

## 〈論文〉

## 奈良県におけるヒノキ同齢林の樹皮厚率

和口美明

Relative Bark Thickness for Even-aged Stands of Japanese Cypress  
(*Chamaecyparis obtusa* ENDL.) in Nara Prefecture

Yoshiaki WAGUCHI

奈良県内のヒノキ同齢林6林分から採取した118本のヒノキを対象に、地上高、個体、および林分の違いに関係なく樹皮厚率は一定とみなして有皮幹曲線から無皮幹曲線を推定する方法が適用できるかどうかを検証した。その結果、樹皮厚率は各個体では地上高に関係なく一定とみなせたが、個体や林分の違いに関係なく一定とはみなせなかった。しかしながら、樹皮厚率を全資料木について一定とみなしても、無皮直径を推定した際に生じる誤差は小さかった。したがって、今回118本の資料木から得た樹皮厚率の平均値(5.4%)は、奈良県のヒノキ同齢林を対象として有皮幹曲線から無皮幹曲線を推定する場合に、普遍的に適用できると考えられた。

## 1. はじめに

梢端から根元へ移るにつれて幹の無皮直径が増加していく経過を表示したものを細り表といい、その表を使えばどのような丸太の採材基準に対しても利用材積を算定できる。樹木の幹形は、樹種、地域、そして保育形式によって異なるので、細り表は樹種ごと、地域ごと、そして保育形式ごとに作成するのが一般的である。奈良県においては、細り表はスギ同齢林について十津川地方<sup>1)</sup>、吉野川流域<sup>2)</sup>、および奈良県全域<sup>3)</sup>を対象としたものが既に作成されている。一方、ヒノキ同齢林については細り表は現在のところ作成されておらず、早急な対応が望まれている。しかしながら、細り表を作成するには、無皮幹形の資料が必要であり、その資料を数多く収集するには数多くの立木を伐倒し、地上高別の無皮直径を測定しなければならないので、多大な時間と労力が掛かる。

梶原<sup>4,5)</sup>は、地上高、個体、および林分などの違いに関係なく樹皮厚率は一定とみなして有皮直径から樹皮厚を推定し、有皮幹曲線から樹皮厚を差し引いて無皮幹曲線を求める方法を提案した。奈良県のヒノキ同齢林においてもこの方法が適用できれば、新たに数多くの資料木を伐倒して地上高別に無皮直径を測定しなくても、既に様々な目的で収集された地上高別の有皮直径の測定結果と、地上高、個体、および林分の違いに関係なく一定とみなして求めた樹皮厚率から、無皮幹曲線を推定して細り表を作成することが可能である。

そこで本報告では、奈良県のヒノキ同齢林を対象とし

た細り表を作成するための前段階として、梶原<sup>4,5)</sup>の提案したこの方法が、奈良県のヒノキ同齢林に適用できるかどうかを検証するとともに、その方法を適用する際に用いる樹皮厚率を求めた。具体的には、まず、同一樹幹では地上高に関係なく梢端から根元まで樹皮厚率は一定とみなして、有皮幹曲線から無皮幹曲線を推定してよいかどうかを検証した。次いで、同一樹幹では地上高に関係なく梢端から根元まで一定とみなして求めた樹皮厚率が、個体や林分の違いに関係なく一定であるとみなせるかどうかを検証した。そして最後に、地上高、個体、および林分の違いに関係なく一定とみなして樹皮厚率を求め、その樹皮厚率を使って有皮幹曲線から無皮幹曲線を推定した場合の誤差を示すことによって、この方法が奈良県のヒノキ同齢林に適用できるかどうかを検討した。

## 2. 材料と方法

## 2.1 資料

資料は奈良県内のヒノキ同齢林6林分から採取した118本のヒノキで、資料林分の所在地、林齢、成立本数、平均樹高、および平均胸高直径と、採取した資料木の本数、樹高、および胸高直径は表1のとおりである。資料林分の林齢は11年生から72年生まで幅広く、異なった生育段階から抽出した。資料林分における植栽本数や現在までの密度管理状態は、奈良県の民有林で一般的に行われているもので、極端に異なる保育管理がなされた林分は含まれていない。資料木は、林分ごとに被圧木を除い

