

論文

植栽後7年次までのコウヨウザンとスギの系統別の成長比較*1

大塚次郎*2・磯田圭哉*3・後藤誠也*2・松永孝治*2・倉原雄二*2・倉本哲嗣*3
久保田正裕*2・近藤禎二*3・生方正俊*3

大塚次郎・磯田圭哉・後藤誠也・松永孝治・倉原雄二・倉本哲嗣・久保田正裕・近藤禎二・生方正俊：植栽後7年次までのコウヨウザンとスギの系統別の成長比較 九州森林研究 72：29－32，2019 宮崎県えびの市の国有林内に平成24年に設定した検定林内のコウヨウザン植栽木について，DNA分析による系統および家系の判別を実施し，この結果をもとに植栽後3から5年次および7年次の調査データを用いて，コウヨウザンとスギの系統別の成長の比較をおこなった。コウヨウザン天峨1×風山1（実生）と菊池クローンB（さし木），スギ特定母樹の県始良4号（さし木）の3年次の平均樹高は2mを超えており，各年次で天峨1×風山1は県始良4号の平均樹高，平均胸高直径を有意に上回った。菊池クローンBも各年次で県始良4号と同等以上の成長を示し，これらも含めてスギ生育適地での複数のコウヨウザン実生家系およびさし木系統の植栽後初期における優れた成長性が示された。コウヨウザンの単一の自殖家系の購入苗（実生）の成長は非常に悪かったが，他の自殖2家系は他殖に劣る傾向はあったものの良好な成長を示した。

キーワード：実生，さし木，自殖，平均樹高，平均胸高直径

I. はじめに

コウヨウザン (*Cunninghamia lanceolata*) は成長や材質が優れていることから新たな早生造林樹種としての期待が高まっている。熊本県菊池市の30年生の林分では，平均樹高は17.2m，胸高直径は18.9cm，林分材積は867 m³/haで隣接して植栽された同林齢のスギ林分に比べ，それぞれ108%，103%，142%であったと報告されており(10)，茨城県日立市の21年生の林分では林分材積が423 m³/haで同齢のスギ一等地の2倍以上の優れた成長を示している(6)。このほか，千葉，京都および広島約30から60年生のコウヨウザン林分でも同様に優れた成長を示した(7)。さらに，広島の約60年生の林分はDNA分析の結果から複数のさし木クローンで構成されており，系統間で成長量および成長パターンに違いが認められている(2)。

他方，日本においてコウヨウザンの植栽後初期の系統別の成長を具体的に示した報告事例はない。今回，宮崎県えびの市の国有林内に設定した検定林における植栽後7年次までのコウヨウザンとスギの系統別の成長比較を行ったので報告する。

II. 調査地と方法

1. 調査地の概要と植栽方法

今回調査・解析の対象としたのは，宮崎県えびの市黒原国有林3017号林小班に平成24年3月に設定した九熊本第162号検定林のコウヨウザンとスギの植栽木である。検定林の面積，植栽本数，地形等の概況を表-1，各ブロックの配置を図-1に示す。検定林は5ブロックから成り，1から3ブロックが斜面下部から上部にかけて連続して配置され，1ブロックにはほぼ隣接するように4

ブロック，その隣に5ブロックが連続して配置されている。植栽時の植栽木の系統および配置は，特定母樹の県始良4号を含むスギ第1世代精英樹のさし木4系統およびスギ第2世代候補木F1のさし木（以下，F1クローンという）29系統を各ブロックに単木混交で植栽し，ブロック間を除く周囲にスギ在来品種のさし木3系統が植栽された。さらにこれらの最外周に九州育種場で育苗したコウヨウザンの実生苗およびさし木苗，種苗生産者から購入したコウヨウザンの実生苗が植栽された。実生苗は九州育種場構

表-1. 検定林の概況

面積 (ha)	植栽本数 (本)	斜面方位	傾斜角 (°)	標高 (m)	ブロック数
0.29	スギ第1世代	115	南西	380-400	5
	スギF1	387			
	スギ在来品種	154			
	コウヨウザン	150			
	合計	806			

