



Title	トドマツ造林木の材質と利用：第1報 恵庭産トドマツの生長と基礎材質
Author(s)	宮島, 寛; MIYAJIMA, Hiroshi
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 37(3), 789-815
Issue Date	1980-11
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/21042
Type	departmental bulletin paper
File Information	37(3)_P789-815.pdf



トドマツ造林木の材質と利用

第1報 恵庭産トドマツの生長と基礎材質*

宮 島 寛**

Quality and Utilization of Plantation-Grown
Todo-Fir Wood

Report 1. Growth and Wood Quality of Todo-Fir Grown
in Eniwa District*

By

Hiroshi MIYAJIMA**

目 次

1. 緒 言	789
2. 材料および方法	790
3. 結果および考察	792
3.1 生長経過	792
3.2 平均年輪幅, 生材含水率および容積密度数	794
3.3 力学的性質	797
3.4 平均年輪幅と諸性質との関係	800
3.5 比重と諸性質との関係	801
3.6 ヤング係数と強度との関係	803
4. 結 言	803
文 献	804
Summary	804
付 録 (恵庭産カラマツ造林木の調査結果)	806

1. 緒 言

北海道における造林の歴史はかなり古く、数百年前の松前藩時代のスギの造林に始まるが全道的に人工造林がなされたのは数十年前とってよいであろう。したがって、樹種の選定にもまだ明確な決め手はなく、その育林法も確立されていないのが現状である。北海道における造林の現状を昭和53年度北海道林業統計によりみれば、昭和54年3月31日現在の道内の林

* 1980年2月29日受理 Received February 29, 1980.

** 北海道大学農学部林産学科木材加工学教室

Laboratory of Wood and Wood Products Engineering, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

野は天然林 372 万 ha, 人工林 135 万 ha で, この人工林のうち, トドマツ 67 万 ha で, 全体の半数を占め, ついでカラマツ 51 万 ha (38%), エゾマツ 8 万 ha (6%), スギ 3 万 ha (2%) である。さらに, このうち国有林の造林面積はトドマツ 40 万 ha で, 同全造林地の 60% を占め, カラマツは 12 万 ha で, 24% である。一方, 一般民有林ではカラマツが 37 万 ha に達し, 全体の 73% に相当する。このように主要造林樹種は国有林ではトドマツ, 民有林ではカラマツとなっている。

したがって, 国有林としては, 今後これらトドマツ造林木の有効利用が大きな課題となりそのための材質の究明が急がれている。トドマツ造林木の材質に関してはすでに, 野幌産材について加納²⁾, 蕪木³⁾, 当麻産材について山本ら⁷⁾の研究がある。これらならびに同一地方のカラマツ造林木との対比も含めて, 北海道営林局の要望により恵庭産トドマツについて, その生長経過と基礎材質について試験を行ったので, その結果を公表し, 今後の育林上の参考に供したい, と思う。なお引続いて他地方産材についての試験ならびに大型試験体による構造用材としての評価の研究も計画しているので, これらについては後日発表したい, と思う。

本研究を行うに当り, 現地調査, 供試木採取, 運搬などに関し, 北海道営林局技術開発室の川崎企画官, 山川, 橋場両技官, 恵庭営林署玉置署長, 安達技官らの方々のご尽力をえた。また, 実験に関し, 本学村木技官, 専攻学生堀江, 小泉両君の協力をえた。ここに記して感謝の意を表する次第である。

なお, 本試験の結果と比較した恵庭産カラマツについては試験結果が未発表であったのでこれを付録として添付した。

2. 材料および方法

供試木採取地として北海道営林局恵庭営林署恵庭事業区 378 林班二小班の昭和 10 年トド

表-1 標準地毎木調査結果

Table 1. Results of diameter measurement in two sample plots having 50×50 m area each

胸高直径 Diameter at breast height (cm)	本数 Number of trees (n)	単木幹材積 Stem vol. of a tree (m ³)	合計幹材積 Total volume (m ³)	胸高直径 Diameter at breast height (cm)	本数 Number of trees (n)	単木幹材積 Stem vol. of a tree (m ³)	合計幹材積 Total volume (m ³)
6	10	0.01	0.10	22	46	0.29	13.34
8	32	0.02	0.64	24	44	0.37	16.28
10	70	0.04	2.80	26	24	0.42	10.08
12	52	0.07	3.64	28	13	0.52	6.76
14	73	0.10	7.30	30	15	0.59	8.85
16	78	0.13	10.14	32	3	0.69	2.07
18	50	0.18	9.00	34	4	0.78	3.21
20	65	0.25	12.25	合計 Total	579	—	110.37

(注 Remarks) 1158 trees/ha, 221 m³/ha, Sample plot: Block No. 378-D, Eniwa Working Area.

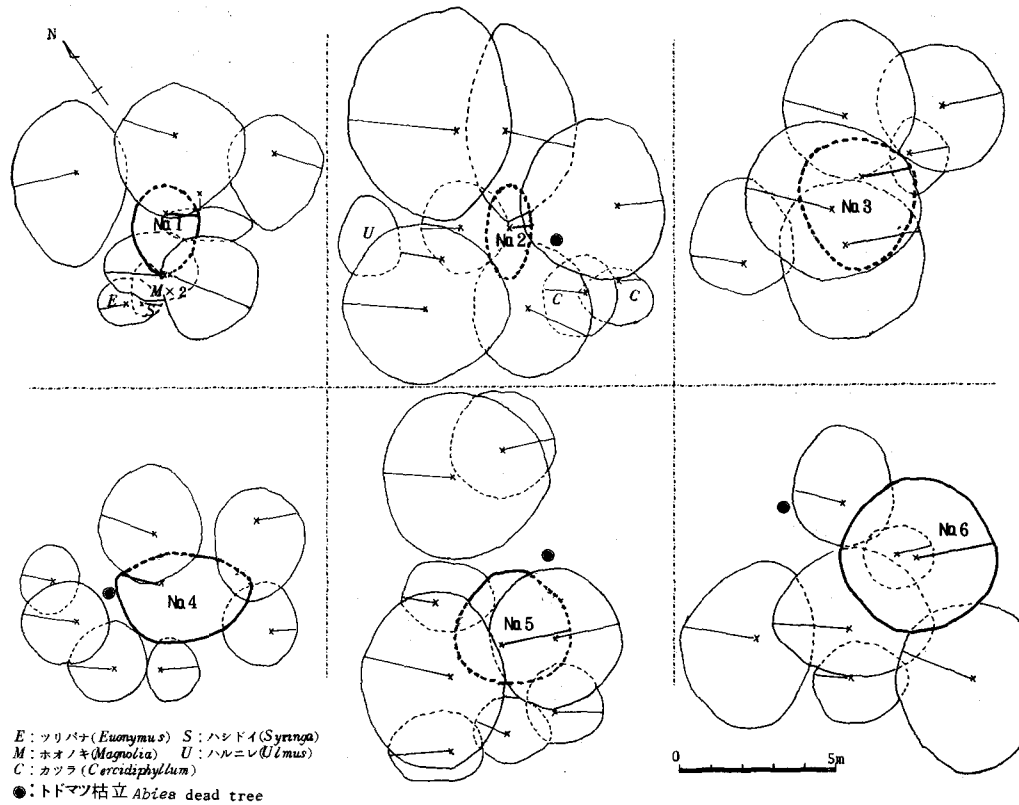


図-1 樹冠投影図

Fig. 1. Crown projections of sample trees.

マツ植栽地を選んだ。恵庭営林署によるこの林分内に設定した50×50mの2カ所の標準地(0.5ha)における毎木調査の結果は表-1に示すとおりで、胸高直径6cmから34cmまででありこのうち同10~24cmが82%を占める。この表に記載されているように、現在ha当り1153本、221m³の蓄積で、平均胸高直径は16cmである。表-1における胸高直径の分布を参考にして、この林分から同6, 10, 14, 18, 22および26cmのもの各1本、計6本を供試木として選んだ。いずれも健全で、かつ標準的なものである。伐倒は昭和54年12月6日である。

これらについて立木時に隣接木を含めて樹冠投影図(図-1)を作成し、地上高0.3mに印をつけて伐倒し、地上高0.0, 0.3, 1.3, 3.3, 5.3m……以後2mおきに繊維方向約35mmの円板を採取した。各供試木の樹齢は0.0mの位置における年輪数とした。円板についてはかんな仕上げを行い、樹幹析解の方法で、4半径について5年ごとの年輪数を測定し、のちこの4半径方向から板目方向約25mm、半径方向5~30mm(辺・心材および年輪幅の広狭により分割をきめた)、繊維方向25~30mmに丸鋸盤で切削し、ブロックをつくり、これらについて平均年輪幅、容積密度数(R : 全乾重量/生材体積 kg/m³)および含水率(u : 全乾重量に基づく値)を測定した。

円板採取後の樹幹部については、まず、0.3~1.3 mの部分から4.5×4.5 cm、長さ80 cmの二方まさ角材を採取し、生材状態で、スパン70 cm、中央集中荷重による曲げ試験を行った。曲げ試験終了後、無欠点の非破壊部から長さ10 cmの短柱を採取し、これについて縦圧縮試験を行った。また、この採取時にその隣接部分(木口に近くない部分)から繊維方向約5 cmの試片をきりとり、平均年輪幅および含水率を測定した。

力学的性質としては、ここではつぎのものを求めた。

$$\text{曲げヤング係数 } E = \frac{Pl^3}{48\delta I} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

$$\text{曲げ比例限度 } \sigma_{bp} = \frac{M_p}{Z} = \frac{P_p l}{4Z} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

$$\text{曲げ強さ } \sigma_b = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{P_{\max} l}{4Z} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

$$\text{縦圧縮強さ } \sigma_c = \frac{P_{\max}}{A} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

