

道南地方のスギ精英樹クローンの 材質検定 (第2報)

安久津 久

Wood Characteristics in Plus - tree Clones of Sugi Planted in Southern Hokkaido ()

Hisashi AKUTSU

Studies were made on various wood characteristics, i. e. tracheid length in latewood, microfibril angle of the S_2 layer in latewood tracheid, and bending strength measured at DBH position, of 22 plus - tree clones of *Cryptomeria japonica* D. don planted in Southern Hokkaido. Materials were same as reported in the previous paper¹⁾. The results of the studies are summarized as follows:

- 1) The results of analysis of variance, these characteristics had a significance level of 1% among the clones.
- 2) Variation of tracheid length of clones in Hokkaido prefecture was smaller than that of one in other Prefectures. Large tracheid length was recognized in Aomori prefecture.
- 3) Microfibril angle of S_2 layer in latewood tracheid of 10th rings was smaller about 7 degrees that of 5th rings.
- 4) Between σ_b (bending strength) and density, Significance of 1% level of positive correlation ($r=0.77$) was recognized. On the other hand there was no significant correlation between E_b (modules of elasticity) and density.
- 5) Variation from pith to bark of E_b considered to be the clonal characteristics.

Key words: *Cryptomeria japonica*, clone, tracheid length, microfibril angle, modules of elasticity
スギ, クローン, 仮道管長, ミクロフィブリル傾角, 曲げヤング係数

道南地方植栽のスギ精英樹, 22クローンについて晩材部の仮道管長測定とミクロフィブリル傾角測定, クリア曲げ試験を行った。結果を要約すると以下のとおりである。

- 1) 分散分析の結果, 上記の形質について1%水準でクローン間に有意な差が認められた。
- 2) 北海道産のクローンは仮道管長の変異が小さく, 青森県産のクローンは仮道管長が大きかった。
- 3) ミクロフィブリル傾角は5年輪から10年輪で7度程減少した。
- 4) 曲げ強さと容積密度には有意な正の相関が認められたが, 曲げヤング係数と密度には有意な相関が認められなかった。
- 5) 曲げヤング係数の髄から樹皮までの変動はクローンごとの特徴が見出された。

1. はじめに

第1報¹⁾では道南地方で植栽されたスギ精英樹22クローンをを用い、含水率、繊維傾斜度、年輪解析、心材色の試験結果を報告し、各形質で問題のあるクローンが少ないことを確認した。本試験は同一の試料を用い、さらに3形質についての検討を加え、採種園の体質改善に寄与できる優良クローンの選抜を目的としたものである。

なお、試験木の概要は第1報¹⁾に示したとおりである。

2. 試験項目および試験方法

試験項目は、仮道管長、晩材仮道管S₂層のマイクロフィブリル傾角（以下Mf傾角と呼ぶ）、無欠点小試験体での曲げ試験の3項目である。仮道管長の測定は第1

報¹⁾の繊維傾斜測定用試料を用い、2方向のうち短径方向から2、5、7、10、13年輪目の晩材部から軸方向に15~20mm、接線方向に2~5mm、半径方向に0.3mm程度の小片材を切り出した。小片材は過酸化水素と酢酸の1:1混合液に浸せきし、1時間程加熱して解繊した。仮道管は万能投影機で20倍に拡大し、直定規で1mmの精度まで測定した。測定した晩材仮道管の測定数は1サンプル（1年輪）当たり50本とし、無作為に選択した。

Mf傾角の測定は仮道管長の測定と同じ試料から5と10年輪目の晩材部の板目面から厚さ約20μmの試料を切り出し、平川の方法²⁾にしたがって仮道管相互壁孔の壁孔口を写真撮影し、引き伸ばした写真上でスリットの角度を測定した。測定数は1サンプル（1年輪）当たり15~25本とした。仮道管長とMf傾角の

第1表 各形質の分散分析結果
Table 1. Results of analysis of variance in various character

形質 Character		平均平方 Mean squares		分散比 F-values
		クローン間 Among clones	クローン内 Within clones	
仮道管長 Tracheid length	2年輪 2nd rings	0.0266	0.0107	2.484**
	5年輪 5th rings	0.0607	0.0219	2.764**
	7年輪 7th rings	0.0884	0.0319	2.769**
	10年輪 10th rings	0.1326	0.0333	3.979**
	13年輪 13th rings	0.1162	0.0444	2.617**
仮道管の伸長係数 Coefficient of elongation ^{a)} of tracheid		0.1076	0.0429	2.508**
マイクロフィブリル傾角 Microfibril angle	5年輪 5th rings	37.254	12.203	3.052**
	10年輪 10th rings	46.237	13.858	3.336**
曲げ強さ Bending strength		11399.372	2619.491	4.351**
曲げヤング係数 Modules of elasticity		116.648	41.993	2.777**
密度 Density at air dry		0.00293	0.00084	3.490**

注：a) : は仮道管長と年輪数との回帰式の傾き。

Note : a) : The slope of regression line between tracheid length and logarithm of annual rings .

