

ISSN 1881-5502

# 研究報告

第 25 号

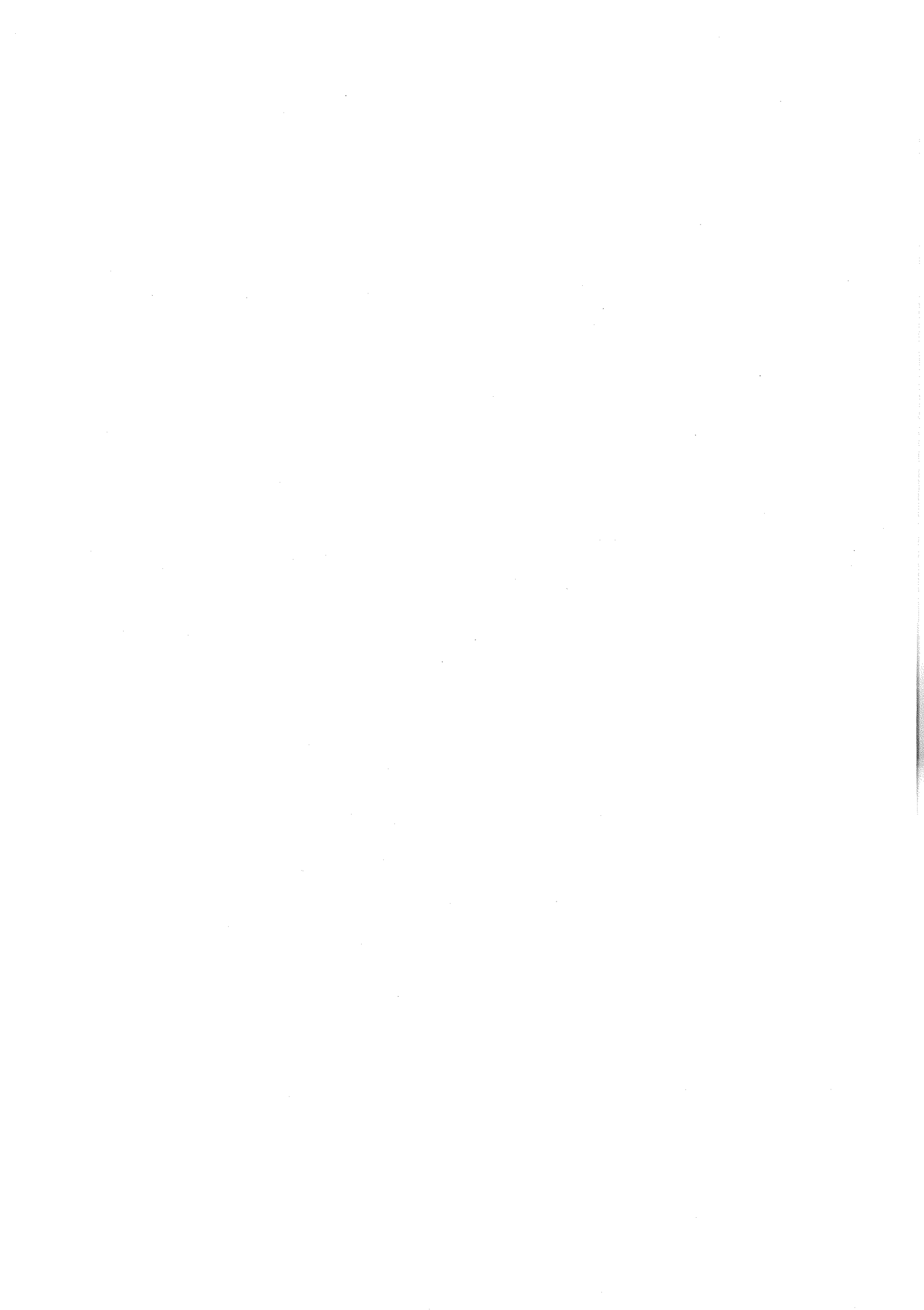
2018. 3

秋田県林業研究研修センター



# 目 次

1. 里山広葉樹林の新たな育成管理技術の開発  
..... 和田覚・成田義人・新田響平 ..... 1 ~ 18
2. 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  
..... 佐藤 博文 ..... 19 ~ 41
3. ショウロ (*Rhizopogon roseolus*) を接種したクロマツの成長  
..... 鈴木 博美・菅原 冬樹 ..... 42 ~ 49



# 里山広葉樹林の新たな育成管理技術の開発

和田覚・成田義人・新田響平

Establishment of new forest management for broad-leaved forests of  
Satoyama in Akita prefecture, Japan.

Satoru Wada, Yoshito Narita and Kyohei Nitta

## 要 旨

広葉樹二次林が持つ多面的機能の高度発揮に向け、その生態的特性を考慮した管理技術を開発するため、民有林を対象として調査を実施した。林分構成樹種は平均 14 樹種で、このうち高木層の形成は 5 樹種であった。胸高断面積による林分の最優占樹種はコナラ、ミズナラ、クリが圧倒的に多く、この 3 樹種で全調査地の 9 割以上を占めた。上層木平均胸高直径は、上層樹高、立木密度、林分材積等との対応関係が認められたことから、二次林の構造や資源量を推定する指標として有効と考えられた。林分材積は、既存の収穫表を上回っており、現状に対応した収穫表の再調製が必要と考えられた。主要樹種であるコナラとミズナラについて、個体ベースで、胸高直径、樹高、枝下高を測定し、相互の関係を解析した。胸高直径あたりの樹高成長は、コナラがミズナラを上回り、成長速度は相対的にコナラが優れていた。いずれの樹種も、胸高直径に応じた枝下高の上限が認められ、個体の維持や成長のためには、相応の樹冠量が必要と考えられた。これら林分、個体ベースの調査結果を基に、広葉樹二次林における木材生産機能、山地災害防止機能及び保健文化機能の発揮に向けた目標林型と育成管理技術を提案した。

## I. はじめに

秋田県民有林の約 4 割は天然生林で、ナラ類を中心とした広葉樹林が大部分を占めている（秋田県林務部林政課 1986；秋田県農林水産部，2015）。これらは、採草地や柴山、薪炭林として、昭和 30 年代頃まで繰り返し利用され、その後に成立した二次林と考えられる（越前谷，1982a）。このため、12 齢級（56～60 年生）にピークをもつ資源構成となっており、現在、利用の停滞により高樹齢化が進行している。その一方で、広葉樹二次林については、近年、類義語的に「里山 Satoyama」と呼ばれることが多く、その保全や利用について注目されてきている。

広葉樹の利用については、これまでその大部分がパルプやチップ用、きのこ原木などに限定されてきた。今後はこれらに加え、幹の大径化に伴う用材生産が見込めるほか、近年

は燃料用等、バイオマスとしての利用も期待されている。また、里山としては、景観の形成や生物多様性の保全、保健・文化・レクリエーションの場、あるいは生活環境の保全や山地災害防備の場としてなど、新たなニーズへの対応が求められている。地域森林のマスタープランである市町村森林整備計画においても、望ましい森林に誘導するため、期待される機能に応じたゾーニングによる区域設定が行われている。

こうした利用やニーズ、ゾーニングに対応した広葉樹林の管理技術が求められているが、本県における広葉樹二次林を対象とした網羅的な研究は、昭和50年代に実施されたもの(越前谷, 1982b)が最後であり、その後は間伐試験など(和田ら, 2003), 試験地ベースのものに限られている。この背景には、広葉樹林は樹種が多くかつ階層構造が発達していること、株立ちなどで樹形が複雑なこと、成長が遅く変化に乏しいこと、人為の影響の度合いや履歴が不明であることなど、針葉樹人工林と比べ、林相が多様で定量的な調査による状況把握が難しいことが原因としてある。とはいえ、齢級構成や社会環境が大きく変化した現在、その現状について明らかにし、新たなニーズに対応できる、実態に即した管理のための情報を整備する必要がある。

そこで民有林にある広葉樹二次林を対象に、林分構造や樹種構成及び林木のサイズや形態など、資源量や成長量の把握あるいは予測のための実態調査を行った。この結果を基に、森林機能別の目標林型の設定および機能に応じた広葉樹林の育成管理技術について検討した。

## II. 調査地および方法

### 1. 調査地の概況

調査地は県内の民有林内にある広葉樹二次林に設定した。ただし、ハンノキやヤチダモなどからなる湿性林、サワグルミなどからなる溪畔林、エゾイタヤやケヤキ、シナノキなどからなる海岸林、ニセアカシア林等植栽起源が認められる広葉樹林については、成立立地や条件が限られることから、本報告の調査対象外とした。

調査地は、県内19市町村の163箇所にあつた(表-1)。概ね県内一円をカバーしており、空白域は国有林地帯や沿岸域、対象となる森林が少ない地域が主である。森林簿上の林齢は11~12齢級(51~60年生)が中心であり(図-1)、民有林の天然生林の齢級構成を反映している。標高は300m以下が90%を占めており(図-2)、広義に里山と呼ばれる生活圏周辺の広葉樹林が大半である。斜面方位は西から北西斜面に多く、逆に東から南東斜面に少ない(図-3)。斜面傾斜は20°以下が77%を占めている(図-4)。

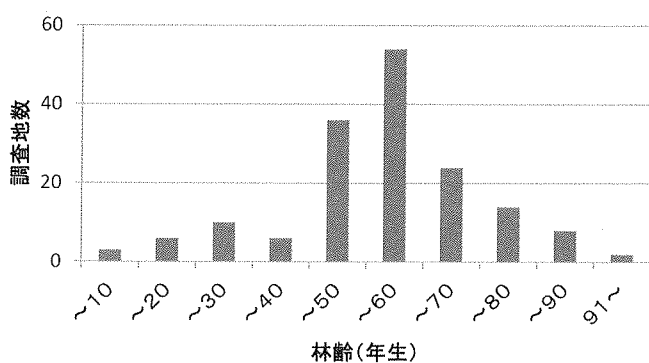
### 2. 林分調査の方法

調査は2013年から2016年まで行った。相観として、林相および地形が一様な広葉樹林内に調査プロットを設定した。プロットの形は円形と方形の2通りで行った(表-1)。円

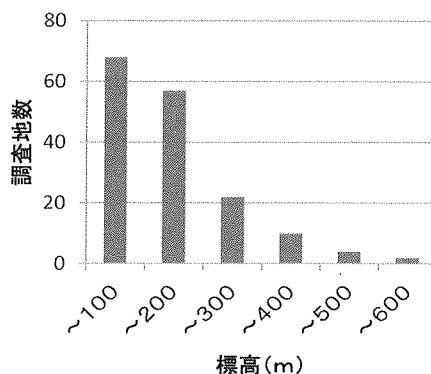
形によるものは、大 (1,000 m<sup>2</sup>)、中 (400 m<sup>2</sup>)、小 (100 m<sup>2</sup>) の中心点を共通とする同心円状の重複する3つのサブプロットの設置により行い、それぞれ胸高直径で 18cm, 5cm, 1cm 以上の樹木を測定対象とする森林資源モニタリングの手法 (林野庁計画課, 1999) により行った。方形によるものは、調査林分の上層樹高に応じて、100 m<sup>2</sup> (10m×10m) ~1,200 m<sup>2</sup> (30m×40m) の正方形ないし長方形のプロットを設定し、必要に応じてサブプロットを設置して、胸高直径 1cm 以上の樹木を測定対象とした。調査は、枯死木 (立枯木に限定し、枯死した時期は考慮していない。状況からナラ枯れによるものは含まれていない) を含め、樹種を判別し、胸高直径 (地上高 1.2m)、樹高、枝下高、階層 (高木層、亜高木層、低木層の3区分) について調べた (ただし、一部の調査地では、枝下高、枯死木、低木層の測定を省略し、この場合は関係する集計から除外した。また、枯死木は立木本数に含めないこととした)。胸高 (1.2m) 未満での分岐木、株立ち木については、それぞれの幹を1本の木と見なして測定した。

表一 1 市町村別調査箇所数と円形・方形プロット別内訳

市町村名	調査箇所数	(円形プロット)	(方形プロット)
鹿角市	4	4	0
大館市	1	1	0
北秋田市	13	13	0
能代市	10	10	0
藤里町	1	1	0
八峰町	3	2	1
三種町	3	3	0
秋田市	24	17	7
八郎潟町	2	2	0
五城目町	5	5	0
由利本荘市	40	38	2
にかほ市	4	4	0
大仙市	19	17	2
仙北市	6	6	0
美郷町	2	2	0
横手市	14	14	0
湯沢市	7	6	1
羽後町	2	2	0
東成瀬村	3	3	0
合計	163	150	13



図一 1 調査地の林齢構成 (林齢は森林簿による)



図一 2 調査地の標高分布

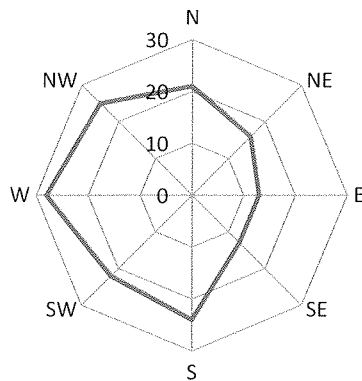


図-3 調査地の斜面方位分布  
(平坦地 1箇所を除く)

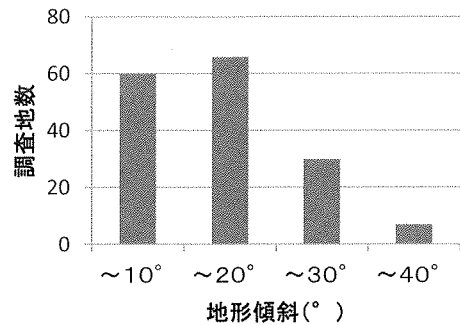


図-4 調査地の斜面傾斜度分布

### 3. コナラとミズナラ個体の調査方法

前述の調査地と共通するコナラ優占の二次林 16 林分, ミズナラ優占の二次林 9 林分から, コナラとミズナラの個体データを抽出した。このうち, 曲がり, 斜立, 枯れ, 折れ, 多幹, 樹冠の偏倚など, 明らかな被害や欠点等がある個体は除外し, 樹高-胸高直径-枝下高のデータセットが存在するコナラ 773 個体, ミズナラ 408 個体を解析に用いた。なお, 樹冠長は樹高から枝下高の値を引いて算出し, 樹高に対する比率を樹冠長率とした。

### 4. 林齢の扱い

調査対象林分の林齢については森林簿から求めることができる。しかし, 広葉樹二次林の更新形態は多様で, 萌芽か実生か, 一斉か順次か, それらの複合か, 不明な場合がほとんどである。起算年の定義もないことなどから, 林齢の精度については, 人工林と比べてかなり曖昧な実態にある。明らかに現状を反映していない事例も見受けられる。本報告では実用性及び交換性を重視し, 現地調査で確実に把握できる上層木平均胸高直径から推定した林齢(以下, 推定林齢)を用い, 解析の一部に加えた。

推定方法は, 胸高直径( $y$ )について解いた式(上野, 2012)(1)を, 胸高直径の値から林齢( $x$ )を解く式(2)に変形させて算出し, 推定林齢とした。なお, 上層木平均直径は階層区分において高木層と判定した樹木の平均胸高直径である。

$$y = 0.2915x + 7.7302 \dots (1)$$

$$x = (y - 7.7302) / 0.2915 \dots (2)$$

この式により算出される上層木平均胸高直径に対応した林齢は表-2のとおりである。



表-2 上層木平均胸高直径と推定林齢

上層木平均胸高直径(cm)	10	15	20	25	30	35	40	45	50
推定林齢 (年生)	8	25	42	59	76	94	111	128	145

なお、森林簿林齢との適合（推定林齢を差し引いた値）は、-55年から+65年もの違いがある場合があり、平均で6年、森林簿林齢が高かった。±5年以内で適合した調査地は27%、±10年以内で53%、±20年以内で77%、±30年以内で87%であった。

### Ⅲ. 結果と考察

#### 1. 広葉樹二次林の林分構造

##### 1) 構成樹種

1プロットあたりの構成樹種は平均14樹種で、このうち高木層の形成は平均5樹種であった。全163プロットにおいて、胸高断面積割合により最優占となった樹種は11樹種あった。コナラが68%と最も多く、次いでミズナラが15%、クリが9%で、これらブナ科の3樹種で92%を占めた。以下、カスミザクラ、ホオノキ、ベニイタヤ、ウワミズザクラ、エゴノキ、アカマツ、アカシデ、ヤマナラシが確認された。これら樹種以外で高木層を形成した樹種は、ブナ、ハリギリ、エゾヤマザクラ、ケヤキ、ミズキ、トチノキ、スギなどがある。コナラなど、優占上位の樹種については、地上部の伐採に対し萌芽による再生能力が高い（正木ら、2014）、再生した萌芽の成長が早く競争力が高い（片倉・奥、1989；崎尾ら、1990）、種子の生産開始齢が早い（大住、2010）などの特徴を有しており、人為による攪乱の影響（越前谷 1982a, 大住 2010）を反映しているものと考えられた。過去の調査結果（越前谷、1982b）と概ね共通しており、優占樹種の構成に大きな変化はないものと推定された。ただし、近年、県内においてもミズナラを中心にブナ科樹木萎凋病枯死被害（通称ナラ枯れ）が拡大しており、今後、組成に影響を及ぼす可能性がある。

優占種にはならないが、亜高木層構成樹種としてはコシアブラ、マルバアオダモ、アオハダ、アズキナシ、ハウチワカエデなどが、低木層には、オオバクロモジ、リョウブ、アブラチャンなどが多かった。

##### 2) 上層木胸高直径と立木密度との関係

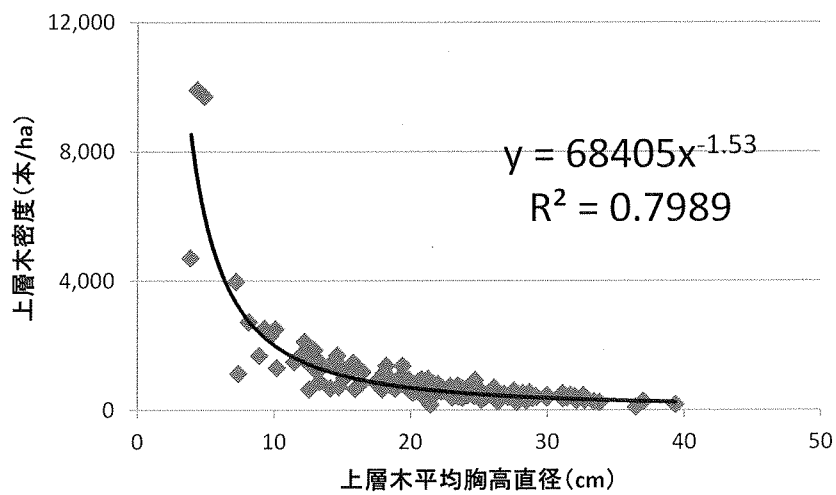
上層木平均胸高直径 ( $D$ ) と上層木 (高木層) 密度 ( $N_{T1}$ ) との関係を示した (図-5)。上層木密度は90~9,900本/haの範囲にあり、上層木平均胸高直径と負の相関が認められ、次式で近似が得られた。

$$N_{T1} = 68408D^{-0.7989} \quad (R^2 = 0.7989; p < 0.01)$$

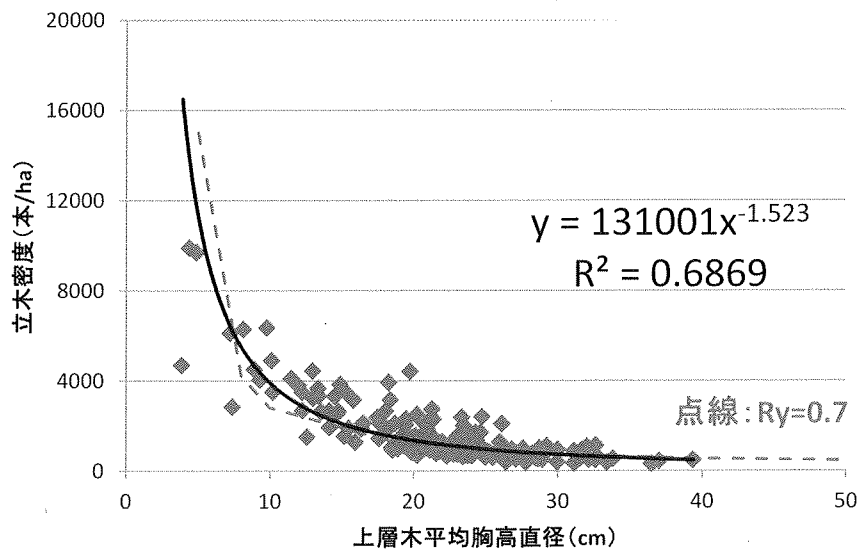
同様に、上層木密度に亜高木密度を加えた立木密度 ( $N_{T1+T2}$ ) について、その関係を示

