

ISSN 1343-912X

Wood Science in Kyushu

木科学情報

26卷1号 2019



日本木材学会九州支部

目次

巻頭言

日本木材学会九州支部へ期待する大迫 靖雄 1

学会振り返り

公開講演会「九州支部の25年の歩みと未来」記録古賀 信也 2

総説・主張

Eudesmol 生合成機構についての一考察長濱 静男 10

木材物理改質新技術 - 木材の層状圧縮技術 -黄 栄鳳 13

ミニレビュー

シロイヌナズナにおけるモノリグノール輸送体の探索武内真奈美 17

編集後記21

●「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

日本木材学会九州支部へ期待する

大迫 靖雄



つい最近、天草出身で40年近くパリに滞在して、パリの街並や天草の世界遺産などの風景画を描き続けている画家の熊本での個展を見に行き、最近の絵画の傾向やパリの近況について話した。彼は絵画の原点は具象画であるという信念のもと、絵を書き続けているという。

私も40年近く前にパリに住んでいたことから、なつかしくなり、パリの街並やパリ滞在中付き合っていた博多出身の当時若き画家について話した。偶然にも博多出身の画家とは30年来の友人であったという。ただ博多出身の彼は2年ほど前に癌を患い他界したとのことであった。彼も、また具象画を書き続けていたそうである。二人ともさほど有名な画家とはいえないが、パリ在住の九州出身の画家で彼の追悼展覧会をしたということであった。この画家の話の中で、流行を追うのではなく愚直にも具象画を描き続けていることと九州出身者での追悼という言葉が印象に残った。特に、九州という一つの集団的な活動はあちこちでみられる。日本木材学会九州支部もその一つである。今後も九州支部を中心とした木材の需要拡大や九州という地域的な特性を生かした材料の開発など多くの活動が期待される。

ところで、私は元来木材の物性を専門とした研究者で、生長応力と木材物性や荷重負荷下での乾燥特性、あるいは木材の表層物性と刃物の摩耗などのテーマでの研究をしてきた。また、熊本大学教育学部に赴任した後は、木材の評価を子供たちに理解させるために、①義務教育中における森林や木材の教育の強化、②教育環境への木材の普及として、木造校舎建築の促進や学校施設への木質材料使用の評価などをテーマとした研究も行ってきた。特に、

義務教育に注目したのは、この教育課程は我が国のすべての児童・生徒が受講するからである。最近では、木材を使用した物づくりなどを木育教育としてNPOなどがイベントを行っている。ただ、このような行動はあくまでも一部の子供が対象で局所的な効果でしかないと考えている。また、熊本には木材の研究者がいなかったこともあり、農林水産省林業試験場九州支場や熊本営林局などの依頼で九州における森林、木材に関係した調査研究も数多く行った。さらにその延長上で日本木材学会九州支部の意義を捕らえてきた。

これまでも九州地域で多くの木材需要拡大法が提案されてきた。しかし、これという効果的な方法は出てきていない。新たな木材使用の開発は難しい、ただ木材使用の王道は建築材料としての需要である。これは、先に示した絵画で具象画が王道であるのと重複する。このような建築材料としての木材の需要活動には、九州産木材の各種データの集約が必要で、これができるのは日本木材学会九州支部しかないと考えている。各県で行われている地域的な個々の樹種のデータ収集だけでなく、九州全地域のデータの作成は建築業界で必要とされている。これを支部が中心となり産学官で協力して行ってはどうだろうか。さらに、昨年の25周年支部大会でも話したが、九州という地域的な特性を生かした樹種の育成とその活用なども九州支部が協力して行うべき仕事であると考えている。

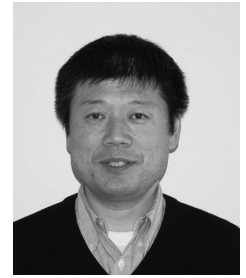
九州支部の今後のあり方については、多くの期待はあるが紙面の関係で多くは述べられない。この点については本誌で私の講演内容が記載されている。参照していただければ幸である。

(おおさこ やすお：熊本大学名誉教授)

学会振り返り

公開講演会「九州支部の25年の歩みと未来」記録

古賀 信也



昨年11月15日と16日の2日間にわたり九州大学伊都キャンパス椎木講堂において第25回日本木材学会九州支部大会が開催された。昨年は九州支部発足から25周年目となる節目の年であったことから、公開講演会が「九州支部の25年の歩みと未来」と題して開催され、九州支部設立に携われた大迫靖雄先生（熊本大学名誉教授）と現日本木材学会副会長の船田良先生（東京農工大学教授）のお二人のご講演を拝聴した。その内容は九州支部会員にとって非常に貴重なものであると感じたことから、記録としてお二人の先生のご許可を得て掲載することにした。

講演1 大迫靖雄先生「黎明期の日本木材学会から九州支部の結成まで」

現木材学会九州支部長の堤祐司先生から、2018年の3月頃だったと思いますが、九州支部発足から25周年目となる記念の今年の九州支部大会の折り、特別講演として支部発足時の事について話してほしいという依頼がありました。考えてみますと支部発足当時九州地域から木材学会理事に選出されていたのは、九州大学の坂田功先生、坂井克己先生と私の3名で、この3名で九州支部設置について相談したことを思い出しました。そのうち初代会長の坂田功先生と支部設置の相談に加わった2代目会長の九州大学の堤壽一先生はすでに鬼籍に入られました。そこで3代目支部長の私が発足当時の生き残りのひとりとして、うろ覚えのこともあります、話をさせてもらうことにしました。

ところで本日までご出席の皆様はお若いので、ご存じないかも知れませんが、支部結成の話に入る前に支部会発足以前の日本木材学会のことについて簡単に触れさせてもらいます。私は1964（昭和39）年に

日本木材学会会員になり、以来今日まで一貫して木材学会会員です。ただ、2004年に熊本大学教育学部をやめて大学での教育研究現場から退き、大学の管理運営を専門とする理事職に就いた後2006年に大学を退職しました。したがって2005年以降日本木材学会年次大会には出席していませんが、2006年秋の熊本大学で開催した九州支部年次大会での責任者を務めました。その後も日本木材学会の学会費はずっと払い続けてきました。ただ、会費については3、4年前学会事務局から長年会員を続けてもらっているので、以後は終身会員として会費は免除しますがそれでいいですか、と問い合わせがあったので結構ですと回答し、今は会費不払いの終身会員となっています。私は日本木材学会が日本林学会から分離して設置されてから10年ほどしてから会員になりましたが、加入時、会員は非常に少なかったように思います。どのような会員番号の振り方が知りませんが私の会員番号は171番でその番号は今でも変わっていません。当時の会員はせいぜい4,500人もいなかったのではと思います。といいますのも、当時木材を研究の対象としていた研究者は、全国の農学部林学科に林産関連講座1、2講座の構成員と、先の戦争の終戦直前に木造飛行機製造を目的として設立された京都大学付置木材研究所、その他の研究機関も国立の林業試験場の中のいくつかの部門の他は、北海道立林産試験場にいた程度だったからです。また、地方行政での林務関連部局にも、木材関係の専門はほとんど無かった時代です。林学の教育研究内容は造林や森林経営など森林に特化したものが主力で、感覚としては一雨降ると樹木はどれだけ育つかというのがほとんどで、材料としての木材そのものの研究はそれほど重要視されていなかった時代です。木

材の大学教育も、各林学科で木材理学と木材化学に関する講義が細々と行なわれていたのではなかったかと思います。私は大学で専門分野を選ぶ際に、当時珍しかった木材のレオロジー研究に興味を持ち、その研究の開発者である京大の山田正教授の指導を仰ぐこととしました。当時は木材に関するテキストも1951年ミュンヘン大学教授Kollmannの著書「Technologie des Holz und Holzwerkstoffe, Bd. 1」がドイツ語の木材の高等教育用に出版され、大学教科書として用いられるようになったのが始まりではないかと思います。当時は専門書や学会誌のほとんどがドイツ語で、私は大学に入学して教養教育2年間でドイツ語を週2コマ初めて習っただけでしたので、3年生以降専門のゼミでドイツ語の専門書や学会誌の論文を紹介するのは大変でした。ただ、我が国では、Kollmannの著書を訳したものに少し新しい専門知識がプラスされた京都大学の教官が中心となってまとめた「木材工学（梶田茂編）」が1961年に出版され、他の大学でどうか分かりませんが、我々の大学時代はこれが教科書として使われました。その後1968年になるとKollmannとシラキュース大学のフランス系アメリカ人Côtéの共著で1961年に出版された前述のKollmannの著書の英文版「Principles of Wood Science and Technology. 1. Solid wood」が出版され、以後専門書や学会誌は急速に英語が主力となったように思います。このような木材関係の研究に関する著書についてみるために、私が1990年日本木材学会教育強化第一分科会（小・中・高校）の委員長として、日本木材学会から出版した「子供の発達と木材のかかわり方」（これは執筆者が勝手に作った原稿をそのまま印刷し単行本としたもので、220ページ程度の本でしたが、字数が必要なので、120ページ以上を私が執筆し、500冊印刷して最終的には、完売したと思いますので、ご存じの方もいるかと思いますが）の中で、「学校教育に役に立つ木に関する出版物」として、「林産学全般」「理学、物理、工学」「組織」「林産化学」「製材・木工機械・加工」「乾燥」などの項目に分けて、この本が出版されるまでに出版された我が国の木材に関する出版物をできるだけ拾い出