測定はあて材部のある供試木は除外したため、全95個体（1クローン3個体以上）で行った。

小試験体での曲げ試験は地上高1.2～1.6mの部位から髓を含む厚さ30mmの柁目板を製材し、天然乾燥後、髓から半径方向（2方向）に連続して採取した。試験体の仕上がり寸法は20×20×320mm、スパンを280mmとし、JIS Z 2101に準拠して試験した。なお、強度に影響のある節を持つ供試木は除外したため、曲げ試験の評価は全94個体（1クローン3個体以上）で行った。

3. 結果と考察

3.1 分散分析結果

分散分析は供試木ごとの平均値を用いて行った。仮道管長およびMf傾角は、調査したすべての年輪での値を用い、曲げ試験では曲げ強さ、曲げヤング係数および密度について行った。各形質における分散分析結果を第1表に示した。すべての形質でクローン間に有意差（ $P < 0.01$ ）が認められた。

3.2 仮道管長

髓からの年輪数に伴う仮道管長の推移を第1図に地域ごとにわけて示した。なお、測定した仮道管長の変動係数は2年輪目で平均12.6%であり、13年輪目では10.3%であった。地域ごとに仮道管長の推移をみると、北海道の6クローンでは仮道管長の差が最も小さかった。渡島^{おしま}21号と渡島22号の13年輪目での仮道管長は他のクローンよりも若干大きかった。青森県産のクローンの仮道管長は大きいものが多く、5年輪目の仮道管長は7クローン中5クローンが2mm以上となり、青森8号と黒石3号は13年輪目で3mm以上であった。岩手県産のクローンは仮道管長の差が大きく、水沢3号は13年輪目で3.00mmであるのに対し、遠野4号は2.45mmであった。その他のクローンは北海道産クローンとほぼ同じ推移であった。

見尾³⁾は九州産の若齢のスギを6クローン用いて、7年輪目の仮道管長を示し、その範囲は1.74～2.43mmであると報告している。本報での7年輪目でのクローンごとの仮道管長は1.94～2.45mmであり、その範囲はほぼ一致していた。例えば遠野4号の7年輪目の仮道管長は1.94mmで最も小さく、九州産のアヤスギ

(1.90mm)とほぼ一致していた。黒石3号、水沢3号、青森8号、弘前1号の4クローンの仮道管長は大きく、同年輪で2.40～2.45mmであり九州産のクモトウシ(2.43mm)とほぼ一致していた。

