

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 26 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K07861

研究課題名(和文) 林業機械によるトドマツ幹・根系損傷がもたらす腐朽被害のリスク評価

研究課題名(英文) Risk assessment of decay on Sakhalin-fir consequent of wounds on stems or roots injured by logging machines

研究代表者

山口 岳広 (Yamaguchi, Takehiro)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：00353897

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：林業機械作業の主流化に伴い北海道の主要な造林樹種であるトドマツでは機械による幹・根系損傷がもたらす腐朽被害が懸念されている。そこでトドマツの幹・根系の傷から生じた腐朽の進展状況を非破壊的探査機器や解体により調査し、損傷後年数から進展速度を推定した。また、侵入した腐朽菌を同定して関与する腐朽菌を明らかにした。その中でレンガタケが最も優占的に分離された。レンガタケを剥皮処理後にトドマツ幹に接種して腐朽の進展速度を推定した。これらの結果をもとに腐朽被害発生リスク評価を試み、傷の面積が腐朽の進展に最も重要な因子であることが明らかとなり、腐朽を低減する作業指針などに活用することが可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

林業機械によるトドマツ幹・根系の損傷がもたらす腐朽被害に関わる腐朽菌として、北海道内でもレンガタケが多く関与しており最も警戒すべき腐朽菌であること、その他にも多様な腐朽菌が関与していることが明らかとなった。接種試験によりレンガタケの腐朽進展能力を実験的に明らかにすることができた。また、剥皮処理後に接種を行うことでレンガタケやカワラタケの腐朽が格段に進展することが判明し、今後の接種試験に応用できる可能性が示された。これらの結果をもとに腐朽被害発生リスク評価を試みることで、腐朽を低減する作業指針などに利用できる可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：As the harvest operations using logging machinery are more common, there is concern about decay damage consequent on mechanical wounds to stem or root systems on Sakhalin fir (*Abies sachalinensis*), a major tree species in Hokkaido, northern Japan. We investigated the advance of decay caused by the wounds on the stem and root system on the fir using a nondestructive decay-detecting device. The rate of decay advance was estimated from the passed years after the wounding. The fungi isolated from the decayed wood were identified. *Heterobasidion orientale* was the most dominant species within the fungi isolated from the decayed wood. In addition, *H. orientale* was inoculated into the fir with partly removing the bark on the stem, and the ability of decay advance was estimated. Based on these results, we assessed the risk of decay damage consequent on mechanical wounds by logging machinery. Area of wound was found the most important factor for the advance of decay.

研究分野：森林病理学、腐朽菌学

キーワード：トドマツ 林業機械作業 腐朽菌 機器・根系損傷 レンガタケ カワラタケ 条件付き推測樹木法

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

トドマツは北海道に自生する針葉樹であり、道内の人工林でも最大の面積を占める主要な樹種である。トドマツ人工林は現在多くの林分が高齢級に移行し、間伐や主伐を行う林分が増加している。北海道においては林地の傾斜が比較的緩い人工林が多いことから、近年は効率化・省力化のためにハーベスタ・フォワーダなどの車両系高性能林業機械を用いた伐採・搬出作業が主流となっている。ただ、重量のある林業機械が林地内を直接走行して伐倒・搬出作業を行うことは、残存するトドマツ生立木の幹・根系を損傷しやすく、そこから腐朽菌が侵入して材質劣化に結びつく可能性が高い。特にトドマツは、幹の損傷から腐朽が進展しやすいとされ(徳田 1996、徳田 1998、地方独立行政法人北海道立総合研究機構林業試験場 2015)、間伐作業後の残存木への材質劣化被害発生が危惧されている。しかし、どの程度の幹・根系損傷(サイズや重傷度)がどの程度の腐朽に進展するのか、どのような腐朽菌が関与するのかといった具体的な実態は解明が進んでいなかった。その理由の一つは、外観から腐朽被害進展の把握が困難なため、樹木を伐採し根や幹を切断・解体する破壊的手法が必要となり、調査例に限られるためである。近年非破壊的腐朽探査機器も開発されているが、これを利用した幹・根系損傷からの腐朽探査事例はまだ報告されていない。

