

# 静岡県で生育したユリノキの樹幹内における材質変動及び 乾燥した板材の材質<sup>†</sup>

長瀬 亘<sup>1)</sup>・稲葉大地<sup>1)</sup>・池田潔彦<sup>2a)</sup>

<sup>1)</sup>農林技術研究所森林・林業研究センター, <sup>2)</sup>農林環境専門職大学

## Drying Lumber Properties of Tulip Tree (*Liriodendron tulipifera*) and Within-stem Variation in Wood Properties of Tulip Tree Grown in Shizuoka Prefecture, Japan

Ko Nagase<sup>1)</sup>, Daichi Inaba<sup>1)</sup> and Kiyohiko Ikeda<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Forestry and Forest Research Center / Shizuoka Res. Inst. of Agri. and For.,

<sup>2a)</sup> Shizuoka Professional Univ. of Agri.

### Abstract

This study observed within-stem variation in the average ring width, moisture content, and wood density of tulip trees grown in Shizuoka Prefecture. The height and diameter of tulip trees at breast height were considerably greater than the estimated results for Japanese cedars with the same standing grade; therefore, tulip trees used in this study were growing well. The average annual ring width fluctuated greatly up to 15 annual rings. After 20 annual rings, the average annual ring width was often less than 4 mm and within a small range. Moisture content was not observed as a constant trend in the radial direction, and the difference between heartwood and sapwood was small. In addition, the moisture content decreased as the tree height increased. The difference between the oven-dry densities of heartwood and sapwood was small (20 kg/m<sup>3</sup>), and the higher the tree height, the higher the oven-dry density.

In addition, dynamic Young's modulus and warp of drying lumber of tulip trees were observed. The relationship between the number of annual rings from the pith and dynamic Young's modulus was approximated by two straight lines. From 1<sup>st</sup> to 4<sup>th</sup> logs, rough estimation of the boundary between juvenile and mature wood was possible. The dynamic Young's modulus difference between juvenile and mature wood tended to be small (1.0 GPa). Cup, bow, and crook of drying lumber were small and within the range that could be processed. However, the twist of drying lumber was large and had to be processed carefully.

キーワード ユリノキ 早生樹 含水率 全乾密度 動的ヤング係数 狂い

## I 緒 言

静岡県の森林は、41年生以上が92%に達しており<sup>16)</sup>、  
県では、森林資源を循環的に活用するため、低コストによ

る主伐・再造林の事業を進めている。再造林に向けた樹種  
選定として、短伐期での収穫や多様な木材利用のニーズに  
応えるため、主要な造林樹種であるスギ、ヒノキに加え、そ  
の他の樹種についても検討する必要があると考えられる。  
一方、内装材や家具等に使用されている広葉樹材は、その

<sup>†</sup>2021年度日本木材学会中部支部大会(2021, 富山県立大学)

日本木材加工技術協会年次大会(2019, 広島大学)

日本木材加工技術協会年次大会(2018, 東京大学)

<sup>a)</sup>研究実施時: 農林技術研究所森林・林業研究センター

大半は輸入材に頼っているが、グリーンウッド法<sup>3)</sup>の施行等で合法木材の利用が推進されており、輸入材の供給が不安視されていることから、国産材への転換が課題となっている。これらの背景により、短伐期で収穫でき、用途が幅広い早生樹への期待が高まっており、静岡県においても生育環境や建築・家具等の需要に則した早生樹種の選定に向けた対応が望まれている。

ユリノキ(*Liriodendron tulipifera*)は、幹が通直で成長が早く、北米では材質や加工性等が良好であることから主要な広葉樹用材として利用されている<sup>9)10)</sup>。また、国内の試験林等でも良好な生長形質を示していることから、その候補木として着目されている<sup>9)</sup>。一方、我が国におけるユリノキ用材・材質に関する研究は少ないが、大分県では広葉樹施策における有望樹の一つとして家具材利用を主とした調査研究を行っている<sup>13)</sup>。また、根津らは、大学内に植栽されたユリノキにおいてツーバイフォー材の強度的な検証を行っている<sup>14)</sup>。静岡県では、県立森林公園内に見本林としてユリノキが植栽され、これまでの生長経緯が調査されてきたが<sup>4)15)</sup>、その材質に関する調査は行われてこなかった。そこで本研究では、同地に植栽されたユリノキの成長と物理的な特性との関係を把握するため、平均年輪幅、含水率及び密度の樹幹内変動を調査し、また加工及び利用の適否を評価するため、天然乾燥及び人工乾燥したユリノキ板材の動的ヤング係数や狂いについて調査した。

## II 材料及び方法

### 1 立木の生長形質と含水率及び全乾密度の樹幹内変動

1962年に静岡県浜松市浜北区の県立森林公園内に集団植栽されたユリノキ見本林(標高: 180m, 緯度: N 34°51'07", 経度: E 137°47'14", 傾斜: 10~15°, 植栽面積: 0.13ha, 植栽本数: 330本, 現存本数: 55本)を試験木伐採の対象地とした。樹高は、超音波樹高測定器(Vertex, スウェーデン王国ハグロフ社製)を、胸高直径は直径巻尺を用いて測定し、応力

