



Title	ニセアカシアへのベッコウタケ腐朽の経年変化とその根返り耐力への影響
Author(s)	大塚, 広介; OTSUKA, Kosuke; 生駒, 勇二 他
Citation	北海道大学演習林研究報告, 72, 1-12
Issue Date	2022
DOI	https://doi.org/10.14943/ResBull-HUF.72.1
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/85241
Type	departmental bulletin paper
File Information	RBHUF72.pdf



ニセアカシアへのベッコウタケ腐朽の経年変化と その根返り耐力への影響

大塚 広介¹, 生駒 勇二², 小泉 章夫³, 佐々木 義久³, 佐々木 貴信^{3*}

Progress in tree decay of *Perenniporia fraxinea* to *Robinia pseudoacacia*
over several years and those effects on uprooting resistance.

by

OTSUKA Kosuke¹, IKOMA Yuji², KOIZUMI Akio³, SASAKI Yoshihisa³,
SASAKI Takanobu^{3*}

要 旨

ニセアカシアは北海道内で街路樹としてよく用いられるが、白色腐朽菌ベッコウタケによる腐朽被害を受けると、台風等による強風時に根返りを起こして倒伏する危険性が増すことが知られている。風倒危険木を予め判別できれば伐採等の対策を講じうる。そこで、北海道大学札幌キャンパス構内に生育するニセアカシアを対象として、引き倒し試験、5年に渡るベッコウタケ子実体発生状況の継続調査、および応力波伝播速度測定試験を行って、倒伏危険度の定量的評価を目指した。その結果、837~890本の立木のうち8~10%に子実体が確認され、径級の高い個体ほど子実体が発生していることが判明した。子実体は一度発生すると、ほとんどの場合、翌年以降も発生していた。引き倒し試験の結果、全腐朽木の根返りモーメントは健全木に関する回帰式から求めた推定値の69%であった。また、子実体が全乾重量で約200g以上発生した個体は倒伏危険度が増加していることがわかった。子実体の発生高さや応力波伝播速度により長期間腐朽被害を受けている個体を推定できることが示唆されたが、それらを用いて根返りモーメントを推定することはできなかった。

キーワード: ニセアカシア、ベッコウタケ、根返りモーメント、子実体重量、応力波伝播速度

2021年7月1日受付, Received July 1, 2021

2021年11月7日受理, Accepted November 7, 2021

1. 北海道大学大学院農学院環境フロンティアコース森林資源利用学ユニット木材工学研究室
以下、住所はいずれも〒060-8589 北海道札幌市北区北9条西9丁目
Laboratory of Timber Engineering, Unit of Forest Resource Utilization, Frontiers in Environmental
Sciences, Graduate School of Agriculture, Hokkaido University
2. 北海道大学農学部森林科学科木材工学研究室
Laboratory of Timber Engineering, Department of Forest Science, School of Agriculture, Hokkaido
University
3. 北海道大学大学院農学研究院基盤研究部門森林科学分野木材工学研究室
Laboratory of Timber Engineering, Research Group of Forest Science, Division of Fundamental
Agriscience Research, Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University
* tsk-sas@for.agr.hokudai.ac.jp

DOI:10.14943/ResBull-HUF.72.1

1. 緒言

昨今の気候変動の影響により、個々の台風の降水量や最大風速の増加が予想される（IPCC 第 4 次評価報告書 2007）。その傾向はすでに現出しており、札幌市における各年の最大瞬間風速は 1999 年以前の平均値と比べて 2000 年以降の平均値は有意に増加している（気象庁 HP 2021）。強風の際、街路樹や公園樹が倒伏すると人的・物的・社会的被害を及ぼす危険性があるが、気候変動の影響により倒伏被害の増大が予想され、その対策は急務である。

ニセアカシア（*Robinia pseudoacacia*）は北米原産の樹種であるが、窒素固定菌と共生し成長が早いことなどから明治時代以降、街路樹や治山緑化を目的として北海道から九州までの日本各地に植栽されてきた（真坂 2013）。道内においてもほとんどの地域で植栽に適しているとされ、札幌市、岩見沢市、北見市、室蘭市などに 28083 本が街路樹として植栽されている（国土技術政策総合研究所 2018）。2004 年台風 18 号襲来の際には道内の街路樹・公園樹に甚大な被害が発生したが、街路樹ではナナカマドに次いで 2 番目に被害本数が多く、植栽本数当たりの被害率もポプラ類に次いで 2 番目に高かった。公園樹においてもニセアカシアの被害本数は樹種別で最多の 1801 本であった。また、被害形態は根返りが公園樹・街路樹ともに 6 割前後を占め、多くの個体が倒伏に至ったことがわかる（北海道立林業試験場 2005）。札幌市では、成長が早く管理コストが高いことや根返りを起こして倒伏しやすいことからニセアカシア街路樹の他樹種への植え替えが進められているものの、依然として樹種別では 4 番目に多い 16957 本が植栽されている（札幌市建設局 2019）。

白色腐朽菌ベッコウタケ（*Perenniporia fraxinea*）は広葉樹の生立木に寄生、または枯死木に腐生し、根株心材部を腐朽する（伊藤 1974）。日本では北海道から九州においてニセアカシアやサクラ類への子実体発生が確認され、腐朽木は強風の際に根返りを起こして倒伏しやすくなったり、稀に枯損被害が起きたりすることが知られている（秋本 1978、林ら 1984、阿部 2017）。2018 年台風 21 号によって北大構内に生育するニセアカシアの一部が根返りして倒伏した際、倒伏個体数は健全木が 800 本中 15 本（1.9%）であったのに対し、ベッコウタケ子実体が発生していた個体では 76 本中 19 本（25%）に上り、腐朽木の倒伏率は健全木と比べておよそ 10 倍に及んだ。

