

ISSN 1345-6520

岐阜県森林科学研究所

研 究 報 告

第 29 号

Bulletin of the Gifu Prefectural
Forest Science Research Institute

岐阜県森林科学研究所

岐阜県美濃市

平成 12 年 3 月

目 次

論 文

- 昆虫寄生性線虫クシダネマによるコガネムシ類の生物的防除 1
大 橋 章 博

資 料

- 単木混交で植栽された広葉樹 6 種の初期成長 9
横 井 秀 一
- 下呂実験林の育林技術比較実験林におけるスギの成長過程 15
井川原 弘 一
- スギ精油の有孔デンプンによる粉末化 21
森 孝 博
坂 井 至 通

昆虫寄生性線虫クシダネマによるコガネムシ類の生物的防除

大橋 章博

Biological control of Scarabeid beetle larvae by entomopathogenic nematode *Steinernema kushidai*

Akihiro OHASHI

クシダネマ *Steinernema kushidai* (MAMIYA) のコガネムシ類幼虫に対する防除効果を明らかにするため、室内での殺虫性試験と野外施用試験を行った。室内における殺虫性試験では、クシダネマの殺虫力は20℃から30℃の温度域で高かったが、15℃以下および35℃では十分な殺虫力が得られなかった。この原因として、寄主昆虫の摂食活動の低下や、クシダネマの死亡が考えられた。ヒノキ苗畑における野外施用試験では、感染態3期幼虫100万頭/m²、50万頭/m²処理はMP P処理と同等の防除効果が認められた。また、クシダネマは処理4ヶ月後においても土壤中で生存し、殺虫活性も保持していたことから、その防除効果は長期間維持されると考えられた。

キーワード：生物的防除, クシダネマ, *Steinernema kushidai*, コガネムシ類, 圃場試験

I はじめに

コガネムシ類の幼虫はスギ、ヒノキの苗の根を食害し、時に壊滅的な被害を与えるため、これら幼虫による被害は苗木生産上大きな問題となっている。コガネムシ類幼虫の防除には化学農薬が使われているが、幼虫が土壤中で加害するため、処理した薬剤が虫体に直接かからず、難防除害虫の一つとなっている。また、近年、化学農薬による環境汚染や標的外生物への悪影響、病害虫における抵抗性の獲得などの弊害が認められるようになり、化学農薬を大量に使用しない防除方法の開発が望まれている。

こうした中、天敵微生物を利用する生物的防除は、環境負荷の小さい防除技術として期待されている。なかでも、昆虫寄生性線虫の一種であるクシダネマ *Steinernema kushidai* (MAMIYA) は、コガネムシ類の幼虫に対して高い感染力と殺虫力を有することが知られている (串田ら, 1987; MAMIYA, 1989)。室内試験におけるクシダネマの殺虫性に関する報告は多く、温度や湿度、紫外線、化学農薬などがクシダネマにおよぼす影響についてはすでに明らかにされている (藤家ら, 1993; FUJIE *et al.*, 1995; FUJIE *et al.*, 1996)。しかし、圃場における防除試験は大矢・上和田 (1990) によるサツマイモ畑の一例のみで、ほかにヒノキ苗 (KOIZUMI *et al.*, 1983)、サツマイモ (上田ら, 1989) での報告はみられるが、いずれも1の枠試験にとどまっている。

そこで今回、クシダネマの殺虫性について検討する

とともに、ヒノキ苗畑における防除効果について検討したので報告する。

なお、試験を実施するに当たり、クシダネマを分与していただいた株式会社クボタの鈴木伸和氏と苗畑を提供していただいた加茂山林種苗生産組合副組合長の酒向康夫氏に感謝する。

II 材料および方法

1. 供試線虫

試験に使用したクシダネマは、株式会社クボタより分与された感染態3期幼虫 (以下J III) を用いた。

2. 室内における殺虫性試験

(1) 接種頭数と殺虫率

プラスチックカップ (直径9 cm, 高さ4 cm; 以下同) に腐葉土を入れ、1 ml 当たり10頭、50頭、100頭、500頭、1,000頭、5,000頭に調整したJ III懸濁液を1 ml 接種した。同時に、J IIIを接種しない無処理区も設けた。ここにドウガネブイブイ3齢幼虫を1頭ずつ入れ、25℃に設定した恒温器内で飼育し、その後の死亡状況を20日間調査した。死亡した幼虫は滅菌水を満たしたペトリ皿に入れ、クシダネマの増殖を確認して、クシダネマによる死亡が否かを判定した。なお、各処理数は30とし、これを4反復おこなった。

(2) 温度と殺虫率

プラスチックカップに腐葉土を入れ、1,000頭/ml に調整したJ III懸濁液を1 ml 接種した。ここにドウ

ガネブイブイ 3 齢幼虫を 1 頭ずつ入れ、10℃、15℃、20℃、25℃、30℃、35℃の恒温器内で飼育した。また、同時に J Ⅲ を接種しない無処理区も設けた。処理後 20 日間、毎日幼虫の死亡状況について調べた。また、死亡した幼虫は滅菌水を満たしたペトリ皿に入れ、クシダネマの増殖を確認して、クシダネマによる死亡か否かを判定した。各処理数は 30 とし、これを 4 反復行った。

(3) 温度とクシダネマ生存率

100ml 三角フラスコにクシダネマ 1,000 頭を懸濁させた脱イオン水 30ml を入れ、これを 10℃、15℃、20℃、25℃、30℃、35℃の恒温器に入れた。10 日経過後、クシダネマの生存率を調べた。また、ペトリ皿に畑土を入れ、オートクレーブで 120℃、40 分高压滅菌した後、一昼夜放置し、ここにクシダネマを 1,000 頭接種した。これを、同様に 10℃、15℃、20℃、25℃、30℃、35℃の恒温器に入れ、10 日経過後にベールマン氏法でクシダネマを分離し、生存率を調べた。

(4) 温度と幼虫体重増加量

プラスチックカップに腐葉土を入れ、ここにあらかじめ個体重を測定したドウガネブイブイ 3 齢幼虫を 1 頭ずつ入れた。このカップを 10℃、15℃、20℃、25℃、30℃、35℃の恒温器に入れ飼育した。各処理数は 10 とし、これを 3 反復行った。10 日経過後、再び幼虫の個体重を測定した。

3. 野外施用試験

(1) 枠試験

枠試験における防除効果について検討するため、岐阜県森林科学研究所の構内に縦 1 m × 横 1 m × 深さ 0.4 m のコンクリートブロック枠を設置し、ヒノキ 2 年生苗木を 25 本ずつ植栽した後、網箱で被覆した。処理区は J Ⅲ 10 万頭/m² 施用区、ダイアジノン粒剤 9 g/m² 施用区、MPP 粒剤 9 g/m² 施用区、無処理区の 4 種である。このうち、J Ⅲ 施用区は 500 頭/ml に調整した懸濁液を 2000 ml ジョロで土壌表面に散布し、粒剤施用区は所定量を苗間に土壌混和した。これらの処理はいずれも平成 8 年 7 月 10 日に行い、1 週間後の 7 月 17 日にドウガネブイブイ 2 齢幼虫を各処理区とも 30 頭ずつ放虫した。4 ヶ月後の 11 月 8 日に、各処理区の苗を掘り起こしてドウガネブイブイ幼虫の生存率、根の食害状況を調査した。

なお、根の食害状況は、竹谷 (1990) にしたがって、次のように区別した。

- 0 : 健全 (根の食害は全然なし)
- I : 微害 (細根がわずかに食害)
- II : 中害 (微害と激害の間)

III : 激害 (主軸だけ残して側根はすべて食害)

IV : 枯死

(2) 圃場試験

野外におけるクシダネマの防除効果について検討するため、加茂郡富加町の苗畑に試験区を設置した。この試験区は作畝時に MPP 粒剤 (12 kg/10 a) を土壌混和した後、畝間 80 cm、幅 100 cm の畝を作り、苗間 15 cm でヒノキ 1 年生苗を植栽した。この畝を 10 m および 5 m の長さで区切り処理区を設けた。処理区は J Ⅲ 100 万頭/m² 施用区、50 万頭/m² 施用区、25 万頭/m² 施用区、MPP 乳剤 1000 倍液 1000 ml/m² 施用区、無処理区の 5 種で、これらの配置は図-1 に示すとおりである。このうち J Ⅲ はあらかじめ 1 m² 当たり 1000 ml の水に設定頭数になるよう懸濁液を調整した。畝の中心を浅く溝切りし、ここに懸濁液をジョロで散布した後、土を埋め戻した。その後、1 m² 当たり 1000 ml の水をさらにジョロで散布した。なお、これらの処理は MPP 乳剤の散布を 1998 年 7 月 31 日に、J Ⅲ 散布を 8 月 20 日午後 6 時に行った。同年 12 月 14 日に各処理区の苗を掘り取り、枠試験と同じ方法で根の食害状況について調査した。処理後から掘り取り調査までの気温、降水量の経過は図-2 に示すとおりである。

また、苗畑におけるクシダネマの生存状況を調査するため、J Ⅲ 処理後、1998 年 9 月 2 日、10 月 8 日、11 月 11 日、12 月 14 日にそれぞれの処理区から各 2 カ所の土壌を約 100 cm² ずつ採取した。持ち帰った土を 200 ml プラスチックカップに入れ、その中にドウガネブイブイ 3 齢幼虫を 1 頭ずつ放飼し、25℃ 下におき、クシダネマの感染による幼虫の死亡を調査した。

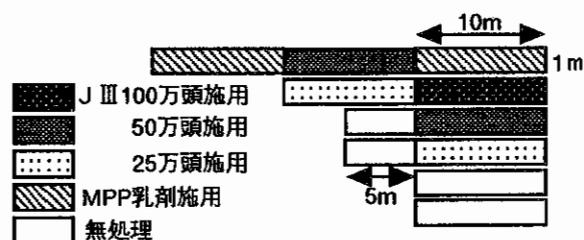


図-1. 防除試験処理区

III 結果および考察

1. 室内における殺虫性試験

(1) 接種頭数と殺虫率

接種頭数別のドウガネブイブイ幼虫の死亡率を示したのが図-3 である。クシダネマの接種頭数が多いほど死亡率は高くなり、1 カップ当たり 500 頭以上接種した場合、ほとんどの供試虫が死亡した。また、死亡

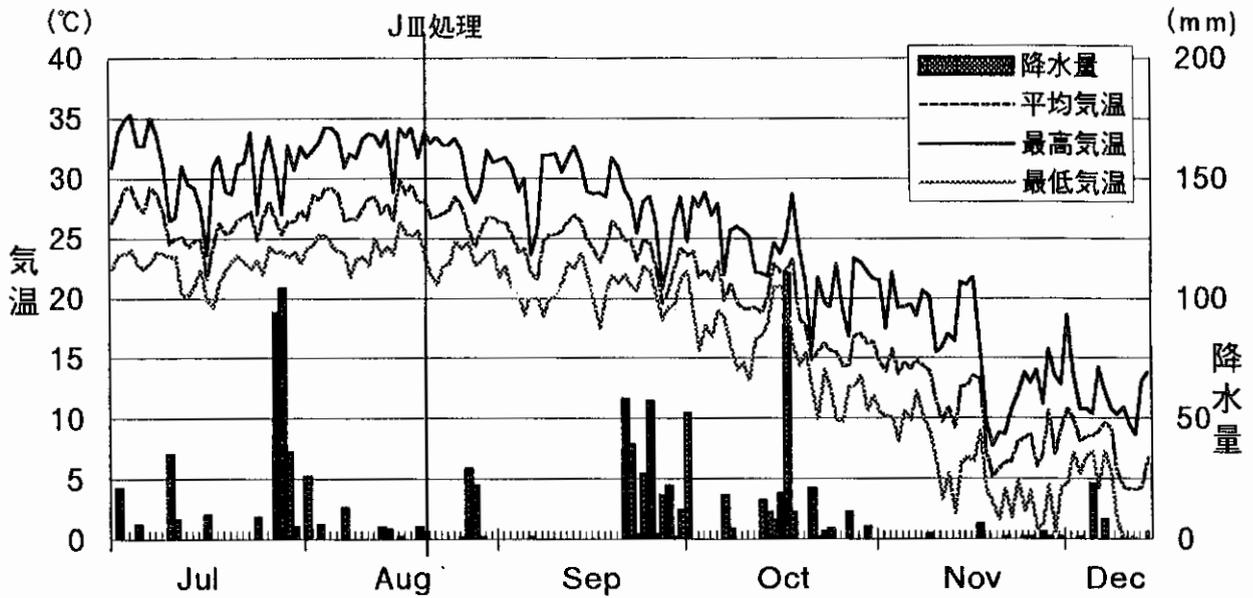


図-2 試験地の気温および降水量(美濃加茂, 1998)
岐阜県気象月報(岐阜地方気象台, 1998~99)より作成

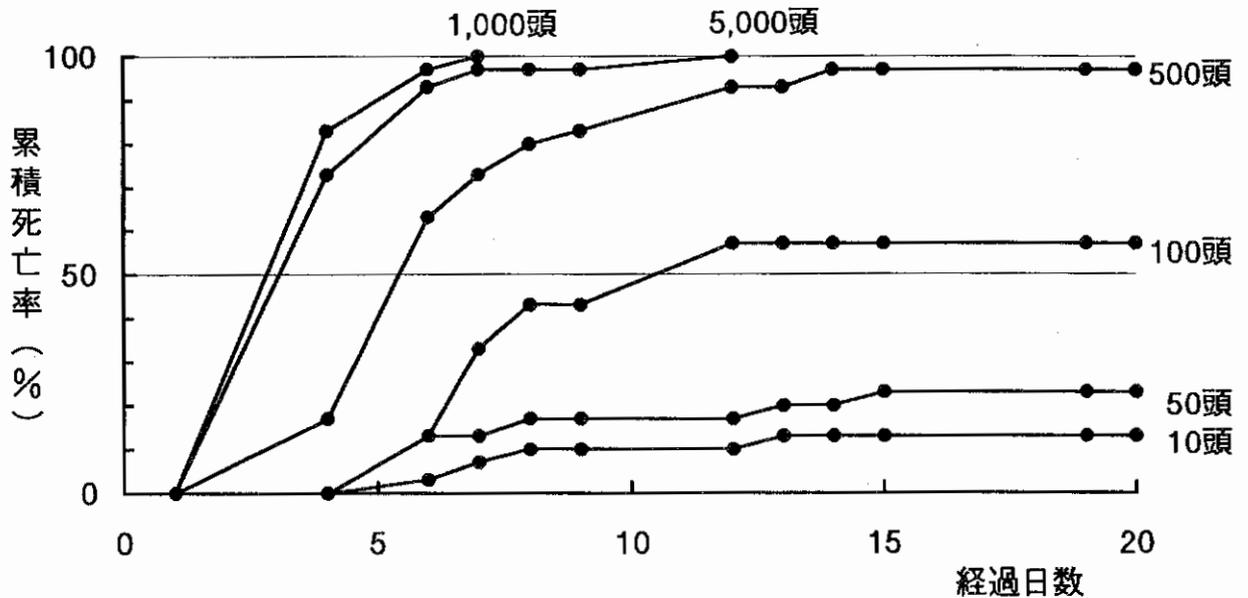


図-3 接種頭数別死亡率

までの日数は接種頭数が多いほど短くなる傾向がみられた。このうち1,000頭接種と5,000頭接種では殺虫率、即効性に差がみられなかったことから、1カップ当たりの接種頭数は1,000頭が最も効果的であると考えられた。これを単純に面積換算すると当たり約15万頭の接種頭数となるが、これは室内試験の結果であり、紫外線、高温、乾燥などのクシダネマにおよぼす影響を考慮すると(藤家ら, 1993)、野外においては、これ以上の接種頭数が必要と考えられる。

