

日本木材学会

北海道支部講演集

第 48 号

平成 28 年 11 月

日本木材学会北海道支部

札幌

日本木材学会北海道支部講演集

第48号

目次

<口頭発表> 13:15-15:15

- 0-1) ベッコウタケ接種に対する生立木樹幹二次木部の反応…………… 2
○上田幹朗, 堀千明, 山岸祐介, 宮本敏澄, 玉井 裕, 佐野雄三 (北大院農)
- 0-2) 同位体顕微鏡観察によるモノリグノールの移動の可視化…………… 4
○小川真由, 幸田圭一, 重富顕吾 (北大院農), 坂本直哉 (北大創成研),
高部圭司, 吉永 新 (京大院農), 浦木康光 (北大院農)
- 0-3) 凍結感受性菌株を中心としたシイタケ・ヒラタケの-20°C凍結保存の検討
- 菌体ディスクと凍結保護液の影響評価 - …………… 6
○新井 悠, 安東敬史, 高田恵多, 富樫 巖 (旭川高専)
- 0-4) ペンレート耐性糸状菌の-20°C凍結および7~25°C非凍結保存の可能性
- キノコ栽培施設で分離した害菌・雑菌の菌株保存 - …………… 10
○松田大道, 増羽龍斗, 富樫 巖 (旭川高専)
- 0-5) マイタケ「大雪華の舞1号」摂取によるインフルエンザワクチン効果増強作用
—ヒト臨床試験による実証—…………… 14
○佐藤真由美, 東 智則, 米山彰造 (北林産試),
田中藍子, 西平 順 (北海道情報大・医療情報), 岡松正敏 (北大院獣医)
- 0-6) オートファジー誘導物質(+)-epogymnolactamの類縁体合成および活性評価…………… 17
○上田一貴, 岡戸祐治, 重富顕吾, 生方 信 (北大院農)
- 0-7) カラマツラミナにおけるヤニつぼ, ヤニ垂れの出現頻度…………… 21
○折橋 健, 檜山 亮, 土橋英亮, 松本和茂, 中寫 厚 (北林産試)
- 0-8) 道産たて枠材を使用した枠組壁工法住宅の現状報告…………… 24
○平井卓郎, 中田隆之, 菊澤里志, 山本 宏 (NPO 法人北海道住宅の会)

<展示発表> 15:15-16:00

- P-1) 強制腐朽処理を施したホールダウン金物接合部のせん断性能…………… 28
○高梨隆也, 戸田正彦, 森満範, 宮内輝久 (北林産試), 森拓郎 (京大生存研)
- P-2) 道産カラマツCLTの面外せん断試験に関する考察…………… 32
○石原 亘, 大橋義徳, 松本和茂, 高梨隆也, 植松武是 (北林産試)
- P-3) カラマツ実大樹木の抗力係数評価…………… 36
○中谷一枝, 小泉章夫, 佐々木義久 (北大院農), 鳥田宏行 (北林試)
- P-4) 水平外力に対する空沼小屋の全体転倒の検討…………… 39
○須賀雅人 (北大農), 澤田 圭, 小泉章夫 (北大院農)
- P-5) 北海道産カラマツ・トドマツを用いた CLT のボルト接合性能…………… 43
○富高亮介, 戸田正彦, 今井良, 前田典昭, 植松武是, 村上了 (北林産試)
- P-6) 家畜敷料に求められる性能と木質系敷料の優位性…………… 46
○山崎亨史 (北林産試)
- P-7) 樹木に存在する氷核形成物質の性質の解明…………… 50
○鉄穴口晃, 鈴木伸吾, 荒川圭太 (北大院農)
- P-8) シラカンバの枝における脱馴化条件と耐寒性変化との関連性…………… 54
○武内眞也, 春日 純 (帯畜大)
- P-9) リグニン分解系酵素の発現にプロテインホスファターゼは関与するか?…………… 56
○落合崇浩 (北大農), 重富顕吾, 生方 信 (北大院農)
- P-10) キラルな β -D-4 リグニンポリマーの合成に関する検討…………… 58
○鈴木薫平 (北大農), 重富顕吾, 生方 信 (北大院農)
- P-11) 計算化学によるリグニン局所構造の解明 -リグニン分子内で hole transfer は起きうるか- 60
○重富顕吾, 生方 信 (北大院農)

※口頭発表座長: O-1~2 折橋 健 (北林産試);
O-3~5 玉井 裕 (北大院農) O-6~8 幸田圭一 (北大院農)

<特別講演> 16:10-16:40

「終末糖化産物 (AGEs) 阻害剤 ～抽出成分と酸素のインパクト～」 1

生方 信 教授 (北海道大学大学院 農学研究院)

特別講演

終末糖化産物 (AGEs) 阻害剤 -抽出成分と酸素のインパクト-

生方 信 (北大院農)

プラスにも振れマイナスにも振れる生命現象が飼い慣らされた複雑系とすれば、抽出成分のような小さな分子から生命を理解し、生命現象をコントロールすることができるかもしれない。約 40 年間の研究生活の中で、著者は生命の秘密を探るための抽出成分の構造と機能に魅せられてきた。最近では、樹木、森林微生物、キノコなどをスクリーニングソースとして、細胞の生理活性物質を探す、細胞の代謝産物を創る、細胞の機能を探ることを目標に研究を行ってきた。糖とタンパク質とのメイラード反応などを介して非酵素的に生成する終末糖化産物(AGEs)の形成を阻害する抽出成分は、糖尿病、老化、神経疾患などの予防や治療に有効であると期待されている。また生体内で生成する AGEs と、がんの発症との関連性も指摘されている。

本講演では、1) カンキツ類由来 *Paecilomyces* sp. の生産するメイラード反応阻害剤、2) テルピネン-4-オールによる α -ジカルボニル化合物の解裂機構、3) ケルセチンによる AGE 形成阻害機構、の三つの話題を軸に、抽出成分と酸素のインパクトに関して考察を試みる。

Paecilomyces sp. の菌糸体培養物が顕著な AGE 形成阻害活性を示したため、活性本体の単離構造決定を行った。最初に単離構造決定されたヘスペリジンは AGE 形成阻害物質としての活性を示したが、培地成分として使用したオレンジジュース由来と考えられた。菌の二次代謝産物として *O*-デメチルシルバチコール、ミトルブリンが単離され、これらは AGE 形成阻害活性を示した。それ以外の顕著な活性画分の NMR 解析により、パルミチン酸および *trans*-パルミトレイン酸のどちらかが活性を示すと考えられた。しかしながら、それぞれの標品を用いた生物検定では阻害活性を示さなかった。伝説の「消える活性物質」である可能性があった。TLC に於けるペルオキシドの検出試薬である KI 水溶液を用いると活性画分のすぐ上に陽性スポットを与えた。ペルオキシドが AGE 形成阻害剤となることは、二つ目のテルピネン-4-オールによる AGE 形成阻害機構の解析で明確に証明された。即ち、テルピネン-4-オールは空気酸化により容易に過酸化物を生成し、その過酸化物が α -ジカルボニル化合物を解裂させることを見いだした。解裂機構の解明を目的として対称な α -ジカルボニル化合物であるジアセチルを用い、テルペンペルオキシドが Baeyer-Villiger 様反応を介してジカルボニルの炭素-炭素結合を切断することを経時的 NMR 実験により初めて明らかにした。三つ目の研究では、植物由来の抽出成分として見いだされる 14 種のポリフェノールを用いた構造—活性相関研究により、ケルセチンが最も顕著な AGE 形成阻害物質であることを見いだした。さらにグルコースとウシ血清アルブミンによる AGE 形成実験において、生理的濃度の 2 価金属イオンが AGE 形成を促進することを明らかにした。よって、この系に於いてケルセチンの 3',4'-水酸基による強いキレート効果、および C-5 ケト基と隣接した C-3 位並びに C-4 位の水酸基との間の弱いキレート効果が AGE 形成阻害に関与していると結論した。さらに、従来提唱されていた機構とは異なる新規な反応機構を介して α -ジカルボニル化合物の一つであるメチルグリオキサールがケルセチンの C-6 位および C-8 位でトラップされることを初めて見いだした。

1997 年、がんや糖尿病に治療効果を示す抽出成分の発見に興味を抱いていた著者のもとに、世界がん基金から「Food, Nutrition, and the Prevention of Cancer: a Global Perspective」という分厚い本が送られてきた。10 年毎に、がんのコホート研究とケースコントロール研究の結果が纏められ、2007 年度版「Food, Nutrition, Physical Activity, and the Prevention of Cancer: a Global Perspective」はインターネットで手に入る。抽出成分を含む野菜や果物はがんに対する効果があるのだろうか、自らの結腸がん縮小に挑んだ試みを最後に披露したい。研究の楽しみは、日々の積み重ねの中から生まれてくる新しい発見にある。小さなラボでの総被引用数が本日 2,581 に達した。分子との出会い、生命との出会い、人との出会いに感謝したい。

1997 年、がんや糖尿病に治療効果を示す抽出成分の発見に興味を抱いていた著者のもとに、世界がん基金から「Food, Nutrition, and the Prevention of Cancer: a Global Perspective」という分厚い本が送られてきた。10 年毎に、がんのコホート研究とケースコントロール研究の結果が纏められ、2007 年度版「Food, Nutrition, Physical Activity, and the Prevention of Cancer: a Global Perspective」はインターネットで手に入る。抽出成分を含む野菜や果物はがんに対する効果があるのだろうか、自らの結腸がん縮小に挑んだ試みを最後に披露したい。研究の楽しみは、日々の積み重ねの中から生まれてくる新しい発見にある。小さなラボでの総被引用数が本日 2,581 に達した。分子との出会い、生命との出会い、人との出会いに感謝したい。

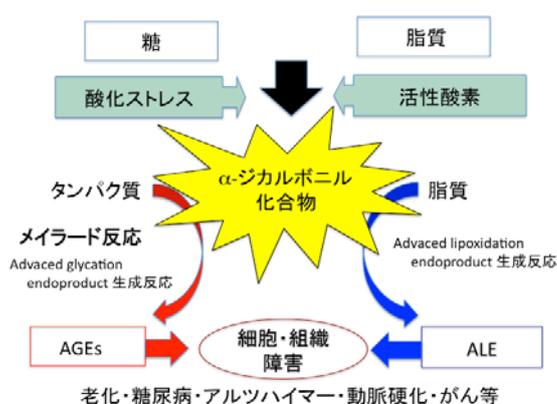


図1. 終末糖化産物(AGEs)の生成に関する α -ジカルボニル化合物

O-1

ベッコウタケ接種に対する生立木樹幹二次木部の反応

○上田幹朗、堀千明、山岸祐介、宮本敏澄、玉井裕、佐野雄三（北大院農）

【緒言】

べっこうたけ病は白色腐朽菌であるベッコウタケ (*Perenniporia fraxinea*) によって広葉樹に引き起こされる根株腐朽病の一つである。立木の樹勢衰退や枯死の原因となるだけでなく、突発的な倒伏を引き起こすことがあるため、最近では街路樹管理上特に注意すべき病害と指摘されている¹⁾。べっこうたけ病は、特にハリエンジュ (*Robinia pseudoacacia*)、サクラ類 (*Cerasus spp.*) に多く発生するが、針葉樹には発生例がないと報告されている²⁾。また、子実体の発生は地際～低地上高部に限られ、本菌は高地上高部では繁殖しにくいと推察されている³⁾。一般に、木材腐朽菌による立木腐朽に対し、樹木は抗菌性物質や水分を材組織中に集積させることでその拡大を防いでいると考えられている^{4,5)}。べっこうたけ病に罹患しやすい樹種としにくい樹種、および同一樹幹内でも地際と高地上高部では、そのような材組織の反応に違いがある可能性も想定される。そこで本研究では、ベッコウタケに対する抵抗性が大きく異なるとされているハリエンジュ、エゾヤマザクラ (*Cerasus sargentii*)、ハルニレ (*Ulmus davidiana var. japonica*)、アカエゾマツ (*Picea glehnii*) (以上、抵抗性が低い順³⁾) の各樹幹の地際と胸高部にベッコウタケを接種し、同菌の蔓延状況や材組織で生じる反応を比較した。

【実験方法】

供試木：北海道大学苫小牧研究林に生育するハリエンジュとエゾヤマザクラ、アカエゾマツ、および同札幌研究林に生育するハルニレそれぞれ1本を供試木とした。供試木には被圧されておらず枝痕や外傷の少ないものを選んだ。

接種と試料採取：胸高と地上高 30 cm それぞれの南北方向から樹幹にドリルで穿孔し、事前にベッコウタケを蔓延させたブナ木片 (高さ×幅×奥行き=8 mm×8 mm×40 mm) を挿入することで本菌を接種した。対照として、それら接種孔の近傍に設けた別の孔に滅菌したブナ木片を挿入した。3～5ヵ月後に伐採し、各丸太の接種部から以下の実験用試料を採取した。

水分分布の観察：2～3 mm 厚の薄片を製材し、生材および気乾状態で軟 X 線写真を撮影した。

接種した菌の検出：軟 X 線写真撮影後の気乾試料の変色材より小木片を採取し、PCR 法により担子菌 ITS 領域を増幅した。PCR 産物を 2%アガロースゲルで電気泳動したが、十分な増幅が認められなかったため、プライマーセット ITS1, 4 による Nested PCR を行った。得られた高純度の DNA 断片をシーケンス解析し、種を同定した。

光学顕微鏡観察：変色材部と辺材部を含む小片を採材し FAA で固定、水洗の後 30%エタノールに浸して保存した。そこから滑走式マイクロトームを用いて切片を作製し、トルイジンブルーで染色後、永久プレパラートにして材組織と菌糸を光学顕微鏡で観察した。

【結果および考察】

材組織における変色と水分分布の変化：樹種毎に特徴的な変化が見られたが、同一樹種の接種部とコントロール部および地際部と胸高部では材色や水分分布の変化の仕方に差異は見られなかった。ハリエンジュでは、接種孔付近の材組織が濃色に変化し、その変色材部に水分が集積していた。エゾヤマザクラにおいては、同様の変色は生じたが、その変色材部に水分の集積はみられなかった。ハルニレでは、接種孔付近の材組織が濃色に変化し、その変色材部に水分がわずかに集積していた。アカエゾマツでは、接種孔付近の材組織が淡色に変化していた。この淡色材部では、気乾状態でも認められることから水以外の物質集積に由来すると考えられる X 線吸収が接種孔のごく近くに見ら

れたが、水分の集積は認められず、心材と同程度にまで脱水していた。

接種した菌の検出：ハリエンジュとエゾヤマザクラでは、接種したベッコウタケが地際部の接種孔付近の変色材から検出されたが、同部の対照孔、胸高部の接種孔と対照孔付近の変色材からは検出されなかった。ハルニレとアカエゾマツでは、いずれの部位、孔からもベッコウタケは検出されなかった。

光学顕微鏡観察：菌糸による細胞壁の穿孔がハリエンジュ、エゾヤマザクラの地際接種部の変色材で認められたが、両種の胸高接種部やハルニレ、アカエゾマツでは見られず、また全供試木の対照部でも観察されなかった。広葉樹3種の接種部、対照部の変色材においては細胞閉塞物の堆積が観察された。

以上の結果から、ベッコウタケに対する抵抗性は樹種間、地上高間で異なると言える。また、本菌に対する抵抗性と、水分集積や細胞閉塞物の堆積といった材組織で生じる反応との間に明確な関連性はないと考えられる。

【文献】

- 1) Giordano, L., Sillo, F., Guglielmo, F., Gonthier, P.: Comparing visual inspection of trees and molecular analysis of internal wood tissues for the diagnosis of wood decay fungi. *Forestry* **88**, 465-470 (2015).
- 2) 清水淳子、福田健二、池本三郎：いずみ野駅前通桜並木におけるベッコウタケの分布。樹木医学研究 13, 83-84 (2012).
- 3) 阿部恭久：腐朽病害の発生生態。“樹木医学の基礎講座”，樹木医学会編，海青社，大津，2014, pp. 210-224.
- 4) Shain, L.: Resistance of sapwood in stems of loblolly pine to infection by *Fomes annosus*. *Phytopathology* **57**, 1034-1045 (1967).
- 5) Boddy, L., Rayner A. D. M.: Origins of decay in living deciduous trees: the role of moisture content and a re-appraisal of the expanded concept of tree decay. *New Phytol.* **94**, 623-641 (1983).

O-2

同位体顕微鏡観察によるモノリグノールの移動の可視化

○小川真由（北大院農），幸田圭一，重富顕吾（北大院農），坂本直哉（北大創成研），

高部圭司，吉永新（京大院農），浦木康光（北大院農）

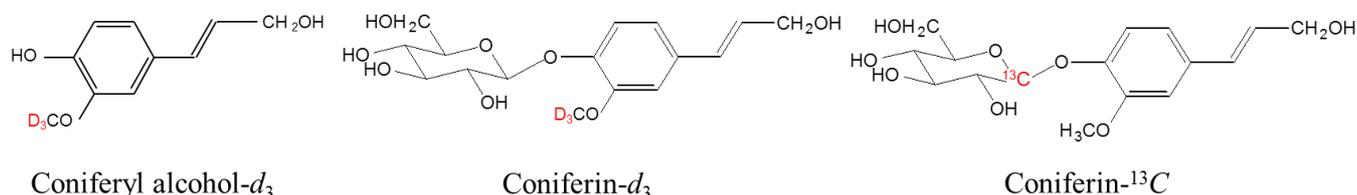
【緒言】

リグニンの前駆物質であるモノリグノールの供給については不明な点が多い。まず、モノリグノールの輸送形態が、アグリコン（遊離フェノール）型か配糖体型かで議論されており、それらがどのような移動経路を通るかについても詳しく解明されていないのが現状である。これは、モノリグノール類の移動を可視化する方法が確立されていないためだと考えられる。そこで、今回我々は同位体顕微鏡に注目した。同位体顕微鏡は、試料表面の化学組成を原子単位で検出し、マッピングすることで位置情報を可視化することができる。この装置を用いた樹木組織の観察は未だ報告されていない。本研究では、安定同位体標識したモノリグノール、またはその配糖体を樹木に投与し、その組織内分布を同位体顕微鏡で観察することで移動経路の可視化を試みた。

【実験方法】

安定同位体標識したモノリグノールの合成

メトキシ基の水素（H）を重水素（D）に代えた coniferyl alcohol- d_3 を合成した。D と ^{13}C でそれぞれ標識したモノリグノール配糖体（coniferin- d_3 , coniferin- ^{13}C ）も、別途合成した。それぞれの構造を以下に示す。



樹木への投与実験

合成物をごく少量の DMSO に溶かし、 H_2O に分散させて投与液を作製した。樹木はニオイヒバ（*Thuja occidentalis*）を用いた。投与実験は①2015年8月21日、②2016年7月25日、③8月1日に行った。試料Ⅰ：幹に対し円周方向に幅 2 cm、形成層に達する深さまで切り込みを入れ、ガラスウールを挟み、投与液（coniferyl alcohol- d_3 ）を垂らした。3 時間後、切り込み部分を含むように丸太を切り出し、自然乾燥させた。試料Ⅱ：円周方向に幅 2 cm、形成層を超えて木部まで達する深い切り込みを入れ、投与液（coniferyl alcohol- d_3 ）を与えた。4 時間後、切り込み部分を含むように丸太を切り出し、液体窒素で凍結させた後、 $-60\text{ }^\circ\text{C}$ で保存した。試料Ⅲ：円周方向に幅 1 cm、木部まで達する切り込みを入れ、ガラスウールを挟み、投与液（coniferin- d_3 と coniferin- ^{13}C とを等モル含む）を垂らした。その後の処理は試料Ⅱと同様に行った。

切片の作製

全ての試料において柾目面を切り出した。自然乾燥試料は、カミソリで厚さ 2 mm の切削柾目面試料を作製した。凍結乾燥試料は、凍結マイクロトーム（ライカ CM3050S）を用いて厚さ 20 μm の柾目面試料を作製した。その際、試料支持テープ[1]を用いた。切片作製後、凍結乾燥させた。

同位体顕微鏡による観察

自然乾燥試料は、金を蒸着後、ネジで試料台に固定し観察した。凍結乾燥試料は、SEM 用両面カ

ーボンテープ (アルミ基材) を用いて試料支持テープごとシリコンウエハに貼り付け、金を蒸着後、試料台に固定し観察した。

【結果および考察】

試料 I (図 1)

師部から形成層付近の木部を観察した。切り口から放射方向隣の師部に D の分布が見られた。さらに、その内側の木部 (形成層からおおよそ 75 μm 離れた木部) にも D の分布が見られた。切り口から樹幹軸下方向に 150 μm ほど離れた師部と形成層にも D が観測され、形成層には天然存在比の 30 倍のシグナルが得られた。その内側の木部 (形成層からおおよそ 50 μm 離れた木部) にも D の分布が見られた。この結果から、投与したモノリグノールは師部を通して樹幹軸方向に移動し、その後、放射方向内側に向かって移動すると考察した。

試料 II (図 2)

切り口からおおよそ 400 μm ほど離れた木部の壁孔に強いシグナルが見られた。

試料 III (図 3)

切り口からおおよそ 300 μm ほど離れた木部を観察した結果、D は coniferyl alcohol-*d*₃ と同様に壁孔に局在しているように見えた。一方で、¹³C は D に比べると、細胞壁にも強いシグナルが出ていることが分かった。これらについては、現在考察中である。

【引用文献】

[1] Tadafumi, K., *Archives of Histology and Cytology*, 2003, 66(2), 123-143

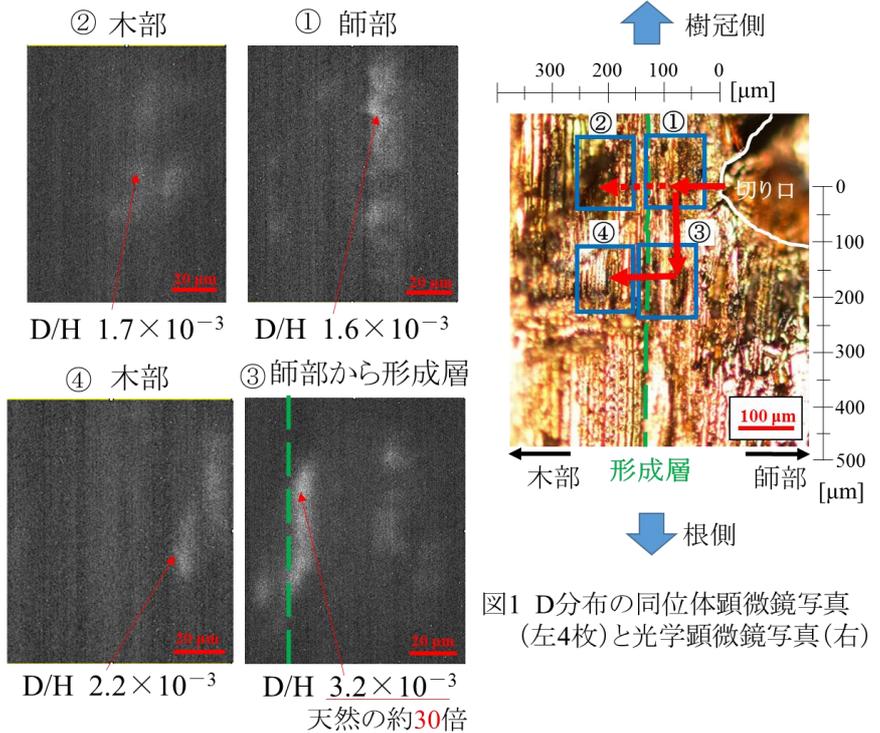


図1 D分布の同位体顕微鏡写真 (左4枚)と光学顕微鏡写真 (右)

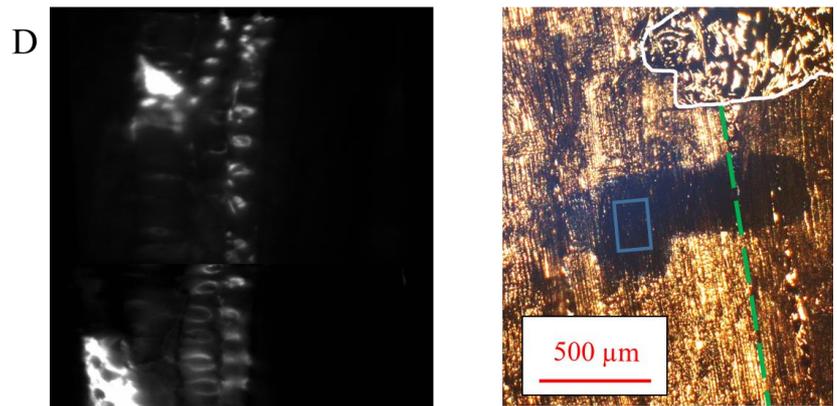


図2 Dの分布の同位体顕微鏡写真 (左2枚)と試料の光学顕微鏡写真 (右)

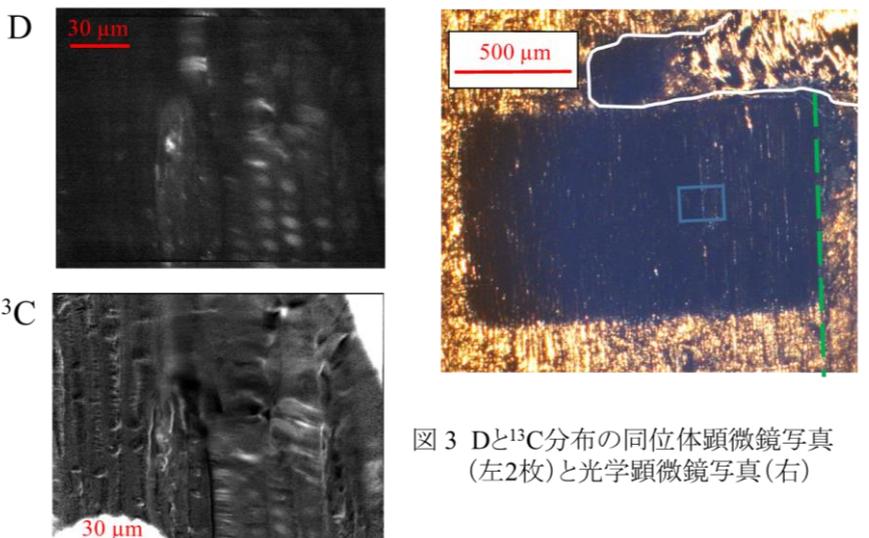


図3 Dと¹³C分布の同位体顕微鏡写真 (左2枚)と光学顕微鏡写真 (右)

○新井 悠, 安東敬史, 高田恵多, 富樫 巖 (旭川高専)

1. 緒言

食用菌の菌株保存としては継代培養法¹⁾が一般的と考えられるが、菌株の変異リスクや長期的保存対策として温度-80℃以下の凍結保存法が併用される¹⁻⁶⁾。しかし、-80℃以下のディープフリーザーや-196℃の液体窒素を用いる凍結保存では、初期設備と維持管理の負担が生じる課題がある。そこで演者らは、コスト低減を狙って-20℃凍結保存の利用可能性を検討してきた。凍結感受性が低いエノキタケ (*Flammulina velutipes*) では-20℃凍結保存に耐える⁷⁾が、凍結感受性の高いシイタケ (*Lentinula edodes*) においては何らかの工夫が必要であり、その方策の一つとして40%(w/w)グルコース水溶液などの高濃度糖水溶液を凍結保護液に用いる可能性を示すと共に、保存用種菌となる菌体ディスクの寒天の有無が菌株の生存率に影響することを報告した^{8,9)}。

本研究では、凍結感受性が高いと判断されるシイタケとヒラタケ (*Pleurotus ostreatus*) の各菌株を供試し、-20℃凍結保存の前処理として7℃で3時間程度の予冷を行った場合の影響把握に加えて、ヒラタケ菌株における40%(w/w)のグルコース水溶液とマルトース水溶液の凍結保護性能の差異、菌体ディスク(菌糸体と寒天培地の複合体)の寒天濃度が生存率に及ぼす影響、および菌体ペレット(菌糸体のみ)の挙動の把握を試みた。

2. 実験方法

2.1 供試菌株と種菌の調製方法

シイタケ菌株には市販菌株(旭川高専整理番号: ANCT-05072)^{8,9)}、ヒラタケ菌株には市販菌株(同: ANCT-15001)を供試した。これらはポテトデキストロース寒天(以下、PDA; 日水製薬製)培地で継代培養保存していたもので、各試験に用いる際には直径90mmのPDA平板培地(以下、同様)に接種後、25℃でANCT-05072を14日間、ANCT-15001を10日間それぞれ前培養し、各菌叢からコルクボーラーで培地ごと打ち抜いた直径5mmの菌体円盤(菌体ディスク)を種菌として供試した。

2.2 保存用種菌(菌体ディスク、菌体ペレット)の調製方法

凍結保存用種菌の菌体ディスクの作成には、PDA培地の標準的使用(寒天濃度1.41%(w/v))に加え、必要に応じて同培地の使用濃度を2/3としたもの(寒天濃度0.94%(w/v))、PDA培地3.9g当たり0.70gの寒天を追加したもの(寒天濃度2.11%(w/v))の3種類を用いた。2.1の菌体円盤1個を各PDA平板培地の中央に接種し、同様に培養して直径5mmの菌体ディスクを得た。また、保存用種菌の菌体ペレットの作成では、2%(w/v)麦芽エキス液体培地を100ml投入した三角フラスコに2.1の菌体円盤2個を接種し、25℃で10日間60rpmで振とう培養することで直径約5mmの菌体ペレットを得た。

2.3 凍結保護液

40%(w/w)のグルコース水溶液とマルトース水溶液、および10%(w/w)グリセリン水溶液を調製した後、高圧蒸気殺菌(121℃・15分間)したものを凍結保護液として用いた。

