

野辺山ステーションにおけるカラマツ心腐病の発生と腐朽量推定方法の検討

小川憲子・岡野哲郎・川崎圭造

信州大学農学部 森林科学科

要 約

AFC 野辺山ステーション丸山の50年生カラマツ人工林における心腐病の発生状況と腐朽材積の推定方法について研究を行った。0.12ha の調査区内における罹病率は29.7%で、1999年における隣接林分での罹病率よりも約1.7倍に増加していた。胸高直径20cm 未満のより小さな個体での罹病率が50%以上と高く、30~35cm で罹病木は認められなかった。罹病木はプロット内全域に存在し、*Iδ* 法により罹病木の分布様式はランダム分布であることが確かめられ、1990年時および1999年時の調査結果と同様であった。幹内での腐朽到達高、腐朽材積は地際部での腐朽断面積と0.5m 部位での腐朽断面積を用いた重回帰式により推定可能であると考えられた。根株における腐朽材積は、地際部における腐朽断面積と強い正の相関があった。これら結果は、腐朽材積が腐朽部の直径を計測することによって推定可能であることが示唆された。

キーワード：カラマツ，心腐病，罹病率，分布様式，腐朽材積

はじめに

カラマツ (*Larix kaempferi*) の材質腐朽病の一種である根株腐朽病 (以下、心腐病) は、カラマツ生立木の心材部が病原菌によって腐朽し、そのことによって木質資源としての利用価値を低下させる。当初カラマツ人工林は短伐期施業を主としていたが、近年、利用用途の変化や材価低迷の影響によって長伐期施業に変更する傾向にあり、伐期齢を延長した場合、林分内における心腐病の拡大と心材での腐朽進行が懸念されている¹⁾。また著しく腐朽が進行したものでは、強風による折損などによって間接的な枯死を引き起こすことがあるとされ²⁾、特に本病が多発する地域において深刻な問題である。本病はカイメンタケ (*Phaeolus schweinitzii*)、レンゲタケ (*Oligoporus balsameus*)、ハナビラタケ (*Sparassis crispa*) を主とする担子菌類が病原菌とされる³⁾⁴⁾。

長野県内においては浅間山および八ヶ岳地域が古くから本病の多発地として知られており、八ヶ岳地域に所在する AFC 野辺山ステーションも例外ではない。これまで、本ステーションにおける本病に関しては、罹病率、罹病木の分布様式、腐朽形態などについて報告されている⁵⁾⁶⁾。このうち罹病木の分

布様式はランダム分布するとされているが、他の地域においては規則分布あるいは集中分布することも報告されており⁷⁾⁸⁾、必ずしも分布様式が同一ではない。これは心腐病発生当初に集中分布の状態にあるものが、拡大に伴いランダム分布へと変化するためと考えられている⁷⁾⁸⁾。また、尾根筋で風当たりの強い場所や石礫の多い場所、あるいは土壌水分が過湿となる斜面下方および平坦地などで心腐病が多く発生することが知られており²⁾⁷⁾⁸⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾、地形や土壌の局所的な立地環境特性が罹病木の分布様式に影響すると考えられる。しかし斜面における腐朽木の配置に明瞭な傾向が認められない場合も報告されている¹³⁾。腐朽形態については、地際腐朽径から腐朽到達高を推定し得ることが報告されているが⁶⁾、腐朽材積を予測する方法については検討されていない。近年、立木状態で非破壊的に腐朽を推定する方法として電気抵抗¹⁴⁾、X線¹⁵⁾、応力波¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾による研究が進められており、腐朽材積計測への応用が期待されるが、現段階において精度や野外計測における実用面に問題が残る。

本研究では、これまでに AFC 野辺山ステーション内の丸山周辺で行われてきたカラマツの心腐病発生に関する研究成果を踏まえ、罹病率および分布様式の経時変化を検討し、さらに成長錘や電動ドリルなどの穿孔による腐朽断面積の計測を前提とした、腐朽材積推定を試み、その可能性を検討することを

受領日 2007年2月6日

採択日 2007年2月23日

目的とした。このことはカラマツの利用可能な材積を求めることに加え、カラマツ林の二酸化炭素吸収および蓄積能力の計測において腐朽は二酸化炭素の放出量に影響を与える要因であることから、腐朽材積推定法の確立がこれら両面において必要とされている。

