

林業試験場創立 80 周年記念

研究成果発表会講演要旨

日 時 : 昭和60年11月8日(金) 13:30~17:00

場 所 : 東京農林年金会館「葵の間」(本館1F)
(東京都 港区 虎ノ門 4 - 1 - 1)

農林水産省 林野庁 林業試験場

目 次

開会挨拶 場 長 難波 宣士

1. スギ・ヒノキの複層林施業 1

四国支場 造林研究室長 安藤 貴

2. 土壌特性を指標とした水保全機能の評価 7

土壌部 土壌第三研究室長 有光 一登

3. 建築用木材の強度性能評価法 15

木材利用部 構造性能研究室長 畑山 謙男

4. 木質成分の総合利用 21

林産化学部長 石原 達夫

5. バイオテクノロジーによる林木の大量増殖 27

造林部長 浅川 澄彦

閉会挨拶 次 長 蜂屋 欣二

(注) 1 課題 講演 30分 質疑 5分

スギ・ヒノキの複層林施業

四国支場 造林研究室長 安藤 貴

○ はじめに

複層林施業は地力維持、寒害回避、下刈りの省力、同一林分から多様な木材生産が可能等生産面での利点があるだけでなく、非皆伐施業をとることができるので、公益的機能の維持増進もはかれるという効用がある。ただ、複層林施業の経験も限られており、その研究成果も乏しい現状では、今後の急速な研究による施業法の確立が望まれている。

林業試験場ではスギ・ヒノキの複層林施業の研究に1960年代後半から着手し、1975年プロジェクト研究「人工林の非皆伐施業に関する研究」が発足してから研究活動は著しく活発となっている。研究内容は多岐にわたるが、ここでは複層林への誘導、更新、保育管理の諸技術に関連したスギ・ヒノキの針葉樹複層林に関する研究成果の一部を紹介する。

1. 庇陰下におけるスギ・ヒノキの生長特性

庇陰試験の結果からスギ・ヒノキの生存限界の明るさを求めた結果を相対照度で示すとスギ5%、ヒノキ3%程度とされている。林内に植栽した場合もスギ・ヒノキとも相対照度が10%に近づくと一部が枯れ、落葉が多くなり、5%に近くなると枯損木が発生し、実験による生存限界の照度とほぼ一致する。スギやヒノキが生存しうる限界の照度は一般に5%、障害をうけずに生育できる限界は10%強と考えてよいが、スギでは品種・系統により耐陰性に差が認められる。表1に四国産精英樹65クローン・

系統（オープン種子による実生を含む）を相対照度約5%の林内に植栽し、耐陰性を検討した事例を示す。枯損率が0から100%のものまであり、オープン種子の実生苗は挿木によるクローンに比し耐陰性が高いようである。また、苗木に梅雨時の異常多雨や湿潤立地に低照度が重なると陰湿害（仮称）という生理障害がおこり枯損が助長される（図1）。陰湿害はスギよりヒノキに多く、ヒノキの陰湿害を回避するためには相対照度を15%以上に維持することが必要である。生存可能な林内照度の下でも暗いほど植栽木の生長は抑制される。裸地の生長に対し林内植栽木の生長がどのくらいの割合になるかを相対照度別に求め表2に示す。

2. 林内の光環境

複層林施業では前述のとおり光環境によって下層木の生長が支配される。植栽木が正常に生育できる限界以下の照度の林分や、短期間に照度が低下すると予想される林分では下木の植栽前に照度の調節を必要とする。照度の調節は枝打が間伐で行う。上層木がまだ若齢で無節材の生産が考えられる場合は枝打でも良いが、壮老齢林では無節材生産は困難で、かえって枝打による変色の発生により材質を大幅に低下させた事例もあるので枝打の実行には注意を要する。間伐で照度を調節する場合は間伐材が利用径級に達していることが望ましい。間伐後の林の密度と相対照度との関係は表3に示される。林内の相対照度は林分構成や測定条件が同じでも南面は北

面より大きな値となり、この差は傾斜角が急になるほど大きくなる。表を作るのに用いた資料の最大傾斜角はスギ35度、ヒノキ30度であった。したがって表3の最高値はこれら傾斜の南面、最低値は北面を示し、緩やかになるに従って平坦地の値と考える平均に近づく。この表は間伐による照度のコントロールに役立つ。

間伐で照度を調節しても、時間の経過とともに葉量が回復し、年々相対照度は低くなる。上層木がスギの場合（1972年の林齢74年、平均樹高30m強）の一例を図2に示す。これまでの事例から間伐後の相対照度の経年変化について次のことがいえる。

- ① 照度の低下は間伐直後に大きい。
- ② 間伐が繰り返されると、後の間伐ほど照度の低下は小さい。
- ③ 上層木がスギよりヒノキの場合に照度低下は小さい。
- ④ 林齢が若く、地位が高いほど照度の低下は大きい。
- ⑤ 明るい林分や暗い林分より中間の場合が照度の低下は大きい。

3. 雑草木の再生量と下刈りの関係

複層林施業に対しては下刈り省力の期待が大きい。照度が比較的安定している林分についてみると、相対照度が5%以下では林床植生量は著しく少なくなり、1~2%で皆無となる。照度が10%前後では植生で林床が一緒におおわれるが、20~25%程度までは林床植生量はそれほど多く

ならない。そのため下木を植栽しても下刈りを省略できる場合が多い。照度が30%を越えると陽性の植生がふえ、下刈りが必要となるが、その場合でも皆伐地に比べると植生量が少ないため下刈りの省力は可能である。一方、密度が高くて林床植生の乏しい林分では、間伐により相当明るくしても植生の繁茂に時間がかかり数年間は下刈りを要しない。林床植生量と下刈りの関係を調査した事例を図3に示す。これらの林分の相対照度の変化は図2に示したものである。相対照度の高いところほど植生の回復が早く、下刈りを必要とする時期も早い。

○ おわりに

単層林から複層林に誘導するには先ず林内に更新しなければならないが、これまで述べたことを基礎にして、下木の植栽から下刈り等の初期管理を終える段階までの技術の体系化ができる。その後の複層林としての維持管理技術についてもこれまで得られた結果の一部は役立つが、さらに研究を進展させ複層林施業技術の全体的な体系化をはかる必要がある。また、他樹種による複層林については最近話題になっている広葉樹も含めて研究をすすめたいと考えている。

表1 四国産スギ精英樹クローン等の耐陰性 (安藤ほか, 1983より作表)

枯損率 (%)	クローン・系統名
0	*安芸104, *土佐1, *安芸8, *幡多8, 北宇和6, 周桑19, 中村3, 三好10, 幡多2, 宇摩3,
1~10	*魚梁瀬115, 川崎2, ヒズモスギ, 周桑16, 土佐3, 高岡7, 安芸(民)10, 安芸(民)7
11~20	周桑17, 那賀37, 三好5, 那賀7, 周桑14
21~50	窪川2, 周桑1, 海部8, 上浮穴5, 上浮穴1, 川崎5, 新居2, 川崎4, 吾川4, 周桑15, 周桑10, 川崎3, 大正3, 馬路2, 那賀19, 那賀42, 三好2, 喜多1, 海部3, 三好3, 大正1
51~80	三好9, 勝浦3, 須崎3, 周桑20, 海部16, 土佐1, 影山1, 須崎2, 野根1, 安芸(民)3, 幡多10, 大槌1
81~100	周桑7, 高岡17, 三好4, 温泉1, 高岡6, 土佐2, 奈半利2, 周桑4, 仲多度2

* 精英樹オープン種子による実生苗

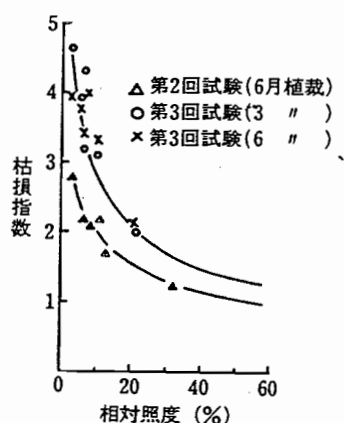


図1 相対照度と枯損指数
(尾方ほか, 1983)

表2 林内植栽木の相対照度と樹高および直径
生長の抑制率(河原1983の式から筆者計算)

