

野幌試験林における各種人工林の 構造と成長に関する研究

松 井 善 喜⁽¹⁾

目 次

ま え が き	69
I. トドマツ人工林	69
II. エゾマツ人工林	97
III. ヨーロッパトウヒ人工林	108
IV. ヨーロッパトウヒ, カラマツ人工林	115
V. ストローブマツ人工林	121
VI. グイマツ人工林	133
VII. ヤチダモ人工林	143
む す び	153
文 献	157
Résumé	159

ま え が き

北海道は造林の沿革が浅く、育林技術もまだ十分確立されていない。ことに古い人工林が少ないので、その成績の照査された例はきわめて少ない。野幌試験林には明治 42 年以降多数の外来樹種と郷土樹種が造林されてきたが、これら人工林の成績（前編）は林業試験場報告第 202 号に発表している。これは資料篇として照査した測定成績を表にして整理したものであるが、本報告はこれら資料に解析を加え、各林分がどのような取扱いをうけ、どのように成長してきたか、また樹種による林分の構造と成長の特性はどうか、などについて検討した。

北海道の主要造林樹種のトドマツはようやく間伐期に入る林分がでてきたが、この取扱いをどうしたらよいか、また現在推進中の拡大造林地から将来どのような収穫が期待できるか。他方植栽樹種の多様化が望まれているが、かかる樹種の成長にどのような期待がかけられるか。これらの諸問題に答えるため報告第 202 号登載の 7 樹種、20 か所の調査資料に解析を加え、とくに各樹種の林分の構造と成長にたいする除・間伐の取扱いと立地的要因の及ぼす関係を検討したしだいである。

本文を草するにあたりご指導をいただいた小幡支場長、本場の原経営部長、大友科長、西沢室長の各位、ならびにご支援に与った支場経営研究室の長内室長はじめ室員各位に深謝の意を表する。本報告の計算は経営研究室篠原久夫技官のご協力によるものが多かった。ここに特記して深謝するしだいである。

I トドマツ人工林

まえがき：北海道では身近かに豊富な天然資源があったので、トドマツは明治と大正中期年代までは積

(1) 北海道支場長・林学博士

極的な造林が行なわれなかった。当初のトドマツの養苗は霜害や土俵、凍上の被害でみじめな生育状態にあったが、大正中期にはその養苗法も漸次改良されて、末期にやっと事業的養苗法が確立されるようになった。トドマツの養苗、造林が大規模に行なわれるようになったのは昭和にはいつてからで、昭和年代になるとトドマツの造林面積は加速度的に増大し、国有林における造林事業はトドマツが主体となった。すなわち、拡大造林計画では国有林の造林面積の63%はトドマツを予定している。現在、国・公・私有林の毎年のトドマツ造林面積は26,000 haで、国有林におけるトドマツの延べ造林面積は15万haに及んでいる。昭和初葉の古い人工林のなかには間伐期には入ったものが少なくなく、拡大造林の主要樹種としてその成長量と取扱いが問題となってきている。

概況と取扱い：野幌試験林のトドマツ人工林について測定した試験地は6か所で、林齢36年生から51年生にわたっている。林齢の高い人工林は山苗を採取、床替して山出ししたものであるが、若い方の人工林は養成苗を用いている。

トドマツ人工林は全道的にみても、大正年代の古い人工林は数える程度しかない。しかし、これらの成長量は拡大造林の今後の収穫量を推定するうえに重要な資料となるもので、本試験地の照査成績は間伐期にはいったトドマツ人工林の取扱いのうえに貴重な参考となるものであろう。

この試験地のうち4か所は天然林の皆伐跡に火入れ、地拵えて植栽しており、現在の林種転換の拡大造林に準ずるもので、1か所は焼畑前作跡に植栽したもので、林地の多角的利用と造林成績を検討するこ

第1表 トドマツ人工林

Table 1. Growing stock and yield

試験地 Plot	植栽年次 Planted year 林 小 班 Division	林 齢 Age	現 林 木 Growing stock				
			平 均 径 Mean d.b.h (cm)	平 均 高 Height (m)	本 数 Trees (本)	胸高断面積 Basal area (m ²)	材 積 Volume (m ³)
1	1913春31い	31	20.1	14.1	1,030	33.82	273
		35.5	22.2	15.0	990	39.92	350
		40	24.6	17.2	990	48.90	463
		43	26.0	19.2	900	49.04	508
		46	28.3	20.5	720	49.23	527
		51	29.9	21.3	720	51.66	595
2	1925秋35に	36	17.9	16.0	1,710	46.73	449
		37	20.0	16.7	1,360	45.17	433
3	1917秋41ほ	26	11.3	10.9	3,390	37.50	279
		30	13.9	13.0	1,950	32.29	255
		36.5	18.8	15.7	1,350	39.30	357
		43	21.9	18.1	1,200	46.66	476
4	1917秋41ほ	33	19.8	14.6	970	30.45	256
		37	21.9	15.8	870	34.78	312
		43	25.1	18.0	870	45.37	443
5	1917秋41ほ	36.5	15.0	12.6	1,530	28.43	211
		42	17.2	13.9	1,420	34.74	286
6	1928秋41ほ	28	9.5	8.2	2,290	18.37	115
		33	12.3	10.3	2,290	32.46	231

とができ、1か所はリギダマツの不成績造林地の改植のため樹下植栽したものであり、晩霜の多い道東地方の造林に準ずるものと思われる。

A. トドマツ人工林の立木度と間伐

トドマツ人工林の調査成績を一括すれば、第1表のごとくである。

各試験地における間伐の施行状況をみると第1表のごとく、No. 1 は中庸度の間伐を遅滞なくくり返しており、No. 4 は疎植のため疎立していたので、当初の間伐収穫はあがっていない。No. 3 は密植造林地で、やや弱度の間伐をくり返してきたので、現在も立木度のたかい林分となっている。試験地の面積が狭いため外囲林を十分とれない林分が大部分で、間伐度の比較試験の困難な点もあり、6か所の試験地のうち4か所は一応保育本位の中庸度の間伐を目標に取扱ってきた。他の試験地も下層間伐を主体としている。

間伐の強弱や遅速の判定法としては、つぎのいろいろの方法があるが、以下これらを用いて検討することとする。

1) 正規分布式による間伐の検討

間伐方法の解析のため直径対本数の関係が、第2表のように、正規分布とし、本数の32%を間伐すると仮定しよう。間伐の選木が第1図のように劣勢木を主体とし、 $m-\sigma$ (平均直径-直径の標準偏差) を中心に左右対称的に分布するとすれば、間伐木の平均径 d_1 は $m-\sigma$ で、残存木の平均径 d_2 は、

収 穫 試 験 地 の 成 績
of Sachalin's fir stand.

面積 Area=1 ha 当たり換算

年平均成長量 Annual mean growth (m^3)	間 伐 木 Removed stem			総 材 積 Total yield	
	本 数 Trees (本)	材 積 Volume (m^3)	材 積 累 計 Sum of volume (m^3)	材 積 Volume (m^3)	年平均成長量 Annual mean growth (m^3)
8.81	(800) 670	(50) 55	(50) 105	(50) 378	12.19
9.86	40	10	115	465	13.10
11.58			115	578	14.48
11.81	90	29	144	652	15.15
11.66	180		233	760	16.53
11.67	(790)		233	828	16.24
12.47		(35)	(35)	484	13.44
11.70	350	42	77	510	13.73
10.73	320	11	11	290	11.15
8.50	1,440	74	85	340	11.33
9.73	600	62	147	504	13.81
11.07	150	28	175	651	15.14
7.76	580	64	64	320	9.70
8.43	100	27	91	393	10.90
10.30			91	534	12.41
5.78	980	54	54	265	7.26
6.81	110	13	67	353	8.40
4.11	40	2	2	117	4.18
7.00			2	233	7.06

第 2 表 間伐木の主林木にたいする単木材積の比

Table 2. Volume percentage of a removed stem by a main stem of Sac. fir stand.

直径の変異係数 C.V. of d.b.h. (%)	中庸度の間伐 Moderate thinning (B)	劣勢木のための間伐 Light thinning (A)	$\frac{A+B}{2}$
36	0.52	0.30	0.41
34	0.54	0.32	0.43
32	0.56	0.35	0.46
30	0.58	0.38	0.48
28	0.60	0.40	0.50
26	0.63	0.43	0.53
24	0.65	0.47	0.56
22	0.67	0.50	0.59
20	0.70	0.53	0.62
18	0.73	0.57	0.65
計 算 式 Formula	$y_2 = \left(\frac{1 - \frac{C.V.}{200}}{1 + \frac{0.38 C.V.}{100}} \right)^2$	$y_1 = \left(\frac{1 - \frac{C.V.}{100}}{1 + \frac{0.47 C.V.}{100}} \right)^2$	$y_3 = \frac{y_1 + y_2}{2}$

$$\begin{aligned}
 d_2 &= \frac{2\sigma}{0.682} \left[\int_{m-\sigma}^{\infty} x f(x) dx - \int_{m+\sigma}^{\infty} (x-2\sigma) f(x) dx \right] \\
 &= \frac{1}{0.682} \left[\int_{m-\sigma}^{m+\sigma} x \cdot f(x) dx + 2\sigma \int_{m+\sigma}^{\infty} f(x) dx \right] \\
 &= m + \frac{2\sigma}{0.682} \times 0.159 = m + \frac{0.318}{0.682} \sigma \\
 &= m + 0.47\sigma
 \end{aligned}$$

第 1 図のような間伐を行なうときは、間伐木の平均直径は $m - \sigma$ で、主林木の平均は $m + 0.47\sigma$ となる。

つぎに上記のように本数間伐率を 32% とし、間伐木の半分は劣勢木本位の上記の方法を用い、他の半分（全林木の 16%）は配置上各径級にまたがり、間伐木と主林木と同一直径とすれば、この場合の間伐木の平均径を $m - \frac{\sigma}{2}$ とすれば、主林木の平均径は次式で求められる。

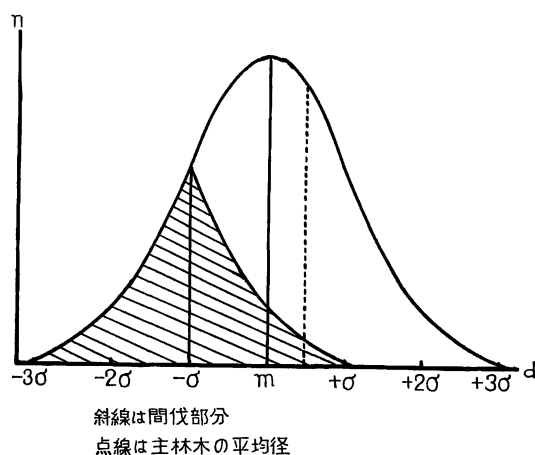
$$(0.68 + 0.16)m + 0.68 \times 0.47\sigma$$

ただし、0.68 は主林木の本数率、これより主林木の平均径は、

$$m + \frac{68}{84} \times 0.47\sigma = m + 0.38\sigma$$

となる。

つぎに、間伐木と主林木の単木の直径比は直径の標準偏差、すなわち、直径の変異係数



斜線は間伐部分

点線は主林木の平均径

第 1 図 正規分布の場合の間伐図解

に左右され、第2表のような値を示している。これら直径比の2乗を間伐木対主林木の材積比の近似値とみれば、トドマツ林の各値は上記両式、すなわち、

$$y_1 = \left(\frac{d - \sigma}{d + 0.47\sigma} \right)^2 = \left(\frac{1 - \frac{C \cdot V}{100}}{1 + \frac{0.47 C \cdot V}{100}} \right)^2 \quad y_2 = \left(\frac{d - \frac{\sigma}{2}}{d + 0.38\sigma} \right)^2 = \left(\frac{1 - \frac{C \cdot V}{200}}{1 + \frac{0.38 C \cdot V}{100}} \right)^2$$

による算出値のほぼ中間の値を示している。

y_1 , y_2 の値は直径の変異係数に影響され、すなわち、変異係数 34~20% の場合の y_1 は 30~53%, y_2 は 54~70% となるが、このトドマツ林の比率は両者の中間の数値のものが多く、

伐木対全林木の単木材積の比はこれら胸高直径の平均値の2乗の比に近似するものとして第3表のようにとめることができる。トドマツ人工林の実行平均値は 0.572 であるが、下層間伐のこの比は 0.71 以下とされているので、この取扱いは下層間伐を主体に行なってきたことを示している。

第3表は本数間伐率 32% の場合、直径の変異係数と間伐の方法によって間伐木対全林木の単木材積比がどのように変化するかを検討したもので、第1図のような正規分布とみたものである。下層間伐の y_1 の場合は変異係数の値に関係なく、いずれも 0.71 以下の値であるが、上層間伐を加味した場合には変異係数 32% 以上では 0.71 以下となるが、30% 以下では 0.71 より大なる値となる。このトドマツ林では間伐当時の直径の変異係数は 24% 内外のものがもっとも多く、大部分は 32% 以内にある。

2) d/D による間伐の検討

d は間伐木の平均径、 D は間伐前の全林木の平均径である。

HUMMEL (1954) は、この方法を間伐度の表現法として適切であると推奨している。JOERGENSEN (1957), BRAATHE (1957), WARRACK (1959) らは d/D を用いて間伐度を示し、すなわち下層間伐では 0.7 以下、上層間伐の弱度の場合は 0.7~0.9、上層間伐の強度の場合は 0.9~1.0、択伐の間伐の場合は 1.0 以上としている。

この試験地における d/D は第4表のように 0.67~0.89、平均 0.77 となって、下層間伐と上層間伐の弱度の場合に相当している。この方法を BRAATHE (1957) は間伐法検討のもっとも簡単な方法であると

第3表 間伐木の全平均木にたいする単木材積の比率

Table 3. Volume percentage of a removed stem by a mean stem of Sac. fir stand.

直径の変異係数 C.V. of d.b.h. (%)	中庸度の間伐 Moderate thinning (B)	劣勢木のみの間伐 Light thinning (A)	A, B の中間 $\frac{A+B}{2}$
36	0.67	0.41	0.54
34	0.69	0.44	0.56
32	0.71	0.46	0.58
30	0.72	0.49	0.61
28	0.74	0.52	0.63
26	0.76	0.55	0.65
24	0.77	0.58	0.68
22	0.79	0.61	0.70
20	0.81	0.64	0.73
18	0.82	0.67	0.75
計 算 式 Formula	$y_2 = \left(1 - \frac{C \cdot V}{200} \right)^2$	$y_1 = \left(1 - \frac{C \cdot V}{100} \right)^2$	$y_3 = \frac{1}{2}(y_1 + y_2)$

第4表 トドマツ人工林の間伐と $d/D \cdot v/t$ Table 4. d/D and v/t of Sac. fir stand.

試験地 Plot	間伐木 Remove	全林木 Total	$\frac{d}{D}$	間伐率 Thinning percent.		$\frac{t}{v}$	$\frac{v}{t}$
	平均径 Mean d.b.h.	平均径 Mean d.b.h.		本数率 Trees	材積率 Volume		
	d (cm)	D (cm)		t (%)	v (%)		
3	9.1	10.9	0.835	8.6	3.7	2.36	0.430
3	9.1	11.9	0.765	42.8	22.5	1.90	0.526
4	9.5	12.8	0.742	38.3	19.9	1.93	0.520
1	11.2	16.6	0.675	39.4	16.8	2.35	0.426
4	13.3	16.9	0.787	7.2	4.4	1.65	0.611
4	13.3	17.1	0.778	37.4	20.1	1.86	0.537
3	14.8	18.0	0.822	30.8	14.8	2.08	0.480
2	12.3	18.4	0.669	20.5	8.8	2.34	0.429
3	15.2	21.1	0.720	8.0	4.0	2.00	0.500
4	19.2	21.6	0.889	10.3	8.0	1.30	0.769
1	23.7	27.4	0.865	20.0	14.7	1.36	0.735

いっているが、選木の方針がこの比の大小から容易にうかがうことができ簡便である。

3) t/v による間伐の検討

t は間伐木本数対全林木本数、 v は間伐木材積対全林木材積、すなわち t/v は間伐木の本数率対材積率で、ULLEN (1940) はこの比を間伐の判定に用い、この比が 1.4、またはそれ以上の場合は下層間伐、1.0 の場合は上層間伐、0.6 以下の場合は択伐的間伐としている。

VEZINA (1961) は t/v が、もし 8 cm 未満の除伐木の材積を加算しない場合には、この式の本来の数値とかけはなれた値となることを述べている。 t/v は数値としては扱いやすいが、事業的にはむしろ v/t

第5表 トドマツ人工林の本数、材積、胸高断面積の間伐率

Table 5. Thinning grade based on the removed percentage of trees.

Volume and basal area of Sac. fir stand.

試験地 Plot	林齢 Age	本数 Trees			材積 Volume			胸高断面積 Basal area		
		間伐木 Remove	全林木 Total	間伐率 Thinning percent.	間伐木 Remove	全林木 Total	間伐率 Thinning percent.	間伐木 Remove	全林木 Total	間伐率 Thinning percent.
		(本)	(本)	(%)	(m^3)	(m^3)	(%)	(m^2)	(m^2)	(%)
1	31	670	1,700	39.4	55	328	16.8	7.56	41.38	18.3
1	43	90	990	9.1	29	537	5.4	3.42	52.46	6.4
1	46	180	900	20.0	89	616	14.7	8.23	54.64	15.1
2	37	350	1,710	20.5	42	475	8.8	4.50	49.67	9.1
3	30	1,440	3,390	42.8	74	329	22.5	10.07	42.36	23.8
3	36.5	600	1,950	30.8	62	419	14.8	7.02	46.32	15.2
3	43	150	1,350	11.1	28	504	5.6	2.93	49.60	5.9
4	33	580	1,550	37.4	64	320	20.1	8.64	39.09	22.1
4	37	100	970	10.3	27	339	8.0	3.07	37.85	8.1
5	36.5	980	2,510	39.0	54	265	20.4	7.93	37.09	21.4

の方が使いやすいようである。 v/t を用いれば下層間伐は 0.71 以下, 上層間伐は 1.0 内外, 択伐の間伐は 1.6 以上となる。

この試験地の本数間伐率, 材積間伐率は第 5 表に示している。間伐の v/t は第 4 表のように 0.426 ~ 0.769, 平均 0.572 で, 大部分は下層間伐を行なっていることになる。

4) C_W/D による立木度の検討

C_W は林木の平均距離, または樹冠幅, D はその平均胸高直径である。SMITH, KER, CSIZMAZIA (1961) は樹冠幅 C_W , すなわち林木の平均距離 $\frac{100}{\sqrt{n}}$ と平均胸高直径との比が林分の立木度を表示する方法として適切であると述べ, 疎立林分ではこの比は 20%, 密立林分では 10% としている。各林分の C_W/D は第 6 表のように 22~12%, 平均 14.44% で, 数値の大きい方より数えて全数の 1/3 の平均値は 16.01% である。この値は間伐直後ないし経過の浅い林分の平均値とみて大過ないであろう。ただし, この数値は直径級の大きさに応じて変化するもののようである。すなわち,

$$y = \frac{C_W}{x} = \frac{\frac{100}{\sqrt{n}}}{x} = \frac{\frac{100}{\sqrt{ax^{-b}}}}{x} = \frac{100}{x\sqrt{ax^{-b}}} = \frac{100}{a^{\frac{1}{2}} \cdot x^{1-\frac{b}{2}}}$$

ただし指数 b は通常 1.5 内外, 2 を越えることがないので, $b/2$ は 1 より小さい値となり, y は直径 x と反比例して直径が大となるほど小となる。

5) C_b/H による立木度の検討

C_b は正三角形配置に木がたっている場合の樹間距離, $C_b = \sqrt{\frac{10000}{0.866N}}$ で, H は主林木の上層高 (m) である。この式は HUMMEL (1928) が唱導したもので, BECKING (1954) はこの比率の 16% を軽度間伐, 19% を中庸度間伐, 22% を強度間伐, 25% 以上を著しい重度間伐としている。いま, 上層高の代わりに平均高を用いれば, トドマツ林の平均は 19.5% で, 間伐後間もない林分には 22.7% 内外のものがある。平均高を上層高に換算するには高さ階の本数分布を正規分布と仮定し, 全本数を 1/3 ずつ上, 中, 下層階に大別すれば, 上層高階の平均は次の式で求めることができよう。すなわち, 上層高は平均高 h に $(1 + \frac{C \cdot V}{100})$ を乗じたものとみて大過ない。したがって, 上記の $\frac{C_b}{H_M}$ 数値はそれぞれ 18.9, 21.9% 内外となる。したがって本林分はほぼ中庸度, ときにやや強度の間伐を行なってきたことになる。一般にトドマツの樹高は直径のわりに低い傾向があるので, 本式によるときは値がやや大きくする傾向がある。

6) 基準本数による立木度の検討

トドマツ林分が本数でどのくらい間伐したらよいかを検討するために, 要間伐林分の本数と数式 $N = \left(\frac{100}{0.1x+1}\right)^2$ より計算した基準本数と比較する方法が適当であろう。この式は現地で簡易に計算できるので適用しやすく, 牛山 (1954) が本州のヒノキ林の主林木の基準本数に用いたものである。現実林は間伐後間もない林分と, 間伐期に近い林分と, その中間の林分に 3 大別される。現実林の大部分は本式よりも値が大となっている。この分母, すなわち x は主林木の平均径 cm, $0.1x+1$ は主林木相互の間隔 m, N は主林木の 1 ha 当たり本数である。第 7 表のように測定箇所 30 のうち 5 か所が本式の算出値よりも立木本数が少なく, すなわち測定箇所の 20.7% は本式よりも一層強い間伐を行なったか, 当初からの成立本数が少なかったかを示している。

樹冠のほぼ閉鎖した林分の主林木本数は $N = \left(\frac{100}{0.086x+1.04}\right)^2$ で算出できる。測定箇所の 41.4%

第6表 トドマツ人工林の立木度と C_w/D と C_b/H との関係

Table 6. C_w/D and C_b/H of Sac. fir stand.

試験地 Plot	林 齢 Age	平 均 径 Mean d. b. h. D (cm)	樹間距離 $\frac{100}{\sqrt{n}}$ C_w (m)	$\frac{C_w}{D}$ (%)	平 均 高 Mean height H_M (m)	樹間距離 $\frac{100}{0.933\sqrt{n}}$ C_b (m)	$\frac{C_b}{H_M} \cdot 100$	平 均 Mean $\frac{C_w}{D}$ (%)	平 均 Mean $\frac{C_b}{H_M}$ (%)	$\frac{C_b}{H_T}$ (%)
I	31	16.6	2.43	14.64	13.0	2.61	20.09	14.67	22.14	21.25
		20.1	3.12	15.52	14.1	3.35	23.78			
	35.5	22.0	3.12	14.18	15.0	3.35	22.36			
		22.2	3.18	14.32	15.3	3.42	22.34			
	40	24.6	3.18	12.93	17.2	3.42	19.87	12.74	18.97	18.21
	43	25.5	3.18	12.47	18.6	3.42	18.37			
	43	26.0	3.33	12.81	19.2	3.58	18.64			
	46	27.4	3.33	12.15	20.5	3.58	17.46	13.06	18.43	17.69
II	(46)	28.3	3.73	13.18	21.1	4.01	19.00			
	51	29.9	3.73	12.47	21.3	4.01	18.82			
	36	17.9	2.42	13.52	16.0	2.60	16.25	13.42	16.89	16.21
	37	18.4	2.42	13.15	16.1	2.60	16.15			
III	37	20.0	2.72	13.60	16.0	2.92	18.27			
	26	10.9	1.64	15.05	10.8	1.76	16.32	14.35	17.29	16.60
	26	11.3	1.72	15.22	10.9	1.85	16.96			
	30	11.9	1.72	14.45	12.1	1.85	15.28			
	30	13.9	2.26	16.26	13.0	2.43	18.68			
	36.5	18.0	2.40	13.33	15.4	2.58	16.75	(14.10)	(17.18)	
	36.5	18.8	2.72	14.47	16.1	2.92	18.16			
	43	21.1	2.72	12.89	17.7	2.92	16.51			
	43	21.9	2.89	13.20	15.8	3.11	19.66			
IV	33	17.1	2.54	14.85	13.6	2.73	20.07	15.00	21.82	20.95
	33	19.8	3.22	16.26	14.6	3.46	23.70			
	37	21.6	3.22	14.91	15.7	3.46	22.04			
	37	21.9	3.39	15.49	15.8	3.64	23.06			
	43	25.1	3.39	31.51	18.0	3.64	20.24			
V	36.5	12.8	1.98	15.47	10.9	2.13	19.52	15.78	20.45	19.63
	36.5	15.0	2.56	17.07	12.6	2.75	21.84			
	42	16.9	2.56	15.15	13.8	2.75	19.94			
	42	17.2	2.56	15.41	13.9	2.85	20.49			
VI	28	9.5	2.07	21.79	8.0	2.23	27.81	19.39	24.81	23.82
	33	12.3	2.09	16.99	10.3	2.25	21.81			
平 均 Mean				14.44			19.47	14.44	19.47	18.69
大きい方の 1/3 の平均 Mean of larger part 1/3				15.95			22.65	15.95	22.65	21.74

Note : H_M = Mean height.

H_T = Upper height.

第7表 トドマツ林の現本数対基準本数の比率

Table 7. Tree numbers to mean d.b.h. of Sac. fir stand and these relating to the standard number after thinning.

試験地 Plot	胸高直径 d.b.h. (cm)	本 数 Trees (T_1)	基準本数 との比率 T_1/T_2	試験地 Plot	胸高直径 d.b.h. (cm)	本 数 Trees (T_1)	基準本数 との比率 T_1/T_2
1	16.6	1,700	1.20	3	13.9	1,950	1.11
1	20.1	1,030	0.88	3	18.0	1,730	1.36
1	22.0	990	1.01	3	18.8	1,350	1.12
1	24.6	990	1.19	3	21.1	1,350	1.31
1	25.5	990	1.25	3	21.9	1,200	1.22
1	26.0	900	1.17	4	17.1	1,550	1.14
1	27.4	900	1.26	4	19.8	970	0.86
1	28.3	720	1.06	4	21.6	970	0.97
1	29.9	720	1.15	4	21.9	870	0.89
2	17.9	1,710	1.33	4	25.1	870	1.07
2	18.4	1,710	1.38	5	12.8	2,560	1.33
2	20.0	1,360	1.22	5	16.9	1,530	1.05
3	10.9	3,710	1.62	5	17.2	1,420	1.05
3	11.3	3,390	1.49	6	9.5	2,300	0.85
3	11.9	3,390	1.57	6	12.3	2,300	1.11

Note: T_2 = Standard tree number based on $\left(\frac{100}{0.1x+1}\right)$ after thinning.

は本式と前式の間に位する本数で、37.9% は本式よりも本数が多い。

もし測定林分が間伐直後の疎立林分から間伐直前の過密林分まで、同じプロット数ずつあると仮定すれば、間伐直後ないし樹冠閉鎖前の林分が 1/3、樹冠がほぼ閉鎖している林分が 1/3、間伐期に近づき立木度の密となりつつある林分が 1/3 あることになる。このような観点にたてば、後者の本数算出式はほぼ樹冠閉鎖した林分の法正に近い立木本数とみることができる。 $N = \left(\frac{100}{0.1x+1}\right)^2$ の算出値よりも本数の多い林分は約 8 割を占めているが、これを密、中、疎に 3 区分すれば、間伐期に近い密な林分は 8 割の 1/3、すなわち 26.4% で、すなわち全測定林分中立木密度の多い林分 26.4% は間伐期に近い林分と考えることができる。

測定数の約 8 割が $N = \left(\frac{100}{0.1x+1}\right)^2$ の式よりも本数が多いので、本式をややひかえ目の中庸度間伐の直後の本数とみなしても大過ないようである。しかし、現実林は植栽本数や成立本数が当初から少ないもの、部分的に孔状部のあるものなどがあって、とかく、これよりもやや少ない本数に基準をおいた方が実体に合致するようである。したがって、トドマツ人工林の間伐直後の立木本数はつぎの式が適当な場合が多い。すなわち、 $N = \left(\frac{100}{0.11x+0.9}\right)^2$ で、この式によると、平均径 20cm の主林木本数は 1,041 本で、前記の算出値 1,111 本より約 6% 強少ない値となる。前式の $0.1x+1$ は現地での計算が簡便であるから方形植ないし正三角形植のような林分、または孔状疎開部のない林分にたいしては大過なく適用できよう。

トドマツの本数曲線を $y = ax^{-b}$ で計算する場合について述べよう。この式は一般収獲表に用いられ、 x は平均径、 y は 1 ha 当たり本数とする。調査林分を 2 大別し、樹冠閉鎖から間伐前までの立木度の密な林分と間伐直後から樹冠閉鎖までの立木度の疎な林分とに大別すれば、第 9 表のように前者は $y_1 = 93.175$

第8表 トドマツ人工林の立木度

Table 8. Tree numbers to mean d.b.h. of Sac. fir stand.

立木度の低い林分 Low density			立木度の高い林分 High density			立木度中位の林分 Moderate density		
(1) 式より少ない本数 Lesser than Formula (1)			(2) 式より多い本数 More than Formula (2)			(1)・(2) 式の間の本数 Intermediate of (1) and (2)		
平均径 Mean d.b.h. (cm)	実測本数 Measured trees	(1) 式の 本数 Calculate N_1	平均径 Mean d.b.h. (cm)	実測本数 Measured trees	(2) 式の 本数 Calculate N_2	平均径 Mean d.b.h. (cm)	実測本数 Measured trees	(1)・(2) 式の 本数範囲 Calculate $N_1 \sim N_2$
9.5	2,330	2,629	12.3	2,290	2,272	13.9	1,940	1,750~2,001
15.0	1,530	1,600	12.8	2,560	2,182	16.9	1,530	1,381~1,608
19.8	970	1,126	16.6	1,700	1,642	17.1	1,550	1,361~1,587
20.1	1,030	1,103	17.9	1,710	1,503	17.2	1,420	1,259~1,576
21.6	970	1,001	18.0	1,730	1,493	18.8	1,350	1,205~1,417
21.9	870	982	18.4	1,710	1,454	22.0	1,030	977~1,163
			20.0	1,360	1,313	22.2	990	964~1,150
			21.1	1,350	1,227	24.6	990	835~1,004
			21.9	1,200	1,170	25.1	870	812~ 977
			25.5	990	957	26.0	900	772~ 932
			27.4	900	867	28.3	720	682~ 829
						29.9	720	623~ 767
箇所数 Plot	6		11		12			
同比率 Percent. of plot (%)	20.7		37.9		41.4			

Note : Formula (1) 式 $N_1 = \left(\frac{100}{0.1x+1} \right)^3$ (2) 式 $N_2 = \left(\frac{100}{0.086x+1.04} \right)^2$

N = Tree numbers per 1 ha

x = Mean d.b.h.

第9表 トドマツ人工林立木度

Table 9. Tree numbers to mean d.b.h. of Sac. fir stand.

間伐後および経過短い林分 Short lapse after thinning				間伐直後の林分 After thinning		間伐後の経過長い林分 Long lapse after thinning			
平均径 Mean d.b.h. (cm)	実測本数 Measured trees (N)	計算本数 Calculate (N_1)	$N - N_1$	計算本数 Calculate (N_2)	$N - N_2$	平均径 Mean d.b.h. (cm)	実測本数 Measured trees (N)	計算本数 Calculate (N_3)	$N - N_3$
15.0	1,530	1,567	- 37	1,436	+ 94	12.8	2,560	2,539	+ 21
16.9	1,530	1,361	+167	1,248	+282	13.9	1,990	2,260	-270
17.2	1,420	1,342	+ 78	1,230	+190	16.6	1,700	1,759	- 59
19.8	970	1,119	-149	1,026	- 56	17.1	1,550	1,700	-150
20.1	1,030	1,100	- 70	1,008	+ 22	17.9	1,710	1,594	+116
21.6	970	1,000	- 30	917	+ 53	18.0	1,730	1,568	+162
21.9	870	989	-119	907	- 37	18.4	1,710	1,521	+189
22.0	1,030	983	+ 47	901	+129	18.8	1,350	1,475	-125
22.2	990	972	+ 18	891	+ 99	20.0	1,360	1,352	+ 8
24.6	890	857	+ 33	786	+104	21.1	1,350	1,253	+ 97
25.1	870	835	+ 35	765	+105	21.9	1,200	1,189	+ 11
28.3	720	721	+ 1	661	+ 59	25.5	990	959	+ 31
						26.0	900	933	- 33
Formula : $N = 44.610x^{-1.234}$				$N = 44.610x^{-1.234} \times 0.917$		$N = 93.175x^{-1.413}$			

$x^{-1.413}$ で示され、後者は $y_2 = 44.610x^{-1.234}$ でほぼ表示できる。この式は前式よりも一層適合するが、現場では対数計算の煩がある。

前式を樹冠閉鎖した林分の立木度、後式を間伐直後と樹冠閉鎖に近い林分のほぼ中間の立木度とすれば、間伐直後の主林木の本数曲線は $y_3 = 40.907x^{-1.234}$ として計算することができる。この式の求め方は本数間伐率 $1/3$ の場合には間伐直後の林分は y_2 式よりも $1/3 \times 1/4 = 1/12$ だけ本数が少なくなる。式の $1/4$ は間伐直後から直前までの樹冠の閉鎖過程を 1 とし、 y_2 式はこの $1/4$ 、 y_1 式は $3/4$ の位置にあると推定し、間伐直後は y_2 式に $11/12$ を乗じて求めたものである。

7) 胸高断面積による検討

胸高断面積を間伐の指標に用いたのは ASSMANN (1961) で、氏は林分のもちうる最大の胸高断面積を

第10表 トドマツ人工林の胸高断面積 (1 ha 当たり) と $\frac{\pi}{4} D^2 \cdot N$ と直径の変異係数との関係

Table 10. Basal area of Sac. fir stand and its relating to $\frac{\pi}{4} D^2 \cdot N$.

