

トドマツ造林木の幹型と立木幹材積表

小 木 和 彦
猪 瀬 光 雄
佐 野 真
眞 邊 昭

はじめに

現在、国有林と道林務部で使用されているトドマツの立木幹材積表は、すべて天然木の資料から作成されている。篠原¹⁾は長期の被圧時代を経てきた天然木と、十分な空間が与えられて成育してきた造林木とでは完満度が異なるとの予想から1,471本の区分求積データによって、旧函館、札幌、旭川、北見営林局のトドマツ幹材積表の造林木に対する適合度を調べている。

その結果、上記のどの表についても、区分求積による実材積は表材積を下まわり、その傾向は小径木ほど著しいことがわかった。

ここでは、篠原の検討で十分でなかった直径30cm以上の資料を追加して、旧札幌営林局のトドマツ・エゾマツ立木幹材積表²⁾と、道林務部で使用されている中島博士の針葉樹立木幹材積表³⁾について、同様な適合性の吟味を行い、篠原の結論を確かめた。

さらに、幹曲線式を用いる新しい方法で、同じ資料を利用して、トドマツ造林木に対する立木幹材積表と利用材積表を作成した。

なお、ここに示すものはさきに文献⁴⁾で予備的な検討を行った後、さらに54本の大径木データを追加して得た最終的な結果である。

供試資料

資料は次のとおりで、このうちA～Cが篠原のデータ、Dがその後の追加データである。

A：収穫試験における間伐木の区分求積データ

B：全道の優良造林地の調査で、プロット毎に1本の優勢木を選んで伐倒、樹幹解析したデータ

C：道内5ヶ所の優良造林地における樹幹解析のデータで、Bと違って1箇所ですべて30本づつまとめて伐採されたもの。

D：道内の営林局、営林支局及び道有林の主伐林分で測定した胸高直径28cm以上の伐倒木の区分求積データ

これらの直径、樹高階別の本数を表1に示す。

資料に対する現行材積表の適合度

表1の資料を、本数の少ない分布の周縁部では、隣接する直径・樹高階を合併するようにして、全部で207のグループにまとめ、それぞれの実材積の平均値を求めた。同様に、現行材積表のもとになっている材積式からグループに含まれる1本ごとに表材積を求め、グループの平均値を計算した。

この実材積と表材積の関係は図1のようであ

表1 資料木の胸高直径・樹高階別本数

胸高 直径 (cm)	樹 高 (m)																											計
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27				
4	1	5	7	1	1																					15		
6		9	16	29	16	9		2																		81		
8			2	12	36	33	34	19	7	1	1															145		
10				1	9	26	44	41	29	29	11	6														196		
12					2	6	22	52	38	45	37	23	12	2												239		
14					1	2	6	21	42	35	32	30	19	13	5	1										207		
16							1	12	30	54	42	34	33	21	12	7										246		
18							2	8	4	22	22	24	28	16	18	19	11	3								177		
20									3	8	16	14	24	17	14	16	16	6		1						135		
22								2	1	5	11	14	10	17	13	13	15	8	3		1					113		
24										1	4	11	7	10	7	6	9	4	3	2	1	1				66		
26											1	5	8	11	9	2	4	9	6	1	1					57		
28												4	2	3	1	3	3	4	1	2						23		
30											2	4	2	5	8	18	9	10	11	7	6	1				83		
32										1			1	2	6	13	20	22	22	13	9	7	7	1		124		
34												2	2	5	4	11	25	26	27	23	8	5	3	2		143		
36													1	2	7	8	15	15	31	23	21	5				128		
38													1	2	3	4	14	15	14	17	8	5				83		
40														1	1	4	7	7	8	6	8	3	2	1		48		
42															1		4	4	9	8	4	5	4			39		
44														1		1	2	5	5	3	4	2	2	1		26		
46																1		1	5	2	1	1	2			13		
48																			2	2		1	1	1		7		
50																		1				1				2		
52																				2						0		
54																										2		
56																						1				1		
58																							1			1		
計	1	14	25	43	65	76	109	157	154	201	179	172	151	132	116	134	156	140	140	106	70	38	16	5	2,400			

る。図1、Aの旧札幌営林局の表の場合は、207グループのうち、実材積が表材積より大きくなったグループは僅かに16である。材積表の過大推定の程度は、4～6cm直径階では実材積の30%以上になることがあり、20cm階でも10%以上の正の誤差が生じている。一方、図1、Bの中島博士の材積表では、表材積が実材積より小さいグループの数は67箇と全体の1/3で過大推定の程度は幾分少ないが、それでも8cm以下の直径では、最低で6%、最大では17%の正の誤差が生じている。したがって、篠原の結果と考え合

わせるとトドマツの造林木については独自の材積表が必要と考えられる。

トドマツ造林木の幹曲線式

これまでの材積表は、データから得た材積式または胸高形数式を使って構成数値を求めるという方法をとっている。これに対して、以下ではBRUCEら⁵⁾の提案した幹曲線式に基づく作成方法を用いた。これによる利点は、幹材積表と利用材積表が同一基礎のもとに作成でき、また、採材の集約度の変化に応じて利用材積表が容易

