

## 林地における施用肥料の効率に関する研究

野上, 寛五郎

<https://doi.org/10.15017/14805>

---

出版情報 : 九州大学農学部演習林報告. 48, pp.1-111, 1974-03. 九州大学農学部附属演習林  
バージョン :  
権利関係 :



のををまとめたものである<sup>60)68)81)82)83)84)85)86)87)88)89)112)</sup>。本研究に 懇篤な指導を 賜った九州大学名誉教授佐藤敬二博士，九州大学教授宮島寛博士，同教授井上由扶博士，同助教授須崎民雄博士，同助教授山田芳雄博士，ならびに東京農工大学教授川名明博士に対し多大の謝意を表し，調査，研究遂行上協力，援助いただいた熊本営林局関係各位，長崎営林署多比良苗畑の楠原正治前主任に，また実際の現地調査に当っては九州大学農学部造林学教室職員各位，大学院生および学生諸兄の援助に対し，つつしんで感謝する次第である。

## 第 1 部 林木による施用養分利用に関する基礎的研究

### 第 1 章 モデル林分における肥料の利用効率

本試験の目的は地位，単位面積当たりの立木本数の違いにより，ヒノキのモデル林分を想定し，個体間の競争効果を追求しようとして試みたものである。従来の林木施肥試験においては肥効は単木的に論じられることが多く，個体間の競合を考慮した単位面積当たりの肥効についての考慮があまり払われていないきらいがあった。そこでこの試験では，単位面積当たりの肥料利用率が植栽密度によりどのように変化するか，地味の良否がどのように影響するかを調べようとしたものである。

通常，苗木は苗畑の土壌で育成されるが，土壌はその物理性，化学性，および微生物的要素が関連しあって，苗木の生長に影響するもので，施肥効果はこれらによって大きく左右されるものである。したがって，普遍的な肥効原則を導くためには，まずこの土壌条件の影響を除去して試験を行なう必要があると思われる。そこで，ここでは土壌の影響の少ない砂耕を中心に養分の吸収試験を行なった。

本章ではまずヒノキ苗木モデル林における施用肥料の単位面積当たり利用率を高めるための林分が具備すべき条件を得るため，モデル林の植栽密度を変え，施肥量を一定として与え，このときのチッソ，リン酸，カリの利用率とポット試験によって，施用チッソの苗木による最大利用率を求め，植栽密度のちがいが施用肥料の吸収率におよぼす影響を砂栽培で検討した。

つぎに砂を培土として，液肥，灌水栽培し，植栽密度を一定としたときの施肥量のちがいが，すなわち施肥量の最適条件が求められた。また，施用養分の分布は 1. 苗木による吸収（肥料の利用率）2. 土壌への吸着 3. 施用肥料の流亡による損失 4. アンモニアガスとしての揮散などが考えられるが，このうち林木に利用されない 2, 3, 4 の養分をコントロールして林木による吸収限界を得る目的で，流亡を抑えたときの利用率を検討した。

また植栽密度を増加させると林木相互の競合があり，クローネも林分当たりについてみると増大し，同化器官の針葉も生理的に変化すると思われるので，樹冠の上，中，下各部位から採取した針葉の陰葉化の程度について，植栽密度のちがいおよび施肥，無施肥処理の影響をみるため，標識炭酸ガスのとりこみ量を光合成能とみなして測定した。

またここでは一般に林業肥料はチッソ分の多い 3 要素を含んだ肥料を使うのが多いことから施用肥料はすべてチッソ，リン酸，カリを含むものとして統一した。

#### 1 砂栽培で施肥量を一定にしたときの植栽密度との関係

##### a 生長とチッソの収支

単位面積当たり施肥量を一定にした場合、植栽本数のちがいにより、ヒノキ苗のチッソ利用率、チッソ流亡量、土壌中に残ったチッソ量の関係を検討した。また砂を使用したのは、養分の土壌への固定、吸収が少ないこと、通気性、排水性、透水性などの良好なことなどのためであり、土耕による肥効のマイナスを除いて、純粋な肥料の収支をみようとしたものである。

### I 材料と方法

供試苗木は、有機質に富む壤土で育成されたヒノキ1年生苗で、1966年4月末に各プロット(100cm×100cm×30cm)に、砂を密に充填し、十分に洗浄し、消毒(ソイル乳剤500倍液 15l/m<sup>2</sup>)後、均一な苗木を選び、本数別にていねいに植栽した。植栽時の苗木は平均生個体重 4.21 g, 同乾重 0.98 gであった。植栽本数を m<sup>2</sup> 当たり (3×3) 本=9本, (4×4) 本=16本, (5×5) 本=25本, …… (15×15) 本=225本の13段階とし、施肥区と対照区(無施肥区)を設けた。各プロットは100cm×100cm×30cmの板枠を用い、ビニールフィルムを内部に敷き、底部は排水可能な程度の約3/100の勾配をつけ、排水孔から浸出液(排水)を採取できるようにし、3×3本/m<sup>2</sup>, 9×9本/m<sup>2</sup>, 15×15本/m<sup>2</sup>の各プロットから排水を採取した(Fig. 1-1, Fig. 1-2)。

施用した肥料は磷酸二アンモニア、尿素、塩加、磷酸カリからなる「住友尿素複合液肥」(15:6:6)で、施肥区には、すべてm<sup>2</sup>当たりチッソ(N)量で64gをあたえた。リン酸(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)およびカリ(K<sub>2</sub>O)量はそれぞれ25.6gであった。これを16回にわけて、ほぼ6

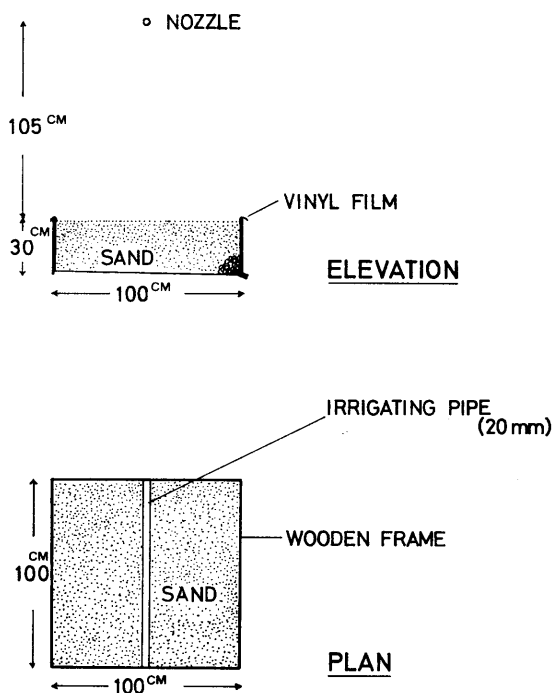


Fig. 1-1 Diagram of sand-culture bed and irrigating equipment  
Each bed was automatically watered two times per day.

日ごとに、苗木が十分活着した後にあたえた。供試土壌の分析結果はTab.1-1に示すとおりで、土性は砂土(S)で、チッソ含有量は微量であった。灌水は1日2回で、平均6mmの水量を自動噴霧した。盛夏時には1日3回灌水量も10~20mmとし、降雨日は灌水をとめた。1966年11月10~15日に苗木を掘取り、水洗し、すべての苗木について、生個体重、

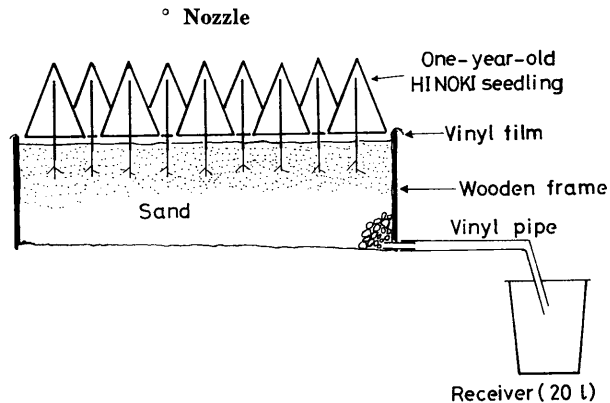


Fig. 1-2 Collecting method of drainage water  
The base of each bed has an angle of about 3/100.

Tab. 1-1 Physical and chemical properties of soil used for the sand-culture test

VOLUME WEIGHT (g/100 cc)	131.7
SPECIFIC GRAVITY	2.39
PORE SPACE (%)	44.85
LIQUID (%)	5.20
GAS (%)	39.65
SOLID SPACE (%)	55.15
MAXIMUM AIR CONTENT (%)	30.48
MINIMUM AIR CONTENT (%)	4.95
COARSE SAND (%)	91.9
FINE SAND (%)	1.1
SILT (%)	1.5
CLAY (%)	5.5
SOIL TEXTURE	S
pH	7.21
H <sub>2</sub> O	6.08
KCl	
EXCHANGEABLE ACIDITY y <sub>1</sub>	0.30
NITROGEN CONTENT (%)	0.006
CARBON CONTENT (%)	0.045
CARBON-NITROGEN RATIO	7.5

生葉重、生枝幹重、生根重を測定し、 $m^2$  当たり生重量、平均生個体重を算出した。さらに各部の乾重を求めた。各プロットから葉、枝幹、根の3部分について、生重で、20~30 g を採取し、ケルダール法でチッソ含量を求め、 $m^2$  当たりのチッソ量に換算し、本数別に、施肥区の利用率を計算した。排水については、水量を測定後、200cc を採取し、約100cc に濃縮し、ガンニング変法により、全チッソの定量を行ない、排水中の全チッソ量を求めた。苗木掘取後の砂についてもチッソの定量を行なった。

## II 結果と考察

### 1) 苗木の葉重、枝幹重、根重および個体重について

本数増加にともない個体の各部重量は各部分とも減少したが、その場合施肥によってさらに重量減少が促進された (Tab. 1-2)。地下部重についてみると、葉重ほど施肥と無施肥との差は顕著でなく、逆に施肥区が無施肥区に劣るところもあった。T/R 率は、Tab. 1-2 に示すとおりで、宮崎<sup>65)</sup> が健全苗 (一回床替、2年生苗) とする値 2.2~3.1 よりも小さい値を呈し、砂栽培では地上部の生長に比べ根系の発育がよいことを示した。施肥区は無施肥区より T/R 率は大きく、地上部の生長が良好で 1.30~1.84 を示し、一般に高植栽密度施肥区がやや大きい値であった。

Tab. 1-2 Dry weight of HINOKI (*Chamaecyparis obtusa*) seedling and T/R ratio affected by fertilization and density treatment

TREATMENT	DENSITY. NUMBER OF SEEDLINGS/ $m^2$	LEAF g	STEM AND BRANCH g	TOP g	ROOT g	T/R RATIO	TOTAL g
UNFERTILIZED	9	4.51	2.25	6.76	3.84	0.94	10.60
	16	3.66	2.24	5.90	2.83	1.34	8.73
	25	4.81	2.48	7.29	4.03	1.00	11.32
	36	3.05	1.40	4.45	2.74	0.88	7.19
	49	4.14	2.00	6.14	4.05	1.06	10.19
	64	2.51	1.25	3.76	2.93	0.93	6.69
	81	2.83	1.46	4.29	2.96	0.87	7.75
	100	2.34	1.23	3.57	2.13	0.91	5.70
	121	1.98	1.04	3.02	1.78	0.85	4.80
	144	2.44	1.17	3.61	2.37	0.85	5.98
	169	1.74	0.91	2.65	2.38	0.73	5.03
	196	1.74	0.95	2.69	1.89	0.85	4.58
	225	1.71	0.76	2.47	1.67	0.86	4.14
	FERTILIZED	9	7.81	3.40	11.21	4.43	1.32
16		5.63	3.08	8.71	3.27	1.30	11.98
25		8.02	4.23	12.25	4.76	1.30	17.01
36		7.05	3.48	10.53	3.82	1.49	14.35
49		5.77	2.85	8.62	3.38	1.29	12.00
64		4.81	2.56	7.37	3.06	1.45	10.43
81		4.69	2.38	7.07	2.69	1.31	9.76
100		4.73	2.61	7.34	3.06	1.41	10.40
121		3.75	2.18	5.93	2.46	1.57	8.39
144		3.69	1.78	5.47	2.06	1.59	7.53
169		3.76	2.03	5.79	2.15	1.84	7.94
196		3.83	2.24	6.07	1.73	1.77	7.80
225		3.74	2.52	6.26	2.26	1.58	8.52

沓木<sup>156)</sup> は播種密度と稚苗 T/R 率の関係をしらべ、密度の影響は認められなかったが、施肥区で、T/R 率が大きくなったと報告している。柴田ら<sup>125)</sup> はある密度で最小となり、やせ地では一般に小さく、これは地上部の不良な苗のためであるとし、一方、密度に無関

係に一定の値となるもの<sup>129)</sup>、高密度ほど T/R 率は大きくなる結果<sup>2)</sup>もあり、また変動があつて密度増加につれ、必ずしも大きくならないこともある<sup>48)</sup>。施肥と、密度の処理に関してここでは砂耕、液肥施肥によって T/R 率の小さい形質の大きい苗を生産することが可能であるが、密度増加 および 施肥によって、T/R 率はやや大きくなる傾向があると考えられる。

枯死苗数は高密度区ほど多く、施肥区が無施肥区よりも多い傾向を示した (Tab. 1-3)。単位面積当たり乾重についてみると、高密度区ほど大きく、無施肥区が本数増加にともない曲線的に増加し、144本/m<sup>2</sup> 以上になるとほぼ一定の値を示すのに対し、施肥区の 2 次

Tab. 1-3 Number of dead seedlings per square meter and death rate affected by fertilization and density treatment

DENSITY (NUMBER OF SEEDLINGS/m <sup>2</sup> )	UNFERTILIZED		FERTILIZED	
	NUMBER OF DEAD SEEDLINGS/m <sup>2</sup>	DEATH RATE %	NUMBER OF DEAD SEEDLINGS/m <sup>2</sup>	DEATH RATE %
9	0	0.00	0	0.00
16	3	18.75	6	37.50
25	0	0.00	4	16.00
36	0	0.00	1	2.78
49	2	4.08	1	2.04
64	6	9.38	4	6.25
81	1	1.23	5	6.17
100	4	4.00	12	12.00
121	6	4.96	7	5.79
144	7	4.86	11	7.64
169	3	1.78	13	7.69
196	5	2.55	27	13.78
225	11	4.89	25	11.11

の項は有意でなくほぼ直線的に増加した。したがって、施肥することにより単位面積当たりの重量を増加させうることがわかった (Fig. 1-3)。

しかし、葉重については施肥密度試験で、菅ら<sup>50)</sup>のイイギリ苗を用いた模型林分では、肥効の生産面におよぼす影響は、地表を早く葉でおおい最大の生産をあげることにあると述べ、川名ら<sup>41)</sup>のヒノキ模型林分、また柴田ら<sup>125)</sup>の数樹種の稚苗<sup>124)</sup>でも施肥、高密度区での面積当たり葉量増大の著しいことが述べられているが、本試験の結果でもこの傾向が認められた。四手井ら<sup>107)</sup>は林分当たり葉量はほぼ一定であり、施肥は競争密度効果を変えず、時間的変化を早めるに役立つとしたが、ここでは単位面積当たり施肥区の個体重は直線的に上昇し、無施肥区の曲線的 (ミッチェルリッヒ型カーブ) 変化とは異なり、個体重、葉重に関する限り、競争効果の過程が変わるようである。一般に密度効果として考えられる植物個体群の生長は、平均個体重はある範囲以上で密度に逆比例的であること、個体重×密度としてあらわされる面積当たり収量は、生育経過にともない、ほぼ一定となることが認められている<sup>52)</sup>。この試験では、無施肥では 120本/m<sup>2</sup> 密度附近で収量一定となる傾向が、施肥によってそのレンジをかえ 225本/m<sup>2</sup> 密度でもなお一定とならず、可給態養分の

