

林木稚苗の生育に及ぼす密度と施肥量の影響

柴田 信 男 ・ 上 中 幸 治

Nobuo SHIBATA and Koji UENAKA

Influences of Density and Amount of Fertilizer upon the Growth of Young Seedlings of Forest Trees

目 次

I. 緒 言	127	1. 実験方法の概要	144
II. スギに対する実験	128	2. 実験結果の概要	145
1. 実験方法	128	1) 密度と施肥量と生長状態との関係	145
2. 実験結果	130	2) 密度と施肥量と生産苗木の重量との関係	145
1) 密度と施肥量が個体の大きさに及ぼす影響	130	3. 結 び	146
2) 密度と施肥量が苗木の大きさ別本数分配に及ぼす影響	132	V. スラッシュマツに対する実験	146
3) 密度と施肥量と所産苗木の重量との関係	135	1. 実験方法の概要	146
4) 密度並に施肥量が苗木の部分的構成にどう影響するか	136	2. 実験結果の概要	147
5) 苗木の樹冠占有状態について	139	1) 密度とスラッシュマツの生長との関係	147
6) 葉の化学的組成について	140	2) 密度と生産苗木の重量との関係	147
3. 考 察	140	3) 樹冠投影面積について	148
III. ヒノキに対する実験	141	3. 結 び	148
1. 実験方法の概要	141	VI. モリシマアカシアに対する実験	148
2. 実験結果の概要	142	1. 実験方法	148
1) 密度と施肥量と苗木の大きさとの関係	142	2. 実験結果	149
2) 密度並に施肥量と苗木の重量生産との関係	143	1) 密度と施肥量と所産苗木の大きさとの関係	149
3. 結 論	144	2) 密度と施肥量と樹冠投影面積との関係	151
IV. クロマツに対する実験	144	3. 結 び	152
		VII. 総括・論議	152
		Résumé	156

I 緒 言

生産力の増強と労働生産性向上の問題は今にはじまったことではないが、特に最近の木材事情から緊急問題として注目され、殊に林業では収穫期の短縮と地力の培養に対して重大な関心が持たれるに至っている。この秋にあたり扇田、坂口、佐藤等による林分の生産構造の研究、四手井により体系づ

- 1) 扇田正二・中村賢太郎・高原末基・佐藤大七郎：(1952) 林分の生産構造の研究 アカマツ植栽密度試験地における若干の解析 東大演報 43
- 2) 坂口勝美・土井恭次・安藤貴：(1954) 立木密度から見たアカマツ幼令林の生産構造 (アカマツに関する研究論文集)
- 3) 佐藤大七郎，外数名：(1955, 1956, 1958) 林分生長論資料 2, 3, 4 東大演報 48, 52, 54
- 4) 四手井綱英：(1956) 林分密度の問題 林業解説シリーズ 86
- 5) 坂口勝美・土井恭次・安藤貴・福田英比吉：(1957) 本数密度から見たアカマツ天然生幼令林分の解析 林試報 93

けられた密度効果（C—D効果）の法則はこの問題の解決に対して重要な基礎的資料として実際の林業に適用されるようになり、それが動機となって小滝¹⁾による密植造林の提案を見るに至るまでに発展した。

四手井は信州カラマツの例をひいて、林分生産量を最大に保つためには林内の個体がさかんに競争しているような密林分に維持した方がよいことを明らかにしているが、また過密になると競争に負けたものから自然枯死をおこし、本数が減少するので、林分生産量の増加にもおのずから限度がある。なおその限度は樹種や環境によりちがいが、湿度に恵まれた土壌のよい個所では過密な林分が出来るであろうとのべられている²⁾。ところで密度効果や自己間引きは個体間の競争に基因するものであるが、競争は光線（空間）ばかりでなく土壌水分並に養分の間にも起り得るのであるから、水分並に養分の競争を緩和することによって、また環境因子の補完性の原理により、空間の競争をも緩和し、林分密度を若干高め、かつ生産量を増大させうる可能性が考えられるようである。勿論その場合においても密度効果の法則は厳然たるものであることは認めているのであるが、実用上の見地から生産力向上可能性の範囲が高められることを裏づけることは肝要である。

収穫表によれば、地位の優れた所は劣る所よりも各林令における蓄積、平均生長量並に胸高直径が大きく、かつ平均生長量最多を示す林令が若いのである。この事実は地位の向上により生産力の増強と収穫期の短縮の可能性を示すものである。ただし地位とはいろいろの環境因子の総合されたものであるが、土壌養分の状態はその因子のうちで重要な役割をもつことが多い。以上の見解において密度と施肥量との組合せにより、どの程度まで生産力を高め得るか、またそれが生産物の形質にどう影響するかを確かめるために、苗畑における模型林分を作り二、三の観察を行った次第である。本研究はこれを林地へ適用することを目的としたものであって、併行して林地においても密度試験を実施している次第である。ただし本実験の結果は、同時に育苗上にも適用しうるものがある。

実験は1960年より1962年にかけてスギ・ヒノキ・クロマツ・スラッシュマツ・モリシマアカシアなどについて行った。

本研究にあたり小倉政市、大橋照夫両氏に援助を得、また財団法人生産開発科学研究所から研究費の一部を援助されたので、謹で謝意を表す。

II スギに対する実験

1. 実験方法

1960年より1962年にわたって3回実験した。各年度別の実験計画は第1表(a), (b), (c)に示した。

実験した苗畑の土壌は林地土壌を客土としたもので、有機物に乏しく3要素率は、N : 0.1%以下、 P_2O_5 : 0.04%, K_2O : 0.4%内外のやせ地である。

3要素適量試験^{*}によれば、スギ1回床替に対しては、 m^2 当り N : 30 g, P_2O_5 : 25 g, K_2O : 16 g が適量であることが判明しているので実験計画のB区は適量に当り、C区はその2倍、D区は3倍を、またA区は適量の $\frac{1}{2}$ 量に該当することになる。床替密度は5階段にわけて m^2 当り、16本区、36本区、49本区、64本区及び100本区とした。スギの1回床替の場合には m^2 当り普通苗畑では49本が標準とされているから、本実験の3区が標準の密度で、1—2区は疎植、4、5区は密植ということになる。各区は3回繰返しとし、ほぼラテン方格式に配列したのである。

1961年度の実験計画は第1表(b)のようである。

1) 小滝武夫：(1962) 密植造林

2) 四手井：(1956) 前掲

* 未公表 白浜試験地で3ヶ年連続に試験した。

第1表 (a) スギに対する試験設計 (1) 1960年
Table 1. (a) Experimental plan for Sugi in 1960.

試験区		A			B			C			D		
施肥量	M_1 (g/m ²)*	100			200			400			600		
尿素		13.1			26.2			52.4			78.6		
3要素施肥量	(g/m ²)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
		15	13	8	30	26	16	60	52	32	90	78	48
床替密度 (本/m ²)	1	16			16			16			16		
	2	36			36			36			36		
	3	49			49			49			49		
	4	64			64			64			64		
	5	100			100			100			100		

* 実験に用いた肥料は柴田の試案により作成した肥料 M_1 である。この肥料は尿素、蛇紋岩過磷酸石灰、塩化加里よりなるものである。1) 2)

第1表 (b) スギに対する試験設計 (2) 1961年
Table 1. (b) Experimental plan for Sugi in 1961.

試験区		A			B			C			D			E		
施肥量	(g/m ²)**	100			200			400			600			0		
3要素別施肥量	(g/m ²)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
		15	13	12	30	26	24	60	52	48	90	78	72	0	0	0

** 実験に使用した肥料は神島化学工業の燐安尿素系肥料で、3要素含有率は、15 : 13 : 12である。

この試験においてもB区が標準施肥量で、A区は $\frac{1}{2}$ 量区に当りまた、C区は2倍量区、D区は3倍量区である。

A~Eの各床替密度は4階級に区別した。m²当り第1区は16本、第2区は36本、第3区は64本、第4区は100本である。各区3回繰返しとした。

1962年度実施の試験設計は第1表(c)のようである。

第1表 (c) スギに対する施肥設計 (3) 1962年
Table 1. (c) Experimental plan for Sugi in 1962.

試験区		A			B			C			D		
施肥量	(g/m ² ***)	0			100			200			300		
3要素施肥量	(g/m ²)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
		0	0	0	15	13	12	30	26	24	45	39	36
床替密度	(本/m ²)	A, B, C, D各区とも1区は25本、2区は49本、3区は100本である。											

*** 用いた肥料は神島化学の燐安尿素系肥料 15 : 13 : 12 の3要素配合比のものである。

各年度を通じて各区3回の繰返しとした。

- 1) 柴田信男・坂口道夫：(1959) 砂防造林達成への基礎的研究 第Ⅱ編 砂防植栽木の緑化促進用肥料に対する考察 p. 38
- 2) 柴田信男：(1962) 瘠悪地における林地肥培の効果 山林 No. 941 p. 15

除草並に赤枯病予防のための薬剤撒布は常法によった。生長調査は12月より2月までの間に、ま
ず各区の中央において16本づつ3区で48本を調査した。また掘取後生重量並に各区より5本づつ3
区で計15本を抽出し、切断して地上部(T)、地下部(R)を秤量しT/R比を計算した。

実験用苗は吟味して揃ったものを用いたのと、床替当時は小形であるので調査時の大きさを以て生長
状態を代表させた。

2. 実験結果

床替した苗のうち各区多少の枯損を生じ生育本数は第2表に示すようであるが、密度に大きなちが
いはないので、当初の試験設計による床替密度別、施肥量別に生育状況について考察をすすめること
にする。

第2表 床替密度(設計)と実際の生立ち本数(平均)(本/m²)
Table 2. Numbers of seedlings serviced per m².

年 度	1960				1961				1962				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	A	B	C	D
16	13	14	14	10	14	14	14	12	13	—	—	—	—
25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24	22	22	22
36	34	32	31	30	32	29	23	27	21	—	—	—	—
49	48	45	40	38	—	—	—	—	—	48	48	45	43
64	60	49	50	47	64	47	43	53	44	—	—	—	—
100	89	83	79	66	92	83	84	70	79	95	87	65	82

1) 密度と施肥量が個体の大きさに及ぼす影響

まず密度と施肥量が苗木の大きさにどんな結果をもたらしたかについて概要をのべることにしたい。
3回繰返し実験の平均値をもって苗木の生育状況を示すと第3表のようになる。

第3表(a) 床替密度と施肥量と苗木の生長との関係
Table 3. (a) Growth of the seedlings related to density and amount of fertilizer.

スギ 1960年度の成績

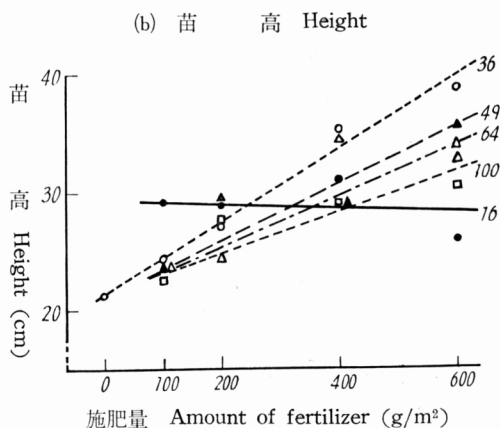
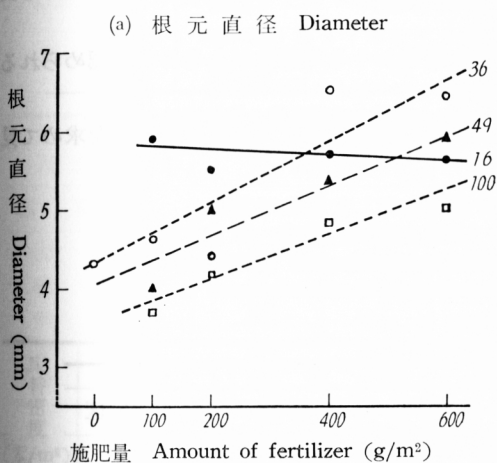
摘 要	床替密度 (本/m ²)	施 肥 量 別				
		G 無 肥 料 区	A $\frac{1}{2}$ 量 区	B 基 準 量 区	C 2 倍 量 区	D 3 倍 量 区
根 元 直 径 (mm)	16	—	5.9	5.5	5.7	5.6
	36	4.3	4.6	4.4	6.5	6.4
	49	—	4.0	5.0	5.4	5.9
	64	—	4.4	4.2	5.3	4.4
	100	—	3.7	4.2	4.8	5.0
苗 高 (cm)	16	—	29.3	29.0	31.0	26.0
	36	21.0	24.3	27.3	35.7	38.7
	49	—	24.3	29.7	29.0	36.0
	64	—	24.0	24.0	35.0	33.0
	100	—	23.3	28.3	29.0	31.3
枝 数 (本)	16	—	10.7	10.7	10.3	11.0
	36	8.5	8.3	9.3	12.3	13.3
	49	—	8.3	9.7	10.7	12.0
	64	—	7.7	9.3	12.0	10.0
	100	—	9.3	11.0	11.0	11.3
枝 巾 (cm)	16	—	33.4	30.3	30.3	30.0
	36	22.0	24.0	26.7	28.7	31.0
	49	—	22.7	23.7	24.3	27.0
	64	—	20.0	21.0	25.7	24.0
	100	—	19.3	21.0	20.7	22.0

第3表 (b) 床替密度と施肥量と苗木の生長との関係
 Table 3. (b) Growth of the seedlings related to density and amount of fertilizer.

