するものとしなないものがあり、同じ樹種でも老化度により障害性が異なるが、窒素を添加してやることにより大部分の樹種は作物収量に影響を及ぼさないとしている。このことは、大部分の樹種では生育阻害物質は問題ではなく、分解に伴う窒素飢餓だけが問題となることを意味している。

ポット試験(第6章1)では、コマツナを約25日間隔で4作栽培した。これは生育期間の長い野菜では把握できない時期別の変化を把握するために考案した方法であり、4作合計値を一つの作物体と仮定すると、各作はそれぞれ生育の1段階を示している。この結果、おが屑は初期に生育障害を生じるが、約1カ月を経過するとその障害はみられなくなり無機態窒素の有機化だけが問題

となることがわかった。ここではおが屑として、一般に利用度の高いスギ、マツ、ラワン等の混合物を使用した。これらの木質では窒素飢餓だけでなく生育阻害物質の害が無視できない。しかし、この阻害物質は土壤中ですばやく無害化することから、木質資材を土壤施用した後一定期間を経過してから作物を栽培すれば、先の指摘のように窒素の問題だけが残るといえる。

堆積期間の短い未熟なおが屑混合鶏ふん堆積物の障害は、鶏ふんとおが屑のもつ障害が相乗されたものと考えられる。すなわち、短期的には鶏ふんの易分解性有機物とおが屑の生育阻害物質による害、長期的にはおが屑による窒素飢餓である。しかし、おが屑混合鶏ふん堆積物は窒素含量が高いため、窒素飢餓の問題は多量に連用しなければ問題となりにくく、短期的な障害が重要となる。しかし、栽培試験結果、この短期的障害は土壤施用後1カ月に消失し、後は完熟物と同等な効果が期待できることが明らかとなっている。このため腐熟度の未熟な有機物は、栽培する1カ月前に土壤施用しておけば問題はないといえる。

5) 施用方法

施用方法について全層混合と部分施用を比較したが、作物収量には有意差が認められなかった。しかし、二酸化炭素の発生量による有機物の分解速度の測定では、部分施用の方が分解が速いことが認められた。したがって、作期の長い作物を栽培すれば部分施用により増収する可能性がある。また、部分施用のひとつの方法として、根圏微生物の制御の問題から新田(93)はペーパーポットによる有機物の部分施用を提案している。これは今後の方法として興味ある方法ではあるが、「土づくり」のための有機物の利用とは別けて考えるべき問題であろう。

野菜畑に対するおが屑混合鶏ふん堆積物の施用量は、1作限りでは10t/10aでも問題はないが、連用を前提にすれば1～3t/10a程度が適切と考えられ、関東地方各県の基準(101)でもほぼこの値となっている。土壤によっては多量施用(5t以上)は粗孔隙を増大させ乾燥し低収の原因となる(101, 119)とされている。滋賀県(103)の事例ではおが屑牛ふん堆積物を年間16t/10a、5年間連用すると仮比重は対照区の50%以下にまで低下している。しかし、早川ら(35)によれば、有機物を多量施用してもマルチ栽培を行えば、水分の蒸散や養分の溶脱が防げるとしている。また、松本ら(84)は多量施用と深耕の組み合わせが大切であるとしている。このように多少の工夫により有効な有機物の利用が可能となる。

7. 要 約

- (1) おが屑混合鶏ふん堆積物の腐熟度の違いが作物生育に及ぼす影響を知るために、異なる土壌や施用方法により作物を栽培し、作物生育に及ぼす影響についてポット試験を中心に検討した。ポット試験はコマツナを連続して栽培し、生育期間の長い作物の生育状態が推測可能なよう工夫した。
- (2) 腐熟度が作物生育に及ぼす影響を検討するために、淡色黒ボク土により、1. 有機物の種類（鶏ふん、牛ふん）2. 施用量（C1%, C2%）3. 腐熟度（未熟、完全）の3因子により要因試験をポット栽培により実施した。その結果、腐熟度の要因が最も大きく、1作目は未熟物は減収し完全物は増収した。しかし、2作目では逆転し合計すると差がなくなった。他の因子は作物生育に大きな影響を及ぼさなかった。
- (3) 無底土管（キャベツ、スイートコーン）と農家圃場（ハウレンソウ）により同様の試験を実施した結果、共にポット試験と同様に腐熟度が作物生育に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。
- (4) ポット試験により土壌の種類と腐熟度の関係を検討した結果、土壌の種類により腐熟度の影響が異なった。腐植が少ない淡色黒ボク土が最も腐熟度の影響を受けやすく未熟物では著しく減収するが、腐植が少なくても沖積土壌では腐熟度の影響が小さいことが明らかとなった。
- (5) 施用方法について検討するために1. 土壌（黒ボク、淡色黒ボク）、2. 腐基（標準、高塩基）、3. 施用位置（全層、部分）、4. 腐熟度について要因試験を実施した。その結果コマツナ1作目では土壌の種類と腐熟度が大きく影響し、淡色黒ボク土と未熟物では生育が著しく悪い。しかし、2作目では1作目で生育の悪かった区での生育が良く、肥料の残効が影響していた。その他の因子は大きな影響はなかった。
- (6) 以上の実験結果、腐熟度は作物生育に大きく影響し、未熟有機物は作物の初期生育を著しく阻害するが、土壌施用後1カ月程度で障害はなくなり、その後は増収効果を示すこと、完全した有機物は作物に増収効果をもたらすことが明らかとなった。このことは、未熟有機物は、土壌施用約1カ月後に作物を栽培すれば完全物と同等の効果があることを示している。
- (7) 有機物施用による増収効果を解明するために、物理性と化学性（窒素、リン酸）改良によるモデル試験を実施したが、これらの要因では増収効果が認められなかった。このため、有機物の施用効果は生理活性物質を含め

て検討することが必要である。

第7章 総合考察

野菜栽培加においては有機物の施用は欠かせないが、有機物の役割や施用方法は不明確な点が多く、栽培現場では有機物の誤った施用による問題が生じている(25)。これは、「どんな有機物でも施用すれば作物生産に効果がある」とする誤った考えによる。かつてのように、稲わら堆肥やきゅう肥を露地畑に施用していた時代ではこのような問題は起こり難かったが、農業系外の有機物（おが屑や産業廃棄物等）が利用され、また施設栽培やマルチ栽培のように栽培方法が多様化するにつれ有機物施用についての問題が多くなってきた。特に、おが屑を含む有機物については、腐熟度に起因する障害を起こしやすい欠点を指摘する声も多い。

有機物の施用効果を十分に発揮させ、作物生産を安定させるためには、有機物の化学成分や土壌中での特性を正確に把握し、作物に適した施用法を行う必要がある。この特性を有機物の適正利用のための3要因と規定し、第1-2図（第1章）に示した。

各種有機物の品質特性を検討するなかで、おが屑等の木質を含む有機物は木質に性格を規制され、いかなる資材と混合しても類似する性格をもつことが明らかとなった。しかも、木質混合堆積物はその分解特性が十分には解明されていない。そのためここでは、この3要因のうち分解特性と施用法については、木質混合堆積物としておが屑混合鶏ふん堆積物を取りあげ検討した。しかし、その結果は、単におが屑混合鶏ふん堆積物にとどまらず、すべての木質混合堆積物に適用できるものである。

1. 品質特性

多種類の有機物の品質特性について、「有機物の持つ固有の性質」と「腐熟度の違いによる性質」の2つの面から検討した。前者は多種類の有機物の分析結果から分類を試み、後者は品質把握のための腐熟度検定法について検討した。これらは共に、適切な有機物の利用のためには重要なものである。

有機物の分類は、多くの場合C/N比を中心とし、20を境に分類される(59)。この考えは土壌中での窒素の動き（有機化、無機化）が重視されたものであるが、これには分解速度が考慮されていない。すなわち、同量の炭素であってもグルコースとリグニンでは分解速度に著しい差があるように、有機物もその成分組成によって土壌施用後の分解様式が異なるといえる。

そこで第2章では有機成分組成からみた分類を試みた。その結果、5つのグループに分類できたが、C/N比が極めて大きな影響をもっていることが明らかとなった。このことは、堆積発酵した有機物は微生物活動をうけた産物であるため、またその有機成分の多くが菌体由来のため成分組成が類似しているためと考えられる。しかし、主成分分析の結果(第2章,第2-2図),第1成分はC/N比が大きく影響していたものの第2成分はリグニンとヘミセルロースが寄与しているところから、分解速度による分類も可能といえる。