根株腐朽菌の風害抵抗性への影響については、黒田ら（1994）が風害を受けたカラマツ人工林で調査した例などがあり、カラマツ腐朽木の被害形態は根返りではなく、樹幹の根元付近で樹幹が曲げ破壊する幹折れとなることを報告している。一方、ニセアカシアのベッコウタケ腐朽木では、地上部の樹幹への腐朽の進展が遅く、側根が腐朽して小さくなった根鉢が露出して倒伏する結果、典型的な根返りの破壊形態をとることが多い。

街路樹の倒木・枝折れ・幹折れなどによる被害を防ぎ、快適な道路空間を維持する目的で各自治体において街路樹診断がなされている。全体の樹勢や各部位の健全度を視覚的に判断したり、木槌による打診音を聞いて材質を判断したりすることに加えて、機器診断を用いる場合もある（東京都建設局 2014）。これは腐朽による材組織の分解や密度低下を利用するもので、貫入抵抗を測定する方法、放射線の透過量を測定する方法、電波や音の伝播速度を測定する方法などがある（飯塚 2007）。

このうち音波については内部の腐朽や空洞が伝播速度へ及ぼす影響について研究されており（永石 1997）、市販の測定機器ではファコップ（FAKOPP）がある（飯塚ら 2019）。小林ら（2006、2008）はカラマツ立木について、腐朽木の伝播速度は健全木と比べて低下するが、腐朽部の直径が樹幹径の 3 割に満たない場合は判別できないと報告している。ファコップはハンマーによるセンサーの打撃によって生じた応力波の伝播時間を測定する機器であるが、アーボソニック・ドクターウッズといった複数のセンサーを用いる測定器に比べると安価であり、使用可能性の検討価値が十分あるといえる。

本研究の目的は、ニセアカシアに発生する子実体発生状況を指標として、ベッコウタケ腐朽木の根返り耐力の低下影響を明らかにすることである。まず、ニセアカシアのベッコウタケ子実体の発生状況を 2016 年、2018 年、2020 年と隔年で調査し、その経年変化を明らかにした。加えてニセアカシアの根返り耐力の評価を行い、調査データを用いて根返りの危険性を簡便に推定できないかどうか検討を行った。危険性

が予め認識されていれば、危険木を伐採したり、付近への立ち入りを制限したりすることにより倒伏被害の軽減を図ることができる。

2. 材料と方法

2.1. 供試木

2016年、2018年、および2020年に北海道大学札幌キャンパス構内に生育する胸高直径（ D_B ）が10cm以上のニセアカシアを供試木とした。供試木数は2020年時点で870本であった。

ベッコウタケ子実体は1年生であり、通常6月頃から発生し始め、8~9月頃に肉厚で半円形で、黒、赤、黄色の縞紋を有する傘を形成していた。前年以前に発生した子実体が脱落せずに残っている場合もあったが、黒くくすんだ色や乾燥して白色を呈していたりするため、その年発生した子実体とは比較的容易に判別できた（Fig. 1）。

調査年の6~8月に供試木を観察し、その年新たにベッコウタケ子実体が発生しているかどうかを確認した。その上でまず供試木を以下の2種類に分類した。

- ・健全木 H：過去一度もベッコウタケ子実体の発生が確認されていない個体
- ・腐朽木 F：過去一度でも子実体発生が確認された個体

さらにFを子実体発生が初確認されてからの経過年数（最初の確認年を含む）などにより以下の6種類に分類した。

- ・F_A：2020年に初めて子実体発生が確認された個体（経過年数1年）
- ・F_B：2018年に初めて子実体発生が確認され2020年も発生が確認された個体（経過年数3年）
- ・F_C：2016年に初めて子実体発生が確認され2020年も発生が確認された個体（経過年数5年）
- ・F_D：2015年以前から子実体が発生しており2020年も発生が確認された個体（経過年数6年以上）
- ・F_S：過去に子実体発生が確認されたが2020年は発生が確認されなかった個体
- ・F_Z：2015年以前から子実体が発生しており2016年に引き倒し試験を実施した個体（経過年数2年以上）

ここで健全木としたのはベッコウタケ子実体の発生が確認できなかった見かけ上健全な個体であり、ベッコウタケ感染の有無は確認していない。

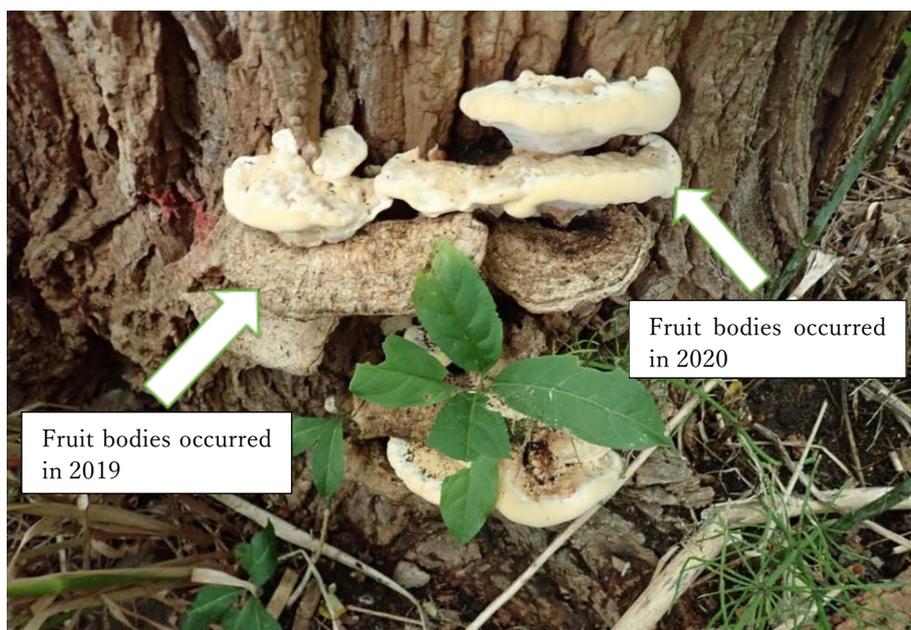


Fig. 1 Fruit bodies of *Perenniporia fraxinea* developed on *Robinia pseudoacacia* and those demarcation concerning occurred year (2020/08/04).

