



Title	スギ人工林間伐における寺崎式樹型級区分と樹幹曲げヤング係数の変化
Author(s)	工藤, 弘; KUDOH, Hiromu; 菅野, 高穂 他
Citation	北海道大学農学部 演習林研究報告, 53(1), 44-68
Issue Date	1996-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/21395
Type	departmental bulletin paper
File Information	53(1)_P44-68.pdf



スギ人工林間伐における寺崎式樹型級区分と 樹幹曲げヤング係数の変化

工藤 弘* 菅野 高穂** 賈 斌*** 門松 昌彦*

Change of TERAZAKI's Tree-Form-Classification and YOUNG's Modulus in
Bending of Standing Tree Trunks for Thinning of Artificial Sugi Forests

by

Hiromu KUDOH*, Takaho KANNO**, JIA Bin*** and Masahiko KADOMATSU*

要 旨

新たに針葉樹の構造用製材の日本農林規格が定められ、ヤング係数を基準とする、いわゆる機械的等級区分が建築用構造材に適用されるようになった。したがって、これからの針葉樹林の間伐等の際には、ヤング係数を考慮に入れた選木法が必要と考えられる。本研究では北海道大学檜山地方演習林において1957年に植栽し、第2回の間伐を実施した2つのスギ試験地を対象とし、間伐前と間伐7年後の林分構造と、各林木のヤング係数の変化について分析を行った。第2回の間伐は本数率で試験地1では8%、試験地2では14%実行された。また全林木について、寺崎式の樹型級区分と樹幹曲げヤング係数の測定を行った。7年後、両試験地の平均で胸高直径20%、樹高4%、材積43%の増加が認められた。樹型級区分では2-d級木の減少と3級木の増加が著しかった。ヤング係数は成長旺盛な1級木では低く、3級木等の劣勢木では逆にそれが高く、年輪幅と材の強度の反比例関係がうかがわれた。しかし、優勢木のヤング係数も高くなってきており、この7年間に10~20%の上昇が認められた。また、樹型級区分による優勢木は次第に絞られ、将来の主木になっていくように考えられた。

キーワード：スギ人工林の間伐, 北大檜山地方演習林, 寺崎式樹型級区分, 樹幹曲げヤング係数

1995年9月30日受理. Received September 30, 1995

*北海道大学農学部演習林

The Hokkaido University Forests, Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo 060

**北海道大学農学部森林科学科

Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo 060

***中華人民共和國遼寧省林業種苗管理總站

Forest seed & seedling general station of Liao Ning province, CHINA 110036

1. はじめに

これまで製材の日本農林規格では、節の有無や曲がり等、主として外見上の欠点に基づいて等級区分を行っており、木材の強度については特に規定が設けられていなかった。しかし、1991年1月31日に新たに針葉樹を対象とした構造用製材の日本農林規格が定められ、ヤング係数を基準とする、いわゆる機械的等級区分が建築用構造材に適用されるようになった(18)。したがって、これからの針葉樹林の間伐等には、ヤング係数を加味した選木が必要と考えられる。

従来、対象地域の北海道南部檜山地方のスギ人工林では、寺崎式の樹型級区分(以下樹型級区分とする)に準じた間伐法が行われてきた。また道内では、針葉樹を対象とした間伐方法として、収穫表を基とした適正樹間距離に基礎をおき、隣接木間の善し悪しを比較して伐採木を選定するやや簡易な牛山式間伐法(23)や、林分密度管理図(1)を用いた定量的な方法も試みられてきた。しかし、いずれも樹木の外見上の形質に基づいて選木が行われており、木材の物理的な強度については考慮されてこなかった。

小泉ら(12, 13, 14, 15)によって確立された立木の樹幹曲げヤング係数(以下ヤング係数とする)の測定法は、林地内で比較的短時間に、しかも簡単に行うことができ、さらにこの手法は非破壊的に木材の物理的な強度を評価することができる(24)。そこで本研究では、物理的な強度に勝る林木を残すための選木について考察するため、現地で林木のヤング係数の測定を小泉らの手法によって行い、従来からの間伐法である寺崎式の樹型級区分法について、強度に勝る林木を育成する視点から検討を行うことにした。

立木のヤング係数は樹種や年齢、立地等によって異なることが報告されている。すなわち、上田(28)は、スギ造林地を調査して、北大和歌山地方演習林産の林木では60~110 t/cm²のものが多く、同檜山地方演習林産のものでは50~70 t/cm²のものが多くとしている。小田ら(20, 21, 22)も圧縮ヤング係数は品種間で差異があると述べている。片寄ら(10, 11, 17)はトドマツで容積密度数がクローン間で相違があることを示しており、門松ら(7)も同じくトドマツで容積密度数、ヤング係数がクローン間で差異はあるが、ヤング係数の反復係数(広義の遺伝力)は0.13と小さいと述べている。さらに高田(24)もカラマツでヤング係数のクローン間差は高度に有意であること、試験地間相関が大きいこと、経年的にヤング係数が増加している。また藤沢ら(2)も、ヤング係数はクローン間で違いがあり、それは遺伝的特性であると述べている。

次に中谷(19)は、林木が樹齢を経るにしたがい、ヤング係数値が樹幹各部で差異を生ずること、スギの場合、25~28年生時には樹幹中央部の値が胸高部位や梢端部の約1.7~2.2倍に達するとしている。また、矢幡ら(30)が調べた容積密度では、品種によってヤング係数値が異なってくるが、胸高部位の測定値で樹幹全体の傾向を把握することができるとしている。

このように、ヤング係数は樹種やクローン、樹幹の部位、さらには立地等で差異のあることが認められているが、容積密度数とヤング係数はほぼ比例の関係があるので、胸高部位のヤング係数で幹全体の傾向を把握して差し支えないように考えられる。本研究では、これらの結果を参考にして、北大檜山地方演習林内に造成されているスギ造林地を対象として、以下のよ
うな2つの試験地を設定した。すなわち、従来の樹型級区分にしたがって間伐率の異なる弱度の寺崎式B種間伐に準じた間伐を実行し(表-1参照)、間伐前後と間伐7年後の林分構造とヤング係数の変化を調査した。またここでは、材質、特に構造材としての強度を表す指標の一つであるヤング係数を用い、樹型級区分とヤング係数の関係、およびその経年的変化を調べ、間伐を実施する際、ヤング係数を参考にした選木法を導入することについて検討を行った。

本研究を行うにあたって、ヤング係数の測定法と理論的検証にご指導を頂いた秋田県立農業短期大学附属木材高度加工研究所小泉章夫博士と北海道大学助教授上田恒司博士に深謝の意を表す。また、野外調査等にご協力頂いた、北海道大学檜山地方演習林長夏目俊二博士はじめ職員各位に感謝申し上げる。

なお本研究費の一部に文部省科学研究補助金(課題番号 05660151)を使用した。

表-1 寺崎式樹型級区分と間伐の型式

Table 1. Guide description for the classification of tree-form class by TERAZAKI's method and some thinning types based on it

I 優勢木	林冠の主要構成要素で、上層林冠を構成するもの	
1 級木	樹冠の発達が隣接木に妨げられることなく、広がり偏っていないで、幹形にも欠点のないもの	
2 級木	樹冠の発達が隣接木に妨げられ、その成長が偏るか、もしくは幹形が悪いもの	
a	暴れ木	
b	樹冠の発達が過弱で、樹幹が細長なもの	
c	隣接木に挟まれ、側圧のため成長が偏っているもの	
d	幹形が悪く、甚だしく曲がったもの、分岐したもの	
e	被害木、病木	
II 劣勢木	林冠の主要構成要素でなく、下層林冠を構成するもの	
3 級木	既に成長が悪くなり育ち遅れとなっているが、まだ被圧されていないもの	
4 級木	被圧状態にあるが、まだ生活を続けているもの	
5 級木	枯死木、病木	
間伐の型式		
下層間伐	A種	4, 5 級木の全部を伐採
	B種	2 級木の b と e の全部, c の大部分, 3 級木の一部, 4, 5 級木の全部を伐採
	C種	2, 4, 5 級木の全部, 3 級木の大部分, 1 級木のうちで他の 1 級木を妨げるおそれのあるものを伐採
上層間伐		2, 4, 5 級木の全部と 1 級木のうちで他の 1 級木の成長を妨げるおそれのあるものを伐採

注) 近藤 助: 潤葉樹用材林作業, 121~122, 朝倉書店, 東京, 1961より

2. 試験地の概況と試験の方法

試験地は、北海道檜山郡上ノ国町字小森に位置する北海道大学檜山地方演習林第4林班(図-1)のスギ(*Cryptomeria japonica* D. DON)人工造林地に設定された。檜山地方演習林は森林植物帯上温帯北部に属しているが、林地は標高365mの大平山の東斜面にあって、周辺の標高200m前後の山地から突出しているため風あたりが強く、また冬に日本海から吹きつける北西の季節風、春に津軽海峡から渡島半島越しに吹く南東風は風力が大で冷たく、檜山地方演習林の樹木の生育を著しく阻害している。演習林のこうした環境条件のなかで、試験地は標高100~110mの起伏の少ない比較的緩やかな東斜面にあって、地質は古生層の堆積岩よりなり(4, 5)、土壌は褐色森林土で腐植に富み、土壌の理化学性はよい(29)。気候は年平均気温9℃、年間降水量約1,300mmで、最大積雪深は演習林地内では約1mである。この研究に使用したスギ造林地は1957年皆伐跡地にha当たり3,000本植栽され、1981年に第1回の間伐が本数間伐率13.6%および20.7%で実施されている。

