熱帯の木材

（改訂版）

農学部大学院生命農学研究科生物材料科学講座

木方洋二

１　世界の森林と木材資源　１
１―１　世界の森林　１
１―２　日本の森林　２
１―３　世界の木材資源　２
１―４　植生と木材工業　５
２　木材の性質
２―１　木材の性質　７
２―２　材質評価　７
２―３　未利用材の利用化のための材質評価の実用化の方法　８
２―４　材質評価の項目の実例　８
１）最終用途による材質区分　１０
２）材質試験　１０
３）主成分分析　１０
４）その他　１２
２―５　材質の安定化　１６
１）　集成材の利用の普及　１８
２）　林木育種　１８
２―６　熱帯材に特徴的な材質　１８
１）　容積密度（比重）と硬さ　２１
２）　年輪　２１
３）　節　２１
４）　色　２１
５）　板根等　２２
６）　脆芯材　２２
７）　成長応力　２４
８）　成長応力　追記　２６
（１）熱帯材の割れ　２９
（２）原木の割れ防止　２９
（ｉ）応力緩和方式　３１
①　巻き枯らし　３１
②　貯木　３１
③　Ｓ環　３１
④　熱処理　３２
（ⅱ）応力分散方式　３２
①　二重玉切り　３６
②　材周囲の圧締　３６
③　テンダーライジング　３６
④　製材の手順　３６
⑤　その他　３６
（３）応力、歪みの測定値　３６
（４）樹幹の内部応力（成長応力）の薄層除去法による測定　３８
３９

（５）穴あけ法による樹幹表面の成長応力測定　４０
９）　交錯木理　４１
１０）　シリカ　４２
１１）　ピンホール、青変、芯腐れ　４２
１２）　細胞間道（樹脂道）　４４
13）　樹幹内の材質変動　４５
１４）　その他、ピスフレックス、ゴム・樹脂、あて材等　４６
１５）　竹材の利用　４７
１６）　ヤシノキの利用　５１
（１）概要　５１
（２）ココヤシとアブラヤシの樹幹の利用　５１
（３）ヤシノキの組織的、物理的、化学的性質　５２
１７）南洋材のにおい
（１）悪臭材　５６
（２）腐敗による悪臭　認知限界濃度　５６
（３）悪臭材の低級脂肪酸　５６
３　熱帯材の成長
３－１　熱帯樹木での成長測定
３－２　天然林から伐採されてきた丸太での成長測定　５８
1)樹木樹幹内の ^{14}C濃度　５８
2)成長輪（年輪）の無い熱帯材の ^{14}C濃度変動　５９
3)熱帯材の成長輪　５９
4)戦争の爪痕　５９
５）木材と放射能　：大気循環　６０
３－３　熱帯地域の人工林の平均ヘクタール当たり成長量　６１
1)針葉樹（マツ類）　６２
2)早生広葉樹　６４
3)その他広葉樹　６４
３－４　熱帯林のバイオマス生産量の特性　６４
４　熱帯林のカーボン・シンク(JIFPRO 報告より,1998)　６５
４－１　熱帯森林のカーボンシンク　６６
４ −２　CO_2固定能力増強部会からの最終総括報告　６６
１）地域規模の気候変動と森林の役割　６６
２）グリッド純生産データーによるモンスーン　６６
アジア角国の炭素収支評価　６７
３）インドネシア島嶼域の自然植生の炭素吸収量　６８
への気候温暖化と土地利用の影響
４）データーによる熱帯林樹種の成長特性
５）焼き畑跡地のカーボンシンク評価　６９
６）熱帯の人工林の炭素固定の為の生産力　７０

７）インドネシアにおける産業造林事業から の教訓 ７０
８）熱帯林の土壌炭素プールとその変化について ７２
９）固定した炭素の利用と環境への還元ー炭 ７３
４－３　固定CO_2利用部会からの最終総括報告 ７４
１）固定 CO_2 利用部会の総括 ７５
2）伐採に伴う廃材および工場廃材放棄材の炭化エネルギー化による炭素収支の改善 ７５
3）インドネシアの木材工業に置ける炭酸ガスの発生 ７６
4）インドネシアの紙パルプ産業における二酸化炭素（CO_2）排出の現状 ７７
5）カーボンシンク、CO_2 収支の観点から見た木材利用 の評価 ７８
５　熱帯材の名前 ７９
5−1　樹木と木材 ８１
5−2　名称の表記法 ８１
5−3　木材の同定 ８２
5−4　熱帯材の市場名 ８２
６　非木材林産物 ８２
1)ゴム ８５
2)松脂 ８５
3)ウルシ ８６
4)ダマール、コーパルその他 ８６
5)ナッツ，果実 ８６
6)ヤシ類 ８８
7)シェラック ８９
8）キノコ ９０
９）コルク，活性炭、コプラ，ワックス，他 ９１
１０）葉の利用 ９１
１１）アグロフォレストリー ９２
７　国際熱帯木材機関　（I.T.T.O.） International Tropical Timber Organization ９３
８　雑録　１）熱帯造林樹種の木材利用開発 ９４
①　ファルカータ、メルクシー ９６
②　ココヤシ、アブラヤシ ９６
③　ゴムノキ，マンギウーム，ユーカリ ９７
１０１
１０２

④　収穫後の損失、林地廃材　１０４
⑤　新樹種導入　１０５
２）熱帯造林樹種の炭素固定能力　１０６
３）熱帯森林のバイオマス量　１０７
４）スラウエシー産材の材質　１０８
５）南米産材の木材組織
９　文献　１１０

ゴシック体の記載の目次は前の報告(2005刊)への
投稿原稿によるものであり、明朝体の記実は、新たに追記した項目
である。

データ等新しく集めたものではない。（2005現在のデーター）
前の報告の誤植を正し，前報に記載できなかったものを追記した
ものである。（多少新しい情報も加味した）。

2017年12月

熱帯の木材

１　世界の森林と木材資源

１－１　世界の森林

世界の森林は気候、とりわけ水分条件と熱条件、すなわち湿潤か乾燥か、温暖か寒冷かにより植生が変わる。

地球上の植生には3の極がある。一つは水も熱もある気候下にある熱帯雨林であり、低温の極がツンドラであり、乾燥の極が砂漠である。

熱帯雨林からツンドラと砂漠に向けて、植生の高さが減少し、構成する植物の種類が単純になり、生産力も小さくなる。同時に森林における植物群落の垂直断面では、高木－低木－草本などの階層構造も単純になっていく。熱帯雨林では高木層だけでも高、中、低と3層よりなり、その下に低木、草本の層がある。ツンドラや砂漠では小さな草本や低木の層が一つしかない。

熱帯雨林からツンドラ、砂漠に向けての単純化、矮小化、貧栄養化の途上にさまざまなタイプの植生がある。

針葉樹か広葉樹か、常緑か落葉かの差、さらには森林と非森林の別まである。 針葉樹も広葉樹も地球上どこにでも分布するが、針葉樹は高緯度の亜寒帯に、広葉樹はより低緯度の側に分布の中心をもつ。夫々が圧倒的に針葉樹或いは広葉樹よりなる。 亜寒帯の針葉樹には常緑のものと冬に落葉する夏緑のものとがある。亜寒帯の常緑の針葉樹林はマツ類、モミ、トウ（pine,fir,spruce）といった高木層よりなる。夏緑の針葉樹林（落葉）はユーラシ ア大陸東部のカラマツ（larch）林で降水量が少なく、冬の低温のために生ずると考えられている。

植生の、山地における、低地から高地への垂直分布は、平地での南北の緯度変化とほぼ一致する。

シベリア、カナダ、アメリカそして北欧の針葉樹林地帯はいずれも日本より北にある。いずれも平原である。構成する樹種も単調である。日本の内地では温帯の山地にヒノキ、スギ（cypress,cedar）といった針葉樹林が分布する。樹種も多くなる。

落葉には冬に葉におちる夏緑林と、乾季に落葉する雨緑林とがある。夏緑広葉樹林にはブナ、ナラ類（beech,oak　）などが冷温帯の湿潤地域に広く分布する。熱帯の半常緑、雨緑、モンスーン林は熱帯雨林とサバンナとの間を占め、乾季に森林の一部が落葉する。チーク（teak)が代表樹種である。

暖温帯から亜熱帯にかけては、常緑の東南アジアの照葉樹林と、地中海性気候に分布する硬葉樹林とがある。それぞれカシ類、コルクガシ（evergreen　oak,colk　oak）が代表種であろう。他の常緑広葉樹林が暖温帯から熱帯の湿潤な地域に分布する。赤道直下の熱帯雨林が代表的なものである。また熱帯の海岸にはマングローブ林が生ずる。

１－２　日本の森林

以上見てきたように、世界的に見ると、日本の北海道が針葉樹林帯の南限にあたる。日本のスギ、ヒノキ（cedar,cypress）といった主な針葉樹は、先に述べたように水平分布と垂直分布の等価性によって、より低緯度の山地に生える山地針葉樹である。日本より低緯度の針葉樹林は中国本土の西南部や、メキシコ等の山地に見られる。このような地形の日本では山が林を意味する言葉になっている。さらに日本の気候は夏に雨が降り、低温の冬に乾季のある世界的にはまれな地域である。日本の内地の低い山や山麓では広葉樹が夏緑林をなし、より南の地区では常緑の照葉樹林となる。このことが日本の森林を豊かな変化のあるものとし、独自の木材利用文化を生み出したといえよう。

世界の熱帯海岸にあるマングローブ林は、日本の九州が北限である。

１－３　世界の木材資源

針葉樹林帯は北半球の北部に広く広がり植生は単純であるとともに、世界的に共通の樹種が多い。Ｆ，Ｓ，ＰといわれるFir,Spruce,Pine（モミ、トウヒ、マツ類）と Larch・(カラマツ）が主体である。すこし南の山地針葉樹林帯には Ceder,Cypress,Hemlock・(スギ、ヒノキ、ツガ）等が生え、多少地域性をもつが世界共通のものが多い。

少し南に下った、針葉樹林につづく夏緑広葉樹林帯も北半球に広がり、世界的に共通樹種が多い。Beech,Birch ,Oak,Maple,Ash（ブナ、カバ類、ナラ類、カエデ類、タモ）等を生産する。それにつづく常緑の照葉樹林帯は日本から中国南部にかけての東アジアのものであり Evergreen - Oak,Camphor - Wood（カシ類、クスノキ）等の樹種よりなる。これらの樹種は熱帯の山地にも見られる。地中海の硬葉樹林は Colk - Oak で代表される。東南アジアの雨緑林、モンスーン林には Teak,Yarn（チーク、ヤーン）等がある。

また針葉樹としては熱帯、亜熱帯の山地に Pine,Podocarpus（マツ類、マキ）が生える。熱帯独自の針葉樹にAgathis,Araucaria(アガチス、アローカリア）ガある。

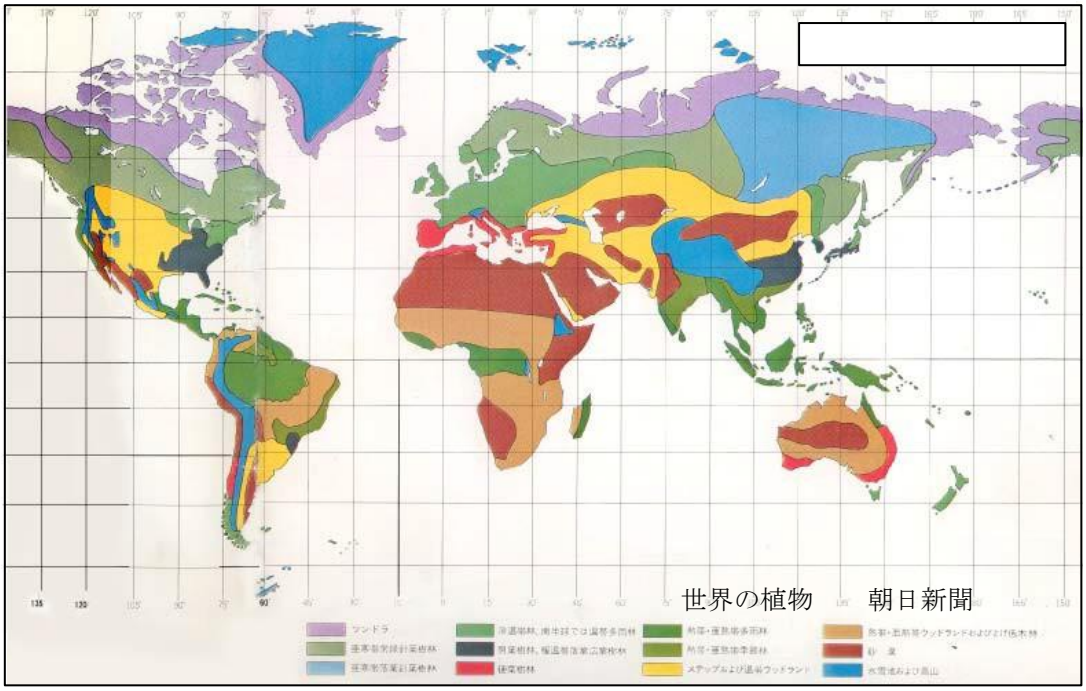
さて、世界には赤道直下を中心とする３の熱帯雨林がある。アフリカ、東南アジア、中南米である。ここにはそれぞれ数万種の植物があり、それぞれ別の、世界的には殆ど共通性のない樹種よりなる。その多様性は、商用樹種だけでも、それぞれの地域で数千種を数える。あえて特徴的なものをあげれば、アフリカの Okoume,African - Mahogani 類（オクメ、アカジューサペリ等）や多くの豆科の樹木が有用樹種としてあげられよう。東南アジアでは Meranti・(メランチ＝ラワン）で代表される Dipterocarpaceae （フタバガキ科）が優先的に生ずる。この様な優先樹種の存在は他の熱帯森林には見られない東南アジアの特徴である。中南米材の代表は Meliaceae（センダン科）のもので Mahogani(マホガニー）が有名である。世界一軽い Balsa（バルサ）から、世界一重い Lignam - Vitae（リグナムバイター）まで生ずる。

熱帯の世界に共通のものとしては Palm -Tree,Bamboo,Bombax（ヤシ類、タケ類、パンヤ）、さらには多くの作物等、人間生活に密着したものが多いように思われる。

いま述べてきた様な北半球での北から南への分布の変化と、赤道をはさんだ南半球での 南から北への変化とは、樹種は一致しないが、大体対称的になっているとしてよい。

南半球での針葉樹には Araucaria（ナンヨウスギ属）が在り、広葉樹では Nothfagus（ナンキョクブナ属）があり、北半球でのFagus（ブナ属）に対応している。 オーストラリア大陸にはEucalyptus（ユーカリ属）という特殊な一群がある。 世界中の熱帯海岸のマングローブ林も有用材を生産する。

世界の生態分布図



川辺林　川に沿った森林は川の水が見えなってもなくなっても水脈に沿って続ずく。（C.T.F.T.）

熱帯森林　(C.T.F.T.)

熱帯林内部（明るい森林）太い蔓が回りの樹を結ぶ。

（木方）

熱帯密林の樹冠は密閉しており，スコールの音がしても雨は落ちてこない．やがて樹幹がぬれてきた。
（コートヂボアール:木方）

１－４　植生と木材工業

日本には亜寒帯の針葉樹林の南限から熱帯生のマングローブ林の北限まである。そしてそれぞれの樹種を使い分ける木材工業がある。

さきに述べたように世界の３大針葉樹林帯であるシベリア、北アメリカ、北欧は、いずれも平原であり、樹種も単調である。この事は木材の集荷が容易であり、工場の規模が大きい事につながる。製材工場が日本でのパルプ工場並の規模を持つ。ちなみに日本のパルプ工場の原料はチップの形で海外から専用船で運ばれて来る。

熱帯アジアの熱帯雨林における象徴的存在としてフタバガキ科(Dipterocarpaceae)の樹種がある。“その均整のとれた高い、太い樹形、熱帯林には希なまとまった立木群、蓄積、近代の木材工業の要求に一致した有用性の高い木材価値、そして、これらの樹種にとっては不幸なことであった出材し易い立地条件。これほどの条件をそなえている樹種は広い熱帯地域に成育する他のいかなる樹種の追従をも許さないものである。“(北野・熱林協)。この様にうたわれたフタバガキ科の木材を抜きにしては、日本の戦後の木材工業は考えられない。　かつては東南アジアからラワン(lauan＝meranti)に代表されるフタバガキ科の丸太を輸入して合板に加工して、アメリカに輸出していた。ちなみにアメリカで生産される合板は針葉樹合板であり、広葉樹合板であるラワン合板には独特の需要がある。日本の地位はやがて、韓国、台湾にとってかわられ、さらに、今ではマレーシア、インドネシアといった原木生産国での合板製造、輸出が盛んである。日本は合板輸入国になってしまっている。ラワン（メランチ）合板は現地国から、ヨーロッパにも多く輸出されている。

日本におけるフタバガキ科の木材の利用、開発の歴史は、フイリッピンのルソン島から始まり、やがてミンダナオ島からマレーシアのサバ州にわたり、さらにインドネシアのカリマンタン、スマトラ島へと移り、インドネシアの丸太輸出規制により、マーレシアのサラワク州へと戻った所で、ＩＴＴＯ（国際熱帯木材機関、International Tropical Tiber Organization UN/UNIDO）の勧告による国際的制約が加えられるようになった。この間にド ーナツ化現象といわれる日本の木材工業の海外進出が相次いだ。当然フタバガキ科以外の 樹種の利用開発、それに対応する機械開発等、技術開発が行われつずけた。

この様な熱帯の木材資源と木材工業との結び付きは、アフリカにおいてはヨーロッパ各国との間に見られる。かつてのヨーロッパで生産されたアフリカ材のオクメ(okume)合板は、いまでは、その生産量一位の座を、同じアフリカのサンバ(samba,wawa,ayous)合板にゆずっている。資源の枯渇のためであろう。中南米でのマホガニー(mahogani)の歴史も良く知られている。キューバマホガニーの名称はホンジュラスマホガニーとなり、現在では、樹種としては別種のオオバマホガニー(*Swietenia　macrophylla*)が、普通にいうマホガニーで ある。欧米との結び付きが強い。

世界的なＩＴＴＡ（国際熱帯木材協定）があり、今後は持続ある資源である造林樹種であるマツ類、ポプラ、ユーカリ、アカシア(pine,poplar,eucalypt,acacia)へと木材工業の利用樹種は推移していくであろう。

木材を効率的に使用することが、また腐らせないで長く使用することが地球保全につながる。これが木材工業の持つ役割である。

木材素材の利用は丸太を製材し、乾燥させて仕上げることである。このことは天然の木材の比重を保つことであり、木材はそのままで十分な強度を持ち、美しく、居住性能も良いことによるものである。まずは素材のままでの利用を心掛けることである。エンジニヤード・ウッド（エンジニヤリング・ウッド）の目指す比重は木材素材のそれであらねばならない。エンジニヤード・ウッドは加工により比重を決定し、作るのであるが同じ比重では、木材素材に比べて弱い。木材素材とエンジニヤード・ウッドの役割を混同してはならない。木材素材の比重は人間生活に適したものであり、ある物の持つ重い、軽いは木材を基準にしているといってよい。

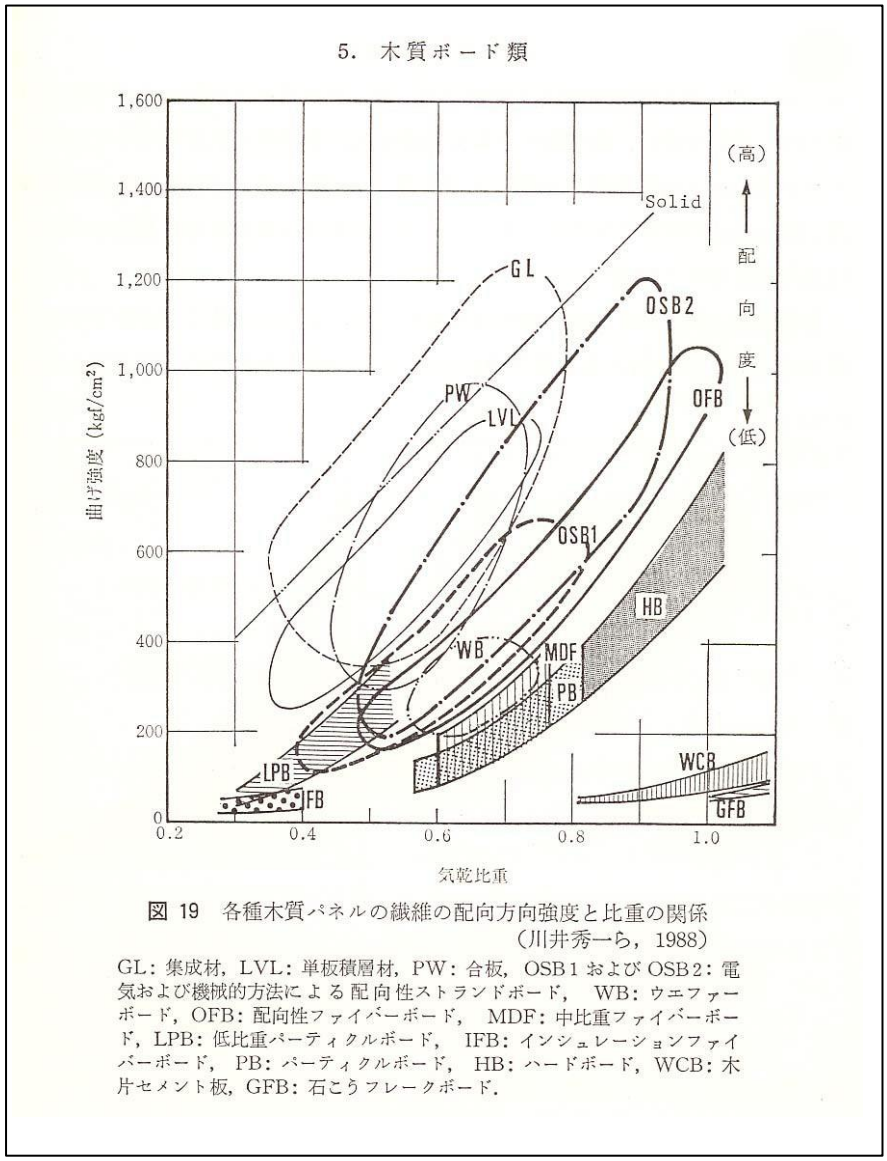


図 19　各種木質パネルの繊維の配向方向強度と比重の関係
（川井秀一ら，1988）

GL：集成材，LVL：単板積層材，PW：合板，OSB1 および OSB2：電気および機械的方法による配向性ストランドボード，WB：ウエファーボード，OFB：配向性ファイバーボード，MDF：中比重ファイバーボード，LPB：低比重パーティクルボード，IFB：インシュレーションファイバーボード，PB：パーティクルボード，HB：ハードボード，WCB：木片セメント板，GFB：石こうフレークボード．

（川井秀一）[1)]

２　木材の材質

２－１　木材の材質

工業材料として木材は多種多様に過ぎる。長所でもあり、短所でもある。工業材料としての泣き所である。

木材の材料特性を次の２に区分する。

１）木材の用途、利用価値に関する諸性質：ＰＲＯＰＥＲＴＩＥＳ

２）それらに影響を与える、木材組織、形態的品質：ＷＯＯＤ　ＱＵＡＬＩＴＹ

PROPERTY としての収縮の大小は、それだけでは価値評価にはつながらない。価値評価には物差しが必要であり、品質区分を行うことになる。

一つの樹種の中においても、成育地による、さらには林分、樹木、樹木の部位による、無欠点での材質変動があり、normal basic properties という概念により、バラツキ係数が設定されることになる。これに二次的な非正常部としての節等の欠点による二次的変動が加わる。

以前の日本の木材の強度区分に関する規格では、無欠点の小試験片での強度に節、丸身等の欠点による強度低減係数を掛け合わせて、最も不利なものを強度比として、設計計算に用いる許容応力度（ working stress）を計算していた。現行のものでは北米方式に従い、実大材での木材等級ごとの強度比（strength ratio)を定めている。計算したものを許容応力度（ allowable stress ）としている。例えば枠組み壁工法、構造用木材の JAS では等級を１－７に定め、それぞれに強度比を設定し、それぞれの等級では必ずその強度比を保証するように欠点の出現を規定している。

（例）　$_{L}f_{b}$ ＝４／５ × F_0 × ２／３ ×α ×β

$_{L}f_{b}$ ：長期曲げ許容応力度（working stress）

４／５：バラツキ係数（normal basic properties）

F_0 ：無欠点材の強度（定められた樹種群の代表値）

２／３：比例限度（変形の復元限界）

ここまでを basic stress という。

α ：強度比＝欠点材の強度／基準強度　（夫々の等級区分に応じた比重、年輪幅節、丸身、繊維傾斜、元わん曲による強度低減係数の掛け合わせ）

β ：クリープ係数（長期使用）

例えば、アカマツの property としての basic stress はヒノキ、スギより大きい。

アカマツ＞ヒノキ＞スギ

しかし、アカマツの実大材の調査結果では quality は良くなく、強度比は低い。したがって許容応力度（working stress）では

アカマツ＜ヒノキ＝スギ

となる。 以前日本木材学会で討論された、木材の材料としての性質は４６項目に達し、樹形の外観から強度、加工性そして、対金属腐食性までに及ぶ。また材質指標は７５、年輪幅 から比重、含水率、節、化学成分に及ぶ。それでも当時はまだ成長応力の論議はなされて いなかった。全体の見直しが必要であろう。

２－２　材質評価

材質評価のねらい

1)熱帯産広葉樹材の利用については、木材の適正な用途配分（利用法）の開発と未知或いは未利用の樹種の材の利用開発が含まれる。すでに利用されている樹種は量的にまとまるものが多い。未利用樹種といったものでは蓄積がまとまらないので樹種としての市場性を持たないことが多い。後に述べる最終用途区分因子（ requirement for end-use ）または材質区分（ properties and wood quality）いずれかの観点より樹種のグループ化を図ることなされる。

2)温帯には未知、未利用の樹種は少ない。しかし同じ樹種のなかでも、優良材から低品質の材までがあり、さらには天然材と造林材、とが有る。これらの整理を行う。

3)林業への提言（ feed back ） 例えば、EUCALYPTS,ACACIA,PINE,POPLAR 等造林樹種には従来までのパルプ材としての利用より、もっと高く売りたいとの要望がある。これに対応するための材質育種、保育方法、保育条件、施業計画等を作っていく資料とする。 材質評価の対象とするものは**(1)樹種または樹種グループでの性能(2)樹種内またはグ ループ内での性能変化 (3)樹種不問の性能である。**

２－３　未利用材の利用化のための材質評価の実用化の方法

1)木材の最終用途を合板用、構造用材、家具等の１０－１５の項目に整理し、また木材のそれぞれの用途において要求される性能も１０項目程度に整理し、それらを組み合わせることにより、最終用途に対応する性能への要求度を数段階で表示する。それに当てはまる樹種を選択する。

2)木材の色、比重等により樹種をグループ化し、既利用の材との対比において用途を提案する。

3)未利用材について、多数項目の材質試験を行い、数学的に主成分分析法を用いて整理する。同時に行った既利用の樹種との対比を行う。この主成分分析の結果によると木材の材質を規定する第一の要素（主成分 primcipal component)は比重であり、これは強度等と極めて相関が高い。第二の成分は吸水性であり膨潤、収縮につながる。以上２項目のし

める寄与率（ explanation of the variation）は８２、２％に達する。第三はヘキサン抽出物で色との関係が深い、５％の寄与率をもつ。この主成分分析法の結果には取り上げられていないが、木理、肌目（grain, texture)等新しい官能性能を何等かの形で数値化し加えればさらにおもしろい結果がえられるであろう。材質指標には、測定しやすい事、観察しやすいことが必要であり、 characteristics（特性）の方が properties （材質）より容易である。そして、相関の高いものはのぞき重複を避ける。測定には一樹種あたり、立木で５固体以上が必要である。平均、標準偏差を求める。

立木としての樹形、成長応力等も木材の基本材質として必要な項目である。 造林樹種においては。さらに脆心材、成熟材・未成熟材、心材化、年輪構造、あて材（reaction wood),繊維長さ等が、工業化木材の材質指標として必要であろう。

アメリカ林産試験場の M.Chudneff and R.L.Youngs による熱帯木材資源の高度利用のための評価の考え方（FAO 報告）によると

(1)温帯森林にくらべて熱帯森林での構成樹種は極めて多く、ある面積より抽出生産できる商業的な樹種の量は蓄積の１０％ほどに止まる。また一方、これら商用樹種に対する持続ある供給を可能とするような造林方法は確立されていない。

(2)熱帯材に関する物理的、機械的、化学的そして解剖的な研究は重ねられてきているが、技術的な商品開発の研究は少ない。試験方法の規格はいずれも的はずれである。

(3)商品化されている熱帯材は外観的に目立つものから穏やかなものまで、強度的に強いものから弱いものまで、耐久性のあるものからないものまで、乾燥容易なものから困難なものまで等々極めて幅が広い。商用材に共通するものは、丸太サイズが大きく熱帯森林に多量にある材である。材質よりサイズ、量が問題であるとされて来ている。

対応策として

(A)多種類の未利用材をグループ化して量的にまとめることによる一定品質、安定供給、安定価格を図る事が木材の資源化には必要である。

(B)天然資源である木材は他の天然資源と同様に段々と経済価値の低い材質のものに移 行していく。このことは加工コストの上昇につながる。そこで、(a)代用樹種の確立、例えばマホガニーからアフリカン．マホガニーへ、オクメからメランチへという事が必要である。(b)歩留まりを向上させる。合板工場における剥芯を製材化するとか、化粧単板を貼った製品を開発するとかの試みである。(c)まったくあたらしい技術開発をおこなう。紙・パルプ工業では混材の利用を可能なものとしている。このようにして一つの樹種から次の樹種へと移行して行き、新しい樹種は市場が受け入れる順番を待つ事になる。

(C)使用されそうな樹種の開発は（a）多くの未利用樹種のグループ化による単なる強度的な利用、(b）特定の最終用途に必要とされる材質の整理、リスト・アップによる適合樹種の検索などが考えられる。

(D)樹種不問の利用システムとしては（a）燃料、炭、(b）インサイジングなどのよる薬剤注入材（c）比重、機械的強度区分による強度部材としてのグループ化（ d）紙・パルプ材への利用が考えられよう。

２－４材質評価項目の実例

１)最終用途による区分

イギリスの J.D.Brazier,オーストラリアの W.G.Keating, ＦＡＯの Th.Erfurth 等により提案がなされている。ここではドイツの D.Noack & E.Schwab による例を上げる。[2)]

最終用途による材質区分	寸法安全	強度	耐久性	透水性	機械加工	表面仕上	材質均一
パーティクルボード					＋＋	＋＋	
ロータリー単板		＋			＋	＋＋	＋＋
化粧単板						＋＋	
素材		＋			＋＋	＋	＋＋
複覆材　内装	＋				＋＋	＋	＋
外装	＋＋		＋＋又は	＋＋			
構造材　内装	＋	＋＋				＋	＋
外装	＋	＋＋	＋＋又は	＋＋			
枠　組	＋＋	＋	＋＋又は	＋＋	＋	＋	＋
船舶材	＋＋	＋	＋＋				
フローリング	＋＋	＋＋	＋				
コンテナー	＋	＋＋	＋又は	＋			
スポーツ用品	＋	＋＋				＋	＋＋
港湾用材		＋＋	＋＋又は	＋＋			
杭木		＋＋	＋＋又は	＋＋			
楽器材	＋＋	＋			＋	＋＋	＋＋

２)材質試験

日本の森林総合研究所（林業試験場）においても南洋材の性質研究のシリーズとして、100 種に及ぶ南洋材について 40 種を越える、比重から物理的、機械的、化学的性質さらには乾燥特性、パルプ化特性等加工特性に及ぶ研究がなされた。そしてそれら結果について主成分分析による評価も行われた。また合板工業会により、合板、製材用材について工場実験による材質の評価が別途行わ れた。

その後科学技術庁により行われたパプア・ニューギニア材の研究は、この方面の研究を集大成したものといえよう。その取り纏めにおいて鈴木寧による項目整理が行われた。

試験された未利用材の形態、材質項目は次のとおりである。 成育現場の森林構成、樹幹の形態、丸太の形質、辺材幅、木口割れ、生材含水率、生材比重、交錯木理、脆心材、容積密度、全収縮率、吸水量、強度（静的曲げ強さ、衝撃曲げ）、 木材成分、抽出成分、化学的変色（材色、鉄・アルカリ・酸・太陽光）、耐久性、劣化防 止（変色、虫害）、鋸断性（所用動力、けば立ち、挽き曲り）、乾燥性（急速乾燥試験・ス ケジュール決定）鉋削性（切削抵抗、刃先寿命）ひき材接着（常態・湿潤接着力）、塗装（塗 料硬化、塗膜割れ）、曲げ加工（曲げ加工、曲率半径の変化）、釘打ち（引き抜き抵抗他）、 合板・集成材（単板切削－裏割れ、面粗さ、／単板乾燥－時間、狂い／単板接着－フェノ ール、ユリアメラミン、ユリア／挽板接着性）、パルプ化、ボード製造（セミケミカル、ク ラフト、パーチクルボード、湿式・乾式ファイバーボード）、セメント硬化阻害、炭化、健 康阻害（接触性皮膚炎、気管支吸入試験）

鈴木氏により整理された樹種別の総合特性は次の表のとおりである。材の色による整理、人体に対する障害を加えたユニークなものである。[3)]

樹種別の総合特性一覧表

区分	No.	樹種	全乾比重	心部の濃淡	曲げ強さ ton/cm²	耐朽性	外観	加工適性 乾燥処理	加工適性 接着塗装	加工適性 合板製造	蓄積量	接触性皮膚炎	気管支刺激性
比重0.38未満	2	アルストニア	0.26		0.42	Ⅳ	Ⅲ	○	○	○	Ⅱ		
	15	アンチアリス	0.26		0.44	Ⅴ	Ⅲ	○	○	×	Ⅲ		
	29	アンベロイ	0.29		0.42	Ⅴ	Ⅱ	○	×	××	Ⅰ		×
	8	エリマ	0.30	+	0.53	Ⅳ	Ⅱ	○	○	×	Ⅰ		□
	16	アルトカルプス	0.32		0.46	Ⅴ	Ⅱ	○	○	○	Ⅲ		□
	1	スポンジアス	0.33	(+)	0.53	Ⅴ	Ⅱ	××	○	××	Ⅰ		
	202	〃	0.33	(+)	0.55	Ⅴ	Ⅱ	○	○	×	Ⅰ	±	△
	218	ステルクリア	0.34		0.55	Ⅴ	Ⅱ	○	○	×	Ⅳ		
	22	エポジア	0.35		0.66	Ⅴ	Ⅱ	○	○	○	Ⅲ		
	217	ホワイトシリス	0.35		0.63	Ⅳ	Ⅱ	○	○	×	Ⅲ		
	204	ニューギニアバスウッド	0.36		0.65	Ⅴ	Ⅱ	－	－	○	Ⅲ		
	12	マソイア	0.37		0.58	Ⅴ	Ⅱ	○	○	×	Ⅱ		×
比重0.38～0.52淡白	21	ラブラ	0.39		0.69	Ⅳ	Ⅱ	○	○	○	Ⅱ		
	213	パラルトカルプス	0.40		0.64	Ⅴ	Ⅱ	○	－	××	Ⅳ		
	28	ブランチョネラ	0.42		0.75	Ⅳ	Ⅱ	○	○	○	Ⅱ		△
	212	ダイゾックス	0.43	(++)	0.69	Ⅲ	Ⅲ	×	×	○	Ⅱ		□
	9	クワンドン	0.44		0.82	Ⅳ	Ⅱ	○	○	○	Ⅳ		□
	207	リツェア	0.48		0.79	Ⅳ	Ⅱ	○	×	－	Ⅲ		
比重0.53～0.66淡白	30	ライトセルチス	0.52		1.04	Ⅴ	Ⅲ	○	×	×	Ⅱ		
	205	ピメロデンドロン	0.62		1.00	Ⅳ	Ⅱ	○	○	×	Ⅳ		
	219	ハードセルチス	0.64		1.28	Ⅴ	Ⅱ	○	××	×	Ⅱ		
	14	ダイゾックス	0.65		1.20	Ⅲ	Ⅲ	○	○	○	Ⅱ		
比重0.38～0.52濃い	6	レッドブラウンターミナリア	0.39	+	0.82	Ⅲ	Ⅱ	○	○	○	Ⅰ		
	11	カロフィルム	0.40	+	0.77	Ⅱ	Ⅱ	×	○	○	Ⅰ		×△
	203	スロアネア	0.42	+	0.75	Ⅲ	Ⅲ	×	○	○	Ⅲ		
	27	パラキュウム	0.43	+	0.69	Ⅲ	Ⅱ	○	○	○	Ⅱ	+	
	7	レッドブラウンターミナリア	0.43	+	0.81	Ⅲ	Ⅱ	×	○	(×)	Ⅰ		
	5	〃	0.43	++	0.74	Ⅲ	Ⅱ	○	○	○	Ⅰ		
	18	カメレレ	0.46	+	0.77	Ⅳ	Ⅱ	×	×	××	Ⅱ		
	211	パシフィックメイプル	0.49	++	0.76	Ⅲ	Ⅱ	×	○	×	Ⅲ		
比重0.53～0.66濃い	19	カメレレ	0.55	+	1.02	Ⅲ	Ⅱ	○	×	×	Ⅱ		
	3	カナリウム	0.55	+	0.94	Ⅲ	Ⅱ	○	○	○	Ⅱ		△
	201	ニューギニアウォールナット	0.55	++	1.01	Ⅱ	Ⅰ	×	×	－	Ⅱ		
	23	タウン	0.56	+	1.01	Ⅲ	Ⅱ	○	○	○	Ⅰ		
	4	イエローターミナリア	0.57	++	1.16	Ⅳ	Ⅱ	○	○	(×)	Ⅰ		
	20	ウォーターガム	0.58	+	0.80	Ⅱ	Ⅱ	××	××	(××)	Ⅱ		
	208	ブラックビーン	0.58	+	0.80	Ⅱ	Ⅰ	×	××	－	Ⅳ		
	17	カメレレ	0.59	+	0.90	Ⅲ	Ⅱ	○	○	○	Ⅰ		△
	26	タウン	0.60	+	1.10	Ⅲ	Ⅱ	○	○	○	Ⅰ		
	220	ガラムート	0.62	+	1.03	Ⅱ	Ⅱ	×	－	－	Ⅲ		
	209	ニューギニアローズウッド	0.63	++	1.10	Ⅰ	Ⅰ	○	×	－	Ⅳ		△
	215	イエローハードウッド	0.64	+	1.00	Ⅱ	Ⅱ	○	○	×	Ⅱ	++	
比重0.67以上	216	ランラン	0.67	++	1.23	Ⅱ	Ⅱ	○	○	○	Ⅲ		□
	13	クイラ	0.67	++	1.60	Ⅰ	Ⅰ	○	○	－	Ⅱ		
	206	カンジス	0.70		1.06	Ⅱ	Ⅲ	○	○	○	Ⅲ		
	210	アグライア	0.70	++	1.47	Ⅱ	Ⅰ	×	○	－	Ⅲ	±	□
	25	タウン	0.70	++	1.15	Ⅱ	Ⅱ	×	○	○	Ⅰ		
	24	〃	0.73	++	1.22	Ⅱ	Ⅱ	×	○	○	Ⅰ		
	10	マラス	0.79	++	1.53	Ⅲ	Ⅱ	○	×	－	Ⅱ		
	214	プスプラム	0.99	++	1.63	Ⅲ	Ⅱ	××	○	－	Ⅲ		

