

亜高山帯常緑針葉樹林におけるオオシラビソ・シラビソ立木の腐朽診断

高尾 真世^{1,†}・小林 元^{2,3,*}・山越 麻由^{4,‡}・城田 徹央³・岡野 哲郎³

白澤 紘明^{2,††}・荒瀬 輝夫^{2,3}・木下 渉²・野溝 幸雄²・酒井 敏信²

¹信州大学農学部森林科学科・²信州大学農学部附属アルプス圏フィールド科学教育研究センター・

³信州大学農学部農学生命科学科森林・環境共生学コース・⁴信州大学総合理工学研究科農学専攻・

[†]現所属：王子グリーンリソース株式会社・[‡]現所属：第一園芸株式会社・

^{††}現所属：国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所林業工学研究領域

亜高山帯常緑針葉樹林において、応力波伝播速度と穿孔抵抗の測定によるオオシラビソとシラビソ立木の腐朽診断を行い、亜高山帯林における立木の材質腐朽の発生要因について考察した。応力波伝播速度は、材質腐朽および凍裂の生じた個体において低い値を示すものが多かった。また、凍裂の生じていない個体においては、樹幹直径方向の腐朽部の長さの比率が大きくなるにつれて低下した。応力波伝播速度のヒストグラムは正規分布もしくは左裾広がりの分布型を示し、オオシラビソ、シラビソ共に林分の標高が高くなるにしたがってより遅い階級に分布する本数密度が増加した。このことから、オオシラビソとシラビソにおいては、林分の標高が高くなるにしたがって材質腐朽木と凍裂木の本数密度が増大するといえた。凍裂木の多くが辺材腐朽していたことから、凍裂による樹幹の割裂部も木材腐朽菌の侵入経路の一つとして考えられた。凍裂木と辺材腐朽木は標高の高い林分で多く見られたことから、高標高林分においては、凍裂も材質腐朽を発生させる大きな要因と考えられた。

キーワード：応力波伝播速度、高標高林分、穿孔抵抗、凍裂、辺材腐朽

Mayo Takao, Hajime Kobayashi, Mayu Yamakoshi, Tetsuo Shirota, Tetsuro Okano, Hiroaki Shirasawa, Teruo Arase, Wataru Kinoshita, Yukio Nomizo, and Toshinobu Sakai : Diagnosis of wood decay in *Abies mariessi* and *Abies veitchii* in a subalpine evergreen coniferous forest. Japanese Journal of Forest Environment 63:39-44, 2021.

Wood decay in *Abies mariessi* and *Abies veitchii* growing in a subalpine evergreen coniferous forest was diagnosed using stress-wave velocity and drilling resistance. Factors affecting the outbreak of wood decay in subalpine forest was discussed. Stress-wave velocity was low in decayed trees and trees exhibiting frost-crack. Furthermore, stress-wave velocity decreased with increasing degrees of decay along trunk diameters in trees without frost-crack. The frequency distribution of stress-wave velocities was either normal or skewed to lower stress-wave velocity classes. Stem densities of individual *Abies mariessi* and *Abies veitchii* in the low stress-wave velocity class increased with increasing elevation. These results indicate that the stem density of decayed trees and trees exhibiting frost-crack increase with increasing elevation. Sapwood decay was observed in many frost-crack trees and, therefore, lacerations on the trunk made by frost cracking may be an infection route for wood-decay fungi. Since the stem densities of the frost-crack and the sapwood decayed trees was high at higher elevation, it was concluded that frost-crack may accelerate occurrence of wood decay at higher elevations in the subalpine evergreen coniferous forest.