試験地 Plot	林 齢 Age	胸 高 直 径 d.b.h. (d) (cm)	胸高断面積計 Basal area G (m ²)	$\frac{G}{\frac{\pi}{4} D^2 \cdot N}$	直径の変異係数 C.V. of d.b.h.
3	30	13.9	32.29	1.091	44.51
5	36.5	15.0	28.43	1.051	25.67
1	31	16.6	41.38	1.125	60.66
5	42	16.9	36.31	1.058	28.59
4	33	17.1	39.09	1.098	47.86
5	42	17.2	34.74	1.053	26.16
2	36	17.9	46.73	1.086	42.11
3	36.5	18.0	46.32	1.052	25.67
2	37	18.4	49.67	1.092	44.98
				1.077	38.48
3	36.5	18.8	39.30	1.049	24.21
4	33	19.8	30.45	1.020	9.95
2	37	20.0	45.17	1.057	28.11
1	31	20.1	33.82	1.035	17.35
3	43	21.1	49.60	1.051	25.18
4	37	21.6	37.85	1.065	31.99
3	37	21.9	46.66	1.032	15.87
3	43	21.9	34.78	1.061	30.05
1	35.5	22.0	41.00	1.047	23.23
				1.046	22.89
1	35.5	22.2	39.92	1.042	20.78
1	40	24.6	48.90	1.039	19.31
3	43	25.1	45.37	1.034	26.65
1	43	25.5	52.46	1.038	18.82
1	43	26.0	49.04	1.026	12.92
1	46	27.4	54.64	1.030	14.89
1	46	28.3	49.22	1.087	42.59
1	51	29.9	51.66	1.022	10.94
				1.040	19.80

100 とし、これとの断面積の比率で弱、中、強度の間伐や成績量の減退する強度間伐の限界比率を求めている。ヨーロッパトウヒの限界比率は 67% で、すなわち断面積の 1/3 以上に強度の間伐をすると、林分の成長量は間伐による空隙の過大のために減少していく。このトドマツ試験地では 1/3 を越ゆる強度の間伐はなく、24% 以内である。また間伐跡の主林木の適正な胸高断面積が決まれば選木の最終的な仕上げが容易である。もし現実林や基準林の胸高断面積が $y = a_1 \cdot D^2 \cdot N$ のような簡易式で計算できれば、胸高断面積は間伐法に広くとり入れられ、実用化ができる。現実林について計算した a_1 の値はかなりの偏差がみられ、0.80~0.88, 平均 0.84 である。この式を書き換えれば $y = a_2 \cdot \frac{\pi}{4} D^2 N$ となる。この式の a_2 は第 10 表のように 1.019~1.125, 平均 1.05 となる。この 1.05 は $a_2 = 1 + \left(\frac{C \cdot V}{100} \right)^2$ であるから、この林分の直径の変異係数 $C \cdot V$ は正規分布と仮定すれば、本式から 23% となる。

間伐前の林分の直径の変異係数が 30% の場合には、 a_2 は 1.09 となり、間伐後の均整のとれた林分、すなわち、変異係数が 18% のときには a_2 は 1.033 となる。したがって、立木密度による直径の分散度から、この変異係数を求めると簡易に胸高断面積の比率が計算できる。これは間伐木の材積比率に近い値となる。すなわち、 $\frac{g}{G} \div \frac{g \cdot h \cdot f}{G \cdot H \cdot F} \because h \cdot f \div H \cdot F$ 、ただし $\frac{g}{G}$ は第 4 表のように $\frac{m}{M}$ よりも多少大きい値となり、材積間伐率 10% 以上の場合には 1.03~1.11, 平均 1.07 倍の値となる。すなわち、総林木の形状高 $H \cdot F$ は間伐木の $h \cdot f$ の 1.07 倍である。

8) 樹幹表面積と年幹材積成長量

LEXEN (1943) は林分の樹幹表面積、すなわち、形成層の面積を間伐の指標に用いている。この方法は林分の最高級の樹高と平均径とエーカー当たり本数を乗じた値で、簡易に幹表面積を求めているが、メートル法の場合にはつぎのように計算される。

トドマツの樹高 h の 1/2 の位置の円周は胸高直径 d の円周のほぼ 0.7 倍である。したがって、単木の幹の表面積 S は $S = 0.7 \cdot \pi \cdot d \cdot h$ で求められ、1 ha 当たりの幹の表面積はこの平均木を中央林分高と胸高断面積の平均径とし、これに本数を乗じて次式で求めることができる： $S = 0.7 \cdot \pi \cdot \sqrt{d^2 + \sigma^2} \cdot \sqrt{h^2 + \sigma^2} \cdot N$

間伐前の林分の S は $S = 2.2 \cdot d \cdot h \cdot N \cdot 1.05$ でほぼ表示でき、下層間伐を行なった林分の S は $S = 2.2 \cdot d \cdot h \cdot N \cdot 1.03$ とみて大過ないであろう。この標準偏差による増は平均高の代わりに最高級の樹高を用いれば近似値が得られるので、実用面では計算を簡易化することができる。

樹幹の連年材積成長量は幹の表面の形成層の部分とみて大過ないから、もしこの部分が一様に 0.1cm 肥大するとすれば、1 ha 当たり幹材積成長量 ΔV は $\Delta V \text{ m}^3 = S \times 0.1 \text{ cm} = S \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ で表示することができる。したがって幹表面積に成長錐による年輪幅を乗ずれば、連年成長量の近似値が得られる。

樹幹表面積は成長量の指標であるから、間伐度合の指標に適用できる。また、これと間伐の材積比率との関係は $S_0/S \times d_0/d$ によって M_0/M の近似値をもとめることができる。ただし、 S_0 , d_0 , M_0 は間伐木の幹表面積、平均径、材積、 S , d , M は総林木の値とする。

トドマツ人工林の調査成績をみると、第 11 表のように、各林分の 1 ha 当たり樹幹表面積は 0.67~1.16 ha, 平均 0.905 ha である。各林分を平均直径の大きさ別に比較すれば径級に応じて漸増する傾向がうかがわれる。一般に幹表面積は間伐期に近い林分では 1.0 ha 以上の値となるが、間伐後経過浅い林分では 0.77 ha 内外である。

幹表面積と年平均成長量との関係をみるに林齢で材積を除いた年平均成長量は第 11 表のように幹表面積に 1.12 mm を乗じた値である。この値は野幌の中庸度の間伐を行なったトドマツ林の平均の年成長量

第11表 トドマツ人工林の樹幹表面積と年平均成長量との関係

Table 11. Bole surface of Sac. fir stand and its relating to the annual mean growth.

試 験 地 Plot	林 齢 Age	平 均 径 d.b.h.	樹幹表面積 Bole surface (S) (ha)	年平均成長量 Annual mean growth (ΔV) (m³)	成長量指数 Growth index $\Delta V/S$ (mm)	林 齢 Age	成長量指数 $\Delta V/S$ (mm)
3	26	10.9	1.008	11.15	1.11	26	1.11
3	26	11.3	0.964	10.73	1.11	26	1.11
3	30	11.9	1.126	10.98	0.98	30	0.98
6	33	12.3	0.680	7.00	1.03	30	1.05
5	36.5	12.8	0.823	7.40	0.90	31	1.26
3	30	13.9	0.811	8.50	1.05	31	1.32
5	36.5	15.0	0.665	5.78	0.87	33	1.03
1	31	16.6	0.843	10.58	1.26	33	1.17
5	42	16.9	0.663	7.13	1.08	33	1.17
4	33	17.1	0.827	9.71	1.17	平均 Mean	1.13
5	42	17.2	0.779	6.81	0.87		
平均 Mean				8.71	1.04	35.5	1.29
						35.5	1.28
2	36	17.9	1.122	12.47	1.11	36	1.11
3	36.5	18.0	1.099	11.46	1.04	36.5	0.90
2	37	18.4	1.162	12.82	1.10	36.5	1.04
3	36.5	18.8	0.913	9.78	1.07	36.5	0.87
4	33	19.8	0.642	7.76	1.17	36.5	1.07
2	37	20.0	1.039	11.70	1.13	37	1.10
1	31	20.1	0.668	8.81	1.32	37	1.13
3	43	21.1	1.152	11.70	1.02	37	1.22
4	37	21.6	0.752	9.15	1.22	37	1.23
3	37	21.9	0.687	8.43	1.23	平均 Mean	1.11
平均 Mean				10.41	1.14		
						40	1.21
3	43	21.9	0.948	11.07	1.17	42	1.08
1	35.5	22.0	0.776	10.03	1.29	42	0.87
1	35.5	22.2	0.768	9.86	1.28	43	1.02
1	40	24.6	0.954	11.58	1.21	43	1.15
4	43	25.1	0.895	10.30	1.15	43	1.17
1	43	25.5	1.069	12.49	1.17	43	1.17
1	43	26.0	1.022	11.81	1.16	43	1.16
1	46	27.4	1.149	13.38	1.16	46	1.16
1	46	28.3	0.976	11.46	1.17	46	1.17
1	51	29.9	1.039	11.67	1.12	51	1.12
平均 Mean				11.37	1.19	平均 Mean	1.12
総平均 Total mean				10.11	1.12	平均 Mean	1.12

で、地位によって影響がみられ、地位の劣る No. 5, 6 の場合は 1mm 以下であるが、良地位の No. 1, 3 では平均 1.19mm である。

幹表面積と連年材積成長量との関係をみるに、第 12 表のように 幹表面積に 連年直径成長量を乗じた計

第 12 表 トドマツ人工林の幹材積の平均成長と連年成長

Table 12. Annual mean volume growth and current growth of Sac. fir stand.

プロット 番号 Plot	林 齢 Age (年)	年 平 均 成 長 量 Ann. mean growth (m^3)	連年成長量 Ann. current growth (A) (m^3)	成 長 率 Growing percent. (%)	樹幹表面積 Bole surface (m^2)	年 輪 幅 Breadth of year ring (mm)	計算連年 成 長 量 Calculated Ann. cur. growth (B) (m^3)	$\frac{A}{B}$
1	31	8.81	19.33	6.11	722	2.33	15.73	1.15
	35.5	9.86	25.15	4.97	861	2.71	23.34	1.08
	40	11.58	24.72	4.94	1,011	2.33	23.60	1.04
	43	11.81	21.95	3.67	1,030	2.44	25.13	0.88
	51	11.67						
2	36	12.47	25.88	5.60	1,142	2.50	28.55	0.91
	37	11.70						
3	26	10.73	12.56	4.13	1,045	1.25	13.06	0.96
	30	8.50	25.07	7.45	955	2.92	27.88	0.89
	36.5	9.73	21.42	5.03	904	2.40	21.70	0.99
	43	11.07						
4	33	7.76	20.62	6.94	742	2.63	19.52	1.06
	37	8.43	21.83	5.79	824	2.70	22.25	0.98
	43	10.30						
5	36.5	5.78	16.07	6.29	795	2.00	15.90	1.01
	42	6.81						
6	28	4.11	23.19	13.43	680	2.80	19.04	1.21
	33	7.00						

算値は連年材積成長量と近似して、閉鎖林分の平均値では -0.5% の差がある。しかしプロットによってかなりの差がみられ、No. 6 を除いても表のように実測値にたいし $-15\sim+12\%$ の範囲の差があるが、これら差の要因については今後の検討課題とならう。

B. トドマツ人工林の構造

1) 径級対本数分布

トドマツ人工林の構造を胸高直径対立木本数の分布によって示せば、第 13 表のように陰樹のトドマツは劣勢木でも被圧を受けたまま枯れないで立っている場合が多いので、間伐の遅れている林分ではかなり直径の分散度が大である。しかし中庸度の間伐で劣勢木が順次間伐された場合には、直径の分散度は少なくなっている。これらの関係は表の各林分の胸高直径の標準偏差と変異係数と歪度とによって示すことができる。間伐の回数を重ね、林分の平均径が大になるほど直径の変異係数は小さい値となっている。すなわち、第 13 表のように平均径 9.5, 12.8, 16.5cm の林分の直径の変異係数はそれぞれ 36.2, 35.3, 36.4% であるが、平均径 20.1, 21.1, 22.0cm の林分ではそれぞれ 19.3, 21.8, 20.9% となり、さらに平均径が 22.0, 27.4, 28.3cm と肥大すれば、それぞれ 20.9, 18.2, 16.2% となり、平均径が大になるほど変異係数は小となっている。

トドマツ人工林の取扱い下層間伐に重点をおいた中庸度の間伐で、間伐ごとに劣勢木の大部分を選木、除去した。間伐前後における林分の構造を直径の変異係数で示すと第 13 表のように、間伐直前は直

第13表 トドマツ人工林の径級対本数分布

Table 13. Tree distribution to d.b.h. of Sac. fir stand.

Plot area 試験地面積=0.1ha

試験地 Plot	6	5	1	1	3	1	1	1
林 齢 Age	28	36.5	31	31	34	35.5	46	46
間 伐 前・後 Thinning period			間伐前 Before	間伐後 After			間伐前 Before	間伐後 After
本 数 Trees	233	256	170	103	135	103	90	72
胸高直径範囲(cm) d.b.h. range	2~20	2~24	4~30	8~30	6~36	8~34	14~40	18~40
平 均 径 (cm) Mean d.b.h.	9.50	12.80	16.47	20.07	21.14	22.04	27.36	28.28
直径の標準偏差(cm) S.D. of d	3.40	4.52	5.99	3.88	4.61	4.61	4.98	4.59
直径の変異係数(%) G.V. of d	36.17	35.31	36.38	19.33	21.81	20.92	18.20	16.23
歪 度 (%) Skewness	-44.1	-17.7	+58.9	-1.8	-24.7	-22.5	-27.3	-49.7

径の分散度は著しく大であるが、下層間伐によって主として劣勢木が除去されたので、間伐後はかなり均斉のとれた林分となった。すなわち、31年生の林分の間伐前の直径の変異係数36.4%は間伐後には19.3%に、また46年生の林分の間伐前の18.2%は間伐後16.2%に推移している。

直径の変異係数が間伐後に小さい値となったのは選木が、劣勢木や形質不良木に重点をおいたからである。

立木密度と直径の分散度との関係は一般に密度のたかい林分ほど、競合による優劣の差が生じ、分散度が大になる傾向があるが、立木密度大なる林分でも弱度の間伐をくり返す場合には直径の変異係数はそれほど大とならず、平均径21.0cm、1ha当たり1,247本の林分の直径の変異係数は22.4%であるが、平均径21.0cm、963本の林分の変異係数も前者と近似の21.9%である。両者の変異係数にほとんど差のみられないのは前者がしばしば劣勢木の除去をくり返したからである。

2) 本数分布曲線

第1回間伐当時の直径対本数分布曲線は、分布の幅が狭く、モードがたかいが、成長するにしたがい分布の幅が広がり、モードは低くなり、カーブの形状もポアソン分布型から正規分布型に近づいてくる。いま本数分布曲線の傾向を一層明らかにするために、平均径、立木本数の近似の林分を集めて本数分布曲線をもとめるに、この分布型は第14、15、16表のように、正規分布型にポアソン分布型を加味した本数分布型のものが多い。第1回間伐当時の直径の分散はポアソン分布型を示し、本数分布の歪度は一となる。一般にこの型は間伐がやや遅れ、劣勢木の多くなった過密な林分にみられる。しかし、適度の間伐をくり返している林分では劣勢木の比率が少ないので、本数分布は正規分布に近い形態を示し、歪度は0に近づく。

第 14 表 トドマツ人工林の構造 (平均径 17.3cm の林分の胸高直径対本数曲線)

Table 14. Tree distribution to d.b.h. of Sac. fir stand. (Mean d.b.h. 17.3 cm)

試験地 Plot	1	4	5	2	3	計 Sum	正 規 式 Normal type $130 \cdot \phi(x)$	ポアソン式 Poisson type $400 \frac{7.5^x}{x!} \cdot e^{-7.5}$	計 Sum	平 均
面積 Area(ha)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5				0.1
林 齢 Age(年)	31	33	43	36	36.5					35.9
胸高直径 d.b.h. \ 本 数 Trees										
4	1				1	2	2	1	3	0.6
6	11	2	1	3	2	19	5	6	11	2.2
8	15	5	3	3	1	27	10	18	28	5.6
10	10	11	8	9	4	42	17	29	46	9.2
12	11	19	13	22	14	79	27	55	82	16.4
14	24	20	22	24	15	105	41	69	110	22.0
16	9	25	32	14	33	113	65	74	139	27.8
18	18	17	27	22	33	117	65	70	135	27.0
20	27	19	20	19	31	116	41	58	99	29.8
22	18	16	19	22	18	93	27	43	70	14.0
24	15	7	5	17	14	58	17	29	46	9.2
26	9	9	3	10	5	36	10	18	28	5.6
28	1	2		4	1	8	5	10	15	3.0
30	1	3		2		6	2	5	7	1.4
32					1	1		2	2	0.4
34								1	1	0.2
計 Total	170	155	153	171	173	822	334	488	822	164.4
平均径 (cm) Mean d.b.h.	16.6	17.1	16.9	17.9	18.0	17.3	40%	60%	100%	

第 15 表 トドマツ人工林の構造 (平均径 21.2cm の林分の胸高直径対本数)

Table 15. Tree distribution to d.b.h. of Sac. fir stand. (Mean d.b.h. 21.2 cm)

試験地 Plot	1	1	4	1	2	3	計 Sum	正 規 式 Normal type $295 \cdot \phi(x)$	ポアソン式 Poisson type $187 \cdot e^{-8} \cdot \frac{8^x}{x!}$	計 Sum	平均
面積 Area(ha)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6				0.1
林 齢 Age	31	35.5	37	35.5	37	36.5					35.4
胸高直径 d.b.h. \ 本 数 Trees											
4						1	1				
6						2	2		1	1	0.2
8	1			1			2	1	1	2	0.3
10	1	1	1	1	1		5	4	2	6	1.0
12	1		2	1	10		14	11	7	18	3.0
14	12	1	4	1	17	5	40	23	11	34	5.7
16	8	14	9	14	12	10	67	44	17	61	10.2
18	15	4	14	4	16	24	77	71	20	91	15.2
10	21	19	10	19	17	26	112	98	21	119	19.8
22	18	18	7	19	24	24	110	98	20	118	19.7
24	15	17	18	17	18	17	102	71	18	89	14.8
26	9	9	6	9	11	13	57	45	15	60	10.0
28	1	11	7	12	7	9	47	23	12	35	5.8
30	1	4	4	4	3	2	18	11	7	18	3.0
32			3				4	4	3	7	1.2
34		1	2	1			4	1	2	3	0.5
36						1	1		1	1	0.2
計 Total	103	99	87	103	136	135	663	505	158	663	110.5
平均径 (cm) Mean d.b.h.	20.1	22.2	21.9	22.0	20.0	21.1	21.2	76%	24%	100%	

第 16 表 トドマツ人工林の構造 (平均径 25.1cm の林分の胸高直径対本数)
Table 16. Tree distribution to d.b.h. of S&c. fir stand. (Mean d.b.h. 25.1 cm)

試験地 Plot	1	5	1	計 Sum	正 規 式 Normal type $72 \cdot \phi(x)$	ポアソン式 Poisson type $101 \cdot e^{-7.5} \frac{7.5^x}{x!}$	計 Sum	平 均
面 積 Area(ha)	0.1	0.1	0.1	0.3				0.1
林 齢 Age	40	43	43					42
胸高直径 \ 本 数 d.b.h. \ Trees								
12	1	1	1	3	1		1	0.3
14	1	3	1	5	3	1	4	1.3
16	2	5	1	8	6	4	10	3.3
18	9	5	7	21	9	7	16	5.3
20	10	8	9	27	16	11	27	9.0
22	11	10	8	29	22	14	36	12.0
24	21	11	20	52	35	15	50	16.6
26	13	12	18	43	35	14	49	16.3
28	12	9	8	29	22	12	34	11.3
30	9	7	12	28	16	9	25	8.3
32	8	8	7	23	9	6	15	5.0
34	1	4	6	11	6	4	10	3.3
36		2		2	3	2	5	1.7
38	1	2		3	1	1	2	0.7
40			1	1		1	1	0.3
計 Total	99	87	99	285	184	101	285	95.0
平均径 (cm) Mean d.b.h.	24.6	25.1	25.5	25.1	61(%)	39(%)	100(%)	

まず、現実の本数分布曲線の型を正規分布やポアソン分布の型と比較するために両型の計算方法を述べよう。

正規分布の計算法を述べれば、本数の分布している直径の範囲 x_0 は平均直径を中心に標準偏差のほぼ ± 3 倍の範囲に分布している。したがって本数の分布する直径の範囲を 6 で除すと直径の標準偏差 σ が得られる。つぎに 2cm 括約の直径階の場合、直径の中央値を m 、任意の直径階 x cm を正規分布の z に読みかえるために $z = \frac{x-m}{\sigma}$ で求める。

つぎに、 x cm 階における本数は、つぎの正規分布の式から求めることができる。

$$E(x) = N \int_{x_0-2}^{x_0+2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$

ただし N 総本数とする。

ポアソン分布の算出法については、まず本数の分布する直径の範囲と平均径 x とからポアソン式の m の値を数表の上で決めることができる。

つぎに 2cm 括約の直径階をポアソン分布の x ランに読み換える。数式 $\phi(x)e^{-m} \frac{m^x}{x!}$ から数表を用いて x ランの本数比率を求める。この比率に総本数を乗じて、各直径級 $\phi(x)$ の本数を計算する。

以上両式の計算は数表を用いれば簡易にできるので、本数分布の曲線の型を検討するのに便利である。

野幌試験林のトドマツ人工林は除・間伐が比較的良好に行なわれているので、直径対本数分布の曲線は正規分布にかなり近い場合が多い。しかし第 1 回目の間伐の直径の林分は庇圧木や側圧木が多いので、ポアソン型に近い分布曲線をしている。直径の分散度は樹種による陰・陽性や除・間伐などの取扱いに影響されているので、これら本数分布の型は間伐の取扱いや間伐材の利用の検討や林分の構造の推移を定量的に把握するのに便利である。

径級対本数分布曲線の 数式による 表示は第 14 表のごとくであるが、平均径 17.3cm、1ha 当たり本数 1,644 本の林分の本数式はつぎのように正規分布とポアソン分布の両式の組合せによって表示することができる： $N=260 \times \phi(x) + 800e^{-7.5} \cdot \frac{7.5^x}{x!}$

同様に平均径 21.2cm、1,105 本の林分は第 15 表のように $N=492\phi(x) + 312e^{-8} \cdot \frac{8^x}{x!}$ で示され、平均径 25.1cm、950 本の林分は第 16 表のように $N=240\phi(x) + 337e^{-7.5} \cdot \frac{7.5^x}{x!}$ で表示できる。径級が大になると正規分布の方の比率がたかくなる傾向がある。

間伐が適時くり返された林分は正規分布に近い分布曲線を示し、しばしば間伐をくり返した立木密度中庸の林分、すなわち平均径 21.0cm、963 本の林分の本数分布曲線はほぼ $N=565\phi(x)$ で示され、すなわち平均径 21.0cm、1,247 本の林分の分布曲線は $N=727\phi(x)$ で示して大過ない。

3) 樹高対本数分布

トドマツ人工林の樹高は大部分上層林冠に位置しており、直径に比して分布の偏差が少なく、変異係数が小で、第 1 回間伐前の生育の偏差の多い林分でも、樹高の変異係数は 7.3~24.0%、平均 13.6% 内外

第 17 表 トドマツ人工林の樹高曲線
Table 17. Height to d.b.h. of Sac. fir stand.

試 験 地 Plot	5		6		5		1	
林 齢 Age	36.5		33		42		35.5	
胸高直径 (cm) d.b.h.	実 測 Measure	計 算 Calculate	実 測 M.	計 算 C.	実 測 M.	計 算 C.	実 測 M.	計 算 C.
4	4.2	4.3	4.3	4.0				
6	6.6	6.7	6.2	6.3	9.0	7.8		
8	9.1	8.5	8.3	8.2	7.7	9.7	11.0	9.7
10	10.5	9.9	9.3	9.6	12.4	11.2	13.0	11.3
12	11.2	11.0	10.7	10.7	12.3	12.3	13.0	12.5
14	11.9	11.8	11.5	11.6	13.1	13.1	12.0	13.5
16	12.4	12.5	12.1	12.3	13.8	13.8	14.5	14.3
18	13.2	13.1	13.3	12.9	14.3	14.4	14.0	14.9
20	13.7	13.5	13.8	13.4	14.5	14.9	14.9	15.4
22	14.0	13.9	14.5	13.8	15.3	15.3	15.7	15.9
24	14.0	14.3	14.5	14.1	15.8	15.6	15.9	16.3
26			13.0	14.5	16.0	15.9	16.2	16.6
28							17.3	16.9
30							18.0	17.1
32								
34							19.0	17.6
平 均 径(cm) Mean d.b.h.	15.0		12.3		17.2		22.2	
平 均 高 (m) Mean height	12.2		10.3		13.9		15.0	
計 算 式	a	17.46	17.54		18.60		19.93	
Formula	b	7.083	7.501		6.339		6.876	
$H = ae^{-\frac{b}{x}} + 1.3$	$H = 17.50e^{-\frac{7.292}{x}} + 1.3$				$H = 19.26e^{-\frac{6.608}{x}} + 1.3$			

で、直径の変異係数 16.2~36.2%, 平均 25.5% の 53% にすぎない。間伐をくり返した林分では樹高の偏差は一層小となり、変異係数が 7~8% 内外で、直径の 16~20% にたいし約半量となっている。また樹高の分散構造にも特徴がみられ、直径の分散の歪度は一般に一型であるが、樹高の分散の歪度は+型を示す場合が多く、上層林冠から落伍した被圧木が樹高分布曲線の後尾に付随している。

4) 樹高曲線

トドマツ人工林の胸高直径対樹高の関係は $H = ae^{-\frac{b}{x}} + 1.3$ または $H = ae^{bx} - \frac{c}{x} + 1.3$ で表示できる。林齢を増し、間伐の回次を重ね、径級が大となるにしたがい樹高曲線はたかくなり、上式の a の値は増大し、 b の値も漸増の傾向がある。すなわち、平均直径と樹高曲線の常数との関係を見ると、第 17, 18 表のごとく、多少の偏差はあるが、 a , b は径級に比例している。すなわち、平均径 12.3cm, 平均高 10.3 m の樹高曲線の a は 17.54, b は 7.501 の値であるが、平均径 28.3cm, 平均高 20.5m の a は 27.61, b は 9.096 である。一般に平均径、平均高がたかくなるほど a の値は大となり、指数 b/x の b の値も漸増

第 18 表 トドマツ人工林の樹高曲線
Table 18. Height to d.b.h. of Sac. fir stand.

試 験 地 Plot	2		1		1		1		3	
林 齢 Age	37		40		43		46		43	
胸高直径 (cm) d.b.h.	実 測 Measure	計 算 Calculate	実 測 M.	計 算 C.	実 測 M.	計 算 C.	実 測 M.	計 算 C.	実 測 M.	計 算 C.
6	6.5	8.1							12.0	6.9
8	10.5	10.4								
10	13.2	12.2								
12	14.5	13.5	13.0	12.4	13.0	13.5				
14	15.3	14.6	12.0	13.6	13.0	14.8	15.0	15.7	13.0	14.6
16	15.6	15.5	15.0	14.6	18.0	15.8			15.8	15.7
18	16.3	16.2	16.4	15.4	17.1	16.6	18.6	18.0	16.8	16.6
20	16.8	16.8	15.8	16.0	17.2	17.4	19.0	18.8	18.0	17.4
22	17.3	17.3	16.5	16.6	17.9	18.0	19.6	19.6	18.5	18.0
24	17.8	17.7	17.4	17.1	18.7	18.5	20.2	20.2	18.6	18.6
26	17.8	18.1	17.9	17.6	19.1	18.9	20.6	20.8	19.2	19.1
28	18.1	18.4	17.3	18.0	19.0	19.3	20.8	21.3	19.3	19.6
30	19.0	18.7	18.3	18.3	19.5	19.7	21.1	21.7	19.5	20.0
32			19.6	18.6	20.6	20.0	21.3	22.1	21.0	20.3
34			18.0	18.9	20.7	20.3	22.8	22.4		
36				19.1			23.0	22.8	20.0	20.9
38			20.0	19.3			23.0	23.1		
40					21.0	20.9	24.0	23.3		
平均 径 (cm) Mean d.b.h.	20.0		24.6		26.0		28.3		21.9	
平均 高 (m) Mean height	16.7		17.2		19.2		20.5		18.1	
計 算 式	<i>a</i>	21.99	22.55		24.04		27.61		25.18	
Formula	<i>b</i>	7.034	8.504		8.089		9.096		8.990	
$H = ae^{-\frac{b}{x}} + 1.3$	$H = 22.27e^{-\frac{7.469}{x}} + 1.3$				$H = 25.61e^{-\frac{8.725}{x}} + 1.3$					

第19表 トドマツ人工林の本数密度と樹高曲線

Table 19. Height to d.b.h. of Sac. fir stand and its relating to stand density.

	本数密度のたかい林分 High density		本数密度のやや低い林分 Low density	
試 験 地 Plot	3		1	
林 齢 Age	43		35.5	
胸高直径 (cm) d.b.h.	実 測 値 Measure	計 算 値 Calculate	実 測 値 Measure	計 算 値 Calculate
14	13.0	14.6	11.7	11.9
16	15.8	15.7	13.7	13.0
18	16.8	16.6	13.8	14.0
20	18.0	17.4	14.7	14.8
22	18.5	18.0	15.4	15.5
24	18.6	18.6	15.7	16.1
26	19.2	19.1	16.5	16.7
28	19.3	19.6	17.8	17.2
30	19.5	20.0	17.7	17.6
32	21.0	20.3		
34			18.0	18.3
36	20.0	20.9		
平 均 径 (cm) Mean d.b.h.	21.9		22.2	
1 ha 本数 Trees	1,200		990	
a of $(ae^{-\frac{b}{x}}+1.3)$	25.18		19.93	
b of $(ae^{-\frac{b}{x}}+1.3)$	8.990		6.876	
平 均 高 (m) Mean height	18.1		15.0	

$$\text{Calculated Formula } H = ae^{-\frac{b}{x}} + 1.3$$

している。前者の樹高曲線中優占単木の胸高直径24cmの樹高は14.3mであるが、同一直径で後者の林分では平均以下の側圧形の樹で、樹高20.2mとなり、径級が同一でも樹高に著しい差がみられる。

樹高曲線はまた本数密度と関連し、第19表のように中庸度の間伐をくり返した35.5年生の林分、すなわち、平均径22.2cm、平均高15.0m、1ha当たり990本の林分の樹高曲線式の a は19.93、 b は6.876であるが、弱度間伐をくり返した林分、すなわち平均齢43年、平均径21.9cm、1,200本の林分の平均高は18.1mで、曲線の a は25.18、 b は8.990である。本数密度のたかい後者は直径のわりに樹高がたかい。

人工林は間伐をくり返して、構造が均斉となっているので個樹の樹高の偏差が少ないから、樹高曲線のカーブはゆるやかであるが、択伐型天然林の場合にはいろいろの生育形態のものや年齢の異なるものが混合するので、曲線のカーブは人工林に比してかなり急となる場合が多い。

5) 胸高直径対樹高の相関比

胸高直径にたいする樹高の相関比を求め、直径、樹高の相関性を検討すると、第20表のように、平均径12.8cm、平均高10.9mから平均径27.4cm、平均高20.7mの範囲にある6か所の林分の胸高直径に

第20表 トドマツ人工林の樹高階本数分布と胸高直径に於ける樹高の相関比

Table 20. Tree distribution to height of Sac. fir stand.

試 験 地 Plot	5	3	1	3	1	1
林 齢 Age	37.5	31	35.5	44	46	46
間伐前・後 Thinning period	間伐前 Before	//	//	//	//	間伐後 After
樹 高 Height (m)						
2	2					
3	2					
4	7					
5	8	5				
6	7	5				
7	2	9				
8	11	12		1		
9	15	15				
10	24	21	1	2		
11	47	28	2			
12	55	20		2		
13	48	18	8	2		
14	22	10	16	1		
15	6	2	22	3	1	
16			24	19		
17			14	14	2	1
18			11	47	5	3
19			4	21	8	4
20			1	20	19	16
21				3	32	26
22					11	11
23					8	7
24					4	4
計 Total	256	145	103	135	90	72
平 均 高 Mean height (m)	10.92	10.81	15.59	17.31	20.72	20.92
高さの標準偏差 <i>S.D.</i> of <i>H</i> (m)	2.61	2.09	1.81	1.99	1.61	1.53
高さの変異係数 <i>C.V.</i> of <i>H</i> (%)	23.98	19.33	11.60	11.47	7.78	7.25
歪 度 Skewness	+0.415	+0.090	+0.023	+0.349	+0.171	+0.052
<i>D</i> 対 <i>H</i> の相関比	0.941	0.915	0.707	0.706	0.779	0.742
Correlating ratio <i>H</i> to <i>D</i>	±0.0025	±0.0025	±0.017	±0.017	±0.016	±0.021

たいする樹高の相関比は 0.941 ± 0.003 から 0.706 ± 0.02 の範囲にある。この相関比は同時に樹高にたいする胸高直径の相関比を検討しなければならないが、胸高直径にたいする樹高の相関性の密なることをうかがうことができる。この相関比は、間伐前の優劣の差の生じた林分において一層高次の値となっている。

C. トドマツ人工林の成長

トドマツは造林の沿革が浅く、事業的に広く植栽されるようになったのは昭和年代にはいつからで、古い人工林が少ないため人工林の収穫量を適確に把あくすることは困難である。野幌におけるこれら試験

地の成長経過は最近飛躍的に拡大しているトドマツ植栽地の今後の収穫量を推定し、植伐量を規整するう
えに指針となるものであろう。

各試験地の成長量は土壌条件や取扱い方法によって差がみられるが、各林分の樹高、胸高直径、胸高断
面積、材積、中・大径木級の利用区分別に成長経過を検討し、土壌性と取扱いとの関係をもとめ、あわせ
て今後の成長の予測を試みた。

1) 樹 高 成 長

樹高成長は間伐の遅速、強弱などの影響をうけることが少なく、その成長の良否は地位級の指標とされ
ている。各試験地の樹高成長の経過をみると No. 1, 4 はもっともよく、No. 2, 3 はこれと大差ない
が、No. 5, 6 は劣っている。

これを松井 (1963) が、全道人工林 213 か所から計算した暫定収穫表 (地位 4 階級区分) の樹高成長と
比較すれば No. 1, 4 は I 等地、No. 3, 2 は I, II 等地の中間に位し、No. 5, 6 は III 等地に近い状態
にある。ただし、No. 5, 6 は当初の成長が遅延しており、No. 6 は樹下植栽時代の成長の停滞期があ
り、No. 5 は浅い粘土質土壌とクマイザサとの競合によって 植栽当初生育が停滞しており、順調な生育
をつづけてきた林分ではない。

成長の良好な No. 1, 4 の樹高成長は第 21 表のようにほぼ次式で表示でき： $H = \frac{x^2}{0.027x^2 + 0.53x + 26}$ ，
これから 50, 60 年生の平均高はそれぞれ 21.0, 23.2m と計算される。この値は全道のトドマツ人工林
I 等地 21.1, 23.3m に近似し、従来の天然林を含む収穫表 I 等地の平均値 19.3, 21.7m に比べて上位を
占めている。

成長の不良な No. 5, 6 の樹高成長曲線は第 22 表のように、ほぼ $H = \frac{x^2}{0.024x^2 + 0.9x + 48}$ で示さ

第 21 表 トドマツ人工林の胸高直径成長と樹高成長 (地位上)

Table 21. Growth of d.b.h. and height of Sac. fir stand (Site 1).

試 験 地 Plot	林 齢 Age	立 木 本 数 Trees	胸高直径 d.b.h. (cm)		樹 高 Height (m)	
			実 測 Measure	計 算 Calculate	実 測 Measure	計 算 Calculate
1	31	1,030	20.1	18.5	14.1	13.8
4	33	970	19.8	20.3	14.6	14.8
1	35.5	990	22.2	21.8	15.0	15.8
4	37	870	21.9	22.7	15.8	16.4
1	40	990	24.6	24.4	17.2	17.5
1	43	900	26.0	26.0	19.2	18.6
4	43	870	25.1	26.0	18.0	18.6
1	46	720	28.3	27.5	20.5	19.5
1	51	720	29.9	29.9	21.3	21.0
	50			29.5		23.2
	60			33.9		25.0

Note Formula : $D = \frac{x^2}{0.011(x^2 - 25) + 0.9(x - 5) + 13} - 1.5$

$$H = \frac{x^2}{0.027x^2 + 0.53x + 26}$$

ただし、 D = 胸高直径 (cm), x = 林 齢 (年), H = 樹 高 (m), $x - 5$ = 胸高に達する林齢

$D = \text{d.b.h. (Growth)}$, $x = \text{Age}$, $H = \text{Height (Growth)}$

第 22 表 トドマツ人工林の胸高直径成長と樹高成長 (地位下)

Table 22. Growth of d.b.h. and height of Sac. fir stand (Site III).

試験地 Plot	林 齢 Age	立 木 本 数 Trees	胸高直径 d.b.h. (cm)		樹 高 Height (m)	
			実 測 Measure	計 算 Calculate	実 測 Measure	計 算 Calculate
6	28	2,290	9.5	9.8	8.2	8.4
6	33	2,290	12.3	12.5	10.3	10.4
5	36.5	1,530	15.0	14.4	12.6	11.8
5	42	1,420	17.2	17.2	13.9	13.8
	50			21.1		16.3
	60			25.6		19.1

Note Formula : $D = \frac{x^2}{0.0096(x^2 - 49) + 1.17(x - 7) + 33} - 2.3$

$$H = \frac{x^2}{0.024x^2 + 0.9x + 48}$$

第 23 表 トドマツ人工林の胸高直径成長と樹高成長 (地位中)

Table 23. Growth of d.b.h. and height of Sac. fir stand (Site II).

