

樹木の生長解析法に関する研究 (5)

普通採材の断面を利用する樹幹析解法 (その2)

— 求積方法 —

藤本 幸司*

Studies on the Method of Analysis of Tree Growth (5)

On the Stem Analysis using Cross Section in an ordinary Log-Making (2)

— Measurement of Volume —

Kōji FUJIMOTO

Synopsis : This report deals with the measurement of volume of each age grade in a stem, using cross section of 2 meter log-woods (stump height is 0.1 meter). The methods of measurement are as follows;

- V : Volume of the age grade.
 - d : Diameter of the age grade (Additional figure indicates the cross section height).
 - g : Cross section area of the age grade (" ").
 - H : Height of the age grade.
 - M : Height of the topmost cross section in the age grade.
 - N : at $H-M \geq 1$ m $N=M$
 at $H-M < 1$ m $N=M-2$
- $$v' = \frac{1}{20} (g_{0.0} + g_{0.1}) \dots \dots \text{Volume of the stump.}$$
- $$v_s = g_{2.1} + 2 (g_{4.1} + g_{6.1} + \dots + g_{M-2}) + g_M + \frac{1}{3} g_M (H-M) \dots \dots \text{Volume of the upper stem above 2.1 meter in height (by the Smalian formula).}$$
- $$v_h = 2 (g_{2.1} + g_{4.1} + \dots + g_N) + \frac{1}{3} g_{N+1} (H-N-1) \dots \dots \text{Volume of the upper stem above 1.1 meter in height (by the Huber formula).}$$
- $$v_m = v_h + \frac{2}{15} (g_{1.1} - g_{2.1}) \dots \dots \text{Volume of the upper stem above 1.1 meter in height (by the Migita II formula).}$$

- Method A $V_A = v' + g_{0.1} + g_{2.1} + v_s$
- Method B $V_B = v' + \frac{1}{2} (g_{0.1} + g_{2.1}) + g_{1.1} + v_s$
- Method C $V_C = v' + \frac{1}{3} (g_{0.1} + 4g_{1.1} + g_{2.1}) + v_s$
- Method D $V_D = v' + \frac{1}{2} (g_{0.1} + g_{1.1}) + v_h$
- Method E $V_E = \frac{1.1\pi}{16} (d_{0.1} + d_{1.1})^2 + v_h$

* 森林計画学講座 助教授

$$\text{Method F} \quad V_F = 1.1 \left(\frac{g_{0.0} - g_{2.1}}{4} + g_{1.1} \right) + v_m$$

$$\text{Method G} \quad V_G = 1.1 \left(\frac{g_{0.0} - g_{2.1}}{4} + g_{1.1} \right) + \frac{1}{2} (g_{1.1} + g_{2.1}) + v_s$$

(Estimation of $d_{1.1}$ is applied Method III in Report 3 correspondingly.)

Outline of the results is as follows;

1) The methods using only cross sections in ordinary log-making brought a large error to the measurement of the lower stem volume (under 2.1 meter high). Therefore, in order to take an accurate measurement of this part, though the calculation is rather tedious, it is advisable to use $d_{1.1}$ simultaneously as well.

2) The accuracy of Method C, D, E, F and G is slightly better than that of the Huber sectional cubing formula in existing stem analysis. Especially Method F and G could obtain gratifying results. Therefore, it is advisable to apply these methods to the stem analysis using cross section in an ordinary log-making.

3) Method A is very simple, but it has the largest error. Method B leads to noticeable error, also. Accordingly, these methods cannot be used practically.

4) An expedient method that need not estimate $d_{1.1}$, was obtained (Method A'). That is shown below.

$$V_{A'} = V_A \times \frac{(V_{A'})}{(V_A)}$$

(V_A) : Volume of the stem with bark by Method A.
 ($V_{A'}$) : Volume of the stem with bark measured exactly by any method.

This method leads occasionally to a somewhat large error in a young age grade. But it may safely be said on the whole that Method A' has about the same accuracy with Method C or E, in other words, that this method is accurate enough for practical usage.

要 旨 普通採材を行なった時の断面を利用する、樹幹析解法の求積方法を検討した（伐採面高：0.1 m, 採材寸法：2 m）。検討の結果を要約すれば、次のとおりである。

1) 地上高 2.1m 以下の下部樹幹は、幹曲線変化が大きく、普通採材時の断面（地上高 0.1m および 2.1m の断面）のみからの正確な求積は、非常にむづかしい。ここでは、Smalian 式、ナイロイド求積式および平均直径法を適用したが、いずれもかなり過大な値を与えた。この部分をより正確に、すくなくとも上部樹幹の求積精度くらいに求積するためには、地上高 1.1m における各齢階直径を用いて、求積するのが望ましい（地上高 1.1 m の各齢階直径は、第 3 報の第 III 式を準用して求める）。

2) C, D, E, F, G 法は、現行 2 m 区分樹幹析解法における Huber 式と比べて、そんな色のない結果を示したが、なかでも F 法および G 法は、特に良い結果を与えた。したがって、当地方におけるスギの普通採材時樹幹析解法には、F 法あるいは G 法の適用が、最も好ましいものと考えられる。

