

森林の動態に関する研究（Ⅲ）

－北海道演習林の天然林について－

和田 茂彦 ・ 竹内 典之
川村 誠 ・ 酒井 徹朗

Studies on dynamics of natural forest (Ⅲ)

－Cases of Kyoto University Forest in Hokkaido－

Shigehiko WADA, Michiyuki TAKEUCHI,
Makoto KAWAMURA, Tetsuro SAKAI

要 旨

固定プロットの直径階別本数分布をWeibull分布にあてはめパラメータを計算した。分布型を表すパラメータ c は0.7～1.3でL字型分布, 指数型分布, 正の歪の強い分布型を示し, 小径木の多い天然林の特徴を表している。1975年と1988年のあてはめ結果を比較すると, パラメータ b , c の変化量に正の相関関係があることが判った。また平均直径や断面積平均直径とパラメータ b との間, 直径の変動係数とパラメータ c との間にも相関関係が認められた。これらのことから平均直径が増加するとパラメータ c が増加し, 直径の変動係数が減少すると c の値が増加する。将来の平均直径が予測できればパラメータの推定も可能である。

は じ め に

北海道の東部地域における天然林の実態を明らかにするため京都大学北海道演習林白糠区に固定プロットを設定し, その定期的な調査を行ってきている。1975～1976年にかけて0.5haの大きさのプロットを3箇所, 0.2haの大きさのものを17箇所設定し, 1980, 1987～1988年にそれぞれ毎木調査を行った。プロットの概要及びその調査結果については前報で報告した^{1, 2)}。ここでは特に林分構成の特徴とその動態について分析を行った。そのなかで林分の動態を樹種別・径級別・樹高別にみた進界・枯損・進級・原級停止の各要素の組合せから考察した。本報告ではその結果を踏まえ, 直径確率分布の分析をとおり, その動態を計数的に捉えることを試みたので報告する。

直径分布モデル

林分の直径分布は確率論的もしくは確率密度分布曲線によって表現される。森林経理学の分野では対象とする林分の特徴に合致した幾つかの分布型が古くから研究報告されている³⁾。その代表的なものには一斉同齡林に対するPoisson-I型分布・正規型分布・Chalier-A型分布, 択伐林あるいは天然生林に対するMeyer型分布等がある。1970年代にはいりWeibull分布が直径分布

として有効であるとし、多くの研究が報告されてきた^{4, 5)}。Weibull分布の確率密度関数は式(1)で表される。

$$f(x) = (c/b)(x/b)^{c-1} \exp \{-(x/b)^c\} \quad (1)$$

但し $x \geq 0, a \geq 0, b > 0, c > 0$ $x = D - a$, D : 胸高直径

ここで a, b, c はそれぞれ位置、尺度、形のパラメータである。 a は最小直径限界とも呼ばれている。 b は直径累積分布63%のときの直径で、平均直径と関連している。 c は分布型を決定する最も重要なパラメータである。 $c < 1$ の時この分布型はL字型(逆J字型)分布, $c = 1$ ではMeyer型(指数型), $1 < c < 3.6$ では正の歪(左寄り)をもつ分布, $c = 3.6$ では正規分布, $c > 3.6$ では負の歪(右寄り)をもつ分布型となる。このようにひとつの確率密度関数で多くの分布型に対応できるため、直径分布の変化の検討や比較の際に有用である。本報告ではこのWeibull分布を用いて直径分布の特徴とその動態について分析を行う。なお(1)式のパラメータ a, b, c の推定は平均直径と断面積平均直径を用いる計算方法⁶⁾のBASICプログラムを作成しパソコンを用いて算出した。

資料および計算結果

0.2haの固定プロット16箇所での過去3回の毎木調査の結果をもとに、針葉樹・広葉樹・総数ごとの直径階別本数を求め、Weibull分布へのあてはめを行った。毎木調査は2cm括約最小直径は6cmで、直径巻尺で測定したものも含め調整した。また、あてはめの妥当性を検定するため χ^2 検定も行った。その結果を表1-1～表1-3に示す。あてはめに用いたデータ総数は132例(針葉樹36例, 広葉樹48例, 総数48例)のうち43例(針葉樹12例, 広葉樹13例, 総数18例)が5%の有意差で「あてはめした分布が実際の直径分布と適合している」という仮説が棄却された。人工林の直径分布をWeibull分布へあてはめた場合によく適合するとされているが、広葉樹や天然林への適用についての報告⁷⁾は少ない。今回の例をみる限りでは、天然林の直径分布へのあてはめの適合率は2/3余りで、よく適合したとは言い難い。この原因としては、天然林の場合樹種・林齢が様々でギャップを含んだ直径分布であること、最小直径限界付近の本数が多いこと、直径の変動係数が大きいことに起因していると考ええる。

考 察

1) パラメータの特徴

あてはめの結果得られた天然林のWeibull分布のパラメータの特徴についてみる。パラメータ a は直径6cm以上を対象にしたため、当然のことながらすべて5である。一般に尺度のパラメータ b と平均直径との間には強い相関関係があるといわれている。パラメータ b と直径の単純平均直径 D との関係についてみたものが図1である。両者には式(2)のように強い相関関係があった。

$$D = 0.856 * b + 1.482 \quad (r^2 = 0.979) \quad (2)$$

また、パラメータ b と断面積平均直径 D_g との関係についてみたものが図2である。平均直径ほど強くはないが式(3)のように両者間にも強い相関関係があることがわかる。

