

熱帯の木材

Tropical Timber

木方 洋二 (KIKATA Yoji)

名古屋大学農学部大学院生命農学研究科生物材料学講座名誉教授
Laboratory of Bio-material physics, Graduate School of Bioagricultur Science, Nagoya University Professor
Emeritus

Abstract

The timber resource of natural tropical forest varies gradually sustainable resource of planted wood species like as Pine, Eucalypt, and Acacia. The lesser-used wood species have to be classified by wood quality and properties for industrial end use. Some trials are shown with actual samples.

Also the particular quality of tropical timber like as Battress, Brittle-heart, Growth stresses, Silica and so on are illustrated by examples.

The amount of Biomass productivity, Carbon sink and Utilization of carbon sink of tropical forest are estimated by field-work at Indonesia.

And the names of one tropical wood and non timber uses of tropical forest are explained.

はじめに

当時としては稀であった、フランスに留学し、アフリカの森林研究に文部省在外研究員として参加出来たのを手始めに、その後東南アジア、中南米と熱帯の木材を調査・研究する機会を数多く得ることが出来た。その後、海外林業コンサルタント協会 (JOFCA)、国際緑化推進センター (JIFPRO)、国際熱帯木材機関 (ITTO: International Tropical Timber Organization, UNID/UN) が創出され、それら機関の種々の調査事業に参加し、色々の国々の人々の知遇を得ることが出来た。退官後教養部での基礎セミナーにおいて、熱帯の話を入生にすることがあって、その時のノートのうち専門の木材について、とりまとめたのがこの印刷物である。内容的に、熱帯の木材にみられる特徴的な事項の記述となったが、熱帯の木材の各論については、ITTOの事業として刊行したData baseのCD版 (英文2002) があり、アフリカ、アジア、中南米の木材約900種について樹種名 (取引名、学名、地方名、異名)、材質 (用途、物性、物理的・機械的性質、耐久性) 木材組織学的特徴と木口写真、加工性 (乾燥、加工性) 等を含めた形で記載し、さらにコンピューターの機能を生かした樹種相互間の対比、種々の検索などを可能にした形のものである。参照されたい。

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冬に落葉する夏緑のものがある。亜寒帯の常緑の針葉樹林はマツ類、モミ、トウヒ (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, cork 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 Cedar、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)がある。

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。

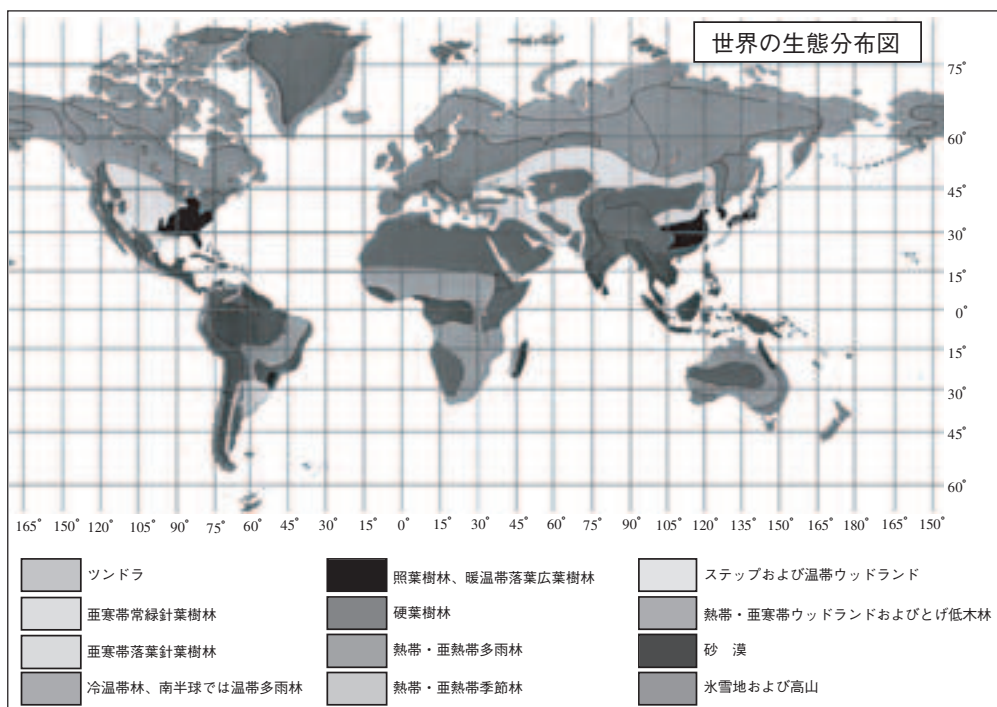
熱帯の世界に共通のものとしてはPalm-Tree、Bamboo、Bombax(ヤシ類、タケ類、パンヤ)さらには多くの作物等、人間生活に密着したものが多いように思われる。

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Nothofagus(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。



朝日新聞(世界の植物)

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、フィ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、マレー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 Timber 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づけた。

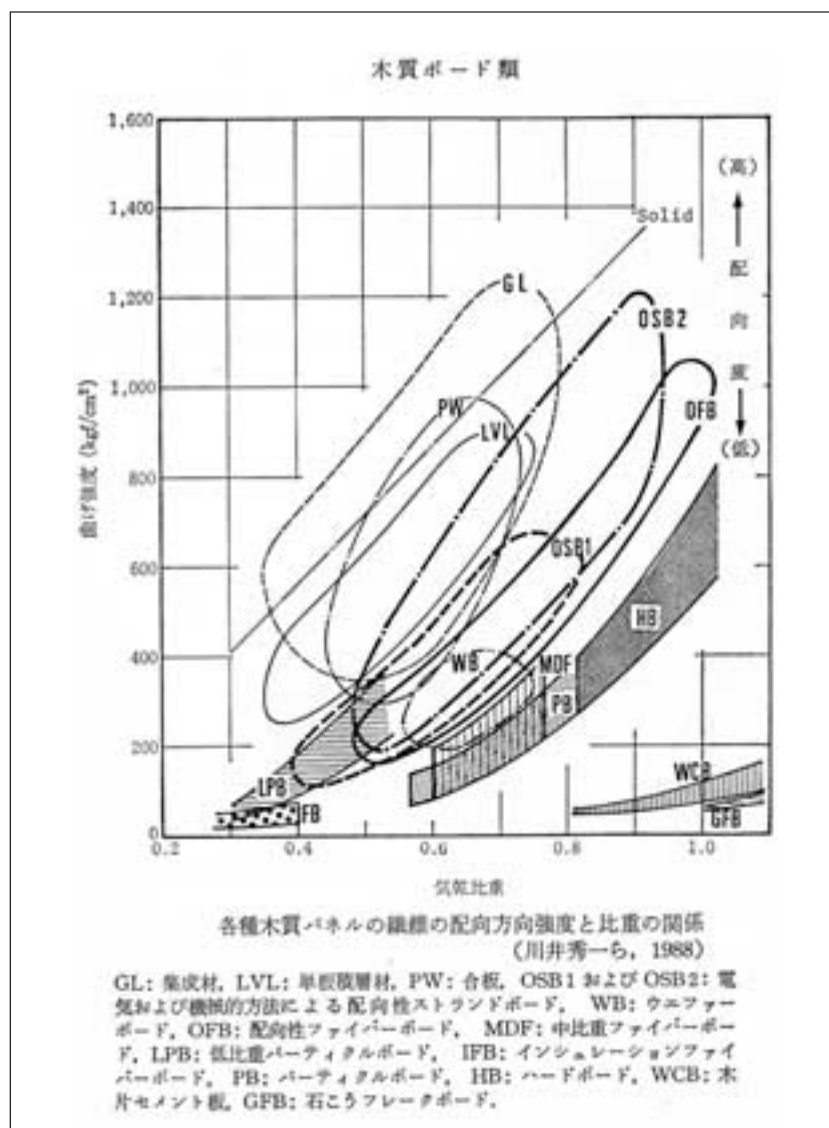
この様な熱帯の木材資源と木材工業との結び付きは、アフリカにおいてはヨーロッパ各国との間に見られる。かつてのヨーロッパで生産されたアフリカ材のオクメ(okume)合板は、いまでは、その生産量一位の座を、同じアフリカのサンバ(samba, wawa, ayous)合板にゆずっている。資源の枯渇のためであろう。中南米でのマホガニー(mahogani)の歴史も良く知られている。キューバマホガニーの名称はホンジュラスマホガニーとなり、現在では、樹種としては別種のオオバマホガニー(*Swietenia macrophylla*) が、普通にいうマホガニーである。欧米との結び付きが強い。