2.4 予冷、凍結保存方法、および生存確認試験

1.5mlのマイクロチューブに保存用種菌を各5個入れた後、凍結保護液を満たした。予冷を施す場合に

は、それらを 7°C のフリーザー中に約 3 時間入れた。その後、-20°C のアルミブロックフリーザーにマイクロチューブを投入して最大 8 週間の凍結保存を行った。所定期間経過後にサンプリングを行って 30°C インキュベーター内で解凍し（5 分間）、PDA 平板培地 1 枚に 5 個の保存用種菌を接種して 25°C・10 日間培養することで凍結保存後の種菌の菌糸再生状況を実体顕微鏡で観察した。同平板培地に菌糸活着した時点を生存とし、生存率を算出した。5 個の保存用種菌全てが活着することで生存率 100% となる。

3. 結果および考察

3.1 -20°C 凍結保存における前処理としての予冷の影響

凍結感受性の高いシイタケ ANCT-05072 とヒラタケ ANCT-15001 に対し、凍結保護液に 40%(w/w) のグルコース水溶液とマルトース水溶液を用いて -20°C 凍結保存前の予冷の影響を観察した。その結果を、コントロールとなる 10%(w/w) グリセリン水溶液と -80°C 凍結保存の組み合わせの場合を含めて表 1 に示す。ANCT-05072 は最大 8 週間の保存であり、予冷の有無で生存率 100% が維持された期間は、グルコース水溶液が 4 週間と 8 週間、マルトース水溶液がいずれも 8 週間であった。今後、より長期間の観察が必要となるが、グルコース水溶液で予冷の効果がみられた。

ANCT-15001 は最大 6 週間の保存であり、予冷ありと予冷なしで生存率 100% が維持された期間は、グルコース水溶液が 1 週間または 1 週間以下、マルトース水溶液がいずれも 6 週間であった。ANCT-05072 の場合と同じく、今後においてより長期間の観察が必要となるが、シイタケの場合と異なり予冷の効果が確認できなかった。予冷により、菌体ディスクへ凍結保護液の各糖分子が取り込まれることで何らかの違いが生じることが想定される。しかし、菌種・菌株の違いでグルコース水溶液の予冷の効果が異なった原因は不明であり、その解明は今後の課題となる。

表 1. 菌体ディスクの凍結保存における予冷の影響

供試菌株	生存率 100% 維持期間				
	-20°C 凍結保存				-80°C 凍結保存
	40%(w/w) グルコース水溶液		40%(w/w) マルトース水溶液		10%(w/w) グリセリン水溶液 ^{a)}
	予冷の有無				
	なし	あり	なし	あり	なし
シイタケ ANCT-05072 ^{b)}	4 週間	>8 週間	>8 週間	>8 週間	>8 週間
ヒラタケ ANCT-15001 ^{c)}	1 週間	<1 週間	>6 週間	>6 週間	>6 週間

a) : コントロール, b) : 凍結保存試験期間 8 週間, c) : 凍結保存試験期間 6 週間

3.2 菌体ディスクの寒天濃度と -20°C 凍結保存時の予冷との組み合わせの影響

演者らは、シイタケ ANCT-05072 の菌体ディスクと 40%(w/w) グルコース水溶液を用いた -20°C 凍結保存においては、同ディスクの寒天濃度（前培養の PDA 平板培地の寒天濃度）が生存率に影響することを報告した⁹⁾。そこで、3.1 で示した予冷との組み合わせ効果を観察し、その結果を表 2 に示す。最大 8 週間の保存期間であるが、0.94~2.11 までの寒天濃度共に生存率 100% が維持された。予冷によって菌体ディスクへグルコース分子が取り込まれることなどで、ANCT-05072 の -20°C 凍結耐性が向上した可能性がある。一方、40%(w/w) マルトース水溶液においては、より長期間の凍結保存での効果発現に期待したい。

ヒラタケ ANCT-15001 の予冷と菌体ディスクの寒天濃度の組み合わせの影響を最大 6 週間の保存期間で観察し、その結果を表 2 に併せて示す。データの欠落があるために今後の検討が必要であるが、ANCT-15001 では ANCT-05072 と異なり、寒天濃度の低い菌体ディスクと 40%(w/w)グルコース水溶液の組み合わせのみで 6 週間に渡って生存率 100%が維持された。この原因の解明に興味を持たれる。

表 2. 菌体ディスクの寒天濃度と-20℃凍結保存における予冷の組み合わせ

供試菌株	菌体ディスク の寒天濃度 [% (w/v)]	生存率 100%維持期間			
		40%(w/w)グルコース 水溶液		40%(w/w)マルトース 水溶液	
		予冷の有無			
		なし	あり	なし	あり
シイタケ ANCT-05072 ^{a)}	0.94	3 週間	>8 週間	>8 週間	>8 週間
	1.41	4 週間	>8 週間	>8 週間	>8 週間
	2.11	5 週間	>8 週間	>8 週間	>8 週間
ヒラタケ ANCT-15001 ^{b)}	0.94	- ^{c)}	>6 週間	- ^{c)}	>6 週間
	1.41	1 週間	<1 週間	>6 週間	>6 週間
	2.11	- ^{c)}	1 週間	- ^{c)}	>6 週間

a) : 凍結保存試験期間 8 週間実施, b) : 凍結保存試験期間 6 週間実施, c) : 未測定

3.3 ヒラタケ菌株の菌体ペレットを用いた-20℃凍結保存

シイタケ ANCT-05072 の菌体ペレットと 40%(w/w)のグルコースまたはマルトース水溶液を用いた 6 週間の-20℃凍結保存においては、1 週間以下の凍結処理でも生存率 100%に達することがなく、40%(w/w)グルコース水溶液では 2 週間の生存期間（平均生存率約 30%）、40%(w/w)マルトース水溶液では 6 週間の生存期間（平均生存率約 40%）であった。一方、コントロールの 10%(w/w)グリセリン水溶液と-80℃凍結保存の組合せでは 6 週間に渡って生存率 100%が保たれた⁹⁾。

そこで、ヒラタケ ANCT-15001 について同様の検討を行い、得られた結果を表 3 に示す。40%(w/w)グルコース水溶液を凍結保護液とした場合に ANCT-15001 では-20℃凍結 3 日後に生存率が 0%となり、40%(w/w)マルトース水溶液では 2 週間までの観察ではあるが生存率 60%が保たれた。シイタケ ANCT-05072 の菌体ペレットの場合と異なり、コントロールの 10%(w/w)グリセリン水溶液と-80℃凍結保存の組合せにおいて、当該測定では生存率 100%に達しなかった。

4. 結 言

シイタケ ANCT-05072 とヒラタケ ANCT-15001 の-20℃凍結保存においては、40%(w/w)グルコース水溶液よりも 40%(w/w)マルトース水溶液の凍結保護性能が優れる共通点が確認されたが、凍結前処理の予冷効果や菌体ディスクにおける寒天濃度の生存率への寄与に差異がみられた。これまでに報告したシイタケの結果から考えると、以上の挙動は菌種の違いばかりではなく菌株の影響もあったことから、ヒラタケの供試菌株を増やして-20℃凍結保存における他の菌株の挙動についての観察を進めたい。

表3. ヒラタケ ANCT-15001 の菌体ペレットの凍結保存における生存率

凍結期間	各凍結温度における生存率 [%]		
	-20℃		-80℃
	40%(w/w)グルコース水溶液	40%(w/w)マルトース水溶液	10%(w/w)グリセリン水溶液 ^{a)}
3日間	0	- ^{b)}	- ^{b)}
1週間	0	60	20
2週間	- ^{b)}	60	20

^{a)} : コントロール, ^{b)} : 未測定

5. 引用文献

- 1) 横山竜夫：“9章 菌糸体保存. きのこと学”，古川久彦編，共立出版，1992，pp.230-237.
- 2) Ohmasa M, Abe Y, Babasaki K, Hiraide M, Okabe K : Preservation of cultures of mushrooms by freezing, Transactions of the Mycological Society of Japan, **33**(4), 467-479(1992).
- 3) 前川二郎：きのこの菌糸を凍らせて保存する，菌蕈 **45**(5)，39-43(1999).
- 4) 岡根 泉：-80℃フリーザーによる糸状菌凍結保存株の管理体制について，日本微生物資源学会誌，**21**(2)，77-82(2005).
- 5) 岡田 元：糸状菌類の簡便で安全な凍結保存法，日本微生物資源学会誌，**22**(2)，105-110(2006).
- 6) 中桐 昭：菌類培養株の凍結保存法の改良，日本微生物資源学会誌，**30**(2)，51-63(2014).
- 7) 富樫 巖，幸田有以：純水と-20℃を用いたエノキタケ菌株の凍結保存の試み，New Food Industry, **55**(1)，6-11(2013).
- 8) 細川芽衣，富樫 巖：-20℃とグルコース水溶液を用いたシイタケの菌株保存，化学系学協会北海道支部 2014 年冬季研究発表会，札幌市，プログラム集，v(2014).
- 9) 大谷和也，細川芽衣，富樫 巖：-20℃を用いたシイタケ (*Lentinula edodes*) 菌株の凍結保存の検討，日本木材学会北海道支部講演集，No.46，5-8(2014).

O-4

ベンレート耐性糸状菌の-20℃凍結及び7~25℃非凍結保存の可能性 -キノコ栽培施設で分離した害菌・雑菌の菌株保存-

○松田大道, 増羽龍斗, 富樫 巖 (旭川高専)

【緒言】

微生物の菌株保存方法としては, 特別な設備などを必要としない手軽さから継代培養法¹⁾が汎用されていると考えられる。また, 菌株の変異リスク対策や長期的保存方法として温度-80℃以下の凍結保存法²⁻⁶⁾, 微生物の種類により凍結乾燥法やL-乾燥法⁷⁾なども利用されている。一方, -80℃以下の凍結保存では初期設備と維持管理の負担が大きく, 両乾燥法では高度な技術・技能も求められる。そこで演者らは, 糸状菌類の菌株保存における低コスト化やシンプル化を狙い, 家庭用冷凍庫レベルの-20℃での凍結保存, 同冷蔵庫レベルの7℃と室温レベルの25℃での水保存⁸⁻¹⁰⁾を試みた。供試菌としてはキノコ栽培施設で分離したトリコデルマ属とペニシリウム属のベンレート耐性菌株をメインに据え, 生存率と菌体成長速度の変化に加えて薬剤耐性の変化を観察した。保存前後の薬剤耐性変化の有無を菌株の変異指標に利用する試みとなる。

【実験方法】

供試菌株と種菌の調製方法

道内のシイタケ栽培施設の落下菌として分離したトリコデルマ属の4菌株[*Trichoderma harzianum* NBRC 33016: ベンレート耐性, *T. harzianum* FPRI-93130Tr (林産試験場保存株): 同感受性, *Trichoderma* spp. の ANCT-05011 と ANCT-05138 (旭川高専保存株): 両者同感受性], 道内のナメコとエノキタケの各栽培培地から分離したペニシリウム属の4菌株[*Penicillium crustosum* NBRC 33014 と NBRC 33015: 両者ベンレート耐性, *P. roqueforti* ANCT-13001 と *P. citrinum* NBRC 6352: 両者同感受性]の合計8菌株を用いた。なお, *Trichoderma* spp. の ANCT-05011 と ANCT-05138 は不稔性菌株である。

いずれの菌株についてもポテトデキストロース寒天(以下PDA)培地を用い, 温度約7℃で継代培養保存していたものである。各試験に用いる際には直径90mmのPDA平板培地(以下, 同様)に接種後, 25℃でトリコデルマ属菌については5日間, ペニシリウム属菌については7日間培養した菌叢からコルクボーラーで培地ごと打ち抜いた直径5mmの菌体円盤を種菌として供試した。

菌体円盤の保護液

-20℃での凍結保存, 7℃および25℃での非凍結保存における菌体円盤の保護液として, 121℃・15分間の高圧蒸気滅菌処理した純水(殺菌水)を用いた。

凍結保存方法と解凍方法, および非凍結保存方法

凍結保存では, トリコデルマ属の4菌株の各菌体円盤を1.5mlマイクロチューブに5個入れた後, 菌体円盤全体を覆うように凍結保護液(以下, 保護液)を満たした。これらを-20℃(アルミブロックフリーザー)に85日間投入した。経時的にマイクロチューブをサンプリングし, 30℃のインキュベーター内で解凍(気槽, 15分間)を行った。

非凍結保存では, 全供試菌株の各菌体円盤と保護液を同様にマイクロチューブに入れた後, 約7℃(家庭用冷蔵庫)と25℃(インキュベーター)に, トリコデルマ属菌は最大90日間, ペニシリウム属菌は最大120日間それぞれ投入した。

生存確認方法

継時的にサンプリングしたマイクロチューブ内の菌体円盤5個を取り出してPDA平板培地1枚に接種し, 25℃・10日間の培養を行うことで菌体円盤からの菌糸再生を観察した(実体顕微鏡使用)。菌体円盤からの「発菌」, 発菌した菌糸がPDA培地に伸長した「活着」が確認されるのに要した培養日数を測定

し、活着時を生存と判断して生存率を算出した。5個の同円盤全ての活着で生存率100%となる。

供試菌株の菌体成長速度の測定、およびベンレート耐性試験

コントロールを含めベンレート（主成分ベノミル：50%(w/w)含有）の添加濃度を0.01~1.0%(w/v)に調整した後、高圧蒸気滅菌して各PDA平板培地を調製した。各平板培地の中央に継代培養菌株の菌体円盤または保存後に生存確認を行った菌株の菌叢から得た菌体円盤を1個接種した。25℃で10日間培養することで経時的な菌糸成長または平板培地表面の菌叢占有率を測定した。なお、繰り返し数は3とした。

【結果および考察】

トリコデルマ属菌の-20℃凍結保存

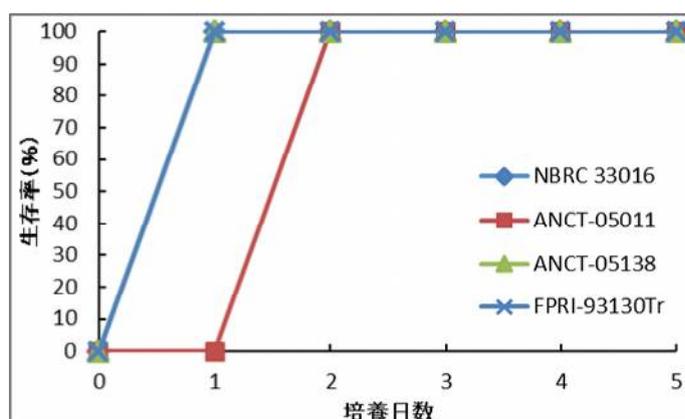
温度-20℃で85日間凍結保存した供試4菌株について、25℃培養時の生存率の経時変化を第1図に示す。不稔性菌株のANCT-05011が1日遅れたが、他の3菌株は培養1日で生存率100%に達した。継代培養菌株は培養1日で生存率100%に達することから、ANCT-05011については-20℃凍結保存によるストレスが多少生じたことが推察される。しかし、培養2日後に全ての菌株の生存が確認できたことで、トリコデルマ属菌については純水を凍結保護液とした-20℃凍結保存の可能性があると考えている。

また、85日間の凍結保存菌株と継代培養菌株について経時的な菌糸成長を測定したところ、同一菌株同士での差異は確認されなかった（10~14mm/日）。加えて、NBRC 33016のベンレート耐性は凍結保存後においても継代培養保存と同様に維持されていた。

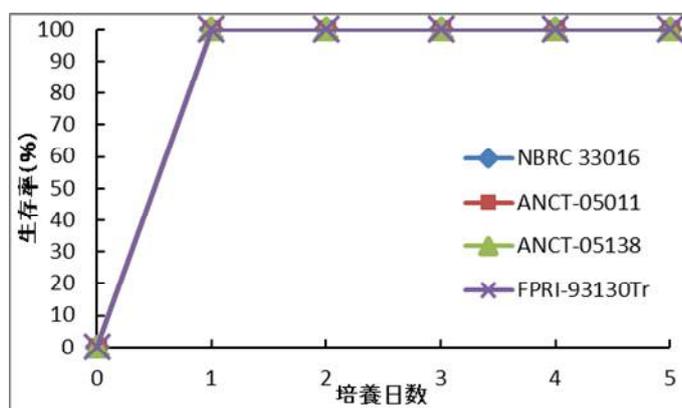
トリコデルマ属菌の7℃および25℃非凍結保存

-20℃凍結保存の期待可能性が得られたことから、トリコデルマ属菌の菌株保存について更なる低コスト化等に取り組むこととした。具体的には、7℃と25℃での水保存（非凍結保存）を試みた。7℃で90日間保存後、25℃で培養した4菌株の生存率の経時変化を第2図に示す。不稔性菌株のANCT-05011と同05138を含め、いずれも培養1日で生存率100%に達した。25℃で90日間保存した場合の生存率変化も同様であった。以上の結果を-20℃凍結保存と比較すると、ANCT-05011の挙動が異なったのみであるが、非凍結保存（7および25℃）ではトリコデルマ属の菌株に与えるストレスが-20℃凍結より小さいと考えられる。また、両温度での90日間非凍結保存後の菌株と継代培養菌株について菌糸成長速度を観察した結果、同一菌株同士での差異は確認されなかった（10~14mm/日）。

さらに、*T. harzianum* NBRC 33016についてベンレート耐性変化の有無を確認し、結果を第3図に示す。図には7℃保存と継代培養保存のデータのみ示したが、25℃保存の場合も同様であった。菌床シタケ発生施設の落下菌から分離したNBRC 33016^{11, 12}では、ベンレート濃度が0.1(w/v)までのPDA平板培地においてコントロールとほぼ同様の菌糸成長速度を示し、0.5%(w/v)濃度でも培養開始後7日程度で直径90mmの平板培地の表面全体に菌叢が広がる。この特性は90日間の7℃と25℃での非凍結保存後にも変化なく維持されていた。以上から、3か月間程度の保存ではあるが、シタケ等の栽培キノコの害菌であ

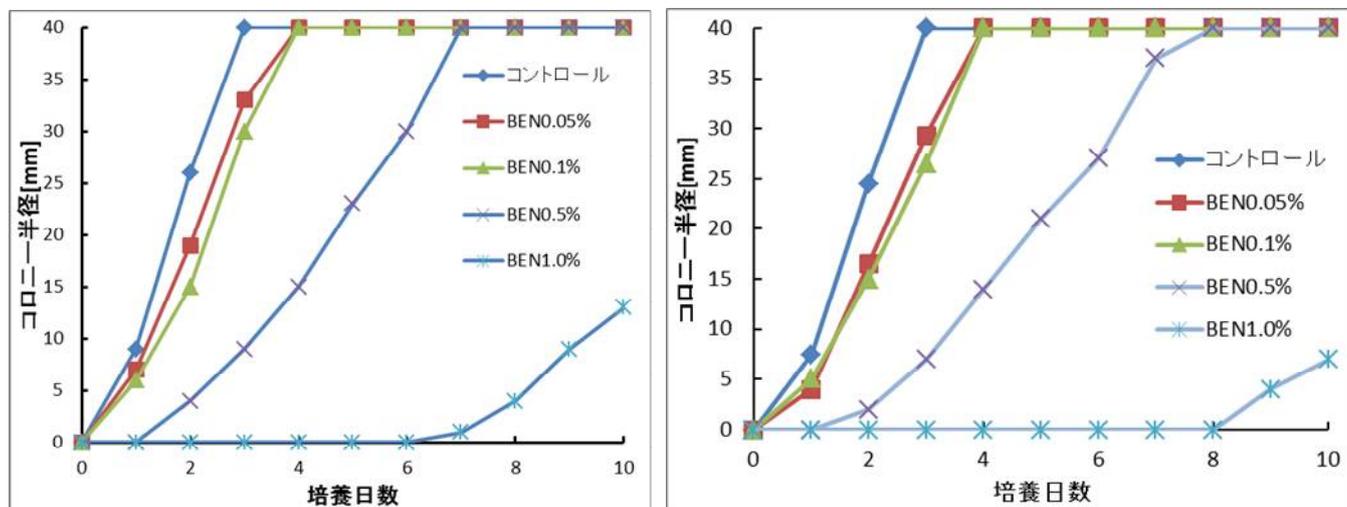


第1図. トリコデルマ属菌4菌株の-20℃・85日間凍結保存後の菌糸再生状況（25℃培養）



第2図. トリコデルマ属菌4菌株の7℃・90日間非凍結保存後の菌糸再生状況（25℃）

るトリコデルマ属の菌株保存方法として、7~25℃での水保存は通常菌株および不稔性菌株の生存維持と変異を生じさせない可能性があり、今後においては長期保存データの収集が望まれる。また、菌株保存における低コスト化やシンプル化の推進においては、温度変動のある室温下での保存性能の把握も必要となる。なお、非凍結温度帯での水保存では、微生物への酸素供給を抑えることで代謝速度を低下させる保存メカニズムが働いていると考えられる。

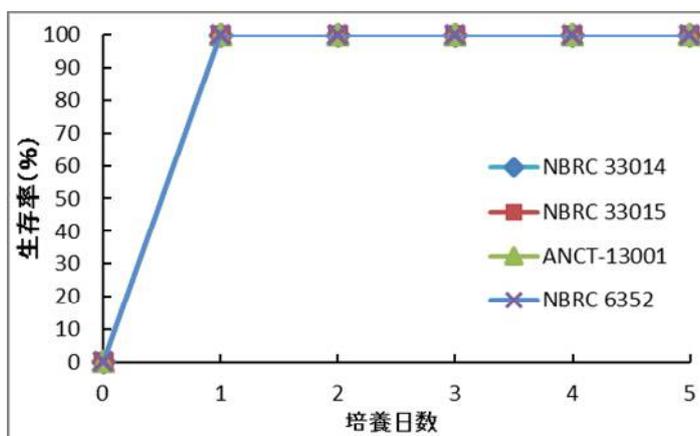


第3図. ベンレート添加 PDA 平板培地における *T. harzianum* NBRC 33016 の 25℃での菌糸成長速度 (左: 7℃・90 日間非凍結保存, 右: 継代培養保存; データは繰り返し数3の平均)

ペニシリウム属菌の7℃および25℃非凍結保存

食用キノコの菌床栽培で培養菌糸体のストップ症状を引き起こす糸状菌類の一つであるペニシリウム属の供試菌株について、トリコデルマ属菌と同様の手法で菌株の非凍結保存を試みた。NBRC 33014 と同 33015 はストップ症状等のトラブルが生じたナメコとエノキタケの菌床から分離された菌株で、いずれもベンレート耐性を有していた^{13,14)}。ANCT-13001 はブルーチーズ熟成用の菌株、NBRC 6352 は JIS Z 2911 (かび抵抗性試験方法) の指定菌株である。

その結果、7℃および25℃で120日間保存後において4菌株共に生存率100%が確認された。7℃で120日間保存後、25℃で培養した供試菌株の生存率の経時変化を第4図に示す。いずれも培養1日で生存率100%に達した。25℃で120日間保存した場合の生存率変化も同様であった。継代培養菌株でも培養1日で生存率100%に達することから、7~25℃での非凍結保存でペニシリウム属の菌株に与えるストレスは小さいと考えられる。



第4図. ペニシリウム属菌4菌株の7℃・120日間非凍結保存後の菌糸再生状況(25℃)

引き続き菌体成長速度の測定とベンレート耐性試験を行い、7℃の保存菌株について25℃で10日間培養した菌叢占有率の測定結果を第1表に示す。なお、25℃保存においても同様の結果であった。第1表の結果から、供試したペニシリウム属菌の菌株において7℃非凍結保存後に全試験区(各PDA培地)の菌体成長に変化はみられなかった。*P. crustosum* NBRC 33015 は、NBRC 33014 よりも薬剤耐性が高く、ベンレート添加濃度1.0(w/v)のPDA平板培地における10日間の培養後にコントロール培地の半分程度まで菌叢を広げるが、この性質が維持されていた。トリコデルマ属菌の場合と同様に、7~25℃の水保存はペニシリウム属の菌株の生存維持と変異を生じさせない可能性を有しており、長期保存データの収集が望まれる。

第1表. ペニシリウム属4菌株の7℃・120日間非凍結保存後の菌体成長(25℃・10日間培養)

菌株保存方法	供試菌株	ペニシリウム属菌の菌叢占有率 ^{a)}			
		試験区(各種PDA平板培地)			
		コントロール	ベンレート 0.05%(w/v)	ベンレート 0.1%(w/v)	ベンレート 1.0%(w/v)
継代培養保存	NBRC 33014	++++	+++	+++	+
	NBRC 33015	++++	++++	+++	++
	NBRC 6352	+	-	-	-
	ANCT-13001	++++	-	-	-
水保存 (非凍結保存)	NBRC 33014	++++	+++	+++	+
	NBRC 33015	++++	++++	+++	++
	NBRC 6352	+	-	-	-
	ANCT-13001	++++	-	-	-

a) ++++: 平板培地表面のコロニー占有率75%(v/v)以上, +++: 同50~74%(v/v), ++: 同25~49%(v/v), +: 同5~24%(v/v), ±: 同1~4%(v/v), -: 成長なし.

【引用文献】

- 1) 横山竜夫: “9章 菌糸体保存. きのご学”, 古川久彦編, 共立出版, 1992, pp.230-237.
- 2) Ohmasa M, Abe Y, Babasaki K, Hiraide M, Okabe K: Preservation of cultures of mushrooms by freezing, *Transactions of the Mycological Society of Japan*, **33**(4), 467-479(1992).
- 3) 前川二太郎: きのごこの菌糸を凍らせて保存する, *菌蕈* **45**(5), 39-43(1999).
- 4) 岡根 泉: -80℃フリーザーによる糸状菌凍結保存株の管理体制について, *日本微生物資源学会誌*, **21**(2), 77-82(2005).
- 5) 岡田 元: 糸状菌類の簡便で安全な凍結保存法, *日本微生物資源学会誌*, **22**(2), 105-110(2006).
- 6) 中桐 昭: 菌類培養株の凍結保存法の改良, *日本微生物資源学会誌*, **30**(2), 51-63(2014).
- 7) 板根 健, 西井忠止, 伊藤忠義, 見方洪三郎: L-乾燥法による微生物の長期保存, *日本微生物資源学会誌*, **12**(2), 91-97(1996).
- 8) Ellis, J.J.: Preserving fungus strains in sterile water, *Mycologia*, **71**(5), 1072-1075(1979).
- 9) 奥野大路, 金井由美子: 酵母の蒸留水保存と凍結乾燥保存, *凍結及び乾燥研究会誌*, **27**(1), 100-106(1981).
- 10) 富樫 巖, 石川捺季, 小林育美: エノキタケ菌糸体の純水保存の試み, *New Food Industry*, **58**(9), 7-12(2016).
- 11) 富樫 巖, 伊藤 清, 宜寿次盛生, 原田 陽: 北海道における菌床シイタケ発生施設の糸状菌汚染状況と *Trichoderma* spp. 分離菌株に対するベノミル水和剤の影響, *木材学会誌*, **42**(12), 1258-1263(1996).
- 12) Togashi I, Gisusi S, Harada A: Antifungal activity of commercial Disinfectants against a benomyl-tolerant strain of *Trichoderma harzianum*, *Journal of Wood Science*, **44**(5), 414-416(1998).
- 13) 富樫 巖, 宜寿次盛生, 原田 陽: ベンズイミダゾール系薬剤に耐性を持った *Penicillium* spp. に対するグルコン酸クロルヘキシジンとグルタルアルデヒドの防除効果, *木材学会誌*, **44**(5), 375-379(1998).
- 14) 富樫 巖: 北海道のキノコ栽培施設で分離されたベンズイミダゾール系薬剤耐性 *Penicillium crustosum*, *日本菌学会会報*, **40**(1), 11-13(2001).