相対照度 (%)	スギの生長抑制率		ヒノキの生長抑制率	
	樹高 (%)	直径 (%)	樹高 (%)	直径 (%)
10	39	27	47	34
20	59	43	67	53
30	71	54	78	66
40	79	62	84	75
50	84	67	89	82
60	89	72	92	87
70	92	76	95	91

表3 スギ林とヒノキ林の間伐後の収量比数と林内相対照度
(スギ: 安藤1983, ヒノキ: 上中ほか1983)

収量比数	スギ			ヒノキ		
	相対照度(%)			相対照度(%)		
	最低値	最高値	平均	最低値	最高値	平均
0.4	35	75	55	32	77	55
0.5	25	68	47	19	68	44
0.6	17	60	38	12	59	36
0.7	12	53	33	8	48	27
0.8	7	40	23	6	35	21

収量比数: ある樹高のときの最多密度の林の蓄積に対する
現実の林の蓄積の割合で、林の相対的な密度を
あらわす。表の値は一般林分密度管理図(全国)
による。

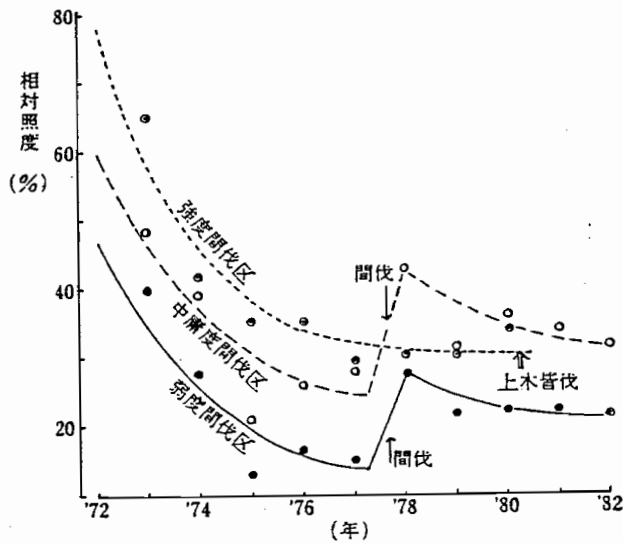


図2 スギ林の間伐後の林内相対照度の経年変化
(安藤ほか1983に加筆)

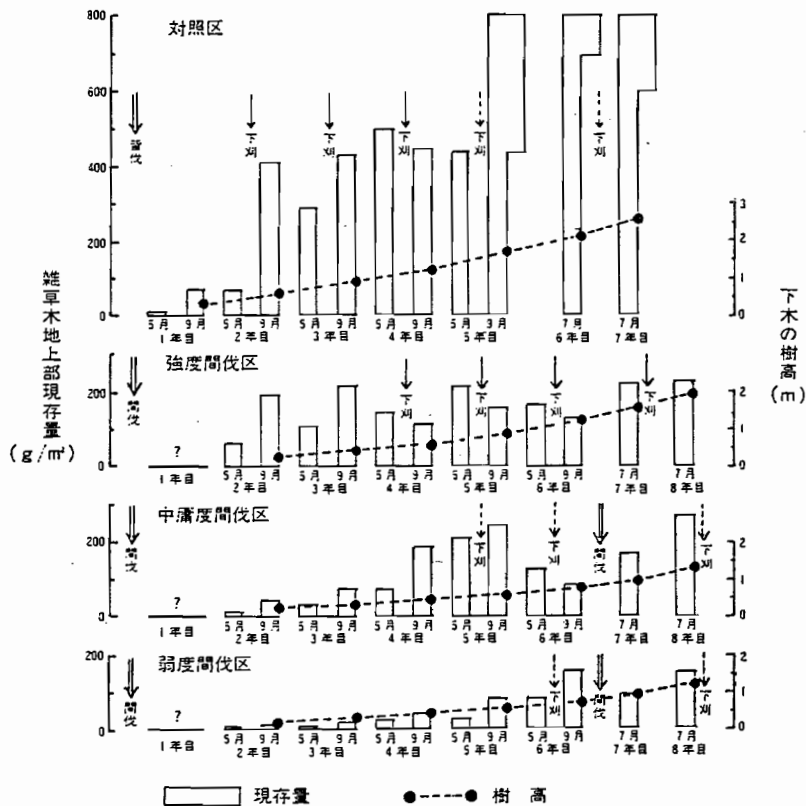


図3 雑草木地上部現存量と下木の樹高の経年変化(安藤ほか1983)
対照区の皆伐と間伐区の間伐実施年度に1年のずれがあるが、
下木の植栽は同一年度に行われた。同じ年度に皆伐および間伐
が行われたものとして図化したので植栽年にずれができた。

土壌特性を指標とした水保全機能の評価

土壌部土壌第三研究室長 有光 一登

水資源の不足が顕在化し、渇水、節水さわぎがおこるたびに、水資源の保全に関連して森林の保水力、森林の水かん養機能が注目を集める。森林に降水としてもたらされた水は、蒸発散と地表面流去で失われるもの以外は、土壌水帯、中間水帯の孔隙に保持され、あるいは下方へ浸透し、また中間流として側方へも流下する（図－１）。森林の保水力、水かん養機能には森林土壌の孔隙組成が大きく関与している。水かん養機能は直接流出量（地表面流去と早い中間流出の量）を少なくし、基底流出量（地下水流出と遅い中間流出の量）を増大させるはたらきである。言い換えればできるだけ長い時間土壌水帯・中間水帯の孔隙に水を保持しておく保水力のはたらきにほかならない。

土壌水帯・中間水帯の保水力は、そこにある大小さまざまな孔隙の量に左右される。粗大な非毛管孔隙の中を動く水は、重力水として速やかに下方に浸透するか速い中間流となるが、毛管孔隙の中を動く水（毛管移動水）は毛管力がはたらいで水の動きは遅く、ゆっくり下方へ浸透するか遅い中間流になる。毛管力が重力を上回ると毛管孔隙中の水は動かない。孔隙の大きさとその中に含まれる水の状態、その結合力の強さの関係を表－１に示す。

非毛管孔隙量・粗孔隙量・細孔隙量などの孔隙組成は、一定容積の採土

円筒で採取された自然状態の土壌試料を用いた一連の孔隙解析の手順で計量される。土壌の孔隙を $pF 2.7$ を区分点に細孔隙と粗孔隙に区分する簡便な方法が開発され、それが広く一般に森林土壌の孔隙解析に使われて、全国各地の民有林、国有林の土壌の層位別の細・粗孔隙のデータが蓄積されていった。また民有林・国有林の土壌調査が長年にわたって推進された結果、現在では面積にして民有林の 51%、国有林の 83% の土壌の分布が調べられ、その孔隙組成が大略わかる段階まできている。一方では、類似の土壌型に類別される土壌であっても、その母材の違いによって孔隙組成に大きな相違のあることも明かにされた（図-2）。

このような全国各地の各種森林土壌の分布と、細・粗孔隙組成のデータを使って土壌の貯水量を計量する手法が開発され、これによって森林の公益的機能計量化調査が行われ、森林造成維持費用分担調査などで森林の水保全機能が評価された。この評価手法を開発した真下は貯水率と貯水量を(1)、(2)式のように表した。さらに全国の地域別地質・母材の分布率に地域別森林面積を乗じ、地域別の地質面積を求め、これに単位面積当りの地質別貯水量をかけて全国森林土壌の貯水量を地域別・母材別に算出している。またその総計として全国森林土壌の貯水量の総量を 482 億トン、東京都小河内ダムの貯水量の 250～260 倍と算出している。また

森林造成維持費用分担調査でも主要河川の流域の森林土壌の貯水量を同様の手法でもとめ、流域の森林の水保全機能を2 km×2 kmのメッシュごとに評価する手法を試みた(図-3)。

