

長伐期施業導入に対するカラマツ心腐病のリスク評価

柳澤賢一・戸田堅一郎・大矢信次郎・秋山巖*・西岡泰久*

長伐期施業が進む長野県内の55～115年生のカラマツ林を対象にカラマツ心腐病被害の実態を把握し、素材生産における経済的損失額を検討した。その結果、伐根調査によるカラマツ心腐病の被害率は6.4～31.0%であった。カラマツ心腐病被害木はCS立体図から判読された傾斜の変曲点付近や滞水地形に多く、被害リスクの高いエリアの予測にCS立体図が活用できる可能性がある。カラマツ心腐病の中で、樹幹心材腐朽は根株心材腐朽に比べ腐朽進展長が長かった。特に、樹幹心材腐朽菌のうち白色幹心腐れを呈するカラマツカタワタケは、枯れ枝の跡や損傷から侵入したと推測され、長伐期化するほど被害リスクが高まると考えられた。根株心材腐朽による素材生産における経済的損失額は、林分の腐朽伐根本数率が17.8%で平均腐朽進展長が6.56m程度と仮定した場合、約11%の減収と試算された。白色幹心腐れを含めると経済的損失額はさらに増加すると考えられ、被害低減と経済的損失の軽減のためには、被害率が高いと想定される地形条件や過去の被害地を回避することに加え、間伐時の残存木の損傷等は最小限にする必要があると考えられた。

キーワード：カラマツ心腐病、白色幹心腐れ、被害分布、素材内腐朽分布、経済的損失額

目次

- 1 緒言（はじめに）
- 2 カラマツ心腐病の被害実態の把握
 - 2-1 方法
 - 2-2 結果と考察
 - (1) 県内地域別被害分布
 - (2) 被害木分布の地形的特徴
 - (3) 腐朽菌別の材内腐朽進展長
- 3 カラマツカタワタケの材内腐朽分布の把握
 - 3-1 方法
 - 3-2 結果と考察
- 4 カラマツ心腐病による経済的損失額試算
 - 4-1 方法
 - 4-2 結果と考察
- 5 結言
- 6 謝辞

1 緒言（はじめに）

長野県における民有林人工林面積33.4万haのうちカラマツ林は17.7万ha(53%)を占め、民有林と国有林を合計したカラマツ林の面積および蓄積量は全国第2位となっている（長野県林務部2020）。カラマツの長伐期施業が進められる中、成熟したカラマツ林を利活用するため、信州プレミアムカラマツに代表される高齢林の主伐が行われつつある。しかし、カラマツは日本産の造林樹種のなかで腐朽病害の発生が多い樹種であり、カイメンタ

ケ、レンゲタケ、ハナビラタケといった褐色腐朽菌による根株心腐病に代表されるカラマツ心腐病が過去から知られている（青島・林1962）。この病害は根株心材腐朽を引き起こし、元玉の心材部を劣化させるため、カラマツ林施業上大きな問題となっている（黒田1997）。一方、カラマツの長伐期化にともない、高齢木では根株心材腐朽に加え、白色腐朽菌による樹幹心材腐朽（以下、白色幹心腐れ）が散見されるようになってきた。根株心材腐朽と樹幹心材腐朽については、病原菌や形態が異なるため対策を別々に考える必要がある（佐々木1983）が、白色幹心腐れについては、被害の実態や腐朽侵入経路の報告は少ない。

本報告では、伊那市、南佐久郡川上村、同郡佐久穂町、同郡北相木村における55～115年生のカラマツ林を対象にカラマツ心腐病の実態を把握し、素材生産における経済的損失額を検討した。なお本研究は県単課題（平成29～令和元年度）として実施した。

2 カラマツ心腐病の被害実態の把握

2-1 方法

長野県内におけるカラマツ高齢級林分の被害実態を把握するため、過去の被害実態調査（奥村1988、岡田ら2002）を参考に、被害が多く確認されている東信地域および上伊那地域に調査地を選定した（図-1）。調査地は伊那市長谷、南佐久郡川上村、同郡佐久穂町、同郡北相木村の主伐を行った55～

*元 長野県林業総合センター育林部

115年生の高齢級カラマツ林とした(表-1)。まず、①伐倒後の伐根断面の腐朽の有無を目視で確認するとともに、伐根径を測定した。伐根断面に腐朽があった場合は腐朽の長径(a)および短径(b)を測定し、腐朽部が楕円であると仮定して腐朽断面積($S=ab\pi/2$)を推定した。次に、②被害木と地形との関連性を検討するため、伊那市調査地範囲内をドローン(DJI社, Phantom3)で撮影し、Sfmソフト(Agisoft社製, PhotoScan 1.4.3)を用いて作成したオルソ画像から伐根に位置情報を与え、GIS(ESRI社製, ArcGIS 10.6.1)でCS立体図(戸田2014)上に重ねた。さらに、③腐朽原因菌種を特定

