

# オビスギ品種の材質特性

(課題番号：13660169)

平成13年度～平成14年度科学研究費補助金  
(基盤研究(C)(2)) 研究成果報告書

平成15年3月

研究代表者 北原龍士

(宮崎大学農学部教授)

## は し が き

ひとくちにスギといっても、数多くの品種があり、その品種によって木材の性質が大きく異なる。この研究では、宮崎県南部に生育するオビスギ群15品種の木材の性質を明らかにする。とくに、オビスギ材を木材工業向けの材料として、その品質を的確に適合させるために、品質のバラツキの要因になっている各品種ごとの材質、たとえば強さやこわさ、そして細胞壁の量と質などを調べる。

南九州地域は、その地域特性として、温暖・多雨な気候のために、わが国でも有数の森林資源に恵まれた地域である。スギ品種の中でも、とりわけオビスギ群は、成長が速いことで知られている。かつては、オビスギは、弁甲材（船舶用材）として利用されてきた。しかし、今では、もっぱら建築材料として使われているが、その需要は衰退の一途をたどっている。その要因は、原木価格というよりも、むしろその品質にあると考えられる。それゆえ、木材の価値判断基準を、従来の化粧的あるいは感性的な面に偏りすぎていた評価から、将来的に科学的な性能あるいは品質を重視する評価への移行が必要だろう。

危機的な地球環境を克服するために、持続可能な社会システムの構築が求められている。多くの試みのひとつとして、膨大なエネルギーを消費する化石・鉱物資源依存から、反復して収穫が可能な森林資源を、材料や原料として活用する社会への転換を図りたい。森林資源は、「物的な恵み」と「環境への恵み」を両立させることが可能な、唯一の資源である。オビスギのもつ潜在的な可能性を探る。

### 研究組織

研究代表者：北原 龍士（宮崎大学農学部教授）

研究分担者：雉子谷 佳男（宮崎大学農学部講師）

### 交付決定額（配分額）

（金額単位：千円）

	直接経費	間接経費	合計
平成13年度	800	0	800
平成14年度	700	0	700
総計	1,500	0	1,500

## 研究発表

### (1) 学会誌等

- 1) 雉子谷佳男, 北原龍士: 南九州産スギ材の材質 II, 一オビスギ品種の材質特性一. 材料, Vol.52, No.4 (2003.4) (印刷中)

### (2) 口頭発表

- 1) 山根啓之, 北原龍士, 雉子谷佳男: オビスギ品種の木材性質 (II), 一とくに力学的性質について一. 日本木材学会九州支部大会講演集, No.8 (2001.8)
- 2) 山根啓之, 北原龍士, 雉子谷佳男: オビスギ品種の材質特性, 一とくに高さ方向での変動について一. 日本木材学会大会研究発表要旨集, No.52 (2002.4)
- 3) 山根啓之, 雉子谷佳男, 北原龍士: スギ材における高さ方向の材質変動. 日本木材学会九州支部大会講演集, No.9 (2002.8)
- 4) 山根啓之, 雉子谷佳男, 北原龍士: オビスギ品種 (とくにタノアカ) 材の材質変動について. 日本木材学会大会研究発表要旨集, No.53 (2003.3)

## 1. 研究目的とその背景

スギを中心とするわが国の林業は、従来の心持ち柱に代表される化粧面での評価が主流の形態から、工業向け材料として、科学的な性能評価に裏付けられた林木生産への脱皮が緊急の課題となっている。柱材を中心とした国産構造用材の利用現場にも、使われる木材に厳しい品質管理の概念が求められるようになってきた。つまり、感性的あるいは化粧的な評価から、科学的な性能に裏付けられた木材の品質管理が要求されはじめた。木材の最終用途と、そこに至る加工性や処理性を、従来よりも明確に意識した木材生産がもともとられている。しかし、現実の構造用材の生産あるいは利用現場では、上述への対応が極めて立ち後れていると言わざるを得ない。とくに、衰退の一途をたどるスギ林業とスギ材の利用現場では、その抜本的な対応策の確立が急務である。

その一方で、人間と自然とが共存を図るために、森林資源利用と地球環境保全との均衡を目指すことが求められている。つまり、森林資源の持続可能な利用が、全地球的規模での課題となっている。このように環境保全からの視点、そして世界的な森林資源の枯渇から、人工造林木をいかに育て、また使いこなすかが国際的な課題として浮上してきた。林木の木部、すなわち木材は、地球温暖化の原因となる大気中の二酸化炭素が吸収・変換され、その炭素が貯蔵されたものである。つまり、木材とその利用、とくに人工造林木の積極的な利用は、地球環境保全に益するという新しい概念の構築が必要に思う。

さて、そのスギ材には、数多くの品種が存在し、その品種によって木材の性質が著しく異なる。しかし、実際の木材市場では、スギ品種はほとんど考慮されず、その地域で産出されたスギ丸太材が集荷されている。このために、スギ材の品質バラツキが多く、工業向け材料としての安定した地位が確立されていない。これらのことが、スギ材利用の促進をさらに難しくしている。

南九州は、その地域特性として、温暖・多雨な気候のために、わが国でも有数の森林資源に恵まれた地域である。スギ品種の中でも、とりわけオビスギ群は、成長が速いことで知られている。かつては、オビスギは、弁甲材（船舶用材）として利用されてきた。しかし、今では、もっぱら建築材料として使われているが、その需要は衰退の一途をたどっている。その要因は、原木価格というよりも、むしろその品質にあると考えられる。それゆえ、木材の価値判断基準を、従来の化粧的あるいは感性的な面に偏りすぎていた評価から、将来的に科学的な性能あるいは品質を重視する評価への移行が必要だろう。

ところで、オビスギ品種の木材材質については、これまでもいくつかの報告<sup>1)~4)</sup>がなされてきたが、対象となるオビスギ品種の林分や試験木に制限があった。すなわち、オビスギ15品種のすべてが、同一林分内そして同一樹齢で、しかも同一環境条件のもとで生育したものか、また、対象となる林分が、未成熟期を過ぎて成熟期に入った林齢に達しているかが課題となった。従来の研究では、これらすべての条件を満たし、しかもオビスギ15品種の木材の力学的性質と組織・構造的な指標との関係を、総合的に究明したものは見当たらない。加えて、オビスギ品種材の高さ方向での材質変動については、全く不明である。

そこで、この研究では、オビスギ15品種の木材性質の大要を知るために、それらの組織

・構造的な指標と力学的性質を調べるとともに、オビスギ品種材の力学的性質への組織・構造的な指標の関与の仕方を解明する。さらに、オビスギ品種材の樹幹高さ方向での材質変動についても究明したい。

## 2. 実験材料および方法

### 2.1 供試材

宮崎県北郷町に設定された「オビスギ品種別展示林」(17品種, 33年生)に生育するスギ人工造林木を供試木とした。オビスギ15品種のほかに、対照スギ品種としてヤブクグリとクモトオシの2品種, 計17品種の林木を用いた。これらは同一林分内, 同一樹齡, しかも同一環境条件のもとで, 正常な生育をしたものである。この林分で毎木調査を行い, 品種ごとに標準的な成長をした林木を, 供試木として1品種につき2~3本を選び出した。供試木を伐倒したのち, 根元から長さ2mごとに玉切りして, 供試木1本につき3本の供試丸太が得られた。それらの供試丸太は, 動的縦ヤング率の測定に供された。さらに, それらの供試丸太の一番目と三番目から, それぞれ地上高1.5m付近と4.6m付近から長さ60cmの丸太材と, それらの丸太材の上方に接して厚さ20cmの円板をそれぞれ切り出した。これらの円板と丸太材は, それぞれ静的縦圧縮試験, 組織・構造指標の測定に用いた。

さらに, 樹幹の根元から梢端に至る高さ方向での材質変動を明らかにするために, 別途, 宮崎大学農学部附属演習林で生育したオビスギ品種: タノアカ (34年生) 10本を, 供試木とした。これらの供試木も, 根元から長さ2mごとに順次玉切りし, 供試木1本につき7~10本の供試丸太が得られた。すべての供試丸太を動的縦ヤング率測定に供するとともに, 各供試丸太の元口から厚さ10cmの円板を採取し, 組織・構造的な指標の測定に用いた。

### 2.2 組織・構造的な材質指標の測定

上述の組織・構造的な指標の測定用円板を, さらに2個の円板に分割した。これらの円板のうち1個は容積密度数の測定に, 残りは早・晩材部の仮道管二次壁中層 ( $S_2$ 層) のマイクロフィブリル傾角, そして晩材部仮道管長さの測定に用いた。容積密度数測定用の円板から, 髓を中心に両側に, 髓から木部最外層に至る放射方向へ連続して木材小片を採取した。これらの木材小片に, メタノールによる抽出および水での煮沸処理をほどこして, 容積密度数に与える木材抽出成分の影響を取り除いた。また, 木材小片の容積を水置換法で測定し, さらにその値の全乾重量に対する比から容積密度数を算出した。早・晩材部仮道管  $S_2$ 層マイクロフィブリル傾角および晩材部仮道管長さの測定では, 円板の髓から木部最外層に至る放射方向の各部位から試料を切り出し, 仮道管長さは解繊処理後, そして仮道管  $S_2$ 層マイクロフィブリル傾角はヨウ素法によって, それぞれの値を求めた。

### 2.3 力学試験

オビスギ15品種材の動的縦ヤング率は, 上述の供試丸太 (地上高それぞれ0~2m, 2~4m, 4~6m部位, 長さ各2m) を5ヶ月間の天然乾燥後, FFTアナライザーを用いた打撃法によって測定した。なお, 前述の宮崎大学農学部附属演習林産のタノアカ材については, 生材

のまま実験に供した。

さらに、縦圧縮試験のために、試料として前述の丸太材（地上高1.5mと4.6m付近部位、長さ60cm）を用い、組織・構造指標を測定するための試料の採取位置に対応させて、髄から木部の両最外層に至る放射方向の各部位から2方まさ目面の角棒を作製した。この角棒1本から、5~6個の縦圧縮試験片（放射方向：接線方向：繊維方向=2×2×8cm）を連続して採取した。縦圧縮試験では、オルセン型強度試験機を使い、変形速度0.5mm/minで、気乾材試験片の繊維方向へ平行に荷重を加えた。ひずみ測定には、ストレンゲージを用いた。なお、縦圧縮試験は気乾状態ですべて温度20℃、相対湿度65%の恒温・恒湿室で行った。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 オビスギ品種材の組織・構造的な特徴

オビスギ15品種材と対照品種のクモトオシ材およびヤブクグリ材の各種材質指標一覧を、表1に示す。表1中、未成熟材部とは仮道管長さを基準にしてその長さがほぼ一定となるまでの形成層齢、すなわち髄から放射方向に9年輪目まで、その一方で成熟材部とは10年輪目から木部最外層に至るまでの部位を示す。そこで、まず成熟材部での組織・構造的な指標値を比べると、表1に示すように、各品種間で明らかに差異が認められた。すなわち、容積密度数をみると、チリメンドサ材、エダナガ材、ゲンベエ材、対照品種のクモトオシ材で大きな値を示した。他方、トサアカ材、クロ材、カラツキ材、対照品種のヤブクグリ材では、容積密度数が小さかった。つぎに、S<sub>2</sub>層マイクロフィブリル傾角をみると、チリメンドサ材とハアラ材ではその値が小さく、ヒダリマキ材、オビアカ材、クロ材、タノアカ材では大きかった。さらに、晩材仮道管長さは、ミゾロギ材、そして対照品種のヤブクグリ材とクモトオシ材で長く、他方ゲンベエ材、オビアカ材、ヒダリマキ材で短かった。未成熟材部の組織・構造的な指標値においても、表1に示すように、品種ごとの特徴が認められた。しかし、容積密度数については、成熟材部と未成熟材部の値に著しい差異が認められたチリメンドサ材を除いて、品種による違いが成熟材部ほど顕著ではなかった。この要因として、オビスギ材では、品種にかかわらず、未成熟材部に偽年輪が多く含まれるために、容積密度数が比較的高くなることが推定された。また、S<sub>2</sub>層マイクロフィブリル傾角の値をみると、チリメンドサ材、エダナガ材、対照品種のクモトオシ材ではその値が小さく、タノアカ材やオビアカ材では大きかった。このように、オビスギ群の代表的なアカ系統と呼ばれている品種で、S<sub>2</sub>層マイクロフィブリル傾角が大きな値を示す傾向がみられた。

#### 3.2 オビスギ品種材の力学的性質

オビスギ15品種材ならびに対照品種のクモトオシ材とヤブクグリ材の各種力学的指標を、表1と図1（成熟材部）に縦圧縮ヤング率の大きい順に示している。前述のオビスギ15品種材成熟材部での組織・構造的な特徴と同様に、オビスギ材成熟材部での力学的な指標値も、各品種間で明瞭な違いが認められた。とくに、縦圧縮ヤング率を例にあげると、

# 表1 オビスギ品種材の木材材質

(2m部位での値)

