

平成元年度森林総合研究所
研究成果発表会講演要旨集

日 時：平成元年10月27日（金）13：00～16：30

場 所：東京農林年金会館 「葵の間」

農林水産省 林野庁

森林総合研究所

目 次

開 会 挨 拶

所 長 小林 富士雄

1. ヒノキ人工林の大敵－漏脂性病害－

森林生物部 森林微生物科 樹病研究室長 田中 潔 ----- 2

2. 針広混交林における階層構造とその成立過程

北海道支所 育林部 造林研究室 主任研究官 石塚 森吉 ----- 6

3. 通直集成材による大型木構造の接合法の開発

木材利用部 構造利用科 接合研究室長 小松 幸平 ----- 10

4. ポプラ類プロトプラストからの個体再生

生物機能開発部 生物工学科 細胞操作研究室長 笹本 浜子 ----- 16

5. リモートセンシングによるマレー半島の環境特性の解析

林業経営部 資源計画科 遠隔探査研究室長 沢田 治雄 ----- 20

閉 会 挨 拶

次 長 松本 庸夫

司 会：企画調整部長 勝田 榎

(注) 1課題 講演25分 質疑5分

ヒノキ人工林の大敵—漏脂性病害—

森林生物部 森林微生物科 樹病研究室長 田中 潔

マツ材線虫病の被害跡地には、スギよりもヒノキが造林されることが多い。そのため全国的にヒノキの造林面積が急増した。このヒノキ造林の拡大に伴い各種の病害が顕在化し、なかでも樹脂を流出する漏脂性病害がヒノキ造林の成否を左右する重要病害であることが明らかになった。

樹脂胴枯病

ヒノキの枝あるいは幹から恒常的に樹脂が流出する現象を、漏脂病あるいは漏脂症と総称している。近年このヒノキの漏脂性病害には大きく分けて、二つあることが分かってきた。

その一つは「樹脂胴枯病」である。枝または幹から樹脂が流出し、苗木や小枝では患部が巻き枯らしになり、その上部が赤く枯れる。被害は植栽後10年以下の幼齢造林地に限定されている。年とともに外見上の被害は目立たなくなるが、材の内部にはこの幼齢林時代の傷が長く残る。被害の広がりや早く、数年で本病は林分全体に及ぶ(図-1)。

被害部からは常にSeiridium菌が分離され、この菌をヒノキに接種することによって樹脂胴枯病を人工的に起こすことができる。この接種部位からは再びSeiridium菌を分離できるので、この接種及び再分離試験の結果から、樹脂胴枯病の病原菌はSeiridium菌であることが証明された。

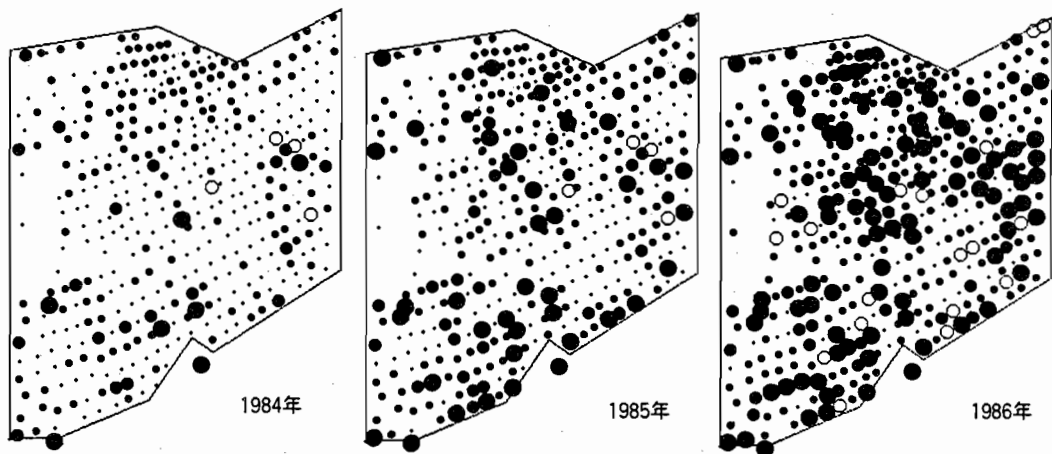


図-1 樹脂胴枯病罹病木の分布と拡大(夢前試験地) (山田ら原図)

- ・健全木(病斑数 0)
- 微害木(// 1-10)
- 中害木(// 11-20)
- 激害木(// 21-)

漏脂病

もう一つの病気は、昔から「漏脂病」と呼ばれてきたもので、10年を超えるヒノキの主幹から樹脂が流れ落ちる。患部は治癒せずに増大しながら樹脂流出を続けるため、幹が変形するとともに、材は変色から腐朽へと進み、重大な材質劣化を招く。

漏脂病の存在は大正時代から知られていた。しかしその原因については未解決のまま残され、林業上の大きな謎とされてきた。その原因については様々な考え方が提出され、混乱していたが、伊藤(1954)は、(1)害虫説、(2)病菌説、(3)気象環境説の三つに要約した。

北島(1933)は害虫の寄生も原因の一つとされていることを述べた。ところが、その後具体的な昆虫名をあげての「害虫説」の提唱者は出ていない。九州地方ではヒノキカワモグリガの穿入口から樹脂が出ることが多い。しかし、虫の食害だけで漏脂病になると単純に考える人はいない。10年を超える長期にわたって樹脂が流出し続けるためには、一定の刺激が長い間持続されることが必要だからである。

笠井(1940)は鉄道防雪林の漏脂病を調べ、病患部の高さや方位から、雪圧による傷害が漏脂病の原因であると発表した。北陸地方では、明治以降積極的にヒノキの造林をしてきたが、漏脂病が次々に発見され、ヒノキの造林が禁止された。このようなことから雪圧あるいは凍害による「気象環境説」が今までは有力であった。ところがよく調べてみると、漏脂病は雪のない太平洋側でも認められ、その分布は北海道を除くほぼ全国にわたっている。

漏脂病と樹脂胴枯病では、ともに樹脂は皮から出てくる。ヒノキはもともと樹脂道をもたない樹木で、何らかの刺激により傷害樹脂道が内樹皮の中に形成され、さらにヤニつぼへと発達し、樹脂が流出する。この内樹皮に傷害樹脂道を作る原因が、すなわち、漏脂病の原因である。そこで樹病研究室では、樹脂の流出には病原菌が関与しているという「病菌説」に立って、病患部から病原菌の分離を試みた。

表-1. ヒノキ漏脂病被害木よりの糸状菌の検出

分離源	材					樹皮		
	健全	変色	腐朽	形成層	孔道	幹	枝	計
分離菌								
Cryptosporiopsis	4%	%	%	10%	3%	26%	40%	260(15%)
Sarea	11	8		5		18	3	169(10)
Pestalotiopsis	6	2		5	21	5	36	124(7)
Basidiomycetes		67	24	16				191(11)
検出総数	198	123	80	558	29	561	129	1678

表-2 ヒノキ漏脂症状木よりの糸状菌の検出(1)

場所 林齢	峰谷	日原	大田原	矢祭	埴	岩間	逢瀬	合 計
検出菌	17	14	30	24	19	17	26	(%)
<i>Cryptosporiopsis</i>	4%	12%	11%	28%	36%	22%	17%	260(15)
<i>Retinocyclus</i>	0.3	1	2	19	25	35	10	169(10)
<i>Pestalotiopsis</i>		6	35	4	10	2	7	124(7)
<i>Aureobasidium</i>	0.3	18					1	83(5)
<i>Phialophora</i>		10						44(3)
<i>Penicillium</i>	22	6	3	12	17	11	41	291(17)
<i>Basidiomycetes</i> ※	54	2					6	191(11)
その他の属 ※※	15	1	26	2	8	11	9	158(9)
未 同 定 菌	2	7	13	18	3	3	7	112(7)
細 菌	2	36	9	15	2	16	3	246(15)
検 出 菌 数	296	441	163	89	103	241	345	1678
分 離 片 総 数	391	533	219	210	315	367	504	2539
糸 状 菌 検 出 率	74	53	68	36	32	55	66	56

※, ※※ 表-3 参照

表-3 ヒノキ漏脂症状木よりの糸状菌の検出(2)

分離源	材					樹 皮		合 計
検出菌	健全	変色	腐朽	形成層	孔道※	幹	枝	(%)
<i>Cryptosporiopsis</i>	4%	%	%	10%	3%	26%	40%	260(15)
<i>Retinocyclus</i>	11	8		5		18	3	169(10)
<i>Pestalotiopsis</i>	6	2		5	21	5	36	124(7)
<i>Aureobasidium</i>	30			3		1		83(5)
<i>Phialophora</i>		7	38	1				44(3)
<i>Penicillium</i>	14	1	19	15	7	29		291(17)
<i>Basidiomycetes</i> ※※		67	24	16				191(11)
その他の属 ※※※	18	11	4	10		7	8	158(9)
未 同 定 菌	6	1	1	6	59	7	4	112(7)
細 菌	11	2	15	28	10	7	9	246(15)
検 出 菌 数	198	123	80	558	29	561	129	1678
分 離 片 総 数	682	207	83	665	35	666	201	2539
糸 状 菌 検 出 率	30	58	82	61	54	78	59	56

