

速報

10年生スギクロンの心材含水率評価^{*1}倉原雄二^{*2}・松永孝治^{*2}・岩泉正和^{*2}・福田有樹^{*2}・久保田正裕^{*2}

倉原雄二・松永孝治・岩泉正和・福田有樹・久保田正裕：10年生スギクロンの心材含水率評価 九州森林研究 76：99－102，2023
 林木は温室効果ガスであるCO₂を吸収固定する機能を有する。含水率の高い原料丸太はCO₂の排出が含水率の低い原料丸太より大きくなる。育種による心材含水率が低いスギの開発はCO₂の排出の削減につながると考えられる。若齢時と壮齢時で形質間に高い相関がある形質は、若齢時に評価・選抜することで育種に必要な期間の短縮が可能である。本研究では心材含水率の早期評価、早期選抜が可能であるか検討するため、10年生のスギクロンを用いて若齢時での心材形成の有無を調べたところ、全個体で心材の形成が確認され、心材含水率の測定が可能であった。また、既報の21～26年生（20年生以上とする）の同一クロンの測定値と比較したところ、20年生以上で心材含水率が低いクロンは10年生でも心材含水率が低い傾向があった。

キーワード：スギ、心材含水率、早期評価

I. はじめに

林木は成長の過程で温室効果ガス（以下、GHGとする）のひとつであるCO₂を吸収固定し、地球温暖化防止に貢献する資源である。また、林木から生産される木材は単位体積および単位重量当たりの製造に要するエネルギーが低い材料であり（中島・大熊，1991），主要構造部に木材を用いた木造建築は同じ仕様の鉄筋コンクリート造および鉄骨造よりも建築時のGHG排出量が少なく（測上ほか，2020；一宮ほか，2021；森井ほか，2021），また、建築物として利用している間もCO₂を固定している（岡崎・大熊，1998）。一方で、乾燥製材を製造する際には、乾燥工程でのエネルギーの消費が多い（古俣ほか，2010）。初期含水率が高い材は初期含水率が低い材よりも乾燥に長時間を要し、GHGの排出量が多くなる。また、丸太の輸送に関するGHGの排出については輸送重量と輸送距離の積から算出され（経済産業省，2022），含水率の高い丸太は同じ材積では含水率の低い丸太よりも輸送重量が大きくなるためにGHGの排出は大きくなる。

以上のように、心材含水率の低いスギの利用はGHG排出の削減につながり、同時に乾燥コストおよび輸送コストの低減により経済性が向上すると考えられる。また、スギの心材含水率は20年生以上では品種間差、クロン間差があること（河澄ほか，1991；藤澤ほか，1995；津島ほか，2005）から選抜による改良が可能と考えられる。

一般に若齢時と壮齢時で形質間に高い相関がある形質は、若齢時に評価・選抜することで育種に必要な期間の短縮が可能である。心材含水率の評価には心材が形成されている必要があり、外見からは心材形成の状態はわからないこと、心材含水率の評価は破壊的な測定（伐採）が必要であったことから、心材が形成されているかわからない若齢時の評価はほとんど行われていなかった。

そこで本研究では、10年生のスギ第一世代精英樹を対象とし

て立木から成長錐を用いてコア試料を採取し、心材の形成状態を調べた。その成長錐コア試料を用いて含水率を測定し、10年生での心材含水率の測定可能性を検討した。また、既報の21～26年生（以下、20年生以上とする）の同一クロンの相対含水率の測定値（藤澤ほか，1995）と比較することで早期評価の可能性を検討した。

II. 材料と方法

1. 供試材料

宮崎森林管理署都城支署黒原国有林内（宮崎県えびの市）に2012年3月に設定した九熊本第162号検定林に植栽されているスギ第一世代精英樹4クロンの計73本を供試材料に用いた（表-1）。検定林は単木混交で5ブロックの設計であり、今回はそのうちI、IIおよびIVの3ブロックから試料を採取した。

表-1. クロンとブロックごとの測定本数

クロン	ブロックごとの本数			
	I	II	IV	計
県球磨5号	8	7	8	23
宮崎署6号	4	9	7	20
県始良4号	4	6	7	17
県肝属2号	2	3	8	13
計	18	25	30	73

2. 試料の採取と測定

2021年12月に樹高と胸高直径（以下、DBHとする）を測定した。2022年2月に内径5mmの成長錐を用いて地上から1.2mの胸高部位において1個体につき1本のコア試料を採取した。採

*1 Kurahara, Y., Matsunaga, K., Iwaizumi, M.G., Fukuda, Y., and Kubota, M : Evaluation of heartwood moisture content of 10 years-old sugi 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