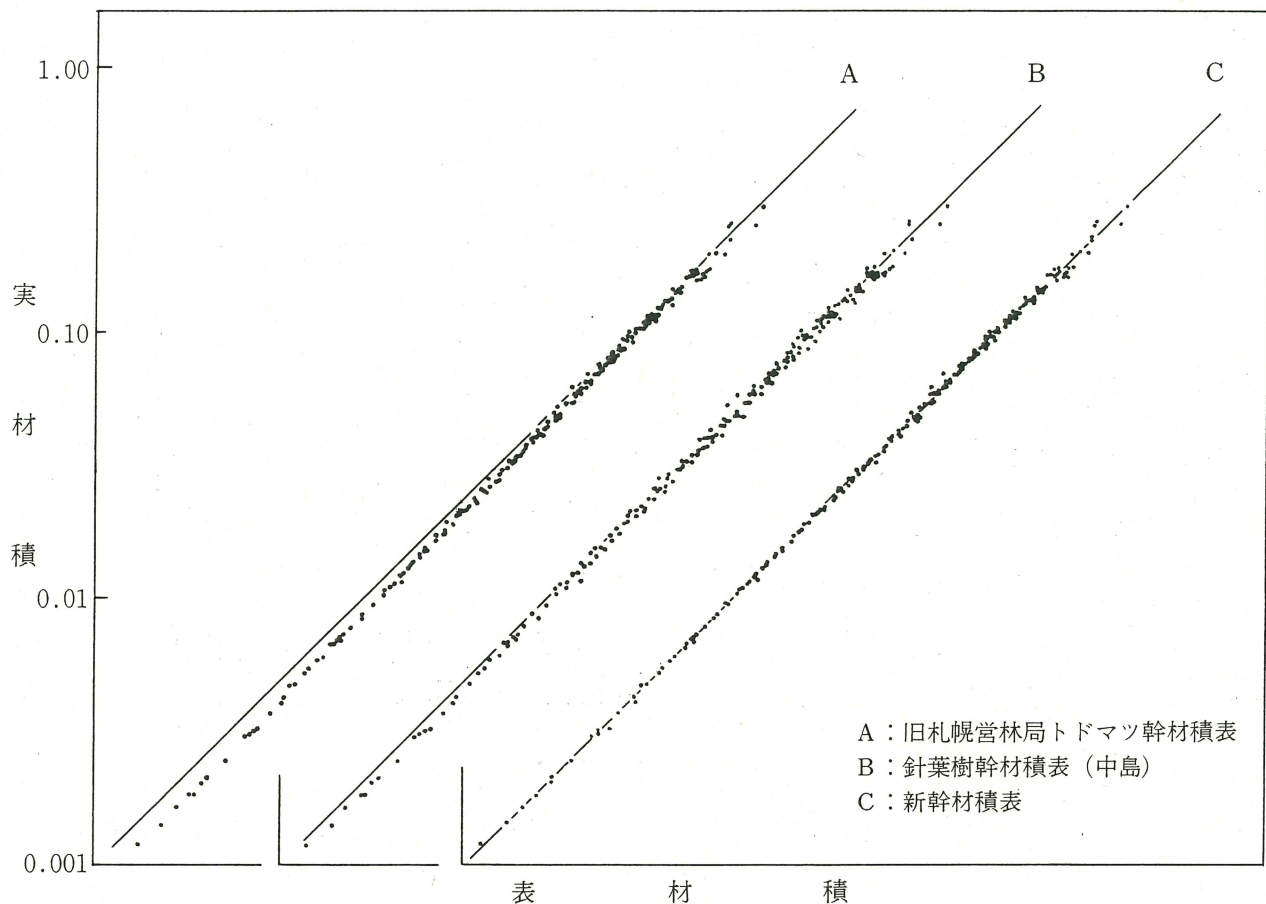


図1 幹材積表の適合度

に作りかえられることにある。

BRUCE らの幹曲線式は、いわゆる KUNZE の一般式⁶⁾

$$y^2 = px^\gamma \quad (1)$$

が出発点のようである。ここで、 x は梢端からの、樹高に対する相対長を表わし、 y はその点の胸高半径に対する相対半径である。したがって、(1)式を x 軸のまわりで回転させたときの立体は相対樹幹を表わす。

よく知られているように、形状指数 γ が 0 のとき、(1)式の回転体は円柱体、2 は円錐体、3 ではナイロイド体で、それぞれ、樹幹の中央部、上部、下部の形状に対応するといわれる。このことから、BRUCE らは形状指数 γ を色々に変えた x の多項式で幹形を近似することを考え、その場合の各項の係数 p が胸高直径 D と樹高 H の関数になると仮定した。

例えば、最も簡単な場合では

$$y^2 = p_1(D, H)x^0 + p_2(D, H)x^2 + p_3(D, H)x^3$$

となり、一般には、

$$y^2 = \sum p_i(D, H)x^{\gamma_i} \quad (2)$$

となる。ここで、 $p_i(D, H)$ は、 i 番目の形状指数 γ_i に対応する項の係数が、 D と H の関数として決定できることを表わしている。

BRUCE らは、 γ_i として 1.5、3、32、40 をとり red Alder について $p_i(D, H)$ を求めている。この場合、彼等の示す y は相対半径ではなく、胸高直径に対する断面ごとの相対直径であり、 x も胸高から上の幹の長さに対する相対断面高である。このため、(1)式、(2)式の y^2 は胸高断面積に対する各断面の断面積比になる。