ここに、 δ : 比例限内における荷重 P のときのスパン中央におけるたわみ (cm), l : スパン (70 cm), I : 中立軸に関する断面二次モーメント ($I = bh^3/12$, cm^4 — b : 材幅 cm, h : 材せい cm), M_p : 比例限荷重 P_p におけるスパン中央部の曲げモーメント (kg cm), Z : 断面係数 ($Z = bh^2/6$, cm^3), M : 最大曲げモーメント (kg cm), P_{\max} : 最大荷重 (kg), A : 断面積 ($A = bh$, cm^2) である。

3. 結果および考察

3.1 生長経過

供試木の概要は表-2に示すとおりである。図-1の樹冠投影図からもわかるように、除・間伐が行われていないので、樹冠は混み合い、多くの被圧木が生じている。このため、樹齢40年以上に達しても、胸高直径6 cmという極めて生長の悪いものが多数存在している。当初の

表-2 供試木
Table 2. Sample trees

供試木 Tree No.	傾斜度 Inclination of stem (°)	胸高直径 D. b. h. (cm)	樹高 Height of tree (m)	枝下高 Clear* length (m)	年輪数 No. of rings	幹材積 Volume of stem (m ³)
1	0	6	7.9	5.0	37	0.0155
2	0	10	18.2	8.7	39	0.0540
3	0	14	14.7	8.8	44	0.1222
4	0	18	15.6	8.0	44	0.2231
5	0	22	16.2	9.4	42	0.2905
6	5	26	18.8	10.5	39	0.4512

(Remarks) * In this case, it means the height to the first main live branch.

植栽本数は ha 当り 3000 本程度であったと思われるが、枯損、風害などにより、現在 1100 本程度に減じている。しかし、均等に減じたのではなく、ある部分に集中して減少しているため一般的に立木密度が高くなっている。

この採取地は平坦な地帯であるため、樹幹の傾斜もほとんどない。樹高は胸高直径にほぼ比例して大きくなる傾向がみられる。直径 6 cm で 7.9 m, 同 26 cm で 18.8 m になり、2 倍以上である。枝下高はここでは主な生枝までの高さを示し、枝打ちを行っていないので、この下に枯れ枝がほとんど落ちずに着いていた。これらは製材にした場合、死節となって現われるであろう。同時植栽であると思われるが、地上高 0.0 m (実際には 5 cm 程度の誤差がある) の位置

での年輪数は 37~44 の間にあった。この表に示す幹材積は樹幹析解によって求めたものである。表-1 の幹材積は国有林において使用しているもので、これに比較して実測材積は径 22 cm で一致したが、他は 10~20% 多かった。

生長経過は図-2 の樹幹析解図および

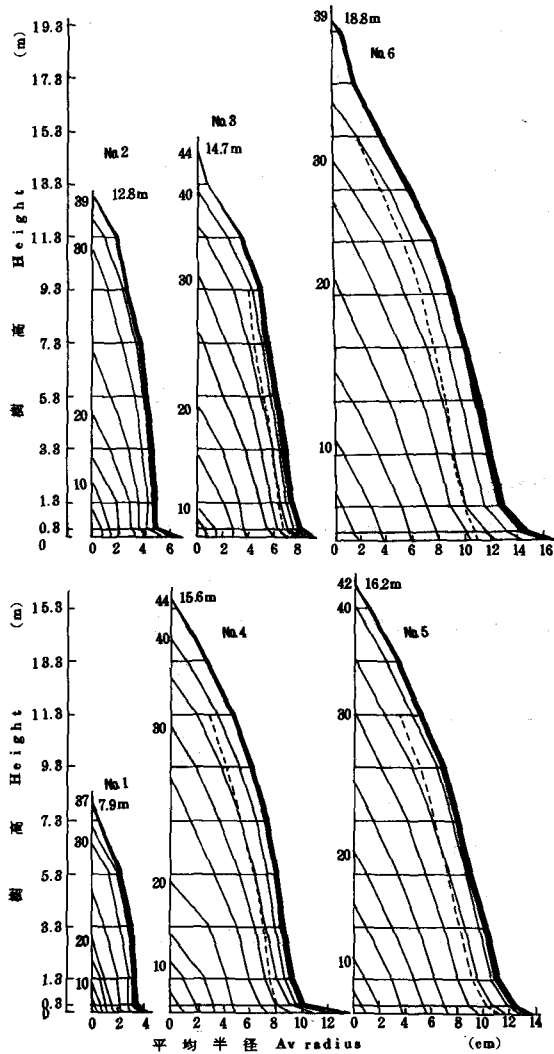


図-2 樹幹析解図

Fig. 2. Basic stem-growth diagrams

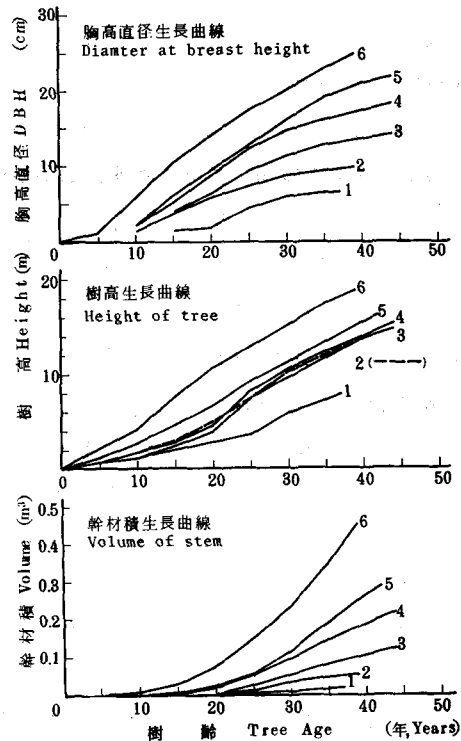


図-3 生長曲線

Fig. 3. Growth curves.

3の生長曲線に示すとおりで、径級の小さいNo. 1~3では幼齢時の生長悪く、とくにNo. 1と3では樹高1.3 mに達するのに、10年以上を要している。また、No. 6以外の供試木の35年以降の年輪幅も狭くなっており、現状のままでは今後の肥大生長はあまり期待できない、と思われる。No. 1~3では円板における樹皮に近い部分の年輪幅が非常に狭く、判読が困難であった。これらの幼齢時の生長促進には施肥も試みる必要がある、と考えられる。また、除・間伐および枝打ちにより、欠点の少ない大径木を育てるよう望みたい。このトドマツ林では材積生長曲線に見られるように、供試木中最も生長のよかったNo. 6においても樹齢20年において幹材積は 0.1 m^3 に達しておらず、他はすべて 0.03 m^3 以下である。同地方のカラマツ造林木(付録図-A2参照)では8供試木中6本が20年で 0.1 m^3 以上であった。表-1の調査結果からのha当りの幹材積は 221 m^3 で、林齢を44年とすれば、年平均生長量は 5.02 m^3 となり、これに後述の容積密度数の平均値 318 kg/m^3 を乗ずれば、生産木材の全乾重量は 1.60 t である。加納²⁾による野幌産トドマツ造林木(37~40年)では、それぞれ 10.2 m^3 および 3.28 t で、両者ともほぼ2倍の値である。野幌地方は特にトドマツの生長のよい地帯であるといわれているが、生産量がこの1/2というのは撫育管理が不十分であったことも影響している、と考えられる。

このトドマツと同じ恵庭営林署管内のカラマツ造林木の調査結果(付録表-A1, 2)ではha当り年平均生長量は材積で $5.58\sim 7.09 \text{ m}^3$ 、全乾重量で $2.24\sim 2.92 \text{ t}$ であり、材積で11~14%、重量で40~82%多かった。このように、生産量のみを重視する場合にはカラマツの方が造林樹種として有利である。したがってトドマツには質的な要求がなされねばならないので、良質材生産の施業が必要である、と考える。

3.2 平均年輪幅、生材含水率および容積密度数

まず、円板から採取したブロックについて測定した平均年輪幅の平均値は表-3に示すように、各供試木において $1.8\sim 4.1 \text{ mm}$ で全体で 3.1 mm である。辺・心材別ではNo. 1のみ辺材の方が広いが、他は心材の方が広い。これはNo. 1の幼齢時の生長が極めて悪かったことならびに他の供試木は樹齢が高くなってから肥大生長が悪くなったことを示すものである。全体の範囲は $0.6\sim 0.8 \text{ mm}$ であるが、広い部分は極めて少ない。

この平均年輪幅について、円板における5年輪ごとの測定値から出現頻度を求め、恵庭産カラマツ材についての同じ方法による測定結果と比較すれば図-4に示すようになる。この出現頻度によれば、平均年輪幅のピークはトドマツ材が 3 mm で、カラマツAの 2 mm 、同Bの 1 mm より広い位置にあるが、平均値はそれぞれ $3.1, 3.3$ および 3.1 mm で、トドマツとカラマツBが同じである。カラマツは幼齢時の生長がよかったので、年輪幅が $5\sim 11 \text{ mm}$ のものがかなりあった。

生材含水率は各供試木とも、心材に高含水率の部分、いわゆる水食い材が存在していた。含水率の平均値は辺材199%、心材97%、総平均で145%という非常に高い値であった。心材におけるこの範囲も31~281%と広く、標準偏差52.3%、変化係数54.1%であった。蕪木³⁾に

表-3 平均年輪幅, 生材含水率および容積密度数

Table 3. Average Width of Annual Rings, Moisture Content at Green, and Basic Density

