論　文

樹木の生長解析法に関する研究（3）
普通採材の断面を利用する樹幹析解法（その1）
——胸高直径の推定——

藤　本　幸　司*

Studies on the Method of Analysis of Tree Growth (3)
On the Stem Analysis using Cross Sections in an ordinary Log-Making (1)
——Estimation of Breast-Height Diameter——

Kōji FUJIMOTO

Synopsis: This report deals with the estimation of diameter (b.h.) of the age grade in a stem, using cross sections in an ordinary log-making. Examined methods are as follows;

m : Diameter of the age grade in a stem.
n : Diameter of the stem with bark.
0.1, 1.3, 2.1, 4.1 : Height of the cross section.
K : $m_{1.3}/n_{1.3}$ estimated from $m_{0.1}/n_{0.1}$, using the correlation curve between $m_{1.3}/n_{1.3}$ and $m_{0.1}/n_{0.1}$ (Fig.1-curve II).
A : Diameter of the age grade at the maximum of $m_{2.1}/m_{0.1}$.
B : Diameter of the age grade at the maximum of $m_{4.1}/m_{0.1}$.

Method I　$m_{1.3}=n_{1.3}\cdot m_{0.1}/n_{0.1}$

Method II　$m_{1.3}=n_{1.3}\cdot K$

Method III　at $m<A$

$$m_{1.3}=\frac{m_{2.1}}{(m_{2.1}/m_{0.1})+(n_{2.1}/n_{1.3})-(A_{2.1}/A_{0.1})}$$

at $m\geq A$

$$m_{1.3}=\frac{m_{2.1}}{n_{2.1}/n_{1.3}}$$

Method IV　at $m<B$

$$m_{1.3}=\frac{m_{4.1}}{(m_{4.1}/m_{0.1})\cdot(n_{4.1}/n_{1.3})\cdot(B_{0.1}/B_{4.1})}$$

at $m\geq B$

* 森林計画学研究室　助教授

$$m_{1.3}=\frac{m_{4.1}}{n_{4.1}/n_{1.3}}$$

Outline of the results is as follows (Table 2);

1) Method Ⅲ has the smallest error among four methods.

2) In making 4m log-woods, method Ⅱ or Ⅳ can be used.

3) Except method Ⅱ, the error shows generally a negative trend (Fig. 5).

4) Except method Ⅲ, the error shows generally an upward trend according as a stem increases in size (Table 3).

5) Method Ⅰ is very simple, but it has the largest error.

要 旨 普通採材を行なったときの断面を利用して，齢階胸高直径の推定を試みた。推定方法として四つの方法を適用したが，検討の結果を要約すれば，次のとおりである（Table 2）。

1) 樹幹を2m材に採材する場合には，第Ⅲ法が最も誤差（絶対値）が小さく，これを用いるのが適当である。しかし，この方法は4m材に採材する場合には，用いることができない。

2) 4m材に採材する場合には，第Ⅱ法あるいは第Ⅳ法が適する。両者のあいだには有意の差が認められない。

3) 第Ⅱ法を除き，誤差の符号は，一般に負に偏する傾向が認められる（Fig. 5）。しかし，第Ⅱ法の誤差は正負ほぼ相半ばして出現し，符号を考慮に入れた場合の平均値は非常に小さい。したがって，多数の樹幹を取扱い，その平均的資料を求めようとする場合など，この第Ⅱ法が最も適していると言える。

4) 第Ⅲ法を除き，樹幹が大きくなるほど，誤差平均値も大きくなる傾向が認められる(Table 3)。特にこの傾向は，第Ⅰ法において著しく，析解対象が大径木の場合には，第Ⅰ法の適用は避けるべきである。

5) 第Ⅰ法は計算が簡単であるが，最も大きい誤差を与える。

は じ め に

現在最も普通に用いられている樹幹析解法は，2m区分Huber式による方法である。この方法は，胸高を1.3mとした場合には，地上0.3m，1.3m，3.3m，5.3m……の円板を採取する。すなわち，普通採材を行なう場合の玉切り位置と，まったく異なった位置で，樹幹を鋸断しているのである。このことは，材の利用上，量的にもまた質的にも，大きな損失と言わねばならない。特に，胸高円板を採取することは，その最たるものであろう。

ここに筆者は，普通採材を行なったときの断面を利用して，2m区分Huber式による樹幹析解法と同等，あるいはそれ以上の成果をあげうるような析解方法の考究を試みたのである。ところで普通採材の場合，胸高断面に対して直接測定のできないことが，まず第一の問題であると考えられる。胸高直径は，単木または林木に関する諸要素測定の基礎ともなる重要な因子であるから，今回は普通採材断面を利用しての齢階胸高直径推定方法につき検討した。その結果を報告する。

本稿を草するにあたり，山畑教授には種々ご指導ならびにご助言を賜わった。ここに記して，深厚なる謝意を表する次第である。

材料および方法

愛媛大学農学部付属演習林米野々事業区産スギ27本を供試した(Table 1)。これら供試木からは，胸高を地上1.3mとし，2m区分Huber式による求積に必要な個所の円板，および伐採点を地上0.1mとし，普通採材（2m材）を行なった場合の各切り口を含む円板とを採取した。なお，考察の対象になる齢階総数は151個である。

Table 1　Sample trees.