また、堆肥化過程における易分解性有機物の変化に着目し、松崎⁽⁸⁵⁾はBODとCODが腐熟に伴い減少するとしている。易分解性有機物の含量は分解速度と関係が深いので、易分解性有機物を簡易に把握する目的で、熱水抽出液の紫外部吸光特性から分類を試みた。この結果、有機物の種類により吸光パターンに差があり、4グループに分類することができた。

これらの分類は、有機物の持つ特性によりグループ化を試みたものであるが、おが屑を混合した有機物はすべて同じグループに分類された。これは、水分調節材として利用されるおが屑は非常に多量に混合されること、おが屑はセルロースやリグニンが多く成分的にも特異であること、などのため成分的にはおが屑の影響を強く受けることによる。このため、本論文に示したおが屑混合鶏ふん堆積物の研究結果は、すべてのおが屑を含む有機物に広く利用できる可能性があることを示している。

腐熟に伴い易分解性有機物⁽⁸⁵⁾や還元糖割合が減少⁽⁴³⁾し、C/N比が10に近づく⁽⁷⁶⁾ことは知られており、腐熟度が有機物の品質の重要な部分を占めている。これらは微生物活動の結果生じるものであり、時間の長短は原料により異なるが、最終的には有機物は菌体由来のものが大部分を占めるようになる。すなわち、有機成分的にみれば原料の性質にどのような差があろうと、堆積発酵し腐熟化させることによってほぼ類似した性質になるといえる。このため、腐熟度は、単に作物に対する障害性の回避だけでなく、肥料効果を判定するうえでも重要である。

第4章では簡易に腐熟度を検定できる方法として外観色、幼植物検定、円形ろ紙クロマトグラフィー、微細形態観察の4方法について検討した。その結果、幼植検定が最も汎用性は広いが検定に長時間を必要とする欠点があり、外観色は最も簡易であるが資材により数値が異なるという問題がある。また、円形ろ紙クロマトグラフィーや微細形態観察は、確実な良い方法であるが適用有機

物が限定される。

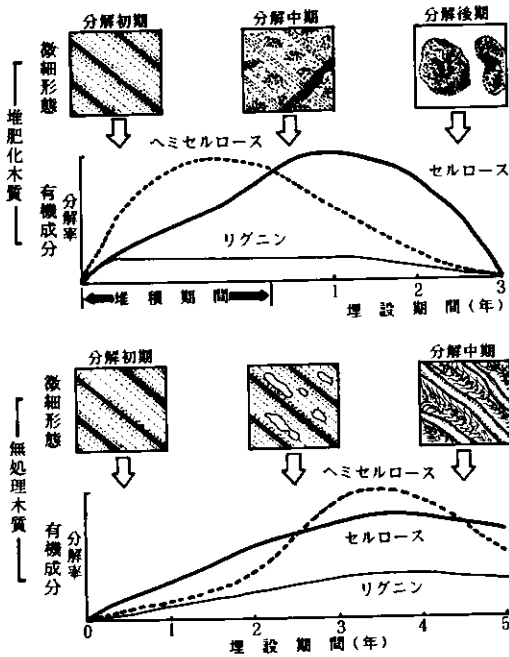
このようにすべての条件を満足させる方法はないが、これらの方法を組み合わせることにより確実な有機物の腐熟度検定が可能となる。また、熱水抽出液の紫外部吸光(第2章,第2-5図)がI型のもの(鶏ふん,豚ふん)は円形ろ紙クロマトグラフィーが適用できる有機物であり、III型のものはおが屑等木質を含むため、微細形態観察がもっとも適している。このように、熱水抽出液の紫外部吸光特性から有機物の性質をおおまかに把握したうえで簡易腐熟度検定法を実施すると、より確実な検定が可能となる。

以上、有機物の品質特性を検討した結果、木質を含む有機物は共通の特性を持つこと、品質特性のなかでも腐熟度は重要な要因であることが明らかとなった。さらに、木質混合有機物は、他の有機物に比べ腐熟度に起因する障害事例が多く、農業者に嫌われる傾向があるため、以下の分解特性と施用方法は、木質混合有機物の腐熟度を中心に検討した。

2. 分解特性

有機物の分解は、「堆肥化過程における分解」と「土壌中における分解」の2つが考えられる。おが屑混合鶏ふん堆積物の木質分解について、堆肥化過程と土壌中における分解特性の違いを化学成分、微生物性、微細形態の3つの面から検討した。その結果、堆肥化物と堆肥化しない木質では土壌中の分解様式が異なることが明らかとなった。また、微細形態観察は木質分解に極めて有効であり、化学成分では把握できない分解の状態を明らかにすることができる。和田⁽³²⁾は、土壌中に微細形態観察を導入し「動的マイクロベロロジー」と命名し、数々の現象を明らかにしている。本研究においてもこの発想を導入することにより、容易に木質の分解過程を明らかにすることができた。

堆肥化過程と土壌中での分解様式の違いを第7-1図に示した。堆肥化過程では、まず結合組織であるヘミセルロースが分解し、微細形態的にみると表面の凹凸がみられる。さらに腐熟が進むと亀裂がみられるようになり、凹凸が更に著しくなるとともにセルロースの分解が始まる。堆肥化でこの過程まであらかじめ分解させる。これを土壌施用すると、より一層凹凸が著しく亀裂が多くなり、組織の微細分解が進み、成分的にはヘミセルロースとセルロースがほぼ分解されつくす。この間、リグニンは堆肥化過程ではやや分解されるが、土壌施用後はほとんど分解されない。主要な分解が完了するまでに、土壌施用後約3年を必要とする。



第7-1図 木質と堆肥化木質の分解様式の違い
(模式図)

これに対し、堆肥化していない木質を土壤施用した場合は、最初の1年間はほとんど分解を受けない。しかし、1年を過ぎると窒素の取り込みが始まり有機成分が徐々に分解され始める。3年目を過ぎるとヘミセルロース、セルロース、リグニンがほぼ同じ割合で分解される。この時、微細形態的には木質表面にピンホール様の穴が開くのが観察される。

さらに分解が進むとミクロフィブリル様の繊維組織だけを残したシワ状の組織が観察される。この後は組織の微細分化が始まり、分解が完了する。第7-1図に示したものは5年目までであるが、数式モデルによると主要な分解が完了するのに約9年を必要とする。また、模式図は堆肥化物と木質の分解の違いが良く理解できるように示したが、土壤中では堆肥様の分解様式をとるものも観察されており、樹種や分解に関与する微生物の違いにより異なった分解様式をとるものと考えられる。

土壤中の腐植の役割については、孔隙を中心とした物理性の改良効果、窒素循環機能への関与及び有害物質の固定機能(19)が知られており、土壌への有機物の供給は

農業者にとっても関心の深いところである。本研究から、木質をそのまま土壌施用するとリグニンは経時的に減少するが、堆肥化するとリグニンの性質が変化することにより難分解化し、大部分のリグニンが腐植として蓄積する可能性のあることが示唆された。この違いは、土壌中の腐植含量を増加させるためには堆肥化することが有利であることを示しており、農作耕地の地力維持対策のためには、有機物を堆肥化処理したうえで適用することが重要である。

3. 施用方法

有機物の利用にあたっては、施用法が非常に重要である。そのため、おが屑混合鶏ふん堆積物について、腐熟度、土壌の種類、土壌の養分含量、施用量および施用法が作物生育に及ぼす影響について検討した。その結果、作物収量については1作目にも最も顕著に有機物施用の影響が現れ、腐熟度の影響が極めて大きく作物生育に影響を及ぼした。次いで、土壌の性質(種類、養分含量)に影響され、施用量や施用位置の影響は小さかった。このことは、施用法よりも有機物や土壌のもつ固有の性質が作物生育に強く影響することを示している。

腐熟度の違いが作物生育に及ぼす影響は極めて大きく、未熟物は作物生育を阻害するが完熟物は作物に増収効果を持つ。未熟有機物の障害は施用直後には著しいが、土壌中で約1カ月を経過すると障害性がなくなり、以後は完熟物と同等の効果を示す。このため未熟有機物を施用するときは、土壌施用後1カ月以上経過して作物を栽培すれば、作物生育に良い結果が得られることが明らかとなった。

土壌の種類による有機物施用効果の違いは、火山灰土では効果が大きい、褐色森林土や灰色低地土では効果が小さい。火山灰土壌で有機物の施用効果が著しいのは、有機物(鶏ふん)が多量のリン酸を含むために有効態リン酸の供給源となること、有機物は高い陽イオン交換容量(CEC)をもつため養分固定力が増大したためと考えることができる。また、施設土壌のような高塩基土壌においても有機物施用効果がみられた。これは有機物のもつ緩衝作用によるものと考えられ、土壌中の過剰な塩基が腐植様物質と結合し、作物生育に適した環境を作るためと考えられる。