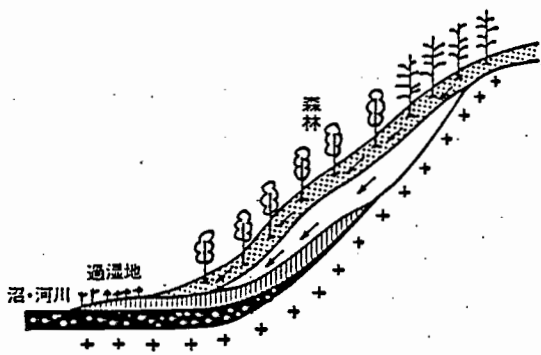
土壌中の重力水もしくは中間流の動態をしらべることも、保水力の側面を知る上で大切なことで、この面の研究も行われた。簡易なライシメーターを使って実際に林地で計測してみると、A層では非毛管孔隙の多少に応じて捕集される重力水、中間流は供給される降水量と一定の関係を保って計量される(図-4)が、B層以下ではほとんど計測されない場合も多い(表-2)。B層以下では水は遅い中間流として毛管孔隙の中をゆっくり流下してライシメーターには捕集されないとみられる。毛管孔隙の土壌水流出に及ぼす効果は、ナイロンロープを毛管にみたてた実験によって、図-5、6のように検証されている。毛管孔隙の量が多く、長さが長いほど、供給された一定量の水に対してより多くの水が徐々に排出されることが明かで、土壌の孔隙の水かん養にはたす役割を示している。土壌の孔隙組成と保水力、流出特性との関係を解析するためには、流出特性が把握されている流域で、土壌の分布、表層地質、土層の厚さ、孔隙組成、地形などの精密なデータを集める必要がある。幸いに林業試験場では宝川、釜淵、岡山など各水文試験地で流出特性のデータが集積されてきた。現在宝川試験

地の一部小流域について流出特性と土壌孔隙組成との関係を解析中であるが、この研究は緒についたばかりである。

流域の流出特性と土壌孔隙組成との関係の解析は、すでに九大の竹下の手で進められている。竹下は土壌の孔隙を細孔隙、粗孔隙、粗大孔隙、大孔隙に4区分し、C層を含めた各層位の厚さを乗じて孔隙量を算定している。最小容気量相当の大孔隙を中間流成分の貯留と排水組織を形成するものとして評価、計量しさらに傾斜度を考慮して短時間貯留容量と長時間貯留容量を区分して計量した。

このような手法によって流域全体の流出・貯留特性を解析することが可能である。すでにこの種の解析と評価に電算機を導入する試みも行われ、更に進んで土壌孔隙組成を組みこんだ流出機構のモデルが作られ、モデルの有効性の実証のため実際の流出特性のデータとの比較検証が行われ、降雨パターン毎のシミュレーションも行われている。

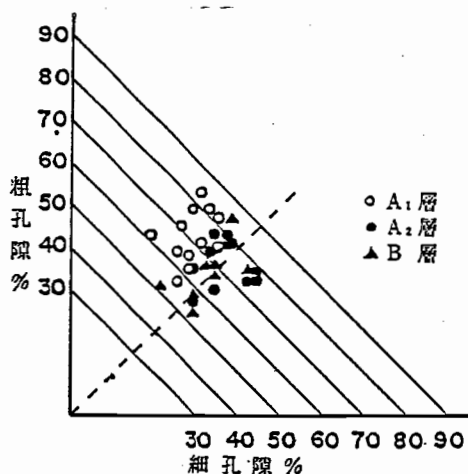
以上の事例からも理解されるように森林土壌の孔隙解析のデータを用いた保水力評価は、森林の水保全機能の評価の有用な手段であり、林業試験場でも重点課題として研究が進められつつある。



土壌水帯 上座毛管水帯 基岩
 中間水帯 地下水帯 中間流
 図-1 最小単位斜面の水文学的区分 (塚本 1966 原図)

表 - 1

pF 値	-∞	0	0.2	0.5	1.6	1.8	2.7	4.2	7.0
バール	0	0.001	0.002	0.004	0.04	0.06	0.5	15	
水柱高 (cm)	0	1	1.6	3.5	40	63	500	15,848	
孔隙径 (mm)	∞	3.0	1.9	0.9	0.08	0.05	0.006	0.0002	
水分恒数	← 最小容気量				圃場容水量 毛管移動停止点 永久しおれ点 絶乾				
水の状態	重力水 (非毛管水)				毛管移動水		毛管非移動水	吸湿水	
孔隙区分 (真下氏)	粗 孔 隙				粗 孔 隙		細 孔 隙		
孔隙区分 (竹下氏)	大 孔 隙		粗 大 孔 隙		粗 孔 隙		細 孔 隙		



(符号は図-2-1 から図-4-2 まで共通)
 図-2-1 秩父地域中古生層母材の土壌 (Bd~Be) の孔隙解析

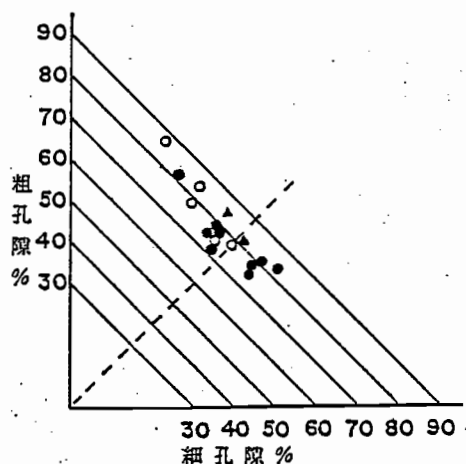


図-2-2 秩父地域火山灰母材の土壌 (Bd~Be) の孔隙解析

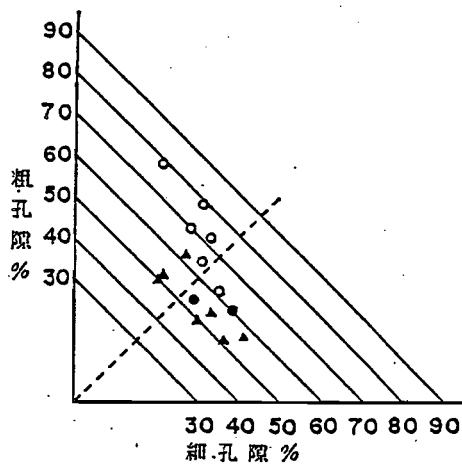


図-2-3 秩父地域変成岩母材の土壌 (Bd~Be) の孔隙解析

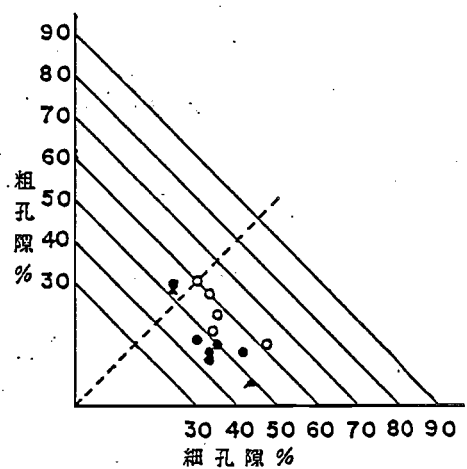


図-2-4 秩父地域三紀層母材の土壌 (Bd~Be) の孔隙解析

$$\begin{aligned} \text{貯水率}(\%) &= \text{粗孔隙率}(\%) - \text{最小容気量}(\%) \\ &= pF \ 0 \sim 2.7 \text{ の水分量}(\%) \quad (1) \end{aligned}$$

(最大容水量相当の pF 値をゼロとしている)

次に土層 (A層+B層) の厚さを平均 1 m とみなして、単位面積当たりの土壌の貯水量を、上層 20 cm・中層 20 cm・下層 60 cm の土壌の貯水率から次のように求めた。

$$\begin{aligned} \text{貯水量}(\text{m}^3/\text{m}^2) &= 1 \text{ m} \times \{0.2 \text{ m} \times (\text{上層の貯水率}) \\ &\quad + 0.2 \text{ m} \times (\text{中層の貯水率}) + 0.6 \text{ m} \times (\text{下層の貯水率})\} \quad (2) \end{aligned}$$