品種	丸太		成熟材部							未成熟材部						
	胸高直径	動的縦ヤング率	縦圧縮強さ	縦圧縮ヤング率	仕事量	容積密度数	晩材仮道管長さ	早材MFA	晩材MFA	縦圧縮強さ	縦圧縮ヤング率	仕事量	容積密度数	晩材仮道管長さ	早材MFA	晩材MFA
	(cm)	( $\times 10^3 \text{kg/cm}^2$ )	(kg/cm <sup>2</sup> )	( $\times 10^3 \text{kg/cm}^2$ )	(kg $\cdot$ cm/cm <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(mm)	(度)	(度)	(kg/cm <sup>2</sup> )	( $\times 10^3 \text{kg/cm}^2$ )	(kg $\cdot$ cm/cm <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(mm)	(度)	(度)
チリメントサ	18.6	80.8	452	132.6	1.14	356	2.98	12.5	9.7	320	60.6	2.19	297	2.21	21.6	16.9
ハアラ	22.5	75.0	358	114.1	0.64	328	3.08	9.9	9.7	266	42.8	2.24	318	2.19	22.3	20.9
ゲンベエ	21.5	70.2	372	105.3	1.09	335	2.53	18.1	14.2	286	40.0	3.08	342	2.14	27.6	22.6
タノアカ	28.0	68.1	332	99.8	0.74	328	3.15	15.6	14.9	257	38.2	2.23	324	2.14	25.7	23.6
エダナガ	25.1	66.7	320	87.7	1.08	338	3.11	17.7	12.6	309	62.4	1.68	331	2.34	22.5	19.5
ミソロギ	25.3	65.4	297	84.7	0.76	304	3.35	18.7	11.1	280	45.6	2.13	312	2.24	24.4	19.9
ガリン	27.1	57.2	325	84.2	1.01	296	2.88	20.4	13.5	285	52.0	1.95	313	2.21	25.1	22.0
オビアカ	27.1	59.6	300	80.2	1.01	320	2.73	21.7	15.8	266	42.3	2.31	306	2.08	27.6	23.1
アラカフ	22.3	51.9	315	78.3	1.00	298	2.98	18.3	13.8	289	47.4	2.40	327	2.33	25.1	21.1
トサグロ	25.5	61.0	296	78.0	1.15	310	3.22	18.7	14.7	316	52.5	3.03	335	2.39	25.2	22.9
ヒキ	26.6	64.2	307	78.0	0.94	308	2.87	18.5	11.9	297	45.0	2.93	340	1.97	24.5	21.2
ヒダリマキ	25.7	56.9	293	74.9	1.03	299	2.79	20.1	17.4	271	37.1	3.08	332	2.07	24.7	22.3
カラツキ	23.6	55.6	258	71.2	0.96	292	2.80	17.2	13.3	262	42.5	2.06	321	2.07	25.4	22.1
トサアカ	26.8	47.4	272	67.9	1.09	285	2.93	18.8	13.8	260	38.6	2.52	341	2.18	26.1	21.2
クロ	29.1	51.2	286	67.6	1.30	291	3.06	18.0	15.0	295	49.1	2.49	321	2.12	25.7	22.7
クモトオン	24.4	79.4	340	99.1	0.84	345	3.39	13.2	11.2	313	56.1	1.94	318	2.36	20.9	19.3
ヤブクグリ	29.0	75.4	296	94.7	0.74	283	3.44	15.8	10.3	294	55.8	2.48	337	2.13	25.7	21.5

MFA: S<sub>2</sub>層マイクロフィブリル傾角

L

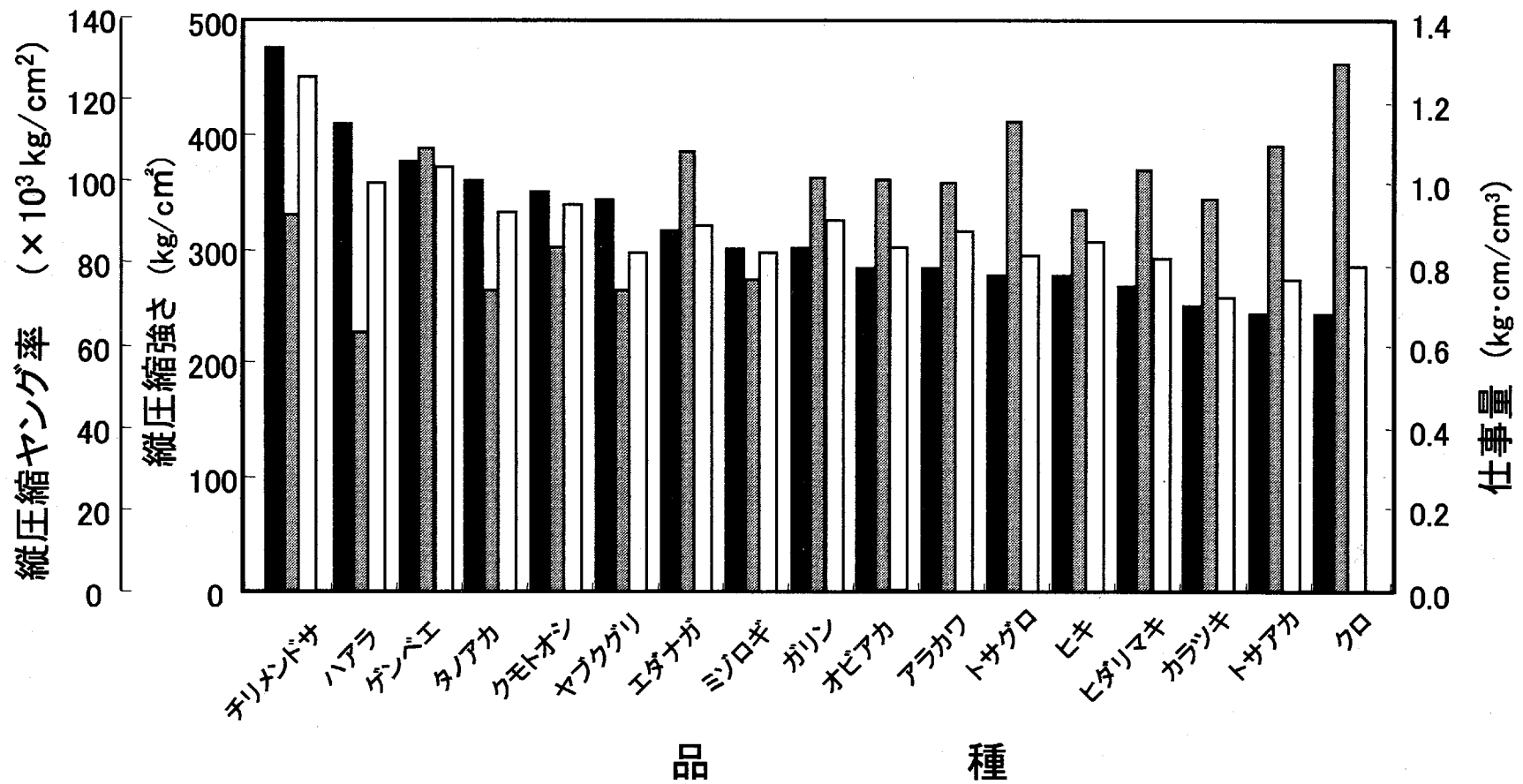
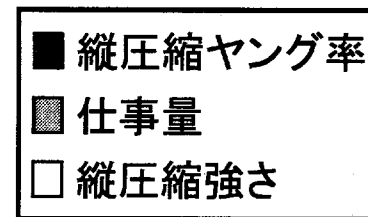


図1 オビスギ品種材の各種力学的性質(成熟材部)

(2m部位)





最大値 (132.6 kg/cm<sup>2</sup>) を示したチリメンドサ材と最小値 (67.6 kg/cm<sup>2</sup>) を示したクロ材との間には、約 2 倍の開きがあった。表 1 と図 1 中、上位 3 品種材の縦圧縮ヤング率は、100,000 kg/cm<sup>2</sup> の値を超えている。とりわけ、チリメンドサ材は、オビスギ15品種中、縦圧縮ヤング率、縦圧縮強さおよび動的縦ヤング率が最も大きな値を示した。しかし、その肥大成長速度は極めて遅かった。宮崎県南部地方で多く生産されているオビアカ材は、15 品種中、中程度の値の縦圧縮ヤング率であり、オビアカと同じアカ系統に分類されるタノアカ材は比較的高い値を示した。また、縦圧縮強さにおいても、オビスギ15品種全体で縦圧縮ヤング率と縦圧縮強さとの間には高い相関関係が認められ ( $r=0.92$ )、縦圧縮ヤング率の大きな品種材は縦圧縮強さも大きかった。縦圧縮ヤング率が最小値を示したクロ材では、オビスギ15品種のなかで、仕事量が最も大きかった。対照 2 品種材に比べると、オビスギ品種は仕事量が大きい傾向にあった。

つぎに、オビスギ15品種材の未成熟材部での力学的指標値 (表 1) をみると、エダナガ材とチリメンドサ材の未成熟材部の縦圧縮ヤング率はそれぞれに 62.4 kg/cm<sup>2</sup> と 60.6 kg/cm<sup>2</sup> の値を示し、これはクロ材の成熟材部の縦圧縮ヤング率 (67.6 kg/cm<sup>2</sup>) に近い値であった。一方、ゲンベエ材、タノアカ材は成熟材部での縦圧縮ヤング率の順位が上位に位置づけられていたにもかかわらず、未成熟材部ではその順位が下位になった。とくに、タノアカ材については、成熟材部 (99.8 kg/cm<sup>2</sup>) と未成熟材部 (38.2 kg/cm<sup>2</sup>) の縦圧縮ヤング率の差が大きく開いた。このように、未成熟材部では、成熟材部とは異なる品種特性が認められた。

そこで、タノアカ材、エダナガ材およびチリメンドサ材の縦圧縮ヤング率について、髄から木部最外層に至る放射方向での変動パターンを、髄からの距離との関係で図 2 に示す。タノアカ材は、未成熟材部の値が著しく小さいものの肥大成長が速いために、早い時期に縦圧縮ヤング率が急激に増大し、安定した品質の成熟材部を多く形成する。未成熟材部の縦圧縮ヤング率が大きなエダナガ材は、未成熟材部から成熟材部へと緩やかに縦圧縮ヤング率が増大する。また、チリメンドサ材では、縦圧縮ヤング率が髄から木部最外層に至る放射方向で急激に増大する。チリメンドサ材の縦圧縮ヤング率は、未成熟材部、成熟材部ともに極めて高いものの、肥大成長速度が小さく、品質の安定した成熟材部が著しく少ない。なお、縦圧縮強さの放射方向における変動パターンにも縦圧縮ヤング率と同じような傾向が認められた。したがって、オビスギ15品種材の縦圧縮ヤング率および縦圧縮強さの放射方向変動パターンをつぎの3つのタイプに分類することができた。すなわち、1) 未成熟材部の縦圧縮ヤング率と縦圧縮強さが、成熟材部に向かうにつれて急激に増大するタイプ (チリメンドサ、ハアラ、ゲンベエ、タノアカ)、2) 縦圧縮ヤング率と縦圧縮強さが、髄から木部最外層に至る放射方向でゆるやかに増大するタイプ (ミゾロギ、ガリン、オビアカ、アラカワ、ヒキ、ヒダリマキ、カラツキ、トサアカ)、そして3) 縦圧縮ヤング率と縦圧縮強さが成熟材部と未成熟材部との間で、顕著な違いがみられないタイプ (エダナガ、トサグロ、クロ) である。これらのさまざまな材質変動パターンをふまえ、オビスギ材の品種特性を勘案することによって、それらの用途をさぐる必要があるかもしれない。

ところで、オビスギ15品種材と対照 2 品種材を総合的にみると、丸太の動的縦ヤング率と成熟材部の縦圧縮ヤング率との間には、高い相関関係 ( $r=0.83$ ) が認められた。さらに、髄を中心に両側に、髄から木部最外層に至る放射方向の各部位における未成熟材部と成熟

