スギ心材含水率の遺伝的改良への横打撃共振法の適用*1

中田了五*2, 田村 明*3

An Application of the Lateral Impact Vibration Method
to the Genetic Improvement of Heartwood Moisture Content
in *Cryptomeria japonica**1

Ryogo NAKADA*2 and Akira TAMURA*3

The lateral impact vibration method is a non-destructive and high through-put method to estimate heartwood moisture content (MC) in living trees. We applied this method to an investigation of 37 clones of *Cryptomeria japonica* (in total over 1000 trees) in a clonal test stand. With two measurements in 2000 and 2001, the repeatability of this method was very high for the fundamental frequency (f) of vibration of the stem resonated by lateral impact. The value of $1/f$ could be shown to be a function of stem diameter (d). The regression lines differed between clones, and the relationship between d and $1/f$ characterized each clone. Fifteen clones (in total 103 trees) from this test stand were harvested and the MC of the trees was measured. Although $1/df$ could predict MC, the precision of the prediction was not good enough. However, the rank of the clonal means of $1/df$ was almost identical to the rank of the clonal means of MC. It is concluded that the lateral impact vibration method is suitable for the ranking of clones, and therefore for selecting clones, and that this method is applicable and useful for genetic improvement of MC in *C. japonica*.

Keywords: *Cryptomeria japonica*, heartwood, moisture content, lateral impact vibration, clone.

高効率かつ非破壊的な測定により生立木の心材含水率を推定できる横打撃共振法を、37クローン（約1000個体）で構成されるスギクローン検定林での研究に適用した。2000年と2001年の2度行った、横打撃によって励起された樹幹の振動の共振周波数(f)測定の実現性は極めて高かった。 $1/f$ と測定部位の樹幹直径(d)の関係はクローンの特徴とできた。この検定林から15クローン(103個体)を伐採して心材含水率を調べた。 $1/df$ によって心材含水率を推定する事が可能であったが、その推定精度は十分高いものではなかった。ところが $1/df$ のクローン平均値の順位と心材含水率のクローン平均値の順位はおおむね一致していた。よって、横打撃共振法はクローンの順位づけ、さらにはクローンの選抜に適当な方法であり、スギの心材含水率の遺伝的改良にとって有効な方法であると結論した。

1. 緒 言

スギ(*Cryptomeria japonica* D. Don)材の利用上の欠点として、心材の生材含水率(以下心材含水率)が高く、かつ樹木個体間、丸太間、乾燥前の製材品

間で含水率の変動が大きいことを挙げるができる。心材含水率が高いことは乾燥時間の長期化を意味し、心材含水率の変動が大きいことは乾燥むらなどの問題の原因となる。この問題に対応するために、乾燥スケジュールの工夫などさまざまな研究が行わ

*1 Received July 25, 2005; accepted October 21, 2005. 本研究の一部は第55回日本木材学会大会(2005年3月, 京都)において発表した。

*2 林木育種センター東北育種場 Forest Tree Breeding Center, Tohoku Regional Breeding Office, Iwate 020-0173

*3 林木育種センター北海道育種場 Forest Tree Breeding Center, Hokkaido Regional Breeding Office, Ebetsu 069-0836

れてきたが、この問題の根本的な解決およびそれによる乾燥コスト低減のためには、材料であるスギそのものを改良するしか方法がない。心材含水率は遺伝的な形質であると考えられ¹⁻³⁾、すなわち遺伝的改良(育種)が可能である。実際、林木育種センターおよび各都道府県の林業試験場等における林木育種事業の一環として、心材含水率の遺伝的改良を目指した調査が進められている。しかし、心材含水率の測定には一般的に伐採が必須であり、かつ、この調査は蒸発しやすい水がその測定対象である。そのうえ、同一クローンの複数個体(ラメート)間でさえ含水率がある程度変動することが知られており¹⁾、よって育種のためには多数の試料について測定が行われるべきである。以上のことから、心材含水率の測定には多大な労力が必要とされてきている。

