

長野県林業総合センター

研 究 報 告

第 3 9 号

Bulletin of the Nagano Prefecture
Forestry Research Center

No. 39

2 0 2 5

令和 7 年 3 月

長野県林業総合センター

はじめに

日頃から、長野県林業総合センターの業務運営につきまして、多くのご支援、ご協力を賜り、厚く御礼申し上げます。

センターでは、2021 年（令和 3 年）3 月に長野県林業総合センター基本計画を策定し、「健全な森林づくり」、「豊かな地域づくり」、「信州カラマツ等の県産材利活用」、「新たな時代の森林・林業を切り拓く」、「林業に関わる人材の育成指導」の 5 つの課題を解決するための 10 年先に向けた 44 の目標を立て、研究や人材育成に取り組んでいるところです。

研究報告では、当センターで取り組む課題の内、研究が終了したものや研究開始から 5 年程度が経過し中間報告を行うものについて取りまとめています。

今回は、44 の目標のうち、森林の現況評価について 1 課題、林業生産技術の向上について 1 課題、獣害による森林被害の低減について 1 課題、山地予防技術の開発について 1 課題、ホンシメジについて 1 課題、ナメコについて 1 課題、無垢構造材の製材・無垢構造材の製材・乾燥技術の開発とその性能評価について 1 課題、大径材の利点を活かした高剛性、高強度梁桁材等の開発と性能評価 1 課題、合計 8 課題について掲載しています。これらの課題の研究を実施するに当たり、多大なご協力を頂いた皆様方に、感謝と御礼を申し上げます。

我々公設の研究機関は、大学や民間の研究機関とは異なり、林業事業体、製材工場及びきのか農家などの中小零細企業等、そしてその方々を指導・育成する県や市町村職員を対象とした研究が本分です。是非、「**難しすぎる**」、「**自分たちに使えるのか**」、「**誰のための研究かわからない**」等厳しい意見をお寄せいただければと思います。

昨年からは、紙での印刷配布はやめ、ホームページ上での掲載のみとしています。ますます、皆さんの目に触れる機会が少なくなってきましたが、是非、当センターのホームページをご覧ください、研究報告をご一読ください。

今後とも、現場で必要とされる調査研究、技術開発などに、県林務行政と一体となって取り組んで参りますので、関係する皆様の一層のご支援とご協力をお願いいたします。

令和 7 年 3 月

長野県林業総合センター

所長 向山 繁幸

目 次

はじめに

大径・優良材生産を目指した人工林管理技術の確立	1
同一地域におけるニホンジカが出現しやすい環境条件の把握 ー景観スケールにおける亜高山帯針葉樹林の更新に及ぼす風倒攪乱と獣害の相互作用的影響ー	9
ニホンジカの季節別生息状況に応じた効率的捕獲の実証	27
災害防止につなげるための森林情報の集積手法の検討とデータ活用	37
ホンシメジの菌床栽培技術の開発	51
味認識装置を用いた味分析による日本産ナメコの「味」の見える化	61
減圧下における高温セット処理条件と材面割れの関係（予備的検討）	75
カラマツ大径材から製材した枠組壁工法構造用製材寸法形式 210 と新用途の開発	83
長野県産カラマツ大径材からの集成材ラミナ採材シミュレーション	111
長野県産ヒノキの樹幹内半径方向強度分布	121

大径・優良材生産を目指した人工林管理技術の確立

研究期間：令和元年度～5年度

大矢信次郎・柳澤賢一・西岡泰久[※]・戸田堅一郎[※]・秋山巖[※]・田中裕二郎[※]

高齢級人工林において大径・優良材を生産するための管理技術及び成長予測技術を検討した。まず、高齢級カラマツ人工林の樹高成長特性を明らかにするため、南佐久郡川上村の115年生カラマツ人工林において伐倒木の梢端部及び造材位置から円盤を採取し樹幹解析を行ったところ、樹高及び直径の成長は100年生を超えても継続していることが確認された。しかし、樹齢とともに成長は緩やかに減少していたことから、カラマツ人工林の伐期は120年程度にとどめることが妥当であると考えられた。また、高齢級人工林における間伐後の成長特性を明らかにするため、13～14齢級時に間伐を実施し7～10年が経過したカラマツ、ヒノキ、スギの各人工林間伐試験地において毎木調査を行った結果、高齢級人工林においても樹冠長率を維持し直径成長を促すためには間伐が必要であることが示唆された。次に、高齢級林分を含めた成長予測に対応したカラマツの樹高成長曲線を調製するため、航空レーザ計測によって得られた単木樹高データの利用を検討した。その結果、樹高曲線中心線の地位指数（40年生時の樹高）は式の種類に関らず約20であり、カラマツの標準的な樹高成長をほぼ反映し高齢級における樹高成長も持続する線形が得られた。この曲線をガイドカーブとして地位指数曲線を作成することにより、地位の優劣に対応した高齢級カラマツ人工林の樹高成長予測が可能となった。

キーワード：高齢級人工林、間伐、航空レーザ計測、樹高成長曲線、地位指数曲線

1 はじめに

長野県の人工林は、12 齢級以上の面積割合が人工林全体の 78%に達し、主伐・再造林を行う林分が徐々に増えてきている（長野県林務部 2024）。一方で、明確な目標林型を定めることなく間伐を繰り返すなど高齢級林分の施業方針が定まっていない林分も多い。高齢級人工林の目標林型としては大径かつ優良材の生産林が想定されるが、これをどのように育成していくのか、管理手法が問われている。そのためには高齢級林分を管理する上での様々な課題を解決していかななくてはならない。

まず第1の課題は、特にカラマツについては高齢級でも樹高成長が持続するのか、明らかになっていないことである。長野県では、民有林における資源量の把握や収穫量の予測等のため、1983年に人工林主要樹種の林分材積表及び収穫予想表が作成された（長野県林務部 1983, 1984）。これらの林分材積表は、概ね 80 年生までを対象とするとしていたが、当時は高齢級林分のデータが極めて少なく、高齢級林分の収穫予想を行うことは難しかった。それから 8 年後の 1991 年、カラマツについては高齢級林分のデータを追加した改訂版が作成され（長野県林務部 1991）、さらに 2005 年にもデータの追加とともに Excel 版簡易収穫予想表が作成されている（片倉ら 2005, 片倉 2005）。このようにカラマツ人工林の成長とともに、高齢林の成長

予測は精度の向上が図られているが、近年は主伐が増加傾向にあり、収穫量の予測は益々重要性を増してきている。また、100 年生を超える林分のデータは未だ少なく、新たな知見の蓄積が必要となっている。そこで本研究では、高齢級におけるカラマツの樹高成長の経過を明らかにするため、主伐が行われた 115 年生カラマツ人工林において、伐倒木の梢端部と、幹の造材位置における円盤を採取し、年輪解析を行った。

第2の課題は、高齢級人工林における間伐効果の検証である。高齢級においても間伐による直径成長促進効果が認められる例（渡邊ら 2015, 杉田ら 2017 など）がある一方、間伐から 5 年以内では明瞭な成長促進効果は認められなかった例（大矢ら 2015）もあり、継続的な検証が求められている。

第3の課題は、高齢級における正確な成長予測が確立されていないことである。しかし近年目覚ましく発展した航空レーザ計測技術により、高齢級も含めた現在の人工林における膨大な数の樹高データを取得可能になった。これによって樹高成長曲線を作成することが可能なのか、本研究ではまずカラマツを対象として、新たな成長曲線を調製することを試みた。

以上のように、本研究では大径・優良材生産を目標林型に掲げた高齢級林分の成長量の把握と間伐による成長促進の検証、並びに樹高成長予測を

[※] 元林業総合センター育林部

行う手法の 3 点を検討した。なお、本研究は県単課題（令和元年度～5 年度）として実施し、成果の一部は中部森林学会（大矢ら 2021, 大矢 2022, 大矢 2024）において発表した。

2 調査方法

2.1 高齢級カラマツ林における樹高成長量評価

調査地は、長野県南佐久郡川上村の 115 年生のカラマツ人工林である。この林分は標高約 1,450m の北東～東向き斜面に位置する個人有林で、現所有者からの聞き取りによると間伐等の施業は行われてこなかった。伐採作業が行われていた平成 30 年 12 月 17 日及び 21 日に、伐倒時に利用対象外とされた梢端部 8 本分（長さ 0.8～4.3m）を採取するとともに、梢端と同一の個体を対象として土場で 4～6 m に造材された位置から厚さ 5 cm の円盤をチェーンソーにより採取した。樹高は、伐倒時に根元から梢端までの長さを巻尺で測定した。梢端部からの円盤採取は、持ち帰って丸鋸により行い、先端から 2 m までは 10cm ごと、2 m を超える部分については 20cm ごとに約 3 cm 厚の円盤を採取した。

年輪計測は Velmex 社製の精密年輪測定装置(TA Measurement System)を使用し、樹皮から髓に向かって平均的な年輪幅を示す 1 方向のみを対象として行い、樹齢(115 年)から年輪数を差し引いた数を各円盤高に樹高が達した時点の樹齢とした。樹高成長の傾向を類型化するため、各個体の樹高成長を各種成長曲線式(修正指数式, ゴンペルツ式, ロジスティック曲線式, リチャード関数式, ミッチャーリッヒ式, 対数式)にあてはめ、各式のパラメータを Microsoft Excel のソルバーアドインを使用して最適解を求め、残差平方和により適合性を評価した。

2.2 高齢級人工林における間伐が成長に与える影響

カラマツ、ヒノキ、スギの 13 齢級以上の高齢級林分における間伐の効果を検証するため、間伐後の胸高直径成長量を継続的に調査した。試験地は、松本市の 62 年生カラマツ人工林、阿智村の 65 年生ヒノキ人工林、根羽村の 69 年生スギ人工林(林齢はいずれも間伐実施時点)の 3 か所で、いずれも本数間伐率で約 50%の強度間伐区、約 30%の普通間伐区、0%の対照区を 2009 年～2011 年に設

定したものである。胸高直径は、各立木の山側地際から高さ 1.2m に取付けたナンバーテープの位置において、ステンレス製巻尺により胸高周囲長を mm 単位で測定し、直径に変換した。測定は、間伐から 3～5 年後までは毎年行い、7～10 年後に再度行った。間伐率によって残存木のサイズに偏りが生じるため、間伐前に各試験地全体の立木(伐倒木も含む)を胸高直径の小さい順に下位木(劣勢木)、中位木(中庸木)、上位木(優勢木)の 3 ランクに等分して分類し、各試験地の同一ランク残存木における直径成長量を比較した。直径成長量の差は Steel-Dwass 法による多重比較(1 対 1 の場合は Mann-Whitney 法)により検定し、間伐による直径成長促進効果を検証した。なお、間伐は胸高直径が小さい個体を優先的に伐る下層間伐であったため、カラマツ試験地の強度間伐区では下位木が全て伐採対象となり、対照区との成長比較はできなかった。

また、樹高及び枝下高の測定には Haglof 社製の VertexⅢを使用した。樹冠長率は、樹冠長(樹高から枝下高を差し引いた値)の樹高に対する割合として求めた。各試験地(樹種)の間伐前と間伐から 8～10 年後の樹高、枝下高、樹冠長率について、試験区間の平均値の差を Tukey-Kramer の多重比較検定により評価した。

2.3 航空レーザ計測データを活用した高齢級に対応した樹高成長曲線の調製

林務部森林づくり推進課が平成 25～26 年度に行った航空レーザ計測によって得られたデータを基に行われた森林情報解析委託事業の電子成果品を用いて、樹高成長曲線を調製することが可能か検討した。これら委託事業では、DSM(数値表層モデル)からの樹頂点抽出、樹頂点位置における DSM と DEM(数値標高モデル)との差から得られる単木樹高データ、航空写真による林相(樹種)解析等を行っており、今回は 1 億点以上の単木樹高データを対象とした。まず、単木樹高多点データを QGIS3.22 により市町村ごとに分割し、各市町村の森林簿の施業班データと結合した。次に、信頼性の高いデータを得るため、次の 4 条件：①林相解析による樹種が森林簿の樹種と一致すること、②森林簿の林種が人工林であること、③森林簿上の面積が 0.5ha 以上ある施業班、④混交率が 100%

であること、を満たす単木データを抽出し、属性情報を csv ファイルにエクスポートした。以上の手順により抽出した樹種別の単木樹高データを集計し施業班ごとの樹高中央値を算出した。

次に、各林齢の樹高分布の IQR（四分位範囲）を求め、IQR 内において各齢級 10 林分ずつ県下市町村から偏りなくサンプリングした。対象齢級は信頼性の高いデータが必要数得られた 4～20 齢級とした。サンプリングデータに各種樹高成長曲線式（ゴンペルツ、ミッチャーリッヒ、リチャーズ、ロジスティック）を適用し、その適合性を検討した。

3 結果および考察

3.1 高齢級カラマツ林における樹高成長量評価

梢端部及び造材位置から採取した円盤の年輪解析によって明らかになった立木 8 本分の樹齢と樹高の関係を図 1-1 に示した。樹高成長は樹齢とともに緩やかになる傾向はあるものの、いずれの個体も 100 年生を超えても 0.1m/年以上を維持していた。これらの樹高成長の経過を従来使用されてきた樹高成長曲線と比較すると、高齢級における成長が既往の樹高成長曲線を上回り継続していることが確認された。また、各個体の樹高成長を各種成長曲線式に適用した結果、個体ごとに最適成

長曲線が異なり、同一林分であっても成長特性には個体差があった。対数式に最も適合した 4 個体は、若齢期の成長量が大きく概ね 40 年生以降に曲線の傾きが緩やかになる特性がみられた。ロジスティック曲線式に最も適合した 3 個体は、初期成長は比較的緩やかであるが徐々に成長量が高まり、概ね 80 年生以降に傾きが緩やかになっていく特性がみられた。リチャード関数式に最も適合した 1 個体は、対数式と同様に若齢期の成長が良く、傾きが緩やかになる時期が比較的遅いという特性がみられた。樹高成長は同一林分であっても個体差があり、遺伝的変異や微地形・微気象、隣接個体との競争関係などが複合的に影響したものと考えられる。また、地上高 6.8m 位置の円盤における直径成長は、20 年生時前後に年輪幅が最大となり 3～8mm/年を記録し、その後徐々に低下する傾向がみられ、110 年生を超えると年輪幅はいずれの個体も 1mm 未満となっていた（図 1-2）。

以上のことから、樹高、直径とも 100 年生を超えても成長が継続していることが確認されたが、それぞれの成長量は鈍化傾向にあることや、根株心腐れ病等のリスクを考慮すると、カラマツ人工林の伐期は 120 年程度までにとどめることが妥当と考えられた。

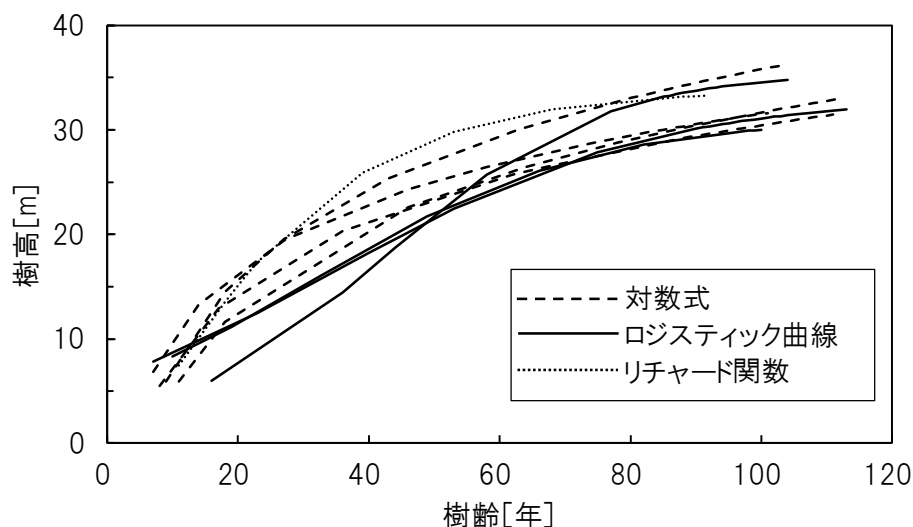


図 1-1 115 年生カラマツ 8 個体の樹高成長の推移(実測値)と適合性の高い曲線式

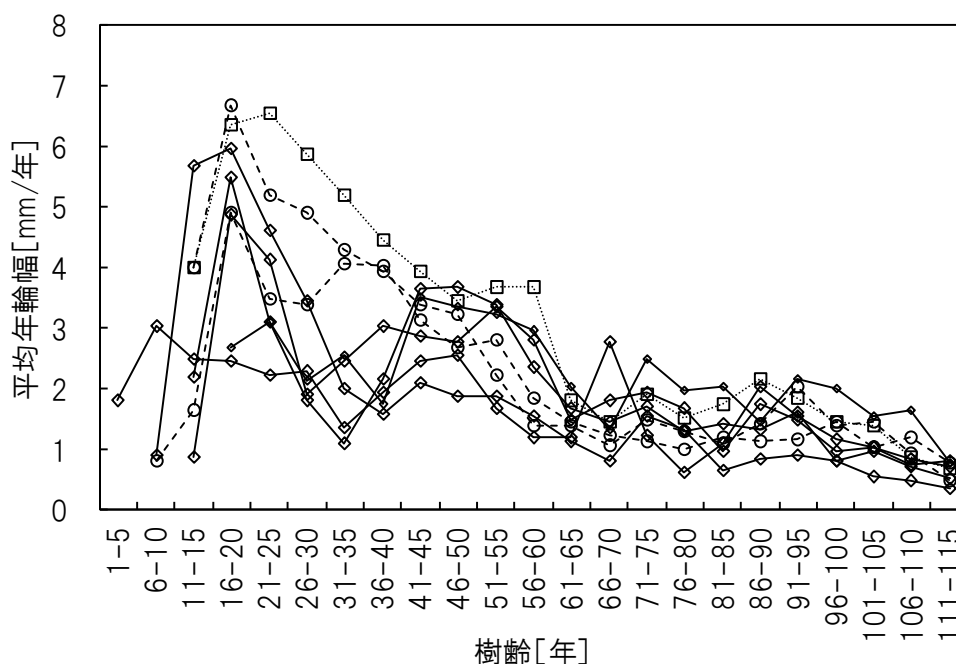


図 1-2 115 年生カラマツの地上高 6.8mにおける 5 年ごとの平均年輪幅の推移
(折れ線の種類は図 1-1 に対応)

3.2 高齢級人工林における間伐が成長に与える影響

間伐から 10 年が経過したカラマツの累積直径成長量は、中位木では強度間伐区、下位木では普通間伐区で有意に成長量が高かったが、上位木では対照区と差がなかった (図 2-1)。間伐から 8 年経過したヒノキでは、いずれのランクでも各間伐区は対照区に対する有意差が認められなかった (図 2-2)。間伐から 7 年が経過したスギでは、上位木で普通間伐区、中位木と下位木で強度間伐区において有意に成長量が高かった (図 2-3)。上位木で間伐効果が出にくい傾向がある原因は、間伐前から競争状態が優勢だったためと考えられる。以上のように、高齢級における間伐の効果には樹種間差が認められるものの、特に中位木では直径成長の促進効果が一定程度期待できると考えられた。

間伐前後の平均樹高の変化は、カラマツ、ヒノキにおいては間伐率にかかわらず有意に増加しており、13 齢級以上であっても樹高成長は継続していることが確認された (図 2-4)。スギでは各試験区とも平均値は上がっていたものの、有意差は認められなかった。枝下高については、カラマツ、ヒノキでは間伐前に比べて間伐区で有意な変化がなかったが対照区では有意に上昇していた (図 2-5)。対照区では間伐が行われなかったことによって林冠閉鎖が進み、枝

の枯れ上がりが進行したと考えられる。一方、スギの枝下高は間伐の有無にかかわらず有意な変化は認められなかった。次に樹冠長率については、ヒノキの対照区において有意に減少していたが、カラマツとヒノキはすべての試験区において間伐前後の変化は認められなかった (図 2-6)。ヒノキの対照区では樹高成長より枝下高の上昇が進んだため、樹冠長率の低下を招いたと考えられた。

以上の結果から、13 齢級以上の林分においても樹高成長は継続するものの、林冠閉鎖にともなって枝下高の上昇が進むと樹冠長率が低下することが示唆された。大径材生産を目標とする場合、直径成長を維持するためには樹冠長率を低下させないことが重要と考えられ、適度な間伐が必要と考えられた。

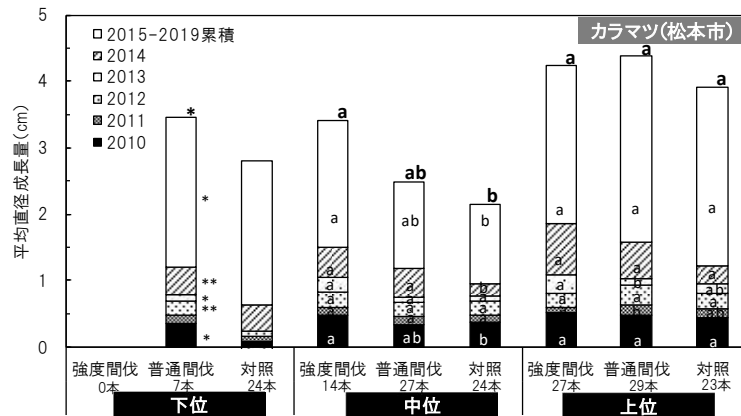


図 2-1 62 年生時に間伐を行ったカラマツ人工林における間伐後 10 成長期の平均直径成長量※

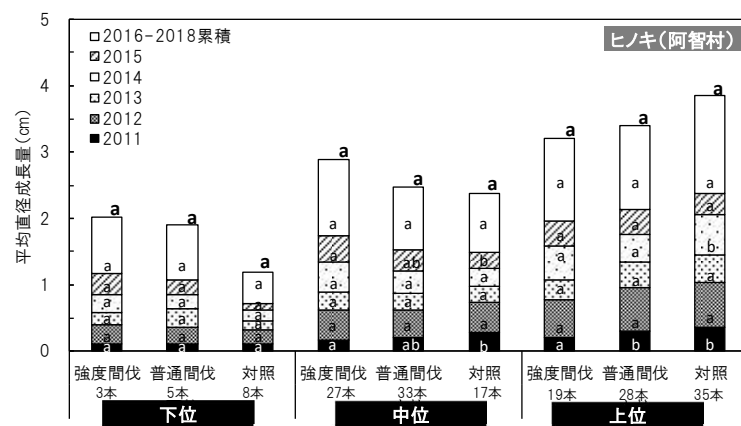


図 2-2 65 年生時に間伐を行ったヒノキ人工林における間伐後 8 成長期の平均直径成長量※

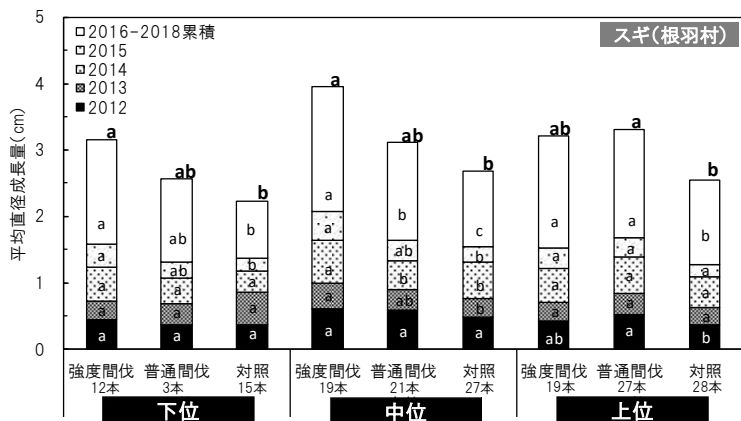


図 2-3 69 年生時に間伐を行ったスギ人工林における間伐後 7 成長期の平均直径成長量※

※図 2-1, 2-2, 2-3 とも、各直径ランクの各成長期において同一アルファベットを含まない試験区間に有意差あり(Steel-Dwass の多重比較検定, $p<0.05$)。各バー右肩の太字は全成長期の累積成長量の有意差を示している

※図 2-1 の下位では強度間伐区に該当木がなかったため、普通間伐区と対照区の 2 者を Mann-Whitney 法により検定し、有意差がある場合は普通間伐区の該当年の右に*を表示した(*: $p<0.05$, **: $p<0.01$)

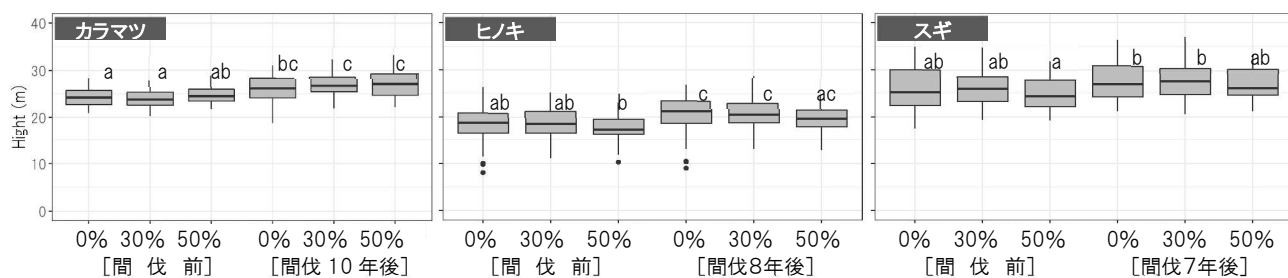


図 2-4 間伐前後の樹高の変化

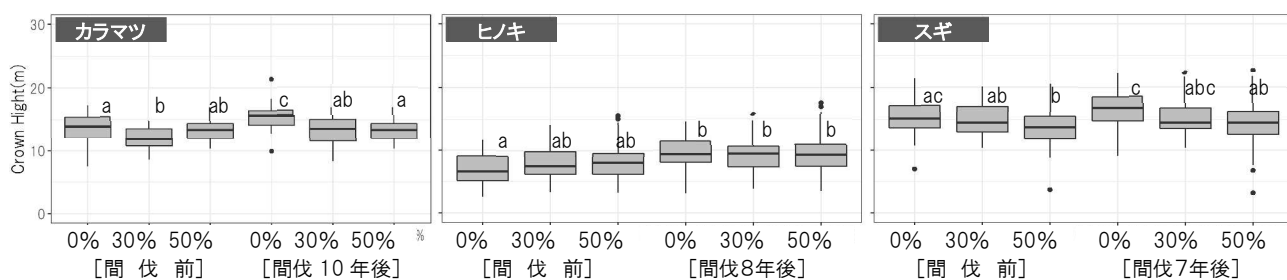


図 2-5 間伐前後の枝下高の変化

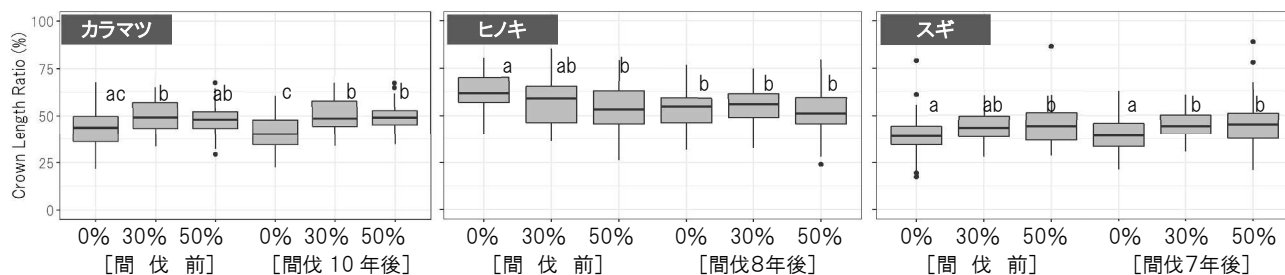


図 2-6 間伐前後の樹冠長率の変化

※図 2-4、2-5、2-6 とも、各樹種において同一の符号を含まない試験区間に有意差あり(Tukey-Kramer の多重比較検定, $p < 0.05$)

3.3 航空レーザ計測データを活用した高齢級に対応した樹高成長曲線の調製

県内の 77 市町村におけるカラマツ人工林の林分ごとの樹高中央値の分布を図 3-1 に示した(外れ値を除く)。20 年生未満の若齢林においては、実際より明らかに樹高が高いと考えられるデータもあり、隣接林分の樹高の影響を受けている可能性が考えられた。また、80 年生以上の高齢級林分においては、樹高は必ずしも増加傾向を示していなかった。この原因は、成長の良い林分ほど早期に伐採されることや、高齢級では雪害、風害、雨氷害等の気象害により梢端折れや幹折れが発生し樹高が低下しやすいことなどが推測された。

樹高成長曲線調製のためのサンプリングにおいては、各林齢の四分位範囲内(図 3-2)から明らかに異常値と考えられる点や気象害等を受けたと考えられる点を極力排除し、妥当かつ健全と考えられる林

分をサンプリングした(図 3-3)。各種成長曲線式を適用した結果、最も妥当と判断されたのはミッチャーリッヒ式で、地位指数 20 (40 年生時に樹高 20m) に相当する曲線であり、県下の標準的なカラマツ林の実態をほぼ適切に反映していると考えられた(図 3-3)。今回作成したミッチャーリッヒ式の樹高成長曲線と従来使用してきた樹高成長曲線(平成 3 年版)を比較すると、今回の曲線は若齢期における成長がやや緩やかであるものの、80 年生を超えてからも樹高成長が継続する線形となった。次に、ミッチャーリッヒ式による樹高成長曲線(地位指数曲線 20 に相当)をガイドカーブとして地位指数 12, 16, 24, 28 の地位指数曲線を調製した(図 3-4)。これにより、高齢級カラマツ人工林の地位の優劣に応じた樹高成長予測が少なくとも 120 年生まで可能となった。今後、他の主要造林樹種でも同様の地位指数曲線を作成し、活用を進める予定である。

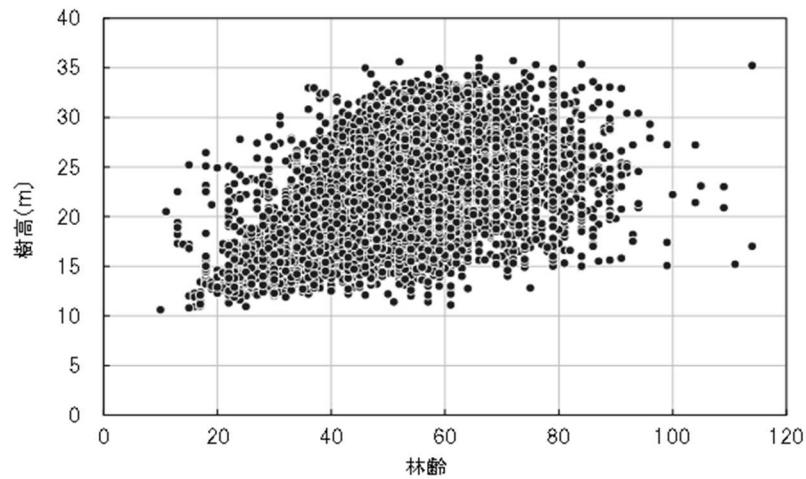


図 3-1 長野県のカラマツ人工林における樹高中央値の分布

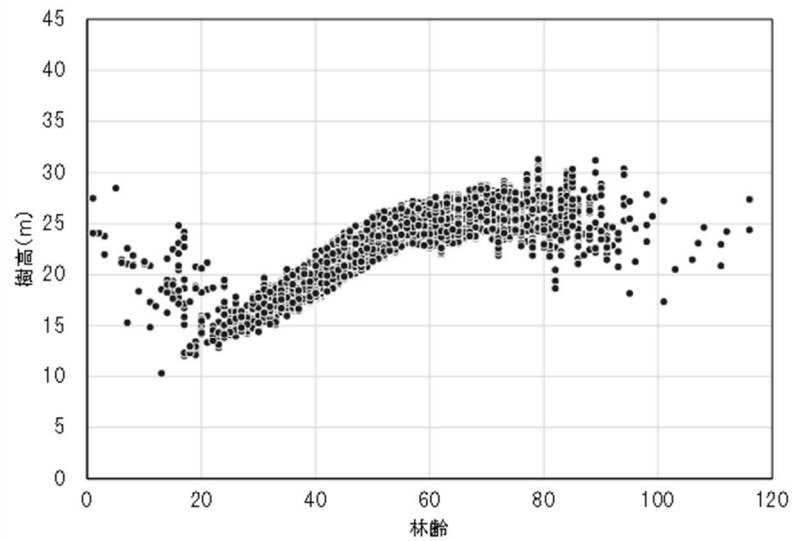


図 3-2 各林齢の四分位範囲内における樹高中央値の分布

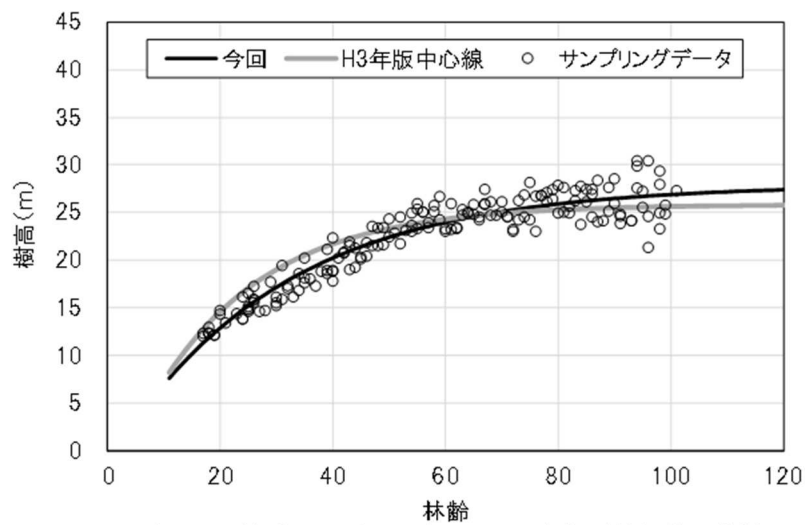


図 3-3 カラマツ林分サンプリングデータの分布と樹高成長曲線

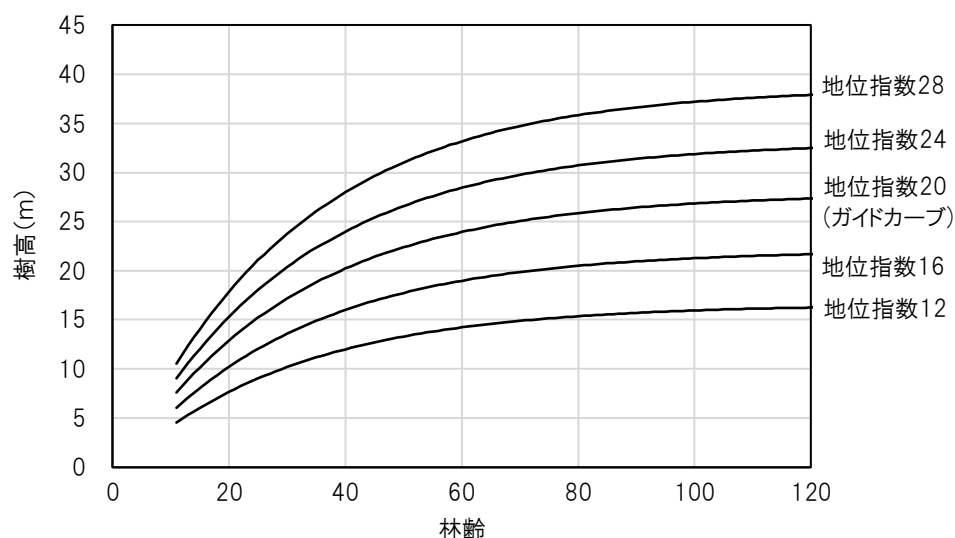


図 3-4 カラマツ林分地位指数曲線

4 おわりに

本研究により、カラマツを中心として高齢級での樹高成長の緩やかな持続が確認された。間伐の効果についても特に中位木では各間伐区の直径成長量が対照区より有意に高く、成長促進効果は一定程度期待できると考えられた。今後は、航空レーザ計測データを基に作成した地位指数曲線について長野県で広く使用できるよう、長野県林務部内で調整を図りたい。

謝辞

本研究の実施にあたっては、双葉林業合資会社、長野県佐久地域振興局林務課、長野県南信州地域振興局林務課、長野県林務部森林づくり推進課の皆様にご多大なるご協力をいただきました。ここに感謝申し上げます。

引用文献

片倉正行・山内仁人・古川仁 (2005) ヒノキおよびカラマツ人工林の長伐期施業に関する研究. 長野県林業総合センター研究報告 19:1-16、
 片倉正行 (2005) Excel 版簡易収穫予測表. 長野県林総セ ミニ技術情報 44 (URL: <https://www.pref.nagano.lg.jp/ringyosogo/joho/minigijutsu/documents/mini44.pdf>)
 長野県林務部 (1983) 長野県民有林 カラマツ・スギ表系・スギ裏系人工林林分材積表・人工林収穫予想表. 78pp.

長野県林務部 (1984) 長野県民有林アカマツ・ヒノキ 人工林林分材積表・人工林収穫予想表. 66pp.
 長野県林務部 (1991) 長野県民有林カラマツ人工林・長伐期施業の手引き. 115pp.
 大矢信次郎・近藤道治・近藤道治・戸田堅一郎・中澤昌彦・高野毅・高野毅・小林直樹 (2015) 針葉樹人工林の健全化のための森林管理技術の確立. 長野県林業総合センター研究報告 29:1-16.
 大矢信次郎・田中裕二郎・秋山巖 (2021) 高齢級人工林における間伐後の直径成長量の経年変化.) 第 11 回中部森林学会大会講演要旨集:18
 大矢信次郎 (2022) 高齢級人工林における間伐後の成長経過. 第 12 回中部森林学会大会講演要旨集:19
 大矢信次郎 (2024) 航空レーザ計測から得られた単木樹高データによるカラマツ樹高成長曲線の調製. 中部森林研究 72:5-6.
 杉田久志・梶本卓也・福島成樹・高橋利彦・吉田茂二郎 (2017) 強度間伐が行われたスギ高齢人工林における林分および個体の成長. 森林総合研究所研究報告 16(4):225-238.
 渡邊仁志・茂木靖和・大洞智宏 (2015) 間伐が高齢級ヒノキ過密林の林分構造と成長に及ぼす影響. 日本森林学会誌 97:182-185.

同一地域におけるニホンジカが出現しやすい環境条件の把握

—景観スケールにおける亜高山帯針葉樹林の更新に及ぼす風倒攪乱と獣害の相互作用的影響—

研究期間：令和元年度～5年度

小山泰弘・柳澤賢一・二本松裕太・三澤美菜

北八ヶ岳麦草峠周辺の亜高山帯針葉樹林で、自動撮影カメラによりニホンジカの行動を4年半にわたって調査したところ、無雪期（6～10月）は、調査地のどこかでほぼ毎日出現していたが、積雪期となる1～4月はほとんど出現しなかった。ニホンジカの出現頻度は調査地によって大きく異なり、頻度が高い場所では滞在時間が長く、ニホンジカが好む場所と避ける場所が存在していた。ニホンジカの好む場所は、主要な餌資源であるササやグラミノイドと呼ばれる餌資源となる植物の植被率が高い場所であることが多かったが、ササが優占し植被率が高くてもニホンジカが避ける場所があった。ニホンジカが避ける場所は、地面に足を取られるリスクがあるような歩きにくい場所だった。樹木の剥皮被害率は、ニホンジカが好む場所でも避ける場所でも差はなかった。ニホンジカの被害は、個体密度との関係が大きいことを考えると、ニホンジカが避ける歩きにくい場所は、個体密度が高い時期に入り込み、樹木を剥皮加害したと判断した。以上のことから、ニホンジカの個体密度を現在の麦草峠周辺と同程度に抑えることができれば、ニホンジカが避ける出現しにくい場所が生まれ、被害の回避につながるといった。

キーワード：亜高山帯針葉樹林、ニホンジカ、ササ地、立木被害、個体密度

1 はじめに

全国的に問題になっているニホンジカの被害は、長野県でも1990年頃から顕在化し、農林業被害額は2009年には8億円近くと甚大なものとなっている。本県では、2001年に特定鳥獣保護管理計画を策定するとともに、森林被害の実態解明から研究を開始し（小山ら2010）、生息密度に合わせた被害対策を講じるための生息密度の推定方法を取りまとめた（岡田ら2015）。その後、本格的な被害対策に向けて防護柵などの物理的防除を行うための手法を開発した（柳澤ら2020）。更に現在では、個体数を適正に抑えるための捕獲手法も検討している（柳澤2024）。

こうした研究成果の普及で防除の徹底と捕獲への働きかけが進み、農林業被害額は減少傾向となっているが、特定鳥獣保護管理計画で示される県下のニホンジカ推定個体数は2019年度で21.7万頭と少なくなっていない。

また、ニホンジカによる被害は、農林業分野に留まらず、霧ヶ峰のニッコウキスゲ（尾関・岸元2009）、南アルプスの高山植物などの食害（鶴飼2011）により、山岳地の景観が変化し、希少な高山植物の生態系が脅かされているという報告も多い（例えば長池ら2013、白鳥ら2024）。

高山帯や亜高山帯などの希少植物自生地では、防護柵などを設置することで物理的な防除

が行われている場合もあるが、こうした自然植生に囲まれた地域は本来、ニホンジカの生息域でもあり広大なことから、全域を囲うことは出来ず、森林の天然更新が危ぶまれている。

この傾向は、高山帯などの高標高地に限らず、里山の天然林でも認められるが（山瀬ら2011）、物理的防除が困難である事に加えて、仮に捕獲を進めたとしても嗜好性の高い植物であれば食害を受けやすい（岡田・小山2013）ため、ニホンジカが生息している場合には、天然更新の重大な阻害要因となり得る。

しかも本県のニホンジカ分布域は拡大傾向にあり（小山ら2010）、現在では豪多雪地域まで進出している（長野県2021）ことから、完全にニホンジカを排除することは困難である。これからは、ニホンジカが生息していることを前提として、森林管理を進める必要がある。ニホンジカが生息している環境下での森林管理手法としては、これまで防護柵などによる物理的な防除手法（岡田ら2015、柳澤ら2020）や、捕獲による防除（柳澤2024）も行っているが、範囲が広い場合などでは現実的ではない事も多い。

一方で、実際に発生しているニホンジカ被害を観察すると、全域が均一の被害を受けているわけではなく、被害を受けやすい場所と受けに

くい場所がある。長野県中部の八ヶ岳では、高山植物だけでなく亜高山帯針葉樹林の被害も拡大し（田中ら 2014）、幼木の枯死率が高いために天然更新が危惧されている（勝木ら 2019、田尻ら 2013）ため、全域で被害が大きいと思われるが、ところが、被害を受けやすいとされるシラビソやオオシラビソの幼木（岡田ら 2015）がほとんど加害されていない場所もあり、環境の選好性が考えられる。確かに、ニホンジカの嗜好性が高いと考えられるヒノキでも、枝払いの有無で被害率が大きく変わった（岡田ら 2015）事例があり、ニホンジカが食害しやすい環境と食害しにくい環境が存在する可能性が高い。

本研究では、ニホンジカによる樹木の選好性が確認されている八ヶ岳の亜高山帯針葉樹林を対象として、ニホンジカの行動と被害との関係を探ることを目的とした。

まずは、調査対象地におけるニホンジカの出現状況を自動撮影カメラで把握し（2 章）、自動撮影カメラに写ったシカ以外の動物の撮影記録を整理することで調査箇所の特徴を整理した（3 章）。そのうえで、ニホンジカが出現しやすい環境条件を整理した（4 章）。最後に今回得られた成果の活用方法と今後の課題についてとりまとめた（5 章）。

なお本報告は、群馬大学の西村尚之教授を研究代表者として、2019～2023 年度に群馬大学、東京大学との共同研究で実施した「景観スケールにおける亜高山帯針葉樹林の更新に及ぼす風倒攪乱と獣害の相互作用的影響風倒攪乱と獣害の相互作用的影響（日本学術振興会科研費 19K06141）」の助成を受けたものである。本研究における成果の一部は、日本森林学会（小山ら 2023a, 2024a, 鈴木ら 2024）、中部森林技術交流発表会（小山 2024c）、長野県環境科学研究発表会（小山ら 2023b）で発表したほか、日本森林学会誌（平岡ら 2023）、長野県植物研究会誌（小山ら 2020, 2021, 2022）、長野県地理学会誌（小山 2024b）、長野県林業総合センター技術情報（小山 2023c）で公表した。

2 ニホンジカの出現状況の把握

2.1 目的

北八ヶ岳の亜高山帯針葉樹林では、ニホンジカによる被害が深刻化しているとの報告（田中ら 2014、鈴木ら 2015）があるが、実際にニホンジカがどの程度生息しているのかは不明である。そこで、亜高山帯針葉樹林においてニホンジカの行動がどのように異なるのかを確認するため、赤外線を利用した自動撮影カメラを用いて検討した。

2.2 調査地及び調査方法

2.2.1 調査地の概要

調査は、長野県中部の茅野市と佐久穂町にまたがる北八ヶ岳麦草峠周辺の標高 2,100～2,200m の亜高山帯針葉樹林で実施した。北八ヶ岳麦草峠周辺は、シラビソ、オオシラビソ、コメツガを中心とした天然生の亜高山帯針葉樹林が広く分布している（土田 1991）。この付近は、1959 年に襲来した台風 15 号（伊勢湾台風）により大規模な風倒被害が発生している（高橋 1978）。風倒被害を受けた立木は、一部が搬出さ

表-1 調査地の概要

試験地	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
場所	茅野市（冷山国有林）					佐久穂町（八ヶ岳国有林）			小海町（八ヶ岳国有林）			
標高 (m)	2,140		2,130		2,150	2,190	2,150		2,210	2,130		2,180
林床の 優占植生	ササ	グラミノイド		コケ	ササ	コケ	ササ			コケ		

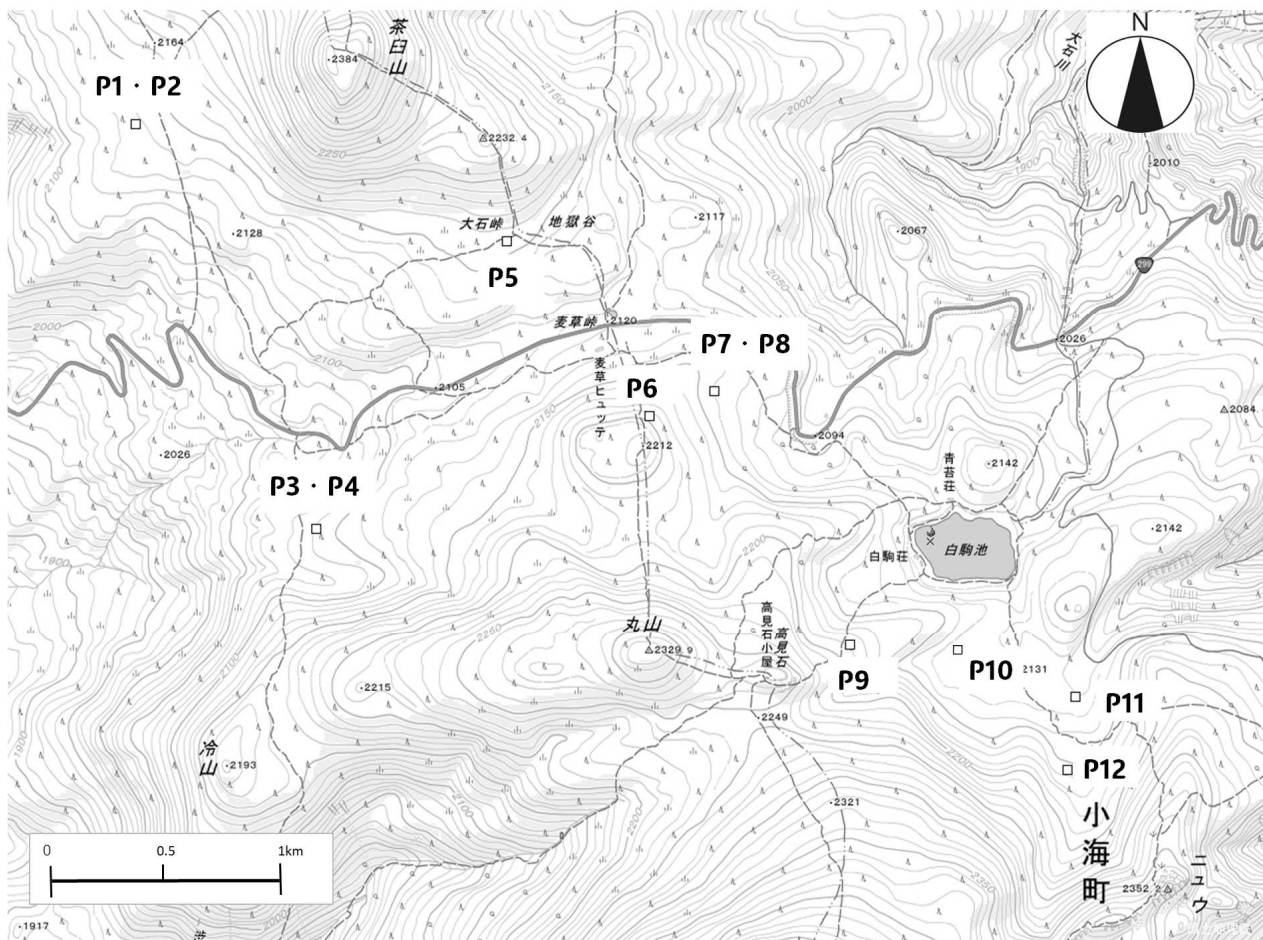


図-1 調査地位置図

れたが、林内で放置されたところもあり、風倒被害を受けたまま放置した森林では、枯死木が残るために、被害発生から 50 年が経過しても、未被害林と同程度の炭素蓄積があるとの報告がある (Suzuki et al. 2019)。つまり、当地においては、1959 年の台風被害から 50 年以上が経過しても枯死木が大量に残る森林と、大半の枯死木が搬出された森林がある。さらに、台風被害を受けなかった林分の中には、1959 年の台風では、被害を受けなかったが、その数年後に皆伐を行い、天然更新させた場所もあった。

Suzuki et al. (2019) は、伊勢湾台風による風倒被害の影響を分析するため、風倒被害の有無や皆伐の影響を含めた麦草峠周辺の亜高山帯針葉樹林 15 カ所で 2012 年から 2014 年にかけて立木被害を含む植生調査を行っている。亜高山帯針葉樹林では、シラビソ・オオシラビソに比べてコメツガの方がニホンジカによる食害が少ない (岡田ら 2015)。そこで、本研究では、Suzuki et al. (2019) が調べた 15 カ所の調査地のうちシラビソ及びオオシラビソが優占する林分 8 カ所を調査対象とした。これにより抽出した林分は、表-1 に示す P2、P4、P6、P7 と P9～12 である。これら 8 カ所のうち 5 カ所は、北八ヶ岳に多い林床がコケで覆われていた。

北八ヶ岳の亜高山帯針葉樹では、ササ地を好む (田尻ら 2013) との報告もある事や、隣接する群馬県赤城山に生息するニホンジカは、グラミノイドと呼ばれるイネ科やカヤツリグサ科といった短茎の単子葉植物を採食することが多いとされる (姉崎 2015)。一方で、コケを好んでいるかどうかは定かではなかった。そこで、林床植生がコケとササ、グラミノイドのどれを好むかを整理するため、グラミノイドが優占する P2 に隣接してササが優占する P1、コケが優占する P4 に隣接してグラミノイドが優占する

P3、ササが優占する P7 に隣接してコケが優占する P8 を追加し、ササ及びグラミノイドが優占する調査地を 2 カ所ずつ選定した。なお、既往の調査 (田尻ら 2013) において、ササを好むとされていたことから、P1、P7 と離れた位置でササが優占していた P5 を加え、合計 12 カ所を調査対象とした (図-1、表-1)。なお、調査地の追加は 2020 年 8 月に行った。

2.2.2 調査方法

調査は、自動撮影カメラによるカメラトラップ調査とした。この調査は個体の確認が容易で、調査者の熟練度に左右されにくく (安田 2012)、限られた面積であれば個体数調査にも有効である (山根・三橋 2002)。これまでは機械が高価だったことや、フィルムカメラの場合は撮影枚数に限りがあることなどから、さほど普及していなかったが、機材の低価格化やデジタル化に伴い、昼夜を問わず長期の自動観測が可能となったことで、生息実態の把握 (出口・村山 2016) や生息密度の推定 (田中ら 2017、久本ら 2019) などにも用いられている。

今回は、表-1 および図-1 で示した調査地にそれぞれ 1 台の赤外線センサーによる撮影機能がついた自動撮影カメラ (TREL20J) を設置し、1 年以上の期間で観測を行った。観測は 2019 年 7 月 1 日から 2023 年 10 月 27 日までの間で行った。12 カ所の調査地のうち当初選定した 8 カ所は、2019 年 7 月 1 日に調査を開始したが、うち 3 カ所はニホンジカの出現が少ないことから、2020 年 8 月 (P4・P12) 及び 2022 年 6 月 (P9) に観測を終了させた。一方で、8 カ所に隣接した 4 カ所の追加調査は 2020 年 8 月から開始し、2023 年 10 月まで継続した。なお、機器の不良により 2 カ所 (P2 及び P10) は欠測期間があった。さらに 1 カ所 (P5) は 2023 年 6 月 20 日

表-2 調査地別の自動撮影カメラ設置期間

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
設置開始 (年/月/日)	20/8/4	19/7/1	20/8/4	19/7/1	20/8/4	19/7/1	19/7/1	20/8/4	19/7/1	19/7/1	19/7/1	19/7/1
設置終了 (年/月/日)	23/10/27	23/10/27	23/10/27	20/8/4	23/6/20	23/10/27	23/10/27	23/10/27	22/6/22	23/10/27	23/10/27	20/8/4
設置期間 (日間)	1,179	1,366	1,179	400	1,050	1,579	1,579	1,179	1,087	735	1,579	400
備考	欠測あり					欠測あり						

を最後に撮影できず、観測終了とした。それぞれの調査地における自動撮影カメラの設置期間は表-2 のとおりである。

なお調査地では、他機関による定期的な調査が行われており、この際に調査関係者の立入がある。これに伴う調査員の滞在による影響を最小限に抑えるため、自動撮影カメラは調査地の中心を避け、調査地の脇に設置した。カメラの設置高さは地上 1～1.5m とし、直射日光の影響を避けて設置方向を決定した。

カメラ映像の記録解析では、撮影された写真の中で、ニホンジカが確認できたもののみを記録した。自動撮影カメラの設定は、1 回の感知で 3 枚の写真が 1 秒間隔で連写される設定とし、撮影のインターバルを 60 秒とした。このため、同一個体がその場所に滞在していれば、何度も撮影される場合がある。そこで同一個体が滞在しているかどうかは、個体サイズおよび性別、角や鹿の子模様などから判断した。同一個体が撮影範囲を離れるまでの間を 1 回の出現とし、当該個体の滞在時間も記録した。なお、滞在時間の計測に際して、自動撮影カメラの反応速度が 1.2 秒であることから、滞在時間は写真として記録されていた最初の時間と最後の時間に 1 秒を加えた時間を出現時間とした。また、同一日に時間をおいてニホンジカが出現した場合もあったが、滞在していない場合は、別個体の出現と判断した。

2.3 結果

2.3.1 自動撮影カメラの撮影状況

調査を行った 2019 年 7 月 1 日から 2023 年 10 月 27 日までの延べ 1,579 日間における調査期間中、自動撮影カメラの不調等の影響もあり、月の半分(15 日)以上撮影できた自動撮影カメラの台数は異なったものの表-3 に示したようにどの時期でも 7 台以上の自動撮影カメラが稼働していた。

稼働していた自動撮影カメラの画像を解析した結果、ニホンジカの撮影頭数は、延べ 4,383 頭にのぼり、撮影日別に整理したところ、調査地のどこかでニホンジカが撮影されていたのは、883 日間だった。

調査地ごとの撮影頭数は、調査期間の違いもあるが場所による差があり、P1、P2、P7 で 800 頭以上のニホンジカを確認したが、P4 と P12 は

表-3 月別撮影カメラ台数

	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年
1月		7台	8台	9台	9台
2月					
3月					
4月					
5月					
6月	設置	8台	10台	9台	8台
7月	7台	10台	9台		
8月					
9月					
10月		8台	撤去		
11月					
12月					

5 頭以下だった(表-4)。ただし、確認頭数が少なかった P4 と P12 でも 1 年以上設置していたことを考えれば、全ての調査地で年に 1 度以上のニホンジカが出現していた。

設置した自動撮影カメラの観測期間が異なるため、日あたりの出現頭数で比較したところ、確認頭数が多かった P1、P2、P7 では、いずれも 0.50 頭/日を上回ったが、撮影頭数が少ない P4 と P12 では 0.01 頭/日とその傾向は異なった。

2.3.2 季節別の状況

調査を行った 1,579 日のうち、883 日でニホンジカが観察されたことから、これを月別に整理したところ、調査年にかかわらず、6 月から 10 月はほぼ毎日ニホンジカが出現していたが、1～月の出現は少なく、中でも 2～3 月は全く出現していなかった(図-2)。

一方で、5 月及び 11 月と 12 月は、年による出現日数に差があったが、撮影された映像を確認したところ、出現日数が少ない年には、積雪が観察されており、11 月の出現は降雪とともに出現が少なくなる傾向があり、5 月には残雪が完全に消えた後に出現していた。

調査を行った麦草峠を抜ける国道 299 号線は、例年 11 月中旬から 4 月中旬まで冬季閉鎖となっており、冬季閉鎖の前後でも降雪があることから、雪がニホンジカの行動に影響を与えていた。

2.3.3 出現頻度と滞在時間

表-4 で示した出現頻度と滞在時間の関係を整理すると、図-3 のように出現頻度が高いほど一日あたりの滞在時間が長く、その傾向は直線的な関係より指数関数的な傾向が強かった。つまり、ニホンジカの滞在時間は、出現しやすい

ところほど長く居るという傾向が強く示された。ただし、ニホンジカが一日で何回も同じ調査地に出現することもある事から、一日あたりの滞在時間だけではなく、出現一回あたりの滞在時間と出現頻度との関係を整理してみたところ、図-4 のように出現頻度の高い場所では、

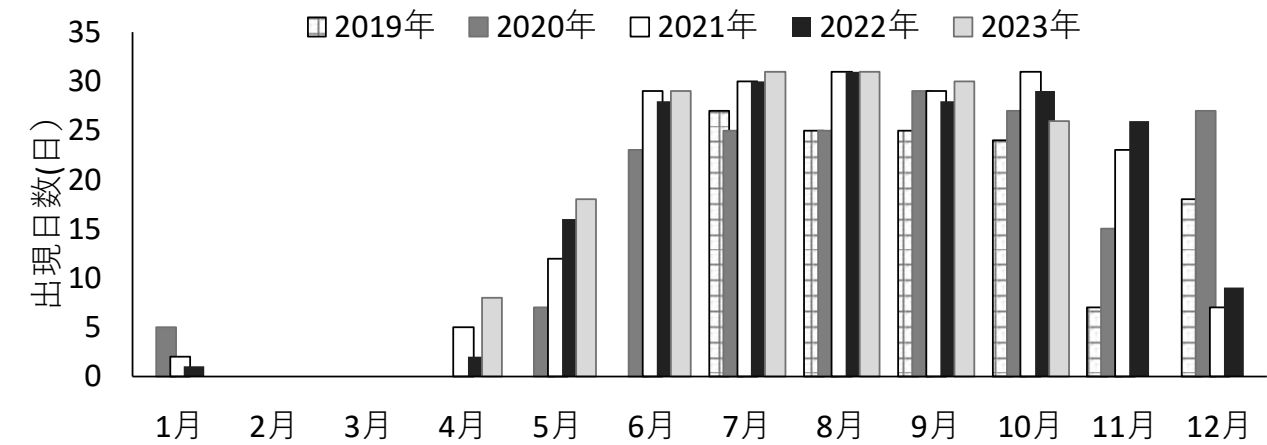


図-2 月別のニホンジカ出現日数（観測したカメラのどこかにニホンジカが確認できた日数）

表-4 調査地別のニホンジカ撮影結果

調査地点名	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
設置日数	1,179	1,366	1,179	400	1,050	1,579	1,579	1,179	1,087	735	1,579	400
出現頭数	824	938	401	3	165	222	813	290	92	336	294	5
出現日数	340	394	222	3	92	145	424	205	66	181	215	5
滞在時間計	19:59:17	4:26:41	3:26:22	0:00:05	1:29:32	2:07:03	14:59:48	1:19:15	0:55:41	5:10:34	1:40:44	0:00:09
出現頭数/日	0.70	0.69	0.34	0.01	0.16	0.14	0.51	0.25	0.08	0.46	0.19	0.01
滞在時間/日	0:01:01	0:01:15	0:00:11	0:00:00	0:00:05	0:00:05	0:00:34	0:00:04	0:00:03	0:00:25	0:00:04	0:00:00

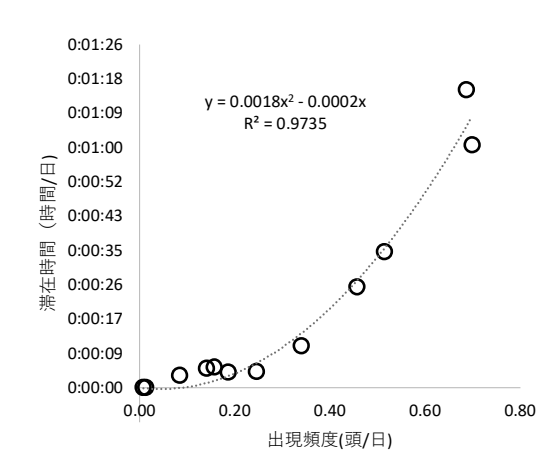


図-3 出現頻度と 1 日あたり滞在時間の関係

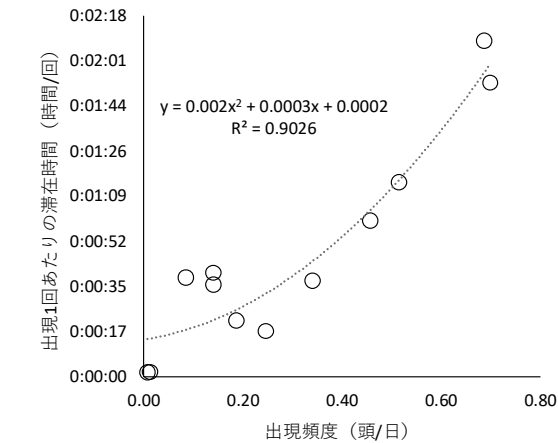


図-4 出現頻度と 1 回あたりの滞在時間の関係

出現一回あたりの滞在時間も長く、ニホンジカにとって好適な場所であれば長居するという傾向は明らかだった。

しかし、図-3 と図-4 を見比べると、出現頻度が 0.08~0.14 と低い 3 カ所 (P5, P6, P9) で 1 回あたりの滞在時間が 35~40 秒と比較的長く、出現頻度が 0.34 の P3 とほぼ同等の滞在時間となった。P5, P6, P9 の 3 カ所では、一日あたりの滞在時間は短いことから、出現頻度が低い割に、一度訪れると比較的長く居座る場所だといえ、興味深い傾向が観察された。