本試験では、間伐率13.6%の造林地から0.1ha(20m×50m)を選んで試験地1とし、同じく20.7%の方から同様に選んで試験地2とし、1987年に第2回の間伐を行った。この間伐にさきだち、試験地毎に樹冠投影図をつくり、試験地内の全立木(試験地1は192本、試験地2は166本)について、図-2に示す方法により樹幹曲げヤング係数(E_s)を測定した。測定方法は、門松ら(7)、片寄ら(10)が試みているように、各立木の地上高180cmの位置に長さ120cm

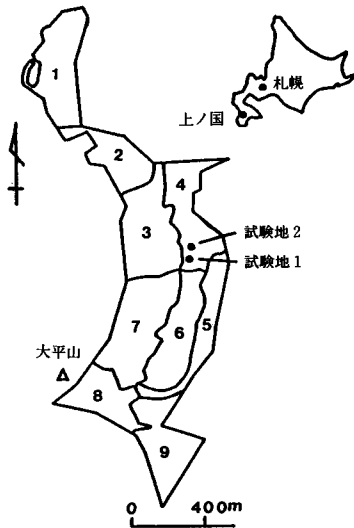


図-1 北海道大学檜山地方演習林位置図
Fig. 1 Location of experimental plots in the Hiyama Experimental Forest, Hokkaido University.

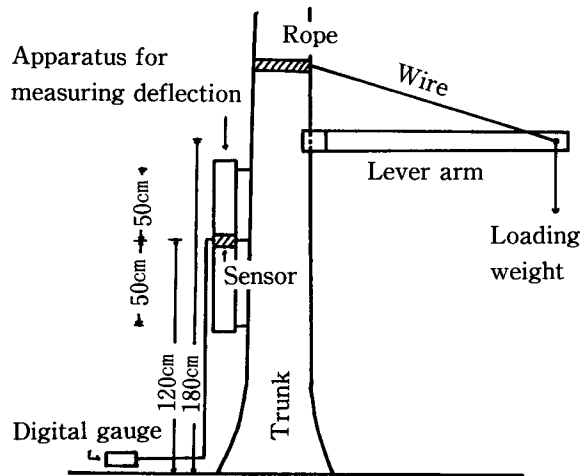


図-2 樹幹曲げヤング係数測定法の模式図
Fig. 2 A schematic diagram of the apparatus for the measurement of YOUNG'S modulus in bending of a standing tree.



写真-1 第2回間伐後の試験地1の林相(1987年)
Photo 1 The forest stand of Plot 1 after the second thinning (1987)



写真-2 第2回間伐後の試験地2の林相(1987年)
Photo 2 The forest stand of Plot 2 after the second thinning (1987)

または 80 cm の挺子を固定し、その先端に種々の荷重を掛け、その対面に設置した 100 cm のたわみ量測定器具の中央、つまり地上 120 cm の位置に取り付けたセンサーによりたわみ量を測定し、次の式によりヤング係数 (E_s) を計算した。

$$E_s = \frac{S^2 \cdot M}{2 \pi \delta (r_{120} - t_b)^4}$$

ここで、 S : たわみ測定器具の長さ (100 cm)、 M : たわみ量測定部にかかる曲げモーメント $= W \cdot (L + r_{180})$ 、 δ : 樹幹の曲げたわみ量、 π : 円周率、 W : 荷重、 L : 挺子アームの長さ、 r_{180} : 高さ 180 cm の樹幹半径、 r_{120} : 高さ 120 cm の樹幹半径、 t_b : 樹皮厚、単位は cm、kg であり、測定された E_s の単位は kg/cm^2 である。

実際の測定は樹木の成長休止期に、直交する幹の直径 2 方向について行い、測定時の残留変位、直径 2 方向の誤差はそれぞれ 10% 以内におさまるよう、測定を繰り返した。また樹幹の曲げ変位が 0.2~0.5 mm のときが、再現性も高く作業能率もよいので、この数値に近くなるよう挺子アーム L は 80 cm と 120 cm、荷重は 12 kg、15 kg、75 kg および 80 kg を組み合わせて測定し、直交する幹の直径 2 方向の平均値を測定値とした。このとき加えられた応力は、隣接木への接触の関係もあって、平均約 $12 \text{ kg}/\text{cm}^2$ と小さくなったため、やや精度が低くなった。

つぎに樹冠投影図と各立木の樹型級区分、樹高、胸高直径等を勘案して、樹型級区分の B 種間伐法に準じて、試験地 1 では間伐率 (本数率以下同じ) 8%、試験地 2 では 14% の間伐を実施したが、結果として 0.1 ha の残存本数が試験地 1 では 177 本、試験地 2 では 143 本となり、植栽当初の ha 当たり 3,000 本と比較して、残存率はそれぞれ 59%、48% であった。試験地の全木について、個体番号を付け、1987 年の間伐前と 7 年後の 1994 年に同一人による樹型級区分とヤング係数の測定を行い、間伐前後及び 7 年後の林分構造と、ヤング係数の変化を比較した。ヤング係数の測定は、試験地 2 では全木、試験地 1 では任意の 97 本について行った。その他、前報 (25) では、十分な試料数が得られなかったため、有意性が認められなかったヤング係数と胸高直径との間の相関を、間伐前の試料を用いて計算した。

3. 結果と考察

試験地 1 と 2 においては、表-1 に示すような樹型級区分と B 種間伐に準じた弱度の間伐を行っており、その間伐前後と間伐 7 年後の林分構造の変化は、それぞれ表-2、3 のとおりである。すなわち、試験地 1 の間伐前の ha 当りの立木本数と材積は 1,920 本、 402 m^3 、試験地 2 のそれは 1,660 本、 362 m^3 で、試験地 1 が 2 に比べて本数で 16%、材積で 11% 程度多かった。しかし、林木の胸高直径値と樹高値については、平均が 18 cm と 14 m で殆ど違いがなく、また変動係数値からうかがわれるように、両因子からみた林木の個体差においても試験地による相違がみられなかった。この林分から試験地 1 では本数比で 8%、試験地 2 では 14% の間伐を行ったが、弱度を実施しているため間伐前後で構造等の変化は殆どみられなかった (表-2、表-

表-2 試験地1の間伐前・後と1994年の林分構造の変化

Table 2. Changes of forest stand structures before and after thinning, and in 1994 at plot 1

1987年 間伐前												
樹型級	本数	材積 (m ³)	胸 高 直 径				樹 高					
			範 囲 (cm)	平均 (cm)	標準偏差 (cm)	変動係数 (%)	範 囲 (m)	平均 (m)	標準偏差 (m)	変動係数 (%)		
1	56	17.09	16.4-27.7	21.4	2.38	11	14-20	16.2	1.19	7		
2-b	47	8.77	12.3-21.9	17.4	1.96	11	10-18	14.4	1.47	10		
2-d	37	9.58	15.0-26.7	20.0	2.50	13	13-19	15.2	1.34	9		
3	42	4.14	9.5-17.8	13.3	1.90	14	10-15	12.3	1.56	13		
4	10	0.64	5.5-15.7	10.8	2.85	26	5-15	10.4	3.57	34		
全体	192	40.22	5.5-27.7	17.8	4.09	23	5-20	14.4	2.29	16		
1987年 間伐後												
樹型級	本数	材積 (m ³)	胸 高 直 径				樹 高				間伐 本数	間伐 率(%)
			範 囲 (cm)	平均 (cm)	標準偏差 (cm)	変動係数 (%)	範 囲 (m)	平均 (m)	標準偏差 (m)	変動係数 (%)		
1	53	16.20	16.4-27.7	21.4	2.42	11	14-20	16.1	1.19	7	3	(20)
2-b	46	8.62	12.3-21.9	17.4	1.98	11	10-18	14.4	1.48	10	1	(7)
2-d	33	8.41	16.6-24.8	19.9	2.28	11	13-19	15.3	1.26	8	4	(26)
3	41	4.06	9.5-17.8	13.4	1.92	14	10-15	12.3	1.58	13	1	(7)
4	4	0.15	5.5-12.6	9.5	3.11	33	5-9	7.0	2.31	33	6	(40)
全体	177	37.44	5.5-27.7	18.0	3.95	22	5-20	14.4	2.28	16	15	(100)
1994年												
樹型級	本数	材積 (m ³)	胸 高 直 径				樹 高					
			範 囲 (cm)	平均 (cm)	標準偏差 (cm)	変動係数 (%)	範 囲 (m)	平均 (m)	標準偏差 (m)	変動係数 (%)		
1	45	22.08	21.6-32.4	26.9	2.53	9	15-20	16.8	1.10	7		
2-b	50	16.30	18.8-26.4	22.6	1.86	8	14-18	15.5	0.99	6		
2-d	9	0.35	20.4-26.1	23.6	1.93	8	14-17	15.0	1.00	7		
3	68	12.88	10.2-23.9	17.6	2.95	17	10-18	13.6	1.86	14		
4	5	0.23	5.7-17.1	7.9	3.97	50	6-11	9.0	5.03	56		
全体	177	51.84	5.7-32.4	21.4	5.04	24	6-20	14.9	2.18	15		