取した試料は、乾燥を防ぐためにプラスチック製のストローに入れて封をした後に、ドライアイスを用いて直ちに凍結させて持ち帰った。試料の樹皮を除き、髓の中央で切断して半径相当に調整し、その後、辺材と心材に分割した。白線帯は辺材に含めた。辺材と心材はそれぞれ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。10年生では容積密度が高い髓付近の材の比率が高いことから、本論では含水率の指標として、容積密度の変動(クローン間差を含むばらつき)が調整されている相対含水率を用いた。ただし、木材乾燥に関する分野では一般的に乾量基準含水率が用いられている場合が多いことから、参考値として乾量基準含水率と容積密度を併記した。乾量基準含水率と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
- M_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た。辺材と心材の長さの和の2倍を皮内直径とし、心材の長さの2倍を心材直径とした。

3. 解析方法

胸高直径、心材直径、皮内直径、心材相対含水率について、統計解析ソフトRのlsmeansパッケージを用いてクローン、ブロック、クローンとブロックの交互作用を要因として分散分析を行い

クローンの最小2乗平均値を算出した。クローン間差を評価するため、総当たりでTukey-Kramerの多重比較検定を行った。心材直径と皮内直径、DBHの関係を調べるため、Pearsonの積率相関係数を算出した。Rのlme4パッケージのlmer関数を用いてクローン、ブロックおよびクローンとブロックの交互作用をすべて変量効果として分散成分を推定し、各成分の分散寄与率を求めた。

表-2. 成長形質の基本統計量

	樹高 (m)	DBH (cm)	皮内直径 (cm)	心材直径 (cm)
平均値	9.2	13.8	13.2	4.2
最大値	11.6	19.9	19.6	11.6
最小値	6.8	7.0	9.5	0.8
標準偏差	0.9	2.6	2.3	2.2
変動係数 (%)	10.3	18.8	17.5	53.6

Ⅲ. 結果

1. 心材の形成

樹高の平均値は9.2m、最大値は11.6m、最小値は6.8mであった。DBHの平均値は13.8cm、最大値は19.9cm、最小値は7.0cmであった(表-2)。心材直径の平均値は4.2cm、最大値は11.6cm、最小値は0.8cmであった。成長錐コアを採取した73個体すべての個体で心材の形成が確認された。皮内直径の平均値は13.2cm、最大値は19.6cm、最小値は9.5cmであった。心材直径の変動係数は53.6%であり、DBHの18.8%、皮内直径の17.5%よりも大きかった。

2. 成長形質と材質形質

表-3に成長形質における分散分析の結果および各形質のクローンの最小2乗平均値を示す。分散分析の結果、各形質の平均値は皮内直径と心材直径でクローン間に有意な違いが見られた。

表-3. 成長形質の分散分析結果とクローン平均値

要因	DBH (cm)				皮内直径 (cm)				心材直径 (cm)			
	自由度	平方和	F値	p値	自由度	平方和	F値	p値	自由度	平方和	F値	p値
クローン	3	28.6	2.34	0.082 n.s.	3	36.9	3.76	0.015 *	3	61.9	7.54	0.000 **
ブロック	2	104.8	12.89	0.000 **	2	61.8	9.45	0.000 **	2	62.6	11.44	0.000 **
交互作用	6	33.7	1.38	0.237 n.s.	6	25.6	1.30	0.269 n.s.	6	39.9	2.43	0.036 *
誤差	61	248.1			61	199.5			61	166.8		

	lsm	SE		lsm	SE		lsm	SE
県球磨5号	14.6	0.43	a	14.0	0.38	b	4.7	0.37
宮崎署6号	13.2	0.47	a,b	12.2	0.42	a	2.9	0.40
県始良4号	15.0	0.50	a,c	14.2	0.45	b	5.5	0.43
県肝属2号	13.2	0.59	a	13.1	0.53	a,b	4.4	0.50

lsm: 最小2乗平均値, SE: 標準誤差
 異なるアルファベットはクローン間に有意差があることを示す。
 n.s.: 統計的に有意でないことを示す。
 *: 5%水準で統計的に有意であることを示す。
 **: 1%水準で統計的に有意であることを示す。