3) A 法は最も簡単であるが、非常に過大な値を与え、とうてい実用に供しうる方法とはいえない。また、B 法もかなり大きな誤差を与え、本法の適用はあまり好ましくない。

4) 面倒な地上高 1.1m の直径推定を必要としない実用的方法として、A 法を修正する方法を考えた（A' 法）。本法は、樹幹内部の若齢階で、やや大きな誤差率を示すこともあるが、全体的にみれば、まず C 法あるいは E 法程度の精度が得られ、簡便法としてじゅうぶん実用に供しうるものと思われる。

は じ め に

普通採材時における樹幹析解法の求積方法を考究するに先だち、その精度の一目安として、前報¹⁾において、現在一般に行なわれている樹幹析解法の求積方法を検討した。その結果、少なくとも胸高を 1.3m とする、当地方のスギ 2 m 区分樹幹析解法には、Smalian 区分求積式（ただし胸高円板を採取する）の適用が最も好まし

く、Huber 区分求積式は、かなり過小な値を与えることを知った。しかしながら本報においては、この Huber 区分求積式が、現在最も多く用いられていること、およびその誤差が、円板採取時あるいは円板測定時などの誤差を考慮に入れるならば、じゅうぶん許容しうる程度のもと思われることから、本式の誤差を一応の目安として、普通採材時における求積方法を検討することとした。

なお、採材寸法としては、現在、直径の大きい部分からは、主として 4 m 材が採材されているようであるが、今回は、全幹を一率に 2 m ずつに採材した場合について、検討を進めたい。一般に、区分長が長くなるほど、求積精度の低下することは、周知の事実であり、現行 2 m 区分樹幹析解法と、同等あるいはそれ以上の精度をあげるためには、やはり 2 m の長さは、必要であろうと思われたからである。したがって、本報での採材方法は、真の意味での普通採材方法とはいいがたいが、現行 2 m 区分樹幹析解法よりは、胸高円板を採取しないだけ、材の利用上好ましいものと考えられよう。4 m 区分採材法については、次の機会に検討したいと思う。

資 料

資料は、前報と同じものを用いた。すなわち、愛媛大学農学部附属演習林米野々事業区産、スギ 42 本 (21~45 年生, D. B. H. 14~38cm) について、各齡階樹幹 (総計 296 個) の幹曲線式を決定し、これより算出された直径、真材積を用いて諸計算を行なった。なお、普通採材時の伐採面高は 0.1 m とした。

求 積 方 法

普通採材時の断面を利用する求積方法として、次のような方法を考えてみた。なお、B 法以下の各方法で用いる地上高 1.1 m の直径は、第 3 報²⁾で報告した胸高直径の推定式、第 III 式を準用して求めることとする。

- A) 各区分を 2 m 区分 Smalian 式で求積する。
- B) 地上高 1.1 m の各齡階直径を推定し、0.1~2.1 m の区分は 1 m 区分 Smalian 式で、2.1 m 以上は 2 m 区分 Smalian 式で求積する。
- C) 地上高 1.1 m の各齡階直径を推定し、0.1~2.1 m の区分は Riecke 式で、2.1 m 以上は 2 m 区分 Smalian 式で求積する。

Table 1 Methods.

Height of cross section		0.0m	0.1m	1.1m	2.1m
Part of stem		Lower stem			Upper stem
Method					
A	Smalian's formula	Smalian's 2 meter sectional			cubing formula
B	Smalian's f.	Smalian's 1 meter s. c. f.			Smalian's 2 meter s. c. f.
C	Smalian's f.	Riecke's f.			Smalian's 2 meter s. c. f.
D	Smalian's f.	Smalian's f.	Huber's 2 meter s. c. f.		
E	$1.1 \times \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_{0.1} + d_{1.1}}{2} \right)^2$	Huber's 2 meter s. c. f.			
F	$1.1 \times \left(\frac{g_{0.0} - g_{2.1}}{4} + g_{1.1} \right)$	Migita's 2 meter s. c. f.			
G	$1.1 \times \left(\frac{g_{0.0} - g_{2.1}}{4} + g_{1.1} \right)$	Smalian's f.	Smalian's 2 meter s. c. f.		

d : Diameter

g : Cross sectional area

- D) 地上高 1.1m の各齡階直径を推定し、0.1~1.1m の区間は Smalian 式で、1.1m 以上は 2m 区分 Huber 式で求積する。
- E) 地上高 1.1m の各齡階直径を推定し、1.1m 以下の区間は 0.1m と 1.1m の平均直径を中央直径（すなわち 0.55m における直径）として Huber 式で、1.1m 以上の区間は 2m 区分 Huber 式で求積する。
- F) 地上高 1.1m の各齡階直径を推定し、1.1m 以下の中央断面積を $g_{0.55} = \frac{g_{0.0} - g_{2.1}}{4} + g_{1.1}$ として Huber 式で 1.1m 以上の区間は 2m 区分右田Ⅱ式で求積する（ g ：断面積）。
- G) 地上高 1.1m の各齡階直径を推定し、1.1m 以下の中央断面積を $g_{0.55} = \frac{g_{0.0} - g_{2.1}}{4} + g_{1.1}$ として Huber 式で、1.1~2.1m の区間は Smalian 式で、また 2.1m 以上は 2m 区分 Smalian 式で求積する。
- 以上の各方法をまとめて表示すれば、Table 1 のごとくである。