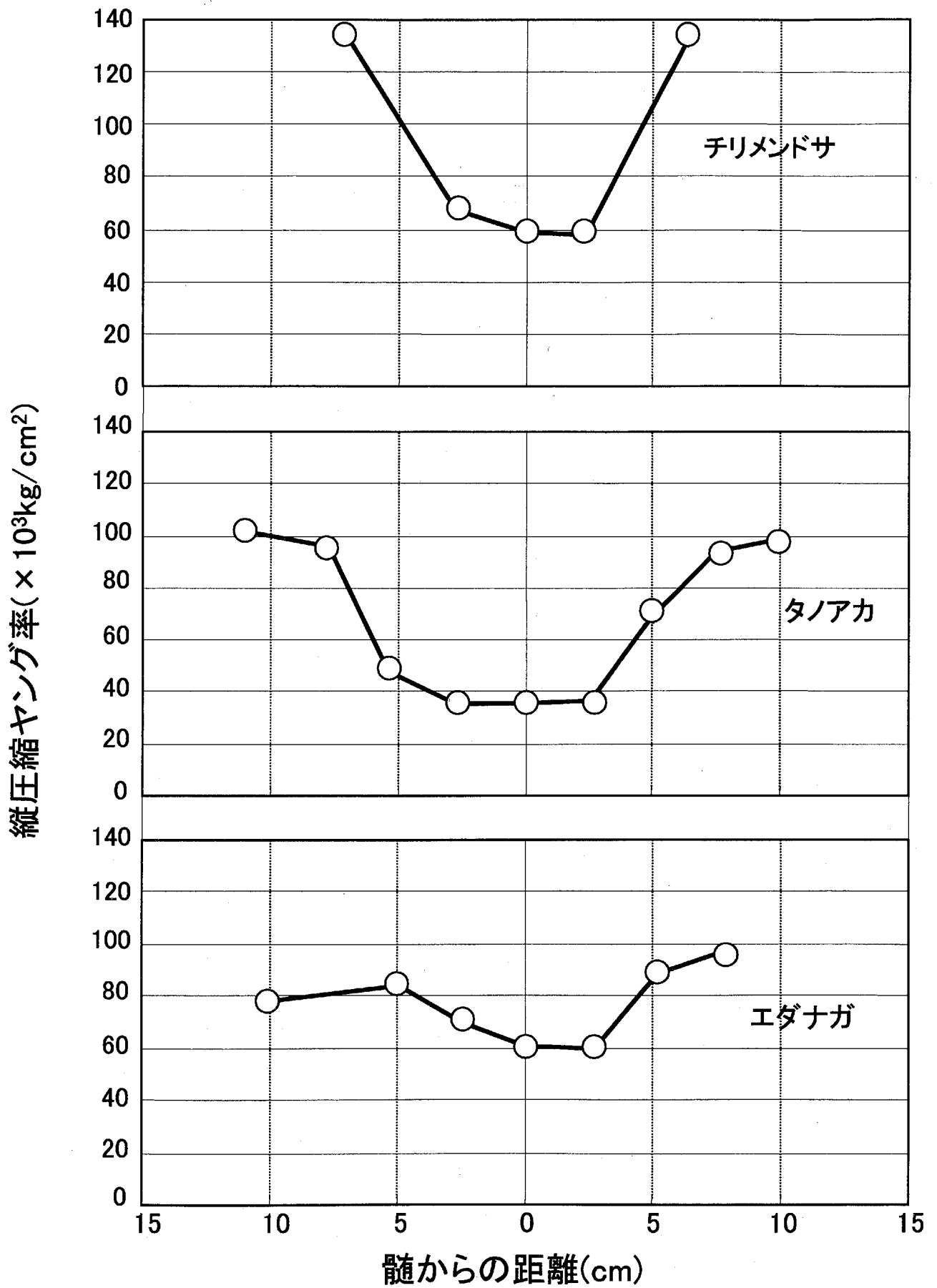


図2 縦圧縮ヤング率の放射方向での変動

材部すべての試験片について、縦圧縮ヤング率の平均値を求め、この平均値と丸太の動的縦ヤング率との関係を、図3に示す。すると、より密接な相関関係 ( $r=0.89$ ) が得られた。これらのことから、丸太の動的縦ヤング率は、未成熟材部と成熟材部を含む丸太の平均的な剛性を示す力学的指標であると考えられた。たとえば、表1からもわかるように、エダナガ材では、成熟材部の縦圧縮ヤング率がそれほど大きな値ではなかったにもかかわらず、丸太の動的縦ヤング率が極めて大きな値を示した。これは、エダナガ材の未成熟材部の縦圧縮ヤング率が大きかったことに起因している。

### 3.3 オビスギ品種材の力学的性質に与える組織・構造的な指標の影響

オビスギ品種の成熟材部では、容積密度数が縦圧縮ヤング率と縦圧縮強さの両者と高い相関関係 (1%水準 ( $p<0.01$ )) にあり、極めて重要な材質指標であった。さらに、早・晩材部の $S_2$ 層マイクロフィブリル傾角は、縦圧縮ヤング率との間 ( $p<0.01$ ) そして縦圧縮強さとの間 ( $p<0.05$ ) に、密接な関係が認められた。その一方で、晩材部仮道管長さは、いずれの力学的指標とも密接な関係が認められなかった。

オビスギ品種成熟材部の縦圧縮ヤング率への容積密度数と仮道管 $S_2$ 層マイクロフィブリル傾角の影響を、図4と図5にそれぞれ示す。縦圧縮ヤング率に与えるそれら2つの指標の関与のしかたには、品種によって興味深い特徴が認められた。すなわち、大きな容積密度数と小さなマイクロフィブリル傾角を備えたチリメンドサ材は、2つの指標の相乗効果が現れたためか、最も大きな縦圧縮ヤング率の値を示した。これと類似した傾向を示したのが、対照品種のクモトオシ材であった。ハアラ材は、容積密度数はさほど大きくないが、マイクロフィブリル傾角が小さいために、縦圧縮ヤング率が増大した。容積密度数が著しく小さなヤブクグリ材 (対照品種) も、小さなマイクロフィブリル傾角をもつために、比較的大きな縦圧縮ヤング率の値を示した。また、ゲンベエ材とタノアカ材は、マイクロフィブリル傾角は小さくはないが、容積密度数が大きいため、縦圧縮ヤング率の値も大きかった。オビスギ群の代表的な品種であるオビアカ材は、大きなマイクロフィブリル傾角をもっているが、容積密度数がそれほど小さくないので、15品種中、中程度の縦圧縮ヤング率の値を示した。

その一方で、小さな容積密度数と大きなマイクロフィブリル傾角をもつクロ材、トサアカ材、ヒダリマキ材などは、縦圧縮ヤング率の値が著しく低かった。また、カラツキ材は、マイクロフィブリル傾角の値はさほど大きくないが、容積密度数が小さいために、縦圧縮ヤング率の値もかなり小さかった。これらの結果から、オビスギ品種材の縦圧縮ヤング率は、容積密度数が大きいか、もしくはマイクロフィブリル傾角が小さいとき増大し、さらに両者を兼ね備えたときにその値が著しく増大することが明らかになった。このような傾向は、屋久島スギ材についての報告<sup>5)</sup>においても同様に認められた。他方、未成熟材部では、成熟材部と異なる結果が得られた。すなわち、容積密度数は、未成熟材部の縦圧縮ヤング率および縦圧縮強さとの間に密接な関係が認められなかった。しかし、 $S_2$ 層マイクロフィブリル傾角は、縦圧縮強さとの間 ( $p<0.05$ ) そして縦圧縮ヤング率との間 ( $p<0.01$ ) に相関関係が認められた。オビスギ品種未成熟材部の縦圧縮ヤング率への $S_2$ 層マイクロフィブリル傾角の影響を図6に示す。エダナガ材、チリメンドサ材および対照品種のクモトオシ材で

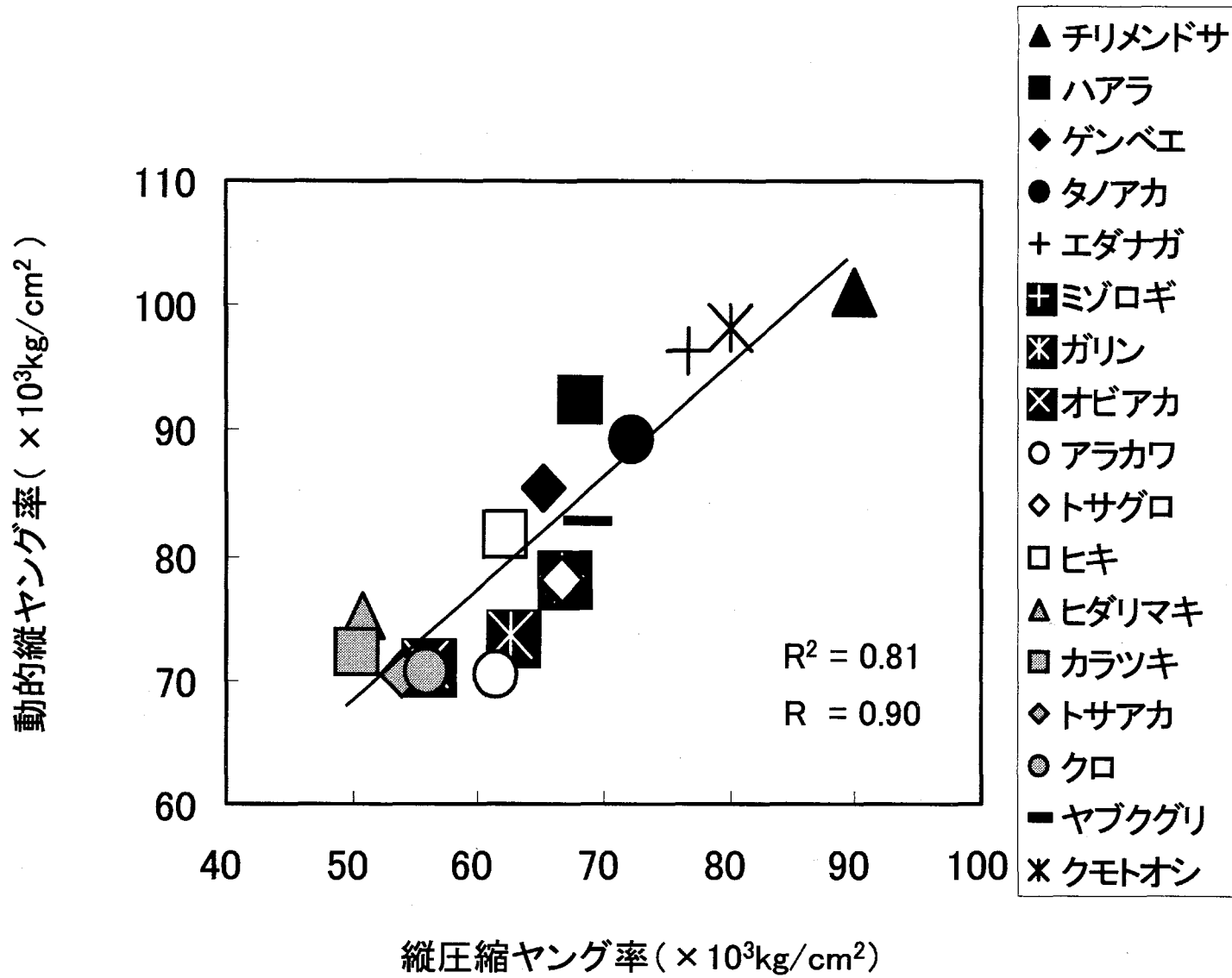


図3 動的縦ヤング率(丸太)と縦圧縮ヤング率(平均値)

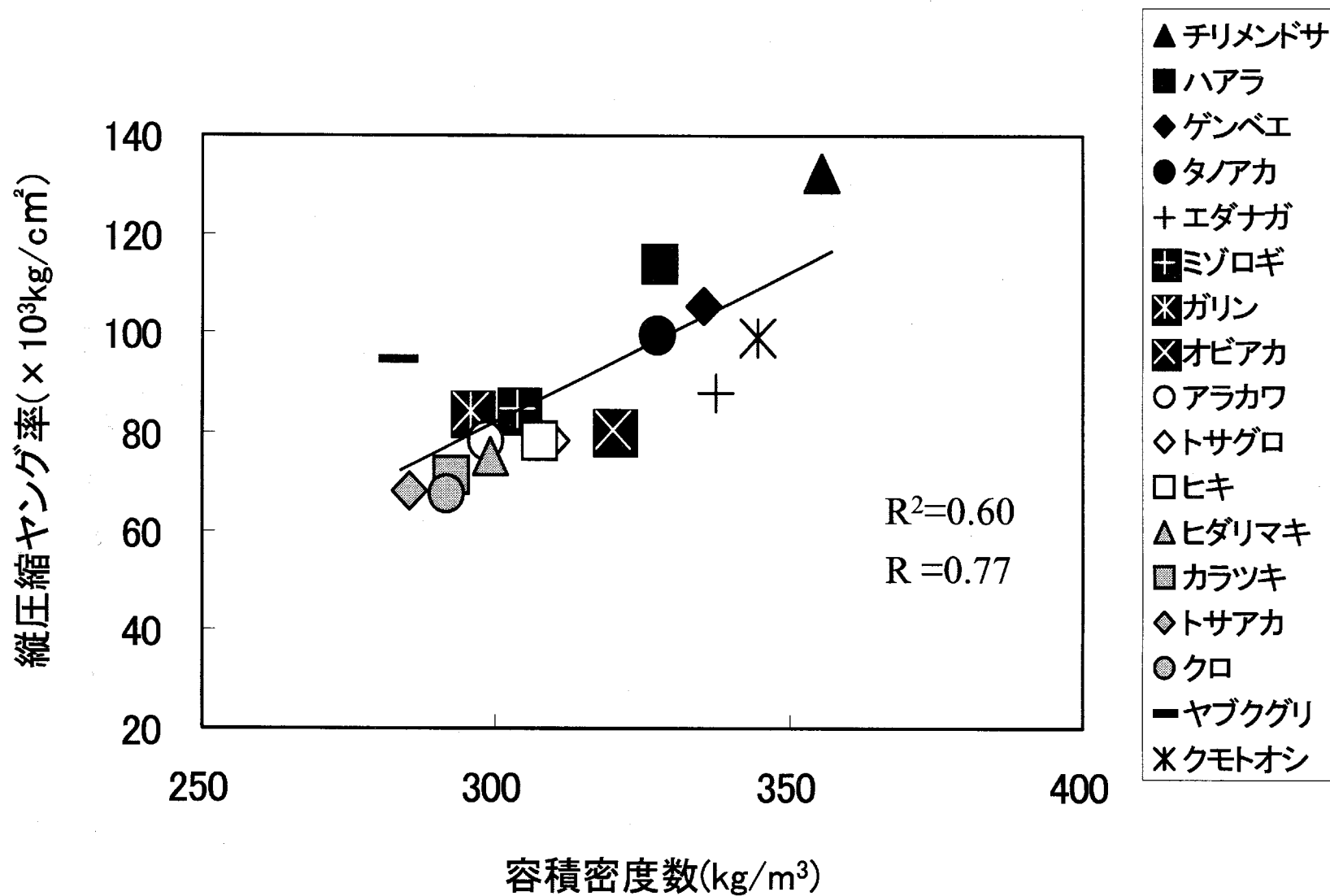


図4 縦圧縮ヤング率と容積密度数との関係(成熟材部)