No.	Age	Diameter	Height	Volume	H/D
		cm	m	m³	
1	25	15.95	15.30	0.1631	95.9
2	22	14.31	13.93	0.1043	97.3
3	23	14.91	13.25	0.1159	88.9
4	24	15.87	15.48	0.1603	97.5
5	44	24.97	22.20	0.4991	88.9
6	24	14.57	14.50	0.1369	99.5
7	25	16.71	16.25	0.1678	97.2
8	25	13.60	13.30	0.0950	97.8
9	44	24.38	20.05	0.4589	82.2
10	21	18.10	14.81	0.1871	81.8
11	25	16.82	16.30	0.1847	96.9
12	23	13.95	13.48	0.1072	96.6
13	23	18.52	14.98	0.1929	80.9
14	28	16.85	16.20	0.1824	96.1
15	27	15.79	15.15	0.1643	95.9
16	33	37.45	21.05	0.9896	56.2
17	45	37.95	24.68	1.2642	65.0
18	24	17.30	15.22	0.1806	88.0
19	23	20.50	16.15	0.2379	78.0
20	26	17.10	12.81	0.1358	71.2
21	26	16.40	12.53	0.1244	76.4
22	27	19.50	16.83	0.2686	86.3
23	27	16,80	15.80	0.1773	94.0
24	24	16,17	14.75	0.1586	91.2
25	28	16.87	15.31	0.1582	90.8
26	24	19.25	16.30	0.2150	84.7
27	27	18.75	14.90	0.2047	79.5

胸高直径の推定には，次の四つの方法を適用した。ただし，nは有皮直径を，mは推定しようとする齢階の直径を，また数字は断面高を示すものとする。

第Ⅰ法　各齢階直径の有皮直径に対する割合は，断面高によって異なるが，断面高0.1mと1.3mとのあいだでは，その差は小さいものと仮定して，次式より各齢階の胸高直径を推定する。

$$m_{1.3}=\frac{n_{1.3}\cdot m_{0.1}}{n_{0.1}}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

ところで，(1)式においては，実際の$m_{1.3}$の値が0のときにも，ある値を与えることになる。したがって，本法における断面高0.1mの各直径は，樹高が1.3mに達したときの，断面高0.1mの直径（Δd……計算により求める*)を差引いて用いねばならない。

*Δd＝断面高0.1mにおける５年生の直径×1.3/５年生の樹高

第Ⅱ法　各齢階直径の有皮直径に対する割合は，断面高0.1mと1.3mのあいだでは，**Fig.** 1のごとき関係にある（ただし，断面高0.1mにおける各直径からは，第Ⅰ法と同様にΔdを差引く)。この関係を最小自乗法で求め，さらに現実の資料に適するよう，一部フリーハンドで修正した（**Fig.** 1の曲線Ⅱ)。この曲線を用いて，$m_{0.1}/n_{0.1}$の値に対応する$m_{1.3}/n_{1.3}$を求め，次式から胸高直径を推定する。

$$m_{1.3}=n_{1.3}\ (m_{1.3}/n_{1.3})_{推定}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

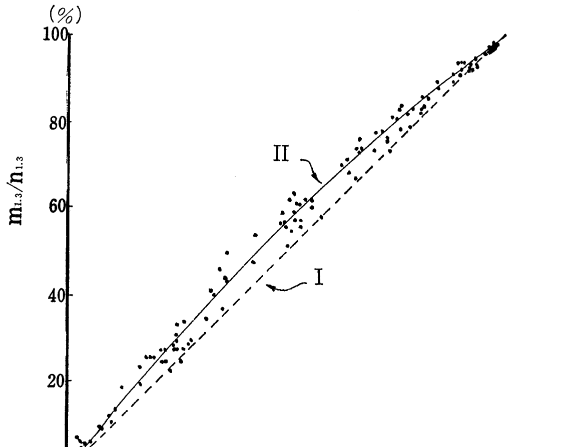

Fig. 1　**The relation between percentage of** $m_{0\cdot1}/n_{0\cdot1}$ **and of** $m_{1\cdot3}/n_{1\cdot3}$.

第Ⅲ法　$m_{2.1}/m_{0.1}$は，個樹ごとに異なるある齢階において極大値を有する。また$m_{2.1}/m_{1.3}$は，ある齢階に達するまでは漸増するが，それ以後はほぼ一定の値をとるようである。しかも，前者と後者の齢階はおよそ一致する傾向が見られるのみならず，その齢階以前における両曲線はほぼ平行しているのである。この２，３の例を示せば **Fig.** 2のごとくである。このような事実に基づき，次式によって，まず$m_{2.1}/m_{1.3}$を推定する。