※ スギノアカネトラカミキリ

※※ アオゾメタケ(*Climatocystis caesius*)ほか2種を主とする。※※※ *Papularia*, *Paecilomyces*, *Trichoderma*(以上2%), *Macrophoma*, *Alternaria*(以上1%), *Phomopsis*, *Phoma*, *Cytospora*, *Phyllosticta*, *Fusarium*, *Zythia*, *Epicoccum*, *Chalaropsis*, *Graphium*, *Mucor*(以上1%以下)

Cryptosporiopsis菌

漏脂病の患部から高率で分離されるのはカビの一種Cryptosporiopsis菌である(表-1, 2, 3)。このCryptosporiopsis菌をヒノキに接種したところ、野外で認められる病斑とよく似た病斑が形成され、樹脂が出てきた(表-4)。また、この接種部位からはCryptosporiopsis菌が再分離された。この接種及び再分離試験の結果から、漏脂病はCryptosporiopsis菌が原因であることが明らかになった。

Cryptosporiopsis菌(不完全時代)を培養していると、完全時代(Pezicula菌)の子のうと胞子が形成される。Pezicula livida (=Cryptosporiopsis abietina), これが漏脂病の原因菌の正式な名前である。

ここで、漏脂病の原因のすべてが明らかになったというのはまだ早い。漏脂病にかかっていない健全な樹皮からもCryptosporiopsis菌が分離される。従って、仮にこの菌が原因菌であったとしても、外樹皮から内樹皮へとこの菌を導くものは何かということ、今後さらに検討しなければならない。虫、気象要因、あるいは枝打ちなどの施業に伴う人為的な傷が誘因として働いていると想定される。

漏脂病患部が地上から1~4mに集中している現象もCryptosporiopsis菌の存在だけでは説明できない。雪害、凍害、あるいは風による幹のしなりなど、ヒノキにストレスを与えるいろいろな要因を疑っていく必要がある。また、九州地方をはじめそれぞれの地域では、Cryptosporiopsis菌とは違う菌も漏脂病に関与している可能性を捨てきれない。

接種試験により、Cryptosporiopsis菌に病気を起こす力、すなわち、病原性が認められたということは、漏脂病の原因探求を一歩進めたという点で評価できる。しかし、Cryptosporiopsis菌が活躍できる場所を作り出しているのは何かということを追求していくことが残された問題点であり、漏脂病の防除法を考える上での重要事項である。

表-4. 各種針葉樹に対する病原性のまとめ(1988年10月現在)

樹 種	ヒノキ			カラマツ			スギ			マツ		モミ		
接種年	83	84	85	83	84	85	83	84	85	83	84	83	84	85
Cryptosporiopsis-1	●	○	●	●	●	●	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
" -2	○	●	○	●	●	●	○	○	○	▲	▲	▲	▲	▲
Pezicula			●			●			▲					▲
Sarea	▲	▲	▲	▲	▲		▲	▲		▲	▲	▲	▲	
Pestalotiopsis			▲			▲			▲					▲

○: 病斑形成, ●: 病斑+漏脂, ▲: 治癒閉塞

針広混交林における階層構造とその成立過程

北海道支所 育林部 造林研究室 主任研究官 石塚 森吉

研究の背景と概要

北海道ではその自然的、社会経済的背景から特に自然力を活用した天然林施業が求められている。そのために、ここでは後継樹となる下層木の動態把握という観点から、針広混交林の階層構造とその成立過程を解析した。その概略は以下のとおりである。

まず、北海道の針広混交林で階層構造を詳細に調べたところ、上木となる樹種のちがいによってその樹冠下に生育する下木の樹高（頻度分布）に差があることが明らかにされた。さらに、その現象は上木樹種の枝下高と関連していることが分かったので、上木の枝下高—樹冠下の光環境—下木の樹高成長量の対応関係をもとに、上木の成長に伴う下木の成長モデルを組み立てた。ついで、樹幹解析で上木と下木の成長経過を復元することによってそのモデルの再現性を確かめ、上木樹種のちがいによってその樹冠下に異なった階層構造が形成される過程を検討した。

樹冠下における下木の成長モデルは、さらに改良を加えることによって、林床の稚幼樹の成長予測や樹下植栽などの施業に役立つものと思われる。

エゾマツ・トドマツ・シナノキ・イタヤカエデ混交林における階層構造

北海道の針広混交林の代表的なタイプとして、定山溪と大夕張のエゾマツ・トドマツ・シナノキ・イタヤカエデ混交林を解析の対象とした。定山溪の調査林分は、針葉樹の集団と広葉樹の集団が比較的明瞭に分かれた林分である。それと対照的に、大夕張の林分では各樹種がよく分散して比較的単木状に混交しているのが特徴である。この2林分は、針葉樹と広葉樹の混交状況がかなり異なるにもかかわらず、主要4種の立体的な配置構造には以下のような共通したパターンが認められた（図-1）。

①4種の根元位置の分布には、それぞれ10㎡程度の小集団（斑状群）が認められる。ただし、シナノキの集団の周辺は他樹種の生育が少なく、その範囲は半径5m以上に及ぶ。②それぞれの樹冠下には樹冠と同一樹種の個体が多い。さらに、針葉樹の樹冠下には針葉樹が、広葉樹の樹冠下には広葉樹が多く生育する顕著な傾向がある。③しかし、シナノキの根元の周辺には針葉樹があまり生育しないにもかかわらず、その樹冠下には、樹高の高いトドマツが特に高い本数密度で成立する。

シナノキの樹冠下には、トドマツに限らず4種を合計した場合でも樹高の高い個体が多いが、その原因は、シナノキの上層木の枝下高が高いためと考えられた。樹冠下に樹高の高い個体（特にトドマツ）が成立する度合は、上木となる樹種の枝下高の高さと密接な対応関係が認められた。

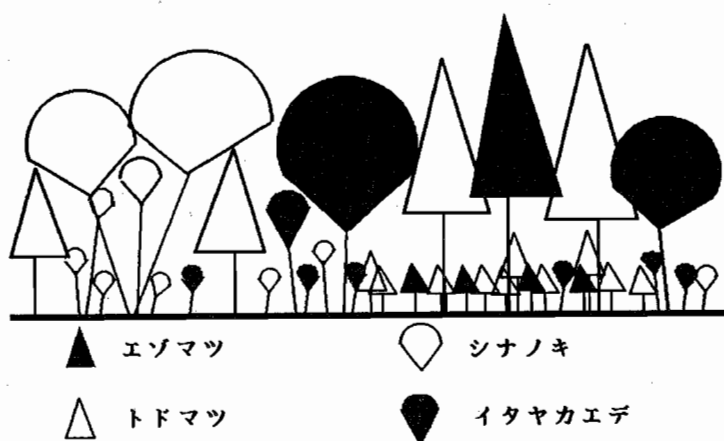


図-1. エゾマツ・トドマツ・シナノキ・イタヤカエデ混交林
における階層構造を示す模式図

針広混交林の樹冠下におけるトドマツの成長過程

以上の結果から、上木となる樹種の枝下高のちがいによってその樹冠下に生育する下木、特にトドマツの成長経過が異なることが予想される。そこで以下のような仮定をもとにした樹冠下のトドマツの成長モデルを組み立てて検討した。

- (1) トドマツの年樹高成長量は樹冠下の光条件によって決まる。
- (2) 樹冠下の光条件は上木の枝下高あるいは樹冠長などの樹冠因子に依存する。
- (3) 上木の成長に伴って樹冠下の光条件に関係した樹冠因子は連続的に変化する。

なお、ここでは上木となる樹種としてエゾマツ、シナノキ、イタヤカエデの3種を例に示した。

まず、樹冠下の相対照度とトドマツ稚幼樹の年樹高成長量を調べ、両者の関係に図-2に示した曲線をあてはめた。次に、上木3種を対象に林分を構成する大小さまざまな個体について、樹高・枝下高と樹冠下の相対照度(地上1.3m)を調べた結果、樹冠下の相対照度は樹種ごとに枝下高と高い相関を示した(図-3)。また、上木3種の樹高-枝下高関係に表-1の式をあてはめた。ついで、樹幹解析からもとめた上木3種の樹高成長曲線を用いて、上記の関係が常に成立すると仮定し、1年ごとに上木の樹高-枝下高-樹冠下の相対照度-トドマツ稚幼樹の樹高成長量を算出した。図-4は、上木3種それぞれについて平均的な樹高成長曲線を用いてトドマツの樹高成長をシミュレートした例を示したものである。3種の樹冠下で比較すると、シナノキの樹冠下は早くから明るくなりトドマツの成長が最も速いことが示された。この結果は、シナノキの樹冠下で樹高の高いトドマツが成立する現象と矛盾しない。そして、実際に針広混交林で3種の上木とその樹冠下に成立し