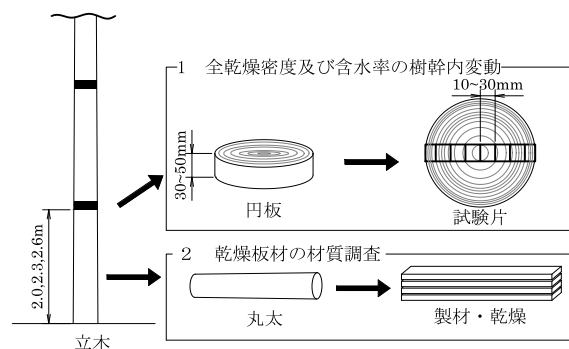


図1 試験片採取までの流れ

波伝播速度は応力波伝播速度測定器(Fakopp, ハンガリー国アルナス社製)で、応力波が入力側のセンサから出力側のセンサまで(1m)に到達した時間を測定し、この逆数として算出した。樹高及び胸高直径が平均値より大きく逸脱しない範囲で試験木を選定し、2018年に2本、2020年に3本、2021年に3本伐採した。

試験片採取までの流れを図1に示す。伐採木は、根元から枝下高部位にかけて、2018年は2.0m毎に、2020年は2.6m毎に、2021年は2.3m毎に玉切りした。それらの丸太の末口より厚さ30~50mm程度の円板を採取し、髓から外周部にかけておよそ20mm間隔で直方体の試験片を半径方向に採材して、それらの最外層の髓からの年輪数を計測後、全乾法<sup>12)</sup>による含水率及び全乾密度を式(1)及び式(2)によって計測した。

$$u = \frac{m_u - m_0}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

ここで、 $u$ : 含水率(%),  $m_u$ : 試験片の質量(kg),  $m_0$ : 全乾質量(kg)

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} \quad (2)$$

ここで、 $\rho_0$ : 全乾密度(kg/m<sup>3</sup>),  $V_0$ : 全乾状態における試験片の体積(m<sup>3</sup>)

### 2 乾燥板材の材質調査

前項で伐採した丸太の一部について、板材に製材し天然乾燥または人工乾燥を行い、材質の調査を実施した。天然乾燥用の試験体(以下、AD 板材)は、2018年に伐採した立木1本(No.8)分を用いた。断面寸法を、厚さ25mm、幅130mmとし、図2に示す木取りで製材を行った後、静岡県農林技術研究所森林・林業研究センター木材実験棟の軒下にて、2018年10月から2020年10月の約2年間、天然乾燥を実施した。人工乾燥用の試験体(以下、KD 板材)は、2020年に伐採した立木3本分を用いた。KD 板材は、断面寸法を厚さ35mm、幅120mmとし、図3に示す木取りとした。人工乾燥は、箱形減圧乾燥装置(O-MAX OHV3-3HV, 大井製作所製)を用いて、90°Cでの蒸煮6時間の後、減圧乾燥(90°C, 400hPa)84時間のスケジュールで実施した。両乾燥方法の板材はともに、製材後に寸法、重量及び縦振動法による動的ヤング係数 $\eta$ 、乾燥後に動的ヤング係数、全乾法による含水率、狂い(幅反り、縦反り、曲がり及びねじれ)を計測した。KD 板は、更に4カ月養生を行った後に、動的ヤング係数を測定した。

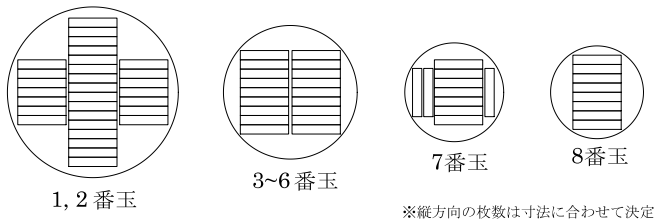


図2 天然乾燥板材の木取り

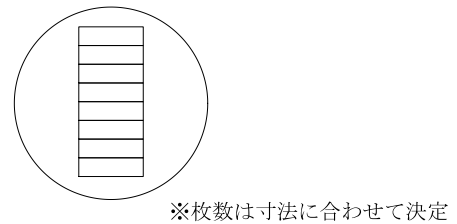


図3 人工乾燥板材の木取り

動的ヤング係数の測定には FFT アナライザ(CF-1200,小野測器製)を用いて、固有振動数を測定し、式(3)によって値を得た。

$$E_d = (2f)^2 \rho \quad (3)$$

ここで、 $E_d$ :動的ヤング係数(Pa),  $f$ :1次固有振動数(Hz),  $l$ :試験体の長さ(m),  $\rho$ :みかけの密度(kg/m<sup>3</sup>)

幅反りは、最大矢高の測定値とし、縦反り及び曲がりは、最大矢高に対し長さを除した値とした。ねじれは、3つの隅角部を平面上へ押し付けた際の残り1つの隅角部の浮き上がり量を測定し、得られた値から式(4)によってねじれの角度を求めた<sup>12)</sup>。

$$\theta_t = \sin^{-1}(h/w) \quad (4)$$

ここで、 $\theta_t$ :ねじれの角度,  $h$ :3つの隅角部を平面上へ押し付けた際の残り1つの隅角部の浮き上がり量(mm),  $w$ :試験体の幅(mm)

板材の乾燥後の含水率は試験体端部から 500mm 内側の部分から厚さ 20mm 程度の試験片を切り出して、式(1)により算出した。

### 3 未成熟材と成熟材との境界の推定方法

KD 板材を測定して得られた髄からの年輪数と動的ヤング係数の関係について、数式を用いて近似することにより、両者の変動傾向や成熟材と未成熟材との境界の推定を試みた。AD 板材は木取りの方法から推定が困難であったため、考察からは除外した。Sauter ら<sup>14)</sup>は分割回帰手法 (Segmented regression) を用いてスコッチパインの晩材密度の変動を、変化区間を二次関数で、安定区間を一次関数で、残差平方和が最小となるように回帰しているが、変化区間と安定区間の移行が緩やかな場合、その境界点の傾きも緩やかになるため、境界点として正しいのか疑問が残る。このため、田戸岡ら<sup>18)</sup>はスギのMOE(曲げヤング係数)/SG(比重)を指数式で回帰し、その収束値が 90%に当たる値を成