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。エンジニアード・ウッド(エンジニアリング・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。エンジニアード・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アード・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つてよい。



(川井秀一、京都大学)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。

$$\text{(例)} \quad l_{fb} = 4/5 \times F_0 \times 2/3 \times \beta$$

l_{fb} : 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 (定められた樹种群の代表値)

2/3: 比例限度 (変形の復元限界)

ここまです 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項目で年輪幅から比重、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

材質評価のねらいは

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となる。

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 principal 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による薬剤注入材 (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) 最終用途による材質区分

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		寸法安全性	強 度	耐 久 性	透 水 性	機械加工性	表面仕上げ	材質均一性
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。

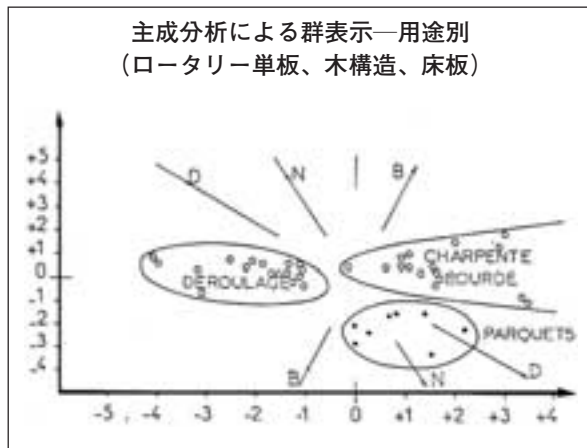
3) 主成分分析

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⁾

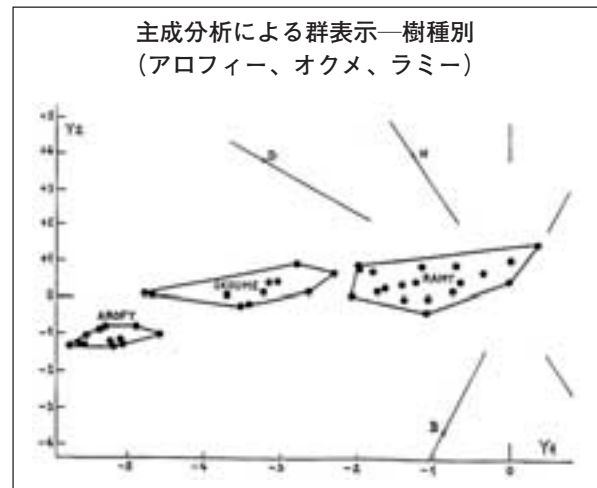
対象とされた項目は硬さ、密度、容積全収縮、含水率1%あたりの容積収縮率、接線方向と半径方向の全収縮率の和、縦圧縮強さ、曲げ強さ、曲げヤング係数、衝撃曲げ吸収エネルギーであり、主成分分析結果による平面内の全個体の群表示の中で、既成の利用樹種の囲いこみ内に入る未利用樹種は既利用のものと同じ利用が可能であろうとしている。

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

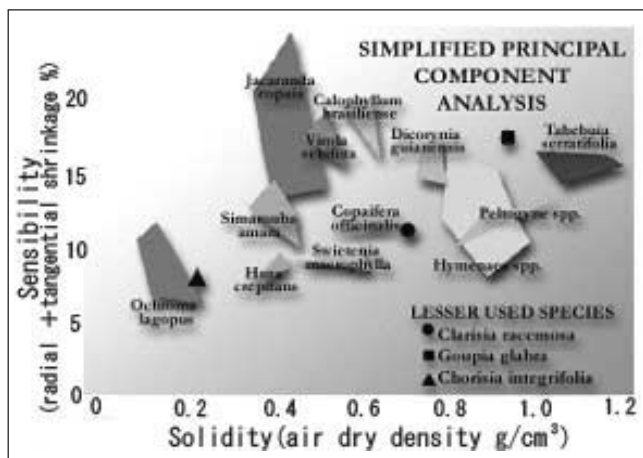
主成分分析法の簡易法として木方により比重・強さの相関直線を第一軸(X)とし、半径方向、接線方向の収縮率の和を2軸(Y)とする表示が試みられた。平面図の上で主成分分析と同じ手法による未利用材の利用の可能性を論じている。



(CTFT)



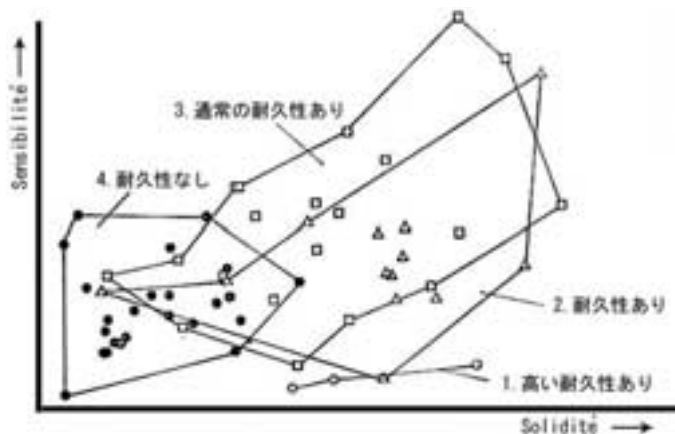
一つの樹種の中での産地などによるバラツキの範囲を示す。(CTFT)



簡易主成分分析

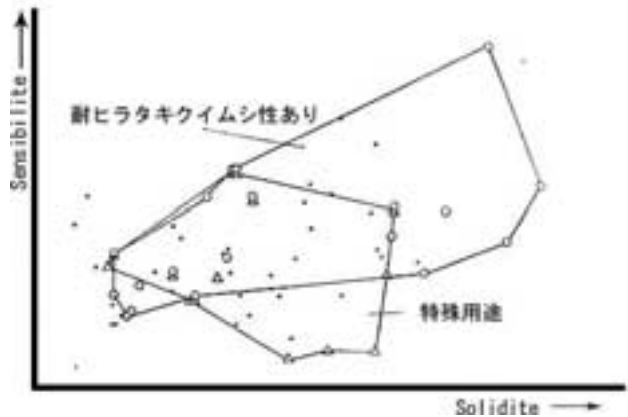
簡易主成分分析法を、東南アジア産造林樹種に適用した結果を図に示す、夫々の樹種の位置、材質のバラツキの範囲が他の有用・有名樹種との対比で現覚的にとらえられる。(木方洋二)⁵⁾

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



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。

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)



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、モールディング、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。