するため、各調査地で腐朽が確認された伐根の素材丸太をランダムで抽出し、腐朽部を採取して、菌を分離・培養し、PCR法でDNAを増幅しシーケンス解析して同定した。伊那市調査地の腐朽丸太については、プロセッサを用いて元玉側から10cm間隔で玉切って腐朽の有無を目視で調査し、菌種ごとに腐朽進展長を比較した。菌の分離および同定は、国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所きのこ・森林微生物研究領域(以下、森林総合研究所)の服部力博士および日本大学生物資源科学部の橋谷拓武氏に依頼し実施した。

2-2 結果

(1) 県内地域別被害分布

調査伐根本数に対する腐朽木伐根本数(腐朽伐根本数率)はそれぞれ、伊那市調査地で510本中91本(17.8%)、川上村調査地で633本中196本(31.0%)、北相木村調査地で342本中22本(6.4%)、佐久穂調査地で612本中111本(18.1%)であり、調査地により腐朽本数率は異なっていた(表-2)。このうち、過去に被害報告のあった川上村、北相木村における腐朽本数率は、岡田ら(2002)による調査結果と類似した。また、平均腐朽断面積は林齢と平均伐根径がもっとも大きい川上村で $378.8 \pm 333.2\text{cm}^2$ (平均値±標準偏差)と最大となった。

(2) 被害木分布の地形的特徴

ドローン写真から伐根位置を判読できた伊那市調査地の474株について、健全木と腐朽木に区分しCS立体図上に重ねた結果を図-2に示す。腐朽発生本数率は移動体頭部で約30%、二次すべり面で約32%となり、腐朽伐根はCS立体図から判読した地すべり地形の移動体頭部と滑落崖内の二次すべり面に集中していた。現地調査の結果、移動

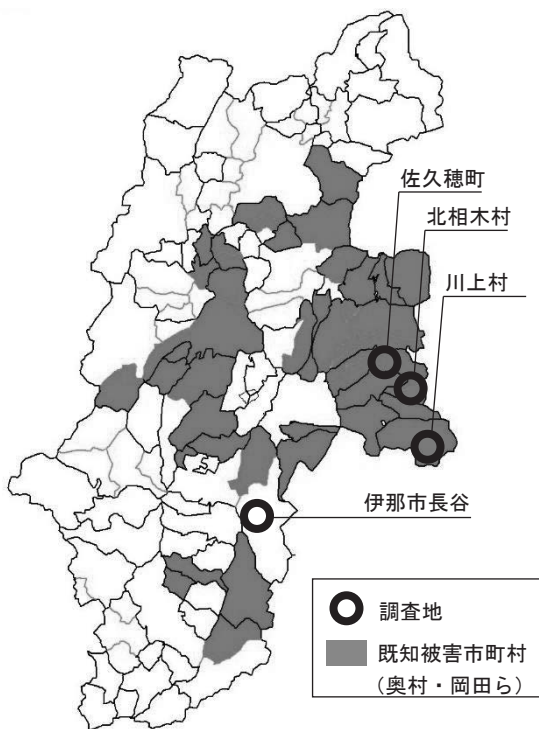


図-1 カラマツ心腐病既被害地域(旧市町村表示)と調査地位置図

表-1 調査地概要

調査地	林小班	標高(m)	山腹方位	山腹傾斜(度)	林齢(年)	調査伐根本数(本)	平均伐根径(cm±SD)
伊那市	2174い	1,050	E	21.8-32.6	55	510	45.7±10.5
川上村	195ほ	1,450	NNE	31.3-43.9	113-115	633	50.6±15.6
北相木村	61は	1,020	N	23.2-32.3	64	342	36.7±10.4
佐久穂町	1025ろ	1,230	SSE	20.1-25.0	62-64	612	42.8±9.2

SD:標準偏差

表-2 各調査地における腐朽被害状況

調査地	伐根本数(本)			健全本数率(%)	腐朽本数率(%)	平均断面積($\text{cm}^2 \pm \text{SD}$)	
	健全木	腐朽木	計			伐根断面	腐朽面*
伊那市	419	91	510	82.2	17.8	1713.0±747.4	178.1±168.6
川上村	437	196	633	69.0	31.0	2154.6±1268.4	378.8±333.2
北相木村	320	22	342	93.6	6.4	1137.3±649.0	211.7±290.5
佐久穂町	501	111	612	81.9	18.1	1489.5±607.3	169.6±173.4

