

岐阜県森林研究所

研 究 報 告

第 51 号

Bulletin of the Gifu Prefectural
Research Institute for Forests

Vol. 51

岐阜県森林研究所

Gifu Prefectural Research Institute for Forests

岐阜県美濃市

Mino, Gifu

2022 年 3 月

March 2022

—— 短 報 ——

- 1 横打撃共振法によるヒノキ根株心材腐朽被害の非破壊診断の試み／
大橋章博，片桐奈々

—— 技術資料 ——

- 7 番玉指定しない丸太から製材した心去リスギ平角材の曲げ強度事例／
土肥基生，田中健斗
- 11 新規特産品種の育成に向けたターゲット遺伝子の調査研究
—サルナシ果実の成熟過程におけるアクチニジンの変動—／
上辻久敏，杉山康雄

—— 論文抄録 ——

- 19 ヒノキ実生コンテナ苗の 4 年間の成長と下刈り年数短縮の可能性（日本森林学会誌）／
渡邊仁志，茂木靖和，三村晴彦，千村知博
- 20 シンポジウム「森林の中で放射性セシウムはどう動いているのか？
— 研究者がわかりやすく解説します」の開催（森林立地）／
橋本昌司，堅田元喜，大橋伸太，眞中卓也，岩上翔，小松雅史，玉置雅紀，大久保達弘，
篠宮佳樹，渡邊仁志，山下尚之，平井敬三
- 21 ササ地における下刈りの省略がヒノキ植栽木の成長に及ぼす影響（中部森林研究）／
渡邊仁志，茂木靖和，三村晴彦
- 22 27 年生カツラ人工林で実施した間伐の効果（中部森林研究）／
大洞智宏，渡邊仁志，久田善純
- 23 高時間分解能衛星画像を用いた正規化植生指数による
伐採箇所および森林被害箇所の抽出について（中部森林研究）／
國枝裕介，久田善純，古川邦明
- 24 断面の大きな製材品の弱減圧乾燥技術の開発（木材工業）／
土肥基生，田中健斗，齋藤周逸
- 25 腐朽 4 年のヒノキ根の腐朽の進行と強度低下（九州森林研究）／
酒井佳美，多田泰之，臼田寿生，和多田友宏，野口享太郎，小林政広

清流の国ぎふ憲章

～ 豊かな森と清き水 世界に誇れる 我が清流の国 ～

「清流の国ぎふ」に生きる私たちは、

知 清流がもたらした自然、歴史、伝統、文化、技を知り学びます

創 ふるさとの宝ものを磨き活かし、新たな創造と発信に努めます

伝 清流の恵みを新たな世代へと守り伝えます

平成26年1月31日 「清流の国ぎふ」づくり推進県民会議

短 報

横打撃共振法によるヒノキ根株心材腐朽被害の非破壊診断の試み¹

大橋 章博・片桐 奈々

Attempt of non-destructive diagnosis of butt heart rot in *Chamaecyparis obtusa* by lateral impact vibration method¹

Akihiro Ohashi・Nana Katagiri

ヒノキ根株心材腐朽被害の有無を非破壊で診断するため、岐阜県下のヒノキ林 10 林分において共振周波数を測定した。その結果、地上高 0.3 m で健全木の D・Fr 値（樹幹直径と樹幹の共振周波数の積）は 14.6 ～ 51.7 cm・kHz と広範に及び、調査地間で差が認められた。また、同一林分内でも D・Fr 値は大きくばらついた。腐朽が認められた調査木の D・Fr 値は各階級に広く分布しており、同一林分内で低い階級に分布するわけではなかった。各調査地の本数被害率は 0 ～ 33% と大きく異なったが、腐朽面積率の平均は 2.9% と低く、被害は軽微であった。健全木の D・Fr 値の範囲が広いと、腐朽程度が軽微では D・Fr 値の低下は少なく、被害木を検出できなかった。間伐時は主伐時と比べて腐朽程度がさらに軽微と考えられるので、横打撃共振法で間伐時に心材腐朽の有無を検出することは難しいと考えられた。

キーワード：横打撃共振法、根株心材腐朽、ヒノキ、共振周波数

I はじめに

ヒノキ根株心材腐朽被害は、ヒノキ生立木の樹幹地際部の心材部が腐朽する被害である。このため、腐朽の有無や程度を外観から診断することは困難である。このため、間伐や主伐時に立木を伐採した際に初めて被害に気づくことが多い。近年の材価低迷の中、ヒノキ林は伐期を迎えているにもかかわらず長伐期施業に移行する傾向がある。しかし、長伐期化により本被害が拡大していくと、その損失は大きくなる。岐阜県におけるヒノキ根株腐朽被害の発生状況については、県下のヒノキ林 86 林分で調査を行い、広範囲で高頻度に腐朽被害が発生していることを報告している（片桐・大橋 2020）。この報告では、心材腐朽と辺材腐朽を明確に区分して考察はされていない。しかし、侵入門戸が不明の腐朽を 79 林分で確認しており、こうした被害の多くは心材腐朽と考えられることから、根株心材腐朽被害も岐阜県内で広範囲に発生していると考えられる。

本被害の拡大を防止するためには、被害木を早期に見つけて、間伐などにより除去することが重要である。材内部の腐朽を非破壊で診断する方法としていくつかの手法が検討されているが（山田・渡辺 2014）、計測機器が高価であること、計測機器が重く、機動性に欠けること、計測に時間がかかるなどの問題から、公園の植栽木や街路樹を対象としたものが多い。林地を対象とした調査は少なく、応力波を使ったカラマツ根株腐朽の診断

事例（大澤ら 2003；小林ら 2008）が散見される程度である。これに対し、腐朽の簡便な診断法として考案された横打撃共振法（小玉ら 1999）は、ハンマーで樹幹横方向に打撃したときに生じる振動の共振周波数を用いる方法で、携帯型の FFT アナライザーを使って比較的簡易に計測できるのが特徴である。最近では腐朽や空洞を検出する専用の診断装置が開発されている（陶山 2011）。横打撃共振法は、健全木であれば共振周波数（Fr）と樹幹直径（D）の積は直径に関わらず一定となるが、材内に腐朽や空洞があると共振周波数が小さくなることから、その差を見つけて腐朽を検出しようとする方法である（小玉ら 1999）。共振周波数を利用した腐朽診断の研究はいくつかみられるが（釜口ら 2001；小玉ら 1999；陶山ら 2010；陶山ら 2012；佐藤ら 2015）、その多くはモデル実験に留まっており、実際に共振周波数を測定した立木を伐採してその精度を検証した事例はほとんどない。このうち、陶山ら（2010）は、ヒノキ根株心材腐朽を対象として詳細な調査を行い、本法は多数の立木を効率的に測定できることから、実用性の高い腐朽診断法として評価する一方で、今後は立木状態での腐朽や空洞が測定値に及ぼす影響について検討する必要があると指摘している。

そこで、ヒノキ皆伐予定地で、皆伐前に共振周波数を測定し、皆伐後、根株断面から腐朽の有無を調査して、腐朽診断ができるのかについて検討したので報告する。

¹ 本研究の一部は、第 11 回中部森林学会大会で発表した。

表 -1. 調査地の概要

調査林分	場所	標高 (m)	調査時期	調査本数	腐朽本数	胸高直径 (cm)	本数被害率 (%)
明宝	郡上市明宝奥住	764	2018 年 5 月	109	25	28.5	23
恵那	恵那市中野方町	710	2018 年 10 月	97	5	28.3	5
日吉	瑞浪市日吉町	470	2018 年 10 月	90	2	26.3	2
関ヶ原	関ヶ原町関ヶ原	648	2019 年 5 月	100	12	31.8	12
久瀬	揖斐川町日坂	670	2019 年 8 月	43	4	27.4	9
大湫	瑞浪市大湫町	490	2019 年 8 月	75	1	24.5	1
美並	郡上市美並町白山	198	2019 年 12 月	21	7	26.0	33
富之保	関市富之保	270	2020 年 1 月	100	3	24.0	3
八百津	八百津町八百津	675	2020 年 3 月	79	0	25.1	0
土岐	土岐市泉町久尻	240	2020 年 10 月	96	9	30.7	9

Ⅱ 方 法

調査林分の概要を表 -1 に示した。調査は、2018 年 5 月～2020 年 10 月に岐阜県内のヒノキ林 10 林分で行った。これら林分はいずれも伐採予定地で、伐採前に各林分から 100 本程度（美並調査地は 21 本）を抽出し、各調査木について横打撃共振法による共振周波数を測定した。測定には、ぽん太 Pro Version ((株) ワールド測量設計) を用いた。測定に当っては、地上高 0.3 m、0.5 m、1.3 m において直径巻尺で周囲長を計測し、その同じ高さで、斜面に対し上下方向および水平方向に木製ハンマーを用いて樹幹を打撃し、2 方向の共振周波数を測定した。測定データは、ぽん太に付属するデータ分析プログラムを使って PC へ取り込み、エクセルファイルとして出力した。また、樹幹外観から腐朽や傷の有無について記録した。

各調査林分の伐採が終了した後、調査木の根株について断面上における材部の腐朽、変色の有無を調査するとともに根株断面の画像を記録した。調査地のうち、大湫調査地の調査木について、画像編集ソフト (Adobe Photoshop CS6) を用いて、根株断面画像に根株部と心材部の輪郭をトレースし、その範囲内のピクセル数を算出し、心材率を求めた。また、腐朽の認められた根株についても同様に、根株断面画像に根株部と腐朽部分をトレースし、その範囲内のピクセル数を算出して、腐朽面積率を求めた。なお、今回の調査では、腐朽が樹幹内に発生しているものを腐朽被害とし、腐朽部が樹幹表面に露出しているものは解析対象から除外した。

Ⅲ 結 果 と 考 察

地上高 0.3m、0.5m、1.3m で測定した D・Fr 値の分布を図 -1 に示した。ここでは、根株断面の調査で腐朽が認められた調査木を除き、健全木と考えられた調査木のデータのみを図示した。各林分の D・Fr 値は地上高 1.3m では 10.4～51.7cm・kHz、0.5m で 10.3～51.8cm・kHz、0.3m で 14.6～51.7cm・kHz と広範に及んだ。D・Fr 値の平均値±標準偏差（以下、同様）は地上高 1.3m で 32.2 ± 4.2