試験地 Plot	林 齢 Age	立 木 本 数 Trees	胸高直径 d.b.h. (cm)		樹 高 Height (m)	
			実 測 Measure	計 算 Calculate	実 測 Measure	計 算 Calculate
3	26	3,390	11.3	11.3	10.9	11.0
3	30	1,950	13.9	13.9	13.0	13.0
2	36	1,710	17.9	17.7	16.0	15.6
3	36.5	1,350	18.8	18.2	15.7	15.8
3	43	1,200	21.9	22.0	18.1	18.1
	50			26.0		20.2
	60			31.3		22.7

Note Formula : $D = \frac{x^2}{0.008(x^2 - 36) + 0.95(x - 6) + 32} - 0.7$

$$H = \frac{x^2}{0.027x^2 + 0.57x + 28}$$

れ、50、60年生の平均高はそれぞれ16.3、19.1mと推算される。この値は全道のトドマツ人工林Ⅲ等地16.3、18.8m、ならびに従来の天然林を含む収穫表の総合平均したⅡ等地16.3、18.8mと近似している。No. 3, 2は第23表のように両者の中間の値で、樹高成長曲線は $H = \frac{x^2}{0.027x^2 + 0.57x + 28}$ とみることができ、50、60年生の平均高はそれぞれ20.1、22.5mと算定される。この値は従来の収穫表の総合平均値、Ⅰ等地19.3、21.7mを5%ほど上回っている。

2) 胸高直径成長

胸高直径成長は立地条件のほかには立木密度に左右されるので、樹高成長よりも成長の幅が大である。適度に間伐をくり返した No. 1、疎立の No. 4 の直径成長は前記全道人工林のⅠ等地に、立木度の密な No. 3, 2 は同Ⅱ、Ⅲ等地の中間に、No. 5, 6 は同Ⅳ等地に相当している。全道人工林の平均値に比べて直径成長が樹高成長よりも劣るのはこれら試験地の立木密度が全道人工林よりも密なため、後者には2,000本植えなど疎植の林分が多いためであろう。No. 1 の直径成長はつぎの林齢を函数とする回帰曲

線ではぼ示することができ、第 21 表のように $D = \frac{x^2}{0.011(x^2-25)+0.9(x-5)+13} - 1.5$, 50, 60 年生でそれぞれ 29.5, 33.9cm と計算される。この値は全道人工林の I 等地 28.7, 32.8cm, 従来の天然林を含む収穫表の総合平均, I 等地 25.6, 30.3cm を上回っている。No. 5, 6 の直径成長は第 22 表のように $D = \frac{x^2}{0.0096(x^2-49)+1.17(x-7)+33} - 2.3$ で示され, 50, 60 年生でそれぞれ 21.1, 25.6cm と推算される。この値は全道人工林の IV 等地 20.6, 24.1cm, 従来の収穫表 II 等地平均 21.6, 26.1cm に近似している。No. 3, 2 はいままで立木密度がたかかったが, 今後は一層の肥大成長が期待でき, この直径成長は第 23 表のように $D = \frac{x^2}{0.008(x^2-36)+0.95(x-6)+32} - 0.7$ と考えてよいであろう。すなわち 50, 60 年生でそれぞれ 26.0, 31.3cm と推算される。この値は全道人工林の II 等地 26.0, 30.1cm, 既往の収穫表 I 等地平均 25.6, 30.3cm に近似している。

3) 胸高断面積成長

林齢とともに直径成長は大となるが, 一方立木本数は減少するので, 1 ha 当たり胸高断面積成長はそれほど大とならない。胸高断面積は間伐によって一時減少するので, 立木本数のように間伐後ないし経過の浅い林分と間伐前ないし樹冠閉鎖林分とに 2 大別して断面積成長曲線を求めた。No. 1, 3, 4 については, 間伐前の林分にたいする成長曲線式は第 24 表のように $G = \frac{x-10}{0.0122x+0.12}$ または $G = 1.35x - 21.8\left(\frac{x \pm 30}{30}\right)^{3/2}$, 間伐後の林分にたいしては, $G = \frac{x-10}{0.0114x+0.24}$ または $G = 1.11x - 21.5\left(\frac{x \pm 35}{35}\right)^{3/2}$ で表示することができ, 後式を用いると, 50, 60 年生で間伐前ないし閉鎖林分ではそれぞれ 55.9, 59.2

第 24 表 トドマツ人工林の胸高断面積成長
Table 24. Growth of basal area of Sac. fir stand.

林 齢 Age	間 伐 前 Before thinning			間 伐 後 After thinning		
	胸高断面積 Basal area (m ²)			胸高断面積 Basal area (m ²)		
	実 測 値 Measure	計算値(A ₁) Calculate	計算値(A ₂) Calculate	実 測 値 Measure	計算値(B ₁) Calculate	計算値(B ₂) Calculate
26	39.04	36.61	34.04			
30	42.36	41.15	40.50	32.29	34.36	32.14
31	41.38	42.17	41.72	33.82	35.41	33.58
33	39.09	43.98	43.76	30.45	37.34	36.32
35.5	46.73	46.11	46.22	41.00	39.53	39.37
36.5	46.32	46.90	47.23	39.30	40.40	40.33
37	49.67	47.29	47.50	45.17	40.79	40.76
40	48.90	49.34	49.81			
43	52.46	51.16	51.85	49.04	45.21	45.37
43	49.60	51.16	51.85	46.66	45.21	45.37
46	54.64	52.86	53.62	49.22	48.43	47.28
50		55.26	55.94	47.44	49.38	49.46
51				51.66		
60		58.69	59.20		54.11	53.63
70		61.60	60.95		57.80	56.30

Note Formula: A₁式: $y = \frac{x-10}{0.0122x+0.12}$

B₁式: $y = \frac{x-10}{0.0114x+0.24}$

A₂式: $y = 1.35x - 21.8\left(\frac{x \pm 30}{30}\right)^{3/2}$

B₂式: $y = 1.11x - 21.5\left(\frac{x \pm 35}{35}\right)^{3/2}$

m², 間伐後ないし経過の浅い林分では同年生で 49.5, 53.6m² となる。これらの数値を 間伐直前の密度のたかい林分と間伐直後の密度の疎な林分とに換算するため間伐直後から直前までの閉鎖段階を 1/4 ずつ 4 段階に分ければ, 上記の値の間伐前は約 3/4, また間伐後は 1/4 の位置にあるものと考えてよいであろう。前記数式では断面積の差は 10% 内外であるが, 間伐の直前後についてみれば約 20% 内外となるので, 上記の数値にそれぞれ 5% の増または減をみなければならない。すなわち間伐直後の断面積は 47.0, 50.9m² となり, 他方, 間伐直前の断面積は 58.7, 62.2m² となって, 間伐直前の値はドイツのモミ林の収穫表の断面積 I 等地 90 年生 61.5m² に近い値となる。

4) 幹材積成長

前記トドマツ試験地のなかには, 第 1 回間伐の収穫を測定していないものもあるが, これらは伐株の数と肥大成長と主副林木の比率から第 1 表のように 間伐収穫を推定して大過ないであろう。No. 1 の主林木の幹材積は 51 年生で 595m³ に達し, 年平均成長量が 11.67m³ である。この間のおもな間伐収穫は適時に 4 回くり返しているのので, この間伐木の累計収穫は 232m³ となり, 主林木の 38% を占め, これを加えた総収穫は 828m³, この年平均成長量は 16.2m³ となっている。

立木度の密な No. 3 は 5 尺方形植え, 1ha 当たり 4,400 本植えて, 第 1 回間伐当時 3,390 本立っており, 間伐をくり返してきたが, 現状もかなり密にたっている。43 年生の現林木の材積は 476m³, 間伐木の累計は 175m³, 総材積 651m³, この年平均成長量は 15.1m³ となっている。

No. 4 は 8 尺方形植, 1ha 換算 1,690 本植で, No. 3 と近接し, 立地条件も類似している。43 年生の現林木の材積は 443m³, 間伐木の累計 91m³, 総材積 534m³, この年平均成長量 12.4m³ で, 前者に比べると疎植と雑草, 蔓類との競合のため当初の成長が遅れた点もあって 間伐木収穫が 76m³ 減, 総材積が 110m³ 減, したがって年平均成長量が 2.6m³ 減となっている。しかし, 単木的にみれば, やや疎立のため枝葉, 根がよく張り, 力強い生育形態にあり, 最近の旺盛な連年成長からみて, この成長の差は今後縮まるものと思われる。

No. 2 は 3 年間前作を行なった跡に植栽した人工林で, 当初の生育はよいが, 戦時中のため間伐がやや遅れていた。37 年生の現林木材積は 433m³, 間伐材積 77m³, 総材積 510m³, この年平均成長量が 13.7m³ となっている。

No. 5 は, No. 3, 4 に近接しているが, A 層が薄く, 土壌が重粘土質で, 当初ササの競合のため成長停滞期がつづいたので成長が劣っており, 43 年生の主林木が 286m³, 間伐収穫が 67m³, 総材積が 353m³, この年平均成長量が 8.4m³ で, 前両者に比べて著しく成長が劣っている。

No. 6 は, 樹下植栽を行なったので, 上木の除伐が遅れ, 当初の成長の停滞もあって, 33 年生の主林木は 231m³, 年平均成長量は 7.1m³ である。

5) 成長と利用径級

トドマツ人工林の直径成長曲線と径級対本数分布曲線から明らかなように林分を構成する個々の林木は小径木 (16~24cm) から中径木 (26~36cm), 大径木 (38~50cm) 級へと進級してゆく。いま中, 大径木の材積混交率の推移をみると第 25 表のようにほぼ $y = \frac{x-c}{ax-b}$ の曲線で増大し, No. 1, 4 では約 40 年生で蓄積の半分が中径木となり, 51 年で 94% の混交率に達し, ほとんど全林木が中径木以上の大きさとなり, その半分以上が大径木の蓄積で占められる。No. 2, 3, 5, 6 の中, 大径木の混交率曲線は今後の照査にまたなければならないが, 前者よりは緩徐な曲線となる。

第 25 表 トドマツ人工林における林齢と中・大径木の混交率（地位上）
Table 25. Mixed percentage of middle and large diameter classes
of Sac. fir stand (Site 1).

試 験 地 Plot	林 齢 Age	中・大径木の混交率 (%) Mixed percentage	同 計 算 値 (%) Calculate
1	31	19.0	19.3
1	33	22.9	27.0
4	35.5	39.9	36.5
1	35.5	54.8	36.5
4	37	44.2	42.2
4	43	60.4	64.7
1	43	70.0	64.7
1	46	87.7	75.9
1	51	94.3	94.3

$$\text{Formula : } y = \frac{x - 26}{0.0003x + 0.2498}$$

y = Mixed percentage of middle and large diameter classes.

x = Age

No. 1, 4 のトドマツ人工林の伐期を平均径 32cm の径級におくとすれば、伐期齢は 53 年生で、蓄積はすべて中径木以上となる。

6) 幹材積の連年成長と平均成長

トドマツのように当初の成長が遅く、樹冠が閉鎖するまでに相当の年月を要し、その間土地生産力を空費している人工林の場合には樹冠閉鎖後の同化生産量は著しく大となってくるが、林齢で林分材積を除した年平均成長量はそれほど大でない。すなわち、成長旺盛時の連年成長量は平均成長量の 2 倍以上の量に達し、第 12 表のように良地位における 35 年生前後の連年成長量は 1ha 当たり 25m³ 内外に達しており、地位の劣る林分でも 16m³ 内外で、一見成長の劣るようにみえる No. 6 の林分でも樹冠閉鎖してからの成長量は 23m³ に達し、平均成長量の 3～4 倍となっており、将来の一層大なる成長を期待できる。この連年成長量からみれば 40～50 年生の林分は盛んに成長をつづけており、材積成長最多の伐期の見とおしがたてがたい。

トドマツ人工林の 40 年生内外の林分材積は 1ha 当たり 400～500m³ のものが多いが、この林分の成長率は 5% 内外で、天然林の成長率は一般に 1.5% 内外といわれているが、これに比べると 3 倍以上の高い成長率を示している。

トドマツ林の生葉 1 トンの 1 年間における幹材積生産量は 0.4～0.6m³ と推定され、四手井 (1960) は 0.5m³ と算出している。この年成長量 21m³ の生産のためには、生葉が約 40 トンを必要とすることになる。一般に人工林の枝葉量を 幹材積の 30% とすれば約 132m³ の枝葉量となり、その 1/3 を葉とすれば 44m³、葉の比重を 0.85 として 37 トンの葉量となり、葉 1 トン当たり幹材積生産量を 0.5m³ とすれば、前記のような材積生産が可能となってくる。幼齢林は樹冠閉鎖後に成長量が著しく増加することはトドマツ林の特徴といえることができる。

8) トドマツの成長量と土壌性との関係

野幌試験林はほぼ平坦な丘陵地なので、気象条件はほぼ近似し、成長量は主として土壌的因子の影響を

うけている。従来の野幌の天然林の資料によると、トドマツの成長はA層の土壌の厚さに左右されることが大で、これに基づく土壌の理化学性の良否に影響されている。

トドマツ人工林においても同様の傾向がみられ、有機質にすこぶる富む黒褐色のA層の厚い B/D 型土壌の No. 1 の成長は良好であるが、有機質の含有が少なく、A層の薄い BC 型の No. 5 の成長は不良である。また No. 1 は表土の深さが大で、根系が土層中を深く、縦横に伸長、穿入し、養・水分を立体的に利用している。

土壌断面の外観的性状と成長量との関係については木梨 (1959) のスギ人工林に関する研究があるが、トドマツ人工林についても土壌断面のA層の厚さやA・B層の土性と成長量との関連性がうかがわれるので、この主林木材積の成長量と土壌性との関係をつぎのように求めた。

地位上の No. 1 の主林木材積の年平均成長量を1とすれば、A層の厚さ x とC層までの深さ、すなわちA、B両層の厚さ y によってつぎの地位指数、すなわち収穫指数が得られる。

$$SI = 12 \left(\frac{x}{45} \times \frac{2}{3} + \frac{y}{60} \times \frac{1}{3} \right)$$

この式は野幌試験林のトドマツ人工林にたいしては第26表のように大過なく適用できるようである。この収穫量は土壌型とも密接な関係がみられ、成長のよい林分の土壌は有機質にすこぶる富み、黒色のA層の深い土壌で、成長の不良な林分は有機質の含有の少ない褐色の土壌で、下部は重粘な埴土で深度が浅い。

第26表 土壌型とトドマツ人工林の年平均成長量との関係

Table 26. Annual mean growth of Sac. fir stand relating to soil type.

試地験 Plot	A層の厚さ Depth of A layer (cm)	A・B層の厚さ A & B layer (cm)	生産指数 Index of yield (SI)	生産指数による 成長量 Calculated growth (m ³) (YI)	年平均成長量 Ann. mean growth of main stock (m ³)
1	45	60	1.00	12.0	11.81
3	40	60	0.93	11.2	11.07
4	38	55	0.87	10.4	10.30
5	24	44	0.60	7.2	6.81
6	28	45	0.67	8.0	7.00

Note Formula: $SI = \frac{x}{45} \times \frac{2}{3} + \frac{y}{60} \times \frac{1}{3}$

SI = Index of site, x = Depth of A layer of soil, y = A and B layer.

$YI = 12m^3 \times SI$, YI = Index of yield, = Ann. mean growth of volume.

8) 収穫量と植生との関係

人工林は地拵え、下刈、樹冠閉鎖による一時的植生の退化などによって、その立地本来の植生が攪乱され、2次的侵入種によって主として構成されている。したがって周縁の植生の影響もあり、現在のところトドマツの収穫の指標となるような植物は判然としない。一般に成長の良好なところは土壌の養水分が潤沢で、各植物によい生育の場を与えるので、No. 1などの成長のよい所が草本類の種数が多く、かつ肥沃地に多いムカゴイラクサ、ウマノミツバ、フッキソウ、ユリ科の各草本などがみられ、草・藤・木本類の生育状況が旺盛である。

人工林には2次的侵入種としてイワガラミ、ツタウルシ、ツルアジサイなどの吸着根を有する藤本類が優占しているのが各区共通といえよう。

各林分とも間伐後トドマツ稚苗が多数発生したが、同時に他の植生の侵入も旺盛で、トドマツ稚苗は被圧されて、漸次消失していくものが多い。しかし、地位下位の No. 5 では植生量が少ないので、間伐の調節によって後継林分を仕立てることが必ずしも困難でない。

9) 成長量の予測

今後の収穫量は測定をくり返し、数量的に実測しないと判明しないが、一方北海道の植伐計画は現在拡大しつつある造林地の成長量を基礎にして伐採が計画されているので、従来の天然林の資料により推定した収穫表を人工林の実態のうえに積み上げてこれを検討しなければならない。

今後の成長量の予測法として、各試験地の測定値に適合する成長の回帰曲線で将来の成長量を予測算出した。

他方、野幌のトドマツ天然林について従来調査した多くの樹幹解析木の成長資料や、林分構造や収穫予想表の資料があるので、これらを勘案しながらトドマツ人工林の今後の成長を計算した。

樹高成長：前記数式によれば No. 1, 3 の林分では 60 年生で 23.2m, 70 年生で 25.0m となる。No. 5, 6 では 60, 70 年生でそれぞれ 19.1m, 21.0m と推算され、前者は従来の天然林の資料による I 等地に、後者は同 III 等地に相当している。No. 3, 2 は 60, 70 年生でそれぞれ 22.5, 24.1m になるものと推算できる。

胸高直径成長：前記数式によれば No. 1, 3 の林分では 60 年生で 33.9cm, 70 年生で 37.9cm となり、パルプ材対象の伐期の平均径を 30cm, 構築材対象の伐期の平均径を 36cm とすれば、前者は 51 年生、後者は 65 年生で右径級に達するものと考えて大過ない。No. 5, 6 の林分の直径成長は緩徐で、60, 70 年生で、25.6, 29.2cm に達するものと予測される。したがって、平均径 30cm に達する年次を伐期とすれば、伐期齢は 73 年生となる。No. 3, 2 の林分では 30cm に達するのに 57 年、36cm になるのに 73 年を要するものと推定できる。

胸高断面積成長：前記式で No. 1, 3 の資料を用い胸高断面積成長を求めると、間伐直前の立木度やや密な林分では 60 年生が 62.2m², 70 年生が 64.0m² で、間伐後の経過の浅い林分では 60 年生が 50.9m², 70 年生が 53.4m² である。

幹材積成長：1ha 当たり幹材積成長は前記の平均高、平均径を中央高や断面積の平均値に換算し、材積表によって単木材積をもとめ、これに曲線式に基づく本数を乗じてもとめた。すなわち、直径、樹高を断面積の平均値に換算するため平均直径には 1.026 ないし 1.018 を、平均樹高には 1.013~1.009 を径級、樹高級に応じて漸減するように乗ずる。また胸高直径対本数は No. 3 などの密度のたかい林分を考慮して $N = \left(\frac{100}{0.93x + 1} \right)^2$ とみて、これらの計算から積算される主林木の幹材積は No. 1, 3, 4 では 60 年生で 639m³ と推定される。

主・間伐材積：間伐材積は保育本位の下層間伐を行ってきたので、本数のわりに材積収穫はあがっていない。今後も保育に重点をおいて間伐するとすれば、 v/t は 2/3 以内の数値と考えることができよう。直径成長による本数減少が間伐木として利用したことになり、この材積をもとめれば、60 年生の間伐木累計はそれぞれ 322m³ と推定される。

主林木材積に間伐木材積累計を加えた総収穫は一応つぎのように推定され、No. 1, 3, 4 では 60 年生で 961m³, 年平均成長量 16.0m³ とみて大過ない。このなかで間伐木の占める比率は約 34% である。

D. トドマツの天然更新と林床植生

トドマツ人工林が植栽後幾年目から結実しはじめ、幾年目ごろから稚苗が発生し、他の植生との競合に勝って天然に更新できるかは興味深い課題で、拡大しつつあるトドマツ人工林が将来どれぐらい天然更新で施業できるか、将来の施業計画にも関連する重要な問題である。

トドマツの結実とは 25 年生内外から多少みられても、林内に稚苗が発生するまでには至らないが、34 年目ごろからは結実年度にかなりの稚苗が発生するようになる。

稚苗の発生は間伐による適正な立木度と林床の状態などによって影響されるが、No. 1 における稚苗の発生状態をみると、この林分は 1914 年、第 2 回間伐を行ない、1948 年当時の林況は平均径 22.3cm、平均高 16.5m、1ha 当たり 1,040 本であったが、間伐後 2 年目にかなりの結実がみられ、翌 3 年目の 1947 年は豊実年に該当していたのと、すでに環境に適応した母樹が十分陽光を享受してよく結実し、多数の稚苗が発生し、1m² 当たり 183~938 本、平均 393 本の多数に達した。種子の発芽率を 35%、林地の発芽率を 20%、1 年目の発芽苗の枯損率を 30% と推定すれば、植栽後 34 年目に 1m² 当たり 1,307~6,700 粒、平均 2,803 粒の種子が落下したと考えると大過ない。すなわち、普通畑地播種量の約半量が落下したことになる。しかしこのような豊実年はまれな現象と思われ、普通の結実年には稚苗の発生は 1m² 当たり 22~144 本、平均 63 本で、前記のように種子落下量に換算すれば 185~1,205 粒、平均 530 粒の種子量となる。

トドマツ稚苗が多数発生した当時の林床はいまだ、他の競合植生の侵入がほとんどなく、発芽稚苗は他植生の被圧をこうむることなく、自由に伸びうる状態にあった。

トドマツ稚苗の発生と同時にいろいろな植生も侵入してきた。初期の侵入種としてあげられるのはイワガラミ、ツルアジサイ、ツタウルシなどの蔓茎に吸着根を有し、地表を自由に伸展、増殖できる耐陰性の藤本類である。ついで鳥の種実採食により伝播する木本類、ミズキ、ヤマグワ、ハリギリ、ナナカマド、アズキナシ、シウリ、コシアブラなどを主とする多数の広葉樹の稚樹が発生するようになる。他方天然林に普遍的にみられるフッキソウ、マイヅルソウ、クルマバソウ、ムカゴイラクサ、ウマノミツバなどが散生し、他方林地の強靱な優占種クマイザサが周縁から侵入してくる。このように 2 次的侵入種がしだいに優占、繁茂し、これらは盛んな繁殖力と伸長力とでトドマツ稚苗を圧倒してくる。前記のように多数発生したトドマツ稚苗は本林地のように他植物の盛んなどころではこれら雑草や広葉稚樹の上にぬきんでるものではなく、大部分はすでに消失しており、他方植生群のなかでもクマイザサの侵入伝播力は顕著で、近く林床全面に広がろうとしている。

適潤・肥沃地は間伐後に多数の草・藤・木本類が侵入、繁茂し、成長の遅いトドマツ稚苗を圧して天然更新を不可能にするが、局部的に No. 3 や No. 5 の一部のように傾斜地に隣接し、土壌の通気性、排水性のよい箇所は稚苗の発生、存続がみられる。かかる箇所は林床植生もイチヤクソウなどの小型の腐植生草本が生じている。

II エゾマツ人工林

まえがき：北海道におけるエゾマツの養苗の沿革をみると、明治 36 年御料林の苫小牧苗畑に播種したのがもっとも古く、この造林は明治 38、39 年に苫小牧事業区の伐採跡地に植栽したのが初めてである。国有林では明治 40 年以降播種養苗されており、札幌苗畑には明治 40、44 年、大正元年に播種している。野幌試験林には大正 2 年に初めて 31 林班に 0.1ha の面積が造林され、同 5、6 年に 40、41 林班に植栽し

ている。

国有林においては養苗法の確立された昭和以降に本格的に植栽されるようになり、昭和9年度までの植栽面積の累計は4,333町歩で、トドマツの約3割にあたる。昭和10年度以降国有林ではカラマツの植栽面積を極度に縮減して、トドマツに代えたが、エゾマツもこれに伴って植栽が拡張されるようになった。

エゾマツの造林が普及した昭和10年ごろからカサアブラの被害がいたるところに発生し、とくに温暖地方ほど被害が多かったので、エゾマツの造林地の生育が懸念された。野幌の大正6年植えのエゾマツ林もカサアブラの著しい被害をこうむったが、その後被害は減退して、現在順調に生育している。カサアブラの被害にたいしては薬剤駆除など、防除対策もたてられつつあるが、適地の選定についても留意すべきで、野幌のエゾマツ人工林のカサアブラの被害は土壤条件の劣るところでは被害木の樹勢の回復は困難で、被害からたち直るのが容易でないが、土壤条件のよいところでは樹勢が盛んで、側枝や小枝が被害枝に代わって伸長し、被害部を抑えて回復し、よく伸長している。

エゾマツの造林は従来の不成績から最近はあまり造林されていないが、北東斜面や中部以北の山地帯にはこれの造林適地もあるので、この造林についていっそうの研究を必要としよう。

A. エゾマツ人工林の立木度と間伐

エゾマツ人工林は20数年前に数年間エゾマツカサアブラの激害をこうむったが、樹冠閉鎖するようになってからしだいに被害が減少し、現在はわずかのマツカサ状の虫えいをみるにすぎない。現林分は順調な生育を示しており、またカサアブラの被害は当時全道のエゾマツ人工林にみられたので、この試験地は本道の従来のエゾマツ人工林の代表的成長を示めすものといえよう。このエゾマツ林はまだ伐期にはほど遠い生育状況で、間伐も2回行なわれたにすぎず、今後の取扱いにまたなければならないが、44～46年生

第27表 エゾマツ人工林の成績

Table 27. Growing stocks and yield of Jezo-spruce stand.

植栽年次=1917年秋植

試験地 Plot 林小班	林齢 Age	現 林 木 Growing stock						間伐木 Removed stem			総 材 積 Total yield	
		平均 Mean		1 ha 当 たり				1 ha 当 たり			1 ha 当たり	
		胸高 直径 d.b.h. (cm)	樹 高 Height (m)	本数 Trees	胸 高 断面 面積 Basal area (m ²)	材 積 Volume (m ³)	年平均 成長量 Ann. mean growth (m ³)	本数 Stem	材 積 Volume (m ³)	材積累計 Sum of volume (m ³)	材 積 Volume (m ³)	年平均 成長量 Ann. mean growth (m ³)
1	31	9.6	8.6	4,050	32.48	187	6.03				187	6.03
	33	11.8	10.4	2,450	28.32	177	5.36	1,600	33.8	33.8	211	6.39
	36.5	12.9	11.7	2,320	32.30	228	6.25	130	2.8	36.6	265	7.25
	40を	38	14.4	1,860	31.69	239	6.28	460	35.5	72.1	311	8.18
	42	15.1	13.6	1,800	33.67	272	6.48	60	2.8	74.9	347	8.25
	44	16.8	14.3	1,350	30.74	254	5.78	450	41.9	116.8	371	8.44
2	31	9.2	8.0	4,180	30.04	161	5.19	440	4.6	4.6	166	5.19
	33	10.6	9.3	2,560	23.66	137	4.15	1,620	40.4	45.0	182	5.51
	40	13.7	10.8	2,120	32.74	214	5.36	440	21.7	66.7	281	7.03
	44を	44	15.1	1,780	35.44	230	5.23	340	18.3	85.0	315	7.15
	46	15.9	12.8	1,760	36.64	238	5.18	20	0.4	85.4	323	7.03

第 28 表 エゾマツ林の間伐と d/D , v/t と g/G との関係Table 28. d/D , v/t and g/G of Jezo spruce stand.

林 齢 Age			33	33	38	44
d.b.h.	間伐木の平均径	Removed tree d	7.9	7.2	10.7	12.4
	全林木の //	Total tree D_1	9.4	9.7	13.6	15.6
	主林木の //	Main tree D_2	11.8	10.6	14.4	16.8
	d/D_1		0.83	0.74	0.74	0.80
	d/D_2		0.61	0.68	0.69	0.74
Trees	間伐木の本数	Removed tree t_1	1,620	1,600	370	450
	全林木の //	Total tree T_2	4,180	4,050	2,320	1,800
	$t_1/T_2=t$ (%)		38.4	39.5	19.8	24.4
Volume	間伐木の材積	Removed volume v_1	40.4	33.8	23.2	42.0
	全林木の //	Total stock V_2	177.5	210.8	274.2	296.2
	$v_1/V_2=v$ (%)		22.6	16.0	12.9	13.9
	t/v		1.70	2.47	1.53	1.76
	v/t		0.59	0.41	0.68	0.58
Basal area	間伐木の断面積	Removed tree g_1	7.68	7.01	3.45	5.47
	全林木の //	Total tree G_2	31.43	35.32	35.71	36.31
	$g_1/G_2=g\%$		24.4	19.8	9.7	15.0

現在の成長状態は、第 27 表のようである。

1) d/D , v/t

間伐法を検討するため d/D , v/t の各比率をみるに第 28 表のように前者は 0.74~0.83, 後者は 0.41~0.68で, 選木は主として劣勢木本位の下層間伐を行ってきたことを示している。これはカサアブラの被害を考慮しての保育的な取扱いであった。

2) 間伐後の経過と本数密度

エゾマツ人工林は測定値も少なく, 間伐回数も 2 回, 直径もまだ大でないで, 間伐前後の適正本数密度を求めたいが, 間伐期に近い林分と間伐後まもない林分とに大別して 1ha 当たり本数を $N=ax^{-b}$ で求めると, 第 29 表のように前者は $N=86,200x^{-1.413}$, 後者は $N=52,550x^{-1.32}$ で示して大過ないようである。エゾマツは当初 5 尺方形植で, 立木密度がたかかったので, いままでの取扱いは第 30 表のようにトドマツ林よりも立木度が多少たかくなっているが, 最近の間伐後の本数密度はこれよりも低くなっている。エゾマツ林の間伐直後の成立本数を $N=\left(\frac{100}{ax+b}\right)^2$ で示めすと, $a=0.11$, $b=0.9$ と計算して大過ないようである。本式は直径が大きくなるにしたがいトドマツよりも立木本数が多少減少する傾向がある。このことはモミ属がトウヒ属よりも陰樹とされている点や, エゾマツの浅根性, 葉の密度などから立木度を帰納して上式の常数をエゾマツ林の間伐に適用しやすいように簡単化したものである。現実林は植栽密度やカサアブラの被害もあって, やや密にたたせてきたので, 第 30 表のように, トドマツ林よりも本数密度がたかい。

3) C_w/D と C_b/H

エゾマツ人工林の C_w/D , すなわち 樹間距離と平均径との比は 第 31 表のように, 15.1~18.6, 平均 16.4 で, 間伐後の比率は 17.0~18.6 と考えることができ, 19.0 以下の値となるので, 中庸度の間伐とい

第 29 表 エゾマツ林の径級対立木本数

Table 29. Tree number to d.b.h. of Jezo-spruce stand.

平均径 Mean d.b.h. (cm)	間 伐 後 After thinning			間 伐 前 Before thinning
	実 測 Measure	計 算 Calculate	計 算 Calculate	計 算 Calculate
	N	N_1	N_2	N_3
10.6	2,560	2,343	2,515	3,062
11.8	2,450	2,070	2,190	2,635
12.9	2,320	1,858	1,941	2,322
13.7	2,120	1,722	1,793	2,137
14.4	1,860	1,624	1,678	1,988
15.1	1,800	1,521	1,577	
15.9	1,780	1,433	1,485	
15.9	1,440	1,429	1,471	1,682
16.8	1,360	1,325	1,369	

Note Formula: $N_1 = \left(\frac{100}{0.11D + 0.9} \right)^2$

$N_2 = 52,550x^{-1.32}$

$N_3 = 86,200x^{-1.413}$

第 30 表 エゾマツの径級対立木本数

Table 30. Tree number d.b.h. of Jezo-spruce stand and its relation to standard number after thinning.

試験地 Plot	林 齢 Age	平均径 Mean d.b.h. x (cm)	本 数 Trees N_1	トドマツ林の平均本数 $N_2 = \left(\frac{100}{0.092x + 1.02} \right)^2$	$\frac{N_1}{N_2}$
2	33	10.6	2,560	2,508	1.02
1	33	11.8	2,450	2,252	1.09
1	36.5	12.9	2,320	2,051	1.13
2	39	13.7	2,120	1,920	1.10
1	38	14.4	1,860	1,817	1.02
1	42	15.1	1,800	1,721	1.05
2	43	15.9	1,780	1,621	1.10
2	43	15.9	1,760	1,621	1.09
1	44	16.8	1,360	1,518	0.89

える。

C_b/H , すなわち正三角形配置の場合の樹間距離と平均高との比は 17.8~23.3%, 平均 19.7% である。この値を上層高との比に換算すれば, 前数値は 17.1~22.4%, 平均 18.9%, 間伐後は 20.3~22.4% となる。一般に 19% が中庸度の間伐, 22% が強度, 25% 以上がきわめて強度の間伐とされているので, 本林の間伐はかかる点からは中庸度ないしやや強度の間伐といえよう。いままでの資料ではエゾマツ林の平均本数は $N = \left(\frac{100}{0.164D} \right)^2$ または $N = \left(\frac{100}{0.189H \times 0.933} \right)^2$ で示され, 間伐後の平均本数は $N = \left(\frac{100}{0.176D} \right)^2$ と $N = \left(\frac{100}{0.213H \times 0.933} \right)^2$ で表わすことができる。ただし正三角形配置に密に立つ林分では $N = \left(\frac{100}{0.213H} \right)^2$ となる。

第31表 エゾマツ林の立木度と C_w/D と C_b/H との関係Table 31. C_w/D and C_b/H of Jezo-spruce stand.

胸高直径 d.b.h. D (cm)	本 数 Trees	樹間距離 $\frac{100}{\sqrt{n}}$ C_w (cm)	$\frac{C_w}{D}$ (%)	樹 高 Height H_M (m)	$\frac{100}{0.933\sqrt{n}}$ C_b (cm)	$\frac{C_b}{H_M}$ (%)	$\frac{C_b}{H_T}$ (%)
9.4	4,180	155	16.5	8.6	169	19.6	18.8
9.6	4,060	157	16.3	8.7	166	19.1	18.3
10.6	2,560	198	18.6	9.3	217	23.3	22.4
11.8	2,450	202	17.1	10.4	222	21.3	20.4
12.9	2,320	212	16.4	11.7	223	19.1	18.3
13.6	2,320	212	15.6	12.5	223	17.8	17.1
14.4	1,860	232	16.1	13.0	249	19.2	18.4
15.1	1,800	236	15.6	13.6	253	18.6	17.9
15.6	1,800	236	15.1	13.9	253	18.2	17.5
16.8	1,350	272	16.2	14.3	301	21.1	20.3

Note : H_M = Mean height H_T = Upper height

第32表 エゾマツ人工林の胸高断面積

Table 32. Basal area of Jezo-spruce stand and its relating to $\frac{\pi}{4}d^2n$.

標準地 Plot	林 齢 Age	平均径 Mean d.b.h. (cm)	本 数 Trees	実測胸高 断面 積 Basal area (A)	簡易計算 断 面 積 $\frac{\pi}{4}d^2n$ (B)	$\frac{A}{B}$	直径の 変異係数 C.V. of d.b.h. (%)
2	31	8.9	4,620	31.16	28.74	1.101	31.8
2	31	9.2	4,180	30.04	27.79	1.081	28.5
2	33	9.4	4,180	31.43	29.01	1.084	28.9
1	31	9.6	4,060	32.56	29.39	1.108	32.8
2	33	10.6	2,560	23.65	22.59	1.047	21.7
1	33	11.8	2,450	28.32	26.79	1.057	23.8
1	36.5	12.6	2,450	32.87	30.55	1.076	27.6
1	36.5	12.9	2,320	32.30	30.32	1.065	25.6
平 均 Mean				30.29	28.15	1.076	27.6
2	39	13.5	2,280	33.50	32.63	1.027	16.3
1	38	13.6	2,320	35.71	33.70	1.060	24.4
2	39	13.7	2,120	32.74	30.34	1.078	27.9
1	38	14.4	1,860	31.69	30.29	1.046	21.5
1	42	14.9	1,860	34.12	32.43	1.052	22.8
1	42	15.1	1,800	33.67	32.23	1.045	21.1
1	44	15.6	1,800	36.31	34.40	1.056	23.6
2	43	15.9	1,780	36.74	35.34	1.039	19.9
1	44	16.8	1,350	30.74	29.93	1.027	16.5
平 均 Mean				33.91	32.37	1.048	24.4

しかし、以上の算出値は一定の値でなく、平均径、または平均高に反比例して小さくなるものである。

4) 胸 高 断 面 積

エゾマツ人工林の 1 ha 当たり胸高断面面積は、第 32 表のように 23.7~36.7m² で、間伐木の胸高断面面積と全林木との比は 9.8~24.4% で、材積間伐率と近似しているが、やや大きな値となる。現林分は平均径が小さいので、間伐後の断面面積は 31m² 内外である。

エゾマツ林はトドマツよりも $G = a \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot N$ の a の値がやや小で、間伐後の経過の長い林分についてみれば 1.08 内外、経過の浅い林分では 1.04 内外、全平均 1.06 である。同じ平均径のトドマツ林に比べて値がやや小さいのは主として林分の直径の変異係数の小なるためであり、全平均の変異係数は 24.4% である。

5) 樹幹表面積と成長量

エゾマツ人工林にたいする 1 ha 当たり樹幹表面積は第 33 表のごとく、0.57~0.89 ha、平均 0.77 ha である。この値はトドマツ林よりやや小で、間伐前は 0.80~0.89 ha、間伐後は 0.75 内外の値となっている。

この樹幹表面積に年輪幅を乗じて年平均成長量に読み換えれば、現林分の年平均成長量は表面積に 0.078cm を乗じた数である。これはトドマツ林の平均 0.112cm の乗数に比して 7 割の値である。

第 33 表 エゾマツ林の樹幹表面積と年平均成長量との関係
Table 33. Bole surface of Jezo-spruce plantation and its relating
to the annual mean growth.

