



Title	相対幹曲線式を用いた細り表の調製：ミズナラのシイタケ原木林への応用
Author(s)	富田, 顕数; TOMITA, Akikazu; 菅野, 高穂 他
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 48(1), 81-99
Issue Date	1991-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/21332
Type	departmental bulletin paper
File Information	48(1)_P81-99.pdf



相対幹曲線式を用いた細り表の調製

— ミズナラのシイタケ原木林への応用 —

富田 顕 数** 菅野 高 穂**
和 孝 雄** 比屋根 哲**

Preparation of Taper Tables by Relative Stem Curve

— Application to *Quercus mongolica* var. *grosseserrata* Stands
for Producing Bed Logs of Shiitake (*Lentinus edodes*) —

By

Akikazu TOMITA, Takaho KANNO, Takao NIGI
and Akira HIYANE

要 旨

本研究は、細り表の調製を容易にするため、立木状態で上部直径を測定する方法により比較的精度の高い細り表の調製が可能か否かについて検討するとともに、測定困難な樹幹上部の測定を一部省略して細り表を調製した場合の精度について検討したものである。すなわち、若齢のミズナラ林分から、供試木100本程度を単木的に無作為に抽出して立木状態での上部直径を光学機器の1つ、ペンタプリズム輪尺で測定し、正常相対幹曲線を用いて幹形を表現した。

まず、ペンタプリズム輪尺の精度について検討したところ、高さ2~7mの範囲での平均の誤差は5~8mm、誤差率は5~11%で、ペンタプリズム輪尺は立木状態での上部直径の測定に充分使用できると考えられた。またミズナラの幹形には三次多項式がよくあてはまり、しかも樹幹の比較的下部の測定のみで、細り表を調製していくことが可能と判断された。以上の検討結果に基づき、ミズナラの細り表と採材表を完満、中庸、梢殺別に調製した。

キーワード：細り表，採材表，正常相対幹曲線，ペンタプリズム輪尺，ミズナラ

* 1990年9月30日受理 Received September 30, 1990.

** 北海道大学農学部森林経理学講座

Laboratory of Forest Management, Faculty of Agriculture, Hokkaido University

目 次

はじめに	82
I 細り表の調製	83
(1) 従来細り表の調製法	83
(2) ベンタブリズム輪尺とその精度	83
(3) 相対幹曲線式を用いた細り表の調製	85
(4) スギ間伐木による検証	85
(5) 広葉樹への適用	87
II 調査地の概要と調査結果	88
(1) 調査地の概要	88
(2) 調査ならびに解析の方法	89
(3) ベンタブリズム輪尺による測定工程と精度	89
III ミズナラの幹形と相対幹曲線	90
(1) ミズナラの幹形	90
(2) 上部直径の測定法	92
(3) ミズナラの相対幹曲線式	92
IV ミズナラの細り表、採材表の調製	95
(1) ミズナラ幹形のタイプ分け	95
(2) ミズナラの細り表、採材表の調製	96
おわりに	96
引用文献	98

はじめに

北海道において、今日でもなお広く利用されている中島広吉による北海道立木幹材積表¹³⁾は、針葉樹およそ5,000本、広葉樹およそ3,000本、カラマツ(*Larix kaempferi*)およそ6,000本の膨大な伐倒供試木によって調製された。しかし、その後トドマツ(*Abies sachalinensis*)、エゾマツ(*Picea jezoensis*)、カラマツ等の樹幹形が当時のそれとは異なってきている等の指摘を受けるようになり、道内の各営林局ではそれぞれ所管の森林を対象としたエゾマツ、トドマツの立木幹材積表(1959~1962)を、函館営林局においてはその他にヒバ(*Thujaopsis dolabrata* var. *hondae*)やブナ(*Fagus crenata*)を対象とした立木幹材積表¹⁷⁾、また、トドマツの植栽木を対象とした立木幹材積表が松井善喜らによって調製された¹⁰⁾しかし、北海道を対象とした材積表は、以上のほか、道南地方のスギ(*Cryptomeria japonica*)を対象としたもの^{18,7)}や、ヨーロッパトウヒ(*Picea abies*)等ごく限られた外来樹種にとどまっており^{12,19)}、多くの樹種についてはその調製が今後の課題となっている。

以上のように、立木幹材積表の調製は主要樹種のほかは限られた地域や一部の樹種にとどまっているが、その大きな要因としては、材積表調製のいわば基礎となる細り表の調製が、伐倒された供試木のデータを利用する手法によって行われてきたことにあると考えられる。すな

わち、相当量の立木の伐倒を必要とすることが制約条件となり、細り表の調製が容易に進展しえなかったものと考えられる。

そこで本研究では、立木状態のまま上部直径を測定する方法により比較的精度の高い細り表の調製が可能か否かについて検討するとともに、あわせて測定困難な樹幹上部の測定を一部省略して細り表を調製した場合の精度について検討した。また、これらをもとに、林業実務上利用しうる精度をもつ細り表の調製を試みた。なお、上部直径の測定は後述するようなペンタプリズム輪尺を用い、また、細り表の調製にあたっては相対幹曲線式を用いた。

I 細り表の調整

(1) 従来の細り表の調製法

樹幹は、縦断面的にみると、梢端に近づくほど細くなっていくが、これを樹木の「細り」とよんでいる。「細り表」は、材積表や採材表等を調製する上でいわば基礎となるものであり、樹幹が根元から梢端へ移るにしたがって、その直径が減少していく割合を示したもので、胸高直径、樹高等の関数として調製されている。その表示には、一定間隔（または相対間隔）における上部直径を絶対値で表示する場合と、胸高直径等に対する比率（相対値）で表示する場合がある。後者による細り表は「比率細り表」といわれている。

細り表は一般に、一定間隔もしくは一定相対間隔で樹幹の皮付直径と樹皮厚を実測しておき、これらと胸高直径との関係を実験式で求め、樹幹各部の無皮直径を胸高直径階別に算出して調製される。樹幹を一定相対間隔で測定する場合には、Tor JONSON が提唱した^{11,19)} 胸高以上を十等分する位置の直径を測定する方法と、樹幹全体を十等分する位置の直径を測定する方法とが行われてきた。さらには、樹幹を幹足～胸高部位、胸高部位～地上 x m、地上 x m～梢端のように区分しておき、それぞれの区間において m 単位で上部直径を測定するという方法も行われてきた^{20,21)}。しかし、いずれの方法にせよ、細り表は相当量の立木を伐倒して樹幹各部の直径の測定を行うという手法で調製されてきたのである。