0-5

マイタケ「大雪華の舞1号」摂取による インフルエンザワクチン効果増強作用—ヒト臨床試験による実証—

○佐藤真由美, 東 智則, 米山彰造 (道総研・林産試験場)
田中藍子, 西平 順 (北海道情報大・医療情報)
岡松正敏 (北大院・獣医)

1. 緒言

インフルエンザは、毎年世界中で流行が見られる感染症である。インフルエンザワクチンの接種は、重症化や長期化、合併症の予防に有効とされている。しかし、免疫機能が低下した高齢者や慢性基礎疾患を有する人および免疫機能が未熟な小児では、ワクチン接種後の抗体産生が不十分で、効果を十分に得られないことが知られている。そのため、ワクチンの効果を得るには、低下した免疫機能を増強し、ワクチン接種後の抗体産生を強化することが重要と考えられる。

林産試験場が開発したマイタケ「大雪華の舞1号」は、広葉樹の培地基材を30%までカラマツで置換しても収量が減少せず、歯ごたえがよいことを特徴とするマイタケである¹⁾。また、本品種は従来品種に比べ、食物繊維や免疫増強効果が知られるβ-グルカンが多く含まれている²⁾。

本研究では、「大雪華の舞1号」の12週間継続摂取によるインフルエンザワクチンに対する抗体産生能および免疫機能に及ぼす影響をヒト臨床試験によって検討した。

なお、本発表の内容の一部は、日本きのこ学会第20回大会(2016年9月, 静岡)で発表した³⁾。

2. 実験方法

2.1 インフルエンザワクチンに対する抗体産生能の評価

インフルエンザワクチンに対する抗体産生能および免疫機能に及ぼす影響を評価することを目的とした、プラセボ対照二重盲検並行群間比較試験を実施した。

被験食として、「大雪華の舞1号」を加熱処理後に粉末化し、錠剤化した「大雪華の舞1号」錠剤およびデキストリンに着色し、見た目をマイタケの錠剤に似せた、プラセボ錠剤を作成した。

NK細胞活性が低めの30歳以上70歳未満の日本人男女100名を50名ずつ、「大雪華の舞1号」摂取群(「大雪華の舞1号」加熱粉末: 6.825 g/日摂取、生のマイタケ換算: 1日約70 g摂取)とプラセボ摂取群(デキストリン: 4.775 g/日)の2群に分け、各錠剤をインフルエンザワクチン接種前4週間、接種後8週間の計12週間継続摂取させた(図1)。錠剤摂取開始前および摂取開始4、8、12週後に問診、身体測定(体重、BMI、体脂肪率)、バイタルチェック(来所時血圧、脈拍数、体温)、血液検査等を行い、NK細胞活性やインフルエンザ抗体価等の測定を行った。

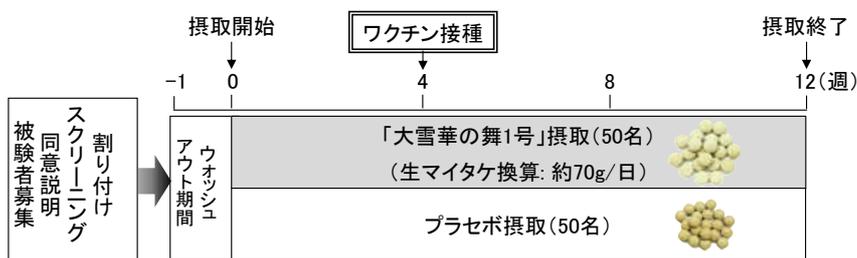


図1 試験概要

2.2 風邪様症状軽減効果の評価

試験期間中、風邪様症状調査を実施した。被験者には、全身症状(頭痛、筋肉痛、関節痛、倦怠感、熱感、悪寒)、呼吸器症状(咳嗽、喀痰、咽頭痛、鼻汁、鼻閉、くしゃみ)、消化器症状(食欲不振、悪心、嘔吐、下痢)について、自覚する症状の程度を5段階で評価させ、記録用紙に毎日記載させた。評価期間は被験食摂取期間の12週間とし、各回答選択肢の出現頻度を求めて解析した。

3. 結果および考察

3.1 「大雪華の舞 1 号」の抗体産生増強効果

被験者各群 50 名のうち、自己都合で試験を中断した被験者や、被験食摂取率が不足した被験者を除いた、有効な解析対象者はプラセボ摂取群 48 名（うち 60 歳以上: 15 名）、「大雪華の舞 1 号」摂取群 44 名（同 22 名）であった。

2 群間の年齢、身長、体重、BMI、体脂肪率、NK 細胞活性、性別、被験食摂取率に有意差はなかった。インフルエンザ抗体価の評価基準として、被験者の抗体陽転率を算出した。抗体陽転率は、「HI 抗体価が接種前に 10 倍未満かつ接種後に 40 倍以上の者」または「HI 抗体価が接種前を基準として接種後に 4 倍以上上昇した者」の割合である。欧州医薬品局が定めるインフルエンザワクチンの有効性評価基準では、18-60 歳未満の抗体陽転率は 40% 以上、60 歳以上の抗体陽転率は 30% 以上と定められている。

全被験者を対象とした、A 型および B 型インフルエンザ抗体の抗体陽転率を図 2 に示す。「大雪華の舞 1 号」摂取群では、特にワクチンの効果が低いといわれているインフルエンザ B 型 (BX-51B) の抗体陽転率がプラセボ摂取群に比べ、有意に高値を示した。

なお、A 型 (H3N2) については、試験時期にこの型のインフルエンザの流行があったため、不顕性感染（症状が目に見えない感染）により、H3N2 ウイルスに対する抗体価が全体的に高くなり、マイタケの効果が見えにくくなった可能性が考えられた。

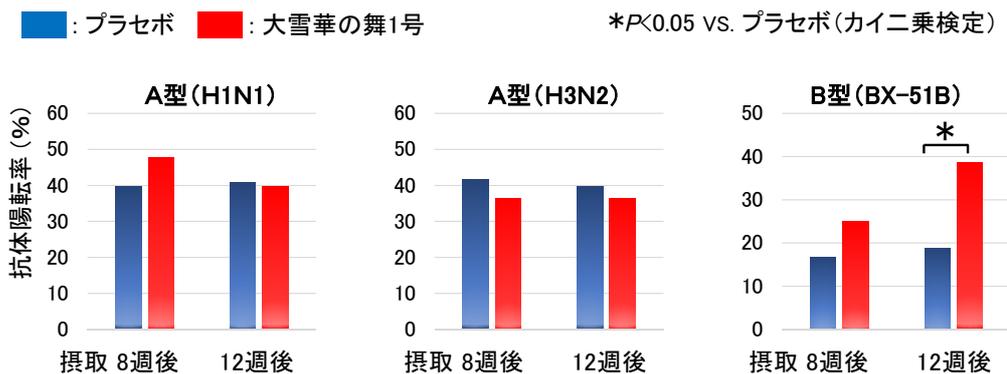


図 2 A 型 (H1N1, H3N2) および B 型 (BX-51B) インフルエンザワクチンの抗体陽転率に対する「大雪華の舞 1 号」摂取の効果 (全被験者の抗体陽転率)

60 歳以上では、「大雪華の舞 1 号」摂取群において、インフルエンザ A 型 (H1N1) の抗体陽転率が有意に高値を示し、A 型と B 型ともに、「大雪華の舞 1 号」摂取群でのみワクチン有効性の基準である 30% を満たした (図 3)。

これらの結果は、特に免疫機能の低下により、ワクチンの効果が十分に得られないおそれがある高齢者において、ワクチン接種後の抗体産生を増強する可能性を示している。

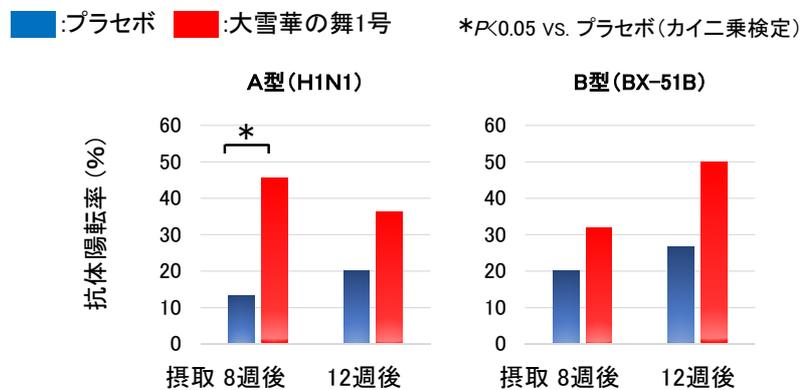


図 3 A 型 (H1N1) および B 型 (BX-51B) インフルエンザワクチンの抗体陽転率に対する「大雪華の舞 1 号」摂取の効果 (60 歳以上の被験者の抗体陽転率)

3.2 「大雪華の舞1号」の風邪様症状軽減効果

被験者には、自覚する症状の程度を5段階評価で毎日記載させ、5段階の回答を、「症状なし」、「軽度」、「重度」に大別して集計した。各風邪様症状について、重度または軽度と回答した被験者の割合を図4に示す。いずれの症状も、プラセボ摂取群に比べ、「大雪華の舞1号」摂取群では、「軽度」および「重度」と回答した被験者の割合が少ない結果となった。このような結果は、他の風邪様症状でも見られ、「大雪華の舞1号」の摂取によって、これらの症状の発症が抑えられたと考えられた。

以上の結果は、「大雪華の舞1号」がインフルエンザワクチン接種の効果を増強させ、風邪様症状の発症を抑制する可能性を示していると考えられた。特に、ワクチンの効果が低いとされるインフルエンザB型や高齢者において、ワクチン接種後の抗体産生を増強する可能性が示されたことは、臨床的に重要な意味を持つと考えられた。

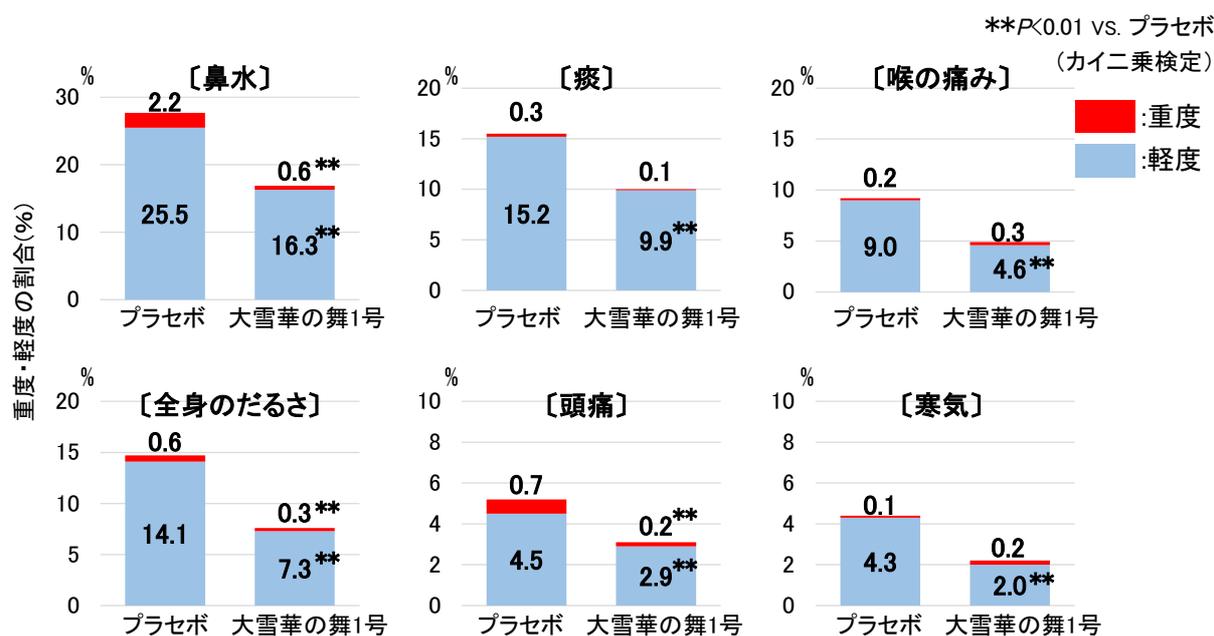


図4 「大雪華の舞1号」摂取による風邪様症状の軽減効果

4. 引用文献

- 1) 米山彰造、宜寿次盛生、原田 陽、森 三千雄：カラマツおが粉の利用に適したマイタケ新品種の選抜。林産試験場報 20(3), 21-26 (2006).
- 2) 佐藤真由美、東 智則、米山彰造、韓圭鎬、末岡さつき、得字圭彦、島田謙一郎、木下幹朗、福島道広：マイタケ「大雪華の舞1号」の腸内環境改善効果。日本木材学会北海道支部講演集, 第47号, 2015, pp.8-10.
- 3) 佐藤真由美、田中藍子、岡松正敏、東 智則、米山彰造、西平 順：マイタケ「大雪華の舞1号」のインフルエンザワクチン効果増強作用と風邪様症状の軽減効果ーヒトでの実証ー。日本きのこ学会第20回大会 講演要旨集, 2016, p.103.

謝辞

本研究は農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業(2013～2015年度)の一部として実施した。

O-6

オートファジー誘導物質(+)-epogymnolactamの
類縁体合成および活性評価

○上田一貴、岡戸祐治、重富顕吾、生方 信（北大院農）

【背景・目的】

細胞が自己の細胞質成分を分解するための機構のひとつとして、オートファジーがある。オートファジーでは、隔離膜が細胞質成分を取り囲み、オートファゴソームを形成しリソソームへと運ぶことで分解を行う。その生理的役割としては、細胞が飢餓状態に陥った際のアミノ酸提供や、異常なオルガネラやタンパク質の蓄積を防ぐことで、細胞内の環境を維持するという機能が知られている。オートファジーは近年の研究から、癌や神経変性疾患といった疾病の発症や抑制に関与していると考えられている。そのため、今後オートファジーをターゲットとした、新たな治療法や薬の開発が期待されている。

本研究室において、北海道の野生きのこ株の培養菌糸体をスクリーニングソースとして、オートファジー誘導物質の探索を行った。その結果、モリノカレバタケ属 (*Gymnopus* sp.) の一種から、オートファジー誘導性を示す新規化合物(+)-epogymnolactam が単離され、直鎖構造と環状構造の互変異性を持つ化合物であることが明らかとなった¹⁾ (図1)。さらに、本研究室において(+)-epogymnolactam の全合成も達成されている²⁾ (図2)。しかし、(+)-epogymnolactam がどのようにオートファジーを誘導しているのか未だ明らかになっていない。そこで、(+)-epogymnolactam のオートファジー誘導機構解明のために、(+)-epogymnolactam の各種類縁体を合成し、構造活性相関研究を行うこととした。本発表では(+)-epogymnolactam の類縁体合成およびオートファジー誘導活性評価について報告する。

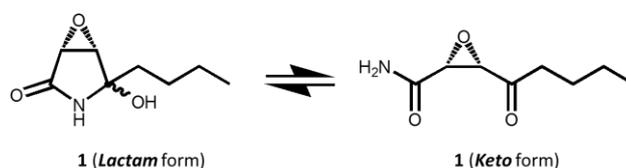


図1 (+)-Epogymnolactam の構造

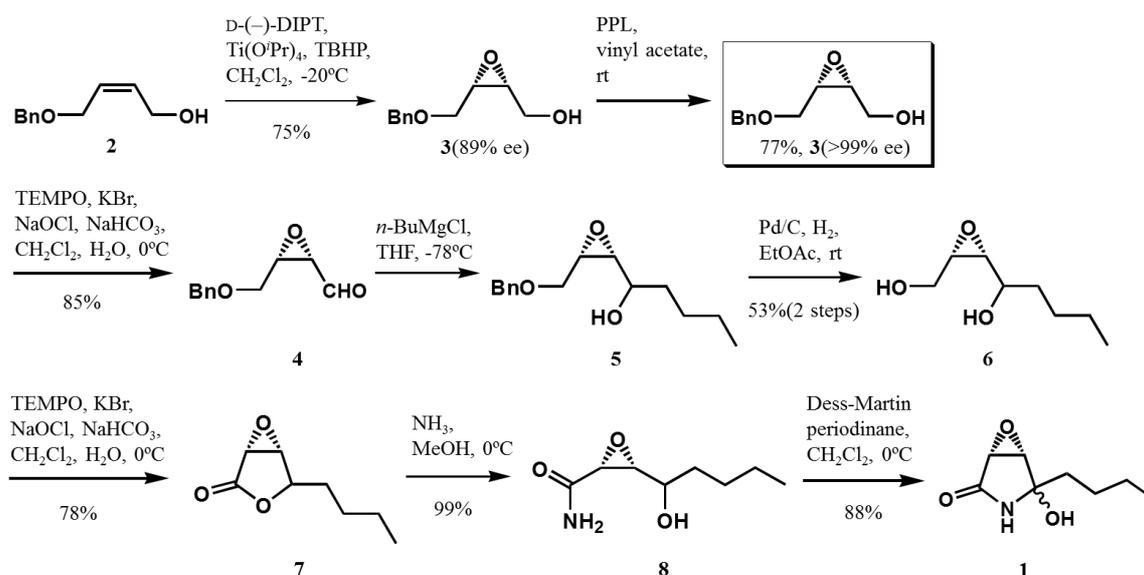


図2 (+)-Epogymnolactam の全合成

【(+)-Eoigymnolactam 類縁体合成】

1. (-)-Epogymnolactam の合成

L-(+)-DIPT を用いたシャープレス不斉酸化によって、86%ee の **ent-3** を得た。光学純度向上のために、porcine pancreatic lipase (PPL) を用いた不斉アセチル化を行った。得られたアセチル化体を加水分解することで、98%ee の **ent-3** を得た。その後、(+)-epogymnolactam 合成と同様の反応を行うことで、(-)-epogymnolactam (**ent-1**) を合成した (図 3)。

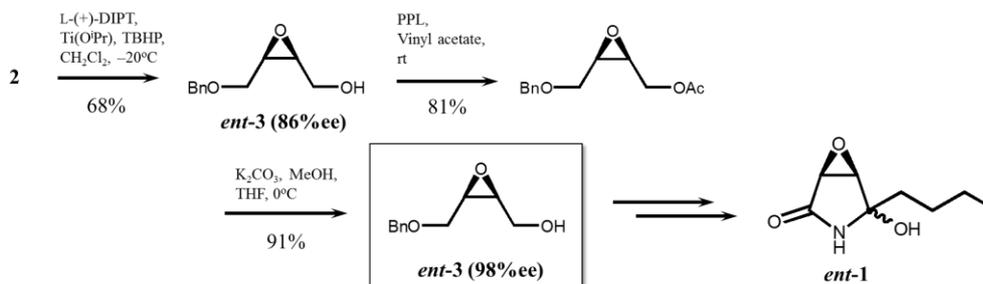


図 3 (-)-Epogymnolactam の合成

2. *N,N*-Dimethyl 類縁体の合成

ラクトン **7** からジメチルアミンを用いて、アミド **9** を得た。その後、Dess-Martin 酸化によって *N,N*-dimethyl 類縁体 **1a** を得た (図 4)。

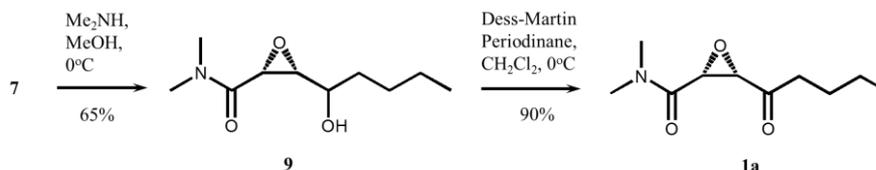


図 4 *N,N*-Dimethyl 類縁体の合成

3. *O*-Methyl 類縁体の合成

1 を CSA と共に MeOH 中で処理し、*O*-methyl 類縁体 **1b** を得た (図 5)。

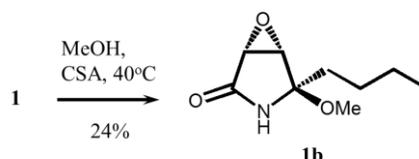


図 5 *O*-Methyl 類縁体の合成

4. *N*-Ethyl 類縁体の合成

ラクトン **7** からエチルアミンを用いてアミド **10** を得た。その後、Dess-Martin 酸化によって *N*-Ethyl 類縁体 **1c** を得た (図 6)。

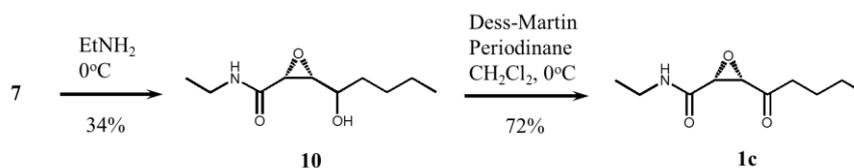


図 6 *N*-Ethyl 類縁体の合成

5. Deepoxy 類縁体の合成

γ -Octalactone (**11**) を出発物質として、加アンモニア分解を封管で行うことで、アミド **12** を得た。その後、

Dess-Martin 酸化によって deepoxy 類縁体 **1d** を得た (図 7)。

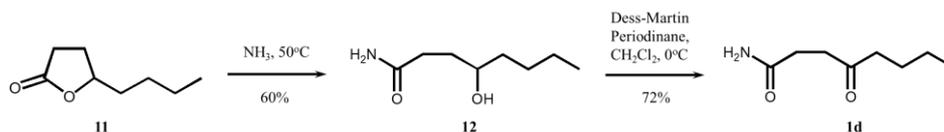


図 7 Deepoxy 類縁体の合成

【オートファジー誘導活性評価】

3.3×10^4 cells/well の NIH3T3 細胞を 6 穴プレートに播種し、各菌糸体の抽出物を最終濃度 100 $\mu\text{g/ml}$ で加え、4 時間処理した後に回収した。次に、ウェスタンブロット法により LC3 の定量を行った。ポジティブコントロールとして既存のオートファジー誘導物質である 5 μM ラパマイシン(Rap)を用い、ネガティブコントロールには DMSO のみで処理したものをを用いた。現在までに、(-)-epogymnolactam (*ent-1*)、セルレニン (**13**)、前駆体であるアミド **8**、*N,N*-dimethyl 類縁体 (**1a**)、*O*-methyl 類縁体 (**1b**)を用いて活性評価を行った。環状構造を持つ類縁体の活性は、鎖状構造の類縁体よりも高い傾向が読み取れた。さらに、セルレニンが阻害活性を有することが示唆されたことから、C4 位側鎖の構造が活性に影響を与える要素であると考えられる。

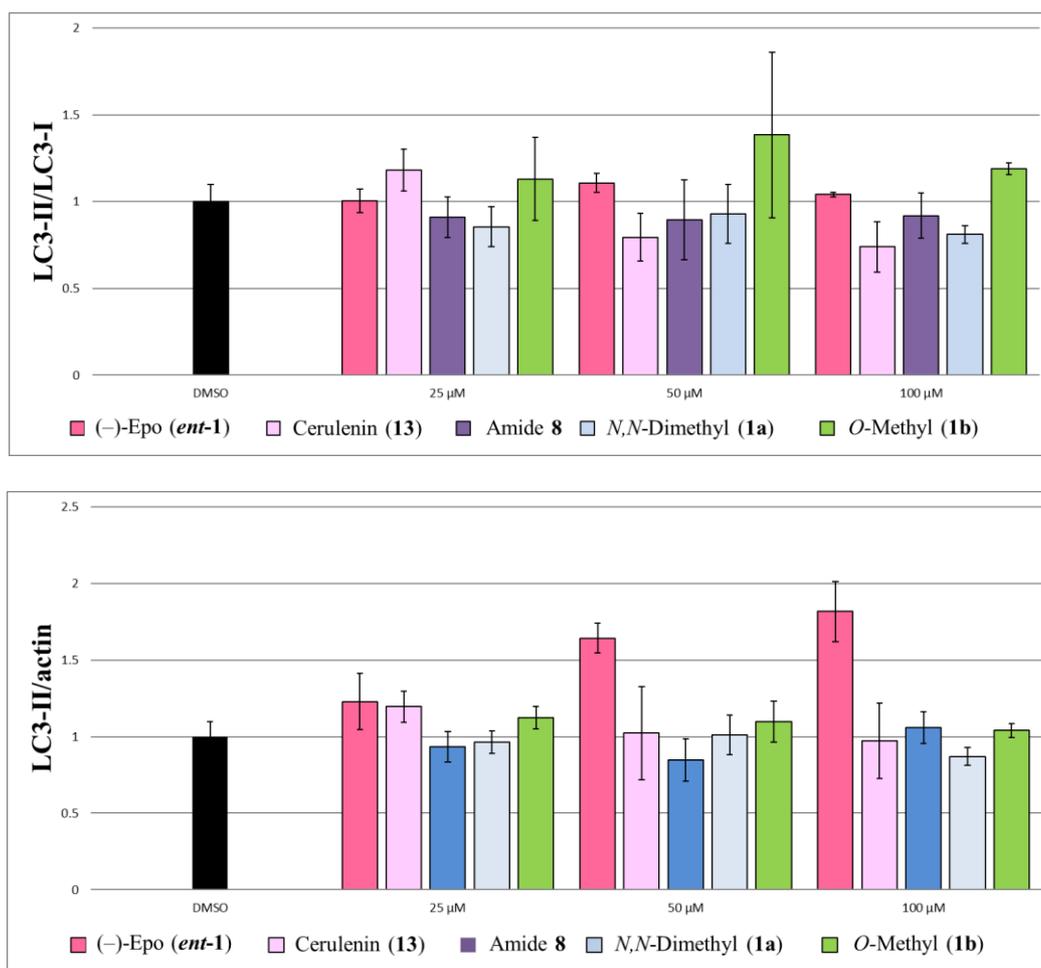
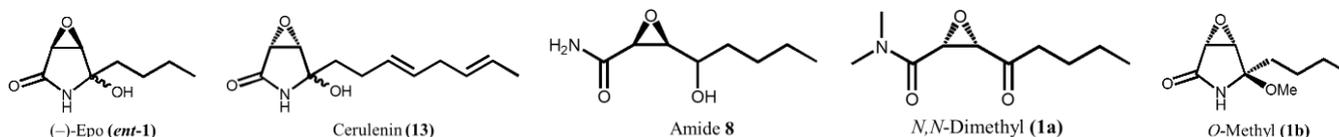


図 8 (+)-Epogymnolactam 類縁体のオートファジー誘導活性評価

【結論】

本研究によって、オートファジー誘導活性を持つ(+)-epogymnolactam の類縁体 5 種類の合成を達成した。さらにオートファジー誘導活性評価から、オートファジー誘導に寄与と思われる構造の推定を行った。その結果、環状構造と C4 位側鎖の構造が重要な要素であると考えられた。今後、さらなる類縁体合成を行い、構造活性相関研究を行っていく予定である。

【参考文献】

- 1) S. Mitsuhashi, C. Shindo, K. Shigetomi, T. Miyamoto, and M. Ubukata “(+)-Epogymnolactam, a novel autophagy inducer from mycelial culture of *Gymnopus* sp.” *Phytochemistry* **114**, 155 (2015)
- 2) Y. Okado, K. Shigetomi, S. Mitsuhashi, and M. Ubukata “First total synthesis of (+)-epogymnolactam, a novel autophagy inducer” *The Journal of Antibiotics* **68**, 712 (2015)

○折橋 健，檜山 亮，土橋英亮，松本和茂，中寫 厚（北林産試）

【緒言】

道内では収穫期を迎えたカラマツ資源が豊富にある¹⁾。その有効活用のために道や関連業界が中心となって建築分野での需要拡大を図る取り組みが行われており、公共施設のみならず民間施設や一般住宅でのカラマツ材の利用が広まりはじめている¹⁾。このような中、カラマツ材に存在するヤニつぼやそれに起因するヤニ垂れへの対処について技術相談を受ける機会が増えている。

林産試験場では、カラマツ材のヤニ汚染を防ぐために脱脂技術（蒸煮乾燥技術）の検討を行ってきており、材面へのヤニのしみ出しについては十分に抑制できる条件を明らかにしている²⁾。一方、ヤニつぼやヤニ垂れに関しては調査、検討が必要な状況にあり、技術相談への対応を充実させる上でも取り組みを急ぐ必要がある。

建築分野で利用されるカラマツ材のうち、構造材（柱材、横架材、土台）は集成材であることが多い。そこで本研究では、一般的な脱脂条件において製造されたカラマツラミナを対象にヤニつぼやヤニ垂れの出現頻度を調査した。

【実験方法】

〔供試丸太〕

径級 22～26 cm の道内産カラマツ丸太 60 本を使用した。処理の都合上、以下の作業は 4 回に分けて行った。各回の使用丸太本数は 12～20 本である。

〔製材と脱脂〕

各丸太より厚さ 38×幅 118×長さ 1800 mm の製材を 4～8 枚採材し、表 1 に示す蒸煮乾燥条件にて脱脂した。脱脂に使用した乾燥機はヒルデブランド社 HD74-IIH である。一連の作業により脱脂製材を 344 本製造した。

〔試験片およびラミナの作製〕

脱脂後の各製材より厚さ 38×幅 118×長さ 25 mm の試験片を 24 片、厚さ 30×幅 105×長さ 900 mm のラミナを 1 枚作製した（図 1）。一連の作業により試験片は 8076 片、ラミナは 344 枚作製した。

〔試験片断面およびラミナ表面の調査〕

試験片作製時の切り出し面（木口面）のうち、元口側の面についてヤニつぼの状態調査を行った（図 1）。調査にあたり、面の中央部（高さ 30×幅 105 mm の範囲）をラミナ部、その外側を削りしろ部とし、各別々にヤニつぼ個数、ヤニ垂れの有無、ヤニつぼの長さとおよび試験片を貫通している個数を調べた。

ラミナについては、上下面、側面別にヤニつぼ個数およびヤニ垂れの有無について調査を行った（図 1）。なお、木口面は調査しなかった。

表 1 製材の蒸煮乾燥条件

ステップ No.	区分	乾球 温度 (°C)	湿球 温度 (°C)	乾湿 球差 (°C)	時間 (h)
1	蒸煮	設定値0	90	—	8.5
2	乾燥	85	80	5	7
3		85	79	6	9
4		85	77	8	8
5		85	73	12	9
6		85	68	17	11
7		85	62	23	13
8		85	55	30	18
9		85	74	11	23
計					

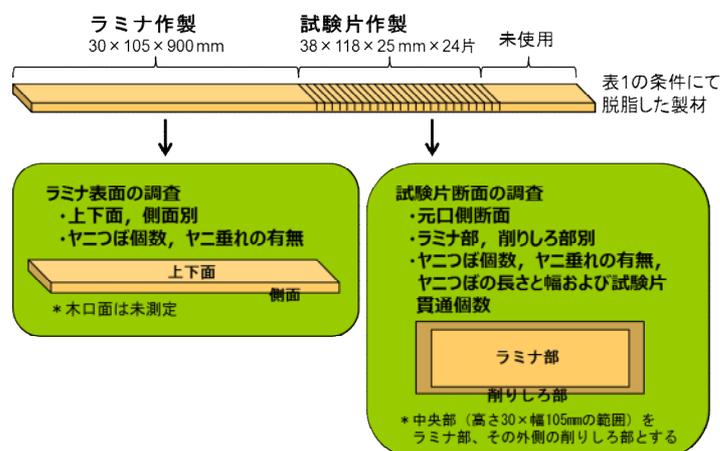


図 1 試験片およびラミナの作製と調査概略

【結果および考察】

試験片のラミナ部および削りしろ部で確認されたヤニつぼ、ヤニ垂れの個数を表 2 に示す。ヤニつぼは、ラミナ部で 100 片につき 2.9 個、削りしろ部で 100 片につき 1.5 個確認された。ヤニつぼ中のヤニ垂れの割合はラミナ部では 2 割強であり、削りしろ部よりも約 9 倍高かった。削りしろ部は製材の表層部であり脱脂されやすいと言えるが、その部位であってもヤニ垂れが起ることを確認した。