施用方法について全層混合と部分施用を比較したが、コーツナ栽培試験では収量には差が認められなかった。しかし、二酸化炭素の測定による有機物の分解速度の測定では、僅かではあるが部分施用の方が分解が速いことが認められた(第6章、第6-5図)。ここで栽培した

コマツナは作期が約1カ月程度と短い、果菜類のように数カ月間の栽培期間を必要とする作物を栽培すれば、全層混合に比べて部分施用は有機分解が促進され、作物生育に多少は良い影響を及ぼすことが考えられる。

第6章で行ったすべての栽培試験において有機物の施用により、根の伸長が著しく、作物生育が促進され、増収する効果が見られた。その原因は窒素、リン酸の富化や物理性の改良効果が考えられるが、これらは要因試験結果あまり大きな意味を持たないことが明らかとなった。この結果、有機物または有機物分解に関与する微生物から出される微量物質（アミノ酸や核酸など）または生理活性物質（ホルモンなど）の効果が示唆された。この点についての検討は、今後に残された重要な問題である。

4. おが屑混合鶏ふん堆積物の作り方使い方

以上、腐熟度を軸としておが屑混合鶏ふん堆積物の性質や分解特性を検討することにより、おが屑混合鶏ふん堆積物のあるべき姿が明らかとなった。本論文で得られた結果をもとに、おが屑混合鶏ふん堆積物の製造法と施用方法をまとめると以下ようになる。これらの結果の多くは、単におが屑混合鶏ふん堆積物にとどまらず、木質の混合したすべての堆積物について広く応用可能なものである。

1) 製造方法

おが屑混合鶏ふん堆積物は、難分解性のおが屑と易分解性の鶏ふんの混合物のため、木質の腐熟促進が最も重要である。このため、木質は分解され易いものを選択する必要がある。第5-5表（第5章）に示したように広葉樹が分解し易い。

おが屑は水分調節のために使うため、混合時の水分条件に注意するのは当然であるが、C/N比にも注意する必要がある。堆肥化に適した水分条件は約60%⁽⁹⁴⁾であり、C/N比は第3-7図（第3章）に示したように30~40が好ましい。このためには、生ふん1 m^3 （約1000kg）に対し、おが屑2 m^3 （約600kg）を混合すれば、ほぼこの条件を満足することが出来る。

堆積規模は3~5 m^3 以上の規模で堆積する必要があるが、10 m^3 以上の規模で堆積するときは強制通風装置をつけるか、やや大型のプレナ屑を混合し通気性を良くする。切り返しは、最初の1カ月は週に1回程度、それ以後は2週間に1回程度とし、3カ月以上、できれば6カ月間堆積する。この間の水分は60%程度に保ち、発熱が著しく乾燥するときは水分を補給する。その後、1~2 m^3 の小規模に2カ月以上堆積し、二次発酵を行う。こ

の間も水分は60%程度に保つが、野外に堆積すれば降雨の影響ではほぼ適当な水分条件が保てる。

2) 腐熟度検定法

木質は樹種により分解特性が大きく異なるため、堆積期間だけで判断するのは問題があり、腐熟度の判定が必要である。完熟の日安としては、次の条件があげられる。

① 色が暗黒色となり、乾燥粉碎物の外観色を色彩色差計で測定し、Y値が15以下であること。

② 熱水抽出液による幼植物検定において、発芽に異常がなく、根に著しい褐変がみられないこと。

③ C/N比がほぼ20以下で、硝酸態窒素の発現がみられること。簡易的には、有機物あたりの全窒素含量（Ash free値）が2.5%以上であれば、C/N比は20以下であるといえる。

④ 走査電子顕微鏡による微細形態観察（1000倍程度）により、表面構造に凹凸が著しく、微細な亀裂がみられること。

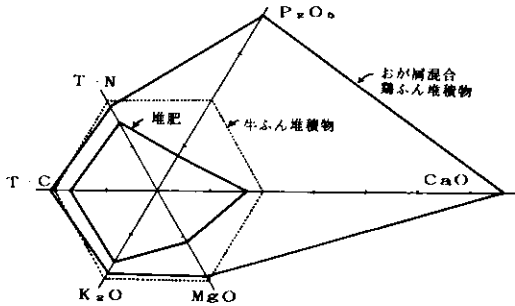
以上が、本研究で得られた腐熟度検定の基準である。これらの条件を満たすものは、6カ月以上の堆積期間を経たものであり、色は暗黒色、アンモニア臭がなく、硬くにぎっても手に木の刺激がなくしっとりとした感じになっている。

3) 施用方法

施用量については土壌や作物により異なるため、各県において基準⁽¹⁰²⁾が作られている。いずれの県においても類似しており、生ふん堆積物の塩分が適正量となっている。

これらの結果と本研究結果をあわせて考察すると、野菜栽培における連用を前提とした適正施用量は、1作あたり露地栽培で1 t/10 a、施設栽培では2 t/10 aであり、単年度だけの限界施用量は20 t/10 aと考えることができる。果樹においても適正施用量は野菜栽培とほぼ同じと思われるが、永年作物であることから連用が原則となるため、一度にこれ以上の量を多量施用することは危険と思われる。また、水田においては未分解有機物が多く含まれているため、異常還元の原因となることがあり施用は好ましくない。

おが屑混合鶏ふん堆積物は、鶏ふん主体のため他の有機物に比べ肥料成分が多い。その例を第7-2図に示した。これは農林水産省の調査結果⁽⁹⁸⁾から作成したもので、生ふん堆積物を基準（T-C33.3%、T-N2.1%、P₂O₅2.1%、K₂O2.2%、CaO2.3%、MgO1.0%）として示しており、併せて堆肥も示した。これによるとおが



第7-2図 おが屑混合鶏ふん堆積物の肥料成分特性
(牛ふん堆積物を基準とした)

屑混合鶏ふん堆積物はリン酸とカルシウムが多いため、多量に施用するときはこれらの成分の施用量を考慮する必要がある。

前記の腐熟度の基準を満たしているものは施用後すぐに作付してもよいが、未熟なものを施用した場合は施用後1カ月は作付しない。また、生育中も葉色に注意し、葉色が淡く窒素が欠乏しているようであれば窒素肥料を追肥する。鶏ふんにはリン酸やカリウムが十分含まれているので、追肥は窒素だけでよい。

施用方法は全面施用でも溝状の部分施用でも効果は変わらないが、部分施用の方が有機物の分解が促進される(第6章、第6-6図)ため、溝施用することが好ましいといえる。また、土壌中における分解試験(第5章)の結果、有機物の効果は3年以内であることから、連用を前提とすることが必要である。

本研究は、一般に「問題がある」と考えられている木質混合堆積物の代表として、おが屑混合鶏ふん堆積物を取りあげ、腐熟度を中心に製造方法や施用方法、品質検定法について検討を加えたものである。その結果、おが屑混合鶏ふん堆積物は、腐熟度検定を確実に行えば、堆肥や牛ふん堆積物と同様に地力維持対策のために有効な有機物として活用できることを明らかにした。また、これらの結果は、おが屑等木質を含む堆積物に広く利用可能である。したがって本研究の成果は、とくに問題があると考えられる木質混合堆積物について、農業者が安心して利用できる方法を確立したものである。

摘 要

農耕地の地力維持対策として有機物の施用は欠かせない。有機物の利用において腐熟度は極めて重要な要因であり、おが屑等木質を含む有機物利用の失敗例は、ほとんど腐熟度に起因している。このため、おが屑混合鶏ふん堆積物について、堆肥化過程や土壌中での分解過程を明らかにし、腐熟度や施用方法が作物生育に及ぼす影響について総合的に検討した。

1. 有機質資材の品質特性

有機物の特性を把握するため、県内産有機物の成分分析結果をもとに有機物の分類を試みた。供試した有機物は、家畜ふん堆積物12点、木質堆積物2点、汚泥類堆積物16点、合計30点であった。成分含量を有機物あたりの含量(Ash free値)に換算した結果、全炭素含量は54%ではほぼ一定の値を示した。このため、灰分と全窒素の値からC/N比を推定できることが明らかとなった。

有機物分析値9項目について主成分分析を行った結果、家畜ふん堆積物群、家畜ふん脱水物群、木質混合堆積物群、高C/N汚泥群、低C/N汚泥群の5つに分類することができた。また熱水抽出液の紫外外部吸光特性から分類を試みた結果、家畜ふん堆積物、木質混合堆積物群、高分子凝集剤使用汚泥群、脱水処理有機物群の4つに分類することができた。

