

昭和62年度林業試験場
研究成果発表会講演要旨

日 時 : 昭和62年11月5日(木) 13:30~17:00
場 所 : 虎の門パストラル「葵の間」
(東京農林年金会館)

農林水産省 林野庁
林業試験場

目 次

開 会 挨 拶

場 長 山口 博昭

1. ミズナラ等主要広葉樹の用材林育成技術の開発 1
土壌部 土壌第一研究室長 大角 泰夫
2. スギ・ヒノキ穿孔性害虫による加害・材質劣化機構の解明 . . 9
保護部 昆虫科長 小林 一三
3. 針葉樹造林木の単板積層加工利用技術の確立 15
木材部 加工技術科長 中野 達夫
4. 森林が放出する揮発性物質 23
林産化学部 木材炭化研究室長 谷田貝 光克
5. マツの光合成遺伝子の発現機構 31
造林部 造林科 主任研究官 山本 直樹

閉 会 挨 拶

次 長 石原 達夫

司 会：調査部長 小林 富士雄

(注) 1 課題 講演 25分 質疑 5分

ミズナラ等主要広葉樹の用材林育成技術の開発

土壌部 土壌第一研究室長 大角泰夫

近年の生活様式の欧風化にともない、家具や内装材の素材としての広葉樹材の需要が、特に良質な素材を中心に増加の一途をたどっている。他方環境保全や風致保護に対する広葉樹林の役割にも大きな期待がかけられている。この様な広葉樹林を取り巻く各種の社会的要請に対して、現実には国内広葉樹天然林の急速な減少、それに伴う広葉樹材の供給力の低下、さらには質の低下と、広葉樹資源の将来は決して明るくはない。したがってこれらの要請に応えるため、この研究では数多くある広葉樹林を取り巻く問題から特に行政的必要度の高い用材林育成に焦点を定めて検討を行った。

広葉樹林の現況とこの研究の方向

スギやヒノキなどの針葉樹の造林が急速に増大した結果、日本の広葉樹林は現在約1,000万haにまで減少した。その内約600万ha以上が旧薪炭林で、主燃料が石油に変わって以来殆ど手を加えずに低質なまま放置された50-70年生の若い林である。現在用材生産の中心は約300万haの天然林であるが、今後次第にこの旧薪炭林が中心となろう。また現在150年以上を要している伐期を80-100年程度に短縮して行かねばならない。一方有用な広葉樹は数十種もあり、また地域性もきわめて多様である。この研究では効率を配慮し、特に重要度の高いウダイカンバ、ブナ、ミズナラおよび

シイを取り上げ、保続生産を可能にする天然更新技術、育成範囲を決める好適立地判定技術および形質向上のための密度管理技術の開発に目的を絞った。

天然更新技術の開発

ブナ等に関する既往の成果があることと広葉樹林の各種の保全機能を配慮し、更新技術として天然更新を採用した。広葉樹の天然更新法には大きく分けて2つの方法があり、その一つは母樹を決め、地表を処理し、発芽した稚樹が生長し易いように光の条件をコントロールする母樹保残天然更新と、伐採した木の根元から発芽する芽を利用する萌芽更新法とがある。この研究ではミズナラとシイを対象に、木の特性を考慮し、ミズナラで母樹保残天然更新、シイでは萌芽更新を主体とする天然更新法を開発することを目指した。その結果、ミズナラでは結実周期があり更新に必要な結実量は数年に1回程度しかなく、虫・ネズミ害等のためかなりの部分が行方不明になる。ササ地やAo層が厚い場合には発芽しにくく、発芽後の稚樹の生長にはできる限り光が入った方がよいことなどが明らかになった。またシイではミズナラと同様種子の豊凶が著しく、萌芽の発生は小径木できわめて旺盛であること等が明らかとなり、したがって用材林育成に当たっては、主伐木を育成している間に萌芽を発生させるべきシイの小径木を育て、皆伐－萌芽更新という更新方法が適切であることが明らかとなった。

好適立地判定技術の開発

広葉樹材の内特に環孔材は生長不良の場合ヌカ目になって利用できなくなる。したがってミズナラなどでは特に生長がよい場所の条件の設定は重要である。針葉樹の造林木についてはすでに生長と環境因子との関係が明らかにされており、ここでもその方法を援用して行うこととした。その結果、ミズナラでは生長を指標する地位指数として60年生時の樹高が適切であり、生長に関与する立地条件の抽出がなされた。しかし針葉樹造林木の方法はそのまま使えなく、独自の方法による地位指数判定スコアの計算方法が考案された。またウダイカンバでも同様な成果が得られており、さらに更新に適切な立地条件が把握された。さらにシイでは同様に地位指数判定方法と共に、材の腐朽の条件が明らかになった。なおミズナラについてはあと少しデータを積み重ねれば実用化できるところまで来ている。

密度管理技術の開発

広葉樹は針葉樹と異なり、孤立すると樹形が悪くなる可能性が高い。逆に密度が高くなると樹形はよくなるが太り難い。太く、節がなく、曲がり少なく、年輪幅が狭くなく揃っているなどの高品質材の条件を満足させ、早く育てるためには上記の相反する条件を旨く組み合わせる技術を開発する必要がある。針葉樹の同齢単純林で有効活用されている密度管理図はこの問題を解決するための一つの方法である。この研究では先ず密度管理

図を作ることとした。その結果ブナ、ミズナラ及びシイについて密度管理図が完成した。ウダイカンバについては、密度管理図が同齢のしかも純林で適用されるという条件があるため、別の視点から密度管理を考える方法を提起した。同時に特にミズナラとシイについては、不定枝の問題や太りについて検討を進めた。さらに材質の側面から高品質材の規格の目安および樹種、材の種類毎の乾燥条件について検討を進めた。

今後の問題点

本研究では特に純林を作り易い樹種を中心に検討を進めたが、実際に蓄積が多く、分布が広い広葉樹林はほとんどの場合数種から十数種の有用樹種が混成している天然性二次林である。これらの混生広葉樹林は、更新方式や稚樹生長が今回対象とした純林に近い林とは異なっている。したがってこのような林を対象として用材生産を行うためには今回の研究成果を基に、林の実態に合わせた育成方法を開発しなければならない。またこれらの混生広葉樹林は、用材生産はもとより、近い将来最初に紹介した広葉樹林の各種の保全機能発揮のための中心的存在ともなると判断されるので、これらの側面からの検討も必要となっている。ところがこれらの広葉樹林に関する基礎的知見は、針葉樹に比べて極めて少なく、上記問題を解決するためにはその基礎としての生理・生態的知見を早急に収集する必要があることが明らかとなった。そこでこの問題の解決に向けて「混生広葉樹林の動態と維持機構」を明らかにする研究に着手する準備を進めている。

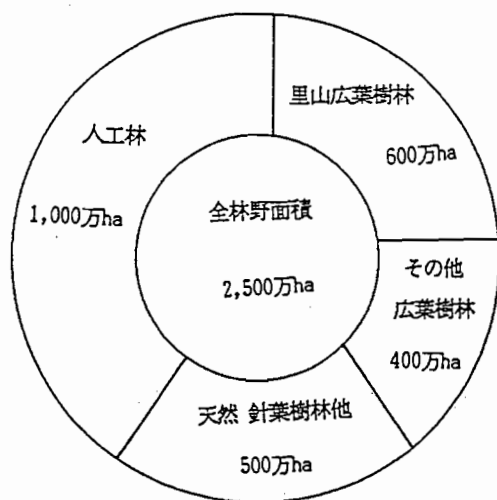


図1 日本の各種森林面積比

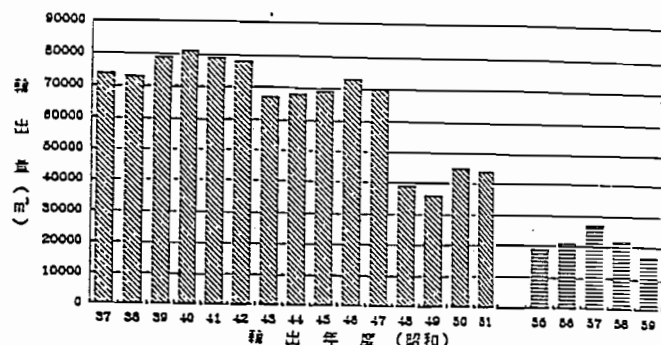


図4 製材品の輸出量の推移 (単位: 千立米) (資料: 林業統計年報)