し、464冊を上げています。この中で、1960年以前の木材に関する専門的内容を扱ったものをみますと、1953年に東京大学の平井信二先生、北原覚一先生による「木材理学」以外は見当たらず、このころの木材についての著書は、木材工作に関する実用書、接着、木材の腐朽などの木材利用に関するハウツウ物や木材工芸に関するものがほとんどでした。また、日本木材学会そのものも、年次大会は行われていたと思いますが、当時は研究会や分科会はほとんど無かったのではないかと思います。そのような時期に1965年にレオロジー研究会が、木材へのレオロジー研究の先駆者である京都大学木材研究所の山田正教授の提案で設立されました。第一回目の会合が九州大学で行われたと思います。当時の九州大学の木材理学講座は渡辺治人教授、松本勲助教授、堤壽一助手で、この研究会の出席者は京都大学から4、5人、名古屋大学からは後の名古屋大学教授の竹村富男先生、東京大学からまだ大学院生だったと思いますが後の東京大学教授の岡野健先生、東京農工大教授の伏谷賢美先生のほか島根大学や静岡大学などからの出席者14、5人で研究会をしたと思います。このような木材学会が今では一般財団法人となり、会員2千人以上の大きな学会になるためにはいろいろなことがありました。まず我が国の経済の高度成長に伴い、1965年以降木材産業にも風がふき、それに対応して林産学の高等教育の必要性が叫ばれ、いくつかの大学に林学と別れて木材を中心とした学科ができました。すなわち北大、東大、東京農工大、静岡大、名古屋大、京大、九大の7つの大学に林産系学科が設立されました。その後、各県の試験場などにも木材に関する部署が設置されました。それによって木材の研究者も飛躍的に増加しました。そのため、学会大会も当初は東京と京都で交互に開催されていたものが、林業試験場の筑波移転を契機に、筑波でも開かれるようになり、その後林産学科などが設置された大学の所在地でも行われるようになりました。このような木材の専門家養成に伴って、各地域に学会支部が結成され始めました。北海道立林産試験場を中心とした北海道支部は早くから活動してしまし

たが、私が学会の役員をすることは、四国・中国支部、中部支部ができていました。これらの支部では、大体秋に研究発表会を中心にミニ木材学会のような活動をしていました。1991年か1992年の理事会の席で、全国的に木材の研究者など専門家を養成し、木材の研究を推進するために学会の大会も全国的に展開したいという話があり、九州支部も作ってほしいという話が出ました。当時九州大学の坂田功教授、坂井克己教授、そして私と珍しく九州地域から3名が理事会に出ていました。そこで、3人で九州地区に支部を作るとしたらどのような形態にすればよいかと再々話し合いをしました。その後堤壽一先生も加わり、まず九州支部を結成するのであればどのような活動をすべきかを議論しました。たまたま終活の準備中に捨てようと思っていた資料の中に、支部結成準備中の当時のメモがありましたので纏めたものを、以下資料で示します。

(資料) 木材学会九州支部発足当時の状況

I 活動内容

- ①九州地域に限定した森林・林産に関する調査研究
- ②九州地域の林産関連大学及び研究機関の若手研究者の養成
- ③九州地区の木材加工関係企業の振興
- ④各県や木材関連の団体などが、木材の専門家への何らかの対応が必要になる場合、その斡旋を行う。
- ⑤その他九州地域における森林・木材加工特有の問題解決 など

II 会員

- ①九州支部の会員は木材学会正会員のほか九州支部だけのいわゆる九州支部会員及び学生会員も募集して、また独自の賛助会員も募集して会員数を確保する。
- ②九州支部の会員の確保については、九州地方全県に九州支部への協力をお願いする。(そのため、農学部には林産関連の研究者が存在する宮崎、鹿児島、沖縄の各大学の各該当教員をお願いして、農

学部のない大分、佐賀、長崎には坂井克己先生と大迫 で協力願いに出掛けることとし、これらの県に啓 発活動をしました。この際、当時九州林学会の年 次大会開催においては、すべて開催県の行政に依 存していた。この方式をとるなら、行政の負担が 多すぎるとの意見がありました。しかし、木材学 会九州支部はあくまでも九州支部が主体となって 運営するとお話し、ただ、木材関係の指導・研究 等の仕事をしている職員に支部学会員への入会を 進めてほしいというお願いをしました。その結果、九州地方全県の賛同を持って支部結成の運びにな りました。)

III 財政

会員の会費以外に支部活動を保証するために、基礎財源作りをする必要がある。そのため賛助会員を募り資金的な補助をしてもらう必要があることを確認しました。(これについては坂田功先生に大変なご尽力をいただきました。その後どのようになっているか分かりませんが、支部結成当初は、この財源によって資金的な心配をせずに活動することができました。)

IV 会の運営

- ①支部学会研究発表会を年1回開催する。ただし木材学会本大会のように研究発表数が多いことにより、発表会場を細かく専門別に別れて発表するのではなく、木材研究の全体について理解できるよう発表会場は1会場とする。(これには坂田功先生の強い希望がありました。)
- ②年次大会は九州大学が2年に一回、その間を各県で担当することとした。最終的に、会員数の少ない長崎県、佐賀県以外の県で支部学会大会を開催することとなった。(結成2年目に熊本で開催した後そのように行われているのではないかと思います。)
- ③九州大学が事務局となる。
- ④役員の任期は2年で再任は妨げないが、特定の人々に負担がからないように、会長については再

任を認めないとした。

⑤啓発を目的とした情報誌を発行する。

以上のような骨子原案を1993年12月に日本木材学会の九州地域の学会員に諮り議論をお願いし、賛同を得たので、各県に出掛けて了承を得て、1994年の年次大会で九州地域の学会員の総会を開いて正式に発足しました。この間、1993-1994年に掛けて規則作りの骨子は前述の3名の他、九州大学の堤壽一先生の4名で作成し、総会で諮り、若干の修成の後認められました。

発足当時の九州支部の会員の人数は、学生及び支部学会員も合わせて、福岡県が122名（正会員38人、学生会員31人、支部会員41人、支部学生会員8人、賛助会員4社）で最も多く、以下熊本県が45名（22、0、19、0、4）、鹿児島県が26名（17、3、4、0、2）、宮崎県が16名（11、2、1、1、1）、大分県が14名（14、他は0）、長崎県（2、0、7、0、0）と沖縄県が9名（8、1、0、0、0）、そして佐賀県が4名（2、0、1、1、0）で計245人でした。最初の支部運営は大変なので、組織が安定し軌道にのるまで、支部学会発足に関わった坂田功、堤壽一、大迫靖雄、坂井克己の4名が年齢順で会長を務めようということも了承されました。そのため、3代目の私の会長までは当初の予定通りになりましたが、4代目は九州大学の都合により、九州大学の田中浩雄先生が第4代支部長となりました。その後、坂井克己先生は同志社大学へ移られ、支部長に就任することはありませんでした。また、九州支部発足当初から啓発を目的とした情報誌として「木科学情報」を年4回発刊することとしました。その中には、九州地域の木材関連の各種情報の他、若手研究者育成を目的とした短い論文も掲載しました。また、第2代支部長の堤壽一先生の時から、木材・森林と関連した環境問題に拘わるシリーズものを掲載し、ある程度まとまったので、私が支部長の時にまとめて出版する計画も立てましたが、これは実現しませんでした。年次大会の発表も1会場で、すべての発表を行ったため普段は聞けない専門外の発表も聞け、木材学会発足当初のようにすべての木

材研究分野の趨勢を知ることができるかと好評でした。内容的にも九州地域に関係した木材関連の発表が多く、九州地域の賛助会員の発表や企業を含んだシンポジウムも行い当初の目的を達成できたと思っています。ただ、私も九大以外での最初の支部年次大会とその8年後の支部大会を熊本大学で開催し、その責任者を務めました。先にも申しあげましたように、2004年に教育研究の立場から、大学の管理専門の理事になり、2006年に大学を退職しました。そのため、最後の論文を2007年に書いて以来、研究活動はしていません。そのような訳で、しばらくの間は、九州支部の顧問などに名前がいましたが、いつの間にか九州支部会の誘いもなくなり、恐らく支部学会会員ではなくなったのであろうと思っています。ただ、先にも申しあげましたが、日本木材学会の会員にはあります。以後学会関係の研究発表大会等の行事には一斉出ていません。しかしながらその後の学会活動については日本木材学会誌に載っている各種会合や掲載論文に一応目を通しています。ただ、九州支部がどのようになっているかについては、全く係わっていないので、現在の様子は知る由もありませんが、支部が25周年目を迎えるということで順調に活動しているのであろうとうれしく思っています。支部発足当初の学会本部との関係に就いて少し付け加えておくと、当時木材研究の裾野を広げるために旧来から実施している学会年次大会を林産関係の学科が存在する大学の所在地と筑波以外でも開催したいという話が進んでいました。その第1回として九州大学担当となっていた1996（平成8）年の年次学会の開催に九州大学以外の九州地区の大学主催ではできないかという打診がありました。九州大学担当の年次大会は、かつて九州大学が主催して開催場所として琉球大学で行った実績がありました。ただ、今回は開催主体も九州大学以外の機関で行ってみたいということになりました。これが九州支部発足以来、最初の大きな行事となりました。私は、九州大学所属以外の九州地域の学会理事の責任として、また学会員数も福岡以外では最も多い熊本で開催することが適当であろうと考えていました。しかしな

がら、農学部もない熊本大学が担当するのでなく、農学部林学科がある当大学で行うのが筋であるという主張を強くする某大学関係者がいました。そのため、九州支部内で話し合うことになりました。この調整には坂田功支部長が大変苦勞されたようです。ただ、大学以外の機関では、熊本には国立林業試験場九州支場や熊本営林局もあるので熊本開催が適当であるということで、熊本大学での開催が決定されました。この際学会協力者としては九州大学関係者や他県の大学関係者にもお願いしました。当時私の勤務していた熊本大学教育学部には木材学会員は2名しかいませんでしたが、1996年国立林業試験場九州支場、熊本営林局、熊本県、熊本工業大学などの学会員や行政の支部会員などの全面的な協力を得て第46回学会大会は桜満開の熊本大学で盛大に行われました。ただ、スタッフの数の関係で要旨集についてはすべて九州大学にお願いしました。その後、各地域でもいわゆる小規模な大学所在地等での木材学会年次大会も行われるようになり今日に至っています。

