

兵庫県内産スギ材の材質 (I)*¹

— 一年輪幅, 容積密度, ヤング率および比ヤング率の樹幹内変動 —

永井 智, 山田範彦, 山田直也, 前田雅量

Satoshi NAGAI, Norihiko YAMADA, Naoya YAMADA and Masakazu MAEDA

Wood properties of Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) grown in Hyogo prefecture (I)
-Variations of ring width, basic density, modulus of elasticity and specific modulus
of elasticity in Sugi trees-

要旨: 永井 智, 山田範彦, 山田直也, 前田雅量: 兵庫県内産スギ材の材質(第1報) 兵庫森林技研報第45号: 17~29, 1998 県内産スギの樹幹内における材質変動を追跡した。樹幹内における材質変動傾向のばらつきは地上高の低い部位で顕著であったが, それは, 個体間では品種あるいは成長速度の違いに, また個体内では偏心成長の影響によるものと思われた。曲げヤング率(以下MOE)の安定域は地上高が高くなるほど髓により近い部位から認められた。髓付近での容積密度とMOEとの負の相関は地上高の高い部位において明確に認められたが, それは髓から約3cmの範囲において成立し, 3cm以上離れた部位では正の相関へと移行していた。さらに, 髓から約5cm以上離れた部位では, 地上高によらず容積密度とMOEの間に正の相関が認められたが, 比曲げヤング率(以下SME)の半径方向における安定域は, MOEの安定域と同様に, 地上高が高くなるほど髓により近い部位から認められた。つまり, MOEおよびSMEを指標とした未成熟材部の範囲は円錐状に分布していた。

I はじめに

スギ材は, 未成熟材と成熟材で材質が大きく異なるため, その境界を明らかにすべく, 古くから樹幹内の組織構造学的, 物理学的材質変動が研究されてきた^{10), 14), 15), 18), 23), 24)}。

その後, 品種間における材質の差異が注目され, 品種ごとの組織構造学的あるいは物理学的性質についての研究が盛んに行われ, 多くの知見が得られている^{2), 3), 4), 5), 6), 7), 8), 9), 11), 20), 21)}。

渡辺ら²⁴⁾は, 未成熟材, 成熟材と力学的性質との関係に関する研究から, 樹幹内における髓からの年輪数と比縦圧縮ヤング率の関係について, 地上高が高くなるほど比ヤング率の安定域が髓に近づくことを示している。

さらに, 渡辺ら²³⁾および太田¹⁸⁾は, 容積密度と縦圧縮ヤング率の関係から, 成熟材部では容積密度とヤング率の間には正の相関が認められるのに対し, 未成熟材部では相関が認められない, あるいは負の相関さえ認められるとしている。

一方, 塩倉²²⁾は, 未成熟材の範囲を仮道管長を主な指標として示し, 針葉樹樹幹内の未成熟材の範囲は正常に成育したものでは髓から10~15年輪であり, 成長状態が異なると髓からの年輪数が大きく変動するが, 髓からの距離では約5~8cmの範囲にほぼおさまるとしており,

これは未成熟材, 成熟材を区分する一般的な指標として用いられてきた。

近年, 平川と藤澤は, 晩材仮道管S₁層のマイクロフィブリル傾角と比ヤング率との負の相関¹²⁾を明らかにするとともに, 樹幹内における傾角の変動傾向が半径方向および樹高方向で異なり, その変動パターンで樹幹内を区分した境界が仮道管長を指標とした典型的な未成熟材, 成熟材の境界とは異なる¹³⁾ことを見出し, 新たな材質指標を示した。

上述のように, スギ材の材質に関してはこれまでに様々な知見が発表されているものの, その個体内や個体間, あるいは品種間, さらには成育地の違いによる大きなばらつきは木材利用上問題であり, 材質, とくに力学的品質が保証された製品を安定的に供給するためには, 樹幹内の材質変動をさらに追及することが不可欠である。

わが県においてもスギ材の利用開発は最重点課題の一つである。しかし, 兵庫県内産スギ材の材質に関する報告は極めて少なく, 県内産スギ3品種の材質の概要に関する報告²⁵⁾さらにスギ36品種の力学的性質²⁰⁾および組織構造的性質¹¹⁾に関する報告の中で本県内産2品種がとりあげられている程度であり, 今後さらにデータを蓄積する必要がある。

本研究では, 丸太の段階で材内の力学的性質の分布を推測し, 強度的に合理的な木取り技術を開発することを

*¹ 本研究の内容の一部は第47回日本木材学会大会(1997年4月、高知)で発表した。

目的としている。第1報では、樹齢が等しく成長状態が異なるスギ中径木および大径木の樹幹内における材質変動を追跡した。とくに樹幹内の力学的材質変動については、実用的な観点から、髄からの年輪数ではなく、髄からの距離をもとに追跡した。

II 試料と方法

1. 供試木

供試木は、兵庫県宍粟郡山崎町の兵庫県立森林・林業技術センター川戸実習舎敷地内に成育するスギ(35年生、品種不詳)から得た。通直に成育する5本(No.1~No.5)を選木し、1996年9月、胸高直径、樹高、立木時の方位を測定し、伐倒後、図-1に示すように、地上高別に長さ60cmの丸太として試料を採取した。

なお、供試木の概況を表-1に示す。

表-1 供試木概況

No.	樹齢(年)	樹高(m)	胸高直径(cm)
1	35	23.4	24
2	35	22.4	30
3	35	19.6	32
4	35	23.0	35
5	35	22.4	37

採取した丸太を直ちに実験室に持ち帰り、以下のように試料作製および実験を行った。

試料作製方法については図-2に示す。

2. 年輪幅の測定

長さ60cmの丸太の末口から10cmを年輪幅測定用円盤として採取し、その末口側の面で4半径方向(東西南北)の幅を測定した後、4方向の平均値を算出した。

3. 含水率および容積密度の測定

残る50cmの丸太の末口から10cmを含水率、容積密度測定用円盤として採取し、直ちに4半径方向において含水率測定用ブロックを作製した後、辺材・白線帯・心材に分けてノミで割断し、重量測定後、105℃の恒温器中で絶乾状態にした後、絶乾重量を測定し、生材時の含水率を求めた。さらに、4方向の平均値を算出した。

容積密度測定用試料については、4半径方向において、髄から5年輪ごとに年輪境界に沿ってノミで割断し、飽水状態にした後、浮力法により容積密度を算出した。

なお、これらの試料作製は、次代検定林の材質調査要領¹⁹⁾を参考に行った。

4. 曲げヤング率の測定

残る40cmの丸太の4半径方向から、節等の欠点を含まない放射列において10(R)×10(T)×160(L)mmの小試験体を髄から辺材最外部まで連続的に作製し、飽水状態にした後、インストロン型万能試験機によりスパン長140mmで中央集中荷重方式によりまさ目面に荷重をかけ、曲げヤング率を測定した。

5. 小試験体の容積密度の測定

曲げヤング率測定後の小試験体において、支点と荷重点の中間部位より10(R)×10(T)×10(L)mmのブロックを採取し、飽水状態にした後、浮力法により容積密度を求めた。