立木への腐朽菌侵入には幹や根系の材まで達する傷が必要であるが、トドマツ立木の傍らを走行する林業機械と樹木との距離や樹木のサイズ、往復回数や枝条や積雪により、根に発生する損傷がどのように変わるかについては、林業機械の走行実験によって明らかにされている(倉本ら 2013、山口ら 2014)。しかし、損傷後の腐朽リスクを評価する上で重要なファクターである腐朽菌の種類や腐朽の進展速度については、まだ解明されていない点が多い。北欧では林業機械によるヨーロッパトウヒの幹の損傷を想定した実験を行い、損傷部から侵入する腐朽菌も含めた微生物相を調べている(Roll-Hansen & Roll-Hansen 1980)。国内では、トドマツの幹へのシカの食害や間伐時の傷に由来する腐朽菌類が調べられ、レンガタケが多く分離されたという報告(徳田ら 1996)はあるが、北海道内全域はまだ広範に調査されていない。また、表層部根系損傷から侵入する腐朽菌についても同様である。さらに、これらの腐朽菌の種類や頻度、また各々の腐朽菌の腐朽力の程度について詳細な研究は行われていない。

機械作業による幹や根元の損傷についての研究レビュー(Vasiliauskas 2001)では、幹・根系の損傷のサイズや程度と腐朽の関係について、傷面積や欠損程度が大きいほど傷の修復が遅れて、材の腐朽や変色に至る割合が高くなり、樹体内の腐朽・変色範囲が大きくなる傾向も示されている。しかし、その多くはヨーロッパトウヒの幹損傷に関する研究で、モミ類での例は少なく、さらに根系損傷での研究例もわずかである。地域も樹種も異なる日本のトドマツでは、侵入する腐朽菌の種類が共通種あるいは近似種である可能性と、それらとは全くの別種である可能性があり、それぞれにより進展速度も違っていると推測される。さらに損傷部位、損傷サイズや損傷程度の差異が腐朽進展にどの程度影響を与えるのかを調査する必要がある。

### 2. 研究の目的

(1)本研究では、非破壊的探査機器を用いてトドマツの幹や根系の傷から生じた腐朽の進展状況を多数調査し、損傷後の年数から進展速度を明らかにして、傷のサイズ、位置、受傷程度との関係を解析するとともに、損傷部位から侵入した腐朽菌の種を同定して腐朽に関与する種類を明らかにする。また、意図的にトドマツの幹・根系を損傷させる実験を行い数年経過後に伐採・解体して詳細な腐朽進展状況を調査する。

(2)被害を受けたトドマツの腐朽材から分離された菌について、実験的にいくつかの腐朽菌をトドマツに人工的に接種し、それぞれの腐朽菌における腐朽進展能力や進展速度など、腐朽リスク評価に必要なと考えられるデータを集積する。

(3)さらに、以上の研究から得られたデータを元に、傷のサイズ等の関係なども考慮して幹・根系損傷による腐朽被害のリスクをモデル化することでリスク評価を行う。これにより、どのような要因が腐朽の程度を左右するのが明らかにされ、腐朽を低減する作業指針などに活用されることが期待できる。

### 3. 研究の方法

(1)トドマツの幹・表層部根系損傷がもたらす腐朽の進展状況

間伐年や林業機械作業の履歴が判明している北海道内のトドマツ人工林で幹や表層部根系に損傷がある個体の傷の大きさや損傷程度を記録した。非破壊探査装置であるレジストグラフを用いて傷端から腐朽の進展を一定距離ごとに探査し軸方向の進展距離を求めた。北海道内各地のトドマツ林において林業機械作業による幹・表層部根系の傷 501 箇所をこの方法で調査した。個体により損傷後の経過年数が異なるので、軸方向の腐朽進展距離を損傷後経過年数(=間伐等作業実施からの経過年数)で除し、年当たりの腐朽の進展速度を求めた。