ところで、最近の研究の傾向ですが、他分野、特に一部林学関係者から木材に関する研究は単なる技術開発ではないのか、木材でやらなくてもいい研究ではないかなど木材に関する研究はいろいろなことが言われています。国立大学の法人化にともなって、大学のあり方が検討される中で、全国の大学の林産関係専門分野も縮小の傾向にあり、更には他分野への移行や、林学との統合などが行われています。また、伝統ある京都大学付置木材研究所も付置研究所設置数の観点から、宇宙プラズマ研究所と合併して生存圏研究所と名称が変わり、生存圏で種々の現象を研究することとなったようです。今は以前と変わらない研究内容で林産系の専門分野も増えているように見えます。ただ、この名称と林産研究がどのようにリンクするのかわかりません。このように名称が変更した例としては、イギリスの林産試験場があります。ここの名称はかなり早い段階で、建築試験場に変更されています。私が30数年前に当試験場を訪れた際は、林産に関係する部門は「木材の腐

朽に関する研究」と「木材の不燃性に関する研究」の2部門に縮小されていました。さらに最近の日本学術会議農学委員会林学分科会は、日本学術会議に平成29年9月29日の報告として、「持続可能な林業・林産業の構築に向けた課題と対策」を出しており、この要約が、本年雑誌「学術の動向」9月号に掲載されています。この中には5つの項目が列挙されていますが、木材に関しては、「木質バイオマス利用の現状と課題およびその対策」という項目が報告されているに過ぎません。これをどのように評価するかは各々でしょうが、今まさしく、林産学が独立していない従来の林学に先祖返りしつつあるのではないかという思いもあります。そこで、林産学も何らかのアピールが必要ではないかと思いましたが、木材学会事務局に農学委員会に林産分科会はあるのかを聞きました。しかし要領を得ず分科会があるのかどうかを確かめることはできませんでした。ただ、あとから調べましたところ、この林学分科会に林産も含まれているようです。いずれにしても木材学会の使命と林産研究の必要性をアピールする必要があるのではないかという思いを強くしております。ただ、この木材学会九州支部の働きは、九州地域の森林・林産業をどのように考えて行くのかという、地域に密着した諸課題解決に務めるという点で極めて重要な活動が必要だと思えます。私も九州地域の林産産業の活性化に努力はしてきたつもりです。少し例を挙げますと、日本総合情報センターの仕事として、未利用木材（山林での木材伐採の際、廃棄されている木材）を利用した畜舎の木造化に関する事業で、熊本県と宮崎県に畜舎（牛舎）を建築しました。この件に関しての結論は、畜舎の木造化は適切であるが、未利用木材を利用することは、畜舎建築に特別な技術が要求されるので、コストが合わないというものでした。また、その意味では、伐期を目の前にした多くの人工林を有する九州地域の木材を有効に利用するためには、需要拡大が必要であり、これに関しても種々の提言をしてきました。最近九州という地理的に有利な中国、韓国への木材の輸出の件が話題になっています。ただ、これらの輸出が

丸太に限定されているように思います。今後は、木材に付加価値をつけて木材製品の輸出を考えるべきであると考えてきました。そこで、4、5年前、国有林の伐採を禁じ、ほとんどの木材製品を北米などから輸入している台湾への製品輸出を促進することを目的として、台湾国立林業試験場長以下数名の研究員を熊本、宮崎に案内し、九州地域の林産事情を説明しました。ここから先の輸出の話は各企業の努力であるとは思いますが、あり余る九州地域の木材の評価を高めた製品輸出に就いては、九州支部でも考える必要があるように思います。そこで、最近の九州地域の木材利用に関する動きをみてみますと、本年熊本の森林総研九州支場で一昨年熊本地震で被害を受けた本館がCLTを使用した2階建建築物として再建されました。また、オリンピックに絡む多くの建築物で、木質材料が使用されることが報じられ、九州産木材が使用されることも報じられております。これらのことは木材学会九州支部にとってもいいチャンスだと思います。今後は木材、特に、九州産木材の製品としての付加価値をあげて、木材の価格をあげた需要拡大に九州支部としても務めて行く必要があると思います。とにかく、伐期に近付いた多くの人工林を有する九州地域に関しては、人工造林された針葉樹の需要拡大などに多くの課題があります。それらを着実に解決する事は、これから益々重要となって行くであろうと思います。と同時に、九州の有する地理的、気候環境などの特性を生かした、針葉樹以外の樹種の育林の可能性も追求して行く必要があるように思います。例えば、今、熊本県林業指導所では早生広葉樹としてセンダンの垂直な育林について育林試験がなされています。このセンダンは成長が早く、材料として使用できる年数になるまで15もしくは20年といわれており、伐期に至まで40年以上を有する、人工林の針葉樹と比較するとかなり早く収穫できます。有用な広葉樹の要求が強い昨今、ケヤキ、キリなどが使用されている建築材の内装材や家具材としてセンダンをどのように活用して行くかは、木材学会九州支部と拘わって行くべき問題だと思っています。今、センダンを例として挙

げましたが、このように九州特有の問題解決に九州支部が関与すべき問題は多くあると思います。その意味では、日本木材学会で行われているいわゆる純粋な研究とは別に、地域に密着した林産業に関する各種課題の解決のための技術提供、指導や地域に密着した商品開発などをしっかりと行うことは、木材学会九州支部として極めて必要な仕事といえます。この際、木材学会九州支部を創立した折りの目的であった若手研究者の養成の効果も発揮してもらいたいと思います。また、九州地域には木材に関する研究を行うべき公的機関も熊本、宮崎、大分などの各県で充実しています。これらの研究機関が別々に活動するのではなく、各大学とも連携してお互いが協力して九州共通の問題解決に努めていただければ、この九州支部を結成した意味があると思っております。とにかく木材の価値を高めて、林産業ひいては森林資源の適切な保全に一層務めていかなければならないと考え、私も今では数少ない会議等に出席した折りには、そのような発言をしてまいりました。これらのことに、日本木材学会九州支部が真摯に向き合い今後とも活動されることを心から祈念しております。先般、九州支部長の堤祐司先生に結成の初心を忘れず頑張っておられるとお聞きして、苦勞して結成した木材学会九州支部が歴史的な経緯を経て、地域に定着していることを創立者の一人として大変うれしく思っています。本日はうろ覚えの部分もあり、思い違いもあると思いますが、本木材学会九州支部の発足時のつたない話をお聞きいただきありがとうございました。

講演2 船田 良先生「日本木材学会の現況と九州支部への期待」

1. 日本木材学会の現況

まず日本木材学会の現況について紹介します。日本木材学会は、1955年に設立された日本学術会議協力学術研究団体であり、2010年には社団法人化しました。その設立趣旨は、木材をはじめとする林産物に関する学術および科学技術の振興を図り、社会の持続可能な発展（例えば、生物資源やエネルギーの

持続的な供給、地球環境問題の解決、地域社会の活性化)に寄与することです。学会の主な活動として、①学会誌および学術図書の刊行、②年次大会の開催、③調査および研究の実施ならびに受託、④講演会・シンポジウム・見学会・講習会等の開催、⑤研究の奨励および研究業績の表彰、⑥支部活動の支援、⑦その他当学会の目的達成に必要な事業などを行っています。

日本木材学会の現体制は、福島和彦先生が会長で、副会長が岩田忠久先生と私で、その他25名の理事・常任理事がいらっしゃいます。九州支部会からは、近藤哲男九州大学教授(選挙選出理事)と堤 祐司九州大学教授(役職指定理事(九州支部長))が就任されています。

会員の動向については、20年前の1998年に2470名でしたが2018年3月時点で2023名となっています。会員数はピーク時に比べて減少しましたが、近年はあまり変動しないで、約2000名を維持しています。一方、学生会員はピーク時に比べても減少していません。

2. 日本木材学会の主な活動紹介

(1) 学会誌および学術図書の刊行

木材学会誌を発行しています。編集委員会は23名で構成されていて、現編集委員長は京都大学の藤井義久先生です。九州支部からは一瀬博文先生が委員をご担当されています。

ここで最初の木材学会誌(第1巻1号および2号)に掲載された論文はどのような題目であったかを示します。1955年に発行された木材学会誌には、九州支部からは、九州大学の渡辺治人先生と松本 勲先生による「集成アーチ材の板の厚さと曲率半径との関係について」が掲載されています。

学会の英文誌として1998年からSpringer社よりJournal of Wood Science(JWS)を発行しています。Impact factor(IF)は、2013年が0.825、2015年が1.268で念願の1以上となり、2016年が1.165、2017年が1.413と上昇しており、Materials Science, Paper & Wood分野で21誌中第5位となっています。第58巻

から第63巻までを対象にした機関別掲載論文数では、森林総合研究所が最も多く45報で、九州大学と宮崎大学が11番目で6報でした。JWSの国別掲載論文数は中国が44報で最も多く、海外からの論文投稿は年々増加しています。

学術図書の刊行では、日本木材学会創立50周年事業として、文永堂出版から「木質の構造」、「木質の物理」、「木質の化学」を、日本木材学会創立60周年事業として、講談社から「木の時代は甦る」を発行しております。また、日本木材学会の研究会である「組織と材質研究会」が、海青社から「あて材の科学」を発行しています。九州支部からもこれらの学術図書の刊行に携われた先生もいらっしゃると思います。

(2) 年次大会の開催

2019年の第69回大会は函館で開催されます。翌年度の第70回大会は鳥取で開催されることが決定しています。2000年以降、九州地区では、2003年の第53回大会が福岡、2010年の第60回大会が宮崎、2017年の第67回大会が福岡で開催されています。

(3) 研究の奨励および研究業績の表彰

日本木材学会では学会賞、奨励賞等を授与しています。九州地区からも5名の先生が奨励賞を受賞されています。また、木材学会賞も14名の先生が受賞されています。なかでも九州大学の清水邦義先生は奨励賞とのダブル受賞で、日本木材学会では過去7名しかいない優れた業績といえます。また、2017年度には、宮崎大学の雉子谷佳男先生が受賞されています。