心材含水率の実用的簡易測定法としてこれまでの所唯一ともいえる方法が、釜口らによって開発された横打撃共振法である⁴⁻⁶⁾。横打撃共振法は生立木の樹幹を水平方向に打撃し、それによって励起された水平方向の樹幹の共振を読み取り、その部分の樹幹直径と共振周波数から導かれる関数で心材含水率を推定するものである。横打撃共振法は簡便であり完全に非破壊である点に利点があるが、一方、その心材含水率の推定精度は高くない。一般造林地での研究においては、心材含水率を高い、低い、中間の三段階程度にわけることが可能であった⁴⁻⁶⁾。

横打撃共振法のような簡易測定法を用いて効率のよい測定が可能であれば、心材含水率の遺伝的改良のための調査が容易になると考えられる。またそれとともに、心材含水率に関する環境の影響を研究することも可能となる。心材含水率および高含水率心材と関連している^{7,8)}黒心に関しては、環境による変異があると考えられている⁹⁻¹²⁾ものの、環境による変異の実態についてはほとんどわかっていない。林木育種にとっても遺伝と環境および両者の交互作用がどのように関わって育種対象形質の変異が生じているのかについて調べる必要がある。そこで、本研究では横打撃共振法を林木育種に応用する具体的方法を検討した。

2. 実験方法

水戸森林管理署管内の大室山国有林95林班(茨城県日立市、北緯36度38分東経140度34分、標高280~300 m)に1974年に設定されたスギ次代検定林関東17号のスギ精英樹クローンを供試した。本検定林はスギ精英樹37クローンに加え対照となる実生の地ス

ギ(その地方において通常利用されているスギ苗木)が植栽されている。検定林は各植栽ブロックに各クローンを1列10個体ずつ配置した3ブロックの乱雑法で設計されているが、この検定林では通常の次代検定に加えてさし木時期(春ざしと夏ざし)による成長等の検定も同時に企画されたため、4クローンについては植栽ブロックあたり2回供試されている場合があった。成長等についても、また本研究での結果についてもさし木時期の影響は認められなかったため、これらのクローンについては供試個体数と試験地設計においての「繰り返し」が多いとして考察を行う。逆に10クローンについては、植栽ブロックによっては植栽されていない場合があり、繰り返し数は2回であった。

2000年12月14, 15日と2001年11月15, 16日の2回、検定林内の生存木全てについて、胸高部の幹の周囲長と周囲長測定高さでの横打撃共振周波数 f を測定した。横打撃共振周波数の具体的測定方法は以下の通りである。1) ハンディタイプのFFT スペクトラムアナライザ(A&D AD-3527)に接続した一軸の加速度計を、加速度計の感知方向が樹幹の放射方向と一致する様に樹幹表面に軽く押し付ける。2) 加速度計と同一平面上、樹幹に向かって加速度計から90~120度くらいの角度に相当する部分をハンマーで軽く打撃する。3) ハンマーの打撃によって励起された横打撃共振の固有周波数をスペクトラムアナ

Table 1. Details of harvested sample clones.

Clone name	$n^a)$	DBH ^{b)} (cm)	H ^{c)} (m)	MC ^{d)} (%)
Godai 1	12	13.1	12.4	57.5
Ishikawa-sho 5	8	13.7	13.6	81.7
Tenryu 11	9	14.4	13.3	127.8
Tsukuba 1	4	16.9	15.2	57.8
Yaita 4	7	17.4	13.9	117.1
Nishi-shirakawa 3	6	18.0	14.8	197.0
Numata 2	8	18.5	15.7	165.1
Usui 2	6	18.6	17.0	137.3
Kami-tsuga 7	6	18.9	15.5	192.9
Kawanuma 1	2	19.0	16.8	128.4
Kuji 18	5	20.3	16.9	126.5
Kami-tsuga 2	6	20.3	17.1	81.5
Kita-nasu 3	8	20.9	17.5	211.4
Kami-tsuga 4	11	21.0	16.3	161.1
Kami-tsuga 6	5	22.0	17.8	129.5
All	103	17.8	15.3	131.2

^{a)} the number of sample trees.

