

シミュレーションモデルに基づく天然林の林分構造 の動態に関する研究

石橋 整 司*

Studies on the Structural Dynamics of Natural Forest based on a Simulation Model

Seiji ISHIBASHI*

I. はじめに

本研究の目的は天然林の林分構造と生長との関係を解析し、天然林施業法の基礎となるシミュレーションモデルを開発するとともに、天然林の林分構造の動態について考察することにある。

天然林施業法の研究は、19世紀末のヨーロッパにおいて大きな進展をみせ、MÖLLER(1925)の「恒続林思想」、BIOLLEY(1920)の「照査法」などが生まれた。また、日本においても、20世紀初め(明治の末から昭和初期)には林型区分や複層林施業についての試験研究が積極的に行われていた。しかし、戦後の日本においては、人工林(同齡単純林)に関する研究が大きく発展したのに対し、天然林(異齡混交林)に関する研究は断片的になりがちであった。

この原因の一つをよく表しているのが「天然林の生長は複雑多様である」という言葉である。天然林施業法の研究を進めるに当たっては、天然林の生長過程を解明し、生長予測を行うことが必要である。しかし、異齡混交複層の天然林は、林分構造が複雑であり、生長過程は多様を極めている。したがって、天然林の生長を予測することは、極めて困難であるといわれるのである。

本論文は、こうした「複雑多様」な天然林の生長を、いくつかの要素(陰樹と陽樹、上層木と被圧木など)によって捉えて林分生長モデルを作成し、天然林の林分構造の動態について検討を行うものである。

天然林の生長予測が可能になれば、天然林施業法の応用範囲はより広くなり、また、受動的な立場から能動的な立場へその姿を変えることが可能となるであろう。

II. 資 料

本研究で用いた主要な資料は、東京大学北海道演習林内に設定された固定標準地の定期測定資料(1981年の15号台風による風害以前)である。北海道演習林では、昭和33年(1958年)以降、林分施業法と名付けた独自の天然林施業法を行っている(高橋1971, 1972; 柴田1988)。固定標準地は、林分施業法による林分の量的・質的变化を測定するために設定された生長測定試験地であり、概要は以下の通りである。

①設定年度: 1958~1981年

* 東京農工大学農学部林学科
Department of Forestry, Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology.

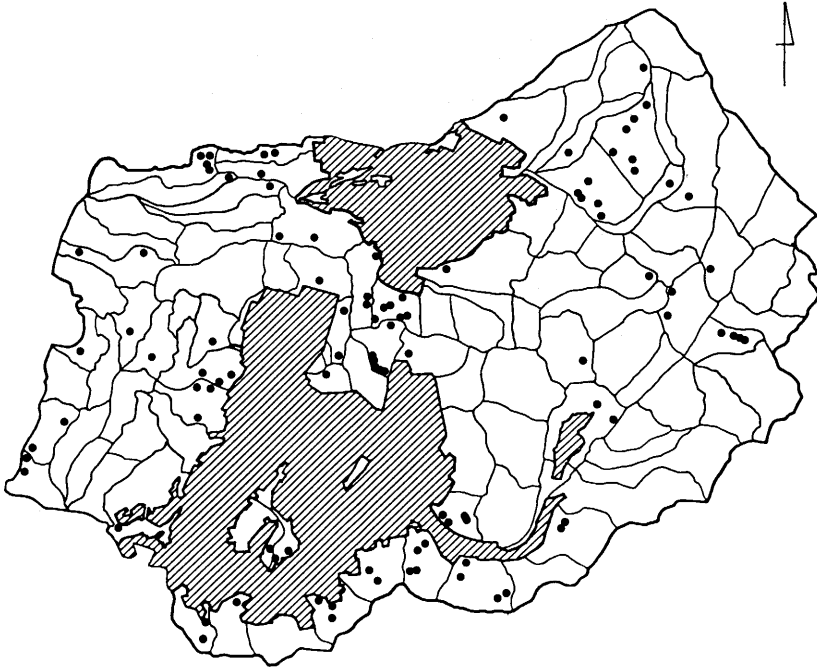


図-1 固定標準地位置図

Fig. 1. Location of experimental plots.

ただし、林分施業法実行前の1929年に設定された標準地（西瓜峠天然林施業試験地）4箇所がある。

- ②面積：0.146 ha～1.394 ha（計42.080 ha）
- ③標準地数：第Ⅰ作業級 76箇所
第Ⅱ作業級 30箇所
（計106箇所）

ただし、ハイマツ帯の3箇所を第Ⅱ作業級に含む。

固定標準地は北海道演習林の択伐・補植林分のほぼ全域にわたり、林相、土壌条件、地形などの異なる地域に設定されている。各固定標準地の概況を表-1に、位置を図-1に示す。

固定標準地の調査は原則として、第Ⅰ作業級で4年ごと、第Ⅱ作業級で5年ごとに、5.0 cm以上の胸高直径を有する林木について、毎木調査（直径）される。また、固定標準地を含む林分に伐採が行われた場合は、伐採に伴う測定が行われる。当初は針広別、径級別にまとめて本数、材積が記載されていたが、1978年（一部1977年）より各林木に樹木番号をつけ、個々の林木の生長を追跡できるような測定・記帳が行われている。

III. 天然林の生長

天然林（異齡混交複層林）の生長は複雑多様であるといわれる。その原因を人工林（同齡単純一斉林）の生長と比較して考えると、林分を構成する林木の違いが挙げられる。人工林では大部

表-1 固定標準地概況一覧表
Table 1. List of experimental plot

固定標準地番号	設定年	林班	小班	面積 (ha)	林分区分	作業級
5 0 0 1	1963	87	a	.398	択伐	I
5 0 0 2	1959	86	f	.360	択伐	I
5 0 0 3	1960	79	a	.310	再生択伐	I
5 0 0 4	1959	36	c	.480	択伐	I
5 0 0 5	1961	86	b	.325	択伐	I
5 0 0 6	1961	36	b	.348	択伐	I
5 0 0 7	1963	84	a	.333	択伐	I
5 1 0 1	1958	51	a	.250	択伐	I
5 1 0 2	1958	51	a	.250	択伐	I
5 1 0 3	1958	51	a	.250	択伐	I
5 1 0 4	1958	51	a	.250	択伐	I
5 1 0 5	1960	57	b	.418	択伐	I
5 1 0 6	1960	74	y	.365	再生択伐	I
5 1 0 7	1959	64	a	.750	択伐	I
5 1 0 8	1959	104	d	.948	補植	I
5 1 0 9	1959	104	d	.459	択伐	I
5 1 1 0	1960	103	b	.370	択伐	I
5 1 1 1	1960	103	b	.436	択伐	I
5 1 1 2	1960	69	b	.291	択伐	I
5 1 1 3	1959	101	a	.571	択伐	I
5 1 1 4	1959	101	b	.626	補植	I
5 1 1 5	1961	106	b	.398	択伐	I
5 1 1 6	1961	102	a	.415	択伐	I
5 1 1 7	1961	102	a	.410	択伐	I
5 1 1 8	1961	102	a	.391	択伐	I
5 1 1 9	1961	102	a	.366	択伐	I
5 1 2 0	1961	58	b	.412	補植	I
5 1 2 1	1961	72	c	.320	再生択伐	I
5 1 2 2	1963	107	c	.358	択伐	I
5 1 2 3	1963	107	c	.223	択伐	I
5 1 2 4	1963	109	a	.345	択伐	I
5 1 2 5	1963	64	a	.227	択伐	I
5 1 2 6	1966	91	c	.250	原生保存	II
5 1 2 7	1966	91	c	.250	原生保存	II
5 1 2 8	1966	91	c	.250	原生保存	II
5 1 2 9	1966	91	c	.250	原生保存	II
5 1 3 0	1967	41	c	1.000	択伐	II
5 1 3 1	1967	41	c	1.000	択伐	II
5 1 3 2	1967	71	a	.250	再生択伐	I
5 1 3 3	1967	71	a	.250	再生択伐	I

(続く)

表-1 固定標準地概況一覽表(続き)
Table 1. List of experimental plot (contd.)

固定標準地番号	設定年	林班	小班	面積 (ha)	林分区分	作業級
5 1 3 4	1967	72	e1	.250	再生択伐	I
5 1 3 5	1967	72	b	.250	再生択伐	I
5 1 3 6	1969	101	b	.412	択伐	I
5 1 3 7	1969	51	a	.376	択伐	I
5 1 3 8	1969	51	a	.242	択伐	I
5 1 3 9	1970	61	b	.514	択伐	I
5 1 4 0	1971	45	a	.500	択伐	II
5 1 4 1	1972	46	b	.491	択伐	II
5 1 4 2	1972	46	d	.500	択伐	II
5 1 4 3	1972	99	a	.991	択伐	I
5 1 4 4	1972	99	a	.995	択伐	I
5 1 4 5	1975	40	c	.213	択伐	II
5 1 4 6	1975	108	a	.250	択伐	I
5 1 4 7	1976	71	a	.300	再生択伐	I
5 1 4 8	1980	108	a	.136	補植	I
5 1 4 9	1980	101	a	.250	補植	I
5 1 5 0	1980	65	a	2.250	択伐	I
5 1 5 1	1981	104	d	1.394	補植	I
5 2 0 1	1959	3	c	1.000	択伐	I
5 2 0 2	1960	24	a	.286	択伐	I
5 2 0 3	1960	6	b	.395	択伐	II
5 2 0 4	1958	31	b	.492	択伐	I
5 2 0 5	1960	26	d	.358	択伐	I
5 2 0 6	1929	24	c	.301	択伐	I
5 2 0 7	1929	24	c	.295	択伐	I
5 2 0 8	1929	24	c	.301	択伐	I
5 2 0 9	1929	24	c	.392	択伐	I
5 2 1 0	1961	29	d	.319	再生択伐	I
5 2 1 1	1961	29	d	.410	再生択伐	I
5 2 1 2	1961	26	d	.351	択伐	I
5 2 1 3	1961	18	e	.375	択伐	I
5 2 1 4	1961	5	a	.305	択伐	II
5 2 1 5	1961	30	e	.281	再生択伐	I
5 2 1 6	1963	25	b	.324	択伐	I
5 2 1 7	1966	27	c	.200	再生択伐	I
5 2 1 8	1968	14	a	1.000	択伐	II
5 2 1 9	1969	25	a	.146	択伐	I
5 2 2 0	1969	25	c	.231	択伐	I
5 2 2 1	1971	10	b	.475	択伐	II
5 2 2 2	1971	11	a	.475	択伐	II

(続く)

表-1 固定標準地概況一覧表(続き)

Table 1. List of experimental plot (contd.)

固定標準地番号	設定年	林班	小班	面積 (ha)	林分区分	作業級
5 2 2 3	1974	7	b	.250	択伐	II
5 2 2 4	1974	7	b	.250	択伐	II
5 2 2 5	1974	8	a	.250	択伐	II
5 2 2 6	1974	8	a	.250	択伐	II
5 2 2 7	1974	8	c	.250	択伐	II
5 2 2 8	1974	8	c	.250	択伐	II
5 2 2 9	1974	5	b	.250	択伐	II
5 2 3 0	---	1	b	---	ハイマツ帯	II
5 2 3 1	---	1	b	---	ハイマツ帯	II
5 2 3 2	---	1	b	---	ハイマツ帯	II
5 2 3 3	1975	7	a	.250	択伐	II
5 2 3 4	1975	28	b	.250	再生択伐	I
5 2 3 5	1975	28	b	.250	再生択伐	I
5 2 3 6	1975	29	d	.250	再生択伐	I
5 2 3 7	1975	29	d	.250	再生択伐	I
5 2 3 8	1975	8	a	.250	択伐	II
5 2 3 9	1975	8	a	.250	択伐	II
5 2 4 0	1976	7	b	.250	択伐	II
5 2 4 1	1976	7	b	.250	択伐	II
5 2 4 2	1980	24	c	.208	補植	I
5 2 4 3	1980	25	c	.300	択伐	I
5 3 0 4-1	1969	58	a	.395	再生択伐	I
5 3 0 4-2	1960	58	a	.498	択伐	I
5 3 0 4-3	1960	58	a	.500	択伐	I
5 3 0 4-4	1960	58	a	.500	択伐	I
5 3 0 4-5	1960	58	a	.500	択伐	I

分の林木はほぼ同じ樹齢であり、ほぼ同じ生長段階にあると考えられるが、天然林では稚樹、幼樹から若齢、壮齢そして老齢の個体まで様々な樹齢、様々な生長段階の林木が存在する。次に、人工林はほぼ単一の樹種によって構成されているが、天然林では多数の樹種が混交しており、樹種特性の違いによって同じ樹齢、同じ大きさの個体でも生長に違いがある。さらに、人工林はほぼ一斉の林冠をなしており、その中で個体間の競争が行われる結果、優勢な個体と劣勢な個体との間に差がでてくるのが普通である。これに対し、天然林は常に上層木と被圧木との間に大きな生長の差が存在する。また被圧が多くの樹冠層の間で生長に複雑な影響を与えている一方で、同一の樹冠層を構成する林木の間には人工林と同様の競争も起こっている。

このことを生長解析という立場から考えると、天然林の場合には林齢(樹齢)という指標はあまり意味をなさず、直径のような「大きさ」の指標を用いざるを得ない。しかし、直径生長も林木間の複雑な相互関係によって変化が激しく、林分によってかなりの差がでてくる。こうした

表-2 林分蓄積および林分生長の平均値
Table 2. Mean of stand volume and stand growth

林区分分	蓄積 (m^3/ha)	純生長量 ($\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{年}$)	枯損量 ($\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{年}$)	粗生長量 ($\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{年}$)	純生長率 (%)	粗生長率 (%)
択伐林分 (162)	309.18	5.27	1.97	7.24	1.87	2.47
第I作業級 (140)	297.36	5.83	1.67	7.50	2.09	2.62
第II作業級 (22)	384.41	1.69	3.89	5.58	0.47	1.48
伐採直後 (81)	288.33	6.22	1.40	7.61	2.28	2.75
伐採直後以外 (81)	330.03	4.32	2.54	6.87	1.46	2.18
択伐林分(無) (10)	438.77	3.93	4.72	8.64	1.04	2.08
再生択伐林分 (38)	162.96	4.50	0.51	5.00	2.88	3.19
伐採直後 (12)	142.17	4.30	0.43	4.73	3.10	3.39
伐採直後以外 (26)	172.56	4.59	0.54	5.13	2.78	3.10
再生択伐林分 (無) (2)	223.14	2.27	1.52	3.78	1.11	1.76
原生保存林分 (8)	513.91	-3.74	9.12	5.38	-0.71	1.04
補植林分 (6)	160.06	7.05	0.22	7.27	4.37	4.48
伐採直後 (3)	130.29	5.42	0.04	5.42	4.17	4.20
伐採直後以外 (3)	189.83	8.67	0.40	5.46	4.57	4.76
全資料合計 (226)	292.86	4.78	2.05	9.07	1.97	2.57
伐採直後 (96)	265.12	5.95	1.23	7.19	2.44	2.88
伐採直後以外 (130)	313.33	3.92	2.65	6.57	1.62	2.34

注) 括弧内は資料数。(無)は無伐採区の意。

表-3 林分蓄積と林分生長との相関係数

Table 3. Correlation coefficient between stand volume and stand growth

林分区分	純生長量	枯損量	粗生長量	純生長率	粗生長率
択伐林分 (162)	-0.42	0.42	-0.21	-0.58	-0.55
第Ⅰ作業級 (140)	-0.35	0.40	-0.12	-0.52	-0.49
第Ⅱ作業級 (22)	-0.06	0.07	-0.01	-0.19	-0.35
伐採直後 (81)	-0.29	0.28	-0.19	-0.48	-0.50
伐採直後以外 (81)	-0.44	0.42	-0.18	-0.59	-0.57
択伐林分(無) (10)	-0.55	0.36	-0.62	-0.60	-0.72
再生択伐林分 (38)	-0.10	0.31	-0.04	-0.49	-0.52
伐採直後 (12)	0.01	0.49	0.13	-0.34	-0.31
伐採直後以外 (26)	-0.23	0.21	-0.21	-0.58	-0.63
再生択伐林分 (無) (2)	---	---	---	---	---
原生保存林分 (8)	-0.31	0.42	0.71	-0.26	0.53
補植林分 (6)	0.91	0.94	0.93	0.18	0.31
伐採直後 (3)	---	---	---	---	---
伐採直後以外 (3)	---	---	---	---	---
全資料合計 (226)	-0.36	0.53	0.07	-0.63	-0.58
伐採直後 (96)	-0.04	0.35	0.15	-0.48	-0.47
伐採直後以外 (130)	-0.42	0.55	0.08	-0.68	-0.63

注) 括弧内は資料数。(無)は無伐採区の意。

1) ---は資料数が少ないため記載しない。

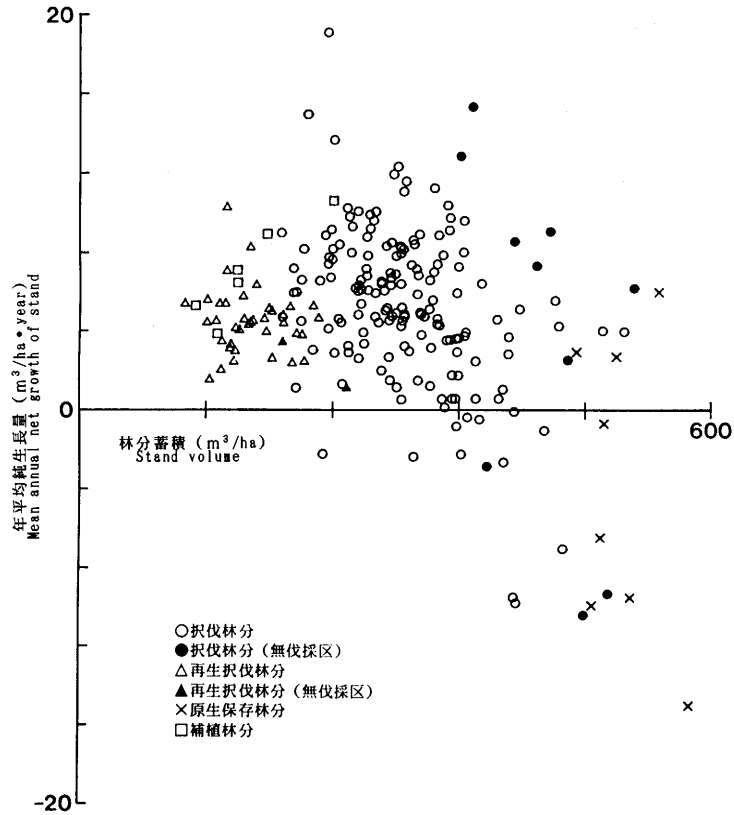


図-2 林分蓄積と年平均純生長量との関係

Fig. 2. Relationship between stand volume and mean annual net growth of stand.

「複雑多様」さをできるだけ簡単に、できるだけ統一的に考えるモデルが必要とされるのである。

本章では、まず林分生長を総量でおさえ、その後針広別、径級別の解析を行い、最後に樹齢解析を行って林分の中の単木の生長、さらに林分構造について考察していく。

1. 林分生長

まず、期首蓄積と林分生長との関係について解析を行った。解析は主に散布図によった。各特性値の林分区別の平均値を表-2に、相関係数を表-3に示す。

図-2は期首蓄積と年平均純生長量との関係を示したものである。択伐林分を中心に、択伐林分(無伐採区)、原生保存林分が高蓄積部に、再生択伐林分、再生択伐林分(無伐採区)、補植林分が低蓄積部に分布している。同じ林分区分でも、また、同じ様な蓄積でも純生長量には大きな差がある。林分区分ごとの分布域は比較的是っきりしている。択伐林分(無伐採区)や原生保存林分は極めて高蓄積であるが純生長量は低く、負の生長を示す資料も多い。いくつかの資料を除くと300 m³/ha前後の蓄積において純生長量の上限にピーク(約12 m³/ha・年)がみられ、その前後はいずれも純生長量の上限が低くなっている。相関係数は全体で-0.36、択伐林分で-0.42であり、あまり高くない(表-3)。相関係数が負になっているのは、負の純生長量を示す林分が高蓄

表-4 林分蓄積別にみた林分生長の平均値

Table 4. Mean of stand growth in each stand volume classes

期首蓄積 (m^3/ha)	純生長量 ($\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{年}$)	枯損量 ($\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{年}$)	粗生長量 ($\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{年}$)	純生長率 (%)	粗生長率 (%)
100以上200未満 (39)	4.93	0.45	5.38	3.26	3.55
伐採直後 (17)	4.80	0.38	5.18	3.34	3.59
伐採直後以外 (22)	5.03	0.51	5.54	3.20	3.51
200以上300未満 (81)	6.31	1.15	7.47	2.49	2.94
伐採直後 (45)	6.81	1.12	7.93	2.70	3.14
伐採直後以外 (36)	5.69	1.19	6.88	2.23	2.70
300以上400未満 (77)	5.10	2.06	7.16	1.54	2.14
伐採直後 (33)	5.63	1.66	7.30	1.72	2.21
伐採直後以外 (44)	4.70	2.36	7.06	1.41	2.09
400以上500未満 (22)	-0.03	6.09	6.06	0.01	1.38
伐採直後 (1)	-2.64	6.77	4.13	-0.66	1.02
伐採直後以外 (21)	0.10	6.06	6.15	0.04	1.40
500以上 (7)	-2.14	8.50	6.35	-0.39	1.20
伐採直後 (0)	---	---	---	---	---
伐採直後以外 (7)	-2.14	8.50	6.35	-0.39	1.20

注) 括弧内は資料数.

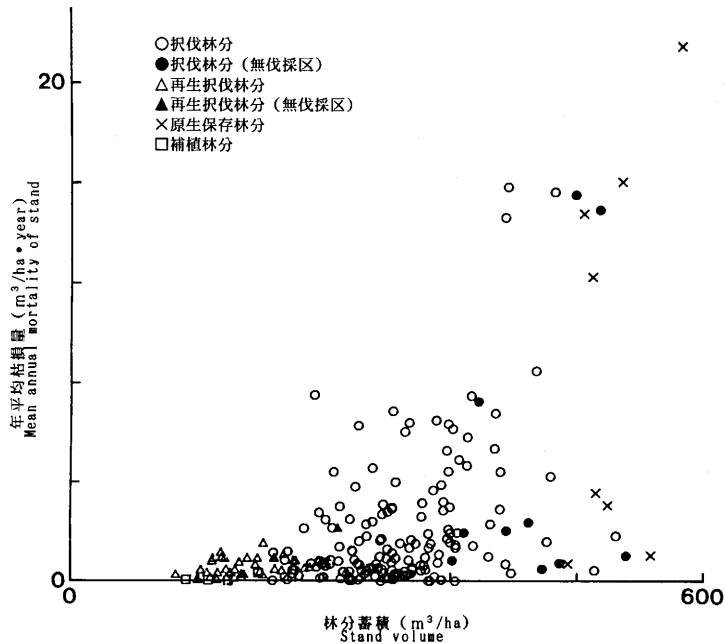


図-3 林分蓄積と年平均枯損量との関係

Fig. 3. Relationship between stand volume and mean annual mortality of stand.

積部に多く存在するためと考えられる。

表-2 をみると伐採直後の純生長量の平均値が $5.95 \text{ m}^3/\text{ha}$ 、それ以外の場合の平均値が $3.92 \text{ m}^3/\text{ha}$ であり、伐採直後の方が純生長量の平均値が高い。また、表-4 は全資料を蓄積 $100 \text{ m}^3/\text{ha}$ ごとに分けて林分生長量の平均値を計算したものである。これによると、低蓄積部 ($100 \sim 200 \text{ m}^3/\text{ha}$) の林分では伐採直後の資料の平均値が $4.80 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{年}$ 、伐採直後以外の資料が $5.03 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{年}$ 、全体で $4.93 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{年}$ であり、伐採直後の純生長量が低くなっている。一方、高蓄積部、例えば $300 \sim 400 \text{ m}^3/\text{ha}$ の林分では伐採直後の資料の平均値が $5.63 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{年}$ 、伐採直後以外の資料が $4.70 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{年}$ 、全体で $5.10 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{年}$ であり、伐採直後の純生長量が高くなっている。低蓄積の林分では伐採によって生長の資本としての林分蓄積そのものが減少してしまうため純生長量が低下するものと考えられる。また、高蓄積の林分では伐採によって被圧・競争関係が改善され枯損量の減少および単木生長量の増加がおこるため純生長量が高くなるものと考えられる。伐採の影響の違いは純生長量の上限がピークを示すあたりが境界となっていると思われる。

択伐林分について作業級別にみても、第 I 作業級 (里山) の資料 140 例は平均蓄積 $297 \text{ m}^3/\text{ha}$ 、平均純生長量 $5.83 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{年}$ 、第 II 作業級 (奥地林) の資料 22 例は平均蓄積 $384 \text{ m}^3/\text{ha}$ 、平均純生長量 $1.69 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{年}$ である (表-2)。資料のバラつきは激しいが第 I 作業級に比べて第 II 作業級は高蓄積、低生長量の傾向を示すことがわかる。

固定標準地ごとの変化を追うと、図-2 においてきわめて高いあるいは低い純生長量を示す資料は、同じ固定標準地の一連の資料の中でも一時的なものであり、その林分固有の安定した数値

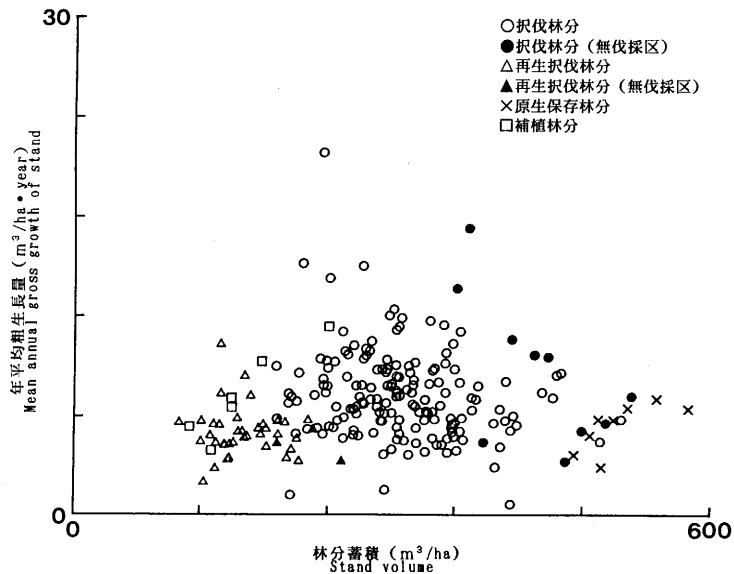


図-4 林分蓄積と年平均粗生長量との関係

Fig. 4. Relationship between stand volume and mean annual gross growth of stand.

ではない。また、こうした特異な数値は伐採直後の資料に多い。

図-3 は期首蓄積と年平均枯損量との関係を示したものである。蓄積が高くなるほど枯損量の上限值が高くなっている。相関係数は全体で 0.53、択伐林分で 0.42 と低いが、正の値を示しており、高蓄積→高枯損量の傾向がここにも現れている（表-3）。特に原生保存林分や択伐林分（無伐採区）では枯損量が多く、択伐林分でも第Ⅱ作業級の林分は枯損量が多い。

伐採直後の林分でも 300 m³/ha をこえる資料は比較的枯損が多い。しかし、伐採直後の資料が 1 例しかない 400 m³/ha 以上の部分を除いて、平均値では各蓄積階とも伐採直後の枯損量は低くなっている（表-4）。400 m³/ha 以上の高蓄積の林分でも、伐採による枯損量抑制の期待ができるかどうかはこの資料からだけでははっきりしない。しかし、全体的な傾向として、伐採直後の林分には枯損量抑制の効果がみられるとしてよさそうである。

固定標準地ごとに変化を追うと、枯損量は激しく変化していることがわかる。これは、林分の枯損がある時期に集中するためか、測定の際に枯損木の確認を行う方法に問題があるのかは定かではない。

図-4 は期首蓄積と年平均粗生長量との関係を示したものである。粗生長量は純生長量に枯損量を加えたものである。図-2 と比較すると、粗生長量の上限は純生長量と大差なく、やはり蓄積 300 m³/ha 前後にピークがある上に凸の型を示す。一方、下限は数例を除いて 3 m³/ha・年程度で安定しているため、枯損の多い高蓄積の林分を中心に純生長量に比べて全体のレンジが小さくなっており、林分区間間の平均値の差も比較的小さくなっている（表-2）。このことから、枯損の影響を除くと天然林の生長はかなり安定しているといえよう。

伐採の影響をみると純生長量と同様の傾向がみられ、枯損の多い択伐林分では伐採直後の資料の方が粗生長量が高いが、枯損の少ない再生択伐林分、補植林分では伐採直後の資料の方が低い

(表-2)。また、低蓄積部では伐採直後の方が粗生長量が低く、高蓄積部では高くなる傾向もみられた(表-4)。全体では、伐採直後が $7.19 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{年}$ 、それ以外の資料が $6.57 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{年}$ であった。やはり $300 \text{ m}^3/\text{ha}$ 前後のピークを中心に枯損の影響や伐採の影響に違いがあるのではないかと思われる(表-4)。

択伐林分を作業級別にみると、第Ⅰ作業級 $7.50 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{年}$ 、第Ⅱ作業級 $5.58 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{年}$ であった。第Ⅱ作業級の方が低いものの、純生長量の場合よりかなり差が小さくなっている。これも分布の下限が高くなったためと考えられる。

大貫・中川・河原(1966, 1967)は本固定標準地資料の一部について散布図、相関係数による解析を行い、以下のような結果を報告した。

- 蓄積と純生長量の間には明らかな関係は認められない。
- 蓄積と純生長率との間には負の相関($r=0.64$)がみられ、蓄積が高くなると純生長率が低くなる傾向がみられる。
- 林分生長に与える伐採の影響については特定できない。
- 蓄積が高くなると枯損量が増える傾向が予想されるが断定できない。

また、竹内・高田・広川(1977, 1979)は同様に本固定標準地資料の一部について散布図を中心に解析を行い、以下のような結果を報告した。

- 択伐林分第Ⅰ作業級および再生択伐林分では蓄積の高い林分は純生長量が低い。
- 択伐林分第Ⅰ作業級では蓄積が高くなると枯損量が増大する。再生択伐林分の枯損量は極めて少ない。
- 択伐林分第Ⅰ作業級の純生長量の平均値は $5.8 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{年}$ 前後で安定していると考えられる。
- 択伐林分第Ⅱ作業級、原生保存林分は、択伐林分第Ⅰ作業級の生長の延長線上にあるとも考えられる。

これらの報告の内容は、大筋において本節で得られた解析結果と類似しているが、林分蓄積や林分生長量、林分枯損量の間関係を主に相関係数を用いて直線性を中心に考察している点に問題があると考えられる。また、井本・柳生(1982)は道有林北見経営区の生長量測定資料から、蓄積と生長量はほぼ無関係としているが、これも分布の上限、下限を十分に考慮せず、単に直線性のみに着目しているためと考えられる。期首蓄積に対する純生長量や粗生長量の分布の上限には曲線性が認められ、直線性とは違う意味で重要な意味を持つ。こうした点を中心に林分生長について、また、林分の変化について考察する。

まず、天然林の生長を複雑にしている大きな原因は枯損である。このことは、図-2と図-4を比べるとよくわかる。蓄積が高い林分ほど枯損量が大きくなる「可能性がある」。したがって、純生長量では高蓄積部を中心に大きなバラツキがおこるが、枯損量を加えた粗生長量では天然林の生長もかなり安定している。蓄積が高ければ必ず大量の枯損がおこるというわけではない(図-3)ので、「可能性がある」ということが重要である。

次に、純生長量にしろ粗生長量にしろその分布には上限がみられ、上限を示す線は $300 \text{ m}^3/\text{ha}$ 前後にピークを持つ上に凸の曲線を示す。上限の曲線は、ある蓄積の林分が生長する「可能性がある」限界の量と考えられ、相関係数が低くとも1つの要素として考慮すべき事実である。

さらに、伐採直後の資料は、高蓄積部では生長量の増加を、低蓄積部では生長量の減少を示す

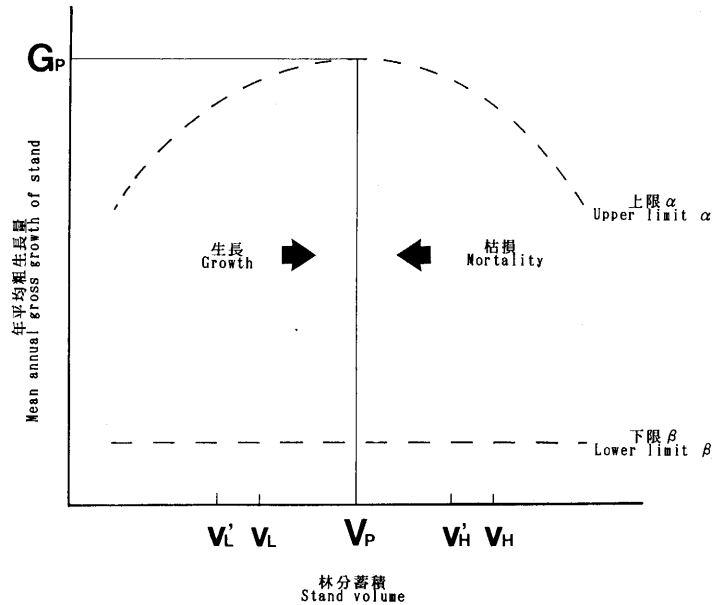


図-5 林分の変化の模式図

Fig. 5. Change of stand.

