

ISSN 1343-912X

Wood Science in Kyushu

木科学情報

16卷1号 2009



日本木材学会九州支部

目次

執行部便り

第16回日本木材学会九州支部大会（沖縄）のご案内 ……………金城 一彦 1

総説・主張

ケニア半乾燥地の造林技術開発と水分動態・成長予測 ……………矢幡 久 3

企業の声

低炭素社会ー省エネルギー時代における木材産業 …………… 博 7

レビュー

木材乾燥過程におけるマイクロクラック発生挙動の可視化 ……………阪上 宏樹 10

トピックス

カリフォルニア樹木紀行 ……………内海 泰弘 14

編集後記 ……………17

●「レビュー」原稿募集！●

木科学情報では、会員の皆様からの投稿原稿を募集しています。
投稿された原稿の中から、とくに優秀なものについては黎明賞（論文）の対象
といたします。
奮ってご応募ください。

執行部便り

第16回日本木材学会九州支部大会 (沖縄)のご案内

金城一彦



会員の皆様にはますますご健勝のこととお慶び申し上げます。

さて、第16回木材学会九州支部大会(沖縄)のご案内を申し上げます。沖縄での大会は第6回(1999年)以来10年ぶりの大会です。今回は、交通の利便性を考慮して沖縄県の県庁所在地である那覇市での開催です。那覇市は沖縄本島南部に位置し、国場川と安里川に囲まれた平地に広がる面積39.23km²の都市で、沖縄県の政治・経済・文化の中心地であるとともに人口最大の都市であります。国際通り(奇跡の1マイルとも呼ばれる)は那覇のメインストリートで県庁北口から安里三叉路までの約1マイルで、両脇には観光土産品、沖縄料理店等が軒を連ね、最も活気のある通りであります。また、隣接して那覇の台所である牧志公設市場があり、沖縄のお肉や野菜、パイナップル、マンゴ等のトロピカルフルーツ、カラフルな魚、テビチ、ミミガー等が所狭しと並んでいて、異国情緒を味わうことができます。首里には世界遺産の首里城(写真1)、守礼の門、王家最大の別邸の識名園、王家の墓の玉陵、園比屋武御獄石門、石畳等の文化財があります。会場の近くには福州市と那覇市の交友都市締結を記念して作られた中国式庭園の福州園や波の上ビーチ等もあり大勢の観光客で賑わいを見せています。是非この機会に足を延ばしてください。

大会は11月12日(木)～13日(金)にかけて沖縄ポートホテル(沖縄県那覇市西1-6-1)を会場に開催します。

沖縄県では終戦後台風やシロアリの被害から住宅を守るために鉄筋コンクリートづくりの住宅が増加し、昔ながらの赤瓦の木造住宅は文化財や民家の一部に残っているだけです

(写真2)。戦前は「穴屋」といわれる木造住宅が一般住民の住宅でした。近年では、木造の住宅を取り壊し、コンクリート造りに建て替える傾向にあります。このような中で従来住み慣れてきた木造の住宅を改築、移築あるいは解体された住宅の古材(写真3、4)の再利用を望んでいる方もいます。



写真1 首里城正殿とお庭



写真2 中村家(国指定重要文化財)

18世紀中ごろに建てられた。柱は琉球王府時代に首里の士族の家屋を移したと伝えられている。



写真3 古民家の解体
首里より移築された築100年の民家、南城市安里
(長堂昌次郎氏提唱)



写真4 古民家からの古材

このような状況の中で今回シンポジウム『古材の再利用』を計画し、3名の方に話題を提供していただきます。まず、井上幸一様からは「資源再活用で業界は元気になる」と題して古い民家に利用されている古材を見直し、再利用について紹介していただきます。

新垣裕之様からは「県産材の再利用と文化材」と題して、木材資源の乏しい沖縄県において県産木材がどのように文化財に利用されてきたかを時代の変化とともに紹介していただきます。平井卓郎様には「北海道の古民家再生」と題して北海道の古材利用・古民家再生の現状を紹介していただき、参加者と活発な討論ができればと考えています。

シンポジウムは11月12日(木)の午後2時30分からです。入場は無料ですので多くの方の参加をお待ちしています。

皆様方の多数のご参加を心よりお待ちしております。

めんそれー うちなーんかい

(きんじょう かずひこ:大会運営委員長、琉球大学農学部)

総説・主張

ケニア半乾燥地の造林技術開発と 水分動態・成長予測

矢 幡 久



1. はじめに

東アフリカのケニアは、雨に恵まれる高地は限られ、国土の約8割が乾燥地や半乾燥地が占め土地生産性が低い。人口圧を受け耕地が不足し、半乾燥地の自然林が伐採され、農地に転用されるために森林不足が顕在化している。そこで、ケニア政府は我が国に造林苗木作りの技術協力を要請し、これを受けて我が国はJICAの林業技術協力を1985年から開始した。プロジェクトでは、社会林業の普及活動に重点をおき、国民各層に森林保全の重要性を認識させ、農民には苗木生産法を指導し高い評価を受けてきた。しかし、残念ながら植林事業は乾燥、シロアリ、動物害等の被害を受けて実質的に初期の8年間には失敗に近いものであった。

1994年度からJICAの要請を受けて現地を訪問した。ナイロビより東へ180km下った標高1000mにあるキツイである。ここに2500haのパイロットフォレストを設け、毎年40haの自然林を伐採し植林を行っていたが、植林木がほとんど枯死し、草地化するという最悪の状況にあった。これは、年2回の乾季による乾燥の影響が大きく、しかも、プロジェクト初期には年降水量1,000mm程度の多い雨が記録されていたが、1992年からは雨の多いエルニーニョ年を除くと毎年500mmを下回る少雨傾向が続いていた(図1)。

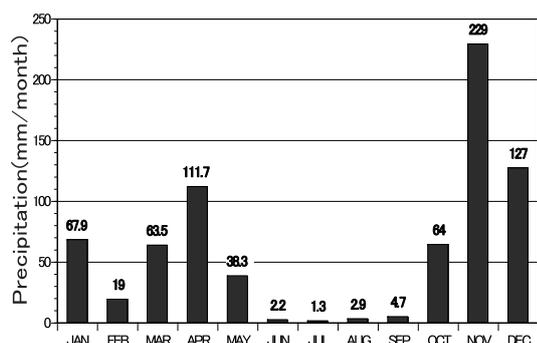


図1 試験地の月別降水量

2. 半乾燥地の植林技術の開発

枯死原因は、主に乾燥によると考えられるが、当時の乾燥に対する対策は不徹底であった。すなわち、一般の森林造成時のように除草は刈払除草を推奨し、しかも土面の乾燥を防ぐために、日陰となる樹木や草を残すように指導していた。しかし、1994年から水分動態に視点を据えて開始した除草試験等の多くの試験を通じて、今日までにこの指導は明らかに不適切であったことが判明した。前プロジェクトから2002年11月までの9年間「ケニア半乾燥地社会林業普及モデル計画」の短期専門家として毎年技術指導と調査研究を実施したが、半乾燥地が決して植林の不適地ではなく、雨水をうまく利用すれば、樹木は驚くほどの成長をすることが明らかになった。灌水をすれば砂漠緑化も容易であるが、途上国において貧しい農民が植林する際に高価な灌漑や灌水の施設を設置することは困難である。そこで、1994年から雨水をできるだけ植栽苗に利用させる工夫が行われた(西林寺、1994)。一つは地表流下水を逃がさないマイクロキャッチメントの作設と、土壌水を消費する草を徹底して除去することである。従来、刈り払い除草が行われていたが、「潔癖除草」と称し根こそぎ除草する中耕除草を導入した。この技術導入は際だった効果をもたらし、初期成長を大幅に向上させ、生存率も90%以上になるほどに向上した(図2)。



図2 *Senna siamea* の成長(植栽9ヶ月目)に及ぼす2種の除草方法の効果(2000年8月)

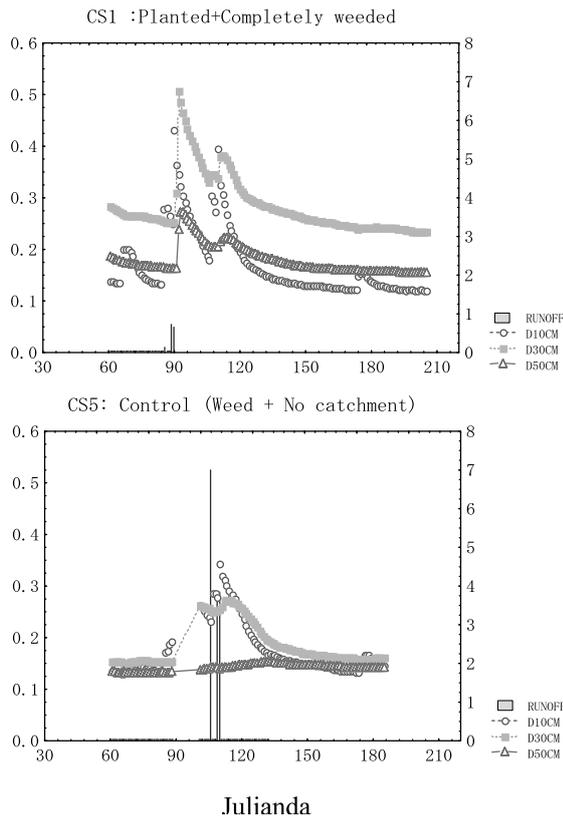


図3 深さ 10,30,50cm の土壌水分率(左軸 m^3/m^3)と地表面下水量(右軸 mm/d)

4. 雨水の地表流・土壌水分及び土砂流失

斜面の土砂流出を防ぐために、一般の植林地では除草法は草を刈り払うにとどめ、潔癖な除草は危険と認識されている。しかし、農民への普及を考えている植林地は傾斜が緩い農地跡であるので、その危険は回避できると考えられる。しかし、その場合でも土壌浸食量やマイクロキャッチメントの効用を把握することが望ましい。

そこで、流水量試験地を設定し、雨水の地表流下量、土壌水分率量と土砂流失量を1年間解析した。試験地は1999年に設置し、2000年から測定を開始した。全面にマイクロキャッチメントを設け、潔癖除草、刈払い除

草の2処理にそれぞれ苗木植栽区と無植栽区の2処理の計4処理を設けた。植栽間隔は $4\text{m} \times 4\text{m}$ で樹種 *Senna siamea* を1999年11月に植栽した。さらに、対照区として地拵え後にマイクロキャッチメントを設置せず、除草もしない斜面を設けた。各処理区は、斜面長12m、幅4mをトタン板で囲み、斜面下方にトタン板製のトレンチを設けて、処理区内に降った雨水の土壌表面流下量と、土壌流失量を計測した。測定は、大型転倒樹(ICRAF開発品)とデータロガー(キャンベル社製、CR10X)を用いた。土壌水分は、苗木の根元に近い、マイクロキャッチメントの外側に、深さ10cmから90cmまで20cm間隔で測定記録した。

潔癖除草区は、刈払い除草区と比較すれば、土壌流出量は約2倍となっており、潔癖除草区はやはり土壌流失量は大きかった(表1)。しかし、年間の土壌流失量は、 0.06mm であった。マイクロキャッチメントを設置せずに、雑草が繁茂した非除草区(対照区)は、潔癖除草区の約6倍以上も土壌流失量が大きかった。この場合でも、年間の土壌流失量は、 0.38mm であった。この値は、一般の森林レベルと大差なく危険なほど大きな流失量とはいえない。

地表流下水量は、土壌含水率とともに図3に示した。流下水量は、処理区内では、対照区を除いて大きな差が認められず、降雨によって流下する量は、 1mm 以下であった。すなわち、降水量が多くても、マイクロキャッチメントによって雨水が捕獲されて、流下量が抑制されていた。

このようにマイクロキャッチメントの設置によって、雨水の地表流下水量が抑制され、地中に浸透することによって、土壌含水率の向上に繋がっていることが、苗木の水分収支に大きく貢献していると考えられる。

表1 各処理区の年間土壌流出量

Treatments	Planted+ Weeding	Planted+ Slashing	Not Planted +Slashing	Not Planted +Weeding	Control
Eroded soil ($\text{g}/\text{m}^2/\text{y}$)	56.63	25.35	31.35	60.47	376.63
Eroded soil (mm/y)	0.06	0.03	0.03	0.06	0.38

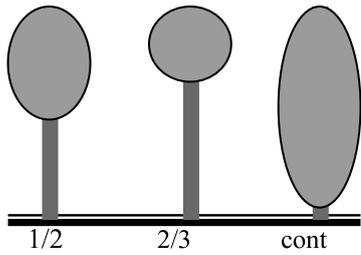


図4 枝打ち処理の高さ

5. 乾燥によるダイバック現象とその抑制

乾燥が厳しい場合には、樹冠上部の幹や枝が枯れ下がるダイバック現象が発生するが、これは木材生産にとって不利である。ダイバック現象を避けるには、予め樹冠葉量を人為的に調整し、水分消費を抑制すれば回避できると予想される。そこで、2年3ヶ月生の *Senna siamea* (平均樹高 4.17m) について、樹冠長の1/2及び2/3の2段階の枝打ちを行い(図4)、4年9ヶ月生の時点で成長への影響を調べた。なお、各プロットは、2行4列(4m間隔8本)で4ブロックを設けた。

その結果、下枝打ちによって、梢端のダイバック長が抑制されることによって、樹高成長が約1m程度も促進されるだけでなく、1/2区では胸高直径も有意に大きくなることが確認された。すなわち、ダイバックを抑制するには、下枝を予め除去することが有効であることが示された(図5)。