した（図－6）。立木密度の範囲は320～9,900本/haの範囲にあり，上層木平均胸高直径と負の相関が認められ，次式で近似が得られた。なお，この式から得られた立木密度について，東北地方広葉樹林分密度管理図（林野庁監修，1999）と比較したところ（上層樹高については上層木平均胸高直径から後述の式により算定），中庸とされる収量比数  $R_y=0.70$  の値と良く適合し，特に上層木平均胸高直径20～40cm（推定林齢で42～111年生）の範囲では収量比数（ $R_y$ ）換算で0.76～0.66の値であった。

$$N_{T1+T2} = 131001D^{-1.523} \quad (R^2 = 0.6869; p < 0.01)$$



図－5 上層木平均胸高直径と上層木（高木）密度の関係



図－6 上層木平均胸高直径と立木密度（高木＋亜高木）の関係  
（図中の点線は東北地方広葉樹林分密度管理図  $R_y=0.7$  に相当）

また同様に、低木密度との関係を示した（図-7）。低木密度の範囲は 0~16,550 本/ha の範囲にあり、バラツキが大きかった。下層の刈り払い等の人為の影響やササ類など測定対象としなかった下層植生の影響もあるなど、その関係は不明瞭であった。ただし、上層木胸高直径の増加に伴い、低木密度の上限値は減少していく傾向が認められることから、林齢の増加に伴い低木の密度も飽和していくことが示唆された。

二次林においては経年的に枯死木の発生が確認されており（和田ら,2003；和田・澤田 2009），本調査でも大部分の調査地で確認された。全立木本数の外数で 0~57.7%，平均で 10.5%の立枯木が認められた。上層木胸高直径とこの関係を見ると（図-8），胸高直径で 20cm，推定林齢 42 年生前後で、立枯木が多いプロットがあった。胸高直径で 30cm，推定林齢で 76 年生以降の林分では、立枯木が少なく、立木密度は安定していくものと推定された。

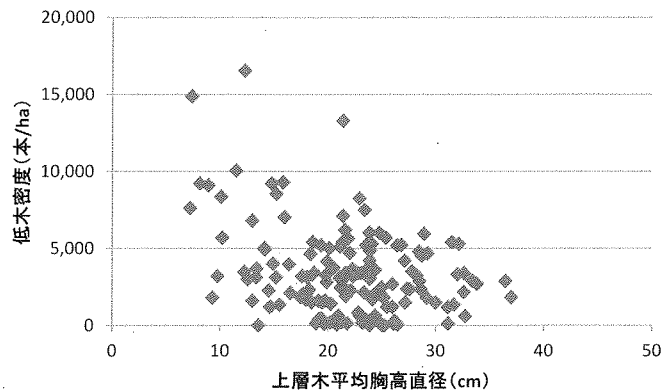


図-7 上層木平均胸高直径と低木密度の関係

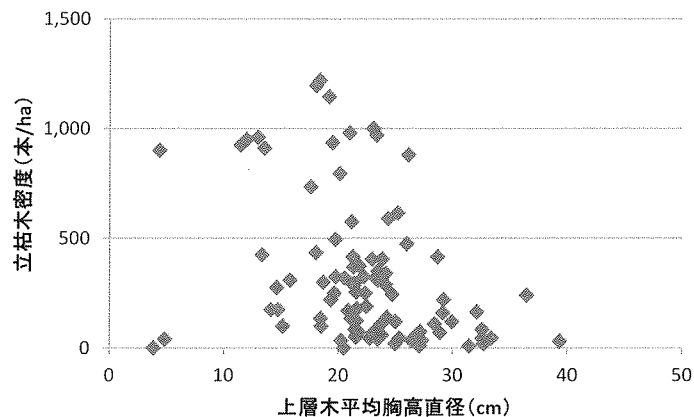


図-8 上層木平均胸高直径と立枯木密度の関係

### 3) 上層木胸高直径と上層樹高、枝下高との関係

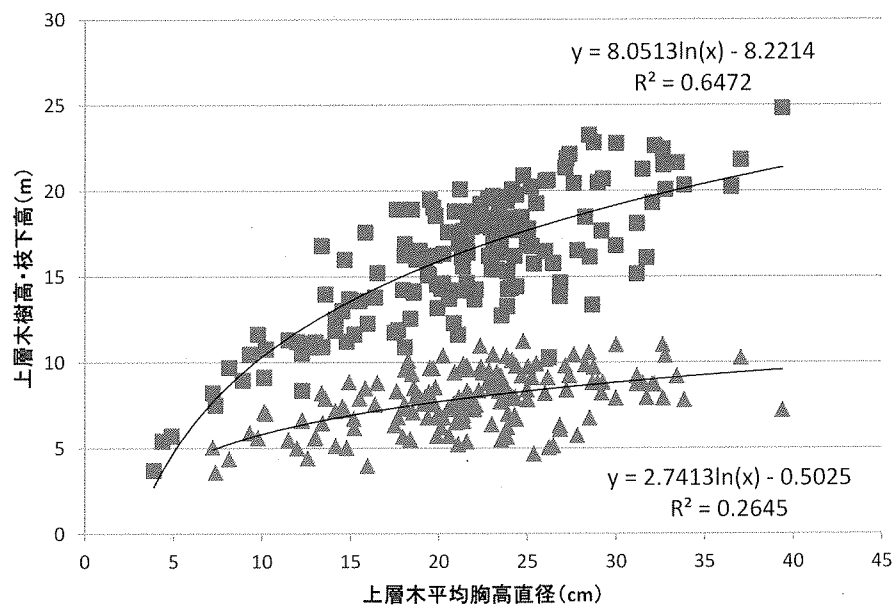
上層木平均胸高直径 ( $D$ ) と上層木平均樹高 ( $H_{T1}$ ) 及び平均枝下高 ( $H_b$ ) との関係

を示した（図－9）。いずれも有意な相関が認められ、以下の近似式が得られた。

$$H_{Ti}=8.0513 \ln (D) - 8.2241 \quad (R^2=0.6472 ; p < 0.01)$$

$$H_b=2.7413 \ln (D) - 0.5025 \quad (R^2=0.2645 ; p < 0.01)$$

上層木胸高直径の増加に伴い、上層樹高（高木層）ならびにその平均枝下高は増加していくが、上層樹高に対する平均枝下高の割合は低下、樹冠層（樹高－枝下高）の割合は増加した。上層木平均胸高直径が 20cm（推定林齢 42 年生）の時点で、上層樹高は 15.9m、平均枝下高は 7.7m で、上層樹高に対する樹冠層並びに枝下高の割合がおよそ 50%であった。



図－9 上層木平均胸高直径と上層木樹高及び枝下高との関係

#### 4) 上層木胸高直径と材積の関係

上層木平均胸高直径（ $D$ ）と林分材積（ $V$ ）との関係を示した（図－10）。有意な相関が認められ、以下の近似式が得られたが、上層木胸高直径の増加に伴い、調査地間のバラツキは大きくなった。

$$V=137 \ln (D) - 192.26 \quad (R^2=0.4444 ; p < 0.01)$$

現在、秋田県で使用の収穫表（秋田県林務部林政課，1991）との比較のため、上式の上層木平均胸高直径を推定林齢に変換し、林分材積との関係を示した（図－11）。ほとんど

の調査地で収穫表の値を上回り、標準伐期齢である 25 年を超えても材積成長の持続が認められた。現状に対応した収穫表の再調製が必要と考えられた。

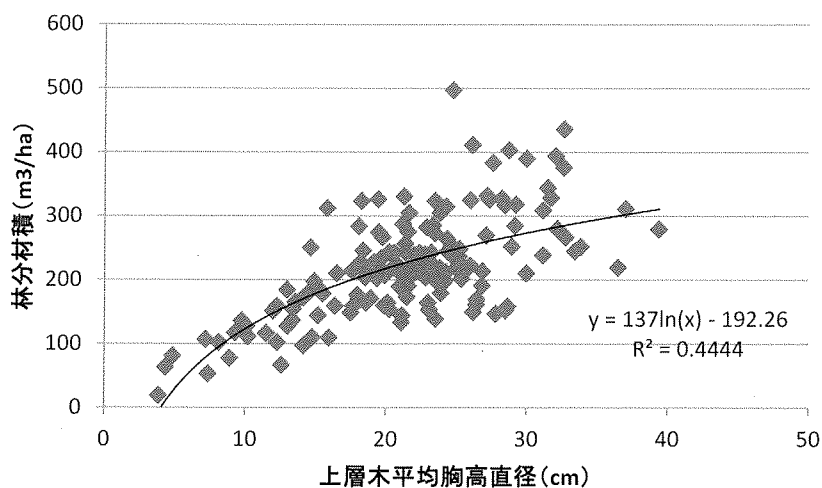


図-10 上層木平均胸高直径と林分材積の関係

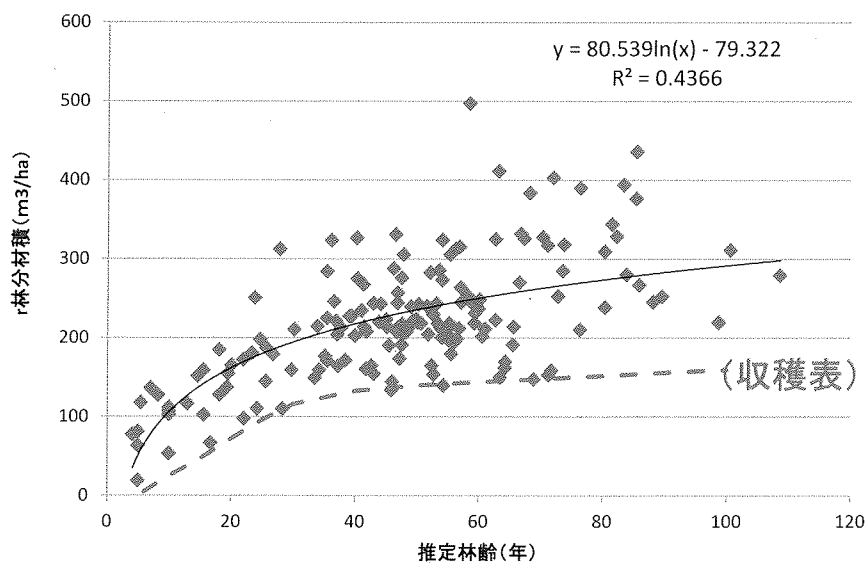


図-11 推定林齢と林分材積の関係及び収穫表との比較

## 2. コナラとミズナラ個体のサイズと形態

### 1) 個体の胸高直径と樹高の関係

コナラ (QS) とミズナラ (QC) について、胸高直径と樹高との関係を示した (図-12, 13)。それぞれ有意に相関があり、次式で近似が得られた。

$$H_{qs} = 1.5010 \ln(D) - 14.171 \quad (R^2 = 0.5710; p < 0.01)$$

$$H_{qc} = 8.7307 \ln(D) - 10.755 \quad (R^2 = 0.6729; p < 0.01)$$

近似曲線の傾きはミズナラに比べてコナラで大きかった。少なくとも 50 年生以下の若齢期においては、コナラが相対的に高い樹高成長を示し、生産性が高く、より先駆的な特徴を有していると考えられた。胸高直径が大きくなるにしたがい、形状比は低下していくが、胸高直径 20cm, 30cm, 40cm において、コナラの形状比はそれぞれ 86, 72, 61, 同様にミズナラでは 77, 63, 53 で、相対的にコナラのほうがスマートな樹形を有していた。ミズナラは急傾斜地や海岸風衝地に分布する特性があり、形状比の低い樹形は、物理的にもこうした環境に有利に働いている可能性がある。なお、胸高直径に応じた樹高には限界値があることから、図-12 及び図-13 を基に限界形状比として推定し、表-3 に示した。

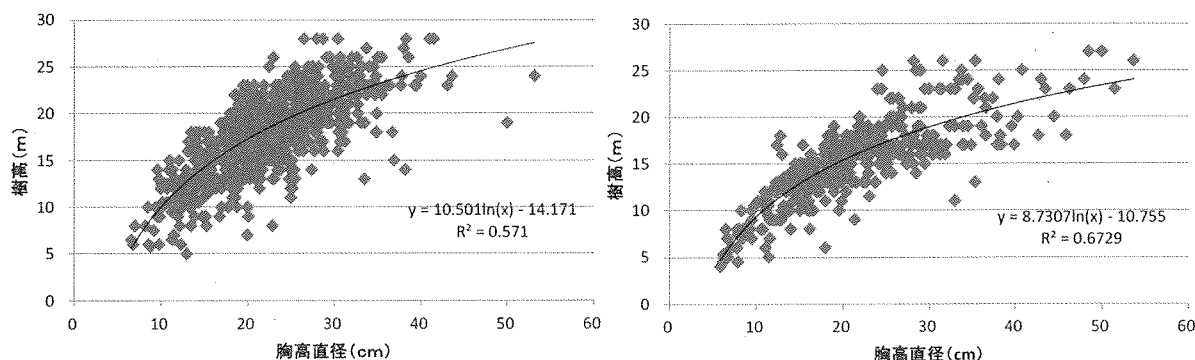


図-12 コナラの胸高直径と樹高の関係 図-13 ミズナラの胸高直径と樹高の関係

## 2) 個体の枝下高と樹冠長率

コナラとミズナラの胸高直径と枝下高との関係を示した(図-14, 15)。胸高直径 20~30cm の範囲の枝下高には上限値が存在し、コナラで 15m, ミズナラで 13m 程度であった。胸高直径が 30cm を超えると、上限値は低下していき、胸高直径 40cm 時にはコナラで 10m, ミズナラで 9m 程度であった。この値を超えると成長を維持できなくなり、枯死するものと推定された。直径成長を持続させるためには、この値に近づけ過ぎない管理が求められる。

同様に、胸高直径と樹冠長率との関係を示した(図-16, 17)。胸高直径が大きくなるにしたがい樹冠長率の下限値は増加していき、胸高直径 30cm 時において、コナラでおおよそ 35%, ミズナラで 40% となった。個体としての成長維持のためには、この値以上の樹冠量の確保が最低限必要と考えられた。

これらの結果を基に、ナラ類の胸高直径に応じた枝下高、樹冠長率の限界値を目安として示した(表-3)。この値に近い個体ほど、近い将来枯死する確率が高いと考えられることから、育成対象木とはせず、間伐等による利用を検討すべきである。

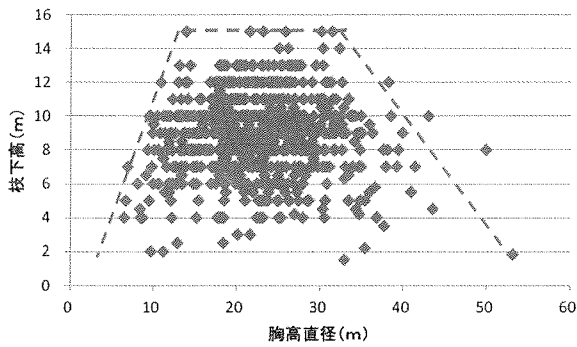


図-14 コナラの胸高直径と枝下高との関係

※図中の点線は、枝下高の上限と推定される線

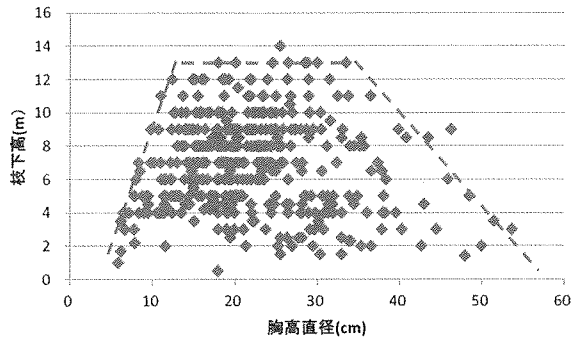


図-15 ミズナラの胸高直径と枝下高との関係

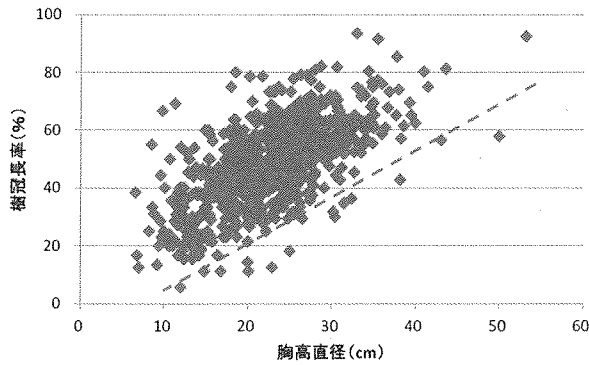


図-16 コナラの胸高直径と樹冠長率との関係

※図中の点線は、樹冠長率の下限と推定される線

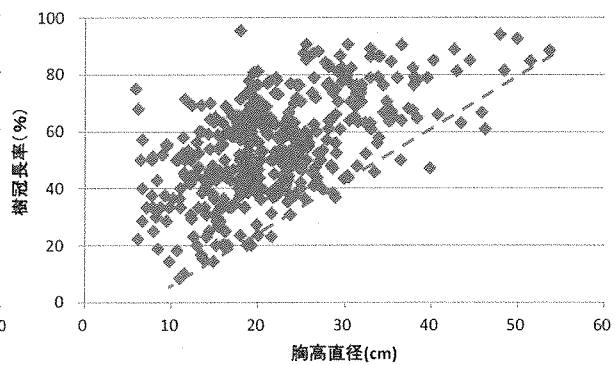


図-17 ミズナラの胸高直径と樹冠長率との関係

表-3 ナラ類の胸高直径に対する形状比・樹冠長率・枝下高の限界値の目安

コナラ直径階	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm
平均樹高(m)	10.0	17.3	21.5	24.6	26.9
限界形状比(上限値)	140	120	100	70	50
限界樹冠長率(下限値%)	5	20	35	50	70
限界枝下高(上限値m)	10	15	15	10	4

ミズナラ直径階	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm
平均樹高(m)	9.4	15.4	18.9	21.5	23.4
限界形状比(上限値)	130	110	90	70	50
限界樹冠長率(下限値%)	5	20	40	55	75
限界枝下高(上限値m)	9	13	13	10	4

## IV. 森林機能の発揮に向けた目標林型の提案

### 1. 木材生産機能

#### 1) 用材生産林の条件と誘導可能性の判断

県内民有林の広葉樹林はほとんどが二次林であり、齢級構成では12齢級(56~60年生)にピークをもつ1山型の資源構成になっている。現状では、建築用材や家具用材が十分に収穫できる二次林はまだ少ないが、今後、こうした材を供給できる広葉樹林は確実に増えていくと予想される。ここでは、用材生産に向けた目標林型を想定した。

前述のとおり、広葉樹二次林は天然生の複数の樹種で成立している。用材生産を目的とした場合、対象とする林分において、目的樹種あるいは用材として需要が見込める樹種が確実に存在することが前提条件となる。県内の二次林では、コナラ、ミズナラ、クリ、サクラ類、ホオノキ、ベニイタヤ、ハリギリ、ブナ、ミズキ、ケヤキなどが中心となる。そのうえで、量、形質、成長についても十分に見込めるかどうか、個体ベース、林分ベースで見極めが必要となる。量については本数、材積について、図-5、6、10などと比較する。目的とする樹種の純度が高いほど、用材として需要が見込める樹種の割合が高いほど、生産性は高いものと判断される。形質については、幹の通直性が重要であり、曲がりや株立ちのほか、大節や腐朽部などがある場合には歩留まりが悪く不利となる。樹形については表-3を参考に、限界値に近づいていないか確認し、個体や直径成長が維持できるか、将来性も含め判断する。成長については、図-9または図-10を参考とし、近似線と比べてどの程度の成長量か確認する。近似線を大きく下回る場合には、成長が悪く、生産性の低い立地にあると判断され、用材生産林には向かない。こうした条件について事前に見極めることが大切である。これら条件を満たしたうえで、当該広葉樹林が管理可能な場所にあるか、将来、用材として搬出可能か、法令などの規制はないかなどについても併せて調査しておく必要がある。