(2) ペンタプリズム輪尺とその精度

上部直径は、幹形、細り、材積等を求めるためにしばしば測定が必要になる。伐倒された樹木では輪尺等を用いて直接に測定すればよい。立木状態のものについては直接測定によって正確に求められるが、はしごを使ったり、木に登ったりするのは危険を伴う。そこで、高位置を測定できる輪尺が必要となってくる。現在、フィンランドやスイス等では曲線輪尺に柄を付けたものを用いている。また、光学機器（ペンタプリズム輪尺、シュビーゲルレラスコープ、デンドロメータ等）を用いる場合もある。しかし多くの上部直径測定器は十分な精度が得られなかったり、また精度は高くとも非常に高価であったり、また操作が極めて複雑であったりして、その使用には限度があるといわれている¹⁶⁾。

本研究において用いようとする光学機器の一つペンタプリズム輪尺（写真1）は、目盛り

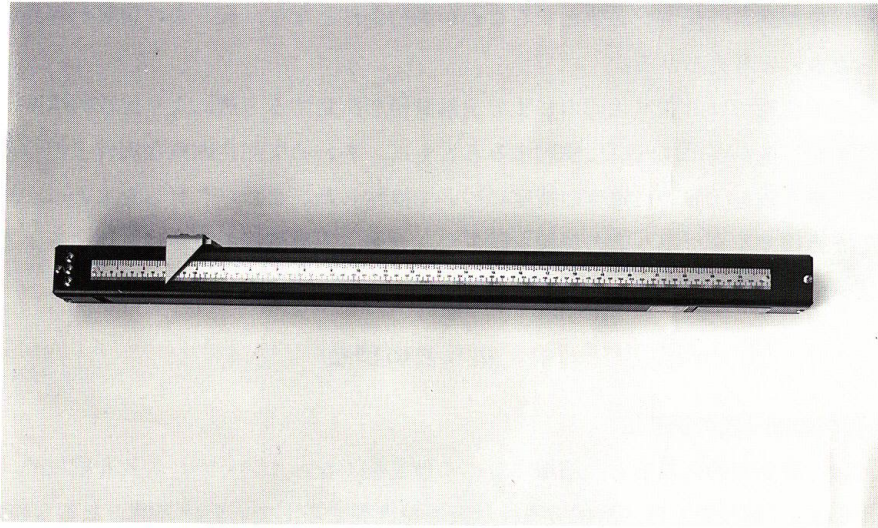
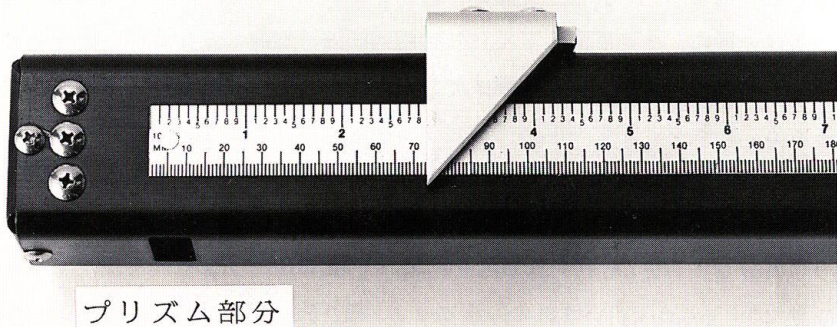


写真-1 ベンタプリズム輪尺



プリズム部分

写真-2 ベンタプリズム輪尺 (プリズム部分)

の付いた尺度筒、二つのプリズム、そして視準孔からなっている(写真2)。本体の一つのプリズムは尺度のゼロ点に固定されている。一方のプリズムは可動であり、これを移動させて、測定対象木の樹幹の右側の反対象をプリズムにより視準孔を通して固定プリズム上で直接見える左端と一致させて測定するのである。

精度としては、地上から15m上方の樹幹直径が0.5~1.3cmの誤差で読み取れるという。また、地上7mと、樹高の30%の高さの位置の直径の測定における精度と測定工程の検討では、全体としてはフィンランド輪尺が優れているが、工程においてはフィンランド輪尺についてベ

ンタプリズム輪尺が優れていたという¹⁶⁾。

本研究では、ペンタプリズム輪尺が持ち運びに便利で、測定対象木からの距離を自由に選べる等の長所をもっていることなどから、これを使用することにした。

(3) 相対幹曲線式を用いた細り表の調製

幹形を表現する一つの方法は、幹の高さの方向に沿って一定の間隔で直径を測定し、これらを順に示すことである。さらに効果的な方法は、それらの直径値を絶対値ではなく、例えば胸高直径に対する相対値で示すことである。こうした直径値を相対直径（形状商、直径率）といい、樹幹全体にわたる相対直径の数列を相対直径列という。しかし、これらは樹高を異にする場合、幹形相互の比較が困難である。そこでこれらの相対直径列を、例えば梢端から幹長の9/10の位置における直径($d_{0.9}$ 、基準直径と表現する)をもとにして、等間隔ではなく等相対間隔で示すと、いずれの幹も同じ形に還元され、相互比較が容易になる。この相対直径列は正常相対直径列といい、先に述べた胸高直径を基準とする直径列とは区別されている。正常相対直径列は、現実の幹形を樹高については $1/h$ (h : 樹高) に、直径については $1/d_{0.9}$ に縮小した幹形を示すことになる。この幹形は相対幹形といわれている。この相対幹形のうち、細りの程度の緩やかなものを完形、急なものを尖形とよんでいる。

幹形を表現するいま一つの有効な方法は、幹曲線を用いることである。幹曲線も直径列の場合と同様、現実の幹曲線のほか、相対幹曲線をもって示すことができる。後者のうち、 x 軸に梢端からの距離の樹高に対する相対長を、 y 軸に基準直径に対する相対半径をとって描かれる幹曲線を正常相対幹曲線とよんでいる。また、幹曲線を表す方程式を幹曲線式という。相対幹曲線式は二次元的に解釈すれば、梢端からの各相対距離に対する相対半径を示していることから樹幹の細りの具合を知ることができる。すなわち、これをもとにして細り表の調製が可能になる。また、三次元的に解釈すれば、 x 軸を中心とする回転体を表現する式として幹材積表の調製も可能になる。なお、従来から立木材積、利用材積の推定の実用的手段としての立木材積表、形数表、あるいは細り表の調製は、多くの場合それぞれ別個の方法で作られてきた。しかし、幹曲線が定まれば材積、形数、細りの全てが明らかになるので、各表の各数値の整合性を保つ上でも、これらの表は一連のものとして調製されることが望ましく⁹⁾、その点でも、材積、形数、細りの全てを同時に明らかにすることのできる幹曲線の有意義さが位置づけられよう。

幹曲線式は、古くから多くの人によって研究がなされ、各種の式が提唱されているが、そのなかで特に Behre 式と三次～五次の高次多項式がよく用いられている。このうち後者は現実の幹曲線式に対しても相対幹曲線式に対しても適用することができる。また多項式はそれ自体が柔軟で、微分、積分が容易であるほか、データのあてはめにあたっても取り扱いが簡便であるという長所をもっている。

