

緑地の樹木管理作業で生じた植物性発生材のリサイクル利用に関する研究

課題番号 14760013

平成14年度～平成15年度科学研究費補助金(若手研究B)研究成果報告書

平成16年6月

研究代表者 高橋輝昌

(千葉大学園芸学部)

千葉大学附属図書館

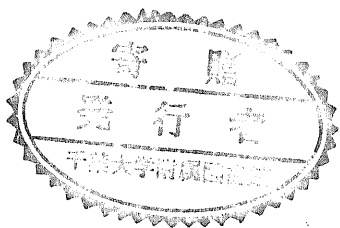


20005806455

版物

2

0



はしがき

都市緑地では緑化樹木の管理作業により、剪定枝条などの植物性発生材を多量に生ずる。植物性発生材の再利用、有効利用は、緑地面積の拡大、法律による焼却処分規制、環境問題への関心の高まりなどに伴い、重要な課題になっている。近年、植物性発生材を有機物資源とみなし、チップ状に粉碎し(チップ材)、土壌改良材や舗装材などとして利用する試みがなされるようになった。この方法は実施が容易である一方、未分解な有機物を土壌に施用することによる窒素飢餓(土壌中の可給態窒素が未分解な有機物に取り込まれることで引き起こされる可給態窒素欠乏)や、チップ材に含まれる他感作用物質による植物の生育阻害が危惧されている。

これまでの研究で、チップ材の化学組成が原料の樹種や枝・葉・幹といった部位によって異なり、チップ材の分解特性に影響することを明らかにされ、利用目的に応じたチップ材の使い分けも提案されている。また、申請者らは一部の樹木が他の植物の発芽や生育を阻害する他感作用物質を持つ可能性を示した。これらの知見はいずれも室内実験により得られたものである。今後、植物性発生材の有効利用を進めていく上で、土壌に敷きならされたチップ材の分解特性や分解に影響する要因、チップ材敷きならしによる土壌養分特性の変化、植物の成長への影響などを屋外で明らかにする必要がある。

本研究の目的は屋外の環境下で、土壌に敷きならされたチップ材の分解特性を明らかにし、分解特性に及ぼすチップ材の化学組成、微生物の組成と活性、地温といった要因の影響を評価すること、チップ材の敷きならしが植物の成長に及ぼす影響をチップ材敷きならし地に植栽された緑化樹の成長量などから明らかにし、そのメカニズムを考察すること、である。本研究ではさらに、チップ材の土壌改良材としての機能を付加させるための堆肥化についても基礎的な知見を得ることができた。

土壌に施用されたチップ材、土壌、緑化樹の関係を明らかにすることはリサイクル時代の緑地造成・管理のあり方を考える上で重要な知見を与える。チップ材敷きならしに伴い引き起こされる様々な現象の因果関係を解明したり、長期間にわたるチップ材敷きならしの影響を明らかにする本研究の手法は、それによって得られる知見とともにこの分野の研究を発展させるものとする。

研究組織

研究代表者：高橋輝昌(千葉大学園芸学部)

交付決定額(配分金)

平成 14 年度 2,900 千円

平成 15 年度 700 千円

総計 3,600 千円

研究発表

(1) 学会誌等

高橋輝昌・伊藤香那子・野口敬記・浅野義人・小林達明, 植物性発生材の粒径および窒素施肥が分解特性・土壌の性質・植物生育に及ぼす影響, 日本緑化工学会誌, 28 巻 1 号, 263-266 ページ, 2002 年 8 月

(2) 口頭発表

松本 崇・高橋輝昌・浅野義人・小林達明・小林広行・荻野淳司, 未分解植物性発生材を混入した土壌への施肥効果, 第 34 回日本緑化工学会大会研究交流発表会要旨集, 20 ページ, 2003 年 9 月

西尾太寿・高橋輝昌・浅野義人・小林達明・荻野淳司, 堆肥添加法による植物性発生材の堆肥化過程, 第 34 回日本緑化工学会大会研究交流発表会要旨集, 19 ページ, 2003 年 9 月

(3) 出版物

高橋輝昌, 物質循環機能の形成と向上, 渡辺達三ら編, 緑の環境設計, 799pp., エヌジーティー, 205-214 ページ, 2002 年 11 月

目次

第1章 植物性発生材の分解特性に関する研究

| | |
|------------|----|
| 1. はじめに | 1 |
| 2. 材料および方法 | 1 |
| 3. 結果と考察 | 3 |
| 4. おわりに | 10 |
| 引用文献 | 18 |

第2章 植物性発生材の粒径および窒素施肥が分解特性・土壌の性質・植物生育に及ぼす影響

| | |
|----------|----|
| 1. はじめに | 20 |
| 2. 方法 | 20 |
| 3. 結果と考察 | 24 |
| 4. まとめ | 33 |

第3章 未分解植物性発生材を混入した土壌への施肥効果

| | |
|----------|----|
| 1. はじめに | 36 |
| 2. 方法 | 36 |
| 3. 結果と考察 | 36 |
| 4. まとめ | 38 |

第4章 堆肥添加法による植物性発生材の堆肥化過程

| | |
|----------|----|
| 1. はじめに | 42 |
| 2. 方法 | 42 |
| 3. 結果と考察 | 42 |
| 4. まとめ | 44 |

第5章 堆肥混入と頻繁な切り返しによる剪定枝の堆肥化促進法の検討

| | |
|---------|----|
| 1. はじめに | 49 |
|---------|----|

| | |
|----------|----|
| 2. 材料と方法 | 49 |
| 3. 結果と考察 | 50 |
| 4. おわりに | 58 |
| 引用文献 | 58 |

第1章 植物性発生材の分解特性に関する研究

1. はじめに

公共緑地では樹木管理作業により不要な剪定枝条が大量に発生する。今後、緑化の促進に伴い、剪定枝条発生量の増加が予想される。また、法律による焼却処分規制、リサイクル思想の高まりも伴い、剪定枝条の再利用、有効利用は重要な課題となっている。

多くの剪定枝条は、再利用を容易にするためにチップ状に粉碎され、舗装材や土壌改良材などとして利用される。チップ材の分解特性を明らかにすることでより有効な剪定枝条の再利用が可能になると思われる。

チップ材については舗装材として利用するための技術開発研究(林業科学技術振興所, 1999)、敷きならしによる地中温度、土壌硬度、水分状態への影響に関する研究(林業科学技術振興所, 1999; 藤崎ら, 1997)、樹木の生育への影響に関する研究(美濃川, 1998)、雑草抑制効果についての研究(林業科学技術振興所, 1999)が行われている。しかし、チップ材の分解特性に関する研究例は少ない。

有機物の性質と分解の関係について、農林業の分野では一般に、有機物は C/N 比の高い有機物ほど分解されにくいとされている(河田, 1989)。土壌中の微生物は C/N 比の高い有機物を分解する際に菌体合成に必要な窒素を得るために土壌中の無機態窒素を取り込みながら増殖する(Takeda, 1995)。また、C/N 比と同様に C/P 比の高い有機物ほど分解されにくいとする見解(河田, 1989)やマンガンの含有量が多い葉は分解率が高くなるとする報告(Berg, 1995)もある。

各種チップ材の分解特性を決定する要因としては、チップ材の化学的性質や構造(形、大きさ)が挙げられる。そこで本研究では、①チップ材の分解特性を、室内実験で測定された炭素無機化特性と地表面に設置したチップ材の重量変化から把握するとともに、チップ材の化学的性質と分解特性の関係について検討すること、②有機物分解の際に微生物によって利用される無機態窒素やリグニン分解酵素の材料となるマンガン(Berg, 1995)をチップ材に添加することによるチップ材の分解促進の可能性について室内実験により検討することを目的とした。

2. 材料および方法

(1) チップ材

実験には以下の6種類のチップ材を用いた。落葉広葉樹のソメイヨシノ (*Prunus × yedoensis* Matsum.) の幹部由来のチップ材 (347.0g (生重) L⁻¹; 含水率 41.2%)、枝葉部由来のチップ材 (259.9g (生重) L⁻¹; 含水率 44.6%)、常緑広葉樹のクスノキ (*Cinnamomum camphora* (L.) Sieb.) の幹部由来のチップ材 (277.5g (生重) L⁻¹; 含水率 46.3%)、枝葉部由来のチップ材 (277.5g (生重) L⁻¹; 含水率 59.9%)、針葉樹のクロマツ (*Pinus thunbergii* Parl.) の幹部由来のチップ材 (270.9g (生重) L⁻¹; 含水率 29.9%)、枝葉部由来のチップ材 (277.5g (生重) L⁻¹; 含水率 50.8%)

(2) チップ材の化学的性質

乾燥させたチップ材を粉砕器で粉砕し、炭素(C)、窒素(N)濃度についてはCNコーダ一法(田辺・蘭, 1987)で、ナトリウム(Na)、マグネシウム(Mg)、リン(P)、カリウム(K)、カルシウム(Ca)、マンガン(Mn)濃度については湿式灰化(HClO₄ + HNO₃)の後、ICP誘導プラズマ発光分析法(原口, 1989)により測定した。また、これらの結果からC/N比、C/P比を算出した。

(3) チップ材の無機化速度

各種チップ材を乾燥後、粉砕器を用いて粉末状に粉砕した。粉砕したチップ材3gをチップ材の種類ごとに土壌(千葉大学構内で採取した赤土: 含水率 46%) 50g (生重) に混和し、500mL のガラス瓶に入れ、25℃の恒温器内で培養した。また、チップ材を混和しない土壌も同様に培養した。培養期間中、土壌の水分状態を一定に保つように重量法により水分を調節した。培養期間中、1~30日おきに密閉アルカリ吸収法(長縄, 1992)により炭素無機化(CO₂発生)速度(無機化速度)を測定した。チップ材を混和した土壌と混和しない土壌の無機化速度の差をチップ材の無機化速度とした。

(4) 野外でのチップ材の分解特性

20cm × 20cm のナイロンネット製の袋(バッグ)にチップ材を種類ごとに生重で100gずつ入れ、5月28日に千葉大学園芸学部構内の裸地に固定して設置した。11月12日まで2週間~4週間の間隔でバッグを一種類につき3個ずつ回収し、内容物の重量(乾燥重量)を測定した。バッグ設置時の内容物の重量(乾燥重量)に対する各回収時の重量減少の割合を求め、分解率とした。

バッグの設置とともに地表温度を1時間ごとに測定した。1時間毎の地温を積算して積算地温を算出した。

(5) N、Mn 添加によるチップ材の分解促進効果の検証

(3)と同様に3gのチップ材を混和した土壌50g(生重)に、N添加の場合にはNが20mgになるようにNH₄Cl粉末を229.14mg加えて混和し、Mn添加の場合にはMnが15mgになるようにMnCl₂・4H₂O粉末を162.10mg混和し、それぞれ25℃の恒温器内で培養した。培養期間中、(3)と同様に定期的に無機化速度を測定した。

3. 結果と考察

(1)チップ材の化学的性質

各種チップ材の元素濃度、C/N比、C/P比を表1に示す。C以外の元素濃度は幹部より枝葉部で多かった。K濃度はクスノキ枝葉部で他のチップ材の3~10倍高かった。Na濃度はクスノキの枝葉部、クロマツの枝葉部で特に高かった。C/N比はいずれの樹種でも枝葉部より幹部で高かった。幹部のC/N比はクロマツ、クスノキではそれぞれ364.6、349.6であるのに対し、ソメイヨシノでは277.2であり、低めであった。このように、同じ部位であっても樹種によってC/N比には差がみられた。

有機物の分解程度や分解され易さの指標としてはC/N比が一般に用いられている(河田, 1989)。また、土壌中で有機物が土壌微生物の作用によって分解される際に、有機物に含まれるNとPは相互に関連を持ち、両者は同じような変化をたどることから、C/N比と同様にC/P比も有機物の分解程度や分解され易さの指標になりうる(河田, 1989)。本研究ではC/P比はC/N比と同様に幹部で大きく、枝葉部で小さい傾向にあった。幹部のC/P比はクロマツでおよそ6000であり、ソメイヨシノの4倍、クスノキの5倍高かった。

(2)チップ材の無機化量

チップ材の無機化速度を積算して算出した50日間の積算無機化量(無機化量)を図1に示す。いずれの樹種についても幹部のチップ材の無機化量は枝葉部のチップ材よりも少なかった。部位毎にみると幹部ではソメイヨシノ>クスノキ>クロマツ、枝葉部ではクスノキ>クロマツ>ソメイヨシノの順にそれぞれ小さくなった。

無機化量とチップ材のC/N比の関係を図2に、無機化量とC/P比の関係を図3にそれぞれ示す。C/N比、C/P比ともに、無機化量と負の相関関係がみられた。チップ材の無機化速度はC/N比、C/P比といった化学的性質に大きく影響されていた。藤原・鎌田(1984)も街路樹剪定枝条のC/N比と炭素無機化量が負の相関関係にあることを報告している。

(3)野外でのチップ材の分解特性

バッグ設置地点の地温(地表部)の経時変化を図4に、チップ材の分解率を図5に示す。

表1 チップ材の元素含有量

Table1 Elements concentration of chips

| Species | Part | C | N | P | K | Ca | Na | Mg | Mn | C:N ratio | C:P ratio |
|-----------------------|---------------------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|-------|-----------|-----------|
| (g kg ⁻¹) | | | | | | | | | | | |
| <i>Prunus</i> | Stems | 470.2 | 1.70 | 0.33 | 1.02 | 6.29 | 0.03 | 0.59 | trace | 277.2 | 1415.1 |
| | Branches and leaves | 460.3 | 6.57 | 0.97 | 3.75 | 11.97 | 0.06 | 1.57 | trace | 71.2 | 473.9 |
| <i>Cinnamomum</i> | Stems | 393.6 | 1.14 | 0.32 | 3.02 | 6.83 | 0.07 | 1.45 | trace | 349.6 | 1237.7 |
| | Branches and leaves | 444.6 | 10.82 | 1.32 | 10.26 | 15.43 | 0.14 | 2.10 | 0.01 | 41.1 | 337.0 |
| <i>Pinus</i> | Stems | 487.3 | 1.34 | 0.08 | 0.53 | 2.25 | 0.06 | 0.32 | trace | 364.6 | 5980.4 |
| | Branches and leaves | 445.2 | 6.32 | 0.70 | 2.90 | 7.16 | 0.19 | 1.38 | 0.06 | 70.5 | 635.2 |

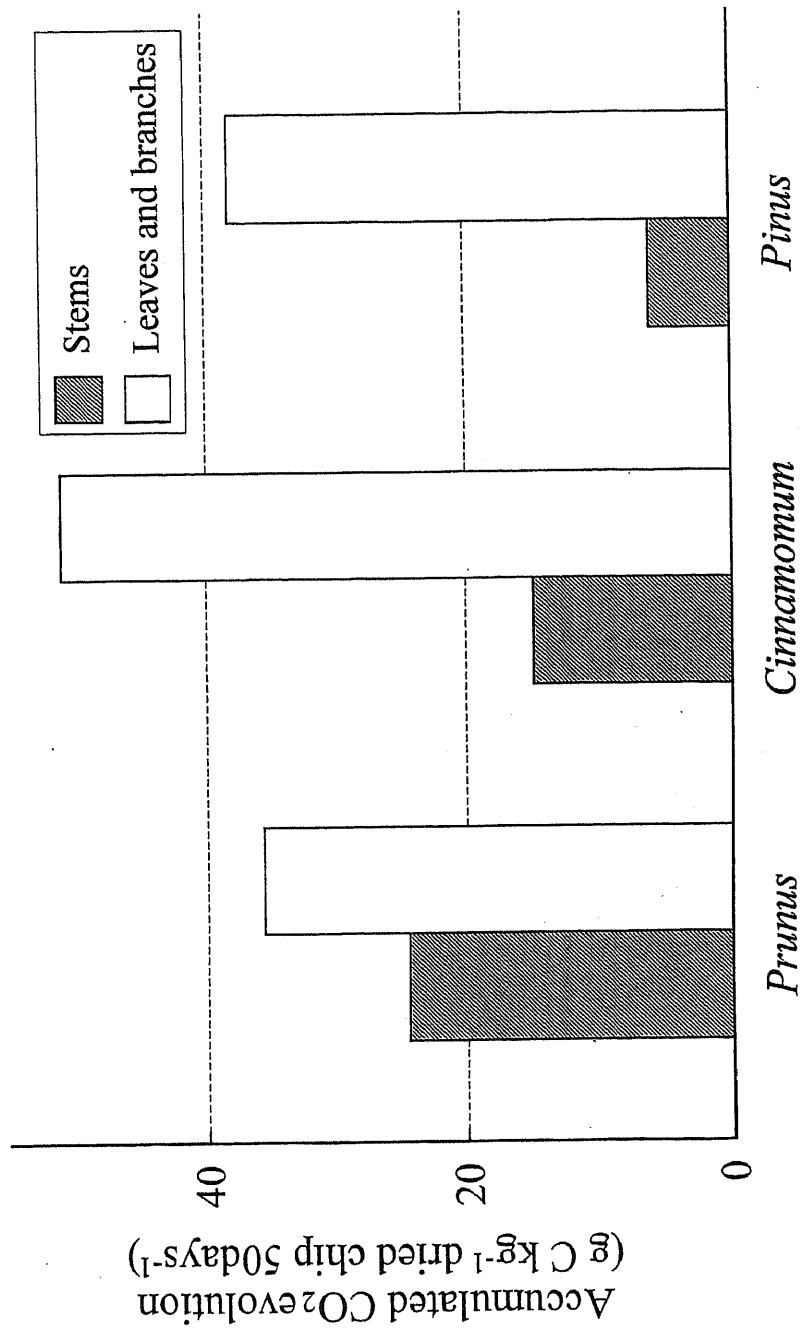


図1 各チップ材の積算炭素無機化量
Fig.1 C mineralization rate of each chip material.

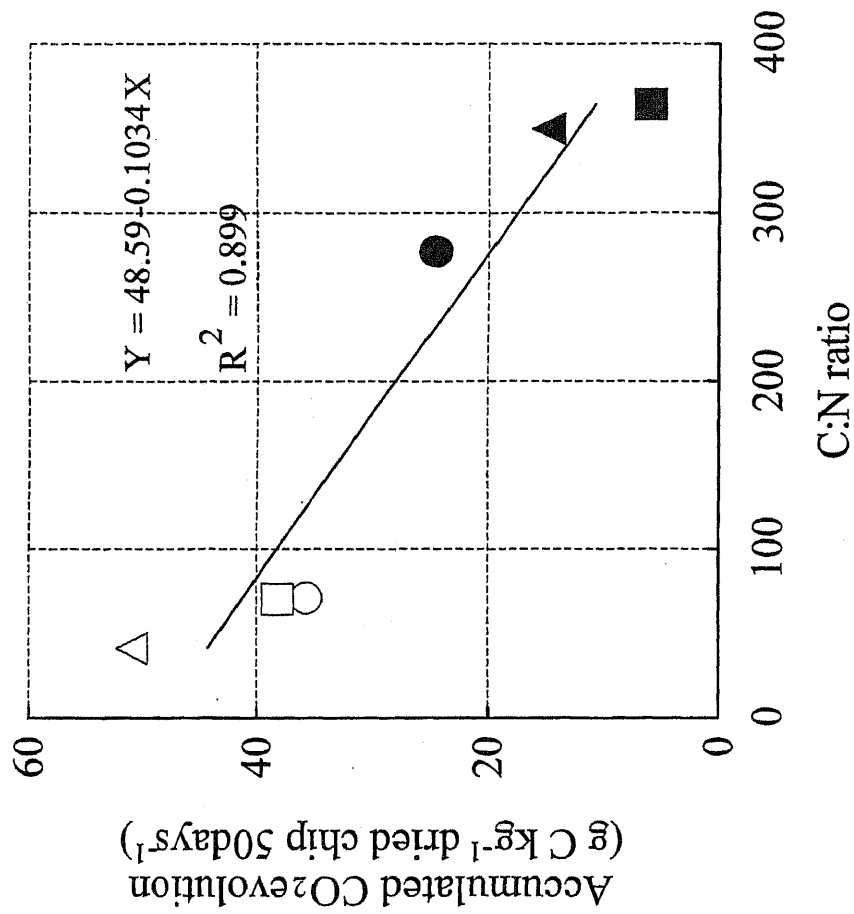


図2 チップ材の積算無機化量とC/N比の関係

Fig.2 Relationships between C mineralization rates and C:N ratios of chip material.

○ ソメイヨシノ枝葉部, ● ソメイヨシノ幹部, △ クスノキ枝葉部, ■ クロマツ枝葉部, ● クロマツ幹部.

○ Leaves and branches of Prunus, ● Stems of Prunus, △ Leaves and branches of Cinnamomum, ▲ Stems of Cinnamomum, ■ Leaves and branches of Pinus, ● Stems of Pinus.

