

ISSN 2185-9167

林業技術総合センター成果報告

第26号

平成30年2月

宮城県林業技術総合センター

目 次

- 1 宮城県内のスギ林における放射性物質の移行状況に関する基礎調査・・・・・・・・・ 1
- 2 県産広葉樹の木材加工技術の開発 ー木材の乾燥ー・・・・・・・・・・・・・・・・ 9

宮城県内のスギ林における放射性物質の移行状況に関する基礎調査

渡邊 広 大, 大久保 達 弘^{*1}, 平田 慶^{*2}

要 旨

東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所事故により放射性物質が拡散・降下した宮城県内のスギ林内において、空間線量率及び土壌・林内スギ葉等の放射性物質濃度を5年間にわたり測定した。スギ落葉や A₀ 層の放射性物質濃度は減少した一方、A 層の放射性物質濃度については、調査地毎に異なる増減傾向を示した。

キーワード：放射性物質，スギ葉，空間線量率

1 はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所からの放射性物質拡散事故により、2017 年 3 月現在、宮城県内の特用林産物は 21 市町村で 12 品目の出荷制限・自粛が続いている（宮城県 2017）。そのうち、天然の山菜・野生キノコについては 10 市町で 7 品目の出荷制限・自粛が続いており、解除を進めるためには該当品目の安全性の証明と併せて、生産現場である森林内の放射性物質の動態を明らかにすることが求められている。森林内の放射性物質の動態については、各研究機関の尽力によって知見が集まりつつあるが、これまでの調査地の多くが福島県内の森林であり、宮城県内における森林内の放射性物質動態に関する調査は少ない。本調査では、宮城県内の森林の 32% を占めるスギ人工林（宮城県林業振興課，2017-2）について、林内の空間線量率及び放射性物質濃度を 5 年間にわたって追跡し、森林における放射性物質の動態について、基礎データを収集した。

なお、当該調査は研究課題「被災農山村の生産基盤復興に向けたキノコ等林地生産実証試験とスギ林生産基質・生産物への放射性物質移行状況に関する基礎調査」における放射性物質調査項目を抜粋したものである。

2 調査方法

2. 1 調査地

文部科学省が公表した航空機モニタリングによる空間線量マップに基づき、空間線量率の異なる宮城県内のスギ人工林について、0.2~0.5 μ Sv/h の調査地 A，0.1~0.2 μ Sv/h の調査地 B，<0.1 μ Sv/h の調査地 C を選定した（文部科学省 2011）。なお、同モニタリングによる放射性セシウム（以下 Cs）の地表面への蓄積量は ¹³⁴Cs と ¹³⁷Cs の合計で、調査地 A では 100k~300kBq/m²，調査地 B，C では 10k~30kBq/m²だった（文部科学省 2011-2）

各調査地の林齢は、調査地 A で 34 及び 58 年生（2011 年当時；以下同じ）、調査地 B で 47 及び 48 年生、調査地 C で 48 年生である（写真 1，2，3）。

調査期間は、調査地 A 及び調査地 C では 2012 年から 2016 年までの 5 年間継続的に実施した。調査地 B については、土地所有者の事情により、2015 年までの 4 年間で調査を終了した。



写真-1 調査地 A 58 年生スギ林



写真-2 調査地 B 47 年生スギ林

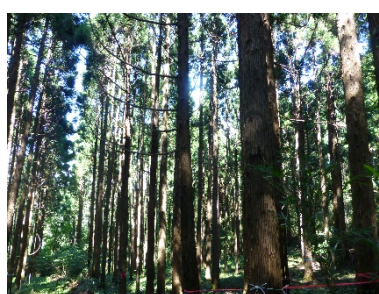


写真-3 調査地 C 48 年生スギ林

2. 2 空間線量率の測定

各調査地内で土壌採取箇所地表から高さ 100cm の空間線量率を、NaI (T1) シンチレーション式サーベイメータ (日立アロカメディカル, TCS-172B) を用いて測定した。測定時期は、2. 3 に説明する土壌採取日と同日に、調査地 A と調査地 B では毎年 6 月、調査地 C では 9 月に測定した。測定時には、時定数は 10 秒とし、測定開始から 1 分以上が経過し数値が安定してから記録を開始し、同一箇所でも 1 分おきに 3 回記録し平均値を算出した。

2. 3 土壌の採取・測定

各調査林内において、毎年 9 カ所から 27 カ所を無作為に選定し、土壌採取箇所とした。採取時期は調査地 A と調査地 B で毎年 6 月、調査地 C では 9 月である。採取箇所に 25cm 四方の木枠を設置し、土壌を A₀ 層、A 層 (0~5 cm)、A 層 (5~10cm) に分けて採取した。なお、A₀ 層は L 層から H 層まで全量を採取した (写真-4)。A 層は試料採取器 (大起理化工業, DIK-1815, Φ=110mm, t=50mm) を用いて深さ 5 cm 毎に 2 層採取した (写真-5)。採取した試料は、50°C に設定した乾燥機で 5 日間乾燥させた後、2mm 目のふるいで礫と枝、根を取り除き、20ml プラスチックバイアル容器 (National Diagnostics 社 ポリエチレンシンチレーションバイアル SVC-20) に充填して測定に供した。なお、測定機器は宇都宮大学農学部 NaI (T1) ウェル型シンチレーション検出器のオートウェルガンマカウンタ (日立アロカメディカル AccuFLEX γ 7001) を使用して、全放射性 Cs と推定される γ 線の放射性物質濃度 (Bq/kg・dry) を測定した。



写真-4 A₀ 層の採取



写真-5 A 層の採取



写真-6 リタートラップ

2. 4 スギ落葉の採取・測定

11月に各調査林内にリタートラップ(Φ=0.8m, H=1.0m)を3～5基設置し、12月にリタートラップに入っていたスギ落葉を採取した(写真-6)。その際、リタートラップ内に混入していた広葉樹落葉等は手作業で取り除いた。

測定前処理及び測定方法は2. 3に準ずる。

3 結果・考察

3. 1 スギ林内の空間線量率の推移

各調査地におけるスギ林内の空間線量率の推移を図-1, 2に示す。

各調査地において、調査開始年(2012年)と調査最終年(2015, 2016年)では測定結果に有意差が見られた(図-3, 4, 5)(Welch's *t* test: $p < 0.05$)。2016年調査時点において、空間線量率の平均値は調査地Aでは調査開始時の約61%に、調査地Cでは約45%に減少した。調査を1年早く終了した調査地Bでは、3年間で調査開始時の50%まで減少している。