$$D_g = 0.982 * b + 8.302 \quad (r^2 = 0.883) \quad (3)$$

表 1-1 ワイブル分布へのあてはめ結果 広葉樹

プロット調査年 番号	パラメータ	平均直径(cm)	本数	変動係数	df	χ^2	値
PLOT YEAR	a b c	mean meand	N	CVd			
41	75 5	5.87 0.74	7.03 15.45	299 0.804	23	41.67	
41	80 5	6.22 0.76	7.32 15.75	295 0.797	23	38.73	
41	88 5	7.71 0.82	8.59 17.23	269 0.779	24	44.48	
42	75 5	8.56 0.82	9.54 18.72	184 0.810	23	22.53	
42	80 5	8.03 0.81	9.03 18.00	200 0.803	23	18.48	
42	88 5	8.20 0.82	9.14 18.08	203 0.797	23	13.68	
43	75 5	5.85 0.75	6.94 15.20	277 0.788	22	41.41	
43	80 5	6.58 0.79	7.53 15.81	278 0.770	22	35.64	
43	88 5	7.65 0.89	8.08 15.91	271 0.692	21	27.45	
44	75 5	7.84 0.77	9.18 18.74	109 0.863	20	19.22	
44	80 5	9.03 0.82	10.04 19.45	114 0.820	21	30.29	
44	88 5	10.55 0.85	11.45 21.33	110 0.824	22	29.30	
45	75 5	9.01 0.93	9.33 17.53	238 0.704	23	37.87	
45	80 5	9.38 0.95	9.60 17.79	245 0.695	23	34.42	
45	88 5	11.36 1.03	11.21 19.52	221 0.671	24	37.50	
46	75 5	9.63 0.92	10.01 18.55	117 0.726	20	26.15	
46	80 5	8.81 0.87	9.44 18.10	137 0.756	20	24.92	
46	88 5	11.25 0.96	11.43 20.30	120 0.724	22	35.36	
47	75 5	8.28 0.97	8.39 15.96	187 0.648	19	16.87	
47	80 5	8.73 0.98	8.80 16.47	202 0.651	20	14.46	
47	88 5	12.12 1.19	11.43 19.06	164 0.588	21	33.99	
48	75 5	7.04 0.80	7.95 16.36	132 0.771	19	28.33	
48	80 5	7.49 0.83	8.27 16.64	128 0.757	19	30.32	
48	88 5	8.02 0.84	8.78 17.36	119 0.765	19	23.61	
49	75 5	7.05 0.80	7.99 16.45	222 0.776	22	46.54	
49	80 5	7.87 0.83	8.72 17.38	213 0.777	22	27.07	
49	88 5	10.85 0.93	11.21 20.21	174 0.745	24	29.51	
61	75 5	6.50 0.90	6.85 14.10	313 0.645	19	29.63	
61	80 5	7.09 1.00	7.08 14.00	315 0.584	18	18.78	
61	88 5	9.19 1.18	8.69 15.58	278 0.543	19	35.68	
62	75 5	7.07 0.88	7.52 15.18	273 0.685	21	16.41	
62	80 5	7.41 0.90	7.80 15.47	272 0.678	21	14.63	
62	88 5	9.44 1.11	9.08 16.30	242 0.582	20	29.04	
63	75 5	14.09 1.21	13.24 21.32	150 0.605	23	12.20	
63	80 5	14.51 1.24	13.53 21.53	147 0.591	23	12.06	
63	88 5	13.21 1.39	12.05 19.17	65 0.514	17	11.81	
81	75 5	12.84 1.23	11.99 19.62	151 0.576	21	25.25	
81	80 5	12.52 1.19	11.81 19.55	161 0.594	22	20.29	
81	88 5	14.27 1.25	13.29 21.19	147 0.585	23	21.95	
82	75 5	11.14 0.93	11.55 20.76	192 0.757	25	41.82	
82	80 5	11.08 0.92	11.55 20.84	196 0.764	26	50.33	
82	88 5	10.50 0.88	11.21 20.68	184 0.793	25	30.57	
83	75 5	16.29 1.09	15.76 25.33	102 0.698	25	29.54	
83	80 5	15.71 1.04	15.44 25.27	100 0.726	25	28.03	
83	88 5	12.55 0.92	13.09 23.09	93 0.793	22	24.55	
84	75 5	21.55 1.06	21.03 32.72	69 0.761	27	20.98	
84	80 5	21.45 1.06	20.94 32.61	69 0.761	27	21.60	
84	88 5	24.70 1.09	23.91 36.33	55 0.761	27	24.08	

表 1-2 ワイブル分布へのあてはめ結果 針葉樹

プロット調査年 番号	パラメータ	平均直径(cm)	本数	変動係数	df	χ^2	値
PLOT YEAR	a b c	mean meand	N	CVd			
41	75 5	11.84 1.24	11.04 18.39	45 0.559	15	22.21	
41	80 5	12.72 1.27	11.81 19.26	42 0.558	15	17.91	
41	88 5	14.71 1.29	13.59 21.40	37 0.569	16	13.33	
42	75 5	9.76 1.00	9.78 17.76	128 0.665	19	40.75	
42	80 5	10.60 1.02	10.50 18.61	121 0.664	20	29.80	
42	88 5	10.72 0.97	10.85 19.40	118 0.705	21	48.73	
43	75 5	4.11 0.71	5.16 12.63	110 0.737	14	12.49	
43	80 5	3.93 0.73	4.82 11.95	111 0.694	13	11.27	
43	88 5	5.58 0.96	5.68 12.21	121 0.554	13	26.27	
44	75 5	17.48 1.64	15.64 22.85	78 0.474	20	44.99	
44	80 5	19.48 1.66	17.35 24.80	79 0.480	22	41.56	
44	88 5	22.85 1.75	20.35 28.05	77 0.473	24	40.66	
45	75 5	13.40 1.20	12.59 20.49	39 0.597	16	14.50	
45	80 5	13.80 1.26	12.84 20.60	37 0.577	16	15.41	
45	88 5	16.24 1.30	15.00 23.14	31 0.581	16	12.00	
46	75 5	11.31 1.47	10.23 16.80	146 0.464	16	41.34	
46	80 5	12.61 1.41	11.48 18.43	150 0.501	19	43.20	
46	88 5	15.27 1.48	13.80 21.05	140 0.504	21	33.15	
47	75 5	7.49 1.16	7.11 13.58	38 0.508	11	8.071	
47	80 5	8.58 1.20	8.07 14.72	41 0.518	12	17.14	
47	88 5	12.00 1.65	10.73 17.10	30 0.425	12	28.58	
48	75 5	15.89 1.60	14.25 21.30	149 0.473	21	27.27	
48	80 5	17.56 1.66	15.70 22.88	143 0.470	22	21.89	
48	88 5	20.25 1.69	18.08 25.58	130 0.477	24	37.93	
49	75 5	10.50 1.09	10.16 17.81	143 0.616	20	18.36	
49	80 5	12.60 1.22	11.80 19.42	135 0.579	20	11.81	
49	88 5	15.43 1.37	14.10 21.75	116 0.544	22	32.55	
61	75 5	9.16 1.14	8.73 15.73	178 0.558	18	27.74	
61	80 5	9.91 1.14	9.46 16.70	178 0.577	19	31.17	
61	88 5	12.51 1.21	11.75 19.39	166 0.583	21	24.99	
62	75 5	5.07 0.81	5.70 12.85	63 0.664	12	7.315	
62	80 5	5.62 0.84	6.16 13.40	62 0.664	12	5.008	
62	88 5	7.91 0.92	8.21 15.94	63 0.675	14	12.81	
63	75 5	12.46 1.16	11.82 19.67	66 0.607	18	11.34	
63	80 5	13.53 1.15	12.88 21.13	67 0.630	19	10.21	
63	88 5	18.97 1.29	17.57 26.45	46 0.611	21	14.83	