(4) 支部活動の支援

木材をはじめとする林産物に関する学術および科学技術の振興を図ると共に、各地域における木材工業の発展に貢献することを目的として北海道、中部、中国・四国、九州の各支部が設置されています。九州支部は、北海道、中部、中国・四国に次ぐ4番目の支部として1994年度に設立されました。九州支部の

特徴的な活動としては、①大学、国や県の試験場（センター）、地域の木材産業・林業との密接な関係をもとに地域に貢献している、②支部大会が、口頭発表、ポスター発表の件数が多く充実している、③情報誌として支部刊行物「木科学情報」を発行している、④黎明研究者の表彰制度がある、⑤スギに関する研究や最近ではセンダンなど早生樹の研究が盛んに実施されている、などが挙げられると思います。実際に、日本木材学会の地域学術振興賞を多くの方が受賞されています。また2003年度に宮崎県木材利用技術センターの飯村 豊氏が技術賞を、2017年度に熊本県の三井幸成氏が共著者として論文賞を受賞されています。

3. 日本木材学会の今後の課題と目標

学会の今後の課題と目標として、①財政の健全化（会員確保と会員へのサービス向上）、②木材学会誌および Journal of Wood Science の充実、③年次大会開催地の活性化（大きな大学でなくても開催できる）、④研究の奨励、特に若手研究者（学生も含む）による研究の奨励、および地域に貢献する研究・開発の奨励（各賞の充実；推薦の推進）と人材養成、⑤産学官や他関連学会（森林学会、木材加工技術協会、土木学会、セルロース学会、リグニン学会など）との連携強化、⑥国際化（科研費（国際情報発信強化事業）の採択、国際学会開催の促進（バクテリア・ナノセルロース国際学会、日米木質科学シンポジウム）、⑦地域社会の活性化（支部活動への更なる支援）、⑧木材学教育への支援などが挙げられます。

とくに、①の財政の健全化に関しては皆さんも関係する事項ですので若干説明します。現在の日本木材学会の財政状況についてみると、2015年度までは刊行事業収支はマイナスでしたが、2015年度以降収支はほぼゼロとなっています。その主な理由は、Journal of Wood Science の冊子体の廃止に伴い会誌の印刷費や郵送費などの支出が減少したこと、Journal of Wood Science および木材学会誌からの論文掲載料収入があったことが挙げられます。しかしながら、2019年より Journal of Wood Science のフル

オープンアクセス化が始まることにより、掲載料収入がなくなることや Article Processing Charge の非会員（1250ユーロ）と会員（770ユーロ）の差額（480ユーロ（約6万円））を学会が負担すること（2022年発行分までは科学研究費で全額または半額補填する）、Springer社への電子投稿費の支出がなくなること、など収支バランスが大きく変化する可能性が高いと思われます。一方、木材学会誌は年6回発行を年4回発行にすることにより、印刷費や郵送費などの支出が減少する予定であり、掲載論文数が増えれば掲載料収入も増える可能性があります。今後も、会員へのサービスの向上と財政の健全化を図って参りたいと思っています。

⑦の地域社会の活性化についても、木材学会の持続的な発展と社会への貢献という観点から支部活動への更なる支援を考えています。

日本木材学会九州支部が創設25周年を迎えられたこと、改めて心からお祝い申し上げます。

（こが しんや：九州大学農学研究院）

総説・主張

Eudesmol 生合成機構についての一考察

長濱 静男



1. まえがき

筆者は2001年から2002年にわたり本誌に「針葉樹の化学分類学をめざして」を寄稿し、スギ（材・葉）アスナロ（葉）、ヒノキ属（葉）のテルペノイド成分を生合成機構によって系列化し、その系列の有無を基準として品種の分類を試みた^{1~4}。定年退職後は主に科学史と日本歴史について文献を研究してきたが、今年90歳に達したので、手元にある論文未発表のデータの整理に着手し、あわせて自分の論文について再検討することにした。この間にテルペン・シンターゼの研究は大発展をしたので、その結果を踏まえて考察をすすめる。

2. テルペン・シンターゼ (TPS)

1971年Fallら⁵)は真菌の一種 *Fusarium moniliforme* *Shield* のセルフリー抽出物から酵素を分離し、これが ent-kaurene synthetase であることを示し、geranyl-geranyl-OPP (GGOPP) からまず H⁺ の付加→環化→H⁺ の脱離で kopalyl-OPP への活性 A と、次に-OPP の脱離で生じるカチオンの環化をおこす活性 B の反応系からなり、前者の至適 pH は 6.9、後者の至適 pH は 7.5 であることを示した。今日活性 A は Class II、活性 B は Class I の cyclase と呼ばれている。

Class I の反応系をセスキテルペノイドを例に説明すると、ファーネシル OPP (FOPP) から OPP⁻ の脱離により生じた C¹ カチオンが C⁶=C⁷ に結合すると 6,7 員環、C¹⁰=C¹¹ に結合すると 10,11 員環の中間体カチオンが生じる。このカチオンは 1,2 ; 1,3 ; 1,4 ハイ

ドライドシフトとアリル転移で分子内の炭素鎖を移動できる。そして適当な距離にある二重結合に結合し、新たなカチオンを生む。こうして二員環、三員環骨格の化合物ができる。最終的にはプロトンの脱離か、水の付加とプロトン脱離で終わると考えられている。

1970年代に制限酵素、逆転写酵素が発見され、遺伝子工学の基礎が出来た。mRNA から逆転写酵素を用いて cDNA を合成し、これを制限酵素で切断したプラスミドに DNA リガーゼを用いてつなぎ、大腸菌に発現させるのである。

Steeleら⁶)は1998年アメリカオオモミ *Abies grandis* の cDNA からクローニングして二つの酵素を分離した。δ-selinene synthase, γ-humulene synthase と名付けたが、いずれも大腸菌中で三つの主成分のほか全部で 34, 32 のセスキテルペンを生じた。それらの生成経路を仮定しているが、その中で Germacrene 類は一旦 syntase から離れ、再プロトン化され selinene 殻に環化するとした。例えば germacrene A に H⁺ を作用させ α-selinene と α-guaiene が生じるとしている。これに倣えば hedycaryol から α-eudesmol と guaiol が生成することになる。再プロトン化の場所については述べていない。

TPS のいくつかは結晶化され、その X 線解析で三次元構造が明らかになった。それは α、β、γ の三つのドメインからなり、N 末端にある α に Class I、中間の β に Class II の活性がある。α ドメインに Mg イオンと結びついた DDXXD (D はアスパラギン酸、X

その他のアミノ酸) というモチーフ、反対側に NSE 三つ組み (N はアスパラギン、S はセリン、E はグルタミン酸) があるのが共通している。

Chen らは 2011 年の総説⁷⁾ で「モノテルペンとセスキテルペンの synthase には Class II cyclase は存在しないと信じられている」と書き、2017 年発表された Chrystianson の総説⁸⁾ もこれを踏襲している。彼は 2006 年にも総説を書いているがそれと比較するとセスキテルペンシンターゼの項は 4 から 11 に増えている。

3. スギ葉のセスキテルペンアルコール

1993 年筆者ら⁹⁾ はスギ葉のセスキテルペンアルコールとして 7 本のピーク (OV17 パックドカラム) を認め、それぞれ elemol, 4 β -hydroxygermacra-1 (10), 5-diene (1), thujopsan-2 α -ol (2), cedrol, γ -eudesmol, α , β -eudesmol, hedycaryol (3) と確認した。(α , β -eudesmol は PEG20M、25m キャピラリーカラムで分離した。)

最近渡部ら¹⁰⁾ は cubebol を多量に含むタイプを報告した。また抽出後の濃縮工程を省くことによりモノテルペンを損失なく分析が可能になった。

柳杉の 1 個体は 1 のみを含んでいた。2 は屋久島から南九州に多い。3 から eudesmol の生成が認められたので、eudesmol は hedycaryol の系列とみなしていたが、この変換を上記の機構で辿ると問題が生じた。hedycaryol の前駆体カチオンはイソプロピル基上にあるが、これが eudesmene 骨格に変わるためには C⁵ から C¹⁰ まで 2 回のアリル転移を経て、環を 3 / 4 周せねばならず、その間に guaiene のような 5 員環 \rightarrow 7 員環化合物に変化する機会があると思われる。また最終生成物ではカチオンがイソプロピル基に戻らねばならない。これはあまりに恣意的である。むしろ酸性水蒸気蒸留で大幅に γ eudesmol が増加したこ

とをヒントにして、eudesmol synthase にはクラス II の反応系があり、hedycaryol synthase で生成されたものの一部がここで eudesmol に変換されると考えた方が合理的に思われる。

そこで germacradiene から eudesmene 骨格を作る反応をアツかった最近の報告を調べてみた。

1) Aristochene synthase

2013 年 Chen ら¹¹⁾ はこの酵素の合成機構の中間体に Germacrene A を考え、これが PPOH からプロトンを奪い Eudesmen カチオンになるという協奏機構を提案した。生じた PPO⁻ はメチル基転移ののち再び eudesmane カチオンからプロトンを奪い Aristochene になる。この機構が成立すれば Class II は不要になる。しかし PPOH (ピロリン酸) の pK_{a1} は 0.96 であり、 $pH 7.5$ の系では OPP⁻ の百万分の 1 程度と計算され、有効に働くとは考えにくい。

2) Serinadiene synthase

2014 年 Baer ら¹²⁾ は *Streptomyces pristinaespiral* から分離した selina-4 (15), 7 (11)-diene synthase (SdS) について、オープンとクローズ (配位子が付いた状態) の結晶解析から Class I TPS の Induced-Fit 機構を証明した。そこには蝶番蓋つきの砂糖壺のような図が示されており、蓋があいた状態では DDXXD モチーフにつながる 3 個の Mg²⁺ が基質の-OPP を捕まえる。G1/2 ヘリックスが元に戻ると蓋が締まり、基質が空洞の中に取り込まれ、ここで Arg178 が PPi センサー、Asp181 がリンカー、Gly182 のカーボニル基 (ペプチド結合) がエフェクターとして働く。OPP が切断すると同時に生じるファーネシルカチオンが 1, 10 環化して、蓋が開く。そうすると Class I の反応系から出てくるのは germacreneB のはずである。(実際副生物として証明されている) 表題の Induced-

