

過去の伐採・搬出作業による攪乱がトドマツ人工林の腐朽被害に与える影響

森林総合研究所北海道支所 山口 岳広

はじめに

トドマツは傷から腐朽が侵入しやすいことが知られているため、林業機械による間伐等での伐採・搬出作業では残存木の幹・根系に生じた損傷が、その後の腐朽被害に進展する懸念が生じている^(1,8,10,11)。しかし、損傷とその後の腐朽被害を関連づけて調査研究した事例はこれまでにほとんどなく、過去の損傷が腐朽にどのように影響しているのかはよく判っていないかった。

そこで、過去の伐採・搬出作業等の攪乱によって幹や根系に生ずる傷がトドマツの腐朽被害に与える影響を検証するため、トドマツ人工林皆伐予定地で過去の間伐時に集材・搬出路となった周辺を対象に、伐採前に幹と地表部の根の傷を、伐採後に伐根面での腐朽被害を調査して比較したので報告する。

調査地と方法

調査地は石狩森林管理署恵庭森林事務所管内 5181 林班ろ小班(調査時林齢 75 年生)・り小班(同じく林齢 79 年生)のトドマツ人工林で、2016 年夏に皆伐が行われた。これらの林分は 1995~96 年に間伐が実行されており、今回の調査時点では 21~22 年が経過していた。その間伐時に作設されたと推定される搬出路の跡が林内に残っていた 5 箇所を伐区(表-1)を調査対象とした。

伐採前の 2016 年 6 月に旧搬出路跡を中心に路端から両側 10m 未満の距離に位置するトドマツ立木 361 本について、胸高直径、旧搬出路から立木幹までの水平距離、斜面傾斜(“0~10°”, “10~20°”, “20~30°”の 3 段階に区分)を測定し、幹(地上高 0~3m の範囲)および地表部での根の傷の有無を確認した。根の傷は長さ、幅、幹の傷は、傷幅と傷の最低・最大地上高、材の露出の有無(“傷なし”, “露出なし”, “露出あり”の 3 区分)を記録した。また、伐採後に傷と腐朽の位置を照合するために傷の方位をクリノメーターで測定した。

伐採直後の 2016 年 8~9 月に、伐採前に調査した立木のナンバーテープと照合しながら、伐根断面の長径・短

径と腐朽の有無、腐朽があった場合には辺材腐朽と心材腐朽を区分し腐朽断面の長径・短径を記録した。また、傷の位置と照合のため辺材腐朽位置の方位を測定した。伐採搬出作業による伐根の消失や伐り残しのため、伐採前の立木と伐採後の伐根を照合できたのは 280 本であった。

腐朽被害の全体的な傾向を把握するため、旧搬出路跡端から両側 10m 以遠のトドマツ伐採木についても伐根断面の長径・短径と腐朽断面の長径・短径を測定した(表-1)。根・幹の傷面積は傷幅と長さから楕円として算出した。伐根断面積および腐朽断面積も同様に長径と短径から楕円として算定した。伐採前の傷の方位と伐採後の辺材腐朽の方位の差が 60° 以内に収まった場合に、傷から腐朽が侵入したと判定した。なお、今回の調査では明らかにシカの角擦りや凍裂から侵入した腐朽は除外した。

統計解析には統計ソフトウェア R (ver. 3.2.1)⁽⁶⁾を使用した。立木の状態で得られる情報から腐朽特に辺材腐朽の有無を判別できるかどうかを試みるために、決定木モデルによる解析を行った。決定木モデルには R のライブラリ “partykit”⁽³⁾にある ctree⁽²⁾を用いて解析を行った。

結果と考察

1) 旧搬出路端からの距離と地表部の根の傷および腐朽の発生頻度

旧搬出路端までの距離と、地表部の根の傷・傷から侵入した腐朽を有する本数比率の関係を図-1 に示す。地表部の根の傷は旧搬出路端から 1m 以内で非常に高い頻度で発生していたが、1~2m で急激に減少し 3m 以上では傷の発生は観察されなかった。明らかに地表部の根の傷から腐朽が侵入していたのは、根張り部分に比較的面積が大きくさらに材の露出もあった傷を有していた 1 例のみであった(図-2)。そのため発生頻度も非常に低かった。このように、地表部の根の傷およびその傷から侵入した腐朽については伐採搬出作業による旧搬出路跡近縁の限られた範囲で発生しやすいことが明らかとなった。