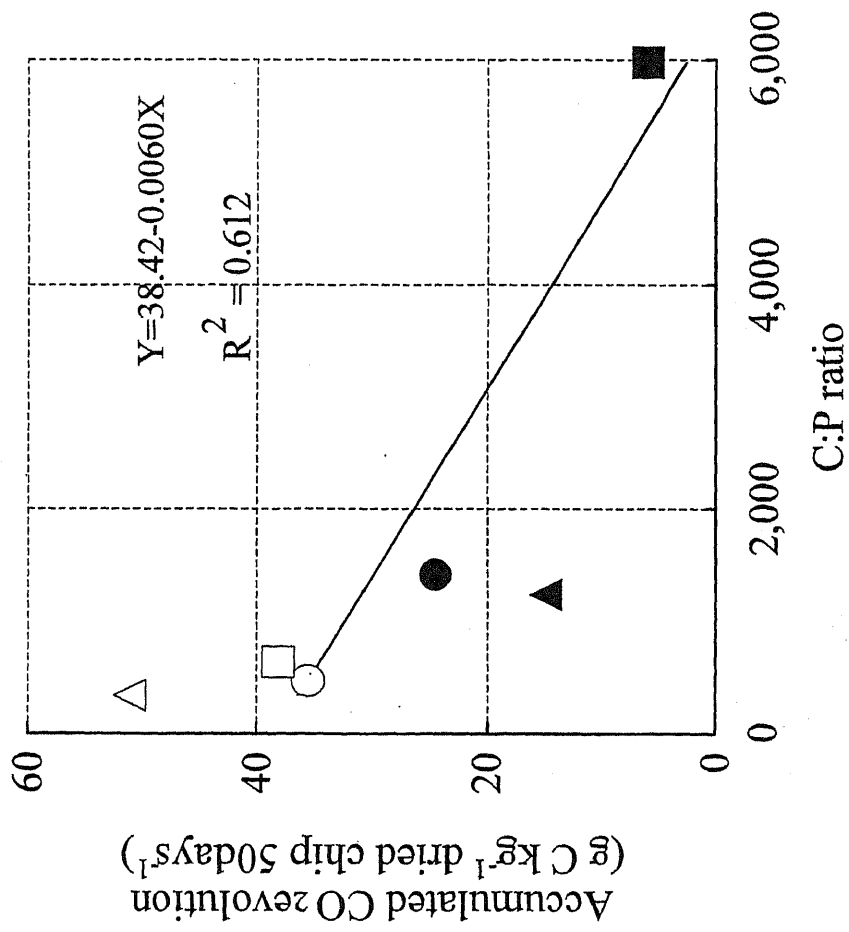


図3 チップ材の積算無機化量とC/P比の関係

Fig.2 Relationships between C mineralization rates and C:P ratios of chip material.

凡例は図2と同じ。

Legends are the same as in Fig.2.

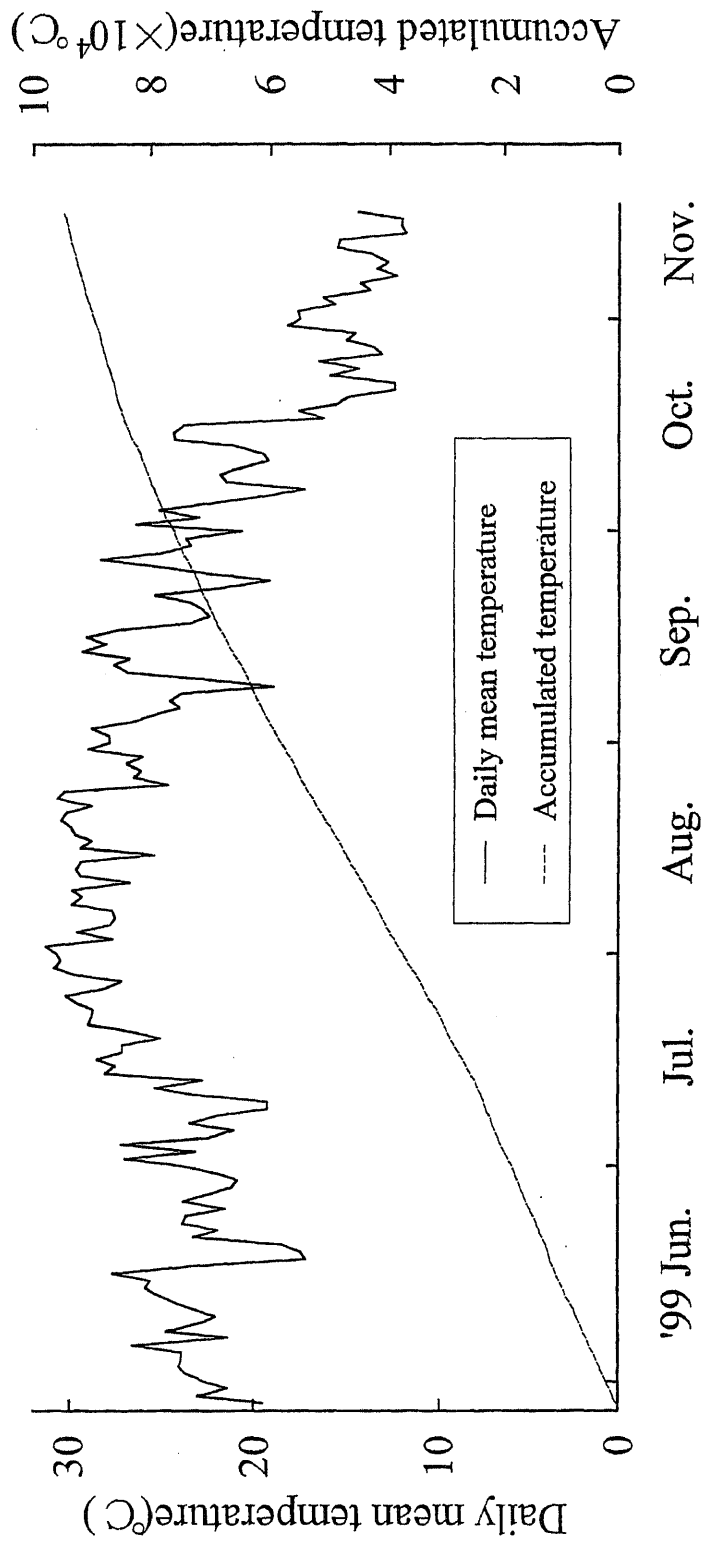


図4 地表温度の経時変化
Fig.4 Temporal changes in temperature at ground level.

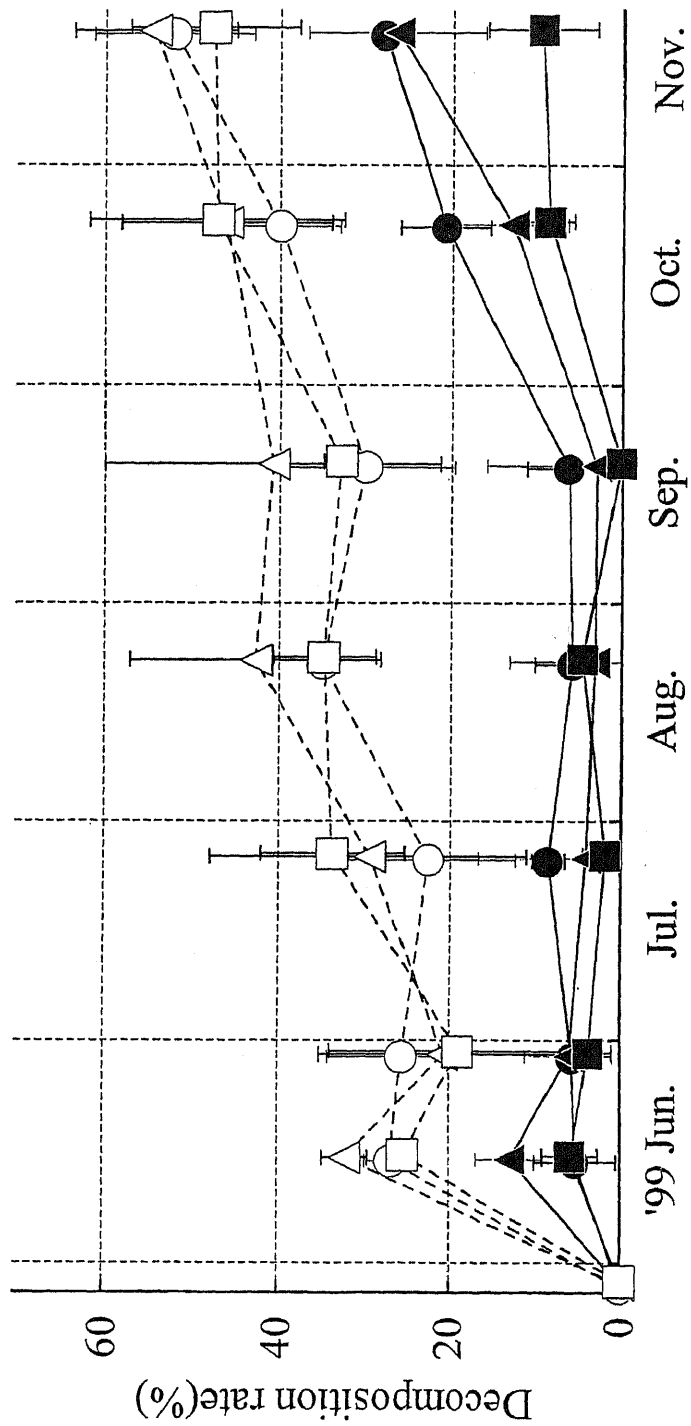


図5 チップ材分解率の経時変化
 Fig.5 Temporal changes in decomposition rate of chip material.
 凡例は図2と同じ。
 Legends are the same as in Fig.2.

幹部は9月17日(バッグ設置後16週目)までほとんど分解されなかったが、その後急激に分解された。この原因として、9月中旬までの高温、少雨によるチップ材の乾燥、その後の多雨による微生物活性の高まり、Nの有機化によるチップ材のC/N比の低下が考えられた。一方、枝葉部の分解率はバッグ設置直後から上昇し、11月19日(バッグ設置後24週目)にはソメイヨシノで52.1%、クスノキで54.4%、クロマツで47.6%となった。数種類の植物廃棄物の堆肥化について調査した鬼頭・吉田(1993)によれば、植物遺体の分解は3ヶ月の調査期間のうち、土壌への埋設直後の1ヶ月間で最も大きい。本研究での枝葉部の分解もバッグ設置直後に急激に進行し、時間が経つにつれて分解が緩やかになった。これは調査期間後期の地温の低下に加えて、枝葉部に含まれる易分解性有機物がバッグ設置直後に急激に分解されたことによると推察される。

積算地温と各チップ材の残存率(100 - 分解率(%))の関係を図6に示す。幹部では積算地温68000℃付近から残存率が減少した。堤・岡林(1959)は樹木の新鮮落葉を用いた分解実験結果から積算地温(X)と残存率(Y)が

$$\text{Log}Y = a - bX(a, b: \text{定数})$$

の関係にあることを示した。本研究でも、枝葉部で同様の関係がみられた。

11月12日(バッグ設置後24週目)における各種チップ材の分解率とバッグ設置時のC/N比の関係を図7に、C/P比の関係を図8にそれぞれ示す。C/N比、C/P比のいずれも分解率と負の相関関係にあった。このことから、本研究に用いたチップ材ではチップ材の形、大きさといった形態よりも、化学的性質が分解に強く影響していた。

(4) N、Mn 添加によるチップ材の分解促進効果の検証

N、Mn を添加した場合の各チップ材の無機化量(50日間積算)を図9、図10に示す。いずれのチップ材でも無機化量はN添加によって増加した。しかし、Mn添加と無添加の無機化量の差はほとんどみられなかった。Mn添加については、クスノキ幹部のチップ材を用い、Mnの添加量を1/10倍、10倍に変えて無機化量(30日間積算)を測定したが、添加による無機化促進効果はみられなかった(表2)。チップ材のC/N比とN添加での添加/無添加比の関係を図11に示す。Nの添加により、無機化量は3~7倍に増加した。N添加による無機化量の増加はC/N比の高いチップ材ほど大きかった。

4. おわりに

チップ材の分解特性とN、Mn添加による分解促進効果について検討する目的で、各種

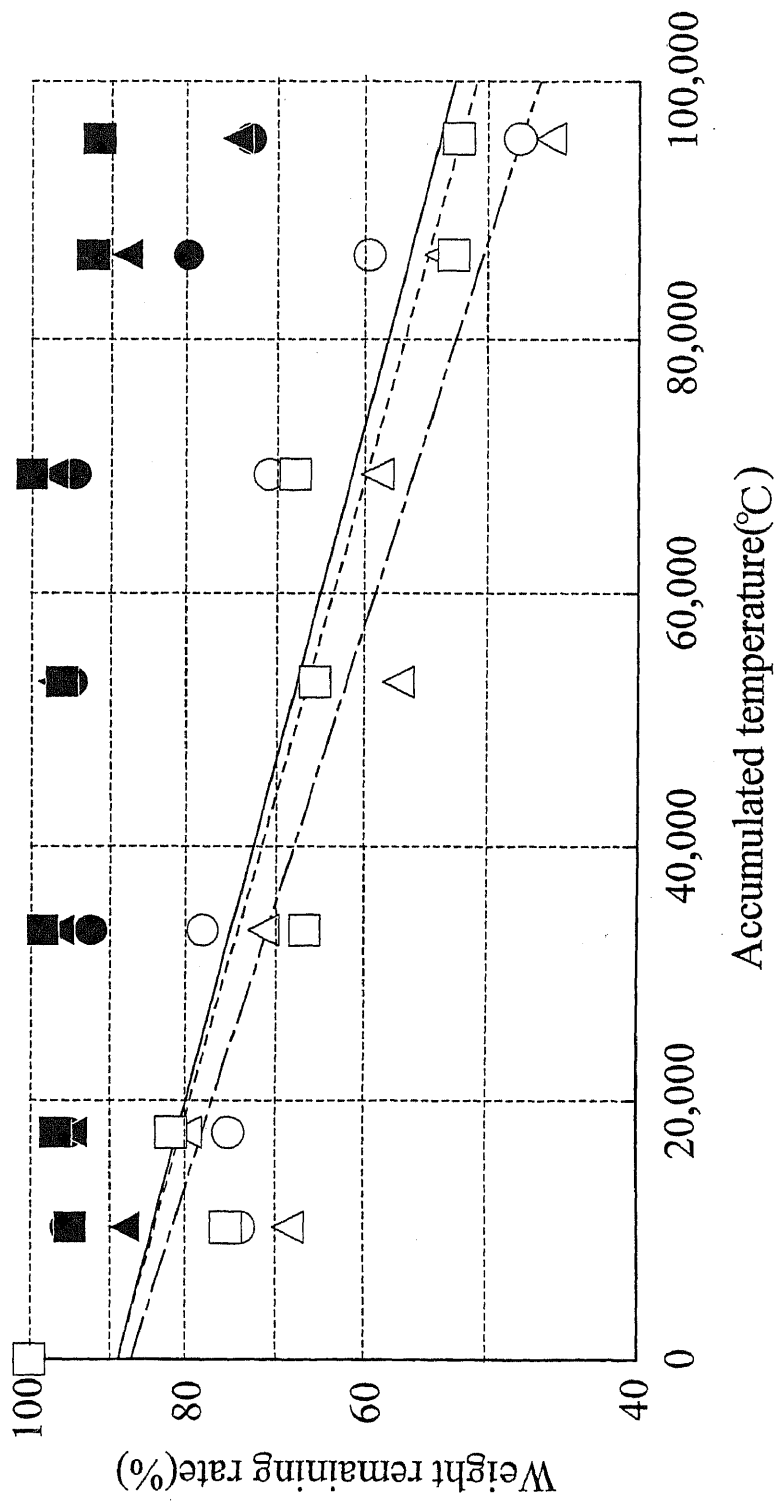


図6 積算地温とチップ材残存率の関係

Fig.6 Relationships between accumulated temperatures and weight remaining rates.

凡例は図2と同じ。

Legends are the same as in Fig.2.

Regressions: ○ (Solid line) $\text{Log}Y=1.945 - 2.228 \times 10^{-6} (R^2=0.755)$, △ (Chain line) $\text{Log}Y=1.936 - 2.691 \times 10^{-6} (R^2=0.883)$, □ (Dotted line)

$\text{Log}Y=1.944 - 2.364 \times 10^{-6} (R^2=0.837)$.

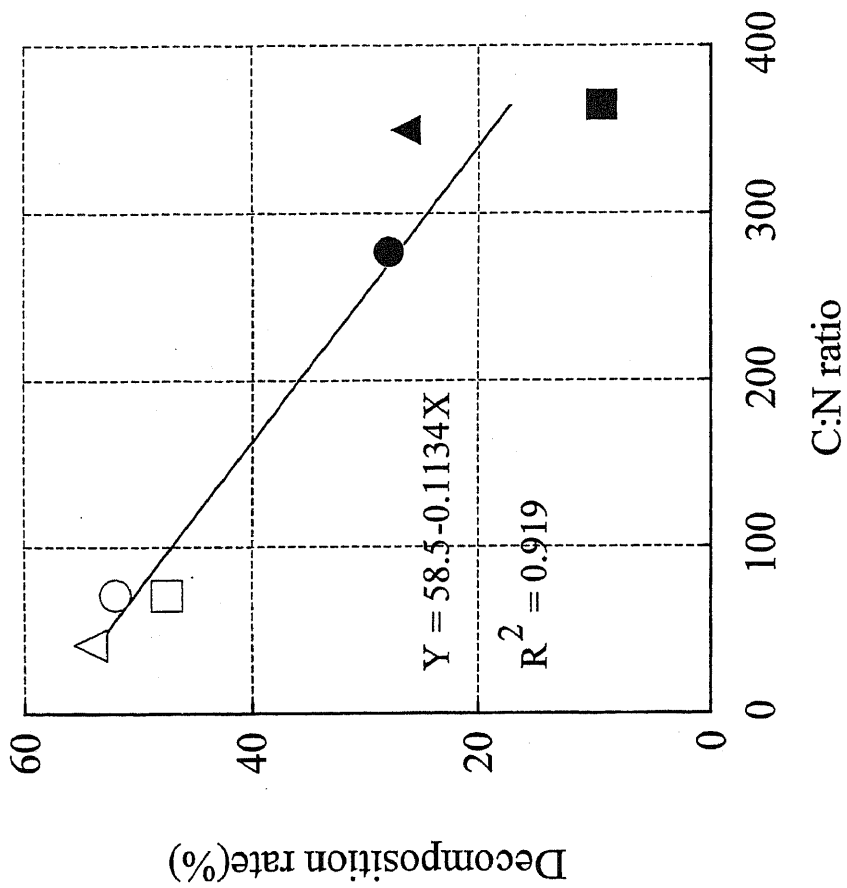


図7 C/N比とチップ材分解率の関係
 Fig.7 Relationships between C:N ratios and decomposition rates of chip material.
 凡例は図2と同じ。
 Legends are the same as in Fig.2.

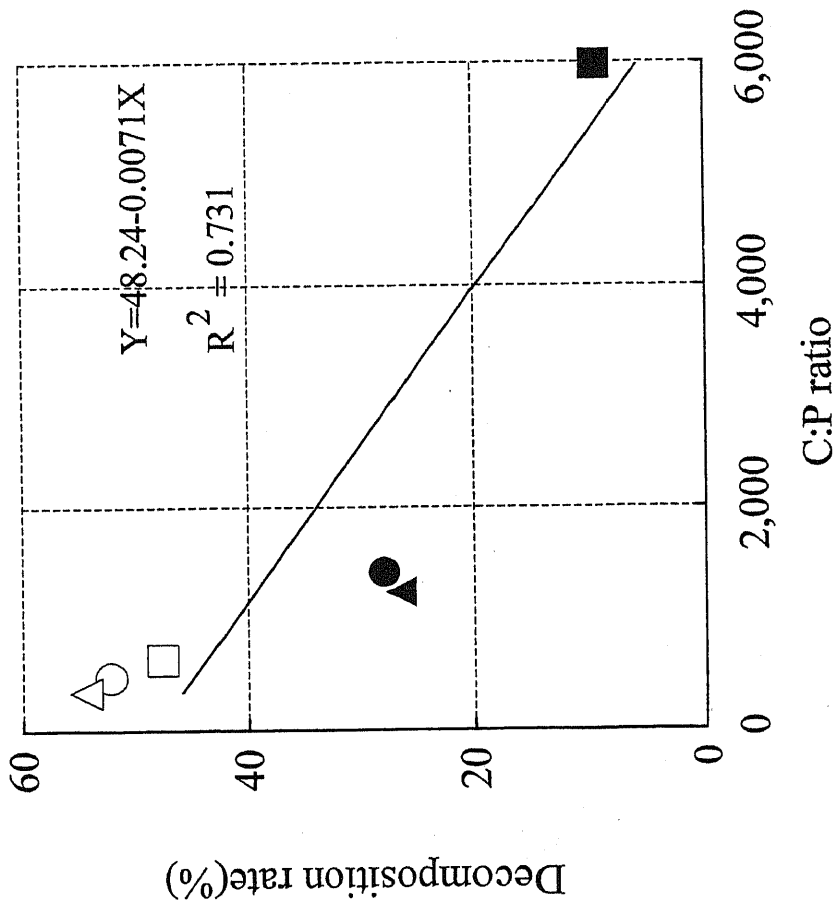


図8 C/P比とチップ材分解率の関係
 Fig.8 Relationships between C:P ratios and decomposition rates of chip material.
 凡例は図2と同じ。
 Legends are the same as in Fig.2.

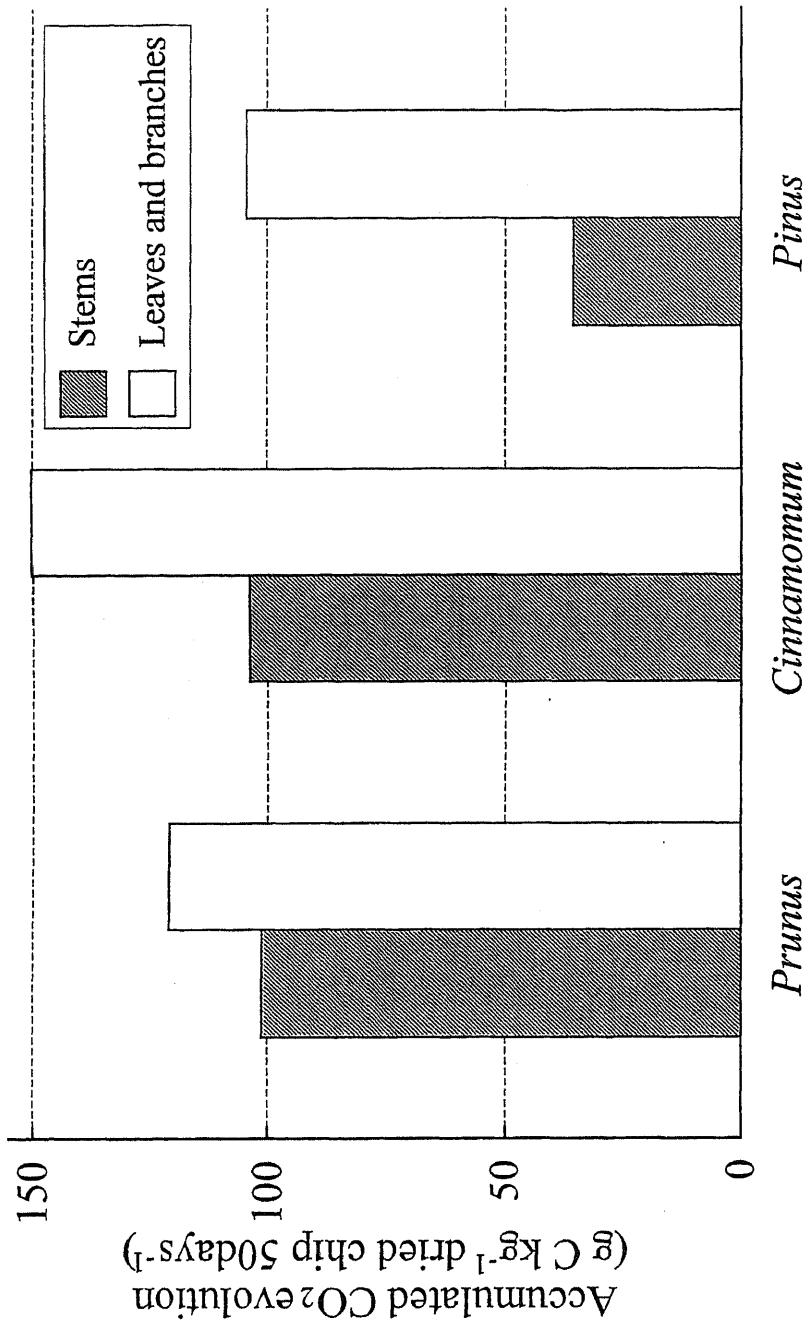


図9 窒素添加時の各チップ材の積算炭素無機化量
 Fig.9 C mineralization rate of each chip material at N addition treatment.