^{b)} diameter at breast height.

^{c)} tree height.

^{d)} moisture content of heartwood.

ライザで読み取る。

幹の周囲長から幹の直径 d を算出した。横打撃共振周波数 f は樹幹直径 d に依存して変化するため⁴⁾、直径の影響を排除して個体やクローンを比較するために、 $1/df$ を算出した。

2002年2月に検定林内の15クローン103個体を伐採して胸高部から円盤を採取した。円盤より髓を含むストリップを切り出した。ストリップを髓を境界として2分割し、さらに心材と辺材の試料ブロックに分割して、全乾法によりそれぞれの試料ブロックの生材含水率を測定した。1個体当たり2個の心材の試料ブロックの含水率を平均して、その個体の心材平均含水率とした。伐採した供試木の詳細をTable 1に示す。なお、伐採は検定林の通常の施業の一環としての間伐に伴って行った。検定林の適切な間伐を優先して間伐木を決定し、本供試木を用いておこなった他の試験の目的も考慮して、間伐木の中から供試クローンならびに供試個体を選定した。

3. 結 果

検定林内の生存木の個体数は、2000年は1088個体、2001年は1082個体であった。横打撃共振周波数を測定することができた個体は、2000年は1019個体、2001年は1033個体で、両年共測定できた個体は1008個体であった。両年とも横打撃共振周波数が測定できた1008個体の胸高直径 d は、2000年で範囲が8.3-36.2 cm、平均16.5 cm、標準偏差4.2 cmであった。1008個体の横打撃共振周波数 f は、2000年で範囲が700-4000 Hz、平均1758 Hz、標準偏差548 Hzであった。直径の小さい個体では、横打撃共振周波数が測定できなかった（横打撃による共振周波数のピークがスペクトラムアナライザ上で検出できなかった）。横打撃共振周波数測定が可能となる直径の閾値は約10 cmで、10 cm未満の個体についてはそのほとんどで横打撃共振周波数の測定ができず、10 cm以上の個体についてはそのほとんどで測定が可能であった。

2回の測定ともに、それぞれ2人ずつ2日（実働時間計7時間半）で胸高周囲長および横打撃共振周波数の測定を行うことができた。実働時間から1個体当たり所要時間を計算すると約30秒である。

横打撃共振周波数は同一測定点同一打撃点で繰り返し測定を行った場合、周波数解像度（本研究では50 Hz）で1単位程度ずれることはあったが、ほとんど結果が変わることはなかった。また、樹幹形状が円に近い場合、測定点や打撃点を変化させても横打撃共振周波数はほとんど変化しなかった。ただし、

Fig. 1. Relationship between two measurements of diameter at breast height. The measurements in 2000 and 2001 are shown as d_{2000} and d_{2001} , respectively.

Fig. 2. Relationship between two measurements of fundamental frequency by lateral impact to the stems. The measurements in 2000 and 2001 are shown as f_{2000} and f_{2001} , respectively. Arrows show the sample trees dying in 2001.

測定点が横打撃共振の節（node）に相当する位置付近⁴⁾になった場合は周波数の読み取りができなかった。

2000年および2001年の両年で横打撃共振周波数が測定できた1008個体の両年の結果を比較した。Fig. 1に胸高直径をFig. 2に横打撃共振周波数を図示する。胸高直径では年次間に非常に高い相関関係が認められた（ $r=0.999$, $p<0.01$ ）。横打撃共振周波数でも年次間に高い相関関係が認められた（ $r=0.990$, $p<0.01$ ）。両年の横打撃共振周波数の結果が大きく異なった個体が数個体認められたが、このうち Fig.

Fig. 3. Relationship between the diameter at breast height of samples trees (d) and the inverse of the fundamental frequency by lateral impact to the stems ($1/f$). All investigated trees ($n=1008$). Data were collected in 2001.

