

ISSN 1343-912X

Wood Science in Kyushu

木科学情報

29卷3号 2022



日本木材学会九州支部

目 次

巻頭言

やっと会えるね！重松 幹二 37

解説・主張

超音波を用いた木質材料の非破壊計測長谷川 益己 38

温暖な地域ではなぜ落葉環孔材樹種が少なくなるのか？梅林 利弘 42

現場の声

半世紀に渡る林業公社の分収林事業狩野 渉 46

資料

九州の広葉樹 6 ークスノキー内海 泰弘 50

編集後記52

●「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、特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。

巻頭言

やっと会えるね！

重松 幹二



日本木材学会の福岡大会が、九州支部が中心になって令和5年（2023年）3月14～16日に福岡大学工学部エリアと九州大学病院キャンパスで開催されます。運営委員長は九州大学の堤祐司教授、実行委員長は私が務めます。実は私たち、九州大学農学部（箱崎）時代の同級生です。偶然ですが助手～助教授時代は静岡大学と岐阜大学に在職しており、中部支部でも一緒に活動していました。腐れ縁ってやつでしょうかね。定年まであと数年、最後になって大きなイベントと一緒に携われるのは光栄です。

新型コロナウイルスによって2020年3月の鳥取大会は急遽中止になり、2021年の東京大会、2022年の名古屋・岐阜大会と続いてリモートによる発表会となりました。大会を運営していた先生方は大変なご苦勞をされたと思いますが、申し訳ありませんが私はかなりモチベーションが下がってしまいました。やっぱり、現地で会って、他大学の先生と一緒に酒を酌み交わし、おしゃべりするのが楽しいものです。この歳になると年に一度の同窓会のようなものですね。

コロナ禍1年目の2020年度は、どこの大学もリモート授業だったと思います。学生は、始めは戸惑ったかもしれませんが、結局はリモート授業に慣れてしまい、むしろリモート授業の方が楽だと言う者まで出てくる始末でした。もちろんこれは「聞く側」の意見であって、「話す側」から言えばやっぱり対面の方が望ましいでしょう。これは授業を発信する教員はもちろんのこと、学会で発表する側、聴講する側でも同じことだと思います。

話は変わって、コロナ禍が1年経過した頃、ある授業で「コロナ禍で頑張ったこと」を自由に語ってもらうアンケートを行いました。自宅を出れない状況で、学生は自らの考えで様々な行動をとって

ました。私が注目したのは、何をやったかという内容ではなく、成績と関係ない自由記述のアンケートにも関わらず、実に8割の学生から長文の回答をもらったことです。1年間ひとりで頑張ってきた自発的行動に関する問いかけに対して、「よくぞ聞いてくれた」と言わんばかりに、「自らの1年間の経験をアピールしたい」「自分の頑張りを認めて欲しい」という積極的な情動や承認欲求が働いたものと思われる。また、回答文字数の多さから、この質問に回答すること自体がストレス発散に寄与するカウンセリング機能も有しているようです。全国の大学調査では遠隔授業の教育効果に関する質問が多いですが、学生が挑戦したことや自慢話が語りたくなる質問もしてあげることをお勧めしたいと思います。これらの内容は学内紀要^[1]にまとめ、さらにもう1年続けて再考察したものを2023年3月に発行予定です。ご興味のある方はご覧ください。

福岡大会では早くから対面での学会発表を志向していました。多くの学生が初めての対面発表ということで緊張すると思います。一方で、教科書や論文でしか見なかった他大学の先生と会えることの喜びを感じてもらえるものと期待しています。懇親会は中止としましたが、若者同士で語り合えるよう、ウッドサイエンスミキサーもそのように仕向けることを計画しています。そして、学生や若手教員が「対面発表っていいよね！」と感じてもらえるような大会にしたいと思います。皆様方も積極的に学生に話しかけ、盛り上がるよう、ご協力をお願いいたします。

[1] 重松幹二、コウハクルワサナ、土山真未（2022）
コロナ禍による遠隔授業期間中での大学生の自発的ポジティブ行動：福岡大学教育開発支援機構紀要 第4号，1-15

解説・主張

超音波を用いた木質材料の非破壊計測

長谷川 益己



1. はじめに

超音波は人間の耳に聞こえない周波数 20 kHz 以上の音波である。超音波は固体・液体・気体などのあらゆる物質内を伝わり、その伝搬速度や減衰が物質の密度、弾性定数などの物性値や組成と相関をもっている。また、超音波を材料に入射して、反射や透過した受信波の情報から、材料の表面や内部の傷、あるいは不均一性などを検査、評価できるため、非破壊検査の分野で重要な働きをしている (図 1)。

木材は主に建築用材として利用されており、木質材料の強度性能や既存建築物の部材の安全性を確認するために非破壊検査は有効である。超音波による非破壊計測では、超音波が伝搬する領域内の速度、減衰特性などを測定し、材料物性を評価する。本稿では、超音波による木質材料の非破壊計測について、これまでの研究成果を中心に紹介する。

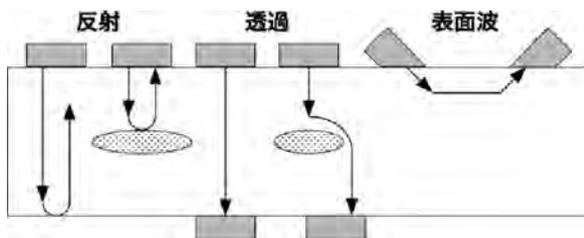


図 1. 超音波の伝搬パターン

2. 超音波の利用

超音波は情報的な利用と動力的な利用に大きく分けられる¹⁾。前者は超音波の性質を利用するもので、身近なものでは医療用の超音波 CT 検査装置や魚群探知機、森林調査でおなじみの超音波樹高測定器があげられる。本稿のタイトルである木質材料の非破壊計測もこれに含まれる。一方、後者は振動エネルギー

ギーをそのまま利用したり、熱に変換して利用したりするもので、例えば超音波加工機や超音波洗浄機である。超音波は様々な場面で利用され、今後も需要が見込まれる。

3. 超音波伝搬速度

木材は異方性材料であり、超音波の伝搬速度は伝搬方向によって変化する。表 1 に木材の繊維、半径、接線方向の伝搬速度の一例を示す。針葉樹材では繊維方向に配列した仮道管は 90% 以上を占めており、超音波は伝搬しやすく、繊維方向の伝搬速度 (V_L) が最も大きい。また、放射組織が半径方向に配列しており、接線方向の伝搬を妨げることから接線方向の伝搬速度 (V_T) は半径方向の伝搬速度 (V_R) より遅い。伝搬速度比は針葉樹材では $V_L/V_R=2.5$, $V_L/V_T=3.6$, 広葉樹では $V_L/V_R=2.0$, $V_L/V_T=3.0$ 程度となる²⁾。

表 1 木材の伝搬速度

樹種	伝搬速度 (m/s)			密度 (kg/m ³)
	繊維	半径	接線	
スギ ³⁾	4310	1863	1388	486
ヒノキ ³⁾	4492	1865	1389	506
ベイマツ ²⁾	5500	2330	1990	440
ブナ ²⁾	5074	2200	1560	674
センダン ⁴⁾	4500	2035	1566	563

図 2 にスギの超音波伝搬速度の放射方向変動の一例を示す³⁾。繊維方向の伝搬速度 (V_L) は髓付近で最小を示し、外側に向かって増加したのち、安定した。半径および接線方向の伝搬速度は髓からの距離によらず、変化はあまり見られなかった。