調査地の概要と方法

調査地は、長野県南佐久郡南牧村に所在する信州大学農学部附属 AFC 野辺山ステーション内の丸山の南向き斜面（標高1360m, 平均傾斜10度）に生育する50年生カラマツ人工林である。土壌は火山灰由来の適潤性黒色土（B_{1b}）で、本ステーションにおける年平均気温は6.7°C, 年降水量は1426.4mmである。

このカラマツ人工林内に20×60mの調査区を設置し、調査区内のカラマツの全生立木111本について毎木調査（胸高直径、樹木位置の計測）を行った。なお樹高は個体間差がほとんど認められなかったため、梢端が確実に見通せた19本について計測した。さらに全生立木について地際から約5cm部位に電動ドリルを用いて直径10mm, 長さ20cmの穴を4～8方向に穿ち、褐色の腐朽材が確認された個体を罹病木とみなした。表皮から腐朽部までの長さをもとに腐朽径を計測し、地際部における腐朽断面積を楕円近似によって算出した。なお、幹の地際断面積に対する腐朽断面積の割合を地際腐朽率（%）とした。全生立木および罹病木の分布様式は *Iδ* 法¹⁹⁾を用いて解析した。毎木調査は2005年6～9月に、罹病木の判定は同年7・8月に行った。

罹病木の幹内部の腐朽材積を算出するため、調査区内の罹病木5本（地上部供試木 No. 1～5）を伐採し、腐朽部の到達高と高さ毎の腐朽面積を計測するため地際部から先端に向かって50cm毎に幹の円盤を採取した。各円盤における腐朽面積から区分求積法により腐朽材積を計算した。伐採面以下の根株部分については罹病木5本（根株供試木 No. 6～10）を掘取り、帯鋸により縦方向に4分割し、縦断面における腐朽面積を計測し腐朽材積を算出した。伐採および根株の掘取りは2005年10・11月に行った。

なお、本調査地付近の防風林においてカイメンタケの子実体を確認した。ただし供試木について菌類の分離と同定を行っていないため、病原菌の種類は不明である。

結果および考察

1) 罹病率と分布様式

111本の毎木調査の結果、平均胸高直径21.6cm, 平均樹高18.9m, 生立木密度925本/haであった。このうち33本（275本/ha）が罹病木と判定され、罹病率は29.7%であった。本調査地に隣接する林分において6年前の1999年にドリルによる穿孔で判定した罹病率は17.6%であった⁶⁾。ただし伐根断面により算出された罹病率は、1990年の調査において61.5～78.6%⁵⁾, 1999年の調査において36.1%といずれも今回得られた罹病率より高い値であった。これはドリルによる穿孔が伐根断面における微小な腐朽箇所を抽出できない、あるいは判読できないためと考えられた。今後、本調査地において伐採による罹病木の判定を行い、伐根断面による過去の調査結果と比較し再検討する必要がある。しかしながら同様の方法で判定し算出した場合⁶⁾と比べ、約1.7倍に罹病率が増加していたことから、本カラマツ人工林において心腐病が拡大している可能性があるものと考えられた。

図1に生立木および罹病木の胸高直径階別本数分布と罹病率を示した。全生立木は胸高直径20～25cmの階にピークを持つ一山型の分布を示し、これに対し罹病木は同様に一山型の分布であったが、そのピークは15～20cmの階であった。30～35cmの階に罹病木は認められず、より小さな階ほど罹病率が高まる傾向が認められ、20cm未満の階においては50%以上の高い罹病率であった。同一樹齢の集団であるが、径級が小さいものほど罹病しやすいという傾向は、川崎ら⁷⁾による他の調査地では認められていない。本病は死細胞で構成される心材部のみを侵し、水分通導に関係する辺材部に腐朽が侵入しないことから、罹病によって成長が抑制されたとは考えにくく、本調査地においてこのような傾向が認められた原因は