供試木 Tree No.	試験 体数 (n)	平均年輪幅 R_W (mm)					生材含水率 u (%)					容積密度数 R (kg/m ³)					
		平均値 Av.	標準偏差 S.D.	変化係数 C.V. (%)	最大値 max.	最小値 min.	平均値 Av.	標準偏差 S.D.	変化係数 C.V. (%)	最大値 max.	最小値 min.	平均値 Av.	標準偏差 S.D.	変化係数 C.V. (%)	最大値 max.	最小値 min.	
1	辺材 (S)	11	2.1	0.57	27.9	2.8	1.0	82	33.5	40.9	169	51	315	35.9	11.4	369	282
	心材 (H)	8	1.5	0.38	25.8	2.3	1.0	53	13.6	25.9	75	35	394	42.0	10.7	452	355
	全体 (All)	19	1.8	0.58	31.9	2.8	1.0	69	30.2	45.2	169	35	348	54.9	15.8	452	282
2	辺材 (S)	24	1.5	0.79	54.2	4.0	0.6	181	36.3	20.0	251	111	332	39.6	11.9	400	265
	心材 (H)	22	2.4	0.84	33.8	4.0	1.4	126	45.7	36.2	199	42	344	55.9	16.2	467	267
	全体 (All)	46	1.9	0.96	49.4	4.0	0.6	156	49.7	31.9	251	42	338	47.9	14.2	467	265
3	辺材 (S)	28	1.4	0.54	36.6	2.7	0.7	190	37.4	19.6	268	122	322	40.9	12.7	435	245
	心材 (H)	35	3.1	0.83	27.3	5.4	1.8	82	32.8	40.0	185	49	317	36.5	11.5	401	266
	全体 (All)	63	2.3	1.09	47.4	5.4	0.7	133	65.9	49.6	268	49	318	37.5	11.8	435	245
4	辺材 (S)	29	2.3	0.99	43.9	4.5	1.0	200	30.8	15.4	258	127	328	30.2	9.2	398	282
	心材 (H)	49	3.5	0.88	25.0	5.5	1.1	124	51.0	41.0	230	36	310	28.1	9.1	390	262
	全体 (All)	78	3.0	1.10	36.5	5.5	1.0	152	57.6	37.9	258	36	315	26.3	8.3	398	262
5	辺材 (S)	30	2.7	0.82	30.4	4.5	1.6	250	30.6	12.3	292	170	286	43.9	15.3	420	259
	心材 (H)	46	3.9	0.66	16.9	6.0	2.3	132	50.8	38.4	281	55	278	30.8	11.1	408	224
	全体 (All)	76	3.4	0.94	27.6	6.0	1.6	179	72.4	40.4	292	55	284	30.1	10.6	420	224
6	辺材 (S)	36	3.5	0.87	25.5	5.3	2.2	208	22.7	10.9	286	143	238	28.4	8.4	413	244
	心材 (H)	58	4.5	0.92	20.7	8.0	2.8	82	35.5	43.5	213	31	321	38.1	11.9	418	272
	全体 (All)	94	4.1	1.02	25.2	8.0	2.2	129	66.7	51.6	286	31	331	28.6	8.7	418	244
全体 All	辺材 (S)	158	2.5	1.12	45.7	5.3	0.6	199	48.5	24.4	292	51	221	36.9	11.5	435	244
	心材 (H)	218	3.5	1.15	32.5	8.0	1.0	97	52.3	54.1	281	31	316	41.4	13.0	467	244
	全体 (All)	376	3.1	1.25	40.4	8.0	0.6	145	67.5	46.5	292	31	318	40.1	12.6	467	224

(Remarks) n : No of specimens, R_W : Av. width of annual rings, u : Moisture content at green, R : Basic density (Raumdichtezahl) (kg/m³), (S): Sapwood, (H): Heart wood.

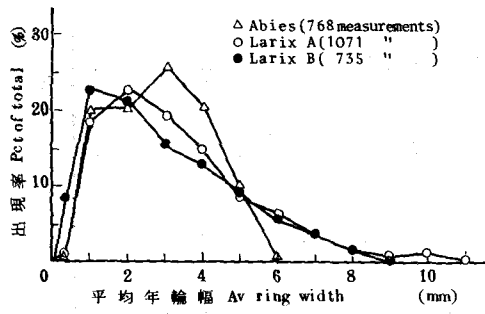


図-4 平均年輪幅の出現率

Fig. 4. Frequency curves of average width of annual rings.

よる野幌産トドマツ造林木 (供試木3本のうち1本が水食い材で、これを除外した値) の平均値は辺材175%, 心材59%であり、恵庭産材はこれより辺材で20%, 心材で40%高い値であった。

この含水率の円板における辺・心材の値は表-4に示すとおりである。上述のように、各供試木の心材に高含水率部分の存在が認められる。トドマツ造林木について、この水食

表-4 辺心材・地上高別含水率 (u: %)

Table 4. Variation of moisture content in sap- and heartwood with height

地上高 Height above ground (m)	辺材 Sapwood			心材 Heartwood			辺材 Sapwood			心材 Heartwood		
	平均 Av.	最大 max.	最小 min.	平均 Av.	最大 max.	最小 min.	平均 Av.	最大 max.	最小 min.	平均 Av.	最大 max.	最小 min.
	No. 1						No. 2					
0.3	90	102	69	54	75	35	153	165	141	71	87	42
1.3	65	—	—	52	60	42	156	186	135	181	197	165
3.3	58	63	51				173	187	153	145	199	71
5.3	78	—	—				222	251	189	126	141	100
7.3	169	—	—				220	239	199	104	111	89
9.3							196	—	—			
11.3							183	—	—			
12.3							175	—	—			
	No. 3						No. 4					
0.3	167	177	151	91	185	49	150	187	127	98	196	36
1.3	139	155	122	98	183	52	178	186	166	160	221	73
3.3	173	185	156	65	96	56	208	217	199	110	217	57
5.3	197	245	177	62	70	52	204	212	191	146	224	74
7.3	231	268	191	118	257	66	185	196	175	121	156	91
9.3	224	241	211	83	106	56	217	224	197	130	230	85
11.3	219	230	208	86	—	—	239	258	211	102	110	95
13.3	225	—	—				210	—	—			
14.3	142	—	—				239	—	—			
	No. 5						No. 6					
0.3	214	234	195	135	243	55	191	207	179	69	129	46
1.3	235	275	197	125	227	74	205	235	187	62	70	53
3.3	253	262	243	151	231	99	209	214	202	77	109	50
5.3	260	271	246	146	281	90	209	218	196	88	149	55
7.3	257	285	237	137	193	111	215	230	201	99	188	68
9.3	260	283	251	96	120	78	219	226	209	110	213	70
11.3	284	292	279	116	106	79	216	226	211	79	167	53
13.3	170	—	—				206	219	186	70	78	54
15.3	238	—	—				192	214	170	98	—	—
17.3							175	—	—			
18.3							143	—	—			

い材に関する詳細な研究は見当たらないが、既往の資料として上述の野幌産トドマツでは3本のうち1本に、当麻産(山本ほか⁷⁾)では6本の全供試木にこのような水食い材が存在していたことが観察されている。以上のようにトドマツ造林木に水食い材が多く存在するのか、幼齢木には多くあるのかについて、さらに調査を行い、確認する必要がある。この材質に対する影響については後述する。

容積密度数の辺・心材別平均値(表-3)はNo. 5 供試木が他よりやや小さく、辺材で286, 心材で278 kg/m³であった。全体の平均値は辺材321, 心材316, 両者合せて318 kg/m³であった。この容積密度数の範囲は224~467 kg/m³で、変化係数も12.6%であり大きくない。厚田産トドマツ天然木68本についての測定結果(正常材, 測定数8085¹⁾)では全平均値が342 kg/m³で、本試験の場合はこの93%に相当する。野幌産造林木²⁾では枝下材について優勢木310 kg/m³, 劣勢木322 kg/m³で、本試験の場合とほぼ同じ値である。また、苫小牧演習林における昭和29年9月の15号台風による風倒トドマツ(樹齢40年, 胸高直径25 cm)では340 kg/m³であり、上述の天然木の値とほぼ同じであった⁴⁾。

この容積密度数の出現頻度を前述の恵庭産カラマツと比較すれば図-5に示すようになる。トドマツのそのピークはカラマツに比べ、50 kg/m³低い位置にあり、全体として低密度部分に分布することが明白にわかる。このカラマツの平均値はA試験地412, B試験地400 kg/m³であり、トドマツのその126~130%に相当する。

円板の辺・心材別の値は表-5に示すとおりで、地上高別では一般に0.3 mの値が大きいほかはあまり変化なく、一部において梢頭に近い部分の値がやや大きい程度である。

3.3 力学的性質

生材状態における試験結果の総括を表-6に示す。試験体数は28である。これらの平均年輪幅の平均値は3.1 mmで、前述の円板についての総平均値と一致する。容積密度数の平均は335 kg/m³で、円板のそれより約5%大きい。これは試験体採材位置が地上高0.3~1.3 mであったため、表-5に示すようにこの部分の密度が大であったことによるものである。試験時含水率は40%以上であるので、生材状態といってよい。

ヤング係数は49~100, 平均75×10³ kg/cm²であり、この値の低いのはNo. 3~6 供試木から採取した心持ち材で、未成熟材を含むことによるものである。これらを除けばヤング係数は60×10³ kg/cm²以上であり、必要な断面をもつ材が採取できる径級になれば、構造材として利用可能であろう。なお、この構造材としての利用に関しては実大試験終了後に見解を述べたい。

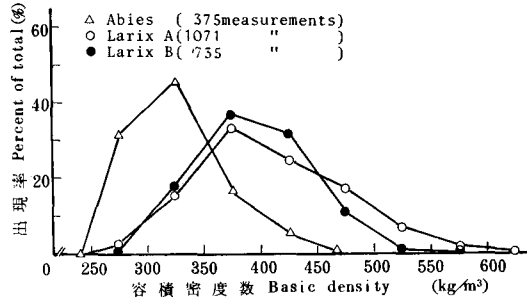


図-5 容積密度数の出現率

Fig. 5. Frequency curves of basic density.

