
論文

**砂丘地におけるクロマツ林の幹材積の度数分布
および順位の変動**

小笠原 隆三*

**On the Transitions of the Frequency Distribution
and the Order of Stem Volume of Pine Forest
(*Pinus Thunbergii*) on the Sand Dune**

Ryuzo OGASAWARA*

Summary

The transitions of the frequency distribution, the order of stem volume, its annual increment and its growth rate of 20 years old pine forest on the sand dune were investigated.

The stem volume and its annual increment increase exponentially and its growth rate decrease with forest age. The order-fluctuations of stem volume and annual increment tend to decrease and the frequency distribution tend to change toward sharp L-type with forest age. The frequency distributions of growth rate at early stage show sharp L-type, but it tend to change toward normal type with forest age. The relationship between stem volume and annual increment show the high positive correlation. The relationship between stem volume and growth rate change from the negative correlation to the positive correlation with forest age.

It may be considered that the decrease of order-fluctuation and the change to L-type of frequency distribution of stem volume with forest age are related to the fact that the large stem volume tends to the large annual increment and that the growth curve of stem volume is logistic equation and the frequency distribution of growth rate changes to toward normal type.

It is necessary to establish the new growth model (frequency distribution of stem volume ; normal type → L-type, frequency distribution of growth rate ; L-type → normal

*鳥取大学農学部森林計画学研究室：Laboratory of Forest Planning, Faculty of Agriculture, Tottori University

type, relationship between stem volume and growth rate ; negative correlation → positive correlation) (reversed N-L correspondent type) of pine forest on sand dune.

I 緒 言

森林を、どのような目的に利用していくかにより、維持すべき林分構造が異ってくる。

一般に、植栽された林木は、はじめ大きさにあまり違いがみられないが、生育の過程で内的、外的要因により生長に差が生じ、個体の大きさのちがいがはっきりしてくる。

このような個体の大きさの順位や度数分布が生育の過程で、どのように変化していくかを知るとは、間伐等を行い、合理的な林分構造を維持していくうえからも必要なことである。

本研究は、砂丘地に戦後大々的に植栽されたクロマツ林を合理的施業を行うための基礎的研究として行ったものである。

II 材料および方法

鳥取市の湖山砂丘地にある鳥取大学湖山演習林内に植栽されている20年生クロマツ林を対象とした。

20年生クロマツ林のうち、植栽当初の本数をほぼ維持しているとみられるところに6 m × 6 mのプロットを2ヶ所もうけた。

これらのプロットの立木数、平均胸高直径、平均樹高等についてみると Table 1 のようである。

プロット内の全立木は伐倒され、樹幹析解により、3年ごとの幹材積が測定された。

各林齢における幹材積は、すべて皮なし材積で示した。

生長量は定期平均生長量を用い、生長率はライプニッツ式を用いて求めた。

幹材積等の席数分布を示す場合の階級巾(I)は、Koyama et al³⁾と同じ方法によって求めた。

$$I = \frac{1}{C} \{ (x_{max} + \alpha) - (x_{min} - \alpha) \}$$

C : 階級数

x_{max} : 最大値

x_{min} : 最小値

α : 有効数字の $\frac{1}{2}$

Table 1 Description of sample plots

	Plot A	Plot B
Forest age	20	20
Plot area (m ²)	36	36
No. of trees	27	26
Mean breast height Diameter (cm)	6.1	6.0
Mean height (m)	7.0	6.5

度数分布の非対象度 (Sk) は Pearson 法²⁾を用いて求めた。

$$Sk = \frac{\bar{x} - Mo}{S}$$

\bar{x} : 算術平均

Mo: 並数

S: 標準偏差

順位相関係数 (Rs) は Spearman 法²⁾によって求めた。

$$Rs = 1 - \frac{6 \sum d^2}{N(N^2 - 1)}$$

d: 2 変数の順位の差

N: 個数

順位変動指数 (In) は只木等⁷⁾と同じ方法で求め、2つの時点における各個体の順位差 (絶対値) の合計をもってあらわした。

III 結 果

1. 材 積

各林木の幹材積の林齢にともなう推移をみると Fig. 1 のようである。

林齢がすすむにつれ材積は指数関数的に増大していく。この材積の度数分布および平均値 (\bar{x}), 標準偏差 (S), 変動係数 (cv), 非対称度 (Sk) 等の林齢にともなう推移をみると Fig. 2 および Table. 2 のようである。