結果 および 考察

普通採材時の断面を利用して、各齡階の材積を求めようとするとき、まず最初に考えられる方法は、各区分を Smalian 式で求積しようとする A 法であろう。この方法は、最も実行容易であるが、各図表からも推察されるように、誤差もまた大きい方法といえる。前報のごとく、胸高円板を用いた Smalian 区分求積式が、比較的良好の結果を与えていることを思えば、ナイロイド状を示すと思われる第 1 玉、すなわち 0.1~2.1m の区間に、Smalian の単区分求積式を適用するところに、誤差のおもな原因があるものと解されよう。ちなみに、D.B.H. 5cm 以上の齡階について、樹幹を地上高 2.1m 以上および 2.1m 以下に分け、それぞれの部分について A 法の誤差率平均値およびその信頼限界（信頼度 95%）、誤差の正負別出現率などを掲げてみると、次のようであった。

		地上高 2.1m 以上	地上高 2.1m 以下
誤差率平均値	\overline{P}_Δ	1.75 ± 0.59 %	16.55 ± 1.15 %
誤差率（絶対値）平均値	$\overline{P}_{ \Delta }$	1.80 ± 0.59 %	16.55 ± 1.15 %
誤差の出現率	正の誤差	88 %	100 %
	誤差なし	2 %	0 %
	負の誤差	10 %	0 %

このように、地上高 2.1m 以上の樹幹の求積にも、やや正に偏した誤差があるとはいえ、本法の誤差のおもな原因は、やはり 2.1m 以下の下部樹幹材積の推定にあると云えよう。さらにいえば、胸高円板を採取しない普通採材において、この幹曲線変化の大きい下部樹幹材積の求積方法こそ、全幹材積推定の精度を左右するかぎを握るものと考えられよう。そこで、この部分を上下両断面積を用いるナイロイド求積式

$$\frac{1}{4} \{g_{0.1} + \sqrt[3]{g_{0.1}g_{2.1}} (\sqrt[3]{g_{0.1}} + \sqrt[3]{g_{2.1}}) + g_{2.1}\} \times 2$$

を用いて求積してみたところ、次のような結果を得た（D.B.H. 5cm 以上の齡階について）。

	\overline{P}_Δ	13.93 ± 1.04 %
	$\overline{P}_{ \Delta }$	13.98 ± 1.02 %
誤差の出現率	正の誤差	99 %
	誤差なし	0 %
	負の誤差	1 %

すなわち、Smalian 式で求積するよりも、やや誤差が小さくなったとはいえ、計算が面倒なわりに、それほどの精度も期待されず、まだまだ過大な値を与えるといえる（D.B.H. 5cm 以下の小径級では、多く過小な値を与える）。また平均直径法を用いて求積しても、同様な結果を得た。

以上のように、この 2.1m 以下の下部樹幹は、単純なナイロイドとしても求積しがたく、現行 2m 区分樹幹析解法と、同等あるいはそれ以上の精度をあげるためには、やはり胸高付近のデータを加える必要があるように思える。そこで、第 3 報において検討した胸高直径の推定式——第三式——を準用して、地上高 1.1m の各齡階直径を推定し、これを用いて求積することとした（B~G 法）。またこれによって、上部樹幹の区分求積にも、Huber 式あるいは右田Ⅱ式の適用が、容易になったといえる。いま D.B.H. 5cm 以上の齡階について、各方法の上部樹幹材積および下部樹幹材積の誤差率平均値およびその信頼限界（信頼度 95%）を掲げると、Table 2

Table 2 Mean of percentage of error* by upper and lower stem.

Part of stem		Method	\bar{P}_Δ	$\bar{P}_{ \Delta }$
Upper stem	over 2.1 m	A, B, C, G	$1.75 \pm 0.59 \%$	$1.80 \pm 0.59 \%$
	" 1.1 m	D, E	-0.52 ± 0.18	0.74 ± 0.16
	" 1.1 m	F	0.17 ± 0.16	0.55 ± 0.14
Lower stem	under 2.1 m	A	16.55 ± 1.15	16.55 ± 1.15
	" 2.1 m	B	5.92 ± 0.47	5.94 ± 0.47
	" 2.1 m	C	2.29 ± 0.25	2.36 ± 0.23
	" 2.1 m	G	-0.69 ± 0.14	0.94 ± 0.12
	" 1.1 m	D	9.33 ± 0.75	9.36 ± 0.74
	" 1.1 m	E	5.07 ± 0.53	5.25 ± 0.50
	" 1.1 m	F	-1.56 ± 0.24	1.81 ± 0.21

* Level of significance 5%

のとおりである。なお、本報では、一応求積方法以外の誤差の介入を避けることとし、地上高1.1mの各齡階直径も、幹曲線式より算出した真値を用いた。これの推定時の誤差などを含んだ、求積方法の総合的精度については、今後現実樹幹を用いて検討してみたいと思う。