2.4 考察

4 年半をかけた調査の結果、麦草峠周辺のニホンジカは 6 月から 10 月までの間、ほぼ毎日出現しており、集中利用時期だったが、冬期間は出現が少なくなり、雪に覆われる 1~4 月はほとんど確認されなかった (図-2)。ニホンジカは、冬季に積雪に覆われる標高の高いところから低いところへ移動する (森光ほか 2019、泉山・望月 2008、泉山ら 2009) とされていることから、当地でも八ヶ岳の山麓部へ移動していると考えられた。11 月に降雪があると、出現する調査地が限定されるようになり、常に同じ場所とは言えなかったものの、降雪後に確認できた場所の多くは、林床にササが優占する P7 だった。

ササは、ニホンジカの主要な餌資源 (大井 1999) とされ、冬期にニホンジカが集中する (小泉ら 2006) との報告もある。また、当地に自生するシナノザサは、桿高が 1m に達することもあるため、少々の降雪であれば雪に埋まることがなく、雪の上に出たササを食べている写真も確認できた。それでも降雪量が増加し、根雪となってしまえば、ササも雪に埋もれることになる。このため、降雪とともに、麦草峠周辺に生息していたニホンジカは、徐々に山麓部へと下るようになり、根雪になるまでには全個体が移動したと考えられた。

その後の冬季にはニホンジカが麦草峠周辺に戻ることはなく、再び出現するのは調査地から雪が完全になくなる 4 月下旬だった。麦草峠を通る国道 299 号は、例年 11 月中旬に冬季閉鎖となるが、その後もニホンジカは出現していた。一方で、4 月中旬に道路が開通してもニホンジカは麦草峠まで戻らず、雪が完全に消えた

5 月になってから、徐々に戻ってきていた (図-2)。

6 月から 10 月まではほぼ毎日のようにニホンジカが確認された麦草峠周辺であるが、調査を行った 12 カ所にまんべんなくニホンジカが出現していたわけではなく、調査地による差は大きかった。

今回の結果を一日あたりの出現頭数で比較すると、最も多いところが 0.7 頭/日、最も少ないところが 0.01 頭/日だった。日あたりの出現頭数が多かった P1、P2 は調査地の西端に位置しており、両者は隣接していたが、同様に隣接した場所を調査地とした P3 と P4、P7 と P8 を見ると、隣接地でありながら出現頭数には大きな差があった (表-4)。また、一日あたりの出現頭数が最も少なかった P4 は、P1・P2 に近い調査地の西に位置し、P4 と同様に出現頭数が少ない P12 は東端に位置していたことから、出現頭数の違いは、広域的なスケールでの違いとは言えず、局所的な違いと判断できた。

加えて、一日あたりの出現頭数が多いところでは、一日あたりの滞在時間 (図-3) 及び一回あたりの滞在時間 (図-4) のいずれもが長くなる傾向があり、ニホンジカには好きな場所とあまり近寄らない嫌いな場所が存在していた。

3 ニホンジカ以外の写真解析

3.1 目的

2019 年 7 月 1 日から 2023 年 10 月 27 日までの延べ 1,579 日間、自動撮影カメラを北八ヶ岳麦草峠周辺 12 カ所に仕掛けたところ、883 日間に 4,326 頭のニホンジカを確認できたことを前章で報告した。

しかし、自動撮影カメラは、ニホンジカ以外にも多くの生き物が写るため、地域の哺乳類相調査（藤井ら 2016、水谷・三ツ橋 2018）を行う機材として広く普及している。ただし、自動撮影カメラの台数が 1 台だけでは地域の哺乳類相を把握する効果が低い（塚田ら 2006）とも言われていた。

今回の調査では北八ヶ岳麦草峠周辺 12 カ所で、7～10 台の自動撮影カメラが常に稼働する状態で 1,579 日間の調査を行っていた（表-2）ことから、当地における哺乳類相を把握することが出来ると考えられる。

加えて、確認されたニホンジカの個体数と他の哺乳類との数の差を確認することも可能となる。特に、ニホンジカと食性が一致するニホンカモシカの生息に影響を与えていることがあるとの指摘（岸元・前河 2001）もある。この点で考えれば、ニホンジカに限らず、当地で撮

影された哺乳類の画像データを整理した上で、ニホンジカの評価を行うことができる。

そこで本章では、前章で行った自動撮影カメラ調査において得られた写真から、人間及びニホンジカを除く哺乳類の確認状況について整理し、その特徴を解析した。

3.2 方法

調査は、前章の調査で得られた画像から、ニホンジカ以外の哺乳類及び鳥類が写っている写真を抽出し、種類を同定した。なお、写真の中には種類が識別できないものがあったが、これについては種類不明とした。

3.3 結果および考察

今回の調査では、ニホンジカを除く哺乳類が 12 種類確認されたほか、フクロウやヤマドリといった鳥類も複数確認された（表-5）。ニホンジカは全ての調査地で撮影された（表-4）事と異なり、P4 及び P12 ではニホンジカ以外の動物類は撮影できなかった。哺乳類の出現種数は、P11 で 9 種類と多かったが、撮影回数が最も多かったのは P2 だった。

撮影できた動物類を見ると、P4 及び P12 以外の 10 カ所ではニホンカモシカが撮影されてお

表-5 撮影された動物のリストと調査地別の撮影枚数

調査地名	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	サイト数	頭数
アナグマ		1											1	1
イノシシ			1								2		2	3
ウサギ	31	40	1		3	13	8				1		7	97
ニホンカモシカ	14	39	5		6	3	4	19	3	2	4		10	99
キツネ	4	16	4			1	4		15	5	6		8	55
哺乳類														
ツキノワグマ		1	1								1		3	3
コウモリ類	1				1								2	2
タヌキ		42							7	1			3	50
テン	1	18	6		2	8	6		9		3		8	53
ネズミ類									1				1	1
ムササビ											1		1	1
リス			3						2		4		3	9
ニホンジカ	824	938	401	3	165	222	813	290	92	336	294	5	12	4,383
鳥類														
フクロウ											1		1	1
ヤマドリ			1										1	1
鳥(種不明)		2	5		1	1		1	27	1			7	38
種類不明	1	17				3				4	2			27
合計	876	1114	428	3	178	251	835	310	156	349	319	5		4824
哺乳類種数	6	8	8	1	5	5	5	2	7	4	9	1		

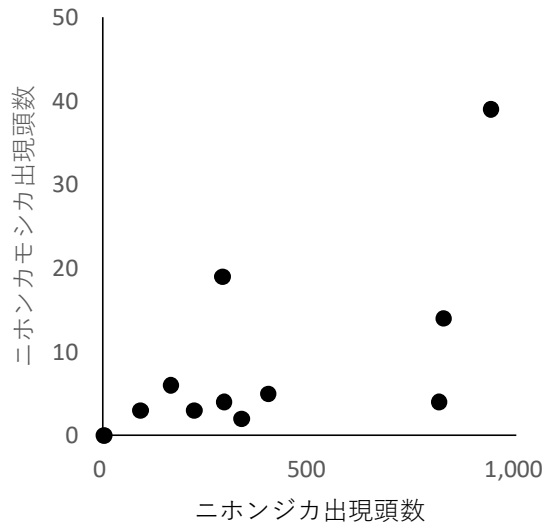


図-5 ニホンジカとニホンカモシカの出現頭数との関係

り、テン、キツネ、ウサギも半分以上の調査地で撮影されていた。

とはいえ、今回確認できたニホンジカ以外の哺乳類は、種類が確認できただけで 374 個体に留まっており、ニホンジカの出現頭数が 4,383 頭だったことを考えると、非常に少なかった。特に、ニホンジカと食性が一致するニホンカモシカの出現頭数は 99 頭で、10 カ所の調査地で確認されたとはいえ、その数は多くなかった。1980 年代後半の調査(土田 1991)によれば、ニホンカモシカの姿を目撃することは容易だが、ニホンジカはニホンカモシカの分布域よりも低い標高 1,000~1,800m でわずかに観察される程度とされていた。このことからすれば、1980 年代後半には生息していないと考えられたニホンジカがニホンカモシカの 40 倍を超える頻度で撮影されたことは、ニホンジカの増加に伴いニホンカモシカの生息に影響を及ぼしている可能性が考えられた。実際、ニホンジカの高密度分布域では、ニホンカモシカが認められないことがある(八代田 2024)。そこで、ニホンジカの出現頭数とニホンカモシカの出現頭数との関係を整理したところ、図-5 に示すようにニホンジカの出現頭数が 938 頭と最も多かった P2 で、ニホンカモシカも 39 頭と出現頭数が最も多かった。

出現頭数の差を考えれば、ニホンジカの個体数が増えたことで、ニホンカモシカの行動がかなり抑制されたといえるが、ニホンジカの出現

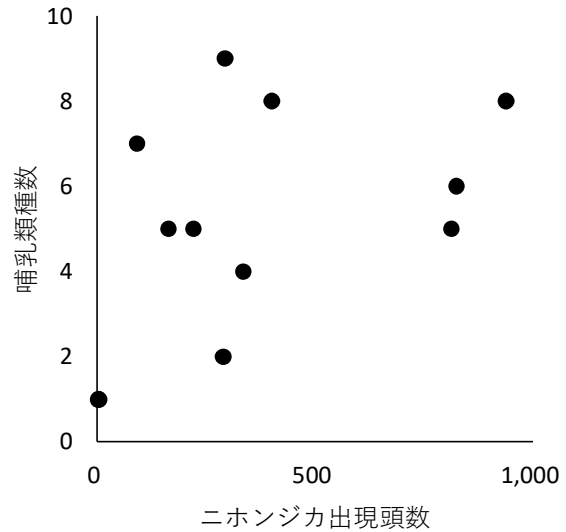


図-6 ニホンジカの出現頭数と哺乳類の種数との関係

頭数が最も多い場所で、ニホンカモシカも多かった事を考えると、ニホンジカが多く出現したことで、ニホンカモシカを排除したとまでは言えなかった。

さらに、調査区内で撮影されたニホンジカを含めた哺乳類種数との関係を見たところ(図-6)、ニホンジカのみが数頭(3 頭及び 5 頭)観察された 2 カ所(P4・P12)は、他の哺乳類は出現せず、ニホンジカが好まない場所では他の哺乳類も好まないと考えられた。しかし、そのほかの調査区を見ると、ニホンジカの出現頭数と哺乳類の出現種数の間での関係は認められなかった。

以上のことから、ニホンジカ確認頭数の多寡に関わらず、食性が同じニホンカモシカへの影響及び、他の哺乳類の生息に対して何らかの影響を及ぼしている可能性は、今回の結果だけでは判断できなかった。

4 ニホンジカの好む環境条件

4.1 目的

第 2 章の結果、麦草峠周辺のニホンジカは、局所的な違いで出現頭数が大きく異なり、好きな場所があることが分かった。そこで、本章ではニホンジカが好む環境の抽出を検討した。

今回の調査地は、オオシラビソ・シラビソが優占する林分のみを抽出しており、上木の違いは影響しない。一方で林床の優占種はコケ、ササ、グラミノイドの 3 種類と異なっている。植物食で嗜好性がある（橋本・藤木 2014）ニホンジカの出現頭数が、大きく異なるとすれば林床植生の違いが影響している可能性は高い。また出現頻度の違いは、侵入のしやすさ（岡田ら 2015）に影響している可能性もある。

そこで、林床植生と侵入のしやすさを示す立地環境及び、森林の更新につながる指標となる立木被害の実態も調査を行い、その結果をニホンジカの出現頭数との関係から分析することで、ニホンジカが好む環境条件を抽出した。

4.2 方法

4.2.1 林床植生調査

自動撮影カメラの結果から、調査地周辺には積雪期にニホンジカが出現していないことから、無雪期の環境がニホンジカの出現頻度に影響を与えていると考えられる。ニホンジカは牧草地を好む（竹田ら 2019）ことや、湿原よりも湿地林や雑木林を好む（稲富ら 2018）といった植生が異なることで出現状況が変化することが指摘される。今回の調査地は、上木の条件をシラビソとオオシラビソが優占する亜高山帯針葉樹林に揃えていたため、上木の違いによる出現頻度の影響は低いと考え、自動撮影カメラの撮影範囲の中心に、5×5m の方形枠を設置して、ニホンジカが採食可能な高さ 2m 以下の高等植物の植被率を算出するとともに、下層の植生調査を行った。その上で、下層の優占植生により、ササが優占する「ササ地」、ササ以外のイネ科やカヤツリグサ科といった短茎のグラミノイドが優占する「短茎」、コケ類が優占する「コケ」の 3 つに区分した。

4.2.2 立地環境調査

ニホンジカが立木を加害する際、加害木への侵入のしやすさにより、被害の受けやすさが変

わるのではないかと考え、簡易貫入試験機による貫入量を測定したところ、平均貫入量に有意差がある（岡田ら 2015）ことがわかっている。すなわち、森林内に間隙があると足を取られるリスクが高くなり、ニホンジカが歩きにくくなることで、現地への侵入を躊躇し、被害が少ないと考えられていた。岡田ら（2015）の調査では、ニホンジカの出現頻度を把握していなかったが、今回の調査でニホンジカの出現頻度が明瞭になったため、土研式貫入試験機を用いて、5kg の重りを 50cm 上から落下させた際に土壌中へ貫入する 1 回目の貫入量を記録した。測定は、2023 年 5 月から 7 月に全ての調査地で行い、自動撮影カメラの撮影範囲内の 50 カ所を無作為に選択した。なお、30 カ所で落下しても貫入量の差が少ない場合はそこで終了させた。

4.2.3 立木被害調査

立木被害調査は、2021 年 6 月 17 日～9 月 13 日に、P12 を除く 11 カ所の自動撮影カメラ調査地で実施した。自動撮影カメラの撮影範囲が含まれるように幅 4m、長さ 50m のベルトを調査区として設定し、調査区内に成立する樹高 50 cm 以上の全立木を対象として被害状況調査を行った。立木調査の際、ニホンジカの被害で枯死した木もあることから、枯死木も含んだ。但し調査区内であってもすでに倒伏しているものは対象としなかった。

調査項目は、立木位置、樹種、樹高、胸高周囲、生死、ニホンジカ被害の有無の 6 項目とした。樹高は、1m 未満の稚樹から、1～2m の小低木、2～4m の低木、4～10m の亜高木、10m 以上の高木まで階層で区分した。胸高周囲については、樹高 1.3m 以下の個体を除く全個体で測定した。ニホンジカの被害は、枝葉のニホンジカとみられる食害痕跡が一部で確認できたものや幹のわずかな被害を軽微な被害「軽微」とした。一方、幹のほぼ全周または枝葉の大半が食害された個体を「激害」とした、両方の中間に当たり被害がはっきり分かるものの、激害とはいえない被害を「中程度」として、被害を受けなかった「無害」を含めた 4 段階の区分とした。

4.3 結果

4.3.1 林床植生調査

林床植生の優占種は、コケが優先している調

査地が7区、ササが優先している調査地が3区、短茎のグラミノイドが優先している調査地が2区だった(表-1)。それぞれの調査地における高等植物の植被率は、0~90%まで幅があったが、コケが優占する調査地では高等植物の植被率は低かった。

ニホンジカの好きな場所と林床植生との関係を調べるため、表-4で示したニホンジカの出現頻度と、調査区における優占種別の高等植物植被率との関係を見たところ、図-7に示すように、ニホンジカの出現頻度が高いほど林床植生の植被率が高い傾向が見られた。優占種との関係をみると、コケが優占する林床植生の場合は、植被率が低く、ニホンジカの出現頻度も1カ所を除いて低かった。一方で、短茎のグラミノイドが優占する場所とササ地では植被率が高く、ニホンジカの出現頻度が高いところが多かったが、ササ地の一カ所ではコケが優占する調査地と同程度で、林床植生との関係は明瞭といえなかった。

とはいえ、森林被害への影響を考えれば、一日あたりの出現頻度より、一回あたりの滞在時間が重要となる。そこで、一回あたりの出現時間と林床植生との関係を図-8のように整理したが、ササ地や短茎のグラミノイドが優占する場所であれば、どこでも長く滞在しているとはいえなかった。

4.3.2 立地環境調査

簡易貫入計による調査の結果、平均貫入量は9.12~20.15 cmと、場所による差が認められた。そこで、ニホンジカの出現頻度との関係を確認したところ、平均貫入量とニホンジカの出現頻度との間には、平均貫入量が多くなるほどニホンジカの出現頻度が少なくなる傾向は認められた(図-9)。両者の間では弱い関係($R^2=0.477$)が認められたものの、出現頻度が高い場所での平均貫入量が明らかに低くなっているとは言えなかった。

しかし、ニホンジカの出現頻度が高いにもかかわらず植被率が低い場所と、植被率が高いにもかかわらず、ニホンジカの出現頻度が低い場所があったこと(図-7)や、林床植生と滞在時間との間に明瞭な関係性が見られなかったこと(図-8)を考慮し、林床植生の優占種(ササ、短茎、コケ)別に、ニホンジカの出現頻度が最も

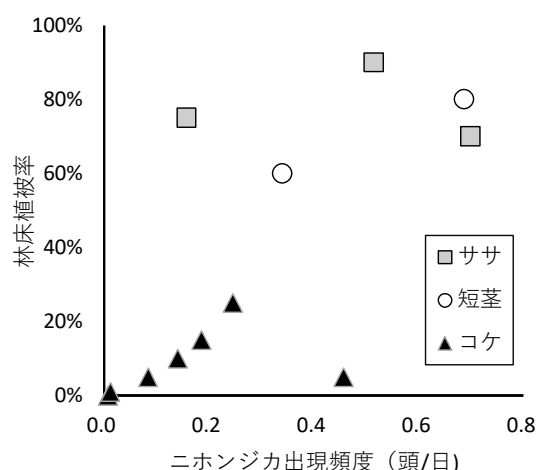


図-7 ニホンジカの出現頻度と林床植生との関係

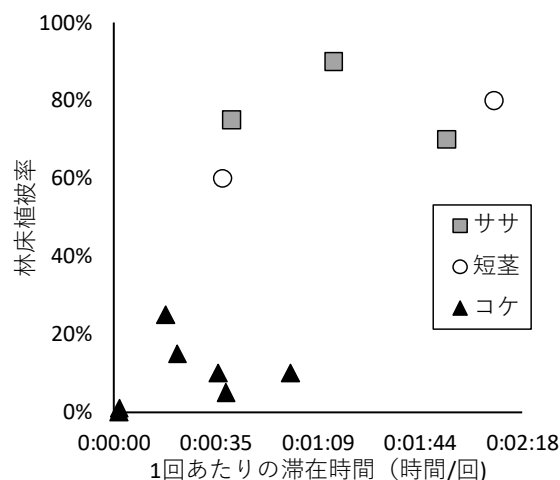


図-8 1回あたりのニホンジカ滞在時間と林床植生との関係

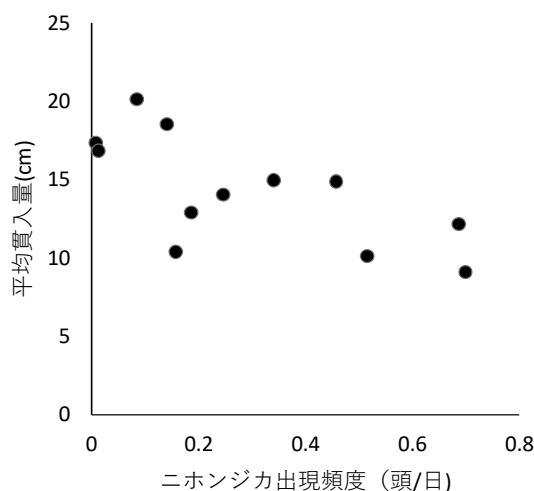


図-9 ニホンジカの出現頻度と平均貫入量との関係

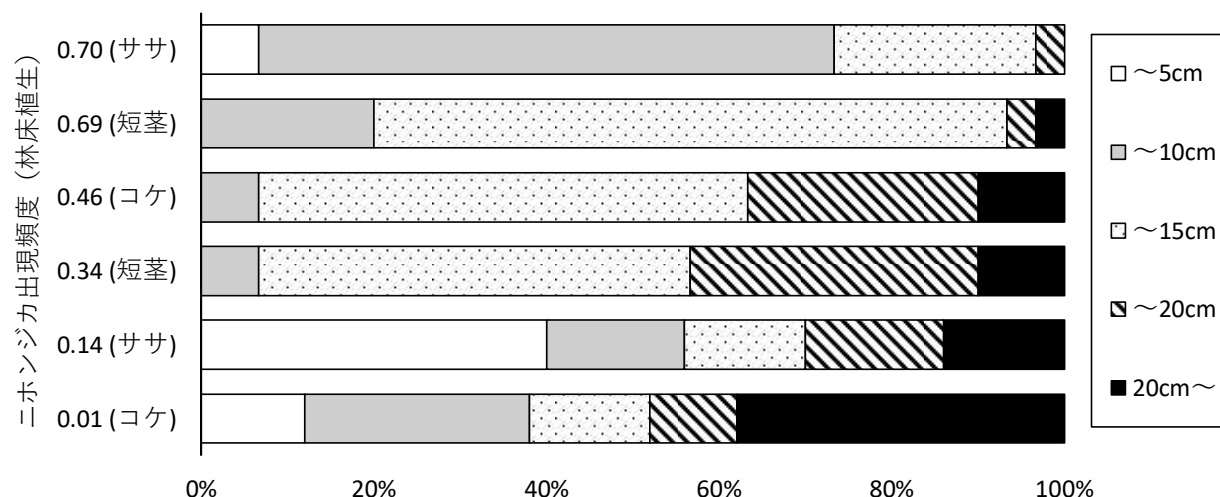


図-10 代表調査地別に見た貫入量の頻度分布

高かった場所と最も低かった場所の貫入量を確認した(図-10)。

その結果、出現頻度が低い調査地では、1 回重りを落としただけで 20cm 以上が貫入する割合が高くなっていた。

そこで、20cm 以上の貫入量が発生する割合をニホンジカの出現頻度別に整理してみたところ、図-11 に示すように、20cm 以上の貫入量が発生する割合が 30%を超えている場合には、ニホンジカの出現割合が低くなっていた。20cm 以上の貫入量の出現割合が多かったのはすべて、林床にコケが優占する場所だった。一方で林床にコケが優占していても、貫入量 20cm 以上の出現割合が低い場所では、ニホンジカの出現頻度が高くなっており、ニホンジカの出現頻度は、林床植生よりも大きな貫入量がある場所を避けていると判断できた。

4.3.3 立木被害調査

今回調査を行った 11 カ所では、全ての調査地でニホンジカによる立木被害が認められ、その被害率は 34%~80%だった(表-5)。今回の自動撮影カメラによる調査ではほとんどニホンジカが撮影されなかった P4 でも、48%の立木に被害が発生しており、生死に影響を与える可能性が高くなる中程度以上の被害だけでも 34%に達していた。

一方で、出現頻度が高い P1、P2、P7、P10 の立木被害率は 76%、58%、77%、58%で、ニホンジカの出現頻度が高い場所で立木被害が多

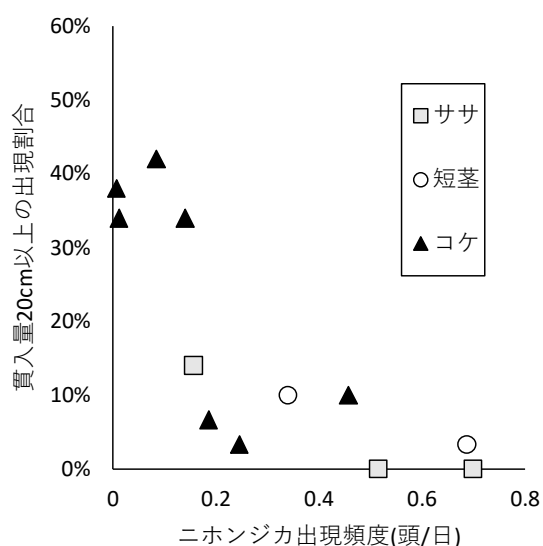


図-11 ニホンジカの出現頻度と 20cm 以上の貫入量が発生する割合との関係

いとはいえなかった。実際、ニホンジカの出現頻度と立木被害率との関係を見ても(図-12)一定の関係は認められず、立木被害は全域で発生していた。

4.4 考察

今回の結果、ニホンジカが好む環境条件は、餌資源となるササや短茎のグラミノイドが優占し、高等植物の植被率が高い場所であることよりも、1 回の重りを落としただけで 20cm 以上貫入してしまうような場所を避けていることが明らかとなった。

ニホンジカには、採食する植物に対する嗜好性があり、嗜好性が高い植物から採食すると考

表-5 立木被害調査結果

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
無害	17	25	46	64	32	48	8	62	75	12	34
軽微	19	12	17	18	46	3	1	19	1	0	5
中程度	26	14	26	32	45	45	3	14	7	5	16
激害	9	9	4	10	39	48	23	27	30	10	48
被害率	76%	58%	51%	48%	80%	67%	77%	49%	34%	56%	67%

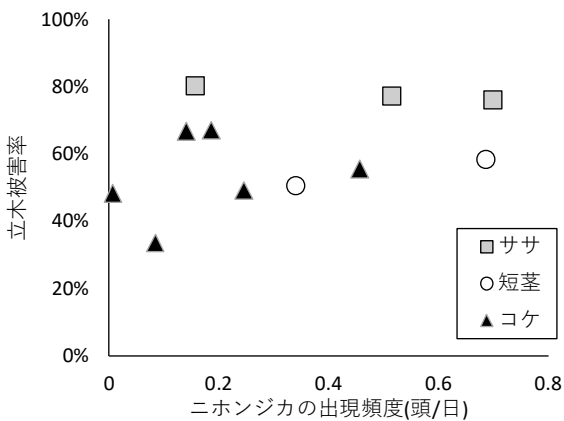


図-12 ニホンジカの出現頻度と立木被害率との関係

えられてきた(岡田ら 2015)。確かにニホンジカの加害により林床植生が失われた場所では、不嗜好植物のみが分布しており(例えば田村ら 2013)、餌資源が不足すると不嗜好植物であっても食害することも確かめられている(小山ら 2024d)。

その点から考えれば、ニホンジカの餌資源として重要視されているササ地(大井 1999)でニホンジカの出現頻度が高いことや、牧草地にニホンジカが集中する(竹田ら 2019)ことから、グラミノイドやササは餌資源として有効である。しかし、今回の調査において、植被率が高いササ地であってもニホンジカの出現頻度のうち1カ所で、高等植物が少ないコケ地と同等程度であったことは興味深い。

ところが、簡易貫入計による貫入量をみると、1回の貫入量が20cmを超える割合が10%を上回っているササ地(図-9)では、他のササ地に比べて明らかに出現頻度が低下しており、餌資源の有無以上に、足元の悪さを避けている可能性が高かった。

ただし、立木の被害率(図-11)を見ると、ニホンジカが出現していなくても立木の被害が発生しており、立木被害だけを見てしまうと、立地環境による差は感じられなかった。これは、立木被害調査自体が、2022年に行っただけで、新規被害であるか過去からの累積被害であるかを区別していなかったためと考えられる。

葉の食害であれば、落葉してしまえば見た目の被害は観察できない。オオシラビソやシラビソを含むモミ属の葉の平均寿命が4年とされている(水井ら 1987)。このことから、葉の食害を確認できるのは数年以内の被害に限定される。一方の幹剥皮は、被害程度にもよるが、被害部が肥大成長に伴って樹皮に覆われて癒合しなければ被害と認識できるため、かなり長い期間被害と判断できる。当地でニホンジカによる森林被害が顕在化したのは2008年頃とされ(田中ら 2014)、被害が顕在化してから15年程度であれば、被害木が残っている可能性が高いと判断できた。

つまり、現在はニホンジカの出現頻度が低い場所であっても、過去の生息密度においては、立木被害を引き起こすほどの被害があったことを意味しており、立木被害を及ぼした当時の出現頻度は、現在と比べればもっと多かったことが予見できる。すなわち、過去に立木の被害がありながらも、現在の出現頻度が低い結果が得られたということは、現在の個体密度が過去に比べて低下したといえる。

今回の結果、北八ヶ岳ではニホンジカの個体密度が低下したことで、ニホンジカが土壌の貫入量が多い場所が点在する歩きにくい場所を避けて、行動するようになったと判断できた。

5 まとめと今後の課題

5.1 まとめ

北八ヶ岳麦草峠周辺の亜高山帯針葉樹林で、ニホンジカの行動を自動撮影カメラで撮影したところ、出現時期には季節変化があり、積雪期には生息していない一方で、完全に雪が消えた 6 月から 10 月にかけては毎日のように出現していた(図-2)。低密度ではあるが冬季間もニホンジカが生息している(田尻ら 2013)とした 2010～2012 年の記録とは異なり、4 冬の調査で生息は確認されなかった。実際、冬季間積雪に覆われる地域では、高山帯がある南アルプス(泉山・望月 2008、泉山ら 2009)だけでなく、標高 1,510m の氷ノ山(森光ら 2019)でも低標高域へ移動することが確かめられており、当地も同様に冬期間はニホンジカが生息していないと判断した。

6 月から 10 月までの間、ニホンジカは毎日のように確認できたものの、12 カ所の調査区における出現頻度は、場所によって異なっており、ニホンジカの出現は、局所的な環境に影響していた。なお、出現頭数が多いところでは 1 回あたりの出現時間が長くなる傾向があり(図-4)、出現しやすい場所では長い時間滞在していることから、多くのニホンジカが集まる好きな場所と判断した。

ニホンジカが好む場所の環境条件として、主要な餌資源とされるササ(小泉ら 2006)やグラミノイド(姉崎 2015)が多い高等植物の植被率が高い場所である傾向は認められた(図-7)が、ササ地であってもニホンジカの出現頻度が低い場所があり、餌資源の有無だけではニホンジカ出現頻度の差を説明できなかった。そこで、ニホンジカは歩きやすい環境を好む(岡田ら 2015)とされる事例を参考として、地上を歩く際に足を取られる危険性を検討した。今回は、簡易貫入計の貫入量を指標とすべく測定したところ、ニホンジカの出現頻度が低い場所では、簡易貫入計で測定した貫入量が 20 cm を超える割合が 30% を上回っていた(図-11)。つまり、林内を歩いていると、30% 以上の確率で、20 cm 以上沈んでしまいことを意味しており、こうした場所をニホンジカが避けていた。

ニホンジカと同じ偶蹄類ある牛や豚などの家畜を管理する施設では、人や農業機械は通れるが家畜が通れない「テキサスゲート」と呼ば

れるすのこ状の「橋」を設置することがある。家畜用に設置される「テキサスゲート」を改良してニホンジカの侵入を防ぐために利用している事例もある(田戸ら 2009)。つまり、今回確認された貫入量の多い場所が存在することは、自然状態の「テキサスゲート」とも考えられ、ニホンジカの侵入を防ぐ効果が高かったかもしれない。しかし、家畜用に設置するテキサスゲートであっても、「橋」となるゲートの長さが 1m 程度である場合には効果がなかった(原ら 1999)ことや、橋の高さが 10 cm 程度に留まっていればニホンジカが容易に通過した(田戸ら 2009)ことなど、その仕様によって侵入防止効果が変わることは確かめられている。これまでの結果(田戸ら 2009)、ニホンジカの侵入防止となるテキサスゲートは、「すのこ」の隙間が 8 cm 以上で、「橋」の高さが 30 cm 以上であることが望ましいとされる。

この結果から考えると、今回得られた 20 cm 以上の貫入量がランダムに 30% 以上の割合で発生したということは、テキサスゲートと同様の効果を示した可能性が指摘できる。これは、北八ヶ岳の亜高山帯針葉樹林において、ササのような嗜好性が高い好む植物が生育していながら、貫入量が大きくなる場所が点在すると、ニホンジカが侵入を嫌がり、出現頻度が少ないことから確かめられた。この結果は、ニホンジカが嫌う環境条件として注目すべきであろう。

一方、図-12 で示したように、ニホンジカの出現頻度が少ない場所であっても、ニホンジカによる剥皮被害が多く発生していたことは留意すべきである。立木の被害は、現在のニホンジカ出現状況を反映していないことは明白であるが、過去に被害を受けたと考えれば、ニホンジカが苦手と考えられる歩きにくい場所であっても、ニホンジカが侵入し、立木を加害したことを意味している。

当地において、自動撮影カメラによる記録は今回の報告以外に確認されていないが、2013 年には今回の調査地に近い場所で、52% の立木が被害を受け、年間で 15% の立木が新たに被害を受けていた(鈴木ら 2015)。2013 年の調査と 2022 年に行った調査では、調査地は異なっており、調査方法も異なるため、単純な比較はできないが、今回の被害率が 34～80% だったことを

考えれば、2013 年以降の新たな被害はさほど多くなかったとも考えられる。

長野県が 5 年に一度策定している長野県特定鳥獣保護管理計画（長野県 2021）によると、当地から中信高原を含む「八ヶ岳管理ユニット」全体では、2010 年から 2019 年にかけて個体数が緩やかに上昇し、2019 年現在の生息密度は 28 頭/km² と多い。しかし糞粒法による個別の解析結果に注目すると、八ヶ岳の調査結果では、2015 年をピークに下がっており、2013 年のような一年間で 15% もの立木が新たに剥皮される（鈴木ら 2015）という状況から脱したのではないだろうか。2011 年頃には、冬期間もニホンジカが生息していたとされる（田尻 2013）時期と異なり、現在は冬期間には里山へ下れる程度に周辺の個体密度が低下したことで、わざわざ嫌いな環境に侵入してまで採食する必要がなくなったと言える。

現場には過去に発生した立木被害の痕跡は残されているものの、ニホンジカの出現が確認されなかったということは、個体密度の減少に伴い、歩きにくい場所をニホンジカが嫌ったということではないだろうか。

今回の調査で、過去には全域で被害があったにもかかわらず、ニホンジカが出現しなくなった場所が存在していたということは、ニホンジカの被害を受けにくい場所ができたことを意味している。このようなことを勘案すれば、現在、北八ヶ岳に生息しているニホンジカの生息密度は、出現頻度が高く、ニホンカモシカなどの他の哺乳類に比べて格段に多い数が認められる状態ではあるが、ニホンジカの侵入しにくい場所が存在していることが示された。

このことを考えると、現在の北八ヶ岳と同程度の生息密度であれば、局所的にニホンジカが侵入しない嫌いな場所が存在すると推定でき、これまでは困難と考えられてきた森林の天然更新につながる可能性が考えられた。

5.2 今後の課題

今回の結果から、ニホンジカには好きな場所と苦手な場所が存在し、歩きにくい場所ではできるだけ侵入したくない雰囲気を感じることができた。ただし個体密度が上昇すれば、背に腹は代えられず歩きにくい環境へ侵入することでも予想された。

今回の研究だけでは、どの程度の生息密度であれば、ニホンジカの侵入を防ぐことができるのかはわかっていない。さらに、テキサスゲートのような目に見えて足を取られる可能性がある場所であれば、目視で避けることも予測できるが、今回の調査地では、どこで足を取られるのかは私たち自身もわからなかったため、具体的に歩きにくくする手法については未知数である。

実際に、今回の研究結果を林業現場へ応用しようとするれば、歩きにくい環境をどのように創出すればよいかということになるが、テキサスゲートのような地下に穴をあけるような構造物を設置することは現実的ではない。

だとすれば、地上部に枝葉を積み上げるなど地上部で歩きにくさを検討することが求められる。実際、伐採時に発生する林地残材を地上に放置した事例（森谷ら 2012）や、林地残材で防護柵のような構造にした事例（柳澤ら 2020）があるが、いずれも短期的な効果にとどまっている。とはいえ両事例では、ニホンジカの生息密度との関係は整理されておらず、生息密度が高ければ、立木被害を引き起こしてしまう（図-12）ことを考えれば、林地残材を有効活用することで、ニホンジカの侵入を防ぐ効果がある生息密度が存在する可能性が考えられる。

今後は、ニホンジカの生息密度を把握したうえで、歩きにくさによってどこまで獣害防除につながるのかを検証していくことが重要であると考えている。当所では、令和 5 年度から令和 9 年度までの計画で実施している県単研究課題「未利用低質材有効活用手法の評価検証」の中で、ニホンジカの生息密度を考慮しながら、林地残材の有効活用を検討しているが、ニホンジカの生息密度が高すぎると効果がないことも検証された（小山ら 2024d）。それでも、林地残材の有効利用方法の一つとして、適正密度の検討を進めているところである。

謝辞

本研究の実施にあたり、科学技術研究費の代表者として、研究推進に多大なる協力を頂いた群馬大学情報学部の西村尚之教授及び共同研究者として協力頂いた北海道大学北方生物圏フィールド科学センターの鈴木智之准教授をはじめ、現地調査に協力頂いた竹内智恵氏、渡

辺真由子氏及び群馬大学の皆様、調査データの解析に協力頂いた塩原由佳氏、村上やよい氏をはじめとする多くの皆様の協力を得て本報告を提出することが出来ましたので、この場を借りて感謝申し上げます。

引用文献

- 姉崎智子 (2015) 群馬県赤城山におけるニホンジカの食性の季節変化、群馬県自然史博研報 19:5-9.
- 出口善隆・村山恭太郎 (2016) 新規分布地域におけるニホンジカの生息地利用および性別割合. 哺乳類科学 56:37-41.
- 藤井太一、川本宏和・白子智康・上野薫・南基泰 (2016) 愛知県知多市臨海工業地帯企業緑地におけるカメラトラップ法による哺乳類調査、日緑工誌 42:320-329.
- 原文宏・田辺慎太郎・阿部正明 (1999) エゾシカの交通事故対策に関する実験的研究. 環境システム研究 27:463-468.
- 橋本佳延・藤木大介 (2014) 日本におけるニホンジカの採食植物・不嗜好性植物リスト. 人と自然 25:133-160.
- 平岡裕一郎・西村尚之・小山泰弘・岡田充弘・柳澤賢一・鈴木智之・新其楽図 (2023) 北八ヶ岳における亜高山帯針葉樹林に及ぼすニホンジカの影響, 日本森林学会誌 105 巻, 216-224.
- 久本洋子・大石諭・鈴木祐紀・鶴見康幸・米道学・鈴木牧 (2019) 東京大学千葉演習林におけるカメラトラップ法によるニホンジカの生息密度推定の有効性の検証、演習林 (東大) 61:65-74.
- 稲富佳洋・日野貴文・島村崇志・長雄一・宇野裕之・吉田剛司 (2018) 釧路湿原国立公園の異なる植生タイプにおけるニホンジカの採食の影響評価. 湿地研究 8:17-32.
- 泉山茂之・望月敬史 (2008) 南アルプス北部の亜高山帯に生息するニホンジカ (Cervus nippon) の季節的環境利用、信大農 AFC 報告 6:25-32.
- 泉山茂之・望月敬史・瀧井暁子 (2009) 南アルプス北部の亜高山帯に生息するニホンジカ (Cervus nippon) の GPS テレメトリーによる行動追跡、信大農 AFC 報告 7:63-71.
- 勝木俊雄・長池卓男・西川浩己・田中智・岩本宏二郎 (2019) 八ヶ岳の山梨県有林に設置したヤツガタケトウヒ試験区におけるシカ被害を受けた林相の 12 年間の変化. 森林総研報 449:101-110.
- 岸元良輔・前河正昭 (2001) 下伊那郡上村におけるニホンジカとニホンカモシカの種間関係. 長野県自然保護研究所紀要 4:271-274.
- 小泉透・矢部恒晶・井上晋 (2006) ニホンジカの採食がスズタケの動態に及ぼす影響. 九州森林研究 59:90-93.
- 小山泰弘・岡田充弘・山内仁人 (2010) ニホンジカの食害による森林被害の実態と防除技術の開発. 長野県林総セ研報 24:25-34.
- 小山泰弘・鈴木智之・西村尚之 (2020) 北八ヶ岳の亜高山針葉樹林における森林の攪乱履歴がニホンジカの行動に及ぼす影響 (速報). 長植研 53:75-80.
- 小山泰弘・鈴木智之・西村尚之 (2021) ニホンジカの出没状況から見た北八ヶ岳における亜高山針葉樹林への影響. 長植研 54:47-53.
- 小山泰弘・柳澤賢一・鈴木智之・新其楽図・西村尚之 (2022) 北八ヶ岳亜高山帯針葉樹林におけるニホンジカの行動と樹木被害との関連性. 長野県植物研究会誌 55:69-76.
- 小山泰弘・柳澤賢一・二本松裕太・三澤美菜・鈴木智之・西村尚之 (2023a) 北八ヶ岳亜高山針葉樹林におけるニホンジカの出現状態と樹木被害との関係. 134 回日本森林学会
- 小山泰弘 (2023b) シカが多い北八ヶ岳の亜高山帯針葉樹林での天然更新の可能性を探る. 第 50 回長野県環境科学研究発表会:17-18.
- 小山泰弘 (2023c) センサーカメラで亜高山帯の鹿を追う. 技術情報 169:2-3.
- 小山泰弘・柳澤賢一・鈴木智之・西村尚之 (2024a) 北八ヶ岳でニホンジカが出現しやすい環境とは. 135 回日本森林学会.
- 小山泰弘 (2024b) センサーカメラが捉えた長野県のニホンジカは今. 長野県地理 43:4-10.
- 小山泰弘 (2024c) 赤外線センサーカメラで撮影されたニホンジカの行動分析. 令和 5 年度中部森林技術交流発表集. 110-117.
- 小山泰弘・柳澤賢一・二本松裕太 (2024d) ニホンジカの個体密度が高いと林地残材による防除はできない. 長野県植物研究会誌 57:75-78.

- 水井憲雄・菊沢喜八郎・浅井達弘・清和研二
(1987) トドマツ人工林の間伐試験(1): 北海道
造林試研報 25:18-27.
- 水谷瑞季・三ツ橋士郎(2018) 志賀高原ガイド組
合による自動撮影カメラを用いた中・大型哺
乳類相調査、信大教志賀研報 55:17-23.
- 森光由樹・藤木大介・斎田栄里菜(2019) 兵庫県
氷ノ山山系に生息するニホンジカの GPS 発
信器による季節移動の解明、兵庫ワイルドラ
イフモノグラフ 11:58-67.
- 森谷佳晃・森本末星・森本淳子・中村太士(2012)
風倒後の処理とエゾシカの採食及びそれに
起因する植生への影響、日林誌 94:10-16.
- 長池卓男・西川浩己・飯島勇人・北原正彦・杉
田幹夫・中野隆志・土橋宏司・亀井忠文・横
川昌史・井鷲裕司・中村健一・会田秀樹・竹
田謙一(2013) 南アルプスにおけるニホンジ
カによる高山植物への影響と保護対策およ
び個体数管理に関する研究、山梨県総合理
工学研究機構研究報告書 8:7-11.
- 長野県(2021) 長野県第二種特定鳥獣管理計画
(第5期ニホンジカ管理)、長野県.
- 大井徹(1999) ニホンジカによる林業被害防除
のための生態学的研究、東北森林学会誌
4(2):25-28.
- 岡田充弘・小山泰弘(2013) シカ剥皮被害の実
態解明と発生要因の解析、森林防疫
699:232-237.
- 岡田充弘・大矢信次郎・清水香代・小山泰弘
(2015) シカなどの獣類による森林被害に対
する総合的対策に関する研究、長野県林総セ
研報 29、17-39.
- 尾関雅章・岸元良輔(2009) 霧ヶ峰におけるニホ
ンジカによる植生への影響: ニッコウキス
ゲ・ユウスゲの被食圧、長野県環境研研報
5:21-25.
- 白鳥孝・開藤直樹・布山澄・倉本栄・竹田謙一・
渡邊修・向井明・千村知博・柴公人・酒井建・
伊藤満・赤羽鮎子(2024) 南アルプス仙丈ヶ岳
におけるシカ食害からの高山植物緊急保護.
自然保護助成基金助成成果報告書 33:81-84.
- 鈴木智之・田尻研介・土屋香織・竹田謙一(2015)
縞枯れ林におけるシカ食害の現状とその 10
年間の変化、自然保護助成基金成果報告書
23:101-109.
- Suzuki S. N., Tsunoda T., Nishimura N.,
Morimoto J., Suzuki J. (2019) Dead wood
offsets the reduced live wood carbon
stock in forests over 50 years after a
stand-replacing wind disturbance,
For. Eco. Manag. 432:94-101.
- 鈴木智之・小山泰弘・西村尚之(2024) 60 年前の
風倒後の倒木搬出が現在のシカの景観スケ
ールでの分布に与える影響、135 回日本森林
学会.
- 田尻研介・竹田謙一・西村尚之(2013) 八ヶ岳の
亜高山帯針葉樹林における森林動態に影響
を及ぼすシカの影響、霊長類研究
Supplement, 29 巻, 第 29 回日本霊長類学会・
日本哺乳類学会 2013 年度合同大会,
- 高橋亀久松(1978) 八ヶ岳亜高山林の樹木形状
比、日林誌 60(3)、100-103.
- 竹田謙一・遠山育・都築智佳・亀井利活(2019)
ニホンジカによる牧草地の利用実態と捕獲
場所としての牧草地の活用、日草誌 65:55-
63.
- 田村淳・藤森博英・末次加代子・永田幸志(2013)
丹沢全域の相対的な植生指標としての植生
劣化レベルと林床植被レベル、神奈川県自然
環境保全センター報告 11:37-44.
- 田中竜太・高島千尋・瀧井暁子・泉山茂之(2017)
信州大学手良沢山演習林における REM 法を
用いたニホンジカ (*Cervus nippon*) の生息
密度推定、信州大学農学部 AFC 報告 15:55-
60.
- 田中徹・松嶋克彰・田中良太(2014) 南信森林
管理署におけるニホンジカ被害とその対策、
水利科学 339. 39-51.
- 田戸裕之・細井栄嗣・岡本智伸・小泉透(2009)
ニホンジカに対する改良型テキサスゲート
の通行制限効果、山口県農試研報 57:15-21.
- 土田勝義(1991) 八ヶ岳の自然、信濃毎日新聞
社、220pp.
- 塚田英晴・深澤充・小迫孝実・須藤まどか・井
村毅・平川浩文(2006) 放牧地の哺乳類調査
への自動撮影装置の応用、哺乳類科学 46:5-
19.
- 鵜飼一博(2011) 南アルプスにおけるニホンジ
カの影響とその対策、森林科学 61:21-24.

山根正伸・三橋正敏(2002)、ニホンジカ生息数調査におけるカメラセンサス方の適用、神奈川県自環保全セ研報 29 : 19-25.

山瀬敬太郎・関岡裕明・栃本大介 (2011) 兵庫県里山息のニホンジカ生息地における樹木種の動態. 日緑工誌 37:233-236.

柳澤賢一・清水香代・大矢信次郎・秋山巖・西岡泰久・岡田充弘(2020)シカ等に対する新たな物理的防除を中心とした森林被害対策技術に関する研究. 長野県林総セ研報 34:47-64.

柳澤賢一(2024)自動撮影カメラを活用した狩猟初心者が捕獲できるわな猟. 中森研 72:62-63.

安田雅俊(2012)自動撮影カメラによる調査技術、(羽山伸一・三浦慎吾・梶光一・鈴木正嗣編、野生動物管理:理論と技術):195-201. 文永堂出版.

八代田千鶴(2024) 増えるシカと減るカモシカは何が違うのか? 最適採餌理論からの検証. 2023 年度科研費実績報告書. (<https://kaken.nii.ac.jp/report/KAKENHI-PROJECT-19K06158/19K061582023jisseki/>) 2025 年 1 月 7 日確認.

ニホンジカの季節別生息状況に応じた効率的捕獲の実証

研究期間：令和元年度～5 年度
柳澤賢一・田中裕二郎*・小山泰弘

シカの効率的捕獲を進めるために、自動撮影カメラでシカの生息状況を時間的空間的に把握したうえでシカを捕獲しやすい条件を明らかにするとともに、その条件により足くくりワナによる捕獲実証試験を行い、狩猟初心者が実際に捕獲できるか検証した。カメラ調査の結果、塩尻市東山地域ではシカの撮影頭数は秋季の高原または山麓の開放地が特に多かった。カメラデータに基づきシカの日撮影頭数が多い箇所では捕獲を実施した結果、カメラを使いワナ捕獲に比べ捕獲効率は約 5 倍となり効率的に捕獲できた。また、日撮影頭数と捕獲効率の関係から、捕獲期間 30 日間でシカを 1 頭以上捕獲できる条件は、ワナ設置前 30 日間の平均日撮影頭数が 1 頭以上の箇所と考えた。狩猟初心者がこの条件を満たす箇所を探索しワナを設置した結果、ワナ設置 7 日後に初めてのシカ捕獲に成功した。

キーワード：ニホンジカ、自動撮影カメラ、日撮影頭数、捕獲効率、狩猟初心者

1 緒言（はじめに）

全国的に生息分布が拡大しているニホンジカ（*Cervus nippon*、以下、シカと略記）は、現在の個体数が過去 10 万年で最大、あるいはそれに近い水準まで増加しており、その要因は人間による捕獲圧が低下したことによるとされている（Iijima et al. 2023）。長野県内でも明治中期からの毛皮の需要増と猟銃の改良で高まった捕獲圧により、シカの個体数は急速に減少していたものの、その後の保護施策とともに捕獲頭数が減少、一方で餌資源の増加が進み、現在の個体数は有史以来の最高水準ともいわれる（小山ら 2010）。それに対し、県では増えすぎたニホンジカを適正な生息密度に維持することを目的として、2001 年から第二種特定鳥獣管理計画を策定し、管理ユニットごとに捕獲目標頭数を定め、対策を講じている。しかし、県内のシカの年間捕獲頭数は第 3 期計画期間中の 2013 年および 2014 年の約 4 万頭をピークに減少し、第 4 期計画以降は目標頭数に達していない（長野県 2021）。特に八ヶ岳、南アルプス、関東山地の各管理ユニットでは捕獲頭数の減少が目立っており、その原因として高標高地の草原地帯や牧草地、別荘地などの捕獲しづらい環境が多いこと、また、近年の強い捕獲圧によりシカの警戒心が増していること、捕獲の担い手が減少している地域があることなどが要因の一つと考えられているが、こうした地域で捕獲頭数の増加につながる手法がないのが課題である。

一方、新規狩猟免許取得者の多くはワナ猟であり、ワナ猟の狩猟者登録証交付者数は増加傾向である

（長野県 2021）が、ワナ猟者は銃猟者より早期に免許を返納する傾向がある（上田 2014）。免許返納の原因として、見回りの労力的課題や止め刺しなどの技術的課題もあるが、それ以前にシカを捕獲できないという理由が大きい。ワナでシカを捕獲するためには、シカの出没の多い箇所と時期を把握し、頻繁にシカが通る鹿道を見極める技術、獲れやすくするワナ設置方法など、いずれも熟練した技術が必要であり、狩猟初心者にはハードルが高い。シカ捕獲頭数の増加を図るためには、ワナによる効率的かつ持続可能な捕獲を進めるとともに、狩猟初心者でも捕獲できる方法を確立することで狩猟者としての定着を図る必要がある。

本研究では、シカの効率的捕獲を進めるため、シカの生息状況を時間的空間的に把握したうえで見える化を図り、足くくりワナ捕獲を行った。その結果から、シカを捕獲しやすい条件を明らかにするとともに、その条件で狩猟初心者が実際に捕獲できるか検証した。

なお、本研究は、県単課題（令和元年度～令和 5 年度）として実施し、結果は日本森林学会および中部森林学会で発表（柳澤ら 2019, 柳澤ら 2021, 佐々木ら 2024, 柳澤 2024a）するとともに、成果の活用として（一社）長野県猟友会が主催する令和 5 年度新規捕獲技術研修会において狩猟初心者をはじめとした猟友会員に、また令和 5 年度カラマツ林業等研究会（柳澤 2024b）において林業関係者および一般参加者を対象に、手法の解説と普及を行った。

*元 長野県林業総合センター育林部

2 自動撮影カメラによるシカの生息状況調査

(1) 目的

効率的な捕獲を進めるためには、詳細なシカの季節別利用地情報や越冬地情報が必要である。本調査では、シカに警戒心を与えることなく日時別の詳細な生息状況を把握することができる赤外線センサー式自動撮影カメラ（以下、カメラ）を用いてシカの生息状況を撮影し、季節別生息情報の取得と生息条件を推定するとともに、最適な捕獲場所を提案することを目的とする。

(2) 方法

調査地は県内の各管理ユニットの中で、シカの生息頭数が最も多く、近年の捕獲頭数が伸び悩んでいる八ヶ岳管理ユニットに位置する塩尻市片丘地籍から旧塩尻地籍にかけての東山地域とした。カメラはハイクカム SP2（株式会社ハイク社製）とし、27 台を林道沿いに約 500m 間隔を基本として設置した。カメラの設置位置を図-1 に、設置位置周辺の上木と下層植生を表-1 に示す。カメラは立木の地上 1m 程度の高さに固定し、現地の観察で獣道が見られる方向に向けた。カメラの設定は静止画 1 枚撮影、センサー感度は中、撮影のインターバルを 1 分とし、写真データの回収は 2 ヶ月に 1 回行った。2018 年 1 月初日から 2023 年 12 月末日までに撮影された写真から、シカが写っている写真を抽出し、日時別に撮影頭数等を集計した。

①調査地内全域のシカ撮影頭数の動向

調査地内全域の年別および月別の日撮影頭数の推移を把握するため、期間中の日あたり平均撮影頭数を日撮影頭数として次式により算出した。なお、日撮影頭数は、カメラの不調等でデータの欠損があったとしても、撮影日数により平均値として算出できるため、長期的な観測データの比較に適している。

平均日撮影頭数（頭/日）＝シカの撮影頭数/カメラ稼働日数

②捕獲時期と捕獲区域の検討

東山地域での最適な捕獲時期と捕獲区域を検討するため、月別の平均日撮影頭数を整理し、撮影頭数の多い季節と区域を把握し、GIS 上で示した。

③箇所別の出没特性と最適な捕獲方法の検討

夜間にサーチライトを用いたスポットライトセンサー調査の結果から、シカは食物量が多い皆伐跡地や列状間伐によるギャップ、牧草地などの開放地

を集中利用するとされる（吉田ら 2013、岡田ら 2015）。そこで、いずれも可猟区である林内と開放地のシカの出没特性を比較し最適な捕獲方法を検討するため、カメラを林内に設置した No19 と開放地に設置した No20 の出没時間帯を比較した。

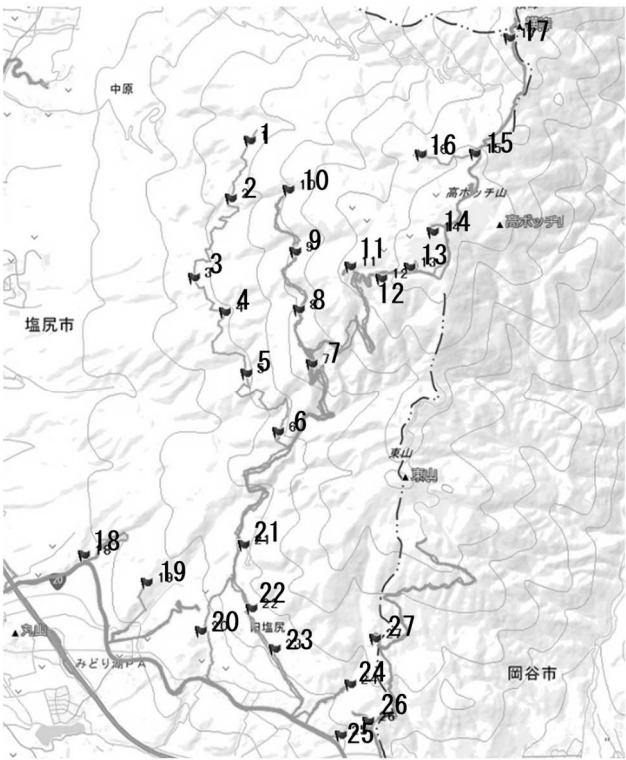


図-1 塩尻市東山におけるカメラ設置位置図

表-1 各カメラ設置位置の周辺植生

カメラNo.	標高(m)	上木	下層植生	斜面方位
1	1172	カラマツ	ウリハダカエデ、クロモジ他	西
2	1150	カラマツ	ウリハダカエデ、ソヨゴ他	西
3	1089	カラマツ	ウリハダカエデ、クロモジ他	西
4	1100	ミズナラ、その他広葉樹	ウリハダカエデ、ガマズミ他	西
5	1081	カラマツ	ウリハダカエデ、ガマズミ他	西
6	1175	クリ、カラマツ、その他広葉樹	コナラ、クリ他	西
7	1337	クリ、その他広葉樹	コナラ、クリ他	西
8	1345	モミ、クリ、その他広葉樹	コナラ、クリ他	西
9	1309	カラマツ、カンパ混交	ササ	西
10	1282	モミ	なし	南西
11	1532	ヒノキ	なし	南
12	1590	カラマツ	ササ	南西
13	1609	カラマツ	ササ	西
14	1616	なし	牧草	平地
15	1606	モミ	ササ	平地
16	1549	カラマツ	ササ	南
17	1622	モミ、その他広葉樹	ササ	平地
18	857	なし	なし(残土置き場:塩なめ場)	平地
19	964	クリ、コナラ、その他広葉樹	コナラ、クリ他	平地
20	1008	なし	ススキ、畑	平地
21	1097	カラマツ	モミジイチョ、シダ類他	西
22	1072	ヒノキ	ササ	南西
23	1030	なし	イネ科草本、畑	東
24	1038	ヒノキ	なし	南
25	998	ヒノキ	なし	南西
26	1052	ヒノキ、その他広葉樹	コナラ、クリ他	西
27	1146	ヒノキ	コナラ、クリ他	南東

(3) 結果と考察

①調査地内全域のシカ撮影頭数の動向

全てのカメラで撮影されたシカの年間合計撮影頭数の実数値の推移を図-2 に、日撮影頭数の推移を図-3 に示す。シカの年間合計撮影頭数は、2018

年には6,335頭で最小だったが、2023年には17,537頭となり、調査を開始した2018年から毎年増加傾向となった。その傾向は日撮影頭数も同様だった。当該地域は狩猟（鳥獣保護区を除く）のほかに管理捕獲の実施対象地となっているが、シカの生息増加頭数が捕獲頭数を上回っていることは明らかである。

②捕獲時期と捕獲区域の検討

2018年から2023年までの月別の日撮影頭数の推移を図-4に示す。調査区域全域としては、2023年を除き、ピークは春（3月～5月）と秋（9月～11月）の年2回あり、秋のピークの方が大きい傾向があった。よって、この季節に塩尻市東山地域のシカの頭数は増えると推察され、捕獲時期は秋季、春季、夏季の優先順位で検討することが望ましいと考えられた。また季節ごとのカメラ別日撮影頭数を図示した結果（図-5）、頭数が増加する春季と秋季を中心に高ボッチ高原周辺で捕獲することが望ましいが、秋季については山麓の集落側でも集中捕獲が可能と考えられた。

③箇所別の出没特性と最適な捕獲方法の検討

林内と開放地におけるシカの出没時間帯をそれぞれ図-6と図-7に示す。林内では、猟期（11月15日から2月15日）を除いて、シカは日の出から日の入りまでの日中に出没する傾向があった。一方、近接する開放地である畑や草地には、いずれの季節でも日中は出没せずに、夜間にだけ集中して出没していた。このことは、シカは昼間は人の影響の少ない林内に留まり、夜間に餌を求めて畑や周辺の草地に出没することを示している。また猟期中の林内では昼間の出没は少なく、夜間に出没する傾向があった。これは、銃捕獲に対して、シカは捕獲前の誘引期間中よりも捕獲期間中では夜間に出没し、誘引地点への出没頭数が減少したとする池田ら（2017）の報告を支持しており、日中は狩猟者の活動がシカの行動に影響を与えていることを示唆している。

以上より、最適な捕獲方法は、林内で日中に出没するシカに対しては、猟銃を用いたシカの行動に影響が小さいと考えられる待伏せ猟や忍び猟がよいと考えられた。また、シカが夜間に利用している畑近くでは、林内から畑に出没する、あるいは畑から林内に戻るシカを対象に、林縁部等の鹿道で足くりワナ捕獲、あるいは開放地で囲いワナ捕獲をすることが最適ではないかと考えられた。