傾向がみられた。この時、枯損量は伐採後に減少しており、生長率は高くなっている。したがって、伐採を行った結果、被圧・競争関係が改善されるため、枯損が減少し生長率が増加するが、低蓄積の林分では生長の資本となる蓄積そのものの減少が大きく影響して生長量が減少し、一方、豊富な資本をもつ高蓄積の林分では少々の蓄積の減少は影響せず生長量が增加する、という関係が推察される。

以上の諸点をもとに天然林の生長、林分の変化について期首蓄積と粗生長量との関係を例に模式的に示したのが図-5である。

林分生長量には林分蓄積の高低に応じた上限 α 、下限 β がある。ある蓄積(V_P)において林分生長量の上限はピーク(G_P)となり、これより高蓄積でも低蓄積でも林分生長量の上限は低くなる(曲線 α)。低蓄積部の林分は生長して蓄積を増加させながら V_P に近づいていく。一方、高蓄積部の林分は枯損が多く蓄積を減少させながらやはり V_P に近づいていく。この際、いずれも生長量の上限が高くなる方向へ動いている。同じ蓄積でも生長量に差があるのは、蓄積以外の諸要因の影響によるものと考えられる。また、林分生長自体の変化(バラツキ)も比較的激しいものであると考えるべきである。低蓄積(V_L)の林分を伐採すると蓄積が減少し(V_L')、生長量の上限が低くなるので、それに応じて林分生長量も減少する。高蓄積(V_H)の林分を伐採すると蓄積が減少し(V_H')、生長量の上限が高くなるので、それに応じて林分生長量も増大する。純生長量で考えれば枯損も減少するのでさらに林分生長量は増大する。

以上は極めて簡単なモデルであるが、解析結果をうまく説明するものである。なお、下限 β は直線と考えて十分であり、上限曲線 α については生長率のグラフから求めることができる。

表-5 針葉樹広葉樹別の蓄積および生長の平均値
Table 5. Mean of volume and growth in softwood and hardwood

林区分分		蓄 積 (m^3/ha)	純生長量 ($\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{年}$)	枯 損 量 ($\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{年}$)	粗生長量 ($\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{年}$)	純生長率 (%)	粗生長率 (%)
択 伐 林 分 (162)	N	191.70	3.65	1.38	5.03	2.02	2.75
	L	117.48	1.62	0.59	2.21	1.69	2.18
択伐林分(無) (10)	N	295.63	2.13	3.96	6.09	0.85	2.12
	L	143.14	1.80	0.75	2.55	1.36	1.92
再生択伐林分 (38)	N	4.36	0.30	0.05	0.34	4.89	5.46
	L	158.60	4.20	0.46	4.66	2.77	3.06
再生択伐林分 (無) (2)	N	5.20	-0.35	0.44	0.09	-2.91	2.76
	L	217.94	2.61	1.08	3.69	1.26	1.75
原生保存林分 (7)	N	470.47	-3.03	8.28	5.25	-0.63	1.11
	L	45.74	-1.16	1.64	0.48	-1.43	0.32
補 植 林 分 (6)	N	87.26	5.03	0.19	5.22	5.66	5.82
	L	72.80	2.02	0.03	2.04	3.03	3.07
全 資 料 合 計 (225)	N	168.91	2.81	1.44	4.25	2.42	3.21
	L	123.03	2.00	0.60	2.60	1.80	2.30

注) 括弧内は資料数。Nは針葉樹，Lは広葉樹，(無)は無伐採区の意。

2. 針葉樹と広葉樹の生長

本節では、針葉樹広葉樹別の生長について検討する。

表-5に針広別の各特性値の平均値を、表-6に針広別蓄積と針広別生長との相関係数をそれぞれ示した。全資料の平均をみると生長量，生長率，枯損量いずれも針葉樹の方が高い。林区分別にみても，粗生長をみる限り再生択伐林分以外は針葉樹の生長量の方が高く，再生択伐林分においても生長率では針葉樹の方が高い。全体的に針葉樹の生長が広葉樹の生長を上回っていることがわかる。

図-6(a)は針葉樹蓄積と針葉樹純生長量との関係を示したものである。針葉樹蓄積 $300 \text{ m}^3/\text{ha}$ 前後までは上限は高く，下限は低くなっていくが，それ以上では上限は低くなり，下限はあまり

表-6 針葉樹広葉樹別蓄積と針葉樹広葉樹別生長との相関係数

Table 6. Correlation coefficient between volume and growth in softwood and hardwood

林区分		純生長量	枯損量	粗生長量	純生長率	粗生長率
択伐林分 (162)	N	0.14	0.24	0.34	-0.17	-0.21
	L	0.11	0.32	0.53	-0.35	-0.48
択伐林分(無) (10)	N	-0.37	0.45	-0.13	-0.37	-0.35
	L	0.02	-0.01	0.02	-0.20	-0.27
再生択伐林分 (38)	N	0.80	0.28	0.87	0.20	0.28
	L	-0.07	0.41	0.04	-0.54	-0.56
再生択伐林分 (無) (2)	N	---	---	---	---	---
	L	---	---	---	---	---
原生保存林分 (7)	N	-0.17	0.24	0.60	-0.12	0.20
	L	-0.53	0.68	0.66	-0.50	0.46
補植林分 (6)	N	0.75	0.97	0.78	0.15	0.22
	L	-0.72	-0.07	-0.71	-0.90	-0.90
全資料合計 (225)	N	0.10	0.51	0.57	-0.31	-0.32
	L	0.24	0.25	0.53	-0.19	-0.30

注) 括弧内は資料数。Nは針葉樹、Lは広葉樹、(無)は無伐採区の意。

1) --は資料が少ないため記載しない。

変化しない。林分蓄積と林分生長量との間には分布の上限にピークが認められたが、針葉樹のみに限っても、300 m³/ha前後で純生長量の上限にピークがあると考えられる。

図-6(b)は広葉樹蓄積と広葉樹純生長量との関係を示したものである。広葉樹蓄積150 m³/ha前後までは上限が高くなって行くが、それ以上ではあまり変わらない。下限には明瞭な傾向は認められない。広葉樹の場合は、はっきりしたピークは認め難い。

図-7(a),(b)は針広別蓄積と針広別枯損量との関係を示したものである。針広別にみても、蓄積の高いほど枯損量の上限は高くなる。特に針葉樹においてこの傾向が顕著で、針葉樹蓄積の高い原生保存林分や択伐林分(無伐採区)では、針葉樹枯損量の平均値も高い(表-5)。一方、広葉樹枯損量は、広葉樹蓄積の高い林分だけでなく林分蓄積の高い林分でも高くなっている。このこと

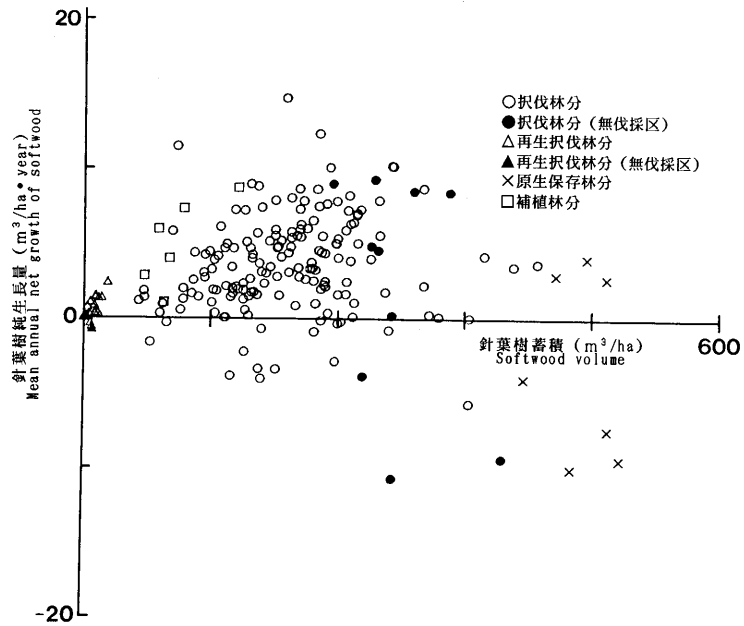


図-6(a) 針葉樹蓄積と針葉樹純生長量との関係

Fig. 6(a). Relationship between softwood volume and mean annual net growth of softwood.

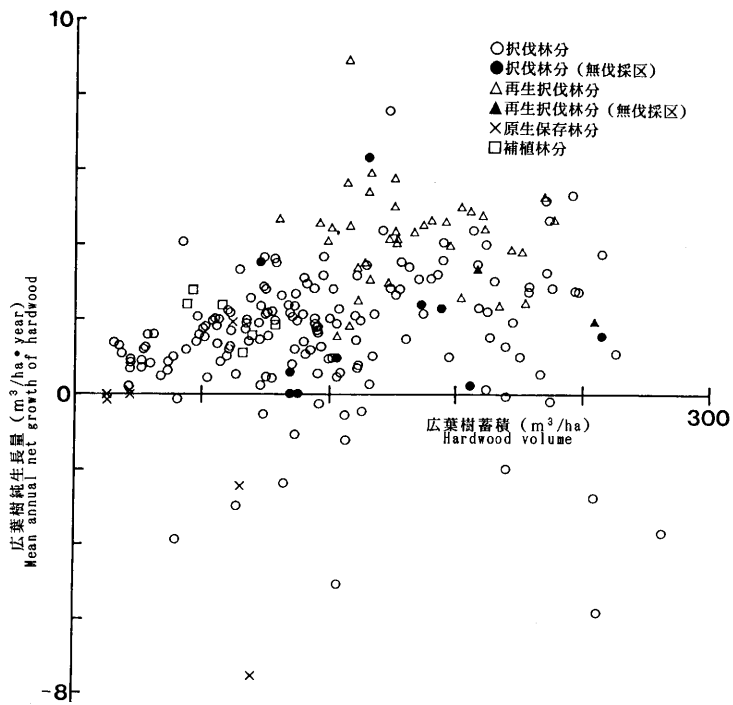


図-6(b) 広葉樹蓄積と広葉樹純生長量との関係

Fig. 6(b). Relationship between hardwood volume and mean annual net growth of hardwood.

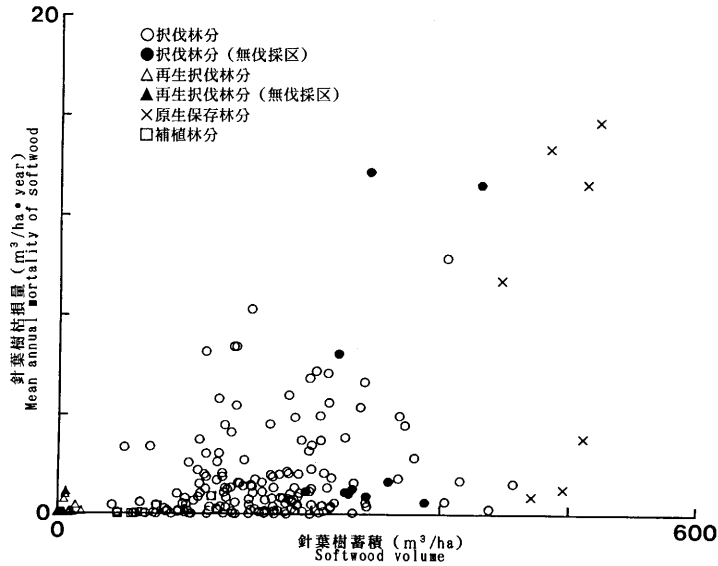


図-7(a) 針葉樹蓄積と針葉樹枯損量との関係

Fig. 7(a). Relationship between softwood volume and mean annual mortality of softwood.

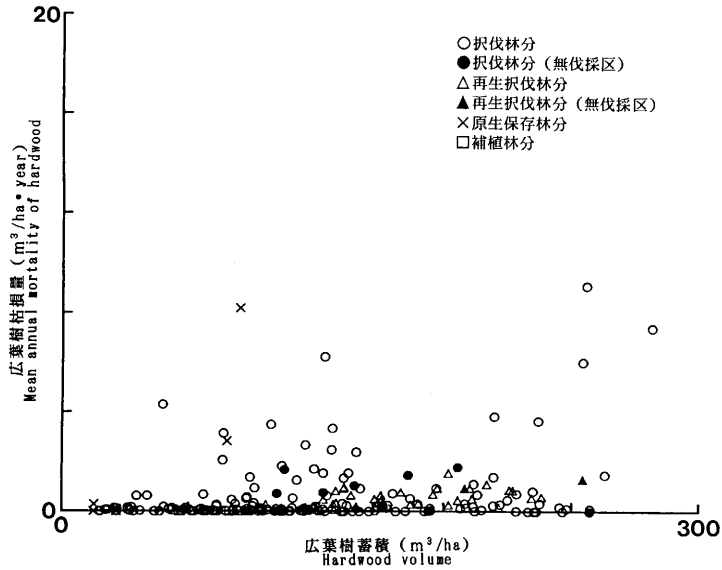


図-7(b) 広葉樹蓄積と広葉樹枯損量との関係

Fig. 7(b). Relationship between hardwood volume and mean annual mortality of hardwood.

から、林分生長においては針葉樹がより大きな影響力を持っていることが推察される。

図-8(a),(b)は針広別蓄積と針広別粗生長量との関係を示したものである。針広とも蓄積が高くなると上限下限とも粗生長量が高くなっていく傾向がみられる。しかし、純生長量同様、針葉樹

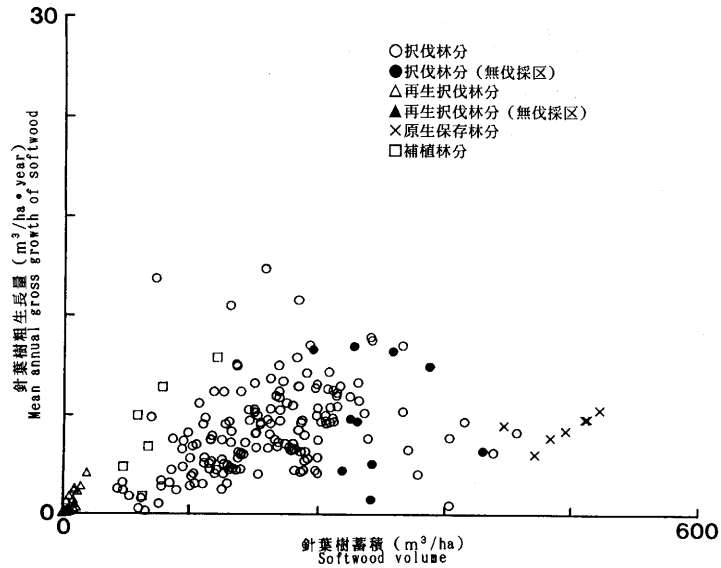


図-8(a) 針葉樹蓄積と針葉樹粗生長量との関係

Fig. 8(a). Relationship between softwood volume and mean annual gross growth of softwood.

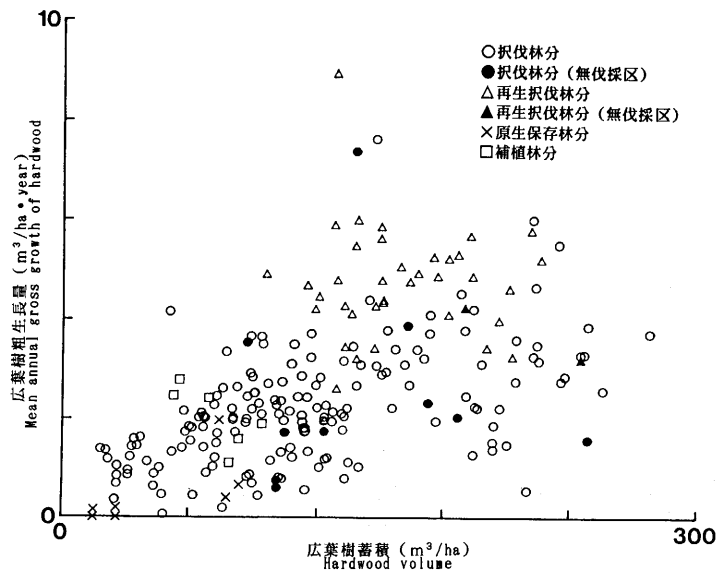


図-8(b) 広葉樹蓄積と広葉樹粗生長量との関係

Fig. 8(b). Relationship between hardwood volume and mean annual gross growth of hardwood.

で $300 \text{ m}^3/\text{ha}$, 広葉樹で $150 \text{ m}^3/\text{ha}$ 前後からはあまり変化がなくなり, 針葉樹では上限が下がっていく傾向がみられる。蓄積と粗生長量との相関係数は, 針葉樹で 0.57 , 広葉樹で 0.53 と正の値を示している (表-6)。

以上の結果から、針広別の生長は生長量の平均、あるいはレンジいずれを見ても針葉樹が上回っていることがわかる。また、枯損量も平均あるいはレンジいずれも針葉樹が上回っている。しかし、分布傾向、蓄積との関係を見ると比較的似た傾向を示しているといえよう。

竹内・河原・広川(1980)は本固定標準地資料の一部について針広別蓄積と針広別生長量との関係を解析し、以下のような結果を報告した。

- 生長量・生長率は針葉樹の方がより高い。
- 高生長量の林分は針葉樹の生長量が高い林分に集中している。
- 蓄積が高く(300~400 m³/ha)広葉樹主体の林分は針広とも生長量が低く、蓄積が低く針葉樹主体の林分は針広とも生長量が高い。

針葉樹と広葉樹の生長を総量で比較してみると、どちらも似た傾向を示すが、絶対量の点で針葉樹のウェイトが重い。すなわち、今回の解析に用いた資料では蓄積、生長量、生長率、枯損量のいずれをとっても針葉樹の割合の高い林分が林分全体でも高い値を示す。この結果は竹内らの指摘と一致する。

針葉樹は蓄積の高いところで枯損量も多くなっているが広葉樹はこの傾向がやや弱く、広葉樹蓄積の多い、再生択伐林分だけでなく、林分蓄積の高い原生保存林分や択伐林分(無伐採区)でも広葉樹の枯損量は高かった。表-6をみると、針葉樹蓄積と針葉樹枯損量との間の相関係数0.51に対し、広葉樹蓄積と広葉樹枯損量との間の相関係数は0.25と、より低い値を示している。この事実には、針葉樹、広葉樹の耐陰性の違いなどが影響していると考えられる。

また、針広混交天然林の生長を大きく捉えるには林分生長に加えて針広別生長、特に針広の比率についても考慮することが必要であると考えられる。

図-9は針葉樹蓄積と広葉樹蓄積との関係を示した図に、

- ①針葉樹蓄積(V_N) 300 m³/haの線(実線)
- ②広葉樹蓄積(V_L) 300 m³/haの線(実線)
- ③林分蓄積(V) 600 m³/haの線(実線)
- ④林分蓄積(V) 100~500 m³/haの線(100 m³/haごと; 破線)
- ⑤針葉樹蓄積(V_N)と広葉樹蓄積(V_L)が等しい線(破線)

を書き込んだものである。竹内らは図-9のように林分蓄積が一定である線(④の線)を書き加えた図を示し、林分蓄積と針広別蓄積、さらに針広別生長について論じた。また、岡本(1984)は本固定標準地資料を解析した結果、図-9と同様の図を示し、広葉樹蓄積300 m³/ha、林分蓄積600 m³/haおよびX軸、Y軸で囲まれた中に全資料が含まれることを確認した。そして、この中で森林の動きを捉えようと試みた。本項の結果からはこの段階で森林の動きを捉えることはできないが、前項の考察に加えて議論を進めたい。

前述した通り、図-9をみると各林分区分の分布域は比較的是っきりしている。ここでは、比較的若い林分と考えられる再生択伐林分、生長の盛んな壮齢期の林分と考えられる択伐林分、老齢過熟な林分と考えられる原生保存林分の分布域に注目してみる。また、無伐採区は同じ林分区分の中でも変化が進んだ段階にあると考える。以上をもとに図-9をみると、以下のような動きが推定される。

- 再生択伐林分の動きは広葉樹蓄積を増加させる方向へ進む。
- 針葉樹が混交してくると、針葉樹の生長が広葉樹の生長を上回るため、図の右方向へ進んで

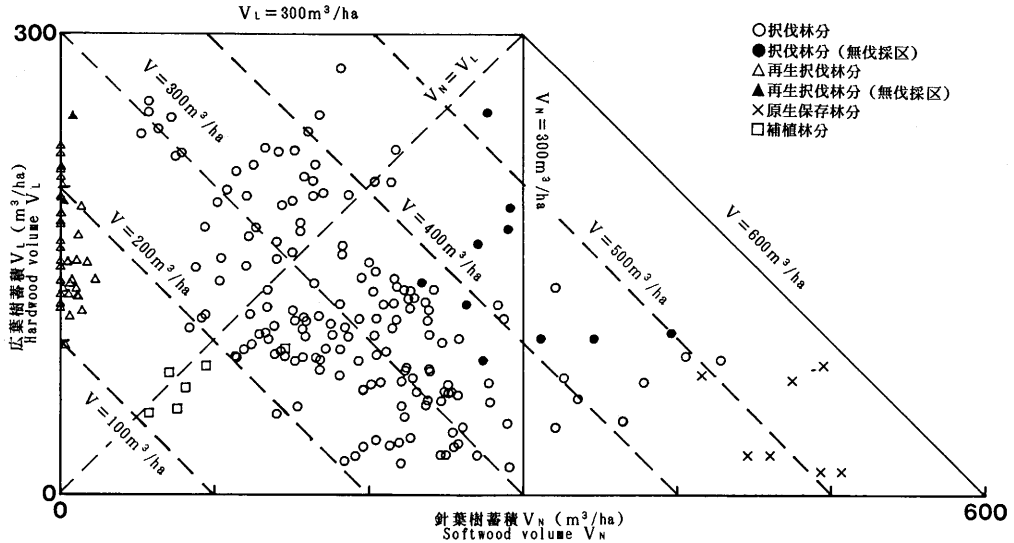


図-9 針葉樹蓄積と広葉樹蓄積との関係

Fig. 9. Relationship between softwood volume and hardwood volume.

いき択伐林分の分布域へ入っている。

- 林分蓄積で $400 \text{ m}^3/\text{ha}$ 、針葉樹蓄積で $250 \text{ m}^3/\text{ha}$ をこえるあたりから老齡過熟化が進む。
- 老齡過熟になった林分は右下の原生保存林分の分布域まで進んでしまう。

さらに、前節の結果より、

- 林分蓄積 $300 \text{ m}^3/\text{ha}$ を中心として、高蓄積の林分は蓄積を減らす方向へ、低蓄積の林分は蓄積を増やす方向へ動く。

ことが推察されている。また、本節の解析結果より、

- 広葉樹蓄積 $150 \text{ m}^3/\text{ha}$ あるいは林分蓄積 $300 \text{ m}^3/\text{ha}$ をこえるような林分では、広葉樹の生長は低下する。
- 針葉樹蓄積 $300 \text{ m}^3/\text{ha}$ あるいは林分蓄積 $300 \text{ m}^3/\text{ha}$ をこえるような林分では、針葉樹の生長は低下する。ただし、広葉樹よりは盛んである。

といった傾向がみられた。

以上の諸点を考慮し、図-9の同様の形式で示したものが図-10である。図中の V_p は図-5における林分生長量がピークを示す林分蓄積であり、白抜き矢印は同じく図-5における林分の変化を、黒の矢印は本項の結果から考察した林分の変化を示している。この図では、一般的な傾向を示しており、特に高蓄積部では林分蓄積の減少傾向があることを強調している。

3. 径級別の生長

本節では、径級別の生長量について検討する。

まず、径級別の材積率と林分全体の生長との関係について解析し、次に、径級別の期首蓄積と径級別の生長量との関係について解析する。径級区分は、2 cm 括約で小径木 6~24 cm、中径木 26~38 cm、大径木 40 cm 以上とした。

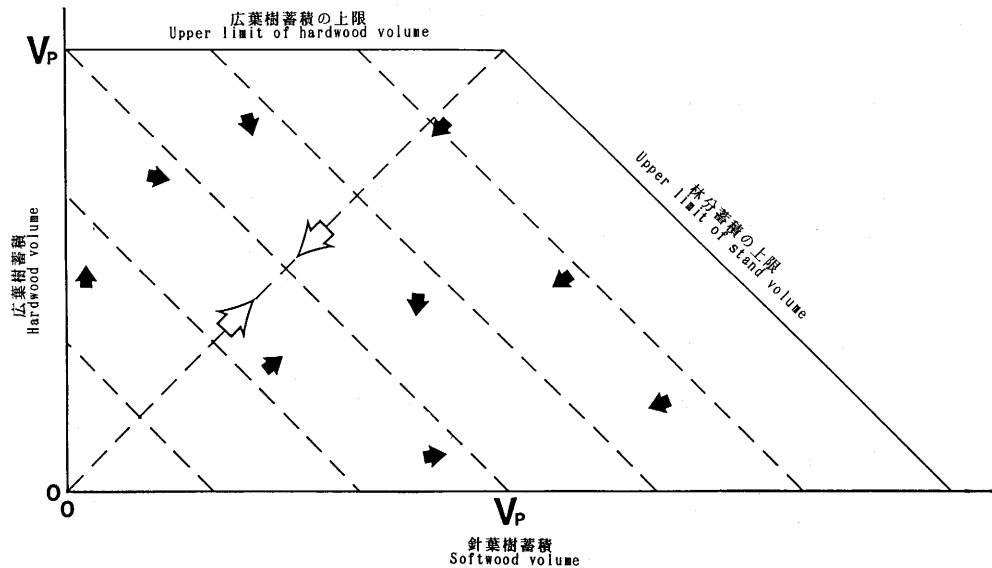


図-10 針広別の動きを考慮した林分の変化の模式図

Fig. 10. Change of stand that taken the movement in softwood and hardwood into consideration.

表-7 に径級別材積率および径級別材積率と各林分特性値との相関係数を示す。径級別材積率は択伐林分では大径木 51%, 中径木 32%, 小径木 17%であるが, 再生択伐林分では小中径木がそれぞれ 45~50%, 合計 95%を占め, 逆に原生保存林分では大径木が 75%以上を占めている。

大径木の材積率と林分生長との関係を示したのが図-11 である。択伐林分では大径木の材積率が高くなると林分純生長量, 粗生長量とも上限が低下する傾向にある (a, c)。相関係数も負である (表-7)。林分枯損量は大径木材積率の高い林分では上限が上がり, きわめて高い数値を示す資料もある (b)。したがって, 生長量の分布の下限をみると, 特に大径木の材積率が 50%をこす林分では, 林分純生長量の下限が大きく落ちており, 一方, 林分粗生長量の下限はほぼ一定で推移している。

中径木の材積率と林分生長との関係を示したものが図-12 である。中径木材積率約 10%~70%の間に全資料が分布している。中径木の材積率と林分粗生長量の間には特に決定的な傾向は認められないが択伐林分に限れば, 上限, 下限とも若干の増加傾向がみられた (c)。林分純生長量との間では中径木材積率の小さい林分で下限が大きく下がっており, その結果下限の上昇傾向がやや強くなった (a)。林分枯損量は中径木材積率の高い林分ほどその上限が低くなる (b)。中径木材積率が 50%以上の資料では, 林分枯損量は $2 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{年}$ 以下であるが, この中には再生択伐林分が多い。中径木の少ない林分は大径木が多いわけであり, 図-12(b)に見られる傾向は図-11(b)の裏返しともいえる。

小径木の材積率と林分生長との関係を示したのが図-13 である。小径木材積率数%~85%の間に全資料が分布している。択伐林分は 4.18~37.67%, 再生択伐林分は 21.85~84.41%とほぼ分布域が 2 分される。粗生長量は択伐林分では上限は上昇ないし凸型, 下限は上昇傾向で相関係数も正であるが, 再生択伐林分では何らかの傾向を得ることは難しい (c)。林分枯損量は中径木同様

表-7 径級別材積率と林分生長との相関係数

Table 7. Correlation coefficient between volume ratio of 3 diameter classes and stand growth

林区分	径級別材積率(%)	純生長量	枯損量	粗生長量	純生長率	粗生長率	
択伐林分 (118)	大	51.12	-0.48	0.32	-0.42	-0.58	-0.66
	中	32.01	0.42	-0.29	0.37	0.52	0.60
	小	16.87	0.50	-0.34	0.44	0.61	0.68
択伐林分(無) (5)	大	53.70	-0.20	0.07	-0.56	-0.24	-0.71
	中	32.91	0.01	0.16	0.57	0.07	0.61
	小	13.39	0.41	-0.48	0.07	0.39	0.34
再生択伐林分 (25)	大	5.09	0.09	0.04	0.12	0.11	0.15
	中	49.61	-0.18	-0.26	-0.28	-0.33	-0.48
	小	45.31	0.11	0.20	0.18	0.23	0.33
再生択伐林分 (無) (2)	大	9.20	---	---	---	---	---
	中	22.28	---	---	---	---	---
	小	68.52	---	---	---	---	---
原生保存林分 (3)	大	76.32	---	---	---	---	---
	中	18.53	---	---	---	---	---
	小	5.15	---	---	---	---	---
補植林分 (5)	大	49.28	-0.60	-0.66	-0.61	-0.45	-0.69
	中	20.59	-0.37	-0.07	-0.33	0.60	0.61
	小	30.13	0.90	0.73	0.88	0.00	0.25
全資料合計 (158)	大	43.81	-0.31	0.39	0.04	-0.50	-0.49
	中	34.08	0.28	-0.30	0.06	0.38	0.37
	小	22.11	0.24	-0.35	-0.11	0.45	0.46

注) 括弧内は資料数. 大は大径級, 中は中径級, 小は小径級, (無)は無伐採区の意.

1) --は資料が少ないため記載しない.

小径木の割合が高いほど低くなる(b)。図-13(b)も図-12(b)同様、図-11(b)の裏返しといえる。特に材積率30%以上の林分では $2\text{ m}^3/\text{ha}\cdot\text{年}$ 以下の枯損にとどまっており、再生択伐林分が大部分である。したがって、純生長量は再生択伐林分では粗生長量と大差がないが、択伐林分では下限が大きく下がる(a)。

択伐林分について相関係数を見ると、大径木材積率と林分生長量、林分生長率の間では負の値を示し、林分枯損量との間では正の値を示す。一方、小径木および中径木の材積率ではまったく逆の符号を示す(表-7)。大径木の割合が増えるほど林分全体の生長には不利に働く傾向があることが、ここからもみてとれる。再生択伐林分については大径木、小径木はすべて正、中径木

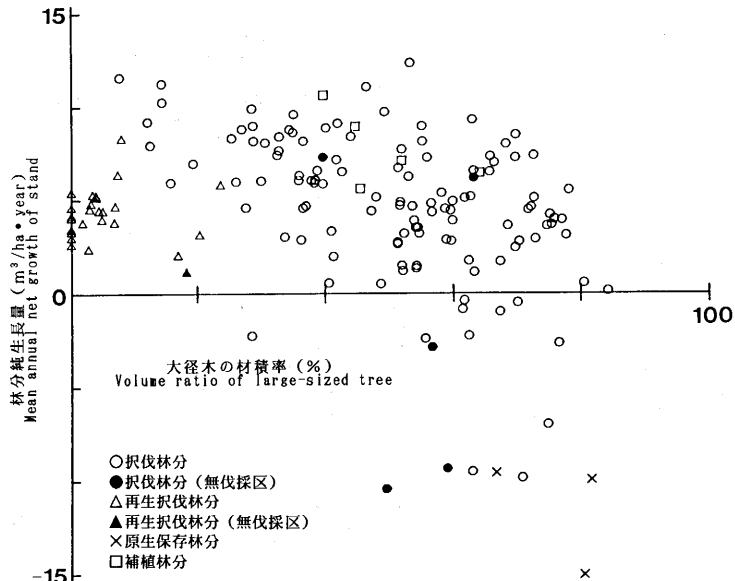


図-11(a) 大径木の材積率と林分純生長量との関係

Fig. 11(a). Relationship between volume ratio of large-sized tree and mean annual net growth of stand.

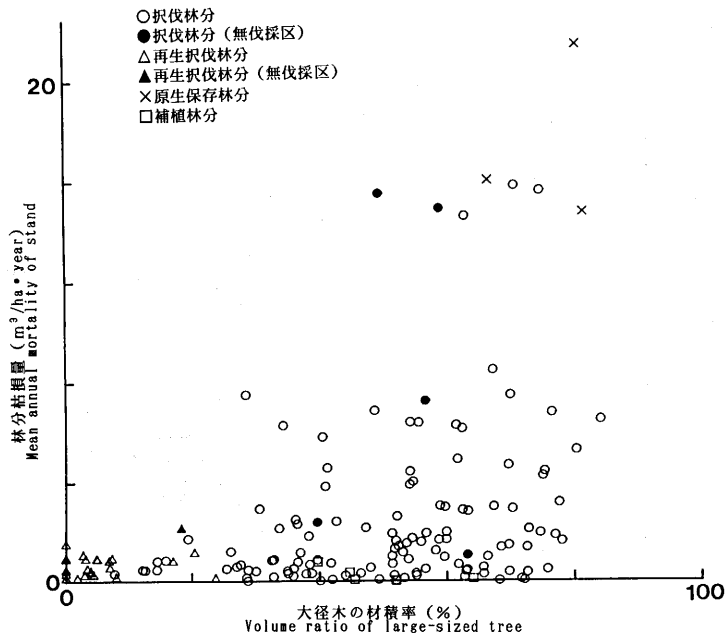


図 11(b) 大径木の材積率と林分枯損量との関係

Fig. 11(b). Relationship between volume ratio of large-sized tree and mean annual mortality of stand.

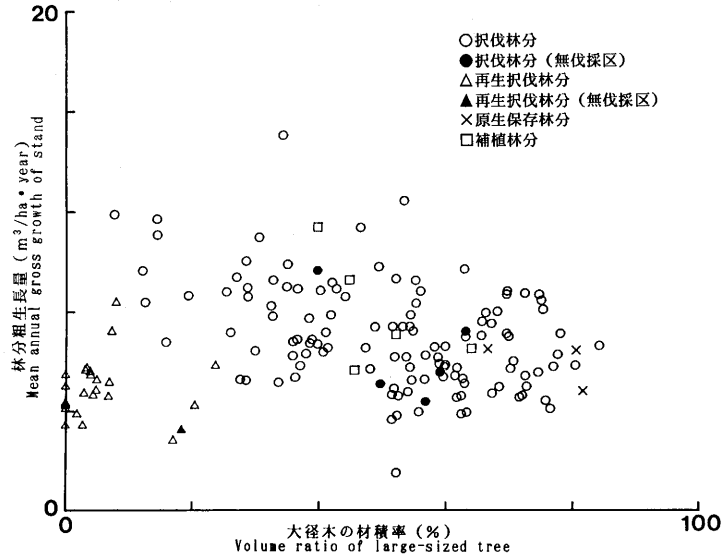


図-11(c) 大径木の材積率と林分粗生長量との関係

Fig. 11(c). Relationship between volume ratio of large-sized tree and mean annual gross growth of stand.

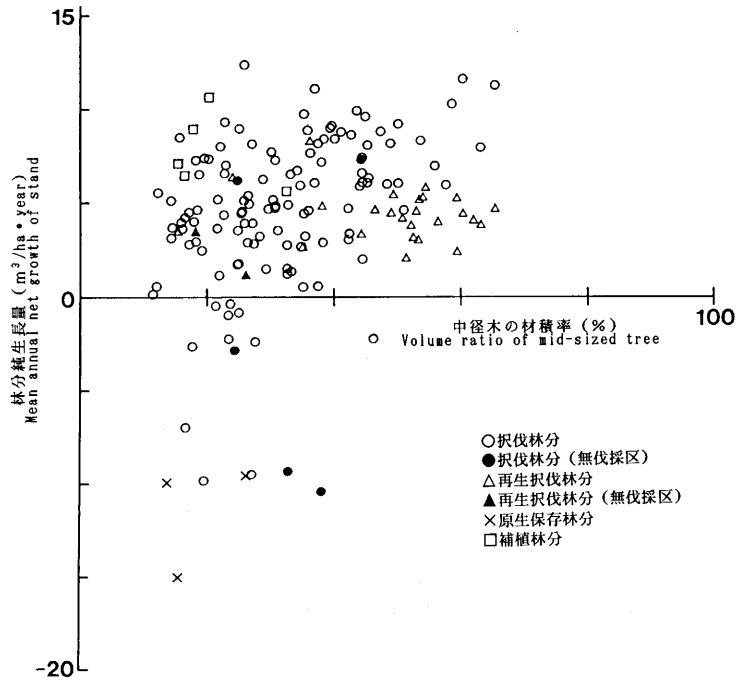


図-12(a) 中径木の材積率と林分純生長量との関係

Fig. 12(a). Relationship between volume ratio of mid-sized tree and mean annual net growth of stand.

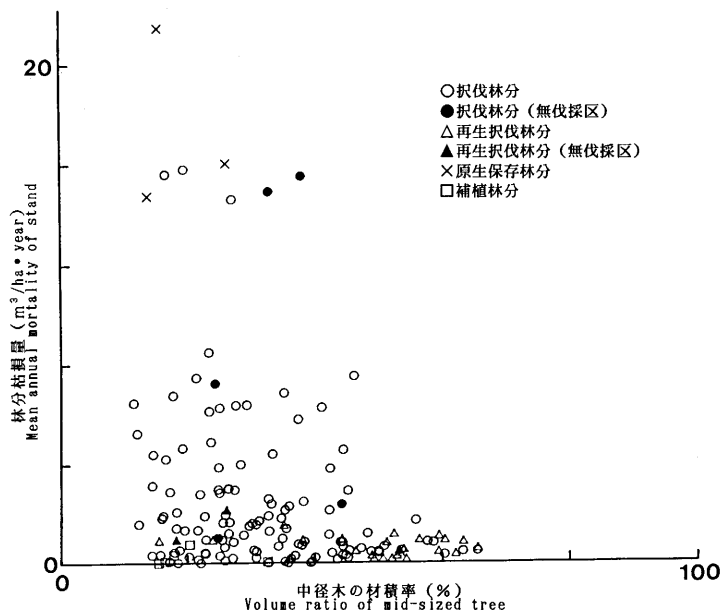


図-12(b) 中径木の材積率と材分枯損量との関係

Fig. 12(b). Relationship between volume ratio of mid-sized tree and mean annual mortality of stand.