#### 2) 目標林型とその管理手法

広葉樹材の価格は、樹種、材の太さ(径級)、材の長さ(材長)、通直性、年輪幅、節の有無や大小、材の色や杢などで判断される。材として求められる要件は、樹種や用途によって異なるが(秋田県林務部, 1991; 1988; 豪雪地帯林業技術開発協議会, 2014)、一般的には径級が太いほどよく、最低でも末口径で22~24cm以上、材長では最低でも2.1m(に若干の余尺を付けて)以上必要で、曲がりや節はないほうがよい。このことから、1本の木から、①2m材1玉、②2m材2玉または4m材1玉、③2m材3玉または4m材1玉と2m材1玉、④それ以上、の採材が想定される。末口径で24cmを確保するためには、細り表(横井, 2004)から、胸高直径で①28cm、②30cm; ③32cm、④36cm以上が必要となる。①は最低量の採材方法であり、やむを得ない場合に限定すべきで、現在ある二次林の齢級やサイズ構成、形質、さらには生産性や将来性を考慮すれば、当面、②以上を目標とするのが適当と考えられる。胸高直径で30cm以上、枝下高でおおよそ4.5m以上有する



広葉樹の育成が求められる。こうした木が対象林内にできるだけ多く育つ広葉樹林が目標林型となる。

胸高直径 30cm を想定した場合、上層木（高木層）で約 375 本/ha（図-5）、亜高木で約 362 本/ha、合計で 737/ha 本程度（図-6）が標準的な密度となる。用材生産の中心となるのは上層木であり、これらの育成が管理の中核となる。中でも、サイズに優れ、形質が良好で、枝下高等が基準の余裕範囲内（表-3）にある用材候補木（立て木）については、目標に応じて、さらに直径成長を促進させる必要がある。枝下高は低すぎると用材としての価値を下げ、高すぎると直径成長に支障が出るので、生産目標に応じて高くなり過ぎないように図-9や表-3を参考に調整する。間伐は、立木密度を緩和することで、直径や樹冠の成長を促し、立て木の枝下高を上げすぎない効果がある（岐阜県森林科学研究所、2000）。立て木の樹冠の発達に支障がある木その他、限界枝下高（あるいは限界樹冠長率、限界形状比：表-3）にある木については、優先的に間伐の対象とする。不用意な間伐で林内が明るくなると、後生枝が発達し、立て木の材質低下の要因になるが（岐阜県森林科学研究所、2000）、その際、後生枝の抑制に亜高木が役立つ。コシアブラやマルバアオダモ、アズキナシ、カエデ類などは、生活形として亜高木としての特徴を有する。立て木に支障を及ぼさない限り、副木としての保残が望ましい。ただし、亜高木層を形成する樹種の中には、上層を形成している樹種が、被圧で淘汰されつつある劣勢木として存在する場合がある。樹冠が貧弱で、形状比が高く、梢端部が枯れる兆候がある。こうした木は、近い将来枯死する確率が高く、間伐対象に加えた方がよい。

## 2. 山地災害防止機能

### 1) 山地災害防止機能が求められる広葉樹林

県内の私有林の森林景観は、沢沿いの下降斜面にスギ人工林が、凸型地形の上昇斜面に広葉樹二次林が多く観察される。前者は、土壌が深く水分にも恵まれるスギの適地で、斜面下部ほど傾斜が緩く林業経営には都合が良い。逆に後者は、斜面下部ほど急傾斜で、土壌が薄く林業経営には向かない。こうしたスギ人工林や広葉樹二次林からなる里山と里地との境界部には、水路や河川、水田、道路、集落などがあり、生活環境や農地、インフラやライフラインとして重要である。このため、広葉樹林には、山地災害防止機能すなわち、土砂崩壊、土砂流出、なだれ、落石、侵食の防止や軽減のための機能発揮が期待される。ここでは傾斜地にある広葉樹二次林について、山地災害防止機能発揮のための目標林型を想定した。

### 2) 目標林型とその管理手法

森林に覆われた山地斜面では、雨水が直接地表面に到達するのを防ぎ、表面侵食を防止することに加え、表層土壌中に発達する林木の根系が表層土を斜面上に安定させる作用によって、表層型の山崩れを防ぐ（森林総合研究所、2009）。

このため、斜面における主林木には、基岩まで根が到達し表層土壌との結びつきを強め

る作用，表層の水平方向に根系を拡げ，土塊や礫などをつかんで離さない緊縛能力が求められる（写真－1）。長期に安定して斜面上に成立しうる深根性で寿命の長い樹種，萌芽力があり諸被害に対する再生能力がある樹種が相応しい。県内の二次林に多いナラ類，ケヤキ，アカシデなどは深根性で，実際に急傾斜地や谷壁にも成立しており，主林木として期待できる。



写真－1 急傾斜地に成立し根系を発達させるケヤキ（由利本荘市亀田県有林）

斜面という不安定な立地に成立するためには，根系を含め，樹体下部を充実させ，物理的にも重心を低くする必要がある。根返りや幹折れは災害を助長する危険があり，急斜面では極力発生させないよう管理が求められる。このため，幹の直径に対し樹高を低く抑え，形状比の小さい樹形への誘導が望ましい。地形傾斜が  $30^{\circ} \sim 35^{\circ}$  の調査地（若齢林を除く）の上層木平均形状比は 60 前後であり，上層木平均胸高直径が 30cm 程度林分では樹高 18m 程度以内に抑えることが目安となる。こうした樹形を維持していくためには，十分な根張り と 樹冠の横方向への広がりが必要であり，上層木の密度は疎の管理となる。東北地方林分密度管理図（林野庁，1999）における上層樹高 18m の収量比数（ $R_y$ ）0.6 の本数は，図 6 に示す標準本数の 80% に相当し，上層木（高木層）で 300 本/ha 程度，亜高木で 290 本/ha 程度が目安となる。

亜高木や下層木は，様々な樹種が混在することで，地下部では根系が複雑となり，地上部では立木密度が増加することで，上層木の機能を補う。斜面積雪の移動の抑制には細い木でも高密度であれば効果があるとされ（相浦，2005），なだれや落石の防止，軽減にも効果が期待できる。木材生産機能とは異なり，幹部の通直性は問わず，多幹形であっても問題はない。積雪地帯の急斜面ではヤマモミジ，コハウチワカエデ，リョウブ，マルバマンサク，アオハダ，ハクウンボクなどの樹種が想定される。

下層植生や落葉層は，降雨や樹冠から落下する雨滴衝撃を緩和することによって雨滴侵食を防止し，地表面が高い浸透能を維持する役割をもつ（森林総合研究所，2009）。特に地表から 0.5m 以内のこれらによる被覆が重要で（三浦，2000），土砂流出防止や侵食防止に

効果がある。県内のケヤキ林やナラ林は春期の開葉が遅いため、林内は明るく、一般に林床植生は豊富な場合が多いが、裸地化が懸念される場合には、林内照度を改善するための植生管理が必要となる。

以上のように、山地災害防止機能の目標林型は上層木、中下層木、林床植生のバランスがとれた林型が理想と考えられる（写真－２）。



写真－２ 階層構造が発達したコナラ二次林（由利本荘市岩城）

### 3. 保健文化機能

#### 1) 保健文化機能が求められる広葉樹林

森林の公益的機能には、人間生活に直接関わる機能のほか、生活の質を高めるのに役立つ、生活環境維持機能、レクリエーション機能、教育機能、文化機能、自然保護機能がある（林野庁監修，1998）。中でも、森林レクリエーションは、人と森林とのふれあいに関わる労働以外の活動全般を広くさしていることが多く、休養や娯楽に加え、観光、学習・教育、スポーツ、ボランティア、創作などの活動を包含する（森林総合研究所，2009）。県内の森林ボランティア団体（79 団体）の活動内容を集約すると、植樹、里山整備、里山保全、美化、体験学習、自然観察などがその主な活動内容であった（秋田県森づくりサポートセンター，2018）。身近にある里山の広葉樹二次林においては、こうした活動の場としてのニーズが高いと考えられることから、ここでは、保健文化機能の中でも、特に森林レクリエーション機能発揮に向けた目標林型を想定した。

なお、保健文化機能の目標林型は多様であり、かつ人々の価値判断も多様であるために必ずしも明白でなく（藤森，2003）、その扱いについては、対象とする森林の関係者の合意形成が前提として必要である。

#### 2) 目標林型とその管理手法

県内の森林ボランティア団体等が広葉樹二次林を対象として行った森林整備の内容を概観すると、上層木の本数調整、ヤブ状の中下層木・ササ等の整理、特定の樹木や草本の保全といった作業や取り組みで共通していた。林内を明るくし、視界や空間を確保すること

で、林内活動をしやすくすること、景観の向上を図ること、春植物等の野生生物の保護、防犯（ゴミの不法投棄の抑制等）、ツキノワグマ等野生動物との軋轢回避などを期待したものと考えられる。これらの事例を参考にすれば、上層木および中下層木は相対的に疎に管理し、林内の明るさと視界、空間の確保を図る一方で、花木等の樹木や草本については選択的に保残、配置することが目標林型として想定される。

立木密度については、由利本荘市大内三川（里山エコの森：写真－3）の事例では上層木のみで約 400 本/ha（平均胸高直径 27cm，平均樹高 14.6m），中層木を含めた密度は 750 本/ha（ $Ry=0.56$ ）であった。秋田市雄和（ひよどりの森）の事例では、上層木のみで約 500 本（平均胸高直径 23cm，平均樹高 16.9m），中層木を含めた密度は 740 本/ha（ $Ry=0.64$ ）であった。これらをモデルにすると、立木密度は図 6 の標準値の 80%前後または東北地方林分密度管理図の収量比数（ $Ry$ ）0.6 前後となり、このうち上層木本数が 50～70%程度となる管理が目安として考えられた。こうした林型に誘導する際は、木材生産機能と同様、急激な疎開による後生枝発生の危険があり、景観の悪化に繋がる可能性がある。このため、段階的な整備や中層木の維持が求められる。上層木については、当該森林で優占している樹種が中心となるが、サクラ類、カエデ類など花や果実、紅葉が楽しめる樹木、大木、老木、奇木など、象徴的な樹木の配置も考えられる。中下層木についても、既存のものを生かして花木等を選択的に配置することが望まれる。コシアブラ、マルバアオダモ、アズキナシ、アオハダ、カマツカ、ヤマボウシ、ナツハゼ、ヤマツツジ、ウゴツクバネウツギ、オオバクロモジなどが想定される。



写真－3 ボランティア団体が整備する「里山エコの森」（由利本荘市大内三川）

林床については、山地災害防止機能と同様、落葉層の欠落や植生被覆がない場合には、土壌侵食を誘発し、保健文化機能の妨げになるので悪化させないように配慮が必要である。ササ等の繁茂も林内活動の妨げになる場合多く、目的によっては林床の刈り払いが必要となる。この処理で、カタクリ等の春植物、キンラン等の稀少植物の定着が確認された事例もあり、生物多様性保全の取り組みにもなる。秋田市雄和（高尾山生活環境保全林）の事

例では、既存の歩道の草刈り、ササの除去で、春植物（カタクリ等）の生育環境が維持されている例が観察されている（図-18、写真-4）。日常的かつ部分的な管理であっても機能発揮に効果的である。

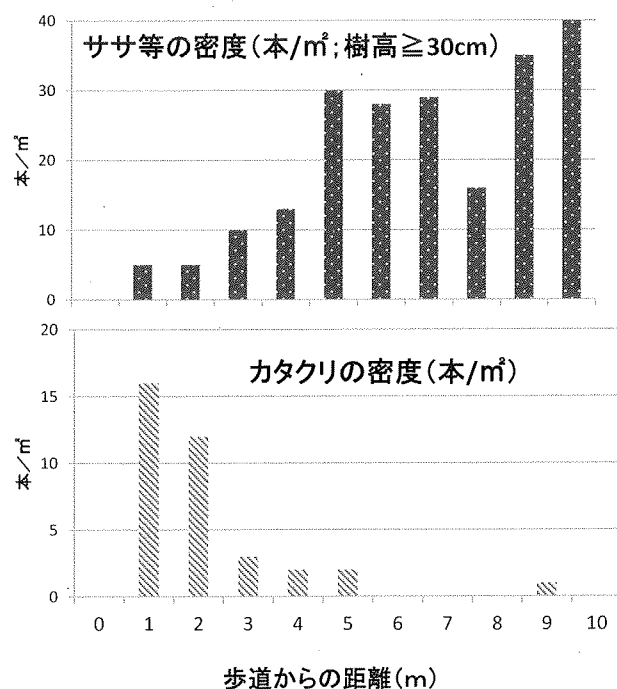


図-18 歩道からの距離別のササの稈密度及びカタクリの定着密度 (秋田市雄和高尾山)



写真-4 歩道とその周辺の草刈りで維持される林床植物群落 (秋田市雄和高尾山)

### 引用文献

相浦英春 (2005) 斜面積雪の安定に必要な立木密度. 日林誌 87:73-79.

秋田県森づくりサポートセンター (2018) <http://www.forest-akita.jp/volunteer/group>

- 秋田県農林水産部(2015)平成 26 年度版秋田県林業統計. 秋田県農林水産部林業木材産業課  
編集・発行:26-27.
- 秋田県林務部林政課 (1986) 広葉樹資源状況報告書. 39pp.
- 秋田県林務部 (1988) 秋田県産広葉樹材の利用と市場評価に関する情報 (資料) .13pp.
- 秋田県林務部 (1991) 広葉樹材の生産・流通及び加工・利用の現状と良質広葉樹の育成.62pp.
- 秋田県林務部林政課 (1991) 秋田県森林計画関係業務要領集. 188pp.
- 越前谷康(1982a)秋田県広葉樹二次林の分布と人間の干渉. 日林東北支誌 34:180-182.
- 越前谷康(1982b)秋田県民有林における主要広葉樹二次林の構造と分布. 昭和 56 年度 秋  
田林業セ業務報告:73-122.
- 藤森隆郎 (2003) 新たな森林管理.全国林業改良普及協会.428pp.
- 豪雪地帯林業技術開発協議会編 (2014) 広葉樹の森づくり. 305pp.日本林業調査会, 東京.
- 岐阜県森林科学研究所 (2000) 広葉樹用材林の育て方. 18pp.
- 片倉正行・奥村俊介 (1989) コナラ二次林の萌芽更新と成木林肥培.長野県林総研報.5:1-13.
- 大住克博 (2010) 人為攪乱とナラ類.里山シンポジウム講演要旨集.20-21.
- 三浦覚 (2000) 表層土壌における雨滴侵食保護の視点からみた林床被覆の定義とこれに基  
づく林床被覆率の実態評価. 日林誌 82:132-140.
- 正木隆・伊東宏樹・佐藤保・大住克博 (2014) 萌芽の特性を活かして里山二次林を管理す  
る.平成 25 年度版森林総合研究所研究成果選集.50-51.
- 林野庁監修 (1998) 林業技術ハンドブック. 1969pp.全国林業改良普及協会, 東京.
- 林野庁監修 (1999) 東北地方広葉樹林分密度管理図.日本林業技術協会.
- 林野庁計画課 (1999) 森林資源モニタリング調査実施マニュアル.
- 崎尾均・熊谷浩次・永沢晴雄・玉木康彦 (1990) コナラ萌芽枝の初期成長と萌芽枝整理の  
効果.森林立地 32(1),1-5.
- 森林総合研究所編集 (2009) 森林大百科事典. 626pp.朝倉書店, 東京.
- 上野満 (2012) 里山広葉樹二次林の形成過程の解明と管理手法の開発. (公立林業試験研究  
機関研究成果選集 NO.9.森林総合研究所編集発行) 9-10.
- 和田覚・澤田智志・石田秀雄・小坂淳一(2003)ブナ二次林の間伐効果―秋田県田沢湖試験地  
の事例―東北森林科学会誌 8(1):10-13.
- 和田覚・澤田智志 (2009) ブナ二次林における枯死木の特徴と枝下高を指標とした個体管  
理 (東北森林科学会第 14 回大会講演要旨集)
- 横井秀一(2000)用材生産に向けた広葉樹二次林の間伐. 山林 1392:37-44.
- 横井秀一(2004)樹高を必要としない落葉広葉樹の細り表の調製. 森林計画学会誌  
38(1):23-28.

# 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

佐藤 博文

Studies on characterization and utilization of rare natural cedar “Aoyajiro”  
(*Cryptomeria japonica*) in Akita prefecture.

Hirofumi Sato

## 要 旨

アオヤジロを利用して新たなスギ需要の創出、拡大を図るため、その資源確保と各種特性に関する調査を行った。その結果、県内には少なくとも 27 本のアオヤジロが存在し、その多くは各々遺伝的に異なるものであった。アオヤジロの針葉黄化は 9 月頃当年葉において顕著で、オウゴンスギの黄化時期とは異なっていた。また、FAKOPP を用いて精英樹、耐雪性スギと応力波伝播速度を比較したところ、耐雪性スギとアオヤジロの音速は精英樹より有意に速く、アオヤジロの材の剛性には個体差がみられた。一方、心材中には cubebol,  $\delta$ -cadinene 等酒の腐敗防止に関与しうる成分含量の高い個体が多い傾向がみられた。挿し木発根率は低かったものの、なかには高い個体も散見された。また、花粉や種子は正常な生殖能を有し、アオヤジロを父方とする人工交配により、針葉黄化の形質が遺伝することを確認した。さらに、若齢の挿し木苗にジベレリン 50~100 ppm 液を葉面散布することで花芽分化が促進され、計画的に種子生産できることが明らかとなった。以上から、アオヤジロの材は様々な用途に対応しうる性能を持ち、少花粉品種である雄勝 13 号との人工交配によって、育種改良と種苗量産が可能であることが示唆された。

## I. はじめに

秋田県において、スギは県土の 1/3 を占める植林面積を有するほど産業振興上重要な樹種である(秋田県農林水産部, 2017)。特に天然秋田スギは、無節で美しい木目、狂いが少ないうえ弾力性に富み加工し易い等の特性を有し、天井板や化粧材、構造材のほか、曲げわっぱや桶樽など伝統的工芸品の材料として古くから利用されてきた(秋田営林局, 1968)。しかし、近年、資源枯渇への懸念から天然秋田スギの伐採が制限されたため、代替材の確保が大きな課題となっている(東北森林管理局, 2008)。一方、秋田県では、林業施策の一環として現場のニーズに応える県オリジナル品種の開発促進等を軸に新たなスギ需要の創出と拡大に向けた取り組みを進めており(秋田県農林水産部, 2013)、希少なスギ資源である“アオヤジロ”(図-1; 秋田営林局, 1935; 帝国森林会, 1962; 秋田県緑化推進委員会, 1993)の活用は有力な方策の 1 つとなり得るものと思われる。

アオヤジロは天然秋田スギの突然変異種の 1 つと考えられ(佐藤, 2017)、地方名で蒼社、蒼弥白、

青屋白，青やじろう，あをやしろ，あお（青）ヤツロおよび（黄）ヤツロなどによばれ，秋田県下では夏葉が黄色を呈する希少なスギ（秋田営林局，1935；塚原，1959；三樹，1964；長岐，1988；秋田県公文書館，1999；篠崎，2005；半田，2006）として知られている。しかし，なぜこのようによばれるようになったのか，その名の由来はよくわかっていない。そして，その材は古来より酒造容器として珍重されたといわれており（秋田営林局，1935），その希少性と有用性から付加価値の高い素材生産が期待できる。このため，現在，伐採が制限されている大径の天然秋田スギの代替材としての利用はもとより，新たな需要を生み出す訴求力の高い育種素材となる可能性がある。しかしながら，これまでにアオヤジロを対象とした学術的な調査，研究はほとんど行われておらず，その材料特性や繁殖特性等に関しては不明な点が多い。このような背景から，本研究では秋田県内に現存するアオヤジロの資源状況を正確に把握するとともに，その外部形態，葉色変化，材質，心材成分，繁殖等に関する諸特性や変異を明らかにすることで，その用途を考察するとともに，効率的な種苗生産システムについて提案することを目的として，以下の試験を実施した。