ヤニつぼ断面における長さや幅を測定した結果、ヤニ垂れの認められるヤニつぼは、それ以外のもの比べて長さ、幅ともに数値が大きい傾向であった (表 3)。また、調査面から反対面まで試験片を貫通しているヤニつぼ個数についてもヤニ垂れしているものの方が割合は高く、ヤニ垂れするものはヤニつぼの中でも 3 次元的に大きい傾向があると示唆された。

試験片各部のヤニつぼ、ヤニ垂れの個数について体積 1 m³ あたりに換算した数値を表 4 に示す。なおこの換算は、調査面で確認されたヤニつぼ以外に試験片内部にヤニつぼは存在しないと仮定して行った。ここに示すラミナ部の数値は、実際のカラマツラミナやそれを積層した集成材 1 m³ あたりの数値とみなすことができる。

図 1 に示すように、試験片は製材 1 本につき 24 片作製している。そこで 24 片分のデータを製材ごとに集計し、製材 (厚さ 38×幅 118×長さ 600 mm) あたりのヤニつぼ個数を変数とする頻度分布を作成した (図 2)。その結果、ヤニつぼの全くない製材が全体の 5 割強を占め、ヤニつぼ個数が多くなるにつれて本数割合が徐々に低下していくことが明らかになった。このことは、ヤニつぼが少ない製材を選抜できるようになれば、ヤニつぼやヤニ垂れの出現頻度を下げられることを示唆している。

表 2 試験片断面 (部位別) におけるヤニつぼ、ヤニ垂れの個数

	ラミナ部	削りしろ部
ヤニつぼ (個)	238	119
うちヤニ垂れ (個)	52	3
ヤニ垂れの割合 (%)	21.8	2.5

* 調査試験片数は 8076 片。

表 3 ヤニつぼ断面の長さや幅および試験片を貫通しているヤニつぼ個数

	ラミナ部		削りしろ部	
	ヤニ垂れ	ヤニ垂れ以外	ヤニ垂れ	ヤニ垂れ以外
ヤニつぼ (個)	52	186	3	116
長さ (mm) * ¹	12.0 ± 4.8	6.7 ± 4.1	11.3 ± 5.9	5.6 ± 3.4
幅 (mm) * ¹	1.5 ± 0.8	1.2 ± 0.4	1.7 ± 0.6	1.3 ± 0.5
試験片貫通 (個) * ²	31 (60%)	17 (9%)	1 (33%)	7 (6%)

*¹ 調査面におけるヤニつぼ断面の長さや幅。平均値 ± 標準偏差を示す。

*² 調査面から反対面まで試験片を貫通している個数。() 内は調査したヤニつぼ個数に対する%。

表 4 各部位 1 m³ あたりのヤニつぼ、ヤニ垂れの個数

	ラミナ部	削りしろ部
ヤニつぼ (個/m ³)	374	418
うちヤニ垂れ (個/m ³)	82	11

* 調査面のヤニつぼ、ヤニ垂れ個数に基づいており、試験片内部にはヤニつぼは存在しないと仮定している。

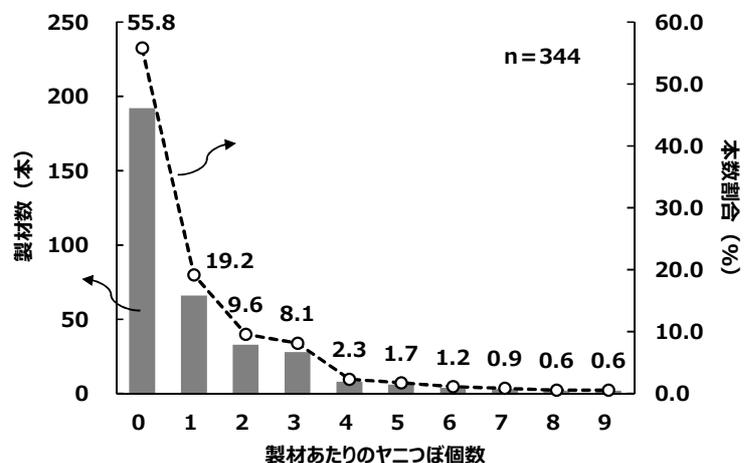


図 2 ヤニつぼ個数別にみた製材本数

試験片断面の調査では、一般的な脱脂条件で製造したカラマツラミナやその集成材に含まれるヤニつぼ、ヤニ垂れの個数を明らかにした（表 4）。ただし、ラミナや集成材中のどこにヤニつぼが位置するかまでは考慮していない。そこでラミナの調査では、特に表面に出現するヤニつぼ、ヤニ垂れの頻度について検討を行った。

ラミナ表面に認められるヤニつぼのうち、ヤニ垂れの割合は上下面の方が側面よりも高かった（表 5）。ヤニつぼやヤニ垂れの個数は実測値（表 5）では側面より上下面の方が多いが、面積 1m²あたり換算すると側面の方が多い結果となった（表 6）。上下面と側面におけるヤニつぼ個数の差異については、今のところ見当がついていない。

一般的な構造用集成材の寸法を想定してラミナ（厚さ 30×幅 105 mm）を厚さ方向に 8 枚積層すると仮定し、その際に集成材 1 m³（短辺 105×長辺 240×長さ 4,000 mm の集成材でほぼ 10 本分に相当）の表面に出現するヤニつぼ、ヤニ垂れの個数を試算した（表 7）。その結果、ヤニつぼ、ヤニ垂れともに上下面よりも側面に 16~30 倍多く出現することが示された。ラミナを厚さ方向に積層するために、側面の面積は積層分だけ増加するが、上下面は接着されるため一番上のラミナの上面と一番下のラミナの下面しか表層に出てこない。これにより、今回試算した集成材 1 m³における上下面の表面積は 8.33 m²であるのに対し、側面は 19.05 m²となる。加えて表 6 に示すように面積 1 m²あたりのヤニつぼ、ヤニ垂れ個数は側面の方が多いことから表 7 のような試算結果となる。

表 7 に示す集成材 1 m³の材表面におけるヤニつぼ個数は、表 4 のラミナ部 1 m³のヤニつぼ個数よりも多くなっている。これは表 4 の数値計算に仮定を置いていることや、供試試料の違いなどによるものと考えられる。このように調査手法によって結果に差異があることについては今後の検討課題である。

以上をまとめると、試験片断面の調査から、一般的な脱脂条件により製造されるカラマツラミナ（あるいは集成材）1 m³あたりのヤニつぼ、ヤニ垂れの出現頻度は、ヤニつぼが 400 個程度、このうちヤニ垂れが 80 個程度と言える。また、ラミナ表面の調査から、一般的な断面寸法（短辺 105×長辺 240 mm）の集成材 1 m³の材表面におけるヤニつぼ、ヤニ垂れの出現頻度は、ヤニつぼが 480 個程度、このうちヤニ垂れが 50~60 個と試算される。

表 5 ラミナ表面（部位別）におけるヤニつぼ、ヤニ垂れの個数

	上下面	側面
ヤニつぼ（個）	119	52
うちヤニ垂れ（個）	25	6
ヤニ垂れの割合（%）	21.0	11.5

* 調査ラミナ数は344枚。

表 6 ラミナ表面（部位別）1 m²あたりのヤニつぼ、ヤニ垂れの個数

	上下面	側面
ヤニつぼ（個/m ² ）	1.8	24.5
うちヤニ垂れ（個/m ² ）	0.4	2.8

表 7 集成材 1 m³あたりの材表面におけるヤニつぼ、ヤニ垂れの個数（試算値）

	上下面	側面	計
ヤニつぼ（個/m ³ ）	15.3	465.8	481.1
うちヤニ垂れ（個/m ³ ）	3.2	52.7	55.9

* 集成材は厚さ30×幅105 mmのラミナを厚さ方向に8枚積層したものと試算。

【謝 辞】

本調査の実施にあたり、長谷川 優氏、佐久間 澄夫氏、前川 光男氏、松原 慎吾氏、宮本 孝志氏、阿部 志津氏、長多 恵氏にご協力いただいた。記してお礼申し上げます。

【引用文献】

- 1) 北海道：“平成 27 年度北海道森林づくり白書”，北海道，札幌，2016.
- 2) 北海道立林産試験場：“カラマツ活用ハンドブック”，北海道立林産試験場，旭川，2005.

○平井卓郎，中田隆之，菊澤里志，山本 宏（NPO 法人北海道住宅の会）

1. はじめに

NPO 法人北海道住宅の会では、平成 25、26 年度北海道森林整備加速化・林業再生事業「道産人工林材による桧組み壁工法用製材の用途開発・市場構築推進事業」の一環として、道産たて桧材の試験製材とそれを用いた桧組壁工法住宅のモニター施工を実施した^{1,2)}。その内訳は、平成 25 年度に 16 棟（トドマツたて桧材を使用した戸建て住宅 14 棟、カラマツたて桧材を使用した戸建て住宅 2 棟）、平成 26 年度に 2 棟（トドマツたて桧材を使用した共同住宅、2 棟とも同床面積・同仕様で、床面積は戸建て住宅換算で各 2 棟分、計 4 棟分に相当）となっている。このモニター施工の参加企業は、北海道内の木材流通・パネル加工業 4 社、工務店 13 社である。また、使用たて桧材は 204 材（内壁、外壁用）と 206 材（外壁用）である。

この事業の事後追跡調査として、施工後約 2 年（一部約 1 年）を経過した時点（平成 28 年 4 月）における、モニター施工住宅の評価、その後の通常物件における道産たて桧材の使用状況、今後の道産たて桧材使用に関する課題についてアンケート調査を実施したので、その結果を報告する。

2. 調査方法

この調査では、モニター施工に参加した木材流通・パネル加工業 4 社と工務店 13 社に対し、道産桧組壁工法構造用製材の現状評価と今後の可能性に関し、以下のような質問を行うとともに、関連する課題についての見解を求めた。

- （質問 1）道産トドマツ（カラマツ）たて桧材を用いたモニター施工住宅に対する、現在までの施主からの評価は輸入 SPF 材と比べてどうか？
- （質問 2）モニター住宅施工以後、トドマツ（カラマツ）桧組壁工法構造用製材に対する一般の方々からの使用希望や問い合わせはあったか？
- （質問 3）今後のトドマツ（カラマツ）桧組壁工法構造用製材のたて桧材としての普及についてどう考えるか？
- （質問 4）今後のトドマツ（カラマツ）桧組壁工法構造用製材の上桧材、下桧材、頭つなぎとしての普及についてどう考えるか？
- （質問 5）今後のトドマツ（カラマツ）桧組壁工法構造用製材の床組材としての普及についてどう考えるか？

また、参加各社に対する上記のアンケート調査に加え、事業終了後に通常の自社物件でも道産たて桧材の使用に取り組んでいる 2 社について、個別に施工実績の調査を行った。

3. 調査結果と考察

アンケート調査に対し、木材流通・パネル加工業 2 社、工務店 8 社から回答を得た。木材流通・パネル加工業者は回答数が 2 となっていること、またカラマツたて桧材を使用した木材流通・パネル加工業と工務店は各 1 社（施工棟数 2 棟）に留まっており、結果の判断が難しいと考えられることから、この報告ではトドマツたて桧材を使用した工務店 8 社の回答に絞って集計結果を示す。

3.1 アンケート調査結果

各質問事項に対する回答は表 1 の通りであった。

表 1 アンケート回答

質 問	回 答
道産トドマツ（カラマツ）たて枠材を用いたモニター施工住宅に対する、現在までの施主からの評価は輸入 SPF 材と比べてどうか？	輸入 SPF 材よりよかった：1/8 ほぼ同じだった：7/8
モニター住宅施工以後、トドマツ（カラマツ）枠組壁工法構造用製材に対する一般の方々からの使用希望や問い合わせはあったか？	使用希望、問い合わせとも有った：1/8 問い合わせが有った：1/8 どちらも無かった：6/8
今後のトドマツ（カラマツ）枠組壁工法構造用製材のたて枠材としての普及についてどう考えるか？	現状でも普及可能である：4/8 現状では問題があるが、それが改善されれば普及可能である：4/8
今後のトドマツ（カラマツ）枠組壁工法構造用製材の上枠材、下枠材、頭つなぎとしての普及についてどう考えるか？	現状でも普及可能である：4/8 現状では問題があるが、それが改善されれば普及可能である：4/8
今後のトドマツ（カラマツ）枠組壁工法構造用製材の床組材としての普及についてどう考えるか？	現状でも普及可能である：4/8 現状では問題があるが、それが改善されれば普及可能である：4/8

表 1 の回答と、それに関連する意見をまとめると、次のようになる。

- (1) 道産トドマツ材は、材料品質としては輸入 SPF 材と同等以上で、たて枠材として使用する上で特に支障はない。トドマツ枠組壁工法構造用製材に対する、一般の関心はまだ低いが、一部で使用希望や問い合わせも見られるようになっている。
- (2) トドマツ枠組壁工法構造用製材のたて枠材としての普及については、現状でも特に大きな問題はないという回答と、現状では問題があるがその問題点が改善されれば普及可能であるという回答に分かれている。ただし、後出のように安定供給体制についてはほぼすべての工務店が危惧を感じており、上記の回答の違いは選択肢を選ぶ際の感覚的な違いが反映されており、全体として、安定的にかつ実務的に許容範囲の価格で供給されれば、普及可能であるという見解が大半であると理解できる。
- (3) トドマツ枠組壁工法構造用製材の上枠材、下枠材、頭つなぎとしての普及についても、基本的にたて枠材と同様であるが、これらに関しては長尺材の供給が基本要件となる。壁組に用いる構造用製材の中で、たて枠材はほとんどが約 2,400mm(8ft.)、特殊な仕様でも約 2,700~3,000mm (9~10ft.)である。しかし、壁組を一体化する都合上、上枠、頭つなぎにはできるだけ長尺材（最低でも約 3,600mm (12ft.)、できれば約 4,500mm 以上(15ft. 以上))を使用したいという要望が多い。これらの部材に一般的なたて枠材を使用することは必ずしも不可能ではないが^{3,4)}、壁組の構成に細かな工夫を要すること、材料の振り分けや組み立てに余分な手間を要することなどから、長尺の輸入材が入手可能な現状では、現実性が乏しいと言える。この長尺材供給は製材業の努力だけでは実現不可能で、それを想定した原木供給体制の整備が必要である。
- (4) 今後のトドマツ枠組壁工法構造用製材の床組材としての普及については、現状でも普及可能であるという回答がある一方、問題点が多く、今後も普及は難しいという指摘もある。

この点については、現在の道内トドマツ人工林材の径級分布から見て、208材(断面38×184mm)、210材(断面38×235mm)、212材(断面38×286mm)などが用いられる床組や小屋組用の構造部材を製材として供給することは今後とも難しいと考えられる。また、せいの大い床根太材に製材を使用する場合、かなり高品質の乾燥材でないと建築後のクレームを生じ易いという問題点もある⁵⁾。特に、冬期に室内が過乾燥になりやすい北海道では、この点が重要である。以上の点を考慮すると、床根太材については製材にこだわらず、道産材によるI形梁や集成材、各種木質材料、複合部材の使用を念頭においた技術検討を進めるのが合理的であると考えられる。ただし、1階床組は在来構法と同様な大引き仕様とすれば、道産トドマツ製材や集成材の使用が可能である。

3.2 トドマツ枠組壁工法構造用製材の普及に関する課題

上記アンケートの回答に記載された、今後のトドマツ枠組壁工法構造用製材普及に関する主要な課題を再整理すると以下ようになる。

3.2.1 トドマツ枠組壁工法構造用製材のたて枠材としての普及に関する課題

- (1) 製材工場からの供給が不安定である。今後道産トドマツたて枠材を定着させるには、安定した供給体制の整備、供給量の確保が最大の課題である⁶⁾。一部の流通・加工業では、製材在庫による供給安定化の努力がなされてはいるが、製材供給量の変動がそれ以上に大きく、対応が困難な状況に陥っている。特に204材(断面38×89mm)に比べ断面寸法の大きい206たて枠材(断面38×140mm)は、数量・価格両面での原木径級の制約から供給の不安定さが顕著で、実務上大きな支障をきたしている。
- (2) 現状では、輸入材との価格差の問題が依然として大きい。また、木質バイオマス利用等と関連し、今後の原木価格の値上がりにも懸念がある。

3.2.2 トドマツ枠組壁工法構造用製材の上枠材、下枠材、頭つなぎとしての普及に関する課題

- (1) 品質的に可能だとしても、上枠材、頭つなぎに求められる約4,500mm以上(15ft.以上)の長尺材を実際に供給できるかどうか最大の課題である。もし、フィンガージョイントによるトドマツ縦継ぎ材の供給が可能になれば、たて枠材に加え、上枠材、頭つなぎも確保できると考えられるが、道内の加工設備や加工コストなど、実現には課題が多い。
- (2) 長尺材を生産した場合、たて枠材と同等の品質が確保できるかどうか検討が必要である。特に、曲がりやねじれなどをどの程度まで抑えられるかが課題となる。
- (3) 輸入材との価格差が大きい、長尺材を供給するために生産コストが上がるようなことがあると、現状よりも更に価格差が開き、実際上使用が難しくなる。

3.2.3 トドマツ枠組壁工法構造用製材の床組材としての普及に関する課題

- (1) 近年、一部では国有林の優良トドマツ材を資源とした床根太材の試験生産や試験施工が行われているが、安定的な原木確保の面から、当面は安定供給が難しいと考えられる。
- (2) トドマツの床根太材に関しては、使用期間中の経年変化(乾燥収縮など)に関する実務資料が少なく、建築後のクレーム発生を考えると、積極的な取組は行いにくい。その他の品質についても情報が少なく、現状では不安がある。

3.2.4 その他の課題

- (1) 製材、流通、価格において安定供給体制が整えば十分使用可能であるが、流通量と価格が安定しない現状では、設計打ち合わせ時点で施工時の材料確保の保証が得にくく、施主に対して道産トドマツ材の使用を提案することは難しい。
- (2) 原木確保については、製材、流通の流れも含め、木質バイオマス利用との効果的な連携ができれば、共存によりむしろ流通量の増大が図れる可能性もあるのではないかと。
- (3) 仕入れ価格を輸入材と同程度にする必要があるが、そのためには、原木の玉切り長さの検討を含む物流の仕組みを抜本的に見直し、挽き立て歩留まり等を改善する必要がある。
- (4) 道産材から14ft.以上の長さや208材、212材を作るのは現状では無理があると考えられる

ので、当面たて枠材に限定して考えるのが現実的である。また現状でも、1階床組は大引き仕様、2階床組はIビーム仕様とすることが多く、道産製材で床根太材を供給しても将来性は低いと考えられる。

- (5) 小屋組については、ネイルプレートを使用したトラス構造とすると、204や206などのたて枠材相当断面や3m以下の短尺材も使える部分があるので、その用途でも可能性が広がると考えられる。

3.3 試験施工後の通常物件における道産たて枠材使用状況

試験施工に参加した工務店のうち2社は、モニター施工終了後も、通常の自社物件の中でトドマツたて枠材の導入（輸入SPF材との混合使用を含む）を進めて来た。現在までの使用実績（平成26年4月～平成28年3月）は2社計51棟（いずれも戸建て住宅）である。この結果を見ると、モニター施工の試みにより、今後、道産トドマツたて枠材を補助金等の一時的な施策無しに使用できる可能性が示されたと言える。

しかし、現在は製材業者からのたて枠材供給が滞ることが増えており、残念ながら、道産トドマツたて枠材の使用に前向きな工務店でさえも、止むを得ず使用材料の大半を輸入SPF材に依存する、かつての状況に後戻りしつつある。ここ数年の道内枠組壁工法関係者の取り組みにより、少しずつではあるが、需要側（工務店、施主）の道産たて枠材に対する認識が浸透する方向に向かっていった中、供給側（原木供給業、製材業）の事情により、それが停滞、後退してしまうことが強く危惧されている。

4. 道産人工林材を枠組壁工法構造用製材として普及するための供給上の課題

以上のように、道産人工林材（主にトドマツ材）は、品質的には枠組壁工法構造用製材として十分使用可能なことが実証されている。しかし、現状では安定供給体制が確立される方向には向かっていない。

この背景には、製材業の事情だけではなく、それ以前に原木供給が適切に行われていないという問題がある。北海道で外壁用枠材として一般的な206材を製材できる径級の原木が、実務的に使用可能な価格で安定供給されていないこと、また、上枠、頭つなぎに仕える長尺204、206材用の原木が供給されていないという点などである。

これらの課題に対しては、施工を担う工務店や製材の供給を担う製材業だけでは対応が不可能であり、林業側の原木供給体制、流通体制の抜本的な見直しと、それを進めるための行政の後押しが不可欠である。戸建て木造住宅の30%近くを枠組壁工法が占める北海道で、地域材の建築利用を促進するためには、現在構造用材のほぼ100%を輸入材が占めるこの市場に対し、林業・林産業関係者、行政関係者が目を向けることが期待される。

文 献

- 1) 山本宏：NP0 法人北海道住宅の会による道産材利用の拡大の試み、ウッドイエイジ、1月号、2-5、2016.
- 2) 山本宏：道産枠組み壁工法用製材の利用促進の試み、木材工業、71(4)、151-154、2016.
- 3) NP0 法人北海道住宅の会編：道産家2×4施工マニュアル、1-6、2015.
- 4) (一社)北海道建築技術協会、NP0 法人北海道住宅の会編：混構造3階建て住宅の構造計算（枠組壁工法）、63-65、2015.
- 5) NP0 法人北海道住宅の会編：枠組壁工法住宅工事仕様書〔分冊〕《道産材活用型》、4、2014.
- 6) 平井卓郎：「川下」の視点から見た人工林材利用、北方林業、65(4)、364-368、2013.

P-1

強制腐朽処理を施したホールダウン金物接合部のせん断性能

○高梨隆也，戸田正彦，森満範，宮内輝久（北林産試），森拓郎（京大生存研）

1. はじめに

木質構造物を長期間使用するためには，構造躯体に腐朽が発生しないよう劣化対策を講じることが重要であると共に，劣化診断によって腐朽の発生が確認された場合，その箇所の改修必要性の確認や効率的な改修方法の決定にあたって，残存性能を適切に評価する必要がある。

これまで行われてきた木材腐朽後の性能評価は，小試験体での材料性能評価や単位接合部での性能評価にとどまっており，接合具を複数本用いて留め付ける接合に対する木材腐朽の影響評価はあまり行われていない。このような接合形式においても残存性能の評価が可能となれば，木質構造物の残存耐力の推定精度が向上すると考える。そこで本研究では，強制腐朽処理を施したトドマツ製材にホールダウン金物接合部を留め付けて，腐朽後のせん断性能の評価を試みた。

2. 実験方法

2. 1. 試験体

試験体にはトドマツ (*Abies sachalinensis*) 製材を用いた。試験体寸法は断面を 105 mm×105 mm，長さを 800 mm とした。試験体密度の平均は 372 kg/m³，標準偏差は 19 kg/m³であった。試験体概要を図 1 に示す。

2. 2. 強制腐朽処理

ポリプロピレン容器 (外寸法：長さ 167 mm×幅 117 mm×高さ 58 mm) にポテトデキストロース寒天培地を充填した上に褐色腐朽菌オオウズラタケ (*Fomitopsis palustris*) を培養したものを腐朽源ユニットとして，試験体のホールダウン金物留め付け予定位置に接触させ，梱包用ビニールロールとポリプロピレンテープを用いてラップした (図 2)。

腐朽源ユニットを貼りつけた試験体は設定温度を 26℃とした恒温室内で養生した。腐朽処理を行っていないものをコントロールとし，腐朽処理を行った試験体では腐朽処理期間を 12 週，18 週，24 週の 3 シリーズとし，それぞれ試験体数を 6 体とした。腐朽処理期間終了後は腐朽源ユニットを取り外して，実験室環境で 4 か月間以上の養生を行った後，試験に供した。

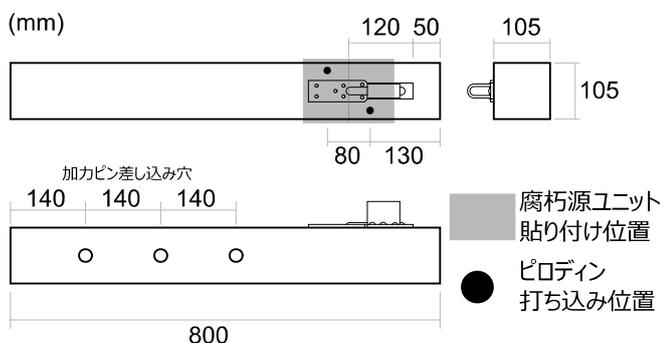


図 1 試験体概要



図 2 強制腐朽処理の様子

2. 3. 加力試験

養生が終了した試験体にホールダウン金物 ((株)タナカ ビスどめホールダウン U 20kN 用)を加力試験直前に留め付けた。この金物は付属するビス ((株)タナカ TBA-65 呼び径 6 mm, 首下長さ 65 mm)を 7 本用いて留める付ける金物であり, 本研究では先穴を設けずにビスをねじ込んで留め付けた。

加力試験では, ホールダウン金物を M16 ボルトで反力ベースに固定し, 試験体に対して引張加力を与えた。加力は繰り返し試験機 (最大荷重能力 200kN)を用いた一方向繰り返し加力方式とした。加力スケジュールは, 試験体とは別に用意した無処理のトドマツ製材で行った単調引張試験での降伏荷重時変位 δ_y の 1/2, 1, 2, 4 倍の順での一方向繰り返しとした。加力速度は 15 mm/分とした。試験の様子を 図 3 および 図 4 に示す。

加力試験終了後にホールダウン金物を取り外し, 金物が留め付けられていた箇所の横 2 箇所 (図 1)でピロディン®6J を用いて打ち込み深さを測定し, その平均値を腐朽程度の指標として用いた。



図 3 加力試験の様子 (全体)



図 4 加力試験の様子 (接合部付近)

3. 結果

腐朽処理終了後の, 腐朽源ユニットを取り外した直後の試験体の様子を 図 5 に示す。また, それぞれの腐朽処理期間ごとに全試験体の荷重-変位曲線の包絡線を 図 6 に示す。コントロール試験体では加力開始直後の急激な荷重の立ち上がりが観察されたが, 腐朽試験体ではその傾向が見られなかった試験体もあった。

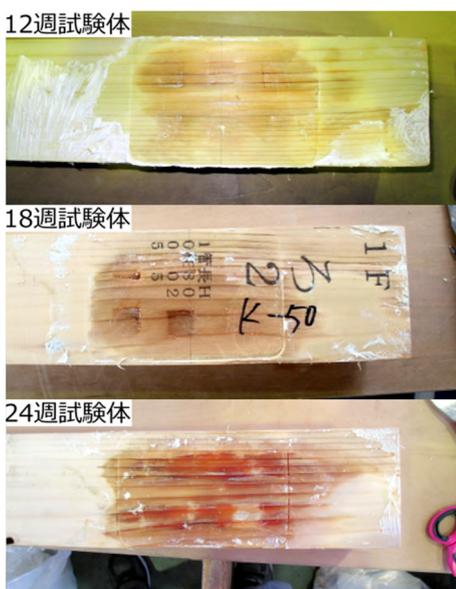


図 5 腐朽処理後の試験体

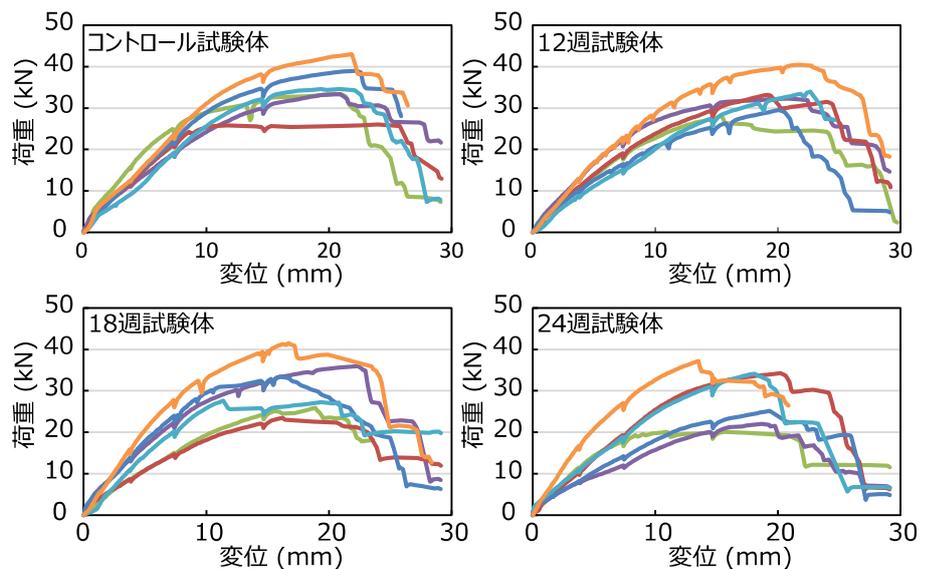


図 6 荷重-変位曲線

3. 1. 破壊性状

コントロール試験体および腐朽処理試験体のどちらも、最大荷重を経てビスの頭付近が降伏して荷重低下に至るといふ破壊が多く見られた。また、腐朽処理試験体の一部で試験体の割裂やせん断による破壊もみられた (図 7 および図 8)。



図 7 割裂による破壊
(24 週試験体)



図 8 せん断による破壊
(18 週試験体)