たトドマツを樹幹解析して両者の成長経過を調べたところ、シミュレートした結果とよく符合していた。

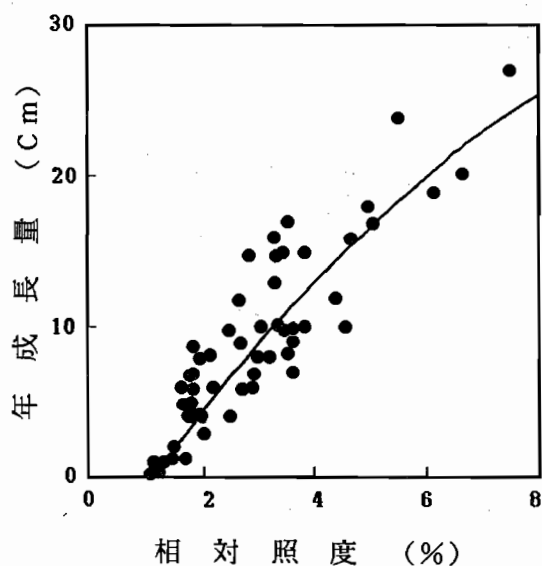


図-2. 針広混交林内におけるトドマツ稚幼樹の直上部の相対照度 (RI) トドマツの年樹高成長量 (ΔH) の関係

当てはめた曲線は次式で与えられる

$$\Delta H = 53.22(1 - e^{-0.0937(RI - 1.14)})$$

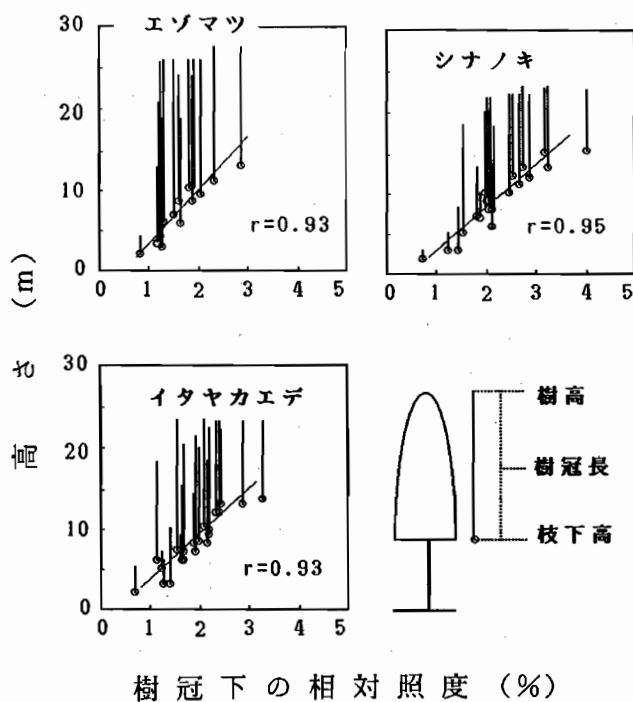


図-3. 針広混交林におけるエゾマツ・シナノキ・イタヤカエデの樹高・枝下高と樹冠下の相対照度の関係

相関係数 (r) は枝下高と樹冠下の相対照度の相関を示す

表-1. エゾマツ・シナノキ・イタヤカエデの樹高 (H)
 -枝下高 (H_B) 関係に当てはめた曲線式

エゾマツ	: $H_B = H - 0.409H^{1.148}$
シナノキ	: $H_B = H - 0.679H^{0.892}$
イタヤカエデ	: $H_B = H - 0.398H^{1.122}$

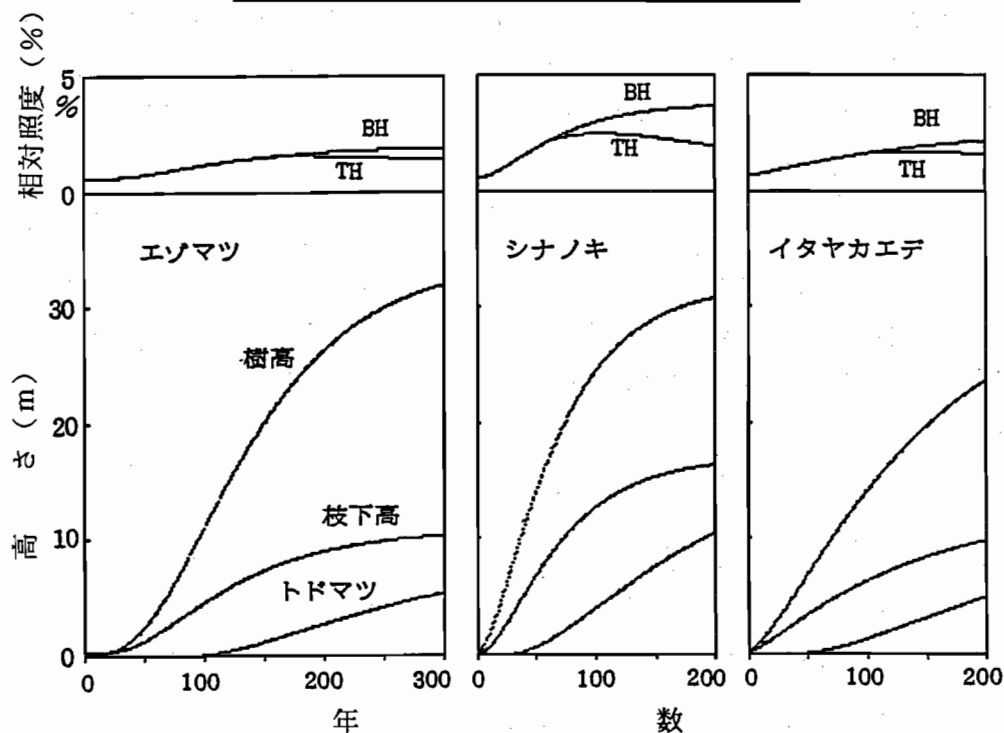


図-4. 上木の成長に伴う樹冠下の相対照度の変化とトドマツの樹高成長のシミュレーション例

BHは地上1.3m, THはトドマツ頂端部の相対照度の推定値を示す。
 トドマツの平均的な寿命は150~200年程度であるが, エゾマツ
 樹冠下では外挿して200年以上まで示した。

階層構造の成立要因

以上の結果から, 樹冠下における下木の成長を促す環境の形成には, 上木の樹高の初期成長が速いこと, 枝下高の上昇が速いこと, 同じ枝下高に対して樹冠下が明るいことなどの条件が複合的に働くことが分かった。一般に, シナノキなどの陽樹にはこれらの条件が備わっているために, その下層で陰樹が成長し階層構造がよく発達するものと考えられる。

通直集成材による大型木構造の接合法の開発

木材利用部 構造利用科 接合研究室長 小松 幸平

はじめに

これまで、わが国で建設されてきた集成材構造建築物の多くは、湾曲集成材を用いた3ヒンジ山形ラーメン(図1-a)やアーチ(図1-b)が大半を占めていた。しかし、デザインが構造材の形状に支配され画一的な構造となりがちであること、2ないし3階建ての多層構造が造りにくいこと、湾曲集成材の製造が単品生産であり標準化が難しく製造コストが割高であること等の理由から、比較的設計の自由度が高い「通直集成材」を利用した集成材ラーメン構造への期待が近年高まりつつある。

しかし、集成材ラーメン構造の実現には、部材と同じ強度を発揮できる接合法が不可欠であり、従来の常識ではそのようなことはほとんど不可能に近いとされてきた。本研究では、諸外国における集成材ラーメンの実例を参考に、わが国の実状に適した接合法を見出すことからスタートし、集成材ラーメン構造に実用可能な幾つかの接合法の開発に成功した。

