

## スギの第二世代精英樹候補木を母樹とするコンテナ苗の初期成長に及ぼす

### 出荷規格の影響

山野邊太郎<sup>1</sup>・大平峰子<sup>1</sup>・千葉一美<sup>1</sup>・永野聡一郎<sup>1</sup>・坪村美代子<sup>1</sup>・  
高島有哉<sup>1,2</sup>・宮下久哉<sup>1,2</sup>・楠城時彦<sup>1,3</sup>・加藤一隆<sup>1,4</sup>・高橋誠<sup>1</sup>

- 1 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター
- 2 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター関西育種場
- 3 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所
- 4 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター北海道育種場

**要旨：**スギコンテナ苗の出荷規格が、植栽後の成長に及ぼす影響について調べるために、第二世代精英樹候補木から得た人工交配種子でコンテナ苗を育成し、林野庁の山林用主要苗木の標準規格で分類した上で2か所の林地に植栽し、秋の樹高を植栽後3年間測定した。その結果、いずれの測定時期においても、サイズの大きい出荷規格の苗木の方が樹高の中央値は高くなった。ただし、植栽後の経過期間が長くなるにつれて各出荷規格内で樹高のばらつきが増大し、出荷規格間差は2成長期以降検出されなくなった。このことから、細かい出荷規格により苗を選別して植栽しても、造林後の下刈り期間を短縮できるほどの樹高成長の違いは現れないと考えられた。

**キーワード：**樹高成長, Holm 調整, Fisher の正確率検定, 林野庁山林用主要苗木標準規格

### Effect of shipping standards on the early growth of container seedlings derived from the Japanese cedar second-generation plus tree candidates

Taro YAMANOBE<sup>1</sup>, Mineko OHIRA<sup>1</sup>, Kazumi CHIBA<sup>1</sup>, Soichiro NAGANO<sup>1</sup>, Miyoko TSUBOMURA<sup>1</sup>,  
Yuya TAKASHIMA<sup>1,2</sup>, Hisaya MIYASHITA<sup>1,2</sup>, Tokihiko NANJO<sup>1,3</sup>, Kazutaka KATO<sup>1,4</sup>, Makoto TAKAHASHI<sup>1</sup>

- 1 Forest Tree Breeding Center, Forestry and Forest Products Research Institute
- 2 Kansai regional breeding office, Forest Tree Breeding Center, Forestry and Forest Products Research Institute
- 3 Forestry and Forest Products Research Institute
- 4 Hokkaido regional breeding office, Forest Tree Breeding Center, Forestry and Forest Products Research Institute

**Abstract:** Container seedlings were cultivated from seeds obtained from the controlled crosses among the Japanese cedar second-generation plus tree candidates and were planted at two forest areas after size classification based on the standards presented by the Forestry Agency. The tree height was measured in autumn for three years to investigate the effect of size class based on shipping standards of container seedlings on the early growth in Japanese cedar. As a result, the larger the class size of seedlings, the higher is the median of tree height at any measurement timing. However, as the time elapsed after planting, the variation of tree height within each size class increased, and the difference in tree height among the size classes became almost undetectable after the second growth period. Therefore, even if the seedlings were selected according to the shipping standards before planting, there would be no difference in the height growth enough to shorten the weeding period.

**Key-word:** Fisher's exact test, height growth, Holm adjustment, shipping standard of container seedlings set by Forestry Agency

#### I はじめに

平成 20 年代に入ってコンテナ苗を活用したスギ造林が日本各地に徐々に普及した。このような中、造林資材として用いられるコンテナ苗の形状について、平成 26 年度に林野庁から標準とする出荷規格が示された。以降、

これを参考に、流通の現場を担う都道府県ごとに、行政および苗木生産の協同組合が設けた出荷規格に準拠してコンテナ苗生産が進められている。一方、この出荷規格が、植栽後の成長に及ぼす影響については、検証があまり進んでいない。本研究では、将来造林資材の主力とな