6. 土壌水分動態と成長予測

半乾燥地での樹木の生育や枯死にとって、土壌水分は決定的な支配要因となると予想されるが、一方で他の環境要因である土壌養分

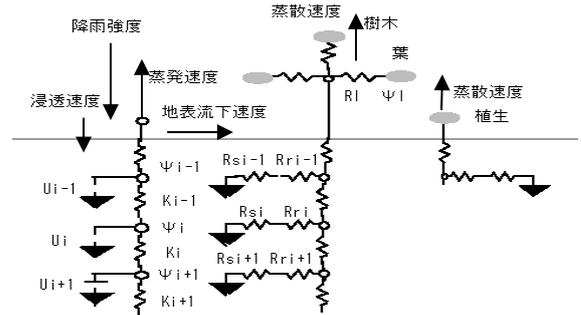


図6 水分動態モデル
光合成、呼吸及び成長モデルと組み合わせて予測

などの化学性や熱帯の強い日射など多くの要因も影響すると考えられるために、逆に水分動態への徹底した検討がされず、他の要因の重みも不明瞭になる。各要因の重みを理解するには、土壌水分予測及びそれに基づく葉の水分状態、光合成、そして成長に関わる一連の生態生理現象をモデル化して、定量的な検討ができることが望ましい。

そこで、水分動態モデルは、Campbell(1985)のシミュレーションモデル(図6)を参考にPerl言語によりプログラムを作成した。試験地毎の日降水量と土壌断面調査(土壌厚さ)及び土性(粒径分布)を参照し、インプットとした。一方、樹木通水抵抗(Kondoh et al., 2006)、根系密度など生理的特性値は樹種共通とし、さらに、赤道直下で気温変化が少なく比較に有利な気候を考慮し、降雨日以外は潜日蒸発散量と日射強度は標準値を利用した。予測は、降水の土壌への浸透速度、地表流下速度、土壌含水率、葉の気孔コンダクタンス、土と葉の水ポテンシャル、気孔コンダクタン

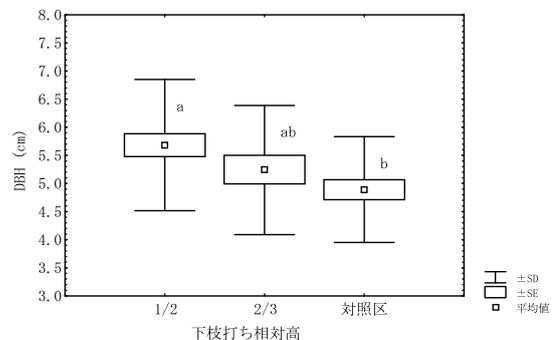
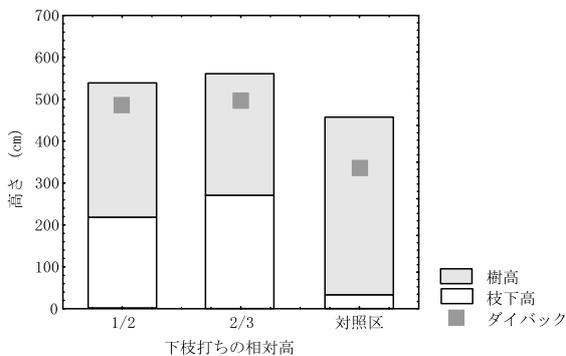


図5 枝打ちの処理区の樹高、枝下高、ダイバック長(ただし梢から下方へ)(左)及び胸高直径(右)測定 2001年8月(4年9ヶ月目) 枝打ち 1999年2月(2年3ヶ月目)

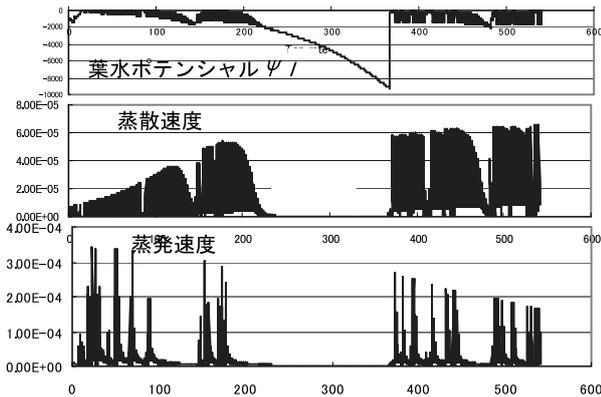


図7 1年6ヶ月間に亘る水分動態の3時間毎の計算結果

ス、蒸散速度などであり、数分～1時間間隔で計算した(図7)。

一方、検証のために、ケニアのキツイ地方に散在する15農家に *Melia volkensii* 及び *Senna siamea* の各12本を2000年11月に植栽し、集約な管理を行うとともに、3ヶ月毎に樹高、根元直径と日降水量を1年半に亘り記録した。樹高成長は雨季には早いですが、乾季になると浅い土壌層の林地(OF-3)では成長が直ちに停止しましたが、土壌が深い場合(OF-6)は成長が乾季にも継続した(図8)。雨季に入ると再び早い成長を開始した。実測値に対する予測値の適合度は概ね高く、モデルは十分に予測に利用できる可能性が示された。

7. まとめ

導入した技術のおかげで、半乾燥地でも降水量に恵まれる場所では1年半で樹高が6mと驚異的な成長を示し(図9)、材質が優れているために、材価も高いので、大きな期待が寄せられている。

水分動態に基づく成長モデルによって、将来の収穫量も予測が可能となり、農民の植林を促す動機付けにも利用でき、また、研究面では成長を規制する他の環境要因の影響程度を推測するのに有用と思慮される。

今後は、半乾燥地から乾燥地にかけて生育できる耐乾燥性の *Melia volkensii* を選抜育種事業の推進が要望されているので、モデルを通じて解析に貢献できることを期待している。

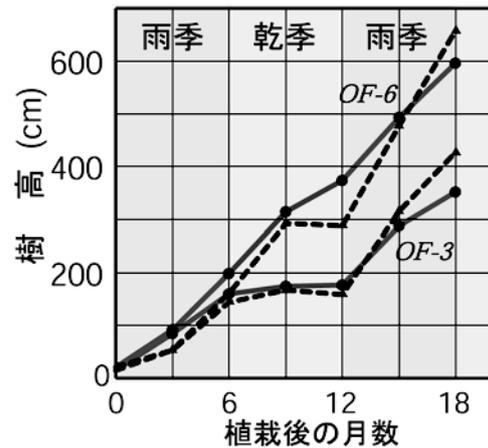


図8 異なる生育環境下における *Melia* の樹高成長の実測値(実線)と水分動態シミュレーションによる予測値(破線)(2箇所を抜粋)



図9 半乾燥地にも拘わらず植栽1年8ヶ月目の *Melia volkensii* の驚異的な成長

引用文献・参考文献

Kigwa, B. K., T. Mihara, S. Auka, H. Yahata: 2001 The effect of weeding methods on the water relation of planted seedlings in ASALs 日本林学会九州支部大会

Kondoh(Tsuji), S., H. Yahata, T. Nakashizuka and M.Kondoh, 2006 Interspecific variation in hydraulic architecture, growth, and drought tolerance of broad-leaved trees in semi-arid regions of Kenya, *Tree Physiology*, 26, 899-903.

Campbell, G. S. 1985 *Soil Physics with Basic, Transport models for soil plant systems*, Elsevier Science Publishers. 150 pp

(やはた ひさし : 九州大学名誉教授)

低炭素社会 —省エネルギー時代における木材産業

博



ひと昔前、少なくとも私が大学を卒業した昭和60年代から平成一桁ごろまでは、子供達の描いた環境問題についてのポスターに“木の切り株が泣いている絵”や“森や山が荒れている絵”が多く見受けられたように、人々の多くは「木を切ることは環境に悪いことだ」という認識を持っていたように思います。

しかし近年、京都議定書の採択により、日本のCO₂削減目標6.5%が国際公約され、そのうち3.8%が適性に管理・整備された森林でのCO₂吸収となったことを契機に温室効果ガスの削減による地球温暖化防止が日本全体そして地球規模で叫ばれるようになりました。つまり日本の山・森林を再生し、間伐材を中心とする国産材をどんどん使っていくことが大切であるという認識がいろんな分野で芽生えてきています。

消費者サイドの国産材需要拡大の応援活動である「木づかい運動」、農林水産省・環境省がすすめる「見える化」、経済産業省のC.F.P（カーボン・フット・プリント）、国土交通省のすすめる長期優良住宅の普及促進、環境NGOの取組みなどをみても「木を使うことは日本の山を再生し、CO₂削減や固定化に貢献するんだ」という認識が国民的に広がってきている証であると感じています。

また林野庁のアンケート調査をみても、“終の棲家はどんな住宅が良いか”との問いには、ほとんどの方が「木の家」に住みたいと答えています。日本人のDNAには木の文化がしっかりと刻まれているように感じてなりません。

現在、木材産業界には順風が吹いています。この風をしっかりととらえ、世の中のニーズや流れにマッチした製品作りが出来るか、その真価が問われる時代に突入しています。ま

た低炭素社会の実現に向け、国産材が積極的に取り入れられていくかどうか、そのひとつの鍵となるのは政治的な決断であると思っています。

例えば、ハイブリット車を購入すると免税になるように、国産材を使った住宅を購入すると免税や減税になるとか、国産材を使った木製サッシを住宅建築部材として購入するとエコポイントがたまるなど、国産材が低炭素社会の中で中心的な役割を果たせるような様々な政策の実行が低炭素社会の実現においてとても必要だと思います。

そのためにも、木材産業に携わる企業は顧客の期待に応えるしっかりとした物づくりを行い、持続可能な国産材を使った製品を活用することの大切さを全木材産業界を挙げて消費者の皆様や子供たちに訴え啓蒙していくことが求められるのではないのでしょうか。

(1)付加価値の高い製品の開発と体制づくり

木材を使っていこうという気運が高まる中、そのことを実需に結び付けていく為には、木材の長所を伸ばし、欠点を補う技術とその商品化が求められています。木材は生き物であり、1本1本1枚1枚性質も性能も違うわけですが、それを技術により補い一定の品質以上に均一化していく努力を積み重ね、顧客のニーズに応えていくことは企業の責務だと思います。腐朽劣化対応はもちろんの事、割れを抑制したり寸法安定性を付加したり、不燃化したりといった製品開発が求められてきています。

当社では木材の欠点である「割れ」「腐れ」を抑制し寸法安定性を付加し、総合的な耐久性をレベルアップした保存処理材木“エコアコールウッド”を九州大学農学部 樋口光夫

名誉教授の基礎研究を基に同教授が組織されました産・管・学（九州木材工業株式会社・福岡県工業技術センターインテリア研究所・九州大学農学部樋口光夫教授）の共同研究により実用化し、現在国産材の杉・桧に保存処理したエコアコールウッドを全国に販売しております。



エコアコールウッド注入管設備



(施工例) 愛知万博ガスパビリオン

また、エコアコールウッドに不燃処理を施した製品は平成20年1月17日に国土交通省より準不燃認定を取得し、現在その生産体制の確立に向け準備を行っています。また、顧客のニーズにしっかりと応え、品質の高い製品を安定して生産していく為に平成16年にISO9001・2008を本社・エコアコール部門で取得しております。

いずれにしても、住宅・建築土木分野をはじめ、木材の利用がまだまだ低位な分野での需要を高めていく為にも、木材の欠点を克服し、機能的にもデザイン性も優れた木材製品の供給とその体制作りがこれからの木材産業にとって大切だと考えています。

(2) 持続可能な国産材を活用した安全で安心な製品づくり

① 持続可能な国産材を活用した製品づくり

低炭素社会の実現に向けては大量生産、大量消費の社会とは異なり、CO₂の削減や固定化など地球環境を考えた社会づくりにむけた国民的な運動と理解が大切だと思います。そのためには、日本の国土保全のことも含め各産業界が利害関係を超越して、国産材の活用を考えていく必要があると思います。その中でも質・量ともに国産材の活用が期待できるものに、住宅建築用の材料や建設土木資材があると思います。長期優良住宅の建築材料としても土台や構造材、外壁材、内装材、ボードや合板、下地材などあらゆる箇所に国産材の利用の可能性が十分に認められますし、子供達の体や精神にも優しく、インフルエンザ等の予防や精神的な安定としてもその効果が確認されていますので、学校の校舎の建築資材や内装材としても物凄く大きな潜在的な需要があると思います。



当社敷地内に設置している木製ガードレール
(エコアコールウッド杉を使用)

また、土木資材としてはアメリカやオーストラリアなどで現在も多量に使用されています。木製ガードレールや遮音壁としての活用があります。

いずれにしても、持続可能な国産材を使用した材料や資材は環境負荷が最も小さい材料であり、CO₂の貯蔵効率も高いので、各方面とのコラボレーションを図るなどして、商品化に早く取組む必要があると思います。

②産地証明とトレーサビリティ

近年、性能や産地偽装問題を中心とする不正ごまかしや改ざんなど、消費者を無視した事件が多発し、製品に対する安全と安心そして企業に対する信用と信頼が大きく揺らいでいます。また、そのことが影響して、企業が倒産に追い込まれるケースは枚挙にいとまがありません。

木材業界においても、合法木材の証明や国産材の証明の制度が確立されてきました。また、世界的には森林の認証制度も普及拡大してきています。

当社では、そのような制度に依存するだけではなく、八女地区の木材組合や森林組合と協力連携して、独自の産地証明システムを開発し、山元から出荷まで徹底した管理を実現し、トレーサビリティが可能な生産体制をとっています。今後は、尚一層わかりやすく、正確な情報を消費者に発信していくことが、木材産業にも求められていくと思います。



山元での産地材確認作業



日刊木材新聞の記事（平成21年1月9日付）

(3) Made in Japan を世界へ

先ほどふれました製品に対する安全と安心、企業に対する信用と信頼を全世界的な観点でみていくと、日本製ほど品質が優良で安全性も高い製品は他にはないと思います。

昨今は特に中国や香港・台湾を中心に、高所得者が価格を度外視して日本製や日本で栽培され捕獲された農水産物を購入しているようです。

今や、Made in Japan は他に類を見ない安全で安心なブランドとして、全世界において信用・信頼を獲得しています。

木材製品についてはどうでしょうか。安くて大量に生産される海外の原材料や製品を輸入することはあっても、持続可能な国産材や加工製品を海外に輸出することはあまり行われていないのが現状です。

日本の豊富な資源である木材、そして日本の技術を駆使して生産される木材加工製品を世界のブランド“Made in Japan”として、積極的に世界へ輸出していくことが可能な時代になってきたと感じています。適切に管理された森林で育った木材や、日本独自の技術を施し安全と安心を備えている日本の工場生産された Made in Japan の木材製品を、海外へ輸出することが、地球温暖化防止や資源の枯渇という地球規模の課題とがあいまって、今まさに現実味をおびてきたと感じています。

