生長要因の性質についての一考察*

徳　岡　正　三

MASAZO TOKUOKA : A study on the property of growth factor

要旨：生長要因をつぎの3つの性質をもつものとして考えた。つまり生長にとってぜひとも必要なものがあるということ（基質性），与えられる空間量のちがい（空間性），生長のための時間（指数要因）である。ここではとくに基質量（土壌容積）を一定にして，空間（植えつけ密度，土の深さ）の与えかたをかえた場合の重量および直径・樹高生長から，生長要因のもつ空間性について検討した。

個体あたりの占有する土壌容積を 7000 cm^3 と一定にして，15 cm（深さ）—22本/m^2（密度），30—43，50—71，70—100 の4段階の処理とした。

1年目の重量生長は密な（深い）区ほど平均個体重（w）は小さく，これまでの密度効果試験を再現するものであった。しかし2年目では純同化量は密な区ほど急勾配でふえており，時間の制限のない場合には処理間の差のちぢまることが予想された。平均地際直径（$\overline{D}$），平均樹高（$\overline{H}$）の生長は1年目ではいずれも密な区ほど少ない生長量であった。2年目でも$\overline{D}$はこの傾向がひきつづいてあらわれるが，$\overline{H}$は1年目の傾向が逆転して密な区ほど高い生長量がしめされた。このことから，$\overline{D}$—$\overline{H}$関係は2年目の生長のすすんだ段階では両対数図上でマイナスの勾配をもつ直線性がしめされた。このように生長要因の空間性は基質量を一定にしたときにあらわれ，植えつけ密度が直径方向の生長に，土の深さが樹高方向の生長に影響をおよぼすことでしめされた。

I．緒　言

生長要因と生長に関する研究は草本植物を用いて近年，急速に進められてきた。とくに吉良[5),6),7),8)]，篠崎[9)]らにより植物群落と植えつけ密度の解析から植物生長のロジスチック理論がくみたてられ，生長要因の物質生産におよぼす影響を定量的に解析できることが証明された。さらにこの理論から生長要因の線型性や逆数性などの性質があきらかにされ，またはじめて，生長に必要な時間が指数要因としてとらえられた。林木に関しては扇田[13)]，佐藤[10)]，坂口[11)]，四手井[12)]らの密度と材木の生長について多くの研究があり，個体の胸高直径，胸高断面積，幹材積が密度の影響をうけ，低密度ほどのびのび促進されることが数々の密度試験，間伐試験に広く認められた。しかし密度の樹高生長におよぼす影響については，影響しないとする報告や，低密度ほど促進されるという報告，あるいは反対に高密度ほど促進されるという報告などがあり[3),4),14),15),17),18),19),20),21)]，明確な結論はえられていない。

生長要因は，生長にとってぜひとも必要なものがあるという性質—基質性，その基質量の分配をきめる植物の密度—空間性，生長のための時間—指数要因の3つの性質をもち，それらが総合して植物の生長にはたらきかけていると考えられる。これら3つの性質は生長に必然的にともなうものであるが，それぞれは生長に対して異ったはたらきかけをしめすものである。したがって生長要因と生長に関する研究では，基質量，空間性，時間のそれぞれの影響のおよぼしかたについて考える必要がある。ところが，これまで報告された密度試験のほとんどはこのような3つの性質に対する考慮はなされていないようにみえる。これが樹高方向の生長に対する生長要因の影響のおよぼしかたについてまちまちな報告をえた原因であると考えられる。

ここでは，生長要因のこれら3つの性質に着目し，とくに基質量（個体あたりの土壌容積）を一定にして，空間（地上部の密度，地下部の土の深さ）の与えかたをかえた場合に，重量および直径・樹高生長にどのような影響がしめされるかを試験し，生長要因のもつ空間性について検討した。

研究を進めるにあたり，試験計画からとりまとめま

*概要は日本林学会第80回大会（昭和44年）およびＩＢＰ－ＰＴ－Ｆ中間報告（昭和43年）において発表した。
京都府立大学農学部造林学研究室
Laboratory of Silviculture, Faculty of Agriculture, Kyoto Prefectural University, Kyoto, Japan.
昭和45年7月31日受理