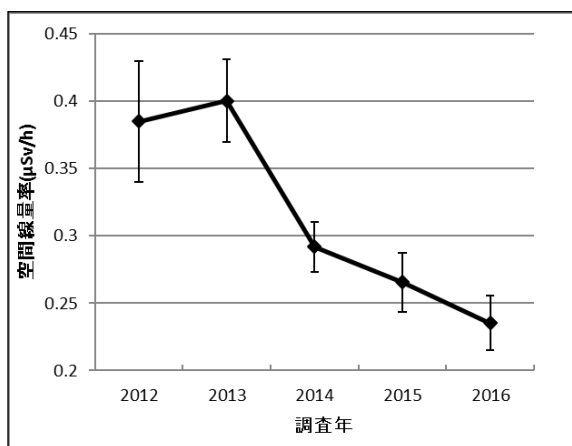


図-1 調査地Aの空間線量率の経年変化

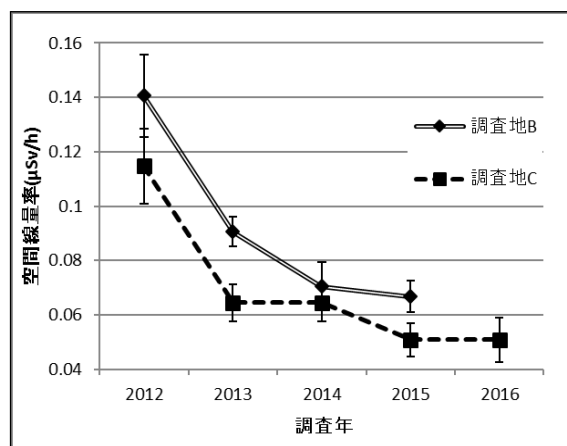


図-2 調査地B, Cの空間線量率の経年変化

※各図中の点は平均値を示す。また、エラーバーは標準偏差を示す。

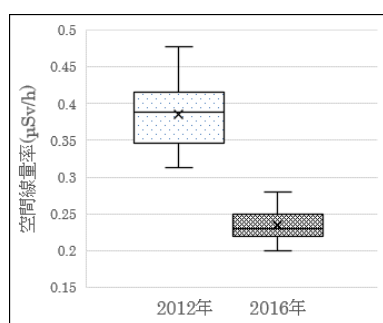


図-3 調査地Aの空間線量率
(調査開始年と最終年の比較)

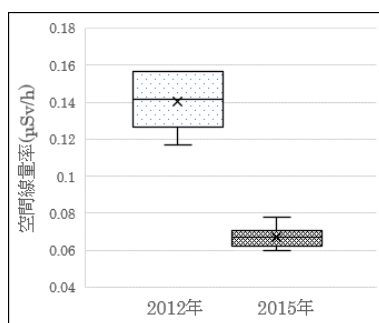


図-4 調査地Bの空間線量率
(調査開始年と最終年の比較)

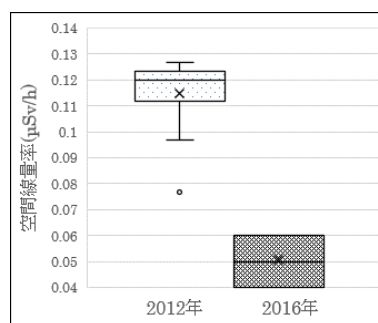


図-5 調査地Cの空間線量率
(調査開始年と最終年の比較)

3. 2 スギ落葉の放射性物質濃度の変化

各調査地におけるスギ落葉の放射性物質濃度の動態を図-7, 8に示す。

各調査地において、スギ落葉の放射性物質濃度の平均値は有意に減少しており(Mann-Whitney's U test: $p < 0.05$, 以下同じ), 調査開始時(2012年)と比較して調査最終年にはすべての調査地において30%以下になった(図-9, 10, 11)。スギの葉は約3年で林床へ脱落すると考えられており(小林ら 2003), 放射性物質拡散事故から5年9ヶ月が経過した2016年12月の落葉採取時点では、放射性物質が直接付着した葉の大部分が林床へ脱落し、新たな枝葉が生長したことで、放射性物質濃度が低下したと考えられる。一方、福島県内の調査においては、放射性物質拡散事故以降に伸長・展開した枝葉からも放射性物質が検出されており、樹体内での移行のほか、樹体外に排出された放射性物質の再沈着が示唆されている(益守ら 2015)。本調査においても、減少傾向ながらも、落葉の全検体で一定濃度の放射性物質が検出されていることから、引き続きスギ樹体での放射性物質の動態に注視する必要がある。

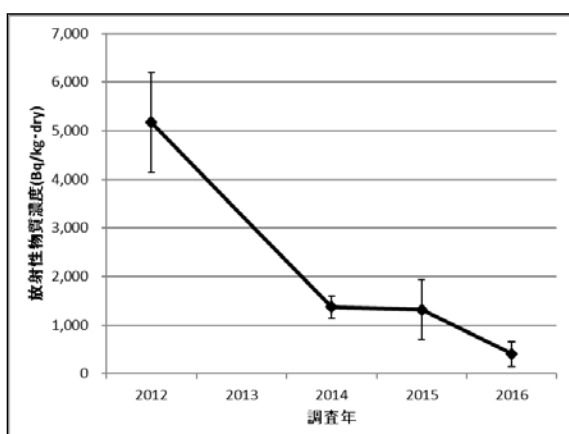


図-7 調査地Aのスギ落葉の放射性物質濃度の動態

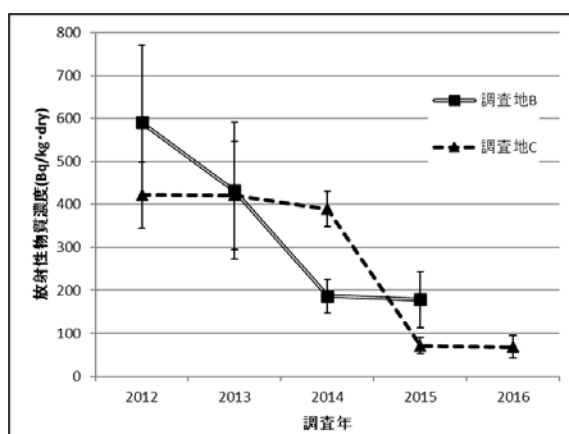


図-8 調査地B・Cのスギ落葉の放射性物質濃度の動態

※各図中の点は平均値を示す。また、エラーバーは標準偏差を示す。

※調査地Aでは2013年に落葉未採取

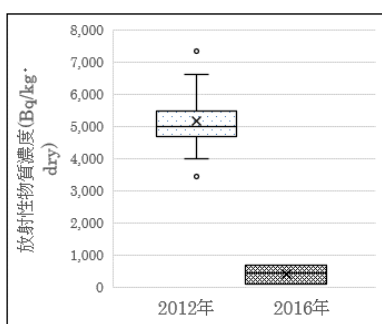


図-9 調査地Aのスギ落葉の放射性物質濃度 (開始年と最終年の比較)

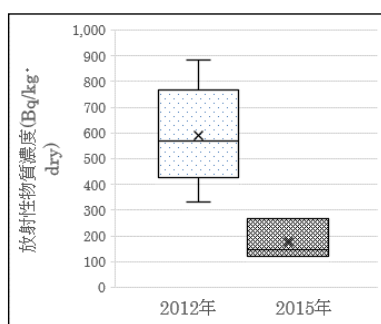


図-10 調査地Bのスギ落葉の放射性物質濃度 (開始年と最終年の比較)

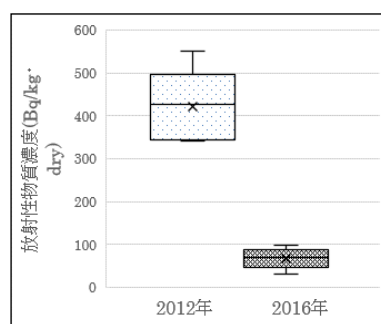


図-11 調査地Cのスギ落葉の放射性物質濃度 (開始年と最終年の比較)

3. 3 スギ林内の土壌の放射性物質濃度の変化

各調査地における土壌の放射性物質濃度の動態を図-12, 13, 14 に示す。

A₀ 層については各調査地で、調査開始時(2012 年)と調査最終年(2015, 2016 年)の測定結果に有意差が見られた(Mann-Whitney' s U test : p<0.05, 以下同じ) (図-15, 16, 17)。スギ落葉の放射性物質濃度が減少し (図-7, 8), A₀ 層への放射性物質の供給が減ったこと、放射性物質の物理的半減期等が影響したことなどにより、A₀ 層の放射性物質濃度が減少したと考えられる。一方、A 層 (0~5 cm) においても各調査地で有意差が見られ、調査地 A、調査地 B では濃度が増加したものの、調査地 C では濃度が減少した (図-18, 19, 20)。より下層の A 層 (5~10cm) では、調査地 A と調査地 C で放射性物質濃度が有意に増加した一方、調査地 B では傾向が見られず、A 層の放射性物質の動態は調査地によって異なる傾向を示した(図-21, 22, 23)。A 層への放射性物質の供給源となる A₀ 層の厚みや地形が影響している可能性があるが、A₀ 層から A 層への放射性物質の移行が進んでいる傾向が見られ、今後の調査による解明が必要である。