(2)損傷部から幹・根系に侵入した腐朽菌の分離・同定

上記の調査と同時並行的に成長錐を用いて腐朽部から腐朽材コアを採取しベノミール 10ppm 添加 PDA 培地を用いて腐朽菌の分離・培養を行ない形態や生理特性などを調べるとともに培養菌

株から DNA を抽出・精製して ITS 領域を ITS-1F~ITS-4B のプライマーで PCR により増幅し、DDBJ/Genbank のデータベースを利用して BLAST 検索を行ない塩基配列の相同性 (99%以上) をもとに種の同定を試みた。

### (3)意図的に幹・根系を損傷させたトドマツの腐朽進展状況調査

2012 年の 7 月 (夏期) と 2013 年 2 月 (冬期) に、あらかじめ選定したトドマツ立木に建機ベースの車両系林業機械を用いてフェラーバンチャータッチメントまたは履帯を意図的に当てて損傷させた。夏期は 37 本、冬期は 24 本の損傷処理を行なった。これらのうち 2017 年 11 月に 12 本、2018 年 11 月に 13 本を伐倒して試験に供した。損傷部端から上下方向に 10~30cm 間隔で玉切り、材の横断面画像をデジタルカメラで記録し、画像解析ソフト (ImageJ 1.52k、NIH、USA) を用いて各横断面における材断面積および腐朽断面積を計測した。軸方向の腐朽進展長は腐朽の先端部分を縦割りして測定した。腐朽の侵入が認められた場合は腐朽材から腐朽菌の分離を行ない、得られた腐朽菌の培養菌株菌糸片から上記(2)の方法で腐朽菌を同定した。

### (4)損傷由来の腐朽材から分離された腐朽菌の接種試験

幹・根系損傷部からの腐朽材から比較的高頻度で分離されたレンガタケ 2 系統をおがくず・米ぬか・水とシイタケ用種駒を混合し滅菌した培地を用いて 25℃ で 4 ヶ月間培養した。2014 年 7 月に、菌糸が十分に蔓延した接種源をトドマツ 5 本の幹地上高約 50、100、150、200cm の高さで対面する 4 方向から径 9mm の電動ドリルで穿孔後、培養した種駒 1 個ずつを打ち込んで接種した。接種試験は森林総合研究所北海道支所実験林内にあるトドマツ人工林 (接種時林齢 40 年生) で行った。半数の接種点では、種駒接種前に幹の損傷を模して接種点を中心に直径 11.3cm の円形 (面積 100cm<sup>2</sup>) に剥皮処理し接種を行なった。4 年後の 2018 年 7 月に接種木を伐倒し、接種点を基準に玉切りして軸上下方向の腐朽の侵入長を測定した。また玉切りした横断面をデジタルカメラで撮影した画像から画像解析ソフトウェア ImageJ を用いて腐朽変色断面積を求めた。

さらに、損傷部の腐朽材から分離されているカワラタケも同様に接種源を培養しトドマツの幹地上高約 5、55、105、155cm の高さで、一部は上述の面積 100cm<sup>2</sup> の剥皮処理を行った後にトドマツ 5 本への接種試験を行った。接種 1 年後に 3 本、2 年後に 2 本を同様に伐採・解体して普及の進展状況を調べるとともに腐朽菌の再分離を行った。

### (5)損傷がもたらす腐朽の進展に影響を与える要因の解析

上述の(1)の調査で得られた個々の傷面積、胸高直径、樹齢、年当たり直径成長 (= 胸高直径/樹齢) 損傷後経過年数、損傷部位 (幹・根系) 材露出の有無の調査データと、レジストグラフから得られた腐朽の有無、年当たり軸方向腐朽進展長、腐朽菌分離の有無の調査結果からデータセットを作成し、条件付き推測樹木法を用いて腐朽侵入の有無や腐朽進展速度に影響を与える要因の解析を行ない腐朽被害リスクのモデル化を試みた。