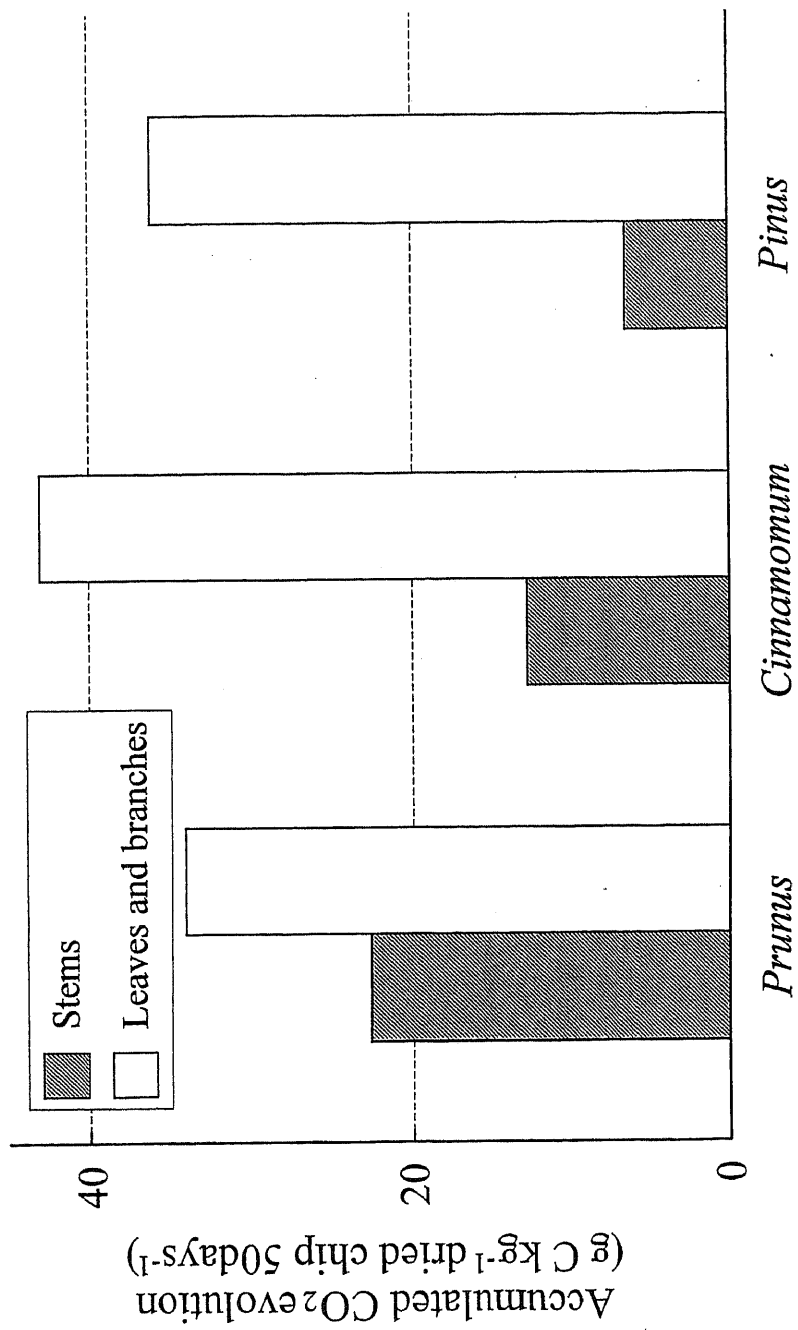


図 10 窒素添加時の各チップ材の積算炭素無機化量
 Fig.10 C mineralization rate of each chip material at Mn addition treatment.
 凡例は図 2 と同じ。
 Legends are the same as in Fig.2.

表2 チップ混入土壌からの二酸化炭素発生量

CO₂ evolution from the soil mixed with chip in each treatment.

| Treatment | Mn additive-free | Mn 1.5mg addition | Mn 150mg addition |
|---|------------------|-------------------|-------------------|
| CO ₂ evolution (mg C kg ⁻¹ dried soil 30days ⁻¹)* | 2.84 | 2.70 | 2.24 |

*at 25 °C

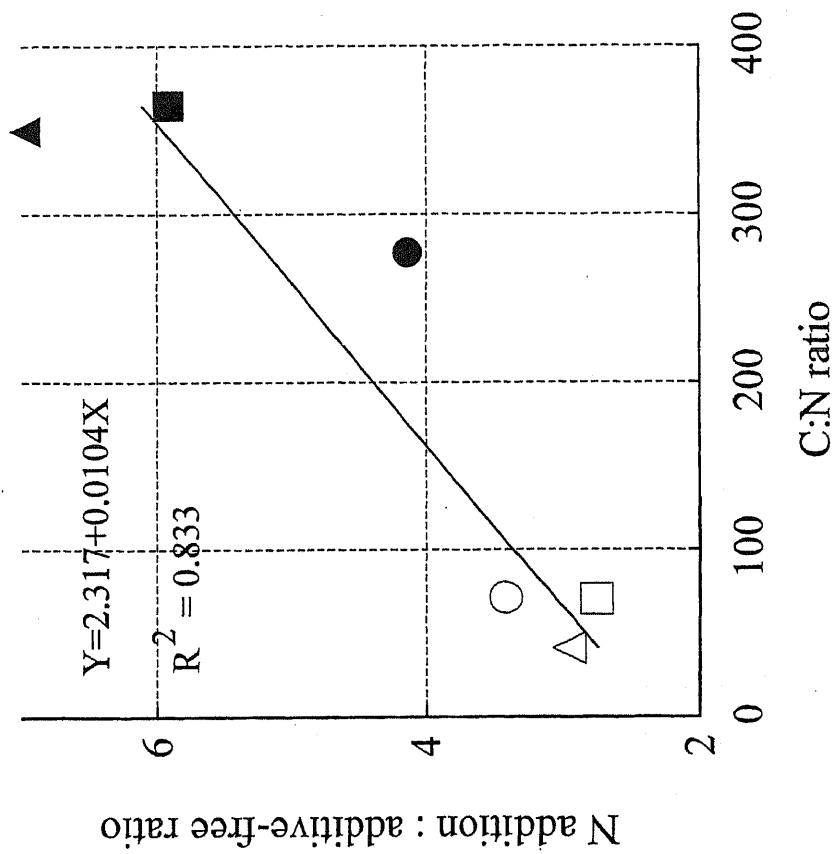


図 11 C/N 比と炭素無機化量の窒素添加/無添加比の関係

Fig.11 Relationships between C:N ratios and N addition: additive-free ratios of C mineralization.

凡例は図 2 と同じ。

Legends are the same as in Fig.2.

チップ材の元素濃度、室内培養での無機化量、野外での分解量、N、Mn 添加による無機化速度の変化を調査した。

粉碎したチップ材を用いて測定した無機化量、粉碎しないチップ材を用いて測定した分解量のいずれも C/N 比や C/P 比と負の相関関係にあった。このことから、チップ材の分解にはチップ材の大きさ、形といった形態よりも化学的性質がより強く影響すると考えられた。C/N 比や C/P 比が高い幹部のチップ材は分解されにくいので、舗装材、クッション材などとして利用することが望ましい。C/N 比、C/P 比が低い枝葉部のチップ材は分解されやすいので土壌改良材としての利用が望ましい。

チップ材への N 添加は C/N 比の高い分解・無機化を促進するうえで有効であった。しかし、リグニン分解酵素の原料である Mn を添加してもチップ材の分解・無機化に影響はみられなかった。

引用文献

- 林業科学振興所(1999) ウッドチップ新用途. 200pp., 林業科学振興所.
- 藤崎健一郎・勝野武彦・長谷川秀三(1997) ウッドチップマルチングの分解について. 第 28 回日本緑化工学会研究発表会研究発表要旨集: 145-148.
- 美濃川恵子(1998) 剪定枝葉粉碎チップの敷きならしが土壌と植物体に与える影響に関する研究. 都市公園 143: 81-86.
- 河田 弘(1989) 森林土壌学概論. 399pp., 博友社.
- Takeda, H.(1995) A 5year study of litter decomposition process in a *Chamaecyparis obtusa* Endl. forest. Ecological Research10: 95-105.
- Berg, B.(1995) Decomposition of litter and soil organic matter — Can we distinguish a mechanism for soil organic matter buildup? Scandinavian Journal of Forest Research10: 108-119.
- 田辺市郎・蘭 道生(1987) 炭素窒素同時分析法(土壌養分分析法, 土壌養分測定法委員会編, 440pp., 博友社). 139-147.
- 原口紘丞(1989) ICP 発光分析の基礎と応用. 210pp., 講談社.
- 長縄貴彦(1992) 土壌呼吸活性の測定(土壌微生物実験法, 土壌微生物研究会編, 411pp., 養賢堂). 360-365.
- 藤原俊六郎・鎌田晴海(1986) 街路樹剪定屑の堆肥化について. 神奈川県農業総合研究所研究報告 128: 67-80.

鬼頭 誠・吉田重方(1993) 数種の植物性廃棄物を主原料とした培養土の製造過程における物質移動と各培養土に栽培した植物の生育. 日本土壤肥科学雑誌 64: 1-7.

堤 利夫・岡林 巖(1959) 林木落葉の分解に及ぼす温度の影響について. 生理生態 8: 124-129.

第2章 植物性発生材の粒径および窒素率は分解特性・土壌の性質・植物生育に及ぼす影響

1. はじめに

緑地の樹木管理で多量に発生する剪定枝条などの植物性発生材の有効利用は、環境問題への関心の高まりや緑地面積の増加に伴い重要な課題になっている。植物性発生材をチップ状に粉碎し、舗装材や土壌改良材などとして利用する方法は、植物性発生材のもっとも簡易な有効利用法として都市部の公園等で採用されている。

堆肥化していない植物性発生材の分解を促進することは、土壌改良効果高めると同時に、植物性発生材の利用を促進する上でも有効である。土壌に敷きならす植物性発生材の粒径を細かくすることは、土壌や微生物との接触面積を増加させ、分解を促進に有利であると考えられる。堆肥化しない植物性発生材の敷きならしは、有機物を分解する微生物による窒素の有機化作用によって窒素飢餓を引き起こし、植物生育に悪影響を及ぼすことが懸念されている。土壌に敷きならされた植物性発生材に窒素肥料を添加することで、植物への窒素飢餓の影響を軽減し、分解微生物の活性を高めて植物性発生材の分解促進効果も期待できる。

そこで、本研究では、植物性発生材の粒径の違いと植物性発生材への窒素施肥が植物性発生材の分解特性、土壌の性質や植物生育に及ぼす影響について検討した。

2. 方法

2. 1. 植物性発生材の粒径が分解特性と苗木の生育に及ぼす影響(実験1)

2. 1. 1. 材料

実験に用いた植物性発生材は、①長さ 25mm 以下で粉状のものを含めたもの(25+0)、②長さ 25mm 以下で粉状のものを除いたもの(25-0)、③長さ 50mm 以上 100mm 未満のもの(50)、長さ 100mm 以上のもの(100)の4種類である。植物性発生材の材料となる樹種は25+0と25-0ではカエデを主とする落葉広葉樹、50ではシラカシを主とする常緑広葉樹、100ではマツ、ケヤキ、クヌギの混合である。植物性発生材の性質を表1に示す。

生育試験の供試木には苗高 50cm のシラカシ苗木を用いた。

2. 1. 2. 方法

縦 2m、横 2.5m、高さ 0.1m となるような木枠をつくり、さらに木枠の内部を横の長さ

表 1 実験 1 で用いた植物性発生材の性質

| 粒径(長さ) | 本文中の表記 | C(g kg ⁻¹) | N(g kg ⁻¹) | C/N 比 |
|--------------|--------|------------------------|------------------------|-------|
| 25mm 以下・紛状含む | 25+0 | 322 | 6.7 | 48 |
| 25mm 以下・紛状除く | 25-0 | 276 | 6.2 | 44 |
| 50 ~ 100mm | 50 | 358 | 2.0 | 184 |
| 100mm 以上 | 100 | 305 | 6.0 | 51 |

が 1.1m、1.2m、0.2m となるように 3 つに区切った。このような木枠を植物性発生材の種類ごとに一つずつ、合計 4 つ作成し、千葉大学園芸学部構内の圃場に設置した。

木枠の 2m × 1.1m の部分にはシラカシの苗木を木枠ごとに 10 本ずつ植栽し、生育試験区とした。苗木の幹長、幹径を定期的に測定した。幹長についてはノギスで互いに直角になるような 2 方向で測定し、平均値を採用した。

生育試験には植物性発生材の下に長さ 180cm、幅 10cm の雨樋を一本ずつ設置し、雨樋の先に 10L 容のバケツを取り付けて植物性発生材を通過した降雨水(植物性発生材通過雨)を採取できるようにした。また、同様の雨樋、バケツを植物性発生材散布区の外に設置し、植物性発生材を通過しない降雨水も採取した。降雨水、植物性発生材通過雨の採取は降雨ごとに行った。ただし、雨量が少なく、採取できない区がある場合には採取を行わなかった。採取した降雨水、植物性発生材通過雨の pH、電気伝導度(EC)、アルカリ度を測定した。

木枠の 2m × 1.2m の部分をプラスチック板で一辺 15cm の格子状に区切り、植物性発生材を詰めた縦 15cm、横 15cm、高さ 10cm で上方が開放されたナイロンメッシュ製の箱を植物性発生材一種類につきおよそ 20 個ずつ設置し、分解試験区とした。1 ヶ月ごとに植物性発生材の詰まった箱を 1 種類につき 5 個ずつ回収し、植物性発生材の窒素含有量、一般細菌数、糸状菌数、放線菌数を測定した。

木枠の 2m × 0.2m の部分に植物性発生材を敷き詰め、二酸化炭素放出測定区とした。長さ 10cm に切断された直径 11cm の塩ビ管を 2 個ずつ差し込んだ。この塩ビ管の上面に定期的に土壤呼吸測定装置(LI-COR 社製 LI-6400-9)をとりつけ、植物性発生材表面からの二酸化炭素放出速度を測定した。

2. 2. 植物性発生材散布後の窒素施肥が分解特性と苗木の生育に及ぼす影響(実験 2)

2. 2. 1. 材料

実験には①シラカシの枝葉部由来の植物性発生材と、②カエデの幹部由来の植物性発生材を用いた。植物性発生材の性質を表 2 に示す。

窒素肥料として窒素 41%含有で温度 25 °C の条件下で 100 日間肥効が持続する緩効性肥料を用いた。

生育試験の供試木には苗高 50cm のシラカシ苗木を用いた。

2. 2. 2. 方法

表 2 実験 2 で用いた植物性発生材の性質

| | C (g kg ⁻¹) | N (g kg ⁻¹) | C/N 比 |
|-----|-------------------------|-------------------------|-------|
| 枝葉部 | 398.3 | 6.80 | 58.6 |
| 幹部 | 437.6 | 2.27 | 193.2 |

縦 2m、横 0.9m、高さ 0.1m の木枠をつくり、木枠内部を縦が 60cm、20cm、120cm となるように区切った。このような木枠を植物性発生材敷きならし用に 6 処理区分作成した。また、対照区用に縦 0.8m、横 0.9m、高さ 0.1m の木枠をつくり、木枠内部を縦を 60cm と 20cm となるように区切ったものを 3 区分作成した。以上 9 区を千葉大学園芸学部内の圃場に設置した。各区の 60cm × 90cm 枠内を苗木の生育調査区、20cm × 90cm 枠内を二酸化炭素放出量調査区、120cm × 90cm 枠内を植物性発生材採取区とした。

5 月 11 日に苗木の生育調査区にシラカシの苗木を各区 6 本ずつ植栽した。

5 月 25 日に植物性発生材敷きならし区に 2 種類の植物性発生材をそれぞれ 3 区ずつ敷きならした。植物性発生材採取区では、2. 1. 2. と同様の植物性発生材を詰めたナイロンメッシュ製の箱を設置した。

枝葉部、幹部、対照区のそれぞれについて、窒素多施用区(以下、多施用区)、窒素少施用区(以下、少施用区)、窒素無施用区を設け、窒素肥料を多施用区には 1.66kg m²、少施用区には 0.83kg m² 施用した。多施用区の施肥量は幹部の植物性発生材の C/N 比を 20 程度にするのに必要な量であり、枝葉部の植物性発生材の C/N 比を 20 程度にするのに必要な量のおよそ 2 倍に相当する。少施用区の施肥量は枝葉部の植物性発生材の C/N 比を 20 程度にするのに必要な量であり、幹部の植物性発生材の C/N 比を 20 程度にするのに必要な量のおよそ半分である。2001 年 6 月 13 日に、植物性発生材(対照区の場合、土壌)の表面への窒素肥料の散布を行った。

苗木の生育調査、植物性発生材表面からの二酸化炭素放出速度の測定、植物性発生材の採取等は 2. 1. 2. と同様に行った。また、採取された植物性発生材の微生物活性(加水分解活性)を FDA 加水分解活性法で測定した。

3. 結果と考察

3. 1. 粒径の違いが分解特性・土壌の性質・苗木の生育に及ぼす影響(実験 1)

3. 1. 1. 分解特性

植物性発生材の窒素含有量の経時変化を図 1 に示す。調査期間を通じて、植物性発生材の窒素含有量はほとんど変化しなかった。未分解な植物性発生材を土壌に施用した場合、植物性発生材を分解する微生物に土壌中の無機態窒素が取り込まれ、見かけ上、植物性発生材の窒素含有量が増加する。しかし、本研究では、そのような現象はほとんど見られなかったことから、窒素の有機化による土壌中の無機態窒素の現象もほとんど起こらなかった。

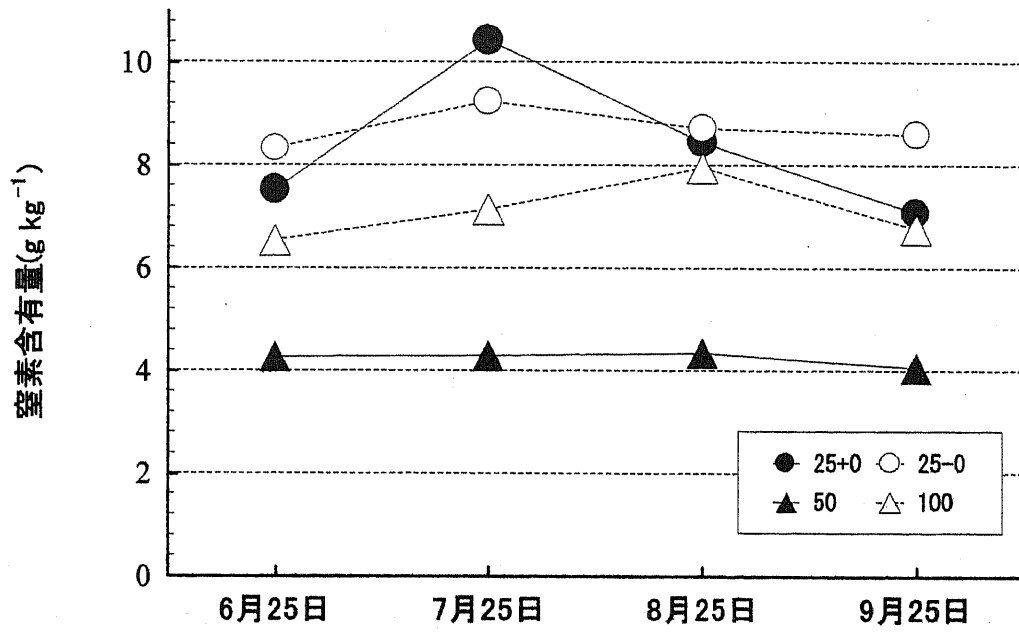


図1. 植物性発生材の窒素含有量の経時変化

たと考えられる。本研究で植物性発生材敷きならしによる窒素の有機化が起こらなかった原因の一つとして、調査期間中に降雨が少なく、植物性発生材が乾燥気味であり、微生物による分解活動が不活発であったことが考えられる。

植物性発生材からの二酸化炭素発生速度の経時変化を図 2 に示す。調査開始直後の 6 月上旬に、粒径の小さい 25+0 と 25-0 からの二酸化炭素発生速度は 50 や 100 に比べて大きかった。しかし、7 月以降には粒径の違いによる二酸化炭素発生速度の差は不明瞭になった。有機物は易分解性のものが分解・無機化され、ついで難分解性のものが無機化される。植物性発生材の粒径を細かくすることで、植物性発生材に含まれる易分解性の有機物の無機化が促進されると推察された。