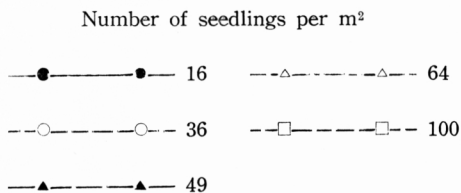
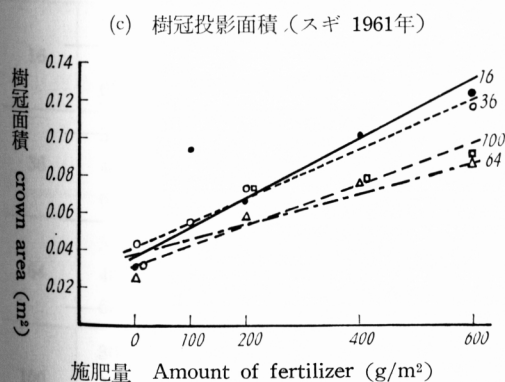
スギ 1962年度の成績

摘要	床替密度 (本/m ²)	施肥量別			
		A	B	C	D
		無肥料区	1/2量区	基準量区	1.5倍量区
根元直径 (mm)	25	3.8	4.6	4.7	5.3
	49	3.1	4.3	3.8	5.0
	100	3.2	4.2	4.1	4.1
苗高 (cm)	25	21.0	24.8	25.9	30.8
	49	16.7	24.4	23.2	27.0
	100	15.5	25.2	25.9	26.1
枝数 (本)	25	10.1	11.2	12.6	15.8
	49	8.4	10.9	11.8	12.9
	100	8.9	11.4	11.5	12.2
枝巾 (cm)	25	23.4	26.7	25.0	29.4
	49	18.9	23.7	22.7	25.6
	100	16.1	22.9	23.3	23.5

なお、第3表 (a) から密度と施肥量と直径並びに苗高の関係を図示すると第1図のようになるものと考えられる。多少例外があるが、大体の傾向を表わすものである。



Average crown area of one seedling (Sugi 1961)



第1図 密度と施肥量と直径・苗高並びに樹冠投影面積との関係模式図
 Fig. 1 Diameter, Height and crown area related to amount of fertilizer.

この実験結果から次のことが推論される。

以下実験結果から導かれる推論には、樹種別に整理しやすいようスギにはSを、ヒノキにはHを、クロマツにはMを、スラッシュマツにはPを、モリシマアカシアにはAを附して番号をつけることにする。

S(i) 如何なる施肥量においても密度が高いと個体の大きさは減少する傾向があるが、施肥量が少ない時には施肥量の多い場合以上に密度の影響が顕著である。施肥量が多過ぎて床替密度が少なすぎると却って生育障害を来たすようである。

S(ii) 密度の影響は各施肥量を通じて枝巾に最も共通的に顕著に現われるが、密度が著しく低い場合 (m^2 当り 16 本) 並に高密度 (100 本植) の場合には施肥量の影響が小さい。 m^2 当り 36 本以上 64 本において施肥量の増大は枝巾を著しく増すことが明らかに認められる。

S(iii) 施肥量増大の効果は直径、苗高、枝数、枝巾の各部に顕著に現われる。施肥量増加は各密度において生長をよくしており、特に苗高は密度の高い場合において、施肥の効果は顕著である。3 倍施しても密度が 36 本/ m^2 以上ならば肥料過量のための生長阻害の現象は認められない。

以上密度が個体の大きさに影響する現象は既に吉良、四手井その他により C—D 効果として法則づけられた所に外ならぬのである。

なお第 2 表に示したように密度と施肥量が高まると多少の枯損を生じ床替本数に対して残存本数がかなり少なくなっている。ただしこれは自己間引きの現象ではあるまいと思う。

S(iv) 標準施肥量で密度が 36 本または 49 本の場合に生産される平均の太さ、高さ、枝数をもつものを、施肥量を 2 倍にすれば 100 本植でも達成せられることになる。したがって施肥量を増せば、同大の苗木を単位面積当りから、より多数生産し得ることになる。ただし造林用苗木としての形質について更に検討を要するはいうまでもない。

以上のことから施肥量を増すことにより、密度の影響を緩和しうる可能性があることを認められる。

2) 密度と施肥量が苗木の大きさ別本数分配に及ぼす影響

なほこれらのことは苗の根元直径及び高さについて幾つかの階級に分けて本数分配割合を求めて見ると一層明らかにされるのである。

第 4 表は根元直径階別に、第 5 表は苗高階別に本数分配%を示したものである。

第 4 表 密度と施肥量と生産苗木の根元直径階別本数割合 (%) の関係
Table 4. Proportional % of seedlings classified by diameter related to density and amount of fertilizer.

スギ 1960 年の実験

床替密度 (本/ m^2)	直径階別 (mm)	A		B	C	D
		$\frac{1}{2}$	量 区	基 準 量 区	2 倍 量 区	3 倍 量 区
16	4 以下	36		53	45	57
	5 ~ 7	55		35	31	23
	8 以上	9		12	24	20
36	4 以下	83		75	31	15
	5 ~ 7	13		23	42	62
	8 以上	4		2	27	23
49	4 以下	96		65	62	40
	5 ~ 7	4		31	25	33
	8 以上	0		4	13	27
64	4 以下	86		85	54	53
	5 ~ 7	14		13	31	35
	8 以上	—		2	15	12
100	4 以下	96		92	75	69
	5 ~ 7	4		8	25	25
	8 以上	—		—	—	6

参考：無肥料区の直径階別本数割合は 36 本植区で 4 mm 階以下が 91% で 5 ~ 7 mm 階は 9% で、8 mm 階以上は皆無である。

第5表(a) 密度と施肥量と生産苗木の苗高階別本数割合(%)

Table 5. (a) Proportional % of seedlings classified by height related to density and amount of fertilizer.

スギ 1960年度 の 例

床替密度 (本/m ²)	苗高階 (cm)	A	B	C	D
		$\frac{1}{2}$ 量 区	基 準 量 区	2 倍 量 区	3 倍 量 区
16	30以下	65	60	67	66
	40~50	35	35	24	28
	60以上	0	5	9	6
36	30以下	84	71	48	21
	40~50	16	27	36	69
	60以上	0	2	16	10
49	30以下	98	67	67	39
	40~50	2	29	29	48
	60以上	0	4	4	23
64	30以下	90	90	48	61
	40~50	10	10	36	39
	60以上	0	0	16	0
100	30以下	92	71	63	54
	40~50	8	25	37	42
	60以上	0	4	0	4

参考：無肥料区の苗高階別本数割合は36本区で、30cm以下78%、40~50cm級22%で、60cm級以上のものはなかった。

第5表(b) 密度と施肥量と苗高との関係(苗高階別本数分配割合)(%)

Table 5. (b) Proportional % of seedlings classified by height related to density and amount of fertilizer.

スギ 1961年度 の 成 績

床替密度 (本/m ²)	苗高階別 (cm)	施 肥 量 別				
		E	A	B	C	D
		無 肥 料 区	$\frac{1}{2}$ 量 区	基 準 量 区	2 倍 量 区	3 倍 量 区
16	30以下	97	36	54	30	30
	40~50	3	60	46	59	63
	60以上	0	4	0	11	7
36	30以下	98	86	49	31	0
	40~50	2	14	51	69	94
	60以上	0	0	0	0	6
64	30以下	100	50	42	10	47
	40~50	0	50	58	86	53
	60以上	0	0	0	4	0
100	30以下		25	8	13	8
	40~50		75	92	85	92
	60以上		0	0	2	0

密度と苗木の直径との関係

S(v) 密度が増すに従って根元直径の細い苗木の割合が高くなり、太い苗の割合が低下する。この傾向は施肥量に関係なく様に認められる。ただし苗木の直径生長の低下に及ぼす密度の影響は施肥量の少ない場合に大きい。施肥量が多い場合には小さい。(第4表)

S(vi) 施肥量の多い所は施肥量の少ない場所に比べて細い苗木の割合が少なく、太いものの割合が大となる。ただし施肥量を2倍、3倍にしても m^2 当り64本以上の密度では、49本以下の密度で生産される最大の大きさのものを多数つくることは困難である。

密度と苗高との関係

S(vii) 施肥量が多い場合には、密度の樹高に及ぼす影響は比較的微弱であるが、施肥量が少ないと密度の影響は比較的大きくひびく。すなわち施肥量が少ないと苗高の低いものの割合が急に高くなる。(第5表)

S(viii) 施肥量が多くなる程苗高の高階級に属するものの割合が高くなる。

床替密度が m^2 当り64本以上となると施肥量増加の割合に苗木の伸長生長がよくなるようである。

次に施肥量の密度効果に及ぼす施肥量の影響を見るために最も密度の低い m^2 当り16本植の時に生産された苗木のうちの最小階級に属するものの割合を基準としてその大きさの苗が施肥量別密度別にどんな割合に出てくるかを求めて見ることにしよう。

すなわち各施肥量区別16本植区の苗の最小の階級(直径は4mm級以下、苗高は30cm級以下)に属するものの本数割合を100として示した各密度別割合%を示すと第6表のようである。

第6表 床替密度が苗木の最小階級に属するものの割合に及ぼす影響

施肥量別	A		B		C		D	
	$\frac{1}{2}$ 量 区		基 準 量 区		2 倍 量 区		3 倍 量 区	
床 替 密 度 (本/ m^2)	直 径	苗 高	直 径	苗 高	直 径	苗 高	直 径	苗 高
16	100	100	100	100	100	100	100	100
36	230	129	141	118	70	72	26	32
49	267	151	122	112	138	100	69	59
64	239	138	160	150	160	72	93	92
100	267	142	173	118	173	94	121	82

これによれば、密度が高まるにしたがって直径並に苗高の小さいものの割合が増大するが、その時その傾向は施肥量が少ない時に顕著であって、施肥量が多いとある程度密度を高めても最小級に属する個体の増加は著しくないことが判る。

次に無肥料で、 m^2 当り16本植の場合の最小級(苗高30cm以下)のものの生産歩合を100として施肥量別、密度別の最小級のものの本数割合を示すと第7表のようになる。

第7表 施肥量が最小級苗の発生歩合に及ぼす影響

床 替 密 度 別	E	A	B	C	D
	無 肥 料 区	$\frac{1}{2}$ 量 区	基 準 量 区	2 倍 量 区	3 倍 量 区
16	100	37	55	31	31
36	101	88	50	32	0
64	103	51	43	13	48
100	—	26	8	13	8

第6表及び第7表によれば、土壌が瘠せている場合(無肥料区)には密度が高まるに従って、苗高

の低い苗木の生産割合が大きくなることは明らかであるが、土地が肥えている場合には密度が苗高に及ぼす影響は小さいのである。

以上の事実から施肥によりC—D効果を緩和させ、瘠地の場合よりも高密度な情態において、瘠地状態で疎植した場合よりも遙かに優れた大いさの苗木を多数生産させうることを立証するものと考えられる。

3) 密度と施肥量と所産苗木の重量との関係

密度効果の法則は大いさのみならず重量にも適用されることは既に報告されている所であるが、ここではなお、施肥量との関係について考察して見る。

実験結果から単位面積当りの生産量並に1本当りの平均生重量を要約すると第8表のようになる。

3カ年の実験結果から次のことが推論される。

S(ix) 面積当りの重量生産は、各種施肥量ともに密度が高まるにしたがって増大するが、その傾向は瘠地でも例外ではない。

註：施肥量が $\frac{1}{2}$ 以下の場合にも密度を高めるほど面積当りの生産量が多い。

このことは瘠地ではむしろある程度密植した方が生産量を高めることを立証するもののである。

第8表 密度と施肥量と所産苗木の重量との関係

Table 8. Fresh weight of seedling related to density and amount of fertilizer.