注) () 内は全体に占める各樹型級毎の間伐割合である。試験地の面積は0.1haである。

表-3 試験地2の間伐前・後と1994年の林分構造の変化
 Table 3. Changes of forest stand structures before and after thinning, and in 1994 at plot 2

1987年 間伐前										
樹型級	本数	材積 (m ³)	胸 範 囲 (cm)	高 平均 (cm)	直 標準偏差 (cm)	径 変動係数 (%)	樹 範 囲 (m)	樹 平均 (m)	樹 標準偏差 (m)	高 変動係数 (%)
1	52	17.04	18.7-26.6	22.5	2.01	9	14-18	15.6	0.82	5
2-b	37	7.07	11.0-22.1	18.0	2.42	13	11-16	13.8	1.10	8
2-d	29	7.29	16.9-24.4	20.3	2.23	11	11-16	14.4	1.09	8
3	37	4.12	11.8-19.5	14.6	2.31	16	9-16	11.4	1.58	14
4	11	0.69	9.1-15.0	11.2	1.63	15	7-14	9.3	2.06	22
全体	166	36.21	9.1-26.6	18.6	4.17	22	7-18	13.6	2.29	17

1987年 間伐後												
樹型級	本数	材積 (m ³)	胸 範 囲 (cm)	高 平均 (cm)	直 標準偏差 (cm)	径 変動係数 (%)	樹 範 囲 (m)	樹 平均 (m)	樹 標準偏差 (m)	樹 高 変動係数 (%)	間伐 本数	間伐 率 (%)
1	52	17.00	18.6-26.6	22.5	2.01	9	14-18	15.6	0.82	5	0	(0)
2-b	35	6.80	11.0-22.1	18.2	2.36	13	11-16	13.8	1.11	8	2	(9)
2-d	20	5.00	15.9-22.8	20.3	1.89	9	12-16	14.5	9.83	68	9	(39)
3	31	3.40	11.8-21.5	14.6	2.39	16	9-16	11.2	1.55	14	6	(26)
4	5	0.30	9.7-12.0	11.2	0.92	8	7-10	9.0	1.41	16	6	(26)
全体	143	32.57	9.7-26.6	19.0	3.97	21	7-18	13.8	4.20	30	23	(100)

1994年										
樹型級	本数	材積 (m ³)	胸 範 囲 (cm)	高 平均 (cm)	直 標準偏差 (cm)	径 変動係数 (%)	樹 範 囲 (m)	樹 平均 (m)	樹 標準偏差 (m)	高 変動係数 (%)
1	47	23.52	22.6-34.4	27.6	2.62	9	14-19	16.2	1.05	6
2-b	44	15.23	17.2-28.6	23.3	2.39	10	14-17	15.3	0.79	5
2-d	3	6.97	20.4-27.7	23.4	3.82	16	13-16	14.7	1.53	10
3	41	7.89	13.1-24.8	18.5	2.89	16	11-15	12.8	1.34	10
4	8	0.75	9.9-19.1	14.1	2.76	20	8-11	9.9	0.99	10
全体	143	48.36	9.9-34.4	22.9	4.92	22	8-19	14.5	2.08	14

注) () 内数値の意味および試験地面積は、表-2と同じ。

3)。次に、間伐7年後の結果をみると、林分材積はha当りにして試験地1で144 m³、試験地2で158 m³増加しており、7年間の林分成長率はそれぞれ4.6%と5.6%であった。また、林木の平均の胸高直径と樹高についてみると、樹高値については殆ど変わりがなかったが、胸高直径においては、平均にして7年間に3 cm程度の太りが認められた。

次に林木の樹型級について推移をみると、両試験地ともに2-dと判定される樹木が大幅に減少したことで、3級木の増加が顕著に認められた。また、将来の主木とみなされる1級木についてみると、試験地1では29.9% (本数比、以下同じ) から25.4%に、試験地2では36.4%から32.9%に推移しており、両試験地ともに幾分ではあるが減少が認められた。

表-4は、間伐時と間伐7年後における林木のヤング係数の変化を示したものである。すなわち、この7年間に全体の平均値で試験地1では15% (52.13 t/cm²から59.89 t/cm²に)、試験地2では17% (56.23 t/cm²から65.71 t/cm²に)のヤング係数の上昇が認められた。また、これらの結果を樹型級間で比較した場合、生育旺盛な1級木のヤング係数値は劣勢木の3級木に比べて依然低い値となつてはいるが、この7年間に絶対値で10~20%の増加を認めた。また、両試験地の変動係数値に示されるように、ヤング係数の個体間較差が僅かではあるが大きくなってきていることがうかがわれた。

表-5は、胸高直径、樹高、ヤング係数の樹型級区分別の分散分析を示したものである。すなわち、1987年の間伐前後と1994年において、両試験地の胸高直径、樹高とも各樹型級間で0.1%水準の有意が認められた。このことから、樹型級区分は胸高直径、樹高の区分に十分有効であるといえよう。一方、ヤング係数についても、1987年間伐前時において有意が認められ、このことから、樹高等と同様、樹型級間でヤング係数に違いがあるといえよう。

次に、図-3と図-4は、林木の胸高直径とヤング係数との関連を示したものである。両試験地ともに、生育旺盛な優勢木(1級木)のヤング係数が総じて低く、逆に生長遅れの劣勢木のそれが総じて高い傾向がうかがわれる。この試験地1の調査本数は192で $r = -0.2220$ 、試験地2の調査本数は166、 $r = -0.5681$ で、ともに1%水準で有意が認められた。これらの結果は、これまでに報告されている年輪幅と材の強度の反比例関係を裏付けていると考えられる。このことに関して前報(25)では両者間に有意な相関が認められなかった。前回の調査時には林内に衰弱木が残されていたこと、衰弱木は一般に強度に関係する晩材率も低いため、年輪幅が狭くても材の強度が高くないこと(8, 9)から、それらを混在した資料のため明瞭な傾向を示さなかったように考えられた。

表-5によれば、ヤング係数の分散分析において、1987年間伐後の試験地1、1994年の試験地1と2で有意が認められなかった。これは一つには、4級木、3級木の一部及び各樹型区分内の著しく大きい、または小さい林木が間伐により失われたためか、または間伐により周囲に十分な空間が出来、個体間の差異が少なくなってきたことによるものと考えられる。

表-6は、1987年に樹型級区分された林木が、7年後どのように推移したかを示したもの

表-4 試験地1, 2における間伐前・後と1994年の樹幹曲げヤング係数の変化
 Table 4. Changes of YOUNG's modulus in bending of trees before and after thinning, and in 1994 at Plot 1 and 2

試験地 1

樹型級	1987年間伐前				1987年間伐後				1994年				A
	範囲	平均	標準偏差	変動係数	範囲	平均	標準偏差	変動係数	範囲	平均	標準偏差	変動係数	
	t/cm ²	t/cm ²	t/cm ²	%	t/cm ²	t/cm ²	t/cm ²	%	t/cm ²	t/cm ²	t/cm ²	%	
1	33.2-80.2	51.56	11.02	21	33.2-75.9	51.29	11.21	22	33.0-82.3	56.89	11.21	24	111
2-b	30.0-76.1	54.19	11.43	21	30.0-76.1	53.97	11.46	21	44.7-84.3	63.48	11.46	17	118
2-d	22.2-83.9	48.07	12.34	26	22.1-83.9	47.75	11.72	25	44.0-62.1	57.00	11.72	15	119
3	32.8-82.4	54.38	12.72	23	32.8-82.4	53.94	12.55	23	37.2-89.1	61.97	12.55	29	115
4	33.6-77.7	60.34	15.48	26	40.8-75.6	59.69	17.13	29	42.9-85.6	57.29	17.13	43	96
全体	22.2-83.9	52.61	12.24	23	22.1-83.9	52.13	11.97	23	33.0-89.1	59.89	14.70	25	115

試験地 2

樹型級	1987年間伐前				1987年間伐後				1994年				A
	範囲	平均	標準偏差	変動係数	範囲	平均	標準偏差	変動係数	範囲	平均	標準偏差	変動係数	
	t/cm ²	t/cm ²	t/cm ²	%	t/cm ²	t/cm ²	t/cm ²	%	t/cm ²	t/cm ²	t/cm ²	%	
1	26.4-65.0	50.76	8.34	16	26.3-65.0	50.76	8.34	16	33.0-86.8	60.56	15.76	26	119
2-b	27.8-86.6	57.68	13.76	24	37.2-86.6	58.23	13.05	22	34.8-158.0	66.89	21.16	32	115
2-d	31.5-84.8	52.92	13.63	26	31.5-84.7	55.48	14.52	26	57.7-75.8	69.00	9.84	14	124
3	18.4-82.5	61.48	14.22	23	42.3-82.5	63.05	12.19	19	38.9-135.1	68.78	17.19	25	109
4	53.9-88.4	68.27	13.12	19	53.9-82.4	59.86	12.69	21	57.3-88.2	72.57	11.83	16	121
全体	18.4-88.4	56.23	13.28	24	26.3-86.6	56.23	12.35	22	33.0-158.0	65.71	17.95	27	117