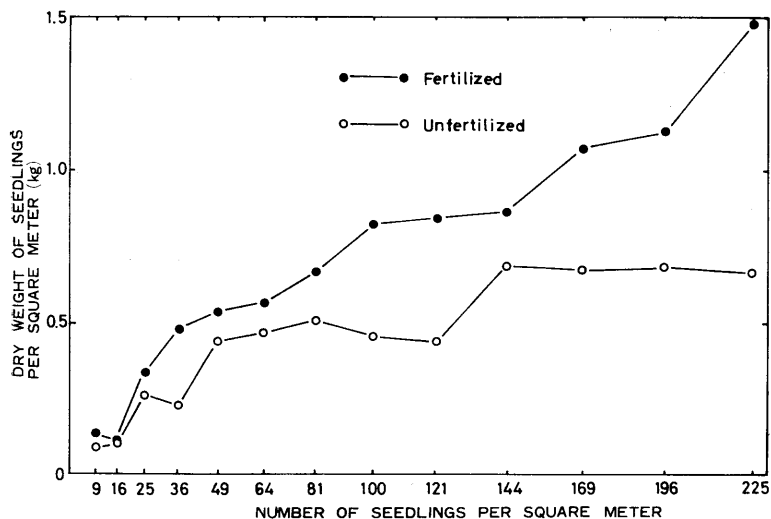


Fig. 1-3 Dry weight growth increment of HINOKI seedlings per square meter throughout the one growing season in the sand-cultured experiment

施用で植栽密度効果の出現の程度を異ならしめることがわかった。

2) 葉, 枝幹, 根に含まれるチッソ含有率およびチッソ量

チッソの含有率は Fig. 1-4 に示すとおりで, 施肥区と無施肥区の差は顕著であり(1

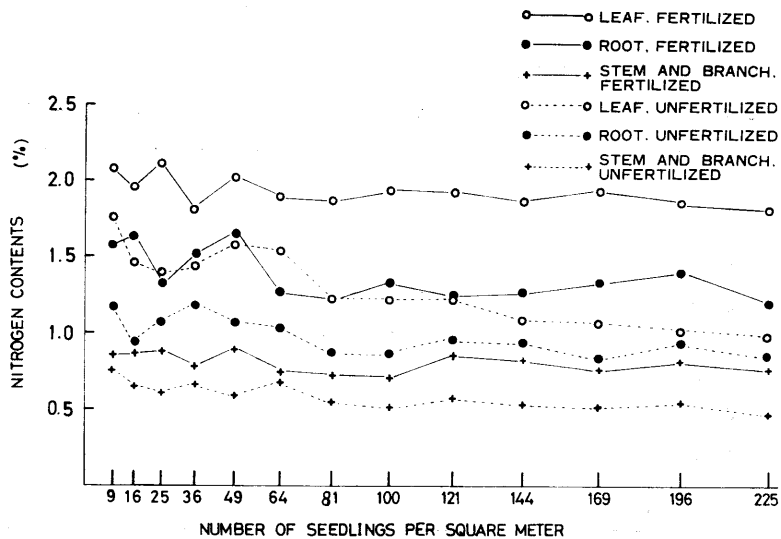


Fig. 1-4 Nitrogen concentration in various parts of HINOKI seedling affected by fertilization and density treatment

%の危険率で有意), 葉, 枝幹, 根のいずれも疎植区が密植区よりも僅かではあるが多く, 81本/m<sup>2</sup>以上の密度になるといずれもほぼ等しい含有率を示した。単木に含まれるチッソ量は乾重に比例し, 疎植区ほど多く 植栽本数がふえるにつれて減少した。m<sup>2</sup> 当りのチッソ含量はTab.1-4 に示すとおりで, 本数増加とともに施肥区が直線的にふえるのに対し, 無施肥区は曲線的にふえ, 施肥区のチッソ量と無施肥区のチッソ量の差は植栽密度がふえるにつれて大きくなった。

Tab. 1-4 Nitrogen contents in seedlings per square meter affected by fertilization and density treatment (g)

DENSITY (NUMBER OF SEEDLINGS/m <sup>2</sup> )	UNFERTILIZED				FERTILIZED			
	LEAVES	STEMS AND BRANCHES	ROOTS	TOTAL	LEAVES	STEMS AND BRANCHES	ROOTS	TOTAL
9	0.71	0.15	0.40	1.26	1.47	0.26	0.62	2.35
16	0.70	0.19	0.35	1.24	1.10	0.27	0.53	1.90
25	1.67	0.38	1.08	3.13	3.53	0.79	1.31	5.63
36	1.57	0.33	1.16	3.06	4.43	0.96	2.02	7.41
49	3.05	0.55	2.01	5.61	5.59	1.22	2.62	9.43
64	3.00	0.66	2.34	6.00	5.42	1.15	2.34	8.91
81	2.76	0.65	2.07	5.48	6.67	1.30	2.47	10.44
100	2.71	0.60	1.78	5.09	8.06	1.62	3.59	13.27
121	2.47	0.68	1.97	5.39	8.23	2.10	3.49	13.82
144	3.64	0.86	3.02	7.52	9.19	1.93	3.48	14.60
169	3.07	0.79	3.30	7.16	11.31	2.37	4.50	18.18
196	3.38	0.98	3.34	7.70	11.97	3.07	4.08	19.12
225	3.65	0.71	3.03	7.39	13.52	3.82	5.47	22.81

### 3) 苗木の単位面積当たりチッソ利用率

各施肥区についてチッソ利用率を求めると, Fig. 1-5 に示すように, 低密度区ほど小さ

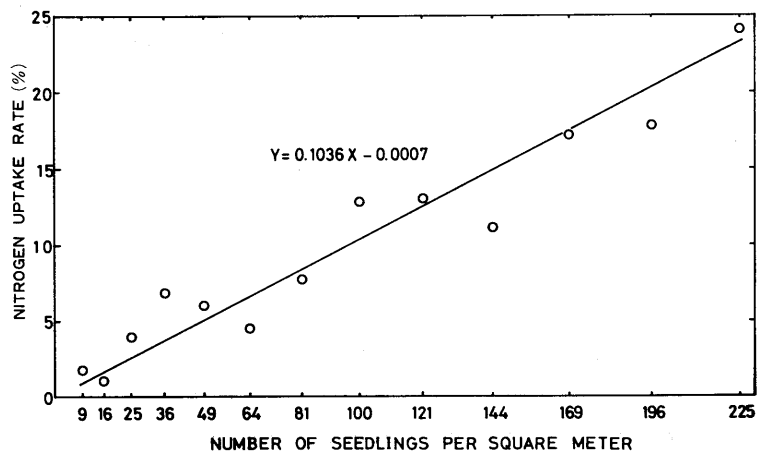


Fig. 1-5 Nitrogen uptake rate by HINOKI seedling at different densities

く(16本/m<sup>2</sup>で約1%), 高密度(225本/m<sup>2</sup>区)では24%にまで上がった。利用率についても同様に, 密度の効果がいちじるしく, m<sup>2</sup> 当たりチッソ量で64g 施した場合, 直線的に増加し, 225本植栽区がもっとも利用率の高いことがわかった。これは速効性液肥を分施したこともその利用率の向上に役立ったものと考えられる<sup>117)</sup>。

#### 4) 排水中のチッソ含量(チッソの流亡)について

Fig. 1-6はチッソの流亡量と降雨および排水量との関係をあらわしたものであるが, 流亡は排水量に比例し, 降雨の多いときはこれにうながされて大量に流亡し, 降雨の少ないときは流亡量も少なかった。流亡量が降雨量に比例することは坂本<sup>110)</sup>, COLEら<sup>14)</sup>, 須崎<sup>123)</sup>も認めている。また, 藤田<sup>35)</sup>は砂丘地でチューリップの灌水施肥栽培を行ない, 灌水の

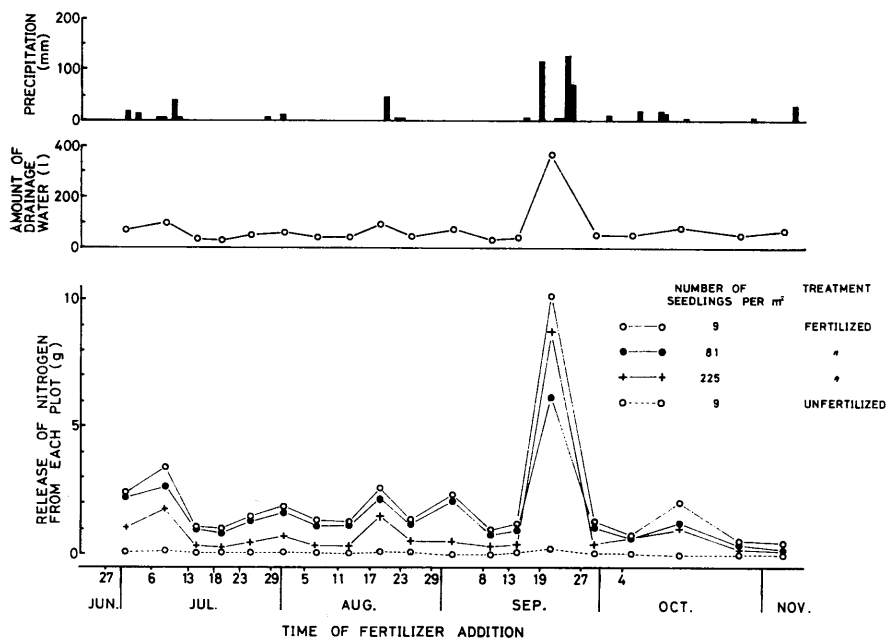


Fig. 1-6 Relationship between nitrogen contents in the leachet, amount of drainage water and precipitation

効果は大きい, 施肥量の大部分が灌水によって流亡し, 厳密に適量を灌水しても肥料分の流亡が大きいことを認めている。つぎに密度別にみると, 9本/m<sup>2</sup>区がもっとも多く, 81本/m<sup>2</sup>, 225本/m<sup>2</sup>の順に流亡量は減少し密度との関係が認められた。施肥区は施肥後1か経過しても少量ではあるが, 無施肥区よりも多くのチッソが流亡し, 最後の施肥後は時間の経過とともに流亡量は減少する傾向を示した。また, チッソの流亡量は本試験の場合施肥量の30~55%に達することがわかった。RANEY<sup>98)</sup>はライシメーターでの試験で, 排水量と排水中のチッソ流亡量との関係は正の相関のあることを, また作物のチッソ含量が多いとチッソの流亡は少ない傾向があり, 生育旺盛な作物を育てることで流亡は減らせるとしている。稲川ら<sup>38)</sup>も方形の角形傾斜ライシメーターに, ヒノキ, クロマツ, ヤマハンノキなどの苗木を植栽し, 浸透水, 地表流下水の無機養分を測定し, 裸地化すると Ca,

N ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) が失われ、植生があれば養分の流亡は少なくなり、灌水量によっては マツ苗があることで、チッソ、カリの流亡を減らすことができると報告している。ここでは植栽本数をふやすことで、疎植区よりも流亡量は少なくなったことを認め、流亡を減らすためにはできるだけ地表面の植生による被覆が必要であることがわかった。一方、浸漬と乾燥をくり返すことで土壌中の全チッソの 15~20% が流亡したことを PATRIK<sup>95)</sup> は確かめ、これは乾燥したときに土壌中のチッソが硝化し、土壌を浸漬状態にしたときに流亡したとしている。土壌水分との関係について、OWENS<sup>92)</sup> は  $^{15}\text{N}$  で標識した硫酸アンモンを施用した際の流亡水、作物、および土壌に含まれる全チッソおよび標識チッソの測定結果から、流失によるチッソの損失は土壌水分の多い土壌ほど多かったと述べている。

本試験の砂栽培は排水良好な砂であったため灌水した水はすぐ排出され、とくに夏季の高温による乾燥、次の灌水と浸漬、乾燥を培土はくり返すことになり、流亡が十分考えられる。本試験のような砂地では、速効性肥料はできるだけ分施を多くし、低濃度で与えることが必要であると考えられる。

さらに TYLER<sup>148)</sup> によると粗な土性の土壌では、肥料溶液の拡散が大きいことで、アンモニア態チッソの硝化作用はほぼ完全になされ、ポット底部付近で高濃度となったことを報告し、硝酸態チッソ形成後、流亡することは RANEY<sup>98)</sup> も確かめ、硝化作用がチッソ流亡には大きな役割をはたしていると結論した。本試験の場合にも尿素、あるいはアンモニア態チッソは容易に硝化し、その後流亡したものと考えられる。したがってこのような場合、硝化防止の目的で硝酸化成抑制剤を施用<sup>101)136)</sup> することも考えられよう。

#### 5) 掘り取り時の土壌中に含まれるチッソ量について

9, 81, 225本/ $\text{m}^2$ 区について土壌中のチッソ含有率を調べたところ、施肥区はそれぞれ 0.0094%, 0.0111%, 0.0099% で、無施肥区の含有率もこれらとほとんど変わらず、施用チッソの土壌への残存はほとんど認められなかった。そこで、各プロットの砂の体積を仮に、28cm $\times$ 100cm $\times$ 100cm とし、砂の重量を求めると 368.8kg となり、これに Tab. 1-5 の F の不明量が含まれるとすれば、含有率であらわすと 9 本/ $\text{m}^2$ 区で 0.0074%, 81 本/ $\text{m}^2$ 区で 0.0084%, 225 本/ $\text{m}^2$ 区で 0.0079% となり、きわめて微量のチッソ量となり、コンマ以下 4 桁の検出値比較は困難で、不明量 (F) は、揮散、流亡あるいは土壌中に吸着されたものと考えたい。なおこの砂のチッソ吸収係数は 47.9 とはなほ小さかった。以上から施用されたチッソ量のうち苗木に吸収されるチッソ量はわずかで、高密度区が多く、施用量の約 30~55% のチッソ量が流亡したことがわかった。また、施用したチッソ 64g のうち流亡量と苗木による吸収量を加えると Tab. 1-5 の E のとおりで、各密度段階でその量はほぼひとしく、疎植区は吸収量が少なく、流亡量が多いのに対し、密植区は疎植区よりも流亡量は少なく、吸収量が多かった。このことから、単位面積当たりの本数がふえると吸収量はふえ、流亡量も比較的少なくなり、チッソの吸収量と流亡量とは負の相関が認められた。

したがって、林木による施用肥料の単位面積当たり利用率を高めるためには、高密度 (1 回床替苗の砂栽培では 225 本/ $\text{m}^2$ ) とすることが必要でチッソ流亡率も疎植区 55% に対し、密植区 30% (Tab. 1-5) と密植区で少なかったことから、密植することが林木の養分吸収上、有利であると思われる。

Tab. 1-5 Incomings and outgoings of applied nitrogen  
on sand-cultured bed at different densities (g)

FERTILIZED PLOT (NUMBER OF SEEDLINGS PER SQUARE METER)	A	B	C	D	E	F
9	36.7266	35.4917 (55.46)	2.3511	1.0859 (1.70)	36.5776	27.4224 (42.85)
81	29.0510	28.1147 (43.93)	10.4400	4.9700 (7.77)	33.0847	30.9153 (48.31)
225	19.9782	19.3405 (30.22)	22.8097	15.4149 (24.09)	34.7554	29.2446 (45.69)

A: Nitrogen in the leached water.

B: Nitrogen comes from the applied fertilizer in the leached water. ( ) shows the leaching rate (%).

C: Nitrogen contents of seedlings per square meter.

D: Nitrogen contents of seedlings per square meter which come from the applied fertilizer. ( ) shows the nitrogen uptake rate by seedlings (%).

E: Determined nitrogen (B+D).

F: Undetermined nitrogen (Amount of applied nitrogen - E). ( ) shows the undetermined nitrogen percent (%).