(2) 温度と殺虫率

クシダネマの殺虫力に対する温度の影響を示したのが図-4である。幼虫死亡率は20℃, 25℃, 30℃処理

区でそれぞれ88%, 100%, 77%と高く、特に25℃処理区でクシダネマの高い殺虫力が認められた。これに対し、10℃, 15℃, 35℃処理区の死亡率は8%, 0%, 7%と低かった。特に、15℃処理区では、死亡虫が全く認められなかった。

すべての死亡個体からクシダネマが確認できたことから幼虫の死亡は、同時に設けた無処理区ではいずれの温度条件でも死亡虫は見られなかった。

次に、死亡率が高かった20℃, 25℃, 30℃処理区について、即効性の面から検討してみると、25℃処理区では処理後3日目には幼虫の死亡が認められ、5日後には死亡率は50%に達し、13日後には死亡率100%に

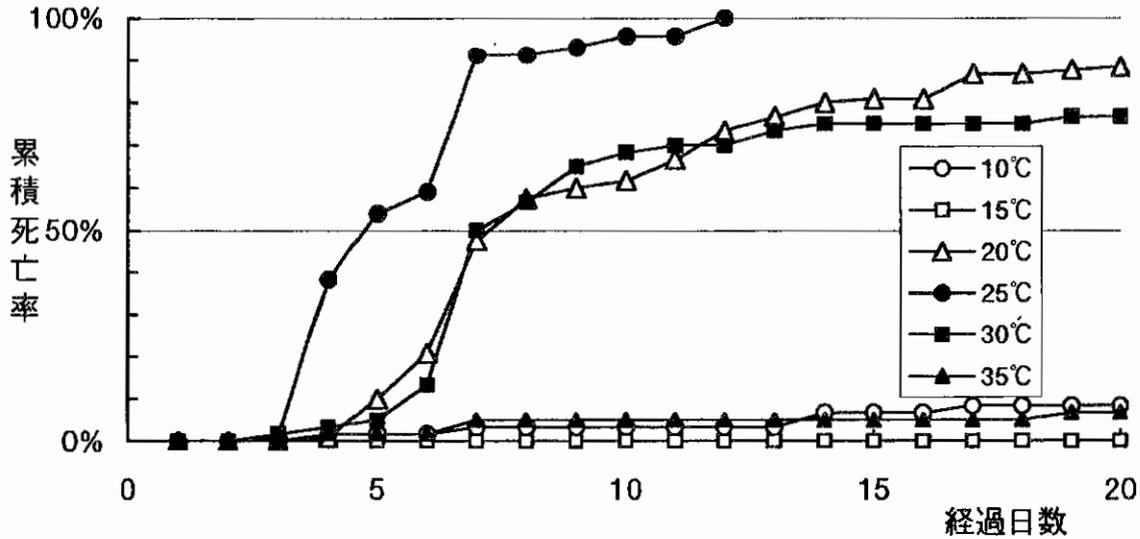


図-4 ドブガネブイブイ幼虫の死亡率に及ぼす温度の影響

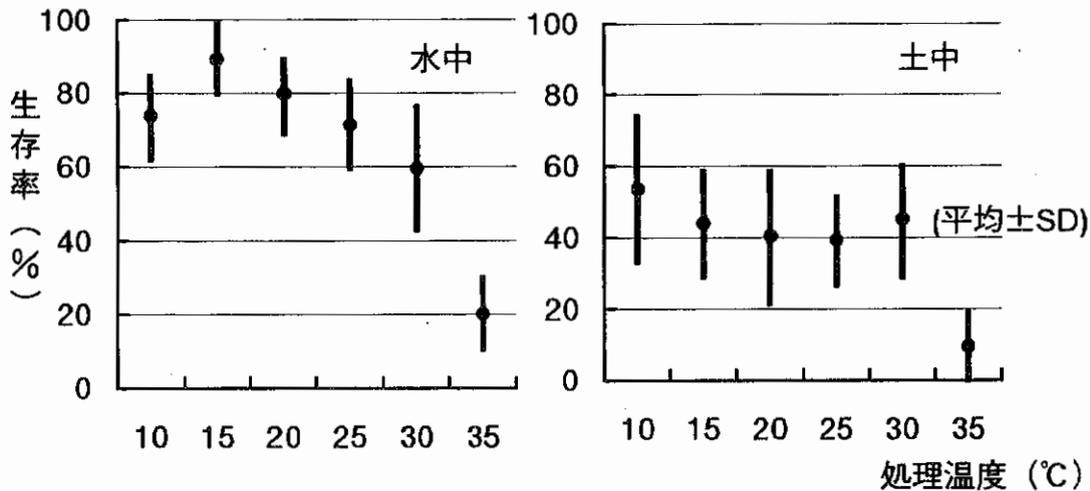


図-5 クシダマネの生存率に及ぼす温度の影響

達した。これに対し、20°C、30°C処理区では25°Cに比べ、やや遅れて死亡個体が見られ、7日後には死亡率が50%に達した。

また、試験期間中に死亡がみられなかった10°C、15°C、35°C処理区の幼虫を25°C条件下に移して飼育したところ、10°C、15°C処理した幼虫は全て死亡し、35°C処理区の幼虫は死亡しなかった。このことから、クシダマネは10°C、15°C処理下では殺虫活性を保持しているが、35°Cでは殺虫活性を失うことがわかった。

(3) 温度とクシダマネ生存率

各温度別のクシダマネの生存率を示したのが図-5である。水中での生存率は10°Cから30°Cでは、いずれも60%以上と高かったが、35°Cでは生存率が20%と低くなった。土中での生存率についても同様で、10°Cから30°Cではおよそ40%の生存率であったが、35°Cでは9%と低い生存率だった。このように水中、土中とも

35°Cの温度では、クシダマネの生存率の急激な低下が認められた。また、FUJIE *et al.* (1995) はクシダマネの共生細菌が10°C~35°Cの温度域で生存率に変化は見られないことを報告していることから、35°Cの温度域で殺虫率が低い原因は、クシダマネの死亡によるためと考えられる。

(4) 温度と幼虫の体重増加量

各温度条件下におけるドウガネブイブイ幼虫の体重増加量を示したのが図-6である。処理温度が20°C、25°C、30°Cでは大きな体重増加を示したものの、10°C、15°Cではあまり体重増加がみられなかった。このことから、10°C、15°Cでは幼虫の摂食活動が低下するため、クシダマネと幼虫が遭遇する機会が減ったことが原因と考えられる。また、*Steinernema*属の線虫は寄主探索能力を有し、寄主が発散する炭酸ガスや体臭、排泄物などを特異的に感じ、寄主を識別するといわれてい

る。したがって、10℃、15℃では幼虫の摂食活動が低下し、これにともなって、クシダネマの寄主探査機能が低下したことも、低温域で殺虫率が低下した原因の一つと考えられる。今後は、温度条件が共生細菌に及ぼす影響についても検討し、低温域で殺虫率が低下する原因を把握する必要がある。

2. 野外施用試験

(1) 枠試験

各処理区の根の食害状況および幼虫死亡率を示したのが表-1である。幼虫死亡率は無処理区が17%であるのに対して、JⅢ施用区、ダイアジノン施用区が

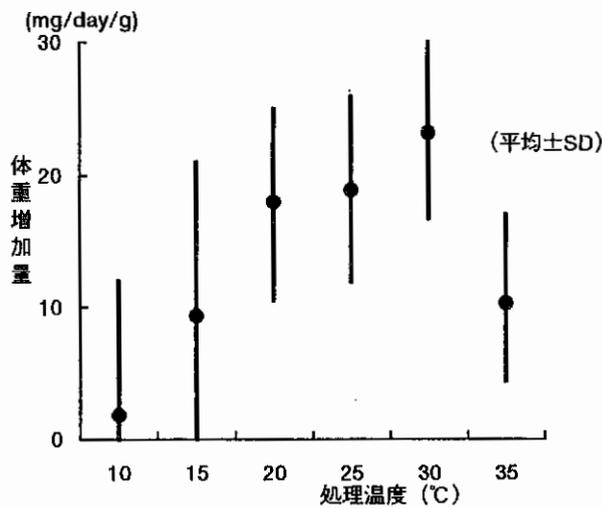


図-6 ドブガネブイブイ幼虫の体重増加量に及ぼす温度の影響

100%、MPP施用区が97%であり、いずれの処理も高い殺虫率を示した。苗木被害率は無処理区が84%に対し、JⅢ施用区が56%、ダイアジノン施用区が48%、MPP施用区が52%といずれの処理も無処理区を下回った。これら処理区の根の食害状況についてBONFERRONIの多重比較法を用いて解析したところ、いずれの施用区も無処理区との間に有意な差が認められたが、施用区間に差は認められなかった ($p < 0.05$)。

(2) 圃場試験

各処理区の根の食害状況および得苗率を示したのが表-2である。ヒノキ苗木の被害率は、無処理区が54%であるのに対してMPP施用区が10%、JⅢ100万頭施用区が7%、50万頭施用区が10%、25万頭施用区が18%で、いずれの施用区も無処理区を下回った。同様に、得苗率は無処理区が52%であるのに対し、MPP施用区が90%、JⅢ100万頭施用区が99%、50万頭施用区が98%、25万頭施用区が92%であった。これら処理区の根の食害状況についてBONFERRONIの多重比較法を用いて解析したところ、いずれの施用区も無処理区との間に有意な差が認められた ($p < 0.05$)。また、施用区間ではJⅢ100万頭、50万頭、MPP施用区とJⅢ25万頭施用区とに有意差が認められた ($p < 0.05$)。

根の食害状況は試験地の虫密度によって変わるため、これらの比較だけでは薬剤の防除効果を判定するには不十分である。そこで竹谷(1990)の方法に従って根の食害状況を数量化し被害減少率を求めた(表-2)。この被害減少率と得苗率との関係を示したのが図-7

表-1 各処理区における防除効果(枠試験)

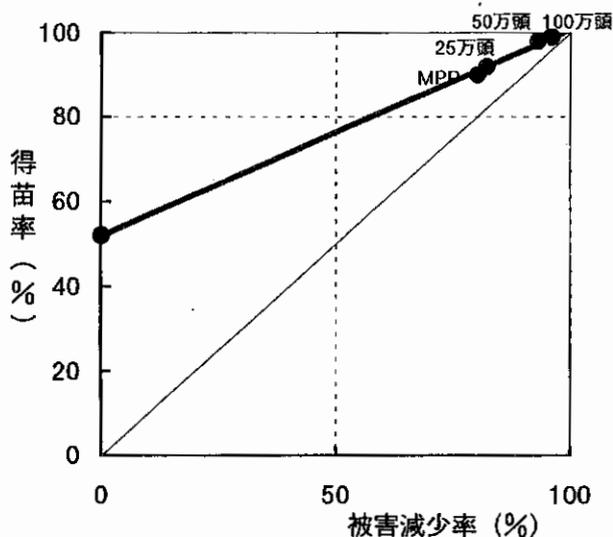
処理区	0	I	II	III	IV	被害率	得苗率	死亡率
JⅢ10万頭	11	11	3	0	0	56% ^a	88%	100%
ダイアジノン粒剤	13	9	3	0	0	48% ^a	88%	100%
MPP粒剤	12	11	2	0	0	52% ^a	92%	97%
無処理	4	13	8	0	0	84% ^b	68%	17%

a,b: 符号が異なる処理間に有意差があることを示す (Bonferroniの多重比較, $p < 0.05$)

表-2 各処理区における防除効果(圃場試験)