度数分布は、はじめよわい L 型を示しているが、林齢がすすむにつれ次第にシャープな L 型になる傾向がみられる。

\bar{x} , S, Sk は林齢とともに増加していくが、cv の場合はあまり大きな変化はないが、やや減少してから増加する傾向がみられる。

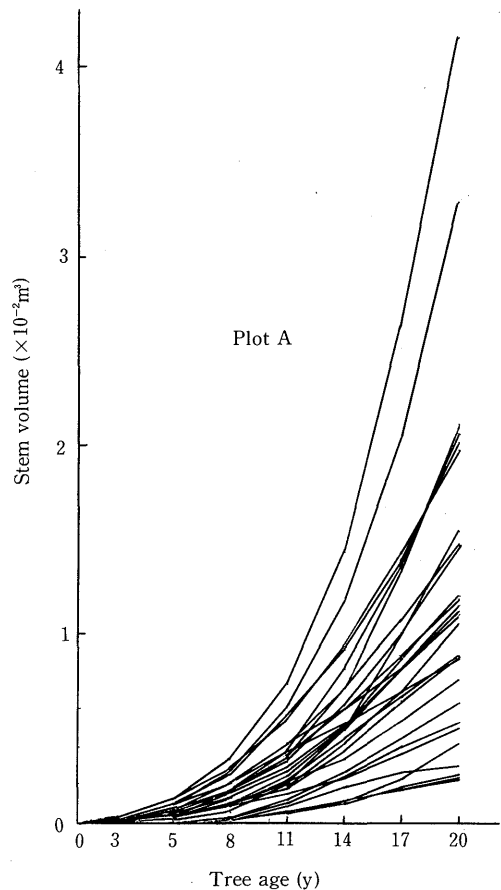


Fig. 1 Change of stem volume by tree age

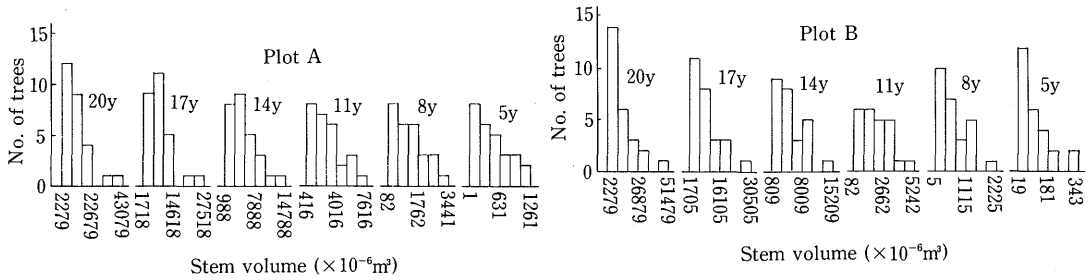


Fig. 2 Frequency distribution of stem volume

Table 2 Mean value (\bar{X}), standard deviation (S), coefficient of variation (CV) and asymmetry (Sk) concerning stem volume

Plot	Forest age	\bar{X} (m)	S(m)	CV(%)	Sk
A	20	0.012366	0.009231	74.65	1.7353
	17	0.008509	0.005790	68.05	1.6008
	14	0.005193	0.003303	63.60	0.9763
	11	0.002814	0.001903	67.65	0.7300
	8	0.001281	0.000929	72.55	0.5854
	5	0.000499	0.000374	74.88	0.5002
B	20	0.013257	0.010721	80.87	1.6349
	17	0.008778	0.006288	71.63	1.3248
	14	0.004959	0.3381	68.17	0.9160
	11	0.002116	0.001431	67.64	0.4537
	8	0.000640	0.00503	78.56	0.9214
	5	0.000092	0.000073	79.54	1.7800

Table 3 Rank correlation coefficient (Rs) and order-fluctuation index (In) concerning stem volume

Forest age	Rs		In	
	Plot A	Plot B	Plot A	Plot B
20—17	0.984	0.988	28	22
17—14	0.974	0.976	29	34
14—11	0.951	0.983	34	24
11—8	0.957	0.950	40	43
8—5	0.928	0.869	44	72