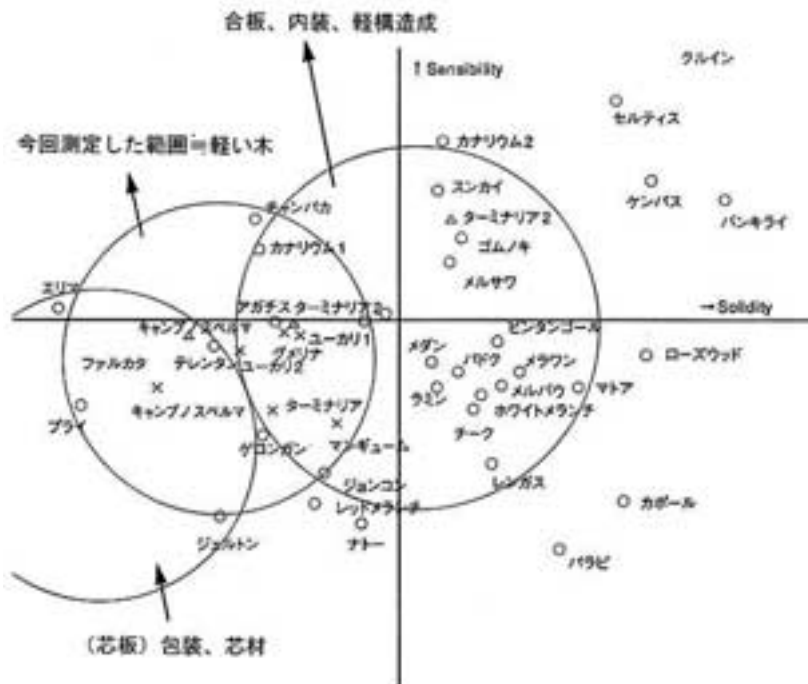
またマレーシアにおける用途提案は次の通りである。

- | | |
|-----------------|---------------|
| アカシア マンギウム | 製材、合板、パルプ |
| アカシア アウリカリフォルミス | 燃料材、パルプ |
| ファルカタ | 製材、箱材、庇陰樹 |
| ユーカリ デグラプタ | 製材、合板、杭、パルプ |
| メリナ | 製材、箱材、マッチ、パルプ |



小一Solidity-比重、強さ、硬さ一 大
主成分分析手法による樹種特性格別樹種配置図

主成分分析手法による樹種特性格別樹種配置図



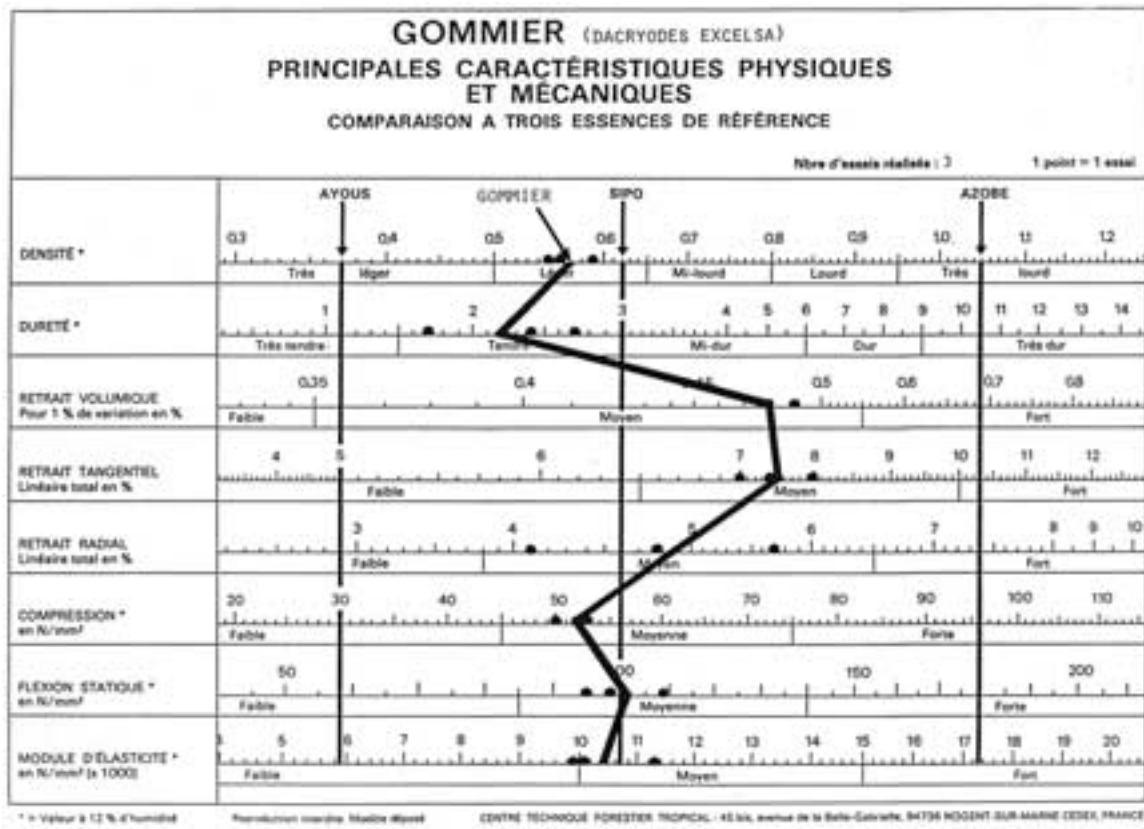
- : 既成の既利用樹種
- × : 今回測定した造林未利用樹種
- △ : 今回測定した樹種の天然材

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、耐ヒラタキタイムシ性、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、放射方向全収縮率、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 (*Entauchophragma 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格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。(IUFRO)

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、繊維長、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。(IUFRO)

6) 最近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。

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の柁目板をとり、残りは30mmにグラビキ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へは、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、実用の場にあつては、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つて、品質は二次的な物である。チリより輸入されるラジアータマツ (*Pinns radiate*) の例にみられる通りである。低品質の材であつても、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つて良い。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つ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つて、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、グレーディングマシンの開発があつて、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ィングによって分けられ、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効率で製材し、グレーディングマシンにより表板、芯板に区分し、或いはプルーフ・ローディングマシンにより、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・サ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つたという。(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 (*Paraserianthes falcataria*)、ユーカリ (*Eucalyptus deglupta*) では単幹化は必要ないとされた。

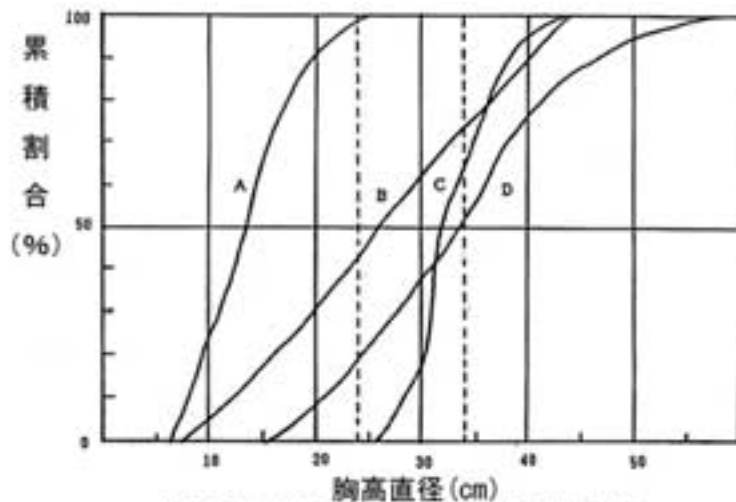
ii) 枝打ちは材質をよくするための重要な手段である。一般的に製材用原木には末口20cm、合板用原木で30cmが必要とされ、細り率 (うらごけ) から2m材を3番玉まで採木するとマンギュームでは製材用原木で胸高直径24cm、合板用原木で直径34cmが必要とされる。節の関係では製材用で直径10~14cm以上、合板用で14~20cm以上の外側に節のないこと、即ち直径10cm以上の部分に節のないことが良質な材の生産に必要とされる。