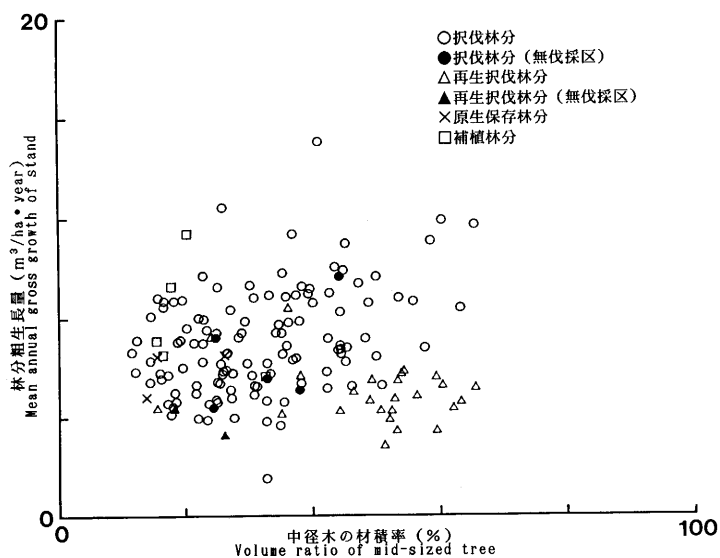


図-12(c) 中径木の材積率と林分粗生長量との関係

Fig. 12(c). Relationship between volume ratio of mid-sized tree and mean annual gross growth of stand.

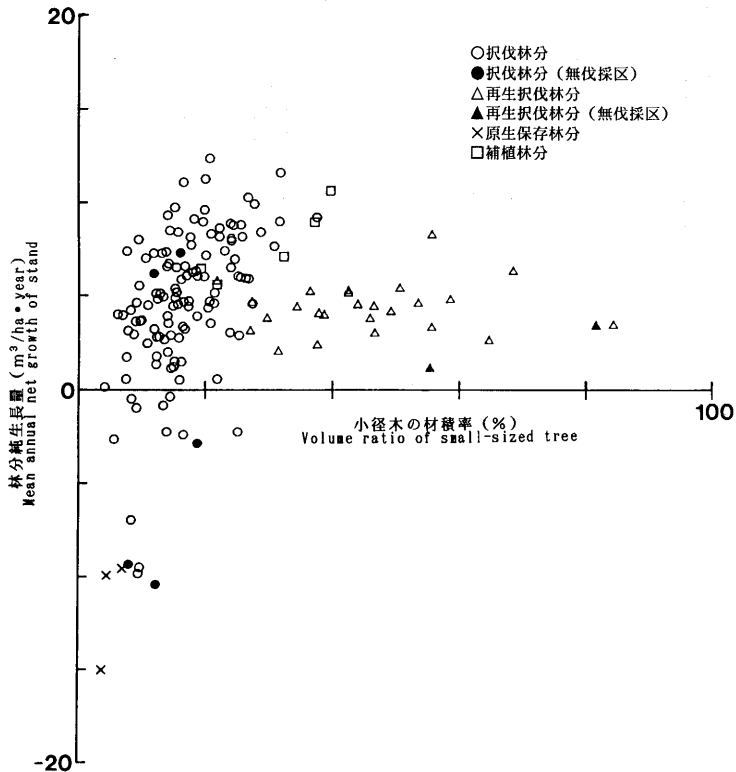


図-13(a) 小径木の材積率と林分純生長量との関係

Fig. 13(a). Relationship between volume ratio of small-sized tree and mean annual net growth of stand.

はすべて負となっている。この結果は択伐林分とかなり異なっているように見えるが、再生択伐林分には大径木が非常に少なく、また枯損量も少ないことを考慮する必要がある。択伐林分で大径木が占めている位置を、再生択伐林分では中径木が占めていると考え、択伐林分とまったく同じ傾向がでていると考えられるのである。したがって、上層を占める林木の割合が高くなることで林分生長を不活発にする原因であると結論できる。

次に、径級別期首蓄積と径級別生長について検討した。

表-8に径級別の各特性値の平均値を、表-9に径級別期首蓄積と径級別の各特性値との相関係数を示す。

大径木の期首蓄積と大径木の生長との関係を示したのが図-14である。純生長量では負の値を示す資料も多く択伐林分(無伐採区)、原生保存林分では平均値が負になり枯損の影響が大径木において大きいことを示している。択伐林分では大径木純生長量の平均値が $0.92 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{年}$ であり、やはり低い。分布は大径木の蓄積が高くなると上限が高く、下限が低くなり、バラツキが激しくなる(図-14(a)、表-8)。枯損量の分布をみるとその上限が高くなる半面、枯損のみられない例も全体に分布している。したがって、蓄積が高くなるほど枯損量のレンジは広がりバラツキが激しくなる(図-14(b))。一方、粗生長量は上限はもとより全体としても正の相関を示し、相関係

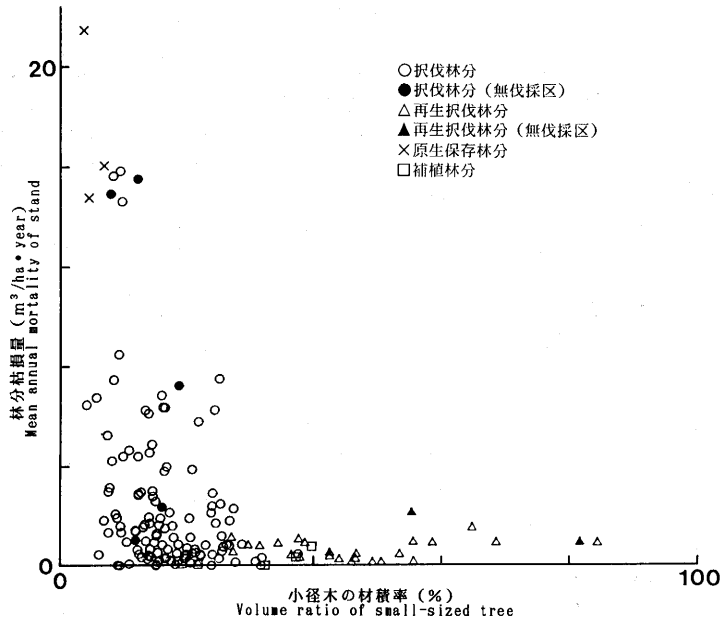


図-13(b) 小径木の材積率と林分枯損量との関係

Fig. 13(b). Relationship between volume ratio of small-sized tree and mean annual mortality of stand.

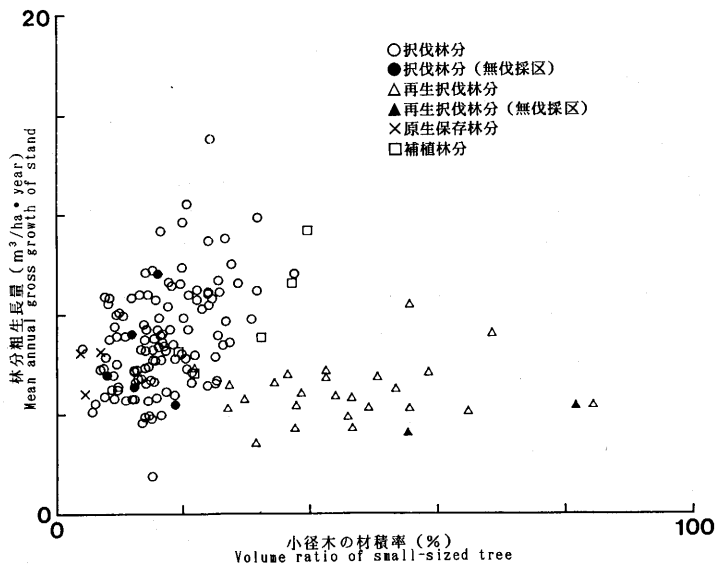


図-13(c) 小径木の材積率と林分粗生長量との関係

Fig. 13(c). Relationship between volume ratio of small-sized tree and mean annual gross growth of stand.

表-8 径級別蓄積および径級別生長の平均値
Table 8. Mean of volume and growth in 3 diameter classes

林区分分	期首蓄積 (m^3/ha)	純生長量 ($\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{年}$)	枯 損 量 ($\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{年}$)	粗生長量 ($\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{年}$)	純生長率 (%)	粗生長率 (%)	
択 伐 林 分 (118)	大	168.13	0.92	1.41	2.33	0.74	1.48
	中	96.17	2.05	0.49	2.54	1.99	2.54
	小	50.49	1.83	0.39	2.23	3.37	4.17
択伐林分(無) (5)	大	251.85	-2.93	5.04	2.10	-1.11	0.90
	中	153.03	0.99	1.84	2.83	0.82	1.85
	小	60.76	0.50	1.35	1.85	0.66	2.91
再生択伐林分 (25)	大	8.55	0.24	0.00	0.24	13.74	13.74
	中	86.66	2.10	0.08	2.18	2.40	2.50
	小	76.85	2.04	0.52	2.56	2.51	3.18
再生択伐林分 (無) (2)	大	23.32	0.37	0.00	0.37	0.78	0.78
	中	50.92	0.71	0.43	1.14	1.80	2.43
	小	148.90	1.66	1.09	2.74	1.06	1.78
原生保存林分 (3)	大	404.32	-7.04	11.24	4.21	-1.71	1.03
	中	98.12	-3.26	4.68	1.42	-3.67	1.37
	小	27.09	-0.69	1.51	0.82	-2.74	2.92
補 植 林 分 (5)	大	79.90	1.48	0.00	1.48	1.84	1.84
	中	32.89	1.72	0.10	1.82	5.00	5.19
	小	52.71	4.35	0.15	4.50	7.62	7.85
全 資 料 合 計 (158)	大	145.39	0.55	1.43	1.98	2.72	3.40
	中	93.93	1.90	0.53	2.43	2.00	2.57
	小	55.86	1.85	0.47	2.32	3.14	4.04

注) 括弧内は資料数。大は大径木、中は中径木、小は小径木、(無)は無伐採区の意。

数は択伐林分で0.71、全体で0.80と高い(図-14(c)、表-9)。以上からもわかる通り、大径木の蓄積が高くなるほど生長量は上がるが、枯損も大量に生じるようになり、枯損の影響が大きい林分と小さい林分との差が激しくなっている。

中径木の期首蓄積と中径木の生長との関係を示したのが図-15である。大径木同様粗生長量は中径木蓄積の増加にともなって増大する傾向を示している(図-15(c))。相関係数は択伐林分で0.79、再生択伐林分で0.84、全体で0.73と高い(表-9)。枯損量は全体では蓄積の増加にともないその上限が上昇しているが、原生保存林分、択伐林分(無伐採区)を除けば、100~120 m^3/ha 以上は上限が下降して上に凸の曲線を示している(図-15(b))。これは、中径木の蓄積がある程度備わっている林分は逆に大径木が少なく、被圧・競争による枯損が少ないためではないかと考えられる。純生長量の下限は中径木蓄積が低い林分で下降傾向があるが、大径木の場合ほど枯損の

表-9 径級別蓄積と径級別生長との相関係数

Table 9. Correlation coefficient between volume and growth in 3 diameter classes

林分区分		純生長量	枯損量	粗生長量	純生長率	粗生長率
択伐林分 (118)	大	-0.06	0.40	0.71	-0.30	-0.37
	中	0.67	-0.07	0.79	0.22	0.13
	小	0.58	0.03	0.65	0.18	0.07
択伐林分(無) (5)	大	-0.24	0.20	-0.40	-0.26	-0.75
	中	-0.29	0.50	0.54	-0.49	-0.41
	小	0.39	-0.02	0.69	0.34	0.32
再生択伐林分 (25)	大	0.81	— ²⁾	0.81	-0.32	-0.32
	中	0.80	-0.11	0.84	-0.17	-0.29
	小	0.66	0.35	0.75	0.21	0.13
再生択伐林分 (無) (2)	大	— ¹⁾	—	—	—	—
	中	—	—	—	—	—
	小	—	—	—	—	—
原生保存林分 (3)	大	—	—	—	—	—
	中	—	—	—	—	—
	小	—	—	—	—	—
補植林分 (5)	大	0.37	—	0.37	-0.15	-0.15
	中	0.91	0.88	0.97	-0.30	0.38
	小	0.93	0.69	0.93	-0.03	-0.01
全資料合計 (158)	大	-0.18	0.56	0.80	-0.25	-0.22
	中	0.43	0.15	0.73	-0.08	-0.16
	小	0.46	0.14	0.56	0.04	-0.12

注) 括弧内は資料数。大は大径級、中は中径級、小は小径級、(無)は無伐採区の意。

1) —は資料が少ないため記載しない。

2) —は枯損が少ないため記載しない。

影響が現れていない。したがって択伐林分や再生択伐林分では平均生長量や分布の形も粗生長量との差が比較的小さい(図-15(a), 表-8)。相関係数は、択伐林分で0.67, 再生択伐林分で0.80, 全体で0.73である(表-9)。

小径木の期首蓄積と小径木の生長との関係を示したのが図-16である。択伐林分では中径木と似た傾向を示す。粗生長量は正の相関($r=0.65$)を持ち、上限、下限とも上昇している(図-16(c))。枯損量の上限は $50 \text{ m}^3/\text{ha}$ 前後にピークを持つ凸型を示す(図-16(b))。純生長量は特に材積の小さい林分で粗生長量より下限の下がった分布を示す(図-16(a))。再生択伐林分でも粗生長量は正の相関($r=0.75$)を持つが、枯損量ははっきりとした傾向は出ず、どちらかといえば上限は

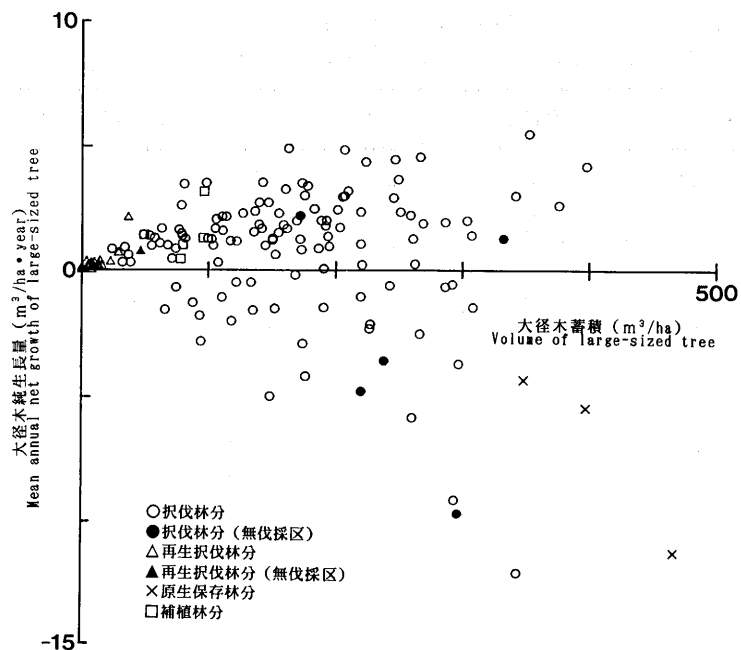


図-14(a) 大径木蓄積と大径木純生長量との関係

Fig. 14(a). Relationship between volume of large-sized tree and mean annual net growth of large-sized tree.

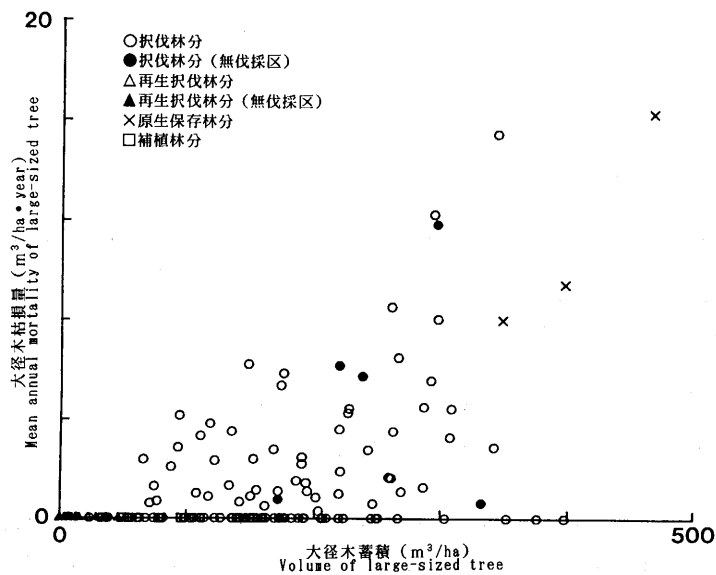


図-14(b) 大径木蓄積と大径木枯損量との関係

Fig. 14(b). Relationship between volume of large-sized tree and mean annual mortality of large-sized tree.

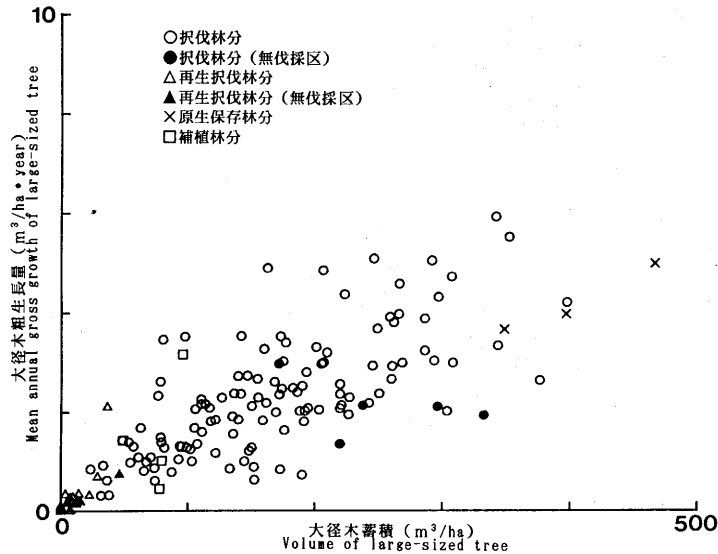


図-14(c) 大径木蓄積と大径木粗生長量との関係

Fig. 14(c). Relationship between volume of large-sized tree and mean annual gross growth of large-sized tree.

大きな差がない。したがって、純生長量の下限もさほど下がっていない。

表-9 をみると、径級別蓄積と径級別粗生長量との間には比較的高い相関がみられる。一方、大径木蓄積と大径木枯損量と相関係数は 0.56 と正の値を示し、蓄積が高くなると枯損量の上限もかなり上昇している。本資料で扱った蓄積の範囲内では、径級に関係なく蓄積が多い方が粗生長量自体は高くなる可能性を持つといえるが、大径木の場合枯損も多くなり、必ずしも林分生長に有利に働くとはいえない。表-8 をみると、小径木、中径木に比べて大径木の生長量が大きいという傾向はなく、どちらかという中小径木の方が大径木を上回る生長を示し、小中径木が林分生長の主体となっていることがわかる。

竹内・広川・河原(1981)は、択伐林分第 I 作業級の固定標準地 34 箇所の資料を用いて径級別生長量について解析し、以下のように報告した。

- 本数で 1 割に達しない (7%) 大径木が、蓄積の約 5 割 (48%) を占めている。
- 生長量、生長率いずれについても小中径木が生長の主体となっている。
- 枯損量は大径木が材積で約 5 割 (53%) を占めるが、枯損率は各径級とも同じである (0.4~0.6%)。
- 大径木では収穫量が生長量を上回っているが、小中径木の生長量によって補われている。

大径木が大きな割合を占める林分では、大径木の生長量そのものが決して高いものではない上に、枯損が多く、さらに小中径木を被圧するため、林分全体の生長は高くない。逆に考えれば、生長の旺盛な林分とは、小中径木の豊富な林分であるといえる。一方、大径木も蓄積が大きいほど粗生長は上がる傾向があり、枯損が多くなりえない程度の大径木蓄積を有することは林分生長にとってマイナスとはならないであろう。

図-17 は大径木蓄積と小中径木蓄積との関係を示したものである。各林分区分の分布域ははっ

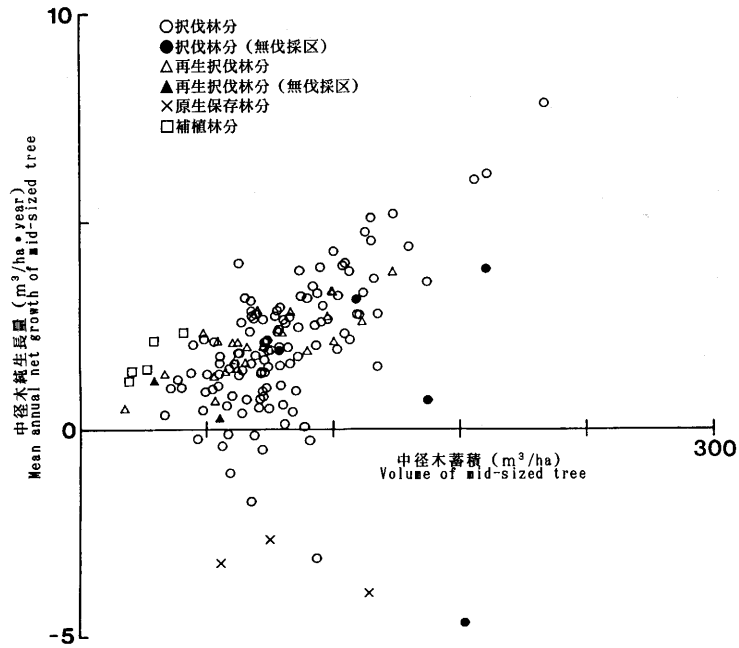


図-15(a) 中径木蓄積と中径木純生長量との関係

Fig. 15(a). Relationship between volume of mid-sized tree and mean annual net growth of mid-sized tree.

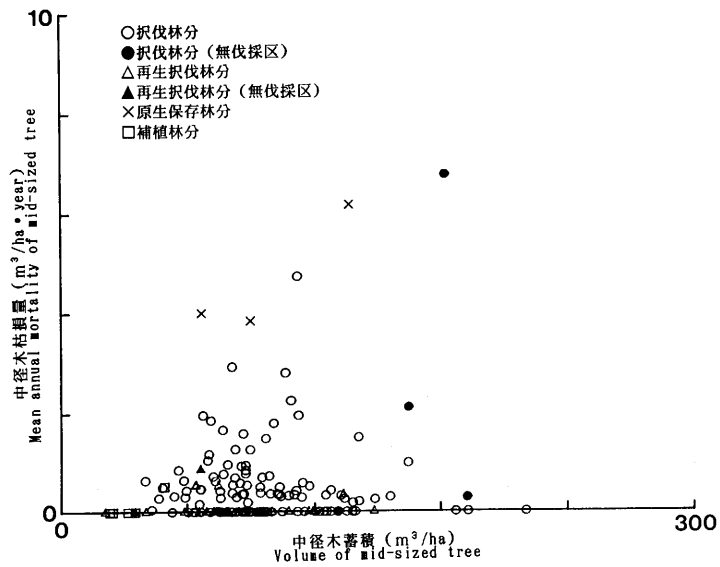


図-15(b) 中径木蓄積と中径木枯損量との関係

Fig. 15(b). Relationship between volume of mid-sized tree and mean annual mortality of mid-sized tree.

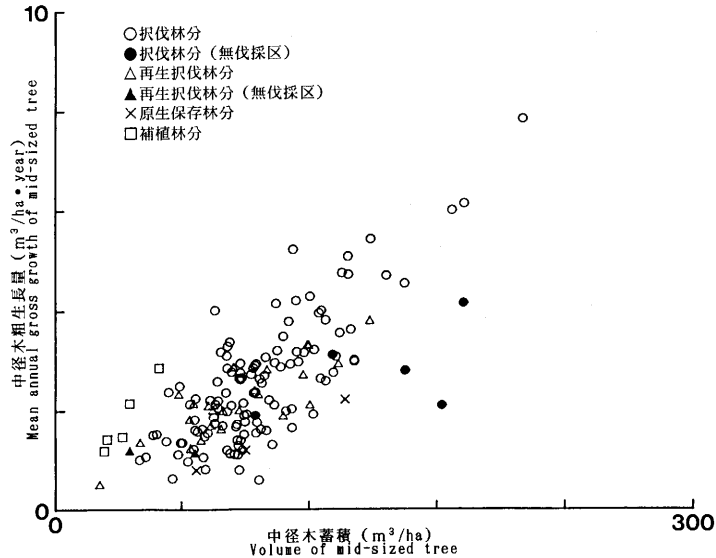


図-15(c) 中径木蓄積と中径木粗生長量との関係

Fig. 15(c). Relationship between volume of mid-sized tree and mean annual gross growth of mid-sized tree.

きりしており、再生択伐林分はほとんど小中径木からなっているのに対し、原生保存林分は大径木蓄積が $350 \sim 400 \text{ m}^3/\text{ha}$ におよんでいる。択伐林分の分布域を見ると、小中径木蓄積が $100 \sim 200 \text{ m}^3/\text{ha}$ のものが多く、その違いは数十 m^3/ha から $400 \text{ m}^3/\text{ha}$ にいたる大径木蓄積の量によっていると考えられる。この大径木蓄積の差は、そのまま林分構造の差になって現れると考えられ、本項の解析結果と合わせ、林分生長が大きなバラつきを示す原因の一つとなっていると推察される。

図-18は大径木純生長量と小中径木純生長量との関係を、図-19は大径木枯損量と小中径木枯損量との関係を、そして図-20は大径木粗生長量と小中径木粗生長量との関係を示したものである。図-18、図-20から、高生長量を示す林分は小中径木の生長量が高い林分に多く、粗生長量 $10 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{年}$ をこえる林分では小中径木の生長量が小径木の生長量の2倍ないしそれ以上を示している。全体的に小中径木の生長量が林分生長量に大きな影響を与えていることは、これらの図からも明らかである。図-19をみると枯損量は小径木が大きな割合を占める林分が多い。その結果、図-18にみられるように、大径木純生長量が負になる一方、小中径木純生長量が正になる林分がかなり存在し、中には大径木の損失分を小中径木で補って正の林分生長を示す例もみられる。ただし、大径木蓄積の非常に高い原生保存林分では小中径木の純生長量も負になっている。

小原(1980)は択伐林分第I作業級の固定標準地22箇所の資料について解析を行い、生長量と林分構造に関して以下の8点を挙げた。

林分生長量を最大にするには、

- ①林分蓄積は $260 \sim 280 \text{ m}^3/\text{ha}$ が適当であり、この蓄積において枯損量も最小となる。
- ②針葉樹の材積混交率は60%以上がよい。
- ③大径木の材積割合は少ない方がよい。

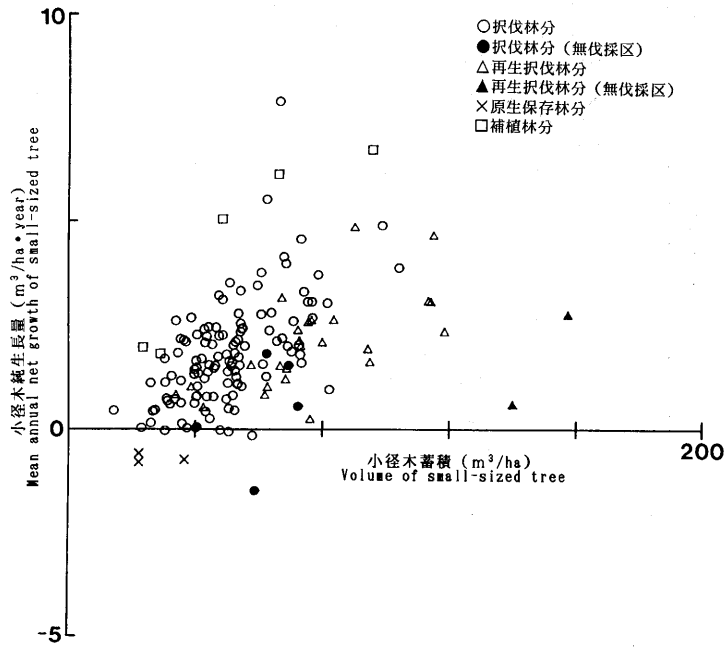


図-16(a) 小径木蓄積と小径木純生長量との関係

Fig. 16(a). Relationship between volume of small-sized tree and mean annual net growth of small-sized tree

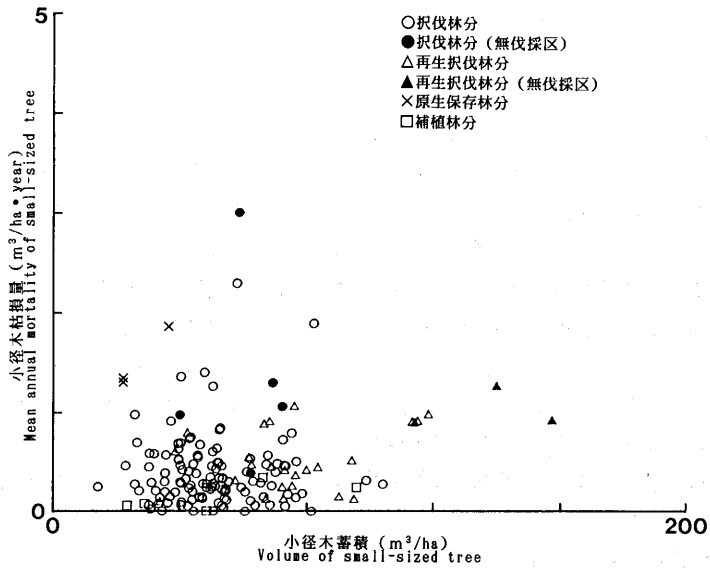


図-16(b) 小径木蓄積と小径木枯損量との関係

Fig. 16(b). Relationship between volume of small-sized tree and mean annual mortality of small-sized tree.

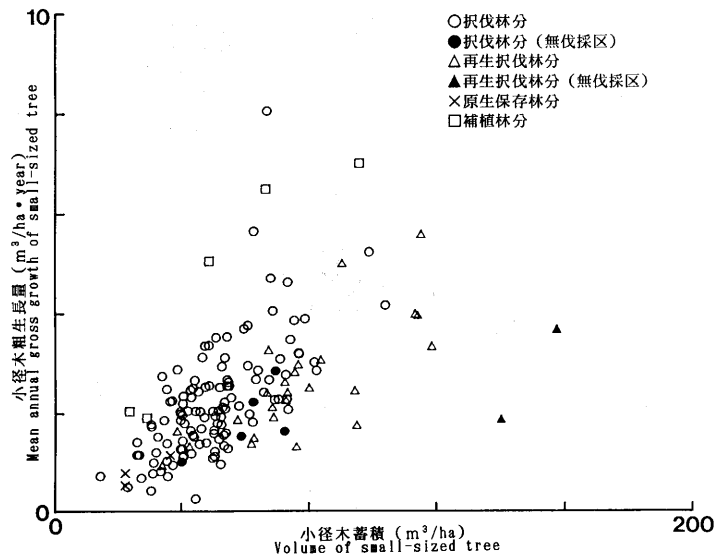


図-16(c) 小径木蓄積と小径木粗生長量との関係

Fig. 16(c). Relationship between volume of small-sized tree and mean annual gross growth of small-sized tree.

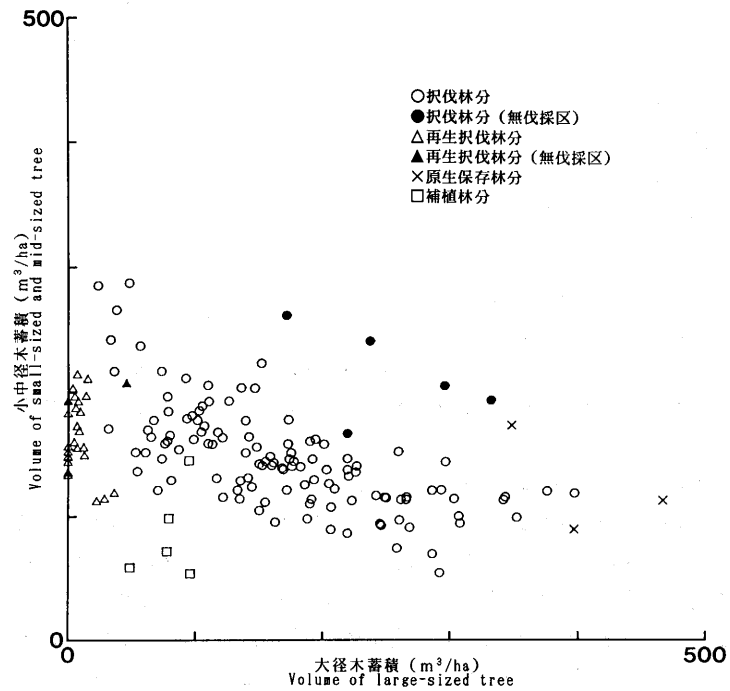


図-17 大径木蓄積と小中径木蓄積との関係

Fig. 17. Relationship between volume of large-sized tree and volume of small-sized and mid-sized tree.

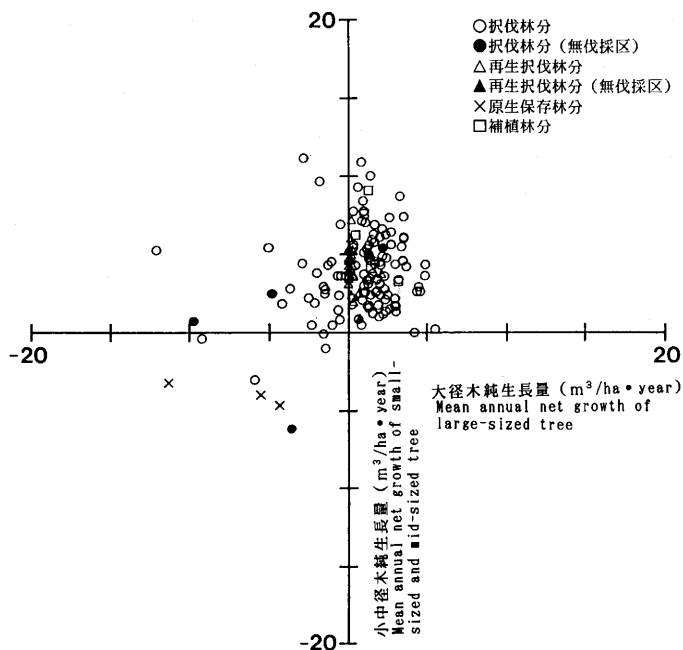


図-18 大径木純生長量と小中径木純生長量との関係

Fig. 18. Relationship between mean annual net growth of large-sized tree and mean annual growth of small-sized and mid-sized tree.

④中径木の材積割合は35%以上がよい。

⑤小径木の材積割合は20%以上がよい。

径級別生長量を最大にするには、

⑥大径木の蓄積は100 m³/ha以上がよい。

⑦中径木の蓄積は120 m³/ha以上がよい。

⑧小径木の蓄積はなるべく大きい方がよい。

本節では、小原の資料を含む、より広範な固定標準地資料について解析を行ったが、小原の指摘と若干異なる結果が得られた。そこで、林分生長量の高い林分の条件について考察することにする。

図-11、図-14から林分枯損量や大径木枯損量の上限があまり上がらない程度を目安にして考えると、大径木材積率30~40%以下、大径木蓄積100~150 m³/ha以下であることが望ましいと考えられる。また、小中径木については同様の方法で、小径木材積率30%以上、小径木蓄積50 m³/ha以上、中径木材積率40%以上、中径木材蓄積100 m³/ha以上が必要と考えられる。本節第1項の結果より、林分生長を最大にする可能性が最も高いのは林分蓄積300 m³/ha前後と推察される。そこで、林分蓄積を250, 300, 350 m³/haの3通りとして、上述の小、中、大径木の材積率を当てはめた結果を表-10に示す。この結果をみると、これまで一般にいわれている数値に比べ、大径木の割合が小さく小中径木、特に中径木の割合が大きい。この原因の一つとして、天然林の理想林型といわれるものが実際は択伐林の目標林型であるということが考えられる。現

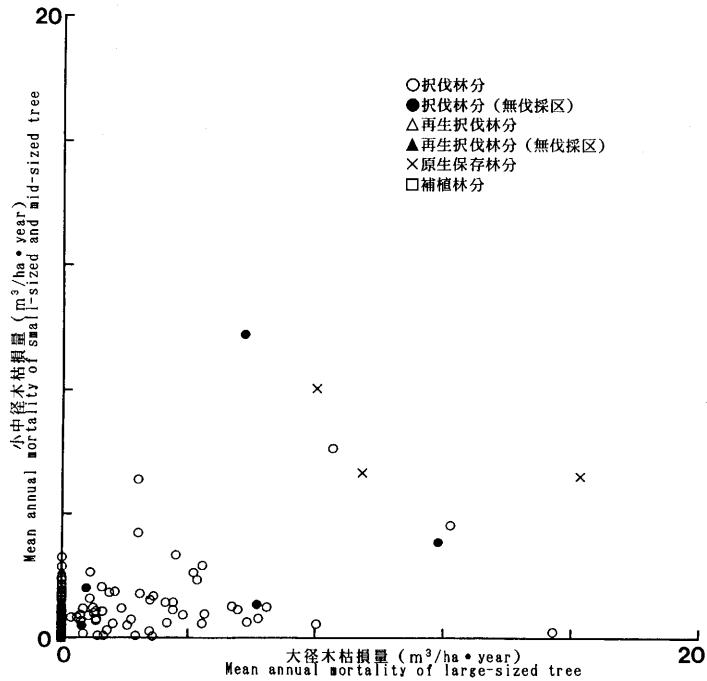


図-19 大径木枯損量と小中径木枯損量との関係

Fig. 19. Relationship between mean annual mortality of large-sized tree and mean annual mortality of small-sized and mid-sized tree.