表-5 辺心材別・地上高別容積密度数 (R: kg/m³)

Table 5. Variation of density in sap- and heartwood with height

地上高 Height above ground (m)	辺材 Sapwood			心材 Heartwood			辺材 Sapwood			心材 Heartwood		
	平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.	平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.	平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.	平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.
	No. 1						No. 2					
0.3	343	369	294	431	452	400	386	400	377	429	467	397
1.3	361	—	—	357	360	355	351	400	318	347	364	330
3.3	287	—	—				341	369	321	331	347	315
5.3	289	—	—				291	307	265	302	354	276
7.3	297	—	—				297	322	284	297	353	267
9.3							284	—	—			
11.3							307	—	—			
12.3							360	—	—			
	No. 3						No. 4					
0.3	369	377	351	349	368	287	355	380	331	341	390	314
1.3	331	435	249	352	401	336	333	342	318	324	344	303
3.3	331	367	297	305	314	291	313	326	286	305	324	288
5.3	311	322	302	282	291	266	314	336	291	293	316	266
7.3	317	364	286	292	295	288	341	367	314	313	347	280
9.3	285	310	245	282	291	272	304	318	287	288	300	262
11.3	300	301	299	286	—	—	303	326	286	278	282	276
13.3	290	—	—				282	—	—			
14.3	353	—	—				305	—	—			
	No. 5						No. 6					
0.3	321	348	300	295	317	280	368	413	331	347	403	272
1.3	288	317	269	276	303	224	353	378	332	331	377	315
3.3	289	296	279	275	282	265	334	341	327	333	418	366
5.3	264	271	257	264	280	244	331	344	317	320	385	293
7.3	286	305	266	313	305	266	330	342	318	310	354	282
9.3	288	356	259	266	269	258	327	332	323	313	317	310
11.3	306	420	266	267	294	252	304	327	244	312	319	305
13.3	296	—	—				337	371	316	335	348	319
15.3	284	—	—				343	373	313	356	—	—
17.3							398	—	—			
18.3							352	—	—			

曲げ比例限度および曲げ強さについても生材としてトドマツ材の正常な値を持つといえよう。曲げ比例限度は138~278, 平均212 kg/cm², 曲げ強さは294~479, 平均397 kg/cm²であった。節などの欠点を含むこれら試験体についての曲げ強さの95%信頼度における下限値は305 kg/cm²となるので, これに許容応力度誘導の2/3および長期応力に対する係数1/2を乗ずれば, 102 kg/cm²となり, 生材状態でも針葉樹II類に対する曲げ許容応力度 σ_{fb} =70 kg/cm²

表-6 強度試験結果
Table 6. Mechanical properties

項目	平均年輪幅 R_w (mm)	容積密度数 R (kg/m ³)	含水率 u (%)	ヤング係数 E (10 kg ³ /cm ²)	曲げ比 例限度 σ_{bp}	曲げ強さ σ_b (kg/cm ²)	縦圧縮強さ σ_c
平均値	3.1	335	94	75.3	212	397	201
最大値	4.2	384	188	100.0	278	479	240
最小値	1.3	281	40	48.6	138	294	141
標準偏差	0.7	26	34	14.4	40	56	26
変化係数 (%)	21.8	8	36	19.1	19	14	13

Items	Average ring width R_w (mm)	Basic density R (kg/m ³)	Moisture content u (%)	Modulus of elasticity E (GPa)	Stress at p.l. σ_{bp} (MPa)	Modulus of rupture σ_b (MPa)	Max. crushing strength σ_c (MPa)
Average	3.1	335	94	7.38	20.8	38.9	19.7
Max.	4.2	384	188	9.81	27.3	47.0	23.5
Min.	1.3	281	40	4.77	13.5	28.8	13.8
S.D.	0.7	26	34	1.41	3.9	5.5	2.5
C.V. (%)	21.8	8	36	19.1	18.9	14.0	12.8

を適用できるといえよう。

縦圧縮強さについては1体のみ141 kg/cm²という小さい値であったが、これはヤング係数が 48×10^3 kg/cm²の心持ち材であった。95%の信頼度における下限値は165 kg/cm²となり、一方この強さの全平均は201 kg/cm²である。苫小牧演習産トドマツ材⁴⁾ではこの平均値は生材で196、気乾材で299 kg/cm²であったので、この乾燥による強度の増加を参考にすれば、本試験の場合も、気乾状態では縦圧縮強さは300 kg/cm²程度になることが予想され、普通構造材としての強度をもつ、といえよう。

なお、山本ら⁷⁾は当麻産トドマツ造林木について、小型無欠点試験体450ならびに10.5 cm正角材20体についての試験の結果、普通構造材・針葉樹II類の許容応力度ならびにヤング係数の値が適用できる、と述べている

一方、従来トドマツ水食い材については乾燥により割れ、かつ強度も極端に小さいことが指摘されていた。たとえば、ソ連産トウシラベ(商品名トドマツ)の水食い材⁵⁾では、この生材時(含水率46~176%)の曲げヤング係数29~41、平均 33×10^3 kg/cm²、曲げ強さ129~228、平均165 kg/cm²であったので、構造材として不適である、という判断をした。しかし、ここに試験した材料では、心材の高含水率部にもこのような力学的性質の低下は認められなかったし当麻産⁷⁾についても同様であった。したがって、造林木の心材における高含水率部は天然木の水食い材とは異なるものであるか、また、この高含水率部が将来天然木の水食い材のように変化(材質劣化)するものかどうかについては全くわからない。これも今後の研究課題となろう。

3.4 平均年輪幅と諸性質との関係

図-6に平均年輪幅と容積密度数との関係を、他地方産についての既往の資料とともに示す。まず、本試験の場合は平均年輪幅1mmで容積密度数は最大で345 kg/m³を示し、以後年輪幅が4mmまでは、それが広がるにしたがい305 kg/m³まで漸減する傾向がみられる。これより広い6mmまでの部分ではあまり変化がみられないように思われる。一方、野幌産トドマツ造林木²⁾では同一年輪幅の場合、本試験の値よりも10~30 kg/m³大きい傾向がみられ、年輪幅1~6mmの範囲で360~300 kg/m³に減じているのがわかる。また、その1mm以下の部分では約440 kg/m³という大きい値を示している。以上のように、造林トドマツ材については年輪幅の増加により、あまり急激ではないが容積密度数が減ずる傾向がある、といえよう。

これに対し、天然木である厚田産トドマツ林の68供試木についての両者の関係は全く異った傾向を示している。しかし、この場合も年輪幅3~6mmの範囲では野幌産造林木とはほぼ同様の傾向にある、といえる。天然木ではその生育環境により、あての発生も多く、同一年輪幅でも容積密度数に大きな差が生ずるため、平坦な地帯に造林されたものとの間に以上のような差異が生じたものと考えられる。

一方、この両者の関係について恵庭産のトドマツとカラマツを対比させれば、図-7に示すようになる。この年輪幅と密度との関係はカラマツ材の場合、非常に明瞭で、かつ、辺・心材との間にも、同一年輪幅の場合、心材の方の密度が大きいという関係もみられる。また、同一年輪幅の場合、カラマツの値はトドマツよりはるかに大きく、特に年輪幅の狭い部分に両樹種の差が大きい。年輪幅1mmではトドマツ材347 kg/m³に対し、カラマツ心材512 kg/m³で、その比は1:1.48で、約5割大きい。カラマツ辺材は443 kg/m³で、その比は1:28である。しかし、年輪幅5mmではそれぞれ305:380=1:1.25および305:370=1:1.21となり、両樹種の差は若干減ずる。このように、同一年輪幅の場合、カラマツ材の容積密度数はトドマツ材より2~5割大である、といえる。

つぎに、ここに試験したトドマツ材の平均年輪幅と力学的性質との関係は図-8に示すようになる。いずれも、全体的には年輪幅の増加により、諸性質は低減する傾向がみられるが、

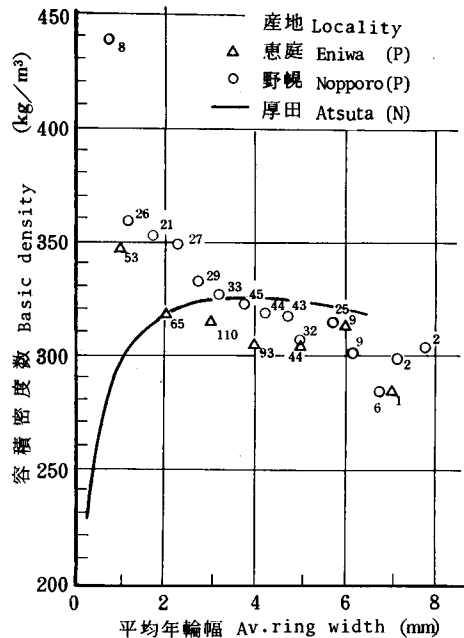


図-6 産地別トドマツ材における平均年輪幅と容積密度数の関係 (P: 造林木 N: 天然木)

