ヒノキ立木利用材積表の作成

安井　鈞※・守長十郎※※

Hitoshi YASUI and Jūro MORINAGA

A Log Volume Table of "HINOKI" by Measuring the Standing Trees.

緒　　言

林分材積推定の基礎として立木材積表が必要であり，一般に胸高直径と樹高を測定し２変数材積表を用いて計算されるが，その材積表が実際によく適合しておらねばならぬことは云うまでもない．特に正確な蓄積量或は生長量の査定に適した材積表を用いねば，折角の測定も無意味となる．理想的に云えば地域は勿論のこと，地位・林分密度・林令などによって区別した材積表が作成されていることが望まし現い．現在当地方では独自のものがないため，林野庁編集のものが使用されているが，その与える材積値は多くの場合過少であり適合がよくないと云われ，早急に樹種別材積表の完備されることが望まれる．

また立木の評価は一般に市場価逆算法によって行われているが，立木価格は丸太の市場価格や素材生産費あるいは売上利益などに左右されるのは当然とは云え，計算の基礎となる素材々積量は特殊の場合を除いて立木材積に見込みの利用率を乗じて算出される．この利用率は樹種，生育環境あるいは木取り方法などによって可成り差異のあることは当然だが，適正な立木材積表および利用率を用いない場合にはその誤差が大体そのまま立木価格に反映され，妥当な評価はできない．一方当地方の民間においては利用率を用いないで，直接素材々積を測定する方法が古くから考えられており，素材生産業者などは，現在なお慣用するといわれる．しかしこれらの方法は実際の商取引上の経験から生み出されたものとは云え，多くが仮定したある定数を一律に乗ずる方式のもので,計算された数値には bias のあることが予想される．

この報告はヒノキの立木利用材積表の作成を目的としたものであるが，島根県林政課が蒐集した伐採木資料を用いて利用率および民間慣行の素材々積測定法の妥当性を検討し，新たに立木状態における素材々積（丸太材積合計）表を作成した．終りに資料を貸与された島根県林政課の大森崇技師および種々御教示賜った松尾輝男技師に厚く御礼申し上げる．

資　　料

ここで用いた資料は，立木材積表作成のため島根県林政課が昭和30年邑智郡一円において伐採測定した149本[6]および昭和38年に鹿足郡津和野町，邑智郡桜江町で蒐集した164本合計313本である．資料の詳細については省略するが，胸高直径の最小は7.0*cm*，最大は38.7*cm* で，また樹高は最小5.9*m*，最大21.2*m*であり，立木幹材積は１*m*毎の区分求積によって求めた樹皮を含む幹足・幹材・梢頭の材積合計である．

実際には立木個々の素性によって区々の造材がなされる訳だが，立木評価の場合は一般に４*m*材を基準に見積られることが多いよう[1][4][5]であり，素材々積は次のように計算した．先ず区分求積の測定値により直径は1/10，樹高は1/100として樹幹の形状をグラフに画き，特に大きな根曲りなどないものとして最も普通に行われる木取方法すなわち樹皮を除いた末口直径が最小８*cm*まで４*m*材を中心にその他は３*m*材と２*m*材を採材されることにして，これを図上で区切った．樹皮厚は１番丸太が0.5*cm*，２番丸太以後は0.25*cm*と仮定した．次に区切った各丸太の材積は日本農林規格の第２章の規定[2]によって計算し，その丸太材積の合計をもって素材々積としたので実材積ではない．

立木幹材積式の計算

先ず本研究の前提として立木幹材積式について考察を行った．立木材積式としては，胸高直径と樹高による２変数材積式，胸高直径のみに基づく１変数材積式あるいは更に因子を加えた多変数材積式など数多くの実験式が提案されているが，ここでは２変数材積式として最も広く採用されている山本式（或は Schumacher 式），１

※　森林計画学研究室

※※　大分県林務部

第１表　直径級別山本式の回帰係数および重相関係数

直径級	資料数	a	b	c	重相関係数
I	96	$\bar{5}.65052\pm0.07404$	1.889651 ± 0.090349	1.077625 ± 0.071924	0.99514
II	168	$\bar{5}.66975\pm0.00702$	1.881615 ± 0.011535	1.074868 ± 0.008032	0.96598
III	49	$\bar{4}.45351\pm0.26350$	1.471508 ± 0.288762	0.925576 ± 0.581818	0.93207