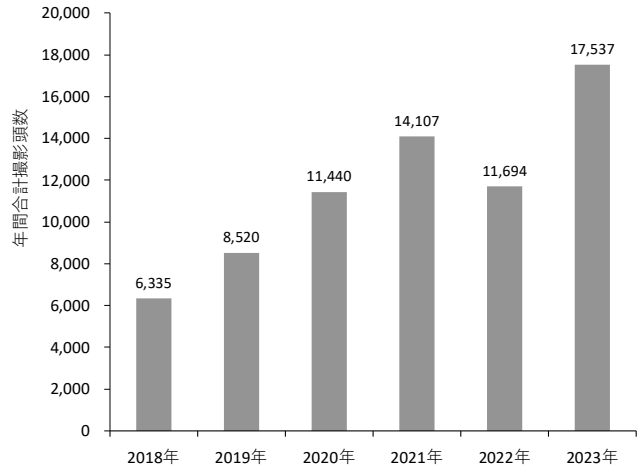


図-2 東山におけるシカの年間合計撮影頭数の推移

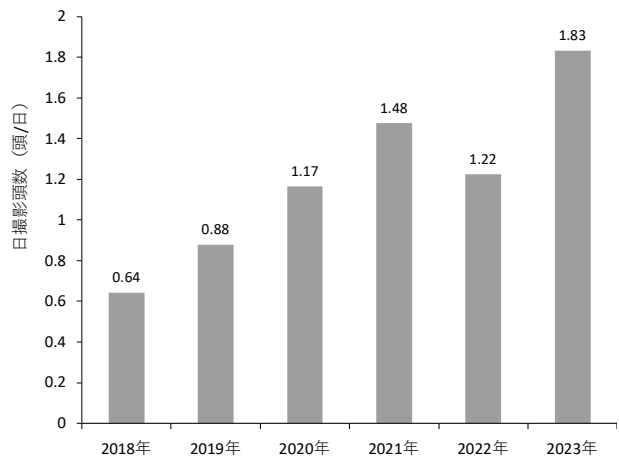


図-3 東山におけるシカの日撮影頭数の推移

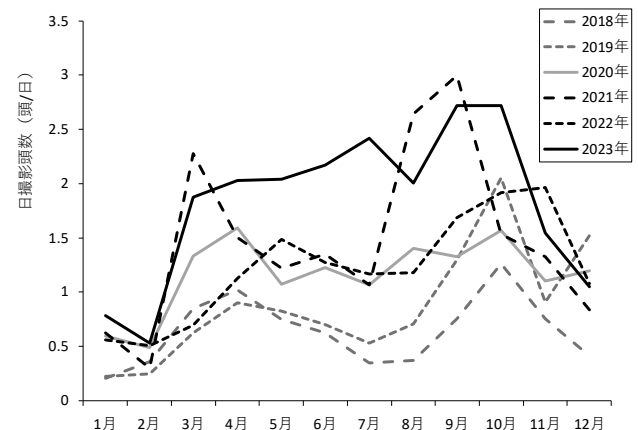


図-4 各年の月別の日撮影頭数の推移

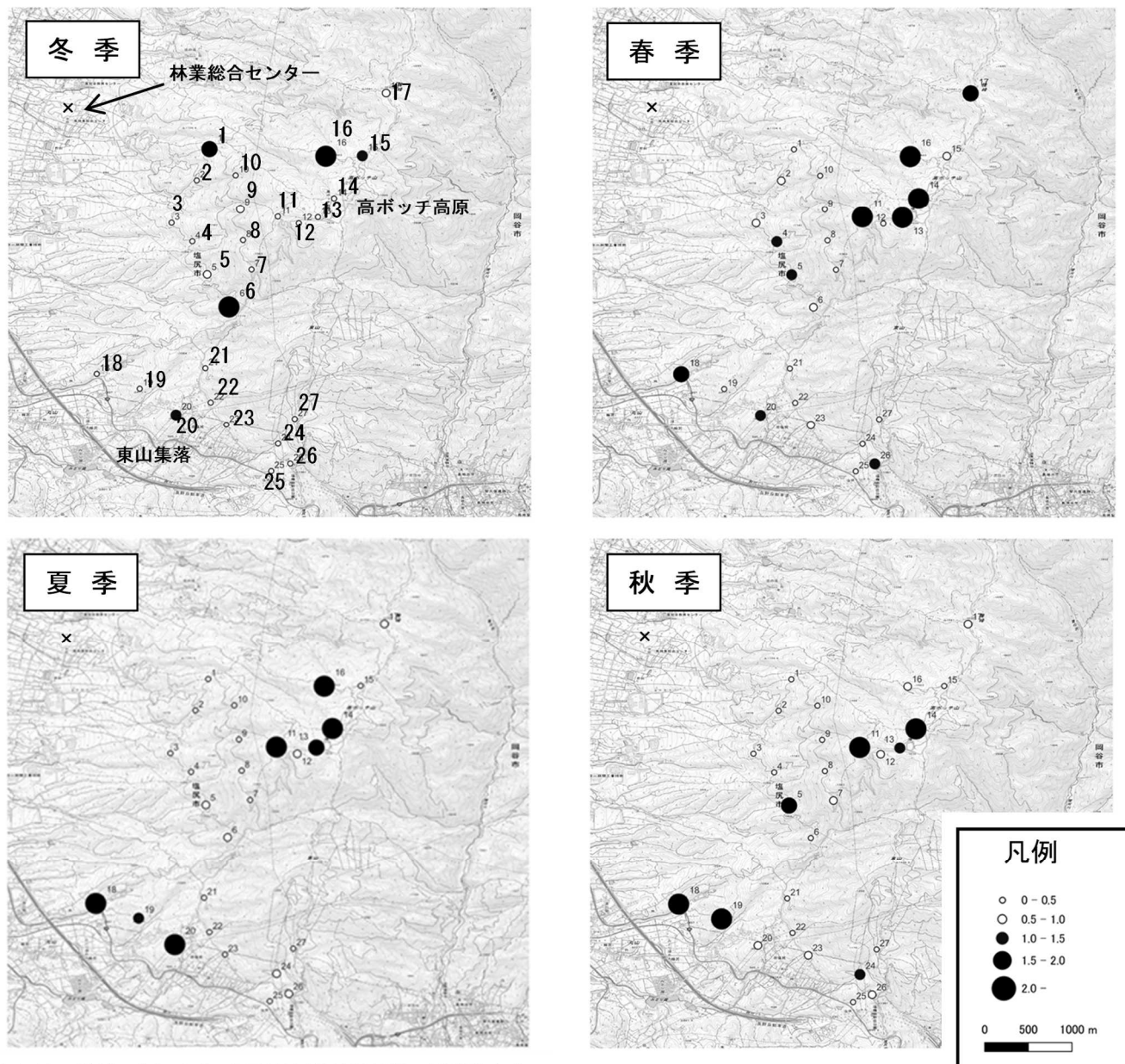


図-5 季節ごとのカメラ別日撮影頭数 (2022 年)

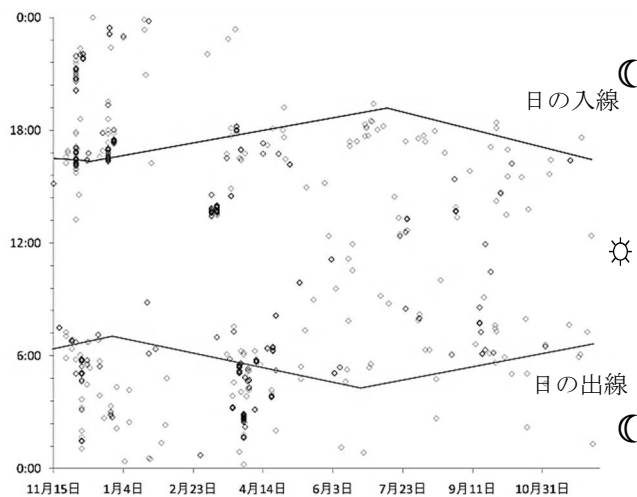


図-6 林内 (No19) における出没時間帯

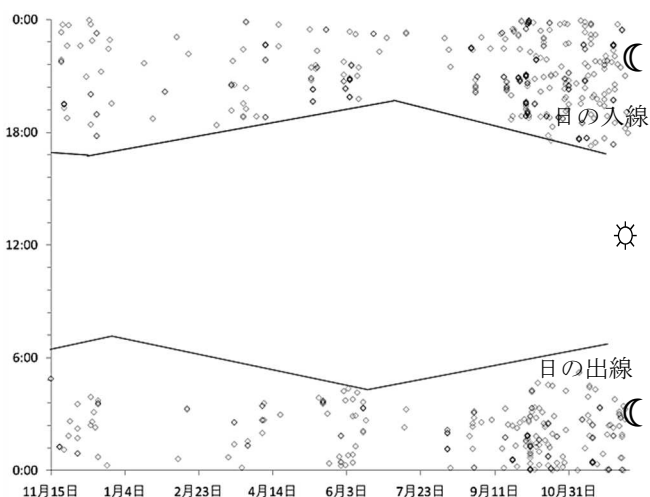


図-7 開放地 (No20) における出没時間帯

3 自動撮影カメラデータに基づくワナ捕獲実証試験

3-1 塩尻市東山地域における捕獲

前章のカメラ調査により、塩尻市東山地域では秋季に高原または山麓において、林縁部等の鹿道に足くくりワナを設置することを提案した。

本実証試験では効率的なくくりワナ捕獲の手法を検討するため、まず2019年から2022年の10月から11月の猟期前にカメラの撮影頭数に基づいてワナを設置してシカの捕獲を実施するとともに、撮影頭数と捕獲頭数との関係からシカをワナ捕獲できる場所の基準を整理した。次に、カメラデータに基づく捕獲手順を狩猟初心者に提案し、初心者が捕獲できるのか実証試験を行った。さらに、捕獲後のシカの出没状況や痕跡から捕獲の効果を検証した。

(1) 方法

捕獲候補地は、2 章と同様の塩尻市東山地域とし、カメラを用いたエリアと用いないエリアを設定した(図-8)。このうち、No. 7 および No. 12~15 は鳥獣保護区で年間を通して捕獲圧はない。捕獲期間は 2019 年から 2022 年の毎年秋季の 30 日間とした。カメラを用いるエリアでは、2 章のカメラ設置箇所のうち、ワナを固定する立木があり、捕獲個体の搬出が容易な 18 箇所(No. 1~18)を捕獲候補地とした。使用するカメラと設定は 2 章と同様とした。カメラの撮影頭数の異なる条件で捕獲が可能な閾値を検討するため、カメラ毎にワナ設置前の 30 日間の平均日撮影頭数を算出し、2019 年から 2021 年までは平均日撮影頭数が多い箇所、2022 年はそれよりも少ない箇所を捕獲地として選定した。カメラを用いないエリアでは、ワナの設置箇所は捕獲者の判断に任せた。捕獲には直径 20cm の笠松式くくりワナ(以下、ワナと略記)を用い、立木に固定した。カメラを用いたエリアは、図-8 の A および B の半径 100m 以内にワナを最大 15 基設置し、カメラを用いないエリアは、捕獲地として選定したカメラの周囲半径 100m 以内の獣道に 2~10 基設置した。捕獲実証期間中は捕獲者が毎日ワナの見回りを行い、捕獲後または誤作動後には、ワナを数 m 移設した。捕獲者は、調査開始時点で猟期中にワナによるシカの捕獲経験があり、猟期以外は定期的に管理捕獲でワナを設置していた狩猟経験 1 年未満の捕獲者 A とした。捕獲期間後に、箇所別の捕獲のしやすさを

比較するため、次式により箇所別に捕獲効率(以下、CPUE: Catch Per Unit Effort)を算出した。

$$\text{CPUE (頭/ワナ日)} = \text{シカ捕獲頭数} / (\text{ワナ基数} \times \text{ワナ設置日数})$$

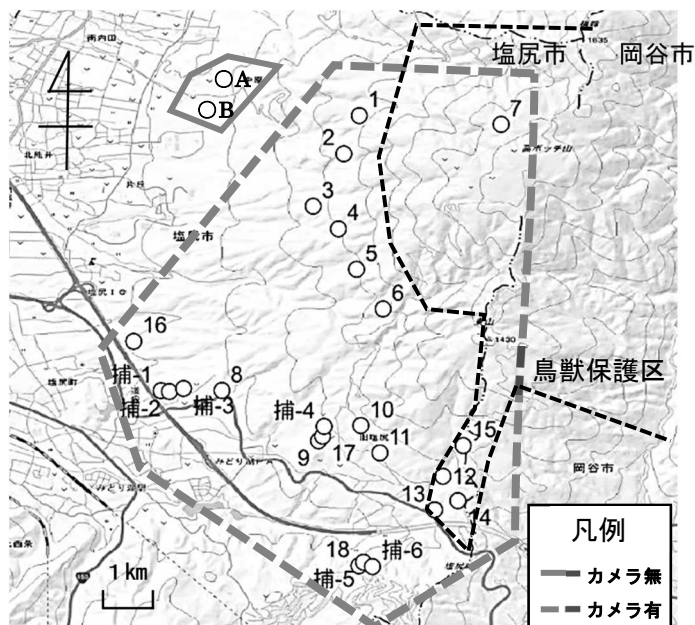


図-8 捕獲候補地とカメラの有無

(2) 結果と考察

箇所別のワナ設置前 30 日間における平均日撮影頭数を表-2 に示す。このうち、2019 年から 2021 年は平均日撮影頭数が多かった箇所を各年捕獲地として選定したが、2020 年の No. 8 は周辺の土木工事により、2021 年の No. 7 は林道の不通により捕獲ができなかった。このため捕獲地は、2019 年は No. 9、2020 年は No. 7 と No. 9、2021 年は No. 8 と No. 9、2022 年は No. 16、No. 17、No. 18 とした。このうち、No. 7 は鳥獣保護区で捕獲圧のないエリアだった。

カメラを用いたエリアの捕獲効率の比較を表-3に示す。シカの捕獲頭数は、捕獲圧がなく平均日撮影頭数が1.83だった2020年のNo.7が最も多く8頭で、捕獲効率は0.044だった。一方、捕獲圧がある2021年のNo.8は、平均日撮影頭数が6.80と最も多かったにもかかわらず、捕獲頭数が5頭で、捕獲効率は0.028となった。この地点では、ワナに対する警戒行動を示したシカが撮影された(写真-1)ため、警戒心の高いシカが多かったことが影響していると推察される。また、捕獲圧があり平均日撮影頭数が0.9頭未満だった2022年のNo.16とNo.17は捕獲がなかった。また、カメラに平均日撮影頭数と

捕獲効率の関係を図-9 に示す。捕獲圧のある箇所での平均日撮影頭数と捕獲効率の間には強い正の相関があり、日撮影頭数が多いほど捕獲効率が上昇したが、頭打ちとなる傾向があった。また、捕獲圧のない箇所では、捕獲効率が特に大きかった。さらに、平均日撮影頭数が 1.0 以上で捕獲効率は 0.01 を超えた。捕獲効率 0.01 はワナ 3 基を 33 日間設置すると 1 頭捕獲されることを示しているため、捕獲期間 30 日間でシカを 1 頭以上捕獲できる条件は、ワナ設置前 30 日間の平均日撮影頭数が 1 頭以上の箇所と考えた。ただし、平均日撮影頭数が多いほど効率的になるとは限らないため、継続した捕獲を進めるためには、捕獲圧のない箇所でのワナ捕獲や捕獲後の撮影頭数の推移に応じたワナの移設が必要である。

さらに、2019 年から 2021 年までのカメラを用いた場合と用いない場合の箇所毎の捕獲効率の比較を図-10 に示す。各年の捕獲期間中に、カメラを用いない場合は 1～3 頭の捕獲にとどまり、平均捕獲効率は 0.005（頭/ワナ日）だったが、カメラを用いて平均日撮影頭数が 1 頭以上の箇所を抽出した場合は 3～8 頭のシカが捕獲され、平均捕獲効率は 0.026（頭/ワナ日）と約 5 倍の捕獲効率となった。このことからカメラによる日撮影頭数を参考にワナを設置することは、捕獲効率を上げるために有効であると言えた。

以上より、捕獲期間 30 日間でシカを 1 頭以上捕獲できる捕獲手順は次のように整理できた。

- 1. 足くくりワナが設置できる複数箇所で、獣道に向けてカメラを設置
- 2. ワナ設置前 30 日間のカメラ画像を確認し、シカが 1 日 1 頭以上写る箇所を選定
- 3. 選定した箇所のカメラ周辺の獣道に、ワナを数基設置

表-3 各年の捕獲効率の比較

年度	箇所 No.	わな設置前30日間の平均日撮影頭数	捕獲開始日	わな日数 (基数×設置日数)	捕獲頭数	CPUE	捕獲圧の有無
2019	9	2.60	10月5日	276	3	0.011	有り
2020	7	1.83	10月13日	180	8	0.044	無し
	9	3.10	10月13日	180	4	0.022	有り
2021	8	6.80	10月14日	180	5	0.028	有り
	9	0.90	10月14日	180	2	0.011	有り
2022	16	0.51	10月14日	49	0	0.000	有り
	17	0.67	10月14日	42	0	0.000	有り
	18	0.90	10月14日	87	1	0.011	有り



写真-1 くくりワナを警戒するシカ（破線がワナ）

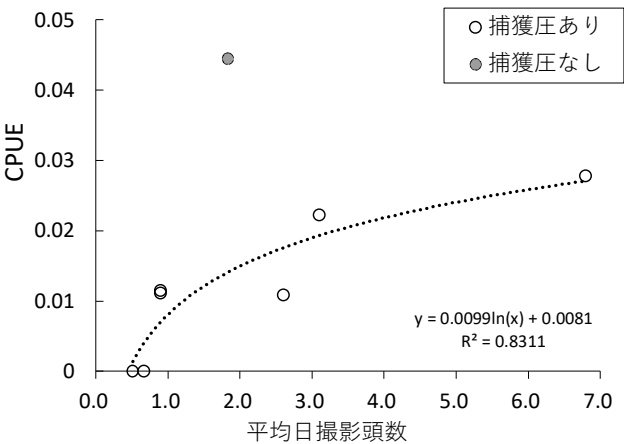


図-9 平均日撮影頭数と捕獲効率の関係

表-2 箇所別のワナ設置前 30 日間における平均日撮影頭数（No. 1～No. 18, 太字箇所で捕獲実施）

観測開始日		平均日撮影頭数（頭/日）																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
2019年	9月5日	0.33	0.43	0.03	0.13	0.40	0.30	1.33	0.00	2.60	0.57	0.03	0.03	0.10	0.77	0.33	-	-	-
2020年	9月13日	0.17	0.43	0.17	0.37	1.17	0.10	1.83	2.17	3.10	0.47	0.20	0.30	1.33	1.33	0.10	-	-	-
2021年	9月14日	0.17	0.80	0.33	0.37	0.80	0.13	1.03	6.80	0.90	0.23	0.45	0.27	0.20	0.80	0.60	-	-	-
2022年	9月14日	0.00	0.33	0.00	0.07	2.70	0.63	1.87	1.40	1.07	0.57	0.03	0.70	0.40	0.53	0.37	0.51	0.67	0.90

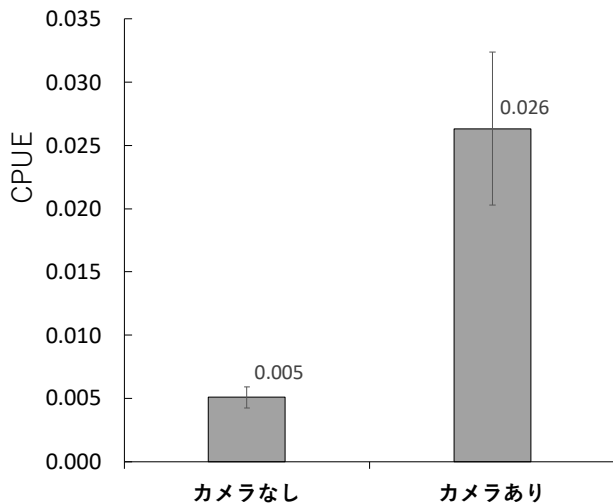


図-10 カメラの有無による捕獲効率の比較

3-2 木曽町新開における捕獲

前項では、シカの密度が比較的高い塩尻市東山でカメラを使った効率的捕獲を実証し、カメラの平均日撮影頭数が1頭以上であれば狩猟初心者でも捕獲ができることを示した。本実証試験では、シカの密度が低い地域でカメラデータを活用した捕獲できるか検証するため、狩猟初心者が木曽町でシカ捕獲実証試験を行った。

(1) 方法

調査地は、近年シカによる下層植生の被害が出始めた木曽町新開の可猟区とした。カメラは2023年9月25日に設置、ワナは2023年11月15日に設置し30日間捕獲を実施した。カメラ調査及びワナ設置は3-1-1と同様の方法とし、県林業大学校に在籍するワナ設置未経験の捕獲者Bが行った。まず、シカの食痕を確認した箇所を挟むように捕獲者Bが選定したNo.1からNo.5まで(図-11)の5箇所でカメラを獣道に向けて設置し、捕獲前30日間シカの出没状況を解析した。次に、平均日撮影頭数が1頭/日の箇所を選定して、1箇所あたりワナ6基を集中して設置し、シカが捕獲できるか検証した。捕獲実証期間中は捕獲者Bが毎日ワナの見回りを行い、捕獲後または誤作動後には、ワナを数m移設した。

(2) 結果と考察

箇所別のシカの平均日撮影頭数を表-4に示す。捕獲前30日間(2023年10月16日～11月14日)にカメラ1以外ではシカが写らず、その平均日撮影頭数は0.03頭/日であった。今回のカメラ設置箇所では平均日撮影頭数が1頭以上となる箇所は

なかったため、撮影頭数は少ないもののシカの撮影のあったNo.1の周辺を捕獲候補地とした。No.1付近においてワナ6基を30日間設置した結果、シカの捕獲はできなかった。また、捕獲期間中にシカは撮影されなかった。

捕獲前30日間で唯一シカが撮影されたNo.1でも、捕獲が可能な条件である平均日撮影頭数1頭を満たさなかったことから、このようにシカの撮影が少ない箇所では、シカの捕獲は困難と判断された。本試験地のようなシカの低密度地域では、農林業被害がある場合でも捕獲ではない方法を優先して検討することが望ましいと考えられ、今後シカの生息密度に応じた有効かつ費用対効果の高い対策方法の組み合わせを明らかにする必要がある。

一方、捕獲実証試験後もワナの設置を継続した結果、No.1の付近で2024年1月5日にタヌキ1頭を錯誤捕獲した。この捕獲時点から30日前のタヌキの平均日撮影頭数は1.27頭/日であり、シカのワナ捕獲が可能である1頭/日を超えていた。このことから、シカに限らず他の獣種でも撮影頭数が1頭/日を超えると捕獲できる可能性があり、今後、シカ以外の有害鳥獣の捕獲実証試験を検討する必要がある。

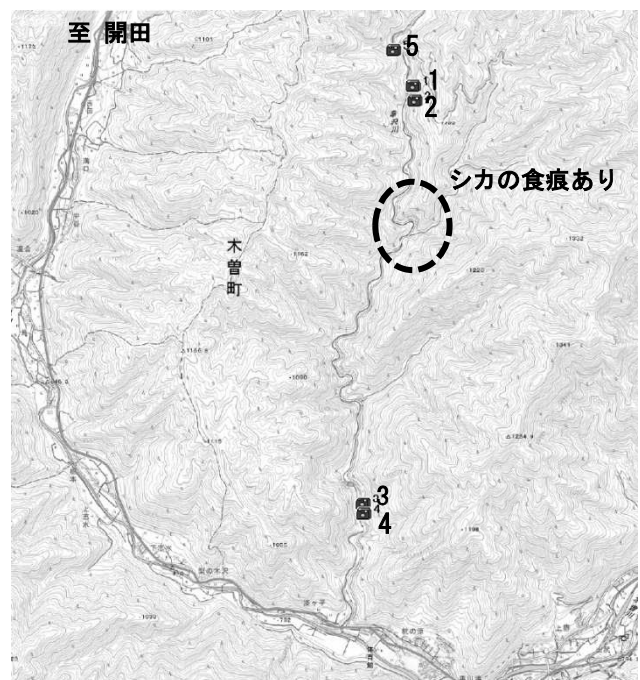


図-11 木曽町新開におけるカメラ設置位置図

表-4 箇所別の平均日撮影

箇所No.	9/25～	10/16～	11/28～	12/15～	1/15～
	10/15	11/14	12/14	1/14	2/14
1	0.05	0.03	0	0	0
2	0.05	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	-	-	-
5	0	0	-	-	-

3-3 狩猟初心者による捕獲実証

3-1 で提案した効率的なシカ捕獲手法の手順により、ワナ設置未経験の狩猟初心者が足くりワナでシカを捕獲できるか検証するため、カメラ 6 台を使った捕獲実証試験を行った。

(1) 方法

試験地は塩尻市東山地域の可猟区とした。カメラ調査は 2022 年 10 月 16 日から 30 日間、ワナ設置は 2022 年 11 月 15 日から 30 日間とした。カメラ調査及びワナ設置は 3-1-1 と同様の方法とし、ワナ設置未経験の捕獲者 C が行った。まず、地域内で捕獲者 C が選定した捕-1 から捕-6 まで (図-8) の 6 箇所でカメラを獣道に向けて設置し、30 日間シカの出没状況を観測した。次に、3-1-1 で捕獲可能と推定した平均日撮影頭数の箇所を選定して、1 箇所あたりワナ 2 基を設置し、シカが捕獲できるか検証した。捕獲実証期間中は捕獲者 C が毎日ワナの見回りを行い、捕獲後または誤作動後には、ワナを数 m 移設した。

(2) 結果と考察

箇所別のワナ設置前 30 日間における平均日撮影頭数と捕獲効率を表-5 に示す。平均日撮影頭数は捕-5 で 1.60 頭/日となり、6 箇所のうちで最も多かった。シカの捕獲が可能な条件とした平均日撮影頭数が 1 頭以上の条件を満たしていた箇所は捕-5 のみで、ここをワナ設置箇所とした。捕獲の結果、ワナ設置 7 日後にシカの捕獲に成功し、期間中の捕獲頭数は 1 頭、捕獲効率は 0.017 だった。このことから、ワナ設置未経験の狩猟初心者でもカメラを活用し、捕獲前 30 日間の平均日撮影頭数が 1 頭以上の箇所でワナを設置することで、30 日以内にシカが捕獲できる可能性があると考えられた。本実証試験では、ワナ 2 基のみを用いたため捕獲努力量が小さかったが、捕獲努力量の違いはシカが捕獲できるか否かの捕獲確率に影響すると思われるため、今後、日撮影頭数の少ない箇所でも多くのワナを集中的に設置することで捕獲確率を高められるか、検証

する必要がある。

なお、捕獲実証試験後であるが、捕獲者 C が同様の方法でカメラを用いてワナ設置箇所を選定した結果、2023 年 1 月末に捕-1 の地点でシカ 1 頭を追加で捕獲した。捕獲者 C への聞き取りでは、カメラを用いることで、シカの出没時間帯や天候による行動パターンなどの情報が得られ、またシカが写ることと捕獲のモチベーションを維持することができたという感想であった。よって、狩猟初心者が初めてのシカ 1 頭を捕獲できたことに加え、この手法をきっかけに狩猟を継続させることができたと考えられた。

表-5 箇所別のワナ設置前 30 日間における平均日撮影と捕獲効率

年度	箇所 No.	わな設置前30日間の平均日撮影頭数	捕獲開始日	わな日数 (基数×設置日数)	捕獲頭数	CPUE
2022	捕-1	0.13	-	-	-	-
	捕-2	0.27	-	-	-	-
	捕-3	0.27	-	-	-	-
	捕-4	0.95	-	-	-	-
	捕-5	1.60	11月15日	60	1	0.017
	捕-6	0.20	-	-	-	-

4 捕獲の効果検証

(1) 方法

①カメラ撮影頭数の推移

捕獲の効果検証方法として、2020 年 10 月から 11 月に捕獲を実施した No. 7 (鳥獣保護区内) および No. 9 (可猟区) の捕獲期間前後におけるカメラの日撮影頭数を解析した。日撮影頭数はワナ設置前、ワナ設置中、ワナ撤去後のそれぞれ 30 日間に区分し、比較した。

②糞塊除去法

捕獲の効果検証のため、捕獲を 3 年連続で実施した No. 9 において、糞塊除去法 (幸田ら 2016) により 2020 年と 2021 年の捕獲前後でシカの生息密度を推定した。捕獲場所付近に 4m×50m のベルトトランセクトを 3 ライン設置し、ベルトトランセクト内の糞を全て除去した後、8 日後に 10 粒以上の新規加入糞塊をカウントし、次式によりシカの生息密度を推定した。

$$\text{シカ生息密度 (頭/km}^2\text{)} = m / (22.4 \times \text{調査面積} \times t)$$

(m: 新規加入糞塊数, 22.4: ホンシュウジカの平均排糞回数, t: 再調査までの日数)

(2) 結果と考察

①カメラ撮影頭数の推移

No. 7 と No. 9 における日撮影頭数の推移をそれぞれ図-12 と図-13 に示す。No. 7 では8頭のシカを捕獲した結果、日撮影頭数はワナ設置前とワナ撤去後でそれぞれ 1.83 (頭/日) と 9.83 (頭/日) となり、シカを捕獲したのにも関わらず捕獲後に増加した。特に捕獲期間終了後の 14 日目以降に日撮影頭数の増加が顕著だった。鳥獣保護区で捕獲圧の無い No. 7 は今回の捕獲頭数では出没状況に影響を与えなかったと考えられ、生息密度低減のためには継続して捕獲する必要がある。一方、No. 9 では4頭のシカを捕獲した結果、日撮影頭数はワナ設置前とワナ撤去後でそれぞれ 3.10 (頭/日) と 1.63 (頭/日) となり、約 47%減少した。捕獲圧のある No. 9 では捕獲期間終了後の出没が半数程度に減り、今回の捕獲頭数であっても捕獲の効果があると言えた。

②糞塊除去法

糞塊除去法による No. 9 のシカ推定密度の推移を図-14 に示す。シカ推定密度 (頭/km²) はシカの捕獲期間前後で、2020 年が 49.60 から 24.80 (50.0%減)、2021 年が 93.01 から 27.90 (70.0%減) と減少したことから、今回の捕獲はシカの生息密度低下に対し効果があったと言えた。一方、2021 年は捕獲前の推定密度が高かったものの捕獲頭数は2020年の半分の2頭となったこと、また捕獲実施後で推定密度が急激に減少したことから、毎年連続して集中的捕獲を実施したことで当該地付近を利用するシカの警戒心が高まっている可能性があった。

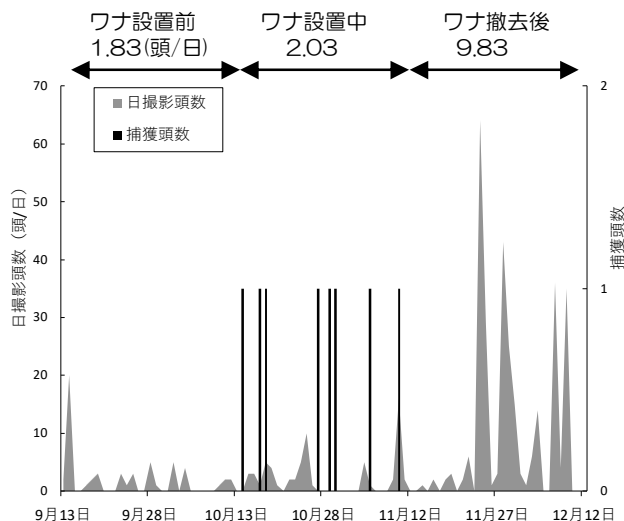


図-12 ワナ設置前後の日撮影頭数の推移 (No. 7)

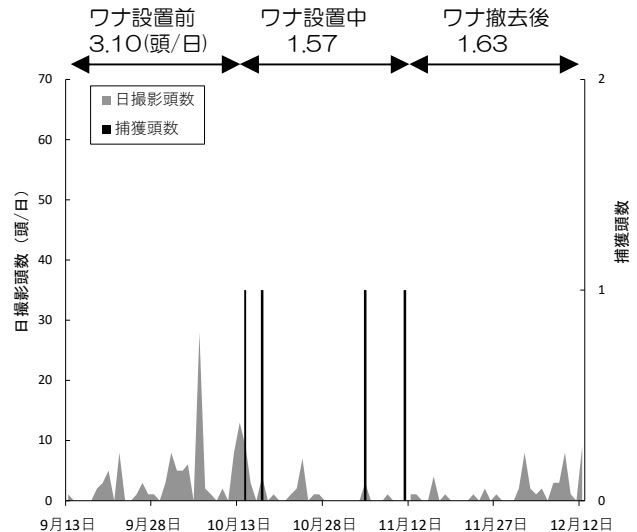


図-13 ワナ設置前後の日撮影頭数の推移 (No. 9)

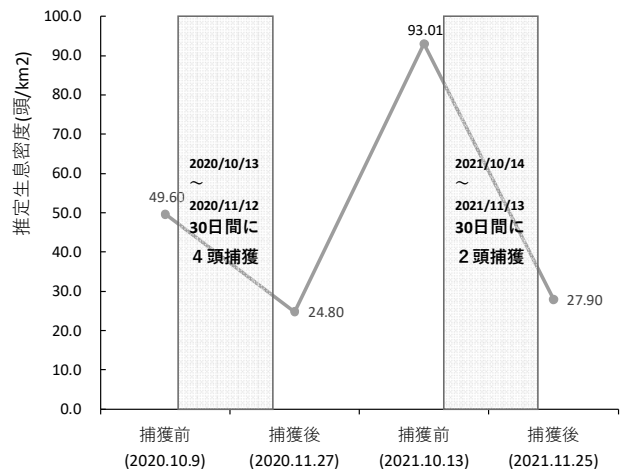


図-14 No. 9 におけるシカ推定生息密度の推移

5 結言

本報告では、シカに警戒心を与えることなく日時別の詳細な生息状況を把握することができる自動撮影カメラを用いてシカの生息状況を撮影し、データに基づく最適な捕獲場所の選定と足くくりワナによる捕獲の実施および効果検証を行った。

塩尻市東山地域では、シカの撮影頭数は特に秋季の高原または山麓の開放地が多かったため、秋季にシカの日撮影頭数が多い箇所 で捕獲を実施した結果、カメラを使わない捕獲に比べ捕獲効率 は約 5 倍と効率的に捕獲でき、可猟区では密度低下効果が明らかだった。また、捕獲期間 30 日間でシカを 1 頭以上捕獲できる条件は、ワナ設置前 30 日間の平均日撮影頭数が 1 頭以上の箇所と考えた。この条件で、狩猟初心者がワナ捕獲を実施した結果、ワナ設

置 7 日後にシカ捕獲に成功した。一方、シカの生息密度が低い木曽町新開においては、同様の方法でもシカが捕獲できなかったことから、カメラの日撮影頭数が 1 頭に満たない地域では、農林業被害がある場合でも捕獲ではなく、忌避剤や防鹿柵などの防除を優先して検討することが望ましいと考えられた。防除方法の選択については、シカの生息密度によって効果の有無が異なる報告(飯島ら 2020)がある。より効果的かつ費用対効果の高いシカ対策を進めるためには、今後、カメラによる日撮影頭数に応じた捕獲と防除方法の有効な組み合わせを明らかにする必要がある。

6 謝辞

本調査にあたり、調査地を調整いただいた塩尻市耕地林務課、県林業大学校、松本地域振興局林務課の皆様、カメラ調査とシカの捕獲にご協力いただいた塩尻市猟友会の塩原基宏元会長、山口富雄副会長、小澤匠氏、塩原準氏、県林業大学校卒業生の佐々木ヒロ氏、末次譲氏、森田翔太氏、輪湖知治氏、また、カメラ調査や捕獲効果検証など調査全般にご協力いただいた(国研)森林総合研究所関西支所の八代田千鶴博士に対し、この場を借りて深く感謝申し上げます。

引用・参考文献

Iijima et al. (2023) Current sika deer effective population size is near to reaching its historically highest level in the Japanese archipelago by release from hunting rather than climate change and top predator extinction. The Holocene, vol. 33, issue6, pp. 718-727

飯島勇人・岡輝樹・渡辺康文・久保田拓也

(2020) 造林地のシカ密度に応じた防除資材の選択基準を明らかにしました. 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所令和 2 年版研究成果選集 2020:18-19.

池田敬・松浦友紀子・伊吾田宏正・東谷宗光・高橋裕史 (2017) ニホンジカの捕獲誘引地点への出没状況. 哺乳類科学 57: 45-52.

幸田良介・辻野智之・小林徹哉 (2016) 糞塊除去法によるシカ生息密度分布と頭数推定. 公立林業

試験研究機関研究成果選集 No. 13:55-56

小山泰弘・岡田充弘・山内仁人 (2010) ニホンジカの食害による森林被害の実態と防除技術の開発.

長野県林業総合センター研究報告 24:1-24

長野県 (2021) 長野県第二種特定鳥獣管理計画 (第 5 期ニホンジカ管理)

岡田充弘・大矢信次郎・清水香代・小山泰弘 (2015) シカなど獣類による森林被害に対する総合的対策に関する研究. 長野県林総セ研報 29:17-39.

佐々木ヒロ・末次譲・森田翔太・輪湖知治 (2024) 被害があれば、シカは獲れるのか. 第 14 回中部森林学会大会講演要旨集

上田剛平 (2014) : 「地方自治体は狩猟者減少時代をどう乗り越えればよいのか?」「野生生物と社会」1(2), pp71-78, 「野生生物と社会」学会

柳澤賢一・八代田千鶴 (2019) 長野県塩尻市東山における自動撮影カメラを用いたニホンジカの生息状況調査. 第 130 回日本森林学会大会学術講演集原稿

柳澤賢一・八代田千鶴 (2021) ニホンジカの効率的捕獲とその効果検証. 第 132 回日本森林学会大会学術講演集原稿

柳澤賢一 (2024a) 自動撮影カメラを活用した狩猟初心者が捕獲できるわな猟. 中部森林研究 72:62-63

柳澤賢一 (2024b) 誰でも獲れる? これからは始めるシカのわな猟. 長野県林業総合センター技術情報 No. 172:4-7

吉田洋・林進・中村大輔・北原正彦 (2013) 富士山北斜面におけるニホンジカ (Cervus nippon) の個体数変動. 富士山研究 7:15-17

災害防止につなげるための森林情報の集積手法の検討とデータ活用

－防災教育支援のためのデータ共有技術の確立－

研究期間：令和3年度～5年度
小山泰弘・柳澤賢一・戸田堅一郎※

山地に囲まれた長野県の森林管理では防災対策も重要である。防災対策を行うためには、森林内で発生する被害リスクを管理するため、森林路網の位置や気象害・病虫獣害の発生位置の情報を集積し、災害危険地情報へ活かすことが必要である。本研究ではGS立体図から森林路網の抽出を行うとともに、スギの梢端枯れ被害発生地の解析、ツキノワグマ大量出没予測に利用している堅果類豊凶調査と実際のツキノワグマ捕獲状況との関係を整理し、森林管理につながる情報の集積手法を検討した。

森林路網データについては、集積方法が確立できたことで長野県が行う森林路網DX事業へと発展させることができ、路網情報の蓄積につながったが、当初検討していた災害発生予測につながるリスク評価までは至らなかった。森林管理につながる気象害や病虫獣害の情報は点的にしか集積できなかったが、実態が把握できたことで、気象害を受けた被害木の長期的影響を把握するための現地適応化事業へ進展した。またツキノワグマの出没予測に使われてきた堅果着果量調査と捕獲地点との乖離があったことから、調査箇所を見直し、調査地点を変更することとなり、今回の研究成果はすぐに施策へ活かすことにつながった。

キーワード：GIS、森林路網、気象害、獣害、ツキノワグマ

1 はじめに

近年、全国各地で極端な気象現象により土砂災害の発生が増加しており、長野県においても大規模災害が頻発している。こうした災害の発生を防ぐことも重要であるが、被害を最小限におさえるためには住民の避難体制を含めた地域ぐるみの防災対策を進めることが必要である。

このため本県では、山地災害リスクを低減するため、山地災害リスクが高い場所である地すべりや0次谷といった崩壊しやすい地形を判読しやすくしたCS立体図（戸田2014）を開発し、山地災害リスクが高い場所を避けるための災害危険度ランクを検討してきた（戸田2022）。更に、過去の災害履歴を整理することで、地域の災害危険箇所の抽出を行ったハザードマップが県内各地で整備されている。

しかし、土砂災害の危険箇所はこれだけでなく、森林の伐採面積が増大することで土砂災害が増えるとの指摘（多田2018）もある。そこまで大規模な伐採ではなくても、立木を伐採することで土砂の移動量が一時的に増加することは県内でも確かめられており（戸田ら2016）、森林環境の変化は山地災害の発生リスクに影響を与えてしまう。このように考えると、雪や雨氷などの気象害、マツ材線虫病などの病虫害、クマはぎやニホンジカの幹剥皮などの獣害は、立木の枯損を引き起こすこ

とから、被害が拡大した場合には土砂災害リスクを高めてしまう可能性がある。

さらに森林を伐採する場合に整備される森林路網についても、盛土や切土による地形改変を伴う場合が多く、土砂災害の発生源になり得る。

このように考えると、土砂災害のリスクを評価するためには、地形判読による災害危険度の抽出だけでなく、立木の有無につながる森林情報や、地形改変を伴う森林路網の情報を整備しておくことが望まれる。

本県では、令和5年「長野県森林づくり指針」を改訂し、「適正な主伐と計画的な再生林の推進」が謳われるようになった。この実現に向けて、標準伐期を上回る人工林の主伐再生林が進むことが予測され、立木の伐採や森林路網の整備に伴う山地災害のリスクが高まる危険性も考えられる。

一方で、森林整備を行わない場合は、残存木の成長悪化による枯死木の発生や、下層植生が失われることで、土壌の流亡などが危惧され、災害を引き起こす原因ともなるため、適切な森林整備が防災減災対策につながる。

古来、森林に囲まれた山村地域では、地形条件に即した土地利用が行われ、ごく自然に防災、減災への対応がされてきたと考えられている（長谷川・佐々木2011）。とはいえ、過度な森林管理を行ったことで災害リスクが高まり生活が脅かされ

※ 元林業総合センター育林部

たという事例もあり（早田 2023）、地形条件に加えて、森林路網を含む森林管理に関わる情報を整理しておくことは、地域防災を考える上でも重要である。

そこで本研究では、これまで整理されていない森林管理に関する情報をどのように集積し、地域防災を進めるために必要なデータとして整理していけばよいのかを検討することを目的とした。

まず、本県が開発したCS立体図を活用することで検討可能な森林路網の情報を精査し、CS立体図を基に森林路網を抽出する手法の開発を行った（2章）。

その上で、広域的な被害を及ぼす可能性がある気象害に対応するため、令和4年度に発生したスギの梢端枯れ被害を取り上げ、この被害に関する情報集積を行った事例を整理し、被害発生から原因分析に至った過程を整理することで、被害発生リスクをどのように評価し、地域の防災に役立てる可能性があるかを検討した（3章）。

病虫獣害に関しては、マツ材線虫病に関しては被害リスクの検討が行われ（柳澤 2023）、獣類による農林業被害が多い獣類については第二種特定鳥獣管理計画を定め、5年に一度見直しをする中で被害軽減への取り組みが進んでいる。しかし、農林業被害だけでなく人身被害を引き起こす可能性があるツキノワグマについては、出没そのものが人的被害の引き金となる可能性もある。そこで、ツキノワグマの出没状況について整理し、出没予測に用いられているブナ科の堅果類豊凶調査との関係を整理した（4章）。

以上の結果を整理し、空中測量に拠らない森林の情報を地域で行われる防災対策および住民への周知を含めた防災教育へ活かすことができるのかどうかを整理した（5章）。

当初の計画では、地利と森林管理を行う上で必要となるリスクを整理して、地域ぐるみで行う防災対策につなげるデータを集積し、その情報を共有してハザードマップ等の災害危険地情報へ活かすことを目的としていたが、データを集積させることで県の事業として活用できるところにとどまり、当初目的を達成することはできなかった。

今後、期間延長をしたとしても当初目的に叶う成果に到達することは難しいことから、得られた成果を整理することにとどめることとした。

なお、本研究は県単研究課題「防災教育支援のためのデータ共有技術の確立」として、令和3～5

年度までの3か年計画で実施したもので、第2章は戸田が担当し、第3章と第4章は小山と柳澤が担当し、本稿は小山が執筆した。

本研究の成果の一部は、森林防疫（柳澤・小山 2023）へ投稿したほか、各章で取り組んできた成果は、県の事業等へフィードバックした。

2 森林路網判読技術の開発

2.1 目的

森林管理に使われている森林路網は、森林経営の基盤として整備されており、これらを活用することで災害時の避難経路にもなることが予測されるが、森林路網の整備は地形を改変することがあるため、土砂災害の発生源にもなりえる。しかしこれまで、森林路網はその道幅が狭いために樹木下などでは森林路網は空中写真などからの判読が難しく、国土地理院の地形図や森林計画図においても記載されていない場合や、線形が実際と異なっている場合が多かった。

近年当センターでは、地形判読を容易にするためにCS立体図を開発し、より詳細な地形判読が可能となった。長野県全域（民有林のみ）のCS立体図データは、シームレスなラスタイル形式ファイルで、G空間情報センター（<https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/nagano-csmap>）から公開しており、誰でも活用できる。加えて、効率的に森林路網情報の精度を高めるために、AI解析技術を用いて、CS立体図から森林路網線形を自動抽出する技術を確認してきた。

こうした結果を踏まえ、本研究では防災対策の基礎資料の一つとなり得るデータの作成とその活用方法を検討することとした。

森林路網を正確に判読するため、CS立体図からAI解析により抽出した路網線形（以下、AI路網図）について、既存の地図との差異を比較し、現地確認により、その適合性の検証を行った。

2.2 方法

調査対象地は当センター周辺の森林路網とした。同じ範囲の図郭で切り出したCS立体図、国土地理院地形図、森林基本図、空中写真（地理院地図）、AI路網図を用意し、GISにより重ねて表示して各図に記載されている路網線形の差異を判読したうえで、現地踏査により状況を確認した。

2.3 結果

図-1に国土地理院地形図とAI路網図を重ねて表示、図-2に空中写真、図-3に森林基本図、図-4にCS立体図、森林基本図、AI路網図を重ねて表示し、各図に現地踏査の調査地点番号を表示した。調査対象地においては、地理院地形図では①～⑧全ての路線が表示されており、表示位置も正確であった。しかし、今回の調査対象地は当センター

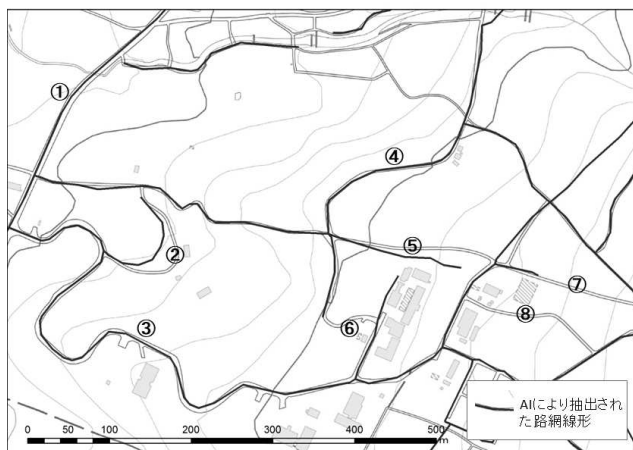


図-1 国土地理院地形図、AI 路網図

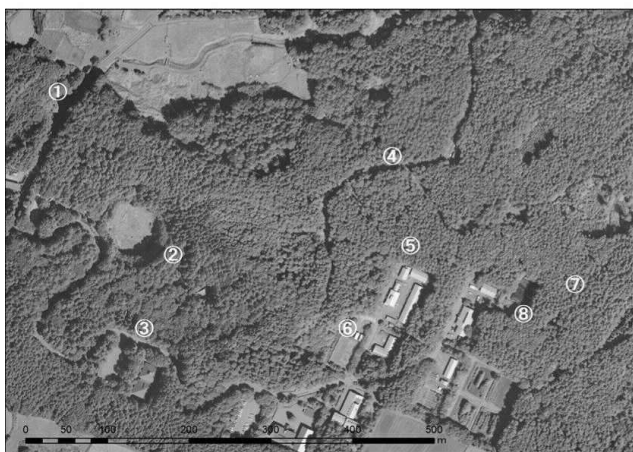


図-2 空中写真

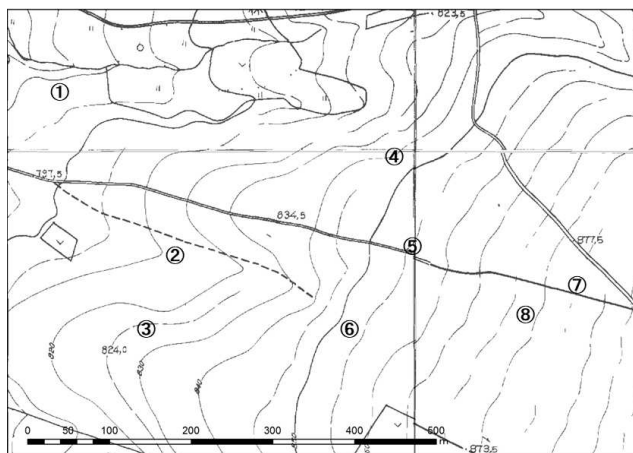


図-3 森林基本図

周辺であり、市街地からも近いいため正確な線形が表示されているが、奥地の林道や作業道などは表示されていないことが多いため、注意が必要である。空中写真からは、①③④⑥の路線は判読できたが、②⑤⑦⑧の路線は樹木下になるため判読できなかった。森林基本図は、⑤⑦を除く路線が表

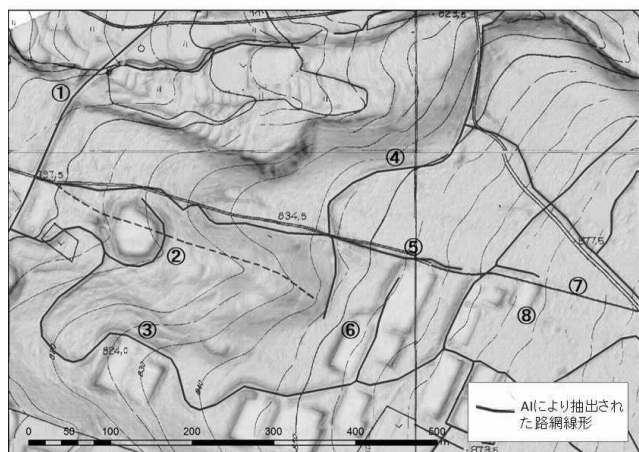


図-4 CS 立体図、森林基本図、AI 路網図

示されていなかった。⑤は現道ではなく、約 20m 離れた場所にある旧道の歩道が表示されていた。森林基本図が作図された当時には、対象地内の多くの路線が開設されていなかったためと考えられる。AI 路網図では、②は路網線形ではなく、調整池の土手を誤判読していた。⑤は現道ではなく、旧道の歩道を抽出していた。⑥⑦⑧は抽出できていなかった。

以上から、AI 路網図は概ね森林路網の線形を抽出しているものの、地形形状が類似している場所での誤判読や、抽出漏れが確認された。

2.4 考察

CS 立体図から抽出した AI 路網図は、全ての作業道の抽出には至らず、誤判読するケースや、抽出出来ないケースもあり、そのままではデータの利用が不十分で、CS 立体図を再度目視で判読して修正することや、空中写真や国土地理院地形図など他の資料を活用するなどを援用することが必要だと思われた。加えて、AI 路線図が現道ではなく、旧道を抽出している場合があったことを考えると、現地調査による線形の確認が必要であると考えられた。

路網と災害リスクという点で考えると、地形改変を行ったことで、路網の存在が災害を引き起こす災害リスクの面と、災害が発生し、通常利用している道路が損壊した場合にバイパスルートとして活用できるかどうかの災害後の便益面が考えられる。

今回作成した AI 路網図は誤判読があったという時点で災害リスク及び災害後の便益の評価が出来ないことは明白である。しかし、平坦面を抽出できるという点では、災害リスクの少ない地形を

抽出したとも考えられ、抽出できなかった路網には災害リスクを含んでいるという指摘も出来る。一方で、災害後の避難路になるかどうかと考えると、確実に路網だといえなければ避難路になるか否かの検討が出来ないことから、避難路としての有効性は低いと判断できた。

いずれにしても、現段階での AI 路網図は、抽出された路網を全て再確認して初めて使えるものであることは認識できた。

2.5 事業導入による全県下での解析

2.5.1 森林路網 DX 推進事業の概要

今回の結果、CS 立体図から抽出した AI 路網図では、既存図面と一致する公道をはじめ、林道や森林作業道が多く抽出されていた(図-4)ことから、長野県では、CS 立体図から AI 路網図を抽出し、森林路網情報を整備するための「森林路網 DX 推進事業」を令和 4 年度から実施した。当該事業では、令和 4 年度から令和 13 年度までに林道及び森林作業道等の路網情報のデジタル化を進め、放置作業道の再利用も予定している。

森林路網のデジタル化を進めるためには、今回得られた AI 路網図の技術を用いることとしているが、今回の研究で解明された AI 路網図の欠点を補うため、今回の研究で用いた CS 立体図、国土地理院地形図、森林基本図、空中写真(地理院地図)と AI 路網図を GIS により重ねて表示させて、路網線形の差異を判読しながら、確からしい路網の抽出を進めることとした。本事業では、現地踏査を代用する手段として、Google 社が提供する Google マップに付随する空中写真及び Google ストリートビューを参考にした。

ストリートビューは、主な公道に関して 360 度のパノラマ映像が表示されているため、公道に接する林道や作業道であれば、ストリートビューの映像で接道が判別できる。一方で林道にはストリートビューが存在しないことが多く、林道としか接道していない森林作業道の場合は、作業道として使用できるかどうか分からないことから、「森林路網 DX 推進事業」では、AI 路網図の解析作業を行うことと並行して、林道台帳に記載されている全林道を対象として、ストリートビュー映像の撮影も行うこととした。

2.5.2 森林路網 DX 推進事業実施後の課題

令和 4 年度から開始した「森林路網 DX 推進事

業」で、AI 路網図の解析を開始したが、実際に解析をはじめると、いくつかの課題が見えてきた。

林道は開設後に市町村道として管理されているが、森林作業道は、森林整備のために一時的に整備しているだけの場合が多い。そのため、森林整備が行われなければ管理が行われないことから、林業関係者ではない利用者が不用意に侵入して予期せぬ事故や廃棄物の投棄などが危惧されるため、地形図や森林計画図で記載されていないことも多い。

今回解析した AI 路網図では、既存図面と一致する林道や森林作業道と判読できる線形が多く抽出されたが、昔の木馬道や軌道敷、作業道跡と思しき道の痕跡が認められた。これらの道は現状では森林作業道として利用できないが、「森林路網 DX 推進事業」では、「放置作業道の再利用」も検討されていることから、平坦面が存在しているという情報として残し、将来森林施業を行う場合に路網を再設定する際の参考データとした。

一方で AI 路網図は、尾根の平坦部、1.5m 程度の幅で整備された登山道、鉄塔管理のための巡視路、電力線の線下伐採跡などを路網だと誤認する場合もあった。これらについては、林道又は公道への接道距離が長い場合や、途中で急斜面を挟む場合、道路規格を上回る急峻な道やつづら折れの場合は道路ではないと判断した。

一方で、河川敷に敷設された路網やあぜ道、農業用水路を路網と誤読したケースでは、Google ストリートビューで接道部分を確認することで、森林路網であるかどうかを判断できた。

確かに、AI 路網図で判読した森林路網の中には、今回の作業を行ったとしても、最終的に現地調査を行わなければ作業道として利用できるか否かを判読することは難しいが、上記の条件で整理していくことで、既存の公道や林道の位置が明確になり、林道及び森林作業道の接道部分がストリートビューなどの 360° のパノラマ画像で把握できれば、一定の精度で路網情報が整備できると考えられた。

2.6 おわりに

今回の成果は、長野県が行う「森林路網 DX 推進事業」に活かすことで、県下の森林路網情報の整備ができることとなった。

森林路網として抽出された線形の中には、現状では森林路網として活用できないものも残されて

いるが、森林内に認められた連続の平坦地形は、森林作業を実施する際に路網開設を行おうとした場合、作業効率を高める基礎資料となることは間違いない。今回の結果を受け、森林路網の情報が林業事業者の間で共有できれば、不用意な路網整備が行われず、効率的な森林作業につながることは期待できる。

とはいえ、本研究では森林路網の抽出方法を整理し、事業として県下全域の森林路網を整備できると判断できた段階にとどまり、災害の発生予測に活用できるデータとして共有するには至らなかった。こうした点については今後の課題として残し、災害リスクを評価するための研究が別途進んだ段階で、改めて再開させることで、山岳地が多い長野県の防災対策に役立てていく必要がある。

3 気象害のデータ集積と原因解析(スギ梢端枯れを事例として)

3.1 目的

県内民有林の森林資源が、木材として充分利用可能な大きさに成長してきたことから、林業経営に適した人工林では、主伐再造林を進める動きが活発になっている。林業経営に適した人工林の選定にあたっては、地形条件や地利的な条件で選定されることが多いが、森林の育成には時間を要するため、恒常的には発生しないものの、時に甚大な被害を引き起こす可能性がある気象害は、森林管理上のリスクとなり得るが、その対策については不十分である。

植栽から収穫までの数十年単位で気象害が発生する可能性があるかどうかという観点で考えれば、10 年に 1 度程度の割合で発生する(牛山・宮崎 1992)とされる雨氷被害に関しては、発生しやすい環境を避けることが望まれる。

過冷却の雨が降ることで発生する雨氷被害は、標高や斜面方位などの局所地形によって被害発生箇所が限定されると考えられ、実際標高 1,000m 以上の地域では毎年 1 日以上雨氷が発生しており、標高が高いほどリスクは高いと指摘されている(松下・権頭 2000)。

雨氷による森林被害額は過去に 37 億円に達したことがある(牛山・宮崎 1992)など、木材生産を行う上では大きなリスクとなるため、主伐再造林を行う上での障害となる。しかし、雨氷が発生したとしても氷の厚さによって幹にかかる重量が大きく変わるため(古川ら 1999)、単に雨氷の発生予測だけでは被害の発生リスクとつながらない。

森林における気象害のリスクを考える一つの判断基準として、雨氷被害の実態把握は必要だと考えられるが、本調査期間中には発生しなかったため、検討することができなかった。

そこで今回は、今後気象害が発生した際にデータを収集する手法と被害の解析技術を検討する事として、2022 年に点的で発生した気象害の情報の収集を行い、集められた情報を地理情報として整理したうえで、被害実態を分析した。

3.2 方法

調査対象は、2022 年に発生したスギの梢端枯れを対象とした。当該被害を対象としたのは、発生当時は原因が把握できなかったものの、気象害の

疑いが高いと判断したことに加えて、類似の被害が過去に記録されていなかったことが発端である。被害の情報は 2022 年 5 月下旬に松本地域振興局林務課から「スギの梢端部及び枝先のみが赤変した個体が認められる。現在は林内に点在しているだけだが、地域のスギ林全体に拡大するような危険はないのか。被害の発生原因とその対策を教えてください」との相談が寄せられた。ほどなくして上伊那地域振興局林務課からも同様の相談が持ち込まれた。そこで、両被害地を踏査したところ、スギ林内で梢端部が赤変した個体が点在しており、時には梢端部だけでなく、一部の枝先が同様に赤変しているという特徴が共通していた。

被害地域が離れた場所であったことから、県内他地域でも発生している可能性があるのではないかと判断し、松本地域及び上伊那地域で確認した被害の共通点(スギの梢端部と一部の枝先だけが赤変する)情報を、現地で撮影した写真とともに、長野県林務部局(県庁林務部と県内 10 所の地域振興局林務課)に情報提供を行うとともに、類似被害の発生について、2022 年 6 月から 7 月末までの期間を対象として、情報提供を依頼した。

情報収集を行ったものは、スギの梢端部及び枝先が赤変した被害木のみとした。なお、当該被害であるかどうかを判別するため、情報提供に際しては、被害木の写真データの提供を求めるとともに、被害形態(梢端部の被害であるか、枝先であるか、両方あるのか)、被害木の位置(緯度、経度、斜面方位、標高)、被害本数を合わせて収集した。

収集できたデータをもとに被害実態の把握を行ったが、単木単位での被害情報が多かったこと、被害が確認された際に情報を集める形であったことから点的な情報は収集できた。しかし、今回の被害は被害範囲及び被害の特定が困難なため、全域を踏査して被害情報を収集することが難しかったこともあり、地理的な情報の解析は、当所で踏査することができた辰野町、塩尻市、松本市の被害発生地周辺にとどめた。

3.3 結果と考察

3.3.1 被害発生状況

調査期間に長野県内全域で報告されたスギの梢端枯れは、18 市町村で合計 638 個体が確認された。被害を多く確認した市町村は、辰野町で 362 本、松本市で 75 本、伊那市で 56 本、塩尻市で 55 本と長野県の中部から南部にかけて多かった。

とはいえ、被害は白馬村などの多豪雪地域から、上田市、佐久穂町などの少雪寒冷地域など様々な地域で発生していた(図-5)。

638 個体の被害木について、発生している斜面方位は、北向き斜面と北西斜面が多かった。被害分布は、北東から西までの範囲に集中し、東南方向や傾斜 5 度以下の平坦面での被害はほとんどなかった(図-6)。また、発生標高については、500～1,100mの範囲で発生しており、標高別の被害本数を見ると、750～900mで多発していた。なお、長野県でスギが植栽適地とされる標高は概ね 1,000m以下のため、900m 以上の標高では、植栽面積が少なかったと推定される。このことから当該被害はスギの植栽適地の中でも標高の高い地域で発生したと考えられた。

なお、南向き斜面で被害が認められなかったことから、被害本数が最も多かった辰野町の被害発生位置について、被害木の分布とスギ林の位置を重ね合わせて見たところ(図-7)、斜面方位に関係なくスギ林がありながら、被害が起きた方位が主に北～西向きだった。同様の傾向は松本市及び塩尻市でも確認され、今回の現象は類似環境で起きたと判断した。

3.3.2 被害原因

当該被害の原因を検討するため、辰野町小横川、松本市四賀、伊那市長谷、上田市真田町の 4 か所で計 9 本の被害を受けた側枝を採取し、枝葉の発達状態や木口および樹皮下の状態を確認したところ、いずれの側枝にも病変は認められず、虫害の痕跡としてはキクイムシ類またはカミキリムシ類によるものが見られたが、加害痕に樹脂が発生した痕跡がなかったことから、枯死後に侵入した二次被害と考えられた。さらに側枝を採取した樹木を含め被害木にはクマ剥ぎなどの獣害痕跡は認められなかった。

なお、被害枝の表皮を剥いで観察したところ、被害部のみで変色が見られ、変色部の枝を切断して断面観察したところ、側枝の先端部に近い直立した場所にある被害部の断面に変色が見られた。変色は側枝で、上面や側面など様々な方向で見られたことから、凍傷痕ではないかと判断した。しかし、凍傷痕は明瞭ではなく、凍傷痕も見られない側枝もあったため、単なる凍害ではないと考えられた。そこで、被害時の気象条件を被害が最も多く確認された辰野町の気象観測データを分析し

た結果、2021 年の 12 月から 2022 年 3 月までの間に最高気温が 10 度近くを記録した直後に氷点下 10 度近くまで下がるような急激な寒暖差が複数回記録されていた。加えて最高気温が 0℃を下回る真冬日が、12 月 26 日から 2 月 21 日までの間に 7 日記録されていた。このように寒暖差が大きな気候だったことに加えて、寒風害が発生しやすいとされる北から北西の斜面で寒風があたり、凍害と寒風害の複合被害が発生したと判断した。

寒風害と凍害の複合被害は過去にあまり記録はないが、凍害は皆伐造林地で厳寒期に氷点下の気温が続くような場所の幼齢木に多いとされ(森林総研 2019)、スギ壮齢林での被害報告(外館 1985)もある。壮齢林での被害は短期的なもので、スギの成長には大きな支障がなかったとされることから、本被害も木材生産を行う上で、甚大な影響を及ぼすものではないと考えられた。

3.4 まとめと今後の課題

今回の被害は、調査の結果、寒風害と凍害の複合被害により、標高が高いスギ林に発生した被害であり、過去の調査結果(外館 1985)も踏まえれば、今回の被害木は枯死する可能性は低く、影響は軽微であると考えられた。

しかし、スギの気象害は同一箇所が発生する可能性があると考え(吉武 2018)、今回の記録を残しておくことは重要である。さらに、寒風害や凍害は成木よりも幼齢木が多い(森林総研 2019)ことから、今回の被害が軽微だったからと安心することなく、今後、被害地で主伐再造林を行う場合は、植栽樹種を変える必要がある。