(a) スギ 1960年の実験結果

摘 要	床替密度 (本/m ²)	A		B		C		D	
		$\frac{1}{2}$	量 区	基 準 量 区	2 倍 量 区	3 倍 量 区			
1m ² 当り 生 重 量 (g)	16	827	662	900	700				
	36	1,250	1,312	2,125	2,083				
	49	1,380	1,683	1,612	2,140				
	64	1,570	1,875	1,960	1,712				
	100	2,490	2,680	2,520	2,530				
1本 当り 生 重 量 (g)	16	62.5	49.0	64.4	70.0				
	36	36.8	40.7	72.0	68.7				
	49	28.6	38.0	40.7	57.1				
	64	25.1	38.3	59.0	36.4				
	100	27.9	32.1	32.2	38.3				

(b) スギ 1961年の実験結果

摘 要	床替密度 (本/m ²)	E		A		B		C		D	
		無 肥 料 区	$\frac{1}{2}$	量 区	基 準 量 区	2 倍 量 区	3 倍 量 区				
1m ² 当り 生 重 量 (g)	16	210	155	700	1,135	1,250					
	36	650	550	966	1,330	1,700					
	64	600	1,110	2,150	2,470	1,500					
	100	965	1,340	2,466	2,470	2,450					
1本 当り 生 重 量 (g)	16	15.0	11.1	50.0	94.5	96.0					
	36	20.3	19.0	42.0	49.4	81.0					
	64	9.5	23.6	50.0	46.6	34.1					
	100	10.5	16.2	29.4	35.5	31.0					

(c) スギ 1962年の実験結果

摘 要	床替密度 (本/m ²)	A		B	C	D
		無肥料区	$\frac{1}{2}$ 量区	基準量区	1.5倍量区	
1m ² 気 乾 重 量(g)	25	267	380	389	567	
	49	376	587	719	673	
	100	550	1,796	850	753	
1本 当 り 気 乾 重 量(g)	25	11.6	17.2	16.9	27.5	
	49	8.2	12.8	16.3	16.1	
	100	6.3	17.9	12.7	12.1	

S(x) 密度が m² 当り 64 本以下の場合には施肥量に応じて面積当りの生産量が增大する傾向があるが、m² 当り 100 本では各施肥量においてほぼ一定となる。

このことは肥沃地では生長がよいので比較的低密度から競争がおこることを示すものである。

S(xi) 個体の重量は密度が高まるにしたがって減少する。

S(xii) 低密度の場合 (m² 当り 64 本以下) には施肥量の増加により個体の平均重量を著しく増大させることが出来るが、高密度になると施肥により個体の重量を特別大きくすることは期待出来ない。

この実験では m² 当り 64 本以下の時には肥料を 3 倍施せばそれだけの効果はあるが、100 本では施肥量を多くしてもその割に大きくなる。以上のことは施肥の効果はある密度以上では制約を受けることになる。ただし 1962 年の実験結果を 1960 年乃至 1961 年の結果と対比すると著しいちがいがあがる。それは何故か? この辺に、与えられた林地に対する生産力増強の道がかくされていることを示すもののように考えられる。

4) 密度並に施肥量が苗木の部分的構成にどう影響するか

(1) 苗木各部の重量組成

いま苗木を幹、枝葉、根の 3 部分に分けてその重量 (気乾) 構成割合を求めて見ると第 9 表のようになる。

第 9 表 密度と施肥量と苗木の部分別構成状態

Table 9. Composition of stem, leaves and branches and root related to density and amount of fertilizer.

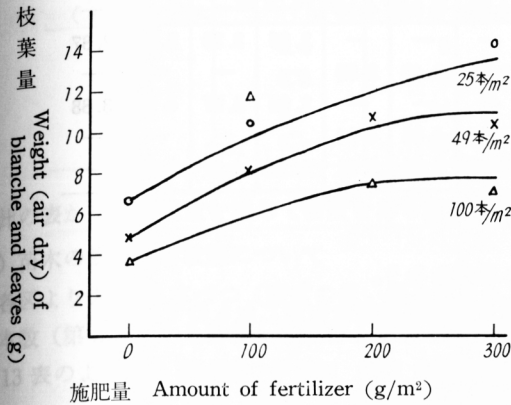
スギ 1962 年の実験結果

	床替密度 (本/m ²)	苗木の部位別 1 本当り平均重量 (気乾) (g)				苗木の部位別構成割合 (%)			
		A	B	C	D	A	B	C	D
		無肥料区	$\frac{1}{2}$ 量区	基準量区	1.5倍量区	無肥料区	$\frac{1}{2}$ 量区	基準量区	1.5倍量区
幹	25	2.2	2.6	2.2	6.2	19.0	15.0	13.0	22.6
	49	1.2	1.9	2.5	2.5	14.6	14.7	15.2	15.6
	100	0.8	2.7	2.0	1.9	13.4	14.9	15.5	15.5
枝 葉	25	6.4	10.6	10.3	14.2	55.2	61.7	61.0	51.6
	49	4.9	8.1	10.6	10.3	59.8	63.7	64.9	64.0
	100	3.8	11.8	7.7	7.1	61.6	65.9	61.1	58.5
根	25	3.0	4.0	4.4	7.1	25.8	23.3	26.0	25.8
	49	2.1	2.8	3.2	3.3	25.6	21.5	19.9	20.4
	100	1.7	3.4	3.0	3.1	25.0	19.2	23.4	26.0

枝葉量は同化器関として生長に重大な関係を有する。

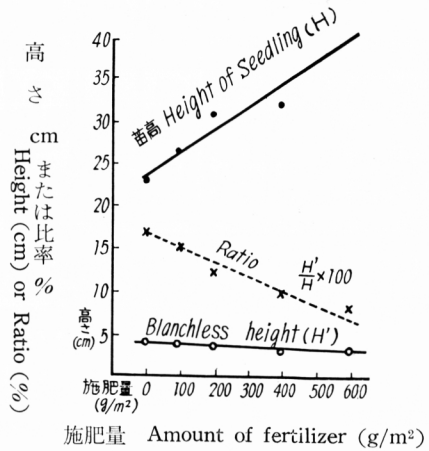
いま、この結果から1本当りに着生する枝葉量について密度と施肥量との関係を模式図として示せば、第2図のようである。

枝下高 (H') と 苗高 (H) と両者の比 $\left(\frac{H'}{H}\right)$ を施肥量との関係から見ると、第3図のようである。



第2図 密度と施肥量と枝葉量との関係(模式図)
スギ 1962年の実験

Fig. 2. Influence of density and amount of fertilizer on weight of blanches and leaves
Sugi (1962)



第3図 施肥量と苗高・枝下高との関係
床替密度36本/m²の時 1960年の実験

Fig. 3. Influence of amount of fertilizer on height growth, blanchless height and ratio of blanchless height to total height of seedling

この結果から次のことが推察される。

S(xiii) 密度が高まると苗木各部分の重量が共に減少する。

S(xiv) 施肥量が高まると各部位特に枝葉の重量が増大するが、ある密度(100本/m²)以上では施肥量増加の効果が殆ど認められない。

密度が低い時には施肥量を増すにしたがい僅かながら枝下高が下る傾向がある。枝下高 (H') と 樹高 (H) との比 $\frac{H'}{H}$ は施肥量が多いと下る傾向が顕著である。

S(xv) 根や幹の発達のよい苗木の生産には肥料を多く施して疎植にするにあるが、施肥すれば肥料の少ない場合のある限界の密度よりもさらに密状態で各部の発達した苗を生産する可能性はある。例えば、無肥料で25本区の場合と同様、あるいはそれ以上の各部の重量を有する苗木を、もし肥料を施せば密度を100本にしても生産し得られる。

(2) 地上部 (T) 地下部 (R) の割合

育苗の見地からすれば、ある大きさ以上であればいわゆるT/R比が小さいものが要望せられる、いま密度と施肥量と T/R 比との関係を見ると第10表のようである。

この結果から次の傾向があるように思われる。

S(xvi) 瘠地の方がむしろ T/R 比は小さい。しかしそれは地上部の発達の著しく不良な苗であることを認容せねばならない。この点 T/R 比のみでは苗の良否を決定しかねるのはいうまでもない。

S(xvii) 密度が著しく低い時(16本/m²)には、却って T/R 比が大きく(根の割合に地上部が大きい)、適当の密度(36本/m²)で最小となり、それ以上の密度では T/R 比がやや大きくなる。しかし、施肥量が多くなってもその割合に T/R 比は大きくならない。苗木の個体は施肥量が多くなれば概して大きいことからして、施肥量を増加することにより重量の重い、しかも地上部、地下部の均衡のとれた苗を生産することが出来ることを示すものである。

第10表 床替密度と施肥量とスギの T/R 比

Table 10. Top to root ratio related to density and amount of fertilizer. (Sugi)

度 密 (g/m ²)	1960 年 度 **				1961 年 度 **					1962 年 度 *			
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	A	B	C	D
	1/2量区	基準量区	2倍量区	3倍量区	無肥料区	1/2量区	基準量区	2倍量区	3倍量区	無肥料区	1/2量区	基準量区	1.5倍量区
16	2.85	2.91	2.85	2.48	3.64	3.75	4.21	4.04	4.16	—	—	—	—
25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.86	3.30	2.85	2.87
36	2.96	2.87	3.60	2.73	3.33	3.21	3.30	3.40	3.59	—	—	—	—
49	2.50	3.23	2.90	2.68	—	—	—	—	—	2.90	3.57	4.10	3.88
64	2.68	2.73	2.60	2.57	3.37	3.48	4.24	4.04	4.14	—	—	—	—
100	2.42	3.05	2.84	2.73	3.26	3.53	3.68	3.64	3.91	2.70	4.27	2.93	—

** 1本1本求めた平均

* 平均値から求めたもの

なお、そのことは次表によっても明らかに知られるであろう。

次表は床替密度と施肥量とにより所産苗木の根の重量階別本数割合を示したものである。

第11表 密度と施肥量と苗木の根の重量階別本数割合(%) 1960年の実験例

Table 11. Percentage of numbers of seedlings classified by weight class of root related to density and amount of fertilizer.

床替密度 (本/m ²)	根の生重量階 (g)	A		B		C		D	
		1/2量区	基準量区	2倍量区	3倍量区	2倍量区	3倍量区	2倍量区	3倍量区
16	10	33	40	60	47				
	20	60	40	40	47				
	30	7	20	6					
36	10	93	60	33	13				
	20	7	40	67	80				
	30	—	—	—	—				
	40	—	—	—	7				
49	10	33	70	53	13				
	20	67	20	40	73				
	30	—	10	7	7				
	40	—	—	—	7				
64	10	73	33	20	53				
	20	27	67	60	40				
	30	—	—	20	—				
	40	—	—	—	7				
100	10	60	40	67	20				
	20	33	40	27	60				
	30	7	13	6	13				
	40	—	7	—	7				

因に無肥料区では根の生重量 10g 以下のものが 100% を示していた。これによると

S(xviii) 密度が高くなると根の軽い苗の割合が多くなる。

S(xix) 施肥量が多くなると大体において重い根を有する苗の割合が多くなる。ことが知られる。

このことは施肥量を多くすればある程度密度を高めても根の発達した苗木を多数生産し得られること、すなわち施肥は地上部だけでなく根の発達を促すに効果があることが明らかである。

附：実際の苗木生産本数予想

いま苗高 40 cm 級以上のもの得苗数が密度と施肥量でどう変わるかを第 2 表並に第 5 表 (b) をもとにして計算して見ると次表のようである。

苗高 30 cm 上のものをとれば 12 表の数よりずっと多くなる。

第12表 密度と施肥量から見た苗高40cm級以上のものの生産本数表
 Table 12. Probable numbers of seedlings higher than 40 cm, related to density and amount of fertilizer.

試験区 施肥量別 床替密度 (本/m ²)	E	A	B	C	D
	0 無肥料区	100 $\frac{1}{2}$ 量区	200 基準量区	400 2倍量区	600 3倍量区
16	0.4	9	6	8	9
36	0.6	4	12	19	20
64	0.—	24	25	46	23
100	0.—	62	77	60	73

此の表からも施肥量を増して密度をある程度高めることは育苗技術上重要な意義があるといえる。

5) 苗木の樹冠占有状態について

各区より大体16本づつ(密度の低い場合はそれより少ない)を選び測定した枝巾と、現存する立木本数(第2表)から計算して個体1本当たり並に床面積1m²当りの樹冠投影面積を計算して見ると第13表のようである。

第13表 床替密度と施肥量と苗木の樹冠投影面積との関係
 Table 13. Crown area of seedling related to density and amount of fertilizer.