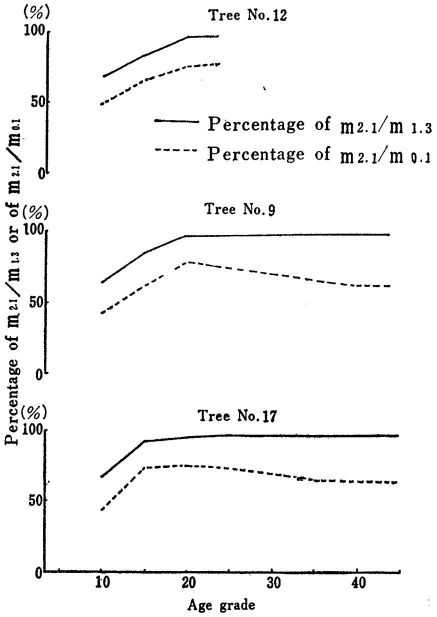

Fig. 2 The relation between percentage of $m_{2.1}/m_{1.3}$ and of $m_{2.1}/m_{0.1}$ by the age grade

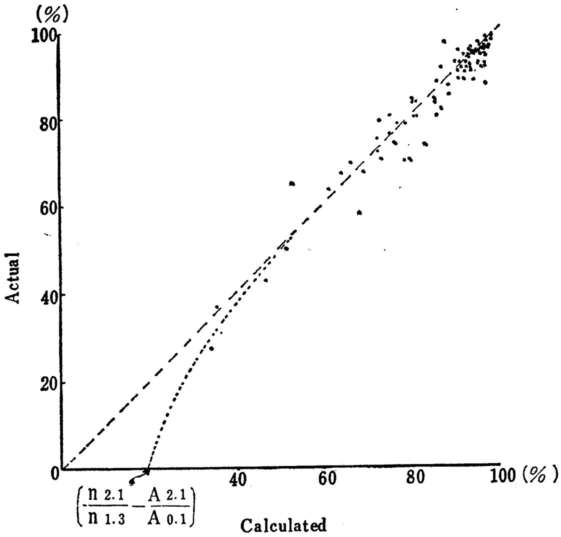

Fig. 3 The relation between $m_{2.1}/m_{1.3}$ calculated by formula (3) or (4) and actual $m_{2.1}/m_{1.3}$

$m<A$のとき

$$m_{2.1}/m_{1.3}=(m_{2.1}/m_{0.1})+(n_{2.1}/n_{1.3})-(A_{2.1}/A_{0.1}) \quad \cdots\cdots(3)$$

$m \geqq A$のとき

$$m_{2.1}/m_{1.3}=n_{2.1}/n_{1.3} \quad \cdots\cdots(4)$$

ここに　A：$m_{2.1}/m_{0.1}$がマキシマムとなる齢階の直径

さて，上式によって推定された$m_{2.1}/m_{1.3}$と，現実の$m_{2.1}/m_{1.3}$との関係を図示すれば，Fig. 3 のとおりであり，上記の推定がかならずしも不当なものでないことが諒解されよう。かくして各齢階の胸高直径は，次式によって求めるのである。

$$m_{1.3}=\frac{m_{2.1}}{(m_{2.1}/m_{1.3})_{推定}} \quad \cdots\cdots(5)$$

なお，(3)式による$m_{2.1}/m_{1.3}$の推定では，$m_{2.1}$が0に近づくとき，推定される$m_{2.1}/m_{1.3}$は$(n_{2.1}/n_{1.3}-A_{2.1}/A_{0.1})$に収斂する。すなわち，Fig. 3 の点線のごとき曲線をたどるものと思われる。したがって，少なくとも推定された$m_{2.1}/m_{1.3}$が，30%以下の場合には，この曲線に基づいて，修正する必要があろう。

第Ⅳ法　前法にならって，$m_{4.1}/m_{1.3}$と$m_{4.1}/m_{0.1}$の関係を求めてみると，次のような関係が認められる。

$m<B$のとき

$$m_{4.1}/m_{1.3}=\frac{(m_{4.1}/m_{0.1})(n_{4.1}/n_{1.3})}{(B_{4.1}/B_{0.1})} \quad \cdots\cdots(6)$$

$m \geqq B$のとき

$$m_{4.1}/m_{1.3}=n_{4.1}/n_{1.3} \quad \cdots\cdots(7)$$

ここに　B：$m_{4.1}/m_{0.1}$がマキシマムとなる齢階の直径

いま，上式による推定値と現実の数値との関係を示せば，Fig. 4のごとくであり，胸高

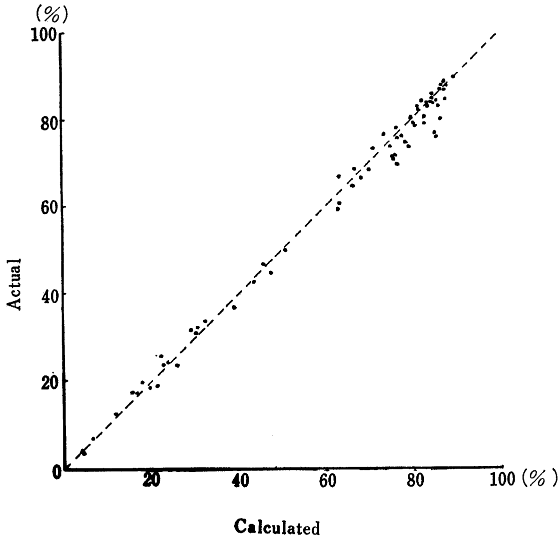

Fig. 4 The relation between $m_{4\cdot1}/m_{1\cdot3}$ calculated by formula (6) or (7) and actual $m_{4\cdot1}/m_{1\cdot3}$.