以上のことから林分の平均直径あるいは断面
積平均直径が増加するとパラメータ b の値も
増加することがわかる。

分布の形を決定するパラメータ c の値は各
プロットの総計でみると (表 1-3) 0.7~
1.3であった。これは L 字型, 指数型, 極めて
正の歪の多い分布型であり, 天然林の直径階
分布の特徴を表している。一斉林や人工林で
はパラメータ c の値は 2.0~4.0 をとり, 正規
分布の幾らか歪んだ分布型をとる。また, 針
葉樹 (トドマツ) だけについてみると (表 1-
2) c の値は 0.7~1.8 でその多くは 1 以上で
ある。一方広葉樹だけみると (表 1-1) c
の値は 0.7~1.2 でありその多くは 1 以下で
ある。このことは多くの調査プロットでトドマ
ツが非 L 字型の分布, つまり直径階別本数の
山 (最大値) が最小直径階になく, それより
太い直径階にあることを示している。一方,
広葉樹は L 字型分布 - 最小直径階に山がある
ことを示している。

パラメータ c と直径の変動係数 CVd の関係
についてみたものが図 3 である。変動係数が
小さくなると, パラメータ c の値が大きくな
ることがわかる。両者の間には式 (4) のよ
うに相関関係がある。

$$CVd = -0.40 * c + 1.087$$

$$(r^2 = 0.611) \quad (4)$$

変動係数は平均直径とその分散から計算され,
分散が同じなら平均直径が大きいほど, 平均
直径が同じなら分散が小さいほどその値は小
さい。天然林における直径の変動係数は一斉
同齢の人工林に比べ大きく, その値は 0.55 ~
0.8 の範囲にある。変動係数が大きいのは天
然林プロットでは樹種構成が複雑で, しかも
異齢林であるため個々の樹木の直径がバラつ
いているためである。

2) 直径分布の変遷

各プロットにおける直径分布の変遷をみるた
め, 1975 年と 1988 年の調査時のパラメータ b ,
 c の変化量をもとに散布図を描いたものが図
4 である。図中の数字はプロット番号を表し

表 1-3 ワイブル分布へのあてはめ結果 総計

プロット調査年 番号	パラメータ	平均直径(cm)	本数	変動係数	df	χ^2 値
PLOT YEAR	a b c	mean meand	N	CVd		
41	75 5	6.61 0.79	7.56	15.86	344	0.771 24 52.55
41	80 5	6.98 0.80	7.88	16.23	337	0.767 24 43.58
41	88 5	8.55 0.87	9.20	17.79	306	0.754 25 50.62
42	75 5	9.05 0.88	9.64	18.33	312	0.753 26 26.75
42	80 5	9.01 0.88	9.59	18.23	321	0.749 26 28.75
42	88 5	9.13 0.87	9.77	18.58	321	0.763 26 33.44
43	75 5	5.32 0.74	6.43	14.52	387	0.782 23 47.63
43	80 5	5.76 0.76	6.75	14.81	389	0.767 23 32.17
43	88 5	6.92 0.89	7.34	14.87	392	0.672 22 48.25
44	75 5	11.95 1.01	11.88	20.56	187	0.695 24 26.22
44	80 5	13.37 1.07	13.03	21.80	193	0.679 26 37.05
44	88 5	15.71 1.11	15.12	24.32	187	0.679 28 29.67
45	75 5	9.62 0.96	9.79	17.98	277	0.691 24 32.72
45	80 5	9.95 0.98	10.03	18.19	282	0.681 24 31.29
45	88 5	11.95 1.06	11.67	20.00	252	0.662 25 43.25
46	75 5	10.60 1.13	10.13	17.60	263	0.593 22 48.90
46	80 5	10.85 1.09	10.51	18.28	287	0.623 23 52.35
46	88 5	13.48 1.19	12.71	20.71	260	0.606 25 30.53
47	75 5	8.12 0.98	8.17	15.58	225	0.632 19 20.44
47	80 5	8.69 1.00	8.68	16.19	243	0.633 20 18.34
47	88 5	12.11 1.23	11.32	18.77	194	0.567 21 29.42
48	75 5	11.80 1.13	11.29	19.14	281	0.616 24 44.66
48	80 5	12.84 1.16	12.19	20.17	271	0.614 25 44.87
48	88 5	14.38 1.17	13.63	22.03	249	0.630 27 52.18
49	75 5	8.40 0.90	8.84	16.99	365	0.712 25 50.37
49	80 5	9.71 0.96	9.91	18.20	348	0.699 25 34.76
49	88 5	12.72 1.08	12.37	20.84	290	0.663 27 41.45
61	75 5	7.46 0.98	7.53	14.71	491	0.615 21 33.06
61	80 5	8.08 1.04	7.94	15.03	493	0.590 21 32.59
61	88 5	10.36 1.16	9.83	17.10	444	0.574 23 42.57
62	75 5	6.68 0.87	7.18	14.77	336	0.686 21 21.25
62	80 5	7.07 0.89	7.50	15.11	334	0.679 21 13.39
62	88 5	9.13 1.07	8.90	16.23	305	0.602 21 34.34
63	75 5	13.59 1.19	12.81	20.83	216	0.607 24 9.671
63	80 5	14.20 1.21	13.33	21.41	214	0.603 25 15.71
63	88 5	15.42 1.26	14.33	22.47	111	0.592 23 7.890
81	75 5	12.84 1.23	11.99	19.62	151	0.576 21 25.25
81	80 5	12.52 1.19	11.81	19.55	161	0.594 22 20.29
81	88 5	14.27 1.25	13.29	21.19	147	0.585 23 21.95
82	75 5	11.14 0.93	11.55	20.76	192	0.757 25 41.82
82	80 5	11.08 0.92	11.55	20.84	196	0.764 26 50.33
82	88 5	10.50 0.88	11.21	20.68	184	0.793 25 30.57
83	75 5	16.52 1.10	15.95	25.51	103	0.694 25 30.11
83	80 5	15.97 1.05	15.65	25.49	101	0.723 25 27.70
83	88 5	12.89 0.92	13.38	23.45	94	0.791 23 21.05
84	75 5	21.55 1.06	21.03	32.72	69	0.761 27 20.98
84	80 5	21.45 1.06	20.94	32.61	69	0.761 27 21.60
84	88 5	24.70 1.09	23.91	36.33	55	0.761 27 24.08