(4) スギ間伐木による検証

この研究を進めるにあたって、まず北海道大学松山地方演習林のスギ間伐木のデータを用

いて⁹⁾、相対幹曲線式による樹幹断面推定の有効性を検証するため、以下のような検討を行った。なお、ここで用いた供試木の概要は表—1のとおりで、これらについて、伐採時に胸高(1.3 m)以上の部分について梢端から樹幹の1/10, 2/10, ……の直径を実測したものを利用した。

まず、幹曲線式の種類について検討した。大隅真一はスギに対し、三次多項式を適用した幹曲線式がよく適合することを報告しており¹⁴⁾、これを参考にして供試木の測定値で検討してみた。その結果、図—1に示すようにS字を引き延ばしたような傾向(変曲点を一つ有する曲線形)を認めたので、幹曲線式として三次多項式

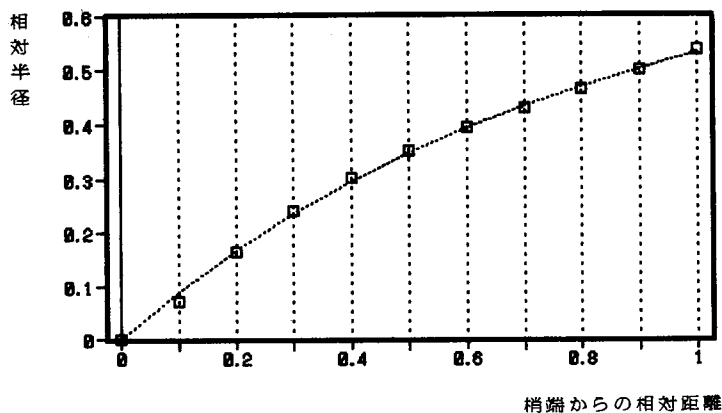
$$y = \alpha x + \beta x^2 + \gamma x^3$$

を用いることにした。

ついで梢端からの相対距離が樹幹の1/10, 2/10, ……10/10(胸高部位)の位置の各上部直径の実測値(平均)すべてを用いた相対幹曲線式を求めた。得られた式の定数は表—2(C_a式)のとおりである。この幹曲線上から求めた各上部位置の算出相対半径と実測相対半径は、図—1に示すように、梢端部分を除いてはきわめてよく一致することが認められた。また梢端部分においても、実際の誤差に換算した場合、基準直径がたとえば15 cmである場合の1/10位置にお

表—1 スギの供試木

直径階 (cm)	供試木本数	平均樹高 (m)
6	2	5.9
8	12	6.5
10	8	9.0
12	13	10.7
14	9	11.2
16	15	11.7
18	8	12.8
20	12	13.1
22	11	13.6
24	4	14.2
26	1	15.5
28	3	15.8
合計	98	11.3



図—1 スギ(供試木)の幹形

注) □ 実測値

-----1/10~10/10部位の実測値によって求めた幹曲線C_a

ける誤差は0.27 cmで、実用上無視できるように考えられた。

さらに、梢端から5/10~10/10の位置の測定値をもとに計算した幹曲線式(表-2, C_b 式), 6/10~10/10の位置の測定値で計算した幹曲線式(同, C_c 式), 7/10~10/10の位置の測定値で

計算した幹曲線式(同, C_d 式)を求めた(前掲表-2, 表-3)。この C_b , C_c , C_d 式は、ペンタプリズム輪尺による上部直径の測定を幹の途中まで行い、測定困難な上部を省略することを想定したものであるが、求められた C_b , C_c , C_d 式は幹曲線 C_a 式とほとんど一致しており(図-2), また幹曲線 C_b , C_c , C_d 式間の差異も小さかった。このことから、樹幹上部の測定を幹の途中までで止めても、全幹のデータを用いた場合と比較して遜色のない幹曲線式を求めることが可能のように考えられた。そこで本研究においては、このスギによる検証結果を他の樹種を対象として展開していくことにした。

(5) 広葉樹への適用

近年、育成天然林施業の一環としてシイタケ原木林施業がクローズアップされているが、これは、北海道においても原木量が不足してきていること等に起因している。しかし、その育成に関する研究はまだ始められたばかりであり、一方、採材表の調製等も急を要する課題となっている。そこで本研究においては、ペンタプリズム輪尺を用いてシイタケ原木の採材表の基礎となる細り表の調製を試みることにし、調査対象樹種としてミズナラ(*Quercus mongolica* var.

表-2 幹曲線式の定数

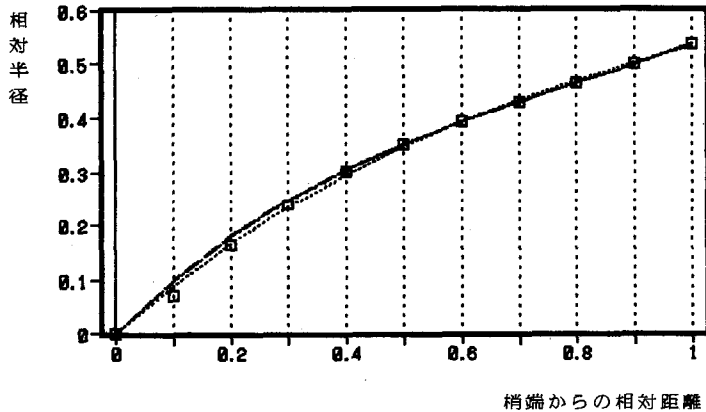
	α	β	γ
幹曲線 C_a	0.9475	-0.5975	0.1829
幹曲線 C_b	1.0571	-0.8953	0.3752
幹曲線 C_c	1.0780	-0.9456	0.4048
幹曲線 C_d	1.0655	-0.9170	0.3886

表-3 スギの相対幹曲線別相対半径 (計算値)

梢端からの相対距離	実測値平均	計算値 C_a	計算値 C_b	計算値 C_c	計算値 C_d
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.1	0.071	0.089	0.097	0.099	0.098
0.2	0.164	0.167	0.179	0.181	0.180
0.3	0.240	0.235	0.245	0.249	0.248
0.4	0.302	0.295	0.304	0.306	0.304
0.5	0.351	0.347	0.352	0.353	0.352
0.6	0.394	0.393	0.393	0.394	0.393
0.7	0.430	0.433	0.430	0.430	0.430
0.8	0.464	0.469	0.465	0.464	0.464
0.9	0.500	0.502	0.500	0.499	0.499
1.0	0.537	0.533	0.537	0.537	0.537

注 1) 計算値 C_a : 幹曲線 C_a (1/10~10/10部位の実測値による) の計算値
 計算値 C_b : 幹曲線 C_b (5/10~10/10部位の実測値による) の計算値
 計算値 C_c : 幹曲線 C_c (6/10~10/10部位の実測値による) の計算値
 計算値 C_d : 幹曲線 C_d (7/10~10/10部位の実測値による) の計算値

