

コウヨウザンの心材含水率及び容積密度の茨城県から鹿児島県に至る7林分間の変異

藤澤義武¹・近藤禎二¹・池田潔彦²・松下純也³・生野柁大⁴・馬場優政⁴・田口碩大⁴・秋丸博之⁴・永井純一⁵・牛島竜希⁶

1 森林総合研究所林木育種センター

2 静岡県農林技術研究所 森林・林業研究センター

3 鹿児島県

4 鹿児島大学

5 九州森林管理局

6 福岡県

要旨：コウヨウザンは成長と材質に優れた造林材料として期待され、造林特性及び材質の評価が進められている。その中で、スギ同様に多湿心材の存在が報告された。そこで、多湿心材発生の実態を把握するため、茨城県から鹿児島県に至る7か所の林分から成長錐でコアサンプルを採取し、生材含水率及び容積密度を調べた。その結果、150%を超える多湿心材の比率は21%で同様のスギの値の約1/2であったが、期待される伐期の30年生を越える6林分では林分ごとで0~13%、全体では8.8%であった。辺材部の容積密度は、未成熟材部の影響が強い若齢の1林分を除くと、林分平均値は0.310g/cm³~0.385g/cm³であり、スギと同等か上回った。また、生材含水率の林分平均値は林齢との間に、容積密度の林分平均値は林齢、緯度、経度、標高との間に、それぞれ有意な相関関係が認められたが、林齢は有意ではないものの標高、緯度と比較的強い相関関係が認められ、結論を得るにはデータの蓄積が求められる。

キーワード：コウヨウザン、容積密度、生材含水率、林分間変異

Variation of green wood moisture content in heart wood and basic density of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) among seven stands established between Ibaraki prefecture and Kagoshima prefecture.

Yoshitake FUJISAWA¹, Teiji KONDO¹, Kiyohiko IKEDA², Junya MATSUSHITA³, Masahiro SYONO⁴, Yusei BABA⁴, Sekihoro TAGUCHI⁴, Hiroyuki AKIMARU⁴, Jyunichi NAGAI⁵, and Ryuki USHIJIMA⁵

1 Forestry and Forest Products Research Institute, Forest Tree Breeding Center

2 Shizuoka prefecture, Forestry and Forest Products Research Institute

3 Kagoshima Prefecture Office

4 Kagoshima University

5 Kyushu Regional Office, Forest Agency

6 Fukuoka Prefecture Office

Abstract: Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) shows good characteristics like as fast grown, high modulus of elasticity, and so on. Recently, this species has been recognized as extra planting stocks in Japan. However, some trees with high moisture content in heart wood namely wet wood, which is a serious defect for kiln drying, were observed in some stands. Then, we carried on surveying wet wood trees at seven stands established from Ibaraki prefecture to Kagoshima prefecture, and got appearance rates of wet wood. Total appearance rate of wet wood for seven stands was 21%, which was half of same case of Sugi, and was 8.8% in the case with exception of a stand of which age was younger than the logging age. On the other hand, stand means of basic density in sap wood varied from 0.310g/cm³ to 0.385g/cm³, except results in a juvenile stand, and these values were same or superior than same values of *Cryptomeria japonica*. Variation of basic density among stands showed significant relationship between age, latitude, longitude, and elevation of each stand, and variation of moisture contents in heart wood among stands showed significant relationship between each stand age. However, while not statistically significant, stand ages also showed relatively strong relationship between latitude

and elevation, then more detailed data were needed to accumulate for making a conclusion.

Key-word: Cunninghamia lanceolata, basic density, green wood moisture content, variation among stands

I はじめに

コウヨウザン (*Cunninghamia lanceolata*) は台湾から中国南部を原産とするヒノキ科に属する針葉樹であり、成長が早く樹幹は通直で、胸高直径1m以上、樹高30m以上に達する。材は耐朽性、耐蟻性に優れるところから、中国では古くから建築材、船材、棺材などに広く利用され、現在は長江以南の地域における重要な造林樹種となっている。我が国には江戸時代末期に移入されたとされ、戦後は各地で導入試験が行われ、阿蘇山麓の植栽林では30年生時コスギと比べて胸高直径で14%、樹高で12%、材積に至っては41%上回ったことが報告されている(5)。このように優れた成長を利用し、伐期や下刈り期間の短縮を図り、造林コストの削減につなげようとする向きがあり、近年はこれに伴った研究・技術開発が盛んになっている。筆者らはコウヨウザンの需要の喚起等を目的として、我が国に生育するコウヨウザンの材質データを蓄積してきた。この中で、構造物材利用ではスギよりも材質に優れ、むしろヒノキに迫ることを示すデータが得られつつあるが(1)、その一方で、人工乾燥等の障害となる多湿心材が存在することもわかってきた(2)。