3. 2. 最大荷重と打ち込み深さの関係

腐朽処理期間ごとの最大荷重の平均値を図 9 に示す。腐朽処理期間が長くなるにつれて最大荷重が低下する傾向が見られ、24 週試験体のうち 1 体では短期許容耐力のメーカーカタログ値 (20.9kN) を下回る結果となった。しかし、全体ではばらつきが大きく腐朽処理期間による最大荷重の有意差は確認されなかった。また、最大荷重とピロディン打ち込み深さの関係を図 10 に示す。ピロディン打ち込み深さが大きくなるにしたがって最大荷重が低下していく傾向がみられたが、ばらつきが大きくピロディン打ち込み深さから直接のせん断性能推定は精度が低かった。

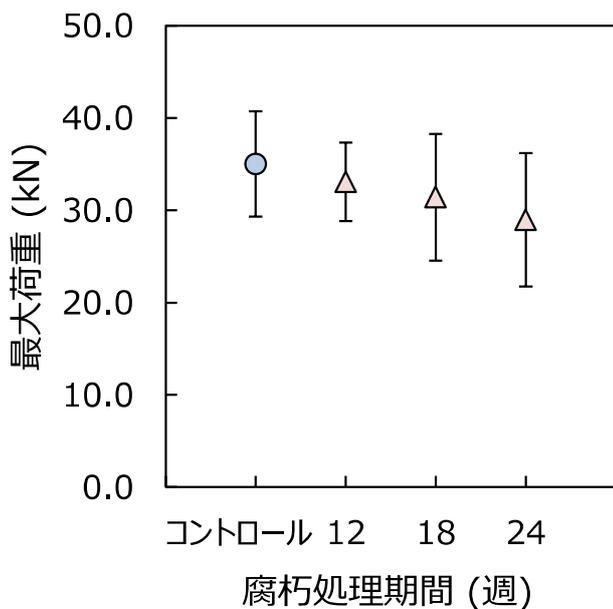


図 9 腐朽処理期間毎の最大荷重の平均値

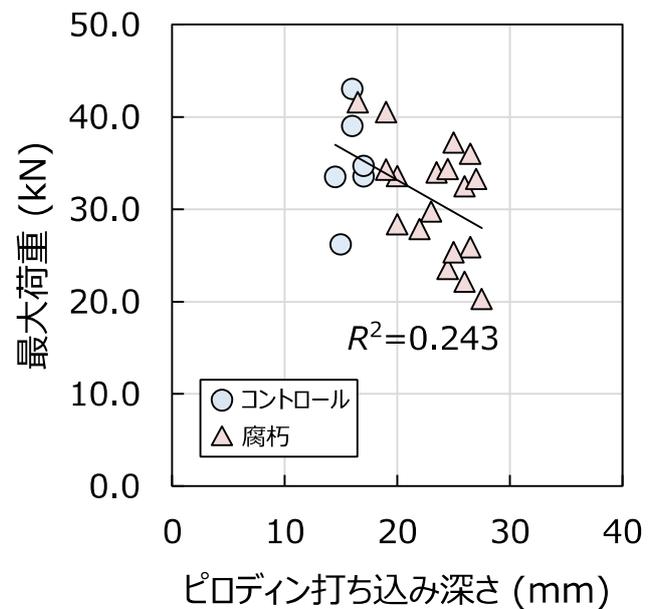


図 10 ピロディン打ち込み深さと最大荷重

3. 3. 初期剛性と打ち込み深さの関係

腐朽処理期間ごとの初期剛性の平均値を図 11 に示す。腐朽処理期間が長くなるにつれて初期剛性が低下する試験体も観察された。ばらつきが大きいいため腐朽処理期間による初期剛性の有意差は確認されなかった。また、初期剛性とピロディン打ち込み深さの関係を図 12 に示す。最大荷重と同様に、ピロディン打ち込み深さが大きくなるにしたがって初期剛性が低下していく傾向はみられたが、ばらつきが大きかった。

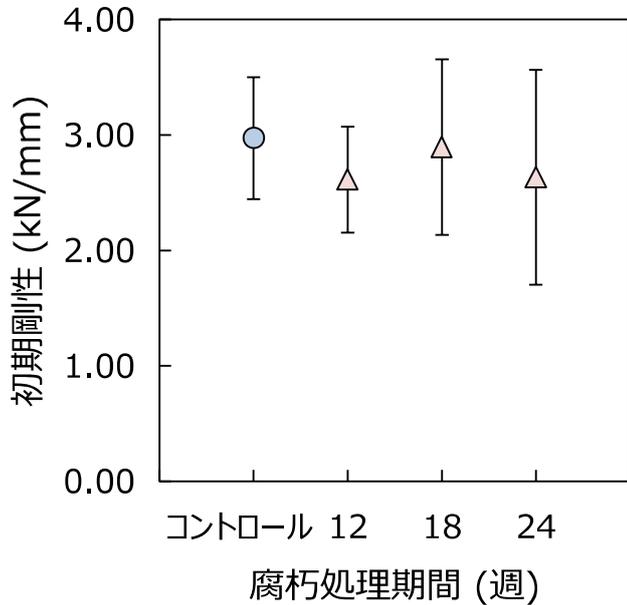


図 11 腐朽処理期間毎の初期剛性の平均値

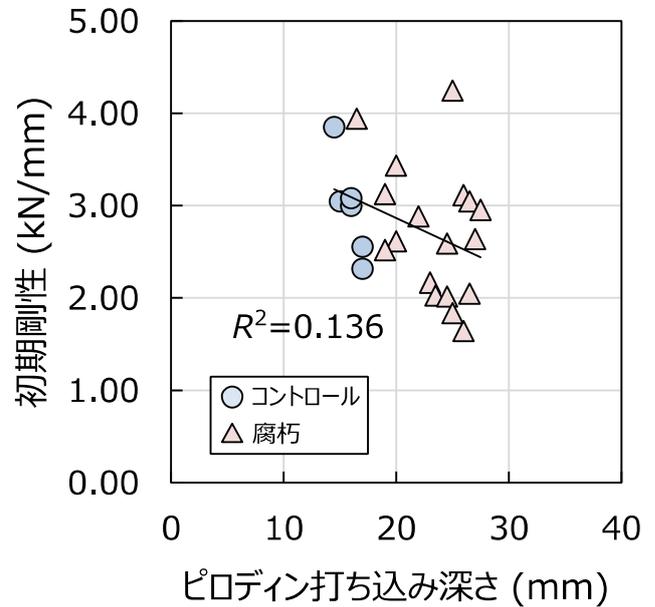


図 12 ピロディン打ち込み深さと初期剛性

4. まとめ

腐朽が発生することでホールダウン金物接合のせん断性能は低下する傾向があり、ピロディン打ち込み深さと負の相関があることが確認された。今後は接合具一本当たりの性能評価値などとの組み合わせから精度を向上させ、金物接合部の残存性能の推定法を検討したい。

本研究は科学研究費補助金（基盤研究（B）26289191：代表者：森 拓郎）の助成を受けたものである。

○石原亘、大橋義徳、松本和茂、高梨隆也、植松武是（北林産試）

【緒言】

クロス・ラミネイティド・ティンバー（CLT）は直交層を有する構造材料であり、強度と寸法変化の異方性の緩和に寄与している。一方、力学特性においては、面外方向にせん断破壊する際に、直交層がローリングシア破壊することが大きな特徴であり、面外せん断強さの性能把握が重要と考えられる。

面外せん断強さについては、スギCLTをベースとした検討が行われており、既往の報告から荷重方式によって発現する強度の値が異なることが示されている¹⁾。本報では、北海道産材の主要樹種であり密度の高いカラマツ（*Larix Kaempferi*）を用いたCLTについて面外せん断試験を行い、荷重方式やスパン条件が面外せん断強さに及ぼす影響について検証を行った。

【試験体】

試験体の寸法及び試験体数を表1に示す。試験体は、厚さ30mm×幅105mmの道産カラマツラミナを水性高分子イソシアネート系接着剤で縦継ぎ及び積層したカラマツCLTから採取した。等級構成はJAS異等級構成の強度等級Mx120とし、ラミナの幅はぎは行っていない。CLTの断面構成は5層5プライとし、いずれも表層ラミナの繊維方向が試験体の材軸方向と平行となる強軸試験体とした。

表1 試験体の寸法と数量

荷重方式	中央集中荷重法						逆対称4点荷重法					
	材幅 b(mm)	材せい h(mm)	全スパン L(mm)	最大せん断区間 a(mm)	試験体数		材幅 b(mm)	材せい h(mm)	全スパン L(mm)	最大せん断区間 a(mm)	試験体数	
材幅 b(mm)	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	
材せい h(mm)	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
全スパン L(mm)	750	900	1050	1200	1350	1500	1350	1575	1800	2250	2610	
	(5h)	(6h)	(7h)	(8h)	(9h)	(10h)	(9h)	(10.5h)	(12h)	(15h)	(17.4h)	
最大せん断区間 a(mm)	375	450	525	600	675	750	450	525	600	750	870	
	(2.5h)	(3h)	(3.5h)	(4h)	(4.5h)	(5h)	(3h)	(3.5h)	(4h)	(5h)	(5.8h)	
試験体数	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	

【試験方法】

面外せん断試験の荷重方式は構造用木材の強度試験マニュアル²⁾に規定されている中央集中荷重法と逆対称4点荷重法により行い、最大せん断力が一様に分布している区間を「最大せん断区間」と定義した。図1に両方式の概略図とモーメント図及びせん断力図を示す。なお、中央集中荷重法については支点間距離5h（最大せん断区間=2.5h）として直交集成板の日本農林規格（JAS）に規定されている。

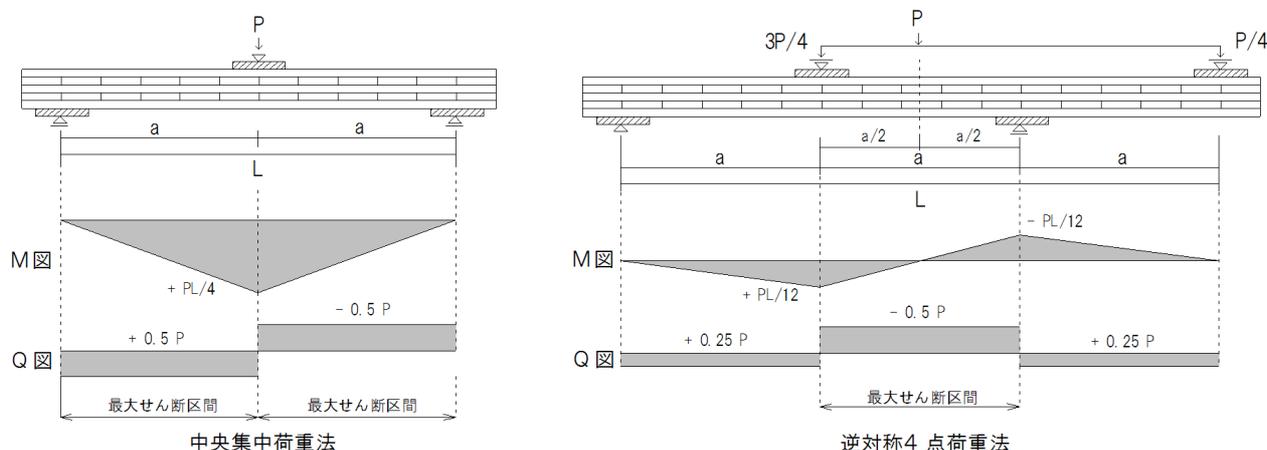


図1 荷重方式概略図

試験は実大木材試験機（株東京衡機製造所製）を用いて行い、支点及び荷重点での加圧板幅は全条件とも200mmとし、いずれの方式でも加力は一方向単調載荷（4mm/min）とした。各荷重方式における試験の様子を図2に示す。

せん断強さ (F_s) は以下の式から計算した。

$$F_s = \frac{3P_{max}}{4bh}$$

ここで、 P_{max} ：最大荷重、 b ：材幅、 h ：材せい、とする。なお、せん断強さは、強度試験マニュアルの中でISO案として紹介されている公称せん断強さとし、せん断以外のモードで破壊した試験体でも破壊時せん断応力を求めて採用した。

【結果及び考察】

各条件におけるせん断試験結果を表2に、中央集中荷重法における終局時の破壊形態を図3に、逆対称4点荷重法における終局時の破壊形態を図4に示す。

終局時の破壊形態は、中央集中荷重法においてはせん断破壊と曲げ破壊の両方の破壊モードがみられ、最大せん断区間750mm(5h)では全試験体が曲げ破壊となった。逆対称4点荷重法においては最大せん断区間の長短に関わらず、全て直交層のローリングシアによるせん断破壊となった。

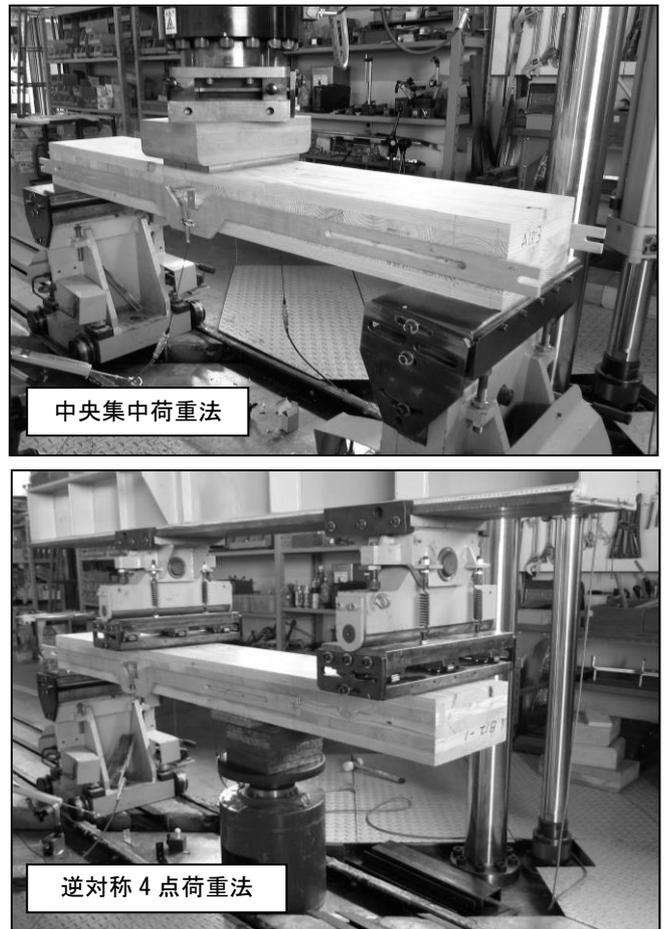


図2 各荷重方式における試験の様子

表2 せん断試験結果

樹種/構成	荷重方式	最大せん断区間 (a)(mm)	試験体数	公称せん断強さ 最小値-平均値-最大値	変動係数 (%)	※)破壊形態
カラマツ Mx90 5層5プライ	中央集中 荷重法	375 (2.5h)	8	3.10 - 3.30 - 3.43	2.9	S:4/B:4
		450 (3h)	4	2.19 - 2.43 - 2.55	5.9	S:0/B:4
		525 (3.5h)	4	2.03 - 2.21 - 2.38	5.9	S:4/B:0
		600 (4h)	4	1.82 - 2.09 - 2.24	7.8	S:2/B:2
		675 (4.5h)	4	2.04 - 2.10 - 2.26	4.4	S:4/B:0
		750 (5h)	4	1.30 - 1.57 - 1.82	11.9	S:0/B:4
	逆対称 4点荷重法	450 (3h)	4	3.14 - 3.19 - 3.31	7.4	S:4/B:0
		525 (3.5h)	4	2.57 - 2.64 - 2.70	2.2	S:4/B:0
		600 (4h)	4	2.16 - 2.32 - 2.50	5.3	S:4/B:0
		750 (5h)	4	1.99 - 2.17 - 2.28	5.1	S:4/B:0
870 (5.8h)		4	2.08 - 2.19 - 2.30	3.7	S:4/B:0	

※)破壊形態のSはせん断破壊、Bは曲げ破壊を示す。

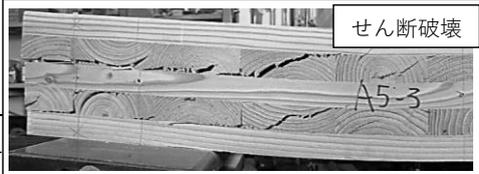
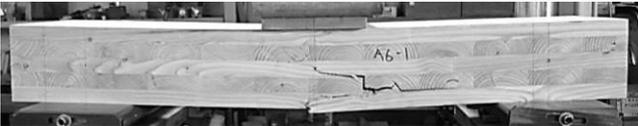
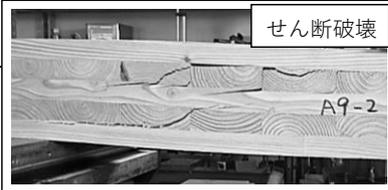
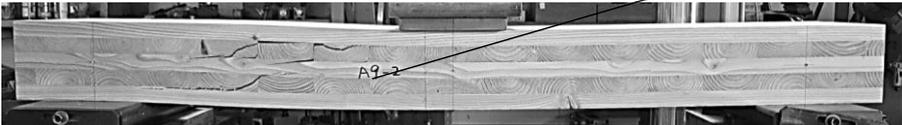
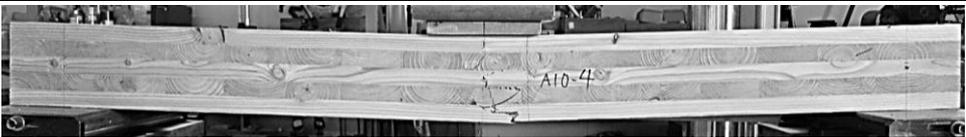
最大せん断区間	破壊形態	終局時試験体状況
375mm (2.5 h)	曲げ	
	せん断	 
450mm (3 h)	曲げ	 
	せん断	
750mm (5 h)	曲げ	

図3 中央集中荷重法における破壊形態の例

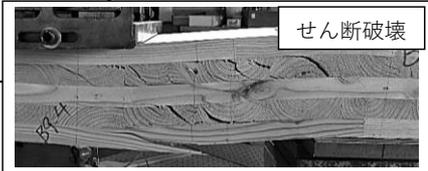
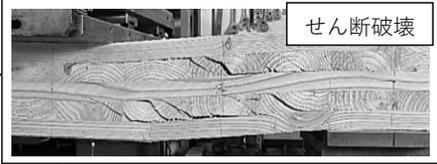
最大せん断区間	破壊形態	終局時試験体状況
450mm (3 h)	せん断	
		 
525mm (3.5 h)	せん断	
870mm (5.8 h)	せん断	

図4 逆対称4点荷重法における破壊形態の例

各荷重方式における公称せん断強さと最大せん断区間(a)の関係を図5に示す。強度試験マニュアルでは、中央集中荷重法については支点間距離が材せい(h)の6倍(最大せん断区間=3h)と規定しており、逆対称4点荷重法については支点間距離を材せいの6~12倍(最大せん断区間=3h~6h)とし、6倍(最大せん断区間=3h)を標準条件としている。これらの規定及び標準スパン条件より最大せん断区間を増大させると、各荷重方式ともそれに伴ってせん断強さが低下し、70%ほどの値で横ばいになる傾向が認められた。

荷重方式の比較については、最大せん断区間が同じであれば、中央集中荷重法より逆対称4点荷重法の方がせん断強度が高くなる傾向が看取された。

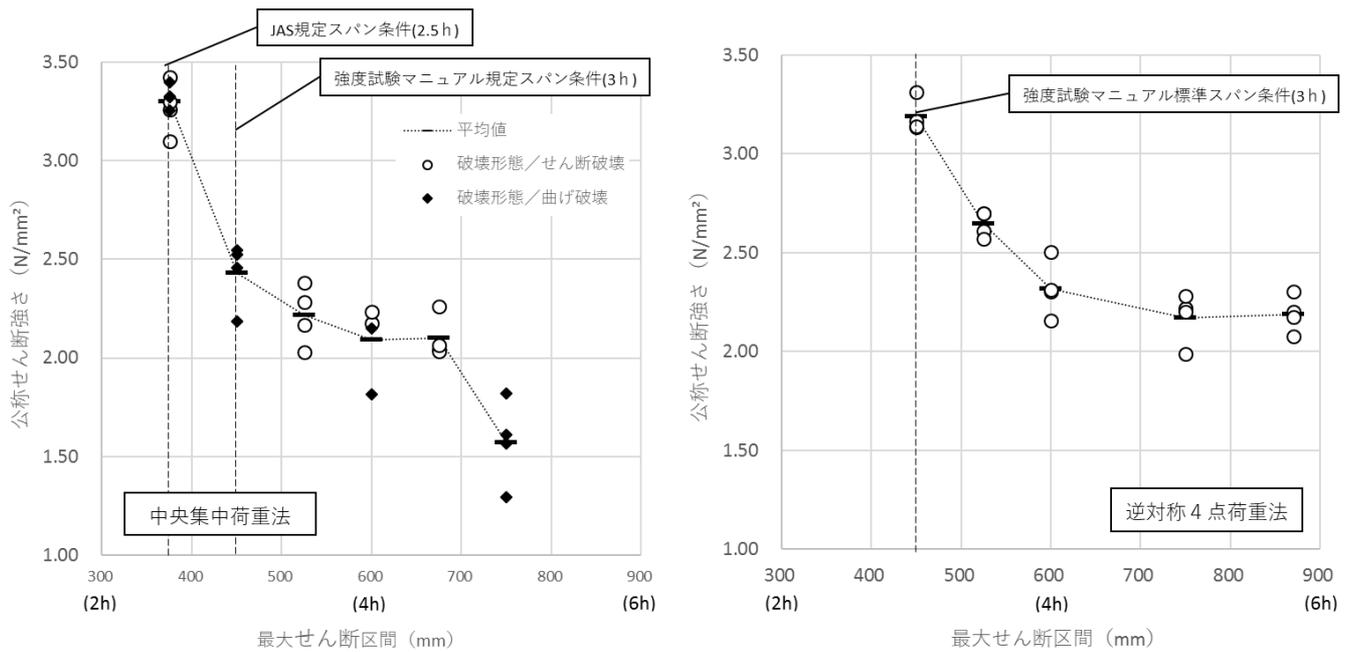


図5 各荷重方式における公称せん断強さと最大せん断区間の関係

以上の結果から、今回の試験体においては逆対称4点荷重法の方がせん断破壊の生じる確率が高く、せん断現象を捉えやすいものの、同じ最大せん断区間の中央集中荷重法よりもせん断強度が高くなること、スパン条件については標準条件よりも最大せん断区間を長く設定した方がせん断強度が低くなることが示唆された。

本報では5層5プライのカラマツCLTを用いて試験を行ったが、既往の研究では積層数が多くなるほどせん断強度が低下することが報告されている³⁾。同様の試験であっても層構成やラミナ寸法、あるいは樹種によって、破壊形態及びせん断強度がどのように変化するか更なる検証が必要であると思料される。

【参考文献】

- 1) 新藤健太ほか：スギを用いたCLTの面外せん断強度性能, 日本建築学会梗概集, 構造Ⅲ, pp321-322, 2014,
- 2) (公財)日本住宅・木材技術センター, 構造用木材の強度試験マニュアル, 2011
- 3) 新藤健太ほか：層構成の異なるスギの面外せん断性能, 第65回日本木材学会大会要旨集, D17-PS-15, 2013. 5.

(北大院農)○中谷一枝, 小泉章夫, 佐々木義久 (北林試)鳥田宏行

1, 緒言

樹木の風倒の種類には幹折れと根返りがある。したがって、樹木の風倒危険度評価のためにはまず、樹幹および根系の耐力データが必要不可欠になる。また、それらの破壊を引き起こす荷重がどれほどの風速によってもたらされるかを評価するために必要なのが抗力係数である。この抗力係数の実験データはこれまで風洞実験によって得られてきたが⁽¹⁾, 風洞実験ではサイズの小さな木でしか実験ができず、また、一定の風向および風速の風を樹木にあてるため、野外とは異なる環境になってしまうという問題点がある。実際、サイズの大きな木を対象とした風向および風速が一定でない野外実験による実験データとは異なる傾向が得られることが考えられ、野外実験による実験データが必要であると言える。

そこで、本研究においては北海道の主要な造林木であるカラマツの実大樹木を対象に野外実験を行い、抗力係数の測定を行った。

2, 実験方法

実験は、北海道美唄市にある北海道林業試験場近隣にてカラマツ 2本を供試木に約 2 か月間(8月13日から10月27日)行った。表 1 に供試木データを示した。それぞれの供試木の樹幹の北側にスパン 1m の矢高測定器⁽²⁾を設置して樹幹変位(δ)を測定し、樹冠の重心高さ付近に風速計を設置して風速(U)を測定した。図 1 に実験風景を示した。

表1 供試木データ

	樹高(m)	胸高直径 (cm)	枝下高 (m)	樹齢	変位計高さ (m)
No.1	17.4	37.1	5.3	57	0.927
No.2	16.8	29.6	6.0	57	1.148



図 1 実験風景

抗力係数は以下の式で定義される。

$$P = \frac{1}{2} C_D \rho A U^2 \quad (1)$$

P :風荷重(N), C_D :抗力係数, ρ :大気密度(kg/m^3), U :風速(m/s), A :樹冠水平投影面積(m^2)

抗力係数の算出のためには、(1)式から分かる通り、風速(U)と風荷重(P)の関係が必要になる。野外実験によって測定するのは風速(U)および樹幹変位(δ)であり、これを上の式に当てはめるために、引張試験によって剛性 $K(=P/\delta)$ を測定し、樹幹変位(δ)を風荷重(P)に換算した。また、そのほかに抗力係数の算出に必要なのが樹冠水平投影面積(A)であり、この値は写真画像の 2 値化および樹冠幅および樹冠長を使用した三角形仮定の 2 種類によってそれぞれ算出した。結果を表 2 に示した。

表2 供試木の樹冠水平投影面積および剛性

	樹冠水平投影面積(m ²)		剛性K (kN/mm)
	画像解析	三角形仮定	
No.1	18.22	34.8	10.1
No.2	11.94	16.9	3.83

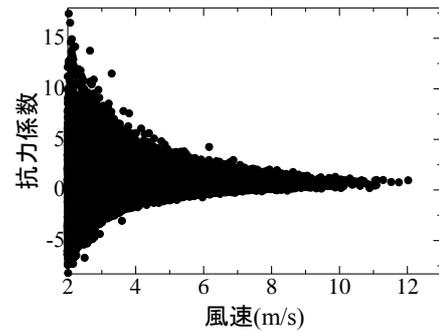


図2 風速-抗力係数の関係

3, 結果および考察

解析には風速 10m/s を超えた 10月 26日の 17時間分のデータを使用した。また、樹冠水平投影面積は写真画像解析で求めたものを使用した。なお、三角形仮定によって求めた面積を使用した場合、写真画像解析を用いた時の値の約 0.71 倍の結果となった。

3.1 データの処理

測定した抗力係数と風速の関係を図 2 に示した。抗力係数上限値は風速の増加とともに減少する傾向が見られた。したがって、風倒を起こすような暴風時(札幌市においては 32m/s)における抗力係数の値を推測する必要がある。そのために風速 0.5m/s 間隔で抗力係数の平均値をとり、回帰曲線をあてはめて風速 32m/s 時の抗力係数推定値を算出した。

樹冠は風速が増加すると受圧面積が減少するため、抗力係数は減少する。本研究の供試木は樹高が高いため、風を受けたことによる振動の影響が大きく、低風速におけるデータのばらつきが大きかった。そのため、解析に全データを使用すると、うまく回帰曲線が当てはめられず、風速 32m/s 時の抗力係数推定値が著しく大きくなるという結果になった(表 3)。

そこで、上位データの抽出率を 10—100%で変化させて、回帰曲線を当てはめた。抽出率を変えた抗力係数の平均値を図 3 に示した。上位データを抽出することによって振動の影響が軽減すると考えられる。

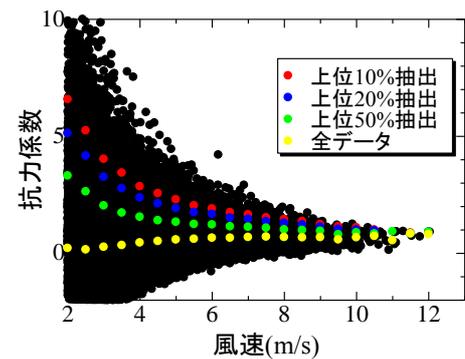


図3 上位データ抽出率の比較

3.2 回帰曲線の検討

次に、風速 32m/s 時の抗力係数を推定するにあたって適当な回帰曲線の検討を行った。検討を行ったのは次の(2)―(4)式に示した関数である。

$$C_D = a + b \times U^2 \quad (\text{指数関数}) \quad (2)$$

$$C_D = a + \frac{c}{b + U} \quad (\text{分数関数}) \quad (3)$$

$$C_D = a \times b^U \quad (\text{べき関数}) \quad (4)$$

結果を表 3 に示した。回帰曲線によって風速 32m/s 時の抗力係数推定値が異なることが分かる。また、それぞれの回帰曲線を当てはめたグラフが図 4 である。3 つの回帰曲線の決定係数はいずれも 0.99 を超えており、あてはまりは十分であると言える。しかし、指数関数を用いた場合、収束値が高めになる傾向が見られた。最も決定係数が高かった分数関数を用いた場合で、上位 10%のデータに当てはめた場合、抗力係数推定値は 2 本の平均で 0.273 と評価された。

表3 風速32m/sにおける抗力係数推定値

	上位データ 抽出率	回帰曲線		
		指数関数	分数関数	べき関数
No.1	10%	1.059	0.315	0.300
	20%	0.989	0.423	0.322
	50%	0.920	0.648	0.381
	100%		0.856	1.824
No.2	10%	1.055	0.231	0.307
	20%	0.994	0.428	0.358
	50%	0.855	0.635	0.474
	100%	0.789	0.829	1.52