植物性発生材中の一般細菌数の経時変化を図 3 に示す。一般細菌数は 25+0 と 25-0 で 50、100 よりも大きな値で推移した。植物性発生材の粒径が細くなるほど、微生物の生息できる面積が大きくなり、微生物数が多くなると考えられた。一般細菌よりも数の少ない糸状菌、放線菌には、植物性発生材の粒径による表面積の違いが数に反映されにくく、植物性発生材の粒径による差が不明瞭であった。

調査期間中(6 月～10 月)の植物性発生材の重量減少率(図 4)をみると、100 ではほとんど減少しておらず、25-0 で特に高く、25+0 と 50 の違いが不明瞭であった。これらの結果は短期間の調査で得られたものであること、調査期間中に無降雨期間が 1 ヶ月程度続いたこと、粒径により材料の樹種が異なることなどの問題を含んでいる。もっとも粒径の大きな 100 でほとんど分解されていないことから、粒径の大きな植物性発生材は分解されにくくことが示唆されている。今後の継続調査でこのことを確認する必要がある。

3. 1. 2. 土壌と苗木生育への影響(実験 1)

植物性発生材通過雨の pH を図 5 に示す。植物性発生材を通過することで降雨の pH は上昇しており、植物性発生材敷きならしによる降雨中の酸の中和作用が示された。敷きならし後 1 ヶ月(6 月)までは、25+0 と 25-0 が 50、100 よりも高い値を示した。それ以降には、植物性発生材の粒径による差は不明瞭であった。降雨の酸中和能力を示すアルカリ度や、植物性発生材通過雨のイオン濃度溶存量を反省する電気伝導度も pH と同様の傾向を示した。降雨の酸は植物性発生材から溶脱される有機物イオンや、降雨中の水素イオンと植物性発生材中の陽イオンの交換によって中和されると考えられる。粒径の細かい植物性発生材では降雨と接触する面積が増加し、これらの反応が起こりやすくなっていると推察

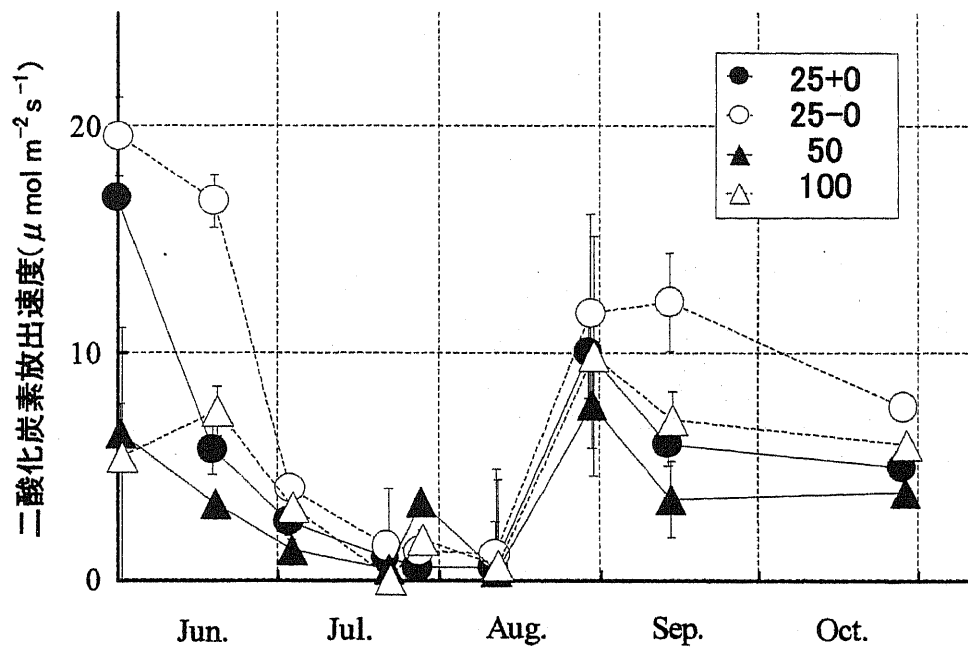


図 2. 植物性発生材からの二酸化炭素放出速度の経時変化

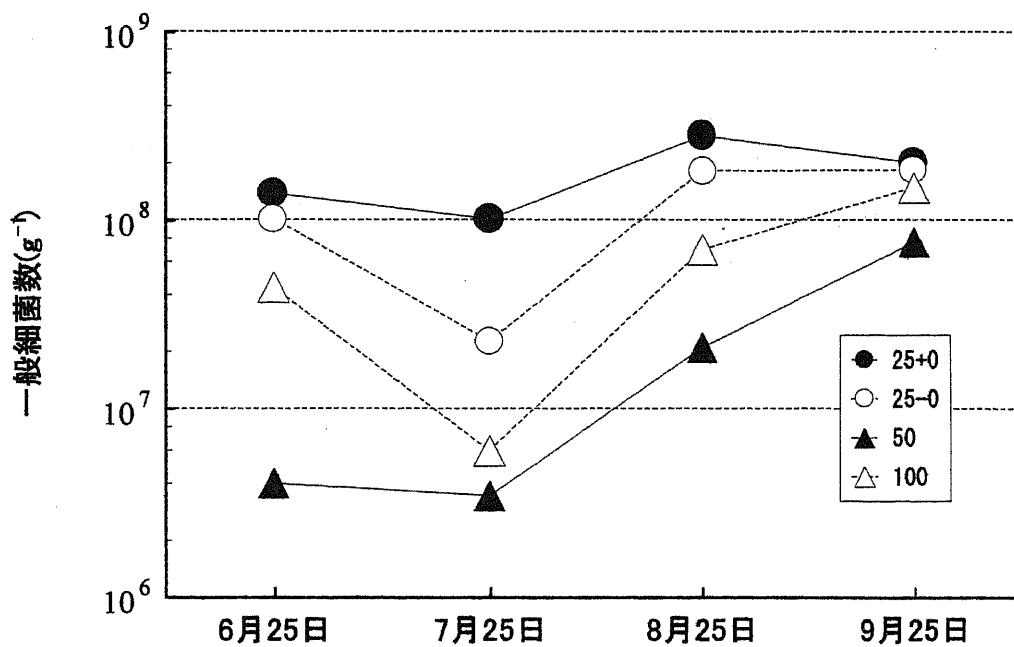


図 3. 植物性発生材中の一般細菌数の経時変化

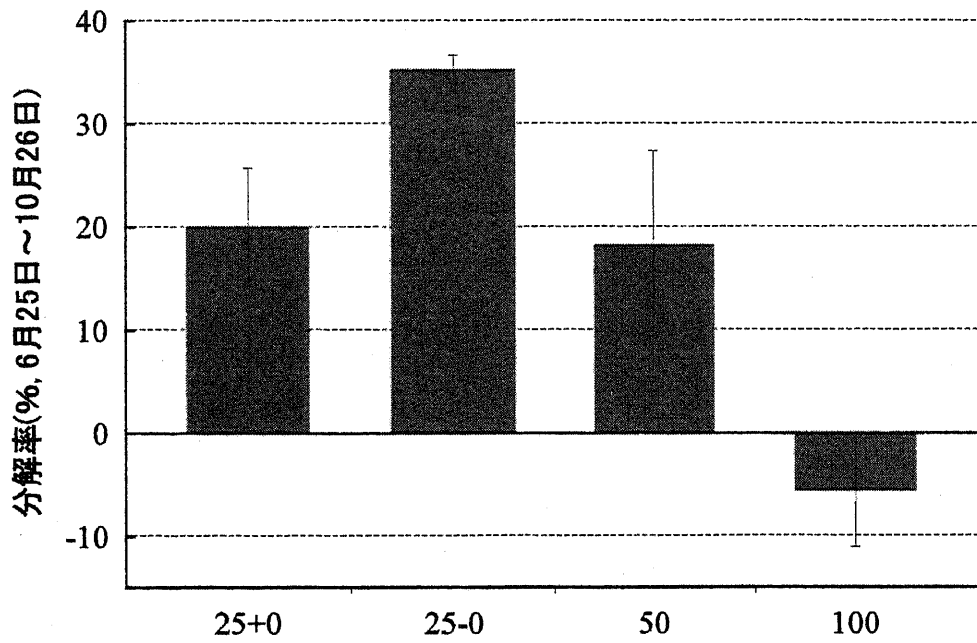


図 4. 調査期間中の植物性発生材の重量変化

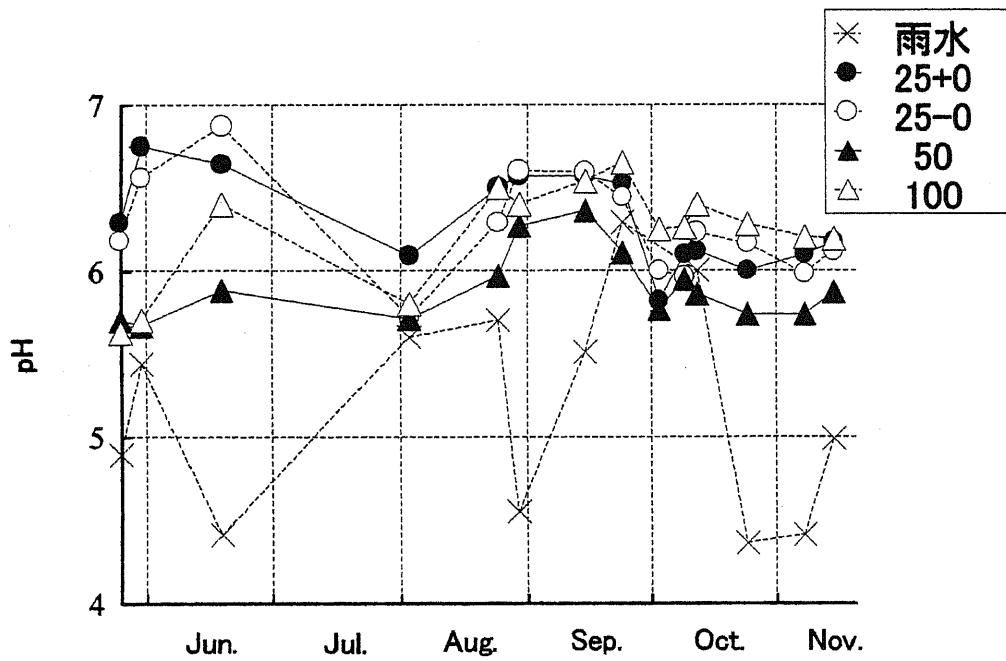


図 5. 植物性発生材通過雨の pH の経時変化

される。このような植物性発生材の粒径の影響は敷きならし後1ヶ月ほど顕著に見られるが、その後は不明瞭であり、前述の易分解性有機物の動態との関連が示唆された。

植物性発生材下の土壌 pH の経時変化を図 6 に示す。土壌 pH は植物性発生材の敷きならし直後から調査期間を通じてほぼ一定の値であり、 $25+0 > 25-0 > 50 > 100$ の順に低下した。土壌 pH は植物性発生材通過雨に溶存した酸中和物質の影響を受けていると考えられる。敷きならし直後に供給された植物性発生材の粒径による酸中和物質の量の差の影響が調査期間を通じて維持されていることが示された。以上のことから、細かい粒径の植物性発生材を敷きならすことにより、降雨や土壌の酸は中和されやすくなる。

各調査区に植栽された苗木幹長の変化を、植栽時を1とする相対値の変化として図7に示す。植物性発生材の粒径の影響は敷きならし後2ヶ月ほどで現われ始め、敷きならしの5ヶ月後には $25+0 > 25-0 > 50 = 100$ の傾向を示すようになった。粒径の細かい植物性発生材では、敷きならし直後に多量に土壌に供給された易分解性有機物から、調査期間を通じて可給態養分が供給されやすく、苗木の生育を促進したことが考えられる。敷きならし直後に粒径の細かい植物性発生材で見られた植物性発生材の分解や降雨水質への変化がどのくらいの期間にわたって苗木生育に影響し続け、そのしくみがどのようにになっているのかについては、今後、調査を継続して検討する必要がある。

3. 2. 窒素施肥が植物性発生材の分解特性に及ぼす影響(実験2)

植物性発生材の微生物活性を図8に示す。いずれの植物性発生材でも施肥を行った区の微生物活性が無施肥区よりも高かった。多施肥区と少施肥区の微生物活性の違いは不明瞭であった。植物性発生材への窒素肥料の施肥が、植物性発生材の窒素の有機化とそれに伴う微生物の増殖をもたらしていると考えられる。多施肥区と少施肥区で明瞭な差が見られないのは少施肥区の施肥量であっても、窒素の有機化には十分であったためと推察される。

植物性発生材からの二酸化炭素放出速度の経時変化を図9に示す。植物性発生材敷きならし後3ヶ月程度は無施肥区よりも施肥区で二酸化炭素放出速度が大きい傾向にあった。しかし、その後は施肥の有無による差が不明瞭になった。このことから、窒素施肥は植物性発生材分解初期の、易分解性有機物の分解・無機化過程を促進すると考えられる。

植物性発生材の窒素含有量の経時変化を図10に、C/N比の経時変化を図11に示す。いずれの植物性発生材でも、施肥によって窒素含有量は無施肥区よりも高く推移した。その結果、施肥区のC/N比は無施肥区よりも早く低下した。施肥区の植物性発生材のC/N比は