直径の推定に十分利用可能であると思われる。各齢階の胸高直径は次式によって求めることとなる。

$$m_{1.3}=\frac{m_{4.1}}{(m_{4.1}/n_{1.3})_{推定}} \quad \cdots\cdots\cdots(8)$$

なお，第Ⅲ法，特に第Ⅳ法による場合，5年生あるいは10年生の胸高直径が，推定不能となることがある。すなわち，その齢階の樹高が，2.1mあるいは4.1mに達しないときである。かかる場合には，次式により推定することとした。

$$m_{1.3}=m_{0.1}\cdot\frac{(hm-1.3)}{(hm-0.1)} \quad \cdots\cdots\cdots(9)$$

ここに hm：m齢階の樹高

結果および考察

本研究において適用を試みた四つの胸高直径推定方法は，いずれも，「胸高部の直径は，他の断面における直径生長と比例する」という前提に立っている。しかし，幹の直径生長は決して一様なものではなく，高さによって異なるものである。いま，供試木の析解資料について，直径生長ミニマムなる位置の，樹幹上における高さを調べ，これを図示するとFig. 5のごとくであった。すなわち，同一樹幹にあっても，胸高直径が大きくなるにしたがって，直径生長ミニマムポイントはしだいに上方へ移動する傾向が認

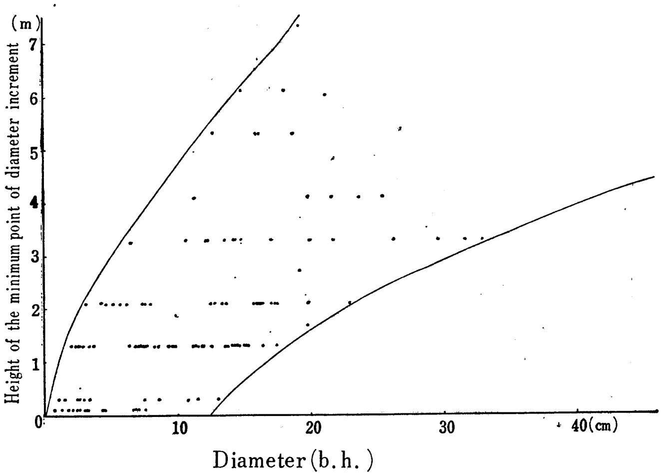

Fig. 5 The relation between diameter (b.h.) and height of the minimum point of diameter increment.

められる。しかも，その位置が，普通採材における第1丸太の中に多く含まれることは，採材断面の利用による胸高直径推定を，一層むずかしいものとしているように思う。

さて，前記推定法による計算結果に基づいて，誤差平均値および誤差の分布を示せば Table 2 および Fig. 6 のとおりである。以下，推定方法ごとに若干の考察を試みる。

Table 2 Mean of the error* by each method.

Method	Percentage of Positive error* (%)	$\overline{\triangle}$ (mm)	$\overline{\lvert\triangle\rvert}$ (mm)
I	22 ～ 41	−3.583 ± 1.192	5.134 ± 1.032
II	45 ～ 66	0.142 ± 0.764	3.493 ± 0.515
III	29 ～ 50	−0.817 ± 0.457	2.148 ± 0.325
IV	26 ～ 46	−1.381 ± 0.640	3.156 ± 0.446
Significance test	I : II	Significant**	Significant**
	I : III	Significant**	Significant**
	I : IV	Significant**	Significant**
	II : III	Significant*	Significant**
	II : IV	Significant**	No significant
	III : IV	No significant	Significant**

* Level of significance 5%　　** Level of significance 1%

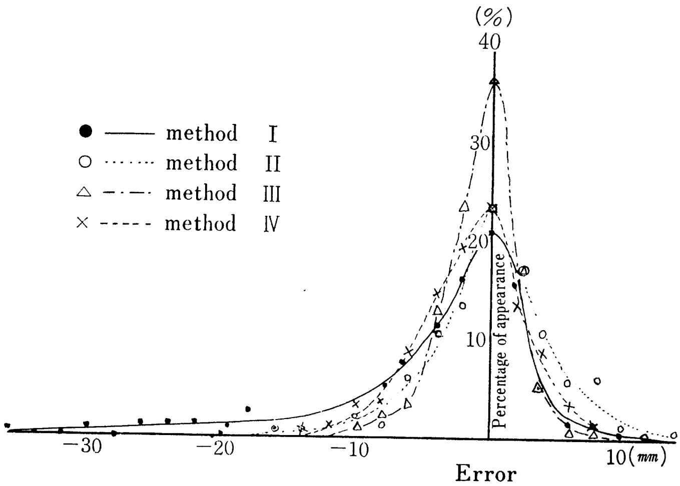

Fig. 6 Frequency distribution of the error.