次に、仮道管長の変動を直接比較するために個々の供試木について以下の対数式にあてはめて回帰式を得た。

$$Y = A \cdot \text{Log}X + B$$

Y：仮道管長

X：髓からの年輪数

A：伸長係数^{4,5)}

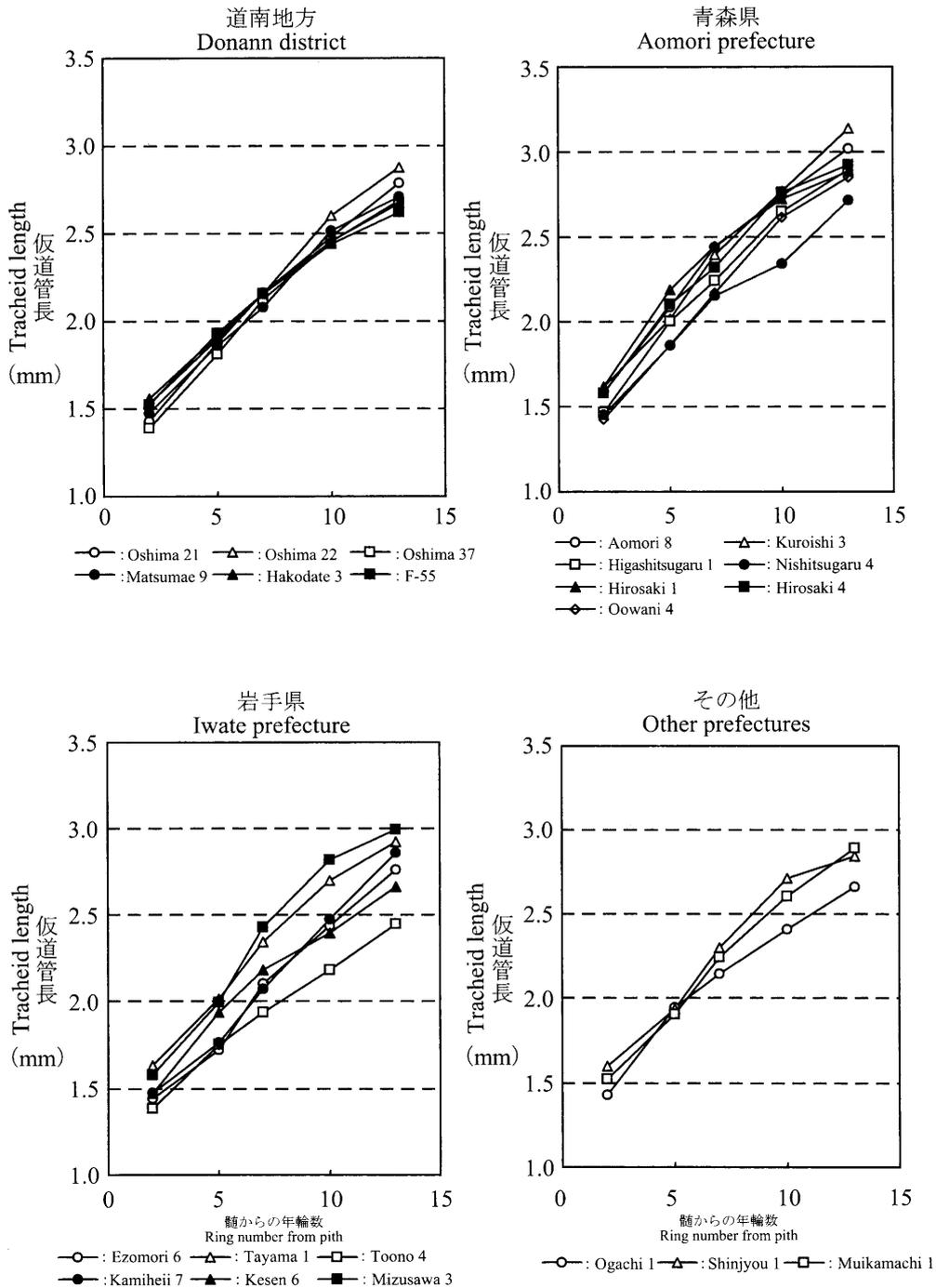
B：1年目の仮道管長

個々の対数回帰式の掲載は省略するが、いずれの供試木も $r = 0.91 \sim 1.00$ の高い相関係数であり、この回帰式が有効であると判断できた。この対数回帰式の係数Aである伸長係数は仮道管長の伸びの大きさを示す指標であり、著者らもカラマツ類品種で伸長係数の値が品種間で異なることを確認している⁷⁾。

クローンごとの伸長係数を第2図に示した。クローンの順番は第1報¹⁾と同様である。全クローンの伸長係数の平均は1.60であった。地域ごとに伸長係数を見ると、北海道産のF-55号を除く5クローンの伸長係数は1.57～1.65でほぼ平均的な値であった。F-55号はバラツキが大きく、平均伸長係数も1.35と小さかった。青森県産のクローンは伸長係数が比較的大きく、例えば、黒石3号と青森8号の伸長係数は1.87と1.76であった。岩手県産のクローンはその値の小さいものと大きいものが混在し、遠野4号と気仙^{けせん}6号の伸長係数は1.28と1.42と小さかった。

藤崎^{5,6)}は九州産の8クローンの伸長係数を報告しているが、その値の範囲はオビアカの0.90からウラセバルの2.00としている。そのうち5クローンの伸長係数は0.90～1.19と小さかった。九州産で今回供試したクローンの伸長係数と比較的類似した伸長係数を持つクローンはクモトウシとヤイチで、それぞれ1.50と1.63であった。以上の結果から、供試したクローンは伸長係数の変位は小さく、九州産のクローンと比較するとクモトウシやヤイチとほぼ同じ値であった。しかし、他産地のデータの報告は少なく、全国レベルでの位置づけは明らかではなかった。