年度別 床替密度	施肥量別	1960年度					1961年度				1962年度			
		A	B	C	D	E	A	B	C	D	A	B	C	D
1 平均 樹冠 苗木 面積 (m ²)	16	0.090	0.070	0.077	0.075	0.030	0.095	0.067	0.103	0.125	—	—	—	—
	25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.042	0.078	0.076	0.066
	36	0.037	0.057	0.064	0.076	0.042	0.054	0.073	0.075	0.116	—	—	—	—
	49	0.041	0.044	0.046	0.057	—	—	—	—	—	0.028	0.044	0.048	0.062
	64	0.031	0.035	0.051	0.045	0.029	0.060	0.073	0.087	0.062	—	—	—	—
100	0.029	0.035	0.034	0.038	0.032	0.072	0.075	0.090	0.075	0.026	0.034	0.041	0.034	
1 冠 m ² 投影 面積の 苗木計 (m ²)	16	1.17	0.98	1.08	0.75	0.42	1.33	0.94	1.24	1.63	—	—	—	—
	25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.97	1.71	1.49	1.43
	36	1.27	1.81	1.98	2.29	1.34	1.57	1.68	2.03	2.43	—	—	—	—
	49	1.95	1.97	1.84	2.15	—	—	—	—	—	1.31	1.97	2.07	2.16
	64	1.89	1.73	2.56	2.13	1.86	2.82	3.14	4.62	2.72	—	—	—	—
100	2.61	2.89	2.66	2.44	2.95	5.97	6.30	6.30	5.92	2.30	2.66	2.82	2.64	

この結果から次のことが知られる。

- S(xx) 個体の樹冠投影面積は密度が高まると減少する傾向は施肥量に関係なく認められる。ただしある密度、m²当り49本以上において急に小さくなり、100本/m²においては施肥量によるちがいが小さくなる。
- S(xxi) 同じ密度では施肥量が多くなると個体の樹冠投影面積も増大する傾向があるように思われるが、その変化は僅かである。
- S(xxii) 一定面積内にある総個体の樹冠投影面積の合計は密度の高い方が大きい傾向は一般に認められる。16本区で既にほぼ外見上の閉塞情態に達している。
- S(xxiii) 樹冠投影面積の合計には最大点があるものようで、その最大点に到達すれば施肥量が多くてもそれ以上拡大しない。ただし施肥量が多い時には施肥量が少ない時に比較してより低密度で最大点に達する。

最大枝巾と生育本数から求められた樹冠投影の最大面積はスギでは床替面積の2.5~3倍のあたりにあると考えられる。6~8倍という計算結果も見られるが、異常値と推定される。

6) 葉の化学的組成について

密度並に施肥量の関連において苗木の養分吸収状態がどうなるかを見るために、1962年実験の苗木の葉の分析を行った。分析には各区4~6個(D₁のみは2個)体の試料をとったが個体間の差がかなりあるので、遺憾ながら密度並に施肥量と葉の化学組成との関係を明らかに推論することが出来ないようである。

分析結果の平均値は第14表のようである。

第14表 密度と施肥量と葉の化学的組成 (対気乾物%) スギ 1962年
Table 14. Average content of important elements in leaves related to density and amount of fertilizer. Sugi (1962)

成分別	密度 (本/m ²)	施 肥 量 別 (g/m ²)			
		A 0	B 100	C 200	D 300
N	25	1.07	1.10	1.58	1.64
	49	1.34	1.07	1.15	1.32
	100	1.09	1.05	1.44	1.07
P ₂ O ₅	25	0.27	0.41	0.21	0.25
	49	0.45	0.40	0.22	0.23
	100	0.33	0.35	0.33	0.39
K ₂ O	25	0.97	0.95	1.01	1.06
	49	0.87	0.98	0.94	1.06
	100	0.98	0.61	0.95	1.13
MgO	25	0.12	0.14	0.10	0.15
	49	0.17	0.16	0.13	0.11
	100	0.13	0.18	0.12	0.12
CaO	25	0.81	0.88	0.65	0.81
	49	0.75	0.75	0.72	0.71
	100	0.73	0.83	0.81	0.81

分析は伴 武氏の御援助によった。謹んで謝意を表する。

葉分析の結果は肥沃度の判定の資料とせらる場合があり、後述するように、施肥により葉の中のN量が増加する報告が多いが、この結果を見るとNだけが多少密度並に施肥量と関係をもつかに察せられるも、個体差が大きいのでそうきめることは危険である。すなわち筆者の実験では施肥量と葉の中の含有量との間に明らかな傾向を見出すことが出来なかったとしておきたい。

3. 考 察

さて以上の結果は1年生苗を用いて開始し、1生長期の終りにおいて観察したものである。ここに得られた諸観察の結果は既に多くの研究者によって明らかにされた密度効果法則以外の何ものでもないことが判ったのであるが、その密度効果のあらわれかたには施肥量が強く影響しているの、それについて少しく考察を加えて見たい。

前述のように密度の影響が個体の大きさや重量にあらわれるのは、地上部では光線の、地下部では根張り領域の、競合により惹起せられるかまたは土壌養分、水分などに対する競合によるか何れかであると思われる。さて、この競合は生育の経過と密度によりその程度がちがうのであるが、本実験では残念ながら最後の測定のみで、その経過について明らかにされていない。さて樹冠の投影全面積を見ると1生長期の終りには最低密度の16本区でも無施肥区以外はほぼ閉塞状態に達している。そこで施肥量の多い区は少ない区よりも、同じ密度では早くから、またより低密度で閉塞状態に達した筈

であるから、生長終始期以前の生育期間中に既に光に対する競合はおきていた筈である。

大体において密度に応じて個体の大きさが減少していたのは、その光線への競合が預っていたのであろうと一応考える。

ところで、第1図に示したように、各密度において、施肥量に応じて直径並びに苗高が大きくなっている事実と、施肥量が多いと低密度で早くも強い閉塞状態を現出しているにも不拘、なおよく無肥料区の低密度の場合に比べて旺盛な生育を続けていて、生産量最高の域に達した様相を示すに至っていないようである。

このことから施肥は光線や養料への競合を緩和しているものと解するを妥当と考えるものである。

われわれは以上の実験においてほぼ同一の各密度において、施肥量が多い程（3倍量までは）重量生産量が大いこと、またスギ1回床替では100本/m²までは密度を増す程、また施肥量を増す程生産量が增大することを認めるものである。（第8表(a)(b)(c)）

また、われわれは施肥しない場合の最低密度において生産される程度の規格を有する個体を施肥量をますことにより、より高密度でより多量に生産し得ることを明らかにした。（第12表）

以上のことから直ちに造林用苗木は施肥をして密度を高めて育てよと断定するものではない。しかし、このことは現在育苗の点からも土づくりの点で再考の余地はあるし、また造林地における生産力向上の手段として今後研究の要あることを示唆するものと考えられる。ただし風雪害、病虫害等の保護上並に経済上の問題は別に考慮せねばならない。

III ヒノキに対する実験

1. 実験方法の概要

大体スギ1回床替の場合に準じて実施した。1960年1回、1961年2回の3回行った。床替密度はm²当り25, 36, 49, 64本並に100本の5階段である。施肥量はヒノキはスギの場合の約半量すなわちNとしてm²当り15gを基準量と考えて2倍量、4倍量区並に無肥料区を設けた。施肥してから10~14日後に床替を行ない、その後除草その他の管理は常法によった。

各年度の試験設計は15表(a), (b), (c)に示したようである。繰返し回数は年度によりちがうが2~4回とした。

生長調査はその年の12月末または翌年の1~2月に、各試験区中央部より16本ずつ3回繰返しで48本（それより少ない場合もあった）とし、その後掘取り、生育本数並にm²当りの生重量を測定した。また掘取ったものについて各区より5本ずつを計15本抽出して、切断し地上部(T)、地下部(R)の重量割合T/R比を求めた。

第15表(a) ヒノキ1回床替に対する試験設計 ヒノキ1960年度
Table 15. (a) Experimental plan for Hinoki seedlings. 1960.

試験区	D			A			B			C		
	0			50			100			200		
施肥量区分* (g/m ²)	無肥料区			1/2量区			基準量区			2倍量区		
3要素施肥量 (g/m ²)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
		0	0	0	7.5	4.0	4.0	15	8	8	30	16
床替密度	1	36		36			36			36		
	2	64		64			64			64		
(本/m ²)	3	100		100			100			100		

* 用いた肥料は住友化学の森林1号 15:8:8で、各区3回繰返しとした。

第15表 (b) ヒノキ1回床替に対する試験設計 ヒノキ 1961年度 (1)
Table 15. (b) Experimental plan for Hinoki seedlings 1961.^a(1)

試験区	D			A			B			C		
施肥量区分* (g/m ²)	0			50			100			200		
	無肥料区			$\frac{1}{2}$ 量区			基準量区			2倍量区		
3要素施與量 (g/m ²)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	0	0	0	7.5	6.5	6.0	15.0	13.0	12.0	30.0	26.0	24.0
床替密度 (本/m ²)	A~Dの各区とも1は16本, 2は25本, 3は49本, 4は64本, 5は100本 つつである。											

* 用いた肥料は神島化学の燐安尿素系肥料 15 : 13 : 12 である。各区は3回繰返しとした。

第15表 (c) ヒノキ1回床替に対する試験設計 ヒノキ 1961年度 (2)
Table 15. (c) Experimental plan for Hinoki seedlings. 1961. (2)

試験区	G			A			B			C		
施肥量区分* (g/m ²)	0			100			200			400		
	無肥料区			基準量区			2倍量区			4倍量区		
3要素施與量 (g/m ²)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	0	0	0	15.0	13.0	12.0	30.0	26.0	24.0	60.0	52.0	48.0
床替密度 (本/m ²)	A~Gの各区とも1は25本, 2は49本, 3は64本, 4は100本である。											

* 用いた肥料は神島化学の燐安尿素系肥料 15 : 13 : 12 である。

実験経過を1覧表にすると第15表(d)のようである。

第15表 (d) ヒノキに対する実験経過一覧表

	1960年 H ₁	1961年 H ₂	1961年 H ₃
実験苗畑	第5苗畑 2-3段目	第7苗畑 2段目	第7苗畑 上段
用いた肥料	住友 : 15 : 8 : 8	神島 : 15 : 13 : 12	神島 : 15 : 13 : 12
施肥年月日	35年3月14日	36年3月15日	36年4月3日
移植年月日	ク 3月23日	ク 3月27日	ク 4月17日
生長調査年月日	36年1月20日 36年2月23日	36年12月25日 37年1月23日	36年12月25日 37年1月24日
繰返回数	2-4	3	3
実験本数	2,048	3,130	2,856

2 実験結果の概要

1) 密度と施肥量と苗木の大きさとの関係

実験成績のうち各部の生育状況の概要を示すと第16表のようである。

実験結果から次のことが推察される。

H(i) 1960年の実験結果では、密度の増加に対応して苗木の大きさが変化していることが認められないが、1961年の実験結果では無肥料区または $\frac{1}{2}$ 量施肥区では密度の高まるにしたがって個体の大きさが減少する傾向が明らかである。

H(ii) 多少の例外はあるが、各密度とも施肥量が多くなるにしたがって苗木の大きさが増大する。全体を通じて見て、ヒノキはスギに比して密度並に施肥量の影響が小さい傾向があるように見える。

第16表 密度と施肥量とヒノキ苗の生育状況

Table 16. Growth of Hinoki seedlings related to density and amount of fertilizer.