熟材と未成熟材との境界として分けて考察している。しかしこの場合は、ヤング係数の変化量が同程度であれば、同様な方法で適用可能であるが、その変化量が小さい場合、90%という値が恣意的で、境界点がかかなり若齢に判断されてしまう可能性があるため、本研究に適用するには難しいと判断した。以上より、成熟材と未成熟材との境界の推定には、無欠点小試験体による詳細な検証が必要であるが、本研究では板材試片によるため、式(5)及び式(6)による2直線で簡易的に近似して、おおまかな変動傾向の推定を試みた。

$$E_{cal}(x) = K_1 x + E_0 \quad x \leq N \quad (5)$$

$$E_{cal}(x) = K_2(N - x) + K_1 N + E_0 \quad x > N \quad (6)$$

2直線近似のモデルを図4に示す。式中の  $E_{cal}$ は、パラメータを用いた動的ヤング係数の計算値、 $x$ はその材の髄からの年輪数であり、年輪数と各パラメータに応じて  $E_{cal}$ が計算できる。各パラメータは、 $E_0$ が髄からの年輪数0の場合の動的ヤング係数で式(5)の切片、 $K_1$ 及び  $K_2$ が変化区間と安定区間の傾きで、1年輪あたりの動的ヤング係数の変化量を示しており、 $N$ が変化区間と安定区間との境界点である。これらの計算値と実測値の残差平方和が最小となるようパラメータ( $E_0, K_1, K_2, N$ )を算出した。なお、ヤング係数の実測値は、4カ月養生した段階で測定した値を使用し、含水率の影響を排除するため、式(7)により、含水率15%となるよう補正<sup>1)</sup>した。

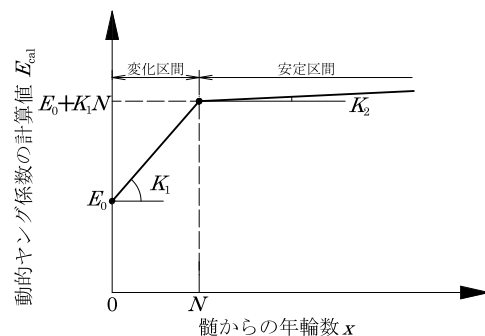


図4 2直線近似のモデル

$$E_{tr-15} = E_{tr} \frac{B_1 \cdot (B_2 \times 15)}{B_1 \cdot (B_2 \times M_1)} \quad (7)$$

ここで  $E_{tr}$ :試験で得られた動的ヤング係数(GPa),  $E_{tr-15}$ :含水率を15%に調整した動的ヤング係数(GPa),  $M_1$ :測定時の含水率(%). ただし, 含水率が20%を超えるあるいは10%未満の場合はそれぞれ20%, 10%とする.  $B_1, B_2$ :含水率定数(1.857, 0.0237)

### Ⅲ 結果及び考察

#### 1 立木の生長形質

試験対象地の立木の樹高, 胸高直径及び応力波伝播速度を表1に示す. 樹高は $28.5 \pm 5.5m$ (平均±標準偏差), 枝下高は $18.7 \pm 3.4m$ , 胸高直径は $43 \pm 13cm$ であった. 応力波伝播速度の平均値は $4.29km/sec$ であり, その二乗値と生材密度( $700kg/m^3$ と仮定)を乗じて推定した立木のヤング係数は $12.9GPa$ となった. 試験対象地の森林簿上の地位はV等級に該当し, スギの生育適地ではないと判断されるが, 静岡県スギ・ヒノキ人工林収穫予測プログラム<sup>17)</sup>を用いて, 試験対象地と同条件下でスギを植栽した場合の樹高及び胸高直径を予測したところ, 樹高が $11.7m$ , 胸高直径が $22cm$ であった. これとユリノキの測定値の平均との差が樹高で $16.8m$ , 胸高直径で $21cm$ とかなり大きく, 地位I等級におけるスギの値(樹高:  $23.5m$ , 胸高直径:  $32cm$ )よりも大きいため, 試験対象地のユリノキはスギと比較して良好な成長にあることが窺える. このことにより, スギやヒノキと比べ, 短伐期での収穫が期待できる.

#### 2 含水率及び全乾密度の樹幹内変動

平均年輪幅, 含水率及び全乾密度の測定結果を表2に示す. 平均年輪幅の全体の平均は,  $4.1mm$ で辺材の平均が $5.1mm$ , 心材の平均が $3.2mm$ であった. 根津ら<sup>11)</sup>が調査したユリノキ材の年輪幅は平均 $9.7 \pm 3.3mm$ (平均±標準偏差)で, 本研究の結果よりもかなり大きい値を示している. これは根津ら<sup>11)</sup>の試験体は平均年輪数が $10.6$ の若齢期のものであることに加え, 本研究の試験対象地の地位がV等級であることが要因ではないかと考えられる.