Sk の値は、マイナスをとる場合、その分布は J 型を、O の場合は正規型を、プラスの場合は L 型を示すとされている²⁾

幹材積の場合、Sk はいずれもプラスの値をとり、林齢とともに増加していく。このことから、材積の度数分布は林齢とともに L 型化が顕著になっていくことを示している。

次に、材積の順位相関係数 (Rs) および順位変数 (I_n) の林齢ともなう推移をみると Table. 3 のようである。

林齢がたかくなるにつれ Rs は大きくなり、 I_n の方は小さくなっていく傾向がみられる。

このことは、林齢とともに材積の順位の変動は少なくなっていくことを示している。

2. 生長量

幹材積の生長量の林齢ともなう推移をみると Fig. 3 のようである。生長量の場合も林齢とともに指数函数的に増大していく。

生長量の度数分布、平均値 (\bar{x})、標準偏差 (S)、変動係数 (cv)、非対称度 (Sk) をみると Fig. 4 および Table. 4 のようである。

度数分布は、はじめよわい L 型を示しているが、林齢がすすむにつれ次第にシャープな L 型へ変

っていく傾向がみられる。

\bar{x} , S, cv, Sk は、いずれも林齢とともに増加していく。

生長量の場合、林齢とともに指数関数的に増加し、分布のL型化が顕著になっていく点は材積の場合と類似している。

生長量の順位相関係数 (Rs) および順位変動指数 (I_n) は Table 5 のようである。

プロットAでは、林齢とともに明らかにRsは増加し、 I_n は減少していくが、プロットBではRs, I_n の変化ははっきりしない。

生長量の順位変動は、材積の場合より大きく、林齢にともなう推移は、材積のようにはっきりし

Table 4 Mean value (\bar{X}), standard deviation (S), coefficient of variation (CV) and asymetry (Sk) concerning annual increment of stem volume

Plot	Forest age	\bar{X} (m)	S(m)	CV(%)	Sk
A	20	0.001285	0.001169	90.91	1.8953
	17	0.001106	0.000868	78.47	1.6036
	14	0.000786	0.000508	64.65	1.1506
	11	0.000517	0.000331	63.94	0.9686
	8	0.000282	0.000188	66.48	0.5424
B	20	0.001493	0.001526	102.20	1.7798
	17	0.001381	0.001169	84.61	1.6061
	14	0.000938	0.000682	72.69	1.5718
	11	0.000484	0.000328	67.82	0.8706
	8	0.000211	0.000138	65.27	0.7811