このように、どのような分類においても木質混合堆積物は常にひとつのグループを形成し、木質混合有機物の特性は木質に最も強く影響されることが明らかとなった。

2. 堆肥化過程における変化

大規模で製造されているおが屑混合鶏ふん堆積物を7カ月間堆積(4カ月間堆肥舎内、3カ月間野外堆積)し、その期間の変化を外観色、理化学性、微生物性、微細形態変化について総合的に検討した。その結果、堆積に伴い外観色、アンモニア態窒素、C/N比、ヘミセルロースが段階的に減少するが、セルロースは野外堆積によって減少することが明らかとなった。

走査電子顕微鏡によりおが屑の微細構造の観察をした結果、化学成分の変化とよく一致しており、野外堆積によりおが屑の繊維組織が分解することが観察された。さらに、堆積6カ月以上になると凹凸が著しく、微生物が多く見られ、この状態になると完全しているといえる。

微生物性について検討した結果、おが屑混合鶏ふん堆積物の微生物は希釈平板法では把握しにくいので、ラワ

ン材薄片を埋設し、それに付着する微生物を観察する方法を考案した。この手法によって、堆積期間中に細菌→放線菌→糸状菌・細菌と微生物が遷移する様子が観察された。

また、二次発酵に適した方法を知るために、野外堆積、屋内堆積、袋詰め屋内堆積の3つについて検討した。その結果、野外堆積は有機物の分解を促進させることが明らかとなった。おが屑混合鶏ふん堆積物のように肥料分の高い有機物は、野外堆積によりやや養分を流出させると木質分解が促進される。

3. 簡易腐熟度検定法

有機物の簡易腐熟度検定法について、外観色、幼植物検定、円形ろ紙クロマトグラフィー、微細構造観察の4方法について検討した。その結果、外観色はあらゆる有機物で暗褐色に変化するため、微粉砕した試料のY値(明度)を測定すれば腐熟度が検定可能であること、熱水抽出液による幼植物検定も適用性が広く、発芽率よりも根の状態を観察することにより微妙な障害も検定可能であることが明らかとなった。また、円形ろ紙クロマトグラフィーは簡易にできる良い方法であるが、都市ゴミコンポスト、鶏ふん堆積物、豚ふん堆積物、製紙スラッジ堆積物にしか適用できないこと、走査電子顕微鏡による微細構造観察はおが屑を含むすべての有機物に適用できるが、高価な機器を必要とする欠点があることも明らかとなった。

現在のところ、単独の方法で迅速にすべての有機物の腐熟度検定を行える方法はない。このため、この方法の一つとC/N比や硝酸態窒素の発現などの化学性を組み合わせれば正確な検定が可能となるといえる。

4. 土壌中における分解特性

畑に施用後の有機物の変化を知るために、ガラス繊維ろ紙法により、おが屑及びおが屑混合鶏ふん堆積物の土壌中における分解特性を5年間にわたって、化学成分、微生物性、微細形態変化について総合的に調査した。

化学成分分析結果を非直線モデルにあてはめたところ、堆肥化物は2～3年、おが屑は6～9年で大部分の分解が完了するが、完全に分解するためにはかなり長期間を必要とすることが明らかとなった。また、おが屑は最初の1年間はほとんど分解されず、1～3年目の間に急激に分解し、この間におが屑1tあたり1年間に約2kgの窒素が有機化されると考えられる。

微生物分析結果、細菌、放線菌、糸状菌ともに埋設直後に変動が激しく、堆肥>おが屑>土壌の傾向にあるが、4年以上経過すると差がみられなくなる。アンモニ

ア酸化細菌と亜硝酸酸化細菌は施肥の影響を受けるため、明確な傾向が認められなかった。微生物性と化学分析結果を比較したところ、全炭素含量と微生物数の相関が極めて高く、細菌・放線菌・糸状菌は正、セルロース分解菌は負の相関を示した。また、アンモニア態窒素はアンモニア酸化細菌と相関がみられたが、硝酸態窒素は微生物数と相関がみられなかった。

走査電子顕微鏡による微細形態観察結果、おが屑は最初1年間は全く分解せず、それ以後徐々に分解され、5年目には繊維構造を残したシワ状の形態を示した。これに対し、堆肥は組織が細分化されるだけであり、おが屑と堆肥の分様式の違いが明らかとなった。

以上の結果から、土壌中におけるおが屑と堆肥の分解様式には差があり、堆肥はセルロースが減少し、リグニンが残り、土壌中の腐植の増加に寄与するが、おが屑はセルロースとリグニンが共に減少する。この違いは、微細形態観察結果からも裏付けられた。このことから、土壌中の腐植増加のためには、堆肥化することが必要であることが明らかとなった。

5. 腐熟度と施用法

おが屑混合鶏ふん堆積物の腐熟度の違いが作物生育に及ぼす影響を知るために、異なる土壌や施用方法により作物を栽培し、作物生育に及ぼす影響についてポット試験を中心に検討した。ポット試験はコマツナを連続して栽培し、生育期間の長い作物の生育状態が推測可能なように工夫した。

腐熟度が作物生育に及ぼす影響を検討するために、淡色黒ボク土により、1.有機物の種類(鶏ふん、牛ふん)、2.施用量(C1%、C2%)3.腐熟度(未熟、完熟)の3因子による要因試験をポット栽培により実施した。その結果、腐熟度の要因が最も大きく、1作目は未熟物は減収し完熟物は増収した。しかし、2作目では逆転し合計すると差がなくなった。他の因子は作物生育に大きな影響を及ぼさなかった。無底土管(キャベツ、スイートコーン)と農家圃場(ホウレンソウ)により同様の試験を実施した結果、共にポット試験と同様に腐熟度が作物生育に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。

ポット試験により土壌の種類と腐熟度の関係を検討した結果、土壌の種類により腐熟度の影響が異なった。腐植が少ない淡色黒ボク土が最も腐熟度の影響を受けやすく未熟物では著しく減収するが、腐植が少なくても沖積土壌では腐熟度の影響が小さいことが明らかとなった。

施用方法について検討するために全土壌(黒ボク、淡色黒ボク)、2塩基(標準、高塩基)、3施用位置(全

層、部分)、④腐熟度について要因試験を実施した。その結果コマツナ1作目では土壌の種類と腐熟度が大きく影響し、淡色黒ボク土と未熟物では生育が著しく悪い。しかし、2作目では1作目で生育の悪かった区の生育が良く、肥料の残効が影響していた。その他の因子は大きな影響はなかった。

以上の結果、腐熟度は作物生育に大きく影響し、未熟有機物は作物の初期生育を著しく阻害するが、土壌施用後1カ月程度で障害はなくなり、その後は増収効果を示すこと、完全した有機物は作物に増収効果をもたらすことが明らかとなった。このことは、未熟有機物は、土壌施用約1カ月後に作物を栽培すれば完熟物と同等の効果があることを示している。

有機物施用による増収効果を解明するために、物理性と化学性(窒素、リン酸)改良によるモデル試験を実施したが、これらの要因では増収効果が認められなかった。このため、有機物の施用効果は生理活性物質を含めて検討することが必要である。

以上示したように、品質特性、分解特性、施用方法の3特性について総合的に考察することにより、おが屑混合鶏ふん堆積物の腐熟度を中心とした性質を明らかにした。その結果、適正な有機物としての規格が策定でき、未熟な有機物も施用法により障害を回避することができる等、有機物の性質に適した施用方法を明らかにすることが出来た。

謝 辞

本研究を行なうにあたっては、多くの方々のご指導とご援助をいただいた。東京大学農学部和田秀徳教授には、本研究を実施する上で、さらに論文のとりまとめについて終始懇切なご教示をいただいた。また、東京大学農学部高井康雄名誉教授、農林水産省農業環境技術研究所土壌有機研究室井ノ子昭夫室長、神奈川県肥料検査所長松崎敏英博士、神奈川県農業総合研究所長鎌田春海博士からは研究を進めるうえで、方法論のみならず有機物利用の考え方について多くのご指導ご助言をいただいた。

有機物の製造にあたっては松田養鶏農場山本憲一理事の多大なるご協力を得た。分析や栽培にあたっては、神奈川県農業技術課郷間光安専門技術員、農業総合研究所技術研究部土壌肥料科山田裕主任研究員、同新藤実技能技師の協力とご指導を得た。特に本論文の第2章は、山田裕主任研究員の成績を一部引用させていただいた。さらに、日本大学農学部農獣医学部の学生であった戸丸隆

幸氏、横田光央氏、森戸敦子氏、関野順一氏には一部実験を協力いただいた。また園芸試験場長高橋基氏からは本論文の発表に御配慮をいただいた。以上の方々以外にも、本研究を実施する上で多くの方々のご協力があった。ここに記して謝意を表します。