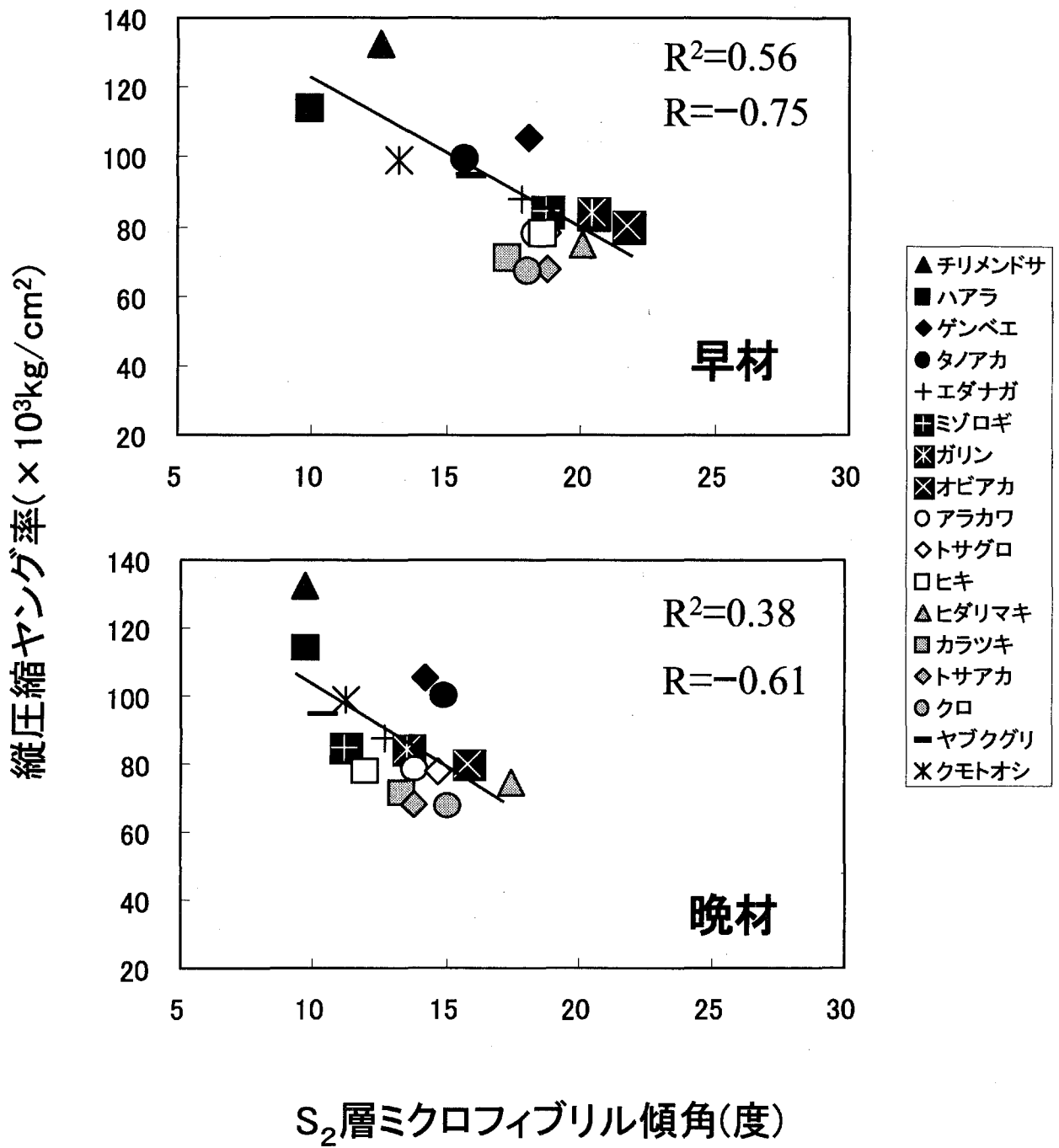


図5 縦圧縮ヤング率と $S_2$ 層マイクロフィブリル傾角との関係(成熟材部)

は、図6に示すように、S<sub>2</sub>層マイクロフィブリル傾角が小さいために、未成熟材部の縦圧縮ヤング率が大きな値を示した。一方、タノアカ材、オビアカ材およびトサアカ材のアカ系統では、S<sub>2</sub>層マイクロフィブリル傾角が大きいために縦圧縮ヤング率が小さな値となった。

### 3.4 オビスギ品種材の高さ方向での材質変動

オビスギ15品種の樹幹高さ方向での材質変動を明らかにするために、まず最初に前述(『2.1 供試木』)の各品種ごとに得られた長さ2mの供試丸太3本(各地上高0~2m, 2~4m, 4~6m)について、それぞれの動的縦ヤング率を測定した。その結果、表2に示すように、地上高が大きくなると、各品種の丸太材の動的縦ヤング率が増大した。すなわち、2番丸太が最大値を示した5品種をのぞき、すべて3番丸太が最も大きな値を示した。

表2 オビスギ品種材の動的縦ヤング率

品 種 名	1番丸太(0~2m)	2番丸太(2~4m)	3番丸太(4~6m)
チリメンドサ	80.8	101.2	107.3
ハアラ	75.0	92.7	91.7
タノアカ	68.1	89.5	93.1
エダナガ	66.7	96.4	97.3
ゲンベエ	70.2	85.5	95.0
ミソロギ	65.4	78.3	81.6
トサグロ	61.0	78.0	87.6
ヒキ	64.2	81.8	88.6
オビアカ	59.6	71.3	70.3
ヒダリマキ	56.9	75.2	74.5
ガリン	57.2	73.7	78.6
カラツキ	55.6	72.4	71.3
クロ	51.2	70.8	72.0
アラカワ	51.9	70.6	62.7
トサアカ	47.4	70.6	69.8
クモトオシ	79.4	98.3	109.6
ヤブクグリ	75.4	82.9	86.3

※クモトオシとヤブクグリは対照品種

そこで、さらに高さ方向での詳細な材質変動を究明するために、オビスギ品種材と対照2品種材について、前述の地上高2m付近部位と同様に、5m付近部位での力学的性質および組織・構造的指標を成熟材部と未成熟材部に分けて調べた。その結果を、表3に示す。

また、オビスギ品種材の5m部位における成熟材部の各種力学的指標の結果を、図7に縦圧縮ヤング率の大きい順に示している。この図から、図1の2m部位における成熟材部の各

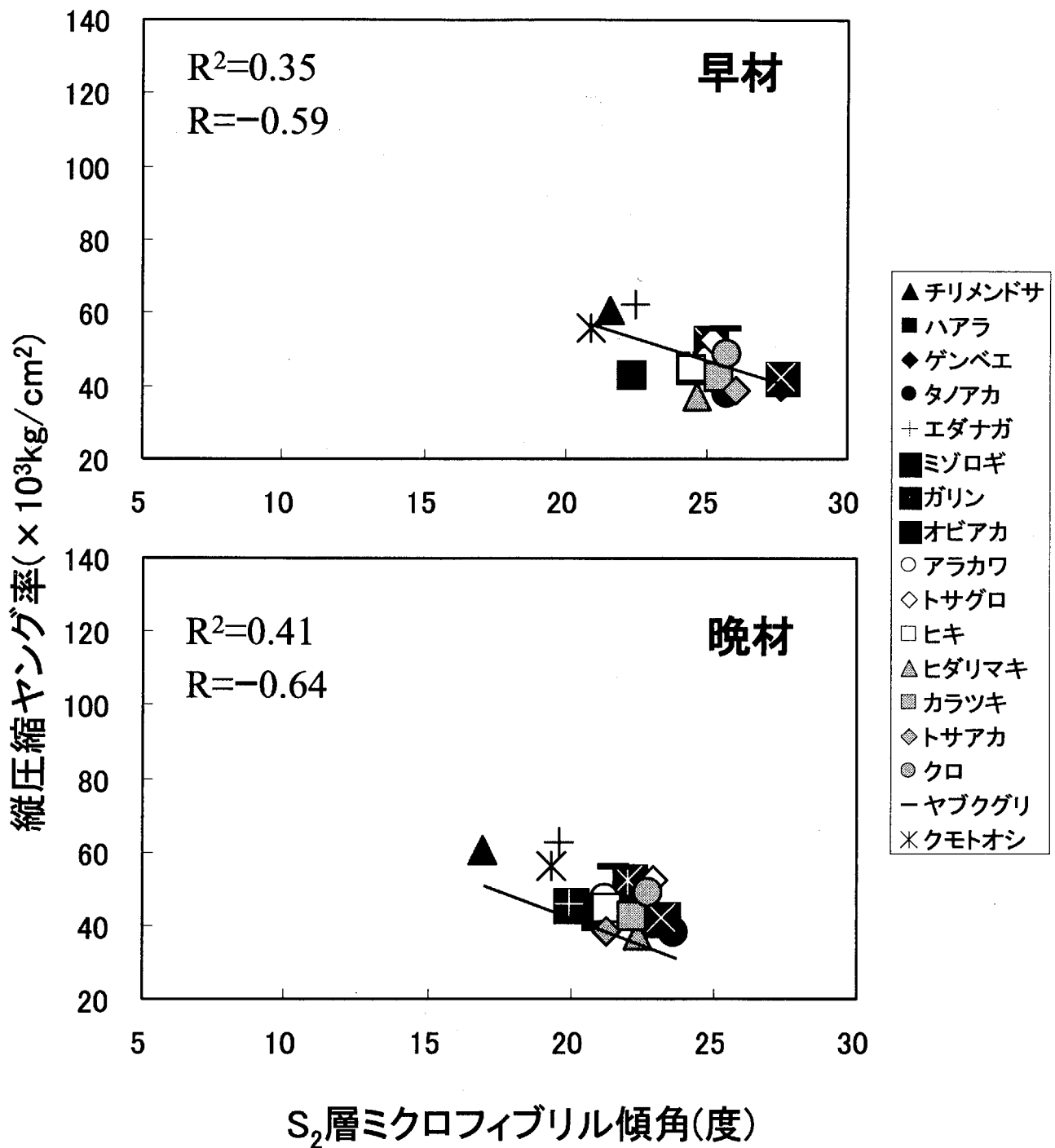


図6 縦圧縮ヤング率と $S_2$ 層マイクロフィブリル傾角との関係(未成熟材部)



表3 オビスギ品種材の木材材質

(6m部位での値)

品種	丸太		成熟材部							未成熟材部						
	胸高直径	動的縦ヤング率	縦圧縮強さ	縦圧縮ヤング率	仕事量	容積密度数	晩材仮道管長さ	早材MFA	晩材MFA	縦圧縮強さ	縦圧縮ヤング率	仕事量	容積密度数	晩材仮道管長さ	早材MFA	晩材MFA
	(cm)	( $\times 10^3 \text{kg/cm}^2$ )	(kg/cm <sup>2</sup> )	( $\times 10^3 \text{kg/cm}^2$ )	(kg $\cdot$ cm/cm <sup>2</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(mm)	(度)	(度)	(kg/cm <sup>2</sup> )	( $\times 10^3 \text{kg/cm}^2$ )	(kg $\cdot$ cm/cm <sup>2</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(mm)	(度)	(度)
チリメンドサ	18.6	107.3	417	124.5	0.82	374	2.44	12.9	13.1	318	59.0	2.03	331	2.10	18.8	16.2
ハアラ	22.5	91.7	375	122.0	0.61	329	3.30	13.1	8.0	302	54.8	1.93	293	2.26	19.3	16.4
タノアカ	28.0	93.1	406	119.5	0.82	359	2.67	13.7	11.8	290	43.2	2.40	336	2.10	21.8	20.6
ゲンベエ	21.5	95.0	402	114.9	1.32	380	2.34	14.9	10.3	291	42.3	2.48	335	1.93	19.5	17.7
エダナガ	25.1	97.3	414	113.8	1.06	342	3.09	11.6	10.5	334	65.0	1.78	321	2.06	18.0	16.6
ヒキ	26.6	88.6	360	102.0	0.77	317	3.00	11.8	9.5	330	60.5	2.00	349	1.99	18.3	16.2
ミソロギ	25.3	81.6	352	96.5	1.12	323	2.47	18.3	13.0	312	57.3	2.10	319	2.11	18.1	17.0
ガリン	27.1	78.6	335	92.6	0.75	313	2.95	12.4	11.1	302	50.9	2.00	304	2.19	20.0	18.5
トサグロ	25.5	87.6	360	92.1	1.60	318	2.64	15.4	10.9	326	54.5	2.60	339	2.58	19.2	16.7
オビアカ	27.1	70.3	330	86.0	1.02	307	2.88	14.1	12.7	290	47.0	2.18	294	2.19	23.5	20.3
カラツキ	23.6	71.3	304	84.8	0.80	281	2.92	17.6	10.5	316	53.1	2.24	325	2.39	22.2	18.3
ヒダリマキ	25.7	74.5	324	83.0	0.91	295	2.81	16.7	13.7	282	42.8	2.22	310	2.11	20.0	19.7
クロ	29.1	72.0	324	80.3	1.00	301	2.50	12.2	11.3	309	51.4	1.93	320	2.07	19.2	18.2
アラカワ	22.3	62.7	349	80.2	1.50	324	2.71	18.1	17.5	286	45.0	2.07	313	2.30	21.6	19.4
トサアカ	26.8	69.8	297	80.0	1.03	289	2.91	17.2	12.7	305	54.0	1.80	327	2.24	20.3	16.2
クモトオシ	24.4	109.6	397	124.2	0.84	322	2.55	12.0	11.3	345	68.5	1.90	317	2.39	20.2	19.3
ヤブクグリ	29.0	86.3	357	110.2	0.79	288	3.14	14.4	11.9	322	55.0	2.74	352	2.00	23.6	21.0