実の択伐林の場合、大径木が収穫の中心となるため大径木蓄積を増やす必要があり、表-10の数値よりも大径木蓄積をやや高めにした目標林型を示している可能性がある。しかし、本固定標準地資料をみるかぎり中径木の生長は林分生長の中心となっており、また、どのような林分でも将来大径木となるのは現在の中径木である。したがって、小中径木蓄積がある程度確保されていること、そして、大径木蓄積が小中径木の生長を抑えすぎない程度であることは、生長盛んな林分の必要条件となるであろう。

4. 樹齢構造

本節では、まず、樹齢と直径との関係について検討する。つぎに、現在の林分を構成する林木が、過去の林分においてどのような位置を占めて生長してきたかを考察する。

解析には、東京大学北海道演習林内の8箇所に設定された樹齢調査地の測定資料を用いた。6箇所(44a, 48b, 49b, 49c, 97b1, 97b2)は、1981年の15号台風による風害地、2箇所(25a1, 25a2)は、道路開設にともなう皆伐地である。風害地では上中層木を主体に測定が行われているが、地際で折れて測定不能な林木は含まれていない。皆伐地では胸高直径5 cm以上の林木が対象とされている。測定は、伐採断面の外周より5年毎に0.1 mmまたは1 mm単位で行われた。資料の概要を表-11に示す。

伐採断面高は地上より10~70 cmである。伐採断面高における直径(以下、伐根直径と呼ぶ)

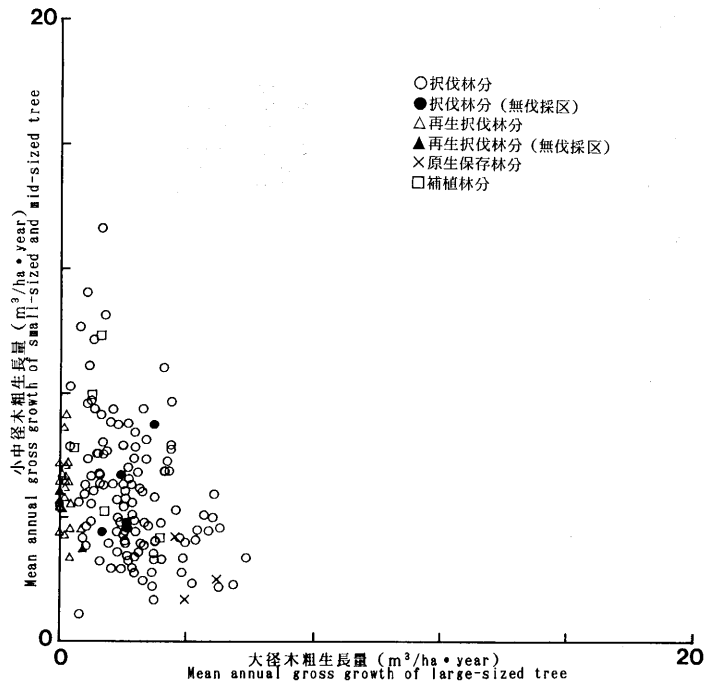


図-20 大径木粗生長量と小中径木粗生長量との関係

Fig. 20. Relationship between mean annual gross growth of large-sized tree and mean annual gross growth of small-sized and mid-sized tree.

表-10 林分生長量の高い林分の径級別蓄積の予想

Table 10. Expectation of volume in 3 diameter classes with highly stand growth

径級別材積率 (小:中:大(%))	林分蓄積 (m^3/ha)	径級別蓄積 (m^3/ha)		
		小径木	中径木	大径木
30 : 40 : 30	250	75	100	75
	300	90	120	90
	350	105	140	105
30 : 30 : 40	250	75	75	75
	300	90	90	90
	350	105	105	105
30 : 35 : 35	250	75	87.5	87.5
	300	90	105	105
	350	105	122.5	122.5

と胸高直径との相関係数は 97b2 で 0.79 を示す他は 0.90~0.96 と高い値を示した。この結果より、胸高直径の代わりに伐根直径を用いて生長解析を行うことが可能であると考えた。

測定木の樹齢と胸高直径との関係については、樹齢分布、直径分布、相関係数等を用いて検討した。また、生長経過についての考察には、直径生長曲線図を用い、直径生長曲線図を

- ①伐採時の樹齢階別 (50 年毎)
- ②伐採時の伐根直径階別 (20 cm 毎)
- ③樹齢別 (エゾマツ・アカエゾマツ, トドマツ, その他針葉樹, 広葉樹)

に検討した。

各資料について、測定木の樹齢と胸高直径との相関係数を表-12 に示す。全樹種込みでは相関係数 0.43~0.91 とバラツキが大きく、49c, 97b2 などはかなり相関が低かった。針広別にみると林分によって差はあるものの、広葉樹は 0.78 以上でかなり相関が高く、針葉樹はあまり高くない。特にトドマツは 3 箇所を除いて 0.5 以下と極めて相関が低かった。

芝野・小沢・南雲 (1984) は筆者と同じ資料を用いて解析を行い、多くの林木に肥大生長の停滞した被圧期がみられ、被圧から脱した後に旺盛な生長を始めることを示した。次に芝野・小沢・柴田 (1984) は林木が被圧期から脱する時期を生長増大開始時期と定義し、針葉樹ではほとんどの林木に被圧期が認められる一方、広葉樹の多くには認められないこと、一つの林分内では各林木の生長増大開始時期が集中する傾向があり風倒や伐採の結果と考えられることを報告している。また渋谷・五十嵐・松田 (1987) はトドマツ林分について同様の解析を行い類似の結果を得ている。

図-21 は直径生長曲線図の例である。いずれの林分においても、芝野らが指摘するように、多くの林木の生長増大開始時期が 50~100 年前後の一時期 (矢印で示す) に集中する傾向が確認された (一部には複数の集中期がみられる調査地もあった)。以後、この集中期を Q 点と呼ぶ。伐採時に同じ樹齢階に属する林木でも直径生長には激しいバラツキがみられた (図-22)。また、伐採時の伐根直径階別にみてもその生長過程は多様であった (図-23)。樹種別にみると、Q 点以後の針葉樹特にトドマツの生長に大きな差がみられた。広葉樹には被圧期がみられず、多くは Q 点前後に更新したものであった (図-24)。

つぎに、Q 点における伐根直径階別 (10 cm 毎) に直径生長曲線図を検討した (図-25)。解析の結果、現在の林分を構成する林木は Q 点において伐根直径 20 cm 前後までの小径木であったものが多いこと、Q 点以後の生長に大きなバラツキがみられ、特に Q 点で 10 cm 以下の林木は、その後の生長の差が大きいこと、Q 点において伐根直径 20 cm 前後までの小径木は、その後の生長の増大が顕著であるが、20 cm 以上の中大径木では変化が少ないことが認められた。

野堀・大金・藤原・笹 (1983) は天然林の資料について樹齢と胸高直径との間の相関係数を検討した結果、広葉樹には相関がみられるとした。今回の結果も同様の傾向を示している。

広葉樹は一般に耐陰性 (被圧下で耐える力) が弱い樹種が多く、長期の被圧には耐えられないといわれている。いいかえれば、現在生き残っている広葉樹は過去に強い被圧を受けたことがない個体であると考えられる。樹種別の直径生長曲線図を解析した際、広葉樹の生長過程には被圧期がみられず、比較的安定した生長を続けていたのはこうした理由によるものと考えられ、その結果、樹齢と胸高直径との相関が広葉樹ではかなり高くなったと推定される。一方、針葉樹は耐陰性が強い樹種が多い。トドマツの直径生長曲線図をみると多くの林木に被圧期が認められ、Q

表-11 調査地の概要
Table 11. Summary of plots

調査地	44a	48b	49b	49c	97b1	97b2	25a1	25a2
面積 (ha)	0.25	0.25	...	0.25	...	0.10	0.242	0.176
標高 (m)	...	540	...	580	...	...	420	400
方位	...	SE	...	SE	...	...	SW	SW
傾斜 (°)	...	17	...	11	...	...	6	8
蓄積 (m ³ /ha)	...	280	...	270	...	...	230	230
測定年	1983	1982	1982	1982	1982	1982	1979	1979
測定単位	0.1mm	0.1mm	0.1mm	0.1mm	0.1mm	0.1mm	1mm	1mm
測定木本数 (本)	52	53	27	37	38	55	143	96
エゾマツ・ アカエゾマツ (本)	31	8	13	13	9	11	0	0
トドマツ (本)	12	17	3	15	11	34	73	61
その他針葉樹 (本)	0	1	5	1	0	1	0	4
広葉樹 (本)	9	27	6	8	18	9	70	31
備考	~~~~~ 風害地					~~~~~ 皆伐地		

注) 表中の「…」は不明を表す。

Q点以後の生長のバラツキも激しい。このため樹齢と胸高直径との相関が低くなるものと考えられる。エゾマツは広葉樹とトドマツの中間的な傾向を示す。表-13は8箇所の資料をエゾマツの多い林分(44a, 49b, 97b1)とトドマツ主体の林分(48b, 49c, 97b2, 25a1, 25a2)に、またQ点が50年位前にある林分(48b, 97b1, 25a1, 25a2)と100年位前にある林分(44a, 49b, 49c, 97b2)にそれぞれ2分し、エゾマツおよびトドマツの樹齢と胸高直径との相関を調べたものである。エゾマツはどのような林分でも似た値を示しているが、トドマツは差が激しい。これは両樹種の寿命の違い、耐陰性の違いなどが影響しているものと思われる。

Q点は、伐採、風倒など自然あるいは人間によって上層木が除去された結果生じると考えられ

表-12 樹齢と胸高直径との相関係数

Table 12. Correlation coefficient between tree age and DBH

調査地	全樹種	針葉樹	広葉樹	トドマツ 以外	トドマツ のみ
44a	0.718	0.645	0.870	0.771	0.204
48b	0.909	0.902	0.916	0.932	0.735
49b	0.608	0.420	0.966	0.585	0.240
49c	0.428	0.306	0.851	0.566	0.260
97b1	0.761	0.640	0.781	0.874	0.325
97b2	0.575	0.534	0.982	0.853	0.542
25a1	0.694	0.390	0.807	0.807	0.390
25a2	0.692	0.789	0.689	0.639	0.786

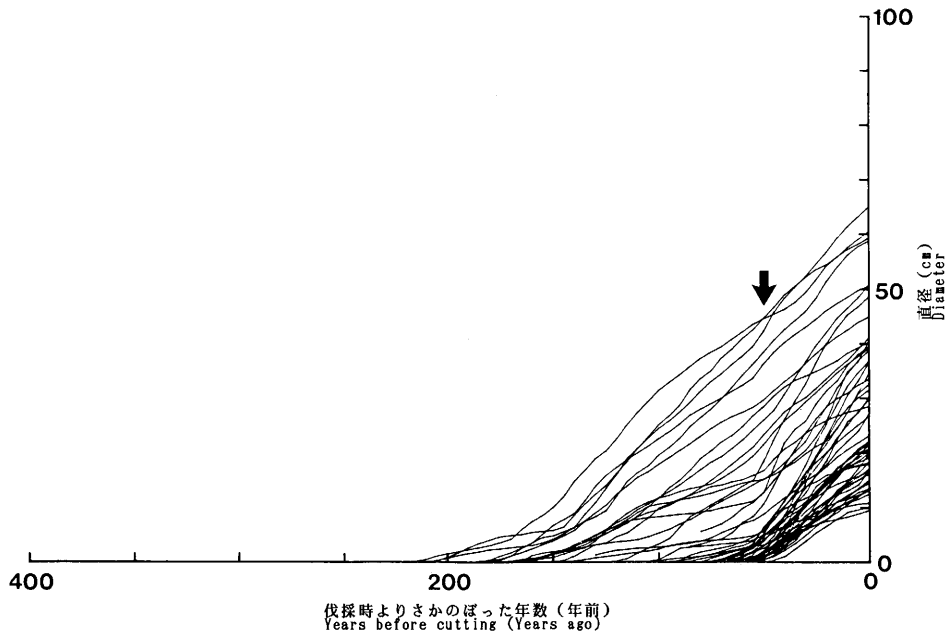


図-21 直径生長曲線図[48b] (矢印はQ点)

Fig. 21. Diameter growth curve [48b]. (Arrow indicated Q-point.)

る(芝野・小沢・柴田(1984), 芝野・小沢・南雲(1985))。いいかえれば, Q点の前と後で生長の変化が少ない林木は, Q点以前より上層木の影響(被圧)を受けていないと考えられる。したがって, 北海道演習林内の天然林では, 胸高直径が20 cm前後までの林木は上層木の影響を受けるが, それ以上になると影響を受けにくくなると推定できる。またQ点以後の林木の生長状態をみると, トドマツ, エゾマツは10 cm前後のものが急激に生長しはじめ, 広葉樹はQ点前後に更新したものである。したがって, 上層木の伐採後, 旺盛な林分生長を期待するには, 10 cm前後の

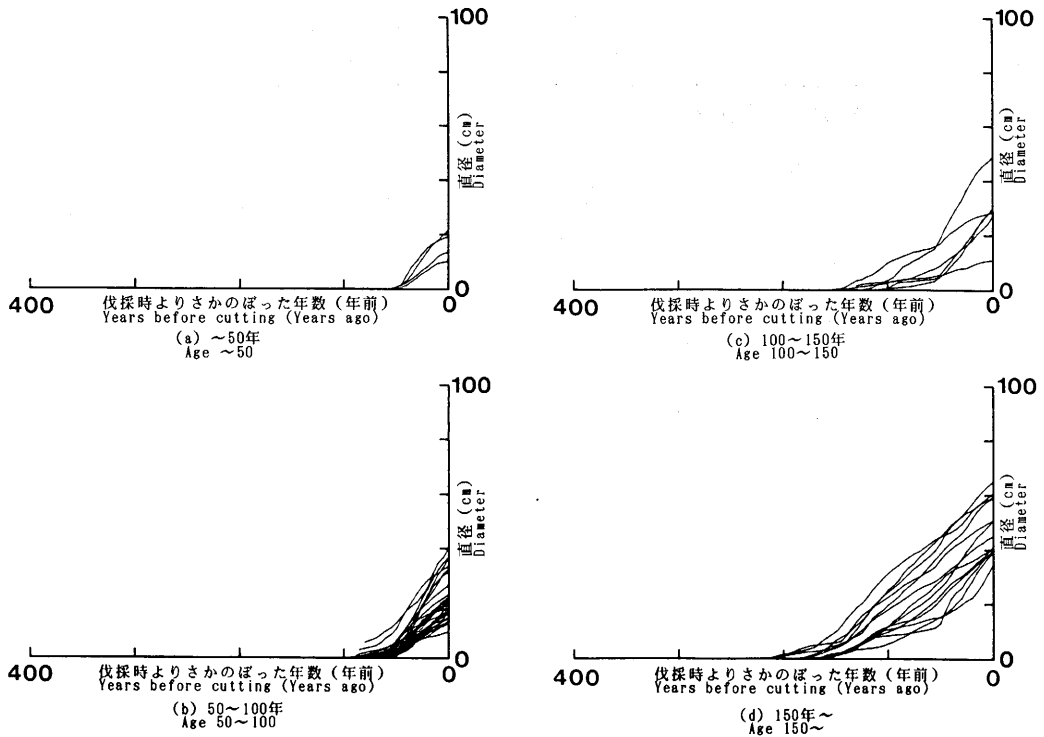


図-22 樹齡階別の直径生長曲線図[48b]

Fig. 22. Diameter growth curve by age class [48b]

針葉樹の小径木が十分存在することと、広葉樹の稚樹が多数存在するかあるいは伐採後の更新が良好であることが必要と考えられる。

IV. 直径分布

前章では天然林の生長について林分生長および林分構造の観点から検討を行った。一方、林分生長は個々の林木の生長の結果であり、林分内部でどのような形で生長が進んでいるか、そのメカニズムを知る必要がある。しかし、単木の生長を解析し、その結果を積み上げて林分生長のメカニズムを予測することはかなり困難である。また、林分全体の生長、変化を捉えるためには、小さな要素に左右されやすい単木モデルは不適當であろう。

以上のことを考慮し、本研究では林分の生長、変化を捉えるための手段として、直径階別本数分布（以下直径分布と略）を用いることとした。直径分布は林相曲線とも呼ばれ、森林、特に天然林の状態を表す指標として、また、施業管理の基準として昔から利用されている。SCHAEFFER・GAZIN・D'ALVERNY (1930) は、「林相曲線は現在および過去の林分状態からその推移状態を判断せしめ、もっと将来の取り扱いに対して示唆を与える」としている。その性質、変化のメカニズム、構造については、DE LIOCOURT (1988), SCHAEFFER・GAZIN・D'ALVERNY (1930), MEYER (1933, 1951, 1952), MEYER・STEVENSON (1943), 寺崎 (1922, 1925, 1950), TERASAKI (1924), KNUCHEL (1950), 鈴木 (1979) らの研究があるが、未だ不明の部分が少なくない。

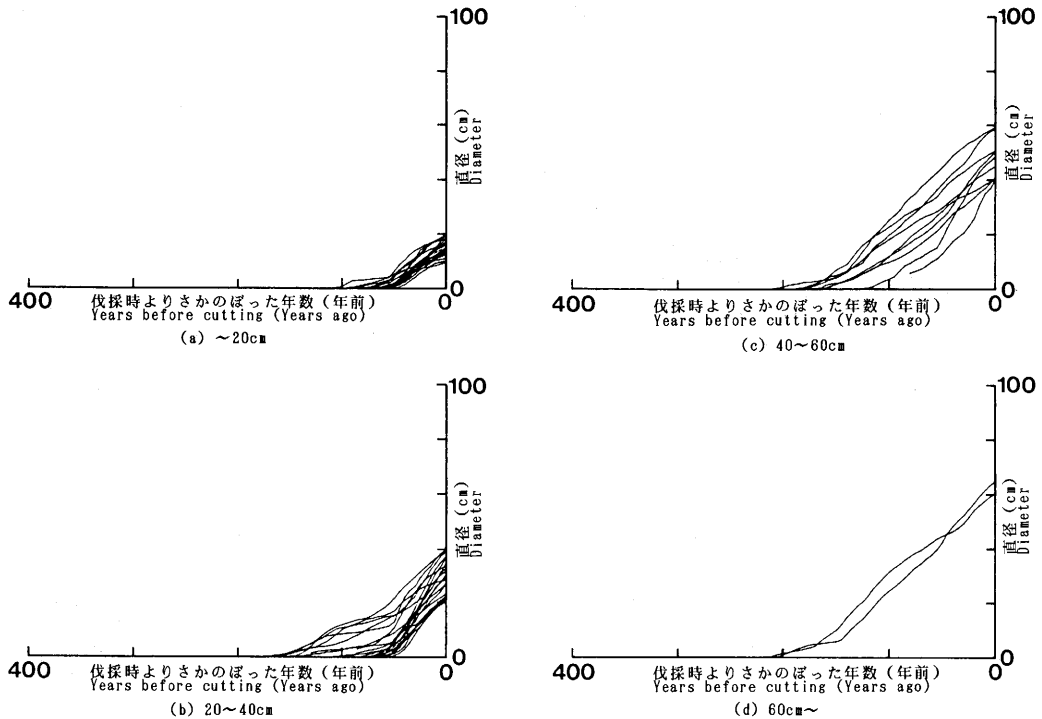


図-23 伐採時の伐根直径階別の直径生長曲線図 [48b]

Fig. 23. Diameter growth curve by diameter class at cutting [48b].

本章では、天然林の直径分布の性質、変化のメカニズムについて解析、検討する。

1. 天然林の直径分布

異齢林の直径分布を考える場合、その基本となるのは「法正な」あるいは「平衡状態にある」択伐林の直径分布である。ここで「法正」とか「平衡状態」とかいう言葉は、林分の直径分布が変化しない状態、すなわち、「各林木の生長、進界生長、枯損などによって林分内では変化が起こっているが、どの直径階においても、また、林分全体においてもその立木本数は変化しない状態」を示している。「平衡状態」は異齢林における理想的な状態と考えられており、平衡状態にある直径分布は理想的な直径分布（法正曲線）とされている。ある意味では、択伐林施業の目標の一つと考えてもよい重要な概念である。

KNUCHEL (1950) によれば、異齢林の直径分布について初めて研究したのは DE LIOCOURT (1898) であった。DE LIOCOURT は「平衡状態にあるすべての択伐林（すべての年齢からなる）、換言すれば伐採と連続した更新とが不変の構成状態を保つ林分にとっては林相曲線は正弓状をなし、各直径階は一定の比をもって小なるものより大なるものへと本数が逡減していく」という近似的法則を発見した。すなわち、ある直径階から次の直径階への立木変数の減少は幾何級数的で、しかもその百分率は一定である、としたのである。これを数式で表せば、最小直径階の立木本数を n_1 、逡減率（隣合う直径階の本数比）を d としたとき任意の直径階の立木本数 n_i は、

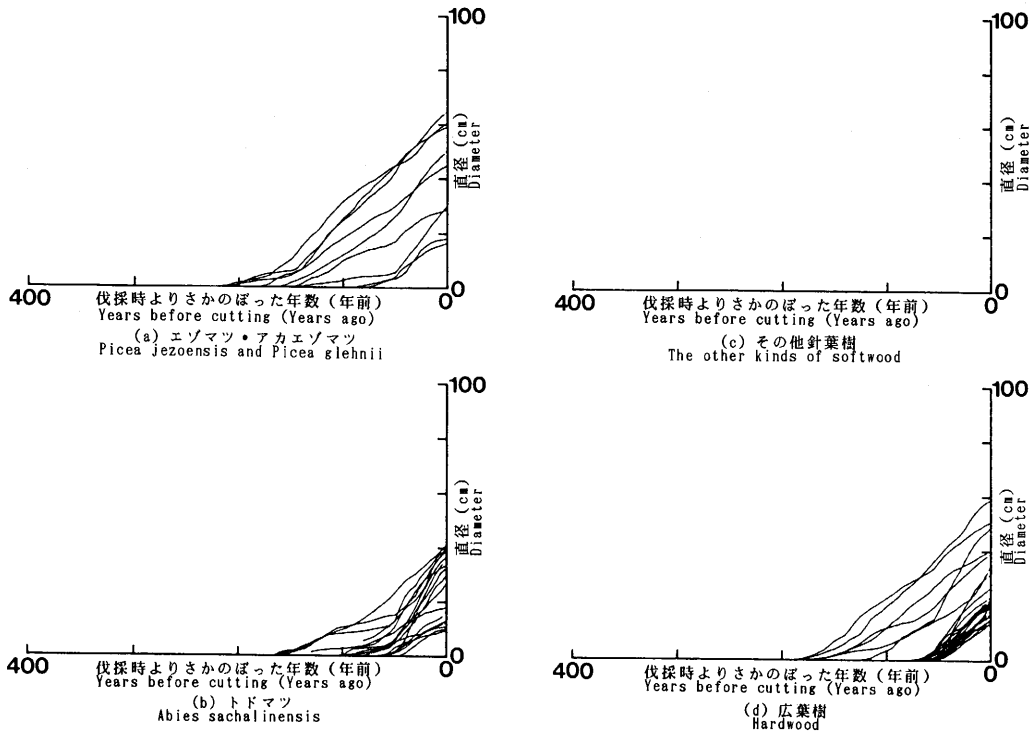


図-24 樹種別の直径生長曲線図 [48b]

Fig. 24. Diameter growth curve by species [48b].

表-13 エゾマツおよびトドマツの樹齢と胸高直径との相関係数

Table 13. Correlation coefficient between tree age of Ezomatsu (*Picea jezoensis*) or Todomatsu (*Abies sachalinensis*) and DBH

資 料	エゾマツ	トドマツ
エゾマツ主体の林分	0.584	0.189
トドマツ主体の林分	0.687	0.662
Q点が 50年位前の林分	0.633	0.586
Q点が100年位前の林分	0.634	0.372

$$n_i = n_1 d^{-(i-1)} \tag{1}$$

であり、林分全体の立木本数は直径階の数を m 個として、

$$N = \sum_{i=1}^m n_1 d^{-(i-1)}$$

となる。この近似的法則は異齢林の直径分布についての研究の基礎となるもので、DE LIOUCOURT の法則と呼ばれる。図-26 は DE LIOUCOURT 自身が示した、蓄積 $500 \text{ m}^3/\text{ha}$ の択伐林の法正曲線である。SCHAEFFER・GAZIN・D'ALVERNY (1930) はさらにモミの択伐林について研究を行い、

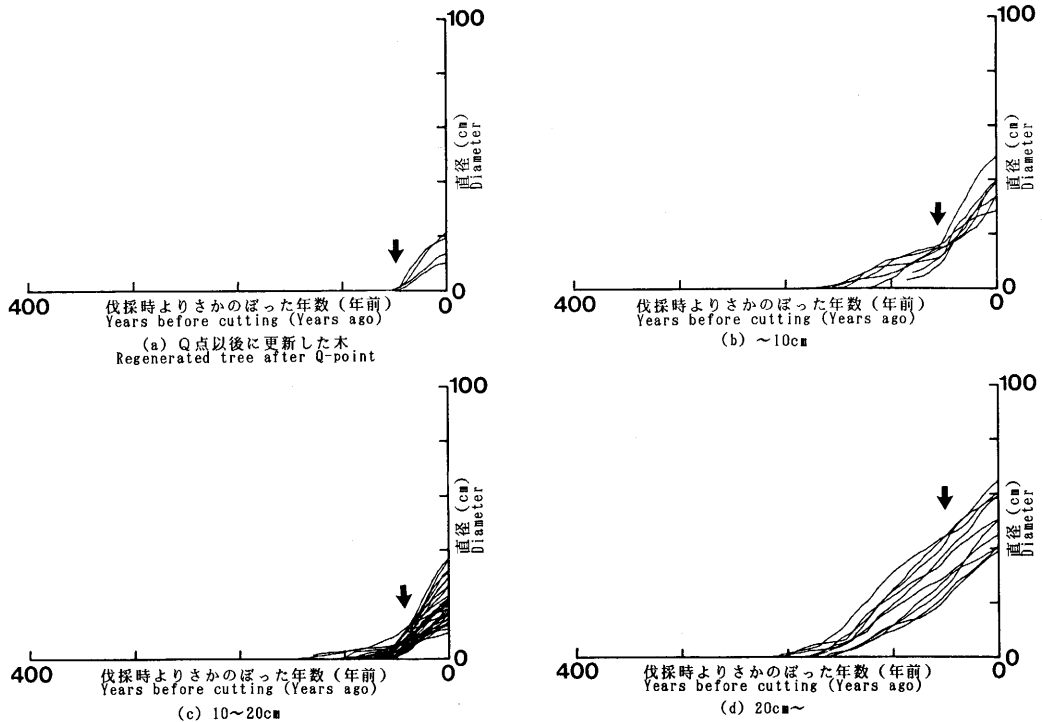


図-25 Q点における伐根直径階別の直径生長曲線 [48b] (矢印はQ点)

Fig. 25. Diameter growth curve by diameter classes at Q-point [48b]. (Arrow indicates Q-point.)

法正な直径分布は立地ごとに異なり、通減率 d も 1.30~1.50 の間で林分によって異なるとした。これらの曲線は良好な立地では通減率が低く、脊悪な立地では通減率が高くなる傾向がみられる。また SCHAEFFER らは各地において林業家達が「極めて良好な林分の平衡状態として」提唱した法正曲線を紹介している (表-14)。これを見ると、いずれも DE LIOCOURT の法則にしたがう単調減少型であるが、立地またおそらくは樹種などの違いによりかなりの差異があることがわかる。

式 (1) で示されるように、DE LIOCOURT の法則は離散変量についての経験則である。MEYER (1933) はこれを連続量として捉えて指数関数、

$$V(x) = y = Ke^{-ax} \quad (2)$$

ただし、

x = 胸高直径

y = 胸高直径 x の立木本数

a, k は定数

を当てはめた。2つのパラメータのうち、 a は本数減少率を、 k は相対的な立木密度を表している。以後、式 (2) を MEYER 式と呼ぶ。MEYER は 4 cm 幅の直径階について式 (2) を検討し、エンメンタールの森林において現実にあり得べき直径分布として $a = 0.055 \sim 0.075$ であること、 k は立地において影響されているところが大きいことを指摘した。

表-14 研究者が法正と考える直径分布 (SCHAEFFER・GAZIN・D'ALVERNY 1930)

Table 14. Diameter distribution for normal stand by some researchers

直径階 (cm)	A BIOLLEY	B CUIF	C DE LIOCOURT	D BRENOT	E SCHAEFFER (Alpes)	F SCHAEFFER (Forez)
(15)	(115) ¹⁾	(126)	(115)	(103)	(160) ¹⁾	(150)
20	82	90	91	82	119	78
25	53	60	70	64	75	57
30	36	43	53	51	54	43
35	26	30	39	40	39	32
40	19	22	29	30	28	22
45	15	17	20	22	19	14
50	11	13	14	15	13	10
55	9	9	9	10	8	7
60	7	7	6	6	5	4
65	6	5.5	4	4	1	3
70	5	4	2	2	1	1
75	4	3	1	1		
80	3	2	1	1		
85	2	1.5	1			
90	1	1				
95	1					
合計	280	308	340	328	362	271
材積 (sv)	355	351	340	338	301	244
中央木 (sv)	1.26	1.14	1.00	1.03	0.83	0.90
断面積 (m ²)	33	33	33	32	31	25

1) 原著に「？」の記載がある。

こうした研究とは別に、鈴木(1979)は種子発芽の曲線と林分遷移の方程式の基本解との「たため込み」として指数型の直径分布を導きだした。現在($\tau=t$)の直径分布を $\Phi(y)$ 、発芽数を時間 τ の関数 $f(\tau)$ 、林分遷移の方程式の基本解を $\phi_0(\tau, y)$ とすると、

$$\Phi(y) = \int_{-\infty}^t f(\tau) \phi_0(t-\tau, y) d\tau \quad (3)$$

となる。式(3)の積分定数を変えれば、

$$\Phi(y) = \int_0^{\infty} f(t-\tau) \phi_0(\tau, y) d\tau \quad (4)$$

となる。式(4)は直接には積分できないので数値積分を行う必要がある。また、式(4)において過去における種子の発芽を常に1単位だけ、すなわち $f(\tau)=1$ と仮定すると、鞍部点法による近似評価式(5)が得られる。

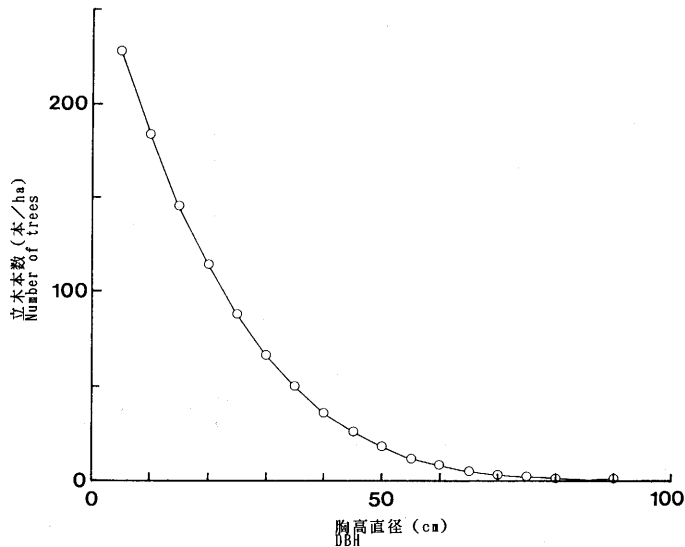


図-26 DE LIOCOURT の示した法正な異齢林における直径分布

Fig. 26. Diameter distribution for normal uneven-aged stand by DE LIOCOURT.

$$\Phi(y) = \frac{c(b-y)^{(c/k)-1}}{kb^{c/k}} \quad (5)$$

この時、一様な発芽曲線 ($f(t)=1$) に対する直径分布は図-27 のようになる。

鈴木の手法は、純粹に数学的に異齢林の直径分布の成因を論じたものであり、DE LIOCOURT, MEYER らの帰納的なアプローチとは異なった演繹的アプローチとして価値のあるものと考えられる。

では、現実の林分において DE LIOCOURT の法則や MEYER 式はどの程度当てはまるのであろうか。MEYER・STEVENSON (1943) はブナ・カバ・カエデ・ツガ原生林の直径分布に MEYER 式を当てはめ、いずれも指数型の 8 タイプの直径分布を示した。

さらに MEYER (1952) は、指数型の直径分布は平衡状態になるよう管理されている林分、または、ほとんど人間の干渉のない原生林にみられるのみでなく、例えば一つの地方、一つの州といった十分広い面積の森林全体を対象にした場合にもみられるとしている。

一方、SCHAEFFER・GAZIN・D'ALVERNY (1930) は図-28 のように中径木が過剰な状態を示す不法な択伐林の直径分布を示し、異齢林の中に同齢林が混入したものとした。この「鼠を呑んだ蛇の体」に似た形は、過去において不注意な伐採を行うか、不慮の伐採を行った結果、林分の局部的には正常でも全体としては過剰な更新が起こったためにできるといわれている。過剰な更新による直径分布上の突出部は、中径木に達するとその後の更新を妨げる。図-29 は徐々に「鼠を呑んだ蛇の体」に近づいていく林分の例である。KNUCHEL は図-30 に「鼠を呑んだ蛇の体」となってしまった林分が、情重な施業により再び指数型へと近づいていく様子を示している。

寺崎 (1922) は、樹冠構成状態を基準に天然林を 2 類 4 種に区分した。その後さらに研究を進め (TERASAKI 1924, 寺崎 1925), 以下のようにまとめている。

天然林には次の 2 つのタイプが存在する。

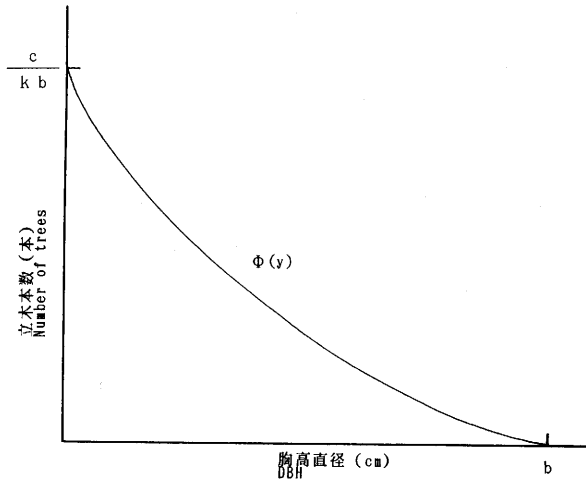


図-27 一様な発芽曲線に対する天然林の直径分布 (鈴木 1979)

Fig. 27. Diameter distribution of natural forest for uniform seedling curve.

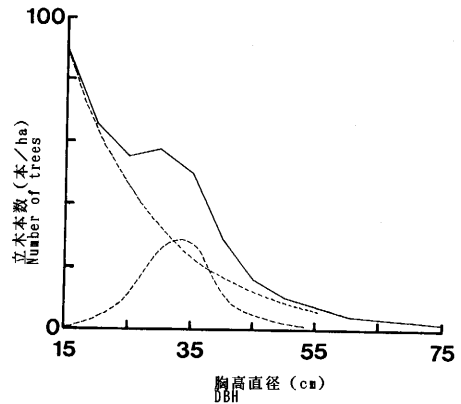


図-28 現実の直径分布を2つに分解したところ (SCHAEFFEL・GAZIN・D'ALVERNY 1930)

Fig. 28. Division of actual diameter distribution.