図-1 北秋田市米内沢のアオヤジロ No. 22

## II. 材料と方法

### 1. 外部形態的特性

#### 1) アオヤジロの選抜と SSR マーカーを用いた個体識別

本研究に用いるアオヤジロをつぎのように定義した。すなわち，①樹葉の一部または全体が黄色を呈すること，②黄葉の出現部位に不自然さを認めず，緑葉との境界が不明瞭であること，③所有者からの申告あるいは過去にアオヤジロであることが記された資料が残っていることの3条件のうち，少なくとも①，②の両条件を満たす個体とした。現地選抜したアオヤジロ 27 個体を調査対象とした。アオヤジロとその比較対照として以後の試験に用いた個体の情報を表-1 に示す。

個体識別は，平尾ら（2006）に従い針葉から DNA を抽出し，Moriguch et al.（2003）や Tani et al.（2004）による *Cjgssr77*，*Cjgssr175*，*CJS0333* および *CS1226* の 4 種の SSR マーカーを用いて遺伝子型を決定した。

#### 2) 一般的特性

各個体の樹高，胸高直径を測定し，所有者から推定樹齢の聞き取りを行うとともに，外部形態については林木育種協会（1981）を参考に樹形，樹皮等に関わる諸特性を，針葉型については四手井（1957）の分類に従い調査を行うとともに，地況の調査を実施した。



表一 秋田県内より選抜したアオヤジロと調査時に比較対照としたスギの情報

個体 No.	所在地	樹高 (m)	胸高直径 (cm)	樹齢 (年生)	個体識別	色素含量	材質強度	心材成分	挿木試験	種子検査	人工交配	花芽分化
アオヤジロ				推定*								
1	大仙市蛭川	23	105	200	○				○			
3	大仙市土川	24	89	100	○		○		○	○	***	
5	大仙市南外(C)	28	58	140			○					
6	大仙市南外(L)	26	53	140	○		○	○	○			
10	南秋田郡五城目町	21	40	80	○		○	○	○			
12	横手市増田町	16	45	60	○		○	○	○	○		
14	大仙市太田町	21	86	200	○	○	○	○	○	○	○2	
16	大仙市堀見内(K)	18	69	100	○		○	○	○			
17	大仙市堀見内(N)	18	39	50	○				○			
19	藤里町粕毛	28	53	100	○							○
20	北秋田市八幡岱新田	28	68	140	○		○	○	○			
21	北秋田市李岱	15	33	30	○	○	○		○		○2	○
22	北秋田市米内沢	28	43	45	○		○	○	○			
23	大仙市四ツ屋	7	28	30	○				○			
27	北秋田市森吉(M)	10	20	40	○				○			
29	北秋田市森吉(Y)	14	42	—**	○		○	○	○			
34	大仙市南外(A)	22	41	60	○		○	○	○			
37	北秋田市三里	33	84	160	○				○			
39	由利本荘市鳥海町	30	64	80	○				○			
40	大仙市高関上郷(B)	20	51	80	○				○		○1	
41	大仙市高関上郷(W)	23	70	200	○				○			
42	大仙市上鶯野	11	25	40	○				○			
45	北秋田市七日市	5	17	30	○				○			
47	大仙市土川	13	33	60	○	○	○	○	○			
51	秋田市添川	19	70	150	○	○			○	○		
57	大仙市協和	20	54	80	○		○		○			
66	大仙市南外(R)	30	65	140	○		○	○	○			○
計					26	4	15	11	25	4	4	3
オウゴンスギ				推定								
7	大仙市中仙	5	22	50	○					○		
18	大仙市太田町	7	29	—	○				○	○		
26	大仙市協和	7	20	10	○				○			
46	大仙市土川	7	26	50	○	○			○	○		
49	北秋田市七日市	5	15	30	○				○			
計					5	1			4	3		
ファイリスギ				推定								
2	大仙市土川	24	115	180					○	○		
33	大仙市南外	16	41	—					○	○		
48	大館市茂内	26	49	80					○			
64	由利本荘東由利	1.5	5	—					○			
69	秋田市河辺	1.3	8	50	○							
計					1				4	2		
その他の黄色葉をもつスギ												
15	大仙市高関上郷	—	—	—	○					○		
44	大仙市土川	—	—	—	○							
計					2					1		
精英樹(集植所等)												
雄勝13、北秋田1、仙北1・・・		8~24	28~44	31~46	4	3	25	6	4	1	2	
耐雪性スギとその候補木(同上)												
R5、8、22、25、28・・・		13~22	14~35	29			25					

\*所有者からの聞き取りによる推定樹齢。

\*\*聞き取り調査できなかった。

\*\*\*人工交配の○の右側の数字は交配試験に用いた回を示す。

### 3) 葉部色素含量の季節変化

2013年6, 7, 8, 9, 11月および翌2014年1, 4月の各初旬に, 任意のアオヤジロ4個体, 一般的なスギ(秋田県産精英樹; 以下, 精英樹と略す)3個体, オウゴンスギ1個体の当年葉, 前年葉を採取し, 佐藤ら(2017受理)の分析条件をもとに高速液体クロマトグラフィー(L-6200型ポンプによる低圧グラジエントシステム, 日立製作所; 以下, HPLCと略す)により葉部色素含量の季節変化を調べ, 針葉黄化の顕著な時期を特定した。

## 2. 材質特性

### 1) 材の強度的性質

任意のアオヤジロ15個体, 精英樹25個体(31年生)および雪害抵抗性品種を含む同抵抗性候補個体(29年生; 以下, 耐雪性)25個体を対象として, FAKOPP(ハンガリー国アルナス社製)を用いて立木樹幹の地上高約0.7~1.7m点の1m間で樹軸方向に伝わる応力波伝播速度(以下,  $V_p$ と略す)を測定し, 3者の木材の強度的性質について比較を行った。

### 2) 心材の化学成分

別途任意に抽出したアオヤジロ11個体と精英樹6個体について, 長さ35cm, 内径5mmの成長錐を用いて2013年11月~12月上旬に樹幹の胸高部(地上高約1.2mの部位)よりコアを採取した。採取した各個体の心材部コアについては, 定法(館・木村, 1957; ほか, JIS P8003など)をもとに含水率, 粗灰分, 揮発性成分の定量に供するとともに, 佐藤ら(2016)の分析条件にてガスクロマトグラフィー(日立製作所製G-3000型Gas Chromatograph; 以下, GCと略す)により心材最外部の揮発性成分組成を調べ, 両者の比較を行った。

## 3. 繁殖特性

### 1) 挿し木試験

2011年~2013年にかけて, 5月下旬から6月上旬にアオヤジロ25個体, オウゴンスギ, フイリスギおよび精英樹各4個体ずつ現地にて穂木を順次採取し, 約1週間水挿しを行った。その後, 10~15cm長の挿し穂を1個体各210本(精英樹は60本)の調製を原則とし, 挿し木試験に供した。挿し床には, 縦490mm×横340mm×深さ100mm, 底穴2mm角の育苗箱に鹿沼土を充填したものをを用いた。挿し付けした育苗箱を温度20~35°Cに制御されたガラス温室内に置き, 必要に応じてかん水を行い, 11月上旬に発根調査を実施した。

### 2) 種子の品質

2011年に球果着果がみられたアオヤジロ4個体, オウゴンスギ3個体, フイリスギ2個体および精英樹混合育種種子等について農林水産種苗管理センター(1991)を参考として種子の品質検査を実施し, アオヤジロ種子の性能を調査した。

### 3) 人工交配試験

2013年および2016年に雄花着生が認められたアオヤジロ数個体(2013年は2個体, 2016年度は3個体)から花粉を採取し, 精英樹北秋田1号と雄勝13号の2個体を母方として人工交配試験を実施した。得られた種子( $F_1$ )を採種翌年に播種・育苗し, 葉色の変化を観察した。

#### 4) 開花促進試験

2011年7月中旬にアオヤジロ3個体について、定植後3年を経過した苗木の枝にジベレリン50ないし100ppm水溶液を1枝につき約100mlの葉面散布を1回行い、翌春花芽分化促進に関する調査を実施した。

### Ⅲ. 結果と考察

#### 1. 外部形態的特性

##### 1) アオヤジロの選抜とSSRマーカーを用いた個体識別

選抜個体の分布およびSSRマーカーによる個体識別結果を図-2および表-2に示す。秋田県内におけるアオヤジロの分布は、大仙市15個体、北秋田市7個体、秋田市、五城目町、藤里町、由利本荘市、横手市にそれぞれ1個体ずつ計27個体の存在が確認された。SSRマーカーによる個体識別の結果、アオヤジロとオウゴンスギではフラグメントパターンが異なり、判別可能であることを確認した。アオヤジロの変異については、大仙市の一部の系統間で同一のフラグメントパターンが確認されたものの、その他の個体はいずれも遺伝的に由来が異なることが示唆され、21タイプの遺伝子型の存在を確認した。同一のフラグメントパターンを示した個体群としては、No. 6, 66の2個体とNo. 14, 16, 17, 40, 41の5個体の2つのグループが確認された。このうち、No. 14, 16, 17, 40および41の5個体について、No. 40と41は1人の所有者によっていずれも同じ宅地内に庭木として植栽されていたことから、前述の例のように同一クローンである可能性は高いものの、それ以外の個体については所有者がそれぞれ異なっている。これら個体の共通点は、いずれも大仙市北東部にあたる旧仙北町、旧太田町付近に局在しているという点と、全て庭木として植えられているという点であるが、その反面で推定樹齢は50年～200年までばらついており、所有者間にはいずれも面識が無いという点では興味深い結果といえる。このことから、No. 14, 16, 17, 40および41はいずれも母樹を同一とするクローンであるか、極めて遺伝的に似通った個体であることが示唆された。また、No. 5は枝下高が高すぎて分析に供試出来なかったが、No. 6, 66に隣接していることと、同一所有者の庭木として植栽されていることおよび外部形態がよく似ていることから、No. 6, 66と同じ遺伝子型を有する個体と考えた。

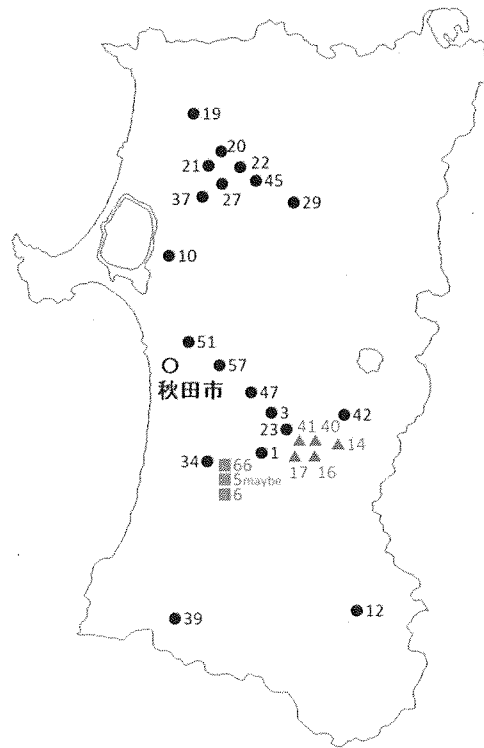


図-2 SSRマーカーによる個体識別結果

●▲■は各個体を示し、併記した数字は個体番号を示す。  
●はSSRマーカーのフラグメントパターンがいずれとも一致しなかった個体を、■および▲は一致した個体を示す。

表-2 SSR マーカーを用いたアオヤジロ, オウゴンズギ等の個体識別結果

個体 No.	<i>Cjgssr77</i>		<i>Cjgssr175</i>		CJS0333		CS1226		備考
1	99	151	178	246	312	312	138	140	
3	103	125	173	178	229	229	138	149	
5*	—	—	—	—	—	—	—	—	a (maybe)
6	105	105	183	186	227	249	155	159	a
10	103	105	183	209	235	265	165	200	
12	103	129	183	189	241	249	128	132	
14	99	103	185	215	229	267	136	176	b
16	99	103	185	215	229	267	136	176	b
17	99	103	185	215	229	267	136	176	b
19	103	123	183	218	237	263	128	159	
20	99	162	183	229	267	296	138	149	
21	107	144	182	204	227	229	142	144	
22	107	125	225	225	227	253	136	136	
23	131	155	187	213	229	269	128	186	c
27	103	151	183	183	229	249	149	159	
29	103	125	183	209	247	257	138	161	
34	125	125	183	199	229	229	136	149	
37	105	109	183	219	251	257	138	149	
39	103	182	173	187	229	235	136	138	
40	99	103	185	215	229	267	136	176	b
41	99	103	185	215	229	267	136	176	b
42	103	127	198	209	237	247	176	213	
45	101	103	183	189	241	259	136	155	
47	151	179	187	187	251	253	138	155	
51	103	151	187	187	261	261	146	165	
57	99	105	183	183	239	288	136	149	
66	105	105	183	186	227	249	155	159	a
18	117	151	185	187	237	241	136	157	オウゴンズギ
26	117	151	185	187	237	241	136	157	オウゴンズギ
46	117	151	185	187	237	241	136	157	オウゴンズギ
49	117	151	185	187	237	241	136	157	オウゴンズギ
69	117	151	185	187	237	241	136	157	オウゴンズギ

備考欄のアルファベットまたは着色トーンが同じ個体間では、フラグメントパターンが一致したことを示す。

No. 5 の個体は分析サンプルを採取できなかったが、No. 6, 66 と同じ所有者のものであり、その植栽状況から遺伝的に同一の個体と考えた。

## 2) 一般的特性

選抜地の気候と地況に関する調査結果を表-3に、また、樹冠、樹皮、針葉等一般特性に関する調査結果を表-4に示す。表-3よりアオヤジロの垂直分布をみると、標高は10~266 m内に分布し、100 m以下の土地が82%を占めるとともに、極端な高地や低地には分布が見られなかった。この理由としては、調査木の約7割が原野や庭木として存在していたことによるものと思われる。一方、標高が高いものでは横手市増田町No. 12 (203 m)、北秋田市森吉No. 29 (266 m)のように内陸部に分布している個体や大仙市蛭川No. 1 (195 m)、藤里町粕毛No. 19 (164 m)や由利本荘市鳥海町No. 39 (167 m)などのように山中で見られた若干の個体だけであった。また、気象データについては、アオヤジロの所在地に最も近い観測点のものを用いた(気象庁, 2017)。その結果、平年値の年平均気温の最低は阿仁合の9.7℃、最高は秋田市の11.7℃となっており、各地において日最高および日最低気温のデータ等に顕著な違いは見られない。年間降水量は1553~2186 mm、最深積雪は38 cm(秋田市)~115 cm(北秋田市森吉阿仁合)である。なお、このデータについて、平年値の記録が無い場合には、最深積雪が最も多かった月のデータを用いており、数値の右側に「\*」を付している。これらの気象観測値は、秋田スギの分布域において一般的な値である(秋田営林局, 1968; 前田, 1969)。

表-4に示す一般特性において樹姿をみると、断幹されていたNo. 23を除けばI型が7個体(27%; 以下、個体を略す)、II型が19(73%)とII型が最も多く、III型は見られなかった。佐多(1941)によると、I型のスギは表日本に多く、幼壮時の成長は早い黒心が多く、II型は赤心で材質良好なものが多いという。また、田中(1950)は、I型はひろく日本中に見られ、黒心になるものもある。一方、典型的なII型のスギは壮齢時の成長が遅いものの、百年以上経ってもその成長は衰えず、春材部の樹液が少ないので樽丸を作れば酒の醸造に失敗しないといわれるほど良材を産し、天然秋田スギ材の銘木に多いと述べている。このような点から、アオヤジロの材が酒樽に適しているといわれてきた可能性がある。

樹冠形については、円錐体16(62%)、放物体10(38%)で、他のタイプは見られず円錐体がやや多かった。これはウラスギにみられる傾向の現れと思われる。また、樹幹は大半のものが通直であったが、上部で二又となっているものが4(15%)もあった。

樹皮については、網肌23(85%)、流れ肌3(11%)、繊維肌1(4%)となっており、網肌が大半を占めた。また、枝角については、上4(15%)、中19(70%)および下4(15%)と中が最も多かった。ウラスギの下枝は下垂する傾向があるといわれ(林業種苗研究会, 1970)、伏状更新との関係が示唆されているが、アオヤジロに関してはこれらの特性との結びつきを明らかにすることができなかった。

葉の形質については、刺感強3(12%)、中14(54%)および弱9(34%)で中が最も多かった。触感は剛5(19%)、中20(77%)および軟1(4%)で中が最も多かった。針葉型についてはS4(15%)、Bo9(35%)およびBa13(50%)で、Baが最多でCは見られなかった。また、黄化の著しい部位は葉端18(67%)が多くを占め、次いで葉全体8(30%)および頂部1(3%)であった。武藤ら(1998)は、秋田県内3箇所、岩手県と宮城県でそれぞれ1箇所ずつ計5箇所の天然林において本研究と同様の針葉型分類を行い、その多くはBa型であること、S型は岩手県と宮城県の天然林に認められるが、秋田県内には認めなかったこと、Bo型は仁別で40%と最も多い型であること、そしてC型は男鹿60%、鳥海34%で出現する割合が高く、地理的に北に移行するに従いその割合が増すことなどから、高緯度に適応する要因

表-3 アオヤジロ選抜地の気候と地況

個体 No.	標高 (m)	気温(°C)			年間降水量 (mm)	最深積雪 (cm)	生育地※
		年平均	( 日最高	— 日最低 )			
1	195	10.6	( 15.3	— 6.3 )	1735.7	111	F
3	35	10.6	( 15.3	— 6.3 )	1735.7	69*	G
5	41	10.6	( 15.3	— 6.3 )	1735.7	69*	G
6	41	10.6	( 15.3	— 6.3 )	1735.7	69*	G
10	10	10.8	( 15.5	— 6.6 )	1553.1	48*	G
12	203	10.9	( 15.6	— 6.7 )	1643.6	111	G
14	62	10.6	( 15.3	— 6.3 )	1735.7	111	G
16	27	10.6	( 15.3	— 6.3 )	1735.7	111	G
17	26	10.6	( 15.3	— 6.3 )	1735.7	111	G
19	164	10.2	( 15.3	— 5.7 )	2055.7	73	F
20	28	10.2	( 15.3	— 5.7 )	1671.1	73	F
21	51	10.2	( 15.3	— 5.7 )	1671.1	73	W
22	60	9.7	( 14.8	— 5.3 )	1994.6	115*	F
23	31	10.6	( 15.3	— 6.3 )	1735.7	111	G
27	53	9.7	( 14.8	— 5.3 )	1994.6	111	F
29	266	9.7	( 14.8	— 5.3 )	1994.6	115*	W
34	39	10.6	( 15.3	— 6.3 )	1735.7	69*	F
37	90	9.7	( 14.8	— 5.3 )	1994.6	73	F
39	167	11.4	( 16.4	— 6.9 )	2185.5	98*	F
40	30	10.6	( 15.3	— 6.3 )	1735.7	111	G
41	30	10.6	( 15.3	— 6.3 )	1735.7	111	G
42	56	10.6	( 15.3	— 6.3 )	1735.7	111	G
45	97	9.7	( 14.8	— 5.3 )	1994.6	73	G
47	44	10.6	( 15.3	— 6.3 )	1735.7	111	G
51	19	11.7	( 15.5	— 8.2 )	1686.2	38	G
57	59	10.6	( 15.3	— 6.3 )	1735.7	38	G
66	41	10.6	( 15.3	— 6.3 )	1735.7	69*	G

※生育地は、F:林内、G:宅地内、W:原野内を示す。

\*平年値の記録が無かったので、最深積雪が最も多かった月のデータを記載した。

の一つと考察している。また、針葉型は耐寒性にも関連しており、左右両葉のなす着生角が狭いものほど耐寒性が強い傾向を認めたという報告もある(林業試験場東北支所育林第1研究室, 1973)。アオヤジロの多くは針葉の分岐角が狭いBa型であることから比較的強い耐寒性を持つ可能性が示唆された。