2.2. 引き倒し試験

ニセアカシアを対象とした引き倒し試験は過去にも行われており、健全木の根返り耐力は他樹種と比較して十分に大きい、腐朽木は根返りしやすいことが示唆されている（小泉ら 2007; 関矢ら 2009; 田村ら 2014）。本研究では子実体発生による根返り耐力の低下を定量的に評価する目的で、さまざまな子実体発生履歴をもつ 37 個体について引き倒し試験を実施し、荷重と樹幹の変位を測定した。供試木の内訳は H が 14 個体、 $F_A \sim F_D$ はそれぞれ 3 個体ずつ、 F_S が 1 個体、 F_Z が 10 個体である。供試木の樹齢は 10~39 年、胸高直径は 13.0~40.5cm の範囲であった。引き倒し試験は 2016 年（H の一部及び F_Z ）、2018 年（H の一部）、および 2020 年（ $F_A \sim F_D$ ）のいずれも 10~11 月に実施した。

供試木の樹幹に荷役用スリングを巻き付け、スリングに連結したワイヤーを手動ウィンチ（チルホール、能力 30kN）で巻き上げることにより供試木に引張荷重を加えた。スリングとワイヤーの間に連結したロードセル（共和電業製、LTZ-5TA）で荷重（ P ）を検出し、樹幹の地上高 1m 付近に設置した巻き取り式変位計（共和電業製、DTP-D-500S）で樹幹の水平変位（ δ ）を測定した。荷重および変位は 0.2 秒間隔でデータロガー（共和電業製、EDX-10A）に記録した。データロガーはタブレットあるいはノートパソコンに接続し、荷重と変位を随時確認しながら最大荷重を超えるまで加力した。なお、変位計高さ（ H_D ）、加力角度（ θ_L ）、および加力点高さ（ H_L ）は加力を行う前に測定した。また、加力方向については作業の都合から決定し、子実体の発生方位は考慮しなかった。試験の模式図を Fig. 2 に示す。

引き倒し試験で測定した荷重と水平変位から、(1) 式によって樹幹傾斜角（ θ_s ）を (2) 式によって根元モーメント（ M_R ）を、それぞれ、算出した。樹幹の回転中心は供試木の地際にあるものと仮定した。 θ_s の計算における樹幹の曲げ変形成分、 M_R の計算における樹木重心の水平移動による付加モーメントの影響は無視した。

$$\theta_s = \text{atan} \frac{\delta}{H_D} \quad (1)$$

$$M_R = P \cos \theta_L H_L \cos \theta_s + P \sin \theta_L H_L \sin \theta_s \quad (2)$$

ここで、 δ : 水平変位 (mm)、 H_D : 変位計高さ (mm)、 P : 荷重 (kN)、 θ_L : 加力角度 (rad)、 H_L : 加力点高さ (m)。

根元モーメントの最大値を根返りモーメント（ M_{up} ）とし、そのときの樹幹傾斜角を最大樹幹傾斜角（ $\theta_{s\text{-max}}$ ）とした。

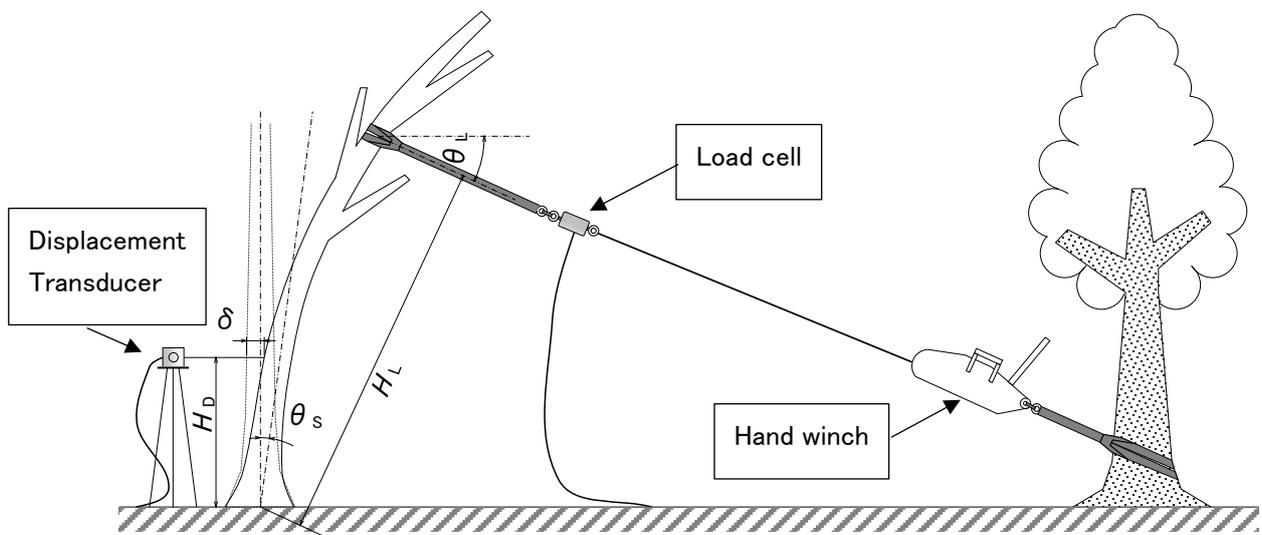


Fig. 2 Setup of pulldown test.