引用文献

1. ALEXANDER, M. : Introduction to Soil Microbiology, John, Wiley & Sons. Inc. New York and London, 125 (1961)
2. ALLISON, F. E. : Decomposition of Wood and Bark Sawdust in Soil, Nitrogen Requirements, and Effect on Plants, USDA Agricultural Research Service, Technical Bulletin No. 1332 (1965)
3. 蟻川浩一 : 家畜ふんの農業利用に関する研究, 神奈川県農業試験研究機関共同研究報告, 1, 27~48(1971)
4. 麻生末雄 : 腐植の生理活性—近代農業における土壌肥料の研究(第3集), 50~60, 養賢堂(1972)
5. BOLLEN, W. B. and GLEINE, D. W. : Sawdust, bark and other wood wastes for soil conditioning and mulching, *For. Prod. J.*, 11, 38~46 (1961)
6. BRAUNS, F. E. : The Chemistry of Lignin, 201~203, Academic Press (1960)
7. BREMNER, J. M. : Nitrogenous Compounds in soil biochemistry, ed A. D. McLaren and G. H. Peterson, 19~63, Marcel Dekker, New York. (1967).
8. BREMNER, J. M. : Inorganic Forms of Nitrogen, in *Methods in Soil Analysis. part 2 American Society of Agronomy. Inc., Publisher, Madison, Wisconsin, 1238~1255 (1965)*
9. CAMPBELL, R. and ROVIRA, A. D. : The Study of the Rhizosphere by Scanning Electron Microscopy, *Soil Biol. Biochem.*, 5, 747~752 (1973)
10. CHANYASAK, V., KATAYAMA, A., HIRAI, M. MORI, S., KUBOTA, H. : Effect of Compost Maturity on Growth of Komatuna (*Brassica Rapa var. pervidis*) in Neubauer's Pot, II. Growth inhibitory Factors and Assessment of Degree of Maturity by Org. -C/org. -N Ratio of Water Extract, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 29, 251~259 (1983)
11. 千葉 明・石川格司・新毛晴夫・千葉行雄・宮下慶一郎・佐藤久仁子 : 畑土壌改良基準策定のための基礎

- 研究 (第2報) 畑土壌肥沃度に及ぼす有機物の効果解析, 岩手農試研報, 21, 37~70 (1978)
12. COX, T. L. and HULETT, L. D. : Application of Scanning Electron Microscopy to Root Soil Relationships in Yellow Poplar, *Soil Sci.*, 120, 195~199 (1975)
13. DART, P. J. : Scanning Electron Microscopy of Plant Roots, *J. Exp. Bot.*, 22, 163~168 (1971)
14. 土壌微生物研究会編: 土壌微生物実験法, 養賢堂 (1977)
15. 土壌養分測定法委員会編: 土壌養分分析法, 206~209 養賢堂 (1976)
16. DUNN, S., WOLFE, L. P. Jr., Mac DONALD W. A., BAKER, J. R. : Field plot studies with sawdust for soil improvement. *Plant and Soil*, 2, 154~170 (1952)
17. ERIKSSON, K. R., GRUNEWALD, A., NILSSON, T. and VALLANDER, L. : A Scanning Electron Microscopy Study of the Growth and Attack on Wood by Three White-Rot Fungi and Their Cellulose-less Mutants, *Holzfoorschung*, 34, 207~213 (1980)
18. FLAIG, W. : Uptake of organic substances from soil organic matter by plant and their influence on metabolism, in "Organic matter and soil fertility", Pontificae Academiae scientiarum scripta varia, John Wiley & Sons, Inc., New York, 723~770 (1986)
19. FLAIG, W. : 和田秀徳訳, 環境中での土壌有機物の機能, 日本土壌肥料学会編「集約農業下の土壌環境と肥沃性」, 養賢堂, 85~105 (1979)
20. 藤原俊六郎・鎌田春海: オガクズ鶏ふん堆肥の腐熟度に関する研究, 神奈川農総研 土壌肥料 試験研究成績, 11, 1~11 (1979)
21. 藤原俊六郎・鎌田春海: 作物栄養診断基準設定試験 (第1報) コマツナの葉色と窒素成分含量について, 神奈川農総研土壌肥料試験研究成績, 13, 42~49 (1981)
22. 藤原俊六郎・鎌田春海: 家畜ふん堆肥の農業利用—その腐熟度と作物生育について, 神奈川農総研土壌肥料試験研究成績, 14, 23~50 (1981)
23. 藤原俊六郎・鎌田春海: 街路樹せん定層の堆肥化について, 神奈川農研報, 128, 67~80 (1986)
24. 藤原俊六郎: シャーレを使った簡易腐熟度検定法, 土肥誌, 56, 251~252 (1985)
25. 藤原俊六郎: 堆肥の品質向上と正しい施用法—使い方を誤れば堆肥もあだになる, 農業富民, 11, 46~49 (1986)
26. FUKUDA, K. : Microscopical Observation of Woods Decayed by *Chaetomium globosum*, 東京農工大演習林報告, 13, 1~4 (1976)
27. 福田清春・原田隆英: 木材に対する微小菌類の挙動 (第2報) 微小菌類の攻撃を受けた木材の顕微鏡観察, 木材学会誌, 28, 75~80 (1982)
28. 古谷美枝: 野菜に対するオガクズきゅう肥の利用に関する研究, 山口農試研報, 34, 105~111 (1982)
29. GARRETT, S. D. : Soil Fungi and Soil Fertility, 2nd Edition, 95, Pergamon Press. (1963)
30. GRAY, T. R. G. : Stereo-scan Electron Microscopy of Soil Microorganisms, *Science*, 155, 1668~1670 (1967)
31. GREAVES, H. : An Illustrated Comment on the Soft Rot Problem in Australia and Papua New Guinea, *Holzfoorschung*, 31, 71~79 (1977)
32. 原田靖生: 家畜ふん堆肥の腐熟度についての考え方, 畜産の研究, 37, 1079~1086 (1983)
33. 橋本秀教・石川 実: 堆きゅう肥の成分組成に関する研究, 土肥誌, 40, 309~314 (1969)
34. 橋本秀教・松崎敏英: 土づくり講座V, 有機物の利用, 農文協 (1976)
35. 早川岩夫・石沢道雄・武井昭夫: 野菜に対するおがくず混合家畜ふん堆肥の利用に関する研究 (第1報) 豚ふんコンポストの施用量がタマネギの生育・収量に及ぼす影響, 愛知農試研報, 8, 23~33 (1976)
36. 早川岩夫・加藤博美・山川芳男・田中宏幸: 家畜ふん尿のコンポストに関する研究 (第5報) おがくず入り豚ふん堆肥の熟成過程と植生との関係, 愛知農総研研報, 12, 386~392 (1980)
37. 林 常孟・長井武雄: 土壌腐植体の Component に就いて (第2報), 土肥誌, 25, 285~290 (1955)
38. HERTELENDY, K. : Paper Chromatography, a Quick Method to Determine the Degree of Humification, *IRCWD News*, No. 7, November (1974)
39. 広瀬春朗: 各種植物遺体の有機態窒素の知状態土壌における無機化について, 土肥誌, 44, 157~163 (1973)
40. 堀 兼明・山下春吉・河村 精・横森達郎: 各種畑土壌に対する数種の堆肥の連用による土壌成分の変化, 静岡農試研報, 29, 65~74 (1984)
41. 堀 兼明: 現場指導技術としての有機物施用の問題点, 日本土壌肥料学会編「有機物の新しい展望」, 養

賢堂, 5~42 (1986)

42. 今泉諒俊・高橋和司・河合伸二・加藤 保: 栽培作物が土壤に及ぼす影響 (第2報) 有機物施用並びに作付の有無, 施肥量及び作物の違いの影響, 愛知農総試研報, 11, 349~359 (1979)

43. INOKO, A. : On Some Organic Constituents of City Refuse Composts Produced in Japan. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 25, 225~234 (1979)

44. 井ノ子昭夫: 円形ろ紙クロマトグラフィーによる都市ごみコンポストの腐熟度の簡易検定法, 土肥誌, 50 127~132 (1979)

45. 井ノ子昭夫・藤原俊六郎: 円形ろ紙クロマトグラフィーによるおが屑木屑混合家畜ふん堆積物の腐熟度検定の可能性, 土肥誌, 50, 517~522 (1979)

46. 井ノ子昭夫: 土壤中における有機物の分解と集積, その数式化へのアプローチ, 土肥誌, 52, 548~558 (1981)

47. 井ノ子昭夫: 有機物資材の品質とその検定法—腐熟度の観点から, 農業及び園芸, 57, 235~242 (1982)

48. 石沢修一・豊田広三: 本邦土壤の微生物フロラに関する研究, 農技研報, B14, 203~284 (1964)