処理区	0	I	II	III	IV	被害率	得苗率	ポイント	被害減少率
JⅢ100万頭	327	20	4	0	0	7% ^a	99%	0.10	96%
JⅢ50万頭	593	48	15	0	0	10% ^a	98%	0.16	93%
JⅢ25万頭	542	71	45	5	1	18% ^b	92%	0.43	82%
MPP乳剤	362	0	25	17	0	10% ^a	90%	0.50	80%
無処理	349	43	190	155	21	54% ^c	52%	2.45	0%

a,b: 符号が異なる処理間に有意差があることを示す (Bonferroniの多重比較, $p < 0.05$)



図一七 被害減少率と得苗率

である。ここで防除効果基準を竹谷（1990）に習い、得苗率80%以上、被害減少率50%以上とすると、JⅢ施用区はいずれもこの基準をクリアした。

これらの結果から、JⅢを1㎡当たり50万頭以上施用することで、現在コガネムシ防除で行われているMPP施用と同等の防除効果が得られることが明らかになった。

次に、クシダネマの生存状況を検討するため、各処理区から採取した土壌で飼育したドウガネブイブイ幼虫の死亡率を示したのが表一3である。JⅢ施用区の幼虫死亡率は全期間を通して50~100%であった。採取した土の量は100ccと少なく、サンプル数も少なかったにもかかわらず、クシダネマの感染による死亡が認められたことから、クシダネマは処理4か月後においても土壌中で生存しており、殺虫活性も保持していると考えられた。Koizumi *et al.* (1988) は1㎡の枠試験において、JⅢを1㎡当たり10万頭、50万頭、100万頭施用し、2年間は感染力が持続すると述べている。また、大矢ら（1990）はサツマイモ圃場で1㎡当たり5万頭、10万頭、20万頭施用したところ、その5か月

後に20万頭施用区では感染による死亡が認められたが、他の施用区では感染による死亡は認められなかったと述べている。このように、野外におけるクシダネマの防除効果の持続性については結果に違いがみられるが、クシダネマの施用数が多ければ防除効果は数ヶ月持続すると考えられる。このことより、春、作畝時にクシダネマを施用することによって、一年を通じた防除の可能性が示唆された。

IV おわりに

本試験の結果から、クシダネマは圃場においてコガネムシ類幼虫に対して実用的な防除効果を持つことが認められた。特にJⅢ100万頭/㎡、50万頭/㎡施用は既存薬剤のMPP乳剤と同等の防除効果が得られた。しかし一方で、クシダネマは高温や乾燥に弱いといった問題も明らかになった。また、今回は言及しなかったが、クシダネマ製剤は化学農薬に比べ高価であるといった問題もある。今後この技術を普及させるには、取り扱い易さを考慮した製剤化技術の改良や安価な培養技術の開発が重要なポイントとなる。

線虫類を利用する防除法には、①宿主探索能力がある、②農薬との混合施用が可能である等の利点がある。とりわけ、クシダネマは一部の殺虫剤を除き混用散布、近接散布できることが知られている（橘ら、1999）。こうした特徴は、現行の施業体系にクシダネマを容易に組み込むことができる点で優れており、総合的な防除技術を確立するための有望な素材であると思われる。

引用文献

- 藤家 梓・横山とも子・藤方正浩・澤田正明・長谷川誠（1993）昆虫寄生性線虫 *Steinernema kushidai* MAMIYAのドウガネブイブイに対する殺虫性。応動昆。37：53~60。
FUJIE, A., TACHIBANA, M., TAKATA, Y.,

表一3 各処理区から採取した土壌で飼育したドウガネブイブイ幼虫の死亡率

処理区	9月2日	10月8日	11月11日	12月14日
JⅢ100万頭	100%	100%	100%	50%
JⅢ50万頭	75%	100%	75%	50%
JⅢ25万頭	75%	50%	75%	50%
MPP乳剤	50%*	0%	0%	0%
無処理	0%	0%	0%	0%

*死亡虫からクシダネマは検出されず。

- YOKOYAMA, T., SUZUKI, N. (1995) Effects of temperature on insecticidal activity of an entomopathogenic nematode, *Steinernema kushidai*, against *Anomala cuprea* larvae. Appl. Entomol. Zool. 30 : 23~30.
- FUJIE, A., TAKATA, Y., TACHIBANA, M., YOKOYAMA, T. (1996) Insecticidal activity of an entomopathogenic nematode, *Steinernema kushidai* against *Anomala cuprea* larvae under different soil moisture. Appl. Entomol. Zool. 31 : 453~455.
- 岐阜地方気象台 (1998-1999) 岐阜県気象月報. 日本気象協会岐阜支部, 岐阜.
- KOIZUMI, C., KUSHIDA, T., MITSUHASHI, J. (1988) Preliminary field tests on White-grub control by an entomogenous nematode, *Steinernema* sp. J. Jpn. For. Soc. 70 : 417~419.
- 串田 保・真宮靖治・三橋 淳 (1987) 静岡県下畑土壌から検出された昆虫寄生性線虫 *Steinernema* sp. のコガネムシ類幼虫に対する殺虫性. 応動昆. 31 : 144~149.
- MAMIYA, Y. (1989) Comparison of the infectivity of *Steinernema kushidai* and other Steinernematid and Heterorhabditid Nematodes for three different insects. Appl. Entomol. Zool. 24 : 302~308.
- 大橋章博 (1999) 温度条件がクシダネマの殺虫性に及ぼす影響. 中森研. 47 : 97~98.
- 大矢慎吾・上和田秀美 (1990) クシダネマによるサツマイモコガネムシ類防除の試み. 九病虫研会報. 36 : 126~128.
- 橘 峰生・植地俊二・鈴木伸和 (1999) 昆虫寄生性線虫スタイナーネマ・クシダイによる芝草害虫の生物的防除. 農業技術54 : 206~209.
- 竹谷昭彦 (1990) ネキリムシ薬剤試験防除効果判定方法. 林業と薬剤. 113 : 11~15.
- 上田康郎・橋本ほしみ・島津光明 (1989) *Steinernema kushidai* 感染態 3 期幼虫の土壌中での密度推移およびドウガネブイブイ幼虫に対する殺虫効果. 日線虫研誌. 19 : 59~61.

資料

単木混交で植栽された広葉樹 6 種の初期成長

横井 秀一

キーワード：広葉樹，混植，初期成長，人工林

I はじめに

広葉樹林を積極的に造成しようとする社会情勢の中で、植栽による広葉樹林の造成が各地で行われている。しかし、多くの現場では、幼齢時に受ける獣害や雪害などの諸被害によって成林が阻害され、問題となっている。これらの被害を回避するための方法としては、個々の被害に対してその防除を行うことのほかに、数樹種を混植することで危険分散を図ることが考えられる。しかし、広葉樹を混植した事例は少なく、その危険分散に対する効果やそれが植栽木の成長に及ぼす影響などは十分に解明されていない。

そこで、幼齢時の被害に対する危険分散を目的に広葉樹 6 樹種（ウダイカンバ、ミズメ、ブナ、クリ、ケヤキ、カツラ）を単木混交で植栽する試験を行った。本報告は、この試験地の植栽後 6 年間の被害状況と各樹種の成長状況を取りまとめたものである。

II 試験地と方法

1. 試験地

試験地は、岐阜県大野郡清見村巣野侯に設置した。海拔高は 890m、地形は斜面中下部の凹地形である。斜面方位は北東、斜面の傾斜は 29~36 度、土壌型は BD 型、最深積雪深は 1.0~1.5m である。

1993 年秋から 1994 年春にかけて前生の広葉樹（オニグルミ、ミズキなど）を伐倒し、1994 年 5 月に 6 種の広葉樹を植栽した。植栽樹種と配置は、ウダイカンバ、カツラ、ケヤキ、ミズメ、ブナ、クリを、この順番の繰り返しで等高線方向に北西から南東に向かって単木的に混交させた。植栽密度は 6,300 本/ha である。植栽後の保育は、下刈りと雪起こしを毎年実施した。

2. 方法

1995 年 5 月、試験地の中央付近に標準地（面積 124 m²）を設定し、調査を開始した。調査対象木の本数は、ウダイカンバ 12 本、ミズメ 15 本、ブナ 16 本、クリ 8 本、ケヤキ 13 本、カツラ 14 本の計 78 本である。成長調査は、設定時と 1995 年から 1999 年の毎年 10 月か 11 月に、標準

地内の全植栽木について主幹の直径と樹高を測定した。主幹の直径は、1995 年から 1997 年は地上高 20cm での根元直径を、1997 年から 1999 年は地上高 1.2m での胸高直径を測定した。樹高は、地際から主幹の先端までの直線距離を測定した。また、1999 年には枝下高と樹冠幅を測定した。樹冠幅は、等高線方向と傾斜方向の 2 方向を測定し、以下の検討にはその相乗平均を使用した。さらに、1996 年から 1998 年のそれぞれ 4 月に樹幹の倒伏状況を、1997 年と 1998 年の成長調査時には樹冠の受光環境を調査した。樹幹の倒伏状況は、植栽木の根元からの鉛直線を基線として、基線と主幹とが作る角度が 0~29 度であれば直立、30~59 度であれば斜立、60 度以上のときに倒伏とした。樹冠の受光環境は、樹冠のほぼ全体が直射光を受けられる状態にあるものを受光度 1、他の樹冠に妨げられて樹冠の一部しか直射光を受けられないものを受光度 2、完全に下層になって直射光をほとんど受けることができないものを受光度 3 として区分した。また、1997 年 2 月に植栽木の雪上に出ている部位にマーキングをして、その年の 4 月に地際からマークまでの長さを測定した。

III 結果と考察

1. 植栽木の被害状況

調査期間中にみられた植栽木の被害を表 1 に示す。期間中の枯死は、ミズメとブナ、クリに計 4 本発生した。植栽木に発生した被害は虫害と雪圧害で、獣害はみられなかった（ただし、病害は未調査）。虫害は、穿孔性害虫（加害種は不明）による食害がウダイカンバとミズメ、ブナに発生した。この内ブナの被害個体は枯死したが、虫害と枯死との因果関係は明らかにはできなかった。雪圧害（樹幹の斜立や倒伏は雪起こしによって回復させたため、ここでは被害に含めず、後述する）は、幹折れがケヤキに、梢端折れと幹曲がりミズメに、根浮きがミズメとブナに発生した。この内、それが原因で被害木が枯死したのは根浮きのみであった。また、クリの枯死個体には虫害や雪圧害はみられず、枯死の原因は特定できなかった。

当試験地では獣害が発生しなかったものの、同じ斜

表一 調査期間中の植栽木の被害状況

樹種	標本数	枯死木	被害木(うち枯死木)					
			獣害	虫害		雪圧害		
				穿孔性害虫	幹折れ	梢端折れ	幹曲がり	根浮き
ウダイカンバ	12	0	0	1	0	0	0	0
ミズメ	15	1	0	2	0	1	1	2(1)
ブナ	16	2	0	1(1)	0	0	0	1(1)
クリ	8	1	0	0	0	0	0	0
ケヤキ	13	0	0	0	1	0	0	0
カツラ	14	0	0	0	0	0	0	0

いずれも本数で示す。

表二 1995年5月と1999年11月における植栽木のサイズ

樹種	1995年5月			1999年11月				
	標本数	根元直径(cm)	樹高(m)	標本数	胸高直径(cm)	樹高(m)	枝下高(m)	樹冠幅(m)
ウダイカンバ	12	2.06±0.44	2.11±0.24	12	6.44±1.12	8.60±1.22	3.39±0.57	3.03±0.58
ミズメ	15	1.39±0.20	1.56±0.26	14	3.87±1.36	5.37±1.20	1.34±0.53	1.95±0.54
ブナ	16	0.90±0.18	0.89±0.20	14	1.29±0.26	2.50±0.31	0.53±0.27	1.29±0.23
クリ	8	1.03±0.23	1.48±0.29	7	3.94±1.51	5.64±1.09	0.90±0.50	3.13±0.64
ケヤキ	13	1.18±0.16	1.63±0.28	13	3.62±0.92	4.95±0.75	1.22±0.21	2.59±0.49
カツラ	14	1.50±0.21	1.59±0.19	14	5.47±1.09	6.68±0.90	0.63±0.24	2.34±0.30

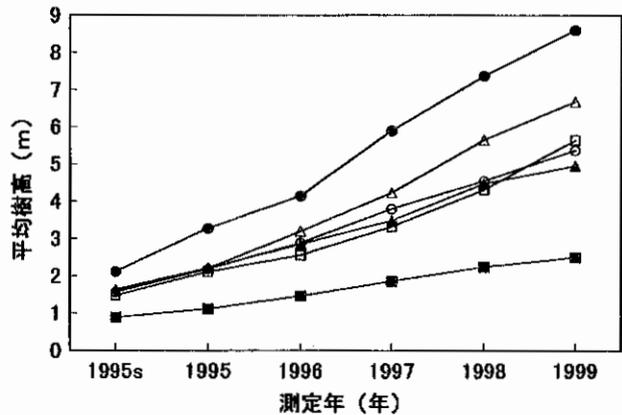
標本数以外の数値は、平均値±標準偏差で示す。

面上にあるブナ植栽試験地ではノウサギによる食害が、ミズメとホオノキの植栽試験地ではカモシカによる食害が発生している(横井, 未発表)。また、試験地内で雪上についたノウサギの足跡が確認されており、これらの動物が付近に生息しているのは確実である。それにも関わらず当試験地で獣害が発生しなかった理由は、不明である。

一方、雪圧害も成林や植栽木の成長を阻害するほどではなかった。最深積雪深が当試験地と同程度である荘川村の広葉樹混植試験地では雪圧害による枯死や成長不良が発生しており(横井ら, 1999), これと比較すると当試験地の雪圧害は軽微であったといえる。これは、以下の理由によるものであろう。荘川試験地では地形が平坦なために幹折れの被害が多かったのに加え、雪圧害を軽減させるための作業を行わなかった。これに対して当試験地では、地形が適度な傾斜の斜面だったことと雪起こしを実施したことが雪圧害の軽減につながったものと考えられる。