(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。

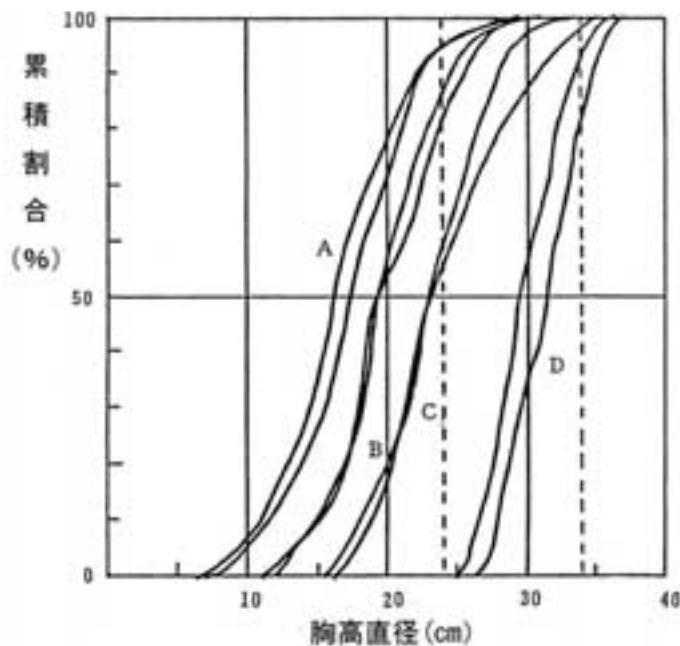
生産された木材が製材用原木や合板用原木として利用されるためには、できるだけ早く利用できる大きさに達する施業法が必要である。平均胸高直径24cmを目標とすると、樹高22~24cmに達することが必要で、地位や本数密度により異なるが、平均的に10年以上が必要となる。6年生の段階でパルプ・チップ用原木を伐採すると共に、胸高直径の大きいものを保存し、すべての残存木が24cm以上になるように、さらに6年の育成が望ましいとされた。

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。



サパの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
 D : 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。

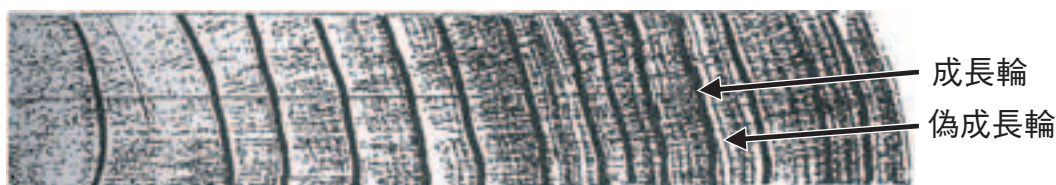
2-6 熱帯材に特徴的な材質

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。



メルクシーマツ原寸大



メルクシーマツの偽成長輪

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、中心部の髓から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。インドネシアのカリマンタンでの測定例によると直径1 m程のメラ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。真っ黒な紫檀、黒壇 (*Dalbergia* spp.、*Diospyros* spp.) 血の色をしたパドウク、パオロザ (*Pterocarpus* 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.、*Camposperma* spp.)

緑色のコチュチヨ (*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

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。現在ではチェー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の上に槽を組んで板根の上から切つ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つ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。多雨による多湿土壤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



ひろがった板根



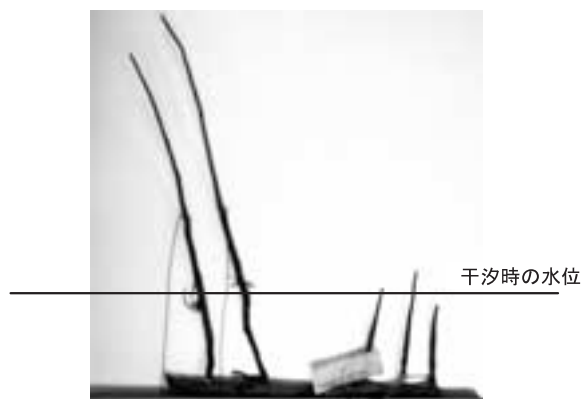
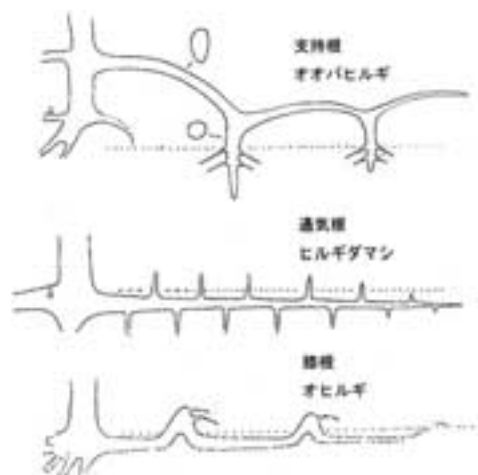
フライイングバットレス



高い板根

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。

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.) は太い直立気根を、オオバヒルギ (*Rhizophora* spp.) は支柱根を、オヒルギ (*Bruguiera* spp.) は膝根といったそれぞれ特徴的な根系を持つ。



直立気根
Avicennia marina



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/ r_{15} 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。

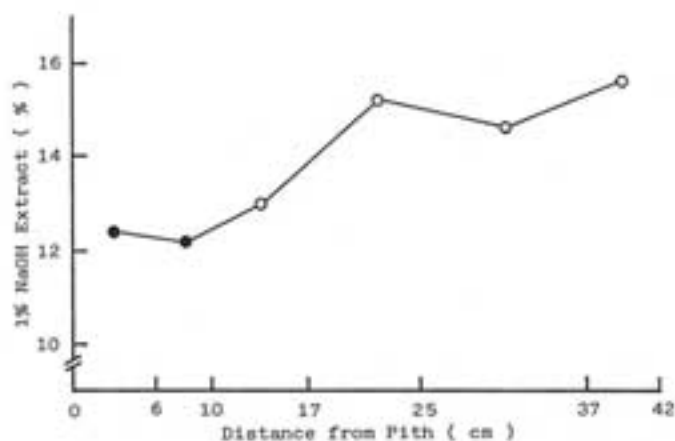
10～17cmの範囲は木口面が毛羽立ち、低比重である領域である。17～37cmの範囲は正常心材、37～樹皮までは正常辺材である。

Distribution of 1% NaOH extract for log L1

Area (cm)	Juv.wood MOE↓*	MOR↓ U↓	Low den. Fuzzy e.g.	Adult wood		Sap wood
	(Pith-6)	(6-10)	(10-17)	(17-25)	(25-37)	(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	14.5	15.6

Note: *The area where the ratio of MOE to r_{15} is decrease.

Other arrows are used for the same purpose (as for MOE).



Distribution of 1% NaOH extract for log L1.

Distribution of 1% NaOH extract for log L1

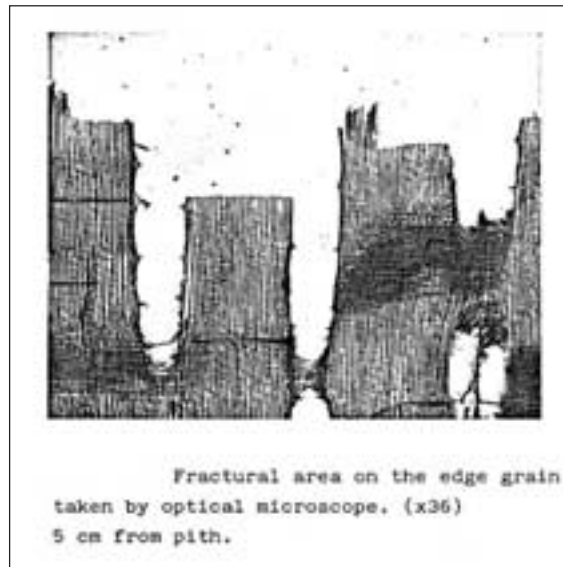
丸太 NO.	L3	L2	L1*	L2*	L7*	L3*
半 径 (cm)	26	31	39	46	50	54
低比重領域 (cm)	13	12	17	9	10	23
未成熟材 (cm)	4.5	2	6	4.5	2.5	11.5
脆心材	3.5	7	10	6	10	23
脆心材/低比重領域 (%)	27	58	59	67	100	100

(高田、吉橋)

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。”（寺島 名古屋大学）。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。

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。



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。

7) 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あつ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20-40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た。

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ミュ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。



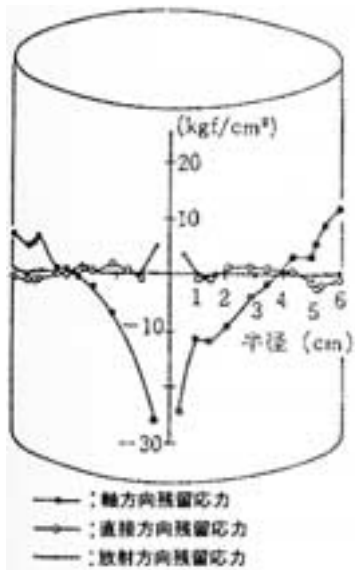
チークの巻き枯らし (girdling ガードリング)
根本に切れ目を入れて枯らす