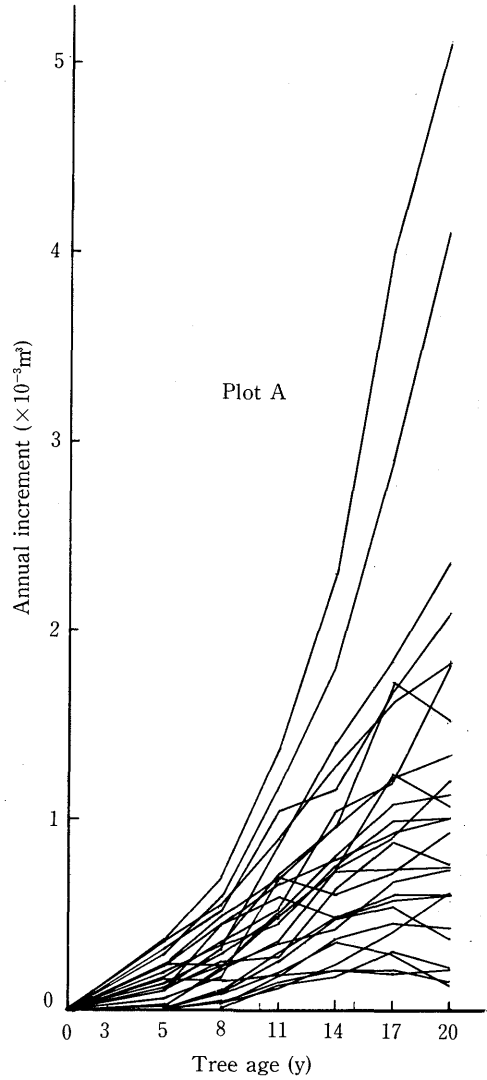


Fig. 3 Change of annual increment by tree age

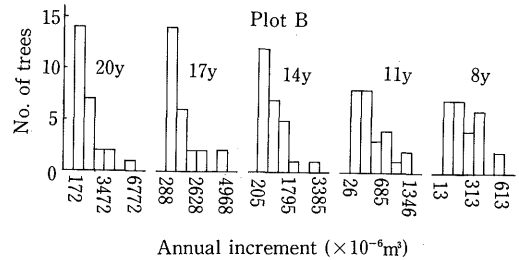
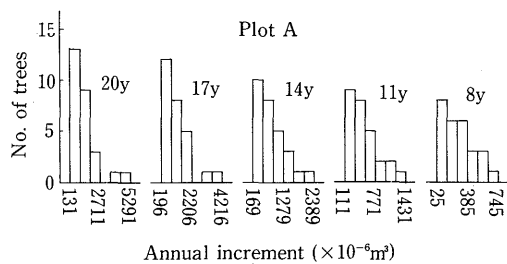


Fig. 4 Frequency distribution of annual increment

Table 5 Rank correlation coefficient (Rs) and order-fluctuation index (In) concerning annual increment of stem volume

Forest age	Rs		In	
	Plot A	Plot B	Plot A	Plot B
20-17	0.974	0.905	32	62
17-14	0.966	0.877	42	66
14-11	0.895	0.944	70	49
11-8	0.905	0.925	74	58

Table 6 Rank correlation coefficient (Rs) between stem volume and annual increment

Forest age	Plot A	Plot B
20	0.976	0.956
17	0.957	0.940
14	0.922	0.974
11	0.974	0.983
8	0.985	0.992

ないが、少なくなっていくものとみられる。

次に、各個体の材積と、その生長量との関係を見ると Fig. 5 および Table 6 のようである。

大きい材積のもので生長量が大きく、同じ材積では、林齢のたかいもので生長量が小さい傾向がみられる。

これは、林齢がすすむにつれて生長能力が低下していくことを意味するものでなく、それらの個体は被圧その他、内的、外的要因により生長がわるく、同じ大きさの材積に達するのに多くの年数を要したことによるものと考えられる。

順位相関係数は、いずれの林齢でも高く、材積と生長量との順位の相関が、かなり高いことを示している。

3. 生長率

生長率の度数分布および平均値 (\bar{x})、標準偏差 (S)、変動係数 (cv)、非対称度 (Sk) の林齢にともなう推移は Fig. 6 および Table 7 のようである。

生長率の度数分布は、はじめシャープなL型を示しているが、林齢がすすむにつれ正規型に近い分布へ変わり、材積や生長量の場合と大きく異なっている。

\bar{x} , S, cv, Sk は、いずれも林齢とともに減少していく傾向がみられる。

このように、生長率では材積や生長量の場合と異なり、林齢がすすむにつれ値が急速に小さくなり、個体間の差も小さくなり、その分布はL型から正規型へ変っていく。

生長率の順位相関係数 (Rs) および順位変動指数 (I_n) をみると Table 8 のようである。生長率の Rs は、生長量のそれよりもさらに小さく、 I_n の方はさらに大きい値を示し、林齢にともなう変化は、はっきりした傾向はみられない。これらのことは、生長率の順位変動は生長量の場合よりもさらに