I: 林冠が樹冠層の単純な組み合わせから成るもの。

II: 林冠が樹冠層の複雑な組み合わせから成るもの。

これらには多くのサブタイプが存在するが、実質的には各々2つのサブタイプを考えればよい。

I α : 林冠は2層もしくは3層より成るが各樹冠層は比較的接近している。上層の林木が大きい割合を占める。

I β : 林冠は2層より成る。下層の林木が大きい割合を占める。

II γ : 林冠は3層以上より成り、各樹冠層は比較的離れている。上層から中層の林木が大きい割合を占める。

II δ : 林冠層は3層以上より成り、極めて複雑で多数の樹冠層からなることが容易に認識できる。上層より中層、中層より下層の林木の方がより多く存在している。

そして、各林型の直径分布を例えば図-31に示すように想定した。

図-31に示された直径分布は、各樹冠層を構成する林木が各々単峰型の分布をすると考え、各樹冠層の分布曲線(組成原曲線と呼ぶ)を足し合わせて得られたものである(図-32)。寺崎の示した天然林の中ではII δ およびI β が指数型に近い型を示す。また、各林型とも、直径分布にはフクラミがみられ、SCHAEFFERらのいう「鼠を呑んだ蛇の体」に似た形を示していることも注目される。

以上、天然林の直径分布について過去の研究例を概観したが、これらの研究結果には、いくつかの問題点が考えられる。

まず、異齢林の直径分布は、単純に単峰型分布の足し合わせと考えると良いのであろうか、という点である。鈴木の示したように、単峰型分布を足し合わせる(積分する)ことによって指数型

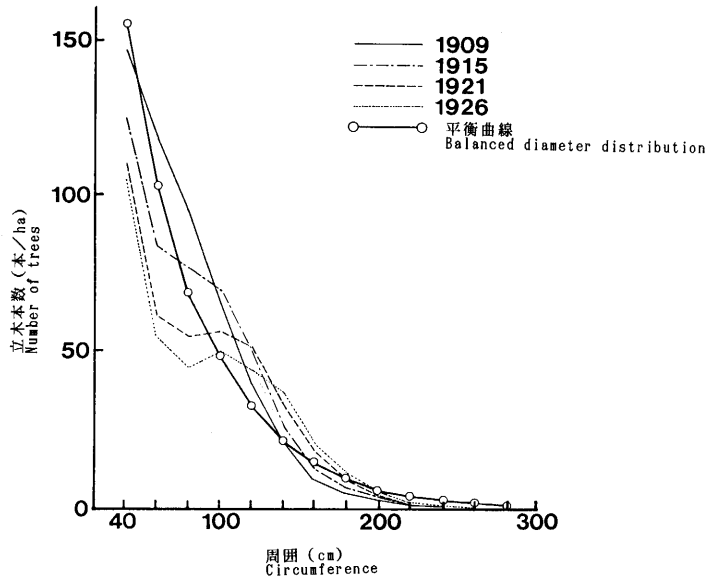


図-29 指数型から崩れていく直径分布の例 (SCHAEFFEL・GAZIN・D'ALVERNY 1930)
 Fig. 29. Example of diameter distribution which deviated from exponential distribution.

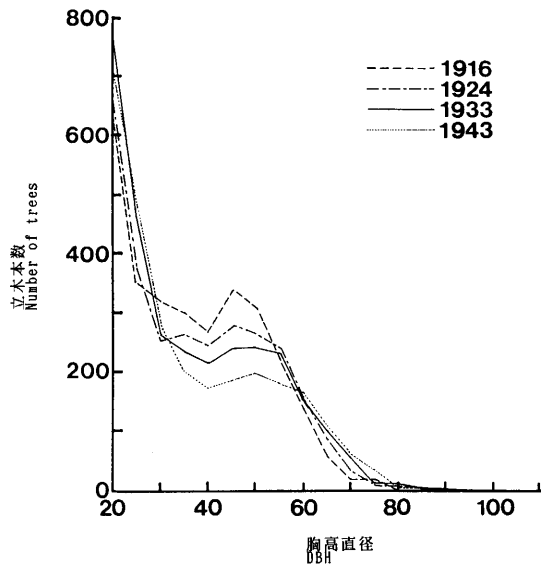


図-30 施業により指数型へ近づいていく直径分布の例 (ボヴェーによる (KNUCHEL 1950))
 Fig. 30. Example of diameter distribution which was transformed into exponential distribution by management.

の分布が導かれる。しかし、このことが異齢林の直径分布の成因を表しているといえるであろうか。MEYER も述べているように、指数型の直径分布を示す例は、

- a) よく管理された択伐林

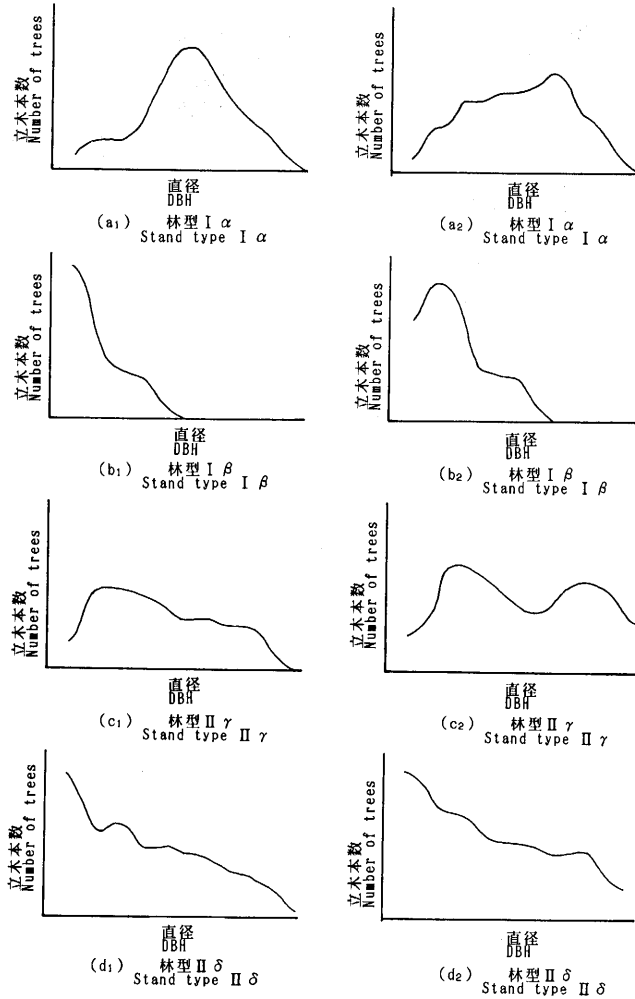


図-31 各林型の直径分布の模式図 (寺崎 1925)

Fig. 31. Diameter distribution of each stand type.

b) 原生林

c) 大面積にわたる森林全体 (例えば〇〇県の森林全体の直径分布)

の場合にみられる。我々が異齡林と呼ぶのは (a) および (b) の場合である。鈴木が示した指数型の直径分布は (c) の場合は十分に表し得るが、(a)、(b) の場合を表している保証はどこにもない。現実には、かなり小面積 (0.25 ha 以下) の林分においても指数型の直径分布がみられるが、こうした 200 本前後の林木の集団にも鈴木が挙げたような仮定が当てはまるのであろうか。同様に、寺崎の直径分布の捉えかたも足し合わせの発想が基本であり、未だ、不十分な点が多いと考えられる。

次に、中径木が過剰な分布を示す直径分布は、すべて過去の集中的な更新の結果であると考えて良いのであろうか、という点が挙げられる。SCHAEFFER らは不法正な異齡林の直径分布を分解して「指数型に単峰型が混入した」と考え、その原因を「過去における集中的な更新」とした。

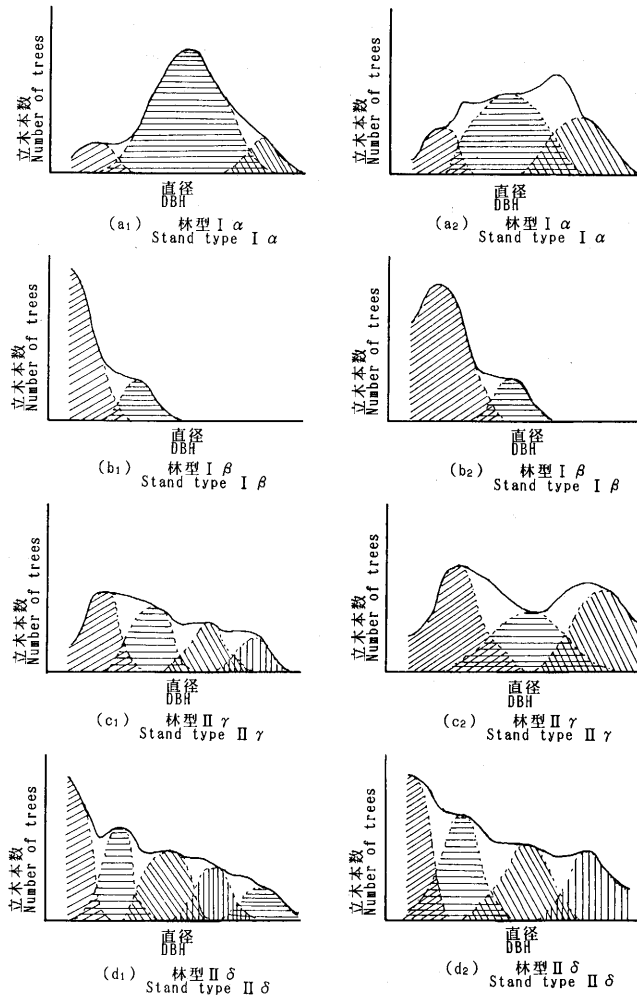


図-32 各林型の直径分布と組成原曲線との関係 (寺崎 1925)

Fig. 32. Relationship between diameter distribution and component curves of each stand type. (A shaded portion means component curve.)

しかし、異齡林では確かに集中的な更新が起きてはいるものの、ほぼ同時に更新してもその後の生長に大きな開きができること、被圧による生長抑制の効果が非常に大きいことがわかっている。したがって、集中的な更新が原因となることができるフクラミ以外にも、ある段階の異齡林では必然的に起こる「林木の生長の溜り場」のようなフクラミがあると考えた方が自然ではないだろうか。

さらに天然林において平衡状態と平衡に達していない状態との関係はどうなっているのであろうか。平衡状態の直径分布については、前述の通り DE LIOCOURT を始め MEYER などによってかなり詳しく検討されている。DE LIOCOURT の法則、MEYER 式も平衡状態に達した林分において成り立っている。しかし、すべての林分が平衡状態に達しているわけではなく、大半の異齡林は

平衡状態に達していない不正な林分である。こうした不正な異齡林の生長についてはこれといった生長法則やモデルがないのが実状であり、天然林施業研究の大きな問題となっている。

さらに現在の天然林施業、択伐林施業は基本的に平衡状態に達した林分を目標林（理想林型）としており、「異齡林の直径分布は指数型に近づけることが目標である」といわれることが多い。だが、すべての林分が DE LIOCOURT や MEYER の示した指数型の直径分布を持つようになるのであろうか。外的要因、主要樹種の特長などによっては指数型になり得ない林分もあるのではないだろうか。また寺崎が示したように、いくつかのタイプ（林型）があり、その間を変化して行くのが異齡林の普通の姿ではないのだろうか。

2. 直径分布と直径階別直径生長量

天然林の直径分布は指数型をしていると言われるが、現実には中径木に過剰な部分を呈する場合が少なくない。SCHAEFFER ら(1930)は直径分布上のこのフクラミを過去において一斉に過剰な更新が起こった結果とし説明し、適切な伐採によってなくすことができるとしている。

一方、大貫・中川・河原(1966)は直径階別直径生長量の平均について解析し、択伐林分においては直径生長量の平均ピークがみられ、伐採によってピークの位置や高さが変化するを指摘した。また、井本・柳生(1982)は道有林北見経営区の生長試験地測定資料を解析し、直径階別直径生長量の平均がやはり中径級に生長のピークを持つこと、その傾向は針葉樹、広葉樹いずれもみられることを報告した。さらに、加納(1972)は道有林北見経営区置戸照査法試験地の第1経理期の資料を解析し、各直径階当りの進級年数をもとに直径階別直径生長量を求めた。その結果、針葉樹広葉樹とも約25~30 cm で生長量が最大であるとし中径級にピークがあることを示した。林(1974)は同試験地の第2経理期の資料について同様の解析を行い、トドマツは15~25 cm、エゾマツは35~45 cm で直径生長量が最大であるとしたが、加納のような明確な結果は示していない。

以上のように、中径級にフクラミを持つ直径分布や、中径級にピークを持つ直径階別直径生長量の平均を持つ例が多数報告されている。そこで本節では、固定標準地資料を用いて直径階別本数分布と直径階別直径生長量との関係を解析し、林分内部の生長が直径分布とどのような関連を持っているのかについて検討した。

解析には

- (a) 期首の胸高直径と年平均直径生長量との関係を示した散布図
- (b) 直径階（2 cm 括約）毎の年平均直径生長量の特長値を示した箱ひげ図
- (c) 直径階別本数分布（2 cm 括約）の図

を用いた。

図-33は再生択伐林分の例である。再生択伐林分はいずれも低蓄積、高密度の広葉樹林である。再生択伐林分では、小径木から中径木にかけて胸高直径が大きくなると直径生長量も増加する傾向がみられた(a)。したがって、直径階別直径生長量の平均値も直径が大きくなるにつれて高くなるが、標準偏差は直径階によらず比較的安定しており比較的小さい(b)。こうした特徴は、同齡単純林に類似している。直径分布は30~40 cm が上限であり小中径木がほとんどである。(c)のように20~30 cm にフクラミを持つ指数型を示すものが多い。

図-34~37は、林分蓄積270~330 m³/haの択伐林分の例である。粗生長量7 m³/ha・年未満

と以上で分け、図-34 および図-36 は粗生長量の低いグループ、図-35 および図-37 は粗生長量の高いグループに属する。まず、図-34 と図-35 を比較すると、直径階別直径生長量の平均はいずれも直径 20~30 cm 前後にピークを持っており、直径分布は小径木から大径木までそろった指数型を示す (b, c)。一方、図-36 と図-37 を比較すると、直径階別直径生長量の平均はいずれも右上がりの傾向を示し、直径分布は小径木が少ない直線的な型を呈する (b, c)。また、どちらのタイプの場合も粗生長量の高い林分 (図-35 および図-37) の方が各直径階の直径生長量の平均も高い。

再生択伐林分は、直径階別直径生長量の平均にピークがみられないこと、中径木への本数の集中が顕著であることから一斉林的な生長パターンを示すものといえる。これらの林分は山火事跡地に広葉樹が更新したものであり、比較的まとまった林木が、短期間に集中して更新した可能性が高い。中径木のほとんどは一斉に更新した林木であろう。また、多数の小径木が存在するが、一斉更新した林木が中径木へと生長した後に更新した、より若い個体である可能性が高い。

一方、択伐林分には直径階別直径生長量の平均にピークがみられる林分とみられない林分があり、直径分布はいずれも右下がりながら指数型からフラミのある分布、さらに直線的な分布を示すものまで多様である。しかし、直線的な直径分布の林分すなわち小径木が少なく大径木が多い林分には、直径階別直径生長量の平均がピークのはっきりしない右上がりのパターンを示すものが多くみられる。逆に、小径木本数が多い林分には、ピークを持つ山形のパターンを示すものが多い。これは大径木の生長の良否が小径木の増加に影響を与えているためと推察される。また、択伐林分の直径生長量の標準偏差が再生択伐林分に比べて大きいことは、異齡林、混交林における個体間の生長の差が激しいこと、すなわち生長の多様さを示しているといえよう。

3. 直径分布と林分の生長パターン

前節において直径階別直径生長量の平均には、

①大径木ほど大きな生長を示す「右上がり型」のパターン

②中径級に生長のピークを持つ「山型」のパターン

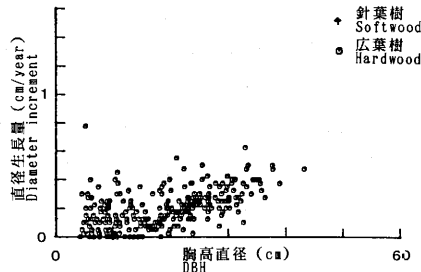
がみられることが明らかとなった。また、これらのパターンは直径分布と関連を持つことが推察された。そこで本節では、直径階別直径生長量の平均が示すパターンについて直径分布との関係を中心に考察し、さらに林分の生長状態の指標として用いることができるか否かについても検討する。

直径階別の解析はあまりに細かくなりすぎて全体の傾向を捉え損なう可能性があるため、小径級、中径級、大径級の3階級にまとめて解析を行った。まず、直径級別の本数分布と直径級別直径生長量平均についてグラフによる解析を行い、続いて、各種林分特性値間の相関係数について検討した。

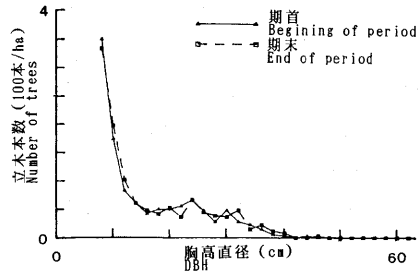
径級区分は、2 cm 括約で小径木 6~24 cm、中径木 26~38 cm、大径木 40 cm 以上とした。

直径級別直径生長量平均および直径級別本数分布の例を図-38 に、各林分の概要を表-15 に示す。ここに示した3例はいずれも粗生長量も大きい林分である。[5111], [5115] は蓄積 300 m³/ha 弱、枯損は少なく純生長量の大きい林分であるが、[5143] は高蓄積で枯損が多く純生長量はやや低い林分である。3例とも針葉樹材積率の高い、トドマツ主体の針広混交林である。

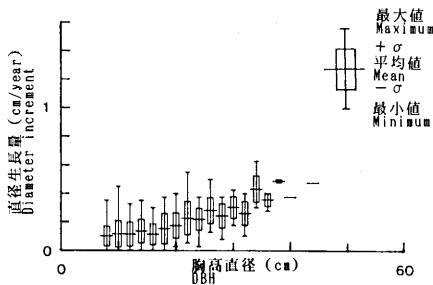
図-38(a) をみると、[5111] は中径級にピークを持つ山型のパターンを示し、[5115], [5143] は



(a) 期首の胸高直径と年平均直径生長量との関係
Relationship between DBH and mean annual diameter increment



(c) 直径階別本数分布 (2cm括約)
Diameter distribution

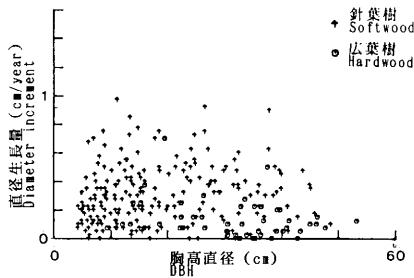


(b) 直径階 (2cm括約) 別の年平均直径生長量の特性値
Characteristics of mean annual diameter increment in each diameter class

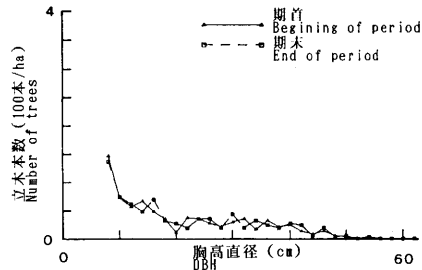
図-33 再生択伐林分の例 (固定標準地番号 [5106])

Fig. 33. Example of regenerated selection stand.

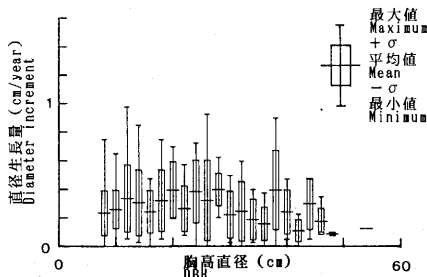
	期首(1972)	期末(1976)	
立木本数	1548	1504	(本/ha)
断面積	29.1	31.1	(m ² /ha)
蓄積	221.6	242.6	(m ³ /ha)
針葉樹材積率	0.	0.	(%)



(a) 期首の胸高直径と年平均直径生長量との関係
Relationship between DBH and mean annual diameter increment



(c) 直径階別本数分布 (2cm括約)
Diameter distribution

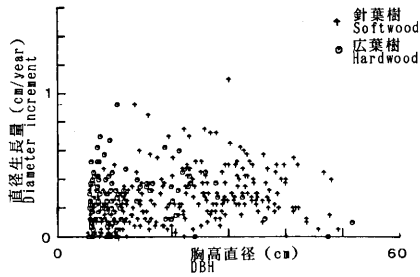


(b) 直径階 (2cm括約) 別の年平均直径生長量の特性値
Characteristics of mean annual diameter increment in each diameter class

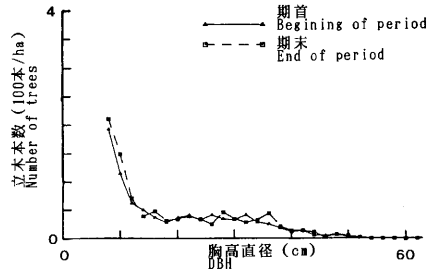
図-34 択伐林分(270~330 m³/ha, 粗生長量 7 m³/ha・年末満)の例 (固定標準地番号 [5137])

Fig. 34. Example of selection stand.

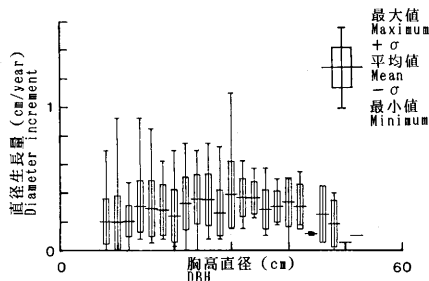
	期首(1972)	期末(1976)	
立木本数	872	870	(本/ha)
断面積	33.3	35.7	(m ² /ha)
蓄積	289.6	313.8	(m ³ /ha)
針葉樹材積率	64.4	66.2	(%)



(a) 期首の胸高直径と年平均直径生長量との関係
Relationship between DBH and mean annual diameter increment



(c) 直径階別本数分布 (2cm括約)
Diameter distribution

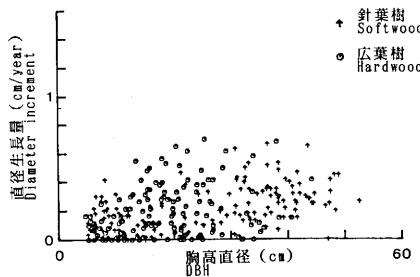


(b) 直径階 (2cm括約) 別の年平均直径生長量の特徴値
Characteristics of mean annual diameter increment in each diameter class

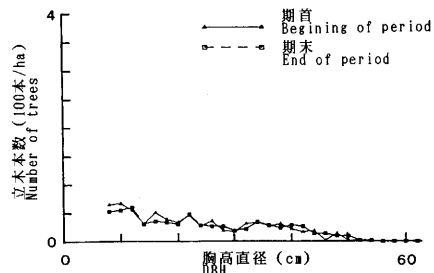
図-35 択伐林分(270~330 m³/ha, 粗生長量 7 m³/ha・年以上) の例 (固定標準地番号 [5111])

Fig. 35. Example of selection stand.

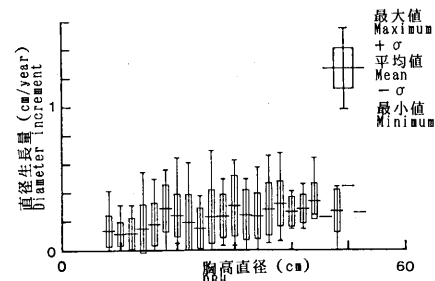
	期首(1975)	期末(1979)	
立木本数	1112	1241	(本/ha)
断面積	33.5	37.7	(m ² /ha)
蓄葉樹積	291.4	324.7	(m ³ /ha)
針葉樹材積率	88.5	88.2	(%)



(a) 期首の胸高直径と年平均直径生長量との関係
Relationship between DBH and mean annual diameter increment



(c) 直径階別本数分布 (2cm括約)
Diameter distribution

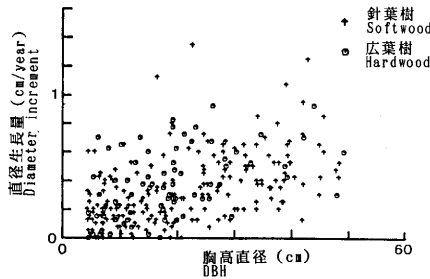


(b) 直径階 (2cm括約) 別の年平均直径生長量の特徴値
Characteristics of mean annual diameter increment in each diameter class

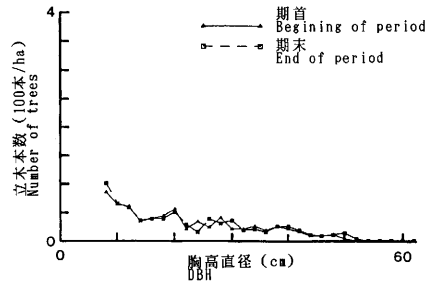
図-36 択伐林分(270~330 m³/ha, 粗生長量 7 m³/ha・年未満) の例 (固定標準地番号 [5116])

Fig. 36. Example of selection stand.

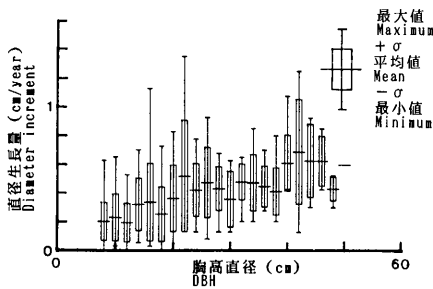
	期首(1974)	期末(1980)	
立木本数	814	827	(本/ha)
断面積	37.7	39.4	(m ² /ha)
蓄葉樹積	337.7	355.7	(m ³ /ha)
針葉樹材積率	74.6	74.4	(%)



(a)期首の胸高直径と年平均直径生長量との関係
Relationship between DBH and mean annual diameter increment



(c)直径階別本数分布(2cm括約)
Diameter distribution



(b)直径階(2cm括約)別の年平均直径生長量の特徴値
Characteristics of mean annual diameter increment in each diameter class

図-37 択伐林分(270~330 m³/ha, 粗生長量 7 m³/ha・年以上)の例(固定標準地番号[5115])

Fig. 37. Example of selection stand.

	期首(1969)	期末(1973)	
立木本数	771	804	(本/ha)
断面積	30.9	34.7	(m ² /ha)
蓄積	279.4	317.8	(m ³ /ha)
針葉樹材積率	79.2	77.1	(%)

大径級の生長が最もよい右上がり型のパターンを示している。また、[5115]と[5143]では直径生長量そのものに大きな差がみられ、各径級とも[5115]の生長量が[5143]の生長量を上回っている。図-38(b)をみると、小径木本数および中径木本数は[5111],[5115],[5143]の順で少なくなるが、大径木本数は逆に[5143],[5115],[5111]の順で少なくなっている。特に[5143]は大径木本数が中径木本数を上回っており、もはや指数型とはいえない。

[5111]は、小径木本数が多く大径木は少ない典型的な指数型の直径分布を示し、生長パターンは山型を示す。[5115]は、やはり指数型であるが[5111]に比べて小中径木は少なく大径木がやや多い直径分布を示し、生長パターンは右上がり型である。表-15をみると、[5111]と[5115]は蓄積、生長量、胸高断面積合計いずれもほとんど同じであり、針葉樹材積率も大差がない。しかし、立木密度は[5111]が[5115]より3割ほど多く、この違いが小径木本数の差になって現れている。

[5115]の生長は大径木が旺盛で中径木、小径木と低くなっていくが、これは豊富な大径木が生長の主体であり、下層の中径木、小径木は被圧され十分生長できないためと考えられる。したがって、各径級(各径階)間の進級も遅く、小径木への進界も少なくなっていると推察される。

一方、[5111]の生長は中径木が旺盛で大径木は低く小径木と同じ水準を示している。これは大径木が少ないため中径木が生長の主体となっており、少なくとも中径木には被圧の影響が少ないと考えられる。また、小径木についても現存本数がかなり多いことから、現時点までは被圧も少なかったと考えられる。

次に[5143]は大径木が中径木を上回り、小径木も少なく、林分の立木密度も3林分の中では

最も低い。生長パターンは[5115]と同じ右上がり型であり、[5115]同様大径木の被圧の影響が小中径木に現れているものと考えられる。しかし、生長は全体的に低い。資料全体をみても2種類の生長パターンは林分生長量の良否に関係なく現れ、生長のよい林分では各径級とも生長がよい。したがって、林分生長量には林分間の潜在的生産力の差(すなわち地位)が影響しているのではないかと考えられる。

次に、全資料について直径級別直径生長量と各径級別の林分特性値の関係を相関係数を用いて検討した。

表-16は中径木の直径生長量平均と大径木の各種特性値との相関係数を示したものである。まず、大径木の直径生長量平均と中径木の直径生長量平均との間に高い正の相関($r=0.720$)がみられ、大径木の生長のよい林分は中径木の生長もよいことがわかる。この傾向は右上がり型($\bar{Z}_m \leq \bar{Z}_i; r=0.918$)でも山型($\bar{Z}_m > \bar{Z}_i; r=0.805$)でも同じように現れている。中大径木と小径木の相関は多少低くなるが、中径木の直径生長量平均と小径木の直径生長量平均との間には0.651という正の相関がみられる(表-17)。

大径木の立木密度および蓄積と中径木の直径生長量との相関係数はいずれも-0.5程度の負の相関を示す。また、中大径木の蓄積と小径木の直径生長量平均との間の相関係数も-0.538とやはり負の相関を示す。一方、中径木の立木本数および蓄積と中径木の直径生長量平均との相関係数(表-18)、中径木の立木本数および蓄積と大径木の直径生長量平均との相関係数(表-19)、大径木の立木本数および蓄積と大径木の直径生長量平均との相関係数(表-20)は低い値を示している。したがって、大径木が中径木の生長を抑え、さらに中大径木が小径木の生長を抑えている(被圧している)ものと推察される。この結果はグラフ解析から得られた結果とも一致し、2種類の生長パターンの成因は直径分布そのものにあると考えられる。

以上の解析の結果、天然林の生長について2つの特徴が得られた。その一つは、直径分布と直径階別直径生長量との間には密接な関係があるということである。小径木が少なく大径木が豊富な直線的な直径分布を示す林分では、小中径木の生長が抑えられ右上がり型の生長パターンを示す。このような林分は小中径木が容易に上の直径階へ上がらないばかりでなく、枯損も増えることが予想され、ますます大径木主体の直径分布へと進んで行くであろう。一方、小径木が豊富で大径木が少ない指数型の直径分布を示す林分では、被圧の影響を受けない中径木が盛んに生長し山型の生長パターンを示す。中径木では上の直径階への進級も進む。しかし、小径木は豊富な中径木の下層で中径木ほどの生長は示さず、徐々に大径木が増え、小中径木の少ない直径分布へと移っていく可能性がある。以上は、直径分布と直径階別直径生長量との関係の一つのモデルである。

今一つの特徴は、林分生長の良否が林分自身の持つ生産力すなわち地位の影響を受けるということである。同じ生長パターンをしていても、また、同じ型の直径分布をしていても、林分生長や直径階別の生長量には大きな差がでてくる。この差は、直径分布などの林分構造以外の因子、例えば地況要因のようなものが関係していると考えらるべきであろう。

4. 天然林の直径分布

本節では、第3章および第4章において行ってきた解析の結果をもとに天然林の直径分布について検討を行う。まず、直径分布に関わる要素とその影響について考察する。

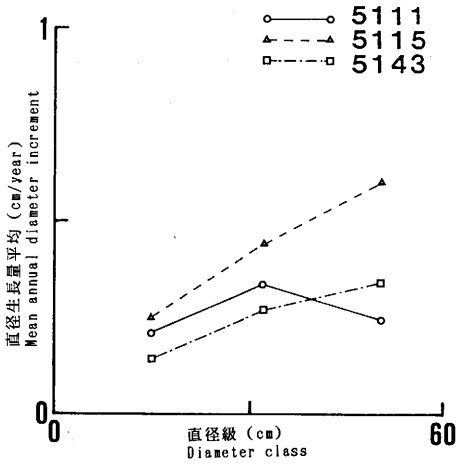


図-38(a) 直径級別の直径生長量平均
 Fig. 38(a). Mean diameter increment in 3 diameter classes.

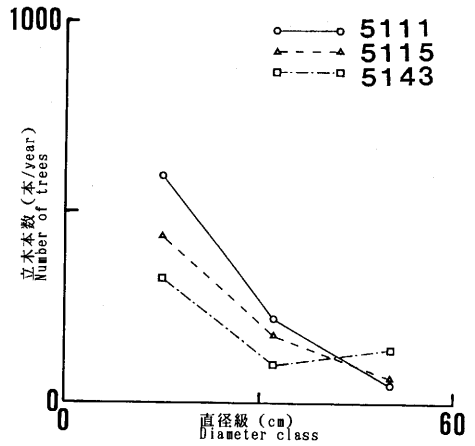


図-38(b) 直径級別本数分布
 Fig. 38(b). Diameter distribution in 3 diameter classes.

表-15 資料の概要
 Table 15. Summary of plots

固定標準地番号	[5111]	[5115]	[5143]
林 小 班	103b	106b	99a
面 積 (ha)	0.436	0.398	0.991
立 木 密 度 (本/ha)	1112	771	640
胸高断面積合計 (m ² /ha)	33.5	30.9	43.7
蓄 積 (m ³ /ha)	291.4	279.4	455.6
針葉樹材積率 (%)	88.5	79.2	70.4
林分粗生長量 (m ³ /ha・年)	8.9	9.9	8.5
林分純生長量 (m ³ /ha・年)	8.3	9.6	4.2

○ 陰樹と陽樹

樹齡解析の結果からわかるように針葉樹は生長過程に被圧期がみられ、樹齡と直径との相関が低い。一方、広葉樹は生長過程に被圧期はほとんどみられず、直径との相関が比較的高い。こうした傾向は耐陰性の違いによるものと推察できる。

表-16 中径木の直径生長量平均と大径木の各種特性値との相関係数

Table 16. Correlation coefficient between mean diameter growth in mid-sized tree and some characteristics in large-sized tree.

