

リンゴせん定枝の堆肥化に関する研究

坂 本 清¹⁾

(青森県農林総合研究センターりんご試験場)

Studies on the Composting of Apple Prunings

Kiyoshi Sakamoto

Apple Experiment Station, Aomori Prefectural Agriculture and Forestry Research Center
Kuroishi Aomori, 036-0332 Japan

キーワード：リンゴせん定枝，チップ粒度，堆肥化，腐熟，窒素源，堆積方法，
戻し堆肥，紫紋羽病

2007 年 9 月 1 日受理

¹⁾ 現在，青森県農林総合研究センター ¹⁾ Aomori Prefectural Agriculture and Forestry Research Center

本報告は岩手大学大学院学位論文として提出された。

目 次

緒 言	56
I リンゴせん定枝堆肥の物質変化と腐熟状態に及ぼすチップ粒度の影響	58
1. 材料と方法	58
1) リンゴせん定枝のチップ化	58
2) 堆肥化の方法	58
3) 化学分析	59
4) フェノール物質含量の測定	59
5) せん定枝堆肥の粒径による分画	59
6) インキュベーション実験	59
7) コマツナ幼植物を用いた栽培試験	60
8) 統計処理	60
2. 結果と考察	60
1) 使用したせん定枝チップの性状	60
2) 堆肥化中の温度、容積及びアンモニアガス濃度の変化	61
3) 堆積に伴う堆肥の性状の変化	62
4) 粒径分画による画分の性状の変化	64
5) 土壌無機態窒素に及ぼす影響	66
6) コマツナ幼植物の生育に及ぼす影響	67
7) リンゴせん定枝チップの粒度と腐熟との関係	68
3. 小 括	68
II 副資材としての鶏ふんと石灰窒素の投入量が腐熟に及ぼす影響	69
1. 材料と方法	69
1) 試験区の構成	69
2) 化学分析	70
3) せん定枝堆肥の粒径による分画	70
4) コマツナ幼植物を用いた栽培試験	70
5) 統計処理	70
2. 結果と考察	70
1) 堆肥化中の温度、容積及びガス濃度の変化	70
2) 堆肥化中の化学性の変化	70
3) 粒径分画による画分の乾物重の変化	72
4) コマツナ幼植物の生育に及ぼす影響	73
5) リンゴせん定枝堆肥の製造における窒素源の必要量	73
3. 小 括	74

Ⅲ 堆積方法及び堆肥の戻し利用が腐熟に及ぼす影響	74
1. 材料と方法	74
1) 試験区の構成	74
2) 化学分析	75
3) せん定枝堆肥の粒径による分画	75
4) コマツナ幼植物を用いた栽培試験	75
5) 統計処理	75
2. 結果と考察	75
1) 堆肥化中の温度変化	75
2) 堆肥化中の化学性の変化	76
3) 粒径分画による画分の性状の変化	78
4) コマツナ幼植物の生育に及ぼす影響	78
5) リンゴせん定枝堆肥の堆積法の比較	79
3. 小 括	80
Ⅳ リンゴせん定枝堆肥の施用が1年生マルバカイドウ (<i>Malus prunifolia</i>) の紫紋羽病 (<i>Helicobasidium mompa</i>) 発病に及ぼす影響	81
1. 材料と方法	81
1) 接種条件(用土及び堆肥の混合割合)の検討	81
2) 堆積期間の異なるリンゴせん定枝堆肥の施用が紫紋羽病の発病に及ぼす影響	81
2. 結果と考察	82
1) 接種条件(用土及び堆肥の混合割合)の検討	82
2) 堆積期間の異なるリンゴせん定枝堆肥の施用が紫紋羽病の発病に及ぼす影響	82
3) リンゴせん定枝堆肥の施用方法による紋羽病への影響	84
3. 小 括	85
Ⅴ 総合考察	85
Ⅵ 摘 要	88
引用文献	90
Summary	92
写 真	94
付 表	96

緒 言

青森県は、わが国のリンゴの約半分を生産するリンゴ産地であり、2万ha以上の栽培面積をかかえており、毎年排出されるせん定枝の量は間伐樹等も含めて165,000m³にもものぼると試算されている(青森県, 2004)。これらせん定枝の処理の現状については、太い枝は主に薪として燃料に利用される割合が高いが、残りの細い枝を主体とした部分の多くは園内で焼却処理されている。このような果樹のせん定枝は近年、“バイオマス資源”としても注目されており、炭化資材、緑化基盤材等さらには木質バイオマスエネルギーとしてガス化発電に利用しようとする動きもある(青森県, 2004)。ただしその場合、園内で生産されたせん定枝を園外で処理あるいは使用すれば、毎年、その分の有機物が園地から持ち出されてゆくことになる。また、せん定枝は園地内に広く散在するうえ非常に嵩張ることから、園外に搬出して処理するためには、枝を集めて細断し、梱包してトラック等に積み込む必要があり、搬出にかなりの労力を要することになる。このような問題から、少なくとも野焼きされることの多い細い枝を主体としたせん定枝については、農家自らが堆肥化して園地に還元することにより、地力の維持・向上に役立てることがもっとも望ましい有効利用法と考えられる。

近年、街路樹や公園緑地等のせん定枝葉については、堆肥化プラントを建設し、これに搬入して堆肥化する自治体や農協組織もみられる(藤井, 1999; 多田・百瀬, 1997)。さらに、平成13年の廃棄物処理法の改正によって、原則として木質廃棄物についても焼却が禁止となったことから、今後ますますせん定枝葉の堆肥化の動きは強まると考えられる。農業上の焼却については、現在例外として認められているものの、果樹栽培によるせん定枝についても、活用可能な未利用の木質堆肥化素材と考えることができる。しかしながら、果樹せん定枝の堆肥化についての取り組みは近年始まったところであり、全国的に研究例は少なく、ナシせん定枝を家畜ふん尿堆肥化の副資材として利用した報告(市川ら, 2001a; 市川ら, 2001b)がみられる程度にすぎない。

リンゴせん定枝を堆肥原料として用いる場合にもっとも考慮すべきことは、木質物としての性質である。木質物を主体とした堆肥に共通の問題点として、稲わらなどの草本類と比べてC/N比が高く、リグニンなどの難分解性有機物を多く含むことが挙げられる。木質物が堆肥原料として用いられるようになった歴史は比較的新しく、河田(1981a)によればアメリカで1950年代の初めにDunnらによっておがくずが堆肥化され、土壌への施用効果が検討されたのが最初であろうとされている。わが国

では、1950年代後半に島本が、続いて大滝もおがくずの堆肥化を実用化し、その後農林省林業試験場や北海道立林産試験場においておがくず堆肥の開発と実用化が進められ、普及がはかられた。また、パークについては林業試験場の協力の下に、本州製紙中津工場で堆肥化が試みられ、堆肥製造の企業化及び製品の市販は清水港木材産業協同組合で昭和42年に開始したとされる。その後、木材工業関係でパーク堆肥の製造が広がり、昭和51年にはパーク堆肥の統一品質基準が設定され、本格的な市場流通が開始された。現在では、廃材を原料とする堆肥のほとんどをパーク堆肥が占めるまでに至っている(松崎, 1997b)。また、近年、家畜の多頭羽飼育により、おがくずは畜産での需要がもっとも多くなり、主に畜舎の敷料として利用されている。堆肥化の場合は、家畜ふん尿の水分調整のために副資材として利用されることが多い(豊川, 1997)。

こうした木質物を原料として堆肥を製造した場合、C/N比が高く、難分解性有機物を多く含むという特徴から、未熟な場合にはリグニン由来のフェノール性の生育阻害物質や窒素飢餓による植物の生育阻害の発生が懸念される(吉田, 1975; 今野ら, 1988)。同時に、木質物主体の未熟堆肥による生育阻害はかなり長期にわたるため、腐熟に要する期間が長い(吉田, 1975; 今野ら, 1988)ことが指摘されており、リンゴせん定枝の堆肥化においても同様な問題が想定される。また、木質物といっても多様であり、パークとおがくずあるいは針葉樹と広葉樹、さらには樹種により分解速度に違いのあることも示されている(河田, 1981d)ことから、堆肥化中のリンゴせん定枝の分解速度がどの程度であるのかを把握しておく必要がある。一方、新鮮なパークやおがくず、あるいは未熟な木質物主体の堆肥の施用は、土壌伝染性の植物病害である紋羽病を助長する危険性が高いのに対して、完熟した堆肥の場合には、糸状菌である紋羽病菌の栄養源がすでに消失しているため、発病の危険性は低いと考えられている(河田, 1981d)。白紋羽病と紫紋羽病はリンゴ樹に対する重要な土壌伝染性病害となっているが、リンゴせん定枝堆肥についても、未熟な場合には白及び紫両紋羽病の発生源となる可能性が懸念される。このように、リンゴせん定枝の製造及び利用において検討すべき課題は多い。

青森県においては、りんご生産指導要項(2004a)にリンゴせん定枝堆肥の製造法が記載されているが、これは現地での事例やパーク等の木質堆肥の製造法を参考に適用したものであり、必ずしもリンゴせん定枝堆肥に最適化されたものではない。そこで本研究においては、青森

県におけるリンゴせん定枝の堆肥化と利用を進めるに際しての技術的指針の確立をめざして、以下のような検討を行った。その際、堆肥化は大規模なプラント施設によるのではなく、農家が圃地内の一角において比較的小規模に行う場合を想定した。

リンゴせん定枝堆肥化の研究の開始に際しては、まずリンゴせん定枝堆肥の腐熟過程とはどのような変化であるのかを把握する必要がある。これには、堆肥化過程における物質変化と腐熟状態の変化との関係を明らかにすることが欠かせない。そこで、最初の研究として、リンゴせん定枝の堆肥化過程における物質変化と腐熟状態との関係を、原料となるせん定枝のチップ粒度と関連させて検討した。せん定枝堆肥の物質変化過程は、理化学分析を行うと同時に、堆肥サンプルを粒径別に分画する物理分画を行い、腐熟による画分ごとの乾物重及び成分の経時変化から追跡した。また、堆肥の腐熟状態については、最終的に生育阻害の危険性の有無の点から、土壌施用による無機態窒素の有機化の程度及び幼植物栽培試験により判断した。

次に、こうした基本的な物質変化と腐熟状態に関する知見に基づいて、リンゴせん定枝堆肥の製造条件の改良のための検討を行った。前述のように、リンゴせん定枝は、木質物であるためにC/N比が高くリグニンのような難分解性有機物を多く含む。したがって、リンゴせん定枝の円滑な堆肥化を進めるためにはC/N比の調整が必要であり、窒素分を多く含む副資材の選択と配合割合が重要と考えられる。りんご生産指導要項(2004a)では、リンゴせん定枝堆肥のC/N比の調整には鶏ふんと石灰窒素が使われている。そこで、窒素源としての鶏ふんと石灰窒素の量及び割合がリンゴせん定枝堆肥の腐熟に及ぼす影響を検討した。また、稲わら堆肥等の製造には伝統的に木枠への積み込みが行われてきており、農家レベルでの小規模なリンゴせん定枝堆肥の製造でもこの方法が用いられている。しかし、木枠を用いた堆積は、稲わらのように軽くて嵩張る材料を小さいスペースを使って堆積する場合などに適した方法であるが、労力がかかることから、木枠を使用せず踏み込みも行わない簡易な野積みによる製造方法も考えられる。一方、家畜ふんの堆肥化においては、完熟した堆肥を種堆肥として混合する戻し堆肥あるいは連続堆肥化法も行われている(伊吹ら, 1999; 松崎, 1997a)が、水分調節とともに堆肥化を促進する微生物を補給する(藤原, 1987; 藤原, 1996)意味があり、腐熟促進による堆肥化期間の短縮が可能(藤原, 1987)とされる。そこで、こうした堆積方法の違いがリンゴせん定枝堆肥の腐熟に及ぼす影響についても検討を行った。

最後に、製造したリンゴせん定枝堆肥の利用面での問題点について検討を行った。前述したように、リンゴ栽

培における主要な土壌伝染性病害である白紋羽病及び紫紋羽病は、未熟な木質堆肥の施用によって発生が助長される恐れがある。白紋羽病及び紫紋羽病は類似した病徴を示すが、病原菌はそれぞれ子う菌と担子菌であり、全く異なっている。また、紫紋羽病菌は、白紋羽病菌に比べてより分解の進んだ堆肥等の有機物でも利用できる可能性が示されている(荒木, 1967)ことから、ここでは紫紋羽病を取り上げ、リンゴせん定枝堆肥の施用による発病への影響について検討した。

本研究を行うにあたり、弘前大学農学生命科学部教授青山正和博士には、終始懇切な御指導と本論文の細部にわたる御校閲をいただき、心から感謝するとともに厚くお礼申し上げる。弘前大学農学生命科学部名誉教授原田幸雄博士には、本研究の遂行に当たって励ましと有益な御助言をいただくとともに、本論文の御校閲をいただいた。帯広畜産大学教授筒木潔博士には、フェノール物質の抽出方法等について貴重な御教示をいただいたうえ、本論文の御校閲をいただいた。岩手大学農学部教授河合成直博士には、本論文の御校閲と貴重な御助言をいただいた。弘前大学農学生命科学部准教授齋藤寛博士には、分析機器の操作について御指導をいただくとともに研究内容についての有意義な御助言をいただいた。

本研究は、青森県の試験研究高度化促進事業に係わる大学院派遣に関連して行われたものでもあり、当時事業を担当された青森県農業研究推進センター及び青森県農林総合研究センターの関係者の方々には派遣に際し御配慮いただいた。また、りんご試験場において、元場長工藤亞義氏、元場長岡本道夫氏、前場長野呂昭司博士には、本研究の機会を与えていただくとともに岩手大学大学院連合農学研究科での研究の遂行について、御理解と御配慮をいただいた。元青森県りんご試験場病虫肥料部長関田徳雄博士には、多くの激励いただいたうえ、論文の執筆に際しての有意義な御助言もいただいた。青森県農林総合研究センター研究調整監督谷齊氏には、本論文の御校閲と貴重な御助言をいただいた。青森県農林総合研究センターりんご試験場病虫部長雪田金助氏には、紫紋羽病の接種試験について御教示と御助言をいただいた。元りんご試験場研究管理員蝦名春三氏及びりんご試験場技能技師鈴木明彦氏には、本研究の遂行に当たり多くの御協力をいただいた。さらに、りんご試験場病虫肥料部職員並びに元職員の方々にも御協力と御援助をいただいた。

以上の方々に心からの感謝とお礼を申し上げます。

I リンゴせん定枝堆肥の物質変化と腐熟状態に及ぼすチップ粒度の影響

リンゴせん定枝は、おがくずやパークのような従来から使われている木質の堆肥原料と比べ性質は異なると考えられることから、堆肥化の研究に際しては、その物質変化と腐熟状態の変化とを詳しく解析する必要がある。

一方、堆肥化に際してリンゴせん定枝は、チップパーによりチップ化して用いられるが、チップパーにはチップ工場や大規模な木質堆肥化のプラントでみられるような大型のものから、小型で直径数cm程度までの枝しか破碎できないものまで多様な機種がある。このうち、可搬性があり園地内でせん定枝の処理が可能な比較的小型のチップパーの場合、機種により破碎性能は様々であり、破碎されたチップの形状や粒度はチップパーによりかなり異なっている。これらの違いは、堆肥化した場合に腐熟に大きく影響することが予想される。

こうしたことから、本章では、2機種の破碎性能の異なるチップパーを使用して調製した粒度分布の異なるチップを用いて堆肥化を行い、堆肥化過程における物質変化と腐熟状態との関係を、チップ粒度に関連させて検討した。せん定枝堆肥の物質変化過程は、理化学分析を行うと同時に、堆肥サンプルを粒径別に分画する物理分画を行い、腐熟による画分ごとの乾物重及び成分の経時的変化から追跡した。また、リンゴせん定枝堆肥の腐熟の評価には、おがくずを主とする堆肥では、腐熟の過程で無機態窒素の有機化が卓越する期間を経ること（青山ら、1988）、また、おがくず部分のC/N比が20以下に下がると無機態窒素の有機化が起こらなくなる（青山ら、1982）というこれまでの研究結果を考慮して、無機態窒素の有機化の程度と木質部分のC/N比の変化とを指標とした。

1. 材料と方法

1) リンゴせん定枝のチップ化

リンゴせん定枝のチップ化には、2機種のチップパー（カルイ クローラ式チップスターKS-5K-M10及び三陽機器チップパーシュレッダーCS125、以下、チップパーA及びBとする）を使用した。このうちチップパーAの破碎方式はフリーハンマー方式による粉碎、チップパーBでは1次破碎用のチップパー刃と2次破碎用のシュレッダー刃による2段階の破碎によるとされる。りんご試験場内のリンゴ樹について2001年3月から4月上旬にせん定し、野積みしていたせん定枝のうち、直径約5cm以下の枝を使用して、2001年5月16日にチップパーA及びBによりチップ化したもの（以下、チップA及びBとする）を、以下の実験に使用した。写真1にチップパーA及びB、チップA及びBの形状について示す。なお、チップの全炭素量は乾

物当たりで479g kg⁻¹、全窒素量は7.1g kg⁻¹であり、C/N比は67.5であった。

チップ化したそれぞれのリンゴせん定枝は、52L容容器に充填し、密度を測定した。密度は踏圧しない場合と踏圧を加えた場合の値を求めた。また、乾熱法（105℃）によりせん定枝チップの水分を測定した。さらに、チップAとBの粒径分布を求めるため、それぞれ1.00, 2.00, 4.76, 9.52mmの篩を順次通し、各区分の重量比率を求めた。なお、チップの形状はA、Bとも細かいものはおがくず状であり、大きいものは一方向に長い形のものが多かったが、ここでは便宜上粒径という言葉を使用する。

2) 堆肥化の方法

リンゴせん定枝堆肥化の手順については、写真2に示す。リンゴせん定枝は、りんご試験場内の堆肥盤において、2001年5月15日と16日にチップ化し、堆肥化した。堆肥化は、青森県のりんご生産指導要項（2004b）に記載されている稲わら堆肥の作成方法に準じて行った。すなわち、せん定枝チップを1.5m四方、高さ30cmの木枠いっぱいになるまで積み込んで踏圧した後、副資材として鶏ふんと石灰窒素を加え、水を散布した。なお、本研究では、鶏ふんについては取り扱いやすさ及び一般的な入手の容易さの点から、市販の発酵鶏ふんを使用した。木枠を引き上げながら、これらの作業を数回繰り返して、せん定枝チップで鶏ふんと石灰窒素を数段のサンドイッチ状にはさんだ形に積み上げた。このため、堆積物の形状は、どちらも底面が1.5m四方の直方体状で上面がやや盛り上がった形となった。堆積物は、ビニールで覆い、ひもで縛った。堆積時の容積は、以下に述べる方法により測定した結果、チップパーAによる堆肥（以下堆肥A）が2.90m³、チップパーBによる堆肥（以下堆肥B）が2.31m³であり、副資材の添加量はいずれも発酵鶏ふん（現物当たり全炭素量、325g kg⁻¹；全窒素量、40g kg⁻¹）が240kg、石灰窒素（全炭素量、190g kg⁻¹；全窒素量、210g kg⁻¹）40kgずつであった。なお、せん定枝チップと発酵鶏ふんの無機成分については第1表に示した。

第1表 堆肥原料の無機成分含量（単位：g kg⁻¹乾物）

	灰分	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O
せん定枝チップ	44	2.0	8.1	2.7	1.1
発酵鶏ふん	221	38.7	49.6	9.5	27.9

堆積した堆肥の中心部付近と外周部（外周から20cm内部）の温度を、温度センサー（佐藤計量器製作所

LT-32) とデータロガー (佐藤計量器製作所 SK-L200T) により 1 時間ごとに測定した。堆積後約 1 か月ごとに、堆肥の容積を測定した。容積は堆肥の形を、底辺 1.5m 四方の直方体の上に、底面の直径が 1.5m の切断した球の上部を乗せた形として算出した。また、検知管式気体測定器 (ガステック GV-100S) にアンモニア検知管を接続し、経時的に堆肥中のアンモニアガス濃度を測定した。測定部位は、堆肥の外周部から 10cm 程度内部とした。切り返しは、スキッドステアローダーを使用して堆肥化開始後 36、86、117、148 及び 344 日目の合計 5 回行ったが、切り返し後の堆積はいずれも堆肥化開始の際と同様に、木枠を使用して踏圧を加えて行った。各切り返し時ならびに堆積 203 日目に堆積物の上部と外周部 (それぞれ 10cm 程度の深さまで) 及び中心部から試料を採取し、採取試料の一部について凍結乾燥を行って乾燥前後の重量減少から含水率を求めた。以下の実験には、この凍結乾燥物を粉砕した粉末試料もしくは残りの湿潤試料を用いた。なお、湿潤試料については、冷蔵後速やかに実験に用いた場合以外は凍結し、解凍したものを供試した。

3) 化学分析

堆積物の各部位から経時的に採取した湿潤試料について、乾物と水の重量比が 1 : 10 となるよう蒸留水を加え、pH をガラス電極法、電気伝導度 (EC) を電気伝導度計により測定した。また、試料に 10 倍量の 2 mol L^{-1} 塩化カリウム溶液を加えて 1 時間振とう後ろ過し、ろ液中のアンモニア態窒素量及び硝酸態と亜硝酸態窒素の含量を水蒸気蒸留法 (Bremner, 1965) で、亜硝酸態窒素量を Griess 法 (菅原・道野, 1962) により分析した。硝酸態窒素量は、硝酸態と亜硝酸態窒素の含量から亜硝酸態窒素量を差し引いて求めた。

凍結乾燥試料を用いて、NC-Analyzer (住友化学工業 Sumigraph NC-90A) により全炭素量と全窒素量を分析した。さらに、堆積 148、203 及び 344 日目の凍結乾燥試料について、無機成分含量を下記のとおり分析した。

試料を 550°C で乾式灰化し、灰化前後の重量から灰分含量を求めた後、リン酸含量をバナドモリブデン酸比色法、カルシウム、マグネシウム及びカリウム含量については原子吸光法により測定した。

4) フェノール物質含量の測定

Kuwatsuka and Tsutsuki (1977) の方法によってフェノール物質を抽出した後、フォリン-デニス法 (津志田, 2001) で測定した。すなわち、堆肥の各部位から採取し、凍結乾燥後粉砕した乾物試料について、100 倍量の 0.1 mol L^{-1} アルカリ性メタノール溶液 (メタノールと 0.1 mol L^{-1} NaOH を容積比で 7 : 3 に混合) に懸濁し、30 分間振とう後、ろ過した。ろ液 1 mL に蒸留水を加えて 5 mL とし、これに市販のフェノール試薬を 5 倍に希釈したものを 5 mL 加えてかくはん後、 100 g L^{-1} 炭酸ナト

リウム溶液 5 mL を加えた。30 分間放置後に 760nm の吸光度を測定した。検量線は *p*-ヒドロキシ安息香酸を用いて堆肥 1 kg (乾物) 当たりの *p*-ヒドロキシ安息香酸換算量 (g) として算出した。

5) せん定枝堆肥の粒径による分画

堆積物の各部位から採取した湿潤試料について、以下の方法で粒径による分画を行った。その際、堆積開始後 36、86、117 及び 148 日目の試料については部位ごとに粒径による分画を行ったが、203 及び 344 日目の試料は各部位の試料を等量ずつ混合したものを粒径分画した。

湿潤試料 50 g を 1 L 容ビーカーに取り、約 1 L の蒸留水を加えて懸濁させ、9.52、4.76、2.00、1.00、0.210、0.053mm の篩を順次通過させた。その際、篩上の残渣は蒸留水で洗浄し、洗液と通過液を合わせて次の篩を通す操作を繰り返した。各篩上の残渣は、それぞれビーカーに集めて 40°C で通風乾燥して重量を測定後、粉砕して分析試料とした。画分は粒径の大きい方から F1~F6 とした。0.053mm の篩を通過した液は洗液と合わせて約 2 L になったが、 4°C の低温室で 1 ないし 2 夜静置後、サイホンを用いて上層液を分離し、沈降物を集めた (F7)。さらに、上層液は $10,000 \times \text{g}$ で 10 分間遠心分離し、沈殿 (F8) と上層液 (F9) に分けた。F7 及び F8 画分は凍結乾燥して重量を測定後、粉砕して分析試料とした。F9 画分については、分析まで凍結保存した。