2.3. 子実体の調査

当該年に子実体が発生した供試木を対象として、2016年、2018年、および2020年のそれぞれ9月中旬以降に実施した。調査項目は、各立木で最高位に発生した子実体の高さとその発生方位角である。さらに、調査年に発生したと判断した子実体をすべて回収し、105℃で3日間乾燥後、全乾重量を測定した。

2.4. 応力波伝播速度測定試験

応力波伝播速度の測定にはファコップ（FAKOPP Enterprise 製）を用いた。供試木樹幹の同一高さで両側に2つのセンサーを打ち込んでおき、START センサーをハンマーで打撃し、STOP センサーが受信するまでの伝播時間を計測した。そしてセンサー間の直線距離を輪尺で計測して応力波伝播速度を算出した（Fig. 3）。センサー間に空洞が生じていると応力波はその部分を迂回して伝播するため算出した速度は低下する。また、応力波の伝播経路に腐朽が生じている場合、応力波の速度は低下するとされており（堀ら 2014）、いずれにせよ速度の低下により空洞部や腐朽の有無を判定可能である。

実験は健全木と腐朽木の全分類を含む826個体について2020年に実施した。測定に際して、地上高約20cmの高さにおいて2つのセンサーを樹幹の両側に1個ずつ、約25mm打ち込んだ。測定は、直交する2方向について5回ずつ行い、それぞれの方向について最大・最小値を除いた平均値を応力波伝播速度（ V ）とした。さらに、算出した2つのうちの小さい値を最小応力波伝播速度（ V_{\min} ）とした。



Fig. 3 Measurements of stress-wave velocity using a FAKOPP tester and a caliper.

3. 結果と考察

3.1. 子実体発生履歴による分類別個体数

調査対象であるニセアカシアの各分類別個体数を、Table 1 に示した。その年新たに子実体発生が確認された個体が2016年から順に17、8、16個体確認されており、ベッコウタケによる腐朽害が年々拡大していることが窺える。2018年、2020年の調査において、その前回調査で子実体が発生していた個体で継続的に子実体が発生していた割合は順に97.1%、92.5%と高く、子実体が発生すると、ほとんどの個体で翌年以降も発生し続けることがわかる。なお、 F_B 、 F_C 、 F_D の個体数の減少は、本研究による引き倒し試験の実施と2018年21号台風による倒伏によって腐朽木が減少したためである。腐朽木の割合は2016年から順に9.6%、8.7%、7.9%と徐々に低下しているが、これも上述の要因によると考えられる。

次に、2020 年調査における健全木と腐朽木の径級別個体数と腐朽木率を Fig. 4 に示す。径級の小さいうちはベッコウタケの子実体が発生することはほとんどないが、胸高直径 (D_B) の増加に従って腐朽木率が増加することが判明した。これは、ベッコウタケによる腐朽が樹齢に伴って徐々に進行することを示唆している。一方で、 D_B が 80cm を超えると腐朽木率は低下しており、大径の腐朽木は倒伏や枯死により個体数が減少していくことが推察される。

Table 1 Number of sample trees classified according to the history of fruit body

Survey year	H	F _A	F _B	F _C	F _{D,Z}	F _S	Total
2016	757(90.4)			17(2.0)	62(7.4)	1(0.1)	837
2018	813(91.3)		8(0.9)	17(1.9)	50(5.6)	2(0.2)	890
2020	801(92.1)	16(1.8)	3(0.3)	9(1.0)	37(4.3)	4(0.5)	870

H: Without fruit body, F_A: With fruit bodies occurred in 2020 for the first time, F_B: With fruit bodies occurred in 2018 for the first time, F_C: With fruit bodies occurred in 2016 for the first time, F_{D,Z}: With fruit bodies occurred from 2015 or earlier, F_S: With fruit bodies occurred in earlier years but not occurred in the surveyed year.

Values in parentheses are ratios to total number (%).

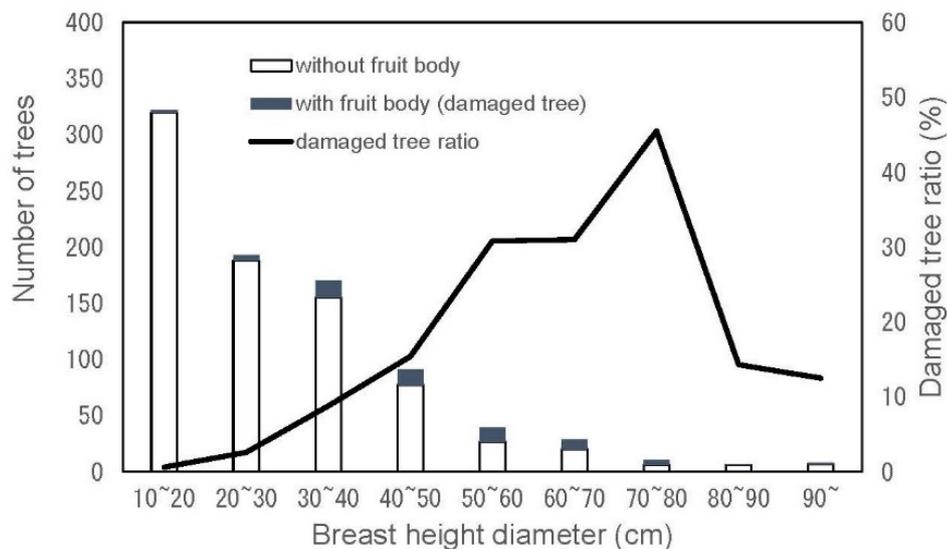


Fig. 4 Ratio of damaged trees (with fruit body) in relation with their breast-height-diameter classes surveyed in 2020.