なお、本被害については、既往の結果(外館 1985)から、残存木への被害はほとんどないと考えられたが、集落近くの里山で多く発生しており、今後の木材利用への影響が本当に無いのかを確かめるため、被害本数が最も多かった上伊那地域振興局林務課で、2024 年度から「現地適応化実証試験」に取り組んでいる。

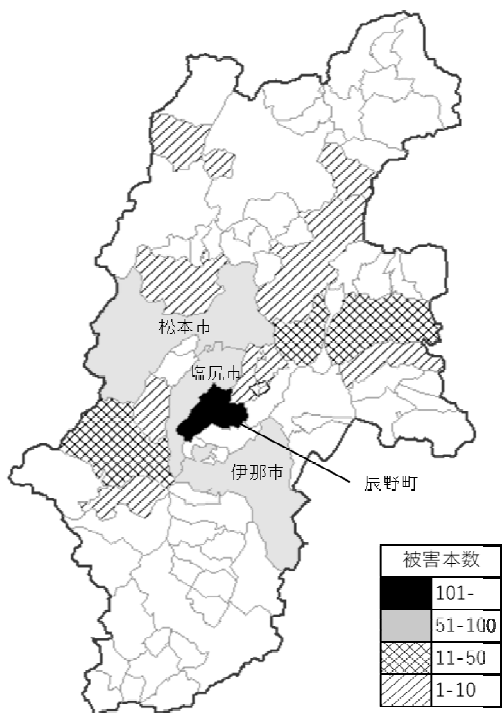


図-5 スギ梢端枯れ被害の発生市町村

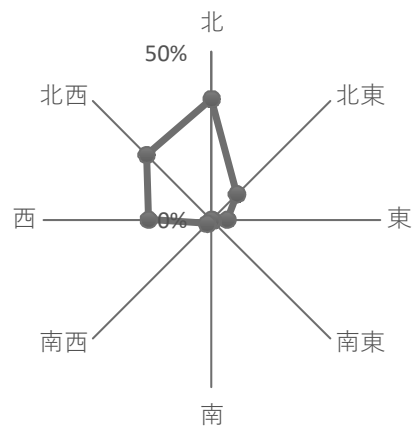


図-6 斜面方位別被害木割合

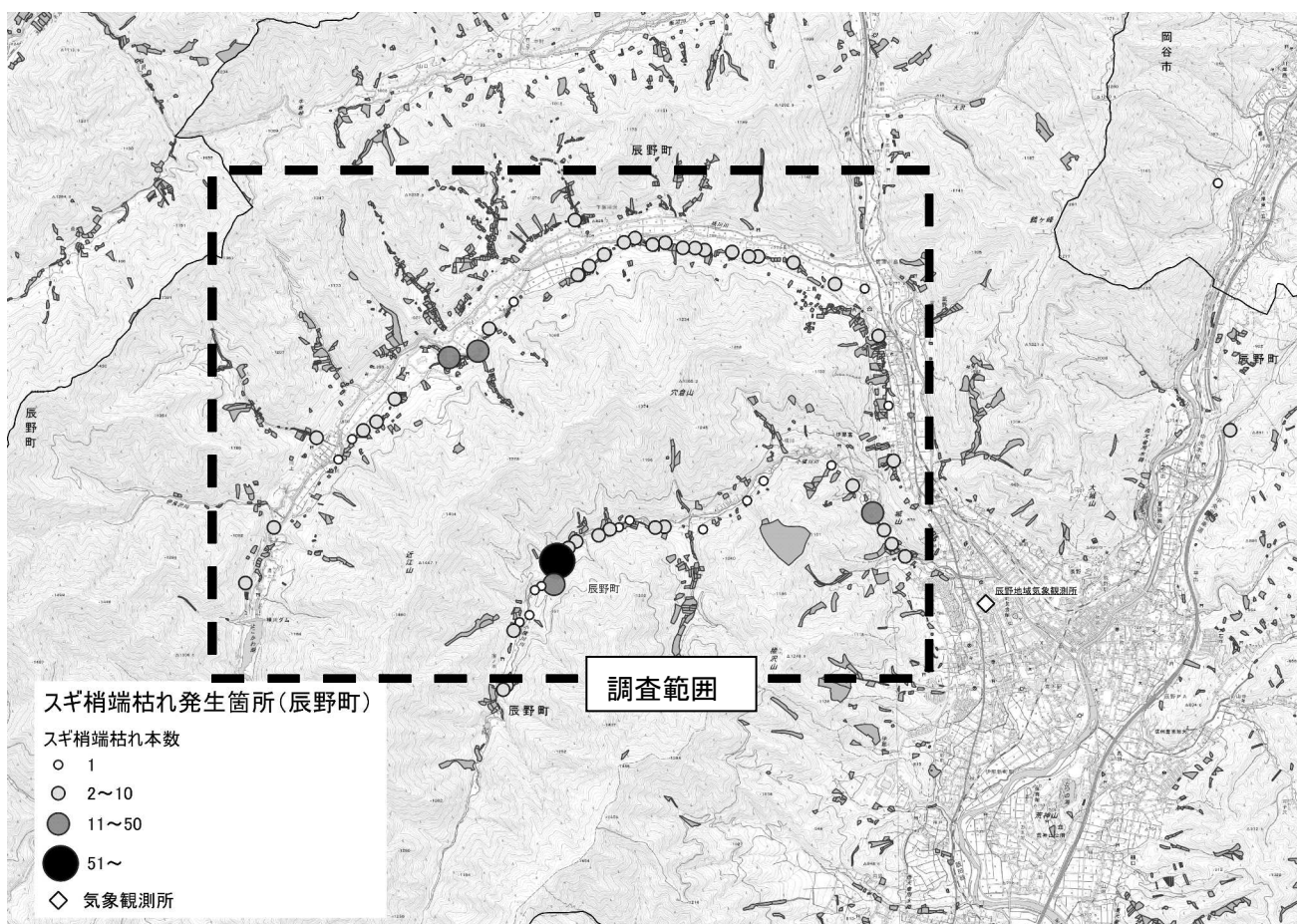


図-7 辰野町におけるスギ林の分布と梢端枯れ発生状況との関係（国土地理院地図に重ね合わせ）

4 ツキノワグマの出没状況と堅果類豊凶調査の関係解析からみた獣害対策のデータ集積と地域防災に向けた分析技術の検討

4.1 目的

前章までは、森林路網及び気象害といった、地形条件に左右されると考えられる情報の集積方法を検討し、森林を管理していくために必要な情報をどのように集積していけばよいかを検討した。

しかし、現実の森林では、松くい虫被害に代表される病虫害やニホンジカなどの獣害が、次世代の森林づくりを進める上での大きな課題となっている。これに対し、面的に被害が拡大する松くい虫被害に対しては、長野県の令和2年度松くい虫被害地森林経営管理対策支援事業により人工衛星画像を用いた「松くい虫被害レベルマップ」が作成され、被害の進展に合わせた順応的管理が始まっている。

また、個体数の増加や生息地の拡大により農林業被害が増加している鳥獣については、個体群を安定的に維持するとともに被害を軽減することを目的とした「第二種特定鳥獣管理計画」を策定し、科学的根拠に基づき、計画的に地域個体群の維持を図りながら、被害防除を進めている。

第二種特定鳥獣管理計画を策定している獣種は、ニホンカモシカ、ニホンジカ、ツキノワグマ、ニホンザル、ニホンイノシシの5獣種であるが、このうち、ツキノワグマに関しては、農林業被害以外に人的被害も問題である。人的被害のリスクは、山林内での堅果類が凶作になると、秋に里地へ下り、人との不意の遭遇機会が増加すると考えられており（水谷 2022）、出沒を事前予測するため、長野県では堅果類の豊凶調査を行っている。現在は、豊凶調査の結果などを参考として「ツキノワグマ出沒注意報」ならびに「ツキノワグマ出沒警報」を発令しているとともに、目撃情報をもとにしたツキノワグマ出沒マップを作成し、ホームページ上で公開している。

ツキノワグマの出沒注意報ならびに出沒警報は、人的被害のリスクを防ぐための措置として重要であるが、注意報や警報を発令しても、実際に出沒が増えなければ情報の信頼度の低下を招き、危険回避につながらない可能性が出てしまう。秋の出沒予測に用いている堅果類についても、ツキノワグマが利用する植物種が地域により違いがあるため、対象樹種や地点の選定に問題があるので

はないかとの指摘もある（水谷 2022）。

堅果類豊凶調査をツキノワグマの出沒予測に使うためには、過去の豊凶調査の結果と出沒状況との関係を整理することが求められる。ツキノワグマの出沒は、目撃と捕獲の両方が考えられるが、目撃情報に関しては、正確な地点が把握できているかの検証が難しいことと、ニホンカモシカやニホンイノシシなどとの誤認も少なからず考えられることから、捕獲情報のみを検討材料とした。ツキノワグマの捕獲情報は、檻による捕獲となる事が多く、檻の設置位置が捕獲場所となるため、必ずしも出沒しやすい場所であるとは言えないが、その周辺に来たツキノワグマである事は間違いない。加えて、出沒予測に基づく注意報や警報が発令されるような場合の捕獲は、人家近くなど緊急性が高く殺処分の対象となるため、一頭のツキノワグマが複数回記録される可能性はなく、出沒予測との関係を確認するデータとして重要であると考えられる。

こうしたことから、長野県における堅果類豊凶調査の結果と、実際に出沒したツキノワグマの捕獲情報との関係を解析し、水谷（2022）が指摘した豊凶調査の有用性を検討した。

4.2 方法

調査は、2010年から2014年までに県内で捕獲されたツキノワグマの捕獲調査票と、同時期に地方事務所林務課が実施した堅果類豊凶調査の結果について、位置情報を統合してその関係を整理した。

なお、堅果類豊凶調査については、定点を定めて実施しているが、現地の環境変化に伴い、調査位置が変更された可能性もあることから、2018～2022年の結果も合わせて記録することで、過去に実施した豊凶調査の影響だけでなく、近年の豊凶調査による評価も加味した。

調査結果については、これまで地域振興局単位で整理されてきたが、第二種特定鳥獣保護管理計画においては、ツキノワグマの地域個体群を8つのユニットに区分しており、地域個体群ごとにその動態を整理することが重要であると考え、捕獲地点及び豊凶調査地点をGIS上に落として整理した。

今回整理した堅果類豊凶調査結果は毎年100件程度が報告されており、今回対象とした2010～2014年と2018～2022年までの10年分で1,174件

表 41 調査対象とした堅果類調査と捕獲調査の件数

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015～2017	2018	2019	2020	2021	2022	合計
堅果類 調査(件)	110	99	121	112	111	対象とせず	119	119	127	125	131	1,174
捕獲情報 (個体)	334	239	291	197	640	対象とせず						1,701

となった。一方で、2010 年から 2014 年までの捕獲記録は、2014 年が大量出沒年で 640 個体の記録があり、5 年間の合計で 1,701 個体となった(表-1)。

堅果類の豊凶調査がツキノワグマの出沒とどのような関係があるのかを考えるため、ツキノワグマの出沒時期を冬眠期と考えられる冬（1～4 月）、冬眠直後の春（5～6 月）、夏（7～8 月）、堅果類の豊凶と関係が深いと考えられる秋（9～10 月）、堅果類が少ない場合に冬眠時の栄養を求めて歩き回る可能性がある冬（11～12 月）に分けて、ユニット単位で捕獲数を整理した。

なお、同一ユニットであっても地域的に捕獲時期がずれていると判断できた場合は、1 ユニットを更に気象条件や植生分布などの環境条件を勘案して更に区分した。

4.3 結果と考察

4.3.1 地域による捕獲時期

捕獲情報が得られた 1,701 個体の捕獲位置を GIS で整理し、長野県が定める 8 つの保護管理ユニットに区分し、うち 6 か所を捕獲時期別に整理した（図-8）。

その結果、堅果類の豊凶調査と関連性が高いと考えられる秋の捕獲が多かった場所は、越後三国ユニットと北アルプス北部ユニットだった。しか

し、越後三国ユニット内を精査すると、高社山の北に位置する飯山市、野沢温泉村、栄村が該当する北部地域と、南に位置する中野市、山ノ内町地域では、出沒傾向が異なり、北部では全体の 3 分の 2 が秋の捕獲だったのに対し、中野山ノ内地域では、秋と夏の捕獲数がほぼ同じだった。

同様の傾向は北アルプス北部ユニットでも見られ、多雪豪雪となる白馬村小谷村に位置する北部地域では、越後三国と同様に秋に 3 分の 2 を捕獲していたが、積雪深が少ない大町市から塩尻市までの地域(北アルプス北部(大町～松本))では、夏と秋の捕獲数がほぼ同じだった。

さらに、北アルプス南部ユニット(木曽郡)、南アルプスユニットでは夏の出沒が最も多く、図-8 には示さなかったが、中央アルプス及び越後三国ユニット東部の浅間山麓地域でも同様の傾向だった。なお、解析を行った 5 年間では長野北部ユニット、関東山地ユニット、八ヶ岳ユニットでは、ツキノワグマの捕獲が少なかったため、季節的な分析は行わなかった。

以上の結果から、秋の出沒予測に用いることを想定すれば、越後三国ユニットの北部（飯山市、野沢温泉村・栄村）と、北アルプス北部ユニットの北部（白馬村・小谷村）では、堅果類の多寡が、出沒予測に有効であると考えられたが、他の地域

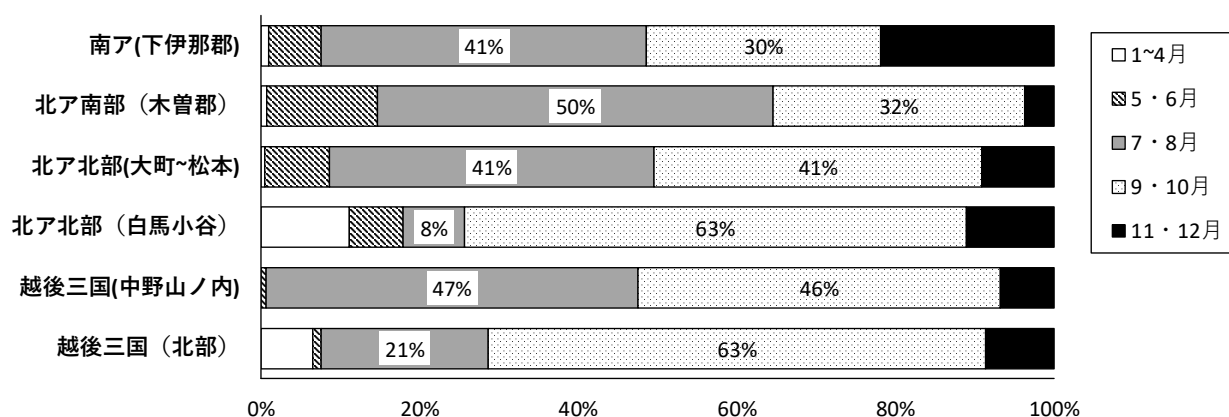


図 8 地域別に見たツキノワグマの捕獲時期割合

では秋よりも夏の出没が問題となった結果捕獲が多くなっていたことから、夏の出没予測がより重要だと考えられた。

なお、秋の出没に伴う捕獲数が多い2地区はいずれも多雪豪雪地域に属していた。なお、多雪豪雪地域に相当するユニットとしては、長野北部ユニット（東筑摩郡北部から長野市、信濃町、関田山地）においては、解析を行った期間の捕獲数が少なかったため、分析が出来なかった。

以上の結果から、現在長野県で実施している堅果類豊凶調査による出没予測が最も効果的な地域は、県北部の多雪豪雪地域であり、他の地域では、堅果類の豊凶に伴う出没も一定数は考えられるが、堅果類が成熟する前の7～8月に多く出没することを考えると、他の要因によって出没している可能性が高く、堅果類の豊凶調査による出没予測は参考程度に止めることが望ましいのではないかと考えられた

特に、木曽地域に相当する北アルプス南部ユニットや中央アルプスユニットでは、夏が最も多く秋がそれに次ぐことは間違いが無いが、秋の捕獲数に近いレベルで春（特に6月）の捕獲も多く、堅果類とは全く異なる食料に起因する可能性が考えられた。

4.3.2 捕獲地点と豊凶調査定点との関係

GISで整理した捕獲位置と、堅果類豊凶調査の定点調査地を重ねて整理したところ、図-9のように捕獲地点と豊凶調査の定点にズレがあり、捕獲地点周辺で豊凶調査が無い場所や、豊凶調査地点周辺での捕獲が無い場所、豊凶調査を行った定点と捕獲場所が近接する場所など様々で、一定の傾向は認められなかった。

本来、秋の大量出没は、堅果類の結実が少ない場合に山地から里地へ下る事で発生すると考えられており（水谷 2022）、何らかの被害リスクがあることで捕獲されてしまう場所よりも奥山側での堅果類の豊凶を把握しておかなければならない。

堅果類の豊凶に関しては豊凶周期が長いとされるブナであっても毎年のように結実する個体と、豊作年のみに結実する個体がある（武田宏 1992）ため、豊凶調査定点が適正でなければ、里地への出没予測に用いることは困難である。

そこで、全県下で集積された捕獲位置に対して、堅果類豊凶調査の調査定点が適切な位置であるのかどうかを検討するため、捕獲時期の分析により

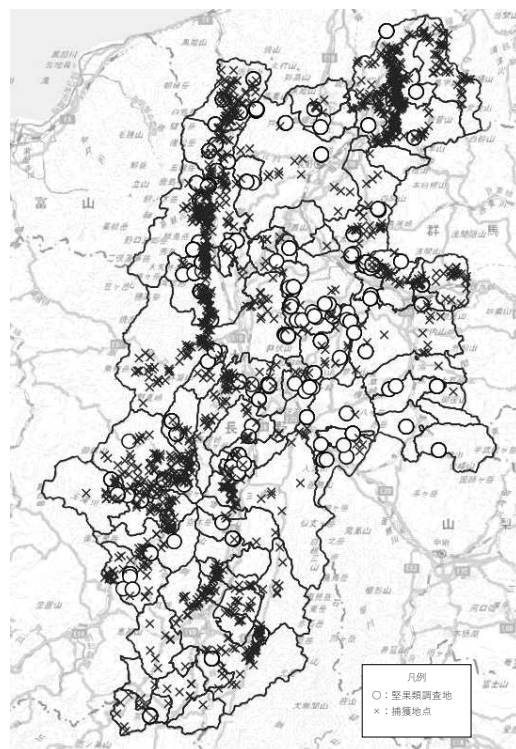


図-9 捕獲地点の豊凶調査地との関係

堅果類の豊凶が秋の出没予測に特に重要であると考えられる県北部を対象として分析した。

結果、図-10で示したように、北アルプス北部ユニットの白馬小谷地区では、豊凶調査定点が捕獲位置の山側にあつたが、越後三国地区の北部地区では、堅果類の豊凶調査定点が1カ所（木島平カヤの平のブナ）しかなく、地域によっては重要な指標植物とされるミズナラやコナラ（水谷 2022）の豊凶は加味されていなかった。

また、これに隣接する越後三国ユニットの中野山ノ内地域では、捕獲地点よりも市街地に位置する公園での調査結果が反映されており、捕獲数が非常に多いエリアでありながら、長野北部ユニットに分類される関田山地を含めて豊凶調査定点が非常に少なく、出没予測として考えると不十分だと判断できた。

なお、堅果類調査の情報を精査したところ、それぞれの調査定点における調査対象木の本数には差があり、少ない場合は単木のみで評価している場合があった。豊凶調査を行うためには、一定数の個体を確認する必要がある。長野県では、豊凶調査の対象木を10本以上としていたが、現実には本数が不足しているにもかかわらず、定点を設定し豊凶を観測している場合があることも課題だった。

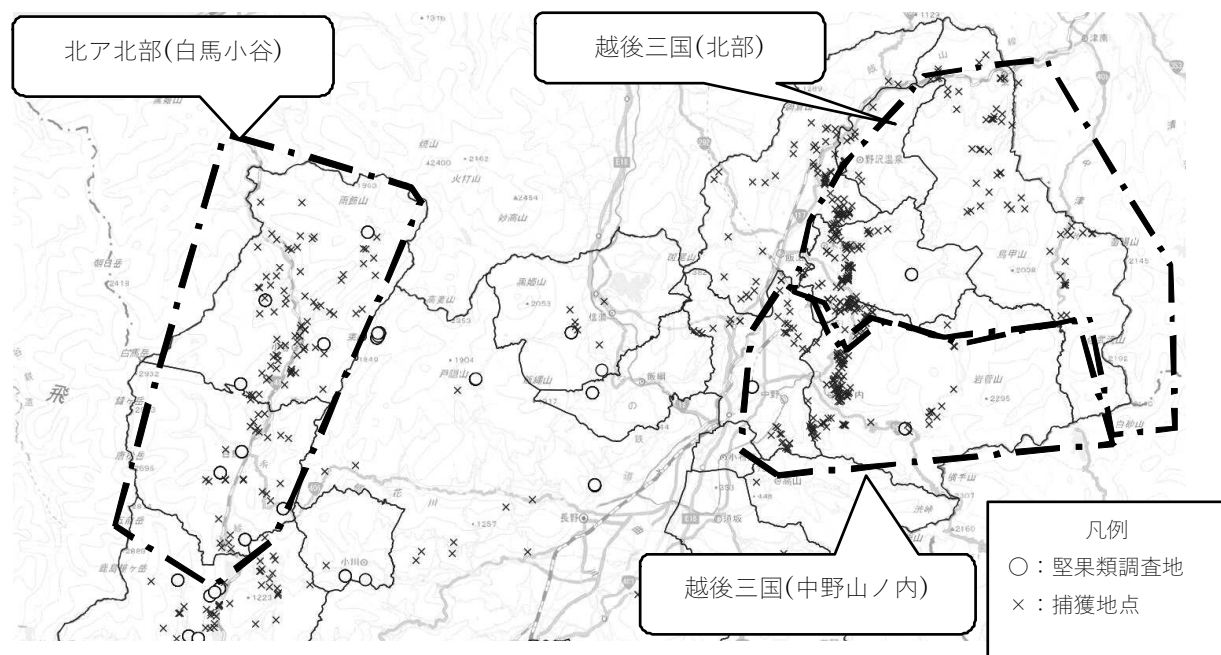


図-10 堅果類豊凶調査地とツキノワグマの捕獲位置との関係

4.4 成果の普及(まとめに変えて)

ツキノワグマの出没予測と堅果類の豊凶調査の結果を整理したところ、積雪が多い長野県北部において秋の出没が多く、出没予測の資料として堅果類の豊凶調査が重要である可能性が示唆された。

そのうち、北アルプス北部ユニットの白馬小谷地域では、2022 年度に進めている堅果類豊凶調査の調査地点は地域全体に広がっており、ユニット内を広域的に移動するツキノワグマの出没予測に使えるデータであると考えられたが、越後三国ユニットの北部に位置する飯山市、野沢温泉村、栄村地域では豊凶調査地点の再整理が必要と考えられた。当該地域を管轄する北信地域振興局では、越後三国ユニット（北部及び中野山ノ内）及び長野北部ユニットに該当する関田山地も含まれる。

そこで、2024 年 8 月に現地踏査を行い、これまでに堅果類豊凶調査の対象樹種として適切である可能性があるコナラ・ミズナラ・ブナが調査地内で 20 本程度確保できる場所を再選定し、図-11 で示した箇所を調査定点として提案し、2024 年度の豊凶調査に反映させた。

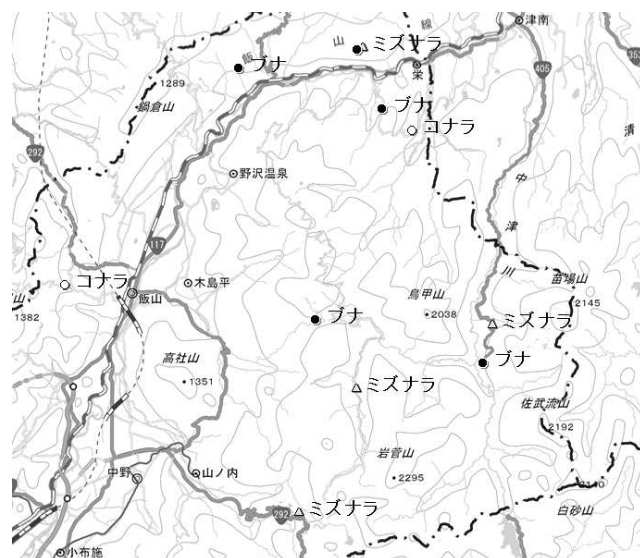


図-11 再検討した豊凶調査定点

5 森林管理に関する情報集積に関する整理

今回の調査では、レーザ測量など航空測量だけでは得ることが困難な森林情報をどのように森林管理に活かしつつ、地域の防災対策として活用できるのかについて検討した。

その結果、第2章でまとめた、森林路網の情報集積に関しては、林務部信州の木活用課林道係が2022年度（令和4年度）から実施する「森林路網DX推進事業」として、今回実施した作業道の作成手法が活用されており、森林路網のデジタル情報整備につながっている。

また、第4章でまとめたツキノワグマの発生状況解析については、2024年度から開始した「長野県における新たなツキノワグマ対策」に反映され、北信地域振興局管内では堅果類種子豊凶調査箇所に関して図-11の箇所ですべて暫定的に調査を行った。2025年度以降は調査箇所を本格的に変更する計画となっている。さらに本研究で2014年度までの結果をもとに進めてきた捕獲情報の分析は、第4章で示したデータの整理方法を参考として長野県林務部森林づくり推進課がデータの集積を進めている。2015年から2024年までの10年分の捕獲データが蓄積できれば、今回解析できなかった長野北部ユニットや八ヶ岳ユニット、越後三国ユニットの浅間山麓地域などでも、ツキノワグマの出没状況を精査し、堅果類豊凶調を含めた出没予測手法の開発につなげていく計画となっている。

さらに、第3章でまとめたスギの梢端枯れ被害については、過去の事例から軽微な被害で済むと判断したが、主伐再造林後の森林で木材生産が可能であるかを検証するため、長野県林務部が行う現地適応化実証試験として、上伊那地域振興局林務課が2024年度から取り組んでいる。

このように今回行った研究課題はいずれも長野県林務部で起きている課題解決に直結した成果を得ることができたという点で、評価できるものではあるが、研究開始時に計画していたデータ集積を行うことで災害リスクを整理し、得られた成果を地域住民や森林所有者と共有する中で、ハザードマップ等の災害危険地情報として普及させることを目指す当初の目的を達成することは出来なかった。

その原因として、地形情報が完備されていたことで容易とされた作業路の情報であっても、航空測量の成果だけでは曖昧な情報が多く、現地確認を行わなければ推論の域を出ないことが課題であ

る。航空測量データを活用して作成したCS立体図でも崩壊危険地の絞り込みには有効であるが、現地調査で地形、地質、土壌、植生などから総合的に判断する必要がある（戸田2014）と指摘しており、現地調査を伴わないデータ解析では、人的被害を及ぼす可能性がある防災対策にそのまま利用することは難しい。

このことは、気象害を対象とした場合も、動物被害を対象にした場合も同様である。今回の結果から考えれば、近年被害が増加しているニホンジカやツキノワグマによる獣害、マツ材線虫病やナラ枯れ、カラマツ心腐病などの病害、雨水や冠雪害といった気象害など「森林管理に関わるリスク」全般を可視化して、そのリスクを明確化することは容易ではないことを改めて認識させられる結果に終始した。

一方で、GISでの解析が出来ない時代では分析が難しかった気象害や獣害の現状を可視化できるようになったことは、技術の進歩による成果であり、実施した研究は全て県の事業に反映されている事を考えると、事業の継続とともにデータが集積されることは間違いない。少なくともGISを活用した様々な解析技術を行うためには、大量のデータ集積が重要となっており、写真データを活用するためにインターネットを活用し、一般市民が保有する情報をデータ解析に用いた事例（小山2020）なども報告されている。

こうした解析手法は、スマートフォンの普及により写真にGIS情報が付加されていることなど、技術革新に伴い、様々な情報が活用できる可能性が生まれてきている。現段階では、防災に活用している森林路網の情報や、気象害の情報、ツキノワグマをはじめとする害虫獣害に関わる情報の整備はまだ途上であり、地域の防災対策に使うためには、インターネット上に無限に広がる多様な情報を整理し、分析するための基盤づくりから考えていく必要がある。そのためには、情報を収集するためのフォーマットの統一など大量の情報を抽出、集積する技術を考えていく必要があるが、このためには大量の情報を正確に集積させる技術革新を行っていくことが重要である。

その上で、今回の最終目的とした災害リスクの整理につなげていくことになるが、現段階ではまだまだ入口にも立っていない状況である。

今回の成果を長野県の事業として運用することで、記録として遺しながら、今後の技術革新の

波を受けて、研究として再開することが望まれる。

謝辞

本研究の推進にあたっては、小林静恵氏、新谷円氏ほか、長野県林務部に所属する多くの技術職員の皆様に加えて、尾関雅章氏、黒江美紗子博士、升屋勇人博士をはじめとする研究者からの適切な助言により研究を推進することが出来ましたので、この場を借りて感謝申し上げます。

引用文献

- 古川仁・片倉正行・近藤道治・岡田充弘・小山泰弘(1999)立木の枝葉に付着した雨氷重量について. 中部森林研究 47:131-132.
- 長谷川裕彦・佐々木明彦(2011)東北日本の山地地形と山村(山と森の環境史、湯本貴和編、文一総合出版社、東京、382pp) 19-35.
- 早田旅人(2023)災害から読み解く早川入の山村世界(山村は災害をどう乗り越えてきたか、中央大学山村研究会編、小さ子社、京都、368pp) 337-351.
- 小山泰弘(2020)松本市城山公園における遺構の現状. 信濃 843:259-274.
- 松下拓樹・権頭芳浩(2000)雨氷発生日数の地域分布に関する統計的解析. 雪氷 62:355-365.
- 水谷瑞季(2022)中部地方における豊凶調査の対象となるブナ科樹木の分布. 信州大学教育学部附属志賀自然教育研究施設研究業績 59:89-96.
- 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所(2019)写真で見る林木の気象害と判定法:44pp.
- 外館聖八朗(1985)スギの寒害による被害状況と上半枯死木の処理方法. 岩手県林業試験場成果報告 18:1-12.
- 多田泰之(2018)国土の変遷と災害. 水利科学 62:127-137.
- 武田宏(1992)野々海ブナ林における7年間のブナの結実評価. 日本林学会誌 74:55-59.
- 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 56:75-79.
- 戸田堅一郎・小山泰弘・山内仁人(2016)施業による災害防止機能への影響評価. 長野県林総セ研報 30:21-32.
- 戸田堅一郎(2022)山地災害リスクを低減する技術の開発. 長野県林総セ研報 36:1-6.
- 牛山素行・宮崎敏孝(1992)雨氷現象による森林被害に関する2,3の考察:1989年2月26日長野県東信地区で発生した森林被害のデータベース、信州大学農学部演習林報告 29:25-96.
- 柳澤賢一・小山泰弘(2023)長野県におけるスギ壮齡林の梢端枯れ被害. 森林防疫 755:21-29.
- 柳澤賢一(2023)長野県塩尻市におけるマツ材線虫病の標高別被害リスク評価. 中部森林研究 71:63-64.
- 吉武孝(2018)皆伐造林と凍害のリスク. 山林 1613:62-69.

ホンシメジの菌床栽培技術の開発

研究期間：令和元年度～5年度

片桐一弘・古川 仁・増野和彦

ホンシメジの菌床栽培技術を開発するために、栽培容器や培地組成など栽培方法に関する試験及び新たに収集した菌株の子実体形成能の確認試験を行った。その結果の概要は、以下のとおりである。

栽培容器は、大型ビンを使うことで、優れた子実体発生特性が得られることが示唆された。特に、大型ビンを使用し、広葉樹チップを用いた培地では、商品価値が高いと考えられる、個体重の大きな子実体の発生が複数の菌株で確認された。トウモロコシを用いた培地は、本研究に用いた菌株の栽培には適さないと考えられた。また、菌株毎に適した培養期間等を検討することが重要と考えられた。

新たに収集した野生株の内、子実体の形成される菌株が見つかる確率(1/10)は比較的低い結果となった。

キーワード：ホンシメジ、菌床栽培、培地組成、栽培容器、子実体形成

1 緒言

ホンシメジは「香りまつたけ味しめじ」といわれ、その味覚や希少性から消費者に喜ばれ、昔から人気の高いきのこである。マツタケと同じ菌根性きのこに分類され、アカマツやコナラ等ブナ科植物と外生菌根を形成することで子実体形成に至る。このように樹木の根との共生が必要とされる菌根性きのこは、シイタケやナメコなどの腐生性きのこのような人工栽培は困難とされてきた¹⁾。しかし、ホンシメジは培養菌床を林地に埋設し、宿主と外生菌根を形成することで子実体形成に成功した事例^{2, 3)}が報告され、さらにデンプン分解能を有する⁴⁾ことが明らかとなり、宿主によらない施設内での菌床栽培が可能となった⁵⁾。しかし現状、ホンシメジ菌床栽培には市販の種菌が無く、自ら栽培適性の高い菌株を選抜する必要がある上に、高度な栽培技術が求められることから、商業的な生産例は極めて少ない。

栽培きのこの類の全国一位の生産額を誇る本県では、近年販売競争の激化に伴うきのこ価格の低迷や資材費等の高騰により経営が厳しい生産者が多く、高単価が見込める新たな品目の導入による経営改善が期待されている。

このような中で長野県林業総合センターでは、新たな品目としてホンシメジ菌床栽培技術の開発を目指し、長野県内を中心とする東日本で収集されたホンシメジ菌株を用いて子実体形成能等の検討を行ってきた⁶⁾。子実体が発生した菌株の中には、実用化の可能性があると考えられるものも確認されたが、繰り返し安定的に発生させる技術の開発には至っていない。

そこで本研究では、栽培容器や培地組成など栽培方法に関する試験及び新たに収集した菌株の子

実体形成能の確認試験を行い、本県の栽培環境に適したホンシメジ菌床栽培技術の開発を目的とした。

なお、本研究は令和元年(2019年)から3年(2021年)度の国交研究課題、令和4年(2022年)・5年(2023年)度の県単課題として実施した。

2 トウモロコシ培地による栽培試験

2.1 目的

当所では、培地の主な材料として押麦を用いていたが、押麦の代わりにトウモロコシを使用している先行例⁷⁾がある。

そこで、当所保有菌株のトウモロコシ培地への適性確認試験を行った。

2.2 試験方法

(1) 菌株

先行試験^{6, 11)}において子実体発生実績のある6菌株(※SJ201は未発表)を含む16菌株を使用した(表-1 栽培試験区分Ⅰ)。

(2) 培地・栽培容器

試験には太田⁸⁾による押麦を主体とした培地(以下「麦培地」)、押麦の半分をトウモロコシに置き換えた培地(以下「混合培地」)、全てトウモロコシに置き換えた培地(以下「コーン培地」)の3種類を用いた(表-2)。麦培地の作製は、押麦をタライに入れ同体積の添加溶液(表-3)で浸し、一晚吸水。翌日広葉樹おが粉、小麦粉を混合し、水道水を添加し、含水率が60%となるよう調整。混合培地及びコーン培地も同様の手順で作製した。

栽培容器は、ポリプロピレン製広口円筒パック(TWIST PACK(タケヤ化学製)、容量270ml)。1ビン当たり160g詰。培地表面を軽く転圧後、長さ6cm程度に切断した木製の割り箸を中央に1本挿し、

表-1 本研究に使用した菌株一覧

No.*1	菌株名	採取地	栽培試験区分*5			
			I	II	III	IV
1	SH004	長野県佐久穂町	○	-	-	-
2	SH005	長野県佐久穂町	○	-	-	-
3	AT2350	長野県辰野町	○	-	-	-
4	AT2155*2	北海道	○	-	-	○
5	AT2113	長野県佐久市	○	-	-	-
6	AT787	長野県辰野町	○	-	-	-
7	S-136	栃木県	○	-	-	-
8	S-160	長野県中川村	○	-	-	-
9	S-155	長野県松本市	○	-	-	-
10	MA201*2	長野県松川町	○	-	-	○
11	HG201*2	長野県松本市	○	-	○	○
12	AC201	長野県阿智村	○	-	-	-
13	SJ201*2	長野県塩尻市	○	○	-	○
14	SW001*2	長野県諏訪市	○	○	○	○
15	SW002*2	長野県諏訪市	○	○	○	○
16	AR001	富山県	○	-	-	-
17	SW003	長野県諏訪市	-	-	-	○
18	SW004	長野県諏訪市	-	-	-	○
19	SW005	長野県諏訪市	-	-	○	○
20	SW006	長野県諏訪市	-	-	○	○
21	SW007	長野県諏訪市	-	-	○	○
22	SW008	長野県諏訪市	-	-	○	-
23	HG202	長野県松本市	-	-	-	○
24	HG203	長野県松本市	-	-	○	-
25	TK001	長野県豊丘村	-	-	○	-
26	SW001R4U*3	長野県諏訪市	-	-	○	-
27	SW002R4U*3	長野県諏訪市	-	-	○	-
28	HG201SB*4	長野県塩尻市	-	-	-	○
合計			16	3	11	13

*1 1～15は既に1回以上栽培試験を実施したもの。16～28は本研究により新たに栽培試験を実施したもの。*2 菌床栽培により子実体発生が確認されている菌株。*3 SW001, SW002の菌床埋設地から発生した子実体の組織分離株。*4 菌床栽培で子実体発生したHG201の再分離株。*5 ○：栽培試験実施、-：未実施。

表-2 トウモロコシ培地による栽培試験材料割合
(容積比)

培地	押麦	圧べんトウ モロコシ*1	広葉樹 おが粉	小麦粉	ホミニ フィード*2
麦 ⁸⁾	2		3	0.2	
混合	1	1	3	0.1	0.1
コーン		2	3		0.2

*1 蒸気で加熱、つぶした後、乾燥させたトウモロコシ。*2 コーングリッツを製造する際に分離される胚芽、皮、でんぷん部の混合物。

表-3 添加溶液成分

物質名	添加量
クエン酸	0.5g
KH_2PO_4	0.1g
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.2g
CaCl_2	10mg
アセチルアセトン	5 μl
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	50mg
ミネラル混合物*	4mg

* $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$: 50, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: 33,
 $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: 10, $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 3,
 $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$: 1の重量比の混合物

蓋を被せた。なお、蓋は中央部に直径 5 mm の穴を 1 箇所あけ、Milli Seal (MILLIPORE 製) を貼り付け使用。高圧蒸気殺菌釜にて殺菌 (120℃, 60 分)。十分放冷した後、菌株の接種に供した。

(3) 接種

接種源はMNC培地⁹⁾上で培養し、形成されたコロニー外縁部を約 5 mm 角程度に切り取った切片とし、1 ビン当たり 5 個を、割り箸を抜き取った穴や培地上に接種した。

(4) 培養・覆土

接種後 23℃ に設定した培養室にて暗黒培養し、試験区内の全ての培地で容器全面に菌糸体がまわったところで、pH5.1 に調整した滅菌済みのピートモスを培地上に厚さ 1 cm 程度覆土し、その後さらに 9～11 日間培養を継続した。

(5) 発生処理

培養終了後、24 時間室内灯を点灯した、14～15℃、湿度 95% 以上に設定した発生室へ培地を移した。覆土上に幼子実体が認められた時点で蓋を取り除いた。子実体の傘が開ききった段階で収穫し、ビン毎に個数・生重量を測定した。

2.3 結果と考察

子実体発生量等調査結果を表-4 に示した。供試した 16 菌株中、4 菌株 (HG201, SJ201, SW001, SW002) で子実体発生が見られた。全て麦培地又は混合培地からの発生で、コーン培地からの発生は確認できなかった。なお、これら 4 菌株は子実体発生実績を有していた菌株であり、本試験で新たに子実体発生が確認された菌株は無かった。最も発生量が多かった SW001 の麦培地での生重量は 28.0 g (培地重量の約 2 割) あり、比較的良好な発生状況であった。

次に培地別平均培養日数を表-5 に示す。麦培地と混合培地で子実体発生が見られた培地は、培養日数が未発生培地に比べ短く、麦培地においては 14 日間短縮されていた。

以上より、本研究に用いた菌株はトウモロコシ培地への適性が低く、麦培地が適していると考えられた。ただし、混合培地のみ子実体が発生した菌株もあったことから、配合割合に若干検討の余地が残った。また、子実体が発生する菌株は、子実体が発生しない菌株に比べ、容器全体への菌糸体の蔓延が早い傾向が示唆された。

3 ナメコビン及び大型ビンを用いた栽培試験

3.1 目的

表-4 トウモロコシ培地による栽培試験子実体発生量等調査結果

菌株名	培地区分	供試数	培養日数*1		一番収穫 日数(日) *2	発生培地 率(%) *3	個数 (個)	生重量 (g)	個体重 (g)
			覆土	発生処理					
SH004	麦	3	66	11	-*4	-	-	-	-
	混合	3	77	11	-	-	-	-	-
	コーン	3	77	11	-	-	-	-	-
SH005	麦	3							
	混合	3							
	コーン	3							
AT2350	麦	3	77	11	-	-	-	-	-
	混合	3	88	10	-	-	-	-	-
	コーン	3	77	11	-	-	-	-	-
AT2155	麦	4	66	11	-	-	-	-	-
	混合	4	66	11	-	-	-	-	-
	コーン	4	66	11	-	-	-	-	-
AT2113	麦	3	55	11	-	-	-	-	-
	混合	3	55	11	-	-	-	-	-
	コーン	3	55	11	-	-	-	-	-
AT787	麦	3	66	11	-	-	-	-	-
	混合	3	66	11	-	-	-	-	-
	コーン	3	66	11	-	-	-	-	-
S-136	麦	3	77	11	-	-	-	-	-
	混合	3	66	11	-	-	-	-	-
	コーン	3	77	11	-	-	-	-	-
S-160	麦	3	66	11	-	-	-	-	-
	混合	3	66	11	-	-	-	-	-
	コーン	3	77	11	-	-	-	-	-
S-155	麦	3	88	10	-	-	-	-	-
	混合	3							
	コーン	3	88	10	-	-	-	-	-
MA201	麦	3	66	11	-	-	-	-	-
	混合	3	66	11	-	-	-	-	-
	コーン	3	66	11	-	-	-	-	-
HG201	麦	4	59	9	-	-	-	-	-
	混合	4	66	11	62	25	2	9.0	4.5
	コーン	4	66	11	-	-	-	-	-
AC201	麦	3	66	11	-	-	-	-	-
	混合	3	66	11	-	-	-	-	-
	コーン	3	59	9	-	-	-	-	-
SJ201	麦	4	52	10	39	100	1.3	11.3	8.7
	混合	4	55	11	-	-	-	-	-
	コーン	4	59	9	-	-	-	-	-
SW001	麦	4	55	11	34	100	3.3	28.0	8.5
	混合	4	59	9	-	-	-	-	-
	コーン	4	59	9	-	-	-	-	-
SW002	麦	4	52	10	63	100	4.5	19.3	4.3
	混合	4	52	10	64	25	1.0	4.0	4.0
	コーン	4	55	11	-	-	-	-	-
AR001	麦	3	55	11	-	-	-	-	-
	混合	3	66	11	-	-	-	-	-
	コーン	3							
平均	麦	3	64	11	45	100	3	20	7
	混合	3	65	11	63	25	2	7	4
	コーン	3	68	11	-	-	-	-	-

*1 覆土：接種から覆土までの日数，発生処理：覆土から発生処理までの日数。空欄は発生処理未実施。*2 発生処理後，最初の子実体収穫までに要した期間。*3 供試培地数に対する子実体発生培地数の割合。*4 「-」 未発生のため調査データ無し。

表-5 培地別平均培養日数

培地	培養日数(日)	
	子実体発生培地	未発生培地
麦	53	67
混合	59	66
コーン	-	68

* 「-」 子実体未発生の為データなし。

太田⁵⁾は，4種のきのこ栽培ビン（エノキタケ，ナメコ，シイタケ，ヒラタケ）を用いて栽培試験を行ったところ，800 ccのナメコビンに400 ccの培地

を詰めたとときの発生量が最も多いとしている。また近年，ナメコ栽培用大型ビン（容量1,400 cc，ポリプロピレン製，以下「大型ビン」，写真-1）を使ったホンシメジの菌床栽培も報告されている¹⁰⁾。

そこで，当所保有菌株を用いて，ナメコビンと大型ビンに容量の半分程度の培地を詰めた場合の菌まわりや子実体発生を調査するための栽培試験を行った。

3.2 試験方法

(1) 栽培容器

ナメコビン（口径77 mm，800cc，ポリプロピレン



写真-1 栽培試験に用いたビン
左：ナメコビン，中央：大型ビン，右：蓋（手前：
フィルター有り，奥：フィルター無し）

製）及び大型ビンを用いた。蓋は、ナメコビンはフィルター有り（フィルター有区）とフィルター無し（フィルター無区）の2種類を使用し、大型ビンの蓋は、片桐ら¹¹⁾の結果、供試した全ての培地で子実体発生が確認されたフィルター有りを使用した。

(2) 菌株

子実体発生実績のある3菌株（表-1 栽培試験区分Ⅱ）を用いた。

(3) 培地

麦培地とし、栽培容器の半分程度の高さまで培地を詰め、長さ11 cm程度に切断した木製の割り箸をナメコビンは2本、大型ビンは4本挿した。1ビン当たりの培地重量は、ナメコビンが340g、大型ビンは470g程度。

なお、本項に特段記載のない内容は2.2(2)と同様とした（以下同様）。

(4) 接種

MNC培地⁹⁾上で培養した菌糸体を接種源として、1ビン当たりナメコビンは7個、大型ビンは10個の切片を接種した。

(5) 培養・覆土・発生処理

接種後23℃に設定した培養室にて62日間暗黒培養し、概ね全ての培地で容器全面に菌糸体が蔓延したところでピートモスを覆土し、その後さらに7日間培養を継続した後、発生処理を行った。

3.3 結果と考察

覆土の際に菌糸体の蔓延状況を観察したところ、ナメコビンは3菌株全てフィルター有区のほうがフィルター無区に比べ蔓延が早く、ほぼ全てのビンで容器全面に菌糸体が蔓延していた。フィルター無区は、7～9分程度菌糸体が蔓延していた。大型ビンは、3菌株全てビン全体に菌糸体が蔓延していた。

子実体発生量等調査結果を表-6に示した。SJ201とSW002のナメコビンは、フィルター有区において子実体が発生したが、フィルター無区では発生は確認できなかった。大型ビンはSW002のみで子実体が発生した。SW002のナメコビンのフィルター有区と大型ビンの子実体発生状況を比較すると、大型ビンは、個数、生重量が多く、最初の子実体収穫に要した日数も短いなど、優れた発生特性を示していた。

以上より、ホンシメジ菌床栽培にナメコビンを使用する場合は、菌糸体の蔓延が早い傾向が見られたフィルター付きの蓋を使用したほうが良いと考えられた。子実体発生特性は、ナメコビンより大型ビンのほうが優れている可能性が示唆された。

4 大型ビンを用いた培養期間別栽培試験及び子実体形成能確認試験

4.1 目的

大型ビンに適した培地の充填量、培養期間及びこれまで十分な検討を行っていない蓋の種別について調査するための栽培試験を行った。

表-6 ナメコビン及び大型ビンを用いた栽培試験子実体発生量等調査結果

菌株名	ビン	蓋 ^{*1}	供試数	発生培地数 ^{*2}	個数(個) ^{*3}	生重量(g) ^{*3}	個体重(g)	一番収穫日数(日) ^{*4}
SJ201	ナメコ	F	3	1	1.0	17.4	17.4	78
		C	3	—	—	—	—	—
SW001	ナメコ	F	5	—	—	—	—	—
		C	5	—	—	—	—	—
	大型	F	3	—	—	—	—	—
SW002	ナメコ	F	5	2	1.5	16.9	11.3	71
		C	5	—	—	—	—	—
	大型	F	3	2	2.0	20.0	10.0	56

*1 F：フィルター有り，C：フィルター無し。*2 子実体が発生した培地数。*3 子実体が発生した培地の平均値。*4 発生処理後、最初の子実体収穫に要した日数の平均値。

また、当所保有菌株において、子実体発生実績が無いものや、新たに入手した菌株の子実体形成能確認試験を併せて実施した。

4.2 試験方法

(1) 栽培容器

大型ビンを使用し、蓋はフィルター有り（フィルター有区）とフィルター無し（フィルター無区）の2種類。

(2) 菌株

子実体発生実績のある3菌株を含む11菌株を使用した（表-1 栽培試験区分Ⅲ）。

(3) 培地

麦培地とし、容器の半分程度の高さまで詰めた区（半分区）と容器の肩口より少し下の高さまで詰めた区（8分区）を設けた。詰重は前者が約550g、後者が約750g。なお、8分区は、子実体発生実績のある2菌株を含む3菌株のみで作製した。培地表面に1cm×1cm、長さ11cm程度の木製棒を4本挿した。

(4) 接種

種菌には、MNC培地⁹⁾上で保存されていた菌糸体を、予め麦培地を用いて次項の条件下で50日間培養したものを用いた。木製棒を抜き取った穴や培地表面に1ビン当たり約6g接種した。

(5) 培養・覆土・発生処理

接種後22℃に設定した培養室にて暗黒培養した。培養45、62、121日目に菌糸体の蔓延状況を調査し、62日目以降で容器全面に菌糸体が蔓延したビンの一部に覆土を行い、その後さらに6日又は7日間培養を継続した後、発生処理を行った。なお、培養期間は菌糸体の蔓延状況を考慮し70、129、191日の全部で3区分設けた。

4.3 結果と考察

菌糸体蔓延状況調査結果を表-7に示した。半分区で最も菌糸体が早く蔓延したのはSW002、HG203、SW002R4Uのフィルター有区で、培養45日目には容器全面（100%）に菌糸体が蔓延した。なお、SW002は8分区のフィルター有区においても半分区と同様の菌糸体蔓延状況であった。半分区、8分区ともにフィルター有区のほうがフィルター無区に比べ菌糸体の蔓延が早く、特に培養62日目までは両区間の菌糸体の蔓延率に半分区は30%、8分区は40%程度の大きな差が見られた。

次に、子実体発生量等調査結果を表-8に示した。子実体が発生した菌株は、半分区ではSW001、SW008の2株、8分区はSW001、SW001R4Uの2株で、全て

表-7 培養期間別栽培試験菌糸体蔓延率
（上：半分区、下：8分区）

菌株名	蓋 ^{*1}	培地数	蔓延率(%) ^{*2}		
			45日目	62日目	121日目
SW001	F	5	70	90	100
	C	3	30	30	80
SW002	F	5	100	100	100
	C	4	80	95	100
SW005	F	5	80	100	100
	C	4	50	65	85
SW006	F	5	90	100	100
	C	4	60	70	85
SW007	F	5	70	90	100
	C	4	60	65	85
SW008	F	5	90	100	100
	C	4	50	55	75
HG201	F	5	90	100	100
	C	4	50	65	85
HG203	F	5	100	100	100
	C	4	80	80	100
TK001	F	5	60	80	100
	C	4	40	60	90
SW001R4U	F	5	50	50	100
	C	3	20	20	85
SW002R4U	F	5	100	100	100
	C	4	80	100	100
計・平均	F	55	82	92	100
	C	42	55	64	88

菌株名	蓋 ^{*1}	培地数	蔓延率(%) ^{*2}		
			45日目	62日目	121日目
SW001	F	5	80	90	100
	C	4	40	40	65
SW002	F	5	100	100	100
	C	4	60	85	100
SW001R4U	F	5	80	90	100
	C	4	40	40	65
計・平均	F	15	87	93	100
	C	12	47	55	77

*1 F：フィルター有り，C：フィルター無し。*2 調査区全部の平均値。

フィルター有区であった。なお、SW008とSW001R4Uは本試験で新たに子実体発生を確認した。培養期間別では、半分区のフィルター有区では設定していない191日を除き、70日と129日を比較すると、129日のほうが70日より発生培地数、生重量が多く、また最初の子実体収穫に要した日数も短いなど優れた発生特性を示していた。8分区は培養129日と191日で子実体発生が確認されたが、半分区と同じく129日のほうが191日より発生培地数、生重量多かった。次にSW001の培養129日の半分区と8分区を比較すると、8分区のほうが生重量多く、子実体が大型化する傾向が見られた。な

表-8 培養期間別栽培試験子実体発生量等調査結果 (上: 半分区, 下: 8 分区)

(半分区)																		
菌株名	蓋 ^{*1}	供試数	培養70日					培養129日					培養191日					培地数 合計
			培地数 ^{*2}	個数 ^{*3}	生重量 ^(g) ^{*3}	個体重 ^(g)	一番收穫日数 ^(日) ^{*4}	培地数	個数	生重量 ^(g)	個体重 ^(g)	一番收穫日数 ^(日)	培地数	個数	生重量 ^(g)	個体重 ^(g)	一番收穫日数 ^(日)	
SW001	F	5						4/5	18.5	97.5	5.3	21						4/5
	C	3											0/3	-	-	-	-	0/3
SW002	F	5	0/2	-	-	-	-	0/3	-	-	-	-						0/5
	C	4						0/4	-	-	-	-						0/4
SW005	F	5	0/2	-	-	-	-	0/3	-	-	-	-						0/5
	C	4											0/4	-	-	-	-	0/4
SW006	F	5	0/2	-	-	-	-	0/3	-	-	-	-						0/5
	C	4											0/4	-	-	-	-	0/4
SW007	F	5						0/5	-	-	-	-						0/5
	C	3											0/3	-	-	-	-	0/3
SW008	F	5	1/2	2	5	2.5	48	3/3	17.0	42.7	2.5	25						4/5
	C	4						0/1					0/3	-	-	-	-	0/4
HG201	F	5	0/2	-	-	-	-	0/3	-	-	-	-						0/5
	C	4											0/4	-	-	-	-	0/4
HG203	F	5	0/2	-	-	-	-	0/3	-	-	-	-						0/5
	C	4						0/4	-	-	-	-						0/4
TK001	F	5						0/5	-	-	-	-						0/5
	C	4											0/4	-	-	-	-	0/4
SW001R4U	F	5						0/5	-	-	-	-						0/5
	C	3											0/3	-	-	-	-	0/3
SW002R4U	F	5	0/2	-	-	-	-	0/3	-	-	-	-						0/5
	C	4	0/2	-	-	-	-	0/2	-	-	-	-						0/4
合計	F	55	1/14					7/41										8/55
	C	41	0/2					0/11					0/28					0/41

(8分区)																		
菌株名	蓋 ^{*1}	供試数	培養70日					培養129日					培養191日					培地数 合計
			培地数 ^{*2}	個数 ^{*3}	生重量 ^(g) ^{*3}	個体重 ^(g)	一番收穫日数 ^(日) ^{*4}	培地数	個数	生重量 ^(g)	個体重 ^(g)	一番收穫日数 ^(日)	培地数	個数	生重量 ^(g)	個体重 ^(g)	一番收穫日数 ^(日)	
SW001	F	5						3/3	19	146	7.7	21	1/2	25	96	3.8	22	4/5
	C	4											0/4	-	-	-	-	0/4
SW002	F	5	0/2	-	-	-	-	0/3	-	-	-	-						0/5
	C	4						0/2	-	-	-	-	0/2	-	-	-	-	0/4
SW001R4U	F	5						3/3	16	96	6.0	23	0/2	-	-	-	-	3/5
	C	4											0/4	-	-	-	-	0/4
合計	F	15	0/2					6/9					1/4					7/15
	C	12						0/2					0/10					0/12

*1 F: フィルター有り, C: フィルター無し。*2 分母は発生処理培地数。分子は子実体発生培地数。*3 子実体が発生した培地の平均値。*4 発生処理後、最初の子実体収穫に要した日数の平均値。

お、半分区は子実体収穫の際、ビンの内側に手を入れる必要があり、8 分区に比べ収穫時の作業性は良くなかった。

以上より、当所が保有するホンシメジ菌株を使って大型ビンで栽培する場合は、フィルター付きの蓋を使用し、容器の 8 分程度の高さまで培地を詰めて、129 日程度培養することが適していることが示唆された。

5 大型ビンによる広葉樹チップを用いた栽培試験及び子実体形成能確認試験

5.1 目的

長谷川ら¹⁰⁾は大型ビンを用いたホンシメジ菌床栽培において、広葉樹チップ（以下「チップ」）を使うことで収量が増加することを報告している。

そこで、培地にチップを用いた栽培試験を行った。

また、当所保有菌株において、子実体発生実績が無いものや、新たに入手した菌株の子実体形成能確認試験を併せて実施した。

5.2 試験方法

(1) 栽培容器

大型ビンを用いて、蓋はフィルター有りとした。

(2) 菌株

子実体発生実績のある 6 菌株を含む 13 菌株を使用（表-1 栽培試験区分Ⅳ）。

(3) 培地

培地基材としてチップ：大麦（押麦）：フスマ＝10：4：1（容積比）を用いた。チップの大きさは 5～10 mm 角で厚さが 1.0～1.5 mm 程度で、一晚水道水に浸漬し、十分吸水させたものを使用。押麦も水道水に浸るように一晚吸水させた。翌日チップ、押麦及びフスマを混合し、そこに含水率が 57% となるよう水道水を加えた。作製した培地を容器の 8 分程度の高さまで詰め、培地表面を軽く転圧し、1 cm×1 cm、長さ 11 cm 程度の木製棒を 5 本挿した。1 ビン当たりの培地重量は 800g。蓋を被せた後、高圧蒸気殺菌釜にて殺菌（120℃）、十分放冷した後、菌株の接種に用いた。なお、殺菌時間は長谷川ら¹⁰⁾同様に 120 分間とした。

(4) 接種

MNC培地⁹⁾上で培養した菌糸体を接種源として、1ビン当たり13個程度の切片を接種。

(5) 培養

接種後22℃に設定した培養室にて暗黒培養し、容器全面に菌糸体が蔓延したビンを、光照射（蛍光灯：連続24時間）下でさらに20日又は21日間培養。光照射期間を含む培養期間は、119、140、160、181、243日の全5区分とした。なお、243日の光照射は62日とし、一部は光照射を全く行わなかった。

(6) 発生処理（覆土）

培養終了後、蓋を取り外し、ビン3分の2ほど溜まるよう水道水を入れた後、前日から水道水に一晩浸し十分吸水させた鹿沼土（中粒）を培地表面に厚さ2cm程度覆土した。その後、室温13～16℃、湿度90%以上の発生室に移し、子実体の傘が開いた段階で収穫し、ビン毎に個数・生重量を測定した。

5.3 結果と考察

供試した13菌株中、子実体が発生したのは5菌株で、いずれもこれまでに子実体発生実績のある菌株とその再分離株であった（表-9）。子実体生重量の平均値が最も大きかったのはSW001の83.3gで培地重量の1割程度であった。5菌株の本数の平均値は2～4本程度と少なかったものの、個体重は平均20gを超え比較的大型であった（写真-2）。最も個体重が大きかった菌株は、SW001の33.3gであった。

次に表-10に子実体発生が有ったグループと無かったグループ別に、菌株毎の平均培養日数等を示した。平均値のグループ間差はほとんど見られなかったものの、各グループ内での菌株間差は大きかった。なお、子実体発生培地の割合が83%と最も高かったSW002の培養日数は130日であり比較的短かった。

以上より、当所保有菌株の中で、チップを培地基材に用いた大型ビン栽培において、子実体発生適

表-9 広葉樹チップを用いた栽培試験子実体発生量等調査結果（※子実体発生菌株のみ）

菌株名 (供試数)	培養日数 [*] 1	発生処理 培地数	子実体発生 培地数	発生培地率 [*] 2 (%)	子実体発生（発生培地当たり）			一番収穫 日数 [*] 3
					本数	生重量 (g)	個体重 (g)	
HG201 (8)	119							
	140							
	160	1	0	0				
	181	3	2	67	2	29.5	14.8	33.0
	243	4	2	50	2.5	79.5	31.8	26.0
	243暗							
	計・平均	8	4	50	2.3	54.5	24.2	29.5
SJ201 (8)	119							
	140							
	160	8	1	13	3	61.0	20.3	36.0
	181							
	243							
	243暗							
SW001 (12)	計・平均	8	1	13	3.0	61.0	20.3	36
	119	3	3	100	2.3	75.7	32.4	29.7
	140	6	1	17	3.0	106.0	35.3	31.0
	160	3	0	0				
	181							
	243							
SW002 (12)	243暗							
	計・平均	12	4	33	2.5	83.3	33.3	30
	119	6	6	100	2.7	28.8	10.8	53.3
	140	6	4	67	5.8	44.5	7.7	48.3
	160							
	181							
HG201SB (12)	243							
	243暗							
	計・平均	12	10	83	3.9	35.1	9.0	51.3
	119							
	140							
	160							
HG201SB (12)	181	3	1	33	6	94.0	15.7	33.0
	243	4	0	0				
	243暗	2	1	50	1	21.0	21.0	43.0
	計・平均	9	2	17	3.5	57.5	16.4	38

*1 243暗は光照射なし。*2 供試培地数に対する子実体発生培地数の割合。*3 発生処理日から最初に子実体の収穫があった日数の平均。



写真-2 広葉樹チップを用いた培地からの発生
(SW001, 119 日培養)

表-10 広葉樹チップを用いた栽培試験平均培養日数
(上：子実体発生有り，下：子実体発生無し)

菌株名	供試数	発生処理培地数	発生培地数 (割合)	培養日数
HG201	8	8	4 (50)	209
SJ201	8	8	1 (13)	160
SW001	12	12	4 (33)	140
SW002	12	12	10 (83)	130
HG201SB*	12	9	2 (22)	222
平均				172
菌株名	供試数	発生処理培地数	発生培地数	培養日数
AT2155	4	4	0	212
MA201	4	4	0	171
SW003*	12	2	0	243
SW004*	12	4	0	243
SW005	12	12	0	130
SW006	3	3	0	119
SW007	3	3	0	119
HG202	4	4	0	186
平均				178

*培養中のコンタミ及び菌糸体が容器全面にまわらなかったことにより
全て発生処理できなかった菌株。

性のある 5 菌株を確認した。いずれも子実体発生実績を有する菌株であったことから、これらの菌株は、子実体の発生しやすい性質を持っていると考えられた。中でも SW001 と SW002 は発生特性が優れた性質を持った菌株であることが推察された。また、チップを使用すると発生本数が減少し、個体重が大きくなることが示唆された。

6 総合考察

本研究では、ホンシメジ菌床栽培における栽培容器や培地組成など栽培方法に関することと、当所の保有する菌株の栽培適性について検討した。

栽培容器は、大型ビンを使うことで、個数、生重量が多く、最初の子実体収穫に要する日数が短縮されるなど、優れた発生特性が得られることが示

唆された。蓋は、フィルター付きのほうが菌糸体の蔓延も早く、子実体発生の可能性も高くなることが推察された。なお、菌糸体の蔓延が早くても、子実体発生が確認できないケースもあり、菌株毎に適した培養期間を検討することが重要と考えられた。