*腐朽のある伐根のみの平均値

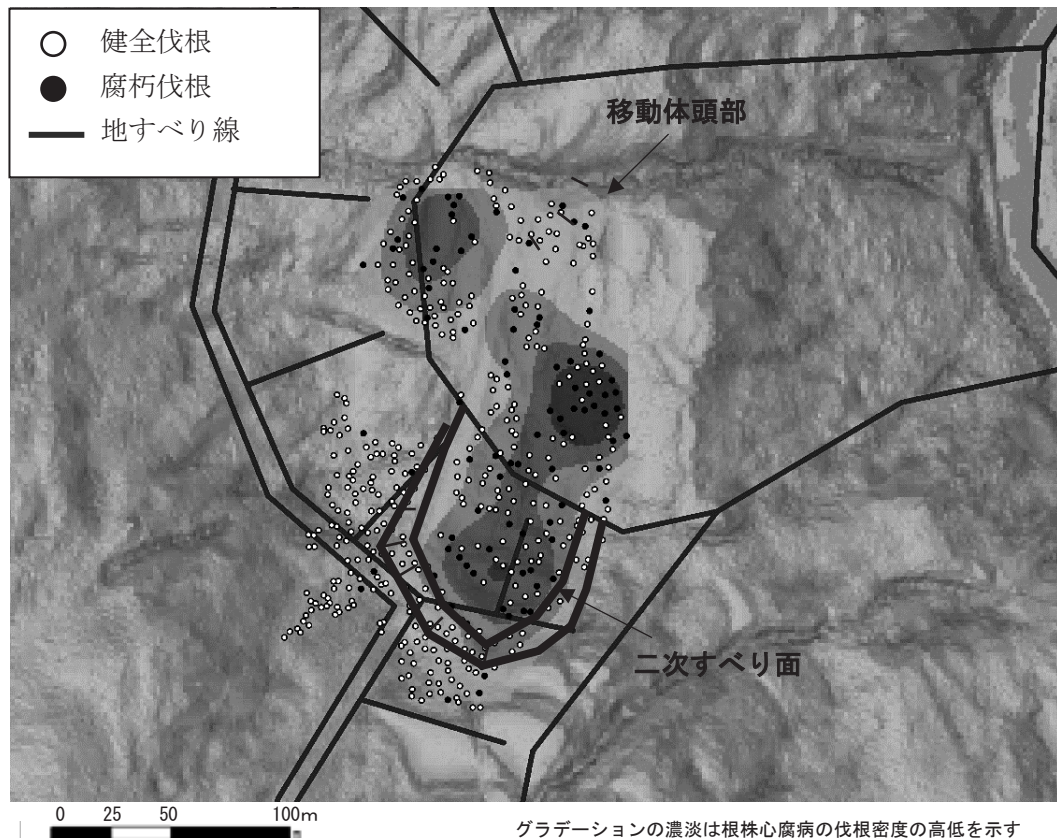


図-2 CS 立体図上に表示した伐根分布図（伊那市長谷）

体頭部は地下水位が高い水田跡地で、一部で滞水する不透水土壤であった。また、二次すべり面は平坦地に移行する変曲点となっていた。一方、それ以外のエリアでは被害伐根は分散し、その発生率も約5%にとどまっていた。腐朽伐根は傾斜地から平坦地に移行する変曲点付近や滞水地形に多く、過去の調査報告（三原ら1983、川崎1990、岡田2002）と一致していた。CS立体図は地形の変曲点や滞水地形を等高線による地形図よりも容易に判読することができるため、カラマツ心腐病の被害リスクの高いエリア予測と被害を回避した施業のためのゾーニングに活用できる可能性がある。

(3) 腐朽菌別の発生状況と材内腐朽進展長

伊那市調査地、川上調査地、佐久穂町調査地において、それぞれ16本、58本、15本の腐朽木から分離した菌種の結果を表-3に示す。伊那市調査地では出現率の高い順に、カラマツカタワタケが約43.8%、カイメンタケが約12.5%、ハナビラタケが約6.3%であった。川上村では、ハナビラタケが約25.9%、カラマツカタワタケが約17.2%、カイメンタケが約15.5%であった。佐久穂町調査地では、カイメンタケが60.0%、ハナビラタケが20.0%で、カ

ラマツカタワタケの検出は無かった。佐久穂調査地については、過去の調査結果（黒田ら1991、岡田ら2002）と同様に、本病害病原菌の中で特に強い腐朽力を示すカイメンタケ（小林ら1989）の出現率が高かった。一方、伊那市調査地や川上村ではこの傾向と異なり、特に伊那市調査地では孔状白色腐朽を呈するカラマツカタワタケの出現率が高かった。

伊那市調査地の腐朽木丸太16本について、腐朽進展長を個体ごとに比較した結果を表-4および図-3に示す。腐朽進展長は、根株心材腐朽を呈するカイメンタケ、ハナビラタケ、心材褐色腐朽菌 sp. が分離されたNo. 1～5が300～780 (cm)、樹幹心材腐朽を呈するカラマツカタワタケが分離されたNo. 6～12が650～1,430 (cm) となった。根株心材腐朽と樹幹心材腐朽の別に平均腐朽進展長を比較した結果、平均腐朽進展長は根株心材腐朽が490.0 ± 95.5 (cm)、樹幹心材腐朽が930.0 ± 106.3 (cm) となり、樹幹心材腐朽で長い傾向があった(図-4)。このことにより、樹幹心材腐朽はこれまで主に問題視されていた根株心材腐朽に比べ、素材生産量の低下に対する影響が大きいと考えられた。また、No. 14については、伐採面から1.0m位置まで腐朽がみら