（注）心部の濃淡：空らん淡白、＋濃い、(+)心部は濃いがその領域小、（++）極めて濃いがその領域小、++極めて濃い
耐朽性：Ⅰ極めて大、Ⅱ大、Ⅲ中、Ⅳ小、Ⅴ極めて小、　外観：Ⅰすぐれている、Ⅱ中、Ⅲあまり良くない
加工適性：○容易、×やや困難、××困難　　蓄積量：Ⅰ特に多い、Ⅱ多い、Ⅲやや少ない、Ⅳ少ない
合板製造適性：（　）フェノール樹脂接着剤のみ不良
皮膚炎：空らん反応なし、±かるい紅斑、＋紅斑、++紅斑＋浮腫、+++丘疹、小水疱
気管支刺激性：×モルモット、△ヒト（正常）、□ヒト（異常）

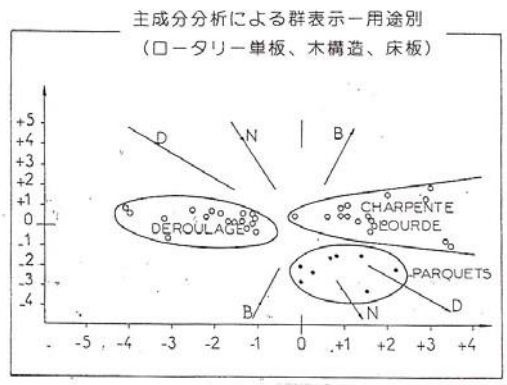
3)主成分分析

主成分分析による材質の総合評価はフランスの C.T.F.T.（CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL)の F.Cailliez and P.Gueneau によりマダガスカル材について行われたのが最初 であり、Solidity と Sensibility という２軸が提示された。[4)]

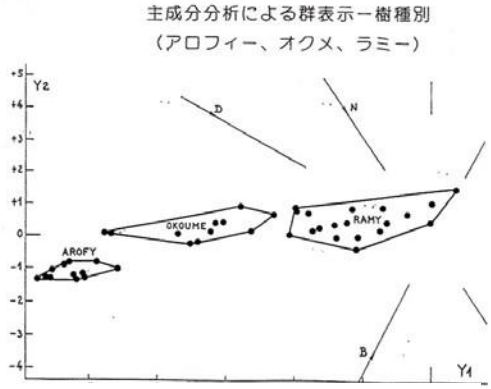
対象とされた項目は硬さ、密度、容積全収縮、含水率１％あたりの容積収縮率、接線方向と半径方向の全収縮率の和、縦圧縮強さ、曲げ強さ、曲げヤング係数、衝撃曲げ吸収エネルギーであり、主成分分析結果による平面内の全個体の群表示の中で、既成の利用樹種の囲いこみ内に入る未利用樹種は既利用のものと同じ利用が可能であろうとしている。

その後日本でも愛知教育大学の橘田による日本産材、森林総合研究所での南洋材への適用が試みられている。[4 9)]

主成分分析法の簡易法として木方により比重・強さの相関直線を第一軸（X）とし、半径方向、接線方向の収縮率の和を２軸（Y）とする表示が試みられた。平面図の上で主成分分析と同じ手法による未利用材の利用の可能性を論じている。

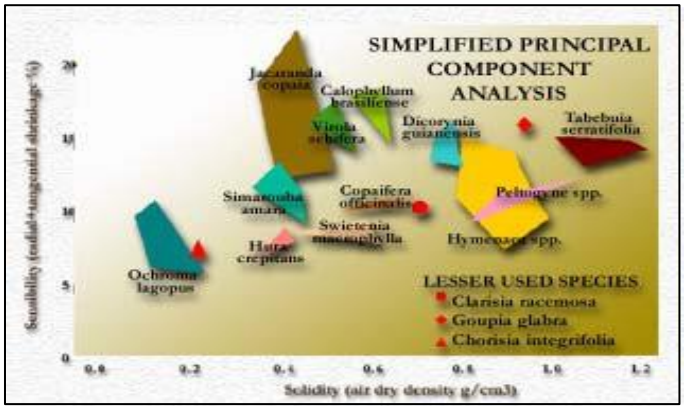


（CTFT）



一つの樹種の中での産地などによるバラツキの範囲を示す。

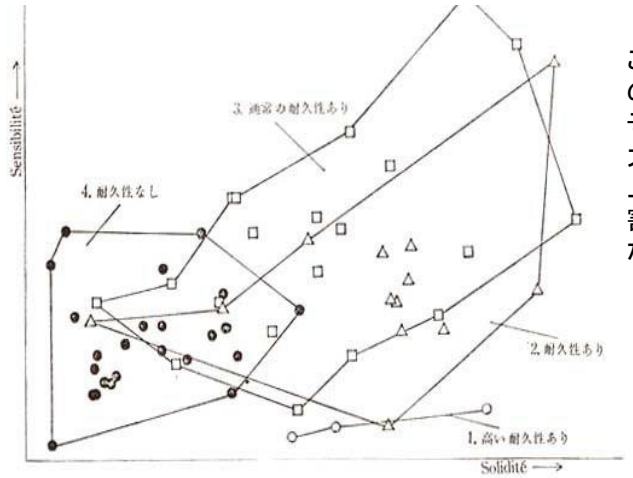
（CTFT）



簡易主成分分析法を、東南アジア産造林樹種に適用した結果を図に示す、夫々の樹種の位置、材質のバラツキの範囲が他の有用・有名樹種との対比で現覚的にとらえられる。（木方）[5]

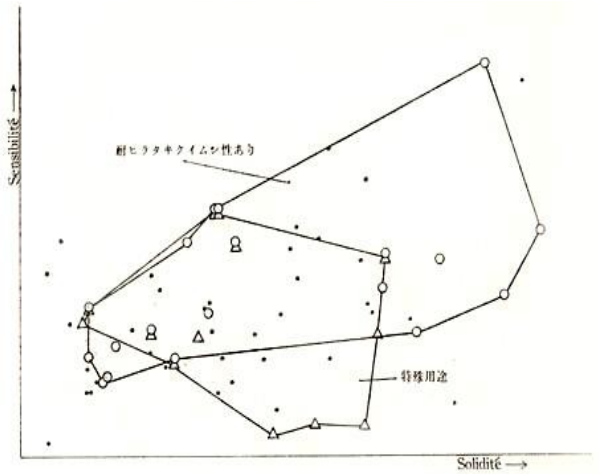
Solidité 軸と Sensibilité 軸で表示したパプア･ニューギニア材 の
耐久性による分類

Solidité 軸と Sensibilité 軸で表示したパプア･ニューギニア材の特殊用途 による分類と耐ヒラタキクイムシ性（Non-susceptible to Luctus）



この図からはある比重以下の材はすべて耐久性がなく、それ以上の材は収縮率の大から小に向けて耐久性が上がる。収縮率が大きいと割れが生じ、耐久性が悪くなるものと思われる。

特殊用途は比重、収縮率に関係なし。ヒラタキクイムシ耐性は、導管の大きさによるものと思われる。



JIFPRO により行われた熱帯造林木の主成分分析（木方簡易法）の結果を次図に示す。対象となった造林樹種はすべてが低比重の材であり、中程度の収縮性をもつものばかりであった。これらは既利用の材との対比においてロータリー単板、モールデング、家具用材、内装材、軽構造材の適材とされた。いずれも耐久性はないという分類に入る。造林対象樹種には早成樹種が選ばれることが多いためであろう。 またマレーシアにおける用途提案は次の通りである。

Acacia mangium 製材、合板、パルプ
A.auriculiformis 燃料材、パルプ
Paraserianthus falcataria 製材、箱材,庇陰樹
Eucalypts deglupta 製材、合板, 杭、ペルプ
Melia azedarach 製材,箱材、マッチ、パルプ

サハラ砂漠が大西洋に落ち込む。（モーリタニア）

やがてステップサバナ、森林サバナ、熱帯降雨林となる。（コートジボアール）

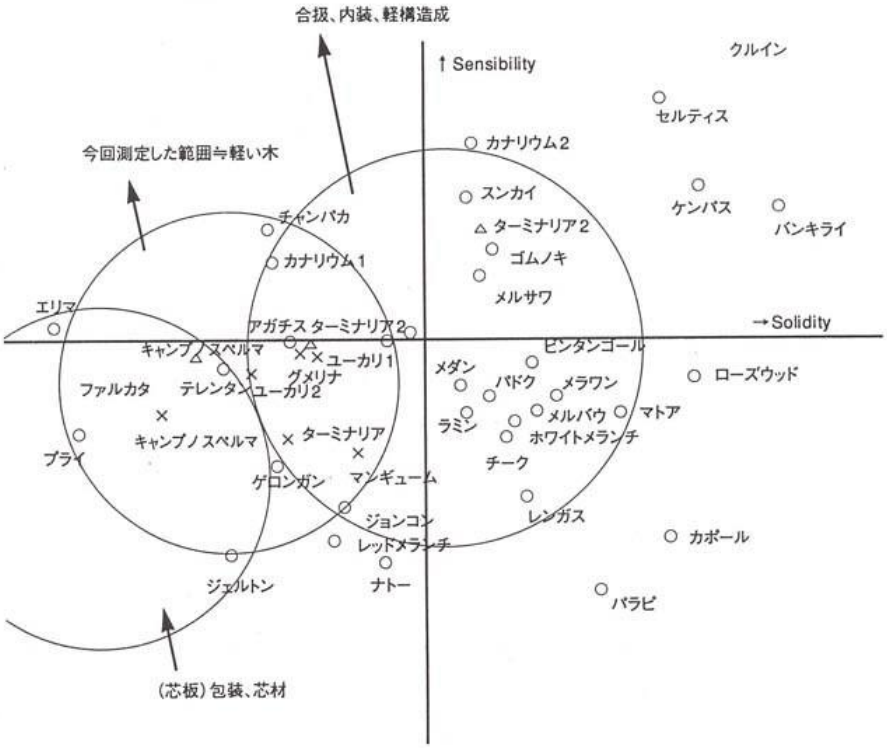
フタバガキ（ラワン）林,（ボルネオ島,サンダガン　木方）

大←Sensibility－収縮率（R.T.V）→小					
V				ユーカリ ロブスター	
Ⅳ		タウン カナリウム	カポール ミラン カロフィルム ニヤトー	メルサワ アビトン マラス	
Ⅲ	アンベロイ	アガチス、メダン レッド・メランチ ジョンコン	ゴムノキ	ケンパス	
			スンカイ		
Ⅱ		ターミナリア カメレレ　ジェルトン ファルカータ　ブランチヨネラ メリナ　イエローメランチ	ホワイト・メランチ セルティス		
Ⅰ	N.G.バスウッド	キャンプノスペルマ チーク	A.マンギウム	A.アウリカリオルミス	
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ

小←Solidity－比重、強さ、硬さ→大

主成分分析手法による樹種特性別樹種配置図

主成分分析手法による樹種特性別樹種配置図



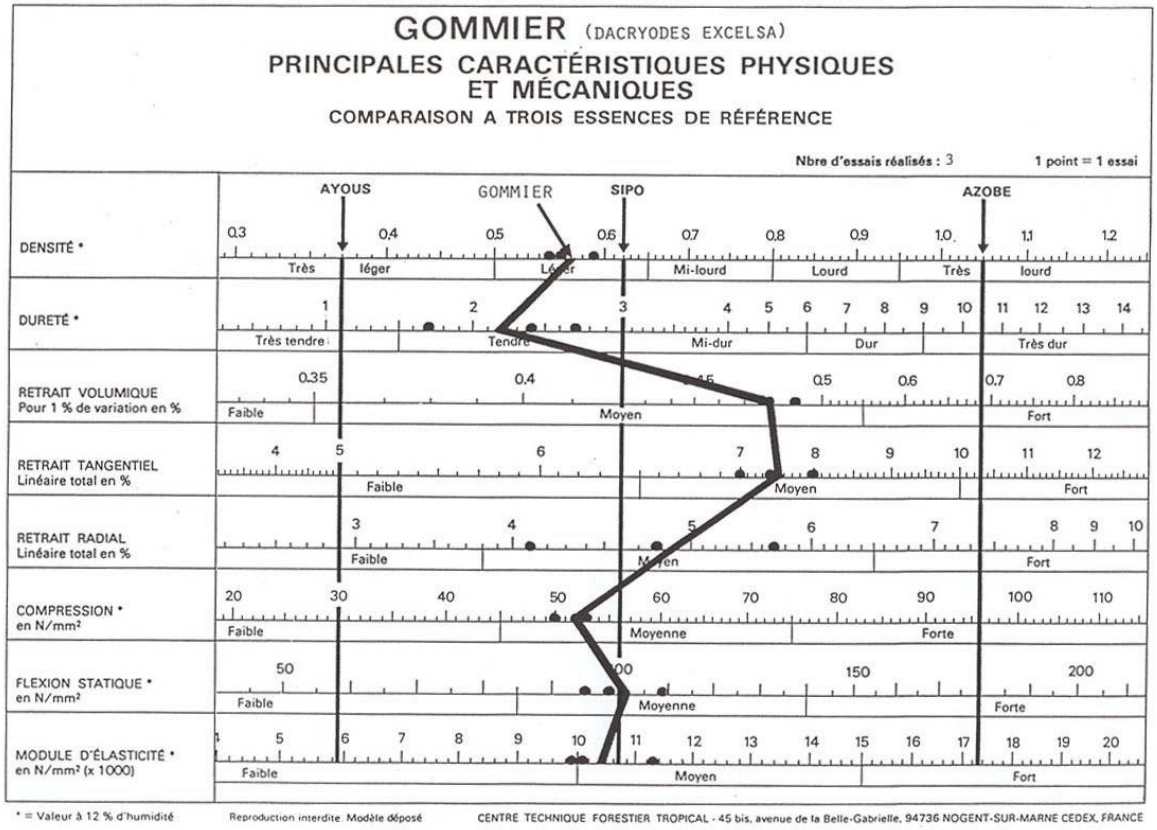
○：既成の既利用樹種
×：今回測定した造林未利用樹種
△：今回測定した樹種の天然材

４）その他

(1)フランスの　C.T.F.T.により個々の未利用材を既知の優良材と対比させる簡易な図形の表示がなされた。図形と別に３）で行われた９の材質項目の他に、追加事項として耐久性、耐ヒラタキクイムシ性、耐白蟻性、注入性、シリカ、乾燥性、繊維飽和点の表示がなされた。

(2)フランスの C.N.R.F.(CENTRE NATIONAL RECHERCHE FORESTIER) の G.Nepveu により、C.T.F.T.での表示すなわち、Solidity としての比重（強さ)、Sensibility としての収縮、第３軸としての抽出物（色、耐久性）の他に残留応力（成長応力)、あて材の出現、木理（交錯、旋回)、パルプ特性としての繊維長さを導入すべきとの提案がなされている。

(3)C.T.F.T の B.Parant らにより図の様に、比重、硬さ、１％あたり体積収縮率､切線方向全収縮率、放射方向全収縮、圧縮強さ、曲げ強さ、弾性係数の８本の平行直線を引き、夫々の直線上に独自の目盛りを定め、夫々の樹種の点を平均値と共に落とし、それら８点を貫いて折れ線とし、標準有用樹種として Sipo(*Entandrophyragma utile*)と軽い材の代表として Ayous(*Triplochiton scleroxylon*),重い材の代表としての Azobe(*Lophira alata*)と 当該樹種の折れ線とを対比させ規覚的にその樹種の材質を表現した。[6)]



(4)D.E.Kreshman により脆心材、あて材、未成熟材の表現として比重変動をくわえることが提案された。(UFRO)

(5)CNRF の M,Keller は夫々の樹種特性を全体比重と部分的比重、色・解剖学的データ、繊維表、成長応力、収縮、比重変動をレーダーグラフで表現することを提案している。(UFRO)

(6)熱帯産早生造林樹種の材質評価として日本の国際緑化推進センターにより材質 試験項目が定められ測定が行われている。[50))]

まずサンプリング方法を定める。採取した材の樹形を記録し、成長応力を求める。ついで心を通した 50mm の柾目板をとり、残りは 30mm にダラびきする製材方法で製材した板材において心腐れ、枝節性、生材含水率、各種比重とその変動性、各種収縮率、脆心材、交錯木理、その他欠点を計測する。天然乾燥した板から試験片をとり吸水性、機械的性質、硬さ、腐朽性、耐久性、注入性、色、シリカ、乾燥性、切削性、接着性、釘・ビス保持力、塗装性を試験する。合板適性試験としてロータリー切削性、単板乾燥性、接着強さ、実大合板の反り、強さ、セメント硬化性を試験する。追加的に繊維細胞の計測を行う。数種のユーカリ、ファルカタ、アカシア類、スンカイ等について測定が行われた。

(7)材質表現として最も重要な比重については、国による木材利用の伝統もあってその表現に差が見られる。使いやすい比重は０．６０であろう。[7)]

比重区分	林業試験場 南洋材	C.T.F.T. アフリカ材	H.E.Desch マレーシア材	H.Hohersel
極めて軽い	-0.38	-0.50		-0.45
軽い	0.39-0.54	0.50-0.64	-0.56	
中庸	0.55-0.70	0.65-0.79	0.56-0.72	0.45-0.75
重い	0.71-0.86	0.80-0.95	0.72-0.88	
極めて重い	0.87-	0.95-	0.88-	0.75-

(8)実際の木材工業の場においえは、比重、色、肌目、木理などが重視され、上記の測定項目とは必ずしも一致しない。ちなみに主成分分析法では第３の軸として抽出成分即ち色に関係する因子が上げられる。第３の軸をとると立体図形となり、通常測定されない。

また、実用の場にあっては、利用される樹種は材形が良く、大量に供給されるものが主体であって、品質は二次的な物である。チリより輸入されるラジャータマツ(Pinns radiate) の例にみられる通りである。低品質の材であっても、合致した用途が見い出され、安定供給、安定品質、安定価格があれば商品化が成立する。

一方、例えば成長応力の強い材、即ち天然林における伐採時に割れを生じるような樹種は生産が無いと思って良い。出材される材は、それだけに良い品質の材であるともいえる。

人工林樹種はゴム、マツ類の様に別途の目的があって植林されたものの利用である。或いは生産量を期待される、或いは他樹種では育たないところの造林樹種などであり、ユーカリでの例の如く、木材工業側での努力により、木材としての利用が進みつつあるものと思われる。

２－５　材質の安定化

１）集成材の利用の普及

近時、木材の利用法の変化が著しく、木材加工技術の進歩もあって、木材材質の考え方 にまで変化が見られるようになった。

まずは、グレーデングマシンの開発があって、立木の段階から、丸太段階までの強度評 価できるようになった。林木の撫育にまでさかのぼることが考えられる。製材品はマシン グレーデングによって区分けされ、用途によっては、樹種不問の状況になった。このこと はツインバンドソーによる製材の能率化、寸法の均一化によりもたらされたものであるが、 集成材利用時代をもたらしたともいえる。 即ち集成材ラミナを高能率で製材し、グレーデングマシンにより表板、芯板に区分し、或 いはプルーフ・ローデングマシンにより、ある基準値以下の強度の欠点部分、例えば大き な節は破壊させ、切り落とし、切り落とした両端をフィンガージョインターで改めて強度 の大きいラミナとしていくことがなされるようになった。

このことは必然的に乾燥材の導入促進を伴い、寸法、強度など材質は安定することとなった。これが建築工法におけるプレカットシステムの普及とあいまって集成材の形での輸入が増大することにもなり、対応の遅れた国産材製材は苦しい立場に追いやられるようになってきている。

集成材でない国産乾燥角材を注文に応じた寸法で納入するためには、丸太または大角材段階で乾燥材にしたものの備蓄が必要であろう。丸太、大角材の水蒸気前処理、引き続いた促進天然乾燥が提案されている。

一方ＣＴスキャンテクニックを応用した柱材の断面写真を撮ることにより、１ｍｍ単位、１％単位での柱材内部の水分分布が測定されるような提案がなされている。(金川、服部、 古山)

２）林木育種

各種欠点の出現には、遺伝と環境の相互作用があり、育種の現場での研究と連携をとる ことが必要である。

熱帯材、特にマレーシア産のマンギューム(*Acacia　ｍａｎｇｉｕｍ*)に出現するハートロット（心 腐れ）について２，３の試みがなされている。

（１）インドネシア・ジョクジャカルタ郊外のＪＩＣＡ支援による林木育種場において、各地域より集められたマンギュームの種子、苗を交換する形で、一斉に各地に配って、環境と遺伝との関係をハートロットの出現に絞って見いだそうとする研究である。結果がそろそろ出る時期ではないかと期待している。ちなみにマレーシア・ザバ州産のマンギューム造林木には必ずと言って良いほど、ハートロットが出現するが、インドネシア、スマトラ産の造林木には極めて少ない。疑わしい材はトラック一ぱい数本であり、それもとりだしてしらべるとほとんどハートロットではなかたという。(Nugroho)

（２）熱帯荒廃地等における早生樹種造林は本来、森林再生やパルプ用材、薪炭材生産を目的としたものであるが、これら造林木の新しい利用方法及び付加価値生産を目指した施業方法を解明することが、ＪＩＦＰＲＯにより行われた。(加藤亮助　JIFPRO) [8)]

サバ産のマンギューム造林材にはハートロットが出現する。しかし、マンギュームは瘠せた酸性土壌、排水の悪い塩類土でも成長するなど幅広い立地条件に適応し、その成長は降水量の多い、排水の良好な土層の厚いところでは良好である。他の早成造林樹種より立地要求の面で優れている。

サバ州のマンギューム造林について提案された育種方法を抄録する。

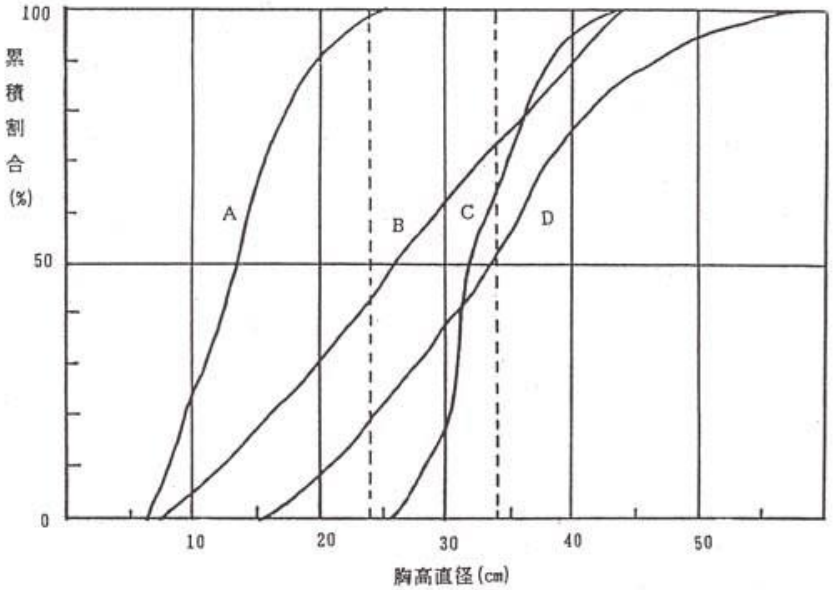
i)　マンギュームの造林地で、植栽後萌芽による株立ちが見られる。量生産を目的とした場合には別に問題にならないが、直径生産は低下するので整形・単幹化(singling)を行う。なお同時に調査対策とされたヤマネ(*Gmelina arborea*)、ファルカータ(*Paraserianthus falcataria*)、ユーカリ(*Eucalypyus deglupta)*では単幹化は必要ないとされた。

ii)　枝打ちは材質をよくするための重要な手段である。一般的に製材用原木には末口２０ｃｍ、合板用原木で３０ｃｍが必要とされ、細り率（うらごけ）から２ｍ材を３番玉まで採木するとマンギュームでは製材用原木で胸高直径２４ｃｍ、合板用原木で直径３４ｃｍが必要とされる。節の関係では製材用で直径１０～１４ｃｍ以上、合板用で１４～２０ｃｍ以上の外側に節のないこと、即ち直径１０ｃｍ以上の部分に節のないことが良質な材の生産に必要とされる。

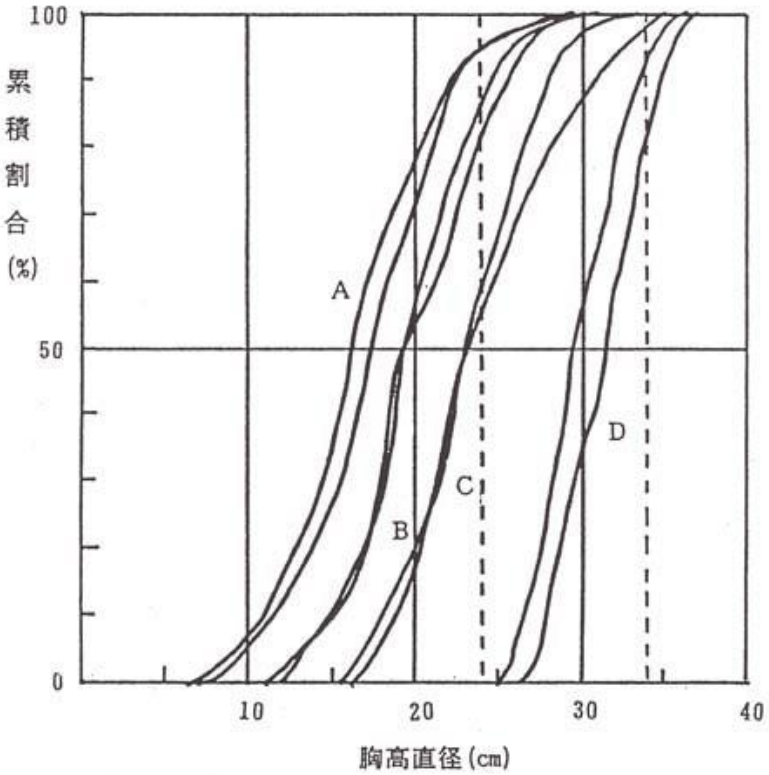
（３）密度管理・間伐についてはマンギューム造林木は一般的に１０００本/h 前後の植栽本数で造林され、大体１２～１８ヶ月で林冠は閉鎖し、下草は被圧される。マンギュー ム産業造林としては６～８年で、パルプチップ用材の生産を目標とすることが多く、この 値で十分であろう。

生産された木材が製材用原木や合板用原木として利用されるためには、できるだけ早く利用できる大きさに達する施業法が必要である。平均胸高直径２４ｃｍを目標とすると、樹高２２～２４ｃｍに達することが必要で、地位や本数密度により異なるが、平均的に１０年以上が必要となる。６年生の段階でパルプ・チップ用原木を伐採すると共に、胸高直径の大きいものを保存し、すべての残存木が２４ｃｍ以上になるように、さらに６年の育成が望ましいとされた。

その他のデータに基づきマンギューム造林に対し１回、２回、３回の３通りの間伐による密度管理の選択肢が提案された。 地域の社会的、経済的条件で決定する必要があり、実証のための試験林の設定が必要である。



サバのSAFODAの*A.mangium*の調査地の胸高直径配分
A：8年生、現存本数1314本/ha、B：自然交雑種の林分、12年生と24年生、現存本数428本/ha。
C：12.5年生、90％間伐、現存本数132本/ha 。D：30年生、10X3m の列状植栽、現存本数211本/ha。



SAFODAでの間伐試験地の胸高直径配分
0　6年生で間伐、12.5年生での結果。
A：無間伐、現在本数770～810本/ha。B：50％間伐、現在本数520～570本/ha。
C：75％間伐、現存本数290本/ha。D：90％間伐、現存本数100～120本/ha。

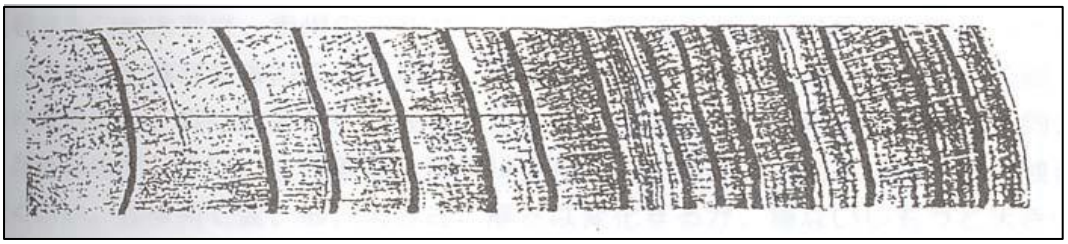
２－６　熱帯材に特徴的な材質

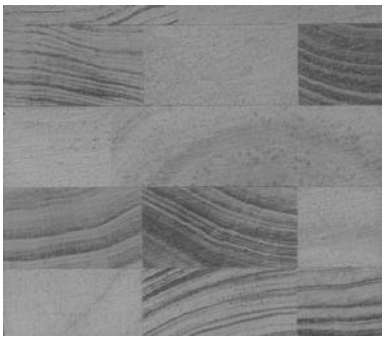
１）容積密度（比重）と硬さ

世界一軽いバルサ材（*Ochroma* spp. 比重 0.1 以下）から世界一重いリグナムバイタ（ *Guaiacum officinale* 比重 1.3 以上）まで、極めて多種多様である。このことは指で凹むような材から釘が打てない材までがあることを示す。大きさと量を問題としなければ、あらゆる用途に適した材料が木材から見つけることが出来ると称される所以である。

２）年輪

熱帯材の殆どが成長輪（年輪）を持たない。雨季、乾季による成長輪や乾季の雨により生ずると思われる偽年輪を持つものがある。成長輪界が樹幹を一周しないものを偽年輪（偽の成長輪）としている。





メルクシー　上：太線は成長輪（原寸大）
　　下：偽成長輪

ある一つの工場のメルクシーマツの集成材では、全く成長輪の見えない材と、成長輪が密集して出る材とが見られる。一時的な降雨等極めて地方的な原因であろうと思われる。

３）節

熱帯材の樹幹には節が少ない。幹のごく中心にのみ出現するものが多い。メランチ（ラワン）の例では直径１メートルもある幹で、中心部の髄から３～７cm の範囲で、芽節程度のものから３～４cm 直径の節が少し集まって 10cm 間隔で出現する程度である。（高田）

立木状態では節の無い太い幹が何十メートルも立ち上がり、はるか上部に樹冠があり枝があり、葉がついているのである。インドンネシアのカリマンタンでの測定例によると直径１m程のメランチについて枝の無い樹幹の長さ約３０m，枝のついた樹冠の高さ約１０mであった。そして往々にして文献において熱帯材の樹高を表現するのに枝下高さ等（切り出せる丸太の長さ）で記されることがある。注意が必要である。

４）色

心材の色も多様である。真っ黒な紫壇、黒壇（*Dalbergia* spp.,*Diospyros* spp.）血の色 をしたパドウク、パオロザ（*Pyerocarpus* spp.*Swartzia fistuloides*）黄色のジャックフル ーツ（*Artocarpus* spp.）紫のパープルハート(*Peltogyne* spp.)白いバルサ、テレンタン（*Ochroma* spp.,*Campnosperma* spp.）緑色のコチュチョ（*Fagara*spp.）,もちろん木の色であ る茶色も千差万別の色合で出現する。辺材、心材の色の区分も、すなわち材の中での着色 の具合も明確に変化するものが普通であるが、区分不明なものやチイトラ（*Oxystigma oxyphyllum*)のように樹幹の中心に向かって段々と濃い赤褐色になるものもある。

５）板根等

一般に熱帯材は太く、通直であるが、根元に変化に富んだ板根を有することが多い。熱帯雨林の最上層をなすような大木の著しい外観的特徴として板根があげられる。温帯産の樹木のあるものでも幹の基部に局部的の肥大のみられるものがあるが、熱帯材の板根はより偏平で地表面を走る側根と幹の間をつなぐ巨大な三角形の翼をなし、幹と区分されるものである。エイヨン(*Sterculia oblonga*)では１０ｍもの板根が地上に立ち上がる。現在ではチェンソーで地際から切り、倒した樹の板根部を取り除いて円筒形の樹幹部のみを出材しているが、以前は地上数ｍの上に櫓を組んで板根の上から切つって板根はそのまま残す伐採が行われていた。板根がもっと立ち上がるとフライイングバットレスとなって根が上がり空中で数本の根が太い幹を支える形の樹形となる。板根の一つがそのまま、幹に沿って上昇し枝につながる形も見られる。

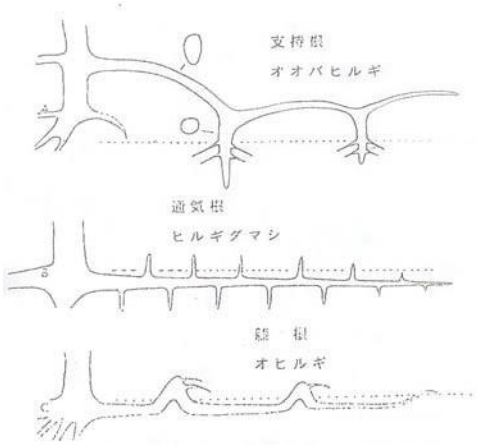
板根は側根の上面部分の極端な二次成長により生じたもので、その成長は著しく偏心する。板根をもつ樹木では、板根の上端から下に向かって幹の太さは顕著に細まっていく。多雨による多湿土壌が直根の発達を妨げ、側根の方向に一致する局限された幹の部分の成長のみが促進され、幹に隆起を生じ板根となるとの説もある。木材組織は幹材と同じであるが、あて材は生じない。水分導通作用より支持作用の方が大きいとされるが、残留応力は大きくない。固体間で数、形、大きさ、厚さは変化するが、種ないしもっと大きい分類単位である程度定まっている。アフリカの有用樹種であるセンダン科（MELIACEAE）の各樹 種はそれぞれの板根に特徴がある。熱帯林現場における樹種の判定に役立つ。フタバガキ科、マメ科、アオギリ科（Dipterocarpaceae,Leguminosae,Sterculiaceae）には大きな板根をもつ樹種が多い。

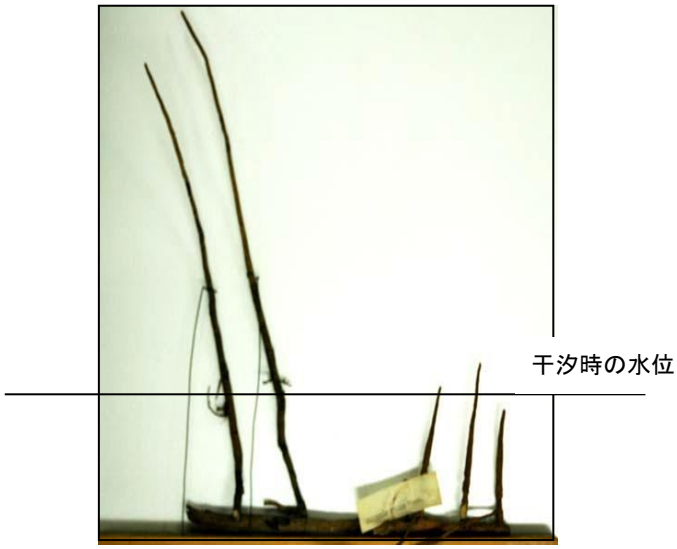
広がった板根

フライングバットレス

高い板根

また，マングローブでは、ヒルギダマシ（*Avicennia* spp.）は直立気根を、マヤプシキ（*Sonneratia* spp.）太い直立気根，オオバヒルギ（*Rizophora* spp.)は支柱根を．オヒルギ（*Bruguiera* SPP.） は膝根と言った夫々特徴的な根系を持つ。





直立気根

Avicennia marin

膝 根（左 ）*Bruguiera conjugata*
支柱根（右） *Rhizophora mueronata*

６）脆心材

熱帯材には、中心部に顕著な脆心材を生ずるものが多い。顕微鏡的に繊維にミニッツフェイラーを有することで脆心材の定義とするが、カポール材の如く目にみえる もめ の線が数十ｃｍ間隔に出るものもある。脆心材であるか否か議論のある所である。

脆心材の脆さは、衝撃曲げ試験において特に塑性域の減少となって現れ、結果として衝撃曲げ強さ、衝撃曲げ吸収エネルギーのそれぞれの比強度が低下する。この範囲を脆心材の範囲と定義すると、その内側に細胞壁にミニッツフェイラーのある、衝撃曲げヤング係数の比強度の低下する領域が存在する。この定義での脆心材の範囲には肉眼的な圧縮破壊線が存在する。いずれの範囲も丸太の直径の増加に伴ってその範囲を拡大させていく。どの丸太でも、樹心部に平均ミセル傾角の大きい未成熟材が存在する。また比重が低い範囲があり、この範囲では木口の鋸断面は毛羽立つ。脆心材の拡大の範囲はこの毛羽立ちの範囲を越えない。この低比重の範囲ではアルカリ抽出物が少ない。

レッド・セラヤ(*shorea* sp.)について測定した結果、１%NaOH 抽出成分量の樹幹内分布は図のようになる。樹心から ６ｃｍまでが、材の木口面が毛羽立ちを生ずる低比重領域で、脆心材かつ未成熟材であり MOE/r15 が低下している。6～10ｃｍの範囲は木口面が毛羽立ち、低比重であり、脆心材である。10～17ｃｍの範囲は木口面が毛羽立ち、低比重である領域である。17～37ｃｍの範囲は正常心材、37～樹皮までは正常辺材である。

Table 2 Distribution of 1% NaOH extract for log L 1.

Area (cm)	Juv.wood MOE↓* (Pith-6)	MOR↓ U↓ (6-10)	Low den. Fuzzy e.g. (10-17)	Adult wood (17-25)	(25-37)	Sap wood (37-Bark)
1% NaOH	12.3	12.1	13.4	15.2	14.8	15.6
Extract	12.5	12.4	12.9		14.8	
(%)		12.1	12.6		14.1	
Average	12.4	12.2	13.0	15.2	14.6	15.6

Note:
* : The area where the ratio of MOE to r15 is decreased.
Other arrows are used for the same purpose (as for MOE).

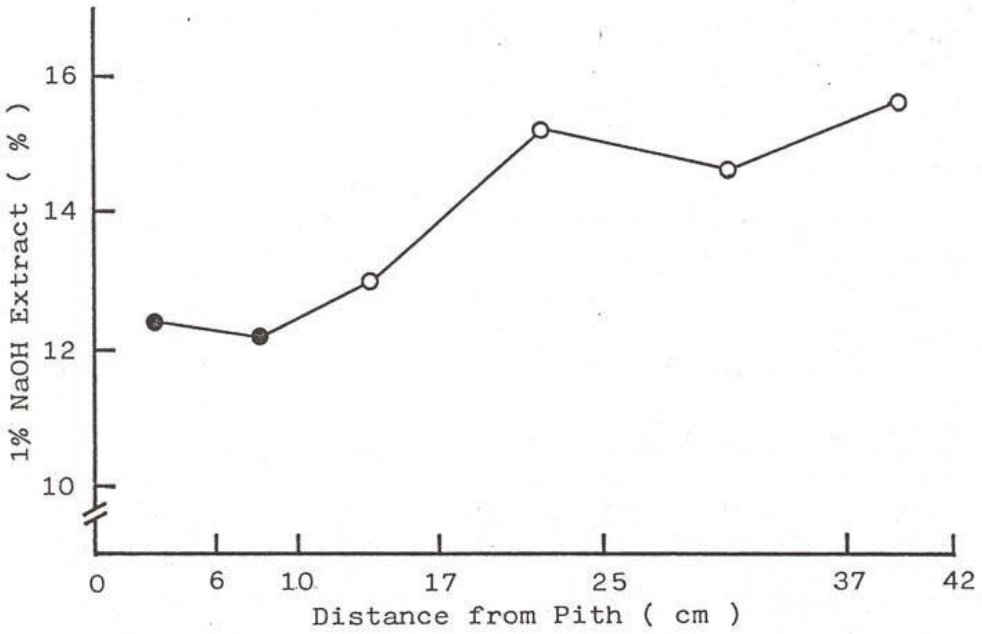


Fig. 48 Distribution of 1% NaOH extract for log L 1.