#### b リン酸, カリの吸収

砂を培土として, 自動灌水を行ない, 液肥を用い必要なときに随時養分を供給できるといふ砂栽培ではとくに施肥効果が顕著である。チッソについては植栽密度の増加に伴って単位面積当たりの利用率は向上したことを述べたが, ここではリン酸, カリについて単位面積当たり施用量を一定とした場合, それぞれの利用率と植栽密度との関係を検討した。とくに土耕においては施用リン酸は, 土壌中の鉄, アルミナとの結合があつて不可給化し易い。本試験では吸収係数の小さい砂土で水溶性リン酸の施用回数をふやしてリン酸の利用率をあげることを試みた。本試験は前節の a のチッソの収支に関する試験と同時に進んだ。

#### I 材料と方法

供試苗, 植栽本数, 液体肥料の量, 施用回数, 供試土壌, 灌水方法, 供試枠 (1.0 m × 1.0 m × 0.3 m) などは前節 a のとおりであった。なお施用肥料は全チッソ 15.0% (ほとんど尿素態), 水溶性リン酸 6.0%, 水溶性カリ 6.0% を保証できるものであった。苗木を葉, 枝幹, 根の各部に分け, リン酸, カリ含量をバナドモリブデン比色法, 炎光分析法でそれぞれ求め, 密度別, 施肥区, 対照 (無施肥) 区別に m<sup>2</sup> 当たり含量に換算し, 単位面積当たりの利用率を算出した。

#### II 結果と考察

##### 1) リン酸の含有率, 利用率について

Tab. 1-6 に苗木の葉, 枝幹, 根部におけるリン酸含有率を示したが, 施肥効果は

とくに葉部，地下部（根）においてみられ，無施肥区では疎植区の濃度がやや高い値を示したが，施肥区では植栽密度間にはほとんど有意な差がみられなかった。このことから施肥によって苗木のリン酸含有率はあがり，密植区でも濃度の高い苗木が得られた。さらに

Tab. 1-6 The phosphorus concentration in various parts of the sand-cultured HINOKI seedling (%)

DENSITY (NUMBER OF SEEDLINGS/m <sup>2</sup> )	UNFERTILIZED			FERTILIZED		
	Leaf	Stem & Branch	Root	Leaf	Stem & Branch	Root
9	0.54	0.42	0.65	1.06	0.44	1.55
16	0.46	0.28	0.33	0.80	0.28	2.32
25	0.40	0.21	0.41	1.17	0.47	1.50
36	0.51	0.21	0.48	1.05	0.32	1.57
49	0.44	0.31	0.35	0.95	0.40	1.46
64	0.39	0.25	0.43	0.83	0.48	0.83
81	0.39	0.16	0.52	0.93	0.41	0.95
100	0.36	0.24	0.39	1.06	0.34	1.21
121	0.59	0.34	0.49	0.98	0.51	0.92
144	0.74	0.16	0.28	1.08	0.52	1.25
169	0.39	0.25	0.32	1.23	0.33	1.31
196	0.64	0.25	0.32	1.22	0.47	1.04
225	0.39	0.23	0.27	1.16	0.29	0.82

m<sup>2</sup>当たりリン酸含有量（葉部+枝幹部+根部として）を 9, 36, 81, 144, 225 本/m<sup>2</sup> 別にみると，施肥区で 0.77 g, 2.43 g, 4.25 g, 5.71 g, 7.77 g, 無施肥区で 0.47 g, 0.98 g, 1.81 g, 2.09 g, 2.44 g となって植栽密度，施肥の効果がはっきりあらわれた (Tab. 1-7)。これをもとにして m<sup>2</sup> 当たり施用リン酸利用率を算出した結果を Fig. 1-7 に示した。

Tab. 1-7 Phosphorus contents of the sand-cultured HINOKI seedlings per square meter at different densities (g)

NUMBER OF SEEDLINGS/m <sup>2</sup>	UNFERTILIZED	FERTILIZED
9	0.466	0.772
16	0.368	0.708
25	1.137	2.165
36	0.976	2.433
49	1.537	3.220
64	1.697	4.102
81	1.810	4.246
100	1.609	5.424
121	1.589	5.172
144	2.094	5.708
169	2.033	6.038
196	2.163	6.079
225	2.441	7.774

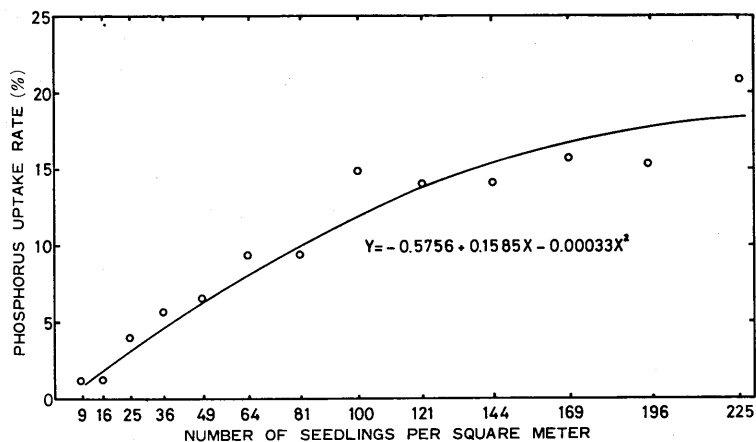


Fig. 1-7 Phosphorus uptake rate by HINOKI seedlings at different densities

これによる利用率は疎植区では著しく低く、密植区になるほど向上し、チッソ、カリの利用率とくらべると曲線的（二次式）で、密度100本/m<sup>2</sup>を境として、それまでは密度の増加に伴って利用率は急カーブで上昇するが、それ以上になると比較的ゆるやかとなることが認められた。一般に土耕の場合のリン酸利用率は極めて低いのが普通であるが、培地がリン酸吸収係数の極めて小さい（250）砂で、その上分施したため、約18%にまで利用率を上げ得たと考えられる。

2) カリ含有率、利用率について

カリの施肥効果は、含有率でとくに顕著にあらわれた（1%レベルで有意）が、植栽密度間では有意でなかった。各部位ではリン酸と同様に葉、根系部で肥効がみられ、とくに

Tab. 1-8 The potassium concentration in various parts of the sand-cultured HINOKI seedling (%)

DENSITY (NUMBER OF SEEDLINGS/m <sup>2</sup> )	UNFERTILIZED			FERTILIZED		
	Leaf	Stem & Branch	Root	Leaf	Stem & Branch	Root
9	0.55	0.26	0.55	0.62	0.25	0.65
16	0.40	0.19	0.33	0.61	0.25	0.88
25	0.49	0.20	0.43	0.78	0.31	0.59
36	0.43	0.21	0.41	0.57	0.24	0.54
49	0.38	0.19	0.33	0.66	0.32	0.60
64	0.39	0.18	0.34	0.86	0.30	0.64
81	0.38	0.18	0.31	0.67	0.27	0.67
100	0.38	0.16	0.28	0.70	0.31	0.67
121	0.32	0.17	0.33	0.70	0.26	0.56
144	0.30	0.16	0.26	0.66	0.30	0.64
169	0.30	0.14	0.25	0.57	0.26	0.55
196	0.30	0.14	0.25	0.60	0.25	0.43
225	0.32	0.14	0.30	0.59	0.26	0.45

施肥，疎植区 9~49本/m<sup>2</sup>で根の含有率が高くなった。枝幹部分ではその差が小さかった (Tab.1-8)。分散分析では各部位と肥料×各部位の項に 1~5%水準で有意差がみられた。含有量 (Tab.1-9) から求めたカリの利用率と植栽密度との関係は直線的 (一次式) で，植栽密度と利用率はほぼ比例した (Fig. 1-8)。本来，カリはぜいたく吸収，すなわち収量の

Tab. 1-9 Potassium contents of the sand-cultured HINOKI seedlings per square meter at different densities (g)

NUMBER OF SEEDLINGS/m <sup>2</sup>	UNFERTILIZED	FERTILIZED
9	0.529	1.499
16	0.422	1.294
25	1.024	3.886
36	1.138	5.074
49	1.813	5.573
64	1.990	4.650
81	2.305	6.000
100	1.889	8.459
121	2.747	8.041
144	3.655	9.965
169	2.771	12.671
196	3.742	12.699
225	2.758	13.838

増加を伴わない吸収をしやすい傾向があり，その利用率は一般に高いことが認められており<sup>53)</sup>，本試験でも高植栽密度区で，チッソ，リン酸の適量を併用した場合は，40%以上にも向上できた。単位面積当たり利用率は他の要素 (チッソ素，リン酸) とくらべると密度の効果は顕著であった。

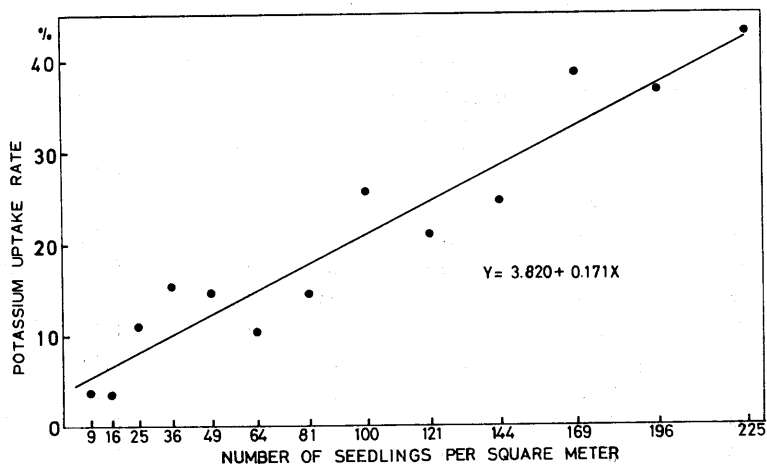


Fig. 1-8 Potassium uptake rate by HINOKI seedlings at different densities

### 3) リン酸, カリの流亡量について

施肥後19回にわたってポット底部からの滲透水を採取し, その中のリン酸, カリ量を定量したが, リン酸はどの植栽密度区でも痕跡 (Trace) (0.1 ppm 以下) の程度で, コントロール区とほとんど変わらなかった。Dowら<sup>16)</sup>によれば Ca 含量の多い土壌で, 溶液の形でアンモニア態チッソ, リン酸を施し, その動態をしらべた結果, リン酸はアンモニア態チッソとは独立に動き, しかもその動きが早いことを認めている。ここでは 0.1 ppm 以下で対照区と変わらず, 流亡しても施肥量が少ないので検出できなかったのか不明であるが, 肥効がみられたことからヒノキ苗の吸収量以外は砂に吸着したか, 希釈され流亡したものと考えられる。

また稲川ら<sup>38)</sup>も微砂質植壤土のライシメーター試験でリン酸の流亡量は極めてわずかであったとしており, 青峰ら<sup>7)</sup>は火山灰土壌中での施用養分の動態に関する研究でリン酸は当然のこととして土壌に固定されたとした。本試験に用いた培地は固定力の小さい砂であったが, なおかつそれに固定されたために, リン酸の流失はきわめて少なかったものと思われる。カリの含有量はそれぞれ, 9 本/m<sup>2</sup>区で 24 g, 225 本/m<sup>2</sup>区で 10 g で流亡率は疎植区で 96 %, 密植区で 42 % となり, 流亡量も疎植区ほど多かった。

Red pine (*Pinus resinosa* AITON) 苗のカリの吸収と灌水, 降雨による流亡をしらべた結果から, KRAUSE ら<sup>62)</sup>はカリと硝酸態チッソとの流亡は比例関係にあったことを述べている。本試験でもカリ流亡はチッソの流亡量と似た傾向を示した。

なお単木のリン酸, カリの含有量は個体重に比例し, 疎植区で多く, 密植区で少ないことがわかったが, 本試験の植栽密度範囲, m<sup>2</sup> 当たり施用肥料一定の場合で, 一生長期間生育したときの単位面積当たり利用率は密度の増加にともなって上昇したが, これが無限に上昇するとは考えられず, ある密度でマキシマムに達するものと思われる。

しかしながら, リン酸の利用率のカーブは, 比較的低密度でほぼ一定化してくる傾向がうかがわれ, カリやチッソと異なっていることからして, 可給態養分が十分豊富な場合は, 利用効率は一定範囲内では植栽密度に比例するということがいえる。

#### c 最大のチッソ利用率と植栽密度

植栽本数, 施肥方法などを変えることによって肥料の利用率を検討したが, いままでは比較的大型の床替苗を用いて生育させ, 露地で行なっていたため, 高密度の設定, 掘取り時の根系の損傷, 降雨時の灌水の調節などの困難性があった。ここでは精英樹の一母樹から採取した種子を用いて発芽後ただちに, ポットに極めて高密度まで植栽し, 植栽密度による肥料のマキシマム利用率を求めるため, また灌水も一定となるよう屋外の屋根付ベッドの上で施肥量をポット当たり一定にして, 純粋な利用率を算出するよう試みた。

#### I 材料と方法

種子は九大粕屋演習林内にある精英樹—久原2号—から1967年11月に採取したもので, 翌1968年6月中旬に定温器内で発芽直後の健全な稚苗を, スチロール樹脂製 16.8 cm × 17.8 cm × 15.5 cm のポットに栽植した。ポットの側方底部に排水孔を設け, 排水を良くするため, 約1/10の勾配をつけ, 底部にガラスワールを敷き, 熱処理した径0.5 mm ~ 2.0 mm の砂を約4 kg 入れて用いた。ポットは雨水の影響を除くため, 屋根でおおった。

植栽は6 cm 間隔 6 本/ポット (m<sup>2</sup> 当たり 285 本に相当する), 4.5 cm 間隔 12 本/ポット (570

本/m<sup>2</sup>), 3 cm間隔 24本/ポット (1140本/m<sup>2</sup>), 2cm間隔54本/ポット (2565本/m<sup>2</sup>), 1.5 cm間隔 96本/ポット (4560本/m<sup>2</sup>) および 1cm間隔216本/ポット (10260本/m<sup>2</sup>) の6段階に分けて (Tab. 1-10), 対照区, 施肥区 それぞれ 3 回くり返しとし, 植付 1 か月以後に約 500 倍液の住友尿素複合液肥 1 号 20 g/ポットを 20 回に分け, 7 日~10 日おきに与え, 植付後 14 か月目に掘取った。掘取った時はポットを水槽中に浸し, 水を吹きつけながら根系を痛めないように採取した。生重, 乾重, 地上高, および枝張りを測定し, チッソ含有量はケルダール法で求めた。

## II 結果と考察

植栽後 14 か月目の生長については, 枝張りは施肥区が全体的に大きく, 施肥区で 39 本/ポット以上になると, ほとんど変らなくなった。単位面積当たりの本数も施肥区は 96 本/ポット植栽区になると枯死本数がふえて, ポット当たりの重量はほぼ一定となった (Tab. 1-10, Fig. 1-9)。

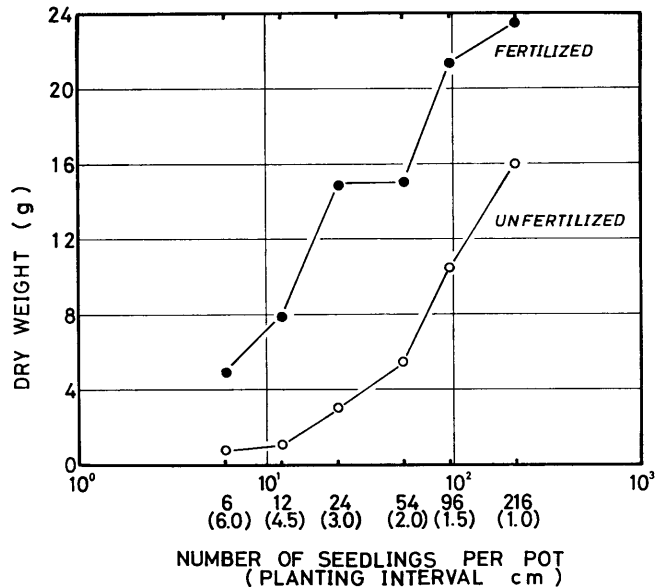


Fig. 1-9 Dry weight of HINOKI seedlings per pot at different planting interval

チッソ含有率は疎植区でやや大きい値を示し (Fig. 1-10), 3 要素を含む液肥の形で与えたが施用チッソの利用率も 24~96 本/ポット植付け区でほぼピークに達し, それ以上の本数区もほとんど変らなかった (Fig. 1-11)。すなわち単位面積当たりの乾重生産量は施肥による生長促進によってある程度の植栽本数に達するとほぼ一定となり, 乾重×含有率にもとづいて算出される吸収率が施肥量, 施肥法, 灌水法を一定にすれば, ほぼ乾重に比例し, ある密度になると密度効果 (C-D 効果) が働き, それ以上の増加は得られないことがわかった。