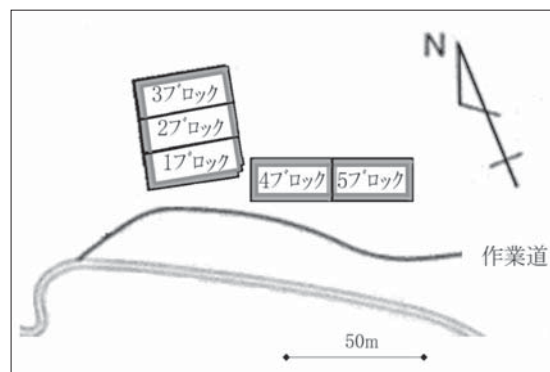


図-1. ブロックの配置

*1 Otsuka, J., Isoda, K., Goto, S., Matsunaga, K., Kurahara, U., Kuramoto, N., Kubota, M., Kondo, T. and Ubukata, M.: Comparison of growth between *Cunninghamia lanceolata* lines and *Cryptomeria japonica* clones until the seventh year after planting.

*2 森林総合研究所林木育種センター九州育種場 Kyushu Regional Breed. Office, Forest Tree Breed. Ctr, For. & Forest Prod. Res. Inst., Koshi, Kumamoto 861-1102, Japan

*3 森林総合研究所林木育種センター Forest Tree Breed. Ctr, For. & Forest Prod. Res. Inst., Hitachi, Ibaraki 319-1301, Japan

内の中国広西自治区由来のコウヨウザン植栽木から採種、育苗した苗で、さし木苗は熊本県菊池市内の国有林の台湾由来のコウヨウザン植栽木から採種、育苗した苗である。なお、検定林の周囲はほぼ同じ間隔で同時期に植栽されスギの人工林となっている。植栽翌年の平成 25 年 3 月に検定林内で枯れが多かったスギ在来品種および枯損したその他のスギとコウヨウザンについて、スギ在来品種さし木苗を補植した。下刈り等の保育については、植栽 2 年目の平成 25 年から植栽 5 年目の平成 29 年まで実施された。

2. 調査と解析方法

植栽から 3 年次の平成 26 年 9 月、4 年次の平成 27 年 10 月、5 年次の平成 28 年 10 月、7 年次の平成 30 年 9 月に樹高および曲がり、枯れや誤伐およびシカ被害、倒れ等について毎木調査を実施した。5 年次以降は併せて胸高直径の測定を実施した。植栽時の苗高調査は第 1 世代精英樹および F1 クローンのみを実施したため、今回解析に用いることができなかったが、植栽時のコウヨウザンおよびスギの苗高については、植栽直後の写真および植栽を実施した者への聞き取りから大きな差はなかったことが明らかとなっている。

平成 28 年および 29 年にコウヨウザン全個体から葉を採取し、27 種類の SSR マーカー (11) による DNA 分析を行った。得られた遺伝子型データを用いて、さし木についてはクローン同定を、実生については親子鑑定を行った。親子鑑定では、九州育種場構内に植栽されているコウヨウザン 9 個体を親候補とした。このうち、8 個体は中国広西自治区由来で 1 個体は台湾由来である。決定された両親のうち、系統名として記録されている個体を母樹、もう一方を花粉親とした。また、両親とも同一個体となったものは自殖とした。購入苗については、親候補がないため、各個体の遺伝子型から親の遺伝子型を推定した。この結果をもとに、系統間で成長量を比較した。

成長の解析には、補植木および被害木を除いた植栽木の樹高および胸高直径の測定結果を用いた。また、多くのコウヨウザンの植栽木と僅かなスギ植栽木が多幹となっていたが、今回の解析では株内の最も大きな幹の測定結果を用いた。解析に用いた各年次のスギとコウヨウザンの系統数と本数を表-2 に示す。各年次の樹高および胸高直径について、系統の効果を検討するためにブ

表-2. 樹高および胸高直径の平均の解析に用いた各年次のスギとコウヨウザンの系統数と本数

樹種・種類 (増殖方法)	系統数				本数			
	3年次	4年次	5年次	7年次	3年次	4年次	5年次	7年次
コウヨウザン (実生)	13	13	12	12	117	113	110	104
コウヨウザン (さし木)	9	8	7	7	18	17	16	16
スギ精英樹 (さし木)	4	4	4	4	113	110	110	110
スギ F1 クローン (さし木)	38	38	37	37	363	349	345	344
スギ在来 (さし木)	3	3	3	3	85	81	81 (79)	78
合計	67	66	63	63	696	670	662 (660)	652