注) A... (1994年の平均/1987年の間伐後の平均)×100

表-5 試験地1および2における胸高直径, 樹高, および樹幹曲げヤング係数の樹型級間の分散分析
 Table 5. Analysis of variance for DBH, height and YOUNG's modulus in bending of trees among tree-form classes

試験地	変動因子	d.f.	胸高直径		樹高		樹幹曲げヤング係数	
			平均平方	F	平均平方	F	平均平方	F
1987年 間伐前	1 樹型級間	4	559.45	109.70***	135.72	55.62***	417.60	2.90*
	樹型級内	187	5.10		2.44		144.09	
2	樹型級間	4	523.41	109.04***	155.25	102.81***	1,141.21	7.48**
	樹型級内	161	4.80		1.51		152.52	
1987年 間伐後	1 樹型級間	4	479.53	100.36***	144.63	73.39***	297.23	2.13
	樹型級内	172	4.78		1.97		139.69	
2	樹型級間	4	399.76	86.69***	127.15	8.81***	804.00	6.02***
	樹型級内	138	4.61		14.43		133.65	
1994年	1 樹型級間	4	836.73	127.72***	117.29	55.41***	126.67	0.58
	樹型級内	172	6.55		2.12		219.93	
2	樹型級間	4	613.80	86.56***	113.29	97.42***	524.61	1.66
	樹型級内	138	7.90		1.16		316.46	

注) * 5%水準で有意, ** 1%水準で有意, ***0.1%水準で有意。
 1994年試験地1, 樹幹曲げヤング係数の樹型級間, 樹型級内 d.f.はそれぞれ4と92である。

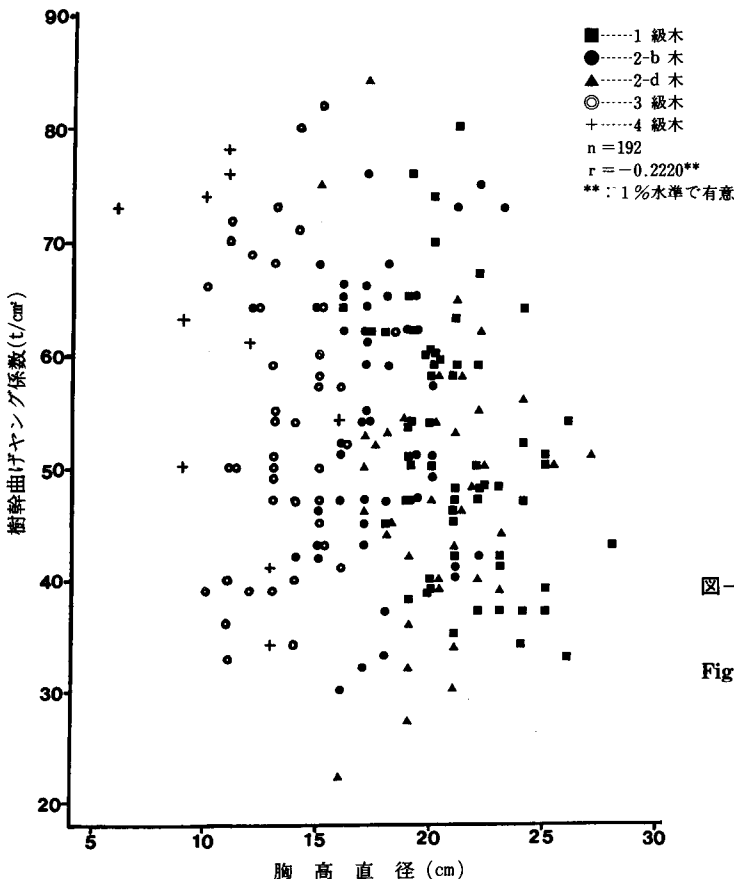


図-3 試験地1における樹幹曲げヤング係数と胸高直径の相関

Fig. 3 Relationship between YOUNG's moduli in bending and DBHs of trees at Plot 1.

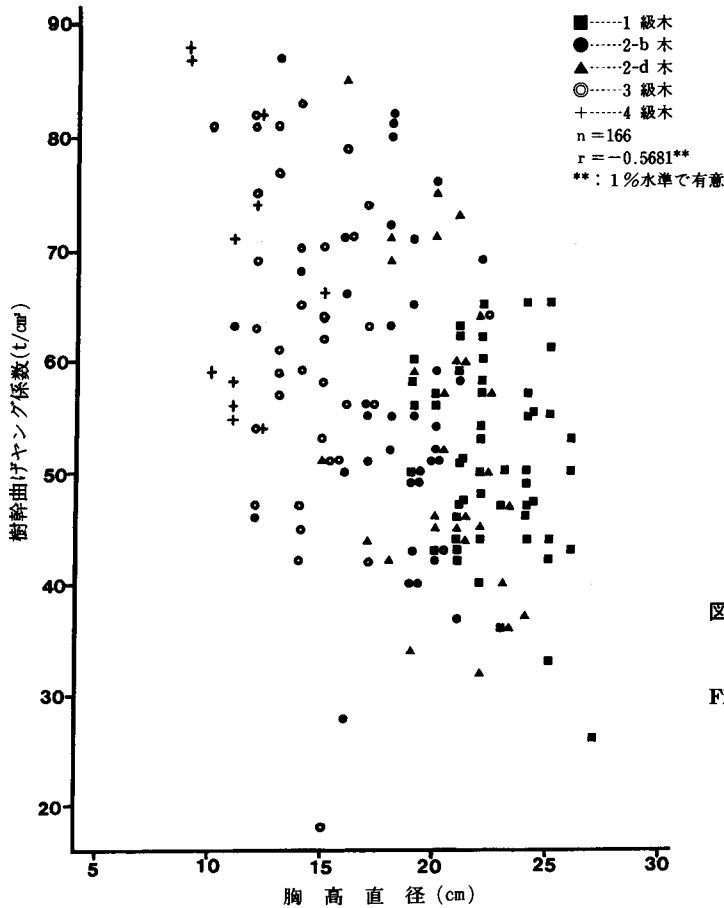


図-4 試験地2における樹幹曲げヤング係数と胸高直径の相関

Fig. 4 Relationship between YOUNG's moduli in bending and DBHs of trees at Plot 2.

である(詳細は資料-1と2)。1級木についてみた場合、7年後も1級木と判定された個体は、試験地1では53本のうち29本(55%)、試験地2では52本のうち39本(75%)で、残りは級が低下している。次に2級木をみた場合、下層木に移行した個体もあるが、一方において、2級木から1級木へ移行した個体が試験地1で16本、試験地2で8本認められた。このように上層木間での移行は比較的多いようであるが、下層木から上層木への移行は殆どなく、1級木への移行は皆無であった。

表-7はヤング係数を10 t/cm²ごとに区分し、表-6同様、7年間の個体の変動を示したものである(詳細は資料-1と2)。表-4の項で述べたように、全体のヤング係数の平均値は試験地1で15% (7.8 t/cm²)、試験地2で17% (9.5 t/cm²) 上昇している。これを10 t/cm²ごとの各区分で見ると、20~29 t/cm²、30~39 t/cm²区分では小さい区分へ移行したものは皆無であり、80~89 t/cm²区分で大きい区分に移行したものは、試験地2で1本のみである。50~59 t/cm²区分をみると、試験地1、2の合計で1987年71本のうち、40~49 t/cm²以下の区へ移行した個体7本、60~69 t/cm²以上の区に移行した個体は39本で、50 t/cm²区にとどまっている

個体は25本であり、残り34本は他の区より移行してきて、1994年には59本となっている。同様に60~69 t/cm²区分では、試験地1, 2の合計で、1987年42本のうち、50~59 t/cm²以下の区へ移行した個体5本、70~79 t/cm²以上の区へ移行した個体17本で、60~69 t/cm²にとどまっている個体は20本、残り44本は他の区より移行してきた個体であり、1994年には64本となっている。このように1987年と1994年でヤング係数は全体の平均値で上昇しているが、個体のヤング係数は、それぞれ増加、減少が激しいといえよう。

表-6 間伐7年後の樹型級区分の変化

Table 6. Changes of TERAZAKI's tree-form-classification in 7 years after thinning

樹型級	試験地 1				試験地 2				合計	
	1987 (本)	7年間の 変化 (本)	1994 (本)	1994 (本)	1987 (本)	7年間の 変化 (本)	1994 (本)	1994 (本)	1987 (本)	1994 (本)
1	53	1	29	45	52	1	39	47	105	92
		2-b	18			2-b	13			
		2-d	2			2-d	0			
		3	4			3	0			
		4	0			4	0			
		計		53		計		52		
2-b	46	1	5	50	35	1	5	44	81	94
		2-b	23			2-b	16			
		2-d	1			2-d	1			
		3	17			3	13			
		4	0			4	0			
		計		46		計		35		
2-d	33	1	11	9	20	1	3	3	53	12
		2-b	9			2-b	13			
		2-d	5			2-d	2			
		3	8			3	2			
		4	0			4	0			
		計		33		計		20		
3	41	1	0	68	31	1	0	41	72	109
		2-b	0			2-b	1			
		2-d	1			2-d	0			
		3	38			3	26			
		4	2			4	4			
		計		41		計		31		
4	4	1	0	5	5	1	0	8	9	13
		2-b	0			2-b	1			
		2-d	0			2-d	0			
		3	1			3	0			
		4	3			4	4			
		計		4		計		5		