なお、以上の測定用試料は全て4半径方向(東西南北)において作製することを原則としたが、節等の欠点が存在し、試料作製が困難な部位については省略した。

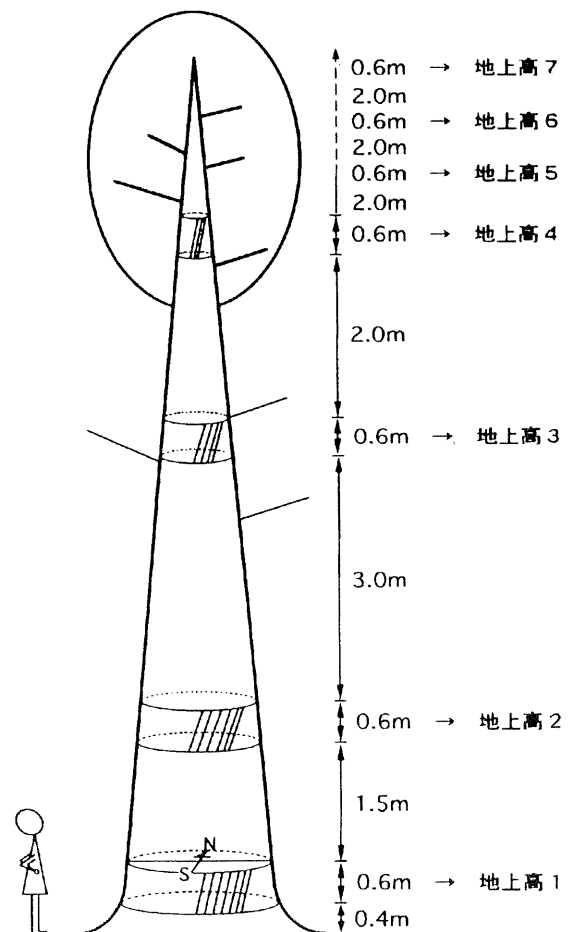
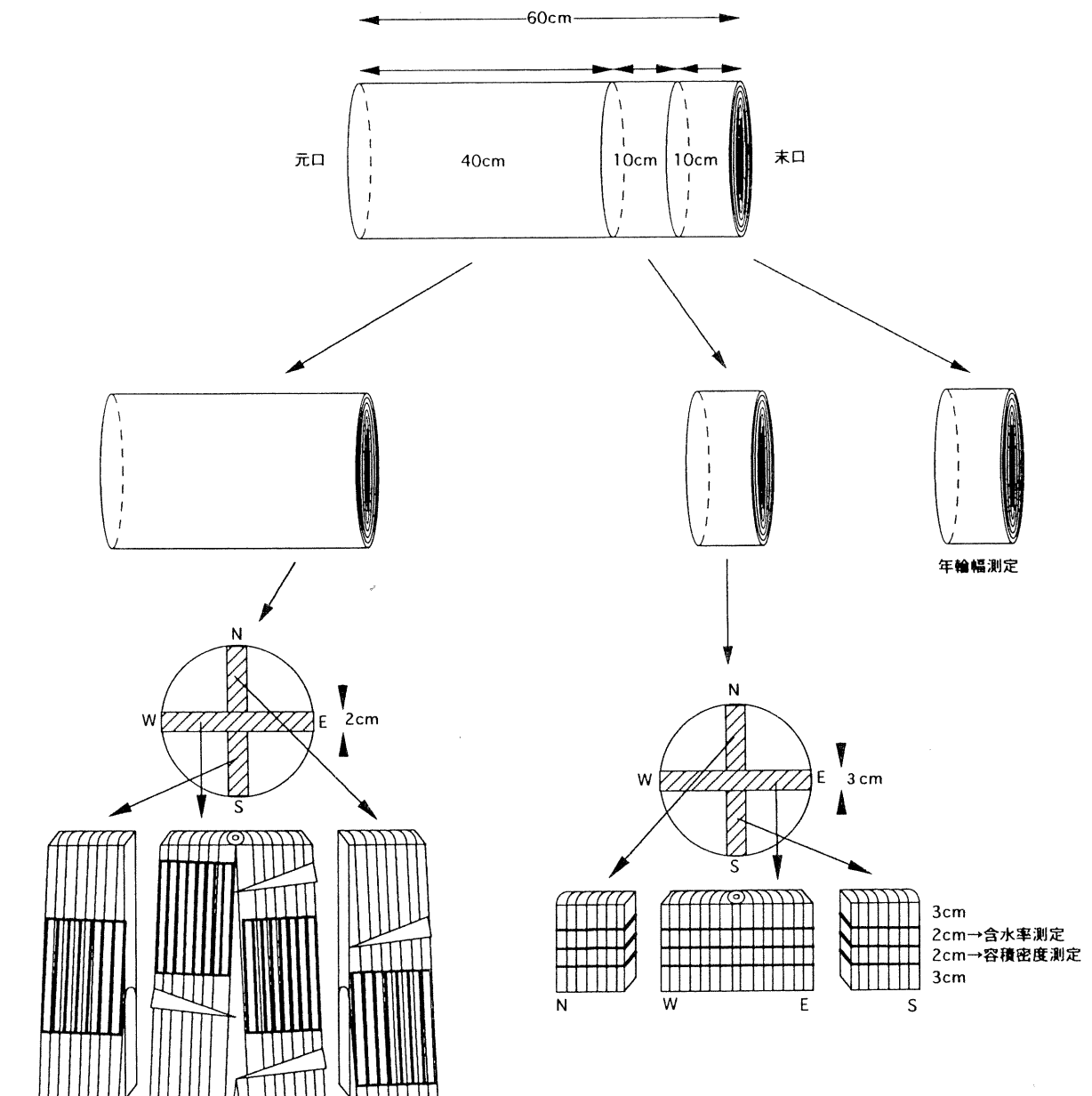
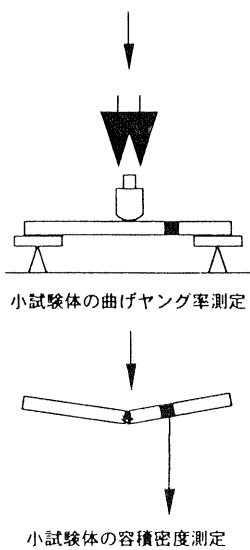


図-1 丸太採取方法



小試験体 (10×10×160mm) 曲げヤング率測定用試料を製作



小試験体の曲げヤング率測定

小試験体の容積密度測定

- 全て東西南北の4方向において
- 年輪幅：1年輪ごとに測定し、4方向の平均値を算出
- 含水率：辺材、白線帯、心材に分け測定し、4方向の平均値を算出
- 容積密度：髓から5年輪ごとに分け測定
- 小試験体：髓から辺材最外部まで連続的に製作し、飽水状態において曲げヤング率を測定
- 小試験体の容積密度：曲げヤング率測定後、荷重の影響を避けた位置からブロックを採取し測定

図-2 試料作製方法

Ⅲ 結果と考察

今回供試木を採取した林地では保育作業がほとんど行われていなかったため、外部からの立木観察において比較的良好に成育していたと思われる個体を選木したにも拘わらず、地上高1, 2では、全ての供試木に多少なりとも偏心成長が認められたうえ、一部の丸太では心材部に腐れが認められ、各供試木ともいわゆる並材に相当するものであった。

以下に今回行った実験の結果および考察を述べる。

なお文中では、表現の便宜上、採取した各丸太について、地上高0.4mを元口とする丸太から樹高方向へと順に地上高1, 2, ……7 (供試木No.3は地上高6まで)と呼ぶこととする(図-1)。