注) 5年次のスギ在来(さし木)の()外書きは樹高, 内書きは胸高直径の解析に用いた本数。

ロックと系統を要因とした二元配置の分散分析を行った。さらに、平均値の差について Tukey の多重比較検定を行った。

Ⅲ. 結果と考察

1. コウヨウザンとスギの樹高成長の比較

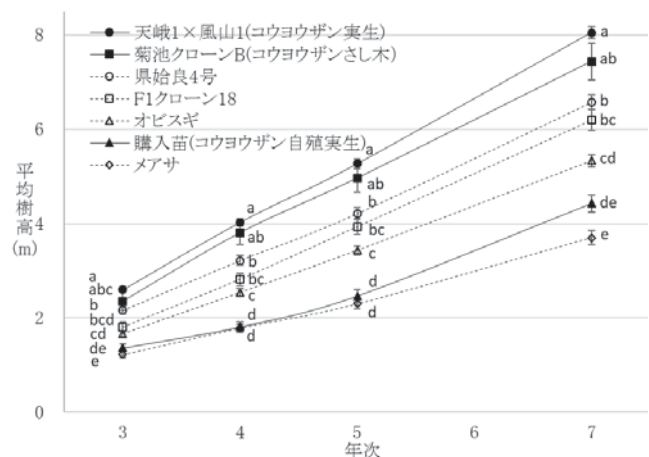
DNA 分析の結果、九州育種場で育苗したコウヨウザン実生苗は中国広西自治区由来同士の複数の他殖家系と自殖家系、中国広西自治区由来と台湾由来の他殖家系であること、台湾由来のコウヨウザンさし木苗は複数クローンが植栽されていることが判明した。また、購入苗については、全て単一の自殖家系であることが判明した。

分散分析の結果、全ての年次の樹高において、ブロック間および系統間で 1%水準の有意差があった。コウヨウザンとスギの全系統の成長の結果を全て示すと煩雑となるため、コウヨウザンの実生家系で最も本数の多かった天峨 1 × 風山 1、さし木系統で最も本数の多かった菊池クローン B、単一の実生自殖家系と判明した購入苗、全てのスギの系統の中で 7 年次の平均樹高が最も高かった第 1 世代の特定母樹の県始良 4 号、F1 クローンの中で植栽本数が比較的多く成長が上位であった F1 クローン 18、そして在来品種のオビスギとメアサについて、各年次の本数を表-3、平均樹高を図-2 に示した。

平均樹高の順位は植栽 3 年次から 7 年次まで、天峨 1 × 風山 1、菊池クローン B、県始良 4 号、F1 クローン 18、オビスギ、購入苗、メアサの順であった。植栽 3 年次で天峨 × 風山 1、菊池クローン B および県始良 4 号の平均樹高は 2m を超える値を示した。

表-3. 成長の比較に用いた系統の各年次における本数

系統	3年次	4年次	5年次	7年次
天峨 1 × 風山 1 (コウヨウザン実生)	37	36	36	34
菊池クローン B (コウヨウザンさし木)	4	4	4	4
県始良 4 号 (スギさし木)	25	24	24	24
F1 クローン 18 (スギさし木)	14	13	13	13
オビスギ (在来スギさし木)	40	39	39	39
購入苗 (コウヨウザン自殖実生)	25	23	23	21
メアサ (在来スギさし木)	33	31	31	29