表-7 間伐7年後のヤング係数の変化
 Table 7. Changes of YOUNG's modulus in bending of trees in 7 years after thinning

ヤング係数	試 験 地 1				試 験 地 2				合 計	
	1987 (本)	7年間の 変化 (本)	1994 (本)	1987 (本)	7年間の 変化 (本)	1994 (本)	1987 (本)	1994 (本)		
20~29 t	0	30 t 計 0	0	1	30 t 計 1	1	0	1	0	
30~39 t	13	30 t 40 50 60 70 80 計 13	3 4 3 2 1 0 13	5	6	30 t 40 50 60 70 80 計 6	0 2 2 1 1 0 6	7	19	12
40~49 t	33	30 t 40 50 60 70 80 100 計 33	2 11 9 7 2 2 0 33	18	41	30 t 40 50 60 70 80 100 計 41	4 8 15 6 5 1 2 41	14	74	32
50~59 t	22	30 t 40 50 60 70 80 100 計 22	0 3 5 8 4 2 0 22	20	49	30 t 40 50 60 70 80 100 計 49	1 3 20 12 6 6 1 49	39	71	59
60~69 t	20	40 t 50 60 70 80 計 20	0 3 10 6 1 20	31	22	40 t 50 60 70 80 計 22	1 1 10 10 0 22	33	42	64
70~79 t	7	50 t 60 70 80 100 計 7	0 3 1 3 0 7	15	15	50 t 60 70 80 100 計 15	1 2 5 4 3 15	30	22	45
80~89 t	2	50 t 60 70 80 100 計 2	0 1 1 0 0 2	8	9	50 t 60 70 80 100 計 9	1 2 3 2 1 9	13	11	21
100 t ~	0		0	0	0	7	0		7	
合計	97		97	143	143	143	240	240		

4. お わ り に

外山(26) スギ 101 家系 1,721 本について植栽後 50 年間の成長分析を行い、50 年生の個体材積が大きな方から 20 位以内に入ることが決まる樹齢は 70%が 40 年生の時であり、9 年生で 20 位以内にあった個体が 50 年生時で 20 位以内に入る確率は 10%であったと述べている。樹型級での優勢木(1 級木や 2 級木)、劣勢木(特に 3 級木)の区分は、あくまでも林分内での相対的な関係で決められ、絶対的な評価ではない。また、間伐や隣接木の枯損等によって生ずる生育空間が林内で一様でないことが容易に予想される。こうしたことから、あまり早い段階で主木を決めるのには問題があるであろう。また表-6 に示したように、将来の主木になりうる林木は優勢木が絞り込まれる形で決まっていくことから、間伐等の際に行われる樹型級区分は、あくまでも当面の施業に対する参考資料として利用することが望ましいように考えられる。

スギは天然林人工林を含めて広く全国に分布し、北海道南部が北限となっている。深沢ら(3)はスギの成長と強度との関係について、スギ材の強度は早材、晩材率や細胞レベルでの成長にも深く関係し、これらには環境の影響も大きいこと、また檜山産スギの成長は北限ではあるが決して悪くなく秋田スギとほぼ同じであるが、比重値が小さく太りすぎであると述べている。また工藤(16)も、北大檜山地方演習林を含め檜山管内で昭和 30 年代に植栽されたスギは秋田県産苗であり、北大和歌山地方演習林産のスギよりヤング係数が小さいことを報告している。

一方小泉(12)は構造用材の生産を目的とした人工林では、カラマツの場合、林齢 25 年以上で 80 t/cm² 以上、トドマツの場合、60 t/cm² 以上が望ましいと述べている。本試験地の場合、表-4 に示したように、スギ 37 年生で平均 60 t/cm² (試験地 1) と 66 t/cm² (試験地 2) になっているが、図-3、図-4 にみられるように、年輪幅の大きなものはヤング係数が一般に小さく、また樹齢の若い 1 級木の多くは構造材にはまだ使用できない段階にある。しかし、樹齢が高くなり、胸高直径が大きくなるにつれて、成長量は減少しなくても年輪幅が狭くなり、それにつれてヤング係数が高まり、次第に構造材としての条件をクリアしていくようになると考えられる。

以上、ヤング係数は樹齢が高くなるにつれて増加する傾向が認められるが、個体によって変動があり、またその増加の状況も生育環境によって一様ではない。一方、樹型級についても個体の変動がみられる。このことから、当面指摘しうることとして、ヤング係数は林分の伐期齢を決める際の有効な資料となること、また、本試験地で実施している寺崎式の B 種間伐に準じた間伐法は、優勢木を絞り込み、主木に仕立てていく上で有効であることなどがあげられよう。なお、ヤング係数を加味した樹型級区分を検討していくためには、外見から測定可能な樹幹の形状、例えば形状比、断面の形状、曲がり等の項目とヤング係数との相関等について詰めていく必要があると考えられた。これらに関しては、今後機会を得て検討を行っていく予定である。

文 献

- 1) 安藤 貴 (1982) 林分の密度管理, 126 pp, 農林出版, 東京
- 2) FUJISAWA, Y., OHTA, S., NISHIMURA, K., and TAJIMA, M. (1992) Wood characteristics and genetic variations in sugi (*Cryptomeria japonica*)-Clonal differences and correlations between location of dynamic moduli of elasticity and diameter growths in plus-tree clones. *Mokuzai Gakkaishi*, **37** (7), 638-644
- 3) 深沢和三 (1989) 北限におけるスギの生育と材質 (樹木の生育適地とは?), 年輪研究会, **3**, 1~7
- 4) 長谷川契・松下勝秀 (1965) 上の国の地質, 17 pp, 北海道立地下資源調査所, 札幌
- 5) 長谷川契・松下勝秀 (1965) 上の国の地質図, 北海道立地下資源調査所, 札幌
- 6) 北海道林務部 (1978) カラマツ間伐技術指針, 77 pp, 北海道林業普及協会, 札幌
- 7) KADOMATSU, M., KUDOH, H., and UJIE, M. (1994) Fundamental Wood Properties of Clones Grafted with Plus-Tree of *Abies sachalinensis*-Using trees thinned from the seed orchard in the Forest Tree Breeding Experimental Station, Hokkaido University. *Res. Bull. Hokkaido Univ. For.*, **51** (1), 14~30
- 8) 加納 猛 (1973) 木材の材質, 168 pp, 日本林業技術協会, 東京
- 9) 加納 猛 (1987) 材質からみた林木の育成法, 99 pp, 林業科学技術振興所, 東京
- 10) KATAYOSE, T., UJIE, M., and KUDOH, H. (1992) Clonal differences of some properties for wood quality of grafted plus-trees of *Abies sachalinensis*. *J. Jpn. For. Soc.* **74** (5), 426~430
- 11) 片寄 禎, 工藤 弘, 氏家雅男 (1992) トドマツ精英樹よりつぎ木されたクローン間の材質の比較 (I) - 発足・愛知採種園の間伐木を用いて-, 北大演研報, **49** (2), 201~218
- 12) 小泉章夫, 上田恒司 (1986) 立木の曲げ試験による材質評価 (第1報) 樹幹曲げ剛性の測定, 木材学会誌, **32**, 669~676
- 13) 小泉章夫 (1987) 生立木の非破壊試験による材質評価に関する研究, 北大演研報, **44** (4), 1329~1415
- 14) 小泉章夫 (1988) 生立木の非破壊材質試験-樹幹のヤング係数を測定する-, 北方林業, **40**, 2~6
- 15) 小泉章夫, 高田克彦, 上田恒司 (1989) 檜山地方演習林の造林木の樹幹ヤング係数, 北大演研報, **46** (2), 441~450
- 16) 工藤 弘 (1985) 檜山地方演習林長期計画(1983~1993), 北大演業務, **19**, 1~26
- 17) 工藤 弘, 片寄 操, 氏家雅男 (1993) トドマツ精英樹よりつぎ木されたクローン間の材質の比較 (II) - 築別, 塩狩, 岐阜採種園からの間伐クローンの性質-, 北大演研報, **50** (2), 179~205
- 18) 宮島 寛 (1992) 木材を知る本, 176 pp, 北方林業会, 札幌
- 19) 中谷 浩 (1991) 林木の冠雪害に関する樹木力学的研究, 富山県林業技術センター研究報告, **4**, 1~55
- 20) 小田一幸, 古賀信也, 堤 壽一 (1988) 材質育種にむけてのスギ品種の年輪構造, 九大演報, **58**, 109~122
- 21) 小田一幸, 久田義則, 堤 壽一 (1989) 同一林分で生育したスギ品種内の木材性質のバラツキ, 九大演報, **60**, 69~81
- 22) 小田一幸, 渡部演一, 堤 壽一 (1990) 構造部材を意識したスギ12品種の木材性質, 九大演報, **62**, 115~126
- 23) 坂口勝美, 伊藤清三 (1965) 造林ハンドブック, 935 pp, 養賢堂, 東京
- 24) 高田克彦 (1994) 樹幹ヤング係数によるカラマツ林木の評価, 北大演研報, **51** (1), 115~166
- 25) TAKIKAWA, S., KUDOH, H., and UJIE, M. (1989) Distribution of YOUNG's modulus in bending of standing plantation trees classified by TERAZAKI's tree-form method. *J. Jpn. For. Soc.* **71**, 271~275
- 26) 外山三郎 (1992) 「スギ101家系」50年間の成長分析 (I) - 個体材積順位の変動-, 103 回日林論, 283~284
- 27) 上田恒司 (1983) 木材の弾性挙動に関する基礎的研究, 北大演研報, **40** (3), 627~708
- 28) 上田恒司 (1988) 林木の非破壊曲げ試験による利用材質の予測, 1987年度科研 (一般C) 研究成果報告書, 27 pp
- 29) 氏家雅男, 長町吉雄, 西 義雄 (1979) 北大檜山地方演習林の土壌, 日林北支講, **28**, 145~147