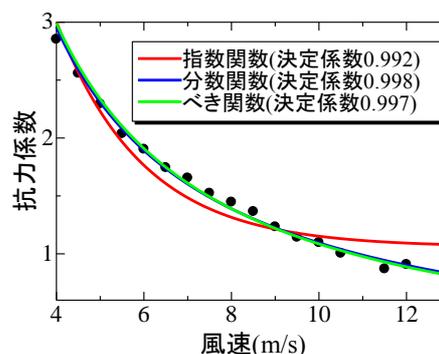


図4 回帰曲線比較(上位10%データを使用)

3.3 根返りおよび幹折れを引き起こす風速の推定

既往研究における樹幹および根系の耐力データ⁽³⁾⁽⁴⁾を用いて幹折れおよび根返りする風速を求めたのが表4および表5である。いずれの場合においても、札幌市において50年に1度吹くと言われている最大風速32m/sにて風倒を起こさないことが推定された。

表4 根返りする風速(m/s)

	上位データ 抽出率	回帰曲線		
		指数関数	分数関数	べき関数
No.1	10%	40.10	73.53	75.35
	20%	41.50	63.45	72.73
	50%	43.03	51.27	66.86
	100%		44.61	30.56
No.2	10%	36.27	77.52	67.24
	20%	37.37	56.95	62.27
	50%	40.29	46.75	54.12
	100%	41.94	40.92	30.22

表5 幹折れする風速(m/s)

	上位データ 抽出率	回帰曲線		
		指数関数	分数関数	べき関数
No.1	10%	43.98	80.63	82.63
	20%	45.51	69.58	79.75
	50%	47.18	56.22	73.32
	100%		48.91	33.51
No.2	10%	41.36	88.39	76.68
	20%	42.61	64.94	71.00
	50%	45.95	53.31	61.71
	100%	47.83	46.66	34.46

4, まとめ

- 1) カラマツの実大樹木の抗力係数を野外実験によって測定することができた。
- 2) 実大樹木では振動の影響が大きく、解析の際には上位データを抽出することが望ましいと考えられた。
- 3) あてはめる関数によって風速32m/sにおける抗力係数値に差が見られ、分数関数あるいはべき関数が適当であると考えられた。なお、上位10%のデータを用いた場合、抗力係数推定値は0.23~0.32と評価された。
- 4) 上記3)で求めた抗力係数を使用した場合、風速32m/sでは根返りおよび幹折れを起こさないと計算された。

5, 謝辞

本研究にあたって実験にご協力頂いた増子翔一氏に感謝いたします。

6, 文献

- (1) Mayhead, G. J: Some drag coefficients for British forest trees derived from wind tunnel studies, Agricultural Meteorology, 12, 123-130 (1973)
- (2) Koizumi, A., Motoyama, J., Sawata, K., Sasaki, Y., Hirai, T.: Evaluation of drag coefficients of poplar-tree crowns by a field test method, J Wood Sci 56:189-193 (2010)
- (3) 佐藤創, 鳥田宏行, 真坂一彦, 今博計, 澁谷正人: 防風林の風倒要因の解析—2004年台風18号による北海道美唄市の例, 日林誌 91: 307-312 (2009)
- (4) 小泉章夫: 生立木の非破壊試験による材質評価に関する研究北大演習林研報, 44, 1329-1415 (1987)

P-4

水平外力に対する空沼小屋の全体転倒の検討

○須賀雅人(北大農), 澤田圭, 小泉章夫(北大院農)

【緒言】

空沼小屋は、北海道札幌市南区、空沼岳の中腹にある丸太組構法で建てられた山小屋である。1928年、秩父宮殿下が建設主となり設計はスイスのマックス・ヒンデル氏、工事は伊藤豊次氏（現伊藤組土建）によって建てられた。1947年に秩父宮家から北海道大学へ寄贈されたが、建物が沼側へ傾斜したり、部材が劣化したこと等により2006年に閉鎖となった¹⁾。2016年6月から10月まで伊藤組土建によって土台より下部の修復工事が行われたものの、土台より上部は建築当時のままである。空沼小屋は1920年代に札幌近郊・豊平川源流域に相次いで建てられたテイネ・パラダイス・ヒュッテ、ヘルヴェチア・ヒュッテとともに日本の登山、スキー文化史上、先駆的な試みと知られる「山小屋の鎖」構想の中核を占める。そのため、日本のスキー文化史的にも価値のある建築物である¹⁾。

丸太組構法建築物の水平耐力要素としては丸太の直交部(ノッチ)、丸太間に挿入されるダボ、そして丸太交点部付近に挿入される通しボルトがあげられる²⁾。なかでも通しボルトは建物が水平外力を受けた際、建物端部の浮き上りを抑止するための接合具として非常に重要である。しかし、空沼小屋には通しボルトが存在しないため、浮き上りに抵抗する要素は建物の自重による抵抗モーメントのみである。本研究では空沼小屋が地震力、風圧力といった水平外力を受けた際、自重による抵抗モーメントのみで全体転倒が生じないか検討を行った。

【対象建築物】

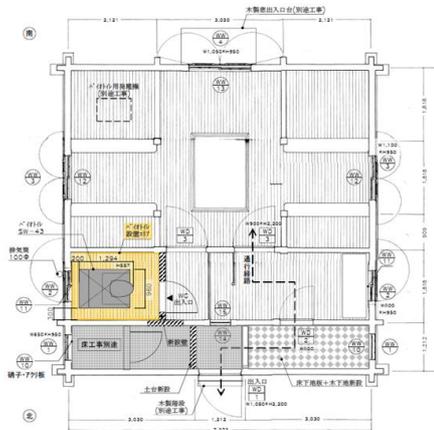


図1 空沼小屋の平面図



図2 空沼小屋の外観

図1は空沼小屋1階の平面図を、図2は外観を示す。1階桁行方向は7.58m、張間方向は7.27mであった。建物高さは6.76m、軒下高さは3.10mで、ログの平均寸法はログ交点はみ出し部で幅131mm、せい197mmであった。ログ材にはトドマツ、エゾマツが用いられていた。

【計算方法】

地震力および風圧力は次の諸条件に基づき算定した。なお丸太材密度にはトドマツ、エゾマツの絶乾密度の平均値に、当該地域の平衡含水率を16%³⁾として1.16を乗じた値を用いた。

- ・丸太材密度 : 0.447 [kg/m³]
- ・速度圧 q : 0.734[kN/m²]
- ・地震地域係数 : 0.9
- ・層せん断力分布係数 : 1.0(1階), 1.246(2階)
- ・基準風速 V_0 : 32[m/s]
- ・地表面粗度区分 : III
- ・振動特性係数 : 1.0
- ・標準せん断力係数 : 0.30

図3, 図4のように水平外力がx方向, y方向それぞれに働く場合に分けて各構面に働く地震力, 風圧力を求めた³⁾。なお右図において, x方向y1通りより下部は下屋である。この下屋は小屋組及び小屋組妻面の丸太壁の荷重を負担しないため, 無視できるものとして計算を行った。また, y1, y2通り及びx1, x2通りはそれぞれ風圧力に対する見付面積, 及び負担する固定荷重がほぼ等しい。そのため各方向1つの通りについて計算し, 残る通りは計算を省略した。

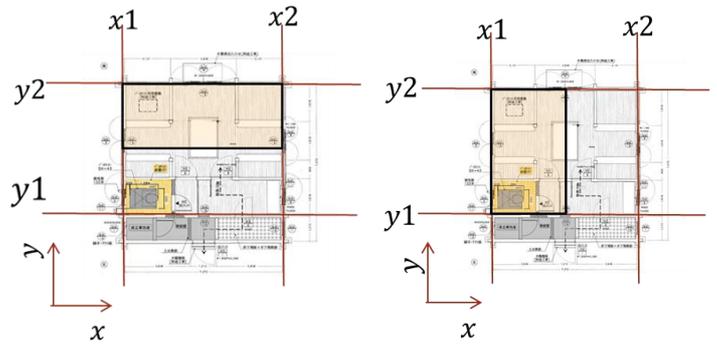


図3 x方向y2通りが負担する構面

図4 y方向x1通りが負担する構面

地震力, 風圧力はそれぞれ次の式によって計算を行った⁴⁾。

$$Q_{Ei} = C_i \times \sum W_i \dots\dots\dots (1)$$

$$C_i = Z \times R_t \times A_i \times C_0 \dots\dots\dots (2)$$

Q_{Ei} : i 階に作用する地震力(kN) $\sum W_i$: i 階より上部の建物重量(kN) C_i : 層せん断力係数
 Z : 地震地域係数 R_t : 振動特性係数 A_i : 層せん断力分布係数
 C_0 : 標準せん断力係数

$$Q_{Wi} = q \times \sum (C_f \times A_{Wi}) \dots\dots\dots (3)$$

Q_{Wi} : i 階に作用する風圧力(kN) q : 速度圧(kN/m²) C_f : 風力係数
 A_{Wi} : i 階の見付面積(m²)

式(1), (2), (3)を用いて各方向に作用する地震力, 風圧力を算出した。その後, 図5, 6に示す水平外力及び屋根面に生じる吹き上げ力と吹き下げ力を求め, A点回りの転倒モーメントを計算した。さらに自重による抵抗モーメントを計算し全体転倒の検討を行った。また, 積雪荷重が生じる場合の検討も行った。

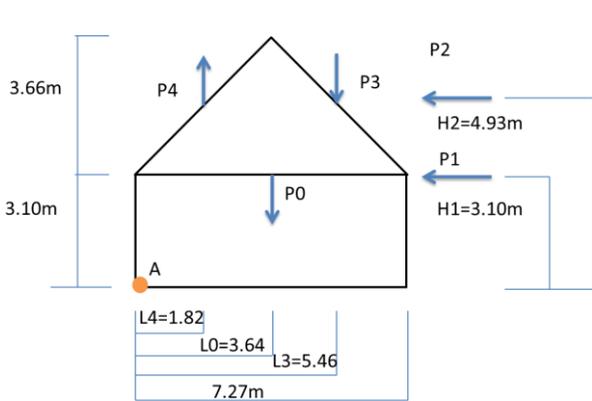


図5 x方向y2通りでの外力の作用図

P_0 は固定荷重(67.8kN), P_1 は1階が負担する水平力, P_2 は2階が負担する水平力, P_3, P_4 はそれぞれ屋根面に生じる風の吹き下げ力, 吹き上げ力を表す。

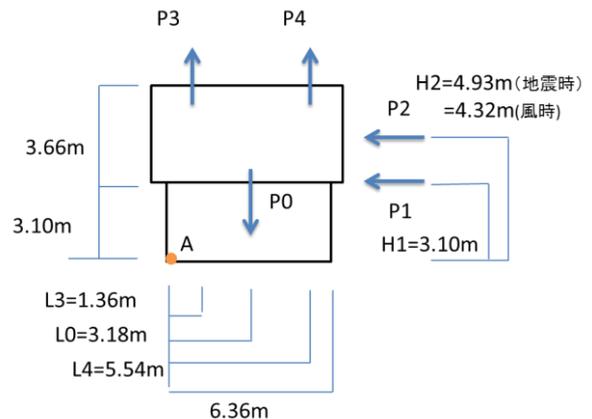


図6 y方向x1通りでの外力の作用図

P_0 は固定荷重(70.9kN), P_1 は1階が負担する水平力, P_2 は2階が負担する水平力, P_3, P_4 は屋根面に生じる風の吹き上げ力を表す。

【結果と考察】

1. x方向 y2 通り

1. 1 地震力

x方向 y2 通りの抵抗モーメントは 247[kN・m]であった。地震力によって x方向 y2 通りに生じる転倒モーメントの計算結果を表 1 に示す。地震力によって生じる転倒モーメントの合計は 84.7[kN・m]であり、抵抗モーメントの方が大きい値を示したため、全体転倒は生じないことが確認された。ここで、積雪荷重が生じる場合を考えた。積雪時の小屋上の負担積雪荷重を x とおくと、外力による浮上りが生じないためには次の不等式が成り立てばよい。

$$M_R > M_A \dots\dots\dots (4)$$

$$(67.8 + x) \times 3.64 > 9.09 \times 3.10 + (34.1 + x) \times 0.336 \times 4.93$$

ここで M_R は抵抗モーメント、 M_A は転倒モーメントを表す。式(4)を整理すると次のようになった。

$$x > -83.1 \text{ [kN]}$$

したがって積雪荷重が増加しても、全体転倒は生じないことが分かった。

1. 2 風圧力

x方向 y2 通りに作用する風圧力によって生じる転倒モーメントの計算結果を表 2 に示す。風圧力によって生じる転倒モーメントの合計は 40.1[kN・m]であり、抵抗モーメント(247[kN・m])の方が大きい値を示したため、全体転倒は生じないことが確認された。

表 1 地震力によって x方向 y2 通りに生じる転倒モーメント

	層せん断力係数	負担固定荷重(kN)	地震力(kN)	A点、作用線間の距離(m)	転倒モーメント(kN・m)
1階部分	0.270	33.7	9.09	3.10	28.2
小屋組部分	0.336	34.1	11.5	4.93	56.5
合計					84.7

表 2 風圧力によって x方向 y2 通りに生じる転倒モーメント

	速度圧(kN/m ²)	風力係数	見付面積(m ²)	風圧力(kN)	A点、作用線間の距離(m)	転倒モーメント(kN・m)
1階部分	0.734	1.2	4.93	4.34	3.10	13.5
屋根(P2負担部分)		0.637	17.6	8.21	4.93	40.5
屋根(P3負担部分)		0.306	19.4	4.35	5.46	-23.8
屋根(P4負担部分)		0.383	19.4	5.45	1.82	9.91
合計						40.1

2. y方向 x1 通り

2. 1 地震力

y方向 x1 通りの抵抗モーメントは 225[kN・m]であった。地震力によって y方向 x1 通りに生じる転倒モーメントの計算結果を表 3 に示す。地震力によって生じる転倒モーメントの合計は 87.4[kN・m]であり、抵抗モーメントの方が大きい値を示したため、全体転倒は生じないことが確認された。また 1. 1 と同様に積雪荷重が生じる際の検討を行った。小屋上の負担積雪荷重を x とすると式(4)より $x > -93.0$ となったため、y方向 x1 通りにおいても積雪荷重が生じた際、全体転倒は生じないことがわかった。

2. 2 風圧力

y方向 x1通りに作用する風圧力によって生じる転倒モーメントの計算結果を表4に示す。風圧力によって生じる転倒モーメントの合計は102[kN・m]であり、抵抗モーメント(225[kN・m])の方が大きい値を示したため、全体転倒は生じないことが確認された。

表3 地震力によって y 方向 x1通りに生じる転倒モーメント

	層せん断力係数	負担固定荷重(kN)	地震力(kN)	A点、作用線間の距離(m)	転倒モーメント(kN・m)
1階部分	0.270	36.8	9.94	3.10	30.8
小屋組部分	0.336	34.1	11.5	4.93	56.5
合計					87.4

表4 風圧力によって y 方向 x1通りに生じる転倒モーメント

	速度圧(kN/m ²)	風力係数	見付面積(m ²)	風圧力(kN)	A点、作用線間の距離(m)	転倒モーメント(kN・m)
1階部分	0.734	1.2	5.53	4.87	3.10	15.1
小屋組妻面		1.2	6.61	5.82	4.43	25.8
屋根(P3負担部分)		0.383	21.9	6.16	1.36	8.37
屋根(P4負担部分)		0.766	16.9	9.50	5.54	52.6
合計						102

以上の計算の結果、桁行および張間方向どちらにおいても転倒モーメントが自重による抵抗モーメントを超えることはなかった。よって、空沼小屋では水平外力によって全体転倒は生じないことが確認された。

【参考文献】

- 1) 在田一則ほか：北海道大学の山小屋，北海道大学学務部，p.35-38(2006)
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所ほか：2003年版 丸太組構法技術基準解説及び設計・計算例，工学図書株式会社
- 3) 齋藤周逸，信田聡：日本の気候値平衡含水率，木材学会誌，62(5)，p.182-189(2016)
- 4) 平井卓郎，宮澤健二，小松幸平：木質構造 [第3版]，東洋書店，p.42-44(2012)

P-5

北海道産カラマツ・トドマツを用いた CLT のボルト接合性能

○富高亮介（北海道立総合研究機構 林産試験場），戸田正彦，植松武是，村上了，今井良，前田典昭

【緒言】

北海道産木材を用いた CLT の実用化に向けて、昨年度までに北海道産のカラマツおよびトドマツを対象としたビス鋼板接合部の性能評価試験を行った¹⁾。CLT パネルを用いた建築物の構造設計には、ボルト接合や引きボルト接合、ドリフトピン接合など多様な接合形式の構造性能データが必要とされる。本研究では、北海道産のカラマツおよびトドマツを用いた CLT を用いて、主にボルト径をパラメータとしたボルト鋼板 1 面せん断試験を実施して接合性能の評価を行った。

【試験体および試験方法】

試験体はカラマツ CLT（JAS 等級 Mx12、比重 0.48）およびトドマツ CLT（JAS 等級 Mx90、比重 0.39）で、ラミナの断面寸法厚さ 30mm×幅 105mm、断面構成は 5 層 5 プライ（厚さ 150mm）とし、幅はぎ接着の無い仕様とした。座金はボルトの径に合わせ 3 種類とした。鋼板厚さは 9mm で、ボルトと CLT にあけた孔のクリアランスは 2mm とし、ボルトと鋼板にあけた孔のクリアランスは 1mm とした。ボルトは手締めとした。

試験条件は樹種がカラマツ・トドマツの 2 種、ボルトの径が 3 種、加力方向が CLT の強軸・弱軸の 2 種の計 8 条件とした。試験体の仕様を表 1 および図 1 に示す。

試験方法は、単調加力方式による予備試験によって得られた降伏点変位を基準変位と定め、1 方向の繰り返し加力方式とした。変位については、鋼板と CLT との相対変位を測定した。加力は最大荷重の 80% を下回るか、変位の計測が困難になった時点で終了した。試験体数は 1 条件あたり予備試験を含む計 7 体である。試験の実施の様子を図 2 に示す。

【結果および考察】

荷重変位曲線を図 3 に示す。また試験終了後の代表的な破壊形態を図 4 に示す。いずれの試験体においても、ボルトの曲げ変形が大きくなるとボルトに軸力が生じせん断抵抗が上昇するロープ効果が確認された。カラマツ CLT における破壊形態は、強軸・径 12mm の場合、全てボルト頭の破断であり、強軸・径 16mm および 20mm の場合、半数がボルト頭の破断、半数が CLT のせん断破壊であった。弱軸・径 20mm では、6 体中 4 体が CLT のせん断破壊であった。トドマツ CLT では、強軸・径 12mm と弱軸・径 20mm においてはカラマツと同様の傾向が認められたが、強軸・径 20mm では全て CLT のせん断破壊であった。なお、トドマツ CLT の強軸・径 16mm の条件は、ボルト頭が破断した 1 体を除いた 5 体で、明確な荷重低下は認められなかった。また、いずれの試験体でも座金のめり込みが観察され、特にトドマツ CLT で顕著であった。試験終了後の座金の状況を図 5 に示す。

表 1 試験体仕様

加力方向	ボルト径 <i>d</i> [mm]	座金 [mm]	端距離 [mm]	縁距離 [mm]
強軸	12	40×40×3.2	84 (7 <i>d</i>)	150
	16	52×52×4.5	114 (7 <i>d</i>)	
弱軸	20	60×60×6.0	140 (7 <i>d</i>)	

※樹種：カラマツ、トドマツ

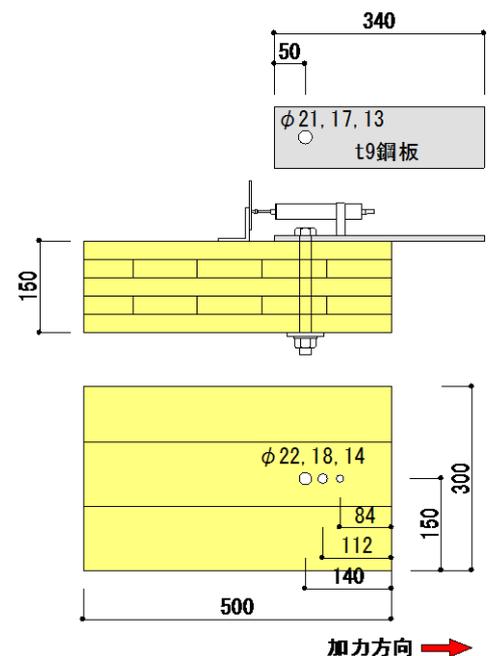


図 1 試験体仕様



図 2 試験実施状況

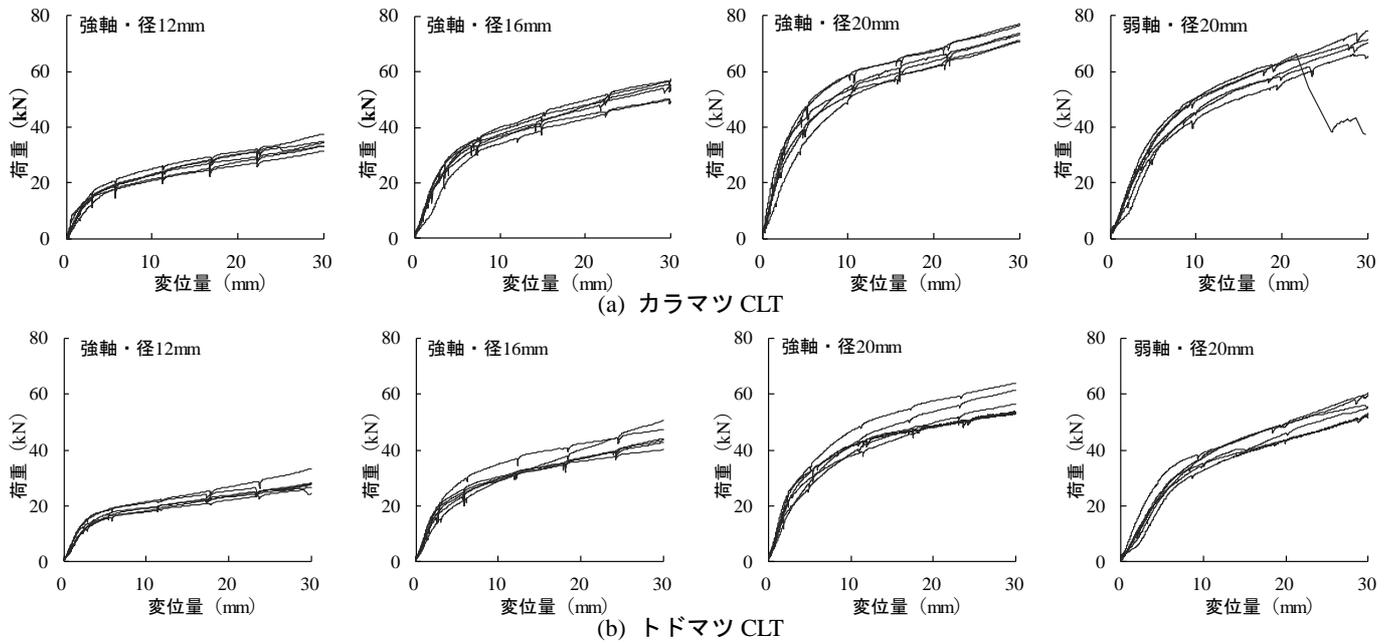


図3 荷重変位曲線



図4 代表的な破壊形態

せん断性能を評価するにあたり、試験体の据え付けガタ等による初期すべりが認められたため、変位 15mm^2 時の荷重を仮の最大荷重 P_{max}' とし、 $0.1P_{max}'$ と $0.4P_{max}'$ を結んだ直線と x 軸の交点を原点として変位量の補正を行った。補正後の荷重変位曲線の包絡線から降伏耐力 P_y 、降伏点と原点を結んだ直線の傾きである初期剛性 K を求めた。降伏点は $0.1P_{max}$ と $0.4P_{max}$ を結んだ直線と、 $0.4P_{max}$ と $0.9P_{max}$ を結んだ勾配で荷重変位曲線に接する直線との交点とした²⁾。降伏耐力 P_y と初期剛性 K を図6に示す。

いずれの試験条件でもボルト径が大きくなるにつれて、降伏耐力が向上した。降伏耐力の下限値は、いずれの試験条件においてもカラマツ CLT がトドマツ CLT を上回った。初期剛性は、ボルト径 20mm ではカラマツ CLT がトドマツ CLT を上回った。加力方向の影響は、降伏耐力においては大きくなかったが、初期剛性においては弱軸方向が強軸方向を大きく下回った。



図5 座金のめり込み

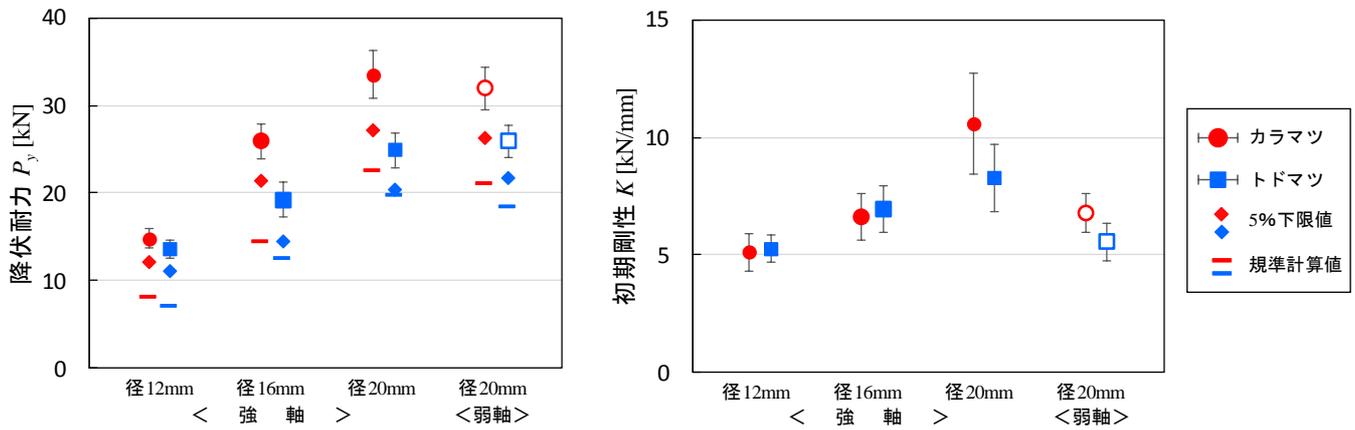


図6 評価値および計算値の比較

ヨーロッパ型降伏理論 (EYT) による現行の規準式に基づき、降伏せん断耐力 P_y を次式により推定した³⁾

$$P_y = C \cdot F_e \cdot d \cdot l \text{ [N]}$$

- C : 接合形式・破壊形式によって定まる係数
- F_e : 主材の基準支圧強度 [N/mm²]
- d : ボルト径 [mm]
- l : 主材厚 [mm]

CLTの基準支圧強度は、全体の支圧強度がラミナの繊維方向および繊維直交方向の割合に応じた平均支圧強度であると仮定し、下記の式に従い計算した。

$$F_e' = (F_{\parallel} \cdot m + F_{\perp} \cdot n) / (m + n)$$

- F_e' : CLTの平均支圧強度 [N/mm²]
- F_{\parallel} : 繊維平行方向の支圧強度 [N/mm²]
- F_{\perp} : 繊維直交方向の支圧強度 [N/mm²]
- m : 加力方向に対してラミナの繊維方向が平行な層の枚数
- n : 加力方向に対してラミナの繊維方向が垂直な層の枚数

計算に用いたラミナの基準支圧強度は木質構造設計規準・同解説²⁾に準じた。規準計算値を図6に併せて示す。いずれの試験条件でも降伏耐力の下限値が規準計算値を上回った。なお、EYTによる破壊モードは、トドマツCLTの弱軸・径20mmのみモードIII、そのほかの試験条件ではモードIVとなった。破壊モードの模式図を図7に示す。

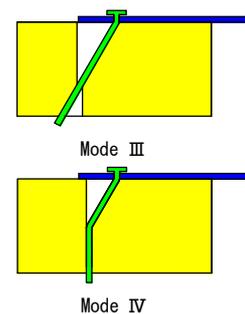


図7 1面せん断破壊モード

【結言】

北海道産のカラマツおよびトドマツを用いたCLTパネルをのボルト鋼板1面せん断試験を行い、降伏耐力および初期剛性とボルト径や加力方向の関係について検討した。

- 1) 降伏耐力、初期剛性ともにカラマツCLTがトドマツCLTを上回った。
- 2) 加力方向の影響は、降伏耐力では顕著ではなく、初期剛性において大きく現れた。
- 3) CLTの層構成割合に応じた平均支圧強度を用いて、現行の規準式に基づき降伏耐力を試算した結果、実験値下限値をおおむね妥当に評価することが可能であった。

今後は、ボルトの径長比や層構成の組合せの影響や、ラミナを方向を加味したEYTによる降伏耐力の推定を検討したい。

【文献】

- 1) 富高亮介、戸田正彦、大橋義徳：北海道産トドマツを用いた CLT のビス接合性能、2016 年度日本建築学会大会（九州）学術講演梗概集、2016（DVD-ROM）
- 2) 日本建築学会：木質構造設計規準・同解説、日本建築学会編、丸善、pp. 367-376（2015）
- 3) 日本建築学会：木質構造設計規準・同解説、日本建築学会編、丸善、pp. 29-42（2015）