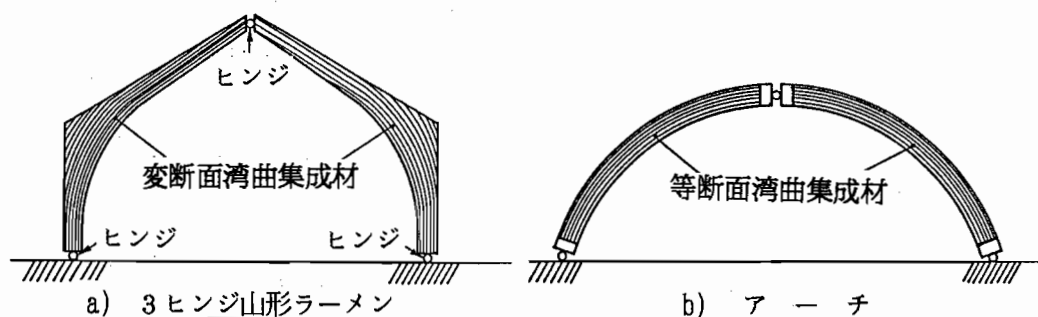


図1 湾曲集成材による既往の集成材構造建築物の形状

集成材ラーメン構造における接合部

図1-aに示す湾曲集成材による3ヒンジ山形ラーメンと基本的に同じ構造を「通直集成材」で実現しようとするれば、柱と梁が交わる接合部において、部材同士の「回転」, 「ずれ」を強固に拘束し、柱と梁を一本の連続した部材のごとく結合できる技術が要求される。このような接合を「剛接合」と言い、「剛」に接合された架構を「ラーメン構造」と呼ぶ。図2は、通直集成材による柱-梁接合部において、部材端部の回転を拘束するために、 $M=R \times g$ なる拘束モーメントが必要であることを模式的に示したものである。この、拘束モーメントを生み出す方法は幾つか考えられるが、本研究では、図3に示すよう

に、集成材の側面に鋼板ガセットを添え、鋼板と集成材とを「釘」、「ボルト」、「ドリフトピン」等の「接合具」で固定するという方法を採用した。

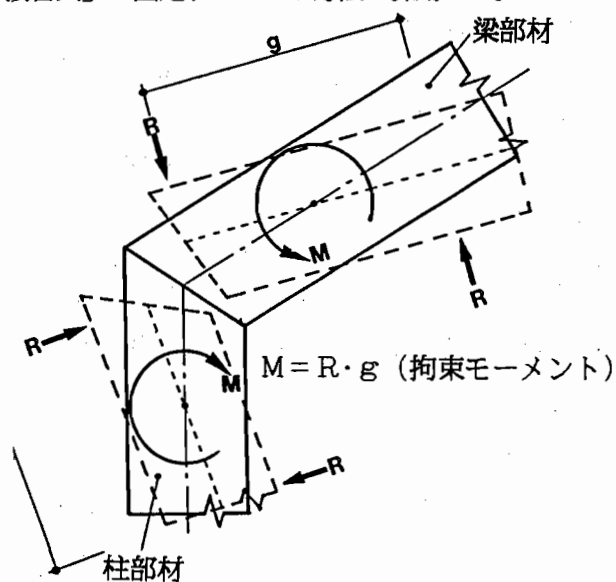


図2 集成材ラーメン構造の接合部における拘束モーメント

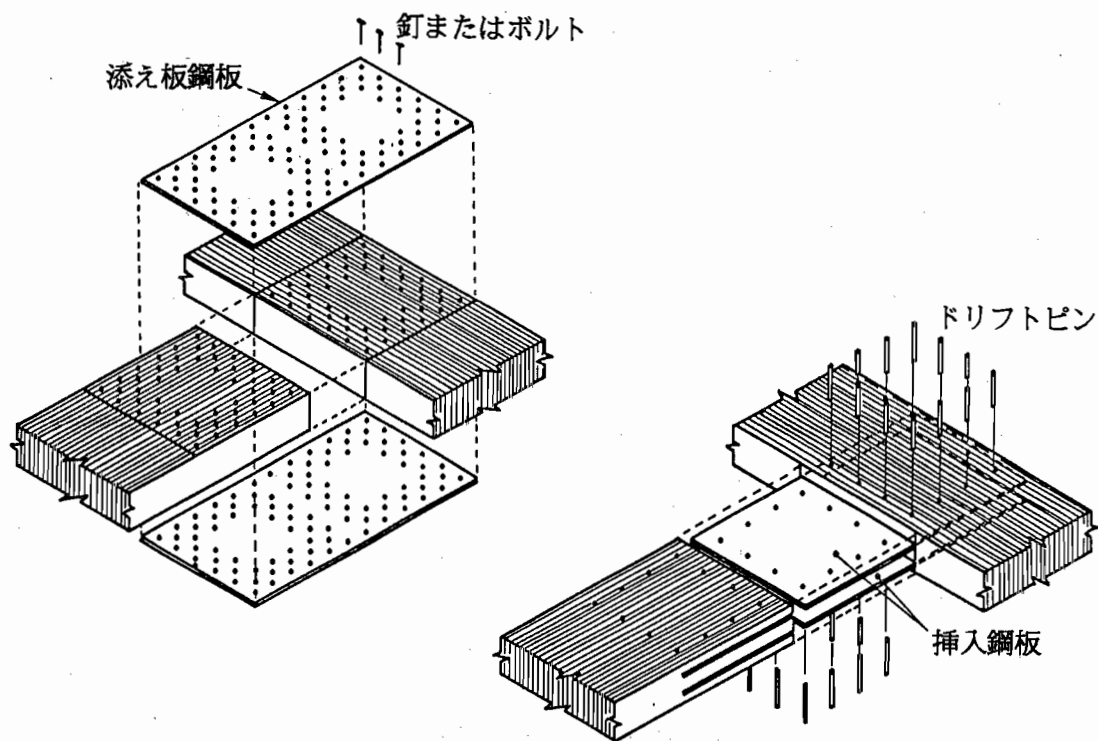


図3 本研究で開発した接合部の構造詳細

接合部の具備すべき条件

接合部の具備すべき条件は集成材ラーメン架構の規模（スパン，荷重条件，その他）によって異なるが，一般的には次のような点が要求される。

- ①設計荷重に対して，接合部で規定以上の変形が生じないこと。
- ②接合部の強度性能に関して規定の安全率が確保されていること。
- ③大地震が発生した際，その衝撃的なエネルギーに耐えられるだけの「粘り」，もしくは「強度的余裕」があること。
- ④審美性，防耐火性能が高いこと。

上述の具備すべき条件は互いに背反するものもあり，全てのパフォーマンスを兼ね揃えた接合法というものは未だ存在していない。今回開発した鋼板ガセット+「接合具」による接合方法には，表1に示すような長所，短所が認められる。

表1 3種類の接合法の特徴

	鋼板添え板 釘打ち接合構法	鋼板挿入ドリフトピン 打ち接合構法	鋼板添え板 ボルト締め接合構法
長 所	・断面欠損や応力集中が少なく，初期ガタがない ・部材の加工精度を要求せず，建て方に熟練技術を要求しない ・初期剛性が大きく，粘りがある	・鋼板が集成材の外部に現れないので，耐火性，審美性に優れている	・ボルト締め付け力による鋼板と集成材間の摩擦が大きく，初期剛性は高い ・集成材にスリット加工の必要がないので，加工，施工が容易である ・ボルト特有の粘り強さがある
短 所	・被覆しない場合は，審美性，耐火性に問題がある ・多数の釘を打つ手間の問題（施工性）	・集成材にスリット加工が要求され，加工が困難な場合が多い。施工も一般的には容易ではない ・ピン径と鋼板の孔径との直径差が初期ガタの原因となり剛性が低い	・被覆しない場合は，審美性，耐火性に問題がある

集成材ラーメン構造の解析

本来ラーメン構造というものは接合部が剛に接合されているので、架構の変形は部材の変形のみに着目すればよい。しかし、集成材ラーメンの場合は、接合部を構成している接合具自体が木材中にめり込んで変形を起こすため、架構全体の変形に占める接合部の変形は、多くの場合無視できないくらい大きい。従って、逆に言えば、個々の接合具、たとえば釘一本の力と変形の対応関係を再現性の高い力学モデルで表現し、接合部内での個々の接合具の位置と力の関係を考慮した解析を行えば、接合部の変形を含んだ集成材ラーメンの構造解析が可能となる。本研究では、この考え方に立って接合部に蓄えられるひずみエネルギーを計算し、接合部を一つの有限要素と見なした場合の要素の剛性マトリックスを解析的に表現し得た。これによって、通常の二次元骨組み構造解析プログラムを利用して、接合部の非線形特性を考慮に入れながら大規模な集成材ラーメン架構の構造解析を終局耐力付近まで精確に実行することができた。