林 齢 Age	胸 高 直 径 d. b. h. (cm)	樹 高 Height (m)	本 数 Trees	幹 表 面 積 Bole surface S (m ²)	年平均成長量 Annual mean growth ΔV (m ³)	$\frac{\Delta V}{S}$ (mm)
33	9.4	8.7	4,180	7.746	5.38	0.695
31	9.6	8.6	4,060	7.595	6.05	0.797
33	10.6	9.3	2,560	5.719	4.15	0.726
33	11.8	10.4	2,450	6.615	5.36	0.810
36.5	12.9	11.7	2,320	7.703	6.25	0.811
38	13.6	12.5	2,320	8.937	7.22	0.808
38	14.4	13.0	1,860	7.890	6.28	0.796
42	15.1	13.6	1,800	8.376	6.48	0.774
44	15.6	13.9	1,800	8.845	6.73	0.761
44	16.8	14.3	1,350	7.349	5.78	0.787
平 均 Mean				7.685	5.97	0.777

B. 林 分 構 造

1) 径級対本数分布

エゾマツはトドマツと同じく陰樹なので、直径の分散はかなり広い。これを直径の標準偏差と変異係数と歪度によって示せば第 34 表の値となる。44 年生までの林分の変異係数は 22~25% の範囲にあり、トドマツ人工林ほど大きな値とならない。これは劣勢木がカサアブラの被害をこうむって枯死したものが多くためであろう。また、分布曲線の歪度をみると一の数値が大となっている。

本数分布曲線を一層定量的に示すため近似の平均径の本数を集計し、曲線を平滑したものを数式にあて

第34表 エゾマツ林の林分構造 (径級対本数分布の型)

Table 34. Tree distribution to d.b.h. of Jezo-spruce stand.

林 齢 Age	31				38				44			
面 積 Area (ha)	0.1	0.05	0.15	計 算 値 Calculate	0.1	0.05	0.15	計 算 値 Calculate	0.1	0.05	0.15	計 算 値 Calculate
本 数 Trees 胸高直径 d.b.h. (cm)	実 測 値 Measure 1	実 測 値 Measure 2	計 算 値 Sum		実 測 値 Measure 1	実 測 値 Measure 2	計 算 値 Sum		実 測 値 Measure 1	実 測 値 Measure 2	計 算 値 Sum	
2	2		2									
4	14	4	18	31		1	1					
6	71	35	106	91	3	2	5					
8	96	56	152	138	17	11	28	17	1	1	2	
10	72	60	132	138	31	14	45	52	14	5	19	13
12	61	32	93	103	55	26	81	78	31	10	41	41
14	59	19	78	62	51	25	76	78	36	23	59	61
16	20	3	23	31	39	19	58	58	41	19	60	61
18	8		8	14	18	12	30	35	23	14	37	45
20	2		2	5	15	3	18	18	18	11	29	27
22				1	3	1	4	8	13	4	17	13
24								2	2	2	4	6
26									1		1	2
計 Total	405	209	614	614	232	114	346	346	180	89	269	269
平均径 Mean d.b.h. (cm)	9.7	9.4	9.7		13.6	13.5	13.5		15.6	15.9	15.7	
直径の標準偏差 S.D. of D	3.20				3.40				3.46			
直径の変異係数 C.V. of D	32.88				25.21				22.03			
歪 度 Skewness	-53.8				-43.3				-2.05			
計 算 式 Formula	$N_1=614 \cdot \frac{3^x}{x!} \cdot e^{-3}$				$N_2=346 \cdot \frac{3^x}{x!} \cdot e^{-3}$				$N_3=269 \cdot \frac{3^x}{x!} \cdot e^{-3}$			

はめてみるに、本数分布はポアソン分布型に近く、 $y = N e^{-m} \cdot \frac{m^x}{x!}$ 式によってその傾向を表示できる。ただし式中 m は 3、 x は直径級をポアソン分布の x ランに読み換えたもの、 N は本数合計で、 y は各径級の立木本数である。エゾマツの本数分布はポアソン式の m が 3 で、正規分布型からかなり遠ざかっているのはカサアブラの被害によって多くの劣勢木が生じ、曲線が劣勢木の方に重味のついた一の歪度を示しているためであろう。

2) 樹 高 曲 線

エゾマツ人工林の胸高直径対樹高の関係はほぼ $H = a e^{-\frac{b}{x}} + 1.3$ で示され、トドマツと大差ない値となっている。しかし、カサアブラの被害から脱して間もない 33 年生、平均径 11.8cm、平均高 10.4m の林分の各樹高は優劣の差があって、樹高曲線のカーブは傾斜しているが、44 年生の平均径 16.8cm、平均高 14.3m の林分の樹高曲線は第 35 表のようにトドマツ人工林よりも曲線がゆるやかで、 b の値が小となっている。この林分の胸高直径にたいする樹高の相関比は 0.675 で、トドマツより小である。これはカサアブラの影響か、成長の緩徐なエゾマツの高低の差の少ないためか、今後さらに検討しなければならないが、被圧劣勢木はカサアブラの被害もあって枯れたためであろう。

第 35 表 エゾマツ林の樹高曲線

Table 35. Height to d.b.h. of Jezo-spruce stand.

標準地	Plot	1		1	
林 齡	Age	33		34	
平均径	Mean d.b.h. (cm)	11.8		16.8	
平均高	Mean height (m)	10.4		14.3	
胸 高 直 径 d.b.h. (cm)	樹 高 Height				
	実 測 Measure (m)	計 算 Calculate (m)	実 測 Measure (m)	計 算 Calculate (m)	
4	4.1	4.0			
6	6.3	6.4			
8	8.1	8.1			
10	9.5	9.5	10.8	11.4	
12	10.6	10.5	12.9	12.5	
14	11.3	11.3	13.5	13.5	
16	12.3	12.0	14.3	14.2	
18	13.0	12.6	14.8	14.8	
20	12.5	13.1	15.3	15.3	
22			16.1	15.7	
24			15.7	16.1	
Formula	<i>a</i>	16.88		19.43	
	<i>b</i>	3.138		2.855	
		$H = a e^{-\frac{b}{x}} + 1.3$			

C. エゾマツ人工林の成長量

エゾマツ人工林の沿革は浅く、事業的に植えられたのは昭和年代にはいつてからで古い人工林が少ないので、この収穫量を適確に把あくすることは困難である。この試験地はカサアブラの被害により成長の停滞期はあるが、樹冠閉鎖してからは順調な生育をしているので、従来の一般エゾマツ人工林の成長を示すものとみて大過ないであろう。

1) 樹高, 胸高直径, 胸高断面積の各成長

現林分の樹高, 胸高直径, 胸高断面積の成長経過は第 36 表のようにやや緩やかである。これに近似する成長の回帰曲線を求めるに、樹高成長式は $y = \frac{x^2}{0.0238x^2 + 1.08x + 45}$ 胸高直径成長は $y = \frac{0.0081x^2}{(x^2 - 81) + 1.29(x - 9) + 46} - 2.0$ となる。この式はエゾマツ林の成長にほぼ適合するもので、これから 50, 60 年生の成長をもとめれば平均高は 15.8, 18.4m, 平均径は 19.1, 23.7cm と推算される。このエゾマツ林は当初の成長が緩徐であるので、式の分母 $ax^2 + bx + c$ のうち $b \cdot c$ の値が大となっている。この値は野幌トドマツ林 No. 5, 6 の樹高成長 16.3, 19.1m, 直径成長 21.1, 25.6cm に近似し、全道トドマツ林の地位Ⅳ等地に相当している。

胸高断面積成長は第 37 表のように間伐後経過の長い林分は $y = \frac{x - 9}{0.0165x + 0.22}$, 経過の短い林分は $y = \frac{x - 12}{0.015x + 0.30}$ の回帰式でほぼ断面積の成長を示めすることができる。この式によると、50 年生で前者は 39.1m², 後者は 36.2m² と推算されるが、間伐直前と直後はこれより 5%内外の増減があるから 41.1m² と 34.4m² となろう。同じ土地条件のトドマツ林に比べて断面積成長が緩徐で、値が小となっている。

2) 幹材積成長

1ha 当たり換算幹材積は No. 1 は 44 年生で主林木材積 254m³, 間伐木累計材積 110m³, 総材積 364m³, この年平均成長量 8.28m³ である。No. 2 は 46 年生で主林木材積 238m³, 間伐木累計 62.3m³,

第 36 表 エゾマツ林の胸高直径・樹高成長

Table 36. Growth of d.b.h. and height of Jezo-spruce stand.

林 齢 Age	胸 高 直 径 d.b.h. (cm)			樹 高 Height (m)		
	実 測 値 Measure	実 測 値 Measure	計 算 値 Calculate	実 測 値 Measure	実 測 値 Measure	計 算 値 Calculate
31	9.6	9.2	9.8	8.6	8.7	9.5
33	10.6	11.8	10.8	9.3	10.4	10.2
36.5	12.9		12.5	11.7		11.5
38	14.4		13.3	13.0		12.0
40	13.7		14.3	10.8		12.7
42	15.1		15.3	13.6		13.3
44	15.9	16.8	16.2	12.8	14.3	14.0
50			19.1			15.8
60			23.9			18.4

Note Formula : $D = \frac{\pi^2}{0.0081(x^2 - 81) + 1.29(x - 9) + 46} - 2.0$

$$H = \frac{x^2}{0.0238x^2 + 1.08x + 45}$$

D = 胸高直径 d.b.h. (cm), H = 樹高 Height (m), x = 林齢 Age (年)

$x - 9 = 9$ は胸高に達する年齢

第 37 表 エゾマツ林の胸高断面積成長

Table 37. Growth of basal area of Jezo-spruce stand.

林 齢 Age	間 伐 前 Before thinning			間 伐 後 After thinning		
	実 測 値 Measure (m ²)	実 測 値 Measure (m ²)	計 算 値 Calculate G ₁ (m ²)	実 測 値 Measure (m ²)	実 測 値 Measure (m ²)	計 算 値 Calculate G ₂ (m ²)
31	30.04	31.16	30.06	28.32	23.65	24.84
33	31.43		31.37			26.42
36.5	32.87		33.46			28.89
38	35.71		34.24			29.89
39	33.50		34.72			30.51
42	34.12	36.74	36.14	33.67	30.74	32.26
43	36.64		36.56			32.80
44	36.31		37.00			33.33
50			39.05			36.19
60			42.15			40.00

$$\text{Formula : } G_1 = \frac{x-9}{0.0165x+0.22} \quad G_2 = \frac{x-12}{0.015x+0.3}$$

総材積 300m³, この年平均成長量 6.53m³ である。すなわち, 両者を平均した総材積は 45 年生で 332 m³, 平均成長量は 7.39m³ である。

3) 幹材積の連年成長と平均成長

エゾマツ人工林も当初の成長が遅く, そのうえカサアブラの被害も加わって, 樹冠が十分閉鎖するまでにかかりの年月を要しているのので, 年平均成長量が小さい値となっているが, 虫害から回復し, 樹冠閉鎖してからはかなり盛んな成長をするようになり, 第 38 表のように 37 年前後の連年成長量は 13~15m³ で平均成長量の 2~3 倍の量となっている。エゾマツ林の最盛時の連年成長量もトドマツに比べればやや低い値を示し, 同年次のトドマツ林の 20m³ を越えるものに比較すれば 3/4 以下の数量である。

エゾマツ人工林の 37 年生内外, ha 当たり材積 220m³ 内外の林分の成長率はほぼ 6% で, 蓄積量が少

第 38 表 エゾマツ人工林の幹材積の年平均成長と連年成長

Table 38. Annual mean volume growth and current growth of Jezo-spruce stand.

プロット 番 Plot	林 齢 (年) Age	年平均成長量 Ann. mean growth (m ³)	連年成長量 Ann. curr. growth (m ³)	同 成 長 率 Growing percent. (%)	枯損木を含む 連年成長量 Ann. curr. growth (+ Dead stem) (m ³)
1	31	6.03	11.87	5.97	14.44
	33	5.36		7.57	
	36.5	6.25		5.10	
	42	6.48		4.10	
	44	5.78			
2	31	5.19	8.21	4.86	
	33	4.15		7.05	
	40	5.36		2.99	
	46	5.18			

ないので、成長率はたかくなっている。

エゾマツ林の生葉 1 トンの 1 年間における幹材積生産量は 0.4m^3 と推定される。したがって幹材積 9.6m^3 の生産のためには 24 トンの生葉を必要とする。枝葉量を幹材積の 30% とすれば 74m^3 、この 37% を葉として 27m^3 、葉の比重を 0.87 とすれば、生葉 24 トンとなり、ほぼ前記の材積生産が可能となる。

4) 将来の収穫の予測

今後の成長は照査にまたなければならないが、前記成長曲線式を用いて樹高、胸高直径、断面積成長を算出することができる。

これらの算出成長量は第 39 表の従来天然林の資料から求めたエゾマツ林収穫表、すなわち小出・中島・佐藤各博士 (1915) の苫小牧地方のエゾマツ林 I 等地、島本貞哉 (1938) の弟子屈地方のエゾマツ林 I 等地、松井 (1950) の野上地方のエゾマツ林 I 等地の成長量と近似しているので、主林木の幹材積成長もこれら 3 者と近似するものと推定できる。エゾマツの天寿はトドマツの約 2 倍で、成長は後年まで持続するので、エゾマツ林の適正な伐期や収穫量は今後の照査にまたなければならないが、成長量、伐期、虫害への抵抗性などの面でトドマツよりも劣っている。

第 39 表 エゾマツ人工林の直径・樹高成長
Table 39. Growth of d.b.h. and height of Jezo-spruce stand.

林 齢 Age	胸 高 直 径 d.b.h. (cm)				樹 高 Height (m)			
	苫 小 牧 (1)	弟 子 屈 (2)	野 上 (3)	野 幌 (予想)	苫 小 牧 (1)	弟 子 屈 (2)	野 上 (3)	野 幌 (予想)
30	9.6	10.5		9.3	9.0	8.2		9.1
35	11.9	12.4		11.8	11.0	9.6		10.9
40	14.1	14.3	14.9	14.3	12.8	11.0	12.1	12.7
45	16.2	16.2		16.7	14.4	12.3		14.3
50	18.1	18.3	19.9	19.1	15.9	13.5	15.2	15.8
55	20.0	20.4		21.4	17.3	14.7		17.1
60	21.8	22.6	24.8	23.7	18.7	15.8	17.9	18.4
70	25.3	27.2	29.5	27.9	20.9	17.8	20.2	20.7
80	28.6	32.2	33.8	31.9	22.8	19.7	22.2	22.6

Note : (1) Tomakomai region in southern part of natural distribution.

(2) Teshikaga region in eastern Hokkaido.

(3) Nogami region in northern Hokkaido.

D. 天然更新と林床植生

現在林床にエゾマツの稚苗をほとんどみることはいできない。天然林においてもエゾマツの天然更新は腐朽倒木以外にみるのは少ない。エゾマツの天寿がトドマツの 2 倍内外であるから結実開始年次もまたトドマツよりかなり遅れるのではないかとと思われる。エゾマツのカサアブラの被害もまた結実を遅延させている一因かと思われる。

エゾマツ林の林床は各針葉樹人工林に共通の植生を呈している。すなわち、優占種は吸着根を有する藤本類のツタウルシ、イワガラミ、ツルアジサイが優占し、ついでナナカマド、ヤマグワ、ハリギリなど、多数の広葉稚樹が全面に生育し、各種草本がこの間に交錯している。No. 2 はクマイザサの侵入が目だっている。しかし、林床植生の過密な状態からみてエゾマツの天然更新を期待することは困難であろう。

III ヨーロッパトウヒ人工林

まえがき：ヨーロッパトウヒはドイツトウヒとも呼ばれ、外国樹種としてはもっとも多く本道に植栽されてきた。ヨーロッパトウヒの導入はマツ類よりは多少遅れているが、明治の末期から大正年代にわたってカラマツの造林全盛時代にかかり植栽されている。本道におけるもっとも古いトウヒの人工林は明治33年植栽の旭川市外神楽の見本林である。明治末から大正初期には大学演習林、野幌試験林、その他苗畑周縁などの便利な箇所に見本林として試植された。

ヨーロッパトウヒは郷土樹種よりも養苗が容易で、植栽当初の成長も良好であったので、ドイツの林業技術を取り入れた揺籃時代の北海道林業は、トウヒの造林にかなりの期待をかけたのである。しかし、漸次野鼠、野兎、ハバチ類などの被害が発生し、立地に敏感なトウヒは BC、BB 型土壌では成長が不良で、とくに風衝に弱く、風の吹きあたる乾燥性の稜線、傾斜地の成績は不良であった。しかし盆地の肥沃な適潤地、すなわち本州のスギ適地のような立地では生育が良好で、むしろトドマツにまさるものがある。またトウヒは枝またが密で、細小な針葉が密生し、枯枝も遅くまで着いていて、防風林、防雪林ないし屋敷林の樹種として好適しているので、適地と目的に応じて今後も造林が進められるであろう。

野幌試験林のヨーロッパトウヒは明治 41 年から大正 10 年にわたって植栽されてきた。野幌では野鼠、野兎やハバチ類の被害をみることなく、また近接のエゾマツ林のようにカサアブラの被害をこうむることなく、順調に生育してきたが、昭和 29 年の 5 月旋風と秋の 15 号台風によって倒壊する林地が続出し、収穫の照査の中断を余儀なくされるものが生じた。ヨーロッパトウヒ林の成績については別途報告の予定であるから、今回は唯一の試験地 31 林班の大正 2 年春植の成績のみ記載するにとどめる。

A. ヨーロッパトウヒ林の立木度と間伐

ヨーロッパトウヒ林の第 1 回間伐は試験地設定前の 24 年生のときに 行なわれているが、伐株の数や大ききから推定して 1,010 本、65m³ ぐらいとみて大過ないであろう。第 2 回目の間伐は 31 年生のときで、本数の 32.3%、材積の 23.8%、第 3 回目は 45 年生のとき本数の 14.7%、材積の 8.6% の間伐を行なった。この間に風害と虫害による枯損木を多少間伐している。現在 50 年生で第 40 表のように 1 ha 当たり 715 本、466m³ の林分となっている。

第 40 表 ヨーロッパトウヒ林の成績

Table 40. Growing stocks and yield of European spruce stand.

Division=箇所=31林班い小班, Area=面積=1 ha 当たり換算, Planted year=植栽年次=1914

林齡 Age	現 林 木 Growing stock						間 伐 木 Removed stem			総 材 積 Total yield	
	平均径 Mean d.b.h. (cm)	平均高 Mean height (m)	本数 Tree	胸 高 断面積 Basal area (m ²)	材 積 Volume (m ³)	年平均 成長量 Ann. mean growth (m ³)	本数 Tree	材 積 Volume (m ³)	材積累計 Sum of volume (m ³)	材 積 Volume (m ³)	年平均 成長量 Ann. mean growth (m ³)
31	20.1	15.3	920	29.70	260	8.39	1010	(65)	148	408	13.16
35	21.5	16.4	905	33.99	303	8.66	15	4	162	455	13.00
39	24.0	18.1	865	40.17	383	9.82	40	13	175	548	14.05
45	26.7	20.0	720	41.32	411	9.13	145	45	220	621	13.80
50	28.0	20.8	715	44.22	466	9.32	5	1	221	677	13.54

第 41 表 ヨーロッパトウヒ林の d/D と g/G Table 41. d/D and g/G of European spruce stand.

林 齢 Age	平均 胸 高 直 径 Mean d.b.h. (cm)			$\frac{d}{D_1}$	$\frac{d}{D_2}$	$\left(\frac{d}{D_2}\right)^2$	胸 高 断 面 積 Basal area (m ²)		$\frac{g}{G}$ %
	間 伐 木 Removed	全 林 木 Total	主 林 木 Main tree				間 伐 木 Removed	全 林 木 Total	
	d	D_1	D_2				g	G	
31	16.8	18.9	20.1	0.89	0.84	0.71	10.342	40.321	25.65
45	21.1	25.6	26.7	0.83	0.79	0.62	4.156	46.309	8.97

第 42 表 ヨーロッパトウヒ林の v_1/V_2 と v/t Table 42. v_1/V_2 and v/t or t/v of European spruce stand.

林 齢 Age	本 数 Trees		$\frac{t_1}{t_2}$ (%)	材 積 Volumes		$\frac{v_1}{V_2}$ (%)	$\frac{t}{v}$	$\frac{v}{t}$
	間 伐 木 Removed	全 林 木 Total		間 伐 木 Removed	全 林 木 Total			
	t_1	T_2		v_1 (m ³)	V_2 (m ³)			
31	475	1,395	32.3	83.2	343.0	23.8	1.36	0.74
45	125	865	14.5	37.3	455.5	8.2	1.74	0.58

1) d/D , v/t

ヨーロッパトウヒ林分の d/D , すなわち間伐木の平均径対全平均径の比は第 41 表のように 0.83~0.89, 平均 0.86, d/D_2 , すなわち主林木平均径との比は 0.79~0.84, 平均 0.815 である。また v/t は第 42 表のように 0.58~0.74, 平均 0.66, t/v は 1.36~1.74, 平均 1.55 である。これらの数値は劣勢木に重点をおいて間伐したことを示すもので, この間伐は下層間伐にわずかに弱度の上層間伐を加味したといえることができる。

2) C_w/D , C_b/H

この林分の C_w/D , すなわち樹間距離対平均径の比は第 43 表のように 13.9~16.4, 平均 14.6 で, 間伐後は 16 内外となる。 C_b/H , 正三角形配置の樹間距離対平均高は 16.3~19.2, 平均 17.4% で, 間伐後は 19.0% 内外の値となっている。これを上層高との比に換算すれば 16.0~18.8, 平均 17.0% で, 間伐後は 18.6% となる。両者の値は中庸度間伐を意味するが, トドマツ林に比べると C_w/D は近似しているが, C_b/H は小さい値となっているのはトウヒ林は平均径にたいし平均高がトドマツより一層大なるためである。以上から間伐後の主林木本数は $N = \left(\frac{100}{0.16D}\right)^2$, または $N = \left(\frac{100}{0.186H \times 0.933}\right)^2$ で求められ, 正三角形配置にたつ場合は $N = \left(\frac{100}{0.186H}\right)^2$ となる。

3) 基準本数との比較

ヨーロッパトウヒ人工林の本数とトドマツの間伐後の立木基準本数 $N = \left(\frac{100}{0.1x+1}\right)^2$ と比較すると, 第 44 表のようにヨーロッパトウヒ林はこれよりも少ない本数のものが多く, この算出本数の 0.83~0.97 の値を示している。トウヒ林に適合した間伐後の主林木本数は $N = \left(\frac{100}{0.11x+0.9}\right)^2$ とみて大過がないようである。

第43表 ヨーロッパトウヒ林の C_w/D と C_b/H
Table 43. C_w/D and C_b/H of Eu. spruce stand.

胸高直径 d.b.h. D (cm)	本 数 Tree n	樹間平均距離 $\frac{100}{\sqrt{n}}$ C_w (m)	$\frac{C_w}{D}$ (%)	樹 高 Height H_M (m)	正三角形の 樹 間 距 離 $\frac{100}{\sqrt{0.866n}}$ C_b	$\frac{C_b}{H_M}$ (%)	$\frac{C_b}{H_T}$ (%)
18.9	1,395	2.65	14.0	16.7	2.85	15.9	15.3
20.1	920	3.30	16.4	17.2	3.55	19.2	18.4
21.5	905	3.32	15.5	18.1	3.57	18.4	17.7
23.9	905	3.32	13.9	19.7	3.57	16.9	16.2
24.0	865	3.44	14.3	19.7	3.70	17.5	16.8
25.6	865	3.40	13.3	20.8	3.65	16.3	15.6
			14.6			17.4	16.7

Note: H_M =Mean height.

H_T =Upper height.

第44表 ヨーロッパトウヒ林の本数とトドマツの基準本数との関係
Table 44. Tree number to mean d.b.h. of Eu. spruce and
its relating to the standard number.

平 均 径 Mean d.b.h. (cm)	本 数 Tree N_1	平均樹間距離 Mean space $\frac{100}{\sqrt{N_1}}$ (m)	Tree space $0.1x+1$ (m)	$N_1 : \left(\frac{100}{0.1x+1}\right)^2$
15.0	1,395	2.68	2.50	0.87
20.1	920	3.29	3.01	0.83
26.7	720	3.72	3.67	0.97

第45表 ヨーロッパトウヒ林の径級対本数
Table 45. Tree number to mean d.b.h. of Eu. spruce stand.

時 期 Period		平 均 Average	間 伐 前 Before thinning	間 伐 後 After thinning
胸高直径 d.b.h. (cm)	実 測 本 数 Measured tree	計 算 本 数 Calculate N_1	計 算 本 数 Calculate N_2	計 算 本 数 Calculate N_3
18.9	1,395	1,229	1,394	1,127
20.1	920	1,114	1,265	1,033
21.5	905	1,000	1,138	938
23.9	905	845	959	803
24.0	865	839	952	798
26.7	720	771	801	678
計 算 式 Formula		$N_1 = 148,550 x^{-1.6}$	$N_2 = \left(\frac{100}{0.11x+0.6}\right)^2$	$N_3 = \left(\frac{100}{0.11x+0.9}\right)^2$

シュバツパツハ氏のヨーロッパトウヒ林の収穫表から平均直径対林分本数を求めると、第45表のように $N = 148,550x^{-1.60}$ で表示できる。またこの本数は $N_1 = \left(\frac{100}{0.112x + 0.579} \right)^2 \div \left(\frac{100}{0.11x + 0.6} \right)^2$ と近似している。この試験地の立木本数はこの表よりも幾分本数が少ない。とくに間伐直後の基準本数は一層少ないので、前記の式がむしろ適合するように思われる。

4) 胸 高 断 面 積

ヨーロッパトウヒ林の 1 ha 当たり 胸高断面積は 29.70~46.31m² で、間伐直後は 29.7m² と低下しているが、最近では 46m² に肥大している。断面積の間伐率は第 46 表のように 9~25% で、材積間伐率よりやや大きな値を示している。

胸高断面積を $\frac{\pi}{4} D^2 N$ で除すと、第 46 表のように 1.017~1.051、平均 1.036 となり、これから直径の変異係数の平均 18% が算出される。すなわち、直径の変異係数 18% のトウヒ林の林分断面積は、 $\frac{\pi}{4} D^2 N$ に $\left\{ 1 + \left(\frac{C.V.}{100} \right)^2 \right\} = 1.036$ を乗ずることによって簡易に求められる。しかし一般には間伐直前の林分の変異係数は 20% を越えている。

5) 樹 幹 表 面 積

ヨーロッパトウヒ林は林分高が比較的たかいので、立木密度はやや少ないが、樹幹表面積は第 47 表の

第 46 表 ヨーロッパトウヒ林の胸高断面積と変異係数

Table 46. Basal area of Eu. spruce stand and its relating to $\frac{\pi}{4} d^2 n$.

林 齢 Age	胸 高 直 径 d.b.h. (cm)	本 数 Tree	胸高断面積 Basal area (m ²)		$\frac{G_1}{G_2}$	直径の変異係数 C.V. of d.b.h. (%)
			実 測 値 Measure G_1	計 算 値 Calculate G_2		
31	18.9	1,395	40.32	39.14	1.030	17.4
31	20.1	920	29.70	29.19	1.017	13.1
35	21.5	905	33.99	32.86	1.035	18.6
39	23.9	905	41.61	40.60	1.025	15.7
39	24.0	865	40.17	38.23	1.051	22.6
45	25.6	865	46.31	44.52	1.040	20.0
						17.9

第 47 表 ヨーロッパトウヒ林の樹幹表面積と年平均成長量

Table 47. Bole surface of Eu. spruce and its relating to the annual mean growth.

林 齢 Age (年)	平 均 Mean		1 ha 当 た り				
	胸高直径 d.b.h. (cm)	樹 高 Height (m)	本 数 Stem	幹表面積 Bole surface (S) (m ²)	年輪幅 1 mm の場合の成長 量 (m ³)	年平均成長量 Ann. mean growth (dV) (m ³)	$\frac{dV}{S}$ (mm)
31	18.9	16.7	1,395	9.989	10.0	11.0	1.10
31	20.1	17.2	920	7.213	7.2	10.0	1.37
35	21.5	18.1	905	8.428	8.4	8.6	1.02
39	23.9	19.7	905	9.659	9.7	10.1	1.05
39	24.0	19.7	865	9.271	9.8	9.3	1.07
45	25.6	20.8	865	10.428	10.4	10.1	0.97

ようにトドマツ林に準ずる値となっており、間伐前は 1.04 ha、間伐後は 0.8 ha 内外である。

樹幹表面積に 0.11cm を乗じたものが、この現林分の年平均成長量と近似している。

B. 林 分 構 造

ヨーロッパトウヒ林の直径の分散度は比較的少なく、分布の歪度もまた少ない。第 2 回間伐当時の径級対本数分布は第 48 表のようにポアソン分布型で、 $m=3.5$ であるが、第 3 回、第 4 回目の間伐からは正規分布型を示すようになり、左右対称的な均整のとれた本数分布曲線を呈するようになる。

第 48 表 ヨーロッパトウヒ林の林分構造

Table 48. Tree distribution to d.b.h. of Eu. spruce stand.

Area=面積=0.2 ha

林 齢 Age	31		39	
胸 高 直 径 d.b.h. (cm)	実 測 Measure	計 算 Calculate	実 測 Measure	計 算 Calculate
6	本	本	本	本
8	1	1		
10	5	4		
12	13	12		
14	28	26	2	2
16	37	42	7	5
18	54	54	18	12
20	63	54	17	22
22	38	42	34	32
24	24	26	31	36
26	9	12	34	32
28	4	4	14	22
30	2	1	15	12
32	1		4	5
34			3	2
36			2	
計	279	278	181	182
平 均 径 Mean d.b.h. (cm)	18.92		23.89	
直径の標準偏差 S.D. of d.b.h. (cm)	3.98		4.36	
変異係数 C.V. of d.b.h. (%)	21.06		18.26	
計 算 式 Formula	$140 \times \phi(x)$ Normal distribution		$93 \times \phi(x)$	

C. ヨーロッパトウヒ林の成長

1) 樹高、直径、断面積の各成長

50 年生のヨーロッパトウヒ林の平均高は 20.8m で、この樹高成長の経過は、第 49 表のように $H = \frac{x^2}{0.0252x^2 + 0.96x + 9}$ の式で求めることができる。

50 年生の平均胸高直径は 28.0cm で、この胸高直径成長は $D = \frac{x^2}{0.0178(x^2 - 25) + 0.65(x - 5) + 12}$ — 1.2 の式によって算出できる。

第49表 ヨーロッパトウヒ林の平均の胸高直径成長ならびに樹高成長

Table 49. Growth of d.b.h. and height of Eur. spruce stand.

林 齢 Age 年	胸 高 直 径 d.b.h.		樹 高 Height		摘 要 Note
	実 測 値 Measure (cm)	計 算 値 Calculate (cm)	実 測 値 Measure (m)	計 算 値 Calculate (m)	
31	20.1	20.1	15.3	15.3	計 算 式 Formula $D = \frac{x^2}{0.0178(x^2 - 25) + 0.65(x - 5) + 12} - 1.2$ $H = \frac{x^2}{0.0252x^2 + 0.96x + 9}$
35	21.5	22.1	16.4	16.7	
39	24.0	24.0	18.1	17.9	
45	26.7	26.2	20.0	19.6	
50	28.0	28.1	20.8	20.8	
60		31.1		22.9	

第50表 ヨーロッパトウヒ林の胸高断面積成長

Table 50. Growth of basal area of Eur. spruce stand.

林 齢 Age 年	胸高断面積 1 ha 当たり Basal area		摘 要 Note
	実 測 値 Measure (m ²)	計 算 値 Calculate (m ²)	
31	29.70	29.70	計 算 式 Formula $G = \frac{x - 9}{0.0058x + 0.561}$
35	33.99	34.04	
39	40.17	38.11	
45	46.30	43.80	
45	41.31	43.80	
50	44.38	48.18	

胸高断面積成長は間伐の前後で差が生ずるが、その平均断面積成長は第50表のように $G = \frac{x-9}{0.0058x+0.561}$ によって求めることができ、45、50年生でそれぞれ43.80、48.18m²と計算される。

以上の数式によって将来の成長を推定するに、60年生の平均高、平均径断面積はそれぞれ22.9m、31.1cm、56.1m²と計算される。

2) 中・大径木混交率

ヨーロッパトウヒ林の中・大径木混交率は第51表のように50年生で85%で、この混交率曲線は林齢を函数とする次式 $y = \frac{x^2 + 700}{8.87 + 0.00479x^2}$ で大過なく求めることができる。この値が100%となる林齢は55年生である。

3) 材 積 成 長

50年生の現林分は715本、466m³、間伐木累計は221m³、総収穫677m³である。この年平均成長量は現林分については9.3m³、総収穫については13.54m³である。

トウヒの伐期齢を平均径30cm、中・大径木の混交率を100%のときとすれば、本林では57年生をほぼ伐期齢とみることができる。

4) 幹材積の連年成長と平均成長

ヨーロッパトウヒ林はトドマツ、エゾマツに比べると当初の成長が比較的良好であるので、40年生前後の連年成長量は17.4m³で平均成長量との差は後2者のように著しくなく、第52表のように約1.5倍内

第 51 表 ヨーロッパトウヒ林の中・大径木混交率

Table 51. Mixed percent of middle and large d.b.h. classes of Eur. spruce stand.

林 齢 Age 年	中・大径木材積 Volume of m. & l. d.b.h. classes (M_1) (m^3)	総 材 積 Total volume (M_2) (m^3)	M_1/M_2 実 測 値 Measure (%)	計 算 値 Calculate (%)	摘 要 Note
31	46.9	259.8	18.1	19.4	計 算 式 Formula $y = \frac{x^2 - 700}{8.87 + 0.00479x^2}$
35	93.5	303.0	30.9	35.6	
35	93.5	306.6	30.5	35.6	
39	228.6	395.9	57.7	50.8	
39	223.5	383.2	58.3	50.8	
45	320.6	455.5	70.4	71.4	
45	316.9	447.8	71.6	71.4	
50	394.1	467.3	84.3	86.4	
50	393.9	466.0	84.5	86.4	

第 52 表 ヨーロッパトウヒ人工林の幹材積の年平均成長と連年成長

Table 52. Annual mean volume growth and current growth of Eur. spruce stand.