れたが、1.0mから9.0m位置まで腐朽は認められず、
9.0mから25.0m位置にかけて再び心材腐朽がみられた。しかし、No. 13~16は、腐朽が古かったこと、
または腐朽がなかったことなどにより、腐朽菌が分離されなかった。

表-3 各調査地の腐朽木から検出した腐朽菌種

調査地	心材腐朽菌						辺材腐朽菌	不明	未検出	計
	褐色根株腐朽菌				白色幹腐朽菌					
	ハナヒラタケ	カイメンタケ	レンゲタケ	その他	カラマツカタワタケ	その他				
伊那市	1	2		2		7			4	16
川上村	15	9	1	2		10	3	3	1	58
佐久穂町	3	9		2					1	15
計	19	20	1	6		17	3	3	2	89

表-4 伊那市調査地における腐朽木の概要と分離菌種

No.	分離菌種	伐根直径(cm)			腐朽進展長 (cm)
		長径	短径	平均直径	
1	カイメンタケ	47.0	44.0	45.5	310
2	カイメンタケ	77.0	73.0	75.0	720
3	ハナヒラタケ	55.0	50.0	52.5	340
4	心材褐色腐朽sp.	54.0	50.0	52.0	780
5	心材褐色腐朽sp.	46.0	41.0	43.5	300
6	カラマツカタワタケ	51.0	50.0	50.5	800
7	カラマツカタワタケ	55.0	54.0	54.5	650
8	カラマツカタワタケ	50.0	47.0	48.5	1,030
9	カラマツカタワタケ	51.0	50.0	50.5	1,200
10	カラマツカタワタケ	45.0	45.0	45.0	1,430
11	カラマツカタワタケ	54.0	50.0	52.0	800
12	カラマツカタワタケ	42.0	40.0	41.0	600
13	未分離	55.0	49.0	52.0	740
14	未分離	68.0	62.0	65.0	100
15	未分離	60.0	58.0	59.0	300
16	未分離	36.0	32.0	34.0	400
	平均値	52.9	49.7	51.3	656.3
	SD	9.8	9.4	9.6	360.9

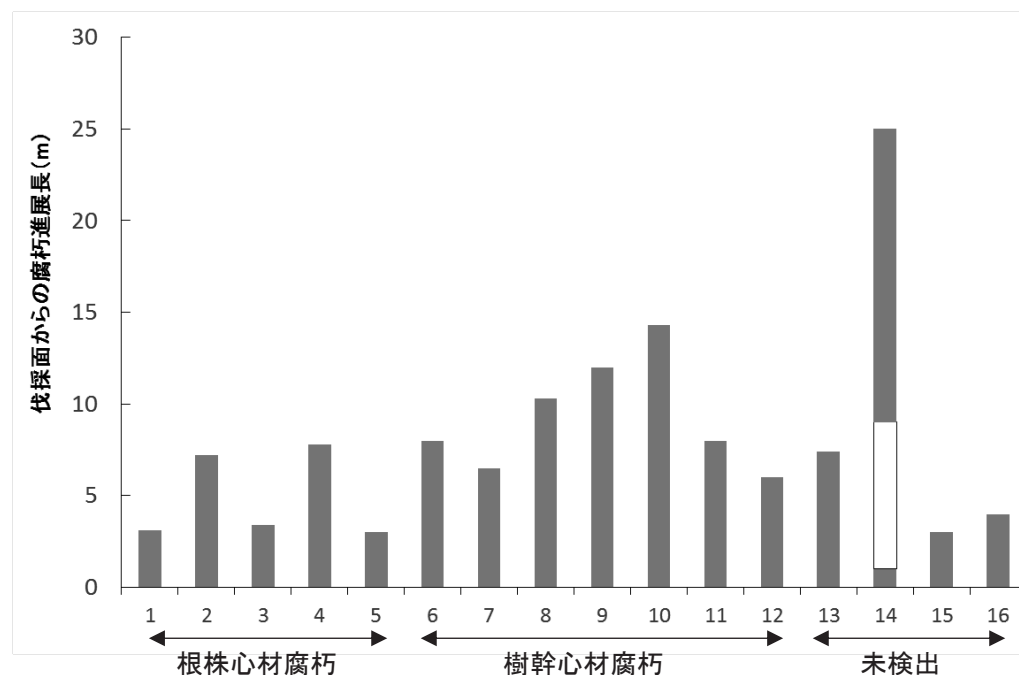


図-3 伊那市調査地における腐朽形態別の腐朽進展長の比較

(No14の白抜き箇所は腐朽が認められなかった部分を示す)