注 2) 各式の定数は表-2 の通り



図—2 スギの相対幹曲線 $C_a \sim C_d$ 式

注) □ 実測値

----- 幹曲線 C_a : 1/10~10/10部位の実測値によって求めたもの

----- 幹曲線 C_b : 5/10~10/10部位の実測値によって求めたもの

----- 幹曲線 C_c : 6/10~10/10部位の実測値によって求めたもの

----- 幹曲線 C_d : 7/10~10/10部位の実測値によって求めたもの

幹曲線 (三次式) の定数は表—2 の通り

grosseserrata)を選定した。これまでスギ等の針葉樹については同様の研究が大隅真一、梶原幹弘らによってなされているが^{1-6,14)}、広葉樹については幹の通直性に問題があると考えられがちであるためか、いかなる樹種についてもいまだ報告がみられないようである。しかし、シイタケ原木に用いられるミズナラは通直性が高くなるように仕立てられるものであり、針葉樹と同様の適用が可能のように考えられた。

II 調査地の概要と調査結果

(1) 調査地の概要

研究対象としたミズナラ林の調査地は北海道千歳市中央に位置しているS氏所有の民有林である。地形的には火山灰質のロームに覆われた台地上にあって、傾斜はほとんどなく、5°未満の平坦地で、地表は厚い新期火山灰砂によって覆われている⁸⁾。調査を行った林分は皆伐跡地に成立した萌芽二次林で、12年前に萌芽枝の整理が行われた。現在、25年生前後の若齢林となっており、調査林分のha当りの本数、蓄積はおよそ2,500~2,600本、90~140m³である。林型は一斉林型ないしはそれに近い構造を呈している。樹種構成はミズナラ占有率が70%以上で、その他サクラ類 (*Prunus* spp.)、カンバ類 (*Betula* spp.)、イタヤカエデ (*Acer mono*) 等によって構成されている。

なお、千歳市は、年平均気温が6.1℃で冷温帯の気候に位置しており、年間降水量は1167mmで、最高月が125mm、最低月57mmと、年間を通じて特に偏った降雨はみられない。最

深積雪深 84 cm である。

(2) 調査ならびに解析の方法

調査方法

- ① 供試木 100 本程度を単木的にしかも無作為に抽出した。
- ② 供試木の樹高を測竿で測定した。
- ③ 測定した樹高値より幹長を十等分する位置を算出し、各部位の直径を低い位置については括約のない輪尺により、また上部についてはペンタプリズム輪尺により測定した。ただし、シイタケ原木用の小径木の伐倒では一般に地面から 10 cm ほど上の部分が切断され、幹長が樹高とは等しくならないので、測定した樹高値から 10 cm 差し引いた値を十等分して梢端から順に 1/10, 2/10……の位置とした。
- ④ 上部直径測定 of 工程について調査した。
- ⑤ 供試木の一部を伐倒してもらい、ペンタプリズム輪尺を用いた場合の精度について調査した。

解析の方法

- ① ペンタプリズム輪尺を使用した場合の上部直径測定 of 工程およびその精度について検討した。
- ② 梢端から 9/10 の部位を基準直径とし、これを 1 とした相対直径、半径を算出した。
- ③ 幹形に近似する曲線として、ミズナラについてもスギの場合と同様に S 字を引き延ばしたような形がみられる場合には三次多項式を用いることとした。
- ④ 相対直径部位を x 、相対半径を y として最小二乗法によって幹曲線式 of 定数を決定した。
- ⑤ 求めた曲線式による相対半径の推定値と相対半径の実測値 (平均) と of 有意差について検討した。

(3) ペンタプリズム輪尺による測定 of 工程と精度

ペンタプリズム輪尺は、測定 of 際、対象木からの距離を任意にとることができ、手の届かない上部直径を測定するには非常に便利な器材である。また、熟練することによって、正確かつ迅速に直径値を読み取ることが可能とされているが、測定時 of 天候や上部直径部位 of 高低で、測定 of 工程に差の出ることが予想されたため、ミズナラ of 上部直径 of 測定に並行して、異なる天候下で of 直径部位別 of 所要時間について調査した (表一4)。それによると測定 of 所要時間として 2~3 m の高さ of 場合 20~30 秒、4~5 m では 30 秒、6~7 m では 40~60 秒ほど要することが知られた。また全般的にみて、晴天時 of 方がどの高さにおいても幾分短い時間で測定でき、また高さによる所要時間 of 変動も少ない傾向がみられた。これは、林内が明るいため視準孔内 of 読み取りが容易で、どの部位も比較的早く測定できたためと思われる。また上部直径 of 測定は、その部位が高くなるにつれて所要時間が長くなっているが、これは、樹幹が細くなって読み取る数値が小さくなったこと、また枝条が多くて見にくく、かつクローネの影響で暗い、等

表—4 ベンタブリズム輪尺による上部直径の測定時間

天候・時刻	時間(秒)	地上高				
		2~3m	3~4m	4~5m	5~6m	6~7m
晴天 午前10時	平均値	21	25	31	39	41
	範囲	17~27	19~35	20~45	25~63	30~70
曇天 午後3時	平均値	26	31	31	34	59
	範囲	22~31	21~41	27~39	29~42	58~62

表—5 ベンタブリズム輪尺の精度

	地上高				
	2~3m	3~4m	4~5m	5~6m	6~7m
誤差平均(mm)	6	8	6	8	5
対直径誤差率(%)	7.8	3.6	11.4	9.6	4.6
最大誤差(mm)	23	15	14	18	19
最小誤差(mm)	0	1	0	1	2

の理由によるものである。さらに、それぞれの高さにおける測定時間が、全般的に晴天時の方が幾分大きくバラつく傾向がある。それは、枝条・クローネにかかる部分と測定者の位置との関係、林冠の疎開している所と測定者の位置との関係等により判読の難易が大きく生じてくるためと考えられた。なお、普通の輪尺によって胸高直径等を測定する際の所要時間は5秒前後であった。

また、ここでは、供試木のうち一部を伐倒してもらい機会を得たので、ベンタブリズム輪尺による上部直径測定の精度についても検討した。その結果は、表—5に示す通りで、高さ2~7mの範囲での平均の誤差は5~8mm、誤差率は5~11%であった。誤差率の最大が幾分大きいことが懸念されるが、これらはごく少数現れたものであり、またこれは、測定者が輪尺の使用に熟練することによってかなり解決できる問題と考えられた。