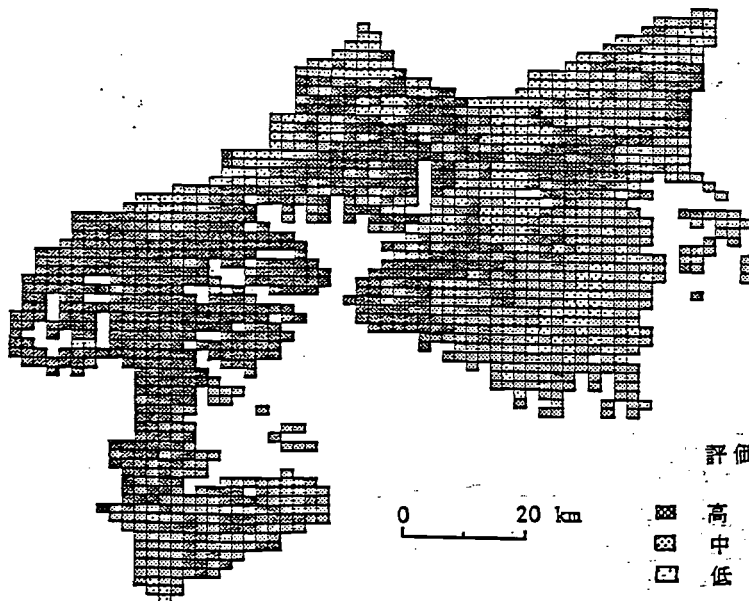


図-3 メッシュ法による水源かん養機能の評価

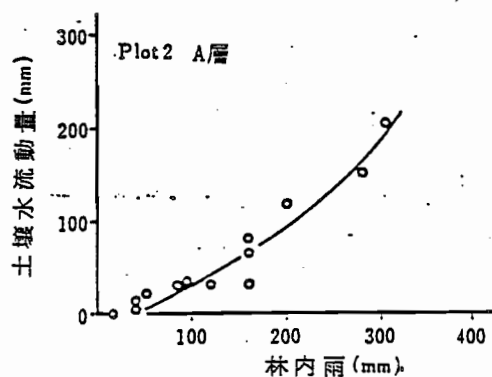
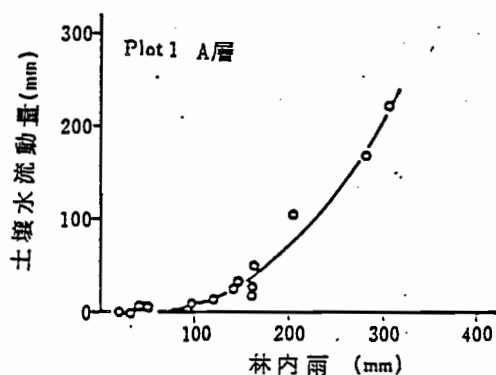


図 - 4 林内雨量と土壌水流出量の
関係 (塩山試験地)

表 - 2 . 土壌各層位の土壌水流出量, 林内雨量, 降水量の変動

(mm)

試験箇所 Plot	層位 Horizon	1972							1973							
		V 5.11 6.13	VI 7.16	VII 8.1	VIII 8.31	IX 10.6	X 11.7	XI 12.7	IV 4.3 4.26	V 6.5	VI 7.4	VII 8.3	VIII 9.7	IX 10.8	X 11.1	XI 12.1
Plot 1 B _{1c}	A ₁	51	223	106	12	171	2	1	197	4	25	8	18	12	28	0
	A ₂	28	104	39	7	64	0	1	85	5	6	4	17	5	20	1
	B ₁	0	89	13	0	110	0	1	5	0	0	0	0	0	0	0
Plot 2 B _{1s}	A ₁	65	205	121	32	149	17	3	280	20	33	6	80	31	37	3
	A ₂	20	128	33	6	107	0	1	51	0	11	2	14	0	38	0
	A ₃	7	79	42	0	79	0	1	60	0	0	0	0	0	10	1
林内雨		157	279	199	86	278	37	21	162	78	159	39	158	119	93	16
降水量*		175	287	234	113	303	68	30	144	123	188	47	212	146	123	**
Plot 3 B _D	A ₁	73	269	206	31	156	8	5	62	10	82	8	74	26	51	2
	A ₂	33	140	96	7	119	0	3	132	25	63	0	52	8	49	0
	A B	4	59	38	1	18	0	0	0	0	6	0	0	0	8	0
林内雨		143	253	201	106	215	49	40	212	115	192	44	165	106	68	29

* 落合気象観測所のデータ

** データーなし

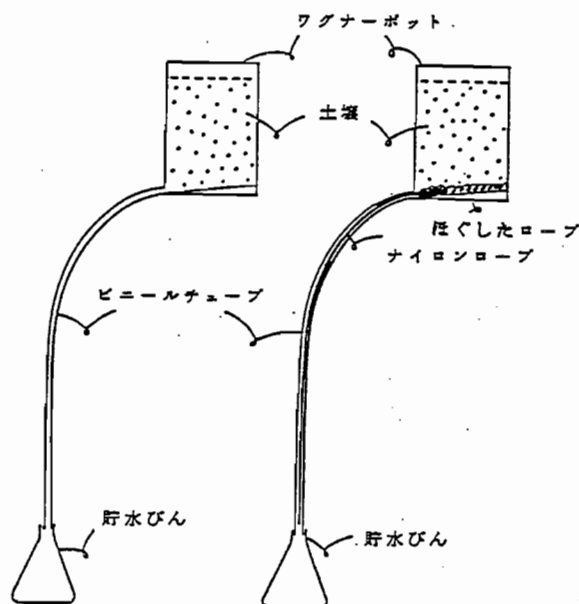


図-5 キャピラリーライシメーター試験-1 に
用いた装置

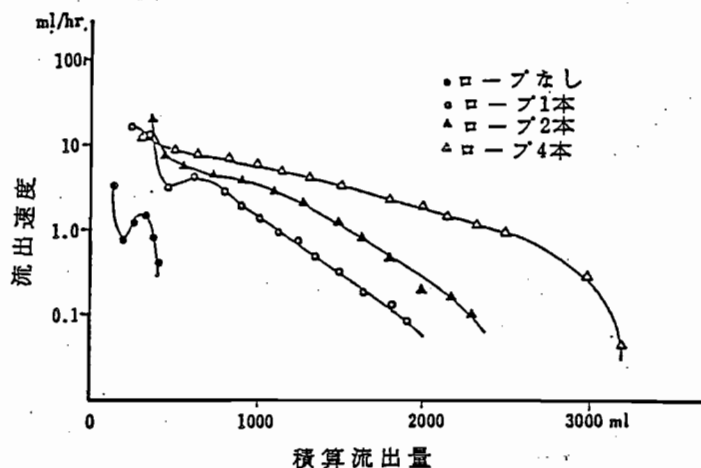


図-6-1 キャピラリーライシメーター試験-1
ロープキャピラリーライシメーターの積算
流出量と流出率の関係

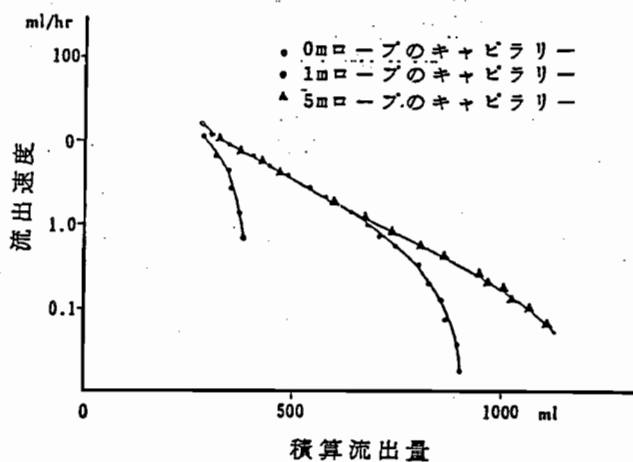


図-6-2 キャピラリーライシメーター試験-2
ロープキャピラリーライシメーターの積
算流出量と流出率の関係

建築用木材の強度性能評価法

木材利用部 構造性能研究室長 畑山 蟻男

我が国における製材生産量の75%が建築用材である。住宅建築での製材使用量の構成比をみると、構造材が約67%、造作材18%、下地材14%、仕上材1%で、大半をしめている構造材というのは、土台、柱、はり、床組、小屋組などのように強度性能が要求される耐力部材のことである。

建物の構造計算から各構成部材の負担力が求められ、外力が加わったとき支障になるような変形を生じたり、破損が生じたりしないように適切な材料を配置することによって構造上安全で、しかも経済的な建物の建設が可能になる。