大型ビンを使用し、広葉樹チップを用いた培地は、商品価値が高いと考えられる、個体重の大きな子実体の発生が複数の菌株で確認されたことから、今後更なる検討を進めていきたいと考えている。なお、トウモロコシを用いた培地は、本研究に用いた菌株の栽培には適さないと考えられた。

本研究において新たに栽培試験を実施した 13 菌株のうち、子実体発生が確認されたのは 3 菌株のみであった。内 2 菌株は子実体発生実績のある菌株由来の子実体からの分離株であった。収集した野生株の内、子実体の形成される菌株が見つかる確率 (1/10) は古川ら⁶⁾同様比較的低い結果となった。また、子実体発生実績を有する菌株において、子実体形成が確認できない菌株があった。菌株の経年劣化等も考えられるが、原因はよく分かっておらず、菌株の維持管理方法等に課題が残った。今後は、本研究において子実体発生の適性が高いと考えられた菌株を中心に栽培試験を継続しつつ、菌株収集により、栽培適性を持った新たな菌株を探索していくことが重要と考えられた。

7 結言

中小規模生産者が多い、本県のきのこ産業を取り巻く情勢は大変厳しい状況が続いている。新たな栽培品目によるきのこ生産は、本県きのこ産業の活性化に繋がると期待されている。本研究では、全国的に生産量が非常に少なく、県内で商業生産されていないホンシメジの菌床栽培技術の開発に取り組んだ。本県産の菌株等に適した栽培技術を検討するとともに、新たな菌株の収集・栽培試験を実施し、一定の成果を得ることが出来た。今後は、栽培技術をより早く確立するために、課題解決に向けた試験研究のさらなる加速化が必要と考えている。

8 引用文献

- 1) 山中高史 (2015), マツタケなど菌根性きのこ類の人工栽培に向けた研究, Microb. Resour. Syst. 31 (2), 167-174
- 2) 河合昌孝 (1997), ホンシメジ培養菌糸体のアカ

マツ林地埋設によるシロおよび菌根形成，奈良県
林試研報No.27，8-12

3) 藤田 徹・中村善剛・上家 祐(1998)，ホンシメ
ジ林地栽培試験(Ⅰ)－子実体形成試験－，森林応
用研究 7，101-104

4) Ohta Akira (1994)，Some cultural
characteristics of mycelia of a mycorrhizal
fungus, *Lyophyllum shimeji*, Mycoscience
35, 83-87

5) 太田 明(1998)，ホンシメジの実用栽培のため
の栽培条件，日菌報 39，13-20

6) 古川 仁・片桐一弘(2020)，ホンシメジ等の菌
床栽培技術の開発，長野県林業総合センター研究
報告第 34 号，65-79

7) タカラアグリ株式会社(2000)，ホンシメジの人
工栽培方法，公開特許公報 (A)，特開 2000-106752

8) 太田 明(2005)，ホンシメジの実用栽培のため
の栽培条件，菌根性きのこの安定生産技術の開発
(林野庁)，67-68

9) 山田明義(2001)，菌類の採集・検出と分離：外生
菌根菌(Ⅲ)分離培養法ならびに釣菌法，日菌報 42，
177-187

10) 長谷川孝則・斎藤善夫(2022)，ほんしめじ「福
島 H106 号」栽培用培地の検討，福島県林業研究セ
ンター研究報告第 54 号，1-14

11) 片桐一弘・古川 仁・増野和彦(2021)，ホンシ
メジ等の菌床栽培技術の開発，令和 2 年度長野県
林業総合センター業務報告，56-57

味認識装置を用いた味分析による日本産ナメコの「味」の見える化

研究期間：令和3年度～5年度

増野和彦・古川 仁

美味しいナメコの生産技術開発のために、味認識装置による味分析を活用して以下の成果を得た。①北海道から九州までの全国のブナ林で収集したナメコ野生株について栽培試験を行い、得られた子実体の味分析結果を図示して、優良育種素材を5系統選抜した。②栽培試験によって把握したナメコ野生株の栽培特性に基づき、生産効率から優良育種素材を4系統選抜した。③味分析による優良育種素材と生産効率による優良育種素材の両者に選抜されたナメコ野生株1系統を、生産効率と美味しさを合わせ持つ菌株として選定した。④ナメコ野生株の味分析による数値を用いて主成分分析を行い、得られた主成分得点の散布図を作成して、野生株の味の特徴を解析した。⑤美味しいナメコを採取するために適した日本国内の地域について、味分析結果から考察し味の地域間差を把握した。

キーワード：ナメコ, 味認識装置, 菌床栽培, 野生株, 主成分分析

1 緒言

産地間競争の激化によりきのこの販売単価は下落し、中小規模生産者の経営は厳しい。生産者所得を向上させて、きのこ生産を山村地域の産業として維持・発展させるためには、きのこの需要拡大と高付加価値化が必要である。

これまで、きのこ栽培技術の開発は収量の向上や栽培期間の短縮化等の生産性向上を主な目的としていた。しかし、地域ごとに特色のあるきのこ生産と消費拡大のためには、効率性一辺倒を見直して、あまり重視されてこなかった「美味しいきのこ生産」を目指した技術開発が必要と考えた。そこで、味を切り口としてナメコの品種及び栽培技術を改良することを目標として取り組んでいる。

この目標に向けて、ナメコの味の数値評価に対する味認識装置による味分析の有効性を確認した上で、味分析結果の評価基準を策定し、この基準に基づいて、ナメコを美味しく食するための栽培技術及び流通・保存技術の改良に取り組んできた¹⁾²⁾。

これまでの成果を踏まえ、本研究では文科省科学研究費助成事業（基盤基礎（C）・課題番号：21K05721:令和3年度～令和5年度）の補助を得て、味分析による数値評価によってナメコの味を「見える化」し、日本国内において収集したナメコ野生株について、優良育種素材の選抜、味の特性解明、並びに美味しいナメコの菌株採取に適した地域の選定を図った。

2 研究の方法

2.1 美味しいナメコの優良育種素材の選抜

2.1.1 野生株の栽培試験

長野県林業総合センターにおいて保存（継代培養）しているナメコ野生株292系統から採集地域が全国的に分散するように59系統を供試菌株として選定した（表-1）。選定した菌株について菌床栽培試験を行い、栽培特性を調査するとともに、得られた子実体を味分析に供した。対照品種は、現在最も利用されている市販品種（キノックス KX-N008, 以下 N008）とし、栽培で得られた子実体を野生株と同様に味分析に供した。

選定したナメコ野生株の採集県（ ）内菌株数；北海道（9）、青森県（3）、岩手県（3）、秋田県（4）、山形県（7）、福島県（3）、新潟県（7）、富山県（2）、石川県（3）、福井県（3）、長野県（4）、京都府（2）、奈良県（1）、鳥取県（1）、高知県（3）、宮崎県（4）の16道府県。

接種源の前培養；プラスチック製の直径90mm滅菌シャーレに各25mLずつ分注した極東製薬製PDA（ポテト・デキストロース・寒天）培地において、20℃で14日間二核菌糸体を培養。栽培培地組成；ブナおが粉：フスマ=10：2（容積比）、含水率65%。容器；ポリプロピレン製800mL広口ビン（口径77mm）。接種；寒天培地ごと直径10mmのコルクボーラーで打ち抜いた前培養菌糸体の切片を、1ビン当たり4か所。供試数；1系統3本。培養；20℃75日間、発生；14℃、超音波加湿機で湿度90%以上。収穫調査；収穫は子実体の傘の膜切れ前に、茎をハ

サミで菌床面の高さで切って行い、個数、収量（生重量）を測定、発生処理後一番収穫が得られるまでの所要日数（以下、一番収穫所要日数）を調査、発生処理後 100 日間実施。収穫子実体； -60℃で凍

結後、分析を外注した一般社団法人長野県農村工業研究所（以下、農工研）へ送付。

表-1 供試ナメコ野生株菌株リスト(優良育種素材の選抜)

番号	採集日	採集県	採集地・市町村名	保存種名	慣用名称
1	2018/10/30	石川県	白山市	ナメコ	白山ナメコ B-2
2	2018/10/23	石川県	白山市	ナメコ	白山ナメコ C-1
3	2018/10/30	石川県	白山市	ナメコ	白山ナメコ B-1
4	2017/11/11	新潟県	村上市	ナメコ	村上ナメコ A-2
5	2017/11/11	新潟県	村上市	ナメコ	村上ナメコ A-1
6	2016/11/4	青森県	むつ市	ナメコ	薬研ナメコ B-5-1
7	2016/11/4	青森県	むつ市	ナメコ	薬研ナメコ B-10-1
8	2014/11/15	宮崎県	椎葉村	ナメコ	向坂山ナメコ A-1-2
9	2014/11/15	宮崎県	椎葉村	ナメコ	向坂山ナメコ A-1-3
10	2014/11/15	宮崎県	椎葉村	ナメコ	向坂山ナメコ A-1-4
11	2014/11/15	宮崎県	椎葉村	ナメコ	向坂山ナメコ A-1-5
12	2011/10/28	青森県	むつ市	ナメコ	むつ市ナメコ A-6-3
13	2010/11/2	岩手県	八幡平市	ナメコ	松川ナメコ A-1
14	2010/11/2	岩手県	八幡平市	ナメコ	松川ナメコ A-4
15	2010/11/2	岩手県	八幡平市	ナメコ	松川ナメコ B-3-2
16	2009/10/15	北海道	島牧村	ナメコ	島牧村ナメコ A-2
17	2009/10/15	北海道	島牧村	ナメコ	島牧村ナメコ B-2
18	2009/10/15	北海道	島牧村	ナメコ	島牧村ナメコ C-13
19	2006/11/1	新潟県	胎内市	ナメコ	胎内ナメコ B-3-2
20	2006/11/1	新潟県	胎内市	ナメコ	胎内ナメコ C-3-2
21	2000/10/18	長野県	栄村	ナメコ	切明ナメコ A-3-1
22	2000/10/18	長野県	栄村	ナメコ	切明ナメコ A-3-2
23	2000/10/18	長野県	栄村	ナメコ	切明ナメコ A-3-3
24	2000/10/18	長野県	栄村	ナメコ	切明ナメコ A-1
25	1999/10/29	山形県	月山	ナメコ	月山ナメコ A-13
26	1999/10/29	山形県	月山	ナメコ	月山ナメコ A-16
27	1999/10/29	山形県	月山	ナメコ	月山ナメコ A-26
28	1999/10/29	山形県	月山	ナメコ	月山ナメコ A-32
29	1999/10/29	山形県	月山	ナメコ	月山ナメコ C-1
30	1998/11/11	新潟県	相川町	ナメコ	佐渡ナメコ B-1
31	1998/11/11	新潟県	佐和田町	ナメコ	佐渡ナメコ C-1
32	1998/10/15	北海道	渡島半島	ナメコ	神威山下ナメコ 12
33	1998/10/15	北海道	渡島半島	ナメコ	カモイナメコ 4
34	1998/10/15	北海道	渡島半島	ナメコ	イタヤカエデナメコ 7
35	1998/10/15	北海道	渡島半島	ナメコ	狩場山下ナメコ 21
36	1998/10/15	北海道	渡島半島	ナメコ	狩場山下ナメコ 25
37	1998/10/8	北海道	渡島半島	ナメコ	泊ナメコ黒松内 1-1
38	1997/10/30	高知県	本川村・石鎚山	ナメコ	金山谷ナメコ 7
39	1997/10/30	高知県	本川村・石鎚山	ナメコ	金山谷ナメコ 8
40	1997/10/30	高知県	本川村・石鎚山	ナメコ	金山谷ナメコ 11
41	1996/10/6	鳥取県	大山寺町	ナメコ	大山ナメコ 1-2
42	1995/11/8	富山県	平村	ナメコ	平村ナメコ 1
43	1995/11/8	富山県	平村	ナメコ	平村ナメコ 4
44	1994/11/1	秋田県	鳥海町	ナメコ	秋田ナメコ 8-2
45	1994/11/1	秋田県	鳥海町	ナメコ	秋田ナメコ 8-4
46	1994/11/1	秋田県	鳥海町	ナメコ	秋田ナメコ 12-1
47	1994/11/1	秋田県	鳥海町	ナメコ	秋田ナメコ 12-2
48	1994/10/6	山形県	朝日村	ナメコ	朝日ナメコ 1
49	1994/10/6	山形県	朝日村	ナメコ	朝日ナメコ 2
50	1993/10/26	福井県	和泉村	ナメコ	和泉村ナメコ 2-①孢子
51	1993/10/26	福井県	和泉村	ナメコ	和泉村ナメコ 3
52	1993/10/26	福井県	和泉村	ナメコ	和泉村ナメコ 6
53	不明	福島県	南会津町	ナメコ	助木生ナメコ 1(3)ミズメ
54	不明	福島県	南会津町	ナメコ	助木生ナメコ 4(4)
55	不明	福島県	南会津町	ナメコ	助木生ナメコ 5-1(3)
56	2005/11/9	京都府	美山町芦生	ナメコ	芦生ナメコ 1-4
57	2005/11/9	京都府	美山町芦生	ナメコ	芦生ナメコ 1-5
58	1998/11/18	奈良県	天川村・弥山	ナメコ	弥山ナメコ D 柄
59	2006/11/1	新潟県	胎内市	ナメコ	胎内ナメコ B-3-1

2.1.2 味認識装置による味分析

農工研保有「味認識装置 TS-5000Z」（株式会社インテリジェントセンサーテクノロジー製）を用いた。試料は、凍結乾燥子実体2gに蒸留水を200mL加え、湯浴中で15分熱水抽出後、粉碎器により粉碎後ろ過し、ろ液を味分析に供した。測定は4回行って最初の1回を除いた3回の測定結果の平均値を各センサーの測定値とした。さらに、センサー測定値を換算し、それぞれの味の度合いとして表した。なお、味覚センサーは、塩味、酸味、甘味、苦味、うま味、渋味に応答する6種類があり、さらに1つのセンサーから「先味」と「後味」の2種類の情報を感知することができる。先味は食べたときに感じる味、後味は食べ物を飲み込んだあとに口の中に残る味に相当する。これらの味の有無は、得られた測定値から装置が自動的に有意差を判定する機構となっている。

2.2 美味しいナメコ菌株の採取地域の検討

2.2.1 野生株の栽培

美味しいナメコの菌株を効率的に採集するために、味分析によるナメコの味の地域間差について検討した。また、特に長野県内収集株と他県収集株との味分析結果の比較を試みた。全国のブナ林を中心にナメコの遺伝資源収集を行ってきたが、確率的に長野県内で全国と同等に優良な遺伝資源を得ることができるのであれば、他県で収集することなく研究を効率的に進めることができるためである。

供試菌株；長野県林業総合センター保存（継代培養）のナメコ野生株から、長野県内及び近隣県の6地域のブナ林内で収集した29系統を新たに選定した（表-2）。対照品種はN008とした。栽培試験；対照品種及び選定した菌株について菌床栽培試験を行い、得られた子実体を味分析に供した。栽培条件、収穫子実体の処理方法は、2.1.1 野生株の栽培試験に示した方法と同様である。

表-2 供試菌株リスト（美味しいナメコ菌株の採取地域）

項目 内番 号	通算 番号	採集日	採集県	採集地・市町村名	保存種 名	慣用名称
1	60	2019/10/31	富山県	富山市	ナメコ	有峰ナメコ A-6
2	61	2019/10/31	富山県	富山市	ナメコ	有峰ナメコ A-7
3	62	2019/10/31	富山県	富山市	ナメコ	有峰ナメコ B-1
4	63	2019/10/31	富山県	富山市	ナメコ	有峰ナメコ B-2
5	64	2019/10/31	富山県	富山市	ナメコ	有峰ナメコ C-1
6	65	2019/10/31	富山県	富山市	ナメコ	有峰ナメコ D-1
7	66	2018/10/30	石川県	白山市	ナメコ	白山ナメコ A-1-2
8	67	2019/10/30	石川県	白山市	ナメコ	白山ナメコ F-1
9	68	2018/10/30	石川県	白山市	ナメコ	白山ナメコ E-1
10	69	2021/10/30	長野県	小谷村	ナメコ	小谷ナメコ A-3
11	70	2021/10/30	長野県	小谷村	ナメコ	小谷ナメコ A-5
12	71	2021/10/30	長野県	小谷村	ナメコ	小谷ナメコ B-4
13	72	2021/10/30	長野県	小谷村	ナメコ	小谷ナメコ C-1
14	73	不明	長野県	木島平村・牧ノ入	ナメコ	牧ノ入ナメコ 1
15	74	不明	長野県	木島平村・牧ノ入	ナメコ	牧ノ入ナメコ 2
16	75	不明	長野県	木島平村・牧ノ入	ナメコ	牧ノ入ナメコ 4
17	76	2022/10/21	長野県	木島平村・カヤノ平	ナメコ	カヤノ平ナメコ D-1
18	77	2022/10/21	長野県	木島平村・カヤノ平	ナメコ	カヤノ平ナメコ D-2
19	78	2022/10/21	長野県	木島平村・カヤノ平	ナメコ	カヤノ平ナメコ D-3-1
20	79	2022/10/21	長野県	木島平村・カヤノ平	ナメコ	カヤノ平ナメコ D-3-2
21	80	2022/10/21	長野県	木島平村・カヤノ平	ナメコ	カヤノ平ナメコ D-4
22	81	2022/10/21	長野県	木島平村・カヤノ平	ナメコ	カヤノ平ナメコ D-5
23	82	2022/10/21	長野県	木島平村・カヤノ平	ナメコ	カヤノ平ナメコ D-6
24	83	2022/10/21	長野県	木島平村・カヤノ平	ナメコ	カヤノ平ナメコ D-7
25	84	2022/10/21	長野県	木島平村・カヤノ平	ナメコ	カヤノ平ナメコ D-8
26	85	2022/10/21	長野県	木島平村・カヤノ平	ナメコ	カヤノ平ナメコ D-9
27	86	2022/10/21	長野県	木島平村・カヤノ平	ナメコ	カヤノ平ナメコ D-10
28	87	2022/10/20	長野県	木島平村・スキー場	ナメコ	木島平ナメコ B-1
29	88	2022/10/20	長野県	木島平村・スキー場	ナメコ	木島平ナメコ C-1

2.2.2 味認識装置による味分析

2.1.2 味認識装置による味分析に示した方法と同様である。

3 研究の結果と考察

3.1 美味しいナメコの優良育種素材の選抜

3.1.1 味分析による選抜-美味しいナメコの評価基準に基づく選抜-

対照品種 1 系統及び野生株 59 系統の計 60 系統を栽培試験に供した。その結果, 野生株 59 系統のうち 10 系統は子実体の発生を見ることができなかった。また, 野生株 2 系統については, 子実体の発生は得られたが, サンプル量が極めて少ないため, 味分析の対象からは除外した。したがって, 味分析には対照品種 1 系統及び野生株 47 系統の計 48 系

統を供することとなった。

先行研究²⁾において「旨味値が大きく苦味雑味値が小さいこと」を「美味しいナメコ」の評価基準と定めた。そこで, 47 菌株の旨味値と苦味雑味値について, 対照品種である市販品種 N008 の値を 0 として換算して, 旨味値と苦味雑味値の散布図を作成した (図-1)。

得られた散布図を基に, 旨味値が大きく苦味雑味値が小さい高知県採取の「金山谷ナメコ 7」, 石川県採取の「白山ナメコ C-1」「白山ナメコ B-2」, 新潟県採取の「胎内ナメコ C-3-2」, 鳥取県採取の「大山ナメコ 1-2」の計 5 系統を美味しいナメコの優良素材として選抜した。

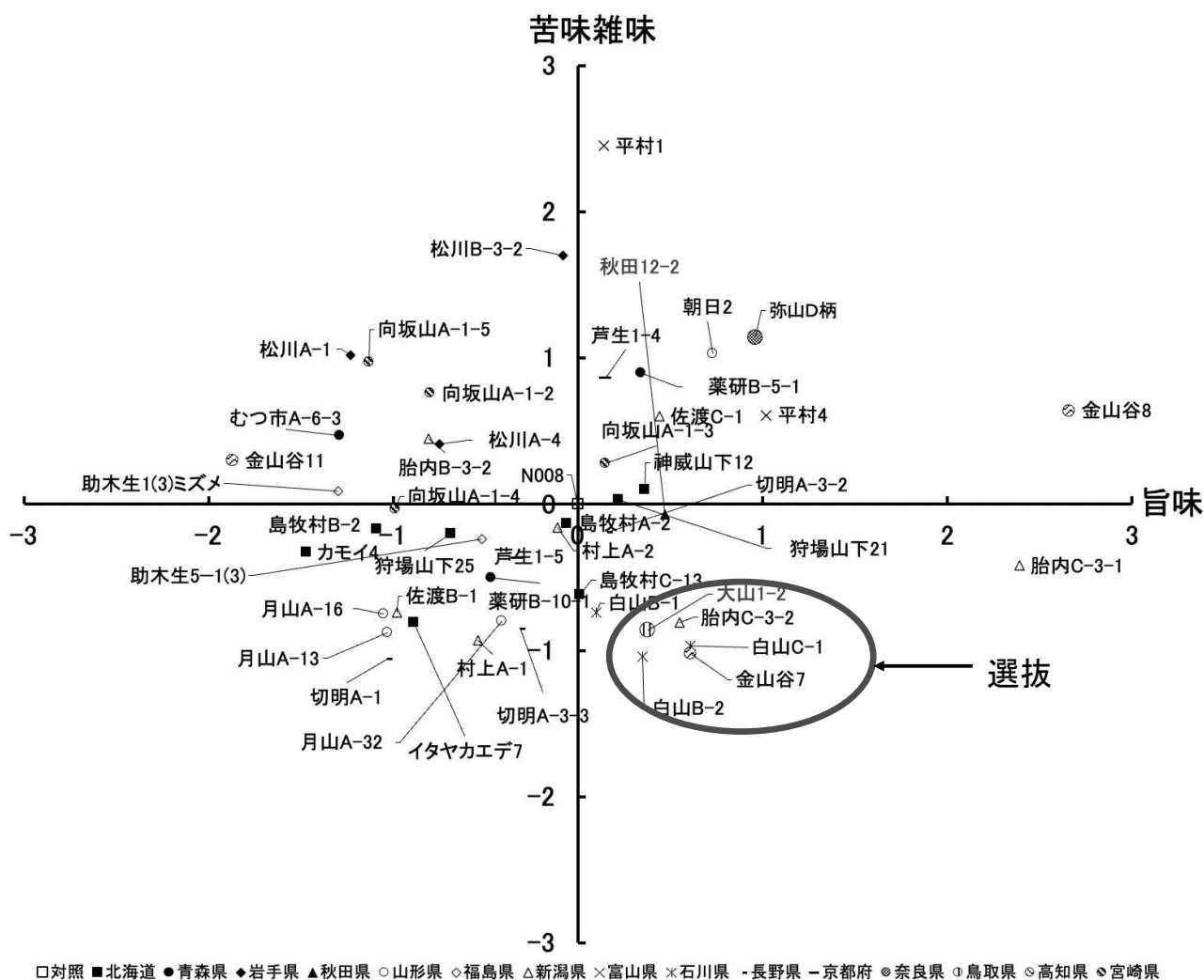


図-1 ナメコ野生株の味分析結果 (市販品種 N008 の分析値を 0 として換算)

3.1.2 生産効率による選抜

栽培試験の結果を表-3及び写真-1に示した。また、栽培試験結果を基に、生産の効率性を示す一番収穫所要日数、早晚生区分、総収量の3つの栽培特性について菌株数による頻度分布表を作成した。なお、収量が少なく味分析に供することのできなかつた2系統についても頻度区分に加えているので、野生株の総数は49系統である。

一番収穫所要日数（発生処理をしてから最初の子実体が収穫されるまでの日数）による菌株数の分布は図-2に示した。

現行の実用品種と同等の20日間以内の菌株は、子実体発生菌株の4.1%に相当する2菌株のみであった。この2菌株は、石川県採取の「白山ナメコC-1」及び北海道採取の「狩場山下ナメコ21」であった。

発生処理後100日間を25日間ずつの4期間に分け、最も収量の多かった期間により早生（0～25日間：A）、中早生（26～50日間：B）、中晩生（51～75日間：C）、晩生（76～100日間：D）に区分した。その菌株数の頻度分布を図-3に示した。

現行の実用品種と同じく、0～25日間に最も収量の多い早生に区分できたのは、子実体発生菌株の4.1%に相当する2菌株のみであった。この2菌株は、石川県採取の「白山ナメコC-1」及び宮崎県採取の「向坂山ナメコA-1-4」であった。

発生処理後100日間で得られた総収量によって、供試菌株をA、B、C、Dの4段階に区分した。各区分の菌株数の頻度分布を図-4に示した。

現行の実用品種と同等の150（g/ビン）以上の菌株は、子実体発生菌株の2.0%に相当する1菌株のみであった。この1菌株は、福島県採取の「助木生ナメコ1（3）ミズメ」であった。

以上の結果、生産の効率性からは「白山ナメコC-

1」「狩場山下ナメコ21」「向坂山ナメコA-1-4」「助木生ナメコ1（3）ミズメ」の計4系統を選抜した。

3.1.3 総合的な選抜

ナメコ野生株について味分析結果及び栽培試験結果による生産効率の両者から総合的な優良育種素材の選抜を図った。表-4に示したとおり、味分析及び生産効率の二つの観点について、共通で選抜された菌株は「白山ナメコC-1」であった。この菌株を栽培の効率性と美味しさを合わせ持つ優良素材として選抜した。なお、「白山ナメコC-1」の栽培試験での発生状況を写真-2に示した。

3.1.4 主成分分析による味の特徴の解析

前述のように、「旨味値が大きく苦味雑味値が小さいこと」を「美味しいナメコ」の評価基準と定めた。これは、食味官能評価によって多くの人から野生ナメコ子実体が美味しいと認識されたため、この野生ナメコ子実体の味分析結果から導いた基準である²⁾。ナメコ子実体を味分析に供すると、多くの場合、旨味値、苦味雑味値、旨味コク値の3つが有意な味として検出される¹⁾²⁾が、美味しいナメコの評価基準では旨味コク値を省いて二次元散布図を作成し、味を「見える化」した。

そこで、旨味コク値も加味したナメコの味と菌株間の特徴の解析を主成分分析の手法で試みた。主成分分析は、多変数を持つデータを集約して少ない要素で特徴を表すことのできる統計解析法であり、味分析が先行的に導入された食品産業で味噌、醤油などの製品特性の解析に用いられている³⁾⁴⁾。

旨味値、苦味雑味値の他に、旨味コク値について主成分分析によって3つの値を総合することで、菌株間の味の特徴の分析を試みた。なお、解析ソフトウェアには株式会社エスミ「Mac 多変量解析 Ver. 3.0」を使用した⁵⁾。

表-3 栽培試験の結果

番号	合計		0-25 日間		26-50 日間		51-75 日間		76-100 日間		一番収穫所要 日数
	個数	収量(g)	個数	収量(g)	個数	収量(g)	個数	収量(g)	個数	収量(g)	
1	143.7	116.0	30.3	25.3	105.0	73.0	4.3	9.3	4.0	8.3	26.3
2	150.7	134.7	56.0	61.7	78.7	57.3	15.0	13.0	1.0	2.7	19.7
3	105.7	99.0	23.3	17.0	21.3	24.7	39.7	31.7	21.3	25.7	24.0
4	152.0	131.7	30.0	31.3	76.7	50.0	35.0	32.0	10.3	18.3	22.3
5	151.3	100.0	0.0	0.0	29.7	32.7	101.3	49.7	20.3	17.7	34.0
6	78.0	108.7	3.3	10.3	38.3	60.7	28.0	26.0	8.3	11.7	29.0
7	184.0	103.7	21.0	21.3	33.7	25.0	75.7	32.3	53.7	25.0	23.0
8	49.0	57.7	0	0	29.7	44.0	17.7	11.0	1.7	2.7	34.0
9	88.7	73.0	29.0	19.3	48.3	41.7	3.3	5.7	8.0	6.3	31.3
10	98.0	64.7	42.7	33.0	47.0	27.0	8.3	4.7	0.0	0.0	26.7
11	57.3	60.7	0	0	37.0	41.7	7.0	11.7	13.3	7.3	32.7
12	115.7	93.0	0	0	68.7	54.3	31.7	23.3	15.3	15.3	33.0
13	118.7	106.3	0	0	38.7	44.0	47.3	29.0	32.7	33.3	35.3
14	155.7	92.7	0	0	51.7	38.3	59.7	31.3	44.3	23.0	35.3
15	141.7	107.3	0	0	33.3	28.3	42.0	37.3	66.3	41.7	45.0
16	148.0	134.0	0	0	89.3	90.0	38.3	26.7	20.3	17.3	32.0
17	92.0	85.0	0	0	6.0	8.0	39.0	30.3	47.0	46.7	50.7
18	109.0	94.0	0	0	57.3	61.3	22.7	15.7	29.0	17.0	29.0
19	36.0	48.3	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	4.3	33.3	44.0	82.0
20	132.0	87.7	6.0	6.7	48.7	38.3	58.0	30.0	19.3	12.7	27.3
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
22	6.7	17.0	0	0	6.7	17.0	0.0	0.0	0	0	45.0
23	181.0	130.0	0	0	113.7	94.7	44.0	23.0	23.3	12.3	30.7
24	79.0	50.0	0	0	12.7	13.7	57.7	31.7	8.7	4.7	50.0
25	181.7	126.3	0	0	75.3	49.7	69.0	48.0	37.3	28.7	34.7
26	131.3	110.7	0	0	51.0	54.3	55.0	38.7	25.3	17.7	43.3
27	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	56.0
28	207.0	123.3	57.3	32.7	100.0	56.3	40.3	24.3	9.3	10.0	22.0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
30	198.0	138.0	19.0	20.7	97.3	70.0	57.0	34.3	24.7	13.0	21.7
31	56.0	84.0	0	0	35.7	51.7	9.0	18.0	11.3	14.3	26.0
32	204.7	137.0	30.0	29.0	112.7	71.3	35.3	21.3	26.7	15.3	22.7
33	92.3	69.3	0.0	0.0	0.0	0.0	65.7	44.0	26.7	25.3	51.7
34	168.7	123.3	0.0	0.0	73.7	63.0	60.0	37.3	35.0	23.0	34.0
35	179.7	147.0	35.0	52.0	86.0	52.7	61.0	31.0	10.0	11.3	19.7
36	32.3	42.3	0	0	12.0	15.0	13.7	14.3	6.7	13.0	49.0
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
38	125.0	76.3	0.0	0.0	91.7	58.3	0.7	0.7	32.7	17.3	40.0
39	36.7	45.7	0	0	0	0	27.0	30.0	9.7	15.7	55.0
40	78.7	97.7	0	0	29.3	37.3	29.7	34.3	19.7	26.0	46.3
41	94.0	83.3	23.7	20.3	35.0	27.7	3.3	3.7	32.0	31.7	43.0
42	13.7	52.0	0.0	0.0	2.3	1.7	11.3	50.3	0.0	0.0	73.0
43	45.7	49.3	0.0	0.0	0.0	0.0	39.3	42.0	6.3	7.3	57.3
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
46	7.3	15.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3	15.3	90.0
47	172.3	142.0	0	0	92.0	75.3	46.0	39.7	34.3	27.0	29.7
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
49	60.7	86.0	0	0	13.0	22.7	25.3	21.7	22.3	41.7	46.3
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
53	209.3	165.0	0	0	69.7	75.3	99.0	61.3	40.7	28.3	27.7
54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
55	129.3	90.7	0	0	57.7	52.3	38.0	22.3	33.7	16.0	32.3
56	31.7	34.0	0	0	9.0	11.3	12.7	16.0	10.0	6.7	59.0
57	167.3	121.3	0	0	50.3	48.3	84.0	45.0	33.0	28.0	40.0
58	27.0	32.0	0	0	3.7	12.7	6.0	8.0	17.3	11.3	50.0
59	96.0	67.3	0	0	64.3	44.3	31.7	23.0	0.0	0.0	37.0

-;子実体未発生のため数値なし



写真-1 野生株の栽培試験によって発生した子実体(一部の系統)

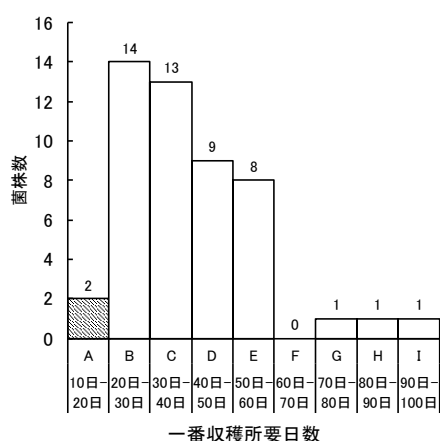


図-2 ナメコ野生株の栽培特性
(一番収穫所要日数)

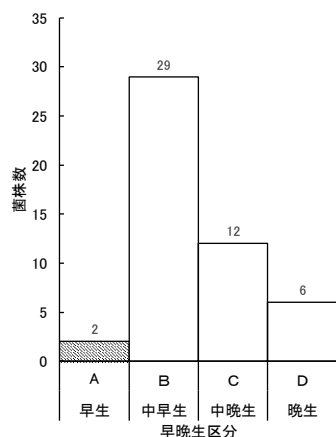


図-3 ナメコ野生株の栽培特性
(早晩生区分)

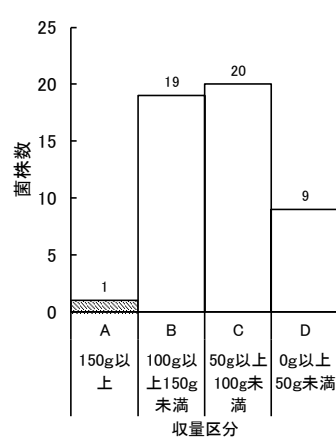


図-4 ナメコ野生株の栽培特性
(1ビン当り総収量)

表-4 総合選抜

味分析による選抜株名	生産効率による選抜株名
胎内ナメコ C-3-2	白山ナメコ C-1
白山ナメコ B-2	狩場山下ナメコ 21
大山ナメコ 1-2	向坂山ナメコ A-1-4
白山ナメコ C-1	助木生ナメコ 1(3) ミズメ
金山谷ナメコ 7	



写真-2 選抜した優良育種素材 (白山ナメコ C-1)

主成分分析で得られた結果のうち、固有値・寄与率・累積寄与率を表-5 に、主成分負荷量を図-5 に、第 1 主成分と第 2 主成分の主成分得点の散布図を図-6 にそれぞれ示した。なお、主成分分析に関する用語の説明を図-6 の脚注に記載している。

第 1 主成分の固有値は 1. 21, 第 2 主成分の固有値は 1. 09 で、それぞれ変数 1 個以上の情報量を有すると認められた。第 1 主成分の寄与率が 40. 26%, 第 2 主成分の寄与率が 36. 40% で、両者で累積寄与率が 76. 66% となっており、元データの 80% 近くの情報量をこの 2 つで表すと解釈できた。

主成分負荷量では、第 1 主成分の旨味コク値と旨味値が+の絶対値が高く苦味雑味値が-になっていること、及び第 2 主成分の苦味雑味値、旨味値が+になり、旨味コク値が-になっていることから、第 1 主成分（横軸）を「コクのある旨味」、第 2 主成分（縦軸）を「クセのある旨味」と位置づけた。

第 1 主成分の値が大きい程、旨味と旨味コク（後味としての旨味）が大きく、第 2 主成分の味が大きい程、旨味と同時に苦味雑味があると考えた。前者は多くの人に受け入れられる旨味があり、後者は必ずしも多くの人に好まれないが特徴のある旨味を示すものと推察した。今回の使用菌株について「多くの人から受け入れられる味を持った菌株」のグループ、「特徴のある味を持った菌株」のグループ 1 と 2 を抽出して図-6 に示した。

「多くの人から受け入れられる味を持った菌株」グループには、市販対照品種の「N008」, 野生株では「島牧村ナメコA-2」「島牧村ナメコC-13」「狩場山下ナメコ21」「薬研ナメコB-10-1」「松川ナメコA-1」「秋田ナメコ12-2」「月山ナメコA-32」「胎内ナメコC-3-2」「白山ナメコB-2」「白山ナメコC-1」「白山ナメコB-1」「切明ナメコA-3-2」「芦生ナメコ1-5」「大山ナメコ1-2」が入った。ここには、美味しいナメコの評価基準で選ばれた 5 系統中 4 系統が入っていた。

「特徴のある味を持った菌株」グループ1には、「薬研ナメコB-5-1」「朝日ナメコ 2」「佐渡ナメコC-1」「平村ナメコ 1」「平村ナメコ 4」「芦生ナメコ1-4」「弥山ナメコD柄」が入った。このグループは、以下のグループ 2 よりも後味の「コク」は少ないが、「キレ」があると考えられる。また、「特徴のある味を持った菌株」グループ2には、「胎内ナメコB-3-1」「金山谷ナメコ 8」が入った。このグループは、グループ 1 に対しては、逆に「キレ」はないが、「コク」があると思われる。

以上は、味分析によるナメコ評価基準の味の良否とは別の観点から、味分析によって得られる情報を極力活用して、ナメコ野生菌株の味の特徴を解析したものである。

表-5 主成分分析結果（固有値・寄与率・累積寄与率）

主成分 No.	固有値	寄与率	累積寄与率
1	1. 21	40. 26%	40. 26%
2	1. 09	36. 40%	76. 66%
3	0. 70	23. 34%	100. 00%

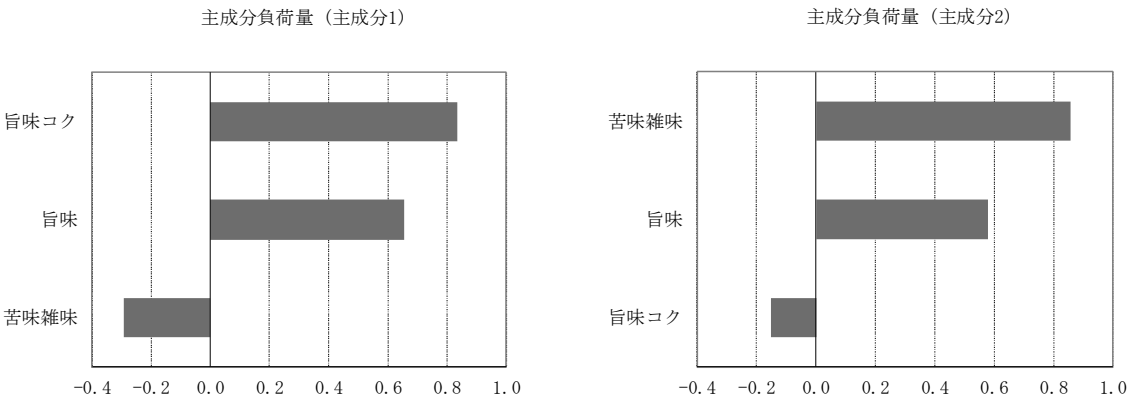


図-5 主成分分析結果(主成分負荷量・左: 第 1 主成分, 右: 第 2 主成分)

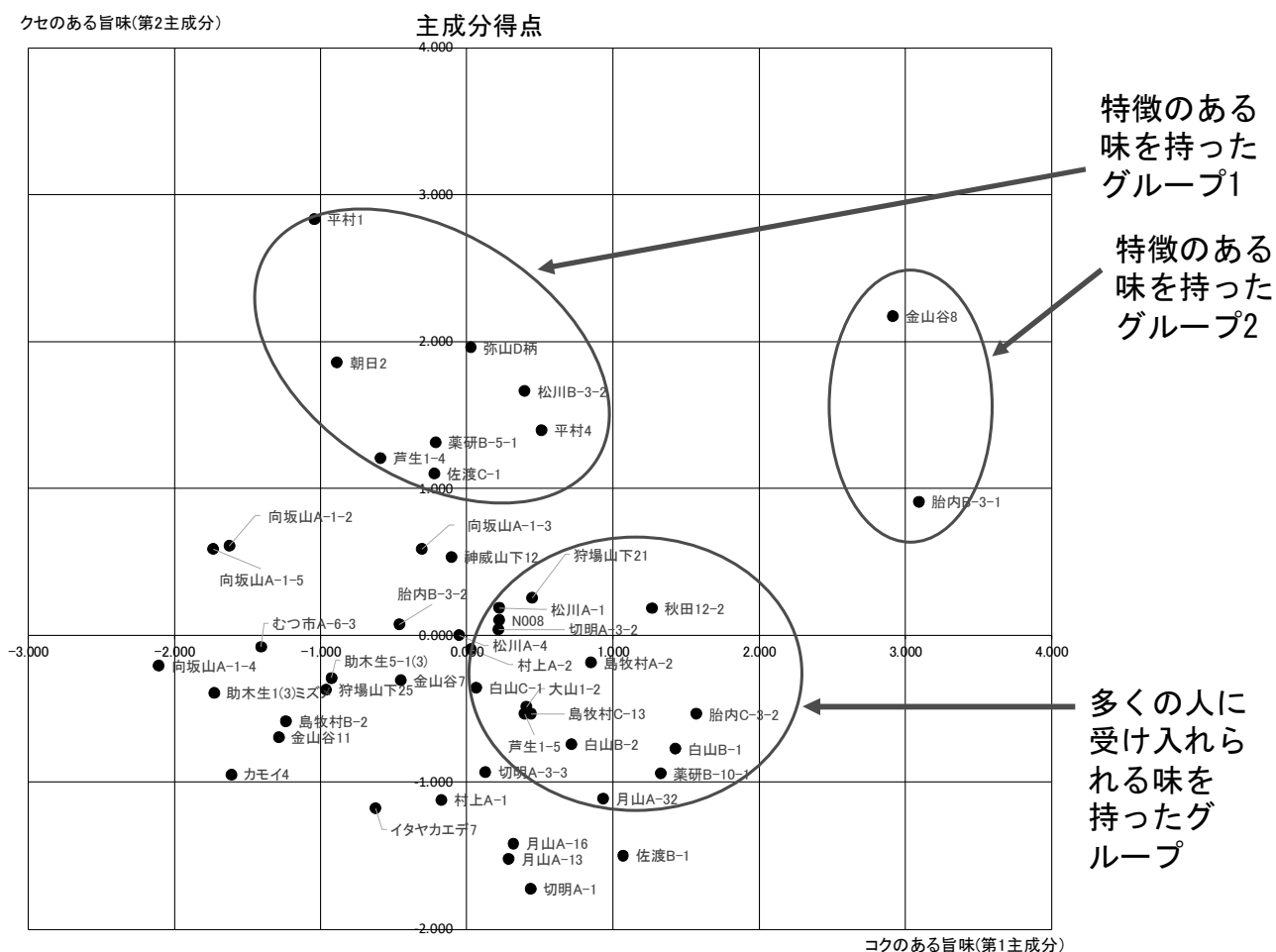


図-6 ナメコ野生株の味分析値を用いた主成分分析結果 (主成分得点の散布図)

*主成分分析の用語；

「固有値」：各主成分が含んでいる情報の大きさを示す指標。一般的に「固有値が1以上」ある主成分が、元のデータとの関連が深いとされる。「寄与率」：この主成分だけで元のデータの何割を説明することができるかを表した数字。「累積寄与率」：第2, 第3と続く主成分の各寄与率を足した数値。「主成分負荷量」：元データの各変数 (数値) に対して与えられる係数。この数値が大きいほど、各変数が主成分に与える影響力が大きいことを表す。「主成分得点」：元データの各変数を合成した変数となる各主成分を軸とした場合の各変数の得点を表す。主成分は分析に用いた変数の数だけ出来上がるが、通常、2つの主成分を組み合わせた散布図を作成して分析を進める。各変数の位置関係を見ることで、それぞれの特徴が可視化される。

3.2 美味しいナメコ菌株の採取地域

3.2.1 採取地域間差の比較

新たに選定した長野県内及び近隣県 6 地域のブナ林内で収集した 29 系統について味分析結果を得た。この結果と「3.1.1 味分析による選抜」で得られた野生株 47 菌株の味分析結果について対照品種 (N008) を 0 とした値に換算して統合し、旨味値と苦味雑味値の散布図を作成した (図-7)。図-7 に示したとおり、散布図の座標を 4 エリア (I ; 旨味値+, 苦味雑味値+, II ; 旨味値+, 苦味雑味値-, III ; 旨味値-, 苦味雑味値-, IV ; 旨味値-, 苦味雑味値+) に区分した。

美味しいナメコの評価基準「苦味雑味値が小さく旨味値が大きいこと」を適用すると、エリア II が最も美味しいエリアとなり、エリア IV が最も美味しくないエリアとなる。まず、供試した野生菌株の採集地によって、日本国内を 3 つの地域 (東日本地域；

北海道, 青森県, 岩手県, 秋田県, 山形県, 福島県, 関東・中部地域 ; 新潟県, 富山県, 石川県, 長野県, 西日本地域 ; 京都府, 奈良県, 鳥取県, 高知県, 宮崎県) に区分した (表-6)。

次に, 図-7 に示した味分析結果を基に, 地域ごとに属するエリアの菌株数の頻度分布図を作成した (図-8)。なお, 対照品種 N008 と富山県採取の 1 系統は同じ味分析値で, ともに原点 0 となるためエリア区分からは除外した。図-8 から, 東日本からの採取菌株はエリア III に入る菌株数が全体の 47.6% あり東日本は苦味雑味値の小さい菌株が多いことが認められた。

さらに, 5 系統以上の供試菌株がある県について県別のエリア区分の菌株頻度分布図を作成した (図-9)。図-9 から以下の 3 点が認められた。①美味

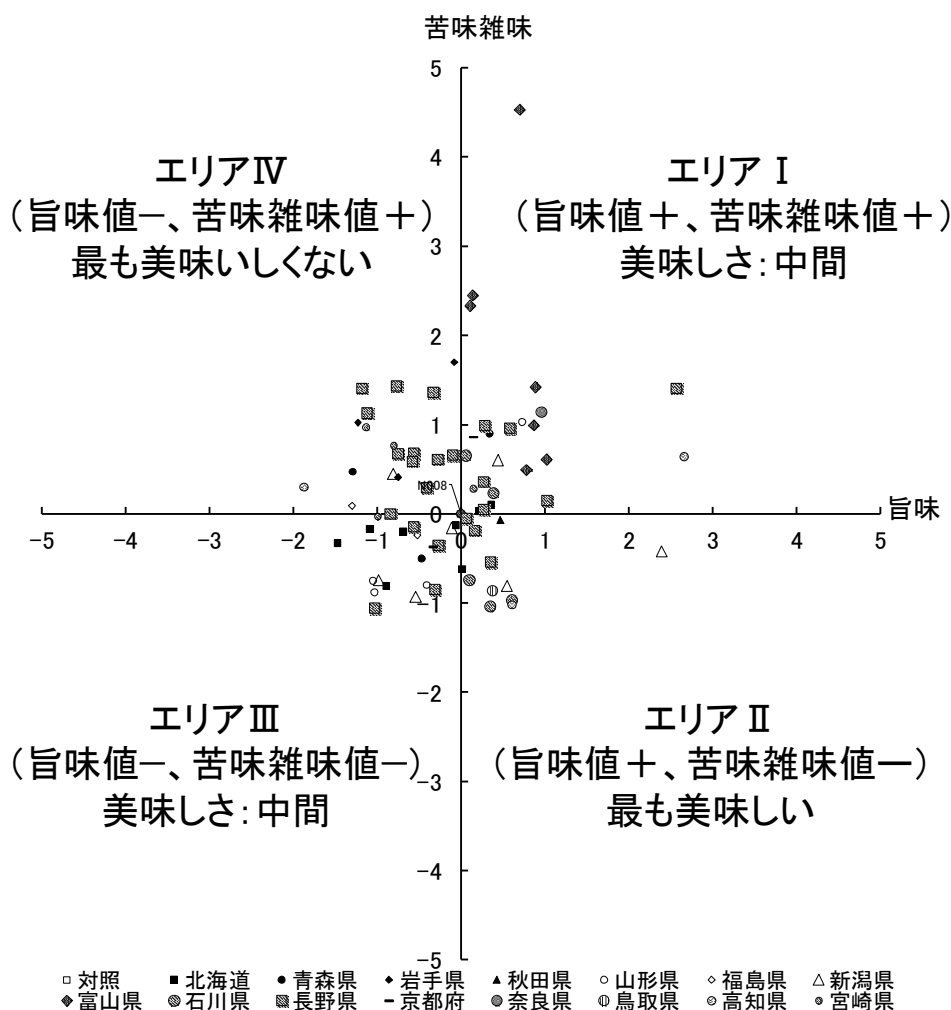


図-7 味分析結果 (旨味値と苦味雑味値の散布図) とエリア区分

表-6 採取地の地域区分とエリア別菌株数

エリア	I	II	III	IV	計	地域区分
原点					2	
北海道	2	1	5	0	8	東日本
青森県	0	1	1	1	3	
岩手県	0	0	0	3	3	
秋田県	0	1	0	0	1	
山形県	1	0	3	0	4	
福島県	0	0	1	1	2	
新潟県	1	2	3	1	7	関東・中部
富山県	7	0	0	0	7	
石川県	2	3	0	0	5	
長野県	6	3	4	11	24	
京都府	1	0	1	0	2	西日本
奈良県	1	0	0	0	1	
鳥取県	0	1	0	0	1	
高知県	1	1	0	1	3	
宮崎県	1	0	1	2	4	
全国	23	13	19	20	75	
比率	31%	17%	25%	27%	100%	

原点は N008, 有峰 A-6 の 2 系統。全国比率の分母は原点を除いた 75 系統。

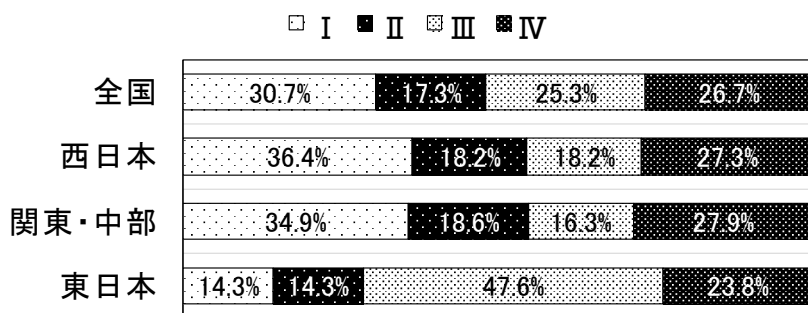


図-8 地域別のエリア別菌株数(エリア区分は図-7を参照)
比率の数値合計は四捨五入の都合上 100.0%にはなっていない。

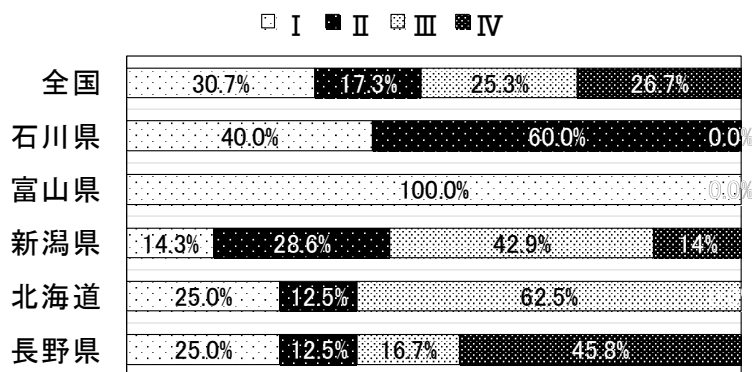


図-9 県別のエリア別菌株数(エリア区分は図-7を参照)
比率の数値合計は四捨五入の都合上 100.0%にはなっていない。

表-7 エリア区分比率の比較(エリア区分は図-7を参照)

地域	エリア			
	I	II	III	IV
全国	30.7%	17.3%	25.3%	26.7%
長野県以外	33.3%	19.6%	29.4%	17.6%
長野県	25.0%	12.5%	16.7%	45.8%

比率の数値合計は四捨五入の都合上 100.0%にはなっていない。

しいナメコの評価基準に最も適合するエリアⅡの菌株が多い県は、石川県、新潟県であった。②富山県はエリアⅠに入る菌株が100%であり、旨味値の大きい菌株が多かった。北海道はエリアⅢに入る菌株が63%で、苦味雑味値が小さい菌株が多かった。③長野県は、エリアⅣに入る菌株が46%あり、美味しいナメコの評価基準に適合しない菌株が多かったが、エリアⅡに入る菌株も12.5%有り、北海道と同等であった。

以上、今回得られた結果から以下の考察を行った。①長野県近隣県では、美味しい菌株の採取には石川県、新潟県が適していた。②旨味値が大きく苦味雑味値が小さい県は石川県、旨味値が大きいのは富山県、苦味雑味値が小さいのは北海道及び新潟県等であり、採取地に関して一定の地域間差が見られた。

3.2.2 長野県と他地域間の比較

次に、得られた分析結果のエリアについて採集地を長野県と長野県以外に区分して頻度分布を改めて比率で示した(表-7)。

長野県以外の県と比較すると、前述のように長野県は最も美味しくなくⅣの比率が高く、最も美味しいⅡの比率が低かった。ただし、全国で13菌株あったⅡの菌株の内、長野県でも3系統あり、美味しい菌株を探索することは十分に可能な地域である。

今回の結果から、美味しいナメコ菌株の採取は長野県内だけで十分かという問いに答えると、長野県でも美味しいナメコの菌株収集は可能であるが、長野県のみで行うより全国的に収集した方が美味しい菌株を採集できる確率は高いと言えた。

4 総合考察

きのこの消費拡大・高付加価値化のため、美味しいナメコ生産の実現を目指して品種開発、生産技術の改良、流通・保存技術の開発を図ってきた。これまでに、農工研と共同して「美味しさ」に着目したきのこ栽培技術の開発ーナメコの味の数値化ー(平成28年度～平成30年度)では、ナメコの味の数値評価法として味認識装置による味分析が有効なことを主に明らかにした¹⁾。次に同じく農

工研と共同して「消費拡大に資するきのこ栽培技術の開発」(令和元年度～令和3年度)では、味分析による美味しいナメコの評価基準を設定して、美味しいナメコの保存・流通方法を主に明らかにした²⁾。

本研究では、文科省科学研究費の補助と農工研の協力を得て、北海道から九州までの全国のブナ林で収集したナメコ野生株について栽培試験を行い、得られた子実体の味分析結果を図示して、優良育種素材を選抜した。また、栽培試験によって把握した野生株の栽培特性に基づき、生産効率と美味しさを合わせもった菌株を優良育種素材として選定した。さらに、ナメコ野生株の味分析の数値を用いて主成分分析を行い、得られた主成分得点の散布図を作成して、野生菌株の味の特徴を解析した。最後に、美味しいナメコを採取するために適した日本国内の地域について味分析結果から考察した。

美味しいきのこを食卓に届けるには、「品種」「生産技術」「保存・流通技術」の3つがそろう必要がある。本研究は、このうち「品種」開発のための基盤となる情報を得るものである。味分析とその評価基準によって、直接的に美味しい菌株を選抜するとともに、実用性を考慮して一定程度以上の効率性を合わせ持つ育種素材を選抜した。また、主成分分析によって、野生株について、多くの人に受け入れられやすい味の菌株、特徴のある味を持った菌株のグループを明らかにして、育種素材としての味の特徴を調べた。

人間の舌を模した味覚センサーを用いた味分析による数値評価法を用いて研究を進めてきたが、食べて美味しいかどうかは、最終的には人間の脳が判断する事項である⁶⁾。したがって、食味官能評価結果と味覚センサーによる評価結果との比較は今後欠かせない検討事項になる。また、旨味、苦味等の味の原因となる物質の化学成分やその量の分析・測定も重要な研究項目である。図-10に示すように、味の研究は、「官能評価」「味覚センサー」「化学分析」を相互に加えて進めていく必要があり、今後に取り組むべき課題と考える。

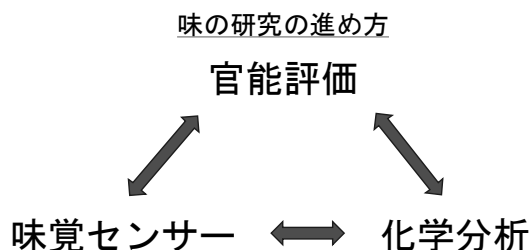


図-10 味の研究における味覚センサーの位置づけ

5 結言

美味しいナメコの生産技術開発のために、味認識装置による味分析を活用して以下の成果を得た。①北海道から九州までの全国のブナ林で収集したナメコ野生株について栽培試験を行い、得られた子実体の味分析結果を図示して、優良育種素材を5系統選抜した。②栽培試験によって把握したナメコ野生株の栽培特性に基づき、生産効率から優良育種素材を4系統選抜した。③味分析による優良育種素材と生産効率による優良育種素材の両者に選抜されたナメコ野生株1系統を、生産効率と美味しさを合わせ持つ菌株として選定した。④ナメコ野生株の味分析による数値を用いて主成分分析を行い、得られた主成分得点の散布図を作成して、野生株の味の特徴を解析した。⑤美味しいナメコを採取するために適した日本国内の地域について、味分析結果から考察し味の地域間差を把握した。

6 謝辞

本研究の推進について女子栄養大学准教授の宮澤紀子氏から貴重なご助言を頂戴した。また、味分析に関して農工研から多大な協力を頂戴した。ここに記して謝意を表する。

7 文献

- 1) 増野和彦・城石雅弘・中村美晴・古川 仁(2020), 「美味しさ」に着目したきのか栽培技術の開発ーナメコの味の数値化ー, 長野県林業総合センター研究報告第34号, 81-94
- 2) 増野和彦・城石雅弘・中村美晴・古川 仁(2023), 消費拡大に資するきのか栽培技術の開発, 長野県林業総合センター研究報告第37号, 21-35
- 3) 戸井田仁一・蟻川幸彦(2011), 味覚センサー(感

性評価解析装置)によるみそ, しょうゆの評価, 長野県工技センター研報No.6, F1-F4

- 4) 池崎秀和(2013), 味覚センサーによる味の見える化と味の最適化, 季刊農工研通信No.166, 2-9
- 5) 内田治・福島隆司(2021), 例題多変量解析ガイド EXCEL アドインソフトを利用して, 東京図書, 115-144
- 6) 角 直樹(2019), 「おいしさの見える化: 風味を伝えるマーケティング力」, 10-11

減圧下における高温セット処理条件と材面割れの関係（予備的検討）

研究期間：令和元年度～5 年度

奥原祐司・吉田孝久・山口健太※

カラマツ心持ち正角材の減圧下における高温セット処理条件と材面割れ発生関係を探るため、4 条件の高温セット処理（A：蒸気高温セット 110℃18 時間、B：減圧蒸気高温セット 130℃6 時間、C：減圧蒸気高温セット 120℃12 時間、D：減圧蒸気高温セット 101℃24 時間）を行い、材面割れの発生状況を調査した。その結果、減圧下における条件 C での高温セット処理が、現在推奨されている条件 A での蒸気高温セットと同程度の材面割れ防止効果があった。また、その他の減圧蒸気高温セット処理（条件 B、条件 D）においても材面割れ防止効果があることが明らかとなり、減圧下における高温セット処理による材面割れ防止が可能であることが示唆された。

キーワード：カラマツ、心持ち材、高温セット処理、減圧蒸気高温セット

1 緒言

現在、高齢化した森林からは、大径材が生産されており、これらから製材される断面の大きな心持ち構造材の製品化が県内においても期待されている。

このような状況の中で、針葉樹の心持ち材の人工乾燥は、樹種を問わず材面割れ防止の高温セット処理（ドラインセット）が必須条件となっており、乾燥現場においては当センターで取り組んできた成果^{1)~4)}が広く反映されている。

しかし、この高温セット処理は、主に蒸気式木材乾燥機が使用されており、この燃料源となる灯油価格は年々上昇⁵⁾して、今後、乾燥コストの上昇が懸念される（図-1）。一方で、高温セット処理を含めた過度な高温乾燥は、熱劣化による強度の低下が指摘されている^{6)~11)}。この2つの課題を解決するため、減圧下における乾燥で乾燥時間の短縮が期待できる蒸気圧力併用型木材乾燥機による試験を実施してきた^{12)~18)}。

本研究では、カラマツ心持ち無背割り材について、材面割れの少ない減圧下における高温セット処理スケジュール（以下、減圧蒸気高温セットと表記）を検討した。



図-1 灯油価格の推移

2 試験方法

2.1 供試材

2.1.1 丸太

東信地域で生産されたカラマツ 30 本（末口径 22 cm～23.5 cm、長さ 4m、写真-1）を供試材とした。

丸太は、通直な材が多く、かつ、偏心が少ない丸太が多かった。

素材の JAS の縦振動ヤング係数試験（吊り下げ式）を参考に製材業者の土場において実施した。

丸太の形状測定の結果を表-1 に示す。縦振動ヤング係数の平均値は 12.94 kN/mm²であった。また、素材の JAS の縦振動ヤング係数区分による分布を図-2 に示す。最も多かったのは Ef130 であった。

表-1 丸太の測定結果

	末口			元口		
	短径 (cm)	長径 (cm)	年輪 数	短径 (cm)	長径 (cm)	年輪 数
平均値	21.1	22.0	47	23.4	24.3	51
最小値	20.0	20.5	40	21.5	22.5	44
最大値	22.0	23.5	55	25.5	27.0	61
標準偏差	0.67	0.82	4.4	0.93	0.99	4.2
変動係数(%)	3.16	3.73	9.3	3.95	4.07	8.2
個数	30	30	30	30	30	29

	長さ (m)	縦振動 周波数 (Hz)	質量 (kg)	見かけ の密度 (kg/m ³)	Ef (kN/mm ²)
平均値	4.099	501.3	127.0	765	12.94
最小値	4.072	464.8	103.5	667	10.57
最大値	4.146	544.9	152.0	848	15.75
標準偏差	0.0	22.5	11.6	45.3	1.38
変動係数(%)	0.4	4.5	9.1	5.9	10.65
個数	30	30	30	30	30

※現 北アルプス地域振興局林務課

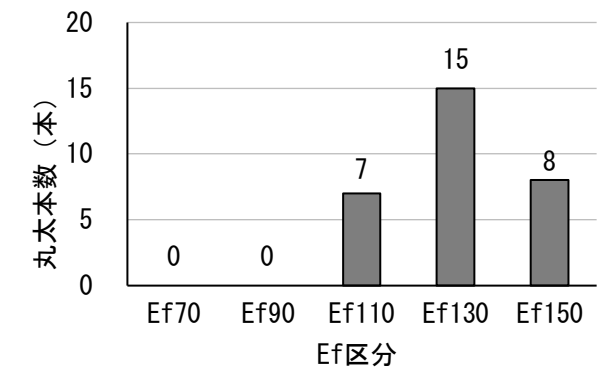


図-2 丸太の縦振動ヤング係数分布



写真-1 丸太の状況

2.1.2 製材品

丸太から 145×145×4,000 mmの心持ち正角材を一丁取りで 30 体製材し、図-3 のとおり、両木口部分をクロスカット後、4 分割し、下記の 4 条件の処理に供した。なお、試験材の木取り位置は、正角ごとに木口から ABCD, BCDA・・・の順とした。また、全ての木口部分は、シリコンによりコーキングした。