1) 第I法について

胸高直径の推定法としては最も簡単な方法ではあるが，それだけに誤差もまた大きいようである。本法の誤差△は次のごとくである。

$$\triangle = n_{1.3} \cdot (m_{0.1}/n_{0.1} - m_{1.3}/n_{1.3})$$
$$= n_{1.3} \cdot \triangle' \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (10)$$

ここで，$m_{0.1}/n_{0.1}$と$m_{1.3}/n_{1.3}$の関係は，Fig. 1から読みとれるように,一般に$m_{0.1}/n_{0.1} < m_{1.3}/n_{1.3}$であり，その差は$m_{0.1}/n_{0.1}$の50%点前後において最も大きい。したがって本法の誤差は，一般に負に偏して出現し（約70%），その大きさは，齢階直径が有皮直径のほぼ½に相当するとき，最も大きいと言えそうである。そこで，供試木につきおよそ$m_{1.3}/2$に相当する直径を有する齢階の胸高直径推定誤差を求めてみると，

正の誤差の割合　　12%

$\overline{\triangle}$　　-6.437 ± 3.232mm

$\overline{|\triangle|}$　　7.707 ± 2.712mm

となり，Table 2の誤差平均値と比べてみるとき，いま述べた傾向が明らかなことを知るのである。

次に，供試木の大きさについてみると，胸高直径（$n_{1.3}$）が大きい樹幹ほど，誤差もまた大きくなっている（Table 3)。これは(10)式を見ればわかるように，△'（$n_{1.3}$の大小によって有意の差は認められない……Fig. 7）が$n_{1.3}$倍されることによるものと思われる。また，供試木の幹型については，H/Dの大小によって有意の差が認められ，H/Dが小さいほど誤差が大きくなっている。いま供試木のうち，H/Dの大きいものから10本，小さいものから10本を選び，その誤差平均値（絶対値）を求めてみると，

大のグループ　　3.565 ± 0.948mm

小のグループ　　6.858 ± 2.350mm

となる。しかし，供試木の場合，H/Dの小さい樹幹は一般に直径が大きく，上の結果の原因も，H/Dの大小によるというよりは，むしろ供試木の大小によるものと考えるのが至当であろう。ちなみに，△'の変化をみると，H/Dの大小によって有意の差は認められなかった。

Table 3　Mean of the error*(the absolte value) by each method by the diameter grade.

Diameter grade	Number of trees	Number of age grades	Method I	Method II	Method III	Method IV
			mm	mm	mm	mm
14	5	24	2.679±0.929	1.821±0.621	2.117±0.850	2.588±0.923
16	10	54	3.809±0.949	2.850±0.768	2.131±0.534	2.954±0.596
18	5	26	2.888±1.134	3.992±0.859	1.907±0.570	2.550±1.147
20	3	15	4.547±1.909	4.693±2.087	2.473±1.609	3.120±1.508
24	2	16	9.750±1.151	4.263±2.100	1.888±0.467	4.219±1.877
38	2	16	12.869±2.018	5.469±2.094	2.600±1.553	4.638±2.035

* Level of significance 5%

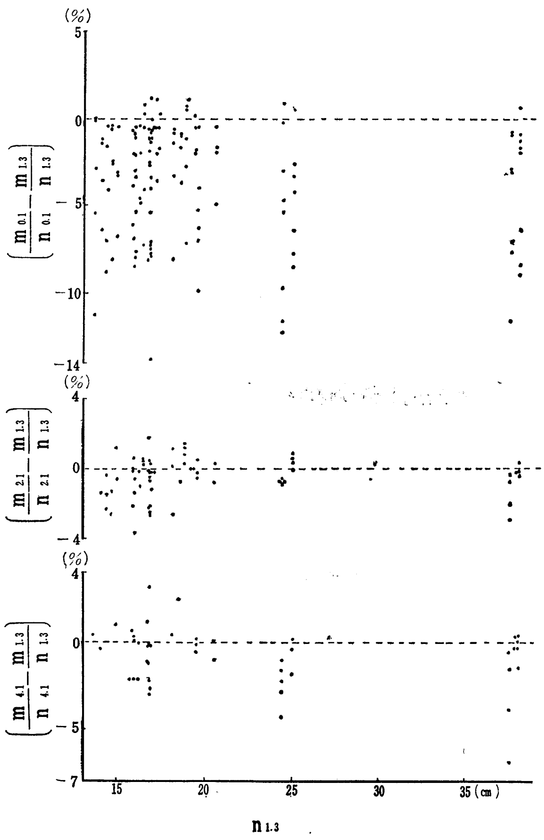

Fig. 7　The relation between $n_{1.3}$ and $(m_{0.1}/n_{0.1}-m_{1.3}/n_{1.3})$, $(m_{2.1}/n_{2.1}-n_{1.3}/n_{1.3},)$ $(m_{4.1}/n_{4.1}-m_{1.3}/n_{1.3})$.