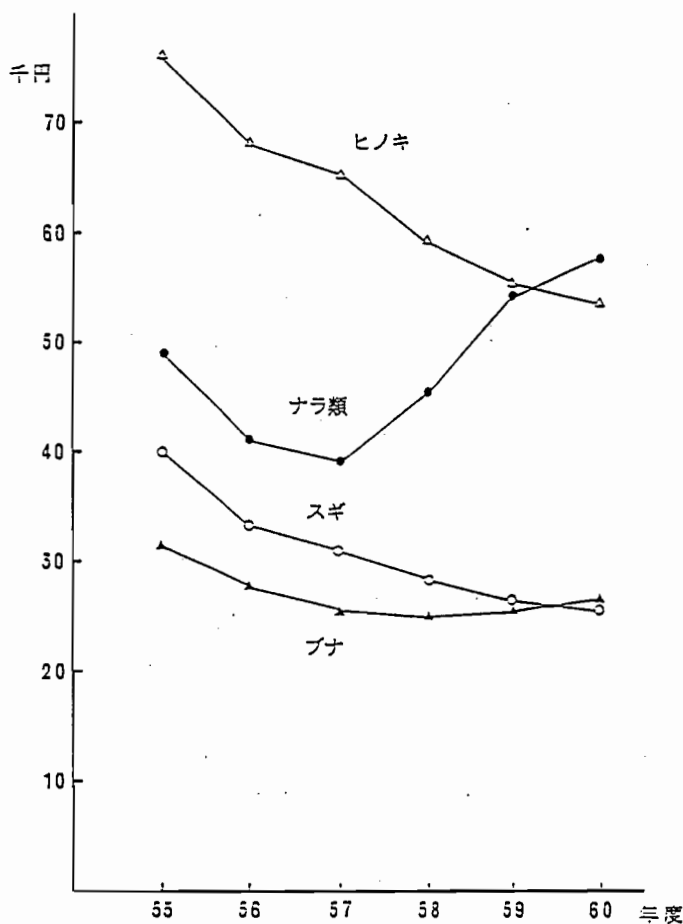


図2 製材用丸太の価格の推移

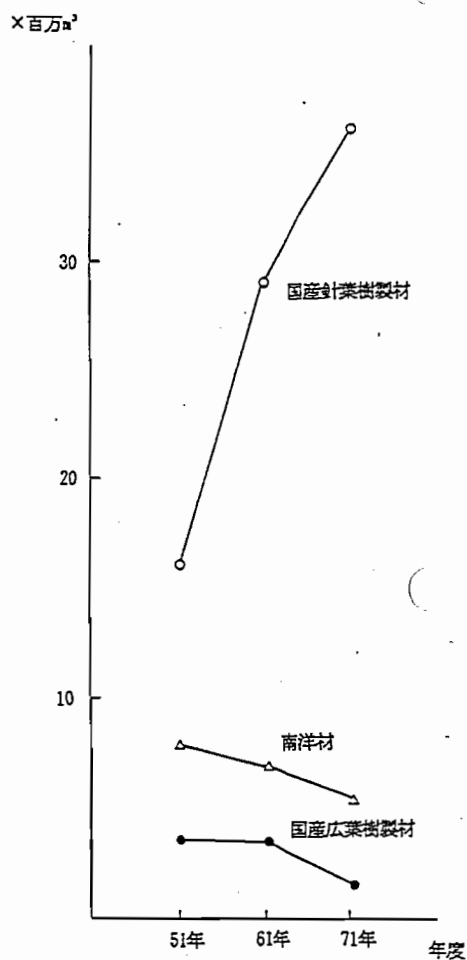


図3 木材需給量の変化

図5 広葉樹育成研究基本構想

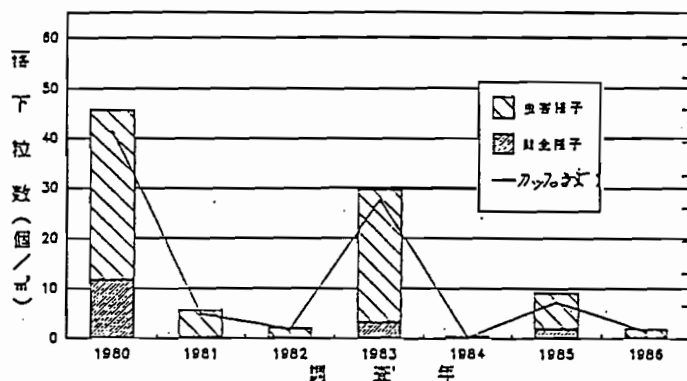
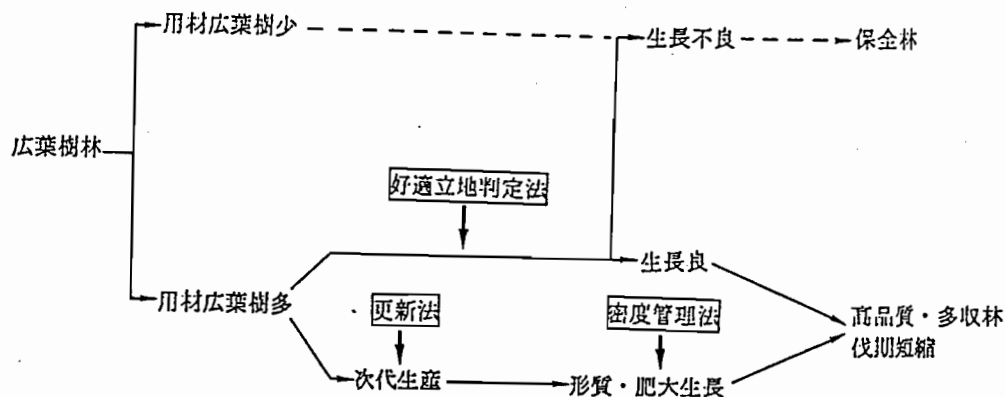


図6 ドングリの落葉量の年変動 (安比試験地)

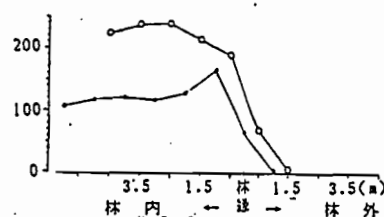


図7 ミズナラドングリの方向別、距離別飛散枚数 (個/㎡)

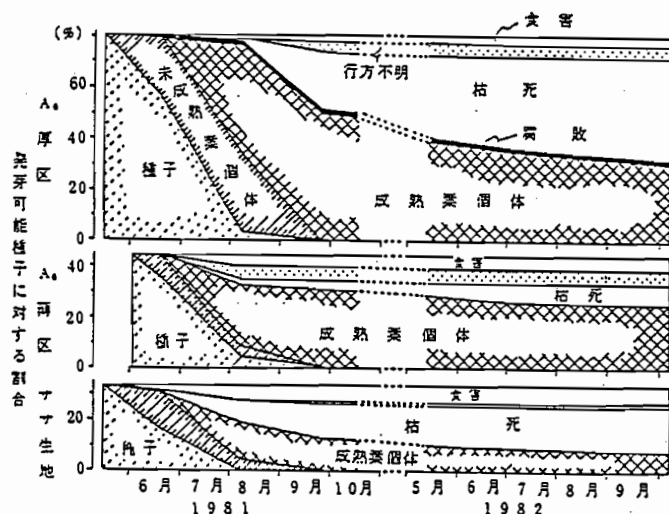


図8 発芽可能種子に対する定着個体数の推移とその消失 (中居村試験地)

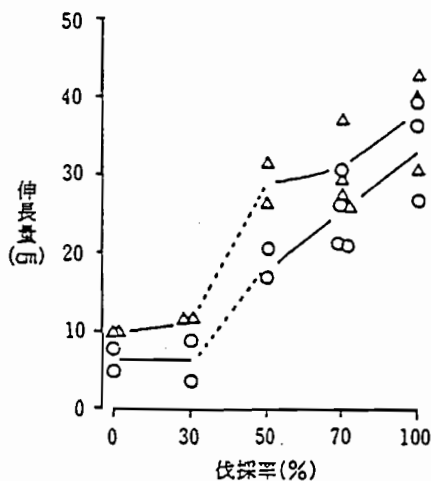


図9 間伐率と最近2年間の伸長量

○はNEW, △はOLD

表1

要因群スコア表

要因	カテゴリー	スコア
微地形	凸地(急)	13.14
	凸地(緩)	15.09
	平衡	15.45
	凹地	16.04
堆積様式	残積	0
	定積	0.95
	搬运	0.99
	崩積	0.30
土壌型	B, B, B1c	0
	B1 (d), Bc	0.29
	B (d), B1, B1	0.49
	B, B	2.03
傾斜	-9°	0
	-19°	0.08
	-29°	-0.18
	-39°	-1.55
	40° -	-1.32
	-	-
土壌硬度	-5	0
	-10	1.23
	-15	0.88
	-20	1.74
	-21-	-4.06
A層厚	-15cm	0
	-25cm	-1.06
	-35cm	-1.29
	36cm-	-0.84
土壌構造	lgr, (gr)	0
	gr, nt, (bk)	0.35
	bk, (gr), (bk)	-0.58
	cr, (bk), (gr)	1.23
	cr	-2.60
	無	-0.77