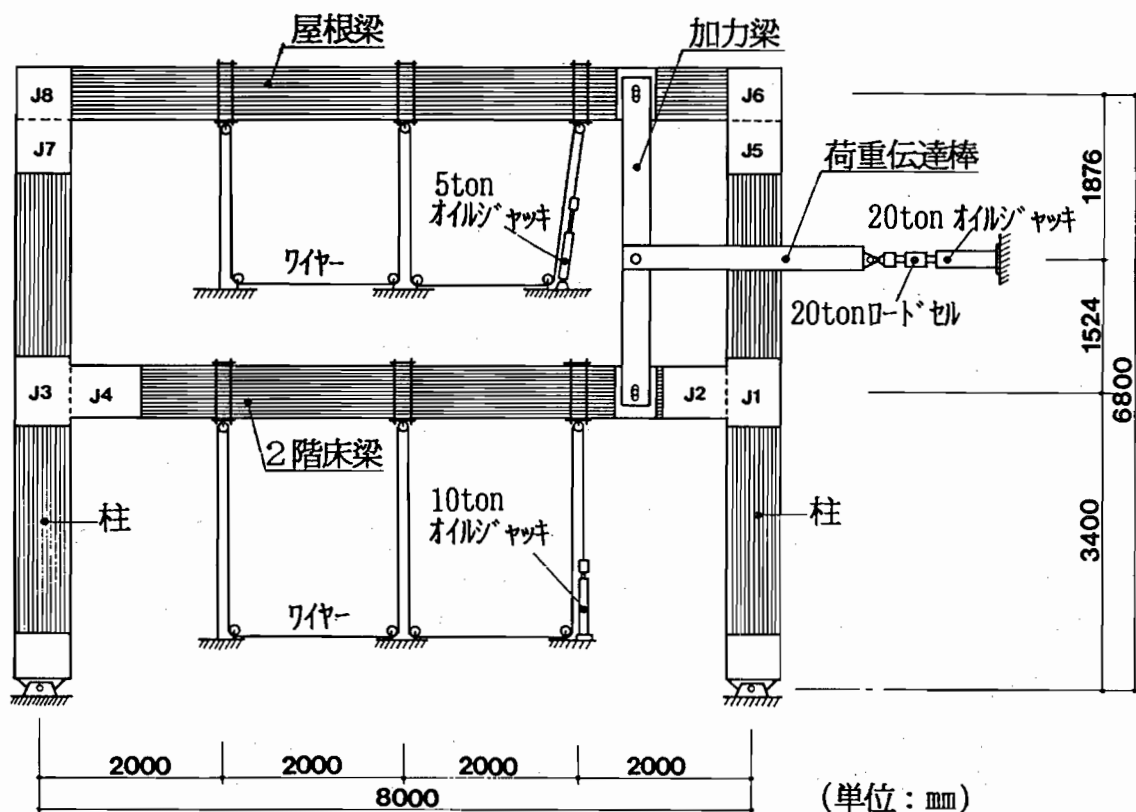


図4 通直集成材による2層門型ラーメン試験体

理論と実験との対比

開発した接合法の性能評価と理論解析の妥当性を検証するために、図4に示すスパン8mの2層集成材ラーメンを製作し、地震荷重を想定した静的正負繰り返し加力実験を行った。ラーメンを構成する接合法は図3に示した3タイプの接合法である。3種類のラーメン試験体の構造性能は以下のように要約できる。

【鋼板添え板釘打ち接合】

図5に「鋼板添え板釘打ち接合法」によるラーメンの荷重－変形関係の結果を示す。釘接合の場合、母材の短期設計荷重レベル（図中 P_M ）までは理想的ラーメンと仮定できることが分かる。また、実験と解析の適合性は3種類の接合法の中で最も良好である。

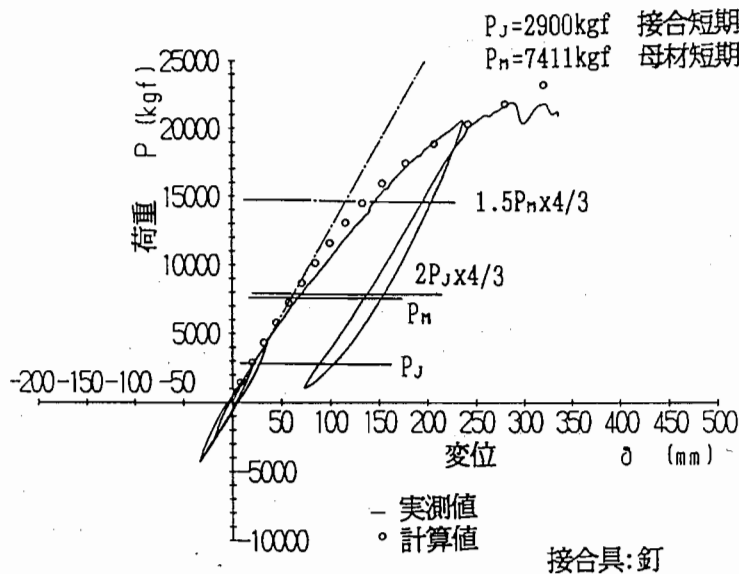


図5 鋼板添え板釘打ち接合法によって組み立てた試験体の荷重－変形関係

図中：○印が理論値、1点鎖線が理想的ラーメンの計算値、実曲線が実験値

【鋼板挿入ドリフトピン打ち接合】

図6に鋼板挿入ドリフトピン打ち接合法によるラーメンの荷重－変形関係を示す。ドリフトピン接合の場合は「初期ガタ」の影響で初期剛性が計算よりかなり低く、実測値と解析値の適合性は良くない。厳密な構造設計の難しい接合法と言えよう。

【鋼板添え板ボルト締め接合】

図7に鋼板添え板ボルト締め接合法によるラーメンの荷重－変形関係を示す。ボルト締めの場合、実測変位は計算結果より小さく、初期剛性は予想以上に高い。これは、多数本のボルトによって、鋼板を締め付けたことによる鋼板－集成材間の摩擦の影響が大きかったものと考えられる。

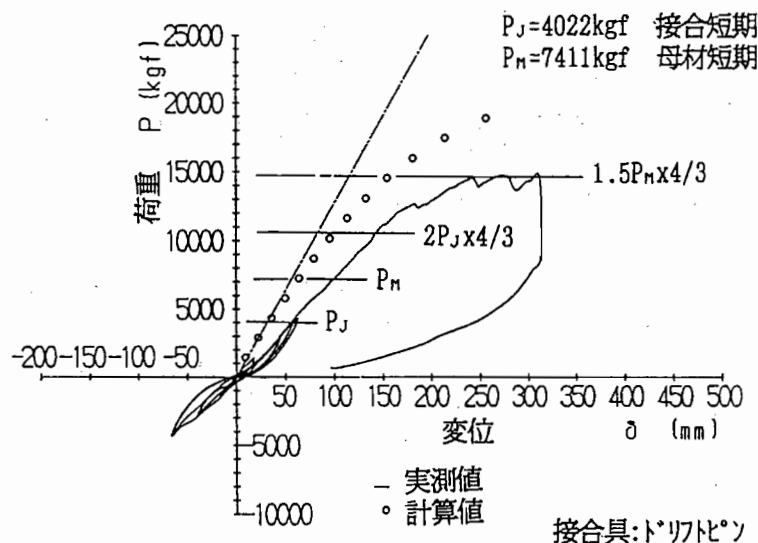


図6 鋼板挿入ドリフトピン打ち接合法によって組み立てた試験体の荷重-変形関係
 図中：○印が理論値、1点鎖線が理想的ラーメンの計算値、実曲線が実験値

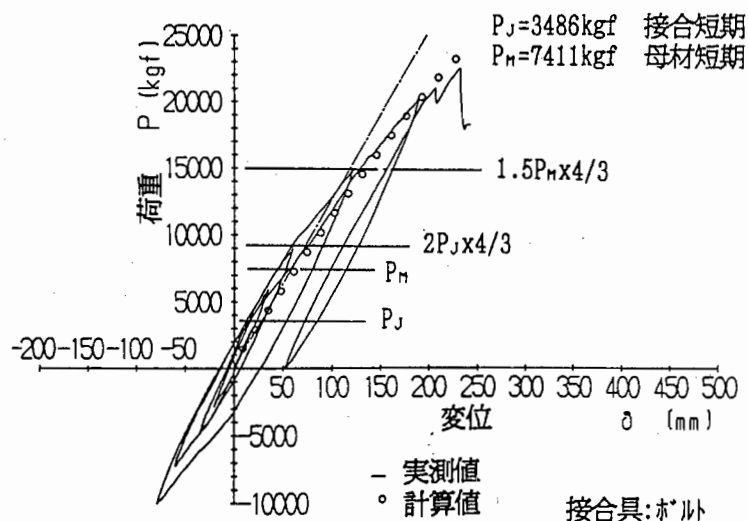


図7 鋼板添え板ボルト締め接合法によって組み立てた試験体の荷重-変形関係
 図中：○印が理論値、1点鎖線が理想的ラーメンの計算値、実曲線が実験値

結論及び今後の課題

本研究の成果を実際に応用した集成材ラーメン構造が最近完成した。今後はさらに大型のラーメンを可能とするために、より高強度で、耐久性の高い接合法の開発が必要である。接合部の終局耐力設計法の開発も緊急を要する重要な研究課題である。