表1 資料林分と資料木の概要

林分 番号	所在地	林齢 (年生)	成立 本数 (本a)	平均 樹高 (m)	平均 胸高直径 (cm)	資料木						
						本数 (本)	樹高(m)			胸高直径(cm)		
							平均	最大	最小	平均	最大	最小
1	東吉野村高見山	11	5250	5.5	6.8	20	5.8	7.6	4.1	6.4	9.2	3.6
2	室生村向測	15	3006	10.3	12.9	15	10.1	11.0	8.9	11.8	14.2	9.6
3	野迫川村平	18	3828	9.4	10.9	20	9.4	11.4	7.6	11.9	17.5	7.2
4	室生村向測	29	2576	12.7	12.5	28	12.9	16.0	7.6	12.7	17.1	6.1
5	高取町高取山	41	1820	16.6	21.0	15	16.3	18.7	14.3	18.6	24.7	13.7
6	十津川村旭	72	1000	16.8	29.1	20	16.2	18.2	14.8	24.0	32.4	18.5

て胸高直径の大きいものから小さいものまで一様に抽出した。

資料木を伐倒した後、地際部(地上高0.2m)から梢端に向かって0.5~2m間隔で有皮半径と無皮半径を測定するための円板を採取した。各円板における有皮半径と無皮半径を、斜面の山側と谷側、そしてそれに直交する方向を併せた4方向で測定し、平均値を求めた。半径はノギスを用いて0.1mm単位で測定した。各円板における樹皮厚率は、有皮半径から無皮半径を差し引いて求めた樹皮厚の、有皮半径に対する割合(%)として算出した。

## 2.2 検証方法

同一樹幹における梢端から根元までの樹皮厚率の変化を調べたこれまでの報告では、樹皮厚率は樹幹の上部では梢端から根元に向かって急激に減少するが、樹幹の中央部あるいはそれよりもやや上部から根元までは一定、あるいは緩やかに減少することが確認されている<sup>4)</sup>。また、本吉ら<sup>6)</sup>はスギについて、樹皮厚率が梢端から根元に向かって樹幹の上部で急激に、樹幹の下部で緩やかに減少する傾向を認め、梢端からの相対位置  $x$  と樹皮厚率  $y$  との間に  $y = \alpha x^\beta$  という関係式を適用している。樹皮厚率におけるこのような傾向は、図1に示すように今回採取したすべての資料木で確認された。そこで、同一樹幹では地上高に関係なく梢端から根元まで樹皮厚率は一定であるとみなして、有皮幹曲線から無皮幹曲線を推定してよいかどうかを検証するために、以下に示す2つのモデルを構築した。

$$\text{モデル Ia: } r = (1 - p/100)f(x)$$

$$\text{モデル Ib: } r = (1 - \alpha x^\beta/100)f(x)$$

ここで、 $x$  は梢端からの距離(m)、 $r$  は  $x$  における無皮半径(cm)、 $f(x)$  は有皮幹曲線、 $p$  は梢端から根元まで一定とみなした樹皮厚率(%), そして、 $\alpha$  および  $\beta$  はパラメータを示す。モデル Ia は樹皮厚率は一定とみなして有皮幹曲線から無皮幹曲線を推定するモデルを、モデル Ib は樹皮厚率は梢端から根元に向かって樹幹の上部で急激に、樹幹の下部で緩やかに減少するとみなして有

皮幹曲線から無皮幹曲線を推定するモデルを表している。

モデル Ia のあてはめは次のように行った。まず有皮幹曲線を(1)式で与えた。

$$f(x) = ax + bx^2 + cx^3 + dx^{20} \quad (1)$$

ここで、 $x$  は梢端からの距離(m)、 $f(x)$  は  $x$  における有皮半径(cm)、 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、および  $d$  はパラメータを表す。一般に針葉樹の幹形を表現する幹曲線式としては3次の多項式がよく適合する<sup>7)</sup>が、今回は幹足部をより正確に表現するために、3次の多項式に20次の項を加えた(1)式<sup>5)</sup>を採用した。次いで、有皮半径の測定値から資料木