Area = 1 ha

林 齢 Age 年	年平均成長量 Ann. mean growth (m^3)	連 年 成 長 量 Ann. curr. growth (m^3)	成 長 率 Growing percent (%)	枯損木を含む連年成長量 Ann. curr. growth (+ Dead stem) (m^3)
31	8.39	17.35	5.36	17.46
39	9.82	10.93	2.41	11.75
50	9.32			

外で、枯損の除伐木を加えた粗連年成長量は $17.5m^3$ で、わずかに増加する程度にすぎない。トウヒ林の最近の連年成長量は $11.75m^3$ に低減してきているので、材積成長最多の伐期はそれほど高年とならない。

連年成長最盛期の 35 年生内外のトウヒ林分の成長率は 5.4% であるが、最近では 2.4% に減退している。

トウヒ林の生葉 1 トン当たりの幹材積年間生産量は $0.4 \sim 0.6m^3$ とされているので、最近の連年成長量にたいしては約 33 トンの生葉が着生していると推定できよう。

本林の土壌は A 層の厚い B/D 型土壌で深度大で、近接のトドマツ林 No. 1 と近似しており、気象条件はほとんど同一である。成長量はトドマツに比して樹高成長は大差なく、肥大成長ならびに林分成長量は若干劣るようである。

D. 天然更新と林床植生

ヨーロッパトウヒの稚苗はほとんどみられない。シュバツパツハ氏のトウヒ林の立木度よりも多少疎立しているので、陽光面から結実が可能であるが、いままでトドマツ林のような結実の頻度と豊実がみられない。ヨーロッパトウヒは稚苗時の成長がよいこと、気象害、その他への抵抗性大なる点から養苗が容易とされている。この点はトウヒの天然更新の可能性を示唆するものといえる。しかし、現在はトウヒの稚苗の発生がなく、トドマツ林 No. 1 に準じて吸着根を有する藤本類、各種広葉稚樹が優占し、これにオシダ、マイヅルソウ、クルマバソウ、フッキソウなどがかなり普遍的に散生しているが、今後これら下層

植生はいっそうの繁茂が予想されるので、ヨーロッパトウヒ林の天然更新を期待することは困難である。

IV ヨーロッパトウヒ・カラマツ混交林

まえがき：ヨーロッパトウヒとカラマツの1列交互植混交林は野幌試験林では比較的成功している。ヨーロッパトウヒとカラマツの混交林はつぎの諸点から望ましい。すなわち、常緑と落葉、陰葉と陽葉、鋭尖型と円錐型の樹冠、浅い根系と中位深度の根系との組合せ、落葉の分解の促進、病虫害への抵抗性などからみて単純な人工林よりも林分の健全性が一層期待できる。また混交林経営上の難点である成長経過や伐期も比較的近似しているので、除・間伐に注意すれば両者は調和のとれた混交林に仕立てるのがそれほど困難でない。ただしヨーロッパトウヒは立地にたいする選択性が著しく敏感であるので、トウヒの適地において混交林を仕立てなければならない。

野幌試験林には大正2年春植のこの混交林試験地があり、この収穫の測定値から混交林の取扱いと構造の推移と成長量の良否を検討することができる。以下本試験地の成績をのべよう。

A. 混交林の立木度と間伐

ヨーロッパトウヒとカラマツは交互に列状に混植したが、昭和10年19年生のときに成長の早いカラマツを重点的に間伐したので、26年生の第2回間伐当時はトウヒが多く立っていた。標準地についての正確な資料は判らないが、本数で34%、材積で23%の間伐を行なった。40年生で第3回間伐を行ない、この間に2回枯損木の除去を行なった。第2回間伐では本数でトウヒ37.1%、カラマツ10.0%、材積でトウヒ21.5%、カラマツ3.8%、第3回間伐では本数でトウヒ4.6%、カラマツ5.6%、材積でトウヒ1.7%、カラマツ2.5%の弱度間伐を行なった。46年生で第53表のように590本、379m³となり、カラマツとトウヒの材積混交率は27:73%である。

1) $d/D, v/t$

d/D は第54表のようにカラマツについては0.69、トウヒにたいしては0.94、両者平均0.90である。 v/t はカラマツでは0.38、トウヒ0.59、両者平均0.56、 t/v は1.77である。以上からみてこの取扱いは弱度上層間伐を加味した下層間伐といえる。

2) $C_w/D, C_b/H$

C_w/D 、樹間距離対平均径の比は第55表のように15.0~17.0、平均15.8で、間伐後の林分では16~17となった。 C_b/H 、すなわち正三角形配置の樹間距離対平均高は19.9~22.5、平均20.5で、間伐後の林分では21~22となった。これを上層高との比に換算すれば平均値は19.7、間伐後は19.2~21.1となる。すなわち1haの間伐後の主林木本数は $N = \left(\frac{100}{0.165D} \right)^2$ および $N = \left(\frac{100}{0.20H_T \times 0.933} \right)^2$ によってほぼ示めされ、正三角形配置の場合は $N = \left(\frac{100}{0.20H_T} \right)^2$ である。

3) 立木本数

トウヒ、カラマツ混交林の間伐後の基準本数はトウヒの基準本数 $N = \left(\frac{100}{0.11x + 0.9} \right)^2$ の2/3とカラマツの基準本数 $N = \left(\frac{100}{0.15x + 0.6} \right)^2$ の1/3を加えた値に近い。これを1つの式で表示すると第56表のように $N = \left(\frac{100}{0.127x + 0.68} \right)^2$ となり、 $N = ax^{-b}$ 式でもとめると $N = 147.600x^{-1.681}$ となる。

この混交林の立木本数をトドマツの間伐後と比較すれば、樹間距離は1.12~1.20倍で、この主林木基準本数は0.70~0.77、平均0.74倍である。陽樹のカラマツを混生しているので、それだけ立木密度が少ない。

第53表 ヨーロッパトウヒ・カ
Table 53. Growing stock and yield of mixed

林 齢 Age	樹 種 Tree kind	現 林 木 Growing stock				
		平 均 径 Mean d.b.h. (cm)	平 均 高 Mean height (m)	本 数 Tree	胸高断面積 Basal area (m ²)	材 積 Volume (m ³)
36	ト ウ ヒ Spruce	19.8	16.5	700	31.24	219
	カ ラ マ ツ Larch	23.0	19.0	200		78
40	ト ウ ヒ Spruce	23.0	18.6	440	29.37	220
	カ ラ マ ツ Larch	25.1	20.6	180		90
46	ト ウ ヒ Spruce	26.5	21.4	420	33.70	275
	カ ラ マ ツ Larch	27.3	21.9	170		104

第54表 ヨーロッパトウヒ・カラムツ

Table 54. d/D , v/t and g/G of

樹 種 Tree kind	平均径Mean d.b.h.(cm)		$\frac{d}{D}$	本 数 Trees	
	間 伐 木 Remove	全 林 木 Total		間 伐 木 Remove	全 林 木 Total
	d	D		t_1	t_2
カ ラ マ ツ Larch	17.0	24.5	0.69	20	200
ヨーロッパトウヒ Spruce	20.4	21.6	0.94	260	700
平均(計) Mean or sum	20.2	22.4	0.90	280	900

第55表 ヨーロッパトウヒ・カラムツ林の径級対本数

Table 55. Tree number to d.b.h. of the spruce and larch mixed stand.

平 均 径 Mean d.b.h. (cm)	実 測 値 Measured tree	計 算 値 Calculated number		
		N_1	N_2	N_3
20.5	920	920	920	916
22.2	900	815	805	813
23.6	620	734	726	739
26.3	620	615	605	624
26.7	590	600	590	610

Note Formula: $N_1 = \left(\frac{100}{1.27x + 0.68} \right)^2$

$N_2 = 147,600x^{-1.68125}$

$N_3 = \frac{2}{3} \left(\frac{100}{1.1x + 0.9} \right)^2 + \frac{1}{3} \left(\frac{100}{1.5x + 0.6} \right)^2$

ラマツ混交林の調査成績

stand of European spruce and Japanese larch.

面積 = 1 ha 換算, 箇所 = 31 林班い小班, 植栽年次 = 1913

		間 伐 木 Removed stem			総 収 穫 Total yield	
材 積 計 Sum of volume (m ³)	年平均成長量 Ann. mean growth (m ³)	本 数 Tree (本)	材 積 Volume (m ³)	材 積 累 計 Sum of volume (m ³)	材 積 Volume (m ³)	年平均成長量 Ann. mean growth (m ³)
297	8.25	(1,100) 20	(130) 5	135	432	12.00
310	7.73	260	64	199	509	12.72
379	8.24	30	8	207	586	12.74

混交林の d/D と v/t の関係

the spruce and larch mixed stand.

$\frac{t_1}{t_2} = t$ (t) (%)	材 積 Volume (m ³)		$\frac{V_1}{V_2} = v$ (v) (%)	$\frac{v}{t}$	$\frac{t}{v}$	$\frac{g}{G}$ (%)
	間 伐 木 Remove V_1	全 林 木 Total V_2				
10.0	3.5	93.1	3.8	0.38	2.63	4.8
37.1	60.2	279.7	21.5	0.59	1.73	25.9
31.2	63.7	372.8	17.6	0.56	1.77	19.6

第 56 表 ヨーロッパトウヒ・カラマツ林の C_w/D と C_b/H との関係Table 56. C_w/D and C_b/H of the spruce and larch mixed stand.

樹 種 Tree kind	胸高直径 d.b.h. (cm)	本数 Trees	平均径 Mean d.b.h. D (cm)	本数計 Sum of tree (n)	$\frac{100}{\sqrt{n}}$ (C_w) (m)	$\frac{C_w}{D}$ (%)	樹 高 Height H_m (m)	平均高 Mean height (m)	$\frac{100}{\sqrt{0.866n}}$ (C_b) (m)	$\frac{C_b}{H_m}$ (%)	$\frac{C_b}{H_T}$ (%)
Spruce	19.8	720	20.5	920	3.30	16.1	16.5	17.0	3.58	21.1	20.3
Larch	23.0	200					19.0				
S.	21.6	700	22.2	900	3.33	15.0	17.2	17.8	3.54	19.9	19.1
L.	24.5	200					20.1				
S.	23.0	440	23.6	620	4.02	17.0	18.6	19.2	4.32	22.5	21.6
L.	25.1	180					20.6				
S.	26.0	440	26.3	620	4.02	15.3	21.2	21.3	4.32	20.3	19.5
L.	26.9	180					21.7				
S.	26.5	420	26.7	590	4.12	15.4	21.4	21.5	4.42	20.5	19.7
L.	27.3	170					21.9				

Note : H_m = Mean height, H_T = Upper height.

4) 胸高断面積

1 ha 当たり断面積は第 57 表のように 29.4~36.6m² で、間伐後は 29.4m² となった。断面積の間伐率は材積の間伐率よりやや大きい値で、最高 23.8% になっている。胸高断面積を $\frac{\pi}{4}D^2N$ で除すと 1.042~1.018、平均 1.039 となり、林分の直径の変異係数は平均 19.8% となった。この値は直径が大となるほど小となるが、間伐後の変異係数が比較的大きいのはカラマツを主対象の上層間伐を行なったためであろう。

5) 樹幹表面積

樹幹表面積は第 58 表のように平均 1 ha 当たり 0.751ha で、間伐前は 0.790 ha、間伐後は 0.619 ha となっている。

現林分の年平均成長量は年輪幅を 0.112cm 内外として前記表面積に乗じた値にほぼ等しい。これはトドマツ林の幹表面積成長指数と近似している。

第 57 表 ヨーロッパトウヒ・カラマツ林の胸高断面積

Table 57. Basal area of mixed stand and its relating to $\frac{\pi}{4}d^2n$.

樹種 Tree kind	平均径 Mean d.b.h. (cm)	本数 Tree	実測断面積 Measured area G (m ²)	簡易計算値 $\frac{\pi}{4}d^2n$ (m ²)	$\frac{G}{\frac{\pi}{4}d^2n}$	直径の変異係数 C.V. of d.b.h. (%)
Spruce	19.8	720	31.75	30.48	1.042	20.5
Larch	(23.0)	(200)				
S.	21.6	700	36.55	35.08	1.042	20.5
L.	(24.5)	(200)				
S.	23.0	440	29.37	27.19	1.080	28.3
L.	(25.1)	(180)				
S.	26.0	440	34.47	33.59	1.026	16.1
L.	(26.9)	(180)				
S.	26.5	420	33.70	33.12	1.018	13.4
L.	(27.3)	(170)				
平均 Mean						19.8

第 58 表 ヨーロッパトウヒ・カラマツ林の樹幹表面積と成長量との関係

Table 58. Bole surface of mixed stand and its relating to the annual mean growth.

ヨーロッパトウヒ E. spruce				カラマツ J. larch				表面積 合計 Total area S (ha)	年平均 成長量 Ann.mean growth ΔV (m ³)	$\frac{\Delta V}{S}$ (mm)
平均径 Mean d.b.h. (cm)	平均高 Mean height (m)	本数 Tree	表面積 Bole surface (ha)	平均径 Mean d.b.h. (cm)	平均高 Mean height (m)	本数 Tree	表面積 Bole surface (ha)			
19.8	16.5	720	0.533	23.0	19.0	200	0.198	0.731	8.38	1.14
21.6	17.2	700	0.589	24.6	20.1	200	0.224	0.813	9.32	1.14
23.0	18.6	440	0.427	25.1	20.6	180	0.211	0.638	7.73	1.20
26.5	21.4	420	0.540	27.3	21.9	170	0.230	0.770	8.24	1.07
平均 Mean								0.751	8.42	1.12

B. 混交林の林分構造

これら林分の林分構造を直径の分散度によってみると第 59 表のように 36 年生林分のヨーロッパトウヒの直径の変異係数は 23.9%，カラマツは本数も少なく，その変異係数は 14.9% で，両者の平均値では平均径 20.5cm，変異係数 22.0% である。さらに 46 年生の均整のとれた林分についてみれば，ヨーロッパトウヒの変異係数は 16.1%，カラマツは 12.5%，両者の平均値では平均径 26.3cm，変異係数 15.0% である。この林分の間伐前後の直径の変異係数を比較すると間伐後が 1 割内外少ない値となっている。

林分の構造，すなわち直径対本数の分布型はほぼポアソン分布型を示し， m は 5 ないし 4.5 の値であり，混交林ではあるが，一般単純林と近似の構造を示し，正規分布に近い本数分布をしている。

第 59 表 ヨーロッパトウヒ・カラマツ混交林の林分構造
Table 56. Tree distribution to d.b.h. of mixed stand.

林 齢 Age	36				46			
胸 高 直 径 d.b.h. (cm)	ヨーロッ パトウヒ E. spruce	カラマツ Larch	計 Sum	計 算 値 Calculate N_1	ヨーロッ パトウヒ E. spruce	カラマツ Larch	計 Sum	計 算 値 Calculate N_2
10	1		1	1				
12	3		3	3				
14	4		4	8				
16	17	2	19	13	1		1	1
18	7	1	8	16	2		2	3
20	12	2	14	16		1	1	7
22	12	4	16	13	7	1	8	10
24	4	3	7	10	8	4	12	12
26	8	7	15	6	11	2	13	11
28	2	1	3	3	3	4	7	8
30	2		2	2	4	5	9	5
32					7	1	8	3
34					1		1	1
36								1
計 Total	72	20	92	92	44	18	62	62
平 均 径 Mean d.b.h.(cm)	20.17	23.00	20.48		25.55	26.90	26.30	
標 準 偏 差 S.D. of d.b.h.	4.82	3.43	4.49		4.17	3.36	3.93	
変 異 係 数 C.V. of d.b.h.	23.88	14.93	21.95		16.05	12.50	14.95	
計算式 Formula	$N_1 = 92 \cdot e^{-4.5} \cdot \frac{4.5^x}{x!}$				$N_2 = 62 \cdot e^{-5.0} \cdot \frac{5.0^x}{x!}$			

C. 混交林の成長量

1) 樹高，胸高直径成長

本来はカラマツがヨーロッパトウヒよりも優占して成長するが，間伐によってカラマツ優占木を除去し，カラマツはトウヒと近似の成長状態のものを残したので，最近の両者の主林木の大きさは接近してきて，46 年生の林分ではカラマツは 180 本，26.9cm，21.7m にたいしトウヒは 420 本，26.0cm，21.3m である。トウヒの分布範囲は 16～34cm，カラマツは 20～32cm で，トウヒのなかにはカラマツにまざる

成長のものもみられ、両者は混交林として望ましい状態となっている。混交林は落葉の分解や養水分や陽光の立体的利用上有効で、これら因子が収穫のうえにも影響していると思われる。

2) 中・大径木の混交率

この林分は第 1, 2 回の間伐でカラマツ優占木を除去したが、肥大成長は比較的良好で、この混交林の中・大径木の比率は第 60 表のように $y = \frac{x^2 - 260}{71.5 - 0.0284x^2}$ でほぼ示すことができ、36 年生では 35.1%、46 年生では 74% の混交率となっている。この式から 55 年生ではほとんど中・大径木で占められるようになるものと推定できる。

第 60 表 ヨーロッパトウヒ・カラマツ混交林の中・大径木混交率
Table 60. Mixed percentage of middle and large d.b.h. classes
of Spruce and Larch mixed stand.

林 齢 Age	中・大径木 M.l. class		総 材 積 Total volume V (m³)	$\frac{v}{V}$ (%)	計 算 値 Calculate (%)
	Volume (m³)	Sum of volume v (m³)			
36	70.77 (40.54)	111.3	317.5	35.1	38.0
40	113.90 (58.57)	172.5	372.8	46.3	52.2
40	105.87 (58.57)	164.4	309.0	53.2	52.2
46	200.95 (82.19)	283.1	386.4	73.3	73.4
46	200.95 (82.19)	283.1	378.9	74.7	73.4

Note Formula: $y = \frac{x^2 - 260}{71.5 - 0.0284x^2}$

() = Volume of Larch.

Non () = Volume of Spruce.

3) 材 積 成 長

第 1, 2 回間伐木を 130m³ と推定すれば、3 回目の間伐量 64m³ とその他 枯損木などの伐採木 13m³ を加えて累計 207m³ となる。主林木は 36 年生で 900 本、297m³、46 年生で 590 本、379m³ となる。この混交の内訳はヨーロッパトウヒ 420 本、275m³、カラマツ 170 本、104m³ である。主林木に 間伐木累計を加えた総収穫は 586m³ で、この年平均成長量は 12.74m³ である。

この混交林の平均径が 30cm となり、全林木が中径木以上の大きさとなる場合を伐期齢とすれば、この林分では 55 年生内外の林齢となろう。

4) 幹材積の連年成長と平均成長

ヨーロッパトウヒ、カラマツ混交林の土壌は前記ヨーロッパトウヒ林に比べて A 層や A・B 層がむしろ浅くて、良好な土地とはいわれないが、連年成長量はトウヒ純林よりも大で、第 61 表のように 38 年生内外で 19m³ 内外となっている。しかし最近の連年成長量は低減の傾向がみられ、12.9m³ となっている。

林分の成長率は 38 年生内外の 300m³ の林分では 5.7% であるが、最近の成長率は 3.7% である。しかし短伐期の陽樹の混交のわりに成長量の低減度の少ないのは樹種混交による陽光、養水分の有効な利用に

第 61 表 トウヒ・カラマツ人工林の幹材積の年平均成長と連年成長

Table 61. Annual mean volume growth and calculate growth of mixed stand.

林 齢 Age (年)	年平均成長量 Ann. mean growth (m^3)	連年成長量 Ann. calculate growth (m^3)	連年成長率 Growing percent (%)
36	8.25	18.98	5.67
40	7.73	12.90	3.71
46	8.24		

よるものであろう。

この混交林は生態的に安定、合理的であるとともにカラマツを早期に間伐利用でき、経済的にも有利であるが、植栽適地と取扱いに十分留意しなければならない。

D. 天然更新と林床植生

カラマツは崩壊地過放牧地ないし畑周縁の裸出地に生え、天然更新しているが、暗い林内では稚苗の発生、生育をみることがない。トウヒの発生生育も前述のように困難である点から林床にはこれら上木の稚樹がみられない。現在林内は各種広葉稚樹がよく生育しており、その地床には吸着根を有する藤本類が優占し、これにクマイザサや各種草本類が混生している。遠からず下層が広葉稚樹で密におおわれるであろう。したがって上木の天然更新は困難である。

V ストローブマツ人工林

まえがき：ストローブマツは本道に導入された外国樹種中最も造林の期待される樹種である。北米東部の北緯 35°～50° にまたがって分布し、その郷土の気候は本道とよく近似し、本道における成長は郷土地方と遜色のないよい成績で、とくに郷土地方に多いハッシンサビ病の夏胞子の寄生たるスグリ属の低木は本道には稀少なので、これら病菌害の伝播の心配も少なく、また郷土の伐採跡地に多いゾウムシの被害も現在本道にはみられない。

ストローブマツは明治 11 年に初めて札幌育種場で播種養苗されたが、現在残っている最も古い人工林は旭川市外神楽の外国樹種見本林に明治 31 年に植えられたもので、昭和 29 年 15 号台風によってかなりの倒壊木が生じたが、現在もよい生育をしている。

野幌試験林のストローブマツ人工林は明治 42 年植栽のものがもっとも古く、ついで大正 2～6 年に植栽されている。山部の東大演習林、苫小牧の北大演習林のものは大正初期に植えられたものが多く、鉄道防雪林には大正末期から昭和の初期に植えられている。

ストローブマツ人工林の生育状況は各地とも良好で、とくに山部東大演習林では広面積の人工林があり、これらの成績は高橋延清氏によって紹介されている。本州にも群馬県の小根山国有林、東京都の浅川実験林、千葉県の新大演習林などに本道と同年代の人工林があるが、生育状況は本道より幾分劣るようである。

野幌のストローブマツ人工林は 4 か所に植栽されているが、大正 2 年春植のものは 15 号台風によって倒壊し、大正 5 年春植区はバス道路開設のため林縁の一部伐採を行なったなどのため、収穫試験地は明治 42 年植栽の 41 林班の 3 プロットとなった。

第62表 ス ト ロ ー プ マ ツ
 Table 62. Growing stocks and yields

試験地 Plot 林小班 Division	林 齢 Age	現 林 木 Growing stock				
		平 均 Mean		1 ha 当 た り		
		胸高直径 d.b.h. (cm)	樹 高 Height (m)	本 数 Tree	胸高断面積 Basal area (m ²)	材 積 Volume (m ³)
1 41ほ	30.5	23.8	16.9	700	31.68	242
	39	28.7	18.7	700	46.35	396
	41	31.8	19.1	530	41.16	354
	44	33.1	20.5	530	46.16	406
	51	35.8	22.1	530	53.02	502
2 41ほ	30.5	21.4	15.7	840	31.56	233
	39	25.5	18.6	830	44.12	380
	41	28.6	19.5	590	39.00	346
	44	30.8	20.4	550	42.94	393
	51	33.6	21.8	550	50.21	478
3 41ほ	30.5	19.9	15.0	1,040	33.07	242
	39	23.9	16.8	1,008	46.17	387
	44	27.7	19.1	710	44.41	390
	51	30.1	20.7	690	50.79	474

以下これら試験地の成績について述べよう。

A. ストローブマツ林の調査成績・立木度と間伐

野幌のストローブマツ林の調査成績は第62表のごとく、第1回間伐は本試験地の設定前に行なわれたので、明らかな数値を把あくしにくいのが、伐株の数と大きさからその概数を推定した。No. 1, 2 は中庸度の間伐を遅滞なくくり返し、No. 3 は間伐がやや遅れて立木度のたかい場合である。

ストローブマツ林がどのように取り扱われてきたか、つぎの方法で検討しよう。

1) 正規分布式による検討

ストローブマツ林の間伐木 d_1 対主林木 d_2 の直径比の2乗は第63表のように弱度、中庸度の間伐の中間の値に近似する。すなわち直径対本数の分布を正規分布とし、本数間伐率32%内外の中庸度の下層間伐を行なったとすれば、この d_1/d_2 の2乗はつぎの式で示される。

$$\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\left(d - \frac{\sigma}{2}\right)^2}{(d + 0.38\sigma)^2} + \frac{(d - \sigma)^2}{(d + 0.47\sigma)^2} \right\}$$

$$\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 = \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{1 - \frac{C \cdot V \cdot}{200}}{1 + \frac{0.38 C \cdot V \cdot}{100}} \right)^2 + \left(\frac{1 - \frac{C \cdot V \cdot}{100}}{1 + \frac{0.47 C \cdot V \cdot}{100}} \right)^2 \right\}$$

$(d_1/d_2)^2$ の実測値は0.533~0.740、この式から計算した直径の変異係数は16~24%である。他方これ

人工林の成長と収穫
of Eastern white pine stand.

Area=面積=1 ha 当たり換算

Planted year=植栽年次=1910

Division=41林班は小班

	間伐木 Removed tree			総材積 Total yield	
	1 ha 当たり			1 ha 当たり	
年平均成長量 Ann. mean growth (m ³)	本数 Trees	材積 Volume (m ³)	材積累計 Sum of volume (m ³)	材積 Volume (m ³)	年平均成長量 Ann. mean growth (m ³)
7.93	(1,180) 420	(100) 95	195	437	14.33
10.15			195	591	15.15
8.63	170	71	266	620	15.12
9.23			266	672	15.27
9.84			266	768	15.06
7.64	(850) 560	(70) 109	179	412	13.51
9.74	10	4	183	563	14.46
8.44	240	77	260	606	14.78
8.93	40	15	275	668	15.12
9.37			275	753	14.76
8.16	(720) 410	(50) 63	113	355	11.64
10.21	40	8	121	508	13.03
9.16	280	78	199	589	13.38
9.47	20	5	204	678	13.30

ら林分について実測した直径の変異係数は 15.2~24.6% とほぼ一致するので、この間伐は上式で大過なく示すことができ、間伐度合は A, B 度の中間に位している。

2) d/D , v/t

d/D_1 , すなわち 間伐木径対全平均径の比は第 63 表のように 0.79~0.92, 平均 0.83, d/D_2 , 間伐木径対主林木径の平均は 0.79 である。 v/t , 間伐木の材積率対本数率の比は 0.58~0.80, 平均 0.70 である。両者の数値からみて本試験地の間伐は下層木を対象とする中庸度の間伐とみることができよう。

3) C_W/D

樹間距離対平均径を検討すると第 64 表のように 13.6~16.1, 平均 15.1 である。間伐後間もない林分は 16 内外で、トドマツ林の平均 14.44 にくらべると数値が大きい、ストロブマツの陰陽性は半陰樹であるので、立木本数は陰樹のトドマツに比べると少なく、1 ha 当たり平均立木本数は $N = \left(\frac{100}{0.15D} \right)^2$ として計算することができる。

4) C_o/H

正三角型配置の樹間距離対平均高の比は、第 64 表のように 22.0~24.0, 平均 23.3 の値で、間伐後間もない林分では 23.6~24.0 となっている。これを上層高との比に換算すれば平均値は 22.4, 間伐後の林分は 22.7~23.0% となる。これはヨーロッパトウヒ林の 18.6% に比べて大きい値を示すのはストロブ

第 63 表 ストローブマツ林の間伐と d/D と v/t
Table 63. d/D and v/t of E. white pine stand.

試 験 地 Plot				3	2	1	3	2	1
林 齢 Age				30.5	30.5	30.5	30.5	41	41
Mean d.b.h.	間伐木の平均径	Remove	d	16.0	18.3	19.7	20.1	21.5	24.2
	全林木の "	Total	D_1	18.9	20.0	22.2	25.6	26.6	29.7
	主林木の "	Main	D_2	19.9	21.4	23.8	27.7	28.6	31.8
	d/D_1			0.84	0.92	0.89	0.79	0.81	0.81
	d/D_2			0.81	0.86	0.83	0.73	0.75	0.76
	$(d/D_2)^2$			0.656	0.740	0.689	0.533	0.563	0.578
Trees	間伐木の本数	Remove	t_1	410	560	420	280	240	170
	全林木の "	Total	T_2	1,460	1,410	1,120	990	830	700
	$t_1/T_2=t(\%)$			28.1	39.7	37.5	28.3	28.9	24.3
Volume	間伐木の材積	Remove	v_1	62.7	109.5	95.5	78.4	76.5	71.5
	全林木の "	Total	V_2	306.4	343.8	337.6	481.6	422.7	425.5
	$v_1/V_2=v(\%)$			20.5	31.9	28.1	16.3	18.1	16.8
	$t:v$			1.37	1.24	1.33	1.74	1.60	1.45
	$v:t$			0.73	0.80	0.75	0.58	0.63	0.69
Basal area	間伐木の断面積	Remove	g_1	9.325	15.527	13.190	9.134	8.937	8.297
	全林木の "	Total	G_2	42.379	46.987	44.873	55.068	47.933	49.456
	$g_1/G_2=g(\%)$			22.0	33.0	29.4	16.6	18.6	16.8

第 64 表 ストローブマツ林の間伐 C_w/D と C_b/H
Table 64. C_w/D and C_b/H of E. white pine stand.

胸高直径 d.b.h. D (cm)	本 数 Tree	$\frac{100}{\sqrt{n}}$ (C_w) (m)	$\frac{C_w}{D}$ (%)	樹 高 Height H_M (m)	$\frac{100}{\sqrt{0.866n}}$ (C_b) (m)	$\frac{C_b}{H_M}$ (%)	$\frac{C_b}{H_T}$ (%)
19.9	1,060	3.06	15.4	15.0	3.30	22.0	21.1
21.4	840	3.45	16.1	15.7	3.71	23.6	22.7
23.8	700	3.78	15.9	16.9	4.06	24.0	23.0
28.6	590	4.12	14.4	18.7	4.42	23.6	22.7
31.8	530	4.34	13.6	19.1	4.47	23.4	22.5

Note : H_M =Mean height
 H_T =Upper height

マツの半陰樹の樹性と直径の肥大のわりに樹高の低い点にも基因しよう。ストローブマツ林の平均立木本数は $N = \left(\frac{100}{0.224H \times 0.933} \right)^2$ によって求められ、正三角形配置に密にたつ場合には $N = \left(\frac{100}{0.224H} \right)^2$ となる。

5) 基準本数との比較

ストローブマツの立木本数は第 65 表のようにトドマツの間伐後の本数の 0.93、平均本数の 0.80 の値である。ストローブマツの間伐後の基準本数は $N = \left(\frac{100}{ax+b} \right)^2$ によって求めることができる。立木本数を間伐後の経過年次に応じ間伐前と間伐後とに大別すれば、第 65 表のように間伐前 ないしこれに近い林分は $N = \left(\frac{100}{0.107x+0.527} \right)^2$ 、間伐後 ないし経過の短い林分は $N = \left(\frac{100}{0.115x+0.8} \right)^2$ によってもとめら

第 65 表 ストローブマツ林とトドマツ主林木基準本数との比較

Table 65. Tree numbers to mean d.b.h. of E. white pine stand and its relating to the stand number.

平均径 Mean d.b.h. x (cm)	樹間距離 $\frac{100}{\sqrt{n}}$ (m)	実測本数 Tree (t)	$\left(\frac{100}{0.1x+1}\right)^2$ (t_1)	$\frac{t}{t_1}$	$\left(\frac{100}{0.12x \times 0.8}\right)^2$ (t_2)	$\frac{t}{t_2}$
19.9	3.10	1,060	1,118	0.95	984	1.08
21.4	3.45	840	1,014	0.83	881	0.95
23.8	3.78	700	876	0.80	748	0.94
27.8	3.70	730	700	1.04	585	1.25
28.6	4.12	590	671	0.88	558	1.06
30.1	3.81	710	622	1.16	514	1.38
30.8	4.26	550	600	0.92	495	1.11
31.2	4.34	530	590	0.90	484	1.10
35.2	4.34	530	489	1.08	396	1.34

第 66 表 ストローブマツ林の径級対本数

Table 66. Tree distribution to d.b.h. of E. white pine stand.

間伐前 Before thinning				間伐後 After thinning			
平均径 Mean d.b.h. (cm)	実測値 Measure	計算値(1) Calculate y_1	計算値(2) Calculate y_2	平均径 Mean d.b.h. (cm)	実測値 Measure	計算値(1) Calculate y_1	計算値(2) Calculate y_2
18.9	1,460	1,539	1,426	19.9	1,040	1,048	945
20.0	1,410	1,406	1,352	21.4	840	941	865
22.2	1,120	1,187	1,166	23.8	700	799	759
23.7	1,030	1,066	1,028	28.6	590	598	607
25.6	990	937	920	31.8	530	504	533
26.6	830	879	903				
27.8	730						
29.7	700	729	773				
30.1	690	712	728				
35.8	530	527	594				
摘 要 Note	計 算 式 Formula :						
	(1) $y_1 = \left(\frac{100}{0.107x + 0.527}\right)^2$ (2) $y_2 = 99,700 x^{-1.445}$			(1) $y_1 = \left(\frac{100}{0.115x + 0.8}\right)^2$ (2) $y_2 = 36,310 x^{-1.22}$			

れる。間伐後の式は多少の年次を経過したものも含まれるので、間伐直後の林分の本数は一層少ない。すなわち前述のように本数の約 32% の間伐の場合には間伐直後の本数はこれよりも 8% 少なくなる。したがってこの場合の本数式は $N = \left(\frac{100}{0.12x + 0.83}\right)^2$ となる。これを簡易化して、間伐直後の本数は $N = \left(\frac{100}{0.12x + 0.8}\right)^2$ とみても大過ないであろう。

ストローブマツ林の立木本数を $N = ax^{-b}$ 式で計算すれば間伐前ないしこれに近い林分は、 $N = 99,700 D^{-1.445}$ 、間伐後ないし経過の短い林分は $N = 36,310 D^{-1.22}$ とみて大過ないようである。

第 67 表 ストローブマツ林の胸高断面積 (1 ha 当たり)

Table 67. Basal area of E. white pine stand and relating to $\frac{\pi}{4}d^2n$.

試験地 Plot	林 齢 Age	平 均 径 Mean d.b.h. (cm)	本 数 Tree	胸高断面積 Basal area		$\frac{G_1}{G_2}$	直 径 の 変異係数 C.V. of d.b.h. (%)
				実 測 値 Measure (G_1) (m^2)	$\frac{\pi}{4}d^2 \cdot n$ (G_2) (m^2)		
1	30.5	22.2	1,120	44.87	43.35	1.035	18.8
1	30.5	23.8	700	31.68	31.14	1.008	9.1
1	39	28.7	700	46.35	45.29	1.023	15.2
1	41	29.7	700	49.46	48.50	1.020	14.1
1	41	31.2	530	41.16	40.50	1.015	12.3
1	44	33.1	530	46.16	45.61	1.012	11.0
1	51	35.8	530	53.02	52.39	1.012	11.0
2	30.5	20.0	1,410	46.99	44.30	1.061	24.6
2	30.5	21.4	840	31.26	30.21	1.035	18.6
2	39	25.5	840	44.66	42.90	1.041	20.3
2	41	26.6	830	47.93	46.13	1.016	12.8
2	41	28.6	590	38.99	37.90	1.029	17.0
2	44	30.5	590	44.25	43.11	1.027	16.3
2	44	30.8	550	42.94	40.98	1.048	21.9
2	51	33.6	550	50.21	48.77	1.030	17.3
3	30.5	18.9	1,460	42.38	40.96	1.035	17.4
3	30.5	19.9	1,040	33.07	32.35	1.022	10.9
3	39	23.9	1,030	47.26	45.44	1.040	19.8
3	44	25.6	990	55.07	50.96	1.081	39.7
3	44	27.7	710	44.41	42.79	1.038	18.8
3	51	30.1	690	50.79	49.10	1.034	16.9
平 均 Mean						1.034	18.3

6) 胸 高 断 面 積

現林分の胸高断面積は第 67 表のように $31.3 \sim 55.1 m^2$ と、かなり広い範囲にまたがっている。間伐直後の林分の断面積は $31 \sim 40 m^2$ である。断面積の間伐率は $16.6 \sim 33.0\%$ で、材積間伐率よりやや大きな率となっている。

胸高断面積と $\frac{\pi}{4}D^2N$ との比は $1.012 \sim 1.051$ 、平均 1.034 で、間伐後の経過の浅い林分では平均 1.022 である。

この比の小さいのはストローブマツ林の直径の変異係数の平均が 18.3% で、トドマツ林の平均 23% に比して小なる値のためである。

7) 樹 幹 表 面 積

ストローブマツ各林分の樹幹表面積は第 68 表のように $0.64 \sim 1.076 ha$ 、平均 $0.85 ha$ 、間伐後の林分では $0.67 ha$ 内外の値となっている。これはトドマツ林よりも小さい値である。

ストローブマツ林の主林木の成長量はほぼトドマツ林に匹敵するが、肥大成長は一層盛んで前記表面積にたいし年輪幅 $1.16 mm$ 内外を乗じたものが主林木の年平均成長量と近似の値となっている。概して径級が大になるほど年輪幅は狭くなる傾向がみられるが、立木密度の影響があって簡易に決められない。

第 68 表 ストローブマツ林の樹幹表面積の成長量指数

Table 68. Bole surface of E. white pine stand and its relating to the annual mean growth.