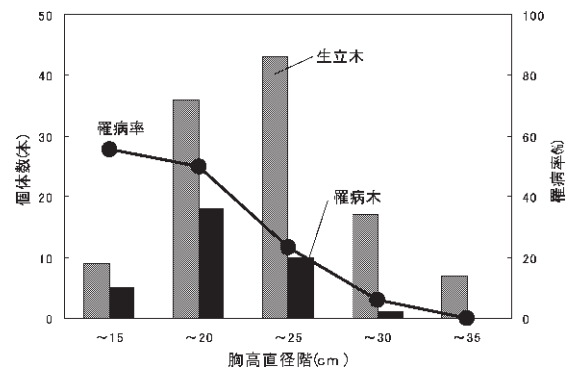


図1 胸高直径階別の生立木と罹病木の分布と罹病率

不明である。樹齢および樹木サイズと罹病プロセスとの関係について、今後、より詳細な調査、検討を行う必要がある。また、先述した丸山における1990年の調査⁵⁾で高い罹病率となった理由として、調査対象とした伐根が間伐されたものであることから、罹病率が比較的高いより小径な個体が選抜され間伐されたためと考えられた。

図2に調査区内の健全木と罹病木の位置を示した。罹病木は調査区全域に分布していた。図3に全生立木と罹病木についての $I\delta$ 値の変化を示した。これら $I\delta$ 曲線は、全生立木が典型的な規則分布を示し、罹病木は弱度の集中性を持つランダム分布を示した。丸山において1990年時と1999年時の分布様式に関する解析結果⁵⁾⁶⁾においても罹病木はランダム分布を示していたことから、罹病木の分布様式に変化はないと考えられた。本調査区は約10度の緩斜面で、位置図中の上方が斜面上部、下方が斜面下部である。土壌水分が過湿となる斜面下部および平坦地などで心腐病が多く発生する²⁾⁷⁾⁸⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾ことが知られているが、本調査地の場合は特に斜面下部で罹病木が多いという傾向は認められなかった。これは傾斜が緩く乾湿の差が小さいためと思われる。また、カラマツ心腐病の多発地は、小岩²⁾は風による樹体の揺さぶりが根系に傷害を発生させ、心腐病菌の侵入と拡大が進行するとし、山根¹²⁾は風害跡地における発生を報告している。川崎²⁰⁾²¹⁾は厳寒期に土壌凍結がおこる地域であるとし、土壌の凍結・融解による土壌の膨張と伸縮が根系を傷つけ、さらには融雪期

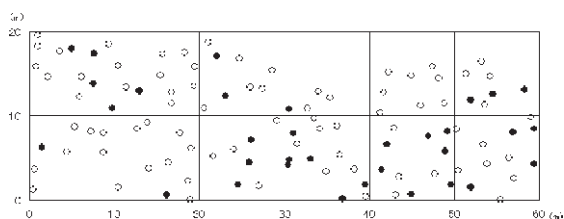


図2 調査区におけるカラマツの位置

○健全木, ●罹病木

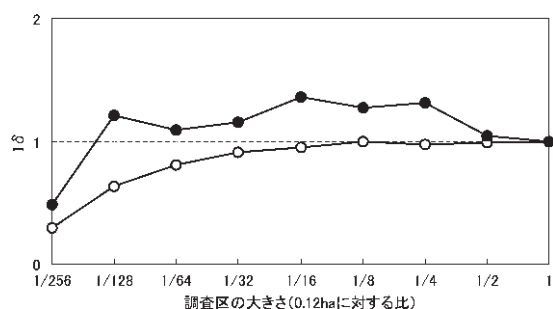


図3 全生立木と罹病木の $I\delta$ 値の変化

○健全木, ●罹病木

における耐水が心腐病の発生に関係するものと考えた。本調査地は耕地防風林が設置されるほどに風が強くなり、冬期に土壌が凍結するという少雪・厳寒の環境にある。したがって、斜面位置による土壌水分環境による影響よりも強風や土壌凍結の影響が卓越し、斜面全域で心腐病が発生したものと推察された。なお、本地域と同様の気象環境下であり火山灰由来の黒色土に造林されたカラマツ林（北海道十勝地方）においても、斜面位置と罹病木の配置に明瞭な関係が認められなかったという本研究と同様の結果が報告されている¹³⁾。