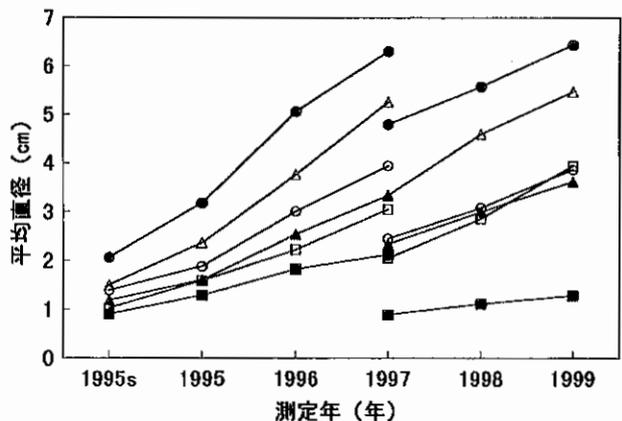
2. 成長過程

初回調査時(植栽後1成長期間経過後; 以下、期首と呼ぶ)と最終調査時(植栽後6成長期間経過後; 期末と呼ぶ)における植栽木のサイズを表二に、植栽木の平均樹高の成長過程を図一に示す。期首の平均樹高は、最大のウダイカンバが最小のブナの約2.4倍であった。樹高の樹種間の差は年々拡大する傾向にあり、期末における平均樹高はウダイカンバが最大で、



図一 植栽木の樹高成長過程

●:ウダイカンバ, ○:ミズメ, ■:ブナ, □:クリ, ▲:ケヤキ, △:カツラ
1995sは1995年の春, 他は各年の秋の測定。



図二 植栽木の直径成長過程

●:ウダイカンバ, ○:ミズメ, ■:ブナ, □:クリ, ▲:ケヤキ, △:カツラ
1995sは1995年の春, 他は各年の秋の測定。
1997年以前は根元直径, 1997年以降は胸高直径の成長過程を示す。

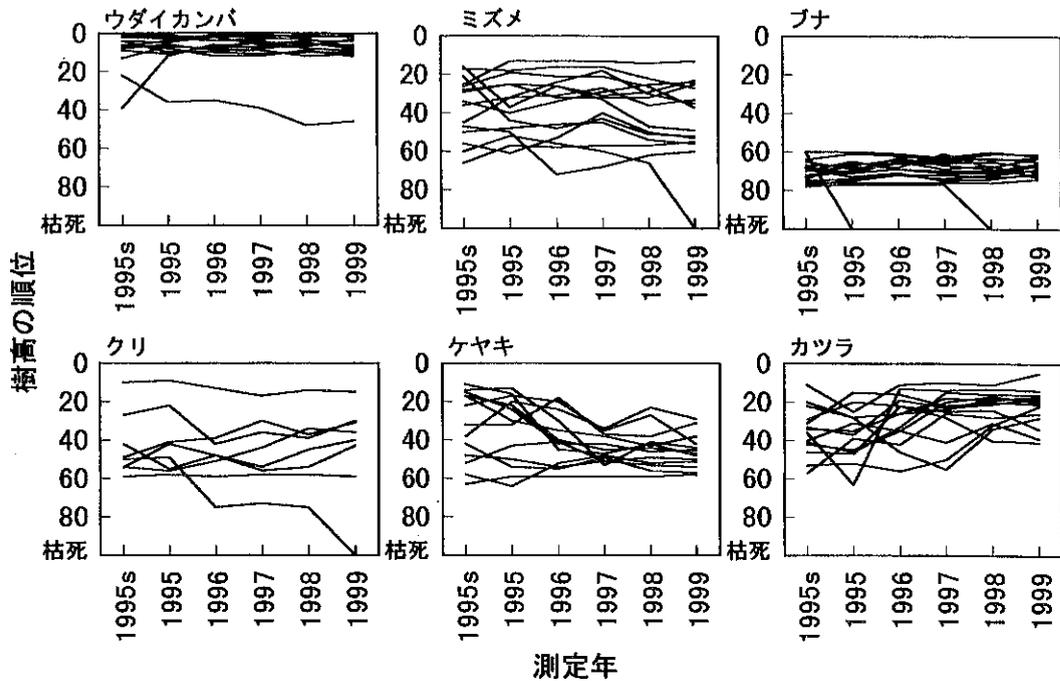


図-3 樹高の順位の経年変化

以下大きい順にカツラ、クリ、ミズメ、ケヤキ、ブナであった。期末の樹高には樹種間の差が認められ (Kruskal-Wallis検定, $p < 0.05$), ウダイカンバに対するミズメ、ブナ、ケヤキの組み合わせ、カツラに対するブナ、ケヤキの組み合わせ、クリとブナの組み合わせで有意な差が認められた (Tukey-Kramer型の多重比較, $p < 0.05$)。調査期間中の平均樹高成長速度は、大きいものから順にウダイカンバ130cm/年、カツラ102cm/年、クリ83cm/年、ミズメ76cm/年、ケヤキ66cm/年、ブナ32cm/年であった。図-2には、平均根元直径と平均胸高直径の成長過程を示す。ウダイカンバとカツラの成長が良く、ブナの成長が悪かったのは樹高成長と同様であった。ウダイカンバが同時に植栽した他の広葉樹よりも成長が良かったことは寺澤ら (1997) も報告しており、同種が初期成長の速い樹種であることがわかる。

全個体の樹高を高いものから順に並べたときのある個体の順位を樹高順位とし、その経年変化を樹種ごとに示したのが図-3である。調査期間を通してウダイカンバは常に上位を、ブナは常に下位を占めた。これは、期首の樹高と平均樹高成長速度のどちらもが、ウダイカンバは他樹種より大きく、ブナは他樹種より小さかったことによるものである。他の4樹種の順位は、期首にはどの樹種もあまり偏りなくウダイカンバとブナの間に分散していた。そして、年数の経過とともにカツラは上位に、ケヤキは下位に収束する傾向がみられた。これらのことは、ミズメとクリ以外の樹種では、樹種間の成長差のほうが種内の個体差よりも大きいと

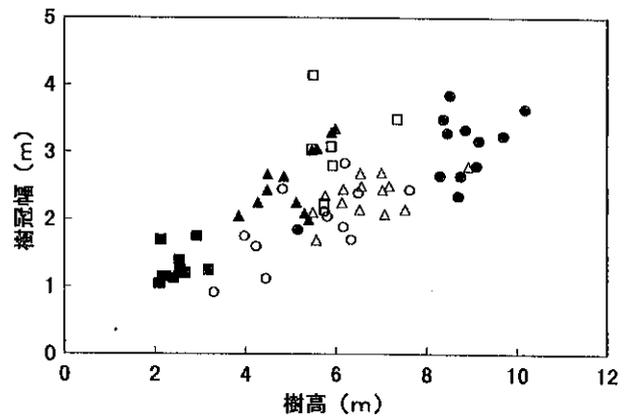


図-4 1999年の樹高と樹冠幅の関係

●:ウダイカンバ, ○:ミズメ, ■:ブナ, □:クリ, ▲:ケヤキ, △:カツラ

いうことを示唆している。今回のように単木混交したときには、初期の競争相手が常に他樹種であるため、樹種間の成長の優劣が明瞭に現れるものと考えられる。

植栽木の競争とは、樹冠の空間占有をめぐる競争である。図-4は、期末における樹高と樹冠幅の関係を示したものである。全樹種をまとめてみると、樹高と樹冠幅とは正の相関関係がみられた ($p < 0.01$)。樹種ごとにみた場合でも、両者の相関係数は正の値になり、クリとブナ以外の樹種でその関係は有意 ($p < 0.05$ または $p < 0.01$) であった。樹高の高い個体の樹冠幅が大きいことは、樹冠の拡張に成功した個体の成長量が大きかったことを示唆するとともに、高い位置にある樹冠ほど大きいことを意味している。したがっ

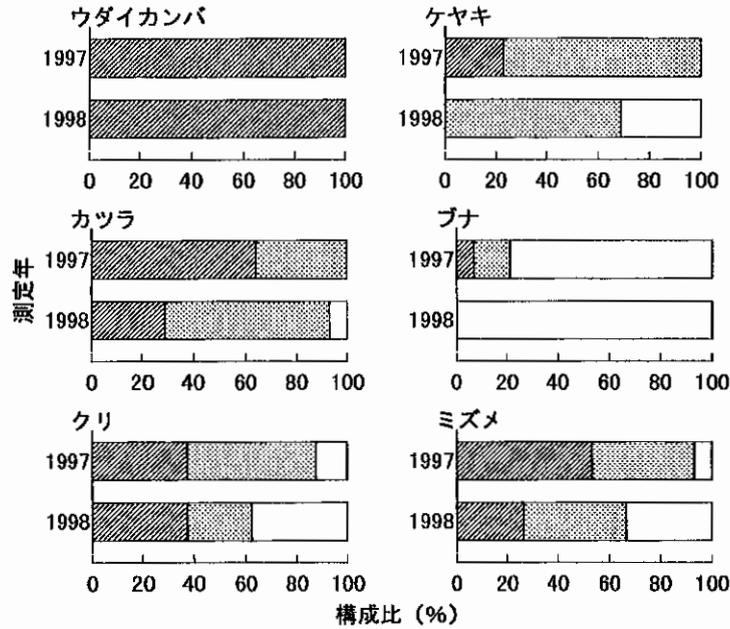


図-5 1997年と1998年の受光環境
斜線は受光度1、ドットは受光度2、白抜きは受光度3を示す。

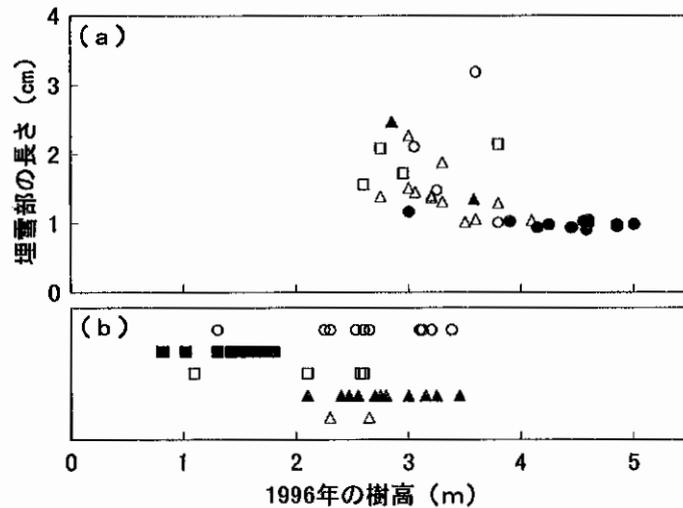


図-6 雪上木の樹高と埋雪部の長さの関係(a)と埋雪の樹高(b)

●: ウダイカンバ, ○: ミズメ, ■: ブナ, □: クリ, ▲: ケヤキ, △: カツラ

て、成長の良い個体ほど他個体に対する影響力が大きいといえる。

3. 受光環境の変化

競争によって劣勢になった個体の樹冠は、優勢な樹冠による被陰が原因で受光環境が悪くなる。このため、各個体の受光環境を指標する受光度から、その個体が優勢木であるかどうかを評価することができる。図-5は、1997年と1998年における受光度を樹種ごとに示したものである。ウダイカンバは両年ともすべての個体が受光度1であった。他の樹種は、1997年に比べて

1998年の方が受光環境が悪化していた。1998年には、ケヤキで受光度1の個体がなくなり、ブナはすべての個体が受光度3になった。受光環境が悪くなれば成長量は低下する。したがって、平均樹高や平均直径の樹種間の差が年々拡大したのには樹種特性としての成長速度の違いに加えて、このことが影響しているといえる。また、各樹種の受光環境の変化は、混植された造林地の中で特定の樹種が優占していく過程を示している。

受光度1の個体は1997年で全個体の47.4% (立木密度に換算すると2,903本/ha), 1998年は30.3% (1,855

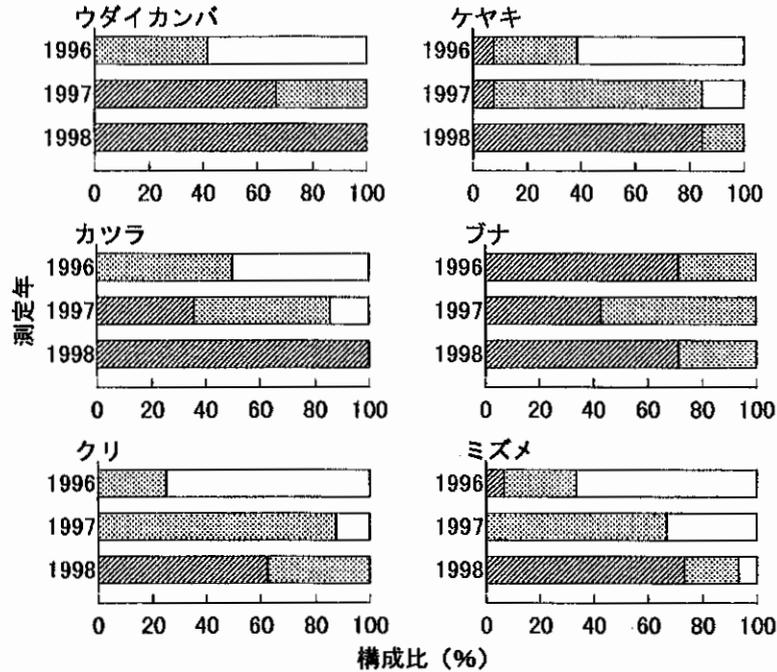


図-7 1996年から1998年の樹幹の倒伏状況
斜線は直立、ドットは斜立、白抜きは倒伏を示す。

本/ha)である。これに受光度2の個体を含めると、その比率と立木密度は1997年が82.9%と5,080本/ha、1998年が64.5%と3,950本/haとなる。受光環境が1年間でこのように大きく変化したことは、被圧木が次々に生じていることを示しており、この試験地では既に立木密度が過密な状態になっていることがわかる。