で，巾広く，細部にわたりご助言をいただいた京都大学農学部の荻野和彦講師，四手井綱英教授に厚く感謝の意を表する。

II．実験の計画

実験の処理は表1にしめすように，苗木個体あたりの土壌容積を 7000 cm^3 と一定にして，土の深さを4段階にかえた（そうすると必然的に密度もかわる）。占有土壌容積を 7000 cm^3 としたのは根の伸長できる限界がほぼ 70 cm であろうと予想したこと，および地上部密度が 100本/m^2 のときもっとも密となるところからである。

Table 1　Treatment of experiment

Treatment	Depth of soil (cm)	Mean occupied area per cutting (cm^2)	Mean soil volume per cutting (cm^3)	Density of cutting (No./m^2)	Mesured No. of cuttings
A	15	466	7000	22	15
B	30	233	7000	43	15
C	50	140	7000	71	14
D	70	100	7000	100	18

実験の材料としては均質性を高める意味からサシキスギ苗を用い，直接，処理区にサシツケた。サシホの条件は表2のとおりである。用いた土壌はサシホの発根を促進させる意味から，きわめて養分のとぼしい秩父古生層砂岩を母材とする褐色森林土 (B_B～B_C) のC層からとった。

実験はガラス室内で，1967年4月に表2の条件をみたすサシホを，A，B区では測定用15本，周辺効果を除くためのもの20本，C区ではそれぞれ14本と25本，D区ではそれぞれ18本と26本を，おのおの4回のくりかえしで合計 612 本をサシツケた。サシツケの深さはそれぞれ 10cm である。

Table 2　Condition of scion (*Cryptomeria japonica*)

Diameter of cut base (mm)	Length (cm)	Dry weight from top below 20 cm (g)	Dry weight from cut end above 10 cm (g)
6.5±0.5	30	11.1	2.3

測定は発根の認められた1967年6月 (t_1) からはじめ，1968年11月 (t_{18}) まで，ほぼ1カ月ごとに地際直径(D)，樹高(H)をはかり，また4～5カ月の間隔で4回の掘取り測定を行った。掘取り測定では，新生根（まったく新しくでた根 W_{RN})，地下主軸（サシツケ時にうめこまれた部分 W_{RO})，新主軸(W_{SN})，旧主軸 (W_{SO})，新葉 (W_{LN}) および旧葉 (W_{LO}) の6部分に切り分けて，熱風乾燥器に入れ，90°C で約40時間乾燥を行い，それぞれの乾重量をもとめた。ただし，第3回目および第4回目の掘取りでは新主軸を当年主軸（1968年4月以降にでたもの W_{SN_1}）と，2年主軸（1967年のサシツケ後にでて2年目になるもの W_{SN_2}）に，同様にして，新葉を当年葉（1968年4月以降にでたもの W_{LN_1}）と2年葉（サシツケ後にでて2年目になるもの W_{LN_2}）に分け，合計8部分に切り離して乾重量を測定した。

なお，一見して，活着していない苗や，枯死しそうな苗は5月中旬までに植えかえた。第1回目の掘取り時で調べると，すべての苗で発根しているのが認められた。以後，未発根のまま生長している苗はみあたらなかった。

III．結果および考察

1．重量生長

図1は，サシツケ後ちょうど1年たったとき (t_{10}) の掘取りの結果で，処理ごとの平均個体重 (w) をしめしている。両対数図で縦軸に重さ（g），横軸は処理ごとの m^2 あたりの本数(ρ)である（O：旧部分，N：新部分，Total：O+N）。図1では，w は密な区ほど低い値をとっている。このことは，これまでの密度効果試験を再現するもので，とくにその効果は新しくでる部分によりはっきりと現われている。図にはしめしていないが，同じ t_{10} の W_R，W_L，W_S などの各部分についても，同様の傾向がみとめられている。図2は，サシツケ後2年たったとき (t_{18}) の処理ごとの w をしめしている。A区とB区がほぼ等しい値となっているが，t_{10} の場合と同様，密な区ほど生長量が少ない傾向はみられる。しかし，図3，図4の w_L，w_S