表-1 調査地内の各伐区の概要と調査本数

林班 小班・伐区	調査時 林 齢	伐採面積 ha	林地の状況	調査本数		
				旧搬出路端から両側 10m 未満	10m 以上	合 計
5181 り・2	79	0.27	ほぼ平坦	42	59	101
5181 る・10	75	0.45	平坦~20°の斜面	67	85	155
5181 る・13	75	0.14	ほぼ平坦	9	30	39
5181 る・14	75	0.39	10~20°の斜面	35	49	84
5181 る・15	75	0.99	尾根を挟み両側は 20~30°の斜面	208	98	306
全体	-	2.24	-	361	321	684

Takehiro YAMAGUCHI, (Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Sapporo 062-8516)
Effect of disturbance caused by past logging activities for the heart- and sap-rot incidence on a Sakhalin-fir (*Abies sachalinensis*) stand.

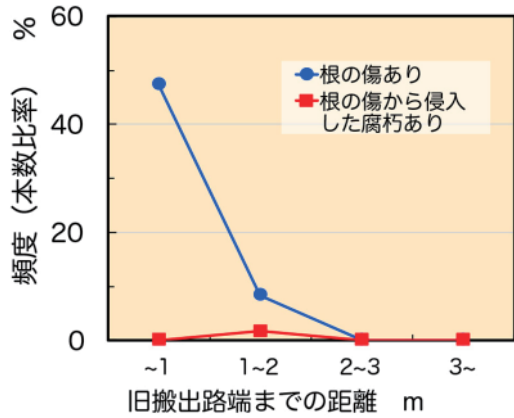


図-1 旧搬出路端までの距離と地表部の根の傷・傷から侵入した腐朽を有する本数比率の関係

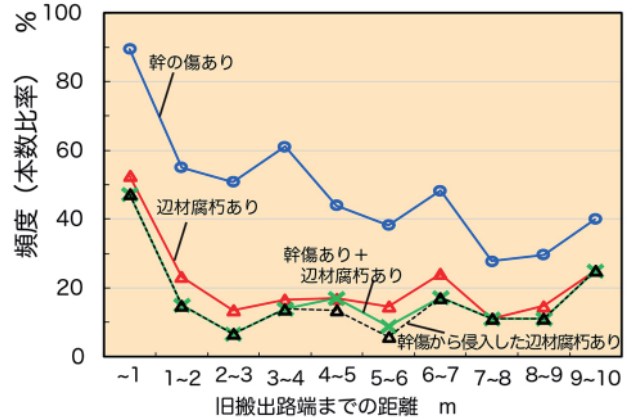


図-3 旧搬出路端までの距離と、幹の傷・辺材腐朽・幹の傷から侵入した辺材腐朽を有する本数比率の関係



図-2 地表部の根の傷(矢印)から腐朽(円内)が侵入した唯一の例

地表部の根の傷は、主に搬出路作設時の切り土、搬出機械走行時の踏圧、あるいは伐倒時や伐採木を搬出路まで引き出す作業で生じたと推測される。そのため、地表の攪乱があまりない旧搬出路から遠い場所では根の損傷の発生頻度が低かったと考えられる。

地表部の根の傷の発生頻度が旧搬出路端から 1m 以内で非常に高かったにもかかわらず、これらの傷から侵入した腐朽はほとんどなく(図-1)、伐根面まで腐朽が到達していたのは図-2 で示した 1 例のみであった。この理由として、地表部の根の傷のほとんどが面積の小さな傷であったこと、腐朽が侵入しても幹に到達するまでの距離があることが考えられ、そのため腐朽の発生頻度が低く抑えられたのではないかと推測される。図-2 の唯一の侵入例では、傷が根張りの部分で比較的幹に近いこと、

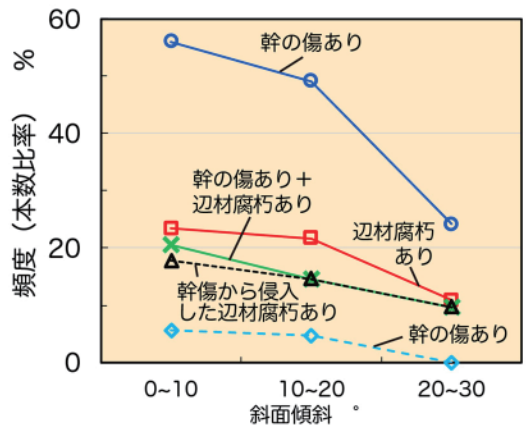
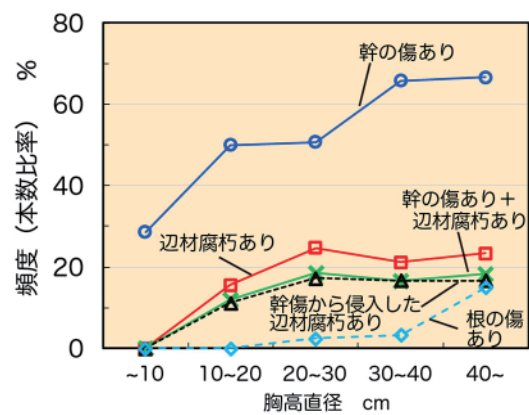