Key words : drilling resistance, frost-crack, high elevation, sapwood decay, stress-wave velocity

1. はじめに

森林の発達には林冠ギャップの形成と密接に関係している(中静・山本, 1987)。倒木は林冠ギャップ形成の主要因であり(山本, 1984)、高標高地の森林ではしばしば、強風等によって高頻度に発生する(Kanzaki and Yoda, 1986; Kimura *et al.*, 1986; 小見山ら, 1981)。亜高山帯で発生した倒木は高い割合で木材腐朽菌に侵されており、樹幹内部に材質腐朽が

生じていることが報告されている(山中ら, 1994)。このように、木材腐朽菌は倒木の発生を通して森林群落の発達と密接に関係していると考えられるが、(Kanzaki and Yoda, 1986)天然林において立木の材質腐朽を調査した研究は少ない(矢川ら, 2015)。

材質腐朽病は樹幹の内部が侵されるため、外観から腐朽の有無を判定することは難しい。近年、樹幹内部に腐朽等の欠陥が存在するとその部位の応力波伝播速度が低下することを

* 連絡・別刷請求先著者 (Corresponding Author) : 〒399-4598 長野県上伊那郡南箕輪村8304 信州大学農学部 : Faculty of Agriculture, Shinshu University, 8304 Minamiminowa-mura, Kamiina-gun, Nagano 399-4598, Japan
E-mail : kobaafc@shinshu-u.ac.jp

1 Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Shinshu University

2 Education and Research Center of Alpine Field Science, Shinshu University

3 Faculty of Agriculture, Department of Agricultural and Life Science, Division of Forest and Environmental Symbiosis Science, Shinshu University

4 Department of Agriculture, Graduate School of Science and Technology, Shinshu University

† Present Address : Oji Green Resources Co. Ltd.

‡ Present Address : Daiichi Engei Co. Ltd.

†† Present Address : Department of Forest Engineering, Forestry and Forest Products Research Institute

(2021年3月11日受付, 2021年8月31日受理)

利用した機器が開発され(山田, 2008), 立木の腐朽を非破壊で推定する診断方法として, その有効性が示されている(永石ら, 1997; Yamaguchi *et al.*, 2001)。筆者らはこれまでカラマツ等を対象とした研究で, 樹幹内部に大きな腐朽を有する個体においては, 応力波の伝播速度から高い正解率で腐朽の有無(小林ら, 2007)と腐朽径の大きさ(小林ら, 2006)を診断できることを明らかにした。さらに, 応力波伝播速度のヒストグラムの分布型は, 腐朽の被害頻度を林分スケールで診断する上での有効な指標になることを示した(小林ら, 2008; 野口ら, 2013)。

信州大学西駒ステーションの亜高山帯常緑針葉樹林では, 標高が高くなるにしたがって倒木の本数密度が増大し, 高標高林分では倒木の発生によって林分発達の進行が抑制されていることが報告されている(小林ら, 2017)。本研究では, 応力波測定による立木の腐朽診断を亜高山帯のオオシラビソ・シラビソ林で行い, 亜高山帯林における材質腐朽の発生要因について考察した。