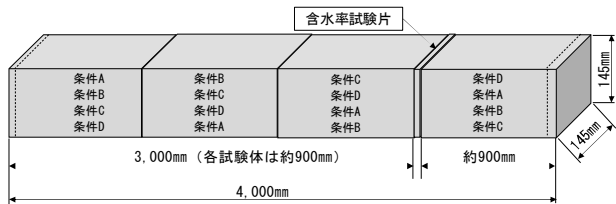


図-3 試験体の寸法と採材位置

2.2 高温セット処理条件

蒸煮処理を含めた蒸気高温セット処理、減圧蒸気高温セット処理の条件を表-2 に示す。なお、減圧蒸気高温セット処理の湿球温度の()内の数値は、圧力制御時の想定湿球温度であり、湿球温度制御は出来ない仕様である。

条件Aは、蒸気式木材乾燥機（ヒルデブランド社製：HD 7 4 /MH-H）により、現在推奨されている蒸気高温セット処理⁴⁾を実施した。

一方、減圧蒸気高温セットについては、この試験に先立ち実施した乾球温度 110℃圧力-45kPa（湿球温度 80℃）で 6 及び 9 時間処理したところ、材面割れ防止効果が少なかった¹⁷⁾ことから次の条件とした。

条件Bは、高温による時間短縮を目的として乾球温度 130℃と圧力-30kPa（湿球温度 90℃）で 6 時間処理した。

また、**条件C**は、乾球温度 120℃と圧力-30kPa（湿球温度 90℃）で 12 時間処理し、条件 B よりも乾球温度を 10℃下げて処理時間を 2 倍にした。

さらに、**条件D**は、乾球温度 101℃と圧力-53kPa（湿球温度 75℃）で 24 時間処理し、熱劣化による曲げ強さの低下防止を考慮した。

なお、条件 B, C, D は、蒸気圧力併用型木材乾燥機（ヒルデブランド社製：HD 0 3 / SHD-I）により実施し、蒸煮処理は加圧状態（100kPa）により温度 120℃で 1 時間実施した。

また、条件 B, C, D は、それぞれの条件につき 1 試験体に熱電対を挿入し、深さ 1 cm, 3 cm, 7 cm の材温を測定した。

表-2 高温セット処理条件

条件	蒸煮処理			高温セット処理			
	温度 (℃)	圧力 (kpa)	時間 (h)	乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	圧力 (kpa)	時間 (h)
条件 A	90	—	8	110	80	—	18
条件 B	120	100	1	130	(90)	-30	6
条件 C	120	100	1	120	(90)	-30	12
条件 D	120	100	1	101	(75)	-53	24

2.3 高温セット処理後の乾燥方法

高温セット処理後、条件 A～D までの全ての試験材を当センターの蒸気式木材乾燥機を用いて、同時に表-3 のスケジュールにより 70℃中温乾燥を実施した。

中温乾燥は、各条件から 3 体のモニター材の質量を定期的に測定し、推定含水率が 12%を下回った時点で終了とした。

表-3 中温乾燥条件

ステップ	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	温度差 (°C)	時間 (h)
1	40	28	12	12
2	45	32	13	12
3	50	36	14	12
4	55	40	15	12
5	60	44	16	12
6	65	48	17	12
7	70	52	18	12
8	70	50	20	12
9	70	45	25	12
10	70	40	30	348

合計456時間（19日間）

2.4 材面割れの測定

材面割れの測定は、高温セット処理後、中温乾燥後、整形後に行った。

材面割れの幅の測定は、4材面の中で最大割れ幅をクラックスケール又はノギスにより 0.1 mm単位で測定した。

材面割れの長さの測定は、幅 1 mm以上の割れを対象にコンベックスにより 4材面の割れの長さを 1 cm単位で測定し、その合計（総延長）とした。

なお、整形は、モルダーにより 120×120×1,000 mmとした。

4条件の割れの比較は、Microsoft® Excel® for Microsoft 365 MSO 64 ビット及び4Steps エクセル統計（第4版）を使用し、ノンパラメトリック多重比較には、Steel-Dwass 法により確認し、危険率 1%で有意差があるときは「**」、危険率 5%で有意差があるときは「*」と標記した。

2.5 含水率と水分傾斜の測定

高温セット処理後に 1条件当たり 3体（気乾密度が高い材、中程度の材、低い材）について、長さ方向の中央部において試験片を切り出し、全乾法による含水率測定と中央 1/3 区間を 9分割して水分傾斜を測定した（図-4）。

また、整形後に 1条件当たり 4体について、長さ方向の中央部において試験片を切り出し、全乾法による含水率と中央 1/3 区間を 7分割して水分傾斜を測定した。

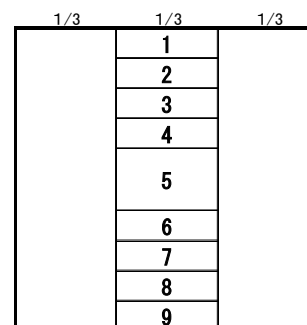


図-4 水分傾斜試験片の採材位置（9分割）

3 試験結果

3.1 乾湿球温度と材温の経過

既往の文献より高温セットがかかる材の軟化温度は表層温度が 100°C以上と判断¹⁾し、以下の結果を考察した。

条件A（乾球温度 110°C、湿球温度 80°C、18 時間）の乾湿球温度の経過を図-5 に示す。現在推奨されている蒸煮温度 90°Cを 8時間実施し、その後、乾球温度 110°C、湿球温度 80°Cを 18時間実施した。

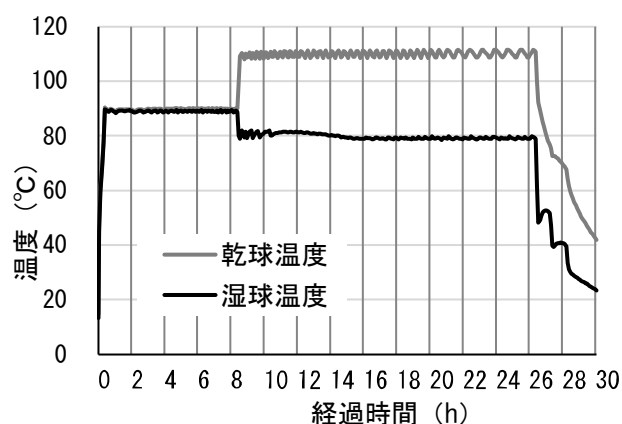


図-5 条件Aの温度経過

条件B（乾球温度 130°C、湿球温度 90°C、6 時間）の乾湿球温度及び材温の経過を図-6 に示す。

蒸煮は圧力 100kPa で 1時間実施した結果、乾球温度は 120°C弱となり、表面から 1 cmの深さの温度は 100°Cを超えていた。また、表面から 3 cmの深さの温度は約 80°C、7 cmの深さでは約 60°Cであった。

その後、減圧蒸気高温セットに移行すると表面から 1 cmの深さの温度は、100°Cを一旦下回るが、その後 100°C以上を保持していた。この時点で表層部は軟化が進んでいたものと思われる。

また、表面から 3 cmの深さの温度が 100°C以上になったのは、蒸煮開始から 5時間経過後であり、その後、100°C以上を 4.5時間保持していた。

一方、表面から 7 cm の深さの温度が 100℃ 以上になったのは、蒸煮開始から 7 時間経過後であり、その後、100℃ 以上を 2.5 時間保持していた。

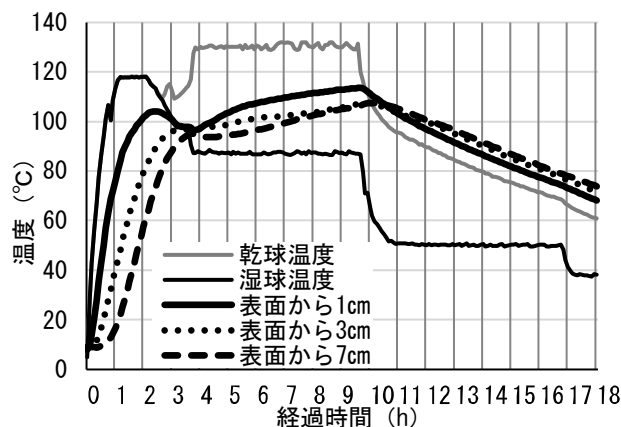


図-6 条件Bの温度経過

条件C (乾球温度 120℃, 湿球温度 90℃, 12 時間) の乾湿球温度及び材温の経過を図-7 に示す。

蒸煮は条件 B と同様であった。その後、減圧蒸気高温セットに移行すると、条件 B と同様に表面から 1 cm の深さの温度は、100℃ を一旦下回るが、その後 100℃ 以上を保持していた。条件 B と同様にこの時点で表層部は軟化していたものと思われる。

また、表面から 3 cm の深さの温度が 100℃ 以上になったのは、蒸煮開始から 7 時間経過後であり、その後、100℃ 以上を 8.5 時間保持していた。

一方、表面から 7 cm の深さの温度が 100℃ 以上になったのは、蒸煮開始から 9 時間経過後であり、その後、100℃ 以上を 6.5 時間保持していた。

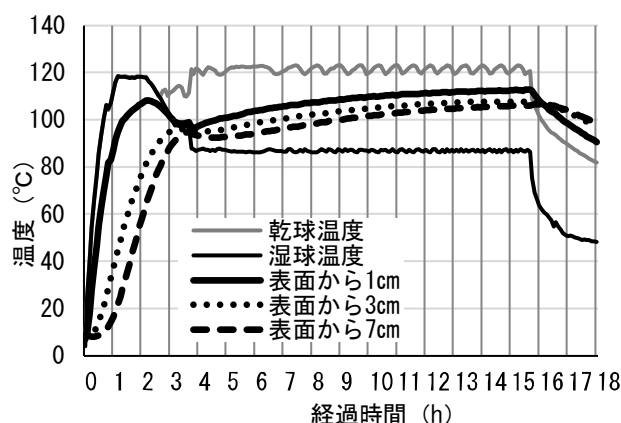


図-7 条件Cの温度経過

条件D (乾球温度 101℃, 湿球温度 75℃, 24 時間) の乾湿球温度及び材温の経過を図-8 に示す。

蒸煮は条件 B と同様であった。その後、減圧蒸気

高温セットに移行すると、表面から 1 cm の深さの温度は、100℃ を保持することは出来なかった (最高温度 96℃)。このため、表層部の軟化は起きていなかったものと思われる。

また、表面から 3 cm 及び 7 cm の深さの温度も 100℃ を超えることは無く、表面から 3 cm 及び 7 cm の深さの最高温度は、それぞれ 93℃, 92℃ であった。

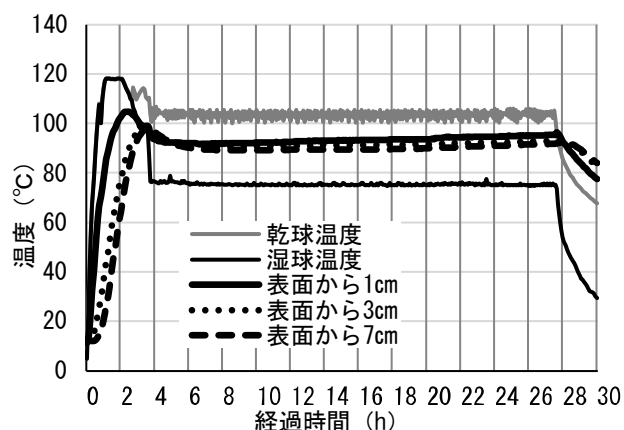


図-8 条件Dの温度経過

中温乾燥における乾湿球温度経過を図-9 に示す。

高温セット処理により表面が乾燥していることから、乾燥初期は、材表面が結露しないように含水率変化に注意しながらヒーター弁のみを操作し、スプレー弁は閉じたまま温度制御を実施した。含水率 15% までの中温乾燥日数は 18 日間となった。

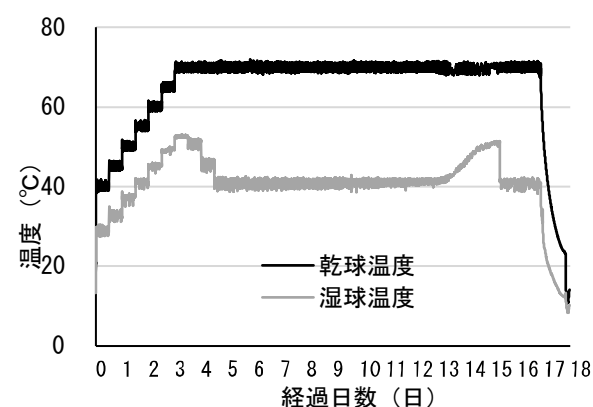


図-9 中温乾燥の乾湿球温度経過

3.2 材面割れ

高温セット処理後、中温乾燥後、整形後の条件別の割れの総延長（材長 1m、かつ、4面の合計値）及び4面内の最大割れ幅を表-4 及び表-5 に、また、整形後の割れ総延長（材長 1m、かつ、4面の合計値）及び4面内の最大割れ幅を図-10 及び図-11 に示す。

整形後の割れ総延長の平均値を見ると条件 A に対して条件 B, C, D 何れも減圧蒸気高温セット効果があったと思われ、特に、条件 C の平均値が最も低い結果となった。

条件 C について、材面割れ総延長分布（図-12）を見ると割れが多い試験体と少ない試験体の 2 極化していた。

以上のことから、今回の試験条件の中では、条件 C が材面割れ抑制効果に有望と思われるが、今回は 1m 短尺材での試験であることから、今後、実大材（3m 材）による結果確認が必要と思われる。

表-4 各処理後の割れ総延長結果

割れ総延長 (cm)	高温セット処理後			
	条件 A	条件 B	条件 C	条件 D
平均値	81.6	191.5	167.6	183.2
最小値	3	68	10	58
最大値	328	308	387	371
標準偏差	74.5	63.3	88.8	85.2
変動係数 (%)	91.3	33.0	53.0	46.5
個数	23	23	23	23
割れ総延長 (cm)	中温乾燥後			
	条件 A	条件 B	条件 C	条件 D
平均値	81.5	93.6	51.5	94.1
最小値	0	16	0	2
最大値	156	158	145	208
標準偏差	38.2	33.9	42.2	49.8
変動係数 (%)	46.9	36.2	81.9	52.9
個数	23	23	23	23
割れ総延長 (cm)	整形後			
	条件 A	条件 B	条件 C	条件 D
平均値	77.6	78.4	42.3	68.3
最小値	0	0	0	0
最大値	125	103	100	120
標準偏差	29.5	29.2	38.5	43.0
変動係数 (%)	38.1	37.3	91.1	62.9
個数	23	23	23	23

表-5 各処理後の最大割れ幅結果

割れ最大幅 (mm)	高温セット処理後			
	条件 A	条件 B	条件 C	条件 D
平均値	2.5	2.5	2.7	3.2
最小値	0.1	0.7	0.2	0.3
最大値	5.0	4.0	6.0	6.0
標準偏差	1.6	1.1	1.5	1.6
変動係数 (%)	66.1	42.8	54.9	49.2
個数	23	23	23	23
割れ最大幅 (mm)	中温乾燥後			
	条件 A	条件 B	条件 C	条件 D
平均値	3.3	2.6	1.4	2.5
最小値	0.0	0.4	0.0	0.3
最大値	6.7	4.9	4.7	6.7
標準偏差	1.9	1.3	1.3	1.9
変動係数 (%)	57.2	49.0	95.8	76.5
個数	23	23	23	23
割れ最大幅 (mm)	整形後			
	条件 A	条件 B	条件 C	条件 D
平均値	3.0	2.5	1.4	2.2
最小値	0.0	0.0	0.0	0.0
最大値	6.7	4.9	5.3	6.4
標準偏差	1.8	1.4	1.5	1.9
変動係数 (%)	58.9	56.5	108.2	86.4
個数	23	23	23	23

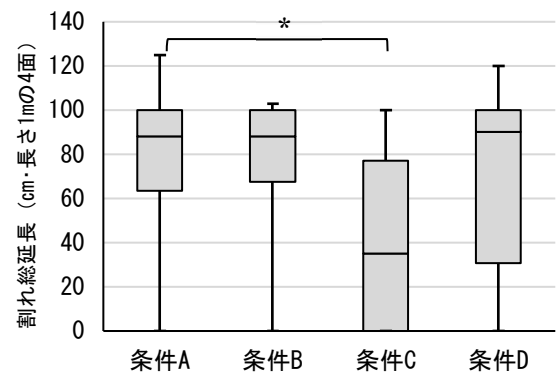


図-10 整形後の条件別の割れ総延長

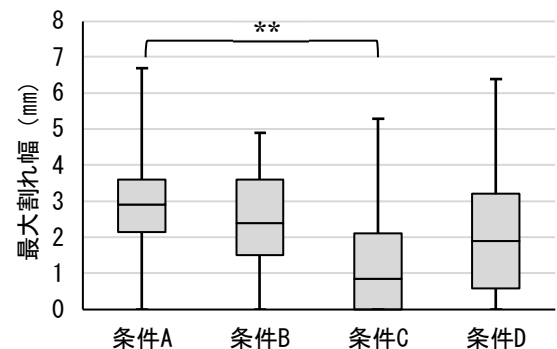


図-11 整形後の条件別の最大割れ幅

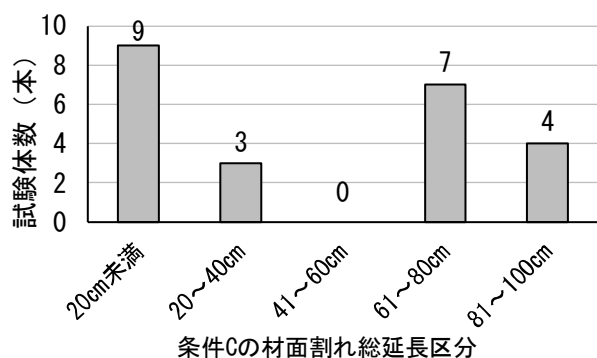


図-12 条件Cの整形後の割れ総延長分布

3.3 含水率

既往の文献より蒸気高温セットがかかったと判断される含水率は 20～25%，表層含水率が 10～15%と判断し²⁾，以下の結果を考察する。

高温セット処理後の条件A，B，C，Dの平均含水率は，それぞれ 30.8%，30.2%，29.1%，27.2%であった。条件Dが最も低い平均含水率となったが，条件B及び条件Cの平均含水率は大差ない結果となった。また，条件B，C，Dの乾球温度の違いはあるが，処理時間の長短も平均含水率に影響したと思われる。

水分傾斜について図-13 から図-16 に示す。水分傾斜も平均含水率と同様の傾向になり，条件Dの表層含水率は，条件B及び条件Cよりも低い結果となった。また，いずれの条件でも密度が低い試験体の含水率が低い結果となっていた。

なお，図中の「低い」，「中」，「高い」の平均全乾密度は，それぞれ，435kg/m³，475kg/m³，535kg/m³であった。

減圧蒸気高温セットである条件B及び条件Cにおいて，表面にドラインセットがかかるとと思われる含水率 20～25%よりも高く，また，表層含水率も同様に 10～15%よりも高いことから減圧蒸気高温セット時間の延長が必要と思われる。

条件Dにおいては，含水率は低いものの前述のとおり表層の温度が 100℃に達していないことから表層部の軟化が進まずドラインセットがかかることは期待できないと判断した。

今後，材面割れ防止効果をより高めるためには含水率をさらに低下させることが必要である。従って，減圧蒸気高温セット処理時の乾球温度（材温），または，その処理時間の検討が必要と思われる。

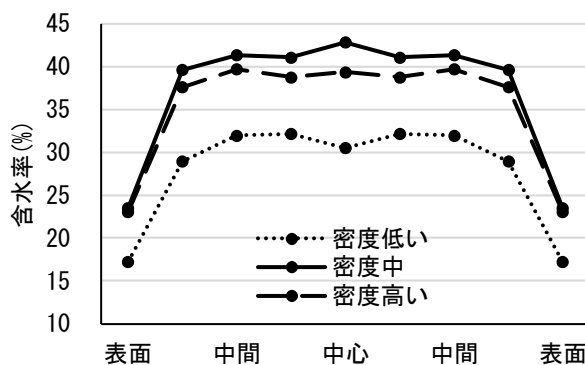


図-13 条件Aの蒸気高温セット後の水分傾斜

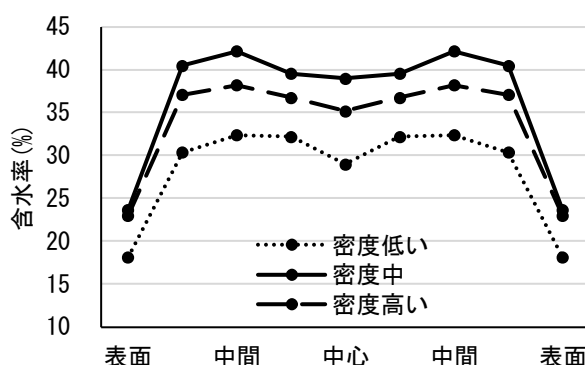


図-14 条件Bの減圧蒸気高温セット後の水分傾斜

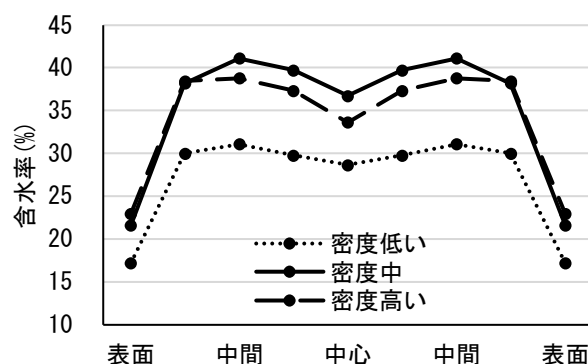


図-15 条件Cの減圧蒸気高温セット後の水分傾斜

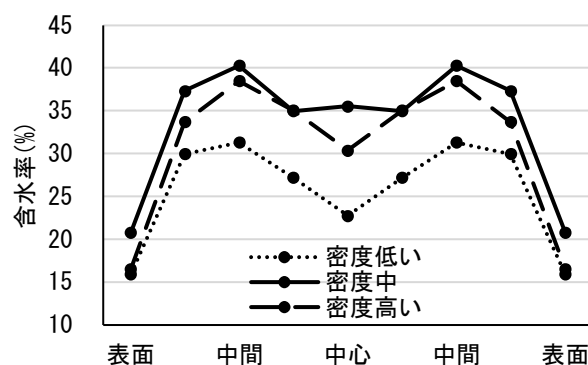


図-16 条件Dの減圧蒸気高温セット後の水分傾斜

中温乾燥から半年間養生した整形後の含水率を表-6に示す。各条件とも含水率は約12%となっていた。

条件Cの水分傾斜を図-17に示す。水分傾斜の少ない含水率に仕上がっていた。また、他の条件も同様の水分傾斜となっていた。

表-6 整形後の含水率

	条件A	条件B	条件C	条件D
単位：%				
平均値	12.5	12.6	12.4	12.4
最小値	13.5	13.9	13.4	13.4
最大値	11.8	11.9	11.8	11.3
標準偏差	0.7	0.9	0.7	0.9
変動係数（%）	5.8	6.7	5.4	7.6
個数	4	4	4	4

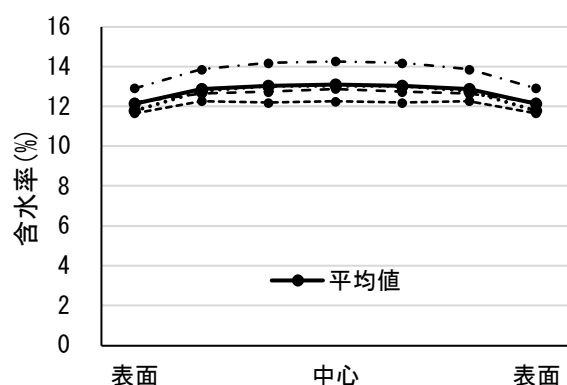


図-17 整形後6カ月経過の条件Cの水分傾斜

4 まとめ

カラマツ心持ち正角材の減圧下における高温セット処理条件と材面割れ発生関係を探るため、4条件の高温セット処理を行い、材面割れの発生状況を調査した。

その結果、減圧下における条件C（減圧蒸気高温セット120℃12時間）での高温セット処理が、現在推奨されている条件Aでの蒸気高温セットと同程度の材面割れ防止効果があった。

また、その他の減圧蒸気高温セット処理（条件B、条件D）においても材面割れ防止効果があることが明らかとなり、減圧下における高温セット処理による材面割れ防止が可能であることが示唆された。

今後、材質劣化有無の確認を含めた、最適な減圧蒸気高温セット処理を確立し、これを含めた減

圧乾燥スケジュールを開発する必要がある。

なお、本研究は、県単課題「蒸気・圧力併用型乾燥機を用いた県産材乾燥スケジュールの確立（R1～R5）」により実施した。

謝辞

本研究を行うに当たり、データ入力等にお手伝い頂いた当センター非常勤職員の蒲原静子氏に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 吉田孝久，橋爪丈夫，徳本守彦，武田孝志，印出晃，スギ心持ち無背割り柱材の高温乾燥における高温セット法の割れ防止効果について，長野県林業総合センター研究報告第18号，pp.125-141，（2004）
- 2) 吉田孝久，柴田直明，今井信，山内仁人，松本浩，安全・安心な乾燥材生産技術の開発（Ⅰ）－材面割れ及び内部割れの少ない乾燥スケジュールの開発－，長野県林業総合センター研究報告第27号，pp.111-122，（2013）
- 3) 吉田孝久，伊東嘉文，松本寿弘，佐藤明利，武井富喜雄，ストックヤードにおける針葉樹構造材の天然乾燥－各前処理を行った構造材の天然乾燥－，長野県林業総合センター研究報告第24号，pp.151-169，（2010）
- 4) 柴田直明，吉田孝久，今井信，守口海，安全・安心な乾燥材生産技術の開発（Ⅲ）－カラマツ高温乾燥材の曲げ強度性能改善に向けた更なる検討－，平成23年度長野県林業総合センター業務報告，pp.102-103，（2012）
- 5) 資源エネルギー庁，石油製品価格調査1.給油所小売価格調査（ガソリン，軽油，灯油）1990年（平成2年）8月27日～【週次ファイル】.xls，閲覧日：令和6年12月24日，https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/petroleum_and_lpgas/pl007/results.html#headline1
- 6) 石原亘，土橋英亮，高梨隆也，川合慶拓，大橋義徳，藤原拓哉，乾燥条件がカラマツの性状に及ぼす影響（第1報）乾燥温度と曲げ強度の関係，木材工業 Vol.77，No.9，pp.345-349，（2022）

- 7) 石原亘, 土橋英亮, 高梨隆也, 川合慶拓, 大橋義徳, 吉田孝久, 松元浩, 長尾博文, 乾燥条件がカラマツの性状に及ぼす影響 (第 2 報) 乾燥条件が心持ち正角材の表面割れと曲げ強度に与える影響, 木材工業 Vol. 78, No. 3, pp. 98-103, (2023)
- 8) 石原亘, 土橋英亮, 高梨隆也, 川合慶拓, 大橋義徳, 吉田孝久, 松元浩, 長尾博文, 藤本登留, 乾燥条件がカラマツの性状に及ぼす影響 (第 3 報) 高温セット条件が心持ち正角材の材面割れと強度に与える影響, 木材工業 Vol. 78, No. 8, pp. 298-304, (2023)
- 9) 柴田直明, 吉田孝久, 山内仁人, 安全・安心な乾燥材生産技術の開発 (Ⅱ) - 過度の高温乾燥材の強度特性 (4) 曲げ強度特性 -, 長野県林業総合センター研究報告第 29 号, pp. 75-94, (2015)
- 10) 今井信, 柴田直明, 吉田孝久, 山内仁人, 守口海, 安全・安心な乾燥材生産技術の開発 (Ⅲ) - カラマツ推奨・非推奨乾燥材の強度特性 (2) 曲げ強度性能 -, 長野県林業総合センター研究報告第 28 号, pp. 63-69, (2014)
- 11) 「安全・安心な乾燥材生産技術の開発」研究グループ, 安全・安心な乾燥材の生産・利用マニュアル, pp. 18-19, (2012)
- 12) 田畑衛, 今井信, 吉田孝久, アカマツの利用開発に関する研究 - 蒸気式, 蒸気・圧力併用型乾燥, 及び天然乾燥による正角の乾燥と強度特性について -, 長野県林業総合センター研究報告第 30 号, pp. 101-109, (2016)
- 13) 山口健太, 吉田孝久, 奥原祐司, 今井信, 田畑衛, 蒸気・圧力併用型乾燥機を用いた県産材乾燥スケジュールの確立 (1), 長野県林業総合センター研究報告第 34 号, pp. 95-106, (2020)
- 14) 山口健太, 吉田孝久, 今井信, 奥原祐司, カラマツ・スギ大径 A 材丸太の戦略的製品開発に関する研究 - 心持ち無垢梁桁材の乾燥特性及び強度特性の解明 -, 長野県林業総合センター研究報告第 35 号, pp. 111-123, (2021)
- 15) 山口健太, 奥原祐司, 小池直樹, 吉川達也, 蒸気・圧力併用型乾燥機を用いた県産材乾燥スケジュールの検討 - カラマツ心持ち平角材の含水率 -, 令和元年度長野県林業総合センター業務報告, pp. 88-89, (2020. 6)
- 16) 山口健太, 吉田孝久, 今井信, 奥原祐司, 蒸気・圧力併用型乾燥機を用いた県産材乾燥スケジュールの検討 (2) - カラマツ心持ち正角材の圧力高温セット後の含水率 -, 令和 2 年度長野県林業総合センター業務報告, pp. 76-77, (2021. 6)
- 17) 山口健太, 奥原祐司, 小池直樹, 吉川達也, 蒸気・圧力併用型乾燥機を用いた県産材乾燥スケジュールの検討 (1) - カラマツ心持ち正角材の圧力高温セット+減圧乾燥 -, 令和 3 年度長野県林業総合センター業務報告, pp. 80-81, (2022. 6)
- 18) 山口健太, 奥原祐司, 小池直樹, 吉川達也, 蒸気・圧力併用型乾燥機を用いた県産材乾燥スケジュールの検討 (1) - カラマツ心持ち正角材の圧力高温セット+減圧乾燥後の強度試験 -, 令和 3 年度長野県林業総合センター業務報告, pp. 82-83, (2022. 6)

カラマツ大径材から製材した枠組壁工法構造用製材寸法形式 210 と新用途の開発

研究期間：令和元年度～5 年度

小池直樹・今井信^{※1}・吉田孝久・奥原祐司・山口健太^{※2}・吉川達也^{※3}

長野県産カラマツ 210 材の乾燥について、4 日間の 95℃中温乾燥スケジュールにより仕上がり含水率 15%とすることが可能であった。FJ 材について、「甲種たて継ぎ材の接着の程度」の評価試験を実施した結果、煮沸繰返し試験及び減圧加圧試験の全ての試験片の平均剥離率が 5%以下であり、「枠組壁工法構造用製材及び枠組壁工法構造用たて継ぎ材の日本農林規格」の「甲種たて継ぎ材の接着の程度」に適合していた。カラマツ 210 材を用いた NLT について、実大曲げ試験と釘せん断試験を実施し、木造建築新工法性能認証を受けている NLT の強度計算方法が、今回の試験体製作条件において実用上問題がないことが確認できた。

キーワード：カラマツ、ツーバイフォー、210 材、フィンガージョイント、NLT

目次

緒言

第 1 章 乾燥

- 1.1 目的
- 1.2 試験方法
- 1.3 結果

第 2 章 たて継ぎ材の接着性能

- 2.1 目的
- 2.2 試験方法
- 2.3 結果

第 3 章 NLT の強度特性

- 3.1 目的
- 3.2 曲げ試験
- 3.3 釘せん断試験
- 3.4 強度計算方法の検証

まとめ

緒言

長野県内人工林の過半を占めるカラマツ林は、13 齢級がピークとなる成熟期を迎えており、カラマツ大径材の有効利用への取り組みは喫緊の課題となっている。

長野県では大径材の大断面を活かせる枠組壁工法構造用製材（以下、2×4 製材）の寸法形式 210（38×235mm）（以下、210 材）としての利用について、信州木材認証製品センターが中心となり複数年度の林野庁補助事業の採択を受けて研究を続けてきており、成果の一部は論文として発表してきた^{1)～3)}。本報告では既報分を除いた研究成果すなわち乾燥方法、縦継ぎ部の接着性能およびカラマツ 210 材を用いた NLT（Nail-Laminated Timber）の強度特性について述べる。

本研究は受託事業「大径 A 材丸太（信州カラマツほか）の新需要創出に向けた技術開発・実証事業」、「大径 A 材丸太の社会実装に向けた新需要技術開発・実証検証事業」、「信州カラマツ 210 材を用いた NLT 技術開発・実証及び信州カラマツ 210 材普及事業」並びに県単課題「大径 A 材丸太を活用した高剛性・高強度梁桁材の開発とその性能評価」（令和元年度～5 年度）として実施した。また、本研究の一部は 2020 年度日本木材学会中部支部大会（長野）において発表した。

※1 元 林業総合センター所長、※2 現 北アルプス地域振興局、※3 現 松本地域振興局

第 1 章 乾燥

1.1 目的

カラマツ 210 材の乾燥方法については既報⁴⁾があるが、当時は含水率 12%以下を目指しており、その後 JAS の規格改正により含水率平均 15%以下の規格が追加された。本章では仕上がり目標平均含水率 15%以下を目標とし、より低コストな乾燥方法・乾燥条件の構築に向けた検討を実施する。

1.2 試験の方法

1.2.1 供試材

試験に供した大径材は、斉藤木材工業㈱が構造用集成材の原木として用意した長野県東信産カラマツ 4m 丸太、末口径 32 c m の桧積から 20 本を供試材とした。丸太の形質を表 1-1 に示す。

末口短径は、平均値で 333mm、標準偏差は、11mm、最小 315mm、最大 364mm であった。末口年輪数は、平均値で末口 52 年、元口 59 年であった。

縦振動ヤング係数（E_{fr-log}）は、平均値で 12.5kN/mm²、標準偏差は、1.5 kN/mm²、であった。素材の日本農林規格の縦振動ヤング係数区分に準じた度数分布を図 1-1 に示す。

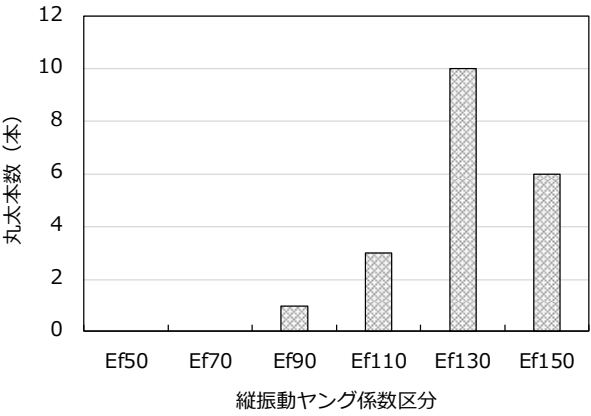


図 1-1 縦振動ヤング係数区分の度数分布

1.2.2 乾燥試験の方法

末口径 32cm 丸太から 210 材、208 材及び高強度集成材ラミナを製材する木取りを図 1-2 に示す。製材寸法は、210 材：48×250×4,000mm、208 材：48×200×4,000mm、高強度集成材ラミナ 40×125×4,000mm とする。同一丸太から左右それぞれ 1 体ずつとするが、髓を割る製材とはなっていない。

まず、20 本の供試丸太について、得られた縦振動ヤング係数の平均値と、変動係数がほぼ等しくなるように各 10 本、2つのグループに分けて乾燥試験を実施した。

1 グループ 10 本については、左右 2 分割の片方を既報⁴⁾と同様の中温乾燥スケジュール（以下、80℃中温と表記する）で乾燥し、左右 2 分割のもう一方を高温セット乾燥スケジュール（以下、高温セットと表記する）で乾燥する。

また、もう 1 グループ 10 本については、上記と同様に、左右 2 分割の片方を既報⁴⁾と同様の 80℃中温乾燥で乾燥し、左右 2 分割のもう一方を 95℃中温乾燥スケジュール（以下、95℃中温と表記する）で乾燥する。

各乾燥スケジュールを表 1-2, 3, 4 に示す。

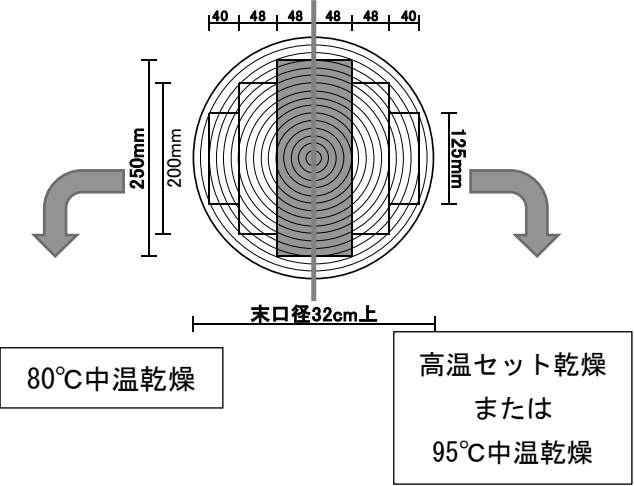


図 1-2 末口径 32cm 丸太の木取り図

表 1-1 カラマツ供試体の丸太形質（末口径 32cm）

カラマツ 32cm	短径（mm）		年輪数		末口 平均年輪幅	末口 心材径	心材率 （%）	細り （mm/m）	見かけの比重 （kg/m ³ ）	E _{fr-log} （kN/mm ² ）
	末口	元口	末口	元口						
平均	333	369	52	59	3.27	283	85.0	4.9	791	12.5
標準偏差	11	25	6	5	0.44	17	3.7	2.6	87	1.5
変動係数	3.4	6.6	11.2	9.2	13.4	6.0	4.3	53.1	11.0	11.8
最小	315	340	41	49	2.73	260	79.7	1.2	598	8.8
最大	364	420	60	66	4.24	325	92.9	10.2	903	14.4
データ数	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

表 1-2 80℃中温乾燥スケジュール

乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	温度差 (℃)	処理時間(h)		備考
			H30.R1	R2	
80	80	0	8	8	蒸煮処理
80	75	5	12	12	中温乾燥
80	70	10	12	12	
80	65	15	12	12	
80	60	20	12	12	
80	50	30	158	141	
-	-	-	2	0	クーリング
70	63	7	24	12	調湿(EMC:10.3%)
合計			240	209	時間
			10	8.71	日間

表 1-3 高温セット乾燥スケジュール

乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	温度差 (℃)	処理時間 (h)	備考
90	90	0	6	蒸煮処理
110	80	30	18	高温セット
80	50	30	47	中温乾燥
-	-	-	1	クーリング
70	65	5	12	調湿(EMC:12.1%)
合計			84	時間
			3.50	日間

表 1-4 95℃中温乾燥スケジュール

乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	温度差 (℃)	処理時間 (h)	備考
90	90	0	6	蒸煮処理
95	65	30	65	中温乾燥
-	-	-	1	クーリング
70	65	5	12	調湿(EMC:12.1%)
合計			84	時間
			3.50	日間

1.2.3 曲げ試験の方法

曲げ試験条件を図 1-3 に示す。曲げ試験は、実大材曲げ試験機 UH-1000Kna (島津製作所) を用いて、210 材は、支点間距離 3,760mm (梁せいの 16 倍)、荷重点間距離 1,253mm の 3 等分点 4 点荷重方式で行った。荷重を加え始めてから試験体が破壊するまでの時間を 1 分以上となるよう載荷速度は 10mm/min で実施した。荷重点および支点の幅はともに 200mm であり、曲げ載荷時の試験体の横座屈を防止する目的でラテラルサポート(横座屈防止治具) 4 基を設置した。曲げ試験の実施状況を写真 1-1 に示した。

たわみの計測は、中央部において、全スパンのたわみ(写真 1-2) と、600mm のヨークを用いて曲げモーメントが一定になる荷重点間のたわみ(写真 1-3)を測定した。最大荷重 F_{ult} から曲げ強さ(F_b)を求め、また、荷重と全スパンのたわみから「見かけの曲げヤング係数 (E_m)」を、荷重とヨークを用

いた曲げモーメント一定区間のたわみから「真の曲げヤング係数 (E_b)」を次式から算出した。

$$F_b = \frac{aF_{ult}}{2Z}$$

ここで、

F_b : 曲げ強さ (N/mm²)

a : 支点から荷重点までの距離

F_{ult} : 最大荷重

Z : 断面係数 ((幅×高さ²)/6)

$$E_m = \frac{a(3L^2 - 4a^2)(F_2 - F_1)}{48I(w_2 - w_1)}$$

ここで、

E_m : セン断変形の影響を含んだ曲げヤング係数 (kN/mm²)

a : 支点から荷重点までの距離

L : 試験スパン

$F_2 - F_1$: 荷重変形曲線の直線部分の荷重の増分。

F_1 は F_{ult} (最大荷重) の約 10%、 F_2 は約 40% とする。

I : 断面 2 次モーメント ((幅×高さ³)/12)

$w_2 - w_1$: $F_2 - F_1$ に対応する変形の増分。

$$E_b = \frac{a\ell^2(F_2 - F_1)}{16I(w_2 - w_1)}$$

ここで、

E_b : セン断変形の影響を含まない曲げヤング係数 (kN/mm²)

a : 支点から荷重点までの距離

ℓ : 荷重点間内の変位量測定区間の長さ

$F_2 - F_1$: 荷重変形曲線の直線部分の荷重の増分。

F_1 は F_{ult} (最大荷重) の約 10%、 F_2 は約 40% とする。

I : 断面 2 次モーメント ((幅×高さ³)/12)

$w_2 - w_1$: $F_2 - F_1$ に対応する変形の増分。

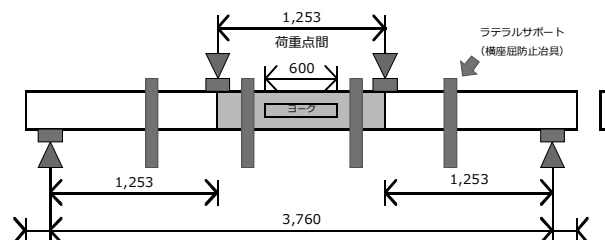


図 1-3 曲げ試験条件



写真 1-1 曲げ強度試験の実施状況

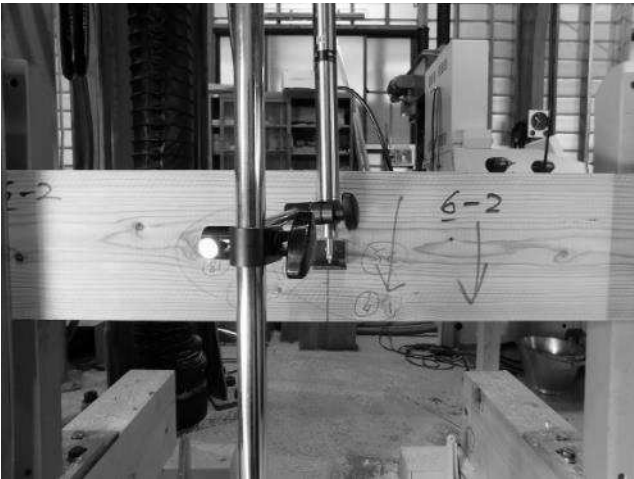


写真 1-2 全スパンのたわみの測定

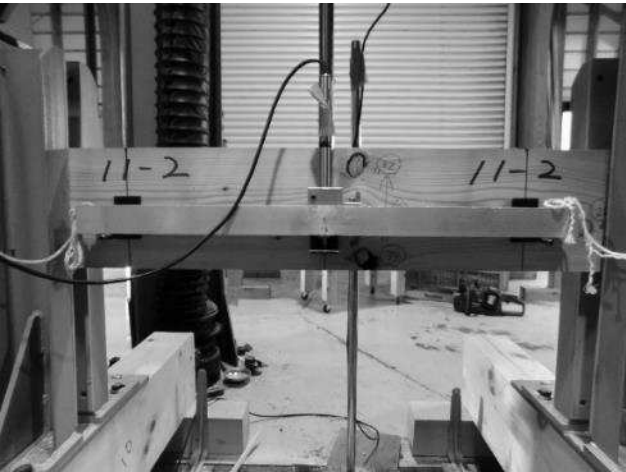


写真 1-3 荷重点間内のたわみの測定

1.3 結果

1.3.1 全乾法含水率

含水率試験片は、曲げ試験終了後、4m 試験体の長さ方向の両端部から約 50cm 内側から各 1 個切り出しその平均値とした。なお、乾燥終了後約 4 か月経過していた。

210 材の全乾法含水率と全乾密度の概要を表 1-5 に示し、順位化した全乾法含水率を図 1-4 に示す。また、同一の丸太から製材した 210 材について、80℃中温乾燥材の含水率を横軸に、高温セット乾

燥材及び 95℃中温乾燥材を縦軸として図 1-5 に示す。仕上がり含水率（全乾法含水率）について、80℃中温乾燥は平均値で 10.6 %（最小：9.2%，最大：12.1%）に、高温セット乾燥は平均値で 15.2 %（最小：14.0%，最大：16.1%）に、95℃中温乾燥は、平均値で 13.3 %（最小：12.1%，最大：14.5%）に仕上がり、80℃中温乾燥<95℃中温乾燥<高温セットとなった。なお高温セット乾燥では、15%を超える試験体が多数確認された。

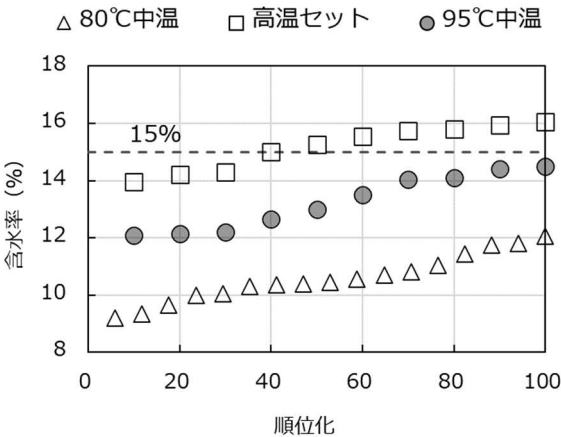


図 1-4 全乾法含水率の順位化

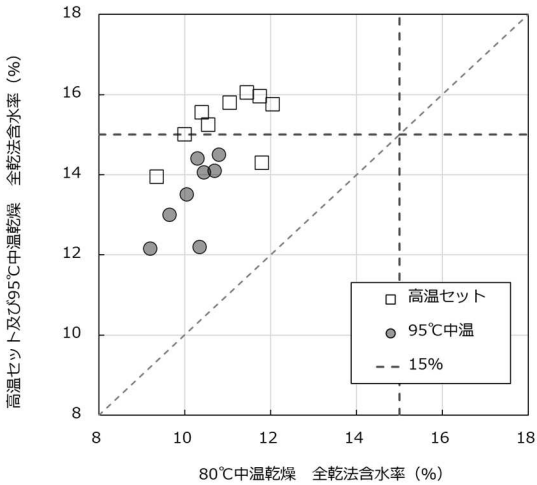


図 1-5 同一丸太から製材した 210 材の全乾法含水率

表 1-5 210 材の全乾法含水率と全乾密度

210材	80℃中温		高温セット		95℃中温	
	含水率 (%)	全乾密度(g/cm ³)	含水率 (%)	全乾密度(g/cm ³)	含水率 (%)	全乾密度(g/cm ³)
平均	10.6	0.50	15.2	0.50	13.3	0.48
標準偏差	0.8	0.04	0.8	0.04	1.0	0.03
変動係数 (%)	7.9	7.4	5.1	7.2	7.3	6.8
最小	9.2	0.44	14.0	0.44	12.1	0.44
最大	12.1	0.56	16.1	0.55	14.5	0.54
データ数	17	14	10	9	10	9

1.3.2 乾燥後の形質変化

210 材の乾燥後（モルダー後）のそり、曲がり、ねじれの測定値を表 1-6 に示す。次に、同一の丸太から製材した 210 材について、80℃中温乾燥材の反りを横軸に、高温セット乾燥材及び 95℃中温乾燥

材の反りを縦軸として図 1-6 に示し、同様に曲がりを図 1-7 に、ねじれを図 1-8 に示す。乾燥方法による違いよりも、同一丸太から製材された材が同様の変化をする傾向が確認された。

表 1-6 210 材の乾燥後（製品時）の形質変化

210材	反り(mm/4m)			曲がり(mm/4m)			ねじれ(mm/4m)		
	80℃中温	高温セット	95℃中温	80℃中温	高温セット	95℃中温	80℃中温	高温セット	95℃中温
平均	9.3	6.9	11.8	1.2	1.4	2.7	8.5	8.9	14.6
標準偏差	4.6	4.0	6.6	1.5	1.3	2.2	4.9	6.7	6.0
変動係数 (%)	49.2	57.3	55.8	123.8	90.4	80.1	57.2	75.0	41.1
最小	3	3	3	0	0	1	0	0	3
最大	18	14	25	5	4	8	19	21	22
データ数	16	10	10	16	10	10	16	10	10

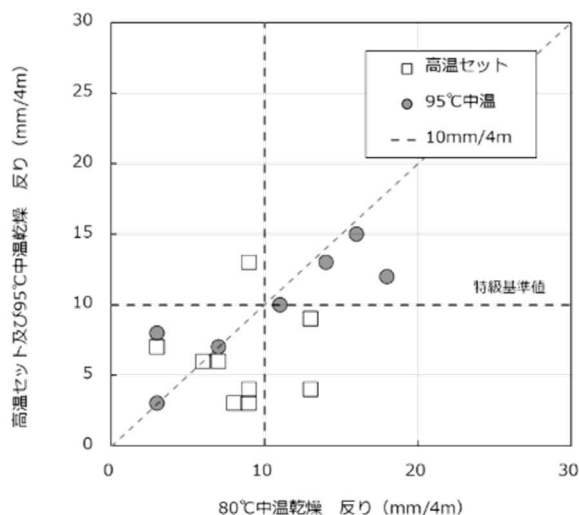


図 1-6 同一丸太から製材した 210 材の反り

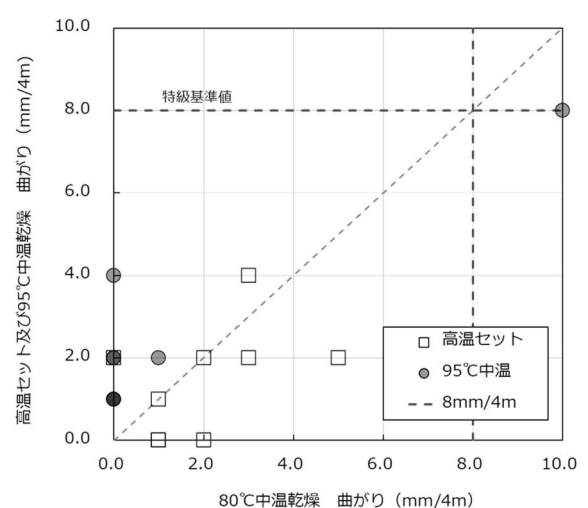


図 1-7 同一丸太から製材した 210 材の曲がり

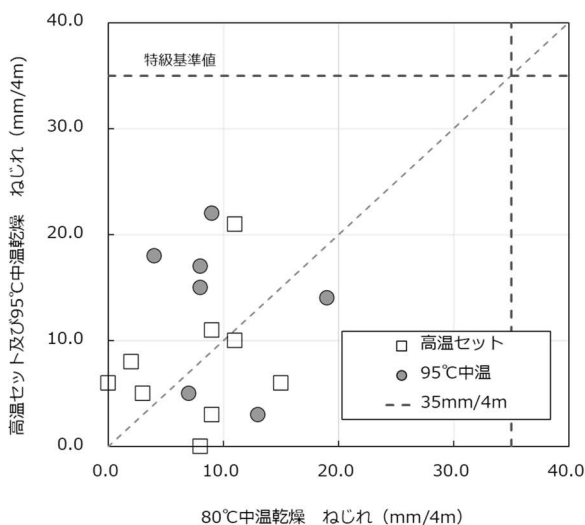


図 1-8 同一丸太から製材した 210 材のねじれ

1.3.3 曲げ試験結果

曲げ試験から得られた見かけのヤング係数 (kN/mm^2) (以下, MOE と表記する) 及び曲げ強さ (N/mm^2) (以下, MOR と表記する) について, 表 1-7 に示す。

次に, 210 材の順位化した MOE を図 1-9 に示し, MOR を図 1-10 に, 乾燥前の縦振動ヤング係数 (kN/mm^2) (以下, Efr) を図 1-11 に示した。

また, 得られた MOE と MOR の関係について図 1-12 に示した。乾燥前の Efr 分布と乾燥後の MOE 及び MOR の分布は同様の傾向を示し, 乾燥方法の違いによる分布傾向の変化は確認できなかった。また, いずれの乾燥スケジュールにおいてもほぼすべての試験材が JSⅢ (カラマツ) 甲種特級の基準強度を上回った。

表 1-7 210 材の MOE と MOR

210材	80℃中温		高温セット		95℃中温	
	MOE (kN/mm^2)	MOR (N/mm^2)	MOE (kN/mm^2)	MOR (N/mm^2)	MOE (kN/mm^2)	MOR (N/mm^2)
平均	13.16	44.9	11.72	39.0	11.44	35.3
標準偏差	2.0	19.9	1.7	11.4	1.7	13.5
変動係数 (%)	15.4	44.4	14.3	29.3	14.9	38.2
最小	9.7	13.17	8.3	13.03	8.8	22.10
最大	16.6	77.37	13.4	52.56	14.1	58.94
データ数	16	16	10	10	10	10

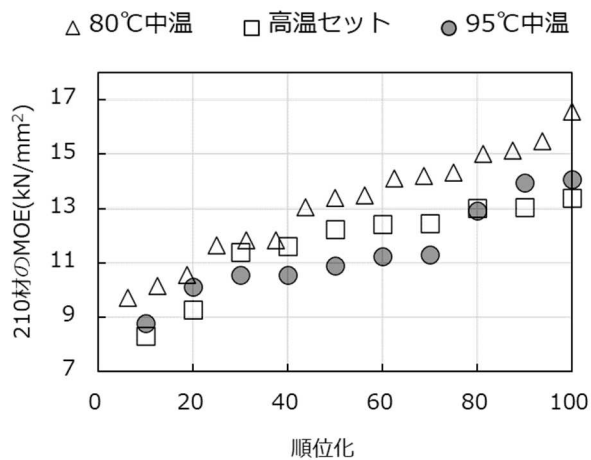


図 1-9 MOE の順位化

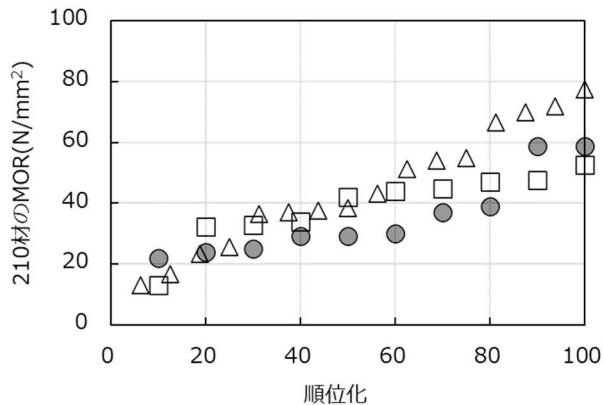


図 1-10 MOR の順位化

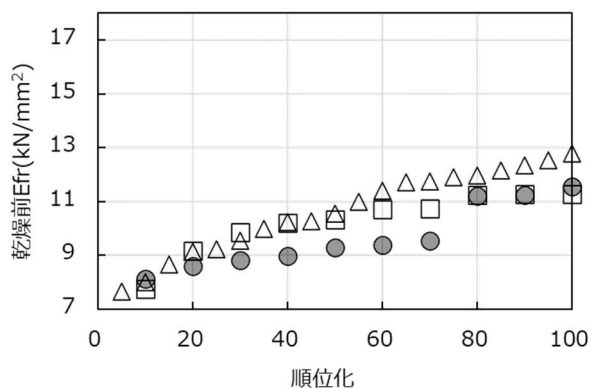


図 1-11 乾燥前 Efr の順位化

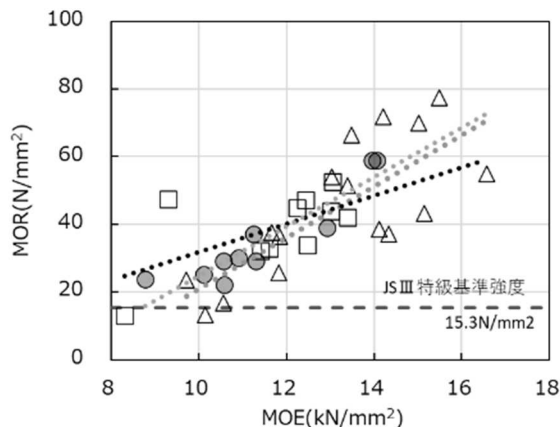
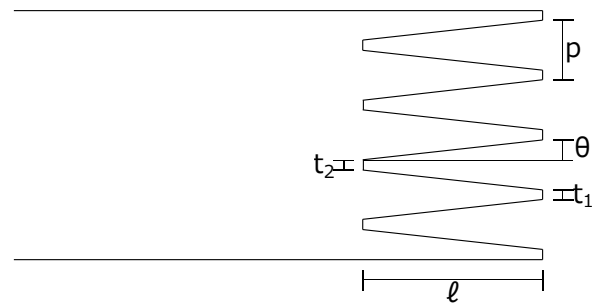


図 1-12 MOE と MOR の関係と基準強度

第2章 たて継ぎ材の接着性能

2.1 目的

カラマツ 210 材の通常品では対応できないような長スパン横架材としての適用を目的とし 210 材同士をたて継ぎしたフィンガージョイント（以下 FJ）材を開発し、「枠組壁工法構造用製材及び枠組壁工法構造用たて継ぎ材の日本農林規格」の甲種たて継ぎ材の「接着の程度」の評価を実施した。



2.2 試験の方法

2.2.1 試験片の作製

長野県東信産カラマツ 4m 材 20 本、木曽産 4m 材 10 本の合計 30 本を供試木とし、床パネル作成用のたて継ぎ 16 フィンガージョイント 210 材（以下、16f-FJ210 材）を作製しそのうち 18 体を試験体とした。

たて継ぎ材のフィンガージョイント（以下、FJ）の基準寸法と規格を図 2-1 に示す。フィンガーの長さは 18.63mm と 16mm 以上のため、フィンガーの中央部を切断し、各 FJ 部について試験片 2 個を作成した（写真 2-1）。

煮沸繰返し試験

FJ210 材 8 体から FJ 部を 10 箇所切り出し、各 FJ 部について各 2 個、合計 20 個の試験片を作製した。

減圧加圧試験

FJ210 材 10 体から FJ 部を 14 箇所切り出し、各 FJ 部について各 2 個、合計 28 個の試験片を作製した。

規格項目	記号	基準寸法
フィンガーの長さ	ℓ	18.63mm
ピッチ	p	6mm
フィンガー先端厚さ	t_1	0.8mm
フィンガーの底部幅	t_2	0.6mm
勘合度	$t_1 - t_2$	0.2mm
スカーフ傾斜比	θ	1/8.1

図 2-1 FJ の各部の基準寸法と規格



写真 2-1 FJ 接着性能試験片の作製

2.2.2 試験方法

「接着の程度」の評価は、煮沸繰返し試験と減圧加圧試験を行った。

煮沸繰返し試験の実施状況を写真 2-2 に示す。
試験片を煮沸水中に 5 時間浸せきし、更に室温水

中に 1 時間浸せきした後、水中から取り出し、 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ の恒温乾燥器中に 18 時間以上入れ、含水率が 19%以下となるように乾燥した後、試験片 2 個の平均剥離率を算出した。



煮沸水中 5 時間浸せき



室温水中に1時間浸せき



処理試験体



$60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ の恒温乾燥器中 18 時間以上

写真 2-2 煮沸繰返し試験の実施状況

次に、減圧加圧試験の実施状況を写真 2-3 に示す。

試験片を室温水中に浸せきし、0.068MPa から 0.085MPa までによる減圧を 30 分間行い、更に 0.51

$\pm 0.03\text{MPa}$ の加圧を 2 時間行った後、水中から取り出し、 $70\pm 3^{\circ}\text{C}$ の恒温乾燥器中に 18 時間以上入れ、含水率が 19% 以下となるように乾燥した後、試験片 2 個の平均剥離率を算出した。



室温水中に浸せき



減圧：
0.085MPa による減圧を 30 分間



$70\pm 3^{\circ}\text{C}$ の恒温乾燥器中 18 時間以上



加圧：
 $0.51\pm 0.03\text{MPa}$ の加圧を 2 時間

写真 2-3 減圧加圧試験の実施状況

2.3 結果

煮沸繰返し試験の結果を表 2-1 に示し、減圧加圧試験の結果を表 2-2 示した。

各試験片について、次式により剥離率を算出し、平均剥離率は 2 個の試験片の剥離率の平均とした。その結果、煮沸繰返し試験及び減圧加圧試験の全ての試験片の平均剥離率が 5% 以下であり、「枠組壁

工法構造用製材及び枠組壁工法構造用たて継ぎ材の日本農林規格」の甲種たて継ぎ材の「接着の程度」に適合していた。

$$\text{剥離率(\%)} = \frac{\text{木口面の剥離の長さの合計}}{\text{木口面の接着層の長さの合計}} \times 100$$

表 2-1 煮沸繰返し試験結果

試験体No.	試験片No.	接着層			剥離		試験片No.	接着層			剥離		平均剥離率 (%)
		層数 (層)	1層の長さ (mm)	層の長さ合計 (mm)	剥離長さ (mm)	剥離率 (%)		層数 (層)	1層の長さ (mm)	層の長さ合計 (mm)	剥離長さ (mm)	剥離率 (%)	
1(1)	1A(1)	78	38.05	2967.90	0.00	0.0	1B(1)	78	37.89	2955.42	0.00	0.0	0.0
1(2)	1A(2)	79	37.93	2996.47	0.00	0.0	1B(2)	78	37.95	2960.10	0.00	0.0	0.0
2	2A	78	38.00	2964.00	4.33	0.1	2B	78	37.95	2960.10	0.00	0.0	0.1
3	3A	78	38.02	2965.56	0.00	0.0	3B	79	37.96	2998.84	0.00	0.0	0.0
4(1)	4A(1)	78	37.85	2952.30	30.75	1.0	4B(1)	78	37.84	2951.52	58.69	2.0	1.5
4(2)	4A(2)	78	37.93	2958.54	116.39	3.9	4B(2)	78	37.86	2953.08	23.58	0.8	2.4
5	5A	78	37.94	2959.32	0.00	0.0	5B	79	37.91	2994.89	0.00	0.0	0.0
6	6A	78	37.97	2961.66	0.00	0.0	6B	78	37.93	2958.54	0.00	0.0	0.0
7	7A	78	37.90	2956.20	0.00	0.0	7B	78	38.00	2964.00	0.00	0.0	0.0
23	23A	78	37.92	2957.76	123.21	4.2	23B	78	37.98	2962.44	16.07	0.5	2.4