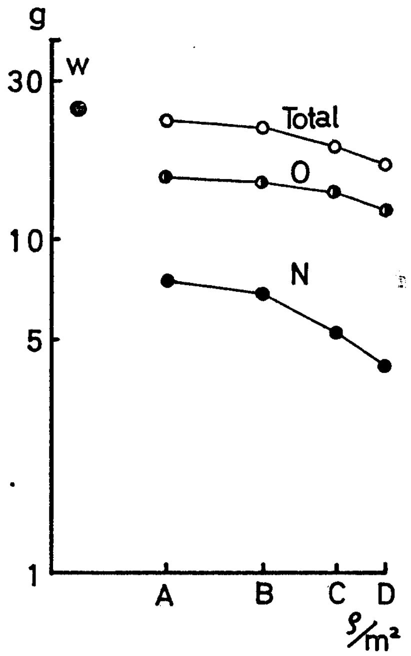

Fig. 1 C-D effect on mean dry weight per cutting t-10
O : old tissue N : new tissue
Total : O+N

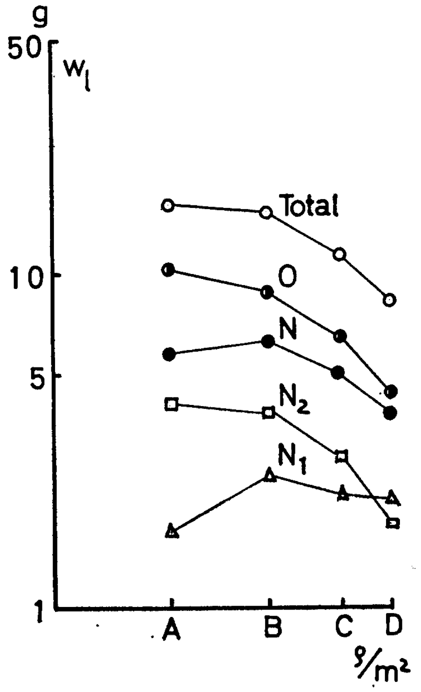

Fig. 3 C-D effect on cutting components(wl) in dry weight t-18
N1 : new tissue after one year
N2 : new tissue after two years
N : N_1+N_2