Fit mechanism in Class I Terpen Cyclases はクラス I 反応系において Induced-Fit 機構が働くことを述べたもので、germacradienB が H^+ の作用で selinadien になる反応系のことには何も触れていない。

結局 germacrene から eudesmane 骨格ができる反応で H^+ がどこで働くかは未解決である。しかし 2011 年 McAndrew ら¹³⁾ は *Abies grandis* から得た α -bisabolene synthase の結晶解析で Class II の存在を確認している。bisabolene は Class I の反応系で $C^1 \rightarrow C^6$ の環化で終わるので、プロトンを必要としないから働かないだけで、hedycaryol から eudesmol のような H^+ を必要とする場合には働くと考えてもよからう。eudesmol synthase は 2008 年 Yu ら (東大、三沢研究室)¹⁴⁾ により報告されている。*Zingiber zerumbet* の根茎から cDNA (ZSS2) を分離し、テルペン合成用に調製された *E.coli* で発現させたところ β -eudesmol synthase であることが判明した。生成物は 72.4% が β -eudesmol で、10-epi- γ -eudesmol (11.2%), α -eudesmol (7.1%), aristolene (6.1%) であった。この問題は eudesmol synthase の結晶化、構造解析が完成すれば決着すると思われる。

引用文献

1. 長濱静男、木科学情報 8:54 (2001)
2. 長濱静男、木科学情報 9:6 (2002)
3. 長濱静男、木科学情報 9:19 (2002)
4. 長濱静男、木科学情報 9:36 (2002)
5. R. R. Fall, C.A. West, *J. Bio. Chem.* 264, 6913–6928 (1971).
6. C. L. Steele, J. Crockett, J. Bohlmann, R. Croteau, *J. Biol. Chem.* 273, 2078–2088 (1998)
7. F. Chen, D. Tholl, J. Bohlman, E. Pichersky, *Plant J.* 66, 212–229 (2011)
8. D. W. Christianson, *Chem Rev.* 117, 11570–11648 (2017)
9. S. Nagahama, M. Tazaki, H. Kobayashi, M. Sumimoto, *Phytochem.* 33, 879–882 (1993)
10. 渡部大寛、高橋孝悦、芦谷竜矢、第 68 回日本木材学会大会 (京都) (2018)
11. M. Chen et al., *Biochem.* 52, 5441–5453 (2013)
12. P. Baer et al., *Angew. Chem. int. Ed.* 53, 7652–7656 (2013)
13. R. P. McAndrew et al., *Structure* 19, 1876–1884 (2011)
14. F. Yu, H. Harada et al., *FEBS Letters*, 582, issue 5 (2008)

(ながはま しずお : 崇城大学名誉教授)

木材物理改質新技術 — 木材の層状圧縮技術 —

黄 栄 鳳



1. 木材の層状圧縮技術とは

木材の圧縮は物理的な方法で軟質木材の強度と硬さを向上させ、用途を拡大する有効な方法として一般に知られている。今までに、圧縮による木材の密実化というと、低密度の木材を高温水蒸気で蒸し、あるいは熱湯で煮て軟化処理してからホットプレスで圧縮すると普通に考えられる。即ち、木材を整体として軟化処理と圧縮を施す。このような伝統的な圧縮技術は木材の密度と力学的性質を改善するには有効であるが、木材の体積を大幅に減らしてしまうため、より多くの原材料が必要となり、コストが高くなる。

木材の層状圧縮技術は、水熱コントロールによる

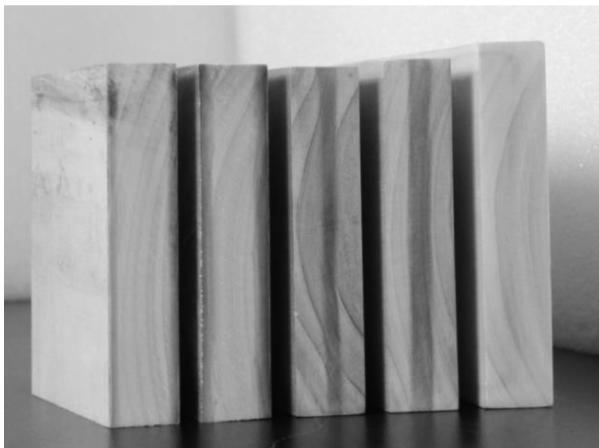


図1 表層圧縮と中心層圧縮木材の実物写真

注:写真中の濃い部分は圧縮層であり、左から圧縮層の厚さが4mmと8mm(片面2mmと4mm)の表層圧縮材、圧縮層の厚さが4mmと8mmの中心層圧縮材と対照材。

木材の層状圧縮技術とも言え、新しい木材圧縮方法である。この技術の特徴として、木材全体を圧縮するのではなく、必要な部位のみ圧縮し、他の部分は元の状態を維持する加工法である。図1に示すように、この方法は圧縮層の厚さと位置を自由に調節することが可能であるため、圧縮による材積の損失を最小限にすることができる。軟質木材の性能を向上させ、かつ最大限にコストを低減できる技術である。

2 圧縮層の形成部位による層状圧縮の分類

伝統的な圧縮に比べて、層状圧縮の最も顕著な特徴は圧縮部位をコントロールすることができ、製品要求の目標による圧縮することを実現した。図2は圧縮層が木材の表面から中心までに形成した実物の写真である。



図2 圧縮層の形成部位の異なる層状圧縮材の実物写真

このような圧縮層の形成部位の異なる層状圧縮材をまとめると、圧縮層を板材の表面に形成する表層圧縮、圧縮層が板材の厚さ方向の中心に形成する中心層圧縮と圧縮層が表面と中心の間に形成する中間層圧縮と三種類に分類された(図3)。

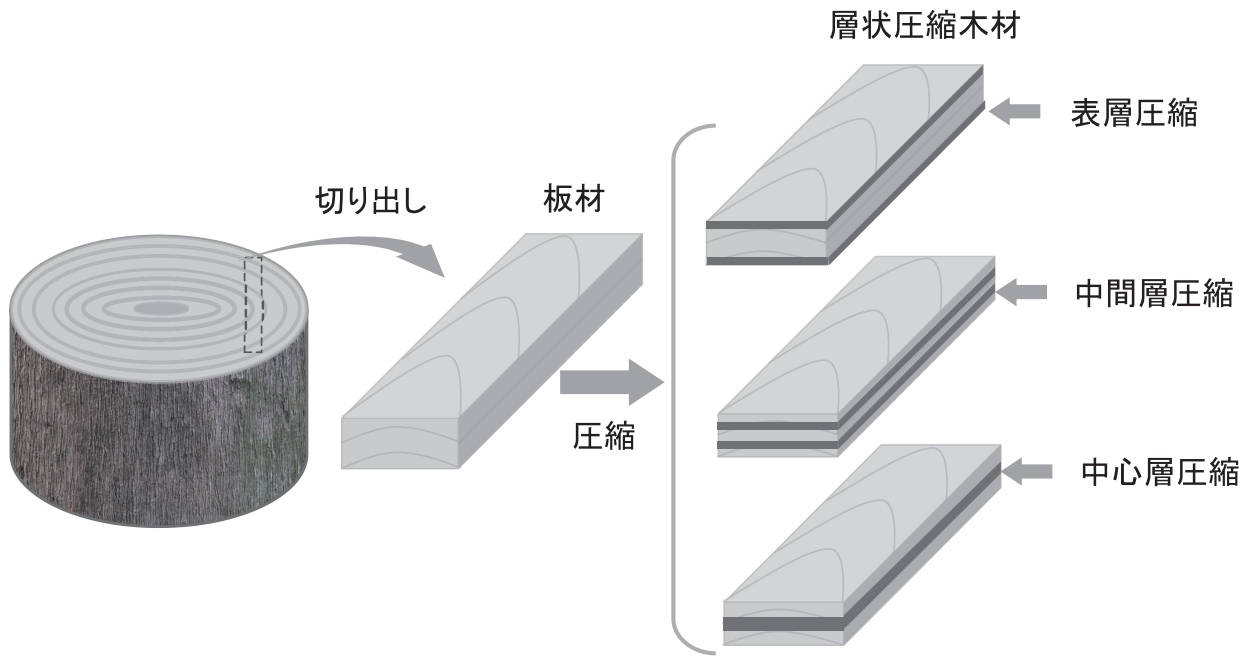


図3 層状圧縮の分類

3. 層状圧縮と整体圧縮の違い

図4に示すように、伝統的な整体圧縮技術は圧縮率を増加することによって木材の密度を高め、木材

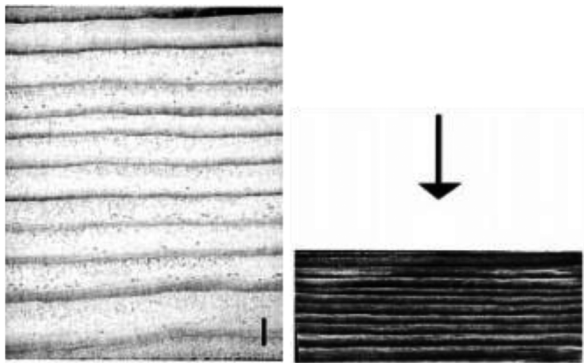


図4 整体圧縮法による圧縮材の圧縮前後の対比^[2]

の硬さと強度を向上させる。密度が 0.33 g/cm^3 のスギ材は圧縮率が60%以上に達すると密度が 0.80 g/cm^3 となり、その力学的性質も顕著に向上させることができる^[1]。中国の人工林早生樹のポプラ、コウヨウザンと中国産のスギの密度はそれぞれ 0.40 g/cm^3 、 0.38 g/cm^3 、 0.28 g/cm^3 であり、これらの樹種の木材を整体圧縮する方法によって改質し、普通家具やフローリング用ハードウードの密度に達するには、日本におけるスギの圧縮率と密度の関係から圧縮率は50%~65%にしなければならない。整体圧縮法の高い圧縮率は圧縮材のコストを高めるだけでなく、圧縮応力が高いため圧縮変形の永久固定もより難しくなる。180°C以上の飽和水蒸気で永久固定できるが、設備や生産等にかかるコストが高く、安全性等の問