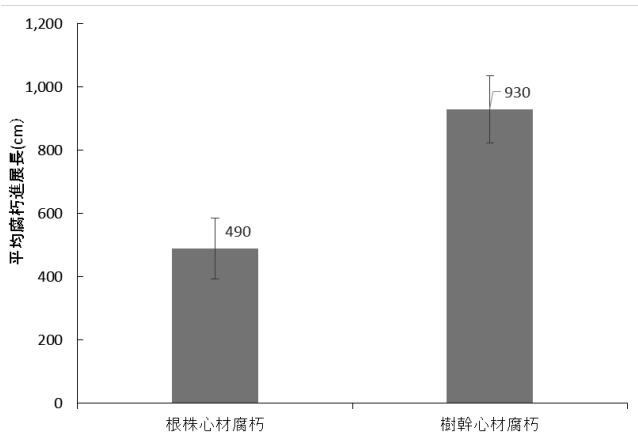


図-4 腐朽形態別平均腐朽進展長の比較

3 カラマツカタワタケの材内腐朽分布の把握

2の調査結果より、従来から報告のあった褐色根株腐朽菌（カイメンタケ、レンゲタケ、ハナビラタケ）に加え、孔状の白色腐朽により樹幹心材部が腐朽する白色幹心腐れが散見された。特に白色幹心腐れを呈するカラマツカタワタケは、カラマツ立木の枯れ枝や大きな傷から侵入する心材腐朽菌として知られている（Ohsawa, M. et al. 1996）が、被害の報告や腐朽の進行形態については報告が極めて少ない。そこで、川上村調査地における115年生のカラマツを試験体として、白色幹心腐れの樹高方向の分布と侵入口を推定した。

3-1 方法

川上村調査地の115年生カラマツ（材長約6.6m）のうち、2箇所の枯れ枝の痕が確認できた素材丸太を用いて、元口から高さ6.6mまで0.3m間隔で切断して試験体とした。まず、試験体の腐朽部の輪郭を黒マジックで明示し、各試験体の中心を軸として上下左右の向きとを合わせ、カメラで一定の高さから撮影した（図-5）。次に、GIS（ESRI社製、ArcGIS 10.6.1）を用いて各写真のスケール、向き、および中心の位置が一定になるよう調整し、円盤の輪郭、中心部の腐朽（以下、中心腐れ）、周辺部の腐朽（以下、周辺腐れ）を分けてトレースし、各断面における腐朽分布を図化した。さらに、トレースした腐朽面積をGIS上で計測し、中心腐れまたは周辺腐れ別に腐朽面積割合を集計した。また、元口から高さ0.9m位置、3.0m位置、4.2m位置の腐朽部から検体として切片を採取し、森林総合研究所において分離・培養した菌叢から菌種を推定した。

3-2 結果と考察

断面腐朽分布を図-6に、元口からの高さ別の腐朽断面面積割合を図-7に示す。断面分布からは、幹の下部から上部に向かって、周辺腐れが繊維傾斜に沿ってらせん状に上がっている状況が確認できた。試験体のうち、0.0m位置では周辺腐れはなかった。一方、枯れ枝痕が確認された元口からの高さ3.0m位置と4.2m位置周辺で、周辺腐れ割合と中心腐れ割合を合計した腐朽面積割合が高くなった。特に3.0m位置は幹に傷もみられ、腐朽面積割合が27.6%（中心腐れ10.7%、周辺腐れ11.0%）で最も高く、上下に離れるにつれて割合が低くなることから、枯れ枝および傷痕から病原菌が侵入し罹病したと推測された。また、腐朽部の目視調査からは、中心腐れおよび周辺腐れはともに白色の孔がみられ、腐朽が発達すると、孔が連続した形態となっていた。腐朽部の検体からは、3.0m位置の周辺腐れで菌が分離され、菌叢から原因菌はカラマツカタワタケと推定された。

今回の調査による白色幹心腐れは、比較的根株付近に存在する損傷した根が原因菌の侵入口とされるカラマツ根株心腐病（小岩 2002）とは侵入経路が異なることは明らかで、カラマツカタワタケの侵入箇所が枯枝か大きな傷であるとする富士山麓における大澤らの調査報告（Ohsawa, M. et al. 1996）と一致した。なお、本試験体には子実体の発生は見られなかった。