図-4 胸高直径(上)・斜面傾斜(下)と根の傷・幹の傷・辺材腐朽・幹の傷から侵入した辺材腐朽を有する本数比率の関係

傷面積も大きくわずかではあるが材の露出もあったこと(後述)が腐朽侵入に至った大きな要因ではないかと考えられる。

2)旧搬出路端からの距離と幹の傷および腐朽の発生頻度
旧搬出路端までの距離を 1m ごとに区分して、距離と幹の傷・辺材腐朽・幹の傷から侵入した辺材腐朽を有す

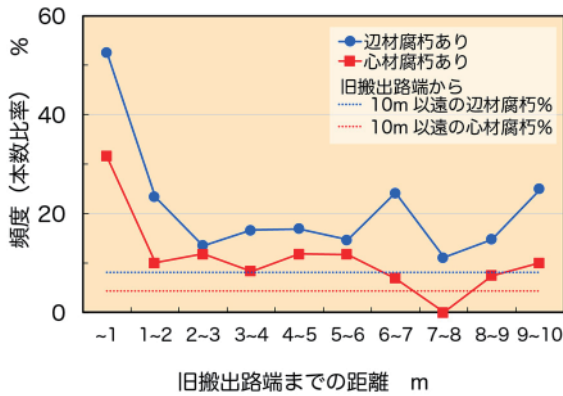


図-5 旧搬出路端までの距離と辺材腐朽・心材腐朽を有する本数比率の関係

旧搬出路から 10m 以遠にあった伐根での辺材・心材腐朽の本数比率 (各腐朽のある本数/10m 以遠の総本数×100%) の値 (辺材腐朽:8.1%, 心材腐朽 4.4%) を点線で示す

る本数比率の関係を見ると (図-3), 地表部の根の傷と同様旧搬出路の 1m 以内で発生頻度が非常に高かった。そして, 距離の増大につれて頻度は徐々に下がる傾向はあるが, 10m 近く離れても頻度は高止まりしているという特徴があった。

列状間伐での幹の損傷を調べた事例では, 2m 以上の距離があっても損傷が生じた⁽¹⁵⁾, あるいは作業路端から 12 m 以内で損傷が生じたという報告⁽⁹⁾ があることから, 伐採・搬出作業に伴う幹の傷は攪乱域からかなり広範囲に生じるのではないかと考えられる。一方で, 路端までの距離が遠くなることで損傷率が低下したという調査結果も報告されていることから^(4,5,12), 作業条件によって被害に違いがないかなどについて, 今後も検討する必要がある。

幹の傷が過去の攪乱域から広範囲で発生していたことに連動して, 辺材腐朽の発生頻度も同様に高止まりの傾向を示した(図-3)。幹に傷があり辺材腐朽がある本数の頻度や, 幹の傷から腐朽が侵入したと推定された辺材腐朽の頻度は, すべての辺材腐朽発生本数の頻度よりやや少ない程度であった。これらのことから, 幹の傷が多いと辺材腐朽の発生頻度も高くなることが示唆された。トドマツの腐朽を広範に調べた事例では損傷からの腐朽が多かったことが既に報告されており^(1,10,11), 今回の調査においても特に辺材腐朽はその多くが幹の傷と結びついていることを傍証していると考えられる。

3)胸高直径・斜面傾斜と幹および地表部の根の傷, 辺材腐朽の発生頻度

胸高直径・斜面傾斜と地表部の根の傷・幹の傷・辺材腐朽・幹の傷から侵入した辺材腐朽を有する本数比率の関係比率の関係では, 胸高直径が増大すると根および幹の傷の頻度は上昇する傾向があった(図-4 上)。また, 辺材腐朽を有する比率も同様にやや上昇傾向が見られたが, 幹の傷の傾向ほど明確ではなかった。胸高直径つまり樹木のサイズが増大することで根や幹の損傷が増えることは, これまでも報告があり^(4,15), 本研究でもおおむね同様の傾向を示していた。一方, 斜面傾斜との関係では,