Fig. 4. Relationship between the diameter at breast height of samples trees (d) and the inverse of the fundamental frequency by lateral impact to the stems ($1/f$). Selected clones were shown separately. Data were collected in 2001. $\square$, Godai 1; $\circ$, Inashiki 1; $\times$, Tone 4; $\bullet$, Nishi-shirakawa 3; $\blacksquare$, Kuji 18.

2において矢印で示した3個体は被圧木であり、2001年にはいわゆる「半枯れ」状態になっていた。よって、これら3個体は樹勢の衰退に伴う辺材からの脱水によって横打撃共振周波数が変化したものと推定された。1年間で胸高直径は平均0.35 cm (標準偏差0.26 cm) 増加し、横打撃共振周波数は平均66 Hz (標準偏差80 Hz) 減少した。

胸高直径 d と横打撃共振周波数の逆数 (以下 $1/f$) を比較した結果を Fig. 3 に示す。Fig. 3 に示した結果の中からさらに d と $1/f$ の関係が特徴的であったクローンについて、クローン毎に両者の関係を Fig. 4 に示す。以下、2001年の結果を示すが、2000年の結果も同様であった。クローンを込みにした全供試個体の結果 (Fig. 3) では、 d と $1/f$ に高い相関関係が認められた ($n=1008, r=0.918, p<0.01$) もの、 d と $1/f$ が大きくなればなるほど両者の関係が弱くなる傾向が認められた。クローン毎にクローン内供試個体の d と $1/f$ の関係をみると (Fig. 4), クローン毎に d と $1/f$ は比例関係にあることがわかるが、クローンによってその相関関係は異なっていて、クローン毎の相関係数 r は0.812-0.992とばらついた。 d に依存して $1/f$ が増加すると考えて回帰関係をみると、クローンによって回帰直線の傾きが異なっていた。 d と $1/f$ の関係について植栽ブロックの影響は特に認められなかった。

Fig. 5 に2001年の $1/df$ と伐採して調べた心材平均

Fig. 5. Relationship between $1/df$ in 2001 and moisture content of heartwood. Data from individuals ($n=103$).

含水率の関係を示す。両者には相関関係が認められた ($n=103, r=0.770, p<0.01$)。この相関係数はあまり高くなく、 $1/df$ による心材平均含水率の推定精度は低いと結論できた。クローン内の全ての個体データを平均した、 $1/df$ のクローン平均値と心材平均含水率のクローン平均値を比較すると (Fig. 6), 有

Fig. 6. Relationship between $1/df$ in 2001 and moisture content of heartwood. Data from clonal means ($n = 15$).

Fig. 7. The clonal means of heartwood moisture content. The order of the clones in the x-axis is sorted by the rank of clonal means in $1/df$. Error bars show standard deviations.

意な相関関係が認められた ($n = 15$, $r = 0.841$, $p < 0.01$). $1/df$ ($10^{-6} \text{ cm}^{-1} \text{ Hz}^{-1}$) を独立変数 (x), 心材平均含水率 (%) を従属変数 (y) とした一次回帰式は, 個体値を用いた場合 (Fig. 5) は $y = 7.82x - 164.81$, クローン平均値を用いた場合 (Fig. 6) は $y = 8.79x - 202.40$ であった。

Fig. 7 に $1/df$ のクローン平均値の順位でクローンを並べて心材平均含水率のクローン平均値を示した。Fig. 7 の通り, クローン平均値を用いると $1/df$

Fig. 8. The heartwood moisture content of individual sample trees. The order of the individuals in the x-axis is sorted by the rank of individuals in $1/df$.

Fig. 9. A box-whisker plot showing the difference in moisture content of groups of individual sample trees that have been divided into four groups according to the rank in $1/df$. OL, outlier; UL, uppermost sample within an upper limit; UQ, upper quarter; M, median; LQ, lower quarter; LL, lowermost sample within a lower limit. The upper and lower limits were calculated with equations: upper limit = $M + 1.5 (UQ - LQ)$, lower limit = $M - 1.5 (UQ - LQ)$.