Tab. 1-10 Growth response of HINOKI seedling at different densities

NUMBER OF SEEDLINGS/POT	TREATMENT	CROWN DIAMETER (cm)	HEIGHT (cm)	DRY WEIGHT/POT			NUMBER OF SEEDLINGS AFTER TREATMENT
				TOP (g)	ROOT (g)	TOTAL (g)	
6 (285)*	UNFERTILIZED	5.2	9.9	0.70	0.15	0.85	4
	FERTILIZED	10.6	15.3	4.14	0.86	5.00	4
12 (570)	UNFERTILIZED	5.0	7.9	0.92	0.23	1.15	6
	FERTILIZED	9.2	15.7	5.61	1.29	6.90	8
24 (1140)	UNFERTILIZED	5.1	7.9	2.22	0.83	3.05	19
	FERTILIZED	9.2	15.5	13.05	1.93	14.98	18
54 (2565)	UNFERTILIZED	5.1	7.5	3.88	1.60	5.48	37
	FERTILIZED	6.7	11.6	12.73	2.25	14.98	39
96 (4560)	UNFERTILIZED	3.8	7.4	7.45	2.93	10.38	85
	FERTILIZED	6.9	12.2	18.05	3.33	21.38	51
216 (10260)	UNFERTILIZED	3.4	7.2	11.15	4.82	15.97	149
	FERTILIZED	6.5	12.0	19.92	3.82	23.74	92

\* Number of seedlings per square meter

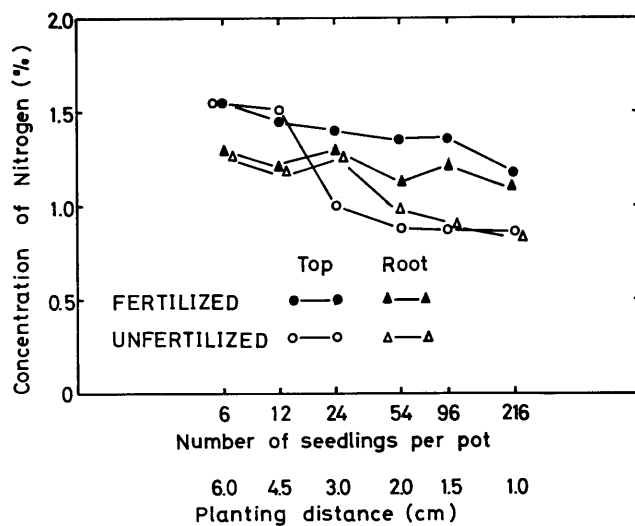


Fig. 1-10 Nitrogen concentration of HINOKI seedling affected by fertilization and density treatment

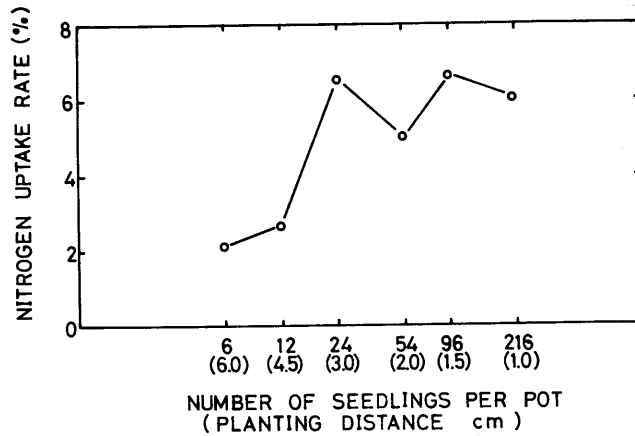


Fig. 1-11 Nitrogen uptake rate by HINOKI seedlings at various densities

## 2-1 施肥量のちがいが施用養分利用率におよぼす影響

これまで苗木による肥料利用率を単位面積当たりについてとりあげ、密度、施肥の組合せによって吸収率の向上をねらってきた。すなわち向上のための林木側の密度条件を検討してきた。ここではその一連の試験として施肥量を微量から多量と極端に巾をもたせた処理として、植栽密度を一定にし、施用養分の吸着、固定、分布の不均一など土壌による影響をできるだけさけるため培土を砂として利用率向上のための肥料側の条件として施肥量のちがいによる利用率の変化を検討した。

### I 材料と方法

砂床は底部に約 1/10 の勾配をつけ、100cm×100cm×30cm の板枠を使い、ビニールフィルムを敷き砂を密に入れたものである。供試苗木は 1 年生ヒノキ実生苗平均生個体重 1.57 g を 100 本/m<sup>2</sup> の密度で 1967 年 4 月 11 日に植栽した。施肥区には「住友尿素複合液肥 1 号」(15: 6: 6) を施し、チッソ量で 6 g, 12 g, 24 g, 48 g, 96 g, 192 g, 384 g/m<sup>2</sup> を 16 回に分けて、6 月～10 月の間に均一に与えた。分施したのは極力流亡を防ぐため、施肥量が微量から多量と幅が広いため、苗木の肥料による障害(葉害)を少なくするため、施肥量によって 200～1000 倍の範囲にかえて施した。また 48 g (チッソ量) 施肥区に培養液 pH を調整した区をもうけ、施肥時に液肥に 1: 3HCl を加え、2l に希釈して pH=4.5 になるようにした。他の施肥区の施肥時の溶液の pH は 7.2～7.3 であった。灌水は 1 日 4.5～5.5mm が自動的に霧状に散布されるように 5 回に分けて与え、10 月以降は約 2.7mm に減らした。各プロットのくり返しは 2～4 回とした。

1968 年 2 月 11 日に掘取って、生個体重、生葉重、生枝幹重を測定し、個体重に本数を乗じて m<sup>2</sup> 当たり重量に換算し、さらに葉部、枝幹部、根部の 3 部に分けて、生重でそれぞれ 50 g を採取し乾重を求め、チッソ、リン酸、カリの定量を行ない、m<sup>2</sup> 当たり、チッソ、リン酸、カリ量を各処理ごとに求め、利用率を計算した。

## II 結果と考察

施肥量別処理による個体の各部乾重は、Fig. 1-12 のとおりで pH を調節した区、96 g

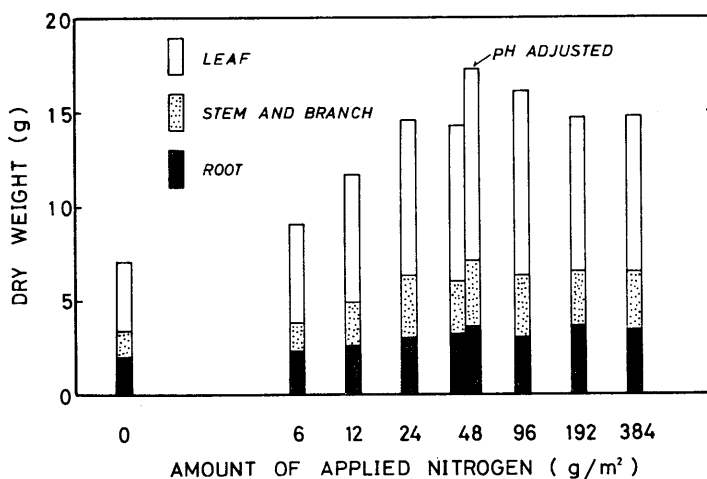


Fig. 1-12 Dry weight of HINOKI seedling at various fertilizer levels in the sand-culture experiment

区が良好であって、無施肥区は劣ったが、他の施肥区はほとんど変らなかった。m<sup>2</sup> 当たり乾重はチッソ量で 24 g/m<sup>2</sup> (リン酸、カリ量は 9.6 g/m<sup>2</sup>) の施用区がほぼピークであった。チッソ量で 96 g 区以上になると濃度障害をおこし、生存本数は減少し 192 g 以上になるとはっきりその影響があらわれた (Tab. 1-11)。

WALKER<sup>153)</sup> も粘土質土壤で土壤水分のちがいと施肥との組合せ実験を行ない、スラッシュマツ (*Pinus elliottii* var. *elliottii*) とテーダマツ (*Pinus taeda*) 苗に施肥し、苗木の残存率は施肥によって減少したことを確かめている。同様に砂耕で Hoagland Solution (チッソは NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) を用いテーダマツを材料にチッソ濃度をかえて栽培した PHARIS<sup>94)</sup>

Tab. 1-11 Number of HINOKI seedlings per square meter after treatment and dry weight of seedlings at different fertilizer levels

AMOUNT OF APPLIED FERTILIZER (15:6:6) (g/m <sup>2</sup> )	NUMBER OF SEEDLINGS PER SQUARE METER AFTER TREATMENT	DRY WEIGHT OF SEEDLING (g)	DRY WEIGHT OF SEEDLINGS PER SQUARE METER (g)
0 (UNFERTILIZED)	95	7.2	684.0
40	99	9.1	900.9
80	98	11.7	1146.6
160	96	14.6	1401.6
320	95	14.3	1358.5
320 (pH ADJUSTED)	100	17.3	1730.0
640	80	16.1	1288.0
1280	36	14.7	529.2
2560	13	14.8	192.4

らの実験でもアンモニアの toxicity (肥料の薬害) で枯死がみられたことを述べている。同様に、ここで使用した液肥は速効性肥料であったため、多肥区では肥料の薬害が考えられ、多肥区はとくに分施肥回数をふやし低濃度で与えることが必要であろう。また養分を多少多く与えても生長量には変化がなく (チッソ施用量で  $12\sim 96\text{ g/m}^2$ )、本試験の結果から  $96\text{ g/m}^2$  くらいまでは安全であって、砂という培土で、液肥・灌水栽培したため適量を吸収したと考えられる。したがって、分施すればこの程度までをヒノキ苗の耐肥範囲と考えて差支えなからう。

FOWELLSら<sup>18)</sup>はテーダマツ (*Pinus taeda*) とバージニアマツ (*Pinus virginiana*) を用い自動灌水による砂耕で、チッソ、リン酸の施肥量を変えて栽培し、マクシマム生長は、チッソ  $25\sim 100\text{ ppm}$  で、リン酸  $1\text{ ppm}$  でみられたと報告し、PHARISら<sup>94)</sup> もチッソ濃度がテーダマツ苗木の生長量に影響することを指摘した。

$\text{m}^2$  当たり乾重を個体重 $\times$ 生存本数として求め (Tab. 1-11), 含有率 Fig. 1-13 の値を乗じて総含有量 ( $\text{m}^2$  当たり) を算出したが、本試験で用いた複合液体肥料であれば、 $24\text{ g/m}^2$  のチッソ量で十分単位面積当たり生長量は増大すると考えられた。含有率は施肥量の増加に伴って高くなったが、 $\text{m}^2$  当たりのチッソ量に換算すると、最多施肥区 (チッ

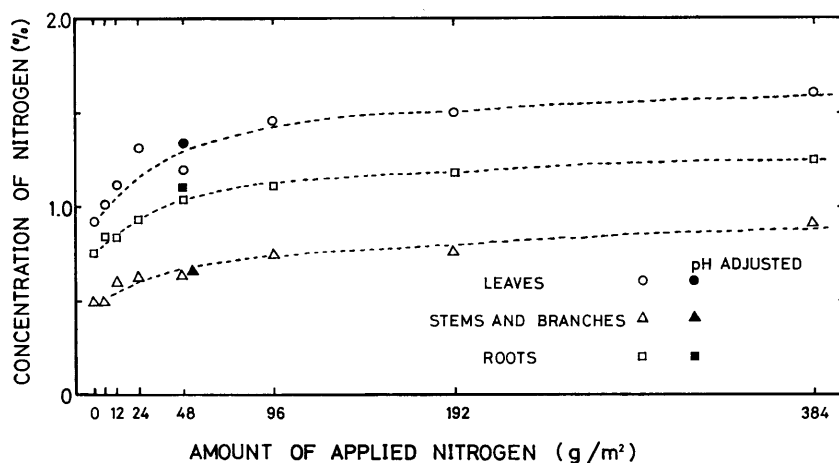


Fig. 1-13 Relationship between amounts of applied nitrogen and nitrogen concentration of seedling in sand-culture experiment

ソ量で  $384\text{ g}$ ) は  $\text{m}^2$  当たり乾重が少ないために、無施肥区よりも含有量は少なくなり、利用率はマイナス ( $-0.683$ ) と計算された。ASHLEYら<sup>11)</sup> は牧草のチッソ吸収率と施肥量の関係について、施肥量 300ポンド/エーカー ( $336\text{ kg/ha}$ ), 600ポンド/エーカー ( $784\text{ kg/ha}$ ), 900ポンド/エーカー ( $1008\text{ kg/ha}$ ) を与え施用量がふえると作物による回収率は減少したことを報告しているが、本実験においても肥料の回収率は施肥量と関係が深いことがわかった。すなわち Fig. 1-14 は片対数 (施肥量を) でチッソの施肥量とその利用率をあらわしたものであるが、40%以上の利用率を示したのは  $6\text{ g}$ ,  $12\text{ g}$ ,  $24\text{ g/m}^2$  のチッソ

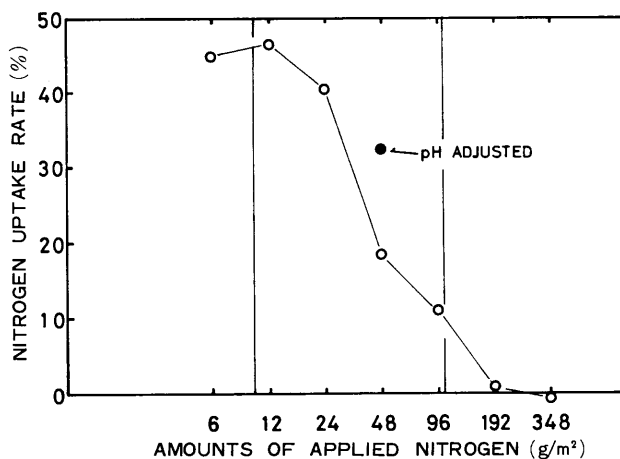


Fig. 1-14 Nitrogen uptake rate by HINOKI seedlings at various amounts of applied fertilizer in sand-culture

施肥区でそのうち 12 g/m<sup>2</sup> 施肥区が最も大きかった。

リン酸、カリの含有率をチップと同様、葉、枝幹、根系の三部分に分けて測定した結果が Fig. 1-15 と Fig. 1-16 である。三要素を含む液肥を用いた砂栽培ではリン酸濃度は施肥量が 9.6~19.2 g/m<sup>2</sup> 程度まで、カリ濃度は 38.4 g/m<sup>2</sup> ぐらいまでは、各部含有率は上昇したが、これらの施肥量以上になると上昇は緩慢となり、ほぼ放物線の変化をするようであった。リン酸、カリ濃度は枝幹部で最も低く、施用量増加に対する上昇はわずかであった。カリ濃度のバラツキは大きかった。

施肥量と苗木各部の養分濃度について、McGEE<sup>70)</sup> は砂耕の施肥試験で施用要素量増加により植物体中のチップ、リン酸、カリ濃度は高くなったことを認め、一般に葉部あるいは地上部で施肥量とチップ濃度の変化との関係が確かめられている<sup>11)18)126)</sup>。

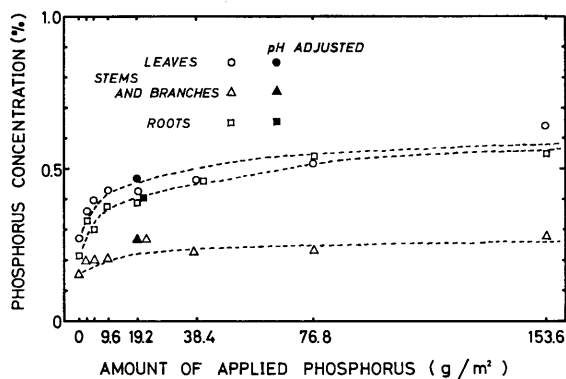


Fig. 1-15 Relationship between amounts of applied phosphorus and phosphorus concentration of seedling in sand-culture experiment