上部樹幹についてみると、右田Ⅱ式が最もよく、ついで Huber 式、Smalian 式の順となり、Smalian 式はかなり過大な結果を与えた。いま現行2m区分樹幹析解法（全幹材）における、これら3式の \bar{P} をみると（D. B.H. 5cm以上の齡階について）、

Smalian 式	$0.84 \pm 0.24 \%$
Huber 式	$-2.14 \pm 0.20 \%$
右田Ⅱ式	$-0.99 \pm 0.18 \%$

であるから、上部樹幹に対するこれら3式の結果は、全幹材に対する結果より、1%前後正にかたよった値になっている。すなわち、根張りの部分を含む全幹材に対しては、Smalian 式（ただし胸高円板を採取する）が最も良い結果を与えるが、根張りのない樹幹には、右田Ⅱ式の適用が最も好ましいといえることができる。

下部樹幹については、対象部分の大きさが2.1m以下、1.1m以下と大きく異なるので、その誤差率を単純に比較することはできないが、C, G法あるいはE, F法など、かなりよい結果といえる。なかでも、地上高1.1m以下の部分を $1.1 \times \left\{ \frac{g_{2.0} - g_{2.1}}{4} + g_{1.1} \right\}$ で求積するF法およびG法は、ともに非常に良い成績を示し、上部樹幹の求積精度と比べても、そんな色のないものであった。

次に、各方法の全幹材に対する誤差率について、項目ごとにみていきたい。

1) 誤差率の出現状態

Fig. 1 は D.B.H. 5cm 以上の齡階について、誤差率の相対出現度数を、3点平均法でならしたものである。この図あるいは Table 3 にも見られるように、A～E法の誤差は、かなり正にかたよって出現し、この傾向は、径級が大きくなるほど強くなっている。これは、現行2m区分樹幹析解法における Huber 式あるいは右田Ⅱ式（以下単に Huber 式、右田Ⅱ式などと記す）の傾向と、まったく逆である。これに対して、F法はやや負に、G法はやや正に偏して出現しているが、モードは0%付近にあり、現行2m区分樹幹析解法のなかで、最も成績のよかった Smalian 式と比べても、そんな色のない結果といえる。またC, D, E法にしても、やや正に強く偏しているとはいえ、C法は Huber 式と、D, E法は右田Ⅱ式と、ほぼ同程度のかたよりであり、じゅうぶん許容しうるものと考えられる。これに対してA法およびB法は、D.B.H. 5cm 以下の小径級を除き、そのほとんど全部が正の誤差を与えており、あまり好ましい方法とはいえない。

Table 3 Appearance of error.

Diameter class	Number of age grades	Method A						Method B					
		Positive error			Negative error			Positive error			Negative error		
		Max. percentage	Appearance percentage	Appearance percentage of no error	Max. percentage	Appearance percentage	Appearance percentage	Max. percentage	Appearance percentage	Appearance percentage	Max. percentage	Appearance percentage	Appearance percentage
~ 4.99 cm	73	100.0	60	8	-100.0	32	100.0	68	7	-100.0	25		
5.00~ 9.99	36	22.7	100	0	(2.6)	0	9.4	100	0	(0.5)	0		
10.00~14.99	60	11.3	100	0	(1.4)	0	4.7	100	0	(0.3)	0		
15.00~19.99	96	13.1	100	0	(1.4)	0	5.2	100	0	(0.5)	0		
20.00~24.99	22	11.8	100	0	(2.0)	0	4.6	100	0	(0.9)	0		
25.00~	9	13.0	100	0	(7.8)	0	5.2	100	0	(3.1)	0		
Total	296		90	2		8		92	2		6		
		Method C						Method D					
~ 4.99 cm	73	100.0	44	11	-100.0	45	100.0	59	4	-100.0	37		
5.00~ 9.99	36	7.1	94	0	- 0.6	6	5.4	72	3	- 3.7	25		
10.00~14.99	60	3.0	93	0	- 0.5	7	3.9	90	2	- 0.2	8		
15.00~19.99	96	2.6	99	0	- 0.1	1	4.4	97	0	- 0.1	3		
20.00~24.99	22	2.2	100	0	(0.5)	0	4.2	100	0	(0.8)	0		
25.00~	9	2.6	100	0	(1.5)	0	4.2	100	0	(2.7)	0		
Total	296		83	3		14		84	2		14		

() : Minimum percentage of positive error

Table 3 cont'd.

Diameter class	Number of age grades	Method E						Method F								
		Positive error			Negative error			Positive error			Negative error					
		Max. percentage	Appearance percentage	Appearance percentage of no error	Max. percentage	Appearance percentage	Appearance percentage	Max. percentage	Appearance percentage	Appearance percentage of no error	Max. percentage	Appearance percentage	Appearance percentage			
~ 4.99 cm	73	100.0	25	4	-100.0	71	33.3	42	10	-100.0	48	33.3	42	10	-100.0	48
5.00~ 9.99	36	3.0	39	3	- 4.9	58	4.1	25	6	- 5.2	69	1.1	27	2	- 1.8	71
10.00~14.99	60	2.7	77	2	- 1.1	21	0.9	32	0	- 2.5	68	0.5	36	0	- 1.1	64
15.00~19.99	96	2.7	91	0	- 1.1	9	0.1	33	0	- 0.5	67	0.1	33	0	- 0.5	67
20.00~24.99	22	2.5	100	0	(+0.0)	0										
25.00~	9	2.1	100	0	(1.4)	0										
Total	296		66	2		32		33	3		64		33	3		64