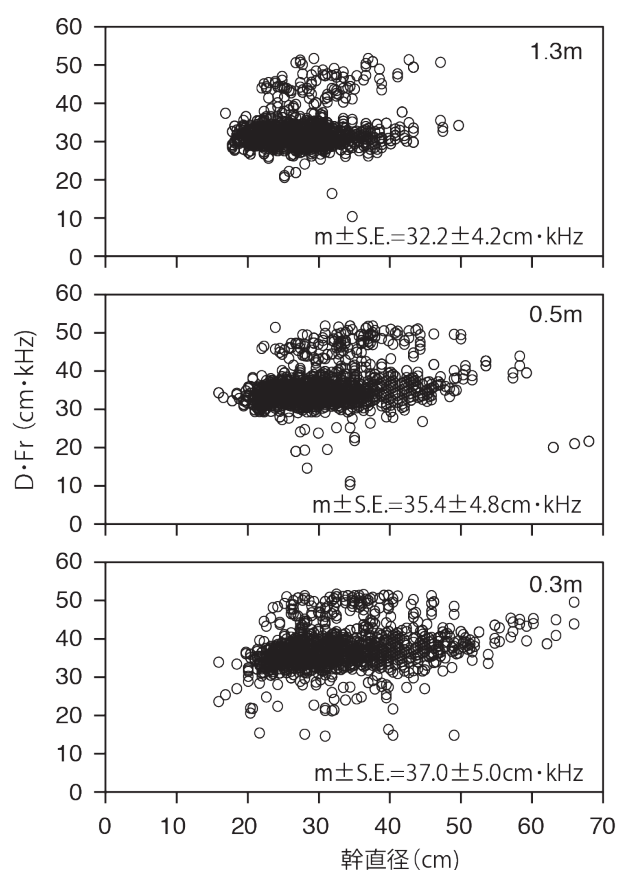


図 -1. 調査木の D・Fr 値の分布
健全木と考えられた調査木のデータのみを図示

cm・kHz、0.5m で 35.4 ± 4.8 cm・kHz、0.3m で 37.0 ± 5.0 cm・kHz と、測定部位が低いほど、D・Fr 値は高くなり、ばらつきも大きくなった。

地上高 0.3 m 部位の D・Fr 値の分布を調査林分別に比較した（図 -2）。林分間で D・Fr 値に差が認められた (Kruskal-Wallis 検定, $p \leq 0.01$)。

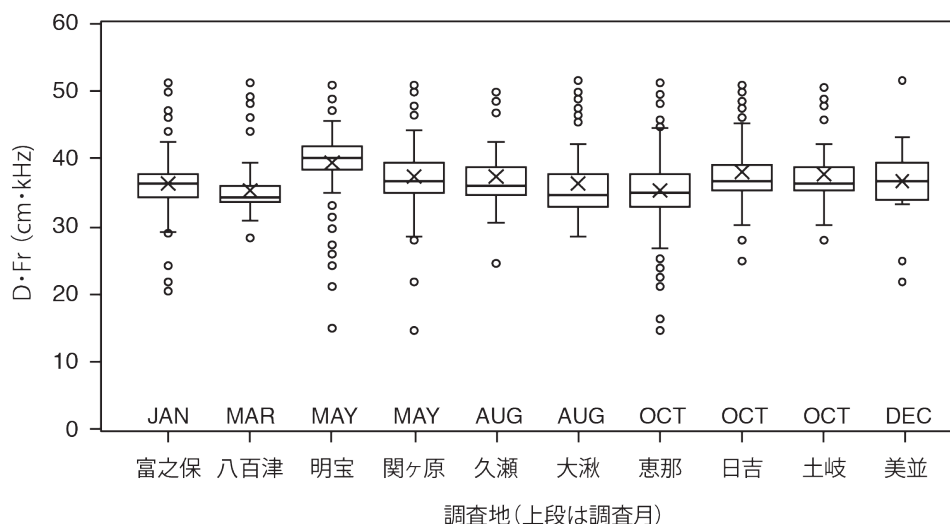


図-2. 各調査地の D・Fr 値の分布
箱ひげ図中の横線は中央値、×は平均値、箱は四分位範囲、ひげの両端は箱の長さの 1.5 倍内にある最大値と最小値、箱の外側にある白丸は外れ値を示す。

一般に共振周波数と樹幹直径との間には、次式のような関係が成り立つ（釜口ら 2000）。

$$D \cdot Fr = (E / (\rho \times k))^{1/2}$$

ここで、E：ヤング率（Pa）、 ρ ：密度（g/cm³）、
k：樹幹断面形状に関する係数。

このことから、林分間で D・Fr 値にばらつきがみられた原因として、林分によって木部の密度が異なることや木部含水率の季節変動が考えられた。ヒノキ木部の密度は品種や家系によって異なること（岩崎 2002）が指摘されており、今回の調査においても林分によりヒノキ品種が異なることが考えられた。しかし、今回はその点について明らかにすることはできなかった。また、ヒノキ立木の辺材含水率には季節変動がみられ、3～4月に

けて含水率は上昇し、11～12月にかけてさらに含水率が上昇することが報告されている（前田・安江 2017）。このため、含水率の高い時期には材の密度は高くなり、D・Fr 値も高くなることが考えられたが、調査時期と D・Fr 値に明瞭な関係は認められなかった（図-2）。

同一調査林分内で D・Fr 値にばらつきがみられた原因として、心材率の違いが考えられた。一般にヒノキ辺材の生材含水率は心材に比べ著しく高く、心材の 5 倍に達することが知られている（矢澤 1961）。したがって、心材率が高い個体では密度が低くなるため、D・Fr 値が低くなると考えられた。そこで、大湫調査地で健全であった 75 本の調査木について、心材率を調査し、心材率と D・Fr 値の関係をみた（図-3）。心材率は 39～69%と大きくばらついたが、D・Fr 値との間に明瞭な関係は認められなかった。

各調査地の本数被害率を表-1 に示した。被害率は 0～33%と調査地により大きく異なった。次に、各調査地における健全木と腐朽木の D・Fr 値の頻度分布を図-4 に示した。腐朽が認められた木の D・Fr 値は各階級に広く分布しており、同一林分内で低い階級に分布するわけではなかった。腐朽面積率は 0.1～20.5%、平均腐朽面積率は 2.9%で、約 80%が腐朽面積率 5%未満で腐朽程度は軽微であった（図-5）。また、腐朽面積率と D・Fr 値に明瞭な関係は認められなかった（図-6）。ヒノキ円板にドリルで穴を空け、人工的に空洞を作り、D・Fr 値の変化を調べた結果（大橋 未発表）では、空洞面積率 4.8%で 18%、10.4%で 50%の減少が認められた。陶山ら（2010）が行った人工空洞円板のモデル実験でも D・Fr 値に同様の傾向が認められた。今回の結果から、D・Fr 値の 90%が含まれる区間である平均値 $\pm 1.64 \sigma$ （ σ ：標準偏差）を健全木の範囲と仮定すると、地上高 0.3 m での D・Fr 値は 28.8～45.2 cm·kHz が健全木となる（図-1）。ここで、全体の平均値である D・Fr 値 37.0 cm·kHz