3.2. 胸高直径と根返りモーメントの関係

引き倒し試験の供試木 37 本中、根返りで破壊した 32 本の結果を Table 2 に示す。また、根返りで破壊した供試木の胸高直径 (D_B) と根返りモーメント (M_{up}) の関係を Fig.5 に示した。既往の研究から、同一樹種で土壌条件が同様の健全木であれば、 M_{up} は D_B の 1.4 乗から 3.2 乗に比例することが知られている (小泉 2020)。北海道大学構内のニセアカシアのうち、過去に子実体が発生していない健全な 12 個体についても、この関係がよく当てはまっており、健全木の根返りモーメント (M_{up-H} , kNm) と D_B (cm) との関係の回帰式として (3) 式が得られた。

$$M_{\text{up-H}} = 0.0218 D_B^{2.53} \quad (3)$$

既往の研究で得られた回帰式と比較しても今回の健全木の根返りモーメントは十分に大きく、山林や防風林に生育する広葉樹と同様の耐力を示した（小泉 2020）。

腐朽が根返りモーメントに及ぼす影響をみるために、(3) 式による健全木の推定値 ($M_{\text{up-Hest}}$) に対する根返りモーメント (M_{up}) の比を根返り耐力比 (M_{ratio}) として示した (Table 2)。子実体発生年数別に根返り耐力比の平均値を示した Table 3 を見ると、必ずしも子実体発生が初確認されてからの年数が長いほど根返り耐力が低下するとはいえないことがわかる。初めて子実体が発生した F_A の根返り耐力比平均値は 0.56 と低く、全腐朽木の平均値：0.688 より低かった。一方、子実体発生から 5 年経過した個体でも $M_{\text{up-Hest}}$ を約 15% 上回る根返りモーメントを示したものがあつた (Table 2 の No.19 供試木)。これらのばらつきは、引き倒し試験において引張側になった根系の腐朽度が影響したのかもしれない。いずれにしても、子実体が確認された個体では倒伏危険性が高いことがわかつた。

Table 2 Result of pull down test.

No.	Category	Elapsed years	Age (year)	D_B (cm)	H_T (m)	M_{up}	θ_S	$M_{\text{up-Hest}}$	M_{ratio}
1	H		18	13.0	6.2	9.6	5.5	14.3	0.672
2	H		25	18.3	10.1	26.0	6.7	34.1	0.764
3	H		27	19.3	20.6	40.2	8.7	39.0	1.031
4	H		29	19.6	25.7	60.9	13.8	40.5	1.502
5	H		14	23.0	22.0	56.1	16.4	60.8	0.924
6	H		24	24.1	22.1	70.7	7.6	68.4	1.033
7	H		12	25.5	19.0	75.1	13.5	78.9	0.952
8	H		32	30.7	13.1	120.5	7.1	126.2	0.955
9	H		29	33.0	15.0	136.6	5.9	151.5	0.902
10	H		15	13.8	15.3	19.7	7.7	16.7	1.181
11	H		26	16.6	9.2	35.0	7.6	26.6	1.313
12	H		24	29.5	14.7	117.8	24.8	114.1	1.033
13	F_A	1	37	20.7		21.8	9.2	46.5	0.468
14	F_A	1	33	25.6		75.4	14.2	79.7	0.946
15	F_A	1	40	22.2	15.8	14.7	11.2	55.6	0.265
16	F_B	3	10	15.8		12.6	18.3	23.5	0.536
17	F_B	3	39	33.5		177.7	6.8	157.3	1.129
18	F_B	3	22	35.1	16.5	130.2	4.5	177.0	0.735
19	F_C	5		31.7	24.9	157.2	5.9	136.8	1.149
20	F_C	5	26	37.4	17.1	121	22.4	207.9	0.582
21	F_D	6 or more	17	17.1	19.1	30.4	3.6	28.7	1.059
22	F_D	6 or more		37.9	22.9	97	6.5	215.0	0.451
23	F_Z	2 or more	31	40.3	20.6	124.4	13.7	251.1	0.495
24	F_Z	2 or more	34	19.5	14.4	32.8	7.4	40.0	0.820
25	F_Z	2 or more	27	27.4	28.3	52.9	5.8	94.6	0.559
26	F_Z	2 or more	34	29.9	27.6	110	9.1	118.0	0.932
27	F_Z	2 or more	34	32.5	28.2	99.2	3.7	145.7	0.681
28	F_Z	2 or more	34	35.4	23.7	139.2	5.5	180.9	0.769
29	F_Z	2 or more	32	35.4	25.2	100	3.3	180.9	0.553
30	F_Z	2 or more	33	37.5	22.5	152.4	7.0	209.3	0.728
31	F_Z	2 or more	31	38.1	27.4	120.9	5.7	217.9	0.555
32	F_Z	2 or more	29	40.5	29.2	85.6	6.0	254.3	0.337

Notes: Category: Refer to Table 1, Elapsed years: Elapsed years after fruit bodeis occurred for the first time (including the first year).

D_B : Breast height diameter, H_T : Tree height, M_{up} : Uprooting moment, θ_S : Inclined angle of a stem at the uprooting moment, $M_{\text{up-Hest}}$: Estimated uprooting moment calculated using Eq. (3) fitted for trees without fruit body, M_{ratio} : $M_{\text{up}}/M_{\text{up-Hest}}$.

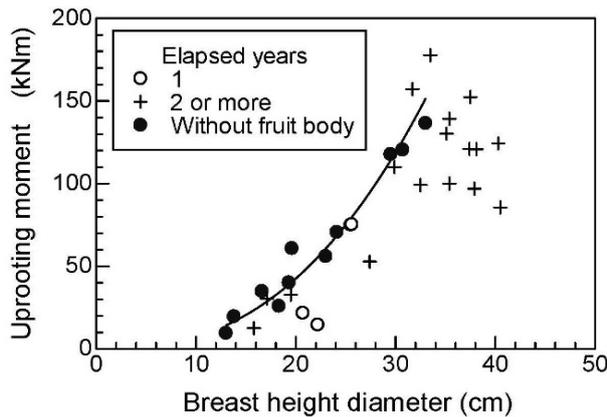


Fig. 5. Comparison of uprooting moment-breast height diameter relationship between undamaged trees and decayed trees with fruit bodies.
Elapsed years: Refer to Table 2. A solid line is a regression line determined for trees without fruit body (Eq.3).