○山崎 亨史（道総研林産試）

【はじめに】

家畜の飼育において、家畜の種類、飼育方法にもよるが、家畜の安楽性や糞尿処理のために、敷料が用いられる。古くは敷き藁と呼ばれ、稲わら、麦わら（麦稈）が使われていたが、飼育頭数の増加や飼育方法の変遷もあり、おが粉（鋸屑）などの工場残材が使われるようになった。更に平成11年に制定された家畜排せつ物法により、糞尿処理を適正に行わねばならなくなったこともあり、工場残材だけでは足りなくなり、間伐材を直接敷料に加工することも多くなった。

このように、近年では木質系敷料が一般的となっているが、大量に供給可能ということだけで使われている訳ではなく、その優位性を理解して利用する農家も少なくない。また、その優位性を広めることで、更なる需要も期待できる。

そこで、家畜敷料に求められる性能を整理するとともに、木質系敷料の優位性について考察する。

【要求される性能】項目

敷料に求められる性能を分類すると、先ず、農家としてか、あるいは家畜そのものに対して（対家畜；結果として農家に影響する）かに分けることができる。更にそれらもいくつか分類される。

1. 農家として

農家にとって敷料は、直接生産性に関係しないと考える人も少なくなく、なるべくお金をかけたくないところだと思われる。しかしながら、糞尿は毎日出るものであるから、適正処理が求められることもあり、敷料は不可欠となる。その際に要求される性能は、経営面、作業性、堆肥化が考えられる。また、環境面でも、特に都会に近い農家には求められる。

1.1 経営面

経営面で考えると年間でどれだけ使用し、いくら費用（コスト）がかかるかということになる。したがって、価格が安いというだけでなく、どれだけの期間使用できるかによってコストが決まる。木質系のおが粉などは適正な堆肥化により戻し敷料として再利用でき、コストを抑えることができる。

このほかに、便宜的に入手しやすさと保管、管理なども経営面に分類しておく。入手しやすいということは、その労力を他にまわすことができる。一方、保管、管理に留意すべき1つに発火がある。ある程度の水分を含んだ有機物は、発酵により高温となり、発火することが報告されている。この発火は高く積み上げると起こりやすいといわれており、災害時の有機廃棄物は発火や温度上昇防止のため高さ5m以下とされている¹⁾。また、管理面では、水分状態によって、吸湿を気にしたり、雑菌やカビなどの増殖に気を配らなければならない場合がある。

1.2 作業性

敷料、糞尿処理にかかる作業として、敷設と排出がある。したがって、交換回数が少ないほど負担が少ないといえる。その点で考えると糞尿を流出させない保水性が求められる。

敷設の際、人力か機械を使用するかによって適性は異なるが、軽い（低比重）ことは優位と考えられる。ただし、飛散しやすいものは慎重に敷設することになるので、作業性を低下させる。また、搾乳の際に混入することも考えられることから、舞い上がらないことが求められる。

排出においては、床面に付着しないことが望まれる。

1.3 堆肥化

排出された糞尿を含む敷料は、堆肥化することで堆肥や戻し敷料として利用可能になる。使用している敷料、あるいは農家の判断によって排出時の水分量は異なると考えられる。しかし、適正な堆肥

化を行うためには、好気発酵の条件である、適度な水分と空気（酸素）が必要であり、多くの場合、水分調整材を必要とする。この水分調整材は敷料と同様のものが使われ、両者をまとめて敷料と呼ぶことも多く、ここでもまとめて敷料として扱う。

堆肥化に求められる性能として、水分調整能、通気性、分解性、含有成分が考えられる。

1.4 環境面

敷料は、畜舎の清潔さや悪臭を防ぐことにも関与している。堆肥化でもふれたが、嫌気性発酵は悪臭をもたらす。これによりハエなどの害虫も呼びやすくなるとともに、糞尿により、その繁殖場となる可能性がある。水中に溶け込む酸素は空気の20分の1（気体として1%）程度²⁾であり、過剰な水分は酸素不足を引き起こし、嫌気性発酵となる。また、過剰な水分は、ハエによって持ち込まれた病原菌が、増殖することも考えられる。

2. 対家畜

対家畜に関する性能を分類すると、安楽性と安全性に分けることができる。これらは、結果として生産性に影響し、農家の経営に影響する性能となるものが多い。

2.1 安楽性

安楽性にはクッション性、保温性、水関連（透水性、保水性）、歩行性などがあげられる。また、木質系の場合、におい成分もプラスに働く可能性が考えられる。

クッション性と保温性は、畜舎の床がコンクリートとなっていることが多く、直に寝そべると固く、また、熱を奪われることから、家畜にとっても苦痛と考えられる。そこに敷料を敷設することで安楽性を提供できる。

水関連とは、透水性と保水性のことである。尿をした時に、透水性が悪いと尿が上にたまり、体を濡らすことになり、不快と考えられる。床がコンクリートの場合、流さない限り床面は濡れた状態となる。そこに敷料があり、保水性があると、畜体を濡らさずに済む。

歩行性は、特に搾乳牛に求められる性能で、自由に歩き回れるということが求められ、敷料により逆に歩きにくくなるのが欠点となる。輸入木質ペレットを敷料にするという試みもされたようだが、牛が歩きたがらないようで、現在、そのような使われ方はされていないようである。

2.2 安全性

安全性は家畜の健康に関することで、病気を引き起こさないということが求められる。これらには歩行性、付着性、乳牛の乳房炎の原因とならない、摂食の際の安全性などがあげられる。

安楽性でも挙げた歩行性は、安全性として、足に刺さったり、転んだりしないことが求められる。

付着性は、糞尿が畜体に付着して汚し、病気の原因にならないことが求められる。付着は水分の影響を受ける。

乳房炎は、乳首から乳房に菌が入り込むことで発症すると考えられ、乳首を傷つけないことや、雑菌を繁殖させないことが望まれる。

餌とはならない木質系の敷料を、家畜が口にしているところを農家は目にしている。大量に食べるわけではないが、毒性のあるものやアレルギーを引き起こすものは避けなければならない。木質系の場合、薬剤処理等が混入する可能性がある解体材や抽出成分の多い南洋材の使用には注意が必要となる。

【木質系敷料の種類】

木質系敷料は、使用される部位、即ち木部か樹皮（バーク）、または皮付き丸太、使用される機械によって分類できる。元々は工場残材であったが、丸太を切削、粉碎して敷料を生産する機械も増えている。

・工場残材

バークは、バーカーの種類によって形状が異なる。敷料として販売される場合、シュレッダー（粉碎機）にかけて細かくされる。バーカーの種類によって木部が削られたスリーバーの混入が多いものもある。

製材工場からのおが粉は、鋸屑が主であるが、集塵機に繋がれている機械からの木粉が含まれ、使用

している鋸の形状を含め、工場によって粒径は多少異なる。多くの工場は背板をチップにしており、チップーダストもおが粉に混入している。

・生産敷料

おが粉には、機械加工の際の残余のほかに、丸太や背板を切削して製造する、“機械製造”おが粉がある。機械の方式としては、ドラムカッター式、丸鋸式がある。ドラムカッター式は、排出側のスクリーンによって、多少、粒径の調整が可能である。

敷料専用としては、敷料用に開発されたカールチップとそれを粉砕したカールチップおが粉がある。このカールチップは専用のディスクチッパーを用い、送り速度と切削速度を調整し、丸太や背板の繊維方向に対して斜めに1~3mm程度の厚さで切削することで、薄い板状のものが切削方向に丸まって排出される。斜めに切った木口面であり、細胞間層の割裂により細かくなりやすい。

・廃棄物系

土木工事の支障木や抜根は、石などの異物の混入が考えられるため、刃物ではなくハンマー式や多軸せん断式が用いられることが多い。また建築解体材も同様の機械を用いて粉砕される。これらの粉砕物は、繊維方向に強く、割裂しやすいという木材の性質から、細長い形状をしておりピンチップと呼ばれる。

古紙も木質系であるが、上記の敷料とは性質が大きく異なり、保水力が高く、分解も早い。

【木質敷料の優位性】

前述の性能に対し、木質敷料の優位性としてまず挙げられるのは、資源量が豊富な点である。これにより、入手を容易にできる。近場に木材工場が無い場合でも、農家が丸太を入手し、敷料を生産する事例もある。資源量についてはここでは割愛する。

木質の優位性として最も優れているのが保水性（バークを除く）である。藁やもみ殻などの草本系は植物体の表面の割合が高い。その表面は、クチクラ層があり³⁾、水の蒸発を防いでいると同時に、外からの水がしみこまないようにする働きもある。

また、表皮の外側に蠟を分泌するものもあり、撥水性がある。

一方、木材（木部）は内部の組織であり、皮込みおが粉であっても樹皮の割合は低い。また木材の構成成分であるセルロース、ヘミセルロースは親水性、リグニンは疎水性であるが親水性も保持しており⁴⁾、基本的に木材は親水性と言える。樹種によって含まれる抽出成分等が異なるが、疎水性の成分が多いと保水性は低下すると考えられる。

親水性がある紛体の場合、粒径が小さいほど保水量が多くなると考えられる。ここでその仕組みを考えてみる（図1、2）⁵⁾。水は、親水性の粒の表面に付着する。粒を半径 r の球と仮定し、容積当りに存在する粒の表面積を比較すると、半径が2倍になると、単位容積に存在できる粒は1/8以下となる。したがって、表面積の合計は $8 \times 4 \pi r^2$ に対し $16 \pi r^2$ と1/2となる。接している部分では水は存在できない。

しかし、水には表面張力があり、図2に示すように接している側部に表面張力による水が増える。この表面張力による水は、粒径が細くなるほど比率が増え、最終的には空間すべてを埋め尽くすことになる。

24時間浸漬による保水量を表1に示す⁶⁾。表に示したように、カラマツでは粒径が小さいほど保水量が多く、保水水分が高い。バークは疎水成分がやや多いことや、粒径が大きいため、保水量も低い。

なお、この中で爆砕もみ殻も比較的保水量が高いが、これはプレスパンダーで爆砕後破砕処理されたことにより、表面が改質され疎水性が低下するとともに、粉砕により親水性を持つ面が増加したためと考えられる。

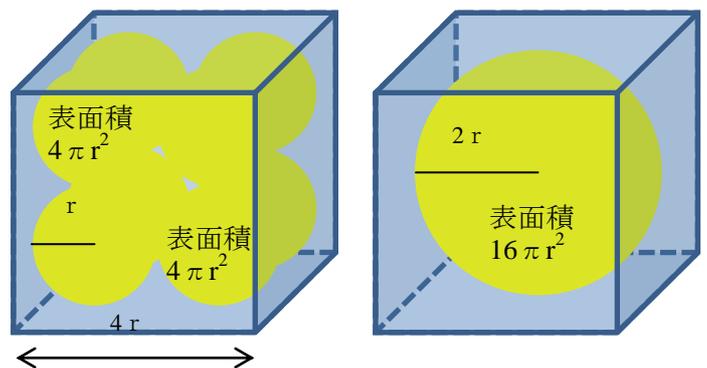


図1 容積あたりの球と表面積⁵⁾

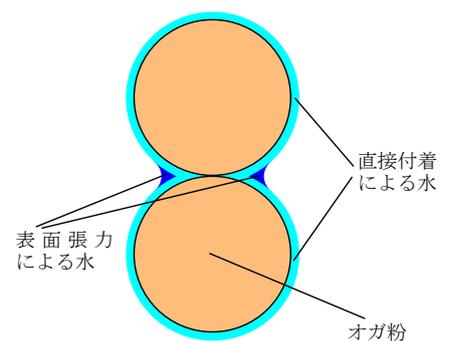


図2 水の付着モデル⁵⁾

このように木質系敷料は、保水性や水分調整能が高い。このことは、要求される性能の多くを満たすと考えられる。

他に、においも利点と考えられる。敷料に用いられる樹種は針葉樹が多い。これらには精油が含まれ、これらには人の疲労を軽減する効果など⁷⁾が報告されている。このような木の香りが、家畜に対しても生理的に良い効果をもたらすことも考えられる。実際に、木質系敷料をふんだんに使っている畜舎では木の香りがし、糞尿だらけの畜舎に比べ、過ごしやすい。

表 1 24 時間浸漬による保水量⁶⁾

敷料の種類	平均粒径(mm)	保水量(g/cm ³)	保水水分(%)
カラマツ鋸屑	0.7	0.840	80.4
カラマツおが粉	1.4	0.651	78.9
カラマツ丸鋸屑	2.3	0.520	79.2
エゾマツ・トドマツ鋸屑	0.9	0.715	85.6
トドマツおが粉	2.0	0.642	83.7
トドマツバーク	12.0	0.287	67.4
カラマツバーク	13.5	0.217	62.1
爆砕もみ殻	1.4	0.575	80.4

【課題】

木質敷料の優位性を示したが、優位な点ばかりではなく課題もある。ここではその点も整理しておく。

まず、資源量と入手しやすいと前述したが、この点は情勢が変わると変化することが考えられる。事実、電力固定買取制度 (FIT) で、道内でも木質バイオマス発電が動き出しつつある。FIT では未利用材による電力買い取り額は高く設定されており、切り捨て間伐されているものが利用されるようになった。これに伴い、間伐材の価格も上昇し、現在調査中であるが、聞き取りでは敷料価格が上昇したとのことであった。それ以外にもチップボイラーを導入する施設も増え、価格競争が起こりつつあるようである。

次に、木質自体の課題として、硬い、分解しにくいことがあげられる。

硬くても、おが粉のようにきれいな粉状になっていれば、問題ないが、スリーバーのように細長い木片は刺さりやすく、歩行性やクッション性の低下となることから、混入させないことが必要となる。また、カラマツバークには細かなトゲとなるスクレイドが存在し、乳牛の乳首に刺さるといふ話も聞く。ピンチップも場合によっては同様な心配がある。スリーバーについては製造側が注意するとともに、敷料と水分調整材との使い分けも必要と考えられる。

優位性で、繰り返し使えるを挙げたが、逆に堆肥化に際しては分解しにくいことが課題となる。しかしながら、適正な堆肥化により、高温発酵で 60°C 以上まで上げ、その後、堆積、二次発酵により、計 6 か月程度かけることで、植物の生育を阻害する抽出成分の分解が進む。コマツナの発芽試験で、堆肥化期間 6 か月では阻害が起こらないことが確認されている⁸⁾。また、窒素飢餓についても、敷料として使用したものなどは、C/N 比が 30 より多少高くても堆肥化期間を 6 か月以上とすることで、窒素飢餓を引き起こす危険性は少ないとされている⁹⁾。一方、木質自体は、形状を保っていることで、通気性や透水性など土壌改良効果をもたらす^{10~12)} ことから、これらの点を耕種農家に理解してもらうことが課題であろう。

【参考】

- 1) 国立環境研究所：東日本大震災後の災害環境研究の成果 (2013)
- 2) 日本分析化学会北海道支部編：新版水の分析、化学同人 (1971)
- 3) 猪野俊平：植物組織学、内田老鶴圃 (1954)
- 4) 桑原正章編 (中坪文明)：もくざいと環境-エコマテリアルへの招待、海青社 (1997)
- 5) 山崎亨史：デーリィマン Vol. 62 No. 5 (2012)
- 6) (社)北海道酪農畜産協会 (山崎亨史)：平成 15 年度家畜敷料確保体制整備支援事業報告書 (2004)
- 7) 谷田貝光克：森林の不思議、現代書林 (1995)
- 8) 北海道立林産試験場：林産試験場報 Vol. 17 No. 4 (2003)
- 9) 河田弘：バーク (樹皮) 堆肥-製造・利用の理論と実際、博友社 (1981)
- 10) 植村誠次編著：林業改良普及双書 40 廃材堆肥-その製法と使い方- (1968)
- 11) 高橋弘行：林業指導所月報 No. 140 (1963)
- 12) 北海道立林産試験場：廃材堆肥の作り方、テクニカルノート No. 3 (1977)

○鉄穴口晃, 鈴木伸吾, 荒川圭太 (北大院農)

【緒言】

寒冷な地域で生育する植物は、冬の間厳しい低温や凍結にさらされる。植物細胞が氷点下温度にさらされると、細胞内の水が凍結（細胞内凍結）する危険が生じる。過度の冷却によって細胞内凍結が生じると、水が凍結することによる体積の膨張や、再結晶化による氷晶の成長によって、生体膜などの細胞内構造が物理的に損傷し、多くの場合、不可逆的な損傷が原因となって死に至る。また、過度に冷却によって細胞外の水が凍結した場合でも、脱水やそれに伴う細胞の収縮などの機械的ストレスのために凍結障害が起こる。このような凍結による障害を避けるため、耐寒性の高い樹木は、氷点下温度に対して種や組織に特徴的な適応機構（細胞外凍結、器官外凍結、深過冷却）によって冬の氷点下温度に適応している (Ishikawa and Sakai 1982; Sakai and Larcher 1987)。

耐寒性の高い樹木において、皮層や形成層の細胞では、樹木の氷点下温度への適応機構のうちの一つである細胞外凍結によって氷点下温度に適応している。この細胞外凍結では、比較的高い氷点下温度で細胞外の水が先に凍結する。このとき、細胞外の水と細胞内の過冷却した水の間には蒸気圧の差が生じ、結果的に細胞内の水が細胞外へ脱水される（凍結脱水）。このような凍結挙動を示す組織では、比較的高い氷点下温度でも細胞外の領域で凍結を起こしやすい条件であること、すなわち凍結のきっかけとなる氷核形成を促す活性(氷核活性)が細胞外に存在する可能性が十分に考えられる。そこで以前の研究で、シラカンバ (*Betula platyphylla* var. *japonica*) とカツラ (*Cercidiphyllum japonicum*) を用いて通年で氷核活性の検出を試みたところ、両方の樹種から氷核活性が検出され、また 12 月のカツラ樹皮の不溶性画分から特に高い氷核活性が検出された (鉄穴口 2014)。このことから、この不溶性画分には高い氷核活性を持つ物質（氷核形成物質）が存在する可能性が考えられた。このような氷核形成物質の存在は、細胞外の水の凍結を促す最初のきっかけとなるため、樹木の氷点下温度への適応機構において重要な役割を担っているものとしていえる。そこで本研究では、樹木に存在する氷核形成物質の存在を明らかにするため、12 月のカツラ樹皮の不溶性画分の氷核形成物質の性質について調べることにした。

【材料及び方法】**実験材料**

樹皮に存在する氷核形成物質の凍結温度を測定するため、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター札幌研究林実験苗畑に生育するカツラ成木から 2015 年 12 月に 2~5 年生の枝を採取した。採取後、直ちに実験室に持ち帰り、カミソリで芽を除き、残った枝を純水でよく洗った後にカッターナイフで樹皮と木部に分けた。樹皮は 1.5 mL 容のチューブに約 0.5 g ずつ取り分けて液体窒素で凍結し、実験に使用するまで -80°C のフリーザーで保存した。

分画方法

樹皮の分画方法は、鉄穴口 (2014) の方法に準じて行った。樹皮は試料の 10% 重量のポリビニルピロリドンを加え、乳鉢と乳棒を用いて液体窒素中で磨砕して粉末にした。全量を 15 mL 容のチューブに移し、そこに 5 倍量の抽出バッファー [50 mM MOPS-NaOH (pH 7.0)、0.5 M ソルビトール、0.15 M NaCl、5 mM EDTA、5 mM K₂S₂O₅] を加えてよく攪拌した後、9,000xg で 10 分間遠心分離し、上清を別のチューブに取り分けた。抽出バッファーに対して不溶性である沈殿を洗浄するため、新たに 1 mL の抽出バッファーを加えてしっかり攪拌した後、9,000xg で 5 分間遠心分離して上清を除いた。この操作を数回繰り返し、沈殿を十分洗浄した後、沈殿に試料の 5 倍量の抽出バッファーを添加してよく懸濁したものを不

溶性画分の試料とし、使用するまで液体窒素で凍結して -80°C のフリーザーで保存した。

熱分析法による凍結温度の測定

各画分の凍結温度は熱分析法（鉄穴口 2014）によって測定した。冷凍保存していた各試料をフリーザーから取り出して 4°C で解凍し、よく攪拌したものを0.2 mL容のPCRチューブに10 μL ずつ分注した。これらのチューブ底付近の表面に熱電対をセロテープで貼り付け、 4°C で予冷したプログラムフリーザーにセットして0.2 $^{\circ}\text{C}/\text{分}$ の速度で 4°C から -60°C まで冷却し、試料中の水の凍結にともなう潜熱の放出を測定した。なお、1つの試料あたり5つのチューブに分注して凍結温度を測定し、その中央値を試料の凍結温度とみなした。この凍結温度の測定は各試料について3反復以上行い、その平均値 \pm 標準偏差を求めた。また、試料を加えず抽出バッファーのみを同様に処理して得られた不溶性画分をコントロールとして用いた。

樹木に存在する氷核形成物質の性質の検証

樹木に存在する氷核形成物質の性質を明らかにするため、12月のカツラ樹皮の不溶性画分に以下のような処理を行い、試料の氷核活性に対してどの程度影響するか調べた。

熱処理

試料を入れたチューブを 95°C で10分間湯浴した。

プロテアーゼ処理

試料に非特異的にペプチドを加水分解するProteinase K（和光純薬工業）を最終濃度が500 $\mu\text{g}/\text{mL}$ となるように加えた。また、別に用意した試料には塩基性アミノ酸のカルボキシ基側のペプチド結合を特異的に加水分解するTrypsin（和光純薬工業）を最終濃度が100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ になるように加え、 37°C で一夜静置した。

その他の様々な処理

上記の処理のほか、細胞壁成分の分解酵素や生体膜成分の影響の有無を調べるため、以下のような処理をそれぞれ行った。試料にセルロースを分解するCELLULASE “ONOUZUKA” R-10（ヤクルト薬品工業）、ペクチンを分解するMacerozyme R-10（和光純薬工業）、ペクチンの構造を変化させるEDTAを最終濃度がそれぞれ1%（w/v）、1%（w/v）、10 mMとなるように加え、 37°C で一夜静置した。その後遠心し、上清をMilli-Q水と交換し、前述の熱分析法によってそれぞれの凍結温度を測定した。対照区には、試料に各試薬を入れずに同条件で処理したものをを用いた。

また、試料にアセトンを用いて有機溶媒による抽出も試みた。試料を一晩凍結乾燥した後、十分量のアセトンで抽出し、抽出液を除いた後に減圧下で残っているアセトンを除去した後、アセトンに対して不溶性の画分に5倍量のMilli-Q水を加えて、前述の熱分析法によってそれぞれの凍結温度を測定した。対照区には、凍結脱水した試料にそのままMilli-Q水を加え懸濁したものをを用いた。

次に、7種類の界面活性剤を用いて氷核活性への界面活性剤の影響も調べた。別々に用意した試料に3-[(3-Cholamidopropyl)dimethylammonio]propanesulfonate (CHAPS)、Sodium Cholate（コール酸ナトリウム）、Sodium Dodecyl Sulfate (SDS)、Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide (CTAB)、Tween[®] 80、Triton[™] X-100、n-Octyl- β -D-glucoside（n-オクチルグルコシド）をそれぞれ最終濃度が1%（w/v）となるように加えてよく攪拌した後、遠心し、界面活性剤に不溶である画分をMilli-Q水でよく洗浄して前述の熱分析法によってそれぞれの凍結温度を測定した。対照区には、試料に各試薬を入れずに同条件で処理したものをを用いた。

【結果および考察】

以前の研究から、熱分析によって、12月のカツラ樹皮の不溶性画分に特に高い氷核活性があることが示された（鉄穴口 2014）。そこで本研究では、12月のカツラ樹皮の不溶性画分に対して様々な処理をす

表 1. 12月のカツラ樹皮の不溶性画分の凍結温度に対する様々な処理の影響

12月のカツラ樹皮の不溶性画分に存在する氷核形成物質の性質を調べるため、この画分に対して様々な処理を行った。各処理後に凍結温度を測定する際、無処理の不溶性画分を対照区に用いた。凍結温度の測定には5つのサンプルを用い、その中央値を凍結温度とした。凍結温度の測定は3回以上反復して行い、それらの平均値を最終的な凍結温度とした。

サンプルの種類	凍結温度±標準偏差 °C
抽出バッファー(control)	-13.4±0.1
12月カツラ不溶性画分	-8.4±0.3
熱処理	-11.4±0.2
プロテアーゼ処理	
Proteinase K	-9.0±0.5
対照区(無処理)	-8.3±0.6
Trypsin	-9.6±0.6
対照区(無処理)	-9.8±0.4
細胞壁の改変	
CELLULASE "ONOZUKA" R-10	-8.4±0.4
Macerozyme R-10	-9.5±0.6
EDTA	-7.8±0.4
対照区(無処理)	-8.4±0.6
有機溶媒処理	
アセトン	-8.6±0.5
対照区(無処理)	-8.6±0.5
界面活性剤処理	
CHAPS	-10.4±0.3
コール酸ナトリウム	-6.9±0.2
SDS	-7.8±0.7
CTAB	-7.5±1.0
Tween 80	-7.5±0.4
Triton x-100	-7.5±0.4
n-オクチルグルコシド	-7.5±0.3
対照区(無処理)	-7.4±0.7

ることで、この画分に含まれる氷核形成物質の性質を調べた。

カツラ樹皮不溶性画分の氷核活性に対する熱処理の影響

12月のカツラ樹皮の不溶性画分の氷核活性に対する熱処理の影響を調べるために、この不溶性画分を95°Cで10分間熱処理した後、熱分析法で凍結温度を測定した。その結果、熱処理後に凍結温度が低下した(表1)。このことから、12月のカツラ樹皮の不溶性画分の氷核活性については、熱感受性の高い物質が関与していることが示唆された。

カツラ樹皮不溶性画分の氷核活性に対するプロテアーゼ処理の影響

12月のカツラ樹皮の不溶性画分の氷核活性に対するプロテアーゼ処理の影響を調べるために、この不溶性画分を2種類のプロテアーゼ(Proteinase K, Trypsin)で処理した後、熱分析法で凍結温度を測定した。その結果、プロテアーゼ処理による凍結温度の変化はみられなかった(表1)。このことから、12月のカツラ樹皮の不溶性画分の氷核活性については、タンパク質の関与は小さいことが示唆された。ただし、氷核活性を示す化合物の構造や存在の仕方によっては酵素処理の効果が出にくい場合もありうるので、慎重な追試験が必要だと思われる。

カツラ樹皮不溶性画分の氷核活性に対する細胞壁構成成分分解酵素または不活化処理の影響

12月のカツラ樹皮の不溶性画分の氷核活性に対する細胞壁構成成分分解酵素または不活化処理の影響を調べるために、この不溶性画分に対してセルロースを分解する酵素であるセルラーゼ、ペクチンを分解するマセロザイム、ペクチンのゲル化に重要なカルシウムイオンをキレートするEDTAで処理した後、

熱分析法で凍結温度を測定した。その結果、これらの処理による凍結温度の変化はみられなかった(表 1)。このことから、12 月のカツラ樹皮の不溶性画分の氷核活性については、セルロースやペクチンの関与は小さいことが示唆された。ただし、プロテアーゼ処理同様、氷核活性を示す化合物の構造や存在の仕方によっては酵素処理の効果が出にくい場合もありうるので、慎重な追試験が必要だと思われる。

カツラ樹皮不溶性画分の氷核活性に対する有機溶媒の影響

12 月のカツラ樹皮の不溶性画分の氷核活性に対する有機溶媒の影響を調べるために、この不溶性画分をアセトンで処理した後、熱分析法で凍結温度を測定した。その結果、アセトン処理による凍結温度の変化はみられなかった(表 1)。このことから、12 月のカツラ樹皮の不溶性画分の氷核活性については、アセトンで抽出される物質の関与は小さいことが示唆された。また、アセトン処理はタンパク質を変性させることもあるため、この不溶性画分の氷核活性はアセトン処理に対する感受性が低いとも考えられた。

カツラ樹皮不溶性画分の氷核活性に対する界面活性剤処理の影響

12 月のカツラ樹皮の不溶性画分の氷核活性に対する界面活性剤処理の影響を調べるために、不溶性画分を 7 種類の界面活性剤 (CHAPS、コール酸ナトリウム、SDS、CTAB、Tween 80、Triton x-100、n-オクチルグルコシド) で処理した後、不溶性画分を Milli-Q 水でよく洗浄して熱分析法で凍結温度を測定した。その結果、CHAPS で処理した場合のみ凍結温度が低下した(表 1)。このことから、12 月のカツラ樹皮の不溶性画分の氷核活性については、CHAPS によって何らかの影響を受ける物質が関与している可能性が示唆された。

【まとめ】

以前の研究で、12 月のカツラ樹皮の不溶性画分に高い氷核活性があることが示された。そこでこの氷核活性の性質を調べたところ、12 月のカツラ樹皮の不溶性画分に存在する氷核形成物質は熱感受性であり、また、CHAPS の影響を受けやすい性質を持つことが分かった。CHAPS は膜タンパク質や膜脂質を可溶化できることから、この不溶性画分の氷核活性には CHAPS によって可溶化される膜タンパク質や膜脂質などが関与している可能性が考えられた。しかし、タンパク質を変性させるプロテアーゼ処理やアセトン処理において凍結温度に変化がみられなかったことから、氷核活性への膜タンパク質の関与は小さい可能性も考えられたが、氷核形成物質の化学的構造や存在の仕方によっては酵素処理の効果が出にくい場合も考えられるため、慎重な追試験が必要だと思われる。樹木に存在する氷核形成物質を特定するために、さらなる研究が必要である。

【文献】

Ishikawa M, Sakai A: Characteristics of freezing avoidance in comparison with freezing tolerance: a demonstration of extraorgan freezing, In: "Plant Cold Hardiness and Freezing Stress, Vol 2", Li PH, Sakai A, eds, Academic Press, New York, pp.325-340 (1982)

