

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、ぼん太 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0.3m、0.5m、1.3m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、ぼ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

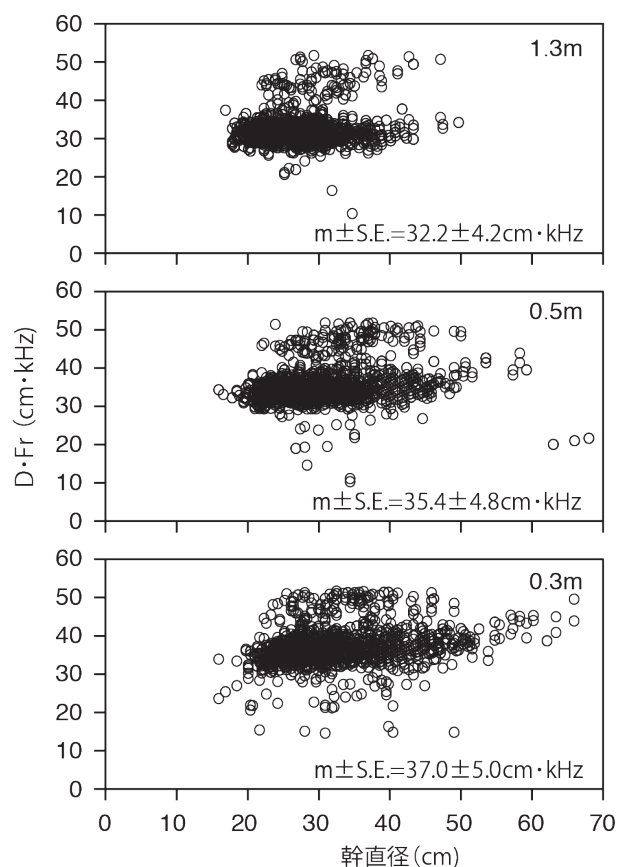


図-1. 調査木のD・Fr値の分布
健全木と考えられた調査木のデータのみを図示

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0.3m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、 $p \leq 0.01$ ）。

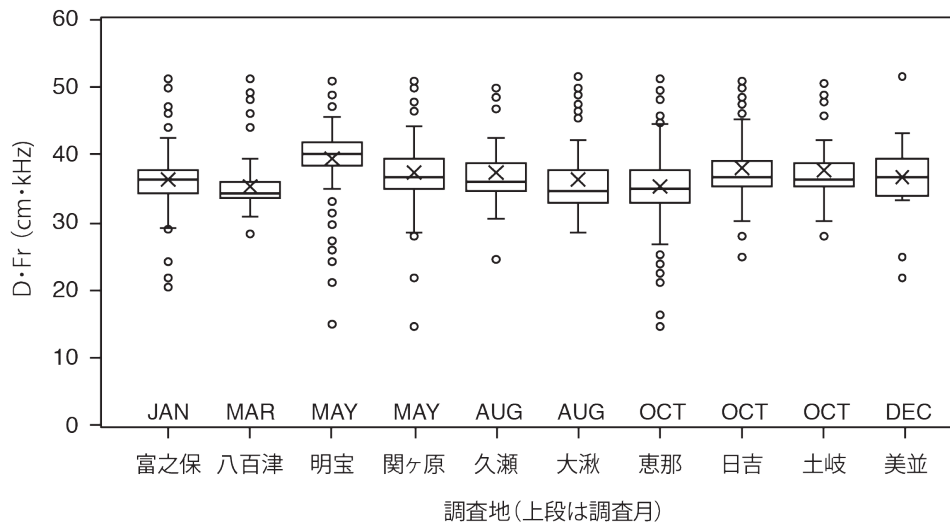


図-2. 各調査地の D·Fr 値の分布
 箱ひげ図中の横線は中央値、×は平均値、箱は四分位範囲、ひげの両端は箱の長さの 1.5 倍内にある最大値と最小値、箱の外側にある白丸は外れ値を示す。

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/cm^3),
 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

か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。

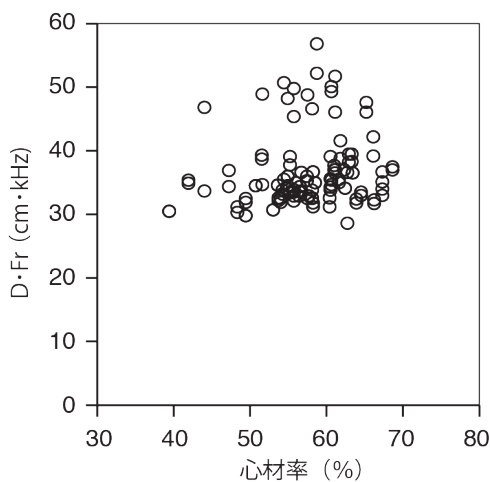


図-3. 心材率と F·Dr 値の関係 (大湫調査地)