っていく特定母樹の選抜母集団である第二世代精英樹候補木同士の人工交配によって得られた種子でコンテナ苗を育成し、林野庁の山林用主要苗木の標準規格（以下、「規格」）で1号から6号までに分類した上で林地に植栽し、秋の樹高を植栽後3成長期測定した。

## II 材料と方法

**1. 調査地** 調査地は関前 81 号検定林（福島県いわき市，以下「関前 81 号」）および関東 78 号検定林（茨城県常陸太田市，以下「関東 78 号」）である。いずれも，スギ第二世代精英樹候補木（以下，「G2 候補」）を親とする育種集団林で，それぞれ 2018 年 5 月及び 2017 年 5 月に設定された。いずれも 2.2 m×2.2 m の植栽間隔で方形に配植されている。なお，各試験地の前生樹種はそれぞれスギおよびヒノキであった。

### 2. 植栽苗

植栽苗はスギ G2 候補を両親とする人工交配種子による 1 年数か月生のコンテナ苗で，茨城県日立市の国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター構内で育成された（表-1，(5)）。育成された苗から，関前 81 号および関東 78 号でそれぞれ苗高 30 cm 以上かつ地際径 3.5 mm 以上および苗高 25 cm 以上かつ地際径 3 mm 以上のものを選別して植栽に供した。交配組み合わせ（以下，「家系」）あたりで得られた苗本数が多く，減じて植栽に供する場合は，交配組み合わせあたりの平均値と標準偏差が極端に変化しないように，減ずる個体のサイズを大小さまざまなものとした。

### 3. 調査

植栽に先立ち，各個体に ID を付し，植栽直前の 4 月に苗の高さおよび地際径を測定した。両試験地とも植栽時には苗の伸長が始まっていたため，植栽約一か月後に植栽年における伸長の始点の地上高を伸長開始高として測定し，以降，植栽後 3 成長期経過後まで毎年 10 月下旬～11 月下旬に樹高を追跡測定した。

### 4. 解析

調査した個体のうち，すべての調査時期で測定値に欠落がなく，また，家系あたり 8 本以上データが取得できた家系の個体を解析対象とした（関前 81 号および関東 78 号でそれぞれ 23 家系 236 個体および 10 家系 296 個体）。従属変数を各測定時期の樹高および測定した樹高に至るまでの過去 1 成長期における伸長量（以下伸長量）とした。苗の規格と家系の関係については，2 元表を作成し，Fisher の正確確率検定で独立性を検定した。スギの樹高成長においては家系間差がしばしば検出されるため，家系が規格と従属変数の関係に与える影響

表-1. 植栽したコンテナ苗の育成方法

Table 1 Cultivation records of the growth of container seedlings

項目	関前 81 号植栽苗	関東 78 号植栽苗
種子	ブース内交配**	袋掛けによる人工交配
芽生え	市販の種まき用土に行い，温室（壁材はポリカーボネート波板）内で 1 分/回×6 回/日のミスト灌水下で育成	
播種	2017 年 3 月下旬	2016 年 4 月中旬
容器	Mstar コンテナ。東海化成製トレー（TO-40T）使用	
培土および元肥***	ココピートオールドと赤土を容積比 2:1 で混和したものに元肥としてマイクロロングトータル 280（ジェイカムアグリ社製）を 20 g/L および苦土石灰 4 g/L を添加	
芽生え	ファイロン室内で 1 分/回×1 回/日のミスト灌水下におき，梅雨に入ってから後述する環境へ移動し，8 月上旬にハイコ	
移植後の育成	ントロール 085（ジェイカムアグリ社製）を 4 g/個体の要領で追肥するとともに，トレーの全孔に配置していた苗を千鳥配置（育成密度：追肥前 230 本/m <sup>2</sup> ，追肥後 115 本/m <sup>2</sup> ）	
梅雨以降の育成環境	遮光率 50% の寒冷紗を張ったビニルハウス用フレーム下で 15 分/回×4 回/日の灌水	日覆いなしのガラス室内で 1 日 10 分/回×1 回/日の灌水

\*, ブース内交配については文献 (1) を参照。\*\*, 花粉親については SSR マーカーにより同定。\*\*\*, 施肥量の検討については文献 (3) を参照。

