希少な天然秋田スギ “アオヤジロ” の材質特性^{*1}佐藤博文^{*2}, 澁谷 栄^{*3}, 高田克彦^{*3}Wood Properties of Rare Natural Cedar (*Cryptomeria japonica*)
“Aoyajiro” in Akita Prefecture^{*1}Hirofumi SATO^{*2}, Sakae SHIBUTANI^{*3} and Katsuhiko TAKATA^{*3}

Diameter at breast height (DBH) and stress-wave velocity (Vs) of stem were investigated in “Aoyajiro”, a mutant of natural Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don), and compared with data from plus trees (PLT) and snow-resistant trees (SRT). Vs of “Aoyajiro” trees was similar to that of SRT but significantly faster than that of PLT. A negative correlation was observed between Vs and DBH in “Aoyajiro”. These results suggested “Aoyajiro” trees have sufficient snow-resistance based on high dynamic Young’s modulus and its elasticity value decreasing with aging. Moisture content, crude ash and volatile components of heartwood obtained by the use of increment borer in “Aoyajiro” were analyzed and compared with those of PLT. There were no significant differences among these components, although “Aoyajiro” tended to contain higher crude ash content than PLT. Cubebol or δ -cadinene were detected by GC (Gas Chromatography) analysis as the major volatile components in “Aoyajiro”. Cubebol has the potential to change antimicrobial substances, such as cubenol, epicubenol and δ -cadinene, affecting specific lactobacilli that rot Sake. We propose that cubebol and δ -cadinene contents be used as indices to evaluate the superiority of “Aoyajiro”.

Keywords: Aoyajiro, wood properties, stress-wave velocity, cubebol, δ -cadinene.

天然秋田スギの突然変異の1つアオヤジロの胸高直径、樹幹の応力波伝播速度を精英樹や耐雪性スギと比較した。アオヤジロの応力波伝播速度は耐雪性スギと同様に精英樹より速く、胸高直径との間には負の相関がみられた。これらから幹のヤング率が高く雪害抵抗性に優れることと加齢に伴う材の剛性低下が示唆された。成長錐コアを用いてアオヤジロ心材外部の含水率、粗灰分および心材最外部の揮発性成分を調べ、精英樹のそれと比較した。各成分の間に有意な差はみられなかったが、アオヤジロの粗灰分がやや多い傾向にあった。揮発性成分は cubebol や δ -cadinene がアオヤジロでやや多い傾向にあった。cubenol は酒を腐らせる乳酸菌の増殖を阻害する cubenol, epicubenol や δ -cadinene に変化しうる。よって、cubenol と δ -cadinene の含量はアオヤジロ材を評価する上で有用な指標になるものと思われた。

^{*1} Received October 8, 2015; accepted April 15, 2016. 本研究の一部は第125回日本森林学会大会（2014年3月、さいたま市）で発表した。

^{*2} 秋田県林業研究研修センター Akita Forestry Research and Training Center, Akita 019-2611, Japan

^{*3} 秋田県立大学木材高度加工研究所 Institute of Wood Technology, Akita Prefectural University, Noshiro 016-0876, Japan

Corresponding author: K. Takata (katsu@iwt.akita-pu.ac.jp)

1. 緒 言

スギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) は、秋田県において県の木とされるほど産業上重要な樹種であり、その人工林蓄積量は県全体で約101百万 m³と全国1位を誇る¹⁾。

秋田県内のスギは大きく二つに分けられ、天然のスギは「天然秋田スギ」、人工造林によるスギは「秋田スギ」と呼ばれる²⁾。このうち、「天然秋田スギ」は国有林に多く分布する³⁾が、年々伐採が進み資源減少の一途をたどっていることから、平成24年に国有林からの供給は終了している⁴⁾。このため、昨今では秋田県の伝統工芸品である曲げわっぱ^{5, 6)}や桶樽⁷⁾の材料不足が懸念されており、代替資源の確保が課題となっている。このような状況の中、秋田県では、原木の安定供給と県産材の需要拡大を農林水産業関連施策における重点推進事項の1つに掲げ⁸⁾、新たな秋田スギブランドの創造によるスギ需要の拡大に向けた取り組みを進めている。

“アオヤジロ⁹⁻¹¹⁾”は「天然秋田スギ」の突然変異と考えられ¹²⁾、樹葉が黄色味を帯びるという外観上の特徴を持つ^{13, 14)} (Fig. 1)。また、その材は芳香を有し、酒造容器として珍重されたといわれている¹⁵⁾ことなどから、秋田県では「天然秋田スギ」の代替材としての用途はもとより、新たな秋田スギブランドの創出に有望な素材の1つとなりうるものとしてその活用を模索している。

アオヤジロに関する過去の記録をみると、材については「天然秋田スギ」の名を世に知らしめるほど沈の香りが良く¹⁶⁾、酒樽などの樽材に向くといわれている^{17, 18)}。このうち、沈の香りが良いという点については、一般のスギが線香以外の香木として扱わ

Fig. 1. “Aoyajiro” tree with yellowish needles in Kitaakita City.