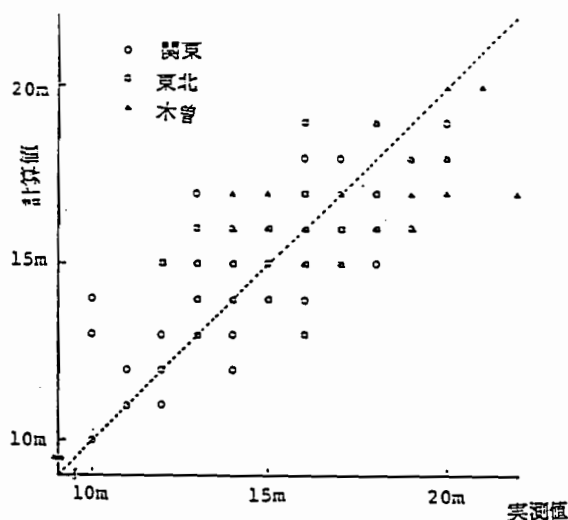


図10
ミズナラ地位
指数の計算値
と同一地点の
実測値との比
較

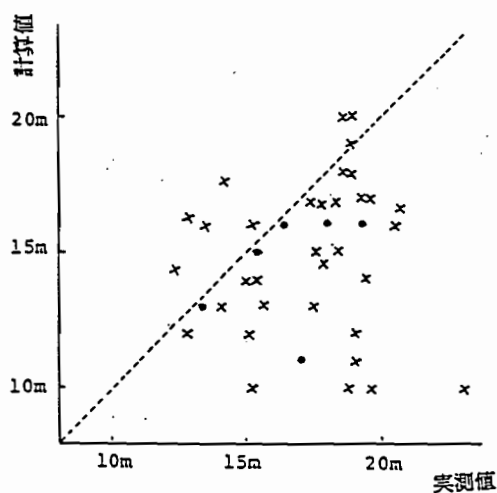
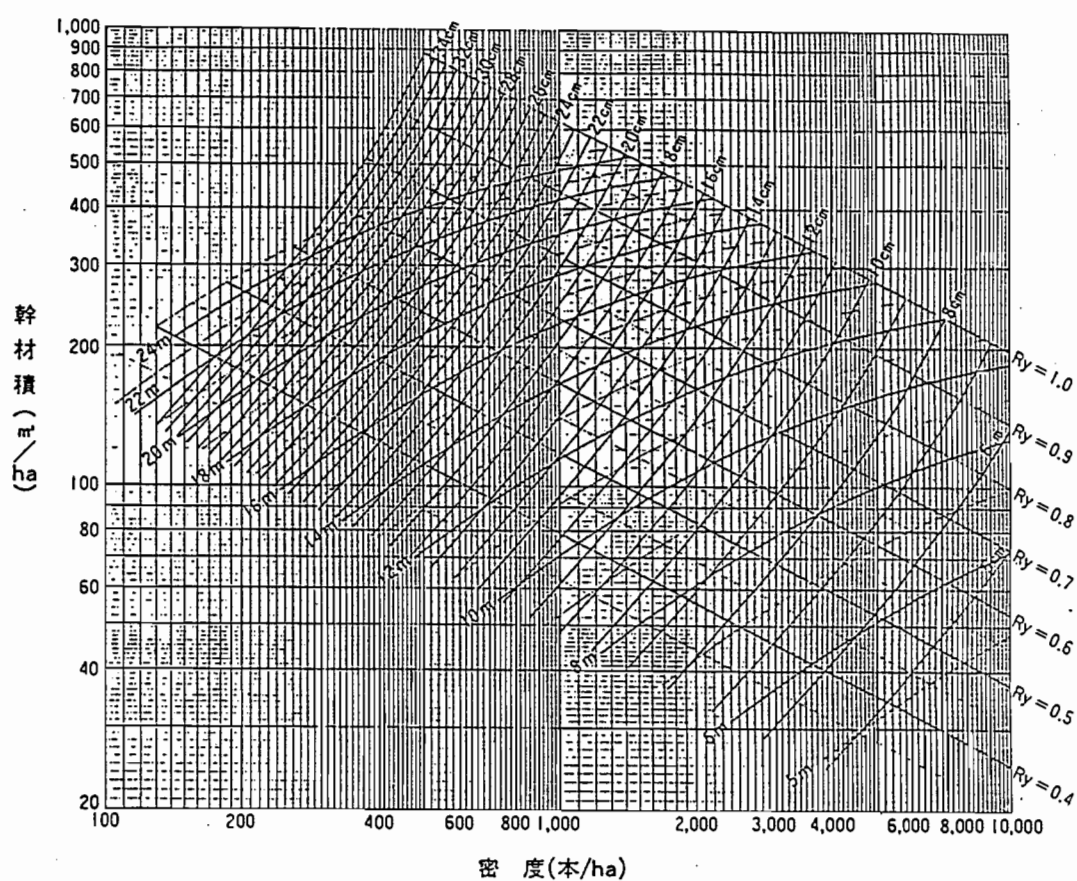


図11
前橋営林局地位指数
スコア表(スギ)を
使って計算したミズ
ナラ地位指数と同じ
地点での実測値との
比較

図12 東北地方ミズナラ林分密度管理図



凡 例	
等平均樹高曲線	
等平均直径曲線	
収量比数曲線(Ry)	

生きている樹木の幹の形成層や材部に破損が生ずると、そのキズとそこから侵入する変色菌や腐朽菌による材部の変色・腐朽は年とともに材内に取り込まれて消えることなく残り続ける。癒合組織で破損部を修復してしまえば、樹木にとってはすでに直ったキズであって生育にさほどの障害にならず、材積生長は続いていく。しかし、材内部に取り込まれたキズ・変色・腐朽は木材として利用する場合の重要な欠陥となる。いろいろな樹木の病虫獣害のなかでこのようなタイプが近ごろ材質劣化被害と云う形で認識され、重要視されるようになってきた。

現在、特に問題となっているのが1千万haにおよぶ人工林の主要な部分を占めるスギ・ヒノキ林における穿孔性害虫による材質劣化被害である。下図の4種が主要な害虫であって、わが国の林業の将来に深刻な影響を及ぼしかねない重要問題として、国公立林業試験研究機関あげての取り組みがなされつつある。

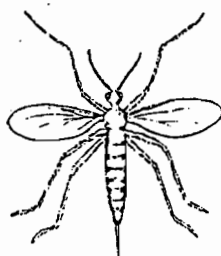
スギカミキリ



スギノアカネトラカミキリ



スギザイノタマバエ



ヒノキカワモグリガ



1. スギカミキリ

中国地方の一部等では古くからスギのハチカミとして被害そのものは知られていたが、これがスギカミキリの食害に起因することが判ったのは昭和30年代になってからのことである。現在では被害は九州北部から東北地方にかけてみられ、スギのみならずヒノキにも発生し、特に里山地帯のスギ林に多くみられる。

この数年間、合理的な被害回避または防除法策定に必要なカミキリの生態、加害機構、発生環境解析などがおこなわれてきた。例えば、植栽木が生長し樹冠閉鎖がおきる2齢級ころからスギカミキリの林内への侵入が見られるようになり、数年の定着期間を置いて密度上昇を起こし大発生に至る経過が明らかにされた。また、これまでほとんど不明であった成虫の行動と数の動きがバンド法（幹に布、厚紙等を巻き付けて人為的な隠れ場所を作ってやるとその木に生息しているスギカミキリ成虫のほとんどがその中に潜む）の開発によって解明されつつある。

春に粗皮の隙間に産みつけられた卵からふ化した幼虫は梅雨入り前のころ、内樹皮を食害しつつ形成層部に食入する。この侵入に対してのスギの防御反応として分泌されるヤニに巻かれて多くの幼虫が死亡する。形成層部に達したあと翌春の成虫脱出時までの死亡率は低く、若齢幼虫期のヤニによる死亡の程度がカミキリの個体数変動に大きく影響する。このことからスギのヤニ浸出機構の研究がなされ、スギカミキリ被害にかかりにくいボカスギはかかりやすいクモトオシよりも樹脂道形成能力が高いこと、樹脂道形成能力は個体間差が大きいことが明らかにされた。このことはスギカミキリ抵抗性育種の可能性を示唆している。バンド法は成虫の生態研究手法としてのみならず、殺虫剤、粘着剤、天敵微生物をバンドに施用することにより新防除技術へと発展されつつある。

2. スギノアカネトラカミキリ

東北地方ではトビグサレとして被害そのものは古くから知られていた。しかし、このカミキリの食害によることが明かにされたのは昭和29年のことである。このカミキリは、スギカミキリと違って生命活動の盛んな形成層部に触れることなく、枯れ枝から死節づたいに直接材内に侵入し上下方向に食害し、再び枯れ枝から脱出する。幹に枯れ枝の付かない状態に保てば被害を受けることはない。このための合理的な枝打ちの指針が明らかに