を解析するために，まず，独立変数を規格（固定効果）および家系（変量効果）として，誤差構造が正規分布であることを仮定した線形混合モデル（LMM）による解析を行った（R, lme4 パッケージの関数 lmer）。変数選択については，規格を除いた家系みのモデル（m1），規格に加えて家系が切片として関与するモデル（m2），家系が傾きとして関与するモデル（m3）の 3 通りを試行し，AIC 最小のモデルについては，誤差構造の正規性をシャピロ・ウィルク法によって検定した（R, performance パッケージの関数 check\_normality）。誤差の正規性が棄却された場合はモデル不適合としてモデルによる解析を終了した。正規性が棄却されず，また，規格が独立変数として選択された場合は，規格を固定効果および家系と空間誤差を変量効果とした線形混合モデルにより立地の影響を除去した家系の BLUP 値を算出した（2, 4）（R, breedR パッケージの関数 remlf90）。今回のデータにおいては，従属変数の誤差構造が正規分布に従わない場合も想定された。そこで，規格が従属変数に与える影響の解析については，従属変数ごとにその平均値を閾値として閾値を超えた個体に 1，閾値を超えなかった個体に 0 となるダミー属性を与え，このダミー属性と 2 つ規格で 2 元表を作成し，その独立性を Fisher の正確確率検定を使

用し規格間組み合わせ総当たりで検定した。この検定結果については、ファミリーワイズエラー率を制御するために Holm 調整をした  $p$  値により有意差の有無を判断した。なお、この規格が従属変数に与える影響の解析は、従属変数の測定値から家系の BLUP 値を減じた調整値についても、行った。

### III 結果と考察

家系ごとに植栽した規格の割合は異なり、単一の方法でコンテナ苗を育成しても、得られる苗のサイズは家系により大きく異なることが分かった (図-1, Fisher の正確確率検定,  $p < 0.05$ )。

樹高成長および成長期ごとの伸長量は、いずれも前生樹がスギである関前 81 号の方が、前生樹がヒノキである関東 78 号より大きかった。関前 81 号では 3 成長期後の樹高中央値が 2.8 m に達し、スギ G2 候補はスギ適地であれば 3 年で下刈りが終了できる造林資材となりうることが伺えた (図-2 上段)。両検定林を通じて成長期あたりの伸長量は植栽年では短く、翌年以降は同程度となり、仮にプランティングショックが植栽後の成長に影響しているとしても、その影響は 2 成長期目には解消されていると考えられた (図-2)。

LMM について、関前 81 号の樹高ではいずれの調査時期においても m2 が AIC 最小で、その誤差の正規性は棄却されず、m1 に対する尤度比検定は  $p < 0.05$  となった。このことから、樹高は規格に家系をランダム切片として加えたモデルで表現でき、規格は樹高に影響すると考え

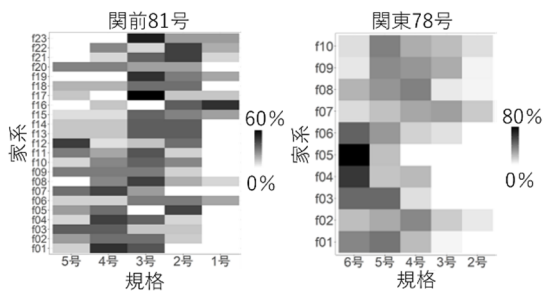


図-1. 家系ごとの規格出現率。植栽本数に占める各規格の本数を家系ごとに割合で示した。ヒートマップの濃淡が割合の大小を示す。各家系の植栽本数は、関前 81 号および関前 78 号でそれぞれ 8~14 本および 11 本~48 本。

Fig. 1 Ratio of shipping standard within family. Dark cell represents high ratio compared to pale cell. Number of planted seedlings were 8-14 and 11-48 in Kanmae81 and Kanto78, respectively.

