

のこ屑およびチップ屑の堆肥化試験（2）

高橋 弘行 吉田 兼之

木質廃材の粒度（のこ屑とチップ屑）による堆肥化の難易，およびタイプの異なる2種の醗酵助剤（マニン-栄養系， VS_{34} -微生物系）の効果の比較を目的として1トン規模の堆肥化試験を行ない，前稿で堆積層内の発熱経過と，堆肥化にともなう堆積層の色調や高さの変化について述べた。引続いて本稿では，堆肥の収率や2，3の化学的性質，および発熱状態と堆積層の物理性の関連について論ずる。

5. 堆肥化にともなう重量変化

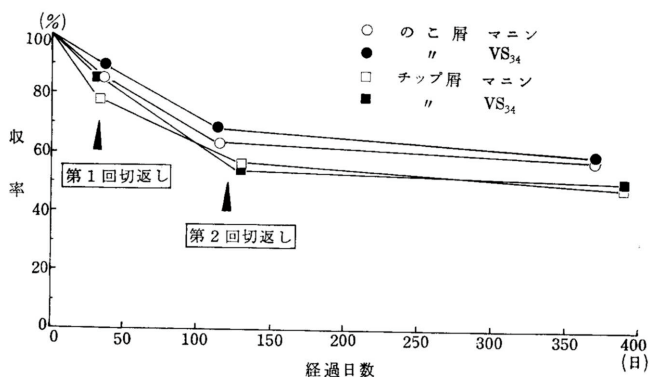
堆肥化にともなう重量変化は，堆肥化現象を化学的に解明する上で最も基本的な指標と考えられる。しかし従来の木質廃材の堆肥化試験では，主として発熱経

過や外見の変化が醗酵の良否の目安として取上げられており，重量変化については，わずかに植村¹⁾らがラワン¹⁾のこ屑のプラスチック培養試験によって，培養温度と木材成分の消長を論じているに過ぎない。

本試験では試験開始時，切返し時および試験終了時に堆肥の全重量を測定し，乾物収率を求めた。

乾物収率の経時変化を第3図に示す。のこ屑とチップ屑を比較すると，発熱の旺盛であったチップ屑の方が全期間を通じて低収率で，より分解の進んでいることが明らかである。また，醗酵助剤についてみると，時期的な変動はあるが，最終的にはほとんど差異は認められない。試験終了時の収率はおよそ，のこ屑区で60%，チップ屑区で50%であった。

一方，堆積層の層高の低下から計算した容積減少率はのこ屑区で約13%，チップ屑区で約28~30%となり，重量減少率（それぞれ，40%，50%）にくらべていじりくさい。しかも容積減少のうちかなりの部分が自然圧による沈圧にもとづくものと考えられるので，木質物の分解消耗にもとづく容積減少は更に少ない筈である。このことは堆肥化によって，個々の木質粒子の容積密度



第3図 乾物収率の経時変化

が小さくなり、新鮮な木質粒子にくらべてより多孔質になっていることを意味している。細粒状木質物の土壌改良機能(とくに物理的性質の)は、もともと木質物が多孔質であることに負うところが多い。したがって、堆肥化によってより多孔質化して行く変化は、後述する塩基置換容量の増大や炭素率の低下などの化学的変質と共に、木質物の土壌改良性を助長する好ましい変化であると云えよう。

収率の変化を経時的にみると、4処理ともに第2回の切返しまでに大半の分解が終り、その後の減少は緩慢である。このことは、重量変化からみるかぎり3ヶ月以内にほぼ堆肥化が終了していると判断できそうである。この傾向は、前稿で述べた層高の変化とよく対応している。

6. 化学的性質の変化

今回は、pH、塩基置換容量、炭素含量、窒素含量を測定し、炭素、窒素量から炭素率を計算した。これらはいずれも土壌中における有機物の腐植化にかかわりの深い性質であり、ときには土壌肥沃度の指標として用いられる。一方堆肥化は、土壌中における有機物の分解過程の一部を人工的に進行せしめる手法であって、前記の性質はまた堆肥化の過程と密接な関係をもつものと考えられる。