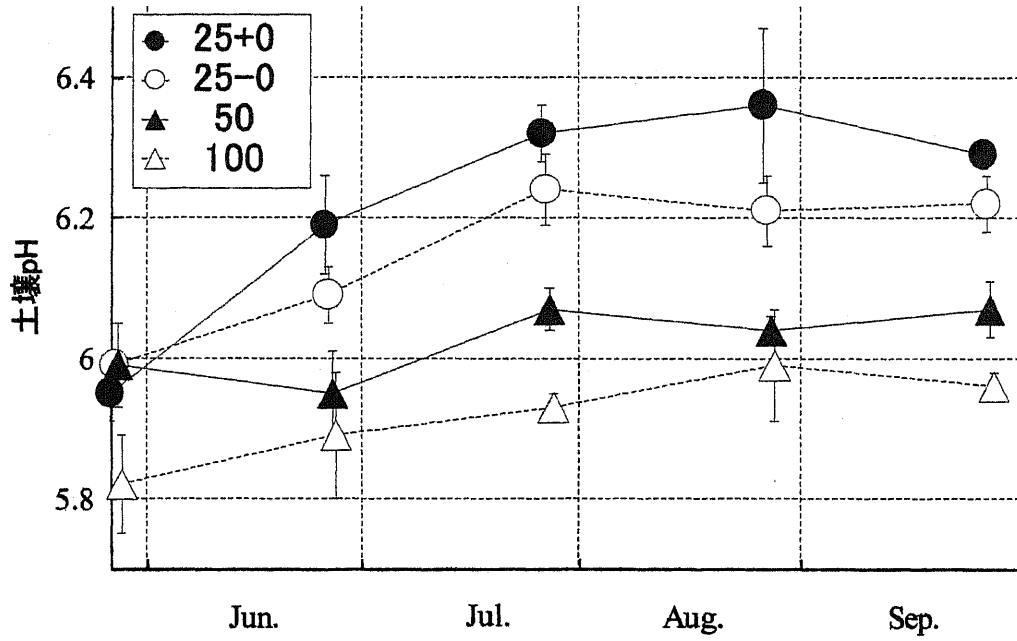


図 6. 植物性発生材下の土壌 pH の経時変化

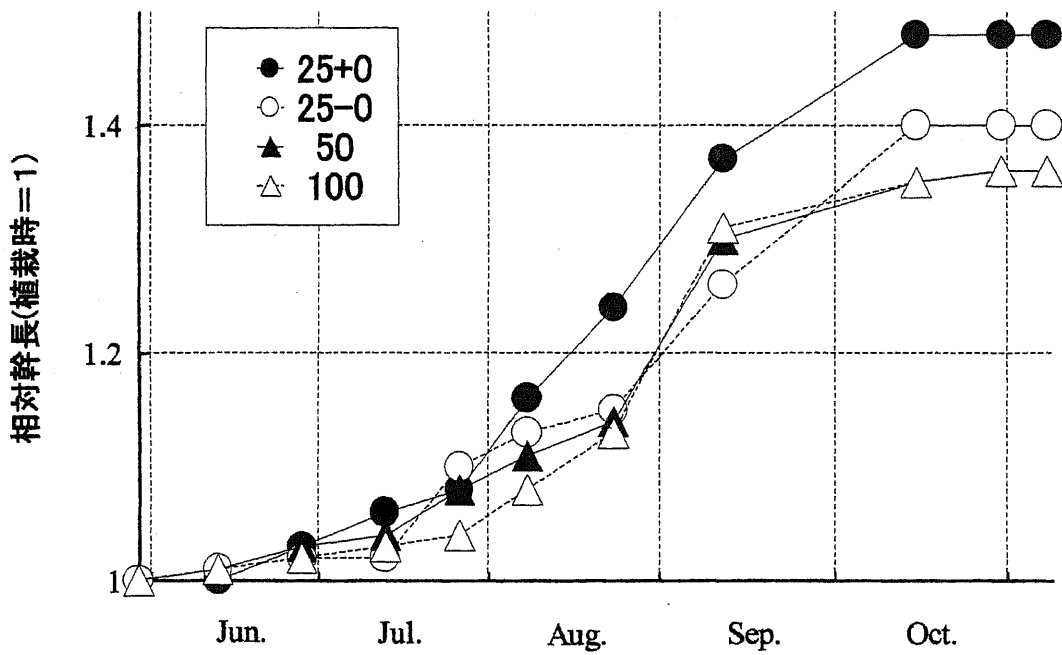


図 7. 苗木幹長(植栽時を1とする相対値)の経時変化

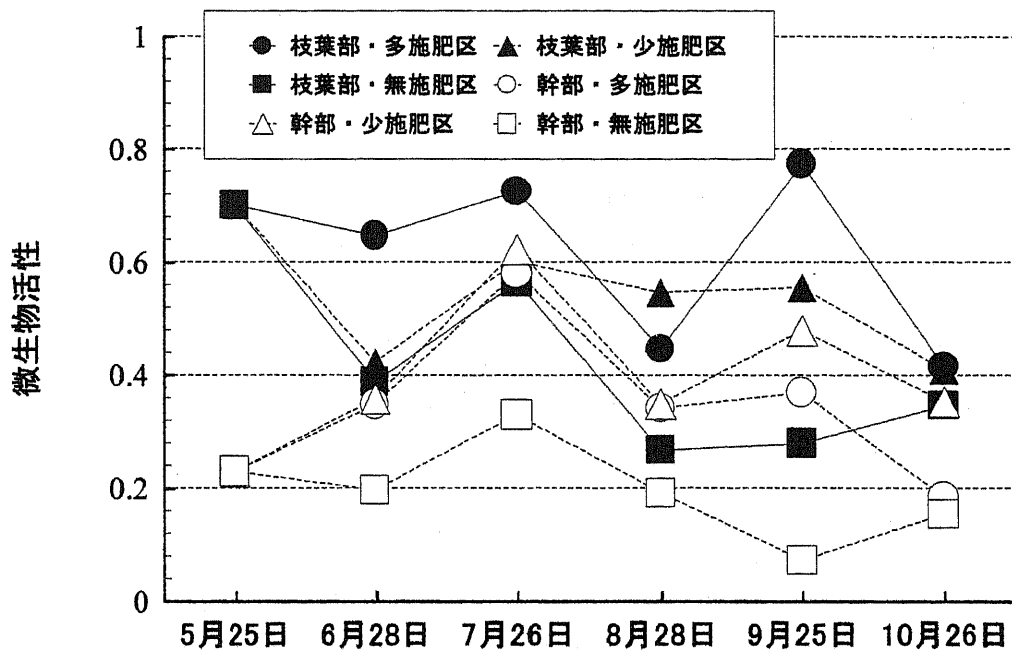


図 8. 植物性発生材の微生物活性

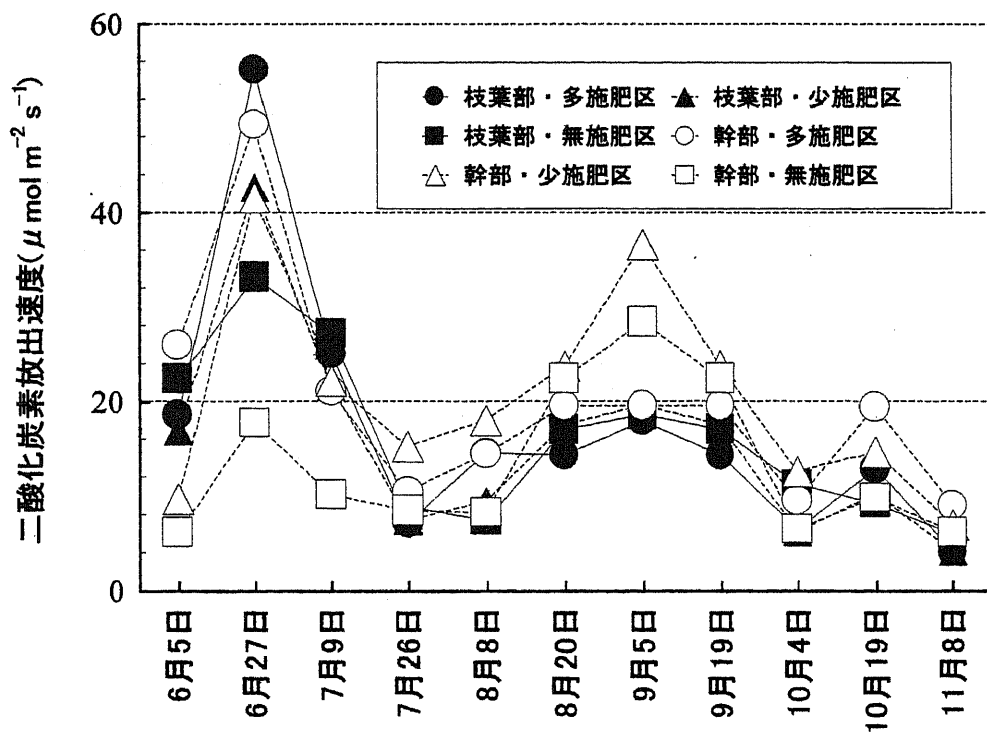


図 9. 植物性発生材からの二酸化炭素放出速度の経時変化

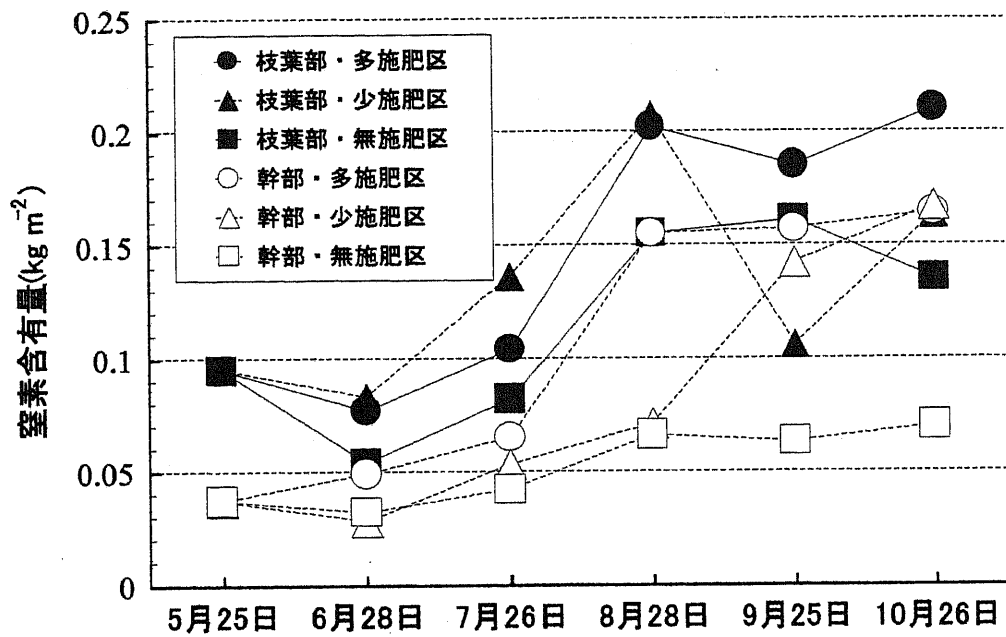


図 10. 植物性発生材の窒素含有量の経時変化

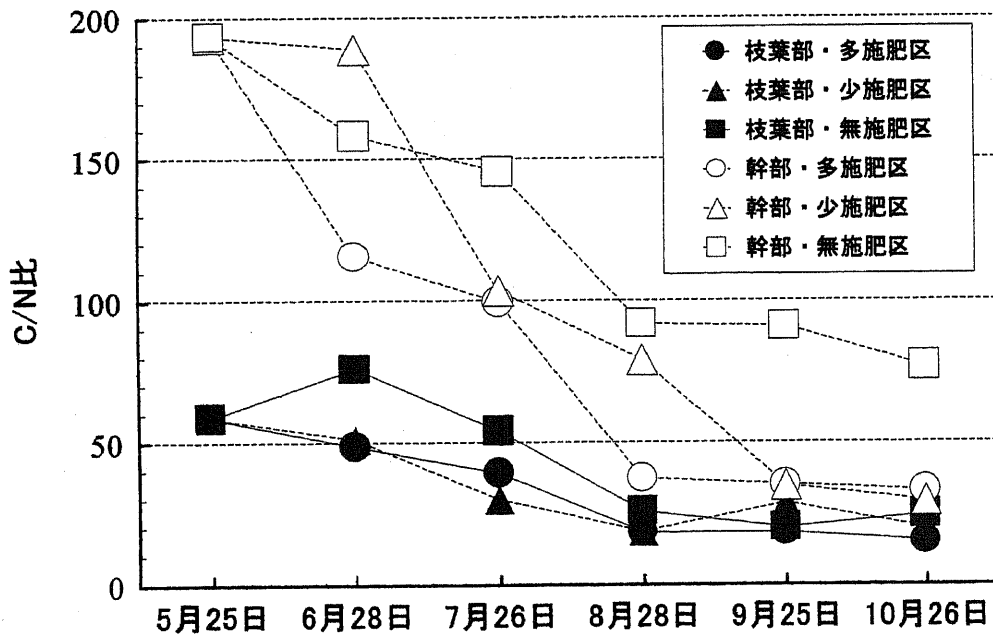


図 11. 植物性発生材の C/N 比の経時変化

枝葉部では施肥後3ヶ月で、堆肥の完熟の基準である20程度になり、幹部では調査した5ヶ月間に30程度にまで減少した。無施肥区のC/N比は枝葉部では20に低下するまでに4ヶ月を要し、幹部では5ヶ月経過しても77であった。以上のことから、窒素施肥が窒素の有機化を促進し、植物性発生材を分解されやすくしていることが示された。

3. 3. 窒素施肥が土壌や苗木の生育に及ぼす影響(実験2)

植物性発生材下から採取された土壌の炭素含有量の経時変化を図12に示す。植物性発生材敷きならし区では、対照区に比べて土壌の炭素含有量が多い傾向にあった。また、いずれの植物性発生材敷きならし区でも敷きならし後3ヶ月後の8月下旬から施肥区での炭素含有量が無施肥区を上回るようになった。土壌中の有機物(炭素)含有量の増加は土壌の保肥力を高めることが知られている。窒素施肥を行うと、植物性発生材の分解と土壌への有機物供給量が増加し、土壌改良効果を促進すると考えられる。

各処理区に植栽された苗木の生育を図13に示す。幹長はいずれの処理区でも、6月5日の1回目の測定値を100とした相対値で示してある。枝葉部・少施肥区、幹部・多施肥区の苗木の幹長は、7月下旬から8月上旬にかけて対照区・無施肥区よりも大きくなった。対照区では、多施用区、少施用区、無施肥区で大きな差が見られなかったことから、本研究では、窒素のみの施肥は幹長成長にほとんど影響していない。したがって、枝葉部・少施肥区、幹部・多施肥区でみられた苗木の幹長の増加は、窒素飢餓の改善に加えて、有機物分解に伴う窒素以外の可給態養分の影響を受けたものと推察される。一方、枝葉部・多施肥区では、9月中旬から対照区・無施肥区よりも幹長成長が小さくなった。枝葉部・多施肥区では植物性発生材の窒素含有量が多く、多施肥区では窒素の有機化に必要な量に対して施肥量が過剰となり、土壌中の無機態窒素イオン濃度の上昇による塩類濃度障害や急激な有機物分解で多量に発生した生育阻害物質の影響を受けて苗木の生育が阻害されたと考えられる。植物性発生材への施肥量は植物性発生材のC/N比を20にするのに必要な量を上限にするべきである。幹部・無施肥区と幹部・少施用区では、幹長成長がほぼ同様の値で推移していた。C/N比の高い有機物に少量の窒素施肥を行った場合、C/N比が低下するまでに時間がかかる。本研究の5ヶ月間の調査では、C/N比が十分に下がらず、有機物分解を促進して苗木の生育を促進するまでには至らなかったと推察される。

4. まとめ

植物性発生材を土壌改良材として利用する際、植物性発生材の分解を促進することは土

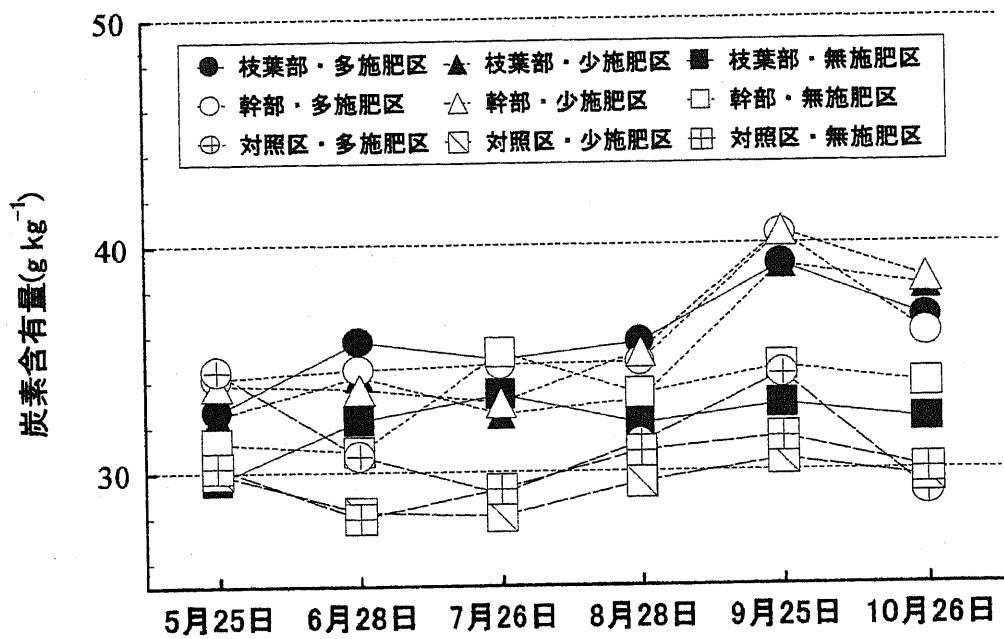


図 12. 土壌の炭素含有量の経時変化

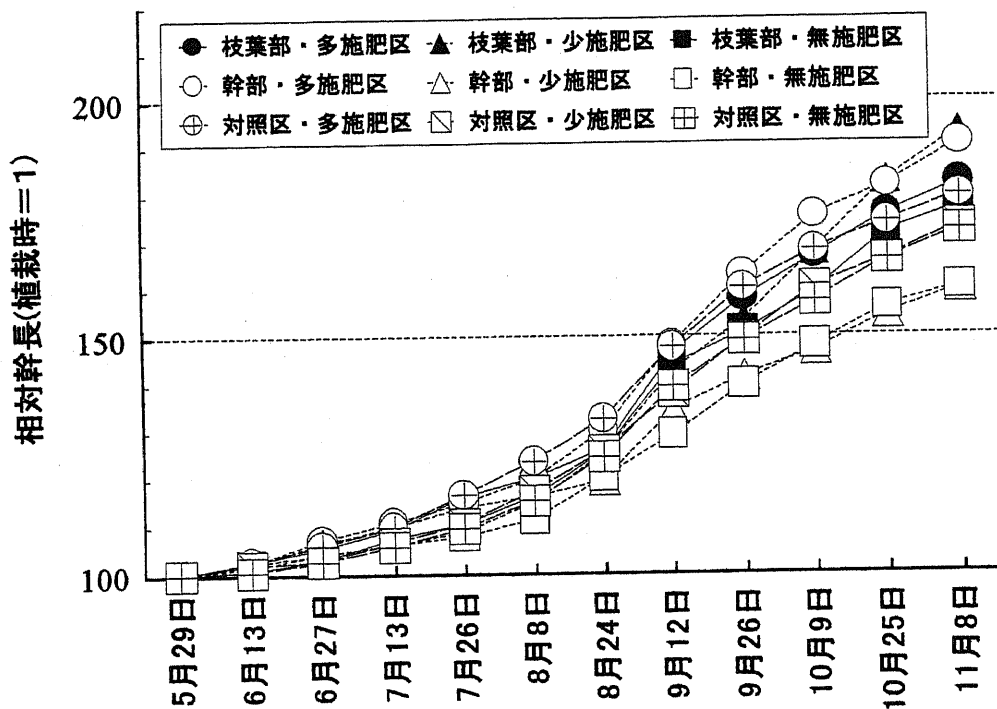


図 13. 相対幹長の経時変化

壤改良効果を早期に発揮させる上で有効である。本研究では、①植物性発生材の粒径を小さくすること、②窒素の有機化を無機態窒素の添加によって促進すること、の効果について検討した。その結果、以下の知見を得た。

- ・植物性発生材の粒径を 25mm 程度にすることで、植物性発生材に含まれる易分解性有機物の分解・無機化が促進される。この一因として、植物性発生材の表面積が拡がり、微生物の生息数が増加することが挙げられる。

- ・降雨の植物性発生材通過に伴う酸の中和は、粒径の小さな植物性発生材で顕著であった。また、植物性発生材下の土壌の酸は、植物性発生材の粒径が小さいほど中和されていた。

- ・植物性発生材の敷きならしにより、植物性発生材下の土壌に植栽された苗木の生育は植物性発生材の粒径が細かいほど良好であった。粒径の細かい植物性発生材を敷きならすことで、易分解性有機物が多量に供給され、酸性も中和されるなど、植物の生育に良好な環境がつけられると推察された。

- ・植物性発生材への窒素肥料の添加によって、分解微生物による窒素の有機化が促進され、植物性発生材の窒素含有量、微生物活性、植物性発生材からの二酸化炭素放出速度のいずれも増加した。

- ・植物性発生材への窒素肥料の添加によって、植物性発生材の分解が促進され、植物性発生材下の土壌の炭素含有量が増加した。

- ・植物性発生材への適量の施肥によって植物性発生材下の土壌に植栽された苗木の生育は促進されたが、過剰な施肥によって阻害された。施肥量は植物性発生材の C/N 比を 20 程度にするのに必要な量を上限とするべきである。

第3章 未分解植物性発生材を混入した土壌への施肥効果

1. はじめに

緑地の樹木管理などで発生する剪定屑の有効利用法の一つとして、植栽基盤としての利用が挙げられ、「リサイクル緑化」として一部で実用化されている。未分解の有機物資材を植栽基盤として使用する場合、分解微生物による植栽基盤中の無機態窒素の有機化とそれに伴う植物の窒素欠乏—いわゆる「窒素飢餓」—が問題となる。窒素飢餓による植物の生育阻害を防止するには無機態窒素の施用が有効である。

本研究ではチップ化した剪定屑(チップ材)を植栽基盤として利用するための基礎として、窒素飢餓を防止するためにチップ材に施用する肥料の種類と量の検討を行った。

2. 方法

チップ材(長さ10～50mm)と赤土(千葉県松戸市で採取された関東ローム土)を体積比1:1で混入した(混合土)。裸地上に調査区となる木枠(60cm×60cm×高さ10cm)を置き、木枠内に混合土を詰めた。木枠内は板材で2区に仕切られている(1区の広さは60cm×30cm)。木枠内の仕切られた一方の区にヨモギの種子を6g m²ずつ播種し、さらに木枠内全体に施肥を行った。肥料の種類は速効性肥料(N:P:K = 16:10:14)、緩効性肥料(N:P:K = 16:5:10、ただし、速効性肥料:緩効性100日溶出型:緩効性360日溶出型 = 1:2:2の割合で混合)の2種類である。この2種類の肥料それぞれについて、6kg m⁻³(標準量、法面緑化で一般に用いられる施用量)、12kg m⁻³(多量)、3kg m⁻³(少量)の3水準の施用量を設定した(速効性・多量施用、速効性・標準量施用、速効性・少量施用、緩効性・多量施用、緩効性・標準量施用、緩効性・少量施用)。このほかに対照区として施肥を行わない区(無施用区)を設定した。各区とも繰り返しは3回である。調査区の設置を2002年5月13日に行った。

播種後、各調査区内のヨモギの被度、草丈を経時的に測定し、2003年1月14日には地上部を刈取って乾重を測定した。また、種子散布を行わなかった区の土壌微生物活性(FDA加水分解活性法)を経時的に測定した。

3. 結果と考察

ヨモギの発芽は播種後1ヶ月以上経ってから確認された。ヨモギの被度(図1)をみると、

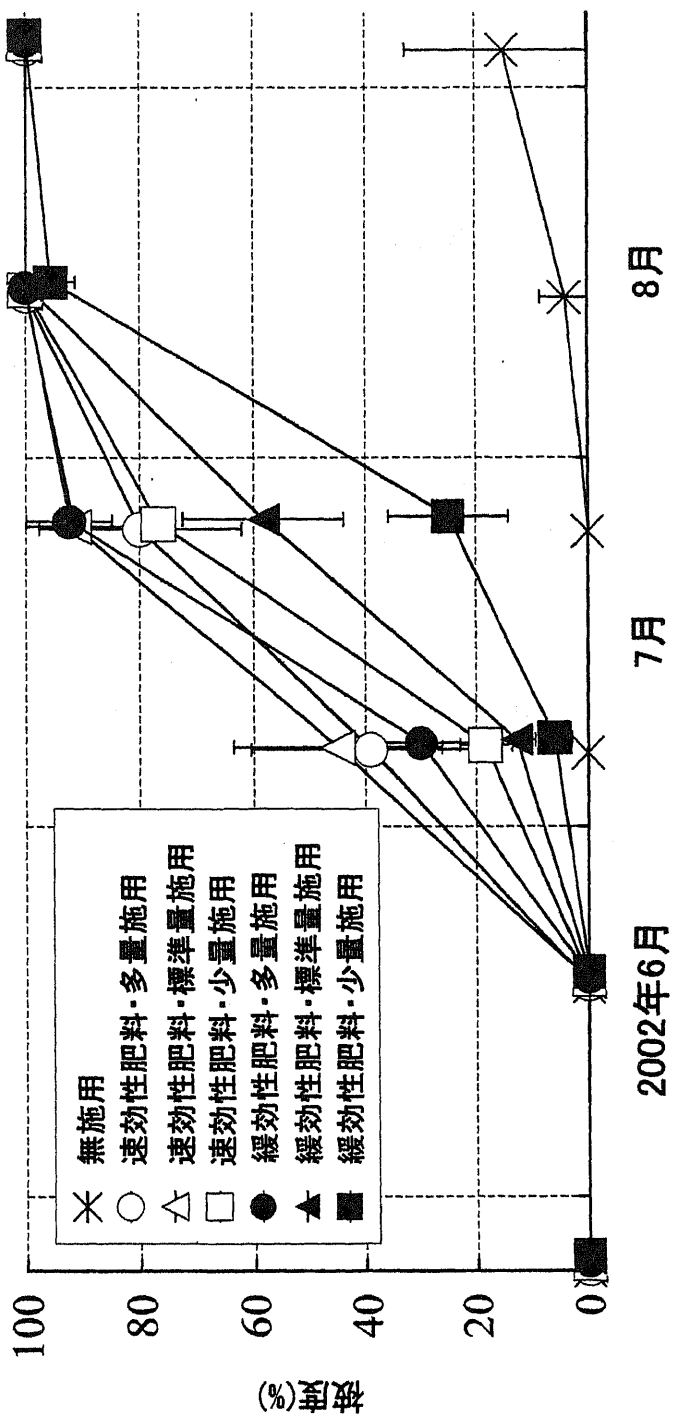


図1 ヨモギの被覆の経時変化

無施用区では 9 月上旬まで 20%以下であるのに対し、肥料を施用した区では 8 月中旬までに 90%以上になっていたことから、肥料によって混合土でのヨモギの生育が促進された。緩効性・標準量区と緩効性・少量区の被度は 7 月下旬まで他の肥料を施用した区よりも低く推移した。緩効性肥料の施用区では、7 月下旬まで被度が多量施用区 > 標準量施用区 > 少量施用区の順に少なくなった。これに対して、速効性・標準量施用区の被度は、7 月下旬まで速効性・多量施用区より大きかった。速効性肥料を過剰に施用することで、植物の初期生育が阻害される可能性が示された。

草丈(図 2)をみると、無施用区で特に低く、肥料を施用した区では緩効性・少量施用区でやや低めに推移したほかには調査区による違いがみられなかった。

ヨモギの乾重(図 3)は速効性肥料を施用した区では標準量施用区 > 少量施用区 = 多量施用区の傾向にあり、緩効性肥料を施用した区では多量施用区 \geq 標準量施用区 > 少量施用区の傾向にあり、無施用区では肥料を施用した区の 4 ~ 10%ときわめて少なかった。これらの傾向は比較的初期の成長量を概ね反映しているようであった。

実験開始後 40 日後、70 日後、110 日後の各調査区の土壌微生物活性(図 4)をみると、40 日後、70 日後では緩効性肥料 \leq 速効性肥料の傾向にあったが、110 日後には緩効性肥料 \geq 速効性肥料の傾向になった。土壌中の分解微生物は無機態窒素を取り込んで活性を高める。肥料からの無機態窒素の供給は 110 日目までに速効性肥料で行われにくくなっていること推察された。有機物分解の促進効果は緩効性肥料を施用することで長期間維持される。

4. まとめ

チップ材と赤土を混合した土壌に窒素飢餓を防止する目的で緩効性肥料または速効性肥料を様々な量で施用し、植物の生育状況と土壌微生物活性から施肥の効果について検討し、以下のことを明らかにした。①施肥によってチップ材混合土壌での窒素飢餓は抑制される。②速効性肥料の施用は初期成育を促進する効果が大きいですが、多量の施用による植物の生育阻害を起しやすく、施用の効果が比較的短期間で減少する。③緩効性肥料は速効性肥料に比べて多量の施用を行っても生育阻害を起しにくく、施用の効果も長期間維持される。