着花は27個体中23(着花率85%)にみられ、多くのものに着花が認められた。なかでも雄雌両方の着花を確認できたものが11(41%)、雄花のみを確認できたものが9(33%)、雌花のみを確認できたものが4(15%)で、残りの3(11%)には着花を確認できなかった。なお、雌雄両花が確認できた個体のなかでは推定樹齢30年の個体No.23が最も若かったが、それ以外の多くは推定樹齢60年生以上のものであった。スギの結実樹齢は、20年~25年(小沢, 1962; 浅川・横山, 1969)とされるものの、雄花着生については植栽後通常10年以降(坪村, 2013)から始まり、30年生以上になると着花量が急増し、50年生頃に最大に達してそのまま高いレベルを維持し続けるといわれている(齋藤, 1995; 齋

藤, 2010)。本調査対象としたアオヤジロの推定樹齢は全て 30 年以上であったことから、自然条件下での雄花着花性については個体の特性が現れた結果であるものと考えられる。ただし、スギの開花結実には豊凶があるので（上田, 1950；小沢, 1962）、本来の着花性を調べるためには最低でも 5 年以上の観察が必要とされている（林野庁, 2002）。このため、本来の着花性を評価するには今後も観察を続ける必要がある。

表-4 秋田県内より選抜したアオヤジロの外部形態的特性調査結果

個体 No.	樹姿	樹冠形	樹幹	樹皮	枝角	葉の刺感	葉の触感	針葉型	黄化部位	着花状況
1	Ⅱ	円錐体	直・二又	流れ	中	中	中	Bo	全体	雌雄
3	Ⅱ	円錐体	直	網	中	中	剛	Bo	全体	雌雄
5	Ⅱ	放物体	直	網	中	—*	—*	—*	全体	雌
6	Ⅱ	放物体	直	網	中	中	中	Bo	全体	雌
10	Ⅰ	円錐体	直	網	中	弱	中	Bo	葉端	雄
12	Ⅰ	放物体	直	網	下	中	中	Ba	葉端	雌雄
14	Ⅱ	放物体	直	網	中	弱	中	Ba	葉端	雌雄
16	Ⅱ	放物体	直	網	中	弱	中	Ba	葉端	雄
17	Ⅱ	円錐体	直	網	中	弱	中	Ba	葉端	雄
19	Ⅱ	放物体	直	網	中	中	中	Ba	葉端	雌
20	Ⅱ	放物体	直・二又	網	上	弱	中	Ba	葉端	雄
21	Ⅰ	円錐体	直・二又	網	中	中	中	Ba	葉端	雄
22	Ⅰ	円錐体	直	網	上	中	剛	Bo	葉端	雄
23	—**	—**	—**	網	下	強	剛	S	葉端	雌雄
27	Ⅰ	円錐体	直	流れ	上	弱	中	Bo	葉端	無
29	Ⅱ	円錐体	直	網	中	中	中	Bo	葉端	雄
34	Ⅱ	円錐体	直	繊維	中	弱	中	Ba	全体	雄雌
37	Ⅱ	円錐体	直・二又	網	中	中	中	Ba	葉端	雄
39	Ⅰ	円錐体	直	網	上	弱	中	Ba	頂部	雌
40	Ⅱ	円錐体	直	流れ	中	中	中	Ba	葉端	雌雄
41	Ⅱ	放物体	直	網	中	中	中	Ba	葉端	雌雄
42	Ⅱ	円錐体	直	網	下	中	中	Bo	葉端	雄
45	Ⅰ	円錐体	直	網	中	強	剛	S	葉端	無
47	Ⅱ	円錐体	直	網	中	中	中	S	葉端	無
51	Ⅱ	放物体	直	網	下	強	剛	S	全体	雌雄
57	Ⅱ	円錐体	直	網	中	弱	軟	Ba	全体	雌雄
66	Ⅱ	放物体	直	網	中	中	中	Bo	全体	雌雄

\*サンプルを採取できなかった。

\*\*断冠されており調査できなかった。

### 3) 葉部色素含量の季節変化

アオヤジロの当年葉、前年葉に含まれる総クロロフィル量について、季節別に HPLC 分析した結果を図-3 a) および b) には、各スギの生葉 1 g 中に含まれる全クロロフィル (クロロフィル a および b の和 ; 以下, Total-Cab と略す) 量 (mg/g 生葉 ; 以下, 単位を略す) の季節変化を示す。

図-3 a) から当年葉中における Total-Cab 量の推移をみると、いずれも 6 月の含量が調査期間中最も低く、精英樹 (以下, 対照と略す) では 0.30 だったが、9 月まで徐々に増加した後、翌 4 月まで顕著な変動はみられないまま 1.00~1.08 の範囲を維持した。一方、アオヤジロは 6 月が 0.05 と対照より少なく、8 月に 0.51 まで増加したものの、以後翌 1 月まで 0.42~0.48 と対照の約半分量のまま推移した後、4 月に 0.63 と再び増加する傾向がみられた。これに比べ、オウゴンスギは、6 月が対照の半分程度 (0.14) で、7 月になっても 0.34 とアオヤジロとあまり変わらないまま推移したが、8 月になると 1.75 まで急増し、以後は若干の増減を繰り返しながら徐々に減少していき、翌 1, 4 月にはそれぞれ 1.00, 1.13 と対照とほぼ同じ含量になった。

図-3 b) から前年葉中における Total-Cab 量の推移をみると、対照は、6 月~11 月までの間に顕著な変動はみられず 0.97~1.08 を維持した後、翌 1 月 1.28, 4 月 1.17 とわずかに増減がみられた程度であった。アオヤジロは 6 月が 0.54 と最も少なく対照の半分程度であったものの、7 月~翌 1 月にかけては 0.81~0.91 の間を維持するまで増加し、4 月に 1.08 と対照のそれとほぼ同じ含量となった。一方、オウゴンスギは、対照やアオヤジロより含量が多く 6 月~翌 1 月まで 1.38~1.76 の範囲を維持した後、4 月に 1.04 と対照やアオヤジロのそれとほぼ同程度まで減少した。

また、図-3 c), d) には、当年葉と前年葉中におけるクロロフィル a とクロロフィル b の比 (以下, Cab 比と略す) の季節変化を示す。

図-3 c) において当年葉の発生初期にあたる 6 月は、対照 1.2, アオヤジロ 0.2, オウゴンスギ 3.0 と個体間で大きく異なっていたものの、7, 8 月のうちにこの開きは収束し、以後当年葉は翌 4 月まで 2 前後の同程度の比で推移し、各スギの Total-Cab 量が比較的大きく増減し始める 8 月以降の Cab 比には、顕著な変動がみられなかった。また、図-3 d) から前年葉においても調査期間を通じていずれのスギも 1.4~2.4 の範囲を推移した。

これらから、新葉の発生初期におけるクロロフィルの生合成機構については、アオヤジロとオウゴンスギで異なっている可能性が示唆された。また、アオヤジロの葉にみられる黄化は主に当年葉で発現し、それが顕著となる時期は 8 月以降であること。オウゴンスギの葉の黄化も当年葉のみにみられるものの、その時期は 6, 7 月に限られること。また、これらから秋、特に 9 月頃に当年葉の色調を観察することでアオヤジロとオウゴンスギを容易に判別できることなどが明らかとなった。さらに、6, 7 月の時点ではアオヤジロ、オウゴンスギともに当年葉中に含まれる Total-Cab 量が低かったことから、初夏の段階でこれらを判別することは困難であり、両者が混同される原因となっている可能性が示唆された (図-3 a)。

アオヤジロは、天然秋田スギの突然変異種と考えられることから、葉色の変化については通常のスギと異なる色素の関与も期待されたが、今回の分析によって得たクロマトグラム中にそのような物質の存在を示唆するピークは検出されなかった (佐藤ら, 2017 受理)。



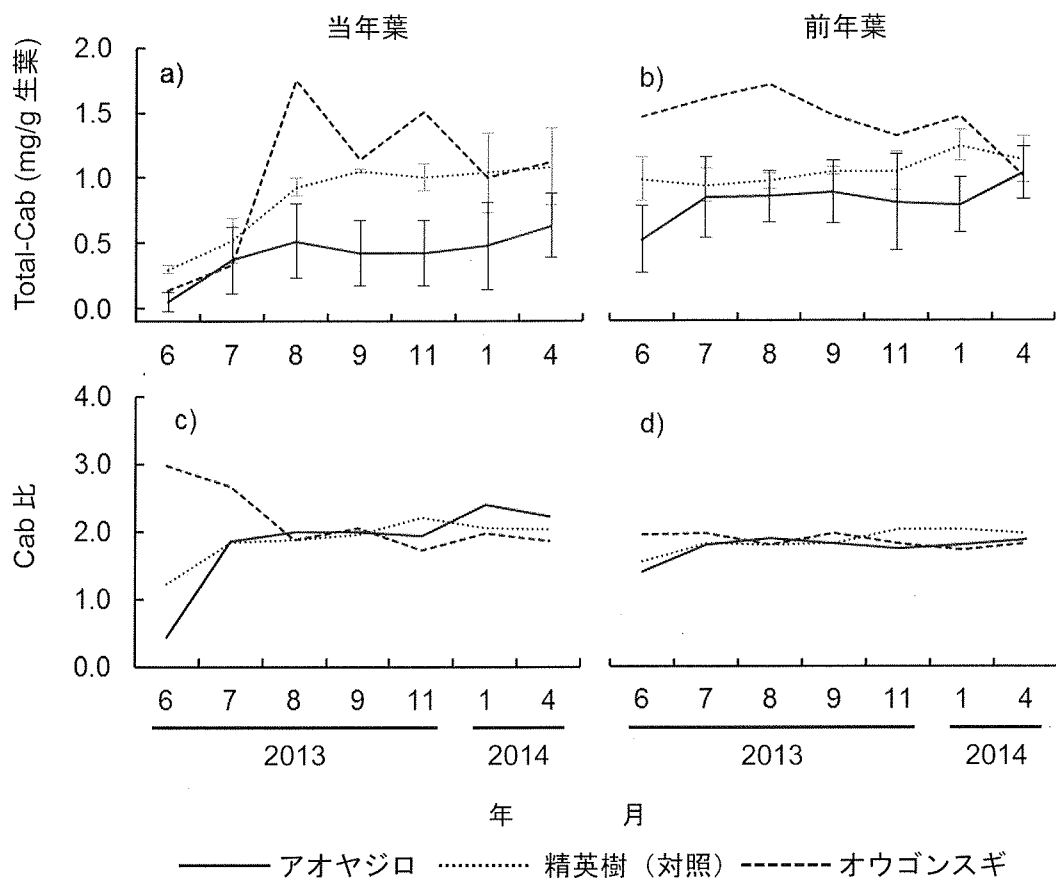


図-3 アオヤジロ、精英樹、オウゴンスギの当年葉および前年葉中に含まれるクロロフィル含量およびクロロフィルa/クロロフィルb比の季節変化

Total-Cab: 全クロロフィル含量, Cab: クロロフィルa/クロロフィルb比を示す。  
 エラーバーは標準偏差 (SE) を示す。

## 2. 材質特性

### 1) 材の強度的性質

FAKOPPにて測定した $V_p$ の平均値は、アオヤジロ区 3487 m/s, 精英樹区 3231 m/s および耐雪性区 3618 m/s で (図-4), アオヤジロ区と耐雪性区に有意な差はみられなかった。しかし、これらと精英樹の間にはいずれも有意な差が認められたことから (Tukey HSD 多重比較,  $P < 0.01$ ), アオヤジロには耐雪性が期待できることが示唆された。FAKOPPにおける $V_p$ は、スギ (池田ら, 2000; 藤澤ら, 2003) やヒノキ (池田ら, 2000; 藤澤ら, 2005) において動的ヤング率と正の相関をもつことが示唆されている。各アオヤジロの $V_p$ と胸高直径, 推定樹齢との間の相関を調べた結果, 胸高直径が大きいものは $V_p$ が低下する傾向がみられたものの, 推定樹齢との間には相関がみられなかった (図-5)。このことから,  $V_p$ に認められた変異はそれぞれの個体が持つ特性であることが示唆され, 幅広い用途に応じた材選択が可能であることが明らかとなった (佐藤ら, 2016)。

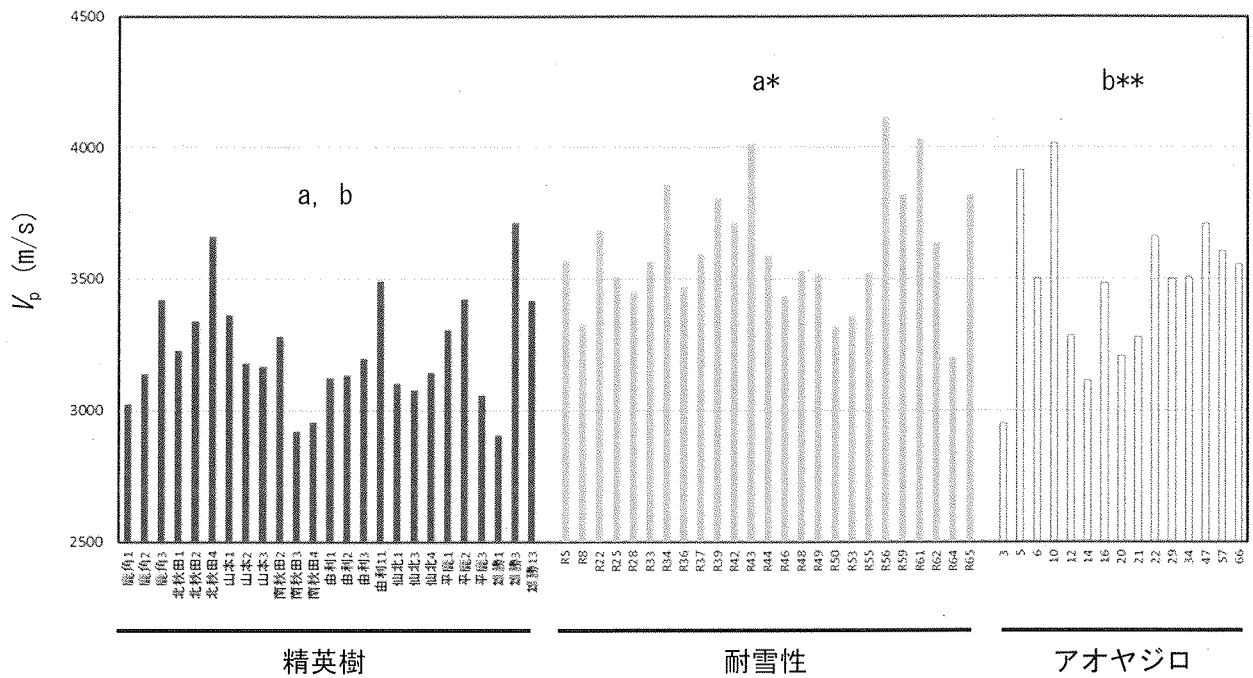


図-4 精英樹，雪害抵抗性スギおよびアオヤジロの応力波伝播速度 ( $V_p$ )

a, b は同じアルファベット間で Tukey HSD 多重比較において有意差あり ( $*P < 0.01$ ,  $**P < 0.001$ )。

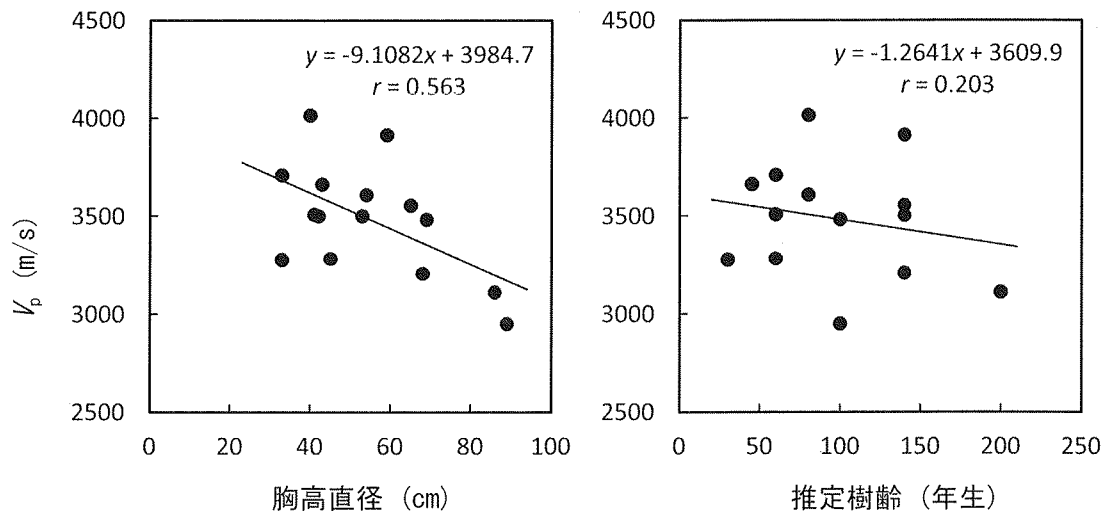


図-5 アオヤジロの応力波伝播速度 ( $V_p$ ) と胸高直径および推定樹齢の関係

● は各個体を示す。

## 2) 心材の化学成分

心材の含水率，粗灰分，揮発性成分含量とその組成については，アオヤジロ区と精英樹区の間に有意な差は認められなかった。揮発性成分の組成については cubebol,  $\delta$ -cadinene など一部のセスキテルペン含量の高い個体がアオヤジロで多い傾向にあることを認めた (図-6, 表-5)。これらの成分は，酒を腐敗させる特定の乳酸菌に対し，ppm レベルでの増殖阻害に関与している可能性が高く (松永ら, 2002 ; 折原ら, 2006 ; 高尾ら, 2012), アオヤジロが酒造容器として用いられてきたといわれる来歴を考え合わせると，当該成分が良材選択の指標となりうるものと思われた (佐藤ら, 2016)。