Fig. 6. Relation between annual ring width and density in Todo-fir wood grown in various districts. (P: plantation, N: Natural)

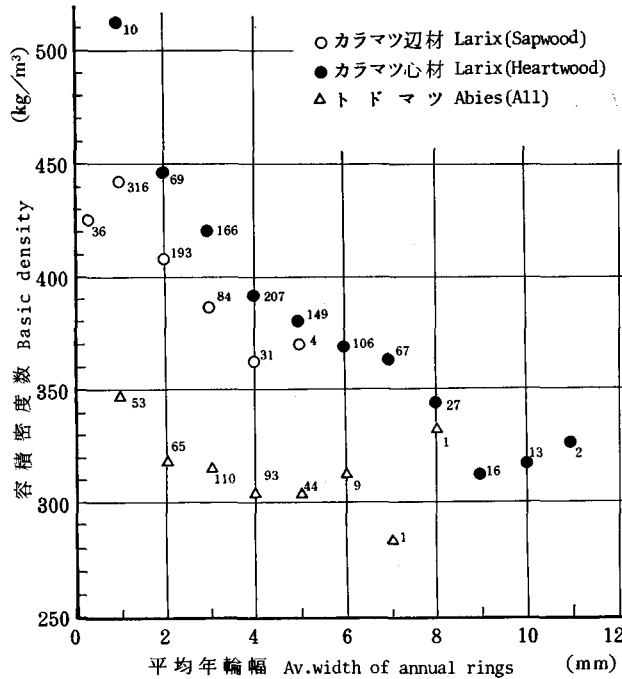


図-7 恵庭産トドマツ材とカラマツ材における平均年輪幅と容積密度数の関係

Fig. 7. Relation between annual ring width and density in Todo-fir and larch wood grown in Eniwa district.

あまり明確ではない。同一年輪幅の場合、心持ち材の値がいずれも心去り材より低い傾向がみられ、特に、ヤング係数が低い。これは明らかに未成熟材部を含むことによるものである。

また、同様な条件で試験したカラマツ材⁶⁾は同一年輪幅の場合、このトドマツ材よりかなり高い力学的性質の値を示した。

ここに試験したトドマツ材は一般に生長がよくなかったため、強度試験体における平均年輪幅の最大は4.2 mmでその範囲が狭く、この年輪幅に対する諸性質の関係はあまり明確にはとらえることができなかった。年輪幅の広い造林木については山本ら⁷⁾の報告があり、年輪幅5 mm以上の材の曲げ強さは標準材(天然木)の平均値よりやや低いが、その下限値以下のものではなく、縦圧縮強さおよびせん断強さはほぼ標準材の平均値を示した、と述べている。

3.5 比重と諸性質との関係

生材状態で試験を行ったため、比重の代りに容積密度数を用いて、それに対する力学的性質の関係を図-9に示す。

まず、密度に対するヤング係数の関係は全体的には明瞭でないが、未成熟材部を含む心持ち材を除外すれば、ほぼ密度の上昇によりヤング係数も増加する傾向がみられる。ここで、心持ち材でヤング係数が $80 \times 10^9 \text{ kg/cm}^2$ 近くあるものは最小径のNo. 1から採取した試験体で、

平均年輪幅が1.3 mm のものである。また、心持ち材を除外すれば、ヤング係数は $60 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ 以上となり、構造材として利用可能であろう。

曲げ強さも密度の増加により増す傾向がみられるが、ここでも心持ち材の曲げ強さが心去り材より明らかに小さいことがわかる。しかし、全体でも、その値はおよそ 300 kg/cm^2 以上

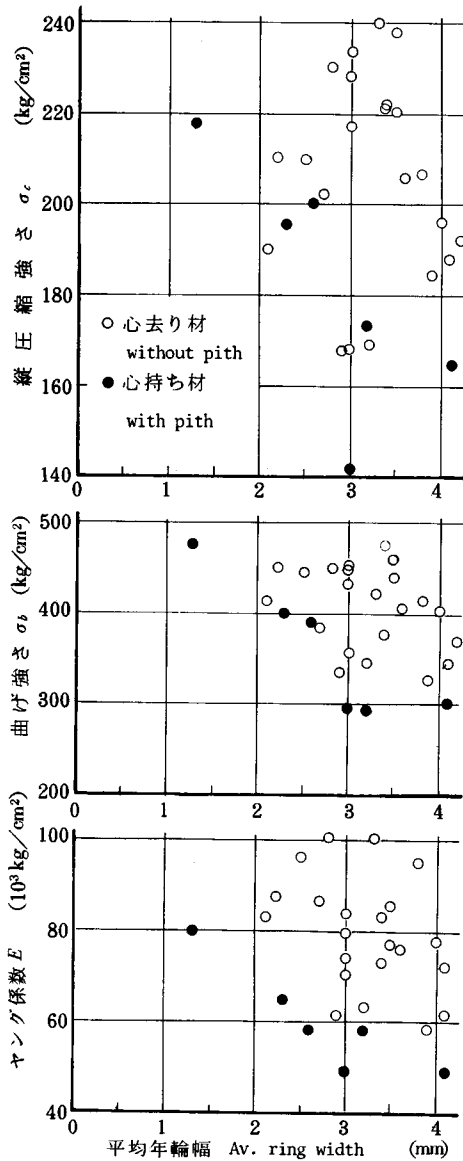


図-8 平均年輪幅と力学的性質との関係
 Fig. 8. Relations between annual ring width and mechanical properties in Todo-fir wood.

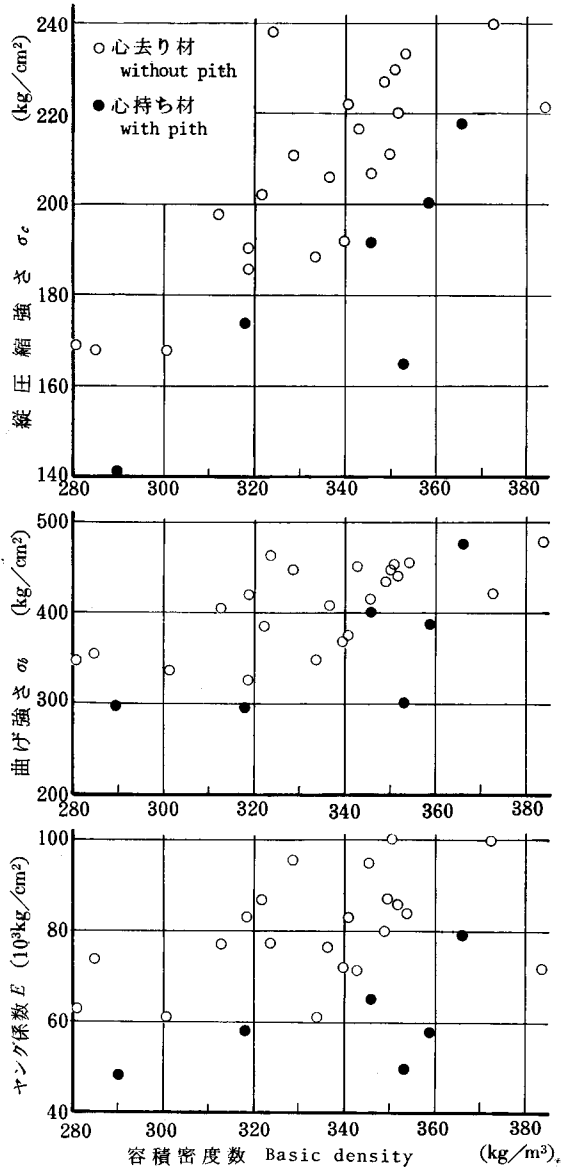


図-9 容積密度数と力学的性質との関係
 Fig. 9. Relations between density and mechanical properties in Todo-fir wood.

であるので、生材に対する数値としては低い値ではない。

縦圧縮強さは上述の2つより一層密度との関係が明らかである。ここでも心持ち材の値は同一密度の心去り材より低い値を示している。

ここに試験したトドマツ材の各平均値について、それらを容積密度で除すと、ヤング係数 224, 曲げ強さ 1.18, 縦圧縮強さ 0.06 となり、同様の条件で試験したカラマツ材⁶⁾ではそれぞれ 162, 107 および 0.51 となり、密度との比ではトドマツ材の方が優れている、といえる。

3.6 ヤング係数と強度との関係

この関係を図-10 に示す。縦圧縮強さ、曲げ強さともにヤング係数との間には直線的な関係が認められ、上述の平均年輪幅および容積密度数と強度との関係よりも明瞭である。これら3者のなかでは、材質(強度)指標として、ヤング係数が最も適している、といえる。この図-10 に示す関係では心持ち材も心去り材と同様に扱うことができる。

ヤング係数 (E) と縦圧縮強さおよび曲げ強さとの関係は平均値では、それぞれ $0.0027 E$ および $0.0053 E$ となる。カラマツ材⁶⁾ではそれぞれ $0.0031 E$ および $0.0066 E$ であったので、これよりトドマツ材は 17~25% 低い値を示した。このように、同一ヤング係数の場合、カラマツ材の方がトドマツ材より若干縦圧縮強さおよび曲げ強さが大きいことが認められた。

4. 結 言

北海道営林局恵庭営林署管内の昭和 10 年植栽のトドマツ造林地について、 $50 \times 50 \text{ m}$ の 2 カ所の毎木調査地から胸高直径 6~26 cm の 6 本の供試木を伐採し、円板を採取、樹幹析解を行い、その円板について平均年輪幅、生材含水率および容積密度数を測定した。また、地上高 0.3~1.3 m の部分から採取した 4.5 cm 角材について生材状態で強度試験を行った。これらの結果はつぎのように要約される。