れる例が少ない¹⁹⁾ことから、アオヤジロの材には一般のスギとは異なる香気成分が含まれている可能性もある。一方、樽材に向くという点は、木目が細かく狂いが少ないといった「天然秋田スギ」が本来有する材の特性が現れているものと考えられる。

しかしながら、これらアオヤジロの材の物理的および化学的な特徴について学術的見地から調査、研究された例はこれまでになく、今後、秋田県のブランド創出の有望素材としてアオヤジロの積極的な利活用を図るためには、材に関わる諸特性を明らかにする必要がある。

本研究では、秋田県内においてこれまで確認されているアオヤジロを対象として、材の強度的性質と心材部の含水率および化学成分について調査し、その利用特性を明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

2.1 強度的性質の非破壊評価

実験にはアオヤジロ15系統を用いた。これらの分布、所在地、樹齢等を Fig. 2 および Table 1 に示す。

Fig. 2. The locations of “Aoyajiro” tree tested in this study.

Note: ○: Clone correction field of Akita Forestry Research and Training Center.

Table 1. The location, tree height, diameter at breast height and tree age of “Aoyajiro” trees.

No.	Location	TH ^{a)} (m)	DBH ^{a)} (cm)	TA ^{a), b)} (years old)
3	Daisen city tsuchikawa	24	89	100
5	Daisen city nangai	28	58	140
6	Daisen city nangai	26	53	140
10	Gojome town nanakura	21	40	80
12	Yokote city masuda	16	45	60
14	Daisen city ota	21	86	200
16	Daisen city horiminai	18	69	100
20	Kitaakita city hachimantaishinden	28	68	140
21	Kitaakita city sumomodai	15	33	30
22	Kitaakita city yonaizawa	28	43	45
29	Kitaakita city moriyoshi	14	42	ne
34	Daisen city nangai	22	41	60
47	Daisen city tsuchikawa	13	33	60
57	Daisen city kyowa	20	54	80
66	Daisen city nangai	30	65	140

a) TH: tree height, DBH: diameter at breast height, TA: tree age.

b) Tree age was estimated by interview with tree owner.

ne: not estimated.

Table 2. Tree height and diameter at breast height of plus trees and snow-resistant trees.

PLT ^{a)}	TH ^{b)} (m)	DBH ^{b)} (cm)	SRT ^{a)}	TH ^{b)} (m)	DBH ^{b)} (cm)
Ogachi 1	23.0	40	R 5	14.5	17
Ogachi 3 ○	21.1	30	R 8	20.1	29
Ogachi 13 ○	23.4	37	R 22	15.5	22
Kazuno 1	20.3	42	R 25	17.1	26
Kazuno 2	17.5	43	R 28	22.3	33
Kazuno 3	19.8	34	R 33	17.5	29
Kitaakita 1 ○	22.9	44	R 34	16.8	23
Kitaakita 2	21.3	34	R 36	15.7	19
Kitaakita 4	22.2	31	R 37	19.7	27
Senboku 1	23.5	40	R 39	14.4	19
Senboku 3	21.6	36	R 42	21.1	31
Senboku 4	23.9	36	R 43	18.2	26
Hiraka 1	21.6	42	R 44	19.1	24
Hiraka 2	22.6	39	R 46	14.8	18
Hiraka 3	21.1	41	R 48	18.5	22
Minamiakita 2	22.0	35	R 49	21.7	34
Minamiakita 3	22.7	41	R 50	20.6	35
Minamiakita 4 ○	19.5	34	R 53	13.2	14
Yamamoto 1	19.8	34	R 55	17.1	22
Yamamoto 2 ○	23.3	40	R 56	21.1	24
Yamamoto 3	22.5	34	R 59	21.2	33
Yuri 1	18.0	33	R 61	19.7	27
Yuri 2	18.3	39	R 62	18.1	20
Yuri 3	20.4	33	R 64	19.1	28
Yuri 11 ○	21.5	28	R 65	15.2	20

Each data is the mean of 3 clones.

a) PLT: plus trees (tree age 31 years), SRT: snow-resistant trees (tree age 29 years).

b) TH: tree height, DBH: diameter at breast height.

○: used for some chemical analysis.

なお、供試木の大半は屋敷木として育てられており正確な樹齢は不明であるため、Table 1 には聞き取り調査で得た樹齢を記載する。

対照には、秋田県林業研究研修センター構内のクロン集植所に植栽されている秋田県産精英樹（31年生）70系統²⁰⁾のなかから任意に選出した25系統および雪害抵抗性品種とその候補木（29年生、以下耐雪性と略す）のうち抵抗性上位にランク付けされた²¹⁾もののなかで供試可能であった25系統を用いた（Table 2）。

成長形質として胸高直径を、立木の材質形質として応力波伝播速度を測定した。胸高直径は、胸高部位（地際から約1.2 m 上部）において、スチール製巻き尺を用いて1 cm 単位で測定後、得られた値を円周率で除して個体値とした。