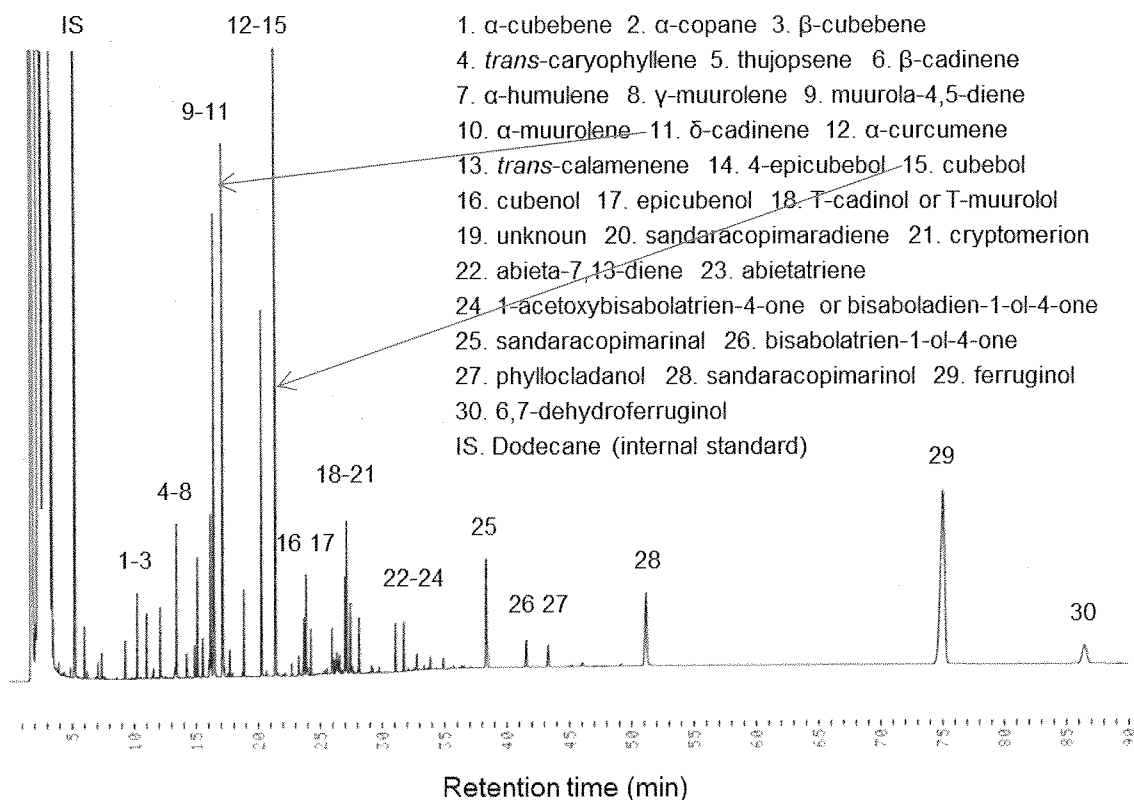


図-6 アオヤジロ No. 6 心材のガスクロマトグラム分析例

表一5 アオヤジロ, 精英樹の心材最外部における揮発性成分組成

Peak No.	Compounds	PLT <sup>a)</sup>										AOY <sup>a)</sup>									
		OG	OG1	KI1	MI4	YA	YU1	6	10	12	14	16	20	22	29	34	47	66			
1	α-cubebene	2.3	2.0	1.8	2.0	1.3	1.5	1.6	1.4	1.1	1.3	1.2	1.5	1.3	1.0	1.4	1.7				
2	α-copane	0.9	0.9	1.1	1.1	0.7	0.7	1.1	0.8	0.8	0.9	1.0	0.9	0.9	1.1	1.2	1.1				
3	β-cubebene	3.2	2.9	3.0	2.4	1.2	1.9	2.4	2.5	0.9	1.2	1.9	0.7	1.8	0.9	2.4	2.0				
4	tranzs-caryophyllene	2.6	2.4	2.5	2.6	1.7	1.7	3.0	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	0.3	0.5	0.3	0.4	0.3	0.2	0.3	0.6				
6	β-cadinene	1.7	2.0	1.0	1.9	1.0	1.8	0.7	0.9	0.5	0.7	0.4	1.0	0.4	1.0	0.4	0.9				
7	α-humurene	2.2	1.8	2.2	2.2	1.6	1.4	2.3	2.1	1.8	1.9	2.0	1.7	2.0	1.6	2.1	2.3				
8	γ-murolene	0.8	0.7	0.8	0.8	0.6	0.7	0.8	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	2.8	2.4	2.9	2.7	5.2	3.1	2.8	2.9	4.0				
10	α-muurolene	10.1	8.4	10.	9.6	12.	7.4	9.2	12.	8.5	7.9	7.6	7.9	8.1	8.0	8.2	8.6				
11	δ-cadinene	12.1	12.9	9.1	14.	8.1	13.0	11.	9.0	9.6	10.	8.3	25.	12.	13.	9.3	14.				
13	tranzs-calamenene	1.2	0.9	1.2	1.5	1.0	1.4	1.0	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.	6.8	10.7	10.	9.9	5.7	6.7	8.6	4.4	8.8	7.1	9.4	10.				
15	cubebol	19.9	14.3	23.	17.	10.	14.2	25.	20.	16.	11.	19.	5.6	18.	14.	23.	19.				
16	cubanol	1.0	1.1	0.9	1.6	0.8	1.6	1.1	0.9	1.0	0.9	0.9	3.6	1.8	1.6	0.9	1.6				
17	epicubanol	2.0	2.3	1.5	2.8	1.5	2.9	2.0	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	0.2	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	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	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	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	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	0.3	0.8	1.2	0.6	0.4	0.3	0.8	0.4	0.3				
24	1-acetoxybisaboretrien-4-one or bisaboladien-1-ol-4-one	nd	0.9	0.8	+	1.4	0.7	0.1	0.4	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	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	0.8	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	0.7	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	3.8	3.6	6.3	3.2	5.0	3.0	4.4	2.2				
29	ferruginol	8.0	11.0	13.	5.9	14.	6.4	8.1	11.	19.	19.	7.7	6.7	6.9	7.9	12.	6.8				
30	6,7-dehydroferruginol	4.2	2.0	2.4	2.0	3.2	1.9	3.8	1.8	2.2	2.8	2.5	1.8	3.9	1.6	4.0	3.7				
	Total	97.7	96.1	97.	95.	95.	96.5	8	95.	91.	94.	94.	94.	96.	84.	98.	94.				
				7	7	8	8	8	0	5	4	2	2	2	3	2	7				

\* Each data means rate of peak area (%).

<sup>a)</sup> PLT: plus trees, AOY: "Aoyajiro" trees.

<sup>b)</sup> OG: Ogachi, KI: Kitaakita, MI: Minamiakita, YA: Yamamoto, YU: Yuri.

+: trace, nd: not detect

### 3. 繁殖特性

#### 1) 挿し木試験

挿し木試験の結果を図-7に示す。発根率の平均値はアオヤジロ 23.8%, オウゴンスギ 58.8%, フイリスギ 53.3%および精英樹 40.4%と、アオヤジロが最も低かった。しかしながら、アオヤジロの発根率は最低 1.0%~最大 73.8%と個体間で大きく異なっており、比較的発根率の高い個体も散見された。

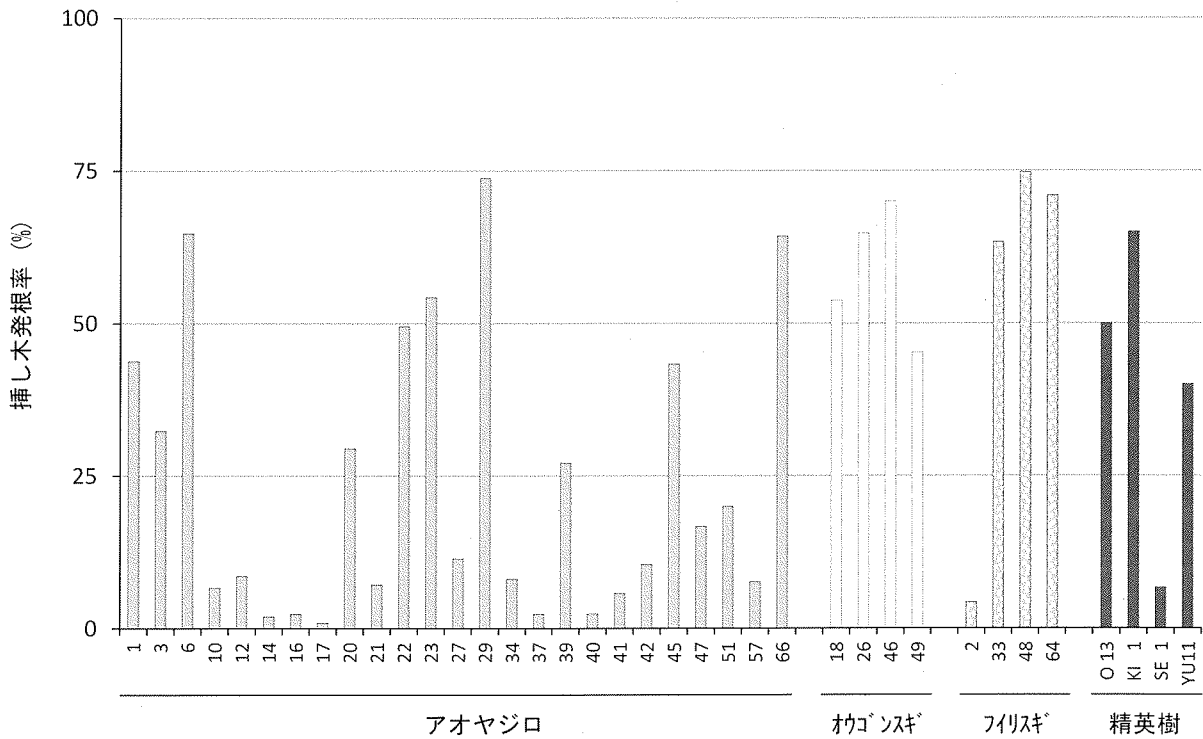


図-7 アオヤジロ, オウゴンスギ, フイリスギおよび精英樹の挿し木試験結果

#### 2) 種子の品質

アオヤジロ種子の品質は表-6のとおりであり、通常のスギと同様の形質を持ち、正常な実生繁殖能力を持つことを確認した。また、オウゴンスギ、フイリスギや他の黄葉を持つスギの種子では、1000粒重、1000粒容積がアオヤジロや精英樹のそれと比較してやや大きめであった。この形質が園芸種の特徴となるものかどうかについては、さらに複数年にわたる調査を必要とする。

#### 3) 人工交配試験

アオヤジロを父方、精英樹を母方とする2度の人工交配試験においては、アオヤジロ花粉の生殖能力が正常であることを確認した。また、一部のアオヤジロと精英樹 雄勝 13号との交配実生にのみ黄葉を持つものの出現を認め、針葉黄化の形質が遺伝することを明らかにした(図-8および9)。これにより、雄勝 13号がアオヤジロの針葉黄化に関わる遺伝子の検出に有用なプローブとなりうる可能性

が示唆された。図-8に示す交配 F<sub>1</sub> における黄葉苗の出現割合から、詳細な機構まではわからなかったものの、針葉黄化の形質が父性遺伝によっておこっている可能性が示唆された (Ohba et al, 1971)。

表-6 アオヤジロ, オウゴンスギ, フイリスギ等の種子の品質検査結果

個体No.	1000粒重 (g/1000粒)	1000粒容積 (cc/1000粒)	発芽率 (%)	充実率 (%)	発芽勢 (%)
アオヤジロ					
3	3.42	8.6	38.5	44.5	32.0
12	2.70	7.2	40.5	44.5	26.5
14	2.16	5.8	35.5	42.5	29.5
51	2.64	7.7	48.0	53.0	39.0
平均値	2.73	7.3	40.6	46.1	31.8
オウゴンスギ					
7	4.05	10.7	34.5	62.5	23.5
18	3.28	10.1	10.5	17.5	5.0
46	3.66	11.1	10.5	28.5	4.5
平均値	3.66	10.6	18.5	36.2	11.0
フイリスギ					
2	3.21	9.8	16.0	24.0	9.5
33	4.49	11.3	40.5	46.0	34.0
平均値	3.85	10.6	28.3	35.0	21.8
その他の黄色葉をもつスギ					
15	5.28	15.1	14.8	25.8	8.1
精英樹混合育種種子					
Pts	2.74	6.7	47.9	63.3	29.6

1) 検査期間：平成24年2月15日～3月14日 (28日間)

2) 充実率：発芽率(%) + 未発芽率(%)

3) 発芽勢：置床後14日以内の発芽率(%)

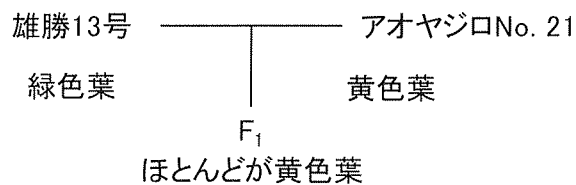
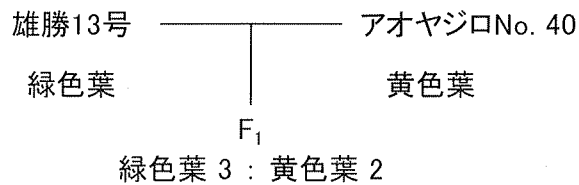
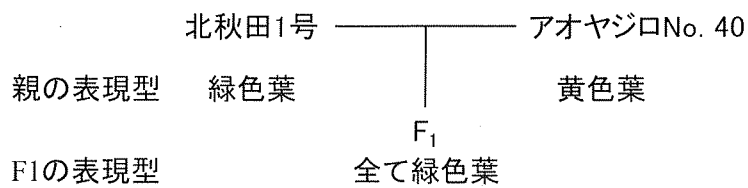


図-8 精英樹 (♀) ×アオヤジロ (♂) の人工交配 F<sub>1</sub> に観察された針葉黄化形質の遺伝



雄勝13号×アオヤジロ No. 40  
(2015年8月18日)



雄勝13号×アオヤジロ No. 21  
(2017年7月5日)

図-9 精英樹雄勝13号 (♀) ×アオヤジロ (♂) の交配で観察された葉色の黄化

#### 4) 開花促進試験

花芽分化促進試験においては、ジベレリン 50, 100 ppm 水溶液散布により 3 年生挿し木苗でも雌雄両花がともに着生することを確認した (表-7)。ただし、一部の個体ではジベレリン 50 ppm 散布区では雄花の着生量が、100 ppm 散布区では雌花の着生量が多い傾向が見られた。ベレリンによる花芽分化促進は、加藤ら (1959) や橋詰 (1959) の報告によって普及し、1 年生実生苗や挿し木苗に花芽分化促進効果を確認するとともに、散布時期は 6 月下旬~7 月が最も良いこと、8 月中旬以降の処理は雄花の着生が少なくなること、実生苗では、低濃度で雄花の着生量が多く、高濃度で雌花の着生が多いこと、樹齢が高いほど低濃度で花芽分化が促進される傾向にあることなどが知られている。本試験は 7 月中旬に行っており、樹齢の若い挿し木を用いていることから、これらの報告と同様の結果を示したものである。本試験によりアオヤジロの計画的な種子生産が可能であることが明らかとなった。

表-7 アオヤジロの着花促進試験結果

個体No.	ジベレリン濃度 (ppm)	着花性	
		雌花	雄花
19	50	++	++
	100	++	++
21	50	+	++
	100	++	+
66	50	++	++
	100	++	++

\* 評価基準は以下のとおりとした。

- : 着花なし (着生なし)
- + : 着花少ない (10穂/枝)
- ++ : 着花多い (11穂以上/枝)



#### IV. まとめ

現況調査の結果をもとにアオヤジロ 1 本あたりの材積成長性について調べたところ、図-10 に示す成長曲線が得られた。なお、図上には参考として秋田県全域を対象とするモニタリングの結果（秋田県森林技術センター，2013）から作成した最新の収穫表をもとに算出した 1 本あたりの地位級別平均材積成長曲線と、近年報告された天然および造林スギの成長解析結果を併せて記載した（高橋・入野，2005；澤田ら，2007；新田・金子，2016）。図-10 において，アオヤジロの 100 年生までの材積成長は地位 1 等から 2 等の間を推移しており，良好な材積成長が期待できることが明らかとなった。この結果から，アオヤジロについては通常伐期の 2 倍の 150 年以上を目安とする超長伐期施業をもとに大径木育成を図ることで，幅広い用途に応じた素材生産が可能になるものと推察された。

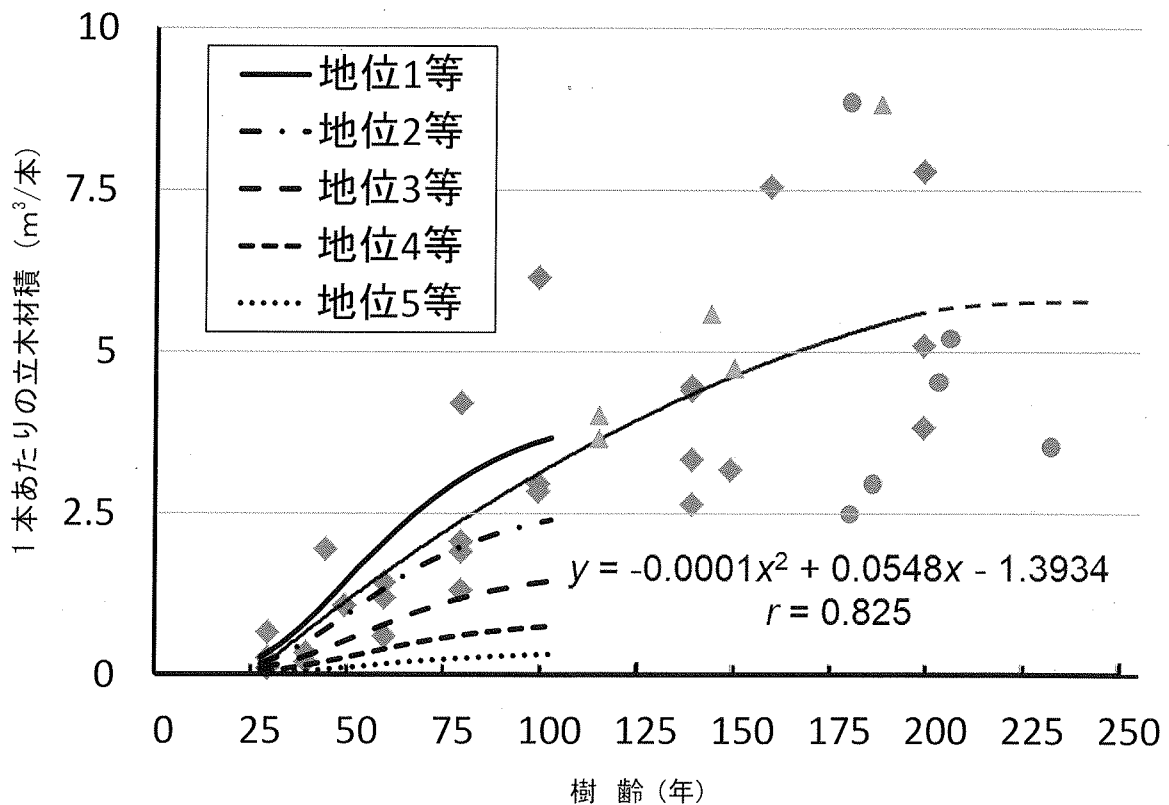


図-10 秋田県の民有林におけるスギ林分収穫表をもとにした地位級ごとの単木あたりの平均材積の推移およびアオヤジロの推定樹齢と材積の関係

- ◆ はアオヤジロ，アオヤジロの樹齢は推定である。
- は澤田ら（2007）による天然秋田スギ成長解析データを示す。
- ▲ は高橋・入野（2005），新田・金子（2016）による人工林成長解析データを示す。

本研究で得られた知見をもとに、効率的な利用技術として図-11 に示す種苗生産システムを提案する。このシステムは、アオヤジロの遺伝情報をベースとする徹底した系統管理と、アオヤジロを父方、精英樹雄勝 13 号を母方とする交配系により、アオヤジロの葉の黄化に関わる表現型を持つ苗木の生産を効率的に行うことができる。これらの人工交配  $F_1$  において、黄葉のものは種子で、緑葉のものは花粉親の個体を挿し木で苗木生産する。そして、黄葉を呈する  $F_1$  において成長性に優れた個体は造林用に、矮性の個体は園芸用として育種改良を進めながら種苗生産を行うことで様々なニーズに対応できる。近年、木材生産用の造林種苗については、花粉症対策に寄与する花粉の少ない苗木の需要が高まっている。雄勝 13 号は成長性に優れるだけでなく、花粉生産量も極めて少ない少花粉品種の 1 つであることから、一般造林用のアオヤジロの育種においては少花粉形質の付与が期待できるというメリットがある。一方、矮性を示す個体については針葉黄化を付加価値とする園芸種としての活用が期待できる。本システムを利用することで、新たなスギ需要を創造し、訴求力の高いアオヤジロ品種の開発・育成と、育種成果の早期普及を実現できるものと思われる。