された。他の林分への移動力が大変弱いこともわかってきた。伐倒・玉切りすればすぐわかるものの、立木状態での被害発見が他の3種害虫よりもかなり難しい。このため、成虫が林縁の白い花に集まる習性を利用した誘引トラップの開発が進められている。この技術ができると、カミキリの生息範囲の認定が容易になり、枝打ち等の防除手段とスギ・ヒノキ林を連続させないことで将来の対応策の目途もたってくる。

3. スギザイノタマバエ

もともと屋久島に生息していた虫で、幼虫がスギの内樹皮表面に定着し消化液を分泌して内樹皮細胞を消化し、これを摂取して生長する。このため内樹皮に皮紋と呼ばれる円錐形の死んだ部分ができる。これが形成層部に達すると材表面にちいさなキズができ、材質劣化の原因となる。昭和28年に九州のえびの高原のスギ林で発見され、その後年々生息範囲を拡大させ、現在では九州のほぼ全域に広まっている。被害木皮付き丸太の移動で飛び火的に被害が広がるので、四国、本州への侵入が恐れられている害虫である。密度変動要因の解析が残されているものの、害虫の生態と激害の起きやすい環境の解析が進み、除・間伐、枝うちによって林内湿度を低下させると害虫密度が減って被害を回避できることがわかった。この成果によって既存林分への対応が出来るようになり、また、スギザイノタマバエの付きにくい品種または内樹皮が厚くて害虫が沢山付いても実質的な被害を受けにくい品種の育成の見通しもついてきた。

4. ヒノキカワモグリガ

昭和33年に初めてヒノキの樹皮下を食害することがわかったためにこの和名が付けられたが、スギをよく食害する。九州、四国、本州に広く分布し、比較的標高の高い地帯で激害が多発している。材質劣化害虫として一般に認識されたのはこの数年のことで、4種のなかでは最も新しいが、

被害は最も広く見いだされている。不明な部分の多かった生活史や加害機構が解明され、化学的・生物的防除法策定の基礎ができた。たとえば、樹冠部で育った幼虫は枝の付根で越冬し枝下幹部の被害は春の老齡幼虫期にもたらされるので、これを遮断する手法の開発がすすめられている。また、新たに見いだされたウイルス等の天敵微生物利用の可能性がでてきた。

5. 材質劣化に関与する微生物等

4種の害虫の加害に伴う変色材部からはそれぞれ特有な菌類群が分離・検出され、それぞれの菌の変色・腐朽力の差違も解明された。また、変色部からは健全部と異なった化学物質が検出され、菌の侵入・拡大に対する樹木の生体反応機構も明らかにされつつある。また、被害材の物理的・化学的性質についても研究がすすめられ、被害の程度が進行するにつれて曲げ破壊係数、曲げヤング係数、容積重が減少し、また、 n -ヘキサン、メタノール抽出物およびリグニン量の著しい増加が認められた。

6. おわりに

昭和61年度で終了した当林業試験場実施の特別研究及び本年度で終了する林野庁実施の大型プロジェクト研究の成果として現在の林業事情に見合った合理的な防除技術開発に必要な基盤がほぼ出来上がったと言えよう。それぞれの害虫の生物学的特性を生かした防除技術を策定する目途が立った。成林したスギ・ヒノキの林内は天敵微生物の生息環境として好条件を備えているので、この方面の期待も持てる。実用的な害虫生息数調査法もほぼ開発された。今後、一層の研究強化によってスギ・ヒノキ穿孔性害虫の総合防除法の確立は射程距離内に入る可能性が高まってきた段階にあると言えよう。

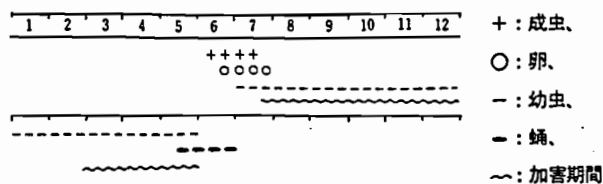


図-1 ヒノキカワモグリガの生活史 (熊本地方)

表-1 スギノアカネトラカミキリの被害と成虫密度の調査例(1986)

調査区	林齢	調査本数	枯枝本数	被害枝数	被害率	立木被害率	脱出孔古新	当年の脱出率	単木の成虫数	1haに換算した立木本数	成虫数
1	17	36	976	14	1.4	28	0 0	0	0	4,500	0
2	23	54	691	58	8.4	76	11 30	4.3	0.6	4,400	2,444
3	30	13	292	49	16.8	100	6 9	3.1	0.7	3,500	2,423
4	35	14	430	36	8.4	100	78 13	3.0	0.9	3,500	3,250

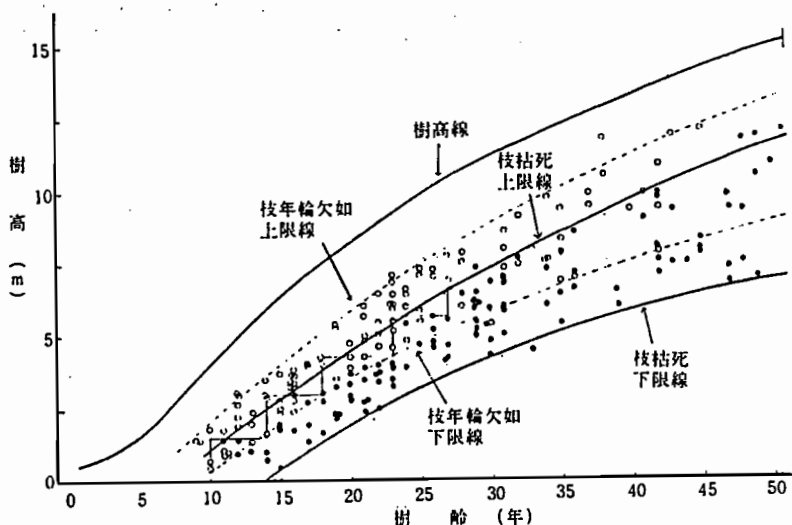


図-2 トビクサレ予防のためのヒノキの枝打ち管理図

— 6 m無被害材収穫の場合 —

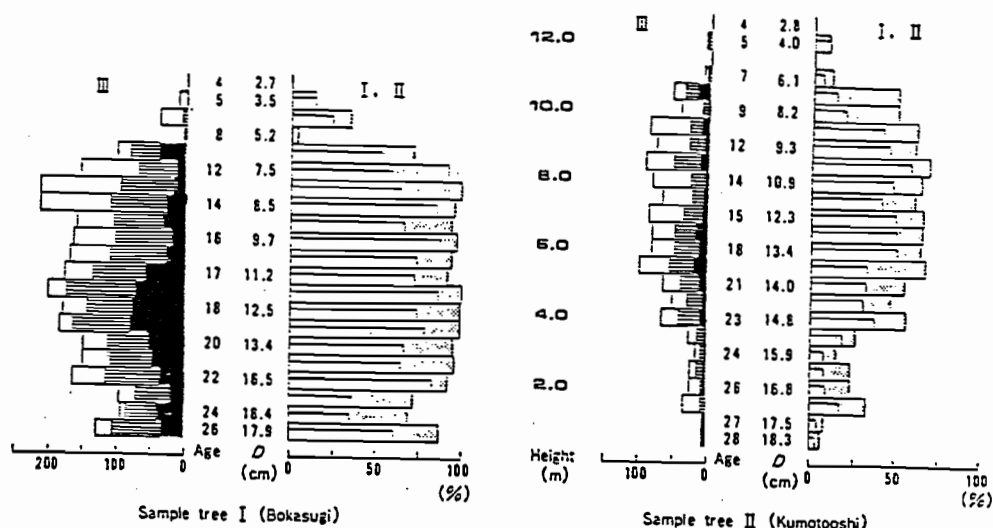


図-3 ボカスギとクモトオシの内樹皮における樹脂道の出現頻度

- I : 樹脂道断面がみられる部位の長さ (全試料長に対する相対値)。
 II : 外側2層の年輪に樹脂道断面がみられる部位の長さ (同上)。
 III : 樹脂道断面の総延長 (同上)。

■ Aタイプ, ▨ Bタイプ, □ Cタイプ

表-2 スギ・ヒノキ穿孔性害虫から分離された糸状菌

虫種	分離菌
スギカミキリ	<u>Beauveria bassiana</u> <u>Paecilomyces fumoso-roseus</u>
スギノアカネトラカミキリ	<u>Acremonium</u> sp. ^{a)} <u>Beauveria bassiana</u> <u>Fusarium</u> sp. ^{a)}
ヒノキカワモグリガ	<u>Beauveria bassiana</u> . <u>Paecilomyces</u> sp.1 <u>Penicillium</u> sp. ^{a)} <u>Verticillium</u> sp.
スギザイノタマバエ	<u>Paecilomyces farinosus</u> <u>Paecilomyces</u> sp.1 <u>Paecilomyces</u> sp.2 <u>Verticillium</u> sp.