1. 年輪幅

各地上高における年輪幅変動を図-3.1に示す。

半径方向での年輪幅変動については、概ね地上高によらず髓から一度増加し、その後減少する傾向にあった。各地上高の半径方向において、最大年輪幅を示す髓からの年輪数については3年輪目が最も多く、次いで4年輪目、2, 5年輪目となっていた。ただし、地上高の高い部位(地上高5, 6)において最大幅を示す年輪数がやや遅れる傾向が認められた。

今回の供試木では、成長速度が明らかに異なる個体を選木したことにもよるが、個体間、あるいは個体内での方位間における年輪幅およびその変動傾向にかなりのばらつきが認められた。すなわち、胸高直径の最も大きいNo.5では年輪幅変動が極めて大きかったのに対し、直径が最も小さかったNo.1では比較的安定した変動傾向を示している。しかし、図-3.1によれば、供試木および地上高によらず概ね10~15年輪目において年輪幅変動はいわゆる安定域に達しているようである。

次に、樹高方向における最大年輪幅変動について髓から約10年輪の範囲で見ると、地上高5までは小さくなり、6, 7において再び増大していた。一方、10年輪以降では樹高方向における変動傾向は認められなかった。

年輪幅変動が半径方向および樹高方向において大きくばらついていた要因としては、樹冠材および枝下材の影響^{14), 15)}、気候的要因、あるいは供試木の周囲における伐木等が考えられるが、今回それを明らかにすることはできなかった。

髓からの距離と年輪形成年次との関係を図-3.2に示す。地上高によらず髓から約5~6cmまでは供試木間での成長速度に差は認められない。しかし、髓からの距離がそれ以上になると、徐々に供試木間の成長速度に差が生じている。

2. 含水率

含水率については極めて簡易な測定法を用いたため、樹幹内の含水率分布を如実にあらわしているとは言い難いが、参考までに図-4に示す。

全体的に見ると、地上高が高くなるほど、辺材部、心材部ともに含水率がわずかに減少しているように見えるが、各供試木について見ると、地上高による変動傾向は認められない。

3. 容積密度

各地上高における髓からの距離と容積密度との関係を図-5に示す。

地上高1および2では、他の地上高に比べて、半径方向での容積密度変動がかなり大きくばらついていた。この理由としては、円盤の観察による結果、髓から約6cm~約12cmの範囲において各供試木ともに大なり小なり偏心成長が認められたため、年輪幅の小さい部位では晩材率が増大する一方、年輪幅の大きい部位ではあて材に似た組織が形成されたことによると考えられる。

一方、地上高3以上では髓から樹皮側へと漸減する傾向が認められた。

半径方向での容積密度変動については、一般に髓付近が大きく外側へ次第に小さくなる傾向にある¹⁰⁾とされるが、本研究では地上高1, 2における半径方向での変動に大きなばらつきが認められ、それは偏心成長によるものであると推定された。

4. 樹幹内の曲げヤング率分布

地上高別に髓からの距離と曲げヤング率(以下MOEと略記)との関係について、特定の供試木のプロットを残りの供試木のそれと対比して図-6に示す。ただし、II.4で述べたとおり、MOEは全て飽水状態で測定したものである。

供試木によりMOEの樹幹内変動の傾向が異なることがわかるが、それは地上高の低い部位において著しい。サンプル数が減少するため一概にはいえないが、地上高が高くなるほど個体間および個体内でのMOE分布のばらつきは小さくなっている。

まず図-6において注目すべき点は、No.3のMOE分布が他の供試木と明らかに異なることであり、それは地上高の低い部位においてとくに顕著である。品種が明らかでないため推測ではあるが、この理由としては、第一に、No.3を採取した林地は他の4個体とは離れていたこと、第二に、No.3では地上高1でのみ、他の地上高に比べて容積密度がかなり小さいこと、第三に、ヤング率に大きく影響する^{1), 12), 18), 23)}とされるマイクロフィブリル傾角の樹幹内変動傾向が品種により異なる²⁾。