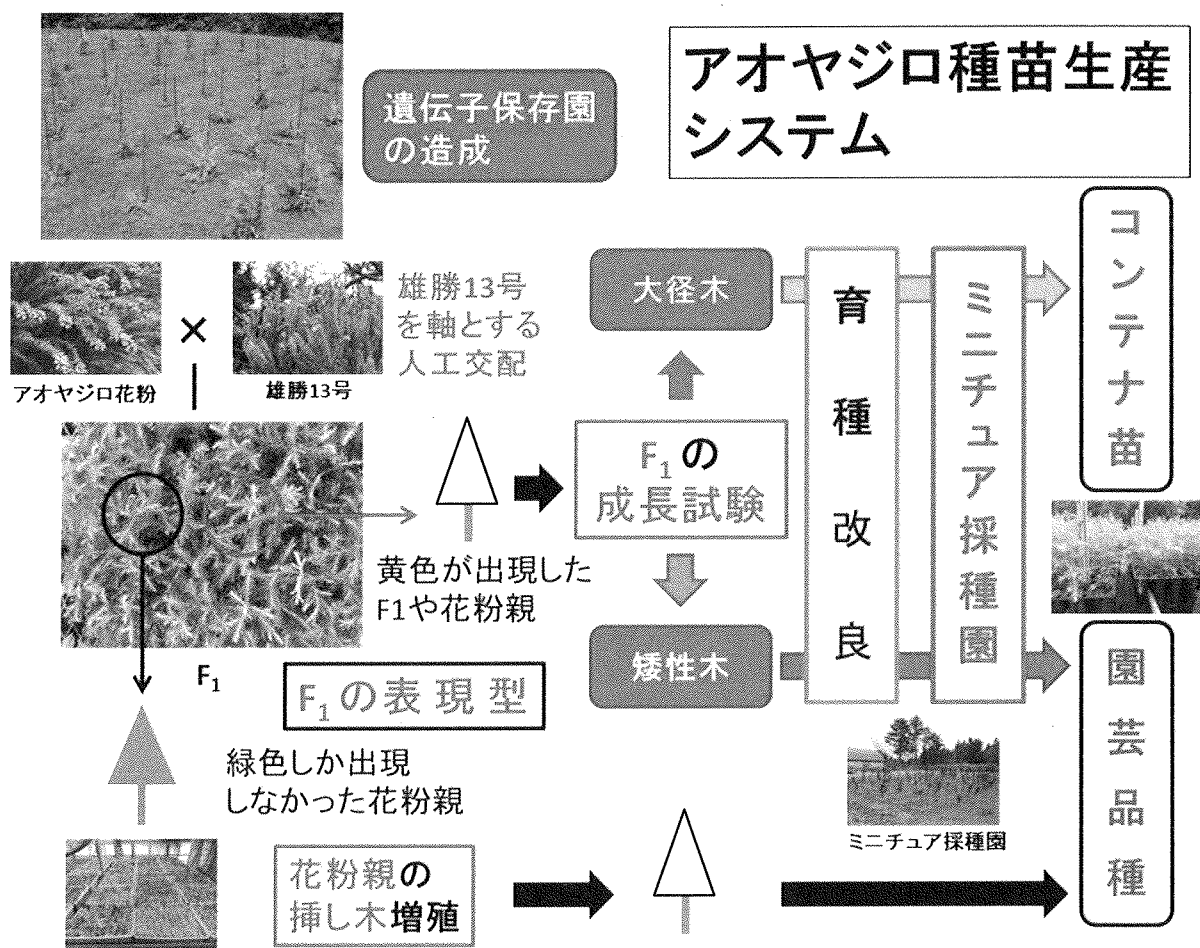


図-11 アオヤジロ苗木生産システムの提案

## 謝 辞

本研究の遂行と本論文の作成にあたり、研究全般にわたって終始親切丁寧なご指導・激励を賜りました秋田県立大学木材高度加工研究所教授 高田克彦博士と同准教授 澁谷栄博士ならびに論文審査を快くお引き受けいただいた同研究所所長 林知行博士に深く感謝申し上げます。本研究のきっかけとなる、たくさんの文献や資料をくださった愛知県新城市の塩瀬忠夫氏に感謝申し上げます。また、アオヤジロの所在、特性等について、数多くの情報を提供いただいた秋田県大仙市の佐藤隆造氏と北秋田市の合川文化財保護協会会長 福岡龍太郎氏には、この場をお借りして感謝いたします。そして、アオヤジロの所有者の皆様には、調査研究への有り難いご理解とご承諾をいただきました。この場をお借りして心から感謝いたします。本当にありがとうございました。

## 引用文献

- 秋田営林局 (1935) 一五, あをやじろ(杉). 一六, あをやじろ(杉). (秋田山形の老樹名木. 秋田営林局 編, 秋田営林局) 8-9
- 秋田営林局 監修 (1968) 秋田の杉. 林野弘済会秋田支部, 秋田
- 秋田県公文書館 (1999) 渋江和光日記 40. (渋江和光日記 第五巻. 秋田県公文書館 編, 秋田県) 119-216
- 秋田県農林水産部 (2013) 平成 25 年度 秋田県農林水産業関係施策の概要. 秋田県農林水産部, 秋田
- 秋田県農林水産部 (2017) 秋田県林業統計 平成 28 年度版. 秋田県農林水産部林業木材産業課, 秋田
- 秋田県緑化推進委員会 (1993) 秋田県の名木・古木. 秋田県緑化推進委員会, 秋田
- 秋田県森林技術センター (2013) 秋田県民有林スギ林分収穫表. (平成 24 年度森林資源モニタリング調査成果品) 34p
- 浅川澄彦・横山敏孝 (1969) 第 2 章 形態と生理 第 2 節 生理. (新版 スギのすべて. 坂口勝美 監修, 全国林業改良普及協会) 43-76
- 藤澤義武・倉本哲嗣・平岡裕一郎・柏木 学・井上祐二郎 (2003) FAKOPP によるスギクローンの非破壊的材質評価. 第 53 回日本木材学会研究発表要旨集: 55p
- 藤澤義武・柏木 学・井上祐二郎・倉本哲嗣・平岡裕一郎 (2005) 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
- 半田和彦 (2006) あをやしろの木. (秋田藩の武士社会. 半田和彦, 無明舎出版) 197-198
- 橋詰隼人 (1959) スギの花芽分化におよぼすジベレリンの影響. 日本林学会誌 41(10): 375-381
- 平尾知士・渡辺敦史・福田陽子・近藤禎二・高田克彦 (2006) SSR マーカーを利用したスギ精英樹のクローン識別. 日本森林学会誌 88(3): 202-205
- 池田潔彦・大森昭壽・有馬孝禮 (2000a) 応力波伝播速度による立木材質の評価と適用 (第 3 報) スギ精英樹立木の材質評価. 木材学会誌 46(6): 558-565
- 池田潔彦・大森昭壽・有馬孝禮 (2000b) 応力波伝播速度による立木材質の評価と適用 (第 3 報) スギ精英樹立木の材質評価. 木材学会誌 46(6): 558-565

- 加藤善忠・福原植勝・小林玲爾 (1959) ジベレリンによる針葉樹の花芽分化の促進 (第1報). 日本林学会誌, 41(8): 309-311
- 気象庁 (2017) 過去の気象データ検索. (<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>), 2017年9月25日閲覧
- 前田禎三 (1969) 第1章 分布と資源 第1節 天然分布. (新版 スギのすべて. 坂口勝美 監修, 社団法人全国林業改良普及協会) 8-27
- 松永恒司・古川恵司・原 昌道 (2002) 樽酒の成分について. 日本醸造協会誌 97(7): 529-534
- 三樹 茂 (1964) 青ヤジローもと柚夫の手記一 (第4回). 奥羽文学 (第二次) No. 13: 13-29
- Moriguchi Y, Iwata H, Ujino-Ihara T, Yoshimura K, Taira H, Tsumura Y (2003) Development and characterization of microsatellite markers for *Cryptomeria japonica* D. Don. Theoretical and Applied Genetics 106(4): 751-758
- 武藤 惇 (1998) スギの針葉型分布と適応性との関連を考える. 林木の育種 No. 187: 16-21
- 長岐喜代次 (1988) 秋田の地酒. (秋田藩の林政談義一みんなで考えよう山の履歴書一. 長岐喜代次, 長岐喜代次) 29-32
- 新田響平・金子智紀 (2016) スギ人工林における根張りの特質と選木指標としての妥当性. 秋田林業研究研修センター研究報告 No. 17: 1-13
- 農林水産種苗管理センター (1991) 国際種子検査規程. 農林水産種苗管理センター, 茨城
- 折原佑輔・和気洋子・宇都宮仁・青島 均 (2006) 樽酒の成分と生理活性への貯蔵期間の影響. 日本醸造協会誌 101(5): 349-356
- 小沢準二郎 (1962) 針葉樹のタネ 生産と管理. 地球出版, 東京
- 林木育種協会 (1981) 昭和55年度種苗特性分類調査報告書 スギ. 林木育種協会, 東京
- 林業試験場東北支場育林第1研究室 (1973) 永年性木本作物の育種における早期検定法の確立に関する研究. 林業試験場東北支場年報 No. 14: 17-18
- 林業種苗研究会 編 (1970) 第2章 林業種苗の品種・系統と育種 一わかり易い品種・系統の解説一. (林業種苗の生産・配布に必要な知識. 林業種苗研究会 編, 全国山林種苗協同組合連合会) 35-101
- 林野庁 (2002) 花粉の少ないスギ品種等供給緊急対策事業の実施について. 林野庁長官通知 (平成14年3月29日付け13林整研第287号)
- 齋藤秀樹 (1995) 林学からみたスギ花粉症. 耳鼻咽喉科臨床 補冊 1995(Supplement76): 6-19
- 齋藤真己 (2010) スギ花粉症対策品種の開発. 日本森林学会誌 92(6): 316-323
- 佐多一至 (1941) 杉の品種問題に関する研究の一端 (第1報). 日本林学会誌 23(9): 491-498
- 佐藤博文 (2017) 黄金色の希少な秋田スギ“アオヤジロ”. 森林遺伝育種 6(2): 69-73
- 佐藤博文, 澁谷 栄, 高田克彦 (2016) 希少な天然秋田スギ“アオヤジロ”の材質特性. 木材学会誌 62(5): 153-162
- 佐藤博文, 澁谷 栄, 高田克彦 (2017/11/27 受理) 希少な天然秋田スギ“アオヤジロ”における葉部色素含量の季節変化. 東北森林科学会

- 澤田智志・西園朋広・栗屋善雄・野堀嘉裕 (2007) 秋田スギ天然林を構成する個体の成長解析. 日本林学会誌 89(3): 200-207
- 四手井綱英 (1957) 大阪営林局管内の天然生スギの系統の分布について. 日本林学会誌 39(7): 270-273
- 篠崎夕子 (2005) 秋田県藤里町の秋田杉「アオヤジロ」. 東北の林木育種 No. 178: 7p
- Ohba K, Iwakawa M, Okada Y, Murai M (1971) Paternal transmission of a plastid anomaly in some reciprocal crosses of Sugi, *Cryptomeria japonica* D. Don. *Silvae Genetica* 20(4): 101-107
- 館 勇・木村良次 (1957) 第19編 木材化学実験法. (農芸化学実験書 第三巻. 京都大学農学部農芸化学教室編, 産業図書) 1219-1263
- 高橋教夫・入野彰夫 (2005) 180年生スギ人工林の構造について 樹冠を中心にして. (東北地方における長伐期施業研究の高度化に向けて 各機関の取り組みと今後の展望. 國崎貴嗣, 澤田智志, 東北森林科学会誌 10(1), 東北森林科学会) 55p
- 高尾佳史・山田 翼・古川恵司・溝口晴彦 (2012) 樽酒中の成分とその火落菌増殖抑制効果. 日本醸造協会誌 107(11): 868-874
- 田中波慈女 (1950) 北海道, 東北と熊本, 高知の森林視察記. (昭和三十五年現地指導報告. 林野庁 国有林課, 林野庁) 47-80
- Tani N, Takahashi T, Ujino-Ihara T, Iwata H, Yoshimura K, Tsumura Y (2004) Development and characteristics of microsatellite markers for sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) derived from microsatellite-enriched libraries. *Annals of Forest Science* 61(6): 569-575
- 帝国森林会 編 (1962) 日本老樹名木天然記念樹. 社団法人大日本山林会, 東京
- 東北森林管理局 (2008) 天然秋田スギの紹介. (<http://www.rinya.maff.go.jp/tohoku/policy/business/management/kyokyu/tensugi.html>), 2014年9月1日閲覧
- 坪村美代子・武津英太郎・渡辺敦史 (2013) 関東育種基本におけるスギ精英樹クローン雄花着花量の評価. 日本森林学会誌 95(3): 156-162
- 塚原初男 (1959) スギの挿木品種に関する研究 第1報 挿スギの新品種ニンジンバについて. 日本林学会九州支部大会講演集 No. 12: 18-19
- 上田弘一郎 (1950) スギの開花結実. (スギの研究. 佐藤彌太郎 監修, 養賢堂) 65-80

# ショウロ (*Rhizopogon roseolus*) を接種したクロマツの成長

鈴木 博美・菅原 冬樹

Growth of *Pinus thunbergii* inoculated with Shoro (*Rhizopogon roseolus*)

Hiromi Suzuki and Fuyuki Sugawara

## 要 旨

ショウロによるクロマツへの成長促進効果を明らかにするため、生及び凍結保存したショウロの子実体破碎液、孢子液、生の子実体破碎液を高圧滅菌処理した加水分解液をそれぞれ接種し、海岸砂地植栽後2年間の苗高、根長、地上部及び地下部乾燥重量を測定した。その結果、植栽1年目の調査では、生破碎液区は対照区に対して、地上部及び地下部乾燥重量で有意な成長が認められた。また、植栽2年目では、生破碎液区は対照区に対して、苗高、地上部及び地下部乾燥重量で成長が促進し、凍結破碎液区は地上部及び地下部乾燥重量で成長促進効果が認められた。一方、孢子液区による成長促進効果は認められなかった。さらに、菌根を確認した結果、孢子液区でも菌根の形成が確認されたが、破碎液区でより多くの菌根を確認した。以上の結果より、クロマツの成長に対しては、孢子と子実体組織の両者が混在した破碎液の接種が効果的であり、その要因は二核菌糸と孢子発芽がもたらす菌根形成率の違いであると推察された。

## I. はじめに

クロマツ (*Pinus thunbergii*) は海岸林を構成する主要な樹種であり、外生菌根菌と共生して菌根を形成する樹木である。外生菌根菌は土壤中に広範囲に菌糸を伸ばしリンなどのミネラルや水分を効率的に吸収し、それをクロマツに供給しているほか、菌糸が根を覆う (菌鞘) ことにより、菌根から出る抗菌物質が有害な微生物を抑え、病原菌に対する抵抗力を高める働きがあるとされている。また、外生菌根菌が植物の根に共生することで、植物自体に乾燥や凍結及び高温に対する耐性が高まるなど、さまざまな機能が知られている (金子ら1998, 二井ら2000)。このようにクロマツが乾燥した痩せた砂地でも健全に生育できるのは菌根の共生によるものと言われている。

海岸砂地で発生するきのこであるショウロ (*Rhizopogon roseolus*) は、クロマツの根に菌根を形成する典型的な外生菌根性きのこであり、海岸クロマツ林の健全性を示すきのことしても知られている (小川2007, 村井ら1992)。菌根共生の効果は、樹木の成長促進 (奈良2014, 能勢1992, 村山2004) や、マツ材線虫病の抑制 (玉田・更級2007)、耐塩性の向上 (羽田ら2013, 松田ら2005) なども示唆されている。また、長沢 (2001) は貧栄養や乾燥など海岸砂地の厳しい環境では、共生者としてのショウロの存在は特に成長初期のクロマツにとって極めて重要なものであると指摘しており、海岸クロマツ林の維持・保全などの観点からもショウロとクロマツの関係が注目されている。

一方、クロマツとショウロの共生によるクロマツ成長促進に関する報告は、*in vitro* で植物体に共生菌を感染させる二員培養による結果（石井ら 1993）や、自然あるいは簡易条件下で、接種から 1 年前後の短期間の試験結果が多く（村山 2004）、ショウロ感染苗植栽後の成長に関する報告は少ない。また、接種源は生の子実体破砕液や培養菌糸体に限定され（和歌山県林業試験場 2012）、胞子以外の組織の影響や子実体の凍結保存に関する報告はほとんどない。

そこで本研究では、ショウロによるクロマツへの成長促進効果を明らかにするため、生又は凍結した子実体など材料や保存方法を変えた感染苗を育成し、海岸砂地に植栽後 2 年間の成長について調査解析した。

## II. 材料と方法

### 1 クロマツ実生苗の育成

クロマツは、2011 年 10 月に秋田県林業研究研修センター内のマツノザイセンチュウ抵抗性クロマツ採種園から採取した種子を用いた。2012 年 3 月、播種前日に 300ml 容ビーカーに種子を入れ、24 時間、流水中で吸水処理を行った。その後、滅菌したパーミキュライトを充填した縦 490mm×横 340mm×深さ 100mm、底穴 2mm 角の育苗箱 12 箱に、1 箱当たり 100 粒播種した。播種した育苗箱を温度 20～35℃に制御されたガラス温室内に置き、必要に応じてかん水を行った。同年 6 月、1 箱あたりクロマツが 90 本となるように間引きを実施した。

### 2 ショウロ供試液の調製及び試験区の設定

2013 年 5 月に秋田県にかほ市の海岸クロマツ林から成熟したショウロ子実体約 500g を採取し、採取当日に -80℃で 6 ヶ月間凍結保存した。同年 10 月に、室温 20℃の環境下で自然解凍し、凍結処理の供試材料とした。また、2013 年 10 月に同地区で成熟したショウロ子実体を採取し、生処理の供試材料とした。クロマツ実生苗への供試液は、前述の生あるいは凍結した子実体について、それぞれ生重量 350 g に蒸留水 600 ml を加え、ミキサーで 10,000r. p. m.、10 秒間破砕・攪拌し、菌糸体と胞子が含まれる「生破砕液」と「凍結破砕液」を調製した。また、生あるいは凍結破砕液を 11G3 ガラスフィルターで濾過し、12,000r. p. m. で 10 分間遠心分離を行い、上清を捨て、蒸留水を加えボルテックスミクスチャーで懸濁し、洗浄した。その後、懸濁と洗浄を 2 回繰り返す。最終的に 600ml の蒸留水に懸濁し、 $10^7$  個/ml の胞子のみが含まれる「生胞子液」と「凍結胞子液」を調製した。さらに、生破砕液を高圧滅菌処理（118℃、30 分間）した「加水分解液」を調製した。試験区は、生破砕液区、凍結破砕液区、生胞子液区、凍結胞子液区、加水分解液区の 5 試験区及び蒸留水を用いた対照区とした（表-1）。

### 3 感染苗の育成

2013 年 10 月、クロマツ実生苗 1 本当たり 3ml の供試液を根圏に接種した。その後、接種した苗は、最低気温 5℃以上に制御したガラス温室内に置き、施肥は行わず、必要に応じてかん水を行い、1 年間育苗した（図-1）。供試本数は、一処理当たり 180 本とした。

#### 4 海岸砂地での成長量調査

2014年11月に潟上市天王字中浜山地内（以下、天王試験地）に試験地を設定した。試験地は、汀線から約50m離れており、シヨウロ未発生の砂地である。風衝や日射の環境が同一条件になるように試験区を配置し、20cm間隔で1試験区当たり45本ずつ植栽した（図-2）。植栽後は、クロマツが草本等により被圧を受けないように、毎年6月と8月に草本等を除去した。

測定は植栽前日の2014年11月、植栽から1年後の2015年11月及び2年後の2016年11月に各試験区のクロマツを無作為に5本掘り取り、苗高及び根長（最長の根の先端までの長さ）を測定し、目視により菌根を確認した。また、地上部及び地下部に分けて乾燥させた後（80℃、48時間）、乾燥重量を測定した。得られた結果については分散分析を行い、有意差が認められたものについては、さらにDunnett検定を行った。

表-1 供試液の保存方法と内容物

試験区	保存方法	供試液の内容物
対照区		蒸留水
生破碎液区	採取直後の	菌糸体＋孢子
生孢子液区	成熟した	孢子
加水分解液区	生の子実体	菌糸体＋孢子的加水分解物
凍結破碎液区	半年間-80℃	菌糸体＋孢子
凍結孢子液区	で凍結	孢子



図-1 温室内での育苗状況

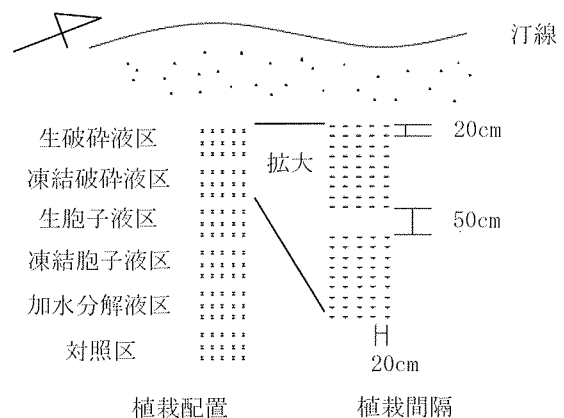


図-2 植栽方法模式図

### III. 結果

#### 1 海岸砂地植栽1年後のクロマツの成長

天王試験地における1成長期経過後のクロマツ成長量は表-2に示すとおりである。樹高は対照区(193.2mm)に対し、生破碎液区(251.6mm)、加水分解液区(200.0mm)、凍結破碎液区(204.4mm)で高く、