また，誤差率について考えてみると，本法の誤差率Pは，次式のごとくなる。

$$P=(m_{0.1}/m_{1.3}\cdot n_{1.3}/n_{0.1}-1)\cdot 100 \quad\cdots\cdots(11)$$

ここで，$n_{1.3}/n_{0.1}$は常数であるから，Pの値は$m_{0.1}/m_{1.3}$の変化とほぼ同様の経過をたどるものと言える。すなわち，一般にPは，最初は小さいが，漸次負の誤差率が増加し，ある樹齢で極大値をもち，以後漸減するものと思われる。

以上要するに，第I法は直径の大きい樹幹（20cm以上）では，平均1cmあるいはそれ以上の誤差を生ずる恐れがあり，場合によっては4cm近い誤差をもたらす可能性もあり，大経木に本法を適用することは適当でない。しかし，小経木に対しては，誤差平均3～4mmであり，他の方法とそれほどの違いはなく，計算が簡単であるだけに，応用の価値があるであろう。

2)　第II法について

本法も有皮胸高直径と断面高 0.1mの数値から，各齢階の胸高直径を推定する方法であるが，第I法と異なり，その誤差は正負ほぼ相半ばして現われ，大きさもはるかに小さい。このことは，本法の性格として当然のことではある。すなわち，$m_{1.3}/n_{1.3}$の推定に際して，第I法では Fig. 1の直線Iを用いるのに対し，本法ではより正確な曲線IIを使用するからである。

いま，$m_{1.3}/n_{1.3}$の推定に当って介入する誤差を$\triangle'$とすれば，本法の誤差$\triangle$は次の如くなる。

$$\triangle=n_{1.3}\cdot\triangle' \quad\cdots\cdots(12)$$

つまり，第I法の場合とまったく同形で，ただ，$\triangle'$の大きさが異なるだけである。したがって，$n_{1.3}$の大小および幹型などの関係も，第I法とほぼ同様である（Table 3）。また，齢階別直径推定誤差は，齢階直径が有皮直径の½前後である場合に，最も大きく，この点も第I法と同じ傾向を示す。いま，ほぼ$n_{1.3}/2$にあたる直径を有する齢階の胸高直径推定誤差を求めてみると，

正の誤差の割合	58%
$\overline{\triangle}$	0.926±2.609mm
$\overline{\|\triangle\|}$	5.267±1.480mm

となる。すなわち本法による誤差傾向は，ほとんど第Ⅰ法の場合と同じである。したがって，誤差率の傾向もまた，第Ⅰ法と同様であると言うことができよう。

本法は，第Ⅰ法の修正法であり，より精度の高い方法であるが，$m_{1.3}/n_{1.3}$と$m_{0.1}/n_{0.1}$の相関曲線を必要とするため，一般的な方法とは言いがたい。しかし，誤差が正負相半ばして出現することは，多数の樹幹析解を行なって，その平均的資料を求めようとする場合などには，有効な方法と言えるであろう。

3) 第Ⅲ法について

断面高0.1mと2.1mの数値から，胸高直径を推定する方法である。したがって，本法は2mに採材する場合しか用いることのできない方法である。いま，$m_{2.1}/m_{1.3}$を推定するに際して介入する誤差を△′とすれば，本法の誤差△は次のごとくなる。

$$\triangle=\frac{-m_{1.3}\triangle'}{m_{2.1}/m_{1.3}+\triangle'}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(13)$$

したがって樹齢が低く，$m_{2.1}/m_{1.3}$が△′に対して十分に小さいときは，本法の誤差は$-m_{1.3}$に近づく。齢階直径が漸次大きくなってくると，$m_{2.1}/m_{1.3}$の値も増大するが，ある樹齢以後はほぼ一定の値をとるから，もし△′が一定だとすれば，推定しようとする齢階の直径（$m_{1.3}$）が大きいほど，誤差は大きくなることになる。しかし，ここで△′は齢階直径が大きくなればなるほど小さくなる傾向にあるから（**Fig. 8**），誤差は齢階直径の大小により，大きな影響はうけないものと思われる。いま，樹齢10年時と各供試木における比較的大きな樹齢時の誤差平均値（絶対値）を求めてみると，

10年時	2.581±0.896㎜
大きな齢階時	2.963±1.293㎜

となり，両者のあいだには，有意の差は認められない。

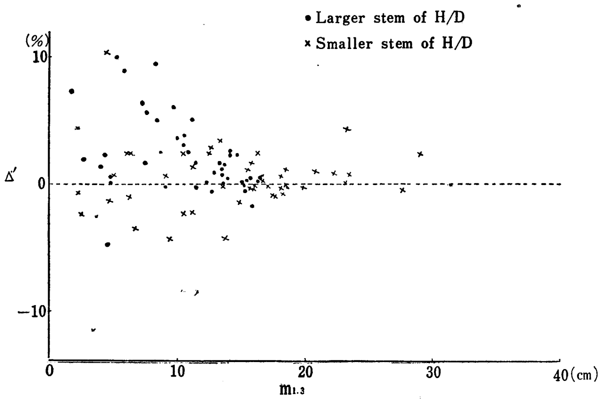

Fig. 8 The relation between $m_{1.3}$ and △′ of method Ⅲ.