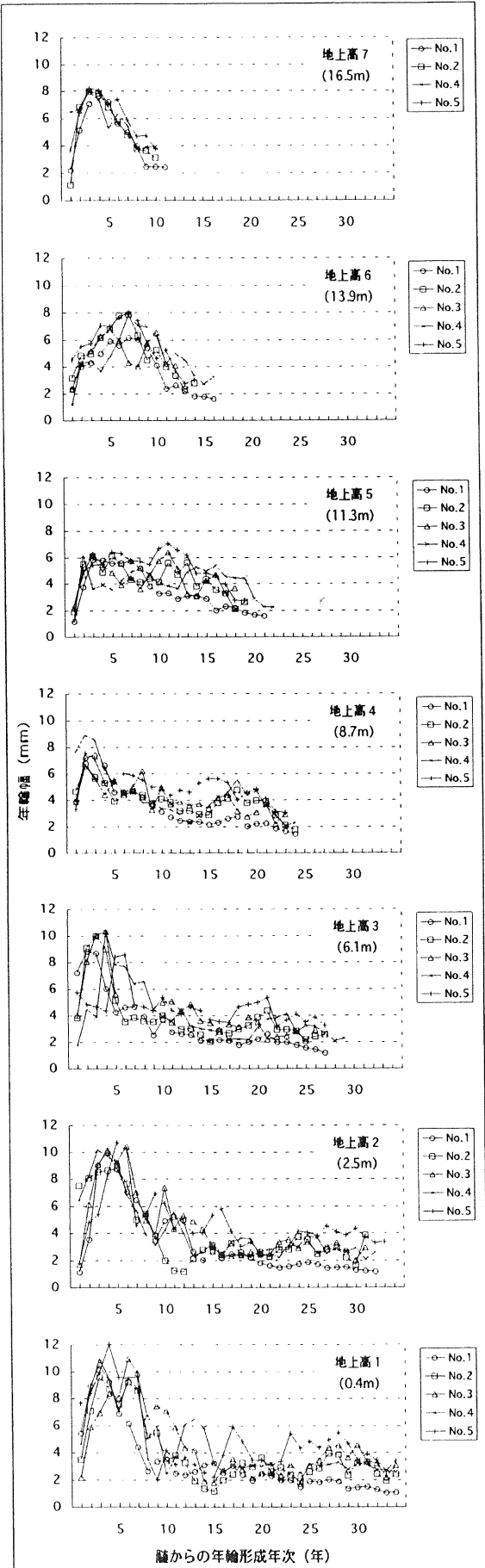


図-3, 1 年輪幅変動

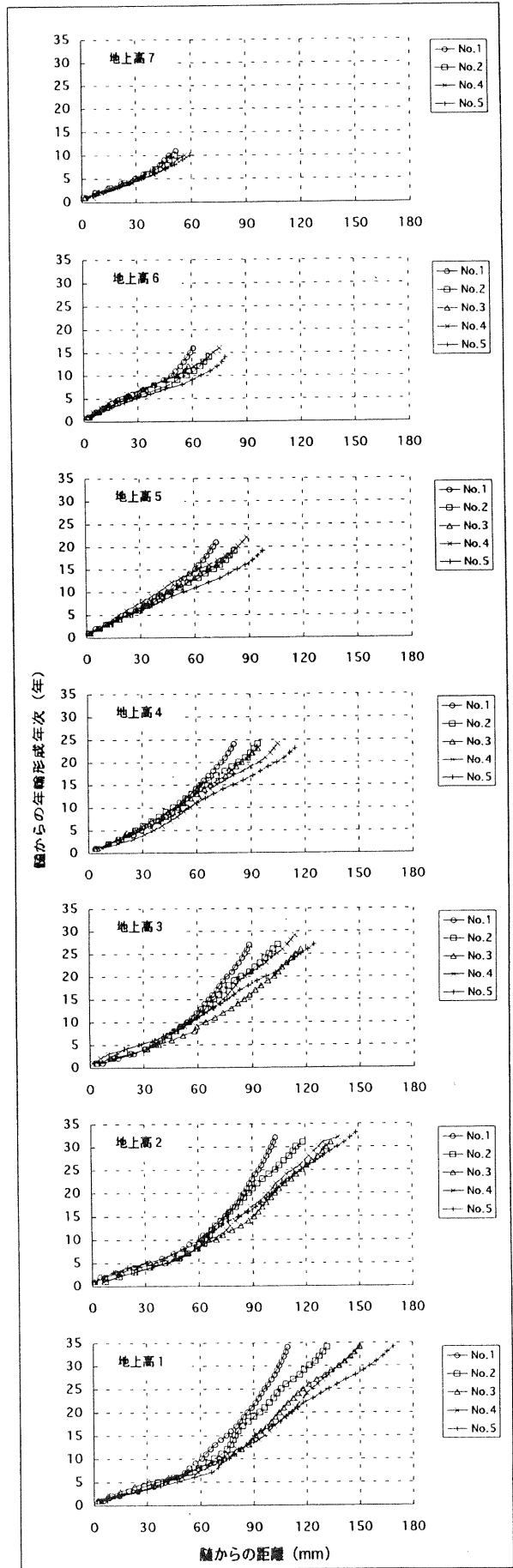


図-3, 2 髓からの距離と年輪形成年次との関係

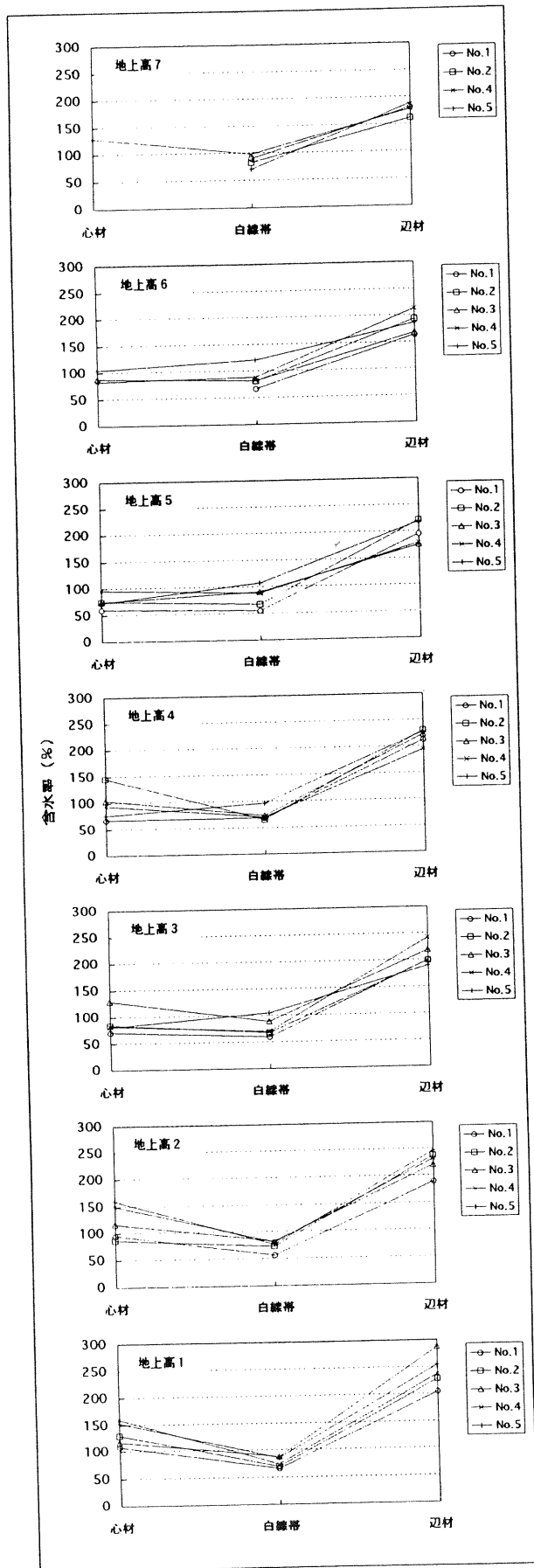


図-4 含水率分布

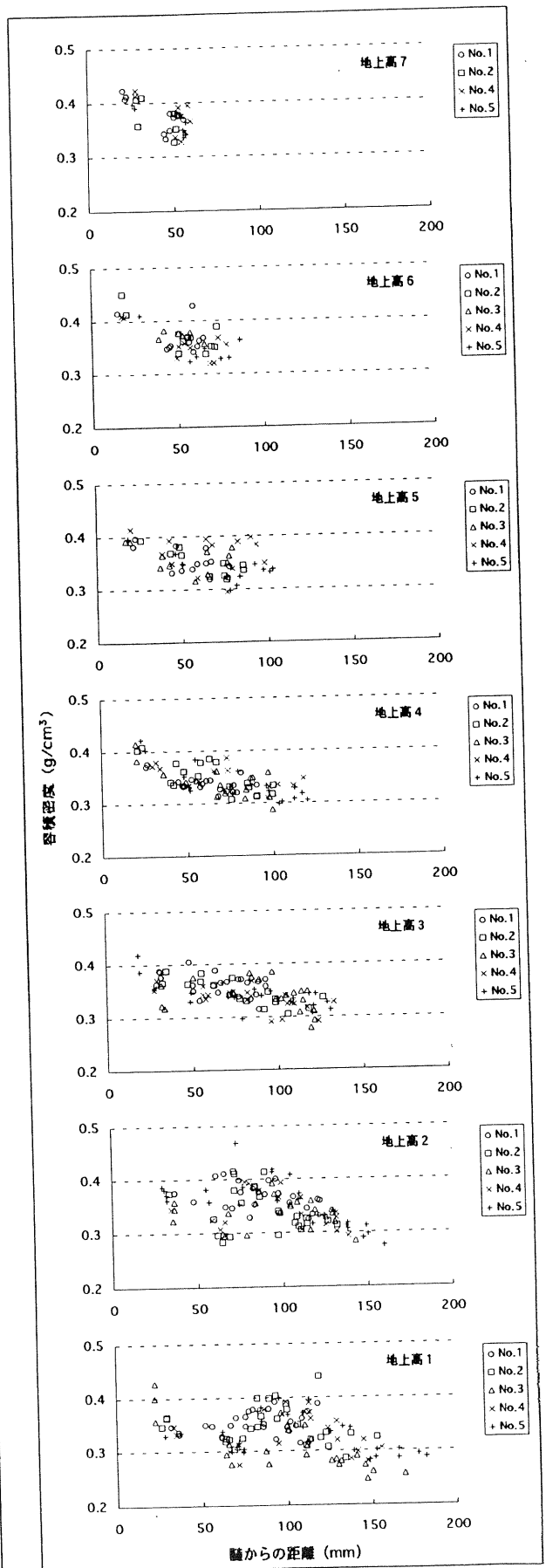


図-5 容積密度変動

3), 11), 12) 13) 21) ことなどから、少なくとも他の4個体と品種が異なる可能性は否定できない。

次にNo. 1, 2, 4, 5について見ると、成長速度の大きいNo. 4, 5の地上高1, 2でMOEのばらつきが非常に大きい。これについては、Ⅲ. 3で述べたように、地上高1, 2において容積密度が髓から約6~12cmの範囲で大きく変動しており、それがNo. 4, 5に顕著であったことが主な要因として考えられる。すなわち、年輪幅の小さい部位から作製した試験体では比較的大きいMOEを示すのに対し、年輪幅の大きい部位から作製した試験体では小さいMOEを示すと考えられる。

