

速 報

若齢スギクローンの心材形成と心材含水率^{*1}倉原雄二^{*2}・岩泉正和^{*2}・松永孝治^{*2}・福田有樹^{*2}・久保田正裕^{*2}

倉原雄二・岩泉正和・松永孝治・福田有樹・久保田正裕：若齢スギクローンの心材形成と心材含水率 九州森林研究 77：191－194, 2024 スギの心材含水率は製材の乾燥性に大きな影響を与える材質形質であり、壮齢林分の調査において心材含水率はクローン間で異なることが示されている。壮齢時の心材含水率を若齢時に評価することが可能であれば、選抜時期を早めることで、遺伝的な改良を効率化できると考えられる。心材の形成は外部からの観察ではわからないため、若齢での心材の形成の状況や心材含水率を調査した事例は少ない。そこで本研究は若齢での心材形成状況を把握するために7年生と8年生のスギつぎ木から成長錐コアを採取し、胸高直径と心材直径の関係を調べた。また、その試料を用いて心材含水率を測定し、クローン間変異を調べた。胸高直径と心材直径の間には正の相関があり、心材含水率にクローン間変異が認められる場合があった。このことは10年生未満の若齢での心材含水率の早期評価の可能性を示唆する。

キーワード：スギ, 心材含水率, 早期評価

I. はじめに

スギは2021年における日本国内の素材生産量の59.1%、人工造林面積の36.9%を占める(林野庁, 2023)日本の主要な林業樹種である。九州地方はスギの素材生産量および人工造林面積がそれぞれ全国の33.7%と62.4%であり(林野庁, 2022)、日本の重要なスギ生産地である。2022年のスギの用途は製材用が67.2%であり(農林水産省, 2023)、製材用途への需要が高い。製材として利用する場合、構造用、造作用ともに乾燥が必要であり、製材の日本農林規格では構造用としては乾量基準含水率が20%以下であることが求められる。スギは心材含水率のばらつきが大きいことから乾燥が難しい樹種であることが知られており(中田, 2014)、その中でも心材含水率が高い材は、乾燥に長い時間が必要である。例えば、松村ほか(2013)は、一定時間の乾燥後の心去り正角の含水率は丸太の心材含水率と有意な正の相関があることを報告している。これまでに21～26年生のスギクロン地域差検定林の調査から、心材含水率はクローン間で異なり、クローンと検定林の交互作用は小さいことが示されており(藤澤ほか, 1995)、クローンの選抜によって心材含水率の改良が可能であると考えられる。

収穫までに長い期間が必要である林木では、単位時間当たりの遺伝的な改良を高めるため、収穫前の比較的若い時期に選抜を行う早期選抜が行われている(三浦ほか, 2008)。スギでは樹高、直径や剛性について早期選抜が検討されてきたが(佐藤ほか, 2016; 倉原, 2015; 池田ほか, 2022)、心材含水率に関する取り組みは少ない(宮下ほか, 2009; 倉原ほか, 2023)。心材は林木の成長にともない、髓付近から外側に向かい形成されていくが、その形成時期や形成機構には不明な部分が多い。また心材の形成状態は外部からの観察ではわからないため(中田, 2018)、若齢での測定事例は少ない。このため心材含水率の早期評価を検討す

るためには、まず若齢時における心材形成状態と心材含水率を調べる必要がある。

今回、若齢スギの心材形成状況を把握するために7年生と8年生のスギから成長錐コアを採取し、心材の有無を目視で判別した。また、その試料を用いて心材含水率を測定し、クローン間差を検討した。

II. 材料と方法

1. 供試材料

森林総合研究所林木育種センター九州育種場(熊本県合志市)内の交配園に植栽されているスギ第二世代精英樹候補木クローンを用いた。交配園には集団林から選抜されたクローンのつぎ木苗が列状に植栽されている。今回用いたつぎ木苗は7年生と8年生で、断幹等の施業が行われていない自然樹形である。補植により植栽年が異なる個体やさし木で増殖された個体が存在したが、それらは除外した。全体として119クローン266個体(クローン当たり1～4本)を調査対象とした(表-1)。なお、7年生と8年生には共通のクローンが存在しないため別々に解析を行った。