1) 植栽後 44 年を経過しているが、除・間伐が行われていないので、樹冠が重り合い小径木が多い。ha 当りの立木本数 1158 本、幹材積 221 m^3 、同全乾重量 70.2 t であった。年平均生長量で比較すれば、野幌産トドマツ造林木の約 1/2 であり、同じ恵庭営林署管内のカラマツ

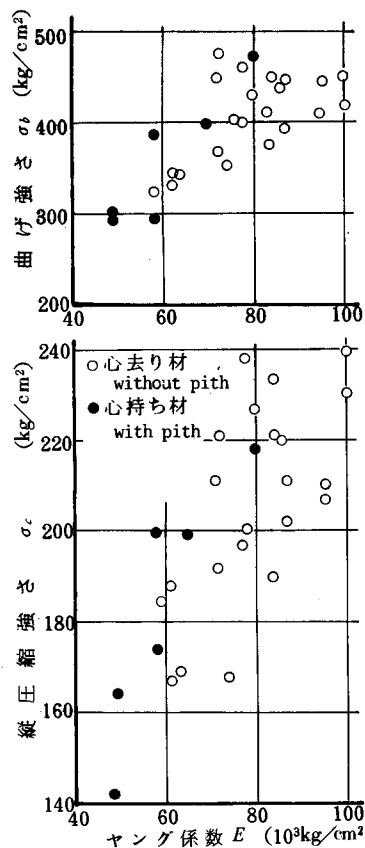


図-10 ヤング係数と曲げ強さおよび縦圧縮強さとの関係

Fig. 10. Relations of modulus of rupture (σ_b) and max. crushing strength (σ_c) to modulus of elasticity (E).

に対し材積で71~90%, 重量で55~71%であった。

2) 平均年輪幅は3.1 mmであったが, 全体的に肥大生長が悪かったため, その大部分が1~4 mmの範囲にあった。

3) 全供試木の心材部に高含水率部が存在していた。しかし, これは天然木における水食い材と異なり, 容積密度数ならびに力学的性質の低下は認められなかった。

4) 容積密度数の平均値は318 kg/m³で, 野幌産造林木とほぼ同じ値であったが, 厚田産天然木の93%の値であった。この範囲は224~467 kg/m³, 変化係数12.6%で, ばらつきはあまり大きくなかった。恵庭産カラマツでは全平均が406 kg/m³であったので, トドマツはこの78%に相当する。

5) 曲げヤング係数, 曲げ強さ, 縦圧縮強さなどの値は一部の心持ち材を除けば, トドマツ生材として正常な値であった。心持ち材は未成熟材を含むため, とくにヤング係数の低いものがあつた。

6) 年輪幅と諸性質の関係は, 全体的には年輪幅が広くなれば諸性質の値は低下する傾向がみられたが, カラマツ材のように明瞭ではなかった。また, 心持ち材の性質は同一年輪幅の場合, 心去り材より劣っていた。

7) 容積密度数と力学的性質の関係においても心持ち材の値は心去り材より劣っていた。

8) ヤング係数と縦圧縮強さおよび曲げ強さとの関係は明確で, ヤング係数の測定によりこれらの強さをかなり適確に推定できるであろう。

文 献

- 1) 加納 孟・蕪木自輔: 木材材質の森林生物学的研究(第1~10報)要旨. 第64回日本林学会大会講演集 1955.
- 2) 加納 孟: 同 第11報 北海道野幌地方における造林木の材質成長. 林試報 90, 37-76, 1956.
- 3) 蕪木自輔: 同 第12報 北海道野幌地方における造林木の生材含水率について. 林試報 90, 77-109, 1856.
- 4) 宮島 寛: 苫小牧演習林産人工植栽ストロームマツ, バンクマツおよびカラマツの材質試験. 北大演報 19 (3), 99-216, 1958.
- 5) 宮島 寛: ソ連産トウシラベおよびエゾマツ材の強度試験. 林学会道支講 10, 89-95, 1961
- 6) 宮島 寛: 有珠山噴火による降灰被害カラマツ造林木の材質試験. 木材学会道支講 11, 35-39, 1979.
- 7) 山本 宏・高橋政治・川口信隆: トドマツ造林木の材質. 木材学会道支部支講 7, 13-16, 1975.

Summary

Growth and basic wood properties of plantation-grown Todo-matsu (*Abies sachalinensis* MASTERS) trees were investigated. The diameter measurements of each of all trees were carried out in two 50×50 m sample plots having 44-year-old Todo-matsu trees, and six representative trees were taken as the materials for investigating growth (stem analysis and average width of annual rings), moisture content at green condition, basic density (Raumdichtezahl) and some mechanical properties.

The trees grew very slowly because of no thinning, and the average width of annual rings measured on the disks provided for the stem analysis was narrow.

The trunks of every sample tree had very high moisture content partly in their heartwood, but the wood of these parts did not have any inferior properties that were seen in "wet wood" of natural Todo-matsu trees.

The basic density of the wood was almost the same as that for plantation-grown Todomatsu trees in Nopporo district²⁾, but it was slightly lower than that of natural trees³⁾.

The values of modulus of elasticity, modulus of rupture and maximum crushing strength of the wood in green condition were almost adequate as the materials for right framing except some boxed heartwood specimens having juvenile wood.

It will be seen from the relations between modulus of elasticity and strength that measuring nondestructively modulus of elasticity might be the best way to predict the strength.

付 録 Appendix

恵庭産カラマツ造林木の調査結果

Test Results for Plantation-grown Japanese Larch in Eniwa District

調査年月日: 昭和34年8月5~8日

Date of Investigation: August 5-8, 1959

林 班 名: 恵庭営林署漁(いざり)事業区第1, 2林班

Block No.: 1st and 2nd Blocks of Izari Working area, Eniw District Forest Office

調 査 者: 宮島 寛, 増田 晃, 乾幸男, 倉田久敬

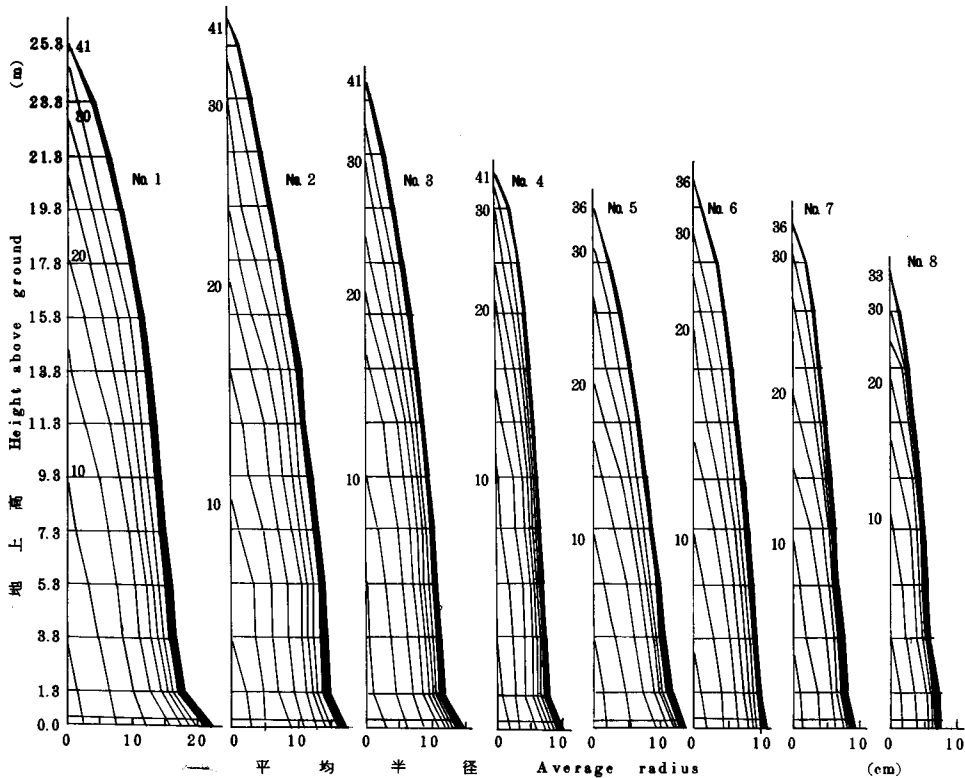
Investigators: H. MIYAJIMA, A. MASUDA, Y. INUI and H. KURATA

表一A1 調査地内毎木調査結果(1)

Table A 1. Result of diameter measurement in sample plots (1)

試験地 Sample plot	林 齢 Stand age (年, Yrs.)	立木本数 No. of trees per ha	胸高直径 D.B.H. (cm)	幹 材 積 Stem vol. per ha (m ³)	平均容積 密度数 Av. density (kg/m ³)	ha 当り年平均生長量 Av. annual growth per ha	
						Volume (m ³)	Weight (t)
A	41	480	14~38	290.4	412	7.09	2.92
B	36	876	10~30	201.4	400	5.58	2.24

A: First class stand, B: Second one.