Table 3 Average uprooting moment ratio ($M_{up}/M_{up-Hest}$) for fungi damaged trees categorized according to elapsed years after the

Elapsed years	$M_{up}/M_{up-Hest}$
1	0.560
2 or more	0.643
3	0.800
5	0.866
6 or more	0.755

3.3 子実体の発生方位、高さ、および重量

最高位に発生した子実体は樹幹の東側で多く、西側で少ない傾向であった。ただし、個々の腐朽木の立地環境は記録しなかったため、その理由は不明である。次に子実体発生方位の変化傾向をみるために、2016年から2020年の間の最高位子実体発生方位角の変化量の絶対値をとり、45°以下、45~90°、90°以上の3階級に分類してそれぞれの個体数の割合を Fig. 6 に示した。90°以上変動した個体が4分の1以上あった一方、半数以上の個体で最高位子実体発生方位角の変動は45°以下にとどまった。このことから、子実体発生位置の樹幹円周方向への経年移動量はあまり大きくないといえる。

2020年に測定した子実体最高発生高さ (H_{max-f}) の平均値を子実体発生年数別に示したのが Fig. 7 である。 H_{max-f} は子実体発生年数が長くなるにつれて概ね増加しており、とくに子実体発生6年以上経過したものはそれ以外の各水準と比べて有意に増加していた。したがって、子実体が樹幹上部に発生している個体ほど長い期間腐朽被害を受けている可能性が高い。言い換えると、腐朽被害は樹幹からではなく根系あるいは地際付近から生じ、徐々に樹幹上部に拡大していくことを示している。なお、2020年調査における H_{max-f} の最大値は136cmであった。阿部 (2014) はベッコウタケによる被害が進むと腐朽は地上2mに達すると報告しており、子実体の発生が確認された個体の H_{max-f} は今後さらに高くなる可能性がある。なお、引き倒し試験を実施した腐朽木に関して、子実体の最高発生高さ と健全木に対する根返り耐力比との間に相関は認められなかった。

2020年に発生した子実体の全乾重量 (W_{FB}) の平均値を子実体発生後年数別に Fig. 8 に示した。 W_{FB} の平均値は腐朽年数の増加にしたがって増加しており、子実体発生6年以上経過したものは初めて発生したものと比べて有意に増加していた ($p < 0.001$)。 W_{FB} が大きいほど長期間腐朽が進行していた可能性が高いと考えられる。木材腐朽菌の子実体が発生したとき、一般に大型の子実体が発生したり、小型の子実体が多数発生したりする場合は、樹体内部の腐朽がかなり進んでいると考えてよいと報告されており (阿部2014)、今回の結果もこれを定量的に示すものである。

2016年、2018年、2020年の3回子実体調査を実施した46個体について、調査年ごとの平均値を比較した (Fig. 9)。平均値は徐々に増加しており、2016年と2020年の間においては平均値が有意に増加していた ($p < 0.05$)。これより、腐朽木は年数の経過に従って腐朽被害が進行し、子実体の発生量が増加していくことが示された。

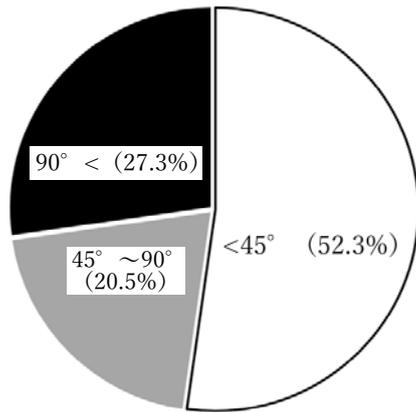


Fig. 6 Percentages of amount of change in azimuth angle of the highest fruit body projection.

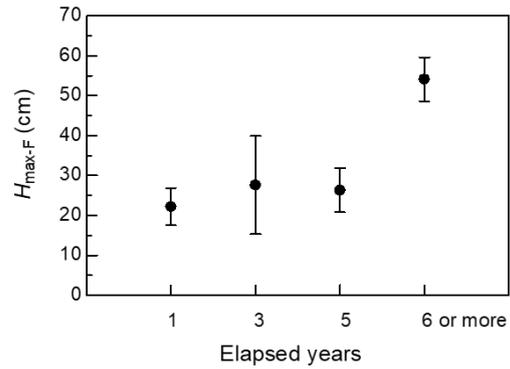


Fig. 7 Height of the highest fruit body for damaged trees ($H_{\max-F}$) in relation with elapsed years after the first fruit-body occurrence. Error bars denote standard deviations.

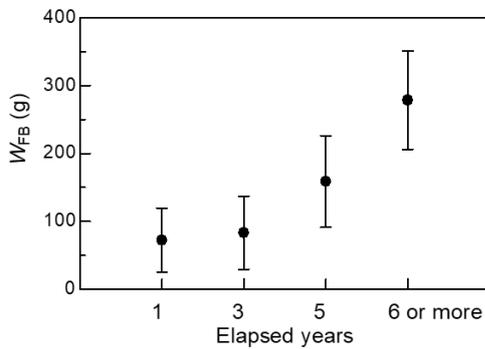


Fig. 8 Variation in oven-dry weight of fruit bodies for damaged tree (W_{FB}) in relation with elapsed years after the first fruit-body occurrence. Error bars denote standard deviations.

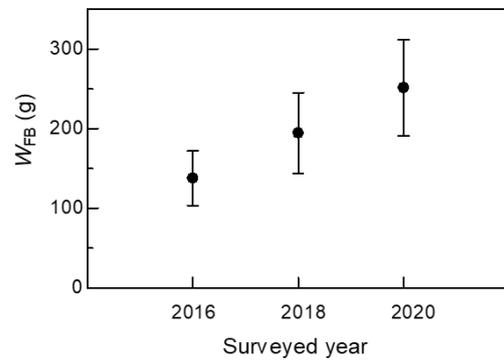


Fig. 9 Increase in oven-dry weight of fruit bodies (W_{FB}) for 46 sample trees. Error bars denote standard deviations.