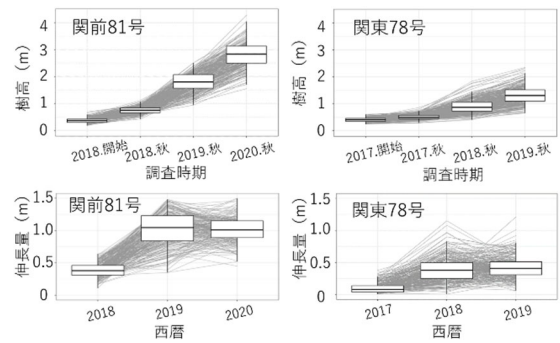


図-2. 解析対象個体の樹高(上段)および伸長量(下段)の経時変化。

Fig. 2 Height (upper) and vertical elongation (lower) of planted seedlings.

られた。一方、関前 81 号の伸長量については、2018 年および 2019 年の成長期で m1 が AIC 最小となり、その誤差の正規性は棄却されなかったため、規格は伸長量に影響しにくいと考えられた。関前 81 号の 2020 年の伸長量および関東 78 号のすべての従属変数では、AIC 最小モデルの誤差の正規性は棄却され、規格と家系によるモデルを利用した検討はできなかった (表-2)。

関前 81 号の樹高の家系 BLUP 値の順位は、植栽 2 成長期経過時の 2019 年 11 月まで大きく変動し、2020 年の成長期における順位変動は比較的小さかった (図-3 上段)。家系、空間誤差およびその他誤差の分散成分の寄与率について、植栽時 10% だった家系の寄与率は 3 成長期経過後の 2020 年 11 月には 35% に達した (図-3 下段)。

表-2. 線形混合モデルによる解析結果

Table 2 Result of linear mixed-model analyses

従属変数	AIC*			尤度比 検定**	正規性 検定***
	m1	m2	m3		
<b>関前 81 号</b>					
'18 年秋樹高	-328.2	<b>-402.1</b>	-384.3	0.00	0.367
'19 年秋樹高	113.7	<b>94.8</b>	111.7	0.00	0.111
'20 年秋樹高	240.6	<b>223.1</b>	240.0	0.00	0.739
'18 年伸長量	<b>-392.4</b>	-385.6	-362.4	0.87	0.451
'19 年伸長量	<b>20.6</b>	21.6	43.6	0.14	0.109
'20 年伸長量	<b>-75.1</b>	-72.9	-47.6	0.21	0.000
<b>関東 78 号</b>					
'17 年秋樹高	-593.3	<b>-654.1</b>	-629.9	0.00	0.000
'18 年秋樹高	4.3	<b>-0.1</b>	17.9	0.01	0.000
'19 年秋樹高	182.8	<b>179.7</b>	191.5	0.03	0.002
'17 年伸長量	<b>-691.7</b>	-692.6	-667.6	0.06	0.000
'18 年伸長量	<b>-129.8</b>	-124.7	-103.7	0.59	0.000
'19 年伸長量	<b>-200.1</b>	-196.9	-171.7	0.31	0.000

\*、各従属変数で最小の AIC を太字にした。\*\*, m2 に対する m1 の尤度比検定の  $p$  値。\*\*\*, AIC 最小モデルにおける正規性検定の  $p$  値。

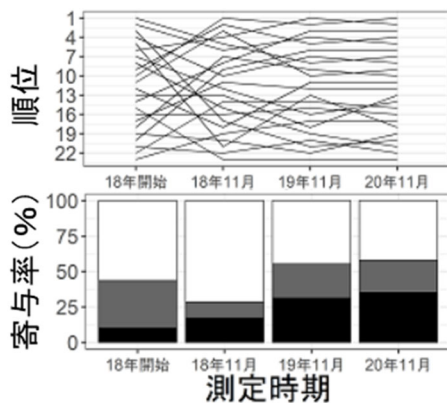


図-3. 関前 81 号における樹高 BLUP 値の家系間順位 (上段)および分散成分の寄与率(下段)の経時変化。順位は、各折線が各家系。寄与率は黒、灰色および白がそれぞれ家系、空間誤差および他の誤差。

Fig. 3 Family ranking of BLUP value (upper) and Temporal changes of variance components (lower) in tree height. Each line represents the growth rank of each family. Black, gray, and white represent familial, spatial, and other variance contributions in Kanmae81.