ポプラ類プロトプラストからの個体再生

生物機能部 生物工学科 細胞操作研究室長 笹本 浜子

林木における新品種を創出しようとする場合に、細胞融合や、遺伝子導入による方法が考えられるが、この方法は前提として、プロトプラスト（細胞壁を分解酵素により除去した細胞）を得これからの培養系が確立されなければならない。すなわち、細胞分裂、コロニー形成、カルス増殖、カルスからの植物体再分化等の各段階を可能にしなければならない。本研究では、ヤマナラシとギンドロのポプラ2種について、プロトプラストからの培養条件等を検討した。

材料植物の育成

ギンドロとヤマナラシのポプラ2種、各々成木由来の、シュートカルチャーすなわちフラスコ内幼植物体の葉を材料として用いた。ギンドロについては、材料幼植物体を強光下（1万ルックス）で育成した方が低照度下（5千ルックス）育成の場合より、得られるプロトプラストの生存率を高める効果があった（表-1）。生存率はフルオレセイン二酢酸からの蛍光によって調べたが、ヤマナラシ、ギンドロともに、80%程度の値がえられた。

表-1 プロトプラストの生存率と収量に与える
材料植物育成時の光源と照度の影響

Light source	Light period (hr)	Intensity (lux)	Viability, % (Yield, $\times 10^5$ cells/plant)			
			Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
Fluorescent lamp	16 hr	5,000	77% (19.0)	21% (2.0)		
Metalhalide lamp	16 hr	10,000	89% (7.8)	98% (2.8)	86% (4.3)	87% (4.3)
Metalhalide lamp	24 hr	10,000			70% (10.0)	
Metalhalide lamp	24 hr	5,000		45% (2.3)		

プロトプラストの単離

ギンドロ、ヤマナラシ共に、葉を0.6Mマンニトール液中で、メスで細断し、1%セルラーゼRSと0.25%ペクトリアーゼY-23を含む、0.6Mマンニトール液中で、1時間半程度処理しプロトプラストを遊離させた。40 μ メッシュを通過させたのち、ギンドロの場合は100 g、ヤマナラシは、80 gの遠心分離によって、0.6Mマンニトール液による洗浄をおこなった。（図-1）。

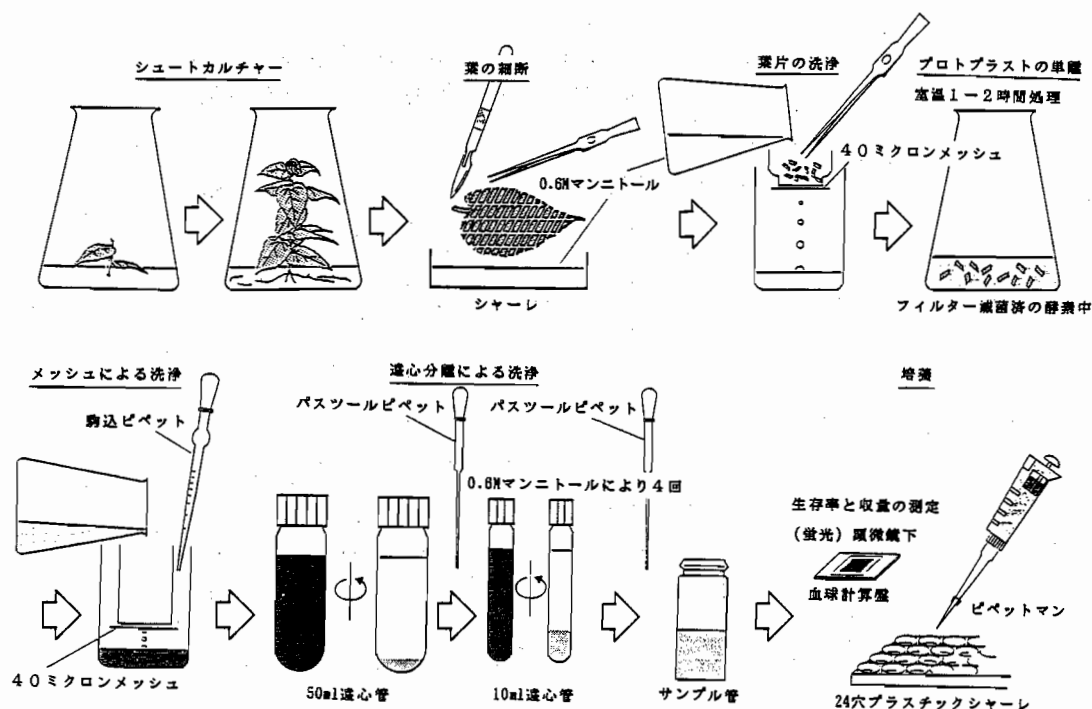


図-1 プロトプラストの単離と培養

プロトプラストの培養 (コロニー形成)

硝酸アンモニウムを除いたMSの基本培地に、0.6M マンニトール、1.5%-6%蔗糖、オーキシシンとして、2,4-ジクロロフェノキシ酢酸 (2,4-D) 0, 0.1, 1, 10 μM , サイトカイニンとしてベンジルアデニン (BAP) 0, 0.1, 1 μM を含む液体培地を用い、24穴プラスチックシャーレを用いた。ギンドロの場合は、糖の濃度(3%)及び細胞密度などが最適であれば、2,4-D 存在下の広範囲のホルモン条件においてコロニー形成が誘導された (表-2)。ヤマナラシの場合は2,4-D, 1 μM または 10 μM と BAP, 0.1 μM 存在下の狭いホルモン濃度範囲でコロニー形成が誘導された (表-3)。細胞密度は、ヤマナラシは、低密度側 ($2 \times 10^4/\text{ml}$) に、ギンドロは、高密度側 ($5-7 \times 10^4/\text{ml}$) に最適の濃度があるようであった。コロニー形成率が10% 近くの高い値が得られる条件も見い出した。

表-3 ヤマナラシプロトプラストからのコロニー形成

MS-NH ₄ NO ₃			
2,4-D \ BAP	0	0.1	1
0 [μM]	—	—	—
0.1	—	—	—
1	—	+	—
10	—	++	—

表一 2 プロトプラストの分裂と肥大に対する
2,4-DとBAPの濃度の影響 (一ヶ月後の観察)

2,4-D μM	BAP μM	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b	4*a	4*b	5*a	5*b
0	0	-	-	L	-	L	-	L	-	-	-	-	-
	0.1	-	-	L	-	L	-	L	-	-	-	-	-
	1	-	-	L	-	L	L	-	-	-	-	-	-
0.1	0	L	-	C	-	C	-	C	-	L	-	-	-
	0.1	L	-	C	C	C	C	C	-	C	-	L	-
	1	-	-	C	-	C	-	C	-	L	-	L	-
1	0	-	-	C	-	C	C	L	-	-	-	-	-
	0.1	L	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	-
	1	-	-	C	-	C	C	C	-	L	-	L	-
10	0	-	-	-	C	L	C	-	-	-	-	-	-
	0.1	-	L	C	C	C	C	C	C	C	C	-	-
	1	-	-	-	C	-	-	-	-	-	-	-	-

- 1 : 3%蔗糖と0.7Mソルビトールを含むMS培地
 2 : 3%蔗糖と0.7Mソルビトールを含む除硝酸アンモニウムのMS培地
 3 : 3%蔗糖と0.6Mマンニトールを含む除硝酸アンモニウムのMS培地
 4 : 6%蔗糖と0.6Mマンニトールを含む除硝酸アンモニウムのMS培地
 5 : 6%ブドウ糖と0.6Mマンニトールを含む除硝酸アンモニウムのMS培地
 * : 単離後5, 15, 20日後に新鮮培地に置換した場合。()内はコロニー数
 a : 細胞密度は $5 \times 10^4/\text{ml}$
 b : 細胞密度は $2 \times 10^4/\text{ml}$
 c : 細胞分裂あるいはコロニー形成
 L : 100ミクロン直径以上の細胞肥大
 - : 細胞肥大も分裂も起きなかった場合

プロトプラストの培養 (カルス形成)

コロニー形成の条件からマンニトールを除いた同一処方の液体培地あるいは、寒天培地に移植し、カルスを増殖させた。みかけの増殖率はギンドロ、ヤマナラシ共に、2,4-D $1 \mu\text{M}$, BAP $0.1 \mu\text{M}$ の条件が最もよかった。