4. 樹幹の倒伏と埋雪

図-6は、1996/1997冬期における雪上木の埋雪部の長さとの関係(a)と埋雪木の樹高(b)である。埋雪部の長さの下限が約1mであることは、この冬期の積雪深(マーキング時)が約1mであったことを示している。雪上木の樹高の下限は2.6m、埋雪木の樹高の上限は3.5mであった。ウダイカンバは樹高が3m以上になっており、全個体が雪上木であった。ブナは樹高が2mに達する個体がなく、すべて埋雪木であった。他の4種では雪上木と埋雪木の両方がみられた。クリとカツラは樹高2.6~2.7mで雪上木と埋雪木とがはっきり分離した。これは、スギの雪上木になる樹高が積雪深の2~2.5倍である(四手井ら, 1950)のとはほぼ等しい。これに対して、ミズメとケヤキではおおむね3mから3.5mの樹高で雪上木と埋雪木とが混在していた。したがって、ミズメとケヤキは、クリやカツラに比較して埋雪しやすい樹種である可能性がある。また、積雪深に対する樹高の関係から、ブナは斜立あるいは倒伏した状態で埋雪し、他の樹種の埋雪木の多くは倒伏した状態で埋雪していた

ものとみることができる。

雪上木は、ごく一部の例外を除いて、樹高が低いものほど埋雪部の長さが長かった。このことは、樹高の低い個体ほど樹幹の倒れ方が大きかったことを示している。これは、樹高が低いものは根系の発達が悪く、また、樹幹の柔軟性が大きいことによると考えられる。

図-7は、1996年から1998年の樹幹の倒伏状況である。ブナ以外の樹種では、年々倒伏個体あるいは斜立個体が減少し、直立個体が増加していた。その内、ウダイカンバとカツラは1998年に全個体が直立になっていた。これらのことは、雪起こしの効果であるとみてよいであろう。ブナは、他の樹種では直立個体がほとんどない1996年に約70%が直立していた。ブナの直立個体は1997年に減少したものの、1998年には再び約70%になった。また、ブナには倒伏個体がみられなかった。ブナは1996/1997冬期には斜立か倒伏した状態で埋雪したと考えられたのに対して、直後の春には倒伏個体がないばかりか直立個体も存在した。このことは、ブナが消雪後に速やかに立ち上がったことを示しており、ブナが雪圧に対して強いことがうかがえる。

5. 単木混交植栽の評価

当試験地では問題となるような被害が発生しなかったことから、混植の目的の一つである被害に対する危険分散に関しては、ここまでのところ評価することはできない。このように外的要因による成長不良などがみられなかったことから、当試験地では樹種ごとの成

長速度の違いが反映して、ウダイカンバやカツラといった特定の樹種が優占しつつあるという結果になり、これには単木混交という植栽配置が影響していると考えられた。これに対して、同一樹種の一斉造林では同種内の個体差によって優勢木が生じていくため、優劣の差の発生のしかたが異樹種の単木混交の場合よりも緩やかであると考えられる。したがって、早期に優勢木を生じさせ、その土地に適合した樹種の初期成長を速める上で、今回の植栽方法は有効であったといえる。

クリとケヤキを混植した試験林で、当初優勢であったクリが植栽後20余年たってからケヤキに被圧され始めたことから、植栽後数年間の時期における成林状況をみてその将来を速断することは危険であることが指摘されている（前橋営林局計画課，1972）。したがって、当試験地をこのまま推移させたとき、将来ウダイカンバが優占する森林が成立すると現時点で判断することはできない。ただ、当分の間はウダイカンバが優占した形で推移することは確実であり、その間に被圧に耐えられなくなった樹種から消失していくことが考えられる。そのため、劣勢になった樹種が衰弱する前にどの樹種を将来にわたって育成していくのかを検討し、その検討結果に応じた除伐を行うことが必要であろう。

IV 謝 辞

本研究の現地調査では、岐阜県寒冷地林業試験場（当時）の水谷嘉宏氏と横谷祐治氏、岐阜県森林科学研究所の井川原弘一氏と大洞智宏氏に協力していただいた。ここに、記して感謝する。なお、本研究は農林水産省の補助事業・新技術地域実用化研究の「冷温帯地域における広葉樹林施業技術の確立」で行ったものである。

引 用 文 献

- 前橋営林局計画課（1972）小根山見本林報告書。271pp, 前橋営林局。
- 四手井綱英・高橋喜平・塩田勇（1950）幼齢林の雪害。林業試験集報58：1-24。
- 田中豊・垂水共之（1999）Windows版統計解析ハンドブック。ノンパラメトリック法。164pp, 共立出版, 東京
- 寺澤和彦・梅木清・滝谷美香（1997）群状植栽された広葉樹9種の植栽20年後の成績。日林北支論45：53-56。
- 横井秀一・水谷嘉宏・横谷祐治・山口清（1999）多雪地域に植栽された広葉樹8種が植栽後7年間に受けた諸被害。岐阜県森林研研報28：1-8。

資料

下呂実験林の育林技術比較実験林におけるスギの成長過程

井川原 弘一

キーワード：育林技術, 集約施業, 省力施業, スギ, 下呂実験林

I はじめに

長期にわたる試験データを記録していくことは、成長の遅い樹木を対象にする研究において非常に重要なことである。長期にわたる試験地の一つとして、スギの育林技術比較実験林がある。育林技術比較実験林は、益田郡下呂町大字小川平地内の下呂財産区有林内実験林区域（下呂実験林）内に設定されている。

この育林技術比較実験林は、短伐期での柱材生産を目的としたスギ林造成のための育林技術が合理的（集約と省力）に投入されることで、慣行的に行われる施業と比較して生産性がどのように異なるのかを知るために1964年4月に設定され、このための施業計画も立てられていた。しかし、時代の移り変わりとともに当初の目的であった短伐期の柱材生産のための施業は積極的に行われなくなり、現在は、長伐期による大径材生産へと進む方向で施業が行われている。

この実験林を対象にした報告には、竹下（1982）による材積成長と施肥効果に関する報告があり、施肥効果は植栽後6年目が最も大きく、植栽後12年目にも施肥の効果は持続しており、施肥効果は直径成長よりも樹高成長に効いていることが明らかにされている。また、中川ら（1981）による施肥と無機態窒素の動態に関する報告がある。この他には、岐阜県林業センターの作成した広報用の配付物に成長経過などが掲載されているものの、報告書という形での記録は残されてい

ない。

そこで、設定当時の目的である造林初期における育林技術の投入の違いによる造林木の成長に関して評価するために、本報告では1964年から1992年に調査されたデータを整理し、造林木の成長量の違いについて検討した。

II 育林技術比較実験林の概要と解析方法

1. 試験区

育林技術比較実験林は、1964年4月に下呂財産区有林実験林区域内（下呂実験林）の西側に設定された。ここの前生の林はヒノキ林であり、斜面方位は北東で平均傾斜角は32度、基岩は石英斑岩、土壌は適潤性褐色森林土である。

育林技術が積極的に投入されるのは、植栽、保育といった造林初期における労働力の投入である。そこで、集約育林区、普通育林区、省力育林区の3試験区を設けた。表-1に植栽方法の違いについてまとめた。集約育林区では、植え穴は他の試験区よりも大きく深い、直径45cm、深さ25cmであり、植え方は丁寧植えで、掘り下げた表土（A層、A層）を植え穴に混入した。省力育林区では、普通育林区と同じ大きさの直径30cm、深さ20cmの穴が機械で掘られ、根切り苗が植栽された。

試験区は、斜面の西側から省力育林区、普通育林区、集約育林区の並びで設置された。いずれの試験区も作

表-1. 試験区設定時の植栽方法

	集約育林区	普通育林区	省力育林区
品種	ボカスギ	←	←
植栽日	1964年4月22日	←	←
植栽密度	3,600本/ha	←	←
植え穴	径45cm, 深さ25cm	径30cm, 深さ20cm	←
掘り方	機械掘り	鍬掘り	機械掘り
植え方	ていねい植え A ₀ , A層を植え穴に 入れる	普通植え	根を切って、植栽

業歩道をはさんで上部と下部に分断されている。試験区の面積（上部+下部）は、集約育林区が324m²（147+177）、普通育林区が313m²（174+139）、省力育林区が343m²（176+167）であった。植栽作業は1964年4月22日に行われた。植栽されたスギの品種は、材質が柔らかく成長の早いボカスギ（宮島，1983）で、植栽密度は3,600本/haであった。

2. 施業履歴

この実験林では、短伐期で柱材を生産することを目的として施業計画が立てられた。主伐は36年生（1999年）となっていたが、2000年1月現在、主伐は行われていない。岐阜県森林科学研究所内に残された記録をもとに施業履歴を表-2にまとめた。

下刈は、集約育林区では植栽翌年は7月と9月に、

以後の5年間は6月と8月に行われた。また、刈り取った草木類は植栽木の周囲に敷かれた。普通育林区では植栽翌年には7月と9月に行われ、以後3年間は年1回（7～8月）行われた。省力育林区では植栽翌年から3年間にわたり年1回（6～7月）除草剤が散布された。

施肥は、集約育林区で植栽翌年から4年間にわたり年1回（5～6月）行われた。また、1972年度と1973年度、1979年度の6月にも施肥が行われている。省力育林区の施肥は、除草剤の中に含まれる窒素成分を施肥としてあげた。

間伐は、いずれも当年度の成長が終了した冬期に行われた。1980年度（1980年12月～1981年1月）の豪雪によって、集約育林区の下部の試験区に多大な被害が発生した。初回の間伐は1981年度にこれら折損木の処

表-2. 育林技術比較実験林の施業履歴

西暦(年度)	林齢	下刈・間伐			施肥			枝打ち		
		集約区	普通区	省力区	集約区	普通区	省力区	集約区	普通区	省力区
1964	1	植栽								
1965	2	2回 ¹⁾	2回	1回 ²⁾	1回 ⁴⁾		1回 ⁷⁾			
1966	3	2回 ¹⁾	1回	1回 ²⁾	1回 ⁴⁾		1回 ⁷⁾			
1967	4	2回 ¹⁾	1回	1回 ³⁾	1回 ⁴⁾		1回 ⁷⁾			
1968	5	2回 ¹⁾	1回		1回 ⁴⁾					
1969	6	2回 ¹⁾								
1970	7	2回 ¹⁾								
1971	8							弱度 ⁸⁾	弱度 ⁹⁾	
1972	9				1回 ⁵⁾					
1973	10				1回 ⁵⁾					
1974	11							弱度	弱度	弱度
1978	15							強度		
1979	16				1回 ⁶⁾					
1981	17	間伐	間伐	間伐						
1987	24	間伐	間伐	間伐						
1992	29	間伐	間伐	間伐						

1): 刈り取った草木類は植栽木の周りに敷く

2): 薬剤除草; PCP尿素 (PCP10kg/10a=N4kg/10a=N10g/本), 3): 薬剤除草; ワンタッチ12.5kg/10a

4): 1本当たりN:5~20g植栽木周りにバラマキ, 5): N:100kg/ha全面バラマキ, 6): N:180kg/ha(緩効性肥料)

7): 1本当たりN:10g全面バラマキ, 8): ナタにより樹幹径6cmの部分まで, 9): ノコにより地上2mまで

表-3. 試験区ごとの成長過程

測定年度	西暦	林齢	測定個体数			直径 (cm)			樹高 (m)		
			集約区	普通区	省力区	集約育林区	普通育林区	省力育林区	集約育林区	普通育林区	省力育林区
1964.7	-		100	100	100	1.1 ± 0.11	1.0 ± 0.11	1.1 ± 0.11	0.5 ± 0.05	0.5 ± 0.05	0.5 ± 0.05
1964	1	100	100	100	1.3 ± 0.16	1.2 ± 0.15	1.2 ± 0.14	0.6 ± 0.08	0.6 ± 0.07	0.6 ± 0.07	
1966	3	98	100	100				1.2 ± 0.30	1.0 ± 0.19	1.1 ± 0.19	
1967	4	99	100	100	4.4 ± 1.16	3.2 ± 0.67	3.5 ± 0.63	1.9 ± 0.45	1.3 ± 0.30	1.4 ± 0.22	
1968	5	98	100	100	6.0 ± 1.34	4.1 ± 0.90	4.3 ± 0.70	2.7 ± 0.62	1.7 ± 0.36	1.7 ± 0.29	
1969	6	98	100	100	7.6 ± 1.46	5.4 ± 1.00	5.6 ± 0.82	3.7 ± 0.77	2.7 ± 0.43	2.8 ± 0.36	
1970	7	97	100	99	5.5 ± 1.55	3.5 ± 0.99	3.6 ± 0.84	4.7 ± 0.93	3.7 ± 0.55	3.7 ± 0.39	
1971	8	97	100	100	7.0 ± 1.56	5.0 ± 1.07	4.9 ± 0.93	5.6 ± 0.97	4.4 ± 0.60	4.4 ± 0.49	
1972	9	67	75	75	7.9 ± 1.16	5.8 ± 0.88	6.1 ± 1.02	6.1 ± 0.84	4.7 ± 0.51	4.9 ± 0.49	
1973	10	92	100	100	8.9 ± 1.14	6.9 ± 1.00	7.4 ± 1.21	7.2 ± 0.71	5.5 ± 0.63	5.8 ± 0.62	
1974	11	72	80	63	10.3 ± 1.08	8.3 ± 1.06	9.0 ± 1.14	8.4 ± 0.77	6.4 ± 0.70	6.5 ± 0.64	
1981	18	90	119	135	13.0 ± 1.27	12.0 ± 1.91	11.7 ± 1.70				
1987	24	76	88	84	17.1 ± 2.37	16.0 ± 2.82	15.5 ± 2.55	15.1 ± 1.06	14.5 ± 1.52	13.8 ± 1.10	
1992	29	70	78	82	19.5 ± 3.21	18.8 ± 3.84	18.0 ± 3.40	18.4 ± 1.47	17.9 ± 1.21	17.4 ± 1.40	