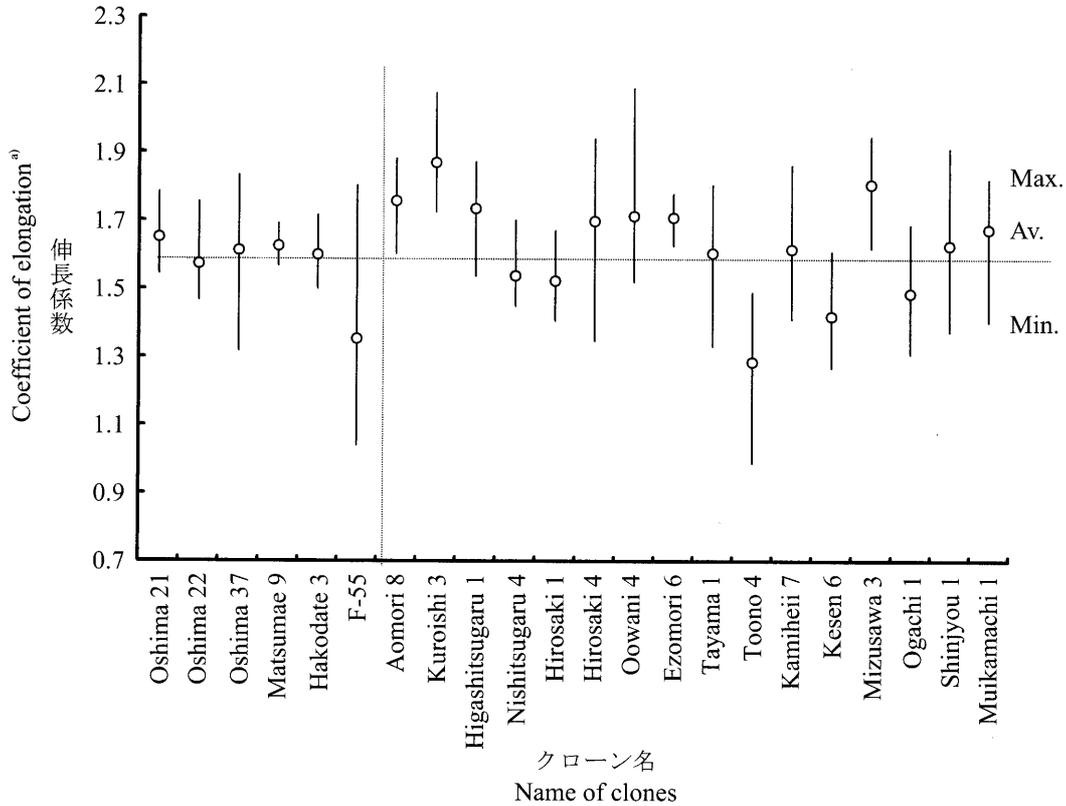
ところで、針葉樹の仮道管長の変動から未成熟材



第1図 クローンごとの仮道管長の変動
Fig. 1. Variation of tracheid length in each clone.

部と成熟材部を区分する考え方がある。すなわち、対数回帰式を用い、各年の推定仮道管長を算出し、その長さがほぼ一定になる年数を成熟材部とみなす考え方である。たとえば、塩倉⁴⁾はカラマツを用いて、伸長率が1%未満、著者ら⁷⁾はカラマツ類の伸長率が2%未満となる年数より外側を成熟材とした。本研究でも、対数回帰式を用い、各年輪の推定仮道管長を

算出し、伸長率が2%未満となる年数を成熟材部とした。その結果、成熟材部への移行時期は12~15年であった。クローンごとにみると、F-55号の成熟材部への移行時期が12年で最も早く、同13年のクローンは弘前1号、弘前4号などの4クローンで、同14年のクローンは最も多く、渡島21号、渡島22号等など11クローン、同15年のクローンが松前9号、黒石3号など



第2図 クローンごとの仮道管長の伸長係数

注：a)：は第1表参照

Fig. 2. Coefficient of elongation of tracheid length in each clone.

Note : a) : See legend to Table 1.