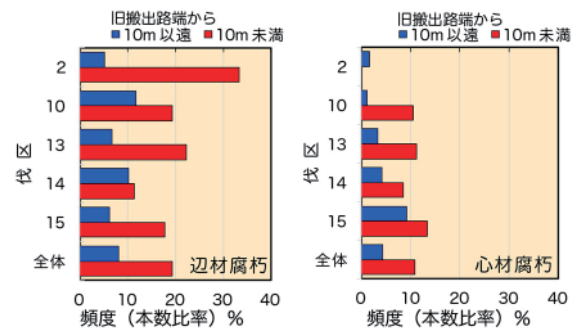


図-6 伐区ごとにみた旧搬出路端までの距離 10m 未満と 10m 以遠での辺材腐朽(左)・心材腐朽(右)の発生頻度

傾斜が大きいほど根・幹の傷, 辺材腐朽ともに発生頻度に減少傾向がみられたが(図-4 下), その理由は現在のところ不明である。

4) 旧搬出路跡 10m 内外での心材腐朽・辺材腐朽の発生頻度の比較

旧搬出路端からの距離 (1m ごとに区分) と辺材腐朽・心材腐朽を有する本数比率との関係を図-5 に示す。伐採・搬出作業による攪乱域近くである旧搬出路端から 10m 未満の区域内においては, 心材腐朽・辺材腐朽ともに 10m 以遠での各腐朽の発生頻度 (図中の点線で示す (各腐朽のある本数/10m 以遠の総本数×100%で算出); 辺材腐朽は 8.1%, 心材腐朽は 4.4%) よりも明らかに発生頻度が高い傾向が見られた。前述したように, 距離 1m 未満での発生頻度は特に高かった。距離 10m 未満では, 辺材腐朽は心材腐朽よりも常に高い本数比率を示していた。

さらに, 伐区ごとに 10m 内外での心材腐朽・辺材腐朽の本数比率を示したのが図-6 である。ほとんどの伐区で 10m 未満では心材腐朽・辺材腐朽ともに頻度が高くなっていた。この結果から, 伐採・搬出作業にともなう攪乱は, やはり腐朽の発生頻度に影響を与えていることが示

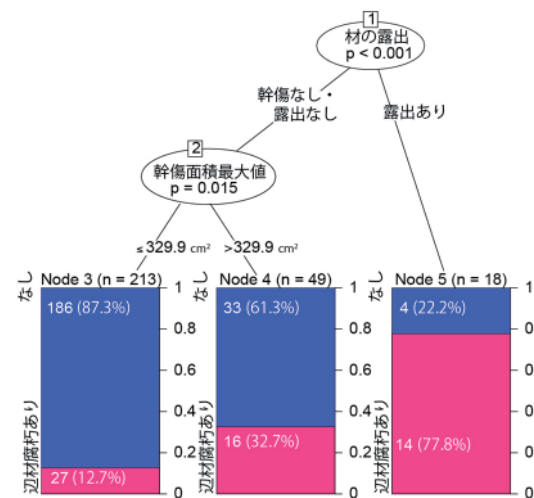


図-7 決定木モデル(ctree)による解析結果

表-2 決定木モデルによる辺材腐朽の有無の予測と実際の本数

実際 \ 予測	辺材腐朽 なし	辺材腐朽 あり	合計
辺材腐朽なし	219	4	223
辺材腐朽あり	43	14	57
合計	262	18	280

唆される。まず辺材腐朽では、前述したように幹の傷が広範に発生したことで辺材腐朽が多発している(図-3)と推測される。一方、心材腐朽の頻度が高くなった理由・メカニズムは不明であるが、何らかの影響があったことが示唆される。

図-6に示すように、伐区ごとに見ると2伐区では10m以上での心材腐朽がなく、15伐区では、心材腐朽の頻度が他の伐区に比べて高い傾向を示すなど、伐区により多少傾向の違いが見られた。特に、15伐区では旧搬出路が尾根上にあつて、これを挟んで両側は20~30°の比較的急な斜面となつており(表-1)、他の伐区とはやや異なる地形であった。このような地形の違いが特に心材腐朽の発生に影響している可能性も考えられ、今後詳細に検討する必要がある。