MFA:S<sub>2</sub>層マイクロフィブリル傾角

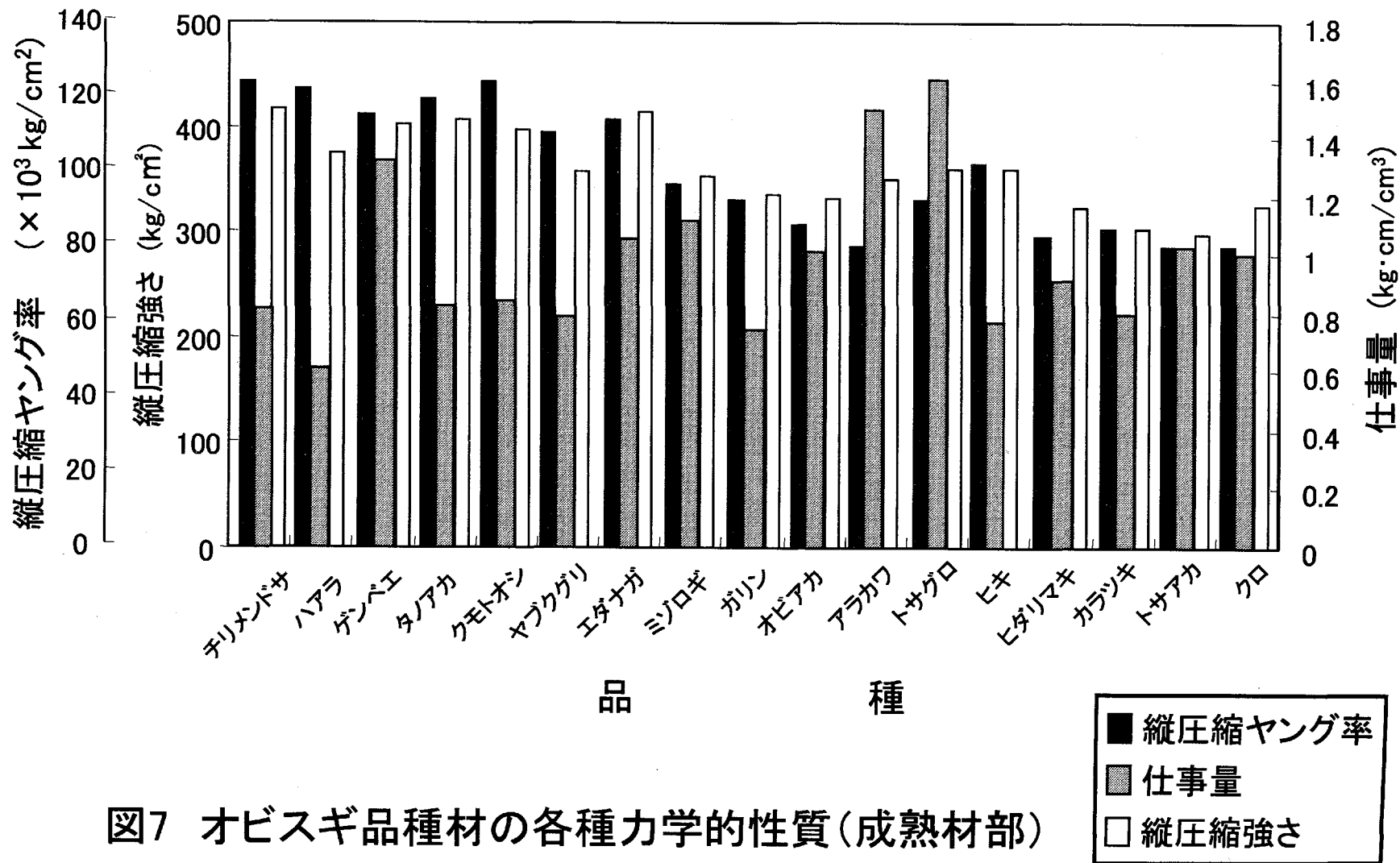


図7 オビスギ品種材の各種力学的性質(成熟材部)  
(6m部位)

種力学的指標の結果と異なる傾向が得られた。すなわち、品種ごとの各種力学的指標値やその順位などに変化が見られた。

そこで、表2と表3の結果をもとに、地上高2m部位と5m部位の成熟材部と未成熟材部とで各種力学的指標値を比較し、それらの増減率を図8と図9にそれぞれ示す。成熟材部では、縦圧縮ヤング率と縦圧縮強さが一品種（チリメンドサ材）を除き、他の品種材（オビスギ14品種材と対照2品種材）すべてにおいて5m部位での値のほうが大きかった。それゆえ、地上高5m部位の成熟材部の力学的性質に組織・構造的指標が、どんな影響を与えているか調べた。その結果、2m部位（表1）に比べて、5m部位（表3）では容積密度数が大きくなるとともに、 $S_2$ 層マイクロフィブリル傾角は小さくなる傾向が見られた。また、力学的性質に容積密度数（図10）と $S_2$ 層マイクロフィブリル傾角（図11）が深く関与していることが判明した。なお、5m部位では、晩材部仮道管長さとは各種力学的指標値との間に、明りょうな関係は認められなかった。

また、図9に示すように、未成熟材部でも、縦圧縮ヤング率と縦圧縮強さの値は、多くの品種材で2m部位に比べて5m部位のほうがやや大きかった。これには、 $S_2$ 層マイクロフィブリル傾角（図12）の影響が認められたが、容積密度数や仮道管長さの関与は認めることができなかった。なお、仕事量については、成熟材部と未成熟材部ともに、増減率の値にバラツキがあり、高さ方向での変動に明確な傾向は認められなかった。

### 3.5 根元から梢端に至る材質変動（タノアカ材の例）

前項（3.4）のように、オビスギ15品種で樹幹高さ方向での部位の違いによる変動が認められたので、オビスギ15品種のうちタノアカ材を用いて、樹幹の根元から梢端に至るまでの材質変動、すなわち力学的指標として動的縦ヤング率を、また組織・構造的指標として容積密度数、 $S_2$ 層マイクロフィブリル傾角、そして晩材部仮道管長さの変動の様子を詳細に調べた。

樹幹丸太材の動的縦ヤング率の値は、図13に示すように、樹幹上方に向かうと増大し、その最大値が樹高の22%から67%付近に認められ、さらに上方では減少を示した。

つぎに、樹幹高さ方向における組織・構造的な指標の変動の様子を、各地上高で髓からの年輪番号ごとに調べ、その結果を図14（ $S_2$ 層マイクロフィブリル傾角）、図15（仮道管長さ）、図16（容積密度数）に示している。すなわち、 $S_2$ 層マイクロフィブリル傾角は、図14に示すように、年輪番号が大きなものほどマイクロフィブリル傾角そのものの値が小さく、地上高が増すと、年輪番号3年輪目を除いて、それより大きな年輪番号ではその値が著しく減少し、地上高3m付近ではほぼ一定になった。しかし、年輪番号9、15、21年輪目では、地上高中間付近から上部にかけて再び変動を示した。また、晩材部仮道管長さの長さ方向の挙動をみると、図15からもわかるように、年輪番号が大きなものほど仮道管長さも大きく、地上高が増すとその値も増大し、9年輪目を除いて、地上高4m付近からほぼ一定になった。その一方で、容積密度数（図16）の変動は、 $S_2$ 層マイクロフィブリル傾角や晩材部仮道管長さの変動とは異なる傾向を示した。すなわち、容積密度数は、地上高が増すと、若い年輪番号（2、6年輪目）では一端減少するが、その後増大をつづけた。また、10年輪目以降の年輪番号では、当初から緩やかにその値が上昇をつづけ、樹幹上方に向かってその値も増大した。なお、

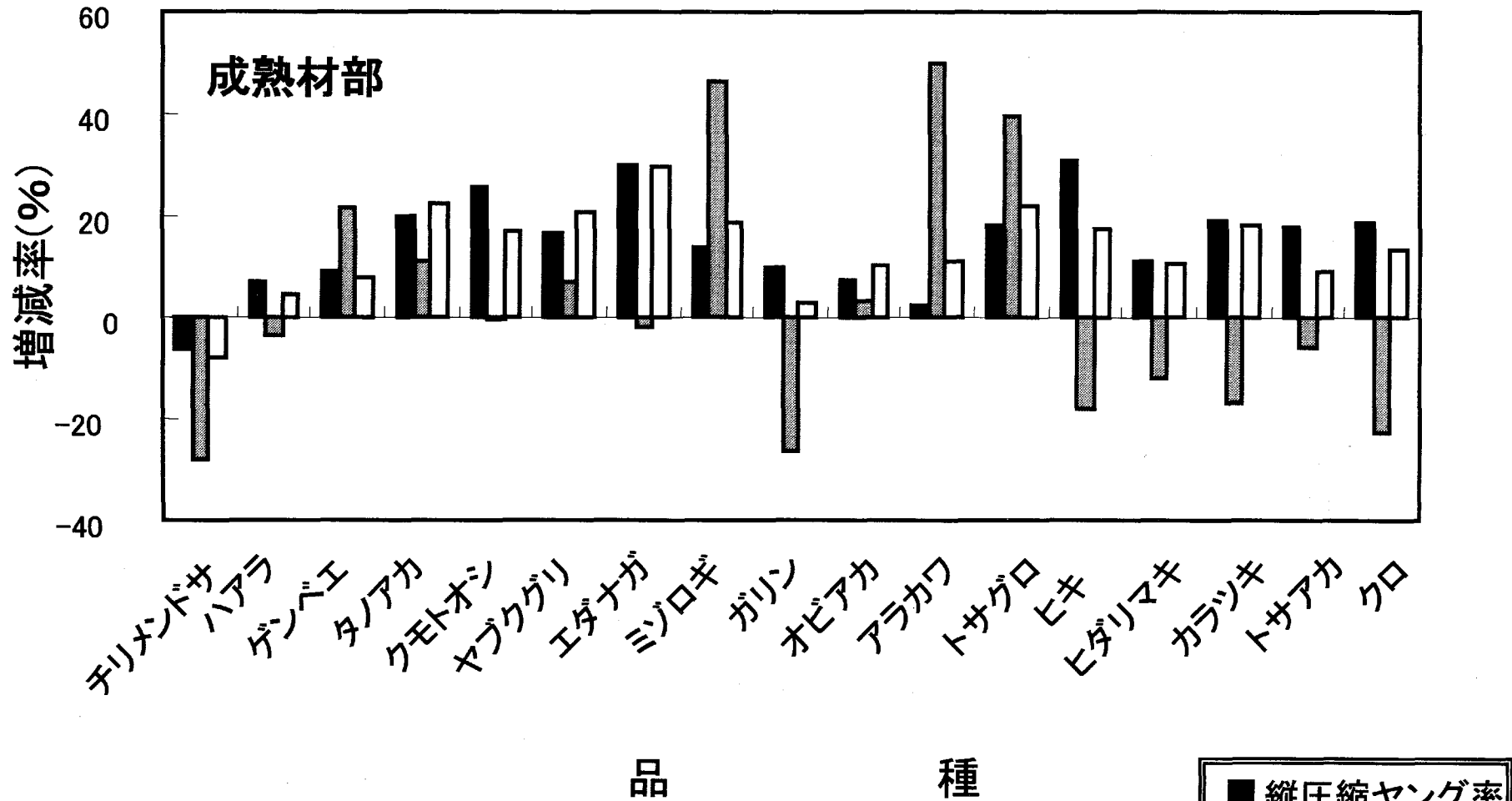


図8 各種力学的指標の高さ方向での比較(成熟材部)