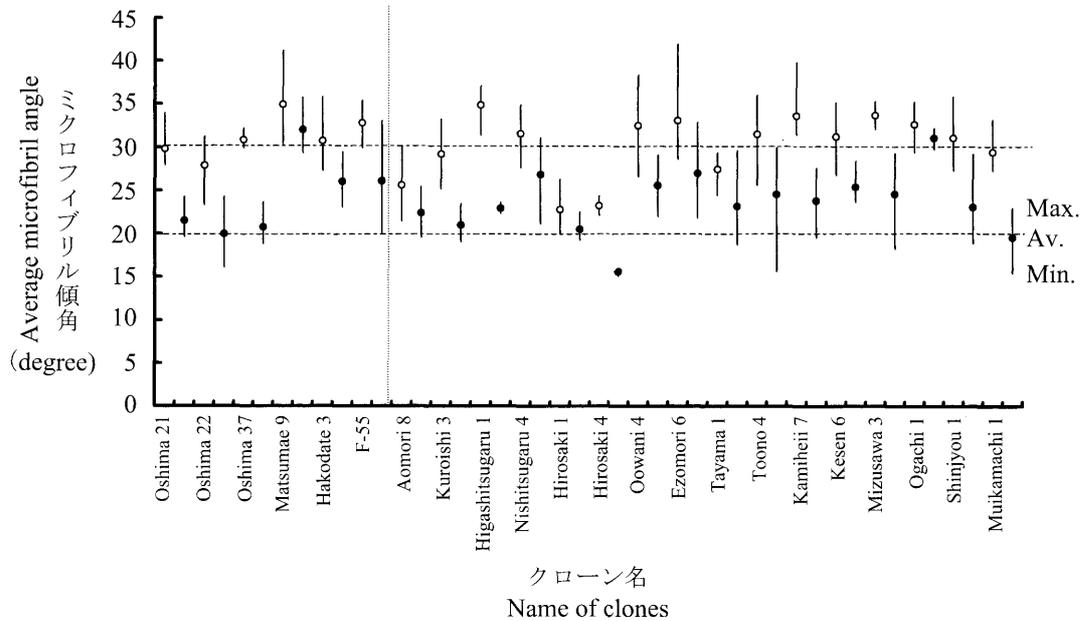
6クローンであった。しかし、成熟材部への移行時期を仮道管長で判定する場合、肥大成長量も考慮する必要がある²⁴⁾。すなわち、供試クローンは良好な肥大成長である¹⁾ことから、標準的な成長をしたものより成熟材部への移行時期が若干早くなった可能性もあり、成長量の小さな試料での調査も必要であると考ええる。

3.3 S₂層のミクロフィブリル傾角

Mf傾角の測定は5年輪目と10年輪目の晩材部で測定したが、その結果をクローンごとに第3図に示した。Mf傾角の5年輪目での全クローンの平均値は31度、変動係数は平均で16.2%であった。10年輪目の平均値は24度で変動係数は平均で14.2%であった。したがって5年輪で7度の減少となった。北海道産では渡島21号、渡島22号、渡島37号はほぼ同じ値で、平均値では5年輪目で28~31度であり、10年輪目では20~22度であった。松前9号はMf傾角が大きく、5年

輪目と10年輪目のMf傾角の値はそれぞれ35度と32度で、Mf傾角の減少が小さかった。青森県産のクローンはMf傾角の小さいクローンが多かった。弘前1号と弘前4号の10年輪目のMf傾角は、それぞれ23度と24度であった。岩手県産の6クローンは田山1号を除いた5クローンの平均値は類似しており、5年輪目では31~34度で、10年輪目では24~27度であり、全体平均値よりも大きな値であった。他地域でのクローンでは雄勝^{おがち}1号のMf傾角が大きかった。全体としてMf傾角の大きなクローンは松前9号と雄勝1号であり5年輪目で30度以上であった。また、Mf傾角の小さなクローンは弘前1号と弘前4号とともに10年輪目で25度以下であった。

前述した藤崎^{4,5)}の報告では供試した8クローンの10年輪での晩材部のMf傾角は15~30度程度であり、平川の報告²⁾では10~30度程度であることから、松前9号と雄勝1号の2クローンを除けばそれらの範囲内であった。



第3図 クローンごとの5年輪と10年輪のS₂層のマイクロフィブリル傾角

凡例：○：5年輪，●：10年輪

Fig. 3. Average microfibril angle of S₂ layer of latewood tracheid at the 5th and 10th annual rings in each clone.