平均年輪幅の樹幹内分布を図5に示す. この図は, 採取した円板ごとに, 試験片を髄からの年輪数で5年ずつ区分し, それぞれの平均値を示している(以降, 含水率及び全乾密度においても同様). 半径方向では, 髄からの年輪数が大きくなるほど平均年輪幅が小さくなる傾向を示しており,  $4mm$ 未満の割合が, 髄からの年輪数が5, 10及び15のものがそれぞれ, 17%, 14%及び52%と推移していき,

表1 立木の樹高, 胸高直径及び応力波伝播速度

立木No.	伐採年	板材の乾燥方法	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	枝下高 (m)	応力波伝播速度 (km/sec)
1	2018	-	44	26.0	15.2	4.66
8	2018	天然乾燥	52	30.9	16.6	3.82
4	2020	人工乾燥	43	34.2	19.3	4.27
5	2020	人工乾燥	40	27.3	17.3	4.71
15	2020	人工乾燥	40	26.0	18.0	4.58
9	2021	-	34	31.1	20.8	4.57
10	2021	-	42	37.1	24.0	4.38
46	2021	-	40	26.0	20.0	4.94
林分全体の平均			43	28.5	18.7	4.29
			(13)	(5.5)	(3.4)	(0.32)

注: ( )内は標準偏差

表2 平均年輪幅, 含水率及び全乾密度

立木No.	平均年輪幅(mm)			含水率(%)			全乾密度( $kg/m^3$ )		
	全体	心材	辺材	全体	心材	辺材	全体	心材	辺材
1	5.0 (1.2)	5.7 (1.3)	4.4 (1.1)	94 (10)	93 (11)	94 (9)	503 (28)	488 (32)	514 (24)
8	5.3 (1.5)	6.2 (1.8)	4.6 (1.2)	95 (12)	96 (12)	94 (8)	468 (38)	443 (42)	487 (34)
4	3.6 (1.0)	3.9 (1.1)	3.0 (0.9)	117 (26)	125 (29)	102 (20)	481 (42)	471 (40)	501 (44)
5	3.5 (1.4)	4.7 (1.8)	2.6 (1.1)	97 (21)	86 (17)	104 (28)	446 (36)	430 (36)	453 (34)
15	3.8 (1.6)	5.0 (1.1)	2.5 (0.7)	120 (18)	117 (19)	123 (16)	458 (29)	452 (29)	465 (28)
9	4.1 (2.3)	6.0 (2.5)	2.0 (2.4)	93 (21)	95 (25)	90 (23)	476 (36)	472 (35)	476 (52)
10	4.1 (1.9)	6.2 (2.6)	3.0 (1.6)	95 (18)	93 (14)	96 (21)	470 (44)	445 (40)	486 (49)
46	3.7 (1.3)	4.8 (1.5)	2.9 (1.2)	97 (19)	95 (14)	98 (22)	463 (27)	455 (21)	468 (30)
全体	4.1 (1.7)	5.1 (1.6)	3.2 (1.1)	102 (22)	102 (24)	101 (21)	469 (40)	459 (36)	479 (40)