III ミズナラの幹形と相対幹曲線

(1) ミズナラの幹形

まず、ミズナラの幹形について、伐倒した供試木23本の上部直径の実測データを用いて検討した(表—6)。その結果、スギの幹形とはほぼ同様に、その縦断面はS字を引き伸ばしたような曲線形を呈することが確かめられた(図—3)。そこで、幹曲線式として三次多項式を採用してその定数を求めたところ、幹曲線式

$$y=0.7204x-0.0823x^2-0.1121x^3$$

が得られた(表—7)。すなわちこの幹曲線式による相対半径の計算値と実測値との誤差は非常に小さく、またt検定においても有意差は認められなかった。

表-6 伐倒した供試木の測定結果

供試木の番号	樹高 (m)	胸高直径 (cm)	根元直径 (cm)	上部直径 (cm)								
				梢端からの相対位置								
				9/10	8/10	7/10	6/10	5/10	4/10	3/10	2/10	1/10
4	11.3	11.8	16.8	12.4	10.6	10.3	10.3	6.3	5.4	4.0	2.2	1.2
6	13.2	10.2	13.4	10.4	10.1	8.6	8.2	7.7	5.8	5.0	2.6	1.0
13	12.1	13.4	19.0	13.4	12.0	10.1	10.5	6.7	6.8	5.0	2.4	1.2
14	12.1	11.6	16.2	11.8	13.0	10.9	8.8	8.2	6.8	4.8	4.4	1.4
15	10.2	10.0	12.5	10.6	9.2	7.3	7.0	6.6	5.8	5.0	2.6	1.4
16	10.5	9.6	14.6	9.8	9.4	7.9	7.2	6.9	5.4	5.4	2.1	1.4
17	10.7	10.0	14.4	10.6	9.6	8.6	7.9	6.9	4.8	4.0	2.2	1.0
26	13.6	13.4	20.0	14.0	11.9	11.4	10.3	9.0	7.6	5.4	3.6	2.3
27	13.6	13.4	19.0	15.0	12.3	11.3	10.6	8.0	7.0	5.8	3.0	1.0
28	13.5	11.4	14.6	11.0	10.8	8.4	7.8	6.2	7.2	4.8	3.8	1.2
43	11.3	9.0	13.4	9.4	8.4	7.6	7.2	5.7	5.0	3.6	2.6	2.0
45	11.0	12.8	14.7	12.3	11.1	9.5	9.4	8.3	5.6	4.0	2.0	1.3
52	10.2	8.8	12.8	10.4	9.4	9.0	8.0	6.3	5.4	3.6	2.6	1.0
53	8.2	10.0	12.8	10.4	9.4	9.0	8.0	6.9	5.0	3.6	2.2	1.4
55	8.8	9.4	12.2	9.8	8.8	8.3	5.9	5.5	4.0	2.8	1.8	0.8
61	9.9	9.4	14.0	9.8	9.4	7.3	6.4	5.5	5.2	4.8	2.6	1.4
65	10.0	8.4	12.8	9.6	9.0	7.0	6.5	6.2	3.8	3.0	2.2	1.3
68	10.1	9.0	12.6	5.0	7.6	7.5	6.5	5.8	4.2	3.0	2.8	1.6
94	10.1	12.0	16.0	13.4	12.0	10.5	9.9	8.2	6.4	4.2	1.8	1.0
102	12.0	8.8	10.2	8.4	8.2	7.8	7.0	6.0	4.3	3.4	2.6	0.8
103	11.2	11.8	13.6	11.8	10.2	8.9	8.5	6.8	5.6	3.8	2.2	1.0
104	11.9	11.6	14.2	11.4	10.5	10.1	9.7	6.8	5.0	3.2	2.2	1.2
105	12.9	10.2	12.6	10.4	9.0	8.5	7.7	6.0	6.2	5.4	4.2	2.0

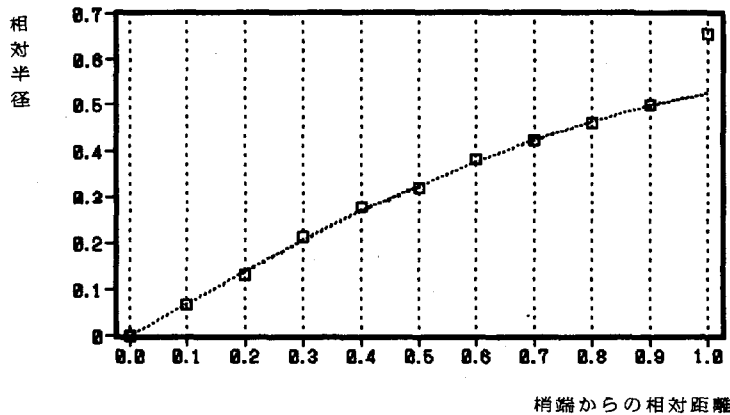


図-3 ミズナラの相対幹曲線 (1)

注) □ 伐倒した供試木の実測値

----- 幹曲線 a : 1/10~9/10部位の実測値によって求めたもの

- - - - 幹曲線 b : 5/10~9/10部位の実測値によって求めたもの

幹曲線の定数は表-7の通り

表—7 ミズナラの算出相対半径 (1)

梢端からの相対距離	実測値平均	計算値 a	計算値 b	t 値 a	t 値 b
0.0	0.000	0.000	0.000		
0.1	0.066	0.071	0.069	1.117	0.670
0.2	0.133	0.140	0.137	0.912	0.521
0.3	0.211	0.206	0.203	0.670	1.072
0.4	0.276	0.268	0.265	1.340	1.843
0.5	0.320	0.326	0.323	0.741	0.370
0.6	0.381	0.378	0.376	0.380	0.634
0.7	0.424	0.426	0.424	0.284	0.000
0.8	0.462	0.466	0.466	0.782	0.782
0.9	0.500	0.500	0.500		
1.0	0.656	0.526	0.527	12.195	12.101

注 1) 伐倒した供試木による

注 2) 幹曲線 a 式 (1/10~9/10部位の値による)

$$y=0.7204x-0.0823x^2-0.1121x^3$$

幹曲線 b 式 (5/10~9/10部位の値による)

$$y=0.7008x-0.0462x^2-0.1280x^3$$

(2) 上部直径の測定法

ついで、伐倒した供試木の上部直径の実測データを用いて、梢端に近い部分のデータを外し、梢端から 5/10~9/10 の部位のデータを用いた幹曲線式：b を求め、先に求めた梢端から基準直径部位までの全てのデータを用いた幹曲線式：a との比較を行った。その結果は、表—7、図—3 の通りである。図—3 から明らかのように、a, b 二つの幹曲線式はほぼ重なっていて、その差は非常に小さく、有意差は認められなかった。このことから、ミズナラにおいても樹幹の比較的下部の測定のみを行い、判読に困難を伴う比較的上部の測定を省略しても、従来のものに遜色のない細り表を調製することが可能と考えられた。