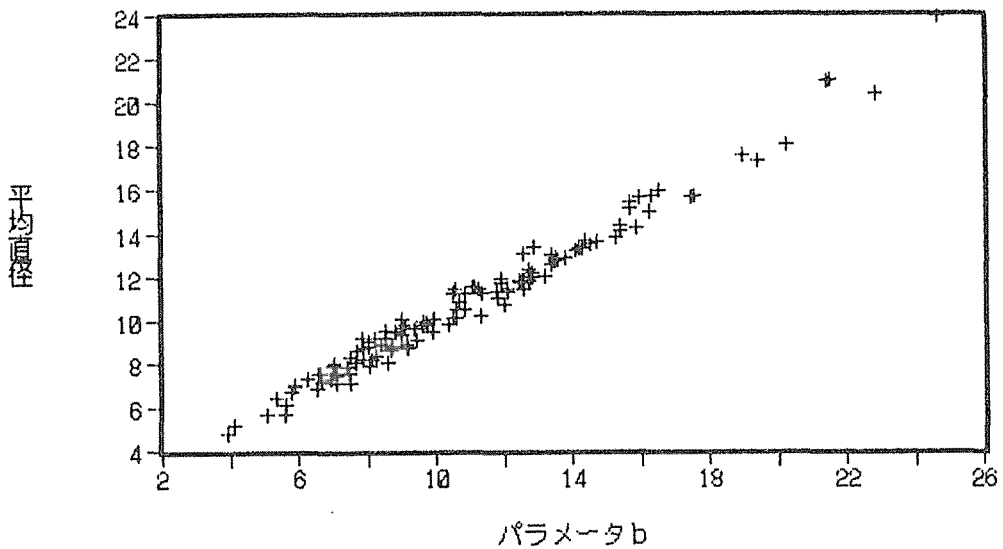


図-1 パラメータbと平均直径との関係

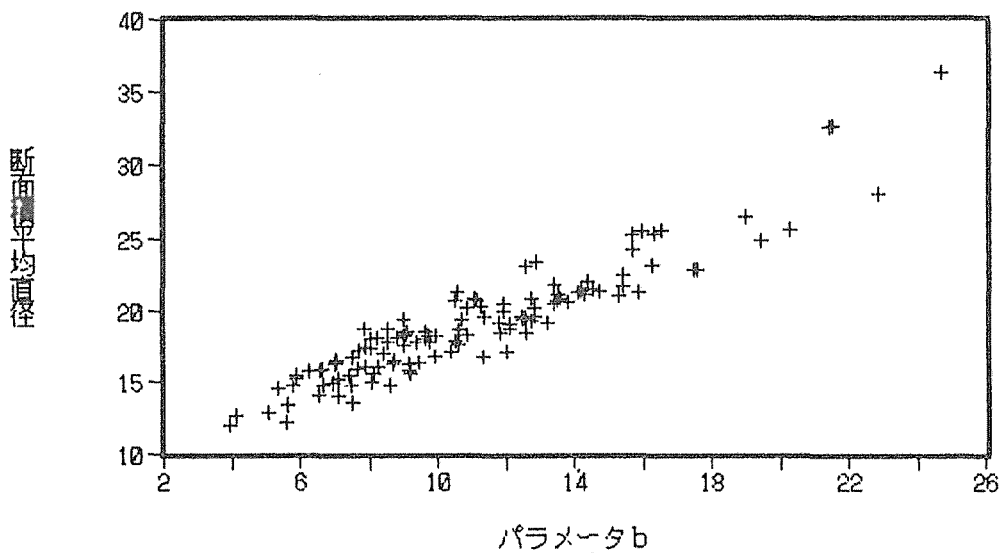


図-2 パラメータbと断面平均直径との関係

ている。この図からプロット42は直径分布からみた限りではほとんど変化しなかったこと、パラメータbが減少したプロット(82,83), つまり式(2)や式(3)等から明らかなように平均直径や断面面積平均直径が減少したプロットではパラメータcも減少していること、逆にパラメータbが増加したプロットではパラメータcの値も増加していることがわかる。なお、パラメータb, cの変化量b d, c dの関係は式(5)で表される。