6.1 測定方法

6.1.1 試料の採取および調製

できるだけ全層を代表する試料を採取するように、積込み、切返し、試験終了時の計量のさい、20~50kg計量するごとに1にぎりつつの試料を採り、その全量をよく混合して風乾した。pH、塩基置換容量、窒素については、全量が40メッシュを通過するようにウイレーミルで粉碎、炭素については、さらに電磁式超微粉碎機(アルフレッド・フリッシュ製)で微粉碎して供試した。

6.1.2 pH

乾物として10gの試料を採り、液比1:8となるように純水を添加、室温で1夜放置後、電極法で測定した。

6.1.3 塩基置換容量

塩基置換容量(以下C.E.C,と略記する)は、単位の土壌が一定の条件下で化学量論的に塩基を置換吸着し得る能力であって、土壌の緩衝能や保肥力の指標とされている。

試料約1gを50ccビーカに精秤し、1N $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 60ccを加えて、時々攪拌しながら4hr放置後1G3ガラス炉過器で炉過、炉液を捨てる。この操作を4回くり返して堆肥中の塩基置換基をCaで飽和せしめる。次いで過剰の Ca^{++} を80%エタノールを用いて洗滌除去(60cc, 4hr浸漬, 炉過, 5回くり返し)したのち、試料と結合したCaを、1N NaCl で置換浸出(60cc, 4hr浸漬, 炉過, 3回くり返し)し、浸出液を集めて250ccに定容する。液中のCa全量をキレート滴定法で定量し、乾燥試料100gあたりのCa結合量をミリグラム当量で表示した。

6.1.4 全窒素

試料約1gを精秤し、セミマイクロケダール法で定量した。

6.1.5 全炭素

絶乾試料0.5~0.8mgを精秤し、自動元素分析装置(日立CHN分析装置026型)を用いて定量した。

測定結果を、まとめて第3表に示した。

第3表 化学的性質の経時変化

処理	測定* 時期	pH	C. E. C	C	N	炭素率 C/N	
			(me. /100g)	(%)	(%)		
の こ 屑	マ ニ ン	1	5.90	38.8	45.11	0.99	45.6
		2	5.95	49.9	41.63	0.97	42.9
		3	5.40	55.6	41.30	1.31	31.5
		4	5.62	63.7	39.42	1.44	27.4
	V S 34	1	5.90	38.0	45.15	0.96	47.0
		2	6.18	49.6	40.95	0.90	45.5
		3	5.10	52.6	40.33	1.15	35.1
		4	5.52	61.8	39.66	1.35	29.4
チ ッ ブ	マ ニ ン	1	6.84	44.8	45.00	1.50	30.1
		2	6.28	66.0	44.26	1.52	29.1
		3	6.08	77.9	41.47	2.12	19.6
		4	6.05	85.6	41.29	2.32	17.8
屑	V S 34	1	6.05	46.2	44.59	1.49	24.9
		2	6.00	65.1	43.38	1.43	30.3
		3	5.95	75.7	40.87	2.01	20.3
		4	5.60	87.9	39.17	2.12	18.5

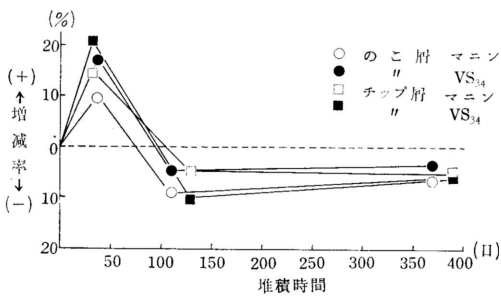
*測定時期 1. 積込み 2.3. 切返し 4. 試験終了

6.2 pH

pHは、全期間を通じて微酸性で終始したが、この屑区の方がチップ屑区よりもやや低pHであった。またpHは期間の経過にもなってわずかに低下する傾向が見うけられた。多くの測定例によれば、木質堆肥のpHは微酸性から微アルカリまで広範囲に分布しており、またその経時変化の様相も本試験とは逆に酸性からアルカリ性に向う場合²⁾もあって千差万別である。おそらく材料の種類や配合割合、配合量などに何らかの関係があると思われるが、一定の傾向は見出されていない。

6.3 塩基置換容量(C.E.C.)