( )内は標準偏差

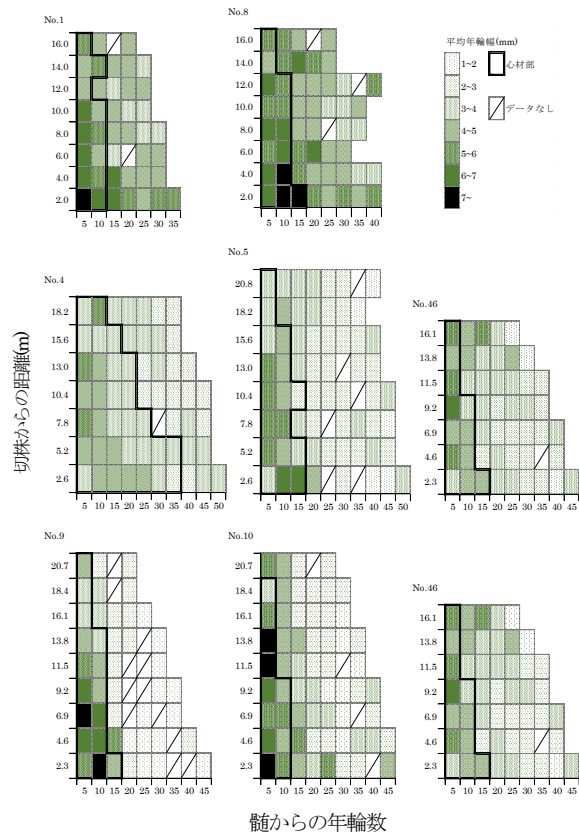


図5 平均年輪幅の樹幹内分布

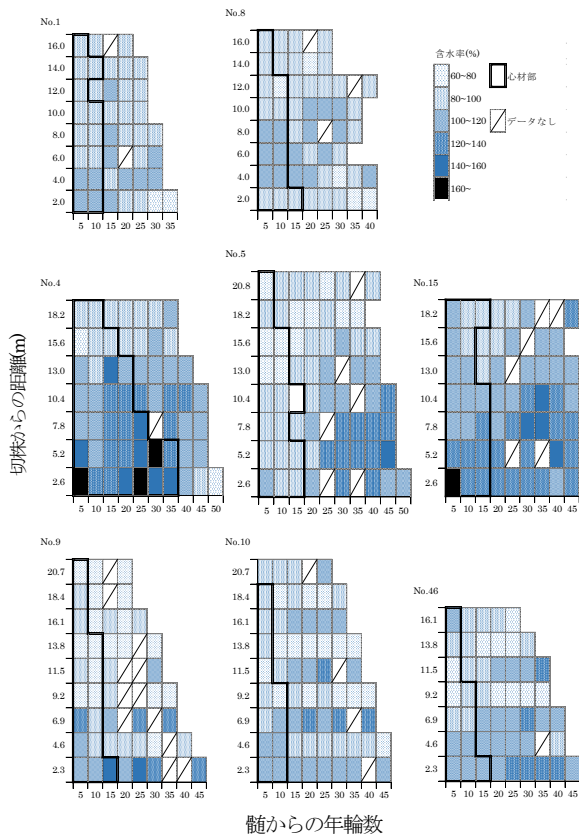


図6 含水率の樹幹内分布

髄からの年輪数が 20 以上になるとその割合が 7 割以上でずっと推移しており、平均年輪幅が小さい範囲に変動していく傾向を示した。樹高方向においては、No.9 で各円板の平均値の最大値と最小値との差が 2.6mm であったが、その他においてはその差が 2mm 未満であり大きな傾向は見られなかった。

含水率は、全体で心材が 102±24% (平均±標準偏差)、辺材が 101±21% であり、心材と辺材での含水率の差はほとんどなかった。Wood Handbook<sup>19)</sup> のデータは、製材直後の測定結果で多少の条件は異なるが、心材で 83%、辺材は 106% であり、心材で低く、辺材は同等であった。

含水率の樹幹内分布を図 6 に示す。半径方向においては、大きく変化のない部位や髄からの年輪数が大きいところで含水率が高くなるもの、逆に小さいところで高いものもあり、一定の傾向はみられなかった。また、心材と辺材の平均値の差は小さいため、全体としては半径方向での含水率の変動は小さいと考えられる。樹高方向においては、樹高部位が高くなると含水率は低くなる傾向にあり、8.0m 未満(3 番玉まで)では、含水率 100%以上の割合が 72%で、8.0m以上では 30%であった。

全乾密度は、全体で 469±40kg/m<sup>3</sup> (平均±標準偏差)、心材で 459±36kg/m<sup>3</sup>、辺材で 479±40kg/m<sup>3</sup> となり、心材と辺材

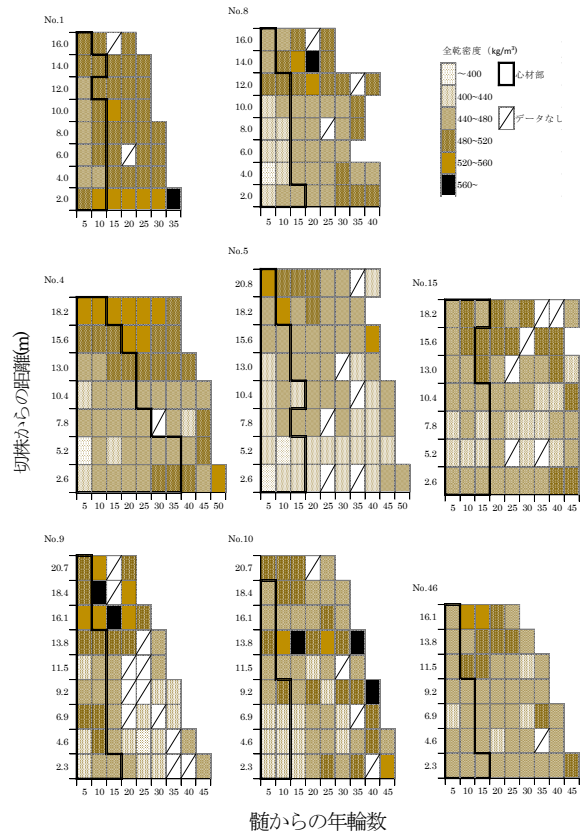


図7 全乾密度の樹幹内分布

との差は 20kg/m<sup>3</sup> で大きな差はみられなかった。Wood Handbook<sup>19)</sup> の値では力学特性の欄にある気乾比重が 0.42 で、既往の文献<sup>9)</sup>にある大分県に植栽された材の気乾密度は 430kg/m<sup>3</sup> であったが、本研究での全乾密度の平均から仮に含水率 12%時の密度を膨潤による寸法変化が無い場合で概算(1.12 を乗ずる)すると気乾密度は 525kg/m<sup>3</sup> となり、文献値と比較して 100kg/m<sup>3</sup> 程度大きい値となっている。これは、平均年輪幅の傾向と同様に、試験対象地の地位が V 等級であるため、成長が遅く緻密な材になったのではないかと考えられる。

全乾密度の樹幹内分布を図 7 に示す。全乾密度は、半径方向においては、大きな変化は見られなかった。樹高方向では、比較的樹高が高い部位で大きい値を示しており、8.0m 未満(3 番玉まで)では、440kg/m<sup>3</sup>以上の割合が 92%で、8m以上では 67%であった。

### 3 乾燥板材の材質調査

板材の含水率及び動的ヤング係数を表 3 に示す。AD 板材の含水率は、13.4±0.4% (平均±標準偏差)であり、ばらつきは少なかった。KD 板材の含水率は、乾燥直後は、6.1±2.0%となり、養生後の含水率は 10.7±0.9%となった。動的ヤング係数は、AD 板材が 10.8±1.2GPa (平均±標準偏