Method G																
Diameter class	Number of age grades	Positive error			Negative error			Positive error			Negative error					
		Max. percentage	Appearance percentage	Appearance percentage of no error	Max. percentage	Appearance percentage	Appearance percentage	Max. percentage	Appearance percentage	Appearance percentage of no error	Max. percentage	Appearance percentage	Appearance percentage			
~ 4.99 cm	73	33.3	49	10	-100.0	41	33.3	49	10	-100.0	41	33.3	49	10	-100.0	41
5.00~ 9.99	36	5.7	72	0	- 1.2	28	5.7	72	0	- 1.2	28	2.1	58	0	- 1.4	42
10.00~14.99	60	2.1	58	0	- 1.0	37	1.1	63	0	- 1.0	37	0.7	64	0	- 0.6	36
15.00~19.99	96	1.1	63	0	- 1.0	37	0.5	100	0	(0.2)	0	0.5	100	0	(0.2)	0
20.00~24.99	22	0.7	64	0	- 0.6	36										
25.00~	9	0.5	100	0	(0.2)	0										
Total	296		61	2		37		61	2		37		61	2		37

() : Minimum percentage of positive error

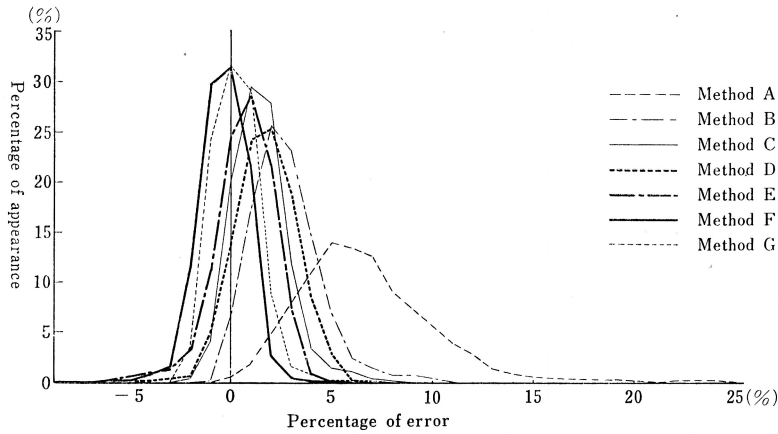


Fig. 1 Frequency distribution of percentage of error.

2) 誤差率の最大値

誤差率の最大値は、各方法とも小径級ほど大きく、D.B.H. 5cm未満では、いずれも100%という大きな値を示している。このことは、現行2m区分樹幹析解法の場合とまったく同じであり、直径測定個所の少なさと、材積そのもの小さいことが、影響しているものと考えられる。次いで、径級が大きくなるにしたがって、漸次減少する傾向がみられるが、径級がある大きさに達すると、それ以後はあまり変化せず、ほぼ一定の値になるようである。この誤差率最大値が一定となる径級は、方法によっても異なるが、だいたいD.B.H. 10~15cmあたりにあるように思われる。いまD.B.H. 10cm以上の階級について、各方法の最大誤差率を摘記すると、次のようである。

	正の最大誤差率	負の最大誤差率
A 法	13.1	(1.4)*
B 法	5.2	(0.3)*
C 法	3.0	-0.5
D 法	4.4	-0.2
E 法	2.7	-1.1
F 法	1.1	-2.5
G 法	2.1	-1.4
Huber 式	2.7	-5.0

* () 内は正の最小誤差率

これらの値は、A法を除き、現行2m区分樹幹析解法の各式と比べてもそんな色なく、むしろC, E, F, G法などは、Smalian式(4.0%), 右田II式(-3.5%)よりも、さらに好結果を示しているといえる。

3) 誤差率の平均値 (\bar{P}_Δ)

\bar{P}_Δ は、現行2m区分樹幹析解法における各式と同様に、各方法とも小径級ではかなり大きいですが、径級が大きくなるにしたがって小さくなり、D.B.H. 10cm以上の階級では、ほぼ一定の値となっている (Fig. 2)。いまD.B.H. 10cm未満の階級と、10cm以上の階級について、各方法の \bar{P}_Δ とその信頼限界 (信頼度 95%) を求めてみると、次のようであった。

	10cm未満	10cm以上
A 法	4.08 ± 4.41 %	6.13 ± 0.38 %
B 法	3.84 ± 4.02	2.42 ± 0.16
C 法	-2.34 ± 3.75	1.17 ± 0.10
D 法	1.91 ± 4.04	1.75 ± 0.15

E 法	-5.40 ± 3.97	0.89 ± 0.12
F 法	-2.52 ± 3.30	-0.27 ± 0.07
G 法	-1.47 ± 3.33	0.14 ± 0.07
Huber 式	-2.92 ± 2.69	-1.81 ± 0.12