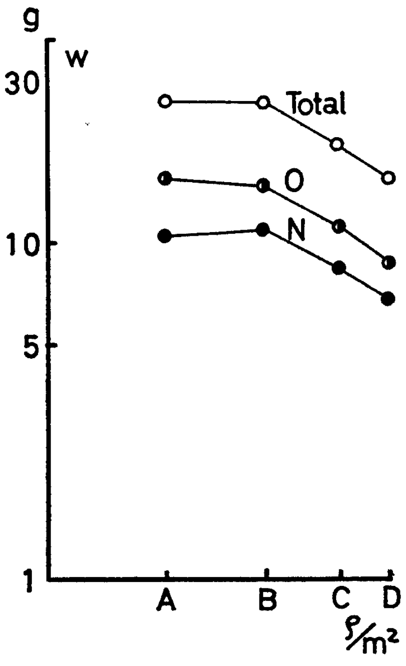

Fig. 2 C-D effect on mean dry weight per cutting t-18

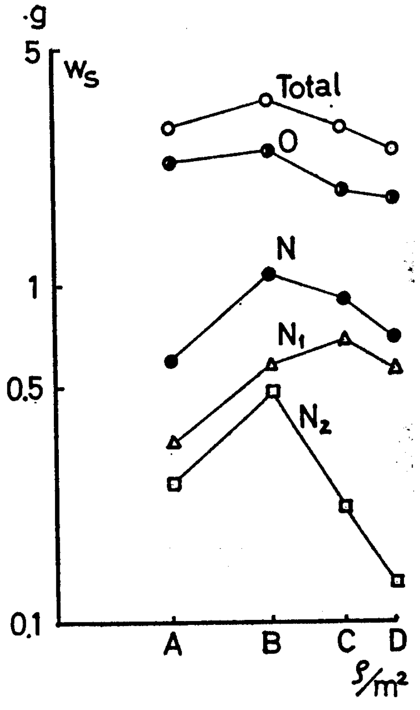

Fig. 4 C-D effect on cutting components(ws) in dry weight t-18

にみられるように，2年目にでる新しい部分（いずれも N_1）では密な区で多い生長量をしめしている。

これらの結果から，t_{10} と t_{18} を比較してみた。1年目の測定結果にしめされた傾向は密な区ほど平均個体重が小さくなるということであった。これは実験がジカザシから出発しており，当初は深さの効果はほとんどないと思われるので，密度のちがいが生長に影響をおよぼしたものと考えられる。つまり，疎なほど発根およびその後の根の生長がよかったことをしめすものであり，また後にのべる樹高生長はこの時点でA区が一番よく，これが ws の増加に関与したことは明らかである。2年目にはいってA区の生長がふるわず，密な区での生長がさかんとなるのは，1年目の生長が密度効果試験の結果を再現したものであったのに対して，2年目では根系の発達とともに土の深さの利用が進められ，その効果が密な区での生長にあらわれはじめていることが考えられる。とくにB区で生長がよかったのは，適正な深さ（有効土壌深さのようなもの）で根の働きが充分であったことと，密度が同様にほどよいものであり，個体間のさまたげあいがC，D区よりも少なかったことが考えられる。また2年目に新しく生産された部分である W_{SN_1}，W_{LN_1} は密な区で高い傾向にあり，A区は低い値にとどまっている。これは2年目での樹高生長量が密な区で高くなったことが，W_{SN_1}，W_{LN_1} の増加にはたらいているものであろう。t_{18} でA，Bでの生長が深さを充分に利用した結果での出現量とすれば，樹高方向ののびが密な区ほどよいことから，今後，密な区で深さの利用が充分におこなわれるときには，C，D区の生長のおいあげが予想され，処理による重量生長のちがいがなくなることも考えられる。図にはしめしていないが，純同化量，総同化量はいずれも2年目に密な区ほど急な勾配で増加しており，処理間の差はきわめて小さいものになっている。このことは密な区での生長のおいあげをうらづけるものであり，今後ますます処理間の差のちぢまることが予想される。

2．直径および樹高生長

図5は両対数図で，縦軸に平均地際直径（$\overline{D}$）および平均樹高（$\overline{H}$），横軸に処理の m^2 あたりの本数をとって，$\overline{D}$，$\overline{H}$ の生長への処理の影響を時間を追ってみたものである。$\overline{D}$ では，全期間を通じて，土の深い区ほど生長量の少ない傾向がみられる。$\overline{H}$ では，t_{12} までをみると $\overline{D}$ とおなじく深い区ほど小さくなっているが，t_{13} からはこの傾向が逆転して，深い区ほど高い生長量がしめされている。重量生長のところでのべたように，1年目の生長が密度の影響によると考えられること，さらに $\overline{D}$ について，2年目でも同じ傾向のみられることは，ひきつづき密度の影響をうけた結果によると考えられる。$\overline{H}$ の生長におよぼす影響も，1年目は $\overline{D}$ と同様，密度のちがいによると思われるが，それ以後の逆転については，2年目以後深さの利用が進み，深い区での生長がしだいにさかんとなり，それが樹高生長にはたらきかけた結果であると考えられる。

図6は縦軸に $\overline{H}$，横軸に $\overline{D}$ をとり，時間を追って処理区の $\overline{D}$—$\overline{H}$ 関係をみたものである。t_1〜t_4 の間は処理による分離はなく，t_5 から浅い区ほど大きい $\overline{D}$，$\overline{H}$ をあらわしてきている。以後 t_{12} までは，プラスの勾配をもつ直線性がしめされる。このことから，土壌条件が同一である場合には，個体密度の低いほど $\overline{D}$，$\overline{H}$ ともに生長量が大きいと考えられる。t_{13} からはこの傾向がくずれて，$\overline{D}$—$\overline{H}$ 関係はバラツイてくるが，深い区での樹高ののびがいちじるしく，t_{18} ではこれまでとは反対に，マイナスの勾配をもつ直線性があらわれてくる。時間の制限がなく，実験がさらに続けられていたとすると，深い区ではひき続いて深さの利用が進み，それが樹高生長を促進して，よりはっきりとしたマイナスの勾配をもつ直線性がしめされるであろう