2. 試料の採取と測定

2023年2月に胸高直径(DBH)を輪尺で1mm単位で測定した。DBHが6.0cm未満の個体は成長錐コアを採取することが困難であるため除外し、胸高部位(1.2m)から内径5.0mmの成長錐を用いて1個体あたり1本のコア試料を採取した。採取した

表-1. 調査クローン数

調査形質	調査クローン数(個体数)	
	7年生	8年生
DBH	57 (141)	62 (125)
成長錐コア	53 (126)	60 (119)

^{*1} Kurahara, Y., Iwaizumi, M.G., Matsunaga, K., Fukuda, Y., and Kubota, M.: Heartwood formation status and heartwood moisture content of young *Cryptomeria japonica* clones.

^{*2} 森林研究・整備機構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., Forest Res. Man Org., Koshi, Kumamoto 861-1102, Japan

試料は乾燥を防ぐためプラスチック製のストローに入れて封をし、ドライアイスを使って直ちに凍結保存した。採取した成長錐コアは樹皮を除去し髄までの長さに調整し、半径分の心材と辺材の試料を作成した。目視で心材を確認し心材と辺材に分割した。移行材（白線帯）は辺材に含めた。心材は全乾法により乾量基準含水率を、浮力法により容積密度を測定した。乾量基準含水率と容積密度から相対含水率を算出した。試料のとり得る乾量基準含水率の最大値は容積密度に依存しており、容積密度の増加によって減少する。本論では若齢であり密度が高い髄付近の試料を取り扱うことから、乾量基準含水率を最大含水率で除することで容積密度の変動（クローン間差を含むばらつき）が調整される相対含水率を心材含水率の指標に加えた。乾量基準含水率および相対含水率は以下に示す中田（2014）の式から算出した。

$$M_d = (W_w - W_d) / W_d \times 100$$

$$M_{\max} = (1 / R - 1 / 1.5) \times 100$$

$$M_s = M_d / M_{\max} \times 100$$

M_d : 乾量基準含水率
 W_w : 生材質量
 W_d : 全乾質量
 $M_{\max}$: 最大含水率
 R : 容積密度
 M_s : 相対含水率

ノギスを用いて辺材と心材の半径方向の長さを測定し、心材の長さの2倍を心材直径とした。

3. 解析方法

統計解析には R 4.1.2 (R Core Team, 2021)を用いた。DBHと形成された心材のサイズの関係性を調べるために Pearson の積率相関係数を算出した。形質のクローン間差を評価するために2個体以上測定したクローンを対象に、DBH、心材直径、心材乾量基準含水率および心材相対含水率についてクローンを要因とする一元配置分散分析を行った。また、同じく2個体以上測定したクローンを用いて各形質の変動に及ぼすクローンの効果を検討するために R の lme 4 パッケージの lmer 関数を用いてクローンの分散成分を推定した。今回供試した材料はクローン毎に列状に植栽され植栽列の反復がないが、植栽地は平坦なことから均一な環境に植栽されていると仮定して解析を行った。

Ⅲ. 結果

1. 心材の形成状況

7年生と8年生の全測定個体の平均 DBH はそれぞれ 9.2 cm と 10.9 cm で、各個体の DBH は大きくばらついた (図-1)。このうち DBH が 6.0 cm 以上であった7年生の 126 個体と8年生の 119 個体から成長錐コアを採取した (表-1)。