表 2-2 減圧加圧試験結果

試験体No.	試験片No.	接着層			剥離			試験片No.	接着層			剥離			平均剥離率 (%)
		層数 (層)	1層の長さ (mm)	層の長さ合計 (mm)	剥離長さ (mm)	剥離率 (%)	層数 (層)		1層の長さ (mm)	層の長さ合計 (mm)	剥離長さ (mm)	剥離率 (%)			
1(1)	1A	78	37.95	2960.10	0.00	0.0	1B	78	37.92	2957.76	0.00	0.0	0.0		
1(2)	2A(1)	78	37.94	2959.32	0.00	0.0	2B(1)	79	37.92	2995.68	0.00	0.0	0.0		
2	2A(2)	79	37.90	2994.10	0.00	0.0	2B(2)	78	37.90	2956.20	0.00	0.0	0.0		
3	3A	78	37.98	2962.44	0.00	0.0	3B	78	37.93	2958.54	0.00	0.0	0.0		
4(1)	4A(1)	78	37.98	2962.44	0.00	0.0	4B(1)	78	38.00	2964.00	0.00	0.0	0.0		
4(2)	4A(2)	79	38.00	3002.00	0.00	0.0	4B(2)	79	37.97	2999.63	0.00	0.0	0.0		
5	5A	78	37.96	2960.88	0.00	0.0	5B	78	37.97	2961.66	0.00	0.0	0.0		
6	6A	78	37.91	2956.98	0.00	0.0	6B	79	37.91	2994.89	0.00	0.0	0.0		
7(1)	7A(1)	79	37.94	2997.26	0.00	0.0	7B(1)	79	37.91	2994.89	0.00	0.0	0.0		
7(2)	7A(2)	78	37.91	2956.98	0.00	0.0	7B(2)	78	37.93	2958.54	0.00	0.0	0.0		
8	8A	79	37.85	2990.15	0.00	0.0	8B	79	37.86	2990.94	0.00	0.0	0.0		
11(1)	11A(1)	78	37.85	2952.30	8.64	0.3	11B(1)	77	37.95	2922.15	0.00	0.0	0.1		
11(2)	11A(2)	79	37.90	2994.10	0.00	0.0	11B(2)	78	37.95	2960.10	10.99	0.4	0.2		
12	12A	79	37.90	2994.10	0.00	0.0	12B	78	37.95	2960.10	145.95	4.9	2.5		

第3章 NLTの強度特性

- 3.1 目的
- 3.2 曲げ試験
- 3.3 釘せん断試験
- 3.4 強度計算方法の検証

3.1 目的

NLT (Nail-Laminated Timber) は木材を隙間なく縦に並べて釘等で緊結し一体化することにより、床版や屋根版を構成する木質材料であり、日本では公益財団法人日本住宅・木材技術センター（以下「住木センター」）の木造建築新工法性能認証（新工法NSK17a1, 令和2年7月31日認証, 認証取得者：(一社)日本ツーバイフォー建築協会, カナダ林産業審議会）に従って設計・運用される。カラマツは本認証の適用木材であるが、認証申請の際に曲げ試験等が行われたのはスギ・SPFのNLTにおいてであり、カラマツNLTの実大曲げ試験や釘せん断試験は行われていない。⁵⁾

今回、カラマツNLTについても試験を行い実際の強度等を確認し認証を受けた強度計算方法を検証することで、信州カラマツ大径材の有効活用に必要な技術開発を進めると共に、枠組壁工法部材の市場の不安定性の解消及び長野県産カラマツの新たな利用拡大を図る。

3.2 曲げ試験

3.2.1 試験方法

3.2.1.1 NLT試験体作成用 210 材

NLT試験体作成用 210 材の仕様は甲種特級相当材含水率 15%以下とした。納入された 100 枚の 210 材のうち、仕様に適合しない 46 枚を除いた 54 枚の密度と動的ヤング係数を測定した。測定結果を表 3-1 に示す。

54 枚中 49 枚が文献⁶⁾に示される JAS 枠組材カラマツ甲種特級の基準弾性係数 (10.4kN/mm^2) を上回り、基準弾性係数が 50% 下限値由来の数値⁷⁾であることを考慮すると、極めて良好な結果であった。

表 3-1 N L T 試験体作成用 210 材の物性値

縦振動 ヤング係数 順位	縦振動 ヤング係数 (kN/mm ²)	密度 (g/cm ³)	縦振動 ヤング係数 順位	縦振動 ヤング係数 (kN/mm ²)	密度 (g/cm ³)	縦振動 ヤング係数 順位	縦振動 ヤング係数 (kN/mm ²)	密度 (g/cm ³)
1	7.83	0.46	19	12.85	0.58	37	15.65	0.56
2	8.99	0.45	20	12.93	0.50	38	15.74	0.59
3	9.06	0.45	21	13.06	0.56	39	15.93	0.57
4	9.45	0.44	22	13.13	0.50	40	15.94	0.53
5	10.12	0.47	23	13.38	0.53	41	16.02	0.53
6	10.51	0.51	24	13.44	0.54	42	16.04	0.56
7	10.90	0.53	25	13.59	0.55	43	16.07	0.59
8	10.97	0.51	26	14.17	0.57	44	16.27	0.57
9	11.03	0.54	27	14.33	0.58	45	16.29	0.60
10	11.48	0.57	28	14.52	0.53	46	16.60	0.55
11	11.73	0.53	29	14.58	0.50	47	16.83	0.55
12	11.83	0.46	30	15.04	0.55	48	16.96	0.61
13	11.85	0.55	31	15.07	0.55	49	17.27	0.59
14	12.08	0.44	32	15.08	0.53	50	17.97	0.55
15	12.27	0.47	33	15.11	0.54	51	17.98	0.57
16	12.28	0.46	34	15.30	0.53	52	18.12	0.56
17	12.55	0.49	35	15.31	0.57	53	18.85	0.64
18	12.70	0.50	36	15.61	0.56	54	18.97	0.60
						平均値	14.03	0.54
						最小値	7.83	0.44
						最大値	18.97	0.64

3.2.1.2 NLT試験体

表 3-1 の候補材から表 3-2 のとおり選抜し、表 3-3 の仕様で、図 3-1 の木取り、図 3-2 の割付に従って NLT を作成した。物性値を確認した 54 枚の 210 材から 42 枚の NLT 構成要素を選抜するにあたり、ヤング係数で順位化し、甲種特級の基準弾性係数 10.4 kN/mm^2 未満の 5 枚を除外し

た中から、無作為に 42 枚を抽出した。残る 7 枚は予備材とし、NLT 作成の際著しい繊維傾斜が明らかになったヤング係数順位 26 の 210 材は、予備材の順位 37 の材と入れ替えた。これら一連の選抜・木取り・割付・入れ替え等は（一社）日本ツーバイフォー建築協会の指示に従った。

表 3-2 NLT試験体を構成する 210 材の物性値

試験体番号	割付	密度 (g/cm ³)	縦振動 ヤング係数 (kN/mm ²)	試験体番号	割付	密度 (g/cm ³)	縦振動 ヤング係数 (kN/mm ²)	試験体番号	割付	密度 (g/cm ³)	縦振動 ヤング係数 (kN/mm ²)
1	①	0.51	10.51	2	①	0.53	13.38	3	①	0.57	15.93
	②	0.51	10.97		②	0.54	13.44		②	0.53	15.94
	③	0.54	11.03		③	0.55	13.59		③	0.53	16.02
	④	0.57	11.48		④	0.56	15.65		④	0.56	16.04
	⑤	0.53	11.73		⑤	0.58	14.33		⑤	0.59	16.07
	⑥	0.46	11.83		⑥	0.53	14.52		⑥	0.60	16.29
	⑦	0.44	12.08		⑦	0.50	14.58		⑦	0.55	16.60
	⑧	0.47	12.27		⑧	0.55	15.04		⑧	0.55	16.83
	⑨	0.49	12.55		⑨	0.53	15.08		⑨	0.61	16.96
	⑩	0.50	12.70		⑩	0.54	15.11		⑩	0.59	17.27
	⑪	0.58	12.85		⑪	0.53	15.30		⑪	0.55	17.97
	⑫	0.50	12.93		⑫	0.57	15.31		⑫	0.57	17.98
	⑬	0.56	13.06		⑬	0.56	15.61		⑬	0.64	18.85
	⑭	0.50	13.13		⑭	0.59	15.74		⑭	0.60	18.97
	平均	0.51	12.08		平均	0.55	14.76		平均	0.57	16.98

表 3-3 NLT試験体仕様

項目	仕様・詳細
試験体数	3 体
寸 法	厚235×幅228×全長8,690 mm 積層数：6 層
構 成 (図 3-2)	1及び6層：345+4,000+4,000+345 mm 2層：2,745+4,000+1,945 mm 3層：1,145+4,000+3,545 mm 4層：3,545+4,000+1,145 mm 5層：1,945+4,000+2,745 mm
接合方法	・ 枠組材の接合方法 太め鉄丸釘CN75(JIS A5508) 表面処理なし、2列打ち ・ 1層目を除く奇数層の釘の縁短距離 縁距離30mm、短距離50mm ・ 偶数層の釘の縁短距離 縁距離30mm、短距離50mm ・ 枠組み材長さ方向の継ぎ手 あり (3~5mmのバットジョイント)

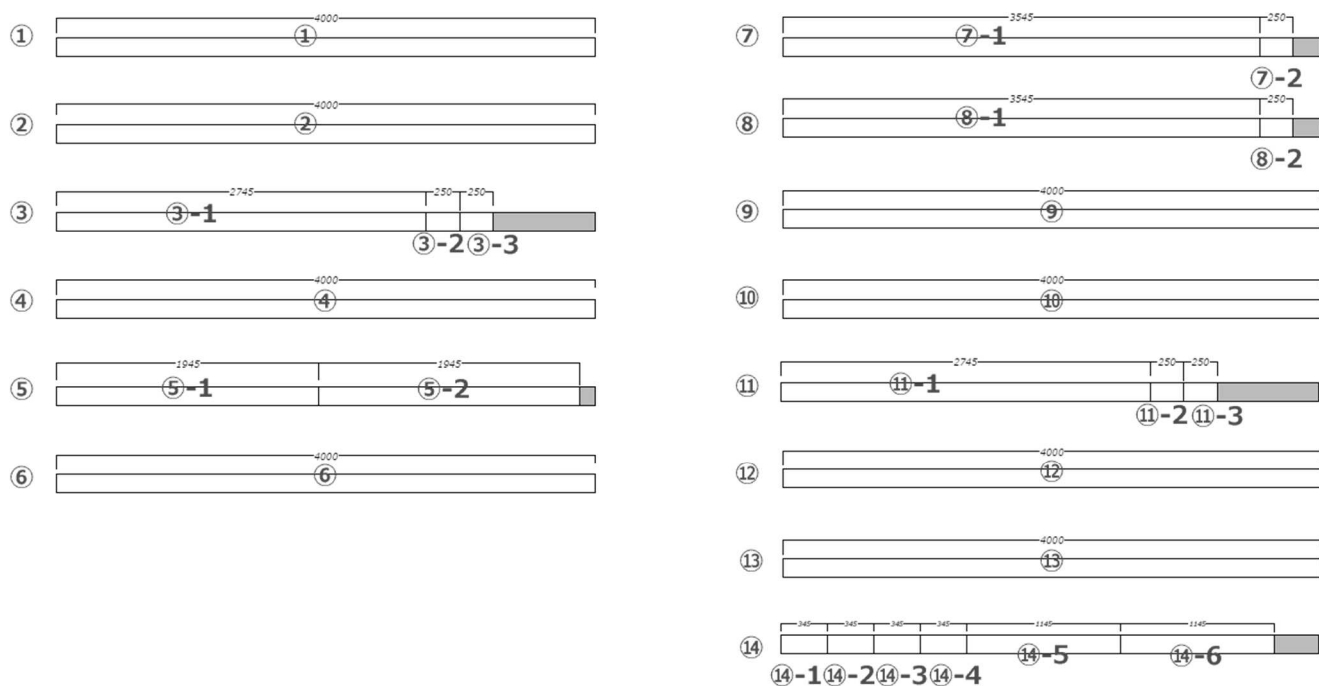


図 3-1 210 材からの木取り

試験体 K1082(カラマツ210) 4m材 14本使用

組立用釘：φ3.76mm×L=76.2mm (CN75 JIS)

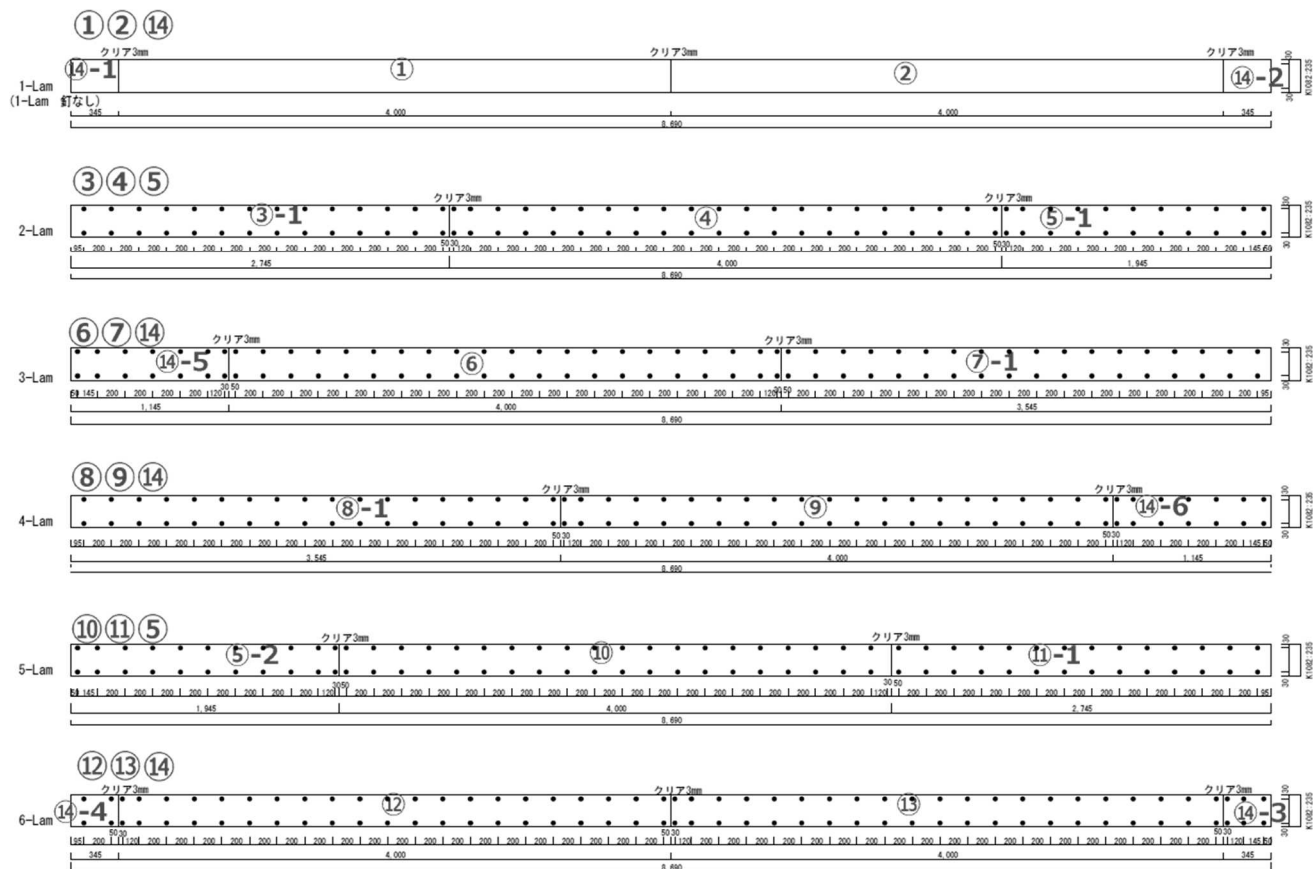


図 3-2 試験体の構成及び試験体素材の割付

3.2.1.3 試験方法

曲げ試験の概要及び変位計の設置場所を図 3-3 に示し、代表的な試験体設置の様子を写真 3-1 に示す。加力方向は NLT の厚さ方向（枠組材の幅方向）とし、3 等分点 4 点荷重法で行った。実大材曲げ強度試験機 UH-1000kN（島津製作所）を用い、ストローク変位 5mm/min で破壊するま

で加力した。変位は、巻込型変位計（#1～#8）で測定した。試験体下面のスパン中央及び左右 10mm 地点の変位を巻込型変位計（中央：#5～#8, 10mm 地点：#1～#4, 図 3-3 下面（拡大図）参照）で測定し、平均値をスパン中央変位とし曲げヤング係数の算定に供した。

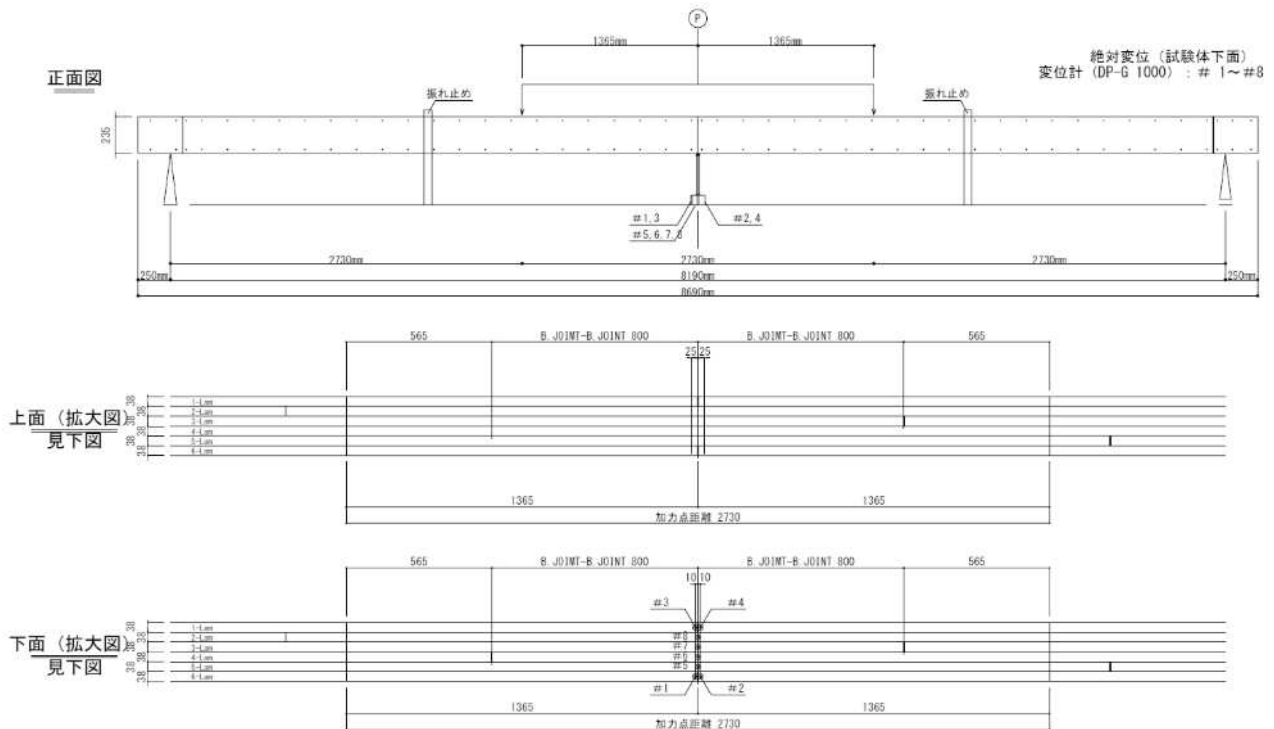


図 3-3 曲げ試験の概要および変位計配置図



写真 3-1 実大曲げ試験

曲げヤング係数（ Eb ）及び曲げ強度（ Fb ）は以下の式により算定した。

$$Eb = \frac{23\Delta Pl^3}{108bh^3\Delta y}$$

$$Fb = P_{max}l/bh^2$$

ここで、

l：スパン(8190mm)

b：試験体の幅(228mm)

h：試験体の高さ(235mm)

ΔP : 最大荷重の約 40%の荷重と最大荷重の約 10%の荷重との差

Δy : 最大荷重の約 40%の荷重に対するスパン中央変位と最大荷重の約 10%の荷重に対するスパン中央変位（#1-#8 の平均値）との差

P_{max} : 最大荷重

3.2.2 結果

曲げ試験結果を表 3-4 に、荷重－スパン中央部変位の関係を図 3-4 に示す。また、試験体の破壊状況を写真 3-2 に示す。

表 3-4 実大曲げ試験結果一覧

試験体 No.	最大荷重 (kN)	曲げ強さ (N/mm ²)	曲げヤング係数 (kN/mm ²)	破壊形態
1	27.9	18.2	8.65	・荷重点間の曲げ破壊 ・最外層釘接合部のせん断破壊
2	41.0	26.7	10.22	
3	34.6	22.5	12.41	

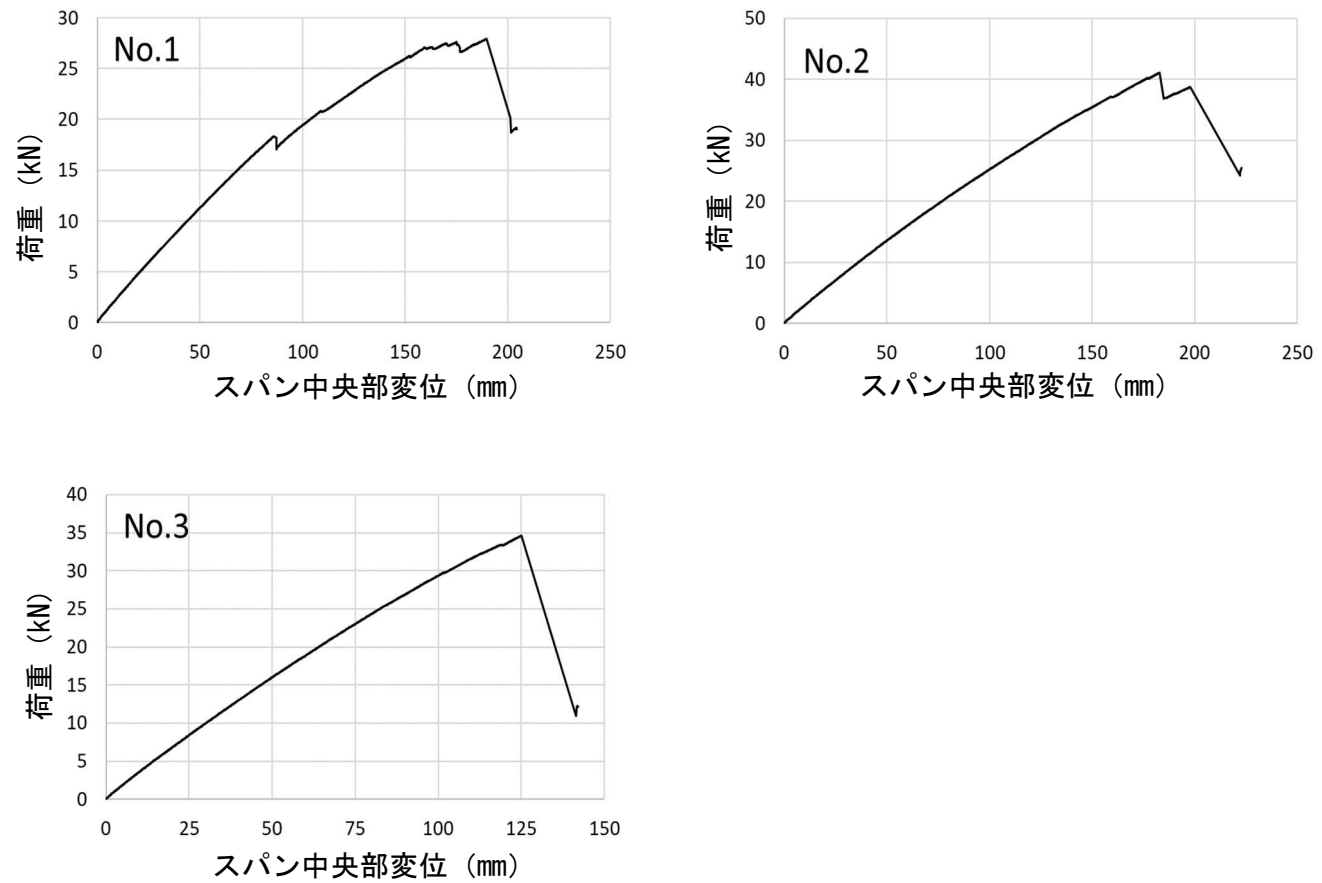


図 3-4 荷重変位曲線



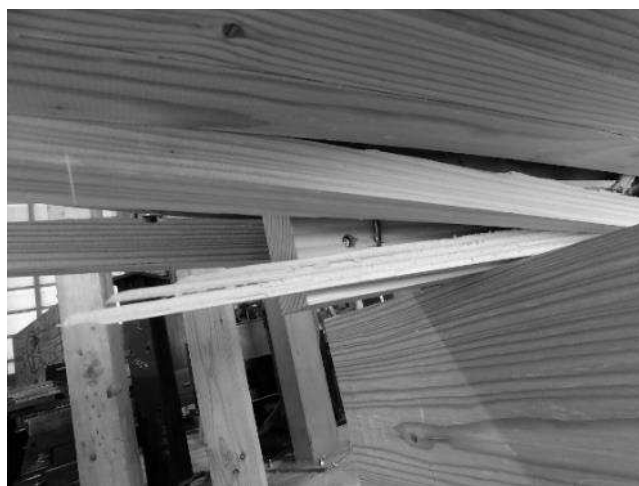
No. 1 : 曲げ破壊および最外層釘接合部のせん断破壊



No. 1 : 曲げ破壊（下面）



No. 2 : 曲げ破壊および最外層釘接合部のせん断破壊



No. 2 : 曲げ破壊（下面）



No. 3 : 曲げ破壊および最外層釘接合部のせん断破壊



No. 3 : 曲げ破壊（下面）

写真 3-2 破壊状況

3.3 釘せん断試験

3.3.1 試験方法

3.3.1.1 試験体

用いる試験素材は実大曲げ試験で用いた 210 材の端材としたが、実大曲げ試験には縦振動ヤング係数が桝組材カラマツ甲種特級の基準弾性係数以上の 210 材のみを用いていることに留意する必要がある。

寸法は主材・側材共に $38 \times 235 \times 250$ (mm) とした。表 3-5 に試験体の構成と物性値を示す。なお、物性値は 4m 材時のものであり、寸法調整後再度測定は行っていない。なお、使用した釘、ネイラー、製作者は実大曲げ試験体製作時と同じである。

表 3-5 釘せん断試験体の構成と物性値

試験体名	主材			側材1			側材2			加力方向
	木取りNo.	縦振動 ヤング係数 (kN/mm ²)	密度 (g/cm ³)	木取りNo.	縦振動 ヤング係数 (kN/mm ²)	密度 (g/cm ³)	木取りNo.	縦振動 ヤング係数 (kN/mm ²)	密度 (g/cm ³)	
1-P	⑦-2	12.084	0.44	③-2	11.026	0.54	⑪-2	12.853	0.58	繊維 平行
2-P		14.578	0.50		13.593	0.55		15.298	0.53	
3-P		16.603	0.55		16.015	0.53		17.974	0.55	
1-V	⑧-2	12.266	0.47	③-3	11.026	0.54	⑪-3	12.853	0.58	繊維 直交
2-V		15.043	0.55		13.593	0.55		15.298	0.53	
3-V		16.830	0.55		16.015	0.53		17.974	0.55	

3.3.1.2 試験方法

試験方法は桝組壁工法建築物構造設計指針⁶⁾に準拠した、いわゆるロケット型試験とし図 3-5 のような主材を 2 本の側材で挟み込み釘留めした試験体を主材の頂部から一方向に圧縮荷重を加えるものとした。ただし、釘の打ち込み方向は NLT の製造の実態に合わせ、一方向から行った。代表的な試験体設置の様子を写真 3-3 に示す。

加力は、実大材圧縮試験機 CCM-2000kNA (島津製作所) を用い、ストローク変位 3.0mm/min (3-V のみ 5.0mm/min) で最大荷重に達するまで単調加力した。

荷重はクロスヘッド内蔵のロードセルで計測し、主材-側材間の相対変位 (試験体の表裏で 2 か所) は巻き取り式変位計で計測した。

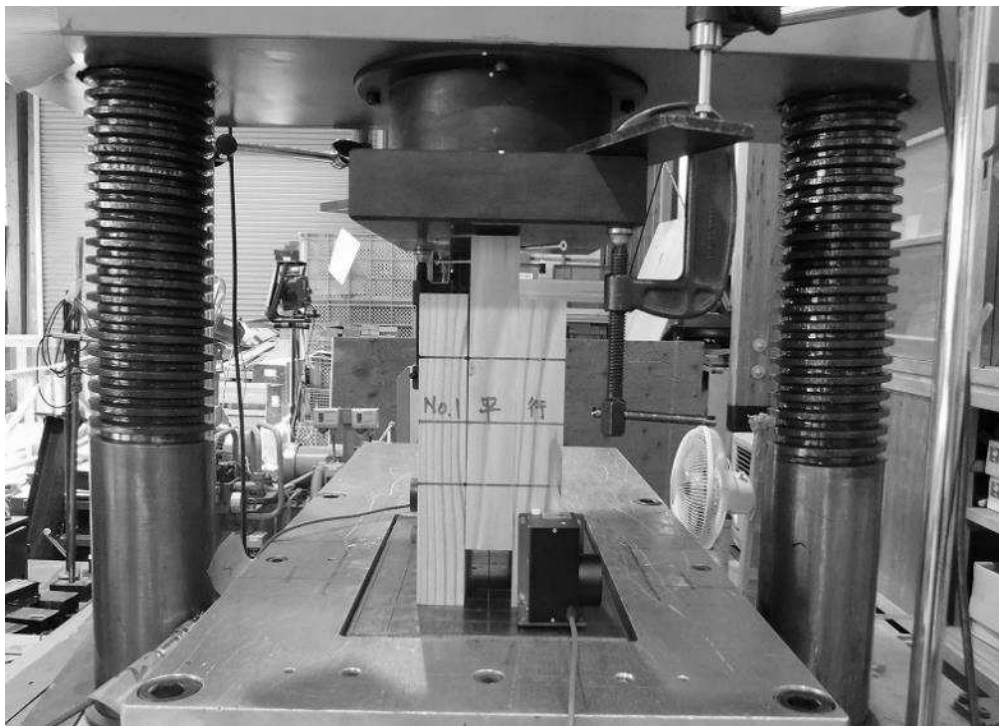
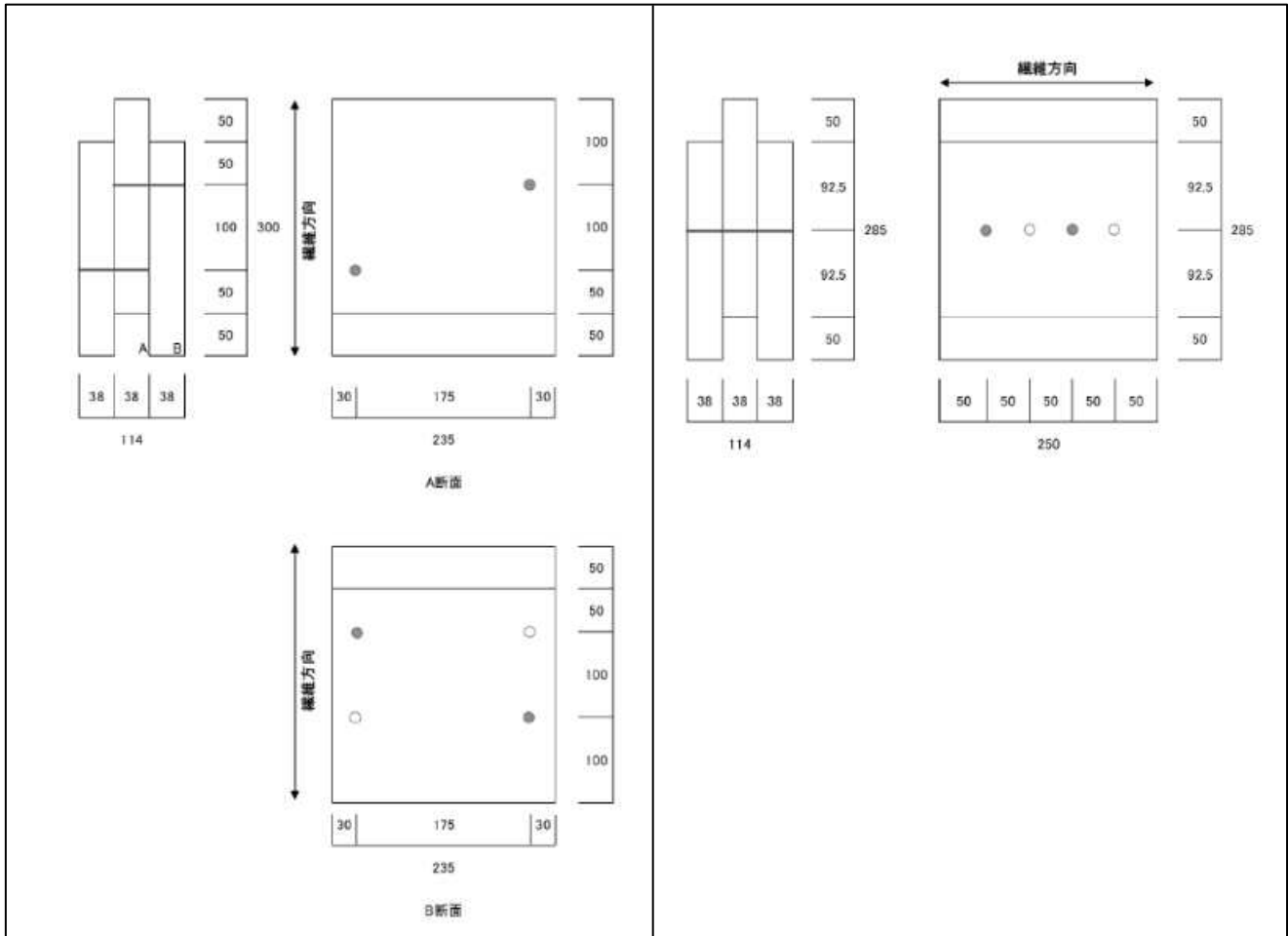


写真 3-3 釘せん断試験体（1-P）加力前

3.3.2 結果

試験で得られた荷重変位曲線を図 3-6 に示す。なお、図内の数値は釘 4 本あたりの数値である。繊維平行の 3 体は主材－側材の相対変位が 30mm に達するまでに最大荷重の 80% まで荷重が低下しなかったが、繊維直交の 3 体は最大荷重の 80% まで荷重が低下した。代表的な試験後の試験体の様子を写真 3-4 に示す。破壊性状について、繊維直交の試験体 2 体に主材の割裂破壊が見られ、主材から打ち付けた 2 体分 4 本の釘のうち 3 本で釘頭

貫通が見られた (写真 3-5)。他の全ての釘の破壊性状は引き抜けであった (写真 3-6)。引き抜けの場合、側材→主材を留めつけている釘と主材→側材を留めつけている釘とで変形の方法が異なるのが特徴的であったが、釘頭貫通が見られた試験体では釘の変形の方法が同一となった。

荷重変位曲線は PickPoint 3.292⁸⁾ により完全弾塑性処理することで釘 1 本当たりの初期剛性 k (kN/mm) と終局耐力 (=降伏点変位時の耐力) ΔP_v (kN) を算出した。試験結果を表 3-6 に示す。

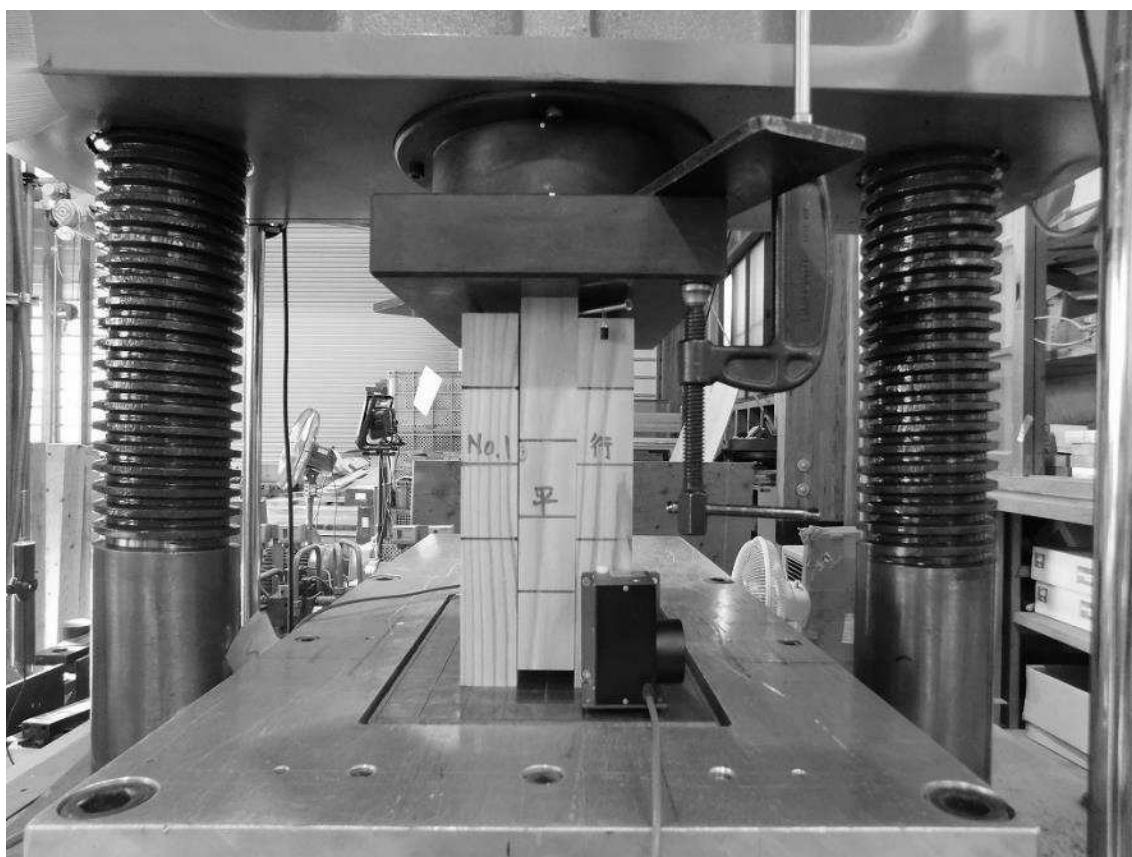


写真 3-4 釘せん断試験体 (1-P) 加力後

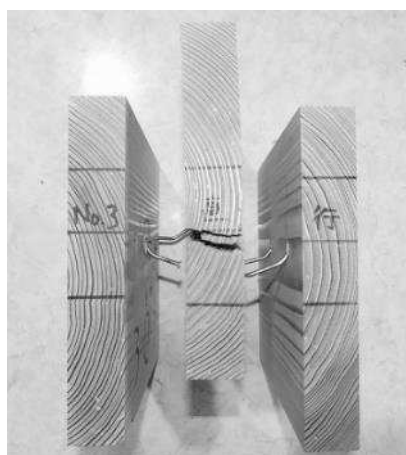


写真 3-5 釘頭貫通

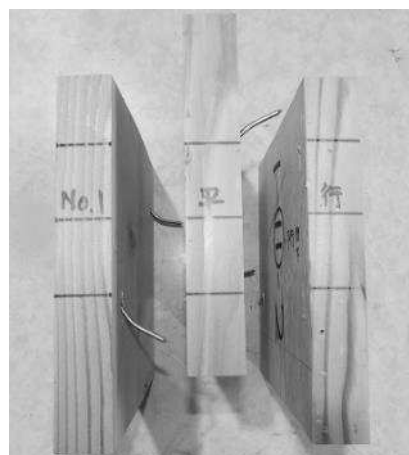


写真 3-6 引き抜け

表 3-6 釘せん断試験結果

試験体名	初期剛性k (kN/mm)	降伏耐力Py (kN)	試験体名	初期剛性k (kN/mm)	降伏耐力Py (kN)
1-P	0.82	1.62	1-V	0.86	1.46
2-P	0.91	1.85	2-V	0.85	1.62
3-P	0.82	2.01	3-V	1.20	1.65

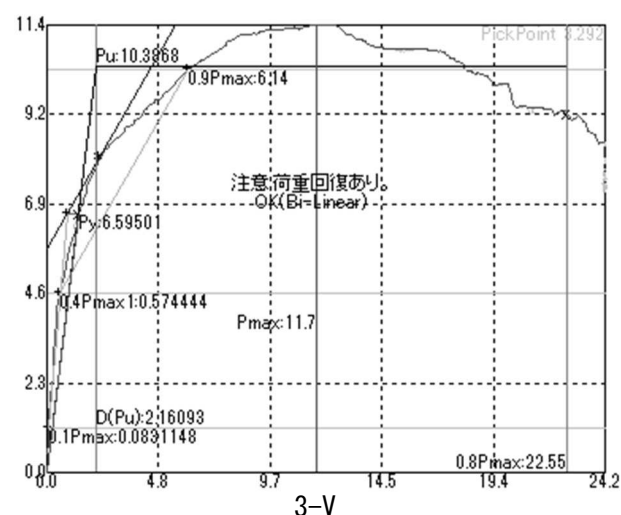
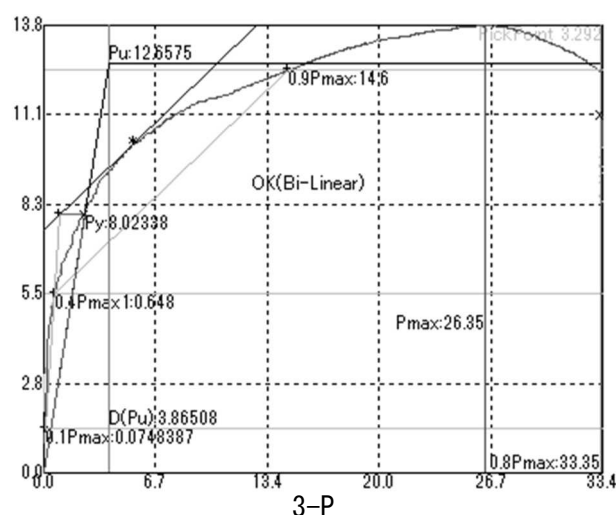
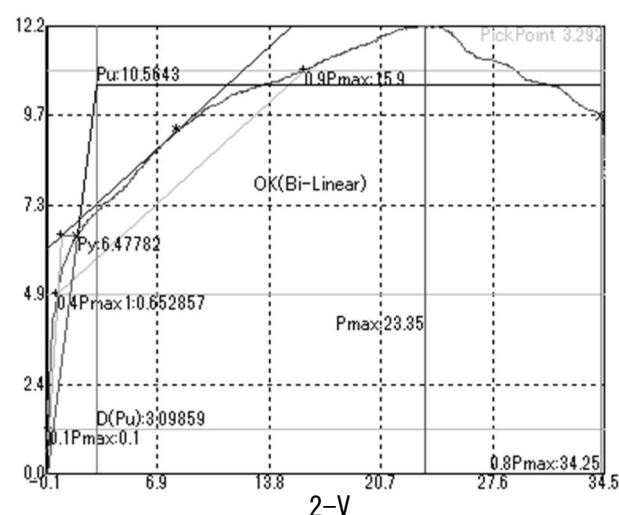
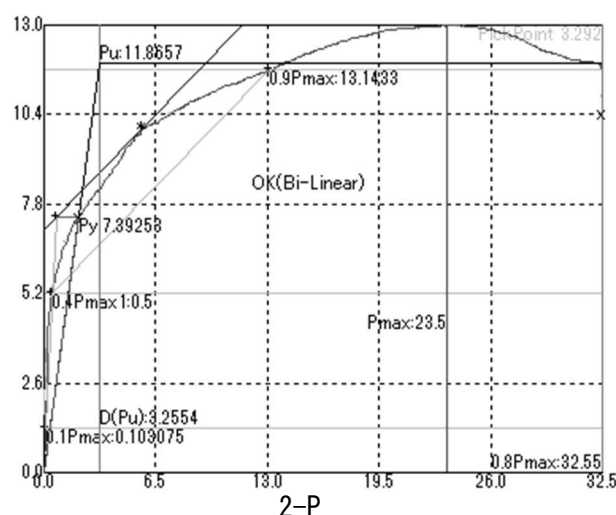
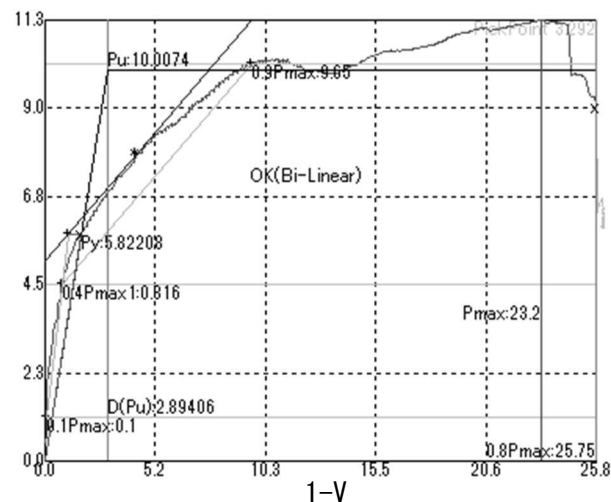
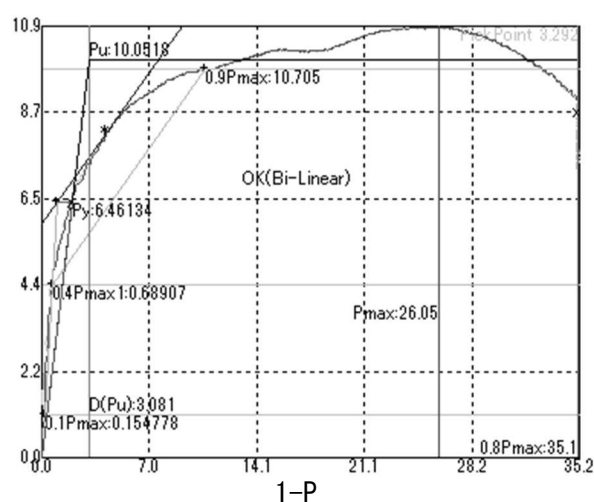


図 3-6 荷重変位曲線

3.4 強度計算方法の検証

3.4.1 剛性低減率

NLTの構成材料（210材等）のヤング係数に、0から1までの値をとる剛性低減率を乗じたものがNLTのヤング係数として構造計算等へ供される。以下、認証の内容を一部抜粋する。

「バットジョイント部を木材添え板釘接合でモデル化した部材の剛性とその接合範囲におけるバツ

トジョイントの無い部材の剛性の比を剛性低減率とする。なお、6層ユニットに対して、最後（最初）の1枚を除いた積層数を有効積層数として実積層数（6層）に対する比も乗じて剛性低減率とする。」

まず、認証を受けた剛性低減率を算出するために必要な回転剛性 K_{θ} の計算式を転記すると下記の通りである。

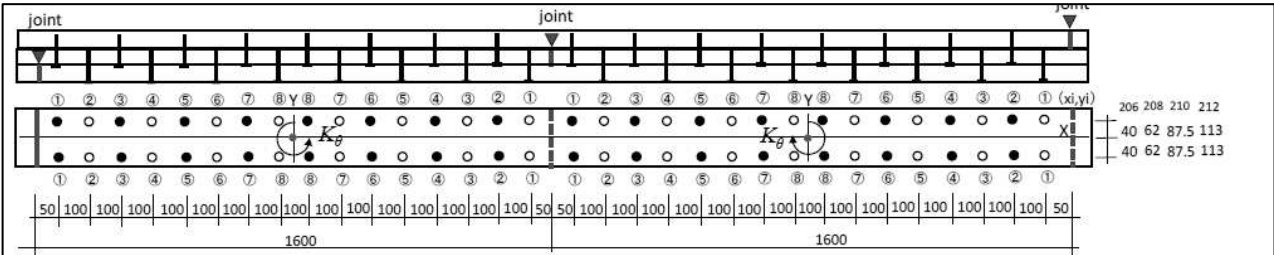


図 2.5.1-2 バットジョイント部のモデル化（木材添え板釘接合）

2) バットジョイント部の回転剛性 K_{θ} の計算

$$K_{\theta} = k_n \cdot I_p \quad \dots\dots(2.5.1-1)$$

k_n : 釘のすべり係数

$$I_p = I_x + I_y \quad \dots\dots(2.5.1-2)$$

$$I_x = \sum xi^2, I_y = \sum yi^2 \quad \dots\dots(2.5.1-3)$$

xi, yi : 図心(回転中心)からの釘の座標 (図 2.5.1-2)

上記計算式に認証を受けている設計用釘のすべり係数（＝初期剛性）610N/mmを代入した時の回転剛性 K_{θ} の算出過程を表 3-7 に示す。なお、釘は2列打ちのため xi, yi の値をそれぞれ2倍し

てから2乗し I_{xi}, I_{yi} を求めており、算出方法は（一社）日本ツーバイフォー建築協会の指導に従った。

表 3-7 回転剛性の算出

釘配置	xi mm	yi mm	I_{xi} mm^2	I_x mm^2	I_{yi} mm^2	I_y mm^2	I_p mm^2	k_n N/mm	K_{θ} kNm/rad
①	750	87.5	2,250,000	6,800,000	30,625	245,000	7,045,000	610	4,297
②	650	87.5	1,690,000		30,625				
③	550	87.5	1,210,000		30,625				
④	450	87.5	810,000		30,625				
⑤	350	87.5	490,000		30,625				
⑥	250	87.5	250,000		30,625				
⑦	150	87.5	90,000		30,625				
⑧	50	87.5	10,000		30,625				

また、認証を受けた剛性低減率の計算式を転記すると下記の通りである。

$$\alpha_{EI} = \frac{\delta_{Lumber}}{\delta_{Lumber} + \delta_{Joint}} \cdot \frac{n_u - 1}{n_u} = \frac{K_{\theta} \cdot L_L^2}{K_{\theta} \cdot L_L^2 + 8EI_u c} \cdot \frac{5}{6} \quad \dots\dots(2.5.1-4)$$

n_u ：単位 NLT 版の積層数（6 層）

δ_{Lumber} ：両端に曲げモーメントを作用させた場合のランバーの曲げ変位

$$\delta_{Lumber} = \frac{ML_L^2}{8EI_u} \quad \dots\dots(2.5.1-5)$$

M ：単位モーメント、 L_L ：基準ランバー長さ（標準：4000mm）

E ：ランバーのヤング係数（基準弾性係数）

I_u ：単位 NLT 版の断面 2 次モーメント

$$I_u = b_u h^3 / 12 \quad \dots\dots(2.5.1-6)$$

h ：材背（204:89mm、206:140mm、208:184mm、210:235mm、212:286mm）

b_u ：単位 NLT 版の幅（6 層分：38mm×6=228mm）

δ_{joint} ：釘接合部の変位

$$\delta_{Joint} = \frac{Mc}{K_{\theta}} \quad \dots\dots(2.5.1-7)$$

M ：単位モーメント、 c ：基準ランバー端部から回転中心までの距離（標準 800mm）

K_{θ} ：釘接合部の回転剛性（2.5.1-1）式より

構造計算時、釘のすべり係数 k_n は設計用の定数を用いるため、NLT の構造が同じであれば 210 材の樹種やヤング係数に関わらず回転剛性 K_{θ} は定数となる。 K_{θ} を定数としたとき、NLT 構成要素の 210 材のヤング係数が高くなるほど δ_{Lumber} は小さくなり、その結果剛性低減率 α_{EI} は小さい値をとるため、剛性はより低減される式となっている。

上記計算式に表 3-8 の定数等を代入し得られた設計用剛性低減率 α_{EI} をカラマツ 210 材甲種特級の基準弾性係数に乗じて得られるヤング係数を設計用ヤング係数（設計値） E_{dv} とし、また各 NLT

を構成する 210 材平均縦振動ヤング係数を代入して得られる理論上の剛性低減率 α_{calc} を 210 材平均縦振動ヤング係数に乗じて得られる NLT のヤング係数を推定ヤング係数（理論値） E_{calc} とした。また、今回の実大曲げ試験で得られた NLT のヤング係数を実測ヤング係数（実験値） $E_{expt.}$ とし、これを 210 材平均縦振動ヤング係数で除し実験剛性低減率 $\alpha_{expt.}$ を求めた。これらをまとめて表 3-9 に示す。

表 3-8 定数等

材幅 b (mm)	材背 h (mm)	断面二次 モーメント I_u (mm ⁴)	I_p (mm ²)	積層数 n	断面係数 Z (mm ³)	基準曲げ 強度 F_b -NLT (N/mm ²)	基準弾性 係数 E (N/mm ²)	設計 すべり 係数 K_n (N/mm)	回転剛性 K_{θ} (kNm/rad)	単位 モーメント M (Nm)	ランバー長さ L_L (mm)	回転中心 c (mm)
228	235	246,579,625	7,045,000	6	2,09855	10.2	10,400	610	4,297	7.848577	4,000	800

*1単位 M ：長期耐力相当時の曲げモーメント $M=F_{b-NLT} \times Z \times 1.1/3$

表 3-9 実験値との比較

試験体 No.	変位量 (基準弾性係数由来)		変位量 (ランバー平均由来)		設計値 (基準弾性係数由来)		理論値 (ランバー平均由来)		実験値 (実大曲げ試験)	
	δ Lumber (mm)	δ Joint (mm)	δ Lumber (mm)	δ Joint (mm)	αEI	Edv. (kN/mm ²)	α calc.	Ecalc. (kN/mm ²)	α expt.	Eexpt. (kN/mm ²)
1	6.12	1.46	5.27	1.46	0.67	7.00	0.65	7.88	0.72	8.65
2	6.12	1.46	4.31	1.46	0.67	7.00	0.62	9.19	0.69	10.22
3	6.12	1.46	3.75	1.46	0.67	7.00	0.60	10.18	0.73	12.41

3 体の N L T 実大曲げ試験体全ての実測ヤング係数 Eexpt. は、設計用ヤング係数 Edv. の 7.00kN/mm² や各 N L T それぞれの推定ヤング係数 Ecalc. を上回った。一方で、理論値 $\alpha_{calc.}$ が設計値 α_{EI} を下回っているが、これは今回の試験で枠組材カラマツ甲種特級の基準弾性係数以上の材を用い、かつ回転剛性 K_{θ} を設計値 k_n 由来の定数としたため、先述の通り剛性はより低減される結果となっ

たものであり、低減された推定ヤング係数 Ecalc. が設計用ヤング係数 Edv. を上回っているため実用上の問題はないように思われる。ただし、今回の試験は縦振動ヤング係数が枠組材カラマツ甲種特級の基準弾性係数以上と確認できた 210 材のみを、N L T 試験体ごとにそれを構成する 210 材のヤング係数のばらつきが小さくなるように組み合わせたものである点に留意が必要である。

3.4.2 基準曲げ強度

以下、認証の内容を一部抜粋する。

「NLTの有効積層数を、最後（最初）の1枚を除いた積層数とし、さらに、バットジョイントが5層おきに繰り返される事を踏まえ、全体の4/5を有効として、基準強度を低減する。」

計算式を転記すると下記の通りである。

$$F_{b-NLT} = \frac{n-1}{n} \times \frac{4}{5} \times K_z \times F_b$$

F_{b-NLT} : バットジョイントを有するNLTの基準曲げ強度
 n : NLT版の積層数
 K_z : 寸法調整係数（平12建告1452号第三）
 F_b : ランバーの曲げ基準曲げ強度（平12建告1452号第三）

上記計算式に $n=6$ 、210材の $K_z=0.67$ 、枠組材カラマツ甲種特級の $F_b=22.5$ を代入すると、 $F_{b-NLT}=10.2$ が得られる。表3-4に示した通り、今回の実大曲げ試験体の実測曲げ強度はこれをすべて上回っており、実用上の問題はないように思われる。ただし、今回の試験は縦振動ヤング係数が枠組材カラマツ甲種特級の基準弾性係数以上の210材のみを用いている点に留意が必要である。

3.4.3 設計用釘のすべり係数及び降伏耐力

以下、認証の内容を一部抜粋する。

「本設計で用いる釘1本当当たりのすべり係数及び降伏耐力は、安全側の評価となるSPFの結果を、適用範囲内の樹種群共通として、設計に用いる事とする。」

認証を受けた値を表3-10に、今回の試験結果の50%下限値等を表3-11に示す。

表3-10 設計用釘のすべり係数及び降伏耐力

釘	樹種群	釘のすべり係数(N/mm)	降伏耐力(N)
CN75	適用範囲内の樹種群	610	860

表3-11 釘せん断試験結果と設計値の比較

試験体名	初期剛性k (kN/mm)	降伏耐力Py (kN)	試験体名	初期剛性k (kN/mm)	降伏耐力Py (kN)
1-P	0.82	1.62	1-V	0.86	1.46
2-P	0.91	1.85	2-V	0.85	1.62
3-P	0.82	2.01	3-V	1.20	1.65
平均値	0.85	1.82	平均値	0.97	1.57
標準偏差	0.05	0.20	標準偏差	0.20	0.10
50%下限値	0.82	1.73	50%下限値	0.88	1.53
設計値	0.61	0.86	設計値	0.61	0.86

今回全試験体で設計値を上回る初期剛性と降伏耐力が確認でき、その50%下限値は設計値を上回った。ただし、今回の試験は縦振動ヤング係数が枠組材カラマツ甲種特級の基準弾性係数以上と確認できた210材のみを用いており、密度と初期剛性の間に正の相関が知られる点に留意が必要である。また、主材側材間のヤング係数のばらつきを大きくした場合等の釘せん断試験も今後必要と考える。

まとめ

乾燥について、長野県産カラマツ 210 材は 4 日間の 95℃中温乾燥スケジュールにより仕上がり含水率 15%とすることが可能であった。

FJ 材について、「甲種たて継ぎ材の接着の程度」の評価試験を実施した結果、煮沸繰返し試験及び減圧加圧試験の全ての試験片の平均剥離率が 5%以下であり、「枠組壁工法構造用製材及び枠組壁工法構造用たて継ぎ材の日本農林規格」の「甲種たて継ぎ材の接着の程度」に適合していた。

カラマツ 210 材を用いた NLT について、実大曲げ試験と釘せん断試験を実施し、木造建築新工法性能認証を受けている NLT の強度計算方法が今回の試験体製作条件において実用上問題がないことが確認できた。

謝辞

信州大学工学部松田昌洋助教に NLT の強度計算方法等についてご助言を賜りました。深く感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 今井信. 大径丸太の 210 材利用の取り組み. 木材工業. 2020, Vol. 75, No. 11, p. 527-530
- 2) 今井信・白石昭夫. カラマツ大径材から製材した枠組壁工法構造用たて継ぎ材寸法形式 210 の性能評価 (その 1) 曲げ強度性能と MSR 等級. 木材工業. 2023, Vol. 78, No. 6, p. 218-225
- 3) 今井信・白石昭夫. カラマツ大径材から製材した枠組壁工法構造用たて継ぎ材寸法形式 210 の性能評価 (その 2) 曲げ, 引張り強度特性と加力方向による曲げ強度性能の違い. 木材工業. 2023, Vol. 78, No. 10, p. 380-387
- 4) 吉田孝久・今井信・奥原祐司・山口健太. 208 材・210 材の乾燥特性および強度性能の解明. 長野県林業総合センター研究報告第 35 号, 2021, p. 140-152
- 5) 一般社団法人日本ツーバイフォー建築協会. 中大規模建築物における木材利用の拡大のための, NLT 実用化に向けた研究開発事業報告書. 2020
- 6) 一般社団法人日本ツーバイフォー建築協会. 2018 年枠組壁工法建築物構造計算指針. 東京, 丸善出版, 2018, 400p.
- 7) 長尾博文. 第 I 部総説集: 枠組壁工法に関する技術基盤 3. 日本農林規格における国産樹種群とその強度. 木材工業. 2020, Vol. 75, No. 11, p. 455-460
- 8) 軽部雅彦. “PickPoint”. 荷重変形曲線の特徴点抽出の自動化ツール PickPoint3. 292. 2011-02-09.
<https://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/etj/karube/PickPoint/index-j.html>, (参照 2025-1-27)

長野県産カラマツ大径材からの集成材ラミナ採材シミュレーション

研究期間：令和元年度～5 年度

小池直樹

長野県産カラマツのヤング係数分布モデルを用いて大径材から採材できる集成材ラミナのラミナ等級推定分布図を作成した。

キーワード：カラマツ，集成材，ラミナ，大径丸太，強度推定

1 緒言

近年，松本ら¹⁾がカラマツの樹心（髄）からの距離とヤング係数の関係を示すモデル式を提案しており，丸太の縦振動ヤング係数と採材位置によりラミナのヤング係数が推定可能になった。今回，各径級ごとに期待できるラミナの等級区分と枚数について簡易なシミュレーションを行い，その一例を示すことで大径材の利用促進を図ることとした。

なお，本研究は県単課題「大径A材丸太を活用した高剛性・高強度梁桁材の開発とその性能評価」（令和元年度～5 年度）の一部として実施した。

2 推定方法

丸太横断面内のヤング係数分布モデルは松本らが提唱した次式¹⁾を用いた。

($r < B$ のとき)

$$E_{fr-timber} = a \times \left(r - B + \frac{B^3}{3R^2} \right) + b \times \left(B - \frac{2R}{3} - \frac{B^3}{3R^2} \right) + E_{fr-log}$$

($r \geq B$ のとき)

$$E_{fr-timber} = \frac{a \times B^3}{3R^2} + b \times \left(r - \frac{2R}{3} - \frac{B^3}{3R^2} \right) + E_{fr-log}$$

ここで， $E_{fr-timber}$ ：製材品のヤング係数推定値 (kN/mm^2)， a ：未成熟材部の回帰直線の傾き ($\text{kN/mm}^2/\text{mm}$)， r ：樹心（髄）から製材品までの距離 (mm)， B ：境界値 (mm)， R ：丸太の半径 (mm)， b ：成熟材部の回帰直線の傾き ($\text{kN/mm}^2/\text{mm}$)， E_{fr-log} ：丸太の縦振動ヤング係数 (kN/mm^2)