試験地 Plot	林 齢 Age (年)	平均径 Mean d.b.h. (cm)	平均高 Mean height (m)	本 数 Tree	樹幹表面積 Bole surface (S) (ha)	年平均成長量 Ann. mean growth ΔV	$\frac{\Delta V}{S}$ (mm)
3	30.5	18.9	14.5	1,460	0.889	10.26	1.15
3	30.5	19.9	15.0	1,040	9.705	8.16	1.16
2	30.5	20.0	15.0	1,410	0.959	11.27	1.21
2	30.5	21.4	15.7	840	0.640	7.64	1.23
2	30.5	22.2	16.0	1,120	0.901	11.07	1.27
3	39	23.9	16.7	1,030	0.925	10.41	1.13
1	30.5	23.8	16.9	700	0.638	7.94	1.28
2	39	25.5	18.6	840	0.903	9.84	1.12
3	44	25.6	18.7	990	1.076	10.95	1.02
2	41	26.6	19.0	830	0.951	10.31	1.12
2	41	28.6	19.5	590	0.746	9.26	1.28
1	41	29.7	18.9	700	0.891	10.38	1.20
3	51	30.1	20.7	690	0.976	9.60	0.98
2	44	30.5	20.4	590	0.832	9.26	1.15
2	44	30.8	20.4	550	0.783	8.92	1.17
1	41	31.8	19.1	530	0.717	8.63	1.24
1	51	35.8	22.1	530	0.934	9.84	1.09
1	44	33.1	20.5	530	0.815	9.22	1.17
2	51	33.6	11.8	550	0.913	9.37	1.06
平 均 Mean							1.16

B. 林 分 構 造

林分構造を直径の分散によってみれば第 69 表のようにその変異係数は 22.5~13.5% の範囲で、トドマツ林よりも小である。直径の変異係数は間伐後は間伐前よりも 1~2 割少ない数値を示し、また平均径が

第 69 表 ストローブマツ林の径級対本数分布

Table 69. Tree distribution to d.b.h. of E. white pine stand.

Plot area = 試験地面積 = 0.1ha

試験地 Plot	2		2		2	2
林 齢 Age	30.5		41		44	52
間伐前・後 Thinning period	間伐前 Before	間伐後 After	間伐前 Before	間伐後 After	間伐後 After	
本 数 Trees	141	84	83	59	55	55
胸高直径 d.b.h. Range (cm)	10~32	10~32	14~40	18~40	20~42	22~44
平均径 Mean d.b.h. (cm)	20.1	21.6	26.7	28.6	31.1	34.0
直径の 標準偏差 S.D. of d. (cm)	4.53	4.11	5.52	4.58	4.57	4.57
直径の 変異係数 C.V. of d. (%)	22.52	19.03	20.67	16.94	14.49	13.46

第 70 表 ス ト ロ ー プ マ

Table 70. Tree distribution to

Plot	2	3	計		2	3	計	
面積 Area	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2
林齢 Age	30.5	30.5			39.0	44.0		
胸高直径 d.b.h. (m)	実 測 値 Measure			計 算 値 Calculate	実 測 値 Measure			計 算 値 Calculate
10	2		2	2				
12	1	1	2	8				
14	20	7	27	21	1	3	4	1
16	13	13	26	35	4	3	7	4
18	24	25	49	43	3	4	7	10
20	25	18	43	43	7	19	26	17
22	18	17	35	36	11	10	21	24
24	17	18	35	26	16	8	24	28
26	11	4	15	16	8	9	17	28
28	5	1	6	9	12	11	23	24
30	4		4	4	11	10	21	19
32	1		1	2	4	13	17	13
34					5	5	10	8
36					1	3	4	5
38					1		1	3
40								1
42						1	1	
44								
46								
計	141	106	245	245	84	101	185	185
平均径 Mean d.b.h.	20.0	19.9			25.5	25.7		
注 Note	$N=245 \cdot e^{-5} \frac{5^x}{x!}$				$N=185 \cdot e^{-7} \frac{7^x}{x!}$			

大になるにしたがって変異係数は小さい値となっている。すなわち、間伐後の平均径 21.6cm の林分の変異係数は 19.03% であるが、平均径 31.1cm の林分では 14.49% となり、伐期に近づくにしたがい直径の偏差の少ない均整のとれた構造の林分に推移することを示している。

ストロブマツ林の直径対本数分布曲線の型を検討すると第 70 表のようにポアソン型分布から下層間伐によって正規分布型に推移している。ポアソン分布の m が 5 ~ 7 の値となるのは平均径の大なる点と歪度の少ないことを示めすものである。

ストロブマツの樹高曲線は第 71 表のように平均径 25.5cm, 平均高 18.6m 内外の林分では $y = 25.75e^{-\frac{9.728}{x}} + 1.3$ であるが、平均径 35.8cm, 平均高 22.1m 内外の林分では $y = 26.97e^{-\frac{12.097}{x}} + 1.3$ となっている。この曲線はトドマツ林と大差ないが、曲線のカーブがやや急のようである。

ツ 林 の 林 分 構 造

d.b.h. of E. white pine stand.

3	2	1	計		1	2	計	
0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.1	0.1	0.2	0.2
51	44	44			44	51		
実 測 値 Measure				計 算 値 Calculate	実 測 値 Measure			
1			1					
1		1	2	1				
3	2	5	10	3				
6	3	1	10	7		1	1	1
6	3	3	12	13	1		1	1
5	6	5	16	22	3	3	6	5
8	9	8	25	30		9	9	10
8	7	21	36	34	5	4	9	16
10	9	11	30	32	18	6	24	21
9	10	8	27	25	13	8	21	21
8	5	5	18	16	7	7	14	16
4	3	2	9	9	3	9	12	10
1	1		2	5	3	6	9	5
	1		1	3		1	1	1
				1		1	1	1
1			1					
71	59	70	202	202	53	55	108	108
29.9	30.5	29.7			33.1	33.6		
$N = 101 \cdot e^{-\frac{7x}{x!}} + 50\phi(x)$					$N = 54 \cdot \phi(x)$			

C. ストローブマツ林の成長

1) 樹高, 直径, 断面積成長

ストローブマツ林の樹高成長は51年生の平均高21.6mで、その成長経過は第71表のように $H = \frac{x^2}{0.0257x^2 + 0.846x + 10.5}$ の式で示され、トドマツ林 No. 1 の成長と近似している。

51年生の林分の平均胸高直径は33.3cmで、その成長経過は第72表のように $D = \frac{x^2}{0.00108(x^2 - 9) + 0.834(x - 3) + 8.5} - 1.4$ の式で求めることができ、トドマツ林 No. 1 よりも肥大成長が良好である。

胸高断面積成長は間伐後ないし経過の浅い林分と、間伐前ないしこれに近い年次で大別でき、間伐後の林分は第73表のように $G_1 = \frac{x-9}{0.125x + 0.25}$ 、間伐前の林分は $G_2 = \frac{x-7}{0.0114x + 0.21}$ の値とみることができ、51年生で前式では45.3m²、後式では55.5m²と計算される。これを間伐の直前と直後の断面積に換算するには、前述のように5%内外の増減を必要とするもので、51年生の間伐直後の断面積は42.5

第 71 表 ストローブマツ林の樹高曲線
Table 71. Height to d.b.h. of E. white pine stand.

Plot 林 齡 Age	1 44		1 51	
胸 高 直 径 d.b.h. (cm)	実 測 値 Measure (m)	計 算 値 Calculate H_1 (m)	実 測 値 Measure (m)	計 算 値 Calculate H_2 (m)
16	14.8	15.3		
18	17.7	16.3		
20	17.4	17.1		
22	17.5	17.9		
24	18.3	18.5		
26	18.4	19.0	19.7	19.9
28	19.2	19.5	20.9	20.6
30	19.5	19.9	21.8	21.1
32	20.3	20.3	21.3	21.6
34	21.0	20.6	21.6	22.1
36	22.0	20.9	22.6	22.5
38			22.4	22.9
40			23.0	23.2
42			24.0	23.6
44			24.0	23.8
平均径 Mean d.b.h.(cm)	25.5		35.8	
平均高 Mean height (m)	18.6		22.1	

注 Note : $H_1 = \begin{cases} a=25.75 \\ b=9.728 \end{cases}$ $H_2 = \begin{cases} a=26.97 \\ b=12.097 \end{cases}$
 $H = ae^{-\frac{b}{x}} + 1.3$

第 72 表 ストローブマツ林の胸高直径成長と樹高成長
Table 72. Growth of d.b.h. and height of E. white pine stand.

林 齢 Age	胸 高 直 径 d.b.h. (cm)		樹 高 Height (m)	
	実 測 値 Measure	計 算 値 Calculate	実 測 値 Measure	計 算 値 Calculate
30.5	21.7	22.2	15.9	15.8
39	26.4	27.1	18.0	18.5
41	30.2	28.2	19.3	19.1
44	30.5	29.9	20.0	19.9
51	33.3	33.3	21.6	21.5

摘要 Note Formula : $D = \frac{x^2}{0.0108(x^2-9)+0.834(x-3)+8.5} - 1.4$
 $H = \frac{x^2}{0.0257x^2+0.846x+10.5}$

第73表 ストローブマツ林の胸高断面積成長
Table 73. Growth of basal area of E. white pine stand.

林 齢 Age	間 伐 前 Before thinning (m ²)				間 伐 後 After thinning (m ²)			
	実 測 値 Measure		計 算 値 Calculate		実 測 値 Measure		計 算 値 Calculate	
30.5	42.4	44.9	47.0	42.1	31.3	31.7	33.1	32.0
39	44.7	46.4	47.3	47.4				38.6
41		49.5	47.9	50.2	39.0	41.2		39.9
44	55.1			52.0	42.9		46.2	41.7
51	51.4	53.0	53.1	55.5				45.3
Formula	$y = \frac{x-7}{0.0114x+0.21}$				$y = \frac{x-9}{0.0125x+0.25}$			

m² とみることができる。この断面積成長は立木本数が少ないのでトドマツ林よりも小さい値となっている。

2) 中・大径木混交率

No. 1 は肥大成長がもっともよく, No. 3 は立木度の密な点もあって肥大成長が劣っている。44年生の中・大径木の混交率は第74表のように No. 1 では99%, No. 2 は95%, No. 3 は84%で, この混交率の増加曲線は No. 1 では $y = \frac{x^2-300}{17.5+0.00066x^2}$ で示すことができ, No. 2 は $y = \frac{x^2-200}{28.4+0.00147x^2}$, No. 3 では $y = \frac{x-28}{0.0002x+0.25}$ として計算することができる。この混交率は No. 1, 2 ではトドマツよりも良好である。

3) 材 積 成 長

ストローブマツ林の主林木の幹材積は51年生で No. 1, 2, 3 ではそれぞれ502, 478, 474m³ となり, きわめて盛んな材積成長をしている。

第74表 ストローブマツ林の中・大径木混交率
Table 74. Mixed percent of middle and large d.b.h. classes of E. white pine stand.

試 験 地 Plot		1			2			3		
林 齢 Age	間伐の前・後 Before or after thinning	中・大径 木の材積 Volume of m.l. (m ³)	中・大径 木の材積 Percent of m.l. (%)	計算値 Calculate M ₁ (%)	中・大径 木の材積 Volume of m.l. (m ³)	中・大径 木の材積 Percent of m.l. (%)	計算値 Calculate M ₂ (%)	中・大径 木の材積 Volume of m.l. (m ³)	中・大径 木の材積 Percent of m.l. (%)	計算値 Calculate M ₃ (%)
30.5	間伐前 Before	128.4	38.1		98.7	28.7		21.6	7.0	
	間伐後 After	119.4	49.3	49.7	78.7	33.8	33.8	21.6	8.9	9.8
39	間伐前 Before	350.0	88.3		254.4	66.3		240.6	61.0	
	間伐後 After	359.4	90.7	80.6	250.5	65.9	64.7	240.6	62.2	42.7
41	間伐前 Before	395.5	93.0		324.8	76.8				
	間伐後 After	349.9	96.9	88.7	310.2	89.6	75.1			
44		402.0	99.1		379.9	93.2		318.0	66.0	61.8
44					374.2	95.3	93.2	324.0	83.1	
51		501.6	100.0	100.0	474.4	99.3		421.1	88.0	88.4
摘要 Note	Formula :	$M_1 = \frac{x^2-300}{17.5+0.00066x^2}$			$M_2 = \frac{x^2-200}{28.4+0.00147x^2}$			$M_3 = \frac{x-28}{0.0002x+0.25}$		

間伐木は第 1 回目は推定値であるが、その後の実測値を累計すれば、51 年生の各試験地の間伐収穫はそれぞれ 266, 275, 204m³ となった。

総収穫は No. 1, 2, 3 でそれぞれ 768, 753, 678m³ で、これの年平均成長量は 15.1, 14.8, 13.3m³ である。

ストロープマツ林の今後の成長を前記成長曲線式で予測するに、60 年生で平均径 36cm となる。構築、製材対象の伐期齢はほぼ 60 年、パルプと小用材対象の伐期齢を平均径 30cm とすれば約 42 年生で達し得られる。したがってストロープマツ林はカラマツに次ぐ短伐期の樹種と考えることができる。

平均高、平均径をそれぞれ変異係数に応じて中央高と断面積の平均径に換算して単木材積を求め、本数曲線に乗じて主林木材積を算出し、間伐木も変異係数に応じて主林木との単木材積の比率を求めれば、60 年生の収穫は主林木は 577m³、総収穫は 857m³ と見積って大過ないであろう。

4) 幹材積の連年成長と平均成長

ストロープマツ林の連年成長量は第 75 表のように 35 年生前後が盛んで 19m³ 内外となり、平均成長量の 2 倍以上であるが、最近 44~51 年間は各プロットを通じて低下し、12.2~13.7m³ となっている。連年成長率は 35 年前後の 320m³ の林分では 6% 内外であるが、最近では 2.93% 内外に低下している。このような連年成長量の低下から、現在 51 年生のストロープマツ林の材積成長量最多の伐期は近い将来に到来することがうかがわれる。現在主林木の年平均成長量は 9.5m³、総収穫の年平均成長量は 14.7m³ である。

千田・佐藤 (1956) によれば、ストロープマツ林の生葉 1 トンの年間の幹材積生産量は 0.9~1.0m³ とされているので、13~19m³ の生産には 14~20 トン内外の生葉を必要としよう。ストロープマツ林の 1 ha 当たりの生葉量は千田・佐藤は 18~20 トン、BURGER (1929) は 16~20 トンとしているが、本林の生葉は 14~20 トンと推定して大過ない。

第 75 表 ストロープマツ人工林の幹材積の年平均成長と連年成長

Table 75. Annual mean volume growth and current growth of E. w. pine stand.

プロット 番 Plot	林 齢 Age (年)	年平均成長量 Ann. mean growth (m ³)	連年成長量 Ann. current growth (m ³)	同 成 長 率 Growing percent. (%)	枯損を含む 連年成長量 Ann. current growth (+dead stem) (m ³)
1	30.5	7.93			
	39	10.15	19.28	6.04	
	44	9.23	16.19	4.14	
	51	9.84	13.69	3.02	
2	30.5	7.64			
	39	9.74	18.85	6.11	
	41	8.44	21.44	5.34	
	44	8.93	20.42	5.42	
	51	9.37	12.19	2.80	
3	30.5	8.16			
	39	10.21	19.04	6.05	19.94
	44	9.16	15.67	3.67	
	51	9.47	12.69	2.97	13.40

D. 天然更新と林床植生

ストロブマツの稚苗はほとんどみられない。ストロブマツ林の立木度が、結実を妨げてきたとは考えられない。また現林分は 51 年生、平均径 30cm 内外で、すでに結実齢に達しているが、天然更新ができなかったのは、他の木・藤・草本類が密に林床をおおって、ストロブマツ稚苗の生育を許さない状態にあったからであろう。

ストロブマツ林の林床はヤチダモなどの各種広葉稚樹と混じてオシダ、フッキソウ、ムカゴイラクサ、ナガバシラネワラビ、クマイザサ、ツタウルシ、イワガラミ、ツルアジサイなどが、密におおっている。前述の人工林に比べると、オシダ、フッキソウなどの普遍種がみられ、天然林の安定した植生型に近づいている。しかし半陰樹のストロブマツに豊実年があっても、この盛んな林床植生に打ちかって稚苗が生育することは困難であろう。

VI グイマツ人工林

まえがき：グイマツはアイヌ語の呼び名クイからきたもので、本種はまたシコタンマツ、チシマカラマツ、カラフトカラマツなど産地の地名のついた呼び名がある。グイマツの分布の南限は千島列島のシコタン島では北緯 44°、樺太では 46° 以北で、年平均気温は 5°C 以下の地帯であるから野幌地方は産地に比べるとかなり高温になっている。

グイマツの育林上の特徴を簡単に記せば、カラマツよりも葉の開舒が 1 週間ほど早く、落葉期もまたそれだけ早い。グイマツは耐寒性が強く、郷土では湿原にも純林を形成しているので霜穴となりやすい凹地の造林にも適し、本道では海拔高 800~1,000m 辺の高所の造林にも適樹として考えられる。グイマツの樹皮と幹材には油精分の含有が多く、これが野鼠の喰害の少ない原因と考えられる。菌害にたいしてはグイマツはカラマツよりも先枯病にたいする抵抗性は大であるが、落葉病の被害をうけやすい。また野幌の成績をみると樹幹の心材腐朽菌エブリコにたいしてもカラマツよりいっそう被害をこうむりやすい。

厚岸町の国泰寺の境内には寛政 10 年に幕吏近藤重蔵が千島産苗木を記念植栽した 160 年生のグイマツがある。しかし造林の目的で養苗されたのは明治 11 年ごろからで、小樽国有林には明治 40 年ごろに植栽した古い人工林がある。道北や道東地方の国有防風林や鉄道防雪林には大正後期から昭和初期に植栽したグイマツ林がみられる。野幌試験林には大正 3~4 年に植栽したグイマツ人工林があるが、31 林班のものは 15 号台風で倒壊し、41 林班基線のものは広葉 2 次木が混生するので、収獲試験地から除外した。

A. グイマツ林の立木度と間伐

グイマツはニホンカラマツに比べて枝条が幹からほぼ直角状に出て、葉も疎らなので、いっそう陽性の樹種ではないかと思われるが、その取扱いは一応カラマツに準じて行なった。この調査成績を総括すれば第 76 表の値となる。

間伐：No. 1, 2 の第 1 回間伐は昭和 10 年、21 年生で行なっているが、試験地設定前であったので区画地内のその根株の数と大きさからみて No. 1 は 930 本、80m³、No. 2 は 720 本、50m³ ぐらいかと推定された。

第 2 回間伐は 36 年生のときで No. 1 は本数の 29.6%、材積の 18.8%、No. 2 は本数の 28.1%、材積の 21.2% を間伐した。第 3 回目は 40 年生のとき No. 1 は本数の 15.9%、材積の 13.8% を、No. 2 は本数の 15.9%、材積の 13.8% を間伐した。47 年生の現林分は 1ha 換算 No. 1 は 610 本、279m³、

第 76 表 グ イ マ ツ

Table 76. Growing stock and

Plot 林小班 Division	林 齡 Age	現 林 木 Growing stock				
		平 均 径 Mean d.b.h. (cm)	平 均 高 Mean height (m)	本 数 Tree	胸高断面積 Basal area (m ²)	材 積 Volume (m ³)
1 40を	33	19.2	15.9	760	16.16	174
	36	20.5	16.6	760	25.10	202
	40.5	23.2	17.6	610	26.19	220
	47	25.3	18.9	610	31.19	279
2 40を	33	18.4	15.8	930	25.08	191
	36	19.6	15.9	880	26.97	228
	40.5	21.9	17.6	740	28.44	243
	47	23.1	19.0	740	34.05	308
3 41ほ	36	21.2	18.2	700	25.60	226
	40.5	22.7	18.4	700	29.53	253
	47	24.4	19.0	700	33.11	300

No. 2 は 740 本, 308m³ の林分となっている。

No. 3 はエゾマツとの混交林を造成する目的で, 交互に列状にエゾマツを混植したが, この生育は遅いので, グイマツの被圧するところとなった。21 年生のとき劣勢木と枯損木を伐採し, 36 年生で第 2 回間伐として被圧のエゾマツを含めて本数の 11.2%, 材積の 11.1% を間伐し, 現在 47 年生で 700 本, 300 m³ の林分となっている。エゾマツはカサアブラムシの被害と被圧のため枯損となるものが多く, 現在平均 5.5cm, 平均高 5.5m, 60 本, 0.7m³ が下層に残存する程度で, 混交林の形態を呈していない。

1) d/D , v/t

グイマツ林の間伐がどのように取扱われてきたかを検討するため d/D , v/t , g/G の比率をみると第 77 表のように, No. 1, 2 の d/D , すなわち間伐木径対全平均木径の比は 0.82~0.91, 平均 0.88 で, 間伐木径対主林木径の比 d/D_2 は 0.77~0.89, 平均 0.84 である。

第 77 表 グイマツ林の d/D , v/t と g/G Table 77. d/D , v/t and g/G of larch stand.

林 齡 Age	平 均 直 径 Mean d.b.h. (cm)			間伐指標 Index of thinning		間伐率 Thinning percent		間伐指標 Index of thinning		間伐率 Thinning percent
	間伐木 Remove d	全林木 Total D_1	主林木 Main D_2	$\frac{d}{D_1}$	$\frac{d}{D_2}$	本 数 Trees t (%)	材 積 Volume v (%)	$\frac{t}{v}$	$\frac{v}{t}$	$\frac{g}{G}$ (%)
33	14.8	18.0	19.2	0.822	0.771	29.6	18.8	1.58	0.63	20.4
33	16.3	17.5	18.4	0.931	0.886	28.1	21.2	1.32	0.76	21.7
40.5	19.2	22.4	23.2	0.857	0.828	19.7	13.8	1.43	0.70	14.6
40.5	19.9	21.9	22.7	0.909	0.884	15.9	13.8	1.16	0.87	13.4

林 の 成 績
yield of Kuril larch stand.

Area=面積=1 ha 当たり換算, Planted year=植栽年次=1915

年平均成長量 Ann. mean growth (m³)	間 伐 木 Removed tree			総材積 Total yield	
	本 Tree 数	材 Volume (m³)	材 積 累 計 Sum of volume (m³)	材 Volume (m³)	年平均成長量 Ann. mean growth (m³)
5.27	(930) 320	(80) 40	(80) 120	294	8.91
5.61			120	322	8.94
5.43	150	37	157	377	9.38
5.94			157	436	9.28
5.79	(720) 370	(50) 52	(50) 102	293	8.88
6.33	10	3	105	332	9.22
6.00	140	39	143	387	9.56
6.55			143	452	9.61
6.28	(350) 82	(40) 29	(40) 69	295	8.19
6.25			69	322	7.95
6.38			69	369	7.85

v/t , すなわち材積間伐率対本数間伐率の比は 0.63~0.87, 平均 0.74 である。これらを総合するに、グイマツ林の間伐は劣勢木を主体に選木したもので、弱度の上層間伐を加味した下層間伐といえる。

No. 3 のグイマツ林はエゾマツとの列状混植のため被圧状態のエゾマツは間伐の必要がなかったのに、列間の広いグイマツ林のみの取扱いと同じ状態となった。36年生の間伐も枯損木を含めて本数、材積とも 11% 強の弱度の間伐率となっている。

2) C_w/D , C_b/H

グイマツの各林分の樹間距離対平均径の比 C_w/D は第 78 表のように 15.5~18.9, 平均 16.9 で、間伐後の林分では 18 内外である。陽樹のグイマツはトドマツの 14.4 に比べてほぼ 1.18 倍の値となる。グイマツ林の 1 ha 当たり平均立木本数 N_1 および間伐後の立木本数 N_2 は次式でもとめられる。

$$N_1 = \left(\frac{100}{0.169D} \right)^2 \quad N_2 = \left(\frac{100}{0.18D} \right)^2$$

C_b/H , 正三角形配置の樹間距離対平均高の比率, C_b/H は 19.0~24.7, 平均 22.0 で、間伐後の林分では 23 内外, これを上層高の比に換算すると平均 21.1, 間伐後 22.1 の値となり, 立木密度からみれば中庸度よりは強度に近い間伐に属するが, これは陽樹のグイマツにたいしては 25 を強度間伐, 22 を中庸度間伐とすべきであろう。この平均値はトドマツ林の平均 18.9 に比べて 1.12 倍の値で, 1 ha 当たり平均本数は $N_1 = \left(\frac{100}{0.21H \times 0.933} \right)^2$, 間伐後の本数は $N_2 = \left(\frac{100}{0.22H \times 0.933} \right)^2$ で求められ, 正三角形配置にたっている場合は $N_2 = \left(\frac{100}{0.22H} \right)^2$ となる。

3) 基準本数との比較

グイマツ林の立木密度はトドマツの間伐直後の基準本数 $N = \left(\frac{100}{0.1x+1} \right)^2$ に比べて, 第 79 表のように 0.67~0.98, 平均 0.71 倍で, 樹間の間隔は広い。

第 78 表 グイマツ林の C_w/D と C/H
 Table 78. C_w/D and C_b/H of K. larch stand.

平均径 Mean d.b.h. D (cm)	本数 Tree n	$\frac{100}{\sqrt{n}}$ (C_w) (m)	$\frac{C_w}{D}$ (%)	平均高 Mean height H_M (m)	$\frac{100}{\sqrt{0.866n}}$ (C_b) (m)	$\frac{C_b}{H_M}$ (%)	$\frac{C_b}{H_T}$ (%)
17.5	1,300	2.75	15.7	15.6	2.97	19.0	18.2
18.0	1,080	3.03	16.8	15.7	3.27	20.8	20.0
18.4	930	3.28	17.8	15.8	3.52	22.3	21.4
19.2	760	3.63	18.9	15.9	3.90	24.5	23.5
20.5	760	3.63	17.7	16.6	3.90	23.5	22.6
21.2	760	4.63	17.1	18.2	3.90	21.4	20.5
21.2	700	3.78	17.8	18.3	4.08	22.3	21.4
21.2	782	3.58	18.3	18.3	3.84	21.0	20.2
21.9	740	3.68	16.8	17.6	3.95	22.4	21.5
21.9	880	3.37	15.4	17.6	3.62	20.6	19.8
22.4	760	3.63	16.2	17.4	3.90	22.4	21.5
22.7	700	3.78	16.7	18.4	4.08	22.2	21.3
23.1	740	3.68	15.9	19.0	3.95	20.8	20.0
23.2	610	4.05	17.5	17.6	4.35	24.7	23.7
24.4	700	3.78	15.5	19.0	4.08	21.5	20.4
25.3	610	4.05	16.0	18.9	4.35	23.0	22.1
平均 Mean			16.9			22.0	21.1

Note: H_M = Mean height.

H_T = Upper height.

第 79 表 グイマツ林の本数とトドマツ林の立木度の比較
 Table 79. Tree number of K. larch related to Sachalin's fir stand.

平均径 Mean d.b.h. (cm)	本数 Tree $n / 1 \text{ ha}$ (本)	$\frac{n}{N}$	
17.5	1,300	0.886	トドマツ林の間伐直後の 立木本数を
18.0	1,080	0.771	
19.2	760	0.583	
21.2	760	0.666	$N_1 = \left(\frac{100}{0.1x+1} \right)^2$ N_1 = Tree number after thinning of Sach. fir stand.
21.9	880	0.806	
21.9	740	0.641	
22.4	760	0.719	平均立木本数 $N = 1.1 \times N_1$ とする N = Average tree number of Sach. fir stand.
23.1	740	0.690	
23.2	610	0.605	
24.4	700	0.745	
25.3	610	0.684	
		0.708	

第80表 グイマツ林の立木本数

Table 80. Tree numbers to mean d.b.h. of K. larch stand.

間伐前または立木度の大きい林分 Closed stand to the before thinning				間伐後または立木度の少ない林分 After thinning to the closed stand			
平均径 Mean d.b.h. (cm)	実測値 Measure N (本)	計算値 Calculate N ₁	計算値 Calculate N ₂	平均径 Mean d.b.h. (cm)	実測値 Measure N (本)	計算値 Calculate N ₃	計算値 Calculate N ₄
17.5	1,300	1,488	1,075	18.4	930	888	853
18.0	1,080	1,386	1,037	19.2	760	823	809
21.9	880	853	809	21.2	700	702	716
22.4	760	808	786	21.9	740	660	688
23.1	740	751	756	23.2	610	600	641
24.4	700	659	705				
25.3	610	605	673				
摘要 Note	Formula : $N_1 = \left(\frac{100}{0.189x - 0.72} \right)^2$ $N_2 = 40.740x^{-1.27}$			$N_3 = \left(\frac{100}{0.15x + 0.6} \right)^2$ $N_4 = 31.068x^{-1.234}$			

グイマツ林の胸高直径对本数は第80表のように、現実林を間伐前後に2大別すれば間伐後の主林木については $N_1 = 31.068x^{-1.234}$ 、間伐前の林分については $N_2 = 40.740x^{-1.27}$ として大過なく求めることができる。この本数をいっそう簡易な式で算出すると間伐後の本数は $N_1 = \left(\frac{100}{0.15x + 0.6} \right)^2$ 、間伐前の本数は $N_2 = \left(\frac{100}{0.189x - 0.716} \right)^2$ 、または $N_2 = \left(\frac{100}{0.19x - 0.7} \right)^2$ によってもとめることができる。グイマツのような陽樹で本数の減少度の大きな樹種には後式の方が適用しやすく、間伐直後の本数は前記のように間伐後の式より7~8%本数を減らした次式 $N = \left(\frac{100}{0.155x + 0.63} \right)^2$ 、または $N = \left(\frac{100}{0.15x + 0.7} \right)^2$ の式から算出した本数を基準本数とするのが適当であろう。

4) 胸高断面積

グイマツ林の36~47年生の断面積は第81表のように25.1~34.1m²で、間伐後は25~26m²の値となる。断面積の間伐率は12~26%の範囲で、材積間伐率よりもやや大きな値で示される。トドマツ林の間伐後の断面積はこれと同じ年齢で30~45m²であるから本数密度の少ないグイマツはこの約2/3の値となっている。

胸高断面積を $\frac{\pi}{4} D^2 N$ で除すと表のように1.00~1.10、平均1.028となる。この値、 $1 + \left(\frac{C \cdot V}{100} \right)^2$ から、直径の変異係数15.6%が求められ、グイマツ林は直径の分散の幅が比較的少ないことを示している。グイマツ林の胸高断面積を簡易に計算するには $\frac{\pi}{4} D^2 N$ に1.028内外を乗じて求めることができる。

5) 樹幹表面積

樹幹表面積は立木密度が少ないので、第82表のようにトドマツ林に比べるとかなり小さい値となり、間伐後の林分では0.53~0.56ha、間伐前の林分では0.65~0.80ha、全平均0.66haで、トドマツ林の平均0.905haに比べると0.73倍である。

B. グイマツ林の林分構造

1) 径級对本数分布

一般に径級对本数の分布は第83表のようにポアソン分布で示され、 m の値は2.0~3.0である。平均径

第 81 表 グイマツ林の胸高断面積と簡易計算値

Table 81. Basal area of K. larch stand and its relating to $\frac{\pi}{4}d^2n$.

林 齢 Age	平 均 径 Mean d.b.h. D (cm)	本 数 Tree n (本)	胸高断面積 Basal area G (m ²)	$\frac{\pi}{4}d^2n$ G ₁ (m ²)	$\frac{G}{G_1}$	直径の変異係数 C.V. of d.b.h. (%)
33	17.5	1,300	32.05	31.27	1.025	15.8
33	18.0	1,080	28.17	27.48	1.025	15.8
33	18.4	930	25.08	24.73	1.014	11.9
33	19.2	760	22.44	22.04	1.018	13.4
36	20.5	760	25.10	25.08	1.001	10.4
36	19.6	880	26.97	26.60	1.014	11.9
36	21.2	700	25.60	24.71	1.036	19.0
40	21.9	740	28.44	27.88	1.020	14.2
40	22.4	760	30.65	29.95	1.023	15.3
40	22.7	700	29.53	28.33	1.022	14.8
47	23.1	740	34.05	31.01	1.098	31.3
39.5	23.2	610	26.19	25.79	1.015	12.3
47	24.4	700	33.11	32.73	1.012	10.8
47	25.3	610	31.19	30.67	1.017	13.0
						15.0

第 82 表 グイマツ林の樹幹表面積と材積成長量との関係

Table 82. Bole surface area of K. larch and its relating to the annual mean volume growth.

林 齢 Age	平 均 径 Mean d.b.h. (cm)	平 均 高 Mean height (m)	本 数 Tree (本)	樹幹表面積 Bole surface S (ha)	年 平 均 材積成長量 Ann. mean growth ΔV (m ³)	$\frac{\Delta V}{S}$ (mm)
33	17.5	15.6	1,300	0.804	7.36	0.92
33	18.0	15.7	1,080	0.692	6.48	0.94
33	18.4	15.8	930	0.613	5.80	0.95
33	19.2	15.9	760	0.526	5.27	1.00
36	20.5	16.6	760	0.586	5.61	0.96
36	19.6	15.9	880	0.605	6.33	1.05
36	21.2	18.3	700	0.615	6.28	1.02
40.5	21.9	17.6	740	0.646	6.08	0.94
40.5	21.9	17.6	880	0.769	7.14	0.93
40.5	22.4	17.4	760	0.671	6.41	0.96
40.5	22.7	18.4	700	0.662	6.26	0.94
47	23.1	19.0	740	0.736	6.56	0.89
40.5	23.2	17.6	610	0.564	5.56	0.99
47	24.4	19.0	700	0.735	6.38	0.87
47	25.3	18.9	610	0.661	5.94	0.90
						0.96

第83表 グイマツ林の林分構造

Table 83. Tree distribution to d.b.h. of K. larch stand.

面積 Area	0.1		0.1		0.2	
胸高直径 d.b.h. (cm)	実測値 Measure	76φ(x) 計算値 Calculate	実測値 Measure	93×m=2 計算値 Calculate	実測値 Measure	135×m=3 計算値 Calculate
10	1	1				
12	3	3				
14	16	11	9	13		
16	22	24	18	25		
18	27	30	30	25	4	7
20	20	24	23	17	26	20
22	12	11	10	8	33	30
24	7	3	2	4	32	30
26		1	1	1	19	23
28					15	14
30					3	7
32					2	3
34					1	1
計 Total	108	108	93	93	135	135
平均径 (cm)	18.0		18.4		23.1	
Mean d.b.h.	m = 2 のポアソン式は $93 \times \frac{8^x}{x!} \cdot e^{-2}$ とする。					

Note : Poisson formula = $n \times \frac{m^x}{x!} \cdot e^{-m}$

の大きさに比べて m の値が小さいのは直径の分散の範囲が狭いのと分散の歪度がーに傾いているためである。

グイマツ林は第84表のように直径の分散が少ないので直径の変異係数が小であり、ことに間伐後の林分は劣勢木が除去されるので変異係数はいっそう小となって、No. 1 の33年生の間伐前の変異係数17.3%は間伐後は12.9%に減少している。また変異係数は間伐がくり返され、平均径が大になるほど小さい値となって、No. 1 では平均径18.0cmの変異係数17.3%が平均径25.3cmでは11.2%に減少している。

第84表 グイマツ林の林分構造

Table 84. Tree distribution to d.b.h. of K. larch stand.

林 齢 Age	33	33	40	47
本 数 Tree	108	76	61	61
胸高直径範囲 (cm) d.b.h. mean range	10~24	14~24	20~28	20~32
平均径 (cm) Mean d.b.h.	18.0	19.2	23.2	25.3
直径の標準偏差 (cm) S.D. of d.b.h.	3.10	2.49	2.71	2.96
直径の変異係数 (%) C.V. of d.b.h.	17.28	12.94	11.74	11.17

第85表 グイマツ林の樹高曲線
Table 85. Height to d.b.h. of Kuril larch stand.