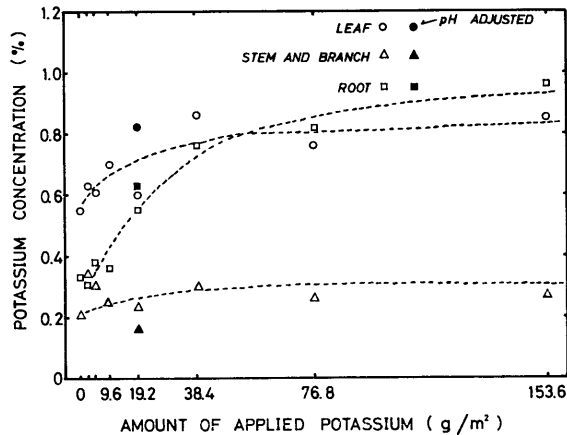


Fig. 1-16 Relationship between amounts of applied potassium and potassium concentration of seedling in sand-culture experiment

また戸沢ら<sup>14)</sup>によれば、スギ、アカマツ稚苗の養分濃度に対する施肥の影響は、チッソ含有率は 150 ppm で対照区の 2 倍、300 ppm で 2.5~3 倍になり、リン酸併用によって、チッソ濃度が高まり、リン酸、カリ濃度も、チッソとの併用や施用量の増加によって増加し、他の要素との組合せ施用によって濃度が高まることを報告している。河田<sup>5)</sup>もアカマツ 1-1 苗で施肥量増加によるチッソ、リン酸、カリの濃度上昇とチッソ、リン酸、カリの交互作用効果を確認している。

本試験では、三要素を含む液肥 (15:6:6) を与えており、植物体中の各濃度には交互作用すなわち併用効果が含まれているものと考えられる。pH 調整区は葉、地下部の養分濃度は同一施肥量では無調整区よりいずれも高い値を示した。Fig. 1-17, Fig. 1-18 にそ

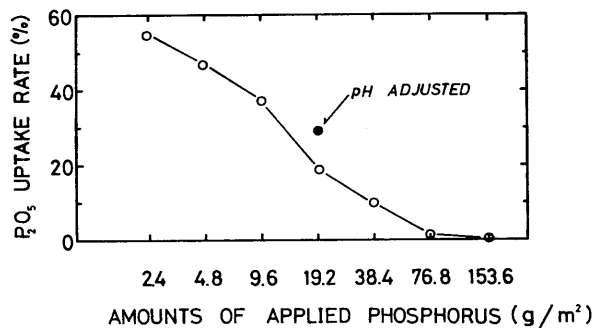


Fig. 1-17 Phosphorus uptake rate by HINOKI seedlings at various amounts of applied fertilizer in sand-culture

れぞれリン酸、カリの吸収率を示した。pH と苗木の生長、養分吸収について 塘<sup>13)</sup>はスギ、アカマツ一年生苗木を用い、水耕栽培し、NO<sub>3</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N 区別に pH を調整して生長量をくらべ、NO<sub>3</sub>-N 区は pH=4.2 で、NH<sub>4</sub>-N 区では 6.2 で生育良好であったとし、

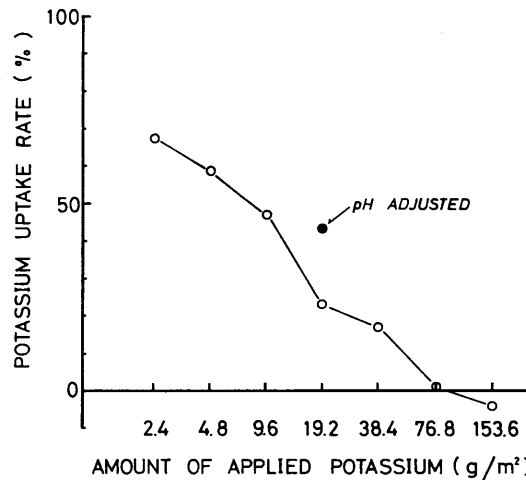


Fig. 1-18 Potassium uptake rate by HINOKI seedling at various amount of applied fertilizer in sand-culture

両者の混在する方が単独区よりも有効であるとし、本試験では施用時の施肥濃度を pH = 4.5 として与えたが、これは時間とともに pH が無処理区の 7.2~7.3 に上がるものと考えられ、またアンモニア態チッソとして与えた肥料の灌水、乾燥による硝化も考えられたが、乾重、養分濃度、吸収率も上がったことから、pH 調整が砂栽培の場合には必要であることがわかった。施肥量、灌水量、pH の調整は肥料の吸収率および生長を左右するものと思われる。そして吸収率は、リン酸、カリとも少肥区 ( $K_2O$ ,  $P_2O_5$  で  $2.4 \text{ g/m}^2$ ) で最も高く、施肥量の増加につれて漸減した。リン酸およびカリの各  $76.8 \text{ g/m}^2$  施用区以上では苗木による施用リン酸、カリの吸収はほとんどなく、0 に近くなった。チッソと異なり、ピークがみられず漸減したのは施肥効果がチッソほど各部の含有率にあらわれなかったことによると考えられる。

多肥で栽培することは勿論、生長量増大の重要な因子であるが、肥料の利用効率向上のためには、流亡を防ぐため少量ずつ分施することが必要な条件である。本試験において三要素を含む液肥 (15:6:6) を分施し、分施肥回数はすべて施肥量に関係なく同一にした結果では、チッソの植物体中濃度をあげるためには、多量に施肥することが必要であるが、チッソの利用率は、本試験ではチッソ  $12 \text{ g/m}^2$  施肥区にピークがあらわれ、マキシマムの利用率となった。すなわち  $R = \frac{C}{F}$  ( $R$ : 利用率,  $C$ : 肥料に由来する養分の含有量,  $F$ : 施肥量) 式において  $R$  を向上させるためには、濃度と生長量として算出される含有量  $C$  が大きいことが必要で、かつ施肥量  $F$  が少なくなくてはならないが、 $C$  を大きくするためには 1 回当たりの施肥の適正濃度が流亡と吸収という施用養分分配のために必要となることが確かめられた。リン酸、カリの利用率はピークを示さず、施肥量増加につれ漸減の傾向がみられた。

## 2-2 肥料の流亡を抑えたときの肥料の吸収率

施肥には必ず流亡が伴うもので、それが肥料の土壌による吸着とともに林木の養分利用率を低下せしめている。とくに砂質土壌では養分流亡がはげしく、適正な施用量、施用方法が講じられなければ、施用養分の多くは利用されずに終る。一方、樹木の養分吸収能にも限度があり、流亡のみを抑えれば無限に吸収が増すととは考えられない。そこで、ここでは流亡が全く起らない鉢栽培のような場合には、どのような養分吸収を苗木が示かということを知る目的で、砂耕により施用養分を流亡させず、また降雨の影響を除き、一定の環境条件(ファイトロン)下で生育させ、養分含有率、利用率を調べ、土耕および屋外で流亡を抑えないものと比較した。

### I 材料と方法

供試苗木はヒノキ1年生苗で、なるべく均一なもの(植栽時平均生重量5.1g)を選び、1/5000アールのワグナーポットに1本ずつ1966年5月20日に植え込み、ファイトロン25°C室で10月まで栽培した。ポットの排水孔をゴム栓でふさぎ、水溶養分の流出を防ぎ、ガラス管をポットの底部から導き、水位がわかるようにした(Fig. 1-19)。

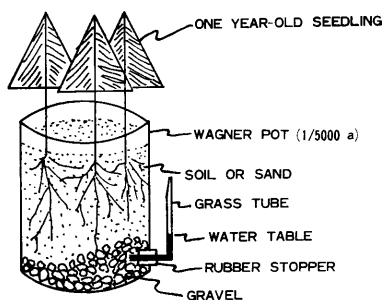


Fig. 1-19 Diagram of sand or soil culture equipment in greenhouse experiment

砂耕に用いた砂は第1章 1. に用いたものと同じものを用い、土耕では前記の砂と褐色土(新第三紀の安山岩風化土壌で団粒のよく発達した褐色森林土のB層下部)を4:6に混ぜたものを用いた。この混合土壌中の有機物含量は少なく、器械分析の結果は、粘土8.0%、シルト21.6%、砂(細砂+粗砂)70.4%であり、土性は砂質壤土(S.L.)であった。各ポットは植栽前に有機水銀剤で十分消毒した。

施用肥料は砂耕では「住友尿素複合液肥1号」(15:6:6)を、温室栽培では1.35g/ポット、露地栽培には1g/ポットのチッソ量を、温室土耕には生長量を推定して施し、 $\text{NO}_3\text{-N}$  5%、 $\text{NH}_4\text{-N}$  1%と硝酸態チッソの多い「ハイボネックス」(6.5:6.0:19.0) 1.30g/ポットのチッソ量を与えた。

施肥回数は露地18回、温室20回で1日おきに与えた。灌水は温室については2日毎に約2.5mmの蒸留水を、露地では井戸水を平均10mm/2日とし、降雨日は与えていない。処理はすべて3回繰返しとした。同年10月22日掘取り後、苗の生重、乾重を測定し、チッソ、リン酸、カリの含有量を求め、養分利用率を算出した。温室のポットについて、液層に残ったものと土壌に吸着した一部の養分について掘取り直前に蒸留水1.0~1.3lをポットの土壌表面から滴下させて洗浄、流出させ、そのチッソ、リン酸、カリの含有量を求めた。チッソは、ケルダール法、デバルダ合金法、リン酸はモリブデン青比色法、カリは炎光々度法によって定量した。

### II 結果と考察

Tab. 1-12の生長量では、施肥ポットについては露地砂耕がよく、全重、根重について

最も良い生長を示した。流亡を防止したポットは、すべて土壤が過湿状態で、気相が少なくなつて、生長が悪く、特に砂耕においては根系の発達が悪かつた(露地砂耕の 1/3 以下)。無施肥の根重については露地ポットが優つたが、葉、枝幹重では温室ポットが優つた(Fig. 1-20)。

Tab. 1-12 Crown diameter, top length, root length and stem diameter of HINOKI seedling planted in closed bottom pot after treatment

TREATMENT	CROWN DIAMETER (cm)	TOP LENGTH (cm)	TOP LENGTH INCREMENT (cm)	ROOT LENGTH (cm)	ROOT LENGTH INCREMENT (cm)	DIAMETER AT GROUND LEVEL (cm)
SAND CULTURED IN PHYTOTRON UNFERTILIZED	20.9	29.4	6.8	40.5	11.1	3.9
SAND CULTURED IN PHYTOTRON FERTILIZED	29.8	36.8	16.0	22.0	10.8	4.8
SOIL CULTURED IN PHYTOTRON UNFERTILIZED	28.4	39.8	20.7	48.7	38.6	4.2
SOIL CULTURED IN PHYTOTRON FERTILIZED	27.1	36.6	14.4	37.5	18.9	5.4
SAND CULTURED IN OUTDOORS UNFERTILIZED	16.3	22.2	—	41.0	—	3.5
SAND CULTURED IN OUTDOORS FERTILIZED	28.2	30.6	—	34.3	—	4.8

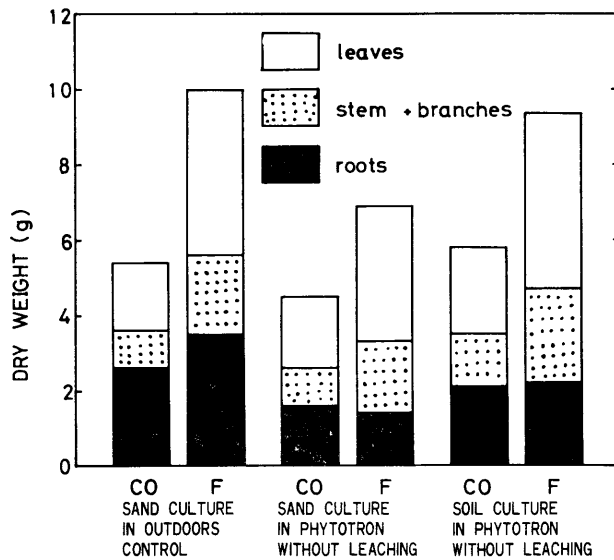


Fig. 1-20 Dry weight of HINOKI seedling grown in outdoors and in greenhouse affected by fertilization  
CO: Control (Unfertilized), F: Fertilized

チッソ含有率を Fig. 1-21 に示したが、温室砂耕で最も高く、続いて土耕、露地砂耕の順となり、流亡を抑えることにより含有率は異常に上がった。露地の無施肥区は水道水灌水としたためやや高い値を示した。リン酸含有率は砂耕で両方とも高かったが、土耕ではほとんど無施肥と変わらず (Fig. 1-22)、リン酸吸収係数 (砂 250, 砂質壤土 2750) との関係 (Tab. 1-13) の深いことが認められた。カリ含有率は土耕ポットの施用量が多いため、

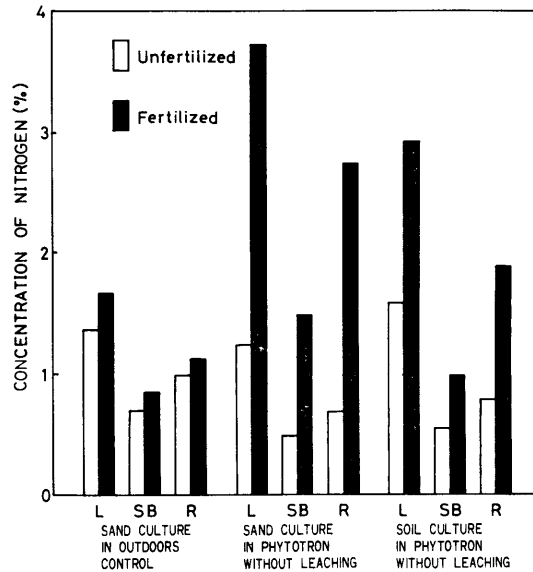


Fig. 1-21 Nitrogen concentration in each part of HINOKI seedlings (%)  
L: Leaves, SB: Stems and branches, R: Roots

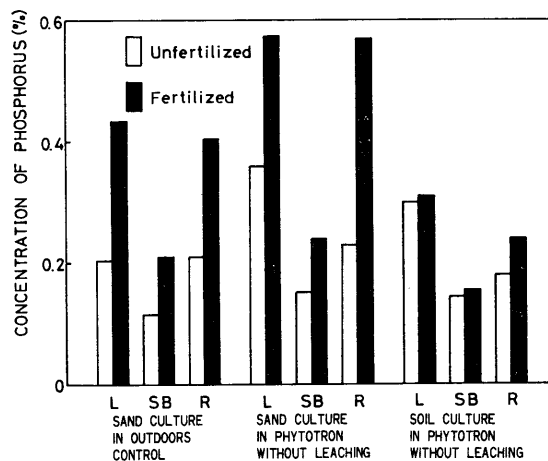


Fig. 1-22 Phosphorus concentration in each part of HINOKI seedlings (%)  
L: Leaves, SB: Stems and branches, R: Roots

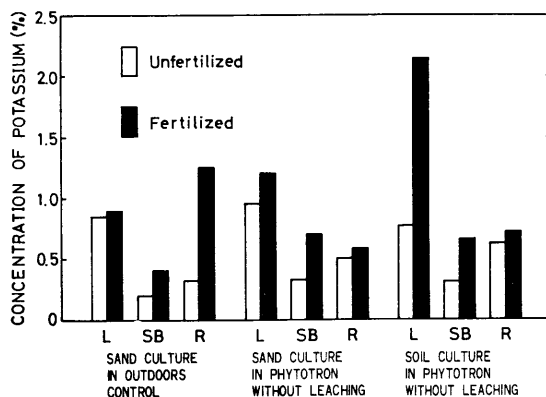


Fig. 1-23 Potassium concentration in each part of HINOKI seedlings (%)

L: Leaves, SB: Stems and branches, R: Roots

Tab. 1-13 Nitrogen and phosphorus absorption's coefficient of soil used in this experiment

	NITROGEN	PHOSPHORUS
SAND	47.9	250
SOIL (SANDY LOAM)	376.6	2750

\* These figures were obtained by 2.5% ammonium phosphate method.