D.B.H. 10cm 未満のものについては、変動が激しく、また符号も異なるので、各方法の優劣を一概にいうことはできないが、現行 2m 区分樹幹析解法の各式と比べて、信頼限界が、やや大きくなっているのが注目される。これを詳細にみると、D.B.H. 2cm 以上の齢階では、A、B法を除き、現行 2m 区分樹幹析解法の各式と、

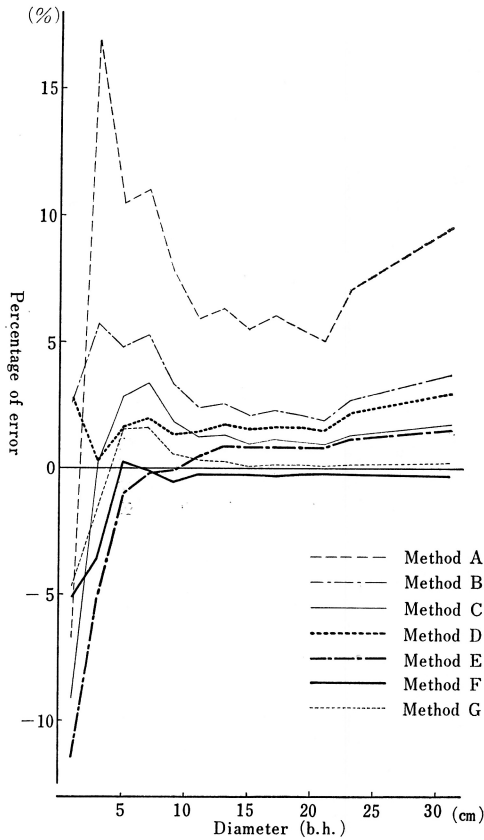


Fig. 2 Mean of percentage of error by diameter grades

	10cm未満	10cm以上
A 法	$15.85 \pm 3.30 \%$	$6.13 \pm 0.38 \%$
B 法	11.78 ± 3.41	2.42 ± 0.16
C 法	9.57 ± 3.31	1.18 ± 0.09
D 法	10.96 ± 3.48	1.76 ± 0.15
E 法	11.00 ± 3.53	1.00 ± 0.10
F 法	8.39 ± 2.93	0.43 ± 0.06
G 法	8.53 ± 2.92	0.39 ± 0.05
Huber 式	8.13 ± 2.26	1.84 ± 0.12

D.B.H. 10cm 未満のものについては、変動が激しく、A法を除き、各方法間、あるいは現行 2m 区分樹

と、なんら異ならないが、2cm 未満の齢階において、非常に大きな値を示しているのが認められる。換言すれば、普通採材時の各方法は、D.B.H. 2cm 未満という小径級において、現行 2m 区分樹幹析解法の各式よりも大きな誤差率を生ずる頻度が、やや多いといえることができる。これに対して、D.B.H. 10cm 以上の齢階では、現行 2m 区分樹幹析解法の各式と比べても、G法が最もすぐれているといえそうである。次いで、F法(= Smalian 式)、E法、C法(= 右田Ⅱ式)、D法(= Huber 式)、B法、A法の順となり、これら各方法の間には、いずれも危険率 1% で、有意の差が認められた。

次に、各方法で求積した径級別材積合計の、真材積合計に対する誤差率を求めてみると、小径級において、符号がやや異なるものもあるが、ほぼ \bar{P}_c と同様の傾向を示している (Table 4)。すなわち、F法は過小の、他の方法はいずれも過大な結果を与え、A、B法を除けば、現行 2m 区分樹幹析解法の各式と比べても、そんな色のない精度であった。

4) 誤差率 (絶対値) の平均値 ($\bar{P}_{|d|}$)

$\bar{P}_{|d|}$ も \bar{P}_c と同様に、小径級ではかなり大きい、径級が大きくなるにしたがって、順次減少し、D.B.H. 10cm 以上では、ほぼ一定の値となっている (Fig. 3)。D.B.H. 10cm 未満の齢階と、10cm 以上の齢階について、各方法の $\bar{P}_{|d|}$ とその信頼限界 (信頼度 95%) を示せば、次のとおりである。

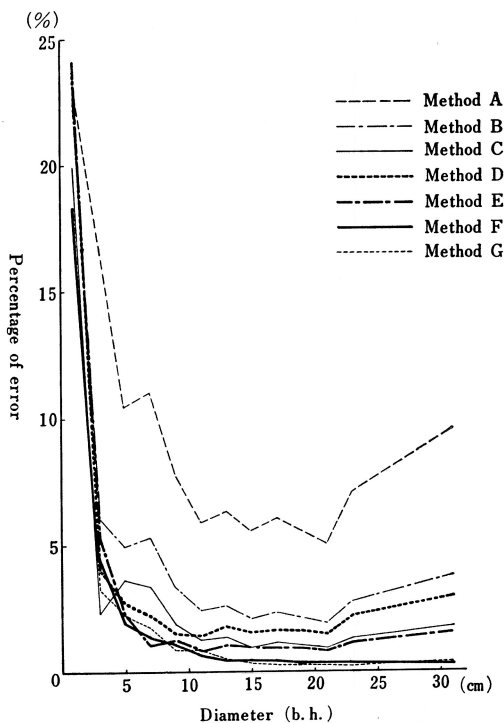


Fig. 3 Mean of percentage of error (absolute value) by diameter grades.