2) 樹幹内における腐朽形態と腐朽材積

表1に地上部供試木5本のサイズおよび地際部における腐朽量と腐朽到達高を示した。地際腐朽面積は11.7~84.8cm²、同腐朽率は2.4~22.7%、腐朽到達高は63.0~455.5cmの範囲であった。腐朽到達高の推定は欠点のない木質資源量を把握する上で重要であることから、地際腐朽径および地際腐朽率と腐朽到達高との関係を解析し、それぞれの結果を図4と図5に示した。地際腐朽径、地際腐朽率の増加と共に腐朽到達高は高まる傾向が認められたものの、いずれの相関係数は有意ではなかった。1999年時の調査においてこれら関係は極めて高い相関が認められているが⁶⁾、本研究においてこれと異なる結果となった理由は明らかではない。しかし、表1に示した腐朽到達高と地際腐朽面積の比を計算すると1.8~8.7とばらつきがあったことから、樹幹内における腐朽形態が相似形的ではないものと考えられた。そこで地際部および0.5m部位における2つの腐朽面積と腐朽到達高との関係を重回帰分析（地際部における腐朽断面積を x_1 、0.5m部位における腐朽断面積を x_2 ）により解析した。その結果、腐朽到達高 Y は、

$$Y = 80.46 - 1.24x_1 + 13.34x_2 \quad (R^2 = 0.9689)$$

という関係が得られた。この式による腐朽到達高の推定値と実測値との関係を図6に示した。上記の重回帰式による推定値は実測値によく近似し、相関係数は有意水準1%で有意であった。このことは地際部および0.5m部位において電気ドリルなどで穿孔し、腐朽径の測定から腐朽断面積を求めることで、腐朽形態の差異に関わらず腐朽到達高の推定が可能であることを示唆するものであった。

次に地際部および0.5m部位の腐朽断面積と幹における腐朽材積との関係を、腐朽到達高の場合と同様、重回帰分析により解析した。その結果、幹腐朽材積 V_s は、

$V_s = -57.64 - 6.13x_1 + 266.50x_2$ ($R^2 = 0.9634$)
 となった。なお表 2 に根株供試木 5 本のサイズおよび腐朽量を示した。この式による幹腐朽材積の推定値と実測値との関係を図 7 に示した。推定値は実測値によく近似し、相関係数は有意水準 1% で有意であった。このことは腐朽到達高と同様、幹腐朽材積

の推定が可能であることを示唆するものであった。図 8 に地際部における腐朽断面積と側根を除く根株部における腐朽材積 (根株腐朽材積) との関係を示した。相関係数は有意水準 5% で有意であった。このことは、幹腐朽材積とは異なり地際部における腐朽断面積のみで根株部の腐朽材積を推定することが可

表 1. 地上部供試木 5 個体のサイズおよび腐朽量と腐朽到達高

供試木 No.	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
樹 高 (m)	16.3	17.5	18.2	18.2	19.0
胸高直径 (cm)	14.4	19.5	18.4	18.3	23.5
地際直径 (cm)	17.6	27.4	24.9	25.2	28.0
地際断面積 (cm ²)	242.2	589.4	484.7	498.7	615.0
地際腐朽面積 (cm ²)	55.0	36.3	11.7	14.4	84.8
地際腐朽率 (%)	22.7	6.2	2.4	2.9	13.8
腐朽到達高 (cm)	455.5	316.0	63.0	111.0	156.5