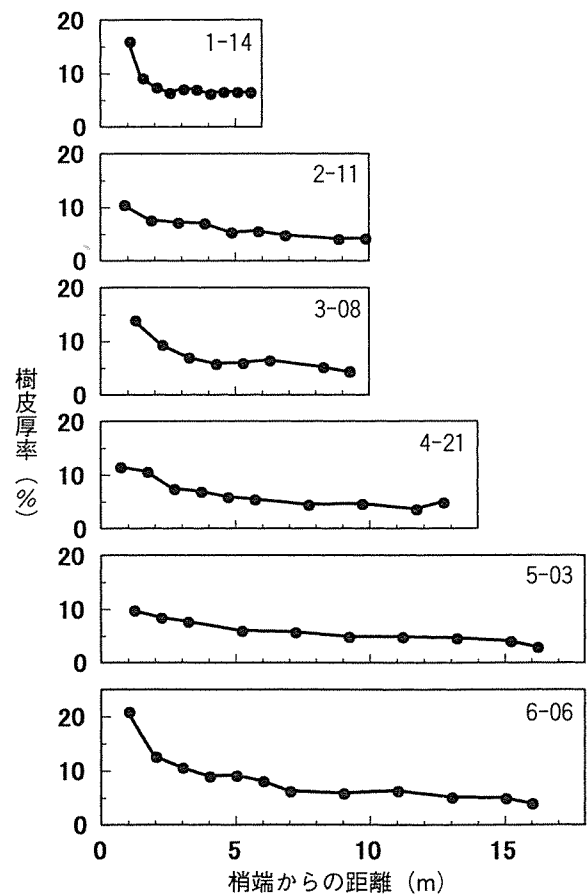


図1 梢端から根元までの樹皮厚率の例  
(図中の記号は、資料林分番号—資料木番号、を示す。)

ごとに有皮幹曲線のパラメータ  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、および  $d$  を最小自乗法で推定した。そして最後に、有皮幹曲線から推定した有皮半径と、無皮半径の測定値から、樹皮厚率  $P$  を最小自乗法で推定した。一方、モデル I b はモデル I a で求めた有皮幹曲線から推定した有皮半径、梢端からの距離、および無皮半径の測定値から、 $\alpha$  および  $\beta$  を最小自乗法で推定してあてはめた。

次に、同一樹幹では地上高に関係なく梢端から根元まで一定とみなして求めた樹皮厚率が、個体や林分の違いに関係なく一定とみなせるかどうかを検証するために、以下に示す 3 つのモデルを構築した。

$$\text{モデル II a : } r_{ij} = (1 - \bar{P}/100) f_{ij}(x)$$

$$\text{モデル II b : } r_{ij} = (1 - \bar{P}_i/100) f_{ij}(x)$$

$$\text{モデル II c : } r_{ij} = (1 - P_{ij}/100) f_{ij}(x)$$

ここで、 $x$  は梢端からの距離 (m)、 $r_{ij}$  は資料林分  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, 6$ ) から採取した  $j$  番目の資料木の無皮半径 (cm)、 $f_{ij}(x)$  は資料林分  $i$  から採取した  $j$  番目の資料木の有皮幹曲線、そして  $\bar{P}$  はすべての資料林分から採取したすべての資料木の樹皮厚率の平均値 (%)、 $\bar{P}_i$  は資料林分  $i$  から採取したすべての資料木の樹皮厚率の平均値 (%)、 $P_{ij}$  は資料林分  $i$  から採取した  $j$  番目の資料木の樹皮厚率 (%) を示す。モデル II a は樹皮厚率は個体や林分の違いに関係なく一定とみなして有皮幹曲線から無皮幹曲線を推定するモデルを、モデル II b は樹皮厚率は林分ごとに異なるとみなして推定するモデルを、そしてモデル II c は樹皮厚率は個体ごとに異なるとみなして推定するモデルを表している。

3 つのモデルのあてはめは次のように行った。資料木ごとの有皮幹曲線には、モデル I a をあてはめた際に推定した有皮幹曲線を用いた。樹皮厚率  $\bar{P}$ 、 $\bar{P}_i$ 、 $P_{ij}$  は、モデル I a の方法で推定した樹皮厚率から求めた。

### 2.3 モデルの比較方法

モデルのあてはまりの良さは、赤池情報量基準 AIC<sup>8)</sup> を用いて比較した。AIC は (2) 式のように定義されている。

$$AIC = n \log(s/n) + 2m \quad (2)$$

ここで、 $n$  はデータ数、 $s$  は残差平方和、そして  $m$  はパラメータ数を示す。AIC の差が 2 以上である場合、AIC の小さいモデルがよりあてはまりの良いモデルと判断できる。