V_L が放射方向変動を示す要因として木材性質の影響が考えられる。 V_L は仮道管長と同じ、MFAと逆の放射方向分布を示した。さらに V_L は仮道管長やMFAと有意な相関関係を示した(図3)。広葉樹材では、広 Polge らはヤマザクラ⁵⁾、著者らはセンダン⁴⁾などで V_L は繊維長と正相関があると報告した。また興味深い研究例としては、Bucurらはベイマツのあて材で計測を行った。あて材部の伝搬速度が正常材部より遅くなるのは圧縮あて材の仮道管長が短いからと考察している²⁾。

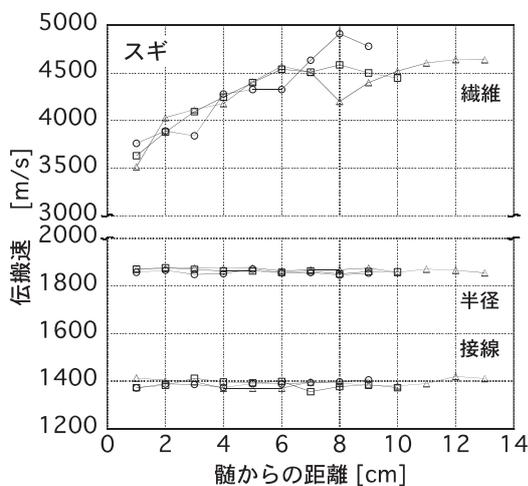


図2. 伝搬速度の放射方向変動³⁾

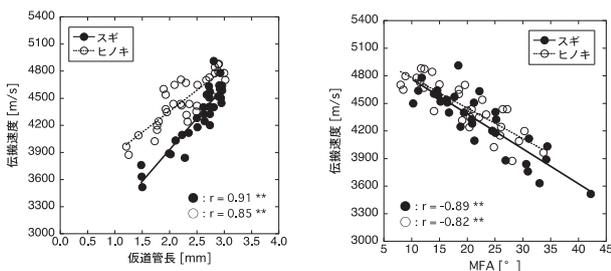


図3. 伝搬速度と仮道管長およびMFAの関係³⁾

また、本稿では多くは触れていないが、密度や含水率も伝搬速度に大きな影響を与える。繊維方向の伝搬速度は繊維飽和点まで含水率の増加とともに大きく減少し、繊維飽和点を超えると一定あるいはわずかに変化する⁶⁾。

4. 空中超音波による非接触計測

超音波探触子を使用するときは木材の間にカップラント(接触媒質)を塗布する、あるいは塗布しない場合は探触子を木材に圧着させる必要がある。なぜなら超音波は気体中での減衰が大きいからである。しかし、近年の計測技術の発達により、探触子やパルスゼネレーターなどの測定機器も充実しており、超音波を使用した非接触的な非破壊評価が可能となった。非接触法の代表例として、電磁超音波法やレーザー超音波法や空中超音波法が挙げられる。電磁超音波は測定対象物が導電体であること、レーザー超音波は照射表面が変色することから、木材を対象とする場合は空中超音波法が最適である。ここからは空中超音波法による木質材料の非接触・非破壊計測の研究成果について紹介する。

4.1 残存強度の予測

構造物は使用期間中に生物的・物理的劣化により強度性能が低下する。長期間使用するためには、部材の劣化診断やスマートメンテナンスを行う必要がある。既存の構造物において部材の力学的状態の評価は非破壊計測により行うことが望ましい。ここではヒノキとスギの棒状試験体に直径の異なる空洞をあける前後で伝搬速度、曲げヤング率、曲げ強度を測定し、伝搬速度と曲げ強度性能の関係を検討した研究を紹介する⁷⁾。

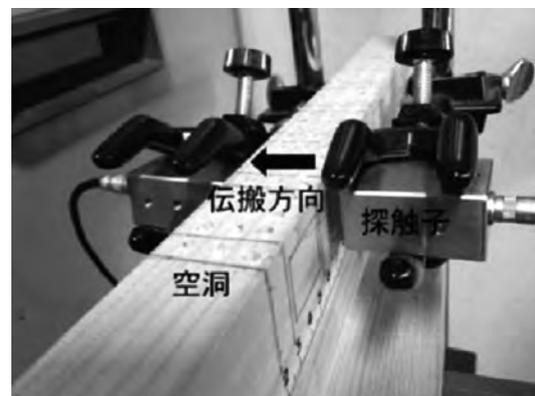


図4. 空中超音波による測定風景

図5に空洞をあける前後の直径毎の伝搬速度を示す。伝搬速度は空洞の存在により減少し、空洞の直径が大きくなるほど小さい値となった。超音波は伝搬経路内の空洞を迂回して伝搬する。空洞の直径が大きいくほど迂回する距離が長くなり、伝搬速度が遅くなったと考えられる。

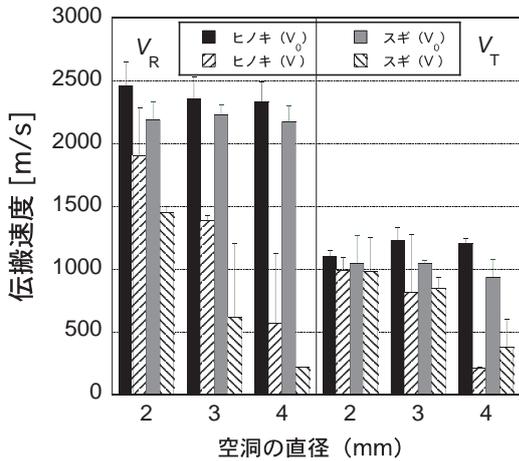


図5. 空洞直径による伝搬速度の変化⁷⁾

図6に伝搬速度変化率とMOE変化率、伝搬速度とMORの関係を示す。図中の数字は相関係数を表す。両者は有意な正の相関関係を示した。また、伝搬速度は曲げ強度と有意な正の相関関係を示すことも分かっている。

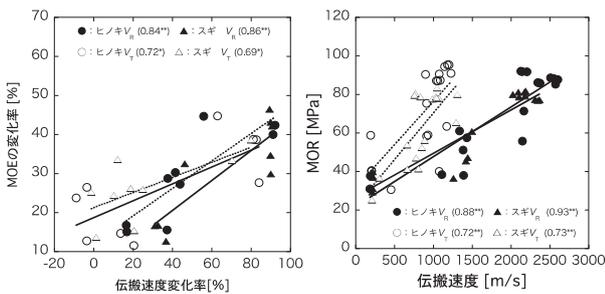


図6. 伝搬速度変化率とMOE変化率および伝搬速度とMORの関係⁷⁾

今後は腐朽やシロアリによる生物的劣化を受けた木材や実大材を用いて測定を行い、伝搬速度の閾値を詳細に決定することで、木質構造物の部材の残存強度性能の非破壊評価として空中超音波法の適用の可能性を検討していく必要がある。

4.2 難燃処理木材の防火性能の評価

今から10年以上前に国土交通省報道発表において、不燃木材の抜き取り検査の発熱性試験で、必要な防火性能を有さないものの販売が明らかになった⁸⁾。防火木材の内部には薬剤量の偏りが生じており全体の薬剤量から所定の防火性能を示すかは判断が難しい。所定の防火性能を持つ安心・安全な製品を開発・製造するために難燃薬剤量分布（以後、薬剤量分布）の非破壊評価法の開発が求められてきた。