^{a)} 昆虫寄生性菌である可能性は少ない。

針葉樹造林木の単板積層加工利用技術の確立

木材部 加工技術科長 中野 達夫

1. はじめに

戦後造林された針葉樹造林木は着々と生長し、今後の供給可能量は大幅に増大するものと考えられる。従来、我が国の針葉樹材の利用は製材品に限られてきたが、外材との競合の中でこれらの国産針葉樹材の需要拡大を図るためには、単板積層材(LVL)、合板などへの利用の拡大が望まれる。しかし、これらの面への針葉樹造林木の加工利用には、製造技術、製品の品質などの面で解決すべき問題が多い

本研究は針葉樹造林木のLVL、合板への加工及びその利用をはかるため、効果的な製造方式を確立すると共に、加工製品の建築材料としての性能を明らかにし、ひいては針葉樹造林木の有効かつ広範な利用に資するため、総合的に検討を加えたものである。

なお、本研究は昭和59年～61年度にわたる農林水産技術会議特別研究として行ったものである。又各研究項目は木材部、木材利用部の各研究室が分担した。

2. 研究方法

比較的原木価格が低く単板切削が容易な中目材を対象に試験を行った。59年度は、茨城県水戸、大子、高萩の各地産スギ、60年度は福島県岩瀬産アカマツ、61年度は前年度までの補足として茨城県産材のより低質なスギ及びアカマツ、比較参考材としてヒノキをそれぞれ対象とし、これらの丸太を材長90cmに玉切りし、単板積層材、一部合板を製造した。

この製造過程で製造のための各種技術及び製造システムの検討を行い、又このようにして製造した単板積層材の性能を調べると共に、製品性能の向上について検討を加えた。

3. 研究結果

ア 加工技術の開発とシステム化

(ア) 単板用原木の形質区分

スギについて原木形質と単板品質との関係を検討したが、単板の品質は、原木丸太の品質の影響を大きく受けた。又、単板の品質は辺材部からの単板が心材部からの単板より一般に高品質であったが、辺材部において含水率が高いこと、節の数が少ないことが主要な原因とみられた。次にアカマツについては、供試丸太は節や曲がりが多かったが、切削された単板は、節や丸太内の材質差の影響が少なく、又丸太の曲がりには90cmに玉切りされるためさほど問題とはならなかった。しかし偏心の大きい丸太は単板の品質を低下させた。

スギを対象にして丸太原木の品質により、製材にした場合と単板積層材にした場合との有利性を検討するため、上記茨城県産材のほか山形県産材も追加して製材品の価値歩止まりを検討し、スギ材を単板積層材として利用する際の原木品質についての指針を得た。

(イ) 単板の製造

ロータリーレースにより針葉樹材の単板を製造する際の適正な製造条件、具備すべき機構について先ず検討を加えた。今回使用したロータリーレースには中小径木を扱うために特に外周駆動ロールとディスクロールを

取り付けたが、その効果は大きく剥心径約 6 cm までの切削が可能で、単板歩止りは高率を示し、スギ、ヒノキで原木材積の約 70 %、アカマツで約 65 % であった。スギの切削条件については、単板厚さが 2 ~ 5 mm の範囲では単板品質はほとんど変わらず、切削条件が単板品質に及ぼす影響は小さい。又刃物の寿命も研磨方法を検討してより長くすることができた。次に、アカマツ材の単板切削については、刃物角を適正に選定することにより、節による刃物のかけを少なくすることができ、総合的にかなり良好な単板が得られた。アカマツ材は辺材が多く、そのためスギでみられた様な心材部で単板面が粗くなる傾向はみられなかった。

スギ単板の乾燥については、適正乾燥条件における乾燥時間は心材で約 3.0 ~ 3.8 分、辺材で約 6 ~ 7 分であった。又アカマツ単板の乾燥時間は約 3.5 ~ 5.5 分であるがヤニの多い材では前半の温度を低くする必要があった。又、単板の乾燥をネット式やウィケット式ドライヤーで行うと、単板の狂いの発生が大きく、ロール式あるいは熱板式による仕上げ乾燥が望ましかった。

単板の裏割れに PVA (ポリビニールアルコール) 水溶液を浸透させたときの補強効果については単板を処理して積層した LVL の曲げ強さは縦方向では差が無いが、横方向では無処理材の 1.6 倍で、補強効果が認められた。

(ウ) 単板の積層接着

スギ単板をユリア、メラミン・ユリア共縮合、フェノールの 3 接着剤を用い、合板を作製し接着性を検討した。常態接着力試験においてはいずれ

の接着剤も良好な接着力を示した。又劣化促進接着力試験ではフェノール樹脂接着剤による接着性能は良好であったが、他の2種の接着剤による接着強さは不良なものが多く出現した。次に、アカマツについて、3接着剤の適合性はフェノールでは良好、他はやや不良であったが、このうちメラミン・ユリア共縮合樹脂の接着性能は単板表面をブラッシングし、タンニン充填剤を添加することにより向上した。

スギ単板を4種の接着剤で高周波式連続積層接着装置により接着し、LVLを作成し、接着条件について検討を加えた。所要高周波印加時間は接着剤により異なり、又心材単板が辺材単板より速く接着できた。又接着剤の塗付量は約30g/900cm²が適切であった。

又製作したLVLの接着力は単板品質の低下に伴い低下した。次に、アカマツ単板をホットプレスによる熱圧方式と高周波加熱による連続積層接着方式によって接着してLVLを作製し、接着条件について検討を加えた。高周波加熱方式による製造実験では送りを止めて高周波を印加した場合、開圧時にLVLがパンクする頻度が極めて高く、その頻度は含水率が高い程、接着層が多い程高くなる事がわかった。

(エ) 製造システムの検討

合板及びLVLメーカー6社、ユーザー9社などを対象にして原木、加工技術、製品ならびに需要開発について聞き取り及び実地調査を行い、材料指標141、加工指標142を整備し、これに基づいて、国産針葉樹造林木に適するLVL製造システムの検討を行った。LVLの製造システムは多種多様の形態があり得るが、一例としてスギ間伐材を対象と

したLVL工場を設計したところ、製造コストを7万円/㎡以下に抑えるためには500㎡/月以上の生産規模が必要であることがわかった。

イ 加工製品の性能評価と向上

(ア) 強度性能

スギLVLの静的曲げ試験の結果を製材品と比較すると、LVLの曲げ強さ、ヤング率はともに変動が小さく均一化されていること、曲げ強さは製材品が大きい、ヤング率は同等か、積層数が多いものほど大きくなることを示した。又原木の品質が悪いものほどLVLの曲げ強さ、ヤング率も低下し、原木の品質がLVLの強度に影響を及ぼすことが明らかであった。アカマツLVLの曲げ強さ、ヤング率はスギLVLに比べそれぞれ20%、35%大きく、ヒノキLVLと同等であった。又アカマツLVLの曲げ性能はスギと同様、単板品質が低下すると低下し、単板品質の影響が認められた。LVLの破壊はバットジョイント部で生じるが、バットジョイントを階段状に配置することにより、2層置きに同じ位置に入れたものより曲げ強さが10~20%増加することが明らかになった。LVLの実大衝撃試験において、吸収エネルギーはスギ、アカマツ、ヒノキのいずれの樹種でも荷重方向が単板積層方向と直交したいわゆる平使いが、平行荷重の縦使いより大きい傾向が認められた。疲労試験では含水率の影響が著しいこと、10万回繰返し荷重が作用しても破断しなかった試験体の残存耐力は殆ど低下していなかったが、ヤング率は約15%低下していることがわかった。これらの結果から、LVLを産業用資材として使用しても不利はなく、素材よりも変動が少ないことからむしろ有利である。

(イ) 寸法安定性・表面特性

製造直後のスギ L V L の反り、厚さむら、ねじれなどを測定したが製品の通直性はほぼ良好であり、特にねじれたものは少なかった。しかしアカマツではねじれの大きいものが認められた。吸湿、脱湿に伴う L V L の膨張、収縮にともなう横断面の異方性は素材より小さくなる傾向が認められた。又吸脱湿にともなう L V L の反り量は著しく小さかった。スギ L V L の硬さは素材に比べ板目面で若干劣っていた。アカマツ L V L の硬さはスギの 1.5 倍と評価された。又スギ L V L の耐摩耗性は積層面が板目面より優っていた。アカマツ L V L の耐摩耗性はスギより 20～30% 高かった。

(ウ) 接着耐久性

スギ L V L 合板の接着耐久性はユリア樹脂接着剤で劣化が著しく、フェノール樹脂接着剤が最も優れていた。又接着層の剥離は単板の欠陥部から生じることが明かであった。スギ単板を 3 種類の接着剤により製作した合板を屋外暴露し、接着耐久性を調べているが、3 ヶ月経過した時点ではいずれの試験体も接着層の剥離は認められていない。

スギ L V L を接着劣化促進処理し、接着層の剥離状態を観察したが、水性ビニールウレタン及びレゾルシノール接着剤を使用した L V L は剥離が少なく、ユリアでは剥離が多く、接着剤による差異がみられた。又ホットプレスによる加熱方式で製造されたスギ L V L について劣化促進処理を施し耐久性を調べたが、全体的に良好な性能を示した。ただ加熱時間の影響があり、加熱時間が短いもの程剥離が生じやすい傾向が認めら