2. 調査地と方法

信州大学農学部附属アルプス圏フィールド科学教育センター西駒ステーションの, 4 および 7 林班の丸尾根を調査

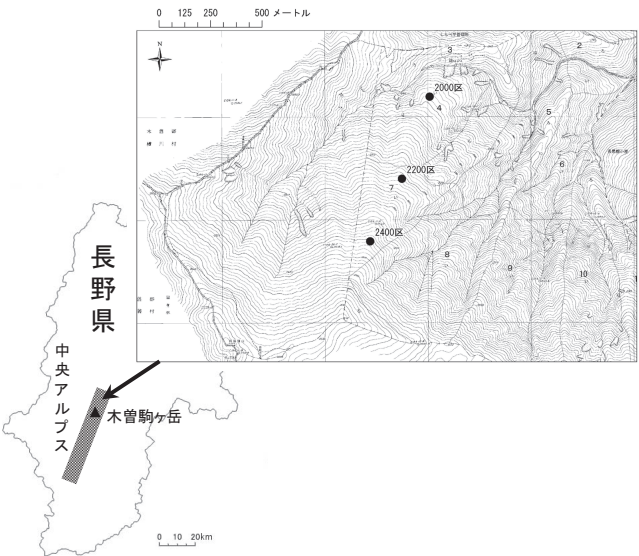


図-1. 試験地の位置
●は試験区を表す。

地とした(図-1)。丸尾根は中央アルプス主稜線の東方に位置する小ピーク, 標高2,672mの「将棋の頭」から北東方向に派生する平均傾斜28.6°の幅広な尾根で, ダケカンバの混交する亜高山帯性の針葉樹で覆われている(兼子・馬場, 1992)。2008年に大きさ0.09 haの方形試験区を標高2,045 m~2,453 mの間に標高差200 mの間隔で, それぞれの林相を代表する場所に3箇所設置し, それぞれ2000区, 2200区, 2400区とした(小林ら, 2017)。2000区, 2200区, 2400区の標高は, それぞれ2,045 m, 2,255 m, 2,453 mである。試験区内の高さ1.5 m以上の樹木の本数密度は, 3,344本/ha~6,933本/haで, 試験区の標高が高くなるにしたがって本数密度は多くなる(表-1)。胸高断面積合計は50.1 m²/ha~55.3 m²/haで, オオシラビソとシラビソが胸高断面積比の72%~87%を占める。試験区内の倒木本数密度は2000区が11本/ha, 2200区が44本/ha, 2400区が156本/haで, 試験区の標高が高くなるにしたがって多くなる。

試験区内の高さ1.5 m以上の全てのオオシラビソ(619本)とシラビソ(279本)について, 樹幹表面を観察して凍裂によって生じた割裂の有無を記録した。次に, 応力波伝播速度が直径の大きさに影響されない(高尾, 未発表データ), 地際部の直径が5 cmを越える試験区内の全てのオオシラビソ(313本)とシラビソ(153本)を対象として, 地上高20 cm~40 cmにおける樹幹直径方向の応力波伝播時間をマイクロ・セカンドタイマー(FAKOPP Enterprise社)を用いて測定した。測定は斜面垂線方向に対して直角に行い, 地際部に損傷や空洞の有する個体は, その上部で測定した。センサーピンを樹幹に差し込み, 木製ハンマーで一定の強さで叩いて応力波伝播時間を求めた。測定部位の樹幹直径を輪尺で樹皮厚を込みにして測定し, 樹幹直径から打ち込んだセンサーピンの深さを差し引いた値を応力波伝播時間で除して, 応力波伝播速度を求めた。さらに, 応力波伝播速度の遅い個体から速い個体まで試験区と樹種を無作為に97個体選び, 樹幹直径方向の穿孔抵抗をレジストグラフ(RESI PD500, IML社)を用いて測定した。穿孔抵抗は地際直径8.0~43 cm(平均15.6 cm)の個体を対象として, 応力波伝播速度と同じ位置と方向で測定した。レジストグラフで材質腐朽が検出された個体を腐朽木, 検出されなかった個体を健全木とした。腐朽木については, 得られた穿孔抵抗値から専用の解析ソフト(PD-Tools Pro, IML社)を用いて, 腐朽部位の大きさ(直径方向の長さ)を求めた。腐朽部

表-1. 試験区の林分概況

試験区	オオシラビソ				シラビソ		オオシラビソ		シラビソ	
	胸高断面 積合計 (m ² /ha)	林分本数 密度 (本数/ha)	胸高断面 積比 (%)	本数密度 比 (%)	胸高断面 積比 (%)	本数密度 比 (%)	平均胸高直径 (cm)		倒木本数 密度 (本数/ha)	倒木本数 密度比 (%)
2000区	50.1	3,344	53.6	33.9	18.6	17.0	16.3(±8.0)		11	0.33
2200区	55.3	4,044	52.2	68.4	34.5	21.4	9.8(±6.9)		44	1.09
2400区	52.1	6,933	44.3	56.1	37.2	31.1	6.8(±5.6)		156	2.25

林分データは小林ら (2017)より引用した。カッコ内の数値は標準偏差を表す。

位の大きさを樹幹断面の直径で除して、樹幹直径方向の腐朽部の長さの比率を計算した。腐朽部位が樹幹の外縁と接している腐朽を辺材腐朽、それ以外を心材腐朽に分類した。心材腐朽と辺材腐朽の両方を有する個体は「心材+辺材腐朽」とした。以上の測定を2016年6月から10月にかけて行った。