F1~F8 画分の全炭素量及び全窒素量は NC-Analyzer (住友化学工業 Sumigraph NC-90A) により分析した。F9 画分については、溶液状態のまま全炭素量を全有機態炭素分析装置 (島津製作所 TOC-VE) で、全窒素量をアルカリ性過硫酸カリウム分解-HPLC 法 (Aoyama and Nagumo, 1996) で測定した。また、F9 画分の無機態窒素量を水蒸気蒸留法 (Bremner, 1965) で分析し、全窒素量から差し引いた値を有機態窒素量とした。

6) インキュベーション実験

リンゴせん定枝堆肥の施用が土壌中の無機態窒素量に及ぼす影響を、熊田・青山 (1982) の方法に準じて検討した。実験は、前述の堆積物の各部位から経時的に採取した試料について行った。

まず、250 mL 容ポリビンにりんご試験場藤崎ほ場から採取した埴質沖積土壌 (pH (H_2O), 6.19; 全炭素量*, 14.5 g kg^{-1} ; 全窒素量*, 1.4 g kg^{-1} ; C/N 比, 10.4; *乾土当たり) の風乾細土 10 g を入れ、凍結乾燥後粉砕したせん定枝堆肥試料 300 mg を加えて十分に混合した。これに、1 mg N 相当量の硫酸アンモニウム溶液を加え、さらに 2 mol L^{-1} の塩化カリウム溶液 100 mL で浸出し、水蒸気蒸留法 (Bremner, 1965) により無機態窒素量を分析した (培養前の無機態窒素量)。次に、同様に試料と土壌を混合し硫酸アンモニウムを加えたものに、さらに蒸留水を加えて最大容水量の 60% 水分に調整した。これにポ

リエチレンフィルムでふたをした後、30℃で14日間インキュベートした。インキュベーション終了後、前述の方法により無機態窒素量を分析した。インキュベーションは2連制で行い、分析値は平均値を使用した。この値から培養前の無機態窒素量を引いたものを窒素無機化量とした。

さらに、前記の粒径分画で得られた画分のうち量的に多く、それぞれの堆肥を特徴づけると考えられる画分、すなわち堆肥AではF1とF2、堆肥BではF4とF5画分によりインキュベーション実験を行った。すなわち、これらの画分を、それぞれ堆肥中の重量比率に応じて合計で300mg土壌と混和して同様にインキュベートし、インキュベーション前後の無機態窒素量を分析して窒素無機化量を算出した。なお、対照として、これらのそれぞれについて、堆肥試料を加えずに土壌に硫酸アンモニウム溶液と蒸留水のみを加えたものの窒素無機化量を測定した。

7) コマツナ幼植物を用いた栽培試験

堆積203日目、344日目及び561日目の堆肥について、各部位から採取した湿潤試料を等量ずつ混合し、コマツナによる幼植物栽培試験（農林水産省農産園芸局、1984）を行った。前記の埴質沖積土の風乾細土500mL（乾土として418g相当量）に窒素、リン酸及びカリウムとして25mg相当量の硫酸アンモニウム、過リン酸石灰及び塩化カリウムを加え、さらに湿潤状態の堆肥を乾物12.5g相当量加えて混合した。これをノイパウエルポットに充填し、最大容水量の60%水分に調節した。1つのポットについて、コマツナ種子（品種：八丁）を25粒ずつ播き、温度25℃、湿度60～80%、蛍光灯照明下（約10,000Lx）で明期12時間、暗期12時間に調節したインキュベーター内において21日間栽培した。栽培期間中、最大容水量の60%水分を保つように適宜蒸留水を加えた。また、コマツナは10日目に間引きして10個体とし、21日目に地上部を収穫して地上部乾物収量を求めた。対照として、堆肥を加えないで化学肥料のみを加えた区（無施用区）を設け、同様にコマツナを栽培した。栽培はすべて3連で行った。コマツナの栽培については、栽培期間が短いことを考慮して同一のポットで2回繰り返した。すなわち、1回目の栽培終了3日後に、跡地土壌の充填されたポットに施肥は行わずにコマツナを播種し、1回目と同様に栽培を行った。さらに、2回目のコマツナ栽培終了後の跡地土壌について、前述の方法で無機態窒素量を分析した。

8) 統計処理

堆肥A、B間の違いを検討するため、化学分析、フェノール物質含量及びインキュベーション実験において、それぞれの堆肥の上部、外周部、中心部から採取した試料を繰り返しとして対応のないt検定を行った。また、

コマツナ幼植物栽培試験では、コマツナ乾物重、窒素吸収量及び跡地土壌の無機態窒素について、堆肥A、Bのそれぞれ堆積203日、344日、561日目の試料の施用区及び無施用区の7水準間の差について検定した。すなわち、ポット数を繰り返し（ $n = 3$ ）とする一元配置分散分析で有意差（ $p < 0.05$ ）のある場合、Tukeyの多重検定により平均値の差を検定した。

2. 結果と考察

1) 使用したせん定枝チップの性状

第2表に堆肥化に使用したせん定枝チップの密度と含水率を示す。チップの密度は、AとBではかなり異なり、チップAでは踏圧しない場合で 150kg m^{-3} 、踏圧を加えた場合で 220kg m^{-3} であったのに対して、粒度の細かいチップBではそれぞれ 250kg m^{-3} と 320kg m^{-3} とかなり高い値を示した。また、チップの含水率はA、Bともに 0.25kg kg^{-1} 程度であった。

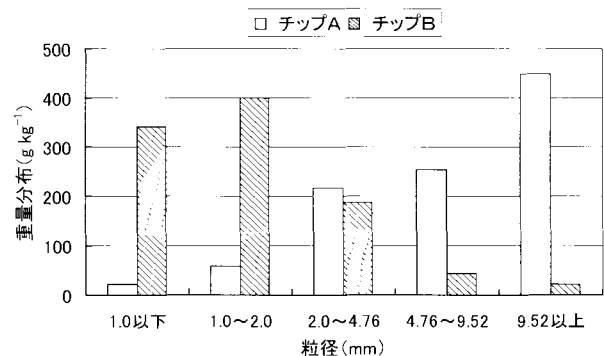
第1図にせん定枝チップの粒径分布を示す。チップAとBでは粒径分布にも大きな違いがあり、チップAでは4.76mm以上のチップが約7割を占めたのに対し、チップBでは逆に2mm以下のチップが7割以上を占めた。

このように、2機種のチップパーにより得られたチップは、Aでは粗いものが多く密度が低かったのに対し、Bは細かい部分の比率が多く密度が高かった。

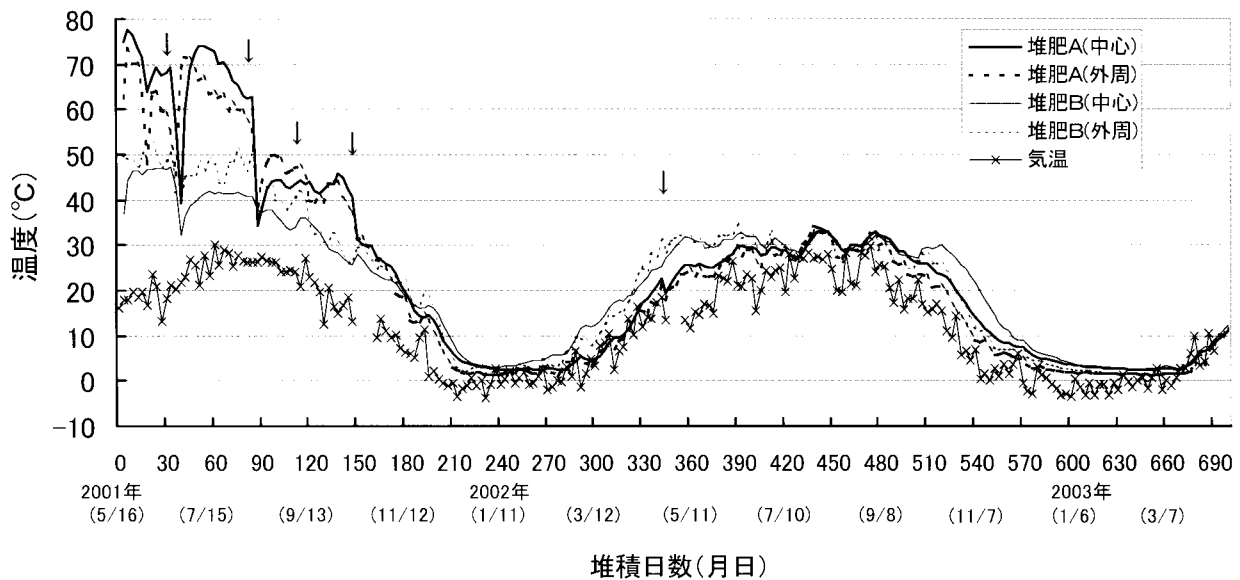
第2表 せん定枝チップの密度と含水率

区	密度 (kg m^{-3})		含水率 (kg kg^{-1})
	踏圧しない場合	踏圧した場合	
チップA	150 (100) ^{z)}	220 (100)	0.25
チップB	250 (167)	320 (146)	0.26

z) かつこ内はチップAの値を100とした相対値



第1図 せん定枝チップの粒径分布



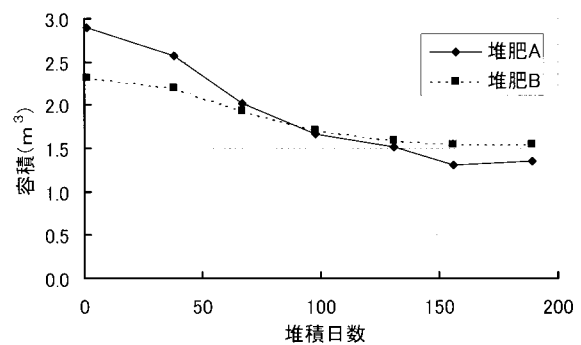
第2図 堆積中の温度変化
矢印は切り返しの時期を表す

2) 堆肥化中の温度、容積及びアンモニアガス濃度の 変化

第2図に堆積中の堆肥の温度変化を示す。温度は堆積開始後、699日目まで約2年近くにわたって測定した。なお、温度測定は1時間ごとに行ったが、図にはこれを1日ごとに平均した値で示した。堆肥Aでは、堆積開始5日後に中心部、外周部ともに70℃を越えて最高温度に達し、2回目の切り返し前までは60℃を超える場合が多かった。これに対して、堆肥Bは外周部が中心部よりやや高く推移したが、最高でも外周部が50℃を超える程度であった。堆肥AとBの温度の違いは堆積開始から148日目あたりまで顕著にみられたが、その後はどちらの温度も低下し、ほぼ同様な値で推移した。280日を越える頃から温度は再び上昇し始めたが、148日目までとは逆にBがAよりやや高い値で経過し、420日目頃からは差はみられなくなったものの、500～600日目頃まで再びBがやや高い温度で経過した。堆積150日目頃の温度上昇を指標とすると、堆肥化の進行は、粒度が細かいチップBよりも粒度が粗いチップAを用いた方がむしろ速かったと推測される。

第3図に堆肥の容積の変化を示す。堆肥A、Bの容積は堆積後徐々に減少したが、Bに比べてAの減少が大きく堆積159日目には堆積開始時の半分以下の1.31m³となった。これに対して、Bでは堆積時の容積はAより小さかったものの、その後の減少は少なく69日目にはAと同等となり、159日目には1.54m³とAを上回った。また、A、Bとも159日目以降、容積は横ばいとなった。このよ

うに、密度が低いチップで堆肥化した場合は容積の減少が大きく、チップの密度が高い場合は減少が小さいことが明らかである。



第3図 堆積に伴う堆肥の容積変化

第3表に堆肥化中のアンモニアガス濃度の推移を示す。堆肥A、Bのアンモニアガス濃度はともに堆積56日目が高くなり、その後低下し、127日目以降は検出されなかった。また、56日目及び104日目は堆肥Bの濃度がAより高かったものの、69日目は逆にAの方がやや高いなど、両者で明らかな違いはみられなかった。アンモニアが検出された時期は堆肥の高温期間と符合しており、この時期に高温により窒素成分のアンモニア化成と揮散が進行したと考えられる。

第3表 堆積に伴うアンモニアガス濃度の推移

(単位: ppm)

区	堆積日数					
	22	56	69	104	127	162日
堆肥A	98	440	370	76	ND ^{z)}	ND
堆肥B	100	640	280	110	ND	ND

z) NDは検出なし。

3) 堆積に伴う堆肥の性状の変化

第4表にpH及びEC、第5表に含水率、全炭素量、全窒素量及びC/N比、さらに第6表に無機成分含量の変化を

示す。

堆肥のpHは、堆肥Aでは86及び117日目、堆肥Bでは117日目にもっとも高い傾向にあったものの、堆積期間を通して大きな変化はみられなかった。また、A、Bともに、8を超える場合が多く、いずれの時期においても両者に有意な差はなかった。ECは、A、Bともに86日目に上昇し、Aは117日目、Bは86日目にもっとも高い値を示し、その後いずれも低下した。A、B間では、203日目まではBがAより高い数値を示したが有意差はなく、344日目のみ、AがBより有意に高かった。

堆肥の含水率は、A、Bとも堆積日数の経過につれて

第4表 堆積に伴うpH及びECの推移

堆積日数	pH (H ₂ O)		EC (dS m ⁻¹)	
	堆肥A	堆肥B	堆肥A	堆肥B
36日	8.16±0.54 ^{z)}	7.73±1.24	2.77±1.18	4.59±2.59
86日	8.93±0.18	8.27±1.02	4.07±0.53	6.76±2.72
117日	8.74±0.34	8.83±0.25	4.36±0.39	4.50±1.48
148日	8.52±0.50	8.17±0.72	3.07±1.29	3.96±1.83
203日	8.42±0.08	8.29±0.21	2.31±0.17	2.53±1.04
344日	8.28±0.25	8.32±0.13	2.39±0.04b ^{y)}	2.01±0.19a

z) 堆肥の上部、外周部及び中心部の平均値±標準偏差。y) 同一行の同一項目におけるab間は、t検定により5%水準で有意差あり。

第5表 堆積に伴う含水量、全炭素量、全窒素量及びC/N比の推移

堆積日数	含水率 (kg kg ⁻¹) ^{z)}		C (g kg ⁻¹ 乾物)		N (g kg ⁻¹ 乾物)		C/N比	
	堆肥A	堆肥B	堆肥A	堆肥B	堆肥A	堆肥B	堆肥A	堆肥B
36日	0.56±0.13 ^{y)}	0.63±0.07	441±5	438±15	18.1±3.3	20.5±8.7	24.9±5.0	24.0±9.6
86日	0.61±0.14	0.63±0.04	415±42	451±26	29.3±9.1	31.1±13.8	15.0±4.3	16.4±6.5
117日	0.66±0.05	0.66±0.02	439±4	443±5	33.4±8.1	26.5±2.5	13.6±3.0	16.8±1.6
148日	0.67±0.02	0.66±0.01	418±3a ^{x)}	437±4b	31.8±2.2b	26.3±2.1a	13.2±0.8a	16.7±1.5b
203日	0.70±0.01	0.68±0.01	424±11	420±19	32.6±1.9	29.0±1.9	13.0±1.0	14.5±0.3
344日	0.70±0.01	0.69±0.01	417±12	436±7	34.1±1.3b	30.9±1.1a	12.2±0.7a	14.1±0.3b
561日	0.72±0.01	0.74±0.02	376±14	390±8	33.7±0.6	33.3±1.4	11.2±2.5	11.7±6.6
701日	0.71±0.02	0.71±0.01	389±20	384±21	35.8±2.2	34.5±1.9	10.9±7.0	11.1±8.0

z) 湿潤物当たり。y) 堆肥の上部、外周部及び中心部の平均値±標準偏差。x) 同一行の同一項目におけるab間は、t検定により5%水準で有意差あり。

第6表 堆積に伴う無機成分含量の推移 (単位: g kg⁻¹乾物)

堆積日数	灰分		P ₂ O ₅		CaO		MgO		K ₂ O	
	堆肥A	堆肥B	堆肥A	堆肥B	堆肥A	堆肥B	堆肥A	堆肥B	堆肥A	堆肥B
148日	272±8 ^{z)}	230±35	24.6±0.6	19.4±3.5	88.9±3.8	71.8±10.3	7.4±0.2b ^{y)}	5.9±0.7a	11.3±0.6b	8.3±1.4a
203日	307±10	266±52	24.9±3.9	21.6±2.7	96.2±3.8	80.8±16.8	6.9±1.2	6.3±0.6	11.1±2.6	9.9±2.7
344日	293±17b	258±14a	22.0±2.0	21.9±0.6	80.4±7.3	77.1±2.8	6.4±0.9	6.3±0.1	11.4±1.3	13.5±5.2

z) 堆肥の上部、外周部及び中心部の平均値±標準偏差。y) 同一堆積日の同一項目における異なるアルファベット間は、t検定により5%水準で有意差あり。

やや増加する傾向があり、561日目にはともに 0.7kg kg^{-1} を超える値となった。また、86日目まではAがBよりやや少ない傾向があったものの、その後はほとんど差がみられなくなった。全炭素量は、148日目に堆肥AがBより有意に低かった以外は、AとBの間に有意な差はなかった。全窒素量は、148日目と344日目に堆肥AがBより有意に高かった以外は明らかな差はなかった。C/N比は、いずれの堆肥でも36日目には25程度であったが、86日目には15~16に急激に低下し、それ以後もやや低下する傾向を示した。また、堆肥Bの方がやや高く推移し、148日目と344日目には堆肥Aより有意に高い値を示したが、その後両者の差は縮まり、701日目にはともに11前後の値となった。

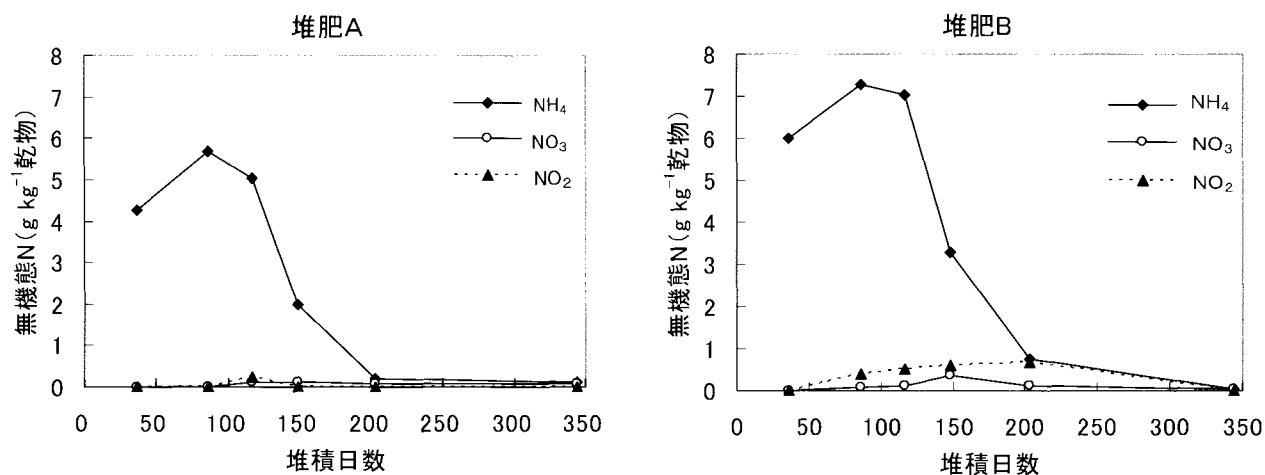
無機成分については、灰分含量が堆肥Aでやや高い傾向があり、344日目では有意差もみられた。しかし、個々の成分についてみると、マグネシウムとカリウムが148日目に堆肥Aで有意に高かった以外は、A、B間で明らかな差はなかった。

第4図に堆肥化中の無機態窒素量の変化を示す。堆肥A、Bともアンモニア態窒素量が多く、いずれも86日目にもっとも高い値を示したが、117~203日にかけて急減し、344日目まで低いレベルで推移した。また、常にAに比べてBが多い傾向を示した。硝酸態窒素量については、A、Bともに低い値で推移し、最高でもAが 0.12g kg^{-1}

乾物、Bでは 0.34g kg^{-1} 乾物にすぎなかった。亜硝酸態窒素量もA、Bともに低い値であったが、Aは117日目を除いてほとんど検出されなかったのに対し、Bでは86から203日にかけて $0.39\sim0.69\text{g kg}^{-1}$ 乾物の値で推移した。

青山ら(1988)は、木質物を含む堆肥の腐熟に伴う窒素形態変化能について、まず易分解性有機物の無機化が起こる段階の後に無機態窒素の有機化が起こる段階が続く、最終的には窒素の無機化と硝酸化成が卓越する段階に到達するとしている。これに照らし合わせると、本研究で用いた堆肥は、344日を経過しても窒素の無機化と硝酸化成が起こる最終段階までは達していないと推測される。

第5図に堆肥化中のフェノール物質含量の変化を示す。フェノール物質の含量は、堆肥Aでは36日目は 3.8g kg^{-1} 乾物であったがその後漸減し、203日目には 1.7g kg^{-1} 乾物で横ばいとなった。堆肥Bについても36日目に 6.9g kg^{-1} 乾物ともっとも高く、86日目に急減し、その後203日目には 2.6g kg^{-1} 乾物で一定となった。また、常に堆肥BがAより高い傾向があり、203及び344日目には有意差もみられたが、36日目を除いてその差は小さかった。これは今野ら(1988)がパークの堆肥化で、水溶性フェノールは堆積当初の高温発酵に伴って急激に高まり、30~70日の間でほぼ最大に達したが、その後はしだいに低下し、140日日以降はほぼ一定水準で推移したとする結果と一致して



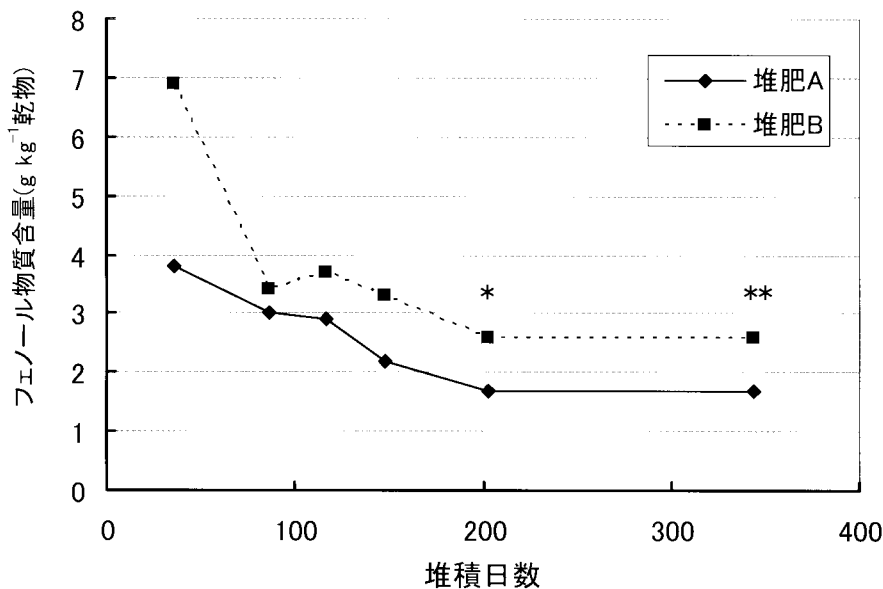
第4図 堆積に伴う無機態窒素量の推移

いる。また、36日目のフェノール物質含量にAとBで大きな差が認められたが、タンニンやフェノール系の植物生長阻害物質の分解については、65℃以上であれば2週間以上、60℃以上では3週間以上の発熱発酵が必要（植村，1976）とされることから、これは堆肥の温度の違いがフェノール物質の分解に影響したものと考えられる。