第２表　直径級別１変数式の回帰係数と相関係数

直径級	a	b	相関係数
I	$\bar{5}.71540\pm0.22563$	2.875014 ± 0.201142	0.94701
II	$\bar{4}.07866\pm0.19368$	2.552254 ± 0.148932	0.93604
III	$\bar{3}.16202\pm0.33748$	1.789215 ± 0.227902	0.91645

変数材積式として地方材積表式（或は Berkhout 式）について検討した．材積式の計算は全資料を直径７～16 *cm*（I），16～26*cm*（II），26*cm*以上（III）の３直径級に区分して実験式を求め，直径級間の比較検定を行った．

1）2変数材積式

先ず山本式を対数変換すると

$$\log V=a+b\cdot\log D+c\cdot\log H$$

となるので，全資料の各因子を対数変換した後，直径級毎に Simple-Doolittle 法によって解き，又回帰係数・常数の信頼限界と重相関係数を計算したが，その結果を第１表に示す．

各直径級間には等分散性が認められないが，直径級 I と II は信頼限界からみて有意差がないと考えられるので両者を一括して再び最小自乗法で解き，直径26*cm*以下は (1) 式，26*cm*以上は (2) 式を採用することにした．なお両式とも対数計算による過少推定値となるため回帰常数を補正してある．

$$\log V=\bar{5}.63700+1.910296\cdot\log D+1.071743\cdot\log H \quad (1)$$

$$\log V=\bar{4}.45494+1.471508\cdot\log D+0.925576\cdot\log H \quad (2)$$

次に両式に基づく材積の残差の百分率[8]を計算すると，(1) 式は9.2%，(2) 式は3.0%となった．

2）1変数材積式

現場における立木測定を考えた場合，一般に測高作業は困難であり，またその測定誤差が10%を越えるときは２変数材積表の意味のなくなることが実証されている．そこで実際問題としては，適用区域を限定するならば胸高直径のみを因子とする立木材積表が実用的であるので，次に地方材積式 $\log V=a+b\cdot\log D$ について計算した．

前と同様に直径級別に区分して最小自乗法によって実験式を解き，回帰係数・常数とその信頼限界および相関係数を求めた結果は第２表のとおりである．

２変数式の場合と同様に，各直径級間に分散の一様性は認められないが，回帰係数および常数の信頼限界からみると直径級 I と II の間には有意差がないと思われ，両者を一括して再び最小自乗法によって実験式を解き，直径26*cm*以下は (3) 式，26*cm*以上は (4) 式を採用することにした．

$$\log V=\bar{4}.00005+2.619726\cdot\log D \quad (3)$$

$$\log V=\bar{3}.16377+1.789215\cdot\log D \quad (4)$$

両式とも修正係数を求めて回帰常数の値を補正しているが，材積の残差誤差率は (3) 式が17.3%，(4) 式が9.4%となった．この程度の単木推定誤差率であれば，林分材積には１変数材積式の方が寧ろ実用的で優れているといえよう．

慣行の素材々積算出法の検討

一般に立木の取引きにおいては，幹材積よりも実際に収穫される素材の材積が重要となってくる．立木状態において素材々積を求める材積表についての研究は従来あまりみられないが，ここでは先ず立木評価法に用いられる丸太利用率と民間慣行の素材計算法について考察してみよう．素材の材積表は材種別材積を与えるものが望ましいが，取扱いが繁雑でありまた方法論的にも無理があるように考えられたので，単木における丸太の材積合計をもって素材々積とした．

1．丸太利用率

立木に市場価値のあるとき立木評価をするには，一般に市場価逆算式が用いられる．この算式は，基本的には丸太市場価格から伐採・造材・集運材などの素材生産費を差引いたものを立木価格と考え，なおこれに素材生産事業の資本投下利益が見込まれる．しかしこの場合には立木から得られる素材々積の総量と生産総経費を知って

第3表　民間求積式（d）式の係数

素材長（間）	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
係　数（f）	1.09	1.12	1.22	1.21	1.42	1.54	1.64	1.74	1.85	1.95	2.04	2.14	2.24