図一A1 樹幹析解図

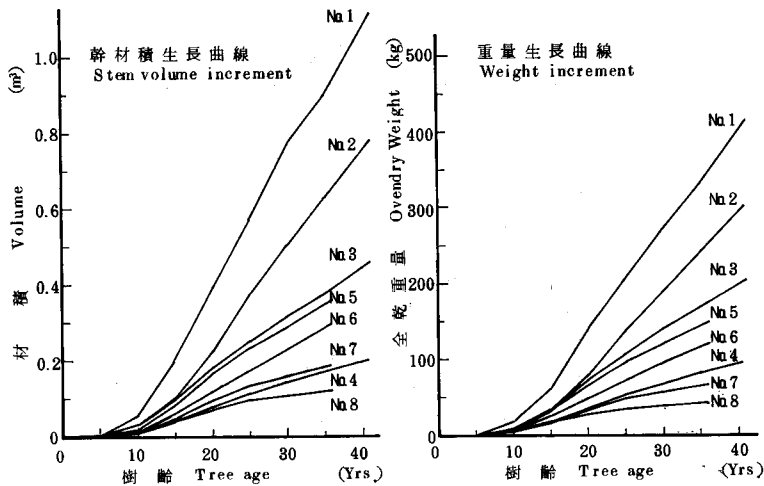
Fig. A 1. Basic stem-growth diagrams.

表—A2 調査地内毎木調査結果 (2)

Table A 2. Result of diameter measurement in sample plots (2)

試験地 Sample plot A				試験地 Sample plot B			
胸高直径 D.B.H.	本 No. of trees	材積 Volume (m ³)	合計材積 Total volume (m ³)	胸高直径 D.B.H.	本 No. of trees	材積 Volume (m ³)	合計材積 Total volume (m ³)
14	1	0.163	0.163	10	1	0.065	0.065
16	1	0.215	0.215	12	21	0.093	1.953
18	6	0.274	1.644	14	28	0.126	3.528
20	10	0.341	3.410	16	34	0.165	5.610
22	10	0.416	4.160	18	42	0.208	8.736
24	21	0.498	10.458	20	35	0.257	8.995
26	22	0.588	12.936	22	24	0.315	6.930
28	15	0.685	10.275	24	16	0.370	5.920
30	18	0.790	14.220	26	11	0.435	4.785
32	7	0.905	6.335	28	4	0.504	2.016
34	4	1.020	4.080	30	3	0.579	1.737
36	3	1.146	3.438				
38	1	1.277	1.277				
Total	120		72.611		219		50.275

地試験 Sample plot: 50×50 m=0.25 ha



図—A2 材積および重量生長曲線

Fig. A 2. Volume and weight increment curves.

表-A3 供試木の概要

Table A 3. Sample trees

試験地 Sample plot	供試木 Tree No.	樹 Age (年, Yrs.)	樹 Height (m)	胸高直径* D.B.H. (cm)	幹材積 Stem vol. (m ³)	枝下高 Clear length (m)	樹冠直径 Crown diameter (m)
A	1	41	26.5	34.0	1.133	15.5	9.5
	2	41	26.4	27.2	0.784	14.9	6.7
	3	41	24.2	22.1	0.463	17.2	6.4
	4	41	21.0	14.5	0.203	14.5	3.7
B	5	36	19.2	21.9	0.353	12.5	3.5
	6	36	20.8	19.1	0.296	14.7	4.0
	7	36	19.0	15.4	0.185	12.5	2.3
	8	33	16.1	12.2	0.114	13.2	2.5

* 樹皮を除く, without bark.

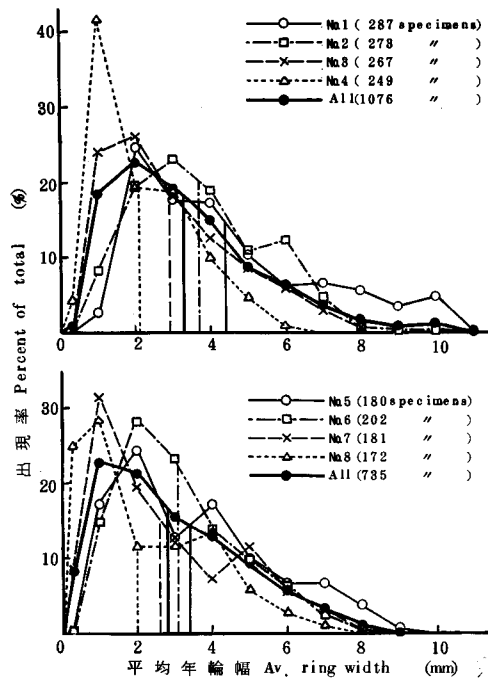


図-A3 平均年輪幅の出現頻度

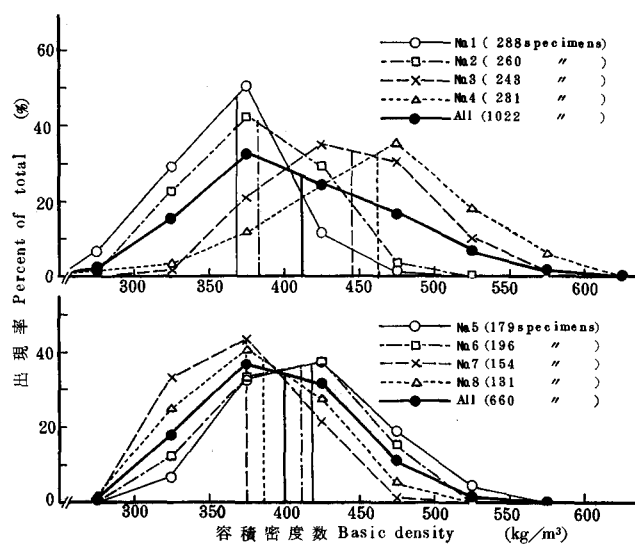
Fig. A 3. Frequency curves of average width of annual rings.

表—A4 含水率の平均値 (u %)

Table A4. Average moisture content based on oven-dry weight (%)

供試木 Tree No.	1	2	3	4	5	6	7	8
辺材 Sapwood	142	138	139	96	117	121	141	125
移行材 I.M.Z.	71	75						
心材 Heartwood	40	44	39	38	42	44	39	37

I.M.Z. = Intermediate zone.



図—A4 容積密度数の出現頻度

Fig. A4. Frequency curves for basic density.

表-A.5 平均年輪幅, 容積密度数および体積収縮率
 Table A.5. Average ring width (R_W), basic density (R) and volumetric shrinkage (β_v)

試験地 Sample plot	供試木 Tree No.	平均年輪幅 R_W (mm)		容積密度数 R (kg/m ³)			体積収縮率 β_v (%)		測定数 No. of measurements
		平均 Av.	標準偏差 S.D.	平均 Av.	材積平均 Av. by vol.	標準偏差 S.D.	平均 Av.	標準偏差 S.D.	
A	1	4.4	2.4	368	367	40.8	10.7	3.3	286
	2	3.7	1.7	383	386	40.6	11.7	3.8	260
	3	2.9	1.7	445	442	49.8	12.6	3.1	243
	4	2.1	1.3	463	463	57.6	13.2	3.4	233
	All	3.3	2.1	412	393	62.6	12.0	3.6	1025
B	5	3.4	2.0	419	422	45.2	11.7	3.6	180
	6	3.1	1.6	412	414	44.7	11.4	3.4	195
	7	2.6	1.9	375	364	37.1	10.9	3.0	154
	8	2.0	1.7	387	373	44.8	10.4	2.3	131
	All	2.8	1.9	400	402	46.9	11.2	3.3	660
All		3.1	1.9	408	396	56.0	11.8	3.5	1685

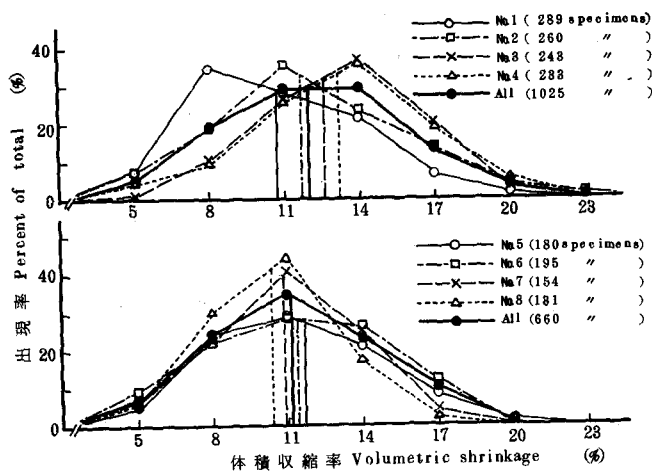


図-5 A 体積収縮率の出現頻度

Fig. A.5. Frequency curves for volumetric shrinkage.