応力波伝播速度の測定には、FAKOPP（ハンガリー国アルナス社製）を用いた。樹幹の軸方向に対して平行して上側にスタートセンサー及び下側にストップセンサーを打ち込んだ。測定区間長は1.0 m とし、取り付け位置は地際から0.7~1.7 m の部位とした。両センサーを打ち込む角度は、互いの先端部が向き合うよう樹幹に対して約45度とした。スタートセンサーをハンマーで叩き、打撃音がストップセンサーへ伝わる時間（ μ s）を測定した。応力波伝播速度（m/s）は、センサー間の距離（1 m）を測定時間で除すことにより算出した²²⁾。この測定は、立木の軸対称となる任意の2方向についてそれぞれ3回ずつ行い、その平均値を個体値とした。対照系統の胸高直径、応力波伝播速度については、ともに1系統あたり3クロンについて測定し、その平均値を個体値とした。各測定は2013年11月から2014年7月にかけて樹幹が凍結する時期を除いて実施した。

2.2 アオヤジロ心材のサンプリング

材料には、アオヤジロ11系統を用いた。対照には、前項の調査に用いた精英樹のなかから任意の6系統を用いた（Table 2）。成長錐（山都屋製）は、長さ35 cm、内径5 mm のものを用いて2013年11月~12月上旬に胸高部位からコアを採取した。採取したコアは、直ちに紙製のストローに入れてサランラップで包み、クーラーボックスで運んで当日のうちに含水率、粗灰分の測定および揮発性成分の分析に供した。

分析には心材外部、すなわち、コアの心材部を樹皮側と髄側のほぼ中間で2分割し、樹皮側の部分を用いた。このうち揮発性成分の分析には辺材近傍の白線帯を含む最外部のコア約0.5 g を、また、含水率、粗灰分の測定には残りの樹皮側のコア約0.5 g をと

って分析試料とした。

2.3 アオヤジロ心材の含水率、粗灰分の測定

含水率の測定は全乾法にて実施した。すなわち、試料としたコア約0.5 g を年輪方向と平行に1~2 mm の厚さで輪切りにして正確に秤量し、104℃で一昼夜乾燥して全乾重量を求め含水率を算出した。

粗灰分の測定は含水率の測定に供した試料を用い、JIS P8003²³⁾に準拠した方法で行った。試料は予め風袋量を測定しておいたるつぼに入れて550~600℃で2時間加熱後、デシケーター中に一晩放冷する操作を繰り返して恒量を求め、全乾試料重量に対する割合を算出した。

2.4 アオヤジロ心材の揮発性成分の抽出と分析

揮発性成分の抽出および分析試料の調製は、以下の手順に従って行った。まず、試料としたコア約0.5 g を年輪方向と平行に1~2 mm の厚さで輪切りにし、10 ml 容のガラス製スクリュ管にとって正確に秤量した。これに、内部標準物質として材片1 g につき1 mg となるよう Dodecane（和光純薬工業製）を加え、約10倍量（w/v）のクロロホルムに浸漬後、蓋をして室温下に2週間以上成分抽出を行った。抽出液は、シリカゲルを充填したミニカラム（Varian 社製 Bond Elut SI カートリッジ）で濾過し、濾液をガスクロマトグラフィー（以下、GC と略す）分析に供した。

分析条件は以下の通りである。装置：日立製作所製 G-3000型 Gas Chromatograph、カラム：J&W 社製 DB-WAXetr キャピラリー（内径0.25 mm ×長さ30 m、膜厚0.25 μ m）、キャリアガス：ヘリウム、流速：1.2 ml/min、注入口温度：220℃、検出器温度：220℃、検出器：水素炎イオン化検出器（FID）、スプリット注入法（スプリット比）：1/10により試料の注入を行った。カラム温度は、試料注入後、60℃で1分間保持、220℃まで5℃/min の割合で昇温し、60分間保持した後に分析終了とした。

クロマトグラムにおけるピークの同定は、過去の文献^{24, 25)}と GC-MS 分析（GC 装置：島津製作所製 GC-17A、MS 装置：島津製作所製 GCMS-QP5000、カラム：GLサイエンス社製 TC-WAX キャピラリー、内径0.25 mm ×長さ30 m、膜厚0.25 μ m、温度条件：分析時と同様）による装置付属のデータベースライブラリを参考にして行った。揮発性成分の含有量は内部標準として添加した Dodecane のピーク面積比をもとに推定した。

2.5 統計解析

各試験区間におけるデータの比較は、F 検定によって等分散性が認められた場合 Student の t 検定を

行い、有意性が認められなかった場合は Mann-Whitney の U 検定を用いて行った。いずれの検定においても有意水準は 5% とした。

3. 結果および考察

3.1 強度的性質の非破壊評価

胸高直径 (cm) の測定の結果、アオヤジロ区では最高値 89 (No. 3), 最低値 33 (No. 21 と 47), 平均値 $\pm$ 標準偏差 (以下, SD と略す) 55 ± 18 となった (Table 1)。一方、対照区である精英樹区では最高値 44 (北秋田1), 最低値 28 (由利11), 平均値 $\pm$ SD は 37 ± 4 で、耐雪性区では最高値 35 (R50), 最低値 14 (R53), 平均値 $\pm$ SD は 25 ± 6 (Table 2) となり、精英樹区、耐雪性区およびアオヤジロ区のそれぞれの間に有意差が認められた ($P < 0.001$)。