生孢子液区(180.2mm), 凍結孢子液区(176.2mm)で低かった。根長は対照区(131.0mm)に対し, 生破碎液区(173.8mm), 生孢子液区(161.2mm), 凍結破碎液区(169.0mm)で長く, 加水分解液区(128.8mm), 凍結孢子液区(127.4mm)で短かった。地上部乾燥重量は対照区(618.6mg)に対し, 生破碎液区(1971.2mg), 加水分解液区(750.9mg), 凍結破碎液区(1105.1mg)で成長量が多く, 生孢子液区(566.0mg), 凍結孢子液区(526.5mg)で成長量が少なかった。地下部乾燥重量は対照区(195.4mg)に対し, 生破碎液区(542.0mg), 生孢子液区(220.6mg), 凍結破碎液区(434.2mg)で成長量が多く, 加水分解液区(169.9mg), 凍結孢子液区(198.5mg)で成長量が少なかった。検定の結果, 生破碎液区は対照区に対し, 地上部及び地下部乾燥重量で5%水準で有意に重かった。

一方, 菌根を観察した結果, すべての試験区で確認できたが, 生破碎液区で菌根の発達が顕著であった(図-3, 4)。

表-2 植栽1年後のクロマツの成長

試験区	苗高(mm)	根長(mm)	地上部乾燥重量(mg)	地下部乾燥重量(mg)
対照区	193.2 ± 15.2	131.0 ± 15.3	618.6 ± 93.8	195.4 ± 18.3
生破碎液区	251.6 ± 12.9	173.8 ± 7.8	1971.2 <sup>*</sup> ± 108.9	542.0 <sup>*</sup> ± 38.1
生孢子液区	180.2 ± 5.2	161.2 ± 18.3	566.0 ± 83.7	220.6 ± 32.3
加水分解液区	200.0 ± 9.9	128.8 ± 12.3	750.9 ± 83.2	169.9 ± 26.0
凍結破碎液区	204.4 ± 9.2	169.0 ± 14.7	1105.1 ± 188.4	434.2 ± 95.3
凍結孢子液区	176.2 ± 5.2	127.4 ± 19.0	526.5 ± 49.4	198.5 ± 25.5

数値は, 平均値±標準誤差を示す

※: 対照区と有意差あり (Dunnett's test p<0.05)

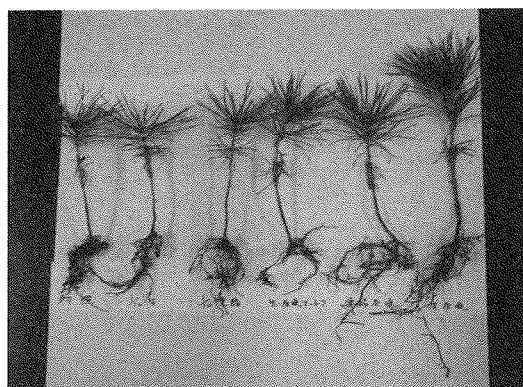


図-3 植栽1年後の生育状況

左から対照区, 生孢子液区, 凍結孢子液区, 加水分解液区, 凍結破碎液区, 生破碎液区



図-4 生破碎液区のクロマツの菌根

## 2 海岸砂地植栽2年後のクロマツの成長

植栽後2成長期経過後のクロマツ成長量は表-3に示すとおりである。樹高は対照区(205.0mm)に対し, 生破碎液区(316.0mm), 凍結破碎液区(290.8mm)で1.5倍以上の上長成長を示し, 生孢子液区

(225.4mm), 加水分解液区(212.0mm)で高く, 凍結胞子液区(190.0mm)で低くなった。根長は対照区(162.4mm)に対し, 生破碎液区(177.2mm), 凍結破碎液区(179.4mm)で長く, 生胞子液区(149.0mm), 加水分解液区(135.6mm), 凍結胞子液区(149.4mm)で短かった。地上部乾燥重量は対照区(1625.7mg)に対し, 生破碎液区(4940.4mg), 凍結破碎液区(4075.2mg)で2倍以上の成長量となり, 生胞子液区(1392.4mg), 加水分解液区(1526.5mg), 凍結胞子液区(1136.6mg)で成長量が少なかった。地下部乾燥重量は対照区(460.5mg)に対し, 生破碎液区(966.6mg), 凍結破碎液区(958.2mg)で2倍以上の成長量となり, 生胞子液区(326.3mg), 加水分解液区(373.2mg), 凍結胞子液区(318.1mg)で成長量が少なかった。検定の結果, 生破碎液区は対照区に対し, 5%水準で有意に樹高が高く, 地上部及び地下部乾燥重量で有意に重かった。また, 凍結破碎液区は対照区に比べ, 地上部及び地下部乾燥重量で5%水準で有意に重かった。

一方, 菌根を観察した結果, すべての試験区で確認できたが, 生及び凍結破碎液区で菌根の発達が顕著であった(図-5)。

表-3 植栽2年後のクロマツの成長

試験区	苗高(mm)	根長(mm)	地上部乾燥重量(mg)	地下部乾燥重量(mg)
対照区	205.0 ± 9.0	162.4 ± 23.6	1625.7 ± 146.1	460.5 ± 32.2
生破碎液区	316.0 <sup>※</sup> ± 8.3	177.2 ± 5.0	4940.4 <sup>※</sup> ± 348.3	966.6 <sup>※</sup> ± 53.3
生胞子液区	225.4 ± 21.8	149.0 ± 9.7	1392.4 ± 240.1	326.3 ± 61.1
加水分解液区	212.0 ± 10.8	135.6 ± 14.8	1526.5 ± 225.5	373.2 ± 56.0
凍結破碎液区	290.8 ± 18.7	179.4 ± 14.7	4075.2 <sup>※</sup> ± 562.0	958.2 <sup>※</sup> ± 88.7
凍結胞子液区	190.0 ± 20.0	149.4 ± 8.3	1136.6 ± 154.9	318.1 ± 37.5

数値は, 平均値±標準誤差を示す

※: 対照区と有意差あり (Dunnett's test  $p < 0.05$ )



図-5 植栽2年後の生育状況

左から対照区, 生胞子液区, 凍結胞子液区, 加水分解液区,  
凍結破碎液区, 生破碎液区

#### IV. 考 察

ショウロによるクロマツへの成長促進効果を明らかにするため、生又は凍結等調製方法を変えた感染苗を育成し、海岸砂地に実植したクロマツの成長を調査した。その結果、植栽1年目は、生破碎液区の地上部及び地下部乾燥重量が有意に重く、成長が促進されていた。また、植栽2年目は、生破碎液区の樹高が有意に高く、生及び凍結破碎液区でも地上部及び地下部乾燥重量が有意に重いことから成長促進効果として認められた。効果が最も顕著であったクロマツの地上部及び地下部乾燥重量について、感染苗の段階から植栽2年目までの変化を図-6に示す。これによると、感染苗の段階では対照区との成長に統計上有意となるほどの差は認められなかったものの、海岸砂地植栽以降は、生及び凍結破碎液区で有意差が認められ、生育年数が増えるほどその効果は顕著となっていた。

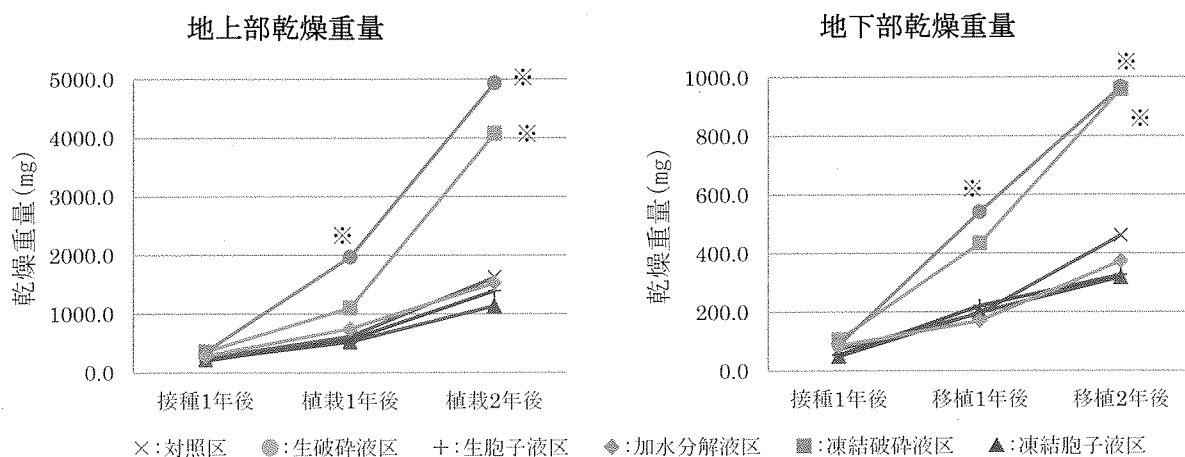
能勢(1992)は、ショウロとクロマツ間で植栽1年目の菌根数とクロマツの成長について調査し、菌根数が多いほど苗高が高くなることを示唆している。また、金子ら(1998)は、外生菌根菌(コツブタケ)とアカマツ間で菌根の形成量と植物の成長量に正の相関があり、外生菌根菌がリンや窒素などの利用に大きく関わっていることを明らかにした。さらに、香川ら(2003)は、菌根量とクロマツの細根量との間には正の相関があり、菌根が形成されると活発な根の分岐が起こることから、細根の量が増え、菌根量も多くなると示唆している。本試験における菌根形成の実態を見ると、感染苗の段階では対照区及び加水分解液区において菌根は認められなかったものの、胞子液区で菌根の形成が確認され、破碎液区でより多くの菌根を確認した。植栽1年目はすべての試験区で菌根を確認できたが、特に生破碎液区で菌根の発達が顕著であった。植栽2年目は破碎液区で菌根の発達が顕著に確認され、地上部や地下部の成長とほぼ対応していた。これらの結果は、能勢や金子ら、香川らの報告と一致しており、クロマツの成長には菌根の形成が深く関与していることが明らかとなった。

一方、菌根の形成には二核菌糸あるいは発芽した胞子から成長した一核菌糸が必要とされている。感染苗の段階では、胞子液区と破碎液区の胞子数が同数あるにもかかわらず、胞子液区に比べ破碎液区で菌根が多く確認された。その要因として、胞子の発芽が関与していると考えられる。外生菌根菌の胞子発芽率は極めて低い、胞子発芽促進物質として子実体組織成分である有機酸(n-酪酸)が知られている(太田1986)。破碎液には二核菌糸と胞子及び有機酸が含まれていることから、破碎液区では有機酸により胞子発芽率が向上し、一核菌糸と二核菌糸の感染により多くの菌根が形成されたと考えられる。また、胞子液区には有機酸が含まれないことから胞子発芽率が低く、破碎液区に対し菌根の形成に差が生じたと推察される。つまり、破碎液区の有機酸が胞子発芽促進物質として機能し、二核菌糸が菌根を形成するとともに、胞子から発芽した一核菌糸が菌根を形成した結果、成長が促進されたものと考えられた。

しかし、海岸砂地植栽1年目のクロマツの成長量において、凍結破碎液区では生破碎区と内容物が同一であるにも係わらず成長促進効果が認められなかった。この成長量の差は、凍結保存による細胞のネクロシスに起因していると考えられる。担子菌類の菌糸体や胞子を凍結保存した場合、凍結温度や保存期間の長期化により生存率や発芽率が低下することが知られている(古川1992)。凍結破碎液区は、子実体を凍結保存したことで菌糸細胞や胞子細胞が損傷を受け、生存している菌糸体や胞子

数が減少した結果、菌根形成率が低下したと考えられる。生破碎液区と比較して凍結破碎液区で菌根が少ないことから、菌根を介したクロマツへの養分の転流量が減少したことで、成長に差が生じたものと推察される。

以上の結果より、クロマツの成長に対しては、孢子と子実体組織の両者が混在した破碎液の接種が効果的であり、その要因は二核菌糸と孢子発芽がもたらす菌根形成率の違いであると推察された。また、凍結保存した子実体の破碎液で植栽2年目に成長促進効果が確認されたことから、自然発生したショウロを凍結保存することで、生のショウロが収穫できない時期においても接種源として利用できることが明らかとなった。



※対照区と有意差あり (Dunnett's test  $p < 0.05$ )

図-6 供試液接種後のクロマツの3年間の成長量変化

## 謝 辞

本研究の遂行にあたり、試験地の提供等でご協力を頂いた潟上市の菊池宗太郎氏に厚く感謝申し上げます。

## 引用文献

- 古川久彦 (1992) きのこと学. 450pp, 共立出版株式会社, 東京
- 二井一禎ら (2000) 森林微生物生態学. 322pp, 朝倉書店, 東京
- 羽田雄一ら (2013) 外生菌根菌と炭化物を活用したクロマツ育種手法について. 樹木医学研究 17(2) : 68-69
- 香川珠実 (2003) 海岸クロマツ林における外生菌根の分布. 九州森林研究 56 : 207-209
- 金子繁ら (1998) ブナ林をはぐくむ菌類. 229pp, 文一総合出版, 東京
- 松田陽介・伊藤進一郎 (2005) 森林における外生菌根菌のはらたき. 森林科学 45 : 32-39
- 村井宏ら (1992) 日本の海岸林. 513pp, ソフトサイエンス社, 東京
- 村山保裕 (2004) 木炭, 外生菌根菌資材施用によるクロマツ苗木の活着と成長. 静岡県林業技術センター研究報告 32 : 19-24
- 長沢栄史 (2001) 海岸林における松露栽培. 日本砂丘学会誌 47 : 140-143
- 奈良一秀 (2014) 木を育て、森を生み出す微生物「菌根菌」. 森林科学 70 : 31-34
- 能勢育夫 (1992) クロマツ稚苗の生長に及ぼすショウロと活性炭の効果. 石川県林業試験場研究報告 23 : 31-34
- 小川眞 (2007) 炭と菌根でよみがえるマツ. 323pp, 築地書館, 東京
- 太田明 (1986) マツタケの担子胞子の発芽 (I) 担子胞子の膨潤と発芽に対する有機酸の効果. 日菌報 27 : 167-173
- 石井克明ら (1993) 容器内でのクロマツ, クヌギへの共生菌の接種による二員培養. 植物組織培養 10(1) : 84-88
- 玉田克志・更級彰史 (2007) ショウロ子実体形成試験及びその菌根合成によるマツ材線虫病発病抑制効果. 東北森林科学会誌 12(2) : 81-84
- 玉田克志・更級彰史 (2010) 菌根性きのこの人工栽培技術に関する研究—ショウロ菌根合成苗の作出及び野外栽培技術の開発—. 宮城県林業技術総合センター成果報告 19 : 12-17
- 和歌山県林業試験場 (2012) 松露 (ショウロ) を活用した松林保全マニュアル

## 研究報告 (第 25 号)

平成 3 0 年 3 月 発行

編 集 編集委員長 高田 清晃

編 集 委員 金子 智紀, 須田 邦裕, 菅原 冬樹, 松本 浩和, 草薨 光

発 行 秋田県秋田市河辺戸島字井戸尻台 4 7 - 2

秋田県林業研究研修センター

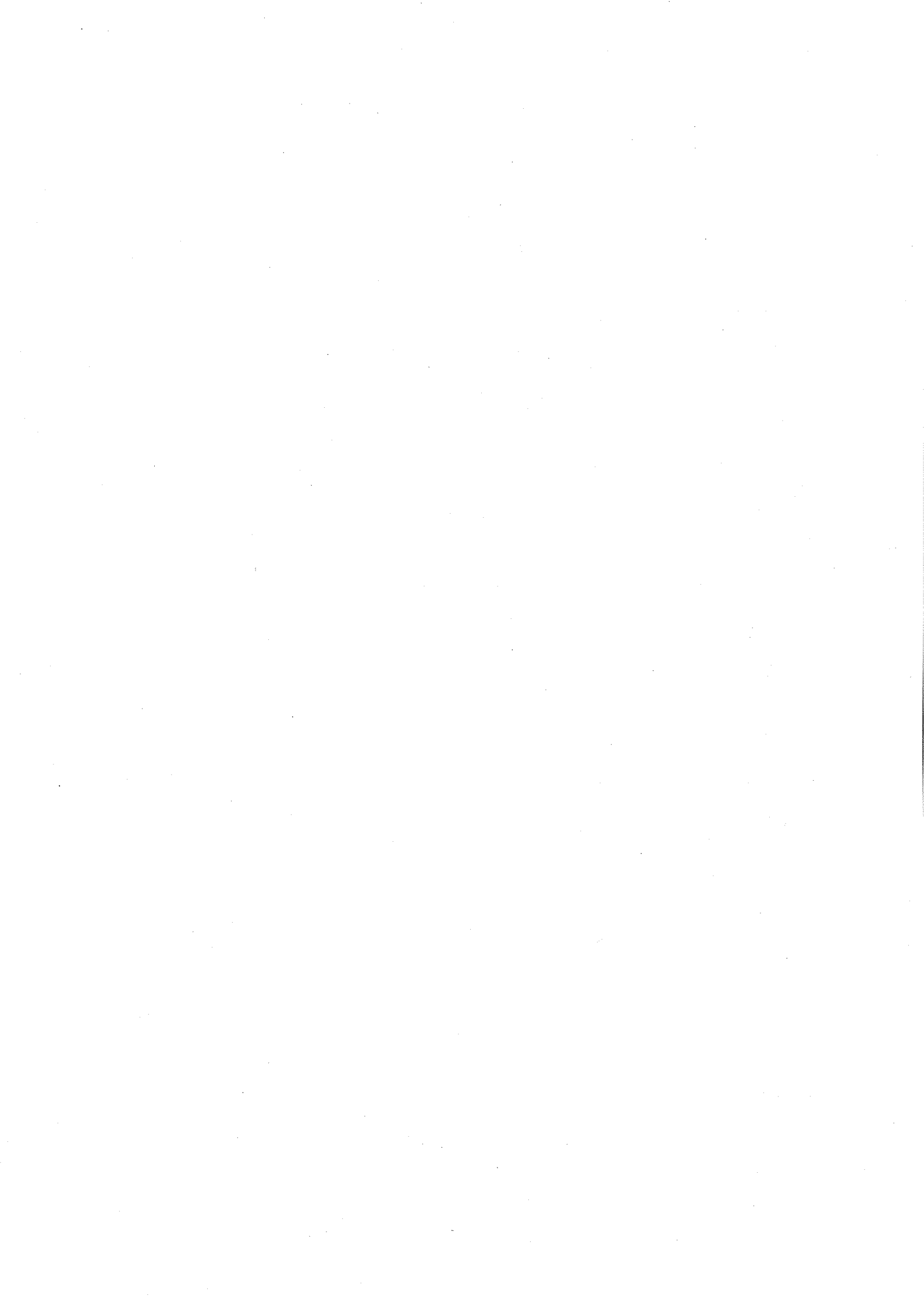
郵便番号 019-2611

T E L 018-882-4511

F A X 018-882-4443

U R L <http://www.pref.akita.lg.jp>

e-mail [forest-c@pref.akita.lg.jp](mailto:forest-c@pref.akita.lg.jp)



BULLETIN  
OF  
THE AKITA FOREST RESEACH AND TRAINING CENTER  
No.25 2018.3

1. Establishment of new forest management for broad-leaved forests of  
Satoyama in Akita prefecture, Japan.

Satoru Wada · Yoshito Narita · Kyohei Nitta ····· 1 ~ 18

2. Studies on characterization and utilization of rare natural cedar “Aoyajiro”  
(*Cryptomeria japonica*) in Akita prefecture.

Hirofumi Sato ····· 19 ~ 41

3. Growth of *Pinus thunbergii* inoculated with Shoro (*Rhizopogon roseolus*)

Hiromi Suzuki · Fuyuki Sugawara ····· 42 ~ 49