プロトプラストの培養（再分化）

増殖したカルスを植物体再分化条件においた。すなわちNAA 1 μ Mの有無と、各種のサイトカイニン類（ゼアチン、N-(2-クロロ-4-ピリジル)-N'-フェニルウレア=4pu, チジアズロン=TDZ, イソペンテニルアデニン=2-ip, BAP) の 0, 0.1, 1, 10 μ M の各濃度のくみあわせ培地を用いた。ギンドロは約一ヶ月、ヤマナラシは2カ月くらい再分化の兆候がみられるまでにかかった。液体薄層培地、寒天培地によって、また、移植量によって再分化条件は若干差が見られたが、サイトカイニンとしては、フェニルウレア系のもの（4pu, TDZ）や、ゼアチンが、どちらの種においてもシュート分化に効果があった（表-4）。ギンドロの葉は毛を持つが、ヤマナラシの葉には無いという二種間の顕著な違いが、分化の早い時期から観察された。得られたシュートを材料幼植物と同じ培養条件で発根させ、多数継代培養中である。

表-4 ギンドロプロトプラスト由来のカルスからの分化に対する、
NAA とサイトカイニンの種類と濃度の影響（2カ月後観察）

表-1(a) 液体培地

	Zeatin	BAP	2-ip	TDZ	4-pu	
NAA 0 μ M	/	-	-	L 6	L 21	0.1 μ M
	-	-	-	L 12	L 3	1 μ M
	L 3	-	L 1	-	-	10 μ M
NAA 1 μ M	/	-	-	L 1	-	0.1 μ M
	-	-	-	-	L 5	1 μ M
	-	-	-	-	-	10 μ M

表-1(b) 寒天培地

	Zeatin	BAP	2-ip	TDZ	4-pu	
NAA 0 μ M	/	-	-	(L) (4)	-	0.1 μ M
	-	-	-	(L) (4)	-	1 μ M
	-	-	-	-	-	10 μ M
NAA 1 μ M	/	R 3	-	L 19	L 15	0.1 μ M
	-	-	-	L 21	L 12	1 μ M
	L·R 6(2)	-	(L) (1)	-	L 1	10 μ M

表注 L : 葉分化, R : 根分化, 各枠中, 下段の数字は, サンプル管2本当り
分化した葉または根の総数を表す。()内は培地に対する材料カルスの
移植量が通常の3倍量の時の, サンプル管1本の結果

以上のように、ヤマナラシとギンドロについて、プロトプラストからの個体再生に至る培養系の確立をおこなった。

リモートセンシングによるマレー半島の環境特性の解析

林業経営部 資源計画科 遠隔探査研究室長 沢田治雄

アセアン（東南アジア諸国連合）地域の熱帯林資源は、伐採や焼き畑移動耕作などによって量的、質的に著しい低下が続けている。その結果、熱帯林の消失や劣化に起因するとみられる洪水や土壌流失などで、農耕地域、居住地域の環境に多大な被害を与えている。このような点から熱帯地域における森林環境の保全及び持続的管理が世界的に極めて重要な問題として取り上げられている。一方、人工衛星を用いたリモートセンシングは、広域同時観測と周期的観測の能力に優れ、全地球的規模の利用研究が進められている。また、初の国産地球観測衛星（MOS-1）が昭和62年2月に打ち上げられ、タイでも地上受信局が開設されて、アセアン地域のデータが一般に提供されるようになっている。

本報告は、衛星のセンサーの特徴を明らかにするとともに、リモートセンシング技術を利用して熱帯雨林の状況を把握・モニタリングする手法を開発し、それらの解析手法と利用法について検討したものである。

研究計画

本研究は科学技術振興調整費による研究であり、研究の細部課題を大別すると次のようになる。（図-1）

1) 森林モニタリング手法の開発

- ① 熱帯地域におけるモニタリングの問題点の整理
- ② ランドサットMSSを利用した熱帯林伐採地抽出法の開発

2) SPOT及びランドサットデータによる森林現況の把握

- ① 山岳林及び丘陵林におけるTMとSPOTデジタルデータの特徴解析
- ② 森林型目視判読のための強調処理画像の作成
- ③ 高分解能センサーによる低地林及び湿地林の解析（Ⅱ期）
- ④ 森林型分布図の更新（Ⅱ期）

3) NOAAデータによる蒸発散能の解析手法の開発

- ① 温度、日照、蒸発散能の解析手法の開発
- ② 蒸発散能の推定法の検証

4) 地理情報システムによる森林の持つ機能の評価法の開発

- ① 地理情報システムによるゾーニング技術の開発
- ② 環境保全機能の評価法とモニタリング手法の開発（Ⅱ期）

これらの研究の中から、1)～3)に関して第Ⅰ期の成果の概要を報告する。なお、第Ⅱ期は平成元年度から二年間の予定である。

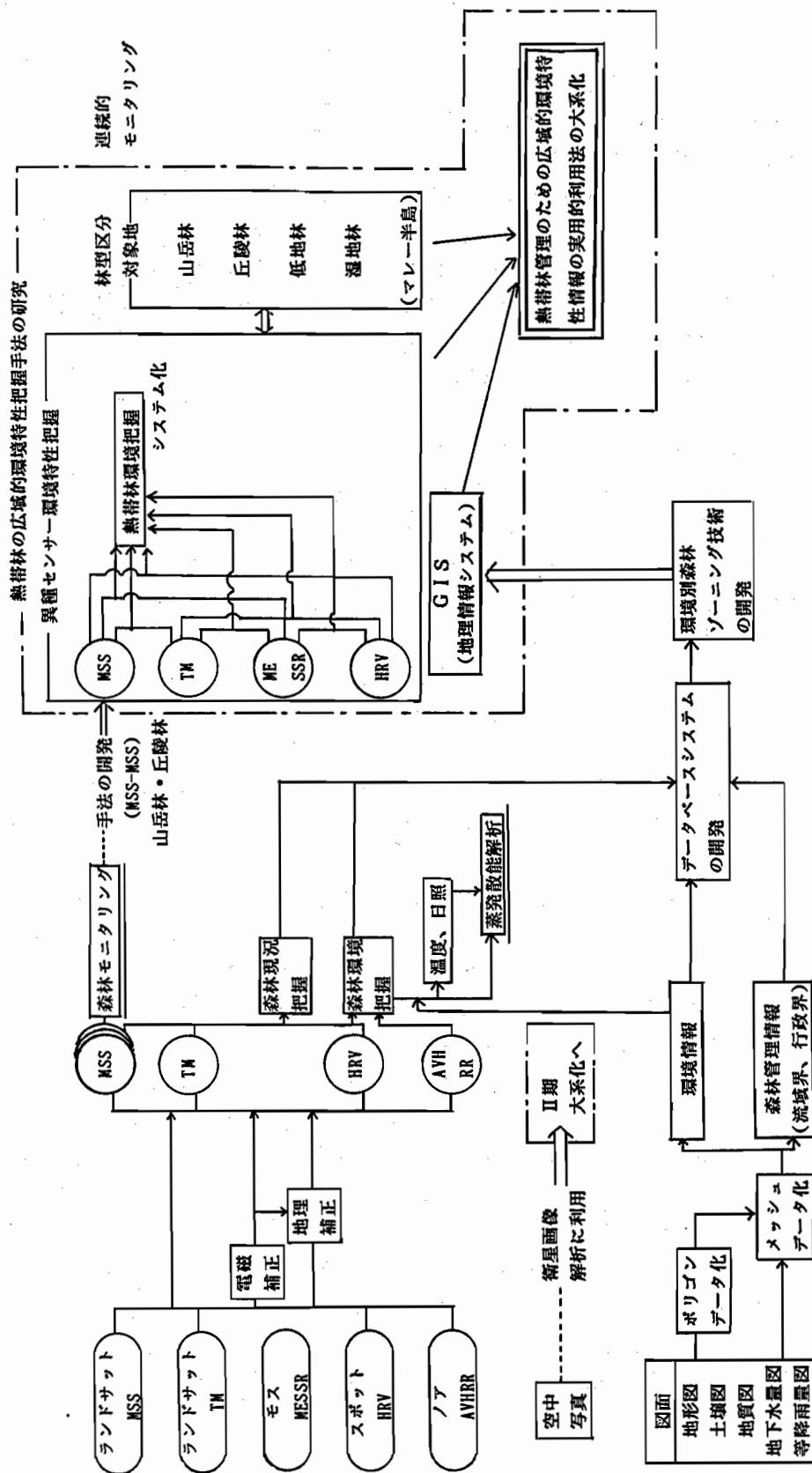


図-1 衛星データの解析処理フロー

森林モニタリング手法の開発

マレー半島西部のBATANG PADANG地区(約10万ha)を対象に(図-2), ランドサットMSSデータを用いて森林の伐採等の把握手法の適応研究を行った。森林の経年変化を解析する場合, 雲の存在が解析に極めて大きく影響することが明らかとなり, 雲領域の自動検出法を検討した。その結果, デジタル処理では約90%の雲や雲の陰が除去可能であったが, 100%近い除去は同時に雲以外の地表物からの反射をも排除する結果となり, 不可能であった。雲被覆の少ない場合, 熱帯林においても残差画像法で, 森林伐採や林道開設等による森林の変化を精度よく抽出できることが確認された。判読的手法で雲の影響を除去する方法を検討したところ, 期首と期末の2時期のデータを重ね合わせた主成分分析を行い, 第4主成分のネガ(赤色), 第1主成分(緑色), 第3主成分(青色)のカラー合成画像で両者の差を色の差として明確に表示できることが明らかになった。また, 天然林と二次林とのスペクトルパターンに明確な差が確認されたことから, 伐採から成林, 極相林までの植生の変遷といった森林の変化のモニタリングの可能性も示唆された。