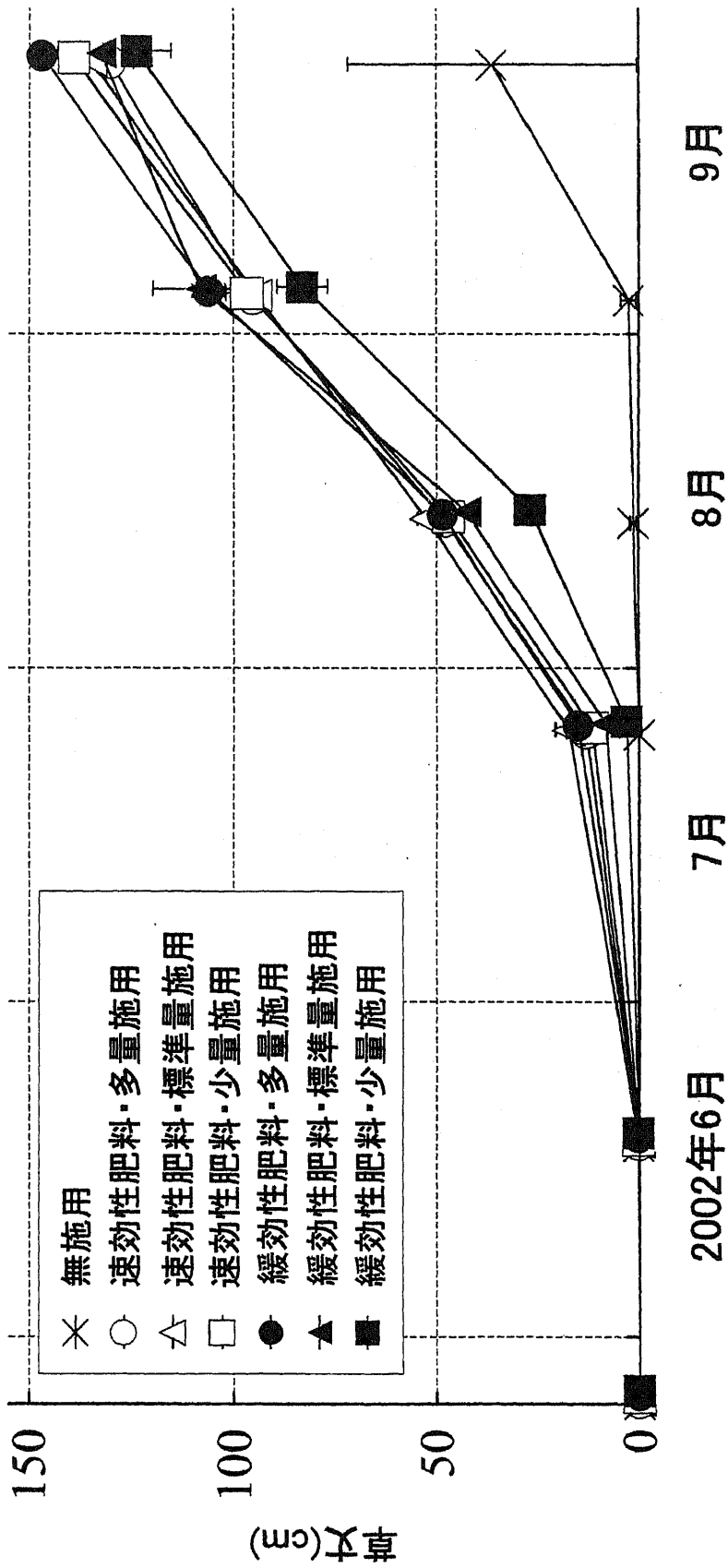


図2 ヨモギの草丈の経時変化

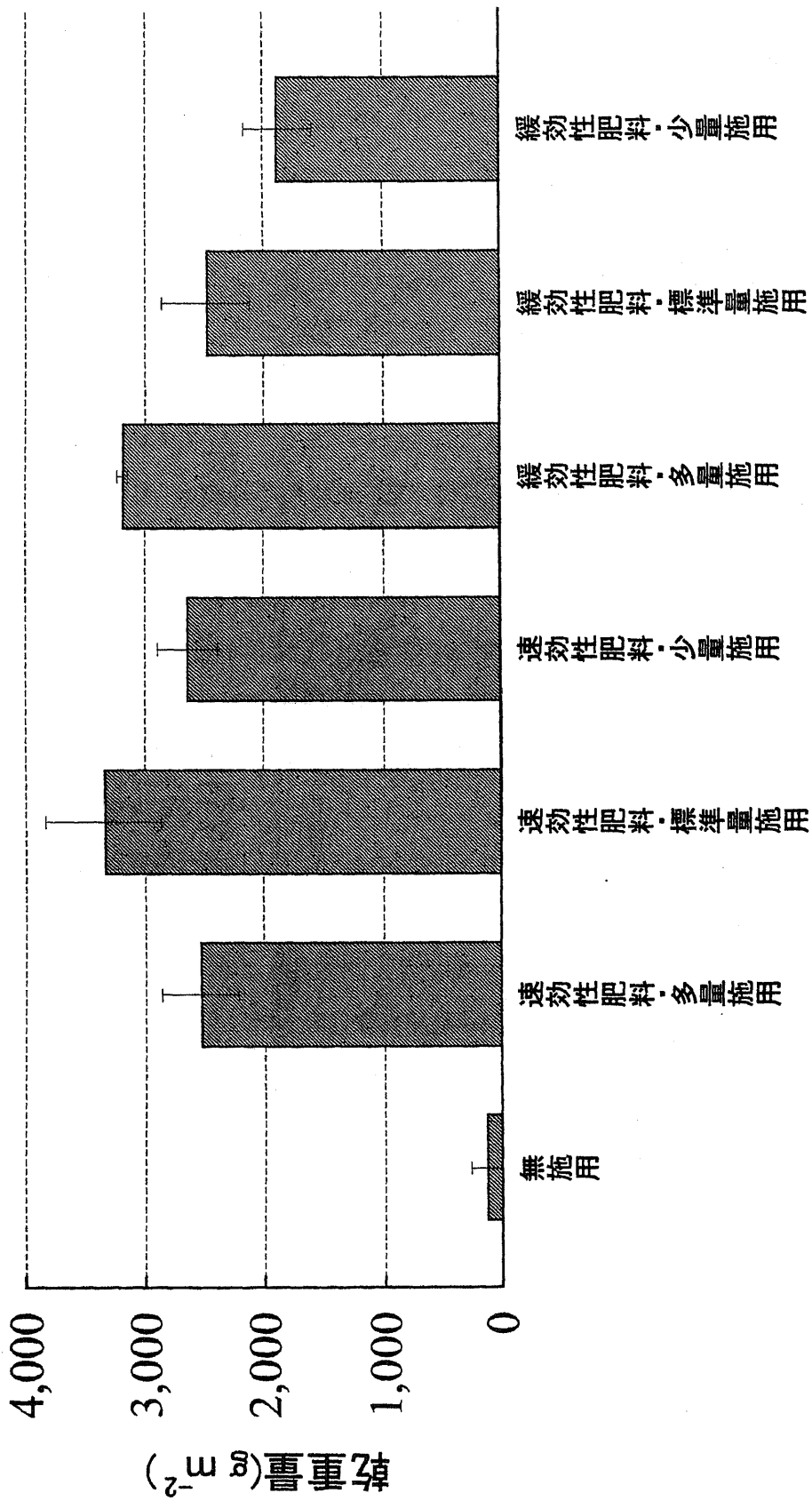


図3 ヨモギの乾燥重量

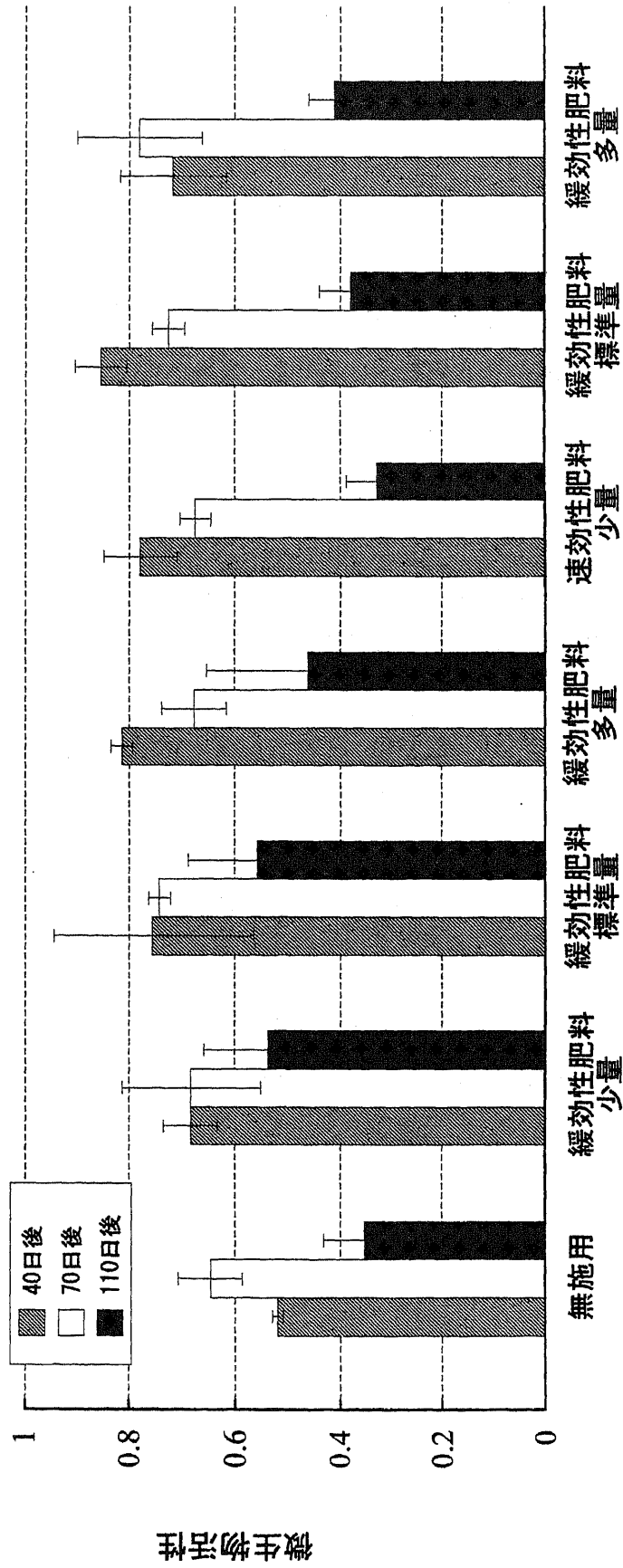


図4 実験開始後40日後、70日後、110日後の土壤微生物活性

第4章 堆肥添加法による植物性発生材の堆肥化過程

1. はじめに

東京都江東区では緑地管理で生じた剪定屑の有効利用の一環として、チップ化した剪定屑(チップ材)の堆肥化を行っている。この堆肥化では、新鮮なチップ材に堆肥を混入するだけの簡易な方法(堆肥添加法)が採用されている。堆肥添加法では従来の多くの堆肥化法で用いられてきた石灰、尿素、家畜糞などの副資材を必要としないことから、堆肥化の低コスト化が期待されている。堆肥化添加法による堆肥化を効率的、効果的に行うための様々な検討も行われる必要がある。しかし、その基礎となる堆肥添加法での堆肥化過程はほとんど解明されていない。

本研究では、堆肥化添加法による堆肥化過程をチップ材の化学的性質、微生物の組成と活性、温度の変化から明らかにすることを目的とした。また、堆肥化施設の低コスト化についても検討するため、ヤードの屋根の有無が堆肥化過程に及ぼす影響も調査した。

2. 方法

2002年7月12日に剪定屑由来のチップ材に剪定屑由来の堆肥を堆積でおよそ3割混合し、およそ30m³(4m×4m×高さ1.8m)ずつ東京都江東区にある潮見運動公園内の2種類のヤードに積み上げた。ヤードの1種類には屋根が設置されており(屋根あり区)、もう1種類には設置されていない(屋根なし区)。

屋根あり区、屋根なし区のいずれでも、8月12日、9月12日に切り返しと灌水を行った。10月15日には屋根あり区では切り返しと灌水を行い、屋根なし区では切り返しのみを行った。

7月12日以降、積み上げられたチップ材の温度を1時間毎に測定し、また、2週間から1ヶ月の間隔でチップ材を採取した。採取したチップ材の含水率、一般細菌数、糸状菌数、放線菌数、微生物活性(FDA加水分解活性法)、炭素、窒素濃度を測定した。

3. 結果と考察

チップ材の温度(図1)は切り返しに伴い低下しその後上昇する変化を繰り返した。切り返し後の温度上昇は切り返しを繰り返すごとに小さくなる傾向にあった。屋根なし区では最後の切り返しを行った10月15日以降の温度の上昇は不明瞭であった。また、屋根なし

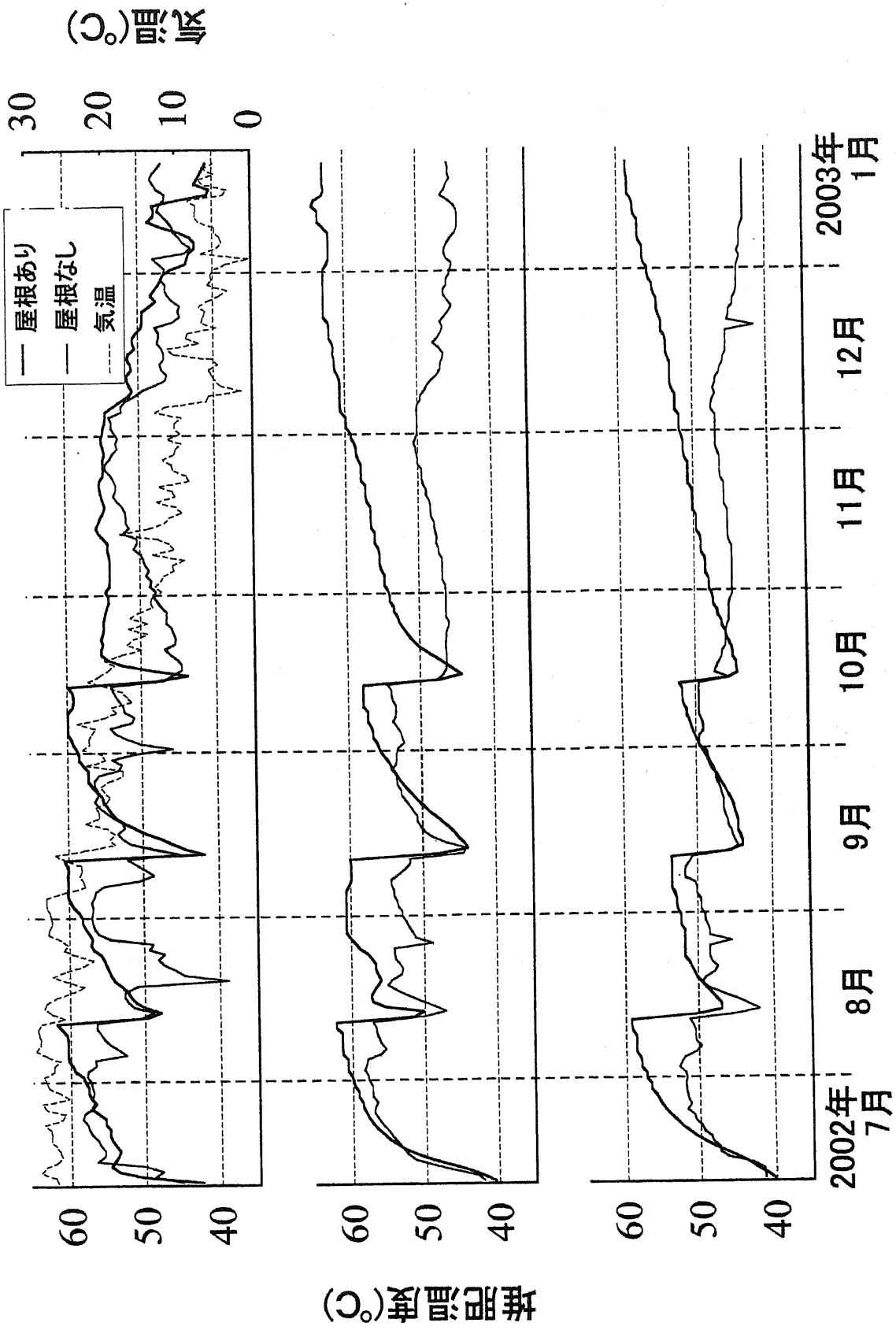


図1 堆肥(チップ材)温度の経時変化

区では調査期間を通じて、不規則な温度の変化がみられることがあった。屋根あり区のチップ材の含水率は切り返し(および灌水)によりおよそ 0.7kg kg^{-1} になり、2週間後には 0.6kg kg^{-1} に減少する変化を繰り返した後、10月15日以降、2003年1月21日には 0.5kg kg^{-1} にまで低下した。これに対して屋根なし区のチップ材の含水率は調査期間を通じてほぼ一定の 0.7kg kg^{-1} で推移した(図2)。これらの原因として、特に屋根なし区での気温や降雨の影響が考えられる。

チップ材の微生物活性(図3)は堆肥化開始後に増加し、2ヶ月後から減少に転じ、4ヶ月後以降ほとんど変化しなくなった。微生物数(図4)をみると、一般細菌数と放線菌数は微生物活性と同様に堆肥化開始後2ヶ月間に増加しその後減少する傾向を示した。これに対して初期の有機物分解に関与する糸状菌の数は堆肥化開始時に最も多く、調査期間を通じて減少し続けた。これらのことから本研究での微生物活性が主として一般細菌と放線菌の活性を反映していると推察される。チップ材の分解程度の指標となる C/N(炭素/窒素)比の経時変化(図5)をみると、当初35程度であったものが堆肥化開始後2~3ヶ月目に急激に減少し25程度になった。堆肥化開始後の2~3ヶ月間にはリグニンのような比較的分解されにくい有機物を分解する放線菌の数が増加し、その後減少している。この時期にはチップ材中の難分解性有機物が分解を受けていたと推察される。本実験で堆肥化過程を反映する要因として用いた微生物の数、活性、チップ材の C/N 比には屋根あり区と屋根なし区の違いがほとんどみられなかった。

4. まとめ

低コストでの剪定屑堆肥化に関する基礎的知見を得るために、堆肥添加法での堆肥化過程を調査した。

堆肥添加法による堆肥化では、チップ材は堆肥化開始後2~3ヶ月間に微生物活性、一般細菌数と放線菌数の急激な上昇と低下、C/N比の減少といった変化を受け、その後ほぼ安定した状態を保った。

屋根あり区と屋根なし区の間には水分状態や温度に若干の差があるものの、堆肥化過程の明確な違いがみられなかったことから、ヤードの屋根の有無は堆肥添加法による堆肥化にはほとんど影響しない。本研究の結果から、堆肥化の低コスト化のためにはヤードの屋根を省略してもよいと考えられる。