区 分 ¹⁾	大径木の直径生長量 平均との相関係数	大径木蓄積との 相関係数	大径木の立木密度 との相関係数
$\bar{z}_n \leq \bar{z}_1$ (57)	0.918	-0.505	-0.534
$\bar{z}_n > \bar{z}_1$ (42)	0.805	-0.483	-0.538
$N_n \leq N_1$ (19)	0.813	-0.686	-0.590
$N_n > N_1$ (80)	0.730	-0.474	-0.531
$v_n \leq v_1$ (73)	0.762	-0.391	-0.428
$v_n > v_1$ (26)	0.643	-0.541	-0.558
全 資 料 (99)	0.720	-0.511	-0.547

- 1) 各記号は以下の項目を表す。
 \bar{z}_m : 中径木の直径生長量平均
 \bar{z}_1 : 大径木の直径生長量平均
 N_m : 中径木の立木密度
 N_1 : 大径木の立木密度
 v_m : 中径木蓄積
 v_1 : 大径木蓄積

いま、天然林の上層木を構成する樹種について考えてみると、耐陰性の強い樹種（陰樹）は時に数十年以上にわたる被圧を受けながらお生きし、上木層が疎開し自らが陽光を占有できる時を待っている。陰樹は、比較的生長が遅いかわりに長い間劣悪な光条件下にあっても小～中径級で生長のチャンスを持つことができる。そしてひとたび上層が疎開すると、旺盛な生長を開始し疎開後に更新する林木よりさきの上層を占有する。したがって、被圧下にあった時間の違いにより同じ直径の林木でも樹齢に大きな開きがある。一方、耐陰性の弱い樹種（陽樹）は上層が占有されている状態では生長することができない。「被圧期のある」林木はその時点で枯死してしまうため被圧期のない林木のみが残存し、樹齢と直径との間にもある程度の相関がみられるものと考えられる。陽樹は生長が早く、同時に更新した陰樹を抑えて上層を占有する。したがって、上層木が疎開した場合被圧下にあるある程度の大きさの陰樹と更新したばかりの陽樹が空間を争うことになる。

北海道演習林の固定標準地にみられる樹種のうちトドマツ、エゾマツは陰樹であり、広葉樹には陽樹が多い。直径生長についての解析結果より、広葉樹林である再生択伐林分が同齡単純林のようなきわめてはっきりした右上がり型の生長パターンを示し、また直径生長の分散が小さいことがわかった。その原因は陽樹中心の林分であるためトドマツ、エゾマツ林分に比べて各固体間の生長に大きな差がでにくいことと、まとまった更新、生長を行うためと考えられる。逆に、陰

表-17 小径木の直径生長量平均と中大径木の各種特性値との相関係数

Table 17. Correlation coefficient between mean diameter growth in small-sized tree and some characteristics in mid-sized and large-sized tree

(資料数:99)	
特 性 値	相 関 係 数
中径木の直径生長量平均との相関係数	0.651
大径木の直径生長量平均との相関係数	0.435
中大径木の直径生長量平均との相関係数	0.573
中径木の立木密度との相関係数	-0.067
大径木の立木密度との相関係数	-0.453
中大径木の立木密度との相関係数	-0.410
中径木蓄積との相関係数	-0.061
大径木蓄積との相関係数	-0.457
中大径木蓄積との相関係数	-0.538

表-18 中径木の直径生長量平均と中径木の各種特性値との相関係数

Table 18. Correlation coefficient between mean diameter growth in mid-sized tree and some characteristics in mid-sized tree

区 分 ¹⁾	中径木の立木密度との相関係数	中径木蓄積との相関係数
$\bar{z}_m \leq \bar{z}_l$ (57)	0.215	0.212
$\bar{z}_m > \bar{z}_l$ (42)	-0.032	-0.060
$N_m \leq N_l$ (19)	-0.570	-0.597
$N_m > N_l$ (80)	0.103	0.105
全 資 料 (99)	0.132	0.120

1) 各記号は以下の項目を表す。

 \bar{z}_m : 中径木の直径生長量平均 \bar{z}_l : 大径木の直径生長量平均 N_m : 中径木の立木密度 N_l : 大径木の立木密度

樹中心の林分では直径生長の分散は大きくなり、生長パターンも複雑になると推察される。

○ 寿 命

本研究において行った解析により下層木の生長は上層木の量(蓄積)に影響されていることがわかった。簡単にいえば、上層木が枯死して下層木が生長する空間が与えられることが林分の中で常に起こっていれば、更新も容易であり直径分布は指数型を維持しやすいことになる。そこで上層木の寿命が問題となる。

北海道の主要針葉樹であるトドマツとエゾマツを例に考える。渡邊(1970, 1985)によると、トドマツは平均樹齢約130年、最高樹齢約200年、エゾマツは平均樹齢約200年、最高樹齢380年である。樹齢解析に用いた資料をみても各林分を通じてほとんどの場合、トドマツは約150年、エゾマツは300~400年が上限であった。そこで、いま仮にトドマツの寿命を150年、エゾマツの寿命を350年として話を進めることにする。

上層を構成する中心樹種がトドマツの場合、上層木は150年前後で枯死していくので小中径木が生長を増大するチャンスは比較的早くやってくる。また、下層木の被圧期間は短く、陽樹の更新も定期的とはいえないまでも断続的に行われるであろう。その結果、直径分布はかなり細かい変化を数多く繰り返しながら常に指数型に近い型を維持し得る。一方、上層を構成する中心樹種

表-19 大径木の直径生長量平均と中径木の各種特性値との相関係数

Table 19. Correlation coefficient between mean diameter growth in large-sized tree and some characteristics in mid-sized tree

区分 ¹⁾	中径木の立木密度との相関係数	中径木蓄積との相関係数
$\bar{z}_m \leq \bar{z}_1$ (57)	0.228	0.212
$\bar{z}_m > \bar{z}_1$ (42)	-0.063	-0.032
$N_m \leq N_1$ (19)	-0.589	-0.599
$N_m > N_1$ (80)	0.181	0.187
全資料 (99)	0.099	0.094

- 1) 各記号は以下の項目を表す。
 \bar{z}_m : 中径木の直径生長量平均
 \bar{z}_1 : 大径木の直径生長量平均
 N_m : 中径木の立木密度
 N_1 : 大径木の立木密度

表-20 大径木の直径生長量平均と各種特性値との相関係数

Table 20. Correlation coefficient between mean diameter growth in large-sized tree and some characteristics in large-sized tree

区分 ¹⁾	大径木の立木密度との相関係数	大径木蓄積との相関係数
$\bar{z}_n \leq \bar{z}_1$ (57)	-0.468	-0.415
$\bar{z}_n > \bar{z}_1$ (42)	-0.319	-0.296
$N_n \leq N_1$ (19)	-0.407	-0.458
$N_n > N_1$ (80)	-0.303	-0.260
全資料 (99)	-0.241	-0.203

- 1) 各記号は以下の項目を表す。
 \bar{z}_m : 中径木の直径生長量平均
 \bar{z}_1 : 大径木の直径生長量平均
 N_m : 中径木の立木密度
 N_1 : 大径木の立木密度

がエゾマツの場合、上層木は350年前後まで残っており、小中径木が生長を増大するチャンスは少ない。下層木の被圧期間は長くなり枯死木が増え、陽樹の更新も滅多に行われない。その結果、小中径木はどんどん減少し、直径分布は直線的な型になっていくであろう。以上のモデルを模式的に示したのが図-39である。トドマツ林分は図中のA→B→C→D→Aの流れを繰り返すが、エゾマツ林分はA→B→Eという流れをたどり容易にAには戻り得ない。

○被圧と競争

本章で扱ってきたように天然林の直径分布は指数型が基本と考えられる。ここで「基本」とは、天然林の直径分布を考える上での「基準」という意味であり、「普通」とか「正常」とかいう意味ではない。また、「理想」という意味でもない。

第1節でも述べたが、指数型の直径分布が、DE LIOCOURT (1898) や MEYER (1933) が通減率一定と呼んでいるメカニズムから生まれるのか、鈴木 (1979) が単峰型の足し合わせとしたメカニズムから生まれるのか、という問題は天然林の直径分布を語る上で重要である。

DE LIOCOURT と MEYER の考え方は、ある直径階の林木のうち次の直径階へと生長する林木と生長できずに枯死していく林木（または択伐によって伐採除去される林木）の割合が一定であるとするものである（図-40(a)）。鈴木（1979）の考え方は、あるグループの林木が単峰型の分布を示しながら大径級へと移動していき、複数のグループの直径分布を足し合わせたものが指数型を呈するというものである（図-40(b)）。

筆者は第1節で述べた理由から単峰型の足し合わせとする解釈は天然林の直径分布には当てはまらない、少なくとも主たる成因ではない、と考える。一方、DE LIOCOURTの法則やMEYER式も択伐林には当てはまるものの天然林一般に当てはまるものではなく、また直径分布の第1近似というべきものである。

図-41は直径分布上にもみる林木の生長段階を模式的に表したものである。天然林の直径分布は指数型を示し、常に枯死による本数減少をとまなないながら生長している。しかし、本章で検討したように小径木(下層木)のレベル(被圧期:A)での本数減少の大部分は上層木による被圧が原因であると推察される。一方、大径木(上層木)のレベル(競争期:C)での本数減少はお互いの競争、寿命(風倒などを含む)が主たる原因と考えられる。現実には、樹齡解析の結果より、直径20~30cm前後(小径木と中径木との境)に被圧の影響を脱する境界があることが推察された。また、天然林の樹木の空間分布について行った石橋・芝野・高橋(1989)の解析によると、小径木と中大径木では林木の分布もかなり異なることがわかる。このように、小径木と中大径木は林分構造の上からも生長の段階からもまったく異なった物と推察されるのである。DE LIOCOURTの法則やMEYER式は、これらの異質の減少傾向を同じ法則、一つの曲線で説明しようとしている点で第1近似の域をでないと考えているのである。

○ 転換期

直径分布を図-41のように被圧期Aと競争期Cに区分した場合、その間には転換期Bが存在すると考えられる。この転換期とは、林木が被圧下において旺盛な生長を行い得ないステージを脱し、一応十分な空間を占有し生長をしながら上層木同士の競争を行うステージに移っていく時期をさす。では、なぜ転換期の存在が予想されるのであろうか。

径級別の生長についての解析結果より、中径木の生長は林分生長の主体となっている可能性が示され、また、直径生長についての解析結果より中径木と大径木との生長の相対的な高低が林分の生長パターンとして重要であること、その生長パターンは直径分布と関係があることが推察された。したがって、小径木と中大径木との間に一つの境界が考えられたと同様に、中径木と大径木との間にも別の境界が想定される。この境界は、安定した生長段階(大径木;上層木)に入っているか、あるいは、活発ながら不安定で分散の大きい生長段階(中径木;上層木とも下層木とも確定しない林木)にいるのかを区別するものである。現実の例を見ても、中径木の生長は小径木に比べて常に高いが、それは平均値の話であって、分布の範囲は広い。転換期とはこの場合の中径木のステージを指す。

では転換期における生長の不安定さとはどのようなものであろうか。まず、直径分布の上から考えると、転換期のステージにはいまだ被圧下にある林木から既に上層を占め安定した生長を行っている林木まで多様な段階の林木が含まれている。したがって生長の分散も大きくなる。

さらに、転換期の林木は疎開した空間をめぐる、あるいはようやく到達した上層空間をめぐる隣接木と競うことになる。例えば、上層木が枯死した空間を数本~数十本の転換期にある林木が争う場合、各林木は活発な生長を行いながら空間を占有せんと試みるであろう。しかし、その多くが争いに破れ再び生長を落とすことになる。したがって、同じ転換期の林木でもその生長の差はかなり大きいものになると考えられる。

一方、被圧下から脱した林木といえども、即座に旺盛な生長を示すわけではない。渡邊(1970)は北海道の針葉樹林を対象とした報告の中で、

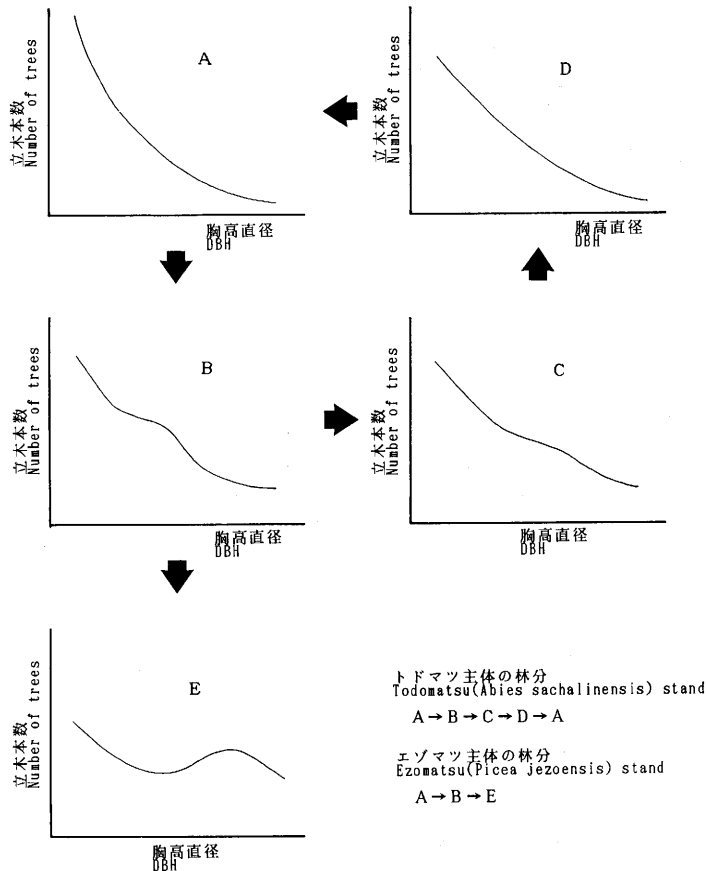


図-39 上木を構成する中心樹種の寿命の違いによる直径分布の変化

Fig. 39. Transformation of diameter distribution according to length of major dominant species' life.

- 長期間被圧されて傘上の樹形となったトドマツ被圧木は、上層が取り除かれ光条件が十分となっても急速に上長生長をしない。
- 一定期間以上被圧された個体に直接太陽光が与えられると、陰葉の強光阻害を起こし、同化生成物の分配と代謝量との平衡がくずれ、發育段階的にみてその後良好な環境条件が与えられても正常な生育ができない。

という意見を示している。

また、武藤・信岡(1975)は広葉樹林内で強い被圧下にあったトドマツ造林木(胸高直径10cm未満, 樹高8m未満)を対象に、上木択伐後5年間の生長経過および5年目の地上部各器官の重量割合を調査し、

- 上木択伐後旺盛な生長を開始して円錐形の正常な樹冠を示す「芯立ち木」と、未だ正常な樹形を示さない「傘形木」がある。
- 芯立ち木の多くは樹高生長を回復するまでに2~3回の生育期間が必要であった。
- 芯立ち木の大部分は地上部重量が傘形木より著しく大きい、葉の重量割合は傘形木より高

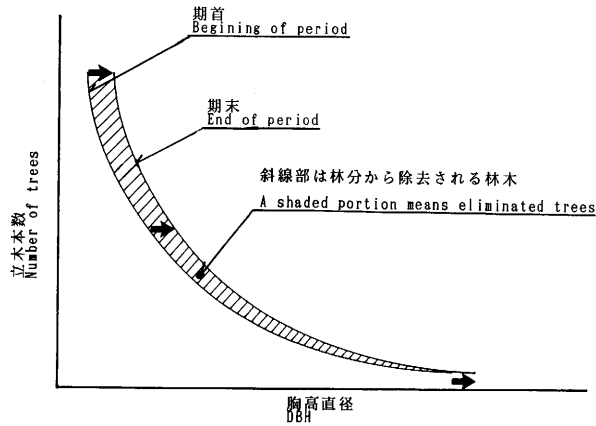


図-40(a) DE LIOCOURT および MEYER の考え方に基づく指数型直径分布
 Fig. 40(a). Diameter distribution based on the opinion of DE LIOCOURT and MEYER.

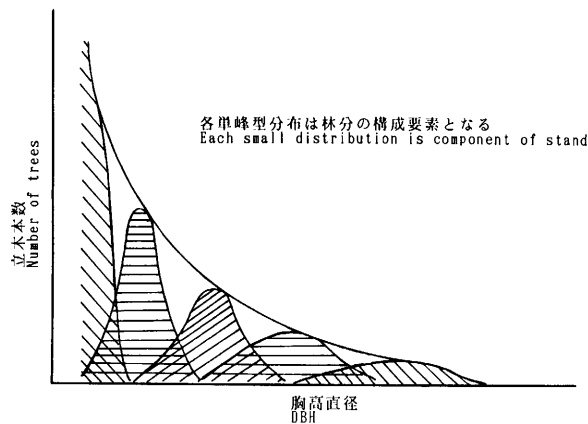


図-40(b) 鈴木 の考え方に基づく指数型直径分布
 Fig. 40(b). Diameter distribution based on the opinion of SUZUKI.

い値を示す。よって被圧木は葉を十分に着生した後、旺盛な生長を開始すると考えられる。と報告している。林木の幹は毎年の生長分を材として蓄積する。一方、枝葉は枯死して落ちるので、地上部における幹の重量割合は林木が大きく生長するにしたがって高くなるのが普通である。いいかえると、大きくなった個体ほど、葉の重量割合が低くなっているのが普通であると考えられる。

以上の報告を参考にすると、被圧期は上層が疎開した場合、例えば以下に挙げるような準備期間が必要だと考えられる。

- ①被圧下にある林木は程度の差こそあれ正常な樹冠形が崩れており、旺盛な生長を行うためには正常な樹冠形を回復する必要がある。
- ②被圧下の林木は葉量が減少しており、旺盛な生長を行うためには十分な葉量を回復する必要がある。

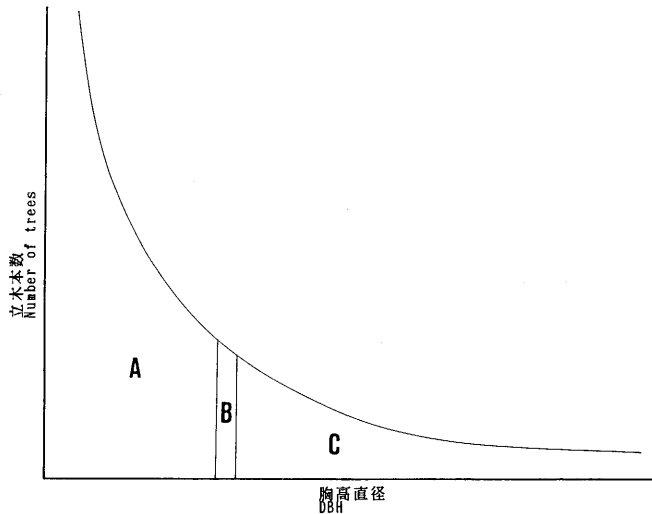


図-41 直径分布上にある林木の生長段階

Fig. 41. Phase of tree growth on diameter distribution.

A: 被圧期 Oppressed stage B: 転換期 Transformation stage C: 競争期 Competition stage

③被圧下の林木は陰葉が多くなっており、上層が疎開され陽光が直接当たる環境下で生長を行うためには陽葉を増やす必要がある。

これらは、被圧木が被圧下から脱した際、一時的に量的生長より質的生長が中心になることを示している。被圧木は、いわば「体質改善」を行った上で、陽光を十分に活用して旺盛な量的生産を開始すると考えられるのである。この質的生長の期間は、被圧状態を脱してのち新しい環境に対応した生長を始めるまでのタイムラグとなって現れ、直径の遷移過程においては生長量の低下、生長の乱れを起こす可能性がある。

以上、転換期の存在とその性質について若干の理由づけを試みた。もちろん、ここで挙げた事項は一つの考え方、解釈である。しかし、小径木が被圧され、大径木が被圧していることは事実であり、被圧木と上層木との間には様々な面で相違があることもまた事実である。ここで示した転換期はそうした相違点のある2つのステージをつなぐ存在なのである。

○更 新

直径分布に関わる要素の最後に更新を挙げる。樹齡解析の結果からわかるように、更新木は連続的に生長しているわけではない。特に広葉樹の場合、上層が疎開した前後のごく短期間に更新したものがほとんどを占めると考えられる。また、渡邊(1970)も指摘しているように、針葉樹も被圧期間を除いた場合、広葉樹が更新したと同時期に旺盛な生長を開始しているのが普通である。

種子が発芽するためには光条件は大きな要因とはならないといわれ、更新は比較的連続して行われている可能性がある。しかし、発芽した稚樹が生長し得るか否かには、光条件が大きな要因となるであろう。日本の森林は下層植性、特にササの影響で天然更新が難しいところが多いといわれる。これら下層植性の影響や土壌条件の影響を別とした場合、更新木の生長は林分の蓄積、密度の影響を強く受けるものと考えられる。すなわち、林分、特に大径木(上層木)が豊富な場

合、更新木の生長は小径木同様低く抑えられ、枯死率も高くなるであろう。逆に、大径木が少ない場合、更新木はよく生長し、枯損率も低くなるであろう。そして、周期的に上木の除去が起こる場合、更新木は周期的に生長のチャンスを得られるものと考えられる。

更新木の生長が順調か否かは、進界生長として供給される小径木の量として直径分布の変化に直接関わってくる。小径木の減少（直径分布が直線的な型になる）には、小径木枯死量の増大に加えて進界木の減少が大きな原因となることは容易に推定できる。したがって、更新木の生長を維持することは、指数型の直径分布を維持する場合の重要な要素となるのである。

以上、各要素についての考察をもとに、指数型直径分布の性質、変化についての筆者の考え方をまとめることにする。

まず重要なのは、被圧期、転換期、競争期という区分である（図-41）。ここで、転換期は被圧期と競争期を結ぶステージであると同時に、直径分布全体の中の緩衝領域（バッファ）としての働きを有していると考えられる。転換期に相当する中径木は生長の主体となっている場合、すなわち、中径木生長量の平均が高く、分散が大きい（生長が活発でかつ多様である）場合、林分構造の変化に柔軟に対応する恒常性（ホメオスタシス）の原動力となり得るのである。一方、競争期の林木（大径木；上層木）の量が増加し過ぎると、中径木が減少し生長量も低く分散も小さくなってしまふ。すると林分構造の恒常性は失われ、大径木過多な直線的直径分布へ進む傾向を強める一方となる。

こうしたことから、指数型直径分布の変化を論じる場合、被圧期、転換期、競争期の林木のバランスが最も重要となってくる。逆にいえば、これら3つのステージのバランスに対応して林分の生長パターンが決ってくるということになるのである。

次に指数型直径分布のフクラミについて考える。SCHAEFFERらが「鼠を呑んだ蛇の体」と称した指数型直径分布におけるフクラミは、過去における一斉更新のためとされてきた。しかし本研究で行ってきた解析の結果からみて必ずしもそうとはいきれない。むしろ、上記の3つのステージの力関係から必然的に生じるとみるべきではないだろうか。図-42は中径級における直径分布のフクラミが生まれる過程を3つのステージのバランスを基に推定した模式図である。

まず、指数型直径分布を示す林分(A)では、小中径木、特に中径木の生長が盛んである。したがって、中径木→大径木の動きは早い、小径木→中径木の動きは遅くまた中径木間の生長のバラツキも大きいので、中径木と小径木との間にギャップが生じ直径分布にフクラミが現れる(B)。ここで、上層木の寿命が長いと、このフクラミはそのまま大径級へ移動し、小中径木の少ない直線的な直径分布、不活発な林分へと移っていく(C)。一方、上層木の寿命が比較的短いと、このフクラミの中でも生長量のバラツキが大きくなり、フクラミは大径級と中径級に分離し消滅する(D)。やがて小径木が進界によって増加し、もとの指数型直径分布を回復する(E)。直径分布のフクラミは「蛇の体（指数型直径分布）の中に食物（単峰型直径分布）が詰まった」ものではなく、「蛇の体（指数型直径分布）が呼吸（生長、変化）する度に膨らむ」といった、周期的、必然的なものであると考えられる。ただし、まさに「蛇が鼠を呑んだ」ことが原因となって現れるフクラミも存在することは否定できない。

こうしてみると天然林の直径分布において指数型の分布は基本となるが、フクラミを持つ分布も決して異常なものではないといえる。「平衡状態」の直径分布として DE LIOCOURT や MEYER が考えた指数型の分布は決して不変の状態でも維持し得るものではなく、「平衡状態でない」分布型を

含めたサイクルの中にあると考えられる。また、上層構成木の樹種特性によっては、このサイクルに入り得ない天然林も十分存在すると推察されるが、これらの林分も決して異常な直径分布なのではなく、ごく自然な直径分布なのである。

天然林の直径分布の変化を今少し大きなサイクルで検討するため、北海道演習林固定標準地の再生択伐林分の資料を参考として指数型直径分布の形成過程を考察する。これらの林分は山火事跡地に一斉更新したものとされ構成樹種も広葉樹がほとんどである。近接の林分がトドマツ林分、エゾマツ林分であることから、通常の遷移過程を経た後は、択伐林分と同じタイプの林分になり、指数型の直径分布を示すようになるものが多いと考えられる。

図-43は再生択伐林分型の一斉更新から始まった直径分布が指数型へと変化していく過程を推定した模式図である。まず、山火事、風倒等の原因により、大部分の林木が除去された林分では初期生長の早い広葉樹（陽樹）が一斉に更新する(A)。したがって、林分の生長パターンは、同齡単純林に類似の右上がり型になり、生長量の分散も小さい(本章第2節)。しかし、密度は高いものの蓄積は低いため更新木はある程度確保され、単峰型分布と指数型分布が重なった型になってくる(B)。この際上層のフクラミをつくるのは陽樹であり、下層の指数型をつくるのは陽樹、陰樹両方である。陽樹である上層木は、お互いの競争下で遅れたものから順次枯死しながら本数を減少させる。一方、下層の更新木は徐々に空間を占め増加していく(C)。そして、典型的な指数型分布へと移行していくのである(D)。

この際、陽樹による一斉更新の後、陰樹陽樹を含んだ指数型分布に変化するまでは生長パターンの上でも、上層の一斉に更新した林木が生長の中心であり、生長の分散も比較的小さい。図-43のB、Cは図-42のB、Cと似ているが、その内容は前述のようにまったく異なるものである。また、図-43のB、Cは、一斉更新した林木がつくる単峰型分布を上層木の下で更新した林木がつくる指数型分布が取り込んでいく段階であり、そこにみられるフクラミはSCHAEFFERらの説明と完全には一致しない。しかし、単峰型と指数型の足し合わせという点では(その点に限り)SCHAEFFERらの解釈が適用できる状態ともいえよう。本節で考案した結果を図-44にまとめ、天然林の直径分布の遷移過程に関する一つのモデルとして提示したい。図-44に示した流れのうち、上層構成樹種の寿命が長い場合にたどる経過の部分(図-42のCとなった林分のたどる過程)は未だ説明していない。このタイプの林分は小中径木が徐々に少なくなる一方大径木の現存量は増加を続ける。ある程度のところで上木の段階的な枯死が起これば再び指数型分布のサイクルに戻る可能性もある。しかし上層木の枯死が起こらないかごく小規模な枯損ごとにとどまる場合、山火事、風倒、雪害などのカタストロフィックな森林崩壊により再生林の段階へと急速に変化することになると推察される。いいかえれば、こうした林分が指数型のサイクルに戻る可能性は低いということになる。もちろん、以上の変化パターンは、天然更新が十分行えるだけの条件、例えば母樹が存在し種子の供給が十分行われるというような状態が整っていると仮定した上での話である。

最後に、地位についてであるが、本章の解析結果より考えて生長パターンに対する影響よりも全体的な生長の良否に対する影響の方が大きいと思われる。すなわち、図-44に示した林分の変化、遷移は、高木層を形成し得る条件下ならば地位によらず実現し得るであろう。また、全体的な生長の良否および生育し得る樹種の選択という面には、地位の影響が強く現れるであろう。

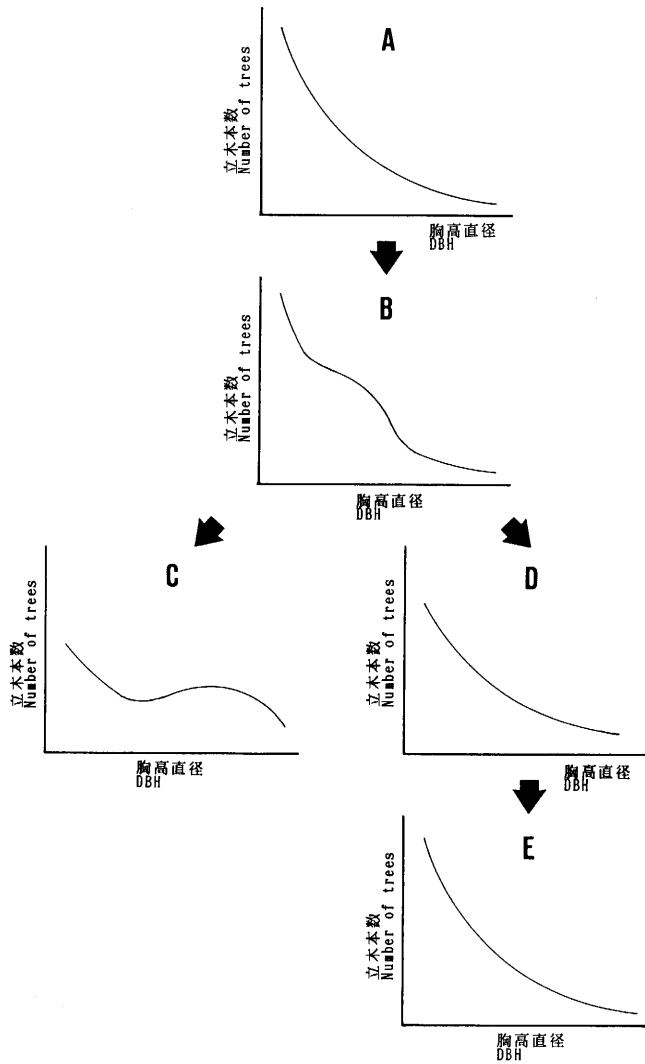


図-42 指数型直径分布におけるフクラミの形成と変化

Fig. 42. Formation and transformation of swelling on exponential type diameter distribution.

V. 林分生長シミュレーションモデル FSD による直径分布の変化の予測

本論文では、直径分布を中心として林分生長、樹齡構造など様々な面から天然林の生長を検討してきた。筆者はこれらの解析結果をもとに天然林の林分生長シミュレーションモデルを作成した(石橋 1989a, b)。モデルの中心は直径分布であり、林分の生長すなわち直径分布の変化は直径遷移確率によって捉え表される。図-45 はモデルの概念図である。まず、直径分布に応じて林分の生長が決まる。この生長を直径遷移確率によって表し、直径遷移確率によって生長後の直径分布を予測する。その後、新しい直径分布に応じた直径遷移確率を再び求める、というモデルであ

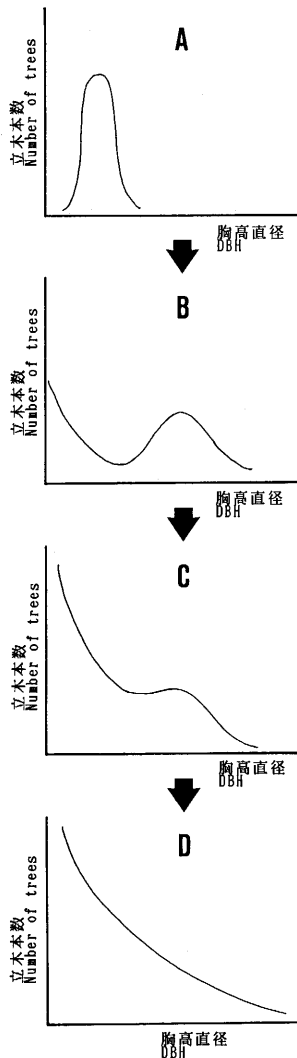


図-43 一斉更新から始まる指数型直径分布の形成過程

Fig. 43. Formation process of exponential type diameter distribution which originate from simultaneous regeneration.

る。この方法は、直径分布から求めた直径遷移確率を直径分布自身に適用して新しい直径分布を得るといった一種のフィードバックシステムである。そこでこのモデルを「直径遷移確率を用いたフィードバック型林分生長シミュレーションモデル (Feedback type Stand growth simulation model using Diameter transition probability: 略してFSD)」と呼ぶ。図-46にFSDのシステムフローチャートを示す。FSDは林分構造と林分生長との間の種々の関係を仲立ちとして直径分布から直径生長量(直径遷移確率)を推定し、直径分布の変化を予測するモデルである。したがって、林分構造と林分生長の間の関係をどのようにして捉えるかによって様々な形が考えられる。

本章では、FSDを用いて天然林の直径分布を予測し、前章において考察した天然林の動態について、さらに検討を加える。

図-47~50は、林分構造の大きく異なる固定標準地について現実の直径分布の変化とFSDを用いて予測した直径分布の変化とを示したものである。

まず、図-47はトドマツ主体の択伐林分[5119]についての比較である。1970年の時点では典型的ともいえる指数型の直径分布を示している(a)。1974年、1980年になると小径木が減少し、40 cm付近にフクラミができている(b, c)。FSDの予測では1975年、1980年とも最小径階(10 cm階)における本数があまり変化せず、現実の直径分布にみられる小径木の減少を十分に予測できていない。しかし他の直径階の変化はかなりうまく捉えており、40 cm階を中心としたフクラミの出現もはっきり予測されている(d, e)。

全体として、直径分布の変化はかなり正確に捉えることができていると考えられる。

次に、図-48はエゾマツ主体の奥地林[5226]についての比較である。1974年の時点では、40 cm階を中心とした大きなフクラミがみられ、小径大本数が少ない典型的な奥地林の直径分布である(a)。5年後の1979年には、フクラミのピークがさらに大径階へと移動していく傾向がみられ、小径階では本数が一段と減少している(b)。FSDの予測では50 cmの本数がやや少なめでは

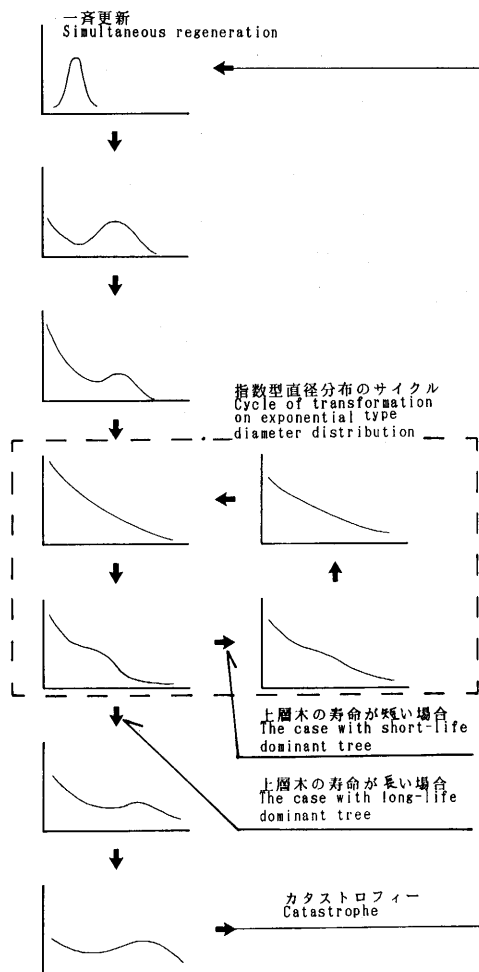


図-44 天然林の直径分布の遷移過程 (各図の横軸は胸高直径, 縦軸は立木本数)

Fig. 44. Succession process of diameter distribution on natural forest (Abscissa means DBH and ordinate means number of trees on each graph).

あるが、フクラミの移動の傾向は捉えている。ここでも小径木の減少が現実の傾向より少なく予測されている(c)。したがって、[5119]の場合よりも予測の正確さはやや落ちると考えられる。

最後に、図-49は、ほとんどが広葉樹からなる再生択伐林分[5135]についての比較である。1967年には40 cm階を上限として小径木の多い典型的な山火再生林の直径分布を示している。1971年には50 cm階の大径木も現れ、30 cm階の中径木の本数も増加している(b)。さらに1981年には60 cm階の林木が現れ、直径分布が急激に広がる傾向を示している(c)。この14年間にみられる直径分布の変化の激しさは、生長の盛んな山火再生林における一つの特徴と考えられる。FSDの予測では、やはり最小径階の立木本数をかなり多く予測している。また1972年の予測値では30 cm階の変化が捉えられておらず、1982年の予測値では50 cm階の林木の出現は予測されていない(d, e)。したがって、3つの林分の中では最も予測が不正確になっている。しかし、全体的な変化の傾向は捉えられていると考えることもできる。

図-50は、3つの林分の蓄積の変化について、現実の測定値(黒)とFSDによる予測値(白)とを示したものである。FSDによる予測値は20年目まで示してある。これをみると、林分蓄積は針葉樹、広葉樹いずれもうまく予測されており、総蓄積もよくその変化が捉えられている。

以上の結果は3林分だけの結果であるが、FSDの予測はかなり短期的、個別的な直径分布の変化についてもフレキシブルに対応し、林分の変化を捉え得る可能性が示されたといえよう。特に、針広混交林の指数型直径分布の変化にはかなりうまく対応できそうである。一方、再生択伐林分のように、変化の激しい林分については短期的には予測しきれない部分が現れると考えられるが、この原因としては、進界量および枯損量の推定が困難なことが挙げられる。進界量や枯損量は個々の林分、個々の瞬間による差が大きく、ばらつきが激しいため短期的、個別的な予測には大きな誤差がやすい。また、信頼度の高い資料を得ることも非常に困難である。この点、FSDにおける進界量および枯損量の推定は、過去の測定結果や、解析結果をもとにある一定の関係を想定して推定するものであり、現在のところ、

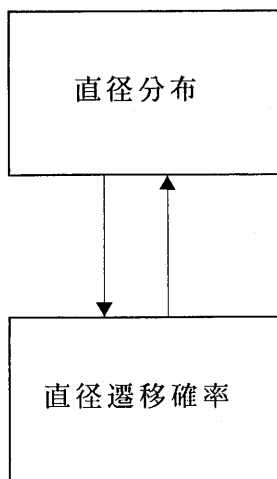


図-45 天然林生長モデル (FSD) の概念

Fig. 45. A concept of natural forest growth model (FSD).