(1)式による相対幹曲線の決定は、次の 3 つのステップに分れる。

1) 基本変数の選定

まず、どのような γ_i の組み合わせを採用するかを決める。ここで、樹高を H 、任意の断面高を h として、相対断面高を $x = (H - h) / (H - 1.3)$ とする。次に、データごとに、 h における直径 d

と胸高直径Dとから $y^2=d^2/D^2$ を計算する（以後、簡単のために(2)式の y^2 をYと表わす）。

γ_1 の候補として、1.5、3、5、7、9、32、40 をとり、表1の資料木の全部で18,236箇の断面高に対するYの値をこみにして、回帰分析を行った。これから、 x^7 の項は有意とならず、削除してよいことが分った。得られた推定式は、

$$Y = 0.001966 + 1.267448x^{1.5} + 0.456685x^3 - 1.481409x^5 + 0.827148x^9 - 0.020010x^{32} + 0.003159x^{40} \quad (3)$$

である。このあてはめで、Yに対するxの全寄与率は94%、すなわち重相関係数は0.97になった。

2) $p_i(D, H)$ の関数形の決定

幹曲線式の値は梢端 ($x=0$) で0、胸高 ($x=1$) では1となるべきだから、(3)式を次のように書きかえる。

$$(Y - x^{1.5}) = B_1(x^{1.5} - x^3) + B_2(x^{1.5} - x^5) + B_3(x^{1.5} - x^9) + B_4(x^{1.5} - x^{32}) + B_5(x^{1.5} - x^{40}) \quad (4)$$

表1の資料を分割して作った207箇のグループの各々に(4)式をあてはめて、係数 $B_1 \sim B_5$ を計算した。これらの B_i は、グループの平均直径 $\bar{D}$ と平均樹高 $\bar{H}$ に応じて変化する。そこで、 $B_1 \sim B_5$ が $\bar{D}$ と $\bar{H}$ の多項式

$$B_i = b_0 + b_1\bar{D} + b_2\bar{H} + b_3(\bar{H}/\bar{D}) + b_4(10/\bar{H}) + b_5(10/\bar{D}) + b_6(\bar{D}/10)^2 + b_7(\bar{H}/10)^2 \quad (i = 1 \sim 5) \quad (6)$$

で近似できるものとして、グループ別データから $b_0 \sim b_7$ を計算した。

b_i の有意性検定によって(6)式の各項の重要度を判定すると表2のようになる。

これによると、どの B_i についても推定に意味をもつのは4箇の変数に限られ、また、共通に選ばれているのは (H/D) のみである。 (H/D) は形状比と呼ばれ、細りの目安に使われているのでこの結果は妥当なものといえよう。これで、(4)式の B_i が表2の各変数でおきかえられるので、幹曲線式に含める因子としては、 $Z_1 = (x^{1.5} - x^3)$ とおいて、これを例にとると、 Z_1 、 $D \cdot Z_1$ 、 $H \cdot Z_1$ 、 $(H/D)Z_1$ 、 $(10/D)Z_1$ である。 $Z_2 = (x^{1.5} - x^5)$ では、 Z_2 、 $D \cdot Z_2$ 、 $(H/D)Z_2$ 、 $(10/D)Z_2$ 、 $(H/10)^2Z_2$ など、また、 $Z_5 = (x^{1.5} - x^{40})$ に対する Z_5 、 $H \cdot Z_5$ 、 $(H/D)Z_5$ 、 $(D/10)^2Z_5$ 、 $(H/10)^2Z_5$ まで全部で25箇の変数が候補になる。

3) 幹曲線式の決定

取り上げた25箇の変数の中には、Yに対する寄与の類似した同じ性質をもった変数が含まれている可能性がある。その場合には、その中のどれかの変数で他を代表させることができるから、目的変数 $(Y - x^{1.5})$ に対して25箇の全変数を取り入れた回帰分析を行い、逐次的に不要な変数を取り除いていく。データは(3)式の場合と同じ18,236の断面高に対するYとxの値である。この計算で、 $D(x^{1.5} - x^3)$ 、 $(10/D)(x^{1.5} - x^3)$ 、 $D(x^{1.5} - x^5)$ 、 $(10/D)(x^{1.5} - x^5)$ 、 $(H/10)^2(x^{1.5} - x^5)$ 、 $D(x^{1.5} - x^9)$ 、 $(10/D)(x^{1.5} - x^9)$ 、 $(H/10)^2(x^{1.5} - x^9)$ 、 $(H/10)^2(x^{1.5} - x^{32})$ の回帰係数が有意とならず削除された。ただし、有意性検定を行う必要から、この場合は定数項をもつ通常の形の回帰式を使

表2 B_i を推定する各変数の係数 b_i とその有意性

変 数	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5
$\bar{D}$	0.5990**	-0.8919**	0.5242**	-0.1754**	—
$\bar{H}$	-14.1023**	—	—	-0.0602**	0.1139**
$\bar{H}/\bar{D}$	-3.1794**	19.5061**	-10.8610**	3.0843**	-0.7897**
$10/\bar{D}$	-2.3635**	4.5472**	-2.3961**	—	—
$(\bar{D}/10)^2$	—	—	—	—	0.0862**
$(\bar{H}/10)^2$	—	3.7133**	-2.2558**	0.9381**	-0.5607**
定 数 項	13.9067	-18.4261	10.0982	-1.8014	0.2191
相関係数	0.5306	0.4348	0.3896	0.3212	0.3498