調査最終年における各調査地の A₀ 層と A 層 (0~5 cm), A 層 (5~10 cm) の間には、調査地 A の A₀ 層と A 層 (0~5 cm) 以外の組み合わせで、それぞれ有意な差が見られた (Steel-Dwass test) (図-24, 25, 26)。調査地 B 及び調査地 C では調査開始時から、A₀ 層の放射性物質濃度が A 層よりも高い結果が続いたが、調査地 A では調査最終年において A 層 (0~5 cm) の濃度の平均値が A₀ 層を上回る結果となった。また、A 層の深さ別にみると、各調査地において A 層 (0~5 cm) の濃度が高い傾向にあるなど、土壌における位置別の放射性物質濃度は調査地によって異なる結果となった。福島県の調査事例では、A₀ 層の放射性物質濃度が枝葉等其他の部位と比べて高く、A 層では A 層 (0~5 cm) の放射性物質濃度が最も高い結果であり、(林野庁 2016)、本調査における調査地 B, C においても同様の傾向が示唆された。金子らは「森林土壌は他の土地利用と比べてセシウムがやや深くまで移動する可能性はあるものの、大半は表層部に保持され下方に浸透するセシウムは少ないと考えられる」としている (金子ら 2014)。今後、宮城県内におけるスギ林についても土壌における放射性物質濃度の動向に注視する必要がある。

なお、本調査においては放射性物質濃度 (Bq/kg) のみに着目しており、放射性物質の蓄積量 (Bq/m²) には言及していないことから、林内の放射性物質量の分布割合に関する調査は今後の課題である。

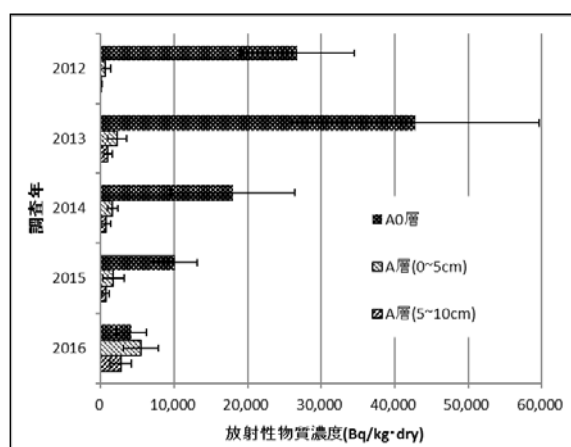


図-12 調査地 A の土壌の放射性物質濃度

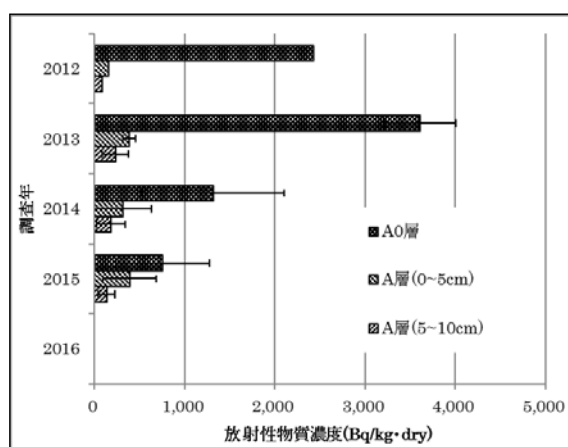


図-13 調査地 B の土壌の放射性物質濃度

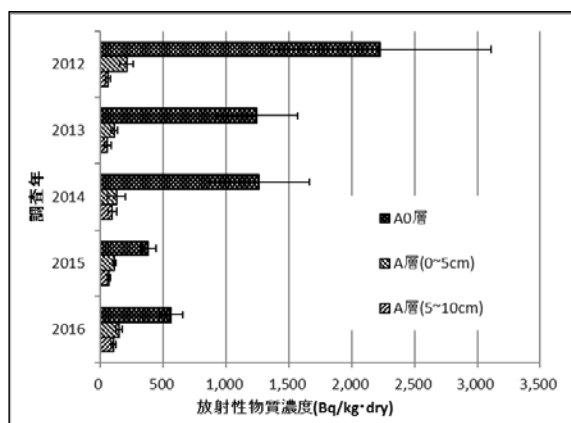


図-14 調査地 C の土壌の放射性物質濃度

※各図において、目盛りの数値が大きく異なっており注意が必要。

※各図中のグラフは平均値を示す。また、エラーバーは標準偏差を示す。

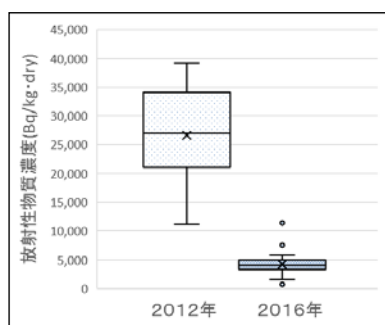


図-15 調査地 A の A₀ 層の放射性物質濃度 (開始年と最終年の比較)

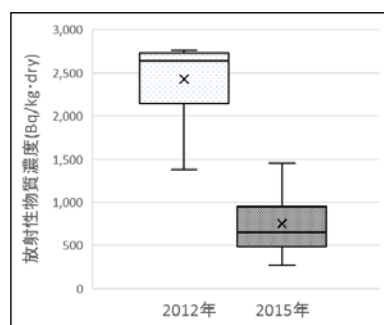


図-16 調査地 B の A₀ 層の放射性物質濃度 (開始年と最終年の比較)

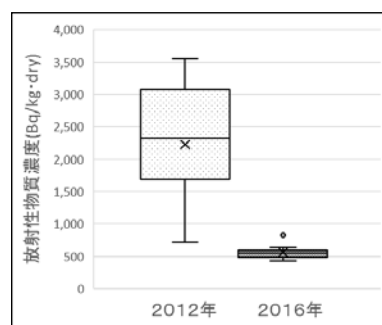


図-17 調査地 C の A₀ 層の放射性物質濃度 (開始年と最終年の比較)

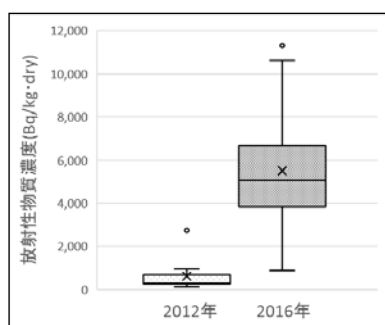


図-18 調査地 A の A 層 (0~5cm) の放射性物質濃度 (開始年と最終年の比較)

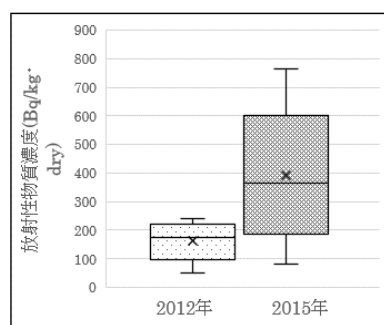


図-19 調査地 B の A 層 (0~5cm) の放射性物質濃度 (開始年と最終年の比較)