$m_{2.1}/m_{0.1}$がマキシマムとなる樹齢以後については，⒀式は次のごとく変形できる。

$$\triangle=n_{1.3}\cdot(m_{2.1}/n_{2.1}-m_{1.3}/n_{1.3})$$
$$=n_{1.3}\cdot\triangle''\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(14)$$

すなわち，第Ⅰ法，第Ⅱ法と同様の形になる。しかし，本法における△″は，$n_{1.3}$が大きくなるにつれて，やや小さくなる傾向が見られるから（**Fig. 7**），供試木の大小によって一定の傾向は認めがたい（**Table 3**）。

次に誤差の方向についてみると，全体としてはやや負に偏して現われている。しかし，これは樹幹によって異なり，かなり正にかたよるものも見うけられる。一般に，H/Dの大きい樹幹に負に偏するものが多く，小さいものに正負相半ばするか，あるいは正にかたよるものが多いようである (Fig. 8)。

なお，齢階直径の大きさに関連して，本法においても前2法と同様に，樹皮と樹心のほぼ中央にある齢階における誤差が，一般に大きく，かつ一層負に偏する傾向が認められる。すなわち，

正の誤差の割合	30%
$\overline{\triangle}$	−1.952±1.437mm
$\overline{\vert\triangle\vert}$	3.507±0.827mm

これは，(13)式と Fig. 9 ($m_{1.3}/n_{1.3}$と$\triangle'$との関係)とから，容易に予測せられるところであろう。

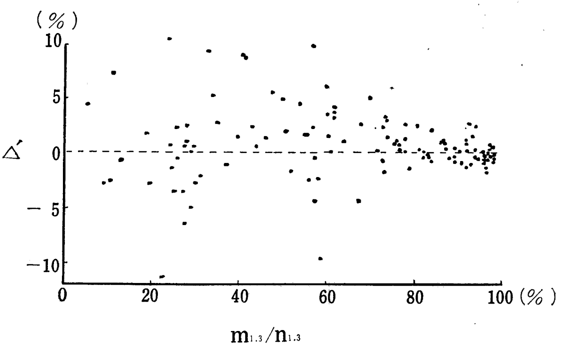

Fig. 9 The relation between $m_{1.3}/n_{1.3}$ and $\triangle'$ of method III.

本法の誤差率Pは，次式のごとくなる。

$$P=\frac{-\triangle'}{m_{2.1}/m_{1.3}+\triangle'}\cdot 100 \cdots (15)$$

したがって，非常に齢階直径が小さい場合には，Pは−100%に近づき，その後齢階直径が漸増すると，$m_{2.1}/m_{1.3}$は大きくなり，$\triangle'$は小さくなるから，全体としてPは急激に減少することとなる。またある齢階以後は，$m_{2.1}/m_{1.3}$がほぼ一定の値をとるから，Pは一定あるいはやや漸減するものと思われる。

4) 第IV法について

断面高0.1mと4.1mの数値から，胸高直径を推定する方法である。いま，$m_{4.1}/m_{1.3}$を推定するに際し介入する誤差を$\triangle'$とすれば，本法の誤差$\triangle$は第III法と同様，一般に次のようになる。

$$\triangle=\frac{-m_{1.3}\triangle'}{m_{4.1}/m_{1.3}+\triangle'} \cdots\cdots (16)$$

まず，$m_{4.1}/m_{0.1}$がマキシマムとなる樹齢以前についてみると，(16)式は次のように書くことができる。

$$\triangle = m_{0.1}\cdot\left(\frac{n_{1.3}\cdot B_{4.1}}{n_{4.1}\cdot B_{0.1}}-\frac{m_{1.3}}{m_{0.1}}\right) \cdots\cdots (17)$$

(17)式において，$n_{1.3}\cdot B_{4.1}/n_{4.1}\cdot B_{0.1}$は，各供試木については常数であるから，各齢階直径推定における誤差の大きさおよびその符号は，$m_{0.1}$および$m_{1.3}/m_{0.1}$の値いかんによって決まると言えよう。ここで$m_{1.3}/m_{0.1}$は，一般に齢階直径が大きくなるとともに増大し，ある樹齢において極大値（$n_{1.3}\cdot B_{4.1}/n_{4.1}\cdot B_{0.1}$より僅かに大きい）をとり，その後はほぼ一定，あるいはやや減小傾向を示している。また，$n_{1.3}\cdot B_{4.1}/n_{4.1}\cdot B_{0.1}-m_{1.3}/m_{0.1}$は，齢階直径が大きくなるにしたがって，小さくなる傾向が見られる (Fig. 10)。これらの事実から本法の誤差は，齢階直径が大きくなっても，それほど大きくならず，その符号は，$m_{4.1}$が小さいあいだはやや正にかたよるが，$m_{1.3}/m_{0.1}$が最大に近づくと（樹齢15～20年頃）負の誤差が多くなってくると言うことができよう。いま，10年時と20年時についてみると，次のとおりである。

正の誤差の割合 (10年時 65%
　　　　　　　 20年時 11%

$|\overline{\triangle}|$ (10年時 3.965±1.880mm
　　　 20年時 3.241±1.094mm

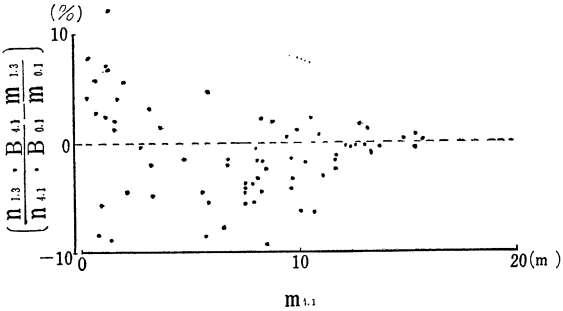

Fig. 10 The relation between $m_{4\cdot1}$ and $(n_{1\cdot3}\bullet B_{4\cdot1}/n_{4\cdot1}\bullet B_{0\cdot1} - m_{1\cdot3}/m_{0\cdot1})$.