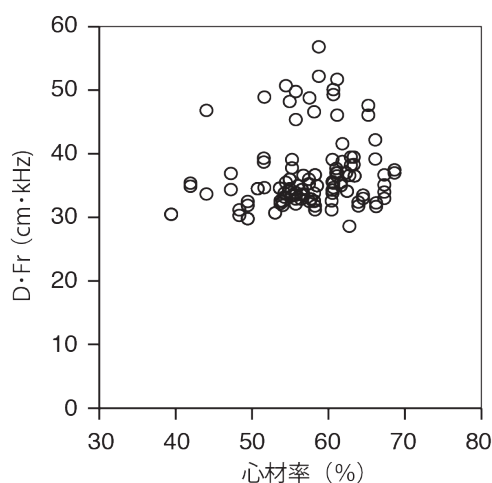


図-3. 心材率と F・Dr 値の関係（大湫調査地）

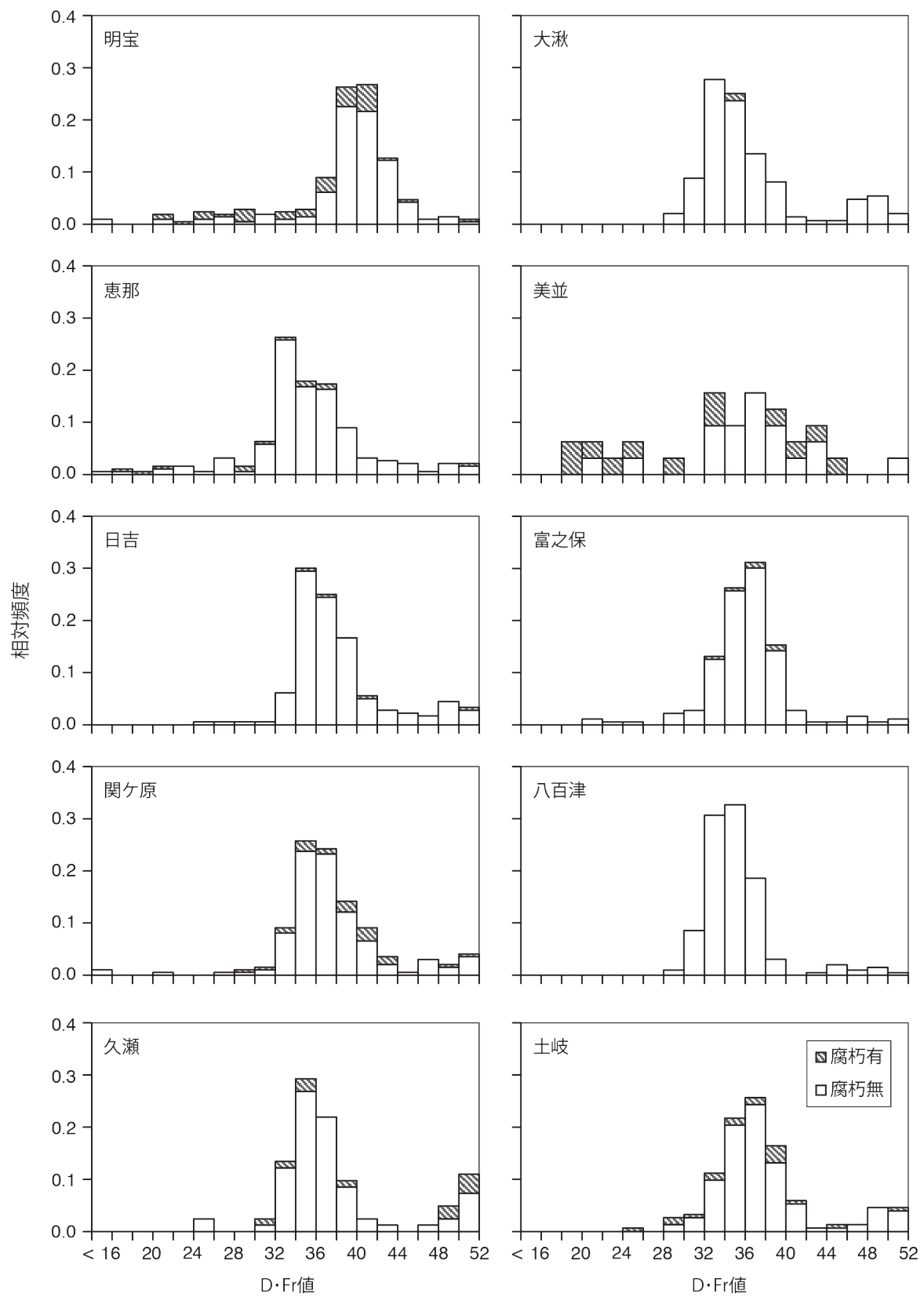


図 -4. 各調査地における D・Fr 値の頻度分布

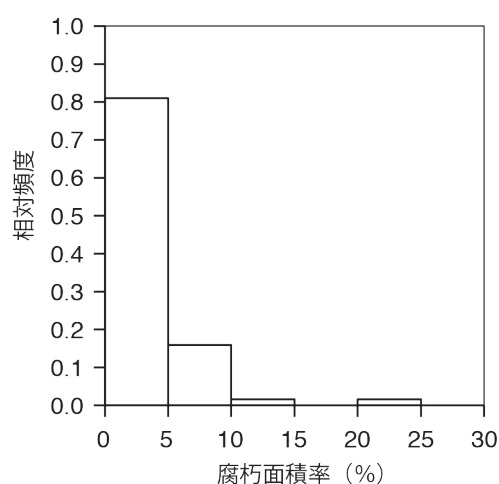


図-5. 腐朽面積率の分布

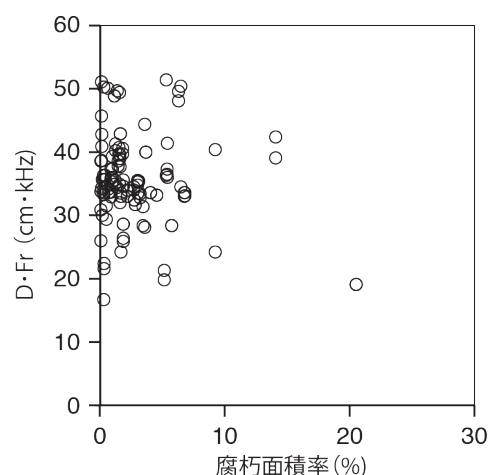


図-6. 腐朽面積率と D·Fr 値との関係

の立木に腐朽があったとし、その腐朽面積率が 4.8%と仮定する。この時、D・Fr 値の減少率をモデル実験から得られた 18%とすれば、D・Fr 値は 30.3cm・kHz になると推定される。この値は健全木の範囲内に収まってしまい、腐朽があるとは診断できない。今回の調査で得られた健全木の D・Fr 値は一定の範囲に分布したが、この範囲が広いと、腐朽が小さい場合には検出することが難しいと考えられた。今回調査して確認できた腐朽被害は腐朽面積が小さかったため、横打撃共振法で腐朽の検出ができなかったと考えられる。本研究では主伐木を対象としたが、間伐時に腐朽木を検出して除去することを目的とすれば、間伐対象木の腐朽面積率はさらに低いと想定されるので、間伐時に横打撃共振法で心材腐朽の有無を検出することは難しいと考えられた。

引用文献

- 岩崎充則（2002）ヒノキ精英樹の材質特性一家系と検定林の違いによるヤング率と容積密度の変異－。長崎県総農林試研報（林業部門）32：17-22
- 釜口明子・中尾哲也・小玉泰義（2000）横打撃共振法によるスギ立木の心材含水率非破壊的推定。木材学会誌 46：13-19
- 釜口明子・中尾哲也・中井毅尚（2001）横打撃共振法を用いた生立木の非破壊的内部診断。樹木医学研究 5：59-63
- 片桐奈々・大橋章博（2020）岐阜県におけるヒノキ根株腐朽の被害状況と発生特性。森林防疫 69：162-169
- 小林元・古賀信也・岡野哲郎・田代直明（2008）応力波伝播速度測定によるカラマツ生立木の非破壊腐朽診断－九州大学北海道演習林と信州大学野辺山ステーションにおける調査事例－。樹木医学研究 12：119-124
- 小玉泰義・釜口明子・中尾哲也・原田照太（1999）横打撃共振法による樹幹内空洞の検出。樹木医学研究 3：5-9
- 前田あやの・安江恒（2017）針葉樹 4 種、広葉樹 5 種における立木の含水率の季節変動。信州大農 AFC 報告 15：21-26
- 大澤正嗣・小岩俊行・岡田充弘・武井利之・阿部恭久・金子繁・楠木学（2003）カラマツ根株腐朽病の被害実態と被害回避。森林防疫 52：110-119
- 佐藤博紀・下嶋聖・内田均・菅原泉（2015）横打撃共振法を用いた登山道に隣接する樹木の内部腐朽の実態調査。樹木医学研究 19：171-172
- 陶山大志・中尾哲也・富松祐樹（2010）横打撃共振法によるヒノキ根株心材腐朽病の非破壊診断。樹木医学研究 14：83-91
- 陶山大志（2011）打撃音樹内腐朽簡易診断装置「ぼん太」。グリーンエージ 451：19-22
- 陶山大志・永石憲道・坂越浩一（2012）横打撃共振法によるクロマツ樹幹内部の腐朽・空洞面積率の推定。日林誌 94：161-166
- 田端雅進，戸田直人，横山桂一郎（2005）ヒノキ根株腐朽病を起こすキンイロアナタケの侵入口について。日本森林学会大会学術講演集 116：3B05
- 山田利博・渡辺直明（2014）樹木の精密診断。樹木医の手引き 改訂 4 版。582-596
- 矢澤穠吉（1961）辺心材の理学的性の差異について。北海道林業指導所月報 110：19-27

技術資料

番玉指定しない丸太から製材した心去りスギ平角材の曲げ強度事例

土肥 基生・田中 健斗

Examples of bending strength at Sugi flat square lumber without pith sawn from logs
without considering collecting position

Motoo Dohi, Kento Tanaka

番玉指定しない径級 38 ～ 40cm の 4m スギ丸太から心去り平角を 2 丁取りで製材し、70 ～ 81℃の乾球温度で人工乾燥を行った後、120 mm × 240 mm に寸法調整を行い曲げ強度試験を実施した。この結果、機械等級区分では、それぞれのヤング係数に対応した基準強度を下回る試験材が発生した。また、目視等級区分にあてはめた場合でも、各級の基準強度を下回ることが確認された。試験材の破断状況を観察したところ、材端に位置し、材を貫通する「流れ節」の存在が強度に影響を及ぼしていることが示唆された。

キーワード : スギ, 心去り平角材, ヤング係数, 曲げ強度

I はじめに

近年、「住宅の品質確保の促進等に関する法律」や「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」の施行により、建築物の構造材の強度性能表示が求められる機会が増加している。本県の素材生産量のうち最も生産割合の大きい樹種はスギで、全体の 52% (岐阜県 2020) を占めており、これらは主として製材用途に供され、構造用をはじめとする製材品として出荷されている。県内のスギ製材に関する強度データとしては、「岐阜県産スギ横架材スパン表」(岐阜県木材協同組合連合会 2009) が作成された際の基礎資料が存在する。これらは、末口径 30cm 前後の丸太から製材された 120 mm × 240 mm × 4 m の心持ち平角材を対象として曲げ強度試験が行われたものであり、高温セット処理後に中温乾燥を行った 265 本および天然乾燥材 194 本の合計 459 本が試験に供されている。

近年では、人工林資源が充実しスギ原木の大径化が進んでいる。このため、例えば末口径 38 ～ 40cm の丸太から、仕上がり寸法 120 mm × 240 mm の平角材を 2 丁取りすることが可能となり、今後は、このような心去り平角材が増加することが予想される。しかし、特にスギの心去り平角材は、これまでに利用された実績が極めて少なく、製材工場や建築業者からは、強度面への不安に関する声が寄せられている。また、心去り平角材の強度データは、一部の報告(椎葉ら 2015)があるものの、全国的には

整備されていないのが実状であり、心去り材の普及の足かせとなっている面がある。このため、本研究は県産スギ心去り平角材の強度データを蓄積することを目的として実施した。

II 試験方法

試験には岐阜県産スギ丸太(材長 4 m, 末口径 38 ～ 40 cm) 22 本を用いた。始めに丸太段階でのヤング係数を求めるため、FFT アナライザー(小野測器 CF-4700)により 1 次共振周波数を測定し、固有振動法により動的ヤング係数を得た。次に、送材車付き帯鋸盤により、粗挽き寸法が 135 mm × 255 mm となるよう 2 丁取り製材を行い 44 本の試験材に加工した。製材は中心定規挽きで行った。人工乾燥には蒸気式木材乾燥機(大井製作所 OHV4-1 HSV)を用い、乾球温度 70 ～ 81℃, 乾湿球温度差 1 ～ 13℃の条件で 282 時間の中温乾燥を行った。試験材の内 8 本は乾燥試験用とし、残りの 36 本を人工乾燥終了後約 3 ヶ月の養生期間を経て仕上がり寸法 120 mm × 240 mm に寸法調整した。強度試験前に、固有振動法による動的ヤング係数を算出するとともに、製材の日本農林規格(JAS)に従い、節および集中節の径比から目視等級区分を行った。

曲げ強度試験には、実大強度試験機(前川試験機製作所製 IP-100B-F2)を用い「構造用木材の強度試験マニュアル」(公益財団法人日本住宅・木材技術センター

2011) に準じ、3 等分点 4 点荷重方式により行った。スパン長、荷重点間距離はそれぞれ 3,600 mm (15h)、1,200 mm (5h) とし、載荷速は毎分 20mm で破壊するまで荷重を加え、最大荷重から曲げ強度を算出した。試験材の変位測定には、一般型変位計（東京測器 SDP-200E）を用い、試験材の木表側と木裏側で測定した 2 箇所 の 平均値を採用し、見かけの曲げヤング係数を算出した。試験材の長さの制約から、スパン長を試験材梁せいの 15 倍としたため、曲げ強さおよび曲げヤング係数は標準荷重条件（梁せいの 18 倍）時の値に調整した。なお、負荷方向はエッジワイズであるが、上下の設置方向は無作為とした（節などの欠点を考慮せずに設置した）。

曲げ試験後に、荷重点間の非破壊部分から含水率測定用の試験片（2cm 厚）を切り出し、全乾法により含水率を求めた。曲げ強さと曲げヤング係数の算出値は、含水率の影響を防ぐため、ASTM D 1990-07 の含水率定数により、含水率 15% の値に調整した。

Ⅲ 結果と考察

試験材に用いたスギ丸太の形質を表 - 1 に示す。平均年輪幅の最大値は 4.94 mm であり、全ての材が製材 JAS 甲種 1 級の規格 6 mm を満たす値であった。動的ヤング係数は、5.5 から 8.9 に分布し、機械等級区分に当てはめた場合、E50、E70、E90 に該当する本数はそれぞれ 3 本、12 本、7 本となった。なお、試験材に用いたスギ丸太は番玉の指定をしていない。

表 -1 スギ材の丸太形質 (n=22)

区 分	末口短径 (mm)	元口短径 (mm)	年輪数	平均年輪幅 (mm)	細り (mm/m)	みかけの比重 (kg/m ³)	動的ヤング係数 (kN/mm ²)
平 均	401	450	55	3.89	6.06	729	7.2
標準偏差	11.6	14.6	14	0.77	1.56	50	1.0
最 小	378	420	43	2.24	3.45	633	5.5
最 大	420	488	92	4.94	9.61	805	8.9

曲げ強度試験実施時の試験材の含水率は 10.7% から 17.9% に分布し、平均 14.1% であった。次に、製材の動的ヤング係数 (Efr) と曲げヤング係数 (MOE) (調整後) の関係を図 -1 に示す。両者の相関は高く、Efr から MOE を推定することが可能と考えられた。なお、全てのデータで Efr > MOE となっており、実用上、Efr を機械等級区分に用いる場合は、傾き・切片の補正が必要であることが示唆された。

製材の曲げヤング係数 (調整後) と曲げ強さ (調整後) の関係を図 -2 に示す。なお、図中の破線は、機械等級区分ごとの基準強度 (階段状の破線) および無等級材の