注: 増減率(%)は, ((6m部位)-(2m部位))/2m部位で計算

■	縦圧縮ヤング率
▨	仕事量
□	縦圧縮強さ

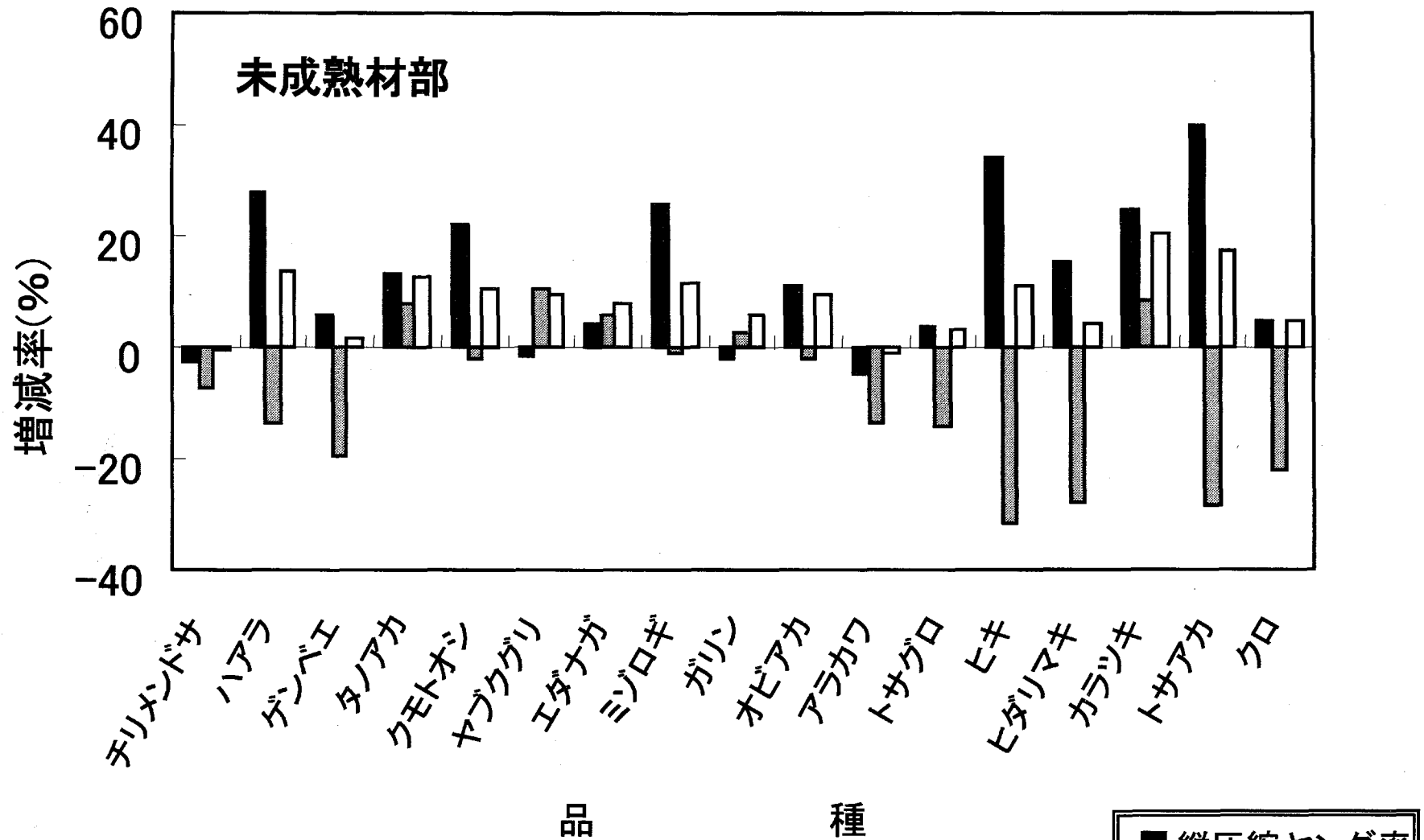


図9 各種力学的指標の高さ方向での比較(未成熟材部)

注:増減率(%)は、((6m部位)-(2m部位))/2m部位で計算

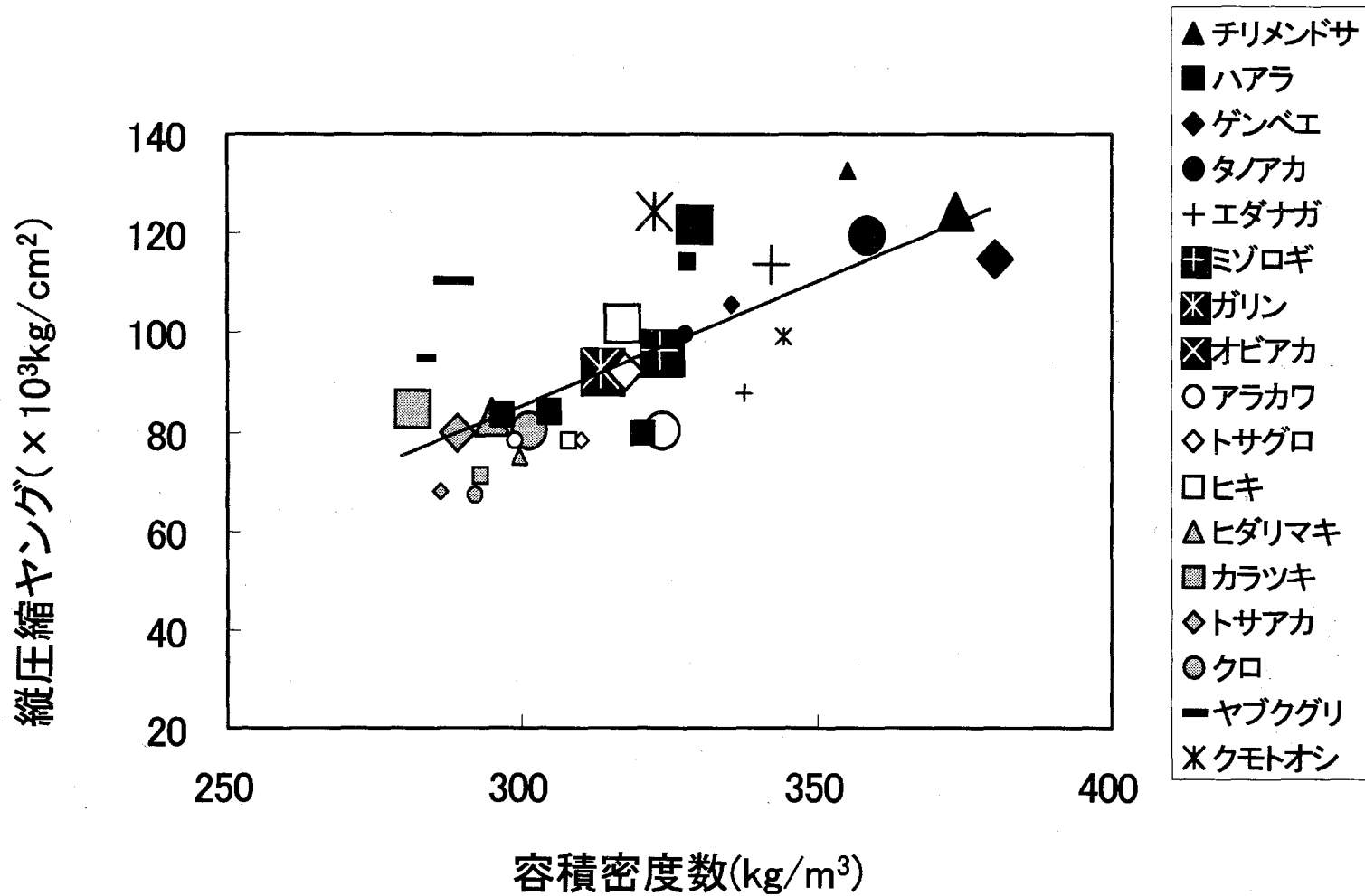


図10 成熟材部での縦圧縮ヤング率と容積密度数との関係

注:記号大が 6m部位, 記号小が 2m部位

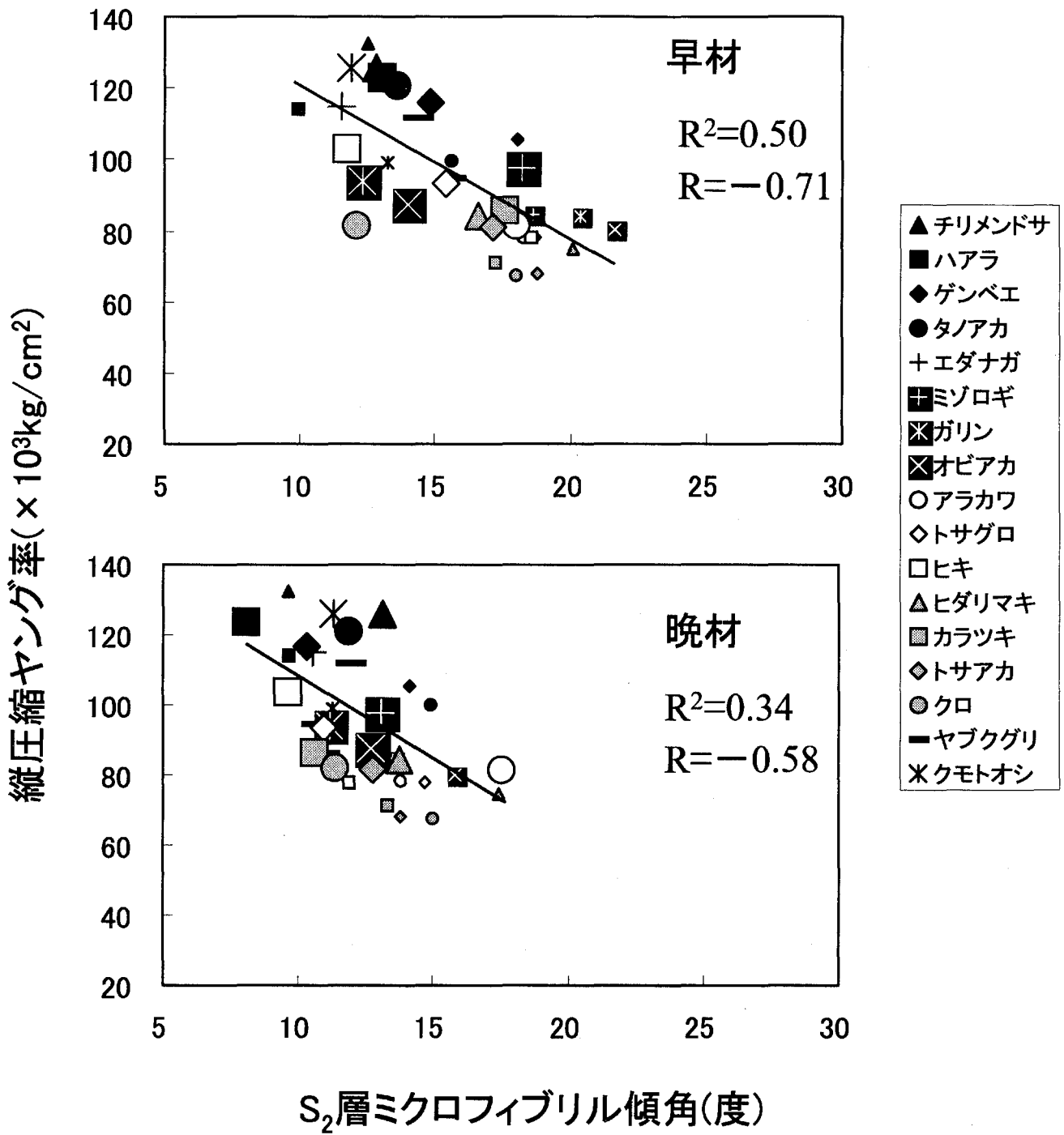


図11 縦圧縮ヤング率とS<sub>2</sub>層マイクロフィブリル傾角との関係(成熟材部)