## 4. 研究成果

### (1)トドマツの幹・根系損傷がもたらす腐朽の有無および腐朽の進展状況

調査を行ったトドマツ幹・根系の損傷部 501 箇所のうちおよそ 4 割にあたる 202 箇所において材内に腐朽が侵入しており、残りの 6 割の傷では腐朽の進展は探査されなかった (図 1)。これらの腐朽の進展距離あるいは 1 年当たりの軸方向侵入長 (侵入長/損傷後年数) は非常にばらつきが大きかったが、幹・根系どちらの傷も傷面積が増大すると、侵入長も大きくなる傾向があり (図 2)、傷面積が腐朽の進展に影響を与えていることが示唆された。根系の傷は幹の傷に比べて小さい傷面積であっても年当たり侵入長が長い傾向が見られた。また、実際に傷から腐朽が侵入・進展しているものは腐朽が進展しないケースよりも傷面積が大きい傾向が見られた。また、レンガタケ (*Heterobasidion orientale*; 後述) が分離されるケースでは特に年当たりの腐朽進展長が大きい傾向が判明した (図 2)。

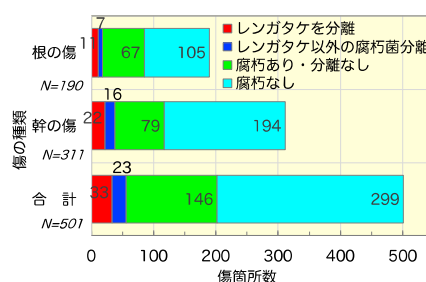


図 1 トドマツ幹・表層部根系の損傷部における腐朽侵入の有無と腐朽菌の分離頻度

### (2)損傷部から幹・根系に侵入した腐朽菌の分離・同定

損傷由来の腐朽材のうち幹の傷の約 3 割、根の傷の約 2 割から担子菌が分離された。それらの担子菌のうち、既に報告のあるレンガタケ (*H. orientale*) が幹・根の傷とともに発生した傷の約 7%、損傷がもたら

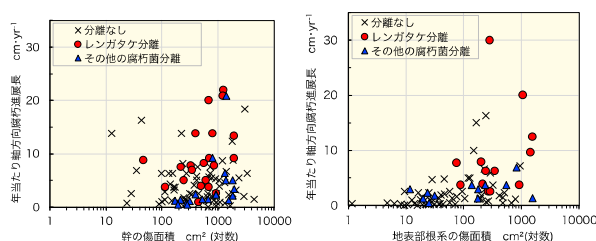


図 2 トドマツ幹・表層部根系の傷面積と年当たり軸方向腐朽進展長の関係

した腐朽のうち約1割の頻度で分離された(図1)。損傷後経過年数当たりの腐朽進展距離は2.5~20cm/年と幅があるが、他の担子菌に比べ大きい傾向があった。他に分離された担子菌類はほとんどが1~2例のみの低い分離頻度で、ナミダタケモドキ(*Serpula himantoides*)、カワラタケ(*Trametes versicolor*)、チウロコタケモドキ(*Stereum sanguinolentum*)、*Amylostereum areolatum*、*Sistotrema brinkmannii*、クログナラタケ(*Armillaria cepistipes*)、*Physisporinus furcatus*などが同定され、多様な腐朽菌がトドマツ幹・根系の傷から材内に侵入していることが明らかとなった。