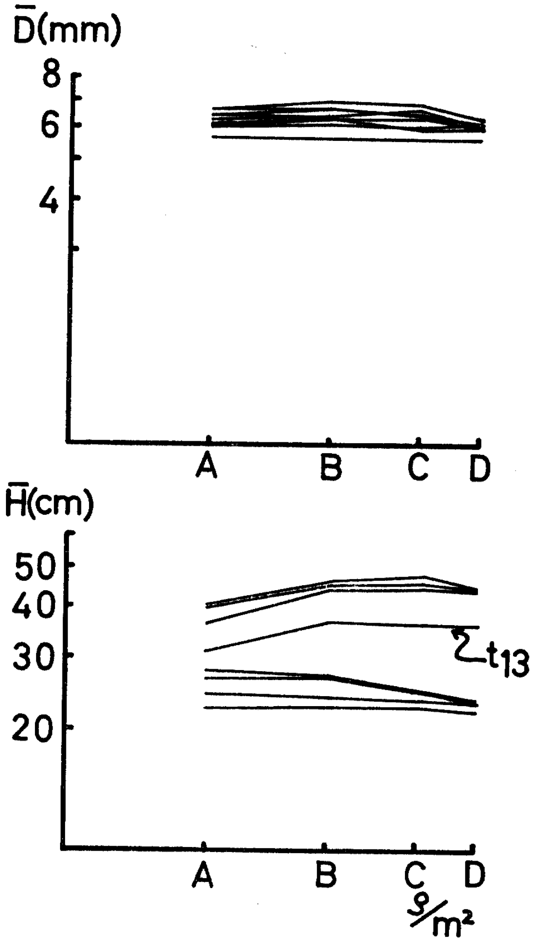

Fig. 5　C-D effect on $\overline{D}$ and $\overline{H}$ measured per month

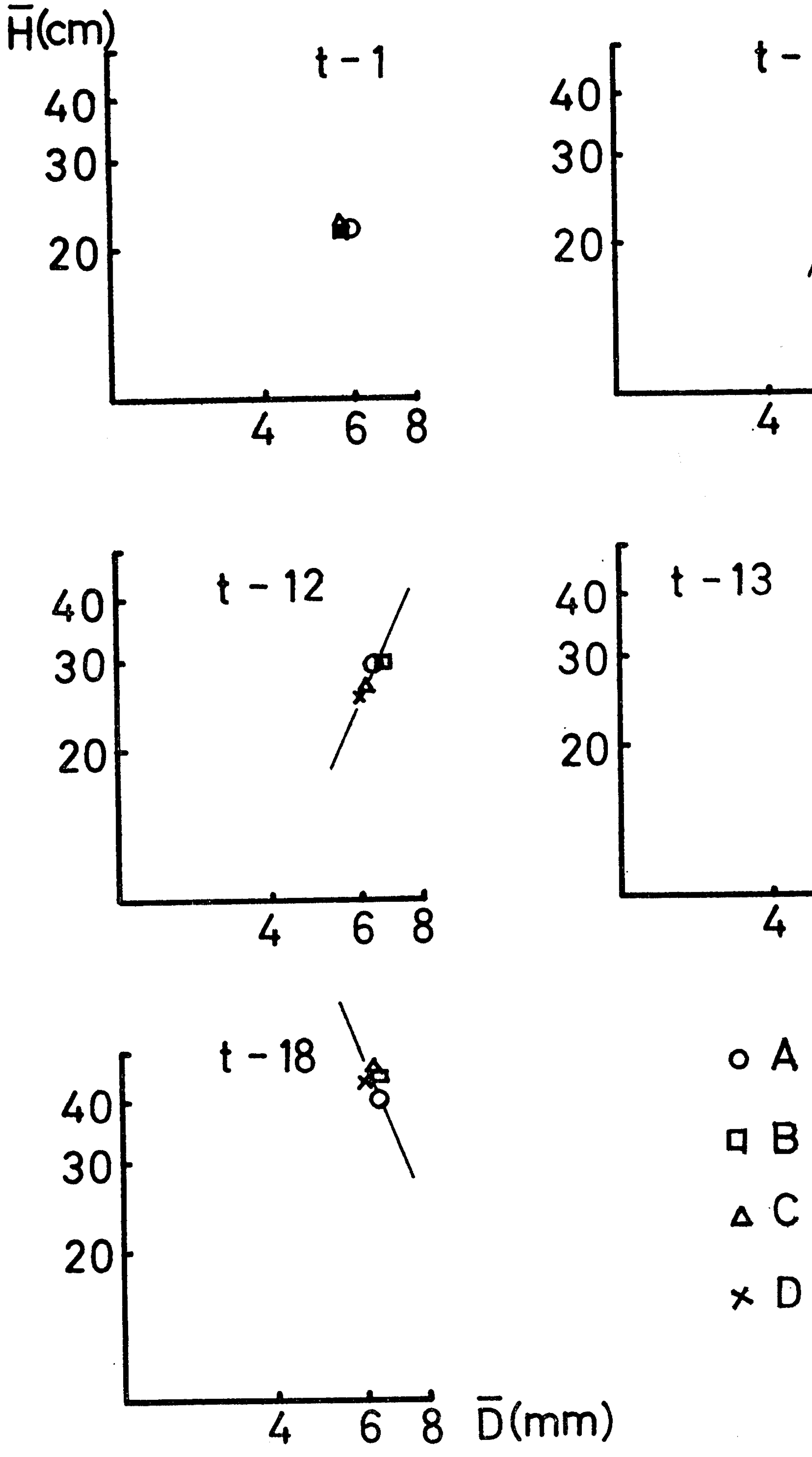

Fig. 6 Change of $\overline{D}$-$\overline{H}$ relation

	f_1	f_2	f_3	f_4
ρ_1	○ 1515 cm³	△ 2424	□ 4545	▽ 9091
	10.3 g	15.0	17.1	27.3
ρ_2	● 667	▲ 1067	■ 2000	▼ 4000
	4.8	7.0	12.2	15.7
ρ_3	⦶ 347	▲ 556	⊞ 1042	▼ 2083
	2.6	4.9	8.0	10.9

Table 3　Data from NAGAO and AOYAMA (unpublished, 1966, 67)
f : depth　ρ : density
upper column shows mean soil volume per seedling (*Cryptomeria japonica*), lower column shows mean weight per seedling

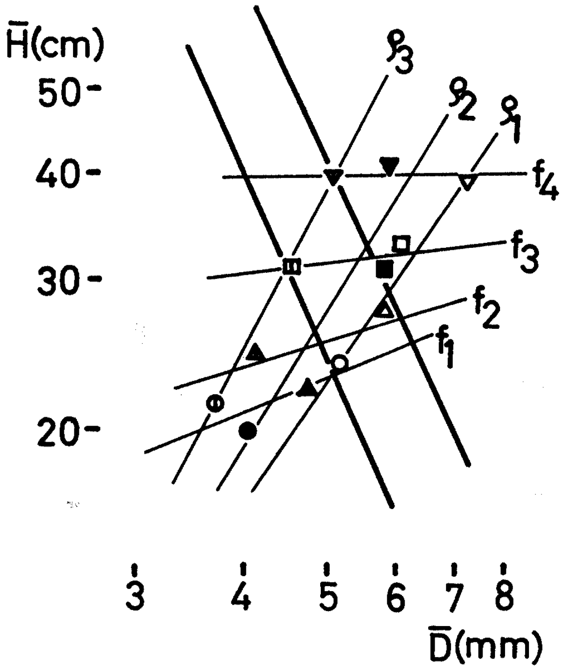

Fig. 7　$\bar{D}$-$\bar{H}$ relation from experiments of NAGAO and AOYAMA
one thick line is drawn among $\rho_1 f_1$, $\rho_2 f_2$ and $\rho_3 f_3$ (Table 3), another thick line is drawn among $\rho_3 f_4$, $\rho_2 f_3$ and $\rho_1 f_2$