特に、地理的にも有利な中国・韓国・東南アジア・ロシアへの輸出には大きな期待が持てるのではないかと思います。

(すみ ひろし：九州木材工業株式会社

代表取締役社長)

レビュー

木材乾燥過程における
マイクロクラック発生挙動の可視化

阪上 宏樹



1. はじめに

木材を乾燥させると材の表面に割れが発生する。表面割れの程度が顕著であれば材の強度に影響するが、多くの場合は外観上の問題である、装飾的価値を著しく低下させるため、歩留まりの悪化を引き起こす。表面割れの発生を抑制するため、最近では表層部にドライン・セットを形成させて表面割れを低減させる高温低湿乾燥法が提案されているが¹⁾、内部割れの発生や、高温による材質劣化の問題が依然として残されている²⁾。

そもそも、何故乾燥割れが発生するのだろうか？一般的には、木材の組織構造に由来する接線方向と放射方向の収縮異方性や材表面と内部に発生する水分傾斜による応力差が原因で割れが発生すると考えられている。特に表面割れは後者の影響が大きく、乾燥処理の違いによって、発生する割れの大きさや数が著しく異なる。Hukkaら³⁾は、乾燥末期の条件が同じであっても、乾燥初期の条件の違いで、割れの発生に最大50%もの影響があると報告しており、初期の乾燥条件の違いが、その後の仕上がりに大きな影響を与える可能性を示唆した。割れに関する報告は、乾燥方法の評価指標の一つとして扱ったものが多く、乾燥速度や水分傾斜、組織構造を考慮して、割れの発生条件や発生部位、その形態を詳細に検討した研究は少なく、不明な点が多い。

乾燥後に残留する割れは、誰が見てもその存在を目視で容易に確認することができる。割れと一口で言っても、その形態は様々である。木口面ならば、放射方向に伸びる割れが最も発生しやすいことで知られているが、放射方向に進展しながらも、成長輪界付近で接線方向へ進展し、再び放射方向に進展する割れなどがある。板目、柃目面ならば、材の表面に多数の割れが発生するものや、一本の大き

な割れが発生するものがある。割れの発現に関しても、一度に割れが発生する場合もあれば、徐々に割れが進行する場合もあり、乾燥条件や組織構造の違いによってその形態は大きく異なる。従って、割れを抑制するためには、割れそのものを知る、つまり、割れの発生メカニズムを解明することが必要である。

割れが進展するためには亀裂の存在が必須である。亀裂には肉眼で観察できるものもあるが、中には顕微鏡でも観察できないような微小なものもある。この亀裂に応力が集中すると割れが進展し、目に見える大きな割れへと成長する。従って、割れの発生を把握するためには微小な亀裂の存在を明らかにする必要がある。

木材を乾燥させると初期の段階で肉眼では観察できないマイクロクラックの存在が確認されている^{4),5),6)}。この乾燥初期に現れるマイクロクラックの発生条件や発生部位、発生形態を明らかにすることは、その後進展するマクロな割れを抑制するための有益な情報となる。

乾燥に伴って発生する割れは組織構造上、結合力の弱い部位で発生すると考えられる。木材を引張り破壊すると、仮道管と仮道管が隣接する部位で進行する割れが電子顕微鏡で詳細に観察されている^{7),8),9),10)}。一方、乾燥によって発生する割れは藤田¹¹⁾によって光学顕微鏡で観察された。ヒノキの50 μ m厚の横断面切片を接線方向に拘束させ、乾燥させて破壊させた結果、放射組織とそれに隣接する仮道管の間、もしくは仮道管同士の間で割れが発生した。その後の電子顕微鏡観察により、破断面の詳細な部位が報告されている¹²⁾。近年になり、Perré¹³⁾によって乾燥に伴う割れが、針葉樹、および広葉樹環孔材・散孔材を対象に、光学顕微鏡で観察されている。その報告

では、木口面に発生する割れは主に放射組織に隣接する部位で発生し、広葉樹環孔材では孔圏部に沿った接線方向の割れも観察されている。

本稿では割れの発生初期である、マイクロクラックの発生から進展して安定するまでの形態変化の一部始終を経時観察するため、温度と相対湿度をコントロールした環境下にて、共焦点レーザー顕微鏡 (CLSM) を用いてブロック試料に発生するマイクロクラックをその場観察した。針葉樹ではスギ、広葉樹散孔材にアカシアハイブリッド、環孔材にセンダンを用い、これらの試料に発生したマイクロクラックの形態変化を報告する。

2. 観察方法

供試材には、スギ (*Cryptomeria japonica* : L=5mm, R=5mm, T=5mm) の飽水材、アカシアハイブリッド (*A. mangium* x *A. auriculiformis* : L=5mm, R=5mm, T=5mm) の生材、センダン (*Melia azedarach* : L=9mm, R=9mm, T=9mm) の生材を使用した。温度、相対湿度がコントロール可能なチャンバー内に設置した CLSM のステージ上にこれらの試料を載せ、乾燥させながら経時的に木口面を観察し、マイクロクラックの発生と進展する様子をその場観察した。乾燥条件はスギでは温度 28°C、相対湿度 12 から 15%、試料表面の乾燥を促進させるため、ファンを用いて直接試料に風を当てた。アカシアハイブリッドでは温度 60°C、相対湿度 5% 以下、センダンでは温度 50°C、相対湿度 5% 以下で乾燥

させた。サンプルの含水率を把握するため、観察用試料とは別に、軸方向に隣接した部位からエンドマッチに作製したサンプルを用意し、同一条件にて乾燥させて経時的に含水率を測定した。CLSM の観察条件は 488nm アルゴンイオンレーザー、Emission Filter:HQ500LP、スキャンスピード 166ips(line per second) とした。乾燥開始後、一定時間毎に画像を取り込み、マイクロクラックが発生し始めたら、1分おきに画像を取得し、進展する様子を経時観察した。

3. 結果

(i) 針葉樹スギ

スギの木口面に発生したマイクロクラックの一連の変化を図1に示す。(a) 飽水試料の表面にはマイクロクラックは確認できなかったが、(b) 乾燥が進むと晩材部の放射組織に隣接した部位でマイクロクラックが発生し、(c) 放射組織に沿って樹皮側・髄側に伸張しながら幅が拡大し、(d) 最大となって停止した。その際、マイクロクラックの樹皮側先端部分は成長輪界を越え、翌年に形成された早材部に達して停止し、髄側先端部分では前年に形成された成長輪界に達することなく、早材部で停止した。その後、(e) マイクロクラックは緩やかに閉じていき、(f) 実験開始から約2時間後には含水率の変化が止まり、マイクロクラックの形態も安定した。観察したマイクロクラックのうち、CLSM で観察できないくらい閉じたものもあった。全ての試料において

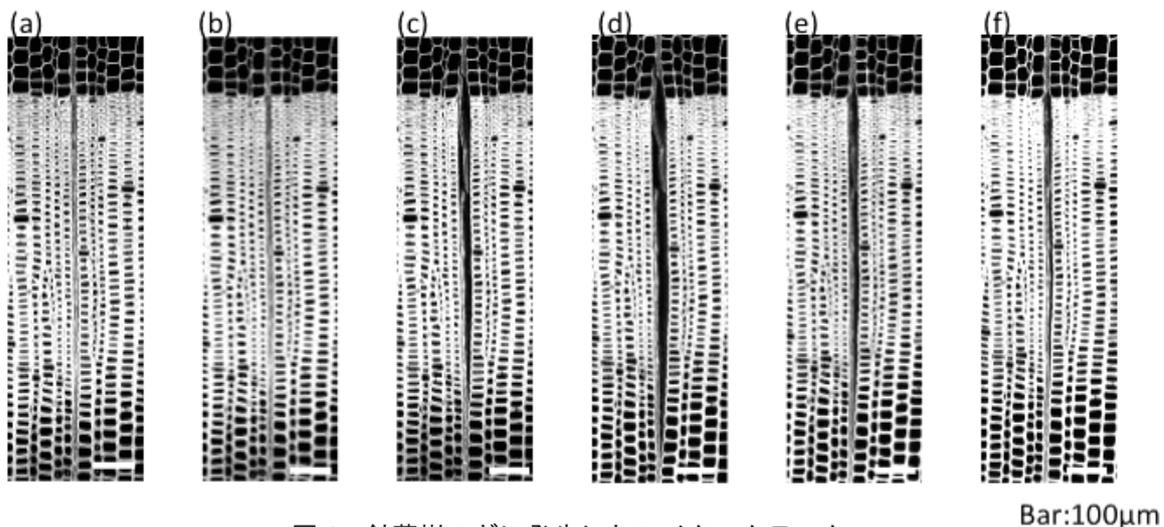


図1 針葉樹スギに発生したマイクロクラック

肉眼ではマイクロクラックの存在を確認することはできなかった。

(ii) 広葉樹環孔材センダン

センダんに発生したマイクロクラックの形態変化を図2に示す。(a)生材状態では全ての試料でマイクロクラックの存在を確認できなかったが、含水率の減少とともに、(b)晩材部の放射組織に隣接した部位、もしくは放射組織内部でマイクロクラックが発生した。その後、マイクロクラックは含水率の減少とともに、(c)髄側・樹皮側に向かって伸張しながら幅が拡大した後、(d)最大となって停止した。その際、マイクロクラックの樹皮側先端部は、翌年に形成された早材部に達することなく、成長輪界で停まるものと、成長輪界まで伸張せず、晩材部で停まるものの2種類が観察された。一方、髄側先端部においては、早材部

まで達しないものと早材部まで伸張していき、孔圏部の道管で停止するものの2種類を観察することができた。その後、(e)マイクロクラックは緩やかに閉じていき、(f)含水率が安定した時点ではスギと同様にCLSMでは観察できないくらいに閉じてしまったものも存在した。

(iii) 広葉樹散孔材アカシアハイブリッド

アカシアハイブリッドに発生したマイクロクラックは、試料面全体に多数発生し、試料表面に対して1から数カ所のみでの発生であったスギやセンダンとは異なった。マイクロクラックが発生し、進展する様子を図3に示す。他の樹種と同様に(a)生材時にはマイクロクラックを確認することができなかったが、(b)乾燥が進むと放射組織に隣接した部位でマイクロクラックが発生し、(c)髄側・樹皮側に伸

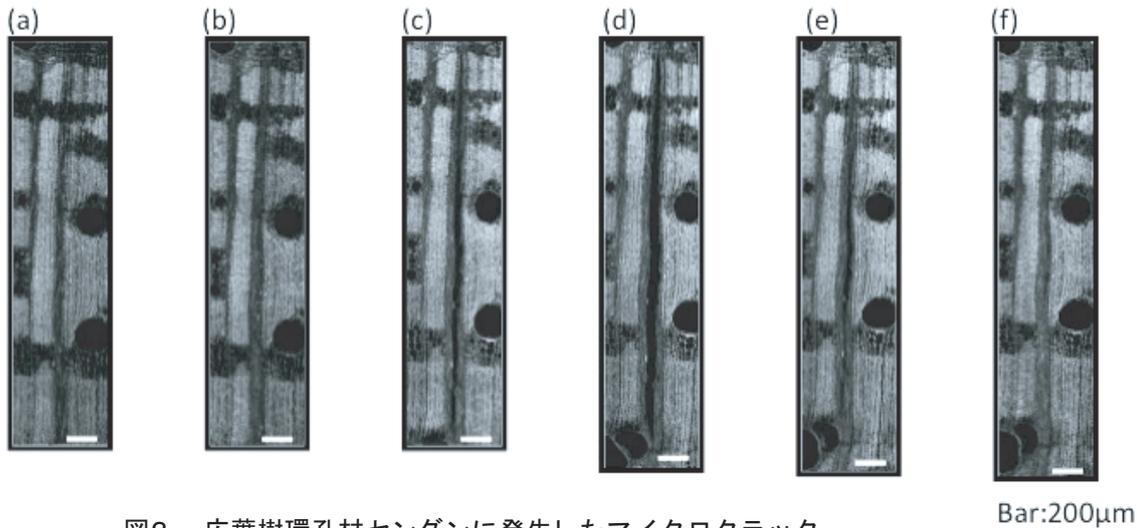


図2 広葉樹環孔材センダんに発生したマイクロクラック

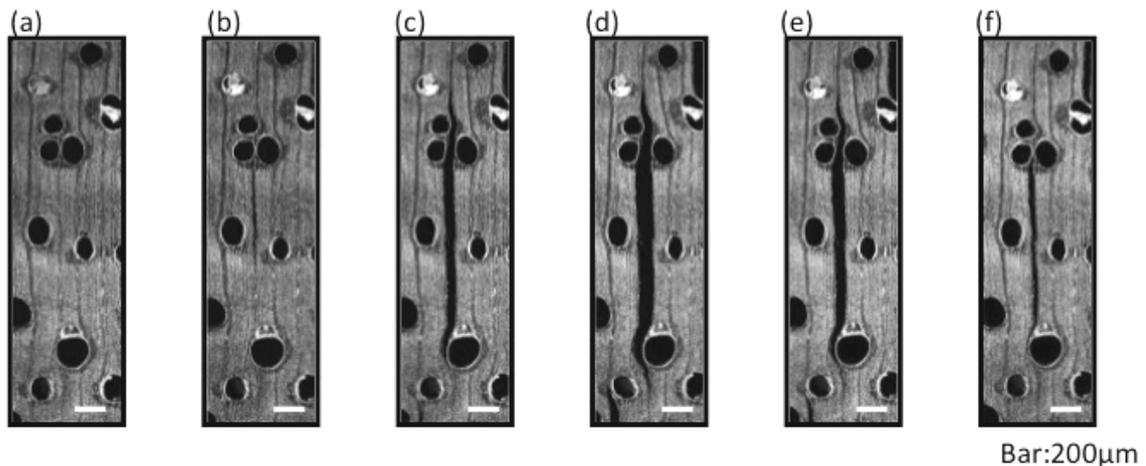


図3 広葉樹散孔材アカシアハイブリッドに発生したマイクロクラック

張しながら幅が拡大した後、(d)最大となって停止した。アカシアハイブリッドのマイクロクラックの先端部分は髓側、樹皮側に関わらず、道管要素に隣接、もしくは近接した部位でその伸張が停止するものと、隣接するマイクロクラックの先端同士が近接して停止するものの2タイプが観察された。その後、含水率の減少とともに(e)マイクロクラックは緩やかに閉じていったが、(f)含水率が安定した時点ではマイクロクラックの先端部分は閉じたが、他の樹種とは異なり、中央部では残留し、GLSMで観察できない程度まで閉じるマイクロクラックはなかった。本実験で使用した全ての試料でマイクロクラックが残留した。