### (3)意図的に幹・根系を損傷させたトドマツでの腐朽進展

伐採・解体して調査したトドマツ25本のうち20本には腐朽が侵入しており、そのうちの10本からは腐朽材から担子菌類が分離された。夏期の損傷木では4本から*Amylostereum chailletii*が、1本からレンガタケ(*H. orientale*)が、冬期の損傷木4本からは*A. areolatum*が分離され、損傷した季節によって侵入してくる腐朽菌の種類に明瞭な違いがあった。軸上方向の年当たり腐朽進展長は侵入した腐朽菌の種類によって、あるいは同じ腐朽菌であっても差が生じていた。レンガタケによる腐朽は1例のみであったが、他の腐朽菌に比べて腐朽進展長や腐朽材積が格段に大きく、この菌の腐朽能力が非常に強いことが示された。損傷の傷面積が大きいほど腐朽進展長、年当たりの腐朽進展長あるいは腐朽材積が大きくなる傾向が見られたことから、傷面積は腐朽進展長や腐朽材積に影響を及ぼすことが示唆された。

### (4)損傷由来の腐朽材から分離された腐朽菌の接種試験

剥皮処理後のレンガタケ接種で特に腐朽の進展が拡大し隣接および上下の接種点から進展した腐朽カラムと接して判別困難なケースが多く見られたが、計測可能であった腐朽変色の軸上方向の進展距離と接種点位置の横断面における腐朽変色断面積で比較を行ない、腐朽変色の軸上方向の進展距離は、剥皮処理後のレンガタケ接種で非常に大きく(図3)、最大で328.8cm(年当たり換算進展長82.2cm)、平均値で184.3cm(年当たり換算進展長46.1cm)であった。接種菌株間でも有意な差が見られた。一方で剥皮なしの接種および対照、剥皮+対照では軸上方向の進展距離は小さく、また全て変色のみの進展で腐朽までには至っていなかった。この接種試験によりレンガタケがトドマツに幹腐朽を起こすことが病理学的に証明された。また、剥皮処理を行うことで、接種したレンガタケは確実に定着し、軸方向にも半径・接線方向にも腐朽が格段に進展したことから、剥皮処理はレンガタケのトドマツ材への定着と腐朽進展を促進するような多大な影響を与えていると考えられる。

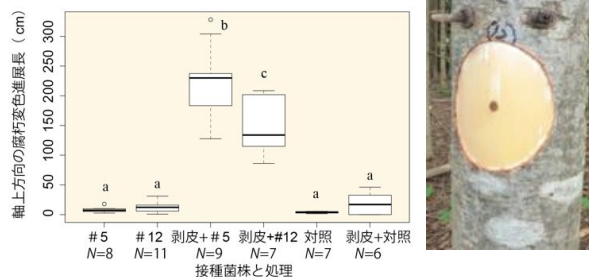


図3 レンガタケ2系統(#5、#12)をトドマツ幹に接種し4年後の軸方向(上方向)腐朽進展距離の比較。「剥皮あり」は右写真のように樹皮を100cm<sup>2</sup>の円形で剥皮し、その中心部に接種。(山口(2020)を改変)

カワラタケのトドマツ幹への接種試験でも剥皮処理後の接種で腐朽の進展が見られ、1年後の軸方向(上下平均)進展長の平均値は14.5cm、腐朽材積の平均値は22.1cm<sup>3</sup>、2年後には進展長平均値20.6cm、腐朽材積平均値は22.6cm<sup>3</sup>であった(表1)。剥皮処理を行わない接種においては接種2年後にわずかながら腐朽の進展が認められたが接種が成立した箇所数、軸方向腐朽進展長、腐朽材積ともに、剥皮処理を行った接種に比べて少ない値であり、剥皮処理=大きな傷面積がカワラタケでも腐朽進展に影響を与えることが明らかとなった。

表1 カワラタケのトドマツ幹接種試験の結果

接種後経過年数	接種方法	接種箇所数	腐朽進展箇所数	軸方向(上下の平均)腐朽進展長 cm 平均値(最小~最大)	腐朽材積 cm <sup>3</sup> 平均値(最小~最大)
1年	種駒のみ	15	0	—	—
	剥皮+種駒	9	9	14.5 (8.2~27.1)	22.1 (4.3~71.9)
	対照	12	0	—	—
2年	種駒のみ	10	2	8.0 (7.5~8.5)	2.2 (0.4~4.1)
	剥皮+種駒	6	6	20.6 (8.7~38.7)	22.6 (5.2~57.5)
	対照	8	0	—	—