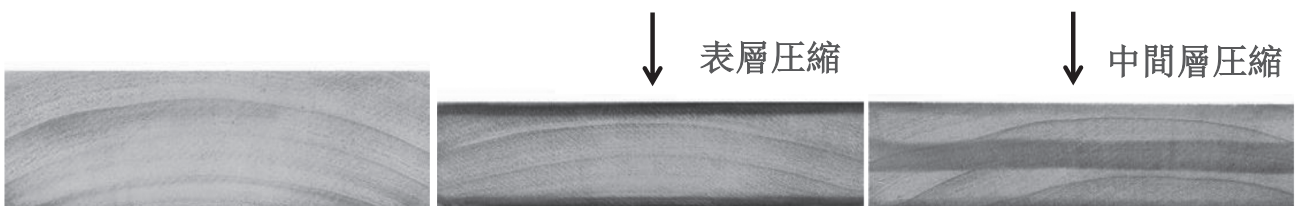


図5 層状圧縮法による圧縮材の圧縮前後の対比

題があるため、大規模な工業生産とその応用ができない。

層状圧縮法は、水熱コントロールによって必要な部位だけを圧縮し、他の部位をほとんど圧縮しないような目標に応じた圧縮方法である。層状圧縮法は圧縮部位と圧縮厚さが選択可能な圧縮法で、軟質木材の力学的性能の改善は圧縮量の調整によって実現する。図5に示すように、密度 0.4 g/cm^3 、厚さ 25 mm のポプラ板材に 5 mm だけの圧縮量で板材の上下表面に各 2 mm 以上、圧縮層の平均密度が 0.8 g/cm^3 以上の圧縮層が形成できる。この圧縮量を圧縮率に換算すると、わずか 20% である。このような表層 2 mm 圧縮したポプラ板材で加工したフローリングの硬さは $3H$ 以上に達することができる（中国の実木フローリングの国家基準で H 以上になっている）。層状圧縮は圧縮量が小さく、圧縮材の圧縮応力も小さい。このような圧縮材を 0.3 MPa の過熱水蒸気法で熱処理をして圧縮変形の回復率を 1.5% 以下にすることができる。層状圧縮法は最大限に圧縮率を低減することによって、木材を節約し、圧縮材の加工コストを低減できる有効な方法である。

4. 層状圧縮の長所

- 1) 層状圧縮材は軽質、高い表面硬さと高い強度の性質を有するため、表層圧縮材で加工したフローリングは表面が硬く、中心層が柔らかくて弾性感があり、足で床を踏んだ時の感じが快適である。
- 2) 層状圧縮技術は多くの樹種に適する。密度が 0.7 g/cm^3 以下のほとんどの針葉樹材と広葉樹材に適用することができる。図6は3種類の針葉樹材と3種類の広葉樹材の表層圧縮した木材の写真である。異なる樹種の独特な色と木目等の外観的な特性を利用して木製品の種類を豊富にして、より多く消費者の好みを満たすことができる。

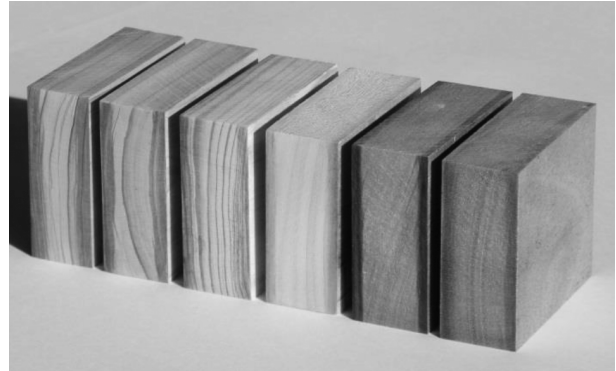


図6 3種類の針葉樹材と3種類の広葉樹材の表層圧縮木材の写真

注：左からスギ (*Cryptomeria fortunei*)、コウヨウザン、樟子松、ポプラ、坎諾漆 (*Camptosperma spp.*)、奥古曼 (*Aucoumea klaineana*)

5. 層状圧縮木材の性能特徴

層状圧縮木材の最も顕著な特徴は厚さ方向の密度の差が大きいことである。図7に示すように、圧縮層が表層にあっても、中間層或いは中心層にあっても、圧縮層の密度が 0.9 g/cm^3 以上に圧縮されても、他の部分の密度は対照材とほとんど同じである。ポプラ材を表層圧縮する場合、表層の密度は中心層の 1.8 倍になると同時に、表層の硬さは対照材の 2.4 倍以上にすることができる。

6. 層状圧縮木材の応用可能な領域

層状圧縮木材は以下の3つの木製品加工領域に利用可能であると考えられる。

1) フローリング加工

層状圧縮木材は普通のフローリングだけでなく、圧縮した木材の変形固定を行ったため、寸法安定性が通常の木材より高く、床暖房フローリングにも適する。

2) 家具加工

層状圧縮材は普通の木製品と同様にサンダーや塗装などの加工を行うことで、貴重な広葉樹材のような質感となり、家具に利用することができる。

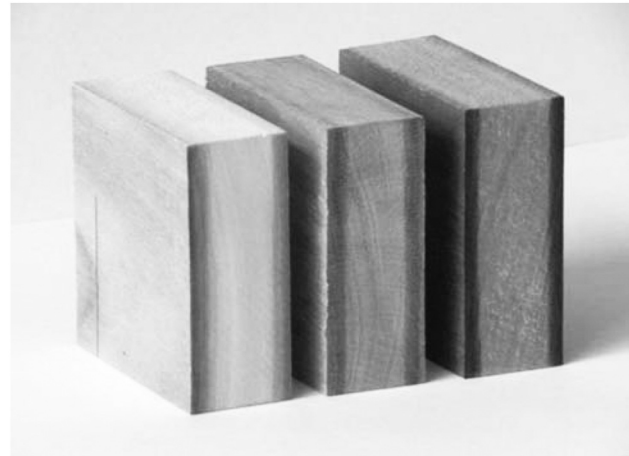
3) インテリアと注文家具

層状圧縮技術で圧縮層の部位の厚さをコントロールすることによって様々な規格の板材を加工することができる。そのためインテリアや部屋に合わせてあつらえた個性的な家具に適する。

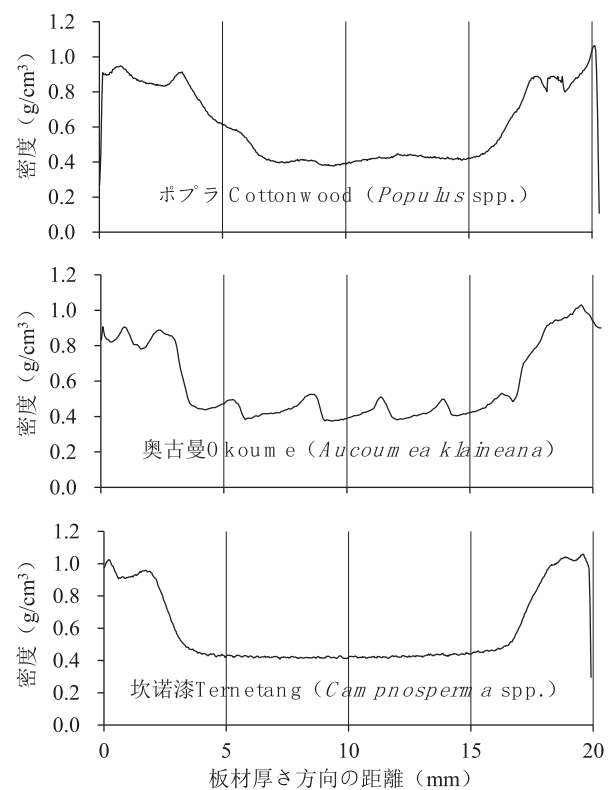
参考文献

1. 北守顕久, 鄭 基浩, 森 拓郎, 小松幸平 (2010) 01- 圧縮木材の力学的性質の圧縮率依存性. 木材学会誌 56(2):67-78.
2. Navi P., Girardet F. (2000) Effects of thermo-hydro-mechanical treatment on the structure and properties of wood. *Holzforschung* 54(3): 287-293.

(こ う えいほう : 中国林業科学研究院木材工業研究所)



注：左からポプラ、奥古曼、坎諾漆



表層圧縮木材の密度分布

図7 3樹種の低密度広葉樹材の表層圧縮材の実物写真とその密度分布

シロイヌナズナにおける モノリグノール輸送体の探索

武内 真奈美



1. 研究の背景

植物体中でのリグニン生合成は、リグニン前駆体である3種類のモノリグノール（*p*-クマリルアルコール：H型、コニフェリルアルコール：G型、シナピルアルコール：S型）が細胞壁で重合されることで形成される。モノリグノールは細胞質内で生成されるが、その重合は細胞外で行われる。したがって、リグニンの蓄積にはモノリグノールが細胞膜を介して細胞壁に輸送されなければならない。さらに、リグニン沈着は細胞の種類やそのステージによって構成する構造単位（H、G、S型）の比率および結合様式が異なり、リグニン前駆物質の細胞壁への輸送段階は、その供給量やタイミングを制御する要因となり得る。つまり、リグニン前駆物質の細胞壁輸送機構の理解と制御は、樹木のリグニン量やモノマー組成および結合様式の制御に貢献する可能性がある。しかし、リグニン前駆物質の生合成や重合に関与するタンパクが多く報告されている一方で、細胞壁輸送に関わるタンパクはほとんど明らかにされていない。