** : 1% の危険率で有意

用する。得られた定数項は0.000637で、ほとんど0に近いが、理論上幹曲線式の梢端は、座標の原点に一致しなければならない。

そこで、定数項のない $25-9=16$ 変数の回帰式を再度あてはめ、次の形の幹曲線式を決定した。

$$d^2/D^2 = Z_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + \cdots + b_{16} Z_{16} \quad (6)$$

これらの変数 Z と係数 b の値を表3に示した。ただし、変数と係数の添字は削除された変数の分を除いてつけかえてある。(6)式による相対断面面積の推定値と実測値との相関係数は0.9827で、式の適合は極めて良好である。

表3 幹曲線式に含まれる変数とその係数

説明変数		回帰係数	
Z_0	$x^{1.5}$	b_0	1.000000
Z_1	$(x^{1.5} - x^3)$	b_1	-1.955706
Z_2	$(x^{1.5} - x^3) (H/D)$	b_2	2.329693
Z_3	$(x^{1.5} - x^3) (H/10)$	b_3	0.200245
Z_4	$(x^{1.5} - x^5)$	b_4	1.665509
Z_5	$(x^{1.5} - x^5) (H/D)$	b_5	-1.558469
Z_6	$(x^{1.5} - x^9)$	b_6	-0.563578
Z_7	$(x^{1.5} - x^9) (H/D)$	b_7	0.379469
Z_8	$(x^{1.5} - x^{32})$	b_8	0.084912
Z_9	$(x^{1.5} - x^{32}) (D/10)$	b_9	-0.105443
Z_{10}	$(x^{1.5} - x^{32}) (H/10)$	b_{10}	0.180099
Z_{11}	$(x^{1.5} - x^{32}) (H/D)$	b_{11}	-0.107908
Z_{12}	$(x^{1.5} - x^{40})$	b_{12}	-0.025634
Z_{13}	$(x^{1.5} - x^{40}) (H/10)$	b_{13}	0.032451
Z_{14}	$(x^{1.5} - x^{40}) (H/D)$	b_{14}	0.016991
Z_{15}	$(x^{1.5} - x^{40}) (D^2/100)$	b_{15}	0.008894
Z_{16}	$(x^{1.5} - x^{40}) (H^2/100)$	b_{16}	-0.051206

立木幹材積表

任意の断面高における相対断面面積 d^2/D^2 の推定式が得られると、直径 D 、長さ $(H-1.3)$ の比較円柱に対する形数 F_w が、 $w = (H-h)/(H-1.3)$ として

$$F_w = \int_0^w (d/D)^2 dx \quad (7)$$

で表わせる。これは、与えられた幹曲線式に対しては最も正確な求積法である。しかし、ここに用いた資料には幹足部の測定値が少なく、胸高以下の断面に対する幹曲線の値はあまり信頼

できない。このため、原データの区分求積の方法にならって、ここでは次のようにして幹材積を計算する。

胸高直径 D と樹高 H が与えられると、(6)式によって任意断面高 h における相対直径の二乗が推定できる。そこで、胸高から上に向かって2 m おきに上部直径を計算し、フーバー式で幹材積を求める。梢端部の材積も円錐体と仮定して通常の方法で計算する。地際から0.3 mの高さまでの幹足部は、胸高と0.3 mの位置の断面面積を直線補外して根元直径を求め、スマリアン式で求積する。ただし、樹高が6 m以下になると、0.3 mの位置の相対高が1.2以上になり、 x^{32} 、 x^{40} を含む項が異常に大きくなって直径が過大に推定される。このため、樹高が6 m以下のときは、胸高と地上2.3 mのところの断面面積を使った補外で地上0.3 mと根元直径を推定する。

このようにして計算したトドマツ造林木の幹材積を表4に示す。また、この表の原データに対する適合度は図1、Cのようである。

表材積と実材積が一致していれば、データを表わす点は、原点を通る傾き45°の線上に乗る。この線より下方の点は表材積の過大を、また、上方の点は過少を意味している。図にみられるように新しい材積表では、この直線のまわりに点が密集し、特定の偏りを示さない。さきに示した表⁴⁾と今回の表の違いは、直径階の中で樹高の高いクラスの材積が大きくなったことである。一方、小径木ではあまり目立たないが、径級が大きくなると樹高の低い側の材積が減少している。