4. まとめ

本研究で使用した試料は一辺10mm以下の小試験片であり、比較的容易に発生させることができる木口面を対象にマイクロクラックを観察した。さらには、スギでは乾燥を促進させるためファンを使用し、アカシアハイブリッドやセンダンでは、60°C程度の温度、かつ、5%以下の相対湿度と、通常の乾燥方法とは異なる条件で乾燥させて割れを発生させている。しかしながら、このマイクロクラックがマイクロクラックの引き金となるため、肉眼で観察可能な割れの発生に大きな影響を与えている。本稿の結果から、樹種、特に組織構造の違いがマイクロクラックの発生に大きな影響を与えていることが明らかとなった。さらにはその場観察を行うことで、マイクロクラックが絶えず変化をすることが明らかとなり、乾燥後の仕上がりの判断では、一度発生した後に閉じるような潜在的な割れを発見することができない上、数や大きさを正確に判断することが難しいということを考慮しなくてはならない。

本研究では、その場観察を導入することで、マイクロクラックの発生とその形態変化の一部始終を可視化することに成功した。今後は、より実用場面に生かせるよう基礎研究を積み重ね、割れの発生メカニズム解明に努めたい。

5. 謝辞

本稿は、九州大学大学院農学研究院松村順司准教授、小田一幸教授、村瀬安英名誉教授の御指導のもと研究を行った博士論文「木材乾燥過程における細胞の収縮およびマイクロクラック発生挙動の解明に関する研究」の一部を取りまとめたものです。この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 吉田孝久, 橋爪丈夫, 藤本登留: 木材工業 55 (8), 357-362 (2000)
- 2) 吉田孝久: 木材工業 61(11), 499-501 (2006)
- 3) Hukka, A., Tarvainen, V.: VTT Julkaisuja 826 (1997)
- 4) Morén, T.J.: Proceedings of 4th International IUFRO Wood Drying Conference, Rotorua, NZ, August, 341-348 (1994)
- 5) Wahl, P., Hanhijärvi, A., Silvennoinen, R.: Opt. Eng. 40(5), 788-792 (2001)
- 6) Hanhijärvi, A., Wahl, P., Räsänen, J., Silvennoinen, R.: Holzforschung 57 (5), 561-565 (2003)
- 7) Debaise, G.R., Porter, A.W., Pentoney, R.E.: Mater. Res. and Stand. 6(10), 493-499 (1966)
- 8) Korán, Z.: Tappi 50(2), 60 - 67 (1967)
- 9) Côté, W.A., Hanna, R.B.: Wood and Fiber Science 15(2), 135-163 (1983)
- 10) Zink, A.G., Pelikane, P.J., Shuler, C.E.: Wood sci. technol. 28(5), 329-338 (1994)
- 11) 藤田晋輔: 木材学会誌 15(3), 99-103 (1969)
- 12) 藤田晋輔, 竹内修二: 木材学会誌 25(1)82-85 (1979)
- 13) Perré, P.: Proceedings of 8th International IUFRO Wood Drying Conference, Brasov, Romania: 11-24 (2003)

(さかがみ ひろき: 九州大学大学院農学研究院)

トピックス**カリフォルニア樹木紀行****内海 泰弘**

昨年米国カリフォルニア州の大学で勉強する機会がありました。その仕事内容はさておき、カリフォルニアにはおもしろい木がいろいろと生えているので、そのご紹介をしたいと思います。カリフォルニア州はアメリカ西部太平洋側に位置し、面積約 420km²と日本の全国土よりも広大な面積を持ちます。海岸沿いは地中海性気候で夏期は非常に乾燥し、内陸に行くときさらに雨が少なくなって乾燥地帯になりますが、近年は灌漑技術のおかげで大規模な農地になっているところもあります。シャパラルとよばれる常緑灌木の疎林からなる乾燥地帯に車を走らせると、忽然と広大な農地や果樹園が現れ、人間の努力のすばらしさとともに、人工的な緑地に違和感を感じるのは緑と雨が豊かな国、日本に生まれたからなのでしょう。全米第二の都市ロサンゼルスは緯度は日本では仙台と同じくらいです。ちなみにロサンゼルスにある映画の街ハリウッドは、アメリカ東海岸で映画を撮っていた人が天候の悪さに嫌気がさしてカリフォルニアを訪れた際、常に天気がよいこの地が撮影の好適地として選んだためだとか。

さて、余談が長くなりましたがカリフォルニアには世界的に有名な木がいくつかあります。それはセコイアメスギ (*Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl) とジャイアントセコイア (*Sequoiadendron giganteum* (Lindl.) J. Buchholz)、そしてブリッスルコーンパイン (*Pinus longaeva* D. K. Bailey) です。それぞれ興味深い特徴がありますのでご紹介していきます。

セコイアメスギは別名セコイアとも呼ばれる世界で最も背が高い木です。樹高は最大で 110m 以上になります。あまりにも背が高すぎるのでこの林の中からは梢端が見えず、その全容がよく把握できないそうです。米国オレゴン州の南部からカリフォルニア州中部に至る海岸から少し離れた年中よく霧がかかる雲霧林に帯状に分布します。なぜこの樹種が世界で一番背の高い樹種なのかを知るには、木の高さを制限している要因を考える必要があります。樹木は生きるために土壌から水を吸い上げ樹冠まで水を運び上げますが、この駆動力を説明するのが凝集力説です。これはまず樹木の内部では根から葉まで連続した水で満たされた維管束ネットワークが存在すると仮定します。そして光合成を行うために葉の気孔が開いて葉内から水が減少し葉内の水ポテンシャルが低下すると、このポテンシャルの低下が水で満たされた維管束を通じて根まで伝わり、土壌から水を引き入れると考えられています。この説が成り立つためには水の管の連続性が個体内で失われないことが必要条件になります。水の分子同士がくっつきあう凝集力はかなり強いので、通常はこの連続性は保たれます。しかし樹高が高くなるにつれ重力によるポテンシャル低下が生じます。1m で約 0.01MPa 低下するので 100m の樹冠では基部と比べて約 1.0MPa (約 10 気圧) も大きなストレスを受けることとなります。このようなポテンシャル差はセコイアメスギを用いた実験でも確かめられており、セコイアメス

ギの樹高はこの限界に近いと考えられています。このようなストレスに耐えるためには周囲の環境は乾燥しにくい湿潤な立地が求められ、この木が大きくなるには海からもたらされる湿気が必要になるのです。カリフォルニアの植物園では普通にみかけますので水さえ十分あれば育てるのは難しくありません。幹の直径は最大で7mに達し、800～2000年は生きると推定されています。属名はアメリカ先住民族チェロキーの指導者であった Sequoyah にちなんで付けられています。生育地のカリフォルニアで先住民族が遭遇した苦難の日々を思うとのんきに良い名だとも言えません。種小名 *sempervirens* は「枯れることのない、永遠」を意味します。成長した木の樹皮は厚さ30cm以上にもなり山火事に耐え、材は赤褐色で耐腐朽性があります。樹皮ないし心材の色からレッドウッド (redwood) とも呼ばれています。

世界最高の木がセコイアメスギだとして世界最大の木はジャイアントセコイアです。セコイアオスギ、セコイアデンドロンという名でも呼ばれます。カリフォルニア州のセコイア国立公園にあるシャーマン将軍の木 (General Sherman) がその中でも最も大きく、樹高84mはセコイアメスギにかないませんが基部の直径は11m、重量は推定で5500トン、樹齢が2200年になります(写真1)。遠く遊歩道沿いから見ると大きさがよくわかりませんが、根元にたって見上げるとその巨大さに圧倒されます。シエラネバダ山脈の西側の標高1500～2000mあたり、夏に乾燥し冬に雪の多い地域に生育します。公園のガイドブックにはジャイアントセコイアの成長のためには光、土、水、空気、そして火が必要であると書いてあります。これはジャイアントセコイアの更新に山火事が欠かせないためです。セコイ



(写真1) ジャイアントセコイア

アメスギは種と萌芽で更新しますが、ジャイアントセコイアは種子でのみ次世代を残します。ジャイアントセコイアの球果は長いもので20年近くも枝にぶら下がり、おもに山火事が起きて球果が乾燥し開いて初めて種子が地上に散布されます。ジャイアントセコイアの樹皮の厚さは90cmにもなるので親木も山火事に耐えることができます。焼き払われてきれいになった林床には光が入り、燃えた植物の灰が肥料になって実生の成長を支えます。ところが近年、公園内の山火事対策が進み林床を焼き払うほどの火災があまり起こらず、次世代の更新が妨げられるようになりました。そのため国立公園では人為的に山火事を起こしてジャイアントセコイアの更新を図る試みが行われています。“giganteum 巨人の、巨大な”と名付けられた世界最大の木はその生存に非常に限定された環境を必要とする、はかない木なのかもしれません。

最後にご紹介するのはブリッスルコーンパインです。カリフォルニア州とネバダ州に生

育するこの木の特徴はなんといっても長生きすることです。カリフォルニア州ホワイトマウンテンには樹齢約 4800 年の木が今でも生きており、地球上で最も寿命の長い個体とされています。樹木限界に近い亜高山帯で気温が低く乾燥するところに生育し、年間の成長期間は約 3 ヶ月間とかなり限られています。まさにぎりぎりのところで生きている感じです。そのため肥大成長は非常にゆっくりで、100 年輪が 3cm 以内に収まるのが普通です。加齢に従い樹皮が部分的に消滅していき、老木になると木部がむき出しになっている部分が増え、わずかな維管束形成層が根と枝をつなげるだけになります(写真 2)。他に高木のほとんど生えない高山にブリッスルコーンパインの各個体がぽつぽつと立っている奇観の前では、多くの人が気の遠くなるような長い年月に思いを馳せることでしょう。この木の材の密度は高く強度があり、菌や昆虫などに耐性があります。そのため枯死したあとも亡骸は長くその地に残存します。年輪年代学では多くの樹木円板サンプルから年輪

幅のデータを集めて標準的な年輪パターンのカタログ(標準年輪曲線)を作り、遺跡の年代の決定や気候変動の解析をおこないますが、ブリッスルコーンパインは寿命が長い上に、過去に枯死した個体からもサンプルが得られるので、現在からはるか 7、8 千年前までの標準年輪曲線が作られています。これを生物遺骸に含まれる炭素の放射性同位体、炭素 14 の崩壊率から年代を推定する放射性炭素年代測定法と組み合わせることで、過去の出来事の年代がより正確に推定されるようになりました。

以上、3 種に絞ってカリフォルニアの樹木を紹介しましたが、これらの樹種がそれぞれ特殊な環境に生きているのは決して偶然ではないでしょう。多様かつ特異な環境が種の多様性を育み、個性的な樹種に生きる場を与えているのだと思います。さて、人間の場合はどうだろうというのは、これから考えてみようと思っています。

(うつみ やすひろ:九州大学大学院農学研究院)



(写真 2) ブリッスルコーンパイン

[編集後記]

木科学情報第16巻1号をお届けします。執行部便りは、琉球大学の金城一彦先生に次回支部大会の案内をいただきました。本文にもありますように、沖縄での大会は10年ぶりとのこと。シンポジウムでは、古材の再利用をテーマに沖縄と北海道の試みが紹介される予定です。九州支部大会で、このような日本をまたにかけたシンポジウムが行われようとは…！皆様、ぜひ多数ご参加いただき、支部を盛り上げてまいりましょう。総説・主張は、この春に九州大学熱帯農学研究センターをご退職されました矢幡久名誉教授に、ケニアでのお仕事をご紹介いただきました。我々支部会員が日ごろ触れることのない内容ですので、大変新鮮で興味深い内容です。恒例となりました（といっても、まだ2回目ですが）「企業の声」は、九州木材工業株式会社の 博社長にご執筆いただきました。現在最もホットなトピックスです。さて、「レビューとして木科学情報に投稿された原稿の中から、とくに優秀なものについては黎明賞が授与されます」と毎号宣伝して、ようやくレビューの投稿がありました。九州大学の阪上宏樹さんです。今後もレビュー原稿は募集しておりますので、皆様、彼に続いてどしどしご投稿ください。トピックスは、九州大学・内海泰弘先生のカリフォルニア紀行です。今後、紀行文も恒例としていきたいと思っています。最近海外に出張された会員の皆様にはぜひご寄稿をお願いします。以上、お忙しい中ご執筆いただいた方々に厚く御礼申し上げます。今後とも皆様の御協力をお願い申し上げます。

(異 大輔)

[各種問い合わせ先]

●支部全般に関わること（総務：堤 祐司）

E-mail: y-tsutsu@agr.kyushu-u.ac.jp Tel : 092-642-4282

●会費、入退会に関わること（会計：松村順司）

E-mail: matumura@agr.kyushu-u.ac.jp Tel : Fax: 092-642-2980

●木科学情報に関わること（編集：異 大輔）

E-mail: tatsumid@agr.kyushu-u.ac.jp Tel : 092-642-2998

●支部ホームページ

<http://rinsan.wood.agr.kyushu-u.ac.jp>

木科学情報 16巻 1号

2009年7月15日発行

編集人 森 田 光 博

発行所 日本木材学会九州支部

発行人 近 藤 隆 一 郎

〒819-0052

福岡市東区箱崎6-10-1

九州大学大学院農学研究院

森林資源科学部門内

Fax : 092-642-3078

※著者以外の方が本誌に掲載された論文・記事等を複写あるいは転載する場合には本誌編集委員会にご連絡ください。

目次

執行部便り

第16回日本木材学会九州支部大会（沖縄）のご案内 ……………金城 一彦 1

総説・主張

ケニア半乾燥地の造林技術開発と水分動態・成長予測 ……………矢幡 久 3

企業の声

低炭素社会ー省エネルギー時代における木材産業 …………… 博 7

レビュー

木材乾燥過程におけるマイクロクラック発生挙動の可視化 ……………阪上 宏樹 10

トピックス

カリフォルニア樹木紀行 ……………内海 泰弘 14

編集後記 ……………17

●「レビュー」原稿募集！●

木科学情報では、会員の皆様からの投稿原稿を募集しています。
投稿された原稿の中から、とくに優秀なものについては黎明賞（論文）の対象
といたします。
奮ってご応募ください。