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/CM ²
Dadema	<i>Piptadenlastrum africanum</i>	12	1.500	1.150-1.842	150
Framire	<i>Terminalia ivorensis</i>	4	1.280	806-1.762	128
Abale	<i>Combretodendron macrocarpum</i>	1	990		99
Frake	<i>Terminalia superbe</i>	9	950	725-1.175	95
Eucalypt	<i>Eucalyptus curiodera</i>	2	820		82
Hetre	<i>Fugus silvatica</i>	5	700	—	70
Teck	<i>Tectona grandis</i>	11	620	434-802	62
LOTOFA	<i>Sterculia rhinopetaia</i>	5	480	401-555	48
Avodire	<i>Turraeanthus africana</i>	2	440		44
Pin	<i>Pinus spp.</i>	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)



(CTFT)

製材脊板の中央から切り出した柁目板の曲り (Crook)



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ー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)

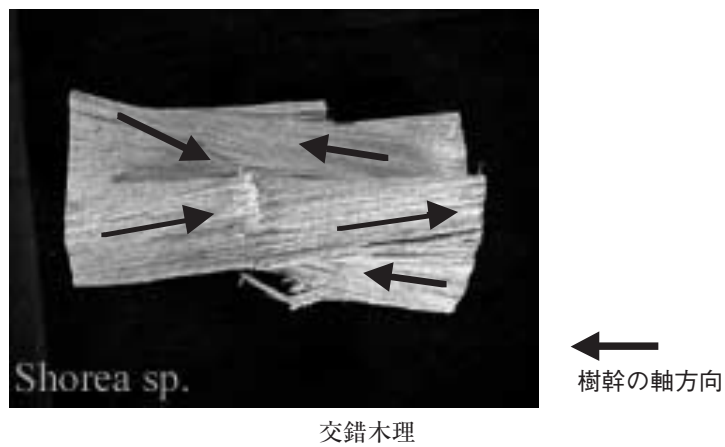
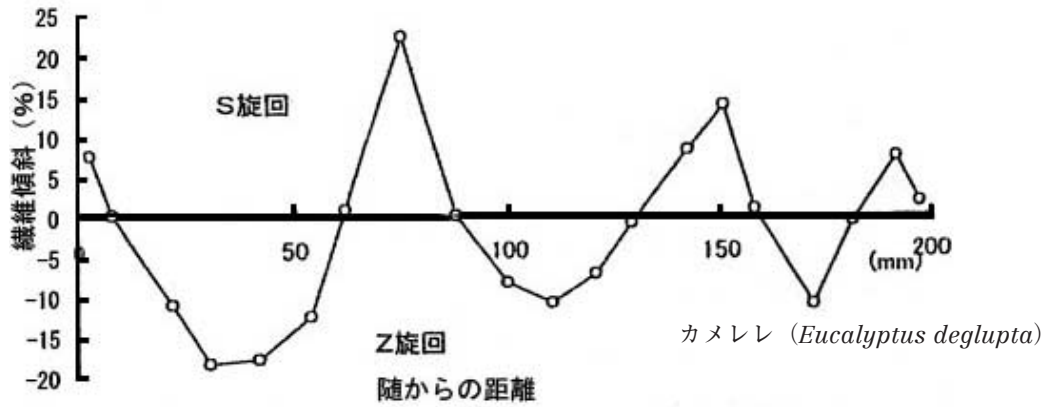
8) 交錯木理

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、木材の柁目面で見たとき美しい場合があり、リボン杻として賞用される。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。

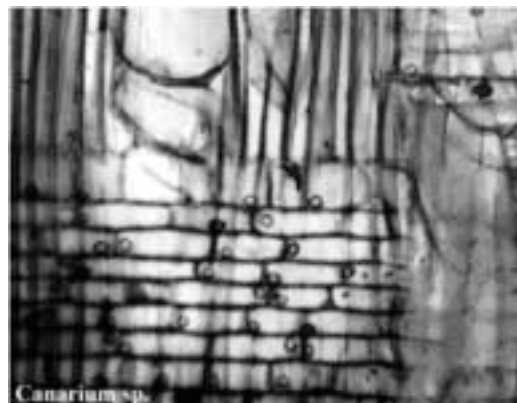
一方この材を板目材に製材した場合、板は振じれを生ずる。南洋材には、柁目製材しかないと言われる所以である。しかし世界的には熱帯材のダラ挽製材(板目)は少なくない。板目製材でも障害を生じない程度の材のみが開発されているのであろう。

SからZへの変化の範囲は15度に及ぶ。



9) 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。顕微鏡で柔細胞の中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)。メラピー (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。



カナリウム材のシリカ (石黒)

10) 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(頭部の孢子貯蔵器官)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孢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ムシに食害され、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、新しい防衛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種がパーク・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。⁹⁾

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%がパーク・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。

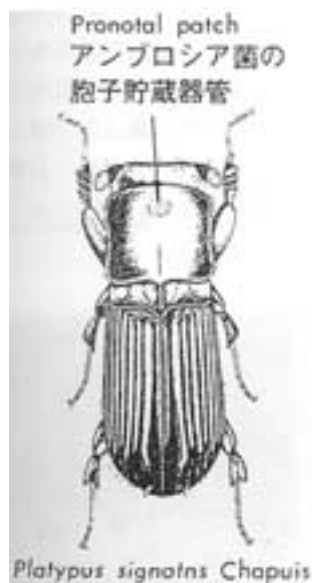
南洋材の出材地である南の島でのこれら害虫の生息する種類、分布地域、寄生樹種などの調査が十分行われていないため、多くの新種の発見が行われている。なお、植物防疫により日本の港で発見された種類の90%は日本国内には生息していない。

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。かつてゴムノキ (*Hevea brasiliensis*) の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 (*Paraserianthes 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 (*A. 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、自然落枝性など雑種強勢効果の優れた形質を持つ可能性がある。



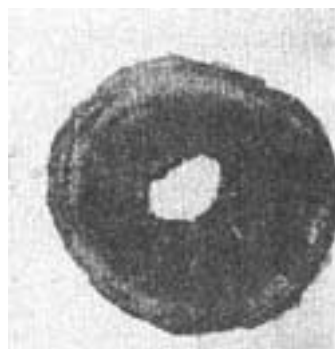
アンブロシアビートルによるピンホール
周囲が黒くなる。(中川、飯田)



(大野)



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)

11) 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きるものまである。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。

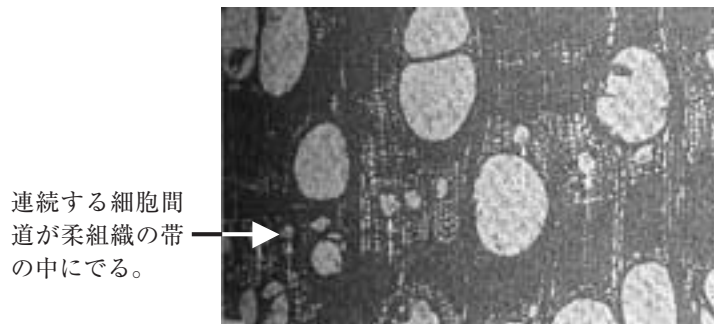
流出する樹脂は接着、塗装等の障害となる。

イエローメランチの類には水平樹脂道ができる。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。

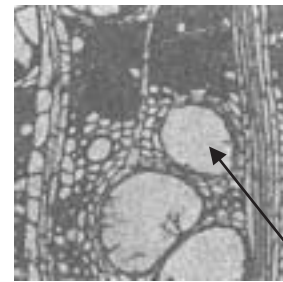
世界的にはマメ科の材に樹脂道の出るものが多い。コーパル (樹脂) の採取されるものまである。