一方、地上高3以上では、分布傾向に顕著な差は認められなかった。ただし、胸高直径が最も小さかったNo. 1の半径方向におけるMOEは、地上高によらず、他の供試木に比べて大きいことがわかる。

次に、地上高別に全供試木の結果をまとめて図-7に示す。

これによると、地上高によらず髓付近のMOEは約20 tf/cm²であり、樹皮側に向かって増大し、その後いわゆる安定域に達する。安定域の平均値は地上高1で約60tf/cm²であるのに対し、地上高2以上では約80tf/cm²であった。

一方、MOEは地上高が高くなるほど髓から急激に大きくなるとともに、髓により近い部位で安定域に達していた。同様の結果は、林木の冠雪害に関する樹木力学的研究¹⁷⁾の中で、髓からの年輪数と樹幹内MOE分布との関係について認められる。

以上のことから、地上高が高くなるほど材内におけるMOEの大きい部位が増大するといえる。例えば平均値ではあるが、地上高4では髓から4~5cm、地上高5, 6, 7では髓から2~3cmの部位においてすでに地上高1の安定域における平均値とほぼ同等のMOE(約60tf/cm²)を示している。なお、地上高が高くなるほど心持ち正角材のMOEが大きくなることがある¹⁶⁾が、それは、地上高が高くなるほど正角材内にMOEの大きい部位が増大することにより生ずると思われる。

5. 容積密度と曲げヤング率との関係

小試験体を採取した部位について、髓からの距離3cmまで、3~5cm, 5~8cm, 8cm以上に便宜的に区分し、それぞれの区分における小試験体の容積密度とMOEとの関係を図-8に示す。

区分を設けた理由として、第一は、一般的に用いられる仮道管長を指標とする未成熟材・成熟材の区分に関する報告²²⁾によると、8cm以上の部位では未成熟材部は存在しないため、さらに5~8cmの部位では供試木および地上高による変動傾向の有無について検討するため

ある。第二に、3cmにも境界を定めた理由であるが、仮道管長を指標とした区分に基づいて考えた場合、髓から5cmの範囲では成熟材部は存在しないと考えられるが、その範囲において容積密度は減少し、MOEは半径方向および樹高方向により大きく変動することから、容積密度とMOEとの関係について詳細な検討を行うためによる。そして第三は、容積密度とヤング率との関係について、成熟材部では正の相関が認められるのに対し、未成熟材部では相関は認められない、あるいは負の相関が認められるという既往の知見^{18), 23)}に関して、地上高および髓からの距離を詳細に区分した場合、どのような傾向が認められるのかを検討するためによる。

図-8によれば、髓から3cmの範囲では、地上高の低い部位での相関はほとんど認められないのに対し、地上高が高くなるにしたがい負の相関が認められる。

さらに、髓から8cm以上の部位では、地上高によらず正の相関が認められるうえ、5~8cmの範囲においても同様に正の相関が認められる。

一方、髓から3~5cmの範囲では、一部の地上高を除いて相関はほとんど認められない。図の回帰直線の傾きの半径方向(髓~3cm, 3~5cm, 5~8cm, 8cm~)における変動傾向から、少なくとも地上高の高い部位ではこの範囲が負の相関をもつ髓付近と正の相関をもつ5cm以降の部位との移行部ではないかと考えられる。

本結果から、容積密度とMOEの関係については、概ね地上高によらず、髓から約5cm以上の部位において正の相関が認められた。一方、髓から約5cmの範囲においては、地上高の低い部位では相関が認められないのに対し、高い部位では負の相関から正の相関へと移行している様子が認められた。

6. 髓からの距離と比曲げヤング率との関係

MOEを容積密度で除した比曲げヤング率(以下SMEと略記)の樹幹内での分布を図-9に示す。

Ⅲ. 5に述べたように、髓から約5cm以降の部位においては地上高によらず容積密度とMOEの間に正の相関が認められたため、約5cm以降の部位では地上高によらずSMEはほぼ安定するのではないかと推測したが、図-9におけるSMEの分布傾向はMOEの分布傾向(図-7)と類似しており、SMEが安定域に達するまでの髓からの距離は地上高により異なっていた。すなわち、図-9において髓から約5cmの部位に注目すると、地上高6, 7ではSMEはほぼ安定域に達しているのに対し、地上高1~5のSMEは明らかに変動域(増大域)にある。