第16回日本木材学会九州支部大会 (沖縄)のご案内



金城一彦

会員の皆様にはますますご健勝のこととお慶び申し上げます。

さて、第16回木材学会九州支部大会(沖縄)のご案内を申し上げます。沖縄での大会は第6回(1999年)以来10年ぶりの大会です。今回は、交通の利便性を考慮して沖縄県の県庁所在地である那覇市での開催です。那覇市は沖縄本島南部に位置し、国場川と安里川に囲まれた平地に広がる面積39.23km²の都市で、沖縄県の政治・経済・文化の中心地であるとともに人口最大の都市であります。国際通り(奇跡の1マイルとも呼ばれる)は那覇のメインストリートで県庁北口から安里三叉路までの約1マイルで、両脇には観光土産品、沖縄料理店等が軒を連ね、最も活気のある通りであります。また、隣接して那覇の台所である牧志公設市場があり、沖縄のお肉や野菜、パイナップル、マンゴ等のトロピカルフルーツ、カラフルな魚、テビチ、ミミガー等が所狭しと並んでいて、異国情緒を味わうことができます。首里には世界遺産の首里城(写真1)、守礼の門、王家最大の別邸の識名園、王家の墓の玉陵、園比屋武御獄石門、石畳等の文化財があります。会場の近くには福州市と那覇市の交友都市締結を記念して作られた中国式庭園の福州園や波の上ビーチ等もあり大勢の観光客で賑わいを見せています。是非この機会に足を延ばしてください。

大会は11月12日(木)～13日(金)にかけて沖縄ポートホテル(沖縄県那覇市西1-6-1)を会場に開催します。

沖縄県では終戦後台風やシロアリの被害から住宅を守るために鉄筋コンクリートづくりの住宅が増加し、昔ながらの赤瓦の木造住宅は文化財や民家の一部に残っているだけです

(写真2)。戦前は「穴屋」といわれる木造住宅が一般住民の住宅でした。近年では、木造の住宅を取り壊し、コンクリート造りに建て替える傾向にあります。このような中で従来住み慣れてきた木造の住宅を改築、移築あるいは解体された住宅の古材(写真3、4)の再利用を望んでいる方もいます。



写真1 首里城正殿とお庭



写真2 中村家(国指定重要文化財)

18世紀中ごろに建てられた。柱は琉球王府時代に首里の士族の家屋を移したと伝えられている。



写真3 古民家の解体
首里より移築された築100年の民家、南城市安里
(長堂昌次郎氏提唱)



写真4 古民家からの古材

このような状況の中で今回シンポジウム『古材の再利用』を計画し、3名の方に話題を提供していただきます。まず、井上幸一様からは「資源再活用で業界は元気になる」と題して古い民家に利用されている古材を見直し、再利用について紹介していただきます。

新垣裕之様からは「県産材の再利用と文化材」と題して、木材資源の乏しい沖縄県において県産木材がどのように文化財に利用されてきたかを時代の変化とともに紹介していただきます。平井卓郎様には「北海道の古民家再生」と題して北海道の古材利用・古民家再生の現状を紹介していただき、参加者と活発な討論ができればと考えています。

シンポジウムは11月12日(木)の午後2時30分からです。入場は無料ですので多くの方の参加をお待ちしています。

皆様方の多数のご参加を心よりお待ちしております。

めんそれー うちなーんかい

(きんじょう かずひこ:大会運営委員長、琉球大学農学部)

総説・主張

ケニア半乾燥地の造林技術開発と 水分動態・成長予測

矢 幡 久



1. はじめに

東アフリカのケニアは、雨に恵まれる高地は限られ、国土の約8割が乾燥地や半乾燥地が占め土地生産性が低い。人口圧を受け耕地が不足し、半乾燥地の自然林が伐採され、農地に転用されるために森林不足が顕在化している。そこで、ケニア政府は我が国に造林苗木作りの技術協力を要請し、これを受けて我が国はJICAの林業技術協力を1985年から開始した。プロジェクトでは、社会林業の普及活動に重点をおき、国民各層に森林保全の重要性を認識させ、農民には苗木生産法を指導し高い評価を受けてきた。しかし、残念ながら植林事業は乾燥、シロアリ、動物害等の被害を受けて実質的に初期の8年間には失敗に近いものであった。

1994年度からJICAの要請を受けて現地を訪問した。ナイロビより東へ180km下った標高1000mにあるキツイである。ここに2500haのパイロットフォレストを設け、毎年40haの自然林を伐採し植林を行っていたが、植林木がほとんど枯死し、草地化するという最悪の状況にあった。これは、年2回の乾季による乾燥の影響が大きく、しかも、プロジェクト初期には年降水量1,000mm程度の多い雨が記録されていたが、1992年からは雨の多いエルニーニョ年を除くと毎年500mmを下回る少雨傾向が続いていた(図1)。

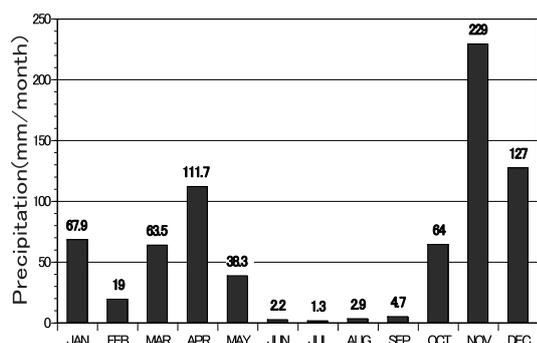


図1 試験地の月別降水量

2. 半乾燥地の植林技術の開発

枯死原因は、主に乾燥によると考えられるが、当時の乾燥に対する対策は不徹底であった。すなわち、一般の森林造成時のように除草は刈払除草を推奨し、しかも土面の乾燥を防ぐために、日陰となる樹木や草を残すように指導していた。しかし、1994年から水分動態に視点を据えて開始した除草試験等の多くの試験を通じて、今日までにこの指導は明らかに不適切であったことが判明した。前プロジェクトから2002年11月までの9年間「ケニア半乾燥地社会林業普及モデル計画」の短期専門家として毎年技術指導と調査研究を実施したが、半乾燥地が決して植林の不適地ではなく、雨水をうまく利用すれば、樹木は驚くほどの成長をすることが明らかになった。灌水をすれば砂漠緑化も容易であるが、途上国において貧しい農民が植林する際に高価な灌漑や灌水の施設を設置することは困難である。そこで、1994年から雨水をできるだけ植栽苗に利用させる工夫が行われた(西林寺、1994)。一つは地表流下水を逃がさないマイクロキャッチメントの作設と、土壌水を消費する草を徹底して除去することである。従来、刈り払い除草が行われていたが、「潔癖除草」と称し根こそぎ除草する中耕除草を導入した。この技術導入は際だった効果をもたらし、初期成長を大幅に向上させ、生存率も90%以上になるほどに向上した(図2)。



図2 *Senna siamea* の成長(植栽9ヶ月目)に及ぼす2種の除草方法の効果(2000年8月)

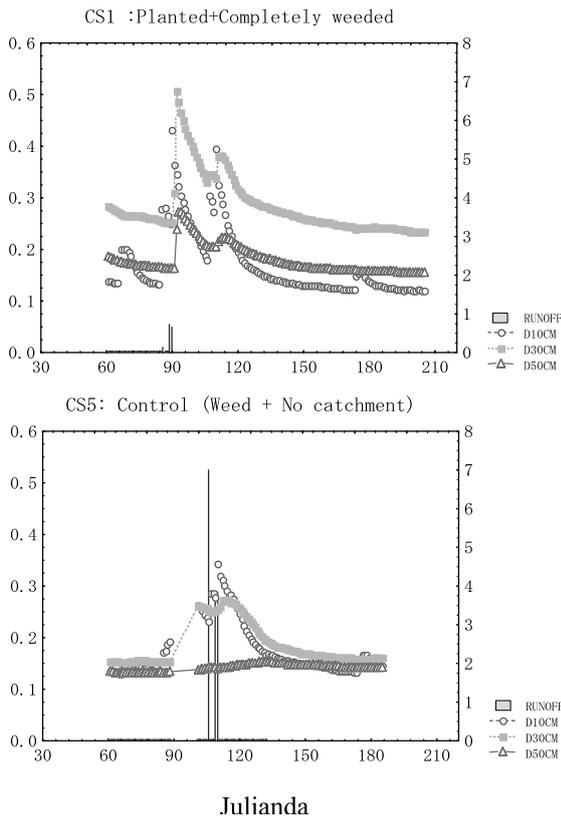


図3 深さ 10,30,50cm の土壌水分率(左軸 m^3/m^3)と地表流下水量(右軸 mm/d)

4. 雨水の地表流・土壌水分及び土砂流失

斜面の土砂流出を防ぐために、一般の植林地では除草法は草を刈り払うにとどめ、潔癖な除草は危険と認識されている。しかし、農民への普及を考えている植林地は傾斜が緩い農地跡であるので、その危険は回避できると考えられる。しかし、その場合でも土壌浸食量やマイクロキャッチメントの効用を把握することが望ましい。

そこで、流水量試験地を設定し、雨水の地表流下量、土壌水分率量と土砂流失量を1年間解析した。試験地は1999年に設置し、2000年から測定を開始した。全面にマイクロキャッチメントを設け、潔癖除草、刈払い除

草の2処理にそれぞれ苗木植栽区と無植栽区の2処理の計4処理を設けた。植栽間隔は $4m \times 4m$ で樹種 *Senna siamea* を1999年11月に植栽した。さらに、対照区として地拵え後にマイクロキャッチメントを設置せず、除草もしない斜面を設けた。各処理区は、斜面長12m、幅4mをトタン板で囲み、斜面下方にトタン板製のトレンチを設けて、処理区内に降った雨水の土壌表面流下量と、土壌流失量を計測した。測定は、大型転倒樹(ICRAF開発品)とデータロガー(キャンベル社製、CR10X)を用いた。土壌水分は、苗木の根元に近い、マイクロキャッチメントの外側に、深さ10cmから90cmまで20cm間隔で測定記録した。

潔癖除草区は、刈払い除草区と比較すれば、土壌流出量は約2倍となっており、潔癖除草区はやはり土壌流失量は大きかった(表1)。しかし、年間の土壌流失量は、0.06mmであった。マイクロキャッチメントを設置せずに、雑草が繁茂した非除草区(対照区)は、潔癖除草区の約6倍以上も土壌流失量が大きかった。この場合でも、年間の土壌流失量は、0.38mmであった。この値は、一般の森林レベルと大差なく危険なほど大きな流失量とはいえない。

地表流下水量は、土壌含水率とともに図3に示した。流下水量は、処理区内では、対照区を除いて大きな差が認められず、降雨によって流下する量は、1mm以下であった。すなわち、降水量が多くても、マイクロキャッチメントによって雨水が捕獲されて、流下量が抑制されていた。

このようにマイクロキャッチメントの設置によって、雨水の地表流下水量が抑制され、地中に浸透することによって、土壌含水率の向上に繋がっていることが、苗木の水分収支に大きく貢献していると考えられる。

表1 各処理区の年間土壌流出量

Treatments	Planted+ Weeding	Planted+ Slashing	Not Planted +Slashing	Not Planted +Weeding	Not Planted Control
Eroded soil ($g/m^2/y$)	56.63	25.35	31.35	60.47	376.63
Eroded soil (mm/y)	0.06	0.03	0.03	0.06	0.38

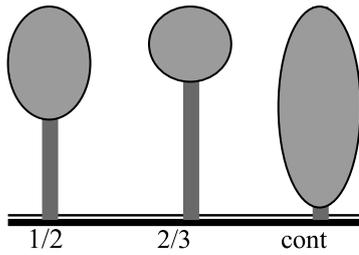


図4 枝打ち処理の高さ

5. 乾燥によるダイバック現象とその抑制

乾燥が厳しい場合には、樹冠上部の幹や枝が枯れ下がるダイバック現象が発生するが、これは木材生産にとって不利である。ダイバック現象を避けるには、予め樹冠葉量を人為的に調整し、水分消費を抑制すれば回避できると予想される。そこで、2年3ヶ月生の *Senna siamea* (平均樹高 4.17m) について、樹冠長の1/2及び2/3の2段階の枝打ちを行い(図4)、4年9ヶ月生の時点で成長への影響を調べた。なお、各プロットは、2行4列(4m間隔8本)で4ブロックを設けた。

その結果、下枝打ちによって、梢端のダイバック長が抑制されることによって、樹高成長が約1m程度も促進されるだけでなく、1/2区では胸高直径も有意に大きくなることが確認された。すなわち、ダイバックを抑制するには、下枝を予め除去することが有効であることが示された(図5)。

6. 土壌水分動態と成長予測

半乾燥地での樹木の生育や枯死にとって、土壌水分は決定的な支配要因となると予想されるが、一方で他の環境要因である土壌養分

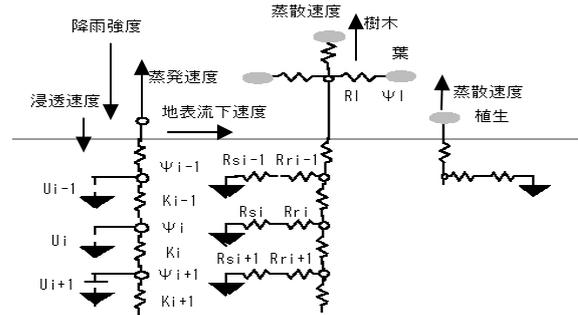


図6 水分動態モデル
光合成、呼吸及び成長モデルと組み合わせて予測

などの化学性や熱帯の強い日射など多くの要因も影響すると考えられるために、逆に水分動態への徹底した検討がされず、他の要因の重みも不明瞭になる。各要因の重みを理解するには、土壌水分予測及びそれに基づく葉の水分状態、光合成、そして成長に関わる一連の生態生理現象をモデル化して、定量的な検討ができることが望ましい。