- 30) 矢幡 久, 宮島 寛, 西林寺隆, 古家宏俊, 児玉 貴, 汰木達郎, 山本福壽, 久保田茂, 渡部 桂, 野上寛
五郎, 黒木晴輝 (1987) 六演習林スギ品種試験地のスギ在来品種および精英樹クローン間の材質変動,
九大演報, 57, 149~173

Summary

New standards for structural timber from coniferous trees have been established recently in the Japanese Agricultural Standards, based on YOUNG's modulus, which means a mechanical ranking classification system now applies to structural timber for construction.

Up till now, trees have been classified by tree-form-classification at the time of thinning. Their standards depended on characteristics of outward appearance, and not on the physical strength of the timber. Thus, a selection method which includes consideration of YOUNG's modulus will become necessary for the cultivation of coniferous trees.

This aim of the present study was to analyze changes in the stand structure and YOUNG's modulus, before thinning and 7 years after thinning, at two experimental sites (Plot 1 and 2) in an artificial sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON) forest situated in the Hiyama Experimental Forest of Hokkaido University, which was planted in 1957. KOIZUMI's method was used for the measurement of YOUNG's modulus. YOUNG's modulus was measured at breast height, as past studies have shown this shows the tendency of the whole stem. TERAZAKI's method was used for tree-form-classification.

The second thinning was carried out according to TERAZAKI's B thinning method in 1987. The thinning rate was 8% in Plot 1 and 14% in Plot 2.

Over a 7-year period, the stand volume increased to 144 m³ in Plot 1 and 158 m³ in Plot 2. The increment percent was 4.6% and 5.6% in Plot 1 and Plot 2, respectively.

The result of TERAZAKI's tree-form-classification in 1994 was somewhat different from the result in 1987. Some of the dominant trees changed into inferior trees, although inferior trees seldom changed into dominant trees.

A non-proportional relation was seen between the tree diameter and YOUNG's modulus. YOUNG's modulus of first class trees in TERAZAKI's tree-form-classification increased 10%~20% during the 7-years, but still remained at a lower level than 3rd class trees. YOUNG's modulus increased as the trees increased in age, although there were individual variations fluctuations. It was also presumed that the increase in YOUNG's modulus is affected by the environment.

From the results of this study, we conclude that YOUNG's modulus can provide valid data for the final cutting age of stands, and TERAZAKI's tree-form-classification and thinning according to TERAZAKI's B thinning method is useful for the breeding of superior trees of final cutting.

資料-1 (試験地1)

Data 1 (Plot 1)

1級木	供試木 番号	胸高直径 (cm)		樹高 (m)		樹型級区分		ヤング係数 (t/cm ²)	
		1987	1994	1987	1994	1987	1994	1987	1994
→1級	D511	18.6	21.6	16	16	1	1	65.0	62.5
	505	19.6	24.5	15	16	1	1	53.8	50.8
	513	19.9	25.1	16	16	1	1	60.4	58.6
	531	20.6	27.4	15	18	1	1	44.6	82.3
	598	19.0	24.5	17	17	1	1	53.5	—
	646	20.2	24.5	16	16	1	1	58.1	—
	536	21.5	26.1	16	18	1	1	48.9	40.1
	538	22.9	28.0	16	16	1	1	49.1	33.4
	553	21.4	26.1	16	18	1	1	62.7	79.6
	567	22.0	25.8	18	18	1	1	67.3	65.5
	614	22.9	27.1	16	16	1	1	41.1	—
	633	21.3	26.1	17	17	1	1	58.6	—
	640	21.3	26.1	16	16	1	1	46.2	—
	720	21.3	27.0	16	16	1	1	42.5	—
	722	21.3	26.4	15	15	1	1	47.1	—
	501	23.4	27.3	14	16	1	1	42.2	35.6
	544	24.4	29.9	18	18	1	1	62.4	61.3
	564	24.2	29.6	17	17	1	1	34.4	64.9
	602	24.7	30.2	16	16	1	1	51.4	—
	625	23.5	27.1	17	17	1	1	47.2	—
	670	24.2	29.9	17	17	1	1	51.5	—
	686	24.7	29.0	16	18	1	1	49.8	65.3
	715	24.5	29.0	17	17	1	1	37.8	35.1
	724	24.4	29.3	17	18	1	1	37.2	44.9
	736	23.4	30.6	17	17	1	1	37.0	—
	502	25.6	32.1	15	18	1	1	53.8	75.0
	626	25.3	25.5	20	20	1	1	38.9	—
	698	25.8	29.6	18	18	1	1	33.2	59.5
	696	27.7	30.6	18	18	1	1	43.2	—
	→2b級	515	18.8	23.2	15	15	1	2b	50.0
522		18.6	22.9	16	16	1	2b	46.9	44.7
611		18.0	21.6	15	15	1	2b	44.8	—
556		20.0	24.5	18	18	1	2b	58.7	47.0
560		19.1	22.0	16	16	1	2b	75.9	65.4
561		19.6	23.6	17	17	1	2b	39.8	56.2
580		20.2	24.8	17	17	1	2b	73.6	63.9
584		20.8	24.2	15	15	1	2b	35.5	53.9
591		19.5	23.6	17	17	1	2b	69.9	—
592		19.6	24.5	15	15	1	2b	58.8	—
632		20.2	24.2	16	16	1	2b	39.2	—
635		19.1	24.2	16	16	1	2b	38.3	77.1
656		19.9	22.9	14	15	1	2b	49.5	—
658		19.9	23.9	15	15	1	2b	59.6	—
668		20.8	25.1	17	17	1	2b	48.0	50.2
685		19.7	22.0	14	15	1	2b	60.2	72.2
653	21.0	21.6	14	15	1	2b	80.2	—	
692	22.1	23.2	16	16	1	2b	47.9	—	
→2d級	547	22.3	26.1	16	16	1	2d	46.9	62.1
	649	22.3	25.5	15	15	1	2d	59.5	—
→3級	630	16.4	17.8	16	16	1	3	64.4	—
	579	17.8	21.6	16	16	1	3	61.5	78.8
	629	18.8	20.7	15	15	1	3	51.4	—
	578	20.2	23.9	16	16	1	3	39.2	48.1

注) ヤング係数欄の—は測定できなかったもの、以下同じ

2b級木	供試木 番 号	胸 高 直 径 (cm)		樹 高 (m)		樹型級区分		ヤング係数 (t/cm ²)	
		1987	1994	1987	1994	1987	1994	1987	1994
→ 1 級	510	18.5	22.3	16	16	2b	1	62.4	63.7
	700	20.0	24.2	15	16	2b	1	49.0	49.6
	729	20.5	24.8	14	17	2b	1	40.1	44.7
	699	21.9	25.5	17	17	2b	1	74.7	71.9
	734	21.3	25.8	15	15	2b	1	42.3	—
→ 2b 級	687	12.3	23.2	13	15	2b	2b	64.1	—
	514	14.4	18.8	13	13	2b	2b	42.3	45.4
	506	15.1	20.4	14	14	2b	2b	45.7	75.7
	518	16.3	23.6	10	15	2b	2b	51.3	—
	519	15.3	21.6	12	15	2b	2b	63.9	—
	525	16.7	22.0	15	16	2b	2b	61.4	54.6
	558	16.5	19.7	14	14	2b	2b	65.8	71.6
	568	15.5	17.8	14	14	2b	2b	66.4	76.3
	707	16.2	21.3	13	14	2b	2b	62.3	—
	529	17.3	23.2	12	15	2b	2b	76.1	—
	541	17.2	22.3	16	17	2b	2b	58.7	57.9
	570	17.6	20.1	16	16	2b	2b	67.7	64.8
	576	17.9	21.3	14	15	2b	2b	37.3	—
	608	17.5	21.3	16	16	2b	2b	33.5	—
	617	18.3	24.8	14	16	2b	2b	64.6	63.9
	650	17.8	19.7	15	15	2b	2b	47.1	—
	725	17.2	19.7	15	15	2b	2b	53.9	49.4
	543	19.9	23.6	14	16	2b	2b	50.8	53.9
	662	19.4	22.6	15	15	2b	2b	47.1	64.5
	669	19.0	22.0	15	15	2b	2b	65.2	—
695	19.6	24.2	15	16	2b	2b	56.8	77.1	
701	19.3	22.3	15	16	2b	2b	46.9	54.1	
704	20.8	24.2	15	16	2b	2b	72.8	62.4	
→ 2d 級	562	18.8	22.3	14	14	2b	2d	51.3	60.6
→ 3 級	664	14.6	17.5	16	16	2b	3	42.9	40.0
	677	14.9	16.9	13	14	2b	3	68.5	62.2
	533	15.8	17.8	14	14	2b	3	30.0	37.2
	555	15.6	18.1	15	15	2b	3	52.1	62.5
	557	15.9	17.2	13	14	2b	3	47.4	70.9
	559	16.6	19.1	18	18	2b	3	47.3	50.6
	619	16.9	20.4	15	15	2b	3	55.3	—
	628	16.7	20.4	14	14	2b	3	32.3	—
	655	15.3	16.9	16	16	2b	3	42.4	—
	688	16.2	17.8	13	13	2b	3	64.9	—
	616	17.7	20.4	14	14	2b	3	59.3	—
	636	17.0	19.1	14	14	2b	3	53.7	—
	660	17.2	18.8	12	13	2b	3	61.1	67.8
	666	17.2	18.8	14	14	2b	3	43.1	—
	672	17.0	19.1	14	14	2b	3	45.3	—
	675	18.8	20.7	13	13	2b	3	62.1	85.1
	651	19.1	21.3	17	17	2b	3	53.6	—