Plot	1		1	
林 齢 Age	36		47	
胸高直径 d.b.h. (cm)	実 測 値 Measure (m)	計 算 値 Calculate H_1 (m)	実 測 値 Measure (m)	計 算 値 Calculate H_2 (m)
14	14.8	14.9		
16	15.5	15.7		
18	16.5	16.3		
20	16.8	16.8	18.0	18.1
22	17.2	17.3	18.5	18.5
24	17.6	17.6	18.9	18.9
26	17.9	18.0	19.2	19.2
28			19.0	19.4
30			19.9	19.7
32			20.0	19.9
平均径 Mean d.b.h. (cm)	20.5		25.3	
平均高 Mean height (m)	16.6		18.9	

注 Note 計算式 Formula: $H_1 = 21.29e^{-\frac{2.740}{x}} + 1.3$ $H_2 = 22.16e^{-\frac{2.406}{x}} + 1.3$

2) 樹高曲線

グイマツ林の樹高曲線は一般に $H = ae^{-\frac{b}{x}} + 1.3$ で表示できるが、第85表のように平均径20cmの36年生林分では、この式の a は21.29、 b は2.74であり、平均径26cmの林分では a は22.16、 b は2.406である。この値はトドマツ林の平均径20cmの a が21.99、 b が7.034、同平均径26cmの a が24.04、 b が8.089に比べると b は著しく小さい値で、 a もやや小なる値となっている。すなわちグイマツ林は樹高の偏差が小で、樹高曲線がゆるやかで、また直径のわりに樹高が低いことを示している。

C. グイマツ林の成長

1) 樹高、胸高直径、断面積の各成長

47年生のグイマツ林の樹高は19.1mで、その成長経過は第86表のように、 $H = \frac{x^2}{0.034x^2 + 0.58x + 13}$

第86表 グイマツ林の樹高成長と胸高直径成長
Table 86. Growth of height and d.b.h. of K. larch stand.

林 齢 Age	樹 高 成 長 Height growth		胸高直径成長 d.b.h. growth	
	実 測 値 Measure (m)	計 算 値 Calculate (m)	実 測 値 Measure (cm)	計 算 値 Calculate (cm)
33	15.8	15.7	18.8	18.6
36	16.6	16.6	20.1	20.4
40.5	17.6	17.8	22.6	22.0
47	19.0	19.1	24.2	24.4
Formula	$H = \frac{x^2}{0.034x^2 + 0.58x + 13}$		$D = \frac{x^2}{0.018(x^2 - 9) + 0.8(x - 3) + 12} - 1.0$	

第87表 グイマツ林の胸高断面積成長
Table 87. Growth of basal area of K. larch stand.

林 齢 Age	胸 高 断 面 積 Basal area			
	間伐前のやや密な林分 Closed stand to before thinning		間伐後のやや疎な林分 After thinning to closed stand	
	実 測 値 Measure (m ²)	計 算 値 Calculate g ₁ (m ²)	実 測 値 Measure (m ²)	計 算 値 Calculate g ₂ (m ²)
33	25.08	25.10	22.44	22.34
36	26.97	27.08	25.10	24.48
40.5	29.46	29.76	26.19	27.39
47	34.05	33.18	31.19	31.17
Formula	$g_1 = \frac{x-7}{0.013x+0.54} - 0.7$		$g_2 = \frac{x-9}{0.0105x+0.725}$	

の式で示めすことができる。

47年生の平均胸高直径は24.3cmで、成長経過は第86表のように $D = \frac{x^2}{0.018(x^2-19)+0.8(x-3)} + 12 - 1.0$ とみて大過ない。

間伐後の経過の浅い立木度のやや疎な林分の胸高断面積成長は第87表のように $g_1 = \frac{x-9}{0.0105x+0.725}$ 、間伐前のやや密な林分の断面積成長は $g_2 = \frac{x-7}{0.013x+0.54} - 0.7$ で求めることができ、本式によれば47年生で前者は31.17m²、後者は33.18m²と算出され、間伐直後と直前との断面積は5%の減、または増をみて、それぞれ29.6m²と34.9m²と推定できる。

以上各式を用いて50年生の樹高、胸高直径、断面積を推算するに、19.7m、25.5cm、32.8m²となる。

2) 中・大径木混交率

グイマツの肥大成長は遅いので、No. 1, 2 では32年生内外で中径木に進級するものが生じた。No. 3 はエゾマツの生育不振から当初は列間が広く、被圧をうけることなく肥大成長をしたので中径木への進級年次も24年生内外であった。

中・大径木混交率はその後急速に伸びて No. 1, 2 では第88表のように47年生で55%内外に達し、

第88表 グイマツ林の中・大径木混交率
Table 88. Mixed percent of middle and large d.b.h. classes of K. larch stand.

Plot	林 齢 Age	実 測 値 (%) Measure	計 算 値 (%) Calculate	計 算 式 Calculated formula
No. 1, 2	33	2.2; 1.7	2.8	$y = \frac{x-31}{1.718-0.028x}$
	36	10.6; 6.2	8.0	
	40	20.1; 23.3	17.9	
	47	48.2; 62.6	55.0	
No. 3	36	28.9; 29.5	29.0	$y = \frac{x-31}{0.537-0.00247x}$
	40	39.4	38.8	
	47	56.8	57.0	

No. 3 は同年で 57% となった。これらの成長曲線は、前者では $y = \frac{x-31}{1.718-0.028x}$ で、後者では $y = \frac{x-23}{0.537-0.00247x}$ で示して大過ないようである。

3) 材 積 成 長

グイマツ林は立木密度が少なく、肥大、樹高成長とも低いので材積成長も低位となっている。No. 1 では 47 年生の材積は主林木 610 本, 279m³, 間伐木累計 157m³, 総収穫 436m³ で、この年平均成長量は主林木では 5.94m³, 総収穫では 9.28m³ である。No. 2 は 47 年生で主林木 740 本, 308m³, 年平均成長量 6.56m³, 間伐木累計 143m³ を加えた総収穫が 452m³, 年平均成長量 9.62m³ である。No. 3 はエゾマツとの交互列植混植で、47 年生ではグイマツ 700 本, エゾマツ被圧木 60 本, 材積計 300m³, 年平均成長量 6.38m³, 間伐木累計 69m³ を加えた総収穫は 369m³, この年平均成長量は 7.85m³ で、前両者に比べて間伐木が少ないだけ幾分低目の値となっている。

グイマツ林の伐期をニホンカラマツのように 35 年生とすれば、ほぼ平均径が 20cm 内外である。平均径 30cm のときを伐期齢とすればほぼ 66 年生が伐期齢となり、ニホンカラマツに比べると成長量がかなり劣っている。

4) 幹材積の連年成長と平均成長

グイマツ林の連年成長は第 89 表のように 38 年生前後が盛んで 13m³ 内外で、平均成長量の 2 倍にあたるが、最近では 8.9m³ 内外に低減している。林分の成長率は 38 年生、材積 230m³ の林分では 5.7% であるが、最近では 3.4% となっている。47 年生の平均した年平均成長量は 6.3m³ である。したがってグイマツ林の材積成長量最多の伐期は近い将来にあるものと思われる。

カラマツの生葉量はニホンカラマツとヨーロッパカラマツでは一般に 5~13トンとされているので、この林の生葉量も 10 トン内外と推定され、この連年成長量の生産のためにはグイマツの生葉 1 トンの年間の材積生産量は 0.83m³ 内外となり、この値は従来の前記カラマツの生産量 0.65~1.5m³ の間に位する値で、大過ないであろう。

第 89 表 グイマツ人工林の幹材積の年平均成長と連年成長

Table 89. Annual mean volume growth and current growth of K. larch stand.

プロット 番 Plot	林 齢 Age (年)	年 平 均 成 長 量 Ann. mean growth (m ³)	連 年 成 長 量 Ann. curr. growth (m ³)	成 長 率 Growing percent. (%)
1	33	5.27		
	36	5.61	9.98	5.33
	40.5	5.57	12.08	5.63
	47	5.94	8.52	3.42
2	33	5.79		
	36	6.33	13.07	6.19
	40.5	6.08	13.56	5.32
	47	6.55	9.31	3.38
3	36	6.28		
	40.5	6.33	6.20	2.59
	47	6.38	7.22	2.60

D. 天然更新と林床植生

陽樹のグイマツはカラマツと同じように崩壊地、山火跡地などの先駆樹種として生育するもので、林内で天然更新することは不可能である。グイマツの稚苗は各標準地ともみることができない。林床は各種広葉稚樹が下層を優占し、その下部はほとんど全面クマイザサが占め、地床はわずか草・藤本類が散生している。

グイマツの結実の豊凶は従来くり返されたが、稚樹の発生をみるに至らず、今後もまた不可能であろう。

VII ヤチダモ人工林

まえがき：ヤチダモは通直な幹材を生産し、広い用途があるので、低湿地の土地の集約利用のために早くから造林されており、道有林では明治40年以降植栽がつづけられている。御料林や国有林における造林の着手は多少遅れているが、昭和に入るとかなり積極的に造林されている。

野幌試験林におけるヤチダモ人工林は大正3年秋から大正4年春にわたって植栽されている。植栽地は沢敷地で、流動性の水分が多く、融雪期や雨期には水が溢れ流れる湿潤地とBD型の埴質土壤に植栽したものがみられる。

ヤチダモは沢敷のBF型、BE型土壤から丘陵地のBD型土壤に分布し、酸度のたかい低位泥炭地にもヤチハンノキに混じて生育している。今後にもかかる立地の造林樹種として、ドロノキ、ハンノキ類とともに造林、経営方法を研究すべきであろう。

A. ヤチダモ林の立木度と間伐

ヤチダモ林は4地区に分かれており、No. 1, 2は沢敷のBE型土壤、No. 4も沢敷地で、前者よりも地表水が低く、No. 3は表土浅く、下層は堅密な埴土で、BD型土壤である。このような土壤性がヤチダモ林の生育と取扱いにかなり関係している。

No. 1, 2はヤチダモの植栽本数が1ha当たり1,333本で、28年生のとき混生するヤチハンノキの大部分を除伐した。36年生のときNo. 1はハンノキを含めて本数の48.8%、材積の41.5%を間伐し、No. 2は本数の37.9%、材積の21.3%の間伐を行なった。その後47年生のとき7.2m³の枯損木の除去を行なった。No. 3は1ha当たり1,333本の植栽で、成長があまり良好でなく、40年生のとき混生するヤチハンノキの大部分を除去した。48年生現在ではヤチダモは630本、152m³たっているが、中・下層に混生する他の広葉樹を加えれば1,080本、217m³となっている。No. 4は1ha当たり1,333本の植栽で、37年生のときにヤチダモは本数の32.8%、材積の22.3%を間伐、その他の混生広葉樹は本数の50.0%、材積の58.7%を間伐した。46年生現在でヤチダモは390本、147m³となったが、他の広葉樹を加えると167m³となっている。

ヤチダモ林は当初の植栽本数が少ないが、成長の盛んなヤチハンノキなどの2次木が介入しているので、これらを含めた立木本数を考えなければならないが、除伐した2次木は一応省略してヤチダモ林のみについて間伐度を検討したいと思う。以上のヤチダモ林の調査成績は第90表に示している。

1) d/D , v/t

ヤチダモ林の間伐のさいの選木として d/D , v/t を検討すると第91表のように d/D_1 は0.81~0.87、平均0.83、 d/D_2 は平均0.78である。 v/t は0.60~0.78、平均0.69である。この数値から劣勢木本位

第90表 ヤチダモ人工

Table 90. Growing stock and yield

Plot 林小班 Division	林 齡 Age	現 林 木 Growing stock				
		平 均 径 Mean d.b.h. (cm)	平 均 高 Mean height (m)	本 数 Tree	胸高断面積 Basal area (m ²)	材 積 Volume (m ³)
1 31い	36	21.4	20.9	430	16.17	142
	40.5	24.0	21.2	410	19.25	196
	47	26.1	22.8	410	22.71	238
2 32ろ	38.5	20.8	21.1	(30) 360	(2.55) 13.76	(26) 131
	40.5	21.5	21.6	(30) 360	(2.55) 13.99	(26) 139
	47	24.5	22.3	(36) 340	(2.76) 16.48	(30) 169
3 41ほ	41.5	15.9	16.2	(490) 790	(8.07) 10.26	(55) 128
	48	18.1	18.9	(450) 630	(8.79) 16.89	(65) 152
4 41ほ	36	18.8	19.0	(30) 390	(1.43) 11.06	(12) 97
	40.5	21.1	20.0	(30) 390	(1.72) 13.72	(15) 127
	46	22.0	20.9	(30) 390	(2.21) 15.17	(20) 147

注：() は混合広葉樹，(()) は除・間伐推定木

第91表 ヤチダモ林の間伐の d/D と v/t

Table 91. d/D and v/t of M. ash stand.

試 験 地 Plot		4	2	1
林 齡 Age		36	39	36
d.b.h.	間伐木の平均径 Remove d	14.0	15.6	16.7
	全林木 // Total D_1	17.4	19.2	19.2
	主林木 // Main tree D_2	18.8	21.4	21.4
	d/D_1	0.81	0.81	0.87
	d/D_2	0.75	0.73	0.78
Tree number	間伐木の本 数 Remove t_1	190	220	410
	全林木 // Total T	580	580	840
	$t_1/T = t$ (%)	32.8	37.9	48.8
Volume	間伐木の材 積 Remove v_1	27.6	38.8	86.4
	全林木 // Total V_2	124.1	170.2	228.1
	$v_1/V_2 = v$ (%)	22.3	22.8	37.9
	t/v	1.47	1.66	1.29
	v/t	0.68	0.60	0.78
Basal area	間伐木の断面積 Remove g_1	5.37	4.85	11.40
	全林木 // Total G_2	17.86	21.15	27.07
	$g_1/G_2 = g$ (%)	30.2	23.0	42.1

林の成長と収穫

of Mandshrica ash stand.

面積 = 1 ha 当たり換算, 植栽年次 = Planted year = No. 1, 2: 1914 秋, No. 3: 1914, No. 4: 1915

年平均成長量 Ann. mean growth (m^3)	間伐木 Removed tree			総材積 Total yield	
	本数 Tree	材積 Volume (m^3)	材積累計 Sum of volume (m^3)	材積 Volume (m^3)	年平均成長量 Ann. mean growth (m^3)
3.94	((900))	((80))	((80)) 80	222	6.16
4.84	18	3	83	279	6.89
5.06			83	321	6.83
3.40	((850)) 230	((78)) 43	((78)) 121	(26) 278	7.22
3.43			121	(30) 286	7.06
3.60	20	7	128	(30) 327	6.96
(1.3) 3.08	((400))	((20))	((20)) 20	(55) 203	4.89
(1.0) 3.17	(40) 160	17	37	(65) 254	5.29
(0.3) 2.69	((800)) 190	((50)) 45	((50)) 95	(12) 204	5.67
(0.3) 3.14			95	(15) 237	5.85
(0.4) 3.20			95	(20) 262	5.70

第92表 ヤチダモ林の C_w/D と C_b/H
Table 92. C_w/D and C_b/H of M. ash stand.

胸高直径 d.b.h.	樹間距離 $\frac{100}{\sqrt{n}}$	$\frac{C_w}{D}$	樹高 Height	樹間距離 $\frac{100}{\sqrt{0.866n}}$	$\frac{C_b}{H_M}$	$\frac{C_b}{H_T}$
D (cm)	(C_w) (m)	(%)	(H_M) (m)	(C_b) (m)	(%)	(%)
15.7	3.56	22.7	16.0	3.82	23.9	22.9
18.1	3.98	22.0	18.9	4.28	22.6	21.7
18.8	3.90	26.9	19.0	5.44	28.6	27.5
21.1	5.06	24.0	20.0	5.44	27.2	26.1
21.2	5.27	24.9	20.9	5.18	24.8	23.8
21.4	4.82	22.5	20.9	5.44	26.0	25.0
21.5	5.27	24.5	21.2	5.31	25.0	24.0
22.0	5.06	23.0	21.3	5.66	26.6	25.5
24.0	4.94	20.6	21.6	5.66	26.2	25.2
24.5	5.42	22.1	22.3	5.83	26.1	25.1
26.1	4.94	18.9	22.8	5.31	23.3	22.4
平均 Mean		22.9			25.5	24.5

Note: $C_w = \frac{100}{\sqrt{n}}$ n = 1 ha 当たり本数, 立木は方形配置

$C_b = \frac{100}{\sqrt{0.866n}}$ ただし正三角形配置

H_M = Mean height

H_T = Upper height

に選木した下層間伐ないし弱度の上層間伐ということができる。

2) C_w/D , C_b/H

C_w/D は第 92 表のように 18.9~26.9, 平均 23.9 で, 間伐後の値は 24~27 とみることができる。一般に C_w/D は 20 以上が立木度が疎とされ, C_b/H は 25 以上がきわめて疎としているが, 本林の C_b/H_M は第 92 表のように 22.6~28.6, 平均 25.5 で, これの上層高との比 C_b/H_T は平均値 24.4 で, 間伐後の値は 25.4~27.4% となる。両者を総合するとヤチダモ林の立木度はかなり疎立していることを示している。一般にヤチダモ林の平均立木本数は, $\left(\frac{100}{0.24D}\right)^2$ または $\left(\frac{100}{0.244H \times 0.933}\right)^2$ で算出でき, 間伐直後の立木本数は, $\left(\frac{100}{0.255D}\right)^2$ または $\left(\frac{100}{0.264H \times 0.933}\right)^2$ で, 正三角形配置の場合には $\left(\frac{100}{0.264H}\right)^2$ で求められる。

3) 基準本数との比較

ヤチダモの平均樹間距離はトドマツの間伐後基準距離に比べて第 93 表のように 1.37~1.69 倍, 平均 1.48 倍となっている。したがってヤチダモ林の立木本数をトドマツ林の間伐後の主林木の基準本数と比較すれば 0.38~0.54 倍, 平均 0.46 倍で立木密度が半分以下である。

ヤチダモ林を平均した胸高直径対立木本数の回帰曲線をみると $N = 14,425x^{-1.127}$ で, またこの簡易式は $N = \left(\frac{100}{0.16x+1.1}\right)^2$ で示され, 間伐直後はこれに 0.93 を乗じて $N = \left(\frac{100}{0.17x+1.2}\right)^2$ である。

以上のようにヤチダモ林の立木密度の低いことは陽樹で, 針葉樹に比べて枝張りの大なることに基因しよう。

4) 胸高断面積

立木度の少ないヤチダモ林の胸高断面積は針葉樹林に比べると小さい値で第 94 表のように 11.1~25.6 m^2 , 平均 17.3 m^2 で, 同年次のトドマツ林に比べて 44% 内外の値である。

胸高断面積を $\frac{\pi}{4} D^2 N$ で除すと第 94 表のように 1.006~1.070, 平均 1.042 となり, この直径変異係

第 93 表 ヤチダモ林の直径対本数
Table 93. Tree number to mean d.b.h. of M. ash stand.

胸高直径 d.b.h. (cm)	実測本数 Measured tree N	計 算 本 数 Calculated tree			平均樹間距離 $\frac{100}{\sqrt{n}}$ (Cw) (m)	$\frac{C_w}{0.1x+1}$	$\frac{N}{N_4}$
		N_1	N_2	N_3			
17.4	640	562	663	565	3.95	1.44	0.48
18.8	420	528	593	523	4.88	1.69	0.35
19.2	620	516	575	512	4.02	1.38	0.53
21.4	430	457	489	457	4.82	1.54	0.42
21.4	390	457	489	457	5.06	1.61	0.38
24.5	390	392	397	393	5.06	1.47	0.46
24.5	410	392	397	393	5.06	1.47	0.49
26.1	410	364	359	365	4.94	1.37	0.54
							0.46

計算式 Formula: x = 平均径 (cm) Mean d.b.h.

$$1) N_1 = 14,425 x^{-1.127} \quad 2) N_2 = \left(\frac{100}{0.16x+1.1}\right)^2$$

$$3) N_3 = \left(\frac{100}{0.12x+2.0}\right)^2 \quad 4) N_4 = \left(\frac{100}{0.1x+1}\right)^2$$

第94表 ヤチダモ林の胸高断面積

Table 94. Basal area of M. ash stand and its relating to $\frac{\pi}{4}d^2n$.

試験地 Plot	平均径 Mean d.b.h. (cm)	本数 Tree (本)	胸高断面積 Basal area		$\frac{G}{\frac{\pi}{4}d^2n}$	直径の変異係数 C.V. of d.b.h. (%)
			実測値 Measure (G) (m ²)	簡易計算値 $\frac{\pi}{4}d^2n$ (m ²)		
1	19.2	840	25.61	24.32	1.053	23.0
	21.4	430	16.17	15.47	1.046	21.3
	23.6	430	19.61	18.81	1.042	20.6
	24.0	410	19.25	18.55	1.038	19.5
	26.1	410	22.71	21.94	1.035	18.8
2	19.2	580	17.79	16.79	1.060	24.4
	21.4	360	13.76	12.95	1.070	26.5
	24.3	360	17.18	16.73	1.027	16.4
3	15.9	790	16.26	15.69	1.036	19.1
	16.9	790	18.82	17.72	1.062	24.9
	18.1	630	16.89	16.21	1.042	20.5
4	17.4	580	14.38	13.79	1.043	20.7
	18.8	390	11.06	10.83	1.022	14.8
	21.1	390	13.72	13.64	1.006	7.9
	22.0	390	15.17	14.83	1.023	15.2
					1.042	20.6

数は20.6%である。すなわちヤチダモ林の胸高断面積を簡易に求めるには $\frac{\pi}{4}D^2N$ に1.04内外を乗じ、間伐前は1.05~1.06を乗ずることによって近似値が得られる。

5) 樹幹表面積

ヤチダモ林の樹幹表面積は第95表のように平均0.466haで、間伐後の林分では0.32~0.42ha、間伐前の林分は0.46~0.75haで、トドマツ林の平均表面積に比べると約半分の値になっている。この樹幹表面積に0.83を乗ずるとこの林分の年平均成長量が得られる。ヤチダモ林はトドマツ林に比べると樹幹表面積が少ないうえに年輪幅が狭いので、幹材積成長量はいっそう小さい値となっている。

B. ヤチダモ林の林分構造

林分構造を直径の分散状況で、すなわち変異係数でみると第96表のように平均径が大きくなるにしたがい変異係数は小さくなるもので、ヤチダモ林 No. 1 の平均径19.2cm、840本立の林分の変異係数は23.0%であるが、平均径26.1cm、410本の林分では18.8%となる。同様に No. 2 は平均径19.2cmの変異係数は24.4%であるが、24.5cmでは16.4%に減じている。

林分構造を定量的に表示するために近似の林分を集計して径級対本数の分布をみるに第97表のポアソン分布式で示すことができる。この場合の m の値は5~6である。ヤチダモは各個樹の現在占める生育空間の広狭に比例して直径の大きさにかなり偏差がみられるようである。

ヤチダモ林の樹高曲線を算出すると第98表のように平均径26.1cm、平均高22.8mの林分の樹高曲線は $H=26.12e^{-\frac{2.166}{x}}+1.3$ で示すことができる。トドマツ林の26cmの樹高曲線 $H=24.04e^{-\frac{8.089}{x}}+1.3$

第 95 表 ヤチダモ林の樹幹表面積と年平均材積成長量

Table 95. Bole surface of M. ash stand and its relating to the annual mean growth.

試験地 Plot	胸高直径 d.b.h. (cm)	樹 高 Height (m)	本 数 Tree	樹幹表面積 Bole surface S (m ²)	年平均成長量 Ann. mean growth ΔV (m ³)	$\frac{\Delta V}{S}$ (mm)
3	15.7	16.0	800	4.558	3.10	0.68
3	16.9	17.8	790	5.398	3.52	0.65
4	17.4	18.7	640	4.722	4.26	0.90
3	18.1	18.9	630	4.892	3.24	0.66
4	18.8	19.0	390	3.160	2.68	0.85
1	19.2	20.4	840	7.475	6.34	0.85
2	19.2	20.9	580	5.280	4.42	0.84
4	21.1	20.0	390	3.736	3.15	0.84
1	21.4	21.3	360	3.727	3.41	0.92
2	21.5	21.6	360	3.791	3.43	0.91
4	22.0	20.9	390	4.072	3.19	0.78
1	23.6	21.1	430	4.860	4.91	1.01
1	24.0	21.2	410	4.737	4.77	1.01
2	24.3	22.3	360	4.429	3.76	0.85
2	24.5	22.3	340	4.213	3.60	0.85
1	26.1	22.8	410	5.539	5.07	0.92
						0.83

第 96 表 ヤチダモ人工林の径級対本数構造

Table 96. Tree distribution to d.b.h. of M. ash stand.

試 験 地 Plot	1	1	2	2
林 齢 Age	36	41.5	38.5	47
本 数 Trees	84	41	58	34
胸高直径範囲 (cm) d.b.h. mean range	10~30	16~34	12~30	16~34
平 均 径 (cm) Mean d.b.h.	19.2	26.1	19.2	24.5
直径の標準偏差 (cm) S.D. of d.b.h.	4.39	4.91	4.68	4.02
直径の変異係数 (%) C.V. of d.b.h.	23.0	18.8	24.4	16.4

第97表 ヤチダモ人工林の林分構造

Table 97. Tree distribution to d.b.h. of M. ash stand.

林 齢 Age	1	2	計 Sum	計算値 Calculate (N ₁)	1	2	計 Sum	計算値 Calculate (N ₂)	3	計算値 Calculate (N ₃)
	36	36			40.5	47			41.5	
	実測値 Measure	実測値 Measure			実測値 Measure	実測値 Measure			実測値 Measure	
胸高直径 d.b.h. (cm)										
8									1	1
10	2		2	1					4	4
12	3	4	7	6					15	9
14	12	9	21	15					16	14
16	16	8	24	24	2	3	5	1	13	17
18	8	7	15	30	5		5	4	17	15
20	16	8	24	25	4	1	5	7	8	10
22	10	11	21	18	6	9	15	13	4	6
24	9	4	13	11	9	8	17	16	2	3
26	2	5	7	7	7	4	11	13		1
28	2		2	4	1	4	5	10		
30	4	2	6	1	2	3	5	6		
32					3		3	4		
34					2	2	4	1		
計 Total	84	58	142	142	41	34	75	75	80	80
平均径 d.b.h. (cm)	19.2	19.2			24.0	24.5			15.7	
計算式 Formula	1) $N_1 = 142 \times \frac{5^x}{x!} e^{-5}$				2) $N_2 = 75 \times \frac{6^x}{x!} e^{-6}$				3) $N_3 = 80 \times \frac{5^x}{x!} e^{-5}$	

第98表 ヤチダモ林樹高曲線

Table 98. Height to d.b.h. of M. ash stand.

胸 高 直 径 d.b.h. (cm)	樹 高 Height (m)	
	実 測 値 Measure	計 算 値 Calculate
18	21.5	21.1
20	21.7	21.6
22	22.0	22.1
24	22.6	22.5
26	22.9	22.9
28	23.4	23.2
30	23.2	23.4
32	24.0	23.6
34	23.5	23.9
36	23.8	24.0
計 算 式 Formula	$H = 23.11e^{-\frac{2.4555}{x}} + 1.3$	

に比べて b の値は約 $1/4$ にすぎないが、 a の値は大となっている。これはヤチダモは直径の大小はあるが、樹高の高低の差は少ないことを示すものである。

47 年生のヤチダモ林の平均高 22.8m の林分樹高の標準偏差 1.41m、変異係数 6.19% で、直径の偏差に比べると、その $1/2 \sim 1/3$ の値である。この林分の平均径は 26.1cm で胸高直径にたいする樹高の相関比は 0.763 ± 0.025 である。

C. ヤチダモ林の成長

1) 樹高、直径、断面積の各成長

ヤチダモ林の樹高成長は No. 1, 2 では第 99 表のようにほぼ $H = \frac{x^2}{0.035x^2 + 0.275x + 8} + 0.3$ で、No. 3 では $H = \frac{x^2}{0.036x^2 + 0.32x + 24} + 0.3$ 、No. 4 は $H = \frac{x^2}{0.036x^2 + 0.31x + 13} + 0.4$ とみること

第 99 表 ヤチダモ林の胸高直径成長と樹高成長

Table 99. Growth of d.b.h. and height of M. ash stand.

(a)

Plot 1, 2

林 齢 Age	胸高直径成長 d.b.h. growth (cm)				樹 高 成 長 Height growth (m)			
	実 測 値 Measure	実 測 値 Me.	実 測 値 Me.	計 算 値 Calculate	実 測 値 Measure	実 測 値 Me.	実 測 値 Me.	計 算 値 Calculate
	1	2	平 均 Mean		1	2	平 均 Mean	
36	21.4		21.4	21.5	20.9		20.9	20.8
38.5		20.8	20.8			21.1	21.1	
40.5	24.0	22.0	23.0	23.1	21.2	21.6	21.4	21.7
47	26.1	24.5	25.3	25.6	22.8	22.3	22.6	22.8

$$\text{Formula : } D = \frac{x^2}{0.0216(x^2 - 9) + 0.68(x - 3) + 9} - 0.4 \quad H = \frac{x^2}{0.035x^2 + 0.275x + 8} + 0.3$$

(b)

Plot 4

林 齢 Age	胸高直径成長 d.b.h. growth (cm)		樹 高 成 長 Height growth (m)	
	実 測 値 Measure	計 算 値 Calculate	実 測 値 Measure	計 算 値 Calculate
36	18.8	18.7	19.0	19.0
40.5	21.1	20.4	20.0	20.0
46	22.0	22.1	20.9	21.1

$$\text{Formula : } D = \frac{x^2}{0.023(x^2 - 9) + 0.70(x - 3) + 13} - 1.0 \quad H = \frac{x^2}{0.036x^2 + 0.31x + 13} + 0.4$$

(c)

Plot 3

林 齢 Age	胸高直径成長 d.b.h. growth (cm)		樹 高 成 長 Height growth (m)	
	実 測 値 Measure	計 算 値 Calculate	実 測 値 Measure	計 算 値 Calculate
40.5	15.7	16.2	16.0	17.5
48	18.1	18.1	18.9	19.0

$$\text{Formula : } D = \frac{x^2}{0.024(x^2 - 9) + 0.8(x - 3) + 32} - 0.7 \quad H = \frac{x^2}{0.036x^2 + 0.32x + 24} + 0.3$$

ができ、50年生ではそれぞれ22.9, 19.5, 21.5mと推算され、沢地帯のヤチダモ林の樹高成長は風あたりの少ない低地帯に位置している点もあって良好である。

ヤチダモ林の胸高直径成長は第99表のように、No. 1, 2では $D = \frac{x^2}{0.0216(x^2-9)+0.68(x-3)+9} - 0.4$, No. 3は $D = \frac{x^2}{0.024(x^2-9)+0.8(x-3)+32} - 0.7$, No. 4は $D = \frac{x^2}{0.023(x^2-9)+0.70(x-3)+13} - 1.0$ によって算出することができ、50年で、それぞれ25.1, 21.0, 23.9cmと計算される。ヤチダモ林は立木密度が疎であるわりに肥大成長が大でない。これは2次的に混生したヤチハンノキとの競合やこれの除伐時期の遅れもあるが、ヤチダモの陽樹の樹性や広葉樹の樹冠の広がりにも負う点が考えられる。成長曲線の特徴としては当初の成長が比較的良好である点である。47年生では樹幹の粗皮のコルク質が発達して特有の縦状の網目隆起がみられる。

2) 胸高断面積成長

ヤチダモ林は本数密度が低いので、断面積成長も低い値となっている。本来ヤチダモがたちうる断面積を考える場合には混生する2次木を加えて一応現林分の断面積合計を検討する必要がある。No. 1, 2の断面積成長は47年生でヤチダモ20m²内外、2次木を加えて21m²となり、この成長経過は第100表のように $G = \frac{x-15}{0.0149x+0.824}$ で示すことができる。No. 3, 4は47年生で平均ヤチダモ16m²、2次木を加えて21.5m²で、前者と近似しており、その成長経過は $G = \frac{x-24}{0.0245x-0.0021}$ でほぼ示される。

3) 中・大径木の混交率

ヤチダモ林の混交率をみるとNo. 1, 2では47年生で53~76%, 平均65%となっている。これら中・大径木の混交率の成長曲線は第101表のように $y = \frac{x-15}{2.618-0.045x}$ で求められるが、蓄積が中・大径木のみとなる林齢は58年生ごろと考えてよいであろう。

4) 材 積 成 長

ヤチダモの主林木の材積成長は第90表のように、47年生でNo. 1は410本、238m³、No. 2は340本、169m³、他の混交樹種を加えて199m³、No. 3は48年生で630本、152m³、他の混交樹種を加えると217m³、No. 4は46年生で390本、147m³、他の混交樹種を加えると167m³となって、これらの年平均成長量は混交種を含めるとそれぞれ5.06m³、4.23m³、4.52m³、3.59m³である。このヤチダモ

第100表 ヤチダモ林の胸高断面積成長
Table 100. Growth of basal area of M. ash stand.

	林 齢 Age	実 測 値 Measure (m ²)	計 算 値 Calculate (m ²)	計 算 式 Formula
No. 1, 2	36	16.2	15.4	$G = \frac{x-15}{0.0149x+0.824}$
	39	16.0	17.1	
	40.5	18.0	17.9	
	47	21.0	21.0	
No. 3, 4	36	12.5	13.6	$G = \frac{x-24}{0.0245x-0.0021}$
	40.5	15.4	16.7	
	41.5	18.3	17.3	
	46	17.4	19.6	
	48	25.7	20.4	

第 101 表 ヤチダモ林の中・大径木混交率

Table 101. Mixed percent of middle and large d.b.h. classes of M. ash stand.

林 齢 Age	実 測 値 (%) Measure	計 算 値 (%) Calculate	計 算 式 Formula
36	16.3	21.0	$y = \frac{x - 15}{2.618 - 0.045x}$
39	27.0	27.8	
40.5	52.4	32.1	
41	34.2	33.6	
47	52.9	63.6	

林は当初の植栽本数が少なかったが、2次的に侵入してきたヤチハンノキによって密な混交林状を呈するようになった。ヤチハンノキのなかにはヤチダモよりも優位な成長をしているものもあったので、これらの混生木をヤチダモが当初から密にたっていたものとして、間伐収穫に見込んだ。このようにして間伐収穫累計をもとめ、これを主林木材積に加えて総収穫を算出できる。

No. 1 は 47 年生で主林木 238m³、間伐木累計 83m³、総収穫 321m³、この年平均成長量 6.83m³ で、No. 2 は 47 年生で主林木 169m³、間伐木累計 128m³、総収穫 327m³、年平均成長量 6.96m³、No. 3 は 48 年生で、ヤチダモ 152m³、他の混交樹種を加えて 217m³、間伐木累計 37m³、総収穫 254m³、この年平均成長量 5.3m³、No. 4 は 46 年生で主林木 167m³、間伐木累計 95m³、総収穫 262m³、年平均成長量 5.7m³ である。

ヤチダモ林の伐期を直径成長曲線から計算するに、No. 1, 2 で伐期を平均径 30cm とすれば、約 73 年生となる。

5) 幹材積の連年成長と平均成長

ヤチダモ林の連年成長は第 102 表のように 38 年生前後が盛んで、ヤチダモのみについてみると No. 1

第 102 表 ヤチダモ人工林の幹材積の年平均成長と連年成長

Table 102. Annual mean volume growth and current growth of M. ash stand.