49. 伊藤 隆: 核酸および関連系の作用スペクトル, 生物試料の分光測定, 共立出版, 444~453 (1986)

50. JENNY, H. : Factors of Soil Formation, McGraw Hill, New York (1941)

51. 梶原敏宏・梅谷献二・浅川勝編: 作物病虫害ハンドブック, 養賢堂, 484~495 (1986)

52. 亀和田同彦: 可総態リン酸の適正水準と上限—土壤養分の適正水準と上限に関する研究, 関東土壤養分基準検討会, 5~30 (1987)

53. 鎌田春海: 神奈川県における土壤分類と土地利用に関する研究—水田及び畑地土壤の土地分級について, 神奈川県農研報, 119, 33~93 (1978)

54. 神奈川県農業総合研究所: 土壤環境基礎調査成績書, 土壤肥料成績第131号 (1982)

55. 神奈川県農業総合研究所: 土壤環境基礎調査成績書, 土壤肥料成績第132号 (1982)

56. 神奈川県農業総合研究所: 土壤環境基礎調査成績書, 土壤肥料成績第133号 (1983)

57. 神奈川県農業総合研究所: 土壤環境基礎調査成績書, 土壤肥料成績第135号 (1983)

58. 加藤忠司: 湛水土壤の水溶性有機物について (第2報) 水溶性有機物の理化学性, 土肥誌, 43, 403~408 (1972)

59. 黒島忠司・井内 晃・福岡省二: おが屑堆肥の有効利用 (第1報) 野菜に対するおが屑堆肥の連用効果, 徳島農試研報, 17, 5~19 (1979)

60. 加藤博美・早川岩夫・山川芳男・田中宏幸: 家畜ふん尿のコンポストに関する研究 (第4報) おがくず入り豚ふん堆肥の熟成過程と土壤微生物相に及ぼす影響の変化, 愛知農総試研報, 12, 380~385 (1980)

61. 加藤博美・早川岩夫・沢田守男・山川芳男: 家畜ふん尿のコンポストに関する研究 (第6報) おがくず入り豚ふん堆肥の熟成と微生物変動, 愛知農総試研報, 13, 448~452 (1981)

62. 加藤博美・早川岩夫・沢田守男・山川芳男: 家畜ふん尿のコンポストに関する研究 (第7報) 補助材の異なる豚ふん堆肥の熟成と微生物の作用, 愛知農総試研報, 13, 453~460 (1981)

63. 川上元郎: J I Sの使いかたシリーズ, 色の常識, 50~63, 日本規格協会 (1981)

64. 河村 精・中村元弘・水本順敏・坂上 朗・河村武: オガクズ入り豚ふんきゅう肥の利用に関する研究, 静岡農試研報, 24, 76~82 (1979)

65. 河田 弘: パーク(樹皮)堆肥, 製造・利用の理論と実際, 博友社 (1981)

66. 木村真人・和田秀徳・高井康雄: 水稻根圏に関する研究 (第7報) 水稻根面の微生物 (その1), 土肥誌, 51, 85~89 (1980)

67. 木下忠孝・田中宏幸: 家畜ふん尿処理物の成分調査, 愛知農総試研報E 8, 46~54 (1978)

68. KOLENBRANDER, G. J. : Efficiency of Organic Manure in Increasing Soil Organic Matter Content, *Trans. 10th Int. Cong. Soil Sci.*, 129~136 (1974)

69. 小松徹郎: けいふん オガクズ堆肥と化学肥オガクズ堆肥利用, 農業及び園芸, 51, 765~765 (1976)

70. 小西茂毅・若沢秀幸・青山仁子・中村元弘・山下春吉: 花粉管生長テストによる堆肥の腐熟度検定とその特徴, 土肥誌, 57, 456~461 (1986)

71. 金野隆光・杉原 進: 土壤生物活性への温度影響の指標化と土壤有機物分解への応用, 農環研報, 1, 51~68 (1986)

72. 近藤民雄: 心材形成の化学, 化学と生物, 13, 694 (1975)

73. KOSIKOVA, B., ZAKUTNA, L., JONIAK, D. : Investigation of the Lignin-Saccharidic Complex by Electro Microscopy, *Holzforschung*, 32, 15~18 (1978)

74. 弘法健三・大羽 裕：土壤腐植研究法会Ⅱ，ペドロジスト，8，108～116（1964）
75. 熊田恭一・宮里 憲：腐植酸の形成に関する物理化学的研究（第4報），土肥誌，26，5～10（1955）
76. 熊田恭一：土壤有機物の化学，171～198，学会出版センター（1977）
77. 熊田恭一：腐植酸の形成に関する物理化学的研究（第2報）腐植酸の吸収スペクトル（その1），25，217～221（1955）
78. 熊田恭一・広瀬春朗・中野綱次郎・北洞信也：数種の有機質および無機質資材を混合した稲わらの腐朽過程（第1報）植物遺体の腐朽化過程に関する化学的研究，土肥誌，43，13～20（1972）
79. 熊田恭一・鈴木正昭：腐朽植物遺体の腐植組成，土肥誌，40，353～357（1969）
80. 草野 秀・小川和夫：作物体に含まれるフェノール性酸について，土肥誌，45(1)，29～36（1971）
81. LUNT, O. R. and CLARK, B. : Horticultural Applications for Bark and Wood Fragments, *For. prod. J.*, 9 (4), 39～42 (1959)
82. 前田乾一・鬼鞍 豊：圃場条件における有機物の分解率の測定法，48，567～568（1977）
83. MARTIN, J. P. : Micro-Organisms and Soil Aggregation II Influence of Bacterial Polysaccharides on the Soil Structure, *Soil Sci.*, 61, 157～166 (1946)
84. 松本佳雄・藤原辰行・前川往亮・藤本治夫：野菜に対するオガクズ堆肥利用に関する研究，兵庫農総セ研報，26，9～12（1977）
85. 松崎敏英：家畜ふん尿の農業利用に関する研究，神奈川農研報，118，1～38（1977）
86. 石田伸彦・米沢保正・近藤廉雄：木材化学（下），34～47，共立出版（1968）
87. 宮下清貴・和田秀徳・高井康雄：水稲根の腐朽分解過程について（第2報）水稲根への微生物の侵入，土肥誌，48，558～563（1977）
88. 宮下清貴・和田秀徳・高井康雄：水稲根の腐朽分解過程について（第3報）走査電子顕微鏡による水稲根表面の分解状況の観察，土肥誌，51，307～312（1980）
89. 宮下清貴・和田秀徳・高井康雄：水稲根の腐朽分解過程について（第4報）組織化学的手法による水稲根分解過程の追跡，土肥誌，51，313～317（1980）
90. 森 敏・木村郁彦：堆肥の腐熟度検定のためのガスセンサーの開発，土肥誌，55，23～28（1984）
91. 中川 徹・小柳義夫：最小二乗法による実験データ解析，東大出版会（1982）
92. 中野るり子・鎌塚昭三：湛水土壤のエチレンの生成・分解に関する研究（第5報）稲わら添加土壤における湛水初期のエチレンの生成機構，土肥誌，50，499～503（1979）
93. 新田恒雄：有機物施用による根圏微生物の制御，日本土壤肥料学会編 有機物研究の新しい展望，博友社，43～84（1986）
94. 農文協編：有機質肥料のつくり方使い方，農文協，23～27（1974）
95. 農文協編：有機物を使いこなす，農文協，76～140（1986）
96. 農林水産省農産園芸局農産課編：土壤・水質及び作物体分析法（1979）
97. 農林水産省農産園芸局地方問題研究会編：地力増進法解説，地球社，8～9（1985）
98. 農林水産省農産園芸局農産課編：堆きゅう肥等有機質資材の品質（1982）
99. 農林水産省農産園芸局農産課編：堆きゅう肥等有機物分析法，土壤保全資料第56号，32～52（1979）
100. 農林水産省農業技術研究所化学部：土壤肥料試験研究のための統計計算用 BASIC フロログラム，農業技術研究所化学部資料第1号，79～111（1983）
101. 農林水産省農業研究センター編：農業研究叢書第5号，農耕地における有機物施用技術，農研センター，129～229（1985）
102. 農林水産省農業研究センター編：農業研究叢書第7号，有機物の処理・流通・利用システム—堆肥センターを軸として，農研センター，163～167（1985）
103. 大橋恭一・岡本将宏・西川吉和・西沢良一・田中均・勝木依正：露地畑におけるおがくず入り牛ふん堆肥連用効果，滋賀農試研報，24，87～97（1982）
104. 大森庄次・杉本正行・小倉 功：園芸作物に対する家畜ふんの多量利用に関する研究（第1報）野菜に対する生ふんの利用試験，神奈川園研報，20，58～66（1972）
105. 大森庄次・杉本正行・小倉 功：園芸作物に対する家畜ふんの多量利用に関する研究（第3報）野菜に対する生ふんの持続効果，神奈川園研報，24，59～68（1977）
106. POINCELOT, R. P. : A Scientific Examination of the Principles and Practice of Composting, *Comp. Sci.*, 15, 24～31 (1974)
107. 斎藤雅典・和田秀徳・高井康雄：水田土壤におけるセルロースの分解過程（第1報）TRIBE法の改良と各種染色法の検討，土肥誌，48，313～317（1977）