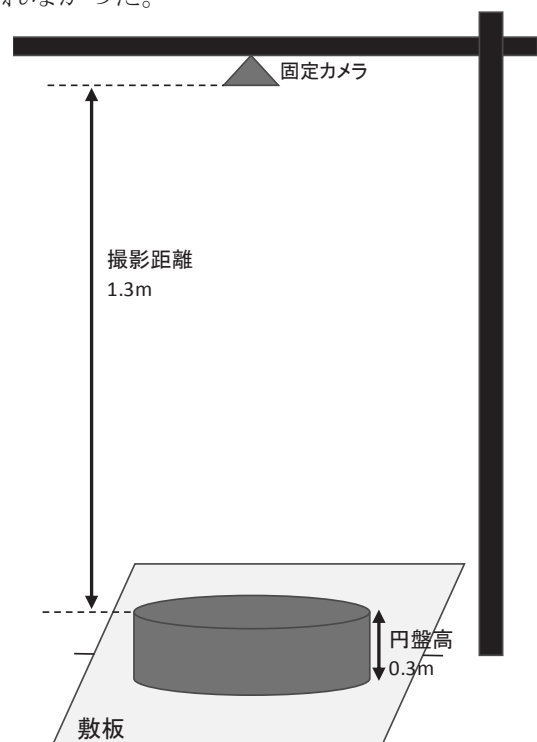


図-5 腐朽断面の撮影状況

以上のことから、川上村調査地における高齢級カラマツの白色幹心腐れは、孔状白色腐朽を呈するカラマツカタワタケによる被害が多く、枯れ枝や傷痕から侵入した本菌が上下方向の心材部の木繊維に沿ってらせん状に進展したと考えられた。よって、白色幹心腐れは地形等の立地条件の影響を受けや

すい根株心材腐朽とは区別して回避する必要がある。白色幹心腐れを回避するためには、幹への損傷が発生しない施業が必要であり、気象害を受けやすい立地の回避や、間伐時の伐倒方向等の十分な検討が重要である。