Fig. 3 に応力波伝播速度 (m/s) の測定結果を示す。精英樹区においては、最高値 3714 (雄勝 3), 最低値 2906 (雄勝 1) で平均値 $\pm$ SD は 3231 ± 211 であった。耐雪性区においては、最高値 4116 (R56), 最低値 3203 (R64) で平均値 3618 ± 234 であり、耐雪性区が有意に高い結果となった ($P < 0.001$)。また、アオヤジロ区では、最高値 4016 (No. 10), 最低値 2950 (No. 3) で平均値 3487 ± 287 と両者のほぼ中間にあり、耐雪性区との間に差はみられなかったが、精英樹区との間には有意差が認められた ($P < 0.01$)。

Fig. 4 に精英樹区、耐雪性区およびアオヤジロ区におけるそれぞれの応力波伝播速度と胸高直径の関係を示す。各々の相関係数は、精英樹区 -0.580 ($P = 0.002$), 耐雪性区 -0.054 ($P = 0.796$) およびア

オヤジロ区 -0.563 ($P = 0.029$) で、耐雪性区に相関はみられなかったが、精英樹区とアオヤジロ区には有意な負の相関が認められ、胸高直径が大きくなるにつれて応力波伝播速度が低下する傾向がみられた。

今回の調査では、多くのアオヤジロ系統が屋敷木として育てられている個体が多かったため、立木にあまりダメージを与えない非破壊的手法を用いる必要があった。代表的な方法としては、FAKOPP による応力波伝播速度の測定によるヤング率の推定やピロデイン陥入量の測定による容積密度の推定^{26, 27}、成長錐を用いたコアの採取などがある。

本研究では、立木への影響を最小限に抑えるために FAKOPP を用いて材質の評価を行った。FAKOPP を用いて測定した応力波伝播速度と曲げヤング率との間には、正の相関があることがスギ²²やヒノキ²⁸で検証されている。

応力波伝播速度については、32年生のスギ見本林で 3000 (2600~3300) m/s²⁹、29年生のスギ精英樹クローンの平均値が 2214~3164 m/s の範囲にある²²、14年生のスギ精英樹の接ぎ木クローンは 2833 (2026~3611) m/s であった³⁰等の報告がある。

本研究の結果はこれらより全般的にやや高めの値となったが、その理由の 1 つとしては、調査対象木の選抜、育成が寒冷地で行われているため、緩やかな肥大成長によって年輪幅が全体的に密になっていることに起因する可能性が考えられる。

また、耐雪性区が精英樹区より応力波伝播速度が有意に速かった点については、雪害抵抗性品種と感受性品種の挿し木クローンの間で FAKOPP による

Fig. 3. The stress-wave velocity (V_s) of plus trees, snow-resistant trees and “Aoyajiro” trees.

Note: PLT: plus trees, SRT: snow-resistant trees, AOY: “Aoyajiro” trees.

Fig. 4. Correlation between the diameter at breast height (DBH) and the stress-wave velocity (Vs) in plus trees, snow-resistant trees and "Aoyajiro" trees.

Note: PLT: plus trees, SRT: snow-resistant trees, AOY: "Aoyajiro" trees.

● : mean values of each tree.

応力波伝播速度が有意に異なり、雪害感受性品種の幹のヤング率が低いという報告³¹⁾や、耐雪性区の候補木選抜対象地が主に豪雪、多雪地域であったこと³²⁾などから、冠雪害や雪圧害に対して曲げヤング率の高い性質を持った個体が多数選ばれたことがその理由と考えられた。アオヤジロ区の応力波伝播速度は耐雪性区のそれより若干低かったが、両区間に統計的な差異はみられず、精英樹区より有意に高いものとなっている (Fig. 3)。各試験区の供試木の樹齢の差は無視できないものの、Fig. 4において各試験区間で胸高直径が同程度の個体が示す応力波伝播速度の分布をみる限り、アオヤジロの立木は耐雪性区のスギのように精英樹区のスギより幹のヤング率が高いことが推定され、一般の造林スギより優れた雪害抵抗性を有するものと思われた。

本研究に用いたアオヤジロの樹齢は主に聞き取り調査によるため正確なものではないが、判明している個体だけでおよそ30~200年以上となっており、樹齢と胸高直径の間には正の相関が認められている ($r=0.750$, $P=0.002$)。したがって、Fig. 4のアオヤジロ区において胸高直径と応力波伝播速度の間に確認された負の相関関係は、樹齢と応力波伝播速度との関係に置き換えて解釈することが出来るだろう。すなわち、アオヤジロでは高樹齢の個体ほどヤング率が低くなる傾向があると考えられる。なお、樹齢とヤング率の関係については、サンプスギにおいて林齢11~30年生までは材の成熟に伴って応力波伝播速度および動的ヤング率が高くなるものの、その後は林齢が増加するにつれて (70年生まで) 応力波伝播速度がやや低下する傾向が認められており³³⁾、本