土耕の施肥区の葉部含有率は2.1%以上にもなり、対照区(無施肥区)の2.6倍の肥効がみられ、砂耕より高濃度を示した(Fig. 1-23)。

各処理とも養分施用量が異なるが、利用率および苗木に利用されなかった養分について、とくに温室栽培の結果を Fig. 1-24 に示した。一方、屋外砂耕における肥料の利用率はチッソ7%、カリ16%、リン酸7%を得た。利用率については、チッソは温室の方がやや上廻ったが、リン酸、カリでは屋外が高かった。とくに温室土耕に与えたハイポネックスは、チッソ、リン酸、カリ比が6.0:6.5:19.0でチッソで1.30gになるよう施用するとカリ量は4.12gとなり、チッソの3.2倍も与えたことになって各部のカリの濃度はあがったが、計算上の利用率は、かえって小さい値を示した。このことは、根の量に起因し、温室ポットの通気が不良であったことから、根系は小さく、根の活性の低下を招き、カリ、リン酸の吸収の妨げとなったと思われる。液層に残った養分については、チッソは土耕、砂耕とも量の変化はなく、リン酸は両ポットとも trace で土壌への吸収が大きかった。

以上のことから、流亡を抑えることによってチッソ含有率は3%以上と異常に高まったが、養分吸収により生長量が少ないため、含有率×重量をもとにして算出する吸収率は低くなった。通常、1%程度である林木の場合、このような異常な養分濃度の高まりが、直接生長とは結びつかず、吸収されたチッソの全てが直ちに同化されて、生長の増大に寄与

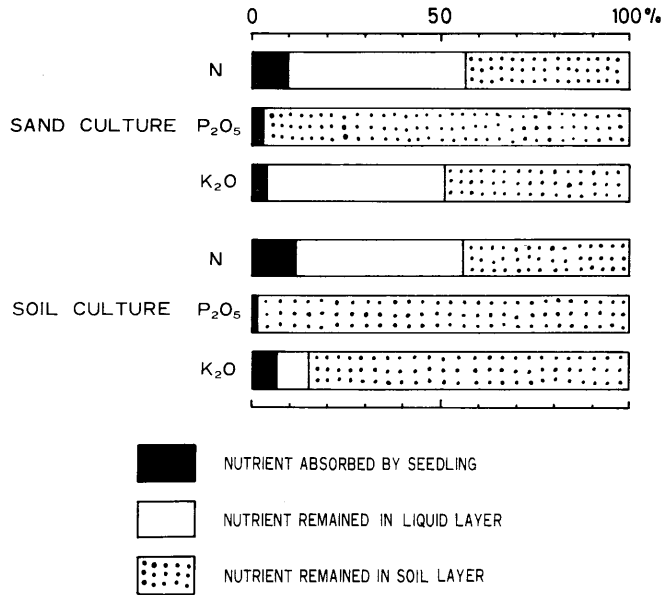


Fig. 1-24 Distribution of the applied nutrients after treatment in greenhouse

するためには、根系を含めて林木個体の健全な代謝の活動が前提とならねばならないことがわかった。

### 3 施用肥料の吸収におよぼす三相分布の異なる土壤の影響

施用肥料は培土の理学性によって養分保持、流亡が異なるため、また植栽木による吸収も土壤とくに土性に影響されると考えられるので、肥料の反応が異なると思われる4種の土壤、ここではとくに固相分布の異なる土壤—砂（固相55%）、礫壤土（37%）、赤色土（31%）、黒色火山灰土（17%）—を用いてヒノキ苗木による肥料利用率をしらべた。

#### I 材料と方法

使用した土壤の土性は Tab. 1-14 に示すように4培土からなり、砂土は福岡市箱崎九州大学農学部構内の下層土から採取したもので、前節で使用した砂と同様のものを用いた。赤色土は福岡市香椎丘陵地の三紀層の堆積岩とくに頁岩風化土<sup>77)</sup>、褐色土は福岡県浮羽群浮羽町田籠の森林下層土から採取した第三紀安山岩風化土で大小の石礫に富む。黒色火山灰土は熊本県阿蘇郡波野村より採取したものでこれらの理学性は橋本<sup>27)</sup>によると Tab. 1-15 のとおりであった。pH 値は砂土 6.63、礫壤土 6.72、火山灰土 6.32、赤色土 4.42 で赤色土の pH が低かった。土壤の化学性は宮島ら<sup>66)</sup>によれば Tab. 1-15 のとおりで、全チッソは黒色土で高く、他の礫壤土、赤色土は低く、有効態リン酸はいずれも痕跡程度であった。

施肥は苗木活着後1969年には8月15日、同24日、9月2日、13日、21日、および27日の6回、1970年には4月13日、28日、5月9日、22日、6月6日、22日、7月3日、20日の

Tab. 1-14 Mechanical analysis of soil used in this study  
 These four types of soil which percentage of  
 solid space were different.

SOIL MEDIUM	GRAVEL RATE (%)	COARSE SAND (%)	FINE SAND (%)	SILT (%)	CLAY (%)	SOIL TEXTURE
SAND	9.9	90.8	2.0	1.8	5.4	L.S.
VOLCANIC ASH SOIL (BLACK)	2.6	19.4	59.3	11.9	9.4	S.L.
GRAVEL LOAM SOIL	41.1	35.0	15.4	27.0	22.6	C.L.
CLAYEY SOIL (RED)	5.7	10.0	8.6	8.3	73.1	H.C.

Tab. 1-15 Physical and chemical properties of soils  
 (after HASHIMOTO<sup>27)</sup> and MIYAJIMA<sup>68)</sup>)

SOIL MEDIUM		VOLCANIC ASH SOIL (BLACK)	GRAVEL LOAM SOIL	CLAYEY SOIL (RED)
TRUE SPECIFIC GRAVITY		3.5	2.7	2.6
VOLUME WEIGHT (g/100 cc)		44.0	98.5	81.8
MAXIMUM WATER CAPACITY (%)		164.8	56.1	64.9
PORE SPACE	LIQUID (%)	0.04	0.35	0.28
	GAS (%)	82.58	62.62	68.43
SOLID SPACE (%)		17.38	37.03	31.39
EXCHANGEABLE ACIDITY		1.17	31.65	157.02
CATION EXCHANGE CAPACITY me./100 g		23.1	28.2	50.2
EXCHANGEABLE CATION me./100 g	Ca	4.04	0.56	1.03
	Mg	1.09	0.81	2.75
	K	0.16	0.17	0.22
	Na	0.16	0.16	0.18
CARBON (%)		4.2	4.3	0.4
TOTAL NITROGEN (%)		0.245	0.066	0.042
C/N RATIO		17.1	65.0	9.5
AVAILABLE PHOSPHATE		trace	trace	trace

8回、計14回に分けて与え、施用量は2生育期の生長、養分吸収量を推定し、初年度1969年には両肥料区とも2g、うち24:16:11の粒状のマルリンスーパー施肥区は3回とした。1970年には液肥2.0g/ポット/1回と、マルリンスーパー区1.5g/ポット/1回を与え、総量は液肥区ではチツソで4.2g、リン酸1.68g、カリ1.68gとし、マルリンスー

パー施肥区はチッソで 4.32 g, リン酸 2.88 g, カリ 1.98 g とした。

施肥方法は両施肥区とも地表面散布とし、灌水は平均3mm/1日とし、盛夏時には8~10mm/1日にふやした。降雨日はほとんど与えなかった。

2 生長期間を経過した1970年10月3~6日にていねいに掘取り、根系に付着した土壌は根系を損耗させないように水洗し、当年生葉, 1・2 年生葉, 枝および幹(主軸)部に分け生重を測定し、その一定量を熱風乾燥機で乾燥し、乾重を求めた。乾燥試料を粉碎後、チッソ, リン酸, カリの含有量を測定した。この値を用い土壌別にヒノキ苗による施用養分の利用率を求めた。

## II 結果と考察

肥料の種類, 土壌理化学性のちがいが苗木の形質に及ぼす影響についてみると, Tab.1-16 のようになった。

上長生長, 肥大生長は無施肥区では黒色火山灰土でよく, 礫質砂壤土, 赤色土, 砂土の順であった。砂土は排水が良好で, 水分のコントロールは自動の灌水により均一にしたので, 他の土壌とくらべると乾燥ぎみであった。また 塚田ら<sup>128)</sup>の火山灰土での実験では硫安単用区で作物によって吸収されたチッソのうち肥料チッソが 35%, 残り 65%が土壌チッソによったとして, 火山灰土壌の天然供給量の多いことを示した。また 佐藤ら<sup>114)</sup>も同様な結果を示しており, 火山灰土では天然供給量が多く, 他の土性の異なる土壌の対照区とくらべ火山灰土の対照区(無施肥区)の生長が良好であることが考えられる。

Tab. 1-16 Height and diameter growth of HINOKI seedling grown in different soil mediums

SOIL MEDIUM	TREATMENT	HEIGHT (cm)	DIAMETER AT GROUND LEVEL (mm)	CROWN DIAMETER (cm)
SAND	UNFERTILIZED	38.2	5.6	29.9
	LIQUID FERTILIZER APPLIED	56.1	9.6	35.4
	GRANULAR FERTILIZER APPLIED	54.5	11.4	32.7
GRAVEL LOAM SOIL	UNFERTILIZED	45.3	6.5	27.2
	LIQUID FERTILIZER APPLIED	62.7	11.3	41.0
	GRANULAR FERTILIZER APPLIED	60.5	10.6	36.7
VOLCANIC ASH SOIL (BLACK)	UNFERTILIZED	46.2	6.8	27.7
	LIQUID FERTILIZER APPLIED	65.6	11.3	40.4
	GRANULAR FERTILIZER APPLIED	66.8	11.4	46.3
CLAYEY SOIL (RED)	UNFERTILIZED	41.9	5.6	27.4
	LIQUID FERTILIZER APPLIED	63.1	10.8	39.2
	GRANULAR FERTILIZER APPLIED	63.7	10.9	41.4

\* These values are the average of 9 seedlings (3 pots×3 seedlings).

肥効は上長生長、肥大生長ともにすべての土壌でみられたが、とくに赤色土施肥区ですぐれ、高さで50%以上、根元直径では90%以上も対照区を上廻った。砂土は施肥区の生長は良くなかったが、コントロールの値が小さいため施肥の効果という点(施肥区—無施肥区)では赤色土について大きかった。苗木乾重は Fig. 1-25 に示すように形質生長とほぼ同様の傾向をみた。黒色火山灰土の施肥区では粒状施肥の肥効がわずかに優ったが、黒色火山灰土では液肥施肥がよい生長を示した。総乾重は赤色土と黒色土で大きく、当年生葉も全体重に比例する傾向を示した。幹部重は施肥区で大きくなったが、肥料別、土壌別にはほとんど差異はみられず、変化のないことがわかった。

土壌のちがいによる生長および施肥反応の相違についてはすでに認められているが<sup>12)67)</sup>

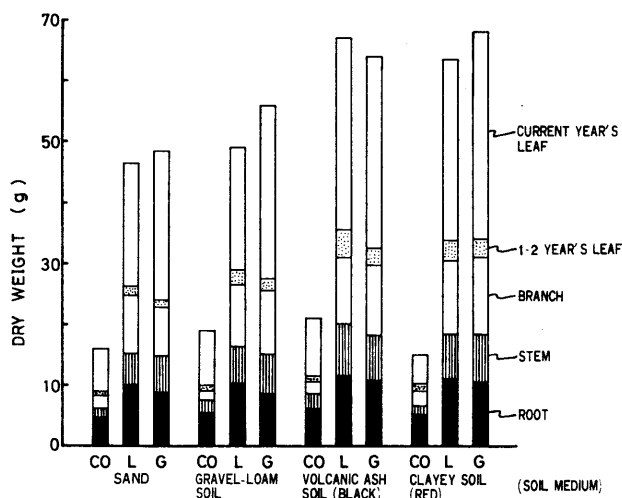


Fig. 1-25 Average dry weight of HINOKI seedling grown on different soil mediums  
C: Control (Unfertilized), L: Liquid fertilizer applied, G: Granular fertilizer applied

<sup>110)</sup>、同一供試土壌を用いてスギの施肥反応をしらべた試験<sup>66)</sup>でも樹高、重量生長は無施肥では黒色土でよく、赤色土で悪く、肥効は赤色土でみられたことが確かめられており、本試験の結果と一致した。また粒径の異なる培地でスギ苗の生長と養分吸収について試験した戸沢ら<sup>130)</sup>の報告によれば粒径の大きなものほど生長、吸収とも良好であったとしたのに対し、宮島ら<sup>67)</sup>の川砂と赤色土の混合比を変えた培土で、幼令木によるチッソの吸収をみた実験では、透水性と保水性とを適度に満足させることが必要で、埴壤土区で生長が良く肥効が大きい結果をみており、ここでも粒径の比較的大きい砂土区の生長が劣ったことから灌水による水分のコントロールが必要ではないかと考える。重量、上長、肥大、クローネ幅の結果から孔隙の小さい粘土質の赤色土でも、軽しょうなシルトの多い黒色火山灰土でも、ポット栽培により分施、適度の灌水を行なうことによって生長は促進できると思われる。

三要素含有率 (Tab. 1-17) と施用養分のヒノキ苗による吸収率 (Fig. 1-26) についてみ

ると、含有率ではとくにチツソ濃度が施肥によって増加し、リン酸、カリの濃度にはあまり影響がなかった。部位別にみると針葉、枝、および根系の各部には比較的肥効があらわれたといえるが幹部では効果が小さかった。とくに肥効は針葉部にあらわれることが確

Tab. 1-17 Concentration of nitrogen, phosphorus, potassium in various parts of HINOKI seedling grown in different soil medium (%)

SOIL	TREATMENT	CURRENT YEAR'S LEAVES			1-2 YEAR'S LEAVES			BRANCHES			STEMS			ROOTS		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
SAND	UNFERTILIZED	1.22	0.39	0.74	0.96	0.22	0.58	0.68	0.15	0.58	0.41	0.19	0.26	1.12	0.29	0.37
	LIQUID FERTILIZER APPLIED	1.42	0.65	0.97	1.46	0.65	0.58	0.74	0.35	0.68	0.50	0.19	0.33	1.12	0.33	0.37
	GRANULAR FERTILIZER APPLIED	1.49	0.39	1.05	1.39	0.62	0.59	0.84	0.37	1.01	0.47	0.21	0.32	1.26	0.43	0.55
GRAVEL SANDY LOAM SOIL	UNFERTILIZED	1.09	0.61	0.97	0.79	0.62	0.40	0.65	0.31	0.46	0.48	0.17	0.18	1.06	0.42	0.34
	LIQUID FERTILIZER APPLIED	1.51	0.61	1.05	1.41	0.85	0.60	0.81	0.30	0.73	0.53	0.19	0.26	1.46	0.43	0.44
	GRANULAR FERTILIZER APPLIED	1.57	0.61	0.97	1.55	0.76	0.40	0.99	0.32	0.70	0.47	0.17	0.21	1.42	0.41	0.43
VOLCANIC ASH SOIL (BLACK)	UNFERTILIZED	1.25	0.30	0.92	0.87	0.19	0.60	0.65	0.16	0.60	0.45	0.11	0.19	1.20	0.28	0.31
	LIQUID FERTILIZER APPLIED	1.42	0.45	0.92	1.30	0.31	0.60	0.65	0.16	0.60	0.46	0.14	0.25	1.12	0.30	0.33
	GRANULAR FERTILIZER APPLIED	1.51	0.45	0.91	1.34	0.33	0.65	0.70	0.18	0.60	0.48	0.15	0.25	1.24	0.28	0.33
CLAYEY SOIL (RED)	UNFERTILIZED	1.09	0.41	0.84	0.95	0.18	0.83	0.67	0.27	1.00	0.31	0.10	0.12	0.93	0.25	0.44
	LIQUID FERTILIZER APPLIED	1.38	0.45	0.84	1.71	0.49	0.83	0.85	0.27	0.99	0.52	0.18	0.34	1.02	0.27	0.42
	GRANULAR FERTILIZER APPLIED	1.88	0.50	1.06	1.49	0.39	0.83	0.95	0.26	1.00	0.55	0.18	0.43	1.24	0.30	0.44