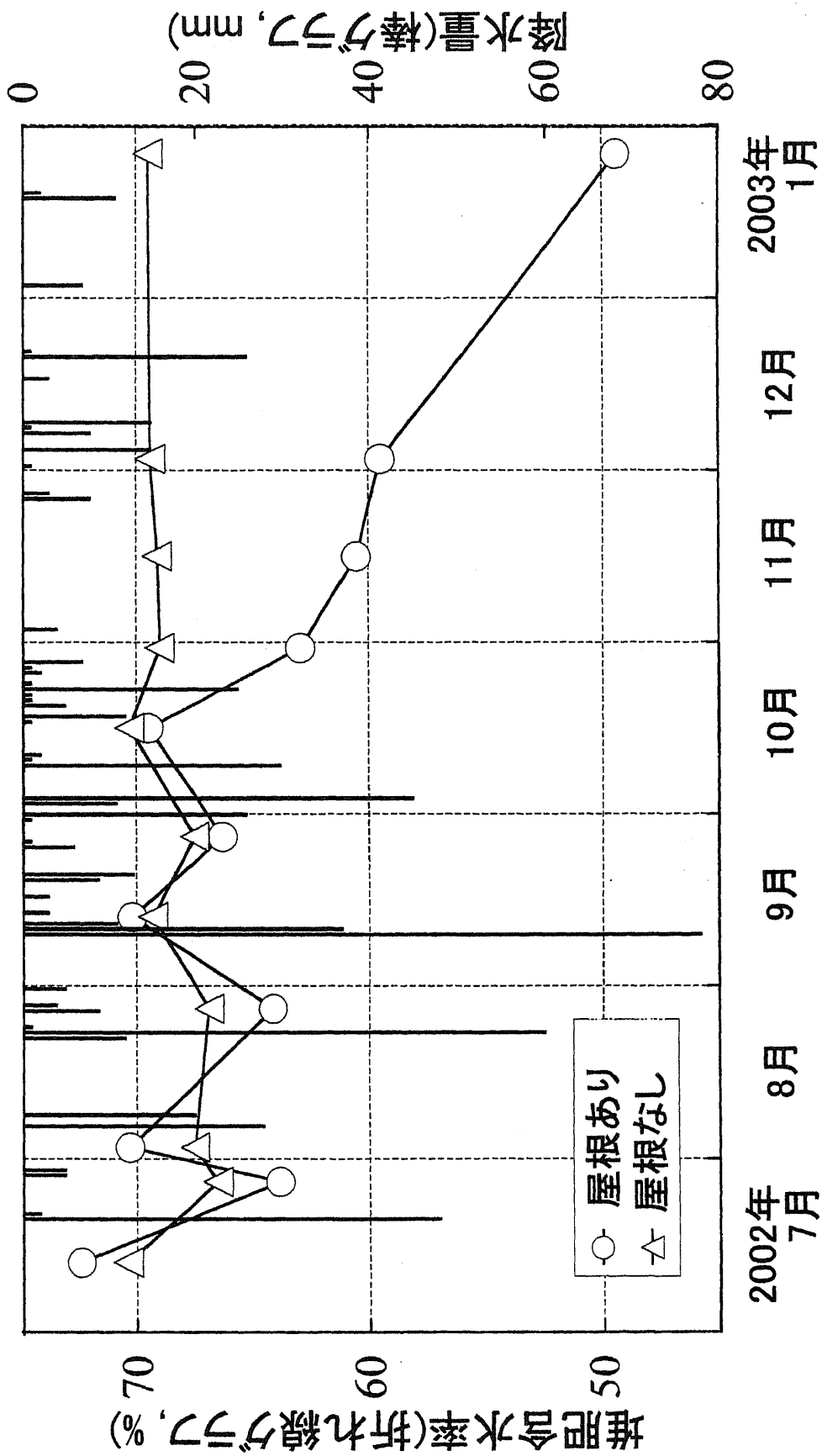


図2 堆肥(チップ材)含水率の経時変化

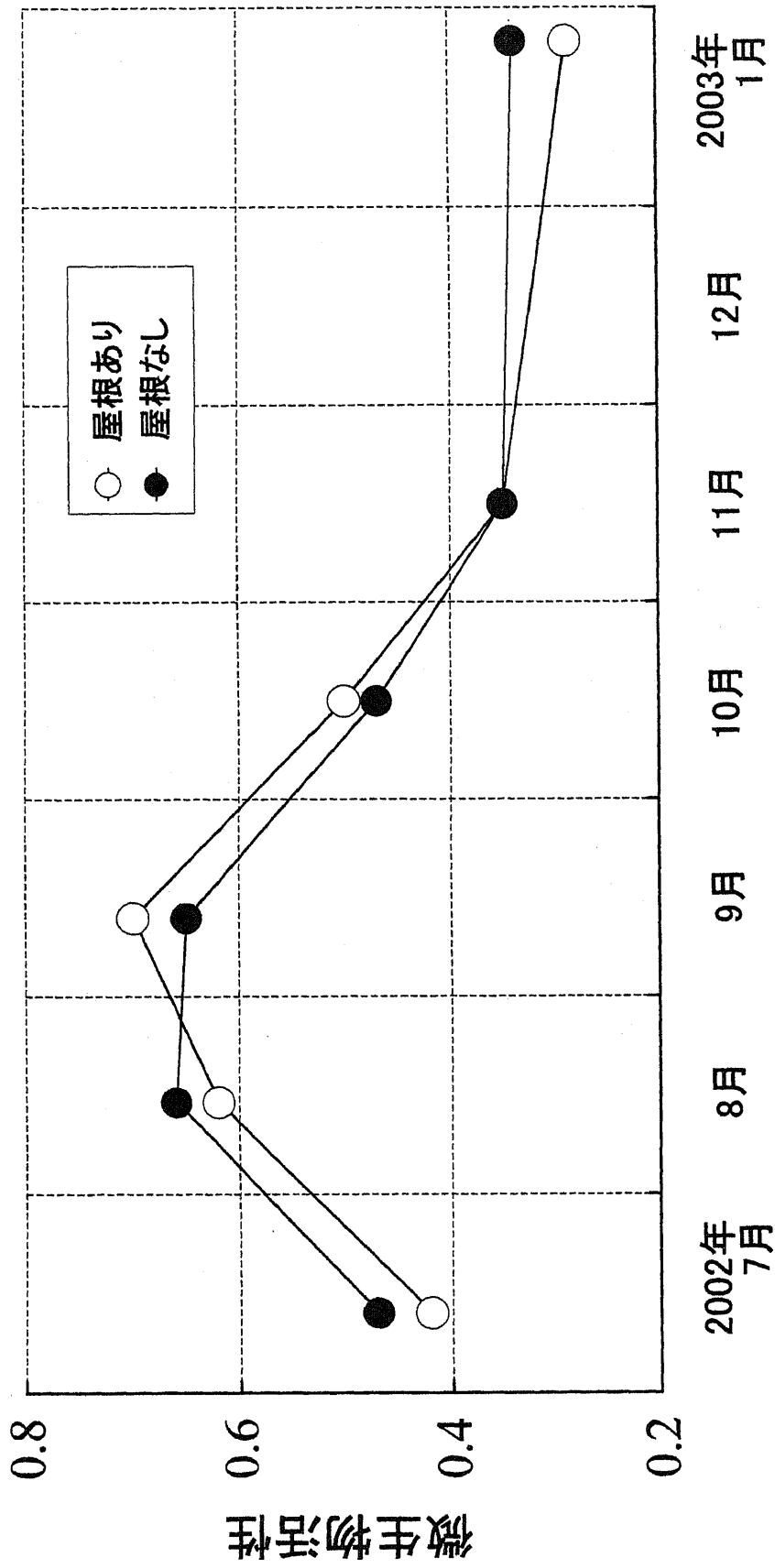


図3 堆肥(チップ材)の微生物活性の経時変化

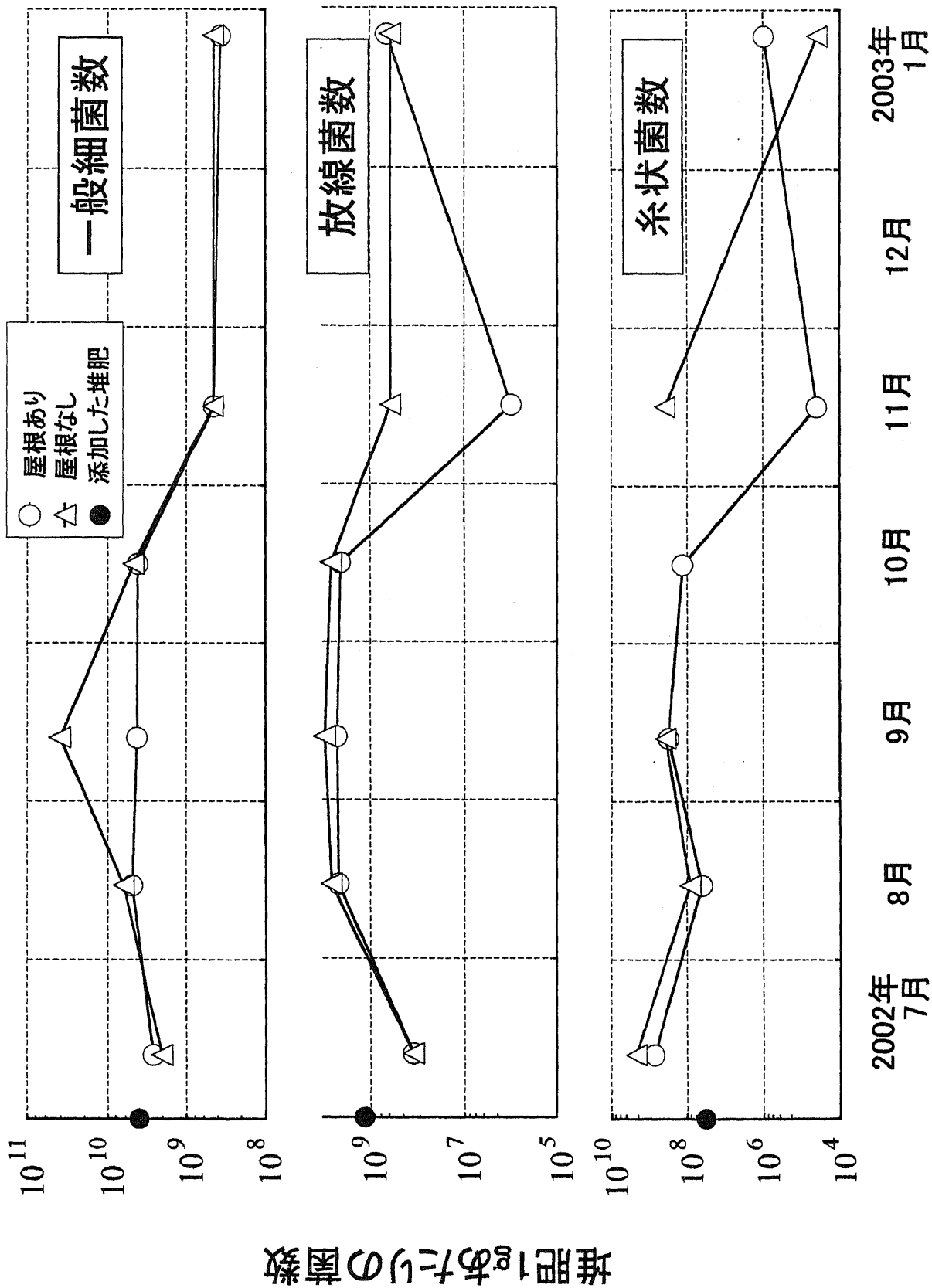


図4 堆肥(チップ材)の微生物数の経時変化

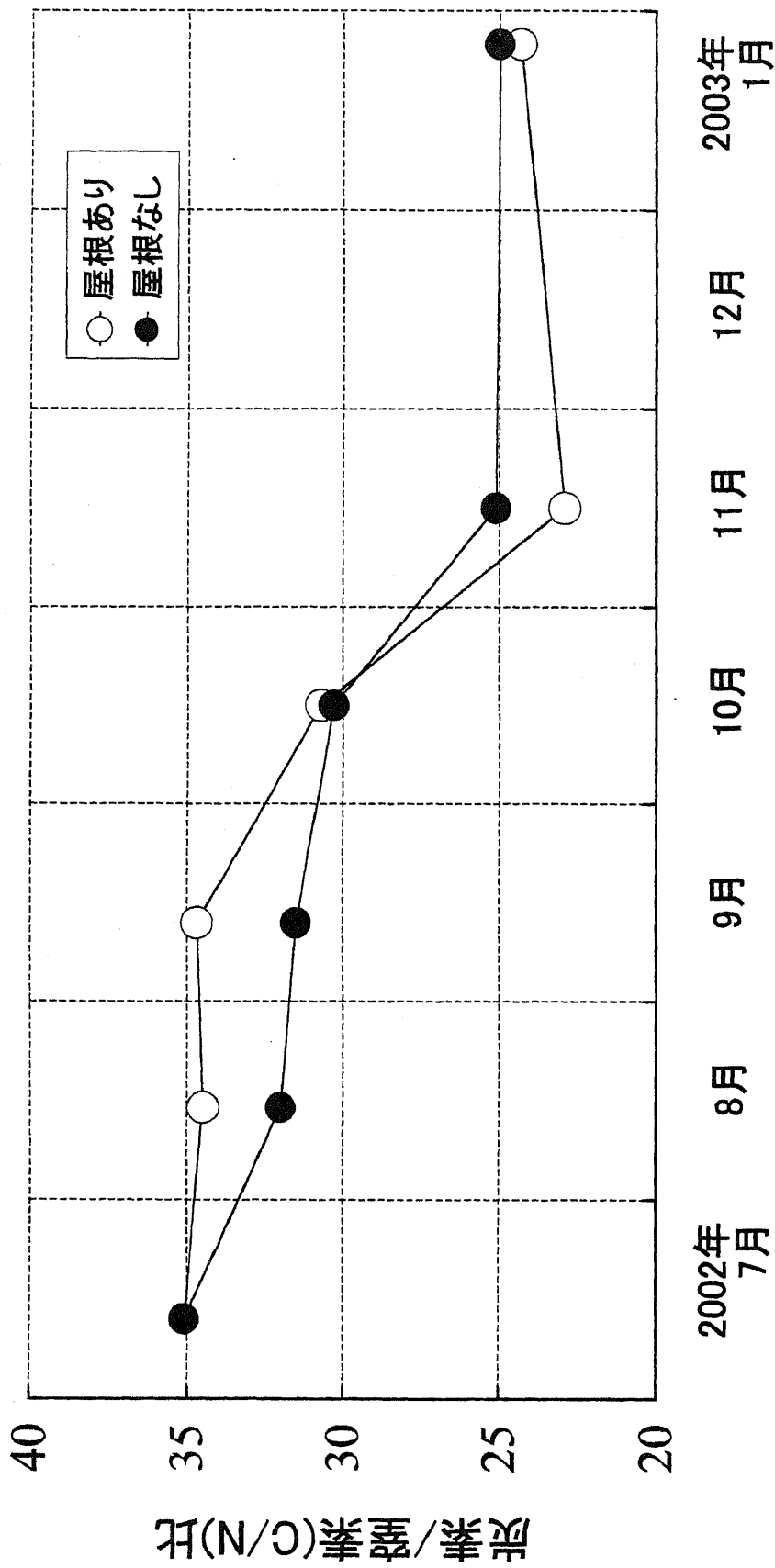


図5 堆肥(チップ材)のC/N比の経時変化

第5章 堆肥混入と頻繁な切り返しによる剪定枝の堆肥化促進法の検討

1. はじめに

現在、資源の有効利用や廃棄物の再資源化を推進する観点から、緑地の樹木管理で発生する剪定枝の有効利用—緑のリサイクル—が求められている。その一環として粉碎しチップ化した剪定枝の堆肥化が行われている。剪定枝を広域から集め、大規模なヤードで堆肥化させる方法は、剪定枝や完成した堆肥の移動にともなう多量のエネルギー消費が懸念される。このため、資源の地域循環や地域住民への緑のリサイクルの啓発を推進する、比較的小規模の堆肥化を行うことが提案されている⁷⁾。

現在、堆肥化の現場で広く普及している『植物発生材堆肥化の手引き』⁸⁾によれば、一般的な堆肥化過程(従来法)は、収集した剪定枝等を粉碎し、水分調整や石灰、尿素などの副資材の添加を行った後、一次発酵を3ヶ月以上、二次発酵を3ヶ月以上経ることとされている。また、その間、2週間～1ヶ月に1回の割合で切り返しが行われる。このように一般的には完成までに半年以上を要する堆肥化期間の短縮は、堆肥化ヤードの利用効率を高め、緑のリサイクルの効率化と促進に有効である。また、副資材添加を削減することで堆肥化の低コスト化を図ることができる。東京都江東区では緑地管理で生じた剪定枝の堆肥化に際して、副資材を使わずに堆肥を新鮮な剪定枝由来のチップ材に混入して堆肥化させる「堆肥添加法」を採用している。堆肥化添加法は新鮮なチップ材に体積比でおよそ3割の堆肥を微生物源(種菌)として混入し、2週間に1度の割合で切り返しを行いながら3～4ヶ月で堆肥化させる方法である⁹⁾。切り返しは堆肥化を行う微生物に酸素を与え、好氣的な有機物分解を促進させ、堆肥化を促進させるために行われる。堆肥添加法において切り返しの間隔を2週間にすることで、従来法よりも堆肥化期間を短縮できたことから、切り返しの間隔をさらに短縮化することによって、堆肥化速度を速めることが期待される。

本研究では、比較的小規模な(少量の)堆肥化手法を確立する一環として、堆肥添加法のさらなる効率化・低コスト化について検討することを目的に、切り返しを頻繁に行うことによる堆肥化期間の短縮と、種菌の使用量の減量の効果を調査した。

2. 材料と方法

調査期間は2003年7月9日から8月6日までの4週間である。

種菌添加量を体積比で30%および10%の2段階を設定した(30%区、10%区)。10%区に

については、毎日切り返しを行う区(10%24hr 区)を設定し、30%については毎日切り返しを行う区(30%24hr 区)と1週間毎に切り返しを行う区(30%1w 区)を設定した。

調査期間中、それぞれの区の堆肥の温度を毎日測定した。実験開始日を除き、切り返し前の温度を堆肥の温度とした。

堆肥の pH を調査開始日から1週間毎に測定した。堆肥:H₂O = 1:1 の懸濁液の pH(H₂O)をガラス電極法で測定し、堆肥の pH とした。堆肥の微生物活性を調査開始日から1週間毎に FDA 加水分解活性法³⁾で測定した。堆肥には腐植物質が多く含まれるため、腐植物質による誤差を取り除くため、FDA 溶液を加えて測定した値から FDA 溶液を加えずに測定した値を差し引いて微生物活性を求めた³⁾。堆肥の炭素・窒素含有量を調査開始日から2週間毎に CN コーダー(ヤナコ分析工業(株)製 MT-700)を用いた乾式燃焼法で測定した⁹⁾。pH、微生物活性測定の試料には、採取時含水率のまま分析まで冷蔵保存(5℃以下)したものをを用いた。炭素・窒素含有量測定の試料には風乾後、粉末状に粉碎したものをを用いた。

3. 結果と考察

調査期間中の堆肥の温度変化を図-1 に示す。10%24hr 区の堆肥温度は調査期間を通じて 30 ~ 45℃で推移し、ほとんどの日で 30%24hr 区より 1 ~ 5℃高かった。30%1w 区の堆肥温度は調査開始後 10 日目以降に毎日切り返しを行う区よりも高く推移するようになり、30%24hr 区よりも 5 ~ 10℃高かった。

堆肥化の過程では、発熱が一次発酵の進行状況の指標となり、発熱がみられなくなると一次発酵の終了と見なされる¹⁾。この発熱は好気性微生物の呼吸熱が堆積された堆肥(材料)に蓄熱されるためとされおり、剪定枝葉の堆肥化の場合、糖類やデンプン・タンパク質を分解する過程では 40℃前後、ヘミセルロースやセルロースを分解する過程では 70℃前後、難分解ナリグニンを分解する過程では 40 ~ 50℃になるとされている⁹⁾。ただし、一般的な堆肥化では、材料の堆積後 2 ~ 3 週間目以降、少なくとも 1 ヶ月に 1 回の割合で切り返しを行うこととされている¹⁾。本研究の場合、堆肥温度が剪定枝の堆肥化の発熱としては低めだったのは、切り返しの間隔が 1 日または 1 週間と短く蓄熱しにくかったためと考えられる。30%1w 区では、他の 2 区よりも切り返しの間隔が長いために蓄熱されやすく、堆肥温度が高めに推移した。堆肥化におけるセルロースの分解は高温性微生物によって行われる⁹⁾。本研究では頻繁な切り返しによる放熱により堆肥温度が低く推移し、これらの

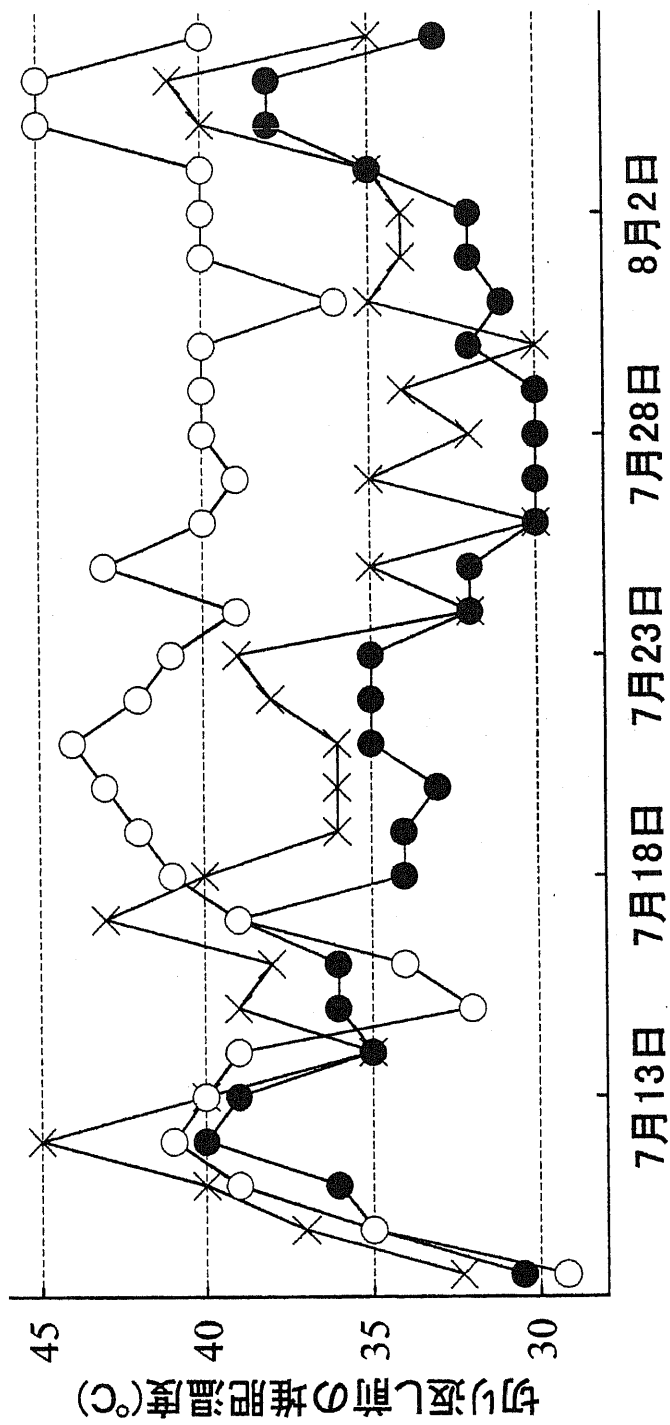


図-1 堆肥温度の経時変化
 ●, 30%24hr 区; ○, 30%1w 区; x, 10%24hr 区

微生物が活発化しなかったことも考えられる。

前述のように堆肥化の初期には糖類やデンプン、タンパク質といった比較的分解されやすい成分が分解され、堆肥温度が上昇する。30%24hr 区では、添加された微生物に対する糖類などの分解されやすい成分の量が 10%24hr 区よりも相対的に少ない。このため、30%24hr 区では短期間にそれらの成分を分解し尽くすために堆肥温度は上がりにくくなり、10%24hr 区よりも低めに推移したと推察される。

調査期間中の堆肥の pH を図-2 に示す。堆肥の pH はいずれの区でも調査期間を通じて上昇し続けた。調査開始 1 週間後から 10%24hr 区と 30%24hr 区が 30%1w 区より 0.6 ~ 1.0 高く推移した。pH は好気的な微生物によって剪定枝中のタンパク質が分解されアンモニアが生成されるために上昇する⁹⁾。30%1w 区では他の 2 区に比べて、切り返し間隔が長く嫌気的な条件になりやすいことから、アンモニアの生成が遅くなり pH は低めに推移したと考えられる。

調査終了時(8 月 6 日)の pH はいずれの区でもおよそ 7.0 ~ 7.3 であり、わが国で用いられる堆肥の品質基準において、pH が 6 以上、または 5.5 ~ 7.5 と設定されているので¹⁾、基準を満たしている。また、細菌増殖に好適な pH が 6 ~ 9 付近とされており、本研究で得られた堆肥の pH は微生物の活動にも適しているといえる。

調査期間中の堆肥の微生物活性を図-3 に示す。30%24hr 区と 10%24hr 区の微生物活性は調査開始時から 3 週間目にかけて増加する傾向にあり、3 週間目から 4 週間目にかけて減少する傾向にあった。10%24hr 区の微生物活性は 2 週間目以降 30%24hr 区よりも高めに推移した。30%1w 区の微生物活性は調査期間を通じて増加する傾向にあり、他の 2 区に比べて 2 週間目までは低めに推移したが、3 週間目には 30%24hr 区とほぼ同じ値をとり、調査期間終了時(4 週間目)には他の 2 区よりも高い値を示した。堆肥添加法において、微生物活性は堆肥化の初期に増加し、後期に減少する⁹⁾。本研究の場合、30%24hr 区と 10%24hr 区では 3 週間目以降、微生物活性の低下がみられ、堆肥化に伴う分解活動が後期の段階にあることを示している。10%24hr 区の微生物活性が 2 週間目以降に 30%24hr 区よりも高く推移したのは、前述のようにチップ材の分解されやすい成分の分解に時間がかかったためであると推察される。30%1w 区は調査期間中に微生物活性が増加傾向を示していることから、堆肥化の後期の段階に至らなかったと考えられる。