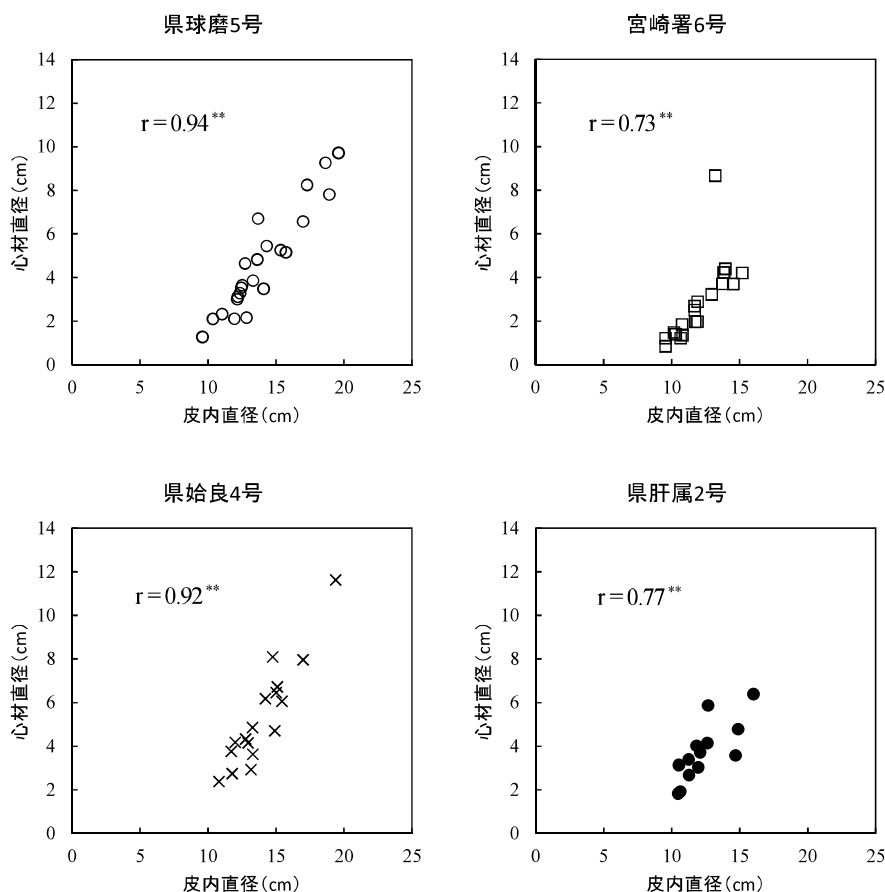


図-1. 各クローンの皮内直径と心材直径の関係

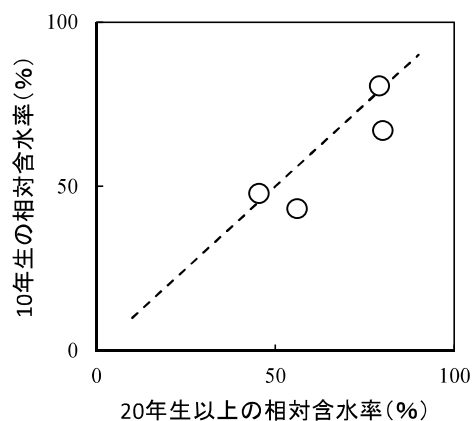
** : 1%水準で統計的に有意であることを示す。

表-4. 材質形質の基本統計量

	相対 含水率 (%)	乾量基準 含水率 (参考) (%)	容積密度 (参考) (g/cm ³)
平均値	60.2	109.3	0.398
最大値	103.1	173.7	0.579
最小値	29.6	66.3	0.315
標準偏差	20.0	26.3	0.061
変動係数 (%)	33.2	24.0	15.3

皮内直径と心材直径は始良4号と球磨5号が大きく、宮崎署6号は有意に小さかった。DBH、皮内直径が大きいクローンで心材直径が大きかった。各クローンの皮内直径と心材直径の関係を図-1に示す。心材直径は皮内直径と統計的に有意な正の相関関係があった。各クローンのDBHと心材直径の関係は、皮内直径と心材直径の関係と同じ傾向であった。

相対含水率の平均値は60.2%であった(表-4)。表-5に材質形質における分散分析の結果および各形質のクローンの最小2乗平均値および分散成分の寄与率を示す。分散分析の結果、相対含

図-2. 10年生と20年生以上の間の相対含水率の関係
破線は傾きが1の直線である。

水率の平均値はクローン間に有意な違いが見られた。相対含水率はクローンの分散成分が最も大きかった。また、クローンとブロックの交互作用はほとんど検出されなかった。相対含水率は始良4号と球磨5号で低く、宮崎署6号、県肝属2号で高かった。