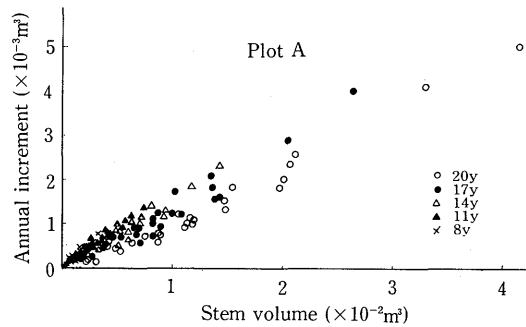


Fig. 5 Relationship between stem volume and annual increment

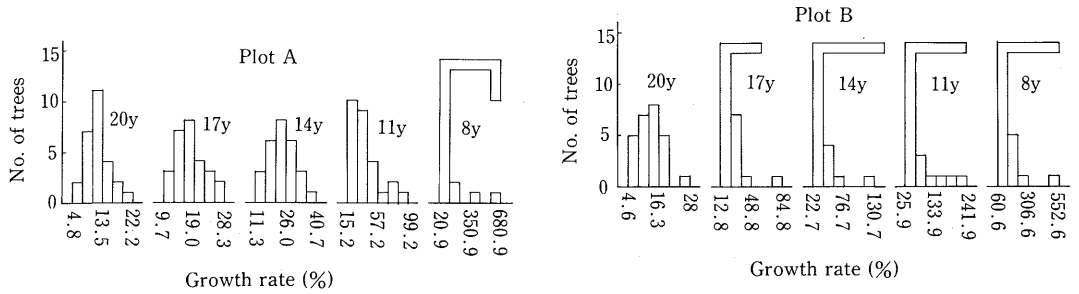


Fig. 6 Frequency distribution of growth rate

Table 7 Mean value (\bar{X}), standard deviation (S), coefficient of variation (CV) and asymmetry (Sk) concerning growth rate of stem volume

Plot	Forest age	\bar{X} (%)	k(%)	CV(%)	Sk
A	20	12.113	3.445	28.44	0.5774
	17	17.706	4.504	25.44	0.4517
	14	24.330	6.749	27.74	0.2102
	11	38.803	19.292	49.71	1.2380
	8	89.208	38.879	56.80	3.5160
B	20	12.996	5.187	39.91	0.5559
	17	23.624	12.967	54.89	3.0211
	14	37.695	19.751	52.40	3.3467
	11	68.463	49.922	72.94	2.1282
	8	130.264	93.067	71.45	3.6438

Table 9 Rank correlation coefficient (Rs) and between stem volume and growth rate

Forest age	Plot A	Plot B
20	0.624	0.631
17	0.112	-0.066
14	-0.466	-0.300
11	-0.490	-0.320
8	-0.679	-0.452

Table 8 Rank correlation coefficient (Rs) and order-fluctuation index (In) concerning growth rate

Forest age	Rs		In	
	Plot A	Plot B	Plot A	Plot B
20-17	0.605	0.534	144	164
17-14	0.496	0.521	158	144
14-11	0.697	0.508	125	158
11-8	0.704	0.586	115	145

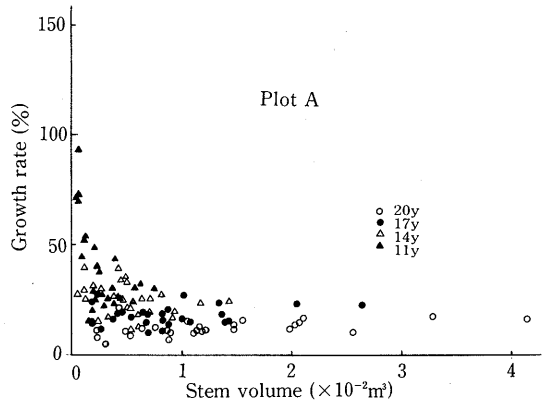


Fig. 7 Relationship between stem volume and growth rate

大きく、林齢がすすんでも、変動が小さくなっていくことを示していない。

次に、材積と生長率との関係を見ると Fig. 7 および Table 9 のようである。

全体としてみると、大きい材積で小さい生長率をもつ傾向がみられるが、林齢がたかくなると、その傾向がはっきりしなくなる。

材積と生長率との順位相関係数は材積と生長量の場合にくらべてかなり小さい。しかし、林齢が

すすむにつれ増加し、はじめ負の値を示していたものが、やがて正の値に変わっていく。このことは、はじめ大きい材積で小さい生長率をもつ傾向のものが、林齢がすすむにつれ、大きい材積のもので大きい生長率をもつ傾向に変わっていく可能性を示している。ただし、大きい材積で大きい生長率をもつことは老齢林まで続くという意味ではない。

IV 考 察

一般に、生育がすすみ相対密度が高まっていくにつれ林木の直径、幹重量の分布はL型に、樹高はJ型または正規型になりやすいという⁴⁾。只木等^{5,6)}は、スギ苗およびアカマツ苗の幹重量は時間的経過とともにL型になると報告している。