考察を支持する結果が得られている。こうした傾向については、秋田県の伝統工芸品の1つである曲げわっぱに代表される曲げ物に適した材料として、樹齢150~250年の天然秋田スギがこれまで用いられてきた⁵⁾ ことと深く関わっている可能性が考えられる。一方、Fig. 4の精英樹区に認められた負の相関関係は、同一樹齢の個体群における胸高直径と応力波伝播速度の関係を示しており、スギにおいて肥大成長の良否が強度材質に大きく影響することを示唆しているものと思われる。

以上からアオヤジロの材の強度的性質の特性を整理すると、対照とした31年生の精英樹と同程度の胸高直径を持つ成長段階の立木においては、幹のヤング率が比較的高く耐雪性スギに準じた雪害抵抗性が期待できるとともに、外周部の材では加齢による胸高直径の肥大に伴い曲げ剛性の低下が予想されることから、天然秋田スギのように150~250年を経過した高樹齢のものでは秋田県の代表的な伝統工芸品の1つである曲げわっぱ等曲げ物の材料となりうる可能性が考えられた。

3.2 成長錐コア材外部の含水率および化学成分分析

成長錐コアにおける含水率(%)の平均値 $\pm$ SDは、アオヤジロ区 95 ± 48 および精英樹区 126 ± 59 といずれの区においても個体間のばらつきが大きかったため、両者に有意な差は認められなかった (Fig. 5)。

粗灰分(%)の平均値 $\pm$ SDは、アオヤジロ区 0.8 ± 0.1 および精英樹区 0.6 ± 0.4 と精英樹区のデータでばらつきが大きいため両者に有意な差は認められなかったが、アオヤジロ区では個体間のばらつきも小

Fig. 5. Moisture content of heartwood in plus trees and "Aoyajiro" trees.

Note: PLT: plus trees, AOY: "Aoyajiro" trees.

Fig. 7. Volatile content of heartwood in plus trees and "Aoyajiro" trees.

Note: PLT: plus trees, AOY: "Aoyajiro" trees.

Fig. 6. Crude ash content of heartwood in plus trees and "Aoyajiro" trees.

Note: PLT: plus trees, AOY: "Aoyajiro" trees.

Fig. 8. GC (Gas Chromatography) chromatogram of heartwood extract in No. 6 "Aoyajiro" tree.

さく、全体的に値が高い傾向が認められた (Fig. 6)。

揮発性成分含有量 (mg/g 乾材) をみると、その平均値 $\pm$ SD はアオヤジロ区 14.8 ± 11.8 、精英樹区 10.8 ± 3.6 とアオヤジロ区で若干多い傾向がみられたものの、個体間のばらつきが大きく有意差は認められなかった (Fig. 7)。

Fig. 8 にアオヤジロ No. 6 の GC 分析によるクロマトグラムを、また、Table 3 にアオヤジロ区および対照区において検出された揮発性成分とそれぞれの組成を示す。

GC 分析の結果、検出した主要なピークから未同定物質も含めて 30 種類の化合物を同定した。このうち全体的に多く含まれていたのはセスキテルペン類

とジテルペン類であり、成分別に平均値をみると cubebol が 17.2% と最も含有率が高く、次いで δ -cadinene 12.0%, ferruginol 10.3%, α -muurolene 9.0% および 4-epicubebol 8.7% などが含まれていた。

検出された揮発性成分含有率 (%) の合計の平均値 $\pm$ SD を区別に比較すると、精英樹区 96.6 ± 0.92 、アオヤジロ区 94.0 ± 3.73 とわずかではあるがアオヤジロ区において少ない傾向にあった。これを組成別にみると、アオヤジロ区では cubebol がやや高い傾向を示し、20% 以上の含有率を示したものが精英樹区では 6 系統中 1 系統しか無かったのに対し、アオヤジロ区では 11 系統中 4 系統が 20% 以上の含有率を示した。また、アオヤジロのなかには他の系統

Table 3. The volatile components of heartwood in plus trees and "Aoyajiro" trees.