と心材平均含水率の順位は, Fig. 7 のクローン A やクローン B のように明らかに誤った推定をする場合もあるが, おおむね一致していた。

Fig. 8 と Fig. 9 に個体値を用いて $1/df$ の個体間での順位と心材平均含水率を比較した。Fig. 8 では Fig. 7 と同様に $1/df$ の順位で個体毎の心材平均含水率を並べて図示した。個体値ではクローン平均値の場合と比較して $1/df$ の順位の違いがかなり多かった。Fig. 9 では $1/df$ の順位により, 伐採した 103 個体を 4 つのグループに分割 (ほぼ同数の個体数になるように) してそれぞれの心材平均含水率の頻度分布を箱ヒゲ図で示した。グループを要因とする分散分析の結果, 含水率の平均値についてグループ間に有意

差が認められた ($p < 0.01$)。Scheffé の方法による多重比較の結果, 第1グループと第4グループはそれぞれ他のグループと差が認められた ($p < 0.01$) が, 第2グループと第3グループの間には差が認められなかった ($p > 0.05$)。

4. 考 察

横打撃共振周波数は, 連続した繰り返し測定においても, 1年の間隔をおいた2度の測定でも再現性が極めて高かった (Fig. 2)。測定効率, 胸高直径と横打撃共振周波数の測定で1個体あたり30秒と, 極めて高効率であった。なお, この測定効率は本研究での供試木サイズでは, 森林調査としてごく一般的な胸高直径と樹高 (測高ポールを使用する場合) の測定に比べて数倍速いものであった。直径10 cmをこえるサイズのスギについて, 横打撃共振法による調査は非常に容易でかつ結果の信頼性は高いものと考えられる。

しかし, 横打撃共振法で得られた $1/df$ と心材平均含水率の相関関係は高くなかった。釜口ら⁴⁾で行われた様に $1/(df)^2$ を用いても結果はほとんど変わらなかった。よって, 釜口ら⁴⁾で提案された $1/df$ から心材平均含水率を推定する式を用いた推定心材含水率と, 実測した心材平均含水率の相関関係も高くなかった。釜口ら⁴⁾でも, 横打撃共振法での心材含水率推定精度は高くないと結論し, 個体毎の心材含水率を三段階程度 (高い, 中間, 低い) に区別できるとしている。このように推定精度が低くなる原因としては, 1) 横打撃共振法的前提として, 木材密度と横打撃共振に関わるヤング係数の個体間差を考慮していない点, 2) 辺材の影響, 3) 心材中での水分分布のバラツキ。を挙げることができる。1) については, 実際は個体間あるいは個体内の部位間で木材の密度のバラツキは大きく, さらに密度は成長とも関係があることが知られている^{たとえば 13, 14)}。横打撃共振に関わるヤング係数は主として樹幹水平方向のヤング係数が大きく関与しているが, 実際には非常に複雑な解をもつと考えられる。このような横打撃共振に関わるヤング係数の個体間あるいは個体内でのバラツキは知られてはいないが, 樹幹軸方向のヤング係数のバラツキの大きさ^{たとえば 14)} から考えると横打撃共振に関するヤング係数のバラツキの存在は容易に予想できるであろう。2) について, 釜口ら⁴⁾の解析の結果では, 心材に相当する樹幹中心部が主として横打撃共振に関わるので, 辺材はあまり関係がないとしているが, ないわけではない。特に, 供試木の樹幹直径が小さく心材率が低い場合, 横打

撃共振は辺材のみかけの密度 (辺材の木材の密度および辺材含水率で決まる) に大きく影響されると考えられる。3) については Nakada et al.¹⁵⁾ で認められた様に, 水平断面上の心材中での水分分布は個体あるいはクローンによって大きく異なっている。同じ心材平均含水率だとしても, 水分分布が髄付近に集中している個体と心材外側に集中している個体ではみかけの密度の樹幹内分布が大きく異なり, このため横打撃共振周波数も異なると考える事ができる。