プロット 番 Plot	林 齢 Age (年)	年平均成長量 Ann. mean growth (m ³)	連年成長量 Ann. current growth (m ³)	成 長 率 Growing percent (%)	枯損木を含む 連年成長量 Ann. current growth (+ dead stem) (m ³)
1	36	3.94	10.76	6.38	
	40.5	4.84		3.27	
	47	5.06	7.09		
2	38.5	3.36	3.89	2.41	5.78
	40.5	3.43		2.92	
	47	3.60	5.38		
3	41.5	3.08	5.26	2.57	
	48	3.17			
4	36	2.69	7.44	5.93	
	40.5	3.14		2.91	
	46	3.20	4.49		

注：成長量はヤチダモのみについて記す。

は 10.8m^3 に達し、平均成長量の 2 倍以上の値となっている。最近の連年成長は減退して $7.1\sim 4.5\text{m}^3$ の範囲で、平均成長量の 1.5 倍以下となっている。林分の成長率は成長のもっとも良好な No. 1 の 38 年生、材積 170m^3 の林分で 6.4% であるが、最近の各林分の成長率は $2.6\sim 3.3\%$ の範囲に低下している。ヤチダモ林の伐期は材の利用方面から考えなければならないので高年となるが、壮年期以降の連年成長量は低い値となるものと思われる。

只木・白井 (1966)、BOYSEN・JENSEN (1932) によるとヤチダモ林の生葉 1 トンの年間の材積生産量は $1.0\sim 0.33\text{m}^3$ とされているが、本林の生産量を 0.5m^3 とすれば、各林分の連年成長量に相当する生葉の量は 9~14 トン、平均 11 トンと推定することができる。この値は従来発表のヤチダモ林の生葉量 9.9~12.3 トンに近い値である。

ヤチダモ林の生育は No. 1, 2 のように沢流畔の水の流動しやすい砂壤土では良好であるが、No. 3 のように表土が浅く、下層の緊密な埴土の場合の生育は良好でない。No. 1 と No. 3 地点における故高橋健三氏の調査した前章の土壌分析の数値から両者の土壌の特徴をうかがうことができる。流畔のヤチダモ人工林も天然林にみられるような平均 40cm 級の大径木になるためには 100 年以上の長年月を要するもののようである。

ヤチダモ林の生育と植生との関係をみるに、生育のよい流畔ではオニシモツケ、クサソテツ、ダケゼリ、ムカゴイラクサなどの大型草本ないし多漿質の草本が多いが、後者の埴土地帯にはクマイザサが優占し、フッキソウ、コンロンソウなどが混生している。

D. 天然更新と林床植生

ヤチダモ林の結実についてはいままで観察していないが、現状はほとんど稚苗が発生生育していない。ヤチダモのように 200 年生内外の天寿を有する樹種にとっては本人工林の結実年は遅いものと思われる。しかし林床は沢沿い湿地ではオニシモツケソウなどの大型多漿質草本が密に優占し、稚苗の発生、生育を妨げており、他方 No. 4 のような平坦な丘陵地では、クマイザサの優占する処となり、今後ヤチダモの豊実年があっても、ほとんど稚樹の発生を許さないほどの繁茂状態である。

しかし沢沿いは融雪水による流路の変遷、土壌の侵食、堆積などで、部分的に裸出地を生じ、ヤチダモ後継樹の生育の機会がある。

む す び

1) この調査は札幌近郊野幌に明治末葉から大正初、中葉にわたって試植された主要造林樹種の人工林の調査成績を解析したものである。調査地は 20 か所で、その内訳はトドマツ林 6、エゾマツ林 2、ヨーロッパトウヒ林 1、同トウヒ、カラマツ混交林 1、ストローブマツ林 3、グイマツ林 3、ヤチダモ林 4 か所である。

2) これら人工林は見本林ないし参考林として小面積に植えたものもあって、標準地の大部分は 0.1ha の面積である。この調査地は本場経営部の収穫試験地の取纏め要綱に準じて測定、整理し、林業試験場報告第 202 号に報告した。これらの調査地の大部分は林齢 43~51 年生で、今後も照査をつづけるが、今回は上記調査資料を解析し、各林分がどのような取扱いをうけ、どのような成長をしているかを検討したものである。

3) 北海道の人工林の沿革は浅く、郷土樹種のトドマツ、エゾマツ、ヤチダモ林もようやく間伐期には

いった程度で、この育林技術も十分確立されていない。本調査地の大部分は見本林的な性格を持っているので、間伐も保育に重点がおかれたものが多いが、どのように取り扱われたか、数量的に検討する必要がある。

4) 調査林分の取扱いの検討のために、 d/D 、 v/t 、 C_w/D 、 C_b/H 、基準本数、断面積、幹表面積などを用い、いろいろの角度から間伐方法を調査した。各樹種の林分の構造については前記の数値と併せて胸高直径、樹高の分散、樹高曲線などによって解析を行なった。林分の成長については樹高、直径、断面積の各成長、中・大径木の混交率について回帰成長曲線式を求め、将来の成長も推算した。

5) 調査地点はほとんど平坦な丘陵で、多少の土性の差はあるが、立地条件が近似しているので、樹種による取扱い、林分構造、成長の特徴を数量化して比較しやすい。これらの数量化によって陰樹、半陰樹、陽樹の各樹種にたいする取扱い方法の基準をもとめようと試みた。

6) d/D 、 v/t ：間伐木径 (d) 対全平均木径 (D) の比、間伐木の材積率 (v) 対本数率 (t) の比によって各林分の間伐の仕方を検討するに、 d/D は $0.7 \sim 0.8$ 、 v/t は $0.5 \sim 0.7$ の範囲が多く、いずれも劣勢木に重点をおいた間伐で、弱度の上層間伐を加味した下層間伐ということができる。また本数が正規分布とし、間伐木の $2/3$ は劣勢木、 $1/3$ は各径級にまたがった間伐と仮定し、直径の変異係数に応じて、 $\left(\frac{d}{D}\right)^2$ を計算すれば、この式は大部分の林分の間伐の実態に適合する。すなわち、これら林分の取扱いはこのような劣勢木に重点をおいた間伐ということができる。

7) 林分の立木密度は C_w/D 、樹間距離対平均径の比で示され、 $10 \sim 20\%$ の範囲にある。おもな林分について C_w/D の平均値を掲げると、トドマツ 14.4 、ストロブマツ 15.1 、グイマツ 16.9 、ヤチダモ 23.9% となる。この値から次式によって 1 ha 当たり立木本数が得られる。すなわち、トドマツ林の平均本数は $N = \left(\frac{100}{0.144D}\right)^2$ で算出されるが、分母の常数は直径に反比例し、直径大になるほど小となる傾向がある。

8) C_b/H ：正三角形配置の樹間距離対上層高の比によって立木密度を示せば $16 \sim 25\%$ の範囲である。各林分の C_b/H の平均値はトドマツ 18.9 、ストロブマツ 22.4 、グイマツ 21.1 、ヤチダモ 24.4% である。この値から次式によって 1 ha 当たり本数が得られる。すなわち、トドマツ林の本数は $N = \left(\frac{100}{0.189H} \times 0.933\right)^2$ で求められ、正三角形配置の場合は $N = \left(\frac{100}{0.189H}\right)^2$ となる。

9) 間伐後ないし経過年次の浅い林分の立木本数を $N = ax^{-b}$ の式で求めるに、常数の a 、 b はトドマツ林では $a = 44.610$ 、 $b = -1.234$ 、ストロブマツ林では $a = 36.310$ 、 $b = -1.22$ 、グイマツ林では $a = 31.068$ 、 $b = -1.234$ 、ヤチダモ林では $a = 14.425$ 、 $b = -1.127$ で、陰樹より陽樹になるにしたがい a の値は小となっている。この本数式を間伐直後の式に換算するには、本数間伐率が $1/3$ の場合には間伐の直後から直前に至る樹冠の開鎖度を 4 段階に区分すれば、間伐直前、直後の本数は前記の本数から $1/3 \times 1/4 = 1/12$ 、すなわち、本数の $1/12$ を加算、または減算した値となる。したがって、間伐直後の本数は前記の a の値に $0.91 \sim 0.94$ を乗じた値となる。

10) 間伐後ないし経過の浅い林分の立木本数を $N = \left(\frac{100}{ax+b}\right)^2$ で求めると、常数の a 、 b は樹種によってかなり異なっている。すなわち、トドマツ林では $a = 0.1$ 、 $b = 1$ 、ストロブマツ林では $a = 0.115$ 、 $b = 0.8$ 、グイマツ林では $a = 0.15$ 、 $b = 0.6$ 、ヤチダモでは $a = 0.16$ 、 $b = 1.1$ である。 a の値は陰樹より陽樹に向かうにしたがい値が大となっている。

11) 間伐前の胸高断面積の $1/3$ 以上の強度の間伐を行なうと、林分の総材積成長量は減退するおそれ

がある。この調査林分では各樹種とも 20% 以下の間伐が大部分で、断面積の 1/3 以上の強度の間伐は行っていない。

間伐の基準としては断面積の間伐率を用いるほか、間伐直後の断面積の大きさも検討される。断面積を現地で計算するのは煩雑であるが、つぎのような簡易式でその近似値をもとめることができる。 $G = a \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot N$ 、ただし d は平均径、 N は単位面積の本数、 a は $\left\{1 + \left(\frac{C \cdot V}{100}\right)^2\right\}$ で、林分の直径の変異係数から簡易に断面積が計算できる。 a の値は一般に陰樹では大であるが、陽樹では小さい傾向があり、また平均径が大になるほど小さくなっている。

12) 幹表面積は胸高円周 $\times 0.7 \times$ 最高層の樹高 $\times$ 本数によって求めることができる。幹表面積は間伐の基準として容易に使用でき、またこれに年輪幅を乗じて連年成長量を、また常数を乗じて年平均成長量が得られる。

トドマツ幹表面積は全平均で 0.905ha、間伐後 0.75ha、ストローブマツは平均 0.80ha、間伐後 0.67ha、グイマツは平均 0.67ha、間伐後は 0.58ha、ヤチダモは平均 0.47ha、間伐後 0.37ha 内外である。

幹表面積からその林分の年平均成長量を求める常数はトドマツ林では平均 1.12mm、ストローブマツは 1.16、グイマツは 0.95、ヤチダモは 0.83mm となっている。

13) 直径の変異係数は一般に間伐後は間伐前よりも小となり、平均径が大になるほど小なる値となっている。すなわち、間伐によって劣勢木が除かれ、間伐のくり返しによって均斉のとれた林分に推移している。

トドマツ林の平均した直径の変異係数は 23.0%、ストローブマツ 18.3%、グイマツ 15.6%、ヤチダモ 20.6% で、一般に針葉樹では陽樹の方が小さい値となっている。

14) 直径対本数分布の型をポアソン分布式と正規分布式にあてはめると、トドマツ林では両者の折衷型のものが多いが、グイマツ林はポアソン型のみの分布型が多い。トドマツなどの陰樹は劣勢木が被圧のまま立っているが、グイマツなど陽樹林では被圧木が枯れるので、直径分布の幅は狭くなるが、トドマツでは広がっている。したがって、ポアソン分布式の m の値はグイマツでは小さい値となっている。

15) 樹高曲線はほぼ $H = a e^{-\frac{b}{x}} + 1.3$ で求めることができる。樹高の変異係数は直径に比べると 1/2 内外の小なる値となっている。樹高の胸高直径にたいする相関比は 0.7~0.94 で、概して陽樹よりは陰樹の方が大きな値となっている。

樹高曲線式の $a \cdot b$ は樹高とともに大となるが、 b の値は同一径級では陽樹の方が陰樹よりも小で、曲線のカーブが一層ゆるやかなことを示している。

16) 樹高成長は $H = \frac{x^2}{ax^2 + bx + c}$ で求められ、トドマツ林 No. 5, 6 のように当初の成長の遅いものは常数 c の値が大である。この式で算出した 50 年生の樹高はトドマツ林 No. 1, 4 は 21.0m, No. 5, 6 は 16.3m, ヨーロッパトウヒ林 20.8m, ストローブマツ林 21.3m, グイマツ林 19.7m, ヤチダモ林 23.2m である。

17) 胸高直径成長は $D = \frac{x^2}{a(x^2 - d^2) + b(x - d) + c} - e$ で求めることができる。この式で算出した 50 年生の平均径はトドマツ林 No. 1, 4 は 29.5cm, No. 5, 6 は 21.1cm, ヨーロッパトウヒ林 28.1cm, ストローブマツ 33.0cm, グイマツ 25.3cm, ヤチダモ 24.1cm である。

18) 中・大径木混交率は $y = \frac{x^2 - c}{ax^2 + b}$ または $y = \frac{x - c}{ax + b}$ で求められる。この値は間伐、地位、樹種によって著しく異なるが、この混交率はトドマツ No. 1, 4 では 51 年生で 94.3%、ヨーロッパトウ

ヒ林 50 年生で 84.4%，ストロブマツ林 44 年生で 99.1%，グイマツ林 47 年生で 56%，ヤチダモ林 47 年生で 65% である。

19) 胸高断面積成長曲線は $G = \frac{x-c}{ax+b}$ または $G = ax - b \left(\frac{x+c}{c} \right)^{3/2}$ でほぼ表示できる。測定値を間伐後から樹冠閉鎖までと、閉鎖から間伐前までとに大別し、前者を間伐後、後者を間伐前として求めたが、さらにこれを間伐の直前と直後に換算するには、断面積間伐率を 1/5 とし、間伐直後から間伐直前までの樹冠の回復段階を 1/4 ずつ 4 段階とすれば、 $1/5 \times 1/4 = 1/20$ ，すなわち直前・直後にするのに前記の各断面積の 1/20 ずつ増し、または減じなければならない。

胸高断面積成長は肥大成長と立木密度に左右されるが、50 年生の間伐後の林分では、トドマツ林 49.5 m^2 ，エゾマツ林 36.2，ヨーロッパトウヒ林 48.2，ストロブマツ林 44.8，グイマツ林 32.8 m^2 と算出される。

間伐後の断面積成長曲線は間伐の前後、樹種によって差がみられるが、間伐後の断面積曲線の $G = \frac{x-c}{ax+b}$ の a , b , c は樹種によって次のような値となる。トドマツ林は $G = \frac{x-10}{0.0114x+0.25}$ ストロブマツ林は $G = \frac{x-9}{0.0125x+0.29}$ ，グイマツ林は $G = \frac{x-8}{0.014x+0.25}$ ，ヤチダモ林は $G = \frac{x-10}{0.0128x+0.28}$ である。陰樹より陽樹に向かうにしたがい a の値は大となるが、 c の値は逆に針葉樹では小となる傾向がみられる。

20) 各種林分の材積成長を求めるに、トドマツ林 No. 1 の 51 年生林分の材積は 595 m^3 ，間伐収穫を加えた総材積は 828 m^3 で、この年平均成長量はそれぞれ 11.7 m^3 ，16.2 m^3 である。ストロブマツ林は 51 年生で現材積 483 m^3 ，総材積 733 m^3 ，これらの年平均成長量は 9.5 m^3 ，14.6 m^3 で、グイマツ林はエゾマツ混植林を除けば 47 年生の現材積 294 m^3 ，総材積 444 m^3 で、これら年平均成長量は 6.3，9.5 m^3 である。エゾマツ林は 44 年生で 242 m^3 ，総材積 343 m^3 ，この年平均成長量は 5.5 m^3 ，7.8 m^3 で、ヨーロッパトウヒ林の 50 年生の現材積 466 m^3 ，総材積 677 m^3 ，これら年平均成長量は 9.3 m^3 ，13.5 m^3 である。トウヒ、カラマツ林の 46 年生の現材積は 379 m^3 ，総材積 586 m^3 ，これらの年平均成長量は 8.2 m^3 ，12.7 m^3 で、ヤチダモ林の 47 年生，No. 1, 2 の現材積は 218 m^3 ，総材積 339 m^3 ，これらの年平均成長量は 4.6 m^3 ，7.2 m^3 である。

21) トドマツ、エゾマツ人工林のように当初の成長の遅い林分では林冠閉鎖後の連年成長量は盛んで、年平均成長量の 2.5 倍となっている。この調査では各林分とも 35~38 年生前後の連年成長量が良好である。林分別に連年成長量と同成長率を示すと、トドマツ林 22~25 m^3 ，5.0~6.3%，エゾマツ林 14~15 m^3 ，7.1~7.5%，ヨーロッパトウヒ林 17 m^3 ，5.4%，トウヒ、カラマツ林 19 m^3 ，5.7%，ストロブマツ林 19~21 m^3 ，6.0~5.3%，グイマツ林 13 m^3 ，5.5%，ヤチダモ林 7~11 m^3 ，6.4~5.9% である。

22) トドマツ林の 43 ないし 51 年生の林分はなお連年成長が盛んにつづけられているが、ヨーロッパトウヒ林の最近の連年成長は低減している。すなわち、最近の各林分の連年成長量と成長率とをみると、トドマツ林 22 m^3 ，3.7~5.8%，エゾマツ林 7~12 m^3 ，3.2~4.1%，ヨーロッパトウヒ林 11 m^3 ，2.4%，トウヒ、カラマツ林 13 m^3 ，3.7%，ストロブマツ林 12~14 m^3 ，2.8~3.0%，グイマツ林 9 m^3 ，3.4%，ヤチダモ林 5~7 m^3 ，2.9~3.3% である。

23) 従来の研究報告の樹種別の生葉 1 トン当たりの年間幹材積成長量から現林分の生葉量を算出するにトドマツ林は 37 トン，ストロブマツ林 14~20 トン，グイマツ林 10 トン，ヤチダモ林 11 トン内外と推定できよう。

24) カラマツとヨーロッパトウヒの混交林は間伐がおくれるとトウヒが被圧されるが、第1回間伐をカラマツに重点をおいて間伐すれば、両者の適正な混交林に誘導することは困難でない。混交林は生態的にも生理的にも望ましい形態であるが、この林分は46年生でトウヒの平均径26.5cm、平均高21.4mにたいしカラマツは27.3cm、21.9mで、近似し、両者は均衡を保った生育形態を呈している。材積はトウヒ275m³、カラマツ104m³で、両者の比率は7:3となっている。かかる混交林は早期にカラマツの間伐木を得ることができ、間伐木を累計した総材積の年平均成長量は12.74m³である。

本林地はA層は比較的薄く、B層もまた深くないが、土壌のわりにより成長をしている。最近の連年成長はトウヒ純林よりも良好で、成長の持続性を示している。

25) トドマツ林の立木本数密度と収穫の多少を検討すると第1回間伐当時3,710本立っていたNo. 3は間伐収穫175m³を加えた43年生の総材積は651m³であるが、1,550本立のNo. 4の43年生の総材積は534m³で、前者は後者の1.22倍となっている。

26) 土壌性と林分の成長との間にはかなりの密な相関性がみられ、トドマツ林の現林分の年平均成長量とA層、B層の厚さとは次式のような密な相関関係がみられる。

年平均成長量 $\Delta V = 12 \left(\frac{x}{45} \times \frac{2}{3} + \frac{y}{60} \times \frac{1}{3} \right)$, ただし x = A層の厚さ, 45は地位上の厚さ, y = A, B両層の厚さ, 60は地位上の厚さ。

ヤチダモ林は水の流動する砂質壤土のものは成長がよいが、浅い埴土地帯の生育は不良である。

27) 人工林は間伐を重ねるにしたがい林床にいろいろの下草が侵入している。ことに広葉樹の稚樹の発生、吸着性藤本類の侵入生育が盛んである。

林分の成長と植生、種類との関係は明らかでないが、トドマツ林の成長のよい立地にはフッキソウ、ムカゴイラクサ、ウマノミツバ、ユリ科の各草本などの混生が多い。とくにグイマツ林下はクマイザサが優占し、広葉稚樹が3~4mの高さに達している。

ヤチダモ林ではクマイザサ地区よりも大型多漿質草本地区の方が生育良好である。

28) トドマツ人工林は各区とも、間伐当初は稚樹がよく発生したが、しだいに消失し、一部の通気性のよい林地においてのみ更新の保続が期待される。

他の樹種の人工林ではこれらの稚樹はほとんどみられず、他の林床植生の繁茂によって天然更新を期待することはできない。

29) 以上は野幌試験林の明治末から大正初期に植栽した主要造林樹種について取扱いと林分の構造と成長との関係を述べたものであるが、これら試験地は今後も照査をつづけ、各樹種の適正な伐期や収穫量の検討に供することになる。

この調査資料は中間段階の資料ではあるが、本道の拡大造林の推進や植伐の調整、造林伐種の多様化に資する点があろうと考え、解析数値を中間報告するしだいである。

文 献

- 1) 阿部富士夫：カラマツとトドマツの混交植栽林について、北林試時報，42，(1942)
- 2) 服部正相編：北海道北部山岳地帯の原生林に関する研究，北林試報告，19，(1950)
- 3) 石原供三：天然林におけるトドマツ稚樹の消長と森林土壌との関係にたいする研究，北林試報告，12，(1933)
- 4) 石崎厚美：植栽木成長に及す土壌性の影響について，第3報 エゾマツ，北林試時報，45，(1943)

- 5) 小出・中島・佐藤：苫小牧地方蝦夷松林収穫表，東北大学演習林報告，1，(1915)
- 6) 小出房吉・中島広吉：北海道野幌地方トドマツ林収穫表，北大演林報告 I，8，(1921)
- 7) 松井善喜：トドマツ人工林の成長と間伐，北海道支場年報，1958，(1959)
- 8) ———：ストロブマツ，北方林業書，14，(1959)
- 9) ———：人工林の林分構造，北海道支場年報，1960，(1961)
- 10) ———：天然林の林分構造，北海道支場年報，1960，(1961)
- 11) ———：トドマツ人工林の収穫予想と密植による増収効果について，北方林業，15，9，(1963)
- 12) ———：北海道の森林の取扱いに関する研究 II，林試研報，189，(1966)
- 13) 松本利平：立木本数について（間伐の新方式），山林，779，(1949)
- 14) 嶺 一三：収穫表に関する基礎的研究と信州地方カラマツ林収穫表の調製，収穫表調製業務研究資料，12，(1955)
- 15) 中村賢太郎：間伐の強さと材積収穫の多少，日林誌，35，(1953)
- 16) ———：本数間伐の構造，林業技術，123，(1952)
- 17) 西沢正久：林分成長量の推定および予測方法に関する研究，林試研報，129，(1961)
- 18) 野幌林業試験場：野幌国有林におけるカラマツ及びドイツウヒ幼令林の成績，野林試報告，10，(1923)
- 19) 大友栄松：収穫表の使用法について，山林，872，(1957)
- 20) 坂口勝美：間伐の本質に関する研究，林試研報，131，(1961)
- 21) ———：本数密度からみたアカマツ天然生幼齡林の分析，林試研報，93，(1957)
- 22) 札幌営林局：トドマツ，エゾマツ立木幹材積表調製説明書，(1940)
- 23) 島本貞哉：北海道釧路国弟子屈地方エゾマツ林収穫予想表，日本主要樹種林分収穫表，(1938)
- 24) 高村邦太郎：高村式間伐法，林業技術，118，(1951)
- 25) 高橋健三：植栽木生長に及ぼす土壌性の影響について，第 1 報，とどまつ，北林試時報，16，(1937)
- 26) ———：植栽木生長に及ぼす土壌性の影響について，第 2 報，やちだも，北林試時報，28，(1941)
- 27) 寺崎康正ほか：秋田地方スギ人工林の成長と収穫，林試研報，168，(1964)
- 28) 牛山六郎：胸高直径に基準をおく間伐法，長野営林局局報，21，(1954)
- 29) 山崎栄喜：間伐の基礎的考察，日林誌，26，(1944)
- 30) 吉田正男：同令単純林における単木及び林木の生長曲線に関する研究，東大演報告，5，(1928)
- 31) ASSMANN, E. : Grundflächenhaltung und Zuwachsleistung Bayerischer Fichten Durchforstungsreihen Forstw. Cbl 73, (1954)
- 32) BECKING, J. H. : Einige Gesichtspunkte für die Durchführung von Vergleichten Durchforstungsversuchen in gleichaltrigen Beständen.
Proceedings of the 2nd Congress of I. U. F. R. O., Rome, (1953)
- 33) HILEY, W. E. : Numerical thinning with special reference to Japanese larch Forestry.
24, (1952)
- 34) LEXEN, B. : Bole area as an expression of growing stock. J. For., 41 (1943)
- 35) SCHÖBER, R. : Die japanische Lärche, (1953)
- 36) SMITH, J. H. G., J. W. KER and J. CSIZMAZIA : Economics of reforestation of Douglas fir, western hemlock and western red cedar in the Vancouver forest district. Univ. of B. I. C. Faculty of Forestry, Forestry Bulletin, 3, (1961)
- 37) TADAKI, Y. : Some discussion on the leaf biomass of forest stand and tree. Bulletin of the Government Forest Experiment station, 184, (1966)
- 38) VEZINA, P. E. : Selective thinning in balsam fir, (1961)
- 39) ——— : Crown width d.b.h. relationships for open-grown balsam fir and white spruce in Quebec. For. Chron., (1962)

- 40) VEZINA, P. E. : Objective measures of thinning grades and methods. Forest research branch contribution, 506, (1963)

**Stand Structure and Growth of Each Plantation
of Native and Exotic Tree Species
in Nopporo Experiment Forest**

Zenki MATSUI

(Résumé)

I A) The Nopporo Forestry Experiment Station was established in the national forest near Sapporo in 1908, and the problems of planting native and exotic species were taken up by Director Dr. Y. NIIJIMA during ten years from 1912 to 1921. Important trees such as Sachalin's fir, Jezo-spruce, European spruce, Japanese larch, Eastern white pine, Kuril larch and Mandshrica-ash were planted in setting standards for the silvicultural treatment on the 3rd working unit of Nopporo experiment forest. The structure and growth of trees in the plantation had been measured, but the collection of such data was temporarily interrupted by World War II, however, since 1947 the measuring of these stands has been precisely performed.

Certain plots of the experiment plantation were unavoidably omitted as a violent typhoon in 1954 destroyed the stands.

The remaining 20 plots comprising Sachalin's fir 6, Jezo-spruce 2, European spruce 1, E. spruce mixed with Japanese larch 1, Eastern white pine 3, Kurile larch 3 and Mandshrica-ash 4 have been thinned or measured periodically.

In Hokkaido, the history of silviculture is so short that the methods of nursery, planting and thinning or forestry management of each kind of planting trees have not been adequately researched except in a few experiment plantations.

The stand structure and growth related to the thinning treatment of native or exotic plantations should be applied effectively to carry out the vastly expanded scale of the afforestation program.

In this résumé the researches are described.

I B) The experiment plantation lies on the flat hill of Nopporo in the northern part of the mild temperate forest zone (North latitude 43° 25').

The annual mean air temperature 7.1°C, the annual precipitation 1,185 mm, the mean air temperature and precipitation in the growing season from May to September are respectively 17.0° C and 515 mm.

I C) The planted records of these stands are as follows : In Nopporo forest, the experiment plots of Sachalin's fir were planted from 1913 to 1928, and the plantation of this tree has been expanded in the national forest since the beginning of the Showa era (about 1925).

The percentage of annual planted area has been spreading out till it has reached 65% of total afforestation in recent years.

Jezo-spruce were planted in 1917, but the plantation of this tree suffered severe damage by Charmes-Aphids at large in Hokkaido, consequently the growth of this plantation has been delayed by this damage. European spruce was planted in 1913, though it had been tentatively planted since 1860, and later became the most propagated planted tree in the exotic tree kinds.

European spruce mixed with Japanese larch was planted in 1913. This mixed stand would

appear to be on the point of effective utilization of soil and light.

Eastern white pine was planted in 1910, and the species has proved so superior in growth and adaptability that this planted area has been spreading out in recent years.

The plots of Kurile larch were planted in 1915, and although the growth of this species is inferior to Japanese larch, its resistance to rodent damage and freezing is superior.

The plots of Mandshrica-ash were planted in 1913~'15, and generally planted on moist soil near a stream in the national forest since the Taisho era (about 1911).

II) The structure and growth of these native or exotic plantations in Nopporo are described in each table and the following résumé.

The thinning treatment is expressed by the index of stand density or the ratio of removed tree, basal area and volume, and the growth of each stand is set in comparison with the same age by the calculation.

1) The index of d/D and v/t are convenient to express the method of thinning, in which d is the average d.b.h. of trees removed by thinning, and D is the average d.b.h. before thinning; on the other hand v is the percentage of volume removed, t is the percentage of trees removed.

In each plantation, d/D are 0.7~0.8 and v/t are 0.5~0.7 which indicate the classifying of the severe low thinning to light crown thinning.

If the distribution of stem to d.b.h. is the normal distributed type, these indexes express that 2/3 of removed trees are selected from the inferior small trees and 1/3 from each diameter class.

2) The stand density may be expressed by C_w/D , in which C_w is the square spacing distance or crown width and D is the average d.b.h. In each plantation, average number of C_w/D is calculated as follows: Sachalin's fir 14.4, Eastern white pine 15.1, Kuril larch 16.9, Mandshrica ash 23.9. These average numbers should be enlarged to about 1.08 times after thinning.

3) C_b/H : The number of trees per 1 ha has been calculated on a triangular arrangement and the spacing is expressed in percent of the upper height H . In each plantation, the average number of C_b/H is as follows: Sachalin's fir 18.9, Eastern white pine 22.4, Kurile larch 21.1, Mandshrica ash 24.4. These numbers should be enlarged to about 1.08 times after thinning.

4) The average stem number per 1 ha from the after thinning to the closing crown may be calculated as in the following formula

$$N = ax^{-b} \quad \text{or} \quad N = \left(\frac{100}{ax+b} \right)^2$$

In short lapse after thinning, the constant a , b of $N = ax^{-b}$ is indicated as follows:

Sachalin's fir $a=44,610$, $b=1.234$

Eastern white pine $a=36,310$, $b=1.220$

Kuril larch $a=31,068$, $b=1.234$

Mandshrica ash $a=14,425$, $b=1.127$

The constant a , b of $N = \left(\frac{100}{ax+b} \right)^2$ is as follows: Sachalin's fir $a=0.1$, $b=1$, Eastern white pine $a=0.115$, $b=0.8$, Kuril larch $a=0.15$, $b=0.6$, Mandshrica ash $a=0.16$, $b=1.1$.

Removed basal area of each stand is mostly under 20% of full stock, so that the thinning may be concluded as the moderate thinning grade.

5) Bole surface (s) per 1 ha can be calculated by $s=2.2 \cdot d \cdot h \cdot n$ (h =top height, d =mean d.b.h., n =number of trees/1 ha). Average bole surface of each plantation is as follows: Sachalin's fir 0.91 ha, Eastern white pine 0.85ha, Kuril larch 0.67ha, Mandshrica ash 0.47 ha. These numbers

may be generally converted into the surface area after thinning by the rate of about 0.9 s. The annual current volume growth may be measured by the bole surface multiplied by breadth of annual year ring. On the other hand, the annual mean growth of each stand may be measured by multiplying with the following numbers: Sachalin's fir 1.12 mm, Eastern white pine 1.16 mm, Kurile larch 0.95 mm, Mandshrica ash 0.83 mm.

6) Stand structure is expressed by the average figure, standard deviation, coefficient of variation and skewness of d.b.h. and height, namely *C.V.* of d.b.h. of the intolerant plantation which are generally larger than the tolerant one; on the other hand, these figures are inversely proportional to the size of mean d.b.h. and become smaller after thinning. The *C.V.* of height is adequated to about half of the one of d.b.h.

The stem distribution to d.b.h. of the intolerant plantation is found as the positive skewness indicated by the combination of Normal and Poisson distribution formula. In Sachalin's fir plantation, the structure of stand approaches from Poisson to Normal type distribution by the repetition of thinning.

7) The stem distribution to d.b.h. of Kuril larch stand is expressed by Poisson formula $y = N \frac{m^x}{x!} e^{-m}$ in which *m* is 3~4. The *m* of this formula is proportional to the size of mean d.b.h., and *m* of the intolerant tree such as Sachalin's fir is larger than the tolerant tree such as Kurile larch.

8) The height to d.b.h. may be calculated by $H = ae^{-\frac{b}{x}} + 1.3$. The constant *a*, *b* becomes larger proportional to the size of mean height, while the constant *b* of the tolerant plantation is smaller than the intolerant one in the same diameter class.

9) The correlation ratio of height to d.b.h. is 0.7~0.94 and this ratio of the intolerant tree is generally larger than the tolerant one.

10) The height growth of each plantation is calculated by $H = \frac{x^2}{ax^2 + bx + c}$ (*x*=Age).

The mean height of stands each aged 50 estimated by this formula is as follows: Sachalin's fir, No. 1, 4=21.0m, No. 5, 6=16.3m, Jezo spruce=15.8m, European spruce=20.8m, Eastern white pine=21.3 m, Kuril larch=19.7 m, Mandshrica ash=23.2 m.

11) The growth of diameter b.h. is calculated by $D = \frac{x^2}{a(x^2 - d^2) + b(x - d) + c} - e$. The mean d.b.h. of stands each aged 50 estimated by this formula is as follows: Sachalin's fir No. 1, 4=29.5 cm, No. 5, 6=21.1 cm, Jezo spruce=19.1 cm, European spruce=28.1 cm, Eastern white pine=33.0 cm, Kuril larch=25.3 cm, Mandshrica ash=24.1 cm.

12) The mixed percentage of middle and large diameter classes to total stocks is accounted by $y = \frac{x^2 - c}{ax^2 + b}$ or $y = \frac{x - c}{ax + b}$.

These mixed percentages of each stand are as follows: Sachalin's fir stand aged 51=94.3 %, European spruce stand aged 50=84%, Eastern white pine aged 44=99%, Kuril larch aged 47=56%, Mandshrica ash stand aged 47=65%.

13) The growth of basal area is calculated by $G = \frac{x - c}{ax + b}$ or $G = ax - b \cdot \left(\frac{x + c}{c}\right)^{3/2}$.

The basal area after thinning of stand each aged 50 is as follows: Sachalin's fir=49.5 m², Jezo spruce=36.2 m², European spruce=48.2 m², Eastern white pine=44.8 m², Kuril larch=32.8 m², Mandshrica ash=22.5 m².

14) The volume growth of each stand is given in the following table:

Plantation	Age	Main stock (m ³)	Total yield (m ³)	Annual mean growth (m ³)	
				Main stock	Total yield
Sachalin's fir	51	595	828	11.7	16.2
Eastern white pine	51	483	733	9.5	14.6
Kuril larch	47	294	444	6.3	9.5
Mandshrica ash	47	218	339	4.6	7.2
Jezo spruce	44	242	343	5.5	7.8
European spruce	50	466	677	9.3	13.5
Mix. of E. spruce and Japanese larch	46	379	586	8.2	12.7

15) In the intolerant plantation such as the Sachalin's fir or Jezo spruce in which the growth during the early stage had been slow, the annual current growth in the closed stage is so large that it attains two and a half times as the annual mean growth.

The annual current growth and the growth percentage of each stand before and after 35~38 years old are as follows. Sachalin's fir=22~25 m³; 5.0~6.3%, Eastern white pine =19~21 m³; 6.0~5.3%, Kuril larch=13 m³; 5.5%, Mandshrica ash=7~11 m³; 6.4~5.9%, European spruce=17 m³; 5.4%, Mix. of E. spruce and Japanese larch=19 m³; 5.7%.

16) The annual current growth of Sachalin's fir aged 43~51 stand is about 22 m³ indicating considerable growth; on the other hand this growth of European spruce is 11 m³ which shows a decline of growth in the later years, and this decline may be found on the growth of Eastern white pine and Kuril larch stand also. Each annual current growth in later years are as follows: Eastern white pine=12~14 m³, Kuril larch=9 m³, Mandshrica ash=5~7 m³, Jezo spruce=7~12 m³, Mix. of E. spruce and Japanese larch=13 m³.

17) In the mixed stand of European spruce and Japanese larch, the removed trees were larch for the most part, and the mixed percentage has been managed to the volume rate of E. spruce 70% and Japanese larch 30%.

The growth of this aged 46 stand is as follows: European spruce; mean d.b.h. 26.5 cm, mean height 21.4 m, main stocks 275 m³, Japanese larch; mean d.b.h 27.3 cm, mean height 21.9 m, main stocks 104 m³.

The annual current growth of this stand in late years is superior to that of the European spruce stand, so that this mixed plantation may be considered one of suitable management.

18) The relation between stem density and total yield of Sachalin's fir stand is found to be follows: The total yield on 43-years-old of Plot 3 which had 3,710 stem at the first thinning stage is 651 m³ inclusive of 175 m³ by the removed stem; on the other hand, Plot 4 which had 1,550 stem at the first thinning stage is 534 m³ including 91 m³ by the removed stem on the same age, so that the total yield of densely planted stand is as much as 1.22 times larger than the sparsely planted stand.

19) The growth of Sachalin's fir stand reveals such correlation to the soil texture based on A layer and A+B layer as $V=12 \cdot \left(\frac{x}{45} \times \frac{2}{3} + \frac{y}{60} \times \frac{1}{3} \right)$, V =annual mean volume growth (m³) of main stock, x =depth (cm) of A layer of soil, y =depth (cm) of A. B layer.

20) The growth of Mandshrica ash on the moist loamy soil near stream such as Plot 1 is superior to the one of the clay soil on flat hill as Plot 3. The annual mean growth of main stock is 5.06 m³ at Plot 1 and 3.17 m³ at Plot 3.

21) The floor of each stand after the thinning, is plentifully occupied by invaded plants such

as seedlings, herbs, Sasa-bamboo and liana. The floor of tolerant plantation is dominantly occupied by Sasa-bamboo and large broad leaved young growth, and the floor of ash stand near stream is occupied by large herbs.

22) The regeneration of Sachalin's fir stand may be expected on the Bc type soil where large herbs and liana are few, but the seedling regenerated abundantly after the first thinning has been generally eliminated by the competition of invaded herbs and liana. On the other hand, the seedlings of other planted trees are so rarely found that the regeneration of the plantation may not be expected.