本報告ではコウヨウザンにおける多湿心材の実態を把握するため、南九州から北関東にいたる林分で生材含水率及び容積密度を測定し、いくつかの知見を得たので報告する。

II 材料と方法

1. 供試林分 供試した林分は、比較的まとまった個体数を持つ7か所の林分である。供試林分の概要を表1に示した。ここに示したとおり、調査時の林齢は日立の21年生から高隈の77年生までの違いがあった。調査時の胸高直径の林分平均値は、今澄の19.3cmから高隈の38.0cm、同じく樹高は日立の17.0mから四郎治沢の23.3mまでの変異があった。また、各林

表-1 供試林分の概要

Table1. Outlines of sampled stands.

林分名	所在	調査時 林齢	樹高 (m)	胸高 直径 (cm)	年平均 気温 (℃)	年平均 降水量 (mm/	標高 (m)	調査 個体数
日立	茨城県 日立市	21	17.0	25.3	14.1	1462	55	130
四郎治沢	千葉県 君津市	58	23.3	31.0	14.6	2143	227	40
今澄	千葉県 鴨川市	32	13.8	19.3	14.6	2262	275	40
浜松	静岡県 浜松市	58	18.3	24.8	15.5	2194	119	352
神戸	兵庫県 神戸市	76	19.5	33.2	13.5	1862	386	20
霧島	鹿児島県 霧島市	59	22.9	32.0	14.7	2724	432	307
高隈	鹿児島県 垂水市	*77	19.7	38.0	14.4	2967	541	40

※: 年輪数から推定

分の標高は日立の54.7mから高隈の540.5mまで、年平均気温は神戸の13.5℃から浜松の15.5℃まで、年降水量は日立の1462mmから高隈の2967mmまでの違いがあった。なお、各林分は高隈が中国中南部と東部、霧島が中国東部、神戸が中国東部と台湾、浜松が中国東部、今澄が中国中南部、四郎治沢が台湾、日立が中国中南部に由来すると推定される(4)実生苗で造林されている。また、四郎治沢は1個体に由来する自殖である可能性の高いことが指摘されている(4)。

2. 実験方法 サンプルは、供試個体の山側の胸高部位から内径5mmの成長錐によって樹皮から髓に至る連続したコアとして採取し、採取後速やかに辺材部、白線帯(移行帯)、心材部に分割し、心材部はさらに移行帯に接する部分から随に向かって長さで心材1、心材2、心材3に三等分し、それぞれを密閉ポリ袋へ封入し、さらに密封容器に入れて保存した。これらのサンプルから、全乾法と置換法の定法に従って生材含水率と容積密度を測定した。測定の手順を次に示す。生材重量は、採取当日に密閉ポリ袋ごと1/1000g精度で測定し、その後ポリ袋の重量を風袋引きして得た。なお、密封したサンプルの重量は、25℃で24時間置いたのちにもほとんど低下していなかった。全乾重量は、予備実験の結果にしたがい、秤量瓶でサンプルを105℃24時間乾燥して得た。体積はサンプルを飽水状態にし、水泡の影響に十分留意しながら置換法によって1/1000ml精度で測定した。これらの測定結果から次式によって容積密度及び生材含水率を求めた。

$$\text{容積密度 (g/cm}^3\text{)} = \text{全乾重量} / \text{飽水状態の体積}$$

$$\text{生材含水率 (\%)} = (\text{生材重量} / \text{全乾重量}) \times 100$$

なお、採取時期は霧島が7~8月、浜松が8月、日立、四郎治沢、今澄、神戸が9月であり、これは同じヒノキ科であるスギの立木含水率は年間を通じてほとんど変化しないとする既報(6)によった。また、林分ごとに全個体からの採取を目指したが、管理上の問題から20個体もしくは40個体に制約された林分もある。