注) 直径と樹高は調査時に測定された個体の平均値±標準偏差で示す。

直径は1964~1969年度までは根元直径、1970年度以降は胸高直径を示す。

測定時期は1992年度を除いて成長期間終了後である。

理を含めて行われた。このときの間伐率は記録が残っていないため、測定木の変化から推定すると集約育林区では16%、普通育林区では26%、省力育林区では38%（いずれも本数率）であったと推定される。1987年度はどの処理区においても一様に間伐が行われたことが推測され、間伐率は7%であった。

1972年度までに投じた総労働力は集約育林区125人、普通育林区は107人、省力育林区75人であり、各区とも下刈の比重が高かったと記録されている。

3. 調査履歴とデータの整理

測定木として、1964年に各試験区の上部下部の中央に位置する50本づつを選定し、1979年度までこれらを追跡調査した。1981年に試験区内のすべての個体を測定木とした。

過去にとられたデータは、直径（1964年～1969年は根元直径、1970年以降は胸高直径）および樹高である。直径は1964年7月（植栽後）、1964年11月、1967年11月、1968年10月、1969年11月、1970年12月、1971年11月、1972年12月、1973年12月、1974年、1979年6月と11月（省力育林区は未測定）、1981年11月、1987年6月、1992年8月に測定された。

また、樹高は1964年7月（植栽後）、1964年11月、1966年6月と11月、1967年11月、1968年10月、1969年11月、1970年12月、1971年11月、1972年12月、1973年12月、1974年、1979年6月と11月（省力育林区は未測定、実測値の明記あり）、1987年6月（実測値の明記なし）、1992年8月（実測値の明記あり）に測定された。なお、1979年から樹高はサンプリング調査となっている。樹高は、実測値が明記されている測定年については、これをもとにNÄSLUND式から未測定木の樹高を推定した。

III 結果と考察

1. 成長過程

表-3は、測定年度ごとの直径と樹高の平均値である。成長初期の10年間（1～11年生）はその年の成長期が終了した10月以降に測定されたデータを用い、それ以降は各試験区の成長過程が把握できるものを用いて算出した。1992年度の測定個体数は、集約育林区が70本、普通育林区が78本、省力育林区が82本であった。したがって、最終調査時での成立本数は、集約育林区が2,200本/ha、普通育林区が2,500本/ha、省力育林区が2,400本/haであった。

調査個体数がばらつくのは、欠測値（特に1974年度）や測定方法の違い（1972年度）によるものである。ま

た、1981年度の測定個体数が他と比較して多いのは、この年に測定木を増やしたためである。

平均樹高の推移を図-1に示す。11年生までは集約育林区での成長が良く、11年生時で他の試験区とおおよそ2mの差がついている。11年生時の平均樹高を便宜的に岐阜県の地位別上層生長樹高曲線（岐阜県林政部、1992）にあてはめ地位級を推定すると、集約育林区の地位級は3であり、普通育林区と省力育林区の地位級は5であった。集約育林区は、植栽翌年度から施肥を行ってきたため樹高に差が生じ、他の試験区と比較して地位級で2の差が生じたものと考えられる。29年生時の調査結果によると集約育林区が18.4mと最も高く、省力育林区との差は1.0mと11年生時と比較するとその差は減少していた。この時点での地位級はいずれの試験区においても2であった。

平均直径の推移を示したものが図-2である。これを見ると、29年生まで集約育林区の直径が他の試験区よりも大きいことがわかる。

11年生時と29年生時において、平均直径および平均樹高が最も大きかったものは、集約育林区であった。集約育林区の29年生時の平均樹高と平均直径は、初期の10年間の成長によって生じた他の試験区との差が、そのまま維持されているようにみえる。この理由の一つとして初期の10年間に集約育林区のみで行われた施肥が考えられる。

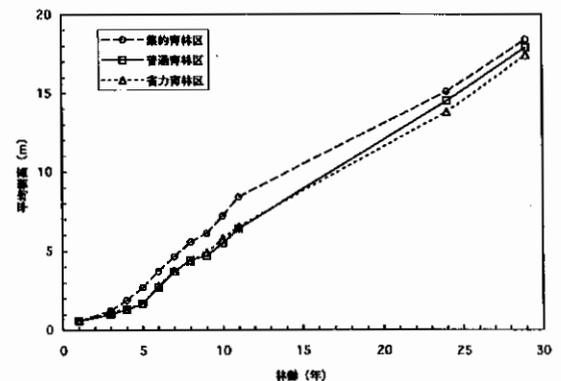


図-1. 測定木の平均樹高の推移

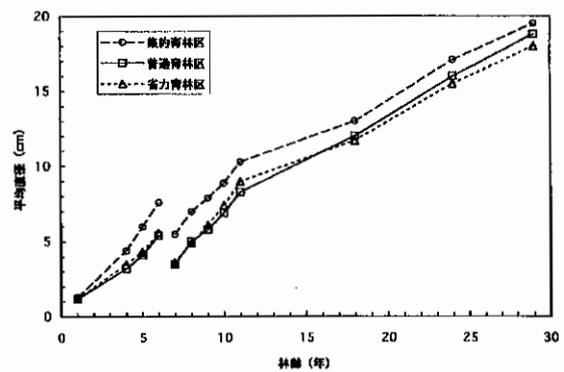


図-2. 測定木の平均直径の推移

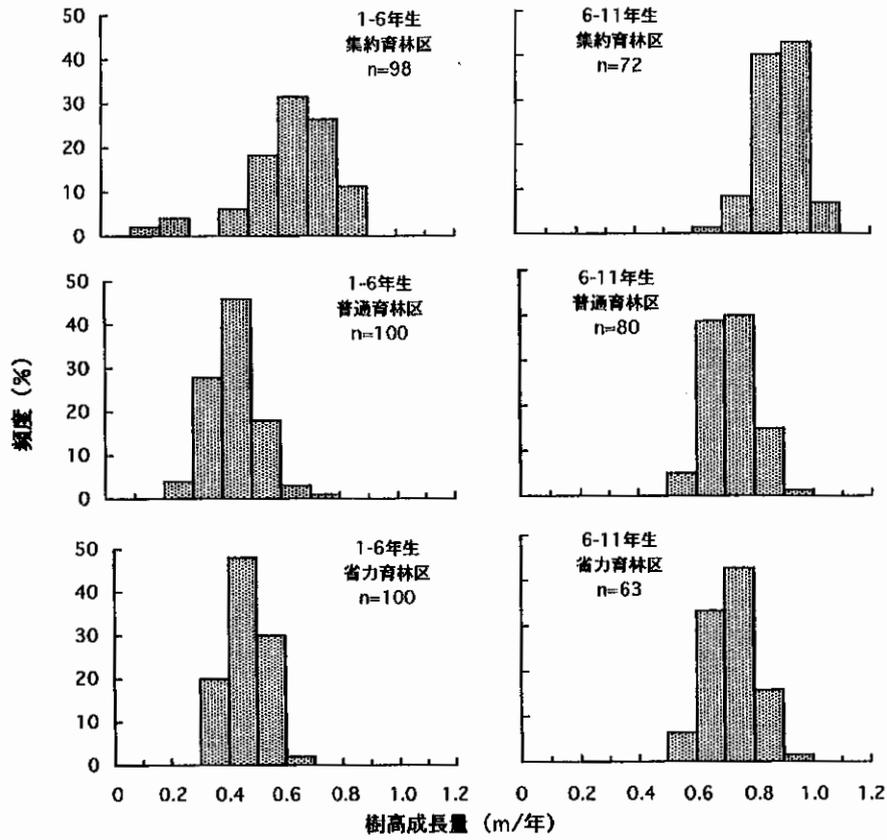


図-3. 樹高成長量の頻度分布

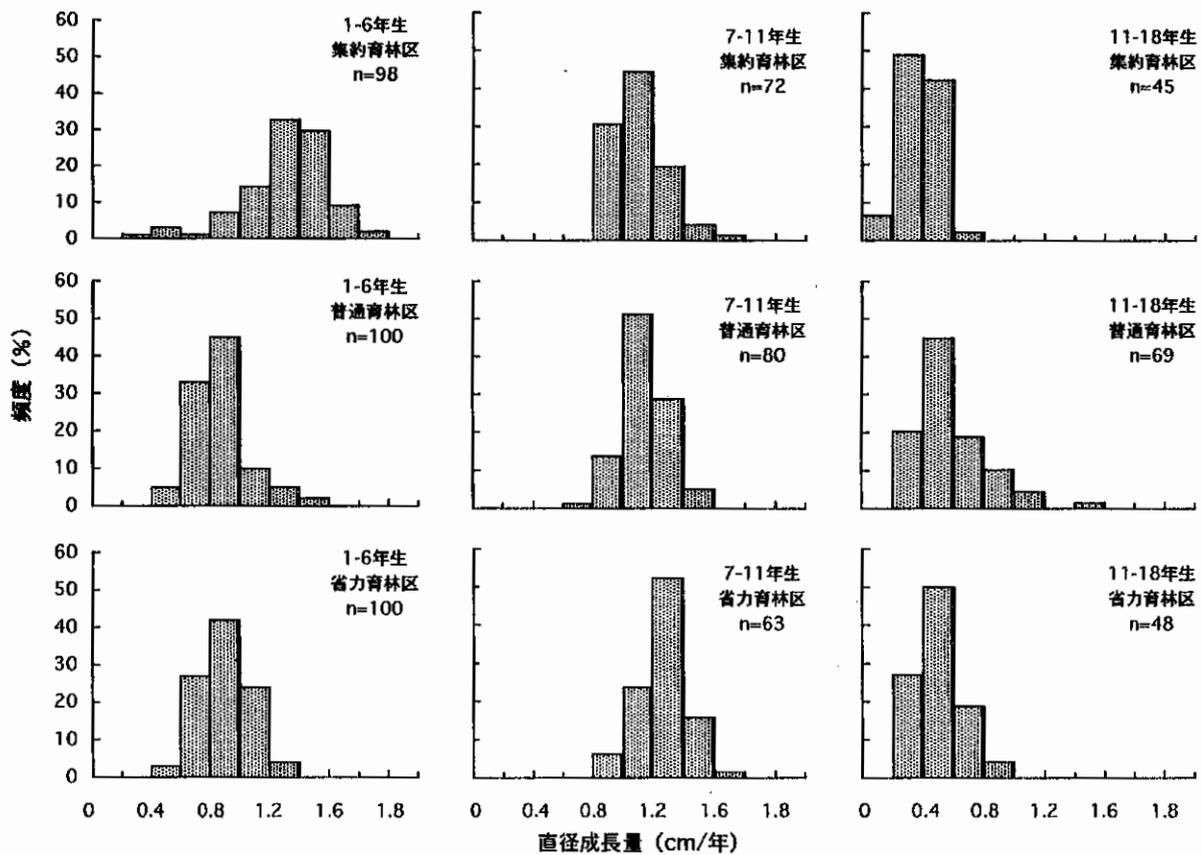


図-4. 直径成長量の頻度分布

2. 成長量の検討

(1) 樹高成長

試験区ごとの樹高の成長量の差について検討した。植栽当年度の成長量（1964年7月～1964年11月）と植栽後5年ごと（1～6年生，6～11年生）の成長量が試験区で差があるかを検定した結果，1～6年生と6～11年生の期間において，試験区間の成長量に有意な差が認められた（Kruskal-Wallis検定： $p < 0.01$ ）。両期間の試験区ごとの成長量の頻度分布を図-3に示す。どちらの期間においても集約育林区の成長量が多いことがわかる。一方，普通育林区と省力育林区ではその差は明確ではなかった。

これらの結果から，樹高成長量の差は施肥による効果であると考えられる。この理由として，植栽方法の差が最も現れると予想される植栽当年度の成長量には差がみられなかったこと，施肥を行った集約育林区の樹高成長量が多いことがあげられる。

11年生以降は全調査木の樹高を測定していないので成長量の検討から外したため，11年生以降の樹高成長量の差については検討できなかった。

(2) 直径成長

次に試験区ごとの直径の成長量について検討した。成長量の算出は，植栽当年度（1964年7月～1964年11月）と1～6年生，7～11年生，11～18年生，18～24年生，24～29年生の期間とした。期間ごとに試験区間の差を検定した結果，1～6年生，7～11年生，11～18年生の期間で有意な差が認められた（Kruskal-Wallis検定： $p < 0.01$ ）。有意な差が認められた期間の直径成長量の頻度分布を図-4に示す。これをみると，1～6年生では集約育林区の成長量が大きく，7～11年生では省力育林区の成長量が，11～18年生では普通育林区の成長量が他と比較して大きいことがわかる。植栽初期の2期間の頻度分布のピークに着目すると，集約育林区では1.2～1.4cm/年が1.0～1.2cm/年となり，成長量の低下がみられるのに対し，省力育林区では0.8～1.0cm/年から1.2～1.4cm/年へと，同様に普通育林区でも0.8～1.0，1.0～1.2cm/年と大きくなっている。

この理由として，集約育林区では施肥の効果により6年生までの樹高成長と直径成長が良かったために林冠が早期に閉鎖し，密度効果による直径成長量の低下が他の試験区よりも早く現れたことが考えられる。