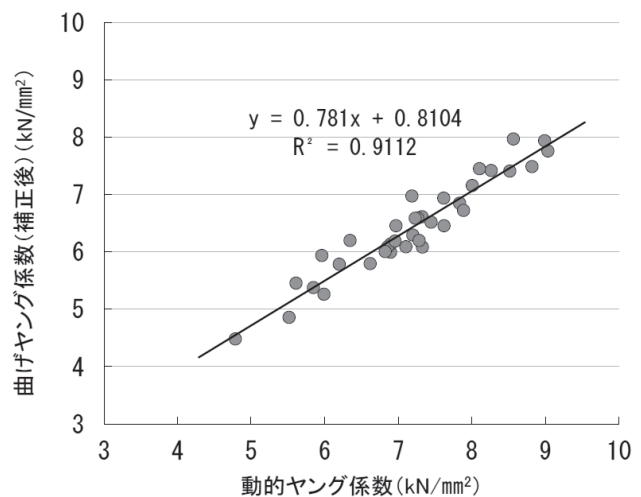


図 -1 製材の動的ヤング係数と曲げヤング係数の関係

基準強度 (直線の破線) を示している。ヤング係数と曲げ強さの間にはやや相関があるものの、相関係数は 0.56 と小さい値となった。これは、ヤング係数ごとの基準強度を大きく外れる (下回る) 材が発生したことが要因である。

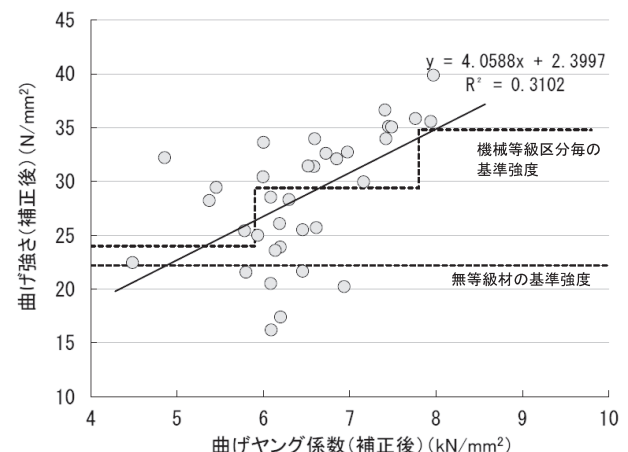


図 -2 製材の曲げヤング係数と曲げ強さの関係

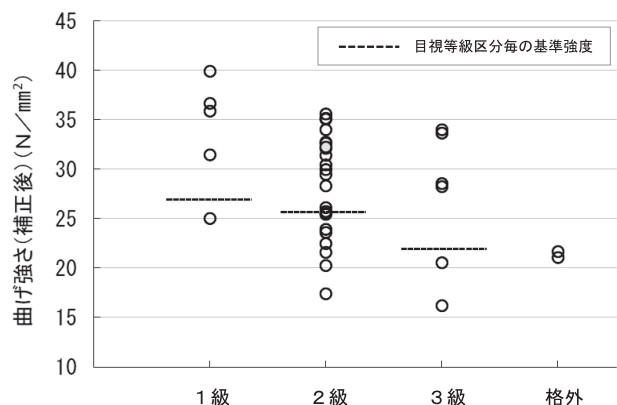


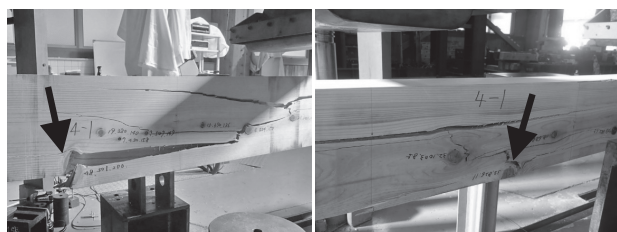
図 -3 目視等級区分ごとの製材の曲げ強さ

次に、目視等級区分ごとに見た製材の曲げ強さの分布を図-3に示す。図中の破線は、目視等級区分ごとの基準強度を示している。図-2と同様に基準強度を下回る材が、区分によらず発生した。

今回の試験材の乾燥工程では、高温セット処理を行わず中温域での乾燥としており、採取した含水率測定用の試験片からも内部割れは認められなかったことから、乾燥による強度低下（工藤ら 2019）の可能性は低いと考えられる。今回の試験において、基準強度を下回る材が発生した原因については、以下の2点が考えられる。1つ目は、今回の丸太試験材入手時には、番玉指定を行っていないため、一般的に強度が劣るとされる未成熟材の範囲が広い元玉の丸太を使用した可能性がある。2つ目は、心去り材特有の節の分布が挙げられる。髓の位置が製材断面のほぼ中心に位置する心持ち材の場合、1つの節が製材断面を貫通することは稀であるが、心去り材では、製材断面を貫通する節が発生し易くなる。



(木表側) (木裏側)
図-4 試験材の破壊状況（試験材 No3-2）



(木表側) (木裏側)
図-5 試験材の破壊状況（試験材 No4-1）

図-4、図-5は機械等級区分の基準強度を大きく下回った試験材の破壊状況の一例であり、図中に示した矢印は、木表から木裏にかけて貫通した節を指している。試験材の長さ方向の繊維は、この節によって分断されていることに加えて、引張の力が加わる下側に節が存在するため、荷重の早い段階で破壊に至ったと推察された。図-4に示した試験材 No3-2 は、JAS の目視等級区分では3級の規格も満たさない格別の材に区分されるため、製品市場に流通する品質のものではないと言えるが、図-5の試験材 No4-1 は、節の大きさによる目視等級区分では2級に区分されている。

現時点では、生産現場で強度を担保する運用としては、機械等級区分と目視等級区分とを併用するとともに、特に材端に存在する流れ節を含む材を除外することが考えられる。しかし、心去り材の強度評価を行うにあたり、今回示した36本の結果だけではデータ数が不足しているため、引き続きデータの蓄積を図る予定である。

引用文献

- ASTM (2011). D1990-07 Standard Practice for Establishing Allowable Properties for Visually-Graded Lumber from In-Grade Tests of Full-Size Specimens . ASTM
- 岐阜県木材協同組合連合会（2009）岐阜県産スギ横架材スパン表《技術解説編》岐阜県木材協同組合連合会
- 岐阜県林政課（2020）岐阜県森林・林業統計書。岐阜県林政課
- 工藤康夫、小林慧、町田初男、井道裕史、高温セットが材の強度劣化に及ぼす影響（2019）群馬県林業試験場研究報告 23 号：53-63
- 公益財団法人日本住宅・木材技術センター（2011）構造用木材の強度試験マニュアル。公益財団法人日本住宅・木材技術センター
- 農林水産省（2013）製材の日本農林規格。農林水産省
- 椎葉淳、荒武志朗、松元明弘、森田秀樹（2015）大径材から得られたスギ心去り平角材の曲げ性能。日本森林学会誌 97：203-207

技術資料

新規特産品種の育成に向けたターゲット遺伝子の調査研究 — サルナシ果実の成熟過程におけるアクチニジンの変動 —¹

上辻 久敏・杉山 康雄²

The study of target genes for breeding new speciality varieties
Fluctuation in actinidin during ripening of *Actinidia arguta*¹

Hisatoshi Kamitsuji, Yasuo Sugiyama²

サルナシやキウイフルーツの果実に含まれるアクチニジンは、システインプロテアーゼの1種であり、食肉軟化作用を持つことから、食品加工への応用が期待されている。しかし、サルナシを生食する場合、アクチニジンは口腔刺激性の原因とされ、食味に影響する。そこで、アクチニジン含有量の少ないサルナシを育種することができれば生食での商品価値が向上する可能性があると考えた。県内に自生するサルナシからアクチニジン含有量の少ない株の探索や収穫時期でアクチニジン含有量が少ないタイミングを探索するために、抗体を用いて高感度でアクチニジンを検出する評価系を作成した。苗畑に植栽しているサルナシの果実を経時的に測定した結果、糖度が上昇する収穫時期にアクチニジン含有量も上昇することが分かった。収穫時期でアクチニジン含有量を下げするには、糖度の低い時期に収穫する必要がある。

キーワード : アクチニジン, サルナシ, 成熟過程, 果実

I はじめに

サルナシ *Actinidia arguta* は、日本に分布するマタタビ科マタタビ属の植物である。現在、国内では、近縁のキウイフルーツが流通しており、入手できるキウイフルーツの品種は十品種以上存在する（小川 1997；垣内 1991；末沢 2000）。これらは中国から導入された *A. chinensis*、ニュージーランドで品種改良された *A. deliciosa* に大別される。このうち、栽培品種として主に流通している品種は、ヘイワード種 (*A. deliciosa* cv. Hayward) である。以下、本文で「キウイフルーツ」と表示する場合「ヘイワード」のことを表すこととする。

果実の特徴としては、①独特の淡緑色～濃緑色を示す果肉色、②極めて高いビタミンC含量、③果実表面に密生する茶褐色の毛茸がキウイフルーツにはあり、サルナシには少ない。④タンパク質分解酵素のシステインプロテアーゼの一種であるアクチニジン (EC3.4.22.14) を含むことなどが挙げられる（西山ら 2004）。

このうち、アクチニジンに関しては、サルナシやキウイフルーツの機能性や調理・加工特性に、大きな影響をもつことが知られている。たとえば、キウイフルーツの

果汁（鮫島ら 1991；堤ら 1994；西山 2000）やキウイフルーツアクチニジン（西山 2000；2001）は、食肉タンパク質を加水分解するため、食肉軟化作用を有することが報告されている。また、タンパク質の消化促進効果があり食品加工への応用も期待されている。一方、アクチニジンがもたらす問題点としては、ゼラチンゼリー形成の阻害（Arcus 1959）や、キウイフルーツの主要アレルゲンとして食物アレルギーを引き起こす可能性（Pastrello et.al 1998）、生食時の口腔刺激性（Boyes et.al 1997）などが報告されている。また、ヨーグルトなどと混ぜ合わせた場合、乳タンパク質の加水分解に起因すると考えられる苦味が発生することも知られている。

以上のようにサルナシやキウイフルーツに含まれるアクチニジンの量や活性の相違は、食品学的に重要な要素であるにもかかわらず、ヘイワード種以外の品種におけるアクチニジン含量や活性についての報告は、極めて限られているのが現状である（Boy. et. al 1997；和辻ら 1992）。

西山（2004）はサルナシと12品種のキウイフルーツのアクチニジン含量ならびにプロテアーゼ活性を測定し

¹ 本研究の一部は、日本農芸化学会 2007 年度大会で発表した。

² 前所属 名古屋大学理学部遺伝子実験施設

比較した。その結果サルナシのアクチニジンに関して、キウイフルーツよりもタンパク質を分解する働きが高いことが示された（西山ら 2004）。この報告から生食を行う際にアクチニジンの存在が、キウイフルーツよりもサルナシで、より食味に影響しうる因子であると考えられる。

そこで、本研究では、サルナシ (*A. arguta*) 果実中に存在するアクチニジンタンパク質の抗体を用いた分析系の確立とサルナシ果実中のアクチニジンの含有量の変動に関する調査を行ったので報告する。

Ⅱ 方 法

1. 供試材料

実験に用いたキウイフルーツ果実は市販のものを購入した。キウイフルーツ果実（ヘイワード）のアクチニジン活性は、追熟に伴い上昇することが報告されている（増田ら 1987）ため、追熟後の適熟果実を供試した。サルナシは、岐阜県森林研究所構内の苗畑にて栽培している個体から採取した。サルナシは着果したまま熟すことから、果実の収穫後、追熟せずに供試した。