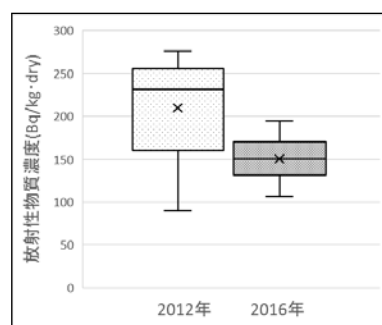


図-20 調査地 C の A 層 (0~5cm) の放射性物質濃度 (開始年と最終年の比較)

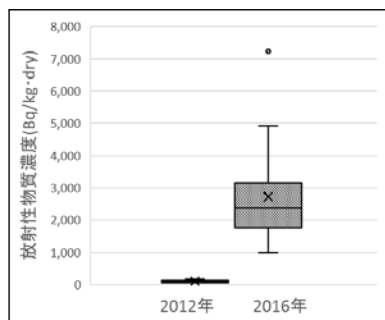


図-21 調査地 A の A 層 (5~10cm) の放射性物質濃度 (開始年と最終年の比較)

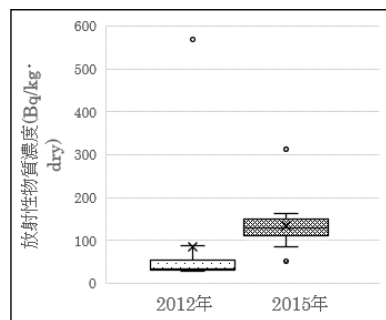


図-22 調査地 B の A 層 (5~10cm) の放射性物質濃度 (開始年と最終年の比較)

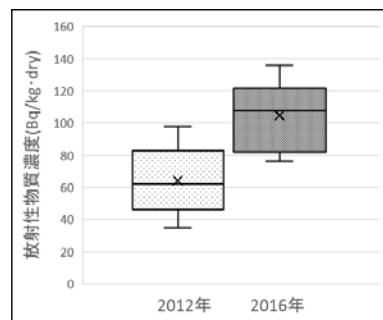


図-23 調査地 C の A 層 (5~10cm) の放射性物質濃度 (開始年と最終年の比較)

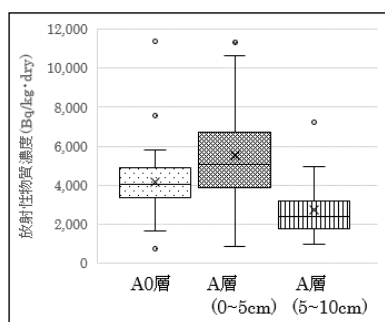


図-24 調査地 A の A₀層と A 層の放射性物質濃度 (2016 年)

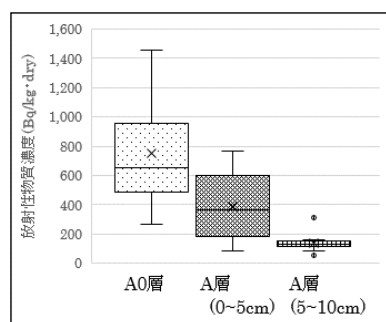


図-25 調査地 B の A₀層と A 層の放射性物質濃度 (2015 年)

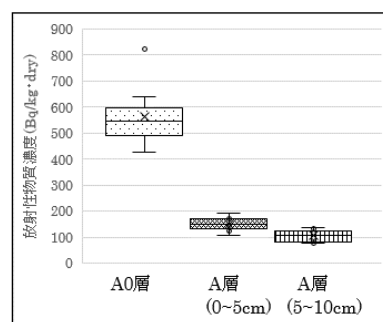


図-26 調査地 C の A₀層と A 層の放射性物質濃度 (2016 年)

3. 4 スギ林内での放射性物質の動態

以上の結果から、宮城県内のスギ林における放射性物質の動態を考察する。

震災直後はスギの葉や林床表層に放射性物質が付着した結果、林内の放射性物質濃度が高かったことから、林内の空間線量率も特に林床表層の放射性物質の影響を受け、高い値で推移したと考えられる。

その後、スギの葉では、¹³⁴Cs の半減期による自然減とあわせて、葉の生え替わりに伴って放射性物質が付着していた葉が林床へ脱落した結果、2013 年以降、スギ落葉の放射性物質濃度が減少したと考えられる。A₀層では、2013 年頃までは高濃度の放射性物質が付着していたスギ落葉が供給され続けることで放射性物質濃度が増加したが、以降は供給源であるスギ落葉の放射性物質濃度が減少したこと、¹³⁴Cs の半減期による自然減、落葉の分解により放射性物質の一部が A 層へ移行したことに伴って、2012 年から 2016 年にかけて各調査地で放射性物質濃度が約 15~30%にまで減少した可能性がある。一方、A 層 (0~5cm) では、A₀層の分解に伴って放射性物質が徐々に移行し、2012 年より放射性物質濃度が増加したことが考えられるが、調査地 C では明確な差がなく、変化速度については土地の形状や A₀層の厚さによって地域毎に異なる可能性がある。福島県での調査では、森林内から渓流水に流出する放射性物質量はわずかであり、多くの放射性物質は森林に長期間留まることが示唆されている (金子ら 2014)。土壤に長期間留まる放射性物質は林内に自生する山菜

や野生キノコ類への影響が継続する可能性もあるため、引き続き調査を行う必要がある。

4 おわりに

宮城県内のスギ林における放射性物質の動態について、3 調査地の結果を報告した。その結果、共通する傾向として A₀層での放射性物質濃度の減少が確認されたが、下層の A 層での傾向は調査地毎に異なる結果となった。森林内の放射性物質の動態にはまだまだ不明な点が多く、引き続き動態を把握するため調査を行い知見の蓄積に努める必要がある。

最後に、本調査では、放射性物質濃度の測定及び知見の提供について、宇都宮大学農学部森林科学科農学部付属里山科学センター長の久保達弘教授に多大なるお力添えをいただいた。また、放射性物質濃度の測定は、同大学バイオサイエンスセンターの平田慶氏の協力無くしては実施出来なかったことであり、この場を借りて御礼申し上げる。

引用・参考文献

池田重人・金子真司・赤間亮夫・高橋正通（2014）森林土壌の放射性セシウム分布と動態の調査法。

森林総合研究所研究報告 Vol.13 No.3 (No.432) : 137-145

梶本卓也・齋藤哲・川崎達郎・壁谷大介・矢崎健一・田中浩・太田敬之・松本陽介・田淵隆一・清野嘉之・高野勉・黒田克史・藤原健・鈴木養樹・小松雅史・大橋伸太・金子真司・赤間亮夫・高橋正通（2015）

東京電力福島第一原子力発電所事故で影響を受けた森林の放射性セシウムの挙動-事故後 2 年間の林冠から地表への移行過程からみた樹種特性. 日林誌 97 : 33-43

金子真司・高橋正通・池田重人・赤間亮夫（2014）福島原発事故による森林生態系における放射性セシウム汚染とその動態. 日本土壌肥科学雑誌 85-2 : 86-89

川口知穂・蛭田利秀・壽田智久（2014）森林内における放射性物質の移動実態の把握。

福島県林業研究センター研究報告 47 : 21-42

小林元・田代直明（2003）スギ樹冠における葉齢別窒素含量の季節変動. 森林立地 45 (2) : 99-102

益守眞也・野川憲夫・杉浦心・丹下健（2015）スギやアカマツの幹や枝葉に含まれる放射性セシウム-南相馬市における 2012 年と 2013 年の計測事例-. 日林誌 97 : 51-56

宮城県（2017）放射能情報サイトみやぎ 農林水産物の出荷制限について

<http://www.r-info-miyagi.jp/r-info/restriction/>（2017 年 4 月 27 日取得）

宮城県林業振興課（2017）みやぎの森林・林業のすがた 平成 28 年度版 : 29

文部科学省（2011）文部科学省及び宮城県における航空機モニタリングの測定結果について

http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/5000/4892/24/1305819_0720.pdf（2017 年 4 月 3 日閲覧）