ヒノキ 1960年(第5苗畑 2-3段)

ヒノキ 1961年(第7苗畑上段)**

床替密度 (本/m ²)	摘要*	施肥量別				床替密度 (本/m ²)	摘要*	施肥量別			
		D	A	B	C			G	A	B	C
		無肥料区	1/2量区	基準量区	2倍量区			無肥料区	基準量区	2倍量区	4倍量区
36	直径	3.06	3.16	3.77	3.21	25	直径	3.0	3.1	2.7	2.6
	苗高	27.0±5.40	23.6±5.66	28.3±7.04	24.8±5.16		伸長	9.2	12.5	8.9	7.8
	伸長	12.7	10.1	14.1	10.3		枝巾	16.0	18.4	13.3	11.8
	枝巾	18.9	19.8	24.1	21.2		49	直径	2.6	2.7	2.9
64	直径	2.49	3.59	3.76	3.88	伸長		7.5	9.2	8.5	10.2
	苗高	21.4±4.75	31.5±7.16	30.6±7.93	32.1±7.31	枝巾		14.7	14.5	14.5	17.3
	伸長	7.8	10.6	15.9	16.7	64	直径	2.4	2.6	2.9	2.9
枝巾	15.8	21.1	24.5	24.4	伸長		7.1	8.1	10.9	8.2	
100	直径	3.22	3.06	3.84	2.75		枝巾	13.7	12.3	16.9	13.7
	苗高	27.5±4.30	29.4±4.45	33.8±4.56	25.1±5.42	100	直径	2.5	2.6	2.5	2.9
	伸長	13.1	14.1	17.3	11.1		伸長	6.5	9.2	8.0	10.1
	枝巾	21.8	19.2	22.7	16.8		枝巾	12.4	13.6	12.3	16.1

* 単位：直径はmm, 苗高, 伸長, 枝巾はcm.

** 10~15本の堀取調査

第4図(152頁)第5図(a)153頁を見ると判るようにスギに比べてヒノキの方が密度による個体の大きさの変化がゆるやかである。

これは光線並に養料に対する要求度が低いヒノキ本来の樹性によるものであろう。

2) 密度並に施肥量と苗木の重量生産との関係

いま密度や施肥量がヒノキ苗の重量生産にどんな関係があったかを示すと次表のようである。

第17表 密度と施肥量と所産苗の生重量との関係

Table 17. Fresh weight of seedling on the relation to density and amount of fertilizer.

(a) 1960年の実験

(b) 1961年の実験

摘要	床替密度 (本/m ²)	施肥量別 (g/m ²)				摘要	床替密度 (本/m ²)	施肥量別 (g/m ²)			
		D 0	A 50	B 100	C 200			D 0	A 50	B 100	C 200
		1平量 本平均 当り重(g)	36	12.7	16.1			22.3	18.7	16	9.6
m ² 均 当り生 重量*(g)	64	9.6	15.1	18.5	21.1	25	9.2	12.4	15.6	11.6	
	100	10.1	12.7	16.1	13.7	49	9.2	10.4	13.0	12.0	
	36	③② 400	②⑨ 460	②⑨ 660	②⑩ 375	64	5.7	14.8	10.4	—	
T/R 比	64	④① 522	⑤⑥ 850	⑤⑩ 920	④① 868	100	5.6	8.1	8.9	9.5	
	100	⑤⑤ 850	⑥③ 1,175	⑧① 1,300	⑦① 1,050	m ² 当 り平均 生重量*(g)	16	④① 135	④① 151	⑬③ 203	⑬③ 258
	36	2.40	3.42	3.84	3.78		25	②④ 220	②④ 302	②⑤ 390	②② 250
64	3.24	3.21	2.62	3.00	49		④⑥ 386	④⑧ 398	④③ 435	④⑨ 475	
100	2.84	1.94	2.70	3.00	64		⑤③ 300	⑤⑥ 860	⑤② 523	—	
					100	⑧⑧ 488	⑦③ 596	⑦⑥ 678	⑥③ 600		

* ○内の数字は実際のm²当りの平均生立ち本数

この結果から次のことが知られる。

H(iii) 密度が高まると個体の生重量が減少することは大体の傾向として認められるが、その変化は比較的徐々である。

H(iv) m² 当りの生産量は個体の場合以上に密度の影響が顕著であって、密度が高まるにしたがって比較的急速に上昇する。しかし今後さらに検討を要するが、m² 当り 100 本位を限界とするのであろうかと推察せられる。

H(v) 同一の密度においては施肥量の増加にしたがって、個体の大きさ並にm²当りの生産量とも増加するが、適量をこえて過量施肥すると生長を阻害しているように思われる。

3. 結 論

以上要するにスギの場合と同様の傾向であるが、ヒノキは密度並に施肥量に対して比較的敏感ではない。しかし、密度と施肥量を同時にある程度まで高めることにより生産苗の質と量を向上させることは比較的容易である。

IV クロマツに対する実験

1. 実験方法の概要

クロマツに対しては 1960 年と 1961 年に実験した。実験方法はスギ、ヒノキにほぼ準じている。床替密度は m² 当り 12, 25, 49, 100 本の 4 段階である。用いた肥料は 1960 年度は住友化学の森林 1 号 15 : 8 : 8 を、1961 年度には神島化学の燐安尿素系肥料 15 : 13 : 12 と M₁ (柴田試作肥料) 9 : 13 : 8 とであった。

施肥量は白浜試験地の苗畑土壌で、クロマツの場合には N として 15 g 位が基準量であるので無肥料区、基準量区、2 倍量区、4 倍量区を設けた。

試験設計は第 18 表の通りである。

第18表 (a) クロマツに対する試験設計 1960 年度 第 5 苗畑
Table 18. (a) Experimental plan for Kuromatsu seedling (1960)

試 験 区 施 肥 量 (g/m ²)	3 要素施與量 (g/m ²)	C 0 無 肥 料 区			A 100 基 準 量 区			B 200 2 倍 量 区		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
		0	0	0	15.0	8.0	8.0	30.0	16.0	16.0
床替密度 (本/m ²)	1	49			49			49		
	2	100			100			100		

用いた肥料は住友化学の森林 1 号 15 : 8 : 8 である。3 月 14 日施肥 3 月 23 日床替実施

第18表 (b) クロマツに対する試験設計 1961 年度
Table 18. (b) Experimental plan for Kuromatsu seedlings. (1961)

施 肥 区 分 (g/m ²)	対 照 区 G	神島化学の燐安尿素 (15 : 13 : 12) 区						神島化学の M ₁ (9 : 13 : 8) 区											
		A 100 基準量区		B 200 2 倍量区		C 400 4 倍量区		D 167 基準量区		E 334 2 倍量区		F 668 4 倍量区							
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O						
3 要素施與量 (g/m ²)	無肥料区	15.0	13.0	12.0	30.0	26.0	24.0	60.0	52.0	48.0	15.0	21.5	13.4	30.0	43.0	26.7	60.0	86.0	53.4
床替密度 (本/m ²)	1	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	2	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	3	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
	4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

施肥は 1961 年 4 月 4 日で苗木の移植は 4 月 19 日である。除草その他の管理は常法によった。

2. 実験結果の概要

1) 密度と施肥量と生長状態との関係

1 生長期を過ぎて 1961 年 12 月 11 日各区より 16 本づつ 3 区計 48 本について生長調査を行い、こえて 1962 年 1 月下旬に掘り通りの上生立本数並に生重量関係並に切断の上 T/R 比を調査した。調査結果の概要は第 19 表に示したようである。

第19表 密度と施肥量とクロマツの生長との関係

Table 19. Growth of Kuromatsu seedlings related to density and amount of fertilizer.

床替密度 (本/m ²)	施肥 区分 *	対照区	磷安尿素区			M ₁ 区		
		G 0	A 100	B 200	C 400	D 167	E 334	F 667
		無肥料区	基準量区	2倍量区	4倍量区	基準量区	2倍量区	4倍量区
12	直径	5.12	4.98	5.77	5.02	6.12	6.09	4.91
	伸長	6.0	5.9	6.9	6.4	9.3	8.4	6.8
	枝巾	12.0	13.6	13.6	13.4	15.5	14.7	12.9
25	直径	5.10	5.19	5.61	5.34	5.34	5.96	5.29
	伸長	5.7	7.8	8.7	7.4	8.6	9.1	6.2
	枝巾	13.9	13.0	14.5	13.6	14.6	15.2	15.2
49	直径	5.18	5.30	5.41	5.25	4.82	4.99	4.90
	伸長	8.7	8.5	8.5	8.6	8.1	6.2	7.4
	枝巾	14.0	13.1	13.6	14.7	14.0	14.1	13.8
100	直径	4.61	4.67	4.67	5.21	4.74	4.77	4.61
	伸長	6.7	7.5	8.6	8.9	6.1	7.2	7.3
	枝巾	11.3	12.6	12.2	13.5	13.2	11.7	12.6

* 単位：直径は (cm), 伸長, 枝巾は (cm)

この実験から次のことが推論される。

M(i) 床替密度の影響が無肥料区並に磷安尿素区でははっきり現われていないが、M₁ 区ではかなりはっきりしているように思われる。すなわち密度が増すと施肥量に関係なく生育が阻害される。

M(ii) 施肥量の差による影響は施肥量が 2 倍量までは各密度区を通じて無肥料区よりも生育が増大するが、低密度において過量に施すと却って生長減退を来す危険もあるようである。

2) 密度と施肥量と生産苗木の重量との関係

各区について掘取時の 1 m² 当り及び 1 本当りの生重量を示すと下表のようである。

第20表 密度と施肥量と生重量との関係 クロマツ 1961 年

Table 20. Fresh weight of Kuromatsu seedling related to density and amount of fertilizer.

摘 要	床替密度 (本/m ²)	対照区	磷安尿素 (15:13:12)			M ₁ (9:13:8)		
		G	A	B	C	D	E	F
		無肥料区	基準量区	2倍量区	4倍量区	基準量区	2倍量区	4倍量区
1 本 当り 平均 生 重 量 (g)	12	14.4	16.2	28.5	22.0	30.0	31.5	22.4
	25	18.3	19.4	27.3	27.8	26.3	29.5	35.7
	49	15.0	18.0	21.3	25.0	22.2	22.7	23.4
	100	15.4	16.0	16.4	19.6	16.3	18.0	17.3
m ² 当り 平均 生 重 量 (g)	12	130	161	257	166	300	346	207
	25	353	313	601	570	570	638	750
	49	570	678	1,000	733	933	860	750
	100	1,253	1,350	1,183	1,317	1,200	1,250	1,450

上表の結果から次のことが推論される。

M(iii) 生産苗木の個体の平均重量は m^2 当り25本より密度が高まるに従って減少する傾向が明らかであるが、25本/ m^2 より疎では却って生育が多少劣る場合がしばしばある。

M(iv) 施肥量が増加するにしたがって個体の生重量が大きい傾向がある。そしてそれは各密度階を通じて認められることであるが、12本/ m^2 で4倍量も施肥すると生育が劣るようである。

単位面積当りの生産量について

M(v) 単位面積当りの総生産量は密度により著しく左右せられ、密度をますとともに増大する。

M(vi) 単位面積当りの生産量は施肥量に応じて増大するが、低密度では施肥過剰の害作用があるように察せられる。施肥量が多い時にはむしろ100本/ m^2 前後の高密状態の方が生育可良である。

3. 結 び

クロマツに対する此の実験結果を見ると密度の影響、施肥の効果が、苗木の大きさの上ではあまり顕著でない。

これは宮崎等によりすでにのべられているように、マツは前年度に吸収した養分により新梢芽を生長させるものであるから、春に施肥した本試験では外観上の大きさにはほとんどあらわれていないのであろう。ただし重量の上では明らかに顕著な差が出ているのであるから、次年度には大きさの上の生長として効果が発揚されるものと思われる。次にクロマツにおいては12本/ m^2 という低密度で4倍量の施肥をすると明らかに生長阻害を示していることも、従来アカマツがこやしやけをおこしやすいとされていることを裏書きしているものようである。

これを要するにクロマツでは施肥量を多くしてもその効果は微弱であり、低密度で過量の施肥はむしろ危険である。ただし密度を高めた影響も割合に微弱であるので、密度を高めかつ施肥量をやや多い目にするにはアカマツの1回床替育苗の場合には有利であると考えられる。

V スラッシュマツ [SLASH PINE] (*Pinus elliottii* var. *elliottii*) に対する実験

1. 実験方法の概要

1961年に $1 m^2$ 角、深さ60cmのコンクリート枠を用いて実験した。肥料は磷安尿素系肥料と硫加磷安系肥料の2種とし窒素量だけ同量となるようにした。従来の経験によればスラッシュマツは肥料を施すと生育が早いので、床替密度を m^2 当り1本、4本、9本、16本とした。

試験設計は第21表に示したようである。施肥後約2週間を経て床替を行ったが、多少の枯損を生じた。(生育本数は床替密度の欄の()内に示した。)

第21表 スラッシュマツに対する試験設計 1961年
Table 21. Experimental plan for Slash Pine (1961)

試 験 区 施 肥 量 (g/m^2)	C			A			B			
	0			磷安尿素 15:13:12 300g			硫加磷安 15:8:8 300g			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
3要素施肥量 (g/m^2)	0	0	0	45.0	39.0	36.0	45.0	24.0	24.0	
床と生 替実立 際本 密度 の数	1	1 (0)			1 (1)			1 (1)		
	2	4 (4)			4 (3)			4 (2)		
	3	9 (6)			9 (8)			9 (8)		
* (本/ m^2)	4	16 —			16 (15)			16 (14)		

第8苗畑 3回繰返し 3月29日施肥, 4月13日移植

* () は実際の生立本数 (3区の平均)

2. 実験結果の概要

移植してから8カ月を経た12月22日、生立苗全部につき調査し、また翌年3月20日に掘とり重量調査を行った。

1) 密度とスラッシュマツの生長との関係

個体の平均直径、苗高、枝数、枝巾を示すと次の様である。

第22表 床替密度と施肥状態と所産苗木の大きさとの関係 スラッシュマツ (1961年)
Table 22. Growth of Slash Pine seedlings related to density and amount of fertilizer.