このような結果が生じる原因には、1) 仮道管S₂層ミクロフィブリル傾角(以下MFAと略記)の半径方向における変動傾向は地上高により異なる¹³⁾こと、さらに

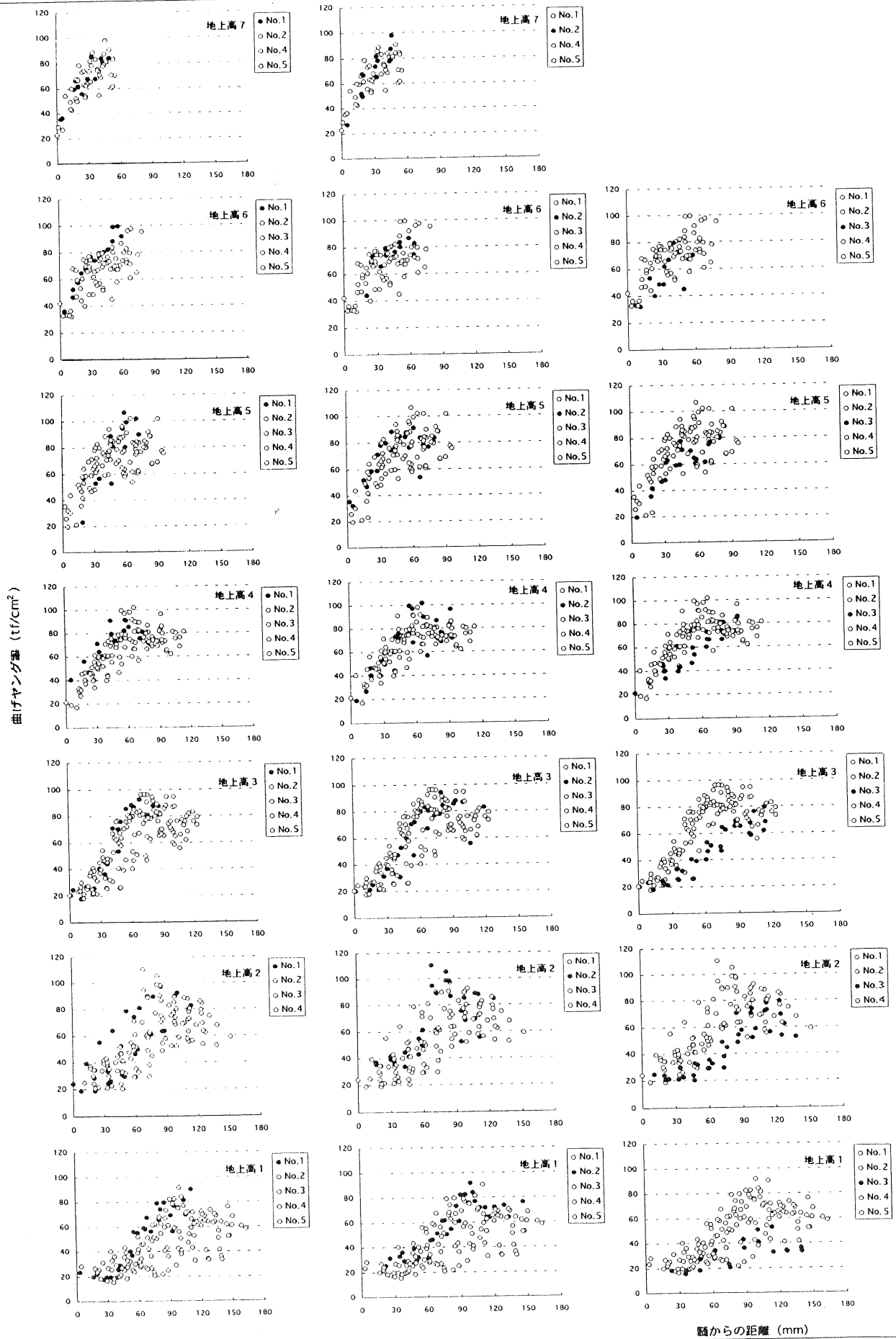


図-6 曲げヤング率分布 (個体間比較)

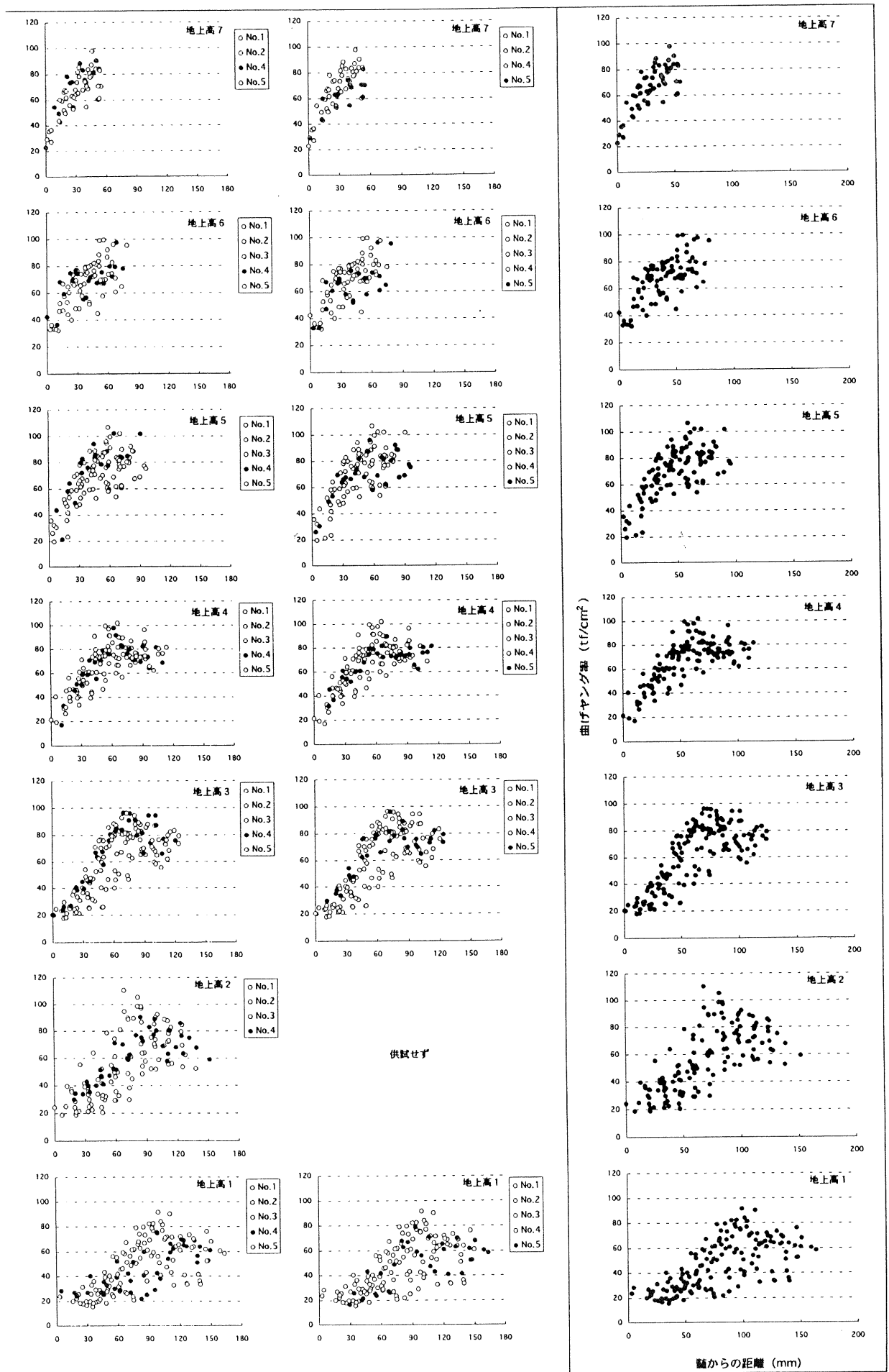


図-7 曲げヤング率分布 (全体)