木材の強度性能は樹種や生育条件、欠点などによっても異なり、かなり複雑であるために、当场では重要な課題として早くから取り上げ、多くの研究を行ってきている。これらの成果は昭和49年の枠組壁工法構造用製材、昭和56年の製材の強度等級区分のJAS、建築基準法、建築学会木構造設計規準の「木材の許容応力度」等に反映されている。

言うまでもなく木材は天然の産物であるために種々の欠点を含んでいるが、強度に最も大きな影響を与えるのは節の存在である。従ってJASの針葉樹製材でも節の大きさによって3つの等級に区分されており、海外でも節の大きさを基準に強度の区分が行われているのが一般である。ところ

で、有節材の強度を米国のASTM規格では、節の分だけ断面が欠損していると仮想して推定する方法を採っている。我が国では製材規格と許容応力度との関係は必ずしも明確ではないが、やはり節を断面欠損として扱う考え方をとっているといつてよい。しかし、節を断面欠損として扱っただけでは実際の強度とあわないことが多くの研究者によって指摘されている。節の存在による強度低減は節が応力を伝えない場合は、その部分を欠損と考えてよい。更に節周辺の繊維が乱れていて、通直な繊維に負荷したときのような強度を発揮しない部分があるから、この両者を同時に考慮しなければ有節材の強度を解明できないことは明らかである。しかし、今までこのような研究はほとんど行われていない。本研究は引張試験によって節周辺における繊維走向傾斜の大きさやその範囲についての法則性を解明し、それに基づいた有節材の引張、圧縮、曲げ強度推定法について検討したものである。

今までの多くの実大強度試験から、節周辺における繊維走向の傾斜の程度が、樹種や生き節、死節のような節の質によっても異なることが十分予想できる。そこでベイツガ、ベイモミ、スギ、アカマツの4樹種を採り上げ、大きさの異なる生き節、死節について節の周りの材を細分して引張り、破断したところの繊維傾斜角(θ)を測定した結果、 θ の分布はTable 1、Fig. 1に示したような双曲線関数によくのることがわかった。この実験から更に θ と引張強度($\sigma_{t\theta}$)、引張ヤング係数($E_{t\theta}$)との関係式を求めること

によって、どの樹種で、どのくらいの節があった場合、その材の横断面で $\sigma_{Et\theta}$ および $E_{t\theta}$ がどのような分布になっているかが計算できる。このような材を引張ったとき、応力は $E_{t\theta}$ に比例するものとして節を含む断面における応力分布を仮想し (Fig. 2)、各層の $\sigma_{Et\theta}$ を超えたところから順次破断していくものと考えれば、破断進行の過程で全断面に占める最大応力の値がすなわち節を含む断面の引張強度と考えることができる。このようにして求めた有節材の引張強度の推定値と実験値との比は、平均 0.94 (CV=0.13) となり、よく一致することが確かめられた。節そのものは生き節でも、ほとんど引張強度はなく、あなと見てよいが、節周辺の繊維傾斜の影響を加えたことによって推定値の精度を格段に向上させることができた。なお ASTM による推定値と実験値との比は、平均 1.50 (CV=0.34) となって、実際よりもかなり過大に評価されることが判った。

有節材の圧縮強度についても同様の手法で解析を行った結果 (Fig. 3) 推定値と実験値との比は、平均 0.99 (CV=0.08) と極めてよく一致した。

有節材の曲げ強度の推定値と実験値との比は、平均 0.91 (CV=0.17) でこれもわりあいよく一致した (Fig. 4)。

実験の一部を示したものが Fig. 5、である。引張強度比というのは、節がなかったとしたときの引張強度に対する比である。Fig. 6 の曲げ強度では、ASTM の線よりはかなりよくなっているとしてもなおバラツキが多い。これは一つには節の大きさの測定法に問題があると考えられる。現

行の製材の規格では、節の大きさを材面に現われた節の接線径で測ることになっていて、Fig. 7に示したような3種類の節については全部、強度比を同格に扱うことになっているが、Fig. 8に示したように、強度比は、 $(1) > (2) > (3)$ になるはずである。Fig. 6の横軸の節径の値は、製材の規格の方法で測ったもので、もし節径の評価を適切に行えば、もっと良くあうものと考えてよい。今後、この研究の考え方を採り入れて製材規格における節径の評価方法を改善する必要があると考えられる。

最近コンピュータの発達とともに木構造の設計や計算も大きく進展しているが、木材の強度に対する信頼性が必ずしも十分ではなく、過剰で不経済な断面になっていたり、逆に危険な使われ方がされていることさえある。そのため視覚だけでは判断の難しい欠点の存在や過大に評価されている不合理を補う目的で、木材の曲げヤング係数と強度とに相関のあることを応用したマシングレーディングの方法や、使用条件に近い荷重を実際に加えて材料強度をチェックするプルーフローディング（保証荷重載荷）の方法も採用されつつある。木材資源を有効に利用するためには、目的に応じて強度等級区分を行うことによって適材を適所に使えるようにすること。更に木構造を発展させ木材の需要拡大を図るうえからも種々の強度等級区分法の長所を採り入れることによって、木材が強度に対して高い精度をもった信頼性のある材料として提供できるような体制を整えていく必要がある。

Table 1. 節周辺の繊維走向の傾斜 θ
 N 値

$$\theta = \frac{15\sqrt{N\phi}}{\sqrt{x}} - \frac{\phi}{2} - 5$$

θ : 節周辺における繊維走向の傾斜 (deg.)

N : 樹種および節の品質によってきまる定数

ϕ : 節の平均接線径 (cm)

x : 径節の端からの水平距離 (cm)

N

樹種 Species	生節 Intergrown knot	死節・抜節 Dead knot & Knot hole
ベイツガ Hemlock	1.25	1.20
ベイモミ Fir	1.20	1.10
スギ Sugi	0.95	0.95
アカマツ Akamatsu	1.30	1.10