試 験 区		C			
		無 肥 料 区	A	B	
		施 肥 区 分			
		無 肥 料 区	磷 安 尿 素 区	硫 加 磷 安 区	
床	1	直 径 (mm)	—	11.5	10.0
		苗 高 (cm)	—	38.5	39.0
		枝 数 (本)	—	6.0	5.5
		枝 巾 (cm)	—	40.0	29.0
替	4	直 径 (mm)	4.63	10.0	11.7
		苗 高 (cm)	23.0±3.37	34.3	41.0
		枝 数 (本)	0.5	4.4	6.2
		枝 巾 (cm)	19.3	33.3	36.6
密	9	直 径 (mm)	4.0	10.2	8.3
		苗 高 (cm)	17.1±5.19	37.3	31.8
		枝 数 (本)	0.6	5.1	3.9
		枝 巾 (cm)	15.4	33.5	29.3
度	16	直 径 (mm)	—	7.9	9.0
		苗 高 (cm)	—	33.4	37.4
		枝 数 (本)	—	3.7	4.7
		枝 巾 (cm)	—	26.4	30.4

2) 密度と生産苗の重量との関係

なお現存の生立本数状態 (枯損したものを除外して) において生産された苗木の重量関係を測定した結果は次表のようである。

m² 当1本植区では調査本数が少ないので、今後再検討を要するが大体の傾向をうかがいうるであろう。

第22表と第23表の結果から次のことがいえる。

P(i) この位の密度差(1~16本/m²)では密度の影響が大きさの上にははっきり認められない。実験数の問題もあり再検討を要する。

P(ii) 同一の密度では施肥の効果は極めて顕著である。無施肥区に比して大きさが約2倍、重量では約5倍のひらきを示している。

P(iii) m² 当りの生産量を見ると無肥区に対して施肥区は格段の差があり、肥料を施した場合には

第23表 密度と苗木の生重量との関係
スラッシュマツ (1961年)

Table 23. Relation between the fresh weight and density. (Slash Pine)

摘 要	床替密度 (本/m ²)	C		
		無肥料区	A	B
個 体 の 平 均 重 量 (g)	1	—	98.0	96.5
	4	18.3	113.2	165.0
	9	12.3	114.0	73.1
	16	—	71.1	94.6
m ² 平 均 生 産 量 の 重 量 (g)	1	—	98	97
	4	73	340	330
	9	74	913	657
	16	—	1,101	1,326

密度を増すにしたがって急速度に生産量が増加する。

3) 樹冠投影面積について

いま平均枝巾及び平均生立ち本数から、個体並に総個体の樹冠投影面積合計を計算して見ると次表のようになる。

第24表 密度と施肥量と樹冠投影面積との関係
Table 24. Relation between the crown area and density and amount of fertilizer. (Slash Pine)

摘 要 試験区 床替密度 設計(本/m ²)	個体の樹冠投影面積 (m ²)			全個体の樹冠投影面積 (m ²)		
	C	A	B	C	A	B
	無肥料区	燐安尿素区	硫加燐安区	無肥料区	燐安尿素区	硫加燐安区
1	—	0.126	0.066	—	0.13	0.07
4	0.029	0.087	0.106	0.12	0.26	0.21
9	0.019	0.088	0.067	0.13	0.71	0.47
16	—	0.55	0.072	—	0.71	1.01

上表から見れば当初の床替密度を 16 本/m² としても、1 生長期の終りになお樹冠は接触していない。ゆえに光に対する競合はまだそうはげしくないものと推察せられるが、無肥料区における著しい生育不良並に重量生産の面で明らかに認められる密度の影響は光線以外の土壤状態における不足因子に対して競合がおこっているのではないかと考えられるのである。

3. 結 び

スラッシュマツに対する本実験は密度が低きに過ぎ、調査本数の計が少ないので更に再検討を要することであるが、施肥の効果は大いさ並に重量生産^{1) 2)}の上において極めて顕著であることが認められる。ほぼ樹性の似ているテーダマツについて村上などは試験を行い、その結果から植栽当年にある程度多量に施すと施肥当年のみならず、肥効が翌年まで持続するので、肥やけのない限りかなり多量に施してもよいとしている。なお施肥した場合過密の悪影響とともに疎に過ぎることも不利であることが判る。面積当りの重量生産から見ても施肥と密植 (m² 当り 16 本まで) の有利さは明らかである。

VI モリシマアカシア (Acacia mollissima) に対する実験

アカシア類のうち *Acacia mollissima*, *A. dealbata*, *A. decurrens* は日本の暖地でかなり瘠悪地でも生育良好であり、タンニン含有率も高いので、早生樹種として有望とされ導入が計画されている。この材をパルプその他の原料材として利用することを計画するならば面積当りの収量を増進する方策を考えねばならない。かかる意味において適当な密度と肥培の問題が最も重要となるのである。本研究では 1961 年と 1962 年に実験を行った。

1. 実験方法

アカシアは生長が早くかつ陽性の強い樹種であるから、1 年生の場合の密度を m² 当り 1961 年度には 5 本、10 本、20 本、40 本の 4 段階に、1962 年には 4 本、16 本、36 本の 3 段階とした。施肥量は 1961 年は神島化学工業の燐安尿素系肥料 15:13:12 を用い、m² 当り 0, 100, 200, 400, 600³⁾ の 5 種とした。また 1962 年には肥料木用として柴田が試作を依頼した H₁ 肥料を用いた。次にアカシア類は生長が極めて迅速なので施肥して約 2 週間過ぎてから播種し、発芽して暫く過ぎてから間引し

- 1) 伊佐義朗・村上温夫:(1960) 外国産マツ属の育成に関する研究 (1) テーダマツの肥培に関する基礎的考察 京大演報 No. 29
- 2) 村上温夫・橋本英二・伊佐義朗:(1961) 同上 (2) 統報 第 71 回 日林講
- 3) 柴田信男・坂口道夫:(1959) 前掲, 柴田信男 (1962) 山林 No. 941 前掲

て所定の密度になるようにしたのである。
試験設計は第 25 表に示したようである。

第25表 *Acacia mollissima* に対する試験設計 (a) 1961 年度
Table 25. Experimental plan for *Acacia mollissima* (a) 1961.

試 験 区 施 肥 量 区 分 (g/m ²)	E			A			B			C			D		
	0			100			200			400			600		
	無 肥 料 区														
3 要素施与量 (g/m ²)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	0	0	0	15.0	13.0	12.0	30.0	26.0	24.0	60.0	52.0	48.0	90.0	78.0	72.0
床替密度 (本/m ²)	1	5		5			5			5			5		
	2	10		10			10			10			10		
	3	20		20			20			20			20		
	4	40		40			40			40			40		

- 註 (1) 全く同様の実験を第 6 苗畑と第 7 苗畑とで併行した。
(2) 用いた肥料は神島化学工業の燐安尿素系肥料 15 : 13 : 12 である。
(3) 各区とも 5 回繰返した。
(4) 36年 3月15日施肥, 3月27日播種, 調査は37年 2月20日または 3月 5日である。

第25表 *Acacia mollissima* に対する試験設計 (b) 1961 年度
Table 25. Experimental plan for *Acacia mollissima* (b) 1962.

試 験 区 施 肥 区 分 (g/m ²)	A			B			C			D		
	0			50			100			200		
	無 肥 料 区											
3 要素施与量 (g/m ²)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	0	0	0	4.0	7.0	5.0	8.0	14.0	10.0	16.0	28.0	20.0
床 替 密 度 (本/m ²)	m ² 当り 1 区は 4 本, 2 区は 16 本, 3 区は 36 本とした。											

- 註 37年 3月23日施肥, 38年 2月27日調査
用いた肥料は H₁ 肥料 (仮称) でその 3 要素組成は 8 : 14 : 10 である。

2. 実 験 結 果

モリシマアカシアは伸長生長が速かで、高く伸びすぎて倒伏しやすく、また不揃となりがちである。本試験では四周に細い鉄棒を立てシュロ縄でまわしてくり互に保持し合うようにした。なお、8月強雨の際側溝の水が溢れ出て一部の試験区を流し、また不結果に終らした区がある。したがって設計密度と実際の生立本数に多少のちがいがあ。実際の生立本数は第 28 表の下欄の○内に示したようである。今後さらに施肥量と密度を高めて再実験をする機会を得たいと思っているが、1961年 2カ所, 1962年 1カ所の 3 回の実験で大体の傾向を知ることが出来るので、次に示すことにした。

1) 密度と施肥量と所産苗木の大きさの関係

第 26 表は生育状態の概要を示すものである。

この表から次の現象のあることが知られる。

- A(i) 密度が高まると苗木個体の各部がほぼ一斉に生育が減退させられる。施肥量の多いほど密度の影響が顕著である。
A(ii) 等しい密度においては施肥量が増大するにしたがって個体の大きさは増大する。しかしこの現象は m² 当り 20 本以上になると施肥量を高めてもその割に肥効が大きくあらわれなくなる。
A(iii) 無施肥ではどんなに密度を低くしても生長させる最大の大きさに限界があり、かつ無肥状態における最大の限界程度の生産物は施肥すれば数倍の密度においても十分に生産し得られる。

第26表 密度と施肥量と各部の生長との関係 モリシマアカシア (a) (1961年)
 Table 26. Growth of *Acacia mollissima* related to density and amount of fertilizer.

生立本数 (本/m ²)	苗畑 施肥量 (g/m ²)	第 6 苗畑					第 7 苗畑				
		E	A	B	C	D	E	A	B	C	D
		0	100	200	400	600	0	100	200	400	600
5	直径(mm)	4.9	11.3	15.6	20.0	19.7	5.6	12.6	12.6	16.3	18.4
	苗高(cm)	128	107	155	219	193	64	135	115	140	186
	枝数(本)	16.4	9.0	17.2	23.7	26.8	10.0	17.2	14.1	19.4	20.6
	枝巾(cm)	85	61	76	96	91	40	63	69	73	90
10	直径(mm)	10.4	12.4	15.3	17.3	17.8	6.3	7.3	9.8	10.6	14.0
	苗高(cm)	106	138	160	180	191	68	78	99	102	155
	枝数(本)	11.4	14.5	16.2	17.1	19.8	8.6	9.7	11.6	12.7	16.7
	枝巾(cm)	44	57	77	89	83	38	38	48	51	67
20	直径(mm)	6.9	11.8	10.9	10.7	12.0	5.0	6.9	9.0	11.4	10.3
	苗高(cm)	78	127	146	140	140	68	66	104	126	121
	枝数(本)	7.1	12.8	13.0	13.3	11.3	7.1	8.4	11.1	11.4	15.0
	枝巾(cm)	29	59	58	56	59	25	32	44	47	60
40	直径(mm)	8.8	8.3	8.7	9.5	—	4.6	6.9	7.7	7.9	—
	苗高(cm)	108	112	126	140	—	63	80	108	114	—
	枝数(本)	11.3	9.2	10.0	12.4	—	7.3	8.2	9.6	9.5	—
	枝巾(cm)	38	36	43	51	—	23	33	43	39	—

第27表 密度と施肥料と各部の生育との関係 モリシマアカシア (b) (1962年)
 Table 27. Relation between the growth of *Acacia mollissima* and density and amount of fertilizer.