成長錐コアを採取した個体のうち、7年生では 104 個体で、8年生では 104 個体で心材が形成されていた。心材は DBH が大き

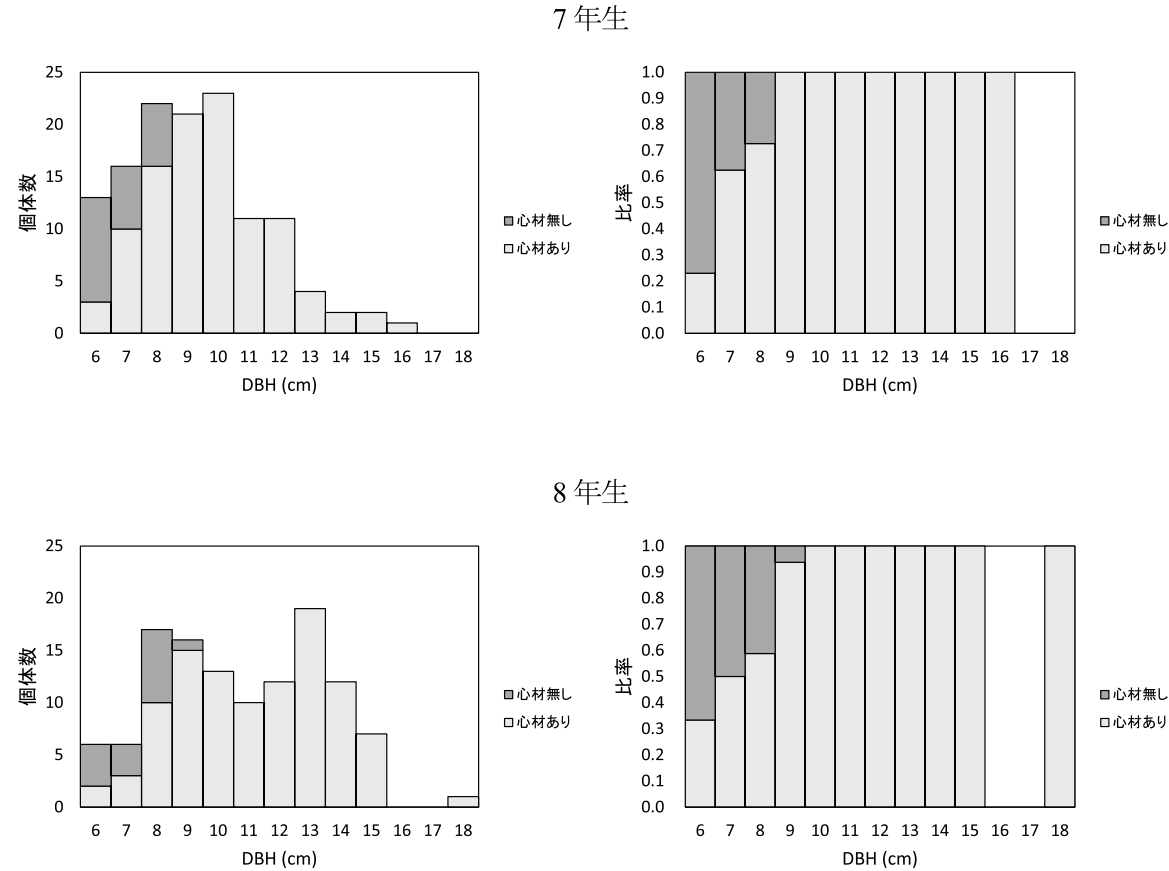


図-1. 心材形成のヒストグラム

い個体で形成されており、DBH が小さい個体では心材が形成されていない割合が高かった（図-1）。心材が形成されていなかった個体の DBH の最大値は、7 年生で 8.7 cm、8 年生で 9.3 cm であった。DBH と心材直径の間には統計的に有意な正の相関があった（図-2）。

7 年生および 8 年生の乾量基準含水率の平均値はそれぞれ 98.9% と 114.9% であった。また、それぞれの相対含水率の平均値は 51.3% と 58.6% であった。乾量基準含水率と相対含水率はどちらもばらついた（図-3）。ここでは 8 年生のみを示すが、7 年生も同様の傾向であった。

2. 心材含水率のクローン間差

クローンを要因とした一元配置分散分析の結果を示す（表-2）。DBH および心材直径でクローン間に統計的に有意な差が見られた。相対含水率ではクローン間に統計的に有意な差が見られたが、乾量基準含水率では 7 年生で統計的に有意な差が見られなかった。