3. 結 果

オオシラビソ、シラビソ共に凍裂木の本数密度は試験区の標高が高くなるにしたがって増加し、最も標高の高い2400

区ではオオシラビソとシラビソを合わせた試験区全体の2割近くの個体に凍裂痕が見られた(表-2)。

図-2に、健全木と腐朽木における応力波伝播速度のヒストグラムを示した。穿孔抵抗の測定を行った97個体中、44個体から材質腐朽が検出された。健全木の応力波伝播速度は、2000区と2200区では中央値(1.0~1.1 km s⁻¹)より速い階級に多く分布しており、2400区では中央値より遅い階級に多く分布していた。一方、腐朽木においては、全ての試験区で中央値より遅い階級に多く分布していた。健全木、腐朽木共に、

表-2. 凍裂木の本数密度と割合

試験区	オオシラビソ			シラビソ		
	凍裂なし	凍裂あり	凍裂あり	凍裂なし	凍裂あり	凍裂あり
	(本/ha)	(本/ha)	(%)	(本/ha)	(本/ha)	(%)
2000区	833	56	6.3	467	22	4.5
2200区	1,978	311	14	667	89	12
2400区	3,078	622	17	1,433	422	23

表中の%は、それぞれオオシラビソおよびシラビソの全本数密度に占める凍裂木のパーセンテージを表す。

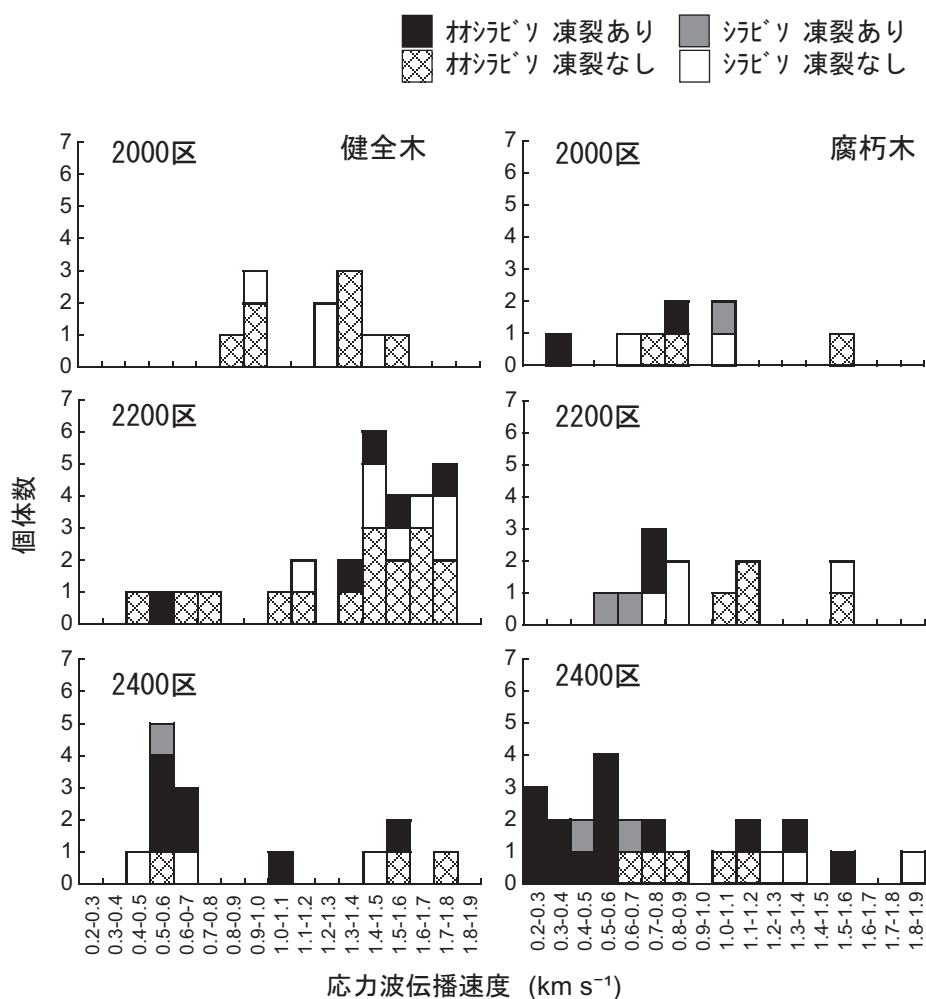


図-2. 健全木と腐朽木における応力波伝播速度のヒストグラム

表-3. 腐朽の部位

試験区	心材			辺材			心材+辺材		
	オオシラビソ	シラビソ	計	オオシラビソ	シラビソ	計	オオシラビソ	シラビソ	計
2000区	2	1	3	1	0	1	2	2	4
2200区	3	3	6	3	1	4	0	2	2
2400区	8	1	9	11	3	14	0	1	1
計	13	5	18	15	4	19	2	5	7