文部科学省（2011-2）文部科学省及び宮城県における航空機モニタリングの測定結果について（追加資料）

http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/5000/4891/24/1305819_0722.pdf（2017 年 4 月 3 日閲覧）

林野庁（2016）平成 27 年度 森林内の放射性物質の分布状況調査結果について

<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kaihatu/jittaihaaku/zentai.html>（2017 年 4 月 3 日閲覧）

県産広葉樹の木材加工技術の開発 —木材の乾燥—

皆川 豊・玉川 和子^{*1}

要 旨

本県で資源の充実しつつある広葉樹の利用拡大に向けて課題とされている乾燥試験に取り組んだもので、コナラの天然乾燥試験では、木材水分計による含水率測定の結果、当初の含水率が、平均で 51%（最大 67%）であったものが、2か月後には 21%まで、10か月後には 12%まで、15か月後には 11%まで減少した。また、人工乾燥試験では、今回設定した乾燥スケジュールを基に乾燥を行うことにより、2か月天然乾燥を行った試験材（含水率 30%）を一般的な目標含水率である 10%以下とすることができた。これらのことから、天然乾燥と人工乾燥を適切に組み合わせることで、従来行われてきた広葉樹の乾燥に要する期間を効率的に短縮できる可能性が認められた。県産コナラの強度特性の試験では、縦圧縮強さ、曲げヤング係数、曲げ強さとも基準強度値（木質構造基礎理論・日本建築学会発行）を上回る結果を得たが、調湿中（20℃、60%）に、一部の試験体に落ち込みの現象が見られた。

キーワード：広葉樹，コナラ材，乾燥

1 はじめに

広葉樹は、各地で資源が充実し、大径化も進みつつあるが、依然製紙用チップや燃料材など低位な利用に止まっているほか、本県で資源量の最も多いナラ類は、ナラ枯れ被害のまん延、放射性物質拡散の影響によりシイタケ原木としての利用ができないなどの課題も抱えている。このため、今後は、建築用材や家具用材などとしての利用の拡大に向けた加工技術開発が期待されており、より付加価値の高い家具用材あるいは建築用材等への用途拡大を図り、有効な県産資源としての活用を図っていく必要がある。

このような中、県内で広葉樹の利用加工を行っている事業者は、試行錯誤で乾燥を行っており、適切な乾燥方法や乾燥スケジュールへの期待が高い。

本研究では、板材などの建築用材等としての利活用促進に向け、基礎となる県産広葉樹の乾燥技術等の開発に資するため、求められる部材を家具用材として考え、目標含水率を 10%以下とし、コナラ材の人工乾燥方法等を検討した。

2 試験方法

2. 1 乾燥スケジュールの推定

ケヤキとクリについて、乾燥性の難易等を把握するため、熱風恒温機を用いた 100℃急速乾燥試験（寺澤，1994；大崎，2001）を行い、各樹種毎の乾燥スケジュールを推定した（写真-1）。

急速乾燥試験は、小試験体（長さ 200 mm×幅 100 mm×厚さ 20 mm）を 100℃で急速に乾燥させた時の木口割れや断面変形、内部割れの発生状況を測定し、各損傷の程度（段階区分）から人工乾燥の条件を推測するものである。



写真-1 100℃急速乾燥試験

^{*1} 仙台地方振興事務所

2. 2 天然乾燥及び人工乾燥方法の検討

コナラについて、天然乾燥における含水率等の推移を調査した。また、併せて人工乾燥スケジュールを検討し、それによる仕上がり状態を確認した。

2. 2. 1 天然乾燥試験

試験体寸法は、調査を行った事業者からの聞き取りを基に、角材は 65 mm 角と 75 mm 角、板材は 35 mm 厚と 25 mm 厚、さらに、柾目、板目、芯あり、芯なし、長さは 2 m または 1 m を標準とした。上記の部材サイズを参考に天然乾燥試験用の試験体を作製し、耳付きの板材 17 枚、角材 6 本を南向き（日なた）と北向き（日陰）に分けて立てかけ（写真-2）、平成 27 年 1 月から調査を開始し、2 か月後、10 か月後、15 か月後に木材水分計（ケツト科学研究所製、HM-520）による含水率測定及び重量測定を行った。



写真-2 天然乾燥試験（左：南向き、右：北向き）

2. 2. 2 人工乾燥試験

2 か月天然乾燥を行った厚さ 36 mm × 幅 51~203 mm × 長さ 2040~2330 mm、102 枚の試験材（耳つき）を調達し、当センターの蒸気式乾燥機（ヒルデブランド(株)乾燥機）で人工乾燥を行った（写真-3）。

人工乾燥試験は、文献等（寺澤，1994；吉田ら，2014）を参考にコナラ乾燥スケジュール（10 日間）を計画し、人工乾燥を行うこととした。



写真-3 人工乾燥試験の状況

2. 3 強度特性の調査

ケヤキとクリとコナラについて、建築材料としての強度特性を把握するため、JIS 試験（Z 2101）に準拠した方法により、小試験体を製作し、恒温恒湿室内（温度 20℃・湿度 60%）での調湿を行い、縦圧縮試験（30 mm × 30 mm × 60 mm）と曲げ試験（30 mm × 30 mm × 480 mm）を実施した（写真-4）。

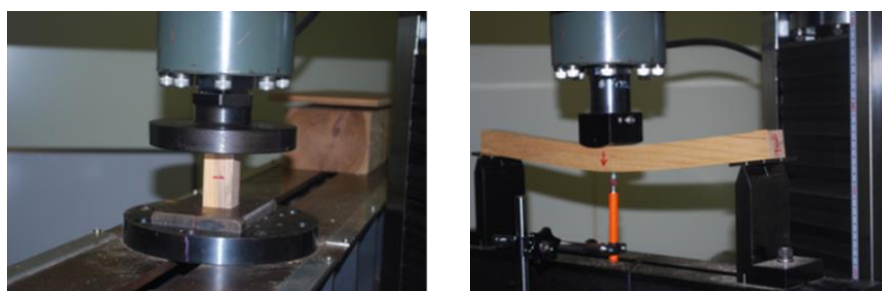


写真-4 強度試験（左：縦圧縮、右：曲げ）

3 結果・考察

3. 1 乾燥スケジュールの推定

ケヤキとクリの試験体で実施した100℃急速乾燥試験の結果を表-1に示す。

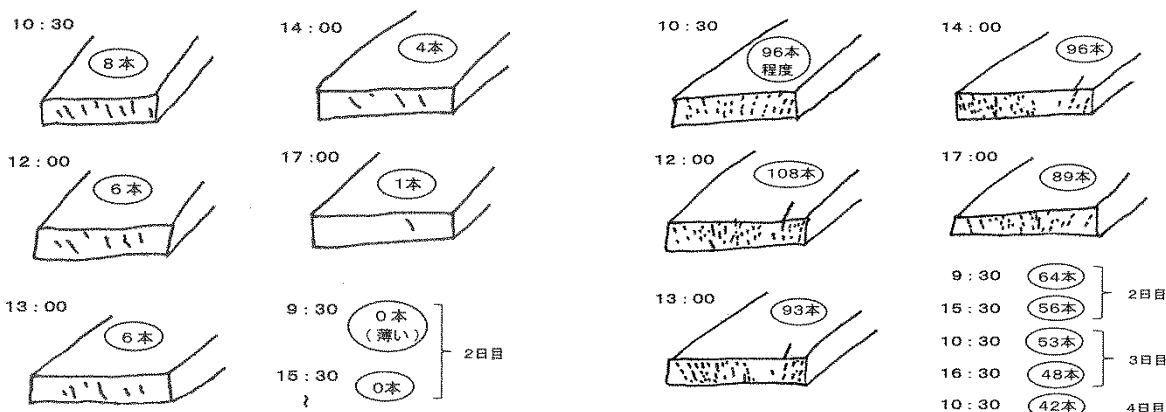
表-1 調査野帳及び木口面・板目面の割れの様子の手書きスケッチ (抜粋)