生立本数 (本/m ²)	摘 要	A	B	C	D
		0	50	100	200
4	直径(mm)	5.4	6.3	9.8	10.0
	苗高(cm)	43	51	90	95
	枝数(本)	7.3	7.2	8.8	11.9
	枝巾(cm)	28	36	66	68
16	直径(mm)	5.2	5.3	7.9	9.6
	樹高(cm)	45	48	71	89
	枝数(本)	6.4	6.0	9.3	11.0
	枝巾(cm)	31	31	46	52
36	直径(mm)	6.0	4.5	6.7	5.6
	樹高(cm)	60	43	73	59
	枝数(本)	4.6	3.5	7.8	5.9
	枝巾(cm)	33	26	34	27

A(iv) モリシマアカシアの場合、白浜試験地の土壌では m² 当り N として 90 g, P₂O₅ として 78 g, K₂O として 72 g を施しても過剰のための生育阻害の現象は認められない。

只木等によれば、モリシマアカシアは大きな個体程枝葉の比率が大きくなる傾向があり、葉や枝の占める比率が大きいと全地上部の重量が大きいかを示しているが、施肥量が直径・苗高に顕著

1) 只木良也・尾方信夫・長友安男：(1963) 森林の生産構造に関する研究 (V)
 モリシマアカシア人工林の生産力について 日林誌 43, 9

に影響した枝数、枝巾にも直接深い関係のあることは上表の通りである。

以上のことからモリシマアカシアに関しては施肥量と密度を検討することにより、かなりの程度まで生産量の増大を期待出来るようである。只木等はモリシマアカシアが決して肥沃とはいいがたい土地で $30 \text{ m}^3/\text{ha}$ 近い年間幹材積生長を有することを明らかにしているが、この実験から施肥量を増大することによりさらにある程度まで密度と生産力を高められる可能性が認められる。ただし風害のことがあるので適度の間引管理が重要なことはいうまでもない。

2) 密度と施肥量と樹冠投影面積との関係

各密度別施肥量別に測定した最大枝巾の平均値から個体の樹冠投影面積を求め、次に密度別施肥量別の平均の生立本数から 1 m^2 内の総個体の樹冠投影面積合計を推定して見た。第28表(a), (b)

第28表 密度と施肥量と樹冠投影面積 (a) (1961年)第7苗畑 *は第6苗畑
Table 28. (a) Crown area related to density and amount of fertilizer.

摘 要	床替密度 (本/ m^2)	施 肥 量 (g/ m^2)				
		E	A	B	C	D
		0	100	200	400	600
個 平 投 体 均 影 の 樹 面 冠 積 (m^2)	5	0.124	0.315	0.374	0.414	0.633
	10	0.113	0.116	0.184	0.206	0.347
	20	0.051	0.081	0.149	0.173	0.245
	40	0.040	0.097	0.145	0.112	0.115
全 樹 面 個 冠 積 体 投 合 の 影 計 ** (m^2)	5	④ 0.50	③ 0.95	⑤ 1.87	⑤ 2.07	⑤ 3.17
	10	⑨ 1.02	⑩ 1.16	⑩ 1.84	⑩ 2.06	⑩ 3.47
	20	⑳ 1.02	⑱ 1.44	⑳ 2.98	⑳ 3.46	⑳ 4.17
	40	㉔ *1.40	*㉓ 3.74	㉒ 4.29	④① 4.48	㉑ 2.15

第28表 密度と施肥量と樹冠投影面積 (b) 1962年
Table 28. (b) Crown area related to density and amount of fertilizer. (1962)

摘 要	床替密度 (本/ m^2)	施 肥 量 (g/ m^2)			
		A	B	C	D
		0	50	100	200
個 平 投 体 均 影 の 樹 面 冠 積 (m^2)	4	0.063	0.101	0.344	0.364
	16	0.074	0.076	0.168	0.208
	36	0.087	0.053	0.091	0.057
総 樹 面 個 冠 積 体 投 合 の 影 計 ** (m^2)	4	② 0.13	③ 0.30	② 0.69	③ 1.09
	16	⑧ 0.59	⑧ 0.61	⑧ 1.34	⑩ 2.08
	36	⑮ 1.31	⑮ 0.80	⑮ 1.46	⑮ 0.86

** ○ 内の数字は m^2 当り平均生立本数 (Average number of survived seedlings per m^2)

この表から次のことが推定される。

A(v) m^2 当り 5 本より 40 本の間では密度が高まるにしたがって総個体の樹冠投影面積合計は増大する。

A(vi) 施肥量によって同一密度でも樹冠投影面積に著しいちがいがおこり、施肥量が多い程樹冠投影面積が大きくなる。

A(vii) 樹冠投影面積の合計にはある限界が存在するようでその限界に達すれば、それ以上には密度を増しても施肥量を増しても増大しないようである。その限界は床面積に対して3—4倍と推定される。
A(viii) 施肥量が多いと少ない場合に比して低密度で、または早く限界投影面積に到達する。

ただし実際には高度の肥沃地は普通には望み得られないからかなりの密度 (m^2 当り 40 本) までには樹冠投影面積は増大しうるのである。また施肥の効果を期待しうるのである。

3. 結 び

アカシアは肥効が極めて顕著である。その代りに密度の影響も顕著である。アカシアは低密度でも想像以上の施肥をしても過剰の悪影響は考えられない。したがって密度を低めて肥培すれば相当やせ地でも播種から出発して1カ年で樹高4m以上に達せしめまた m^2 当り 5 kg 位の生重量生産が可能である。利用上からいって個体の大きさに問題があるので、密度を漸次調節することが肝要であるが、密度と施肥量を組合せて研究することにより増産の道が開かれることは確実である。

VII 総 括 ・ 論 議

林地の生産力を高めかつ収穫期を短縮することは現下林業上の最も重要な課題である。

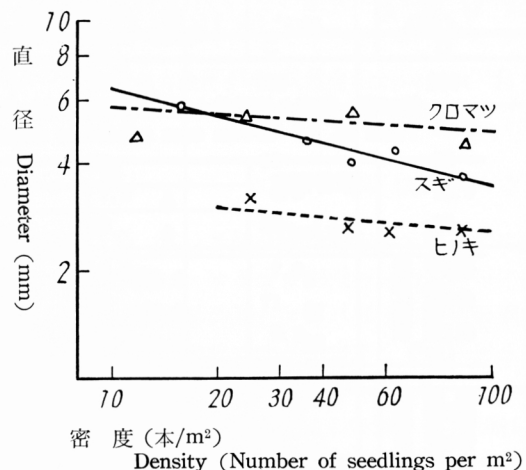
このことに関して今日期待をもたれるのは密植と施肥である。密度効果については既に多くの研究がなされており、四手井¹⁾、吉良²⁾等によって詳しく解説されている。木材増産のため林業上への応用として第1に考えられるのは、植付密度のことであるが、さらにそれに関連して間伐等その後の密度管理と収穫量並びに収穫物の形質との関係であるが、これについても四手井³⁾により要約され、既に実際面への活用の域に達したことは近代森林生態学の大きな貢献である。

さてこれまでの多くの研究は同一立地での密度効果の問題をとり扱っているが、施肥が密度効果に及ぼす影響についての研究は赤井⁴⁾等以外比較的少ない*。

近時林地施肥、林地肥培の問題が広く関心を持たれ、漸次実行が拡大されるに至っている。そこで施肥と密度効果の関係並びにその場合の樹種特性を明らかにしようとして上述の実験を行った次第である。

実験した樹種はスギ、ヒノキ、クロマツ、スラッシュマツ及びモリシマアカシアである。実験結果を要約すると次のようである。ただしアカシアは1年生、その他は2年生苗木についての実験成果である。

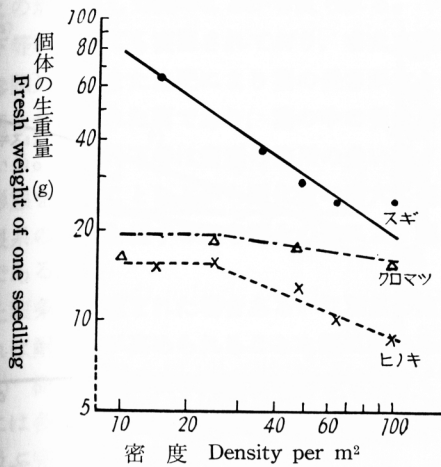
(1) 密度が高まると個体の大きさが減少すること、(第4～5図に1例を示した)面積当りの現存量が多くなること(第6図に1例を示した)は実験したあらゆる樹種でこれを認めた。すなわち、多くの研究



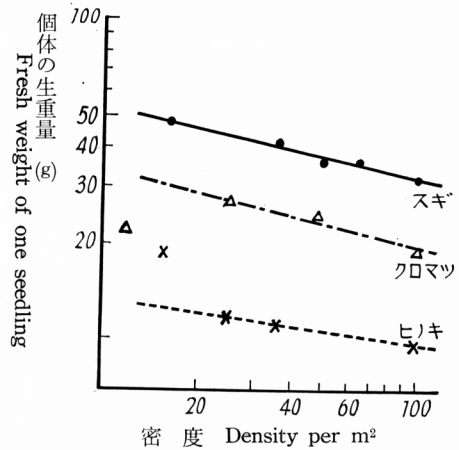
第4図 密度と直径との関係
施肥量 100 g/m^2 の場合
Fig. 4. Relation between density and diameter growth
(when the amount of fertilizer are 100 g per m^2)

- 1) 四手井綱英：(1956) 林分密度の問題 前掲 2) 吉良龍夫：(1957) 密度、競争、生産 (大阪営林局)
3) 四手井綱英：(1962) 植付密度の問題点 グリーンエージ 5月号
4) 赤井龍夫・島崎洋治・白鳥資重：(1962) カラマツ床替苗木の生長に及ぼす密度と磷酸施肥量との関係
第72回 日林講

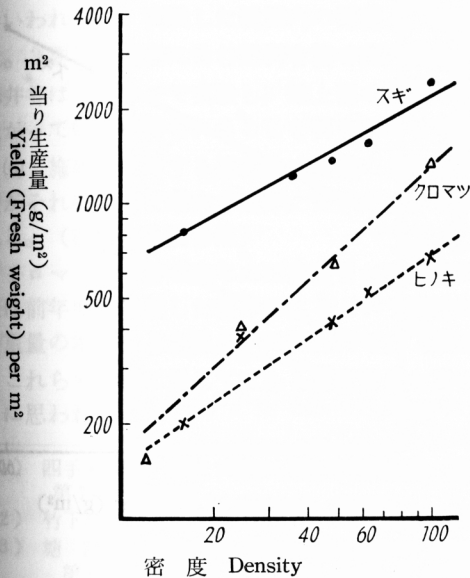
* 農業では水稲について深耕、多肥、密植栽培の研究が極めて多い。



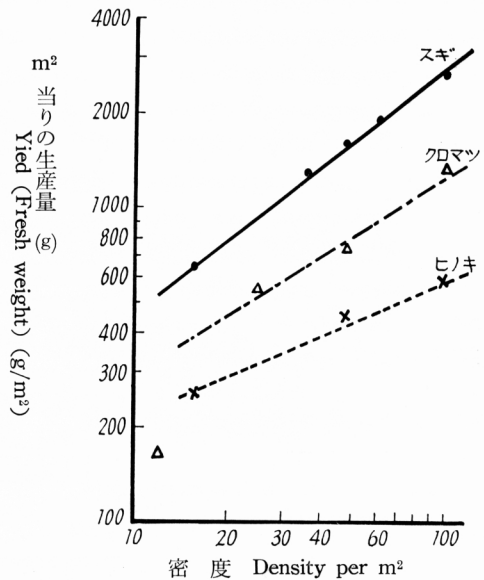
第5図 (a) 密度と個体の生重量との関係
 施肥量 100 g/m² の場合
 Fig. 5 (a) Influence of density on weight of seedling
 (Amount of fertilizer are 100 g/m²)



第5図 (b) 密度と個体重量との関係
 施肥量 200 g/m² の時
 Fig. 5 (b) Influence of density on weight of seedling
 (Amount of fertilizer are 200 g/m²)



第6図 (a) 密度とm²当り生産量との関係
 施肥量 100 g/m² の時
 Fig. (a) Relation between density and yield (Fresh weight)
 (when amount of fertilizer are 100 g per m²)