表中の数値は個体数を表す。

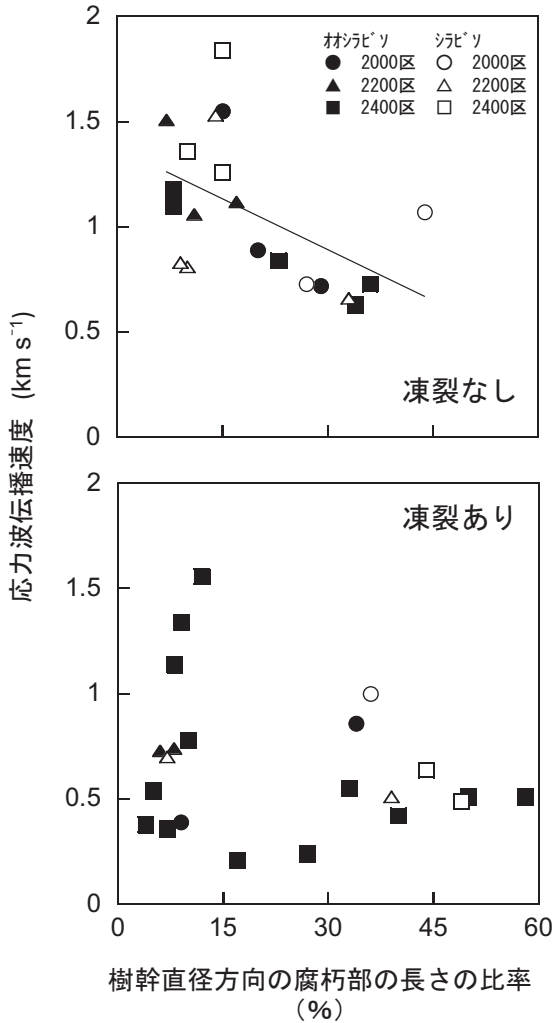


図-3. 腐朽木における樹幹直径方向の腐朽部の長さの比率と応力波伝播速度との関係
図中の直線は、凍裂の生じていない個体の回帰式を表す($y = 1.37 - 0.0161x$, $r = 0.522$, $n = 21$, $p < 0.05$)。

2400区の遅い階級に分布する個体の多くは凍裂木であった。健全木における凍裂の生じていないオオシラビソとシラビソの応力波伝播速度平均値は、それぞれ 1.29 km s^{-1} と 1.25 km s^{-1} で、有意差は認められなかった($t = 0.318$, $p > 0.05$)。健全木と腐朽木では凍裂の有無の割合が有意に異なった($\chi^2 = 8.12$, $p < 0.01$)。凍裂木の割合は腐朽木が健全木より多く、腐朽木の52%を凍裂木が占め、特に2400区のオオシラビソ腐朽木に多く見られた。逆に、健全木では凍裂の生じていな