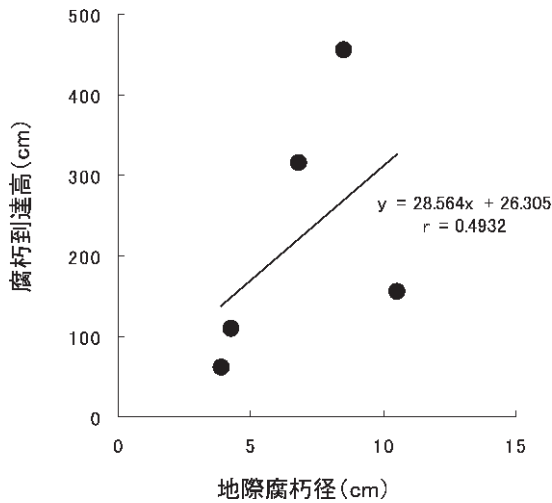


図 4 地際腐朽径と腐朽到達高との関係

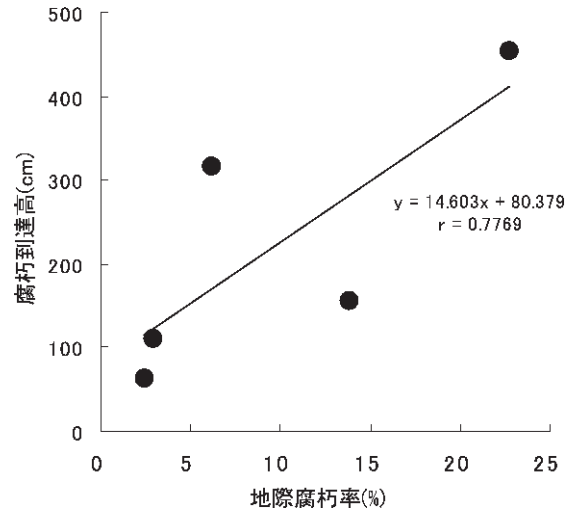


図 5 地際腐朽率と腐朽到達高との関係

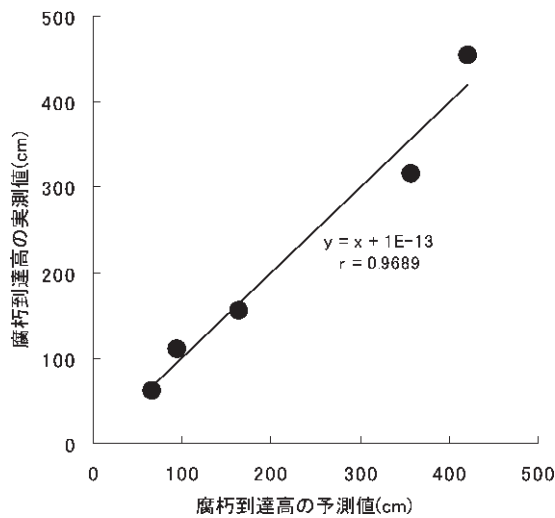


図 6 腐朽到達高の重回帰式による推定値と実測値との関係

表2. 根株供試木5個体のサイズおよび腐朽量

供試木 No.	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10
樹高 (m)	16.3	19.2	20.4	18.8	19.0
胸高直径 (cm)	14.4	17.9	18.3	20.6	23.5
地際直径 (cm)	17.6	23.6	22.5	24.7	28.0
地際断面積 (cm ²)	242.2	436.9	397.1	476.9	615.0
地際腐朽面積 (cm ²)	52.2	103.7	38.5	5.9	60.5
地際腐朽率 (%)	32.0	40.9	14.7	1.8	13.7
地下部腐朽材積 (cm ³)	3041.7	6978.3	4366.1	903.3	3809.1
地下部腐朽材積率 (%)	44.9	38.4	19.5	4.1	11.8