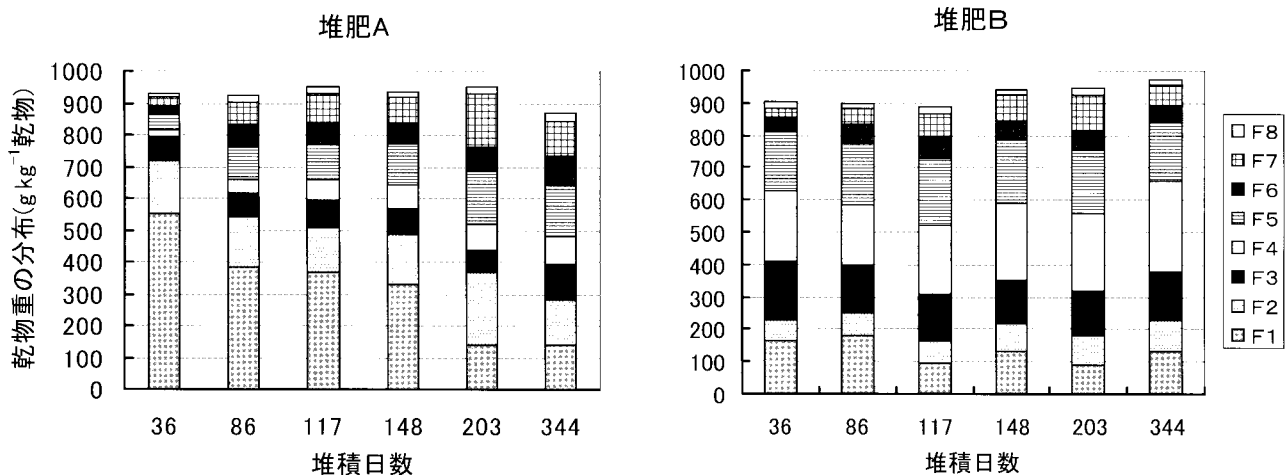
4) 粒径分画による画分の性状の変化

第6図に堆肥AとBの粒径ごとに分画した各画分の乾物重の推移を示す。なお、F9の水溶性画分の乾物重は測定していないが、それを除いた回収率は90%前後であり、分画による損失はそれほど大きくはなかったと考えられる。

36日目についてみると、粒度が粗いチップAを用いた堆肥Aでは、重量の半分以上が9.52mmより粗いF1画分であり、4.76～9.52mmのF2画分がそれに次ぎ、両画分で7割以上を占めた。これに対して、より粒度が細かいチップBを用いた堆肥Bでは、F1とF2の両画分は2割程度を占めるにすぎず、2.00～4.76mmのF3画分、1.00～2.00mmのF4画分及び0.210～1.00mmのF5画分で約6割を占めた。堆積初期の乾物重分布には、堆肥A、Bで大きな違いがみられたが、これは両者で使用したせん定枝チップの粒径分布の差を反映している。堆積期間が経過すると、堆肥Aでは、9.52mm以上のF1画分の大幅な減少とF4～F7画分の増加が起こり、特に0.210～1.00mmのF5画分と



第5図 堆積に伴うフェノール物質含量の推移
t検定により*は5%水準、**は1%水準で有意差あり



第6図 堆積に伴う粒径分画された画分の乾物重の推移

0.053mmより小さく、一夜静置で沈降するF7画分の増加が大きかった。堆肥Bでも、F1画分がやや減少し、F4～F7画分が増加する傾向がみられたが、堆肥Aと比べると顕著ではなかった。

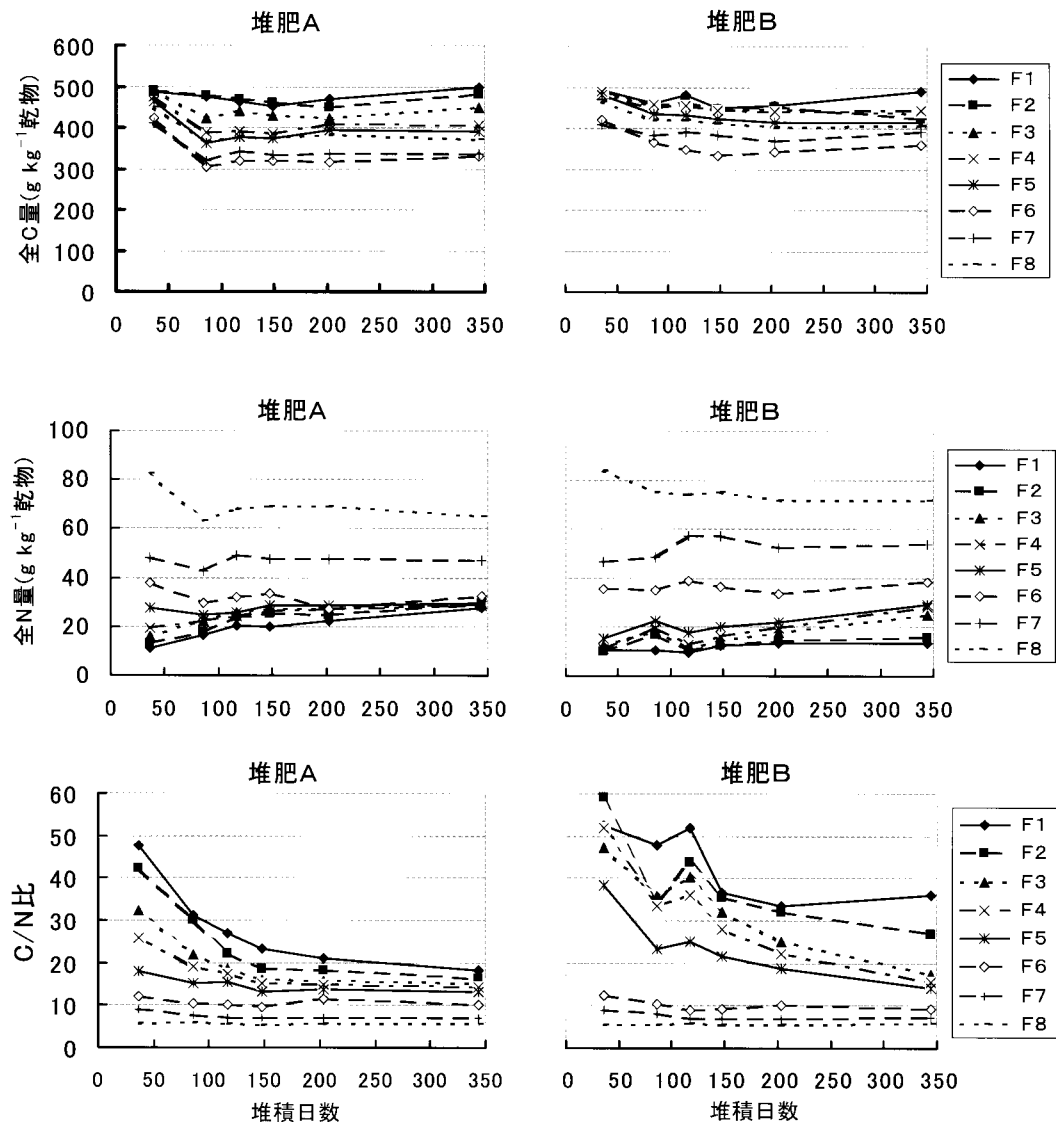
このように、粒度の粗いせん定枝チップを用いた場合には、粒度が細かいチップを用いた場合と比較して、粗粒なチップの微細化が速やかに進行した。これは、粒度の粗いチップを用いた堆肥Aの方が堆積前半の温度上昇が堆肥Bより大きかったことが関係していると推定される。

第7図に、画分の全炭素量、全窒素量及びC/N比の推移を示す。全炭素量は、堆肥A、BともF6とF7画分で低く、F1～F2を中心とする粗い画分で高い傾向があった。堆積中の変化については、堆肥A、Bともほとんどの画

分で36日目から86日目にかけてやや減少した以外は、大きな変化はなかった。

全窒素量は、堆肥A、Bとも、粒径が細くなるにしたがって高くなる傾向にあった。また、両者とも堆積期間の経過につれて粗大な画分では全窒素量がやや増加する傾向があったが、F6とF7の両画分ではあまり変化がなく、F8画分では86日目に減少したものの、それ以降は横ばいで推移した。

C/N比は、堆肥A、Bともに粒径が大きいほど高い傾向にあり、この傾向は全堆積期間を通じて変わらなかった。粒径が粗大になるほどC/N比が高くなる傾向は、これまでに報告された堆肥の粒径分画による結果（青山ら、1982；広瀬・熊田、1972；進藤ら、1980；Suzuki *et al.*, 1975；Suzuki and Kumada, 1976a, 1976b）と一致



第7図 堆積に伴う粒径分画された画分の全炭素量、全窒素量及びC/N比の推移

している。

堆肥Aでは、堆積期間の経過とともにF5より粗大な画分のC/N比は減少し、203日目にはF1以外の画分では20以下に下がり、344日目にはF1画分も20以下となった。しかし、F6～F8画分のC/N比は堆積期間が経過してもほとんど変化しなかった。堆肥Bでは、36日目の時点におけるF1～F5の粗大な画分のC/N比は堆肥Aと比べてかなり高く、また堆積期間の経過に伴うC/N比の低下速度も遅いことが認められ、344日目においてもF1とF2ではそれぞれ36と27であった。堆肥Bでも、F6～F8画分のC/N比は堆積期間が経過してもほとんど変化しなかった。

本研究で用いたリングせん定枝堆肥は、せん定枝チップ以外に鶏ふんと石灰窒素を材料としているが、堆積初期にC/N比が高かったF1～F5の粗大な画分は主にせん定枝チップを主体としているのに対して、それより細かなC/N比の低い画分は主に鶏ふんと石灰窒素を主体していると推定される。また、もっとも微細なF8画分は、微生物菌体を多く含むと考えられる（Aoyama, 1985）。したがって、腐熟に伴うせん定枝チップを主体としたF1～F5画分のC/N比の低下は、粒度の細かい堆肥Bよりも粒度の粗い堆肥Aの方が速やかであったことから、腐熟の進行も堆肥Aで速かったと推察される。これは、前述した堆肥の温度変化及び粒径組成の変化からの推定と一致している。

第7表に、水溶性のF9画分の全炭素量、有機態窒素量及びC/有機態N比の推移を示す。F9画分の分析値については、乾物重を測定していないため、他の画分とは異なり、未分画の堆肥試料1kg当たりの数値として表した。

堆肥AのF9画分の全炭素量は、36日目から86日目にかけて増加した後、時間の経過とともに低下したが、堆肥Bでは、36日目と86日目と同等でもっとも多く、時間が経過するにつれて漸減した。有機態窒素量は、いずれの

堆肥でも36日目から86日目にかけて増加し、その後減少する傾向にあった。また、C/有機態N比は、いずれの堆肥でも36日目にもっとも高く、腐熟の進行とともに低下したが、全般的には堆肥Bより堆肥Aの方が低く推移した。いずれの堆肥でも、148日目以降には4以下の非常に低い値を示した。この水溶性のF9画分は、主に腐植物質及び微生物代謝産物からなると推定される（Aoyama, 1985, 1991）が、Chanyasak and Kubota (1981)は、各種の堆肥の水抽出液のC/有機態N比を測定して、腐熟の進んだ堆肥では5～6程度の値を取ることを報告している。また、Garciaら（1991）も、下水汚泥を主体とする堆肥の水抽出液のC/有機態N比が、完熟状態では5以下の値を取るとしている。本研究でみられた腐熟に伴うC/有機態N比の低下も、これらの知見と一致している。

5) 土壌無機態窒素に及ぼす影響

第8表に、未分画試料を土壌に混和して硫酸アンモニウムを加えてインキュベートした場合の窒素無機化量の変化を示す。なお、ここでいう窒素無機化量とは、インキュベーション後の無機態窒素量からインキュベーション前の無機態窒素量を差し引いた値である。

堆肥Aの場合、148日目の試料では窒素無機化量が負の値を示したが、203日目と344日目には正の値に転じた。窒素無機化量が負の値を示すことは、インキュベーション中に有機化もしくは脱窒が起こったことを意味する（熊田・青山, 1982）が、本研究で用いたようなC/N比が高い有機物を添加した場合には、無機態窒素量の減少は有機化によるものと考えられる。したがって、堆肥Aの場合には、148日目の試料では有機化を引き起こしたが、203日目以降には有機化を引き起こさなくなったと解釈される。これに対して、堆肥Bの場合には、148日目の試料ではかなりの量の無機態窒素が有機化されたものと考えられ、その後しだいに有機化の程度は低下したものと

第7表 堆積に伴うF9画分の含水量、全炭素量、全窒素量及びC/N比の推移

試料	項目	堆積日数					
		36	86	117	148	203	344日
堆肥A	T-C	15.3	21.9	16.7	9.9	6.8	7.9
	有機態N ^{z)}	2.5	4.9	4.1	2.4	2.3	2.3
	C/有機態N	5.9	4.9	4.1	3.9	3.0	3.4
堆肥B	T-C	26.7	27.0	14.1	8.7	5.9	7.2
	有機態N	2.0	4.7	1.8	2.5	1.7	2.2
	C/有機態N	15.1	7.9	7.9	3.7	3.6	3.3

未分画試料1kg（乾物）当たりのCまたはN g. z) (T-N) - 無機態N.

第8表 インキュベーション法による窒素無機化量（未分画試料）

（単位：mgN kg⁻¹乾土）

区	堆積日数		
	148	203	344日
堆肥 A	-5 ± 43 ^{z)} b ^{y)}	30 ± 18 b	41 ± 9 b
堆肥 B	-140 ± 29 a	-56 ± 41 a	-10 ± 30 a

土壌に硫酸と蒸留水のみで培養した場合（対照）の窒素無機化量は、13mgN kg⁻¹ 乾土。z) 堆肥の上部、外周部及び中心部の平均値 ± 標準偏差。y) 同一堆積日数の ab 間は t 検定によ 1 % 水準で有意差あり。

の、344日目においてもわずかに有機化を起こしたと推定される。

青山ら（1982）は、豚ふん・おがくずコンポストの粒径分画の結果と窒素形態変化能とを比較して、木質物を主体とする粗大な画分のC/N比が20以下に低下すると有機化が起こらなくなるとしている。本研究で対象としたリンゴせん定枝堆肥でも、344日目に有機化が認められなかった堆肥Aでは木質物を主体とするF1～F5の粗大な画分のC/N比が20以下になっていたのに対して、344日目にわずかながら有機化を引き起こした堆肥Bではもっとも粗大なF1とF2の画分のC/N比は20以上であったことから、青山ら（1982）の結果を支持する。

第9表に、粗大な画分のみを土壌に混和してインキュベートした場合の窒素無機化量の変化を示す。せん定枝を主体とした粗大な画分のみを土壌と混和してインキュベートした場合には、いずれの堆肥でもかなり無機態窒素を有機化し、344日目になっても堆肥Aはやや有機化を引き起こし、堆肥Bでは有機化は引き起こさなかったものの、無機態窒素の生成量はわずかであった。このように、木質部分だけを取り出した場合には、C/N比が低くなっても未だに有機化を引き起こすことがわかる。有機化の程度は、堆肥Bより堆肥Aで大きい傾向にあったが、これはAではもっとも粗大なF1画分とF2画分を用いているのに対して、堆肥Bではより微細なF4画分とF5画分を用いたためと考えられる。

6) コマツナ幼植物の生育に及ぼす影響

第10表に、ノイバウエルポットを用いたコマツナ幼植物栽培試験の結果を示す。コマツナ幼植物の乾物収量は、1回目の堆肥Aの344日目が対照の堆肥無施用区と同等であった以外は、いずれも無施用区よりやや多かった。しかし、1回目、2回目ともいずれの処理区の間にも統計的な有意差は存在しなかった。このように、堆肥施用によるコマツナの生育阻害は認められなかった。また、344日目で堆肥Aの全窒素量及び灰分含量がBより有意に高かったが、これらのコマツナの生育との関連は認められなかった。さらに、203日目以降フェノール物質含量は一定になったものの、堆肥AよりBで有意に高かったが、コマツナの生育に悪影響を及ぼすほどではなかったと推察される。

コマツナによる窒素吸収量は、1回目、2回目とも堆肥Bの203日目が無施用区よりやや少なかった以外は、いずれも無施用区を上回った。しかし、いずれの処理区間にも、有意差は認められなかった。

跡地土壌の無機態窒素量については、堆肥A、Bともに344日目及び561日目では無施用区との間に有意な差はみられなかったものの、203日目では堆肥Bで無施用区に比べて有意に低かった。このため、栽培期間中に無機態窒素の有機化が起こったと推定されるが、コマツナの生育阻害がみられなかったことから、作物に窒素飢餓を引き起こすほどではなかったことがわかる。今回の栽培試験では、土壌500mLに対して乾物相当で12.5gを施用したが、これは堆肥の水分を考慮すると、1ha当たり湿潤物

第9表 インキュベーション法による窒素無機化量（分画試料²⁾）（単位：mgN kg⁻¹乾土）

区	堆積日数					
	36	86	117	148	203	344日
堆肥 A	-148	-153	-119	-120	-96	-29
堆肥 B	-125	-67	-137	-114	-92	11

対照の窒素無機化量は、40mgN kg⁻¹ 乾土。z) 堆肥Aは粒径4.76mm以上（F1+F2）、堆肥Bは粒径0.21～2.00mm（F4+F5）。

第10表 ノイパウエルポットによるコマツナ幼植物栽培試験

区	コマツナ乾物重 (g) ^{z)}		コマツナによるN吸収量 (mg) ^{y)}		跡地土壌の無機態N (mgN kg ⁻¹ 乾土)
	1 回 目	2 回 目	1 回 目	2 回 目	
堆肥 A (203H) ^{x)}	0.17±0.01 ^{w)}	0.17±0.01	9.6±3.0	12.3±1.9	43.2± 6.7 ab ^{v)}
堆肥 A (344H)	0.15±0.01	0.17±0.04	9.4±1.7	12.8±1.1	60.6± 3.8 bc
堆肥 A (561H)	0.18±0.01	0.19±0.01	10.3±2.7	13.9±0.8	56.1±21.0 ab
堆肥 B (203H)	0.18±0.02	0.18±0.02	8.5±2.2	9.3±2.6	28.7±13.5 a
堆肥 B (344H)	0.17±0.01	0.17±0.02	12.4±1.7	12.8±1.1	54.6± 1.8 ab
堆肥 B (561H)	0.16±0.01	0.16±0.02	11.3±2.0	11.4±1.1	86.5± 4.5 c
無 施 用	0.15±0.06	0.15±0.03	9.1±5.9	10.5±2.4	71.7±11.0 bc

z) 10株当たりの地上部乾物重. y) 1ポット当たりのコマツナ中の窒素含量. x) かつこ内は堆肥の堆積期間を表す.

w) 平均値±標準偏差 (n = 3). v) 異なるアルファベット間はTukeyの多重検定により5%水準で有意差あり.

として84Mg程度となり、実際のは場での施用量としてはかなり高い施用水準となる。したがって、200日程度以上堆積したリンゴせん定枝堆肥は、作物に対して生育阻害を引き起こす危険性は低いと推定される。

7) リンゴせん定枝チップの粒度と腐熟との関係

当初、リンゴせん定枝チップの粒度を細かくすることが腐熟の進行を速めると予想して本研究を開始した。しかし、粒度の細かいチップを用いた堆肥Bは、粒度の粗いチップを用いた堆肥Aと比べて堆積時の温度が低く経過し、粒度が細かい方が腐熟の進行が遅いと考えられた。堆肥化期間中に経時的に得た堆肥試料を粒径分画した結果においても、堆肥Aの方がチップの微細化が速やかに進行するとともに木質物のC/N比の低下が速やかであった。さらに、203日目と344日目のリンゴせん定枝堆肥を土壌と混和してインキュベートした場合には、堆肥Aは有機化を引き起こさなかったのに対して、堆肥Bは344日目においてもわずかながら有機化を引き起こした。こうした点からも、腐熟の進行が堆肥Bより堆肥Aで速かったと推定された。

粒度の細かいリンゴせん定枝堆肥Bの腐熟の進行が遅かった原因については、次のように考えられる。チップAの密度は、踏圧した場合には220kg m⁻³であったが、チップBでは同じ条件で320kg m⁻³であり、Bの方が5割近くも高かった。したがって、堆肥Bでは密度が高かったために通気不足となり、好気性微生物の繁殖が抑制されて腐熟が進まなかったものと推察される。しかし、チップBを踏圧しなかった場合の密度は250kg m⁻³であり、チップAを踏圧した場合とそれほど差がなかった。このことから、細かい粒径分布を持つチップでは、本研究で行った踏圧を加えて積み上げるような堆積方法ではなく、踏圧せずに積み込むか、あるいは積み込みの際は踏圧しても、切り返し後には踏圧しないように堆積すれば、密度がそれほど高くならず、腐熟が早まることも考えられる。

以上のように、リンゴせん定枝の堆肥化において、せん定枝チップの粒度の違いは腐熟の進行に影響を及ぼしたにも関わらず、コマツナを用いた幼植物栽培試験の結果は、いずれの堆肥も203日間の堆肥化で植物生育を阻害しなくなっていることを示した。ただし、前述のインキュベート実験から、堆肥Bは203日目及び344日目においても土壌に施用すると窒素飢餓による生育阻害を引き起こす可能性もあると考えられた。しかし、幼植物栽培試験においては、203日目では堆肥Aのみならず堆肥Bでも窒素飢餓は認められず、跡地土壌にもかなりの無機態窒素が残存していた。これには実験に用いた堆肥の形状の違い、すなわち栽培試験では木粉砕の湿潤試料を用いたのに対してインキュベート実験では凍結乾燥後に粉砕した試料を用いたことも関係していると推定される。リンゴせん定枝堆肥を細かく粉砕した場合には、土壌との接触面積が増大して微生物による攻撃を受け易い状態になっているために、微生物分解に伴う無機態窒素の有機化が起こりやすいと考えられる。

佐藤 (1985) は、木質物を堆肥化した場合、そのほとんどが90~100日間の高温発酵の後、100日間の常温発酵で全く生育阻害がみられなくなったとしている。これは、本研究における203日の堆積期間にほぼ匹敵しており、リンゴせん定枝堆肥についても同様に考えることができると思われる。

3. 小括

リンゴせん定枝を粒度の異なる2種類のチップとし、これらに鶏ふんと石灰窒素を加えて踏圧して堆肥化を行い、粒度が腐熟に及ぼす影響を検討した。得られた結果は、次のとおりである。

- 1) 堆肥の温度は、粒度が細かいチップを用いた場合より粗いチップを用いた方が高く推移した。
- 2) 粒度の細かいチップよりも粒度の粗いチップを用いた方が、チップの微細化が速やかに進行するとともに

チップのC/N比の低下が速やかであった。

3) 203日目と344日目のリンゴせん定枝堆肥を土壌と混和してインキュベートした場合には、粒度の粗いチップを用いた堆肥は有機化を引き起こさなかったのに対して、粒度の細かいチップを用いた堆肥は344日目においてもわずかながら有機化を引き起こした。

4) コマツナを用いた幼植物試験の結果は、粒度の細かいチップを用いた203日目の堆肥の施用により窒素の有機

化がみられたものの、いずれの堆肥も203日間の堆肥化で植物生育を阻害しなくなっていた。

以上の結果から、粒度の細かいリンゴせん定枝チップを用いた場合より、むしろ粒度の粗いチップを用いた方が腐熟の進行が速かったと推定された。しかし、せん定枝チップの粒度に関わりなく、春期に堆肥化を開始して200日程度堆積すれば、植物生育に悪影響を及ぼさない堆肥が製造できることが示された。

Ⅱ 副資材としての鶏ふんと石灰窒素の投入量が腐熟に及ぼす影響

前章においてチップ粒度の異なるリンゴせん定枝を用いて堆肥化に伴う物質変化と腐熟との関係を検討したところ、粒度の粗いチップを用いた方が腐熟の進行が速かったが、せん定枝チップの粒度に関わりなく、200日程度堆積すれば、植物生育に悪影響を及ぼさない堆肥が製造できることが示された。しかしながら、せん定枝のような木質物の場合、炭素含量が高い割に窒素含量が低く、C/N比が高いことから、腐熟を円滑に進めるためには、副資材を混合してC/N比を低下させる必要があるが、堆肥化を順調に進めるにはC/N比調整のための副資材の選択と配合割合を最適化する必要がある。一般に、堆肥化における窒素源の添加量は、少なすぎれば腐熟の進行が遅れるが、逆に多すぎればアンモニアの揮散につながり、悪臭の原因となる。また、過剰な窒素源の投入は経済的にも問題がある。

副資材としては、腐熟に関与する微生物が豊富に含まれる家畜ふんが好適と考えられるが、なかでもパーク堆肥の腐熟促進効果が大きく（今野ら，1985）、国内のパーク堆肥の製造においてもっとも多く使用されている鶏ふん（相崎，1996；河田，1981c）が適すると判断した。しかし、鶏ふんの窒素成分は数%にすぎず、副資材を鶏ふんのみとするとかなりの量が必要となり、悪臭も出やすいことから、青森県のりんご生産指導要項（2004a）ではリンゴせん定枝堆肥の製造時に鶏ふんと石灰窒素を加えるとしており、第2章ではこの処方に基づいて堆肥化を行った。石灰窒素は殺菌力があり、生理的アルカリ性肥料でもあることから副資材としては望ましい性質を持っていると考えられる。