と予想される。つまり，個体あたりの土壌容積を一定にして，土の深さを真に地下部の空間としてとらえ，しかもその深さを充分に利用しえたときには，地上部の空間（密度）は直径方向にのみ影響をおよぼすものであり，土の深さが樹高方向に影響をおよぼすことが考えられる。

IV. 総　括

苗木個体あたりの占有する土壌容積を一定にして，深さをかえた実験において，地下部の空間のちがいが生長におよぼす影響をみることができた。つまりこのような実験処理条件のもとでは，土の深さ，密度のいかんにかかわらず，同一の重量生長の予想されること，また$\bar{D}-\bar{H}$が両対数図上でマイナスの勾配をもつ直線性をしめして，密度が直径方向に，土の深さが樹高方向の生長に，はたらきかけていることが知られた。

長尾[16]，青山[1]は表3にしめすように，密度を3段階，深さを4段階にかえて合計12の組合せを作り，深さ，密度の，直径・樹高方向への影響のおよぼしかたをみた。図7にしめされた$\bar{D}-\bar{H}$関係から，①密度，深さの樹高に対する影響は，深いほど，疎なほど樹高は大きくなり，時間が進むにつれてその影響度がいちじるしくなる。その影響のしかたは土壌が浅く，個体が小さいほど密度の影響が強くはたらき，密度が高く個体が小さいほど土壌の深さの影響は大きい。②密度，深さの直径に対する影響は深いほど，密度が低いほど直径が大きくなり，時間が進むにつれてその影響度がいちじるしくなる，などの結論をえている。この研究では土壌容積（基質量）が一定でなく，したがって空間性について①，②の結論しかえられなかった。①，②の傾向は本研究では1年目のサシツケ当年で深さの影響が考えられない場合に相当し，すべて植えつけ密度の高低によりあらわれたものである。