細胞壁へのリグニン前駆体の輸送方法として、受動拡散、一次能動輸送、二次能動輸送、小胞輸送などが考えられる¹⁾。シロイヌナズナの細胞膜画分および液胞膜画分において、モノリグノールおよびモノリグノール配糖体がそれぞれATP依存的に輸送され、ABC輸送体阻害剤であるバナジン酸塩によって阻害された。このことから細胞膜を介した細胞壁へのモノリグノールの輸送に、ABC輸送体が関与していることが示唆された²⁾。さらにABC輸送体の一つであるAtABCG29を酵母に過剰発現させ、その膜画分を用いて輸送アッセイを行うと、ATP存在下で*p*-クマリルアルコールを特異的に輸送することが示された³⁾。しかし、いまだに主要なリグニンモノマ

ーであるコニフェリルアルコールおよびシナピルアルコールの輸送体は明らかにされていない。

木部細胞が多くを占める樹木では細胞壁が活発に形成されることから、細胞壁関連遺伝子の発現は著しく変化していると予想される。草本植物であるシロイヌナズナも維管束が発達しており、樹木のリグニン（25-30%）には及ばないものの、細胞壁中の約15%をリグニンが占める。シロイヌナズナは世代期間が2ヶ月と短く、またDNA変化が容易であることから、逆遺伝学的手法を用いた遺伝子の機能同定が容易である。そこで本研究ではシロイヌナズナを用いた細胞壁関連遺伝子と輸送体遺伝子の発現解析を通して候補輸送体遺伝子を推定し、その遺伝子をノックアウトした植物体を用いた表現型解析によって、リグニン前駆体輸送に関わる輸送体の探索を試みた。

2 シロイヌナズナ培養細胞の経時的発現解析によるスクリーニング

二次壁形成が促進される管状要素誘導培養細胞において、リグニン沈着が進むに伴いリグニン生合成関連遺伝子（参照遺伝子）の発現量は変化すると予想した。そこで本誘導系を用いて、輸送体遺伝子およびリグニン生合成遺伝子の経時的な発現パターンを解析することで、リグニン生合成に関わると予想される遺伝子を選抜することを目的とした。既報を参考に、対象遺伝子は主にABC輸送体とした。

管状要素誘導後の木化レベルの変化を明らかにするため、木化誘導後細胞のうち木化細胞の割合をフロログルシノール染色によって経時的に測定した（図1a-c）。木化細胞の割合は、4日目から増加し、管状要素誘導処理の9日以降にプラトーに達した。

これは、リグニン合成が誘導処理開始後4日目から促進され、6日目と9日目の間に特に活発に行われることを示している。また10日以降、木化細胞比率はわずかしき変化していないことから、培養細胞においてリグニン合成が完了していることが示された。したがって、管状要素誘導処理開始を0日として、2、4、6、8、10日の細胞中でのリグニン生合成遺伝子および輸送体遺伝子の発現量変化を解析することで、リグニン生合成に関与する可能性のある輸送体遺伝子を絞り込む事ができると考えた。

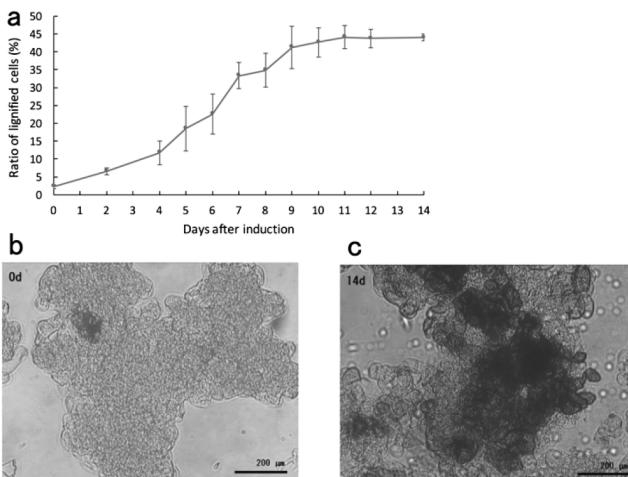


図1 T87 培養細胞における管状要素細胞誘導後の木化の進行

管状要素誘導後0-10日の細胞を用いてリアルタイムPCRによる10個の参照遺伝子および29個の輸送体遺伝子の発現解析を行った(図2)。クラスターIIIには参照遺伝子 *XCP1*、*AtPrx25* および *MYB4* が含まれていた。クラスターIIIに最も近いクラスターIVには、リグニン生合成転写因子である *MYB58* と、推定 *p*-クマリルアルコール輸送体である *ABCG29* が含まれていた。クラスターIVに分類された遺伝子の発現は、誘導後4日以降に上昇傾向を示し、8日目にピークに達し、10日目には頭打ちになった。一方で、木化細胞比率は4日以降に増加傾向を示し、8日まで増加し続け、10日以降はほとんど変化しなかった。このように、クラスターIVに含まれる遺伝子の発現パターンは木化の進行具合と一致していた。したがって、クラスターIVに含まれる輸送体遺伝子 *ABCG11*、*ABCG22* および *ABCG36* は、シロイヌナズナ培養細胞の木化に関与している可能性が高いと予想した。

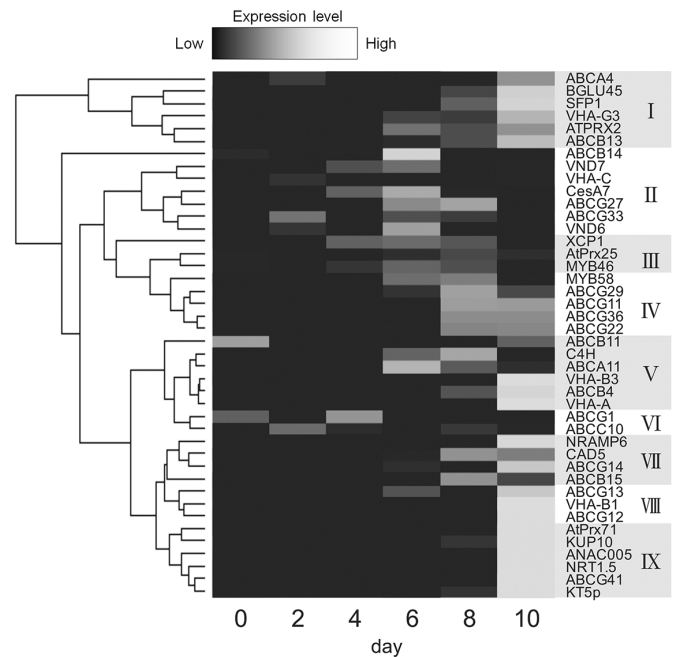


図2 管状要素誘導経時的な木化関連遺伝子および輸送体遺伝子の発現解析

3. シロイヌナズナ植物体の器官別発現解析によるスクリーニング

次にシロイヌナズナの異なる植物器官(4週または6週齢植物体の茎上部、茎基部、根、ロゼット葉、茎生葉)を用いて、リアルタイムPCRによる輸送体遺伝子および二次壁生合成関連遺伝子の発現パターン測定からモノリグノール輸送体候補遺伝子の選択を試みた。木化した細胞壁は維管束植物の特徴であり、進化に伴って獲得されたと考えられる。そこで維管束植物であるシロイヌナズナと非維管束植物であるヒメツリガネゴケのABC輸送体を比較して、シロイヌナズナのみが保存する10個のABC輸送体を選択した。前出のスクリーニングにおいて用いた参照遺伝子および参照遺伝子と共発現していた5個のABC輸送体も解析対象に含めた。

大部分の参照遺伝子が互いに隣接したクラスターに分類された(図3)。*ABCG29* および *ABCG33* は6週齢の茎上部で強く発現し、リグニン生合成の転写因子と考えられている *MYB46* および *MYB58* と協調的な発現を示した(図3クラスターII)。また、*ABCG29* は *p*-クマリルアルコール輸送体である可能性が報告されており、本実験の結果も *ABCG29* が

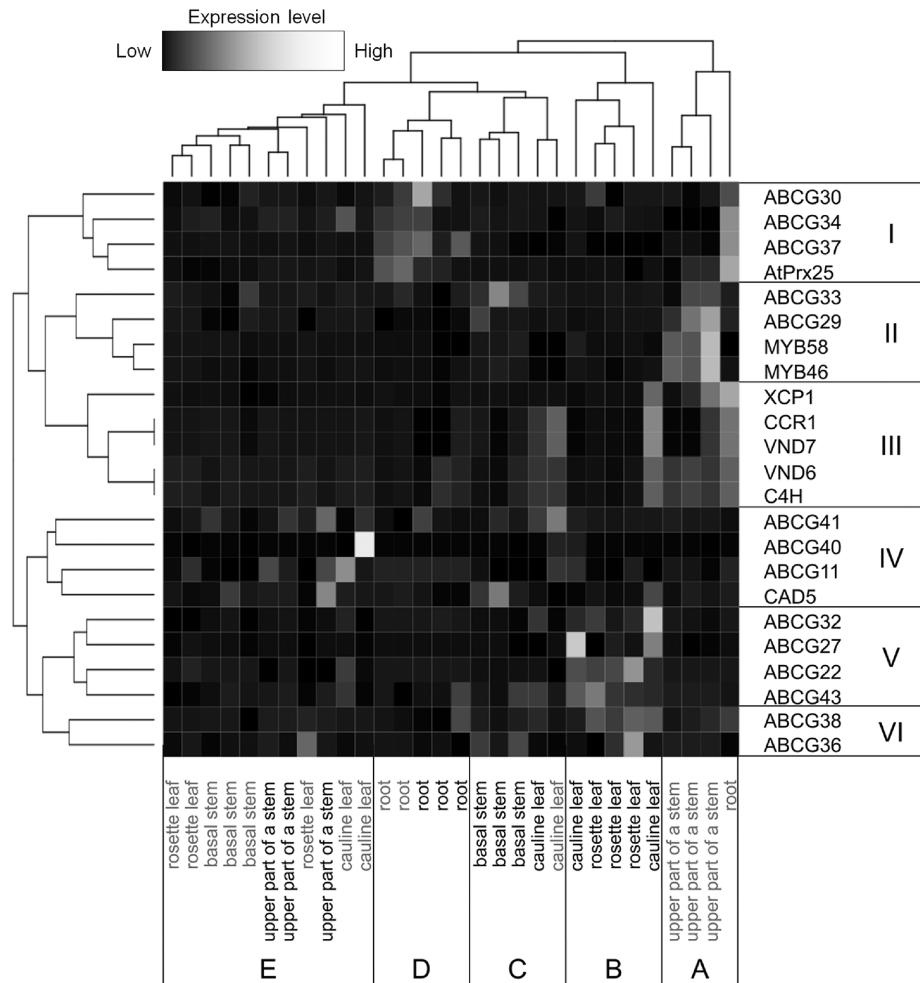


図3 植物器官別木化関連遺伝子および輸送体遺伝子の発現解析
植物器官名 (黒: 4週齢 灰: 6週齢)