れた。アカマツ L V L の接着剥離試験では製造条件が満たされておれば満足すべき結果が得られた。又合板の場合と同様、単板の欠陥部から接着層が剥離した。

(エ) 製品加工性

L V L 表面を研削及び切削仕上げ加工する際の研削量を明らかにした。又 L V L をフィンガー加工した場合、曲げ強さによって求められたジョイント有効率（コントロール材との比）はスギで 76～91%、アカマツで 62～77%であった。

L V L に釘打ちする時、釘打ちに伴う材の割れは釘を打つ位置が材の端及び縁から近いもの程発生しやすかった。又釘の引き抜き抵抗は L V L の板目面で素材同等かそれ以上であるが、木口面は低く、積層面は割れ易く粘りに欠けた。

(オ) 処理による性能向上

L V L を作製するとき、メラミン・ユリア共縮合樹脂接着剤に油性のアミン系の防腐薬剤を混入することにより、防腐効果が認められた。スギ 3 mm、5 mm 単板、アカマツ 5 mm 単板の場合、1 kg/m² の薬剂量で効果があった。接着剤への防腐剤混入に伴う接着力への影響は、水溶性薬剤では接着力が低下したが、乳剤ではほとんど影響がなかった。又加圧処理によって防腐薬剤を L V L に浸透させる際の薬剤注入量は、注入面が板目面の場合不十分であった。

L V L の塗装について、代表的な木材用塗料 4 種を検討した結果、ポリウレタン樹脂塗料が最適であると判断できた。この塗料による塗装

L V Lの寸法安定性は塗布量300 g / m²程度で良好であった。又L V LにP E Gを含浸させて、その効果を検討した結果、P E Gの含浸量が20 %程度であれば良好な寸法安定性が得られたが、このためには刷毛塗りでは不十分で、注入処理を必要とした。

合板の難燃化処理については5種類の薬剤を加圧注入し加熱試験を行った結果、各薬剤とも濃度がこくなるにしたがい防火性能が増すことがわかったが、広葉樹合板に比べ防火性能は劣る傾向がみられた。

4. むすび

わが国においては従来接着製品には主として南洋産広葉樹が使われてきたが、本試験ではスギ、アカマツなどの針葉樹を対象にL V L及び合板を製造し、製造条件、製品の性能などを検討した。その結果、所期の成果が得られ、このような針葉樹材の新しい用途について技術的な指針がほぼ整った。今後国産針葉樹材がこれらの分野にどれだけ需要が進むかは、今後の木材を取り巻く諸般の状況によるが、本研究がそれを進展させる出発点となるものと期待できる。

森林が放出する揮発性物質

林産化学部 木材炭化研究室長 谷田貝 光克

植物が放出するテルペン等の揮発性物質が、抗菌性や去たん性などの薬効を有し、人間の保健に有用であることは古くから知られており、すでに生活の中で利用されているものも少なくない。しかし、これらの揮発性物質は、植物体から分離、濃縮して利用されるものが主であり、大気中でのテルペン等の揮発性物質の作用や濃度についてはあまり知られていない。そこで、森林樹木から放出されるこのような揮発性物質の各種条件下での、濃度、構成成分等について検討した。また、樹木が放出する揮発性物質が、保健休養にいかに関与しているかを実験動物を用いて計測し、さらに、快適性を検討する際の基礎資料とするために、木のにおいに対する嗜好性を調査した。また、木のにおいを含む芳香建材の徐放性についての実験を行い考察した。

スギ、ヒノキ林のテルペン類

スギ林で、TENAX法により10種のモノテルペンを捕集、同定した。 α -ピネン以外は濃度が大変希薄であった。午前11時と午後3時の2回の測定では、全体的に午前の方が濃度が高かった。山腹で最大濃度を示し、頂上部では幾分減少した。道路に近い麓では濃度は低かった。午後も同じ様な傾向がみられた。

ヒノキ林では8成分が捕集、同定された。傾斜地における濃度分布は、スギ林の場合と同様、中腹部で濃度が最大であり、麓では低濃度であった。

立木密度とテルペン濃度

96年生スギ林の、間伐の度合いの強い林、すなわち、強度間伐林(292本/ha)と、間伐の度合いの少ない弱度間伐林(575本/ha)におけるテルペン濃度を比較した(表1)。相対濃度は0.85から2.63の間の値を示しているが、同一時間帯での強度間伐林、弱度間伐林の間の濃度の差は、あまり大きくなかった。弱度間伐林では強度間伐林の約2倍の立木密度になっているが、この程度の密度差は、テルペン濃度にはあまり影響がないといえる。立木密度よりむしろ林内へ入り込む距離の方が、林内のテルペン濃度を大きく左右している。立木密度のかなり高い46年生スギ林(2000本/ha)では、96年生の場合に比べテルペン濃度が高かった。

冬季におけるテルペン濃度

二月、積雪下の各種森林内のテルペン濃度を図1に示す。スギ林、広葉樹林、アカマツと広葉樹の混交林、アカマツ林、マツ孤立木について測定した。スギ林の、林縁から50mほど奥の地点ではテルペン濃度は約1.8ppbで、この値は、夏や秋の2分の1から8分の1程度の濃度にすぎない。広葉樹林は、スギ、マツ林に比べ、全テルペン量がかなり少ない。マツ孤立木周辺の大気中では、捕集されたテルペン類の成分数は少なく濃度も低く、スギ林の場合の5分の1から10分の1の程度の濃度であった。スギ、マツ林では α -ピネン、ミルセンが多いが、広葉樹林ではカンフェンの量が全体に占める割合が高い。樹種による差が大きいことが

わかる。

風とテルペン濃度

アカエゾマツ、トドマツ、エゾマツ、シラカバ林のテルペン濃度を測定したが、いずれも午前中に濃度が高く、気温が上り、風速が大きくなる昼下りに減少した。林内のテルペンは、1 m/秒以下の微風でもかなり拡散され、林内の濃度は大きく影響される。

においの垂直分布

林内に漂うにおいは垂直にはどのように分布しているか、すなわち、枝が出て、葉が茂っている部分から地上までの間ではどのように分布しているかを平坦なカラマツ林で調べたのが表2である。早朝6時には全体のテルペン量が少なく、成分間の濃度の差、高さによる濃度の差はほとんどみられない。しかし、時間が経過し、午前10時頃になり全体の濃度が濃くなるにつれ、各成分間の濃度差が顕著になってくる。また、におい濃度は地上に近くなるにつれ小さくなる。

森林のにおいと保健休養機能

森林樹木が放出するテルペン類が、保健休養に果たす役割を明かにするためにヒノキ、トドマツ葉油の雰囲気中でのマウスの運動量が無臭室内で測定した。葉油の揮散濃度の違いによりマウスの運動量に差がみられた(図2 a, b)。樹種によっても最適有効濃度に違いがみられた。ヒノキ葉油の場合、濃い濃度(3.7 ppm)では一日毎にマウス運動量の減少がみられたが、ppm以下の低濃度では運動量の増減は不規則であった(図

3)。濃度が適当な場合には運動量が増加するが、同じ葉油の香りでも濃度が極端に大きい場合には、運動量にマイナスの効果が蓄積されていくことがわかった。摂食量は一日平均 5 g 程度で、濃い濃度の場合には摂食量の減少とともに運動量の減少、体重増加率の低下がみられた。

木のにおいと嗜好性

人の、木のにおいに対する好き嫌いは、快適性を左右する引き金となることが予想される。そこで、15種の樹木の葉油あるいは材油の好みの香りを複数選択してもらうことにより嗜好性を調査した。ヒノキ、ユーカリ、スギ、ニオイヒバなどが好まれたが、男女の間で差がみられた。

芳香建材の徐放性

多種の成分の混合物であるスギ、ヒノキ、トドマツ葉油を、開放した容器中で室温に放置すると、60日以前では比較的重量減少速度が大であるがそれ以後は非常に小さな減少量を示した(図4)。また、減少速度は必ずしも容器の口の面積には依存していなかった。

次に、精油成分をプリント合板に入れ込み、揮散するにおいの濃度を経時的に測定した。平面6×5m、高さ2.5mの三壁面ににおい入り合板を貼着した場合のにおいの減少速度は、合板貼着初期には合板に含まれるテルペン濃度に大きく左右されるが、約1.5ヵ月後は初期濃度の影響はあまり受けず、かなりゆるやかになり、においは長期間持続することが明らかになった(図5)。

表 1. スギ林における林木密度とテルペン濃度との関係¹⁾

樹 齢		96			46	
林 木 密 度 (林木数/ha)		292 ²⁾	575 ²⁾	575 ³⁾	2000 ⁴⁾	2000 ⁵⁾
		強度間伐	弱度間伐	弱度間伐		
測定時間	午 前 (9-10 時)	1.00	1.68	0.85	2.45	4.00
	午 後 (1- 2 時)	2.23	2.63	2.30	3.17	4.22

- 1) 強度間伐林における午前9-10 時のテルペン濃度に対する相対濃度。
- 2) 林縁から林内へ 30-180m 入った地点。
- 3) 林縁。
- 4) 林縁から林内へ 30m 入った地点。
- 5) 林縁から林内へ 70m 入った地点。

表 2. カラマツ周囲の異なる高さにおけるモノテルペン濃度¹⁾

時 間 地 上 高	6 時			10 時			15 時		
	2m	1m	0m	2m	1m	0m	2m	1m	0m
α-ビネン	2	1	2	17	3	2	6	2	2
カンフェン	1	4	-	2	1	1	1	1	1
β-ビネン	1	1	1	5	1	1	-	-	1
ミルセン	1	-	-	39	-	-	-	-	-
リモネン	4	-	1	31	1	1	1	-	1

1) 濃度単位は 10^{-2} ppb.