C.E.C.は、堆肥化の進行にもなって明らかに増大し、この屑区で積込時の約1.6倍、チップ屑区で約1.9倍となった。またチップ屑区とこの屑区を比較すると、積込時から終始前者の方が高い値を示した。堆肥化にもなうC.E.C.の増大は、すでに一般的な傾向として認められており、微生物作用によって木質物中のフェノール酸、リグニンなどのポリフェノール成分の分子の解裂が起り、-OH、-COOHなどの酸性基が増加するためであると考えられている。たしかに、C.E.C.の絶対量の増減を示した第4図に明らかのように、醗酵初期に10~20%の増加がみられ、新



第4図 塩基置換基の増減率

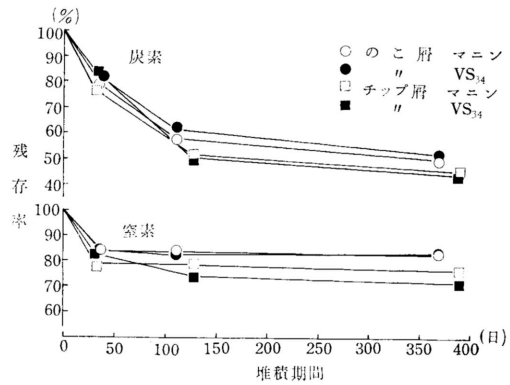
たな置換基の生成が認められる。しかし、この増加は一時的なものであって、第2回切返し時には積込時にくらべてかえって5~10%のマイナスとなった。このことは、堆肥化にもなうC.E.C.増大の要因が、最終的にみれば置換基そのものの増加によるものではなく、他の成分の分解減量にもとづく相対的な増大であ

ることを示している。

6.4 全炭素および全窒素

堆肥化の進行にもなって、全炭素含有率はやや減少、全窒素含有率はかなり増加した(第3表)。

第5図は炭素と窒素の残存率の経時変化を示したものである。炭素の減少経過は収率変化とよく類似しており、第2回切返しまでに大方の分解が終っている。最終的にはチップ屑で約55%、この屑区で約50%の炭素が損失した。



第5図 炭素および窒素の残存率

窒素の含有率は、既に述べたようになんかなり増加するが、これは他の成分の損失によって起る相対的な増加であって、絶対量は第5図のとおり明らかに減少する。窒素損失の経時変化は漸減的な炭素の変化と異なり、その損失のほとんどが第1回の切返しまでに終っている。また損失率も15~20%程度で、堆肥全体の40~50%、炭素の50~55%にくらべていちじるしく小さい。また窒素損失の激しい醗酵初期にはしばしばアンモニア臭が認められた。こうした窒素の特徴的な損失経過は次のように説明することができる。一般に微生物が有機物の炭素を同化して増殖を営む場合、菌体蛋白の構成々分として同化炭素量の1/5~1/10量の窒素を必要とする。堆肥の堆積層の中では、微生物作用によって含窒素有機物の無機化が行なわれる一方、新しい菌体を作り上げるために一旦無機化された窒素が再び利用される反応が絶え間なくくり返されている。積込後第1回切返しまでの期間は、けい糞、米ぬかなど無機化されやすい形態の窒素源、炭素源が豊富に存

在し、発熱経過からみても最も微生物活動の旺盛な時期である。おそらくこの時期には微生物の増殖による窒素要求を上回る速度でアンモニア化成が進み、余剰のアンモニアが空气中に揮散損失したのであろう。第1回切返し時のpHは微酸性であったが、分解の最盛期に生成したアンモニアによって、層内が部分的にアルカリ性となり、高い醗酵熱もあいまってアンモニア態窒素の揮散を促進したことは想像に難くない。従来から、貯蔵中の糞尿や厩肥の醗酵にともなうアンモニアの揮散防止に過りん酸石灰の添加が有効であるとされている。^{3),4)}これは過りん酸石灰がアンモニアと反応してりん酸2石灰と硫酸を生成することを利用したもので、木質堆肥の場合も適量の添加によって窒素損失を軽減できると思われる。窒素損失のもう一つの経路として溶脱が考えられるが、本試験では後述するように下層への水分移動が不活発であったので、この経路による損失は少なかったと思われる。