III 結果と考察

1. 測定結果 容積密度と生材含水率の林分及び部位別の平均値等を表2へ示した。各サンプルは概ね林齢から1~3年輪を差し引いた年輪数を含み、辺材には日立、今澄を除いた林分で20年輪前後、白線帯が4~5年輪であり、日立、今澄はそれぞれ辺材が8年輪、10年輪前後、

表-2 容積密度・生材含水率の林分及び部位別の平均値
Table 2. Mean values of basic density and green wood moisture content at each stand

白線帯が1~2年輪であった。高隈と日立において、髄から樹皮に至る晩材仮道管長の放射方向の変化で判定した成熟材部への移行時期は概ね15年輪以降であり、これによると、日立では辺材に未成熟材を含むが、他の林分の辺材は成熟材と見なせる。辺材の容積密度は日立の0.283 cm³から霧島の0.385 cm³までの変異があった。日立は他よりも顕著に低い。これには先述のとおり辺材部に未成熟材を含むことが影響した可能性がある。また、容積密度は日立を除き、概ねスギと同等か上回っており、容積密度、生材含水率ともにいずれの部位においても、林分間で高い有意差が認められた。

心材部における部位毎の生材含水率の林分平均値は、既報⁽²⁾と同様に辺材に近い心材1が最も高くなる傾向にあった。また、心材全体の含水率の全平均値は113.6%と高く、各林分の最大値は神戸を除いて多湿心材と判断さ

ように、環境条件よりも、若齢であること、成長が良いこと、さらには遺伝形質が高含水率に影響した可能性があり、このことに着目した調査も必要であろう。

林分名		密度			生材含水率			多湿心材の比率			
		辺材	心材1	心材2	心材3	辺材	心材1		心材2	心材3	
日立	平均値	0.283	0.269	0.276	0.303	229.3	232.2	204.5	150.9	195.2	76.2
	最大値	0.394	0.348	0.391	0.608	391.8	402.1	362.3	298.9	336.5	
	最小値	0.218	0.208	0.208	0.216	136.0	74.3	87.7	64.7	82.8	
四郎治沢	平均値	0.359	0.344	0.319	0.308	136.3	100.6	106.2	94.5	97.8	7.7
	最大値	0.459	0.476	0.442	0.388	237.2	224.5	202.3	205.7	183.0	
	最小値	0.273	0.274	0.248	0.238	27.8	40.4	41.6	41.2	41.1	
今澄	平均値	0.313	0.297	0.303	0.340	177.1	133.0	101.6	76.7	102.7	12.5
	最大値	0.376	0.388	0.460	0.573	281.8	257.2	233.1	130.9	189.7	
	最小値	0.247	0.247	0.240	0.241	98.1	51.3	53.9	36.7	39.6	
浜松	平均値	0.345	0.335	0.317	0.329	131.8	92.7	93.9	87.5	91.6	11.8
	最大値	0.557	0.461	0.472	0.613	270.4	258.4	296.2	237.8	228.5	
	最小値	0.144	0.192	0.227	0.222	47.5	34.9	25.7	29.1	31.3	
神戸	平均値	0.364	0.367	0.342	0.339	152.4	62.7	60.2	57.4	56.2	0.0
	最大値	0.418	0.430	0.396	0.487	193.1	96.4	108.5	124.9	101.8	
	最小値	0.318	0.326	0.272	0.280	114.1	40.0	37.6	38.2	27.9	
霧島	平均値	0.385	0.353	0.328	0.342	157.4	123.4	119.3	88.0	110.0	13.0
	最大値	0.507	0.536	0.460	0.610	251.5	336.6	281.2	237.1	244.7	
	最小値	0.281	0.229	0.233	0.238	51.8	31.7	29.1	30.3	33.3	
高隈	平均値	0.359	0.344	0.319	0.308	136.3	100.6	106.2	94.5	97.8	7.7
	最大値	0.459	0.476	0.442	0.388	237.2	224.5	202.3	205.7	183.0	
	最小値	0.273	0.274	0.248	0.238	27.8	40.4	41.6	41.2	41.1	
全平均		0.349	0.330	0.314	0.329	157.5	125.2	120.0	96.9	113.6	21.1

※ 心材含水率が150%以上の個体

用材利用を前提としたコウヨウザンの伐期は30年生前後と期待され、この林齢を越える6林分での多湿心材の比率は1割程度であった。しかも、コウヨウザンは辺材に近い部分で含水率が高まる傾向にあることから、多湿心材に区分される高含水率個体であっても、スギより