そこで、水分動態モデルは、Campbell(1985)のシミュレーションモデル(図6)を参考にPerl言語によりプログラムを作成した。試験地毎の日降水量と土壌断面調査(土壌厚さ)及び土性(粒径分布)を参照し、インプットとした。一方、樹木通水抵抗(Kondoh et al., 2006)、根系密度など生理的特性値は樹種共通とし、さらに、赤道直下で気温変化が少なく比較に有利な気候を考慮し、降雨日以外は潜日蒸発散量と日射強度は標準値を利用した。予測は、降水の土壌への浸透速度、地表流下速度、土壌含水率、葉の気孔コンダクタンス、土と葉の水ポテンシャル、気孔コンダクタン

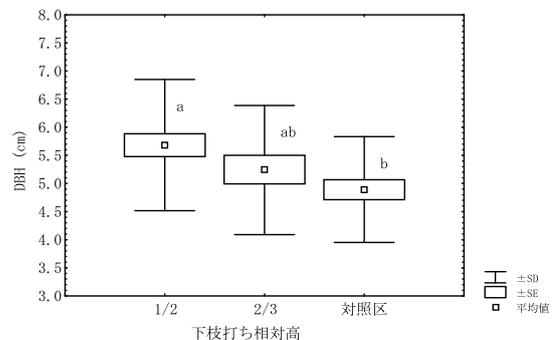
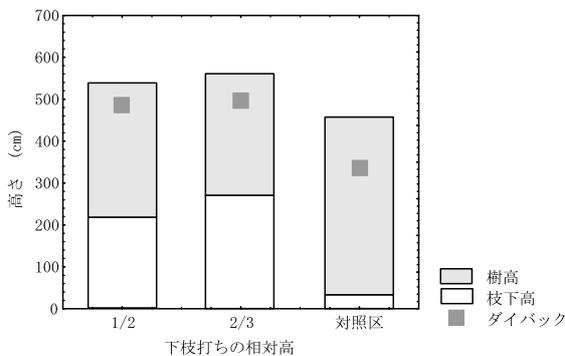


図5 枝打ちの処理区の樹高、枝下高、ダイバック長(ただし梢から下方へ)(左)及び胸高直径(右)測定2001年8月(4年9ヶ月目) 枝打ち1999年2月(2年3ヶ月目)

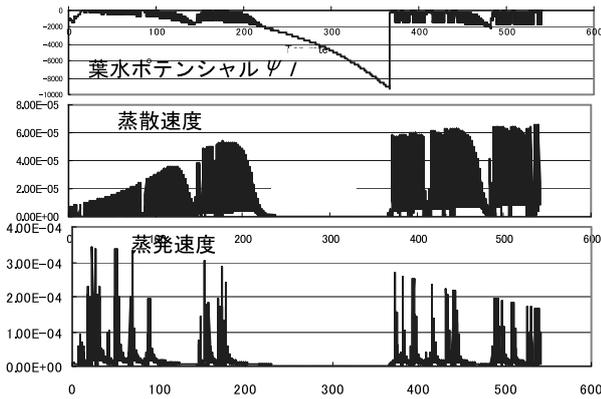


図7 1年6ヶ月間に亘る水分動態の3時間毎の計算結果

ス、蒸散速度などであり、数分～1時間間隔で計算した(図7)。

一方、検証のために、ケニアのキツイ地方に散在する15農家に *Melia volkensii* 及び *Senna siamea* の各12本を2000年11月に植栽し、集約な管理を行うとともに、3ヶ月毎に樹高、根元直径と日降水量を1年半に亘り記録した。樹高成長は雨季には早いですが、乾季になると浅い土壌層の林地(OF-3)では成長が直ちに停止したが、土壌が深い場合(OF-6)は成長が乾季にも継続した(図8)。雨季に入ると再び早い成長を開始した。実測値に対する予測値の適合度は概ね高く、モデルは十分に予測に利用できる可能性が示された。

7. まとめ

導入した技術のおかげで、半乾燥地でも降水量に恵まれる場所では1年半で樹高が6mと驚異的な成長を示し(図9)、材質が優れているために、材価も高いので、大きな期待が寄せられている。

水分動態に基づく成長モデルによって、将来の収穫量も予測が可能となり、農民の植林を促す動機付けにも利用でき、また、研究面では成長を規制する他の環境要因の影響程度を推測するのに有用と思慮される。

今後は、半乾燥地から乾燥地にかけて生育できる耐乾燥性の *Melia volkensii* を選抜育種事業の推進が要望されているので、モデルを通じて解析に貢献できることを期待している。

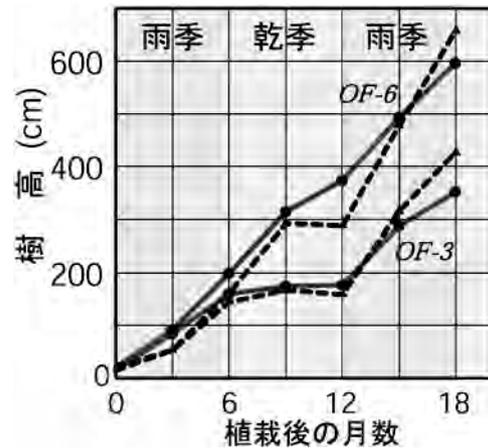


図8 異なる生育環境下における *Melia* の樹高成長の実測値(実線)と水分動態シミュレーションによる予測値(破線)(2箇所を抜粋)



図9 半乾燥地にも拘わらず植栽1年8ヶ月目の *Melia volkensii* の驚異的な成長

引用文献・参考文献

Kigwa, B. K., T. Mihara, S. Auka, H. Yahata: 2001 The effect of weeding methods on the water relation of planted seedlings in ASALs 日本林学会九州支部大会

Kondoh(Tsuji), S., H. Yahata, T. Nakashizuka and M.Kondoh, 2006 Interspecific variation in hydraulic architecture, growth, and drought tolerance of broad-leaved trees in semi-arid regions of Kenya, *Tree Physiology*, 26, 899-903.

Campbell, G. S. 1985 *Soil Physics with Basic, Transport models for soil plant systems*, Elsevier Science Publishers. 150 pp

(やはた ひさし : 九州大学名誉教授)

低炭素社会 —省エネルギー時代における木材産業

博



ひと昔前、少なくとも私が大学を卒業した昭和60年代から平成一桁ごろまでは、子供達の描いた環境問題についてのポスターに“木の切り株が泣いている絵”や“森や山が荒れている絵”が多く見受けられたように、人々の多くは「木を切ることは環境に悪いことだ」という認識を持っていたように思います。

しかし近年、京都議定書の採択により、日本のCO₂削減目標6.5%が国際公約され、そのうち3.8%が適性に管理・整備された森林でのCO₂吸収となったことを契機に温室効果ガスの削減による地球温暖化防止が日本全体そして地球規模で叫ばれるようになりました。つまり日本の山・森林を再生し、間伐材を中心とする国産材をどんどん使っていくことが大切であるという認識がいろんな分野で芽生えてきています。

消費者サイドの国産材需要拡大の応援活動である「木づかい運動」、農林水産省・環境省がすすめる「見える化」、経済産業省のC.F.P（カーボン・フット・プリント）、国土交通省のすすめる長期優良住宅の普及促進、環境NGOの取組みなどをみても「木を使うことは日本の山を再生し、CO₂削減や固定化に貢献するんだ」という認識が国民的に広がってきている証であると感じています。

また林野庁のアンケート調査をみても、“終の棲家はどんな住宅が良いか”との問いには、ほとんどの方が「木の家」に住みたいと答えています。日本人のDNAには木の文化がしっかりと刻まれているように感じてなりません。

現在、木材産業界には順風が吹いています。この風をしっかりととらえ、世の中のニーズや流れにマッチした製品作りが出来るか、その真価が問われる時代に突入しています。ま

た低炭素社会の実現に向け、国産材が積極的に取り入れられていくかどうか、そのひとつの鍵となるのは政治的な決断であると思っています。

例えば、ハイブリット車を購入すると免税になるように、国産材を使った住宅を購入すると免税や減税になるとか、国産材を使った木製サッシを住宅建築部材として購入するとエコポイントがたまるなど、国産材が低炭素社会の中で中心的な役割を果たせるような様々な政策の実行が低炭素社会の実現においてとても必要だと思います。

そのためにも、木材産業に携わる企業は顧客の期待に応えるしっかりとした物づくりを行い、持続可能な国産材を使った製品を活用することの大切さを全木材産業界を挙げて消費者の皆様や子供たちに訴え啓蒙していくことが求められるのではないのでしょうか。

(1)付加価値の高い製品の開発と体制づくり

木材を使っていこうという気運が高まる中、そのことを実需に結び付けていく為には、木材の長所を伸ばし、欠点を補う技術とその商品化が求められています。木材は生き物であり、1本1本1枚1枚性質も性能も違うわけですが、それを技術により補い一定の品質以上に均一化していく努力を積み重ね、顧客のニーズに応えていくことは企業の責務だと思います。腐朽劣化対応はもちろんの事、割れを抑制したり寸法安定性を付加したり、不燃化したりといった製品開発が求められてきています。

当社では木材の欠点である「割れ」「腐れ」を抑制し寸法安定性を付加し、総合的な耐久性をレベルアップした保存処理材木“エコアコールウッド”を九州大学農学部 樋口光夫

名誉教授の基礎研究を基に同教授が組織されました産・管・学（九州木材工業株式会社・福岡県工業技術センターインテリア研究所・九州大学農学部樋口光夫教授）の共同研究により実用化し、現在国産材の杉・桧に保存処理したエコアコールウッドを全国に販売しております。



エコアコールウッド注入管設備



(施工例) 愛知万博ガスパビリオン

また、エコアコールウッドに不燃処理を施した製品は平成20年1月17日に国土交通省より準不燃認定を取得し、現在その生産体制の確立に向け準備を行っています。また、顧客のニーズにしっかりと応え、品質の高い製品を安定して生産していく為に平成16年にISO9001・2008を本社・エコアコール部門で取得しております。

いずれにしても、住宅・建築土木分野をはじめ、木材の利用がまだまだ低位な分野での需要を高めていく為にも、木材の欠点を克服し、機能的にもデザイン性も優れた木材製品の供給とその体制作りがこれからの木材産業にとって大切だと考えています。

(2) 持続可能な国産材を活用した安全で安心な製品づくり

① 持続可能な国産材を活用した製品づくり

低炭素社会の実現に向けては大量生産、大量消費の社会とは異なり、CO₂の削減や固定化など地球環境を考えた社会づくりにむけた国民的な運動と理解が大切だと思います。そのためには、日本の国土保全のことも含め各産業界が利害関係を超越して、国産材の活用を考えていく必要があると思います。その中でも質・量ともに国産材の活用が期待できるものに、住宅建築用の材料や建設土木資材があると思います。長期優良住宅の建築材料としても土台や構造材、外壁材、内装材、ボードや合板、下地材などあらゆる箇所に国産材の利用の可能性が十分に認められますし、子供達の体や精神にも優しく、インフルエンザ等の予防や精神的な安定としてもその効果が確認されていますので、学校の校舎の建築資材や内装材としても物凄く大きな潜在的な需要があると思います。



当社敷地内に設置している木製ガードレール
(エコアコールウッド杉を使用)

また、土木資材としてはアメリカやオーストラリアなどで現在も多量に使用されています。木製ガードレールや遮音壁としての活用があります。

いずれにしても、持続可能な国産材を使用した材料や資材は環境負荷が最も小さい材料であり、CO₂の貯蔵効率も高いので、各方面とのコラボレーションを図るなどして、商品化に早く取組む必要があると思います。

②産地証明とトレーサビリティ

近年、性能や産地偽装問題を中心とする不正ごまかしや改ざんなど、消費者を無視した事件が多発し、製品に対する安全と安心そして企業に対する信用と信頼が大きく揺らいでいます。また、そのことが影響して、企業が倒産に追い込まれるケースは枚挙にいとまがありません。

木材業界においても、合法木材の証明や国産材の証明の制度が確立されてきました。また、世界的には森林の認証制度も普及拡大してきています。

当社では、そのような制度に依存するだけではなく、八女地区の木材組合や森林組合と協力連携して、独自の産地証明システムを開発し、山元から出荷まで徹底した管理を実現し、トレーサビリティが可能な生産体制をとっています。今後は、尚一層わかりやすく、正確な情報を消費者に発信していくことが、木材産業にも求められていくと思います。



山元での産地材確認作業



日刊木材新聞の記事（平成21年1月9日付）

(3) Made in Japan を世界へ

先ほどふれました製品に対する安全と安心、企業に対する信用と信頼を全世界的な観点でみていくと、日本製ほど品質が優良で安全性も高い製品は他にはないと思います。

昨今は特に中国や香港・台湾を中心に、高所得者が価格を度外視して日本製や日本で栽培され捕獲された農水産物を購入しているようです。

今や、Made in Japan は他に類を見ない安全で安心なブランドとして、全世界において信用・信頼を獲得しています。

木材製品についてはどうでしょうか。安くて大量に生産される海外の原材料や製品を輸入することはあっても、持続可能な国産材や加工製品を海外に輸出することはあまり行われていないのが現状です。

日本の豊富な資源である木材、そして日本の技術を駆使して生産される木材加工製品を世界のブランド“Made in Japan”として、積極的に世界へ輸出していくことが可能な時代になってきたと感じています。適切に管理された森林で育った木材や、日本独自の技術を施し安全と安心を備えている日本の工場生産された Made in Japan の木材製品を、海外へ輸出することが、地球温暖化防止や資源の枯渇という地球規模の課題とがあいまって、今まさに現実味をおびてきたと感じています。