年齢階についてみると、A、B法を除き、一般に現行2m区分樹幹析解法の各式と、大差は認められないが、F法およびG法は、誤差率0%の度数が約50%と、現行2m区分樹幹析解法の各式(Huber式5%、Smalian式30%、右田Ⅱ式13%)に比べて、非常に良い結果を示している。しかしながら反面、誤差率20%以上を示すものが、全資料の4~7%を占め、大きな誤差率を示すものも、やや多いといえる(Huber式3%、Smalian式3%、右田Ⅱ式2%)。これを径級別にみると、小径級における精度の悪さが、やや目立ち、中、大径級では、かなり良い成績を示している。特に、D.B.H. 10cm以上の年齢階については、誤差率1%以内で求積されるものの割合は、Huber式32%、Smalian式91%、右田Ⅱ式73%であるから、A、B法を除く各方法の結果は、これらと比較しても、まさるとも劣らない好結果といえる。またD.B.H. 10cm未満の小径級にしても、結果の悪い原因は、前にもたびたびふれたごとく、主としてD.B.H. 2cm未満のものにあり、2~10cmのものでは、ほとんど優劣は認められない。

以上をまとめてみると、全幹を一率に、2m区分Smalian式で求積しようとするA法は、最も簡単であるが、非常に過大な値を与え、とうてい実用に供すべき方法とはいえない。また、これに対して他の6法は、B法を除き、ほぼ満足しうる結果を示しているが、地上高1.1mにおける各年齢階直径の推定を必要とする点、やや面倒である。かかる意味において、ここで次のような簡便法を考えてみた。すなわち、樹幹最外部の有皮材積を、なんらかの方法で精密に求積し、樹幹内部の各年齢階材積は、次式によってA法の値を修正するという方法である(以下A'法と呼ぶ)。

$$VA' = VA \times \frac{(VA')}{(VA)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} VA' : A'法の内部年齢階材積 \\ VA : A法の内部年齢階材積 \\ (VA') : A'法の有皮材積 \\ (VA) : A法の有皮材積 \end{array} \right.$$

幹析解法の各式との間に、有意の差は認められないが、現行2m区分樹幹析解法の各式よりは、やや劣るように思われる。このことは、 \bar{P}_Δ の場合と同じく、D.B.H. 2cm未満のものが原因しており、2cm以上のものでは、A、B法を除き、現行2m区分樹幹析解法の各式と、なんら差は認められない。すなわち、いまD.B.H. 2cm未満の年齢階の \bar{P}_Δ をみると、現行2m区分樹幹析解法の各式では、いずれも14%前後の値を示しているのに対し、普通採材時の各法では、Fig. 3にもみられるように、一番良い結果を与えたF法あるいはG法でさえ、18%以上の大きな値を示している。

これに対してD.B.H. 10cm以上の年齢階では、F法とG法、C法と右田Ⅱ式、D法とHuber式との間を除き、各方法、各式の間に、危険率1%で有意の差が認められた。すなわち、G法およびF法が最も良く、次いでSmalian式、E法、C法(=右田Ⅱ式)、D法(=Huber式)、B法、A法の順となり、ほぼ \bar{P}_Δ の場合と同じ結果が得られた。

5) 誤差率(絶対値)の累積相対度数

Table 5は全年齢階と、D.B.H. 10cm未満および10cm以上の各年齢階について、誤差率(絶対値)の累積相対度数を示したものである。まず全

Table 5 Relative cumulative frequency of percentage of error (absolute value).

Percentage of error	Age grades of the whole							Age grades of under D.B.H. 10cm							Age grades of D.B.H. 10cm and over						
	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
0	2	2	11	11	20	47	51	6	6	8	13	16	18	19	0	1	13	10	23	64	69
1	3	17	51	34	60	77	77	10	10	25	22	31	42	39	2	21	66	42	76	98	98
2	6	44	74	61	78	82	80	23	23	36	36	45	52	47	6	56	96	76	98	99	100
3	14	64	80	75	82	84	84	33	33	47	48	50	57	58	16	82	100	91	100	100	
4	22	75	83	83	84	86	86	15	39	53	50	57	61	61	27	96		100			
5	33	79	86	84	86	87	87	18	43	61	58	62	64	64	41	100					
6	46	82	88	86	86	88	88	20	51	66	62	63	68	68	61						
7	55	83	89	87	87	89	89	26	55	69	64	65	70	69	72						
8	63	86	89	88	89	90	90	31	61	71	68	69	72	72	81						
9	71	88	90	89	89	91	90	41	67	73	71	69	74	73	88						
10	75	88	91	89	89	91	91	47	68	74	71	70	76	75	91						
15	88	93	93	93	92	93	93	67	80	82	82	77	82	82	100						
20	93	95	96	96	93	95	95	80	87	89	89	82	85	85							
50	99	99	99	99	99	99	99	97	97	97	97	97	98	98							
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100							