3.4 子実体重量が根返りモーメントに及ぼす影響

子実体全乾重量 (W_{FB}) と根返り耐力比 ($M_{up}/M_{up-Hest}$) の関係を Fig. 10 に示す。 W_{FB} が増加するにしたがって $M_{up}/M_{up-Hest}$ が減少する傾向が見られ、両者の間に有意な負の相関 ($r=-0.48$) が認められた ($p < 0.05$)。とくに、 $M_{up}/M_{up-Hest}$ の上限値は W_{FB} が増加するにつれて減少しており、 W_{FB} が約 200g 以上の腐朽木は根返り耐力が低下している可能性が高いことがわかった。一方 W_{FB} が約 100g 以下では、 $M_{up}/M_{up-Hest}$ のバラツキが大きかった。これらの個体のうち、 $M_{up}/M_{up-Hest}$ が低かった個体については、 W_{FB} 以外の他の要因が影響したことも考えられる。

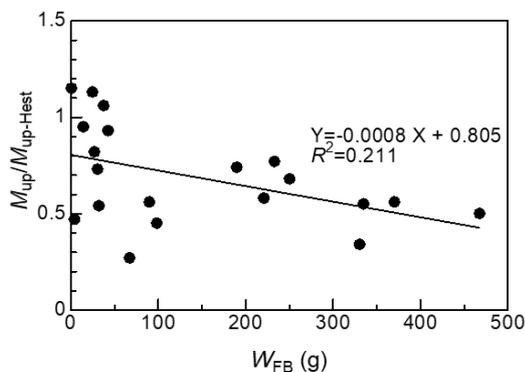


Fig. 10 Relationship between fruit-body weight (W_{FB}) and uprooting moment ratio ($M_{up}/M_{up-Hest}$)

3.5 応力波伝播速度

供試木の子実体発生後年数別の最小応力波伝播速度 (V_{\min}) の平均値を Fig. 11 に示す。子実体発生 6 年以上経過した個体の V_{\min} は健全木と比較して有意に低下していた ($p < 0.01$)。このことから長期間子実体が発生し続けて腐朽が進行した個体では V_{\min} が低下する可能性が示唆された。

応力波伝播速度測定は樹幹水平方向において互いに直角な 2 方向について実施したが、各個体の 2 方向の応力波伝播速度の差の絶対値の平均値を子実体発生年数別に Fig. 12 に示す。健全木の平均値 (96.6m/s) に対して全腐朽木の平均値 (175.3m/s) は有意に増加していた ($p < 0.001$)。健全木であれば測定断面はほぼ均質であるため伝播速度の方向差は小さいと考えられる。一方、腐朽木では測定断面のどこかに何らかの欠損や腐朽が生じており、2 方向の伝播経路で腐朽程度が異なる結果、伝播速度の方向差が増加したものと推察される。

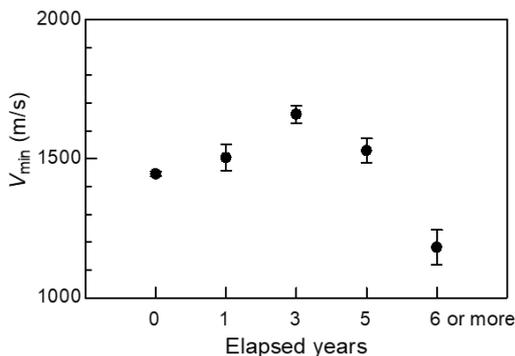


Fig. 11 Variation in radial stress wave velocity (V_{\min}) with elapsed years after the first fruit-body occurrence.

Zero elapsed year means trees without fruit body.

Error bars denote standard deviations.

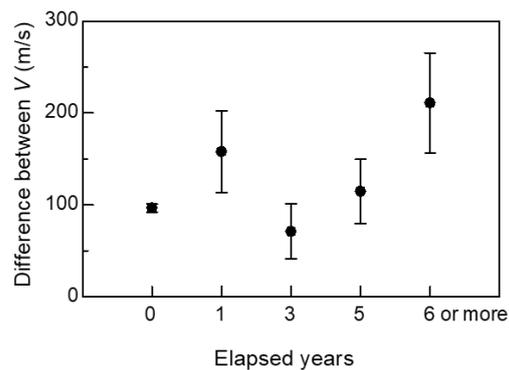


Fig. 12 Difference between 2 V values observed for perpendicular directions according to elapsed years after the first fruit-body occurrence.

Zero elapsed year means trees without fruit body. Error bars denote standard deviations.

4. 結言

北海道大学構内に生育するニセアカシアに発生したベッコウタケ子実体の発生状況の調査を 2016 年、2018 年、および 2020 年に実施した。いずれの調査年においても、新たに子実体が発生した個体が確認され、ベッコウタケによる腐朽害が年々拡大していることが判明した。また、9 割以上の腐朽木でその次の調査においても子実体の発生が確認され、一度子実体が発生するとその後も発生し続ける可能性が高いことがわかった。

子実体が発生していない健全木に加え、子実体の発生が確認されてからの経過年数が異なる腐朽木について引き倒し試験を実施した。その結果、子実体が継続して発生していた個体で、必ずしも根返り耐力が低下しているわけではなかった。一方で、はじめて子実体の発生が確認された個体でも、根返り耐力が大きく低下し倒伏危険性が增大している可能性があった。全腐朽木の健全木に対する根返りモーメント比は 0.688 であった。

最高位の子実体発生方位はあまり変化しない個体が多く、樹幹円周方向にはそれほど腐朽は進展しないことが示唆された。一方で最高発生高さは子実体発生が確認されてからの経過年数が長い個体では増加することが認められ、腐朽被害は地際付近から次第に樹幹上部へと進行していくことが推察された。全乾重量についても子実体発生年数が長いほど増加する傾向が見られ、年数の経過とともに腐朽が進行していくことが予想される。

引き倒し試験の結果から導出した健全木に対する腐朽木の根返り耐力比と、子実体に関する測定項目との関係性を調べ、倒伏危険度の推定が可能かどうか検討した。その結果、子実体の全乾重量との間に有意