他の方法を採用しても推定精度を効果的に上げることができるとは保証されない。今後、関係式の形やパラメータについて検討する余地は十分残っているが、モデルの組み立て方としてはFSDの考え方に基づくことが否定されるものではない。総合的にみて、FSDは短期的、個別的な生長予測において一つの指針を与え得るという可能性が示されたといえよう。次に、タイプの異なる3つの林分についてFSDを用いて長期間にわたる林分の変化を予測した。

① トドマツ主体の択伐林分

このタイプの林分は上層構成中心樹種（トドマツおよび広葉樹）の寿命が比較的短い針広混交林である。

図-51(a)は固定標準地の資料から得た期首(0年目)の直径分布である。若干フクラミがみられるものの基本的に指数型であり、通常想定

される「典型的」な鉾広混交林といえる。図-51(b)~(d)はFSDによって予測された50, 100, 250年後の直径分布である。図をみると、50年後、100年後と徐々に小径木が減り中大径木が増えていく傾向を示すが、250年後には再び小径木が増加して期首の形に近づいている。この間、形状の変化はあるものの指数型の直径分布は常に維持されている。

図-52(a)は蓄積の変化を、図-52(b)は立木本数の変化を示したものである。蓄積は $300 \text{ m}^3/\text{ha}$ を中心にほぼ安定しており、その中で鉾葉樹と広葉樹のバランスが変化している。特に広葉樹が時間とともに大きく増減しており、200年間は広葉樹の変化が林分蓄積の変化に影響している。そして、250年後には針葉樹蓄積が広葉樹蓄積を上回り、針葉樹を中心とする林分になっている。

一方、立木本数は150年間にわたって減少した後、再び増加し250年後には期首のレベルまで回復している。針広別にみるとやはり前半は広葉樹の減少が、後半は針葉樹の増加が変化の主体となっていることがわかる。本数の変化と蓄積の変化からみて、林分構造を微妙に変化させながらも比較的安定した生長を続ける林分であると考えられる。

図-53は、期首、50年後、200年後の直径級別本数分布と直径級別平均直径生長量を示したものである。指数型の直径分布に対応して山型の生長パターンが予測されており、現実の生長をよくシミュレートしていると考えられる。また、本数分布、平均直径生長量ともに比較的安定した状態を持続していることがわかる。

このように、上層構成中心樹種の寿命が比較的短い林分は恒常性（ホメオスタシス）が高く、広い意味でDe LiocourtやMeyerが天然林の目標林型と考えた「平衡状態にある異齢林 (balanced uneven-aged forest)」として十分通用するものである。図-44に示した指数型直径分布のサイクルは、こうした林分の生長過程であると考えられる。

② エゾマツ主体の奥地林

このタイプの林分は上層構成中心樹種（エゾマツ）の寿命が比較的長い針広混交林である。

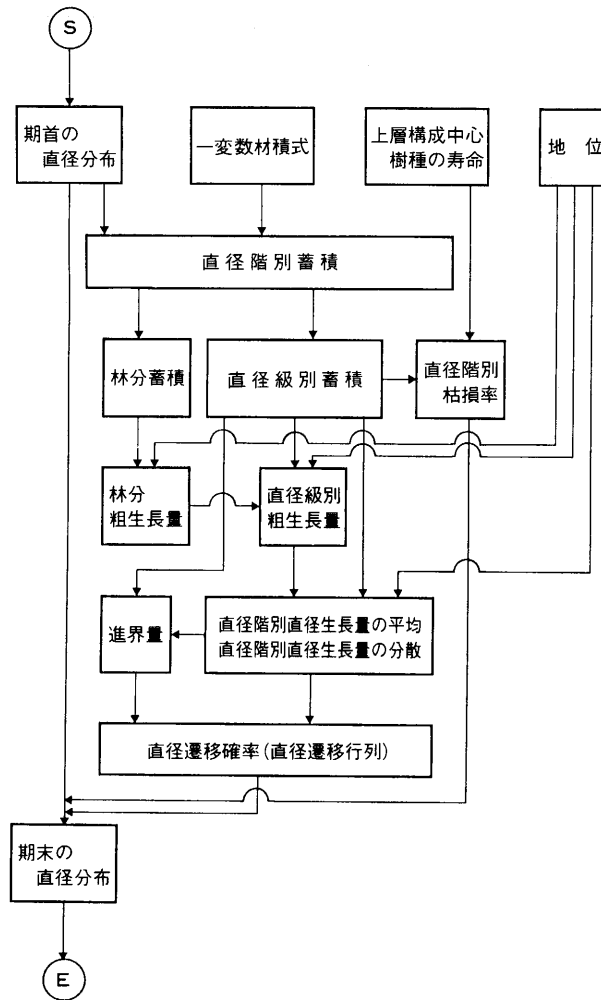


図-46 FSD のシステムフローチャート

Fig. 46. The system flowchart of FSD.

図-54(a) に示すように、期首の直径分布は小径木から大径木まではほぼ一様に分布しており、北海道演習林の奥地林にみられる代表的な直径分布である。図-54(b)～(d) はFSDによって予測された50, 100, 250年後の直径分布である。図をみると直径分布は次第に大径木へと偏っていきやがて小中径木はほとんどなくなって老齢大径木による一斉林的な構造を示すようになる。興味深いのは、250年後の予測で進界が起こっていることである。

図-55(a) は蓄積の変化を、図-55(b) は立木本数の変化を示したものである。蓄積は大部分が針葉樹からなり、200年後まで $600 \text{ m}^3/\text{ha}$ 前後のかなり高い水準を維持している。しかし、200～250年後の間に大きな変化、すなわち上層木の大量枯死が発生し蓄積は $300 \text{ m}^3/\text{ha}$ に激減する。その結果、図-54(d) にみられた小径木の更新（進界）が起きるのである。同じ傾向は立木本数の変化にも現れており、200年後までの漸減傾向が250年後には増加傾向へと転じている。

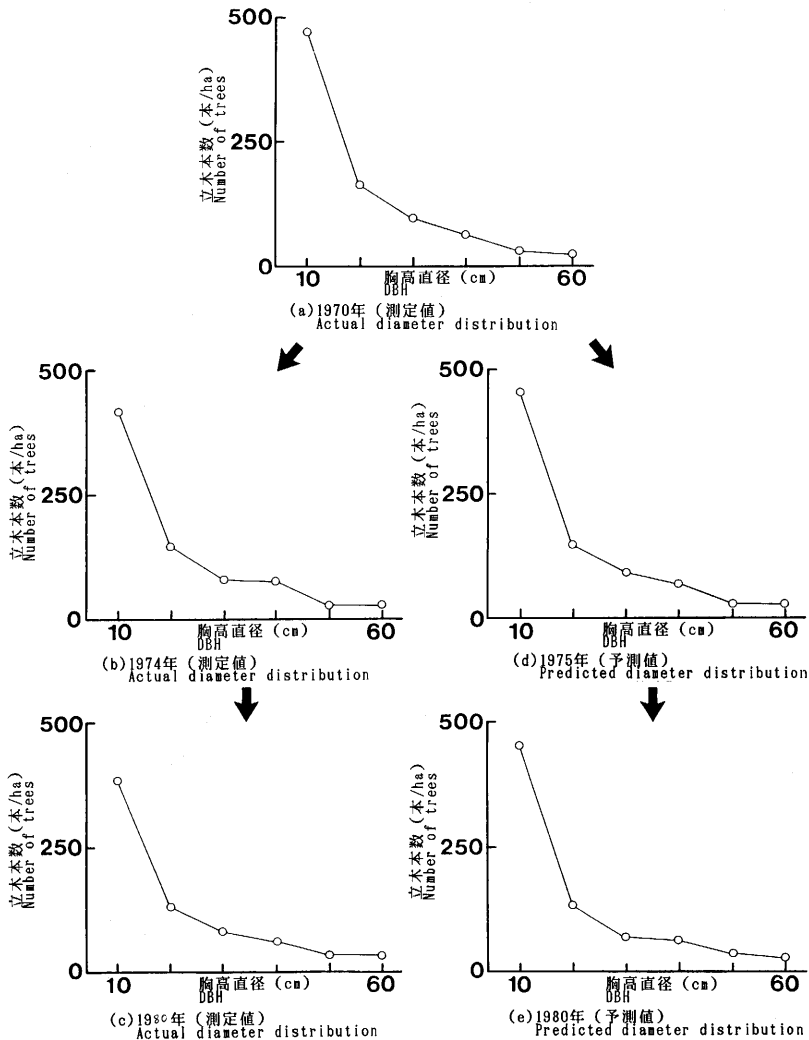


図-47 直径分布の測定値と予測値との比較 (固定標準地 [5119])

Fig. 47. The comparison between predicted and actual diameter distribution. (Experimental plot [5119].)

図-56 は、期首、50 年後、200 年後の直径級別本数分布と直径級別平均直径生長量を示したものである。時間とともに直径分布は一様から J 型 (右上がり型) へと変化していく。それにしたがって中径木の生長が落ち込み、逆に大径級の生長が高くなる右上がりの生長パターンが顕著になっていく。

以上は、奥地における老齢大径木の純林 (もしくは純林に近い林型) が針広混交林から導かれる過程をよく示していると考えられる。また、250 年後の急激な変化是老齢木の一齐枯死による林分の疎開と若返りを示しており、いずれも現実の変化をよく表現しているのではないと思われる。図-54~56 にみられる林分の変化は、図-44 に示した上層木の寿命が長い場合の林分の遷

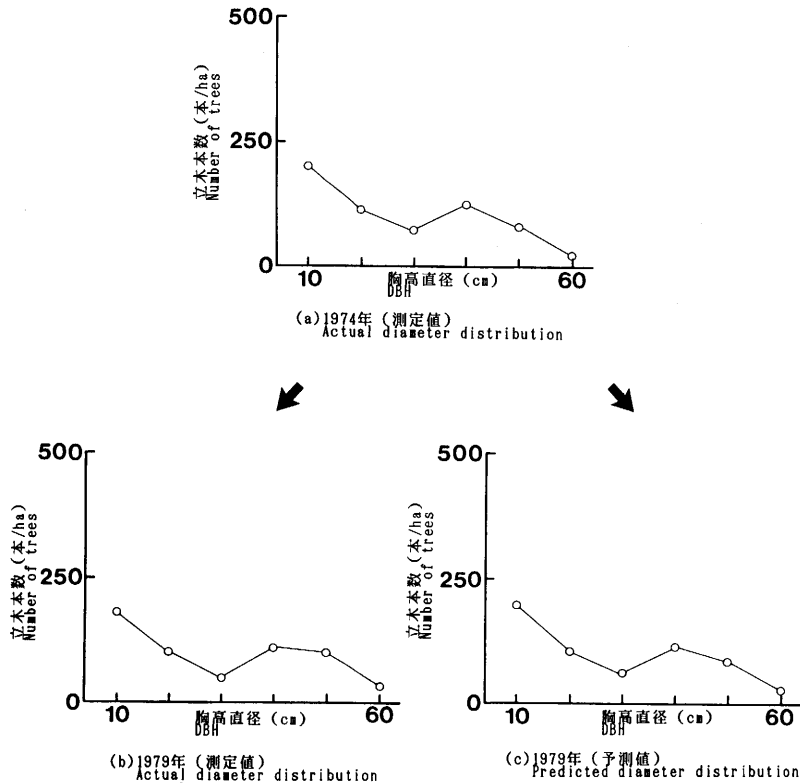


図-48 直径分布の測定値と予測値との比較 (固定標準地 [5226])

Fig. 48. The comparison between predicted and actual diameter distribution. (Experimental plot [5226].)

移過程に対応するものと考えられる。250年後に予想された大量枯死は、カタストロフィーによるものではない。しかし、エゾマツの林分はいずれは上層木の大量枯死の段階を迎え、急激に若返るものであることが予測される。したがって、トドマツ林分と異なり、安定した指数型の直径分布を維持すること、いいかえれば「平衡状態にある異齢林」となることは望めない。

③再生択伐林分

このタイプの林分は山火事跡地にほぼ一斉に更新した広葉樹からなる再生林である。

図-57(a)に示すように期首の直径分布は、小径木と中径木に一つずつピークがあり一斉林的な傾向を残している。図-57(b)~(d)はFSDによって予測した50, 100, 250年後の直径分布である。2つのピークは徐々に崩れていき、250年後には典型的ともいえる指数型分布へと移行している。この間、中径級に小さなフクラミが見られる場合があるが、期首のフクラミと異なり針葉樹を含んだフクラミであり、あまり長期間存続するものではない。

図-58(a)は蓄積の変化を、図-58(b)は立木本数の変化を示したものである。蓄積は $200 \text{ m}^3/\text{ha}$ 弱から50年後に $350 \text{ m}^3/\text{ha}$ 、100年後には $400 \text{ m}^3/\text{ha}$ と急増するが、以後漸減傾向に転じ、 $300 \text{ m}^3/\text{ha}$ 前後で落ち着いている。この間、広葉樹が激しく増減するのに対し、針葉樹は徐々に増加傾向を強めながら、一貫して蓄積を増している。立木本数についても同様であり、150年後

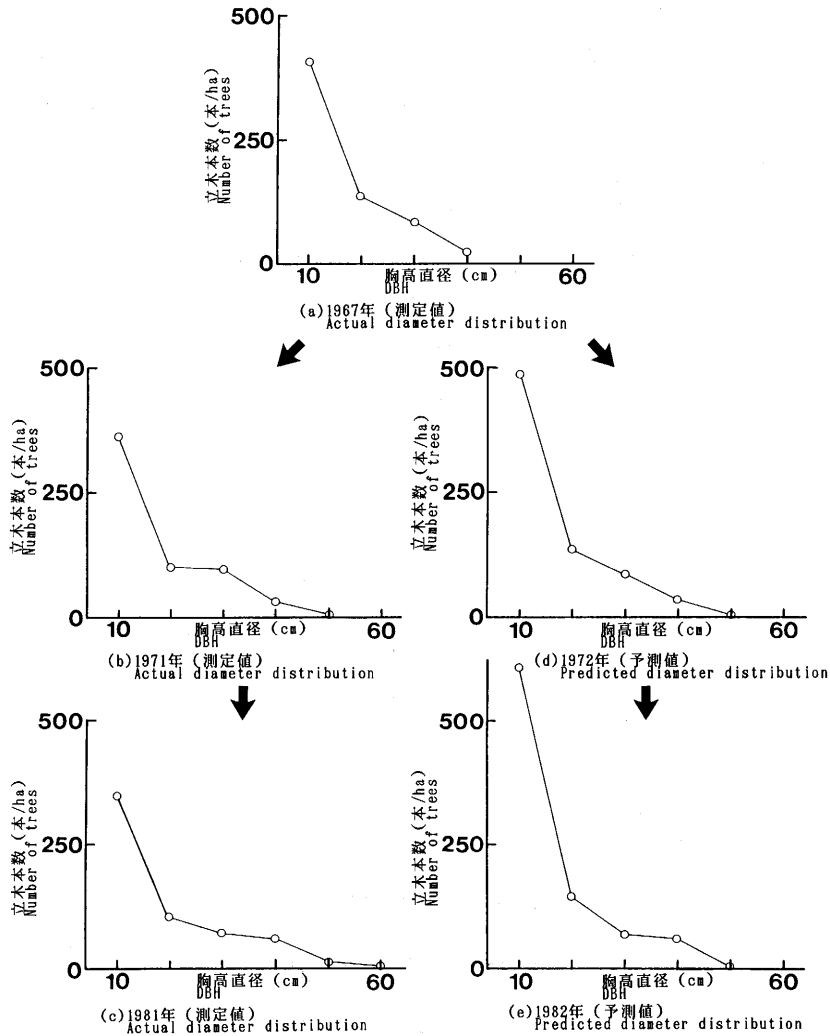


図-49 直径分布の測定値と予測値との比較 (固定標準地 [5135])

Fig. 49. The comparison between predicted and actual diameter distribution. (Experimental plot [5135].)

を境に林分の変化の中心が広葉樹から針葉樹に移っていることがわかる。

図-59は、期首、50年後、200年後の直径級別本数分布と直径級別平均直径生長量を示したものである。本数分布は小中径木へ偏っていたものが大径木の量を増加させ、指数型へと変化している。直径生長量は広葉樹が右上がり型（大径級は本数が少なく除いて考える方がよい）のパターンを示しているが50年後には大径木も含めて山型のパターンを示し始める。中径級のピークが高いことが特徴である。

図-57(d)に示された直径分布は、トドマツ林分の直径分布(図-51(a))に類似しており、また、図-58(a), (b)はそれぞれ図-52(a), (b)へ円滑に継続することができる。

生長の活発な再生林において、FSDの予測は他の場合ほどの正確さは得られない可能性があ

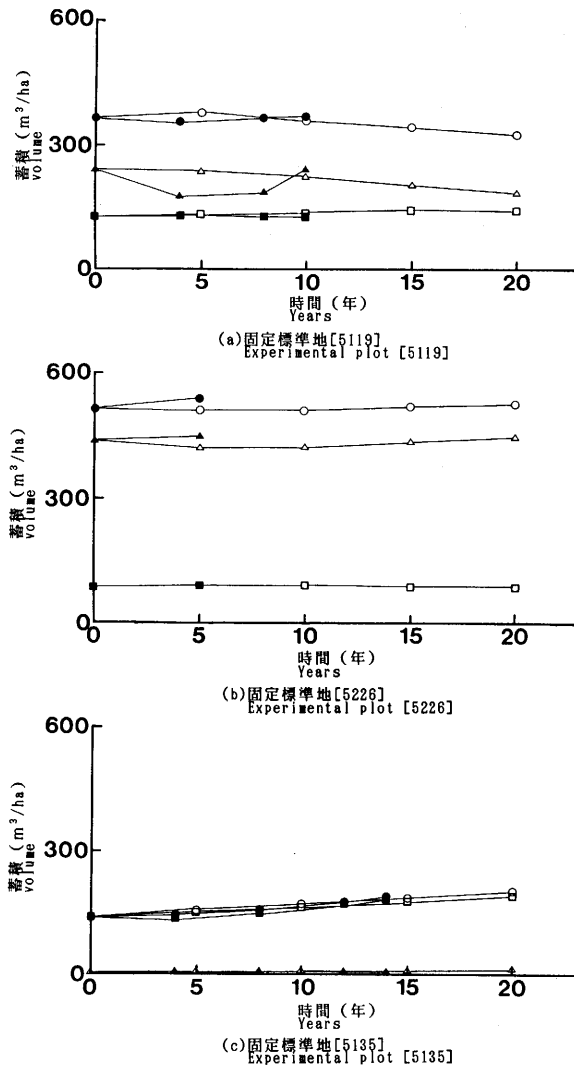


図-50 蓄積の測定値と予測値との比較

Fig. 50. The comparison between predicted and actual volume.

- : 総蓄積予測値 Predicted stand volume △: 針葉樹蓄積予測値 Predicted softwood volume
- : 広葉樹蓄積予測値 Predicted hardwood volume
- : 総蓄積測定値 Actual stand volume ▲: 針葉樹蓄積測定値 Actual softwood volume
- : 広葉樹蓄積測定値 Actual hardwood volume

る。しかし、前述の通り全体的な傾向については十分な精度を持つと考えられる。したがって、針葉樹の更新が行われるならば、上層構成中心樹種としてトドマツを想定した場合、FSDの予測によって山火再生林がトドマツ主体の針広混交林へと移行していく過程が示されていることは十分現実的な予測であるといえる。また、ここに示された変化は、図-44の再生林から指数型分布への遷移過程に対応するものと考えられる。

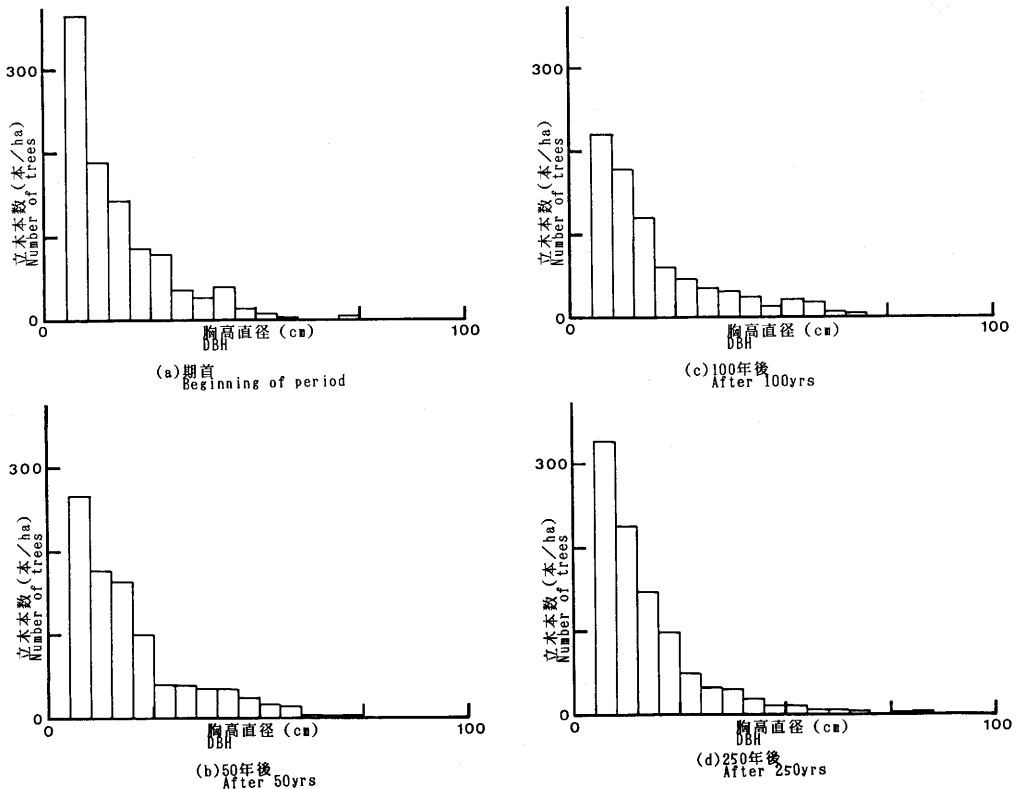


図-51 FSDによる直径分布の予測…トドマツ主体の択伐林分

Fig. 51. Prediction of diameter distribution by FSD. (The case of selection stand which is mainly composed of Todomatsu (*Abies sacharinensis*)).

④上層木の寿命の違いによる林分の変化の差異…トドマツ主体の択伐林分の資料において上層構成中心樹種をエゾマツに替えて予測をした場合

ここでは、上層を構成する樹種の寿命の違いが林分の変化に与える影響について考察する。図-51(a)に示したトドマツの林分の資料において、上層構成中心樹種をエゾマツに変更した場合、予測結果がどう変化するかをみる。

図-60(a)は図-51(a)と同じ期首の直径分布である。FSDによって測定された直径分布(図-60(b)~(d))をトドマツの場合(図-51(b)~(d))と比較すると、小径木の減少と大径木の増加が激しいことがわかる。250年後に新たな進界が起こっているが、これはエゾマツ林分の場合同様、大径木に比較的大量の枯損があったためである。

図-61(a)は蓄積の変化を、図-61(b)は立木本数の変化を示したものである。蓄積は約 $380 \text{ m}^3/\text{ha}$ へと増加した後、漸減傾向を示す。減少の原因は広葉樹大径木の枯損であり、エゾマツ林分に比べて広葉樹の枯損量が多いため極端に大径木に偏った状態には到っていない。しかし、250年以後さらに広葉樹が減少すると針葉樹が大部分を占める林分となりエゾマツ林分と同様の傾向を示す可能性がある。トドマツ林分の図-52(a)と比べると針葉樹の増加傾向が全体的な変化の差になっていることがわかる。

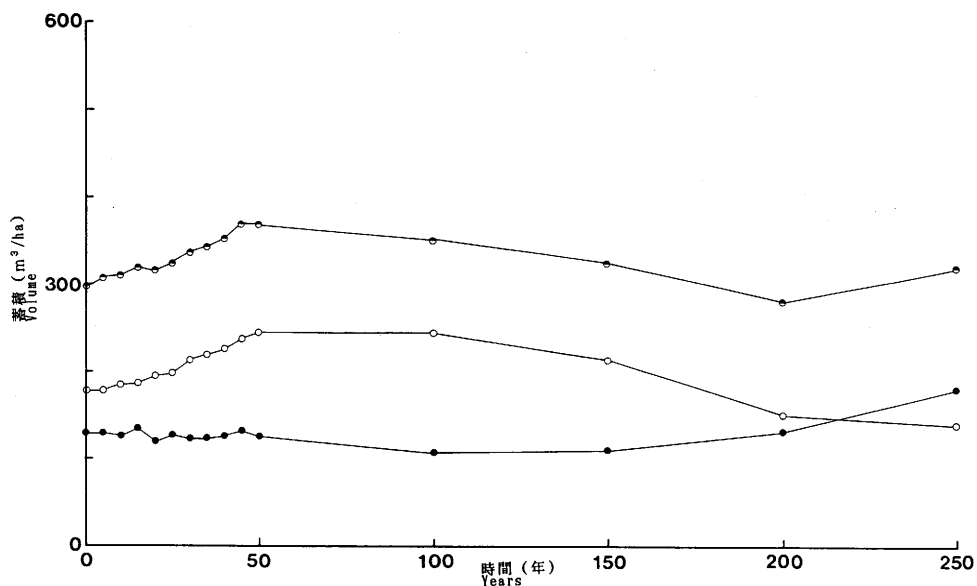


図-52(a) FSDによる蓄積の変化の予測…トドマツ主体の択伐林分

Fig. 52(a). Prediction of volume by FSD. (The case of selection stand which is mainly composed of Todomatsu (*Abies sacharinensis*).

●: 総蓄積 Stand volume ●: 針葉樹蓄積 Softwood volume ○: 広葉樹蓄積 Hardwood volume

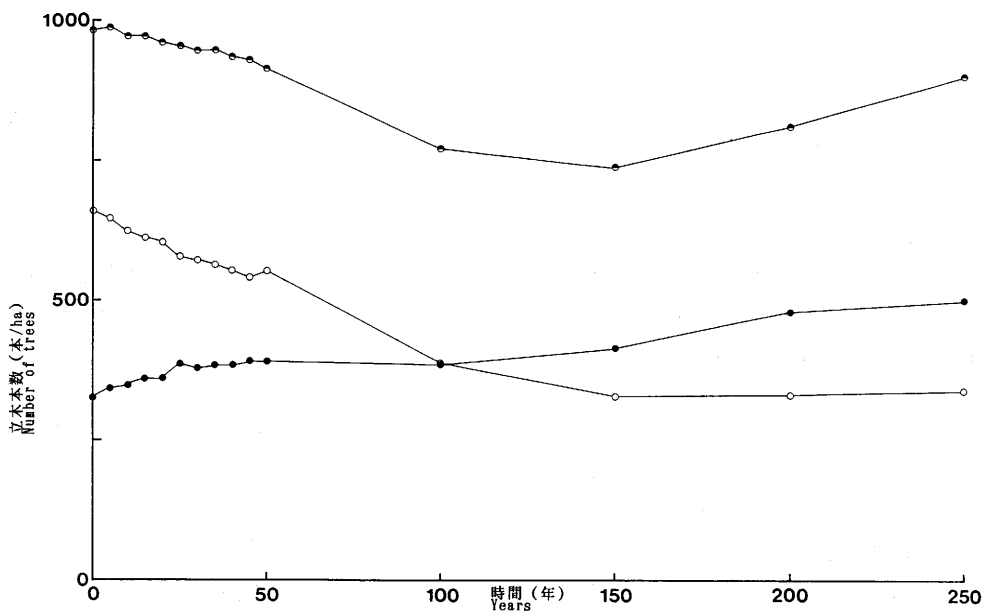


図-52(b) FSDによる立木本数の変化の予測…トドマツ主体の択伐林分

Fig. 52(b). Prediction of number of trees by FSD. (The case of selection stand which is mainly composed of Todomatsu (*Abies sacharinensis*).

●: 総立木本数 Number of trees ●: 針葉樹本数 Number of softwood ○: 広葉樹本数 Number of hardwood

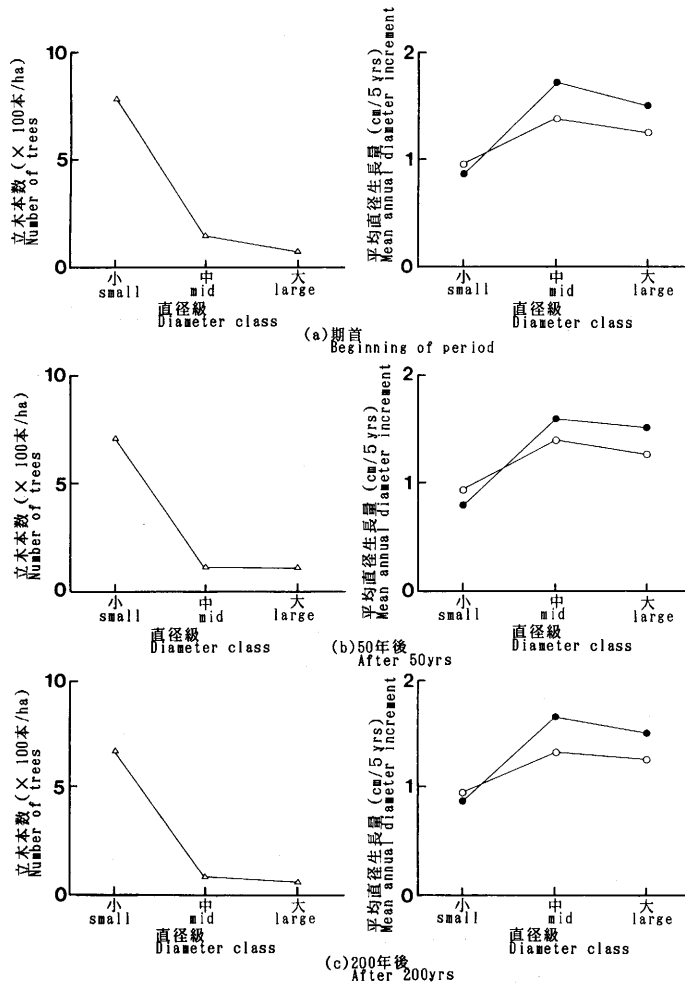


図-53 FSDによる直径級別本数分布と直径級別平均直径生長量の予測値…トドマツ主体の択伐林分

Fig. 53. Prediction of diameter distribution and mean annual diameter increment by FSD. (The case of selection stand which is mainly composed of Todomatsu (*Abies sacharinensis*.)

△: 立木本数 Number of trees

●: 針葉樹平均直径生長量 Mean annual diameter increment of softwood

○: 広葉樹平均直径生長量 Mean annual diameter increment of hardwood

立木本数は200年位まで急激に減少しており、その後400本/ha程で安定している。これは、200年までは進界が十分に起こらなかったことと200～250年の間で進界が起こったことが原因と考えられる。しかし、林分蓄積と同様、今後針葉樹の割合が増えるにしたがって、小径木はますます減少し、老齢大径木の林分へと変化する可能性がある。

図-62は、期首、50年後、200年後の直径級別本数分布と直径級別平均直径生長量を示したものである。本数分布は期首の指数型が徐々に変化し中径木で落ち込み大径木で上がるエゾマツ林分にみられる型(図-56の期首の分布に近い)を示すようになる。それに対して、直径生長量は山型の生長パターンから右上がりの生長パターンへと変化しており、図-53と比較すると上層木の

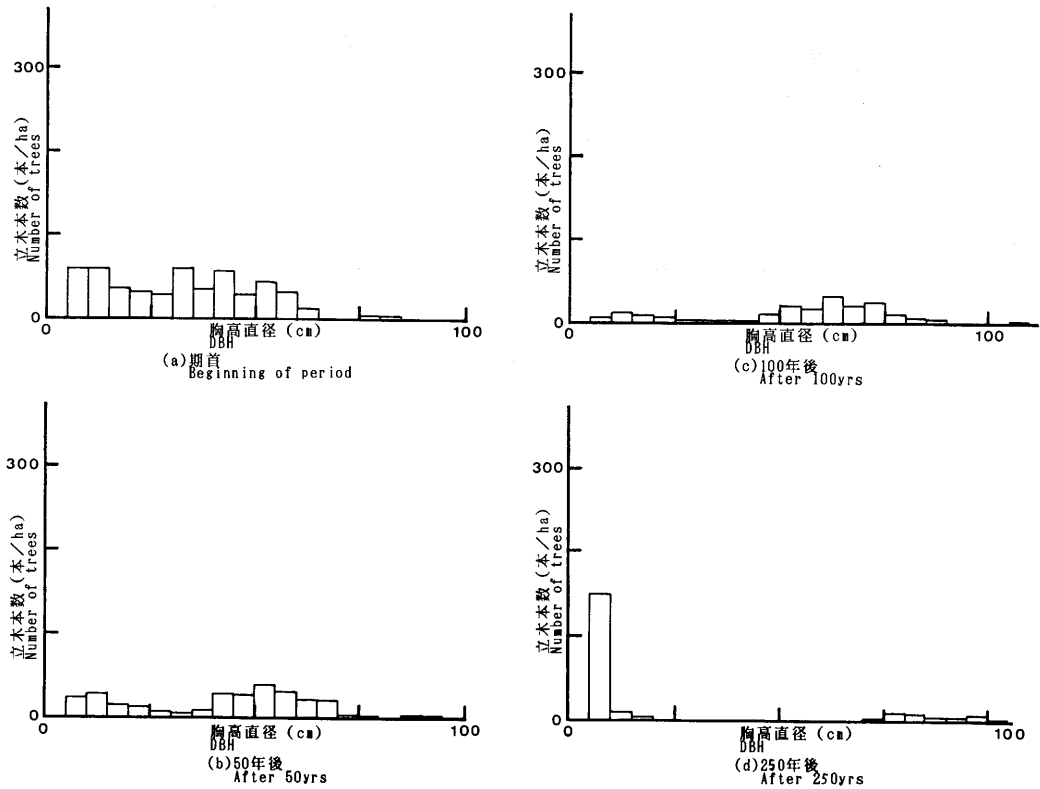


図-54 FSD による直径分布の予測…エゾマツ主体の奥地林

Fig. 54. Prediction of diameter distribution by FSD. (The case of reserved stand which is mainly composed of Ezomatsu (*Picea jezoensis*)).

寿命が林分の変化に与える影響が十分表現されているといえる。

トドマツ林分とここに示した林分との変化の違いは、図-44 に示した上層木の寿命の違いによる林分の遷移過程の違いを表していると考えられる。

VI. おわりに

本論文では、まず東京大学北海道演習林の天然林内に設けられた固定標準地の資料を解析し、天然林の林分構造と林分生長との関係を検討した。次に、天然林の直径分布と直径階別直径生長量との関係について解析を行い、天然林の直径分布の特徴および成因について考察した。最後に筆者が作成した林分生長シミュレーションモデル FSD (Feedback type Stand growth simulation model using Diameter transition probability) を用いて具体的な林分生長予測を行い、天然林の林分構造の動態について検討した。

本研究で得られた天然林の直径分布の遷移過程についてのモデル (図-44) は、天然林の林分構造が、ある固定した状態を維持することなく、常に変化していることを示している。したがって、天然林施業における「理想林型 (または目標林型)」とは、従来提唱されてきたようなある固定した一つの形 (例えば指数型直径分布) ではなく、常に変化している林分構造のある範囲全体 (例

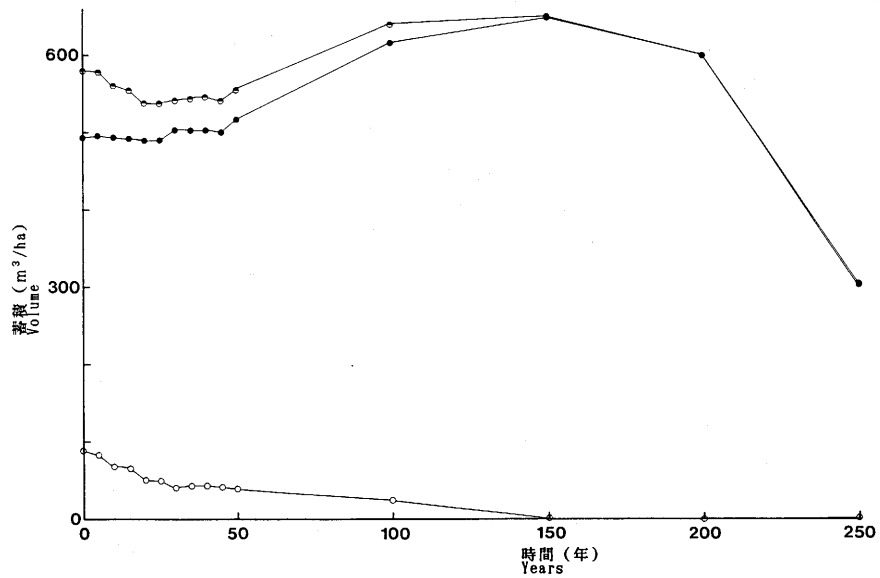


図-55(a) FSDによる蓄積の変化の予測…エゾマツ主体の奥地林

Fig. 55(a). Prediction of volume by FSD. (The case of reserved stand which is mainly composed of Ezomatsu (*Picea jezoensis*).