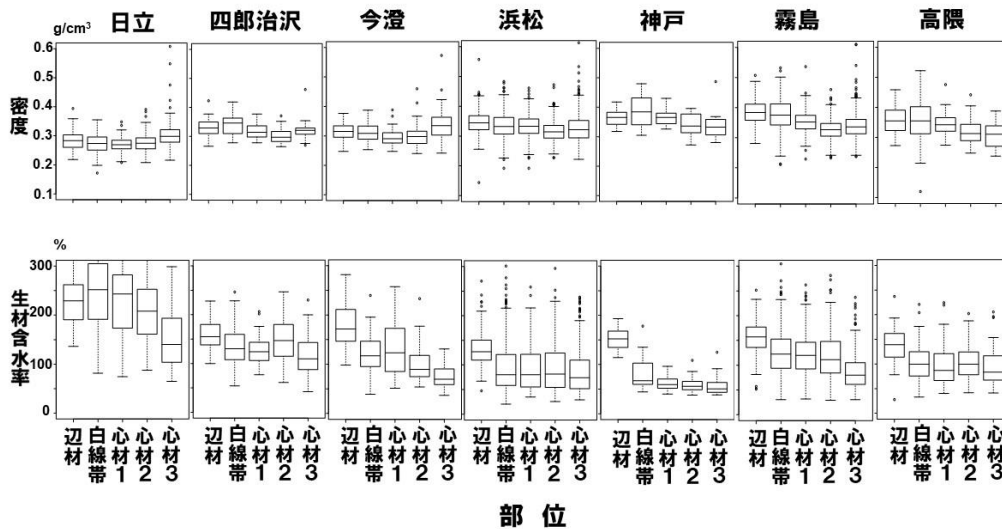


図-1 林分別、部位別容積密度・生材含水率の箱ひげ図

Fig. 1 Box whisker of basic density and green wood moisture content in each stand and each part of a stem.

れる150%を越えており、7林分全体での多湿心材の比率は21.1%であった。この値は関東地方のスギの心材含水率の平均値は136.8%で、多湿心材の比率は37%であったこと(3)に比べると約半分であった。一方、林分別の多湿心材の比率は日立が76.2%と突出して高く、これを除いた6林分での多湿心材の比率は0~13%で、全体では8.8%であった。突出して生材含水率が高かった日立は林齢が21年生で最も若齢であるが、成長量は58年生の浜松と同等であり、最も高緯度に位置し、降水量は最も少なく、地形は砂礫台地で比較的乾燥し易い条件にあった。この

も容易に人工乾燥できる可能性がある。この点に着目した材質評価も必要であろう。

一方、成長量と容積密度との関係では、今澄で心材3の容積密度と胸高直径との間に $r = -0.44$ 、高隈で心材3の容積密度と胸高直径との間に $r = -0.52$ で負の有意な相関関係が示された他は有意な関係は認められなかった。これには、心材3が髄付近に位置するために概ね未成熟材であることが影響した可能性がある。

2. 林分間および部位間の変異 林分別、部位別の容積密度・生材含水率の測定結果を図1に示した。容積密

表-3 容積密度と生材含水率の林分平均値と林齢等との
相関係数

Table 3. Correlation coefficients among stand means and stand ages, latitude, longitude, mean temperature, and annual precipitation.

		緯度	経度	標高	年平均		
					気温	年降水量	林齢
容積 密度	辺材	-0.83*	-0.86*	0.76*	0.06	0.68	0.85*
	心材1	-0.68	-0.76	0.71	-0.08	0.52	0.93**
	心材2	-0.61	-0.69	0.69	-0.13	0.47	0.86*
	心材3	-0.17	-0.16	0.24	0.09	0.17	0.20
生材 含水率	辺材	0.62	0.56	-0.55	-0.37	-0.68	-0.85*
	心材1	0.48	0.49	-0.58	-0.05	-0.48	-0.86*
	心材2	0.40	0.42	-0.56	0.06	-0.39	-0.61
	心材3	0.40	0.43	-0.55	0.01	-0.40	-0.71