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。



連続する細胞間隙が柔組織の帯の中にある。

(矢印：アルモン *Shorea alvon*)



散在する細胞間隙 (矢印：ブジック *Anisoptera cochichinensis*)

12) 比重変動

樹幹内の材質変動

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。

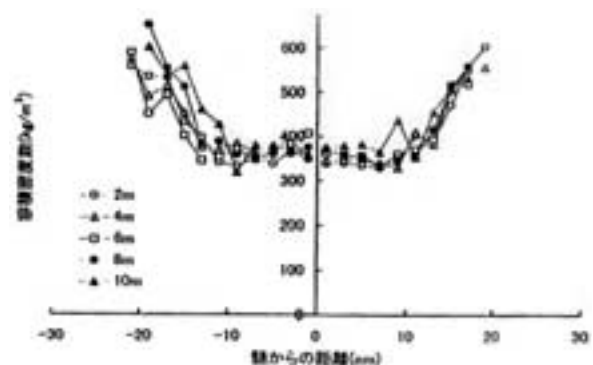
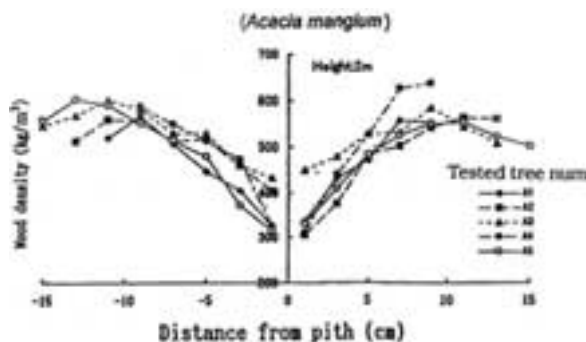
- 1) 樹芯部の比重が高く、周辺部に向かって低下していく。(アピトン、ウリン、チーク)
- 2) その逆に樹芯部の比重が低く、周辺部に向かって比重が上昇していくもの。(メランチ、カメレレ、タウン、ラミン)
- 3) 樹芯部から周辺部に向かって変化のないもの。

これらの変動は髄から10cm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、円筒形のものも多く、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*)

13) その他 悪臭、ピسفレックス、ゴム・樹脂、あて材等

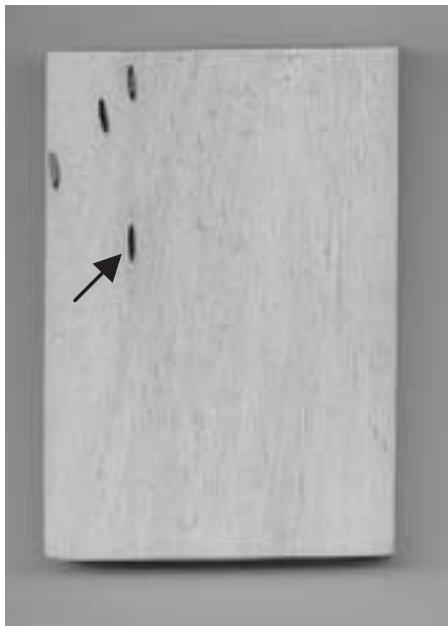
エリマ (*Octomeles sumatrana*) の生材の悪臭は製材工場の外まで臭う。また一般に低質材は生材のまま梱包材、ダンネージ等に使用されることが多い。使用中に入る腐朽菌が有機酸を生じ悪臭、金属汚染、錆の原因となることがある。

プライ (*Alstonia* spp.) のピسفレックス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سفレックスとされる。

ジェルトン (*Dyera* spp.) のラツ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سفレックス



ジョンコン (*Dactylocladus stenostachys*) に認められる細胞間道に似た孔

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代わりに釘を打ち込むこともある。

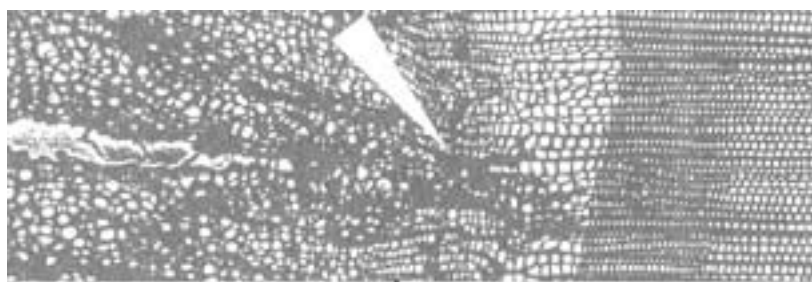
分裂した細胞数

	7日間	一日平均 (約)
<i>Podocarpus</i> sp.	4～5	1
<i>Pinus merkusii</i>	7	1
<i>Agathis</i> sp.	12～15	2
<i>Tectona grandis</i>	6	1
<i>Leucanea lencocephala</i> sp.	6～7	1

UGM構内1983年3月測定 (Nugroho、葛原、山田)

メラランチで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¹⁴C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¹⁴C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要元素の一つである。生物が活着している間、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¹⁴C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¹⁴Cは一定の割合で壊変減少していく。¹⁴Cの半減期は5730 ± 30年とされる。

樹木では活着し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¹⁴C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¹⁴C濃度との対応をとることにより、樹木が活着していた年がわかれば、その時の成長層形成時の大気中の¹⁴C濃度を知ることができる。

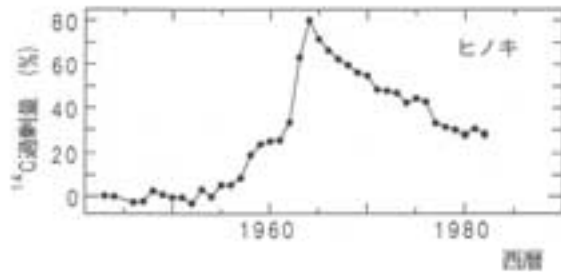
また年代未知の材では¹⁴Cの半減期より木質形成時の年代が測定できる。この手法は遺跡から出土材の年代測定に用いられる。

2) 成長輪（年輪）の無い熱帯材の¹⁴C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¹⁴CO₂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¹⁴C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¹⁴C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¹⁴C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1 cm毎に¹⁴C濃度を測定した結果において、¹⁴C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。

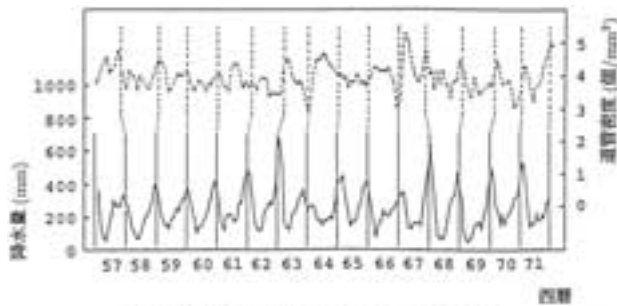
そして成長速度を計算する事が出来るようになる。このセラヤ材では5.9mm/年という成長結果をえた。（服部、米延）



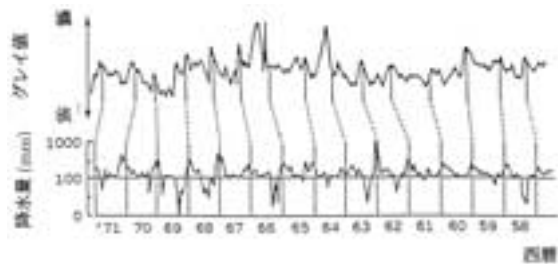
ヒノキの樹幹内¹⁴C濃度の経年変化

3) 熱帯材の成長輪

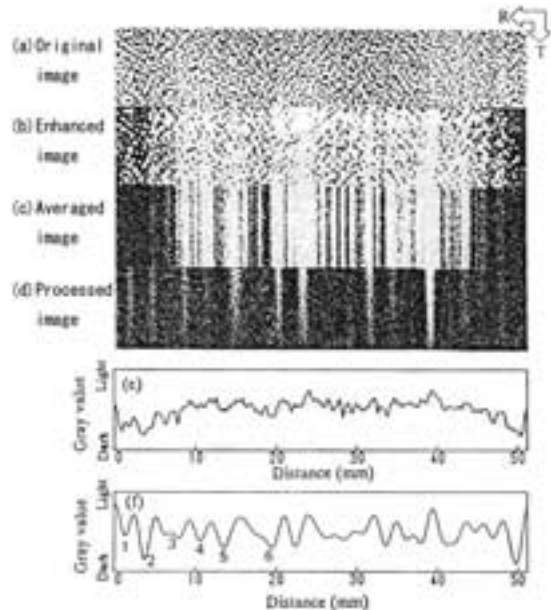
年輪の無い熱帯材でも、よく見ると多少の濃淡がみられる。ソフト-X線写真で見るとより明確になる。上記のセラヤ材では、ソフトX線でみた濃淡（グレイ値）はその地区での降水量の変動と関係があるようである。材の基調をなす木繊維の比重と導管の密度の変化が木口面での濃淡となって見える。