第4表　m単位による（d）式の係数

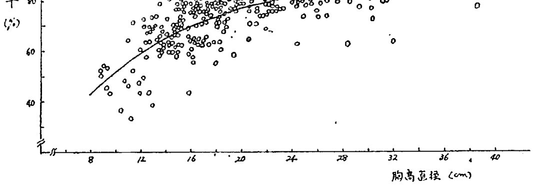
素材長（m）	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
利用胸高係数	0.579	0.528	0.518	0.505	0.503	0.503	0.498	0.493	0.472	0.487	0.482	0.478

初めて計算が可能となるため，普通単位当りの市場素材価格と素材生産経費および利用率から立木材積で示された単位当り立木価格を算出し，立木総価格はこれに立木総材積を乗じて算出されることが多い[4].

この利用率は立木材積に対する素材々積の百分比であり，立木材積は立木の枝条と樹皮を除いた梢頭部を含む幹材積であると云われるが，樹種・生育環境・木取方法などによって左右されるのは勿論，正確な素材々積が解って初めて算出できるものであるが，実際には利用率としてスギでは70～80%，ヒノキでは70%程度が常識となっている．

ここでは前述のとおり，大きな根曲りなどなく伐採点から4m材を中心に末口8cm程度まで採材するものとして，先端で4m材の採れないときは3m材或は2m材をとるものと仮定した．そして単木ごとの各丸太材積を日本農林規格で定められた方法によって求め，その合計を素材々積として利用率を算出した．従来利用率についての研究は多くないが，筆者ら[7]が匹見演習林の天然生スギについての研究で，利用率は胸高直径および樹高との間に指数曲線的な関係のあることを考察した．

先ず利用率が普通0.7或は0.8とされていることの適否について検討するため，幹材積（X）に対する素材々積（Y）の関係を1次回帰式によって考察し，回帰常数が零と有意であるか否かによって，一定の利用率による推定の是非を検定する方法をとった．全資料を用いて平均の利用率（P）を計算すると次のようになる．



第1図　胸高直径と利用率の関係

$$P = SXY/SX^2 = 0.81$$

しかし両者間の関係は（5）式のようになり，回帰常数の信頼限界は〔−0.024～−0.010〕となるから，一定の比（利用率）を用いれば偏りのあることを示す．

$$Y = -0.017 + 0.849333 \cdot X \qquad (5)$$

次に利用率は立木の大きさにより変化することが予想されるので，胸高直径に対する利用率の関係を天然スギの場合と同様の実験式によって考察し，(6) 式を得た．

$$\log P = 0.04858 - 3.341595 \cdot \frac{1}{D} \qquad (6)$$

これを図示すると第1.図のようになるが，回帰は無論著しく有意であった．樹高と利用率の関係については検討していないが，同様の傾向がみられる．

2.　民間慣用の素材々積算出法

当地方の民間素材業者が慣用している利用材積の推定法の種類は相当多数あるものと思われるが，そのうち4種の代表的な方法について検討してみよう．いずれの場合にも立木における丸太の材積合計を求めるもので，単位は石である．

a)　$V = \left\{\left(\frac{\ell_1}{4}\right)^2 \cdot h_1 \cdot 0.75\right\} / 140$

b)　$V = \ell_1^2 \cdot h_2 \cdot 0.004$

c)　$V = D^2 \cdot h_2 \cdot 0.04$

d)　$V = D^2 \cdot f$

但し式中 ℓ_1は胸高周囲（単位寸），h_1は丸太長合計（単位間），h_2は丸太長合計（単位尺），Dは胸高直径（単位尺），fは素材長合計別の係数で第3表のとおりである

先ずa式は四折法といわれる当地方で古くから用いられているもので，はじめ才単位であったものを$1/140$を乗じて石単位になおされたものである．a式・b式・c式は次の単木求積式の形に変換することが出来，いずれもある形数を仮定しているものと見做し得る．