利用材積表

幹曲線式が得られたことで、任意の採材方法に対して利用材積表を作成することができる。

ここでは、標準的な3.65 mの採材を仮定して、各丸太の末口直径を推定し、末口二乗法で利用材積を求めた。ただし、農林規格の末口直径は皮なしの最短径である。このため、松井ら⁷⁾の示した次式

$$(2 \times \text{樹皮厚}) = 0.4077 + 0.02949D - 0.081(D/100)^2 \quad (8)$$

直径 (cm)	樹高 (m)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
4	0.003	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.011	0.012	0.013	0.014	0.015
6	0.007	0.008	0.009	0.010	0.011	0.013	0.015	0.017	0.019	0.021	0.023	0.025	0.028	0.030
8	0.013	0.014	0.016	0.018	0.019	0.022	0.025	0.028	0.032	0.035	0.038	0.042	0.046	0.050
10	0.021	0.022	0.024	0.027	0.030	0.034	0.038	0.043	0.047	0.052	0.057	0.063	0.068	0.073
12			0.034	0.039	0.043	0.048	0.054	0.060	0.066	0.073	0.080	0.087	0.094	0.102
14			0.052	0.058	0.065	0.072	0.080	0.088	0.097	0.106	0.115	0.125	0.134	0.143
16				0.074	0.084	0.093	0.103	0.113	0.124	0.135	0.147	0.159	0.171	0.183
18				0.090	0.104	0.116	0.129	0.141	0.154	0.168	0.182	0.197	0.212	0.227
20					0.126	0.142	0.157	0.172	0.188	0.204	0.221	0.239	0.257	0.275
22					0.149	0.169	0.187	0.206	0.224	0.244	0.264	0.285	0.306	0.328
24						0.198	0.220	0.242	0.264	0.286	0.310	0.334	0.358	0.383
26							0.255	0.280	0.306	0.332	0.359	0.386	0.415	0.445
28							0.291	0.321	0.351	0.381	0.411	0.443	0.475	0.509
30								0.364	0.398	0.432	0.467	0.502	0.539	0.580
32								0.409	0.447	0.486	0.525	0.565	0.606	0.652
34								0.455	0.499	0.543	0.587	0.632	0.677	0.727
36										0.602	0.651	0.701	0.752	0.808
38										0.664	0.719	0.774	0.830	0.891
40										0.728	0.789	0.850	0.911	0.977
42											0.862	0.929	0.997	1.068
44											0.938	1.011	1.085	1.164
46											1.016	1.097	1.177	1.263
48														1.273
50														1.372
52														1.475
54														1.581
56														1.691
58														1.805
60														1.923

注) 枠内は原データの分布範囲を示す。

表 4—① トドマツ造林木の立木幹材積表 (単位: m³/本)

樹高(m) 直径(cm)	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
4	0.017													
6	0.033													
8	0.053	0.057												
10	0.079	0.085	0.091	0.097										
12	0.109	0.117	0.125	0.133	0.142									
14	0.144	0.154	0.165	0.175	0.186	0.197	0.208							
16	0.184	0.196	0.209	0.222	0.236	0.249	0.263	0.276	0.290					
18	0.227	0.243	0.259	0.275	0.291	0.307	0.324	0.340	0.357					
20	0.275	0.294	0.313	0.332	0.351	0.371	0.391	0.410	0.430	0.450	0.470	0.490		
22	0.327	0.349	0.371	0.394	0.417	0.440	0.463	0.486	0.509	0.533	0.556	0.579		
24	0.383	0.409	0.435	0.461	0.487	0.514	0.541	0.568	0.595	0.621	0.648	0.675		
26	0.443	0.473	0.502	0.532	0.563	0.593	0.624	0.655	0.686	0.716	0.747	0.777	0.701	0.728
28	0.508	0.541	0.575	0.609	0.643	0.678	0.713	0.748	0.783	0.817	0.852	0.887	0.808	0.838
30	0.576	0.613	0.651	0.690	0.729	0.768	0.807	0.846	0.886	0.925	0.964	1.002	0.921	0.954
32	0.648	0.690	0.732	0.775	0.819	0.862	0.906	0.950	0.994	1.038	1.081	1.124	1.041	1.078
34	0.723	0.770	0.818	0.866	0.914	0.962	1.011	1.060	1.109	1.157	1.205	1.253	1.167	1.209
36	0.803	0.855	0.908	0.960	1.014	1.068	1.121	1.175	1.229	1.282	1.335	1.388	1.300	1.347
38	0.887	0.944	1.002	1.060	1.119	1.178	1.237	1.296	1.355	1.414	1.472	1.530	1.440	1.491
40	0.974	1.037	1.100	1.164	1.229	1.293	1.358	1.423	1.487	1.551	1.615	1.678	1.587	1.643
42	1.065	1.134	1.203	1.273	1.344	1.414	1.485	1.555	1.626	1.695	1.765	1.833	1.740	1.801
44	1.160	1.235	1.311	1.387	1.463	1.540	1.617	1.693	1.770	1.846	1.921	1.995	1.901	1.967
46	1.259	1.340	1.423	1.505	1.588	1.671	1.755	1.838	1.921	2.003	2.084	2.164	2.069	2.141
48	1.361	1.450	1.539	1.629	1.719	1.808	1.899	1.988	2.078	2.166	2.254	2.341	2.244	2.322
50	1.468	1.564	1.660	1.757	1.854	1.951	2.048	2.145	2.241	2.337	2.431	2.525	2.426	2.510
52	1.579	1.682	1.786	1.891	1.995	2.100	2.204	2.308	2.412	2.514	2.616	2.716	2.617	2.707
54	1.693	1.805	1.917	2.029	2.142	2.254	2.367	2.478	2.589	2.699	2.808	2.915	2.815	2.912
56	1.812	1.932	2.053	2.174	2.295	2.415	2.535	2.655	2.774	2.892	3.008	3.123	3.021	3.125
58	1.935	2.065	2.194	2.323	2.453	2.582	2.711	2.839	2.966	3.092	3.217	3.339	3.236	3.347
60	2.063	2.202	2.341	2.479	2.618	2.756	2.893	3.030	3.166	3.300	3.433	3.564	3.460	3.578