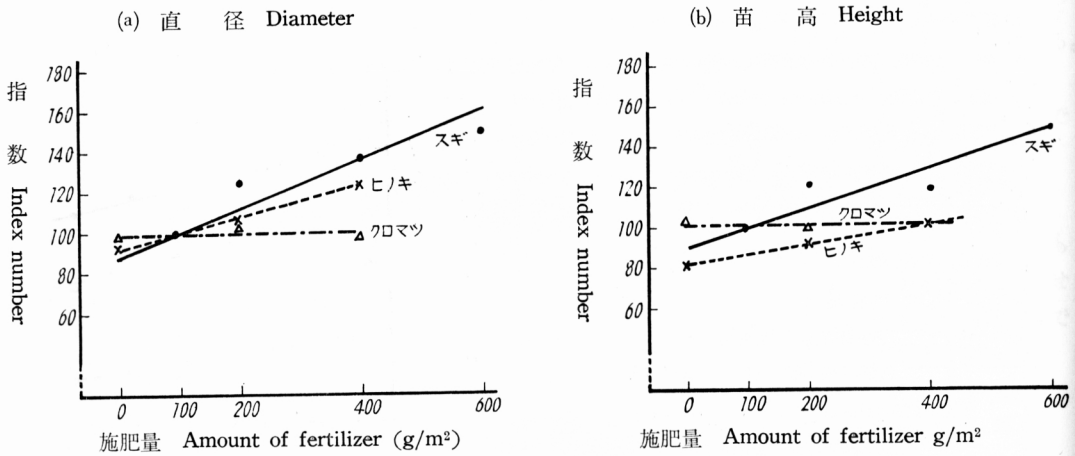
第6図 (b) 密度とm²当り生産量との関係
 施肥量 200 g/m² の時
 Fig. 6 (b) Relation between density and yield
 (when amount of fertilizer are 200 g per m²)

* 者によって明らかにされた密度効果の法則のきびしく適用されることが認められ、また筆者が行ったクロマツの植栽密度試験の結果とも多くの点で一致するのである。

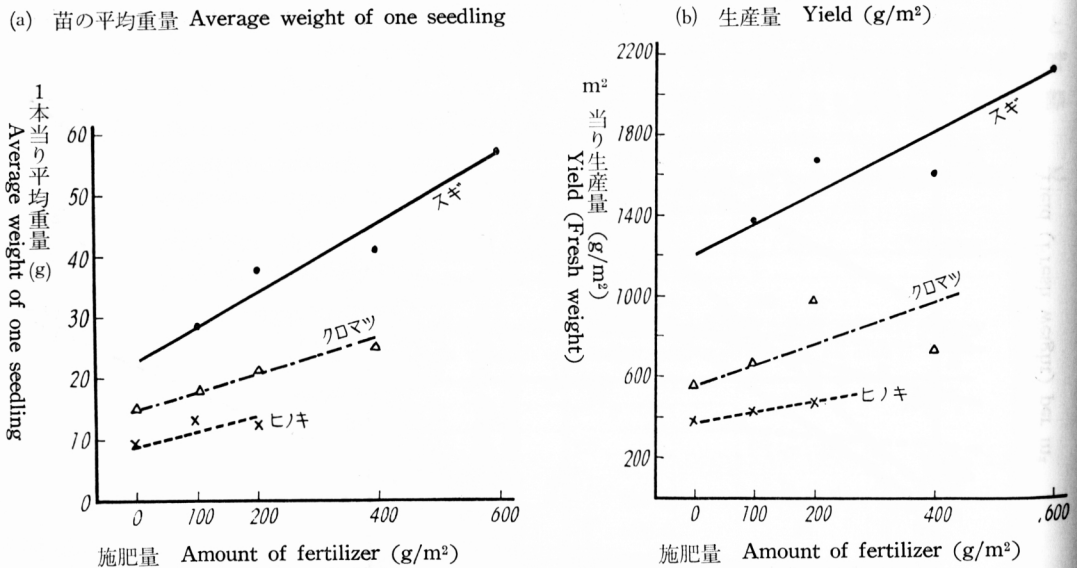
(2) 樹種との関係を見るとモリシマアカシア、スラッシュマツ、スギは密度の影響が大きく、クロマツ、ヒノキは小さい。このことは第4図、第5図(a)、第6図(b)、第7~8図においてスギに対する

* 文献は127頁の欄外下に示したものである。

1) 柴用信男：(1961) 植栽密度試験について 林業技術 No. 228



第7図 スギ、ヒノキ、クロマツの生長と施肥量との関係
 施肥量 100 g/m²、密度 49 本/m² の場合を 100 として
 Fig. 7 Influence of amount of fertilizer on growth of Sugi, Hinoki and Kuromatsu seedling,
 Index number as 100 when amount of fertilizer are 100 g/m² and density are 49/m²



第8図 施肥量と重量との関係
 Fig. 8 Relation between amount of fertilizer to fresh weight of seedling

直線がヒノキやクロマツに比して、いつも急な勾配をなすことにより明らかである。
 概して生育の早い樹種は密度の影響が大きいようである。

(3) 密度が生長に作用する程度は土壤条件によってちがう。

施肥は多くの場合、いろいろの密度において単木の大きいさ並びに面積当りの生産量を増大する。かつ密度を高めてもその影響が無肥料の場合よりも小さい。ただし施肥の効果は一般に疎立状態で顕著であることが判った。このことはカラマツについて行った赤井等の実験結果も同様である。

また施肥により無肥料の場合よりもはるかに高密度において、無肥料での低密度の場合の生産物以上の大きさを有する苗木を早くかつ多量に生産し得られる。(第12表参照)

この理由として次のことが考えられる。(a) 葉量は施肥によりある程度増加されることは四手井¹⁾、竹下²⁾等によっても実証されており、また本実験の例でも枝葉量が增大している。(第1図(c)及び第2図参照) (b) また施肥により葉の長さが大となり葉の中の養分量を増大することは塘³⁾、竹下等により明らかにされた所であり、葉の中の養分量に応じて同化能力も増大することが農作物等で認められている。また丹下⁴⁾等は窒素の施用の多い程クロロフィルの含量が高く、葉面積が増加し外部形態が陰葉形態をとることなどから同化量の増大に適応したものと考えられるとしている。(c) また施肥により根系の発達を促すことも塘³⁾その他により認められている所であり、本実験でもそれが明かにされたのである。

土壤条件に恵まれた場合あるいは加里の施用が水分経済上有利^{7) 8) 9)}であり、水分、養分の競争を少なくすれば耐陰性が高められることも既に認められているところである。^{10) 11) 12) 13) 14)}

(4) 樹冠投影面積は施肥量に応じて大きくなることを認めた。また樹冠投影面積合計は、1年の終りには多くの樹種で比較的疎立状態でも床面積以上になり、密度が高ければ早く床面積の3—4倍にも及ぶ完全な閉塞状態を現出する。

したがっていずれは面積当りの現存量が恒量となる時すなわち最大生産量の限界点に来るはずである。1回床替のスギ、ヒノキ、クロマツでは100本/m²では多量の肥料を施しても多くの場合その限界点を超していないように思われる。

(5) 密度を高めた場合には地上部のみが大きくなり、根系の発達の悪いT/R比の大きい苗となるといわれるが、実験した範囲内の密度と、施肥の場合必ずしもその傾向があるとは認め得られなかった。3要素を適当に含む肥料を施せば、根系の発達の良好な苗木をかなりの密度でも生産し得られる。赤井^{*}等はカラマツで実験し、地上部の発達のよいものは地下部の発達もよく、磷酸施肥量の増加にしたがって健苗が得られることを明らかにしている。

(6) 施肥量に対する適応性は樹種によりちがいが、スギ、アカシヤはかなりの施肥量にも堪えかつ生長がそれに依りて増大するが、ヒノキ、クロマツでは肥料過量の害と密度過小の害があるように思われる。(第7—8図参照)

クロマツが床替の当年には直径または苗高の上では施肥効果が少ないように見えるのはその年の生長は前年度に吸収した養分によるという樹性によるものであるが、肥培効果のあることは施肥区の苗の重量の増加により明らかに伺われる。(第8図)

これらの樹種に対してはある程度密度を高めかつ施肥量を増加することにより、増産の道があるように思われる。

- 1) 四手井綱英・菅誠：(1961) 施肥密度試験(第1報) イイギリ苗を用いた模型林分における施肥密度効果 第71回 日林講
 - 2) 竹下純一郎・東基：(1962) スギ肥培事例の調査について 第73回 日林講
 - 3) 塘 隆男・藤田桂治・飯塚三男：(1959) 天然更新した6年生アカマツに対する施肥の効果(第2報) 第69回 日林講
 - 4) 芝本武夫編：(1963) 林地肥培入門
 - 5) 塘 隆男：(1962) わが国主要樹種の栄養及び施肥に関する基礎的研究, 林試報 137号
 - 6) 丹下 勲・長谷川茂：(1962) 窒素の施用が葉の生理的状态並に形態に及ぼす影響 第73回 日林講
 - 7) 平田徳太郎・神保幸雄：(1933) 樹木の蒸散水量測定試験成績(第4回) 森林治水気象彙報 No. 13
 - 8) 芝本武夫：(1947) 森林と環境 自然 No. 6—7
 - 9) 塘 隆男・藤田桂治：(1960) 加里がスギ苗の成長ならびに2—3の形質に及ぼす影響について 第70回 日林講
 - 10) Zon, R., and Graves, H. S., : (1911), Light in relation to tree growth. U. S. For. Serv. Bull. 92.
 - 11) Grasovsky, A., : (1929), Some aspect of light in the forest. Yall Univ. School of Forestry Bull. 23.
 - 12) Toumey, J. W. : (1931), Trenched plots under forest canopies. Yall Univ. Sch of For. Bull. No. 30.
 - 13) Korstian, C. F. and T. S. Colie : (1938), Duke Univ. School of Forest. Bull. No. 3. (細川外共著生態学汎論 養賢堂(1960) p. 327より)
 - 14) 香川信男：(1943) アカマツ林天然更新の基礎的要件としての陽光及土壤水分 朝鮮林試報 No. 53
- * 赤井・島崎・白鳥：(1962) 前掲 第72回 日林講

苗畑では1本1本の苗木がそれぞれ形質がよいことと揃った苗が出来ることが望ましいのである。密度が高まると大いさのばらつきが大きくなり¹⁾、また施肥も同様の傾向があることよりすれば、育苗上の点ではむやみに密度や施肥量を高めることにはもちろん問題があるのはいうまでもないが、施肥によりある程度密度を高めうる可能性を肯定するものである。はじめにのべたように本研究は林地への適用法則を見出そうとしたものであることは附言しておきたい。

Résumé

It is very important to increase the yield of forest land and to shorten the harvest time. Concerning with this problem, the following has been found.

- (a) The yield in unit area increases with the increase of density up to a certain limit.
- (b) Fertilizing has great influences on the productivity of forest land or nursery.

We carried out some experiments in various combinations of density and amount of fertilizer. The kinds of trees experimented are SUGI (*Cryptomeria japonica* D. Don.), HINOKI (*Chamaecyparis obtusa* S. et Z), KUROMATSU (*Pinus Thunbergii*), SLASH PINE (*Pinus elliottii* var. *elliottii*) and MOLLISSIMA ACACIA (*Acacia decurrens* var. *mollissima* Willd.). The experimental plan and the results are shown in the tables, 1, 15, 18, 21, 25, and 3-14, 16-17, 19-20, 22-24, 26-28.

The conclusion of these experiments is as follows.

1) It was recognized for all the kinds of trees experimented with that the competition-density law can be applied closely, namely, the volume or weight of an individual tree decreases with the increase of the density, and the total yeild of unit area increases with the increase of the density up to a certain limit.

2) The effects of the density are larger and more remarkable in comparatively lower density in non fertilized plots than in fully fertilized plots.

3) In a certain density the volume or weight of an individual seedling and the total yield per unit area increase with the increase of the amount of fertilizer. In fully fertilized plots, bigger seedlings can be expected, even at higher density, than in lower density in less fertilized plots.

4) The total yield per unit area would become maximum at a certain density. The limit density may be over 100 seedlings. per squar meter in the case of SUGI, HINOKI or KUROMATSU which are replanted as two-year-old.

5) By sufficient and complete application of fertilizer which contains a proper ratio of the three elements of fertilizer, we can expect better seedlings which have well developed roots, than in poor soil even at higher density.

6) The grade of density effects or the influences of fertilizing on the growth of seedlings differs according to the species of tree: for A. MOLLISSIMA, SLASH PINE and SUGI it is large, and for HINOKI or KUROMATSU seedlings is little.

From these results, it may be concluded that there are some other factors than light, which cause the effect of competition. The factors, nutrient in the soil give some effects on the growth of seedlings at first, and the competition for light is secondary. Fertilizing moderates the competition for light.

1) 吉良龍夫：(1957) 密度，競争，生産 前掲

2) 堤利夫・四手井綱英・柴田信男・岡本省吾：(1960) 産地別に植えたスギ苗に対する施肥効果について (1) 第70回 日林講