2. 粗酵素の抽出

サルナシとキウイフルーツ果実からアクチニジンを含む果汁の抽出は、果実を剥皮した後、ブレンダーにて果肉を粉碎し（5000r.p.m. × 10min）、4重のガーゼを用いてろ過した。このろ液を遠心分離（12000g × 10min）して、得られた上清を粗酵素液として以後の活性測定、アクチニジンの精製および分析に用いた。

3. アクチニジンの精製

アクチニジンの精製は、キウイフルーツとサルナシ果肉を材料として、Brocklehurst et al. (1981)の方法を参考に行った。酵素の精製は全て4℃で行った。ガーゼにて搾汁ろ過した果汁を遠心分離（9000 r.p.m. × 30min）した後、70%飽和の硫酸沈殿法により得た粗酵素画分を透析膜にて脱塩した。脱塩後、ダイアフローメンブレン（アミコン社製）で限外濃縮粗酵素液を得た。精製中のタンパク質濃度は、牛血清アルブミン（Sigma）を標準としてBradford法により定量した。

3-1. プロテアーゼ活性の測定

プロテアーゼ活性は、Filippova et al. (1984)の方法を改変して測定した。合成基質である L-Pyroglutamyl-L-phenylalanyl-L-leucine p-nitroanilide (PFLNA, Sigma)を用い、ロイシン残基のカルボキシル側の加水分解によるp-ニトロアニリンの遊離を波長405nmの吸光度で測定した。試験管に25mM L-システインおよび10mM エチレンジアミン四酢

酸を含む50mM クエン酸緩衝液（pH6.0）を0.8mlとサルナシまたはキウイフルーツ果汁0.1mlを取り、30℃の恒温槽内に5分間保った。これに0.1mlの5mM PFLNA（ジメチルスルホキシド溶液）を加え混和し、30℃に5分間保持した後、50%トリクロル酢酸溶液を0.1ml加え、反応を停止した。遠心分離（10000g × 1min）により除タンパクした後、光学用マイクロプレート（0.33ml）中にて405nmの吸光度を測定した。ブランクとしては、トリクロル酢酸溶液を加えた後に酵素基質を加え、同様に吸光度測定を行った。プロテアーゼ活性は、p-ニトロアニリンのモル吸光係数を $\epsilon_{405} = 9920 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ として、1分間に遊離されるp-ニトロアニリンの量によって表した。以下、アクチニジンの精製と果実中のプロテアーゼ活性はすべて本方法により測定した。

3-2. DEAE-Sepharose CL-6B カラムクロマトグラフィー

10mM クエン酸緩衝液（pH 5.5）で透析した粗酵素液をDEAE-Sepharose CL-6B カラム（2.5cm × 10cm）を用いて分画した。このカラムを10mM クエン酸緩衝液（pH 5.5）で緩衝化した後、濃縮した酵素を添加した。吸着したタンパク質を1M 硫酸アンモニウムを含む同緩衝液を用いて、溶出速度を、1.2ml/minとし、ステップワイズ法で20mlずつに分画した。それぞれの溶出液について280nmの吸光度を測定してタンパク質の溶出を確認し、プロテアーゼ活性を測定した。プロテアーゼ活性を示す画分を回収し、ダイアフローメンブレンとビバスピリン（アミコン社製）によって20mlまで濃縮した。

3-3. HiLoad-Superdex 75pg カラム高速液体クロマトグラフィー

HiLoad-Superdex 75pg カラム（1.6cm × 60cm）、限外排除分子量70kDaを用いて分画した。このカラムを0.1M 硫酸アンモニウムを含む10mM クエン酸緩衝液（pH 5.5）により緩衝化した後、50mlに濃縮した酵素を添加した。溶出の速度は、1ml/minとし、タンパク質の検出は280nmの吸光度の測定により行った。各分画についてプロテアーゼ活性を測定し、プロテアーゼ活性を示す画分を回収し、ビバスピリンにより濃色脱塩した。

3-4. Mono-Q HR (5/5) カラム高速液体クロマトグラフィー

DEAE-Sepharose CL-6B カラムによって得られた酵素液をMono-Q HR (5/5) カラムを用いた高速液体クロマトグラフィーによる精製に供した。同カラムは10mM クエン酸緩衝液（pH5.5）で緩衝化し、70分間で硫酸アンモニウムによるグラジエント溶出を行った。溶出速度は、1ml/minとし、タンパク質の検出は280nmにおける吸光度の測定により行った。

4. SDS ポリアクリルアミドゲル電気泳動(SDS-PAGE)

酵素の分子量測定は、第一化学薬品製のタンパク質分子量マーカーを用いて行った。酵素は、SDS 保存液 [12.5% ドデシル硫酸ナトリウム (SDS) + 5mM エチレンジアミン四塩酸 (EDTA) + 0.025M Tris-AcOH Buffer] と 1 M ジチオスチレイトオールを 4:1 の割合で混合して得られた SDS 緩衝液で、100℃、3 分間加熱処理を行い、泳動に供した。また、分子量マーカータンパクも SDS 緩衝液に溶解し、同様に処理して用いた。泳動後、ゲルを固定液 [エタノール：酢酸：蒸留水 = 5 : 4 : 1] で 10 分間固定し、次にコマジープリリアントブルー (CBB) R-250 を用いて 60℃ で 10 分間染色を行った。染色液は脱色液 [エタノール：酢酸：蒸留水 = 25:8:67] で脱色しタンパク質のバンドを検出した。

5. キウイフルーツアクチニジン抗血清による検出

上記の精製アクチニジンを抗原としてウサギに免疫することにより、抗アクチニジン抗血清を作製した。抗血清の作製は、Biorad 社に委託した。上記のとおり SDS-PAGE 法により分離したタンパク質をセミドライブロッティング装置 (アトー) により、PVDF (polyvinylidene difluoride) 膜 (ImmobilonP, Watman) に 2mA/cm², 1 時間の条件で転写した。この PVDF 膜を 0.05% Tween 20 を含むトリス緩衝塩溶液 (pH7.5, TBS-T) で 2 回洗浄した後、5% スキムミルク (Gibco) を含む TBS-T により、2 時間のブロッティングを施した。次に TBS-T で希釈したウサギ抗アクチニジン抗血清 (1:4000) により 1 時間インキュベートした後、TBS-T により 4 回洗浄し、非結合抗体を除去した。アクチニジン免疫反応性の検出は得られた抗血清の抗原検出感度をウエスタンブロットで調べた。抗原である精製アクチニジンとサルナシアクチニジンの量を 1 ng から 100ng まで変えてウエスタンブロット検出を行った。1 次抗体として、抗キウイフルーツ抗血清と抗サルナシ抗血清を比較した。アクチニジン-1 次抗体複合体はアルカリホスファターゼを連結した 2 次抗体で発色検出した。

6. 栽培サルナシ株の果実におけるサルナシプロテアーゼ活性と糖度の経時変化

苗畑からサルナシ果実を経時的に採取して、果肉をガーゼにて搾汁ろ過した粗酵素液を遠心分離 (9000rpm, × 30min) した後、プロテアーゼ活性と糖度を経時的に測定した。プロテアーゼ活性は、収穫したサルナシ果実を粉碎し、4 重のガーゼでろ過し、人工基質 (Pyr-Phe-Leu-pNA) を用いて、30℃ で 5 分間反応 (pH 6.0) をさせ測定した。糖度は、糖度計で Brix% を測定した。2007 年 8 月 9 日から 10 月 28 日まで (収穫日 8/9, 8/16, 8/23, 8/30, 9/7, 9/18, 9/28, 10/8, 10/18, 10/28) 10 回苗畑サルナシ果実を収穫した。その後、果実が一斉に落下したため果実の収穫は終了とした。

7. 栽培サルナシ株の果実に含まれるタンパク質の SDS-PAGE 分析とアクチニジン抗体によるウエスタンブロット検出

方法 6 で活性と糖度を測定した同じ粗酵素液を用いて、SDS-PAGE によるタンパク質の分析とアクチニジン抗血清でアクチニジンバンドのウエスタンブロット検出を行った。分析に用いた粗酵素液を標準として牛血清アルブミン (Sigma) を用いた Bradford 法により定量し、SDS-PAGE には、0.5 μg, アクチニジン抗血清を用いた分析には、0.1 μg のタンパク質量を供試した。

III 結果

1. アクチニジンの精製

1-1. DEAE-Sephacel-6B カラムクロマトグラフィー

Brocklehurst の方法を参考にして得られた酵素液を限外濃縮後 DEAE-Sephacel-6B カラムクロマトグラフィーに供した (図-1a)。キウイフルーツおよびサルナシから抽出された粗酵素液は、それぞれ 1M と 0.25M の硫酸アンモニウムでプロテアーゼ活性を有するタンパク質が溶出された。キウイフルーツでは 2 つのピークとして溶出されたが、サルナシでは単一ピークとして溶出された (図-2a)。その画分を回収し次のステップへと進んだ。

1-2. HiLoad-Superdex 75pg カラム高速液体クロマトグラフィー

キウイフルーツから抽出された粗酵素液は、タンパク質量が多く、ブロードな 2 つのピークに分かれ精製が困難であることが予想されたので、HiLoad-Superdex 75pg カラムを用いて、イオン交換では取り除くことができない分子量が異なる夾雑タンパク質の除去を行った。それより、活性を示す画分は検量線より分子量約 20kDa から 30kDa の溶出時間であった。目的とする画分の高分子側と低分子側で、余分なタンパク質を除去することができた。酵素活性のある単一ピークを形成した。酵素画分は濃色脱塩し、次の精製段階へ進んだ (図-1b)。

1-3. Mono-QHR (5/5 カラム高速液体クロマトグラフィー

得られた酵素液を Mono-QHR (5/5) カラムを用いた HPLC による精製に供した。その結果を図-1c, 図-2b に示した。キウイフルーツのプロテアーゼ溶出時間 25 分に酵素活性のある単一ピークが検出された。活性のあるピークを回収し最終精製とした (図-1c)。サルナシ由来のプロテアーゼでは 25 分に酵素活性のある単一ピークが検出され、プロテアーゼ溶出時間 23, 25 分にプロテアーゼ活性のある 2 つのピークが認められた (図-2b)。