以上のことから、本章では、副資材としての鶏ふんと石灰窒素の量を変えた3種類のリンゴせん定枝堆肥を製造し、堆肥化過程での腐熟の状況から最適な窒素質副資材の添加量を検討した。

1. 材料と方法

1) 試験区の構成

2002年3月から4月上旬にかけてせん定し、野積みしていたりんご試験場内のリンゴせん定枝を2002年5月9日及び10日に、前章で用いたと同じチップAによりチップ化した。これに、副資材として鶏ふんと石灰窒素の組み合わせ、もしくは鶏ふんのみを使用し、添加量を変えた下記の3つの区を設けた。堆積方法は前章と同様に木枠を使用し、踏圧を加えて行った。なお、鶏ふんは発酵鶏ふんを使用した。副資材の添加量は、せん定枝チップの密度を 220kg m^{-3} とし、これに堆積時の堆肥の容積を乗じてせん定枝チップの重量を算出し、添加量をチップ100kg当たりとすると次のとおりである。その際、副資材添加による堆肥の容積増加については大きくはないと考えられることから、便宜上計算に入れなかった。

1区：発酵鶏ふん21.8kg、石灰窒素4.4kg (C/N比：18.7)

2区：発酵鶏ふん10.6kg、石灰窒素4.2kg (C/N比：21.7)

3区：発酵鶏ふん32.5kg (C/N比：25.3)

なお、上記かつこ内に示したC/N比は、チップの含水率を 0.26kg kg^{-1} 、成分は乾物で全窒素量 7.1g kg^{-1} 、全炭素量 479g kg^{-1} 、発酵鶏ふんは現物当たりの成分で全窒素量 40g kg^{-1} 、全炭素量 325g kg^{-1} 、石灰窒素については全炭素量 190g kg^{-1} 、全窒素量 210g kg^{-1} として計算により求めた値である。

堆積した堆肥の温度と容積の変化を、前章と同様の方法により測定した。また、検知管式気体測定器（ガステック GV-100S）により堆肥中のアンモニア、硫化水素及びメチルメルカプタンの濃度を経時的に測定した。測定部位は堆肥の外周部から10cm程度内部とした。切り返しは、3区とも堆肥化開始後39, 74, 104, 144及び346日目の5回行ったが、切り返し後の堆積には、いずれも木枠を使用して踏圧を加えた。各切り返し時ならびに堆積202日目に堆積物の上部と外周部及び中心部から試料を採取し、その一部を凍結乾燥し、含水率を求めた。以下の実験には、この凍結乾燥試料を粉碎したもの、または残

りの湿潤試料を用いた。

2) 化学分析

凍結乾燥した試料の全炭素量と全窒素量をNC-Analyzerにより分析した。また、堆積開始から202日目の凍結乾燥試料について、リン酸、カルシウム、マグネシウム及びカリウム含量を前章と同じ方法で分析した。

3) せん定枝堆肥の粒径による分画

堆積開始後39、104、202及び346日目に堆積物の各部位から採取した湿潤試料について、前章の方法をやや簡略化して粒径別に分画を行った。ただし、前章の方法をやや簡略化した方法を採用した。すなわち、湿潤試料30gを蒸留水に懸濁した後、4.76、1.00、0.053mmの篩を順次通過させ、篩上の残渣をそれぞれビーカーに集めて40℃で通風乾燥後、重量を測定した。これらの画分の表示は、前章との関わりから、粒径の大きい方からF1+2、F3+4及びF5+6とした。さらに、0.053mmの篩を通過した液は室温に一夜静置後、サイホンにより上層液を分離し、沈降物と上層液をそれぞれ通風乾燥して重量を測定した。沈降物の画分をF7、上層液をF8+9とした。各画分の数値については、これらすべての画分の重量を合計した値に対する重量比率(g kg^{-1})として算出した。

4) コマツナ幼植物を用いた栽培試験

堆積202日目の堆肥について、各部位から採取した湿潤試料を等量ずつ混合し、前章と同様にコマツナによる幼植物栽培試験を行った。

5) 統計処理

各区の含水率、化学分析値及び粒径分画による画分ごとの乾物重について、それぞれの堆肥の上部、外周部、中心部から採取した試料を繰り返して一元配置分散分析を行い、有意差($p < 0.05$)のある場合、Tukeyの多重検定により平均値の差を検定した。また、コマツナ幼植物栽培試験では、第2章と同様コマツナ乾物重、窒素吸収量及び跡地土壌の無機態窒素量について、無施用区を含めた4水準間の差を一元配置分散分析及びTukeyの多重検定により検定した。

2. 結果と考察

1) 堆肥化中の温度、容積及びガス濃度の変化

第8図に堆肥化中の温度変化を、中心部と外周部に分けて示す。温度は、測定値を1日ごとに平均した値で示した。なお、1区の105～143日目までについては機器の不調により欠測値となった。すべての区で中心部、外周部とも1回目の切り返し後に最高温度に達したが、それ以降は切り返し後の一時的な上昇があったものの徐々に低下し、160日目頃からは急激に低下した。中心部と外周部では、中心部の温度がやや高い傾向にあり、また外気温の影響により外周部での変動が激しい傾向があった。処理による違いとしては、中心部、外周部とも、3区の

切り返し後の温度上昇が1区及び2区に比べてやや遅れた。また、1区で4回目の切り返し後の温度上昇が一時的に高い傾向があった以外は、総じて処理による違いはあまりみられなかった。

第9図に堆肥化中の容積の変化を示す。堆肥の容積は、すべての区で堆積直後には 3 m^3 近くあったものの徐々に減少し、131日目には半分の 1.5 m^3 以下となった。156日目には処理区間にやや差がみられ、1区が 1.21 m^3 でもっとも大きく、次いで2区が 1.11 m^3 、3区が 1.03 m^3 であった。

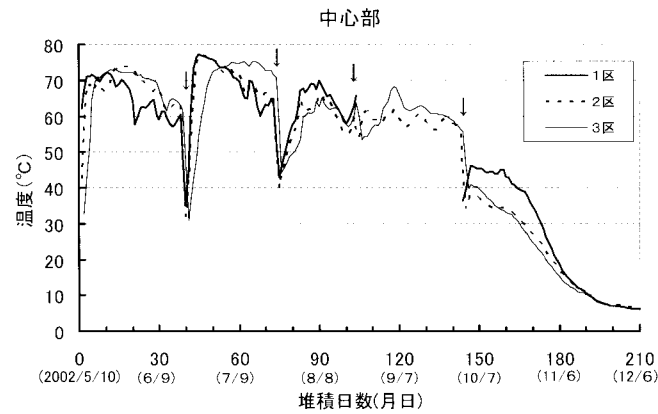
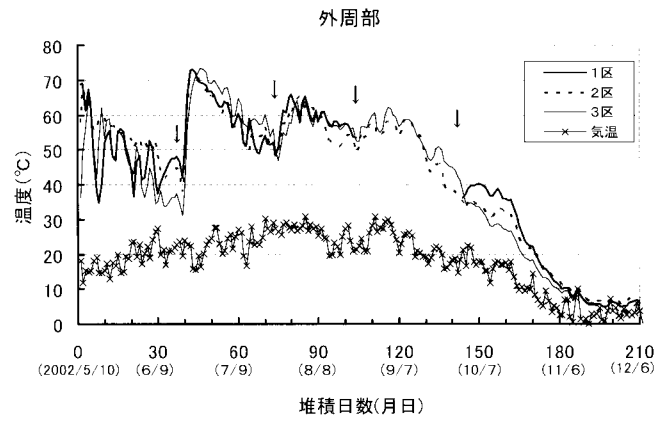
第11表に堆肥のガス濃度の推移を示す。アンモニアは、いずれの区も19日目では検出されなかったが、48日目から112日目にかけてかなりの量が検出された。48日目から76日目にかけては2区における濃度がもっとも高く、次いで1区で高かった。しかし、112日目では1区及び3区で濃度が高く、2区では低くなっていた。このことは、48日目から76日目の堆積初期ではアンモニア揮散に対する寄与が、鶏ふんよりもアルカリ資材である石灰窒素の方が大きいものに対して、112日目には、鶏ふんの寄与が大きくなっているとも考えられる。

家畜ふんを原料とした堆肥の悪臭については、アンモニアの他、硫化水素やメチルメルカプタンなどの硫黄化合物が主要な原因(黒田, 2002)とされるため、これらの濃度も測定した。しかし、硫化水素は76日目に1区と3区で、メチルメルカプタンは同じく76日目に1区で検出されたのみであった。

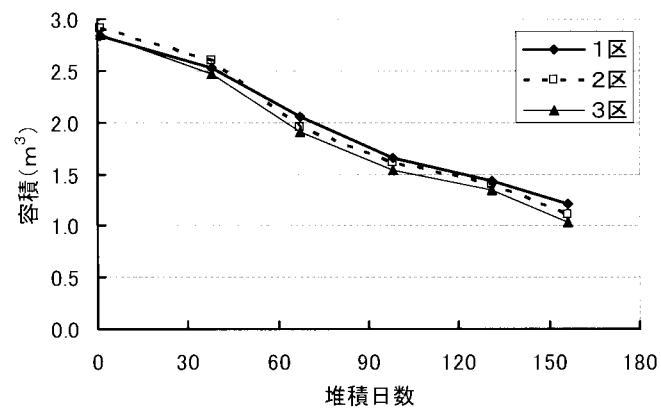
2) 堆肥化中の化学性の変化

第10図に全炭素量、全窒素量及びC/N比の推移を、付表1にはこれらに加えて含水率の推移も示す。堆肥の含水率は、すべての区で39日目に比べて74日目に増加したものの、その後はほとんど変化がみられなかった。また、全期間を通じて2区がわずかに高い傾向はあったが、いずれの時期も有意差は存在しなかった。全炭素量は、すべての区で39日目の時点ではほぼ等しく、次第に減少する傾向がみられた。全窒素量は、39日目ではいずれの区も低い値を示したが、次第に上昇する傾向を示した。C/N比は、各区とも39日目には31前後と高く、採取部位によるばらつきが大きかったが、いずれの区も急激に低下して74日目にはほぼ半減した後、緩慢に低下した。39日目に各区とも全窒素量が低く、C/N比が高かった理由は、1回目の切り返し直前に試料を採取したことから、副資材が十分混合されていない状態であったためと考えられる。

第12表に堆積202日目のせん定枝堆肥の無機成分含量を示す。灰分含量には処理区の間で有意差はなかったが、1区でやや高い傾向があった。リン酸含量は3区が、カルシウム含量は1区及び2区が、マグネシウム含量は3区がそれぞれ有意に高かった。また、カリウム含量は3



第8図 堆積中の温度変化 (矢印は切り返しの時期を表す)



第9図 堆積に伴う堆肥の容積変化

第11表 堆積に伴うガス濃度の推移 (単位: ppm)

区	アンモニア					硫化水素				メチルメルカプタン			
	19 ^{z)}	48	76	112	138H	48	76	112	138H	48	76	112	138H
1区	ND ^{y)}	280	130	90	ND	ND	0.8	ND	ND	ND	11.4	ND	ND
2区	ND	400	210	50	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3区	ND	190	90	85	ND	ND	4.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND

z) 堆積日数. y) ND は検出なし.

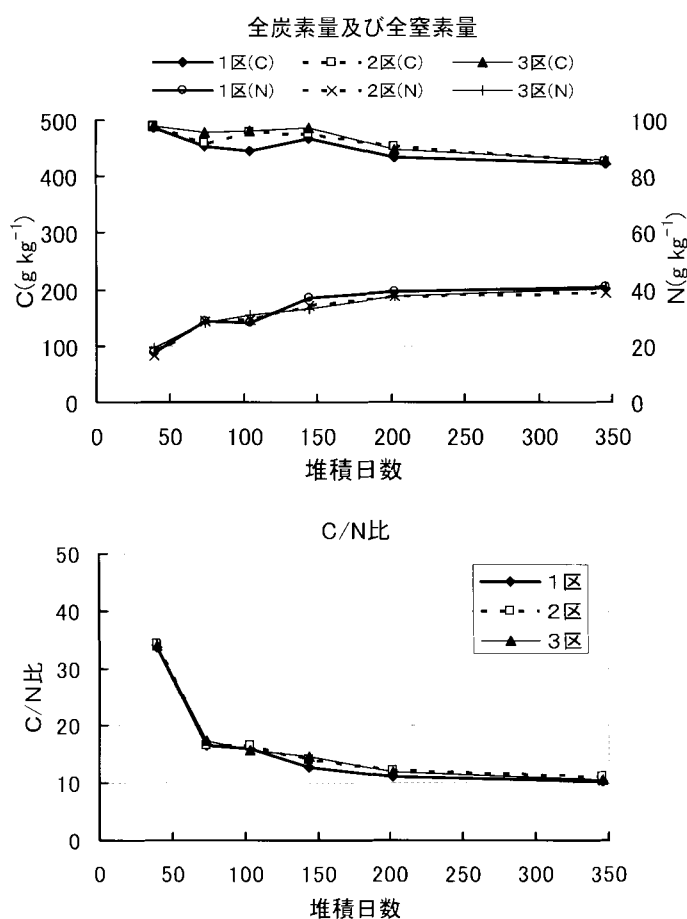
区でやや高かったが、有意差はみられなかった。これらの無機成分含量の差は、発酵鶏ふん及び石灰窒素の投入量の違いが影響したものと考えられる。

3) 粒径分画による画分の乾物重の変化

第11図及び付表2に、各処理区における粒径ごとに分画した画分の乾物重分布の推移を示す。各区とも堆積39日目には、F1+2画分が8割前後を占めていたが、堆積日数の経過とともに202日目までに急激に減少した。一方、これより粒径の細かい画分はいずれも増加し、特にF3+4画分の増加は202日目には39日目の約3倍、F5+6画分は約4～5倍と顕著であった。しかし、202～346日目にかけてはいずれの画分でも、あまり変化はみられな

かった。本章では、前章よりも簡略化した方法を適用したが、リンゴせん定枝堆肥の粒径画分の量的な変化は、前章で得られた結果とほぼ類似していた。また、処理による違いとしては、202日目と346日目に3区のF8+9画分が有意に多いことが認められたが、これ以外には明らかな差はみられなかった。

佐藤(1985)は木質物の堆肥化において粒径分画を行った結果、使用原料や製法により多少異なるものの堆積200日程度で各画分の重量割合がほぼ一定となり、この時期は未熟と完熟の境界と考えられるとしている。本章の結果においても、各区とも堆積202日以降各画分の乾物重の変化は少なく、同様の傾向を示したといえる。



第10図 堆積に伴う全炭素量、全窒素量及びC/N比の推移

第12表 せん定枝堆肥の無機成分含量 (堆積202日目)

区	灰分	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O
1区	260±40 ^{y)}	18.2±2.2 a ^{y)}	77.0±9.7 b	6.7±0.7 ab	17.8±9.8
2区	231±30	12.6±2.2 a	75.6±10.0 b	6.0±0.7 a	14.2±6.6
3区	222±14	26.2±4.3 b	49.7±7.6 a	8.8±1.1 b	20.8±3.5

単位は試料1kg(乾物)当たりのg。z) 堆肥の上部、外周部及び中心部の平均値±標準偏差。
y) 異なるアルファベット間にはTukeyの多重検定により5%水準で有意差あり。

4) コマツナ幼植物の生育に及ぼす影響

第13表にコマツナ幼植物栽培試験の結果を示す。コマツナ幼植物の乾物収量は、2区の1回目に対照の無施用区よりやや低い傾向があった以外は、堆肥施用区がいずれも無施用区よりやや多かった。しかし、1回目、2回目ともいずれの処理区の間にも統計的な有意差は存在しなかった。また、コマツナによる窒素吸収量は、1回目、2回目とも無施用区がもっとも低かったものの有意差はみられなかった。このように、窒素源の添加法の違いはコマツナの生育には影響を及ぼしていないことは明らかである。

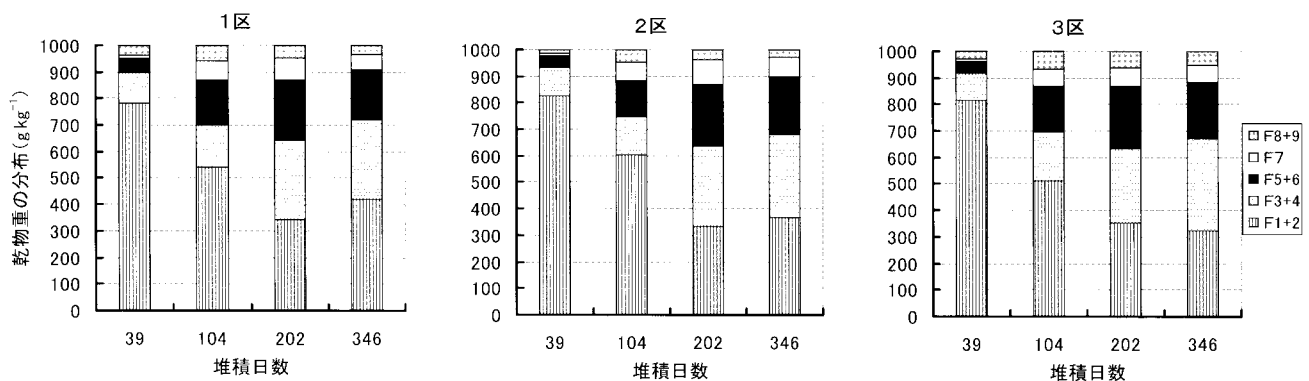
一方、跡地土壌の無機態窒素量についてみると、1区で無施用区より有意に高く、次いで2区、無施用区、3区の順であった。これは、石灰窒素に加えて鶏ふんを多く添加した場合には、堆肥化後期においてより多くの無機態窒素が生成していたためと考えられる。

5) リンゴせん定枝堆肥の製造における窒素源の必要量

本研究では副資材として発酵鶏ふんの添加量をリンゴ

せん定枝チップ100kg当たりほぼ10、20、30kgの3段階に設定し、このうち10及び20kg区については、さらに石灰窒素4kg程度を加えた。しかし、この3つの区の間には、堆積中の温度変化、容積変化、C/N比及び粒径分画による各画分の乾物重の推移、さらには施用によるコマツナ幼植物の生育等に明らかな差異はみられず、腐熟の進行に明らかな違いはないと考えられた。

今野ら(1985)は、針葉樹パークの堆肥化において、窒素源として鶏ふんのみ、尿素のみ及び鶏ふんと尿素を窒素成分で半量ずつの区を設け、500日の堆肥化を行った。その結果、鶏ふんの添加量が多いほど高温発酵が長く続き、尿素のみでは最高でも50℃に達せず、発酵は著しく不十分であったとし、鶏ふんの腐熟促進効果が大きいことを指摘している。しかし、本研究では鶏ふんの添加量をせん定枝チップ100kg当たり30kgから10kgに抑えても、石灰窒素の併用により腐熟の進行にほとんど違いはなかった。本章の結果からは、リンゴせん定枝堆肥製造における副資材投入の基準として、窒素成分の添加量としてはもっとも少ないせん定枝チップ100kg当たり鶏ふ



第11図 堆積に伴う粒径分画された画分の乾物重分布の推移

第13表 ノイバウエルポットによるコマツナ幼植物栽培試験(堆積202日)

区	コマツナ乾物重 (g) ^{z)}		コマツナによるN吸収量 (mg) ^{y)}		跡地土壌の無機態N (mgN kg ⁻¹ 乾土)
	1 回 目	2 回 目	1 回 目	2 回 目	
1 区	0.16±0.04 ^{x)}	0.17±0.03	12.2±2.8	12.4±2.3	111.9±10.6 b ^{w)}
2 区	0.13±0.04	0.17±0.02	10.4±3.0	12.3±1.2	83.0± 8.6 ab
3 区	0.18±0.00	0.16±0.01	13.7±0.1	11.6±0.5	58.5±19.7 a
無施用区	0.15±0.06	0.15±0.03	9.1±5.9	10.5±2.4	71.7±11.0 a

z) 10株当たりの地上部乾物重. y) 1ポット当たりのコマツナ中の窒素含量. x) 平均値±標準偏差 (n = 3).

w) 異なるアルファベット間はTukeyの多重検定により5%水準で有意差あり.

ん30kg程度、あるいは石灰窒素併用により鶏ふん添加量を10kg程度まで落としてもよいと考えられる。

なお、本章で設定した区はいずれも堆積中にアンモニアの発生が多くみられたが、これは加えた窒素源がアンモニアに変化しやすい鶏ふん及び石灰窒素であったことから、アンモニア揮散による窒素の損失が生じたものと考えられる。これらの区の堆積時のC/N比（計算値）は、18.7～25.3の範囲であったが、一般的には、堆肥化に適するC/N比は20～40程度（池田，1987）とされており、むしろ高めに設定した方がアンモニア揮散による窒素の損失が起こらず、また悪臭の低減にもつながる可能性がある。このように、さらに副資材の添加量を減らせる可能性もあることから、次章においては石灰窒素を中心に投入量を減らして検討を行った。

3. 小 括

リンゴせん定枝の堆肥化において、C/N比調整のために投入する副資材として、鶏ふん（発酵鶏ふん）を主体に石灰窒素を組み合わせた場合の影響について、次の3つの区を設定して検討した。

1区：発酵鶏ふん21.8kg、石灰窒素4.4kg (C/N比：18.7)

2区：発酵鶏ふん10.6kg、石灰窒素4.2kg (C/N比：21.7)

3区：発酵鶏ふん32.5kg (C/N比：25.3)

*発酵鶏糞及び石灰窒素の添加量はせん定枝チップ100kg当たり

1) 各区の堆肥化中の容積、温度、C/N比及び粒径分画された画分の変化に明らかな違いはみられなかったが、アンモニア揮散量は48日目と76日目には2区で多く、112日目には1区と3区で多かった。

2) リンゴせん定枝堆肥の無機成分含量は、副資材として投入した発酵鶏ふん及び石灰窒素の投入量の影響を受けた。

3) 堆積202日目の堆肥試料について、コマツナによる幼植物栽培試験を行った結果、いずれの区も生育阻害はみられなかった。

以上の結果から、リンゴせん定枝を堆肥化する際の副資材の添加量については、窒素成分としてもっとも少ない3区の、せん定枝チップ100kgに対して、発酵鶏ふん30kg程度で十分と考えられたが、石灰窒素を組み合わせることにより発酵鶏ふんの添加量を10kg程度まで減らしても同等の効果が得られることが判明した。しかし、堆積初期のアンモニア揮散の存在から、添加窒素量をさらに低減可能であることが示唆された。

Ⅲ 堆積方法及び堆肥の戻し利用が腐熟に及ぼす影響

前章までの検討では、リンゴせん定枝堆肥の製造に際して木枠を使用して踏圧する方法で堆積を行ってきた。この方法は、稲わらのように軽くて嵩張る材料の堆積に適しており、少ない空間で堆積が可能であると同時に、木枠の容積から副資材の投入量がつかみやすい等の利点がある。しかし、第1章での結果から明らかなように、チップの粒径が細かい場合には腐熟が遅れ、さらに単に野積みを行うのに比べて時間と労力を要する欠点もある。

また、堆積時に完熟した堆肥を種堆肥として混合する戻し堆肥あるいは連続堆肥化法が、家畜ふんの堆肥化を中心として行われている（伊吹ら，1999；松崎，1997a）。戻し堆肥の効果については、家畜ふんのような水分の多い材料の水分調節とともに堆肥化を促進する微生物を補給する（藤原，1987，1996）意味もあり、腐熟促進による堆肥化期間の短縮が可能（藤原，1987）とされる。

こうしたことから、本章においては、リンゴせん定枝堆肥の堆積方法として木枠を使用して踏圧する方法に換えて、踏圧を加えずに野積みをする簡便な方法が適用可能であるかどうかを検討するとともに、戻し堆肥の使用

による腐熟促進の可能性について検討した。なお、前章の結果から、窒素源としての副資材の添加量をさらに減らすことが可能であることが示唆されたので、本章では前章よりも窒素源となる副資材の添加量を減らして実験を行った。

1. 材料と方法

2003年4月22～24日に第1章と第2章で用いたチップAによりリンゴせん定枝をチップ化し、堆肥化を開始した。試験区は、下記の3区とした。

1) 試験区の構成

枠堆積区：前章までと同じく、木枠を使用して踏圧しながら堆積した。堆積直後の容積は2.98m³で、副資材投入量は発酵鶏ふんが78.0kg、石灰窒素が15.6kgであった（C/N比：29.6）。

簡易堆積区：枠堆積区と同様、せん定枝チップを約30cmの高さに積み込むごとに発酵鶏ふんと石灰窒素を加え、水の散布を繰り返したが、この際、踏圧は加えなかった。堆積直後の容積は3.53m³で、副資材投入量は