Legend：○：5th rings；●：10th rings

3.4 曲げ強さおよび曲げヤング係数

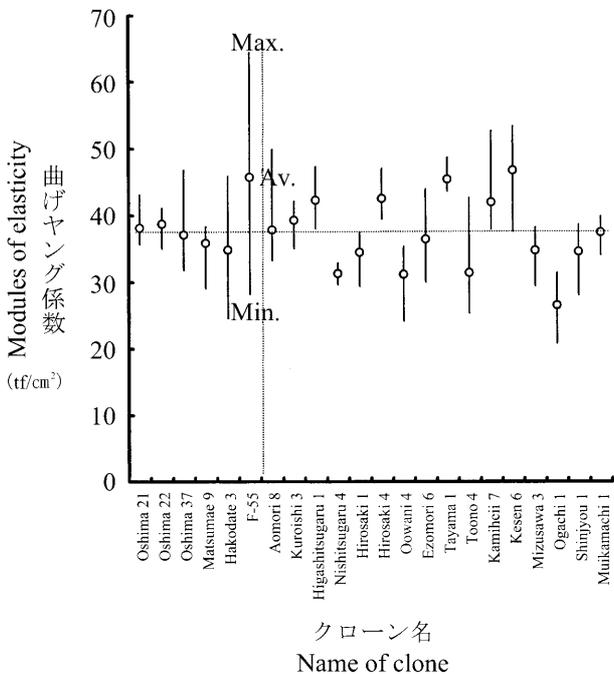
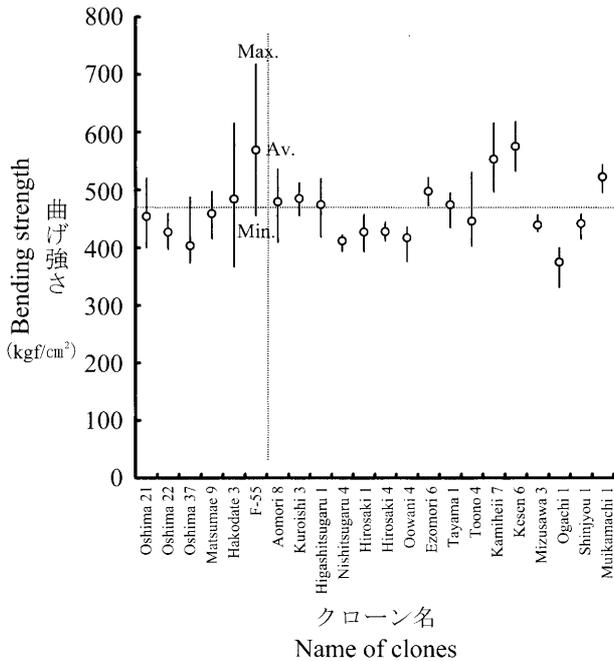
曲げ試験は無欠点の小試験体で行ったがクローンごとの密度は0.31~0.41 g/cm³、平均で0.35 g/cm³であった。また、試験時の含水率は13.9~14.6%、平均で14.3%であった。密度の大きな上位3クローンは気仙6号、F-55号、上閉伊7号の3クローンであり、それぞれ0.41、0.40、0.39 g/cm³であった。密度の小さな下位3クローンは、雄勝1号、弘前1号、渡島37号で、それぞれ0.31、0.31、0.32 g/cm³であった。これらの値は第1報¹⁾の年輪解析結果よりも大きな値となった。スギの密度は樹心に近い部位で重いことはよく知られているが、第1報¹⁾では11年輪以降での評価であり、本報では全体の評価であることから密度に差が生じたためである。

曲げ強さと曲げヤング係数の値をクローンごとに第4図に示した。曲げ強さの全クローンの平均は466kgf/cm²となり、曲げ強さの比較的大きいクローンは気仙6号、F-55号、上閉伊7号、六日町1号の4クローンで、いずれも500~600 kgf/cm²であった。また、曲げ強さの小さいクローンは雄勝1号で400kgf/cm²未満であった。北海道産のクローンはF-55号の値

が大きいのを除けばいずれも400kgf/cm²台にありほぼ中庸な値であった。曲げ強さは密度との相関係数が大きく全個体でr=0.77であった。本試験の結果を見尾の測定結果³⁾と比較すると、曲げ強さが600kgf/cm²以上である九州産のヤイチに匹敵するクローンはなかったが、500kgf/cm²以上のクモトオシ、アヤスギ、オビアカと同等なクローンは上記の4クローンであった。500kgf/cm²以下のメアサ、ヤブクグリと同等なクローンは8クローンであった。しかし、ヤブクグリよりも小さく400kgf/cm²前半以下のクローンも10クローンあり、北海道産の渡島37号、渡島22号の2クローンも含まれていた。