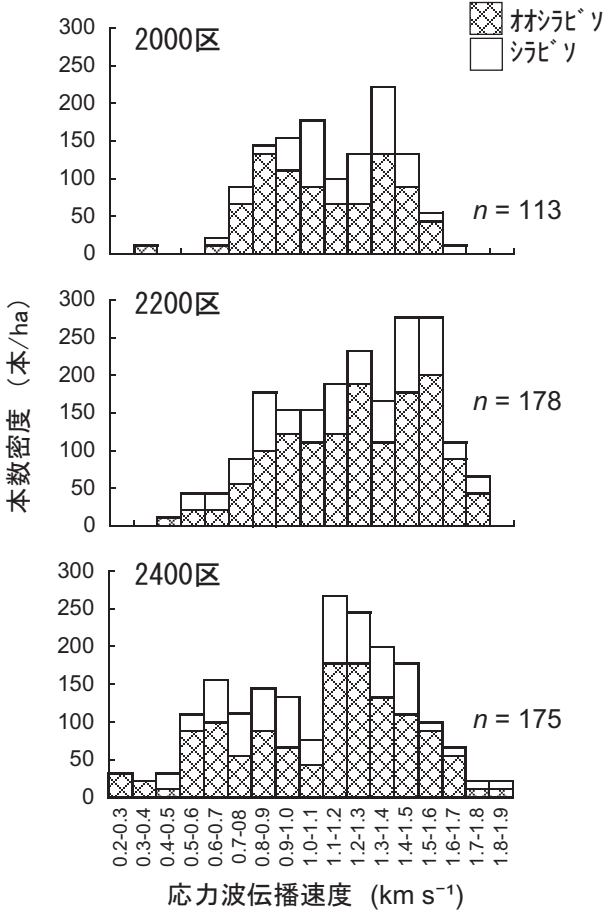


図-4. オオシラビソとシラビソの応力波伝播速度ヒストグラム

い個体が75%を占めた。
腐朽木の中、18個体は心材部が腐朽しており、19個体は辺材部が腐朽していた(表-3)。また、7個体は心材部と辺材部の両方が腐朽していた。辺材腐朽木は2400区のオオシラビソに多く見られた。
図-3に、腐朽木における樹幹直径方向の腐朽部の長さの比率と応力波伝播速度との関係を示した。応力波伝播速度は凍裂の生じていない個体においては、腐朽部の長さの比率が大きくなるにしたがって低下した。両者の関係に樹種による明瞭な違いは見られず、同一の直線で近似された($r = 0.522$, $n = 21$, $p < 0.05$)。一方、凍裂木においては腐朽部の長さの比率が小さい個体にも応力波伝播速度の遅い個体が数多く見られたことから、腐朽部の長さの比率と応力波伝播速度と

の間に有意な相関は認められなかった($r = 0.231$, $n = 23$, $p > 0.05$)。

図-4に、応力波伝播速度のヒストグラムを試験区ごとに示した。シャピローウィルクおよび歪度による正規性の検定を行ったところ、応力波伝播速度は2000区でのみ正規分布した。2200区と2400区においては、左裾広がり分布型を示した(2200区: 歪度 -0.381 , $p < 0.05$; 2400区: 歪度 -0.252 , $p > 0.05$)。

4. 考 察

樹幹の内部に腐朽等の欠陥が存在すると応力波伝播速度は低下する(山田, 2008)。本研究においては、応力波伝播速度が中央値($1.0 \sim 1.1 \text{ km s}^{-1}$)を下回る個体の多くに材質腐朽と凍裂が見られた(図-2)。応力波伝播速度のより遅い階級に分布する本数密度は、オオシラビソ、シラビソ共に試験区の標高が高くなるにしたがって増加する傾向にあることから(図-4)、本研究のオオシラビソとシラビソにおいては、林分の標高が高くなるにしたがって材質腐朽木と凍裂木の割合が増えるといえる。筆者らはこれまでの研究でカラマツとヒノキにおいては、応力波伝播速度がそれぞれ 1.0 km s^{-1} と 0.9 km s^{-1} を下回ると100%の確率で心材部に腐朽を有することを報告している(小林ら, 2008; 野口ら, 2013)。カラマツとヒノキ健全木の応力波伝播速度の平均値は、それぞれ 1.26 km s^{-1} と $1.38 \sim 1.60 \text{ km s}^{-1}$ で、本研究のオオシラビソ(1.29 km s^{-1})および、シラビソ(1.25 km s^{-1})と同程度の値であった。このことから、レジストグラフによる診断で健全木と判定されたオオシラビソとシラビソにおいても、応力波伝播速度が 1.0 km s^{-1} を下回る個体においては、高い確率で材質腐朽を有している可能性が考えられる。レジストグラフは細いプローブで穿孔した線上に存在する腐朽を検出する。このため、小型の腐朽や樹幹の中心から大きく離れた辺材部の腐朽は検出しにくい欠点を持つ。応力波伝播速度が遅い個体では、プローブによる穿孔を樹幹に対する角度を変えながら複数箇所で行ったが、それでも腐朽を検出できなかった個体は腐朽部位が小さかったか、あるいは樹幹の中心から大きく離れていたと考えられる。