発酵鶏ふんが73.0kg、石灰窒素が14.6kgであった（C/N比：28.9）。

戻し堆肥区：上記と同様に、せん定枝チップを約30cmの高さに積み込み、発酵鶏ふんと石灰窒素を加えて水を散布した上に、3年間堆積を継続した完熟状態のリンゴせん定枝堆肥を30cm程度の厚さに積み重ねた。以上の作業を3回繰り返し、積み上げたが、堆積の際に踏圧は加えなかった。堆積直後の容積は 2.75m^3 で、完熟堆肥の戻し部分が 1.70m^3 、新規の堆積部分が 1.05m^3 となった。副資材の投入量は発酵鶏ふんが36.5kg、石灰窒素が7.3kgであった（新規堆積部分のC/N比：22.8）。

上記かつこ内に示したC/N比は、以下の数値から計算で求めた。せん定枝チップの密度を、第1章と同様コンテナに充填して測定した結果に基づき枠堆積区 300kg m^{-3} 、簡易堆積区 230kg m^{-3} 、戻し堆肥区（新規堆積部分） 250kg m^{-3} とし、上記の堆積直後の容積から、それぞれの区のチップ重量を算出した。その際、副資材添加による堆肥の容積増加については、前章と同様考慮しなかった。また、チップの含水率は 0.345kg kg^{-1} 、成分は乾物で全炭素量 479g kg^{-1} 、全窒素量 7.1g kg^{-1} 、発酵鶏ふんは現物当たりの成分で全炭素量 325g kg^{-1} 、全窒素量 40g kg^{-1} 、石灰窒素については全炭素量 190g kg^{-1} 、全窒素量 210g kg^{-1} として計算した。

前章までと同様に、堆肥化期間中の堆肥中心部と外周部の温度を測定した。また、検知管式気体測定器により、堆肥外周部のアンモニア、硫化水素及びメチルメルカプタンのガス濃度を堆積39、74、105及び134日目に測定した。

切り返しは、いずれの堆肥も堆肥化開始後27、68及び104日目の3回行った。切り返し後の堆積は、堆積開始時と同様、枠堆積区は木枠を使用して踏圧しながら行い、簡易堆積区及び戻し堆肥区は踏圧せずに行った。各切り返し時ならびに堆積204及び358日目に堆積物の上部と外周部及び中心部から試料を採取し、その一部を凍結乾燥して含水率を求めた。以下の実験には、この凍結乾燥試料の粉碎物と湿潤試料を目的に応じて使い分けた。

2) 化学分析

堆積物の各部位から経時的に採取した湿潤試料について、乾物と水の重量比が1：10となるよう蒸留水を加え、pHをガラス電極法、電気伝導度（EC）を電気伝導度計により測定した。さらに、凍結乾燥試料について、NC-Analyzerにより全炭素量と全窒素量を分析した。

3) せん定枝堆肥の粒径による分画

堆積開始後204及び358日目に堆積物の各部位から採取した湿潤試料30gについて、前章と同じ方法で粒径分画

を行って F1+2、F3+4、F5+6、F7及びF8+9の5画分に分け、乾物重を測定した。そのうち358日目の試料について、NC-Analyzerにより全炭素量と全窒素量を分析した。

4) コマツナ幼植物を用いた栽培試験

堆積68及び204日目の堆肥について、上部、外周部及び中心部から採取した湿潤試料を等量ずつ混合し、前章までと同様にコマツナによる幼植物栽培試験を行った。なお、コマツナの播種は、水溶性播種シート（富士平工業水溶性たねピタ）を使用して行った。コマツナは、播種21日目に地上部を収穫して生体重を求めた。

5) 統計処理

各区の含水率及び化学分析値について、前章と同様一元配置分散分析及びTukeyの多重検定により平均値の差を検定した。また、粒径分画による乾物重については、堆積区と堆積日数を因子とし、試料採取部位（上部、外周部及び中心部）を繰り返しとする二元配置分散分析により検定した。コマツナ幼植物栽培試験では、コマツナ生体重について、一元配置分散分析及びTukeyの多重検定により処理間差を検定した。

2. 結果と考察

1) 堆肥化中の温度変化

第12図に堆肥化中の温度変化を示す。温度は、測定値を1日ごとに平均した値で示した。なお、枠堆積区の堆積70～79日目、戻し堆肥区の144～205日目及び枠堆積区と簡易堆積区の205日目を以降のデータは、機器の不調により欠測値となった。堆肥の温度は、枠堆積区と簡易堆積区が戻し堆肥区に比べて中心部、外周部とも高い値で推移した。これらの差は特に中心部で顕著であり、枠堆積区と簡易堆積区はともに最高温度が 80°C 近くに達したが、戻し堆肥区では 50°C にも達しなかった。枠堆積区と簡易堆積区の差は小さかったが、枠堆積区で2回目の切り返しまで温度の変動が大きい傾向にあり、また、簡易堆積区で2回目の切り返し以降、中心部の温度がやや高い傾向にあった。温度上昇を指標とすると、腐熟の進行は、枠堆積区と簡易堆積区ではあまり差がないと推定される。しかし、戻し堆肥については発酵による熱エネルギーの発生が少ない（羽賀，1997）ことも指摘されているため、温度から腐熟を判断することは難しいと考えられる。

ガス濃度については、測定期間中、アンモニア、硫化水素及びメチルメルカプタンのいずれについても、検知管の測定限界（アンモニア2.5ppm、硫化水素1.0ppm、メチルメルカプタン1.25ppm）を下回り、検出できなかった。今回、ガスが検出されなかった理由としては、前章の実験よりも副資材の添加量を減らしたことが挙げられるが、冷夏で例年になく夏期の気温が低く堆肥外周部の

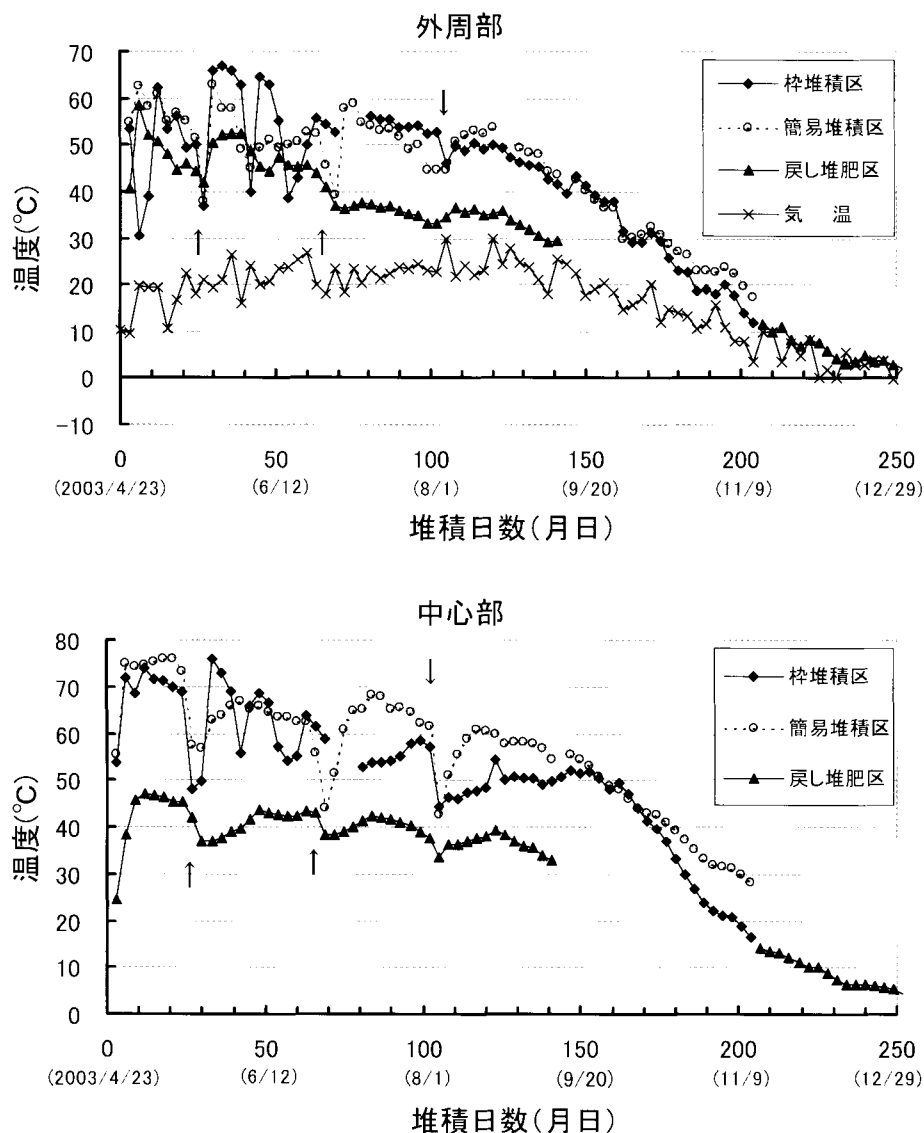
温度も比較的低く推移した影響も考えられる。

2) 堆肥化中の化学性の変化

第13図に堆積に伴うpHとECの変化を示す。堆肥のpHは各区とも8を超える値で推移し、明らかな違いはみられなかった。ECについては、各区とも104日目から204日目にかけて上昇したが、その後の変化は小さく、358日目には簡易堆積区がやや上昇した以外は204日目とほぼ同等の値であった。区による違いとしては、枡堆積区と戻し堆肥区が簡易堆積区に比べて同等で常に高い傾向があったが、有意差は認められなかった。堆肥の戻し利用の問題点として、塩類濃度が高まりやすい(伊吹ら, 1999)ことが指摘されているが、本研究では戻し堆肥区のECが特に高いとはいえなかった。しかし、戻し利用を繰り返

すことにより塩類濃度が上昇する可能性はあると考えられる。

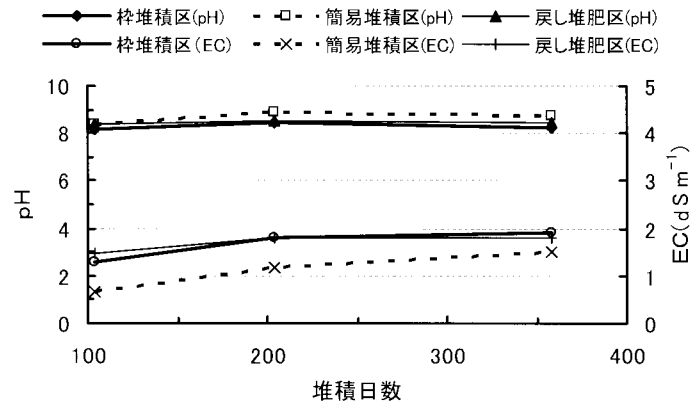
第14図に全炭素量、全窒素量及びC/N比の変化を、付表3にはこれらに加えて含水率の推移についても示す。各区とも、含水率は104日目までやや増加したが、その後はほぼ一定で推移した。全炭素量は、すべての区で堆積日数の経過とともに徐々に減少したが、枡堆積区と簡易堆積区では同等の値で推移した。これに対して、戻し堆肥区ではこれらの区に比べて常に低く、104日目以降は有意差もみられた。全窒素量は、27日目の時点では戻し堆肥区でもっとも高く、枡堆積区と簡易堆積区で低かった。その後、枡堆積区と簡易堆積区は堆積日数の経過とともに上昇したが、戻し堆肥区はやや低下した後上



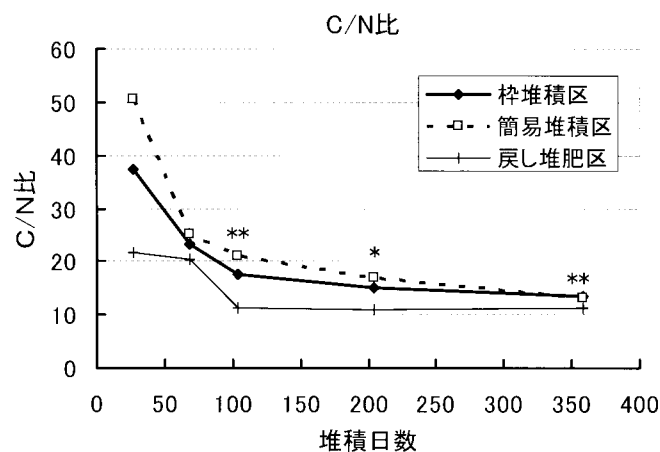
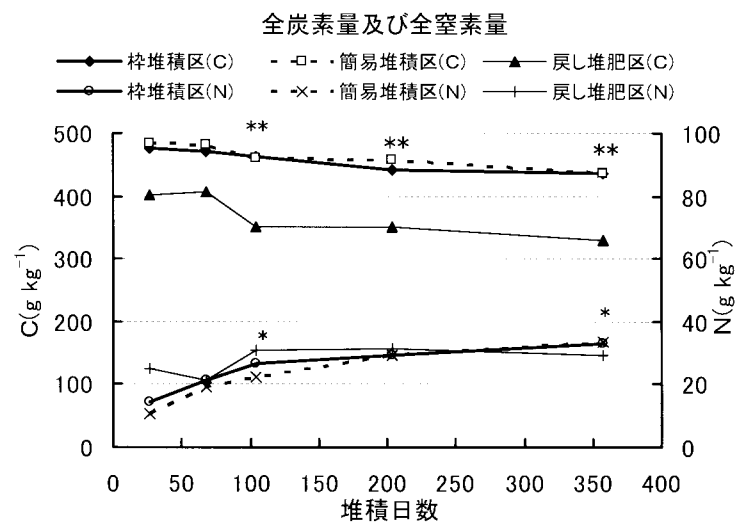
第12図 堆積中の温度変化
矢印は切り返しの時期を表す

昇し、104日目以降は平衡状態となった。C/N比は、27日目においては、枠堆積区が37.3、簡易堆積区が50.6、戻し堆肥区21.7と区間にかかなりの差があったにも関わらず、試料間のばらつきが大きかったことから有意差はみられなかった。これは切り返し直前に堆肥試料を採取したことから、せん定枝チップと副資材が十分混合されていない

かったためと考えられる。68日目には、枠堆積区、簡易堆積区のいずれも25前後まで急激に低下し、その後は緩やかに低下した。一方、戻し堆肥区では、104日目まで低下した後、平衡状態となった。また、戻し堆肥区に比べて枠堆積区と簡易堆積区で常に高い傾向があり、104日目と204日目は簡易堆積区で有意に高く、358日目は簡易堆



第13図 堆積に伴うpH及びECの推移



第14図 堆積に伴う全炭素、全窒素及びC/N比の推移
分散分析により、*は5%水準、**は1%水準で有意差あり

積区に加えて柾堆積区でも有意に高かった。

3) 粒径分画による画分の性状の変化

第15図及び付表4に堆積204日目と358日目の各画分の乾物重の分布を示す。画分ごとの乾物重は、F1+2、F5+6及びF7画分において区による有意差がみられ、柾堆積区と簡易堆積区では戻し堆肥区に比べてF1+2画分が多く、F5+6及びF7画分は逆に少ない傾向があった。堆積204日目と358日目を比較すると、358日目の方がF5+6画分が有意に少ない以外明らかな違いはなかった。このように、画分ごとの乾物重は柾堆積区、簡易堆積区と戻し堆肥区の間で違いが大きく、柾堆積区と簡易堆積区の違いは小さかった。堆積204日目と358日目の間では、F5+6画分で違いがみられたが、前章と同様に、堆積200日目を以降の各画分の乾物重の変化は少なかった。

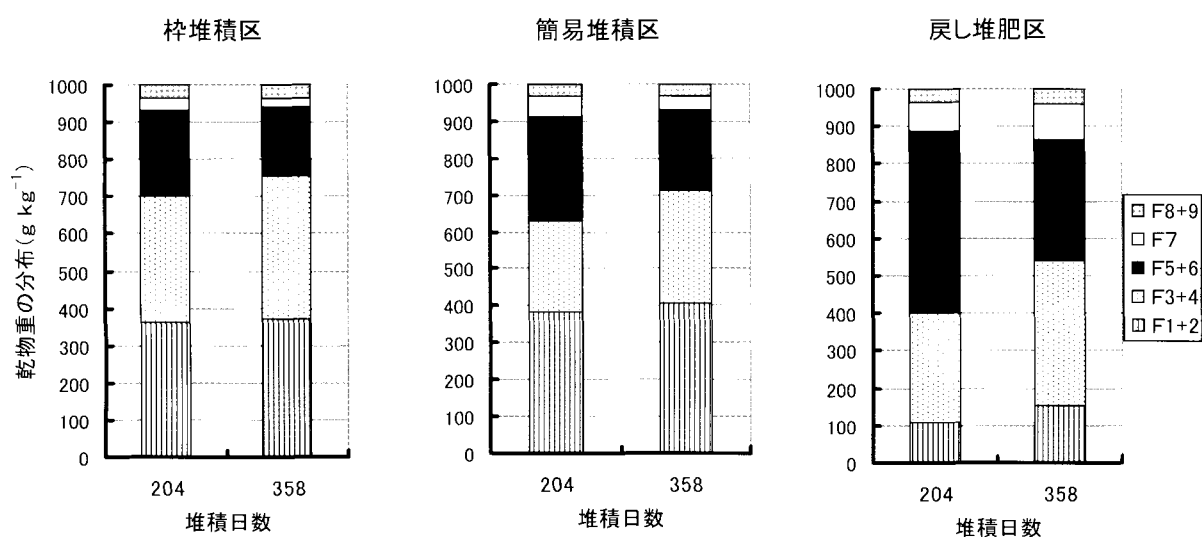
第16図及び付表5に358日目の画分ごとの全炭素量、全窒素量及びC/N比を示す。全炭素量は、各区とも粒径が細くなるにつれて低くなる傾向があった。また、戻し堆肥区では、他の2つの区と比較してF3+4、F5+6及びF7画分の全炭素量が有意に低かったが、柾堆積区と簡易堆積区の間にはF5+6画分を除いて明らかな違いはなかった。全窒素量についてみると、柾堆積区と簡易堆積区で

は、F7画分までは粒径が細くなるにつれて高くなったが、F8+9画分では低下した。一方、戻し堆肥区では、F8+9画分の全窒素量が全画分中でもっとも高かった。戻し堆肥区的全窒素量は、他の区に比べてF3+4、F5+6及びF7画分で有意に低く、F8+9画分では有意に高かった。C/N比は、すべての区で粒径が細くなるにつれて低下する傾向があった。戻し堆肥区のC/N比はF7画分で有意に高かったが、他の区との差は小さく、F8+9画分では有意に低かった。

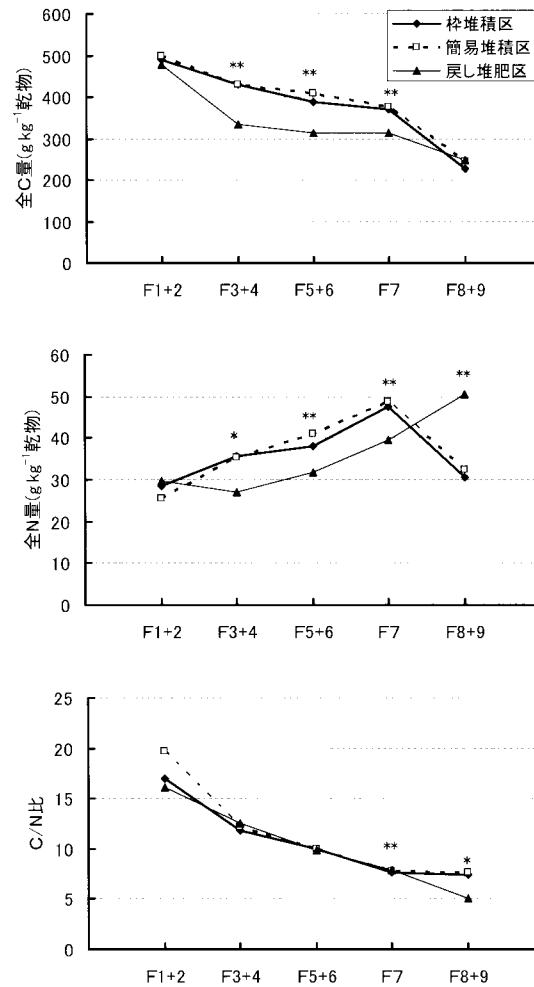
このように、画分ごとの乾物重、全炭素量、全窒素量及びC/N比は、戻し堆肥区と他の2区との間に明らかな違いがみられたが、柾堆積区と簡易堆積区の間違いは小さかった。なお、第2章で検討した堆肥AとBのF8画分の全炭素量は、F6及びF7の画分より多く、全窒素量はF8画分でもっとも多い傾向にあったのに対して、本章ではすべての区でF8+9画分の全炭素量が低く、全窒素量も簡易堆積と柾堆積の画区で低かった。これは、副資材の添加量を少なくしたためと推定される。

4) コマツナ幼植物の生育に及ぼす影響

第14表にコマツナ幼植物栽培試験の結果を示した。コマツナ幼植物の生体重には有意差がみられ、無施用区で



第15図 粒径分画された画分の乾物重分布の変化 (堆積204及び358日目)



第16図 粒径分画された画分の全炭素量、全窒素量及びC/N比（堆積358日目）
分散分析により、*は5%水準、**は1%水準で有意差あり。

もっとも少なく、戻し堆肥区の204日目でもっとも多かった。無施用区と有意差がみられたのは、杵堆積区68日目、杵堆積区204日目、戻し堆肥区68日目及び戻し堆肥区204日目であった。簡易堆積区については、68日目、204日目とも無施用区よりやや生体重が多かったが、有意差はみられなかった。

このように、杵堆積区と戻し堆肥区の生育は68日目でも無施用区より良好であった。しかし、第1章及び第2章では、杵堆積により200日程度、さらには1年堆積した堆肥を施用しても無施用区との間に有意差はみられなかったため、今回の結果から堆積期間が200日にみたなくても使用できるかどうかについてはなお検討が必要である。また、戻し堆肥については、堆積68日目の施用で杵堆積の204日目と同等の生育であり、全体として腐熟が進んでいる傾向を反映した結果と考えられる。このことから、さらに検討を重ねる必要はあるが、戻し堆肥により通常必要な堆積期間と考えられる200日を、少なくとも半分の100日程度までは短縮できるのではないと思われる。

第14表 コマツナ幼植物の生育に及ぼす影響

区	コマツナ生体重 (g) ^{z)}
杵堆積区(68日) ^{y)}	2.9 ± 0.1 ^{x)} bcd ^{w)}
杵堆積区(204日)	3.3 ± 0.3 de
簡易堆積区(68日)	2.5 ± 0.2 abc
簡易堆積区(204日)	2.4 ± 0.3 ab
戻し堆肥区(68日)	3.3 ± 0.2 de
戻し堆肥区(204日)	3.6 ± 0.1 e
無施用区	2.3 ± 0.1 a

z) 10株当たりの地上部生体重。y) かつこ内は堆肥の堆積期間を表す。x) 平均値 ± 標準偏差 (n = 3)。w) 異なるアルファベット間にはTukeyの多重検定により5%水準で有意差あり。

5) リンゴせん定枝堆肥の堆積法の比較

本研究では、リンゴせん定枝を堆肥化する際の堆積法として、前章まで採用してきた木杵を使用して踏圧しながらの堆積（杵堆積区）、堆積時に木杵を使用せず踏圧

も加えない堆積（簡易堆積区）及び完熟状態の堆肥を混合した堆積（戻し堆肥区）を比較した。

杵堆積区と簡易堆積区とを比較した場合、堆肥の化学性、全炭素量、全窒素量及びC/N比の変化に大きな差は認められなかった。また、堆肥を粒径分画した場合の画分の乾物重、全炭素量、全窒素量及びC/N比も杵堆積区と簡易堆積区との間に大きな相違は認められず、二種類の堆積方法は堆肥化過程における物質変化にそれほど大きな影響を及ぼさないことが明らかであった。ただし、コマツナ幼植物の生育は、204日目の堆肥を用いた場合には、簡易堆積区より杵堆積区の方が良好であった。物質変化過程に大きな違いがみられなかったにも関わらずコマツナの生育に差が現れた原因は不明であるが、簡易堆積区の堆肥でも生育阻害は認められなかったことから、労力の軽減という利点も考慮すれば、農家レベルでのリンゴせん定枝堆肥の製造には簡易堆積法も十分利用可能であると思われる。また、簡易堆積は杵堆積に比べて堆積物の密度が高まらないことから、細かい剪定枝チップの堆肥化にも適した堆積方法と考えられる。