特に、地理的にも有利な中国・韓国・東南アジア・ロシアへの輸出には大きな期待が持てるのではないかと思います。

(すみ ひろし：九州木材工業株式会社

代表取締役社長)

レビュー

木材乾燥過程における マイクロクラック発生挙動の可視化

阪上 宏樹



1. はじめに

木材を乾燥させると材の表面に割れが発生する。表面割れの程度が顕著であれば材の強度に影響するが、多くの場合は外観上の問題である、装飾的価値を著しく低下させるため、歩留まりの悪化を引き起こす。表面割れの発生を抑制するため、最近では表層部にドライン・セットを形成させて表面割れを低減させる高温低湿乾燥法が提案されているが¹⁾、内部割れの発生や、高温による材質劣化の問題が依然として残されている²⁾。

そもそも、何故乾燥割れが発生するのだろうか？一般的には、木材の組織構造に由来する接線方向と放射方向の収縮異方性や材表面と内部に発生する水分傾斜による応力差が原因で割れが発生すると考えられている。特に表面割れは後者の影響が大きく、乾燥処理の違いによって、発生する割れの大きさや数が著しく異なる。Hukkaら³⁾は、乾燥末期の条件が同じであっても、乾燥初期の条件の違いで、割れの発生に最大50%もの影響があると報告しており、初期の乾燥条件の違いが、その後の仕上がりに大きな影響を与える可能性を示唆した。割れに関する報告は、乾燥方法の評価指標の一つとして扱ったものが多く、乾燥速度や水分傾斜、組織構造を考慮して、割れの発生条件や発生部位、その形態を詳細に検討した研究は少なく、不明な点が多い。

乾燥後に残留する割れは、誰が見てもその存在を目視で容易に確認することができる。割れと一口で言っても、その形態は様々である。木口面ならば、放射方向に伸びる割れが最も発生しやすいことで知られているが、放射方向に進展しながらも、成長輪界付近で接線方向へ進展し、再び放射方向に進展する割れなどがある。板目、柃目面ならば、材の表面に多数の割れが発生するものや、一本の大き

な割れが発生するものがある。割れの発現に関しても、一度に割れが発生する場合もあれば、徐々に割れが進行する場合もあり、乾燥条件や組織構造の違いによってその形態は大きく異なる。従って、割れを抑制するためには、割れそのものを知る、つまり、割れの発生メカニズムを解明することが必要である。

割れが進展するためには亀裂の存在が必須である。亀裂には肉眼で観察できるものもあるが、中には顕微鏡でも観察できないような微小なものもある。この亀裂に応力が集中すると割れが進展し、目に見える大きな割れへと成長する。従って、割れの発生を把握するためには微小な亀裂の存在を明らかにする必要がある。

木材を乾燥させると初期の段階で肉眼では観察できないマイクロクラックの存在が確認されている^{4),5),6)}。この乾燥初期に現れるマイクロクラックの発生条件や発生部位、発生形態を明らかにすることは、その後進展するマクロな割れを抑制するための有益な情報となる。

乾燥に伴って発生する割れは組織構造上、結合力の弱い部位で発生すると考えられる。木材を引張り破壊すると、仮道管と仮道管が隣接する部位で進行する割れが電子顕微鏡で詳細に観察されている^{7),8),9),10)}。一方、乾燥によって発生する割れは藤田¹¹⁾によって光学顕微鏡で観察された。ヒノキの50 μ m厚の横断面切片を接線方向に拘束させ、乾燥させて破壊させた結果、放射組織とそれに隣接する仮道管の間、もしくは仮道管同士の間で割れが発生した。その後の電子顕微鏡観察により、破断面の詳細な部位が報告されている¹²⁾。近年になり、Perré¹³⁾によって乾燥に伴う割れが、針葉樹、および広葉樹環孔材・散孔材を対象に、光学顕微鏡で観察されている。その報告

では、木口面に発生する割れは主に放射組織に隣接する部位で発生し、広葉樹環孔材では孔圏部に沿った接線方向の割れも観察されている。

本稿では割れの発生初期である、マイクロクラックの発生から進展して安定するまでの形態変化の一部始終を経時観察するため、温度と相対湿度をコントロールした環境下にて、共焦点レーザー顕微鏡 (CLSM) を用いてブロック試料に発生するマイクロクラックをその場観察した。針葉樹ではスギ、広葉樹散孔材にアカシアハイブリッド、環孔材にセンダンを用い、これらの試料に発生したマイクロクラックの形態変化を報告する。

2. 観察方法

供試材には、スギ (*Cryptomeria japonica* : L=5mm, R=5mm, T=5mm) の飽水材、アカシアハイブリッド (*A. mangium* x *A. auriculiformis* : L=5mm, R=5mm, T=5mm) の生材、センダン (*Melia azedarach* : L=9mm, R=9mm, T=9mm) の生材を使用した。温度、相対湿度がコントロール可能なチャンバー内に設置した CLSM のステージ上にこれらの試料を載せ、乾燥させながら経時的に木口面を観察し、マイクロクラックの発生と進展する様子をその場観察した。乾燥条件はスギでは温度 28°C、相対湿度 12 から 15%、試料表面の乾燥を促進させるため、ファンを用いて直接試料に風を当てた。アカシアハイブリッドでは温度 60°C、相対湿度 5% 以下、センダンでは温度 50°C、相対湿度 5% 以下で乾燥

させた。サンプルの含水率を把握するため、観察用試料とは別に、軸方向に隣接した部位からエンドマッチに作製したサンプルを用意し、同一条件にて乾燥させて経時的に含水率を測定した。CLSM の観察条件は 488nm アルゴンイオンレーザー、Emission Filter:HQ500LP、スキャンスピード 166ips(line per second) とした。乾燥開始後、一定時間毎に画像を取り込み、マイクロクラックが発生し始めたら、1分おきに画像を取得し、進展する様子を経時観察した。

3. 結果

(i) 針葉樹スギ

スギの木口面に発生したマイクロクラックの一連の変化を図1に示す。(a) 飽水試料の表面にはマイクロクラックは確認できなかったが、(b) 乾燥が進むと晩材部の放射組織に隣接した部位でマイクロクラックが発生し、(c) 放射組織に沿って樹皮側・髄側に伸張しながら幅が拡大し、(d) 最大となって停止した。その際、マイクロクラックの樹皮側先端部分は成長輪界を越え、翌年に形成された早材部に達して停止し、髄側先端部分では前年に形成された成長輪界に達することなく、早材部で停止した。その後、(e) マイクロクラックは緩やかに閉じていき、(f) 実験開始から約2時間後には含水率の変化が止まり、マイクロクラックの形態も安定した。観察したマイクロクラックのうち、CLSM で観察できないくらい閉じたものもあった。全ての試料において

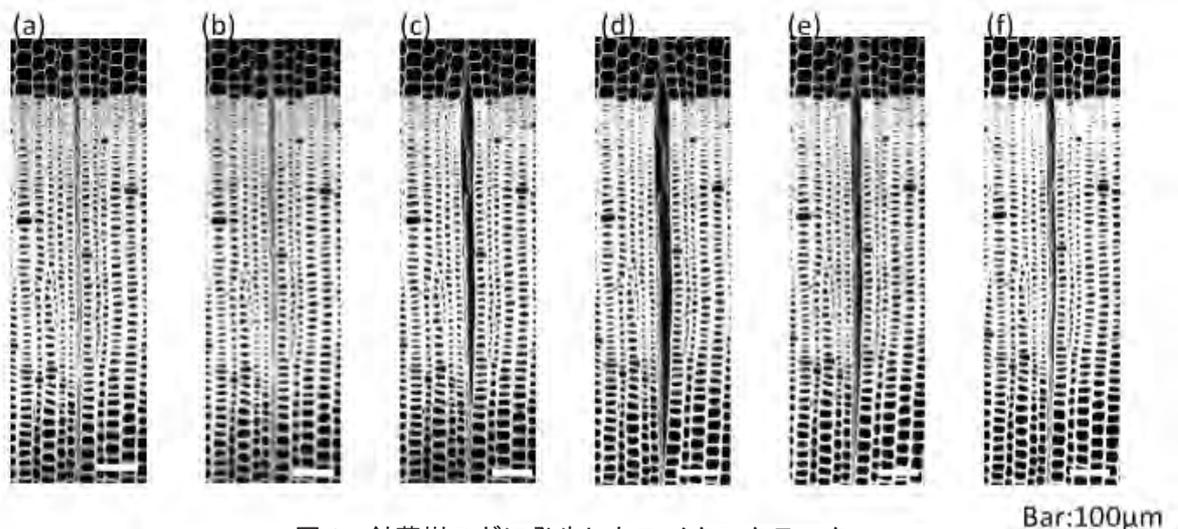


図1 針葉樹スギに発生したマイクロクラック

肉眼ではマイクロクラックの存在を確認することはできなかった。

(ii) 広葉樹環孔材センダン

センダんに発生したマイクロクラックの形態変化を図2に示す。(a)生材状態では全ての試料でマイクロクラックの存在を確認できなかったが、含水率の減少とともに、(b)晩材部の放射組織に隣接した部位、もしくは放射組織内部でマイクロクラックが発生した。その後、マイクロクラックは含水率の減少とともに、(c)髄側・樹皮側に向かって伸張しながら幅が拡大した後、(d)最大となって停止した。その際、マイクロクラックの樹皮側先端部は、翌年に形成された早材部に達することなく、成長輪界で停まるものと、成長輪界まで伸張せず、晩材部で停まるものの2種類が観察された。一方、髄側先端部においては、早材部

まで達しないものと早材部まで伸張していき、孔圏部の道管で停止するものの2種類を観察することができた。その後、(e)マイクロクラックは緩やかに閉じていき、(f)含水率が安定した時点ではスギと同様にCLSMでは観察できないくらいに閉じてしまったものも存在した。

(iii) 広葉樹散孔材アカシアハイブリッド

アカシアハイブリッドに発生したマイクロクラックは、試料面全体に多数発生し、試料表面に対して1から数カ所のみが発生であったスギやセンダンとは異なった。マイクロクラックが発生し、進展する様子を図3に示す。他の樹種と同様に(a)生材時にはマイクロクラックを確認することができなかったが、(b)乾燥が進むと放射組織に隣接した部位でマイクロクラックが発生し、(c)髄側・樹皮側に伸

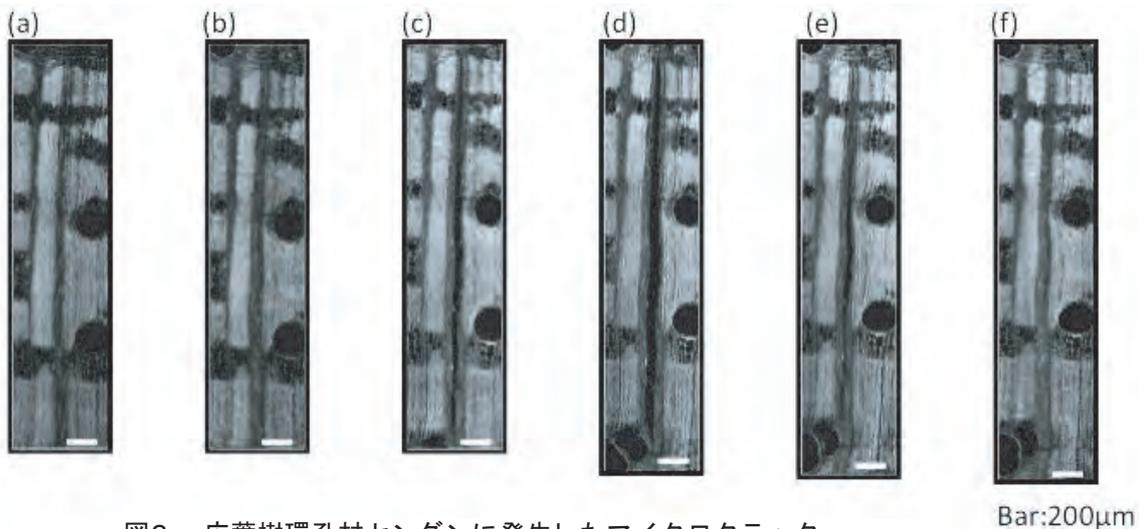


図2 広葉樹環孔材センダんに発生したマイクロクラック

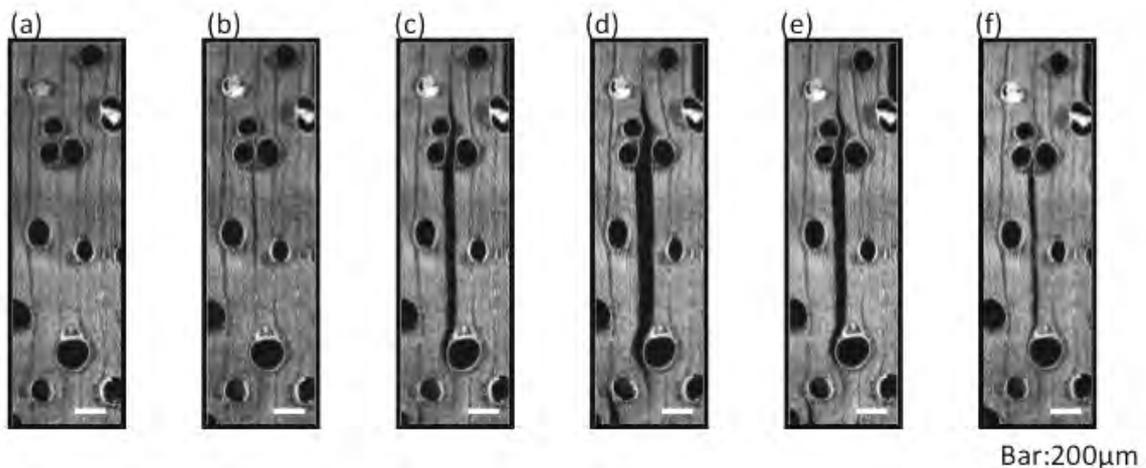


図3 広葉樹散孔材アカシアハイブリッドに発生したマイクロクラック

張しながら幅が拡大した後、(d) 最大となって停止した。アカシアハイブリッドのマイクロクラックの先端部分は髓側、樹皮側に関わらず、道管要素に隣接、もしくは近接した部位でその伸張が停止するものと、隣接するマイクロクラックの先端同士が近接して停止するものの2タイプが観察された。その後、含水率の減少とともに(e) マイクロクラックは緩やかに閉じていったが、(f) 含水率が安定した時点ではマイクロクラックの先端部分は閉じたが、他の樹種とは異なり、中央部では残留し、GLSMで観察できない程度まで閉じるマイクロクラックはなかった。本実験で使用した全ての試料でマイクロクラックが残留した。