注) 平均植土標準誤差。各年次において同じ文字のついて平均樹高は 5%水準で有意差があるとはいえない。

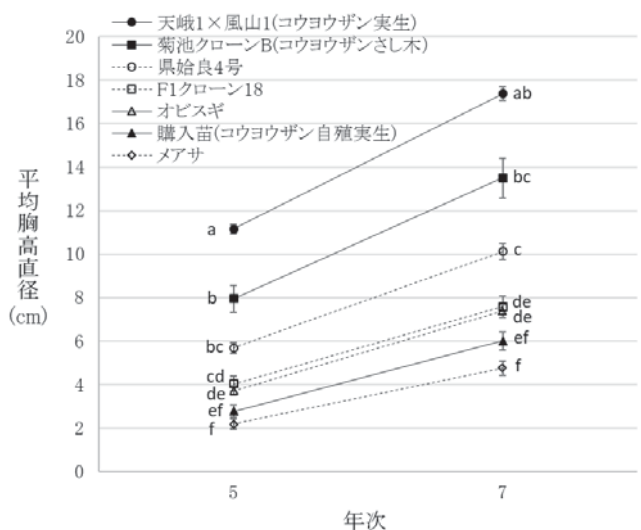
図-2. 各年次における系統別の平均樹高の比較

植栽3年次から7年次において、最も平均樹高が高かった天峨1×風山1は5年次で5.27m、7年次8.05mと県始良4号の5年次の4.22m、7年次の6.57mと比較して各年次において有意な差があり、優れた樹高成長を示した。2番目に平均樹高が高かった菊池クローンBの平均樹高は5年次で4.96m、7年次で7.44mと県始良4号の平均樹高と比較しても高い値を示したが、有意差はなかった。これは、菊池クローンBの植栽本数が4本と少ないことによることも要因の一つと推測された。スギの県始良4号の平均樹高は各年次で非常に良好であり、F1クローン18と在来のおビスギの5年次の平均樹高はそれぞれ3.94m、3.43mとなっており、本調査地はスギの生育に適した場所であると考えられる。コウヨウザンの生育適地はスギと同様であると考えられており(3)、今回調査した試験地において、コウヨウザン実生苗の中には優れた初期成長を示す家系が含まれること、また、コウヨウザンさし木苗についてもスギさし木苗で最も7年次の平均樹高が高かった成長に優れた特性を有する特定母樹の県始良4号と同等以上の良好な成長を示す系統が含まれることが明らかとなった。

他方、単一自殖家系のコウヨウザン購入苗の植栽5年次までの平均樹高は成長が遅いことで知られる在来のメアサとほぼ同等の成長を示し、多少差が出てきた植栽7年次においても有意差はなかった。自殖の成長不良については、スギでも古くから報告されている(4)。コウヨウザンが日本に渡来したのは江戸時代後期といわれており(5)、社寺等の敷地に孤立大径木として点在しているのが見受けられる。今回の購入苗の採種母樹は特定できていないが、このような孤立木から採種された自殖種子による苗である可能性が考えられた。

2. コウヨウザンとスギの直径成長の比較

分散分析の結果、樹高と同様に全ての年次の胸高直径において、ブロック間および系統間で1%水準の有意差があった。樹高と同じコウヨウザン3系統、スギ4系統について、植栽5年次と7年次の平均胸高直径を図-3に示した。



注) 平均値±標準誤差。各年次において同じ文字のついている平均胸高直径は5%水準で有意差があるとはいえない。

図-3. 各年次における系統別の平均胸高直径の比較

5年次と7年次の平均胸高直径の順位は、平均樹高と同様であった。最も平均胸高直径が大きかった天峨1×風山1は5年次11.2cm、7年次17.4cmで県始良4号の5年次5.7cm、7年次10.1cmと比較して、各年次においてそれぞれ約2倍、1.7倍と大きな直径成長を示した。菊池クローンBの平均胸高直径も5年次8.0cm、7年次13.5cmを示し、7年次については県始良4号の平均胸高直径と比較して有意な差があった。本調査地においてコウヨウザン実生家系およびさし木系統の中には直径成長においても、成長に優れた特性を有するスギさし木系統を上回る優れた初期成長を示すものが含まれることが明らかとなった。

他方、樹高成長が低かった単一自殖家系の購入苗の平均胸高直径は、平均樹高と同様にメアサとほぼ同等の直径成長であった。

3. コウヨウザンの系統別の成長の比較

試験地に植栽されていたコウヨウザンのうち、系統当たりの植栽本数が複数木植栽されていた実生9家系、さし木4系統について、系統別の各年次の平均樹高を表-4、平均胸高直径を表-5に示した。