鉄穴口晃: 樹木の氷核形成機構に関する研究, 北海道大学農学部 平成 27 年度卒業論文 (2014)

Sakai A, Larcher W: Frost Survival of Plants: Responses and Adaptation to Freezing Stress, Ecological studies 62, Springer-Verlag, Berlin (1987)

○武内眞也, 春日純 (帯畜大)

【緒言】

植物の凍霜害は、植物が高い耐寒性を持つ厳冬期よりも、脱馴化によって耐寒性が低下する早春期に発生しやすい。そのため、木本植物や越冬性牧草を用いた植物の低温馴化過程に関する研究が近年増加している。植物の脱馴化による耐寒性の低下は、5℃以下の温度でも進行することが報告されており^{1),2)}、早春期におこる脱馴化機構を理解するためには、このような低温条件での植物の応答を明らかにする必要がある。しかし、脱馴化過程で起こる生理的な変化についての研究は、一般に温度制御ができない屋外環境、もしくは15℃以上の温度に設定した人工気象器で脱馴化した植物が用いられており^{3),4)}、これまでに低温条件での植物の脱馴化応答を調べた研究はほとんど行われていない。

樹木の師部柔細胞を含め、一般的な植物細胞は、凍結ストレスに晒されると、細胞内の未凍結水と細胞外の氷との間の蒸気圧差により脱水を受ける。これを「細胞外凍結」という。しかし、北方樹木の木部柔細胞は氷点下数十度においてもほとんど脱水を受けず、細胞内を過冷却させる「深過冷却」と呼ばれる特有の応答を見せる。同じ樹木の構成細胞でも、細胞外凍結をする細胞と深過冷却をする細胞では耐寒性が異なり、脱馴化のプロセスも違うことが予想される。

本研究では、厳冬期に採取した枝を、4℃という低温を含むいくつかの温度で期間を変えて脱馴化処理をし、耐寒性と脱馴化条件との関連性を評価した。また、枝を細胞外凍結する細胞を含む樹皮と深過冷却する細胞を含む木部に分け、脱馴化様式を比較した。

【実験方法】

厳冬期(2016年2月)に帯広畜産大学構内のシラカンバから4~7年生の枝を採取し、-20℃の冷凍庫で保存した。保存した枝は、冷蔵庫(4℃)、もしくは10、20℃に設定した恒温チャンバーに移し、それぞれ3、7日間置いて脱馴化させた。脱馴化後、カッターを用いて枝を木部と樹皮に分けた。木部は髄を取除き、カミソリ刃を用いて長さ1cm・幅4mm・厚さ1mm程度に切り、また樹皮も同様の大きさに切った。試験管に100μlのMilliQ水と組織片を入れ、プログラムフリーザーを用いて-3℃で植氷をした後、1時間置いて温度を平衡化させた。その後、一定速度(12℃/時)で冷却し、試験管を目的の温度で取り出して一晩冷蔵庫(4℃)で融解した後、各組織に含まれる細胞の傷害率を電解質漏出法で調べた。

【結果および考察】

脱馴化前の試料では、耐寒性が高く、樹皮・木部ともに-60℃の凍結でも細胞の傷害率が20%未満であった。また、-60℃までは、樹皮と木部で細胞の傷害率に大きな差は見られなかった。樹皮を低い温度(4℃)で脱馴化処理した場合、7日目までは脱馴化前の試料の凍結による細胞の傷害率とほとんど違いが見られなかった。一方、同じ温度で脱馴化処理を行った木部では、処理日数に伴って耐寒性の低下が見られ、-40℃以下の凍結で細胞の傷害率が上昇した。樹皮を比較的高い温度(10、20℃)で脱馴化させると、処理日数と

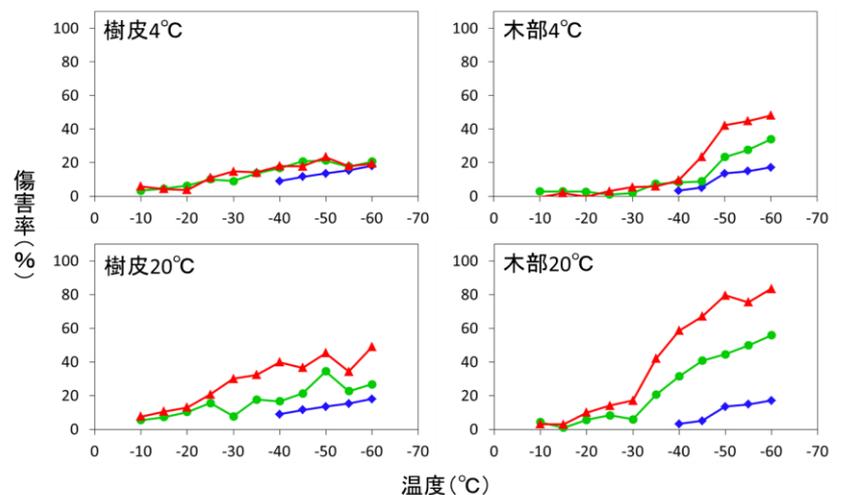


図1 脱馴化温度および期間と耐寒性との関連性。◆：脱馴化前；●：脱馴化処理3日；▲：脱馴化処理7日。それぞれの条件において4反復の平均値を示した。

ともに耐寒性の低下が見られた。比較的高い温度（10、20℃）で脱馴化した木部では、低い温度（4℃）で処理を行った木部よりも大幅な耐寒性の低下が見られ、−30℃以下の凍結で細胞の傷害率が大きく上昇した。樹皮と木部で比較すると、樹皮は凍結温度が低くなるにつれ徐々に細胞の傷害率が上昇したのに対し、木部ではある凍結温度以下になると大きく上昇する傾向が見られた。

以上の結果から、樹皮と木部で組織に含まれる細胞の脱馴化様式は異なり、深過冷却をする木部柔細胞で細胞外凍結をする細胞に比べてより低い温度で、より早く脱馴化による耐寒性の低下が起こることが明らかになった。そのため、シラカンバにおいて脱馴化初期に凍霜害が発生する場合には、木部柔細胞の耐寒性が傷害に関与することが予想される。

【文献】

- 1) Jørgensen, M., Østrem, L., Höglind L. (2010) De-hardening in contrasting cultivars of timothy and perennial ryegrass during winter and spring. *Grass and Forage Science* 65, 38–48
- 2) Pagter, M., Lefèvre, L., Arora, R., Hausman, J-F. (2011) Quantitative and qualitative changes in carbohydrates associated with spring deacclimation in contrasting *Hydrangea* species. *Environmental and Experimental Botany* 72, 358–367
- 3) Pukacki, P. M. (2013) Reactive species, antioxidants and cold tolerance during deacclimation of *Picea abies* populations. *Acta Physiologiae Plantarum* 35, 129–138
- 4) Shin, H., Oh, Y., Kim, D. (2015) Differences in cold hardiness, carbohydrates, dehydrins and related gene expressions under an experimental deacclimation and reacclimation in *Prunus persica*. *Physiologia Plantarum* 154, 485–499

○落合崇浩（北大農），重富顕吾，生方信（北大院農）

【背景と目的】

木材腐朽菌のうち、白色腐朽菌はその菌体外にリグニンペルオキシダーゼ（LiP）やマンガンペルオキシダーゼ（MnP）、ラッカーゼ（Lac）などの酸化還元酵素を分泌することによりリグニン分解を達成する。これらの酵素の生産は腐朽菌の生育過程において恒常的に行われているものではなく、窒素欠乏、炭素欠乏や高濃度酸素などの外部刺激によって生産が誘導される二次代謝であることが知られている。これらの外部刺激がどのようにしてリグニン分解系酵素の生産を誘導しているのか、その詳細はほとんど明らかにされていない。その生理機構の解明は、バイオレメディエーション、バイオブリーチング、木材腐朽制御に重要な知見を与えると考えられる。Boominathan らは白色腐朽菌 *Phanerochaete chrysosporium* にアトロピンを投与することで、細胞内セカンドメッセンジャーであるサイクリック AMP（cAMP）蓄積量が下降し、LiP ならびに MnP 生産が停止することを報告している¹⁾。また、入江らは *Pleurotus ostreatus* に Ca^{2+} 結合タンパクであるカルモジュリン（CaM）を過剰発現させると、MnP を始めとするリグニン分解系酵素の発現が抑制されること、CaM 生産が cAMP 過剰生産により誘導されることを報告している²⁾。cAMP ならびに CaM は哺乳動物において、プロテインキナーゼ/ホスファターゼを介する細胞内シグナル伝達機構に深く関与する因子であることから、白色腐朽菌においても類似のシグナル伝達機構がリグニン分解酵素の発現に関与している可能性が示唆される。これらを背景として、リグニン分解系酵素生産の生理機構にせまるため、本研究では「白色腐朽菌によるリグニン分解系酵素の発現にプロテインホスファターゼが関与しているか」について検討を行うことを目的とした。

【実験方法】

リグニン分解系酵素の発現におけるプロテインホスファターゼ（PP）の関与を検証するため、既存の PP 阻害剤を担子菌 *P. chrysosporium*（NBRC31249）ならびに *Trametes versicolor*（NBRC9791）に投与し、その培養物のリグニン分解系酵素活性を評価することにした。PP 阻害剤として、哺乳動物 PP 阻害剤であるオカダ酸（OA）、シクロスポリン A（CsA）、トウトマイシン（TM）、トウトマイセチン（TC）を用いた。また、LiP ならびに MnP 生産阻害のコントロールとしてアトロピンを用いた。これらの PP 阻害剤の構造を示す（Fig. 1）。培養液の調製：*P. chrysosporium* ならびに *T. versicolor* を PDA 培地で 96 時間前培養した後、5.0 mL の PD 培地で菌体量が一定となるまで *P. chrysosporium* を 96 時間、*T. versicolor* を 120 時間培養した。菌体量が一定となる 24 時間前にアトロピンもしくは PP 阻害剤を DMSO 溶液として任意の濃度で添加した。これらの薬剤添加後 24 時間培養した後、遠心分離機により菌体と培養物を分離し、菌体重量から生育量を、培養液から酵素活性を評価した。酵素活性の評価：LiP 活性はベラトリルアルコール法、Lac 活性は ABTS 法、MnP 活性はフェノールレッド法を用いて評価した。PP 阻害剤類縁体の合成：TM や TC はその無水マレイン酸部位によって PP 阻害活性を示すことが知られている。入手が困難な TM、TC の使用を節約することを企図し、この活性部位のみを有する類縁体の合成を検討した。無水マレイン酸誘導体合成の戦略を示す（Fig. 2）。

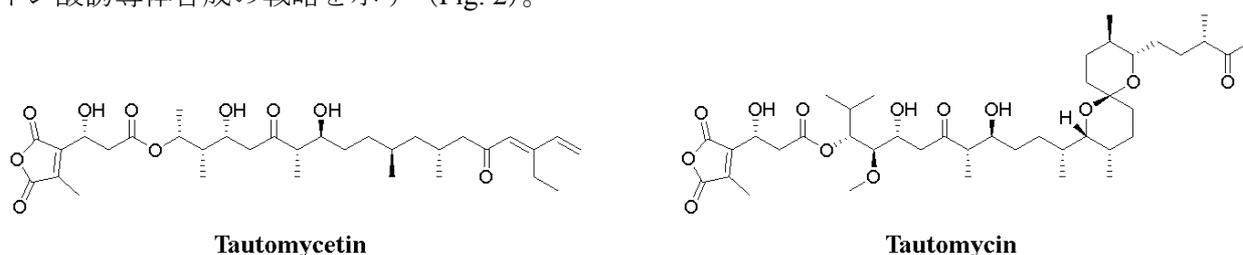


Fig. 1 トウトマイセチンとトウトマイシンの構造

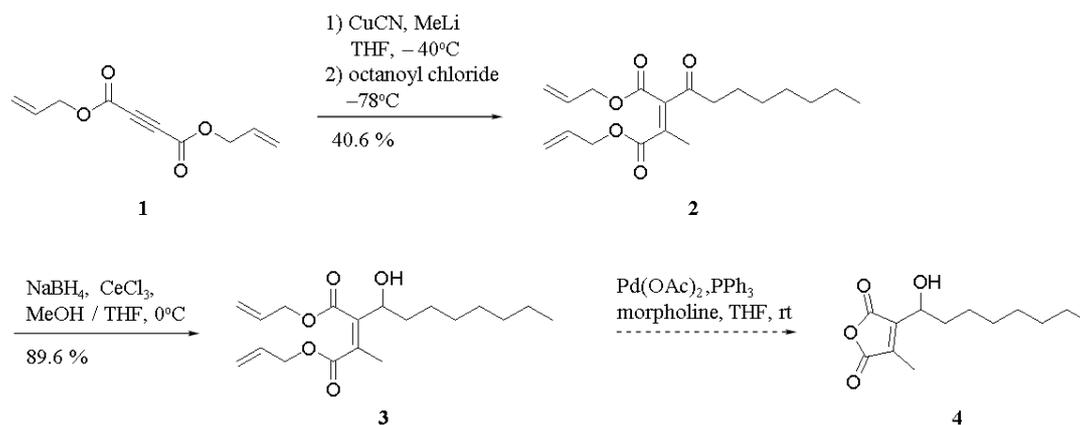


Fig. 2 Newly developed synthetic route for maleic anhydride derivative (4)

【結果および考察】

P. chrysosporium において、アトロピン 10 mM、CsA1 mM、TM10 μ M、TC10 μ M 添加条件で菌体量の減少が認められた。一方、OA1 μ M 添加条件では、生育量にほとんど変化がなかった。*T. versicolor* においては、アトロピン 100 μ M、CsA10 μ M、TM100 nM、TC100 nM 添加条件で菌体量の減少が認められた。一方、OA1 μ M 添加条件において、生育量にほとんど変化がなかった。各培養液の酵素活性については現在検討中である。

無水マレイン酸誘導体の合成では、当研究室で新たに開発された TC 側鎖の合成法^{3,4)}を参考に (Fig. 2) に示したルートで合成を行った。禁水条件下、出発物質ジアリルオキシカルボニルアルキン(1)にシアン化銅(I)とメチルリチウムのキュプラートを 1, 4-付加した。さらに塩化オクタノイルへの求核付加反応により、化合物 2 を得た。その後、2 を塩化セリウム(III)と水素化ホウ素ナトリウムを用いてルーシェ還元を行い、 β -ヒドロキシエステル(3)を得た。最後に、3 の脱アリル化を行い無水マレイン酸誘導体(4)を得た。

【参考文献】

- ¹⁾Boominathan *et al.*, *PNAS*, 89, 5586-5590 (1992)
- ²⁾Irie *et al.*, *Curr. Genet.*, DOI 10.1007/s00294-014-0460-z, (2014)
- ³⁾佐藤文彦, 北海道大学 大学院農学院 応用生物科学専攻 修士課程 2009 年度修士論文
- ⁴⁾今村龍太郎, 北海道大学 大学院農学院 応用生物科学専攻 修士課程 2012 年度修士論文

○鈴木薫平(北大農)、重富顕吾、生方信(北大院農)

【緒言】

天然リグニンは光学活性を示さない。これは分子中の立体化学に偏りが存在しないことを示している。タンパク質や糖質、多くの二次代謝産物がキラリティを持つ中で、これはリグニン特有の極めて特異な性質である。天然リグニンが光学活性を示さない「原因」は、その生合成過程におけるランダムなラジカル重合過程をもって説明されるが、一方で光学不活性であることによって得られる「結果」についてはほとんど知見がない。我々は、天然リグニンが光学不活性であることによってもたらされる生物学的意義の理解を目的とし、光学活性なリグニン分子の構築を目指した。リグニンは複雑な結合様式によって形成される高分子であるが、そのおよそ 60%はβ-O-4 結合である。そこで岸本らによって 2008 年になされたβ-O-4 結合のみからなるリグニンオリゴマーの合成法(Fig. 1a)を基に、光学活性なリグニン分子のモデルとしてキラルなβ-O-4 型ポリマーの合成を目的とした(Fig. 1b)^{1,2)}。本発表では、その基となるモノマーの合成へ向けたモデル反応系について報告する。

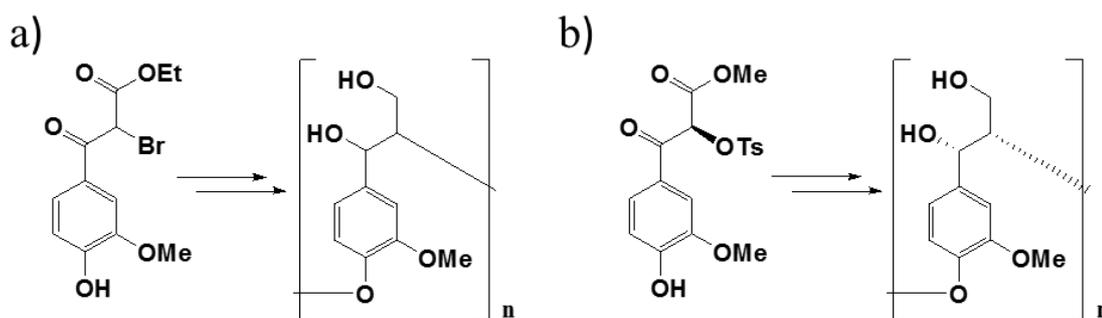
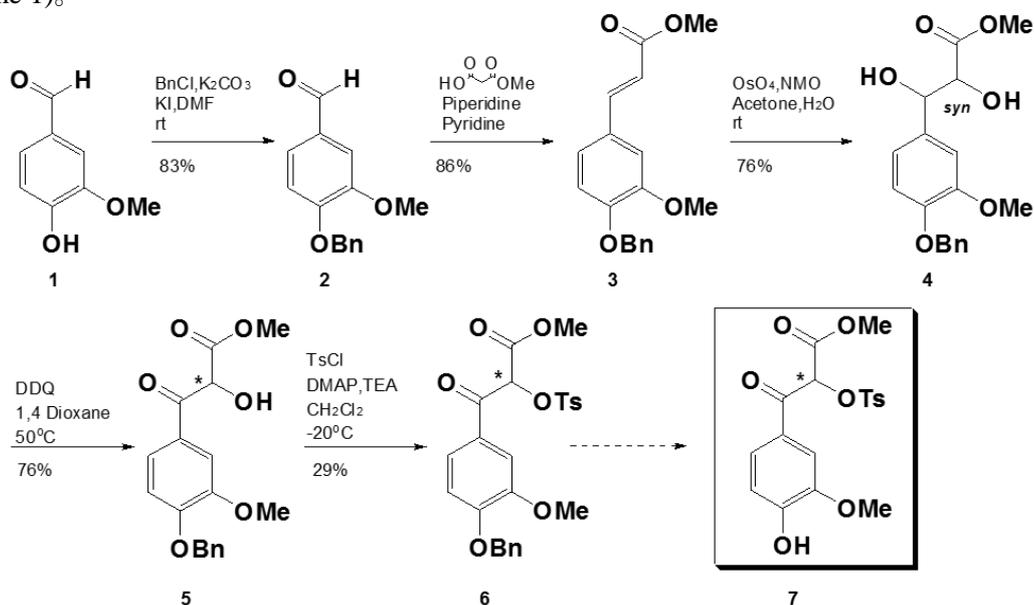


Fig. 1 (a)岸本らの合成法と(b)キラルリグニンの合成戦略

【実験と結果】

今回検討したモデル反応系では、バニリンを出発物質として 5 段階を経て目的のモデルモノマーを合成した(Scheme 1)。



Scheme 1. モデルモノマーの合成経路

まず、バニリンのフェノール性水酸基を常法に従いベンジル基にて保護した。その後、monomethyl malonate とのクネーフェナーゲル縮合により C β - γ 位の増炭を行った。得られたアルケン(3)に対して四酸化オスミニウムを用いたシンジヒドロキシ化によりジオール(4)を合成した。その後、DDQ 酸化によりベンジル位のみを選択的に酸化し、ヒドロキシ基をカルボニル基とした。次いで脱離基とするために β 位ヒドロキシ基のトシル化を試みた。TsCl 1.3eq、DMAP 0.3eq、TEA 2.5eq、室温条件下で反応を行ったところ、副生成物が観察された。そこでより温和な-20°C 条件下とすることで一部出発物質の残存が見られたものの、収率 29%で所望のトシル化物(6)が得られた。トシル化の収率に関しては今後さらに条件検討の必要がある。最終段階であるベンジル基の脱保護に関しては現在検討中である。

【考察と今後の展望】

バニリンを出発物質とする合成戦略により、5段階の反応を経てモノマー前駆体(6)の合成までを達成した。今後、最終段階である脱保護を行うとともに、得られたモノマーを用いて重合条件を検討する。さらにモデル反応系のジヒドロキシ化を Sharpless 不斉シンジヒドロキシ化とすることで、目的とするキラリナリグニンポリマーの合成の達成を目指す。

【参考文献】

- 1) T.Kishimoto, *et al.*, *Org. Biomol. Chem.*, 2008, **6**, 2982-2987.,
- 2) T.Kishimoto, *et al.*, *J. Wood Chem. Technol.*, 2008, **28**, 97-105.

【緒言】

Lignin peroxidase (LiP) は強力な酸化能を有する代表的なリグニン分解酵素である。その酵素反応機構は 1) 過酸化水素分子によるヘムの二電子酸化、2) 生じた正孔による基質の 2 回の一電子酸化であるが、前者は酵素内核に包埋されたヘム、後者は酵素表面へ露出した Trp171 残基といった、別々の反応場で起きることが知られている。この反応場の遷移はヘムから表面 Trp171 残基への正孔移動 (hole transfer ; もしくは LRET: long range electron transfer) によって説明されている。すなわち、過酸化水素によって生じたヘム内の正孔が複数の (例えば His などの芳香族) アミノ酸残基を介して伝搬し、最終的に Trp171 に正孔が生じるといった過程である。その詳細な伝搬経路は未だに明らかにされていないが、LiP におけるこの hole transfer はヘムの保護と基質特異性の低減を同時に達成する重要なメカニズムだとされている。

一方、基質に受け渡された正孔は C α -C β 結合や芳香環の解裂を引き起こすことが多くの研究で明らかにされているが、リグニン分子内でさらなる正孔移動が起きるか否かについては深く議論されていない。リグニン分子内の hole transfer が可能であれば、それはリグニン分子の内核からの崩壊や、酸化還元電位の高い H 核の崩壊など、分子の分解性過程そのものに影響を与える重要な機構となる。我々はリグニン分子内における hole transfer の可能性を検証するため、リグニン分子内における芳香環の中心距離を計算化学によって検証することとした。

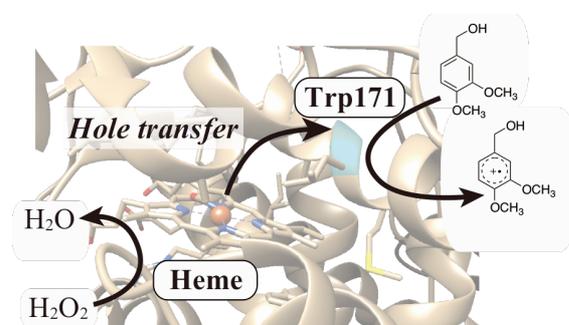


図1. LiPにおいて想定されるhole transfer機構

【実験方法】

化学計算には Wavefunction 社 Spartan'16 を用いた。計算手法の最適化：グアイアシル型 β -O-4型リグニン4量体をモデリングした後、MMFF94 を力場とする分子力学 (Molecular Mechanics: MM) 計算により、配座分布を解析した。得られた 110 個の配座について次いで Hartree-Fock 近似による分子軌道 (Molecular Orbital: MO) 計算によるエネルギー評価を行った。基底関数には 3-21G を使用した。同様に得られた配座に対して MO 法による配座最適化を行い、それぞれのローカル・ミニマを算出した。得られたエネルギーの相関より最適な計算法を検証した。単調 β -O-4型モデルの再安定配座の計算：後述する任意の8量体モデルを構築した後、MM/MMFF94 による配座分布解析を行うことで 500 の配座を得た。それぞれに対して MO/HF/3-21G 計算によりエネルギーを評価し、最小のエネルギーを与える配座異性体を再安定配座とした。計算コストの問題からこれ以上の構造最適化は行っていない。縮合型組み込みモデルの再安定配座の計算： β - β ならびに β -5型2量体モデルを構築し、同様の計算手法により再安定立体配置を決定した。得られた2量体と5-5型2量体を単調 β -O-4型の4-5番目ユニットと置換し、同様に最安定配座を決定した。最安定配座における芳香環距離の評価：得られた配座のそれぞれについて特に近接する芳香環の中心距離を測定した。

【結果および考察】

計算手法の最適化：“簡単な”構造を有する化合物の配座解析には MM 法で十分に妥当な結果が得られるが、“複雑な”構造についてはより計算コストの高い MO 法による計算が必要とされる。リグニンの計算にはいずれの手法が妥当であるかを検証するため、4量体モデルを用いて予備検討を行った。MM 法で得られた配座のエネルギーと MO 法によって得られた配座のエネルギーについて相関を評価したところ、両者には低い相関が見られたため、リグニンモデルの計算には MO レベルの計算が最適であること

と結論づけた。単調 β -O-4 型モデルの再安定配座の計算：配座解析にはリグニンの 60%を占めるとされる β -O-4 結合のみを持つ 8 量体をモデルとして用いることとした。また、 $C\alpha$ と $C\beta$ の立体配置についてはあえて極端なホモキラルモノマーのみを用いた。最初にグアイアシル (G) 型の $C\alpha$ と $C\beta$ の立体配置について全て (S,S)とした all-*threo* 型と、全て(S,R)とした all-*erythro* 型 8 量体をモデリングし配座を解析した。いずれの最安定配座も分子内において遠隔の水素結合を形成しながら、糸毬様の球状構造を形成する様子が観察された。構造の周期性は認められなかった。また、既知の通り *erythro* 型は *threo* 型に比べ安定な配座であることが確認された ($\Delta E = 43.7$ kJ/mol)。次いで、ヒドロキシフェニル (H) 型、シリリング (S) 型の all-*erythro* 8 量体モデルについて配座解析したところ、いずれも同様に球状配座をとり、意外にも分子の広がりには極端な違いは見られなかった。これはメトキシル基の増加により同時に水素結合数も増加したことに因ると考えられる。(図 2)

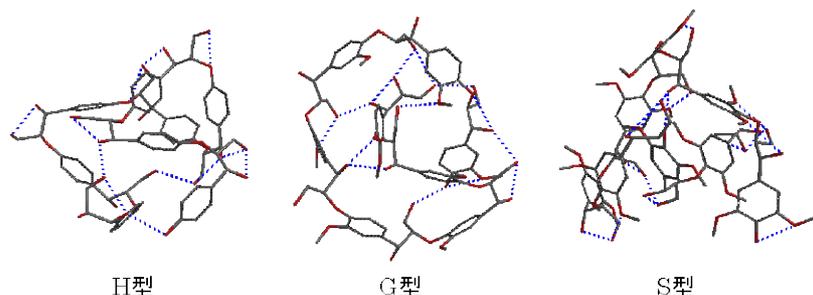


図2. All-erythro H, G, S型8量体の立体配座計算結果(点線は水素結合)

縮合型組み込みモデルの最安定配座の計算：リグニン中の縮合型結合である 5-5 型、 β - β (レジノール) 型、 β -5 型を組み込んだモデルの配座を解析し、それぞれの影響を評価した。前述 8 量体モデルの 4-5 番目残基を 5-5 型、 β - β 型、 β -5 型 2 量体で置換し、同様に配座解析を行った。局所構造を観察すると β - β 型は分子鎖に Z ターンを与える要素として働き、 β -5 型は直線性を与える要素となる様子が観察されたが、いずれも分子全体では他のモデル同様、球状を形成することが明らかとなった。最安定配座における芳香環距離の評価：得られた最安定配座について、スタッキングに近い位置関係にある芳香環の中心距離を測定した。 β -O-4 型のみから成るモデルはいずれも 1-2 箇所において 4-5Å 以内に近接する芳香環の組合せを有していた。また、縮合型を組み込んだモデルにおいては 5-5 型で該当する構造は認められなかったものの、 β -5 型では 1 組の芳香環が 3.98Å の近距離に存在していた。さらに β - β 型においては縮合型ユニットを中心とした 3-4 番目残基、5-6 番目残基、6-7 番目残基の 3 箇所において芳香環のスタッキングが観察され、それぞれの距離は 3.64、4.11、4.08Å と極めて小さいものであった(図 3)。これは β - β 結合が Z ターン型の配座を与えることに因ると考えられる。今回検討した 8 量体の配座解析から、リグニン分子内での hole transfer は充分可能だが、それらは LiP で想定されるほどの遠隔移動ではなく、せいぜい「2 残基間では起こりうる」程度であると予想される。一方、 β - β 型の結合前後では 3 残基間で連続するスタッキングが見られたことから、 β - β 構造の存在は多核間での hole transfer をもたらし得る要素であると想定される。本発表ではリグニンの光学不活性性や分子の枝分かれを考慮せずに検討を行った。今後これらを考慮しさらなるシミュレーションを行う必要がある。

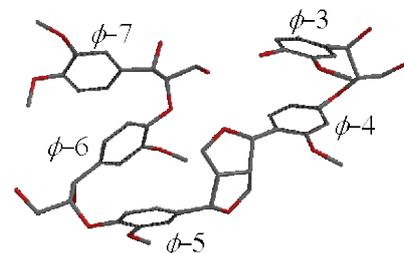


図3. β - β 型組み込みモデルのスタッキング部位

日本木材学会 北海道支部講演集 第48号

平成28年11月1日 発行

編集人 重富顕吾, 古田直之, 松本久美子

発行人 浦木康光

発行所 日本木材学会 北海道支部

〒060-8589 札幌市北区北9条西9丁目

北海道大学農学部内