第1回の切返し以後も、発熱経過や重量減少の様子などから、微生物活動はかなり活発で当然窒素の無機化も盛んであったと思われるが、ここでは前述のように窒素の損失はほとんど起っていない。窒素が堆積層内で無機態として蓄積されているとは考え難いので、おそらく窒素の無機化と同化が丁度バランスされた状態で平衡を保っているのであろう。またこの状態では窒素の無機化速度が炭素の無機化を律速している可能性がある。

以上述べたように炭素の損失率に比べて窒素損失率が小さいことから、当然炭素率は経時的に低下する(第3表)。またこの変化は第1回切返しから第2回切返しにかけて最も大きい。これは前述のように、第1回切返し以後窒素損失がほとんど停止したのに対し、炭素損失が進行した結果である。積込後第1回切返しまでの期間では、炭素損失と共に窒素損失も大きいため炭素率の低下は小さい。しかしこの期間は有機物中の比較的同化されやすい炭素源が急速に分解している時期であって、堆肥が土壌に鋤込まれたさい生ずる筈の窒素要求は減少し、したがって堆肥の相対的な窒素供給力は明らかに増大の過程にあると云うことが

できる。

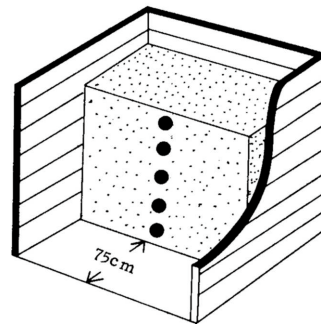
在来の粗大有機質の限界炭素率は一般に20~25と云われているが、木質物は在来の有機質にくらべてはるかに微生物分解を受けにくいので、それだけ限界炭素率の値も高い筈である。筆者らは、新鮮な樹皮と土壌の混合物を用いた廿日大根栽培試験⁵⁾の結果などから、木質物の限界炭素率は35~45程度と考えている。本試験の最終的な炭素率はのこ屑堆肥で27~29、チップ屑堆肥で約18となり、堆肥化の目的を十分達していると思われる。

7. 堆積層の物理的状态

粗大有機物を堆肥化する場合、栄養条件とともに、水分の多少、通気性などの物理的条件が重要な因子となる。本試験では第1回切返し時に層内断面の物理的状态を測定し、醗酵との関連について検討した。

7.1 測定方法

第1回切返しのさい、前面からほぼ75cmの厚さで



第6図 物理性測定試料採取位置

堆積層を切出したところで、第6図のように露出した断面の中央、縦方向の5ヶ所から、100cc容試料円筒を用いて堆積層の構造をこわさないように試料を採取した。それぞれについて、全重量(W_1)、乾燥重量(W_2)、真比重(D)を測定し、次のように含水率、容積重、三和分布を求めた。

$$\begin{aligned} \text{含水率}(\%) &= 100(W_1 - W_2) / W_1 \\ \text{容積重}(\text{g} / 100\text{cc}) &= W_2 \\ \text{同和容積}(\text{Vol.}\%) &= W_1 / D \\ \text{液相容積}(\text{Vol.}\%) &= W_1 - W_2 \end{aligned}$$

気相容積 (Vol. %) = 100 - (固相 + 液相)

なお乾燥条件は105℃, 24hr, 真比重は空気比較式比重計を用いて測定した。

7.2 含水率分布

第4表のように、含水率は上層から下層に向ってほぼ深さに比例して高くなっている。また含水率はほとんどの場所で積込時の含水率(約60%)を下廻っており、堆肥全体の減量も考慮するとかなり水分が失われていることになる。別に測定した全層の平均含水率から計算すると、第1回切返しまでの約1ヶ月間へのこの層で積込時水分量の約35%が、またチップ屑では約23%が損失した。