4. まとめ

本研究で使用した試料は一辺 10mm 以下の小試験片であり、比較的容易に発生させることができる木口面を対象にマイクロクラックを観察した。さらには、スギでは乾燥を促進させるためファンを使用し、アカシアハイブリッドやセンダンでは、60°C 程度の温度、かつ、5% 以下の相対湿度と、通常の乾燥方法とは異なる条件で乾燥させて割れを発生させている。しかしながら、このマイクロクラックがマクロクラックの引き金となるため、肉眼で観察可能な割れの発生に大きな影響を与えている。本稿の結果から、樹種、特に組織構造の違いがマイクロクラックの発生に大きな影響を与えていることが明らかとなった。さらにはその場観察を行うことで、マイクロクラックが絶えず変化をすることが明らかとなり、乾燥後の仕上がりの判断では、一度発生した後に閉じるような潜在的な割れを発見することができない上、数や大きさを正確に判断することが難しいということを考慮しなくてはならない。

本研究では、その場観察を導入することで、マイクロクラックの発生とその形態変化の一部始終を可視化することに成功した。今後は、より実用場面に生かせるよう基礎研究を積み重ね、割れの発生メカニズム解明に努めたい。

5. 謝辞

本稿は、九州大学大学院農学研究院松村順司准教授、小田一幸教授、村瀬安英名誉教授の御指導のもと研究を行った博士論文「木材乾燥過程における細胞の収縮およびマイクロクラック発生挙動の解明に関する研究」の一部を取りまとめたものです。この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 吉田孝久, 橋爪丈夫, 藤本登留: 木材工業 55 (8), 357-362 (2000)
- 2) 吉田孝久: 木材工業 61(11), 499-501 (2006)
- 3) Hukka, A., Tarvainen, V.: VTT Julkaisuja 826 (1997)
- 4) Morén, T.J.: Proceedings of 4th International IUFRO Wood Drying Conference, Rotorua, NZ, August, 341-348 (1994)
- 5) Wahl, P., Hanhijärvi, A., Silvennoinen, R.: Opt. Eng. 40(5), 788-792 (2001)
- 6) Hanhijärvi, A., Wahl, P., Räsänen, J., Silvennoinen, R.: Holzforschung 57 (5), 561-565 (2003)
- 7) Debaise, G.R., Porter, A.W., Pentoney, R.E.: Mater. Res. and Stand. 6(10), 493-499 (1966)
- 8) Korán, Z.: Tappi 50(2), 60 - 67 (1967)
- 9) Côté, W.A., Hanna, R.B.: Wood and Fiber Science 15(2), 135-163 (1983)
- 10) Zink, A.G., Pelikane, P.J., Shuler, C.E.: Wood sci. technol. 28(5), 329-338 (1994)
- 11) 藤田晋輔: 木材学会誌 15(3), 99-103 (1969)
- 12) 藤田晋輔, 竹内修二: 木材学会誌 25(1)82-85 (1979)
- 13) Perré, P.: Proceedings of 8th International IUFRO Wood Drying Conference, Brasov, Romania: 11-24 (2003)

(さかがみ ひろき: 九州大学大学院農学研究院)

トピックス

カリフォルニア樹木紀行

内海 泰弘



昨年米国カリフォルニア州の大学で勉強する機会がありました。その仕事内容はさておき、カリフォルニアにはおもしろい木がいろいろと生えているので、そのご紹介をしたいと思います。カリフォルニア州はアメリカ西部太平洋側に位置し、面積約 420km²と日本の全国土よりも広大な面積を持ちます。海岸沿いは地中海性気候で夏期は非常に乾燥し、内陸に行くときさらに雨が少なくなって乾燥地帯になりますが、近年は灌漑技術のおかげで大規模な農地になっているところもあります。シャパラルとよばれる常緑灌木の疎林からなる乾燥地帯に車を走らせると、忽然と広大な農地や果樹園が現れ、人間の努力のすばらしさとともに、人工的な緑地に違和感を感じるのは緑と雨が豊かな国、日本に生まれたからなのでしょう。全米第二の都市ロサンゼルスは緯度は日本では仙台と同じくらいです。ちなみにロサンゼルスにある映画の街ハリウッドは、アメリカ東海岸で映画を撮っていた人が天候の悪さに嫌気がさしてカリフォルニアを訪れた際、常に天気がよいこの地が撮影の好適地として選んだためだとか。

さて、余談が長くなりましたがカリフォルニアには世界的に有名な木がいくつかあります。それはセコイアメスギ (*Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl.) とジャイアントセコイア (*Sequoiadendron giganteum* (Lindl.) J. Buchholz)、そしてブリッスルコーンパイン (*Pinus longaeva* D. K. Bailey) です。それぞれ興味深い特徴がありますのでご紹介していきます。

セコイアメスギは別名セコイアとも呼ばれる世界で最も背が高い木です。樹高は最大で 110m 以上になります。あまりにも背が高すぎるのでこの林の中からは梢端が見えず、その全容がよく把握できないそうです。米国オレゴン州の南部からカリフォルニア州中部に至る海岸から少し離れた年中よく霧がかかる雲霧林に帯状に分布します。なぜこの樹種が世界で一番背の高い樹種なのかを知るには、木の高さを制限している要因を考える必要があります。樹木は生きるために土壌から水を吸い上げ樹冠まで水を運び上げますが、この駆動力を説明するのが凝集力説です。これはまず樹木の内部では根から葉まで連続した水で満たされた維管束ネットワークが存在すると仮定します。そして光合成を行うために葉の気孔が開いて葉内から水が減少し葉内の水ポテンシャルが低下すると、このポテンシャルの低下が水で満たされた維管束を通じて根まで伝わり、土壌から水を引き入れると考えられています。この説が成り立つためには水の管の連続性が個体内で失われないことが必要条件になります。水の分子同士がくっつきあう凝集力はかなり強いので、通常はこの連続性は保たれます。しかし樹高が高くなるにつれ重力によるポテンシャル低下が生じます。1m で約 0.01MPa 低下するので 100m の樹冠では基部と比べて約 1.0MPa (約 10 気圧) も大きなストレスを受けることとなります。このようなポテンシャル差はセコイアメスギを用いた実験でも確かめられており、セコイアメス

ギの樹高はこの限界に近いと考えられています。このようなストレスに耐えるためには周囲の環境は乾燥しにくい湿潤な立地が求められ、この木が大きくなるには海からもたらされる湿気が必要になるのです。カリフォルニアの植物園では普通にみかけますので水さえ十分あれば育てるのは難しくありません。幹の直径は最大で7mに達し、800～2000年は生きると推定されています。属名はアメリカ先住民族チェロキーの指導者であった Sequoyah にちなんで付けられています。生育地のカリフォルニアで先住民族が遭遇した苦難の日々を思うとのんきに良い名だとも言えません。種小名 *sempervirens* は「枯れることのない、永遠」を意味します。成長した木の樹皮は厚さ30cm以上にもなり山火事に耐え、材は赤褐色で耐腐朽性があります。樹皮ないし心材の色からレッドウッド (redwood) とも呼ばれています。

世界最高の木がセコイアメスギだとして世界最大の木はジャイアントセコイアです。セコイアオスギ、セコイアデンドロンという名でも呼ばれます。カリフォルニア州のセコイア国立公園にあるシャーマン将軍の木 (General Sherman) がその中でも最も大きく、樹高84mはセコイアメスギにかないませんが基部の直径は11m、重量は推定で5500トン、樹齢が2200年になります(写真1)。遠く遊歩道沿いから見ると大きさがよくわかりませんが、根元にたって見上げるとその巨大さに圧倒されます。シエラネバダ山脈の西側の標高1500～2000mあたり、夏に乾燥し冬に雪の多い地域に生育します。公園のガイドブックにはジャイアントセコイアの成長のためには光、土、水、空気、そして火が必要であると書いてあります。これはジャイアントセコイアの更新に山火事が欠かせないためです。セコイ



(写真1) ジャイアントセコイア

アメスギは種と萌芽で更新しますが、ジャイアントセコイアは種子でのみ次世代を残します。ジャイアントセコイアの球果は長いもので20年近くも枝にぶら下がり、おもに山火事が起きて球果が乾燥し開いて初めて種子が地上に散布されます。ジャイアントセコイアの樹皮の厚さは90cmにもなるので親木も山火事に耐えることができます。焼き払われてきれいになった林床には光が入り、燃えた植物の灰が肥料になって実生の成長を支えます。ところが近年、公園内の山火事対策が進み林床を焼き払うほどの火災があまり起こらず、次世代の更新が妨げられるようになりました。そのため国立公園では人為的に山火事を起こしてジャイアントセコイアの更新を図る試みが行われています。“giganteum 巨人の、巨大な”と名付けられた世界最大の木はその生存に非常に限定された環境を必要とする、はかない木なのかもしれません。

最後にご紹介するのはブリッスルコーンパインです。カリフォルニア州とネバダ州に生

育するこの木の特徴はなんといっても長生きすることです。カリフォルニア州ホワイトマウンテンには樹齢約 4800 年の木が今でも生きており、地球上で最も寿命の長い個体と考えられています。樹木限界に近い亜高山帯で気温が低く乾燥するところに生育し、年間の成長期間は約 3 ヶ月間とかなり限られています。まさにぎりぎりのところで生きている感じです。そのため肥大成長は非常にゆっくりで、100 年輪が 3cm 以内に収まるのが普通です。加齢に従い樹皮が部分的に消滅していき、老木になると木部がむき出しになっている部分が増え、わずかな維管束形成層が根と枝をつなげるだけになります(写真 2)。他に高木のほとんど生えない高山にブリッスルコーンパインの各個体がぽつぽつと立っている奇観の前では、多くの人が気の遠くなるような長い年月に思いを馳せることでしょう。この木の材の密度は高く強度があり、菌や昆虫などに耐性があります。そのため枯死したあとも亡骸は長くその地に残存します。年輪年代学では多くの樹木円板サンプルから年輪

幅のデータを集めて標準的な年輪パターンのカタログ(標準年輪曲線)を作り、遺跡の年代の決定や気候変動の解析をおこないますが、ブリッスルコーンパインは寿命が長い上に、過去に枯死した個体からもサンプルが得られるので、現在からはるか 7、8 千年前までの標準年輪曲線が作られています。これを生物遺骸に含まれる炭素の放射性同位体、炭素 14 の崩壊率から年代を推定する放射性炭素年代測定法と組み合わせることで、過去の出来事の年代がより正確に推定されるようになりました。

以上、3 種に絞ってカリフォルニアの樹木を紹介しましたが、これらの樹種がそれぞれ特殊な環境に生きているのは決して偶然ではないでしょう。多様かつ特異な環境が種の多様性を育み、個性的な樹種に生きる場を与えているのだと思います。さて、人間の場合はどうだろうというのは、これから考えてみようと思っています。

(うつみ やすひろ:九州大学大学院農学研究院)



(写真 2) ブリッスルコーンパイン

[編集後記]

木科学情報第16巻1号をお届けします。執行部便りは、琉球大学の金城一彦先生に次回支部大会の案内をいただきました。本文にもありますように、沖縄での大会は10年ぶりとのこと。シンポジウムでは、古材の再利用をテーマに沖縄と北海道の試みが紹介される予定です。九州支部大会で、このような日本をまたにかけたシンポジウムが行われようとは…！皆様、ぜひ多数ご参加いただき、支部を盛り上げてまいりましょう。総説・主張は、この春に九州大学熱帯農学研究センターをご退職されました矢幡久名誉教授に、ケニアでのお仕事をご紹介いただきました。我々支部会員が日ごろ触れることのない内容ですので、大変新鮮で興味深い内容です。恒例となりました（といっても、まだ2回目ですが）「企業の声」は、九州木材工業株式会社の 博社長にご執筆いただきました。現在最もホットなトピックスです。さて、「レビューとして木科学情報に投稿された原稿の中から、とくに優秀なものについては黎明賞が授与されます」と毎号宣伝して、ようやくレビューの投稿がありました。九州大学の阪上宏樹さんです。今後もレビュー原稿は募集しておりますので、皆様、彼に続いてどしどしご投稿ください。トピックスは、九州大学・内海泰弘先生のカリフォルニア紀行です。今後、紀行文も恒例としていきたいと思っています。最近海外に出張された会員の皆様にはぜひご寄稿をお願いします。以上、お忙しい中ご執筆いただいた方々に厚く御礼申し上げます。今後とも皆様の御協力をお願い申し上げます。

(巽 大輔)

[各種問い合わせ先]

●支部全般に関わること（総務：堤 祐司）

E-mail: y-tsutsu@agr.kyushu-u.ac.jp Tel : 092-642-4282

●会費、入退会に関わること（会計：松村順司）

E-mail: matumura@agr.kyushu-u.ac.jp Tel : Fax: 092-642-2980

●木科学情報に関わること（編集：巽 大輔）

E-mail: tatsumid@agr.kyushu-u.ac.jp Tel : 092-642-2998

●支部ホームページ

<http://rinsan.wood.agr.kyushu-u.ac.jp>

木科学情報 16巻 1号

2009年7月15日発行

編集人 森 田 光 博

発行所 日本木材学会九州支部

発行人 近 藤 隆 一 郎

〒819-0052

福岡市東区箱崎6-10-1

九州大学大学院農学研究院

森林資源科学部門内

Fax : 092-642-3078

※著者以外の方が本誌に掲載された論文・記事等を複写あるいは転載する場合には本誌編集委員会にご連絡ください。