$$c d = 0.44 * b d - 0.01 \quad (r^2=0.699) \quad (5)$$

パラメータcの変化量c dと当初のパラメータbの値との関係についてみたのが図5である。

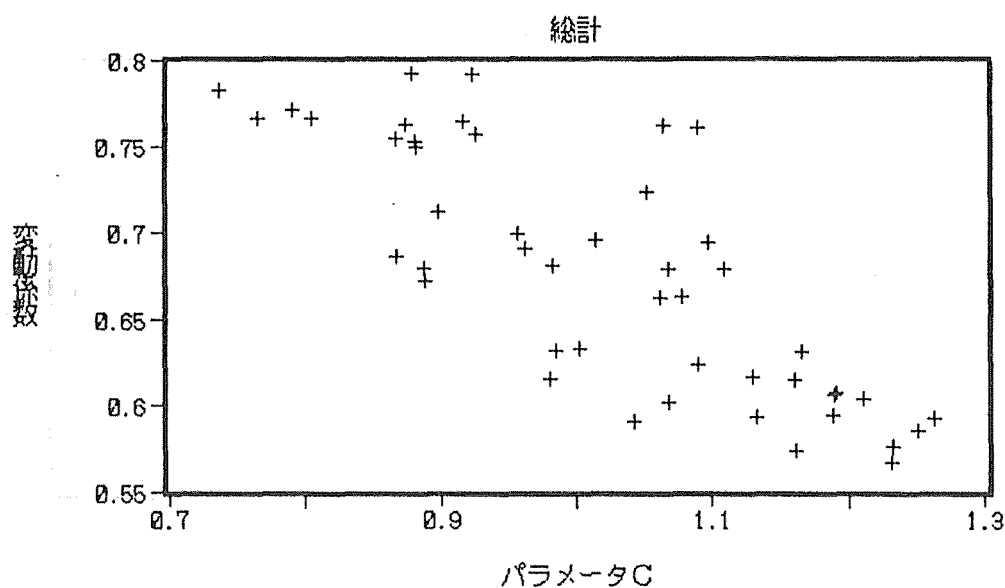


図-3 パラメータcと変動係数との関係

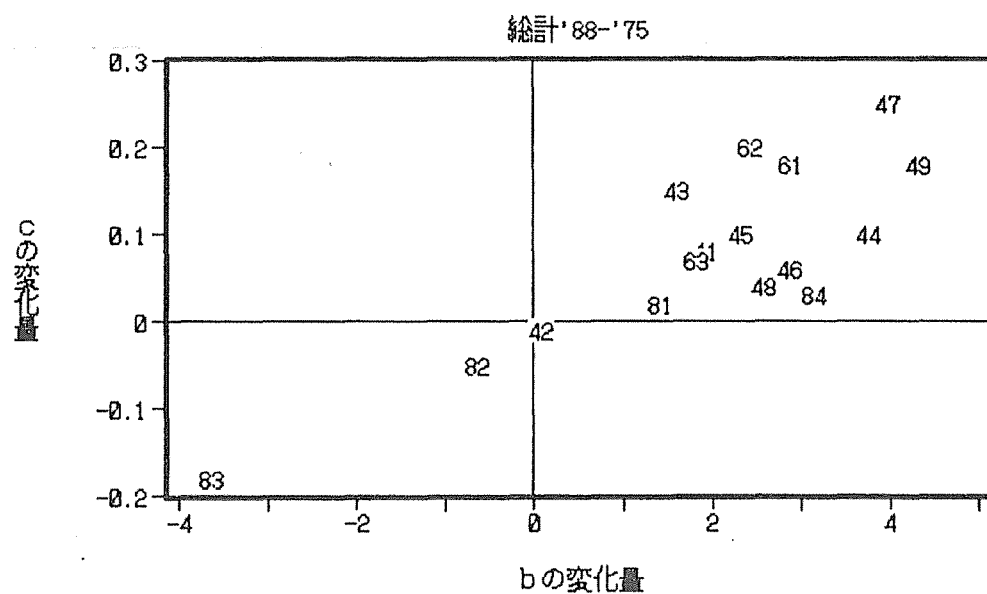


図-4 パラメータbとcの増加量の関係

パラメータbの値つまり平均直径が小さいとパラメータcの変化量は大きい傾向がみられるものの、両者間の相関関係は弱く ($r^2 = 0.371$) その傾向は断言できない。

3回にわたる調査の各時点におけるパラメータbとパラメータcの散布図をもとに、その経時変化をみたものが図6である。パラメータbとcの相関関係は弱い ($r^2 = 0.454$) もの、パラ