5)決定木モデルによる解析

立木の状態から得られる情報から腐朽特に辺材腐朽の有無を判別できるかどうかを試みるために、「辺材腐朽の有無」を目的変数、「胸高直径」、「斜面傾斜」、「旧搬出路からの距離」、「伐区」、「幹傷の最大面積」、「傷の最低高」、「幹傷での材露出の有無」を説明変数として解析したところ、説明変数のうちで、「幹傷での材露出の有無」と「幹の傷面積の最大値」が選択された(図-7)。まず、幹傷での材露出があるものは辺材腐朽ありと判定され、その結果は図-7のようになった。決定木モデルによる辺材腐朽の有無の予測と伐根面で実際に確認された腐朽の有無の本数を比較すると表-2の結果となり、この正答率は83.2% $((219+14)/280 \times 100)$ であった。

以上の結果から、材の露出が確認されれば高い割合で辺材腐朽が生じている可能性が示された。また、まだ正誤判定の誤差が大きい、幹の傷面積で分類されることは傷面積の大小が腐朽の有無に重要な影響を与えることを示唆していると考えられる。既往文献^(7,10,11,13)では、傷が大きいと材の腐朽・変色に至る割合が高くなり範囲も広がることが報告されており、今後さらにデータを累積して検討する必要がある。また前述したように、胸高直径や斜面傾斜については辺材腐朽の発生比率に多少影響があるように見えたが(図-4)、決定木の解析では説明変数としては採択されなかったことから、これらの項目はあまり重要な要因となっていない可能性も考えられる。

なお、腐朽被害の発生に大きな影響を与える要因として傷の発生後の経過年数が考えられるが、今回調査対象とした受傷後の経過年数はほぼ同一(約20年前)であることから、要因としては考慮されていない。損傷を受けてからの経過年数が変わると、当然腐朽の発生頻度も変わると推測される。経過年数の変化に伴って腐朽の発生

頻度がどのように変わっていくかを今後解明していく必要がある。

謝辞

調査に際し便宜を図っていただいた北海道森林管理局石狩森林管理署、同署恵庭森林事務所の関係各位の皆様へ感謝申し上げます。なお、本研究は森林総合研究所交付金プロジェクト「トドマツ人工林主伐に対応した低コスト天然更新施業・管理システムの開発」によって行われた。

引用文献

- (1) 地方独立行政法人北海道立総合研究機構林業試験場(編)(2015)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. 110pp.
- (2) Hothorn T, Hornik K, Zeileis A (2015) ctree: Conditional Inference Trees. The Comprehensive R Archive Network, 21pp. (URL <http://cran.r-project.org/web/packages/party-kit/vignettes/ctree.pdf>)
- (3) Hothorn T, Zeileis A (2015) Partykit: a modular toolkit for recursive partytioning in R. Journal of Machine Learning Research 16 : 3905-3909. (URL <http://www.jmlr.org/papers/volume16/hothorn15a/hothorn15a.pdf>)
- (4) 木幡靖夫(2005)列状間伐—高性能林業機械を活用した森林づくり—. 北方林業 57(8) : 17-20.
- (5) 木幡靖夫(2006)高性能林業機械による列状間伐の繰り返しについて. 森林学誌 21(1) : 15-20.
- (6) R Core Team (2017) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (URL <https://www.R-project.org/>).
- (7) 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. 10:321-339.
- (8) 佐々木尚三(2007)機械作業が森林環境に及ぼす影響. 北方林業 59(12) : 1-4.
- (9) 澤口勇雄・猪内正雄・菊地智久(2000)ハーベスタ・フォワードシステムによる列状間伐が残存立木に与える損傷. 森林学誌 15(1) : 33-42.
- (10) 徳田佐和子・秋本正信・高橋幸男・由田茂一(1996)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 : 277-280.
- (11) 徳田佐和子(1998)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 : 10-14.
- (12) 対馬俊之・由田茂一・浅井達弘・木幡靖夫・戸田治信(1991)ハーベスタによる間伐作業(II)—4条植栽のトドマツの場合—. 日林論 102 : 707-708.
- (13) Vasiliauskas R. (2001) Damage to trees due to forestry operations and its pathological significance in temperate forest: a literature review. Forestry, 74: 319-336.
- (14) 山口岳広・倉本恵生・佐々木尚三(2014)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. 北森研 62 : 77-80.
- (15) 山口岳広(2017)列状間伐を行なったトドマツ林分における幹損傷被害の実態. 北森研 65 : 55-58.