難燃処理をすると見かけの材密度は高くなる。木材の密度と超音波伝搬速度は密接な関係があることから、超音波を利用することで薬剤量を材密度の変化として捉えて、非破壊計測が出来ないか？という着想から研究に取り組み始めた。本稿では難燃処理木材中の薬剤量分布の非破壊的手法として空中超音波の利用可能性を紹介する^{9,10)}。

図7に市販のリン・窒素系難燃剤で含浸処理した結果を示す。難燃処理前後の伝搬速度の変化率は薬剤量の増加とともに増加し、両者は有意な正の相関関係を示した。相関係数は非常に高い値となった。すなわち両者の関係を検量線として作成すれば、難燃処理前後の伝搬速度を測定することで薬剤量が推定できることになる。

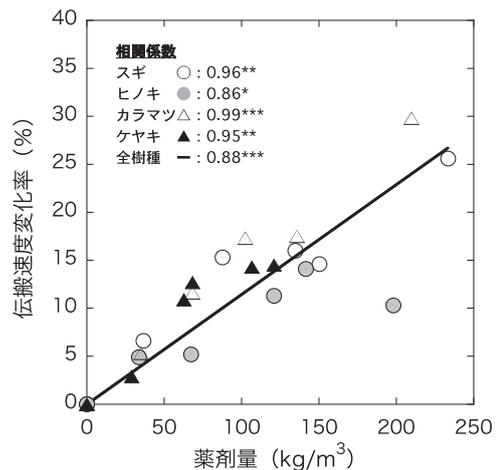


図7. 薬剤量と伝搬速度変化率の関係¹⁰⁾

次に寸法が10 cm四方で厚さ2 cmのスギ板目材の難燃処理前後の伝搬速度変化率と薬剤量の分布図を調べた（図8）。伝搬速度変化率は木口面で大きく、

試験体の中央部は小さい値を示した。薬剤量は平均値が 96 kg/m^3 であるが、 13 kg/m^3 から 220 kg/m^3 の範囲で分布した。薬剤量は伝搬速度変化率と同様に木口面で特に多く、試験体の中央部では少なくなった。このように薬剤量は板材内で偏りが生じていることが分かる。このように伝搬速度変化率は薬剤量と同じ分布傾向を示す。従って、難燃処理木材中の薬剤量分布は伝搬速度変化率の分布図により表現できることが示唆された。

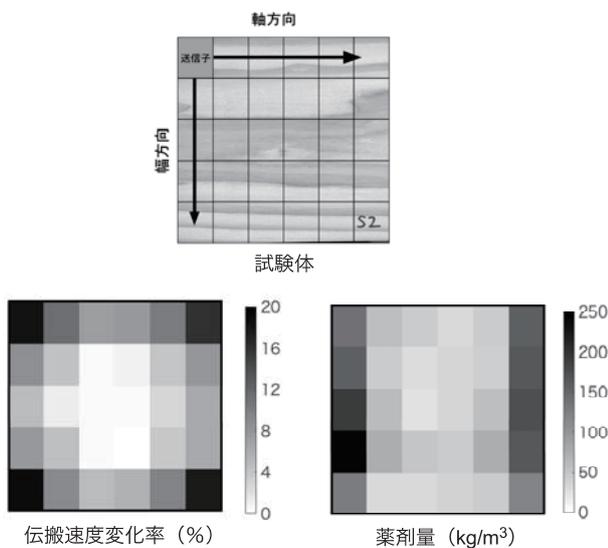


図 8. 速度変化率と薬剤量の分布図¹⁰⁾

難燃処理材中の薬剤量の偏りは発熱性試験に影響を与えることが知られているが、どの程度の薬剤量の偏りが影響を与えるかは、十分な知見は得られていないため、今後の研究の課題としたい。いずれにしても、本稿で述べたように難燃処理木材中の薬剤量分布の測定に空中超音波の利用は十分に期待できる。

5. おわりに

本稿では超音波による木質材料の非破壊計測について著者の研究成果を中心に紹介した。これまで超音波計測に関する研究は工学や医学などの研究分野で様々な材料を対象として基礎から応用研究まで盛んに行われきており、また近年は計測技術も常にアップデートされている。研究事例はたくさんあるので、最新情報を収集して、必要に応じて木材科学

分野に取り入れていくことが期待される。また、超音波は万能ではないので、他の非破壊ツールと組み合わせることにより、より確実な計測手法が開発されることも期待する。

引用文献

- 1) 谷腰欣司 (1996) 超音波とその使い方, 日刊工業新聞社
- 2) Bucur V (2006) Acoustics of Wood, Second ed., Springer-Verlag, Berlin, 144,220-226
- 3) Hasegawa M, et al. (2011) Effect of wood properties on within-tree variation in ultrasonic wave velocity in softwood, Ultrasonics 51: 296-302
- 4) Hasegawa M, et al. (2015) Relations of fiber length to within-tree variation of ultrasonic wave velocity in fast-growing trees. Wood Fiber and Science 47: 313-318
- 5) Polge H (1984) Essai de caractérisation de la veine verte du merisier, Annals of Forest Science 41: 45-58
- 6) Sakai H et al. (1990) Effect of moisture content on ultrasonic velocity and attenuation in woods. Ultrasonics 28: 382-385
- 7) Mori M, et al. (2016) Nondestructive evaluation of bending strength of wood with artificial holes by employing air-coupled ultrasonics. Construction and Building Materials 110: 24-31
- 8) 国土交通省報道発表資料 (2011)
http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000251.html
- 9) Hasegawa M, et al. (2017) Relationship between chemical retention and velocity of air-coupled ultrasonic waves in fire-retardant-treated wood. Bioresources 12: 3387-3395
- 10) 長谷川益己ら (2020) 空中超音波による難燃処理木材中の薬剤量分布の推定手法, 超音波 TECHNO 32 (3), pp. 56-60

(はせがわますみ : 九州大学農学研究院)

解説・主張

温暖な地域ではなぜ落葉環孔材樹種が 少なくなるのか？

梅林 利弘



国内の森林の主要樹種である広葉樹は、針葉樹人工林下では管理されて抑えられてきた。しかし、人工林の伐採跡地を利用・管理するためには、広葉樹の分布・生長特性に関する知見をもとに広葉樹を有効活用していくことが求められている。

樹木は長い年月生育し続けるため、様々な方法で環境ストレス（乾燥・凍結ストレス）を回避して適応・生育している。国内に関しては、冷温帯域には落葉広葉樹種が生育しており、常緑広葉樹種はほとんどみられない（図1）。落葉広葉樹林が寒冷地に成立する理由として、冬季の低温による立ち枯れを落葉により回避していることがあげられる。一方、常緑広葉樹は1年を通じて光合成を行っているため、寒冷地では地上部を維持することができない。

植物の水の凍結問題は、植物生理学における最重要テーマの一つであり、多数の基礎研究がなされている。植物は、根から吸収した水と無機養分を木部通水組織（仮道管と道管）を通じて葉まで輸送している。そのため植物が低温にさらされると、通水組織内の水が凍結する。通水組織内の水は水柱を形成しており、葉の蒸散により引っ張られて移動している。通水組織内の水柱は、夜間に凍結した際に溶けていた気泡が出現し、昼に融解した（凍結融解サイクル）際に気泡が残ったままであると切れてしまう（通水障害）。したがって、冬季の樹木は常に通水機能の低下と、それに伴う脱水・立枯れの危険性にさらされている。広葉樹の通水組織は道管（死細胞である道管要素が複数連結して一つの道管を形成）であり、大径で長い道管をもつ樹種ほど通水効率が高い傾向がある。凍結ストレスにより通水障害を引き起こす道管は、道管径で決まると考えられており、大径道