*: 5%水準で有意、**: 1%水準で有意

度に関する部位別の変異では、日立、今澄で髓付近の心材3が高く、心材2で下がった後辺材部に向けて上昇する明瞭な傾向があり、四郎治沢、浜松、霧島においても、心材2での低下は小さいが同様の傾向を示した。しかし、神戸、高隈ではこうした傾向は認められず、髓から樹皮に向けて順次上昇する傾向にあった。神戸、高隈はともに林齢が70年を超えており、髓付近の心材3には10年輪以上含まれていた。このため、髓付近での年輪ごとの変化が平均化され、変化の傾向が抑えられた可能性がある。容積密度の髓から樹皮に至る放射方向の変化は、分割法や軟X線デンシトメトリ法等で確認しておく必要がある。また、髓から辺材に至る放射方向の変化を含めた容積密度の林分間の比較では、日立から霧島、高隈に向けて高まる傾向にあった。

一方、生材含水率は、部位別の変異では日立を除いて既報(2)同様に辺材部から髓を含む心材3に向けて低下する傾向にあった。辺材と心材を含めた個体全体の含水率は、日立から高隈へ向けて、すなわち、北東から南西に向けて低下する傾向にあった。また、日立は心材部が辺材部を上回る典型的な多湿心材であった。

このように、容積密度、生材含水率には日立から霧島、高隈に向けた一定の変異の傾向があるように見える。そこで、部位別の容積密度、生材含水率の林分平均値と林分の緯度、経度、標高、年平均気温、年間降水量及び林齢との相関係数を求めた。その結果を表3に示したが、辺材の容積密度の林分平均値と緯度、経度との間には負、標高の林分平均値と林齢との間には正の有意な相関関係が認められ、辺材と心材1の生材含水率の林分平均値と林齢との間には有意な負の相関関係が認められた。ただし、林齢は緯度との間に $r=-0.67$ 、経度との間に $r=-0.80$ 、標高との間に $r=0.73$ の有意ではないものの、比較的強い

相関関係が認められた。すなわち、供試した林分は南西に向かって、高林齢かつ高標高の傾向にあることを示唆しており、容積密度の林分間変異の林齢、緯度、標高によるクラインを単純に結論づけることはできない。若齢の日立おける経過観察など、さらなる調査が必要である。

IV まとめ

コウヨウザンの多湿心材の実態を知るため茨城県から鹿児島県に至る7林分において、容積密度と生材含水率を調査し、次の結果を得た。

- ① 多湿心材の発生率は21.1%でスギの同様の値の約1/2であったが、伐期相当の30年生を越える林分では0-13%とさらに低かった。
- ② 辺材部の容積密度は未成熟材部の影響が強い若齢林分を除き、 $0.310\text{g/cm}^3 \sim 0.385\text{g/cm}^3$ でスギと同等か上回った。
- ③ 容積密度の林分平均値は林齢、緯度、経度、標高と、生材含水率の林分平均値は林齢との間に有意な相関関係があったが、林齢は標高、緯度とも有意ではないものの比較的強い相関関係があった。

謝辞：本研究は農研機構生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業」の支援を受けて実施したものであり、ここに謝意を表する。

引用文献

- (1) 藤澤義武・佐藤新一・山田浩男・近藤禎二(2015) 北関東で生育する19年生のコウヨウザンの木材性質とその家系間変異. 関東森林研究 66-2: 183-186
- (2) 藤澤義武・永井純一・池田潔彦・近藤禎二(2018) コウヨウザンの生材含水率の個体間及び林分間変異. 第68回日本木材学会大会(京都) 発表要旨集: B14-01-1145
- (3) 平川泰彦・藤澤義武・中田了五・山下香奈(2003) 関東育種基本区から選抜されたスギ精英樹クローンの材質. 森林総合研究所研究報告 No.386: 21-26
- (4) 磯田圭哉・上野真義・大塚次郎・近藤禎二・生方正俊(2018) 国内コウヨウザン林分の遺伝的組成の解明と由来の推定. 第129回日本森林学会大会学術講演集: 221
- (5) 森田正彦・冬野招一・薮正勝(1988) コウヨウザン30年生林分についてスギとの成長比較. 九州林木育種場年報 17: 91-98
- (6) 静岡県林業技術研究所(2010) 伐採時期によりスギ立木中の水分量は異なるのか. 森林・林業研究センター情報 わかりやすい森林・研究林業研究シリーズ 11: 1-2