堆積層の水分損失は、上層から下層へ移動し底部から排出する経路と、表層からの蒸発損失の2つの経路が考えられる。チップ屑区の最下層部で積込時含水率を上廻っていることから、底部からの排水も当然起っているが、木質物の水分保持力⁶⁾から判断して、水分損失の主たる経路は連続する毛細管による下層から上層への水分移動、そして表層からの蒸発によるものと推定された。粗大で一見乾きやすいチップ屑よりも、保水性の高いのこ屑の水分損失が大きいのも、のこ屑の堆積層が緻密で毛管孔隙に富んでおり、下層からの水分上昇が活発であったからであろう。

第4表 堆積層の含水率および容積重

* 層の深さ	含 水 率 (Wt%)				乾 物 容 積 重 (g/100cc)			
	の こ 屑		チ ッ プ 屑		の こ 屑		チ ッ プ 屑	
	マニソ	VS ₈₄	マニソ	VS ₈₄	マニソ	VS ₈₄	マニソ	VS ₈₄
浅 ↑ ↓ 深	49.5	48.5	57.2	57.0	21.2	23.1	18.5	18.9
	52.6	50.5	58.8	57.8	23.0	23.9	20.5	21.1
	55.5	53.5	59.3	58.5	23.4	23.9	21.9	22.8
	56.8	55.6	60.0	59.6	24.7	24.5	25.0	24.3
	59.5	58.7	63.0	61.8	25.3	25.1	26.0	26.2

* 第6図参照

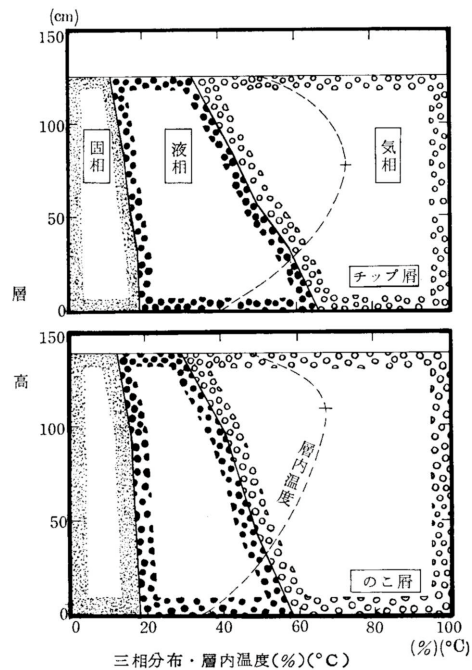
7.3 容積重分布

堆積層の容積重は上層から下層に向って大きくなり、自然圧による圧縮の起っていることがわかる(第4表)。そしてこの傾向はもともと緻密なのこ屑よりも、粗なチップ屑の方が大きく、すでに述べた層高の変化によく対応している。しかし、圧縮の最も大きい

最下層部では両者とも同程度の容積重を示した。

7.4 三相分布

三相分布は、固相、液相、気相の割合を容積百分率で表わしたもので、第7図は三相分布と堆積層の高さ



第7図 第1回切返し時の三相分布(マニソ)

との関係を示したものである。4処理のうち、醗酵剤の種類による違いは認められなかったため、ここではマニソ区の2処理のみ紹介した。

第7図によればチップ屑、のこ屑ともに下層に行くほど固相、液相が増加し、その分だけ気相容積が減少している。しかし、下層における固相増加の割合はわずかであるので、

気相容積の減少は堆積層の圧縮よりも層内の水の動きに支配されていることになる。

堆肥化に関与する微生物の多くは好気性であって、醗酵中たえず層内のO₂を消費しCO₂を発生している。この結果生じたO₂分圧の低い層内空気は主として堆積層の表面を通じて換気されるので、上層ほど