(3) ミズナラの相対幹曲線式

前項の結果より、幹曲線式を求める際に必要となる実測値は樹幹の比較的下部のもののみで充分であるということが確かめられたので、更にミズナラの立木状態の供試木を単木のかつ無作為に抽出し、梢端から 5/10~9/10 の位置の上部直径をペンタプリズム輪尺で測定した。供試木の概要は、表—8 の通りである。次に、これらのデータをもとに幹曲線式

$$y=0.8426x-0.6318x^2+0.3476x^3$$

を求めた。計算値の実測値への適合性を検討したところ、表—9、図—4 に示すように、幹曲線式の適合度はきわめて高いことが明かとなった。

そこで本研究においては、実測手数の簡略化をはかるため、さらに 5/10 以下の上部直径の一部の測定を省略することの可能性について検討した。この場合、梶原幹弘は 5/10 の位置における相対直径値が幹形と相関がきわめて高いことを報告しており¹⁻⁵⁾、またミズナラ供試木を用

表—8 伐倒木を含む供試木の概要

直径階 (cm)	供試木本数	平均樹高 (m)
6	1	11.6
8	9	8.8
10	31	10.7
12	20	11.3
14	17	12.6
16	5	12.2
18	4	12.0
合計	87	10.9

表—9 ミズナラの算出相対半径 (2)

梢端からの 相対距離	実測値 平均	計算値	t 値
0.0	0.000	0.000	*****
0.1	*****	0.078	*****
0.2	*****	0.146	*****
0.3	*****	0.205	*****
0.4	*****	0.258	*****
0.5	0.305	0.307	0.598
0.6	0.356	0.353	0.869
0.7	0.400	0.399	0.343
0.8	0.445	0.448	0.959
0.9	0.500	0.500	*****
1.0	0.658	0.558	15.989

いて算出した各相対半径値の変動係数にも 5/10 の部位のそれが特に高い値を示したので、5/10 の位置の上部直径は必ず測定することにし、
 Q_a 方式：5/10 の位置のほか、7/10、8/10、9/10 の位置のデータ

Q_b 方式：5/10 の位置のほか、8/10 と 9/10 の位置のデータ

Q_c 方式：5/10 の位置のほか、9/10 の位置のデータ

をそれぞれ用いた幹曲線式および上部半径を求めてみた。得られた幹曲線は以下のとおりである。

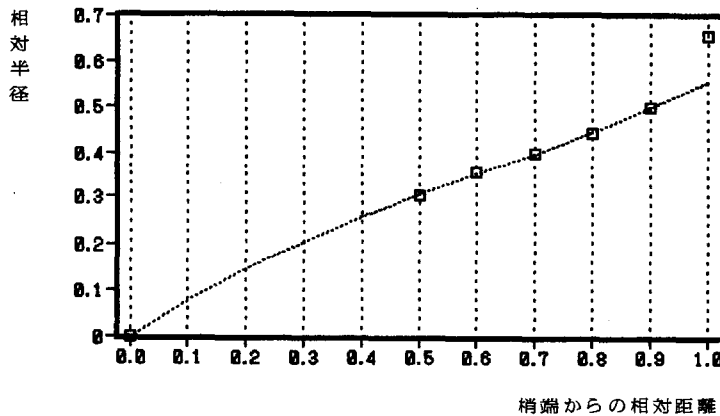
$$Q_a : y = 0.8394x - 0.6344x^2 + 0.3545x^3$$

$$Q_b : y = 0.8718x - 0.7390x^2 + 0.4306x^3$$

注1) 98本 (伐倒木を含む) の供試木による

注2) 梢端から5/10~9/10部位の測定

注3) 幹曲線式 $y = 0.8426x - 0.6318x^2 + 0.3476x^3$



図—4 ミズナラの相対幹曲線 (2)

注) □ 供試木 (伐倒木を含む) 98木の实測値

-----5/10~9/10部位の实測値によって求めたもの

幹曲線の定数は表—9の通り

$$Q_c : y = 0.7681x - 0.4161x^2 + 0.2000x^3$$

いずれの場合も測定部位における実測値と計算値との誤差に有意差は認められなかった(表-10)。また、図-5のように三通りの幹曲線を重ねてみたが、その差異は非常に小さかった。このことから、測定部位を多めにとって安全を見込んだとしても、b方式のように5/10を

表-10 ミズナラの算出相対半径(3)

梢端からの 相対距離	実測値平均	計算値 Q_a	計算値 Q_b	計算値 Q_c	t 値 Q_a	t 値 Q_b	t 値 Q_c
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	*****	*****	*****
0.1	*****	0.078	0.080	0.073	*****	*****	*****
0.2	*****	0.145	0.148	0.139	*****	*****	*****
0.3	*****	0.204	0.207	0.198	*****	*****	*****
0.4	*****	0.257	0.258	0.253	*****	*****	*****
0.5	0.305	0.305	0.305	0.305	0.000	0.000	0.000
0.6	0.356	0.352	0.350	0.354	1.159	1.739	0.580
0.7	0.400	0.398	0.396	0.402	0.687	1.374	0.687
0.8	0.445	0.447	0.445	0.451	0.640	0.000	1.919
0.9	0.500	0.500	0.500	0.500	*****	*****	*****
1.0	0.658	0.560	0.563	0.552	15.669	15.190	16.948

注 1) 98木(伐倒木を含む)の供試木による

注 2) 幹曲線 Q_a (梢端から5/10, 7/10~9/10部位の値による)

$$y = 0.8394x - 0.6344x^2 + 0.3545x^3$$

幹曲線 Q_b (梢端から5/10, 8/10, 9/10部位の値による)

$$y = 0.8718x - 0.7390x^2 + 0.4306x^3$$

幹曲線 Q_c (梢端から5/10と9/10部位の値による)

$$y = 0.7681x - 0.4161x^2 + 0.2000x^3$$

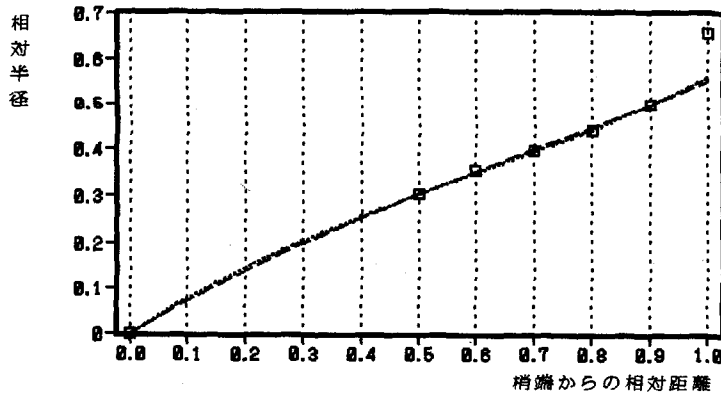


図-5 ミズナラの相対幹曲線(3)