な相関が確認され、子実体の発生量が多いほど腐朽木の根張り耐力が低下し、倒伏危険性が增大することが示された。とくに全乾重量が約 200g を超えると、倒伏危険度が増加していることが示された。

樹木診断の手法の一つである、応力波伝播時間測定器ファコップの使用可能性を検討した。その結果、ファコップを用いて腐朽木や腐朽年数の長い個体を推定することが可能であることがわかった。

謝辞

本研究を行うに当たり多くの助言をくださった北海道大学大学院の澤田圭講師、子実体の採取・乾燥方法をご指導いただいた玉井裕教授、宮本敏澄講師、引き倒し試験にご協力頂いた北海道大学施設部の職員の皆様、株式会社札幌庭園の故佐藤克美氏、引き倒し試験や毎木調査にご協力いただいた木材工学研究室の皆様へ深く感謝いたします。

引用文献

- 阿部恭久 (2014) 樹木の腐朽病害の分類と診断・調査法. (所収): 堀大才(編著), 樹木診断調査法, 講談社, 東京都, 251-263
- 阿部恭久 (2017) 樹木の健全性を脅かす根株腐朽菌類. ツリードクター, 24: 12-18
- 秋本正信 (1978) ニセアカシアのベッコウたけ病, 光珠内季報, 34: 8-9
- 林康夫・遠藤克昭・真田勝・佐藤明 (1984) 札幌時計台ニセアカシアの枯損, 北方林業, 35(8): 206-210
- 北海道立林業試験場緑化センター (2005) 台風 18 号による緑化樹の被害調査報告書. 13-22
- 飯塚康雄 (2007) 機器による樹木腐朽診断, 樹木医学研究, 11(3): 135-139
- 飯塚康雄・舟久保敏 (2019) 街路樹の倒伏対策の手引第 2 版. 国土技術政策総合研究所資料第 1059 号【別冊】街路樹の点検・診断, 55
- IPCC (2007) 第 4 次評価報告書第 1 作業部会報告書政策決定者向け要約(気象庁訳). 15
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/03/ar4_wg1_spm_jp.pdf (2021 年 3 月 18 日閲覧)
- 伊藤一雄 (1974) 樹病学大系, 3pp, 143-145
- 気象庁 HP (各種データ・資料 過去の気象データ検索 札幌 年ごとの値)
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/annually_s.php?prec_no=14&block_no=47412&year=&month=&day=&view= (2021 年 3 月 18 日閲覧)
- 国土技術政策総合研究所 (2018) わが国の街路樹Ⅷ. 国総研資料第 1050 号, 134
- 小林元・古賀信也・田代直明・大崎繁・山内康平・鍛冶清弘・内海泰弘・岡野哲郎 (2006) カラマツ生立木の非破壊腐朽診断—応力波測定法と打診法の比較, 樹木医学研究, 11: 9-12
- 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(3): 119-124
- 小泉章夫・平井卓郎・笠康三郎・中原亮・新谷克教・清水英征 (2007) ニセアカシア街路樹の耐風性, 北大演習林研報, 64(2): 105-112
- 小泉章夫 (2020) 樹木の風倒のメカニズム, 北方林業, 71(2): 45-49
- 黒田吉雄・大澤正嗣・勝谷敬三 (1994) カラマツ人工林内の根株心腐病による幹折れ被害, 日本林学会誌, 76(2), 157-159
- 真坂一彦 (2013) 外来種ニセアカシアを取りまく言説とその科学的根拠. 日本森林学会誌, 95(6): 332-341
- 永石憲道・神庭正則・笠松滋久・渡辺直明 (1997) 音速測定を用いた樹木内部欠陥診断, 樹木医学研究, 1: 35-42
- 札幌市建設局みどりの推進部 (2019) 札幌市街路樹樹種別一覧. 札幌市の公園・緑地(令和元年度), 322
- 関矢陽・石原亘・小泉章夫・平井卓郎・佐々木義久・橋本俊市・宮本敏澄 (2009) ニセアカシアの根張りモーメントの評価試験, 日本木材学会北海道支部講演集, 41: 31-34

- 田村圭司・日野健・大野亮一・榎本雅一・西川静一・藤堂千景 (2014) ニセアカシアの衰退と立木の引き
倒し抵抗力. 第 63 回平成 26 年度砂防学会研究発表会, 新潟市
東京都建設局公園緑地部 (2014) 平成 26 年度街路樹診断マニュアル. 42
山田利博 (2014) 機器などを使った樹木の健康診断と危険度診断の方法. (所収): 堀大才 (編著), 樹木診断
調査法, 講談社, 東京都, 294

Summary

Robinia pseudoacacia has often been planted as a roadside or park trees in Hokkaido. However, trees decayed with the white rot fungus *Perenniporia fraxinea* could be in danger of falling down with uprooting caused by strong wind. If we could distinguish trees susceptible to uprooting damage, then we could prepare for the attack of the stormy winds. This study aimed to evaluate the effects of *P. fraxinea* decay on the uprooting moment. We conducted pull down tests on *R. pseudoacacia* including both sound trees and decayed trees with fruit bodies. We also surveyed the appearance of the fruit bodies of the decayed trees over 5 years and measured the radial stress-wave velocities of *Robinia* tree trunks grown at the Hokkaido University campus. The results showed that fruit bodies developed on 8—10 % of 837—890 trees. Fruit bodies tend to generate on trees of large diameter and to generate every year after the first fruit-body occurrence. Uprooting moments for the decayed trees with fruit bodies were found to be 69 % of the estimated values based on the regression equations determined for sound trees. Trees with fruit bodies heavier than 200 g were found to be susceptible to uprooting damage. Although the period of fungus infection seemed to affect the height of fruit body generation and radial stress wave velocity, we could not determine those effects on the uprooting moment.

Key words: *Robinia pseudoacacia*, *Perenniporia fraxinea*, uprooting moment, fruit body weight, stress wave velocity