注: 記号大が 6m部位, 記号小 2m部位

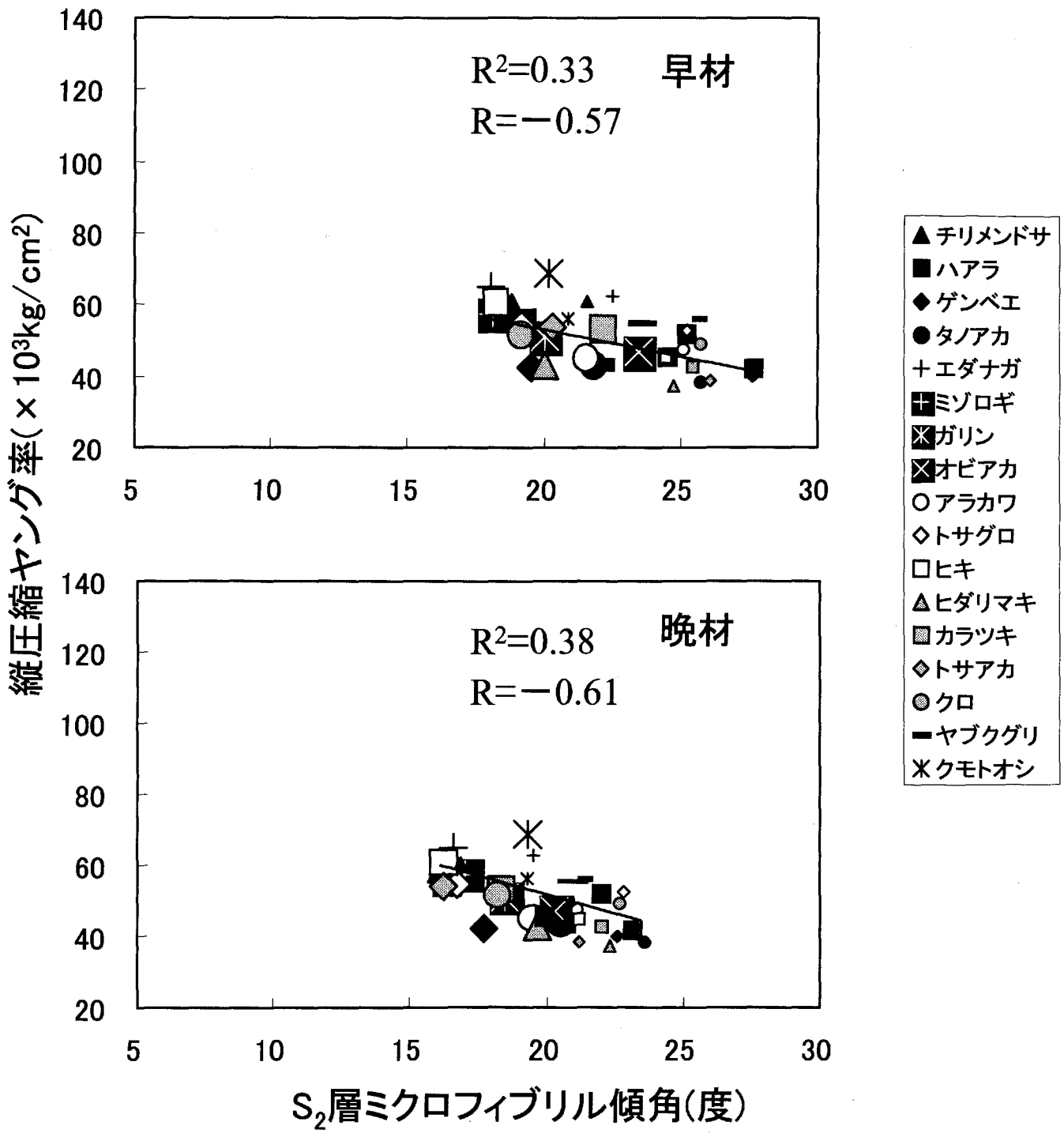


図12 縦圧縮ヤング率と $S_2$ 層マイクロフィブリル傾角との関係(成熟材部)