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



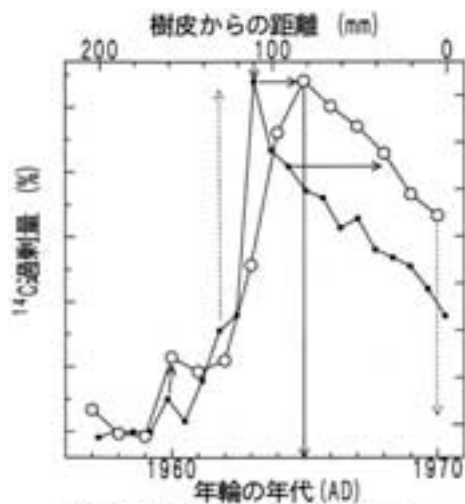
セラヤ木口面のソフトX線図の濃淡化処理

（服部）

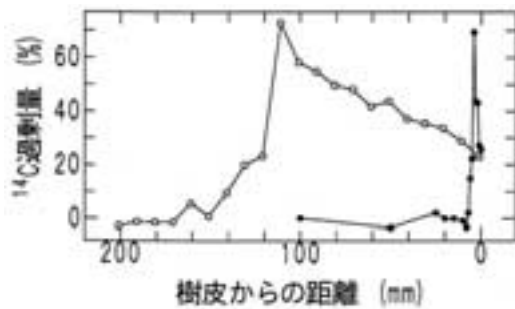
4) 戦争の爪痕

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1 cm 間隔での¹⁴C 濃度測定では過剰の¹⁴C 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 5 mm の間に30年分のデータ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いう事になった。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)

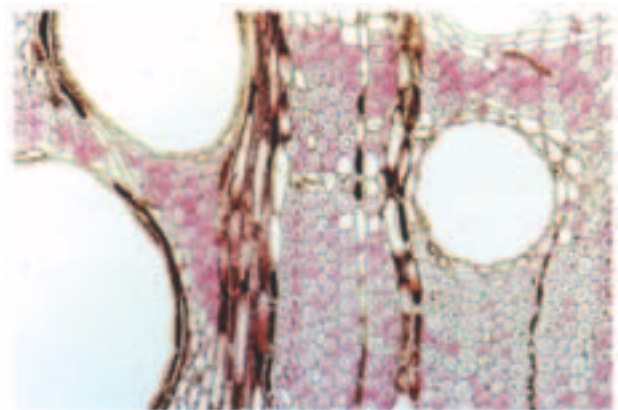


¹⁴C濃度変動を用いた年輪の無い樹木の成長速度の推定

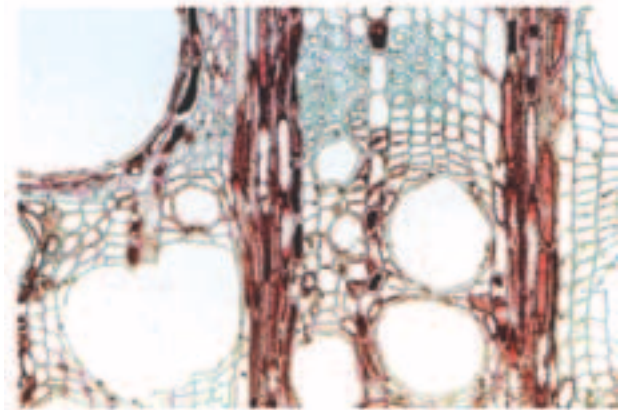


年輪の無い樹木の¹⁴C濃度

- チュテール
- セラヤ



チュテール (*Diptrocarpus* sp.); 正常材



枯葉剤散布による異常材

正常材では赤く染色された木繊維が材の基部を形成するが、枯葉剤散布による異常材では青く染色される軸方向柔細胞が多く、木繊維の壁も薄い。

3-3 熱帯地域の人工林の平均成長量

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20–25年でピークに達し25m³/年が期待される。地位が悪くなると20–50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12–15年頃にピークとなり、20–33m³/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 (*Eucalyptus grandis*) の例では、ウガンダの地位の良い所で6–7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6–7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 auriculiformis*) では地位の良い所でも10–12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11–12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ッドが見つかった。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、4–5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15–20m³/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。¹⁰⁾

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20–40cm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ベリ (*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、サベリであって、人工林での小径木の材ではメランチ、サベ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。アフリカでのサベリの造林は1970年代で停止され、今では30–35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6–8m³/年である。

3-4 熱帯林のバイオマス生産量の特徴

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1.1-3.0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60-80年間かく乱のなかった森林では291m³/ha、炭素量にして168.4tc/ha (144.3-192.4tc/ha)、経営林で222m³/ha、139.4tc/ha (110.1-168.8tc/ha)である。¹¹⁾

4 熱帯森林のカーボンシンク——CO₂固定能力増強と固定CO₂利用

4-1 熱帯森林のカーボンシンク——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。

1) 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、報告の概要を抄録させていただく。

4-2 CO₂固定能力増強部会からの最終総括報告¹²⁾

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様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つてよい。

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間パネル(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10~25cm上昇しているという。将来の予測としては、2100年までに平均気温が約2℃高まり、海面水位は約50cm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積は約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トン当たりで見ると、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、森林の炭素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、森林面積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) 内嶋善兵衛・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10²人/km²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アンジャヤでは森林率82%となり、土地利用の差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low、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

熱帯林樹種を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*、*Gemelina arborea*、*Albizia falcataria*、*Eucalyptus grandis*、*Eucalyptus deglupta*、その他の広葉樹としては*Dalbergia sissoo*、*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ルを作成しており、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*、*Gemelina arborea*、*Albizia falcataria*、*Eucalyptus 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8～10m³）はほぼ中庸の地位の収穫量（MAI）、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がるもの（*Tectona grandis*など）のタイプがあることがわかった。

(2) 熱帯林のバイオマス生産量の推定

①熱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程度の値をとる。

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、既存のものがいないため「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表に示した。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、放置されれば急速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カー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ボ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年時点でのアジア・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ボンは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、そのカーボ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、カーボンのストックはこれ以上増加しない。カーボンシン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

CO₂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、大気中のCO₂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ブ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化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、木材以外の多種多様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 —インドネシアにおける産業造林事業からの教訓—

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、東南アジア一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、労働力の目由な処分・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り、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・維持・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、すなわち社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

土壌炭素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の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 ULTISOL 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 $50 \sim 150 \text{ t ha}^{-1}$ 、平均 81 t ha^{-1} である。従って、熱帯 ULTISOL 地帯において土壌プールを精度良く推定しようとするれば、粘土含量を異にする土壌の広がり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炭素貯留に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、これらが炭素貯留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攪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の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、少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素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CO₂利用部会からの最終総括報告¹³⁾

最終総括報告として、固定CO₂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CO₂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CO₂利用部会の総括

固定CO₂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、パルプ工業だけでなく他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。

また1993年での日本におけ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、炭素ストック能力、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・杉浦銀治：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