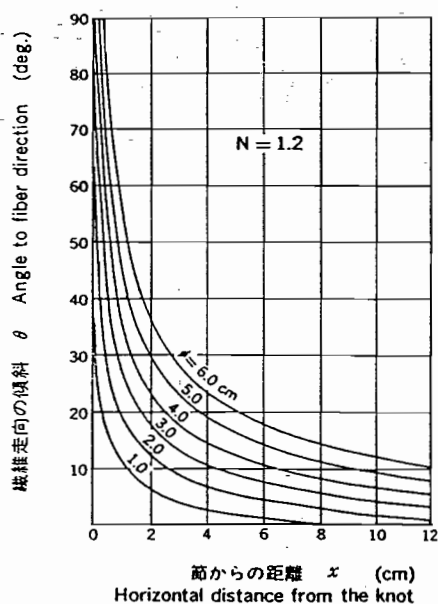


Fig. 1 節周辺における繊維走向の傾斜の分布

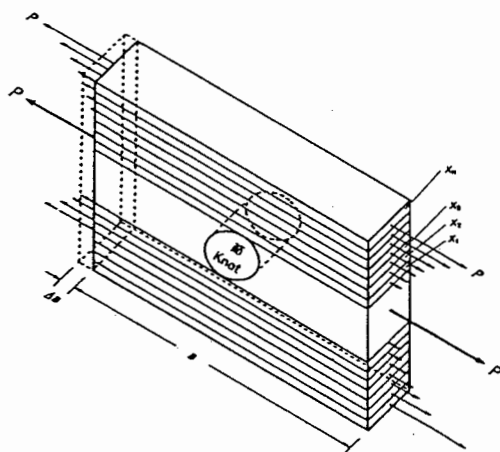


Fig. 2 有節材の引張による伸びおよび荷重分布

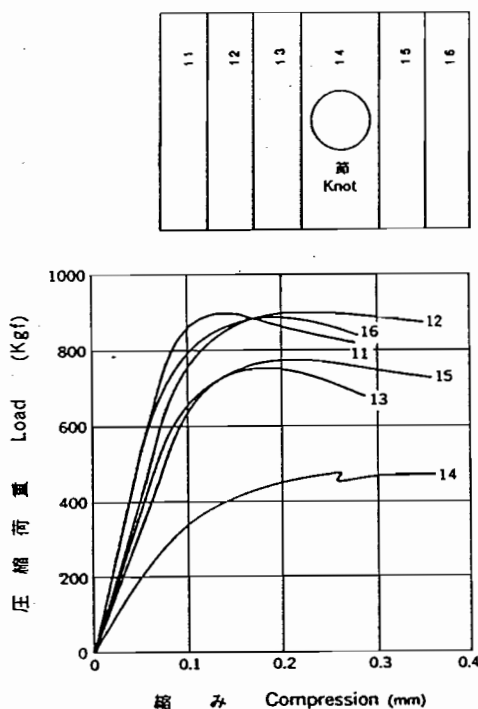


Fig. 3 節周辺材の圧縮試験における荷重-縮み線図

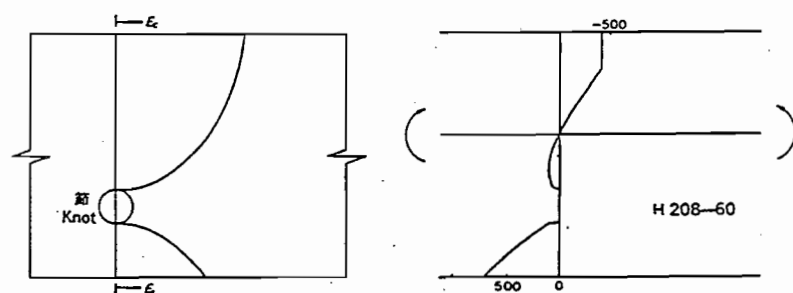


Fig. 4 有節材の曲げにおける有節材のヤング係数および応力分布
 中間の横線は中立軸、応力0のところが節の位置
 正数値：引張応力 (kgf/cm²), 負数値：圧縮応力 (kgf/cm²)

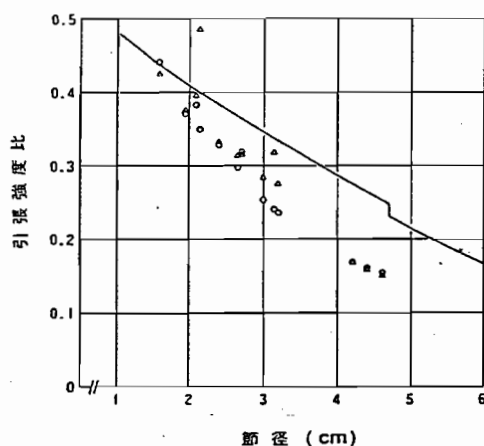


Fig. 5 節径と引張強度比との関係
 スギ, 断面 2×9.5 cm
 △: 実験値, ○: 推定値, 曲線: ASTM

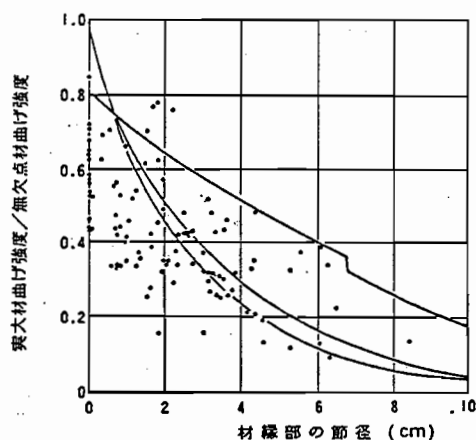


Fig. 6 ベイツガ 208 材の材縁部の節と曲げ強度との関係
 太い曲線: ASTM
 細い曲線(上): 推定値死に節の場合
 (下): 生き節

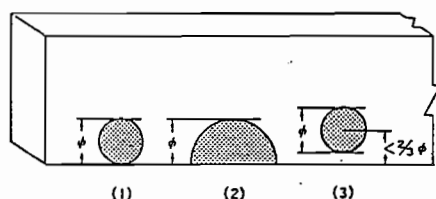


Fig. 7 現行、製材規格の材縁節の節径 (φ)

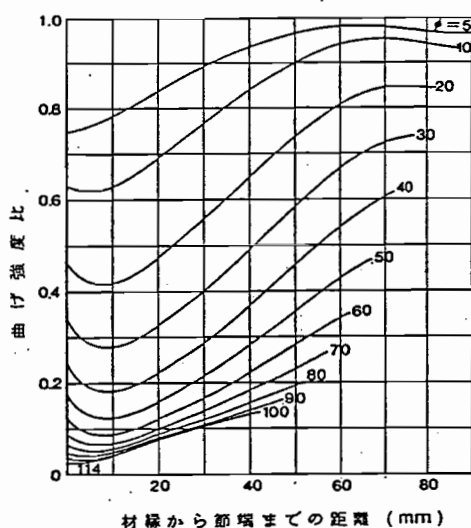


Fig. 8 節径および節の位置と曲げ強度比との関係
 (ベイツガ 208 材の生き節の場合、φ: 節径 mm)

木 質 成 分 の 総 合 利 用

林産化学部長 石原 達夫

林業白書に延べられているように、我が国の森林資源は成熟しつつあり、近い将来、国産材時代の到来が期待されている。一方、現在我が国の木材消費の2/3を供給している外材の圧力は、我が国の森林資源が充実したからといってもなくなるものではない。しかも、今後は原木輸入よりも製品輸入の圧力がますます強くなる傾向にある。

現在、木材価格の低迷や林業経営費の増加等により、林業家から木材流通業者、木材加工業者にいたるまで林業、林産業の停滞をきたしている。このような状態を打開し、国産材時代を実現するためにはどう対処すべきかは白書に延べられている通りであるが、その一つが木材の需要拡大である。木材の需要拡大にもいろいろな方法が考えられているが、木材の新用途の開発、特に間伐材や低質広葉樹を利用して付加価値の高い製品を作り出すことが望まれる。現在木材の利用は2/3がそのかたちや構造を生かして、建材等に利用され、1/3がかたちをかまわず成分を利用するタイプのパルプ等に利用されている。ここでは既存のパルプ産業を再考するとともに、木材の全成分を総合的に無駄なく利用する方法をさぐり、木材の新用途開発をおこなう試みについて述べる。

上述のように、我が国木材消費の1/3はパルプ産業に向けられており、繊維板やパーティクルボード工業にはこの一割程度が向けられている。

パルプには種類が多く、繊維板用パルプや新聞紙用の破木パルプのように高歩止りのものから、レーヨン用の溶解パルプのように歩止り半分以下のものまである。量的に多い製紙用クラフトパルプでは収量60%未満であり、廃液に溶出した木材成分の大部分はエネルギーと薬品の回収のために燃焼されている。しかし、一部の木材成分は工場廃液となり、この処理のため、多くの装置、薬品、エネルギーを必要としている。木材の三主要成分である。セルロース、ヘミセルロース、リグニンのうち、セルロースは構成単位であるグルコースが規則正しく多数結合した強度の大きい物質で、これのからみ合いで高い強度の製品を与えるが、セルロースは木材の50%程度しか含有されていないので、パルプの収量を上げるためにはヘミセルロースやリグニンを残さざるを得ない。高収率で、しかも強度や白色度の高いパルプを得ようという研究は今までに沢山おこなわれているが、どうしても限界があり、目的に応じた品質と収量のかね合いをきめているのが現状である。このようにパルプ工業ではセルロースの利用が中心であり、木材の全成分を総合的に利用しているとはいえない。

木材の三成分を分別する方法としてはいくつかの方法が考えられる。いずれの方法も、ある成分を溶かし、他の成分を固体として残すことにより分別をおこなうもので、通常のパルプ化は、リグニンを溶出して、セルロ