### (5)損傷がもたらす腐朽進展に影響を与える要因の解析

腐朽の有無を目的変数として条件付き推測樹木法による解析結果では(図4)、まず傷面積約600cm<sup>2</sup>でノードが分岐された。さらにこの面積以下のノードは損傷後の経過年数18年で分割され、この年数を超えるものは傷露出の有無でさらに分岐される結果となった。つまり、傷面積の大きさが損傷から腐朽の侵入に大きく関与し、このモデルでは傷面積約600cm<sup>2</sup>が腐朽の有無を

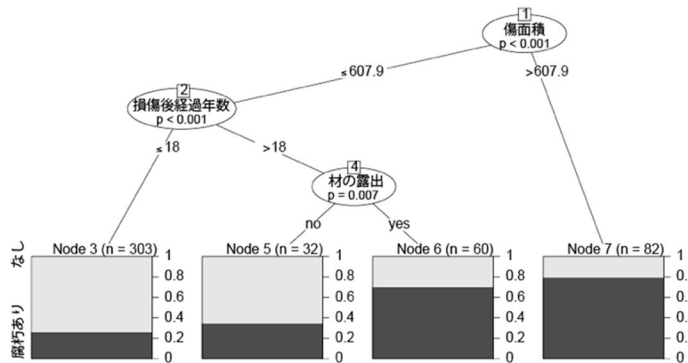


図4 損傷から侵入した腐朽の有無を目的変数、それに関わる各種因子を説明変数にした場合の条件付き推測樹モデル

表2 モデル構築に用いたデータと条件付き推測樹法から得られた予測値との比較

予測\実測	腐朽なし	腐朽あり	計
腐朽なし	245	90	335
腐朽あり	35	107	142
計	280	197	477

正答率=(245+107)/477×100  
=73.8%

判断する際の指標として使える可能性が示された。損傷から侵入した腐朽の有無について、モデル構築に使用した元データを用い当該樹木モデルから得られた予測値と実際の腐朽の有無（実測値）を比較すると表2のような結果となり、予測と実態が合致した正答率は(245+107)/477×100=73.8%で、およそ7割程度の予測が可能となった。ただし、今後予測の精度を高めるためにモデル改良の余地はあると考えられる。

#### (6)総合考察とまとめ

以上の成果から、トドマツ幹・表層部根系の損傷がもたらす腐朽の進展には、傷面積の大きさが重要な因子となっていることが明らかになってきた。傷面積が関与する理由として、それが増大することで空中を浮遊する腐朽菌の胞子が損傷部の材面に接触する機会が増加すること、また腐朽菌の定着・材内への侵入の際、損傷部の材部分においては菌の侵入に抵抗するための防御機能が低下し、菌の定着・侵入が容易となることが考えられる。さらに傷の開口部から菌の成長に必要な酸素が供給されやすくなり、傷が大きいほど開口部が巻き込みにより閉鎖するまでの時間が長くなることで、腐朽菌の進展・生存に有利に働いているのではないかと推測される。

トドマツ幹・表層部根系損傷部からの腐朽に関与する菌として最も優占的に分離されたレンガタケは現地調査あるいは接種実験でも非常に腐朽進展能力が高いことが明らかとなり、トドマツの損傷部から侵入する腐朽菌としては本菌を最も警戒すべきであろう。現地調査からは本菌の分離される割合は全ての傷のうちの7%程度とさほど高くないが、意図的損傷実験では損傷する季節・時期の違いで侵入する腐朽菌の種類が全く違うなど、季節あるいは地域・林分によって感染する腐朽菌の優先度が異なる可能性は十分にある。個々の腐朽菌の胞子飛散時期など生態的な側面も今後解明していく必要がある。