購入苗を除く全ての実生家系と菊池クローンAとBのさし木2系統の植栽3年次の平均樹高は2mを超えていた。7年次の平均樹高が最も高い値9.37m(風山1×吉安)と最も低い値7.04m(菊池クローンA)と差はあるものの、いずれも優れた成長を示した。これらの系統は、直径成長においても同様に優れた成長を示した。菊池クローンCとDのさし木2系統は、3年次の平均樹高が1.5m程度、7年次が6.5m程度で他の系統と比べると劣るが、7年次の平均樹高、胸高直径ともにスギの県始良4号やF1クローン18と同等程度の大きさとなっており、良好な成長であると言える。

実生とさし木を比べると、平均樹高および平均胸高直径ともに実生の方が大きい傾向にあり、一部の系統間で有意な差があった。一般的にスギにおいて、さし木は実生に比べて初期成長が劣ることが知られており(8,9)、今回同じ系統の比較ではなかったもののコウヨウザンでも同様の傾向がある可能性が示唆された。

自殖家系については、各年次の平均樹高および平均胸高直径において風山1、天峨1の自殖がそれぞれの他殖の系統と比べて低い傾向にあったが、有意な差があったのは5年次と7年次の風山1の平均胸高直径のみであり、同様に自殖の購入苗のように樹高、直径のいずれも極端に低い成長を示す結果ではなかった。東京大学千葉演習林内のコウヨウザン造林地のうちの一つの56年生の林分は、DNA分析の結果から植栽木のほぼ全てが単一の自殖の実生由来であったが、成長も良く、林分密度が低いわけでもなかった(1)。このことも踏まえると、今回の調査地では系統ごとの植栽個体数は少なかったものの、コウヨウザンは系統によって自殖による成長の低下はそれほど大きくない可能性が示唆された。他方、購入苗のような極端に成長の良くない系統も存在することが明らかとなった。

今回、コウヨウザンとスギの植栽後7年次までの系統別の成長比較について解析を行い、複数の実生家系およびさし木系統のコウヨウザンの植栽後初期における樹高および直径の優れた成長性が示されたとともに、再造林に用いる際の系統の選別が極めて重要であることを示す結果となった。

IV. 謝辞

検定林の用地を提供いただくとともに保育管理を担当されている九州森林管理局並びに関係者の方々に深謝する。また、本研究では、過去に実施された検定林調査のデータを使用した。これまで調査に携わった職員並びに検定林に植栽する苗木の育成に携わった職員に御礼申し上げる。

本研究は、農林水産省委託プロジェクト「成長に優れた苗木を活用した施業モデルの開発」の支援を受けて行われた。

- (3) 福田次郎 (1958) 早期育成林業 (森林資源総合対策協議会編), 産業図書株式会社, 東京, 263-284
- (4) 古越隆信 (1978) 林試研報告 300: 41-120
- (5) 堀田満 (1958) 世界有用植物事典, 平凡社, 東京, 341
- (6) 近藤禎二ほか (2016) 関東森林研究 67: 113-116
- (7) 近藤禎二ほか (2017) 日森林学術講 128: 144
- (8) 松永孝司ほか (2008) Kyushu J. For. Res. 61: 124-127
- (9) 宮島寛 (1989) Kyushu J. For. Res. 61: 124-127
- (10) 森田正彦ほか (1989) 昭和 63 年度九青年報 17: 91-98
- (11) Wen *et al.* (2013) *Silvae Genetica* 62: 137-141

(2018 年 11 月 6 日受付; 2018 年 12 月 13 日受理)