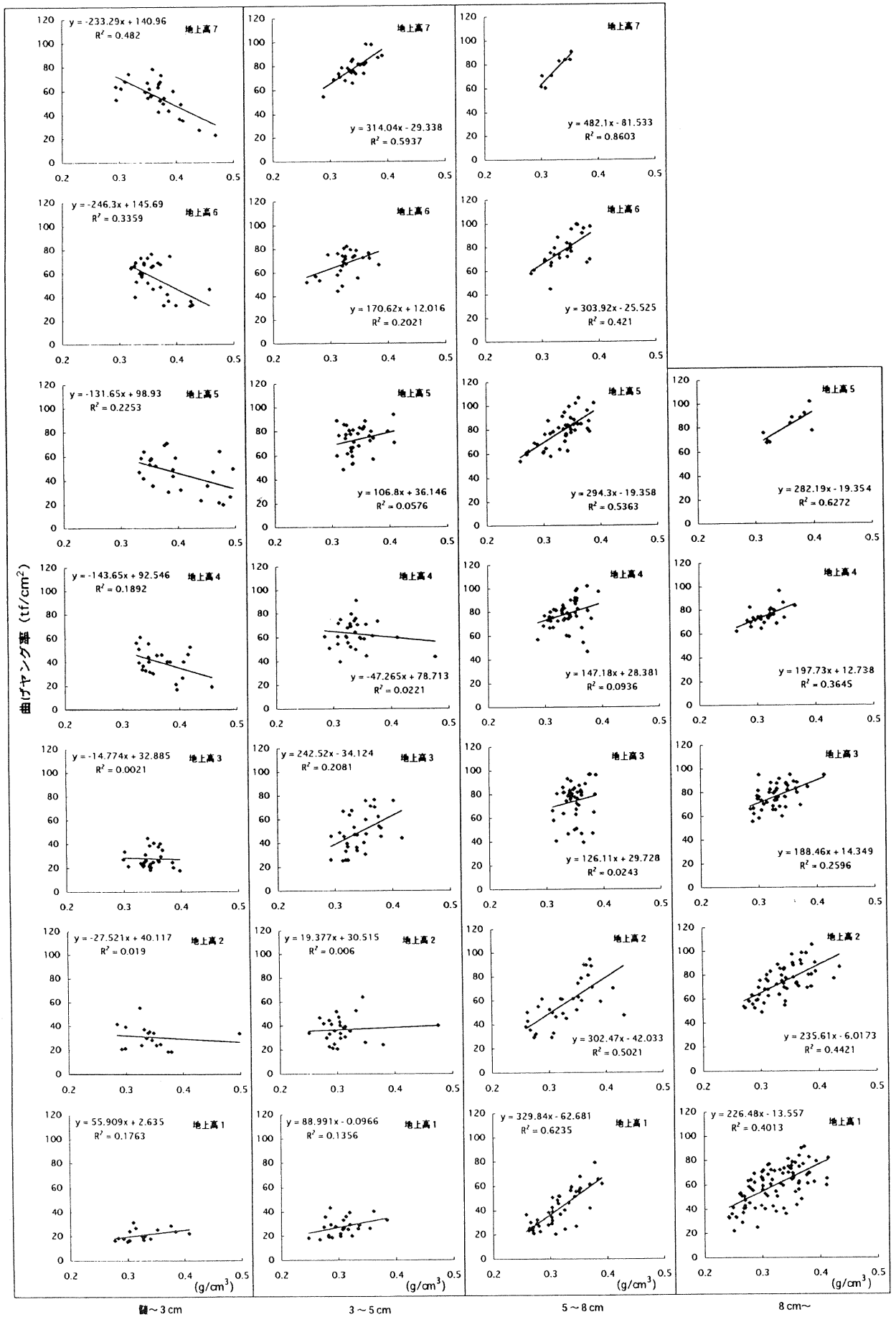


図-8 髓からの距離で区分した小試験体の容積密度と曲げヤング率との関係

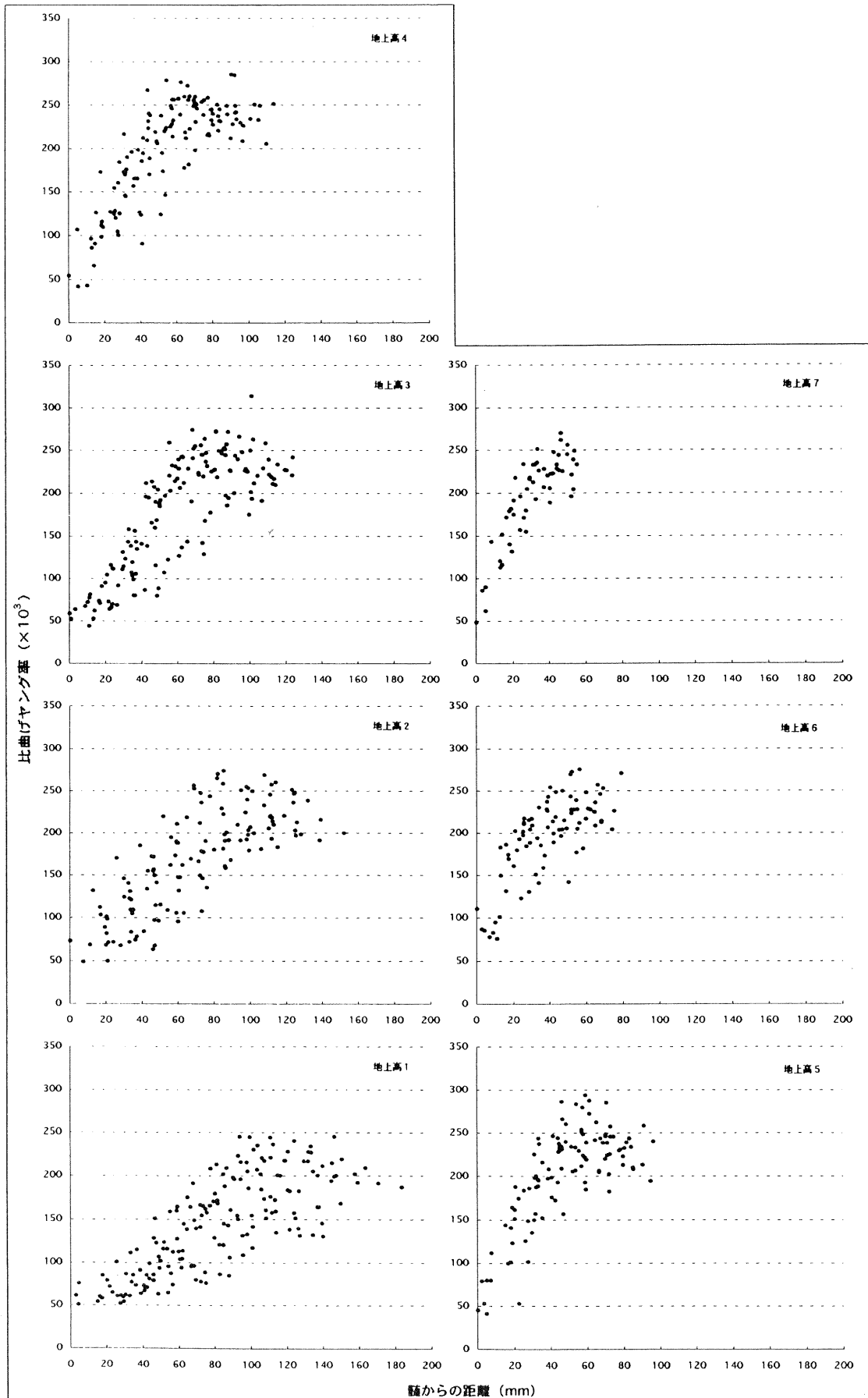


図-9 髄からの距離と比曲げヤング率との関係

2) MFAと比ヤング率の間には高い相関が認められる^{12), 18)}ことが考えられる。

ここで、平川と藤澤が示した樹幹内におけるMFAの変動パターン¹³⁾を本結果にあてはめた場合、髓から約5 cm以降の部位でも、地上高の低い部位ではMFAの減少は続いていると考えられる。すなわち、容積密度とMOEの間に正の相関は認められるものの、MFAが減少を続けているため、高い相関が得られないのではないかと思われる。逆に、地上高の高い部位、例えば地上高7について図-8と図-9を比較すると、図-8では容積密度とMOEとの相関関係が髓から約3 cmを境に負から正へと移行しており、それは図-9においてSMEが髓から安定域に達するまでの距離とほぼ一致していることから、MFAはこの段階でほぼ安定域に達していると推察される。

以上のことから、MOEおよびSMEが安定域に達するまでの髓からの距離は、地上高が高くなるほど近くなる。すなわち、仮道管長を指標とした未成熟材部が円柱状である²²⁾のに対し、MOEおよびSMEの変動域は円錐状に近いものであると考えられ、樹幹内におけるMFAの変動パターン¹³⁾とほぼ一致する。

さらに、樹幹内における容積密度とMOEの相関関係およびSMEの変動傾向から、MFAが安定域に近づくにつれ容積密度とMOEの相関係数が高くなるものと推察される。

本研究に用いた供試木では、地上高の低い部位において個体間および個体内での材質のばらつきが顕著に認められたが、考察の結果、前者は成長速度の違いに、また後者は偏心成長の影響によるところが大きいと思われる。一方、地上高の高い部位では、供試木によらず材質変動に傾向が認められた。すなわち、丸太の採取部位をもとに材内の材質変動を推定することが期待できる。