条件付き推測樹木モデルを用いることによって損傷部からの腐朽進展の有無に関しては傷面積・損傷後経過年数・材の露出の有無といった要因からリスク評価がある程度可能になったが、どの程度腐朽が進展するかといった量的予測についてのモデル構築までには至らなかった。この予測には侵入してくる腐朽菌の種類が重要な要因と考えられ、その中でもレンガタケの侵入・定着の有無が腐朽の進展に大きく影響すると推測されるが、現状では現場での判定が困難であることから、現場でも適応できるようなモデルに改善・改良していくことが今後の課題である。

#### <引用文献>

地方独立行政法人北海道立総合研究機構林業試験場(編)、トドマツ人工林施業の手引、地方独立行政法人北海道立総合研究機構林業試験場、美唄、2015、110pp

倉本恵生、山口岳広、佐々木尚三、建機ベースの林業機械の走行繰り返しによるトドマツの地表部側根の損傷発生。北方森林研究、61、2013、121-124

Roll-Hansen F and Roll-Hansen F (1980) Microorganisms which invade *Picea abies* in seasonal stem wounds、I. General aspects. Hymenomycetes, Eur. J. For. Path., 10、1980、321-339

徳田佐和子、秋本正信、高橋幸男、由田茂一、林業機械作業によるトドマツ立木の損傷と腐朽、日林論、107、1996、277-280

徳田佐和子、幹の傷はトドマツの腐朽を引き起こしやすい、光珠内季報 110、1998、10-14

Vasiliauskas R、Damage to trees due to forestry operations and its pathological significance in temperate forest: a literature review、Forestry 74、2001、319-336

山口岳広、倉本恵生、佐々木尚三、林業機械のトドマツ林内走行試験で発生した地表部側根損傷の実態。北方森林研究、62、2014、77-80

山口岳広、林業機械のトドマツへのレンガタケ接種による腐朽の進展に剥皮処理が与える影響、北方森林研究、68、2020、35-38

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 山口岳広	4. 巻 68
2. 論文標題 トドマツへのレンガタケ接種による腐朽の進展に剥皮処理が与える影響	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 北方森林研究	6. 最初と最後の頁 35-38
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山口岳広、倉本恵生、佐々木尚三
2. 発表標題 林業機械の伐出作業に伴うトドマツ残存立木幹・地表部根系の損傷と腐朽被害
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口岳広
2. 発表標題 トドマツ幹・地表部根系の林業機械損傷による腐朽部位から分離された担子菌類
3. 学会等名 日本菌学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口岳広
2. 発表標題 トドマツの幹・根系損傷から侵入した腐朽菌と腐朽の進展
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口岳広、倉本恵生
2. 発表標題 トドマツへの林業機械による意図的損傷で生じた腐朽
3. 学会等名 樹木医学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>普及・広報誌掲載 山口岳広、機械による地がきで生ずる周囲の残存高齢トドマツ立木損傷・腐朽リスクを回避するために、国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所北海道支所研究情報誌「北の森だより」、22、4-5、2019、ISSN 1882-9627 研究成果発表・講演 山口岳広、「一地がき作業による影響一地がきによる隣接トドマツ立木の表層部根系損傷を回避するために」（ポスター発表）、国立研究開発法人森林研究・整備機構平成30年度北海道地域研究成果発表会、札幌、2019年2月18日 山口岳広、「林業機械の林内走行によるトドマツ地表部根系損傷リスクの評価 - 林業機械作業による根系損傷の回避を目指して -」（講演）、林野庁北海道森林管理局主催 令和元年度技術開発成果発表会、旭川、2019年10月30日</p>
---

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	徳田 佐和子  (Tokuda Sawako)  (40414263)	地方独立行政法人北海道立総合研究機構・森林研究本部林業試験場保護種苗木部・保護グループ研究主幹    (80122)	
連携研究者	倉本 恵生  (Kuramoto Shigeo)  (00353673)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・林業研究部門森林植生研究領域・植生管理研究室長    (82105)	