一般に、立木の材質腐朽は心材腐朽が辺材腐朽と比べて多い(阿部, 1999)。本研究ではレジストグラフによる診断を行った地上高20 cm~40 cmにおいては、心材腐朽木と辺材腐朽木の割合がほとんど変わらなかった(表-3)。心材腐朽は木材腐朽菌が地下部の損傷部位から侵入して発生し(小岩, 2002)、風衝地や石礫の多い立地条件で多く発生する(川崎・管, 1983)。本研究において高標高林分で心材腐朽が発生する原因として、強い風に曝されることと、土壌が未成熟となり、土中に占める岩塊の割合が多くなることが挙げられる。一方、辺材腐朽は木材腐朽菌が枯れ枝等の地上部の損傷部位から侵入することによって発生する(阿部, 2014)。本研究において、高標高林分で辺材腐朽が発生する原因として、強風や冠雪による枝や幹の折損が挙げられる。加えて本研究では、材質腐朽木のおよそ5割が凍裂木であったことから(図-2)、

凍裂による樹幹の割裂部も木材腐朽菌の侵入経路の一つとして挙げられる(佐野, 1996)。凍裂木と辺材腐朽木は2400区で多く見られたことから(表-2, 3)、高標高林分においては、凍裂も材質腐朽を発生させる大きな要因と考えられる。

筆者らは先の報告で西駒ステーションの亜高山帯常緑針葉樹林では、標高が高くなるにしたがって倒木の本数密度が増大し、高標高林分では倒木の発生が林分発達の抑制因子として無視できないことを述べた(小林ら, 2017)。高標高林分で倒木が多く発生する原因として、強風(小見山ら, 1981; Kimura *et al.*, 1986; Kanzaki and Yoda, 1986; 山中ら, 1994)や冠雪(Kajimoto *et al.*, 2002)が挙げられるが、本研究の結果、西駒ステーションの高標高林分においては、凍裂による立木の材質腐朽も倒木の発生を増大させる要因の一つとして考えられる。

筆者らは高齢カラマツ林において、マツノカタワタケ(*Porodaedalea pini*)による樹幹腐朽が数多く観察されたことを報告している(小林ら, 2010)。本研究においては、いずれの試験区においても腐朽木に木材腐朽菌の子実体の形成は確認できなかったが、試験区内および周辺には褐色腐朽の進行した倒木が多く見られた。また、標高2,000 m付近ではオオシラビソ、シラビソの根元に褐色腐朽を起こすカイメンタケ(*Phaeolus schweinitzii*)の子実体を複数観察した。倒木の材の物理化学性は腐朽型によって異なるため、倒木を腐朽させた腐朽菌の種類は、倒木を住み場所や餌資源として利用する様々な生物群集に影響を与えていると考えられている(深澤, 2013)。今後、倒木の腐朽型や木材腐朽菌の種類について調べ、材質腐朽が倒木発生とその後の実生更新(Fukasawa, 2012)にどのように関わって来るのか詳しく調べて行きたい。

5. おわりに

近年、森林生態系における生き物の住み場所や餌資源としての枯死木や倒木の重要性が認識されている(長池, 2014)。このような背景のもと、天然林においても立木の腐朽診断を行うことは森林の動態を予測したり(矢川ら, 2015)、生物多様性を評価したりする上で意義深いと考える。

6. 謝 辞

本研究を行うにあたって、信州大学森林科学科の大勢の学生に野外調査を手伝っていただいた。担当編集委員と2名の査読者からは数多くの有益なご助言をいただいた。ここに厚く御礼申し上げます。

引 用 文 献

- 阿部恭久 (1999) 樹木の腐朽病害. (樹木医学, 鈴木和夫編, 325 pp. 朝倉書店, 東京). 228-244.
- 阿部恭久 (2014) 腐朽病害の発生生態. (樹木医学の基礎講座, 樹木医学会編, 348pp, 海青社, 大津). 210-224.
- Fukasawa, Y. (2012) Effects of wood decomposer fungi on tree seedling establishment on coarse woody debris. *Forest Ecology and Management* 266:232-238.
- 深澤 遊 (2013) 木材腐朽菌による材の腐朽型が枯死木に生息する生物群集に与える影響. *日本生態学会誌* 63:311-325.