一方、戻し堆肥を利用した場合には、杵堆積区及び簡易堆積区と比べて温度上昇は小さかったが、C/N比は低く推移した。また、粒径分画した場合には、杵堆積区、簡易堆積区よりも粗粒画分が少なく、微細画分が多かった。これらのことは、戻し堆肥により堆肥化過程における腐熟の進行が速まるというよりは、加えられた完熟堆肥の画分の影響であるとも考えられる。戻し堆肥区のコマツナ幼植物の生育は、堆積68日目のものでも堆肥無施用及び簡易堆積区の堆積204日目を上回り、杵堆積区の204日目と同等であった。このことから、戻し堆肥により堆肥化期間の短縮を図ることが可能であると推察される。

なお、本研究では、前章までの実験よりも窒素源となる副資材の添加量を削減して行った。本研究の堆肥化で利用したせん定枝チップの密度は踏圧した場合で 300kg m^{-3} 程度と考えられることから、杵堆積区のせん定枝チップ 100kg 当たりの副資材投入量としては、発酵鶏ふん 8.7kg 及び石灰窒素 1.7kg と見積もられた。また、簡易堆積区の場合は、せん定枝チップの密度を 230kg m^{-3} とすれば、せん定枝チップ 100kg 当たり発酵鶏ふん 9.0kg 及び石灰窒素 1.8kg の投入となる。ただし、本研究で用いたせん定枝チップの含水率は 0.35kg kg^{-1} と第2章及び第3章で利用したせん定枝チップの $0.25\sim 0.26\text{kg kg}^{-1}$ と比べて高い。このような乾物率の違いを考慮すると、堆肥化に必要な副資材の添加量は、せん定枝チップ 100kg 当たり発酵鶏ふん 10kg と石灰窒素 2kg 程度は必要となる。本研究でも、前章までの結果と同様に、200日程度堆積すれば植物生育に悪影響を及ぼさない堆肥が製造できたことから、せん定枝チップ 100kg 当たり発酵鶏ふん 10kg と石灰窒素 2kg

の添加により、十分リンゴせん定枝堆肥の製造が可能であると判断される。本研究では鶏ふんについては発酵鶏ふんを使用したが、パーク堆肥の製造においては乾燥鶏ふんが多く用いられている（河田, 1981c）ことから、乾燥鶏ふんの使用でも問題ないものと考ええる。ただし、生鶏ふんの場合は含水率にかなり違いがあるため、水分を考慮して投入量を決める必要がある。

3. 小括

リンゴせん定枝を堆肥化する際、踏圧を加えずに単に野積みを行う方法について、木杵を使用して踏圧する方法と腐熟に及ぼす影響等について比較した。さらに完熟した堆肥と混ぜて堆積する戻し堆肥により、腐熟を早めることが可能かどうかについても検討した。用いた処理区は次のとおりである。なお、堆肥化にはいずれも粗い粒径分布を持つせん定枝チップを使用した。

杵堆積区：従来のように、木杵を使用して踏圧しながら堆積した。

簡易堆積区：堆積時に木杵を使用しないで、踏圧を加えずに堆積した。

戻し堆肥区：3年間堆積を継続した完熟状態のリンゴせん定枝堆肥を戻し利用して堆積を行った。堆積方法については簡易堆積とし、堆積の際、踏圧は加えなかった。

1) 堆肥化中の温度は、杵堆積区及び簡易堆積区が戻し堆肥区に比べて高く推移した。

2) 堆肥のC/N比は、杵堆積区と簡易堆積区が堆積日数の経過とともに減少したのに対し、戻し堆肥区は104日目までは減少したが、それ以後横ばいとなった。また、戻し堆肥区に比べて杵堆積区と簡易堆積区のC/N比が常に高かった。

3) 堆肥を粒径分画した画分ごとの乾物重、全炭素量、全窒素量及びC/N比は、戻し堆肥区と他の2区との間に明らかな違いがみられたが、杵堆積区と簡易堆積区の違いは小さかった。

4) コマツナによる幼植物試験の結果、いずれの堆肥についても生育阻害はみられなかったが、コマツナの生育は、戻し堆肥区の施用でもっとも良く、次いで杵堆積区、簡易堆積区の順であった。

以上の結果、粒度の粗いチップを堆肥化する際、木杵を使用して踏圧する場合と単に野積みする場合とでは、堆肥の温度、C/N比及び粒径分画された画分の変化等には明らかな違いはなかった。幼植物試験におけるコマツナの生育は杵堆積区でやや上回ったものの、簡易堆積による場合でも生育阻害はみられないことから、どちらの方法によっても問題ないと考えられた。また、堆積の際に完熟堆肥を戻し利用することにより、施用可能になるまでの堆積期間を半減程度まで短縮できると考えられ

た。

堆肥化に際してのせん定枝チップ100kg当たりの副資材投入量としては、前章で明らかとなった発酵鶏ふん30kg

の他、発酵鶏ふん10kgに加えて石灰窒素2kg程度が適当な量と考えられる。

Ⅳ リンゴせん定枝堆肥の施用が1年生マルバカイドウ (*Malus prunifolia*) の紫紋羽病 (*Helicobasidium mompa*) 発病に及ぼす影響

河田 (1981d) は新鮮なパークやおがくず、あるいは未熟堆肥の施用は、紋羽病を助長する危険性があるが、完熟した堆肥の場合はすでにこれらの菌の栄養源は消失しているため危険性はないと指摘している。リンゴせん定枝堆肥についても未熟状態の場合、白及び紫両紋羽病の発生源となる可能性があるが、腐熟が進み完熟に近い場合は危険性は低いと考えられる。しかし、せん定枝のような木質物の堆肥化では、第1章で明らかなように、全体的には完熟状態と見なされる場合でも粗大な木質部分は未熟であり、完熟した部分と未熟部分が混在していると考えられる。このため、せん定枝堆肥をリンゴ園で安全に使用するためには、堆肥の腐熟程度と紋羽病の発病との関係について、明らかにしておく必要がある。

荒木 (1967) は、白及び紫紋羽病と栄養源としての有機物との関係について、ナシやクリの枝などの未熟な粗大有機物の投入は両紋羽病の発病を助長すること、堆肥の施用はサツマイモで紫紋羽病の発病を促進したこと、白紋羽病菌はセルロースを栄養源として利用するため、稲わらや堆肥の施用で一時的に菌の生育が促進されるものの、発病を助長するまでには至らないことなどを指摘している。また、白紋羽病は木本に由来する粗大有機物が形骸を残す期間だけこれを栄養源として利用できるのに対し、紫紋羽病の場合は木本及び草本に由来する植物遺体が形骸を失った後利用するとされる。このことは、白紋羽病に比べて、紫紋羽病の方がより分解の進んだ堆肥等の有機物でも利用できる可能性を示している。このため、ここでは紫紋羽病を取り上げ、リンゴせん定枝堆肥の施用による発病への影響について、雪田ら (2002) の1年生のマルバカイドウを利用した接種法に準じて検討した。

雪田らの接種法は、小型の素焼き鉢に植え付けた1年生のリンゴ台木マルバカイドウにリンゴ切り枝片で培養した紫紋羽病菌を接種することにより短期間で発病を促し、枯死させるものである。この方法で、鉢に充填する培養土にリンゴせん定枝堆肥を混和した場合に対し培養土のみの場合を対照とし、発病枯死に至る期間を比較することによりせん定枝堆肥施用の紫紋羽病への影響を判定した。

1. 材料と方法

1) 接種条件 (用土及び堆肥の混合割合) の検討

接種試験に適する用土及びリンゴせん定枝堆肥の混合割合について、以下のように検討した。

4mmの篩を通した用土に下記の未熟な湿潤状態のせん定枝堆肥を混合し、6号の素焼き鉢に詰めて1年生のマルバカイドウを植え付け、地上部10cm前後の高さで切り戻した。その際、根元に紫紋羽病菌を培養したリンゴ切り枝片10gを接種した。用土及び堆肥の混合割合については、それぞれ下記の2種類及び2段階とした。植え付け後は室温で管理し、灌水は用土の表面が乾燥した時点で適宜行った。供試数は、各区4~6樹とした。なお、供試堆肥の腐熟状態については、堆肥化開始当初及び切り返し後の高温の持続期間が短く、外観、臭気等からも未熟と判断された。

接種後の紫紋羽病発病と症状の進展の速さについて、堆肥を施用しない場合を対照として比較した。紫紋羽病の発病は、マルバカイドウの地上部に現れた萎凋状態で判断し、発病率及び発病程度を0~3までで表した発病度の2つで示した。

用土：黒ボク土 (りんご試験場黒石ほ場から採取、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ 、5.33; 全炭素量*, 80.1g kg^{-1} ; 全窒素量*, 5.6g kg^{-1} ; C/N比、14.3; *乾土当たり)

埴質沖積土壌 (第1章に記載のりんご試験場藤崎ほ場から採取したもの)

堆肥の混合割合：土と堆肥の割合が容積比で5対1及び10対1

供試堆肥：第1章で用いたチップB2.3kgに発酵鶏ふん230gと石灰窒素92gを混和し、小型堆肥化装置 (富士平工業製かぐやひめ) により約2か月間堆肥化した未熟なリンゴせん定枝堆肥。

接種源：紫紋羽病菌 (HM-9814菌株) をリンゴ一年枝の切り枝片で継代培養したもの。

2) 堆積期間の異なるリンゴせん定枝堆肥の施用が紫紋羽病の発病に及ぼす影響

試験は2回行ったため、それぞれ試験1、2とする。試験1は、第1章で堆肥化した堆肥A、Bの堆積203日、344日及び561日目の試料について、上記のようにポット

での接種試験を行った。なお、堆肥試料は冷凍保存していたものを、試験開始直前に室温で解凍して使用した。その際、用土は上記の黒ボク土を使用し、堆肥の混合割合は容積比で土5に対して1とした。供試樹は、各区3～6樹とした。

さらに、試験2は堆肥A、Bの堆積148日、203日及び344日目の試料について試験1と同様に行ったが、用土は購入した黒ボク土(pH(H₂O), 5.62; 全炭素量*, 67.8g kg⁻¹; 全窒素量*, 4.3g kg⁻¹; C/N比, 15.8; *乾土当たり)で用土と堆肥の混合割合は10:1とした。なお、試験2では、紫紋羽病発病に伴う萎凋症状に先立ち葉の黄変と落葉が広範にみられたため、これを初期の発病段階として判定した。接種後91日目には苗木を掘り上げ、根部への紫紋羽病菌糸束の進展及び根の腐敗状態を調査し、最終的な感染程度を判定した。

いずれの試験についても、堆肥を施用せずに紫紋羽病菌の接種を行った場合を対照区とした。

2. 結果と考察

1) 接種条件(用土及び堆肥の混合割合)の検討

第15表に、接種試験での用土の種類及びせん定枝堆肥の混合割合が、紫紋羽病の発病に及ぼす影響について示す。紫紋羽病の発病率の進展は、黒ボク土(5:1)区でもっとも早く、接種後36日目にはすでにすべての樹で発病による萎凋症状がみられたのに対し、同じ黒ボク土の黒ボク土(10:1)区では50%、黒ボク土のみの対照区では33%と低かった。その後、黒ボク土(10:1)区は46日目に100%の発病に達したが、黒ボク土(対照)区では61日目まで33%の発病率で推移した。これに対して沖積土では、沖積土(10:1)区で黒ボク土(10:1)区とはほぼ同等であったが、5:1及び対照区では41～46日目までは黒ボク土の同じ区に比べて発病がやや遅れる傾向があった。発病の程度を現す発病度の進展の早さ

も、黒ボク土、沖積土とも5:1区、10:1区、対照区の順で、黒ボク土と沖積土では、10:1区を除いて黒ボク土の方が46日目までやや早い傾向があった。61日目における枯死樹数としては、黒ボク土(5:1)区が6樹中2樹であるのに対し、黒ボク土(10:1)区では枯死樹がなく、黒ボク土(対照)区は1樹のみ。沖積土では、5:1区の5樹中3樹に対して、10:1区、対照区とも枯死樹はみられなかった。

以上の結果を総合すると、接種試験での紫紋羽病の進展は、用土として沖積土より黒ボク土を使用した方が、土と堆肥の混合割合としては、10対1より5対1の方がやや早かった。しかし、接種試験の用土としては黒ボク土と沖積土、混合比も5対1と10対1のどちらの条件でも大差ないものと考えられた。また、いずれの場合も未熟なせん定枝堆肥の混合により、対照に比べて紫紋羽病の発病及び進展が早い傾向があったことから、このような方法により腐熟程度の異なるせん定枝堆肥の紫紋羽病発病への影響を評価できるものと判断し、以下の試験を行った。

2) 堆積期間の異なるリンゴせん定枝堆肥の施用が紫紋羽病の発病に及ぼす影響

第16表に、堆肥AとBの堆積203、344及び561日目の試料をそれぞれ施用した場合の紫紋羽病発病への影響について示す。堆肥Aの各施用区では、接種35日目から紫紋羽病の発病症状がみられたのに対し、対照区では40日目から認められたが、その後の発病率増加には明らかな違いはみられなかった。また、発病度の進展についても、堆肥Aの各区と対照区の差は明らかでなかった。しかし、最終的な枯死樹の割合は、堆肥A(203日)区が5樹中4樹、対照区が6樹中4樹で、堆肥A(344日)及び堆肥A(561日)区の50%をやや上回った。

堆肥Bについては、各区とも対照区及び堆肥Aの各区に比べて発病率の増加が遅かった。また、堆肥Bの中で

第15表 用土の種類及び堆肥の混合割合が紫紋羽病の発病に及ぼす影響

区\接種後日数		36	41	46	51	56	61日	枯死樹数/供試樹数 ^{z)}
黒ボク土(5:1) ^{y)}	発病率	100	100	100	100	100	100	2/6
	発病度 ^{x)}	1.8	1.8	2.0	2.3	2.3	2.3	
黒ボク土(10:1)	発病率	50	83	100	100	100	100	0/6
	発病度	0.5	0.8	1.0	1.5	2.0	2.0	
黒ボク土(対照)	発病率	33	33	33	33	33	33	1/6
	発病度	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	
沖積土(5:1)	発病率	80	80	100	100	100	100	3/5
	発病度	1.2	1.2	1.8	2.4	2.6	2.6	
沖積土(10:1)	発病率	50	100	100	100	100	100	0/6
	発病度	0.5	1.3	1.3	2.0	2.0	2.0	
沖積土(対照)	発病率	0	0	0	50	50	50	0/4
	発病度	0	0	0	0.5	0.8	0.8	

z) 接種後61日目における枯死樹数と供試樹数 y) 5:1及び10:1は用土と堆肥の混合割合(容積比)、対照は堆肥無施用で用土のみ。 x) 外見による観察から発病程度を次のように分け、下記の式によりこれを指数化した。 0:健全、1:軽い萎凋状態、2:明らかな萎凋状態、3:枯死状態、発病度=Σ(発病程度×該当樹数)÷供試樹数

第16表 堆積期間の異なるリンゴせん定枝堆肥の施用が発病に及ぼす影響（試験1）

区\接種後日数		3 0	3 5	4 0	4 5	5 1	5 5	6 0	6 5	70日	枯死樹数/供試樹数 ^{z)}
堆肥 A (203日)	発病率	0	20	20	60	80	100	100	100	100	4/5
	発病度 ^{y)}	0	0.2	0.4	1.0	1.4	1.8	2.2	2.8	2.8	
堆肥 A (344日)	発病率	0	17	50	83	83	83	100	100	100	3/6
	発病度	0	0.2	0.7	1.3	1.5	1.7	2.3	2.3	2.3	
堆肥 A (561日)	発病率	0	25	50	75	75	75	75	100	100	2/4
	発病度	0	0.5	1.0	1.3	1.3	1.5	1.8	2.3	2.3	
堆肥 B (203日)	発病率	0	0	17	33	67	67	67	83	100	4/6
	発病度	0	0	0.2	0.5	1.2	1.3	2.0	2.2	2.3	
堆肥 B (344日)	発病率	0	0	0	17	50	50	50	100	100	2/6
	発病度	0	0	0	0.3	0.8	0.8	0.8	1.8	1.8	
堆肥 B (561日)	発病率	0	0	0	0	33	33	67	67	100	0/3
	発病度	0	0	0	0	0.3	0.3	1.0	1.0	1.3	
対 照	発病率	0	0	33	67	67	67	100	100	100	4/6
	発病度	0	0	0.5	1.2	2.0	2.0	2.3	2.5	2.5	

z) 接種後70日目における枯死樹数と供試樹数。y) 外見による観察から発病程度を次のように分け、下記の式によりこれを指数化した。0：健全、1：軽い萎凋状態、2：明らかな萎凋状態、3：枯死状態、発病度 = Σ (発病程度 × 該当樹数) ÷ 供試樹数

は、堆積日数の長いものほど発病率及び発病度の進展が遅かった。しかし、堆肥 B (203日) 区では、枯死樹の割合は6樹中4樹と対照区と変わらなかった。堆肥 A より腐熟がやや劣る（第1章）と考えられる堆肥 B で、紫紋羽病の発病が遅かった理由については明らかでない。しかし、堆肥 A では B に比べて粒径の粗い木質部分の割合が高いため、紋羽病の栄養源となりうる部分が多かったのに対し、堆肥 B の特に堆積日数の長いものでは、これらの分解消失が進んでいたのではないかと推測される。

このように堆肥 A については、いずれも対照区との間

に明らかな違いはみられなかった。また、堆肥 B では各区とも発病の進展は遅かったものの、堆積203日目では枯死樹率が堆積344日目及び561日目より高かった。このため、さらに堆積203日目を中心とした堆肥の施用が、紫紋羽病発病に及ぼす影響を明らかにするため試験2を行った。

試験2の結果については、第17表と第18表に示す。試験2で試験1と異なるのは、堆肥 A、B とも堆積561日目の区がなく、堆積期間の短い148日目の区があることと堆肥の混合割合が用上10に対して1と少ない点である。

紫紋羽病の発病症状は、堆肥 A (148日) 区が接種後31

第17表 堆積期間の異なるリンゴせん定枝堆肥の施用が発病に及ぼす影響（試験2）

区\接種後日数		3 1	3 5	4 0	4 5	5 0	5 5	6 0	6 5	7 1	7 5	8 0	85日	枯死樹数/供試樹数 ^{z)}
堆肥 A (148日)	発病率	17	33	67	67	67	83	83	83	83	100	100	100	1/6
	発病度 ^{y)}	0.2	0.5	0.8	1.0	1.0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	
堆肥 A (203日)	発病率	0	0	60	80	100	100	100	100	100	100	100	100	2/5
	発病度	0	0	0.6	0.8	1.6	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	
堆肥 A (344日)	発病率	0	0	33	33	50	67	67	67	67	100	100	100	3/6
	発病度	0	0	0.3	0.8	1.2	1.5	1.5	1.7	1.7	2.0	2.0	2.0	
堆肥 B (148日)	発病率	0	0	67	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0/6
	発病度	0	0	0.7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	
堆肥 B (203日)	発病率	0	17	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0/6
	発病度	0	0.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
堆肥 B (344日)	発病率	0	0	50	67	83	100	100	100	100	100	100	100	4/6
	発病度	0	0	0.5	1.0	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	
対 照	発病率	0	0	83	100	100	100	100	100	100	100	100	100	4/6
	発病度	0	0	1.5	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.5	2.5	

z) 接種後85日目における枯死樹数と供試樹数。y) 外見による観察から発病程度を次のように分け、下記の式によりこれを指数化した。0：健全、1：葉の黄変～落葉、2：軽い萎凋状態、3：明らかな萎凋～枯死状態、発病度 = Σ (発病程度 × 該当樹数) ÷ 供試樹数

第18表 根部調査による紫紋羽病の最終的な感染状況(試験2)

区	感染率 (%)	感染状況 ²⁾	
		菌糸束の進展	根の腐敗
堆肥A(148日)	100	2.2	1.7
堆肥A(203日)	100	2.8	2.6
堆肥A(344日)	100	3.0	3.0
堆肥B(148日)	100	2.5	2.0
堆肥B(203日)	100	2.8	2.7
堆肥B(344日)	100	3.0	3.0
対 照	100	3.0	3.0

接種後91日目に調査を行った。z) 根部の一部にでも菌糸束の付着および進展がみられる場合は感染とした。菌糸束の進展については、0：進展なし、1：ごく一部の根に進展、2：多くの根に進展、3：根幹を含めたほぼすべての根に進展。根の腐敗は、0：腐敗なし、以下は腐敗根の全根量に対する割合が、1：1/4未満、2：1/4～1/2未満、3：1/2以上に分け、それぞれ発病度と同様に指数化した。

H日から認められてもっとも早かったが、その後の増加は遅く、100%発病したのは75日目であった。これに対して、堆肥Aの他の区及び対照区は40日目からの発病であったが、堆肥A(203日)区と対照区での増加は早く、50日目と45日目にそれぞれ100%の発病率に達した。堆肥Bでは堆肥B(203日)区で35日目から発病がみられたが、他の区については40日目から発病が認められた。発病が100%に達したのは堆肥B(203日)区が40日目、次いで堆肥B(148日)区が対照区と同じく45日目で、堆肥B(344日)区は55日目であった。

発病度については対照区で進展が早く、45日目に既に2.2に達し、次いで堆肥B(344日)区が50日目に2を超えたのに対し、堆肥A、Bとも堆積日数の短い148日の区では、85日目においても1.3と低かった。しかし、試験2の場合、発病度の進展は発病率の増加と必ずしも関係なく、もっとも早く100%発病した堆肥B(203日)区の発病度は40日目以降1.0から進展しなかった。枯死樹の割合は、発病度の進展と関連がみられ、堆肥B(344日)区と対照区が6樹中4樹でもっとも高かったが、堆肥B(148日)区と堆肥B(203日)区では枯死樹はみられなかった。しかし、最終的な根部の調査では、発病度が低いとみられた堆肥A(148日)区、堆肥B(148日)区及び堆肥B(203日)区でも、紫紋羽病菌糸束の進展と根の腐敗がかなり広がっていることが確認された。

このように試験2では、堆肥A、Bとも堆積日数の短い区で、地上部の観察からみた発病程度の進展はむしろ遅かったが、根の調査からはこれらの区も感染が軽いとはいえなかった。また、堆肥A(148日)区で発病が早い傾向があったことは、未熟な堆肥の施用により初期の発病が促進されたものの、堆肥の混合割合が少なかったことから、その後の病状の進展を早めるまでには至らな

かったものとも推測される。

以上のように試験1、2の結果では、堆肥A、Bとも堆積203日以降の堆肥の施用で、対照に比べて特に紫紋羽病の発病を助長するような傾向は確認できなかった。しかし、堆積148日目では発病が早い場合もみられ、また、予備試験として行った第15表の結果からは、未熟なせん定枝堆肥の施用により紫紋羽病が助長されることが確認されている。このことから、リングせん定枝堆肥は堆積日数が半年に満たないような場合は、紫紋羽病の発病に対して安全とはいいい切れないものの、200日を超えるような腐熟の進んだものでは特に問題ないものと判断された。

3) リングせん定枝堆肥の施用方法による紋羽病への影響

次に、リングせん定枝堆肥のリング園での施用方法と紋羽病との関係について考察する。

リング園での堆肥の施用方法としては、改植時の園地全面への施用、苗木植え付け時の植え穴への施用、通常の上壤改良としての樹冠下部分への表面施用等(青森県りんご生産指導要項編集委員会, 2004a)がある。このうち、苗木植え付け時の植え穴施用の場合は、堆肥と紋羽病菌及びリング樹の根が接触する危険性が高いことから紋羽病の助長がもっとも懸念される。本章で行った接種試験も、この場合と同様高い紋羽病発生の危険性を持つ条件下での結果と考えることができる。しかし、接種試験では200日程度以上堆積したリングせん定枝堆肥を施用しても、施用しなかった場合と比べて特に紫紋羽病の発病を助長するような傾向は認められなかった。このことから、200日程度堆積したリングせん定枝堆肥は、紋羽病の危険性のあるほ場であっても植え穴に施用することは可能と考えられる。その場合、堆肥施用の有無にかかわ

らず、苗木の植え付け前に、紋羽病の予防対策として指導されているクロルピクリン剤あるいはフルアジナム剤等による跡地消毒（青森県りんご生産指導要項編集委員会，2004b）が必要となることはいうまでもない。また、紋羽病発生のほとんどみられない埴質沖積土壌（福島，1998；成田ら，1987）などでは、生育阻害の心配のない200日程度堆積したせん定枝堆肥は、植え穴も含めて問題なく施用できると考えられる。紋羽病の危険性のあるほ場での植え穴以外の施用については、以下のように考える。