●: 総蓄積 Stand volume ●: 針葉樹蓄積 Softwood volume ○: 広葉樹蓄積 Hardwood volume

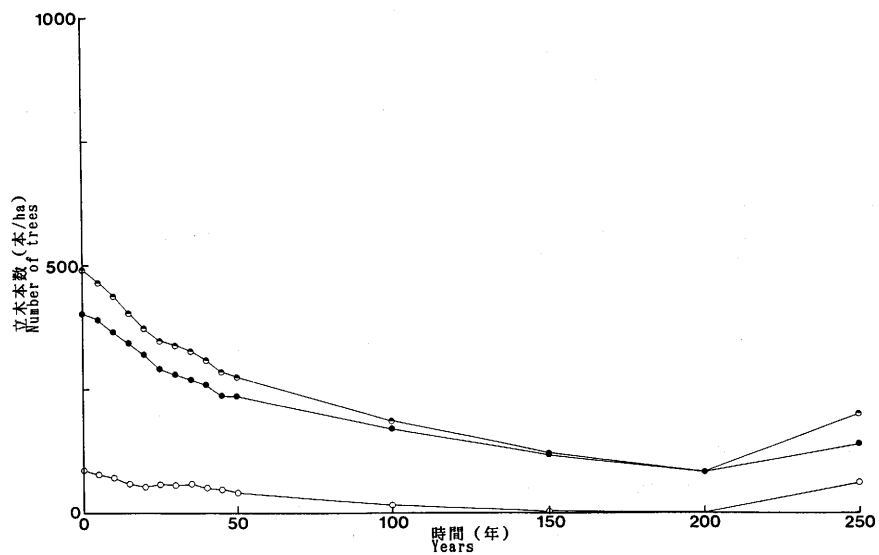


図-55(b) FSDによる立木本数の変化の予測…エゾマツ主体の奥地林

Fig. 55(b). Prediction of number of trees by FSD. (The case of reserved stand which is mainly composed of Ezomatsu (*Picea jezoensis*).

●: 総立木本数 Number of trees ●: 針葉樹本数 Number of softwood ○: 広葉樹本数 Number of hardwood

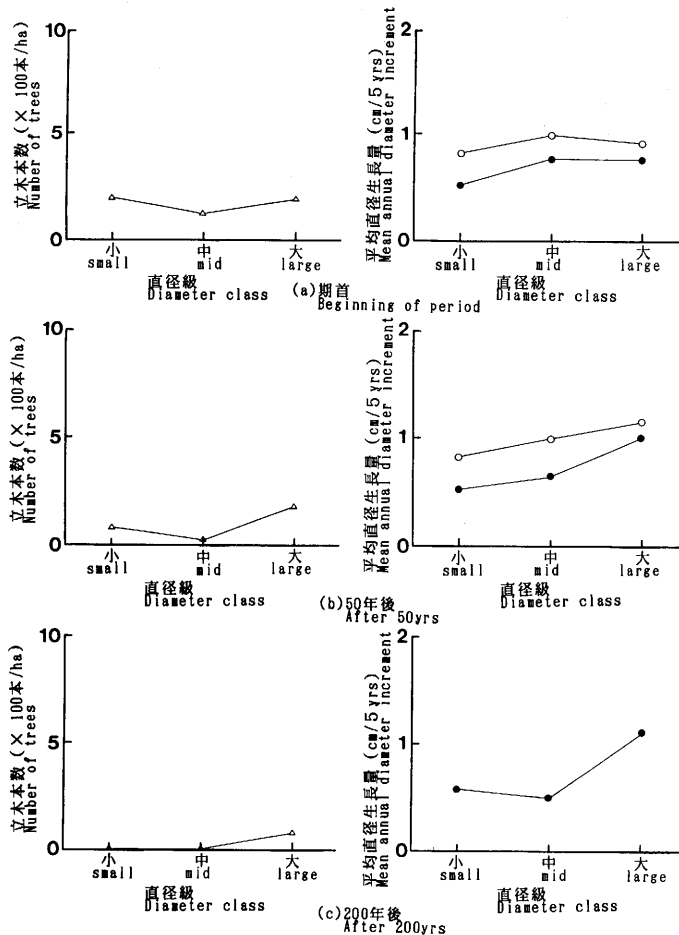


図-56 FSDによる直径級別本数分布と直径級別平均直径生長量の予測…エゾマツ主体の奥地林

Fig. 56. Prediction of diameter distribution and mean annual diameter increment by FSD. (The case of reserved stand which is mainly composed of Ezomatsu (*Picea jezoensis*.)

- △: 立木本数 Number of trees
- : 針葉樹平均直径生長量 Mean annual diameter increment of softwood
- : 広葉樹平均直径生長量: Mean annual diameter increment of hardwood

えば図-44の指数型直径分布のサイクル) とする必要がある。天然林の施業を考える場合に重要なことは、林分を狭義の理想状態に維持していくことではなく、広義の理想状態の中から逸脱しないようにしながら自然の変化を早めてやることにありと考えられるのである。

VII. 謝 辞

まず、長年にわたって積み重ねてこられた貴重な資料を提供して下さった、東京大学北海道演習林の歴代ならびに現在の職員の方々に深く謝意を表す。この希少な資料がなかったならば、本研究を遂行することは不可能だったであろう。

また、本研究を行うにあたり終始御指導いただくとともに有益な御助言を賜った、東京大学農

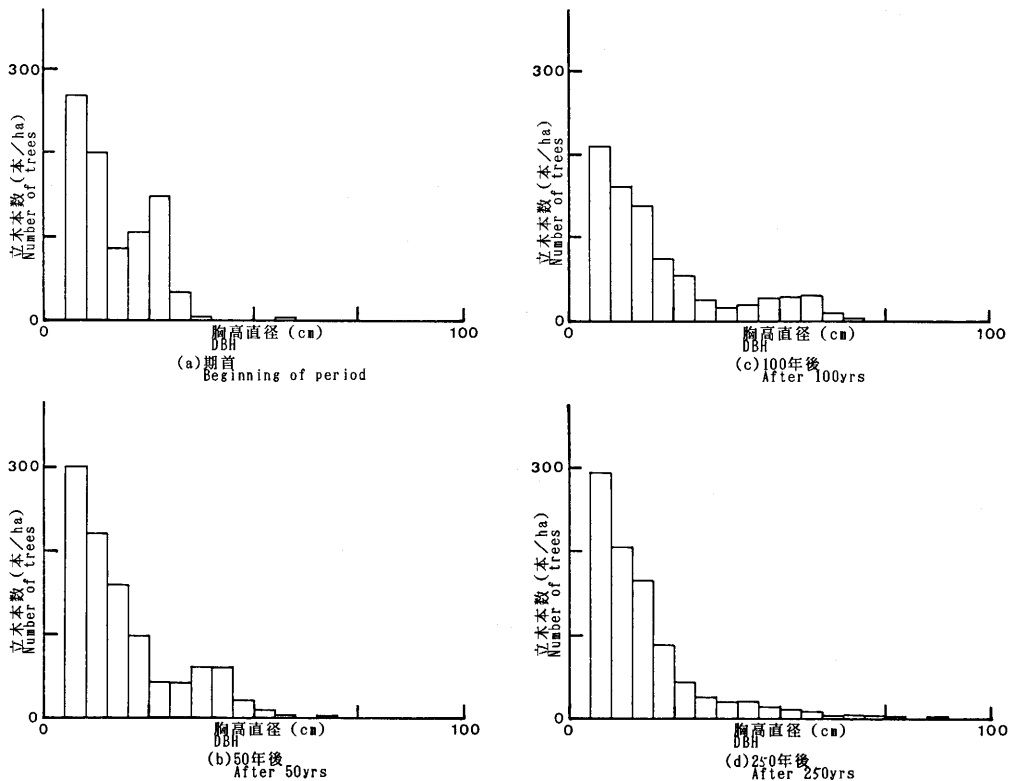


図-57 FSD による直径分布の予測…再生択伐林分

Fig. 57. Prediction of diameter distribution by FSD. (the case of regenerated selection stand.)

学部南雲秀次郎教授，箕輪光博助教授，山本博一助手，東京大学北海道演習林渡邊定元教授，柴田 前前講師に厚く御礼申し上げます。

最後に，直接間接に有用な御助言，御助力を賜り，また激励して下さい，多くの方々に心より謝意を表すものである。

要 旨

天然林施業法の研究を進めるに当たっては，天然林の生長過程を解明し，生長予測を行うことが必要である。しかし，異齡混交複層の天然林は，林分構造が複雑であり，生長過程は多様を極めている。したがって，天然林の生長を予測することは，極めて困難であるといわれる。本研究の目的は，この「複雑多様」な天然林の生長を林分構造との関係を中心に解析し，天然林施業法の基礎となる林分生長シミュレーションモデルを開発するとともに，天然林の林分構造の動態について考察することにある。

まず，林分生長を中心に散点図による解析を行った。その結果，天然林の生長を複雑にしている大きな原因は枯損であること，したがって，高蓄積な林分では純生長量に大きなばらつきが起こるが，粗生長量をみれば天然林の生長もかなり安定していると考えられることがわかった。また，林分蓄積に対する純生長量や粗生長量の分布には上限がみられ，上限を示す線は $300 \text{ m}^3/\text{ha}$

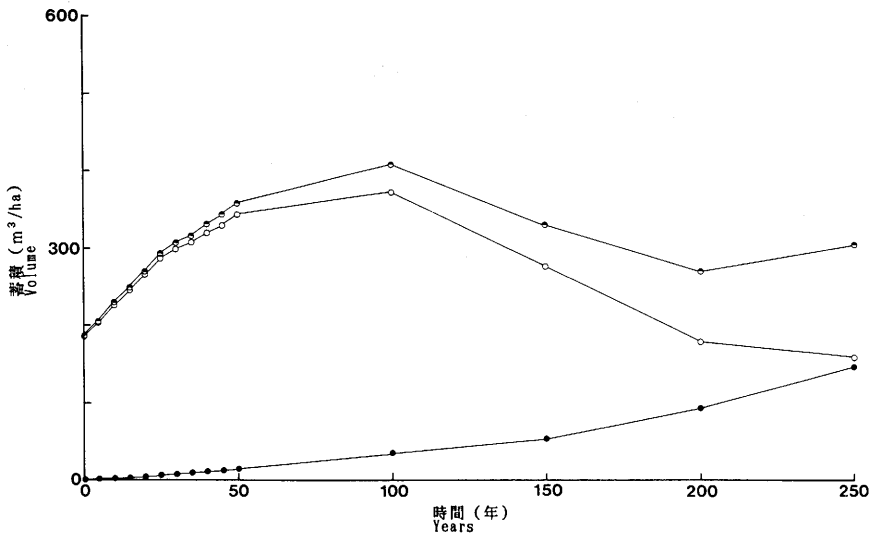


図-58(a) FSDによる蓄積の変化の予測…再生択伐林分

Fig. 58(a). Prediction of volume by FSD. (The case of regenerated selection stand.)

●: 総蓄積 Stand volume ●: 針葉樹蓄積 Softwood volume ○: 広葉樹蓄積 Hardwood volume

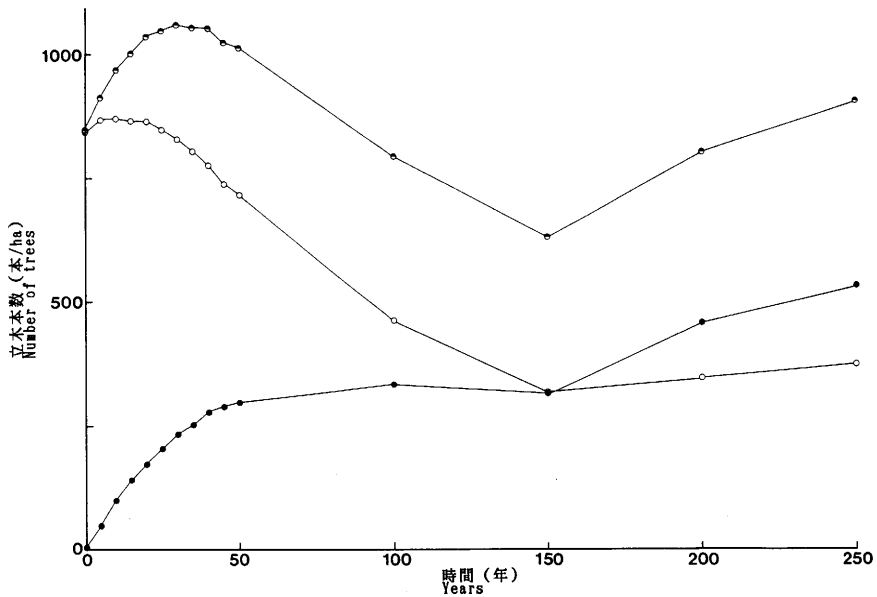


図-58(b) FSDによる立木本数の変化の予測…再生択伐林分

Fig. 58(b). Prediction of number of trees by FSD. (The case of regenerated selection stand.)

●: 総立木本数 Number of trees ●: 針葉樹本数 Number of softwood ○: 広葉樹本数 Number of hardwood

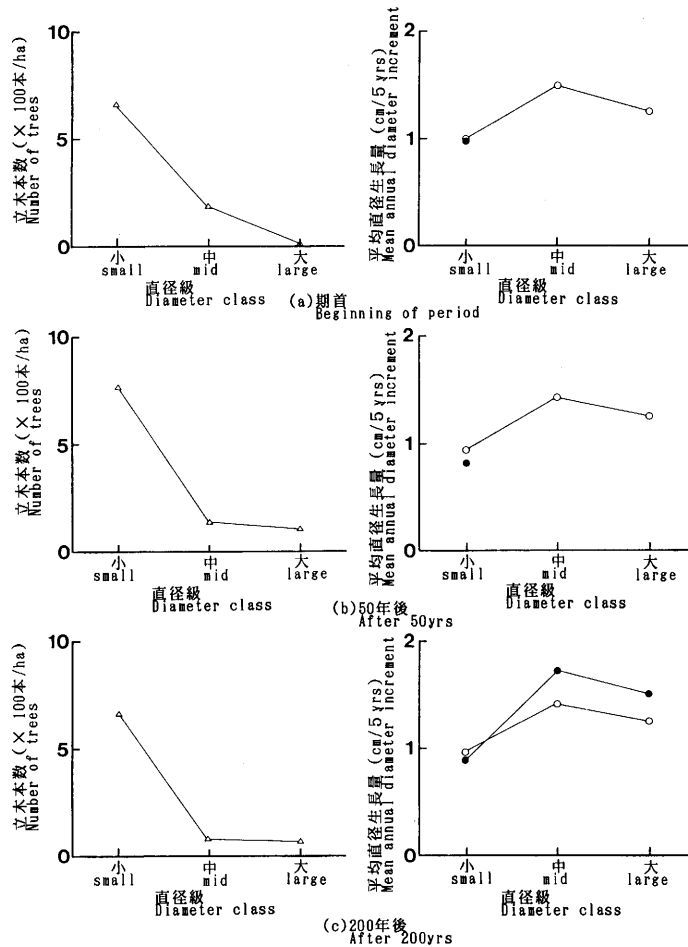


図-59 FSDによる直径級別本数分布と直径級別平均直径生長量の予測…再生択伐林分

Fig. 59. Prediction of diameter distribution and mean annual diameter increment by FSD. (The case of regenerated selection stand.)

△: 立木本数 Number of trees

●: 針葉樹平均直径生長量 Mean annual diameter increment of softwood

○: 広葉樹平均直径生長量: Mean annual diameter increment of hardwood

前後にピークを持つ上に凸の曲線を示した。

次に、林分中での単木の生長過程を解析した。天然林の林木は生長初期に被圧期が存在し、ある時点を境に急激に生長量を増大させる傾向がある。この境界は生長増大開始時期と呼ばれるが、多くの林木の生長増大開始時期が50~100年前後の一時期に集中する傾向が確認された（この集中期をQ点と呼ぶ）。Q点について検討した結果、上層木の伐採後旺盛な林分生長を期待するには、10 cm前後の針葉樹の小径木が十分存在すること、広葉樹の稚樹が多数存在するかあるいは伐採後の更新が良好であることが必要と考えられた。

続いて、直径階別直径生長量の平均が示すパターンについて解析を行った。その結果、小径木が少なく大径木の現存量が豊富な直線的な直径分布を示す林分では、小中径木の生長が抑えられ

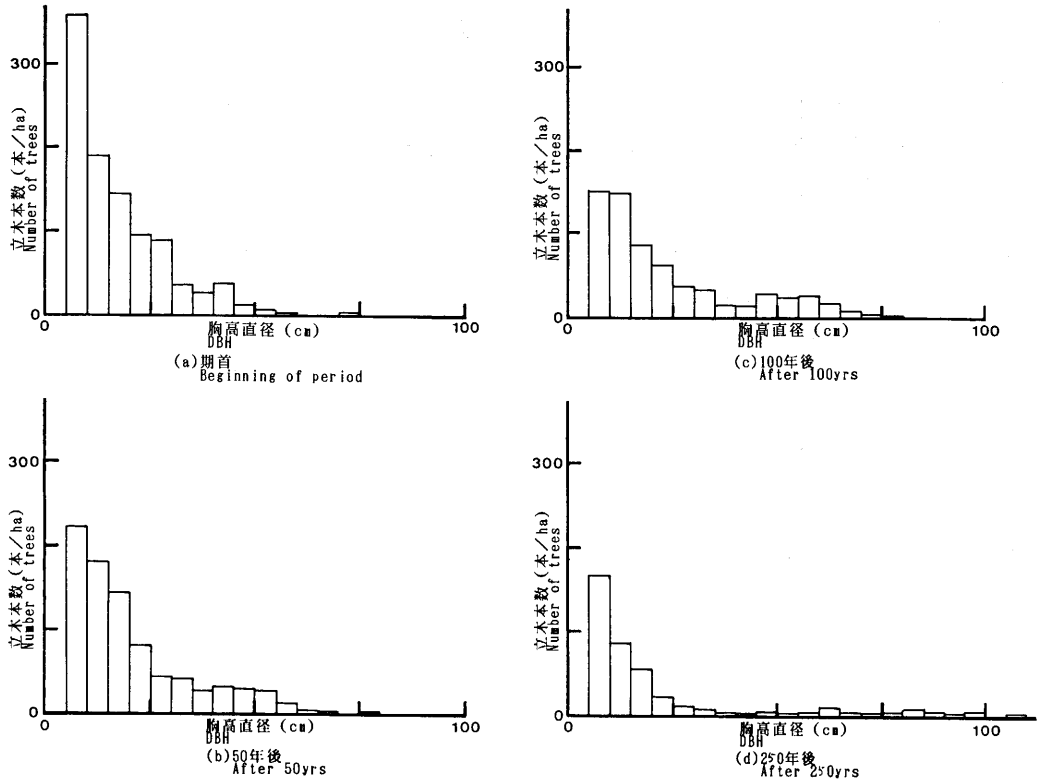


図-60 FSDによる直径分布の予測…トドマツ主体の択伐林分の上層構成中心樹種をエゾマツとした場合

Fig. 60. Prediction of diameter distribution by FSD. (The case using Todomatsu stand data which has characteristics of Ezomatsu for dominant species.)

右上がり型の生長パターンを示し、小径木が豊富で大径木の現存量が少ない指数型の直径分布を示す林分では、被圧の影響を受けない中径木が盛んに生長し山型の生長パターンを示す傾向が認められた。こうしたことから直径分布と直径階別直径生長量との間には密接な関係があると推察された。

以上の解析結果および過去に行われた研究報告をもとに天然林の直径分布の変化、遷移に関わると考えられる要素（陰樹と陽樹、寿命、被圧と競争、転換期、更新）とその影響について論じた。そして、「平衡状態」の直径分布として DE LIOCOURT や MEYER が考えた指数型の分布は、決して不変の状態で維持し得るものではなく、「平衡状態でない」分布型を含めたサイクルの中にあると結論した。また、上層構成木の樹種特性によっては、このサイクルに入り得ない天然林も十分存在すると推察されたが、これらの林分も決して異常な直径分布なのではなく、ごく自然な直径分布と考えられることを示した。

最後に、直径遷移確率を用いたフィードバック型林分生長シミュレーションモデル FSD (Feed-

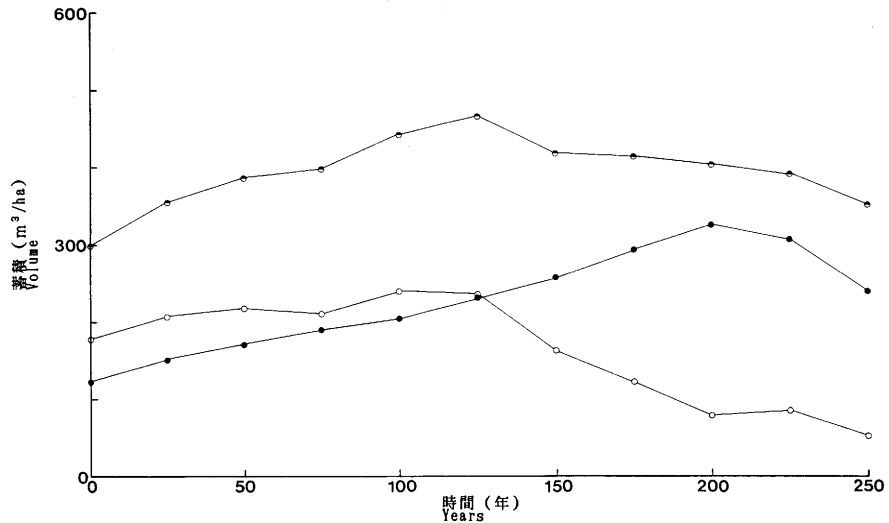


図-61(a) FSDによる蓄積の変化の予測…トドマツ主体の択伐林分の上層構成中心樹種をエゾマツとした場合

Fig. 61(a). Prediction of volume by FSD. (The case using Todomatsu stand data which has characteristics of Ezomatsu for dominant species.)

●: 総蓄積 Stand volume ●: 針葉樹蓄積 Softwood volume ○: 広葉樹蓄積 Hardwood volume

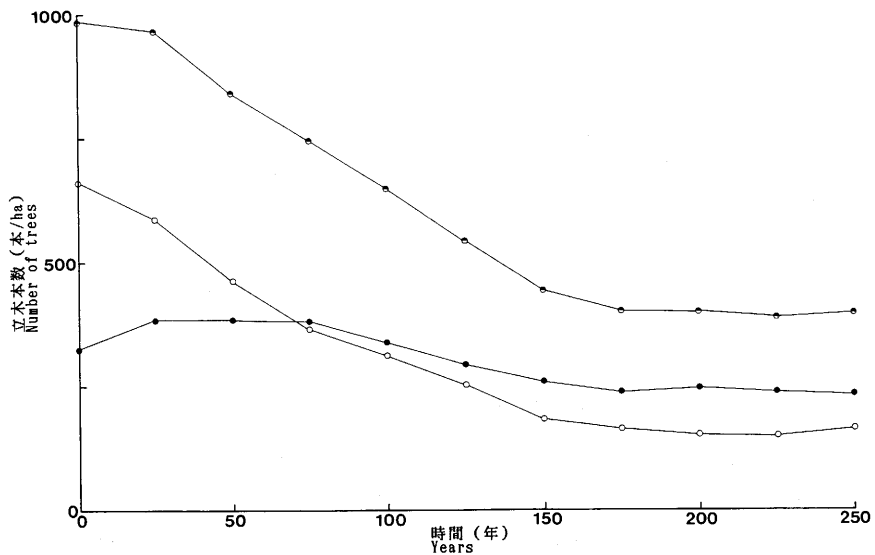


図-61(b) FSDによる立木本数の変化の予測…トドマツ主体の択伐林分の上層構成中心樹種をエゾマツとした場合

Fig. 61(b). Prediction of number of trees by FSD. (The case using Todomatsu stand data which has characteristics of Ezomatsu for dominant species.)

●: 総立木本数 Number of trees ●: 針葉樹本数 Number of softwood ○: 広葉樹本数 Number of hardwood

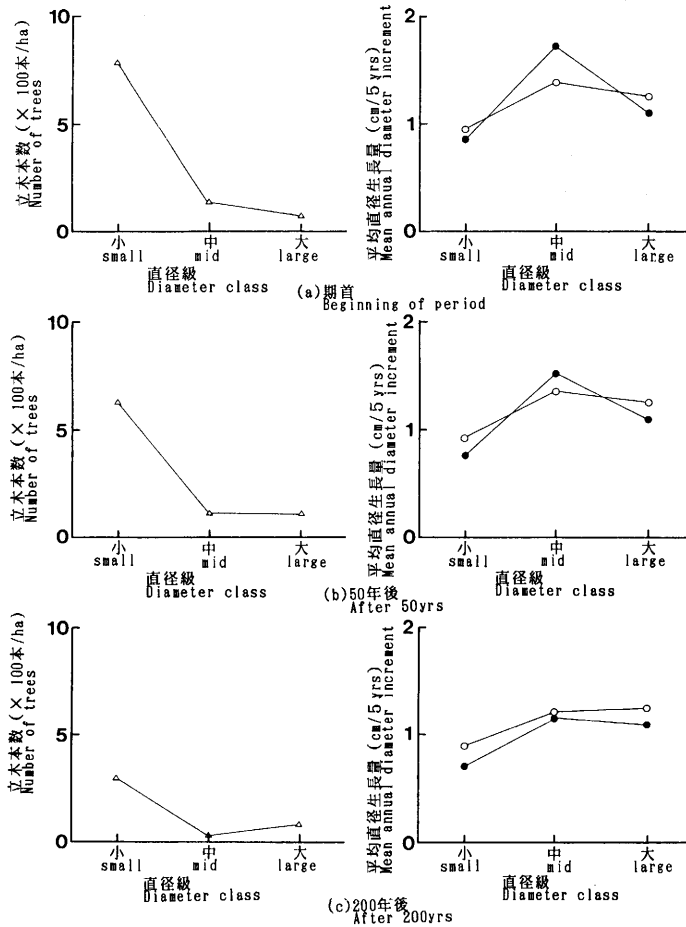


図-62 FSD による直径級別本数分布と直径級別平均直径生長量の予測…トドマツ主体の択伐林分の上層構成中心樹種をエゾマツとした場合

Fig. 62. Prediction of diameter distribution and mean annual diameter increment by FSD. (The case using Todomatsu stand data which has characteristics of Ezomatsu for dominant species.)

- △: 立木本数 Number of trees
- : 針葉樹平均直径生長量 Mean annual diameter increment of softwood
- : 広葉樹平均直径生長量 Mean annual diameter increment of hardwood

back type Stand growth simulation model using Diameter transition probability) による林分生長予測を行った。FSD による予測の結果は、短期、長期とも現実の林分の変化をよく捉えていると考えられ、同時に、筆者の考えた天然林の林分構造の変化のモデルを支持するものであった。

本研究で得られた天然林の直径分布の遷移過程についてのモデルは、天然林の林分構造が、ある固定した状態を維持することなく、常に変化していることを示している。したがって、天然林施業における「理想林型 (または目標林型)」とは、従来提唱されてきたようなある固定した一つの形 (例えば指数型直径分布) ではなく、常に変化している林分構造のある範囲全体とする必要

がある。天然林の施業を考える場合に重要なことは、林分を狭義の理想状態に維持していくことではなく、広義の理想状態の中から逸脱しないようにしながら自然の変化を早めてやることにあると考えられる。

キーワード：天然林，針広混交林，シミュレーションモデル，直径遷移確率，直径分布

引用文献

- 1) BIOLLEY, H. E. (佐藤弥太郎・岡崎文彬訳)：照査法. 54 pp., 林野共済会, 1952 (原著: L'Aménagement des forêts per la méthode expérimentale et spécialement la méthode du contrôle. 1920).
- 2) 林 芳男: 照査法による生長経過. 北方林業 26, 10-13, 1974.
- 3) 井本正幸・柳生 修: 道有林北見経営区の天然林の生長量. 北方林業 24, 10~13, 1972.
- 4) 石橋整司: 天然林生長資料の解析 (II) 直径生長量と直径分布. 38 回日林関東支論, 31-34, 1986.
- 5) ———: 天然林の成長予測 (I) シミュレーションモデルの作成, 日林誌 71, 309-316, 1989a.
- 6) ———: 天然林の成長予測 (II) シミュレーションモデルによる長期予測, 日林誌 71, 356-362, 1989b.
- 7) ———・広川俊英: 天然林生長資料の解析. 37 回日林関東支論, 15-18, 1986.
- 8) ———・芝野伸策・柴田 前: 天然林における樹齢と直径生長について, 98 回日林論, 129-130, 1987.
- 9) ———・———・高橋康夫: 天然林における樹木の分布様式, 日林誌 71, 503-510, 1989.
- 10) ———・高橋康夫・高田功一: 天然林の生長パターンの解析. 98 回日林論, 131-132, 1987.
- 11) 加納 博: 照査法試験林の施業. 北方林業 24, 10-13, 1972.
- 12) KNUCHEL, H. (岡崎文彬訳)：森林経営の計画と照査. 351 pp., 北海道造林振興協会, 札幌, 1960 (原著: Planung und Kontrolle im Forstbetrieb. 1950) .
- 13) DE LIOCOURT, F.: De l'aménagement des sapinières. Bull. de la Société Forestière de Franche-Comté et Belfort, Besancom, 396-409, 1898.
- 14) MEYER, H. A.: Eine mathematisch-statistische Untersuchung über den Aufbau des Plenterwaldes. Schweiz. Ztschr. f. Forstw. 84, 33-46, 88-103, 124-131, 1933.
- 15) ———: Vorratzzunahme und Nutzung im ungleichaltrigen Wald. Schweiz. Ztschr. f. Forstw. 102, 119-132, 1951.
- 16) ———: Structure, growth and drain in balanced uneven aged forests. J. For. 50, 85-92, 1952.
- 17) ———・STEVENSON, D. D.: The structure and growth of virgin beech-birch-maple-hemlock forests in northern Pennsylvania. Jour. Agric. Research 67, 465-484, 1943.
- 18) MÖLLER, A. (山畑一善訳)：恒続林思想. 211 pp., 都市文化社, 東京, 1984 (原著: Der Dauerwaldgedanke—Sein Sinn und seine Bedeutung. 1922).
- 19) 武藤憲由・信岡山治: 上木の疎開とトドマツ被圧木の生長. 北方林業 27, 12-14, 1975.
- 20) 野堀嘉裕・大金永治・藤原渥一郎・笹賀一郎: 天然林の林相改良に関する経営論的研究 (II) 林分構成の解析. 94 回日林論, 141-142, 1983.
- 21) 小原俊二: 径級区分に基づく択伐林の生長と林分構造. 東大農学部林学科卒業論文, 139 pp., 1980.
- 22) 岡本真佐敏: 東大北海道演習林における天然林の分類と生長解析. 東大農学部林学科卒業論文, 83 pp., 1984.
- 23) 大貫仁人・中川一郎・河原 漢: 天然林生長資料 (その 1). 15 回日林北支講, 12-19, 1966.
- 24) ———・———・———: 天然林生長資料 (その 2). 16 回日林北支講, 5-7, 1967.
- 25) SCHAEFFER, A.・GAZIN, A.・D'ALVERNY, A. (岡崎文彬訳)：モミ林一面積を基にした択伐作業 (林相曲線による照査法). 75 pp., 日本林業技術協会, 東京, 1958 (原著: A Sapinières. Le jardinage par contenance (méthode du Contrôle par Les Courbes). 1930).
- 26) 芝野伸策・小沢慰寛・南雲秀次郎: 林分施業法に関する研究 (II) 天然林の樹齢構成と生長過程. 95 回日林論, 161-162, 1984.
- 27) ———・———・———: 空間的・時間的にみた天然林の林分構造の変化. 96 回日林論, 711-712, 1985.

- 28) ———・————・柴田 前：林分施業法に関する研究(Ⅲ)トドマツ主体の針広混交林における樹齡構成と生長増大開始時期. 日林北支講 33, 20-22, 1984.
- 29) 柴田 前：林分施業法の研究——東京大学北海道演習林における天然林施業の実験. 東大演報 80, 269-397, 1988.
- 30) 渋谷正人・五十嵐恒夫・松田 彊：トドマツ林分の齡構成と個体の生長経過について, 北大演研報 44 (1), 153-174, 1987.
- 31) 鈴木太七：森林経理学. 197 pp., 朝倉書店, 東京, 1979.
- 32) 高橋延清：林分施業法——その考え方と実際. 127 pp., 全国林業改良普及協会, 東京, 1971.
- 33) ———：森林の働きと新しい林業経営. 13 pp., 林業労働災害防止協会, 東京, 1972.
- 34) 竹内公男・広川俊英・河原 漢：天然林生長資料(VI)径級別生長量について. 92 回日林論, 91-92, 1981.
- 35) ———・河原 漢・広川俊英：天然林生長資料(V). 91 回日林論, 73-74, 1980.
- 36) ———・高田功一・————：天然林生長資料(Ⅲ). 88 回日林論, 123-124, 1977.
- 37) ———・————・————：天然林生長資料(IV). 90 回日林論, 105-106, 1979.
- 38) 寺崎 渡：本邦天然林ニ関スル二三ノ觀察. 林学会雑誌 13-15, 1-42, 127-185, 263-294, 1922.
- 39) ———：First study on the characteristics of self-regenerating stands in Nippon. J. Soc. For. 24, 1-29, 1924.
- 40) ———：天然生林ノ施業法及施業計画ノ要旨. 86 pp., 山林局, 東京, 1925.
- 41) 渡邊定元：北海道天然生林のサクセッションのパターンについて I. 北方林業 22, 349-356, 1970.
- 42) ———：北海道天然生林の樹木社会学的研究. 157 pp., 北海道営林局, 札幌, 1985.

(1989年4月30日受理)

Summary

Growth prediction is indispensable for any study of natural forest management. But, natural forest structure is complicated and it has various growth processes. Then, it is said that the growth of natural forest is difficult to predict. The purpose of this paper is to analyse the structural dynamics of "complicated" natural forest, based on a stand growth simulation model.

In this examination, I found several facts mentioned below, for example. The complexity of natural forest growth is mainly caused by mortality and gross growth of natural forest is pretty stable. The tree on natural forest has oppressed stage in his early day of life and almost all trees in one stand suddenly increase their growth at once. And, the pattern of mean annual diameter increment in each diameter class is closely related to diameter distribution.

Based on the result of my examination, I discussed the transformation of diameter distribution on natural forest and related factors. Then I guess the exponential distribution which is said "balanced" diameter distributions by many researchers including DE LIOCOURT and MEYER, is not immutable and not balanced. In my opinion, exponential type diameter distribution is one of the stages in transformation cycle of diameter distribution including "unbalanced" diameter distribution.

Finally, I tried to predict the transformation process of diameter distribution by FSD (Feedback type Stand growth simulation model using Diameter transition probability). Then, my opinion about the transformation of natural forest diameter distribution was supported by the result of this prediction.

In my model of transformation of natural forest diameter distribution, the structure of natural forest is not immutable but variable. Therefore, we need to widen the image of "the ideal (the goal) stand type". The important thing in natural forest management is not to keep the forest in ideal condition in a narrow sense but to rotate it faster in ideal condition in a wide sense.

Key words: Natural forest, Mixed forest, Simulation model, Diameter transition probability, Diameter distribution