しかし，表3にしめすように，個体あたりの占有面積と深さにより計算した個体あたりの占有する土壌容積は，($\rho_1 f_3$ と$\rho_2 f_4$)，($\rho_1 f_1$と$\rho_2 f_2$および $\rho_3 f_3$)，($\rho_1 f_2$ と $\rho_2 f_3$ および $\rho_3 f_4$)，($\rho_2 f_1$ と $\rho_3 f_2$)ではほぼ同程度であった。図7で上の土壌容積一定の処理間を結ぶと，いずれもマイナスの勾配をもつ直線がえられる。このように土壌容積を一定にしてみなおすと，密度の直径方向，土の深さの樹高方向へのはたらきかけをよみとることができる。また，平均個体重をみると，上の処理間どうしはわずかの差をもっているが，いくらかの土壌容積のちがいを考えると同一とみてさしつかえないであろう。

以上より，生長要因の基質量を一定にして，空間のあたえかたをかえた場合に，生長要因のもつ空間性をみることができ，密度の樹高方向へのききかたについて，これまでまちまちな報告がなされていたことに対して一つの結論をえることができた。このように生長要因と生長との関係をみるためには，基質量，空間性，時間の3つの性質を分離して考えると，よりはっきり要因の生長へのはたらきかけについてみることができる。しかし，定性的な解析にとどまっており，つぎの段階として定量的な解析をすすめる必要がある。

V. 引用および参考文献

1) 青山　豪(1967)：未発表
2) 荻野和彦・徳岡正三・四手井綱英(1968)：日林講 **79**：112-113
3) 石崎厚美(1965)：林試研報**180**：1-303
4) 木梨謙吉(1959)：暖帯林 **14** (2)：24-29
5) 吉良竜夫・穂積和夫・小川房人・上野善和(1953)：園研集録 **6**：69—81
6) Kira, T., Ogawa, H. and N. Sakazaki (1953) : J. Inst. Polytech. Osaka City Univ. D **4** : 1-16
7) ——, —— and K. Hozumi (1954) : Ditto., D **5** : 1-17
8) ——, ——, H. Koyama, and K. Yoda (1956) : Ditto., D **7** : 1-14
9) 篠崎吉郎(1961)：植物生長の logistic 理論
10) 佐藤大七郎(1955)：東大演報 **48**：65-90
11) 坂口勝美・土井恭次・安藤貴・福田英比古(1957)：林試研報 **93**：1-21
12) 四手井綱英(1965)：林分密度の問題
13) 扇田 正二・中村賢太郎・高原 末基・佐藤大七郎(1952)：東大演報 **43**：49-57
14) 只木良也・上中作次郎・赤川吉秀(1966)：日林誌 **48**(1)：33-36
15) J. Sjolte-Jørgensen(1967)：International Review of Forestry Research **2**：43-88
16) 長尾和守(1966)：未発表
17) 蜂屋欣二(1962)：日林講 **73**：164-168
18) ——(1964)：日林講 **75**：340-342
19) 汰木達郎(1962)：九大演集報 **16**：145-154
20) ——(1963)：九大演集報 **18**：57-75
21) ——(1964)：九大演報 **37**：85-178

Summary

Growth factor has three properties, one is that it is essential to growth, another is spacing on the ground and underground, a third is time as exponential factor. This experiment were performed on the character of spacing.

Treatment of experiment is as follows; mean soil volume per plant is 7000 cm^3, and depth of soil is divied into four plots, namely, 15 cm (depth)-22 number of plant per m^2 (density), 30-43, 50-71 and 70-100 (see Table 1). Besides, cutting of *Cryptomoria japonica* is used as experimental material (see Table 2).

So-called density effect was appeared by growth after one year. After two years, however, density effect was appeared less than after one year, and it was presumed that weight growth may be the same among the treatments. After two years, on the other hand, mean diamter-mean height relation among four treatments had a straight line with minus gradient on the log. diagram (see Fig. 6).

The outline of the discussion about result is as follows; when the soil volume per plant is all the same, it is presumed that weight growth may be no difference among the treatments, and diameter growth may be influenced by the density of planting, while height growth may be influenced by the depth of soil.