表3 乾燥板材の含水率及び動的ヤング係数

試験体	密度(kg/m³)	含水率(%)		$E_{T-15}$ (GPa)		$E_{T-15}$ (GPa)	
		乾燥直後	養生後	乾燥直後	養生後		
AD板材	8	507 (32)	-	13.4 (0.4)	-	10.8 (1.2)	10.5 (1.1)
KD板材	4	519 (35)	531 (35)	5.4 (1.4)	10.4 (0.8)	14.9 (1.1)	14.0 (0.9)
	5	484 (38)	492 (36)	5.9 (1.4)	10.7 (0.7)	13.7 (1.0)	13.0 (0.9)
	15	499 (25)	510 (27)	7.1 (2.7)	11.0 (1.1)	13.9 (1.0)	13.3 (0.9)
	全体	501 (36)	512 (37)	6.1 (2.0)	10.7 (0.9)	14.2 (1.2)	13.4 (1.0)

注：( )内は標準偏差

表4 2直線近似のパラメータ

番玉数	$E_0$ (GPa)	$K_1$ (GPa)	$K_2$ (GPa)	$N$	$R$	$K_1N$ (GPa)	$K_1N+E_0$ (GPa)
1	9.7	0.246	-0.0209	14.0	0.814	3.45	13.2
2	10.6	0.168	-0.0308	15.6	0.933	2.63	13.2
3	11.6	0.127	-0.0222	13.4	0.758	1.70	13.3
4	11.6	0.131	0.0240	10.5	0.774	1.38	13.0
5	11.7	0.164	0.0067	9.5	0.671	1.56	13.2
6	11.6	0.205	-0.0058	6.4	0.387	1.32	12.9
7	11.7	0.194	0.0619	7.5	0.846	1.45	13.1
平均	11.2	0.177	0.0019	11.0		1.93	13.1

注：RはPearsonの相関係数

差)で、KD 板材(養生後)が  $13.4 \pm 1.0$ GPa であり、KD 板材の方が高い傾向にあった。立木の応力波伝播速度でも、AD 板材用の立木が  $3.82$ km/sec、KD 板材用が  $4.27 \sim 4.71$ km/sec で、傾向は一致していた。また既往の文献と比較すると、Faustらの報告<sup>2)</sup>では、 $2 \times 4$ 及び $2 \times 8$ 材の曲げヤング係数が  $11.0 \pm 3.0$ GPa(文献中の単位(psi)を換算した値)、Marlyらの報告<sup>8)</sup>では、無欠点小試験体での曲げヤング係数が  $9.6 \pm 1.1$ GPaで、本研究の結果は、AD板材とKD板材はこれらと近い値となっており、材質的に同等と考えられる。

KD 板材の髄からの年輪数と動的ヤング係数の関係を図8に、2直線近似の各パラメータを表4に示す。一年輪当たりの変化量を示す  $K_1$ は  $0.131 \sim 0.246$ GPa となり、1番玉が  $0.246$ GPa で1番大きな値を示した。成熟材と未成熟材の境を示す  $N$ は、 $6.4 \sim 15.6$ で、番玉数が大きいものの方が低い値を示していた。しかし、表4中の相関係数  $R$ は、5番玉及び6番玉で0.7を下回っていて、その他と比べ低い相関となっており、未成熟材と成熟材との境界を推定するのは難しいと考えられる。また、これらの要因は節の多い試験体が多いこと、番玉数が大きくなるにしたがって採取できる材の数が少なくなっていること、未成熟材と成熟材との境界が若齢に近づいていて直線近似が難しくなっていることが考えられる。また、7番玉は、相関係数が0.846で高い値を示しているが、髄からの年輪数が大きいところで採取できた材の数が少ないため、未成熟材と成熟材との境界の推定ができていないかの判断は難しい。そこで、5~7番玉を除外し、1~4番玉までを、式(5)及び(6)を用いた方法