注) 枠内は原データの分布範囲を示す。

表4-② トドマツ造林木の立木幹材積表 (単位: m³/本)

樹高(m)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
直径(cm)														
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.000	0.000	0.000	0.007	0.007	0.008	0.008	0.008	0.008	0.014	0.014	0.015	0.022	0.022
10	0.000	0.009	0.010	0.011	0.012	0.015	0.018	0.019	0.028	0.030	0.036	0.039	0.041	0.050
12			0.015	0.016	0.018	0.022	0.032	0.036	0.040	0.046	0.051	0.062	0.067	0.071
14				0.017	0.024	0.030	0.043	0.049	0.055	0.062	0.075	0.083	0.090	0.100
16					0.031	0.045	0.055	0.063	0.071	0.080	0.097	0.107	0.117	0.128
18					0.038	0.056	0.069	0.075	0.088	0.106	0.120	0.133	0.146	0.159
20						0.068	0.083	0.091	0.107	0.129	0.146	0.160	0.177	0.200
22						0.081	0.099	0.108	0.127	0.153	0.173	0.190	0.210	0.238
24							0.115	0.126	0.148	0.179	0.202	0.222	0.246	0.278
26								0.145	0.171	0.206	0.234	0.256	0.284	0.321
28								0.165	0.195	0.234	0.266	0.292	0.324	0.366
30									0.226	0.264	0.301	0.330	0.373	0.414
32									0.252	0.295	0.326	0.369	0.418	0.463
34									0.280	0.328	0.362	0.410	0.464	0.515
36											0.400	0.453	0.513	0.569
38											0.438	0.497	0.563	0.625
40											0.478	0.543	0.615	0.683
42												0.590	0.668	0.743
44												0.638	0.724	0.805
46												0.688	0.781	0.869
48													0.869	0.936
50													0.936	1.004
52													1.004	1.074
54													1.074	1.146
56													1.146	1.221
58													1.221	1.297
60													1.297	1.376

表 5—① トドマツ造林木の利用材積表 (単位: m³/本)

樹高(m)	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
直径(cm)														
4	0.000													
6	0.000													
8	0.023													
10	0.053	0.030	0.063	0.072	0.112	0.164	0.172	0.234	0.252	0.397	0.416	0.440		
12	0.080	0.060	0.097	0.102	0.149	0.209	0.223	0.291	0.312	0.472	0.494	0.522		
14	0.107	0.085	0.130	0.141	0.197	0.260	0.276	0.359	0.378	0.551	0.577	0.610		
16	0.145	0.122	0.168	0.180	0.245	0.315	0.334	0.426	0.449	0.636	0.672	0.704		
18	0.180	0.156	0.209	0.224	0.297	0.375	0.397	0.498	0.525	0.726	0.767	0.803		
20	0.218	0.194	0.254	0.278	0.353	0.438	0.465	0.575	0.606	0.821	0.867	0.907		
22	0.260	0.235	0.302	0.330	0.413	0.506	0.537	0.656	0.690	0.920	0.972	1.017		
24	0.304	0.280	0.353	0.386	0.476	0.578	0.619	0.742	0.780	1.025	1.082	1.133		
26	0.351	0.327	0.408	0.446	0.541	0.653	0.700	0.832	0.875	1.134	1.197	1.253		
28	0.400	0.431	0.466	0.509	0.612	0.733	0.785	0.926	0.974	1.248	1.318	1.379		
30	0.447	0.488	0.533	0.575	0.686	0.816	0.874	1.025	1.078	1.366	1.443	1.510		
32	0.501	0.546	0.598	0.645	0.764	0.902	0.967	1.128	1.186	1.490	1.573	1.641		
34	0.557	0.608	0.665	0.718	0.845	0.993	1.064	1.235	1.298	1.618	1.708	1.782		
36	0.616	0.672	0.736	0.794	0.929	0.993	1.164	1.346	1.415	1.758	1.849	1.929		
38	0.677	0.739	0.809	0.873	1.017	1.087	1.269	1.461	1.537	1.897	1.995	2.081		
40	0.740	0.808	0.885	0.955	1.108	1.185	1.378	1.581	1.663	2.040	2.146	2.239		
42	0.806	0.880	0.963	1.041	1.203	1.286	1.490	1.705	1.794	2.189	2.303	2.403		
44	0.873	0.955	1.045	1.129	1.301	1.391	1.607	1.834	1.930	2.343	2.465	2.573		
46	0.943	1.032	1.129	1.221	1.403	1.500	1.728	1.956	2.071	2.503	2.633	2.749		
48	1.016	1.111	1.217	1.316	1.508	1.613	1.853	2.094	2.216	2.668	2.808	2.932		
50	1.090	1.194	1.307	1.414	1.616	1.730	1.983	2.236	2.367	2.840	2.989	3.121		
52	1.167	1.279	1.400	1.515	1.729	1.851	2.117	2.383	2.524					
54	1.247	1.366	1.496	1.620	1.845	1.975	2.256	2.535	2.685					
56	1.328	1.457	1.596	1.728	1.965	2.105	2.399							
58	1.413	1.550	1.698	1.840	2.089	2.238								
60	1.499	1.646	1.804	1.956										