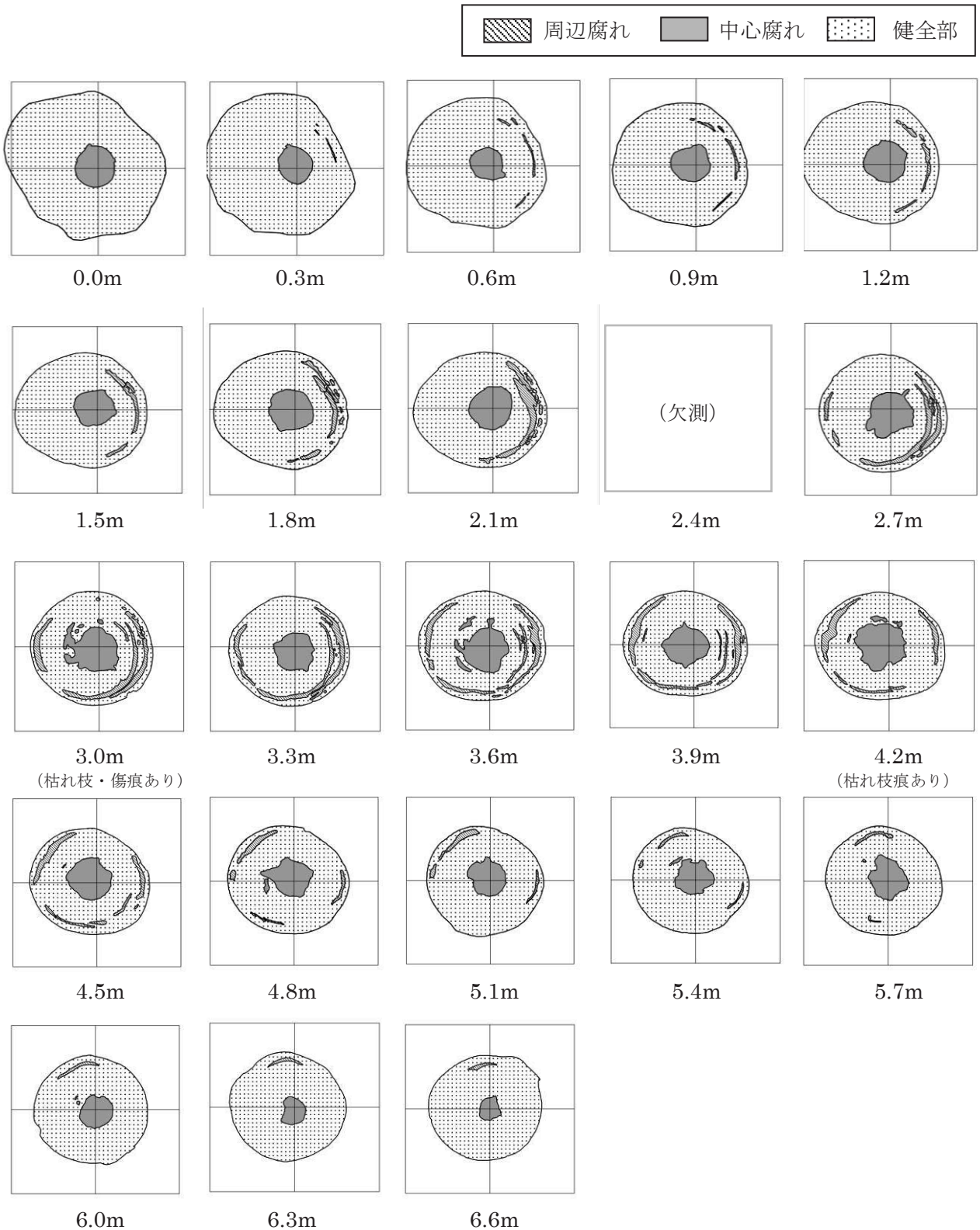


図-6 元口からの高さ別断面の腐朽分布

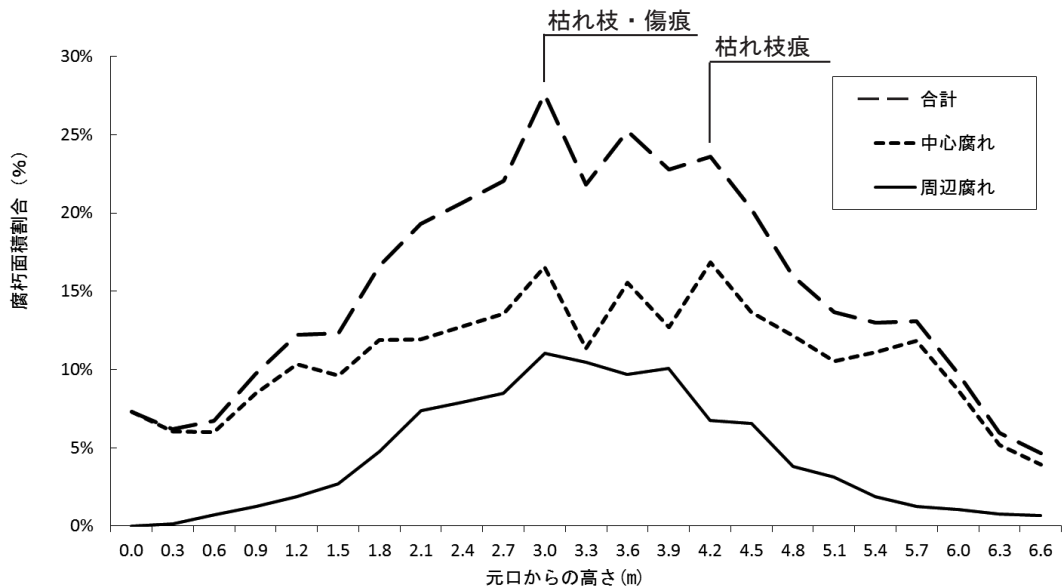


図-7 元口からの高さ別の腐朽段面積割合

4 カラマツ心腐病による経済的損失額試算

4-1 方法

カラマツ心腐病の素材(丸太)売上価格に対する影響を評価するため、2-2(1)および(3)より腐朽伐根本数率が17.8%、平均腐朽進展長が6.56mであった伊那市調査地の林分を対象に、素材推定数量と販売推定価格を算出した。素材推定数量および販売推定価格はそれぞれ、設計数量と腐朽込み数量の別と比較した。設計数量は林分内に腐朽木がない場合を仮定して、当該林分の胸高直径と樹高から素材生産量を推定し、木材市況表(長野県森林組合連合会2021.1.6実施)によりカラマツ4mの直材または小径小曲がり材(A、B材)またはチップ材(C材)の素材数量と価格として算出した。また、腐朽込み価格は林分内に17.8%の伐根腐朽木がある場合を仮定し、販売設計価格のうち元玉と二番玉の17.8%をC材にした場合の推定価格として算出した。

4-2 結果と考察

腐朽の有無による素材推定数量と販売推定価格の比較を表-5に示す。A、B材の素材推定数量と販売推定価格はそれぞれ、設計が300.7m³と3,731,962円、腐朽込みが249.6m³と3,097,757円となり、数量および価格は腐朽を仮定した場合は設

計の83%となった。一方、C材の素材推定数量と販売推定価格はそれぞれ、設計が67.6m³と270,329円、腐朽込みが118.7m³と474,730円となり、数量および価格は腐朽を仮定した場合は設計の176%となった。また、販売推定価格の合計は、設計が4,002,291円、腐朽込みが3,572,487円となり、腐朽を仮定した場合は設計の89%で、設計より約11%減少すると推定された。

以上より、腐朽伐根本数率が17.8%、平均腐朽進展長が6.56mであった場合の当該林分の素材生産額は約11%の減収となり、経済的損失があると考えられた。また、根株心材腐朽が多発する林分においては、素材売上げに対する経済的損失額はさらに大きいと推測された。一方、伊那市調査地における腐朽伐根本数率17.8%は伐根調査のみの結果であり、3章で確認されたような白色幹心腐れは、幹のみの腐朽でとどまり根株まで腐朽が達していない場合があるため、根株心材腐朽と樹幹心材腐朽を合わせた腐朽木は実際にはさらに多いと考えられ、経済的損失額は上乘せされる。これらのカラマツ心腐病が多発する地域において被害の回避と経済的損失の軽減するためには、根株心材腐朽被害が想定される地形条件や過去の被害地での造林を極力回

表-5 伊那市調査地林分の腐朽の有無による素材推定数量と販売推定価格の比較

素材区分	平均単価 (円/m ³)	素材推定数量(m ³)			販売推定価格(円)		
		設計(a)	腐朽込み(b)	b/a	設計(a)	腐朽込み(b)	b/a
A,B材	42,410	300.7	249.6	0.83	3,731,962	3,097,757	0.83
C材	4,000	67.6	118.7	1.76	270,329	474,730	1.76
計		368.3	368.3	1.00	4,002,291	3,572,487	0.89