表-A6 辺・心材別容積密度数

Table A 6. Basic density (R) for sap- and heartwood

試験地 Sample plot	供試木 Tree No.	容積密度数 R (kg/m^3)	
		辺材 Sapwood	心材 Heartwood
A	1	370	363
	2	385	471
	3	461	429
	4	483	448
	Av.	426	398
B	5	427	403
	6	416	403
	7	388	361
	8	397	376
	Av.	408	390
G. Av.		418	395

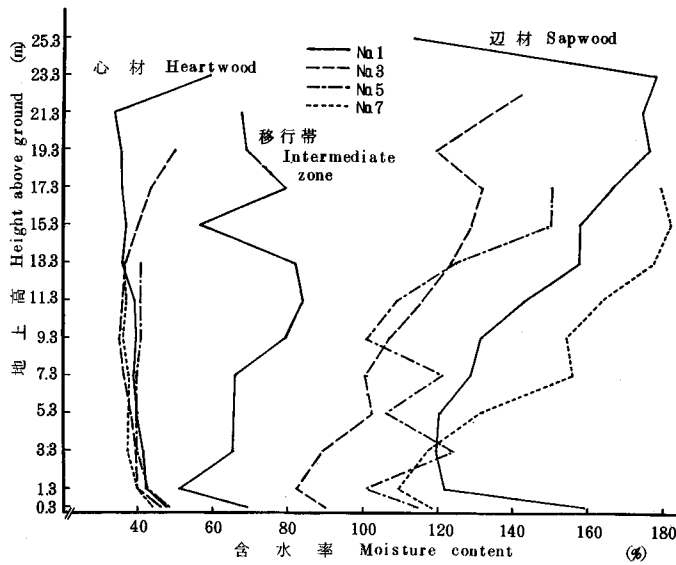


図-A6 含水率の地上高による変化

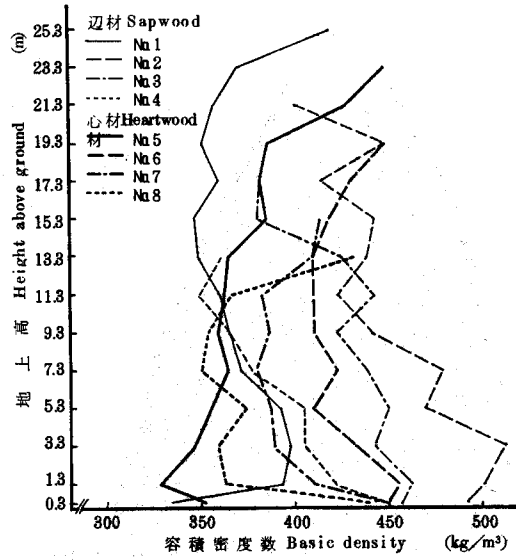
Fig. A 6. Variation of moisture content with height.

表—A7 強度試験結果
Table A 7. Some mechanical properties

試験体 Specimen No.	断面寸法 Cross-section (cm)	平均年輪幅 Av. ring width (mm)	含水率 Moisture content (%)	試験時比重 Sp. gr. at test r_u	曲げ Bending			縦圧縮 Compression //		
					比例限度強 σ_{bp} (kg/cm ²)	強さ σ_b	ヤング係数 E_b (10 kg ³ /cm ²)	比例限度強 σ_{cp} (kg/cm ²)	強さ σ_c	ヤング係数 E_c (10 ² kg/cm ²)
1-A (I)	9.02×9.05	5.4	13.8	0.40	350	564	70.7	246	276	73.7
1-B (I)	9.04×9.07	4.9	13.3	0.44	251	388	59.9	185	315	78.0
2-A (特)	8.97×9.13	4.6	14.4	0.48	362	457	67.8	222	364	69.0
2-B (I)	9.05×9.14	4.4	12.2	0.44	358	495	70.0	239	330	95.7
3 (I)	9.00×8.76	6.1	12.7	0.48	254	338	64.5	206	332	75.6
4 (I)	8.18×8.19	5.9	13.8	0.53	290	430	65.1	219	371	103.9
5 (II)	9.88×9.81	6.8	13.5	0.45	200	428	49.4	156	292	73.9
6 (I)	8.92×8.97	5.4	13.6	0.44	234	396	54.3	189	307	85.8
7 (I)	9.07×9.08	5.3	14.6	0.40	226	316	46.0	160	290	77.3
8 (II)	7.21×7.13	4.1	15.0	0.44	123	233	46.4	148	286	65.2
平均 Av.	—	5.3	13.7	0.45	265	405	54.8	197	316	79.8

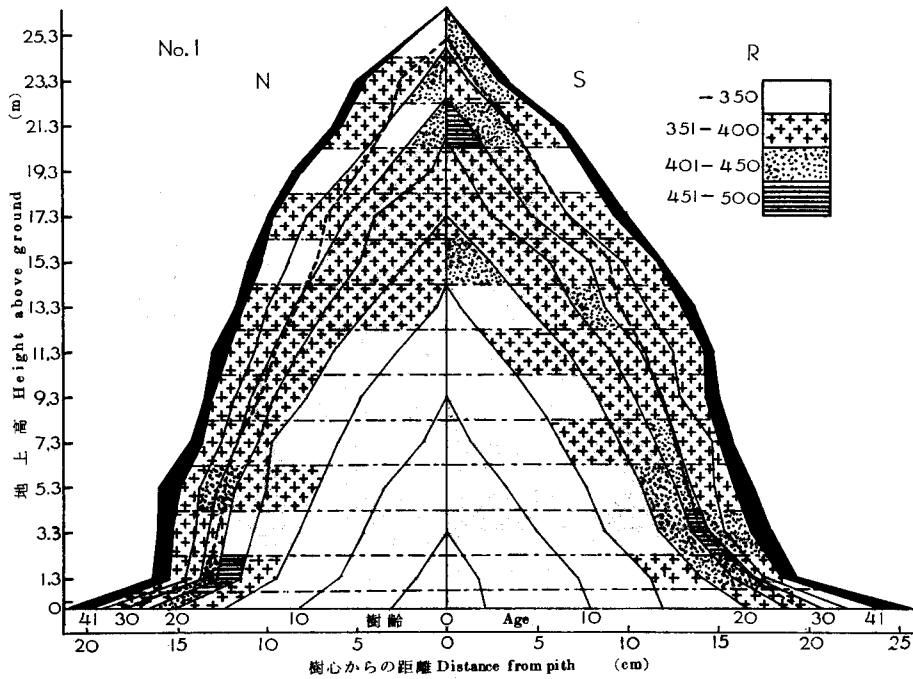
(注) 供試体 No. は供試木 No. に同じ, () は製材の等級で, 特: 特等, I: 1等, II: 2等。

(Remarks) Specimen No. is the same as sample tree No. and the marks in parentheses mean lumber grade. Compression parallel to the grain test was carried out using clear specimens, In the static bending test, a center load was applied all over a 150 cm span.



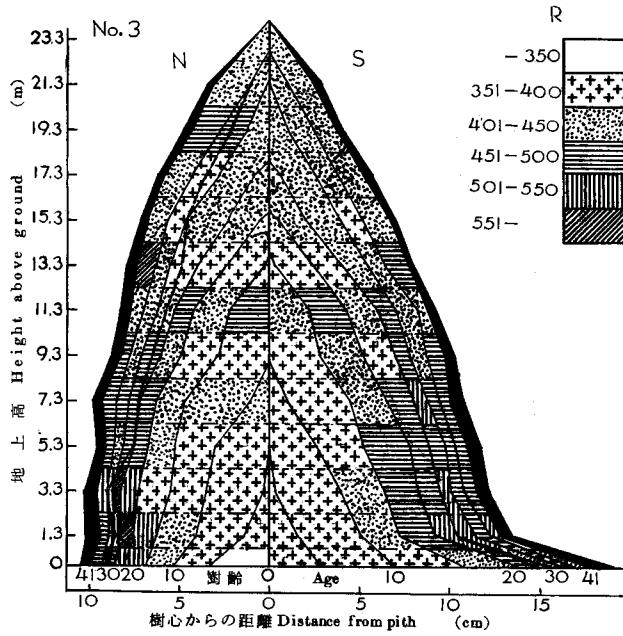
図一A7 容積密度数の地上高による変化

Fig. A 7. Variation of basic density with height.



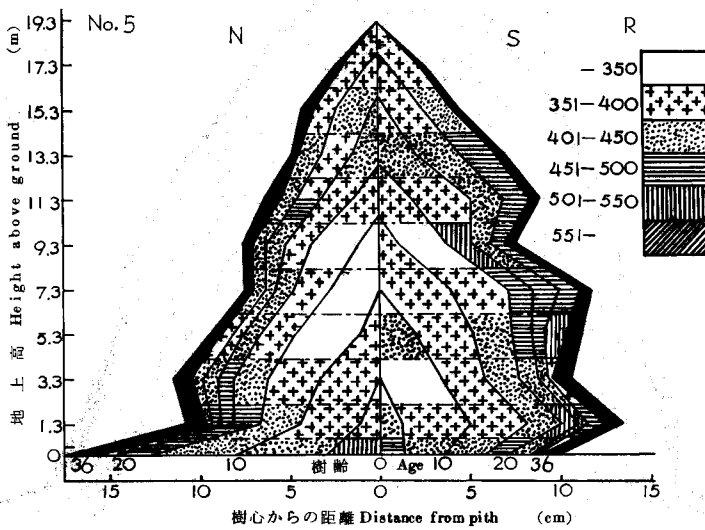
図一A8 樹幹内における容積密度数の分布 (供試木 No 1)

Fig. A 8. Distribution of basic density in trunk (Sample tree No. 1).



図一A8 続 き (供試木 No. 3)

Fig. A 8. Continued (Sample tree No. 3).



図一A8 続 き (供試木 No. 5)

Fig. A 8. Continued (Sample tree No. 5).

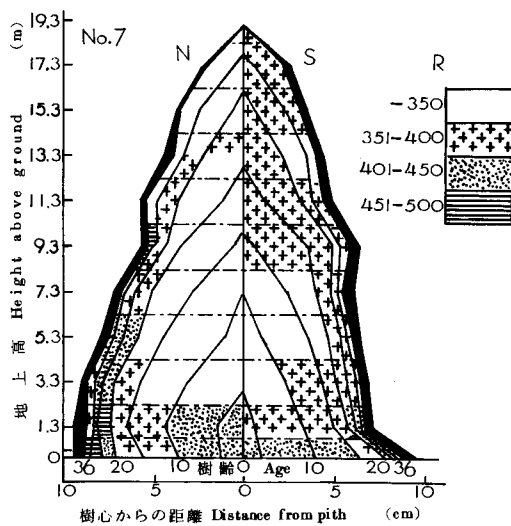


図-A8 続 き (供試木 No. 7)

Fig. A 8. Continued (Sample tree No. 7).