モデル I a とモデル I b のあてはまりの良さは、資料木ごとに 2 つのモデルの AIC を (2) 式に従って求め、その大きさを比較することによって判断した。モデル I a のパラメータ数は樹皮厚率  $P$  と分散の 2 つ、モデル I b のパラメータ数は  $\alpha$ 、 $\beta$ 、および分散の 3 つである。

一方、モデル II a、II b、および II c のあてはまりの良さも、3 つのモデルの AIC を (2) 式に従って求め、その大きさを比較することによって判断した。モデル II a、II b、および II c の AIC は次のとおりである。

$$\text{モデル II a : } AIC = (\sum_i \sum_j n_{ij}) \log(\sum_i \sum_j s_{ij} / \sum_i \sum_j n_{ij}) + 2 \times 2$$

$$\text{モデル II b : } AIC = \sum_i \{ (\sum_j n_{ij}) \log(\sum_j s_{ij} / \sum_j n_{ij}) + 2 \times 2 \}$$

$$\text{モデル II c : } AIC = \sum_i \sum_j \{ n_{ij} \log(s_{ij} / n_{ij}) + 2 \times 2 \}$$

### 2.4 無皮直径の推定誤差

地上高、個体、および林分の違いに関係なく樹皮厚率は一定とみなして求めた樹皮厚率  $\bar{P}$  を使って、有皮幹曲線から無皮幹曲線を推定した場合に生じる無皮直径の推定誤差を知るために、有皮半径と無皮半径を測定したすべての円板を対象に無皮直径の推定誤差を調べた。各円板における無皮直径の推定誤差は、モデル II a で推定した無皮半径から無皮半径の測定値を差し引いた値を 2 倍して求めた。

## 3. 結果と考察

### 3.1 地上高と樹皮厚率

モデル I a とモデル I b のあてはまりの良さを比較した結果を図 2 に示す。林分 1、2、および 5 では、モデル I a が採択された資料木が最も多かった。また、林分 3 および 4 では、2 つのモデルの優劣が判断できなかった資料木が最も多く、次いでモデル I a、モデル I b の順であった。そして林分 6 では、モデル I a が採択された資料木とモデル I b が採択された資料木の数は等しかった。資料木全体をみると、資料木総数 118 本のうちモデル I a が採択された資料木は 56 本で全体の 47%、モデル I b が採択された資料木は 20 本で全体の 17%、そして 2 つのモデルの優劣が判断できなかった資料木は 42 本

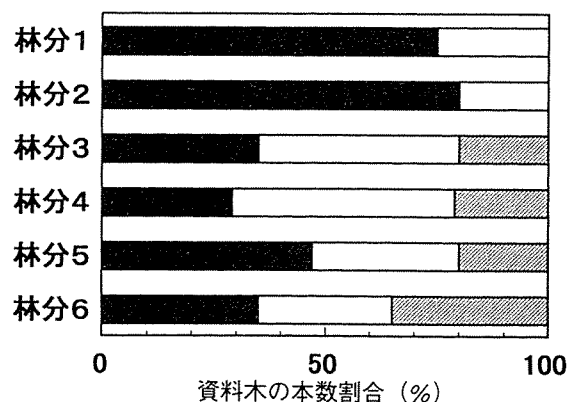


図 2 モデル I a とモデル I b の比較結果

凡例 ■ : モデル I a が採択された資料木  
 □ : 2 つのモデルの優劣が判断できなかった資料木  
 ▨ : モデル I b が採択された資料木

で全体の36%であった。この結果は、樹皮厚率は樹幹の上部で急激に、樹幹の下部で緩やかに減少するとみなして有皮幹曲線から無皮幹曲線を推定するモデルよりも、樹皮厚率は地上高に関係なく梢端から根元まで一定とみなして推定するモデルの方があてはまりが良いことを示している。また、2つのモデルの優劣が判断できなかった資料木が全体の36%もあったことは、2つのモデルにおけるあてはまりの良さの違いが僅かであることを示している。