図-4 に各形質の分散成分の寄与率を示す。DBH におけるクロー

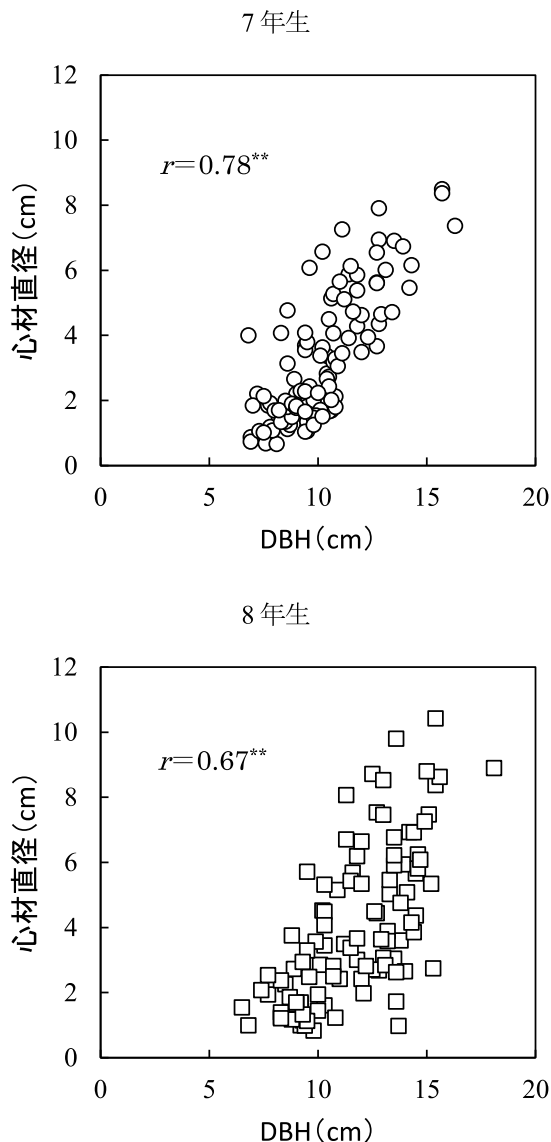


図-2. 胸高直径と心材直径の関係
**：1%水準で統計的に有意であることを示す。

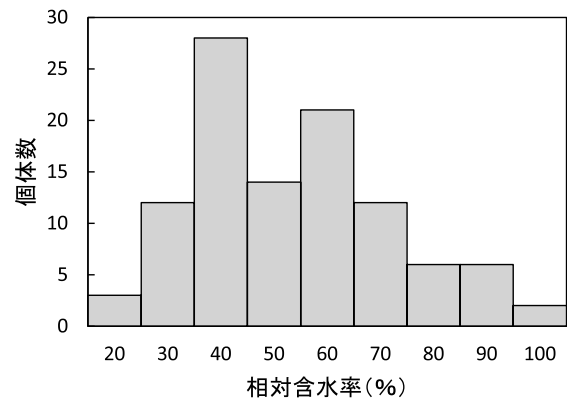
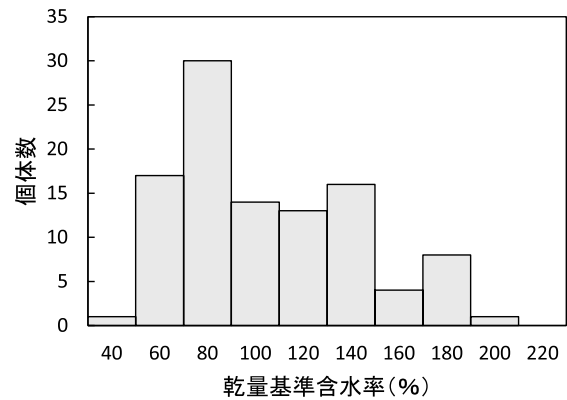


図-3. 8 年生の乾量基準含水率と相対含水率

表-2. 各形質のクローンを要因とした一元配置分散分析の結果

形質	苗齢			
	7 年生		8 年生	
	F 値	P 値	F 値	P 値
DBH	2.045	0.012	2.376	0.004
心材直径	1.932	0.019	2.136	0.010
乾量基準含水率	1.598	0.069	4.231	< 0.001
相対含水率	1.738	0.040	4.383	< 0.001

ンの分散成分の寄与率は 20～30% 程度であった。心材乾量基準含水率および心材相対含水率におけるクローンの分散成分の寄与率は約 20～50% であり、DBH と同等かそれ以上であった。

IV. 考察

本論において、7 年生および 8 年生のスギでは、DBH の小さい個体で心材が形成されていない割合が大きく、DBH が大きいほど、心材直径が大きかった。また、倉原ほか（2023）は 10 年生のスギさし木において、直径 7.0 cm から 19.9 cm の個体の心材形成を調べたところ、すべての個体で心材が形成されていた。これらの結果から考えると、7 年生から 10 年生程度の若齢の個体であっても、例えば直径 10 cm 以上の個体では概ね心材が形成されていると考えられた。