乾燥スケジュール推定用野帳 (樹種:ケヤキ 小試験体番号:ケ-2)				
時刻	時間経過(hr)	重量(g)	含水率(%)	備考
9:30	0	340.21	38.2	
10:30	1.0	319.39	29.8	木口割れ
12:00	2.5	304.11	23.6	
13:00	3.5	296.02	20.3	
14:00	4.5	290.56	18.1	ややつまる
17:00	7.5	277.98	12.9	かなりつまる
9:30	24	253.59	3.0	
15:30	30	251.15	2.0	
10:30	49	247.78	0.7	
16:30	55	247.39	0.5	
10:30	73	246.11	0.0	

初期割れ ランク1 A:18.85 B:16.27 差 2.58mm
内部割れ 太い割れ1 ランク2 断面の糸巻状変形 ランク7

乾燥スケジュール推定用野帳 (樹種:クリ 小試験体番号:ク-2)				
時刻	時間経過(hr)	重量(g)	含水率(%)	備考
9:30	0	385.92	91.7	
10:30	1.0	355.07	76.4	木口割れ
12:00	2.5	326.08	62.0	
13:00	3.5	309.30	53.7	ややつまる方向
14:00	4.5	297.67	47.9	"
17:00	7.5	269.66	34.0	
9:30	24	210.09	4.4	
15:30	30	206.36	2.5	
10:30	49	202.76	0.7	
16:30	55	202.40	0.6	
10:30	73	201.29	0.0	

初期割れ ランク2 A:18.86 B:17.24 差 1.62mm
内部割れ 太い割れ2 ランク3 断面の糸巻状変形 ランク5



注) ○内は木口面の割れの本数

両樹種 (各 2 枚) とともに、最も割れが大きくなる「初期割れ」及び徐々に割れが閉じた (つまる) 後、乾燥終末に発生する「内部割れ」についてはランク 1~3 とやや小さかった。また、糸巻き状にくぼみが発生する「断面変形」(写真-5) についてはランク 5~7 と比較的大きい結果となった (表-2・3)。



写真-5 損傷等の発生状況 (材中央部断面)
左:ケヤキ, 右:クリ

表-2 断面の糸巻状変形の段階区分 (寺澤 1994)

厚さの差	段 階 (ランク)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A-B(mm)	0~0.3	0.3~0.5	0.5~0.8	0.8~1.2	1.2~1.8	1.8~2.5	2.5~3.5	3.5以上

表-3 100℃急速乾燥試験結果

樹種	小試験体	初期含水率 (%)	損傷の発生状況			
			初期割れ 段階区分	断面の糸巻状変形		内部割れ 段階区分
				A-B(cm)	段階区分	
ケヤキ	ケ-1	37.8	1	2.48	6	2
	ケ-2	38.2	1	2.58	7	2
ク リ	ク-1	94.1	3	1.86	6	2
	ク-2	91.7	2	1.62	5	3

次に、樹種毎に各損傷のランク付けが大きい試験体（表-3 網掛け）の結果を表-4 と照合し、各損傷の段階によって制約される乾燥初期温度と乾湿球温度差、終末温度等の乾燥条件を求めた（表-5）。その中から乾燥温度が最も低く、乾湿球温度差が最も小さいものを選出したところ、乾燥初期温度ではケヤキ48℃・クリ49℃、乾湿球温度差ではケヤキ2.8℃・クリ3.3℃、終末温度がケヤキ73℃・クリ75℃となった（表-5 網掛け）。

表-4 損傷の種類と段階による乾燥条件（寺澤 1994）

損傷の種類	乾燥条件	損傷の段階（ランク）							
		1	2	3	4	5	6	7	8
初期割れ	初期温度	70	65	60	55	53	50	47	45
	初期温度差	6.5	5.5	4.3	3.6	3.0	2.3	2.0	1.8
	終末温度	95	90	85	83	82	81	80	79
断面の糸巻状変形	初期温度	70	66	58	54	50	49	48	47
	初期温度差	6.5	6.0	4.7	4.0	3.6	3.3	2.8	2.5
	終末温度	95	88	83	80	77	75	73	70
内部割れ	初期温度	70	55	50	49	48	45		
	初期温度差	6.5	4.5	3.8	3.3	3.0	2.5		
	終末温度	95	83	77	73	71	50		

ケヤキ

ク リ

注) 損傷の発生状況は 1:極めて小 ~ 8:極めて大

表-5 樹種別の測定結果と乾燥の推定条件

樹種	損傷の種類	損傷の段階	乾燥初期		乾燥終末温度(℃)
			温度(℃)	乾湿球温度差(℃)	
ケヤキ	初期割れ	1	70	6.5	95
	断面の糸巻状変形	7	48	2.8	73
	内部割れ	2	55	4.5	83
	完成値		50	3.0	70
ク リ	初期割れ	3	60	4.3	85
	断面の糸巻状変形	6	49	3.3	75
	内部割れ	3	50	3.8	77
	完成値		50	3.5	80

さらに、乾燥途中の条件を推定しながら乾燥スケジュールを検討した結果、両樹種とも人工乾燥を開始する初期乾球温度は50℃とし、乾湿球温度差（ケヤキ3.0℃、クリ3.5℃）及び終末温度（ケヤキ70℃、クリ80℃）も考慮して標準的な乾燥スケジュールを決定した（表-6）。広葉樹の乾燥は45℃から始めるのが一般的だが、今回の試験でも概ね同じ結果を得ており、広葉樹の人工乾燥に一応の目安を得られたが、ケヤキでは乾燥温度等を抑えており、材料の割れ・変形のしやすさなど、樹種による乾燥の難易等により乾燥スケジュールを調整する必要がある。

表-6 標準乾燥スケジュール（左:ケヤキ, 右:クリ）

含水率 (%)	乾球温度 (℃)	温度差 (℃)	含水率 (%)	乾球温度 (℃)	温度差 (℃)
生~30	50	3	生~50	50	3.5
30~25	55	5	50~40	50	5
25~20	60	5	40~35	50	7
20~15	65	9	35~30	55	12
15~10	70	19	30~25	60	20
10以下	70	28	25~20	65	28
			20~15	80	28
			10以下	80	28

3. 2 天然乾燥及び人工乾燥方法の検討

3. 2. 1 天然乾燥試験

製材後のコナラ板材と角材の含水率の推移は図-1 のとおりであった。また、製材後の南向きに配置した試験体の含水率は、平均で 50.1%であったが、2 か月後には 17.7%, 10 か月後には 10.0%, 15 か月後には 9.0% となり、北向きに配置した試験体の含水率は、平均で 51.8%だったが、2 か月後には 25.9%, 10 か月後には 14.4%, 15 か月後には 13.7%となった (図-2)。日当たりの良い南向きに立てかけた場合は、板材・角材とも、15 か月後には、含水率が概ね 10%以下にまで下がった (図-3)。

木材水分計による測定という簡便な方法による結果ではあるが、南向きでの配置では、2 か月後に、含水率が 20%以下まで減少することが十分に期待できる結果となった。

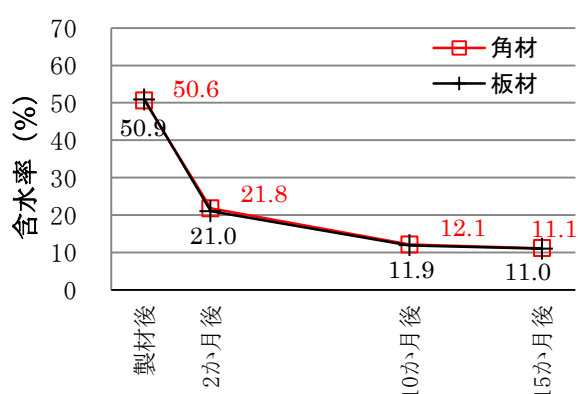


図-1 天然乾燥の含水率推移 (角材・板材平均)