Peak No.	Compounds	PLT ^{a)}					AOY ^{a)}												
		OG3	OG13	K11	M14	YA2	YU11 ^{b)}	6	10	12	14	16	20	22	29	34	47	66	
1	<i>α</i> -cubebene	2.3	2.0	1.8	2.0	1.3	1.5	1.5	1.6	1.4	1.1	1.3	1.2	1.5	1.3	1.0	1.4	1.7	
2	<i>α</i> -copane	0.9	0.9	1.1	1.1	0.7	0.7	1.1	1.1	0.8	0.8	0.9	1.0	0.9	0.9	1.1	1.2	1.1	
3	<i>β</i> -cubebene	3.2	2.9	3.0	2.4	1.2	1.9	2.4	2.4	2.5	0.9	1.2	1.9	0.7	1.8	0.9	2.4	2.0	
4	<i>trans</i> -caryophyllene	2.6	2.4	2.5	2.6	1.7	1.7	3.0	2.8	2.2	2.1	2.2	2.2	2.0	2.3	1.9	2.5	2.6	
5	thujopsene	0.9	0.8	0.6	0.9	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.3	0.5	0.3	0.4	0.3	0.2	0.3	0.6	
6	<i>β</i> -cadinene	1.7	2.0	1.0	1.9	1.0	1.8	0.7	0.9	0.9	0.5	0.7	0.4	1.0	0.4	1.0	0.4	0.9	
7	<i>α</i> -humulene	2.2	1.8	2.2	2.2	1.6	1.4	2.3	2.0	2.1	1.8	1.9	2.0	1.7	2.0	1.6	2.1	2.3	
8	<i>γ</i> -muurolene	0.8	0.7	0.8	0.8	0.6	0.7	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.6	0.7	0.8	
9	muurola-4,5-diene	4.4	3.5	2.8	4.7	2.2	3.5	3.4	3.2	2.8	2.4	2.9	2.7	5.2	3.1	2.8	2.9	4.0	
10	<i>α</i> -muurolene	10.1	8.4	10.8	9.6	12.8	7.4	9.2	8.1	12.4	8.5	7.9	7.6	7.9	8.1	8.0	8.2	8.6	
11	<i>δ</i> -cadinene	12.1	12.9	9.1	14.9	8.1	13.0	11.4	10.7	9.0	9.6	10.2	8.3	25.1	12.6	13.3	9.3	14.6	
13	<i>trans</i> -calamenene	1.2	0.9	1.2	1.5	1.0	1.4	1.0	0.7	0.9	1.4	0.8	0.8	2.1	1.3	1.6	0.8	1.3	
14	4-epicubebol	10.8	8.6	7.9	11.6	6.8	10.7	10.9	9.9	9.3	5.7	6.7	8.6	4.4	8.8	7.1	9.4	10.2	
15	cubebol	19.9	14.3	23.4	17.6	10.4	14.2	25.0	20.0	20.0	16.4	11.9	19.5	5.6	18.6	14.1	23.4	19.1	
16	cubenol	1.0	1.1	0.9	1.6	0.8	1.6	1.1	1.0	0.9	1.0	0.9	0.9	3.6	1.8	1.6	0.9	1.6	
17	epicubenol	2.0	2.3	1.5	2.8	1.5	2.9	2.0	1.8	1.8	1.7	1.6	1.5	5.7	3.0	2.4	1.7	2.8	
18	T-cadinol or T-muurolol	0.6	0.5	0.4	0.8	0.2	0.6	0.6	0.5	0.5	0.2	0.3	0.4	0.6	0.6	0.4	0.5	0.6	
19	unknown	0.5	0.8	1.1	0.8	2.6	0.4	0.5	0.3	1.1	2.6	1.7	0.8	1.2	0.7	2.2	+	0.6	
20	sandaracopimaradiene	1.0	0.7	0.2	0.2	0.5	2.2	0.5	1.7	0.5	1.2	4.6	0.8	1.3	1.2	1.5	0.5	0.6	
21	cryptomerion	0.4	1.1	0.9	1.1	2.6	0.3	0.2	0.4	1.4	0.8	0.8	1.5	0.2	+	4.9	0.3	0.1	
22	abieta-7,13-diene	0.4	2.9	1.3	1.4	2.7	3.8	0.6	3.4	1.8	0.8	2.4	6.3	4.9	5.5	+	4.3	2.2	
23	abietatriene	0.2	+	0.4	0.2	0.3	0.3	0.2	0.6	0.3	0.8	1.2	0.6	0.4	0.3	0.8	0.4	0.3	
24	1-acetoxylbisabotrien-4one or bisaboladien-1-ol-4-one	nd	0.9	0.8	+	1.4	0.7	0.1	0.4	2.4	0.2	0.4	0.6	nd	+	+	+	0.1	
25	sandaracopimarinal	2.6	4.3	2.2	1.6	8.3	3.7	0.9	2.5	1.2	3.0	2.3	5.3	3.1	3.3	2.2	2.6	0.8	
26	bisabolatrien-1-ol-4-one	+	+	0.5	+	0.3	1.0	0.7	0.8	0.4	0.8	0.5	0.6	0.7	0.8	+	0.5	1.2	
27	phyllocladanol	0.5	+	0.9	0.4	0.5	1.2	0.5	0.5	0.7	0.7	1.5	0.6	+	0.3	+	0.5	0.5	
28	sandaracopimarinal	2.2	5.3	1.7	2.1	5.9	8.3	1.9	4.0	2.6	3.8	3.6	6.3	3.2	5.0	3.0	4.4	2.2	
29	ferruginol	8.0	11.0	13.8	5.9	14.3	6.4	8.1	11.9	9.3	19.3	19.5	7.7	6.7	6.9	7.9	12.2	6.8	
30	6,7-dehydroferruginol	4.2	2.0	2.4	2.0	3.2	1.9	3.8	2.6	1.8	2.2	2.8	2.5	1.8	3.9	1.6	4.0	3.7	
	Total	97.7	96.1	97.7	95.7	95.8	96.5	95.8	97.5	93.0	91.5	94.4	94.2	94.2	96.2	84.3	98.2	94.7	

Each data means rate of peak area (%).