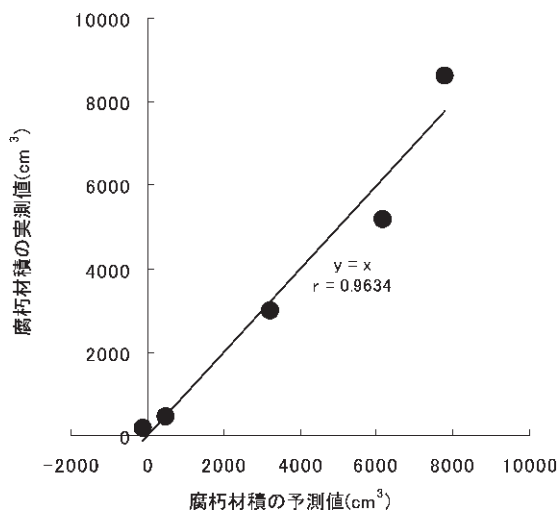


図7 腐朽材積の重回帰式による推定値と実測値の関係

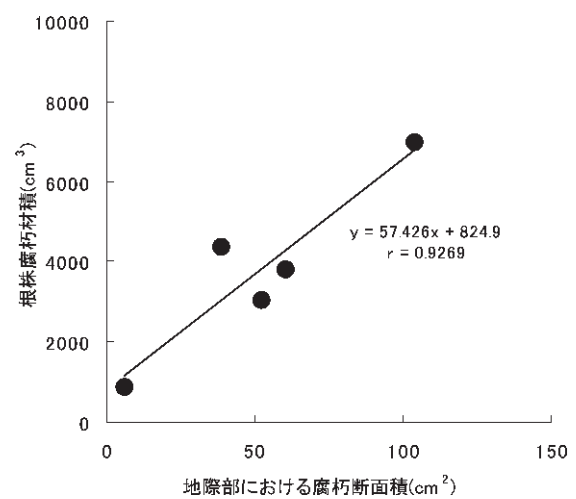


図8 地際部における腐朽断面積と根株腐朽材積の関係

能であることを示唆するものであった。

これまで幹および根株部における腐朽材積を推定する方法についての研究はなされていなかったが、本研究によってこれら材積の推定の可能性が示された。しかし高い精度での推定を可能とするためには、より多くの供試木を用いて解析を行う必要があると思われる。

おわりに

本研究において、特に腐朽材積の推定方法構築のための基礎的知見を得ることができた。しかし供試木数が少ないため、推定式の信頼性は十分とはいえなかったため、より多くの供試木を用いての解析を行う必要がある。さらに病原菌の種類や地域によって推定式が異なる可能性も考えられ、今後これらの要因も含めた調査、研究を行わなければならない。

最後に、心腐病多発地におけるカラマツ人工林の造成と管理について、本研究から得られた結果をもとに言及する。人工林育成の基本は適地適木であるから、心腐病が多発する可能性が高い地域において

カラマツ人工林の造成は控えることが得策であり、これまでの研究^{2)7)8)10)~13)20)21)}において示されているように、土壌水分が過湿となる斜面下方および平坦地、冬期に土壌が凍結する地域、高頻度で強風が襲う地域などがカラマツ人工林不適地ということになる。しかしカラマツは寒冷な気候下においても旺盛に成長する種特性を持つことから²²⁾、長野県の山岳地を始め、北海道、東北北部において造林され、また防風林としても植栽されている。図1に示したように、より小径な個体において罹病率が高く、胸高直径25cm以上の成長が優良な個体での罹病率は低かった。また Igarashi&Takeuchi²³⁾、Kuroda *et al.*²⁴⁾、小岩²⁾はいずれも心腐病菌の侵入が15年生以下の若齢段階であることを指摘していることから、心腐病多発地における既存のカラマツ人工林に対しては、除・間伐時に罹病木を積極的に伐採し排除することが本病防除において効果的であると考えられる。このためには、野外において簡便な非破壊による腐朽個体の判別技術が必要とされる。現在のところ応力波測定による診断が有力な方法であるとされ

るが¹³⁾、他の方法を含めより精度の高い機器の開発と実用化を期待したい。

謝 辞

本研究の遂行において、筑波大学農林技術センター・黒田吉雄博士、信州大学農学部・小林 元博士ならびに荒瀬輝雄博士にはご助言とご協力を頂いた。同学部附属 AFC 野辺山ステーション・久馬 忠博士始め職員の方々には多々お世話を頂いた。また著者らが所属する研究室の学生・院生諸氏、ならびに卒業生の松尾野里子氏には現地調査においてご協力を頂いた。ここに記して深甚なる謝意を表する。

参考資料

- 1) 浅田節夫・佐藤大七郎 カラマツ造林学. 289pp. 農林出版株式会社, 東京, 1981.
- 2) 小岩俊行 カラマツ根株心腐病菌の侵入口. 日本林学会誌 **84**, 9-15, 2002.
- 3) 青島清雄・林 康夫 カラマツ心腐れ病菌について. 日本林学会大会講演集 **72**, 308-309, 1962.
- 4) 大澤正嗣・勝屋敬三 長野県八ヶ岳東部山麓におけるカラマツ造林木の根株腐朽病木および健全木の樹幹内菌類フロア. 日本林学会大会発表論文集 **96**, 489-490, 1985.
- 5) 川崎圭造・図子光太郎 カラマツ心腐病多発地. 日本林学会中部支部大会論文集 **38**, 127-129, 1990.
- 6) 宮田佳代子・川崎圭造 カラマツ根株心材腐朽木の分布様式と腐朽形態. 中部森林研究, **47**, 103-104, 1999.
- 7) 川崎圭造・菅 誠・浅田節夫・西岡泰久 カラマツの心腐病と立地との関係. 日本林学会中部支部大会講演集 **30**, 81-88, 1982.
- 8) 川崎圭造・池田直弥・浅田節夫・菅 誠 カラマツ心腐れ病発生地の立地条件. 日本林学会中部支部大会講演集 **31**, 185-188, 1983.
- 9) 川崎圭造・菅 誠 長野県におけるカラマツ心腐病発生に関する検討. 日本林学会大会発表論文集 **94**, 449-450, 1983.
- 10) 川崎圭造 カラマツ腐心病発生と立地との関係. 日本林学会中部支部大会講演集 **32**, 259-262, 1984.
- 11) 佐々木克彦・林 康夫 カラマツ造林木の腐朽菌害—北海道における被害実態—. 日本林学会北海道支部大会講演集 **31**, 125-127, 1982.
- 12) 山根玄一・薄井五郎・北川善一 北海道におけるカ