丸太NO.	L3	L2	L1*	L2*	L7*	L3*
半径(cm)	26	31	39	46	50	54
低比重領域(cm)	13	12	17	9	10	23
未成熟材(cm)	4.5	2	6	4.5	2.5	11.5
脆心材	3.5	7	10	6	10	23
脆心材/低比重領域(%)	27	58	59	67	100	100

（高田、古橋）

天然林において倒木により生じたギャップに中での成育競争の結果急速な伸長成長が節の少ない細長い幹を作り、樹冠に達したものが枝を広げ、幹の肥大成長を始めるのではないだろうか。この伸長成長の間に生じた材が、初めのうちは未成熟材であり、そして低比重材であろう。その後の肥大成長により加わった成長応力（樹幹内残留応力）により細胞が破壊され大なり少なりの圧縮破壊線をもったものが脆心材なのであろう。しかし広さにもよるがギャップに生える樹木は傘型になりやすいとも言われ、さらなる現地での調査と長期の観察が必要である。 また“まず立木に甲虫が侵入し、穴を埋めながら丸太の中央部まで進む。同時に微生物を 搬入し、その微生物により、丸太内部で嫌気性発酵がおこなわれる。それによって低級脂 肪酸が生成され、材内部の ph. が低下し炭水化物（セルロース、ヘミセルロース）の加水分 解が起こり、重合度が低下し、強度の低下が起こり脆心材が形成される。実験的に酸によりヘミセルロースの重合度が低下し、比重も強度も低下する。（寺島）

しかし、脆心材は樹種により特徴的なものである。両者の説の複合的な原因によるものであろう。

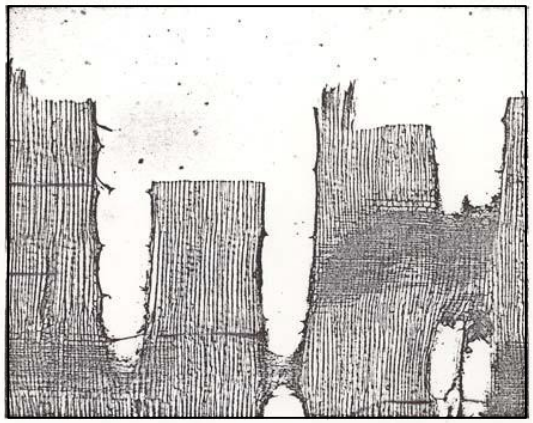


Photo.22 Fractural area on the edge grain taken by optical microscope. (x36)
5 cm from pith.

脆心材にみられる圧縮破壊線（メランチ）

（高田）

脆心材はポッキリ折れるような破壊をする弱い材で在り、加工技術の向上により、以前は使われなかった樹心部の材までが使われるようになって、強度的トラブルを生ずるようになった。

フ）　成長応力

樹木には我々が丸太として利用する幹があって、重い枝、葉を支え、根につながっている。このように生きて立っている形でとれていた幹の内部の力の均衡は樹木が伐倒され、造材されて丸太となることにより、くずれてしまう。その力が大きいときには原木や製材された板に割れが生ずる。普通に、成長応力と言われているが正確には成長応力に起因する樹木の固有応力、内部応力、残留応力のことである。成長応力はあらゆる樹木に存在する。温帯産の欧州のブナ材でも 10 本に 1 本の割合で伐倒時に割れを生ずる。一般的に針葉樹、温帯産材の成長応力は小さい。熱帯材では材が分離してしまう程の大きな裂けを生ずるものまでがある。

この力は、樹木の成長にともなって生じる力であり、立木の状態で幹の中に蓄えられている。伐倒するために切り目をいれただけで割れを生じ、伐倒、玉切りにより完全に解放される。すなわち割れを生じる。そして樹心を通して丸太を二つ割りするとき、最もめざましいものとして現れる。二分された丸太は曲り、製材された角材の寸法は不斉となり、板材は裂けてしまう。

樹幹内での成長応力の分布は樹皮側 1/3 の部分で引張り、樹心側 2/3 で圧縮となる。材が割れるとき、ミカン割りしたような形で裂け外側に反ることになる。このような力の分布は、立木の時に樹木全体としての風に対する抵抗力を、より大きくしているように見える。

一方でこの成長応力の分布は樹心に大きな圧縮力をもたらし、脆心材を発生させる一因とされ伐倒、製材時の割れ、反りと共に木材利用にとっては大きな障害となる。

成長応力の大きさは樹種により大きく異なるが、材は太い程、長い程、割れは大きい。傾いた材や、欠点のある材の割れは大きい。伐採後、初めのうち割れは縮小するが、やがて拡大にむかい 20ー40 日で最大に達する。通常の貯木の期間での応力緩和は期待できない。このような原木の割れ防止、すなわち成長応力の緩和策について応力緩和方式、応力分散方式など、種々の提案がなされている。

応力緩和方式として、古来チークで行われている巻き枯らし（girdling ガードリング）は有効である。立木の根元に切り目をいれ、樹皮を剥いで枯らしたチークを２年間の山に立ったまま放置することにより成長応力は緩和し、割れなくなり、また水分がぬけ沈木（シンカー）から浮木（フローター）にかわる。丸太での蒸煮、クン煙などの熱処理も有効である。以前割れの拡大防止のために多用されていた、木口に打ち込むＳリングは、ある種の割れには有効であるが新たな割れを発生させることがあり、現在ではあまり使用されなくなってきている。

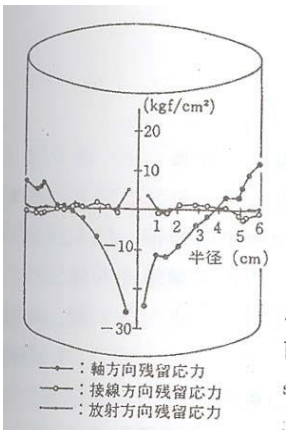
応力分散法は、切りこみ部における応力集中を利用して材内の成長応力を分散させて破壊すなわち割れを防止しようとするもので、種々の手法が提案され、コンピューターによるシュミレーションがおこなわれている。ある種のものは現場実験で成功している。

巻き枯らし（girdling ガードリング）

成長応力

樹種		測定	平均表面歪み×10⁻⁶	表面歪み範囲×10⁻⁶	表面応力×kg/CM²
Dadema	*Piptadenlastrum africanum*	12	1.500	1.150−1.842	150
Framire	*Terminalia ivorennsis*	4	1.280	806−1.762	128
Abale	*Combretodendron macrocarpum*	1	990		99
Frake	*Terminalia superba*	9	950	725−1.175	95
Eucalypt	*Eucalyptus citriodera*	2	820		82
Hetre	*Fugus silvatica*	5	700	−	70
Teck	*Tectona grandis*	11	620	434− 802	62
LOTOFA	*Sterculia rhinopetala*	5	480	401− 555	48
Avodire	*Turraeanthus africana*	2	440		44
Pin	*Pinus* spp.	5	200	−	20

表面応力はヤング率を 100.000kg/cm²として計算　　（木方・奥山・山本）



ポプラの樹幹内残留応力分布図
（奥山ら）

製材背板の中央から切り出した柾目板の曲がり（Crook）
(C.T.F.T)

応力除去処理の有無による丸太の割れ。右側は丸太周囲にチェンソーの ブレードの幅の深さに切れ目を 入れ、一周させた後に改めて切 断した。通常の横切りを行った隣の同じ材と比べて割れ防止効果は歴然としている。（Gueneau,木方）

8）成長応力　追記

（A）熱帯材の割れ

樹幹の中での成長応力（残留応力）の分布は，樹木の軸方向で、樹皮側１/３の部分で引張り、樹心側２/３で圧縮となる。接線方向では、逆に樹皮側で圧縮、樹心で引張り，放射方向では、樹皮側では０、樹心側では引張りを生じている。従って、丸太木口における割れの形も樹心を通る放射方向の放射割れ，其れと直角な、接線方向の樹皮側の材がはじけたようになる接線割れ、目回りの３つの形をとって現れる。

熱帯材原木に出る割れについて，フランス熱帯林業試験場（C.T.F.T.）がオクメ材（Okoumé）について行った，大掛かりな調査がある[9)]。ガブンの林地での伐採直後から、フランスの工場到着時，及び工場土場で２ヶ月置いた後の、夫々の時点での割れを総計2,000 本の木口面で追跡し独特の方法で評価、比較したものである。結果について，その後我々の行った実験例を加えて記述する。

まず伐倒に関しては半ば谷側に落とすのがわるく，谷側に倒す事は、以外に割れが少ないという。

いずれにしても丁寧に扱う事が割れをすくなくする。材の直径は大きいほど割れは大きくなる。特に直径８５cm 以上の材の割れは大きい。従って一番玉での割れは２番玉より大きい。玉切る時には、玉切って長く残す側の木口ほど割れは大きい。材形については、傾いた材の割れは大きく、曲がりのある材では目回りが多く発生するが、その他の材の欠点は割れに影響を与えない。

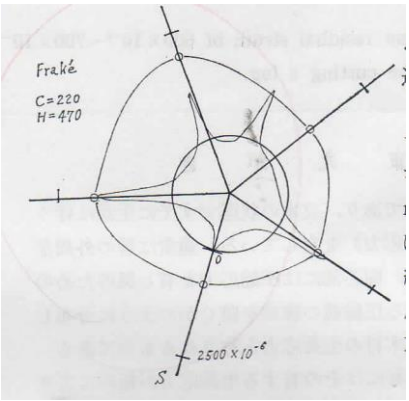
伐倒後、はじめのうち割れは縮小するが、やがて拡大に向かい、２０−４０日で最大に達する。

その後は、多少縮小ないし平衡状態をたもつ。

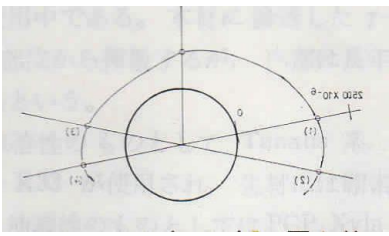
水中貯木といえども，このような材の割れの悪化を防止する事は出来ない。６０日程度の貯木では割れは拡大する。

貯木中の材を玉切るときに発生する割れについても同様の経過が認められ、通常の程度の貯木では，材を放置することによる成長応力緩和の効果は弱いとされる。

造材、玉切り方法による割れの発生については、切りこみを始める位置と割れとの関係がはっきり認められる。即ち林内での造材の際に発生する樹心を通る放射割れは切り込み点の反対側に、それと直角の接線割れは切り込み点側に多い。



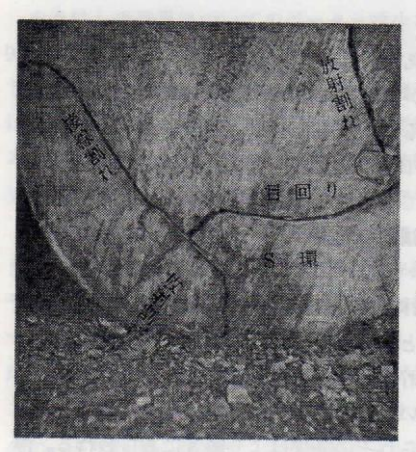
Fraké　の成長応力（樹幹周囲の表面歪み）
星印は板根位置をしめす。



Limbali

（偏心した成長応力。表面歪み）。
平均表面歪み　１，３００　X　１０$^{-6}$

土場における玉切り時においては、普通水中貯木した材を持ち上げて，そのまま置き，浮いていた所から切り込みを始める事が多い。この場合には、上記林内造材の時と同様の割れの発生と切り込み位置の関係が見られ、その効果はより顕著にあらわれる。浮き面と反対側の面より切り込みを入れる時も同様の結果が生じる。



Okoumé 丸太玉切り時に発生する割れの形．S 環により拡大が防止された放射割れと新たに発生した接線割れ．と目回り（木方）・

①残留応力の解放を阻止する。②残留応力を分散し，残留応力の解放により発生するひずみの集中を少なくする。③残留応力そのものを低減させる。④材質の改良を計る。などであろう。①については，すでに昔から使われている手法にＳ環による木口割れの防止がある。これは効果のある場合もあるようであるが，大きな応力を持つ材ではＳ環および材部の破損により木口割れ防止の効果が薄いしＳ環の部分から新しい割れが発生すること

Eucalypt (直径２５cm) の玉切った時に発生した木口の割れとその後の時間による拡大。（奥山）

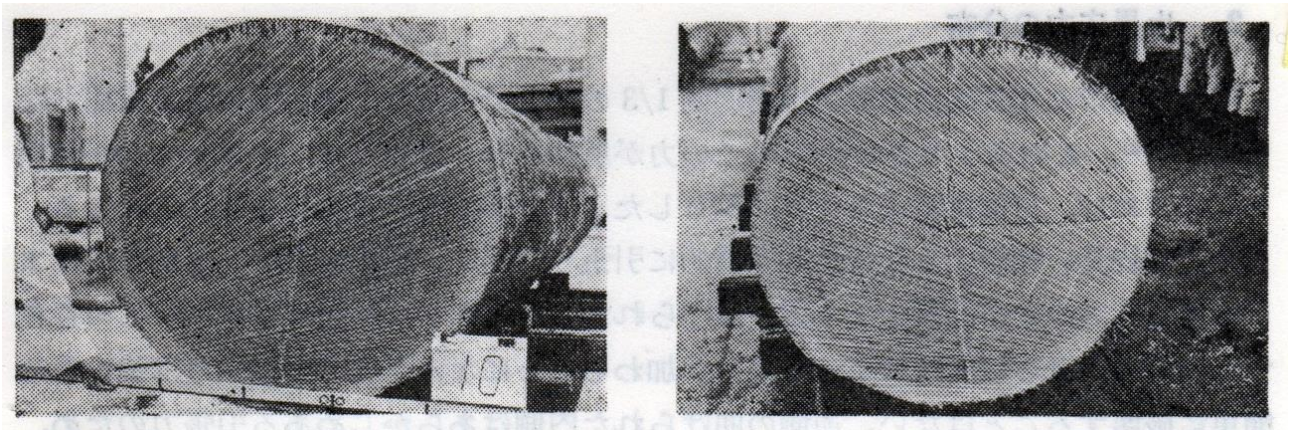
結論として側面より切り込みを入れて玉切る事が割れの発生をすくなくし、フランス式の評価によると　１７．５％の割れが減少するとされる。偏心成長した広葉樹材は、偏心の長軸側に大きな引張り応力を持つアテ材を含む事が多くある。我々の実験でも，普通の玉切りは，水中貯木した丸太をそのまま持ち上げ，ローラーコンベアの上に下ろし，チェンソーで丸太の上端から切る事がなされる。水中貯木された材では、材の偏心により，浮き方が一定方向となる。そして、浮いた丸太の上下方向の残留応力の分布も偏心し、側面のそれより大きくなる。通常の玉きり方法では、偏心した成長応力の分布の最大側より切り込みを入れる事になり、解放された成長応力による割れは最大となる。このとき丸太を９０度横に倒して玉切る事が側面から切り込みを入れる事となり，割れを少なくする。フランスの結果の成長応力から見た解釈である。

また通常、玉切る事により，切られた短い材も，残りの長い材も改めてローラーコンベアーの上にガタンと落ちる事になる。この衝撃により，割れが発生する事がある。コンベアーの改良が必要である。

また玉切る前に端を落としておくと割れは減少する。また，例えば、８ｍ材を順次　１．３ｍに６等分するよりも、２．６ｍに３分割してから，夫々を２分する方が割れを６％少なくする。

一般に４ｍまでの長さの材を造材する時、割れは少なく，５ｍを超える長さの材では割れは大きなものとなる。　割れの多い丸太から玉切った材では，やはり割れを多く発生する。

日本についた原木の玉切り時に発生する割れについて，新潟大学の繼田教授等によるラワン合板原木での調査がおこなわれている[10)]。芯割れのながさと本数に対し，平均直径、原木長さとの間に相関が認められ，目回りと材の真円度との間にも，相関が認められる等の報告がなされている。同様な事がカポール合板原木についての我々の調査でもみとめられている。



２ｍ　長さ丸太側の玉切り面の割れ。　　４ｍ長さの丸太側の切り木口面の割れ。
６ｍ長さの　Kapur　原木端から２ｍ長さを玉切った時に発生した放射割れ。長い丸太側の木口の割れが多くて大きい。（木方）

その後、原木丸太内の残留応力，即ち成長応力の測定法の開発がすすみ、数値化がなされるようになり，残留応力の材内での分布が測定されるようになって、上記の結果はいずれも追認されることとなった。名古屋西部木材港についたラワン、カポール材について，同様の玉切り実験を行った結果はC.T.F.T.の報告を裏ずけるものであった。
玉切った丸太の製材時の，回し木取りは板材の割れの発生を減少させる。

B)原木の割れ防止

このように発生する原木の割れについて、これを防ぎ、割れを生じさせないで玉切り、製材する
試みがいくつかなされている。大きく分けて応力緩和方式と応力分散方式とにわけられよう。

（ｉ）応力緩和方式

①　まき枯らし　　古来チーク材の伐倒には、まき枯らしが行なわれ、幹の基部の樹皮を剥いて樹を枯らし，２年間そのまま山に放置されると言う。重量の減少と成長応力の緩和を期待するのである。伐採直後の材は沈木であるが,まき枯らし後の材は水に浮くという。チーク　の成長応力に伴う軸方向の表面歪みは６００X１０$^{-6}$に相当する。

しかしまき枯らしは、その期間中に予想される虫害，腐朽菌害の為に適用される樹種は限られたものとなる。

まき枯らしの効果についいてのデーターはすくない。G.Giordanoらによると表面歪みで　９８０X10^{-6}に相当する成長応力を持つユーカリ材がまき枯らしにより４６０X１０$^{-6}$に半減したという[11]。大迫等がアカマツのまき枯らし材と材線虫による枯死材で行った実験では，いずれの材も枯れはじめると大きな表面応力を発生し，その後減少していく事がみられた。材内での応力分布は複雑な形をとり，また長期にわたる実験でないこともあってそれ以上の事は知られていない[12]。

②　貯木　　前記のC.T.F.T.の追跡調査では、伐採後フランスに２ヶ月間かかって着き，その
後２ヶ月貯木するといった，通常の貯木期間に置ける成長応力の緩和の効果は、予想以上に悪い。

J.E.Nicholsonは丸太の周囲表面で平均８５kg/cm^{2}の成長応力を持っていたユーカリ材を　６ヶ月間エンドコートし水中に貯木することにより１５kg/cm^{2}の応力減少をみ，材の周囲における応力が平均化したと報告している[13]。

我々の行ったユーカリ材の実験では、貯木により、応力の分布は均一化し，減少し

ていくものの、６ヶ月間の貯木では切り割れを生じないまでの減少はみられなかった。

C.T.F.T.の調査では，貯木期間中の山積みされた丸太の南側、東側に覆いをもうけ，直射日光を遮る事が割れの拡大を防止する事に有効であったと言う。

その後の工場土場に置ける２ヶ月間の貯木期間においては，接線割れの拡大が目立つ。特に丸太の元口で著しい．一方、ひび割れ防止薬剤はいずれの割れに対しても有効であった。

③　Ｓ環　　木口のひび割れの防止のためのＳ環、ひび割れ防止薬剤は貯木、輸送期間における割れの拡大を防ぐ意味をもち、その間の応力緩和，その後の何らかの処置による応力開放までのつなぎとしての役割を持つものといえよう。これについてもC. T.　F. T.のガブンからフランスの工場までの追跡調査がある[14]。 Ｓ環の効果は放射方向の割れの拡
大防止には有効であるが、接線方向の割れには有害であり、全体としては，むしろ有害であると判定されている。

放射割れの拡大を防ぐためのＳ環が接線割れを発生させる事がしばしば認められる、一方接線割れの拡大を止めるためのＳ環が放射割れを起こす事は無い。接線割れにのみＳ環は有効に使用する事が出来るかもしれない。土場での貯木中のＳ環の使用は有害であると言えよう。　最近ではＳ環の使用は見られなくなっている。

④　熱処理（蒸煮　，燻煙，　高周波加熱等）木方等の合板原木での蒸煮実験では140℃　Ｘ３時間の蒸煮によりユーカリ丸太の繊維方向の表面の引張り応力は半減した。その効果は、直径に比し長さの長い材では小さい[15]。蒸煮時間を長くするに従い、応力の分布は変化し全体に減少するが、丸太の部位により複雑に変化し、割れとの関連についての、効果は未だ明らかでない。

専用の蒸煮缶により、１００℃以上の蒸煮をすることにより、成長応力は解放，軽減され製材に生ずる大きな反り，割れが防止、軽減される。

丸太外部より材の周囲に圧縮力を加えながら蒸煮した場合に応力の緩和に効果が見られた。

以上の結果は丸太を蒸煮した後、冷却してから玉切る実験であるが、蒸煮直後に玉切る実験においては、割れの形は明らかに変化し，放射割れは防止できる。しかし目回りの発生が多くなった．熱応力が付加される結果であろうが不明な事が多い。

丸太を長尺のまま燻煙によって熱処理する試がなされた。丸太を倉庫につみあげ、隣室で木屑等を焼き，煙，熱気を倉庫に導入する。２００℃～３００℃で４０時間程燻煙処理することにより成長応力が解放、軽減され、玉切り時に生ずる樹心を通るような大きな放射割れを防止する事ができる。しかし，丸太表面は乾燥し、或は黒化して細かい表面割れが一面にでる。

合板用材にとって、一番必要とされる、良い単板が剥ける部位に損傷を受けることになり、試みは中止された。また燻煙処理の煙は近辺の工場等の苦情の対象ともなった。

燻煙処理は簡易な熱処理として有効である。しかし温度制御が困難であり、丸太位置による効果の変動もあり、丸太が燃えてしまった事まであった。

新聞に乗った欧州ブナ丸太の割れ・
当初の木口には，しわ程度の割れしかなかった。
段々大きくなる内部応力に耐えられなくなって
大きく割れた．（ドイツ）
見出しは、“成長と乾燥の力でひきさかれたブナ”。
我々のフランスでの調査でも、欧州ブナは
１０本に１本割れを生じた。

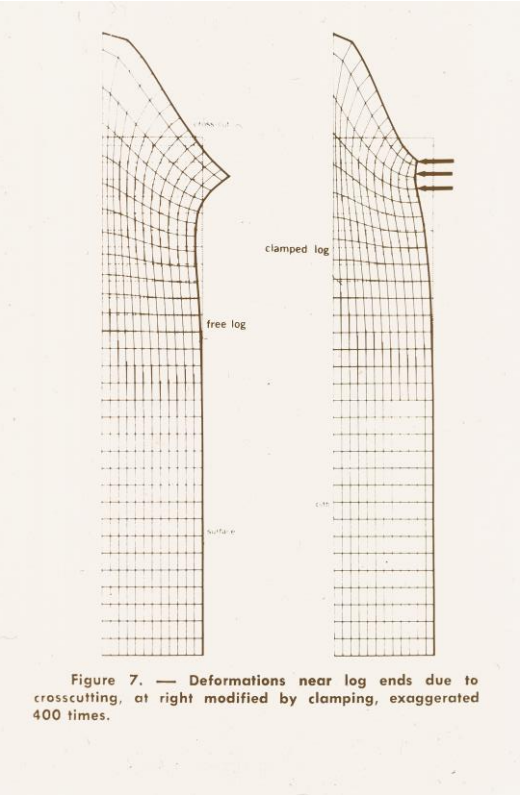
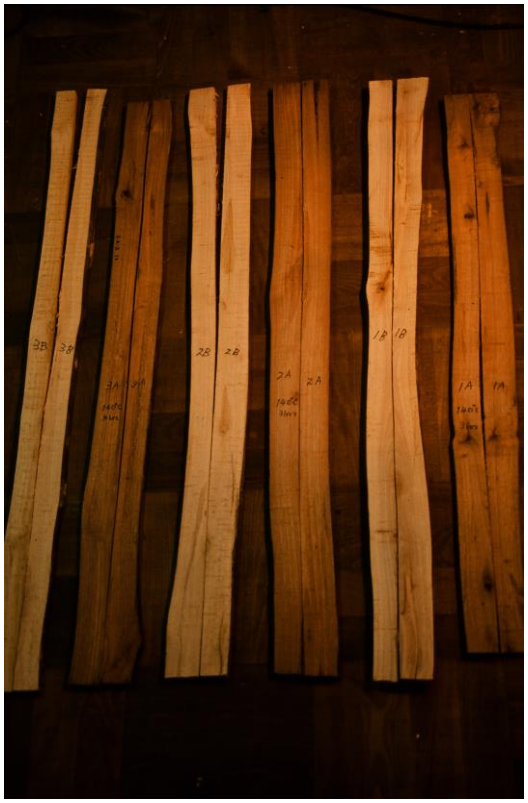


Figure 7. — Deformations near log ends due to crosscutting, at right modified by clamping, exaggerated 400 times.



玉切りによる丸太木口の変形（４００倍）のシュミレーション。
矢印の位置を圧締して玉切りした時の変形と，圧締を解放した時の変形（左側）

（角谷）

Eucalyput　140℃　X　３時間蒸煮処理した後丸太を芯を通して二分割し夫々の半割材から製材した柾目板の変形。成長応力は緩和されている。隣に置いた対象材に比べ，処理材は濃色化する。

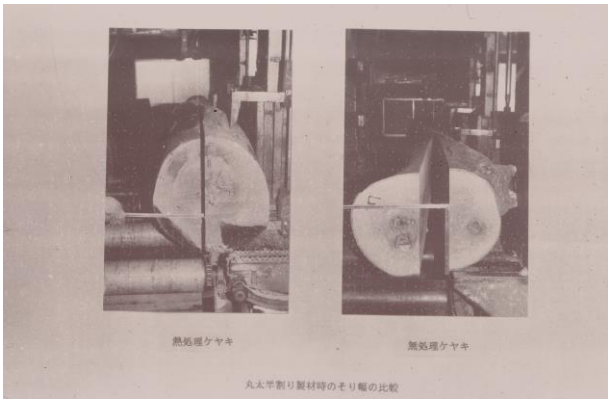
（木方）

丸太の周囲をクランプ固定して玉切った直後の木口面。以前より在って、水を含んでいた割れ以外新たな割れはない。　（（木方）

左図のクランプを外したときに、新に割れを発生した。割れの形はクランプ無しの玉切りと同じである．（木方）

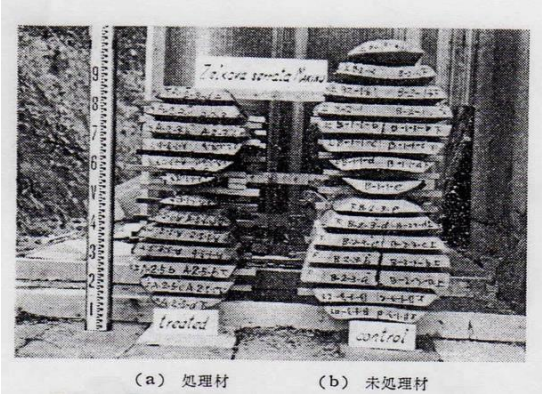
奥山、金川．服部による、ケヤキ（直径４０㎝）で総計９０時間の燻煙実験がおこなわれた[16]。炉内の温度は、１５時間後２００℃となり、材の温度は樹皮位置で１００℃，材中心部で約９０℃に達し、７０℃以上に保たれた時間は約４０時間である。

丸太中心部の応力が顕著に低下している。辺材部の乾燥にともなう収縮に伴う引張り乾燥応力が重ね合わされたものと判断される。含水率は辺材部で低下し心材部では顕著な低下はない。平均含水率の低下は１０％である。燻煙処理での成功例はケヤキに限られている。



燻煙処理材　　対象材

Zelkova（ケヤキ）　丸太半割製材時の鋸道の開き。対象材では成長応力の解放による大きな変形がみられる。（奥山、金川、服部）

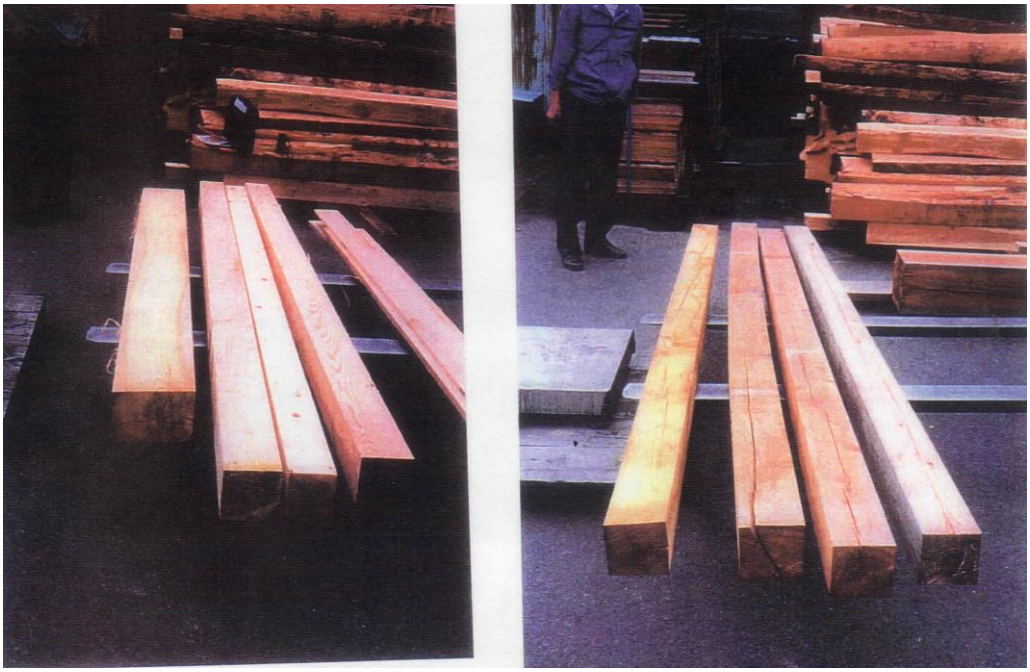


燻煙処理後のダラ挽き製材。その後の天然乾燥中に
おける、幅反り、芯割れ。未処理材の芯割れも発生した。*Zelkova*（ケヤキ）（奥山、金川，服部）

蒸煮処理はそれなりの装置が必要であるが、条件の設定は容易である。専用の蒸煮缶の替りに、既設の木材乾燥室において１００℃の蒸気処理をする方法がある。通常の木材乾燥室をもちい、１００℃　X３時間　蒸煮を実施しその後の丸太のままでの促進通気天然乾燥で，１～３ヶ月後、割れの無い　カラマツ、ケヤキ、クリの丸太(約直径３０cm)をえた。またスギ大角材で同様な蒸煮処理を行い、その後１０日～１ヶ月の促進通気天然乾燥を経て、割れのない、スギ大角材（１２X２５cm）を得る事が出来た。含水率計の測定で含水率は２０−３０％であった。

蒸煮缶による蒸煮熱処理。（木方）

普通の木材乾燥室を利用し、１００～１１０℃　３時間蒸気処理し、その後促進通気天然乾燥した *Larix*(カラマツ)。 割れを生じていない。（木方）



Cryptomeria(スギ)　乾燥室蒸煮　を
100℃　X　６時間した後、促進通気
天然乾燥した大角材、割れはない。（木方）

対象材。製材後そのまま天然
乾燥した。割れを発生している。
（木方）

強制的通気促進乾燥により、丸太表面で接線方向に生ずる乾燥引張り応力が、蒸煮により軟化した表面の細胞を偏平の形のものに変形させ、そのため割れを生じない。これは、木材乾燥操作時に発生する、表面硬化（強い乾燥応力によってセットされた材）に相当するもので、内部割れや、落ち込みをともなう現象であると解釈できよう。我々の応力緩和操作においても丸太内部に割れを生ずることがみられた。

芯持ち柱材の乾燥操作において、背割りを入れる事無く、全面に割れを生じない高温乾燥スケジュールの開発が、長野県林業試験場吉田氏により行なわれている。丸太の蒸煮処理効果と乾燥技術との整合の研究が進められるべきであろう。

蒸煮処理の利点の一つは樹皮の剥皮が季節によらず容易に行われようになる事である。国産小径木の利用に有効である。樹皮の利用も可能となる。蒸煮し剥皮した丸太、大角材を促進通気天然乾燥する事により得られる割れの無い丸太、大角材から、あらためて製材する事により割れ，反りのない製材品を得ることができる。このようにして得られた乾燥した丸太、大角材の備蓄を提案した事がある。乾燥材の需要に対いし、量的、寸法的に注文に即応する体制をととのえ、外材（米材）輸入乾燥製材品に対抗出来るようにする提案であった。

高周波加熱等により丸太の内部より加熱する方式も試みられたが、丸太の水分に偏りによる加熱部の偏在がみられ、玉切った時の割れの形は複雑なものとなり、実験の回数も不十分であり，効果の解明は未だ不十分である。

（ⅱ）応力分散方式

玉切り時に丸太表面に、種々の切り込みを行い、切り込み点に置いて発生する応力集中を利用し、材内の成長応力を分散させて割れを防止する方式である。J.E.Barnacle 等により種々の方式が提案され Koebler 角谷、H.Koebler,等はその効果についてコンピューターによる計算を試みている。[17) 18) 19)]

① 二重玉切り　まず玉切ろうとする位置より　０．２−０．３ Ｘ 直径 離れた両側の位置で丸太の周囲に沿って深さ１/3 X 直径の溝をいれる。それから所定の位置の玉切りを行なう。その後両側の溝の位置をきりおとす。

この操作の変形として、玉切りを一度に行なわず、その位置で材の周囲に沿って　１/3 Ｘ直径の深さまで溝を入れた後、溝の位置で玉切りを行う簡易二重玉切り方式もある。木方らによる、一、二の成功例が有るものの、玉切ったのち，しばらくして音を発して割れを生ずるなどして，割れの防止策として，完全ではない。玉切り直後での製材が必要である。

② 材周囲の圧締　玉切る位置に出来るだけ近くに、鉄製の金具等で締めつけておいて切る方式である。そして何らかの木口処理等をしてから圧締を解放する。木方等による実験では，玉切り時点において割れは防止できる[20)]。しかしその後の試みとして行った，圧締し玉切った木口面に材周にそって、同心円状に溝を彫りこみ、応力の分散をはかり、その後圧締処理を解放する事による割れのない丸太の玉切りを完成させる事は不成功におわっている。１/12　X 直径の幅、１/6 X 直径の深さの溝を樹皮と樹心の中間に彫り込む事が，応力分散に良いという，　シュミレイションの結果であったが、圧締金具を外すときに割れを生じた。

圧締し玉切ったままの状態のものを，蒸煮し、応力を解放した後、金具をはずし、割れの無い玉切りをする事には成功している.

③ テンダーライジング　木口や，丸太表面に細かい傷をつけて応力を分散させる試みがなされた。背割りを入れた後、玉切った結果，割れの形は変化したが、割れをとどめる事は出来なかった。背割りの深さが不十分であったものと思われる。

④ 製材の手順　丸太を中央で挽き割る時、成長応力により起きる材の変形、反りは最大となる。その時の表面応力は、製材前の丸太位置での２倍になると言う事が理論的に演繹されている。逆に丸太の側面を順次両側より背板をとるように製材する事により、成長応力による材の変形、反りを防止する事ができる。この際ツインバンドソーで丸太両側面から同時に板目材を切り出していく方法は、応力の平衡をとりながらの製材であり、反り、曲がりは最小となる。

⑤ その他　玉切りを通常おこなわれるように，材軸に直角でなく、３０度以上の角度をつけて行う事が，シュミレーションの結果、割れを防止するという。

吉野のスギ材の伐採時に，尻じまいと称して木口を鉛筆の先のように削る処理がなされることがあるときいた。流送の為とされるが、シュミレイションの結果では、応力分散に有効とさる。

丸太表面を有る程度の深さまで粗剥きし、表面応力を減少させた後、玉切る事がなされる。割れは減少するが、実測の結果では、応力の均一化そして、その後の丸太の取り扱いの利便化により丁寧な取り扱いがされ易くれる事が割れの減少に繋がったと解釈されているようである。

アフリカの木材港（アビジャン）で、イロコ(Iroko, *Chlorophora excelsa* Benth. et Hook, f.)　の丸太の辺材部分を取り除く作業を見たことがある。無価値な、或は虫害を発生する辺材を削岩機ような、振動する一人使いの機械で撥っていた。軽くなり、運賃はやすくなろうが、傷がつかないか心配した。これなども成長応力除去には随分と有効のはずである。気ずいていないだけで、本当の効果、目的はこれかもしれない。

無価値な辺材部を取り除いた Okoumé 材
（北野先生の横顔）

右前３本は処理済み材　左は原木
奥の方で辺材取り除き作業中（木方）

前記のフランス C.T.F.T. の割れ等の発生の追跡調査の結論は、あらゆる段階において、丁寧に扱う事が欠点の発生の減少に繋がると言う事であった。我々の見解とも一致する、もっともな結論と言えよう。

P.Gueneau と木方により応力分散方式による、玉切り、製材のデモンストレーションが、コートジボアールの FAO の研修センターでおこなわれた[21)]。Fraké （*Terminalia superba* ENGL. ET DIELS.）丸太（直径６８cm　X 長さ４．５m）を簡易二重玉切り、すなわち、玉切り位置の円周に切り溝を入れ、あらためて、その位置で玉切りする。割れは完全に防止出来た。その丸太で、まず背板を一枚とったあと、丸太を 90 度回転し次の背板をとる、順次９０度回転させて、２回転、４枚の背板、４枚の板目材を取り、残りの大角材はダラ挽きで追柾、柾板をひいた。製材で言う、回し切りである。

いずれの板材も割れ反り等欠点はあらわれなかった。最終製品の板（４cmX２０cmX４、５m）をとるのに、対象材では、通常の割れの発生する丸太の玉切り、丸太そのままでのダラ挽きによる製材は割れを多く発生し、歩留りは７．７％にとどまった。一方デモンストレーション　での製品材の歩留りは７１％　であった。結果の写真は

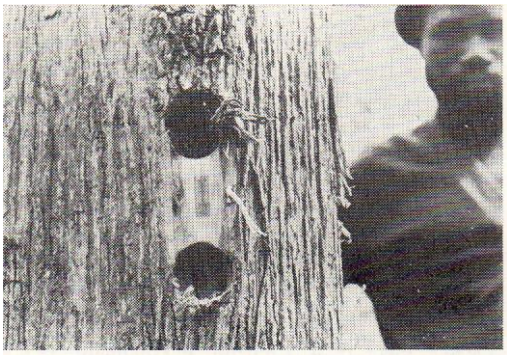
現場の人達は、こんな面倒なことは出来ないと言う。一日１０本の材を能率よく挽く替わりに、同じ量の製品を、一本の材を丁寧に挽いてとる方が、資源保護に役立つ事は自明のことである。但し、廃材、端材は地域にとって、大事な熱源でもある．帰路につく工員が廃材を担いでいくのを見る事は世界中どこでも、珍しい事ではない。そこのところの折り合いが大事である。全世界の木材生産の５０％を占める燃料用材については、いわゆる環境問題と切り離した論議が必要であろう。

３ ） 成長応力、歪み測定値 (1)（軸方向、表面） (Sri Nugroho M.)