梶原<sup>4)</sup>は、大分および宮崎のスギを対象に梢端から根元にかけての樹皮厚率の変化を調査した。その結果、樹皮厚率は梢端から、樹高の10分の7の高さ付近までは急激に減少するが、そこから根元までは一定あるいは緩やかに減少することを示した。樹皮厚率におけるこのような傾向は、図1に示したように今回採取したすべての資料木で確認された。したがって、奈良県のスギにおける樹皮厚率もまた、梶原<sup>4)</sup>の調査したスギと同様、樹幹の上部では梢端から根元に向かって急激に減少し、樹幹の中央部あるいはそれよりもやや上部から根元までは一定、あるいは緩やかに減少すると考えられる。

そのような樹皮厚率の推移からすると、同一樹幹では地上高に関係なく梢端から根元まで樹皮厚率は一定とみなして有皮幹曲線から無皮幹曲線を推定すれば、無皮直径は樹幹の上部で過大に、下部で過小に推定されることになる。そしてその誤差は梢端に近づくほど急激に大きくなる。それにもかかわらず、今回の比較結果では、樹皮厚率は地上高に関係なく梢端から根元まで一定であるとみなして有皮幹曲線から無皮幹曲線を推定するモデルⅠaが採択された。その原因は、モデルⅠaのように無皮幹曲線を有皮幹曲線と樹皮厚率の積として推定する場合、有皮直径が小さくなれば樹皮厚率が内包する誤差が無皮直径の推定誤差に与える影響も小さくなるので、有皮直径の小さい樹幹上部における無皮直径の推定誤差は、有皮直径の大きい樹幹下部のそれと比べて大差ないからであると考えられる。したがって、奈良県のスギの無皮幹曲線は、同一樹幹では地上高に関係なく梢端から根元まで樹皮厚率は一定であるとみなして有皮幹曲線から推定できるといえよう。

### 3.2 個体および林分の違いと樹皮厚率

モデルⅡaにおける樹皮厚率 $\bar{P}$ は5.4%、モデルⅡbにおける樹皮厚率 $\bar{P}_i$  ( $i=1,2,\dots,6$ )は、それぞれ6.9%、5.2%、5.4%、4.8%、4.7%、5.3%であった。そしてモデルⅡcにおける樹皮厚率 $P_{ij}$ の最大値と最小値は8.7%と3.6%であった。モデルⅡa、Ⅱb、およびⅡcのAICはそれぞれ-4358、-4774、および-4626で、モデル

ⅡbのAICが最も小さく、次いでモデルⅡc、モデルⅡaの順となった。この結果は、3つのモデルのうち樹皮厚率は林分ごとに異なるとみなして有皮幹曲線から無皮幹曲線を推定するモデルが最もあてはまりが良く、個体や林分の違いに関係なく一定とみなして推定するモデルが最もあてはまりが悪いことを示している。

これまでに報告されたスギ、ヒノキ、アカマツおよびカラマツにおける胸高部での平均樹皮厚率と胸高直径との関係では、樹皮厚率は胸高直径が大きくなるにつれて双曲線的な減少を示している<sup>9)</sup>。資料林分ごとの樹皮厚率の平均値は、林分6を除けば平均胸高直径の小さい林分1、林分2、および林分3で大きく、平均胸高直径の大きい林分4および林分5で小さい値を示している。したがって、奈良県のスギ同齢林における林分ごとの樹皮厚率もまた、林分の平均胸高直径が大きくなるにつれて減少する可能性がある。しかしながら、本報告では資料林分数が少ないので、この点についてはこれ以上言及できない。奈良県のスギ同齢林における林分ごとの樹皮厚率を求めるためには、資料を追加して林分の平均胸高直径、言い換えれば、生育段階ごとの検討が必要であろう。

個体や林分の違いに関係なく樹皮厚率は一定とみなして有皮幹曲線から無皮幹曲線を推定するモデルⅡaは、今回の比較結果では最もあてはまりが悪かった。しかしながら、樹皮厚率 $\bar{P}$ と、最も大きい値を示した林分1の樹皮厚率 $\bar{P}_1$ との差は-1.5%、最も小さい値を示した林分5の樹皮厚率 $\bar{P}_5$ との差は+0.7%であり、この差によって生じる無皮直径の推定値の差は、有皮直径10cmにつきわずかに+1.5mmと-0.7mmである。奈良県スギ林分収獲予想表<sup>10)</sup>に記載されている80年生スギの平均胸高直径は、最も大きいもので24.6cmであることを考慮すると、モデルⅡaを採用しても実用上問題となるような大きな誤差が生じる場合は極めて少ないと考えられる。また、先に述べたように、林分ごとの樹皮厚率の違いを平均胸高直径を独立変数としてモデル化することも困難であるので、この点からもモデルⅡaの採用は合理的であると言える。