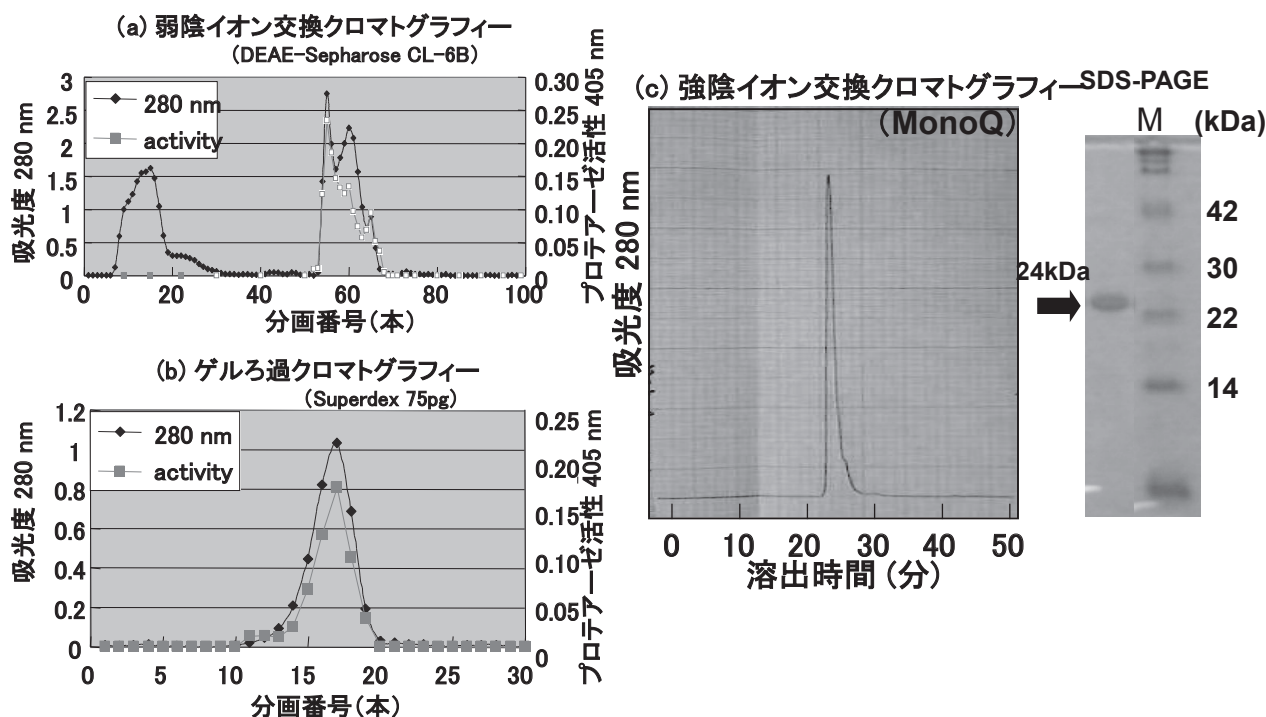


図-1 キウイフルーツアクチニジンの精製

2. SDS-PAGE 分析

精製したキウイフルーツ由来アクチニンとサルナシ由来アクチニジンの SDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動を行った。分子量マーカータンパク質として (分子量 42kDa), (分子量 30kDa), (分子量 22kDa), (分子量 14kDa) のタンパク質を用いた検量線より精製タンパク質の分子量は共に 24kDa であると算出された (図-3)。

3. キウイフルーツアクチニン抗血清による検出

3-1. アクチニン抗血清による精製アクチニンタンパク質検出感度の確認

1, 5, 10, 50, 100ng のキウイとサルナシ由来精製アクチニンを用いて, SDS-PAGE を行い, PVDF 膜に転写後, キウイフルーツアクチニン抗体を用いた検出結果を図-3 に示した。キウイ由来のアクチニン抗体によるサルナシアクチニジンの検出とサルナシ由来のアクチ

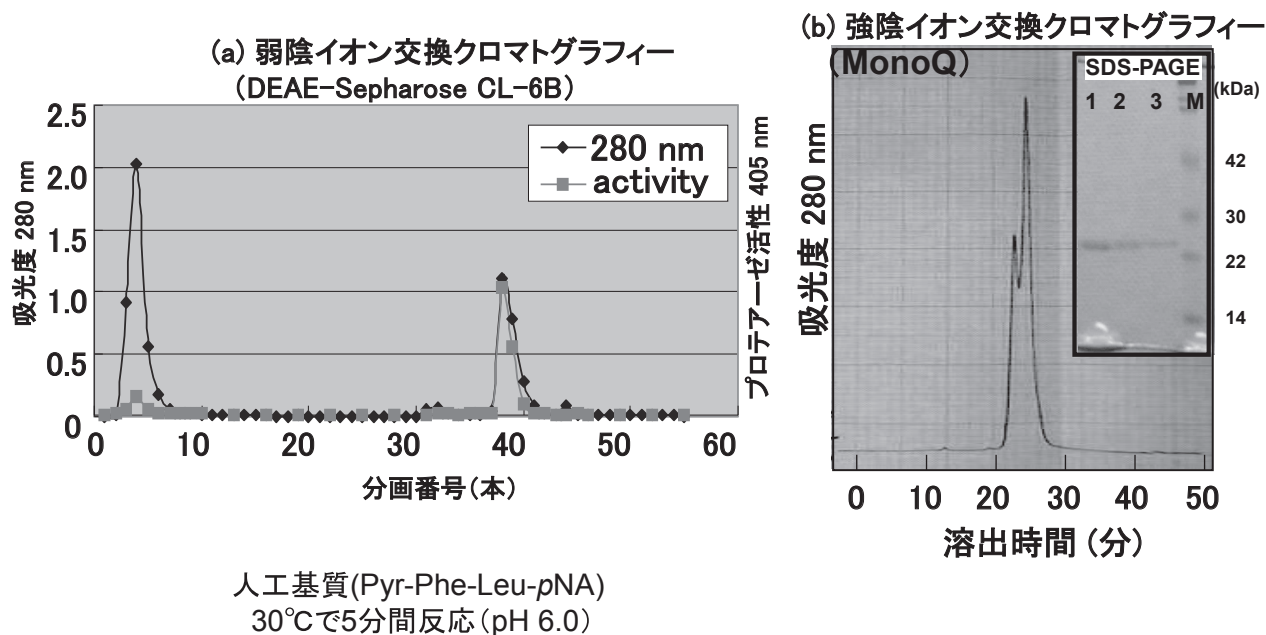


図-2 サルナシアクチニジンの精製

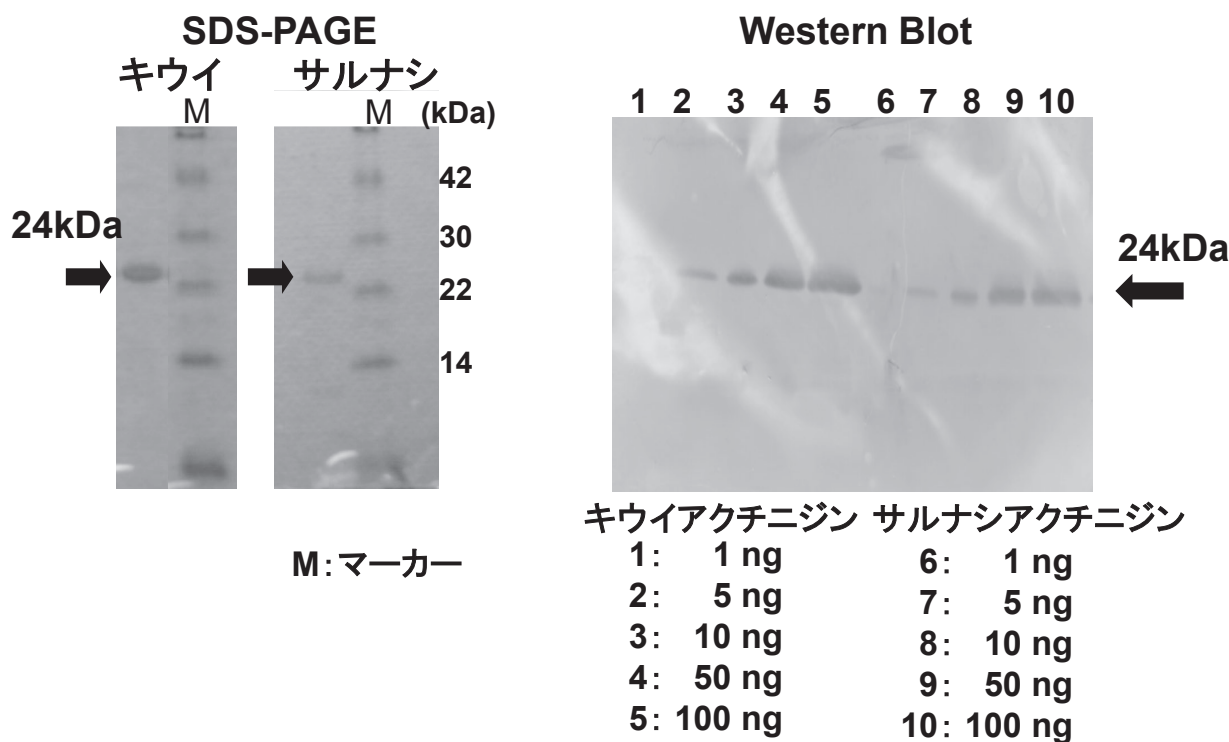


図-3 精製アクチニジンの SDS-PAGE 分析と抗アクチニン抗血清による検出

ニジン抗体によるキウイアクチニジンの検出が共に可能であった。精製タンパク質添加量の増加に伴い、相当する抗体による検出バンドの濃さが、上昇することが視覚的に観察された。アクチニンと1次抗体複合体は発色感度が高いアルカリホスファターゼを連結した2次抗体で発色検出した。矢印で示した位置のバンドがアクチニンである。いずれの抗血清も両抗原を同程度の量（10ng タンパク）まで検出できた。さらに抗原の量を少なくした所、1 ng

タンパク質でも検出可能であった。作成した抗体は同程度の感度で抗原を認識でき、抗キウイフルーツ抗血清と抗サルナシ抗血清はアクチニン類を高感度に分析できる抗体であると評価した。

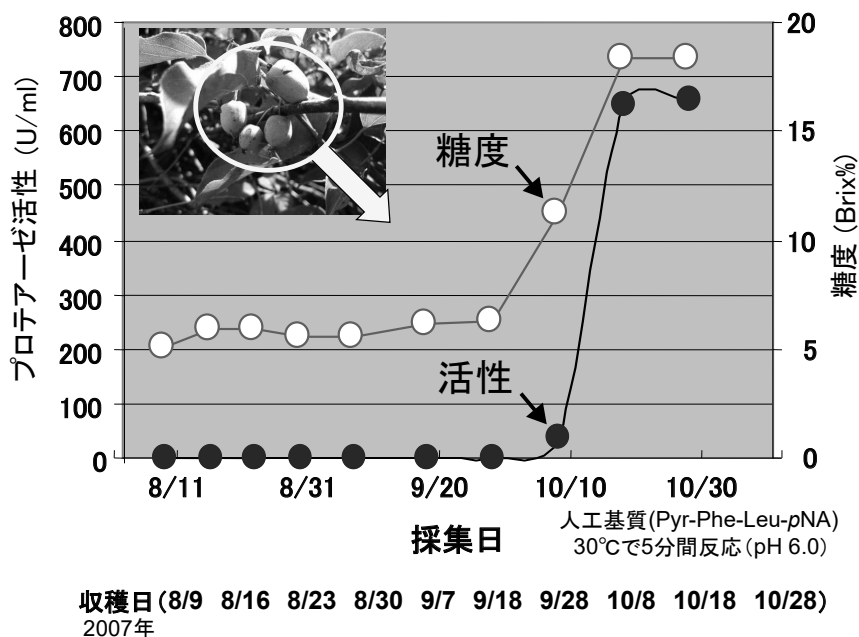


図-4 サルナシ果実のプロテアーゼ活性と糖度の経時変化

4. 栽培サルナシ株の果実におけるサルナシプロテアーゼ活性と糖度の経時変化

8/9 から 9/18 まで、サルナシ果実の糖度は 5.0 ～ 7.0 とほぼ一定であり、人工基質（Pyr-Phe-Leu-pNA）を用いた測定方法でプロテアーゼ活性は検出されなかった。10/8 日の収穫物から、糖度の上昇が認められ、プロテアーゼ活性もわずかであるが検出された。この収穫から 10 日後の 10/18 には、プロテアーゼ活性は 650U/ml に急激に上昇し、さらに 10 日後の 10/28 にも 665U/ml となった（図-4）。