表-5. 材質形質の分散分析結果とクローン平均値および分散成分の寄与率

要因	相対含水率 (%)					乾量基準含水率 (%) (参考)					容積密度 (g/cm ³) (参考)							
	自由度	平方和	F値	p値	寄与率 (%)	自由度	平方和	F値	p値	寄与率 (%)	自由度	平方和	F値	p値	寄与率 (%)			
クローン	3	6611.1	16.08	0.000	**	62.5	3	5711	5.30	0.003	**	45.1	3	0.0446	6.95	0.000	**	32.9
ブロック	2	641.8	2.34	0.105	n.s.	8.5	2	930	1.29	0.282	n.s.	2.6	2	0.0419	9.80	0.000	**	3.5
交互作用	6	835.9	1.02	0.423	n.s.	0.0	6	3910	1.81	0.111	n.s.	6.4	6	0.0316	2.47	0.033	*	13.3
誤差	61	8359.0				29.0	61	21919				45.9	61	0.1304				50.3

	lsm	SE		lsm	SE	lsm	SE	
県球磨5号	47.9	2.44	a	90.7	4.1	0.39	0.010	b
宮崎署6号	80.6	2.66	c	127.7	4.46	0.44	0.011	c
県始良4号	43.3	2.86	a	96.0	4.79	0.35	0.012	a
県肝属2号	67.1	3.35	b	125.8	5.62	0.39	0.014	a.c

lsm：最小2乗平均値，SE：標準誤差

異なるアルファベットはクローン間に有意差があることを示す。

n.s.：統計的に有意でないことを示す。

*：5%水準で統計的に有意であることを示す。

**：1%水準で統計的に有意であることを示す。

3. 既報の含水率との比較

各クローンの相対含水率の最小2乗平均値を藤澤ほか（1995）の20年生以上の3カ所の検定林のデータの平均値と比較した（図-2）。各クローンについて、10年生と20年生以上での相対含水率の違いは小さく、2～13%の違いであった。相対含水率が20年生以上で低いクローンは10年生でも低い傾向が見られた。

IV. 考察

今回測定した10年生の検定林ではすべての供試個体において心材が形成されていた。過去の事例では宮下ほか（2009）が東北地方の10年生スギで心材の形成が認められていたことを報告している。皮内直径および心材直径はクローン間差が見られたが、どのクローンも皮内直径と心材直径の間には高い正の相関関係があった。井原（1972）も九州地方の15～55年生のスギの調査結果から心材直径と皮内直径の間にきわめて高い正の相関があると述べている。また、DBHと心材直径の関係性の傾向は、皮内直径と心材直径の関係性と同様の傾向を示した。一般にはDBHと皮内直径の間には高い正の相関があると考えられるので、DBHの大きさから心材形成の有無を推定することが出来ると考えられる。今回の結果に基づけば、10年生でDBHの平均値が13.8cm程度の林分であれば心材含水率の測定が可能であると考えられた。

今回の測定結果と既報における20年生以上の同一クローンの測定値を比較したところ、20年生以上で相対含水率が低い値を示したクローンは10年生でも低い傾向が見られた。供試クローン数は少ないものの、今回の結果からは心材含水率の早期評価の可能性が示唆される。また、相対含水率は10年生と20年生以上で同程度の値を示した。

V. まとめ

スギ心材含水率の早期評価の知見を得ることを目的として、10年生のクローンを用いて若齢時の心材の形成状態、若齢時と20年生以上での含水率の関係性の検討を行った。その結果、調査に用いたDBHが7.0cm～19.9cmの供試個体のすべてで心材が形成されていた。20年生以上で心材含水率の低いクローンは若齢でも心材含水率が低い傾向が認められた。

引用文献

- 測上佑樹ほか（2020）木材学会誌 66：161-170
 藤澤義武ほか（1995）木材学会誌 41：249-255
 一宮孝至ほか（2021）木材学会誌 67：14-19
 井原直幸（1972）九大演報 46：1-129
 河澄恭輔ほか（1991）九大演報 64：29-39
 経済産業省（2022）貨物輸送事業者に行わせる貨物の輸送に係るエネルギーの使用量の算定の方法 URL：https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/enterprise/transport/institution/ninushi_santeikokuji.pdf（2022年10月26日利用）
 古俣寛隆ほか（2010）林産試験場報 539：1-5
 宮下久哉ほか（2009）木材学会誌 55：136-145
 森井拓哉ほか（2021）木材学会誌 67：7-13
 中田了五（2014）木材学会誌 60：63-79
 中島史郎・大熊幹章（1991）木材工業 46：127-131
 岡崎泰男・大熊幹章（1998）木材工業 53：161-165
 津島俊治ほか（2005）木材学会誌 51：394-401

（2022年11月12日受付；2023年1月5日受理）