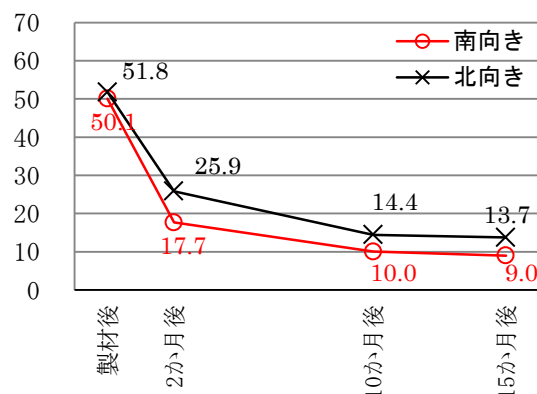


図-2 天然乾燥の含水率推移 (南・北平均)

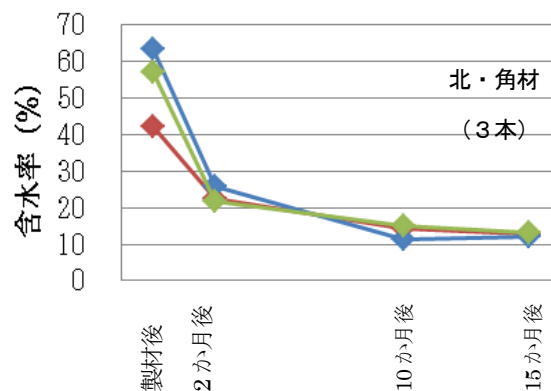
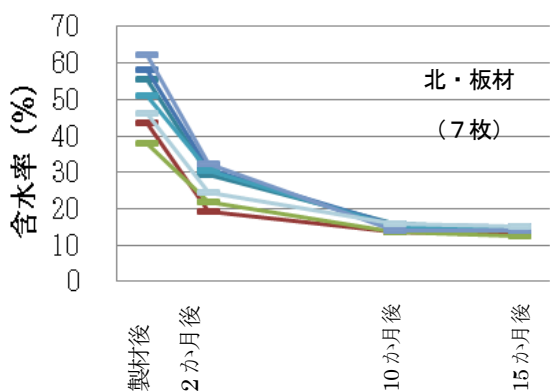
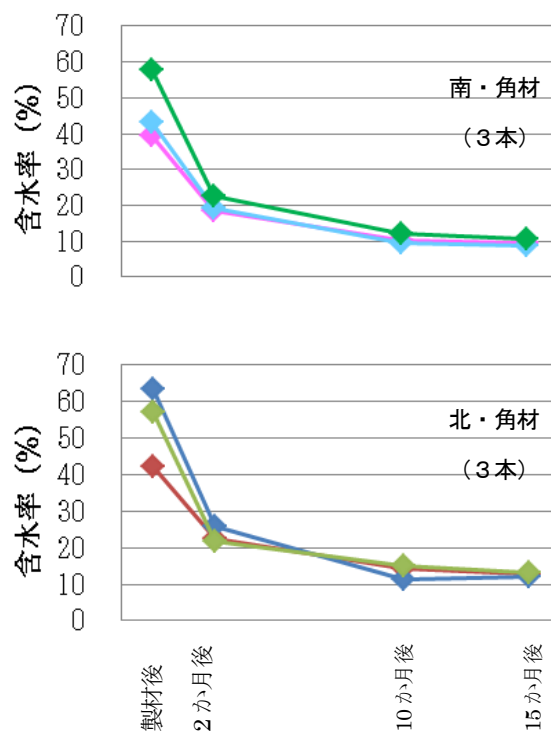
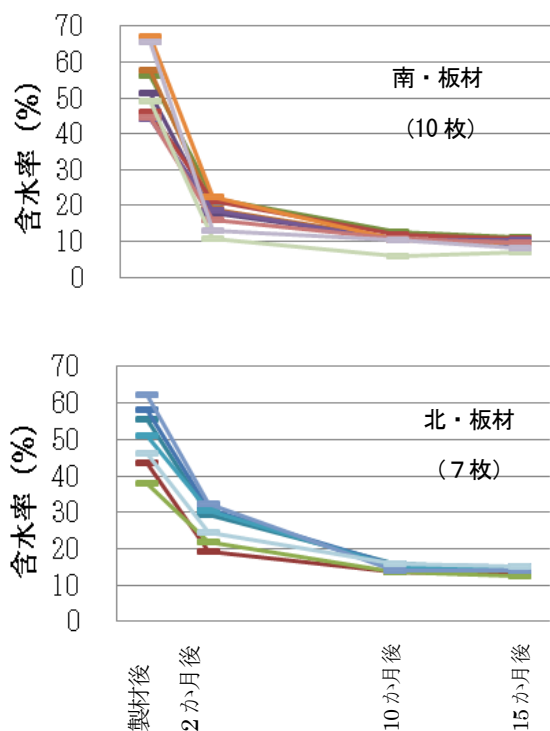


図-3 天然乾燥の含水率推移 (各検体別)

3. 2. 2 人工乾燥試験

今回引用したコナラの人工乾燥スケジュール（表-7）に基づき、天然乾燥材（含水率約 30%）を乾球温度 65℃・湿球温度 50℃から始める設定により人工乾燥した結果、乾燥中の含水率経過を確認するために準備したテストピースでは、初期含水率 28.4%から終了時含水率 7.9%まで低下した（図-4）。天然乾燥を 2 か月間行った後のコナラ試験材においては、含水率約 30%から人工乾燥を始めた結果、含水率 10%以下とする目標を 168 時間（7 日間）で達成でき、十分な乾燥結果を確認した。

表-7 引用した乾燥スケジュール

含水率(%)	乾球温度(°C)	湿球温度(°C)	温度差(°C)	処理時間(h)
生～40	55	51	4	24
40～35	55	48	7	24
35～30	60	50	10	24
30～25	65	50	15	24
25～20	70	50	20	24
20～15	75	50	25	24
15以下	80	50	30	48
イコーライジング	80	70	10	24
コンディショニング	80	75	5	24

10日間

実施した人工乾燥開始
時点の設定条件

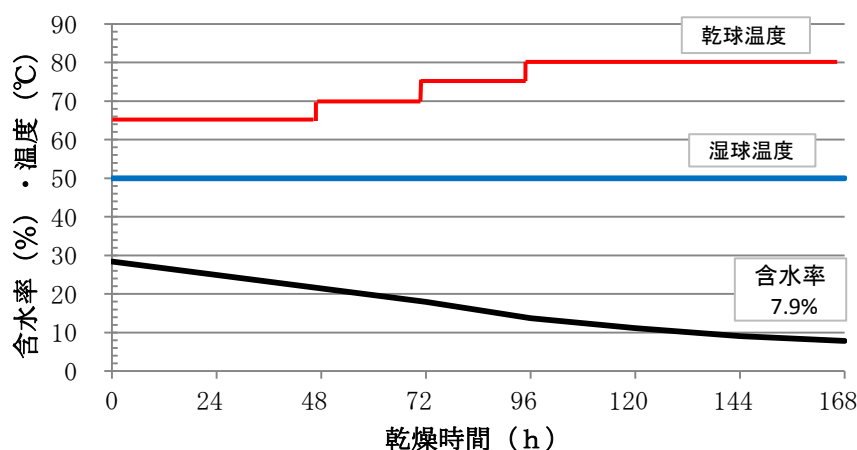


図-4 実施した乾燥スケジュールと得られた含水率の経過

天然乾燥及び人工乾燥の方法を検討した結果、コナラの板類やひき割類等は、前述の天然乾燥試験において、2 か月程度で含水率が 20%以下まで減少する結果を得たことから、事前に 2 か月間天然乾燥期間を設けた上で人工乾燥を行うことにより、従来の天然乾燥による手法に比べ、乾燥期間の短縮及び乾燥コスト削減の可能性が示唆された。