2d級木	供試木 番号	胸高直径 (cm)		樹高 (m)		樹型級区分		ヤング係数 (t/cm ²)	
		1987	1994	1987	1994	1987	1994	1987	1994
→ 1級	524	17.6	22.0	16	16	2d	1	52.6	60.6
	528	19.6	24.8	14	16	2d	1	54.3	43.6
	574	20.4	24.2	14	16	2d	1	39.4	33.0
	726	19.1	26.4	15	15	2d	1	30.7	—
	678	21.4	25.5	16	16	2d	1	33.9	62.5
	681	21.9	26.1	16	16	2d	1	50.5	50.1
	703	22.3	30.9	17	17	2d	1	48.4	59.9
	733	21.8	24.8	16	16	2d	1	61.8	65.6
	659	23.9	28.0	16	16	2d	1	55.6	70.4
	671	23.2	27.1	19	19	2d	1	38.9	—
	689	24.8	30.2	15	18	2d	1	50.0	59.7
→ 2d級	723	17.3	22.6	13	17	2d	2d	49.7	—
	706	18.6	22.0	14	15	2d	2d	41.9	44.4
	599	19.1	23.2	15	15	2d	2d	27.4	—
	609	19.0	20.4	13	14	2d	2d	54.0	60.8
→ 2b級	719	21.5	25.5	15	15	2d	2d	39.8	—
	509	16.6	20.7	15	15	2d	2b	83.9	60.8
	652	16.9	19.4	15	15	2d	2b	53.4	—
	644	18.8	21.0	15	15	2d	2b	35.9	—
	542	20.1	23.9	14	14	2d	2b	47.2	55.4
	648	19.7	22.0	14	14	2d	2b	58.2	—
	546	22.8	26.4	16	16	2d	2b	43.7	84.3
	665	21.0	23.6	16	16	2d	2b	57.6	—
→ 3級	673	21.0	24.2	16	16	2d	2b	65.4	—
	727	22.1	25.1	17	17	2d	2b	55.4	55.3
→ 3級	526	16.8	19.7	16	16	2d	3	51.8	89.1
	615	15.9	19.9	16	16	2d	3	22.2	—
	571	17.2	19.1	14	14	2d	3	46.0	55.1
	620	17.6	22.0	17	17	2d	3	44.4	—
	631	18.0	21.6	15	15	2d	3	45.4	—
	581	20.7	22.2	15	15	2d	3	43.4	—
	588	20.9	23.6	16	16	2d	3	53.1	—
	693	19.7	22.6	14	14	2d	3	40.2	—

3級木	供試木 番号	胸高直径 (cm)		樹高 (m)		樹型級区分		ヤング係数 (t/cm ²)	
		1987	1994	1987	1994	1987	1994	1987	1994
→ 2d級	582	10.9	24.5	12	14	3	2d	70.4	—
→ 3級	563	10.8	12.1	12	12	3	3	36.1	41.9
	622	9.7	12.0	10	10	3	3	66.4	—
	641	10.7	12.1	11	11	3	3	50.4	—
	645	10.8	12.7	14	14	3	3	39.7	—
	735	10.7	12.7	10	10	3	3	32.8	—
	551	12.7	17.2	14	14	3	3	67.8	50.0
	566	12.7	14.6	14	14	3	3	46.9	63.4
	575	11.9	13.7	12	12	3	3	39.0	41.2
	597	12.1	15.6	14	14	3	3	64.1	—
	627	12.9	19.7	11	14	3	3	50.0	89.1
	657	11.6	12.1	13	16	3	3	69.1	—
	708	12.6	15.6	10	11	3	3	51.5	—
	718	12.7	15.3	10	11	3	3	54.3	—
	516	13.3	16.6	11	12	3	3	49.4	65.5
	517	13.4	15.0	10	10	3	3	55.3	60.2
	539	14.4	15.6	12	12	3	3	54.5	55.7
	540	14.0	18.8	15	15	3	3	40.4	61.4
	565	13.7	14.6	14	14	3	3	46.7	67.9
	573	14.6	18.5	13	13	3	3	43.0	45.8
	576	14.0	15.3	12	13	3	3	80.4	76.8
	589	14.5	20.7	15	15	3	3	57.8	76.9
	594	13.2	14.6	10	10	3	3	38.6	—
	603	13.2	15.0	11	11	3	3	58.8	—
	605	13.7	16.2	14	14	3	3	33.7	—
	635	14.8	15.6	12	12	3	3	82.4	—
	679	14.5	16.9	13	13	3	3	46.7	53.3
	680	13.8	14.6	13	13	3	3	71.2	83.5
	682	13.4	15.6	14	14	3	3	73.1	81.0
	691	14.5	16.9	12	13	3	3	60.5	—
	710	14.5	17.2	13	13	3	3	45.4	—
	532	15.9	21.0	11	14	3	3	57.2	63.7
	606	16.7	20.1	12	12	3	3	62.1	—
	621	15.9	17.2	11	11	3	3	52.4	—
	637	15.3	16.6	14	14	3	3	50.5	—
	661	15.4	17.2	14	14	3	3	56.7	66.1
	683	15.1	16.9	12	12	3	3	64.3	73.7
	705	15.7	17.8	12	12	3	3	41.4	—
	663	17.8	19.4	15	15	3	3	62.0	69.5
→ 4級	713	9.5	10.2	11	11	3	4	39.0	—
	512	11.0	12.1	11	11	3	4	49.8	43.4

4級木	供試木 番号	胸高直径 (cm)		樹高 (m)		樹型級区分		ヤング係数 (t/cm ²)	
		1987	1994	1987	1994	1987	1994	1987	1994
→ 3級	504	12.6	16.2	9	12	4	3	40.9	52.1
→ 4級	548	5.5	5.7	5	6	4	4	72.7	—
	508	8.6	9.9	5	7	4	4	49.6	42.9
	503	11.1	11.8	9	10	4	4	75.6	85.6

資料-2 (試験地2)

Data 2 (Plot 2)