堆肥温度は微生物活性の指標として用いられている。本研究で測定された微生物活性と堆肥温度の関係(図-4)をみると、必ずしも相関関係にあるとは言い難い。堆肥化温度は堆

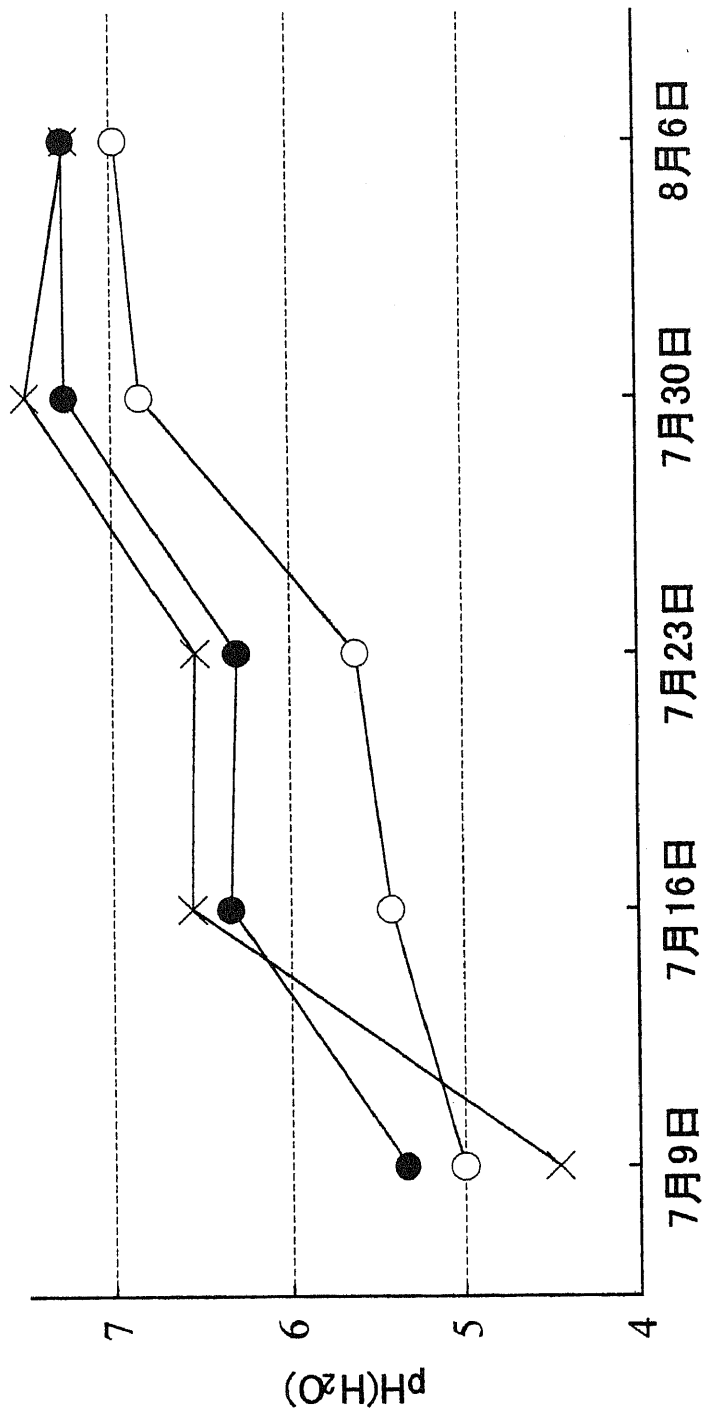


図-2 堆肥の pH の経時変化
 凡例は図-1 と同じ

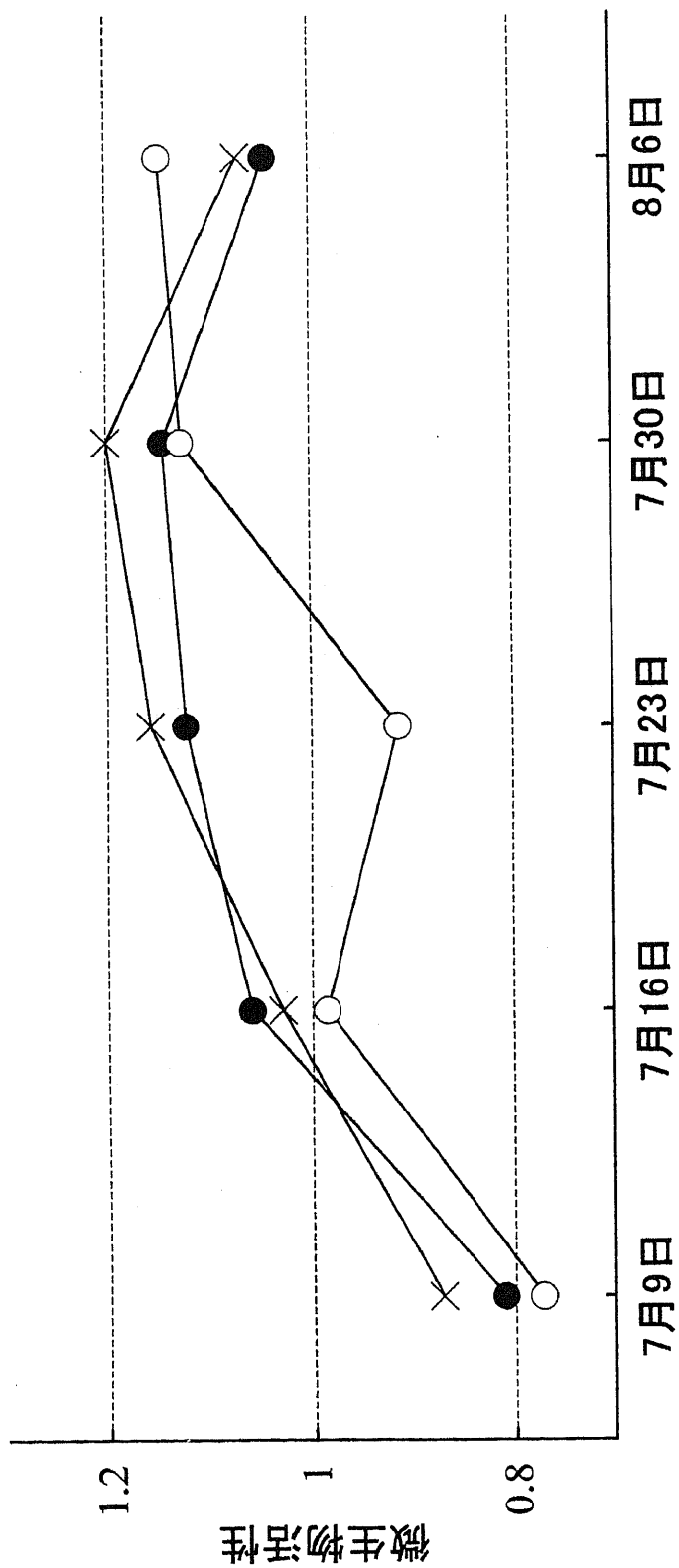


図-3 堆肥の微生物活性の経時変化
凡例は図-1と同じ

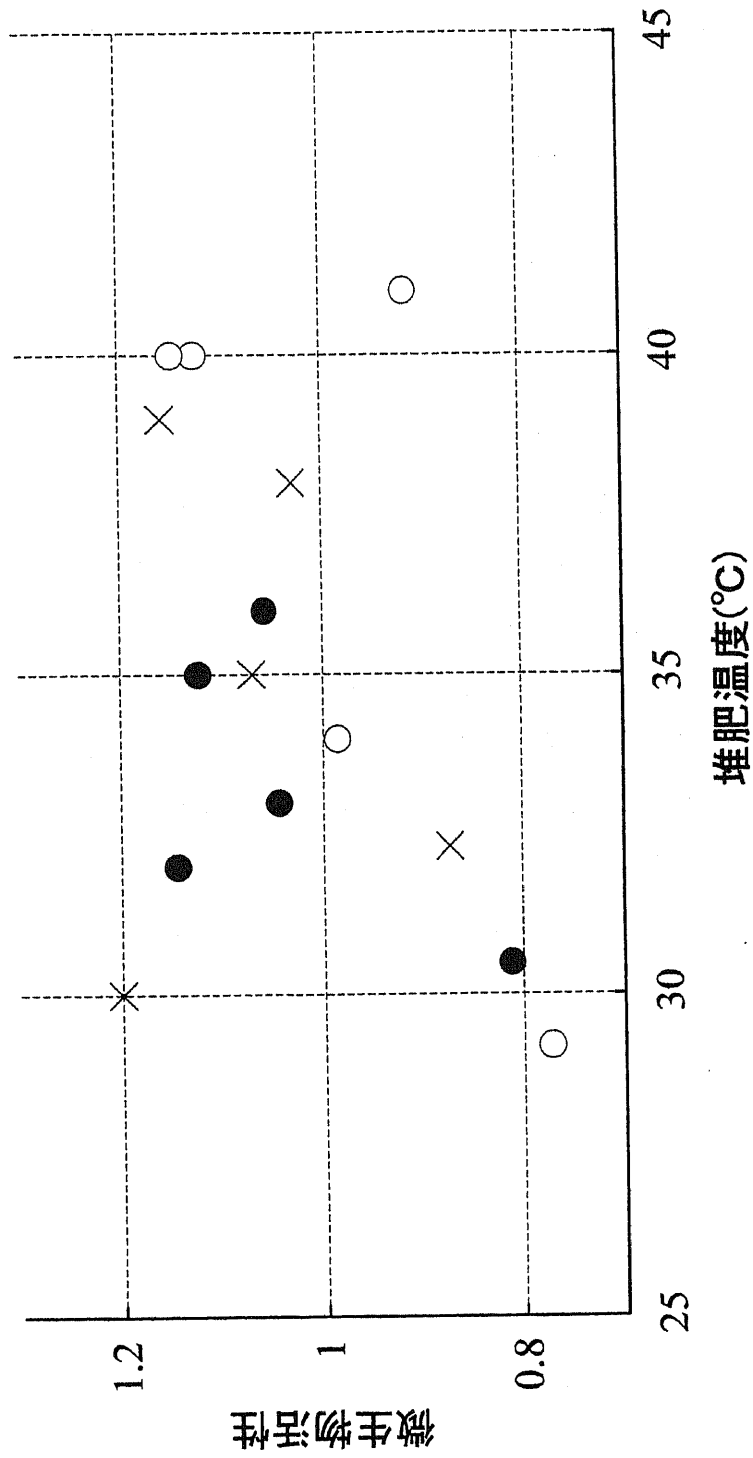


図4 堆肥温度と微生物活性の関係
凡例は図-1と同じ

積中の蓄熱や切り返しによる放熱、さらには水分状態や外気温の影響により変化する。したがって、有機物の分解活性やそれに基づく堆肥化程度の判定には、微生物活性がより有効な指標となりうる。

調査期間中の堆肥の炭素濃度、窒素濃度および両者から算出された C/N 比を図-5 に示す。炭素濃度はいずれの区も $410 \sim 430 \text{ g kg}^{-1}$ で推移した。窒素濃度はいずれの区でも増加する傾向にあり、30%24hr 区では 15%程度、30%24hr 区では 30%程度増加し、4 週間目にはいずれの区でもおよそ 12 g kg^{-1} になった。主に窒素濃度の増加によって C/N 比はいずれの区でも減少した。C/N 比は調査開始時には 10%24hr 区、30%24hr 区、30%1w 区でそれぞれ 47、41、54 であったが、4 週間目にはいずれの区も 35 ~ 36 になった。

堆肥化に伴う C/N 比の減少はよく知られており、有機物分解に伴って有機物中の炭素が炭酸ガスとして放出されるのに対して窒素が堆肥中に保たれるために起こるとされている⁹⁾。しかし、本研究では炭素濃度の減少ではなく、主に窒素濃度の増加によって C/N 比が減少していることから、外部からの窒素の付加が行われている。有機物への窒素の付加は有機物にとりついた微生物が土壌中の無機態窒素を吸収する「有機化」と微生物が大気中の窒素ガスを固定する「窒素固定」の二つの経路で行われる。本研究の場合、単生の(植物と共生しない)窒素固定菌が植物の表面に存在し¹⁰⁾堆肥に混入されやすいこと、堆肥と土壌の接触が極めて少ないことから、堆肥への窒素の付加は主に窒素固定によって行われたと考えられる。有機物を分解するなどして生息する単生の窒素固定菌として、好気性の *Azotobacter* 属、*Beijerinckia* 属、半好気性の *Bacillus* 属、*Entobacter* 属、嫌気性の *Clostridium* 属などが知られている¹⁰⁾。このうち、*Azotobacter* 属は中性からアルカリ性の土壌で活動し²⁾、*Bacillus* 属は酸性の森林土壌で活動する⁹⁾。また、*Bacillus* 属と *Clostridium* 属は耐熱性の胞子をつくる²⁾。このように、窒素固定菌は種類が多く、多様な環境下で活動しうるため、種菌の混入量や、切り返し間隔の違いで生じた温度や酸素濃度といった生育環境の違いに関わらず、窒素固定を行えた。窒素固定が 30%24hr 区より 30%1w 区で遅かったことから、種菌および堆肥には好気的な窒素固定菌が比較的多く含まれると推察される。

森林土壌において窒素固定菌は落葉や木材などの分解初期(C/N 比が 40 程度に低下するまで)に、セルロースやリグニンを分解する担子菌類などに窒素を供給し、C/N 比が 40 前後になると生成される無機態窒素によって活動を阻害されるようになる⁹⁾。本研究で 4 週間目にいずれの区でも C/N 比がほぼ一定になったのは、無機態窒素の生成による窒素固定菌の活動阻害によると考えられる。2 週間目から 4 週間目にかけての C/N 比の変化をみ

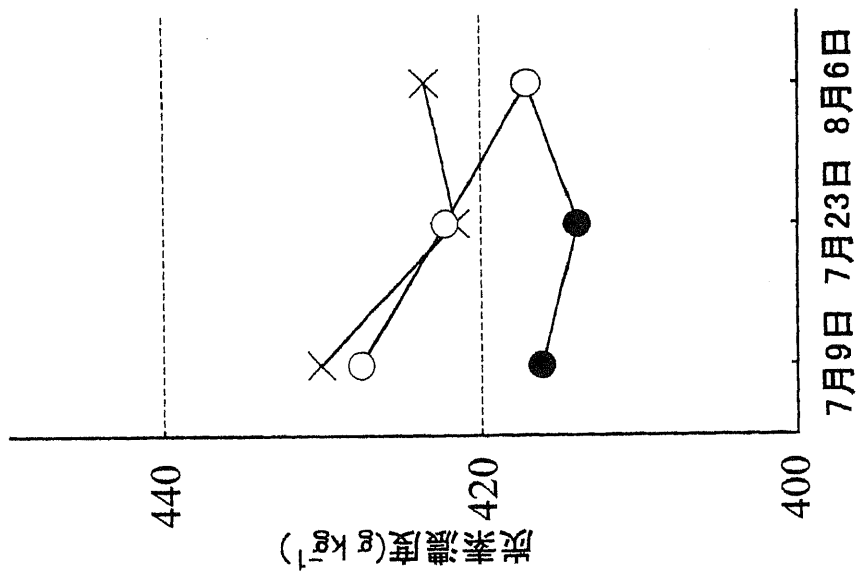
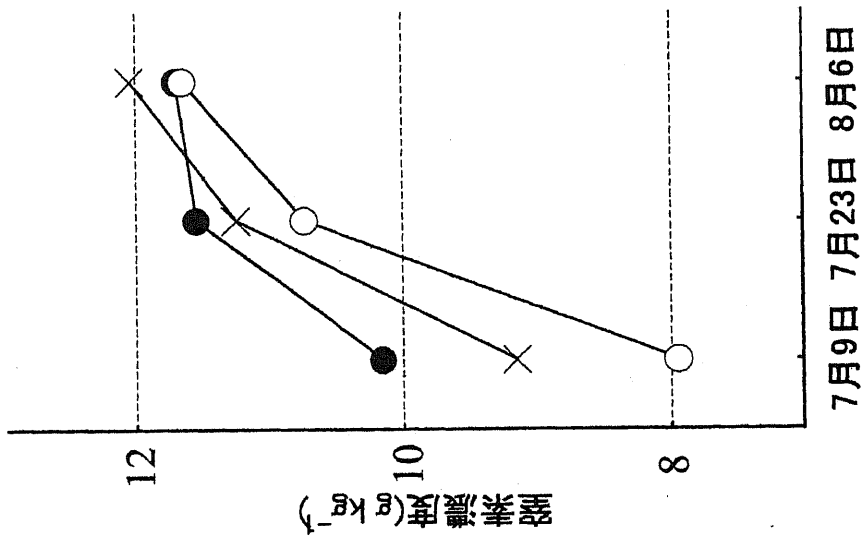
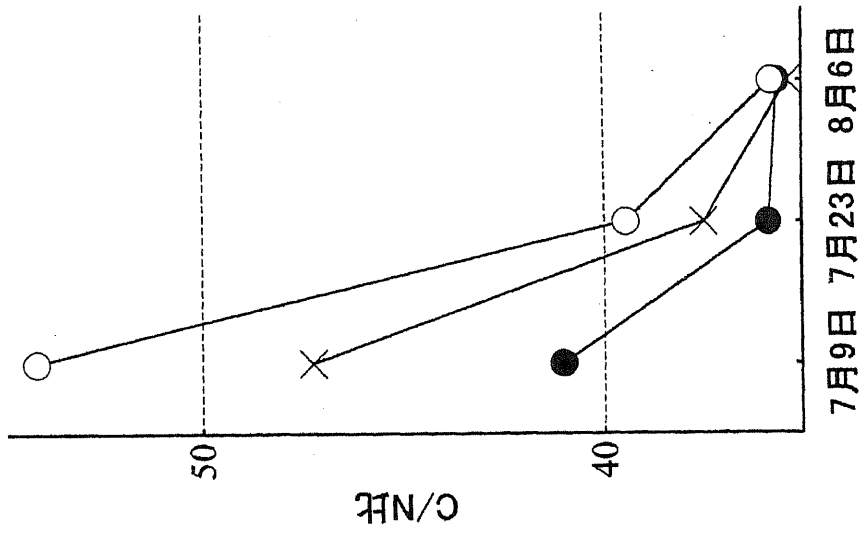


図-5 堆肥の炭素濃度、窒素濃度、C/N比の経時変化
凡例は図-1と同じ

ると、30%24hr 区では変化していないが、他の2区では低下している。このことからチップ材に添加する堆肥の量を増やし、好気的な環境を保つことで堆肥化は促進されるといえる。しかし、種菌の添加量を減らしても比較的短期間で堆肥化させることが可能である。

4. おわりに

堆肥添加法の切り返しを頻繁に行うことによる堆肥化期間の短縮と、種菌の減量の効果を調査した。種菌混入量が多く、切り返しの間隔が短いほど堆肥温度は低く(図-1)、有機物分解に伴う pH の増加が早く(図-2)、いずれも堆肥化が促進されていることを示した。堆肥化初期に増加した微生物活性が早期に減少し始め(図-3)、窒素濃度の増加や C/N 比の減少が早く(図-5)、いずれも堆肥化を促進する傾向を示した。しかし、C/N 比の変化で示されたように、種菌添加量が少なくても(添加量：体積比で 10%)、4 週間という比較的短期間に添加量の多い(同 30%)区と同様の値となっており、種菌を減量させても堆肥化は十分可能である。

本研究から、頻繁な切り返しによる放熱によって、高温性微生物の活動が妨げられている可能性が指摘された。堆肥添加法と堆肥化温度を高温にする堆肥化法とで完成した堆肥の品質が異なる可能性もある。

堆肥化の指標とされている C/N 比が窒素固定菌の働きにより低下し、堆肥中での無機態窒素の生成により安定した値を保つようになることが指摘された。このことから堆肥中の無機態窒素量が堆肥化の判定基準となる可能性がある。また、従来法で堆肥化促進のために行われてきた尿素などの添加が、窒素固定菌の活動を阻害していることも考えられる。これらのことは今後の検討課題である。

引用文献

- 1) 道路緑化保全協会(1998) 植物発生材堆肥化の手引き, 73pp., 丸善, 東京
- 2) 服部 勉・宮下清貴(1996) 土の微生物, 170pp., 養賢堂, 東京.
- 3) 市川貴大・高橋輝昌・浅野義人・小林達明(2002) FDA(フルオレセイン・ジアセテート)加水分解活性を用いた森林土壌の微生物活性の測定, 森林立地, 44(2), 15-22.
- 4) 仁王以智夫(1996) 森林土の物質変化と微生物(土壌微生物研究会 編, 新・土の微生物 (1)耕地・草地・林地の微生物, 154pp., 博友社, 東京), 129-154.

- 5) 西尾太寿・高橋輝昌・浅野義人・小林達明・萩野淳司(2003) 堆肥添加法による植物性発生材の堆肥化過程, 第34回日本緑化工学会大会研究交流発表会要旨集, 19.
- 6) 多田 實・百瀬英雄(1997) 素材別・堆肥化の方法と利用 剪定枝葉(有機質資源化推進会議 編, 有機廃棄物資源化大事典, 511pp., 農山漁村文化協会, 東京), 274-284.
- 7) 高橋一輔(1998) 植物発生材の利用(興水 肇・吉田博宣 編, 緑を創る植栽基盤, 313pp., ソフトサイエンス社, 東京), 146-158.
- 8) 渡辺 巖(1974) 堆肥づくりの原理(農文協 編, 有機質堆肥のつくり方使い方, 288pp., 農山漁村文化協会, 東京), 40-54.
- 9) 山田 裕(1997) 炭素: 乾式燃焼法(土壤環境分析法編集委員会 編, 土壤環境分析法, 427pp., 博友社, 東京), 222-231.
- 10) 山中高史(2000) 森林における窒素固定と微生物(二井一禎・肘井直樹 編著, 森林微生物生態学, 322pp., 朝倉書店, 東京), 67-75.