注) □ 供試木(伐倒木を含む)98本の実測値

..... 幹曲線 Q_a : 5/10, 7/10~9/10部位の実測値によって求めたもの

--- 幹曲線 Q_b : 5/10, 8/10, 9/10部位の実測値によって求めたもの

--- 幹曲線 Q_c : 5/10と9/10部位の実測値によって求めたもの

幹曲線の定数は表-10の通り

含めた三カ所の測定のみで十分に幹形の表現が出来るように判断された。

IV ミズナラの細り表, 採材表の調製

(1) ミズナラ幹形のタイプ分け

前述のように、梶原幹弘は樹幹中央の相対直径を用いれば、相対幹形（正形数も）を相当正確に推定できるとしており、このことはミズナラの供試木でも検証された。すなわち、表—11に示すように、5/10の位置における相対半径が他の位置のものに比べてバラツキが大きいことが認められた。幹形は一般にその生育条件の違いによって異なってくるのが予想される。そこで、限られた供試木による細り表をより広い地域に適用させるため、ここでは幹形のタイプ分けを行ってみた。すなわち、このミズナラについて、5/10における相対半径を幹形のタイプ分けの基準とすることにし、その値が平均の0.3(0.276~0.325)程度の中庸、0.326以上のものを完満、逆に0.275以下のものを梢殺木として幹形を分け、タイプ別にまず細り表を調製してみた。この場合、幹曲線については前項において検討したことに基づき、3カ所の測定のみで十分に幹形の表現ができると考えられたので、幹曲線Q₀式を用いることにした。得られた幹曲線式は以下のとおりである。

表—11 各部位における変動係数

	r 0.5	r 0.6	r 0.7	r 0.8	r 0.9	r 1.0
平均値	0.305	0.356	0.400	0.445	0.500	0.658
標準偏差	0.031	0.032	0.027	0.029	0.000	0.058
変動係数	10.233	9.050	6.715	6.460	0.000	8.848

表—12 ミズナラの算出相対半径
タイプ1(完満)

梢端からの 相対距離	実測値 平均	計算値	t 値
0.0	0.000	0.000	*****
0.1	*****	0.097	*****
0.2	*****	0.177	*****
0.3	*****	0.243	*****
0.4	*****	0.298	*****
0.5	0.344	0.344	0.000
0.6	0.381	0.385	1.061
0.7	0.419	0.423	0.849
0.8	0.460	0.460	0.000
0.9	0.500	0.500	*****
1.0	0.654	0.545	7.973

注1) 幹曲線式 $y=1.0586x-0.9690x^2+0.4556x^3$

表—13 ミズナラの算出相対半径
タイプ2(中庸)

梢端からの 相対距離	実測値 平均	計算値	t 値
0.0	0.000	0.000	*****
0.1	*****	0.083	*****
0.2	*****	0.152	*****
0.3	*****	0.210	*****
0.4	*****	0.259	*****
0.5	0.304	0.304	0.000
0.6	0.356	0.347	*2.427
0.7	0.397	0.392	1.348
0.8	0.442	0.442	0.000
0.9	0.500	0.500	*****
1.0	0.660	0.569	10.516

注1) 幹曲線式 $y=0.9161x-0.8857x^2+0.5390x^3$

注2) * 5%水準で有意

タイプ1 (完満)

$$y=1.0586x-0.9690x^2+0.4556x^3$$

タイプ2 (中庸)

$$y=0.9161x-0.8857x^2+0.5390x^3$$

タイプ3 (梢殺)

$$y=0.4541x+0.0928x^2+0.0222x^3$$

これらによって求めた計算値は、表—12~14に示すように実測値にきわめてよく適合することが知られた。梶原幹弘はさらに進んで異なる部位の正形数を比較するなど、厳密に幹形のタイプ分けを行っているが¹⁻⁶⁾、以上ミズナラを対象とした本研究での検討によれば、5/10の位置の相対半径によるごく簡単なタイプ分けでも充分実用に供しうるように考えられた。

(2) ミズナラの細り表、採材表の調製

最後に、本研究において最終目的とするミズナラの細り表とそれに基づく採材表を、前述のようにタイプ分けして調製した。このうち採材表を示せば表—12のとおりであり、これは材長90cmのシイタケ原木が何本とれるかを示している。なお、採材表の精度を確かめるために、供試木のうち実際に伐倒し、玉切りした本数と採材表との適合度を検討してみた。表—15の()内の数字は、実際に玉切りされた本数を示している。これをみると若干の差異が認められるが、これは計算による採材本数と、現場での視角的な勘による採材の間に生じたずれであると考えられ、また、タイプ3に属するような梢殺の木について、一般には採材しないようなかなり細い部分まで無理に玉切りしたことによって生じた開きと考えられた。こうしたことから、採材表はほぼ正確に採材本数をとらえているといえよう。

おわりに

本研究において、以上のように相対幹曲線式を用いた細り表の調製について考察してきた。立木の伐倒を伴わず正確かつ容易に上部直径の測定を行うということについては、光学機器の一つ、ペンタプリズム輪尺を用いることによって問題解決が可能と考えられた。一方、同輪尺を用いて立木の上部直径を測定した報告等も若干みられるが⁶⁾、それらのほとんどはスギやヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) 等の人工林での試みにとどまっており、広葉樹林 (しかも天然林) への適用は皆無の状況にある。ミズナラ天然林を対象とした本研究の試みは、こうした器材を利用した細り表調製の有効性について、ある程度の実証をなし得たものとする。また、樹幹下部のデータのみによる幹形の推定に関しては、スギ等を対象としたいくつかの研究は行

表—14 ミズナラの算出相対半径
タイプ3 (梢殺)

梢端からの 相対距離	実測値 平均	計算値	t 値
0.0	0.000	0.000	*****
0.1	*****	0.046	*****
0.2	*****	0.095	*****
0.3	*****	0.145	*****
0.4	*****	0.198	*****
0.5	0.253	0.253	0.000
0.6	0.324	0.311	1.233
0.7	0.383	0.371	*2.404
0.8	0.434	0.434	0.000
0.9	0.500	0.500	*****
1.0	0.655	0.569	8.160

注1) 幹曲線式 $y=0.4541x+0.0928x^2+0.0222x^3$

注2) * 5%水準で有意

表一15 ミズナラの採材表 (千歳地方)

胸高直径 (cm)	樹 高 (m)									
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
7	2	2	3	3	3	4	4			
タイプ1										
8 (完満)	3	3	4	4	5	5	6	6		
9	4	4	5	5	6	7(7)	7	8	9	
10	4	5(6)	6	6	7(8)	8	8(10)	9	10	
11	5	5	6	7(7)	8	8	9	10	10	
12	5	6	7	7	8	9(8)	10(9)	10	11	
13	5	6	7	7	8(8)	8	9	10	10	
14	5	5	6	6	7	8	8	9	9	
15	4	5	5	6	6	7	7	8	8	
16		4	5	5	6	6	7	7	7	
17			4	5	5	6	6	6	7	
18				4	5	5	6	6	6	
19					4	5	5	5	6	