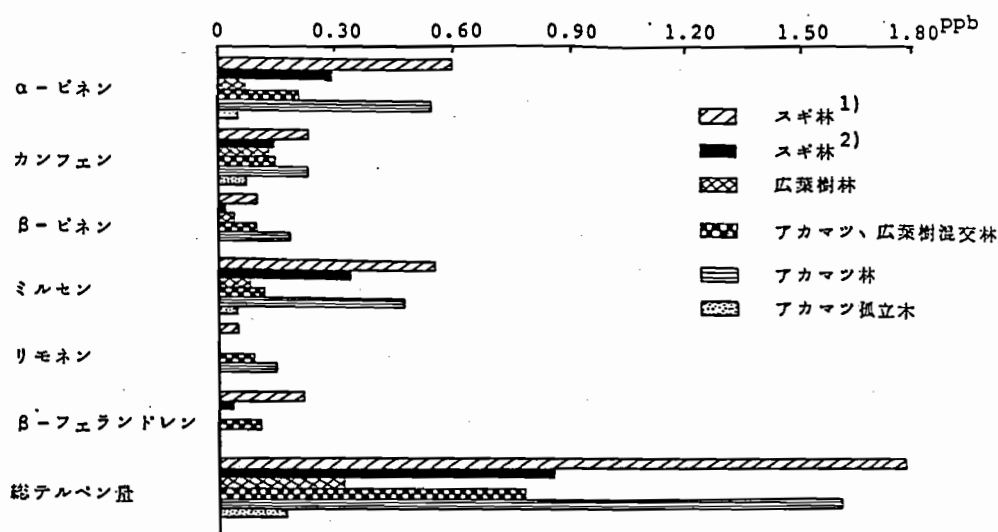


図 1. 樹木が放出するテルペン類

1) 林縁から50m

2) 林縁から30m

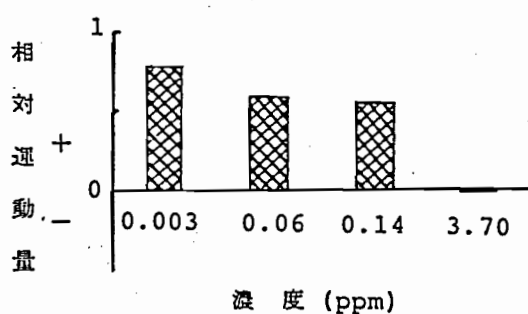


図 2a ヒノキの香りがマウスの運動量におよぼす影響

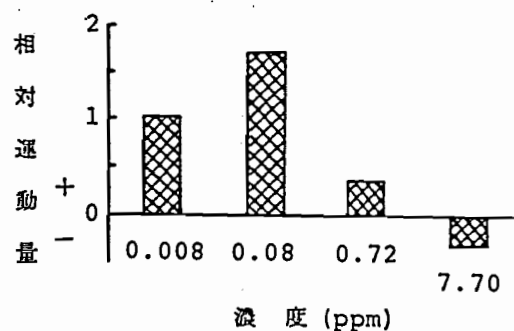


図 2b トドマツの香りがマウスの運動量におよぼす影響

(注) 相対運動量 = $\frac{\text{各濃度における運動量} - \text{コントロールの運動量}}{\text{コントロールの運動量}}$

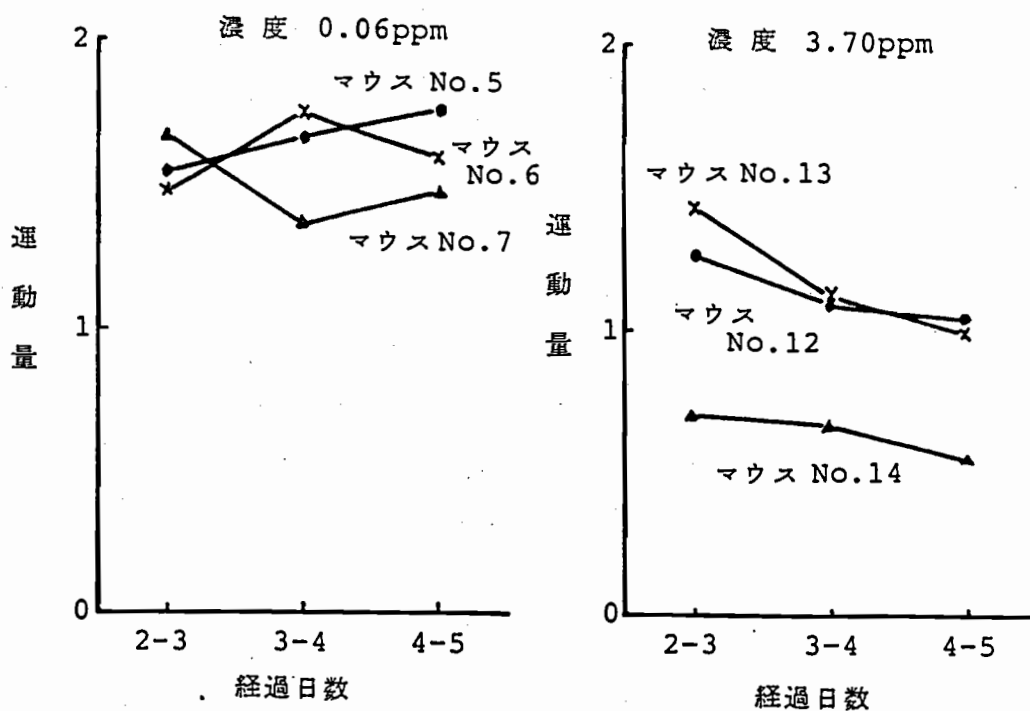


図 3. ヒノキ葉油雰囲気中におけるマウスの運動量

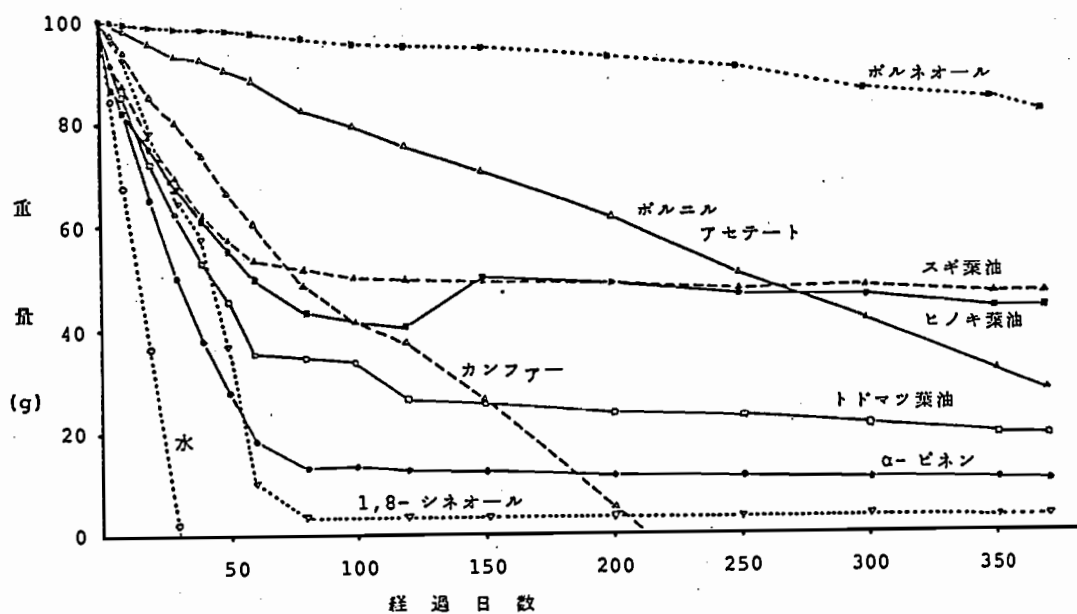


図 4. 精油の揮発性

図は容器(直径 80mm、深さ 105mm)中の精油の重量減少を示す。

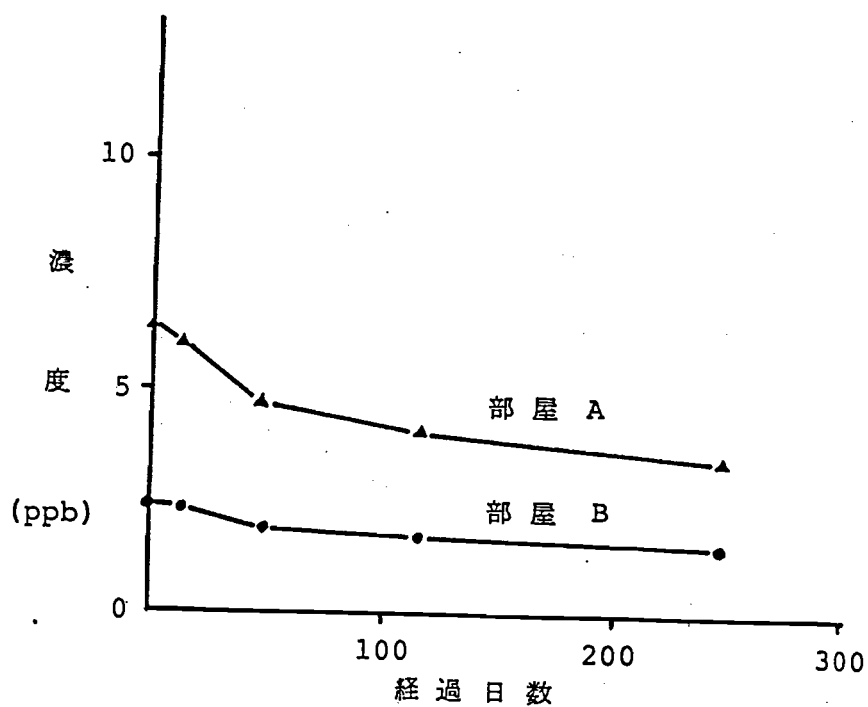


図 5. におい部屋におけるにおいの徐放性

初期における精油量 部屋 A : 274g
部屋 B : 780g

マツの光合成遺伝子の発現機構

造林部 造林科 主任研究官 山本 直樹

DNA組換え技術を用いて光合成に関与する遺伝子の発現機構に検討を加えたところ、マツ類に特徴的な発現様式の存在が明かとなった。ここで得られた知見を林木の遺伝子操作の技術へと発展させたいと考えている。

光合成は光エネルギーを化学エネルギーへ変換する反応であり、当然のことながら明所でおこなわれる。従って、黄化芽生えでは光合成の場としての葉緑体は発達しておらず、光刺激によって初めて葉緑体の形成や光合成系の酵素などが誘導される。この光合成系の発達機構の説明は、光発現遺伝子(Photogene)の概念の導入により可能になった。即ち、光合成系の酵素の遺伝子は暗所では機能せず、明所でのみ発現する。このような発現様式を示す遺伝子群は光発現遺伝子と呼ばれ、最も詳細に解析の進んでいるものとしてリブローズ二リン酸カルボキシラーゼ小サブユニットの遺伝子(rbcS)と、集光性クロロフィル蛋白の遺伝子(cab)を挙げることができる(表1)。

いま説明した光発現遺伝子の概念は、暗所でも黄化しないマツ類には当てはまらないように思われる。すなわち、被子植物の種子を暗黒条件下で発芽させると黄化芽生えが生ずる。しかし、マツ類では黄化せずに淡緑色の芽生えができる。この暗所で発芽したマツの芽生えが緑色を呈するというのは、クロロフィルが生成されているからにほかならず、葉緑体の発達も進んでいるためと考えられる。このように類推すると、マツ類では

rbcSもcabも明暗両条件下で発現していると考えられる。事実、両遺伝子が暗所でも明所と同様に発現していることを以下の実験により明らかにすることができた。

遺伝子DNAの情報は、いわゆるセントラル・ドグマに従ってひとまず mRNAに転写される（転写）。次いで翻訳されてDNAの遺伝暗号に従って各々の機能を持ったタンパク質ができあがる（翻訳）。従って、rbcSとcab両遺伝子の発現を確かめるためには、両遺伝子の転写を示せばよい。転写は幾つかの方法により確かめられたが、ここではcDNAクローンをを用いた例を紹介したい。

逆転写酵素(RNAを鋳型にしてDNAを合成する)を利用してin vitroで合成したcDNA(complementary DNAの略)をクローニングしたときには、cDNAクローンと呼ばれる。私たちはクロマツの暗所芽生えからmRNAを抽出し、これを鋳型としてcDNAを合成した。cDNAを大腸菌プラスミドにつなぎ、cDNAライブラリーを作製した。続いてcDNAライブラリーより両遺伝子のcDNAクローンを単離した。cDNAの単離それ自身が、マツのrbcSやcabの遺伝子が暗所において発現していることを示しているが、cDNAクローンと相補的なmRNA、即ち、両遺伝子のmRNAが発芽後期から明暗の条件にかかわらず増加することを見いだし、暗所における発現に直接的な証拠を得た。