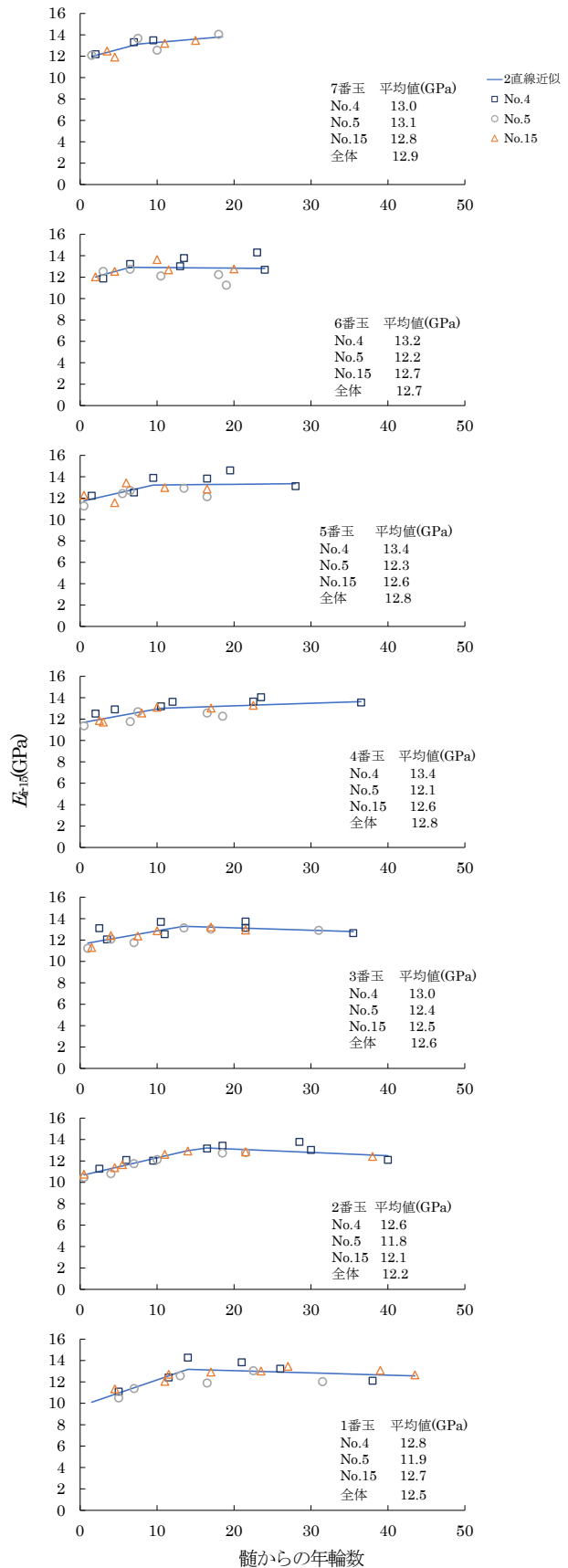


図8 髄からの年輪数と  $E_{T-15}$  の関係

で、未成熟材と成熟材の境を推定できたとみなして評価することとした。その結果、未成熟材が髄からの年輪数 0.5~14.0 で  $12.0 \pm 0.76 \text{GPa}$  (平均±標準偏差)、成熟材が髄からの年輪数 14.0~43.5 で  $13.0 \pm 0.56 \text{GPa}$  となり、成熟材の方が 8%高い傾向を示した。本研究とスギの場合とを比較するため、長尾らの推定式<sup>10</sup>(式(8)及び式(9))を用いて、本研究における丸太の寸法(丸太の半径: 150.50~204.75mm)と木取りを同様とした場合の、スギ板材の未成熟材と成熟材のヤング係数を推定した。

$$E_{fr-timber} = 0.051 \times \left( r \cdot 89.2 + \frac{89.2^3}{3R^2} \right) + E_{fr-log} \quad r < 89.2 \text{m} \quad (8)$$

$$E_{fr-timber} = 0.051 \times \frac{89.2^3}{3R^2} + E_{fr-log} \quad r \geq 89.2 \text{mm} \quad (9)$$

ここで、 $E_{fr-timber}$ : スギ板材のヤング係数推定値(GPa),  $r$ : 髄からの距離(mm),  $E_{fr-log}$ : スギ丸太のヤング係数,  $R$ : 丸太の半径

長尾らの推定式<sup>10</sup>では、髄からの距離と丸太のヤング係数から、採材する材のヤング係数を推定できる。式(8)及び式(9)中の丸太のヤング係数は、池田らの報告<sup>5</sup>の天竜地域におけるスギ丸太の平均値(=9.0GPa)を用いた。この結果、未成熟材が平均で 7.5GPa、成熟材が 9.3GPa で成熟材の方が 24%高い結果となった。このことから、本研究におけるユリノキ材の未成熟材と成熟材との動的ヤング係数の差は、スギと比べて小さいと考えられる。また、樹高方向においては、全体の平均値が 12.2~12.9GPa の間にあり、大きな変動は見られなかった。

AD 板材及び KD 板材の狂いを表 5 に示す。断面寸法や採材した立木が異なるので一概に比較することは難しいが、AD 板材と KD 板材とで幅反り、縦反り及び曲がりで有意差が確認され(t 検定,  $p < 0.01$ )、幅反り及び曲がりには KD 板材の方が、縦反りは AD 板材の方が大きい値を示した。しかし、この差はそれぞれ 1mm, 0.08%(2m 材換算で 1.6mm)及び 0.06%(2m 材換算で 1.2mm)で、実用面で考えるとわずかな差であった。また、スギの間柱は一般的に、厚さ方向で 7mm 程度、幅方向で 15mm 程度(2m 材換算で 0.75%)の歩増しを行っている。幅反り及び曲がりには大半の試験体がこの範囲の中にあり、狂いは少なかったと考えられる。ねじれについては、AD 板材と KD 板材とで有意差は確認されなかった(t 検定,  $p > 0.05$ )が、平均が AD 板材で 4.4°(幅 120mm 換算で浮き上がり量が 9.2mm)、KD 板材で 4.3°(幅 120mm 換算で浮き上がり量が 9.0mm)と大きく、家具に利用する際は、モルダーで厚みを落とす量を多くするこ

とや、テーブルなどを作成する際は、狂いを強制するための幕板を設けるなどの対処が必要になると考えられる。また、根津らの報告<sup>11</sup>では、縦反り、曲がり及びねじれはそれぞれ、0.13%、0.15%及び 7.9° で縦反り及び曲がりには本研究と近い値を示していたが、ねじれについては更に大きな値を示していた。このことから、加工についてはねじれに注意する必要があると考えられる。

表 5 AD 板材及び KD 板材の狂い

乾燥種別	試験体寸法(mm)	試験体数	幅反り(mm)	縦反り(%)	曲がり(%)	ねじれ(deg)	
AD 板材	20×130×2000	151	平均	3	0.24	0.04	4.4
			最大	11	1.02	0.33	14.2
			最小	0	0	0	0.9
			標準偏差	2	0.17	0.06	2.3
			発生率(%)	98	96	44	100
			平均	2	0.16	0.10	4.3
KD 板材	35×120×2500	130	最大	5	0.72	0.48	15.7
			最小	0	0.04	0	0
			標準偏差	1	0.12	0.08	2.3
			発生率(%)	99	100	99	99

#### IV 摘 要

本研究では、静岡県で生育したユリノキの平均年輪幅、含水率及び全乾密度の樹幹内変動と乾燥した板材の動的ヤング係数及び狂いについて調査した。その結果、以下のとおり知見が得られた。