$m_{4.1}/m_{0.1}$マキシマムの樹齢以後については，(16)式は次のごとく変形できる。

$\triangle = n_{1.3} \bullet (m_{4.1}/n_{4.1} - m_{1.3}/n_{1.3})$

$= n_{1.3} \bullet \triangle''$ ……………………………………………(18)

したがって，大きさの違いはあるが，誤差の傾向は，第Ⅰ法，第Ⅱ法とほぼ同様であると言うことができよう。すなわち，供試木の直径が大きいほど誤差もまた大きくなっている。

供試木の中央齢階における誤差については，本法においても前3法と同様の傾向が認められた。

正の誤差の割合　26%

$\overline{\triangle}$　−2.793±1.892mm

$|\overline{\triangle}|$　4.741±1.071mm

Fig. 11および(16)式から容易に推測されるところである。

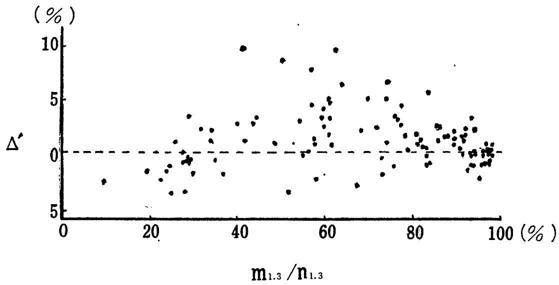

Fig. 11 The relation between $m_{1\cdot3}/n_{1\cdot3}$ and $\triangle'$ of method Ⅳ.

誤差率についてみると，本法の誤差率Pは次式のごとくなる。

$m<B$のとき

$$P=(m_{0.1}/m_{1.3}\cdot n_{1.3}/n_{4.1}\cdot B_{4.1}/B_{0.1}-1)\cdot 100 \quad \cdots\cdots (19)$$

$m\geq B$のとき

$$P=(m_{4.1}/m_{1.3}\cdot n_{1.3}/n_{4.1}-1)\cdot 100 \quad \cdots\cdots (20)$$

したがって，齢階直径が非常に小さい場合は，Pは非常に大きくなる。しかしその後，齢階直径が漸次大きくなってくると，Pは急激に減少し，樹齢がある高さ以後になると，ほぼ一定の値をとるに至る。

総　　括

第Ⅰ法，第Ⅱ法および第Ⅳ法は，2mに採材する場合も，4mに採材する場合にも適用可能な方法であるが，第Ⅲ法は2mに採材する場合においてのみ使用しうる方法である。

各方法の精度を比較してみると，第Ⅲ法が最もすぐれていると言える。すなわち，その誤差平均値（絶対値）は2㎜強であり，他の方法のそれよりはるかに小さい。また，他の方法では，供試木が大きくなるほど，誤差平均値が大きくなる傾向が見られるが，第Ⅲ法には，かかる傾向が認められず，したがって，大きな木ほど誤差率は小さくなるという利点がある。

また，4mに採材する場合についてみると，第Ⅱ法,第Ⅳ法が良く,両者のあいだには有意の差が認められない。ただ，第Ⅱ法は$m_{1.3}/n_{1.3}$と$m_{0.1}/n_{0.1}$の相関曲線を必要とする点，第Ⅳ法の方がより一般的と言えよう。

以上は，誤差の絶対値についてであったが，符号を考慮に入れた誤差平均値についてみると，第Ⅱ法が最もすぐれていると言える。すなわち，第Ⅱ法を除いた他の方法は，その誤差が，いずれも負に偏して現われ，一般に過小な値を与えている。 これに対して第Ⅱ法は， 正負ほぼ相半ばして誤差が出現し，その平均値は0.1～0.2㎜と非常に小さくなっている。したがって，多数の樹幹を取扱い，その平均的資料を求めようとする場合など，この第Ⅱ法が最も適当であろうと考えられる。

第Ⅰ法は簡単ではあるが，最も大きい誤差を与える。特に，析解対象が大径木であるときは，誤差は著しく大となり，かかる樹幹に本法を適用することは避けるべきである。

む　す　び

普通採材を行なったとき得られる断面を利用して,齢階別胸高直径を推定する方法について述べた。しかし前述したように，一般に胸高直径を含む第1丸太の部分は，直径生長の様相がかなり複雑で，かならずしも期待した成果を挙げることができなかった。特に，樹皮と樹心とのほぼ中央に位置する齢階の胸高直径推定に大きな誤差を生ずる恐れがあること，またそれが多く負に偏していたことは，今後に残る問題であろう。また今回用いた材料には，大径木が少なく，ほとんどが20㎝以下の小径木であったことも注意しておかねばならぬ。

いずれにしても第Ⅱ，第Ⅲおよび第Ⅳ法による誤差は，樹幹断面が一般に正円でないことを考慮に入れるならば，ほぼ許容せられる大きさであろうと思われる。今後この結果を参考として，普通採材時における樹幹析解法について，検討を加えていきたいと思っている。