ースを残すものであり、木材糖化法はセルロース、ヘミセルロースを糖化により可溶化し、リグニンを残すものである。

木材成分の分別法の一つとして、木材チップを高温の水蒸気で蒸煮して機械的に摩砕する方法がある。これは繊維板用のアスプルンドパルプや新聞紙用のサーモメカニカルパルプと同じことであるが、この処理で一部の広葉樹は酵素セルラーゼで容易に糖化されるようになり、したがって、半すう家畜の粗飼料として十分消化されるようになる。この蒸煮解繊木材を原料として成分を分別するには、熱水抽出によりヘミセルロースをとり出し、残りを有機溶剤抽出によってリグニンをとり出す。残りはセルロースである。また、蒸煮解繊のかわりに、水蒸気爆砕でも同じようなものが得られる。この場合は機械的解繊のかわりに、高圧容器の圧力を急に抜くことにより解繊がおこなわれる。水蒸気処理のほか、有機溶剤でチップを蒸解する方法もある。たとえば含水アルコールで蒸解するとヘミセルロースとリグニンが溶出し、セルロースが残る。溶出液は蒸発するとアルコールが先に出て水が残るので、水に不溶のリグニンが沈殿し、ヘミセルロースは溶液になっているので分離できる。有機溶剤を用いる方法はオルガノソルブパルピングと呼ばれ、いろいろな方法が提案されている。このように木材の三主要成分を分別して利用する場合、セルロースは現在でも非常に

用途が広い物質で、将来とも需要が減ることはないと予測されるが、従来と異なるパルプ化法で得たセルロースがそのまま従来と同じように使えるとはかぎらない。セルロースの用途開発として、新しい機能をもったセルロース誘導体の研究をおこなっている。ヘミセルロースは種々の糖類が結合してできた多糖であるが、セルロースのように強度がない。広葉樹、針葉樹で構成糖に特徴があるので、加水分解して単糖や少糖としての利用を研究している。リグニンの利用は、今までパルプ廃液中のリグニンについて多数の研究がおこなわれたが、上述のような新しい成分分離法でできるリグニンについては十分研究がおこなわれていない。このリグニンはパルプ廃液や木材酸糖化のリグニンよりも変質が少なく、利用しやすいと期待される。以上のように木材の三主要成分を分別し、それぞれを有効利用して、木材の全成分の総合利用を志向しているが、いろいろな製品はできても、生産される量に見合った市場がなくてはならず、農産廃棄物や石油化学製品との競合もあり、総合利用が商業ベースで実現するまでにはまだ多くの研究が必要である。

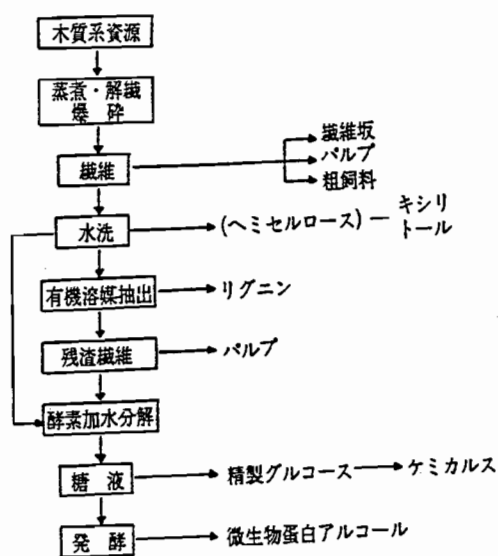


図1 蒸煮または爆砕前処理による
酵素加水分解工程

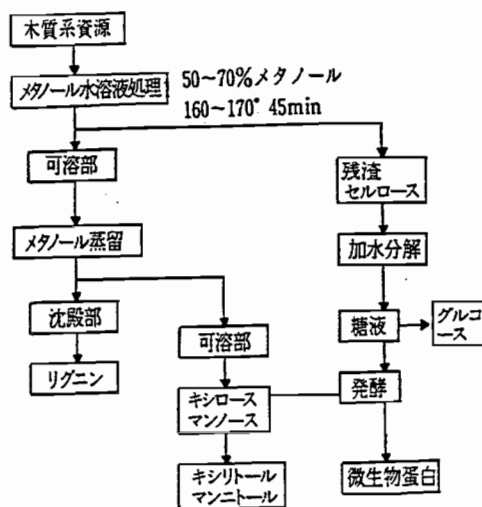


図2 有機溶媒による脱リグニンを前処理
とする加水分解

表1 種々の条件下で蒸煮処理した広葉樹材の分析結果

蒸煮温度 (℃)	時 間	酵素a) 糖化率(%)	温 水b) 抽出量(%)	キシロース の収率(%)	ジオキサンb) 抽出量(%)	エーテルc) 不溶リグニン(%)
a) シラカンバ						
180	20	100	23.7	15.5	10.3	34.9
200	5	98.0	19.2	12.0	8.1	37.1
	10	96.1	15.6	9.1	8.5	39.0
	15	100	14.5	8.6	10.6	33.2
210	3	96.2	25.4	13.2	14.0	23.2
	6	100	23.9	9.7	29.9	53.5
	9	100	25.7	11.0	34.5	42.6
225	2	99.3	34.2	22.4	20.4	21.8
	4	100	27.1	10.4	25.7	45.4
230	1	100	33.5	19.8	17.5	24.7
	2	100	34.3	19.2	21.9	30.4
b) コナラ						
180	20	69.3	14.9	5.8	6.6	32.5
200	5	81.3	21.0	12.4	9.5	42.0
	10	92.6	27.4	12.7	15.1	40.6
	15	91.2	19.0	7.4	17.1	41.3
210	3	88.9	23.9	12.9	19.1	51.1
	6	96.5	23.9	10.6	24.1	61.4
	9	100	17.7	4.2	31.3	64.1
225	2	90.0	25.8	14.7	18.3	58.6
	4	95.5	24.3	13.6	23.3	62.7
230	2	90.1	26.2	12.0	19.5	61.9
c) コジイ						
180	20	47.4	11.5	4.7	8.7	44.8
200	5	40.8	18.4	7.9	8.8	43.6
	10	68.0	18.9	8.7	14.2	43.6
	15	67.7	13.2	5.3	14.3	41.9
210	3	70.5	31.3	15.8	19.6	59.3
	6	93.2	18.3	5.9	30.4	60.4
	9	100				
225	2	81.0	22.4	12.3	20.0	53.2
	4	99.7	18.4	4.3	33.9	58.0
230	2	93.2	23.9	9.7	24.0	57.0

a) 蒸煮処理材中の多糖類に対して

b) 蒸煮処理材に対して

c) ジオキサン抽出物に対して

バイオテクノロジーによる林木の大量増殖

造林部長 浅川 澄彦

他殖性の木本植物の遺伝的性質をそっくり子供に伝えるためには、いわゆる栄養繁殖によって増殖することが必要である。林木の育種、造林においてもこれは基本であり、さし木が可能な樹種についてはさし木で、さし木が難しい樹種では取木・接木などによって増殖されてきた。しかし普通のさし木法では、1本の採穂木から採れる穂木の数のごく限られており、加えて、林木にはさし木の難しいものが多く、画期的なクローニング技術の開発が強く望まれてきた。

組織培養の手法による栄養繁殖いわゆるマイクロプロパゲーションは、このような要請に答える新しいクローニング技術であるが、ここでは、ごく最近造林部門で開発した新しい手法を紹介する。

組織培養の手法を応用したクローン増殖は、針葉樹ではスギ、トウヒ属、マツ属、トガサワラ属、ネズコ属、ツガ属で、広葉樹ではアカシア属、トチノキ属、ユーカリ属、キリ属、ハコヤナギ属、ビャクダン属、ニレ属などで試みられているが、特に針葉樹ではほとんどが胚または発芽胚を材料としている。しかし林木の場合、優れた形質が確認された個体そのものをクローニングするためには、成木の組織を用いる必要がある。

成木の組織を用いる場合、(1) 茎頂、側芽を直接培養して、それらに形成される苗条から幼植物体を育てる方法と、(2) 試験片を培養して得

られるカルスから分化する不定芽から幼植物体を育てる方法とあるが、いずれも殺菌が難しく、またポリフェノール性物質の酸化に伴う問題もある。このような障害を少しでも少なくするため、剥皮枝条と葉柄を材料にして培養を試みたところ、特に後者が極めて有利であることが分った。

材料に用いたシラカンバは、この1両年、いわゆるバイオマス資源として注目を集めているが、栄養繁殖が難しく、わが国では普通タネによって増殖されている。

＜剥皮枝条による増殖＞

材 料：約15年生のシラカンバから、5月中旬に1～2年生枝（径8～10mm）を長さ15cm位に切り取り、殺菌処理をしたのち、無菌的に形成層付近まで強く剥皮する。このあと長さ約2cmに切り刻んで培地にさしつける。