注: 記号大 6m部位, 記号小 2m部位



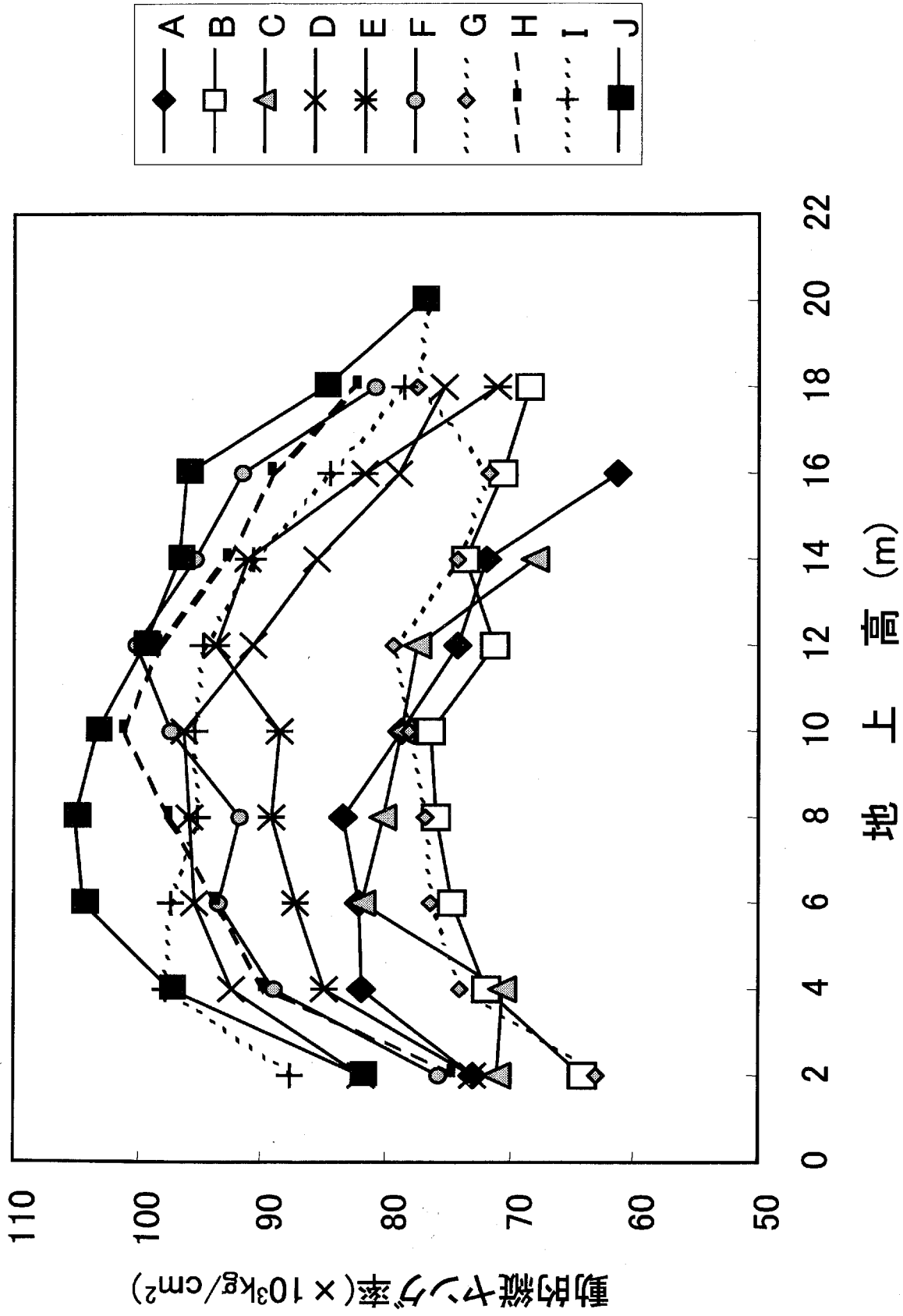


図13 タノアカ材の動的縦ヤング率の高さ方向における変動

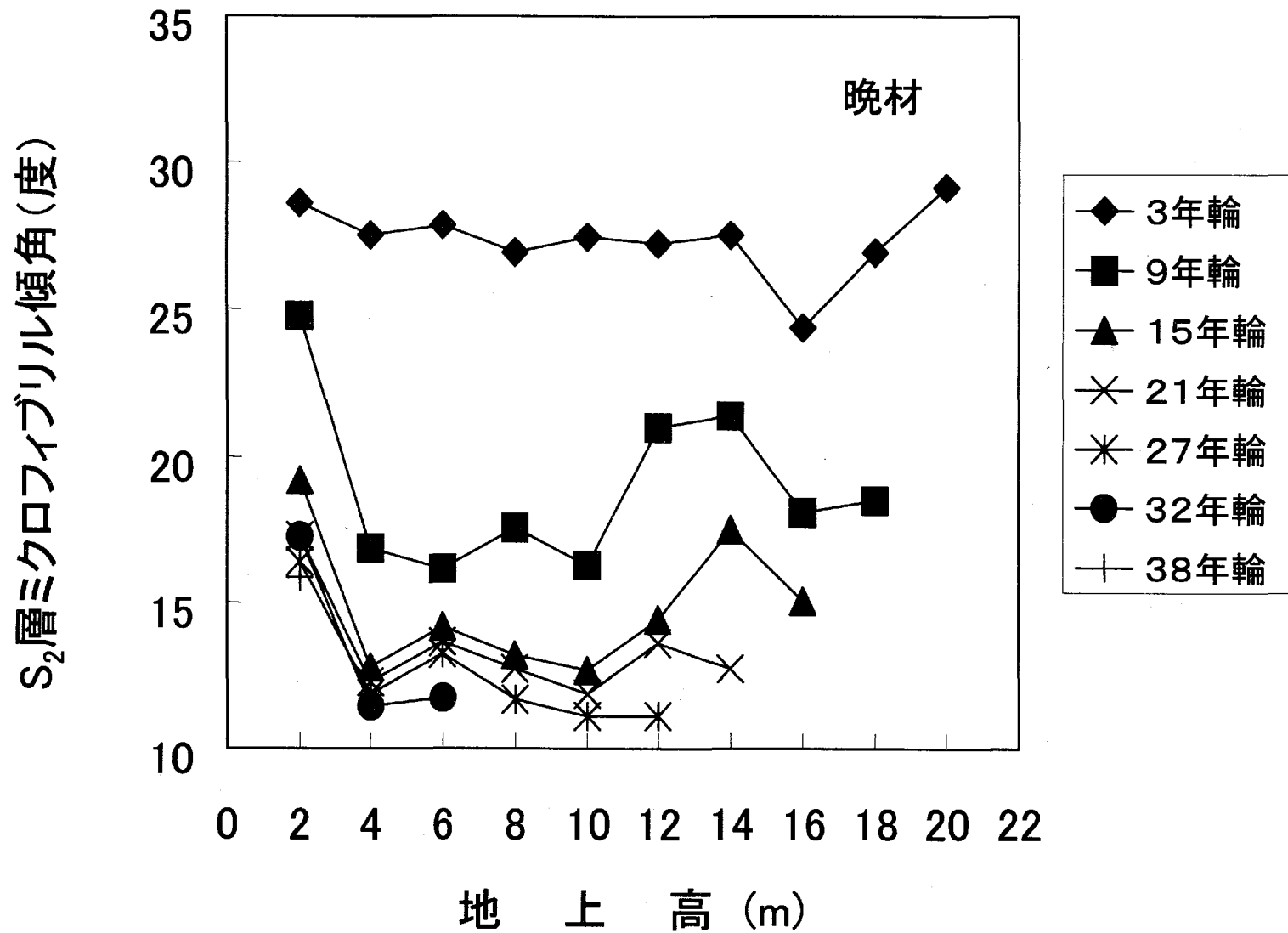


図14 S<sub>2</sub>層マイクロファイブリル傾角の高さ方向での変動

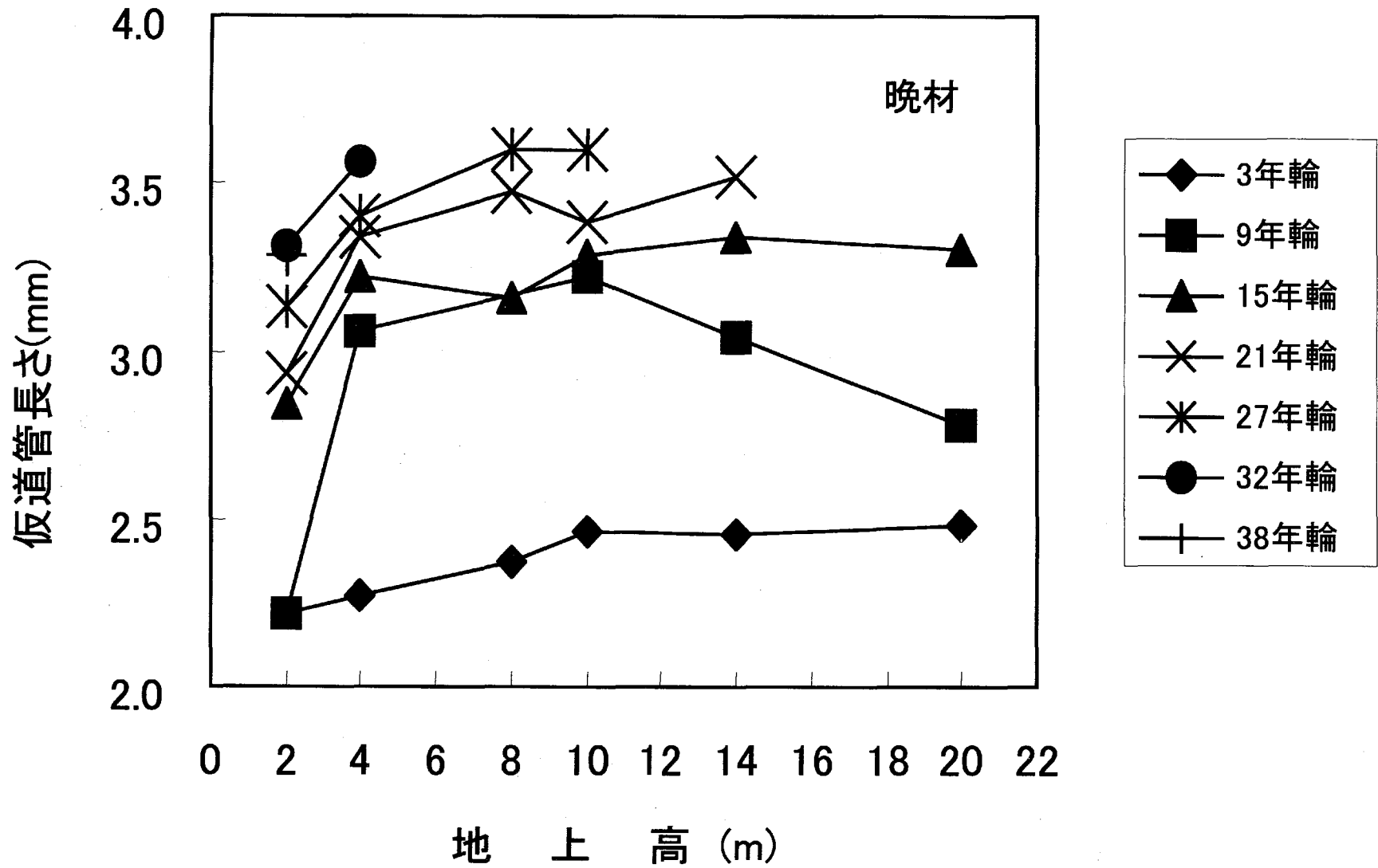


図15 晩材仮道管長さの高さ方向での変動

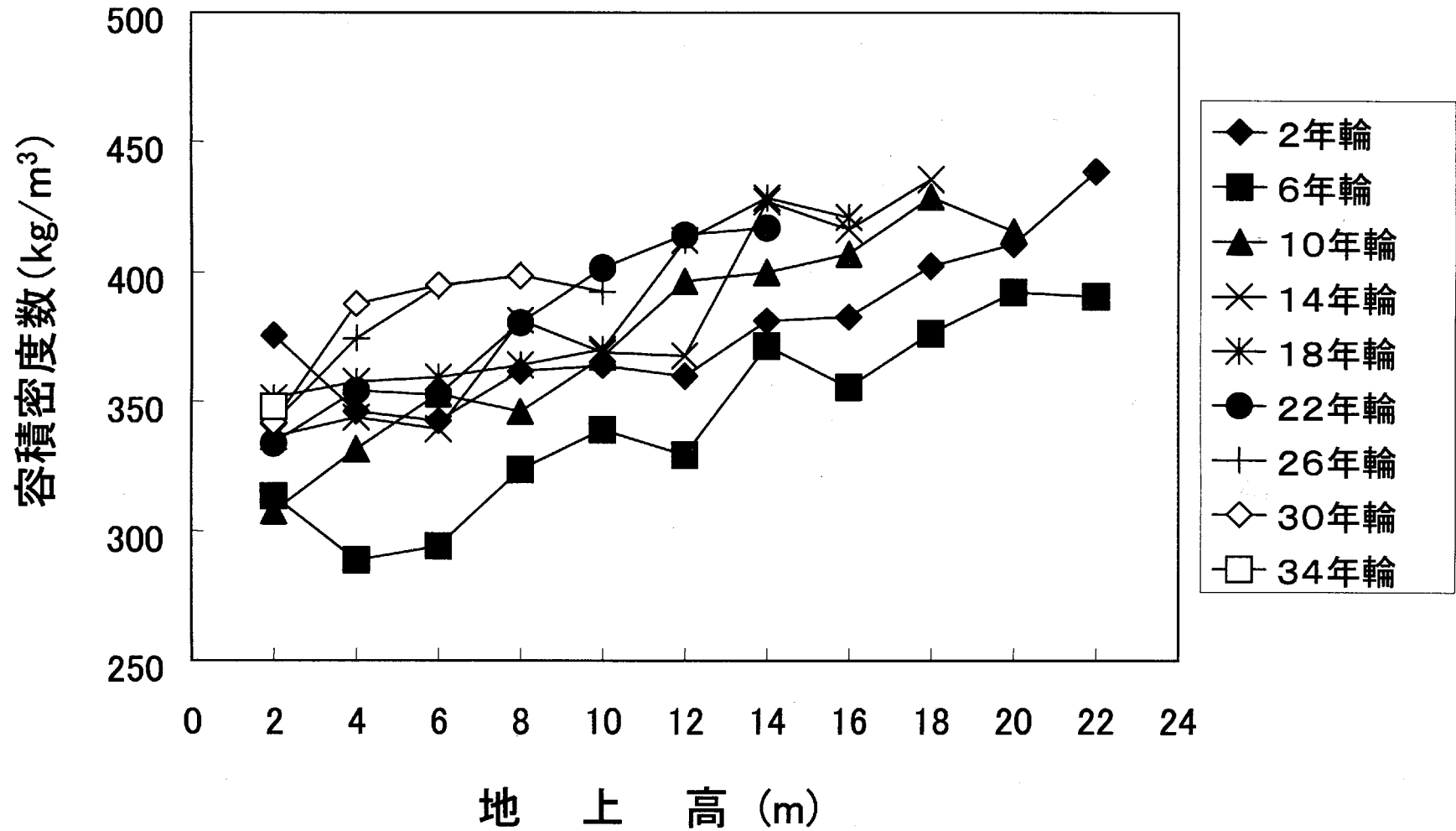


図16 容積密度数の高さ方向での変動

このようなスギ材の樹幹高さ方向における材質指標の変動の仕方は、渡辺ら<sup>6)</sup>や山下ら<sup>5)</sup>によっても、同じような報告がなされている。

そこで、このような樹幹高さ方向での組織・構造的な指標の変動の様子と、前述の動的縦ヤング率の挙動とのかかわり方について考察を試みた。つまり、動的縦ヤング率の挙動は、S<sub>2</sub>層マイクロフィブリル傾角と晩材部仮道管長さの変動の様子と、極めて密接に関連した。すなわち、S<sub>2</sub>層マイクロフィブリル傾角の変動をみると、根元から樹幹の中間部を経て上方に向かうにともなって、年輪番号15年輪目以降の成熟材部分が次第に減少し、未成熟材部分の占める割合が増える。したがって、樹幹上方ではS<sub>2</sub>層マイクロフィブリル傾角の大きな未成熟材部のみとなる。また、晩材部仮道管長さの変動の様子も、上述のS<sub>2</sub>層マイクロフィブリル傾角の変動と同じように、樹幹の中間部から上部の始まり付近までは仮道管長さの大きな成熟材部の年輪番号が存在するが、樹幹上方では未成熟材部のみとなる。このように、動的縦ヤング率が最大値を示す樹幹下部から上部の始まり部分と、S<sub>2</sub>層マイクロフィブリル傾角の最小値および晩材部仮道管長さの最大値の部位とがほぼ一致する傾向を示した。

しかし、前述のように、高さ方向における容積密度数の変動の様子は、S<sub>2</sub>層マイクロフィブリル傾角や晩材部仮道管長さの変動の仕方とは異なる傾向を示した。いずれの年輪番号の部位でも、地上高が増すと仮道管長さの値が増大する傾向にあった。そこで、図13に示すように、高さ方向での動的縦ヤング率の挙動を詳細にみると、樹幹上方ではすべて未成熟材部で占められているにもかかわらず、動的縦ヤング率の値そのものが著しい低下をきたしていない。それゆえ、この現象には、樹幹上方での容積密度数の増大が関与していることが予想された。これらのことを要約すると、樹幹高さ方向での動的縦ヤング率の挙動には、樹幹の根元から最大値が認められる高さまでは容積密度数やS<sub>2</sub>層マイクロフィブリル傾角、そして仮道管長さが影響を与え、それより上方では容積密度数が主体的に関与していることが推察された。

前項でのオビスギ品種材の結果、そしてこの項でのタノアカ材の結果を総合的に勘案すると、樹幹高さ方向での組織・構造的指標および力学的指標の変動の仕方から、地上高が増すと、根元から樹幹上部の始まりあたりまでは未成熟材部と成熟材部ともに材質が向上し、さらに樹幹上方ではほとんど未成熟材部が占めるに至って材質が低下する傾向にあった。このような現象に、木部を形成する源である形成層始原細胞の加齢効果が密接に関与していることが推察された。

## 4. 結 論

この研究では、オビスギ15品種および対照2品種について、その力学的性質と組織・構造指標を調べるとともに、組織・構造指標が力学的性質に与える影響を明らかにした。さらに、オビスギ品種材の樹幹高さ方向での材質変動についても検討を加えた。

そこで、得られた結果を要約すると、つぎのとおりである。

(1) オビスギ15品種の成熟材部および未成熟材部ともに、組織・構造的な指標のうち、とくに容積密度数と仮道管二次壁中層(S<sub>2</sub>層)マイクロフィブリル傾角において、各品種間で明らかな差異が認められた。

(2) オビスギ15品種材の力学的性質は、成熟材部ならびに未成熟材部において、各品種間で特徴的な違いがみられた。たとえば、オビスギ品種成熟材部の縦圧縮ヤング率は、最大値（チリメンドサ材： $132.6 \times 10^3 \text{kg/cm}^2$ ）と最小値（クロ材： $67.6 \times 10^3 \text{kg/cm}^2$ ）の間に、約2倍の開きがあった。

(3) 各品種材の縦圧縮ヤング率について、髓から木部最外層に至る放射方向での変動を調べると、品種ごとに特徴あるパターンが認められ、オビスギ品種の用途を考慮する際の目安となることが示唆された。

(4) オビスギ品種材の縦圧縮ヤング率と、容積密度数および $S_2$ 層マイクロフィブリル傾角との間には、密接な関係が存在した。つまり、容積密度数が大きいか、 $S_2$ 層マイクロフィブリル傾角が小さいとき、縦圧縮ヤング率は増大し、さらに両者を兼ね備えたときにその値が著しく増大した。とりわけ、 $S_2$ 層マイクロフィブリル傾角は、未成熟材ならびに成熟材において極めて重要な指標であり、力学的性質への影響が大きかった。

(5) オビスギ15品種材の地上高2mと5m部位の成熟材部および未成熟材部で、縦圧縮強さと縦圧縮ヤング率を比べると、多くの品種で5m部位の方が明らかに増大した。また、これらの力学的指標値に、未成熟材と成熟材ともに容積密度数と $S_2$ 層マイクロフィブリル傾角が影響を与えた。とくに、 $S_2$ 層マイクロフィブリル傾角の関与の仕方が著しかった。

(6) 前述のように、オビスギ品種材で高さ方向での部位の違いによる変動が認められたので、タノアカ材を用いて根元から梢端に至る高さ方向での材質変動を詳細に調べた。その結果、樹幹丸太材の動的縦ヤング率の値は、樹幹上方に向かうと増大し、その最大値が樹高の22%から67%付近に認められ、さらに上方では逆に減少を示した。このような樹幹高さ方向での動的縦ヤング率の挙動には、樹幹の根元から最大値が認められる高さまでは容積密度数や $S_2$ 層マイクロフィブリル傾角、そして仮道管長さが影響を与え、それより上方では容積密度数が主体的に関与していることが推察された。

## あ と が き

宮崎県南部に生育するオビスギには15の品種がある。それらの材料としての性質を調べた結果、ひとくちにオビスギ材といっても、きわめて幅広い性能を備えた品種群で構成されていることがわかった。ちなみに、一般のスギ材よりもはるかに強い品種（チリメンドサ）もあった。他方、オビスギの代表的な品種であるオビアカ材は、適度な力学性能を示し、まさに弁甲材（船舶用材）として最適だった。また、タノアカ材は、他地域産のスギ材と比べても、遜色ない力学的性能をもっていた。それゆえ、これらの特徴を最大限いかした使い方が求められてくる。

昨今、地球の環境と資源をまもるために、循環型社会の実現が強く望まれている。それには、まず私たちの足元の暮らしや社会の仕組みを変える必要がある。つまり、文明の転換である。多くの試みのひとつとして、膨大なエネルギーを消費する化石・鉱物資源依存から、植物を持続的に利用する文明への転換を図りたい。木本性植物である樹木は、地球温暖化の原因となる二酸化炭素を吸収して、それを太陽の光エネルギーによって炭素に変換し、木材として固定・貯蔵している。したがって、その木材を、いかに賢く、しかも長

い寿命で使うかが鍵である。その際、肝心なことは、私たちの暮らしに使う木材は人工林からのものであって、貴重な天然林は守らなければならない。

オビスギは、木材のさまざまな利用場面で、その材質の多様性を遺憾なく発揮できる可能性を秘めている。

## 文 献

- 1) 小田久人, 日本林学会九州支部研究論文集, 48, 191 (1995)
- 2) 大塚 誠, 中村徳孫, 日本林学会九州支部研究論文集, 42, 265 (1989)
- 3) 永富一之, 吉田勝彦, 番匠谷薫, 村瀬安英, 木材工業, 47, 70 (1992)
- 4) 山下香菜, 平川泰彦, 藤澤義武, 中田了五, 木材学会誌, 46, 510 (2000)
- 5) 雉子谷佳男, 北原龍士, 佐々木幸久, 小野田勝, 材料, 50, 391 (2001)
- 6) 渡辺治人, 堤 壽一, 松本 勲, 太田貞明, 木材学会誌, 10, 125 (1964)