今回は、人工乾燥の情報が少ないケヤキとクリについて 100℃急速乾燥試験によるデータを集積したほか、コナラについて既存の人工乾燥スケジュールの実証を行ったものであり、他の樹種についても応用が可能と思われる。今後は、他の樹種についても応用を図るため、より効果的、効率的な乾燥方法を検討するための一助として活用できるものとする。

3. 3 強度特性の調査

各樹種の強度特性について、小試験体による基準強度値（日本建築学会，2010）と比較した。なお、広葉樹の基準強度値は、3 樹種とも同じ区分に属するため、縦圧縮強さ 42.1N/mm²、曲げヤング係数 7.8kN/mm²、曲げ強さ 83.3N/mm²である。ケヤキは、縦圧縮強さ、曲げヤング係数、曲げ強さとも基準強度値を下回るものが多かった（図-5）。クリは、縦圧縮強さ、曲げヤング係数、曲げ強さとも全て基準強度値を下回った（図-6）。コナラは、調湿中（温度 20℃・湿度 60%）に、一部の試験体に落ち込みの現象が見られたが、縦圧縮強さ、曲げヤング係数、曲げ強さとも、ほぼ基準強度値を上回った（図-7）。本試験において、ケヤキとクリは、基準強度値よりも得られた値が小さかったことから、定量的な強度データを収集し、再度適正な用途等について検証する必要がある。コナラについては、充分基準強度値を超える値が得られたことから、建築材料としての利用の可能性が示唆された。

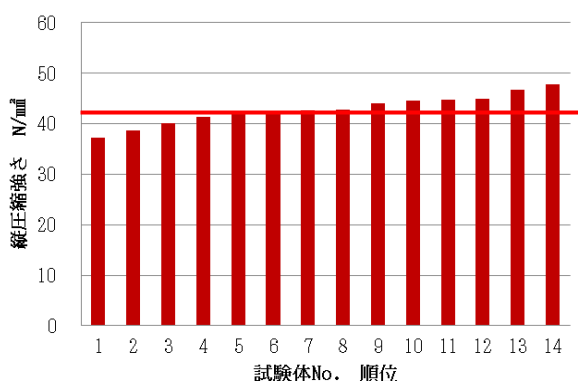


図-5 縦圧縮強度と曲げ強度（ケヤキ）

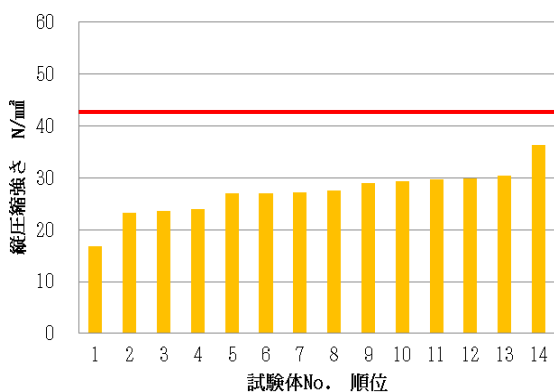
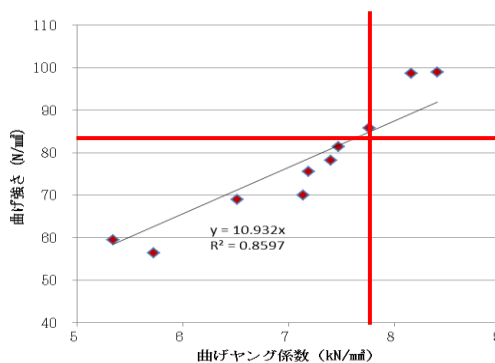


図-6 縦圧縮強度と曲げ強度（クリ）

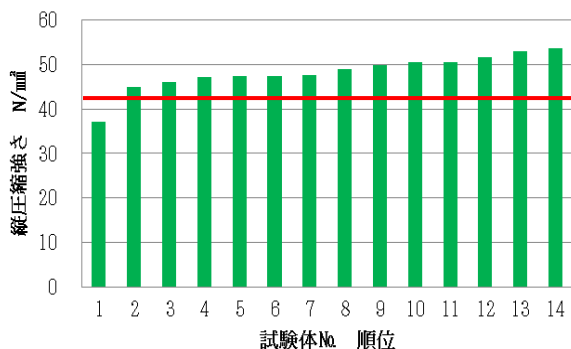
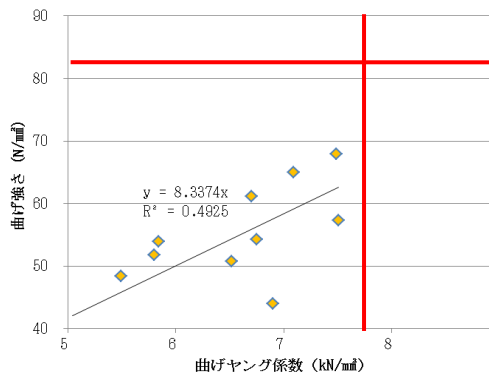
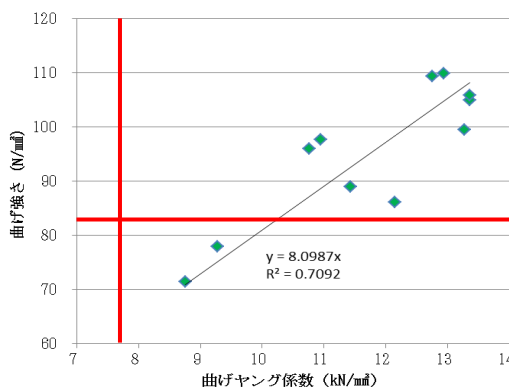


図-7 縦圧縮強度と曲げ強度（コナラ）



4 おわりに

資源量が充実しつつある一方で、新たな需要の確保が求められているコナラについて、今後改良の余地があるものの、効果的な乾燥が可能なスケジュールを確認することができた。

残された課題として、乾燥コストの削減に向けて、できるだけ短期間で乾燥が可能なスケジュールを確定するため、生材の状態から人工乾燥を実施した場合の検証も含めて、さらに実証試験を繰り返し、データを集積していく必要がある。

これまで本県では、広葉樹材の乾燥技術の普及は十分なされておらず、新たな用途や利用拡大に向けた技術開発は低位な状況にあったことから、家具製造企業等へ情報提供を行いながら更なる課題の把握、現場での普及を図っていきたい。

引用文献

日本建築学会：木質構造基礎理論 2010

大崎久司：熱帯造林木の乾燥スケジュールを推定する．北海道立林産試だより 2001

寺澤眞：木材の乾燥のすべて 1994

吉田孝久ら：小径材から製材されたミズナラ 21 mm 板材の乾燥試験．第 64 回日本木材学会大会（松山）発表要旨集 2014

平成29年度
林業技術総合センター成果報告
第26号

平成30年2月発行

宮城県林業技術総合センター

〒981-3602 宮城県黒川郡大^{おおひら}衡村大衡字^{はぬき}柞木14

電話 022-345-2816

FAX 022-345-5377

E-mail stsc@pref.miyagi.jp