砂丘地に植栽されている20年生クロマツ林の場合、林齢がすすむにつれ幹材積の度数分布はL型化が顕著になっていく。

L型分布の林分では自己間引率が高いとしても、正規型分布の林分のように風雪等により一斉に倒れることは少なく、群落として安定しているとされている¹⁰⁾。

こうした点で、砂丘地のクロマツ林におけるL型分化は安定度の面から好ましいと云えよう。

一般に、苗木または生育初期段階では、大きさにそれほど差がなく、大きさの順位も明白でないが、生育がすすむにつれ内的、外的条件のちがいにより生長に差が生じ、順位もはっきりしてくる。

こうした順位は、一度決まると逆転しにくいものか、あるいは常に大幅な変動がおこっているものかについて知ることは間伐等の保育を行い、施業目的に合った林分構造を維持していくうえからも必要なことである。

只木等⁷⁾は、スギ苗、アカマツ苗の苗長およびスギ苗の直径の順位変動量は生育がすすむにつれて減少するとしている。

高田⁸⁾は、西ドイツのトウヒの直径の順位の変化は初期で大で、漸次安定していくと述べている。

これまで、直径や苗長の順位変動量についての報告は若干みられるが、成林した林分での幹材積の順位変動や、その仕組みにふれたものはほとんどみられない。

砂丘地におけるクロマツ林の場合、幹材積の順位変動は、林齢がすすむにつれ明らかに減少していく。生育がすすむにつれ、何故順位の変動は少なくなり、度数分布はL型化していくものであろうか。

度数分布や順位の変動は、構成している個体間の大きさの変化と密接に関係している。

クロマツ林の生長量の順位の変動は大きくなく、大きい生長量をもつものは、次も大きい生長量をもつ傾向がある。また、材積と、その生長量との関係をもみても、大きい材積のもので大きい生長量をもつ傾向がつよい。

これらのことは、生育がすすむにつれて大きい個体と小さい個体との差が益々大きくなっていき、順位の変動がおこりにくくなっていくことを示している。

一般に、生長が複利的に増加していく場合は、個体間の差も複利的に大きくなっていく。このよ

うな場合、度数分布ははじめ正規型分布していたものが、時間とともに対数正規型（L型分布）になりやすい。

砂丘地のクロマツ林の幹材積は、林齢とともに指数関数的に増加していく。さらに、生長率が正規分布していくことや大きい材積で大きい生長量をもつ傾向のあることなどが関連し、幹材積のL型化がもたらされているものとする。

植物の生長において、生長率の意義が大きく、度数分布や順位の変化にも密接な関係をもっている。

砂丘地のクロマツ林における幹材積の生長率は、材積や生長率の場合と大きく異なり、林齢とともに急速に値が減少し、度数分布はL型から正規型へ変っていく。

一般に、生長率の度数分布は正規型を示すのが普通とされているが、クロマツ林の場合は初期でシャープなL型分布を示し、正規型化するのは10年以上たってからである。

材積と生長率の順位相関は、材積と生長量のそれにくらべてかなり小さい。

初期の段階では、大きい材積のものほど小さい生長率をもつ傾向、すなわち、一種の助け合い¹⁾がみられる。しかし、この場合でも生長量は大きい材積で大きい傾向があり、順位の逆転はそれほど活発とは思われない。

これが林齢がすすむにつれ大きい材積で大きい生長率をもつ傾向、すなわち、せり合い¹⁾に変っていくものとみられ、益々大きい個体と小さい個体との差が大きくなっていくものと考えられる。

砂丘地に植栽されたクロマツ林は、種内競争のおこらないはじめの段階では、小さい個体のもので大きい生長率をもつ傾向のあることから、ごく初期の段階では順位の逆転が比較的多く行われたと考えられるが、生育がすすみ林分の閉鎖がはじまり、種内競争がおこってくると、多量の同化器官（葉）を獲得したものが大きな生長量をもつようになり、大きな生長率をもつことになるものとする。反対に少ない同化器官しか獲得できないものは受光量が少なく、生長量が少なくなり、被圧され、やがて枯死に至るものであろう。