### 3.3 無皮直径の推定誤差

地上高、個体、および林分の違いに関係なく樹皮厚率は一定とみなして求めた樹皮厚率 $\bar{P}$ を使って、有皮幹曲線から無皮幹曲線を推定した場合の誤差を、林分別、地上高別に示したものが図3である。最も林齢の若い林分1においては、樹幹下部から上部にかけて、無皮直径の推定値はいずれも過大となっている。一方、林分2から林分6においては、無皮直径の推定値は樹幹下部で過小

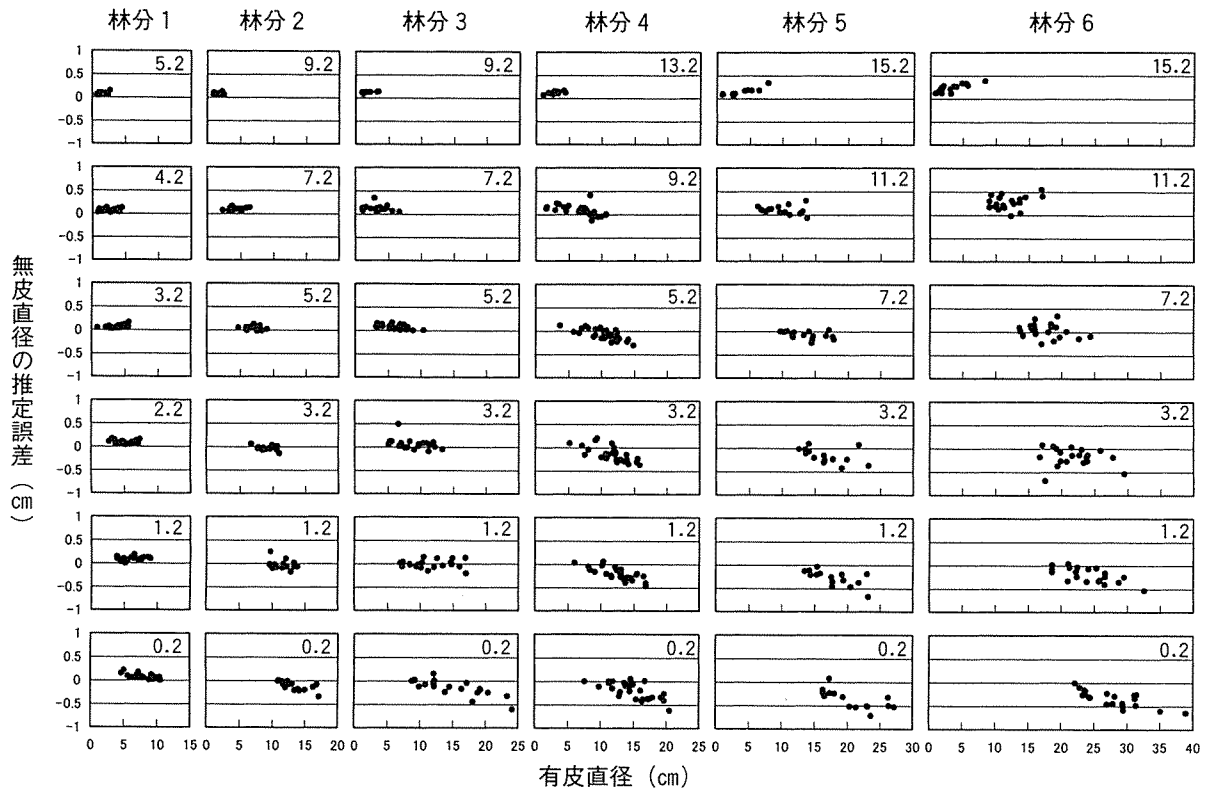


図3 無皮直径の推定誤差 (図中の数字は地上高(m)を示す。)