表5-② トドマツ造林木の利用材積表 (単位: m³/本)

```

1000 ' >>> サブルーチン *Z A I S E K の使い方 <<<
1010 '
1020 ' -----
1030 DIM B(20),DX(30),HX(30),X(20),Z(10)
1040 ' -----
1050 '
1060 D=30 : H=18
1070 KW=1 : GOSUB *Z A I S E K
1080 VOL =EV
1090 KW=2 : GOSUB *Z A I S E K
1100 UVOL=EV
1110 LPRINT " >>> 計算例 <<<" : LPRINT
1120 LPRINT " データ : 直径=30 樹高=18 ==>";
1130 LPRINT " 幹材積 =" ;: LPRINT USING "##.###";VOL;
1140 LPRINT " 利用材積 =" ;: LPRINT USING "##.###";UVOL
1150 END
1160 '
1170 '
5000 ' =====
5010 ' 幹材積,利用材積計算のサブルーチン
5020 ' =====
5030 *Z A I S E K
5040 ' -----
5050 ' 幹曲線式の定数
5060 ' -----
5070 RESTORE 5090
5080 FOR I=1 TO 16: READ B(I): NEXT
5090 DATA -1.955706,2.329693,0.200245,1.665509,-1.558469
5100 DATA -0.563578,0.379469,0.084912,-0.105443,0.180099
5110 DATA -0.107908,-0.025634,0.032451,0.016991,0.008894
5120 DATA -0.051206
5130 ' -----
5140 ' 区分求積
5150 ' -----
5160 PI=3.1415927#
5170 VUT=0: IF KW=>2 THEN 5420
5180 HX(1)=.3
5190 FOR IB=2 TO 30
5200 HX(IB)=CSNG(2*IB-4)+1.3
5210 IF (H-HX(IB))<=1! THEN 5240
5220 IF (H-HX(IB))<=2! THEN 5250
5230 NEXT
5240 IE=IB-1: GOTO 5260
5250 IE=IB
5260 IEP=IE+1
5270 HX(IEP)=HX(IE)+1!: DDS=0
5280 FOR IB=1 TO IEP
5290 HW=HX(IB): GOSUB *C H O K K E
5300 DX(IB)=DIAM
5310 IF (IB<>1) AND (IB<>IEP) THEN DDS=DDS+DX(IB)^2
5320 NEXT
5330 VBT=DX(2)^2+(1.3*DX(1)-.3*DX(2))^2
5340 IF ABS(D-12!) <= .999 AND ABS(H-7!) <=.499 THEN 5370
5350 IF ABS(D-14!) <= .999 AND ABS(H-7.5)<=.999 THEN 5370
5360 IF D>14.9 OR H=>6.5 THEN 5390
5370 HW=2.3: GOSUB *C H O K K E: DW=DIAM
5380 VBT=4.3*DX(2)^2-2.3*DW^2
5390 VTOP=DX(IEP)^2*(H-HX(IEP))*PI/120000!
5400 EV=VBT*PI*.15/40000!+DDS*PI/20000!+VTOP
5410 RETURN

```

図2-① 計 算 プ ロ グ ラ ム

```

5420 HBT=.05+D/600!+D^2/6000!: DEND=7.1: EV=VUT : IF D<DEND THEN RETURN
5430 D0=DEND: GOSUB *SECH: HEND=TAKASA: EV=VUT
5440 IF HEND-HBT <1.8 THEN RETURN
5450 HW=HBT+1.8: IF (HEND-HBT)<3.65 THEN 5570
5460 KE=(HEND-HBT)/3.65
5470 DDS=0
5480 FOR IB=1 TO KE
5490 HW=HBT+3.65*CSNG(IB): GOSUB *CHOKKE: DW=DIAM
5500 DW=-.4077+.97051*DW+.081*(DW/100!)^2
5510 DW=-.338+.9779*DW
5520 DDS=DDS+DW^2*3.65/10000!
5530 NEXT
5540 VUT=DDS: EV=VUT
5550 IF (HEND-HW)< 1.8 THEN RETURN
5560 HW=HW+1.8
5570 GOSUB *CHOKKE: DW=DIAM
5580 DW=-.4077+.97051*DW+.081*(DW/100!)^2
5590 DW=-.338+.9779*DW
5600 VUT=VUT+1.8*DW^2/10000!: EV=VUT
5610 RETURN
5620 , -----
5630 , 上部直径の計算
5640 , -----
5650 *CHOKKE
5660 XZ=(H-HW)/(H-1.3): Z(5)=0: Z(6)=0: ESTD=0
5670 IF XZ<=.000064 THEN 5830
5680 IF XZ>.07 THEN Z(5)=XZ^32
5690 IF XZ>.13 THEN Z(6)=XZ^40
5700 Z(1)=XZ^(1.5): Z(2)=Z(1)-XZ^3: Z(3)=Z(1)-XZ^5
5710 Z(4)=Z(1)-XZ^9: Z(5)=Z(1)-Z(5): Z(6)=Z(1)-Z(6)
5720 X(1)=Z(1): X(2)=Z(2): X(3)=Z(2)*(H/D): X(4)=Z(2)*(H/10!)
5730 X(5)=Z(3): X(6)=Z(3)*(H/D): X(7)=Z(4)
5740 X(8)=Z(4)*(H/D): X(9)=Z(5): X(10)=Z(5)*(D/10!)
5750 X(11)=Z(5)*(H/10!): X(12)=Z(5)*(H/D): X(13)=Z(6)
5760 X(14)=Z(6)*(H/10!): X(15)=Z(6)*(H/D)
5770 X(16)=Z(6)*(D*D/100!): X(17)=Z(6)*(H*H/100!)
5780 ESTD=X(1)
5790 FOR IC=2 TO 17
5800 ESTD=ESTD+B(IC-1)*X(IC)
5810 NEXT
5820 IF ESTD <0! THEN ESTD=0
5830 DIAM=SQR(ESTD*D*D)
5840 RETURN
5850 , -----
5860 , 断面高の計算
5870 , -----
5880 *SECH
5890 H1=1!: H3=H
5900 H2=.5*(H1+H3)
5910 HW=H2: GOSUB *CHOKKE: DY=DIAM
5920 IF ABS(DY-D0)<.01 THEN 5950
5930 IF DY>D0 THEN H1=H2 ELSE H3=H2
5940 GOTO 5900
5950 TAKASA=H2
5960 RETURN