108. 斎藤雅典・和田秀徳・高井康雄：水田土壌におけるセルロースの分解過程（第2報）セルロース試料上に生育する微生物群の経時的変化，*土肥誌*，48，318～322（1977）
109. 作物分析法委員会編：栄養診断のための栽培植物分析測定法，69～422，養賢堂（1975）
110. 佐藤 俊：きゅう堆肥の生産利用からみた木質物類（おがくず・樹皮）の特性，*畜産の研究*，30，227～230（1979）
111. 志賀 一・大山信雄・前田乾一・鈴木正昭：各種有機物の水田土壌中における分解過程と分解特性に基づく評価，*農研センター研報*，5，1～19（1985）
112. 静岡県農林水産部農業技術課：堆肥の簡易腐熟度判定法，*土づくり資料*，No. 3，（1982）
113. SMITH, A. M. and COOK, R. J.: Implications of ethylene production by bacteria for biological balance of soil, *Nature*, 252, 703～705（1974）
114. STADEN, J. and DIMALLA, G. G.: Cyrokinins from soils, *Planta (Berl.)*, 130, 85～87（1976）
115. STANFORD, G., FRERE, M. H. and SCHWANNINGER, D. H.: Temperature Coefficient of Soil Nitrogen Mineralization, *Soil Science*, 115, 312～323（1973）
116. SUGAHARA, K., KOGA, A., INOKO, A.: Color Changes of Straw During Composting, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 30, 163～173（1984）
117. 菅原和夫・藤原俊六郎・井ノ子昭夫：家畜糞の堆肥化に伴う物体色の変化，*土肥要旨集*，32，248（1986）
118. 杉原 進・金野隆光・石井和夫：土壌中における有機態窒素無機化の反応速度的解析法，*農環研報*，1，127～166（1986）
119. 須文永雄・斎藤恵亮・松本泰彦・神保吉春・栗原久義・柏倉康光：畑作物に対する豚糞および牛糞の施用効果，*群馬農試研報*，18，27～34（1978）
120. SUZUKI, M., HARADA, K., KUMADA, K.: Analysis of the Rotting Process of Rice Straw Calcium Cyanamide Mixture by Physical Fractionation, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 21, 173～183（1975）
121. SUZUKI, M., KUMADA, K.: Analysis of the Rotting Process of Sawdust Barnyard Manure, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 22, 361～372（1976）
122. 鈴木達彦・石沢修一：畑土壌の微生物およびその活性と肥沃度，*農技研報*，B15，91～186（1965）
123. 鈴木達彦・設楽惣助・福田修一・松田幸久・吉田隆徳・沖森 当：有機物がトマトの生育・収量・品質などに与える影響（その2）微生物に与える影響，*農業及び園芸*，55，535～538（1980）
124. 高根沢文雄・真瀬吉之助・蛭田 忠：家畜ふん尿の簡易堆肥化に関する試験，*栃木畜試業務研究報告*，109～117（1977）
125. 高根沢文雄・斎藤勝久・柴田春雄：家畜ふん尿の簡易堆肥化に関する試験，*栃木畜試業務研究報告*，148～152（1978）
126. 武宮泰久：神奈川県での有機質廃棄物の流れ，*東工大専修論文*（1985）
127. TENNY, F. G. and WAKSMAN, S. A.: The Composition of Natural Organic Materials and their Decomposition in the Soil IV Composition of Natural Organic Matters and their Decomposition of Different Plant Materials under Aerobic Conditions, *Soil. Sci.*, 28, 55～83（1929）
128. 徳橋 伸・久保田増栄：ハウス栽培におけるパーク堆肥と稲わらの土壌改良効果の比較，*高知農技研報*，8，39～47（1976）
129. 徳橋 伸：オガクズ入り家畜ふん堆肥窒素の肥効に関する研究，*高知農技研報*，10，5～16（1977）
130. TRIBE, H. T.: Ecology of Micro-organisms in Soils as Observed during Their Development upon Buried Cellulose Film, *Microbial Ecology*, 287, Cambridge Univ. Press（1957）
131. 和田秀徳・宮下清貴・高井康雄：水田圃場における植物遺体の分解過程（第1報），*土肥誌*，48，166～170（1977）
132. 和田秀徳：土壌の微小部位における微生物の動態，*微生物の生態*，7，学会出版センター，205～221（1980）
133. WAKSMAN, S. A.: *Soil Microbiology*, John Wiley & Sons, Inc. New York, 149（1957）
134. WAKSMAN, S. A. and STEVENSON, K. P.: A Critical Study of the Methods for Determining the Nature and Abundance of Soil Organic Matter, *Soil Science*, 30, 97～116（1930）
135. WAKSMAN, S. A. and CORDON, T. C.: A Method for Studying Decomposition of Isolated Lignin, and the Influence of Lignin on Cellulose Decomposition, *Soil Sci.*, 45, 199～206（1938）
136. WAKSMAN, S. A. and DIEHM, R. A.: On the Decomposition of Hemicelluloses by Microorganisms, II Decomposition of Hemicelluloses by Fungi and

- Actinomycetes, *Soil Sci.*, 32, 97~117 (1931)
137. WAKSMAN, S. A. and DIEHM, R. A. : On the Decomposition of Hemicelluloses by Microorganisms, III Decomposition of Various Hemicelluloses by Aerobic and Anaerobic Bacteria, *Soil Sci.*, 32, 119~139 (1931)
138. WAKSMAN, S. A. and GERESTEN, F. C. : Influence of Temperature and Moisture upon the Nature and Extent of Decomposition of Plant Residues by Microorganisms, *Ecol.*, 12, 33~60 (1931)
139. WAKSMAN, S. A. and HUTCHINGS, I. J. : Decomposition of Lignin by Microorganisms, *Soil Sci.*, 42, 119~130 (1936)
140. WAKSMAN, S. A. and TENNEY, F. G. : On the Origin and Nature of the Soil Organic Matter or "Soil Humus", IV The Decomposition of Various Ingredients of Straw and of Alfalfa Meal by Mixed and Pure Cultures of Microorganisms, *Soil Sci.*, 22, 395~406 (1926)
141. WAKSMAN, S. A. and TENNEY, F. G. : The Composition of Natural Organic Materials and Their Decomposition in the Soil, II Influence of Age of Plant upon the Rapidity and Nature of its Decomposition Rye Plants, *Soil Sci.*, 24, 317~334 (1927)
142. WAKSMAN, S. A. and TENNEY, F. G. : The Composition of Natural Organic Materials and their Decomposition in the Soil, III The Influence of Nature of Plant upon the Rapidity of its Decomposition, *Soil Sci.*, 26, 155~171 (1928)
143. 渡辺光昭・栗原 淳：都市廃棄物コンポスト化製品の理化学性, 農技研報, B, 95~164 (1982)
144. 渡辺 実・板川秀雄・矢崎仁也：おがくずふん堆積物の腐熟過程, 土肥誌, 52, 339~346 (1981)
145. 山田 裕・井ノ子昭夫・鎌田春海：有機物の評価法について, 神奈川農総研土壤肥料試験研究成績, 11, 12~22 (1979)
146. 山田 裕・鎌田春海：有機質資材の品質特性について, 神奈川農総研土壤肥料試験研究成績, 12, 1~9 (1980)
147. 吉野 実：家畜糞尿堆肥類の簡易腐熟度判定法, 農業及び園芸, 755~758 (1979)
148. 吉田重方：オガクズ堆肥施用による作物の生育障害とその発生原因, 農業及び園芸, 50, 295~300 (1975)
149. 吉田重方：オガクズに含まれる植物の生育阻害物質について, 日草誌, 21, 102~108 (1975)
150. 吉田重方：オガクズに含まれるフェノール性酸の分離とその生育阻害活性について, 日草誌, 21, 327~330 (1975)

Decomposition of Poultry Manure Compost Mixed with Sawdust and Its Effect of Application

Shunrokuro FUJIWARA

Summary

The application of organic matter is essential to the increase in fertility of arable lands. Recently, the main source of organic matter is animal waste mixed with wooden materials (e. g., sawdust, chipdust, bark and others). Since unsuccessful examples concerning the use of organic materials mixed with wooden materials have been related to imperfectly-decayed wooden materials, one of the most important factors for the use of wooden materials is the degree of maturity. The compost-making processes, the decomposition of poultry manure compost mixed with sawdust (herein-after is referred to as poultry manure compost), the effect of maturity degrees of the compost and application methods on the growth of crops were examined.