5. 栽培サルナシ株の果実に含まれるタンパク質の SDS-PAGE 分析とアクチニジン抗血清によるアクチニジン検出

サルナシ果実から抽出された粗酵素液の経時的な SDS-PAGE 分析とウェスタンブロット分析による電気泳動像を図-5 に示す。アクチニジンのバンドは、分子量 24kDa 付近に認められた（図-3）。果汁から、人工基質を用いた測定方法でプロテアーゼ活性が検出されなかった時期においても、Western Blot により精製アクチニジンが示した 24kDa と同じ分子量のシグナルが検出された。人工基質を用いた測定方法で活性は検出されなかった（図-4）が、Western Blot レーン 3 の 8/23 の収穫物からレーン 7 の 9/28 の収穫物には、果実中にアクチニジンタンパク質が存在していることが示された（図-5）。プロテアーゼ活性上昇時のレーン 8 から 10 までは薄いタンパク質のバンドが検出され、抗体を用いた Western Blot 分析では、強い発色バンドが検出された。抗体を用いることで、活性測定や SDS-PAGE によるタンパク質のバンドが検出されない時期から高感度でアクチニジンタンパク質の挙動を検出することが可能となった。

IV 考察

今回作成した抗体は植物由来のシステインプロテアーゼと交差するので、果実のみならず様々な植物組織におけるシステインプロテアーゼの所在と量を評価する上で有用な評価系が確立できたと考えられる。今後はキウイフルーツとサルナシのアクチニジンの物性比較（酵素活性、熱安定性、活性保持剤の効果）を行い、単離した遺伝子の塩基配列情報と関連つけることが必要である。さらに遺伝子の発現調節機構の解析の情報も必要となる可能性がある。キウイフルーツとサルナシのアクチニジンを含む植物由来のシステインプロテアーゼの生理作用の解明が求められる。

サルナシアクチニジン含有量の経時的な測定から収穫時期によって変動していることが分かった。糖度が上昇する収穫適期にアクチニジン含有量が最大値を示した。アクチニジン量を低下させるためには、糖度の低い時期における果実を採取することが適切と考えられた。

県内の果実をつけているサルナシ野生株から果実を採集し糖度とプロテアーゼ活性、アクチニジンの抗体検出を行ったところ、自然界で発見したサルナシ果実でも糖度とアクチニジン含有量の上昇がパラレルな関係を示した（上辻未発表）ことから、自然界から低アクチニジンサルナシ株の取得は難しいと予想される。

さらに遺伝子配列情報と推定アミノ酸配列の情報も取得しており（上辻未発表）、人工的な改変技術による低アクチニジンサルナシ株を作出できる可能性があると考えられる。今後、糖度上昇時期に発現しているアクチニジン遺伝子がいくつ存在するか、特に高発現しているアクチニジン遺伝子が存在するかについても明らかにして開発にのぞむ必要がある。

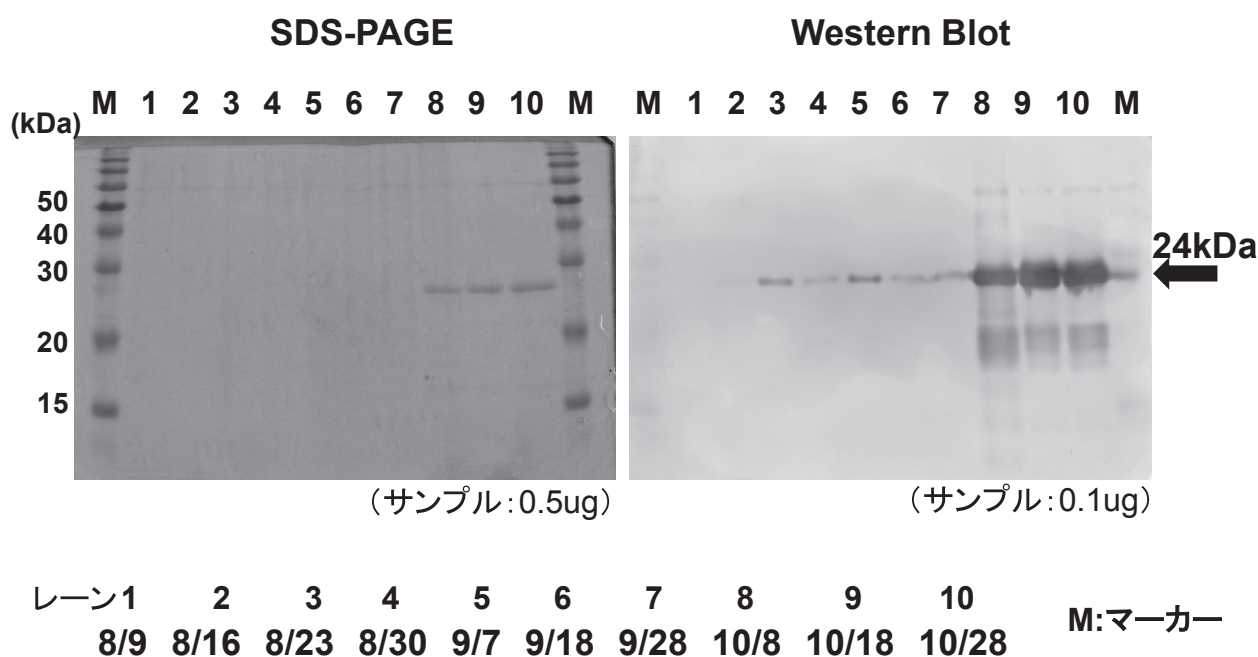


図-5 サルナシ果実の経時的な SDS-PAGE 分析と抗アクチニジン抗血清によるアクチニジンタンパク質の検出

引用文献

- Arcus, A. C. (1959) Proteolytic enzyme of *Actinidia chinensis*. Biochim. Biophys. Acta 33 : 242-244
- Boyes, S., Strbi, PandMarsh, H. (1997) Actinidin levels in fruit of *Actinidia* species and some *Actinidia arguta* rootstock-scion combinations. Lebensm. Wiss. Technol. 30 : 379-389
- Brocklehurst, K., Baines, B. and Malthouse, P. G. (1981) Differences in the interactions of the catalytic groups of the active centres of actinidin and papain. Biochem. J. 197 : 739-746
- Claeys, E., Uytterhaegen, L., Buts, B. and Demeyer, D. (1995) Quantification of beef myofibrillar proteins by SDS-PAGE. Meat Sci. 39 : 177-193
- Filippova, I. Y., Lysogorskaya, E. N., Oksennoit, E. S., Rudenskaya, G. N. and Stepanov, V. M. (1984) L-Pyroglutamyl-L-phenylalanyl-L-leucine-pnitroanilide-Achromogenic substrate for thiolprotein assay. Anal. Biochem. 143 : 293-297
- 垣内典夫 (1991) キウイフルーツ「シリーズ食品の科学 果実の科学」(初版, 伊藤三郎編). 213pp, 朝倉書店, 東京. 122-123
- Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L. and Randall, R. J. (1951) Protein measurement with the folinphenol reagent. J. Biol. Chem. 193 : 265-275
- Laemmli, U. K. (1970) Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. Nature 227 : 680-685
- 曾田功・金子美穂・佐藤隆英・中川弘毅・小倉長雄 (1987) キウイフルーツプロテアーゼの利用について. 日食工誌 34 : 36-41
- McGhie, T. K. and Ainge, G. D. (2002) Color of fruit of the genus *Actinidia* : Carotenoid and chlorophyll compositions. J. Agric. Food Chem. 50 : 117-121
- 西山一朗 (2000) キウイフルーツ果汁のタンパク質分解作用-Hayward 種と Hort16A 種の比較-. 家政誌 51 : 621-626
- 西山一朗 (2001) 精製アクチニジンによる筋原線維タンパク質分解作用の pH 依存性. 家政誌 52 : 1083-1089
- 西山一郎・福田哲生・太田忠親 (2004) サルナシおよびシマサルナシ果汁におけるアクチニジン濃度とプロテアーゼ活性の品種間差異. 園芸学雑 (J. Japan. Soc. Hort. Sci.) 73(2) : 157-162
- 小川浩史 (1997) キウイフルーツ「最新果汁・果実飲料事典」(初版). 653 pp, 朝倉書店, 東京. 210-213
- Pastorello, E. A., Conti, A., Pravettoni, V., Farioli, L., Rivolta, F., Ansaloni, R., Ispano, M., Incorvaia, C., Giuffrida, M. G. and Ortolani, C. (1998) Identification of actinidins as the major allergen of kiwifruit. J. Allergy Clin. Immunol. 101 : 531-537
- 鯨島邦彦・崔一信・石下真人・早川忠照 (1991) アクチニジン (キウイフルーツタンパク質分解酵素) による筋肉構成タンパク質の分解. 日食工誌 38 : 817-821
- 末澤克彦 (2000) 品種「果樹園芸大百科 12 キウイフルーツ」(初版, 農文協編). 244 pp, 農山漁村文化協会, 東京. 23-26
- Sugiyama, S., Ohtsuki, K., Sato, K. and Kawabata, M. (1996) Purification and characterization of six kiwifruit proteases isolated with two ion-exchange resins, Toyopearl-Super Q and Bakerbond WP-PEI. Biosci., Biotech., Biochem. 60 : 1994-2000
- 堤ちはる・三好恵子・谷武子・仙北谷至乃・殿塚婦美子・永弘悦子・河野聡子・吉中哲子 (1994) キウイフルーツの豚肉軟化効果について. 家政誌 45 : 603-607
- 和辻敏子・茶珍和雄・宮崎正則 (1992) キウイフルーツ可溶性タンパク質の電気泳動パターン及びプロテアーゼ活性. 日食工誌 39 : 966-971

ヒノキ実生コンテナ苗の4年間の成長と下刈り年数短縮の可能性¹

渡邊 仁志・茂木 靖和・三村 晴彦^{2,3}・千村 知博^{2,3}

The first four years' growth of containerized Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*) seedlings and the possibility of reducing the number of weeding¹

Hitoshi Watanabe, Yasukazu Moteki, Haruhiko Mimura^{2,3}, Tomohiro Chimura^{2,3}

コンテナ苗が下刈り年数の短縮に寄与するかどうかを検討するため、実生ヒノキのコンテナ苗と裸苗について植栽後4年間のサイズ、成長量、および雑草木との競争関係を比較した。コンテナ苗が樹高および根元直径の相対成長率で裸苗を上回ったのは、植栽1年目に限られていたが、成長量はその後も持続して裸苗と同等以上であった。連続した4年間の下刈りの結果、植栽5年目の夏期には、調査区の雑草木は平均植生高が150cm程度のススキや落葉低木になっていた。このとき、コンテナ苗の樹高は284cmで、裸苗より約40cm高かった。この結果には、通常よりも肥効期間の長い緩効性肥料をコンテナ苗の元肥として用いたことが影響したと考えられる。本研究のコンテナ苗は裸苗よりも1年間早く雑草木との垂直方向の競合状態が緩和されたことにより、下刈り年数が短縮できた可能性がある。

キーワード：競合状態、雑草木、下刈り、樹高成長、元肥

We compared the growth of containerized and bare-root Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*) seedlings for four years after planting, and also investigated the competition between seedlings and their surrounding weeds to assess the possibility of reducing the number of weeding. The height and diameter growth of the containerized seedlings was equal to or higher than those of the bare-root seedlings, though the superiority of the formers' relative growth rate was not evident after the first year. With regular weeding, once a year over the four years, the weeds observable in the summer of the fifth year were *Miscanthus sinensis* and deciduous shrubs (roughly 150 cm in height). The average height of the containerized seedlings at this time was 284 cm, roughly 40 cm higher than that of the bare-root seedlings. We considered that this was owing to the fact that the containerized seedlings had been reared with slow-release fertilizer, eluted over longer periods than usual, as base fertilizer. Furthermore, the vertical competition between the seedlings and weeds abated one year earlier than in the case of the bare-root seedlings, and weeding could be omitted, in the summer of the fifth year, in the containerized seedling plot. Consequently, it was suggested that the number of weeding could be reduced by one year in the case of the containerized seedlings.