樹種	樹木形状 (直径cm)	個数	表面歪み（ X １０$^{-6}$)	表面応力 (kg/cm^2)
アガチス *Agathis* sp.	２０～４０	４	２６５ （１５３～３２１）	３０
マンギューム *Acacia mangium*	１４～２０	２４	６９９ （３１６～１２３０）	８３
ファルカータ *Paraserianthes falcataria*	１０～２５	１２	７００ （３９１～１１８３）	４８
チーク *Tectona grandis*	５～２５	８	５９４ （２９６～９４６）	４９
スンカイ *Peronema canesens*	--	–	１５８１ （１４５３～１７０７）	１２６

成長応力，歪み測定値 （２） (軸方向) （木方 C.T.F.T. ）

樹種	個数	表面歪み (X １０$^{-6}$)	表面応力 (kg/cm^2)
Limbali *Gilbertiodendron dewevrei*	3	１２０５ （８００～１７６０）	２３０
Fraké *Terminalia superba*	10	９５２ （７２５～１１７５）	１１４
C hêne (欧州ナラ) *Quercus robur*	6	９８６ （２７０～１７６０）	８６
Dabéma *Piptadeniastrum africanum*	１２	１５００ （１１５０～１８４２）	２３２
Framiré *Terminalia ivorensis*	4	１２８０ （ ８００～１７６２）	１４８
Abalé *Petersianthus macrocarpus*	1	９９０	１２９
L emon-scented gum *Eucalyptus citriodora*	2	８２０	１５３ (*E.globulus* のＥを使用)
Hêtre (欧州ブナ) *Fagus silvatica*	5	７００	９２
Teak (アフリカ植栽) *Tectona grandis*	１１	６２０ （ ４３４～８０２）	７６
Lotofa *Sterculia rhinopetala*	5	４８０ （ ４０１～５５５）	９１
Avodiré *Turraeanthus africanus*	2	４４０	５６
P in (欧州マツ) *Pinus* sp.	5	２００	１５



ワイヤーストレンゲージをシアノアクリレート（瞬間接着剤）で貼り、直ちにゲージの台紙の端より，上下２０㎜の位置に直径
３０㎜、深さ３０㎜の穴をあける。その際生ずる歪み変化を成長応力による表面歪みとする。板根の上での梯子での作業。（木方）

４　）樹幹の内部応力（成長応力）分布の薄層除去法による測定

樹幹内の軸方向（繊維方向），半径方向、接線方向での内部応力（成長応力）の分布の測定を薄層除去法でおこなった[22)]。

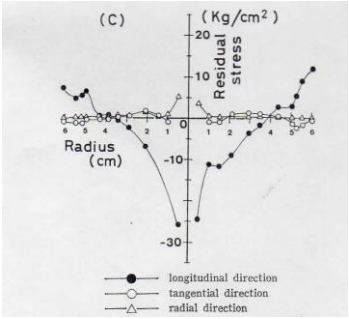
長さ４０cm に玉切った樹幹の外周部の東西南北四方向の樹皮を剥ぎ取り，夫々の位置にワイヤーストレンゲージを軸方向、接線方向にシアノアクリレート（瞬間接着剤）で貼付する。直径１、２、３cm のドリルで樹幹中心部に順次穴を開け拡げ，その後は試作した、中ぐりバイトで穴の直径を更に段々大きくしていく。其れに伴って起きる表面の歪みの変化を，表面に貼付したストレンゲージにより検出追跡していく。樹幹を極異方性の均質異方体とみなし、軸方向内部応力（F_L），半径方向内部応力（F_R），接線方向内部応力（F_T）を理論にもとずき、次の式でもとめていく。

$$F_R=\frac{E_T}{2t(1-\nu_{TL}\nu_{LT})}\left[\left(\frac{R}{r}\right)^{t+1}-\left(\frac{r}{R}\right)^{t-1}\right]\cdot\Theta$$

$$F_T=\frac{E_T}{2t(1-\nu_{TL}\nu_{LT})}\left[r\left\{\left(\frac{R}{r}\right)^{t+1}-\left(\frac{r}{R}\right)^{t-1}\right\}\cdot\frac{d\Theta}{dr}-t\left\{\left(\frac{R}{r}\right)^{t+1}+\left(\frac{r}{R}\right)^{t-1}\right\}\cdot\Theta\right]$$

$$F_L=\frac{E_L}{1-\nu_{TL}\nu_{LT}}\left[\frac{R^2-r^2}{2r}\cdot\frac{d\Lambda}{dr}-\Lambda\right]$$

ここに，$t=\sqrt{E_T/E_R}$，$E_i(i=R,\ T,\ L)$ 縦弾性係数，$\nu_{ij}(=-\varepsilon_j/\varepsilon_i\ ;\ i,\ j=R,\ T,\ L)$ ポアソン比，$\Theta=\varepsilon_T+\nu_{LT}\varepsilon_L$，$\Lambda=\varepsilon_L+\nu_{TL}\varepsilon_T$，$R$外径である。



測定した内

Populus

結果は従来の分割法により求められたものと同様な傾向のものであった。即ち、軸方向の応力は，樹皮側１/3 で引張り、樹心側２/3 で圧縮、接線方向の応力は樹皮側で圧縮、樹心で引張りを，半径方向では，樹皮側で０、樹心で引張りとなる。分割法は，樹心を通る柾目板に製材した樹幹材を分割して、測定するものである。中ぐりによる薄層除去法の結果は丸太状態での樹幹内の応力分布測定であり，より優れたものである．その後理論を発展させ、不均質生を考慮した樹幹内内部応力を決定するものとしている[23)]。半径方向にヤング率、ポアソン比が変化する，樹木での実態に即したものとなっている。

フランス C.T.F.T. A. Chardin らは、薄層除去法を，我々と逆に樹幹の外側から順次三角形のスチック（二枚の丸鋸を直交においた装置で切り取るため三角形断面となる）を切り出し、スチックに生ずる反り、ヤング率を測定し樹幹内の成長応力分布を計算構築していく方式を開発している。優れた測定法である[24)]。

中ぐりによる測定　外周に
ストレンゲージ　を貼る

C.T.F.T.による外側からの切り込み
三角に切り取った材の歪みを測定

５　）穴あけ法による樹幹表面の成長応力測定

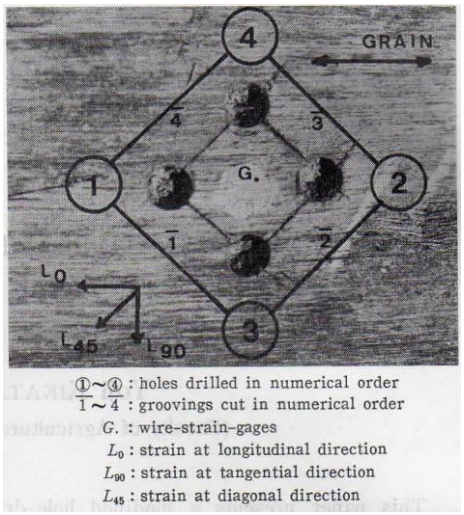
穴あけ法とは、樹木での軸方向の固有応力は、他方向より格段に大きいので，歪み測定位置の軸方向（繊維方向）の上下に穴を開け応力解放を行い，生じたひずみを測定位置に貼付したワイヤーストレンゲージにより検出するものである[25]。一般に穴あけ法による歪み測定は，材料に一つの穴をあけ，材料の周辺の歪み変化を測定するものである。樹木（木材）は異方性が強く，内部応力も一様でない。実験室的に木材の板(背板)に立木状態の応力分布に近い、既知の応力を与え，其れを，新方式の穴あけ法でどの様にどのように解放されていくのかを調べた

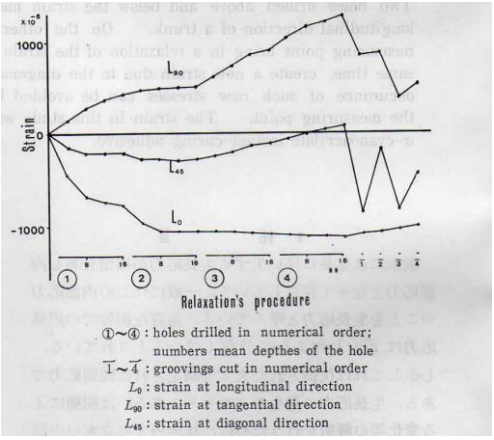
樹幹表面に軸方向（L_0），接線方向（L_{90}）, 45 度方向（L_{45}）の三軸のワイヤーストレンゲージを
貼付しまず，軸方向、次に接線方向に，ストレンゲージの上下左右に穴をあけ，さらに穴の間を、アゼ挽き鋸で鋸断し，ゲージを周囲より隔離する。夫々の処理の経過中の歪み変化を測定する。穴は直径１８㎜、深さ２０㎜とし，穴中心とゲージ中心の距離を２０㎜とした。

結果は軸（繊維）方向の２カ所の穴あけにより検出された歪み（L_0）　は安定しており、その後の周囲の穴あけ、溝切りによる応力解放処理によって，ほとんど変化しない。

この結果により、その後の森林現場等での成長応力測定，即ち表面歪み測定は、すべて測定位置の軸方向にゲージを貼り，繊維方向の上下二カ所に穴をあけ，その解放歪みを測定する事により、もとめられている。

穴あけ法は使用する道具が簡単であり，ハンドドリルを使用すれば，全く手動ですむ。現場での作業に適している。





穴あけ法による応力の解放
①、②　繊維方向に穴をあける。次に
③、④　接線方向に穴をあける，次いで
①～④　と穴を繋いで，溝を切る。

ワイヤーストレンゲージの周囲を　切って
表面応力を解放する過程の応力変化を
右のグラフにしめす。　（木方、三輪）

繊維方向の二カ所の穴あけ（①、②）
により検出される歪み変化は，その後の
穴あけ、溝切りにより変化しない。
繊維方向の成長応力（歪み）はこの
二カ所の穴あけで測定できる。
（奥山）

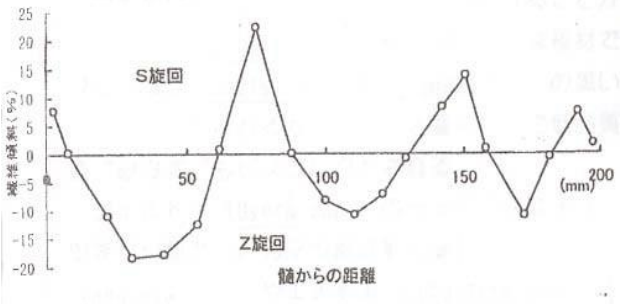
９）　交錯木理

熱帯材を構成している組織の配列の方向が、ある一定のリズムをもって、逆転する現象である。樹木の直径成長にともない材が作られていく時に、形成層細胞の偽横分裂の分裂面の傾斜が基となって繊維傾斜がおきる。立木に向かってＳ旋回、Ｚ旋回と表示される。この繊維、組織の走行がＳからＺへ、あるいはＺからＳへと変化するのである。この傾斜がＳあるいはＺ方向と一定であるときは旋回木理、繊維傾斜、目切れと言われる。交錯木理でのＳからＺ，ＺからＳへの変化の繰り返しの周期は年周期であったとの報告もある（ＣＴＦＴ）。

繊維走行の変化のリズムが、木材の柾目面でみたとき美しい場合があり、リボン杢として 賞用される。加工技術が向上した現在、切削が問題となる事はないが、板目材の使用は反 りを生じ困難である。

一方この材を板目材に製材した場合、板は捩じれを生ずる。南洋材には、柾目製材しかな いと言われる所以である。しかし世界的には熱帯材のダラ挽製材・（板目）は少なくない。 板目製材でも障害を生じない程度の材のみが開発されているのであろう。

ＳからＺへの変化の範囲は 15 度におよぶ。

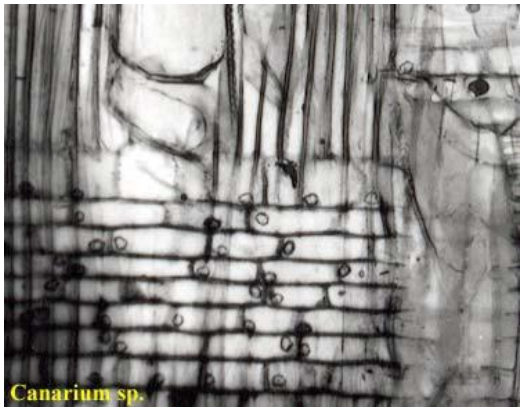


カメレレ(*Eucalyptus deglupta*)

Shorea sp.の交錯木理

１０）シリカ

熱帯材に特徴的なものに、材中にあるシリカがある。顕微鏡で柔細胞のなかに丸い粒として見られる。ある種のカナリウム材には（*Canarium* sp.では） 重量にして４％近く含まれ るものもあり､加工に際し刃物を傷付ける(林)。メラ（Melapi:*Shorea*spp.:*Anthoshorea* SECT.）は、いわゆるホワイトメランチ、イエローラワンであるが、シリカもつために単板 に切削することができず、合板に出来ない。鋸断による製材品としての利用が定着している。



シリカ
（石黒）

カナリウム

１１）ピンホール、青変、心腐れ

熱帯材本来のものではないが、生じやすい後天的な欠点として、ピンホール、青変、心腐れがあげられよう。熱帯の生物の多様性、気象条件により生ずるものである。

立木のうちに樹木を食害するカミキリ虫による直径１cm 程の穴とは違って、１mm 程度の黒い穴が材中に残っていることがある。アンブロシアビートル(Ambrosia Beetle)が伐採された直後の材にとりついてくる。虫が穴をあけると、半死半生の木は樹脂を出して虫を防ぐ。やがて木は死に、虫が一斉に入り込む。アンブロシアビートルは養菌昆虫で雌の成虫の体内（頭部の胞子貯蔵器官）に共生菌をもち、材中で共生菌を発育させる。ふ化した幼虫はこの共生菌の胞子を食物として成育する。さらに羽化した雌は、材中で交尾し、共生菌を体内にとりこんで飛び出し、分散して、食害を繰り返す。

この黒い穴、ピンホールは日本の市場では極めて厳しく拒否されている。アンブロシア ビートルは乾いた材には住めないのであるが、日本古来の乾いた材につくヒラタキクイム シ（*Lyctus* spp.）と混同される。ヒラタキクイムシの虫穴は黒くならない。机等の木材製 品、主にラワンの辺材がヒラタキクイミシに食害され、木から粉がでるトラブルが多くあ ったことに因る冤罪であろう。アンブロシアビートルの虫穴は周囲が

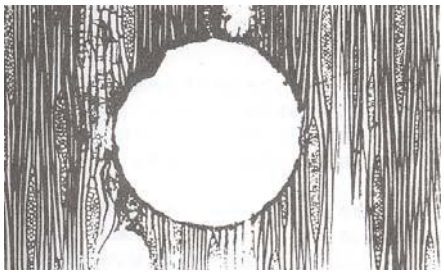
必ず黒くなる、黒い ピンホールは加工後も目立つ。顕微鏡で見ると樹脂に巻かれた虫の死骸を見る事がある。 勿論輸入港での植物防疫によるチェックがおこなわれている。新種の虫が、森林開発が進 むにつれて発見されている。南の島毎に虫の種類が異なるので、植物防疫の人は虫から木 材産地が分かると言う。最近、港で殺虫剤として使われている臭化メチルが環境汚染物質 であるとされ、新しい防御薬剤の開発が急がれている。弗化スフリルが試験中である。テスト用の虫の培養が初められている。 名古屋港で採取された、生丸太に寄生する害虫は 400 種に達している。これを科別、寄生部位別にみると、キクイムシ科が 240 種、ナガキクイムシ科が 160 種で、キクイムシ科の 95 種がバーク・ビートル、残りの 145 種とナガキク イムシ科の全種（合計 305 種、全体の 75%）がアンブロシアビートルである。[26)]

アフリカ材では輸入数量に比較して害虫の発見例は多く、キクイムシ科 36 種、ナガキクイムシ科 42 種が見つけだされている。これらの 82%にあたる 64 種がアンブロシアビートル である。ちなみに温帯のアメリカ材では、アフリカ材とほぼ同じ種類が見出だされている が、その 75 がバーク・ビートルで、温帯あるいは亜熱帯と熱帯では生息する害虫の差が大 きく現れている。

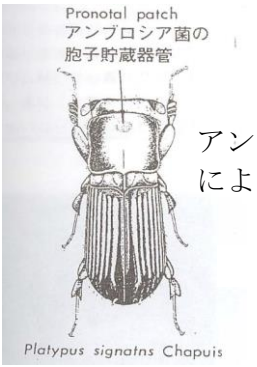
南洋材の出材地である南の島でのこれら害虫の生息する種類、分布地域、寄生樹種など の調査が十分行われていないため、多くの新種の発見が行われている。なお、植物防疫に より日本の港で発見された種類の 90%は日本国内には生息していない。

青変は熱帯の高温多湿により、変色菌が白い生材の表面を青く変色するものである。か つて利用をゴムノキ *(Hevea brasiliensis)* 利用を困難にしていた原因である。伐採したゴムノ キは早急に製材し乾燥しない限り青くなってしまう。生材での薬剤処理も一週間程度の延 命処理でしかない。またこの青変はファルカタ（*Paraserianthus falcataria*)等白い材で も問題となるが、その延命効果のある薬剤も、樹種により異なる。薬害のない、防疫に使 用できる薬剤は限られており、その組み合わせを試みて処理がなされている。とにかく早 急に出材して乾燥させる必要がある。

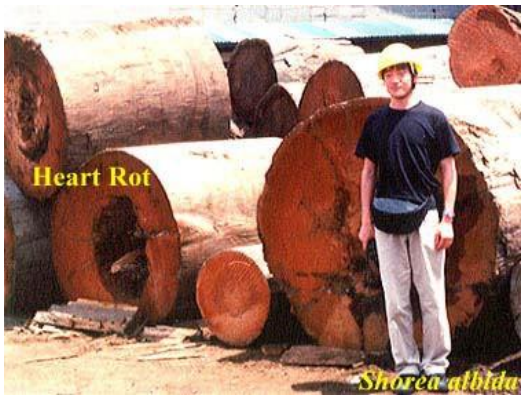
また菌との関係が取り沙汰される心腐れはマンギウム材(*Acacia mangium*)で著しい。ス マトラ島のマンギウム材には心腐れが少くなく、成育地の土壌条件特に水分条件により変 化するようである。菌は二次的なものであるかも知れない。近時マレーシアのサバ州でカ マバアカシア(*Acacia auriculiformis*) との間のハイブリッドのマンギウムが発見されている。 期待したい。この交雑種は、幹の通直性、完満度、自然 落技性など雑種強勢効果の優れた形質を持つ可能性があ る。



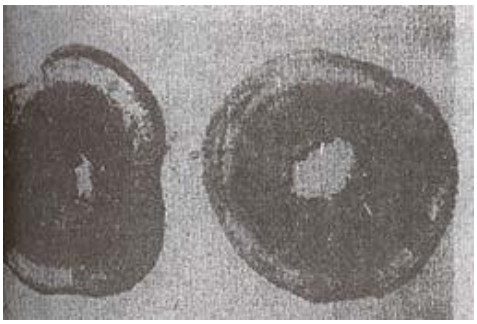
アンブロシアビートルによる
虫穴は縁が黒い。



アンブロシアビートル
による虫穴は縁が黒い。



メランチ材のハートロット



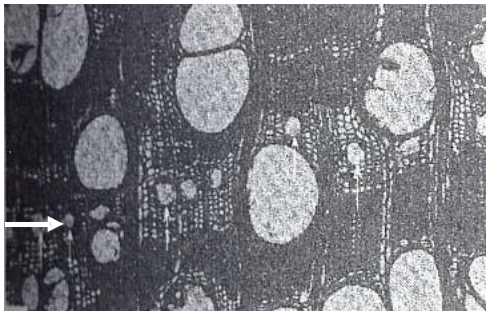
マギューム材のハートロット
（６年生）

１２）細胞間道（樹脂道）

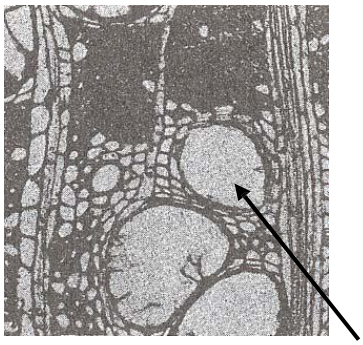
垂直樹脂道は日本産の広葉樹材には見られないものである。アピトン、メランチ、カポール（Apitong,Meranti,Kapur）等、日本に多く輸入され、使用されている南洋材の代表とも言えるフタバガキ科（Dipterocarpaceae）の材には樹脂道が出現する。土場に置いた 丸太の木口でも目立つ程の樹脂の流出を伴うものまである。半径方向に数 mm 間隔に出る物から、10cm 以上の間隔で現れるものまである。接線方向に連続した、材を円周となって取り巻くものから、単独の孤立した小さな樹脂道がでるものまである。個々の樹脂道の大きさは、一般には導管の大きさのものから、導管より小さい大きさのものまである。 流出する樹脂は接着、塗装等の障害となる。 イエローメランチの類には水平樹脂道がでる。合板になってから塗装障害を起こした例 がある。
日本に輸入された材では垂直樹脂道のある材の 99%はフタバガキ科の材であると言われていた。残り 1%はマメ科のセプター（*Sindra* spp.）であった。 世界的にはマメ科の材に樹脂道の出るものが多い。コーパル（樹脂）の採取されるものま である。

樹脂道は細胞間隙であり、穴の周囲は隣接した細胞の細胞壁よりなり樹脂道自身の細胞壁はない。一方、導管は細胞であり、穴の周囲に隣接した細胞の細胞壁と共に導管自身の細胞壁がある。

連続する細胞間 道が柔組織の帯の中にでる。



（矢印：アルモン）*Shorea almon*



散在する細胞間道（矢印：プジック）
Anisoptera cochinchinensis

１３）樹幹内の変動

代表的な材質指標である比重の横断面内での変動には３種類の形がある。 1)樹芯部の比重が高く、周辺部に向かって低下していく。（アピトン、ウリン、チーク）

2)その逆に樹芯部の比重が低く、周辺部に向かって比重が上昇していくもの。（メランチ、カメレレ、タウン、ラミン）

3)樹芯部から周辺部に向かって変化のないもの。

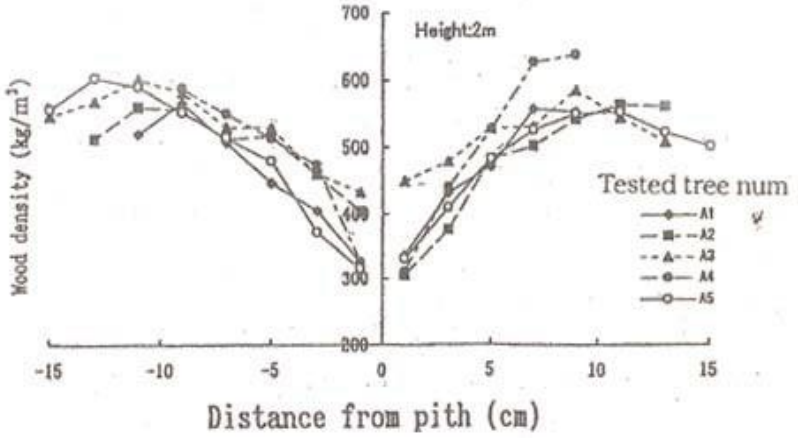
これらの変動は髄から 10 cm 程度の範囲で顕著である。この変動に対応して、道管径、道管分布数、繊維長さ等にも同様な変化がみられる。幹の上下方向については、一般的に熱帯材は通直、円筒形のものが多く、枝下位置と胸高位置での直径の差が少なく、上下方向での比重変動は定かでない。

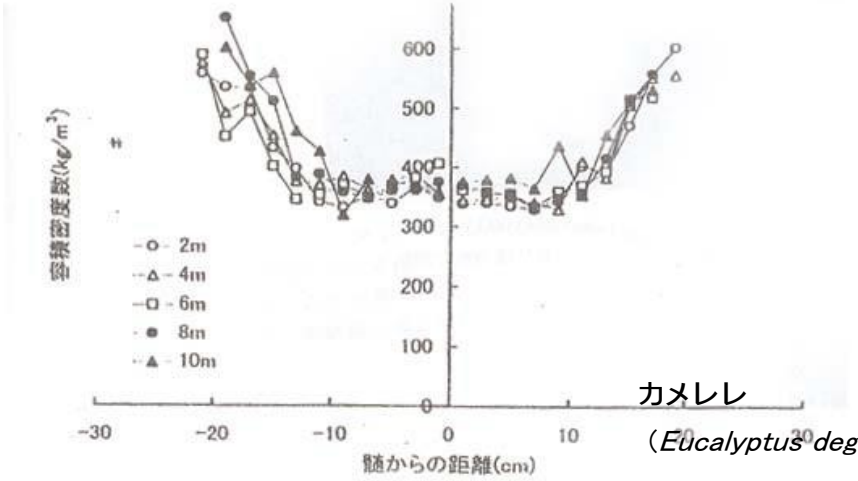
ある一定の樹芯からの距離により材質が安定してくると言う事は、形成層細胞の分裂回数が成熟現象に関係していることを示唆している。

容積密度数の部位別変動

マンギューム

（*Acacia mangium*）





カメレレ

（*Eucalyptus deglupta*）

１４）その他　ピスフッレクス、ゴム、あて等。

プライ（*Alstonia* spp.）のピスフレックは板材で向こう側が見える程の大きさになる。ジョンコン（*Dactylocladus stenostachys*）の黒い、小さい、放射方向に走る多数の穴 は正体不明とされるが材の外観を悪くし材に低品質の評価を与える。ラワン合板にみられ る“みみず“もピスフレクとされる。

ジェルトン（*Dyera* spp.）のラッテクスはチューインガムの原料として、メルクシーマツ等マツ類からとる松脂は紙の滲み防止剤等として多用される。コーパルは、カオリ・（*Agathis* spp.）やエチモエ（*Copaifera* spp.）の材から浸みだす樹脂の固まったものであ る。高級塗装材料である。イエローラワン（*Shorea:Richetioides*）の水平樹脂道等の樹脂が塗装の障害となることがある。クルイン、カポール（*Dipterocarpus* spp.,*Dryobalanops* spp.）の樹脂は丸太の木口でも顕著である。

アガチス（*Agathis*）材にはあて材がつきものである。造林に成功しながら材内での比重変 動が比重の２倍にも達することが利用を難しくしている。

レンガス（*Gluta* spp.他）の生ずる“かぶれ“が製材工場を止めた事がある。マコレ・（*Tieghemella* spp.他）の木粉は鼻、のどの粘膜を刺激し、クシャミを生ずる。

プライ（*Alstonia* spp.）のピス
フ レック

ジョンコン

（*Dactylocladus stenostachys*）に認められる細
胞 間道に似た孔

15） 竹材の利用

叢生する竹藪

叢生でない竹藪での造材作業

熱帯には叢生した竹が多くみられる。叢生した竹が集まってつくる竹藪は迫力がある。竹材の利用は古くからなされている。鷹島の海底から引き上げられた，元の軍船の碇綱は竹索であった。竹を長いまま，つぶしたものを撚り上げた太い綱である。中国株州で実物をみた。熱帯各地で見られる，建築の足場には竹の利用が多い。中国安吉でみたコンクリートの型枠は編んだ竹の間に竹屑を挟み込んだ厚いものであった.

竹の種類は極めて多い。中空でない竹、節間が１ｍ近くになるものまである。

孟宗竹をロータリーレスで剥いた単板工場をずっと以前、九州で見た事がある。 インドネシア からの要請も在って，改めて探したが一軒しか見つからなかった。その一軒にも見学をことわられた。私の覚えでは，町の鉄工場で組み立てたような，極めて簡単な，しかし巧妙なレースであった。方々に声をかけてみたが，その機械の再生はできなかった。その工場から送ってくれた見本は５０cm　X　１０ｍ　の立派の単板であった。竹のみでなく，間伐、小径木を剥いてみたいものである。コンポーザーによる,単板のはぎ合わせ技術は，完成しており、つなぎ合わせて大きな単板にする事は容易である。

熱帯の竹のデーターではないが，日本の竹と有名樹種の木材のデーターの比較をしめす。

樹種	密度	曲げヤング係数	曲げ強さ	圧縮強さ	引張り強さ	剪断強さ	平均収縮率		熱伝導率
							T 方向	R 方向	
	g/cm²	GPa	MPa	MPa	MPa	MPa	%	%	W/mk
孟宗竹	０．７６	１２．５	１４０	７５．０	１７０	１６．５	０．２７	０．２６	０．１４０
マダケ	０．８０	１５．０	１８５	７５．０	２４５	１６．５	０．２７	０．２５	０．１４５
スギ	０．３８	７．５	６５	３５	９０	６	０・２５	０．１０	０．０８７
ケヤキ	０．６９	１２．０	１００	５０．０	１２５	１２．５	０．２８	０．１６	０．１４３

竹の足場

叢生する竹の竹薮

日本では竹材の利用が少なくなり，手入れをしない竹薮が放置され，隣地への侵入等種々の問題を起こしている。我々の行った，竹材の新しい利用の開発の結果を示す。

蒸気処理した木質素材（リグノセルロース）、即ち樹皮、木材，竹材、刈草等が，熱流動性と自己接着性を発現する事を利用し，蒸気加熱処理（１６０～２３０℃）した木質材料を一旦乾燥させた後、熱プレス（１６０～１８０℃）により加熱、加圧（５～３０Mpa）する事により、純木質プラスチックとし成形体を作る事が出来る[27]。軽量の、熱膨張の無い歯車等機械部品の製造をめざしたのである。

この手法と，ゼファー手法とを竹材に応用し，熱処理した竹繊維（維管束鞘）と竹粉を得る。

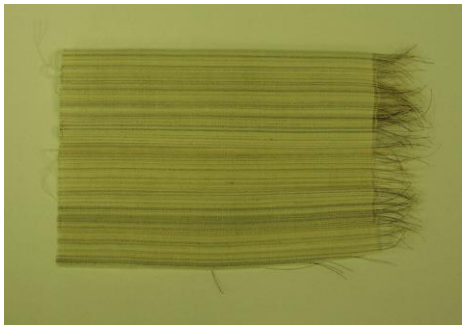
自己接着マット，或はゼファー加工により得られた竹繊維(フィラメント)を繋いだエンドレスヤーン，さらにそれを編んだ竹の織物を，ガラス繊維の代替として上記の自己接着性を持った竹粉とで、純木質強化プラスチックの製造を試みた。　また熱処理した竹粉の自己接着性を利用して作ったペレットから直径１．５mmの、接着剤を使用しない顆粒状の竹活性炭（１７００m^2/g ）を製造した。マット，活性炭については産業化がおこなわれた[28]（橘田、岡田、長坂、高橋、野間、水谷、高橋、高須、木方)。

ゼファーとは，ある程度の長さがありながら，形が不定形であったり，細かったりする木質材料，即ち製材の背板，竹、トウモロコシの茎，刈草等々を利用する為に開発した技術である。材料をローラーでつぶすと，種々の段階で網状の繊維の板状（マット）状のものとなる。交錯木理を持った背板等はフェルト状のマットとなる。これを接着剤で成形する．或は上記の様に水蒸気熱処理して、自己接着性を発現させ，バインダーレスの成形する技術も開発している。（長坂、木方）

これら成形体はいずれも黒色である。用途拡大のため、酸化チタンや、プラスチック用顔料を 33％混合することにより、白色、黄色、青色の成形体とする事ができた。（１８０℃、３０Mpa）。

竹成形体等竹利用をまとめたものが，The International Workshopon on “Better Utilization of Forest Biomass for Local Community and Environments” de 発表がおこなわれた。[29]

バンブーエンドレスヤーン



竹繊維（バンブーエンドレスヤーン）の織物

バインダーレス竹エンボスマット

ゼファーで分離した竹フィラメントを繋いでエンドレスヤーンとして，織物にする。

蒸煮処理した竹材のまま成形

竹粉ペレット成形体
流動が悪くペレットの形が残る。

成形体
竹材の形が模様となって現れる

（岡田，高橋、長坂、木方，　橋田）

ボルト、ナット

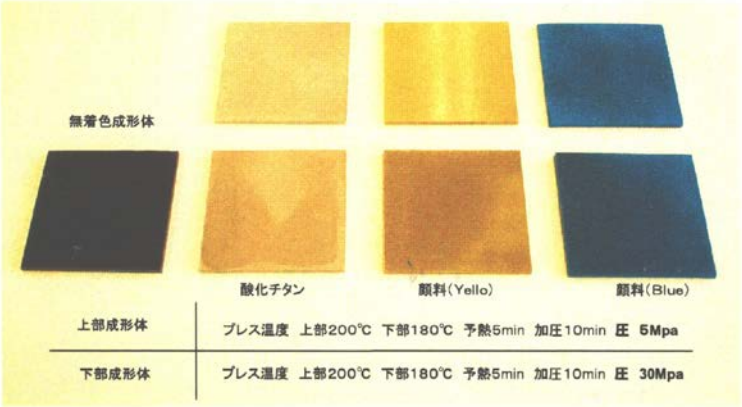
（近藤、木方）

成形した原板と切り出した傘歯車
（高須，高橋、近藤、木方，木方千春）

木質成形体の着色

目的 原料のプレーナーくずを蒸煮すると褐色になり、加圧加熱成形により得られる成形体は黒色である。用途拡大のために成形体の着色、白色化を試みた。

方法 原料の蒸煮木粉に、酸化チタン、プラスチック用顔料をそれぞれ50部（約33%）混合し、成形した。



結果 酸化チタンと顔料で着色、白色化することが出来た。しかし、表面をさわると顔料が付着する。今後さらに検討していく。

（木方千春）

16)ヤシノキの利用

（１）ヤシノキノ利用概要

東南アジアにおいては、日本におけるような、ヤシノキと言ったヤシ類一般を呼ぶ総合的の用語は無い。ココヤシ、アブラヤシ，サトウヤシと言った箇々の名前が生活に根ずいて、もちいられている。

一般的にヤシ類を呼ぶためには、　パームといった英語の名前をもちいている。

ヤシノキは熱帯の多雨地帯産のものとモンスーン地帯産のものとの二つに大きくわけられる。海岸のマングローブ林から、サバンナが砂漠になる所まで、　ヤシノキの分布は極めて広い。

ヤシノキの種類は多く，２００属　２，８００種　にも及ぶ。

マレーシア、インドネシアは熱帯多雨地帯に属し、代表的なヤシノキは、ココヤシ、アブラヤシ、サゴヤシ、ニッパヤシと言ったところが主なものであろう。もう一つの大物に籐，(Rattan)がある。その他、現地の人達に取っては，生活に密着した大事なヤシノキが沢山ある。サトウヤシ,ビンロウ、サラック，オオギヤシ等である。もっとも、アブラヤシの原産地はアフリカであり、サトウヤシと言う呼び方は国によって別別のちがったヤシノキの事をさす。サトウヤシはいずれにしても、伸び出した花房を切って、樹液を採り、煮詰めて砂糖をとる。ジャワ糖とかボールシュガーとか言われる，黒い砂糖である。採った液を醗酵させてアルコールもつくる。

モンスーン地帯の代表的なヤシノキはパルメラヤシ、タラバヤシである。

その他並木にしたり，庭木にしたりする，観賞用のヤシノキの種類は数多くある。

ローカルな利用としては、葉は屋根，壁に、小葉や小葉柄は編んで，マット，帽子と言ったものに利用される。ある種の小葉は貝葉といって、紙のように経文や暦をかいたりする事にもちいられる。幹は建築用材、導水用のパイプ，鋤、鍬、弓矢にまで用いれれる。幹の内部からサゴヤシでは澱粉をとる。

成長点(頂芽)の若いシュートはサラダとして食用にされる。これを切ると，ヤシノキは枯れる事になるので，貴重品である．極めて美味である。

ココヤシ、サラックヤシ類の果実から油が作られ、食用油としてもちいる。

葉鞘の繊維、中果皮の繊維等繊維材料として，ロープやマット等の利用も多い。

ココヤシのコプラ、アブラヤシの油、ナツメヤシの乾ナツメは生産も多く、国際的に輸出される。

ブラジルで生産の多いカルナバワックスもある。葉の表面のワックスは融点が高く自動車、家具の塗装に多用される。

ココヤシ、アブラヤシの果皮は活性炭原料として有名である。

ビンロウ(*Areca*)の実をキンマの葉，石灰と一緒に噛み料とする。東南アジアでは一般的な、嗜好品であった。

長い，弾力性のある籐、ラタンの幹（茎）は建材、家具として日本でもなじみのものである。

（２）ココヤシとアブラヤシの樹幹の利用。

ココヤシ(*Cocos nucifera* L.)は東南アジアで３０億本あるとされ、一本の材積は約１m^3であり，大変な蓄積である。１ヘクタール当たり，１００本が普通のようである。主にココナッツを採る為に植栽されるが、その生産期間は６０年程度である。造林面積、伐期等単純計算すると，インドネシア一国で年間生産可能体積は一千万m^3をこえる。

ココヤシの造林は難しくない。農家の屋敷林としていくらでも植えられ，熱帯の景観を形ずくっている。枝がなく、葉の茂りによる日陰もすくなく、面積当たりの植栽本数はおおくなる。アグロフォレストリー対象樹種として，持続ある造林樹種として有望である。

幹材の利用は限られており，未利用樹種そのものともいえよう。６０年経つと製材用材となりうる。直径は３０㎝から梢端部で１５㎝，樹高は２０m。材積０．９m^3、ha 当たりの蓄積は９０m^3に達する。

樹高２５m、直径２４、５cm で材積は１m^3となる。材の外側は重硬材で、比重１．００～０．６５で　材積　０．６５m^3を占め、内側は比重０．４０～０．３３の軽柔材で０．３３m^3である。用材化できるのは、基部より１４～１５mの高さまでで、その上は比重０．４０以下で用材とならない。製材して燃料材とされる。

角材を採る製材法はない。（角材や半割材を使用した古い寺を見たが，材の片側半分程がサクサクになって崩れかけていた。）乾燥による狂いは少なく、丸いまま,あるいは，８角材としての使用がよい。割れを生じない。プレナー加工はは良好。直径２４cm 以上の丸太で quarter sawing と称するバンドソーによる板材生産がある。板は木裏中央部に軽軟材が混在するためよくない。

緑色のココナツを生ずる比較的軽軟な材と，赤いココナツの比較的小径で重硬材の区別があるようである。

ココナツの品種は Typica と Nama の２群に大別される。果実（ココナツ）による分別であろう。

ココヤシの幹材をパーチクル化しパーチクルボードとする試みがある。切削が難しく，柔組織と繊維（維管束）が独立して混在する形の繊維構造は本質的にパーチクルボードには向かない。

ココヤシの繊維はパルプに適する。リグニンが少ない事はパルプ化に有利である。柔組織の比率が高く，その分離が一工程余分に必要となる。繊維長は広葉樹材より長く，クラフトパルプ収率は４２．８％と高い。抄かれた紙は引張りに強いが、裂け易い。産業化のリスクは大きいものと思われる。

梢端材、端材等の廃材からローカルな使用には十分な炭がつくられる。全乾重量の２５％の生産がえられる。ブリッケト生産には，強さ、比重を高める工夫が必要である。Sorghum grain が接着剤としてよい。接着剤８％、含水率３～１５％、篩メッシュ１７通過炭粉で比重０．９４のブリッケトを得る。

一方、造林の多いアブラヤシ(*Elaeis guineensis*　Jacq.）の材の利用の目途はたっていない。

６０年も実をとり続けるココヤシの材は６０年生の成熟した材であるが、アブラヤシは実を取るのに都合の良い、手の届く丈の低い２０～25年生で切って更新する。材は未成熟な材で短い。全く製材にむかない。横切りすると上の方の材は維管束鞘がバラバラになって、材の形をなさない。せいぜい製材は材の基部の３mまでに可能性がある。材の含水率は３００％もあって製材し日本に持ち帰った時は乾燥して、曲がり、落ち込み、板の体をなしていなっかた。マレイシアの研究所 FRIM, PORIM で材の利用研究がすすめられている。パーチクルボード、パルプ，紙、炭への利用についてはココヤシと同様である。