^{a)} PLT: plus trees, AOY: "Aoyajiro" trees.^{b)} OG: Ogachi, KI: Kitaakita, MI: Minamiakita, YA: Yamamoto, YU: Yuri.

+: trace, nd: not detected.

とは異なる組成を示す例 (No. 22) がみられ, cubebol が5.6%しか検出されなかったにも関わらず, δ -cadinene が25.1%と顕著に多く検出された。

成長錐コアを用いた心材外部の成分分析を行った結果, 含水率, 粗灰分ともにアオヤジロ区と対照区の間有意な差は認められなかったが, 粗灰分ではアオヤジロ区が精英樹区より若干多い傾向がみられた (Fig. 6)。また, 粗灰分には純灰分のほかに一部の有機質に由来する炭酸が残存する場合もあるが, 揮発性成分含量において有意差は認められなかった (Fig. 7)。これらの結果から, アオヤジロの心材は揮発性成分以外に何らかの有機物成分を多く含んでいる可能性もある。

本研究で成分分析の実験に供した白線帯を含む心材と辺材の境界部は内稀や甲付とよばれ³⁴⁾, 主に酒樽の材料として好んで使われている。これには水漏れしにくい特性をもつことに加えて, 樽酒に移行する香り成分の主体となるセスキテルペン類を多く含んでいることが考えられており, 主に cubenol, epicubenol, δ -cadinene および eudesmol 類が検出されている³⁵⁾。

GC 分析の結果, アオヤジロの心材最外部には cubebol または δ -cadinene の含有率がやや高い傾向にあることが明らかとなった。cubebol と epicubebol は生育地が異なると δ -cadinene に変わる場合がある²⁵⁾。また, ヤクスギ心材では, cubebol や epicubebol が時間経過に伴い cubenol や epicubenol に変化すると推測されている²⁴⁾。このうち, cubenol, epicubenol および δ -cadinene には酒の腐敗に関わる特定の乳酸菌に対して増殖抑制効果が認められている³⁶⁾。以上から, cubebol と δ -cadinene は, アオヤジロが古くから酒造容器として用いられてきたことと関わってきた可能性はある。

これらの結果を総合的に判断すると, 立木の心材中における cubebol 類と δ -cadinene の含量は, アオヤジロの材に関し酒造容器としても優劣を評価・判定する有用な指標の一つとなるものと思われた。

4. 結 論

本研究では, 天然秋田スギの突然変異の1つとされるアオヤジロについて FAKOPP を用いて材の強度的性質を調べるとともに, 成長錐コアを用いて心材外部の含水率および化学成分の調査を行った。

その結果, 31年生の精英樹と同程度の胸高直径を持つ成長段階の立木においては, 幹のヤング率が比較的高く一般の造林スギより優れた雪害抵抗性が期待されることや, 天然秋田スギのように樹齢150～

250年を経過した高樹齢のものになると加齢に伴い外周部の材の曲げ剛性低下が予想されることから, 秋田県の代表的な伝統工芸品の1つである曲げわっぱ等曲げ物の材料となりうる可能性が考えられた。また, アオヤジロの心材最外部には酒の腐敗に関わる特定の乳酸菌の増殖を抑制する物質またはその前駆体と思われる物質が多く含まれており, その含有量はアオヤジロの材を評価するうえで有用な指標となりうることが示唆された。さらに, 揮発性成分以外にも何らかの有機成分を多く含む可能性をもつことも明らかとなった。

今後は, 材の寸法安定性や色調といった他の利用形質に関する調査を進めるとともに正確な系統管理に必要な遺伝特性等の情報の集積を行い, アオヤジロを天然秋田スギの代替資源として活用できるよう基盤の構築をはかっていく必要がある。

文 献

- 1) 秋田県：秋田県林業統計 平成26年度版, <http://www.pref.akita.lg.jp/www/contents/1152517016192/index.html/> 2015年6月15日参照。
- 2) 秋田県：頑張れ森と木の国あきたー森林・林業木材産業ガイドラインー, 秋田県農林水産部, 秋田, 2006。
- 3) 東北森林管理局：平成26年事業統計書 (平成25年度版), http://www.rinya.maff.go.jp/tohoku/kikaku/zigyoutoukei_H2705.html/ 2014年9月1日参照。
- 4) 東北森林管理局：天然秋田杉の紹介, <http://www.rinya.maff.go.jp/tohoku/policy/business/management/kyokyu/tensugi.html/> 2014年9月1日参照。
- 5) 近江恵美子：大館曲げわっぱ, 東北生活文化大学紀要 No. 23, 29-41 (1989)。
- 6) 大館曲げわっぱ協同組合：大館曲げわっぱ協同組合, <http://odate-magewappa.com/> 2015年7月2日参照。
- 7) 秋田杉桶樽協会：秋田杉桶樽協会, <http://www.chuokai-akita.or.jp/oketaru/index.htm/> 2014年9月1日参照。
- 8) 秋田県：平成25年度 秋田県農林水産業関係施策の概要, <http://www.pref.akita.lg.jp/www/contents/1374557511609/files/2013gaiyou.pdf/> 2014年7月1日参照。
- 9) 三浦伊一郎, 本田正次, 小野陽太郎, 林 弥栄：日本老樹名木天然記念樹, 社団法人大日本山