- ラマツ人工林の立木腐朽. 北海道林業試験場研究報告 **28**, 64-74, 1990.
- 13) 小林 元・鍛冶清弘・馬淵哲也・岡野哲郎 九州大学北海道演習林の53年生カラマツ林における心腐れの状況. 日本林学会北海道支部大会論文集 **51**, 79-81, 2003.
 - 14) 勝屋敬三・黒田吉雄 シゴメーターによるカラマツの根株心腐れの診断に関する基礎資料 (I). 筑波大学演習林報告 **1**, 17-20, 1983.
 - 15) 黒田吉雄・大澤正嗣・勝屋敬三 X線診断装置 (コンピューター断層撮影) によるカラマツ樹幹内の根株心腐病の調査. 日本林学会大会発表論文集 **99**, 545-546, 1988.
 - 16) 永石憲道・神庭正則・笠松滋久・渡辺直明 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, 1997.
 - 17) YAMAGUCHI T., SASAKI, K. and SAKAMOTO, Y. Evaluation of a stress-wave timer for the minimally destructive detection of decay in living trees in northern-japanese forests. J. For. Res., **6**, 117-120, 2001.
 - 18) 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 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.
 - 19) MORISHITA, M. Measuring of the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns. Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ., Ser. E (Biol), **2**, 215-235, 1959.
 - 20) 川崎圭造 カラマツ腐心病発生地の立地条件. 日本林学会中部支部大会講演集 **33**, 87-90, 1985.
 - 21) 川崎圭造 カラマツ腐心病多発地の土壌. 日本林学会中部支部大会論文集 **34**, 65-67, 1986.
 - 22) 菅原 聡 あたらしいカラマツ林業. 236 pp., 林業経済新聞出版社, 1973.
 - 23) IGARASHI, T. and TAKEUCHI, K. Decay damage to planted forest of Japanese larch by wood-destroying fungi in the Tomakomai Experimental Forest of Hokkaido University. Res. Bull. Hokkaido Univ. For., **42**, 837-847, 1985.
 - 24) KURODA, Y., OHSAWA, M., YAMADA, M., TAKAMIZAWA, K. and KATSUYA, K. The time of infection of butt-rot fungi into larch trees. Bull. Tsukuba Univ. For., **8**, 123-126.

Summary

Occurrence of butt rot in *Larix kaempferi* forest at the Nobeyama Station of AFC and estimate method for rotten wood volume.

Noriko OGAWA, Tetsuo OKANO and Keizou KAWASAKI

Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Shinshu University

Occurrence of butt rot in 50-year-old *Larix kaempferi* forest was surveyed and estimate method for rotten wood volume were examined on the south slope of Maruyama in Nobeyama Station. The incidence of butt rot was 29.7 % that was increased about 1.7 times as compared with the result of investigation at adjacent larch stand in 1999. In DBH distribution, the incidence of smaller trees less than 20 cm was more than 50 %, and there were no infected trees in 30-35 cm class. Infected trees, 34 individuals in total, existed in the whole survey area and it was confirmed that the distributional pattern was randomly by the analysis of $I\delta$ method. This pattern was similar to the results of survey in 1990 and in 1999. Height and volume of rotten wood in stems were able to be estimated by multiple regression using the basal area of rotten wood at 0 m and at 0.5m height as predictor variables. Strong positive correlation was found between rotten volume in stamps and basal area of rotten wood at ground level. These results suggested that the rotten wood volume can be estimated by measuring the diameter of the affected part.

Key word : Japanese larch (*Larix kaempferi*), butt rot, incidence, distribution pattern, rotten wood volume