青森県では、堆肥を樹幹の周りに敷きつめるマルチ処理が、樹勢の強化に有効であることからむしろ白、紫両紋羽病の予防技術として奨励されている（青森県農林技術会議，1991a；青森県りんご生産指導要項編集委員会，2004b）。また、稲ワラのマルチ処理についても紋羽病を特に助長することはない（青森県農林技術会議，1991b；青森県りんご生産指導要項編集委員会，2004a）とされている。このように、表面施用の場合は稲ワラのような粗大有機物をそのまま投入しても問題になることは少ない。未熟なリンゴせん定枝堆肥を土壌にすき込んだ場合については、問題が生じる可能性もあり得るものの、植え穴施用の場合よりは危険性はかなり低く、また、200日程度堆積したものであれば、腐熟も進んでおり、本研究の接種試験結果からも問題はないと考えられる。

今後、紋羽病多発園でのほ場試験等によってこのような点をさらに確認する必要もあるが、その場合は場試験では評価に長期間を要することから、ほ場条件に近く、より短期間で判定可能な評価法が求められる。

3. 小活

リンゴせん定枝堆肥の施用による紫紋羽病発病への影響について、用土にせん定枝堆肥を混和して素焼きポットに充填し、1年生のマルバカイドウを植え付け、紫紋羽病菌の接種試験を行って評価した。

1) 接種試験での用土と土に対する堆肥の混合割合を検討した結果、用土は埴質沖積土と黒ボク土、土と堆肥の混合割合は容積比で5対1と10対1のどちらの条件でもよいと考えられた。また、いずれの場合も未熟なせん定枝堆肥の混合により、土のみの場合に比べて紫紋羽病の発病及び進展が早い傾向があったことから、本法により腐熟程度の異なるせん定枝堆肥の紫紋羽病発病への影響を評価できると判断した。

2) 黒ボク土に第1章で供試した堆肥A、Bの堆積期間の異なる試料を混和し、接種試験を2回行った。その結果、堆積日数が148日目のものでは、紫紋羽病の発病が早い場合もあったものの、200日を超える場合では特に発病を助長する傾向は認められなかった。

V 総 合 考 察

わが国最大のリンゴ産地である青森県では、リンゴ生産に伴って毎年多量にせん定枝が排出される。こうしたリンゴせん定枝のもっとも望ましい有効利用法としては、堆肥化して園地に還元し、地力の維持・向上に役立てることである。そこで本研究では、リンゴせん定枝の堆肥化方法の確立を目指して、堆肥化に伴う技術的な問題点の解明を中心に検討を行った。その際、農家が園地内の一角において比較的小規模に堆肥化を行う場合を想定した。さらには施用の際の安全性も考慮し、施用による生育阻害及び紋羽病感染の助長と堆肥の腐熟状態の関係についても検討した。

第1章においては、リンゴせん定枝の堆肥化過程における物質変化と腐熟状態との関係を、原料となるせん定枝のチップ粒度と関連させて検討を行った。リンゴせん定枝の堆肥化には、枝をチップパーによりチップ化する必要があるが、破碎されたチップの形状や粒度はチップパーの機種によりかなり異なる。このため本研究では、破碎法と破碎物の粒度が異なる二機種の小型チップパーで調製したせん定枝チップを用いて堆肥化を行った。

当初はリンゴせん定枝チップの粒度を細かくすること

が腐熟の進行を速めると予想したが、堆肥の温度は、粒度が細かいチップを堆肥化した場合より粗いチップを用いた方が高く推移した。また、粒径分画の結果も、チップの微細化とC/N比の低下は粒度の細かいチップよりも粒度の粗いチップを用いた方が速やかに進行することを示した。このように、リンゴせん定枝堆肥の腐熟に伴う物質変化過程は、細かいチップより粗いチップを用いた方が速やかであることが判明した。これは、チップが細かい場合には、比重が高い上にさらに堆積時の踏圧によって通気不足となり、好気性微生物の繁殖が抑制され、腐熟が進まなかったためと推察された。

次にこうした堆肥化過程における物質変化と腐熟との関連を検討した。腐熟程度の推定は、土壌と混和してインキュベートした際の無機態窒素の有機化の程度ならびにコマツナ幼植物を用いた栽培試験の結果から判断した。インキュベーション実験の結果は、粗いせん定枝チップを用いた場合には203日堆積後には無機態窒素の有機化を引き起こさなくなっていたのに対して、細かいチップを用いた場合には203日後でも有機化を引き起こし、344日後でもわずかに有機化が認められた。ただし、木質物

を主体とする粗大な画分だけを土壤に混和してインキュベートした場合には、粗いチップを用いた堆肥でも、344日間堆積しても有機化を引き起こすことが認められた。こうしたことから、細かなチップを用いた堆肥では、203日目及び344日目においても土壤に施用すると窒素飢餓による生育阻害を引き起こす可能性があると考えられた。しかし、コマツナを用いた幼植物栽培試験の結果は、いずれの堆肥でも203日間の堆肥化でコマツナ幼植物の生育阻害を起さなくなっていることを示した。これにはインキュベート実験と栽培試験で用いた堆肥の形状の違い、すなわち乾燥粉碎試料と湿潤木粉碎試料であることが関係していると推定された。したがって、リンゴせん定枝堆肥の製造に際しては、チップ粒度に関わりなく、春期に堆肥化を開始して200日程度堆積すれば、植物生育に悪影響を及ぼさない堆肥が製造できると考えられた。

第2章では、リンゴせん定枝の堆肥化を順調に進めるためには、C/N比調整のための副資材の選択と配合割合を最適化する必要があると考え、副資材としての発酵鶏ふんと石灰窒素の量を変えた3種類のリンゴせん定枝堆肥を製造し、堆肥化過程での腐熟の状況から最適な窒素質副資材の添加量を検討した。発酵鶏ふんの添加量は、せん定枝チップ100kg当たり10、20、30kgの3段階に設定し、このうち10及び20kg区については、さらに石灰窒素4kg程度を加えた。ここでの堆肥化には、粒度の粗いせん定枝チップを使用した。

このように窒素源となる副資材の投入量を変えても、3つの区の間には、堆積中の温度変化、容積変化、C/N比及び粒径分画による各画分の乾物重の推移、さらには施用によるコマツナ幼植物の生育等に明らかな差異はみられず、腐熟の進行に明らかな違いはないと推察された。このため、リンゴせん定枝堆肥の製造においては、窒素成分の添加量としてはもっとも少ないせん定枝チップ100kg当たり鶏ふん30kg程度でよく、また石灰窒素併用により鶏ふん添加量は10kg程度まで落としてもよいと考えられた。この研究において、リンゴせん定枝堆肥の堆積開始時のC/N比は、18.7～25.3の範囲にあると推定されたが、いずれも堆積初期にアンモニアの発生が多くみられ、アンモニアの揮散による窒素の損失が起こったものと推定された。このことは堆肥化開始時のC/N比がより高くてもよいことを意味するが、むしろより高めに設定した方がアンモニア揮散による窒素の損失が起らず、悪臭の低減にもつながる可能性がある。したがって、リンゴせん定枝堆肥製造時に用いる副資材の投入量は、さらに削減する余地があると考えられた。

第3章では、リンゴせん定枝堆肥の製造時における堆肥化方法の簡易化と腐熟促進の可能性を探るため、堆積時に踏圧を加えない野積みによる簡便法と戻し堆肥の使用について検討した。なお、第2章の結果から、窒素源

としての副資材の添加量をさらに減らすことが可能であることが示唆されたので、本研究では、戻し堆肥区を除いて、せん定枝チップ100kg当たり発酵鶏ふん8.7kgと石灰窒素1.7kg及び発酵鶏ふん9.0kgと石灰窒素1.8kgを用いて堆肥化を行った。この際も粒度の粗いせん定枝チップを使用した。

第1章と第2章において採用した木枠を使って踏圧をしながらの堆積（枠堆積区）と堆積時に木枠を使用せず踏圧も加えない堆積（簡易堆積区）とを比べた場合には、堆肥の化学性、全炭素量、全窒素量及びC/N比の変化に大きな差は認められず、堆肥の粒径画分の乾物重、全炭素量、全窒素量及びC/N比にも両区の間には大きな相違は認められなかった。ただし、コマツナ幼植物の生育は、204日目の堆肥を用いた場合には、簡易堆積区より枠堆積区の方が良好であったが、簡易堆積区の堆肥でも生育阻害は認められなかった。このことから、労力の軽減という利点を考慮すれば、農家レベルでのリンゴせん定枝堆肥の製造には簡易堆積法も十分利用可能であると推察された。

第1章の結果では、粒度の細かいチップを用いた場合には、粒度の粗いチップを用いた場合に比べて腐熟の進行が遅れる傾向にあったが、この原因として、チップ粒度が細かい場合、堆積物の密度が高く、通気不足になり易いためと推定された。しかし、リンゴせん定枝堆肥を粒径分画した場合、粒径が粗大な画分ほどC/N比は高くなり、土壤に混和してインキュベートした結果では、粒径が粗い木質部分の分解が遅れていることは明らかであった。このように同じ堆積物中では粒度の細かい部分が早く腐熟する傾向にあり、これは粒度の細かいほど表面積が大きいことから、腐熟に係わる微生物による分解を受けやすい条件にあるためと考えられる。したがって、細かいチップが主体の場合、密度が高くないような条件で堆積すれば、むしろ腐熟の進行は粗いものより早まる可能性が推測される。このことは、第4章で採用した踏圧を加えない野積みによる堆積法は、チップ粒度が細かい場合により適していることを示唆する。

一方、完熟堆肥を戻し堆肥として堆肥化を行うと、枠堆積区及び簡易堆積区と比べて温度上昇は小さかったが、C/N比は低く推移した。また、粒径分画した場合には、枠堆積区、簡易堆積区よりも粗粒画分が少なく、微細画分が多かった。これらのことは、戻し堆肥により堆肥化過程における腐熟の進行が速まるというよりは、加えられた完熟堆肥の画分の影響であるとも考えられた。戻し堆肥の施用によるコマツナ幼植物の生育は、堆積68日目のもので堆肥無施用及び簡易堆積区の堆積204日目を上回り、枠堆積区の204日目と同等であった。このことから、戻し堆肥により堆肥化期間の短縮を図ることが可能であると推察される。

第3章でのリンゴせん定枝の堆肥化においては、鶏ふんと石灰窒素の量を第2章で用いた最小量よりもさらに削減したが、第2章と同じ堆積方法をとった場合でも、ほぼ200日の堆肥化でコマツナ幼植物の生育を阻害しなくなっていた。なお、第3章で用いたリンゴせん定枝チップは第2章までで用いたものよりも水分含量が高かったことから、乾物率の違いを考慮すると、水分含量の低い場合はチップ100kg当たりではほぼ発酵鶏ふん10kgと石灰窒素2kgの添加に相当する。このため、リンゴせん定枝堆肥の製造に際しては、窒素質副資材の添加量は、鶏ふん10kgと石灰窒素2kg程度で十分であると判断された。これら、せん定枝チップと副資材の投入量から計算されるC/N比は25～30位となり、30程度がリンゴせん定枝を堆積する際のC/N比の目安となると考えられる。

なお、稲わらの堆肥化における腐熟過程は、急速な分解が起きる時期とその後の緩慢な分解の時期に大別され、堆肥化10週目までに稲わら部分の微細化とC/N比の低下が急速に進むとされる（進藤ら、1980；Suzuki *et al.*, 1975）。これに対して、本研究で行った粒径分画の結果、リンゴせん定枝の堆肥化においては、粗大な木質部分の粒径の微細化とC/N比の低下は堆肥化200日程度までに段階的に比較的緩慢に進行することが明らかとなった。これは、木質物の難分解性によるものであろうが、リンゴせん定枝堆肥化の腐熟過程を特徴づけると考えられる。

第1章でのリンゴせん定枝堆肥の腐熟に伴う物質変化過程の解析から、リンゴせん定枝堆肥は、堆肥全体としては腐熟が進んでいるようにみえる場合でも、粗大で未熟な木質部分が混在しており、200日から1年程度堆積したものであっても粒度の大きい木質部分では有機化がみられた。そこで第4章では、未熟な有機物の投入により助長が懸念される紫紋羽病に対する影響について検討した。黒ボク土に堆積期間の異なるせん定枝堆肥を混和して素焼きポットに充填し、1年生のマルバカイドウを植え付け、紫紋羽病菌の接種を行って評価した。その結果、堆積日数が半年に満たないようなせん定枝堆肥では、紫紋羽病の発病に対して安全とはいいい切れないものの、200日を超えるような腐熟の進んだものでは、発病を助長する傾向は特に認められず、問題ないものと判断された。

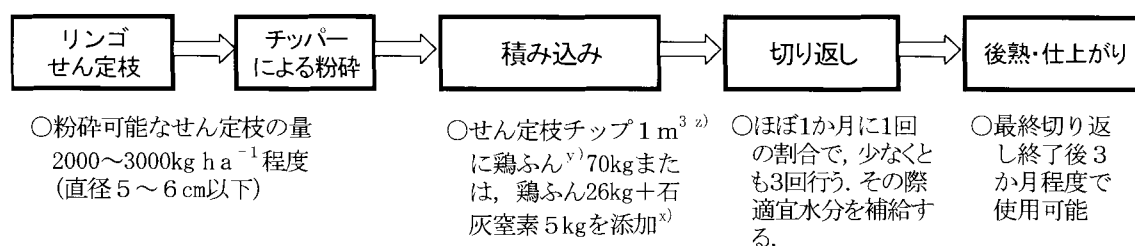
堆肥化に際しては、リンゴせん定枝をチップ化しなければならないが、本研究の結果からすると、木枠を用いた従来の堆積法をとるときには比較的粗いチップが適していることが示された。しかし、踏圧を加えずに野積みをする場合は粗いチップでもよいが、むしろ細かいチップを用いた方が適すると考えられた。したがって、実際のリンゴせん定枝堆肥の製造に当たっては、農家が利用可能なチップパーによって堆積方法を定める方が实际的であり、チップ粒度によって踏圧を調整し、とくに細かい

チップの場合には踏圧せず、単に野積みするのがよいと思われる。

本研究では副資材投入量をせん定枝チップの重量当たりで算出し、せん定枝チップ100kg当たり鶏ふん10kgと石灰窒素2kg程度で十分と推察した。しかし、リンゴせん定枝の含水率は、せん定時には 0.5kg kg^{-1} 程度あるものの、野積みの状態では春期になると低下する傾向にあった。本研究で使ったせん定枝チップの含水率は、第1章で使ったチップでは 0.25kg kg^{-1} （2001年5月15日測定）、第2章では 0.26kg kg^{-1} （2002年5月9日測定）であったのに対して、第3章では 0.35kg kg^{-1} （2003年4月24日測定）であった。このような含水率の変動に伴い、せん定枝チップの容積当たりの重量も変化する。このため、実際の堆肥化の際には、副資材投入量をせん定枝の重量を基準とするよりは、チップの容積当たりにした方が水分変動の影響を受けず、さらに堆積時に木枠等を使用すれば目安もつけやすいと考えられた。しかし、その場合も使用するチップパー、さらには踏圧の有無によりチップの密度が異なることを考慮して投入量の目安を設定する必要がある。

具体的には、せん定枝チップの容積 1m^3 当たりで換算すると、第2章の副資材を発酵鶏ふんのみとした区の投入量は70kg程度、また第4章の踏圧を加えて堆積した区の投入量は発酵鶏ふん26kgと石灰窒素5kg程度となる。このため、チップの粒度が比較的粗い場合は踏圧を加えた状態で 1m^3 当たりこの量を基準とし、踏圧を加えないで堆積するときはチップの密度を考慮してこの3分の2程度の量とする。チップの粒度が細かい場合については、第1章でみたように踏圧しない状態での密度が粒度の粗いチップを踏圧した場合と大きな違いはなかった。このため、踏圧せずに堆積し、副資材添加量は粗いチップを踏圧した場合と同量でよいと考えられる。

積み込みの終了した堆肥は、切り返しを行いつつ腐熟させるが、切り返しは本研究で採用したようにほぼ1か月に1回程度が必要と考えられた。また、温度の上昇により特に堆肥の表面部分が乾燥状態になるので、切り返しの際、適宜、水分補給が必要であるが、温度の低下につれて乾燥も収まるため、表面が湿潤な状態になれば切り返しの際のかん水は必要ない。切り返しても温度が上がらなければ、さらなる切り返しは不要であるが、本研究の結果からは、切り返し回数は少なくとも3回必要であり、堆積開始から施用可能になるまで200日程度を要すると推察された。これは、コマツナ幼植物の栽培試験の結果から導き出されたものであるが、リンゴ樹への紫紋羽病菌の接種試験の結果からも、堆積日数が半年に満たないようなせん定枝堆肥では、紫紋羽病の発病に対して安全とはいいい切れないものの、200日を超えるような腐熟の進んだものでは特に問題ないものと判断された。



z) 目安として1.8m四方で高さ0.3mの木枠に一杯分、y) 発酵鶏ふんまたは乾燥鶏ふん、x) チップの粒径が比較的粗い場合は踏圧して、細かい場合は踏圧しない状態での1m³に対する添加量。

第17図 リンゴせん定枝堆肥の作り方

以上に述べた成果を基に、リンゴせん定枝の堆肥化の手順をまとめ、第17図に示した。

リンゴせん定枝の堆肥化を春に開始した場合、200日後は晩秋にあたり、リンゴ園での通常の堆肥施用時期と重なることから、一般的にはこれで問題ないものと推察される。なお、第3章の結果からわかるように、リンゴせん定枝堆肥の製造に際しては、完熟堆肥が手に入るならば堆積時に戻し堆肥として加えることにより、腐熟をかなり速めることができる。戻し堆肥を用いた場合には、

68日間の堆積でコマツナへの生育阻害がみられなくなったことから、戻し堆肥により堆積期間は通常の200日から少なくとも半分程度までは短縮できる可能性があると考えられる。

本研究においては、リンゴせん定枝堆肥の腐熟程度をコマツナの幼植物栽培試験から推定したが、栽培試験は判定に要する日数と手間がかかることから、短時間で推定できる分析的な腐熟度推定法の開発も望まれる。

Ⅵ 摘 要

わが国のリンゴ主産地である青森県では、リンゴ生産に伴って毎年多量のせん定枝が排出される。このようなリンゴせん定枝の有効利用法としては、堆肥化によりリンゴ園地の地力の維持・向上に役立てることがもっとも望ましい。こうした観点から、本研究では、リンゴせん定枝の堆肥化法と利用法の確立を目指して、以下の検討を行った：1) 原料となるリンゴせん定枝チップの粒度が堆肥化過程における物質変化と腐熟に及ぼす影響、2) 窒素源としての鶏ふんと石灰窒素の量及び割合がリンゴせん定枝堆肥の腐熟に及ぼす影響、3) 堆積方法の違いがリンゴせん定枝堆肥の腐熟に及ぼす影響、4) リンゴせん定枝堆肥の施用が紫紋羽病の発病に及ぼす影響。

得られた成果を要約すると次のとおりである。

1. リンゴせん定枝を粒度の異なる2種類のチップとし、副資材として発酵鶏ふんと石灰窒素を加えて堆肥化を行ったところ、堆肥の温度は粒度が細かいチップを用いた場合より粗いチップを用いた方が高く推移した。また、粒度の細かいチップよりも粗いチップを用いた方が、チップの微細化が速やかに進行するとともにC/N比の低下が速やかであった。堆積203日目と344日目のリン

ゴせん定枝堆肥を土壌と混和してインキュベートした場合、粒度の粗いチップを用いた堆肥は有機化を引き起こさなかったが、粒度の細かいチップを用いた堆肥は344日目においてもわずかながら有機化を引き起こした。しかし、いずれの堆肥も203日間の堆肥化で植物生育を阻害しなくなることが、コマツナ幼植物栽培試験により認められた。これらの結果から、粒度の細かいリンゴせん定枝チップを用いた場合より粗いチップを用いた方が腐熟の進行が速いと推定されたが、粒度に関わりなく、春期に堆肥化を開始して200日程度堆積すれば、植物生育に悪影響を及ぼさない堆肥が製造できることが示唆された。

2. 窒素質副資材である発酵鶏ふんと石灰窒素の投入量を3段階に変えてリンゴせん定枝の堆肥化を行ったところ、アンモニア揮散量には副資材の種類と量による影響が認められたが、堆肥化中の堆肥の容積、温度、C/N比及び粒径分画された画分の変化に明らかな影響は認められなかった。堆積202日目の堆肥試料について、コマツナによる幼植物栽培試験を行った結果、全ての処理区でせん定枝堆肥施用による生育阻害は認められなかった。こうした結果から、リンゴせん定枝を堆肥化する際の副資材の添加量については、窒素成分としてもっとも少ない

処理区における副資材量、すなわちせん定枝チップ100kg当たり発酵鶏ふん30kg程度で十分と考えられたが、発酵鶏ふん10kg程度に石灰窒素4kg程度を併用しても同等の効果が得られることが判明した。しかし、堆積初期のアンモニア揮散の存在から、添加窒素量をさらに低減可能であることが示唆された。

3. リンゴせん定枝の堆肥化における堆積法として、木枠を使用して踏圧を加える堆積法（枠堆積区）、堆積時に踏圧を加えないで野積みする簡便法（簡易堆積区）及び戻し堆肥を使用した堆積法（戻し堆肥区）について検討した。なお、これらの堆肥化には、粒度の粗いせん定枝チップを使用した。枠堆積区と簡易堆積区とを比べた場合には、堆肥の化学性、全炭素量、全窒素量及びC/N比の変化に大きな差は認められず、堆肥の粒径画分の乾物重、全炭素量、全窒素量及びC/N比にも両区の間大きな相違は認められなかった。ただし、コマツナ幼植物の生育は、204日目の堆肥を用いた場合には、簡易堆積区より枠堆積区の方が良好であったが、簡易堆積区の堆肥でも生育阻害は認められなかった。一方、戻し堆肥区では、枠堆積区及び簡易堆積区と比べて温度上昇は小さかったが、C/N比は低く推移し、粒径分画した場合には、枠堆積区、簡易堆積区よりも粗粒画分が少なく、微細画分が多かった。戻し堆肥区の堆肥を施用したコマツナ幼植物の生育は、68日目の堆肥ですでに堆肥無施用の場合を上回り、204日目では枠堆積区、簡易堆積区より良好な生育がみられた。これらの結果から、リンゴせん定枝の堆肥化に際しては、従来から用いられている木枠を

用いた堆積だけでなく、野積みによる簡易堆積法も適用可能であることが示された。さらに、堆積の際に完熟堆肥を戻し利用することにより、堆肥化期間の短縮が可能と考えられた。なお、この実験では窒素源となる副資材量をさらに減らして堆肥化を行い、せん定枝チップ100kg当たり発酵鶏ふん10kgと石灰窒素2kg程度の添加量でも十分であることが示された。

4. リンゴせん定枝堆肥を用土に混和して素焼きポットに充填し、1年生のマルバカイドウを植え付け、紫紋羽病菌の接種試験を行った。まず、接種試験での用土と、土に対する堆肥の混合割合を検討したところ、用土は黒ボク土と埴質沖積土、土と堆肥の混合割合は容積比で5対1と10対1のどちらの条件でもよいと考えられた。また、いずれの場合も未熟なせん定枝堆肥の混合により、土のみの場合に比べて紫紋羽病の発病及び進展が早い傾向があったことから、本法により腐熟程度の異なるせん定枝堆肥の紫紋羽病発病への影響を評価できると判断した。さらに、黒ボク土に2種類の堆積期間の異なる試料を混和し、接種試験を2回行ったところ、堆積日数が半年に満たないようなせん定枝堆肥では、紫紋羽病の発病に対して安全とはいえないものの、200日を超えるような腐熟の進んだものでは、発病を助長する傾向は特に認められず、問題ないものと判断された。