いま、A'法の有皮材積として、7法中比較的好結果をもたらしたG法の有皮材積を用い、上式を適用してみると、次のような結果が得られた。

	10cm未満	10cm以上	
\overline{P}_A	$-1.50 \pm 3.54 \%$	$0.06 \pm 0.15 \%$	
$\overline{P}_{ A }$	$10.82 \pm 2.90 \%$	$0.70 \pm 0.11 \%$	
誤差の出現率	正の誤差	61 %	58 %
	誤差なし	5 %	0 %
	負の誤差	34 %	42 %

すなわち、誤差の出現状態は、やや正にかたよるとはいえ、そのかたよりはG法程度であり、誤差率平均値も比較的小さく、まずまずの成績と云える。ただ、5年生あるいは10年生という樹幹最内部の若齢階（特に樹高4.1m以下のもの）において、時として、やや大きな誤差率を生ずる恐れがあり、注意する必要があるであろう。いま、D.B.H. 10cm以下の齢階について、全資料の何%が、誤差率10%以内で求積されるかをみると、69%と、他法に比べてやや小さな数値を示している。これに対して10cm以上の齢階では、誤差率1%以内に全資料の86%のものが入り、F、G法につく好成績といえる。このように、小径級において、やや精度が劣ることは、地上高1.1mの各齢階直径を用いない、A法に基礎を置く本法の性質上、やむを得ない結果と考えられる。しかしながら全体的にみれば、本法の精度は、ほぼC法あるいはE法程度と思われ、実用的方法として、じゅうぶん適用しうるものと考えられる。

総 括

全幹材の区分求積において、最も問題になるのは、幹曲線変化の激しい下部樹幹材積の求積方法であろう。特に、胸高円板を採取しない普通採材時の樹幹析解法において、この部分の求積方法の良否は、全体の精度を大きく左右するといつてよい。かかる意味において、下部樹幹材積の求積方法を検討した結果、普通採材時の断面のみを用いる求積方法は、いずれもかなり大きな誤差率を与え、この部分をより正確に求積するためには、やや面倒ではあるが、地上高1.1mのデーターを加えるのが望ましいとの結論を得た。このような結果にのっとり考えた、下部樹幹材積の求積方法の中では、地上高1.1m以下の部分を $1.1 \times \left\{ \frac{g_{0.0} - g_{2.1}}{4} + g_{1.1} \right\}$ で求積する、F法あるいはG法の成績が最も良く、上部樹幹材積の求積精度と比べても、そんな色のないものであった。

上部樹幹材積の区分求積式としては、Smalian式、Huber式および右田Ⅱ式をとりあげたが、その結果は、前報とやや趣を異にし、右田Ⅱ式が最も良い結果を与え、次いでHuber式、Smalian式の順となった。

全幹材についての各方法の結果は、A、B法を除き、いずれも現行2m区分樹幹析解法におけるHuber式と比較して、そんな色のないものであった。なかでもF法およびG法は、現行2m区分樹幹析解法のなかで、最も精度の良かったSmalian式と比較しても、さらに良い結果を示しており、最も好ましい方法といえる。これに対して、地上高1.1mのデーターを用いないA法は、非常に過大な値を与え、とうてい実用に供すべき方法とはいいがたい。またB法の結果が、あまり良くなかったことは、B法とほぼ同様な方法と考えられる、現行2m区分樹幹析解法におけるSmalian式が、非常に好結果を示していることと考え合わせると、幹曲線変化の激しい幹脚部における、20cmの断面位置の差が、影響したものと推察されよう。このことからすると、胸高を1.2mとする樹幹析解法においては、Smalian式の適用は、必ずしも前報のごとき好結果を期待できず、また逆に、伐採面高が0.3mになれば、B法もおそらく、かなり良い結果をもたらすのではないかと思われる。本報においては、これらの吟味はできなかったが、今後さらに検討したいと思う。

次に、A法の不正確さと、他法の面倒さをおぎなう意味でのA'法は、小径級において、やや大きな誤差率を生ずることもあるが、簡便法として、じゅうぶん実用に供しうる方法といえよう。

む す び

以上、普通採材時における樹幹析解法の求積方法について、検討を試みた。その結果当地方のスギ普通採材時（2m採材）における樹幹析解法には、F法あるいはG法の適用が、最も好ましいものと考えられた。しかしこれらの方法は、地上高1.1mにおける各齢階直径の推定を必要とし、やや面倒なうらみがあつた。このことを

考慮に入れば、少し精度は劣るが、A'法が最も簡単であり、好ましい方法といえよう。いずれにしても、A、B法を除く他の方法は、現行2m区分樹幹析解法におけるHuber式と比べて、そんな色なく、満足しうる結果であった。

今回は、2m採材時の求積方法について検討したが、現在一般に行なわれている採材方法は、4m採材が主となっており、本報における採材方法は、厳密な意味での普通採材方法とはいいがたい。今後この4m採材時における求積方法についても考察を重ね、より実用的な（あるいは経済的な）樹幹析解法を究明していきたいと思う。なお、伐採面の高さによって、求積精度が大きく異なることも、今後に残る問題であろう。

引 用 文 献

- 1) 藤本幸司：樹木の生長解析法に関する研究(4). 樹幹析解における区分求積式の誤差について. 愛媛大演報 6 : 31~36, 1968
- 2) ————：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. 愛媛大演報 3 : 3~15, 1965

(1970年11月10日受理)