管内の水柱は、凍結融解サイクルに脆弱であることが知られている（Davisら1999, PittermannとSperry2003）。一方、小径の道管は凍結融解サイクルが数回起きた程度では通水障害を起こしにくく、複数年間機能し続けることが知られている。そのため、道管の配列も種毎で異なり、多様な通水特性がみられる。

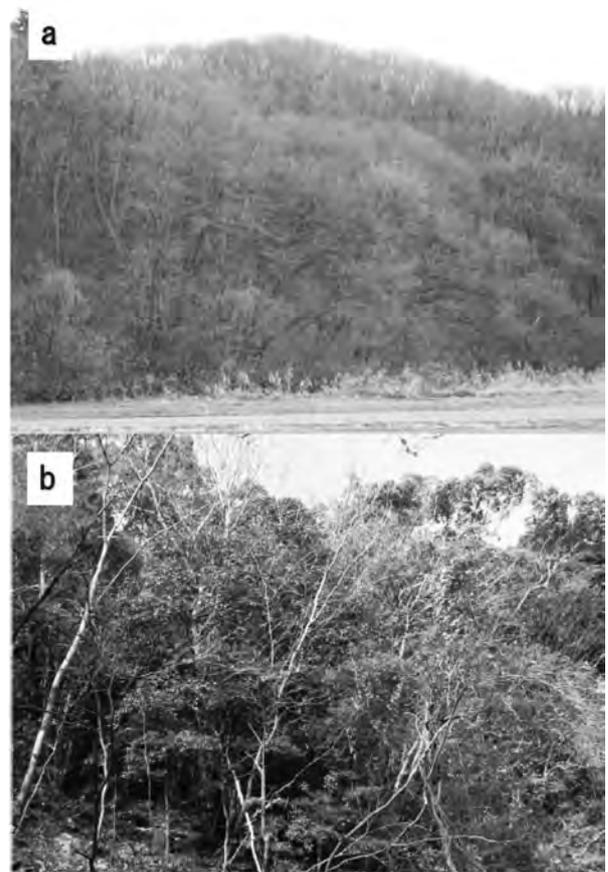


図1. 冬季における (a)冷温帯林（秋田県井川町）と (b)暖温帯林（福岡県篠栗町）の様子。

寒冷地に生育している広葉樹は、冬季の通水障害の発生により通水効率が低下するため、夏季と冬季では機能している道管の分布や数が異なる。これまでの知見から、落葉広葉樹は道管の配列の違いによ

り、環孔材樹種と散孔材樹種に大別される(図2)。環孔材樹種は、春先に形成された大径の道管(孔圏道管)により大半の水を輸送している。孔圏道管は凍結ストレスに対して脆弱であるため、冬季の凍結ストレスにより通水阻害を引き起こし翌年には機能しなくなる(Utsumiら1996, 1998)。一方、落葉散孔材樹種は年輪全体にほぼ同一径の道管を形成し、複数年にわたって多くの道管が水輸送を担っている。

環孔材樹種と散孔材樹種は通水面で違いが見られるだけでなく、その分布も異なる。散孔材樹種は冷温帯域だけでなく暖温帯域にも幅広く分布するが、環孔材樹種は冷温帯域で多く、温暖な地域になるにつれほとんど見られなくなる。環孔材樹種は成長開始とともに通水効率の高い孔圏道管で水を輸送しているため、落葉期が遅くなる温暖な地域では環孔材樹種の方が、他の樹種よりも生育に適していると予想される。しかし、温暖な地域において環孔材タイプの種が減少する理由に関しては、十分な説明がなされていないままであった。そこで筆者は、通水機能の観点から広葉樹の分布特性の説明を試みてきた。今回は、これまでの調査結果から明らかになった落葉環孔材樹種の通水特性に絞った知見を紹介しつつ、今後の展望を述べたい。

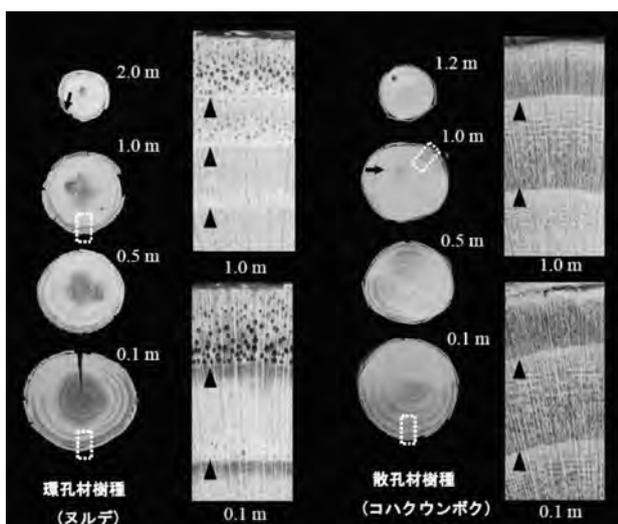


図2. 酸性フクシン水溶液を用いた環孔材樹種・散孔材樹種の主幹における通水様式の違い。

右の拡大図は白樺の領域を示す。

矢印：染色域が観察された木部，矢頭：年輪界

1. 落葉環孔材樹種内の通水様式の多様性

落葉広葉樹における道管の配列は樹種毎で異なり(図3)、環孔材樹種内(図3a, 3b)・散孔材樹種内(図3c, 3d)に関しても多様である。これまでの知見から、環孔材樹種はを当年に形成された孔圏道管が水輸送の大半を担っていることは知られていた(図2)が、孔圏外を含むその他の道管の機能に関してはほとんど知られていなかった。そこで、環孔材樹種内での通水特性を明らかにするため、冷温帯域に位置する九州大学宮崎演習林(宮崎県椎葉村)に生育する環孔材8種を対象に、主幹における通水経路の種間差を組織学的手法により検討した。