以上の結果を総合して、農家レベルでリンゴせん定枝堆肥を製造する場合の具体的手順についてとりまとめた。

引用文献

- 相崎万裕美, 1996. パーク堆肥, p.106. 土壤保全調査事業全国協議会編書, 土壤改良と資材, 日本土壤協会, 東京.
- 青森県, 2004. 平成15年度バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業・同事業調査, 青森県津軽地域におけるりんご剪定枝等農業バイオマスのエネルギー利用可能性調査, 成果報告書, viii+129 p.
- 青森県農林技術会議, 1991a. 平成3年度指導奨励事項・指導参考資料, p.40-41.
- 青森県農林技術会議, 1991b. 平成3年度指導奨励事項・指導参考資料, p.30-32.
- 青森県りんご生産指導要項編集委員会編書, 2004a. りんご生産指導要項, 平成16年改訂版, p.225-251, 青森県りんご協会, 弘前.
- 青森県りんご生産指導要項編集委員会編書, 2004b. りんご生産指導要項, 平成16年改訂版, p.133-138, 青森県りんご協会, 弘前.
- Aoyama, M. 1985. Properties of fine and water-soluble fractions of several composts. I. Micro-morphology, elemental composition and nitrogen mineralization of fractions. *Soil Sci. Plant Nutr.* 31 : 189-198.
- Aoyama, M. 1991. Properties of fine and water-soluble fractions of several composts. II. Organic forms of nitrogen, neutral sugars and muramic acid in fractions. *Soil Sci. Plant Nutr.* 37 : 629-637.
- Aoyama, M. and T. Nagumo. 1996. Factors affecting microbial biomass and dehydrogenase activity in apple orchard soils with heavy metal accumulation. *Soil Sci. Plant Nutr.* 42 : 821-831.
- 青山正和・柴田三香・熊田恭一, 1982. 物理分画した数種の堆肥の性状とコンポストの腐熟過程の解析, 土肥誌, 53 : 337-343.
- 青山正和・吉田光二・平井隆平・熊田恭一, 1988. 有機質資材の腐熟と窒素形態変化能との関係, 土肥誌, 59 : 353-362.
- 荒木隆男, 1967. 紫紋羽病, 白紋羽病の発生と土壌条件, 農技研報C21 : 1-110.
- Bremner, J. M. 1965. Inorganic Forms of Nitrogen, in *Methods of Soil Analysis, Part 2*, p.1195-1198, Madison, USA.
- Chanyasak, V. and H. Kubota. 1981. Carbon/organic nitrogen ratio in water extract as measure of composting degradation. *J. Ferment. Technol.* 59 : 215-219.
- 藤井孝夫, 1999. 街路樹剪定枝, p.資材32の2-4, 農業技術体系土壌施肥編, 7-①, 各種肥料・資材の特性と利用〈1〉, 追補第10号, 農山漁村文化協会, 東京.
- 藤原俊六郎, 1987. 堆肥のつくり方, p.資材60, 農業技術体系土壌施肥編, 7-①, 各種肥料・資材の特性と利用〈1〉, 農山漁村文化協会, 東京.
- 藤原俊六郎, 1996. 家畜ふん尿, p.224-225, 土壤保全調査事業全国協議会編書, 土壤改良と資材, 日本土壤協会, 東京.
- 福島千男, 1998. リンゴ紫紋羽病と白紋羽病の発生環境と防除に関する研究, 青森りんご試報, 30 : 1-112.
- Garcia, C., T. Hernandez and F. Costa. 1991. Study of water extract of sewage sludge composts. *Soil Sci. Plant Nutr.* 37 : 399-408.
- 羽賀清典, 1997. 各種家畜ふんの堆肥化と利用, p.339, 有機廃棄物資源化推進会議編書, 有機廃棄物資源化大事典, 農山漁村文化協会, 東京.
- 広瀬春朗・熊田恭一, 1972. 植物遺体の腐朽化過程に関する化学的研究, 第2報, 物理的に分画した稲わら堆肥の性状(その1), 土肥誌, 43, 21-24.
- 伊吹俊彦・呂中哲哉・斎藤雅典・関澤幸朗, 1999. 自動切返しと戻し利用を特徴とする牛ふん尿の堆肥化処理, 草地試験場研究報告, 58 : 38-57.
- 市川 明・中谷 洋・増田達明・加納正敏・平山鉄夫, 2001 a. 高水分牛ふん尿の堆肥化における梨剪定枝の利用法, 愛知農総試研報, 33 : 287-292.
- 市川 明・中谷 洋・増田達明・加納正敏・平山鉄夫, 2001 b. 豚ふんの堆肥化における梨剪定枝の利用法, 愛知農総試研報, 33 : 293-298.
- 池田 徹, 1987. 藁類・山野草, p.資材19-24, 農業技術体系土壌施肥編, 7-①, 各種肥料・資材の特性と利用〈1〉, 農山漁村文化協会, 東京.
- 河田 弘, 1981 a. パーク(樹皮)堆肥, p.13-17, 博友社, 東京.
- 河田 弘, 1981 b. パーク(樹皮)堆肥, p.41-48, 博友社, 東京.
- 河田 弘, 1981 c. パーク(樹皮)堆肥, p.62-65, 博友社, 東京.
- 河田 弘, 1981 d. パーク(樹皮)堆肥, p.164-165, 博友社, 東京.
- 今野一男・平井義孝・東田修司, 1985. パーク堆肥の腐熟過程における化学成分変化と腐熟度指標, 北海道立農試集報.

52 : 31-40.

- 今野 一男・平井義孝・東田修司. 1988. パーク堆肥の腐熟度指標と畑地への施用法. 土肥誌. 59 : 621-625.
- 熊田恭一・青山正和. 1982. 数種の堆肥の窒素形態変化能. 土肥誌. 53 : 135-141.
- 黒田和孝. 2002. 家畜排せつ物の堆肥化における微生物を用いた臭気低減. 土と微生物. 56 : 69-74.
- Kuwatsuka, S., H. Shindo and K. Tsutsurki. 1977. Behavior of phenolic substances in the decaying process of plant materials. p. 731-736. Proceeding of the International Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture.
- 松崎敏英. 1997 a. 製品の流通と品質. 需要動向と流通方法. p.31-40. 有機廃棄物資源化推進会議編書. 有機廃棄物資源化大事典. 農山漁村文化協会. 東京.
- 松崎敏英. 1997 b. パーク. p.242-253. 有機廃棄物資源化推進会議編書. 有機廃棄物資源化大事典. 農山漁村文化協会. 東京.
- 成田春蔵・加藤 正・桜田 哲・今 智之. 1987. リンゴ紫紋羽病の発生と土壌の種類並びに土壌物理性. 東北農業研究. 40 : 275-276.
- 農林水産省農産園芸局. 1984. 肥料取締法の一部改正に伴う今後の肥料取締りについて (昭和59年4月18日付け 59農蚕第1943号 農林水産省農産園芸局長通達)
- 佐藤 俊. 1978. 木質堆肥および家畜ふん尿木質きゅう堆肥製造の手引き. 農及園. 53 : 425-428.
- 佐藤 俊. 1985. 木質物の堆肥化過程の解析と木質系堆肥の熟度の基準値策定に関する研究. 林試研報. 334 : 53-146.
- 進藤晴夫・丸本卓哉・東 俊雄. 1980. 稲わら堆肥の腐熟過程における各画分の元素組成と分布率の変化. 土肥誌. 51 : 497-502.
- 菅原 健・道野鶴松. 1962. 基礎応用定量分析. p.162-163. 朝倉書店. 東京.
- Suzuki, M., K. Harada and K. Kumada 1975. Analysis of the rotting process of rice straw-calcium cyanamide mixture by physical fractionation. Soil Sci. Plant Nutr. 21 : 173-183.
- Suzuki, M. and K. Kumada 1976 a. Analysis of the rotting process of sawdust barnyard manure. Soil Sci. Plant Nutr. 22 : 361-372.
- Suzuki, M. and K. Kumada 1976 b. Mineralization of physically fractionated rotten plant residues under upland conditions. Soil Sci. Plant Nutr. 22 : 373-385.
- 多田 實・百瀬英雄. 1997. 素材別・堆肥化の方法と利用. 剪定枝葉. p.274-284. 有機廃棄物資源化推進会議編書. 有機廃棄物資源化大事典. 農山漁村文化協会. 東京.
- 豊川 泰. 1997. 素材別・堆肥化の方法と利用. おがくず. p.254. 有機廃棄物資源化推進会議編書. 有機廃棄物資源化大事典. 農山漁村文化協会. 東京.
- 津志田藤二郎. 2001. ポリフェノールの分析法. p.318-322. 篠原和毅・鈴木健夫・上野川修一編書. 食品機能研究法. 光琳. 東京.
- 吉田重方. 1975. オガクズ堆肥施与による作物の生育障害とその発生原因. 農及園. 50 : 295-300.
- 雪田金助・赤平知也. 2002. リンゴ台木のマルバカイドウ (*Malus prunifolia*) に対する紫紋羽病菌, *Helicobasidium mompa* の接種法. 北日本病虫研報. 53 : 126-130.
- 植村誠次. 1976. 木生たい肥. p.1239-1240. 植物栄養・土壌・肥料大事典編集委員会編書. 植物栄養土壌肥料大事典. 養賢堂. 東京.

Studies on the Composting of Apple Prunings

Kiyoshi Sakamoto¹⁾

Keywords : apple prunings, shredding size, composting, maturation process,
nitrogen source, piling methods, violet root rot

Summary

In Aomori Prefecture, the main apple producing district in Japan, the most desirable and effective way to utilize the great quantities of apple prunings that are an annual byproduct of apple growing would be to use them for maintenance and improvement of soil fertility of the apple orchards.

From this point of view, the present study focused on the following four points in order to establish composting methods for apple prunings and methods to utilize the resulting compost.

1. The effect of the shredding size of apple prunings as a raw material for compost on substance change and maturation in the composting process.
2. The effect on compost maturation of the amount of poultry manure and calcium cyanamide as nitrogen sources mixed into shredded apple prunings.
3. The effect of two piling methods on maturation of shredded apple prunings.
4. The influence of application of apple prunings compost on the occurrence of violet root rot (*Helicobasidium mompa*).

To study the effect of the shredding size of apple prunings on the compost maturation process, two composts were prepared; one from coarsely shredded apple prunings (compost A) and one from finely shredded prunings (compost B). Both were mixed with poultry manure and calcium cyanamide and compost A was maintained at a higher temperature than compost B.

Particle size fractionation of the compost samples revealed disintegration of woody materials and a decline in the C/N ratio of coarse particles during the composting period, the changes being faster in compost A than in compost B. When the compost samples taken at 203 and 344 d were incubated in soil with ammonium sulfate, compost A did not show any immobilization of inorganic nitrogen whereas compost B showed slight immobilization even after the 344-d period of composting. Thus, I concluded that the maturation process of the compost from the coarsely shredded prunings proceeded faster than that of the finely shredded prunings.

In a seedling growth test using Komatsuna (*Brassica campestris* L.), no inhibitory effects on plant growth were observed for either compost after the 203-d period of composting. This demonstrated that irrespective of the shredding size of apple prunings, the 203-d period of composting provided an end product that had no inhibitory effect on plant growth.

I compared the effects of the proportion of poultry manure and calcium cyanamide mixed into shredded apple prunings by preparing mixtures with three different proportions.

The amount of ammonia volatilized in each compost was influenced by the amount of mixed poultry manure and calcium cyanamide, but the changes of volume, temperature, C/N ratio and particle size fractionation of composts during the composting period were not obviously influenced.

Seedling growth tests using Komatsuna were performed with samples of the three composts taken at 203 d of composting, and no inhibitory effects on plant growth were observed for any of them.

As a result of the above-mentioned tests, the sufficient amount of a nitrogen source for apple prunings compost was that of the lowest of the three mix proportions of nitrogen application, which was about 30kg of poultry manure per 100kg of shredded apple prunings. However, in the case of about 4kg of calcium cyanamide mixed with about 10kg of poultry manure, the same effect was obtained.

The existence of ammonia volatilized in the early stage of composting suggested that it would be possible to reduce further the amount of the nitrogen source.

To compare the effect of piling methods on composting of apple prunings, three methods were utilized. In the frame piling plot, the compost materials were piled in a wooden frame while compacting them by foot. In the simple piling plot, the materials were simply piled without compacting. In the recycled use plot, the materials were mixed with highly decayed apple prunings compost without compacting. Coarsely shredded apple prunings were used in all three types.

When comparing the frame piling and the simple piling composts, there were no obvious differences in chemical properties, total carbon, total nitrogen or C/N ratio, nor were there obvious differences in dry weights, total carbon, total nitrogen or C/N ratio between the particle size fractions of the two composts.

However, in Komatsuna seedling growth tests using 203 d compost samples, the growth of the seedlings was better with the frame piling compost than with the simple piling compost, although no inhibitory effects on plant growth from the simple piling compost were observed.

On the other hand, the fermentation temperature of the recycled use compost was lower than those of the other two, but the C/N ratio was maintained at a lower level, and when the compost samples were fractionated according to particle size, the ratio of coarse fractions was lower in the recycled use compost than in the other two and the ratio of fine fractions was higher.

Seedling growth tests showed that when recycled use compost was applied, the Komatsuna growth already exceeded that without the compost at 68 d, and at 203 d it was better than those with the frame piling or simple piling composts.

Thus, my results showed that for the composting of apple prunings, not only the commonly used composting method of piling in a wooden frame, but also the simple piling method without compacting are applicable, and the use of highly decayed apple prunings compost reduces the period necessary for composting.

Furthermore, my investigations into the composting of apple prunings with smaller amounts of nitrogen sources concluded that 10kg of poultry manure and 2kg of calcium cyanamide per 100kg of shredded apple prunings are sufficient.

To test the influence of apple prunings compost on the occurrence of violet root rot, one-year-old *Malus prunifolia* trees were planted in clay pots filled with medium soil mixed with apple prunings compost. Then they were inoculated with apple shoots on which isolates of the violet root rot had been mass-cultured in advance.

The inoculation tests showed that both andosol and alluvial clay soils are suitable to be used as the medium soil, and that 5 : 1 and 10 : 1 ratios of mix percentage are good.

For both soils and both mix percentages, the violet root rot was more induced with the addition of immature apple prunings compost to medium soil than in medium soil alone. This indicated that it was possible to judge by the inoculation test whether violet root rot is easily induced or not with apple prunings composts of various maturation degrees.

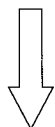
The inoculation test was performed twice on each andosol/compost mixture from two periods of composting. The results showed that apple prunings composted for less than half a year easily induced the violet root rot whereas more mature compost of 200 d or more did not easily promote the infection.

My investigations demonstrated concrete, practical procedures by which farmers can produce apple prunings compost.

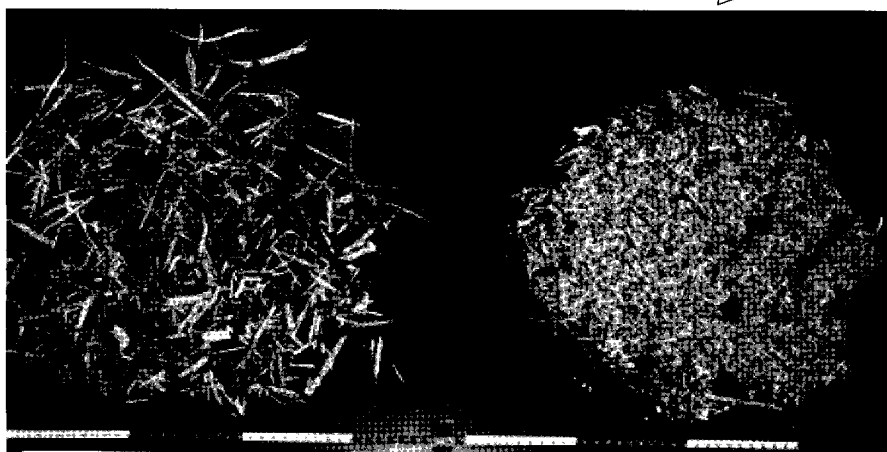
¹⁾ Aomori Prefect. Agric. & Forestry Res. Cent.



チップパー A



チップパー B



せん定枝チップの形状 (左: チップ A, 右: チップ B)

写真1 堆肥化に使用したせん定枝チップパーとチップの形状



木枠にチップ化したせん定枝を積み込む



踏圧を加え、副資材を添加



積み上がった状態

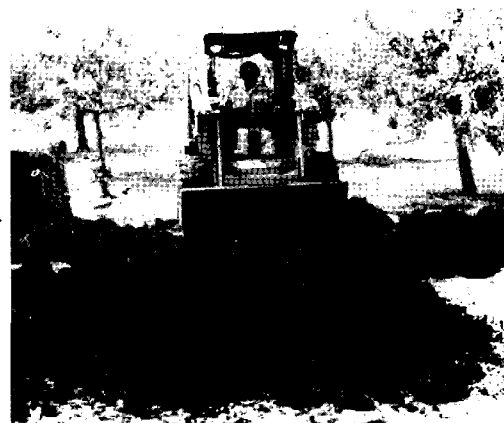


灌水する

(木枠を引き上げ、これらの作業を繰り返す)



ビニールをかけて堆積完了
(左：堆肥A、右：堆肥B)



ローダーによる切り返し作業

写真2 リンゴせん定枝堆肥化の手順

付表1 堆積に伴う含水率、全炭素量、全窒素量及びC/N比の推移

堆積日数	含水率 (kg kg ⁻¹) ^{z)}			C (g kg ⁻¹ 乾物)			N (g kg ⁻¹ 乾物)			C/N比		
	1区	2区	3区	1区	2区	3区	1区	2区	3区	1区	2区	3区
39日	0.55±0.12 ^{xy)}	0.64±0.02	0.60±0.04	486±8	489±24	490±13	17.8±9.7	16.7±7.2	19.2±10.1	33.6±18.1	34.3±17.6	34.0±24.6
71日	0.67±0.04	0.68±0.01	0.68±0.03	454±5	459±15	479±12	29.0±9.8	28.6±7.2	28.4±6.1	16.7±4.7	16.7±3.7	17.4±3.8
104日	0.66±0.07	0.68±0.02	0.67±0.06	444±36	479±8	482±9	28.2±5.7	29.1±3.6	31.2±4.5	16.1±2.3	16.6±2.1	15.7±2.1
144日	0.68±0.06	0.71±0.01	0.70±0.06	468±7	476±8	485±7	36.9±0.7	34.0±4.4	33.2±1.6	12.7±0.1	14.1±1.7	14.6±0.7
202日	0.70±0.02	0.71±0.00	0.71±0.03	435±14	453±7	447±4	39.4±3.0	37.3±3.8	37.3±1.2	11.1±1.3	12.2±1.6	12.0±0.5
346日	0.66±0.02	0.71±0.01	0.69±0.03	423±5	426±11	427±8	40.9±1.9	38.4±2.3	40.2±1.4	10.4±0.5	11.1±0.8	10.6±0.6

z) 湿潤物当たり、y) 堆肥の上部、外周部及び中心部の平均値±標準偏差。

付表2 堆積に伴う粒径分画された画分の乾物重分布の推移 (単位: g kg⁻¹乾物)

画分	堆積39日目			104日目			202日目			346日目		
	1区	2区	3区	1区	2区	3区	1区	2区	3区	1区	2区	3区
F1+2	785±44 ^{xy)}	824±52	815±27	540±79	604±44	514±19	341±77	336±59	353±88	420±27	368±69	323±20
F3+4	114±25	106±37	105±10	162±52	143±53	184±56	300±64	304±38	279±27	302±50	312±36	348±7
F5+6	52±17	45±19	41±3	169±31	139±22	170±15	229±21	229±28	235±37	186±8	219±31	214±16
F7	11±8	11±7	11±6	74±6	66±11	64±20	80±18	92±14	72±18	58±14	72±12	61±12
F8+9	38±34	13±12	28±31	56±9	48±23	68±17	50±4ab ^{xy)}	39±4a	61±12b	34±8a	30±3a	55±4b

z) 堆肥の上部、外周部及び中心部の平均値±標準偏差、y) 同一堆積日の同一画分における異なるアルファベット間は、Tukeyの多重検定により1%水準で有意差あり。

付表3 堆積に伴う含水率、全炭素量、全窒素量及びC/N比の推移

堆積日数	含水率 (kg kg ⁻¹) ^{z)}			C (g kg ⁻¹ 乾物)			N (g kg ⁻¹ 乾物)			C/N比		
	枠堆積区	簡易堆積区	戻し堆肥区	枠堆積区	簡易堆積区	戻し堆肥区	枠堆積区	簡易堆積区	戻し堆肥区	枠堆積区	簡易堆積区	戻し堆肥区
27日	0.60±0.01 ^{xy)}	0.66±0.03	0.66±0.09	477±13	485±5	401±77	14.3±6.2	10.8±3.9	25.0±11.4	37.3±13.7	50.6±23.8	21.7±15.5
68日	0.68±0.04	0.66±0.12	0.69±0.03	472±16	481±6	408±65	21.4±6.0	19.2±1.5	21.4±5.7	23.4±7.1	25.2±2.2	20.3±8.2
104日	0.72±0.04	0.74±0.01	0.72±0.01	462±7b ^{xy)}	461±22b	352±6a	26.5±2.8ab	22.3±3.2a	31.0±2.0b	17.6±2.2ab	21.1±3.7b	11.4±0.6a
204日	0.72±0.05	0.78±0.00	0.69±0.05	442±13b	458±20b	352±19a	29.5±2.5	29.4±2.1	31.6±1.0	15.1±1.7ab	16.9±2.9b	11.1±0.6a
358日	0.72±0.04	0.75±0.04	0.69±0.04	437±5b	435±5b	329±10a	32.8±1.2ab	33.3±1.0b	29.3±2.0a	13.4±5.7b	13.1±2.2b	11.3±4.2a

z) 湿潤物当たり、y) 堆肥の上部、外周部及び中心部の平均値±標準偏差、x) 同一行の同一項目における異なるアルファベット間は、Tukeyの多重検定により5%水準で有意差あり。

付表4 粒径分画された画分の乾物重分布の変化（堆積204及び358日目）

(単位: g kg⁻¹)

堆積日数	区	F 1+2	F 3+4	F 5+6	F 7	F 8+9
204日	枠堆積区	363 ± 74 ^{z)}	338 ± 70	230 ± 53	35 ± 13	31 ± 10
	簡易堆積区	384 ± 106	244 ± 54	284 ± 49	55 ± 7	33 ± 21
	戻し堆肥区	106 ± 59	297 ± 41	485 ± 46	76 ± 21	36 ± 7
358日	枠堆積区	369 ± 65	388 ± 43	185 ± 31	24 ± 3	35 ± 9
	簡易堆積区	407 ± 5	306 ± 85	220 ± 51	34 ± 20	33 ± 16
	戻し堆肥区	152 ± 21	388 ± 148	326 ± 39	93 ± 80	42 ± 17
分散分析 ^{y)}	堆積日数	NS	NS	**	NS	NS
	区	**	NS	**	*	NS
	堆積日数 × 区	NS	NS	NS	NS	NS

z) 堆肥の上部、外周部及び中心部の平均値 ± 標準偏差。y) *は5%, **は1%水準で有意差あり。NSは有意差なし。

付表5 粒径分画された画分の全炭素量、全窒素量及びC/N比（堆積358日目）

項目	区	F 1+2	F 3+4	F 5+6	F 7	F 8+9
C ^{z)} (g kg ⁻¹)	枠堆積区	489 ± 8 ^{y)}	430 ± 10 b ^{y)}	389 ± 5 b	371 ± 9 b	226 ± 15
	簡易堆積区	498 ± 4	430 ± 7 b	410 ± 6 c	376 ± 5 b	246 ± 15
	戻し堆肥区	478 ± 19	333 ± 10 a	312 ± 12 a	312 ± 4 a	248 ± 34
N ^{z)} (g kg ⁻¹)	枠堆積区	28.5 ± 3.2	35.5 ± 0.5 b	38.1 ± 1.6 b	47.6 ± 2.7 b	30.7 ± 8.1 a
	簡易堆積区	25.5 ± 2.2	35.4 ± 2.9 b	41.1 ± 1.1 c	48.6 ± 1.1 b	32.3 ± 2.6 a
	戻し堆肥区	29.7 ± 1.6	27.1 ± 4.4 a	31.9 ± 0.5 a	39.4 ± 0.5 a	50.4 ± 3.4 b
C/N比	枠堆積区	17.0 ± 1.7	11.8 ± 0.3	10.0 ± 0.1	7.6 ± 0.0 a	7.4 ± 1.2 b
	簡易堆積区	19.7 ± 1.6	12.2 ± 1.2	10.0 ± 0.3	7.7 ± 0.1 a	7.6 ± 0.7 b
	戻し堆肥区	16.1 ± 1.5	12.6 ± 2.6	9.8 ± 0.4	7.9 ± 0.0 b	5.0 ± 1.0 a

z) 乾物当たり。y) 堆肥の上部、外周部及び中心部の平均値 ± 標準偏差。x) 同一項目の同一画分における異なるアルファベット間には、Tukeyの多重検定により5%水準で有意差あり。