$$V = g \cdot h \cdot f$$

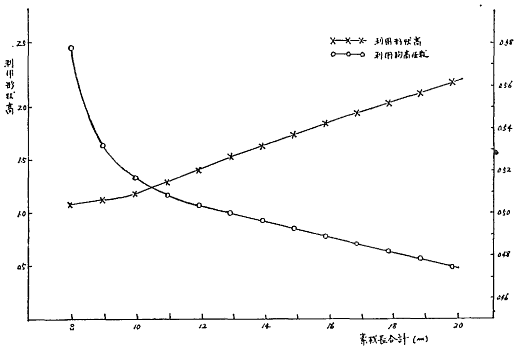
ここでgは胸高断面積，hは丸太長合計である．fは胸高形数に似た性質の形数で仮りに胸高利用形数と名づけておくが，計算の結果次の様になった．

a式　0.7012

b式　0.5027

c式　0.5093

次にd式をみると，胸高利用係数は素材長によって変化するものとして所謂形状高に類似した係数を用いてあり，ここでは利用形状高と名づけておくが，前3者よりも進んだ形であると思われ，第3表からm単位として示すと第4表のようになる．また利用形状高とこれより推定した胸高利用係数を素材長との関係で図示したのが第2図である．



第2図　(d) 式における素材長に対する利用形状高および利用胸高係数の関係

3. 胸高利用係数

先ず民間の求積式のうちa式・b式・c式は胸高利用形数を仮定しているが，これが立木の胸高直径或は樹高との間に有意な関係があるかを検討してみよう．

313の全資料を用いて胸高直径に対する胸高利用係数の関係をみると，ちらばりは大きいが形数は一定ではなく直径の増大に伴い漸減する傾向があるので，次に示す各実験式を最小自乗法で解いてみた．

$$\log f=\bar{1}.41580+2.904906\cdot\frac{1}{D} \quad (7)$$

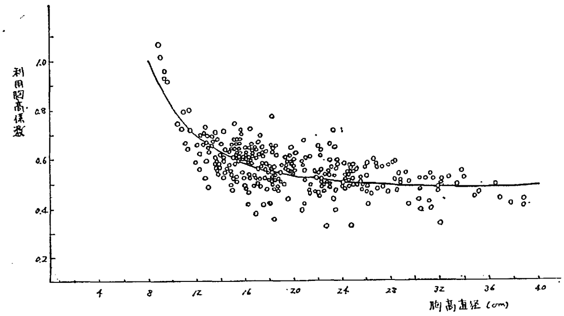
$$\log f=0.19694-0.354142\cdot\log D \quad (8)$$

$$\log f=\bar{2}.91620+0.434489\cdot\log D+4.992687\cdot\frac{1}{D} \quad (9)$$

$$\log f=1.75280-2.801092\cdot\log D+0.953471\cdot(\log D)^2 \quad (10)$$

各式の回帰はすべて有意であるが，(7) 式，(8) 式，(9) 式，(10) 式の順に残差平方和は小さくなり，(10) 式が最も適合がよくこれを第3図に示すが，いずれにしても形数は一定ではなく直径が大きくなる程減少する傾向があり，民間求積式a・b・cの各式には偏りのあることが明らかとなった．

つぎにd式は素材長合計と形数との間の関係は一定ではなく，漸減する傾向を認めた方法であることは第4



第3図　胸高直径と利用胸高係数の関係

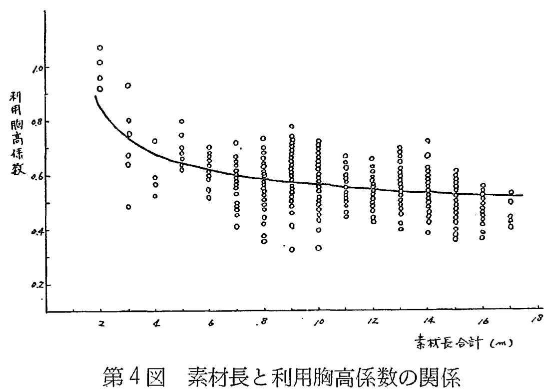
表，第2図で既に示した．現実の資料を用いて素材長合計に対する形数の関係を plot してみると，変動は大きいがやはり一定とは見做し難いので，つぎのように2種の実験式を適用して検討した．この場合素材長はm単位となるので，各級の平均値を求め重みをつけた統計量を算出して最小自乗法で解いた．