培養条件：25±1℃、白色蛍光燈5klux、16時間日長

結 果：培養開始から約1か月で数個の不定芽が観察されるようになり、それからほぼ1か月すると苗条がおおよそ2cm位に伸長し2、3枚の葉を展開する。これらの苗条を外植体から切り取り、発根を促す組成の培地に移すとおおよそ1か月で根が出揃う。

この方法に用いる枝条を初春（2～3月）に採取する場合には、はじめの培地にジベレリン（GA₃）の添加が必要であり、これによって休眠が打破されるものと思われる。また6月以降に枝条を採取する時には、はじ

めの培地に微量のナフタレン酢酸 (N A A) を添加した方が結果がよい。

＜葉柄による増殖＞

材 料：枝条の場合と同じ約15年生のシラカンバから、5月下旬に新葉のついた小枝を採取する。実験室内で、葉柄の基部から葉を摘み取り、葉身を切り落した葉柄に殺菌処理をし、無菌的に両端を数mmずつ切除する。このように調整された長さ約1.5cmの葉柄を所定の培地にさしつける。

培養条件：剥皮枝条の場合と同じ。

結 果：培養開始から約1.5か月すると、培地の表面に接した部位に苗条原基が認められるようになり、その後次第に増加して塊状となる。約2週間経たところで、塊状の苗条原基を10分割し、鉄分 (F e - E D T A) の含有量を極く少なくした培地に植えかえると、およそ3週間後には10～20本の苗条が約1cmに伸長する。培養開始からここまでの約2.5か月の間に、1個の外植体 (葉柄) から100～200本の苗条体が形成されたことになる。ここで塊状の苗条群を5分割してベンジルアミノプリン (B A P) を含まない培地に移すと、数日後には発根しはじめ、およそ1か月の間に茎が4～5cmの幼植物体になる。

葉柄によるクローン増殖は、剥皮枝条による場合よりもずっと効率的であるが、野外のオヤ木から材料をとる場合には、葉柄の採取時期が限定されるという欠点がある。

＜培養増殖された幼植物体の組織からの増殖＞

剥皮枝条や葉柄の培養によって得られた幼植物体の葉柄や主軸を、無菌的に1～2 cmの長さに調整し、これらを前項と同じ条件で培養すると、約3週間で苗条原基が認められるようになる。この場合には、苗条原基の形成は主軸よりも葉柄のほうが旺盛である。

前述のように、培養幼植物の葉柄を用いた場合には、野外のオヤ木の葉柄を用いた場合よりも苗条原基の形成がずっと早い、苗条から幼植物体を得られるまでの期間も幾分短縮されるようである。しかも、培養幼植物体の組織を外植物体にすれば、季節によって影響されることもなくなる。

＜終わりに＞

優れた性質をもっているシラカンバの成木を迅速、大量にクローニングするには、まずその葉柄を培養して無菌の幼植物体を育て、それらから摘み取った葉柄を外植体として増殖を繰返すのが効率的である。この方法によれば、成木の葉柄1本から、約4か月で少なくとも100本の幼植物体を得ることができ、それらの葉柄を培養すれば、約3か月（初めから数えると7か月）で数万本の幼植物体を生産することが可能である。このようにして増殖された幼植物体を野外に植栽するには適切な馴化を行うことが必要であり、その具体的な手順について早急に検討する予定である。

公刊論文 日林誌 67 (7) : 282～284, 1985 ;

日林誌 67 (9) : 373～375, 1985

表-1. 葉柄の培養に用いた培地の組成

構 成 成 分	I S *	I S	R
	ppm	ppm	ppm
塩化カリウム	140	140	
硝酸アンモニウム	680	680	1,650
硝酸カリウム	170	170	1,900
硫酸マグネシウム (7 水塩)	370	370	370
リン酸-カリウム	80	80	170
塩化カルシウム (2 水塩)			440
硝酸カルシウム (4 水塩)	710	710	
硫酸マンガン (4 水塩)	8	8	22.3
硫酸亜鉛 (7 水塩)	9	9	8.6
ホウ酸	3.2	3.2	6.2
ヨウ化カリウム	0.8	0.8	0.83
モリブデン酸ナトリウム (2 水塩)	0.25	0.25	0.25
硫酸銅 (5 水塩)	0.25	0.25	0.025
塩化コバルト			0.025
エチレンジアミン 4 酢酸鉄塩	86	5.6	5.6
ジフェニルウレア	3	3	
尿 素	10	10	
フマル酸	1	1	
ニコチン酸	0.8	0.8	0.5
塩酸ピリドキシン	0.1	0.1	0.1
塩酸チアミン	0.1	0.1	0.1
アスコルビン酸	1	1	
2 塩酸 L-リジン	100	100	100
ミオ・イノシトール	100	100	100
L-チロシン	10	10	
6-ベンジルアミノプリン	0.80	0.80	
サツカロース	20,000	20,000	20,000
寒天末	10,000	10,000	10,000

(注) I S、I S * 培地は I D E & S A I T O 及びその改変培地 ; R 培地は M U R A S H I G E & S K O O G の培地の改変培地

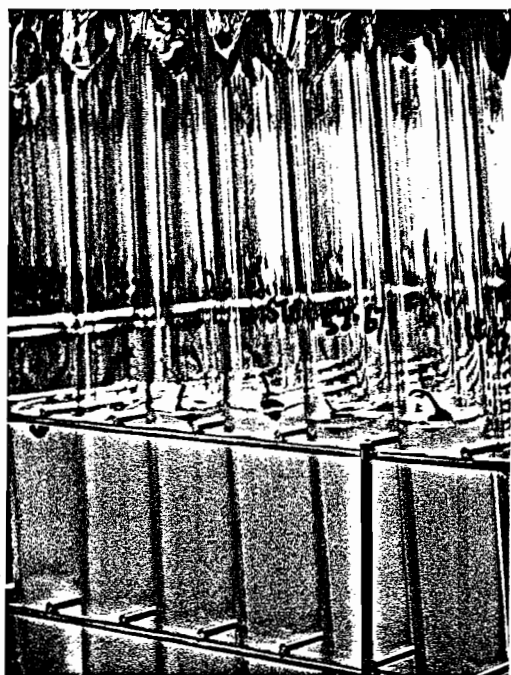


写真-1 幼植物体の葉柄を
さしつけたところ



写真-2 葉柄基部にできた
苗条原基

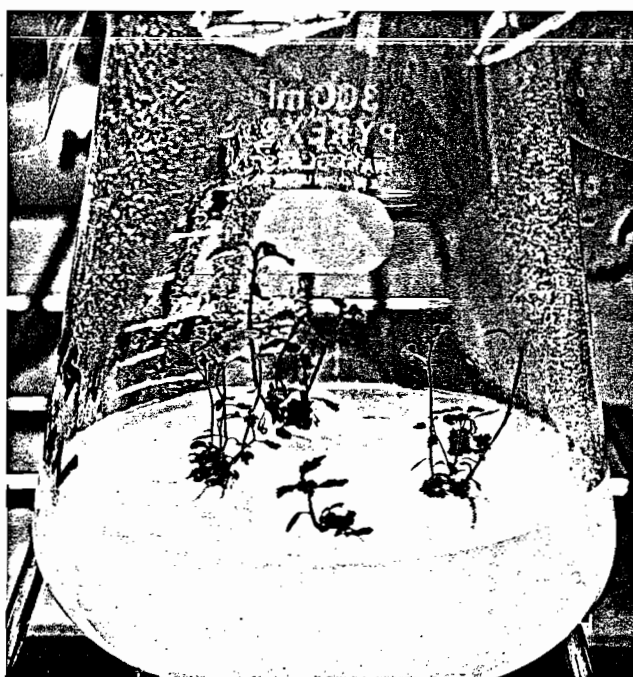
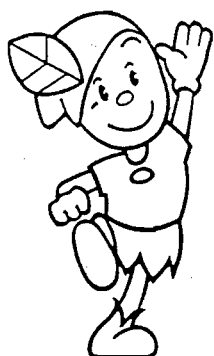


写真-3
分割した苗条原基から
育った幼植物体



君の未来●緑の地球
'85 国際森林年