以上のように、私たちはマツ類の遺伝子の発現様式について、被子植物とは明らかに異なった特徴を明らかにすることができた。また、これらの

cDNAクローンについて全塩基配列を決定し、その構造解析も完了させた。

上記の成果の活用について展望を述べることにする。植物の分子生物学の成果の活用方法として、第1に植物の遺伝子操作への貢献が挙げられよう。在来の植物にストレス耐性とか耐病性とかの有用形質を付与して新品種を作り出すための遺伝子操作技術の現状はと言えば、モデル系としては十分に開発されたといってよい。しかしながら、各論となれば解決すべき問題は幾つもある。紙面の関係上全てを系統だてて説明することはできないので、上記の成果との関連で1つの問題だけをとりあげることにする。仮にある育種目標にかなった遺伝子を含む DNA断片を別の生物種から取り出し、次いで育種したい植物にこの DNA断片を導入することに成功したとしても、当初の目標が達成されたことにはならない。導入された DNAが遺伝子として機能しなければ、単なる DNAという物質が染色体に割り込んできたにすぎないということになってしまう。

遺伝子の機能とは何か。セントラル・ドグマに従って考えれば、転写と翻訳の2段階しかないことになるが、細胞内の仕組みはもっと込み入っている。遺伝子の機能を順序だてて要約すると以下のようなになる。先ず遺伝子機能のON/OFFのスイッチがある。光発現遺伝子ならば、明・暗がスイッチとなって転写のON/OFFが決まるが、この調節を引き受けているのは、構造遺伝子（アミノ酸の配列を決定する）に隣接するプロモーターと呼ばれる調節遺伝子領域である。転写後、前駆体mRNAからイントロンが切り捨てら

れ、細胞質へ輸送されて、翻訳される。前駆体ポリペプチドは更に修飾を受けて機能しうるタンパク質になる。また、リブローズ二リン酸カルボキシラーゼ小サブユニットや集光性クロロフィル蛋白のような光合成関連のタンパク質であれば葉緑体まで輸送されねばならない。このような一連の過程の制御もまた、調節領域を始めとする遺伝子DNA鎖上の暗号に支配されている。このように遺伝子の機能を詳細にみてみると、導入された DNA が育種目標にそって機能するためにはそれなりの配慮が必要であろう。

マツの *rbcS* と *cab* について解析が進んだのち、被子植物の光発現遺伝子の発現調節機構に関する解析の成果のと組合せにより、付与する遺伝子の発現を光によって人為的に制御することが可能になるのではないかと考えられる。即ち、被子植物からは、光がある時にだけ発現させる調節領域を単離し、マツからは明暗両条件下で発現させる調節領域を単離する。付与する遺伝子が昼の間だけ機能してくれればよいというような場合には、付与する遺伝子に被子植物の調節領域をつないでから導入すれば良い。付与する遺伝子が夜昼を通じて機能して欲しい場合にはマツの調節領域を組み合わせれば良い。

私達の成果は、①光合成に関する分子生物学的知見として重要であると同時に、②遺伝子付与による育種技術、特に遺伝子の発現制御技術へと発展しうるものである。

光合成系の遺伝子の発現様式

－被子植物と裸子植物(マツ)の比較－

遺 伝 子 (核 / 葉 緑 体)	発 現 様 式	
	被子植物 (明/暗)	裸子植物 (明/暗)
明反応に関与する遺伝子		
1. 集光性クロロフィル蛋白の遺伝子 (核DNA)	ON/OFF	ON/ON
2. 32KDチラコイド膜蛋白の遺伝子 (葉緑体DNA)	ON/OFF	ON/ON
暗反応に関与する遺伝子		
1. リブロース二リン酸カルボキシラーゼ の小サブユニットの遺伝子(核DNA)	ON/OFF	ON/ON
2. リブロース二リン酸カルボキシラーゼ の大サブユニットの遺伝子 (葉緑体DNA)	ON/OFF	ON/ON