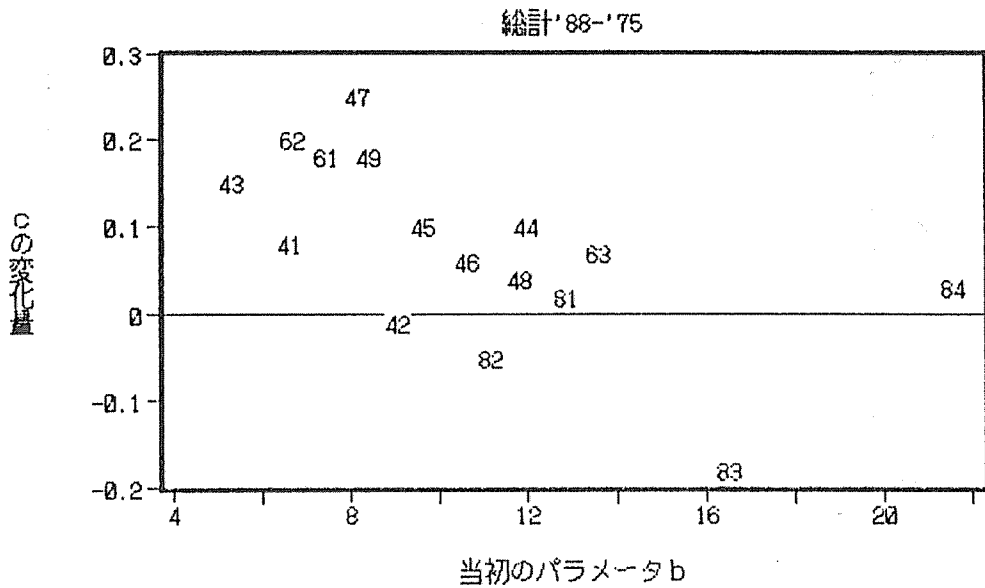


図-5 当初の平均直径とパラメータcの増加量との関係

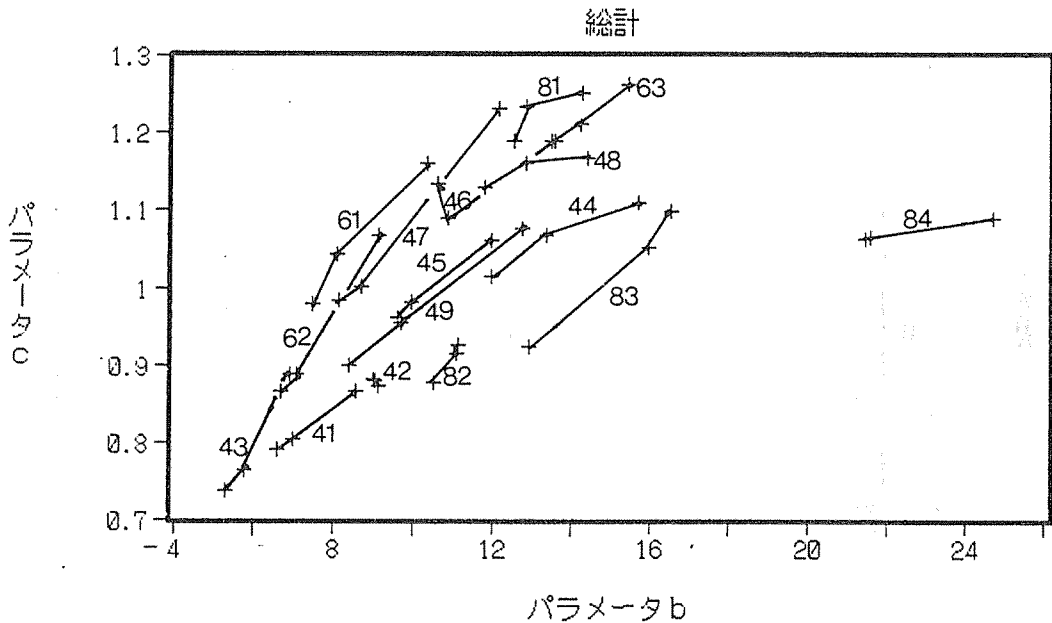


図-6 パラメータbとcの経時変化

メータbが大きいとパラメータcも大きくなる傾向が伺える。言い換えれば、対象とした天然林のプロットでは平均直径が大きいとパラメータcも大きく、L字型分布から非L字型分布になる傾向がみられる。プロット82,83はこの調査期間中平均直径は減少し、図では左下の方に経時変化している。他のプロットは右上の方に変化している。全般的にその変化の傾きはプロット84を

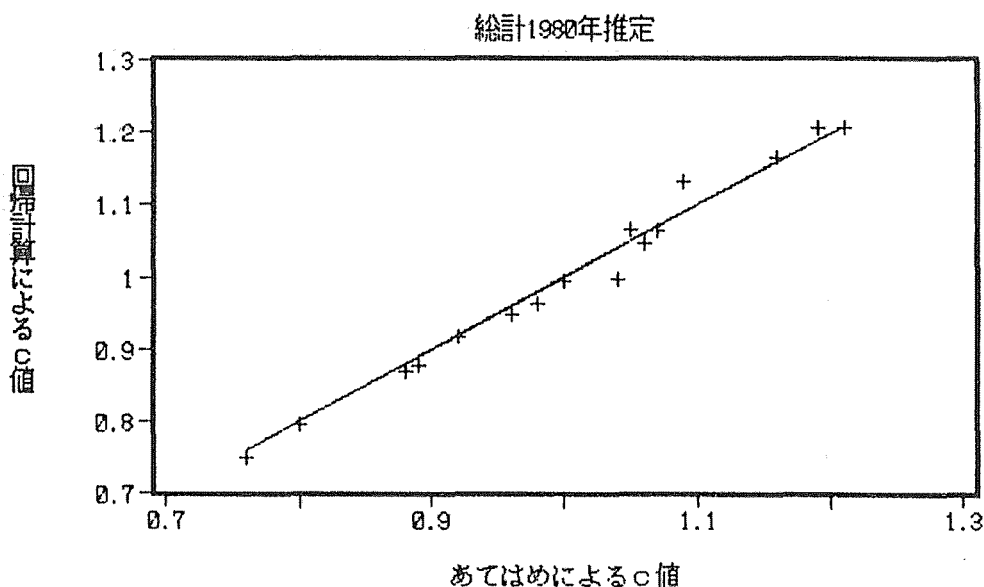


図-7 観測値と計算値の関係

除きはほぼ同じである。プロット84は立木本数が他に比べ際だって少なく（表1参照）比較的大きな広葉樹の疎林である。そのため他のプロットとは異なるものとする。

異時点間のパラメータの比較は将来の直径分布の予測に発展できる。そこで、1975年のパラメータを基準にし1980年のパラメータ c を(5)式を用いて計算してみた。その結果は図7に示すとおり、非常によい予測結果が得られた。この場合、2時点間の内挿をおこなったわけであるが、将来の平均直径が予測できれば、外挿も可能であろう。

最後に Weibull 分布にあてはめた例を図8～図10に示す。図8はプロット47への適用例で Weibull 分布によく適合している。1975年当初は $c=0.98$ とほぼ指数型の分布型をしている様子が判る。1988年になると6,8cmといった小径木の本数が減少し平均直径が4cm程増加し、山が右に移動した正の歪の多い分布型になったことが判る。図9はプロット83への適用例である。このプロットは当初の調査に比べ平均直径が4cm減少したプロットである。先の図8とは逆に山が左に移動し、中径木の本数変動が少なくなった様子が判る。図10はプロット10への適用例で Weibull 分布に適合していない例である。1975年の適用では最小直径階付近の本数が多いにもかかわらずあてはめ値が少なく、逆に中径木では多すぎる様子が判る。1988年の例では12cm前後に山が移動してきているのにあてはめの山は10cmにあり、うまく適合していない。この原因としては40cm以上の大径木が多く存在しているためと考える。大径木を無視して適用してみるとうまく適合する。