曲げヤング係数の全クローンの平均は37tf/cm²であった。曲げヤング係数の比較的大きいクローンは気仙6号、F-55号、田山1号の3クローンで、45~47tf/cm²であった。

また、曲げヤング係数の小さいクローンは雄勝1号、大鱈^{おおわに}4号、西津軽4号、遠野4号の4クローンでそれらの値は27~31tf/cm²であった。北海道産のクローンはF-55号の値が46tf/cm²で大きいのを除けば35~38tf/cm²でありほぼ中庸な値であった。曲げヤング係



第4図 クローンごとの曲げ強さとヤング係数
Fig. 4. Results of Bending strength and Modules of elasticity in each clone.

数と密度との間には有意な相関が認められなかった。曲げ強さと同様に曲げヤング係数も見尾の測定結果³⁾と比較すると、本試験ではヤイチヤクモトオシのよ

うに60tf/cm²を超えるクローンはなかった。

著者らはカラマツ⁸⁾やアカエゾマツ⁹⁾の曲げヤング係数を測定しているが、樹心部にごく近い部位で最小値となることが多く、その値はカラマツが27~39tf/cm²でありアカエゾマツが53~98tf/cm²であった。カラマツの曲げヤング係数は小さいが、どちらの樹種も樹皮側に向かって曲げヤング係数は増加した。

スギの樹幹内の曲げヤング係数の変動を把握するため、髓からの距離に伴う曲げヤング係数の一例を第5図に示した。便宜上A~Dの4パターンとした。すなわち、Aの六日町1号は曲げヤング係数が外側で上昇する一例であり、Bの田山1号は樹心に近い部分から比較的大きな値で横ばいに推移しているものである。また、Cの松前9号は外側へ向かって緩やかに上昇し、Dの雄勝1号は30tf/cm²程度で比較的小さい値で横ばいに推移しているものである。

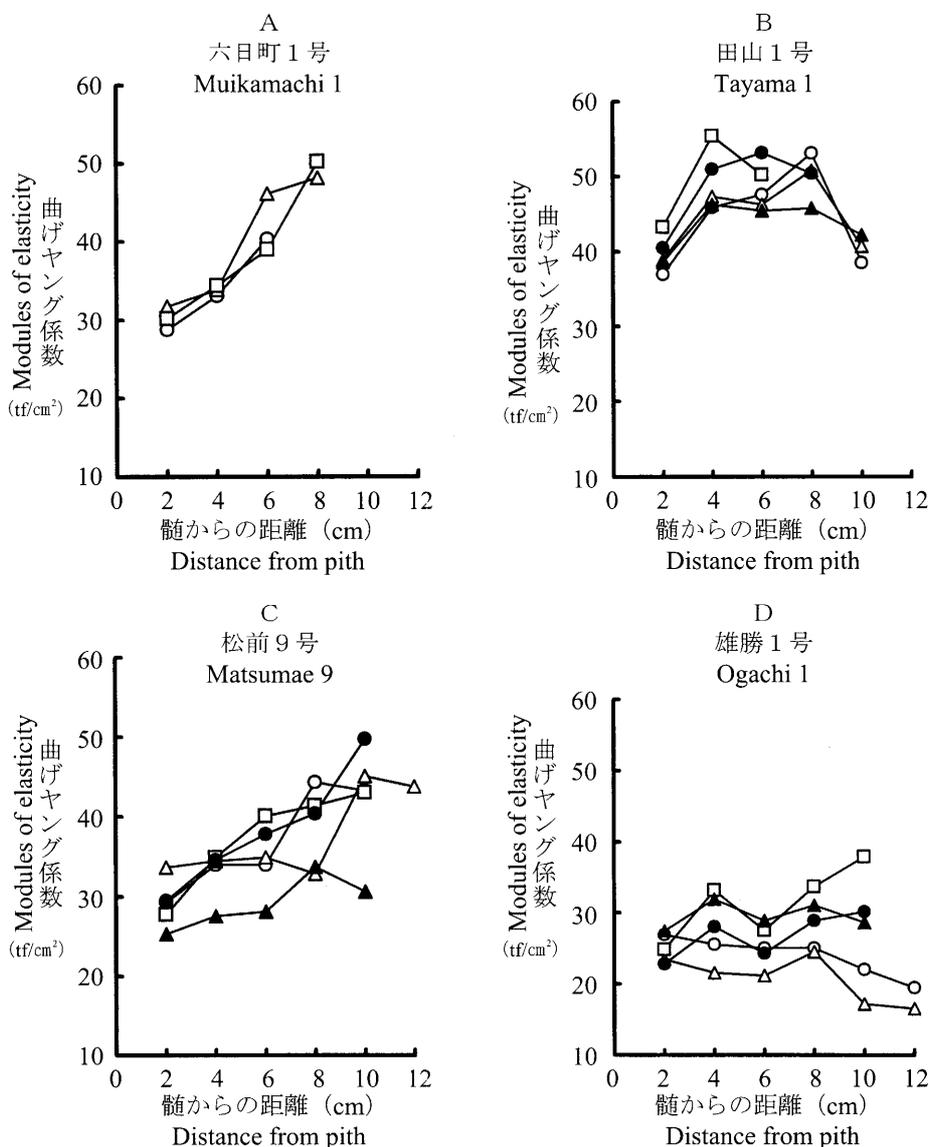
供試したクローンをこれら四つのパターンに分類するとAが5クローン、Bが4クローン、Cが8クローン、Dが5クローンであった。北海道産ではF-55号のAを除き5クローンがCであった。