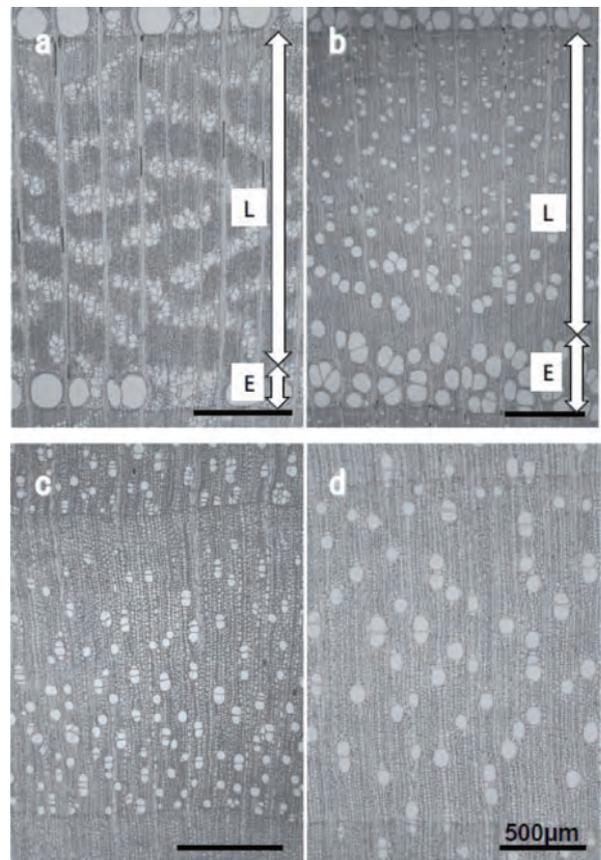


図3. 落葉環孔材2種(a, b)と落葉散孔材2種(c, d)の木部横断面写真

(a)ハリギリ(b)タラノキ(c)エゴノキ(d)カナクギノキ。
E：孔圏，L：孔圏外。

本試験は、演習林内の林道付近に生育する個体を用いて行い、地面から約1m上部の主幹から染色液を吸引させ、通水経路を可視化した。まず、主幹に

漏斗を設置して漏斗内を水で満たし、幹の中央までノコギリを使って水中下で切り込みを入れた。その後、0.1% 酸性フクシン水溶液に置換し、30 分間切り込みから吸引させた。その後伐採し、染色液を吸引させた地点から円板を採取し、染色域を顕微鏡下で観察した (Umebayashi ら 2007)。

染色された木部を観察した結果、いずれの樹種も当年の孔圏道管は染色されており、前年 (樹皮側より 2 年輪目) 以前の孔圏道管は染色されていなかった (図 2)。一方、小道管は複数年にわたって染色されていたことから、2 年輪目以降の染色された小道管の分布に基づき、筆者らは環孔材樹種の通水様式を 3 パターン (年輪全体の小道管が機能、孔圏外全体が機能、孔圏外後半が機能) に分類した (図 4)。

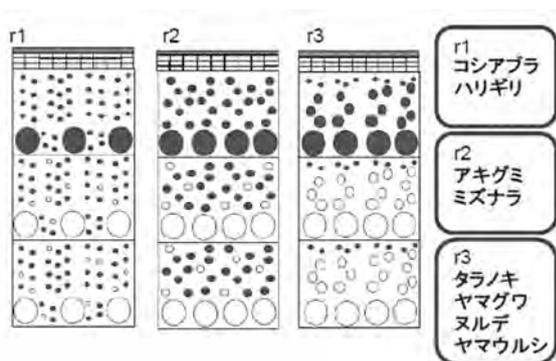


図 4. 落葉環孔材 8 種から分類された 3 パターンの通水特性 (r1: 年輪全体の小道管が機能, r2: 孔圏外全体が機能, r3: 孔圏外後半が機能)。

宮崎演習林に生育する環孔材樹種は、樹種毎で分類することができたが、気候帯の異なる地域間で同一樹種の通水機能を比較した場合、地域間差が生じることが考えられた。そこで、九州大学 3 演習林 (北海道足寄町・宮崎県椎葉村・福岡県篠栗町) に生育する落葉環孔材樹種のヤマウルシを対象に、同一の手法で通水経路を調査した。その結果、寒冷地の北海道・宮崎演習林の個体に対して、暖温帯域の福岡演習林に生育していた個体は、染色された孔圏外道管が増加していたことが明らかになった (図 5, Umebayashi ら 2016a)。従って、温暖域に生育している環孔材樹種は、より多くの道管が複数年機能し続ける傾向があることが考えられた。

2. 暖温帯域に生育する環孔材樹種における木部水分布の季節変化

成長期における植物の水消費量は、より温暖な地域で増加する傾向がある。温暖な地域では、冬季の凍結融解サイクル数の減少や凍結発生時期の遅延の傾向がある。ヤマウルシのように温暖域では機能する道管数が増加する樹種が存在する。とはいえ、コナラ属のように寒冷地の落葉樹では環孔材タイプの通水特性を示すが、暖温帯域に生育する常緑樹では道管が放射状に配列する放射孔材になる (Tateishi ら 2008; Umebayashi ら 2010)。そこで、環孔材樹種が温暖域で減少する理由を明らかにするために、暖温帯域である東京大学千葉演習林札郷苗畑に生育するイヌエンジュ (落葉環孔材樹種)・イヌウメモドキ (落葉散孔材樹種)・シロダモ・バリバリノキ (常緑散孔材樹種) の 4 種を対象に、樹種毎の主幹における道管内の水の有無を季節毎に調べた。なお、イヌエンジュは主に北海道および本州の北方域に生育しており、他の 3 樹種は九州や本州に生育している (佐竹ら 2008)。

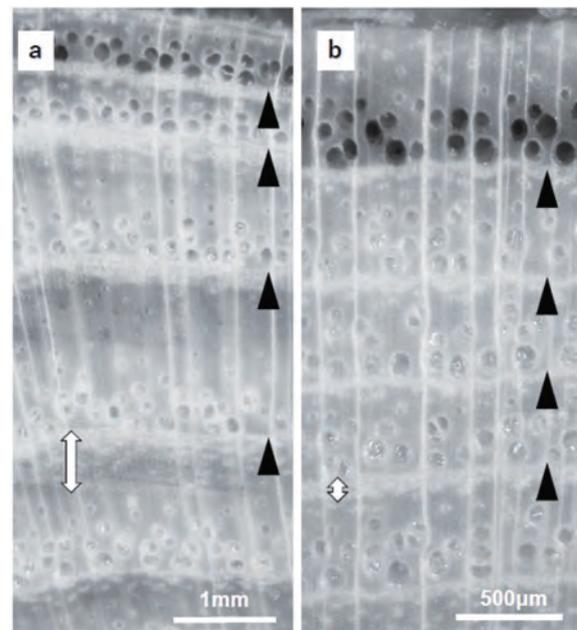


図 5. 酸性フクシン水溶液で染色されたヤマウルシの通水経路。

(a) 福岡演習林, (b) 北海道演習林。両矢印は 5 年輪目の染色されていた孔圏外、矢頭は年輪界を示す。

供試木は、2010年3月～2011年3月にかけて定期的に各種につき主幹を2～3本を採取した。真夜中に液体窒素で主幹を凍結させて約5cm長試料を取得した。試料の通水阻害の評価は、横断面の道管内の水の分布を低温走査電子顕微鏡 (cryo-SEM) を用いて観察した (Umebayashi ら 2016b)。

その結果、環孔材樹種のイヌエンジュは11月で落葉したが、孔圏道管は1月の凍結融解イベントにより通水阻害を起こした (図6)。環孔材樹種は一回の凍結融解サイクルの発生により、通水効率が大幅に低下することが知られている (Cochard と Tyree 1990, Davis ら 1999)。一方、散孔材3種は冬季にほとんど通水阻害を起こしていなかった。落葉樹のイヌウメモドキはイヌエンジュよりも落葉がより遅かった。したがって、散孔材樹種は凍結ストレスの影響をほとんど受けず、通水効率の急激な低下が生じないことがわかった。温暖域にてより長い期間葉を維持するためには、散孔材型の通水様式が環孔材型よりも有効であると考えられた。

環孔材樹種の落葉期が早い理由として、温暖域でも一回の凍結ストレスで孔圏道管が通水阻害を引き起こし、通水効率が著しく低下することが原因であると考えられた。すなわち、凍結融解サイクルが一回～数回程度しか起きない地域では、突発的な脱水を起こす前に落葉する必要があると考えられるため、暖かい地域ほど他の樹種よりも水輸送が短期間になるというデメリットが大きくなると推察される。