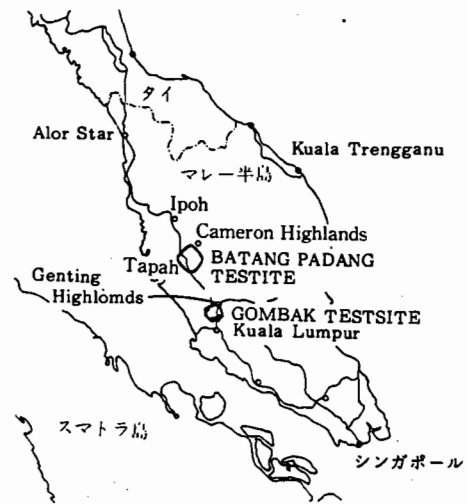


図-2 研究対象地域

Batang Padang 地域と Gmbak 地域

SPOTおよびランドサットTMデータによる森林現況の把握

クアラルンプール周辺のGOMBAK地区(約15万ha)を対象にSPOTデータとTMデータの特性を明らかにし, 判読およびデジタル処理による熱帯林地帯での土地利用区分と森林型区分の可能性を検討した。SPOTとTMデータを重ね合わせ, 同一のトレーニングエリアを選択してデータの特性を比較したところ, 日射条件の影響による差異が顕著であった。特に太陽が北側にある場合と南側にある場合とで, 個々のトレーニングエリアのスペクトル特性が著しく異なってくる。なお, スペクトルチャンネルとしてはTMバンド5が森林型区分に極めて有効であり, 森林の粗密度の判定に適していることが明らかになった(図-3)。また, これらのトレーニングエリアに基づき, 最短距離分類を行い, 分類結果の一致性を調べた。TMのチャンネルの組み合わせを変えて, SPOTと同様のチャンネル構成TM234(チャンネル2, 3, 4の組み合わせ)と最も分類精度の高いチャンネル構成TM145(チャンネル1, 4, 5の組み合わせ)(表-1)による分類結果を比較したところ, 天然林とゴム林の一部を除いては, おおむね一致することが確認された。しかし, SPOTとTM145の分類結果を比較した場合では項目間の混同が多くな

り、同一の分類結果が得られなかった。これは、SPOTとTMの観測時の日照条件の差異の影響が大きいと考えられる。

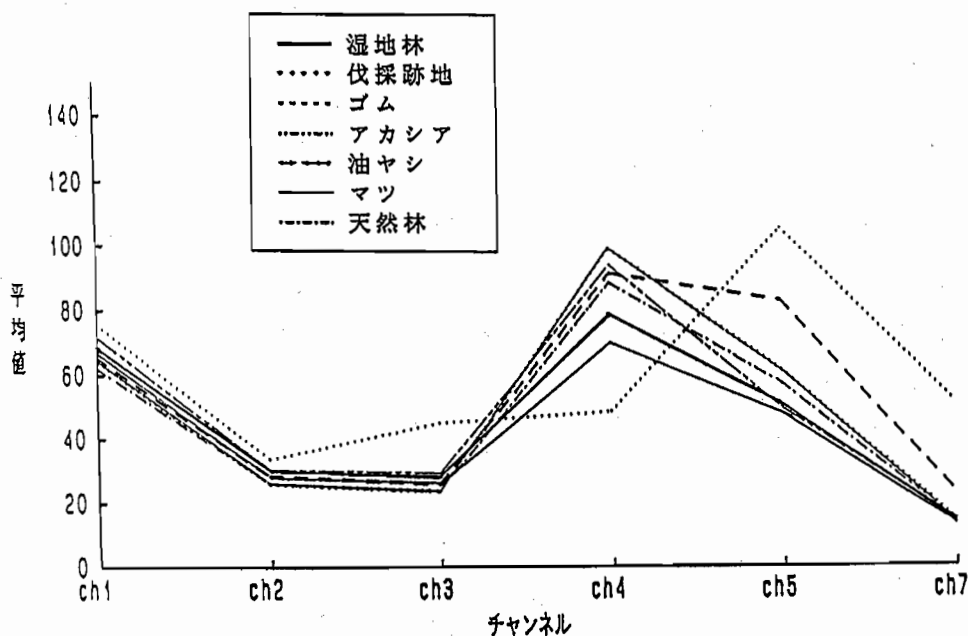


図-3 各カテゴリーの平均値パターン (TMデータ)

表-1 カテゴリーごと分離度クロス表 (TM145)

		分離度				最小値				139.				平均値				1939.			
カテゴリー		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N							
湿地林	A	1999	1982	1997	1676	1986	1952	2000	1999	2000	2000	2000	2000	2000							
天然林	B		1867	1410	1999	2000	2000	1999	1999	2000	2000	2000	2000	2000							
二次林1	C			535	1692	1999	1999	1998	1744	1999	2000	2000	2000	2000							
二次林2	D				1938	1999	1999	1990	1883	1999	2000	2000	2000	2000							
マツ	E					1998	1993	1999	1998	1999	2000	2000	2000	2000							
アカシア1	F						139	2000	1999	1999	2000	2000	2000	2000							
アカシア2	G							2000	1999	1999	2000	2000	2000	2000							
ゴム3	H								1999	1998	2000	2000	2000	2000							
ヤシ2	I									1707	2000	2000	2000	2000							
ヤシ3	J										2000	2000	2000	2000							
皆伐跡地	K											2000	1996	2000							
水	L													2000							
市街地	M																				
砂地	N														1989						

NOAAデータによる蒸発散能の解析手法の開発

1年間にわたるNOAAデータ(図-4)の雲のない部分をモザイクして作成した画像から植生指標データを作成し、土地被覆分類を行った。レベルスライス法で、森林、草地、その他に分類し、地上の気象観測で得たそれぞれに応じた蒸発散量データからマレー半島の蒸発散量分布画像を作成した。一方、NOAAデータと標高データを用い、地表面温度と年間平均日照時間を算出して、Thornthwaite式を使って蒸散量を推定し、画像化した。これら2つの画像を比較検討したところ、全体として、山岳地帯沿いに蒸発散量が低く、低地で高いという類似のパターンが得られた。このことは、蒸発散に大きく影響を与える気象条件が低地と山岳地帯で特徴的な分布をしていることと、その気象条件がNOAAデータによって比較的正確に捉えられていることを意味している。

熱帯地域で雲のない衛星リモートセンシングデータを取得することは極めて困難で、入手できたデータを最大限に利用して、事例研究の積み重ねによって個々のセンサーの評価を行っていく必要がある。さらに、MOS・MESSRデータを含め、多数の衛星による熱帯林観測のトータルシステムを作成することが要望されている。

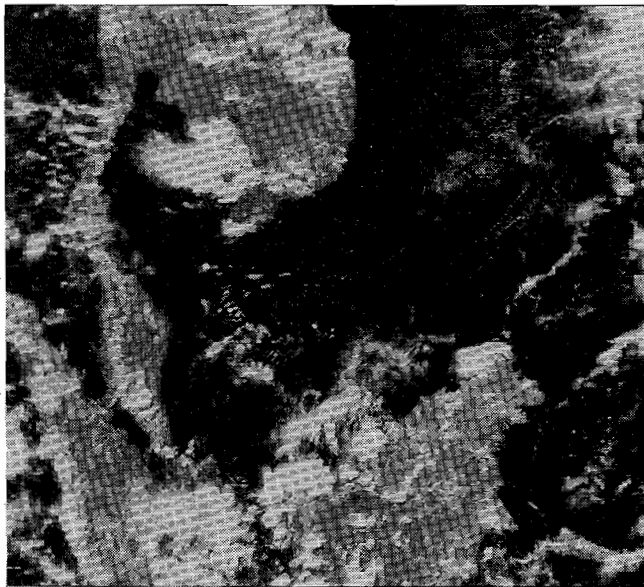


写真-1 NOAA-9 AVHRR 近赤外画像
(1986. 5. 30 14:20 撮影)