これら結果から、家系を選んで植林する効果は、植栽2成長期後以降に現れてくると考えられた。

規格が従属変数に与える影響については、LMMにおいて規格をモデルに含むm2が最小になった樹高のみについて検討した。観察値をそのまま解析した場合、検定林および調査時期を通じて、各規格における樹高の中央値は形状が大きい規格ほど大きくなった(図-4左列および右列)。しかし、1成長期経過後は多くの規格間に統計的な有意差が認められたが、下刈り省略を検討する2成長期目以降には検出されなかった(図-4左列および右列)。一方で、関前81号について、測定値から家系BLUP値を減じた調整値で解析を試みたところ、すべての調査時期を通じて、有意差の検出力が向上した(図-4中列)。このことから、樹高の規格間差が植栽後の時間経過にとともに不鮮明になっていく一つの理由として、時間経過にともなう家系間差の増大が考えられた(図-3下段)。

以上、植栽直後の成長、言い換えれば下刈り省力化という観点において、規格を細かく分類して植栽する効果は期待できないと考えられた。ただし、規格は、生産地から植栽までの苗の取り扱いの簡便さに影響を与える可能性があるため、この点は別途検討を行う必要があると考えられる。

謝辞：本研究は農林水産省による戦略的プロジェクト研

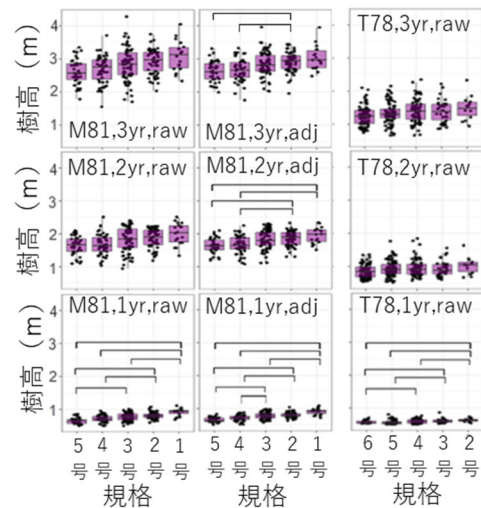


図-4. 樹高の規格間差。M81は関前81号、T78は関東78号、1~3yrは1~3成長期経過後、rawは測定値を解析、adjは測定値から家系BLUP値を減じた値を解析。線をつないだ規格間に有意差が認められる(Holm調整した総当たりのFisherの正確確率検定、 $p < 0.05$ )

Fig. 4 Difference of tree heights among the shipping standards. Abbreviations used in the figure are as follows: M81 and T78, test sites; raw, using height of raw value in analyses; adj, using adjusted height of raw value minus familial BLUP value. Statistical difference was detected between two standards connected by line (Fisher's exact test with Holm adjustment,  $p < 0.05$ ).

究推進事業「成長に優れた苗木を活用した施業モデルの開発」(18064868)による支援により推進した。

#### 引用文献

- (1) 栗田学・山野邊太郎・平岡裕一郎(2017)高精度、高効率な交配種子生産技術の開発。新世代林業種苗を短期間で作出するための技術の開発(プロジェクト研究成果シリーズ571):56-65,農林水産技術会議,東京。
- (2) Muñoz F(2017) BreedR Overview. <https://raw.githubusercontent.com/wiki/famuvie/breedR/Overview.pdf>(アクセス日2021年11月5日)
- (3) 大平峰子・松下通也(2019)施肥量がスギ実生コンテナ苗の成長に及ぼす影響。日本森林学会誌101:109-114
- (4) 佐々木義之(2007)変量効果の推定とBLUP法。426pp,京大学術出版会,京都。
- (5) 山野邊太郎・大平峰子・久保田権(2019)林木育種センターにおける検定林造成を目的としたスギ1年生コンテナ苗育成の試行。森林遺伝育種8:172-177