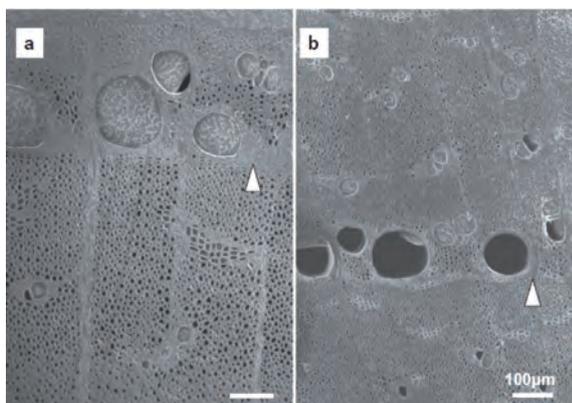


図6. イヌエンジュの主幹における水分分布の季節変化。(a) 2010年11月、(b) 2011年1月に採取された個体。矢頭は年輪界を示す。

3. 今後の研究展開

環孔材樹種は通水特性から成長期間が限定されるため、寒冷地により適応した樹種であると言える。環孔材樹種には、林産物として利用可能な有用種 (例えば、タラノキ、ミズナラ、ブドウ、アオダモ) が多い。筆者は、これまでの研究成果を活かして、人工林伐採跡地の利用のために、少ない労力で環孔材樹種を栽培・管理するための技術を確認しようと試みている。そのためにも、種毎の成長特性や林産物の収量に関する詳細な研究を行う必要がある。

また、環孔材樹種を栽培した場合、寒冷地の方が温暖な地域よりも成長量が大きくなるか? というそうではない。暖かい地域で環孔材樹種を栽培した場合、複数年機能し続ける道管の数は増加し、成長量も増加と予想される。そのため、広葉樹の種毎の成長特性を明らかにするためには、共同研究者と協力しながら多様な地域で研究を展開していくことが必要不可欠であると考えている。

引用文献

- Cochard H, Tyree MT, *Tree Physiol.* 6: 393-407 (1990)
 Davis SD, et al., *Am. J. Bot.* 86: 1367-1372 (1999)
 Pittermann J, Sperry J *Tree Physiol.* 23: 907-914 (2003)
 佐竹義輔ら, *日本の野生植物*. 平凡社 (2008)
 Taneda H, Tatenno M, *Tree Physiol.* 25: 299-306 (2005)
 Tateishi M et al., *Trees*, 22: 23-30 (2008)
 Tyree MT et al., *IAWA J.* 15: 335-360 (1994)
 Umebayashi T et al. *Tree Physiol.* 27: 993-999 (2007)
 Umebayashi T et al., *IAWA J.* 29: 247-263 (2008)
 Umebayashi T et al., *Trees*, 24: 571-583 (2010)
 Umebayashi T et al., *Planta*, 244: 753-760 (2016a)
 Umebayashi T et al., *Trees*, 30: 305-316 (2016b)
 Utsumi Y et al., *IAWA J.* 17: 113-124 (1996)
 Utsumi Y et al., *Plant Physiol.* 117: 1463-1471 (1998)

(うめばやし としひろ: 秋田県立大学大湯キャンパス)

現場の声

半世紀に渡る林業公社の分収林事業

狩野 渉



【はじめに】

本年10月初旬、本会「木科学情報」の事務局より、森林、林業に関わっている林業公社の取り組みについて、執筆依頼の連絡。ご推薦いただいたのが、9月に逝去された山佐木材(株)会長佐々木様からでした。

山佐木材(株)の佐々木様とは、私が入社当初からお付き合いさせていただいており、鹿屋市の肝付工場には何度も伺わせていただき、また、近年では当社の経営会議のメンバーとして、経営に関するご助言等をいただくため、毎年長崎にも足を運んでいただいております。佐々木様には、木材利用はもとより、森林、林業に対する熱い想いを、昼は数値を示しながら真摯な姿で、夜は酒を酌み交しながら陽気に語っていただき、その鋭い見識に触れることができたことは、大変貴重な時間となりました。

今回の執筆は、佐々木様からの推薦という事ではありますが、期待に添えず散文的になることをご承りいただきたいと思っております。

【分収林事業の始まり】

昭和20年から30年代には、戦後の復興と高度経済成長の下、木材の需要が急速に拡大しましたが、戦時中の乱伐や、自然災害の影響でその需要が追いつかず、木材が不足しました。

このため政府は、国有林からの木材供給の増加を目的とした「生産力増強計画」を樹立するとともに、昭和39年には丸太の完全輸入自由化に踏み切り、当面する木材不足対策を進める一方で、拡大造林の推進が林政の重要課題とされ、昭和33年に「分収林特別措置法」が制定されました。

最近における木材需要は著しく増大し、昭和31年には戦前の2倍に達し、更に昭和70年には現在の2倍近くに増大すると推定されている。このような情勢に対処するためには、人工造林面積を経済的、技術的に可能な限り拡大することが必要であります。

人工造林面積の計画的拡大のため、資金、経営力等の関係で補助や融資の措置を講じてもなお自力では造林が困難なものについて、土地所有者以外の資金や経営技術を導入し、その収益を分収するという形の造林を積極的に進める必要があります。

(当時の国会における提案理由説明要旨)



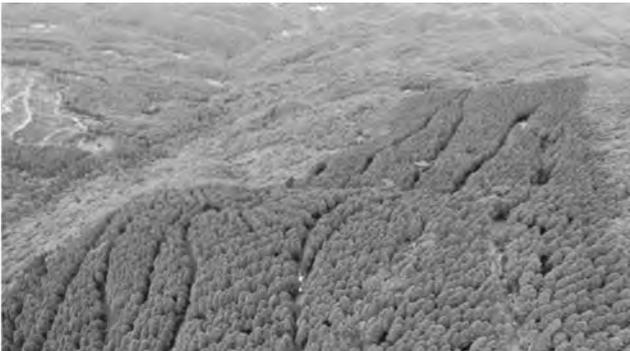
このように森林資源の造成が、当時の林政上の最大の課題のひとつとされたことを背景に、昭和34年に全国に先駆けて、対馬林業公社が設立されました。

この分収林事業は、林業公社が、自らは管理できない森林所有者に代わり植林から伐採までの森林造成事業を行い、伐採収入があるまでの約50～80年間、造林補助金、日本政策金融公庫資金、県・市町からの借入金を財源として運営します。

このため、伐採までの長期間、収入が無く投資を積み重ねるだけであり、伐採収入が生じたときに土

地所有者に契約で定めた一定割合（市町 20%、個人 30～40%）を交付し、林業公社の取り分（市町 80%、個人 70～60%）で借入金の償還に充てる計画となっています。

これまで、長崎県下 14 市町に約 11,000ha のスギ・ヒノキ林を造成し、その割合は民有林の 13%に達しております。



【発足当初】

水産業のほかに見るべき産業がなかった対馬にとって、全島の 88%を占める広大な森林を活用した森林資源の造成は、地域経済の振興を図る上でも有効な手段として、昭和 34 年 6 月、全国に先駆けて「対馬林業公社」が設立。

また、炭坑の斜陽化が進みこれに変わる産業も見あたらず、未利用森林を活用した森林造成を通して産炭地域振興を図るため、昭和 36 年 9 月県北地区（長崎県北部地区）を対象とした「長崎県県北林業公社（昭和 44 年に長崎県林業公社に改名）」が設立しました。昭和 62 年 6 月に事務局統合を経て、平成 23 年 1 月対馬林業公社を吸収合併し、名称を「長崎県林業公社」に統一しました。さらに、平成 24 年に「社団法人」から「公益社団法人」に移行し、現在に至っております。