1級木	供試木 番号	胸高直径 (cm)		樹高 (m)		樹型級区分		ヤング係数 (t/cm ²)	
		1987	1994	1987	1994	1987	1994	1987	1994
→ 1級	E 3	20.2	25.1	14	16	1	1	43.0	55.7
	12	20.7	26.4	16	16	1	1	46.6	51.1
	27	19.6	25.5	16	17	1	1	55.6	39.8
	9	21.8	26.1	15	15	1	1	44.0	42.5
	33	21.4	27.4	17	18	1	1	45.7	43.4
	35	22.4	26.7	17	18	1	1	62.0	70.7
	38	21.3	26.1	15	16	1	1	43.5	73.1
	62	22.9	30.9	16	17	1	1	35.9	67.7
	67	22.0	27.1	15	15	1	1	57.7	76.8
	76	22.8	27.7	15	16	1	1	50.3	49.9
	86	21.3	26.7	16	17	1	1	61.0	71.5
	100	21.5	27.4	16	17	1	1	53.6	86.8
	110	21.5	26.1	16	17	1	1	57.5	80.5
	142	21.9	26.1	16	17	1	1	50.1	62.2
	162	21.0	26.4	15	16	1	1	51.1	57.1
	164	21.2	26.7	14	15	1	1	50.7	48.9
	227	21.9	24.8	15	16	1	1	52.8	65.3
	230	22.4	25.8	14	15	1	1	64.8	71.2
	238	21.8	26.1	15	17	1	1	40.0	53.9
	5	24.0	28.3	15	16	1	1	49.7	59.2
	17	23.7	29.6	16	17	1	1	45.9	86.4
	41	24.4	28.6	16	17	1	1	43.8	65.8
	49	23.7	27.7	16	16	1	1	56.8	80.4
	105	23.0	24.8	15	17	1	1	47.1	54.2
	156	24.3	29.0	16	17	1	1	47.0	61.1
	167	23.6	29.0	16	17	1	1	54.9	66.7
	179	24.0	29.3	16	17	1	1	48.9	50.0
	186	23.7	29.0	15	16	1	1	54.6	66.7
	204	24.7	31.2	15	16	1	1	64.8	63.6
	232	23.6	28.6	15	16	1	1	46.6	37.5
	234	24.6	29.3	15	16	1	1	60.6	48.4
	4	25.5	29.9	15	15	1	1	52.6	71.7
	13	25.1	33.1	18	19	1	1	42.1	38.9
43	25.5	31.8	17	17	1	1	49.8	45.3	
74	26.6	34.4	17	17	1	1	26.4	33.0	
147	25.4	29.3	15	16	1	1	33.3	59.7	
160	25.1	31.5	16	16	1	1	43.6	33.9	
180	25.2	29.6	16	16	1	1	55.1	55.5	
209	26.3	30.9	16	17	1	1	43.0	55.5	
→ 2b級	104	18.7	22.0	15	15	1	2b	56.1	53.2
	96	18.6	22.6	15	15	1	2b	49.7	51.6
	32	19.4	24.2	16	16	1	2b	57.5	65.8
	95	19.4	23.6	16	16	1	2b	60.2	68.5
	185	20.9	25.8	16	16	1	2b	59.5	66.7
	219	20.5	24.5	15	16	1	2b	42.6	62.0
	224	20.1	23.6	17	17	1	2b	57.0	59.6
	51	21.8	28.3	16	16	1	2b	47.5	104.6
	136	21.4	25.1	15	15	1	2b	42.4	43.4
	155	21.0	25.1	15	15	1	2b	47.4	52.2
	174	21.8	27.7	15	16	1	2b	59.5	53.5
	175	21.0	24.5	15	15	1	2b	62.8	65.2
	215	24.0	28.6	16	16	1	2b	65.0	59.0

2b級木	供試木 番 号	胸 高 直 径 (cm)		樹 高 (m)		樹型級区分		ヤング係数 (t/cm ²)	
		1987	1994	1987	1994	1987	1994	1987	1994
→ 1 級	55	17.4	22.6	14	15	2b	1	50.7	52.5
	7	19.7	24.2	14	14	2b	1	50.6	56.9
	11	19.7	26.4	15	15	2b	1	51.5	58.8
	40	20.2	22.9	14	15	2b	1	76.2	81.3
	71	19.9	23.9	13	14	2b	1	59.4	70.4
→ 2b 級	10	16.9	21.6	15	15	2b	2b	55.2	62.7
	177	16.2	19.7	14	15	2b	2b	49.8	49.6
	19	18.3	22.9	14	15	2b	2b	55.0	55.3
	28	18.8	21.3	15	15	2b	2b	49.4	63.6
	63	17.7	21.0	13	14	2b	2b	80.0	158.0
	92	17.4	19.1	16	17	2b	2b	55.7	57.3
	97	18.5	23.2	13	15	2b	2b	70.8	69.6
	113	18.6	22.6	13	15	2b	2b	53.6	54.2
	120	18.9	22.6	15	15	2b	2b	40.5	47.4
	134	18.2	20.7	15	16	2b	2b	71.7	79.5
	153	18.3	21.6	14	15	2b	2b	81.8	66.0
	182	18.7	22.0	14	14	2b	2b	50.3	47.1
	216	18.9	21.3	14	14	2b	2b	48.5	62.9
	52	20.1	22.9	15	16	2b	2b	51.0	104.1
169	19.4	22.6	15	15	2b	2b	43.1	54.2	
210	21.4	26.1	15	15	2b	2b	57.6	78.5	
→ 2d 級	191	22.1	23.1	15	16	2b	2d	69.3	73.4
→ 3 級	91	12.3	17.8	12	13	2b	3	46.1	71.7
	184	11.0	13.1	14	14	2b	3	63.5	77.3
	20	13.4	15.0	13	14	2b	3	86.6	88.2
	39	15.8	18.5	14	14	2b	3	65.6	69.0
	99	15.5	17.8	13	13	2b	3	70.5	79.1
	46	18.0	20.4	13	13	2b	3	52.2	56.9
	75	18.8	21.6	12	12	2b	3	39.5	57.4
	94	18.0	20.1	11	13	2b	3	63.2	62.0
	181	18.0	20.4	14	14	2b	3	80.6	73.4
	132	19.2	22.0	14	14	2b	3	64.6	65.9
	148	20.0	23.2	13	13	2b	3	41.5	55.4
	161	19.3	24.8	12	13	2b	3	55.3	56.8
	152	21.2	24.5	13	14	2b	3	37.3	44.3

2d級木	供試木 番 号	胸 高 直 径 (cm)		樹 高 (m)		樹型級区分		ヤング係数 (t/cm ²)	
		1987	1994	1987	1994	1987	1994	1987	1994
→ 1級	18	21.1	25.8	15	15	2d	1	73.0	34.8
	59	21.1	25.1	15	16	2d	1	46.3	111.1
	196	22.6	29.5	14	15	2d	1	35.6	41.2
→ 2d級	119	16.9	20.4	15	15	2d	2d	44.5	75.8
	65	22.8	27.7	12	13	2d	2d	40.1	57.7
→ 2b級	72	18.1	24.2	15	15	2d	2b	70.7	72.7
	118	18.3	22.3	14	15	2d	2b	69.3	74.3
	70	19.7	21.0	15	16	2d	2b	70.8	87.8
	98	20.2	25.5	15	15	2d	2b	45.1	66.8
	198	19.0	22.0	15	16	2d	2b	58.8	86.8
	199	20.3	24.8	14	14	2d	2b	74.5	108.6
	220	20.1	23.9	14	14	2d	2b	51.7	51.6
	42	21.0	24.8	15	15	2d	2b	44.6	46.2
	107	21.5	21.6	15	16	2d	2b	31.5	72.5
	108	22.0	25.1	16	16	2d	2b	56.7	60.4
	139	22.3	26.1	15	16	2d	2b	49.7	72.6
	194	22.1	25.8	14	14	2d	2b	45.1	54.9
	235	21.3	21.6	13	14	2d	2b	60.1	66.8
→ 3級	130	15.9	18.8	14	14	2d	3	84.8	108.7
	103	20.3	23.6	15	15	2d	3	56.6	54.3

3級木	供試木 番 号	胸 高 直 径 (cm)		樹 高 (m)		樹型級区分		ヤング係数 (t/cm ²)	
		1987	1994	1987	1994	1987	1994	1987	1994
→ 2b級	90	21.5	21.6	16	16	3	2b	64.4	65.9
→ 3級	93	12.3	16.6	13	14	3	3	47.2	72.8
	140	12.4	16.6	11	11	3	3	54.1	52.1
	157	12.0	15.0	10	11	3	3	75.3	86.8
	158	12.7	14.6	10	11	3	3	80.7	85.3
	31	14.4	15.0	10	11	3	3	59.0	63.6
	53	13.2	17.2	12	13	3	3	77.2	78.5
	56	14.7	15.9	11	12	3	3	53.1	56.8
	102	13.5	18.5	12	13	3	3	65.2	67.0
	116	13.8	15.3	11	11	3	3	44.6	52.0
	168	13.9	16.9	11	11	3	3	82.5	70.8
	213	13.3	17.2	14	15	3	3	57.3	56.8
	226	13.8	16.6	11	12	3	3	42.4	38.9
	231	14.0	16.9	11	12	3	3	69.7	76.4
	237	13.1	14.3	11	11	3	3	61.5	70.9
	26	16.2	19.4	11	12	3	3	56.0	64.0
	89	15.1	18.5	11	11	3	3	62.4	64.1
	141	15.6	16.6	11	12	3	3	78.9	64.6
	143	15.3	16.9	10	11	3	3	50.9	50.2
	145	15.9	19.1	11	14	3	3	70.7	77.6
	151	16.6	18.1	11	11	3	3	73.9	82.2
	212	16.9	19.7	11	13	3	3	62.5	71.7
	217	15.0	18.8	13	14	3	3	70.0	135.1
	228	15.2	20.1	14	15	3	3	57.9	65.2
	21	17.0	20.1	11	13	3	3	56.1	57.8
	47	18.3	22.3	11	12	3	3	59.0	78.8
	58	19.5	22.3	11	12	3	3	42.9	53.5
→ 4級	165	10.2	12.7	9	10	3	4	81.2	79.8
	73	12.1	12.7	9	10	3	4	81.6	68.0
	80	11.8	12.7	9	10	3	4	68.9	73.1
	173	13.5	15.9	9	10	3	4	47.5	57.9

4級木	供試木 番 号	胸 高 直 径 (cm)		樹 高 (m)		樹型級区分		ヤング係数 (t/cm ²)	
		1987	1994	1987	1994	1987	1994	1987	1994
→ 2b級	111	11.3	17.2	10	15	4	2b	55.8	77.0
→ 4級	191	9.7	9.9	8	9	4	4	59.2	69.5
	20	11.2	15.0	7	8	4	4	55.0	88.2
	146	11.9	15.0	10	11	4	4	53.9	86.8
	150	12.0	19.1	10	11	4	4	82.4	57.3