$$\log f=\bar{1}.97096-0.218610\cdot\log H \quad (11)$$

$$\log f=\bar{1}.68672+0.586519\cdot\frac{1}{H} \quad (12)$$

両式を比較すると，(12) 式が精度がよくこれを第4図に示すが，採材長（素材長合計）の短いほど胸高利用係数は高くなる傾向のあることが明らかとなった．

なお第2図と第4図を比較すれば判然とするが，d式を採用する場合素材々積は可成り低く見積られることになる．



第4図　素材長と利用胸高係数の関係

立木利用材積式の計算

素材々積を求める手段として，立木幹材積に一定の利用率を乗ずる方法或は当地方における慣行の求積法による場合について実際の資料を用いて検討し，それらは妥当でないことが明らかとなった．従って統計的に不偏推定値を与える素材々積推定法が考えられねばならないが現在この方面についての研究はあまりなされていない

第5表　2変数素材々積式の回帰係数

直径級	a	b	c
I	$\bar{6}.44377$	2.683463	1.187045
II	$\bar{6}.95675$	1.883012	1.572019
III	$\bar{5}.66502$	1.443939	1.507586

第6表　1変数素材材積式の回帰係数

直径級	a	b
I	$\bar{6}.01451$～$\bar{6}.95949$	3.375893～4.211297
II	$\bar{5}.17567$～$\bar{5}.93397$	2.608261～3.119411
III	$\bar{4}.15168$～$\bar{3}.48824$	1.590903～2.331943

ようである．特に正確な材種毎丸太材積を立木の状態で求めるような場合には，単木毎に上部直径を測定できる高級な測高器械を用いるなら可能であろうが，能率的に素材々積を推定したいときには，立木幹材積表と同じ表の形にしておいた方が実用的で，それも木取方法別に作成すべきであろう．

ここでは再び立木幹材積式の場合と同様に2変数式として山本式，1変数式として地方材積表式を用いて，各直径級別に実験式の計算を行った．

1.　2変数材積式

立木の素材長を測定することは，樹高よりも一層困難であると思われるので，胸高直径と樹高を独立変数として解いた結果，各級の重回帰式の係数は第5表のようになった．

各級間の比較をすると，直径級IIIは他と分散の一様性が認められず，またIとIIの級間では回帰常数間に1％水準で有意差が認められるので，結局修正係数を乗じた次の3式を各直径級別に適用することにしたが，材積残差の誤差率は各24.3％，21.4％，14.3％となった．立木幹材積式 (1) 式，(2) 式に比較すると単木推定の誤差率は大きいが，充分実用に供し得よう．

I) $\log V = \bar{6}.45396 + 2.683462 \cdot \log D + 1.187045 \cdot \log H$　(15)

II) $\log V = \bar{6}.96490 + 1.883012 \cdot \log D + 1.572019 \cdot \log H$　(16)

III) $\log V = \bar{5}.66540 + 1.443939 \cdot \log D + 1.507586 \cdot \log H$　(17)

2.　1変数材積式

同様に直径級別1変数材積式を最小自乗法で解いて，直径級間の比較を行った．各々標準誤差とC乗数を計算して回帰係数と常数の信頼限界を算出したが，第6表に示すとおり有意差があるので，次に示す各直径級別材積式 (18) 式，(19) 式，(20) 式を採用した．