公社発足後は、造林面積の拡大による植林、手入れ等で、地域の雇用創出に大きく貢献し、地域振興・県政推進に寄与していると、内外から高く評価されていたと聞きます。

【困難な局面】

社会経済情勢の変貌は激しく、小回りの利かない

林業は時代の波に翻弄されました。

林業公社発足当時は、経済発展に伴って労働力への需要の高まりから、300 円 / 日だった作業員の賃金も年々高騰して数十倍にも達し、造林・管理経費を押し上げるとともに、1 ドル 360 円だった為替レートは、昭和 50 年代前半には百数十円台まで円高となり、安い輸入材の流入で、国産材も足を引っ張られて価格は下落低迷し、林業経営は極めて困難な局面を迎えていました。

さらに、諸外国と比べ林業作業の機械化の遅れ、林業従事者の不足や高齢化問題も顕在化してきました。

林業採算性が低下するなど、林業の経営環境は激変し、森林整備の長期的な目標の達成と短期的な情勢変化への対応が課題となりました。

昭和 60 年代には、経費削減などの対応策で、事務局統合など庶務管理費の節減に努めました。さらに、森林整備法人の認定を受け、受託事業による収入増の対処策として、建築士・造園士の資格を取得した職員により、間伐材を利用したログハウスの建築設計受託や、各自治体が計画する各種公園の設計に携わるなど斬新的な活動を展開し、また、県民の森施設管理事業にも取り組み、一定の経営改善に寄与するとともに、外部からの評価も集めました。しかしながら、抜本的な解決策とはならず、現在はその事業から一線を引いております。



【経営の改善】

分収林事業における森林造成には長期間を要するため、事業経費の高騰や、長引く木材価格の低迷と

いう、当初想定できなかった厳しい経済環境への対応が、課題となりました。

平成 12 年、「林業公社経営対策協議会」を設置し、7 回に亘る検討を踏まえ、厳しい経済環境によって、借入金が返済できなくなる可能性があるとして、経営改善計画を提言されました。

そのことを受け、造林資金の借入先である、県、市町、日本政策金融公庫からは、金利負担の軽減、償還期間の延長、利子助成補助金、円滑な支払いに必要な資金の創設等の金融支援をしていただきました。

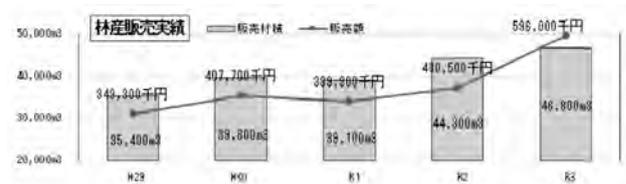
林業公社自体も、生産コストの縮減策、職員の管理費カット等、身を切る経営改善策を実施するとともに、土地所有者に対し、分収率の引き下げに伴う分収林契約の見直しをお願いに奔走し、まだまだ厳しい経営状況ながらも、一定の再建の目途が立ち、今日に至っております。

発足から 50 年が経過しようとした平成 20 年代からは、搬出可能な間伐材が出荷されるようになり、これまで様々な販売対策に取組んできました。

一般材の販売をメインとした公社材の売り方は、木材市場での市売りでしたが、販売材積の増加による需給の未調整による、不安定な落札単価、材の売れ残り等が発生してきました。これらは、生産者、流通業者、加工業者の共通課題であり、その対策で定期定量取引を前提とした、協定数量、協定価格による「システム販売協定」を締結し安定的な取引に努めることとしました。その当時は、市売りが主流であったため、周囲からは懐疑的な意見もありましたが、今日では一定の評価を得て、丸太の取扱量の増加に大きく貢献しております。

離島からの丸太の販売には、船舶による輸送システムを構築し、県外はもとより、海外輸出にも取組んできました。

これらの取組により、直近の令和 3 年度では 10 年前の約 2.5 倍にあたる約 4.7 万 m³ の生産実績となり、これは県内生産量の約 30% を占めるに至っております。



間伐事業面積も年間 700ha 前後まで実施しており、事業の効率化と素材生産業者の確保を目指し、指名競争入札からプロポーザルによる提案型発注に変更し、大面積発注や長期契約にも取組んでいます。

また、これまでの森林の経営管理で培った経験と知識を、「分収林事業」以外でも活かす事業として、「森林経営管理事業」を始めております。この取組は、サポート事業として、市町村が実施する森林環境譲与税関連事業の事務支援、ソリューション事業として、土地所有者の意欲の低下や、世代交代等により森林経営がなされていない森林の経営支援を実施しています。

今後はこれまでの主要な事業であった「分収林事業」に加え、「森林経営管理事業」にも積極的に取組み、経営の改善を図ることとしております。

【新たな取り組み】

森林は資源として木材を供給するとともに、国土保全、水源かん養、地球温暖化の対策となる CO₂ 吸収・固定、生物多様性の保全など環境保全機能も果たしており、平成 13 年の日本学術学会の試算では年間約 70 兆円と評価されています。しかし、実際には環境の価値を、金銭単位で取引する仕組みは、存在し

ませんでした。

森林の公益的機能を保ちながら木材資源を供給するために、適正な管理のもと、持続可能な森林経営を実践していることの証明である、SGEC 森林管理認証を平成 19 年に取得し、第三者に対する林業公社林の評価につながる取り組みをしてきております。

その認証材の評価は、東京オリンピック・パラリンピックの選手村や競技施設の整備等に採用されるなど、認証材の認知度は高まって来ましたが、市場に供給される認証材はまだまだ少なく、民間レベルでは活発な取引は行われていないというのが現状です。

環境価値の創出として、2008 年度からオフセット用のクレジットとして認証する、国内の排出権取引 J-VER 制度が、後に発展的に統合した制度で、「J-クレジット制度」が開始され、森林の CO2 吸収・固定機能が、価格で取引されるようになりました。これは、カーボン・プライシングという考え方で、気候変動問題の主因である炭素に価格を付ける仕組みのことであり、CO2 等を排出する企業などに排出量見合いの金銭的負担を求めることが可能になります。

カーボン・プライシングの手法を具体化した「J-クレジット制度」は、CO2 の排出削減・吸収価値を証券化して、排出削減したい者へ移転・売却することで、排出削減したこととなる仕組みです。

林業公社では、この「J-クレジット制度」について、2014 年から一部の森林について取り組みを始めております。

これまで、29,100 t-CO2 のクレジット登録の認証を受け取得し、これまで直接交渉で様々な企業と取引をしてきました。また、本年 9 月から東京証券取引所にてカーボン・クレジット市場が開設され、さらなる取引先の拡大を期待しております。

さらに、森林の CO2 吸収による新たな可能性探求のため、長崎大学環境学部との連携協定を締結するなど、学術研究、教育支援等にも関わっていくこととしております。

この新たな取組であるクレジット取引による販売収益は、「森林整備促進資金（基金）」として管理し、更なる森林機能の維持のため、森林整備費の一部と

して活用しております。資金の循環による森林資源の循環で、経済と環境保護の両立を目指すことであり、環境対策への新しい流れを作り出すことを目指しております。



【最後に】

これまで林業公社は、森林所有者個人による整備が進みにくい地域において、分収林事業方式による造林を進めることで、森林資源の造成、木材の安定供給の確保、国土の保全、森林の多面的機能の高揚、自然環境の保全、国民生活の安定向上に寄与することを目的として事業活動を行ってきました。