（３）ヤシノキの組織学的性質，物理的性質，化学的性質

ヤシノキは単子葉植物であり、通常の木材とは全く異なった組織構造を持つ。竹材に見られるように基本組織をなす柔細胞の中に厚壁の繊維に囲まれた箇々に独立した維管束（移管束鞘）が散在し，全く自由なデタラメナな方向をとる。繊維方向についても丸太の長軸方向に、平行して走るのでなく、あるものは通直に，あるものは斜め方向にあらわれる。全体に旋回木理をもつ。維管束形成層の発達は全く見られない。そのため，野火による被害は少ないという。そして維管束（維管束鞘）は樹幹の外側で密となる。そのためヤシノキの材質は外側と内側では大変違ったものとなる。家具部材等として用いられる場合，どうしても外側の部位を利用する事になり，製品は極めて重いものとなる。

生材の含水率が著しく高い。原材料を極めて重いものとしている。

化学的性質の特徴として、抽出成分のおおいこと、灰分のおおいこと、シリカを含有する事があげられる。

ココヤシ樹幹横断面において外側から中心部に向かってて次の組織的構造をもつ。
Epidermis（ 表皮）0.5cm
Exoperipheral region　（周辺領域外側）　0.5 ~1 cm　主に繊維よりなる
Endoperipheral region （周辺領域内側）　4 ~8cm　主に繊維状維管束よりなる
Parenchyma　中心部は主に柔組織よりなる。

ココヤシとアブラヤシの組織的性質[30)]

	樹高　　m	直径　　cm	繊維長　　mm
ココヤシ	３０	５０～８０	０．８２～１．９４
アブラヤシ	１０～２０	３０～６０	１．２２

ココヤシとアブラヤシの物理的性質

		比重	含水率生材　％	収縮率 R　％	T	V
ココヤシ	内側	０．２６	３２０	６．１	５．３	１１．５
	中側	０．４２	１７３	５．７	６．０	１１．４
	外側	０．５９（０．２５～０．８５）	１０１	６．０	６．７	１２．３
アブラヤシ		０．２２　～　０．５５	１００　～　５００			

ココヤシとアブラヤシの強度的性質[30)]

		曲げ強さ MPa	ヤング率 GPa	圧縮強さ MPa	剪断強さ MPa	平行圧縮強さ ＊
ココヤシ	内側	２３．７	３．０	１２．１	２．２	－
	中側					
	外側	５１．７ ２６～１０５	７．２ ３、１００～１、１４０	２８．８ １９～４９	５．２	１９～４９
アブラヤシ		８～４５	８００～８，０００	５～２５		

ココヤシとアブラヤシの化学的性質　　（%）

	抽出量			ホロセルロース	リグニン	ペントザン	灰分	シリカ
	アルコール ベンゼン	熱水	１％ NaOH					
ココヤシ	２．６	２．８	２２．９	６６．７	２５．１	２２．９	１、８１～２．０８	０．１０～０．１７
アブラヤシ	９．８	１４．２	４０．２	４５．７	１８．８	１８．８	２．０８	０．１７

ココヤシ樹幹の透芯方向の硬さ分布　　（丸太平行に９分割）kg/cm^2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R	420.94	256.74	137.89	65.77	56.25	56.47	68.04	217.05	371.95
T	447.25	230.43	136.31	73.26	68.49	68.49	88.91	136.99	354.72

（木方）

砂漠が始まる所のヤシ（モロッコ）

海岸のココヤシ（バリ島）

ココヤシのコプラ

アブラヤシの果房(バンチ)と果。アブラヤシは収獲し易い様に，高く成長する前に更新する。

単性花・雌雄別花序。

アブラヤシのプランテーション

17） 南洋材のにおい（寺島）　　木材学会誌、熱帯林業誌より

木材のにおいは、その成因によって二つに大別される。樹木本来の生理活動によってにおいのある物質が生産される場合と、木材成分が微生物等によって分解され、材本来の成分でない有臭物質が生成される場合である。

（１）悪臭材

エリマ(*Octomeles sumatrana*)の悪臭成分としてGC-MS法により３-メチルピロリジンとピリジンの存在を確認した。貯木中に腐敗を始めるとアンモニア臭がまざる[31)]。さらに強い悪臭を持つ樹としてBawang hutan（*Scorodocarps borneensis* 森のニンニク)がある。この樹の葉や樹皮の強いにおいはニンニクと同じ硫黄を含む揮発性物質によるものである。初めての人は，森の案内人にいたずらされて，強烈なにおいにビックリする事がある。

（２）腐敗による悪臭

木材成分が微生物等により分解されて生ずる悪臭である。酷い場合は，工場に近ずくだけで其れと知られる場合がある。乾燥により，臭気がほとんどなくなった後も，製品化した後、適度の湿気により再び強い悪臭を発する。悪臭を生じ易い南洋材 *Alstonia* sp.,*Antiaris* sp.,*Artocarpus* sp.,　*Celtis* sp.,*Dyera* sp.,　*Endospermum medullosum*,*Gonystylus* sp.,*Lophopetalum* sp.,*Mangifera* sp.,　*Octomeles sumatrana* ,　*Planchonella* sp.,　*Pterocymbium beccari*,*Shorea* sp.,*Spondias* sp.等。これらの悪臭は，樹種により多少の違いがあるが，概して醗酵中の堆肥の臭気や糞臭に似ている[32)]。

強い悪臭を発するようになった、アンチアリス材(*Antiaris* sp.)を粉砕してエーテルで抽出すると臭気は完全にエーテルに移る。そして、悪臭は強酸性の画分にあって，揮発性の物質である。表に揮発性の大きい順にならべてある。におい成分には強いものと弱いものとがあり，多量に存在すると言って、においが支配的であるとはかぎらない。この表には、においの強さを表す閾値が併記されている。これはにおいを感じ得る最低量（認知限界濃度）で値のちいさいものほど、強いにおいがある事になる。n-酪酸と、n-吉草酸が極めて微量で感じる強いにおいをもつ。かつ多量に存在する。これらは酸敗したバターや人糞の臭気をもつ[32]。

腐敗による悪臭成分

①　*Antiaris* sp.　の低級脂肪酸組成と認知限界濃度

脂肪酸	%	閾値　（μl／l）
ギ酸	痕跡量	
酢酸	５	２．８
プロピオン酸	２４	０．０１５
n - 酪酸	４９	０．００５６
n - 吉草酸	１１	０．００６２
カプロン酸	７	０．００２
その他の酸	４	

②　悪臭材中の低級脂肪酸

	酢酸	プロピオン酸	イソ酪酸	n - 酪酸	イソ吉草酸	n - 吉草酸	カプロン酸
樹種							
Antiaris sp.	1	2		3		2	1
Celtis sp.	2	1	1		1		
Octomeles sumatrana	2	1		2	1	1	3
Planchonella sp.	3	1	1	1	1		
Pterocymbium becari	3	2	1	2	1		
Shorea sp.	3	1	2	2		1	1
Spondias sp.	3	2	1	2	1	1	

１　：　少量　　２　：　中程度　　３　：　相対的に多量

（3）　悪臭材の低級脂肪酸

同じ方法でしらべた、他の悪臭材の結果は、似たような揮発性の酸がにおいの主原因であった。n-酪酸やn-吉草酸とよく似たにおいの，イソ酪酸、イソ吉草酸もしばしばみいだされる。樹種によって，これらの酸臭の他の中性物質や塩基性物質の特徴的な臭気がくわわって、その材の独特の臭気となる[32)]。

これらの悪臭は，木材中の炭水化物や蛋白質等が腐敗して生ずる。澱粉や繊維素等が空気の供給を断たれた状態で、ある種の細菌 *Clostridium* 属細菌（酪酸菌、嫌気性繊維素分解菌、カプロン酸醗酵菌等）により嫌忌醗酵をする場合，前述の様な揮発性の酸を多量の発生する事がしられている。

夏場の水中貯木は嫌忌性菌の活動に適した条件である[32)]。ピンホールのある材では、虫の侵入が直接或は間接に嫌気性細菌の侵入と繁殖をうながし、立木のままで心材部に悪臭成分を蓄積する事がある。ラワン材(Lauan)のピンホール付近の悪臭成分については、酢酸に次いでn-酪酸　及び　iso酪酸の含量が多い。特に酪酸の認知限界濃度は極めて低い，即ち微量で強烈な悪臭をはなつ。この材の悪臭の主原因物質は、n-酪酸，iso-酪酸であると言ってよい。これら悪臭成分の組成は、他の悪臭南洋材にみられる、成分組成とほぼ同様である。材中の炭水化物（デンプン、ヘミセルロース、セルロース等）の嫌気性醗酵によって生じたものと考えられる。（寺島）。

南洋材本来の含有成分のためでなく，木材の含有水分が高い場合,貨物として輸送される途中、あるいは貨物の下敷きにする木材(ダンネージ、安物の木材をクッションに使用する)や，パレットの木材が、船底の高温，多湿の為、嫌気性醗酵、即ち腐れを生じ、有機酸ができて金属に錆を生ずる。

この事故、トラブルは多く発生する。金属の錆を防止するには、材からでる揮発性の酸の蒸気が直接金属に触れないようにポリエチレンシート等を用いた包装の仕方を工夫する事，酸の中和剤と乾燥剤をかねて石灰をつめた袋を同封して置くのがよい。[32)]

名古屋西部木材港のアフリカ材(ブビンガ)
平井先生　筆者　笠木さん

トギアン島材
岡西さん　寺沢先生

３　熱帯材の成長

３－１　熱帯樹木での成長測定

測定対象樹木を定めて、定期的に直径または円周の測定を行う事により、熱帯樹木の直径成長を測定することができる。 より細かく細胞の数のレベルでの成長の測定を行うためには、針によるピンニング・テス ト(pinning test)が行われる。日時を定めて、樹木に針を刺して形成層の細胞に傷をつけ る。後日その近くの位置に同様に針の刺し傷をつける。この繰り返しにより樹木内部に細 胞レベルでの傷を残して行く。最終的に樹木を切り、傷を残した測定部分のプレパラート 切片を作り、顕微鏡で傷の間の細胞の数を数える。それが２か所の傷をつけた期間に分裂 成長した細胞の数である。傷をより明確にする為に上下に打ち込んだ針の間に電流を流す 方法もある。もっと荒っぽいテストでは針の替わりに釘を打ち込むこともある。

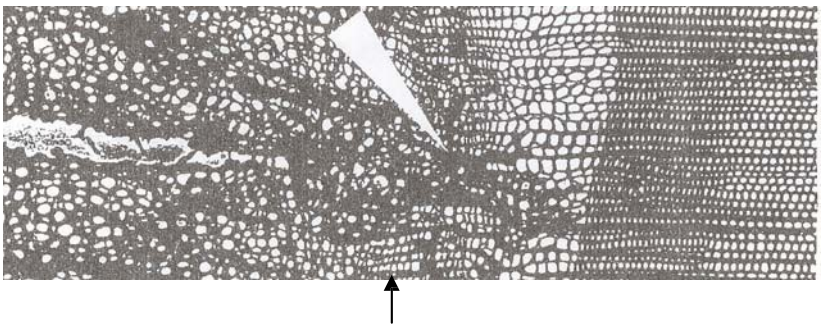
分裂した細胞数

	７日間	一日平均 (約)
P odocarpus sp.	4~5	1
P inus merkusii	7	1
Agathis sp.	12~15	2
Tectona grandis	6	1
Leucanea leucocephala	6~7	1

UGM構内１９８３年３月測定(Nugroho,葛原,山田)

メランチで１年を通じて３ヶ月毎に測定した結果は、最大の月で成長した幅は1.9mm／月、最小の月で0.3mm,/月であった。(Nugroho,)

メルクシーマツの pinning test



矢印の点が当時の形成層の位置

現在の形成層の位置

３－２　天然林から伐採されてきた丸太での成長測定

１）樹木樹幹内の　^{14}C濃度

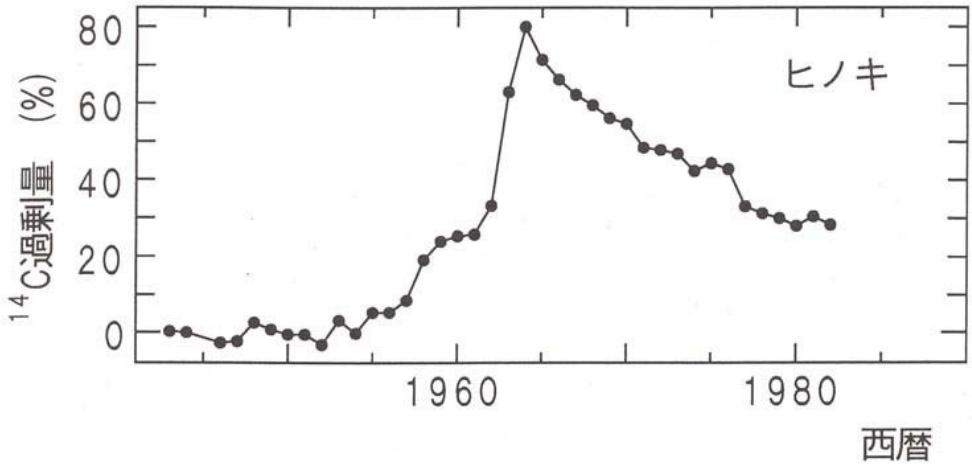
大気中の天然放射性炭素の量は過去ずっと安定した値をとり続けてきた。大気中のＮに宇宙からの宇宙線と、それに由来する中性子があたって放射性炭素^{14}Ｃをつくる。その原子核は段々と壊変していく。一方で炭素は生物体をつくる主な元素の一つである。生物が生きている間、体内の構成要素は絶えず一部を変換しつづける。そして体内には環境とのバランスのとれた一定量の^{14}Ｃがふくまれる事になる。そして生物が死ぬと外界との元素のやりとりが無くなり^{14}Ｃは一定の割合で壊変減少していく。^{14}Ｃの半減期は 5730±30年とされる。

樹木では生きている形成層で作られた木材細胞はかなり速やかに死亡し、死んだ細胞壁のみよりなる細胞層（成長輪、年輪）となって樹木の外側に積み重なり残されていく。そのような樹木中の成長層には、正確にはその細胞壁の構成要素であるセルロース、リグニン等のなかには、その細胞が形成された時の環境に応じた^{14}Ｃが残りつづけ、それが壊変して行く事になる。このように樹木の成長輪（年輪）を解析し^{14}Ｃ濃度との対応をとることにより、樹木が生きていた年がわかれば、その時の成長層形成時の大気の環境中の^{14}Ｃ濃度を知ることができる。

また年代未知の材では^{14}Ｃの半減期より木質形成時の年代が測定できる。この手法は遺跡から出土材の年代測定に用いられる。

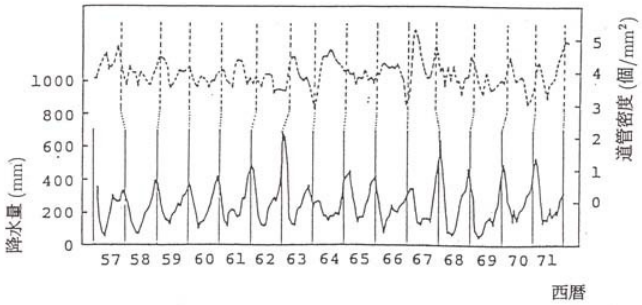
２）成長輪（年輪）の無い熱帯材の^{14}C濃度変動

1950 年以降に行われた大気圏内での核実験により、大量の^{14}ＣＯ$_2$が人工的に形成されてしまった。それまで一定に保たれていた大気中の^{14}Ｃ濃度は急激に増加した。その核実験が主として北半球の中－高緯度で行われたことから^{14}Ｃ濃度は緯度依存性を有し、急増から収束に至るまでの間、北半球での中、高緯度では高く、緯度の低下と共に低い値を示し、南半球では緯度による変動は殆ど見られない。 日本産のヒノキの樹幹内の^{14}Ｃ濃度の経年変化においては、1954 年以降の急増が認められ ている。成長輪（年輪）を有しないマレーシア産のセラヤ（*Shorea* sp.）材においても木部 表面から１cm 毎に^{14}Ｃ濃度を測定した結果において、^{14}Ｃ濃度の急増が見られる。この結 果より２つの図を対比すれば、少なくとも立ち上がりの年代、ピークの年代、そしてわか っている切った年代の３点は対比できる。実際の対比はより緯度の近いベトナム産の年輪 をもつメルクシーマツとの対比で行われた。このことより成長輪（年輪）の無いセラヤ材 にも年代を書き込むことが可能になった。 そして成長速度を計算する事が出来るようになる。このセラヤ材では 5.9 mm／年という成 長結果をえた。（服部、米延）

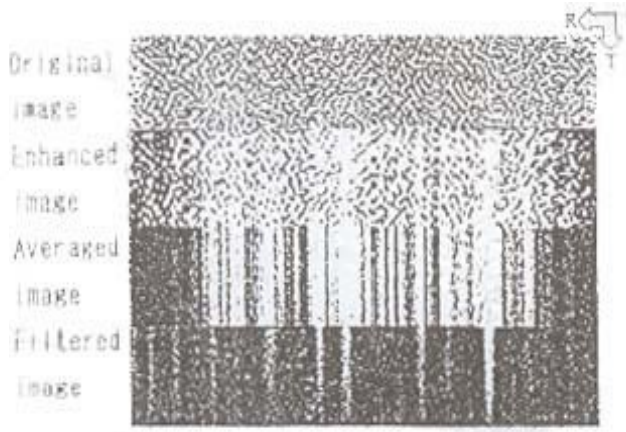


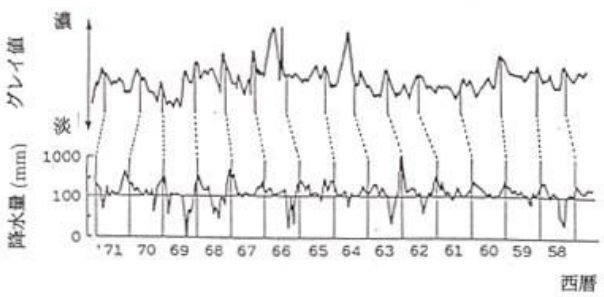
3）熱帯材の成長輪

年輪の無い熱帯材でも、よく見ると多少の濃淡がみられる。ソフトーX線写真でみるとより明確になる。上記のセラヤ材では、ソフトX線でみた濃淡（グレイ値）はその地区での降水量の変動と関係があるようである。材の基調をなす木繊維の比重と導管の密度の変化が木口面での濃淡となって見える。

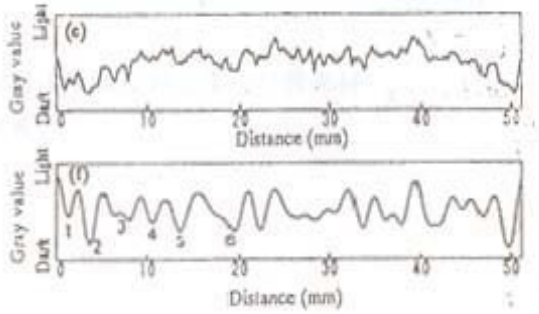


月平均降水量の変動と道管密度との対応





セラヤ木口面の放射方向濃淡 (グレイ値) 変動と降水量

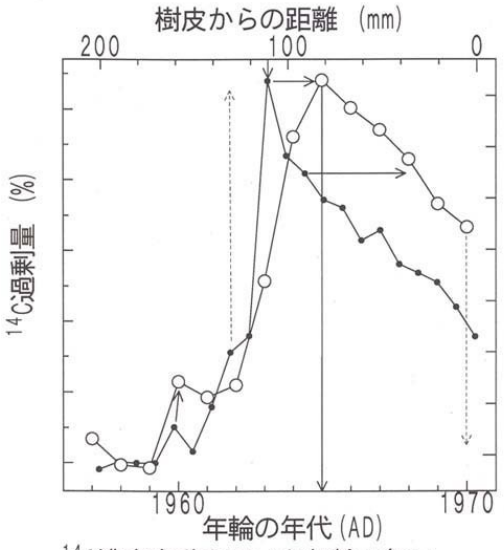


（服部）

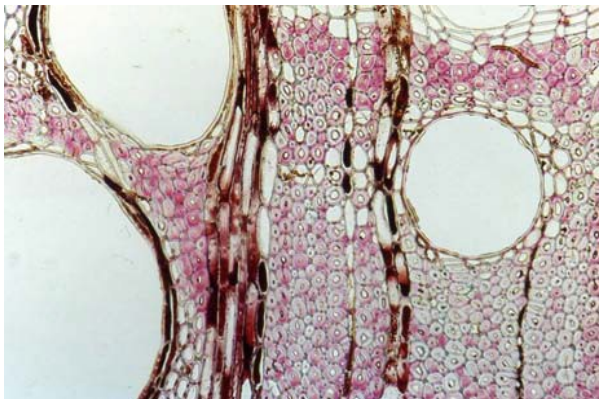
4）戦争の爪痕

カンボジアとベトナムの国境産のチュテール材で同様な成長速度の測定が行われた時の事である、通常の１cm 間隔での^{14}C濃度測定では過剰の^{14}C濃度が検出されない。非常に驚いたが、結果は樹木の表面、樹皮の直ぐ下 5mm の間に 30 年分のデーターが圧縮されて出てきた。この間の成長速度は極めて遅く 0.22mm/年ということになった。何等かの影響が成長を抑制したに違いない。調べたところ、ベトナム戦争における枯れ葉作戦の影響とゆう事になった。枯れ葉剤の散布地帯、散布時代の樹であった。

戦争が最大の環境汚染源である事の物言わぬ証人である。顕微鏡による所見では繊維の少ない、柔組織の極めて多い異常材であった。（森下）

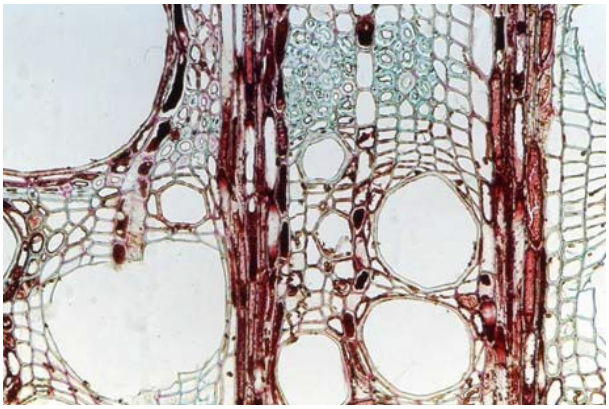


^{14}C濃度変動を用いた年輪の無い樹木の成長速度の推定

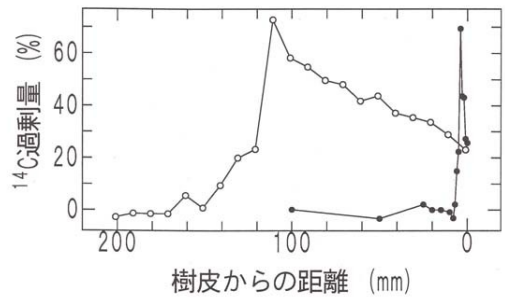


チュテール:Chhoeuteal
正常材

（*Dipterocarpus* sp.）



枯葉剤散布による
異常材



年輪の無い樹木の^{14}C濃度

・チュテール
◦セラヤ

５）　木材と放射能　:大気循環

大気中の天然放射性炭素の量は過去ずっと安定した値をとり続けて来た。大気中のＮに宇宙からの宇宙線と、其れに由来する中性子があたって放射性炭素^{14}Ｃをつくる。その原子核は段々と壊変していく。一方で炭素は生物体を作る主な元素の一つである。生物が生きている間、体内の構成要素は絶えず一部を変換し続ける。そして体内には環境とバランスのとれた一定量の^{14}Ｃが含まれる事になる。生物が死ぬと外界との元素のやり取りがなくなり、^{14}Ｃは一定の割合で壊変減少していく。^{14}Ｃの半減期は５７３０±３０年とされる。

樹木の生きている形成層で作られた木材細胞はかなり速やかに死亡し、死んでしまった細胞壁ののみよりなる年輪となって樹木中に残されていく。即ち年輪には、正確には細胞壁の構成要素であるセルロース等には、その細胞が形成された年の環境に応じた^{14}Ｃが残りつずける。

タンデトロン加速器質量分析計による^{14}Ｃ濃度測定は，樹幹材の炭素中にごく少量含まれている　^{14}Ｃをイオン化し、加速してエネルギーを高め、他のイオンと分離し、直接に原子の数をかぞえる方式のものである。

樹木の年輪を解析し、^{14}Ｃとの対応を取る事により、生きていた年や切られた年がわかれば、その樹木を取り巻く、年輪形成時の大気の環境中の^{14}Ｃ濃度が知られる。また年代未知の材では、^{14}Ｃ半減期より木質形成年代が測定できるのである。

年輪構造の複雑な材については、偽年輪等を考えた、年輪構造の分析も必要である。基本的には、成長輪界が樹幹を一周しないものを偽の成長輪とし，年輪を決定する。この研究の測定に用いられた樹種および生育地域を図２にしめす。

樹木樹幹内^{14}Ｃ濃度においては、成長場所に応じた大気中の^{14}Ｃ濃度と同様な緯度依存性が有るものと考えられる。そして今となっては、過去に遡って　測定の出来ない当時の地球上の大気中の　^{14}Ｃ濃度の測定が、地球上の樹木樹幹内の^{14}Ｃ濃度として再現出来る事になった。

１９５０年以降行われた大気圏内での核実験により人工的に発生した^{14}Ｃは、過去数千年にわたり一定に保たれてきた大気中の^{14}Ｃ濃度を大きく変動させ、そしてその環境で生育した樹木樹幹内の^{14}Ｃ濃度を大きく変動させてしまった。その有様を　図１にしめす。縦軸の^{14}Ｃ濃度は過去数千年間の安定した値に対する過剰量（％）でしめされている。当時測定された、大気中の塵から知られた^{14}Ｃ濃度変動曲線は、樹幹内のそれと一致している。樹木は極めて早急に、そのまま正直に大気中の^{14}Ｃを取りこんでいる。この図に置ける核実験規模と樹幹内^{14}Ｃの最大値のズレは、成層圏まで突き抜けた核実験生成の^{14}Ｃが大気圏へおちてくるのに、２年かかった事をしめしている。最大値を過ぎて段々に値が低下していくのは、^{14}Ｃ が森林或は海中に取り込まれていくからである。そして最後の平衡値は過去数千年の値と一緒にはならないで、少し高い値で安定してしまうのではないかと思われている。

我々の計算した各地の緯度における、^{14}Ｃの測定値は図３の通りである[33)]。

世界各地より集めた樹木樹幹内の^{14}Ｃ濃度変動を図４にしめす。核実験のおこなわれた北半球の高中緯度から低緯度に向かって、最大値が低下すると共に、その出現年が遅れてくる。そして段々ピークがはっきりしなくなる事が見て取られる。赤道を^{14}Ｃが超えるに、１－２年かっている。このことは、大気の流れが赤道をはさんで、北半球と南半球とに別れており、夫々の赤道の近くで上昇した大気は北極と南極を目指して移動し、北極と南極で低下して、また赤道の向かって、流れて行く事をしめしているものと思われる。南は南、北は北とでもいおうか、仲仲交わる事はない。

図３に北半球の熱帯と、南半球でのほぼ同緯度の熱帯での経度による、^{14}Ｃ濃度の違いをしめす。大気は西から東へと速やかにながれるので、緯度での差は出ないと言ってよい。この結果も大気循環の従来の知見を証明するものである.

この項”木材と放射能”については、まとめて木方の最終講義がおこなわれた。[33)]

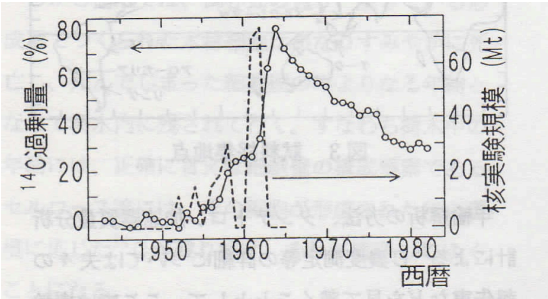
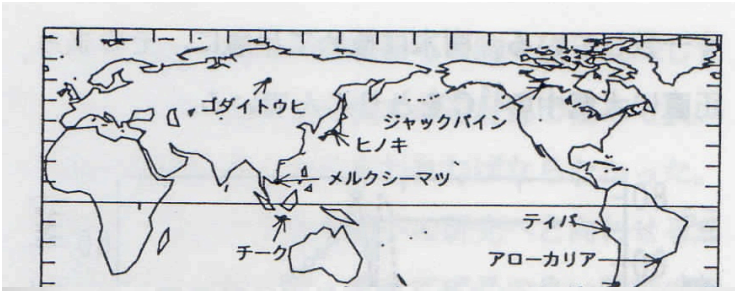


図１　大気圏内核実験による大気中とヒノキ
樹幹内の過剰　^{14}C　　（服部）



樹 種	緯 度	経 度	年 代 (AD)
ジャックパイン (*Pinus banksiana*)	59.1°N.	111.9°E.	1960 ～ 1970
ゴダイトウヒ (*Picea schrenkiana*)	60.9°N.	101.9°E.	1960 ～ 1970
ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*)	35.6°N.	137.5°E.	1943 ～ 1984
メルクシーマツ (*Pinus merkusii*)	11.0°N.	107.0°E.	1962 ～ 1967
チーク (*Tectona grandis*)	7.0°S.	111.0°E.	1962 ～ 1970
ティパ (*Tipuana tipa*)	12.1°S.	77.0°W.	1960 ～ 1970
アローカリア (*Araucaria angustifolia*)	27.0°S.	50.0°W.	1961 ～ 1972
リンゲ (*Percea lingue*)	38.4°S.	71.5°W.	1962 ～ 1969

図２　測定樹種生育地

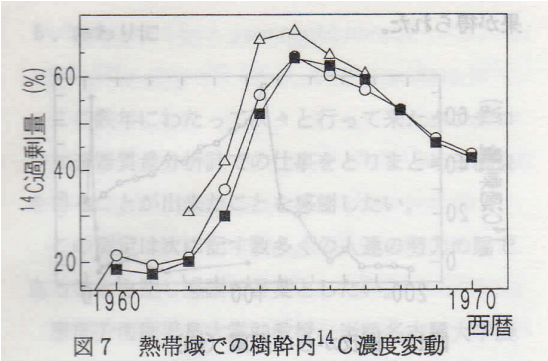


図７　熱帯域での樹幹内^{14}C濃度変動
△メルクシーマツ－北緯11°
○チーク－南緯７°
■ティパ－南緯12°

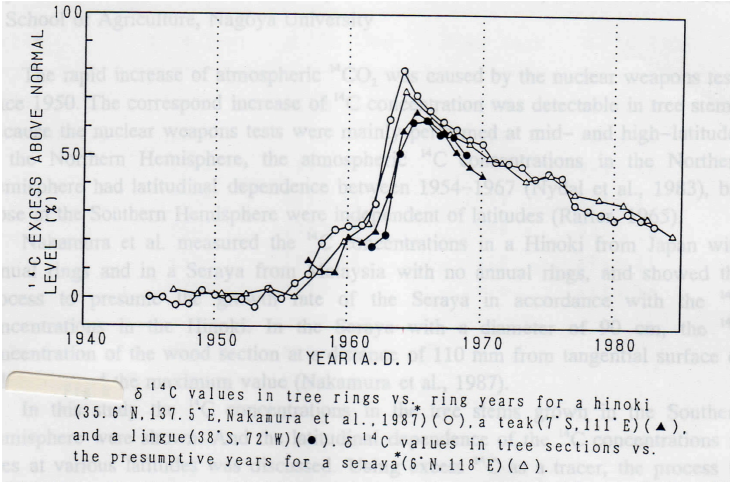


図　３　経度による ^{14}C　濃度変動はない。（服部）

図４　採取樹木中の ^{14}C　濃度の緯度依存性
（服部）

３－３　熱帯地域の人工林の平均ヘクタール当たりの成長量

平均成長量とは植栽後、ある林令にまで成長した人工林の幹材積をその林令で割った値である。林学では一本ずつの樹木ではなく、林としての、まとまった樹木群の成長を論ずる。ちなみに日本のスギでは、良い地位の所で平均成長量 10m³/年、ヒノキでは 4-5m³/年である。平均成長量は最初の低い値から次第に漸増し、ピークに達しやがて漸減していく。このピークの林令で伐採し、植栽を繰り返すことが、単位面積当たりの収穫量を最大にする。樹種毎の林令－成長量図が求められている。

また平均成長量を材積でなく重量で現す重量成長と言う表現がある。木材の繊維としての利用やカーボン・シンクの面からはこの方が良い。しかし、平井信二 東京大学によるスギでの測定では残念ながら重量成長は材積成長に比し 5-10 年ピークが遅れる

１）針葉樹（マツ類）

カシヤマツ(*Pinus khasya*),メルクシーマツ（*Pinus merkusii*)では地位の良い所では 20ー25 年でピークに達し 25m³/年が期待される。地位が悪くなると 20ー50 年でピークに達し 15m³/年以下となる。

カリビヤマツ(*Pinus caribaea*)ではもっと早い時期の 12ー15 年頃にピークとなり、20ー33m³/年が期待される。地位の悪い所では 15 年で同程度の成長が予想されている。

２）早生広葉樹

ユーカリ（*Eucalyputus grandis*)の例では、ウガンダの地位の良い所で 6ー7 年より早い 時期にピークに達し平均成長量は 50m³/年を越える。南アフリカでは 10 年前後で 50m³/年 近くを得る。地位が悪くなると 13 年、12m³/年となる。

ファルカタ（*Paraserianthes falcataria*)ではインドネシアの地位の良い所で 6ー7 年で ピークとなり、平均成長量も 60m³/年近くになる。地位が悪くなると 12 年以降にピークが 来るが、平均成長量の地位による差は余り無い。

アカシア類ではアウリカリフォルミス（*Acacia auricalformis*）では地位の良い所でも 10ー12 年のピークとなり 10m³/年でしかない。しかしマンギウム（*A.mangium*)は地位の良い所は 7 年でピーク、平均成長量 28m³/年、悪い所でも 11ー12 年で 20m³/年となる。マンギウムには心腐れの問題がある。最近マレーシアのサバでアウリカリフォルミスとマンギウムの天然交配種のハイブリドがみつかった。両者の良い所を兼ね備えたものであるという、期待される。

グメリナ（*Gmelina arborea*)では地位にかかわらず、4ー5 年でピークに達し地位の良い 所では 60m³/年、悪い所でも 20m³/年をこえる平均成長量を示す。

３）その他広葉樹

チーク（*Tectona grandis*)ではピークが 10 年から 20 年までに現れ、その後も平均成長量は衰えることなく、なだらかな曲線を示す。 良い地位の所で 15ー20m³/年、悪い所で 5m³/年前後となっている

マホガニー（*Swietenia macrophylla*）はインドネシアで成長が良いと 20 年でピークに達 し 18m³/年となる。地位が悪いと 35 年頃ピークが来るが 14m³/年前後の平均成長量が 60 年 以降も得られる。[34)]

熱帯の樹木の成長に関する土地の生産力は国別、地位別に差はあるものの平均成長量のピークの現れ方は樹種毎に似た形となる。ピーク、収穫期はある幅の中で決めることが出来る。

木材としての利用の形により、樹木の大きさ、材質に対する考慮が必要であり、間伐の有無など施業方法が検討されねばならない。施業に対応した樹令－成長量図をもとめる必要がある。東南アジア材で、日本でも多用されるメランチ（ラワン）の造林に成功したというニュースが時々流れて来るが、メランチの樹心の 20ー40cm 程は脆心材であり、木材としては使い物にならない。メランチやアフリカのサペリ(*Entandrophragma cylindricum*)と いった有名樹種は 1m 以上の直径の天然林の材が、メランチ、サペリであって、人工林での小径木の材ではメランチ、サペリのイメージから遠い。少なくとも 100 年といった伐期が必要とされよう。アフリカでのサペリの造林は 1970 年代で停止され、今では 30ー35 年といった、より短伐期のフラケ、・(*Terminalia superba*) 、フラミレ(*Terminalia ivorensis*)の造林に替わっている。フラケ、フラミレに想定されている、直径は 60cm、平均成長量は 6ー8m³/年である。

３－４　熱帯林のバイオマス生産量の特性

熱帯森林でのバイオマス生産量、さらには森林の固定炭素量を論ずるには、収穫される地上の幹以外に枝、葉、地下の根を計算に入れる必要がある。

拡大係数は地上部のバイオマス量、または地下部までを含めた全バイオマス量と幹材のバイオマス量、または商業用に供されたバイオマス量との比をもって現す。森林調査では胸高直径と樹高を計り、幹材の材積を求めることが多く、全部の木について幹、枝、葉のバイオマス量を計ることは不可能である。そこで拡大係数として 1.1ー3.0 程度の値を用いる。樹種毎にサンプル木を伐倒し、乾燥して各部分のバイオマス量を算出したものである。

F.A.O.では熱帯広葉樹に対し、拡大係数＝1.74 を用いる事としている。 炭素量への換算は全乾重量の 50%を炭素量として行う。 国別、森林タイプ別に全バイオマス量が求められている。マレーシアの 60ー80 年間撹乱のなかった森林では 291m³/ha,炭素量にして 168.4tc/ha(144.3ー192.4tc/ha),経営林 で 222m³/ha, 139.4tc/ha(110.1ー168.8 tc/ha)である。[35)]

(熱帯森林のバイオマス量の実測例を 105 ページ表示した。)

４．　熱帯森林のカーボンシンクーCO2　　固定能力増強と固定CO2利用
（熱帯造林樹種の炭素固定能力の実測例を 104 ページに表示した。）

４－１　熱帯森林のカーボンシンクーCO2　　固定能力増強と固定CO2利用

国際緑化推進センターにより 1992 年から５年間にわたりカーボンシンク・プロジェクト推進調査事業が実施され、主にインドネシアを対象とした次の調査が行われた　。
環境造林技術調査－森林の CO2固定能力に着目し、大規模な環境造林を実施する上で必要な立地条件別の造林樹種の選定、適用技術等の技術情報を収集、整備する。2)環境造林推進対策地域調査－CO2固定量の最大化を目指した環境造林を優先的に実施すべき地域を選定すると共に、当該地域に適した森林造成技術、森林施業の体系化について調査を行う。
3)木材利用等調査－CO2固定量の最大化と併せ、再生産可能資源である木材の利用促進の観点から、薪炭利用の高度化、木材の耐久的利用を促進するための調査を行う。 許可を得て、報告の概要を引用させていただく。

４－２　CO2固定能力増強都会からの最終総括報告 [36)]

最終総括報告として、CO2固定能力増強部会から次の 9 報告が提出された。 これらはいずれも各委員の担当した調査の最終報告であり多面な分野に渡っているが、
これらの報告の内、熊崎部会長の報告は、CO2　固定能力増強部会の総括であるとともに、本調査事業の全体の総括的な報告も兼ねている内容であるといってよい。