これら四つの中で、強度的性質の増加、あるいは均一化を目的としてクローン選抜を行う場合、問題となるのはDに属するクローンと考えられる。成熟材部でも曲げヤング係数の増加が小さいクローンもある²⁾と指摘されているためである。Dに属したクローンは5クローンであったが、その中で大鱈4号、雄勝1号、弘前1号、西津軽4号の4クローンは曲げ強さも密度も共に小さいクローンであった。今後、材のヤング係数を機械的に等級区分する動きがあり、育種段階でヤング係数の小さいものがあれば排除する必要があると考える。また、近年、平川²⁾はMf傾角と比ヤング率との負の相関を明らかにし、曲げヤング係数と密度およびMf傾角は密接な関係を持つと報告している。今後、スギクローンの曲げヤング係数の値を解析するにあたってはMf傾角を年輪ごとあるいは試験体ごとに測定する必要がある。

4. まとめ

道南地方のスギ精英樹22クローンを用いて、仮道管長測定、Mf傾角測定、曲げ試験を行った。

1) 青森県産のクローンは仮道管長が大きかった。



第5図 曲げヤング係数の変動パターン

注：符号は個々の供試木を示す。

Fig. 5. Variation of modulus of elasticity within stem in 4 clones.

Note : Symbols show individual tested trees.

- 2) Mf傾角の大きいクローンは松前9号と雄勝1号であった。
- 3) 曲げ強さと曲げヤング係数の小さいクローンは大鱈4号，雄勝1号，弘前1号，西津軽4号の4クローンであった。

5. おわりに

北海道のスギは民有林については現在100%育種種苗で賄われているが，その種は松前町にある大沢採種園から供給されている。供試したクローンで，この採種園に植栽されているクローンは5クローンであ

り，同採種園にある全64クローンのごく一部の検定にすぎない。しかし，第1報¹⁾で報告したように，函館3号は繊維傾斜度の大きなクローンであり，大沢採種園のすべての精英樹クローンの材質が優れているものではないことが示唆された。供試した残りの17クローンは，現在，北海道では育種種苗として用いられていないが，強度（曲げヤング係数）と繊維傾斜度の大きな4クローンを除いた13クローンは採種園造成のための候補木として利用し，採種園全体の体質改善に寄与できるものとする。

文 献

- 1) 安久津久：林産試験場報，**13** (1)，6-15 (1999).
- 2) 平川泰彦，藤沢義武：木材学会誌，**41**，123-131 (1995).
- 3) 日本木材学会 組織と材質研究会 木材強度・木質構造研究会共催秋期シンポジウム資料集：5-10(1990).
- 4) 塩倉高義：針葉樹の未成熟材に関する知見補遺ならびにカラマツ樹幹内における材質の変動に関する研究，東京農業大学木材工学研究会 (1981).
- 5) 藤崎謙二郎：愛媛大農研報，No.23，47-58 (1985).
- 6) 藤崎謙二郎，渋谷昌資：愛媛大農研報，No.24，61 - 70(1986).
- 7) 安久津久 ほか3名：林産試験場報，**4**(1)，12-18 (1990).
- 8) 安久津久 ほか3名：林産試験場報，**4** (6)，10-20 (1990).
- 9) 安久津久：林産試験場報，**11**(3)，1 - 5 (1997).

- 利用部 材質科 -
(原稿受理：99.11.15)