となり、地上高が高くなるにつれてその推定値は過大へと変化している。無皮直径の推定誤差におけるこのような傾向は、先に検討した同一樹幹における梢端から根元までの樹皮厚率の現実の推移に対して、樹皮厚率は地上高に関係なく梢端から根元まで一定とみなしたことから、林分の平均胸高直径と樹皮厚率の関係に対して、個体や林分の違いに関係なく樹皮厚率は一定であるとみなしたことから当然予想される結果である。

また、無皮直径の推定値が過小となっている樹幹下部では、いずれの林分でも有皮直径が大きくなるにつれて無皮直径の推定値は過大から過小へと変化している。この結果は、樹幹下部では同一林分内であっても樹幹直径が大きくなるにつれて樹皮厚率が小さくなる傾向があることを示している。そしてこのことは、樹皮厚率は個体ごとに異なるとみなすモデルⅡcの方が、樹皮厚率は個体や林分の違いに関係なく一定であるとみなすモデルⅡaよりもあてはまりが良かったことと符合する。しかしながら今回の検討結果では、モデルⅡcは林分ごとに樹皮厚率は異なるとみなすモデルⅡbよりもあてはまりが悪かった。この点についても今後資料を追加して再度検討する必要がある。

図3に示したように、無皮直径の推定誤差のほとんどは±0.5cmに収まっており、±1cmを超える値は1つもなかった。ここに示した誤差は樹皮厚率 $\bar{P}$ を求めた資料

木を対象に算出した値であるので、本来はもう少し大きいかもしれない。その点を考慮してもこの程度の誤差であれば、細り表を作成する際にはあまり問題にならないと考えられる。したがって、生育段階ごとに樹皮厚率を求めるために必要な資料が十分には揃っていない現状を勘案すると、今回得た樹皮厚率 $\bar{P}=5.4\%$ を、地上高、個体、および林分の違いに関係なく一律に適用して、有皮幹曲線から無皮幹曲線を推定する方法は、奈良県のヒノキ同齢林における無皮幹形を推定するための1つの方法として許容できよう。

#### 4. おわりに

本報告では、地上高、個体、および林分の違いに関係なく樹皮厚率は一定とみなして有皮幹曲線から無皮幹曲線を推定する方法が、奈良県のヒノキ同齢林に適用できることを示した。そして、その方法を適用する際に用いる樹皮厚率は5.4%となった。奈良県のヒノキ同齢林における有皮幹曲線は、新たに数多くのヒノキを伐倒しなくても、既に様々な目的で収集された地上高別の有皮直径の測定結果、例えばヒノキ立木幹材積表調整<sup>11)</sup>のために収集された資料などを使って求めることができる。次の報告では、それらの資料を使って奈良県におけるヒノキ同齢林の有皮幹曲線を求めるとともに、その有皮幹曲

線と今回得た樹皮厚率を使って無皮幹曲線を推定することによって細り表を作成する。

### 引用文献

- 1) 上田富茂：細り表作成に関する研究. 奈良県林業指導所報告. 2, 20-31 (1967)
- 2) 上田富茂：吉野川流域におけるスギの細りについて. 奈良県林試研報. 4, 1-39 (1973)
- 3) 梶原幹弘：相対幹曲線に基づく奈良県スギ同齡林の立木材積表、形数表および細り表. 京都府大演習林報. 36, 1-28 (1992)
- 4) 梶原幹弘：相対幹曲線と関連しての樹皮厚率について. 日林誌. 55(4), 132-139 (1973)
- 5) 梶原幹弘：相対幹形—その実態と利用—. 森林計画学会出版局. 東京. 138pp 1993.
- 6) 本吉瑠璃夫・本城尚正・妹尾俊夫：樹皮厚率の表わし方について. 京都府大演習林報. 10, 28-33 (1966)
- 7) 大隅眞一：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)
- 8) 坂元慶行・石黒真木夫・北川源四郎：情報量統計学(情報科学講座A・5・4). 共立出版株式会社. 東京. pp236 1983.
- 9) 大隅眞一・梶原幹弘・大内幸雄・今永正明・菅原聡・北村昌美・柴田信明・石川善朗：森林計測学講義. 株式会社養賢堂. 東京. pp287 1987.
- 10) 奈良県林道課：スギ・ヒノキ施業体系別林分収穫予想表. 奈良県 (1980)
- 11) 上田富茂：奈良県の民有林を対象とするヒノキ立木幹材積表の調整について. 奈良県林試研報. 4, 40-82 (1973)

(2002年10月31日受理)