1)熊崎実　地域規模の気候変動と森林の役割

（１）気候変動に関する政府問パネル(IPCC)が最近まとめた第二次評価報告書によると、産業革命以来、大気中の二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素など温室効果ガスの濃度が高まったことにより、すでに地球の平均気温は 0,3～0-6℃上昇し、海面も 10～25 ㎝上昇しているという。将来の予測としては、2100 年までに平均気温か約 2℃高まり、海面水位は約 50 ㎝上昇するとしている。 さらに極端な高温など気象変動の揺れが激しくなる可能性もある。
（２）地球の炭素収支と森林生態系
人間活動に由来する温室効果ガスの 50%ないしそれ以上を占める二酸化炭素については、1980 年代の年平均の放出量(および蓄積量)として次のような推計がなされている(単位億トン)。
（大気中での増加）32(±2)、＝（化石燃料の燃焼による放出）55(±5)　＋　（土地利用の変化による放出）16(±7)　－（海洋での吸収）20(±8)　－　（残余の吸収源）19(±12) 残余の吸収源については、確かなことはいえないが、たぶん北半球の中緯度地帯の森林で５～8 億トン、その他の陸上生態系で 11(±13)億トンに分けられるという。なお日本の森林は、1990～95 年の平均で 0.2 億トン/年程度の吸収源になっている。

（３）1990 年の時点で地球上の森林面横は約 41 億 ha、この森林の貯留する炭素量は植生に 3,590 億トン、土壌中に 7,870 億トンで、熱帯域の低緯度地帯の森林が年に 16.6±4 億トンの炭素を放出し、中高緯度地帯の森林が 7,4±1 億トンを吸収していて、金体としては差引 9.0±4 億トンの放出になっているという推計がある。

（４）アジア、アフリカ、ラテンアメリカの全熱帯域(50 カ国)を対象にして、2050 年までの森林利用のシナリオを描き、森林による炭素貯留の可能性を試算した研究によると、政策的な努力により、現在 16 億トン程度の放出源になっている熱帯林を 2030 年あたりから吸収源に変化させることも不可能ではない、としている。炭素貯留の手段としては、①森林の消失速度を抑制する、②天然更新や若干の人為を加えた更新をおこなう、③農場林業ないしはアグロフォレストリーで林木ストックを増やす、④人工林を造成する、の 4 つであるが、これらによる 60 年間の累積貯留量は約 550 億トンで、その内訳は、森林の再生 45%、森林消失の抑制 33%、人工林の造成 19%、農場林業 3%である。

（５）森林を造成することにより、バイオマスやリター、さらには木材製品に二酸化炭素を貯留することができ、また非木材系資材や化石燃料を木質系のもので代替することにより二酸化炭素の放出量を減らすことができるが、その程度は森林の成長特性と経営方式によって大幅にちがってくる。端的に言えば成長が早くて伐期の短い早生型と、成長速度は遅いもののそれが持続する晩成型とに区分できる。森林バイオマスと木材製品の長期平均貯留量はおおむね前者よりも後者が大きい。しかし化石燃料の代替を視野に入れると、早生樹種の人工林がきわめて有利になる。また伐期 70 年の日本のスギ林(北関東)は長期平均貯留量のかなり大きな経営方式である。

（６）森林造成のコストを炭素 1 トン当たりでみると、天然更新で数ドル、人工更新でも 30 ドル止まりであって、他の炭素放出削減手段と比較してコスト効率は決して悪くない。さらに森林造成の場合は、木材などの林産物のほか多種多様な環境便益の生産を期待することもできる。

2）山田麻木乃、太田俊二、森川靖　:グリッド純生産データによるモンスーンアジア各国の炭素収支評価

各国の森林の伐採転用による林地や焼畑後の再生林・二次林など、森林の炭索収支を明らかにすることが重要であるが、こうした評価には地域の主に化石燃料などの消費による人間活動による二酸化炭素の放出を含めて地域全体の収支の予測が必要とされ、この報告では地域を国単位として、モンスーンアジア地域の人間活動を含めた炭素収支の評価を行った。気候資源のグリッドデータから ha 当たりの年間純生産を森林生態系の植物純生産量とし、これから ha 当たりの年間総生産を予測し、さらに総生産量から吸収による消費量を差し引いて森林生態系全体の炭素固定量を推定できるが、呼吸による消費量の実測値がないことから、IPCC での他の地球的規模の陸上生態系の炭素収支を求め、これを基に各国全体の森林生態系の炭素固定量を評価している。また森林の転用による二酸化炭素の放出源

は、森林面稜の減少率を基に推定し、これらから各国の炭素収支を推定している。 モンスーンアジアでの、人間活動を考慮した炭素収支はマイナス 1.13Gt で、世界の 24%で あった。この地域の陸上生態系は、地球的規模から見て、結果として大きな炭素放出地域 となっており、荒廃地緑化の推進だけでなく、工業活動による炭素放出をどう抑制していくかが大きな課題となるとしている。

また各国ごとでは、GNP の向上は当然人間活動による炭素放出量の増加につながっており、現在炭素放出量の大きい日本、中国、韓国、インド以外の国でも、国の総生産の向上に伴って大きな炭素放出国になることも予想され、工業活動による炭素放出の抑制策が必要としている。

3） 内島善兵衛、太田俊二 :インドネシア島嶼域の自然植生の炭素吸収量への気候温暖化と土地利用の影響

インドネシア島嶼域は世界の地球上で最も生産力の高い 3 大熱帯雨林地域の一つであり、その純生産力は 20～30t/ha 年に達するといわれる。一方、世界での人口稠密地域で国連推定によると、2050 年には地域の人口は現在の 1.8 倍、約 9 億 1 千万人に増加するといわれ、人間による土地利用の拡大がかなりの勢いで続いていくと予想され、これは森林の消滅だけでなく、炭素の収支にも大きな影響を及ぼすといわれている。 この報告では自然植生の純一次生産力、したがって炭素吸収力を気候データから評価する 筑後モデルを用いて評価し、インドネシア島嶼域の自然生殖の純一次生産量の地理的分布 とそれへの気候温暖化と土地利用変化の影響について説明している。

また、人口密度と森林率の関係を見ると、森林率は１０^{0}～１０１人/km^{2} の人工密度域では１００～９０％の保たれるが、１０^{1}～１０^{2}人/km2 域で急減し、５X１０^{3} 人/km^{2} で０になる。10^{1}人/km^{2}以上の人口密度では人口の 増加につれて減少し、土地利用の変化の影響についても、各地域の内、たとえば人口密度 の高いジャワ島では森林率 7%であるが、人口密度の低いイリァンジャヤでは森林率 82%と なり、土地利用の差違を反映して炭素吸収量はジャワ島でポテンシャル値の 72%、イリアン ジャヤでは 95%と評価された。 したがって、近未来の人口増加と経済発展を考えると、豊かな熱帯林は急減して実炭素吸 収量はポテンシャル値よりかなり低下することが予想されるが、これを評価するには近未 来の土地利用の変化に関する細かいデータが必要であるとしている。 今後残された問題として、生態系純生産力あるいは地域生態系純生産量の定量的評価を可 能にする土壌吸収、伐採・焼畑、消費者などによる有機物損失量に関する基礎的データの 収集が必要であるという。また、面積的に広い分布を持つ北方針葉樹林は、純一次生産力 は比較的低く、再生回復には長年月を要すると思われるだけに、その生産力の基礎を明ら かにし、木材資材の可能性、炭素バランスの役割などの評価のために、北方針葉樹林の純 一次生産力の評価と炭素収支の定量化、成長モデルの開発などの研究が必要としている。

4）西川匡英:データによる熱帯林樹種の成長特性

（1）人工林の樹種別成長特性

①成長判読資料の作成

熟帯林樹種を 1)針葉樹(マツなど)、2)早生広葉樹、3)その他の広葉樹に分け、「熱帯 林の成長データ集録」(国際緑化推進センター1996 年)に掲載されている樹種の成長特性を 明らかにした。樹種ごとに林齢と平均成長量(MAI)の関係を国別、地位別にひとつの図に 表し、その樹種の持つ地域差や樹種特性を総括的に比較検討するための判読用資料を作成 した。

針葉樹(マツなど)として、*Pinus caribaea*, *Pinus kesia*, *Pinus merkusii*, *Pinus patula*, *pinus eliotii*, 早生広葉樹種としては *Acacia auriculiformis*, *Acacia mangium*, *Acacia nilotica*,*Acacia mearnsii*, *Gmelina arborea*,*Albizia falcataria*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus deglupta*, その他の広葉樹としては *Dalbergia sisso*, *Swietenia macrophylla*, *Tectona grandis* を採り上げた。Pandey は熱帯の 19 種についてその成長特 性から伐期と収穫量の収穫モデを作成しており、判読用資料と Pandey の収穫モデルとを比 較した。

②熱帯林樹種の特性

これまで調べた樹種のうち、*Pinus merkusii*, *Pinus patula*, *Gmelina arborea*, *Albizia falcataria*, *Eucalyputus grandis*, *Dalbergia sisso* などは、国別地位別には差はあるものの、平均成長量のピークの現れ方はその樹種ごとに似たような形(ほぼ同一時期) を示した。このような事例では Pandey の収穫モデルでは多くの場合、輪伐期の幅(例えば 5～10 年)は MAI のピークにほぼ決められ、収穫の幅(例えば 8～10 ㎥)はほぼ中庸の地位の収穫量(MA1)・あるいはそれよりやや以下のところに設定されていることが分かった。一方、成長のパターン(MAI のピークの現れ方)が地域差、国別の差があり、一定の収穫のモデルの作成には検討を要するもの(*Acacia meansii*, *Swietenia macrophylla*など)やMAIがピーク以降なだらかな曲線をたどり、輪伐期の幅がかなり広くなるもの(*Tectona grandis*など) のタイプがあることがわかった。

（2）熟帯林のバイオマス生産量の推定

①熟帯樹種の拡大係数とバイオマス量(または炭素量)

拡大係数(expansion factor)は、地上部バイオマス、または地下部を含めた全バイオマス量と幹部バイオマス量の比をもって表す。森林資源調査で求めた幹材積をバイオマス量に換算するのに利用する。拡大係数は 1・0 から 3 程度の値辛とる。 この拡大係数を用いた熱帯林のバイオマス量(または tc/ha 炭素量に換算)の算出事例とし て FAO(1990 年森林資源評価一熱帯林諸国)、S.Brown ら、C.A.S.Hall らの成果を紹介した。

②早生樹種の拡大係数

熱帯林の早生樹種については、既存のものがないため「熱帯林の成長データ集録」を中心に、暫定的に収集した資料から樹種別に拡大係数を算出した。林齢または樹高

が高くなるとすべての樹種について拡大係数が下がっており、最終時(林齢、または樹高の比較的高いもの)は1.1から2.4程度となっている。

5)小島克己・橋本徹・佐々木恵彦:焼畑跡地のカーボンシンク評価

熱帯林減少の最大の原因は焼畑と言われている。しかし焼畑後の土地は、放置されれば急遠に植生が回復して二次林が成立し、二酸化炭素を吸収・蓄積する。本調査では、インドネシア東カリマンタン州の実験林内の焼畑跡地のバイオマスを測定することで、今まで評価されていなかった焼畑跡地のカーボンシンク能力について定量的評価を行った。

焼畑跡地の二次林のバイオマスは、林齢1年で8〜10t/ha,5年で23〜27t/ha,10年で45〜68t/ha という値が得られた。焼畑後 10 年までの焼畑跡地の年平均バイオマス増加量は5t/ha 以上と推定された。カーボンに換算すると、1 年生で 3.6〜4.0tC/ha,5 年生で 10〜12tC/ha,10 年生で 20〜30tC/ha のストックがあった。これはこれまで想定されていた焼畑跡地の力一ボンストックに比べ、非常に大きな値であった。また焼畑による土壌中のカーボンの変化を土壌分析や土壌呼吸速度の測定により推定したところ、焼畑によって急激に土壌中のカーポンストックが減少することはなかった。したがって焼畑跡地は重要なカーボンシンクであることがわかった。

FAO の森林面積のデータを用いて計算すると、1990 年時点でのアジァ・太平洋地域における焼畑跡地のカーボンストックは、0.12GtC となった。1981 年から 1990 年の 10 年間でのアジア・太平洋地域の熱帯降雨林の減少によって大気に放出されたカーポンは 2.39GtC と推定されるが、そのうち 5%が再固定されていたことになる。したがって焼畑後に土地利用の変更を行わず二次林を再生させることで、そのカーポンシンク能力を発揮させ、熱帯地域のカーボンシンクは増大できるはずである。 東南アジア熱帯地域の場合、焼畑跡地がアランアランの草地になることがある。本調査地 でアランアラン草地のバイオマスは 1.9〜4.2t/ha であり、ネクロマスは 3.5〜4.1t/ha で あった。アランアラン草地は、ネクロマスを含めると草地としてはカーボンのストックが 大きく、一次生産力が大きいと考えられるが、草地のままである限り、カーポンのストッ クはこれ以上増加しない。カーボンシク能力の増強のためには、草地への造林と草地化の 防止が最も重要である。草地化を規定する要因は明らかになっておらず、二次林樹種の生 態的・生理的特性と焼畑およびその後の環境変化を解析することにより焼畑直後の二次遷 移過程を明らかにする必要がある。また二次林を構成する種によってカーボン吸収速度と カーボンのストックが異なると考えられるため、焼畑跡地のカーボンシンク能力の制御を 行う上でも二次遷移過程の解明は重要な課題である。

6)桜井尚武:熱帯の人工林の炭素固定のための生産力

CO_2を固定する役割が森林に期待されているが、その基礎情報を揃えることが必要とされて

いる。森林の生産力、炭素固定能力を概観すると、地球表面積の 70%を占める海洋部の合計は 550 億トンであるのに、陸上部は 1,150 億トンと倍に近く、しかも森林は大きな現存量を持ち、長期間固定できることから、陸上植物、特に森林の役割に大きな期待が持たれている。陸上植物群落の炭素循環は大まかに通年 1 兆トンといわれ、しかも森林は地球上の生産量の 92%以上を占めることから、固定された炭素のほとんどが森林に存在している。その森林が急激に減少し、炭素の吸収保存上の問題点と確認されるようになった。 一方、化石燃料の大量消費が世界的に進み、それによる大気中への炭素の排出も年間 50 億 トンと推定され、それに加えて熱帯地域の森林の急速な消失による 7～10 億トンの炭素が 放出され、大気の CO_2濃度を高めつつある。 森林が破壊されると、同じ質の森林への再生が難しいため森林が劣化するだけでなく、放 牧地化された半乾燥地林、沿岸のマングローブ林、さらに転換されたゴムやアプラヤシな どの農園も荒廃地化し易い条件を持ち、自然植生に復帰することを難しくしている。 こうした劣化した森林や荒廃地に森林を再生するための、東南アジア諸国でのいくつかの 事例として、フィリピンのバンタバンカン地域の脊悪地造林地、インドネシアでの劣化程 度の低いアランアラン草原の森林造成地と産業造林地、フィリピンのミンダナオの早成樹 種の産業造林地、フィリピン大学マキリン演習林やジャワ島の早成樹種の造林地、さらに フィリピンのマキリン演習林、インドネシアのホルベンテスやドラマガ実験林でのフタバ ガキ科樹種の造林地の成長の事例を紹介している。 これらの事例から、極度の劣化した立地でも、樹種を選び土壌の理学性や化学性を改良す れば、森林の造成は可能であり、一度森林ができれば土地生産力が向上し、その後の利用 が容易になる。 しかし導入された樹種も土地条件が合わなかったり、虫害を受けるなどして導入が頓挫し た例もあり、育種による優良系統の作出や一斉単純造林地の被害を防ぐために、異種混交 や小面積群状混交などの方策を講じる必要がある。また自然保護者から評価の低い樹種で も、立地適応性が広く、多様な目的に利用できるなど、脊悪地の緑化には欠かせない樹種 もある。土地条件のそれほど悪くないところでは、高品質材樹種の人工造林も可能であり、 その場合育種による土地に合った優良素材の作出が重要な課題となる。経済的に引き合え ば、南スマトラの産業造林のように造林事業は進展するし、事例に見られるように長期高 価値樹種でも日本とは比べ物にならない速度で成長している。とにかく、長期的に資本を 寝かせられる経営体が、政府の事業として森林造成を行うことが必要であり、一度造成し た森林を大きく育ててしまえば、その後持続的経営が可能になり、多様な生物種の生存で きる生態系への移行とその維持が可能となる。木材生産が可能であり、野生生物との共存 が保証され、木材以外の多種多彩な資源の生産と利用ができる森林を造成して、地域の住 民がその存在を守り高める環境が出来上ったとき、それがカーボンシンク機能を有する、 地球環境保全に役立ち、持続的経営ができる森林ができたといえる。

7）井上真:人工林の社会的条件ーインドネシアにおける産業造林事業からの教訓ー

はじめに：林地に人工林が造成されると、林業労働者としての労働機会が提供される等、地域社会に対しても一定の効果が期待される。しかし、一方で、人々が焼畑用地や共有林として利用していた土地の収用によって紛争が生じているのも確かである。本項では、炭素吸収のための人工林造成を、全ての関係者にとって納得のいく好ましいやり方で推進するための条件を検討した。

森林開発の展開：東カリマンタンでは、東南アジアー帯で活躍していた商人によって何世紀かにわたって徐々に「市場経済化」が進行していた。そして、特に戦後になってから、企業によって支配される急激な「産業化」が進展した。具体的には、1970 年代の木材革命、1980 年代の合板革命、そして 1990 年代の造林推進である。通常産業化には、土地の私的所有権の設定と、労働力の自由な処分・使用権の確立が必要である。しかし、当地域では国有林の設定と企業への事業権の付与により土地の取り扱いを、ジャワの労働力の利用により労働力の取り扱いをクリアーした。つまり、対象地域の社会が応用能力を持たないまま「不完全な産業化」が行われてきたのである。 産業造林事業の課題：産業造林の推進に

よって地域住民たちは焼畑用地などを収用される。したがって、住民たちへの土地所有権と造林事業への雇用の補償を謳った産業造林型移住事業は非常に重要な役割りを担っている。しかし、南スマトラ州の事例では、産業造林における賃労働を主体として生計を立てるという前提が崩れており、また造林可能面積および雇用可能人数の算定が正確でなく、現状では産業造林型移住事業は、土地収用に対する補償の手段としてあまり高く評価できない。しかし、農業部門をより重視した計画を採用し、あるいはより正確な移住計画をたてることにより、かなり有効なものとなりうるであろう。 まとめ:今後の森林政策は、造林の推進につれてますます産業化の色彩を強くするであろう。 したがって、矛盾の多い「不完全な産業化」から、地域住民が労働と土地に対する権利を 有し、自ら決定の出来る「完全な産業化」路線を移行することが望まれる。ただし、部分 的に共的な所有・管理を基本とする「コモンズの再構築」路線を導入することが必要であ ろう。これらの場合、土地基本法にのっとって、農地に関しては私的土地所有権の獲得を、 共有林に関しては慣習共同体処分権の承認を獲得することが前提条件となる。その場合の ネックは、慣習共同体処分権を認めない林業基本法である。この点が改善されるならば、 森林の造成・維時・管理に地域住民の参加を得る政策の実現可能性は格段と高まるであろ う。造林対象地として相応しいのは、地域住民のためにも何らかの価値が付加されうる地 域である。一方、人工造林以外の利用の方が、社会的、環境的、経済的により高い価値を 有するような土地では、造林はふさわしくない。特に高い社会的費用を生じさせるために は、住民を森林管理のパートナーとして位置づけ、人々の参加をとおした造林事業を進め ることが不可欠である。そのためには、造林対象地に含まれる、あるいは隣接する社会の 歴史、社会組織（機能集団を含む）、社会経済的状況、土地/樹木の保有と利用の

システム、森林/樹木に関する文化的特性、などをしっかりと把握するための調査、すなわち杜会林業 推進条件の把握に関する調査を、自然科学的な調査を並行して進めることが重視されるべ きである。

8)太田誠一:熱帯林の土壌炭素プールとその変化について 土壌炭索は陸上生態系における炭素プールに重要な位置を占めており、将来における世界 の炭素プールの分布をより的確に予察するためには、森林の変容に伴う土壌炭素ダイナミ クスを系統的に研究することが不可欠である。しかし、熱帯林の劣化、消失に伴う炭素収 支変化の基礎となる各種劣化生態系での炭素プールに関するデータの信頼性は必ずしも高 くない現状にある。このため、熱帯林下の土壌炭素ストックと、森林の変容・消失に伴う その変化について、インドネシア東カリマンタンの低地フタバガキ科林地帯を例に挙げな がら概観した。

同地域の主要土壌である ULTlSOL における 150cm の深さまでの炭素プールは粘土量の多寡と関係して 50〜150tha^{-1}、平均 81tha^{-1}であり、埴質な土壌ほど炭素シケストレーション機能が高いことが明らかになった。従って、熱帯 ULTlSOL 地帯において土壌プールを精度良く推定しようとすれば、粘土含量を異にする土壌の広がりがそれぞれどれほどであるかを明らかにすることが必要とある。 また、世界の土壌有機炭素プールの算出は伝統的に深さ 1m までについて行われるが、実際 には多くの土壌は 1m よりも深い下層土にもかなりの炭素を貯留しており、しかもこれらの 炭素は土地利用などの変化に影響を相対的に受けにくく下層土はシケストレーション (sequestration of carbon :炭素貯留) 果 たす役割の大きさが指摘された。

一方、同地域の劣化二次林やアランアラン草原の 0〜20cm 層、0〜100cm 層における土壌炭素ストックは天然林土壌より少ないとは言えないし、後者ではむしろやや大きいくらいであった。これら劣化性態系の土壌で炭素蓄積量が減少していないことは、特にアランアラン草原については地下部生産量の大きさの反映であろうが、分解抵抗性の高い炭化物質の蓄積が関与している可能性も否定できず、これらが炭素シケストレーションに果たす役割は今後検討を要する課題の一つである。 一方、これら劣化生態系は、植物が直ちに利用可能な可給態のチッソとリンで比較すれば 天然林よりもレベルが低いものの、逆に表層土の pH(H_2O)や塩基状態の点では天然林よりも むしろ肥沃であることが明らかであった。ただし、劣化状態が将来も維持されればこれら 肥沃度も低下するものと予想される。 多くの研究者が森林伐採に伴い表層土壌における炭素プールは 20〜50%も減少すると指摘 しているにも拘わらず、実際には、本例に見られるように、伐開や焼畑の後、自然植生の 回復にまかせれば実際には土壌炭素プールの減少はないと結論された。ただし、いかなる 土壌肥沃度の永続的な低下も、二次植物遷移の末に土壌炭素含量が最初の未撹乱植生下の 値まで回復することを妨げる可能性があり、劣化生態系の土壌炭素ストックが天然林レベルまで速や

かに回復したのは、対象地域では劣化の歴史が 10～20 年と比較的新しく塩基 状態に見られるように未だ土壌が肥沃であるためであるという可能性も指摘された。 生物生産を起源とする有機炭素の貯留を支えるのは養分であり、これが土壌利用変化対応 してどのように挙動するかを明らかにすることの必要性を忘れてはならないし、一方で荒 廃した森林地帯では更に荒廃が継続し養分損失が起こる前に積極的に造林を行い、森林生 態系が備える養分保持機能を最大限に発揮することで生物生産の継続性を確保することが 極めて重要である点が強調された。

9）小川眞：固定した炭素の利用と環境への還元－炭

人類が地球上に生活域を広げて以来、森林の消失は時とともに増加した。特に化石燃料の使用による CO_2 や汚染物質の放出は大きく、これらを固定しようとする試みはなされてはいるが、早急かつ大量に固定し封じ込める手だては実行に移されていない。ここでは、植物が固定した CO_2 を炭化によって形を変え、土壌や水中に入れ、植物の生産や水の浄化に利用しながら、封じ込める方法を提案したい。 炭や灰は土壌の酸性を中和するだけでなく、透水性を高め、植物に有用な微生物の働きを 活発にするなど多面的な役割を持つ。我国では地力増進法の制定とともに木炭が政令指定 土壌改良資材として認定され、炭の消費量も近年次第に増加し、東南アジアから輸入され るようになった。 土壌改良材としての効果は、透水性の増加、保肥力の増加、水分保持力の増加、地温上昇、 有害物質の吸着などについて実証された例が多い。また炭化物の施用による効果は、堆肥 などの有機物や木酢液、小量の化学肥料を併用すると、さらに相乗効果が期待できる。 また根粒菌、VA 菌根菌、きのこ、非共生的窒素固定菌、腐生微生物などの微生物の活性化 材としての効果も知られ、その技術開発も進んでいる。さらに木炭に木酢液を加えた資材 を土壌中に入れると、作物の成長促進がおき、また酸性土壌に木炭を加えると微生物相の 改良や土壌病害の抑制の効果にもつながる。しかし、これらの効果も炭化物の素材や製造 条件によって大きく異なるので、過剰使用にならないよう注意が必要である。 さらに大気、水、土壌の浄化材として活性炭が利用されてきたが、近年木炭の吸着特性に よる有害物質の吸着除去への利用も広がっている。これらの炭も埋没して廃棄するだけで なく、再利用を考えた研究開発が求められている。水質を改善するための分解微生物の担 体としての利用も、開発の必要のある分野であり、湖沼や河川、沿岸等の環境悪化を食い 止める手段として有望である。環境問題が深刻化する中で、炭の機能評価の中に炭索の封 じ込めの意義を加え、政策的に木炭の利用が推進されることが望ましい。 最後に補として、インドネシアにおけるもみがらくん炭の利用について、農業分野におけ る西ジャワのラソトソール圃場での JICA プロジェクトによる大豆など畑作物の生育に効果 を上げた試験結果の報告の要約と、林業分野におけるムラワルマン大学での JICA プロジェ クトの菌根菌の接種に効果を上げている技術開発が紹介されている。

４－３　固定 CO_2 利用部会からの最終総括報告 [37)]

最終総括報告として、固定 CO_2利用部会から次の 5 報告が提出された。これらの概要は次 の通りである。なお、木方部会長の「固定 CO_2 利用部会の総括」は、部会の各委員の報告を 総括したものである。

1)木方洋二:固定 CO_2 利用部会の総括

固定CO_2利用部会の各委員の報告を基に、その報告の要点を総括している。 特に利用部会はインドネシアの森林のカーボンシンクとその固定物質である木材の利用に ついて種々試算を行った。インドネシアの商業材の伐採において、搬出量の同量ないし倍 量の廃材が森林に放置され、その 30%は利用可能であり、また伐採に伴う周辺木の枯損や倒 木も残存木の 20%に達するといわれる。また木材工業における工場廃材は、ボイラー燃料と して利用されているが、その 1/3 は未利用のまま放棄されていると推定されている。これ らの廃材を炭化固定、またはエネルギー化して利用する場合を検討した。 伐採に伴う廃材の 30,6%を占める直径 30cm 以上の材は工業用原木として利用し、30ｃｍ以 下の残りの材は半量を炭化し、半量を燃材として利用すれば炭素放出量の削減につながる。 木材工業関連の廃材について製材、合板、パーティクルボード、ファイバーボードの生産 量、歩留り、廃材量、その形態、処理方法等を調査検討し、放棄材については炭化、エネ ルギー化によって炭素放出量の削減と固定量の増加が図られることになる。 インドネシアの木質廃材の利用は地域により異なるが、カリマンタンの一部における製炭 の普及により、残材や放棄材の炭化が行われ、これが燃料としてだけでなく土壌改良材と しても利用されている。安全な炭素固定方法として評価される。 さらにインドネシアの民生用燃材料や、全国の家屋中に蓄積される木材量の検討を行った。 林地廃材と工業廃棄材を 100%利用することにより、全森林伐採量の炭素量の 3.9～13.8%の 炭素の固定量増加と放出量の削減になり、これらの廃材をすべて炭化して固定炭素用とし て利用するなら、全森林伐採量の 2.7～5.0%に相当する炭素の固定量増加放出量の削減にな る。インドネシアの紙・パルプ産業は 1990 年以降急速に発展しており、そのための産業造 林を推進しており、2005 年までの造林プロジェクトで 243 万 ha の造林地の造成を予定して おり、これが実行されれば、パルプエ業だけでなく他の林産工業に対する原料供給、カー ポンシンクにも大きく寄与することになる。

また 1993 年での日本におる木材の移動と加工を検討した。住宅建設に 25.5%、その他に 74.5%消費される。これらの木材利用を炭酸ガス収支と炭素ストックの面から評価した。平成 5 年における製材等の木質材料の製造過程で放出される炭素は、我が国の全放出量の 1%に当たり、木質系以外の材料と比べて少ない。さらに住宅建設過程で放出される炭酸ガス量を比較し、木造建築は炭酸ガス放出量は少なく、住宅建設での炭酸ガス放出量の全放出量の 3.6%に当たるが、住宅建設で木造率を増加することで直線的に炭素放出量を減少せし

めることができる。さらに住宅中にストックされる炭素貯蔵量は、我が国の森林における貯蔵量の 18%に当たり、その貯蔵量の 91%は木造住宅にある。人類が健全な生活を維持するための材料・資材の確保が、人類生存の基本と関わりあいがあり、厳しく評価されねばならない状況にある。この中で、木材の生産と利用は、炭酸ガスの吸収、固定、放出、ストックの移動として捉えられ、その全システムは地球規模で展開し、各地域間で複雑な流れを形成している。この木材の生産と利用のシステムは、その持続性、炭索ストック能力、炭酸ガス収支の面から、極めてユニークで高度なものであり、地球環境の劣化が進行する中で、このシステムの実現に 21 世紀の人類生存の成否がかかっていることが指摘されている。

2) 黒須博司、杉浦銀次 :伐採にともなう廃材および工場廃材、放棄材の炭化、エネルギー化による炭素収支の改善

インドネシアにおける商業材の伐採において、搬出量の同量ないし 2 倍量の廃材(24,027,000～48,054,000 ㎥)が森林内に放置され、その内の 3 割は工業用原木として利用可能であること、また、木材工業における工場廃材はボイラー燃料等に利用されているが、その 3 分の 1 は未利用のまま放棄されていると推定されている。炭素を固定した廃材資源が未利用のまま自然界で短期間の内に分解され、炭索ガスとして大気中に放出されることは、資源の有効利用及び地球温暖化防止の上で問題である。そこで、これらの廃材を炭化・エネルギー化して利用することを検討した。 まず、廃材を炭化し、木炭を土壌改良材・浄水剤等として利用する、もしくはそのまま木 炭を放棄するならば、極めて長期間炭素を固定し続ける。また、炭化により木炭固定炭素 に相当する炭素の放出が削減される。 一方、木炭を燃焼すれば燃料材・灯油を節減するが、固定炭素を全て放出する。しかし、林地廃材は 4 年間で分解するので、商業伐採の操業期間の 35 年間で比較するならば、炭素放出の収支は零である。 次に、廃材を燃料材として利用するならば、代替燃料材に相当する炭素量の放出を削減す る。そこで、廃材の炭化・エネルギー化利用による木材資源・石油資源の節減が、どの程 度炭素収支を改善する可能性があるかを、35 年間のスパンで、炭素固定量を基準にしてモ デル的に試算した。

(1)林地廃材の 30.6%(φ>30 ㎝、7,352,000～14,705,000 ㎥)を工業用原木として利用すると、それに相当する原木伐採量を削減し、2,316,0C0～4,632,000t/年の炭素放出量を削減する。

(2)林地廃材の 69.4%(φ 〈30 ㎝、16,674,000～33,349,000 ㎥)を利用すると、

①全量を炭化して炭素固定用として利用すると、1,801,000～3,601,000t/年の炭素固定量が増加する。また、炭化により 60,000～120,000t/年の炭索放出量が削減する。

②全量を炭化し、その内 50%を炭棄固定周として利用すると、750,000～1,501,000t/年の炭素固定量が増加する。残りの 50%を燃料用に利用すると、燃料材代替により 1,646,000～

3,291,000t/年の炭素放出量が削減する。また、炭化により 30,000～60,000t/隼の炭素放出量が削減する。
③半量を炭化して炭素固定用として利用すると、750,000～1,501,000t/年の炭素固定量が増加し、残りの半量を燃料材として利用すると、2,626,000～5,252,000t/年の炭索放出量が削減する⑪
④全量を燃料材として利用するならば、燃料材消費量の 9,6～19,1%相当を節減することになり、5,252,000～10,505,000t/年の炭索放出量の全量を削減する。

(3)工業廃材放棄材(炭素量 923,000t).を利用すると、
①全量を炭化して灯油代替燃料として利用すると、267,000t/年の炭素放出量を削減する。一方、放棄材の炭化、燃焼により、炭素固定量は 132,000t/年減少する。
②全量を炭化し、その内 50%を灯油代替燃料用として利用すると、134,000t/年の炭素放出量を削減する。残りの 50%を炭素固定用として利用すると、53,000t/年の炭素固定量を増加する。また、炭化により 5,000t/年の炭索放出量を削減する。 林地廃材及び工場廃材放棄材を 100%利用するならば、利用法により、最大で 7,760,000～ 15,329,000t/年、最小で 4,312,C00～8,488,000t/年の炭索収支を改善する。この量は、全 森林伐採量 352,470,000 ㎥の炭素量の 3,9～13,8%に相当する。また、もしこれらの廃材を 全て炭化して固定炭素用とするならば、全森林伐採量の炭素量の 2,7～5,0%に相当する 3,009,000～5,690,000t/年の炭素の固定量増加及び放出量削減になる。

3） 木方洋二 :インドネシアの木材工業における炭酸ガスの発生

インドネシアの 1994～1995 年の一年間の統計による工業用原木生産量 24,027,277 ㎥に基ずき 、製材、合板、パーチクルポード、ファイバーボードの生産量、歩留まり、発生する廃材量、その形態、処理方法等を調査、検討した。最終的にこれら木材工業関連において発生した炭酸ガス量を炭素量とした計算した。木材の比重を 0.63 全乾重量の半分を炭素量とした。生産された製品 12,957,201 ㎥は現地使用 3,078,000 ㎥と輸出 9,879,000 ㎥(FAO.1993)に分けられる。日本へは、合板を主体とした 3,548,000 ㎥が輸出されている。’廃材中利用される材積は 7,661,245～8,259,259 ㎥、放棄材積は 3,939,934～4,272,179 ㎥となる。
対応する炭素発生量をそれぞれ 1,964,000 トンと 923,000 トンとした。利用された廃材のうち工場における消費エネルギー用、すなわちボイラー燃料用は 5,469,000 ㎥で炭素換算で 1,501,000 トンである。日本の原単位を用いた計算値より 25%多い。
一方インドネシアの民生用の燃料と炭の材積は FAO、資料より推定して 91,711,043 ㎥炭素量 16,999,000 トン、0.771 ㎥/人・年とした。しかし、今回の現地調査結果は 1.2 ㎥/人・年、或いは 1.9 kg/人・日であり、それから計算される相当民生燃料用炭素排出量は 32,309,000 トンになる。その差は林地廃材等、統計外の木質材料の燃料利用が多く含まれる結果である。82,653,000 ㎥に相当する量である。

（㎥）	製材 一般　　二次加工 製材　　（集成材）	合板	パチクル ボード	フアイバー ボード	計
製品量 歩留り	2,988.756　336,OOO 45%　　22.5%	8,121,445 55%	800,000 80%	711,000 90%	12,957,201 53.93%
原木量	6,641,680 1,493,333	14,766,264	336,000 （664,000）	790,000	24,027,277
廃材量 含水量	3,652.924 1,157,333 70%　　8%	6,644,818 （一 664,000） 8%　　70% 5,149.734　1,495,084	200,000 8%	79,000 8%	11,070,075
廃材処理 二次製晶 ボイラー 燃料 放棄	 1,202,564 3,607,693	2,192,790 ～2,790,824 3,986,891 332,241～664,482	 200,000	 79,000	

合板廃材のうち 664,000 ㎥がパーチクルボード原料となる。

インドネシアの家屋における木材使用量はジャワ島都市部 0.0658 ㎥/㎥からバリ島郡部での 0.0380 ㎥/㎥までとなった。竹、ヤシの利用は 17%を示した。推計した全国の家屋中に蓄積された木材量は 341,960,000 ㎥となる。建設時の材積であり生材計算で 63,363;000 トン－C となる。日本における家屋内蓄積炭素量の値の 45%にあたる結果を得た。 総計の発生炭素量は木材工業関連で、紙パルプを加えて 3,940,000 トンとなる。民生用燃 料として統計外の燃料も加えた炭素量 32,309,000 トンを加え 36,250,000 トンとなる。こ の年の製品として蓄積される炭素量はパルプも加えて 4,775,000 トンである。製品も加えた総炭素量は 41,025,000 トンとなる。

4)香山彊:インドネシアの紙パルプ産業における二酸化炭素(CO_2)排出の現状

インドネシアにおける一次エネルギーの消費量は 1987 年には 67,900 千 toe(石油換算トン)で、これに対応する CO_2 排出量は炭素換算で 68,095 千トンであった。それが 2000 年にはエネルギー消費量 115,821 千 toe,2010 年には 178,887 千 toe となり、CO_2 の排出量はそれぞれ 109,457 千トン(対 1987 年 1.6 倍)、164,245 千トン(対 1987 年 2.4 倍)になると推定されており、エネルギー消費の増加にともなって CO_2 排出量の増加も著しい，一方近年インドネシア紙パルプ産業は急速に発展しており，産業部門におけるエネルギー消費量、CO_2

の排出量の増加にたいする寄与率は高いと考えられる。インドネシアの紙パルプ産業は1923年に年産3,500トンの工場稼働によって開始されたが、1950年代に入るまでは殆ど進展を見なかった。その後製紙工場は逐次増加し、1980年には28工場、生産能力は年産29万トンに達した。これらの工場の大部分は非一貫工場で、パルプを生産せず、紙の生産のみを行っている。1980年以降紙パルプの工場数、生産量は飛躍的に増加し、製品も製袋用クラフト紙・新聞用紙・シガレット用紙、ティッシュ等の品種が新しく製造されるようになった。1990年には紙の生産量は年産144万トンに達し1995年には工場数59、生産能 力は年産・紙440万トン、パルプ290万トンになっている。その内容は日産1,000トン規模のパルプ・紙一貫生産工場が多くパルプの製造については ECF クラフト法が支配的である。紙・パルプの実際の生産量は生産能力の65～85%の範囲にあり十分な余力を残し ている。

古紙の使用量は、紙の生産量の増加と共に上昇し、1990年の87万トンから1994年の164万トンと5年間で1.9倍増加している。古紙の回収率は20%台で、日本の約53%に比べるとかなり低い。インドネシアでは紙の生産量、消費量共に急増すると予測されるので、国民経済発展のためにも、古紙の回収率の上昇を図ることが望ましい。 上述のように発展を続けている紙パルプ産業を支えるために、インドネシア政府は、「パル プ産業は造林からパルプ生産までを一貫して行わなければならない。」として、パルプエ場 の建設と共に、産業造林区域の造林を推進している。現在インドネシアでは2005年までの

短期政策として13のパルプ生産のプロジェクトを策定しているが、この計画では2005年におけるパルプ生産能力は年産611万トン、これに対応する造林地面積は243万haになっている。一方、日産1,000トンのパルプエ場に必要な造林地は・約5,7万haと考えられるので、プロジェクトで設定した243万haは、611万トンのパルプ生産に必要な造林面積の約2.5倍に相当し、十分余裕がある。もし、243万ha全体に造林が実行されれば・パルプエ業以外の林産工業に対する原料供給、カーボンシンクにも大きく寄与することになる。

インドネシアの紙パルプ産業における CO_2 の排出量は、1990年532千トンから1994年の1,119千トンと、紙パルプの生産量の増加に従って、急増している。しかし、CO_2排出の起源となる紙パルプ産業におけるエネルギー消費量はインドネシアの一次エネルギー消費量全体の0.8%(1990年)、1.5%(1994年)に相当し、現在ではエネルギー消費量全体に占める割合は未だそれほど高くないことを示している。日本の場合は、その割合は1994年には3%であった。この状態は今後しばらく継続すると思われる。

(その後スマトラ島における，ユーカリ、マンギュームを対象にした生産が始まっている．木方)