3. 形状比

密度効果によって直径成長が抑制され，施肥効果によって樹高成長が促進されると形状比が高くなる。そこで，いつの時点から形状比に差が生じ始めたのか検

討するために，試験区ごとの胸高直径と樹高の関係について検討した。図-5は7年生時の胸高直径と樹高の関係を示したものである。各試験区の回帰直線はどの試験区においてもほぼ同じ直線で近似されることがわかった。10年生時（図-6）には，集約育林区の回帰直線は他の試験区と平行で他よりも高い位置になり，11年生時（図-7）にはその開きは大きくなっていった。

そこで，10年生時と11年生時における各試験区での形状比に差があるかどうかをKruskal-Wallis検定で検定したところ，11年生時には有意な差（ $p < 0.01$ ）が認められた。11年生時の形状比の頻度分布を図-8に示す。集約育林区の形状比は85～90にピークがあるのに対し，他の2つの試験区では75～80，70～75にピークがあり，集約育林区の形状比が高いことがわかる。

4. 冠雪害

1980年12月～1981年1月にかけて記録的な降雪（56

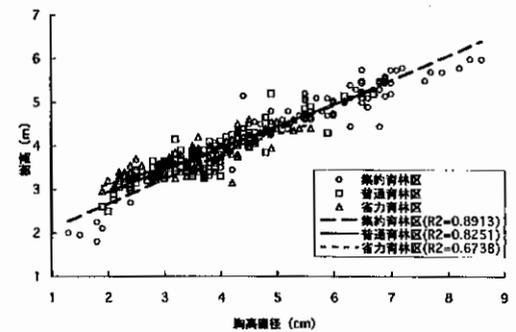


図-5. 7年生の胸高直径と樹高の関係

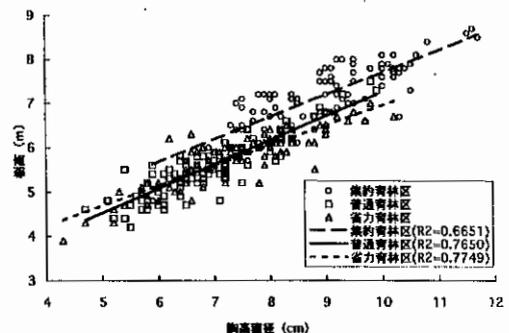


図-6. 10年生の胸高直径と樹高の関係

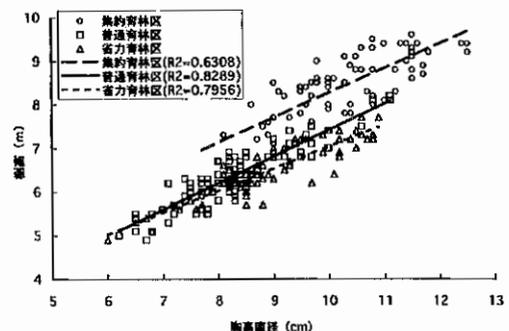


図-7. 11年生の胸高直径と樹高の関係

豪雪)があった。この降雪によって県内の森林は甚大な被害を受けた。このときに行われた被害林分調査によると、幹折れ、幹曲がり被害は、形状比が80前後の林分で発生していた(岐阜県林政部, 1982)。当実験林における被害は、集約育林区の下部の試験区内で発生したと記録されている。そこで、被害木のデータをもとに集約育林区の被害木の形状比の頻度分布(図-9)を作成した。これをみると、被害木の形状比はすべてが80以上であり、100以上のものが半数以上を占

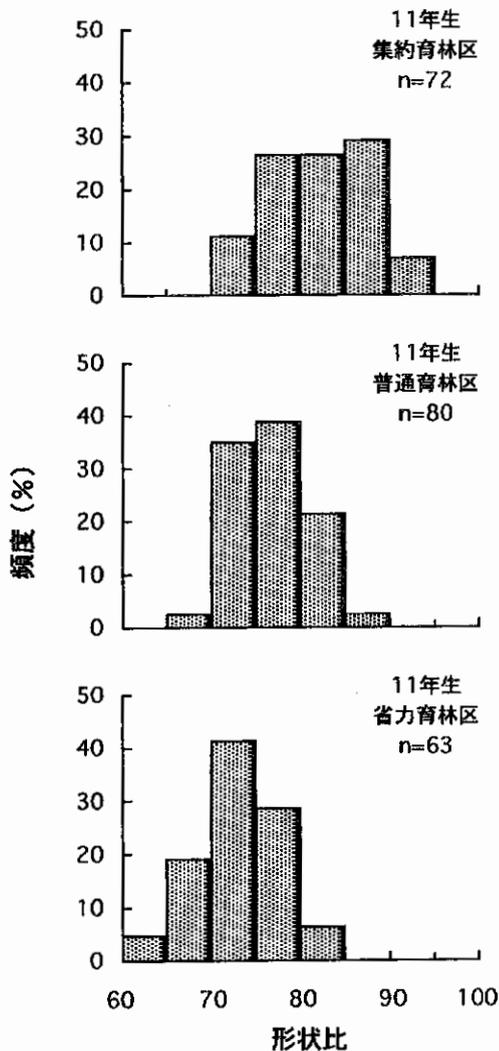


図-8. 11年生時の形状比の頻度分布

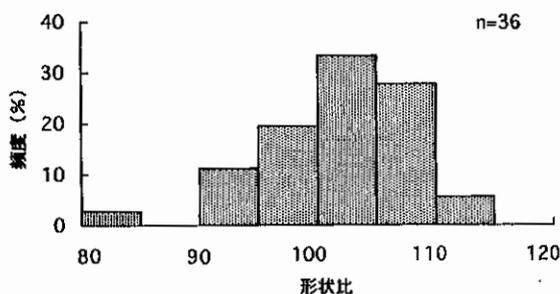


図-9. 集約育林区における被害木の形状比の頻度分布

めていることがわかった。集約育林区は形状比が高かったために、被害が発生したものと考えられる。

5. 形質

1982年に岐阜県林業センターが出した広報用の配付物によると、通直木の本数割合は、集約育林区で90%、普通育林区で82%、省力育林区で77%であった。また、曲り木は、集約育林区で6%、普通育林区で7%、省力育林区で13%であったと記載されている。

IV 初期保育の違いの評価

育林技術の違い、すなわち造林初期の労働力の投入量による造林木の成長の違いについて検討してきた結果、次のことがわかった。

植栽方法の違いによる植栽当年度の成長量に差はみられなかった。造林初期の施肥の効果は大きく、集約育林区と他の試験区の造林木の成長量には顕著な差がみられた。集約育林区では、造林木の成長が速いため、普通育林区よりも早期に密度効果による影響を受け、直径成長量が小さくなり樹高成長のみが促進されることで形状比が高くなった。また、造林初期の労働力を30%減らした省力育林でも、普通育林と比較して造林木の成長量に関しては顕著な差はみられなかった。

以上のことから、造林木の初期成長が大きくなるような施肥を行うのであれば、間伐の時期を慣行よりも早い時期に行う必要があると考えられる。

引用文献

- 岐阜県林政部 (1982) 多雪地域の育林技術-56豪雪と森林被害・多雪地域の環境と育林技術-。91pp. 岐阜県。
- 岐阜県林政部 (1992) スギ人工林林分収穫表・林分密度管理図 一般地域(最深積雪深1m未満の地域)。21pp, 岐阜県。
- 宮島 寛 (1983) 品種。(新版スギのすべて。坂口勝美監修, 629pp, 全国林業改良普及協会, 東京)。126-139。
- 中川 一, 竹下純一郎 (1981) 森林土壌における無機態窒素の動態。岐阜県林業センター研究報告9: 1-22
- 竹下純一郎 (1982) 育林保育作業における林地肥培の応用に関する研究。岐阜県林業センター研究報告10: 1-114

資料

スギ精油の有孔デンプンによる粉末化

森 孝博・坂井至通

キーワード：スギ精油, 有孔デンプン, 粉末化, デンプン, シクロデキストリン

I はじめに

近年, 天然資源の有効利用や林業・林産業の活性化を図るため, 製材時の余剰物としての鋸屑や端材の活用研究や, あるいは林内に放置されている未利用の間伐材や枝葉などに含まれる精油の抽出研究など, 種々の検討が進められている(谷田貝, 1995)。

樹木から抽出して得られる精油の多くは, 揮発性の成分からなる油状物質で, 森林のすがすがしい香りのもとになっている。また, 精油成分の中には, 院内感染の原因となるMRSA(メシチリン耐性黄色ブドウ球菌)に対する抗菌性(岡部ら, 1994)や, 室内塵埃中に生息しアレルギーの原因となるヒョウヒダニに対する抗ダニ性(宮崎, 1996b)などが認められている。また, 最近ではヒトに対する精神安定作用(宮崎, 1996a)やラットでの抗潰瘍作用(長谷川ら, 1998)などの生理作用も報告されるようになった。

このように, 精油の利用に関心が高まっているにもかかわらず, 精油が油状であることから, 水と分離し易く, 他の成分と配合したりする場合も均一に混合するのが困難であった。また, 精油成分の多くは, 揮発性が高く放置すると揮散し, 成分の減少や精油成分の構成に変化が起きるため, 精油の性質を活かした用途開発や実用化において大きな障害となっていた。精油が油状の状態であるため, 精油を何らかの方法で粉末の状態にすることができれば, 取り扱いの容易さ, 使用量の調整, 精油に含まれる活性成分の安定性や持続性などが改善され, これまでにない新しい利用が可能となる。

現在, 精油など油状のものを粉末化する方法として, 油分を微少なカプセルに封入するマイクロカプセル化がヤクスギ精油を用いて成功しており(森田ら, 1993), また, シクロデキストリン(グルコピラノースが6~8個環状に結合したものに分子レベルでヒノキやスギの精油成分を包接する技術が報告(高橋ら, 1995)されている。最近では, デンプン粒子に多数の小さな孔を開けた有孔デンプン(長谷川, 1998)が開発され, その有用性が魚油(DHAを含有した油分)の粉末製剤化によって確かめられている。

今回, スギ精油の利用を拡大するため粉末製剤化を検討するに際し, 粉末の基材には特性の異なる有孔デンプンとシクロデキストリンを用い, これらの有用性を認めたので報告する。

II 実験方法

1. 共試材料

スギ精油はキセイテック製の市販品を用いた。スギ精油の粉末化基材として, サンエイ糖化(株)製の有孔デンプンとデンプン(コーンスターチ)を用いた。また, シクロデキストリンはグルコース7個が環状に結合した β -シクロデキストリン(和光純薬(株)製)を用いた。

2. スギ精油の粉末製剤調製法

粉末化基材(デンプン, 有効デンプン及び β -シクロデキストリン)をそれぞれ約3g秤量し, 足の部分に綿栓を施したロート(直径5cm)に入れた。これに上部からスギ精油を1滴ずつ徐々に滴下した。ロートの下部からスギ精油が液滴になって落下し始めるまで滴下を行ない, スギ精油を粉末化基材に捕集した。しばらく放置した後, 過剰なスギ精油を除去するため, スギ精油が捕集された粉末化基材約1gをガラスフィルター(1G4)に入れ, 約4℃, 20mlの冷水を用いて吸引ろ過を行った。しばらく室温で放置した後, 40℃で約4時間乾燥し, スギ精油デンプン粉末製剤(以下精油デンプン末), スギ精油 β -シクロデキストリン粉末製剤(以下精油 β -シクロデキストリン末)及びスギ精油有孔デンプン粉末製剤(以下精油有孔デンプン末)を得た。

3. 電子顕微鏡による粉末製剤の観察

各粉末化基材および各スギ精油粉末製剤について, 常法(金蒸着法)により電子顕微鏡用試料を調製した。これを走査型電子顕微鏡(SEM)により, その状態を観察した。装置は日本電子(株)製JSM-5300LVを使用し, 加速電圧は20kVで行った。

4. 粉末製剤中のスギ精油含有量の測定

精油デンプン末, 精油有孔デンプン末及び精油 β -

シクロデキストリン末をそれぞれ約1g秤量し(精油粉末剤重量とする), n-ヘキサン10mlを加え室温で一昼夜放置し, 粉末製剤中のスギ精油を抽出した。ろ紙(アドバンテックNo.2)を用いてろ過し, さらに, ろ過物をn-ヘキサンで数回洗浄した。ろ液と洗浄液を合わせてナス型フラスコに入れ, ロータリーエバポレーター(水浴温度40℃以下)で溶媒留去し, n-ヘキサン抽出物を得た。それぞれの重量を測定し, 各粉末製剤中のスギ精油含有率を次式により算出した。

$$\text{精油含有率(\%)} = \frac{\text{ヘキサン抽出量}}{\text{精油粉末剤重量}} \times 100$$

5. キャピラリーガスクロマトグラフ法(GC)による粉末製剤中のスギ精油成分の測定

精油デンプン末, 精油有孔デンプン末及び精油β-シクロデキストリン末のn-ヘキサン抽出物をGC分析した。装置はヒューレット・パッカード社HP 6850を使用し, キャピラリーカラムにHP-5(フェニルメチルシロキサン膜厚0.25μm, カラム内径0.25mm, 長さ30m)を用い, スプリット法(スプリット比9:1)で分析し, 検出器にF.I.D.(水素炎イオン化検出器)を用いた。キャリアーガスにヘリウム(流速:3.0ml/min)を用い, カラム温度は, 初期温度を50℃とし, 毎分7.5℃で昇温し250℃を最終温度とした。250℃で10分間保持しプログラムを終了させた。また, 注入口の温度は200℃, 検出器の温度は250℃とした。

スギ精油成分の構成比は, 測定した全ピークの面積に対する各ピークの面積比で示した。

6. キャピラリーガスクロマトグラフ/質量分析法(GC/MS)によるスギ精油構成成分の同定

それぞれのn-ヘキサン抽出物をGC/MS分析した。装置にフィニガンマツ社マグナムを用い, その他の条件はGCと同一とした。ただし, 検出器にEI(電子衝撃化)質量分析計を用い, イオン化電圧は70eVで行った。また, 推定された物質はそれぞれ市販の化合物を同様に分析し, 質量スペクトルパターン及び保持時間の一致により同定した。