```

>>> 計算例 <<<

データ : 直径 = 30 樹高 = 18 ==> 幹材積 = 0.613 利用材積 = 0.488

図2-② 計 算 プ ロ グ ラ ム

によって推定直径 D を樹皮なしの直径 D_i に変換し、さらに

$$\text{最小径} = -0.338 + 0.9779D_i \quad (9)$$

(9)式⁸⁾ で皮なし最小径を求めた。

ここで、利用材積は伐採高と、材として利用できる最小の直径に左右され、また、採材長によっても異なる。そこで、前者については、旧札幌営林局の幹材積表調製資料から導いた次式で胸高直径 D に対応させて推定した。

$$\text{伐採高} = 0.05 + D/600 + D^2/6000 \quad (10)$$

採材の最小の末口径は皮なしで 6 cm までとする。(8)~(10)式によれば、これは皮付きで 7.1 cm に相当する。採材方法については、伐採高から上に順次 3.65 m ごとに玉切り、端尺部分では可能であれば 1.8 m 材をとることにする。

このようにして表 5 の利用材積が得られる。

計算プログラム

データが多い場合、材積表をひくのは退屈で手間のかかる仕事である。そのような場合のために、幹材積、利用材積の計算プログラムを作成した。

これはサブルーチン形式になっていて、適当な主プログラムから、ラベル名 *ZAISEK で呼び出すと、引数 KW、D、H に対して材積 EV が計算される。ここで、D は胸高直径、H は樹高で、EV には、KW = 1 のとき幹材積、KW = 2 では利用材積が入る。

プログラムは図 2 の通りである。1000~1150 行が使い方を示すためのテスト用の主プログラム、5000 行以降がサブルーチンである。1030 行はサブルーチンで使用する配列変数の定義で、主プログラムに必ず含める必要がある。図の最

後の行に、直径 30 cm、樹高 18 m に対する結果が幹材積 0.613 m³、利用材積 0.488 m³ と示されている。

ま と め

幹曲線式から導いたトドマツ造林木の幹材積表は、補足データを含む資料の全範囲にわたって満足できる適合度を示した。同じ幹曲線式から求めた利用材積表については、今のところ信頼性を確認する適当な資料がないが、幹材積表の精度からみて当面の実用には十分と考えられる。

また、計算プログラムは大量データの処理に役立つものと思われる。

〔参考文献〕

- 1) 篠原久夫：天然生トドマツ材積表の人工林に対する適合性について、林試北海道年報、59~66 (1975.10)
- 2) 林野庁：札幌営林局トドマツ・エゾマツ立木幹材積表調製説明書、材積調製業務資料第 10 号、(1960)
- 3) 中島広吉：針葉樹立木幹材積表、興林会北海道支部叢書第 1 輯、林友会北海道支部、(1948)
- 4) 眞邊 昭、小木和彦：トドマツ植栽木の幹材積と利用材積、北方林業、40(8)、14~19 (1988. 8)
- 5) BRUCE, D., R. O. CURTIS and D. VAN COEVERING : Developement of a system of taper and Volume table for red alder, For. Science (14) 3、(1968)
- 6) 大隅眞一ほか：森林計測学、養賢堂、(1971)
- 7) 松井善喜、馬場強逸：トドマツ樹皮の測樹学的考察、北海道林試集報、69、16~27 (1951. 3)
- 8) 松井善喜、馬場強逸：トドマツの得材率について、林試北海道業務報告 (特別報告)、5、64~76 (1956. 1)

研究レポート No. 24

平成 2 年 6 月 30 日発行

編 集 森林総合研究所北海道支所
〒004 札幌市豊平区羊ヶ丘 1
電話 (011) 851-4131