E_{fr-log} について，今井ら²⁾の報告に一般に購入できる県産カラマツの「36cm 上の直材，製材用A材丸太」の縦振動ヤング係数区分³⁾について，Ef130が最も多いと報告されており，今回のシミュレーションでは E_{fr-log} を 13.00kN/mm^2 に固定し径級と木取りを変化させた場合の推定結果を一例として示すこととした。 a ， b ， B の値は木曽郡産カラマツ丸太

10 本分の髄を含む板材から半径方向に連続して採取された小試験体曲げ試験結果より $a = 0.0592$ ， $b = 0.0187$ ， $B = 86$ とし， r を決定するため加藤らが考案した 0.5mm 間隔の点群法⁴⁾を用いた。計算された $E_{fr-timber}$ の値を集成材の日本農林規格⁵⁾のラミナ等級区分ごとの曲げヤング係数の平均値と比較し推定ラミナ等級を決定した。

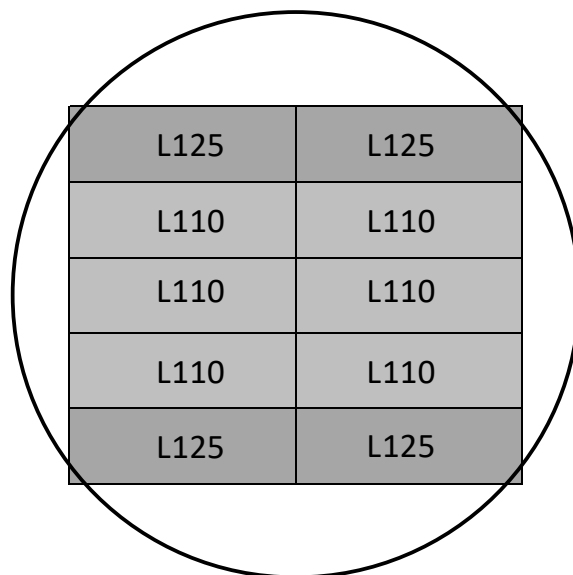
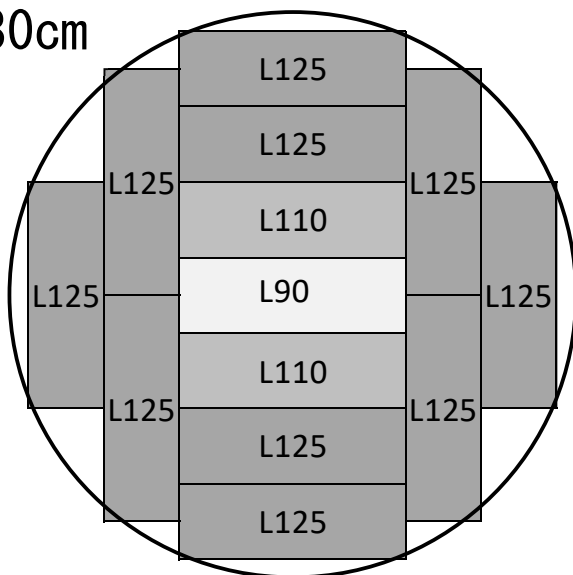
採材方法は心持ちタイコ材を製材したのち小割する方法（以下「心持ち採材」とする）と最初に樹心（髄）で割る方法（以下「心去り採材」とする）をそれぞれ検討した。推定対象のカラマツ大径丸太は末口直径 30cm から 60cm とし，ラミナ断面寸法は幅 120mm 厚さ 40mm とした。

3 結果

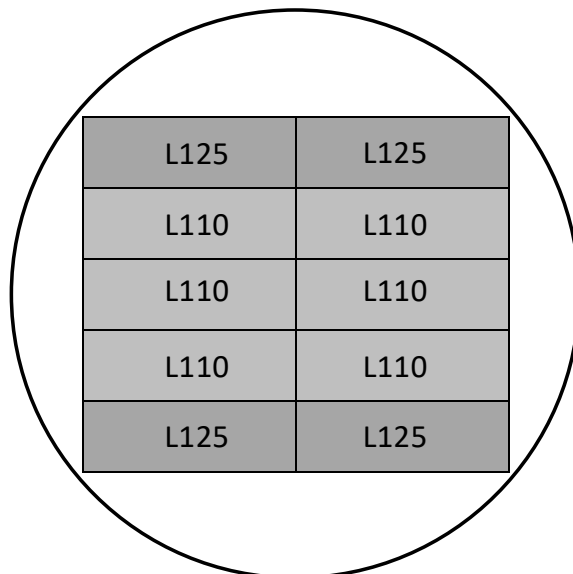
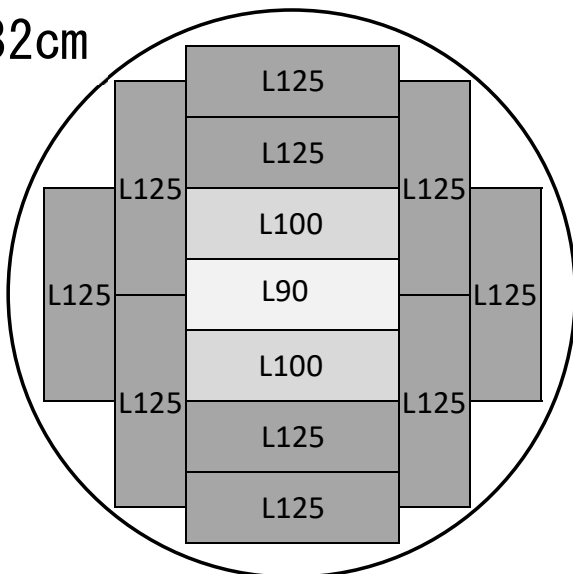
ラミナ等級推定分布図を図-1～6 に，シミュレーション結果の総括を表-1 に，採材方法別のラミナ総数を図-7 に，採材方法ごとの推定ラミナ等級分布を図-8，9 に，採材方法ごとの L125 及び L140 の数を図-10，11 に示す。なお，表-1 に示した最大製材率とはラミナ木口面積合計を丸太木口面積で割ったものである。

図-1～6 では心持ち採材では中心部のラミナに未成熟材が集中することでラミナ等級が著しく低くなることが可視化された。また図-7 より末口直径 40cm 以上では採材方法間でラミナ総数に違いがなくなることがわかり，図-8，9 からは同じヤング係数の丸太であっても径級が異なれば得られるラミナ等級も異なることがわかった。さらに，図-10 より L125 の数を増やしたい場合末口直径 44cm 以下では心持ち採材の方が有利であり，図-11 より L140 の数を増やしたい場合，より大きな材のほうが有利であること，また径級ごとに細かく採材方法を検討する必要があることがわかった。

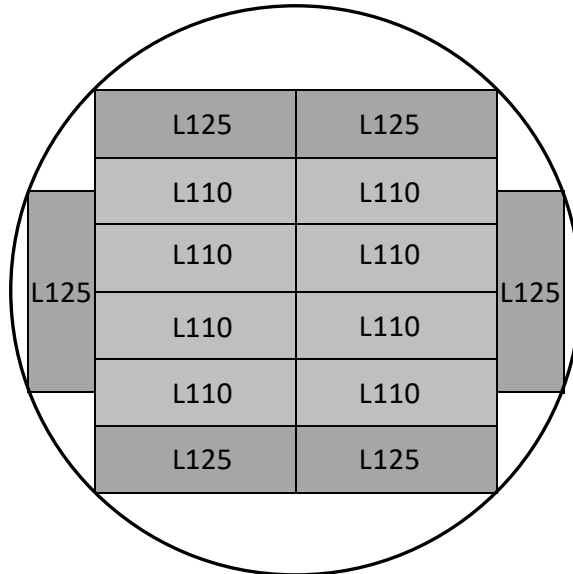
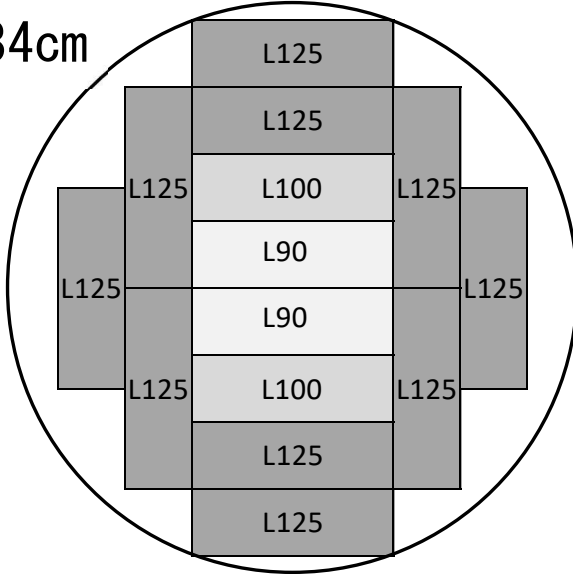
φ 30cm



φ 32cm



φ 34cm

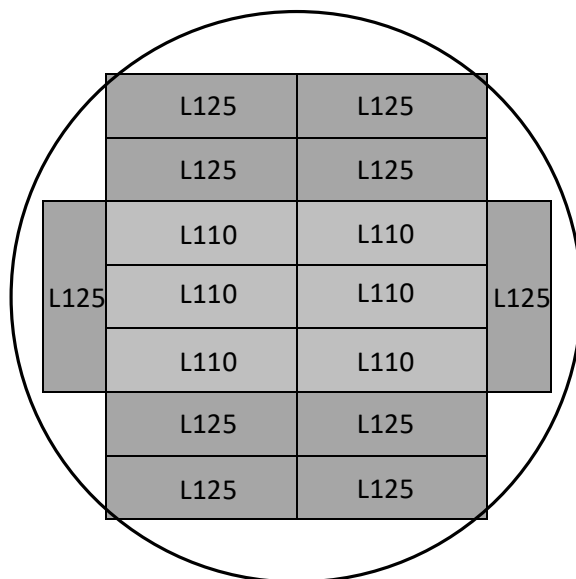
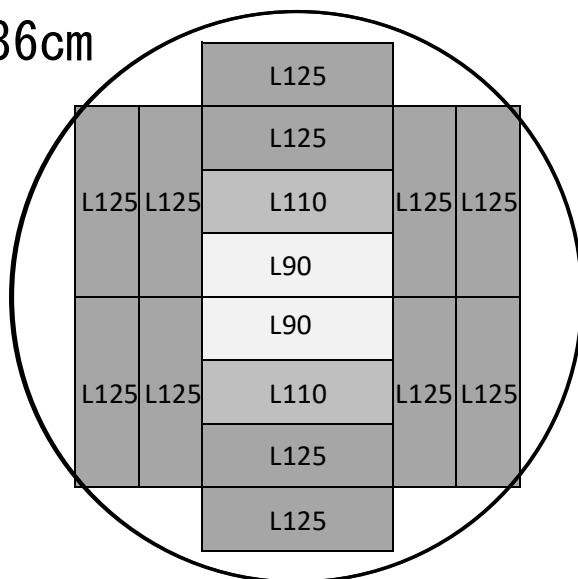


心持ち採材

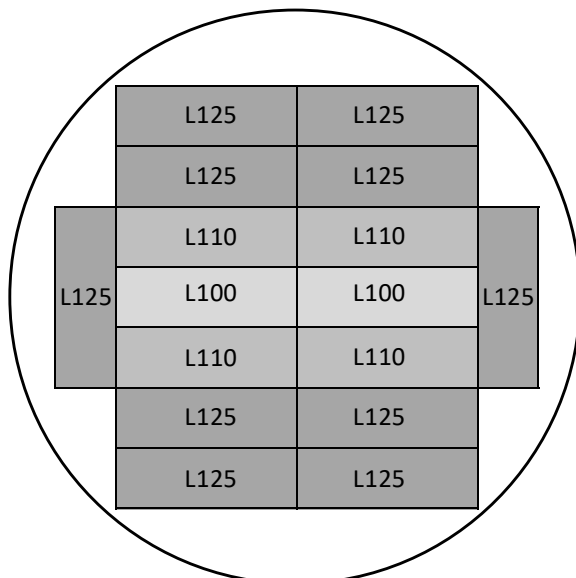
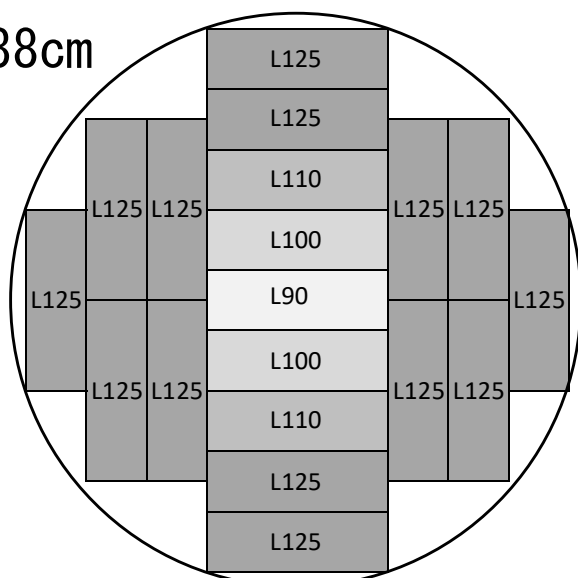
心去り採材

図-1 丸太 Efr が 13.00kN/mm² の場合に推定されるラミナ等級分布図 1

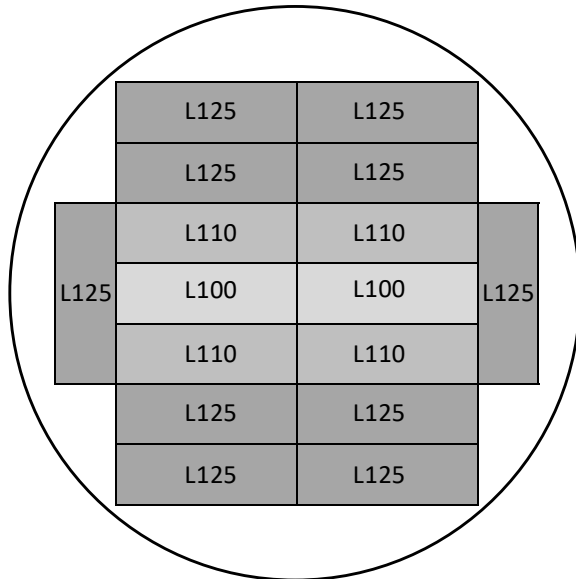
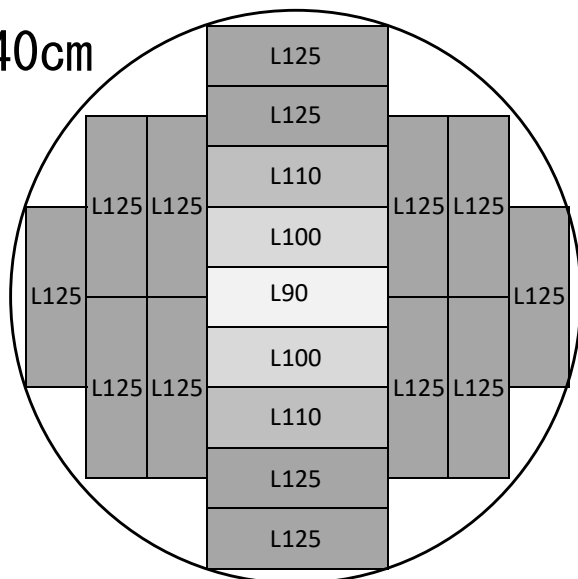
φ 36cm



φ 38cm



φ 40cm

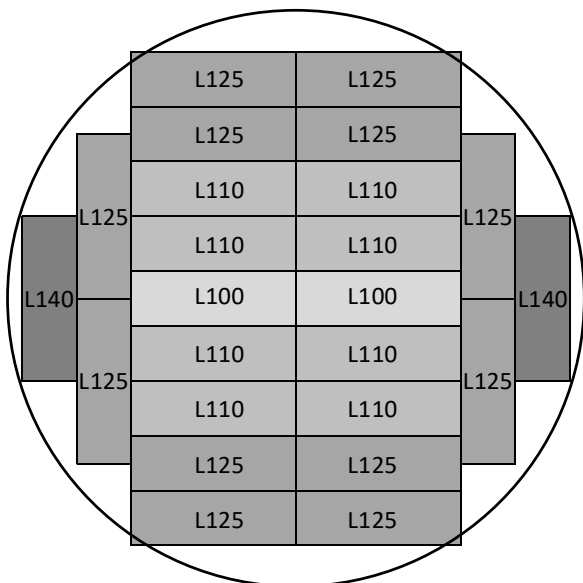
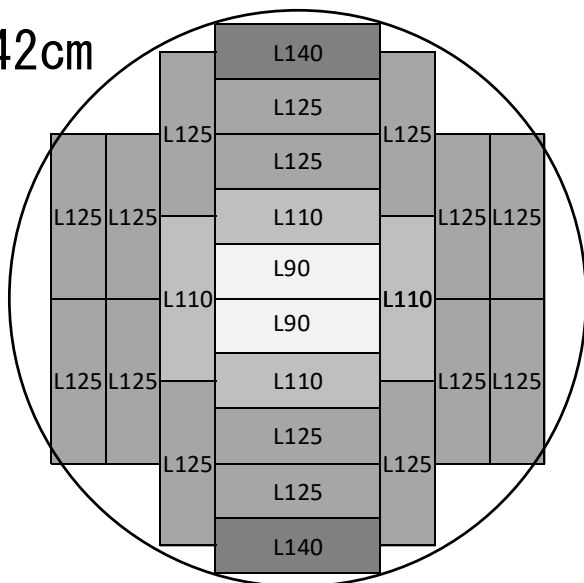


心持ち採材

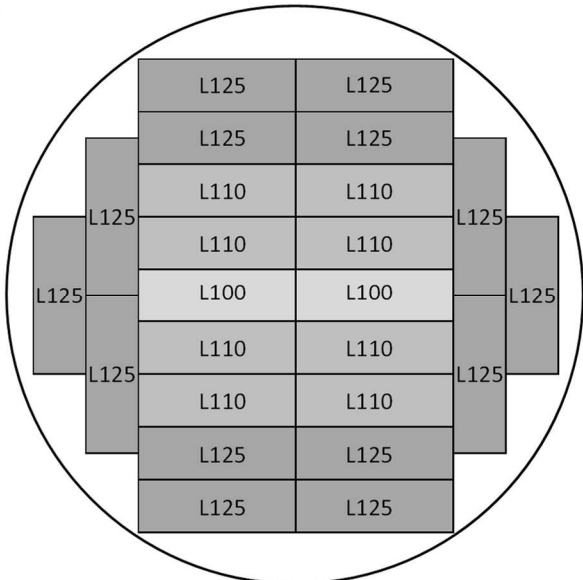
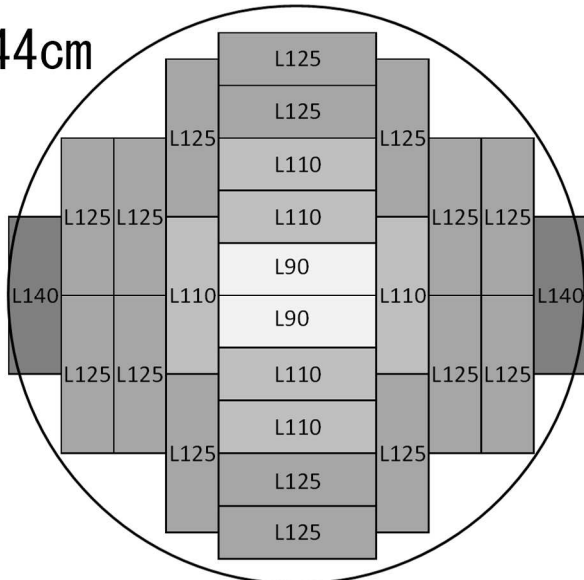
心去り採材

図-2 丸太 Efr が 13.00kN/mm² の場合に推定されるラミナ等級分布図 2

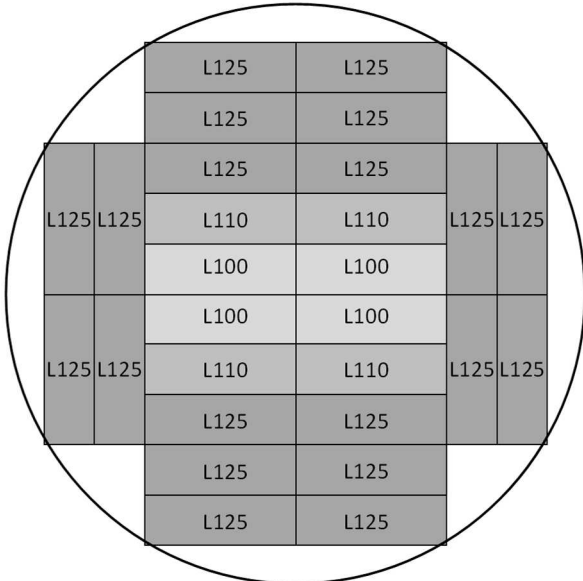
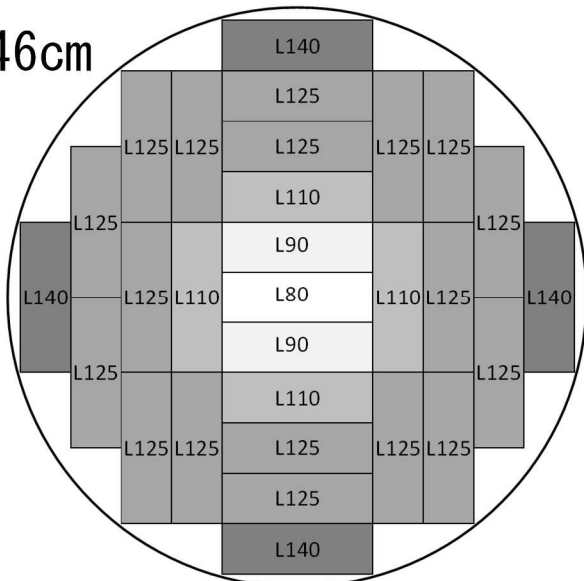
φ 42cm



φ 44cm



φ 46cm

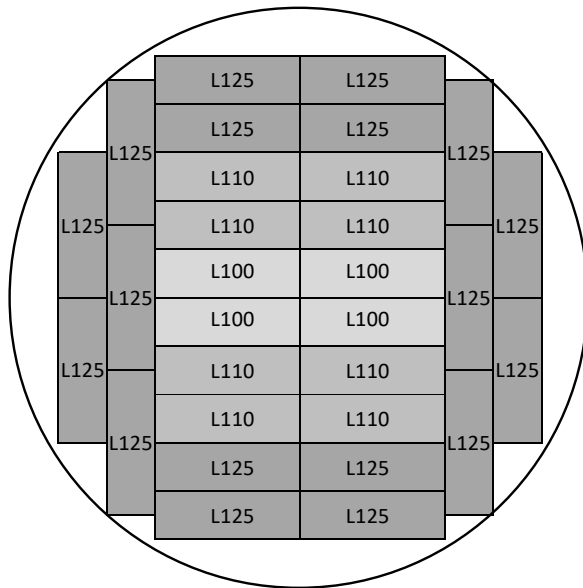
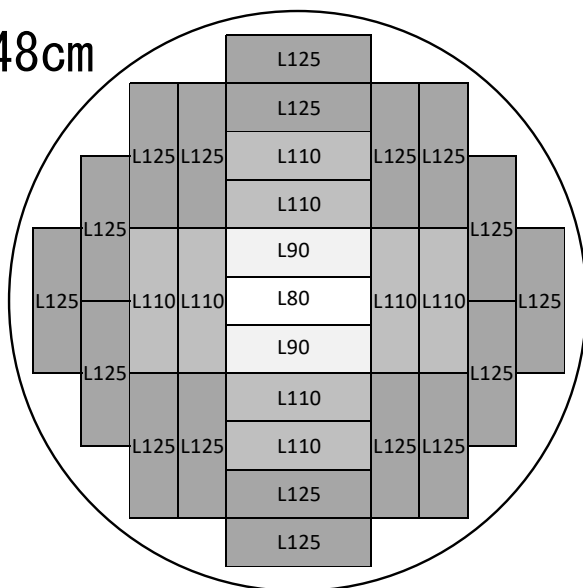


心持ち採材

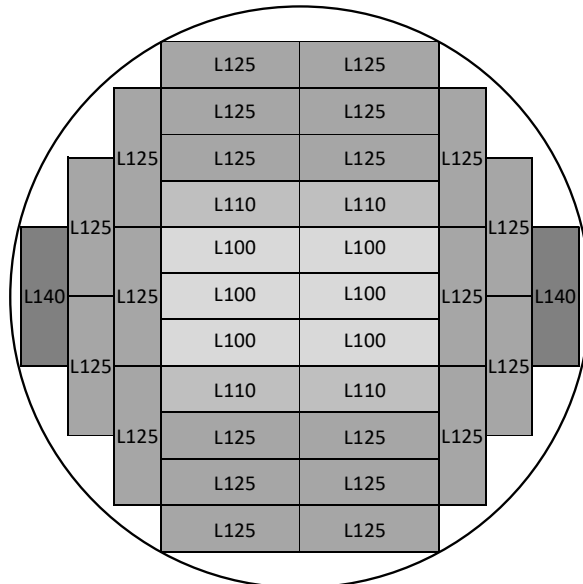
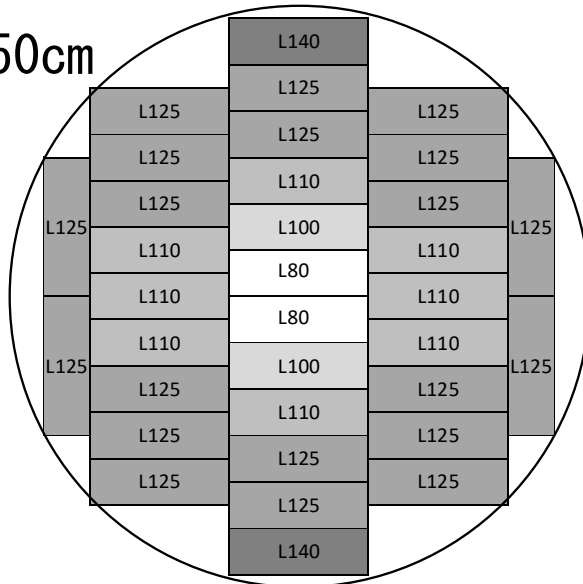
心去り採材

図-3 丸太 Efr が 13.00kN/mm² の場合に推定されるラミナ等級分布図 3

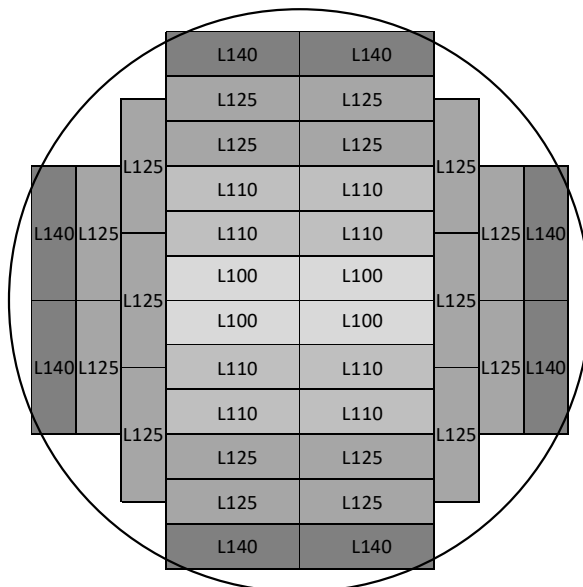
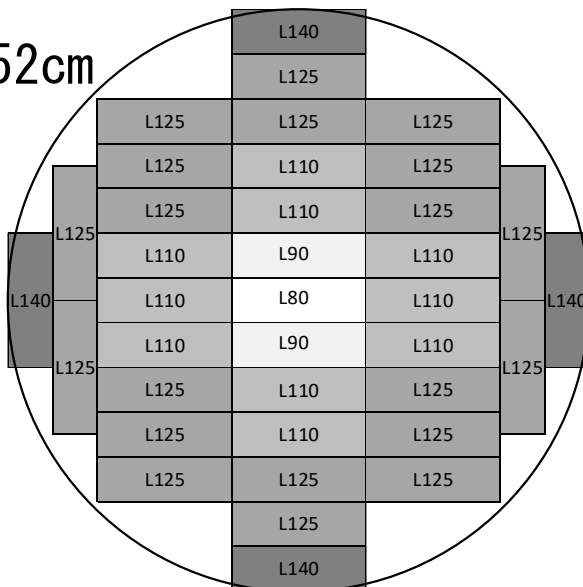
φ 48cm



φ 50cm



φ 52cm



心持ち採材

心去り採材

図-4 丸太 Efr が 13.00kN/mm² の場合に推定されるラミナ等級分布図 4

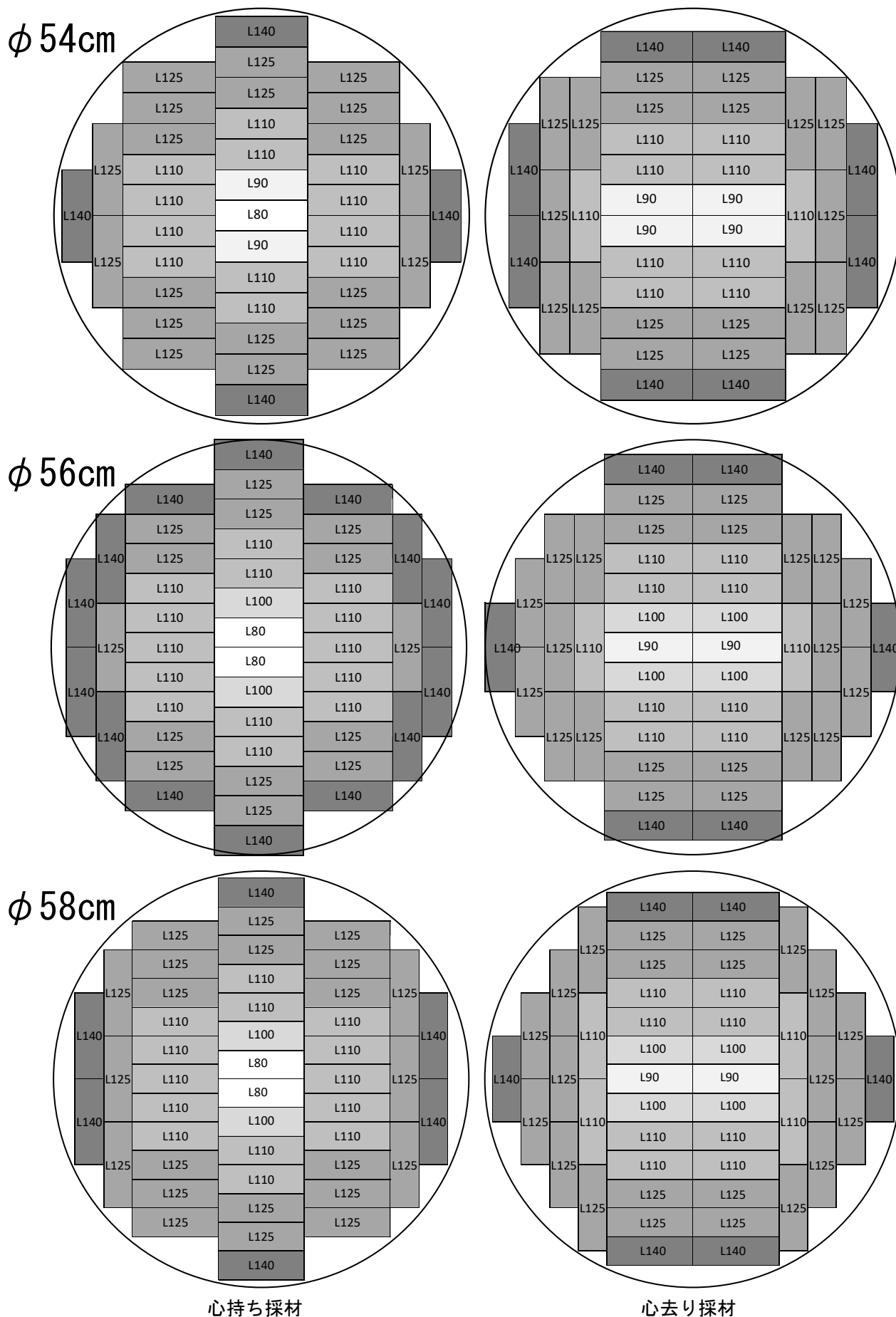


図-5 丸太 Efr が 13.00kN/mm² の場合に推定されるラミナ等級分布図 5

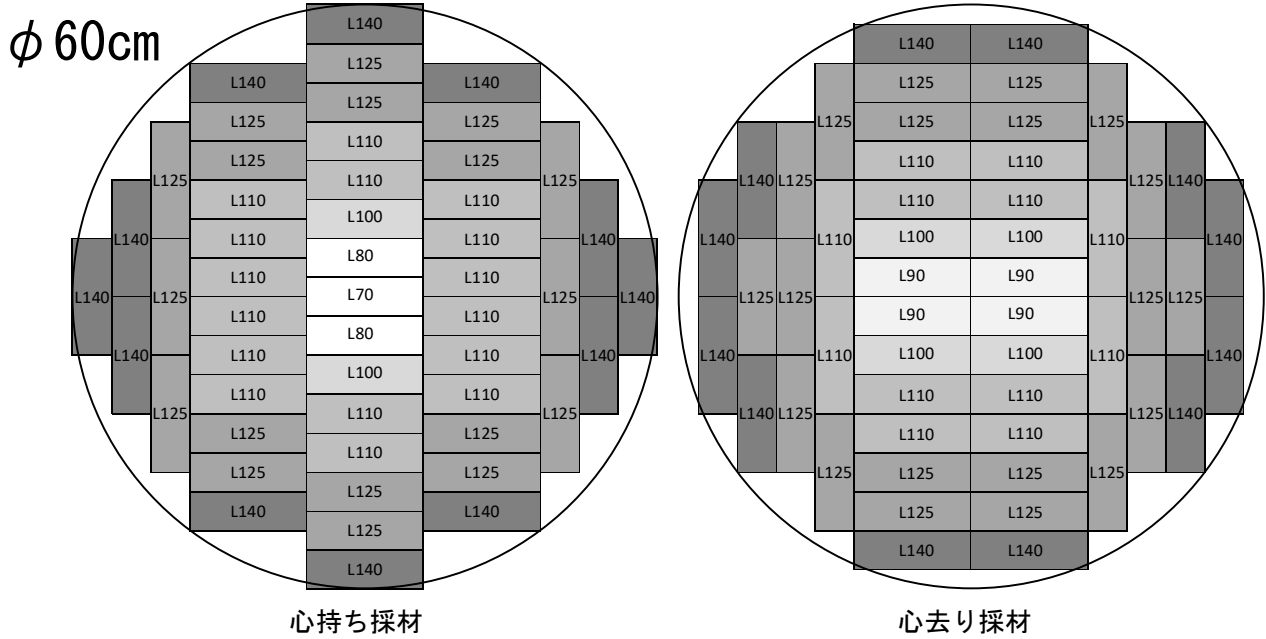


図-6 丸太 Efr が 13.00kN/mm² の場合に推定されるラミナ等級分布図 6

表-1 丸太 Efr が 13.00kN/mm² の場合に推定されるラミナ等級と枚数一覧

	末口直径(cm)	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60
心持ち採材	L70																1
	L80									1	1	2	1	1	2	2	2
	L90	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2		2	2			
	L100		2	2		2	2					2			2	2	2
	L110	2			2	2	2	4	6	4	8	8	10	12	14	14	16
	L125	10	10	10	12	14	14	16	16	18	18	20	20	20	14	22	18
	L140							2	2	4		2	4	4	14	6	12
	全ラミナ枚数	13	13	14	16	19	19	24	26	29	29	34	37	39	46	46	51
	最大採材率	88.3%	77.6%	74.0%	75.5%	80.4%	72.6%	83.2%	82.1%	83.8%	76.9%	83.1%	83.6%	81.7%	89.6%	83.6%	86.6%
心去り採材	末口直径(cm)	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60
	L70																
	L80																
	L90													4	2	2	4
	L100					2	4	2	2	4	4	6	4		4	4	4
	L110	6	6	8	6	4	4	8	8	4	8	4	8	10	10	12	12
	L125	4	4	6	10	10	12	12	14	20	18	22	18	18	22	22	20
	L140							2				2	8	8	6	6	12
	全ラミナ枚数	10	10	14	16	16	20	24	24	28	30	34	38	40	44	46	52
	最大採材率	67.9%	59.7%	74.0%	75.5%	67.7%	76.4%	83.2%	75.8%	80.9%	79.6%	83.1%	85.9%	83.8%	85.6%	83.6%	88.3%

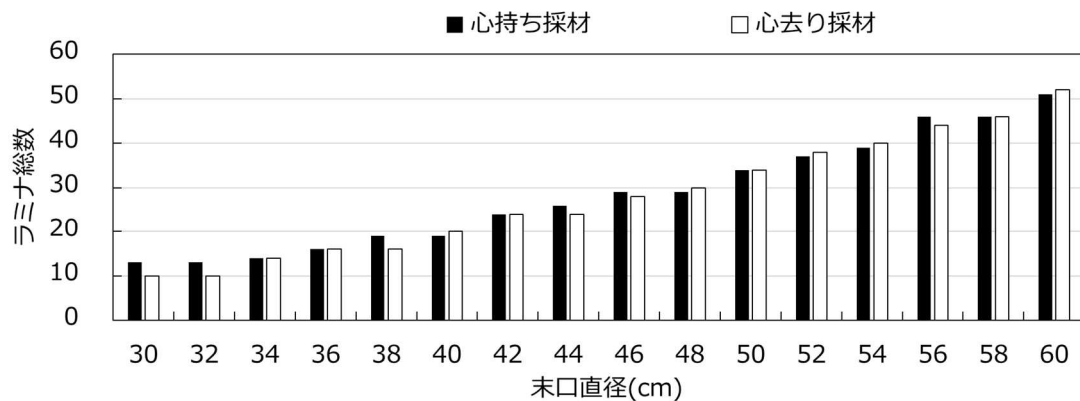


図-7 採材方法別のラミナ総数

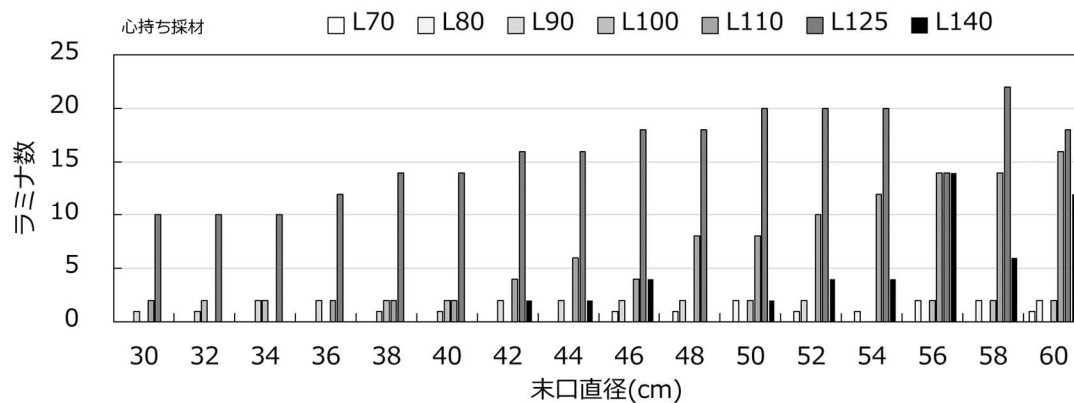


図-8 丸太 Efr が 13.00kN/mm² の場合の心持ち採材の推定ラミナ等級分布

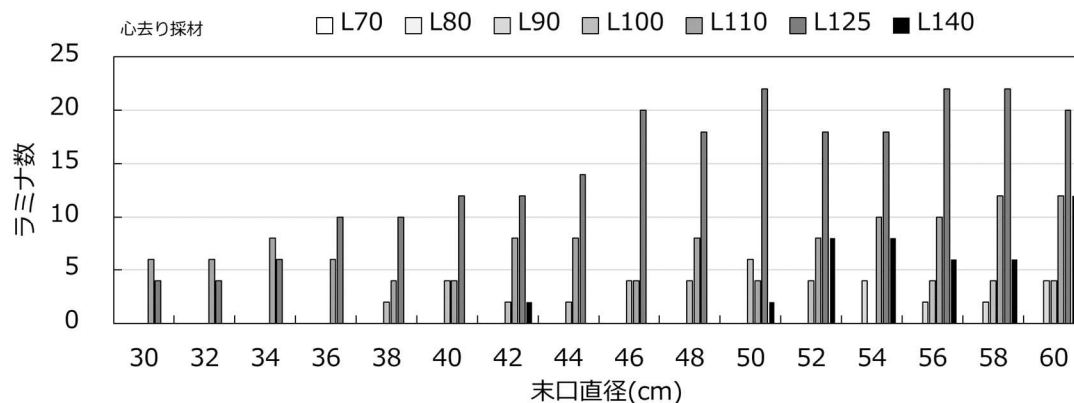


図-9 丸太 Efr が 13.00kN/mm² の場合の心去り採材の推定ラミナ等級分布

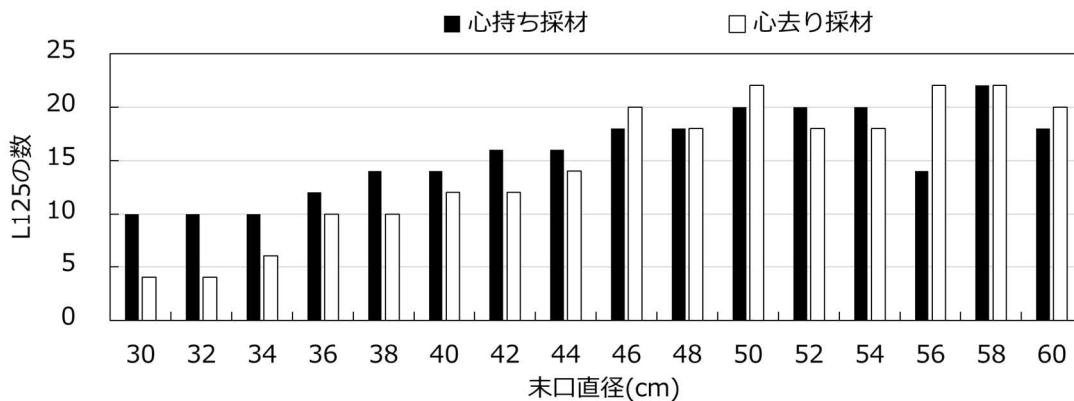


図-10 丸太 Efr が 13.00kN/mm² の場合の採材方法別の L125 の数

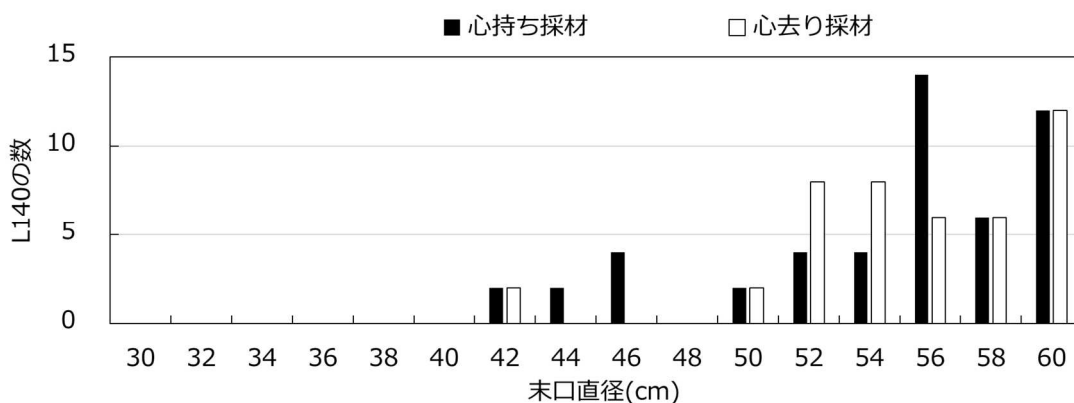


図-11 丸太 Efr が 13.00kN/mm² の場合の採材方法別の L140 の数

4 考察

今回、計算された $E_{fr-timber}$ の値とラミナ等級の値を補正せず比較したが、ラミナの抜き取り試験時には静的曲げ試験で曲げヤング係数を確認することとなっており⁴⁾、また乾燥による静的ヤング係数の増大や採材位置の変化による縦振動ヤング係数と静的曲げヤング係数の関係式の変化等を見逃しているため、今回の結果の現場への適用にあたっては注意を要する。

今後は推定精度向上のため複数産地のカラマツ丸太の半径方向強度分布調査等を行ったうえで実際に採材したラミナの静的曲げヤング係数と $E_{fr-timber}$ の関係を調査したい。また、カラマツ辺材部で疑われる曲げヤング係数の減少⁶⁾をモデル式に組み込むこと等も検討したい。

引用文献

- 1) 松本和茂ほか5名(2021) 丸太段階で製材品のヤング係数を推定する技術の開発(カラマツ・トドマツ), 森林総合研究所編「大径材の使い方」, 19-20
- 2) 今井信・吉田孝久・奥原祐司・山口健太(2021) カラマツ・スギ大径 A 材丸太の戦略的製品開発に関する研究 1 大径 A 材丸太の木取り方法と製材及び製品歩止まりの検討, 長野県林総セ研報, 35, 4-110
- 3) 農林水産省, 素材の日本農林規格, 農林水産省告示第 1052 号(平成 19 年 8 月 21 日制定), 農林水産省告示 776 号(令和 4 年 4 月 15 日改正)
- 4) 農林水産省, 集成材の日本農林規格, 農林水産省告示第 1152 号(平成 19 年 9 月 25 日制定), 農林水産省告示 897 号(令和 5 年 7 月 31 日改正)
- 5) 加藤英雄・長尾博文(2021) 混合木取りで採材したスギ製材品の縦振動法によるヤング係数の推定, 木材工業, 76, 11, 484-487
- 6) 重松頼生(1990) カラマツ造材木の材質, とくに生長と関連して (I) -カラマツ造林木の材質形成-, 木材工業, 45, 10, 2-8

長野県産ヒノキの樹幹内半径方向強度分布

研究期間：令和元年度～5 年度
小池直樹

長野県産ヒノキの樹幹内半径方向の曲げヤング係数及び曲げ強度を確認したところ、曲げヤング係数、曲げ強度ともに明確ではないものの髄から樹皮に向かっての減少傾向が確認できた。また同一林分同林齢の 2 立木間や番玉間で若干異なる半径方向強度分布が確認でき、分布傾向に個体差や番玉間差が存在することが明らかになった。

キーワード：ヒノキ、大径丸太、強度性能、強度分布

1 緒言

ヒノキの樹幹内の強度に関する特性値の半径方向分布について、密度は髄付近が高く樹皮に向かって小さくなるのが定説¹⁾とされるが、強度やヤング係数分布については定説が存在せず、髄から樹皮側に向かって強くなるとする報告²⁻⁶⁾と弱くなるとする報告^{7,8)}が存在し、製材品の木取りや荷重方向を考える際や丸太から製材品の強度を推定する際、また伐採計画を立てる際の支障になりうる。今回、長野県産ヒノキの効果的な利用に資するため、樹幹内の曲げヤング係数や曲げ強度等の分布を調査した。

なお、本研究は長野県と信州大学の包括連携協定に基づき、県単課題「大径 A 材丸太を活用した高剛性・高強度梁桁材の開発とその性能評価」（令和元年度～5 年度）の一部として実施した。また、本研究の一部は 2024 年度日本木材学会中部支部大会（岐阜）において発表した。

含まれる試験体は結果から除外した。



図-1 手良沢山演習林地図と伐採箇所

2 試験の方法

2.1 供試材

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（AFC）手良沢山ステーション演習林（伊那市）の標高 1030m 地点の同一林分内（図-1）で 1933 年植栽 90 年生ヒノキ 2 本（No. 1：樹高 23.4m，胸高直径 48.0cm，形状比 48.8，No. 2：樹高 22.7m，胸高直径 45.5cm，形状比 49.9）を伐採し，長さ 4.1m で玉切りし 4 番玉までを供試丸太とした。供試丸太の諸元を表-1 に示す。なお詳細は省くが，樹幹解析の結果 2 本とも伐採時まで比較的均一な肥大成長が続いていたことを確認している。丸太は髄を通る板材に製材後，可能な限り節等の欠点の少ない箇所で長さ 50cm にクロスカットし半径方向に連続して無欠点小試験体を作成した。節等の欠点が

表-1 供試丸太諸元

伐採木 No.	丸太 No.	番玉	末口平均径 (cm)	元口平均径 (cm)	長さ (m)	細り (cm/m)	Efr (kN/mm ²)
1	ヒ1-1	1番玉	39.0	48.3	4.100	2.256	9.15
	ヒ1-2	2番玉	35.5	38.0	4.100	0.610	9.96
	ヒ1-3	3番玉	29.3	34.5	4.060	1.293	9.79
	ヒ1-4	4番玉	19.0	28.5	4.120	2.306	10.58
2	ヒ2-1	1番玉	37.8	46.3	4.120	2.063	9.73
	ヒ2-2	2番玉	33.3	38.5	4.085	1.285	10.95
	ヒ2-3	3番玉	27.0	33.5	4.095	1.587	11.70
	ヒ2-4	4番玉	20.3	27.5	4.095	1.770	12.01

2.2 試験方法

小試験体は恒温恒湿室内に約 1 か月間静置し重量が恒量に達したことを確認した後 JIS Z 2101 (2009)⁹⁾に準拠し静的曲げ試験を行った。曲げ試験体の寸法は 25mm (R 方向)×25mm (T 方向)×400mm (L 方向)としたが、樹皮に近く 25mm で採材できないものについては 10mm (R 方向)×10mm (T 方向)×160mm (L 方向)とした。支点間距離は辺長の 14 倍とした。加力には引張圧縮試験機 (ミネベアミツミ株式会社, 最大容量: 50kN) を用いた。試験体中央両側中立軸にヒートンを設置しワイヤーを介して変位計 (東京測器研究所, SDP-50ET) でスパン中央部の両側平均たわみを測定し見かけの曲げヤング係数を算出した。また曲げ試験後、非破壊部から試験片を採取し全乾密度を測定し半径方向の分布を調査した。

2.3 統計解析

諸形質間の相関関係の有意性は正規性を確認したうえでピアソンの相関係数検定により確認し、 $p < 0.05$ を統計的に有意であると判断した。

3 結果

各立木番玉ごとの諸形質の半径方向分布を図-2 に示す。

平均年輪幅は 2 立木とも 1 番玉を除いて樹皮に向かって狭くなる傾向が確認できた。全乾密度は立木 No. 2 の 1 番玉を除いて定説通り髓付近が高く樹皮に向かって小さくなることが確認できた。

曲げヤング係数及び曲げ強度は立木間・番玉間で分布傾向に違いはあるものの、樹皮近くで小さくなる点は共通していた。比曲げヤング係数は立木 No. 2 の 1 番玉を除いて髓付近が低く、いったん増加するも樹皮に向かって減少に転じた。比曲げ強度は特に 1 番玉において安定しており髓から樹皮にかけてほぼ一定の数値を示した。

また全小試験体 ($n=91$) の諸形質間の相関関係を図-3 に示す。

平均年輪幅と全乾密度にはある程度の相関 ($R=0.347$) が認められたが平均年輪幅と曲げ強さには弱い相関 ($R=0.231$) しか認められず、平均年輪幅と曲げヤング係数には有意な相関は認められなかった。全乾密度と曲げ強度にはかなり高い相関 ($R=0.827$) がある一方で、全乾密度と曲げヤング

係数には弱い相関 ($R=0.227$) しか認められず、曲げヤング係数と曲げ強度にもある程度の相関 ($R=0.385$) しか認められなかった。

4 考察

曲げヤング係数と曲げ強度の樹幹内半径方向分布について、はっきりとした傾向はつかめなかったものの今回供試した長野県産ヒノキは髓から樹皮側に向かって弱くなる傾向があるように思われる。県産ヒノキが全てこのような分布をすると仮定すると、例えば県産ヒノキ心去り正角材を用いた接着重ね材を製造する際に当該日本農林規格¹⁰⁾が定める通り構成を「木裏が材の中心軸側を向く配置」とした場合、「木表が材の中心軸側を向く配置」の接着重ね材より曲げ性能が低下する可能性がある。

なお、立木 No. 2 の 1 番玉で見られた髓を挟んだ 2 方向間の分布傾向の差異については採材位置が低かったことにより根張り部が含まれた可能性や偏心が影響した可能性がある。

立木 No. 2 の 1 番玉を除くと、比曲げヤング係数の分布パターンは全供試丸太でほぼ同一になり太田²⁾が検討したように未成熟材の指標として比ヤング係数を利用することも不可能ではないように思われ、例えば応力波伝播速度から比ヤング係数を求め未成熟材部を可視化すること等が考えられる。

5 結言

長野県産ヒノキの樹幹内半径方向強度分布を確認したところ、曲げヤング係数、曲げ強度ともに明確ではないものの髓から樹皮に向かっての減少傾向があるように思われる。また今回、同一林分同林齢の 2 立木間や番玉間で若干異なる半径方向強度分布が確認でき、分布傾向に個体差や番玉間差が存在することが明らかになった。県産ヒノキの樹幹内強度分布に明確な傾向を見出すためには追加の供試木が必要であり、別の産地や林齢、異なる形状比の立木についての調査も必要と思われる。

謝辞

信州大学農学部末定拓時助教には供試木の提供等についてご配慮いただきました。また森林総合研究所井道裕史室長には既往研究等の情報提供をいただきました。深く感謝申し上げます。

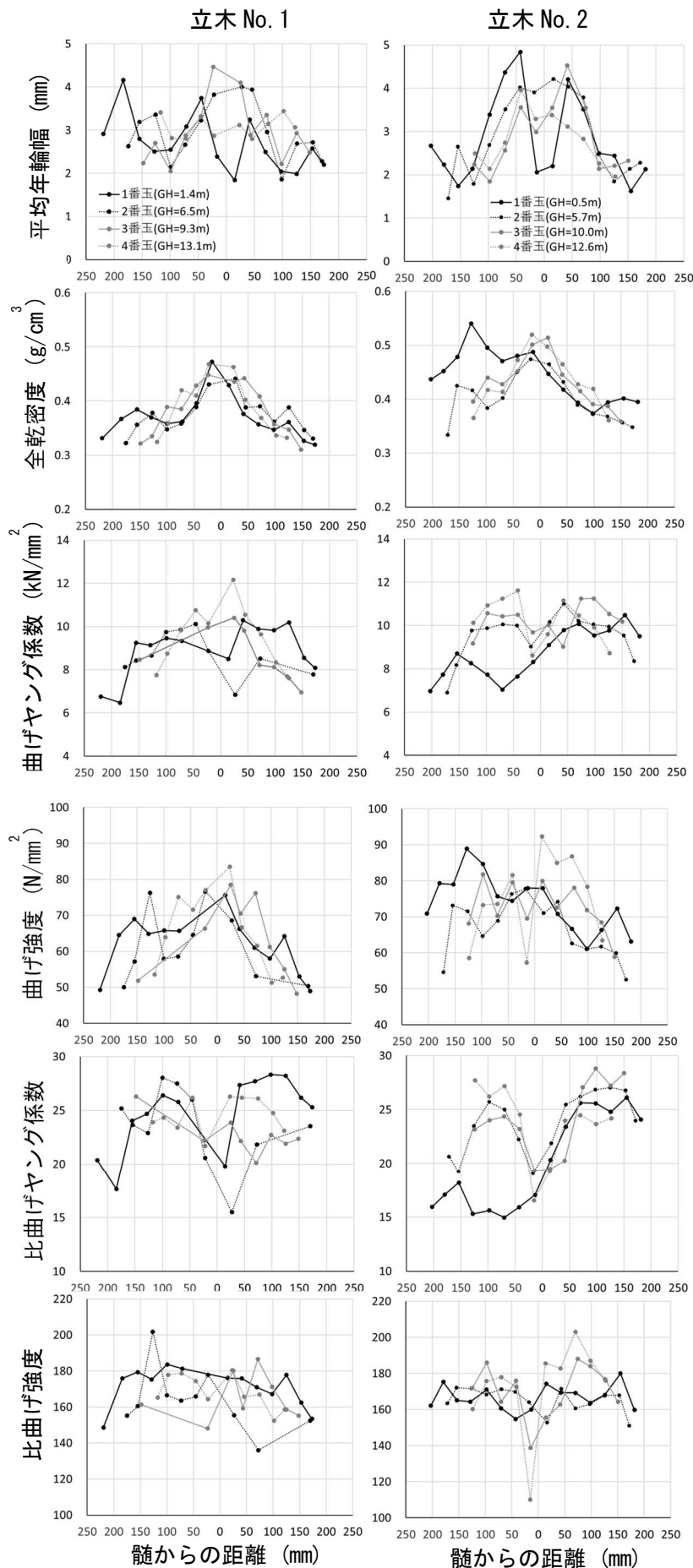


図-2 諸形質の半径方向分布

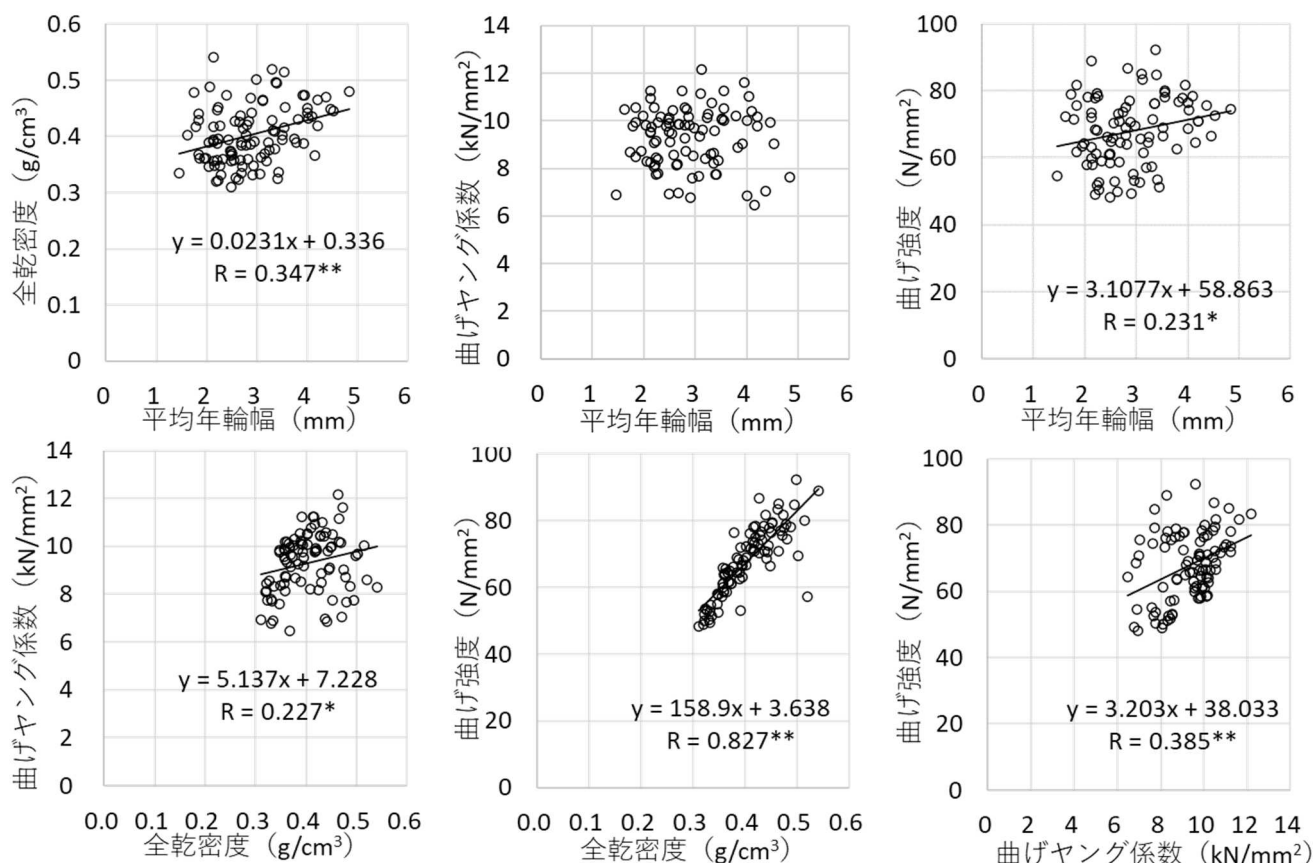


図-3 諸形質間の関係 (**:p<0.01, *:p<0.05)

引用文献

- 1) 例えば, 小田一幸(2007) 生物材料としての特徴, 日本木材学会編“木質の物理”, 文永堂出版, 9-10
- 2) 太田貞明(1972) スギ・ヒノキ樹幹内における未成熟材の力学特性に関する基礎的研究, 九州大学農学部演習林報告, 45, 1-80
- 3) 池田潔彦(2001) 同一林分で生育したスギとヒノキの材質比較, 木材工業, 56, 8, 365-371
- 4) 野上英孝, 見尾貞治(2008) ヒノキラミナの強度性能評価-各種径級の原木と得られるラミナのEfrの関係-, 岡山県木材加工技術センター業務報告書, 平成20年度, 26-29
- 5) 平田晃久, 横尾謙一郎(2016) スギ・ヒノキ大径材の強度性能に関する研究, 林業研究指導所研究報告書, 42, 46-58
- 6) Takahashi, Yusuke et al. (2022) Radial variations of broad-sense heritability in wood properties and classification of load-deflection curves in static bending for six half-sib families of *Chamaecyparis obtusa*, Journal of Wood Science, 68, 1, pp. 13
- 7) 井道裕史, 長尾博文, 加藤英雄(2012) 大径丸太から採材された心去りヒノキ製材品および無欠点小試験体の強度性能, 森林総合研究所研究報告, 11, 3, 121-133
- 8) 古谷優平, 道場隆(2024) ヒノキ大径材丸太の品質評価, 岡山県農林水産総合センター森林研究所令和5年度業務年報, 64, 12-13
- 9) 日本規格協会 (2009) “JIS Z 2101 木材の試験方法”, pp. 66
- 10) 農林水産省, 接着重ね材の日本農林規格, 農林水産省告示第179号 (平成31年1月31日制定), 農林水産省告示203号 (令和6年1月31日確認)

長野県林業総合センター研究報告

Bulletin of the Nagano Prefecture Forestry Research Center

第 39 号

令和7年3月 発行
(2025)

発 行 長野県林業総合センター

Nagano Prefecture Forestry Research Center

〒399-0711

長野県塩尻市大字片丘 5739

5739 Kataoka, Shiojiri-shi, Nagano, 399-0711 Japan

TEL (0263) 52-0600 FAX (0263) 51-1311