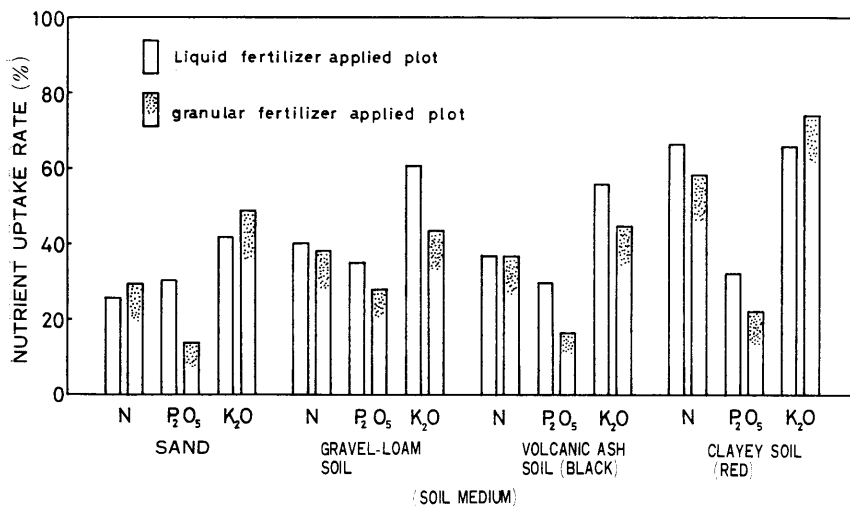


Fig. 1-26 Nutrient uptake rate by HINOKI seedling at different soil mediums

かめられた。土壤別にみると礫壤土、赤色土で養分濃度の上昇がみられ、これらにくらべ、黒色火山灰土におけるヒノキ樹体内養分濃度には肥効が小さかった。

計算上の吸収率では三要素別にみるとカリの利用率が良好で、とくに赤色土では施用養分のうち 65~75 %も吸収した。

全般にリン酸の吸収率は3者のうち最も劣った。チッソも赤色土で高い利用率を示し、液肥区では 66 %にもなった。液肥と粒状化成肥料とでは土壤、要素別で異なり、一定の傾向は見られなかったが全体的に液肥施用区でやや高いところが多かった。リン酸では常に液肥区が高い値を示した。これは総施用量が液肥の場合 1.68 g であり、粒状肥料の場合 2.88 g と施用量が少なかったことにもよると思われる。赤色土で利用率があがったのはスギのポット栽培<sup>123)</sup>でも同様で、コントロール苗の乾重が施肥区よりかなり劣り、天然供給量が低く算出されたことと、施肥区の養分濃度が高かったためで、逆に黒色火山灰土では天然供給量が多かったためによると思われる。

佐藤ら<sup>115)</sup>も指摘しているように火山灰土壤ではポットの場合耕耘効果があって、現地の試験よりも利用率が高くなつたことを述べており、Tab. 1-15 に示す孔隙量は石礫の多い礫壤土よりも黒色土、赤色土で大きかったことから、このことを実証するものである。また全体的に利用率が高くなつたのは分施によって流亡を少なくし、施用量を少なくしたことによると思われる。また火山灰土でもチッソ利用率が37%にもあがったのは緩効性肥料を与えたことと、一方火山灰土壤ではリン安がよく吸着されることから、リン安に基づくアンモニア態チッソを施すことで、チッソの流亡量を少なくし、肥料の吸収率を高めたもの<sup>45)</sup>と考えられる。

したがって、施用肥料の苗木による吸収は土壤の養水分保持力、流亡の程度、すなわち、土壤の物理性と関係が深く<sup>75)</sup>、とくに粒子の大きな砂土では、水分保持力が弱いことから、灌水量が同じであれば、吸収率は低下することになる。

#### 4 植栽密度のちがいと施肥が針葉の同化能におよぼす影響

施用肥料の単位面積当たり利用率および乾物生成量は砂栽培という条件下では植栽密度をふやすと増加することがわかり、また施肥効果は葉部、枝幹部、根系部の重量および養分濃度に顕著にあらわれた。そして密植・施肥区は葉量、枝幹量、根量が多く、とくに葉部の占める割合は大きかった。そこで密度および施肥処理が養分利用率におよぼす影響を生理的面から検討するため、とくに光合成に影響する針葉部における陰葉、陽葉の変化、つまり陽葉の陰葉化のスピード、陽葉・陰葉比の変化などに関する機構を解明する必要があると考えられる。ここでは各処理ごとに樹冠の上部葉および下部葉について照度別光合成能の比較実験を行なった。すなわち低照度下におかれている機会が多い下部位葉と、高照度下にある上部位葉の光合成能を比較した。単位面積当たりの収量、施用肥料の利用率をあげるためには、植栽密度との関連が深かったことから、同化器官の葉部について光合成能をしらべた。

##### I 材料と方法

1年生ヒノキ苗(比較的小形で植栽時平均苗高8.4cm, 平均個体生重1.5g)を1968年4月はじめ、屋外の砂床に植栽し、同年5月から9月中旬まで平均7日おきに、24回に分けて住友尿素複合液肥1号(15:6:6)を $m^2$ 当たり240g与えた。供試砂土および施肥の方法は前章の方法と同様に行ない、灌水については3~4mmを1日に4回に分け、タイマー、電磁弁によりコントロールして苗木の上部から自動噴霧灌水した。

同年9月28日すなわち約半年間砂栽培を行なった苗について、36, 64, 144, 256本/ $m^2$ の各密度区から生重7~8gの一次枝を苗木の上部位葉、下部位葉に分けて採集し、50ccの三角フラスコに3本ずつを固定し、水さしした。この試料を恒温恒湿の実験室内に装備した密閉同化箱(1m×1m×1m)に入れ、ボックス内の温度を25°Cに保ち、照度を針葉の部分がほぼ8,000, 4,000, 2,000 luxとなるよう光源からの距離で調節した。光源は東芝昼光色水銀ランプによった。

供試枝の本数は3(繰返し)×3(照度)×2(部位)×4(密度)×2(施肥)=144本であった。ボックス内を真空ポンプで減圧とし、比放射能 $5\mu Ci/mg$ の標識 $BaCO_3$  100mgに乳酸を滴下し、 $^{14}CO_2$ を発生させて導入し、ファンで回転させながら約3時間にわたって、密閉同化箱の空気の放射能を計測しつつ光合成を行わせた。 $^{14}CO_2$ とりこみ後、枝を取り出して乾燥し、葉部のみを鉄乳鉢でいねいに粉碎し、乾燥粉末試料を測定皿当たり無限厚み200mgとり、エチルアルコールで試料表面を平滑にして、神戸工業GM131A、窓の厚み $2.94\text{ mg/cm}^2$ のGMカウンターで1分当たり計数率をもって同化能とした。また施肥および密度効果の判定のために各プロットの本数の半分を根系を痛めぬように水洗しながら掘り上げ、葉部、枝幹部、根部生重を測定し、各部の一定量を乾燥し、ウィリーミルで粉化し、チッソ含有率をセミマイクロケルダール法で求め、肥効を検討した。

##### II 結果と考察

人工照明の2,000, 4,000, 8,000luxという条件下で、 $^{14}CO_2$ のとりこみについて、カウント数を目安として、各処理区の同化能をくらべると、Fig.1-27, Fig.1-28, Fig.1-29のとおりであった。まず部位別にみると、各照度区とも下部葉の光合成能が高く、とくに

低照度区においては上部葉との差は他の 4,000, 8,000lux にくらべきわめて大きかった。密度別では高密度になるほど下部針葉が高く、144本/m<sup>2</sup> 以上で大きく、64本/m<sup>2</sup> 以下になると上部、下部葉の差は小さくなって、ほとんどその差異はみられなかった。またこの傾向は施肥によってさらに強められ下部葉は上部葉より常に高く、施肥区下部葉部の光合成

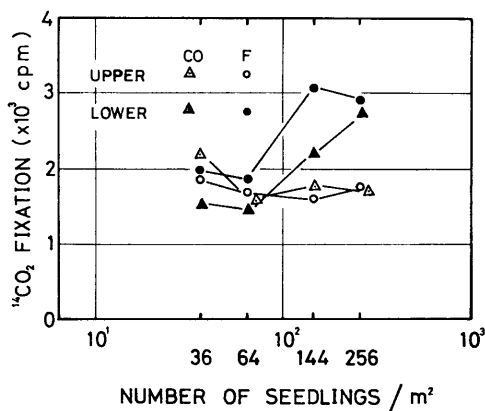


Fig. 1-27 Labelled CO<sub>2</sub> fixation by needles under 2000 lux illumination  
Sample leaves were taken from the two parts of crown position; upper and lower.  
CO: Control (Unfertilized), F: Fertilized

能は無施肥区のそれよりも大きかった。無施肥区はチッソ濃度でも劣ったが、特に施肥下部葉の同化能が大きいことから、密植区はうっぺいが早く陰葉化のスピードが施肥によって早められる傾向が認められた。これは施肥・灌水という条件と灌水だけの無施肥区との差が陰葉化のちがいとなってあらわれたと考えられる。根岸<sup>90)</sup>は苗の含水率の低下によって同化能は低下することを認めており、この実験においても下部葉が含水率は高く、低

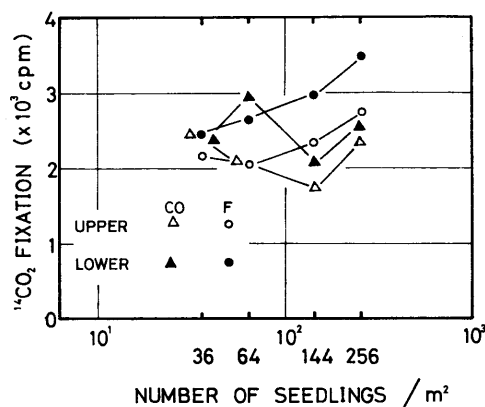


Fig. 1-28 Labelled CO<sub>2</sub> fixation by needles under 4000 lux illumination  
Sample leaves were taken from the two parts of crown position; upper and lower.  
CO: Control (Unfertilized), F: Fertilized

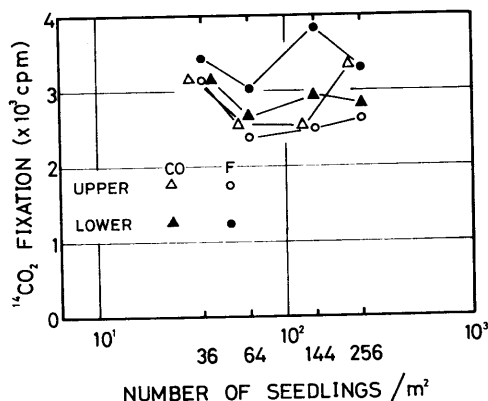


Fig. 1-29 Labelled CO<sub>2</sub> fixation by needles under 8000 lux illumination  
 Sample leaves were taken from the two parts of crown position; upper and lower.  
 CO: Control (Unfertilized), F: Fertilized

照度における同化能の向上することが期待される。密度による効果は下部葉にあらわれ、低照度下では一般に高密度ほど高く、疎植区になると照度、部位別にほとんど影響がなく、光合成について一般に認められているように、照度が増すと、針葉の放射能強度があがる傾向<sup>123)</sup>があった。また低照度下における下部葉同化能が大きいという広島県の伏条更新によるハチロウスギの報告<sup>122)116)</sup>とも一致する傾向をみた。通常、従来の密度の床替苗畑では陰葉化するほどはうっぺいせず、林地の場合も下部が陰葉化しても、そのままの状態が続くものではなく、いずれ枯死に至るものである。

各部個体重についても植栽本数、施肥の効果は顕著にあらわれ (Tab. 1-18, Fig. 1-30), 針葉のチッソ濃度は Fig. 1-31 のように施肥区で高く、無施肥区より 0.3~0.7% (指数でみると、無施肥区の 100 に対し施肥区 117~143) うわまわった。このことから養分の主要素であるチッソ含有率、含有量の高いほど光合成能は大きいと考えられる。

坂上<sup>111)</sup>は施肥木の炭酸ガス固定量が増すのは葉部の光合成能が増大する場合と、葉の量が施肥により増加するため光合成能が大きくなる場合が考えられるとし、またスギの水耕栽培苗を用いた葉部の光合成能とチッソ含有率との関係をしらべるとチッソ含有率 1.5%前後で飽和点が得られたと報告している。ここでも施肥区の針葉の同化能の増大と施肥

Tab. 1-18 Fresh weight of HINOKI seedling affected by fertilization and density treatment

DENSITY (NUMBER OF SEEDLINGS/m <sup>2</sup> )	UNFERTILIZED				FERTILIZED			
	LEAF	STEM AND BRANCH	ROOT	TOTAL	LEAF	STEM AND BRANCH	ROOT	TOTAL
36	6.7	2.1	4.8	13.6	12.8	3.2	7.3	23.3
64	5.9	1.9	4.4	12.2	11.7	3.4	4.6	19.7
144	4.4	1.4	2.9	8.7	11.5	3.3	4.6	19.4
256	3.5	1.4	2.5	7.4	7.4	2.3	3.9	13.6

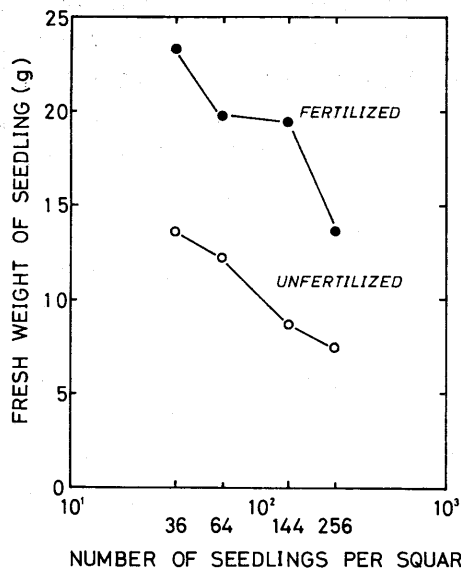


Fig. 1-30 Fresh weight of HINOKI seedling in each treatment

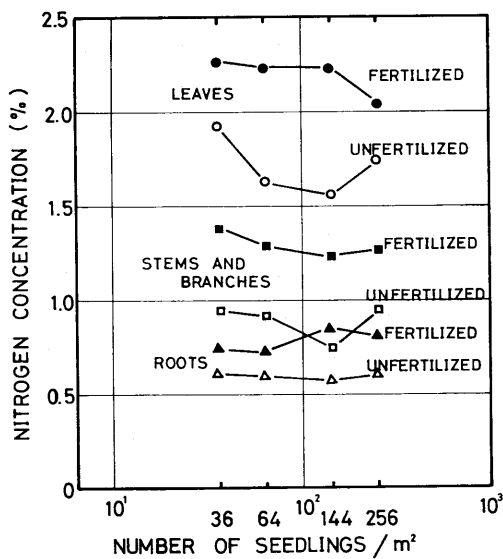


Fig. 1-31 Concentration of nitrogen in each part of HINOKI seedlings affected by fertilization and density treatment

による葉量の増加とによって施肥個体の光合成能は増すものと思われる。チッソ含有率と同化能の関係について、汰木<sup>156)</sup>は全チッソ濃度が高ければ同化量は多くなり、チッソ含有率が1%以下になると同化量も少なくなり、バラツキは小さくなったと述べている。またチッソ施用による光合成能増大は川名ら<sup>40)</sup>も認めており、KEAYら<sup>61)</sup>のフランスカイガ

ンショウ (*Pinus Pinaster*) 針葉部の  $^{14}\text{CO}_2$  の固定能をしらべた実験でも、チツソ、リン酸施用区は光合成能が高まったことを報告しており、これらはほぼ共通的といえよう。