胸高直径 (cm)	樹 高 (m)									
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
7	1	2	2	2	3	3	3			
タイプ2										
8 (中庸)	2	3	3	4	4	4	5	5		
9	3	4	4(5)	5(5,5,6)	5(7)	6	6	7	7	
10	4	4	5	6(6,7)	6(7,8,8)	7	7(9)	8	8	
11	4	5	5	6	7	7	8	9(9)	9	
12	5	5	6	7(8)	7(7)	8(8)	9(9)	9	10	
13	5	5	6	7	7	8	8(8,9)	9(10)	9	
14	4	5	6	6	6	7	8	8(9)	9	
15	4	5	5	6	6	7	7	8	8	
16		4	5	5	6	6	7	7	8	
17			4	5	5	6	6	7	8	
18				5	5	5	6	6	7	
19					5	5	6	6	6	

胸高直径 (cm)	樹 高 (m)									
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
7	1	2	2	2	2	3	3			
タイプ3										
8 (梢殺)	2	2	3	3	3	4	4	4		
9	3	3	4	4	4	5	5	5	6	
10	3	4	4	5	5	6	6	6	7	
11	3	4	5	5	5	6	7	7	8	
12	4	4	5	5	6(9)	7	7	7	8	
13	4	4	5	5	6	6(8)	7	7(10)	8	
14	3	4	5	5	6	6	6	7	7	
15	3	4	4	5	5	6	6	6	7	
16		4	4	5	5	5	6	6	7	
17			4	4	5	5	5	6	6	
18				4	4	5	5	6	6	
19					4	5	5	5	6	

注) () 内の数字は実際に採材した本数

われているが⁶⁾、広葉樹を対象とした研究はほとんど着手されていない状況にある。本研究による手法は、伐倒木についても生立木についても適用が可能であり、したがって、他の広葉樹や、いまだ細り表の調製が行われていない多くの外来樹種を対象とした調製、さらには既存の細り表の検定、改訂等に有効であるように考えられる。また、今回調製したミズナラの細り表や採材表は、幹形をタイプ分けして調製したものであり、データを収集した千歳地方のみならず、同地方を含む比較的広い地域にわたって適用可能と考えられる。最後に、今後の課題として、樹齢によって幹形に違いが出ないかどうか、タイプ分けの基準に問題がないか等、資料木としてのデータを増やし、さらに考察を深めていくことが必要であろう。

引用文献

- 1) 梶原幹弘：樹幹中央断面積による林分材積の推定について，日林誌 51 (2)，33～40，1969
- 2) 梶原幹弘：正形数の推定とその林分材積測定への応用について，日林誌 51 (3)，49～56，1969
- 3) 梶原幹弘：スギ同齢林における相対幹曲線の変動について，日林誌 54 (10)，340～345，1972
- 4) 梶原幹弘：スギの相対幹曲線について，日林誌 55 (2)，63～70，1973
- 5) 梶原幹弘：相対幹形と正形数に関する既存の成果の，他の地域と樹種への転用について，京府大 学術報 農 39，54～61，1987
- 6) 梶原幹弘：相対幹曲線に基づく大分のスギ（ヤブググリ）同齢林の立木材積表，形数表および細り表の作成，京府大演報 33，13～29，1988
- 7) 鎌田藤一郎：北海道におけるスギ造林成績について（第II報），日林誌 62，110～112，1953
- 8) 国土庁土地局：土地分類図 01（北海道I），1975
- 9) 工藤 弘・菅野高穂：北限スギ人工林の施業法の体系化に関する研究（第一報），北大演研報 45 (3)，653～681，1988
- 10) 松井善喜・長内 力・馬場強逸・穴沢 博：トドマツ植栽木の立木材積表について，林試北支場業報 3，121～131，1955
- 11) 嶺 一三：測樹，46，朝倉書店，東京，1953
- 12) 諸戸清一：ストロームマツの立木材積表，北方林業 10(1)，14～15，1958
- 13) 中島廣吉：北海道立木材積表（メートル法の部），林友会北海道支部，札幌，1948
- 14) 大隅真一：幹形に関する研究(1)相対幹形について，日林誌 41(12)，471～479，1959
- 15) 大隅真一編：森林計測学，18～118，養賢堂，東京，1971
- 16) 大隅真一編：森林計測学講義，10～80，養賢堂，東京，1987
- 17) 林野庁計画課：立木材積表（東日本編），13～92，日本林業調査会，東京，1970
- 18) 鮫島和子：道南スギ立木材積表調製の概要，北方林業 13 (6)，13～18，1961
- 19) 篠原久夫：ヨーロッパトウヒ立木材積表の調製について，北方林業 22 (10)，290～293，1970
- 20) 武井富貴雄：ヒノキの生長量調査・細り表，長野県林試 38 年業務報，56～59，1963
- 21) 武井富貴雄・渡部 実：カラマツ樹幹の細りについて，日林誌 45，142～147，1963

Summary

Preparation of a standing tree volume table is currently limited primarily to the principal tree species and some other particular species and only to certain regions. The major reason is that it is assumed that preparation of a volume table requires preparation of a taper table,

which is done by a method utilizing a number of cut-down, test trees. That is to say, a certain amount of tree cutting is necessary to make the taper table, thus making progress difficult.

Therefore, in this study, we examined a possible method to prepare a relatively high-precision taper table by measuring the upper diameter of standing trees. We also examined for precision when a taper table is prepared when partially omitting measurement of the upper part, which is difficult to measure. We endeavored to prepare a taper table with enough precision for practical use in the forestry business. In practical terms, we made a random sampling of about 100 test trees from young *Quercus mongolica* var. *grosseserrata* forest, measured their upper diameters by a pentaprism caliper, and expressed the shapes of their trunks by the normal relative stem curve. We cut down some of the test trees to examine the precision of the pentaprism caliper measurements. The average error was 5 to 8 mm for trees ranging from 2 to 7 m in height, and the error rate was 5-11%. We therefore concluded that the pentaprism caliper may be considered appropriate for measuring the upper diameter of standing trees. The time required for measurement was 20-40 seconds, and we learned that measurement should be done either on a cloudless day or a cloudy yet bright day after the leaves have fallen.

We then confirmed that a cubic polynomial suits the trunk shape of the *Quercus mongolica* var. *grosseserrata* very well, and that it is feasible to prepare an accurate taper table from measurements of only the relatively lower part of the trunk.

In view of the above examination results, we decided to use data at positions 5/10, 8/10 and 9/10 from treetops to obtain the constant of the cubic polynomial, and prepared taper tables and utilizing log tables which classify trunk types of *Quercus mongolica* var. *grosseserrata* into three types, i. e. full body, standard body and tapering body.