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(24,027,000～48,054,000m²)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、炭素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、木炭を土壤改良材・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% ($\phi > 30\text{cm}$, 7,352,000～14,705,000m³)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、2,316,000～4,632,000t/年の炭素放出量を削減する。

(2) 林地廃材の69.4% ($\phi < 30\text{cm}$, 16,674,000～33,349,000m³)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/年の炭素放出量が削減する。

② 全量を炭化し、その内50%を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/年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/年の炭素放出量が削減する。

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/年の炭素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/年の炭素放出量を削減する。

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4,312,000～8,488,000t/年の炭素収支を改善する。この量は、全森林伐採量352,470,000m³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24,027,277m²にもとづき、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て計算した。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12,957,201m³は現地使用3,078,000m³と輸出9,879,000m³(FAO, 1993)に分けられる。日本へは、合板を主体とした3,548,000m³が輸出されている。

廃材中利用される材積は7,661,245～8,259,259m³、放棄材積は3,939,934～4,272,179m³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5,469,000m³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91,711,043m³炭素量16,999,000トン、0.771m³/人・年とした。しかし、今回の現地調査結果は1.2m³/人・年、或いは1.9kg/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。82,653,000m³に相当する量である。

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0.0658m³/m²からバリ島郡部での0.0380m³/m²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341,960,000m³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。

(m ²)	製 材		合 板	パチクル ボード	ファイバー ボード	計
	一般製材	二次加工 (集成材)				
製 品 量 歩 留 り	2,988,756 45%	336,000 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	3,652,924	1,157,333	6,644,818 (-664,000)	200,000	79,000	11,070,075
含 水 量	70%	8%	8% 70% 5,149,734 1,495,084	8%	8%	
廃材処理 二次製品 ボイラー燃料 放 棄			2,192,790 ～ 2,790,824 3,986,891 332,241 ～ 664,482	200,000	79,000	

合板廃材のうち 664,000m²がパチクルボード原料となる。

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 (CO₂) 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CO₂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、CO₂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伴ってCO₂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、ひいてはCO₂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、パルプ工場の建設と共に、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トンのパルプ工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、パルプ工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CO₂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、CO₂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。

5) 大熊幹章：Carbon Sink、CO₂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・資源の確保という生活活動が資源の持続性、地球環境の保全性とい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CO₂の吸収固定、CO₂の大気への放出、さらにはCarbonのStockと移動して捉えることができる。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・資材を様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CO₂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CO₂吸収、木材利用時のCO₂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、1cycle(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、この間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37,917,000m²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67,371,000m²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67,371,000m²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CO₂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(136m²)木造は5,140kg、RC造は21,814kg、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) 我が国全体で住宅建設に10,232,000cm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CO₂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・金属資源の枯渇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ケースが多い。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探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（コートジボアール名）、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、売り出しにあつ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（*Prunus 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 *P. 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）に対比される、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 util* 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る。

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” (Nomenclature generale 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*) のことであ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、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 (*P. caribea*, 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であり、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ぐ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。



松脂採取の斜溝法



縦に大きくえぐった松脂採取法

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、コーバル その他

松脂と同じような方法でイン、ヤン (*Dipterocarpus* 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。



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。

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採る樹木を東南アジアではタンガル (tangkal: *Ceriops* spp.) といわれているのに驚いたことがある。かつて奈良のどこかの古墳で、発掘直後に竜腦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 (*Dryobalanops aromatica*) に含まれる右旋性 α -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。

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づかり喜んでいた。

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 (*Styrax paralleloneurum*, *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。ケブラチヨブランコ (*Aspidosperma quebrachoblanco*)、ケブラチヨ (*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) ナッツ類 ブラジルナッツ (*Bertholletum excelsum*) 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いう。

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 maerophylla* 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。



ブラジルナッツ
カボチャ大の果実の蓋が取れ（写真上段）、中から4～5 cm長さの三角形の種子が出る（写真下段）。木質で硬く、内部の仁は白く、食料とする。

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。

グネム (*Gnetem 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。

6) 果実 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 (*Dorio zibethinus*, *D.* 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* 他 *P.* 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 (*A. 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。いずれも大形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。

7) 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、トウ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。



ヤシの幹材のピットソーイング

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ザートであり甘い。砂漠の主食の一つであり、生食もするという。

トウー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ー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。

8) 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)

9) 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。

10) コルク、活性炭、コプラ、ワックス、他 モロッコで見たコルクガシ (*Quercus 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的活性炭の材料となる。その内側は果水をみだし飲用とされるが、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 (*Copernicia cerifera*) の葉の表面のロウ(蠟)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。

11) 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。

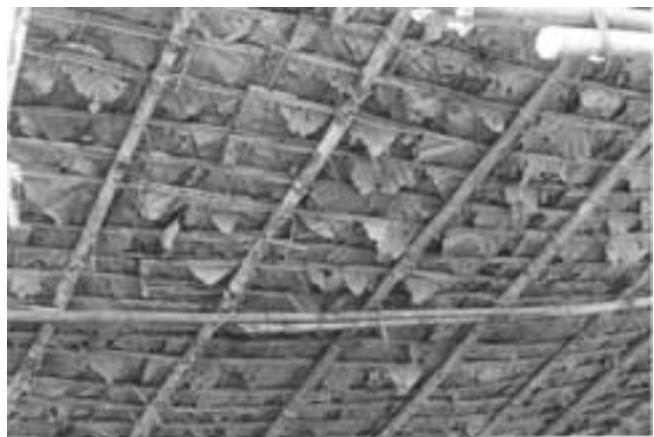
熱帯地方では日常的に木の葉の皿が用いられる。

市場で売られていたものはサラノキ *Shorea robusta* (インド)、ヤーン *Dibterocarpus 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; 京都大学)

バナナ *Musa sapientum*, *M. 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ってあるのをみた。

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 (*Coryphatan*) 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

12) 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 (*Paraserianthes 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。世界各地で見られる。



ファルカタとパイナップルのアグロフォレストリー



トウモロコシの間に生えたメルクシーマツ

文 献

- 1) 川井秀一ら (1991) 木材工学, 文永道
- 2) D. Noack & E. Schwab (1973) 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.
- 3) 鈴木 寧 (1978) 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
- 4) F. Cailliez & P. Gueneau (1972) Analyse en Composantes Principales des Proprietes Technologique de Bois Malgaches. Cahiers Scientifique No.2 C.T.F.T.
- 5) 木方洋二 (1975) 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.
- 6) B. Parant *et al* (1990) Principales caracteristigues Physiques et Mecaniques. Presentation graphique des caracteres technologiques de principaux Bois Tropicaux. C.T.F.T.
- 7) 北野至亮 他 (1978) 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
- 8) 加藤亮助 (1999) 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)
- 9) 木方洋二, 肘井直樹, 梶村 恒 (1994) Monograph of the New Species of Bark Beetles and Ambrosia Beetles. Countries, Intercepted at Japanese Ports — Shizuo Ohno Collection. 名古屋大学古川総合研究資料館報告特別号 3

- 10) 堀 健治 他(1989)熱帯地域の人工林の平均生長量, 各種調査報告書, 海外林業コンサルタント協会(JOFCA)
- 11) 西川匡英(1997) データーによる熱帯林樹種の成長特性, カーボン・シンク・プロジェクト推進調査事業 平成8年度調査事業報告書, 国際緑化推進センター (JIFPRO)
- 12) 熊崎 実 他(1997) CO₂固定能力増強部会からの最終報告, カーボン・シンク・プロジェクト推進調査事業 平成8年度調査事業報告書, 国際緑化推進センター (JIFPRO)
- 13) 木方洋二 他(1997) 固定CO₂利用部会からの最終報告, カーボン・シンク・プロジェクト推進調査事業 平成8年度調査事業報告書, 国際緑化推進センター
- 14) 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(現, 農学部大学院生命農学研究科生物材料科学講座)の博士論文, 修士論文・卒業論文である。
 - ③本文中にC.T.F.C.と記したものは出典はCentre Technique Forestier Tropical, France(現CIRAD-Foret)の各種出版物による引用である。

(2005年10月31日受付)