しかしながら、力学的性質に影響を及ぼすとされるMFAには遺伝的因子が影響するという報告^{12), 13)}などからみても、我が県のスギも例外でなく、個体間あるいは品種間の材質のばらつきは大きいと考えられる。県内産スギ材の材質を体系化し、利用開発に備えるためには、組織構造学をも含めた樹幹内材質変動のさらなる追跡が必要である。

IV まとめ

1. 地上高の低い部位では、半径方向の最大年輪幅は髓から2~5年目に存在していたが、その後漸減し、約10~15年輪目以降において安定域に達していた。一方、地上高の高い部位では、年輪数がやや遅れて最大幅に達する傾向にあったが、同様に約10~15年輪目以降において

安定域に達していた。ただし、供試木間の肥大成長速度の違いは、髓から約5~6 cm以降で顕著に認められた。

2. 樹高方向における生材の辺材部および心材部の含水率変動に特定の傾向は認められなかった。

3. 地上高の低い部位での容積密度変動は、偏心成長により半径方向においてかなりのばらつきを示したが、地上高3以上では髓から樹皮側へと漸減する傾向にあった。

4. 樹幹内におけるMOE分布は地上高によらず髓付近で小さく(約20 tf/cm²)、樹皮側に向かって大きくなり、その後ほぼ安定する傾向にあった。さらに、地上高が高くなるほどMOEは髓により近い部位で安定域に達していた。安定域におけるMOEの平均値は地上高1で小さく(約60 tf/cm²)、その他ではほぼ同様(約80 tf/cm²)であった。

5. 地上高によらず、髓から約5 cm以降の部位では容積密度とMOEの間に正の相関が認められた。髓から約5 cmの範囲においては、地上高の高い部位では約3 cmを境界に容積密度とMOEとの相関が負から正へと移行していたが、地上高の低い部位では相関は認められなかった。

6. 髓から約5 cm以降の部位においては、地上高によらず容積密度とMOEに正の相関が認められたため、SMEは地上高によらず約5 cm以降の部位でほぼ安定域に達するのではないかと考えたが、SMEはMOEと同様に、地上高が高くなるほど髓により近い部位で安定域に達していた。このことから、MFAの樹幹内変動が、SMEが安定域に達するまでの髓からの距離に大きく影響していることが示唆された。つまり、容積密度とMOEの関係については、MFAが安定域に近づくにしたがい、より高い相関を得ることが期待できる。

7. 樹幹内のMOE分布に変動傾向が認められたため、丸太の採取部位をもとに材内のMOE分布を推定することが期待できる一方、MOEに大きく影響するとされるMFAの樹幹内における変動傾向は品種や個体間により異なるため、県内産スギ材の材質を体系化するためには、組織構造学をも含めた樹幹内材質変動のさらなる追跡が必要である。

V 引用文献

- (1) 藤崎謙次郎(1974) スギにおけるヤング率と仮道管長およびマイクロフィブリル傾角との関係について. 愛媛大農演報 11: 11-19.
- (2) 藤崎謙次郎(1985) スギ品種における組織構造と材質との関係(I) クモトウシ, ヤイチ, ヤブクグリおよびメアサについて. 愛媛大農演報 23: 47-58.
- (3) 藤崎謙次郎・渋谷昌資(1986) スギ品種における

- 組織構造と材質の関係 (II) ウラセバル, オビアカ, アヤスギおよびキジンについて. 愛媛大農演報 24 : 61-70.
- (4) 藤田晋輔 (1988a) 鹿児島大学農学部高隈演習林に植栽されたスギ材の材質と利用 (第3報) クモトオシスギ材の機械的性質と比重の関係. 鹿児島大農演報 16 : 1-11.
- (5) 藤田晋輔 (1988b) 鹿児島大学農学部高隈演習林に植栽されたスギ材の材質と利用 (第4報) ヨシノスギ材の機械的性質と比重の関係. 鹿児島大農演報 16 : 13-23.
- (6) 藤田晋輔・池田俊士 (1983) 鹿児島大学農学部高隈演習林に植栽されたスギ材の材質と利用 (第1報) ヤクスギ材の機械的性質と比重の関係. 鹿児島大農演報 12 : 57-66.
- (7) 藤田晋輔・池田俊士 (1985) 鹿児島大学農学部高隈演習林に植栽されたスギ材の材質と利用 (第2報) サツマメアサスギ材の機械的性質と比重の関係. 鹿児島大農演報 13 : 123-133.
- (8) 藤原新二・岩神正朗 (1986) 四国産スギ材の生長と材質 (第1報) 容積密度数. 高知大農演報 13 : 43-52.
- (9) 藤原新二・岩神正朗 (1987) 四国産スギ材の生長と材質 (第3報) 強度的性質. 高知大農演報 14 : 39-48.
- (10) 深沢和三 (1967) スギ樹幹内の材質変動に関する研究. 産地を異にする林木樹幹の未成熟材などの区分とその材質特徴. 岐阜大農研報 25 : 47-127.
- (11) 林 昭三・角谷和男・野村隆哉 (1983) スギ36品種の組織構造的性質. 木材研究・資料 18 : 81-92.
- (12) 平川泰彦・藤沢義武 (1995) 精英樹スギクローンにおける晩材仮道管S₂層のマイクロフィブリル傾角と仮道管長との関係. 木材学会誌 41 (2) : 123-131.
- (13) 平川泰彦・藤沢義武 (1996) スギの晩材仮道管S₂層のマイクロフィブリル傾角の樹高方向における変動. 木材学会誌 42 (2) : 107-114.
- (14) 加納 孟 (1960) スギの材質 (第1報) 釜淵産スギ. 林試研報 125 : 95-120.
- (15) 加納 孟 (1961) スギの材質 (第2報) 西川産スギ. 林試研報 134 : 115-139.
- (16) 長尾博文他4名 (1990) スギ造林木における曲げ強度性能の垂直分布. スギ心持ち正角の場合. 第40回日本木材学会大会講演要旨集 p383.
- (17) 中谷 浩 (1991) 林木の冠雪害に関する樹木力学的研究. 富山林技研報 4 : 1-54.
- (18) 太田貞明 (1972) スギ, ヒノキ樹幹内における未成熟材の力学的特性に関する基礎的研究. 九大演報 45 : 1-80.
- (19) 林木育種センター (1996) 次代検定林の材質調査要領. p7, 8, 19.
- (20) 佐々木光・角谷和男・瀧野真二郎 (1983) スギ36品種の力学的性質. 木材研究・資料 17 : 192-205.
- (21) 渋谷昌資・藤崎謙次郎 (1987) スギ品種における組織構造と材質の関係 (III) イワオ, アカバ, アオシマアラカワおよびヒノデについて. 愛媛大農演報 25 : 149-158.
- (22) 塩倉高義 (1982) 針葉樹幹材における未成熟材の区分とその範囲. 木材学会誌 28 (2) : 85-90.
- (23) 渡辺治人・堤 寿一・小島敬吾 (1963) 未成熟材に関する研究 (第1報). スギ樹幹についての実験. 木材学会誌 9 (6) : 225-230.
- (24) 渡辺治人他3名 (1964) 未成熟材に関する研究 (第2報). スギ樹幹内の比圧縮強度と比圧縮ヤング率の分布. 木材学会誌 10 (4) : 125-130.
- (25) 山田範彦 (1995) 兵庫県内産スギ3品種の材質. 兵庫林試研報 42 : 1-4.

(平成9年8月31日受理)