III 結果と考察

1. スギ精油の粉末製剤化の検討

スギ精油の粉末製剤化検討に用いた有孔デンプンとβ-シクロデキストリンは, いずれもグルコースを構成単位としている点で共通している。

有孔デンプンはデンプン粒子にデンプン分解酵素を

作用させ, 1~2μm程度の孔を開けさらに粒子内の空隙率を50%程度に調整したもので, グルコースの分子集合体であることはデンプンと変わらないが, 有孔デンプンは内部に大きな空隙があることにより, 油分を吸収し保持する性質がある。

これに対し, β-シクロデキストリンはグルコピラノース7個がα-1,4結合してドーナツ型の環状構造を形成している。β-シクロデキストリンの環状構造は, 外側に水酸基が並んで水溶性が高まり, 反面内側は疎水性となり油溶性成分が分子レベルで入り込みやすい構造となっている。この分子レベルで起こる現象は包接と呼ばれ, 難水溶性の物質を包接したβ-シクロデキストリンは包接物全体として水溶性を高める特徴がある。

有孔デンプン及びβ-シクロデキストリンの両基材によるスギ精油の粉末製剤化を検討するため, デンプン末を比較対照として用いた。いずれの粉末基材を用いてもスギ精油を粉末製剤化することができ, その結果を図-1に示した。どの粉末も同じようなスギ精油の香りを呈し, 特に差があるほど異なっていなかった。

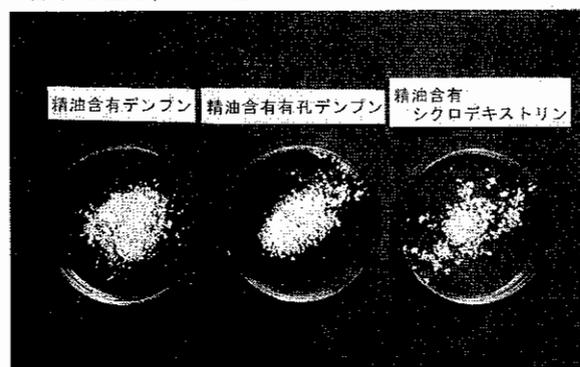


図-1 スギ精油含有粉末製剤

これらの状態をさらに詳しく調べるため, 走査型電子顕微鏡で観察し, 結果を図-2の①~⑥に示した。図-2から明らかなように, デンプンと有孔デンプンは, スギ精油を作用させても外観はほとんど変化がなかったが, β-シクロデキストリンは, 最初球形を呈していたものがスギ精油を作用させたことにより大きく変形していた。この原因は明らかではないが, β-シクロデキストリンは熱に比較的安定であるので粉末にする際の乾燥時ではなく, 水での洗浄時に変形したものと考えられる。

2. スギ精油粉末製剤中の精油含有率の比較

精油デンプン末, 精油有孔デンプン末及び精油β-シクロデキストリン末に含有されるスギ精油量を含む率で図-3に示した。精油β-シクロデキストリン末が, 最も多い約29%のスギ精油を含有し, 次いで精油有孔

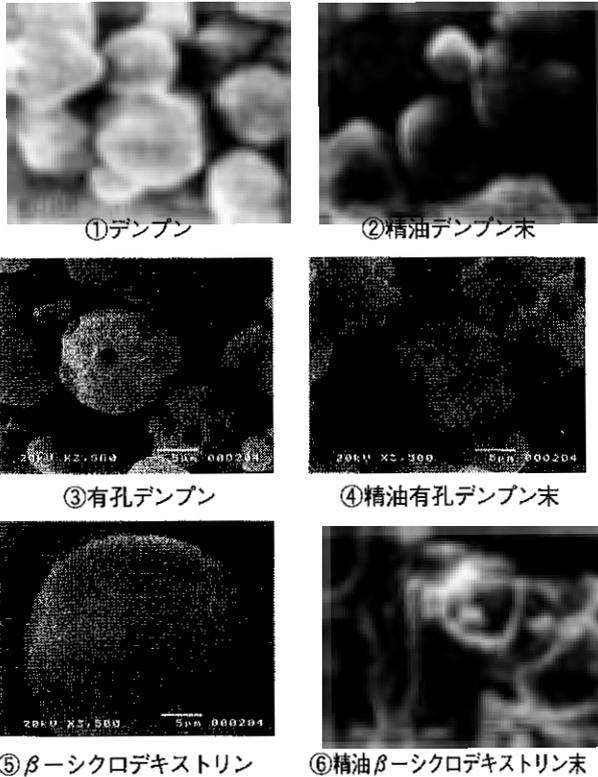


図-2 基材粉末及び精油含有粉末製剤の電子顕微鏡写真

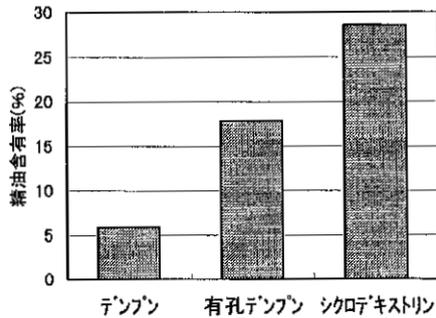


図-3 粉末製剤精油含有率

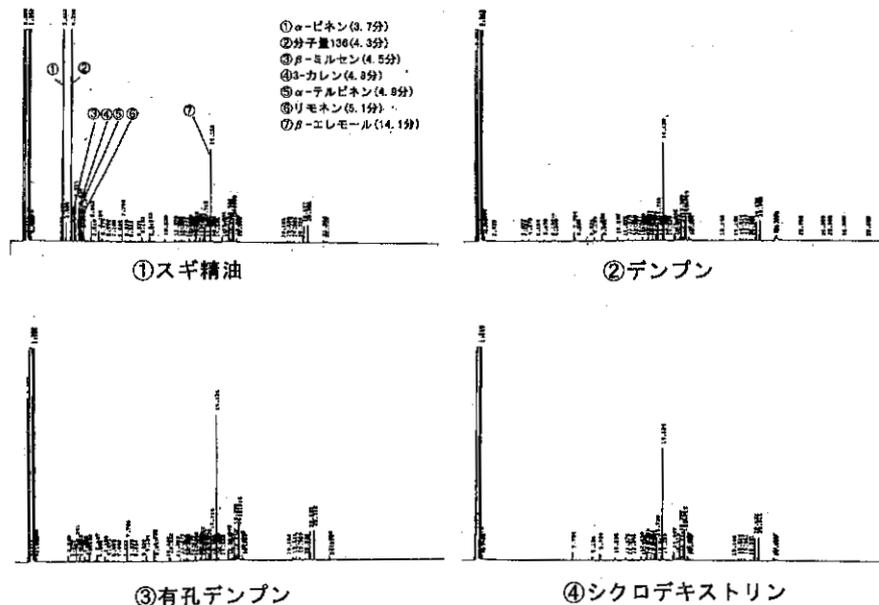


図-4 スギ精油及び各精油含有粉末製剤n-ヘキサン抽出物のガスクロマトグラム

デンプン末の約18%であった。比較対照に用いた精油デンプン末はわずかに約6%であった。精油β-シクロデキストリン末では精油デンプン末の5倍量、精油有孔デンプン末では3倍量を保持していた。スギ精油を有孔デンプンでは粒子レベルで空隙に吸着し、β-シクロデキストリンでは分子レベルで包接すると考えられるが、スギ精油が実際どのように吸着又は包接されているかは明らかでない。

しかし、いずれもスギ精油を油の状態ではなく、粉末として取り扱いを容易にすることができた。このことにより、入浴剤や芳香剤などへの新しい製品の開発に応用できると思われる。

3. スギ精油粉末剤に含まれる成分の比較

有孔デンプンとβ-シクロデキストリンのいずれでもスギ精油を粉末製剤化できることを確かめたが、粒子レベル(有孔デンプン)と分子レベル(β-シクロデキストリン)での違いが、ただ単に保持量差として現われているだけなのか、またスギ精油成分の構成比に変化を与えているのかについて検討した。スギ精油、精油デンプン末、精油有孔デンプン末及び精油β-シクロデキストリン末に含有されるスギ精油成分を、GCにより分析しそのクロマトグラムを図-4の①～④に示した。図からも明らかなように、粉末製剤化することによりスギ精油に含まれていた低沸点成分(図-4の①)における保持時間が3.7分、4.3分、4.5分、4.8分、5.1分及び5.6分のピークなどが小さくなっていた。最初のピーク(保持時間3.7分)は、GC/MSによりα-ピネンと推定でき、さらに市販のα-ピネンを使いGC及びGC/MSを行った結果、保持時間及び質量

スペクトルが一致し α -ピネンと同定できた。もう一つの大きなピーク(保持時間4.3分)は質量スペクトルより、分子量 136 のモノテルペン類であることが推定されたが、物質名まで同定できなかった。さらに、 β -ミルセン(4.5分)、3-カレン(4.8分)、 α -テルピネン(4.9分)及びリモネン(5.1分)などのモノテルペン類を同定した。

また、図-5に各粉末製剤n-ヘキサン抽出物の成分構成割合を示した。各粉末製剤において β -エレモール(14.1分)の比率が大きくなったの、全体に占める面積が低沸点成分(α -ピネンなど)が小さくなったためである。

これら低沸点のモノテルペン類は、粉末製剤のいずれにおいても保持されておらず、粉末製剤調製時(水洗、乾燥など)での揮発と考えられるが、原因は明らかにできなかった。

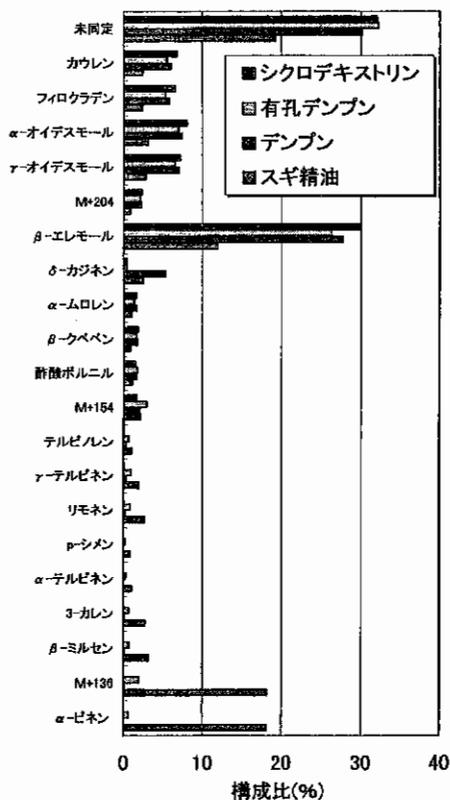


図-5 精油含有粉末ヘキサン抽出物の主成分

IV まとめ

本研究により、いずれの粉末化基材にもスギ精油を保持することができた。製剤化で広く使用されているデンプンに比べ、有孔デンプンでは3倍量、 β -シクロデキストリンは5倍量のスギ精油を保持していた。また、有孔デンプンではスギ精油を作用させてもその

形状に変化は認められなかったが、 β -シクロデキストリンは大きな変形を認めた。その原因は分子レベルでの保持と粒子レベルでの保持に起因していると考えられたが、その詳細は明らかでなかった。

粉末製剤化により、酸化されやすい成分の酸化防止に役立てられたり、他の成分と配合が容易となったり、品質の安定化を増したり、その利用価値は大きく飛躍すると思われる。例えば、香りを徐々に放出する効果を期待した徐放性の粉末や多成分を配合した錠剤状の入浴剤など、これまでにない新製品の開発が容易となる考えられる。

V 謝辞

GC/MSの測定に協力していただいた岐阜県保健環境研究所の大塚公一主任専門研究員、有孔デンプン、デンプン(コーンスターチ)を提供していただいたサンエイ糖化(株)の長谷川信弘氏に感謝の意を表します。

引用文献

- 長谷川千佳・松永孝之・川筋透・斉藤春夫・鈴木英世・鷲岡雅・高橋理平・塚本英子・森川敏行・秋山武士(1998)杉葉精油の抗潰瘍成分.第42回香料・テルペンおよび精油化学に関する討論会(TEAC)講演要旨集:24-26.
- 長谷川信弘(1998)有孔澱粉の性質とマイクロカプセル化への応用.食品工業41:42-50.
- 宮崎良文(1996a)森の香り.117pp,フレグランスジャーナル社,東京.
- 宮崎良文(1996b)室内塵中ダニ(ヤケヒョウヒダニ)に及ぼすヒバ材油の影響.木材学会誌42:624-626.
- 森田慎一・中村俊一・村田進・奥村和之(1993)精油のマイクロカプセル化とその抗ダニ活性.木材工業48:265-269.
- 岡部敏広・斉藤幸司・福井徹・飯沼和三(1994)樹木抽出成分のMRSA(メチシリン耐性黄色ブドウ球菌)に対する抗菌効果.第44回日本木材学会大会研究発表要旨集:494.
- 高橋英樹(1995)オリゴ糖による包接技術の開発.樹木抽出成分利用技術研究成果集.422pp,樹木抽出成分利用技術研究組合:152-168.
- 谷田貝光克(1995)樹木抽出成分利用技術の開発.樹木抽出成分利用技術研究成果集.422pp,樹木抽出成分利用技術研究組合:15-26.

平成12年3月31日

岐阜県森林科学研究所研究報告 第29号

岐阜県美濃市曾代1128-1

発行所 岐阜県森林科学研究所

TEL <0575> 33-2585

印刷所 協同印刷株式会社

TEL <0575> 28-2136

R100

この研究報告の本文は、古紙配合率100%再生紙を使用しています。
(表紙は古紙配合率50%の再生紙です。)