Koyama et al³⁾は、植物個体重の度数分布の時間的変化を説明するため、生長は指数式に従うものと仮定し、初期重と生長率の組合わせから、いくつかの生長モデルを考えた。砂丘地のクロマツ林の場合、林齢がすすんでくると生長率の分布が正規型になり、大きい材積で大きい生長率をもつ可能性のみられることから、その生長モデルはN—N correspondent 型（初期重および生長率が正規分布し、大きい個体で大きい生長率をもつ）と類似した面をもっている。しかし、クロマツ林の場合、初期の段階で生長率がL型分布していることや大きい材積で小さい生長率をもつ傾向のあることなどから、N—N correspondent 型では説明できないものがある。

山岸⁹⁾は魚において、初期で最も大きい個体で最も小さい生長率をもち、それ以後は各個体の生長率は不変とする reversed N—N correspondent 型を示した。これは生育の途中で、順位が完全に逆転し、それ以後は、N—N correspondent 型に従うというものである。クロマツ林の場合、はじめ大きい材積のもので小さい生長率をもつものが、林齢がすすむにつれ大きい材積のもので大きい生

長率をもつように変る可能性のあることから、この reversed N—N correspondent 型により近い面をもっている。

しかし、この場合でも、生長率がはじめ L 型分布であること、生長率が不変とはならないこと、生育の途中で順位が完全に逆転するとは考えにくいことなど適合しない面をもっている。

従って、砂丘地のクロマツ林に関しては新しい生長モデルを考えていく必要がある。すなわち、初期材積は正規型分布でやがて L 型分布へ、初期生長率は L 型分布でやがて正規型分布へ、初期に大きい材積で小さい生長率をもつものが、やがて大きい生長率をもつようになる（ただし、老齢までという意味ではない）reversed N—L correspondent 型といった新しい生長モデルを考えていかなければならない。

V 要 約

砂丘地に植栽されている 20 年生クロマツ林の幹の材積、生長量、生長率の度数分布および順位の変動について調べた。

林齢がたかまわっていくにつれ、材積は指数関数的に増大し、度数分布は L 型化し、順位の変動は少なくなっていく。生長量の場合も材積の場合と類似した傾向を示す。生長率は林齢とともに急速に減少し、度数分布は L 型から正規型へ変っていく。生長量と材積との順位相関は高い。材積と生長率との順位相関は、はじめ負の値を示しているが、やがて正の値へ変っていく。

砂丘地のクロマツ林は、林齢がすすむにつれ、大きい材積で大きい生長量をもつ傾向がつよくなり、大きい個体と小さい個体との差が益々大きくなり、順位の逆転がおこりにくくなっていく。これは、材積の生長が指数関数的であることや生長率が正規型分布化していくことも関係し、材積の L 型分布化をもたらし要因となっているものと考えられる。砂丘地のクロマツ林の場合、材積は正規型分布から L 型分布へ、生長率は L 型分布から正規型分布へ、大きい材積で小さい生長率をもつものが大きい生長率へ、変化していく新しい生長モデル (reversed N—L correspondent 型) を考えなければならぬ。

文 献

- 1) 穂積和夫：植物の相互作用。共立出版 東京 (1977)
- 2) 岸根卓郎：理論・応用 統計学。養賢堂 東京 (1968)
- 3) Koyama, H. and Kira, T. : Intraspecific Competition among Higher Plant VII Frequency Distribution of Individual Plant Weight as Affected by the Interaction between Plants. J. Inst. Polytech. Osaka City Univ. Sec. D. 7 pp. 73~94 (1956)
- 4) 四手井網英編：アカマツ林の造成。地球出版 東京 (1963)
- 5) 只木良也：・四手川網英：林木の競争に関する研究 (II) スギ苗で仕立てた模型林分での間伐試験。日林誌 41 pp. 341~349 (1959)

- 6) 只木良也・四手井網英：林木の競争に関する研究 (III) アカマツ幼樹を用いた小型林分での機械的な間伐試験. 日林誌 44 pp. 129~139 (1962)
- 7) 只木良也・四手井網英：林木の競争に関する研究 (IV) 生長にともなう林分内の個体順位の変動. 日林誌 44 pp. 203~212 (1962)
- 8) 高田和彦：西ドイツのトウヒ林における胸高直径の大きさの順位の変化について. 日林誌 62 pp. 311~314 (1980)
- 9) 山岸宏：成長の生物学. 講談社 東京 (1977)
- 10) 依田恭二：森林の生態学. 築地書店 東京 (1971)