避するとともに、気象害を受けやすい立地の回避や間伐時の残存木の損傷を最小限にする施業を行い、樹幹心材腐朽被害の発生リスクを抑える必要があると考えられた。

5 結言

本報告では、県内でカラマツ心腐病が確認された伊那市、南佐久郡川上村、同郡佐久穂町、同郡北相木村における 55～115 年生のカラマツ林を対象に被害の実態を把握し、素材生産における経済的損失額を検討した。

伐根調査によるカラマツ心腐病の被害率は、6.4～31.0%となり調査地ごとにばらついた。伊那市調査地について伐根を撮影したドローン写真をオルソ化し、CS 立体図に重ねた結果、カラマツ心腐病は図から判読された傾斜の変曲点付近や滞水地形に多く、過去の被害報告と一致したことから、カラマツ心腐病の被害リスクの高いエリアの予測と被害を回避した施業のためのゾーニングに CS 立体図が活用できる可能性がある。また、カラマツ心腐病の中で樹幹心材腐朽は腐朽進展長が長く、これまで主に問題視されていた根株心材腐朽に比べ、素材生産量の低下に対する影響が大きいと考えられた。特に、これまで報告の少ない白色幹心腐れを呈するカラマツカタワタケの検出率が高く、枯れ枝の痕や傷から侵入した本菌が上下方向の心材部の繊維に沿ってらせん状に進展していた。長伐期化するほど枯れ枝痕や傷由来の被害リスクが高まると考えられ、白色幹心腐れを回避するには、幹への損傷が発生しない施業が必要であり、間伐時の伐倒方向等の十分な検討が重要である。

カラマツ素材精算における経済的損失額は、55年生林分の腐朽伐根本数率が 17.8%、平均腐朽進展長が 6.56m であった場合は、約 11%の減収と試算された。根株に腐朽が到達しない白色幹心腐れを含めると経済的損失額はさらに増加すると考えられ、被害の回避と経済的損失の軽減のためには、カラマツ植栽時に根株心材腐朽の被害が想定される地形条件や過去の被害地を回避することに加え、気象害を受けやすい立地の回避や間伐時の残存木の損傷等を最小限にし、樹幹心材腐朽の被害発生リスクを抑える必要があると考えられた。

6 謝辞

本調査にあたり、各種調査にご協力いただいた双葉林業合資会社、平沢林産有限会社、川上村役場、北相木村役場、佐久穂町役場、並びに上伊那地方振興局、佐久地域振興局の関係者の皆様、また、菌種の同定にご協力いただいた森林総合研究所の服部力博士および日本大学生物資源科学部の橋谷拓武氏に対し、この場を借りて深く感謝申し上げます。

引用・参考文献

- 青島清雄・林康夫 (1962) カラマツの心腐れ病菌について. 日林講 72 : 308-309
- 川崎圭造 (1990) カラマツ心腐れ病に関する調査報告書-信州大学農学部調査委託報告書 53～59 年度合冊. 長野営林局 : 208pp
- 小林正・阿部恭久 (1989) カラマツの材質腐朽-培養の諸性質と材腐朽力. 日林論 100 : 591-592
- 小岩俊行 (2002) カラマツ根株心腐病菌の侵入口. 日林誌 84 : 9-15
- 黒田吉雄 (1997) カラマツ根株心腐病菌に関する生態学的研究. 筑大演報 13 : 1-72
- 黒田吉雄・大沢正嗣・勝屋敬三 (1991) カラマツ根株心腐病の樹幹内での進展. 日林誌 73(3) : 232-237
- 三原康義・片倉正行 (1983) 佐久地方におけるカラマツ腐心病の調査. 昭和 57 年度長野県林指業報 : 71-74, 155-163
- 長野県林務部 (2020) 令和 2 年度業務内容
- 長野県森林組合連合会 (2021) 第 1051 回市売り市況表. オンライン (<https://naganomoriren.or.jp>)
- Ohsawa, M., Kuroda, Y. and Katsuya, K. (1996) Stem-rot damage and progress of causal fungi in old-aged Japanese larch tees at the foot of Mt. Fuji. J. For. Res. 1 : 107-110
- 岡田充弘・小山泰弘・古川仁 (2012) カラマツ根株心腐病の被害実態の解明と被害回避法の確立. 長野県林総セ研報 16 : 33-39
- 奥村俊介 (1998) 長野県におけるカラマツ腐心病の発生状況とその対策. 森林防疫 37 : 212-216
- 佐々木克彦 (1983) カラマツ間伐木の腐朽調査. 北方林業 35 (4) : 13-18
- 戸田堅一郎 (2014) 曲率と傾斜による立体図法 (CS 立体図) を用いた地形判読. 森林立地 56(2) : 75-79