モノリグノール輸送に参与する可能性を支持した。*ABCG33* の発現パターンは *ABCG29* の発現パターンと非常によく似ていたことから、*ABCG33* もリグニン合成関連輸送体である可能性が期待された。*ABCG30*、*ABCG34* および *ABCG37* はすでに他の基質の輸送体として報告されているが、本実験の植物器官別発現解析において *ABCG30*、*ABCG34* および *ABCG37* が4週齢および6週齢の植物の根においてリグニン生合成に参与するペルオキシダーゼである *AtPrx25* と協調的な発現が認められた (図3クラスターI)。ABC輸送体は機能的に無関係な複数の基質を輸送することが知られていることから、これらも候補輸送体遺伝子に含めた。

最終的に、活発に木化する植物器官で複数の参照遺伝子と同調的に発現した5遺伝子 (*ABCG29*、*ABCG30*、*ABCG33*、*ABCG34*、*ABCG37*) をモノ

リグノール輸送体候補遺伝子として選択した。

4. 一遺伝子ノックアウト変異体の表現型解析

一遺伝子の発現喪失が他遺伝子発現に与える影響を明らかにするため、根における候補遺伝子の発現レベルを半定量的に測定した。発現レベルは野生型植物体での発現レベルを1として表記した。*ABCG30* の発現は、他の遺伝子と比較して野生型植物体においても著しく低かったため、定性的に表記した (表1)。*ABCG34* の発現レベルは、*abcg30* 変異体では野生型の2倍となった。また、*abcg34* 変異体における *ABCG30* の発現レベルは、野生型より著しく高くなった。これらの結果より、*ABCG30* と *ABCG34* の発現は互いに影響を与えていることが示唆された。*ABCG37* の発現レベルは *abcg30* および *abcg34* において野生型と比較して有意に上昇し

たが、*abcg37* 変異体において *ABCG30* と *ABCG34* の発現は変化しなかった。これらの結果から、*ABCG30*、*ABCG34*、*ABCG37* の3遺伝子の機能が関連している可能性が示唆された。*ABCG33* は *abcg29* および *abcg30* 変異体において野生型と比較して著しく高発現を示したが、*ABCG29* と *ABCG30* の発現レベルは *abcg33* 変異体において変化しなかった。これらの結果より、*ABCG29*、*ABCG30*、*ABCG33* の3遺伝子の機能にも関連性がある可能性が考えられる。

表1 一遺伝子ノックアウト変異体における候補輸送体遺伝子の相対発現量

	<i>ABCG29</i>	<i>ABCG30</i>	<i>ABCG33</i>	<i>ABCG34</i>	<i>ABCG37</i>
WT	1.0±0.1	VW	1.0±0.3	1.0±0.1	1.0±0.2
<i>abcg29</i>	ND	ND	1.7±0.1*	1.5±0.1	1.3±0.1
<i>abcg30</i>	1.6±0.0	ND	2.0±0.2*	2.2±0.1*	1.8±0.3*
<i>abcg33</i>	1.3±0.4	ND	ND	1.8±0.7*	1.4±0.3
<i>abcg34</i>	1.8±0.5	S	1.5±0.3	ND	1.6±0.2*
<i>abcg37</i>	0.9±0.3	ND	1.1±0.4	0.7±0.6	ND

VW: very weak; ND: not detected; S: strong
(n=3, p<0.05)

各変異体ラインをアセチルブロマイド分析に供した。野生型植物体茎のリグニン量は約16%で、いずれの変異体ラインも野生型と同程度のリグニン量を示した(表2)。さらに熱分解GC-MS分析法で、各変異体リグニンのβ-O-4結合由来モノマー組成を野生型のそれと比較した。野生型植物体茎のS/G比は約0.8、H/G比は約0.2を示し、各変異体のS/GおよびH/G比についても野生型と変わらなかった(表2)。*abcg37*のリグニン含量は増加傾向を示したが、今回の実験のみからはその理由は明らかではない。リグニン分析の結果から、候補とした一輸送体遺伝子の欠損はリグニン量およびリグニン組成にほとんど影響を与えず、個々の輸送体は単独ではリグニンモノマーの輸送において主要な役割を果たさないことが示唆された。しかしながら、複数の遺伝子が同時にリグニン合成に寄与する可能性が考えられる。*ABCG30*、*ABCG34* および *ABCG37* は、野生型植物の根で協調的に発現し(図3)、*ABCG30* と *ABCG34* は一方をノックアウトすると他方の発現が上昇することが示された(表1)。このことから

ABCG30 と *ABCG34* は同様の機能を有している可能性が考えられた。*ABCG29* および *ABCG33* は、植物器官別発現解析において茎特異的な発現を示した(図3)。さらに *ABCG29* をノックアウトすると *ABCG33* の発現が著しく上昇した(表1)。一方で、*ABCG29* および *ABCG33* のいずれの一遺伝子ノックアウト体も見た目の表現型およびリグニン合成には影響を与えなかった(表2)。*ABCG29* および *ABCG33* は互いに機能を補完するため、一遺伝子ノックアウトによって表現型の変化が現れなかった可能性がある。

表2 一遺伝子ノックアウト変異体におけるリグニン量およびモノマー比

	Lignin (%)	S/G	H/G
WT	16.1 ± 0.5 (100)	0.80±0.08	0.18±0.03
<i>abcg29</i>	16.3 ± 0.5 (101)	0.71±0.03	0.19±0.01
<i>abcg30</i>	16.4 ± 0.5 (102)	0.76±0.04	0.19±0.05
<i>abcg33</i>	16.5 ± 0.6 (102)	0.67±0.06	0.19±0.03
<i>abcg34</i>	15.5 ± 0.7 (96)	0.64±0.11	0.22±0.07
<i>abcg37</i>	19.1 ± 1.4* (114)	0.80±0.04	0.18±0.04

(n=3, p<0.05)

5. 総括

管状要素誘導細胞および植物器官別遺伝子発現解析の結果、5遺伝子をリグニン前駆体輸送体候補として選出した。これらの一遺伝子ノックアウト植物体を用いて表現型解析を行ったが、リグニン量および組成の変化はなかった。変異体の遺伝子発現解析の結果、特定の遺伝子ノックアウトに呼応して発現上昇する遺伝子が存在することから、複数の輸送体遺伝子が協調的にリグニン前駆体輸送に寄与する可能性が示唆された。

6. 参考文献

- 1) Liu CJ, Miao YC, Zhang KW (2011) *Molecules* 16:710-727.
- 2) Miao YC, Liu CJ (2010) *Proc Natl Acad Sci U S A* 107: 22728-22733.
- 3) Alejandro S, Lee Y, Tohge T, Sudre D, Osorio S, Park J, Bovet L, Lee Y, Geldner N, Fernie AR, Martinoia E (2012) *Curr Biol* 22:1207-1212.
- 4) Kaneda M, Schuetz M, Lin B, Chanis C, Hamberger B, Western T, Ehling J, Samuels A (2011) *J Exp Bot* 62:2063-2077.

(たけうちまなみ:九州大学先端融合医療創成センター)

[編集後記]

木科学情報第26巻1号をお届けします。今号は、日本木材学会および九州支部の大先輩であるお二人の先生にご登場を依頼しました。まずお一人目は九州支部の3代目支部長を務められた大迫靖雄先生（熊本大学名誉教授）です。大迫先生には巻頭言を執筆いただくとともに昨年11月の九州支部大会での公開講演会「九州支部の25年の歩みと未来」のご講演内容を紹介いただきました。その内容は九州支部発足時のお話しなのでたいへん貴重です。もう一人の講演者としてご講演いただいた現日本木材学会副会長の船田良先生の内容と併せて、ぜひご一読ください。

お二人目は崇城大学名誉教授の長濱静男先生です。先生からは「総説・主張」に「Eudesmol生合成機構について」という題で寄稿いただきました。なんと先生は御年90歳になられるそうです。いうまでもなく支部会員最高齢です。先生が仰るには「とある論文を読んでいて気付いたことがあったので再度検討し執筆した」そうです。日頃長老ぶっている私も「生涯現役の研究者です」と軽く口にできなくなってしまいました。まだまだ青いようです。

その他、訪問研究員として九州大学の木質資源工学研究室に滞在されていた黄榮鳳先生には木材の層状圧縮技術に関する解説、武内真奈美さんには九州大学の博士課程在学中に行ったりリグニン前駆物質の輸送体探索に関する研究をレビューしていただきました。皆さまお忙しいなか原稿を寄稿いただきありがとうございます。

なお、本号をもちまして編集委員を交代いたします。会員の皆様に興味をもっていただけたかはわかりませんが、発行にご協力いただいた皆様に厚くお礼申し上げます。今後とも木科学情報を宜しくお願いいたします。

古賀 信也

[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 Tel/Fax: 092-802-4675

●木科学情報に関わること（編集：古賀 信也）

E-mail: skoga@forest.kyushu-u.ac.jp Tel/Fax: 092-948-3117

●支部ホームページ

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

木科学情報 26巻 1号

2019年3月5日発行

編集人 松村 順司

発行所 一般社団法人日本木材学会九州支部

発行人 堤 祐司

〒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 : 092-802-4657

※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。