引用文献

- (1) 磯田圭哉ほか (2017) 関東森林研究 68 (2): 145-148
- (2) 磯田圭哉ほか (2017) 日森林学術講 128: 150

表-4. コウヨウザンの系統別の各年次の平均樹高

系統名	3 年次			4 年次			5 年次			7 年次		
	n	平均(m) ± s.e.		n	平均(m) ± s.e.		n	平均(m) ± s.e.		n	平均(m) ± s.e.	
風山(中国) 1 × 風山 2	6	2.71 ± 0.15	ab	6	4.08 ± 0.20	ab	6	5.20 ± 0.25	ab	5	7.97 ± 0.35	ab
風山 1 × 吉安(中国)	3	2.84 ± 0.22	ab	3	4.64 ± 0.28	a	3	5.91 ± 0.35	a	3	9.37 ± 0.45	a
風山 1 自殖	5	2.11 ± 0.17	abcd	5	3.39 ± 0.22	abc	4	4.41 ± 0.30	abc	4	7.66 ± 0.39	ab
吉安 × 風山 1	4	2.51 ± 0.19	abc	4	4.03 ± 0.24	abc	4	4.95 ± 0.30	abc	3	7.71 ± 0.45	ab
吉安 × 菊池(台湾)	8	2.42 ± 0.13	abc	8	3.95 ± 0.17	ab	8	5.23 ± 0.21	abc	8	8.41 ± 0.28	ab
吉安 × 天峨(中国) 1	18	2.48 ± 0.09	ab	18	4.02 ± 0.11	a	17	5.41 ± 0.15	a	17	7.78 ± 0.19	ab
天峨 1 × 風山 1	37	2.60 ± 0.06	a	36	4.03 ± 0.08	a	36	5.27 ± 0.10	ab	34	8.05 ± 0.14	ab
天峨 1 自殖	6	2.42 ± 0.15	abc	6	3.48 ± 0.20	abc	6	4.78 ± 0.24	abc	6	7.23 ± 0.32	ab
菊池クローンA	3	2.37 ± 0.22	abc	3	3.71 ± 0.28	abc	3	4.86 ± 0.35	abc	3	7.04 ± 0.45	ab
菊池クローンB	4	2.35 ± 0.19	abc	4	3.80 ± 0.24	abc	4	4.96 ± 0.30	abc	4	7.44 ± 0.39	ab
菊池クローンC	3	1.64 ± 0.22	bcd	3	2.72 ± 0.28	bd	3	3.86 ± 0.35	bcd	3	6.58 ± 0.45	b
菊池クローンD	3	1.50 ± 0.21	cd	3	2.55 ± 0.28	cd	3	3.79 ± 0.34	cd	3	6.70 ± 0.45	b
購入苗自殖	25	1.36 ± 0.08	d	23	1.81 ± 0.10	d	23	2.78 ± 0.27	d	21	4.43 ± 0.18	d

注) n は植栽木の本数, s.e. は標準誤差を示す。
各年次において同じ文字のついている平均樹高は 5% 水準で有意差があるとはいえない。

表-5. コウヨウザンの系統別の各年次の平均胸高直径

系統名	5 年次			7 年次		
	n	平均(cm) ± s.e.		n	平均(cm) ± s.e.	
風山(中国) 1 × 風山 2	6	9.79 ± 0.51	abcd	5	17.76 ± 0.8	abc
風山 1 × 吉安(中国)	3	11.79 ± 0.72	abc	3	17.96 ± 1.04	abcd
風山 1 自殖	4	7.31 ± 0.62	def	4	12.36 ± 0.9	def
吉安(中国) × 風山 1	4	8.94 ± 0.62	bcde	3	14.64 ± 1.03	abcde
吉安 × 菊池(台湾)	8	10.27 ± 0.44	abcd	8	16.97 ± 0.64	abc
吉安 × 天峨(中国) 1	17	11.76 ± 0.3	a	17	18.19 ± 0.44	a
天峨 1 × 風山 1	36	11.15 ± 0.21	ab	34	17.38 ± 0.31	ab
天峨 1 (自殖)	6	9.29 ± 0.51	bcd	6	14.6 ± 0.73	bcde
菊池クローンA	3	7.85 ± 0.72	cdef	3	12.4 ± 1.04	cdef
菊池クローンB	4	7.95 ± 0.62	cdef	4	13.5 ± 0.9	bcdef
菊池クローンD	3	4.71 ± 0.71	fg	3	8.43 ± 1.03	fg
菊池クローンC	3	5.32 ± 0.72	efg	3	10.24 ± 1.04	efg
購入苗自殖	23	2.78 ± 0.27	g	21	6.01 ± 0.41	g

注) n は植栽木の本数, s.e. は標準誤差を示す。
各年次において同じ文字のついている平均胸高直径 5% 水準で有意差があるとはいえない。