⑤)大熊幹章 :CarbonSink,Co_2 収支の観点から見た木材利用の評価

我々人類が、健全な生活を維持増進せしめるためには、食糧、エネルギーに加えて、生活資材を確保するという基本が満たされねばならない。ところが、21世紀を迎えるに当たってこの材料、資源の確保と言う生活活動が資源の持続性、地球環境の保全性と言う人類生存の基本との関わり合いで厳しく評価されねばならない状況にある。さて木材の生産と利用は,大気中からの CO_2 の吸収固定、CO_2 の大気への放出、さらにはCarbonのStock と移動して捉える事が出来る。この全システムは地球規模で展開しており，世界の各地域が様々な関係

で結ばれ，相互の間で複雑なフローを形成している。我々 は生活に必要な材料・資材を種々な条件下で確保することに努めているのだが、先に述べ た資源の持続性・環境保全性という人類生存の基本座標の中で、木材の生産と利用のシス テムは極めて高く評価されることが明らかとなった。その要点を以下に示す。

(1)製材、合板などの木質系資材は、鉄、アルミなど他材料に比べて製造・加工に要するエネルギーが極めて少なく、このことは製造過程の CO_2放出量が少ないことを示す。

(2〕50 年伐期のスギ造林地とこの造林木を材料として 50 年間使用するというモデルを設定して、全 Carbon Stock の経年変化を図に現わした。伐採後に再造林を行うことを前提にすると、この木材生産と利用のシステムは総 Carbon Stock を高いレベルで保つ、持続的なものであることが明快に示された。

(3)上記のモデルについて、木材生育時の CO_2吸収、木材利用時の CO_2の放出についてその収支を計算したが、1ha スギ造林地につき、1 cycle(100 年)で 91,6ton の Carbon Stock の超過放出になることが分かった。しかし、この聞に相応生活資材が得られていることに注目すべきであり、他資源・他材料の生産・利用システムに比べると Carbon 放出量は極めて少ないことが認められる。

(4)平成 5 年度に我が国では合計 37,917,000 ㎥の木材製品が利用されたが、この需要をまかなうために、海外・国内の林地で合計 67,371,000 ㎥の木材が伐採され日本へフローしたことになる。これらの関係を図に示し Carbon Stock の流れを明らかにした。

(5)我が国の平成5年度における製材などの木質系材料に加工された丸太総量は 67,371,000 ㎥で、これから合計 37,917,000 の製品が得られ、平均歩留りは 56.3%であった。これらの製造過程で合計 2.75×106kg の Carbon が放出されたことになる。これは我が国の全 CO_2放出量の 1%に当たる。

(6)構造別の住宅建設過程で放出される Carbon 量を算出して比較したが、1 戸当たり(136 ㎡)木造は 5,140 kg、RC 造は 21,814 kg、S 造は 17,747kg となり木造ははるかに少ない。施工、解体・廃棄を考慮してもその差は大きい。

(7)我が国全体で住毛建設に 10,232,000 ㎤の Carbon が放出されたが、これは C 放出量全体の 3,6%に当たる。また、木造率を高めると直線的に carbon 放出量は減少するが、全て木造にする(木造率 100%)と木造率 0%に比べて 1/4 に減ることになる。

(8)新設、解体等を考慮して住宅中にストックされる Carbon 貯蔵量を算出した。その結果 現在の値は 140,930,000ton となり、これは我が国の森林における貯蔵量の 18%に当たる。 都市にもう一つの森林があることになる。貯蔵量の 91%は木造住宅にある.ことは極めて意 義のあることと考える。

以上の結果を総合して、生物資源としての木材の生産と利用のシステムが、その持続性、高いレベルの Carbon Stock 能力、そして CO。収支の面から極めてユニークで高度なものであり、化石資源・金属資源の枯褐と地球環境の劣化が進行する中で、このシステムの実現に 21 世紀の人類生存の成否がかかっていることを指摘したい

５　熱帯材の名前

５－１　樹木と木材

熱帯材の名称については、各木材の生みの親である樹種名を木材の公称名称としている。或いは、その樹種の原産国での普通名の一つで広く通用する名称が市場名として用いられることも多い。国際的規模の係争が起きた場合、木材の名称は学名をたよりにせざるをえない。

樹木と木材の関係について考えると、木材という言葉はある植物性の原材料を示しており、木材という原材料の構造の持つ特殊性は、その植物の成育過程とも深いつながりを持つものである。同じ木材でも産地による材質の変動はつきものである。

生物としての植物学、木材としての林産学、その相互の理解は必ずしも十分なものではない。植物学の人達は、木材のもつ材質について、それが植物の特性であっても無関心であり、林産学の人達は木材をもたらした元の植物のことについて無知である。未利用樹種（unknown spp.lesser used spp.）の材に対して、よく知られた他の木材の名前 にちなんだ市場名をつけることがしばしばある。日本でもマツ類でもない北米産材のダグ ラスーファー（*Pseudotsuga menziesii* Franco ;douglas-fir ファーと称するがモミでも ない）につけたベイマツの名はよく知られ定着している。チークにちなんだＸＸチークと いった名称もよく見られる。利用する側の理解を越えた木材のグループが構成されている 可能性さえある。

よく知られた既利用の材であるラワン（メランチ）という名称はフタバガキ科の樹種のうちの３属にまたがる総合的な呼び名である。さらにはそのうちの１属の、ある節の材についてはラワンとしない。要するに人間が使い易い、似た材質のものを一つにひっくるめた名称なのである。

木材はそれをつくりだす樹種名により科学的に特定される。しかしこの場合樹種と呼んでいるものは、往々にして、その木材に特定の、構造上の特性をもたらす樹木の集まりであることがある。例えば日本でのナラ類、熱帯でのマホガニー類等では、それらの木材が特有の性質、それぞれの樹種に共通の特性を持つものであれば、ミズナラであれコナラであれ、マホガニーであれオオバマホガニーであれ、ナラ類、マホガニー類の木材として扱われる。それらの各樹種における特性は成育条件による変動のなかに含まれてしまうのであろう。逆に同じヒノキでも、木曾ヒノキを地ヒノキと一緒にすることはないし、市場では同じマカバの北海道産をマカバ、内地産をウダイカンバとして区分している例もある。ある樹種における木材構造のこの一定の形質は、通常同一の植物学的種に結びついたものである。けれどもその形質は往々にして、近縁のいくつかの種に共通している。

このように木材の名称は一樹種のみに対応する場合もあり、一つの属、さらには科を代表する場合までもがある。

５－２　名称の表記法

樹木名をカタカナで表現する場合、なるべく現地での発音に近い文字で表現することになるが、国が異なると同じローマ字つづりでも発音の違う場合もあり、日本風の発音では現地で通用しないことも多い。アフリカ、中南米の木材については、発音は夫々フランス語読み、スペイン語読みとなるが、日本ではそれらをそのまま英語読みする場合が多い。国際的には、前に述べたように植物学上の定義に頼ることになる。総ての樹種は世界的に認められている、唯一の名称、すなわち学名で示される。しかし時々この学名が変更になり戸惑うことも多い。学名のチェックは Index Kewensis (Oxford)による事になる。

学名にはラテン語が用いられる。その基礎はリンネ (Carolus Linnaeus)にまで遡る。種の学名は３つの部分からなる。最初の属名が樹木、木材関係の名称の根幹をなす。つぎの形容詞は属内の種（種小名）を示す。その後にその植物を命名した植物学者を一名または複数名示す人名が書かれる。属名、種名はイタリック表示、またはアンダーラインとし、人名は普通体の文字で書かれ、規約に従って簡略化される。

５－３　木材の同定

木材の同定には、その親となる樹木名を見つけるために、適当な参考標本を選びだし、その樹木の木材をあらかじめ分析する必要がある。木部構造の特徴的形質の変異を十分に知り、かつ変化の少ない、それに準拠できる形質のみを把握するために十分な質、量の標本を分析する必要がある。

通常木材の同定は、その木材の属する属の決定まで行われるが、産地等木材構造以外の情報がない場合、正しい種名をつけることは容易ではない。木材の命名にはその産地を明確にする必要がある。その木材のもととなった樹木の生涯を決定づける状況、地理的位置、環境因子等がしめされるべきである。さらに同定の済んだ木材についても、その樹種としての非正常な性質が現れていないかを調べ、記載する必要がある。

かつて、フランスの C.T.F.T.(Centre Technique Forestier Tropical) において、数多くの種類の木材について、ルーチンワークとして強度試験から加工性試験、紙、パルプ製造試験等の規格化した、十年一日のごとき試験が何年も行われていた事がある。その試験の原材料である丸太について、その基である樹木の花、葉等の植物標本があり、その産地は勿論、収穫前数年間の成育記録までがあると聞かされて驚いたことがある。木材の真の科学的データとはこのような丸太について試験されるものであるとの説明であった。”山が動く”という衝撃を受けたものである。

５－４　　熱帯材の市場名

熱帯材の樹種は極めて多い。マレーシアにおいて、木材該当樹種数は２万から５万とされ、商用材 (Commercial Timber) だけでも 2.000～ 3.000 種とされている。ちなみに、日本産のそれは 2 千種と 300 種 とされている。

熱帯においては単一の樹種が成育しているような、いわゆる純林は極めて少なく、逆に ある樹種の木が数ヘクタールに一本しか成育していないことのほうが普通である。

伐採業者にとっては市場が要求する樹種が何であるかを知ると共に、有利な樹種を立木の状態で捜し出すことが必要である。一方で特定の樹種の生産のみでなく周囲の未利用の樹種の利用開発を研究せねばならない。

この様な有用樹種の実地調査は木材商品化の原点である。未利用樹種といえども樹種名を決めてから搬出する必要がある。むしろ未利用樹種であるからこそ、より一層樹種同定のための基礎知識を深めねばならない。

熱帯で、ある木材の樹種を見つけようとする場合、しかるべき現地の原住民の世話にならなければならない。多くの場合、彼等の知っている樹木は、彼等の生活圏の中にある、しかも彼等にとって役に立つものだけである。そして、一つの樹種にはその分布域内で生活する部族の数だけ名前がつけられていることになる。C.T.F.T.の D.Normand の例示するところのよると、その自生地がシエラレオネからタンザニアに至るギニア・コンゴ山地の全域にまたがる、ある一樹種につけられた普通名の数は極めて多い。しかし実用上は、一つまたは複数の国ごとに、樹種の市場名がつけられており、現地名も一ないし数個に絞られている。例えば、*Triplochiton scleroxylon* K.Schum.はフランス語圏ではサンバ（コー トヂボアール名)、英語圏ではオベチェ（ナイジェリア名)、ドイツではアバチとなる。さ らにガーナ産であることを明らかにするときはワワとなり、カメルーン産ではエイユース となる。日本で聞く名前はワワとエイユースである。国際的パイロット・ネームはオベチ ェの名称が採択されている。

ある一つの現地名が唯一つの学名に対応するものではない。現地名との対応を葉、花、実等植物学上の特徴によって確かめる習慣を持つことが林業技術者にとって必要、不可欠なことである。異名、同音名についても注意する必要がある。

熱帯材の名称は、ある国土における、その樹種に対応する多数の現地名のなかから選ばれた一つの現地名と学名との対応により定められることになる（D.Normand)。

商業上の名称についても同じ手続きによって市場が自然に選び出したものであろう。市場名の不正確さは採集時の混同、売り出しにあったての多少意識的な間違い、供給源を隠すための商業的方針によるものである。

未利用樹種を市場に出すために、すでに定評のある既利用の樹種の名前で売り出すことがなされることがある。流通している木材を正確に示すための現行の名称に対し、このような代替木材が横行することは木材品質に対する詐欺行為である。これには種々な段階がある。日本の例で言えば、家具用材として高級材であるサクラ材は本来はヤマザクラ材のことで、およそ３種類の植物学的種類（*Pinus jamasakura*、*P.sargentii*,*P.verecunda*）よりなる。ヤマザクラ類の蓄積が減少した現在では、真のサクラ材としているものは、北海道産のシウリ（シウリザクラ *Pinus ssiori*）である場合が多い。さらに今ではカンバ材（*Betula* spp.）をカバザクラ材あるいは単にサクラ材と言って通

している。 アフリカ材についていえば、中南米産の有名樹種であるマホガニー（Mahogany ） 対比される、アフリカ・マホガニーと称されるアカジュー材がある。アカジュー材として良いと されるのはマホガニー属（*Swietenia* spp.）とアカジュー属（*Khaya* spp.）のものだけであ るとされるものの、市場においては *Entandrophragma* 属にまで拡大することが定着してい る。その際 *Entandrophragma* 属の材の樹種名を後につけることとしている。すなわちアカ ジュー・サペリ、アカジュー・シポ、アカジュー・チアマといった風にすることがなされ ている。この名称では正確な樹種が明らかであり、かつ材質も本当のアカジュー材に劣ら ないものであるから、この段階での、これらの名称は許されている。またそれらがアカジ ューと同じセンダン科（Meliaceae）の樹種であることを理解させる効果もある。しかし、 この商習慣を他科の赤色系の材にまで拡大してはならない。アジア産のフタバガキ科のメ ランチ（ラワン）にフィリッピン・マホガニーと言う名称をつけることはつつしまねばな らない。この例のなかでもアカジュー材の注文に対し、アカジューシポの名前をつかって *Entandrophragma* 材を渡して良いと言う事ではない。あらかじめ買い手からの承認を 得る必要があろう。

かつて、ITTO において行われたペルー・アマゾンの未利用樹種の利用開発事業においてトラック・ボデイ材として、現在多用されている南洋材のアピトン（*Dipterocarpus* spp.）類似材のシュワワコが日本市場に提案された事がある。なじみのない名前であるため、業 界よりペルー・アピトンと言う名称が要求され、開発はこの段階で停止してしまっている。

熱帯材研究の先進国であるフランスに国際熱帯材技術協会（Association Technique International des Bois Tropicaux)があり”熱帯材の一般的名称”(Nomenclaturegenerale des Bois tropicaux)と言う本が出版されている。諸国での公式名称の他に一般市場名、学名が記された使いやすい本である。産地の違う近縁の樹種でも木材は同じと見なされる材を同じパイロット・ネームに集める努力がなされており、輸出諸国、輸入諸国での主要な熱帯材の常用名を保存し、混乱を起こす恐れのある俗名を取り除く努力がなされている。

近時、北欧よりホワイトウッド、レッドウッドと称する木材が製材、或いは集成材の形で輸入されるようになった。ホワイトウッドはオウシュウトウヒ（*Picea abies*）とオウシ ュウモミ(*Abies alba*)であり、レッドウッドとは、ホワイトウッドに対抗してつけられた 名称であり、オウシュウアカマツ(*Pinus sylvestris*)のことでかつてシベリアアカマツと 称されたものである。

６. 非木材林産物

工業的規模での非木材林産物の持つ大きな可能性について、今まで二、三の例外、例えばゴムなどを除いて、注目されることはなかった。近時の林地の大規模開発に追いつめられた形での、３～４年しか持たない短期間での焼畑移動農業の繰り返しなどの問題の解決のためにも、森林の持つ、環境性、生態的機能の保全の為にも、非木材林産物の利用は重要である。

森に住む人達の非木材林産物すなわち、果実、種子等の食料への利用、更には薬用植物などに関する知識は深く、地方的にはよく知られたものである。例えば、アカキナノキ、ボリビアキナノキ(*Cinchona succirubra*, *C. ledgeriana*)の樹皮からとるキニーネは抗マラ リア剤としてペルーでは３００年以上も前から用いられてきた。数多くの非木材林産物の中から、代表的なものを、その木材の利用と共に関連した見聞を交えて示す。

①)ゴム(*Hevea brasiliensis*)中南米の人達には５００年以上も前からゴムノキのラテックスを利用することがなされてきた。１８００年代に工業的利用がなされるようになり、熱狂的とも言える利用（自動車のタイヤ）を生じた。インドネシアへの移植がオランダ人により始められたが、ペルー等では現在でも自然林の木からの採取がなされている。 東南アジアの造林地では、品種改良、精製方法の改良など等に成功し、ゴムノキの更新 期間は短くなってきている。そして日本の企業の努力により、更新のために切り倒した ゴムノキ材としての利用に成功し、日本にも多量に輸入されるようになった。木材専用 の樹種品種改良も始まったと聞く。 アマゾン研究所(INPA)の所長を、ゴムノキ材の利用開発のパイオニアであるアイカ工業 に案内したとき、話が噛み合わなくて困ったことがある。そのうちに彼の頭の中にある ゴムノキは直径１ｍもある天然木であり、アイカの扱うそれは 20ｃｍ前後の造林のもの であることがわかり大笑いした。ちなみに東南アジアのゴムノキの二番玉、三番玉は、 現地でＭＤＦ（中質繊維板）原料とされる。

2)松脂　東南アジアのマツ類(*Pinus merkusii*, *P. kesiya*)の天然林、人工林では、どこでも熱心に松脂を採取している。ブラジルのマツの造林地でも見たことがある（*Pinus caribaea* 他に北アメリカの松類)。松脂採取のための傷の付け方(taping)が地域により随分違って いる。インドネシアのメルクシーマツでは樹幹に縦に大きくえぐって傷をつけていた。 東ジャワでは地際から２ｍほど、西ジャワでは５０ｃｍまでぐらいの高さまであった。 マツ類の造林は早成樹としてのパルプ、燃料材、集成材、そして松脂採取も主目的の一 つである。傷のついた基部の材（一番玉）は切り出して地元で割り箸を作っていた。日 本での割り箸反対運動には割り切れない思いがしている。タイでは傷あとは深い穴とな っていた。ブラジルで見たのはゴムの採取のような、浅いＶ字形の傷（斜溝法）であっ た。渡辺弘之（京都大学）によると、ベトナムでも斜溝法であるという。
西ジャワのメルクシーマツの造林地は地元民の管理下にあり、２ｍ長に手鋸で切り出し、太い傷のない良い丸太は湾岸地区の製材工場へ運び集成材となり、日本へ輸出される。

次に細い材は地元の製材へ、枝、端材は燃材として束にして、他地区への販売のため道

端に積み上げてあった。林地には小枝一つ落ちていないくらいの徹底的利用である。ちなみにチェンソーは雇用に問題があり、導入しないのだという。先進国も見習わなければならぬ、一考に値する発想である。

斜溝法

縦に大きくえぐった採取法

3)ウルシ(*Melanorrhoea* spp.他)　ビルマウルシはマツにフタバガキ科樹木の混じる森林（Mixed Pinus-Dipterocarpus forest）或はシイ、カシにフタバガキ科樹木の混じる森(Mixed Dipterocarpus-castanopsis forest)にあり、直径５０ｃｍにもなる大きな樹木まである。極めて粗雑な斜溝法での採取である。マツ、シイ、カシ林を維持しながらの生産は貴重な事例である。天然林保護のためという理由でウルシ採取は違法扱いされるという。天然林利用に関し、似た事例の報告もあり、世界的に論ずるべきである。(渡辺弘之 京都大学)。ウルシ科の木材は日本にも入ってきていたが、美しい材であるが、製材時（生材）では皮膚にカブレを生じ、工場が止まったりして問題となっていた。

④)ダマール,コーパル　その他

松脂と同じような方法でイン、ヤン（*Diperocarpus* spp.）からダマール樹脂をとる。樹液の出が悪くなると幹に彫った穴に火をつけ刺激するとまた出るようになる。タイで黒く焦げた穴を見かけた。木材はイン、ヤン等と呼ばれる重硬な有用材である。 世界中の各種コーパルの木（*Copaifera* spp.）からはコーパル樹脂をとる。材は美しい、耐久性も大きい材である。 その他、枝葉、木材の小片から蒸留等で取り出す樹脂、タンニン、精油等は極めて多様である．タンニン材料で日本で丹柄と呼ばれているものを，とる樹木を東南アジアではタンガル（Tangal:*Ceriops* spp.）と言われているのに驚いたことがある。かって奈良のどこかの古墳で発掘直後に竜脳の香がしたという新聞記事を見たことを思い出した。

スマトラ、マレー半島、ボルネオ特産のリウノウジュ（*Dryobalanopus*

aromatic ）に含まれる右旋性ボルネオール（α－Borneole）の結晶体があったのであろう。唐 の時代、楊貴妃愛用の香料であったという。木材 はカポール材で多量に合板用材として移入されていた。

ダマール樹脂採取のために掘った穴
火をつけて樹脂の出を良くする。

アラビアゴムは郵便切手の糊料等とされるもので*Acacia senegal*他多くの*Acacia*属のジンコウ(*Aquilaria agallocha*)の樹脂の凝固 したものが沈香、特に上等品が伽羅である。材は 美術品加工用とされる。インドネシアガジャマダ 大学のワナガマ演習林で裸地に近かった山地の 造林に成功した。麓に水が出るようになり、水田まで出来た造林成功物語がある。その後鳥が運んだジンコウの苗がみつかり喜んでいた。

アラビアゴムは郵便切手の糊料等とされるもので*Acacia senegal*他多くの*Acacia*属の幹をタッピングして採取するものである。アフリカ現地の燃料の不足から切られているという。金の卵を産むのを待てないのである。*Acacia*属はタンニン源としても有名で材を利用するものも多い。

チューインガムの原料chicleはサボジラ（*Achras zapota* spp.）で中米産である。東南アジアではジェルトン（*Dyera costulata*）の樹液はゴムの代用、チューインガムの代用原料となる。ジェルトンの材は安価な材として日本に多量に輸入されていた。

キニーネ（*Cinchona ledgeriana*）,コカ（*Erythroxylum coca*）等薬用成分を利用するものは極めて多い。枝葉、木片の蒸留により採取するものにアンソク香(*Styrux paralletoneurum*, *S,benzoin*),カユプティ（*Melaleuca leucadendron*）等がある。同様に樹皮からタンニンを採取するものも多い。ケブラチョブランコ(*Aspidosperma quebrachoblanco*),ケブラチョ（*Schinopsis* spp.）等があげられる。 その他香料として、ニクズク(*Myristica fragrans*),丁子(*Syzygium aromaticum*)等、 特用林産物は熱帯に多い。

5） ナッツ, 果実 ブラジルナッツ（*Bertholletia excelsa*）は南米ではよく知られた食料で あり、種々に加工もされて輸出も多い。樹木も巨大で木材としても重硬な貴重材である。 アマゾン原住民の主食であったという。部落をとりまいた一定の距離の所に植えられている古くからの造林樹種であると言う。

る

パンの樹(*Artocarpus altilis*)　果実を焼き、茹で、醗酵させ食用

ジャックフルーツ、パラミツ（*Altocarpus Heterophyllus*）生食

ブラジルナッツ

カボチャ大の果実の蓋が取れ、中から4，5cm長さの三角形の種子が出る。木質で硬く、内部の仁は白く、食料とする。

（木方）

テンカワン、イリッペナッツはフタバガキ科の樹木、特に *Shorea macrophylla* の種子 で油脂原料である。数年に一度しか咲かないフタバガキ林の花が一斉に咲き、テンカワ ンが実る。輸出も多い。材としては有用なライト・レッド・メランチ（ラワン）が主で あり、テンカワンが売れることにより、メランチの出材を渋る傾向にあるという。非木 材林産物利用推進の成果が出始めたのかも知れない。

カシュー（*Anacardium occidentale*） ブラジル原産であるが汎熱帯に広く植栽されている。種子の仁も、果托も食用として、殻から塗料、樹皮から染料をとる材も美しい。

グネッム（*Gnetum gnemon*） ジャワ島の市場で種子をつぶしたものを売っている。油で揚げて塩少々で最高のビールのつまみとなる。苦さが何とも言えない。植物学的には裸子植物に属するが針葉樹とはされない特殊なものである。 その他シイ類等地方的には種々のナッツが食用などとされ利用される。

数多くの果実が熱帯に見られる。木材との関連も含め、二、三の記述に止める。 ドリアン （*Durio zibethinus*, *Durio* spp.） いずれも大木で果実の種衣を食用とする。強烈な臭いがあるが極めて美味である。現地では食い倒れる者まであるという。スマトラ で林内にドリアン小屋があるのを見た。落ちてくるのを見張っているという。オランウ ータンがよく食べるという、木材は合板用材として日本に輸入された。

マンゴ （*Mangifera indica*） 東南アジア原産であるが、世界中の熱帯でみられる。美味であり、扁平な大形の種子の周りを舐めるのが通であるという。但し口の周りがかぶれる恐れがある。*Mangifera* spp. はいずれも高木であり美しい材が日本にも輸入され ていた。

アボガド （*Persea americana*. *Persea* spp.）高木で材は多種の用材とされる。果実の形、 大きさ、色など様々であるという。バター様の果肉は美味しい。まだ果実がなっている ところを見たことはない。

パンノキ （*Artocarpus altilis*）ジャックフルーツ、パラミツ （*Artocarpus heterophyllus*） パンノキでは調理して食用とし、ジャックフルーツは生食する。いず

れも大型の果実で香気があり、美味。材は耐久性のある高級材である。この属の材の重硬なものはケレダ ン(Keledang)と称する用材となる。

私見によれば熱帯地域のうち果実の豊富なのは東南アジア、中南米でアフリカは少し劣るようである。

6)ヤシ類　油脂、澱粉、砂糖、籐が利用される。ヤシ類はココヤシ、アブラヤシ、サゴヤ シ、サトウヤシ、ニッパヤシ、ナツメヤシ、籐　等々樹種は極めて多く夫々特異に有用 がある。

ココヤシ(*Cocos nucifera*)の油の方がアブラヤシ(*Elaeis guineensis*)の油より食用としては高級である。アブラヤシの油は工業原料として期待され、マレーシアのアブラヤシ研究所（ＰＯＲＩＭ）ではベンツを走らせていた。サゴヤシは（*Metroxylon sagu*）開花直前に伐採し、幹の中の澱粉をとる。地元では常食とする。サトウヤシ（*Arenga pinnata*）の開花直前の先端部、ココヤシの花弁を切断して出てくる樹液を煮詰めて砂糖 をとる。現地のロブスターコーヒー（*Coffea robusta*）によくあって美味しい。

ヤシから砂糖をとる。（木方）

ココヤシの果　（木方）

ニッパヤシ（*Nipa fruticans*）が砂糖供給源としては最も安価であるという。地ぎわ で採取出来るせいであろうか。根茎から出る羽状複葉は現地で屋根材料とするが、何か 工業材料として開発してみたいものである。

ナツメヤシ(*Phoenix dactylifera*)は砂漠のヤシで５ｃｍほどの果実は干したものが保 存食デーツであり甘い。砂漠の主食の一つであり、生食もするという。

トウ:日本語でタケカンムリの籐である。１００種を越える種類があり(*Calamus* spp.） 広く分布する。蔓性で長く、鉤があり、他の樹にまとわりつく。東ジャワで造林を見た。 スラバヤの工場では日本からのＦＡＸの図面で椅子、籠等を生産していた。

ココヤシの幹は用材として多様されている。特にチーク、クルイン等の耐久性のある材が涸枯してきたこともあって、多く使用されるようになったという。屋敷内のココヤシを７本伐って家を建てるのだという現場でピットソーイングをみた。穴を掘ってソマ角にはつった幹をわたし、上下２人で鋸を挽く。数人一組の木挽き職人が挽きに廻ってくるという。木屑はもちろん燃料である。バリ島に見られるヤシで建てられたホテルのヤシ材はココヤシを特別に仕立てたものとも、別種であるとも聞いた。入り口の高い柱からベッド、椅子までヤシ材の高級ホテルである。但し重くて椅子は動かせない。

アブラヤシの幹材の利用を研究したことがある。ココヤシは１００年ほど果実が採れるため、材の方も十分成熟しているが、アブラヤシは未成熟のうちに（２５年前後）更新されるため幹の上部ではチェンソーで横切ると維管束鞘が、バラバラになって円板がとれないことまであった。ＰＯＲＩＭでパーティクルボードを試作していた。ゼファー機（ローラープレス機）にかけて維管束鞘と柔細胞を分離し、繊維はボード、マットの原料とし、粉末はフルフラール等化学原料となることが考えられる。重量にして半々に分かれる。ゼファー繊維から面白い厚物ボードが試作できた。

オオミヤシ（*Lodoicea seychellarum*）の果実はフタゴヤシと言われる様に２つのココ ヤシ大の果実がくっついた形の珍奇なものである。インド洋岸に漂着した巨大果の内果 皮は真黒でこの殻の間の凹みに中果皮の繊維が残り、黒いビーナスとして古くから著名 であったが１７４３年セイシェル諸島産であることが知られたとある。 熱帯において、海岸のマングローブ林の中にニッパヤシが混じり、或いは直接海岸にコ コヤシが植えられている。一方で内陸へ向かって走ると段々高木の姿はなくなり砂漠に 到り生えているのはヤシ（ナツメヤシ？）のみとなる風景がみられる。

7)**シェラックラック** Shell lac　Lac. はラックカイガラムシの分泌する樹脂状の物質（ワ ックス）である。この虫は何の木にでもつくという。インド、タイあたりが主産である。ＬＰレコード盤、ワニス、蛍光灯の口金の接着に用いられる。(渡辺弘之、京都大学)

8) **キノコ**　シイタケの生産は各地で始まっている。インドネシアを始めとして、オイスタ ー茸（Oyster mushroom ）各種他種々のキノコがアローカリア、マツ等の鋸屑に糠等を 混ぜた培地でのポット栽培が行われている。

9）**コルク、活性炭、コプラ,ワックスその他**　モロッコで見たコルクガシ（*Qoercus ilex*）

の造林は地面に凹みを掘って、その底に苗をおろしていた。降水量が極端に少なく、海からの霧で育つと言っていた。コルクを採った後のコルクガシは赤裸となるが樹は生きており、やがてまたコルクで覆われる。

ココヤシ（*Cocos nucifera*）の果実の外側は薄い外果皮がありその内側の厚い中果皮の 繊維はロープ、マットなどの粗い繊維材料として利用される。その内側の内果皮は硬い 黒褐色の殻で良性の活性炭の材料となる。その内側は果水をみたし飲用とされるが、熟 すると胚乳層が厚くなりコプラとなる。油をとる。

ブラジルロウヤシ（*Coperica cerfera*）の葉の表面のロウ（蝋）はカルバナワック スで融点が高く、高級自動車ワックスとされる。

カポック（*Ceiba pentandra*）パンヤ（*Bombax malabaricum*）は綿毛を有する種子の繊維を詰めものにする。

10）葉の利用　アッサムチャ（茶）（*Camellia sinensis* ）は紅茶、の原料である。 コカ（*Erythroxylum coca*）抽出成分が薬用とされる。

カユプティ（*Melaleuca leucadendron*）枝葉を蒸留して油（シネオール）をとる。薬用香料。

熱帯地方では日常的に木の葉の皿が用いられる。

市場で売られていたものはサラノキ(*Shorea robusta*)(インド)、ヤーン(*Dipterocarpus tuberculatus*)(タイ)、ダウン・シンポー(*Nauclea orientalis*)(インドネシア)等がある。（渡辺弘之）

バナナ （*Musa sapientum*, *Musa* spp. の葉を四角に切って包み紙にするもよく見かけられる ものである。 その他ヤシ類の葉を編んだり、或いはそのまま屋根、壁に使う或いは床に敷いたりする のはよく見かける。タイで屋根、壁をチークの葉で覆いてあるのをみた。

私のコレクションに古い貝葉（貝多羅葉）のカレンダーがある。タラバヤシ（*Corypha utan*）の葉に尖ったもので書いて墨を入れた代用紙である。

チークの葉で葺いた屋根
（木方）

11)アグロフォレストリー　　チーク(*Tectona grandis*)などの高級樹種からファルカタ（*Paraserianthus falcataria*)のような早成樹まで、即ち８０年から１０年或いはそれ以 下の伐期の樹種まで、種々の苗をトウモロコシ、パイナップルの様な食品種から花の苗 までを一緒に植えて、樹が大きくなり、日陰となって生産が出来なくなるまでの３～４ 年間の農業収入をはかるシステム（タウンヤ・システム）である。世界各地でみられる。

ファルカータとパイナップルのアグロフォレストリー

トウモロコシとメルクシーノアグロフォレストリー

ラタン　２～３年で切る．その後またのびてくる。

国際熱帯木材機関　International Tropical Timber Organization (I.T.T.O.)

I.T.T.O.は世界唯一の熱帯林問題だけを扱う国連条約機関で、世界の熱帯林を所有する熱帯林諸国が中心となって設立された機関である。保全地域の国立公園化を可能とする。１９８３年に国際熱帯木材協定が作成され、１９８６年国際熱帯木材機関 (I.T.T.O.)が横浜に招致された。

ボルネオ島に，インドネシア、マレーシア国境にまたがる，国立公園を立ち上げる事に成功し，その地区の熱帯森林は保護され、違法伐採はなくなった。また I.T.T.O.は多くの国で造林を推進している。

その後種々の活躍がなされた後、ついに２００８年末　I.T.T.O.　から　“熱帯原生林の保全プログラム”が提出された。内容は一口に言って、熱帯原生林の全面的な伐採禁止である。

地球温暖化の原因となる CO_2の排出のうち、森林破壊による排出は世界の CO_2排出の約２０％をしめる。

“熱帯原性林の保全プログラム”は、I.T.T.O.が目標としていた　“２０００年までに、熱帯材の生産は総て管理された熱帯林からの生産とする”　を、大きく飛び越えてしまっている。

我々が　I.T.T.O. Project PD 58-97 としておこなった、そして今、改めて、手を入れ、書き足している、この　“熱帯の木材”（追記を含め）は、我々の熱帯木材研究の総論であり、各論にあたる “Tropical Timbers Database ” : “The Data-base of Tropical Industrial Lesser Used Wood Species”　はアジア太平洋地域の材　３９１種、アフリカ材２８１種、中南米材２７１種の当該樹種に関する名称（学名，商用名、地方名）,一般特性，最終用途、物理的機械的データー、木材組織構造、乾燥性、加工性を記述し、各種の検索すなわち，名称による検索、最終用途、物性、木材材質、加工性、等のキーワードによる検索、入手可能な代替種の検索を行うものであった。（２０００）

しかし、このデーターベースは　“熱帯原生林の未利用樹種の利用開発”　を目的として集められたものであり、熱帯原生林の全面禁伐がうちだされた今となっては、名古屋大學　木材物理学教室　の壮大な、過去の記念碑的成果である。後世に残される事を願って、書き残した記録を整理しているところである。

熱帯森林破壊に関連して、CO_2 削減の切り札として、先進国の発展途上国への金の移送の多少の論議、即ち途上国の森林造成を金で買う話がある。温室効果ガスの排出権取引である。

この根拠となっている論議は、環境に価値をつける、即ち森林に価値をつける、空気に、CO_2に価値をつけることである。曰く環境の価値は地球総生産の１．８倍にあたると言う。CO_2 の排出量を金になおし、ルール化して金融にすると言うことである。本当に CO_2削減になるのだろうか、
“あれはあれで役に立つ事が有る”ともいわれるが疑問である。免罪符を買う事ではないだろうか。
２０１０年１月５日の朝日新聞の記事によると排出権取引には、欧、米、日の間に溝があり、森林を保全した場合，其れが吸収する CO_2を排出量の削減と同じに扱い、排出枠を売却出来るようにするかどうかについて、欧州は認めていない。アメリカのトランプ政権のパリ協定離脱と絡んでどのようになったのか情報をもちあわせていない。

この事についての、I.T.T.O.の立場は歯切れが良い“環境は値段がつけられない高価ものである。このような金は総て森林保全に投入すべきである。投入した金の対価は求めるべきでない。即ち環境は産業レベルのものではない“。”国、国連レベルでの金の投入は必要であるが、無償のものである。もちろん他国の造林事業への企業の投資は有りうるし、国と国との取引もありうるであろう“。”熱帯森林への金の投入がコンセションの価格を上げるだけになっては困るのである“。

わが国でも、違法伐採材対策の PR がなされており、民間の諸団体の取り組みも盛んである。これを要するに、ラワンが象牙と同じ扱いとなると言うことである。造林のマホガニーと称するラワン材を識別鑑定する時代が来るかもしれない。マホガニーの造林は熱帯諸国にあるし、樹も大きくなっている。ラワンの造林に成功したと言う話はいくつもあるが、ラワンの造林はあっても、成長当初の材は総て未成熟材であって、直径３０cm までの、２０年生までの材は，その後もっと大きくなれば脆芯材となって、使い物にならない。１００年生、直径１m にもなれば、いわゆるラワン材といえることになる。丸太の直径３０cm の外側がラワン材として利用できるのである。造林の成功は、当座の間にはあわない。

この点フランスの C.T.F.T.はしっかりしていて、ラワン同様に脆芯材のでる、アフリカンマホガニー類の造林は止めて、ターミナリアに切り替えていた。もう古い話である。

もっとも，パルプ関係の造林は別である。用材と違って、２年、３年、ことによると１年の伐期を論じている。セルロースの嵩さえ有れば良いのかと思われる。パルプ原料の木材は針葉樹から広葉樹へとひろがり、アテ材歓迎の声まできこえてくる。コピー用紙が裏写りの無い薄い紙を要求するのである。太い細胞壁の厚い繊維、しかし短い難点のあるアテ材の繊維の欠点は接着剤でおぎなうのである。

I.T.T.O.の熱帯原生林の保全プログラムは次のようである。“森林破壊は熱帯林破壊である。熱帯林は原生熱帯林である。原生熱帯林は温暖化防止以外に、生物多様性、大量の水の補給、先住民の生活の場である。地球上に生息する動植物（約５００万ー１０００万種）の半数が生息し、アマゾンだけで、世界淡水の約２割を擁し、また６０００万人の人が熱帯林に依存して生活している”。

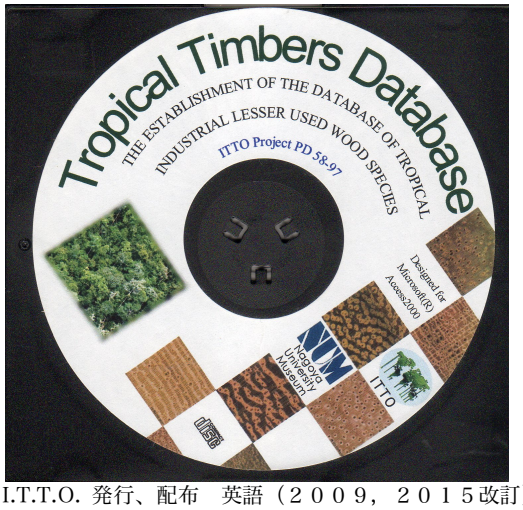
プログラムの内容

１）初年度の対象保全地域、規模、手法に関する検討、審査を実施

２）対象保全地域の国における熱帯林所有者（国家，森林局）から、プログラムの対象となる森林
　の保全を宣言したコミットメント書簡を取得

３）対象国の国家森林局へ、技術的、資金的援助を開始

４）森林局は、支援を受け保全地域で以下の活動を展開
　森林保全部局の体制強化、森林警備隊の設置、森林保全活動を行う住民リーダーの養成
　周辺住民に対する森林保全教育や学校設置等の社会基盤整備
　保全地域の国立公園化　等



I.T.T.O. 発行、配布　英語（２００９，２０１５改訂）

日本語翻訳版には対比のため世界の温帯産材も記載した。

＊　かたさ；樹種間の対比の為、ブリネルに統一した。ヤンカのみで表示されていた樹種は、ブリネル–ヤンカ間の相関によりブリネルの数値を求めた。

＊　＊　使用した材鑑は名古屋大学博物館に保存している。

9　雑録

1）　熱帯造林樹種の木材利用開発

木材利用以外の目的で造林された樹種は多く面積も広い。ゴム(*Hevea brasiliensin* MUELL.-ARG,)、アブラヤシ(*Elaeis guineensis* JACQ.)、松脂用の熱帯マツ(*Pinus* spp.)類等である。また熱帯には屋敷林として植えられる樹種も多くある。ココヤシ(*Cocos nucifera* L.)，パンノキ(*Artocarpus altilis* FOSB.)等である。これらは果実を利用した後、木材も利用されている。