これまで、10 年生のスギさし木 4 クローンの調査によって、心材の乾量基準含水率と相対含水率にクローン間差があることが

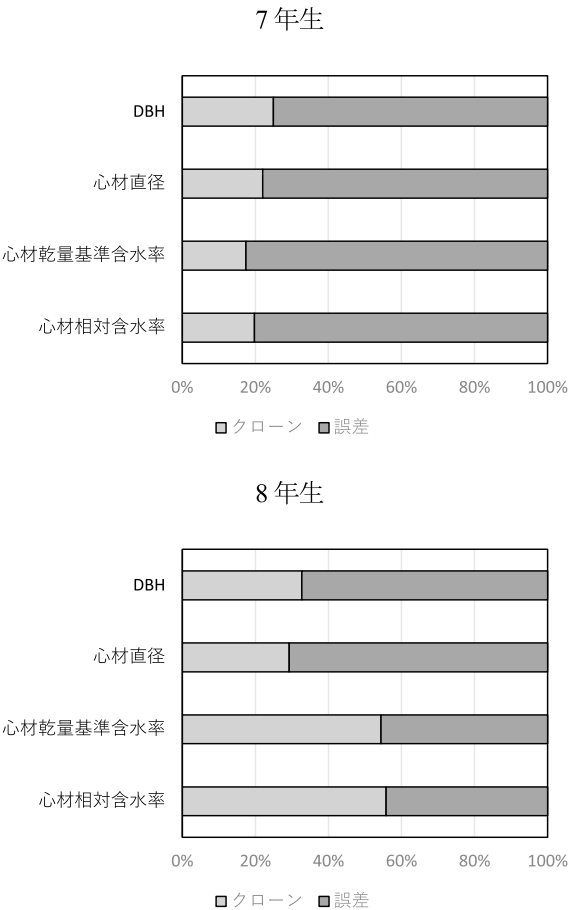


図-4. 各形質の分散成分の寄与率

報告されている（倉原ほか，2023）。本論はより多数の7年生と8年生のつぎ木クローンを用いて，相対含水率にクローン間差があることを示した。今後，心材含水率の幼老相関を調べることで，心材含水率の早期選抜の可能性が検討できるだろう。

本論における乾量基準含水率の平均値は一般的なスギの乾量基準含水率の平均値とされる約120%～140%（平川ほか，2004）

と比較して低かった。スギでは髓に近い未成熟材は容積密度が高いことが知られている。今回の試料は7年生と8年生の心材部であるため，未成熟材が大部分を占めたと考えられる。そのため，材密度が高くなり，相対的に乾量基準含水率が低くなったと考えられた。

乾量基準含水率および相対含水率の分散成分の寄与率は7年生と8年生で異なり，8年生の方がクローンの分散成分の寄与率が高かった。8年生において寄与率が高かったことの要因の一つに樹齢が1年高いことが考えられるが，両者には共通クローンが存在しないのでその違いを樹齢に結論付けることはできない。

引用文献

藤澤義武ほか（1995）木材学会誌 41：249-255
平川泰彦ほか（2004）木材工業 59：159-165
池田潔彦ほか（2022）木材学会誌 68：66-76
倉原雄二（2015）九州森林研究 68：147-149
倉原雄二ほか（2023）九州森林研究 76：99-102
松村ゆかりほか（2013）木材学会誌 59：138-145
三浦真弘ほか（2008）林木の育種 特別号 8-11
宮下久哉ほか（2009）木材学会誌 55：136-145
中田了五（2014）木材学会誌 60：63-79
中田了五（2018）木材学会誌 64：45-58
農林水産省（2023）令和4年木材統計 URL：https://www.aff.go.jp/j/tokei/kouhyou/mokuzai/attach/pdf/index-30.pdf（2023年10月25日利用）
R Core Team（2021）R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.
林野庁（2022）森林・林業統計要覧 2022
林野庁（2023）令和4年度森林・林業白書
佐藤嘉彦ほか（2016）日林誌 98：45-52
（2023年11月10日受付；2024年1月22日受理）