- 1 試験対象地の立木の樹高及び胸高直径は、地位等級が同一の場合のスギを予測した結果と比較するとかなり大きい。立木は良好な成長にあることが窺えた。
- 2 平均年輪幅は、髄からの年輪数が 15 までは大きく変動し、20 以降は 4mm 未満の割合が多く、小さい範囲で推移していった。また、樹高方向については一定の傾向はみられなかった。
- 3 立木伐採時の含水率は、半径方向では一定の傾向は見られず、心材と辺材の差は小さかった。また、樹高部位が高くなるほど減少する傾向にあった。
- 4 全乾密度は、心材と辺材の差が  $20 \text{kg/m}^3$  と小さく、樹高部位が高くなるほど全乾密度は高くなる傾向にあった。
- 5 KD 板材の髄からの年輪数と動的ヤング係数の関係を 2 直線で近似した結果、1~4 番玉までは、おおむね未成熟材と成熟材の境を推定することができた。また、動的ヤング係数は、成熟材と未成熟材との差が 1.0GPa 程度と小さい傾向にあった。
- 6 乾燥板材の狂いは、幅反り、縦反り及び曲がりには加工で除去できる小さい範囲であったが、ねじれについては比較的大きいため注意が必要である。



## 謝 辞

本研究に際して、試験体の作成及び測定に協力いただいた農林技術研究所林業分室の山田宗二郎氏、人工乾燥の乾燥スケジュールにご助言いただいた(国研)森林研究・整備機構森林総合研究所の齋藤周逸氏、並びに本論文に対して有益なご助言をいただいた匿名の査読者の方々には深甚なる謝意を表す。

本研究の一部は(国研)森林研究・整備機構森林総合研究所交付金プロジェクト(課題番号 201905)の研究成果である。

## 引用文献

- 1) ASTM D1990-07 (2007): Standard Practice For Establishing Allowable Properties For Visually-Graded Dimension Lumber From In-Grade Tests Of Full-Size Specimens
- 2) Faust, Timothy D., McAlister, Robert H. and Zarnoch, Stanley J. (1990): Strength and Stiffness Properties of Sweetgum and Yellow-poplar Structural Lumber. *Forest Products Journal*. 40(10): 58-64.
- 3) 合法伐採木材等の流通及び利用の促進に関する法律 (2017.5.20)
- 4) 穂屋下浩平・鈴木久雄 (1992): ユリノキ造林木の生育, 静岡県林業技術センター業務成績報告, 39
- 5) 池田潔彦・渡井純・鈴木養樹・飯島泰男(2012): 静岡県産スギ・ヒノキ中・大径原木より採材した平角製材梁の曲げ性能, 静岡県農林技術研究所研究報告, Vol.5, 45-52
- 6) 岩崎誠・坂 志朗・藤間 剛・林 隆久・松村順司・村田功二 (2012): 早生樹—産業植林とその利用—. 海青社 90-104
- 7) 公益財団法人日本住宅・木材技術センター (2011): 構造用木材の強度試験マニュアル. 60-63
- 8) Marly Gabriela Carmona Uzcategui, Seale, R. D. F., Franca, J.N. (2020): Physical and Mechanical Properties of Hard Maple (*Acer saccharum*) and Yellow Poplar (*Liriodendron tulipifera*), *Forest Products Journal*, 70(3), 326-334.
- 9) 毛藤勤治・四手井綱英・村井貞允・指田豊・毛藤罔彦 (1989): ユリノキという木 魅せられた樹の博物誌. 株式会社アボック社出版局, 163-170
- 10) 長尾博文・加藤英雄・井道裕史・原田真樹 (2021): 丸太段階における製材のヤング係数推定技術の開発. *木材工業*, Vol.76, No.11, 434-439
- 11) 根津侑実・石栗 太・大谷直希・笠原 肇・大島潤一・横田信三 (2022): 宇都宮大学構内で生育したユリノキ 2×4 材の材質に関する予備的試験. *木材工業*, Vol.77, No.2, 52-57
- 12) 日本木材学会 (2000): 木質科学実験マニュアル. 文栄堂出版株式会社, 164-171
- 13) 大野善隆・北嶋俊郎・佐藤幸志郎・石井信義・諫本信義・豆田俊治 (1996): ユリノキ材活用に関する調査研究. 大分県産業科学技術センター研究報告, 88-91
- 14) Sauter, U.H., Mutz, R. and Munro, B.D. (1999): Determining Juvenile-Mature Wood Transition in Scots Pine Using Latewood Density, *Wood and Fiber Science* 31(4), 416-425
- 15) 塩澤靖弘(2004): ユリノキ一斉林の成長調査, 静岡県林業技術センター業務成績報告, 64
- 16) 静岡県経済産業部森林・林業局・静岡県くらし・環境部環境局(2022): 静岡県森林共生基本計画 2022-2025. 51-64
- 17) 鈴木善郎・野上啓一郎(1998): 静岡県スギ及びヒノキ人工林システム収穫表の作成—長伐期施業に対応する密度管理と収穫予測システムの開発—. 静岡県林業技術センター研究報告, 第 26 号, 15-49
- 18) 田戸岡尚樹・小泉章夫・朱建軍 (2005): スギの組織構造及び力学特性の樹幹内変動. 北海道大学演習林研究報告, 第 62 巻, 第 1 号, 15-30
- 19) United States Department of Agriculture, Forest Products Laboratory (2021): *Wood Handbook Wood as an Engineering Material*. 2-11, 4-2, 5-6