①　ファルカータ、メルクシー松

アグロフォレストリー対象材としてファルカータ(*Paraserianthus falcataria* (L.)I.C.NIELSEN)、メルクシーマツ(*Pinus merkusii* JUNGH. et DE VR.)等熱帯の松類の造林も住民に近い存在として定着している。これらの伐採現場は、村落の中と言ってよいほど身近であって、訪れたメルクシーマツの伐採現場では、部落総出でチェンソーでなく人手で伐採し,細い枝まで担ぎ出していた。マツ脂採取にため傷ついた基部の材は割り箸とする。整理分類結束された木材は、細い枝から順次段々太くなるにつれて部落から遠ざかった道端で売られていた。製材できる丸太は工場に運び込まれ、細い丸太は、途中の町の丸鋸一つの町工場で板に挽かれ、町工場あるいは道端でちょっとした家具にされていた。大学の門前の道端に、この手の家具屋をみかける事が多い。学生のベッド、机、椅子等をつくる。

メルクシー松の収獲
雇用のため，総て人力
村中総出。　　（木方）

細い枝材まで担ぎだす
燃料材。　　（木方）

道端に積まれた細い材　燃料材。
（木方）

松脂を採った痕のある根元材
割り箸用材とする　日本での
割り箸反対運動を危惧していた。
（木方）

屋敷林のファルカータ(*Paraserianthus falcataria* (L.)I.C.NIELSEN)も丸太に造材して道端に積まれている。人が一人立ち番をしていた。トラックが巡回して集めにくるという。トラックの来る日に何かの都合で，トラックがこなかったりすると、カビが生えてしまう。立木にして１本、２本分位であろうか。いずれも、ジャワ島での見聞であるが、エコシステムとして、立派なものである。

屋敷内に飢えられたファルカータ
１１年生。　（木方）

太い材も、細い材も道端に積む。
回収に回ってくるトラック便を
待つ　、留守番が一人立つ。

②　ココヤシ、アブラヤシ

ジャワ島でのココヤシ(*Cocos nucifera* L.)　等屋敷林材の利用について見学した建築現場では、屋敷内に生えていた、７本のココヤシで家を一軒作ると言う。通常４人でチームをくんだ専門の職人がピットソーイングで材を挽いたり、チョウナで丸太を四角に

撥っていた。１．７～２．５m³の材が製材なされると言う。樹幹は放置すると、当初丸太表面で３０％、中心部で４００％あった含水率が１５％程度に低下し、極めて硬くなり，ステライト加工の歯、またはチップソー以外鋸断できなくなるそうである。仕事が終わると、木屑を自転車の荷台に乗せて帰っていった。バリ島のヤシ材で作った高級ホテルのヤシ材は太くて長く、ココヤシでなく，ほかの建材専門の種類のヤシであるという。ヤシの種類は多く、樹種名はききそびれた。

屋敷林のココヤシを切って家をたてる
７本で家が建つと言う。（木方）

ピットソーイング。　（木方）

チョウナで　丸太の表面を撥って平にする。（木方）

チョウナで撥って角材とする。　（木方）

立派なココヤシ（？）材のホテル。
（木方）

葉柄の根元の繊維。　排水溝に入れて排水の固形分を濾しとる。後で畑にいれる。この繊維シート（？）が店先に積まれているのをみかける。

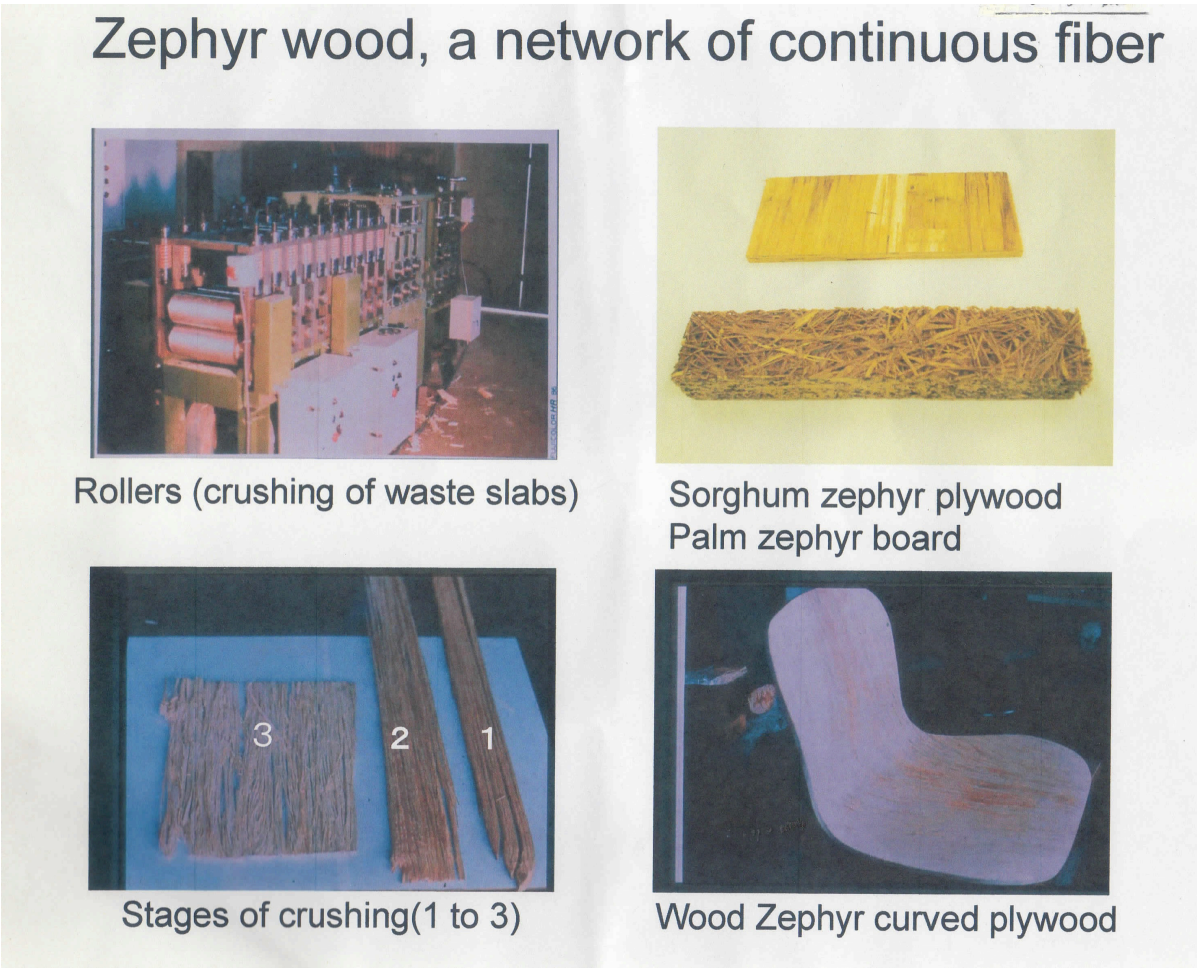
一方、造林の多いアブラヤシ(*Elaeis guineensis* JACQ.)の材の利用の目途はたっていない。６０年も実をとり続けるココヤシの材は６０年生の成熟した材である。アブラヤシは実を取るのに都合の良い、手の届く丈の低い２５年生で切って更新する。材は未成熟な材である。

ゼファー機にかけて、維管束鞘だけを集めて厚いボードにする事はできた。落ちた粉はフルフラールリッチであり、化学原料　　になるであろう。しかし造林地で特に若い林で多用される農薬の存在が問題となるであろう。

近時製材直後の材を熱圧して高比重のボードにする試みがなされている。良い着想に思えたが、その後の事が聞こえてこない。板の比重のむらが大きいのではないだろうか。推測である。

次図は我々の開発した、ゼファー機と製品で、ヤシ材をゼファー機にかけて繊維を分離し，接着剤を使用してプレス成形し，板材とする。同様の操作で、ソルガムの茎材で作った軽量の板である。

日本の製材でのすり出し材で作った、椅子型成形材。ゼファー加工の３段階でできる、ゼファー（ネット状の繊維マット）の写真である。



（長坂、木方）

マングローブの造林（バリ島　木方）

コルクの収獲（モロッコ木方）

現地製材（マレーシア）して日本に運んだアブラヤシの幹材。　落ち込み，変形した．比重の大きなむら、初期の高い含水率のため．（木方、笠木）/（下の写真　多胡さん）

③　ゴムの木　，ユーカリ

ゴムノキ(*Hevea brasiliensis*　MUELL.-ARG.)の材の利用は大成功した。難しかったのは、材形が悪く、小径である事と、製材直後にカビ(青変)が生えることであった。木材乾燥室の運用に工夫をこらし、出来るだけ早急に含水率を低下させ，青カビをふせぎ、ゴム収穫の痕（タッピング痕），青変部分等を取り除き，短くなった材を繋げて大きな材とする、フィンガージョイント技術が導入された事による。ゴム集成材の日本での輸入もおおい。立派な建材、家具用材である。

成長応力が大きく、製材時に割れのでる、ユーカリ(*Eucalyptus* spp.)材の割れ対策等（蒸煮処理等）を真剣に考える必要がある。ユーカリ材はパルプ、チップ等には適するものの、製材等への利用は難しい樹種である。ユーカリには１００種を超える種類が有る。成長の早いどこにでも植えられる樹種に限って、成長応力が大きい。その極めて良い成長、適用性のため、環境保護論者の反対にもかかわらず、ユーカリの造林は世界中で増大している。モッロコで見た何百種ものユーカリの掛け合わせ配合実験の成果がまたれる。この現場で出た問題にユーカリの種名の混乱がある。世界中を駆け巡った１００種を超えるユーカリの名前に混乱が有るという。I.T.T.O.の出番かも知れない。森林の無かった、ウルグアイに植えたユーカリが大きくなって、利用開発が日本の JICA で行なわれていた。未だ成果は聞こえてこない。JICA の報告でなく、ユーカリ材をどのように加工して、なにを、どのように生産しているのかが知りたい。

地域住民の生活、福祉安定の為の社会林業というものが有る。農業と林業を有る期間一緒におこなうアグロフォレストリーも、その一つとして試みられている。林業は長期間を要すると言う固定観念は、新しい早生樹種の導入によって打ち破られつつある。熱帯諸国に一般的に行われているユーカリ(*Eucalyptus* spp.)の伐期は７年である。アルビジア(Albizia =ファルカタ＝ *Paraserianthus falcataria* (L.)I.C.NIELSEN)の伐期も７年である。アグロフォレストリーはこの７年の始め３年間は、林の中にコメ，トウモロコシ、野菜，パイナップル等を混作する。林の中に作物をつくるのではなく、畑の畝の間にアルビジアの苗を植え，チークやメルクシーの種子を撒くのである。アルビジアはマメ科の樹木であり、根粒菌を持ち空中の窒素を固定し、畑の土を富ませる役割もする。住民の生活も考えにいれた、持続ある林業が可能になりつつある。７年と言う伐期はモノカ

ルチャーに起き易い災害の危険もすくないものとする。このような木を単なる燃料材としてのみならず、工業用材として利用する形に加工する事が林産学に課せられた課題であろう。

これら人工林は天然林に比べ５～１０倍の木質生産をあげ、ときには２０倍にも達する事がある。天然林の生産量がhaあたり年平均 ２～１５m^3であるのにたいし、造林地の其れは２０～７０m^3にも達する。木材は炭素からなる。ひいては空気中のCO2を固定した材料である。

④　収穫後の損失と林地廃材

農林水産物の収穫後の損失（ポストハーベストロス）について、熱帯林における択伐方式が論じられた事がある。収穫される本数以上の本数の、周囲の樹木が傷つけられる。１００％の森林材積のうち、択伐により多少なりとも傷ついた形で森林内に残される樹木が４５％、森林内、或は貯木場で造材され放置される材積が３０％、実に森林材積の２５％のみが利用される丸太となって日本に輸出される。このデータにも問題は多い。FAOの調査で利用可能とされた材積ヘクタ-ルあたり１３０m^3　が、日本側の調査で５４m^3　とされたりして基礎材積が不安定である。強い成長応力のため割れたり、途中でアンブロシアビートル、腐朽菌に攻撃されたりして、２５％のみが使える、出す事が出来た材積なのである。I.T.T.O.において未利用樹種の利用開発研究が重要とされた理由である。熱帯森林の現場において、早急に失われてしまう木質残材を保護し、利用化する事が森林資源の保護につながるのである。

I.T.T.O.（PD 74/90）で行われた一本の樹木のなかでの根部廃材は３．５～６．５％、頂上部の材は１３．６～４１：１％、丸太部分は５４．０～７７．８％、搬出された丸太部分は４６．１～６５．３％である。次の表にしめすが、変動は大きい。樹種による変動も大きい[38)]。

このような一本の樹の中での残材、林の中での残材、般出途中での残材等、ポストハーベストロスが熱帯林利用の根底にある問題である。熱帯林現場での見聞によると、熱帯林で著しい、蔦（太い,人が登れる）が周囲の樹冠を繋ぎ、伐採された樹とともに周囲の樹も倒れてしまう。

原生林での天然更新（ギャップ更新）は同じようにして寿命がつきて倒れた大木の作る１００ｍ四方にも達する熱帯森林の突然出来た空間が次世代樹木への更新の場で、激しい競争の場となる。日本で見るラワン丸太で節を見かける事はまずない。ギャップ更新の競争でまっすぐ上を目指して，周囲の木より早く、上に顔を出す事が、生き残るすべてである。林冠に達するまでに出来た幹材が未成熟材で，やがて成長応力により脆芯材になるのではないかと思っている。

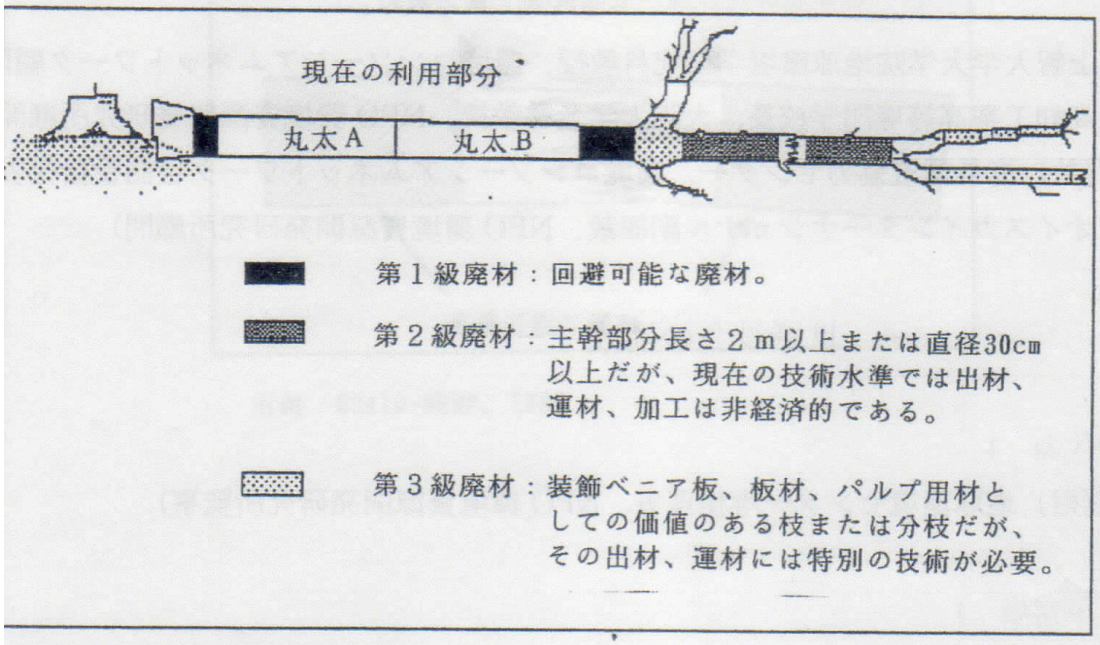
アンブロシアビートルによるピンホール害、変色菌による青変については，先に述べたが，いずれも樹木の伐採直後に侵入が始まる。伐採現場で丸太に造材されるときに、アンブロシアビートルが飛んできて穴をあけはじめる。丸太の組織はまだ生きていて、抵抗して樹脂を分泌して虫を包み込んで殺す。日本で製材した板材のピンホールのなかに樹脂に包まれたアンブロシアビートルを見かける事もすくなくない。

ビートルは次々と飛来する．この抵抗もやがて停止し，丸太にピンホールができる。なかに虫がいるので、日本に着いた港での検疫がはじまる。筏に組んだ丸太の上で，少し盛り上がった木粉が目印となる。材を撥つると小さな虫がでてくる。大変な作業である　黒色のピンホールは材質を低下させる。

名古屋の木材港での，アンブロシアビートルの報告が，名古屋大学博物館報告、特別号第３号 “Monograph of the New Species of Bark Beetles And Ambrosia Beetles”としてなされている．名古屋植物防疫所、大野所長のコレクションであり、タイプ標本を含む１１９種の同定がなされている。　（木方、肘井、梶村　）

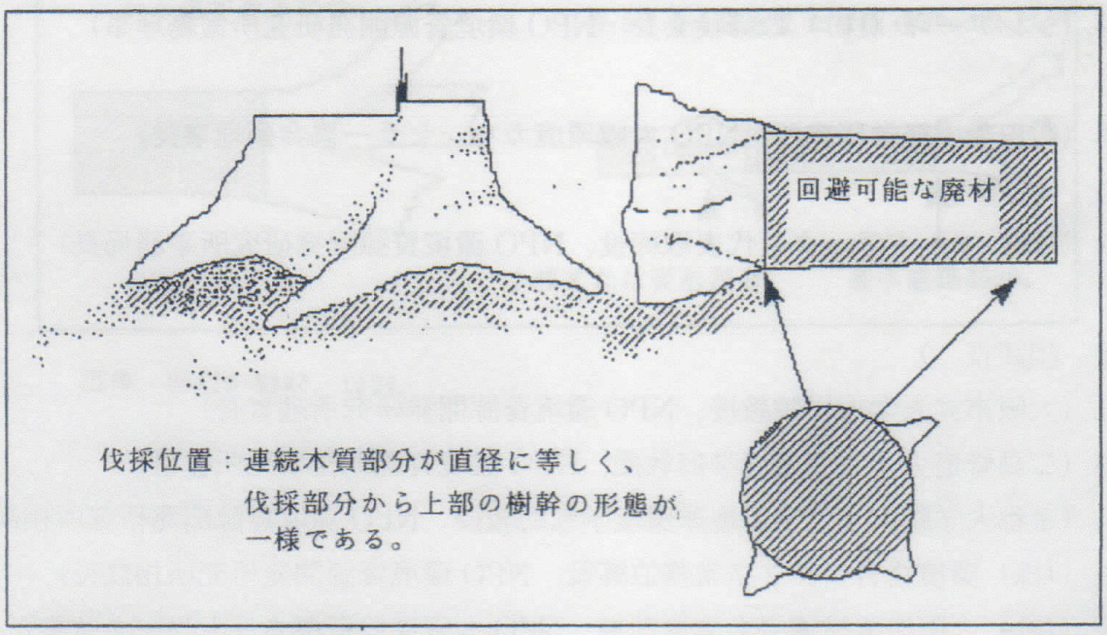
変色菌は大気中に飛散していて，造材丸太の木口に侵入する。防止薬剤の散布は気休めにすぎない様におもわれる。止める事は難しい。

図１　伐採廃材のタイプ



出典：USAID-NRMP, 1994.

図２　根部廃材



出典：USAID-NRMP, 1994.

COUNTRY	GHANA		MALAYSIA			INDONESIA			CAMEROON	
	ASUKESE %	AFRAM %	DAPOI HILL %	MUKAH HILL %	RASAU SWAMP % *	MTCI %	ITCI %	INHUTANI %	SEBC %	CORON %
STUMPS	4.3	3.5	13.1	6.5	1.1to5.0	5.3	5.2	5.4	4.9	4.9
STEMS	72.3	63.0	73.3	74.4	52.3to98.9	69.3	77.8	68.5	54.1	54.0
CROWNWOOD	24.2	33.5	13.6	19.0	nil to38.9	25.3	17.0	27.0	41.0	41.1
EXTRACTED LOG	51.2	50.0	61.7	51.8	37.1to87.1	65.3	64.4	60.4	46.2	46.1

* Depending on the species

⑤　新樹種の導入

チーク(*Tectona grandis L.*)の造林はアフリカ、中南米等熱帯各地に多い。コートヂボアールで見た私と同年のチークは私よりずっと立派に育っていた。伐期は６０～８０年とされる。この材の欧州市場での評判はあまり良くなかったと言う。節が多かったようである。インドネシアの先生によると、選んだ種子が悪かったという。何十年も経ってから結果がでるのは厳しいことである。その点東南アジアは幸運であったと言える。３本だかを持ち出したゴムの苗が成功し、アブラヤシの導入にも成功した。現地では若芽を食害する害虫のため難しいと言われるオオバマホガニー(*Swietenia macrophylla* KING)の造林がジャワ島にある。害虫がついてこなかったのである。

トリダートトバゴのチークの造林地では落葉した大きな葉が積みかさなっていた。火が怖いと切実に思った。防火帯をもうけてはいたが、防ぐ事は難しいと思われた。

チークの造林、穴を掘って植える。小雨対策。（モロッコ）

２）熱帯造林樹種の炭素固定能力（成長ピーク時）

樹種	絶乾比重	１年間、１ヘクタールあたりの生産量 m^3	１年間,１ヘクタールあたりの生産量 t	炭酸ガス換算量 t
メルクシーマツ *Pinus merkusii*	０．５９	２５	７．５	２７．４５
カリビアマツ *Pinus caribaea*	０．４８	２６．５	６．５	２３．７９
スギ *Cryptomeria japonica*	０．３６	１０	１．８	６．５９
ヒノキ *Chamaecyparis obtuse*	０．３７	４．５	０．８	２．９３
ファルカータ *Paraserianthus falcataria*	０．３６	６０	１０．８	３９．５３
カメレレ *Eucalyptus deglupta*	０．７０	５０	１７．５	６４．０５
アカシア　アウリカリフォルミス *Acacia auriculiformis*	０．５８	１０	２．９	１０．６１
アカシア　マンギウム *Acacia manghum*	０．６１	２８	８．５	３１．１１
ヤマネ *Gumelina arborea*	０．４７	６０	１４．１	５１．６１
チーク *Tectona grandis*	０．６２	１７．５	５．４	１９．７６
マホガニー *Swietenia macrophylla*	０．５３	１６	４．２	１５．３７
日本の雑木林	０．６０	５	１．５	５．４９

（　I.T.T.O.　2006 ）

３）熱帯森林のバイオマス量

	炭素量　　m³/ha	炭素量　　t / ha	炭酸ガス換算量　　t/ ha
マレーシア（天然林）６０～８０年間、撹乱のなっかた森林	２９１	１６８．４（１４４．３～１９２．４）	６１６．３４
保安林	２２２	１３９．４（１１０．１～１６８．８）	５１０．２０

(I.T.T.O. 2006)

超短伐期造林では短期間に収穫でき、萌芽によって再生する事が必要である。材質、幹の太さ，幹の通直性などは、問題とはならず、大量に収穫出来る事が重要である。大量に収穫出来る為には，単位面積当たりの収穫を大きくする必要があり、一本一本の木が大きくなる事はさほど重要ではない。単位面積当たりの本数　かける　一本当たりの乾物重量が単位面積当たりの収量になる。実際に高密度に植栽した場合，一本一本の木は細くなるが，収量は大きくなる。さらに再生力が強く更新容易、特に萌芽更新の出来る樹種，色々な生育条件に適用出来る樹種が必要である。，新しい導入樹種の場合，極端な繁殖により生態系を乱さない事も大事なことである。

日本における早生樹種としてドロノキ(*Populus maximowiczii* A.HENRY)，シラカバ(*Betula platyphylla* Sukatchev .*var.japonica)* 等が上げられる。北海道では改良ドロノキで，４年間で　４６．６　t/ha, シラカバで，６年目で　７１ t/ha (一万本植栽/ha), ３年で１９．３ t/ha、切り株からの萌芽更新の２年以上たった木で １０ t/ha 以上になったと報告されている。

モリシマアカシア(*Acacia mollissima* WILLD.)　７～９年生で年平均１０～１８　t/ha 適地では　２０t/ha をこえる。ギンネム(*Acacia farnesiana* WIILLD.)で年平均　２５～３０　t/ha　とされる。以上は文献殻の３９からの引用である。

ちなみに、アメリカの天然林マツ類(*Pinus* spp.)，ダグラスファー(*Pseudotsuga menziesii* FRANCO)のバイオマス生産量は年３t/ha（4m³/ha）であったものが、１９６０年代、苗圃の改良により７t/ha（１０m³/ha）,1980 年代には施肥，地ごしらえ改良により１０t/ha (16m³/ha)となり,1990 年には，種の改良により１４t/ha　(22m³/ha) 2000 年には　２２t/ha　(34m³/ha)　を予測、最終目標は３０t/ha (46 m³/ha)であると言う。達成制約要因は気象条件のみとなる[2)]。

現状はカナダ、スカンジナビア，ニュウイングランドの天然林の生産は年０．５～２m³/ha で、アメリカ南部の天然林では４³/ha、南部マツ（ロブロリーパイン*:Pinus taeda* LINNAUS）造林地では１６m³/ha となり（１９８０）、北西太平洋岸の天然林では５m³/ha であったものが、ダグラスファー造林地では１６m³/ha である（１９８０）。

バイテクの(衝撃的)利用の結果は２倍の成長を得、３０～４０m³/ha が、また、高緯度での実際的な造林でも１０m³/ha　となるであろう。アメリカの木材会社ウエアハウザー研究副社長の名古屋大学での講演である。[40)]（１９８５）

４）スラウエシー産材の材質

林野庁による“未利用樹種利用開発推進事業”に参加された松下電工株式会社のご厚意により入手したインドネシア、スラウエシー州、トギアン島産材　２４科、３６属、７４個体の材について種々の試験をおこなった。これらの材は，一部挽板、丸太端切れを混じたが、大部分は連続してとった厚板　或は丸太状態の材である。

結果の報告は，２３２頁におよぶ大部なものであり，詳細は文献（名古屋大學演習林報告８号）によって頂くこととし、試験項目を上げるにとどめる．[41)]

１　組織、同定：樹種同定，シリカ含有量、脆芯材　（木方、石黒、金川、林，高田）

２　物理特性

２－１　収縮特性　；収縮経過、収縮特性、乾燥温度の影響、容積密度と収縮特性との相関関係、収縮特性の評価と他産材との比較、基準収縮経過、落込み収縮経過

２－２　通気特性　；　測定方法，樹種による相違、樹幹内における通気係数の分布、通導経路の観察　（金川、服部）

３　強度特性

３－１　試験方法：縦引張り試験，曲げ試験，縦圧縮試験、横引張り試験、釘引き抜き試験、試験片の木取り及び数

３－２　試験結果：比重との相関、他産材との比較、各種強度値の級区分、異方性及び、その生材、気乾材での違い，各種強度値の樹幹内水平方向分布、各樹種の強度的な所見　（奥山，伊藤）

４　乾燥特性

４－１　１００℃　の　スケジュール推定試験

４－２　乾燥速度係数測定

４－３　板材の乾燥スケジュール試験　（寺沢、小林，ユスフ　スドー　ハデイ）

５　切削特性

５－１　丸のこ切削：切削抵抗、毛羽立ち

５－２　鉋削：切削抵抗、加工面粗さ、加工精度、工具摩耗

５－３　平けずり　（林、福井）

６　その他の性質

６－１　かたさ特性：かたさと比重、かたさの異方性と異方度，煮沸の効果と乾燥の効果，樹幹内水平方向変動化、かたさの級区分

６－２　ひき板接着適性　(スリ　ヌグロホ　マルスム、木方、都築)

樹種同定の組織学的性質調査に脆芯材、交錯木理の調査を加え，強度試験では，引っ張り，圧縮、曲げ試験に加えて横引張り試験を加え，より簡易な実用的試験である硬さ試験、釘引き抜き試験を加えた。寸度安定性の基礎となる含水率変化による収縮経過の測定を行うとともに，耐久性，透水性、乾燥性の基礎データーとなる通気性試験を行なった。さらに１００℃試験による乾燥スケジュールの決定、乾燥速度係数測定等も行った．またシリカ含有量と対比させた切削抵抗、仕上げ面粗さを含む切削試験、接着力試験等もあわせ行った。　これら試験は出来る限り丸太内における性質の分布が解る様に位置をきめてとった試験片により行われた。このような多種類の材について，いろいろの項目の試験を，同一の材について行う機会を得た事により，初めて検討が可能となった各試験項目間の相関等を見つけ出す努力をおこなった。誠に貴重な機会であった。

５）南米産材の木材組織

I.T.T.O.のプロジェクト　37/88 “ペルーの未利用樹種の利用開発，市場化” に参加、１００樹種の木材組織学的研究をおこなった。木材の三断面（木口、柾目、板目）の顕微鏡切片の作成はラモリーナ大学 (National Agrarian University : La Molina - Peru)で行われた．我々の持ち込んだ当時最新鋭であった、替え刃式ミクロトーム刃が大きく貢献した。木材組織学的観察は名古屋大学で行われ、知見は名古屋大学古川総合研究資料館報告、特別号５号として発表された。（ATLAS of PERUVIAN WOODS : Peru -Eng.Moisés Acevedo Mallque， Japan 木方洋二　）[42]

物理的、機械的性質はラモリーナ大学で行われた．一部が、熱帯林業 No.５４、“ペルーの森林と木材”，（木方）、木材工業 Vol.３４“ペルーの木材研究”（木方）に掲載されている。

ペルーの国土は広く日本の３．５倍もあり、３つの地区に区分される。太平洋側 Costa は砂漠で雨が降らない．一部にマングローブ林があるその東側はすぐ６，０００m の高い山を擁するアンデス山脈３列よりなる Sierra と呼ばれる山岳地帯で,パンパといわれる広い高原や盆地，湖よりなり，農業に適し，ユーカリの造林が多く，成功している。国土の２８％をしめる．第三の Selva は森林地帯で Selva alta(高地型密林)と Selva baja(低地型密林)に二分される。Selva alta は 4,000m までの山地が含まれ，植物は豊富である。大部分が６００～２,５００m で優良材がおおい反面焼き畑農業による荒廃がおきている。唯一の針葉樹である *Podocarpus* sp. が優良な木材を生産する。Selva baja は低地の熱帯森林の例に漏れず，樹種が多く２，５００種の木材生産植物がある。天然林 7,400 万 ha の内３、０００万 ha は保護林でそのうち１１０万 ha は天然ヤシ林である。３６０万 ha は農地化されうる，永続する農業適地で伐採予定地である。残り４，０００万 ha が生産性を持った天然林で，永続的な森林とする事が科学的に正しい唯一の土地利用法とされる。

また名古屋大学博物館所蔵の木材材鑑を用い、材質に関する調査と，上記研究と同様な顕微鏡用木材三断面を作成し Selva Alta (Tingo-Maria 大学提供材鑑)材の組織学的研究をおこなった[44)、45)]。

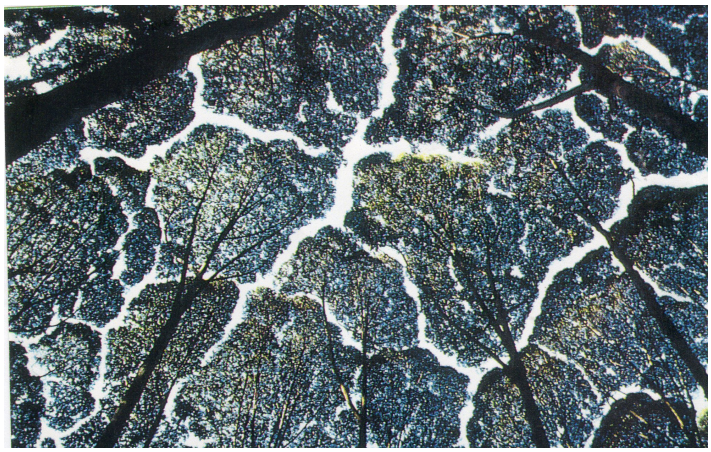
（３１種の材鑑のうち，７種のマメ科　及び１１種のその他を選んだ）。さらに３種のマメ科材について，ベスチャード壁孔の調査を，走査型電子顕微鏡で行った[46)]。

同様な手法による木材組織学的研究をチリー産材２９種（中田、湯浅），アルゼンチン、チャコ産材８種(岩田)について卒業論文としておこなった。

また当時，新発見樹種であった南米産フタバガキ科の樹木　*Pakaraimaea dipterocarpacea* Maguire et Ashton　の材鑑をフランス　ギアナ　C.T.F.T.　に出張中であった奥山助手を通じ入手し，同様の研究をおこなった。フタバガキ科の樹種は熱帯アジアのにおける象徴的存在である。フタバガキ科を二つの亜科に分ける。Dipterocarpoideae　は熱帯アジアの１７属５６３種であり、Monotoideae は アフリカのサバナの小木で２属３９種よりなり、材中に樹脂道を持たない等木材組織学的にも，熱帯アジアのそれと大きく異なる。南米にもフタバガキ科の樹木が見つかったのは，大ニュースであった。第三の亜科 Pakaraimoideae に属する　*Pakaraimea dipterocarpacea* 一属．１種である。南米北部ギアナの Pakaraima 地方で発見されたサバナの小～中高木で以前 A.J.Kostamanns によりシナノキ科とされていたものである[47)]。

その他、熱帯産造林早生樹種５種についても同様な研究をおこなった[48)]。

カポールの林の樹冠はカリフラワーのようだ
（マレーシア　北野）



それを下から見上げると隣の樹冠と重ならない
（Shyness,　カポールのためらい　木方　）

しめ殺し植物　（*Fius* sp.）
鳥が運んだ、幹についた種子が発芽して根が伸びて地面に達すると急激に大きくなって元の木を取り囲んで全体を囲ってやがて殺してしまう。（コートジボワール　木方）

文献

１）川井秀一ら：木材工学、文永道（1991）

２）D.Noack & E.Schwab ： The Significance of physical and technological wood properties for end use of tropical woods. DSE/FAO,properties,Uses and Marketing of Tropical Timber Vol.2 (1973)

３）鈴木寧：未利用樹種の利用技術に関する総合研究、昭和 49,50、51 年度特別研究促進調整費報告書、科学技術庁研究調整局（昭和 53 年）

４） F.Cailliez&P.Gueneau: Analyse en Composantes Principales des Proprietes Technologique de Bois Malgaches. Cahiers Scientifique　No.2　C.T.F.T (1972)

５）木方洋二：パプア・ニューギニア産材の材質の総合評価、熱帯林業、No.36 (1975)

６）B.Parant et al: Principales caracteristigues Physiques et Mecaniques.Presentation graphique des caracteres technologiques de principaux Bois Tropicaux. C.T.F.T (1990 or so)

７）北野至亮他：熱帯の有用樹種　農林省熱帯農林技術叢書　第 16 号.熱帯林業協会（昭和 53 年）

８）加藤亮助：生産材の付加価値を高めるための施業マニュアル、熱帯造林木利用技術開発等調査事業・平成 10 年度調査事業報告書、国際緑化推進センター(JIFPRO)（平成 11 年）

９）C.T.F.T.（Centre Technique Forestier Tropical） :Bois et Forets des Tropiques No.104, 119, 120

１０）川村恵洋，継田視明：新潟大学演習林報告　４号

１１）G.Giordano 他：Bois et Forets des Tropiques No.145

１２）大迫靖雄　他　：第２７回日本木材学会大会

１３）J.E.Nicholson : I.U.F.R.O. Report

１４）C.T.F.T. : Bois et Forets des Tropiques No. 128

１５）木方洋二　外：第 26 会日本木材学会大会

１６）J.E.Barnacle 他：F.P.T. Note (C.S.I.R.O.)

１７）奥山剛,金川靖、服部芳明　：木材工業 Vol. 41-6

１８）角谷和男　：　科学２４－２６４

１９　H.Koebler :Wood Sciences and Technology 9

２０）木方洋二：木工機械　No。９４

２１）木方洋二：熱帯林業　３０

２２）奥山剛、木方洋二　材料２４巻

２３）佐々木康寿、奥山剛、木方洋二　木材学会誌２４

２４）A.Chardin　C.T.F.T.　内部資料

２５）木方洋二、三輪公夫　材料　２４巻

２６）木方洋二、肘井直樹、梶村恒　名古屋大学古川総合研究資料館報告 特別号　３

２７）木方洋二　愛知県名古屋市地域結集型共同研究報告（平成１６年）

２８）橘田紘維洋　科学技術振興機構　新事業創出研究報告（平成１７年）

２９）Y.Kikata,C.Kikata,Y.Takasu,M.Sakai ,S,Fukuta ,Y.Kitagawa ,I.Takahasi JIFPRO　（　２８、２９　まとめ発表）

３０）松田敏誉,富田洋一　熱帯林業　２４

３１）安田征一、伊東健、門田理、寺島典二　木材学会誌　２５−８
３２）寺島典二　熱帯林業　５２
３３）木方洋二　木材工業技術短信　１−２　（木材と放射能　まとめ
３４）堀　健治　他　熱帯地域の人工林の平均生長量、各種調査報告　JIFPRO
３５）西川匡英　カーボンシンクプロジェクト推進調査事業　JIFPRO
３６）熊崎実也　カーボンシンクプロジェクト推進調査事業　JIFPRO
CO_2 固定能力増強部会最終報告
３７）木方洋二　カーボンシンクプロジェクト推進事業調査　JIFPRO
CO_2 利用部会最終報告
３８）I.T.T.O. PD 74/90
３９）佐々木恵彦　木材学会誌　３５−１０
４０）ウエアーハウザー研究担当副社長　名古屋大学講演（１９８５）
４１）名古屋大学演習林報告　８
４２）名古屋大学古川総合研究資料館報告　特別号　５号
４３）ATLAS of PERUVIAN WOODS : Peru -Eng.Moisés Acevedo Mallque,
（Japan　木方洋二　）
４４）木方洋二、野田清隆、金川靖　名古屋大学古川総合研究資料館報告２
４５）木方洋二、野田清隆、金川靖　名古屋大学古川総合研究資料館報告２
４６）湯浅邦弘，木方洋二、金川靖、名古屋大学古川総合研究資料館報告 1
４７）金川靖、服部芳明、奥山剛、木方洋二　名古屋大学古川総合研究資料館報告２
４８）金川靖、服部芳明、奥山剛、木方洋二　名古屋大学古川総合研究資料館報告 1
４９）太田貞明、木下叙幸　林業試験場研究報告　第２８８号
５０）JIFPRO 熱帯造林木の用途にむけた材質評価および加工適性評価試験方法書

その他

① 本文中に所属を附した人名を記した事項の関する出典はその人の各種報告書、旅行記、パンフレット等によるものである。

② 本文中に所属を附さない人名を記した事項に関する出典は、名古屋大学農学部木材物理学講座の博士論文、修士論文、卒業論文からの引用である。

③ 本文中にC.T.F.T.と記したものの出典は Centre Technique Forestier Tropical (現　CIRAD Foret)の各種出版物からの引用である。

④ 類書として

南洋材：須藤彰司　地球出版　昭和 45 年

熱帯有用樹種：北野至亮　他　農林省熱帯農業研究センター農業熱帯技術業書 第１６号　熱帯林業協会　昭和 53 年

熱帯植物要覧：北野至亮　他　（熱帯植物研究会編）養賢堂　昭和 61 年

がある。参照されたい。