各式とも修正係数を求め補正しているが，材積残差の

第7表　ヒノキ立木の素材々積表

樹高 (m)	胸高直径 (cm) 8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
	0.0085	0.0199	0.0397	0.0712	0.1049	0.1452	0.1963	0.2577	0.3307	0.4050	0.4603	0.5208	0.5981	0.6736	0.7535	0.8378
7	0.0076	0.0138	0.0226	0.0341												
8	0.0089	0.0162	0.0264	0.0400												
9	0.0102	0.0182	0.0304	0.0459												
10	0.0116	0.0211	0.0344	0.0521	0.0637	0.0795										
11	0.0130	0.0236	0.0386	0.0583	00.740	0.0924										
12	0.0144	0.0262	0.0428	0.0647	00.849	0.1059	0.1291	0.1546								
13	0.0158	0.0288	0.0470	0.0711	00.962	0.1201	0.1464	0.1753	0.2065	0.2401						
14		0.0316	0.0514	0.0777	0.1081	0.1350	0.1646	0.1970	0.2320	0.2698	0.3040	0.3357	0.3686	0.4024	0.4369	0.4724
15			0.0557	0.0843	0.1205	0.1505	0.1835	0.2196	0.2589	0.3008	0.3374	0.3727	0.4091	0.4466	0.4859	0.5243
16			0.0602	0.0910	0.1334	0.1665	0.2031	0.2430	0.2862	0.3329	0.3719	0.4107	0.4508	0.4922	0.5345	0.5778
17				0.0978	0.1488	0.1832	0.2234	0.2674	0.3149	0.3663	0.4076	0.4501	0.4941	0.5394	0.5857	0.6333
18				0.1046	0.1606	0.2005	0.2444	0.2925	0.3445	0.4007	0.4442	0.4906	0.5385	0.5879	0.6384	0.6902
19					0.1748	0.2205	0.2661	0.3185	0.3751	0.4362	0.4820	0.5322	0.5843	0.6378	0.6926	0.7488
20							0.2883	0.3448	0.4065	0.4723	0.5206	0.5749	0.6311	0.6890	0.7482	0.8089
21							0.3113	0.3726	0.4388	0.5104	0.5603	0.6187	0.6792	0.7415	0.8052	0.8706
22							0.3311	0.4010	0.4722	0.5491	0.6010	0.6637	0.7286	0.7954	0.8638	0.9339
23											0.6427	0.7097	0.7791	0.8506	0.9236	0.9986
24											0.6853	0.7568	0.8308	0.9070	0.9849	1.0063

誤差率は各33.2%，26.8%，15.7%となる．

Ⅰ）$\log V=\bar{6}.50494+3.793595\cdot\log D$　(18)

Ⅱ）$\log V=\bar{5}.56685+2.863836\cdot\log D$　(19)

Ⅲ）$\log V=\bar{4}.82439+1.961423\cdot\log D$　(20)

2変数材積式の精度には劣るが，林分における数多い測定にはむしろこの方が実際的であろう．

以上の結果を一括して第7表に示す．

引　用　文　献

1. 嶺　一三：やさしい林木調査 (2) 1964 東京 p.32～35，p.97
2. 木材技術研究会：メートル法による丸太材積表 1960 東京
3. 西沢正久：森林測定法　1959　東京　p.86
4. 菅井信愛：やさしい林木調査 (3)　1964　東京 p.23，p.35
5. 菅井信愛：林業新知識　12：8～11，1964
6. 安井　鈞：邑智地方ヒノキ林林分収穫表および立木幹材積表の作成　1955　島根県林政課
7. 安井　鈞・成田恒美：島農大研報，9（A—2）：25～30，1961

Summary

In the evaluation of a forest, it may be more helpful and more convenient to estimate the log volume by the direct measurements of standing individual trees than the conventional method which deduces the log volume from the evaluated total tree volume of a forest.

As a practice of his method, the author tried to get a table for evaluation of log volume by direct measurement of standing trees. The measurement was carried on 313 samples of "Hinoki" trees of several stands in Shimane Prefecture.

His procedure which he followed in making the table, was as follows :

1. measurement of D.B.H. and height of sample trees.
2. evaluation of log volume by sectional measurement on all of samples.
3. estimation of the value of coefficient in the equation.

$$V=10^{a}\cdot D^{b}\cdot H^{c}$$

Thus he get following three equations, dividing the samples in three classes by the diameter.

For the first class (D.B.H. 16 cm and over)

$$V=0.000002844\cdot D^{2.683462}\cdot H^{1.187045}$$

For the second class (D.B.H. 18～26 cm)

$$V=0.000009224\cdot D^{1.883012}\cdot H^{1.572019}$$

For the third class (D.B.H. 28 cm and over)

$$V=0.00004628\cdot D^{1.443939}\cdot H^{1.507586}$$

where the error rate for a tree may be 24.3%, 21.4%, 14.3% respectively.

Then he modified it in a form of one variable equation as follows.

For the first class

$V=0.000003198\cdot D^{3.793595}$　(error rate 33.2%)

For the second class

$V=0.00003688\cdot D^{2.863836}$　(　〃　26.8%)

For the third class

$V=0.0006674\cdot D^{1.961423}$　(　〃　15.7%)

For the convenience of practice he prepared a table to evaluate log volume, as shown in Table 7 to be used in Shimane Prefecture.