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

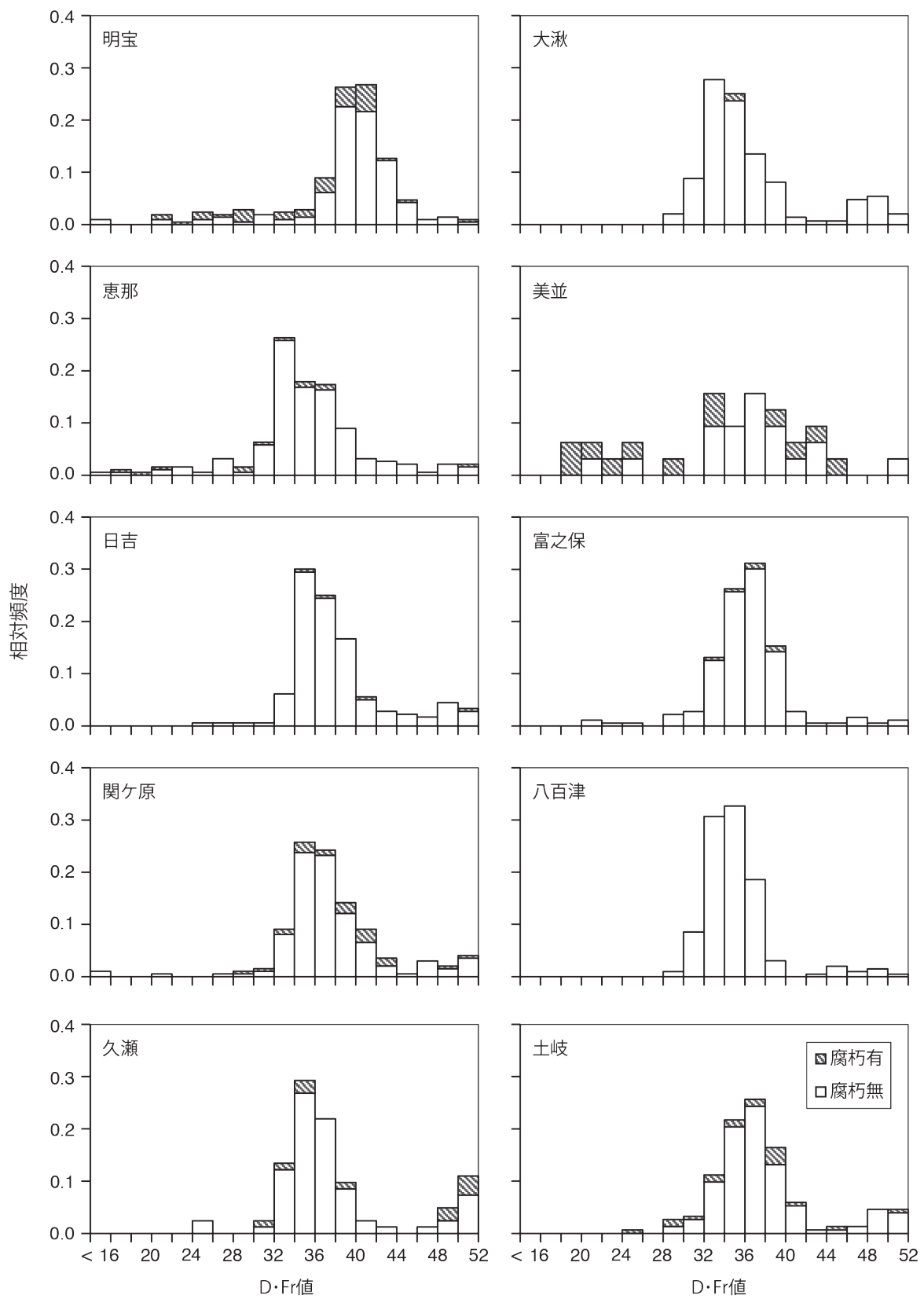


図-4. 各調査地における D・Fr 値の頻度分布

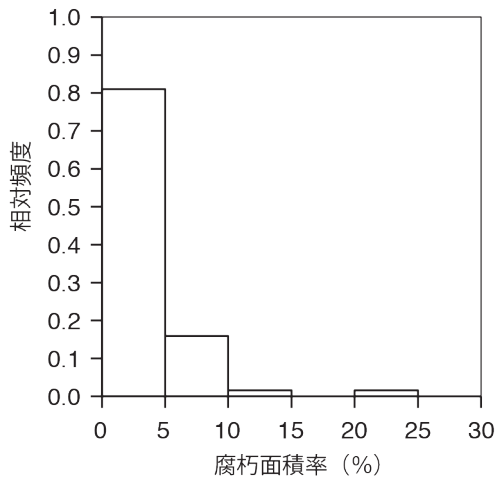


図-5. 腐朽面積率の分布

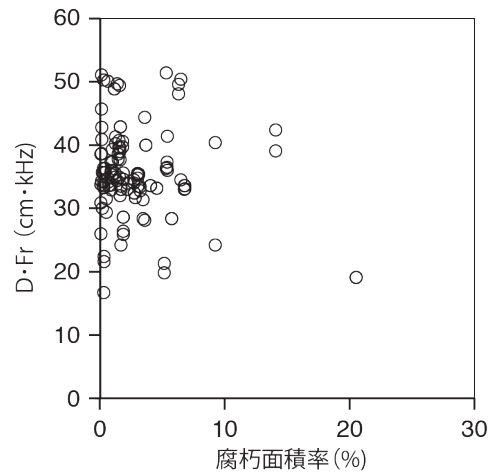


図-6. 腐朽面積率とD·Fr値との関係

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、この範囲が広いので、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—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
- 矢澤穂吉 (1961) 辺心材の理学性の差異について. 北海道林業指導所月報 110 : 19-27