- Kajimoto, T., Seki, T., Ikeda, S., Daimaru, H., Okamoto, T., and Onodera, H. (2002) Effects of snowfall fluctuation on tree growth and establishment of subalpine *Abies mariesii* near upper forest-limit of Mt. Yumori, northern Japan. Arctic, Antarctic and Alpine Research 34:191-200.
- 兼子嘉次・馬場多久男 (1992) 西駒演習林登山ルートの植物分布. 信州大学演習林報告29:97-146.
- Kanzaki, M., and Yoda, K. (1986) Regeneration in subalpine coniferous forests II. Mortality and the pattern of death of canopy trees. Botanical Magazine Tokyo 99:37-51.
- 川崎圭造・菅 誠 (1983) 長野県におけるカラマツ腐心病発生に関する検討. 日本林学会大会発表論文集94:449-450.
- Kimura, M., Kimura, W., Honma, S., Hasuno, T., and Sasaki, T. (1986) Analysis of development of a subalpine *Abies* stand based on the growth processes of individual trees. Ecological Research 1:229-248.
- 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) 応力波測定によるカラマツ生立木の非破壊腐朽診断—腐朽径の推定—. 中部森林研究 54:55-56.
- 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 (2007) 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・岡田充弘・小野 裕・安江 恒・井上 裕・植木達人 (2010) 日本最古のカラマツ人工林における応力波伝播速度測定による生立木の腐朽診断. 樹木医学研究14:92-96.
- 小林 元・吉村太一・見尾 優・安江 恒・野溝幸雄・木下 渉・酒井敏信・白澤紘明・荒瀬輝夫 (2017) 信州大学西駒ステーション亜高山帯常緑針葉樹林における人為攪乱から50年後の林分構造. 信州大学農学部AFC報告15:1-9.
- 小岩俊行 (2002) カラマツ根株心腐病菌の侵入口. 日本林学会誌 84:9-15.
- 小見山章・安藤辰夫・小野 章 (1981) 御岳山・亜高山帯天然林の動態(Ⅱ)上層木の枯死状況. 岐阜大学農学部研究報告45:307-321.
- 長池卓男 (2014) 森林生態系の多様性維持における枯死木の役割と管理. (樹木医学の基礎講座, 樹木医学会編, 348pp, 海青社, 大津). 60-65.
- 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.
- 中静 透・山本進一 (1987) 自然攪乱と森林群集の安定性. 日本生態学会誌37:19-30.
- 野口智史・小林 元・見尾 優・木下 渉・野溝幸雄・酒井敏信・前田佳伸 (2013) 応力波伝播速度測定によるヒノキ生立木の非破壊腐朽診断. 信州大学農学部AFC報告11:5-9.
- 佐野雄三 (1996) 樹木の凍裂発生要因の研究. 北海道大学農学部紀要19:565-648.
- 矢川健太・齋藤 大・城田徹央・岡野哲郎 (2015) 北海道東部老齡ミズナラ林の風雪に対する攪乱体制評価のための腐朽診断. 第126回日本森林学会大会P1B036. 日本森林学会大会発表データベース. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jfsc/126/0/126_287/article/-char/ja/ (2021年2月27日閲覧).
- 山田利博 (2008) 精密機器による樹木診断の現状と課題. グリーン・エージ35:4-10.
- Yamaguchi, T., Sasaki, K., and Sakamoto, Y. (2001) Evaluation of a stress-wave timer for the minimally destructive detection of decay in living trees in northern-Japanese forests. Journal of Forest Research 6:117-120.
- 山本進一 (1984) 森林の更新—そのパターンとプロセス—. 遺伝 38:43-50.
- 山中典和・安藤 信・玉井重信 (1994) 南アルプス亜高山帯針葉樹林の齡構造と更新過程. 森林立地36:28-35.