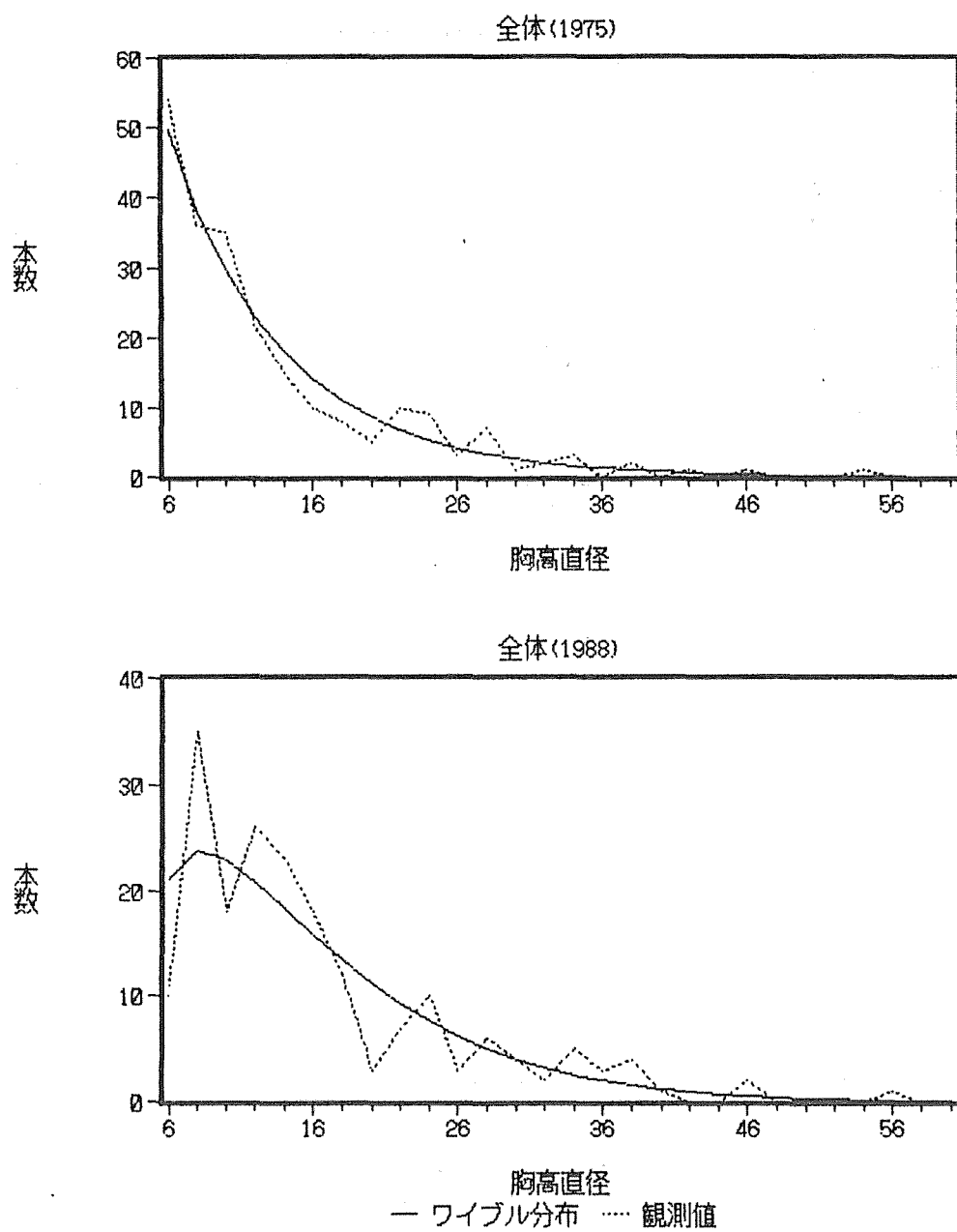


図-8 直径階別本数とワイブル分布-プロット47

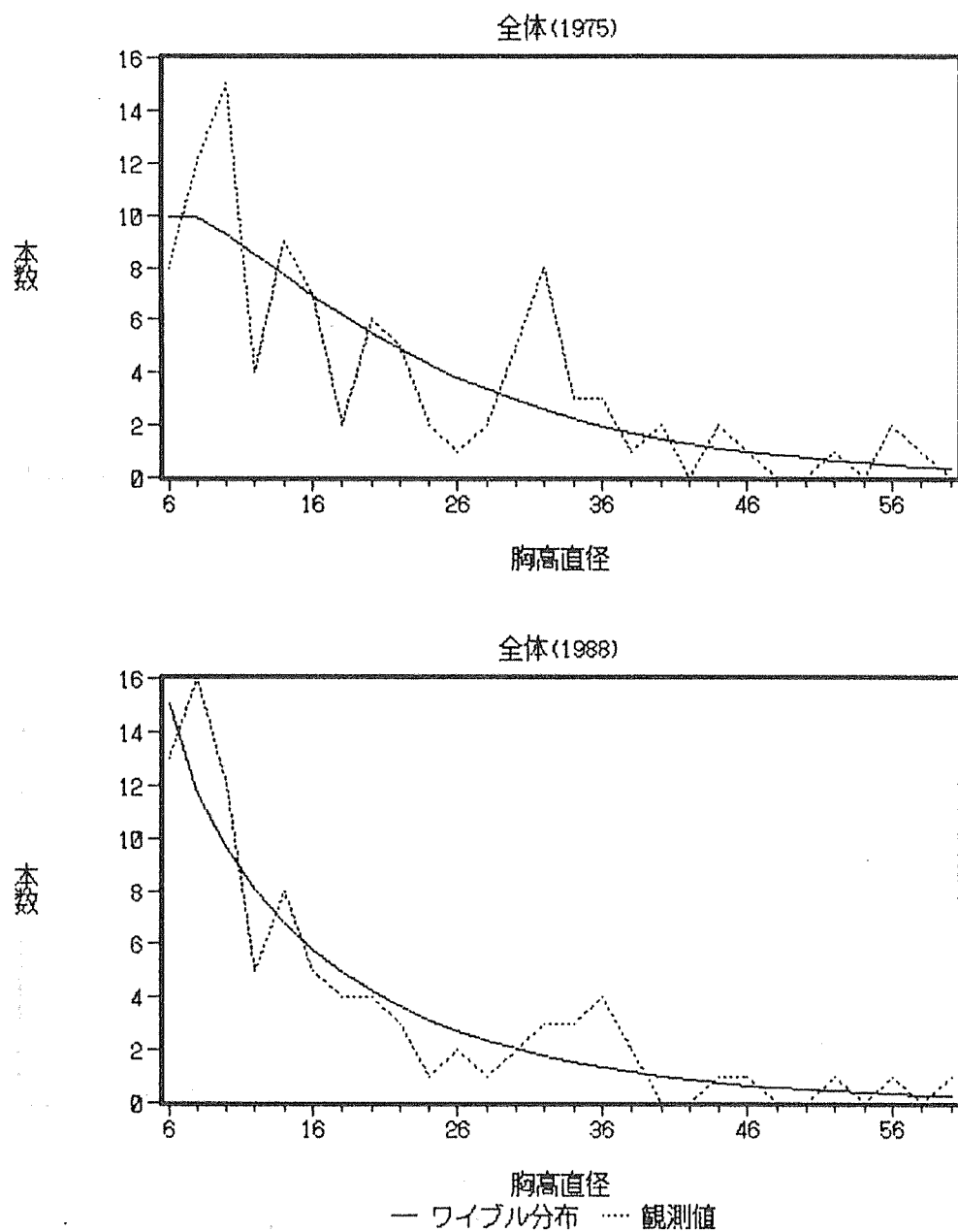


図-9 直径階別本数とワイブル分布—プロット 83

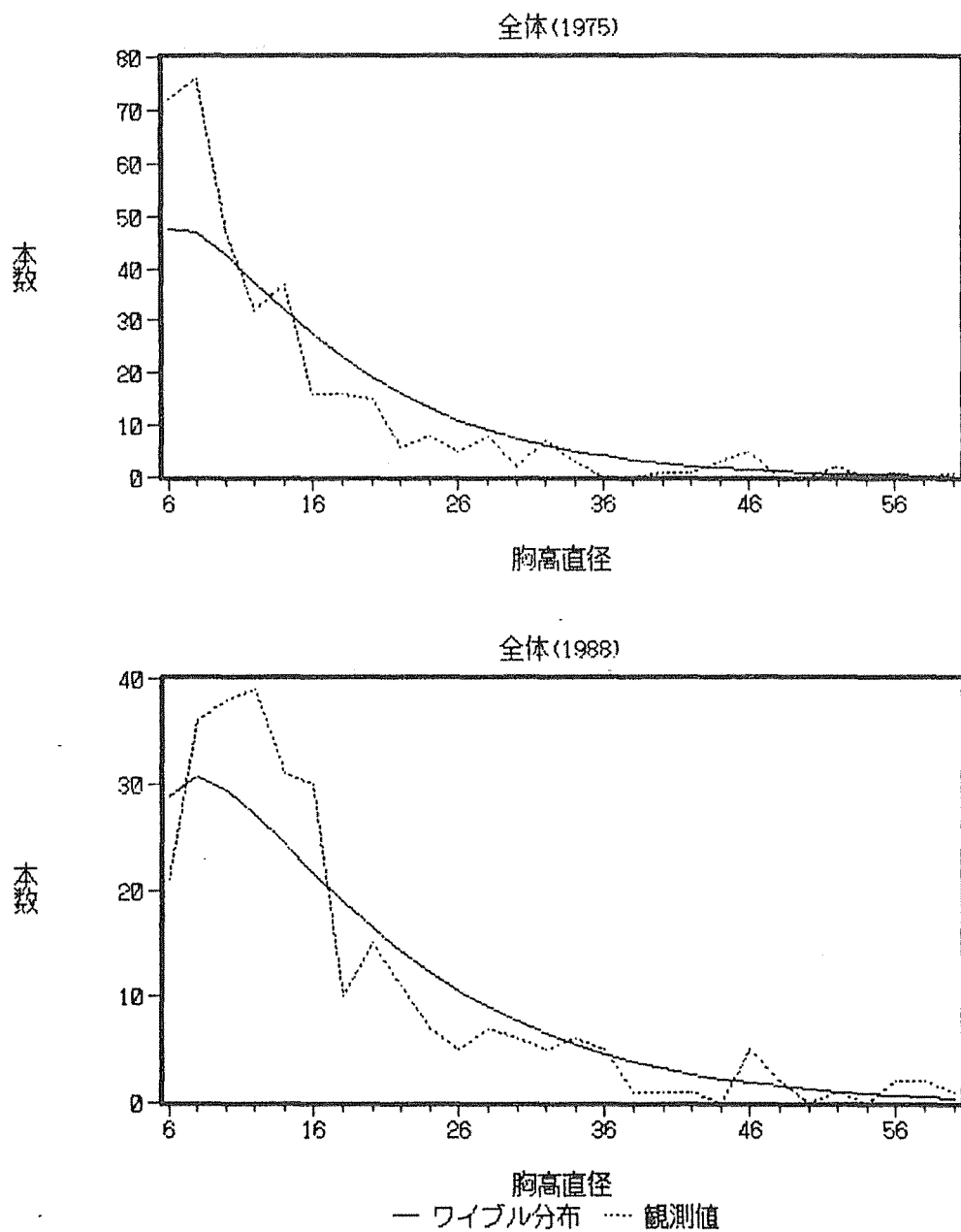


図-10 直径階別本数とワイブル分布-プロット49

お わ り に

直径分布をWeibull分布にあてはめ、そのパラメータの特性をとおしてその動態について検討した。樹種・林齢が多様な天然林の直径分布を、簡明なパラメータで指標化でき、その比較が容易にできることがわかった。今後とも更にデータを蓄積し分析を進めて行きたい。

引 用 文 献

- 1) 和田茂彦・竹内典之・川村誠・酒井徹朗・山田容三：森林の動態に関する研究（Ⅰ）－北海道演習林の天然林について－. 京大演報. 60. 91～110. 1988
- 2) 和田茂彦・竹内典之・川村誠・酒井徹朗・松下幸司：森林の動態に関する研究（Ⅱ）－北海道演習林の天然林について－. 京大演報. 61. 116～129. 1989
- 3) 南雲秀次郎・箕輪光博：測樹学. 地球出版. 東京. pp222～229. 1990
- 4) 木梨謙吉：人工林の直径分布について（Ⅰ）－ワイブルのパラメータと年齢－. 日林論. 89. 59～60. 1978
- 5) 西沢正久・砂川秀昭・平田永二：亜熱帯地域における常緑広葉樹の直径分布について. 日林論. 89. 61～62. 1978
- 6) 西沢正久・木梨謙吉・柿原道喜・長正道：林分シミュレーションに対する成長モデルの研究（Ⅲ）－ワイブルのパラメータの推定による直径確率分布の予測－. 日林論. 87. 87～88. 1976
- 7) 柿原道喜：北海道道東地方における広葉樹天然林の解析（Ⅳ）－ミズナラ天然林の直径分布－. 日林論. 91. 75～76. 1980

Résumé

We calculated parameters of Weibull distribution that was applied to the diameter distribution of natural forest at east Hokkaido. About 70 percentage of aplicated case's adjusted to an actual distribution. The parameter c which indicated a shape of distribution was a shape of exponent. The relation was observed between a increase of parameter c and b. The relation was observed between parameter c and the coefficient of variation of diameter, too.