- 林会, 東京, 1962.
- 10) 秋田県緑化推進委員会: 秋田県の名木・古木. 秋田県緑化推進委員会, 秋田, 1992.
- 11) 秋田県教育委員会: 秋田の名勝・天然記念物. 秋田文化出版, 秋田, 2004.
- 12) 佐藤博文: こがね色の希少な秋田杉“アオヤジロ”の特性解明と活用に関する研究. 秋田の森林づくり No. 697, 6-7 (2014).
- 13) 篠崎夕子: 秋田県藤里町の秋田杉「アオヤジロ」. 東北の林木育種 No. 178, 7 (2005).
- 14) 半田和彦: あをやしらの木, “秋田藩の武士社会”, 無明舎出版, 秋田, 2006, pp. 197-198.
- 15) 秋田営林局: 秋田山形の老樹名木. 秋田営林局, 8-9 (1935).
- 16) 内田武志, 宮本常一: 賛能辞賀楽美. “菅江真澄全集第三巻”, 未来社, 東京, 1972, pp. 405-425.
- 17) 長岐喜代次: 秋田杉の特性. “秋田杉への郷愁”, 東北紙工KK, 宮城, 1969, pp. 158-163.
- 18) 稲 雄次: アオヤジロ, “秋田民俗語彙事典”, 稲 雄次編, 無名舎出版, 秋田, 1990, p. 13.
- 19) 松原 陸: 漢籍から得る香の知識. “香の文化史ー日本における沈香需要の歴史ー” 雄山閣, 東京, 2012, pp. 121-124.
- 20) 秋田県林業技術センター: あきたの林木育種. 秋田県林業技術センター, 秋田, 1991.
- 21) 佐々木揚: 精英樹系統と雪害抵抗性系統の交雑に関する研究. 秋田県森技セ研究報告 No. 18, 94-114 (2008).
- 22) 藤澤義武, 倉本哲嗣, 平岡裕一郎, 柏木 学, 井上雄二郎: FAKOPPによるスギクロンの非破壊的材質評価. 第53回日本木材学会大会研究発表要旨集, 福岡, 2003, p. 55.
- 23) JIS P8003: パルプ材及び製紙用パルプの灰化試験方法. 日本規格協会 (1999).
- 24) 森田慎一, 谷田貝光克, 藤田晋輔: ヤクスギ (*Cryptomeria japonica*) 樹幹内の抽出物並びにセスキテルペン類の分布. 木材学会誌 41 (10), 938-944 (1995).
- 25) 長濱静男, 藤井裕士, 園田太志, 佐々木峰子: スギ材油のテルペノイド成分 (第8報) 精英樹県国東5号外5クロンの成分. 木材学会誌 48(5), 380-386 (2002).
- 26) 津島俊治: ピロディン打込み深さに影響を与える諸要因. 九州森林研究 No. 55, 192-195 (2002).
- 27) 山下香菜, 岡田直紀, 藤原 健: ピロディンを用いた容積密度推定法とスギ生材丸太のクラス分けへの応用. 木材学会誌 53(2), 72-81 (2007).
- 28) 藤澤義武, 柏木 学, 井上祐二郎, 倉本哲嗣, 平岡裕一郎: FAKOPPによる立木ヤング率評価手法のヒノキへの応用. 九州森林研究 No. 58, 142-143 (2005).
- 29) 池田潔彦, 金森富士雄, 有馬孝禮: 応力波伝播速度による立木材質の評価と適用 (第4報) ヒノキ林分立木材質の評価. 木材学会誌 46 (6), 602-608 (2000).
- 30) 三嶋賢太郎, 井城泰一, 平岡裕一郎, 宮本尚子, 渡辺敦史: 関東育種基本区におけるスギ精英樹クロンの立木材質の評価. 木材学会誌 57 (5), 256-264 (2011).
- 31) 宮下智宏: スギ雪害抵抗性第二世代品種の選抜手法の開発. 第122回日本森林学会大会講演要旨, 静岡, 2011, p. Pa2-55.
- 32) 那須仁弥, 向田 稔: 東北育種基本区における気象害抵抗性育種事業の実施経過. 林育研報 No. 15, 131-144 (1998).
- 33) 平岩季子, 石栗 太, 遠藤良太, 武山富士雄, 田邊 純, 亀山雄揆, 大野英克, 高島有哉, 飯塚和也, 横田信三: 千葉県内に植栽されたサンプスギの木材の性質. 材料 63(9), 635-640 (2014).
- 34) 貴島恒夫: スギの用途. “スギの研究”, 佐藤彌太郎監, 養賢堂, 東京, 1950, pp. 491-504.
- 35) 折原佑輔, 和気洋子, 宇都宮仁, 青島 均: 樽酒の成分と生理活性への貯蔵期間の影響. 醸協 101(5), 349-356 (2006).
- 36) 高尾佳史, 山田 翼, 古川恵司, 溝口晴彦: 樽酒中の成分とその火落菌増殖抑制効果. 醸協 107(11), 868-874 (2012).