大気組成に近くなり、拡散距離の長い下層ほど O_2 濃度は低くなる。この結果当然下層に行くほど微生物の好氣的醗酵が抑制され、発熱も不良となる訳である。一方、土壤空気の拡散に関する研究^{7),8)}によると、拡散速度はおおむね土壤の自由孔隙量(気相孔隙量)に支配されると考えられている。したがって堆肥の堆積層においても、気相容積の小さい下層ほど層内空気の拡散速度が小さくなり、一層好氣的な醗酵が阻害されることになる。こうした下層の醗酵不良の対策として堆積層内に通気孔を設けている例が見うけられるが、この方法は拡散距離を短縮すると云う意味でかなり効果的な手段である。

気相容積について、この屑とチップ屑を比較すると明らかにこの屑の方が大きい。しかし、この屑がチップ屑にくらべて醗酵が劣り、その要因が換気不良によるものであることは既に指摘したとおりである(4の項参照)。このことは、層内空気の拡散速度が孔隙の大きさにかかわらず自由孔隙量に支配されるとする前述の考え方と矛盾するように思われる。ここに、土壤性を通して気体が動く見掛上の拡散係数は自由拡散の場合よりも明らかに小さいことが知られており、この理由として、土壤中では気体分子が孔隙によって作られている曲りくねった通路を通らなければならないつまり見掛上の層の厚さよりも実際の拡散距離が長いためであると理解されている⁸⁾。この屑の場合も同様に、材料の粒度が小さいため自由孔隙が増加する反面、孔隙の配列が複雑になり実質的な拡散距離が長くなっているのではなからうか。

8. まとめ

本試験の主な目的は、粒度の細かいこの屑と粗なチップ屑の醗酵の難易、およびタイプの異なる2種の醗酵助剤(マニン、V S₃₄)の効果と比較することであった。堆積層の外観、温度分布、堆肥収率、2、3の化学的性質の経時変化、および堆積層内の物理的状態

などを指標として検討を行ない、大要次のような結果が得られた。

1) この屑とチップ屑を比較すると、明らかに前者の醗酵(とくに下層部の)が劣り、この屑堆積層の換気不良がその要因であると判定された。ただし、堆積層の気相容積率はこの屑の方が明らかに大きいので、換気不良の原因は、この屑堆積層の孔隙配置が複雑で層の厚さあたりの実質的な拡散距離がチップ屑より顕著に長くなったことに帰せられる。したがって下層部に通気孔を貫通させることによってかなりの改善が期待できよう。なお、この屑の醗酵も従来報告されている木質堆肥の多くの製造事例にくらべると極めて良好であったと評価できる。

2) 醗酵助剤の種類による醗酵の違いは認められなかった。このことは市販の高価な醗酵助剤を用いることなく良好な醗酵を期待できる可能性を示している。

3) 堆肥の収率、炭素および窒素の損失率、塩基置換基の増減率などの経時変化から、各処理とも第2回切返時まで(3~4ヶ月)に堆肥化の主たる過程をほぼ終了したものと判断された。

文 献

- 1) 植村誠次編：廃材堆肥—その製法と使い方、p81~82、全国林業普及協会(1968)
- 2) 高橋弘行ら：樹皮の堆肥化にもなる化学的諸性質の変化、第20回日本木材学会大会要旨、p236(1970)
- 3) 奥田東ら：土壤肥料ハンドブック、p.344、養賢堂(1965)
- 4) Midgley, A.R: The use of sawdust, shavings and superphosphate with dairy manure., Northeastern wood utilization council, Bull. No.32, p15(1950)
- 5) 小田島輝一ら：土壤改良材としての木質廃材の利用に関する研究(1)および(2)、日林北支講、13、71~75(1963)
- 6) 高橋弘行：廃材の敷料としての利用、科技庁資源調査会報告48号、p43~44(1969)
- 7) L.D. ベーパー：土壤物理学、p286、朝倉書店(1965)
- 8) Penman, H.L.: Gas and vapour movement in the soil. (1), Agr. Sci.30, p437(1940)

—林産化学部 化学利用科—

(原稿受理 48. 1. 31)