林業公社の分収林事業は、投資を回収するには、一般の経済原則が到底当てはまらないような 50 年、60 年という超長期な期間を有する産業であり、故に時代の流れの中で大きく翻弄された半世紀でもありました。

このような状況下で、木材の安定供給、就労の場の提供、地球温暖化防止機能等、目的の達成のため、あらゆる手段による経営の改善策の実行と、新たな取組を講じて、成果を挙げてきました。

債務問題を理由として、林業公社がビジネスモデルとして破綻しているとの指摘される中、地域振興モデルや、公益・公共モデルとしての意義についての理解が深まることを期待するものであります。

(かりのわたる：公益社団法人長崎県林業公社)

資料

九州の広葉樹 6

—クスノキ—

内海 泰弘



クスノキという樹種については耳馴染みがある方も多いことと思います。クスノキはクスノキ科クスノキ属の常緑高木で関東から沖縄までの暖温帯に分布します。かつてはセルロイドの原料として樟脳を得るために植栽されていたこともあり、自生地については明瞭ではありません。本来の自生地は九州から沖縄までとする見解もあります。



写真1 クスノキの新葉

クスノキの新葉は黄色味を帯びており、成長するに連れて徐々に緑が増していきます。なおクスノキは常緑樹ですが、クスノキに限らず常緑樹は同じ葉を個体が枯死するまで維持しているわけではありません。個葉の寿命が1年以上あれば季節を問わずに個体全体では葉がついていることになります。1年中葉が茂っているように見えるので常緑樹として認識されます。常緑樹は数年以上葉を維持する樹種も多いのですが、クスノキの葉の生存年数はあまり長くありません。香川県でのクスノキの葉の寿命を調べた研究によると、日当たりのよい場所の葉では2年目の4月下旬までにすべての葉を落としてしまいますが、日当たりの悪い場所の葉では4月下旬でも

新葉展開時の1/4は残っており、日陰の葉のほうが平均すると葉寿命が長かったと報告されています¹⁾。クスノキより短い1年未満の着葉期間では個体に葉がない期間が存在するため落葉樹と呼ばれます。樹木としては1年間を通じて葉をつけたほうが生存に利益がある場合は常緑樹に、葉を落として環境ストレスを避けたほうが良い場合は落葉樹になるということです。

クスノキ材の利用は先程述べたように樟脳を得ることが主な目的とされていましたが、明治時にはその他に床柱などの建築装飾材や船材としても利用されていました。クスノキ材の船材としての利用は古く、日本書紀にも「神代のスサノオノミコトの説話として「スギおよびクスの此の両樹は以て浮く室とすべし・・・」と記されており、船材として利用されたと考えられますし、実際に船の材料として使われたと考えられる加工品が発掘されています²⁾。

クスノキ材のその他の特徴的な利用としては仏像彫刻用材としての利用です。伊東³⁾により紹介されている小原二郎氏の調査によると、日本で最初の仏像は飛鳥時代のもので、芳香のあるクスノキが用いられており、その理由としては同時代の中国大陸で芳香のある白檀（ビャクダン）材が仏像用材に用いられたことが影響していると考察されています。なお、後の時代の仏像材の樹種については異なった見解がありますので興味のある方は鈴木らの報告⁴⁾を御覧ください。

時代が進んで平安時代になるとクスノキは文学作品にも現れてきます。清少納言が執筆した枕草子には「楠の木は、木立おほかる所にも、こといまじらひたてずおどろおどろしき思ひやりなどうとましき

を、千枝にわかれた恋する人のためしにいわれたるこそ、たれかは数をしりていひはじめけんと思ふにおかしけれ」(現代訳)「楠は、木立が多いところも他の木に混じって立ってはおらず、鬱蒼と茂ったさま(写真2)を想像するのも気味が悪いが、千の枝に分かれ、恋する人の心の例として(歌に)詠まれているのこそ、誰が(枝分かれの)数を知ってそう言い始めたのだらうと思うにつけ面白い。」⁵⁾と表現されています。

クスノキの枝分かれの様子と恋愛を結びつけるのは現代人にとって難しいことだと感じますが、当時の人々はより繊細に自然を見つめていたのでしょう。

参考文献

- 1) 溝淵隆弘 (1989) 香川生物 15・16: 59-66
- 2) 中村弘 (2008) 兵庫県立考古博物館研究紀要 1: 37-44
- 3) 伊東隆夫 (2000) 木材学会誌 46: 267-274
- 4) 鈴木三男 (2004) 植生史研究 12: 53-54
- 5) 川村太 (2009) 東京外国語大学語学研究所論集 13:97-111

(うつみやすひろ：九州大学大学院農学研究院)



写真2 クスノキを中心とする二次林

[編集後記]

木科学情報 29 巻 3 号をお届けします。

巻頭言では福岡大学の重松先生から木材学会福岡大会を対面で開催する意義をお伝えいただきました。3月の福岡で皆さんと実際にお会いしリアルな交流を深めることを楽しみにしています。九州大学の長谷川先生からは超音波を用いた木質材料の非破壊計測の展開についてご紹介いただきました。仮道管長や繊維長といったミクロな木材の形質や、材質特性の評価、さらには薬剤の浸透性なども超音波により非破壊的に定量化できるなど、様々な可能性が超音波測定にあるのだと感じました。秋田県立大学の梅林様からは広葉樹の中でも何故大径の道管を持つ環孔材樹種が温暖な地域で少なくなるかについて解説いただきました。環孔材樹種では1回の凍結融解イベントで通水効率が大きく低下するのに対して、散孔材樹種では凍結融解イベントによる通水性の低下が少ないため個体の水利用の観点から生存に有利であるという結果をご紹介いただきました。長崎県林業公社の狩野様からは長年取り組んでこられた長崎県林業公社の分収林事業についてご紹介いただきました。11,000haという広大な森林を長年にわたり管理し、収林契約の見直しなど極めて厳しい経営改善の取り組みにより、発足から50年を経て搬出可能となった間伐材が県外や海外にまで販売できるようになった経緯を興味深く拝読しました。

以上、木科学情報に執筆いただきました皆様に厚く御礼申し上げます。今後も木材学会九州支部の方のみならず、木材の科学や利用に興味のある皆様の積極的な投稿をお待ちしています。

内海 泰弘

[各種問い合わせ先]

- 支部全般に関わること (総務: 巽 大輔)

E-mail: tatsumid@agr.kyushu-u.ac.jp Tel/Fax: 092-802-4670

- 会費、入退会に関わること (会計: 清水邦義)

E-mail: shimizu@agr.kyushu-u.ac.jp

- 木科学情報に関わること (編集: 内海泰弘)

E-mail: utsumi@forest.kyushu-u.ac.jp Tel: 0156-25-2617 Fax: 0156-25-3050

- 支部ホームページ

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

木科学情報 29 巻 3 号

2023 年 1 月 10 日発行

編集人 堤 祐 司

発行所 一般社団法人 日本木材学会九州支部

発行人 松 村 順 司

〒 819-0395

福岡市西区元岡 744

九州大学大学院農学研究院環境農学部門

サステナブル資源科学講座内

Tel/Fax: 092-802-4670

※著者以外の方が本誌に掲載された論文・記事等を複製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。