一方, クローン毎に胸高直径と $1/f$ の回帰直線が大きく異なっていた。このことは胸高直径とヤング係数や木材の密度との関係が遺伝的系統によって異なっている事実^{たとえば 13, 14)} を考えると納得できる。たとえば, クローンによっては胸高直径と密度には関係がなく, 個体間で密度は一定であるため, 胸高直径の増大に伴う横打撃共振周波数の変化が存在するのみである。ところが, 別のクローンでは胸高直径が大きくなると密度が低くなり, このため胸高直径の増大とともに減少する横打撃共振周波数の減少の程度が, 密度も同時に低くなることによって前出のクローンよりも抑えられる (横打撃共振周波数は密度と反比例関係にあるため) ことが考えられる。このように, 木材の密度, 横打撃共振に関わるヤング係数, 辺材のみかけの密度, 心材中での水分分布のバラツキなど, 横打撃共振に関わると考えられるパラメータのクローン内での変動は小さく, これらの変動が小さいために, クローン内では $1/df$ と心材平均含水率の相関関係が高くなったと結論できる。

クローン平均値を用いるとクローン内個体間変異が平均化されるので, $1/df$ と心材平均含水率の相関関係は個体データを用いたときよりも高くなるが, 本研究のデータからは推定精度が高くなったとはいえない。Fig. 6 をみると, $1/df$ と心材平均含水率の関係はS字カーブになっているともいうことができる。最も多くのクローンを含む $1/df$ で $37 \sim 42 \times 10^{-6} \text{ cm}^{-1} \text{ Hz}^{-1}$, 心材平均含水率で $80 \sim 200\%$ の範囲においては, それ以外の範囲にくらべて $1/df$ と心材平均含水率の傾きが大きく, このことはすなわち, この範囲においては特に $1/df$ の測定誤差が推定心材含水率に大きく影響すると思われる。

ところが, Fig. 7 で明らかなように, $1/df$ でクローンの順位づけをおこなうという意味では横打撃共振法の精度は十分であり, 順位の信頼性は高い。ここで, クローン内にも個体間変異が認められるが, クローン内の測定個体数を増やすことでクローン平均値の誤差をさらに減らすことができると期待され

る。 $1/df$ でおこなった順位づけに基づいて、さらにクローンを選抜することによる改良効果は高いと考えられる。本研究の結果で検討すると、選抜集団の心材平均含水率の個体平均値（選抜前は131%）は、25%の選抜率（4クローン選抜）では77%、50%の選抜率（7クローン選抜）では103%となる。クローンの順位づけおよびその結果に基づくクローンを選抜をおこなうという方法をとると、横打撃共振法は心材平均含水率の改良（低下）に有効であった。

Fig. 8 のとおり、個体値による $1/df$ の個体の順位は心材平均含水率の個体の順位とよく適合していると言いがたい。よって、横打撃共振法によって得られた結果からの個体ごとの心材平均含水率の推定精度は低く、クローンに対しては有効であった横打撃共振法による順位づけは、個体に対しては低い有効性しか認められなかったと結論した。Fig. 9 のとおり、 $1/df$ の個体の順位で全個体を4つに分割した時、第1グループ（すなわち $1/df$ が小さく含水率が低い）と第4グループ（ $1/df$ が大きく含水率が高い）のような全体のバラツキの両端にある個体を選び出す事はおおむね可能であった。すなわち、横打撃共振法の結果からスギの個体を心材含水率の異なる少数のグループに分けることはできるという釜口ら⁴⁾の結果が支持された。一方、第2グループと第3グループに含まれるような平均的な含水率をもつ個体をさらに低いものと高いものに分けるといったことは不可能であった。クローンを込みにした個体の集団に対しては、特にその両極端（Fig. 9 の第1および第4グループ）を選抜（もしくは排除）するという意味では、横打撃共振法は有効であると考えられる。