1. Characteristics of Organic Materials

Twelve specimens of animal waste compost, 2 specimens of wooden material compost and 16 specimens of sewage sludge compost were analyzed to elucidate chemical characteristics of organic materials. Carbon contents of all the specimens were 54% on an ash-free basis. C/N ratios were presumed from the following equation proposed on the basis of the contents of ash and total nitrogen : $\ln Y = 3.938 - 0.9651 \times \ln X$, where X is the total nitrogen content on an ash-free basis and Y is the C/N ratio. The organic materials examined were grouped into the following 5 groups on the basis of chemical properties, namely, animal waste compost, sieved and dehydrated animal waste compost, compost mixed with wooden materials, sewage sludge compost with a high C/N ratio and sewage sludge compost with a low C/N ratio. Moreover, the compost were grouped into the following 4 groups based on the ultraviolet ray absorbancies (200-400nm) of hot-water extracts, namely, animal waste compost, compost mixed with wooden materials, sewage sludge compost coagulated with polymers and sieved and dehydrated animal waste compost. In any case, the compost mixed with wooden materials could be grouped as one group, suggesting that the quality of the compost is affected

remarkable by the quality of wooden materials.

2. Changes in Decaying Degrees during Compost-making processes

When poultry manure compost were piled for 7 months (the first 4 months under the indoor condition and the next 3 months under the outdoor condition), changes in color of appearance, micro-morphological and chemical properties and microbial characteristics of the compost were examined. Amounts of $\text{NH}_4\text{-N}$ and hemicellulose and C/N ratios in the compost decreased remarkable during the compost-making process, whereas amounts of cellulose decreased under the outdoor condition. Changes in amounts of chemical components were fairly correlated with micromorphological properties observed by scanning electron microscope (SEM), suggesting that fiber tissues of sawdust have been decomposed under the outdoor condition. After piling for 6 months or more under the outdoor condition, irregular cracks and a large number of microbes were observed on the surfaces of the sawdust, indicating that the above condition means the completely-decayed stage of the sawdust. Since microbes in the poultry manure compost were unable to detect by the plate dilution method, small thin lauan plates buried in the compost pile were examined under the microscope and SEM after 15 days. The microbiological succession such as Bacteria → Actinomycetes → Fungi plus Bacteria were recognized in the compost pile. Comparative test of the outdoor piling and the outdoor piling of bagging compost were carried out to know an appropriate method suitable for the second fermentation. The tests showed that the outdoor piling has accelerated the decomposition of the sawdust. After the leaching of nutrients from the compost caused by the outdoor piling, the decomposition of the sawdust in the poultry manure compost has been promoted.

3. A Rapid Test of Determining the Degree of Maturity of Composts

The comparison of tests concerning external colors,

roots of young plants, paper chromatography and micromorphology for the determination of maturity degrees of organic materials showed that all the test have merits and demerits. Since the external colors have changed to dark brown, the maturity degrees could be inferred by color values (Y) of pulverized samples. The young plant test using hot-water extracts from the compost was widely applicable for all kinds of compost. Even a slight injury of young roots could be detected directly by the microscopic observation of roots rather than germination percentages. The paper chromatographic test was also applicable for the determination of maturity degrees of poultry manure compost, pig manure compost, municipal refuse compost and paper industry sludge compost except for cattle dung compost and the compost containing wooden materials. Though the micromorphological observation of wooden materials under electron microscope was useful for the determination of maturity degrees, the equipment is very expensive. Since there was no satisfactory single method of determining the maturity degrees of organic materials. C/N ratio and the formation of nitrate should be considered for the determination of maturity degrees of organic materials.

4. Decomposition Characteristics of Organic materials in Soils

To determine the decomposition rates of organic materials, sawdust and poultry manure compost were wrapped up in filter glass fiber and buried in a upland soil for 5 years. When the results of chemical analyses could be applied to the nonlinear mathematical model, organic materials of poultry manure compost and the sawdust were decomposed within 2~3 years and 6~9 years, respectively, suggesting that a long time is necessary to decompose completely organic materials. The decomposition of organic materials showed a different pattern between the sawdust and the poultry manure compost. The compost was gradually decomposed as time passes, whereas most of the sawdust were not decomposed for the first year and their decomposition rates increased drastically for the next 2-3 years, during which 2kg/year of nitrogen were immobilized. The microbiological observation showed that numbers of bacteria, actinomycetes and fungi began to increase immediately after burying in the soil.

Ammonium-oxidizing bacteria and nitrite-oxidizing bacteria did not have any definite trend, because both the bacteria were influenced by the application of fertilizers. There was a highly positive correlation between the amounts of total carbon and the numbers of bacteria, actinomycetes and fungi, whereas there was a negative correlation between the amounts of total carbon and the numbers of cellulose-decomposing bacteria. The amounts of $\text{NH}_4\text{-N}$ were correlated with the numbers of ammonium-oxidizing bacteria, whereas the amounts of $\text{NO}_3\text{-N}$ were not correlated with the numbers of microbes. The SEM examination showed that the surfaces of sawdust did not show any evidence of decomposition for the first year and then the decomposition of sawdust gradually progressed. Wrinkle-like structures were observed on the surfaces of the sawdust after 5 years, whereas the tissues of the sawdust were broken. As a result of the above-mentioned test, there were differences between the decomposition patterns of the sawdust and the poultry manure compost. The differences in the decomposition patterns were also confirmed by the micromorphological characteristics. In case of the compost, the amounts of cellulose decreased, whereas lignin remained behind and contributed to the increase in soil humus. The amounts of cellulose and lignin in the sawdust decreased, indicating that the compost-making process is necessary for the increase in soil humus.

5. Application Effects and Degrees of Maturity of poultry Manure Compost

Pot experiments were carried out to know effects of different maturity degrees of organic materials in the compost on the growth of komatuna (*Brassica rapa var. pervidis*) successively grown on Low Humic Andosol. Three factors which are kinds of animal waste (poultry feces and cattle dung), application rates of animal waste (1 and 2% on oven-dry basis of soil) and maturity degrees of organic materials (high and low), were adopted in the experiments. The pot experiments showed that the maturity degrees of organic materials for the yields of komatuna were much more important than any other factors. The yields of komatuna as the first crop increased by the application of high decayed compost, whereas those of the second crop were higher in the highly decayed plot than in the imperfectly decayed plot. Total yields of komatuna

applied with the compost were higher than those in the control plot without compost. The other factor did not exert great influences on the yields of komatuna. Similar experiments using bottomless earthen pipes on which cabbage and sweet corn were grown, and farmer's fields on which spinach was grown, showed that the maturity degrees of organic materials were the most important factor for the growth of the crops mentioned above. In the Low Humic Andosol, the highly maturity degree of organic materials exerted the greatest influence for the yields of the crops, whereas the yields of the crops decreased remarkably in the imperfectly-decayed compost plot. The maturities of the compost in a Clay Land soil with a low amount of humus exerted no influence on the yield of spinach.

For factors which are soils (Humic and Low Humic Andosols), base contents (standard and high), placement of the compost (throughout the plow layer and a part) and degrees of maturities (immatured and matured), were adopted for the factorial design concerning the application method of the compost. The growth of komatuna as the first crop was remarkably influenced by the kinds of soils and the decaying degrees of the compost. The yields of komatuna decreased by the application of the imperfectly-decayed compost and were higher in the Humic Andosol than in the Low Humic Andosol. The

poor growth plot of the first crop changes to the good growth plot for the second crop, because of residual effects of fertilizers. The yields of the next crop showed no difference among all the plots.

In any case, it was considered that yields of crops increased by the application of organic materials and the imperfectly-decayed compost inhibited the early growth of crops, but the damage caused by the application of the imperfectly-decayed compost disappeared after one month from the application of compost and thereafter the yields of crops increased. A model test was carried out to clarify the increase in yields of crops by the application of compost. The test showed that the increase in yields was not recognized by the amelioration of soil physical and chemical conditions. Consequently, further study on the problem are necessary. Characteristics of the poultry manure compost with different degrees of maturities were elucidated by consideration of quality, decomposition behavior and application methods of the compost. As a result of the investigations, the appropriate standardization of the compost, the avoidance from troubles caused by the imperfectly-decayed compost, the avoidance from troubles caused by the imperfectly-decayed compost, and the adoption of application methods suitable for characteristics of the compost were established.