Keywords：base fertilizer, competition status, initial height growth, weed, weeding

¹ 日本森林学会誌 Journal of the Japanese Forest Society 103, 232-236, 2021.

² 中部森林管理局 森林技術・支援センター

³ 現所属：林野庁中部森林管理局木曽森林管理署南木曽支署

抄 録

シンポジウム「森林の中で放射性セシウムはどう動いているのか？
— 研究者がわかりやすく解説します」の開催¹

橋本 昌司^{2,3}・堅田 元喜⁴・大橋 伸太²・眞中 卓也²・岩上 翔²・小松 雅史²・玉置 雅紀⁵・
大久保 達弘⁶・篠宮 佳樹²・渡邊 仁志・山下 尚之²・平井 敬三²

Symposium on “The dynamics of radiocesium in forests
: researchers provide easy-to-understand lectures”¹

Shoji Hashimoto^{2,3}, Genki Katata², Shinta Ohashi², Takuya Manaka², Sho Iwagami²,
Masabumi Komatsu², Masanori Tamaoki⁵, Tatsuhiko Ohkubo⁶, Yoshiki Shinomiya²,
Hitoshi Watanabe, Naoyuki Yamashita², Keizo Hirai²

¹ 森林立地 Japanese Journal of Forest Environment 63, 13-16, 2021.

² 国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所

³ 東京大学大学院農学生命科学研究科

⁴ キヤノングローバル戦略研究所

⁵ 国立研究開発法人国立環境研究所

⁶ 宇都宮大学農学科学研究科

抄 録

ササ地における下刈りの省略がヒノキ植栽木の成長に及ぼす影響¹

渡邊 仁志・茂木 靖和・三村 晴彦^{2,3}

Effects of non-bush cutting works on initial growth of
Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa* (Sieb. et Zucc.) Endl.) seedlings at plantation
with dwarf bamboo (*Sasa senanensis* (Franch. et Sav.) Rehder)¹

Hitoshi Watanabe, Yasukazu Moteki, Haruhiko Mimura^{2,3}

クマイザサが密生する再造林地で、下刈りを一度も行わなかった省略区と毎年行った実施区におけるヒノキの成長とササの動態を比較した。省略区のササの稈高は年々高くなり、上方と側方からヒノキを被圧した。植栽時のヒノキの樹高や根元直径には調査区間の差はなかったが、1年目以降に省略区の両成長量が鈍化したため、実施区との差が拡大した。ササによる被圧は、ヒノキの枯死には影響しなかったが、直径成長と樹高成長には強く影響した。省略区で成長の停滞を免れたヒノキは、被圧から早期に抜け出した個体だったことが示唆された。ササ地における確実な再造林には、ササの生態にあわせた下刈り技術の開発が必要である。

キーワード : 被圧, ヒノキ, クマイザサ, 下刈り省略, 初期成長

¹中部森林研究 Chubu Forestry Research 69, 17-20, 2021.

²中部森林管理局 森林技術・支援センター

³現所属 : 林野庁中部森林管理局木曽森林管理署南木曽支署

抄 録

27年生カツラ人工林で実施した間伐の効果¹

大洞 智宏²・渡邊 仁志・久田 善純

Effects on diameter growth of thinning in 27 years old *Cercidiphyllum japonicum* plantation¹

Tomohiro Obora², Hitoshi Watanabe, Yoshizumi Hisada

岐阜県高山市荘川町の27年生カツラ人工林で間伐を行い、間伐後8成長期が経過した時点の間伐効果を検討した。本調査の間伐では、育成すべき幹（育成木）に樹冠が接する幹のうち、競合の度合いが高く将来的に生育を阻むと予想される幹を伐採した。27年生時と36年生時に樹高、胸高直径、樹冠級を測定した。その結果、直径成長量は期首直径と正の相関がみられた。平均直径成長量は1.6cmと小さかったが、相対的に樹冠の発達した樹冠級Aの平均直径成長量は2.6cmであった。樹冠級Aの育成木とそれ以外の幹では平均直径成長量に有意な差がみられ、間伐の効果が示された。

キーワード：カツラ、間伐、肥大成長、人工林

¹中部森林研究 Chubu Forestry Research 69, 33-34, 2021.

²現所属：岐阜県立森林文化アカデミー

抄 録

高時間分解能衛星画像を用いた正規化植生指数による 伐採箇所および森林被害箇所の抽出について¹

國枝 裕介²・久田 善純・古川 邦明³

By the normalized difference vegetation index using of high-time resolution imaging
satellites Extraction of felled areas and forest damaged areas¹

Yusuke Kunieda², Yoshizumi Hisada, Kuniaki Furukawa³

高時間分解能衛星である Planet 社の Analytic Ortho Scene Product を用い、森林の伐採箇所及び森林被害箇所を早期に発見する技術開発を目指し調査・研究を行っている。変化点抽出にはオルソ加工済みのマルチスペクトル画像から Harris Geospatial 社の ENVI で正規化植生指数をもとめ、差分比較により解析作業を実施している。高時間分解能衛星画像を用いたことで、伐採や崩壊、路網開設など森林内の変化を高頻度で比較することが可能になったが、撮影画像の欠けに対応するために画像の合成作業や、森林以外の情報を除外するためのマスク処理、太陽頂点角の変化が生み出す影の影響を最小限にするために衛星の撮影時間に注意する必要がある。

キーワード：リモートセンシング，伐採箇所抽出，正規化植生指数，Planet 社

¹中部森林研究 Chubu Forestry Research 69, 61-62, 2021.

²現所属：揖斐郡森林組合

³岐阜県立森林文化アカデミー

抄 録

断面の大きな製材品の弱減圧乾燥技術の開発¹

土肥 基生・田中 健斗・齋藤 周逸²

Technical development of vacuum-drying for large flat lumber¹

Motoo Dohi, Kento Tanaka, Shuetsu Saito²

スギ心去り平角を対象に乾燥試験を実施した結果、弱減圧乾燥（80 ～ 90℃、400hPa）での所要日数は、常圧中温乾燥の 1/2 に、乾燥コストは 7 割程度に削減できることが明らかになった。また、天然乾燥と組み合わせることで乾燥機の稼働に必要な日数は更に短縮でき、より低コストな乾燥を実現できる可能性が示された。更に、枠組壁工法用部材（204、206）の乾燥にも有効であった。これらの成果は、今後増大するスギ大径材の利用促進や木材自給率の向上につながるものと期待できる。

キーワード：スギ，大径材，人工乾燥，弱減圧乾燥

¹木材工業 Wood industry Vol76, No11, 468-471, 2021.

²国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所

抄 録

腐朽4年のヒノキ根の腐朽の進行と強度低下¹

酒井 佳美²・多田 泰之³・臼田 寿生・和多田 友宏・野口 享太郎⁴・小林 政広⁵

Decomposition and strength of Japanese cypress root four years after logging¹

Yoshimi Sakai², Yasuyuki Tada³, Hisao Usuda, Tomohiro Watada,
Kyotaro Noguchi⁴, Masahiro Kobayashi⁵

近年の森林の伐採面積の増加により伐根の土壌の支持機能評価も求められている。本研究では伐根の土壌支持機能への根の腐朽の影響を解明することを目的に、作業道の法面に露出する根を利用して根の引き抜き抵抗力和根の腐朽程度を比較検討した。伐採後4年経過したヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) の根の引き抜き抵抗力の平均値(±SD)は 26.7 ± 11.9 kg f (min 0.1 – max 79.2 kg f), 根の平均材密度(±SD)は 0.26 ± 0.15 g cm⁻³ (min 0.03 – max 0.57 g cm⁻³) であり, 根の腐朽による重量減少が進行し生木の根に比べて引き抜き抵抗力は低下していた。根の引き抜き抵抗力への影響要因として根の断面観察による腐朽程度 ($p=0.03$) も選択されたが, 直径 ($p<0.01$) と比較して説明力は小さかった。根の材密度も引き抜き抵抗力の低下への説明力は直径に比べて小さかった。伐採後4年経過の根の引き抜き抵抗力の変化は断面観察や材密度による腐朽程度の指標では十分に説明できなかった。

キーワード : 樹木根, 腐朽, 引き抜き抵抗力

¹九州森林研究 Kyushu Journal of Forest Research 74, 51-53, 2021.

²国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所 九州支所

³国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所 関西支所

⁴国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所 東北支所

⁵国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所

岐阜県森林研究所研究報告 執筆要領（抜粋）

1. 投稿は、岐阜県森林研究所の職員または旧職員（以下、職員という）に限る。ただし、編集委員会が認めたときはこの限りではない。筆頭者以外の著者にはその他の者を含むことができる。
2. 原稿内容は、職員が在職中に実施した研究の業績を扱ったものとする。職員は研究課題の終了時には、研究成果の学術的な公表に努める。
3. 原稿種別は、「論文」、「短報（旧資料）」、「技術資料」、「学術雑誌論文抄録」および「その他」とする。「論文」とは、学術的に新規性のある知見を、十分な議論を含めて公表するものとする。「短報」とは、予報的または速報的な内容を持ち、論文に準ずる調査結果・実験結果などを論文形式で取りまとめたものであり、単なるデータ集ではない。「技術資料」とは、「論文」、「短報」にはならないが、記録として公表することがふさわしい有益なデータを提示するものとする。「学術雑誌論文抄録」とは、研究報告が刊行される前年に他の学術雑誌に掲載された論文等の抄録とする。「その他」とは、印刷公表することがふさわしく、かつ、本執筆要領の適用が困難な論文（学位論文等）とする。
4. 原稿の採否は、査読審査を経て編集委員長と複数名の編集委員からなる編集委員会が決定する。査読者の数は「論文」および「短報」の場合は2名以上、「技術資料」の場合は1名以上とし、編集委員会が指定する。「学術雑誌論文抄録」と「その他」の場合は、体裁の確認のみ行う。

岐阜県森林研究所研究報告 第51号

令和4年3月11日 印刷

令和4年3月31日 発行

編集者 岐阜県森林研究所研究報告編集委員会

発行者 岐阜県森林研究所

発行所 岐阜県森林研究所

〒501-3714 岐阜県美濃市曾代1128-1

TEL 0575-33-2585 FAX 0575-33-2584

URL <http://www.forest.rd.pref.gifu.lg.jp/>

e-mail info@forest.rd.pref.gifu.jp

印刷所 株式会社 サン・ライン