以上から、横打撃共振法を用いれば極めて簡便で再現性の高い非破壊測定が可能であり、やや低い精度で心材平均含水率を推定でき、 $1/df$ のクローン平均値によるクローンの順位は心材平均含水率のクローン平均値の順位とおおむね一致したと結論した。また、 $1/df$ の値および胸高直径 d と $1/f$ の関係はクローンの特徴とすることができた。横打撃共振法は個体のグループ（例えばクローン）に対する順位づけを行う場合優れていて、その順位に基づいて心材含水率に関してクローンを選抜を行おうとする場合は、測定効率が高いこととあわせて極めて優れた方法である。しかし、個体単位の心材含水率の評価には推定精度が低く、利用しにくい。なお、1年1度の横打撃共振法による測定を2度行なったが、供試木の打撃点に傷害は認められなかった。形成層休止期に実験を行ったということと、打撃回数が少なかつ

たため、樹幹に対するダメージはほとんどなかったか、わからない程度の微小なものだったと考えられる。本研究での測定では横打撃共振法は完全非破壊であったとみなせるだろう。

5. 結 論

横打撃共振周波数測定の再現性は極めて高く、実験で得られた横打撃共振周波数の信頼性は高いと考えられた。横打撃共振法の測定効率は極めて高かった。胸高直径 d と横打撃共振周波数 $1/f$ はクローン内では一般に高い相関関係にあり、 d と $1/f$ の回帰関係はクローンごとの特徴であるとする事ができた。 $1/df$ から心材平均含水率を推定する事が可能であったが、推定精度は低かった。 $1/df$ のクローン平均値の順位と心材平均含水率のクローン平均値の順位はほぼ一致した。以上の結果から、横打撃共振法を利用して、 $1/df$ によってクローンを順位づけてその結果に基づいてクローン選抜を行うことにより、高い効率でスギの心材含水率の遺伝的改良が実現できると結論する。

謝 辞

横打撃共振法については島根大学理工学部の釜口明子博士と中井毅尚博士にご指導いただいた。横打撃調査については林木育種センターの宮浦富保博士（現龍谷大学）と谷口亨氏（現林木育種センター九州育種場）に協力いただいた。検定林の間伐にあたっては茨城森林管理署職員の皆様、特に平野辰典森林官にお世話になり、また林木育種センターの飯塚和也博士（現宇都宮大学）、野村考宏氏、藤原優理氏に協力いただいた。以上の方々に対し厚く謝意を表する。

文 献

- 1) 藤澤義武, 太田貞明, 西村慶二, 戸田忠雄, 田島正啓: 木材学会誌 41(3), 249-255 (1995).
- 2) 中田了五, 藤澤義武, 平川泰彦, 山下香菜: 木材学会誌 44(6), 395-402 (1998).
- 3) 平川泰彦, 中田了五, 藤澤義武: 木材工業 59(4), 159-165 (2004).
- 4) 釜口明子, 中尾哲也, 小玉泰義: 木材学会誌 46(1), 13-19 (2000).
- 5) 釜口明子, 中尾哲也, 中井毅尚, 田村 明: 木材学会誌 47(3), 235-241 (2001).
- 6) 中尾哲也, 釜口明子: 林業技術 No. 718, 20-23 (2002).
- 7) 藤原新二, 岩神正朗: 高知大農演報 No. 16, 19-

- 23 (1989).
- 8) 河澄恭輔, 小田一幸, 堤 壽一: 九大演報 No. 64, 29-39 (1991).
- 9) 関西林木育種場: 林木の育種 No. 105, 17-20 (1977).
- 10) 伊藤進一郎, 黒田慶子: 平成 4 年度森林総研関西支所年報 No. 34, 43 (1993).
- 11) 大森昭壽, 池田潔彦: 静岡県林業技術セ研報 No. 24, 47-52 (1996).
- 12) Kubo, T., Ataka, S.: *J. Wood Sci.* **44**(2), 137-141 (1998).
- 13) 深沢和三: 岐阜大農研報 No. 25, 47-128 (1967).
- 14) 藤澤義武: 林木育種センター研報 No. 15, 31-107 (1998).
- 15) Nakada, R., Fujisawa, Y., Hirakawa, Y.: *J. Wood Sci.* **45**(3), 194-199 (1999).