以上のことから光合成能を  $^{14}\text{CO}_2$  のとりこみ量だけから判定すれば、植栽密度増加につれて陰葉化がすすみ、施肥によってそれが促されることがわかった。

丹下ら<sup>134)</sup> はスギではチツソ施用で外部形態的には陰葉化するが、内部形態、生理的面では同化能率の向上に適應した形態をとると考察し、柴田ら<sup>124)</sup> も施肥によって高密度区では大きな苗木を多量に生産できるのは一つには葉量および葉面積の増加、葉内養分量の増大をみ、外部形態は陰葉化して、同化量の増大に適應するためであるとしている。このことから陰葉化するために下部針葉の光合成能はあがり、苗木1本の受光量は減少しても、光合成生成量には変化なく、植栽本数の多いほど、施肥区ほど陰葉量が多いことから、1本当たり光合成の産物は変らないことになる。ゆえに単位面積当たり有機物の生産量は高密度ほど多く、このモデル林による施用養分の利用率が高密度区ほど高いのは、高密度区は地上部とくに葉部の競合があり、陰葉量も多く、したがってより多くの針葉部が低照度下におかれる機会が多く、低照度下でも光合成能が高いこと<sup>19)</sup>によるものであろう。施肥することで光合成能は高まり、密植の施肥区では光合成能の高い陰葉量がふえ、有機物生産に有利につながるものと思われる。

## 5 結 論

苗木による施用肥料の計算上の利用率を砂栽培試験およびポット試験によって、植栽本数のちがいが、施肥量のちがいが苗木の肥料利用率におよぼす影響、養分の流亡をおさえ、土壌中に施用養分を保持させたときの林木の吸収限界、土壌の粒径、三相分布とくに固相の割合が異なる4種の土壌での肥料の利用率をしらべ、林木の施用養分吸収におよぼす諸因子の具備すべき条件を究明しようとした。さらに施肥によって増加する葉部の、陽葉および陰葉の光合成能と養分濃度との関係をしらべ、以下のような結果が得られた。

密度別に植栽されたヒノキ1年生苗の個体重量は本数が増加するにつれて減少するが、施肥することによって密植区の個体重は2倍にも増大した。m<sup>2</sup> 当たり苗木の枯死本数は密植区ほど多く、施肥区で多い傾向がみられ、密植の施肥区ほど競争効果が著しいことを示した。

砂栽培した苗木の T/R 率は小さく(0.73~1.84)、形質は良好で、その中でも密植、施肥区ではやや大きい値(1.58~1.84)となった。

単位面積当たり乾重は無施肥区では、植栽本数がふえると(144本/m<sup>2</sup>)、二次曲線的に増大し、苗木の乾重はほとんど変らなかつた。すなわち  $y = w \cdot \rho$  ( $y$ : 収量,  $w$ : 個体重,  $\rho$ : 密度) において、 $y$  は一定となる傾向を示したが、施肥区は直線的に増大し、施肥によって単位面積当たり重量は密植区で大きくなることがわかった。

チツソの吸収についてみると、チツソ含有率は施肥の効果が顕著で、苗木に含まれる m<sup>2</sup> 当たりチツソ量は密度が高くなるにつれてふえ、無施肥区と施肥区のチツソ量の差は密度が増加するにつれ大きくなった。施用チツソのヒノキ苗による利用率は低密度区で低く、高密度区で高くなり、最大の密度区(225本/m<sup>2</sup>)では施用肥料の24%が苗木に回収された。施用した肥料のチツソ流亡量は降雨の多いときに多くなり、植栽本数が多くなると流

亡量は減少した。また面積当たりの植栽本数がふえるとチッソ吸収量はふえたことから、植栽密度に関しては、施用されたチッソのうちチッソの吸収量と流失量とは逆の相関があることがわかった。

リン酸含有率におよぼす施肥の効果は葉部と地下部でみられ、 $m^2$  当たりリン酸含有量も植栽密度が増大するにつれて増大した。リン酸の利用率と植栽密度との関係はここでは二次の方程式  $Y = -0.5756 + 0.1585X - 0.00033X^2$  であらわされ、高密度 ( $225本/m^2$ ) 区では約20%にまであがった。これは三要素を含む肥料を与えたことと、水溶性リン酸を分施したことによって、根系と養分の接触機会が多かったことと、リン酸吸収係数の小さい砂土であったことなどによると考えられる。

カリ含有率も葉部および根系部での肥効がみられ、カリの利用率は植栽密度が増すにつれて高くなり、チッソの利用率と同じ傾向で、直線的に増大し、 $225本/m^2$  区では約40%にも上昇した。

リン酸の流失量(滲透水中のリン酸含量)はどの密度区でも0.1 ppm以下で、対照区とほとんど変らなかった。カリ流失量は疎植 ( $9本/m^2$ ) 区で多く、与えられたカリ量の96%は流亡し、ほとんどが利用されなかった。

土壌中に残存するチッソ量は培土が砂土であったためか、施肥区と無施肥区との土壌中の全チッソ量の差異はほとんど認められなかった。これは土壌中のチッソ含有率が測定値としてあらわれるほど、多量に施用していないことにもよると思われる。また砂土であったため、施用養分が土壌に吸着、保持されることがほとんどなかったためでもあろう。

発芽直後の稚苗を砂を入れたポットに密度別に植栽し、植栽密度と稚苗によるチッソ利用率の関係をしらべた結果、面積当たり乾重生長と同様な傾向で、 $1,140本/m^2$  区の植栽密度になるとチッソの利用率は密度効果が働き、一定となることがわかった。

施用量のちがいと1年生苗の  $m^2$  当たり乾重生産量との関係は、植栽密度  $100本/m^2$  の場合、本試験の砂栽培では  $24 g/m^2$  チッソ施肥(リン酸, カリ  $9.6 g/m^2$  施肥) 区でピークがみられ、 $96 g/m^2$  以上のチッソ施肥区では枯死本数が増加し、 $384 g/m^2$  チッソ施肥区では  $13本/m^2$  と残存本数は激減した。チッソ, リン酸, カリともそれぞれの含有率は施肥量を増すことによって、葉部, 根系部の濃度がとくに上昇した。チッソの吸収率は  $12 g/m^2$  チッソ施肥区でピークとなり、リン酸, カリの吸収率は施肥量の少ない区で最大となり、施肥量をふやすにつれて減少し、多量施肥区(チッソで  $384 g/m^2$  施用)は無施肥区よりも養分含有量は小さくなり、差し引き法による計算上の利用率はマイナスの値となった。

施肥法の一手段として、液肥は住友尿素複合液肥1号を100~300倍に希釈して与えたが、その希釈液のpHを4.5に調整(従来の希釈液pHは約7.2)して与えることで三要素含有率、肥料の利用率をあげることができ(Fig. 1-13~1-18)、pH調整は肥効を高めるために必要なことが認められた。

砂土および砂質壤土をポットに充填し、排水孔をふさぎ、施用養分の流亡をおさえ、適宜水位が一定になるよう灌水した条件下では、土壌中の容気量(気相)が少ないため、苗木の生長は正常でなかったが(とくに根系の生長が悪い)、苗木各部のチッソ含有率は著しく高まり(約3%)、カリ含有率はカリ施用量の多い砂壤土で高い値を示した。リン酸濃

度は施用養分の流亡をおさえることによって、砂土では著しく高くなったが、砂壤土区では土壤への養分の吸着が考えられ（リン酸吸収係数 2750）、砂土ほど著しくなかった。施用肥料の流亡を防いだ場合の肥料の利用率は乾物生産量の施肥による影響がわずかであったため低い値を示した。

肥料の吸着、保水力の異なると思われる土壤、ここでは三相分布（固相%）と粒径（器械分析による）の違う4種の土壤（そのうち3種は森林土壤）を用いて、速効性の液体肥料、緩効性の粒状の森林肥料を与え、肥料の利用率をしらべた結果、重塩な赤色土で肥効が大きかった。孔隙の小さい粘土質土壤やシルトの多い黒色火山灰土でも、ポット栽培による分施、灌水を行なうことで肥効をあげることができた。三要素含有率は施肥によって、すべての土壤で高くなり、とくにチツソ濃度に肥料効果があらわれた。ヒノキ苗木による施用肥料の回収率は、カリの吸収率が高く、赤色土では65~75%にもあがった。リン酸の吸収率は培土のちがいによる影響はなく、15~37%で他の要素より劣った。チツソの吸収率は赤色土区で66%と高い値を示し、速効性、緩効性別による利用率のちがいはほとんどみられなかった。三要素とも利用率が高くなったのは、分施によって流亡を少なくしたこと、施用量を少なく与えたこと、施肥区の重量生長量が著しく大きくなったことなどによると考えられる。

密度別に植栽した苗木の樹冠の上部葉、下部葉を施肥区、無施肥区から採取し、 $^{14}\text{CO}_2$  のとりこみをしらべ、光合成能を判定した結果、すべての区で下部葉の光合成能が高かった。また施肥区下部葉で光合成能が高く、植栽密度が増加すると樹冠下部葉の同化能が増大した。このことから、密植区ではうっぺいによって、陰葉化が促進されることがわかった。針葉のチツソ含有率と同化能との関係は、濃度の高いほど光合成能は大きく、施肥することで、単位葉量当たりの同化能はあがるものと考えられる。植栽本数の多い施肥区ほど陰葉量が多くなることから、密植の施肥区では光合成能が大きく、有機物生産量も多くなり、三要素の利用度も向上するものと考えられる。

以上要約すれば、林木の養分吸収能には一定の限界があるように思われ、そのため施肥は流亡の程度によってその利用効率を異にし、高密度と分施が流亡をおさえてその向上をもたらす。それは生理的には施肥処理の針葉の光合成能向上によっても説明できると結論される。

## 第2章 閉鎖初期の林分(9年生)における施肥の効果

苗木を用いたモデル林分で、植栽密度と施用養分の利用率の関係を前章で試験したが、高密度の施肥区は肥料の利用率が高く、陽葉の陰葉化によって、葉部の同化能が高まり、単位面積当たり収量は施肥によって増大する傾向を示した。ここでは閉鎖初期の林分での関係を究明するため、3生長期間施肥を続けた11年生（植栽後12生長期を経過した）林分の植栽密度の異なるヒノキ林について調査した。

一般に吉良ら<sup>52)</sup>の「最終収量一定の法則」によると時間の経過にともなって、ついには閉鎖状態になり、収量は一定となることが認められている。施肥林においても最終的にはこのことがいえるとしても、伐期の長い林地においては一般に地位や植栽密度が異なれば、その発現の程度なり経路は変わってくると思われ、施肥による地位の向上はこの法則に何らかの条件を与えることが考えられる。そこで肥料三要素の吸収、材積の生長、同化器官

である葉部と非同化器官である幹部の割合、針葉の同化能とクロロフィル含量などについて密度との関係のもとで測定し、最終収量一定の法則がこれらの指標についてどのように適用されるかを考察した。

また川名ら<sup>41)44)</sup>によると、圃場で幼令ヒノキ林の模型試験では閉鎖初期の施肥林分は最多密度曲線より小さい勾配となり、閉鎖が早くなり、C—D曲線への到達経路はコントロール区とは異なることを確かめ、施肥林分の現存量は大きくなると考察している。一般に苗木によるモデル林分は短期間の苗木育成の延長として取扱ったときの施用肥料との関係にとどまるのに対し、現地林分は苗木試験の年数を単にふやしたケースとは異なり、閉鎖林分ではそれまでの長期の林木相互の競合、植栽木と土壌との間の養分の循環などがあって、養分の吸収についても林分環境の変化をも考慮しなければならない。この実験は林地の概念を加味したときの植栽木の密度と施用肥料の吸収の関係を究明する必要のために行ったものである。

## 1 林分概況と方法

本試験地は新谷ら<sup>105)</sup>の設定した本数密度試験地(福岡県粕屋郡篠栗町、九大粕屋演習林、3林班ほ小班)内において、勾配約20°の北向斜面で、1960年3月植栽のヒノキ林である。

下層植生は木本類には低木として、ヒサカキ、イヌビワ、アカメガシワ、ヒメユズリハ、ツルコウゾ、イヌザンショウ、タブノキ、ヤブコウジ、ゴンズイ、ナガバモミダイチゴ、ヤブムラサキ、ネズミモチ、エゴノキ、ハマクサギ、ヌルデ、キブシ、チシャノキ、カラムシ、コバンノキ、ニワトコ、ゴキダケがあり、つる類にフユイチゴ、ヤマノイモ、ノブドウ、ツタ、ジャケツイバラ、カエデドコロ、クズ、テイカカヅラ、ヘクソカヅラ、アケビ、キズタ、ミツバアケビ、サネカズラなどがあり、草本類にはヒヨドリバナ、サワヒヨドリ、ヤマジノホトトギス、エビネ、ヨモギなど、イネ科にススキ、ヒカゲスゲ、チヂミザサなど、シダ類にはウラボシシダ、コンダなどがみられ(下線部は優占種を示す)、乾性植物が優占していた。この地域はいわゆるヒノキの適地として分類されるべき林地である。本試験地内は木本植物が多かったが、10,000本/ha、5,102本/ha区はほぼ閉鎖しており、3,086本/ha区も閉鎖に近い状態で、施肥前に1回下刈し、それ以後は行っていないが、林内にはほとんど下層植生はみられなかった。したがって雑草による養分収奪についてはとくに検討しなかった。

土壌断面はA層7~25cm、B層25~40cm、落葉の堆積は0.3~5cmで、分解、腐植層(F、H層)は1cm以下でうすかった。根系分布の多いA層の土色<sup>80)</sup>は暗褐~褐~灰黄褐色(7.5YR4/3~3/3、10YR5/3)を示した。

土壌分析による各測定値はTab. 1-19に示すとおりで、一般に石礫に富み、養分含有量は少なく、土壌構造は団粒~粒状で、土壌型はB<sub>b</sub>(d)~B<sub>c</sub>に属し、潤~乾の水湿状態であった。本試験地のヒノキ林の生長は九州地方ヒノキ林分収穫表<sup>97)</sup>によれば、地位3等地で、あまり良好でない。

本数密度は10,000本/ha(植栽間隔1.0m×1.0m)、5,102本/ha(1.4m×1.4m)、3,086本/ha(1.8m×1.8m)の3段階、植付以降回数の下刈りを行なっただけでこれまで施肥、

Tab. 1-19 Characteristics of the soil in the young HINOKI  
(*Chamaecyparis obtusa*) stand

SOIL LAYER		A <sup>1)</sup>	B
GRAVEL PERCENT (%)		94.1	38.1
MECHANICAL ANALYSIS	SAND (%)	39.86	86.19
	SILT (%)	39.26	9.25
	CLAY (%)	20.88	4.56
	SOIL TEXTURE	C.L.	L.S.
pH	H <sub>2</sub> O	5.69	5.99
	KCl	4.57	4.59
ORGANIC MATTER (%)		4.19	1.36
CARBON (%)		2.43	0.79
TOTAL NITROGEN (%)		0.21	0.12
C/N RATIO		11.57	6.58
EXCHANGEABLE ACIDITY y <sub>1</sub>		3.85	3.83
EXCHANGEABLE K (me./100 g)		0.385	0.093
AVAILABLE PHOSPHATE (ppm)		1.56	0.65

<sup>1)</sup> A-layer sample was especially taken from the layer where was abundant in tree roots.

除伐、枝打などは全く行なわれていない。

1969年6月中旬各密度区ごとに20本/プロットの施肥、無施肥区を3回くり返して設定した。

施肥区にはマルリンスーパー1号(24:16:11)を面積当たり施肥量が一定となるよう1.8m×1.8m区には1,250g、1.4m×1.4m区には756g、1.0m×1.0m区には386gを、1969年7、8月、1970年3、5、7月、1971年4、6月の7回に、それぞれほぼ均一に表面散布によって施肥した。

ha当たりに換算すると施肥量は、

$$1.8\text{m} \times 1.8\text{m区 } 1,250\text{g} \times \frac{3,086}{20} \div 1,350\text{kg}$$

$$1.4\text{m} \times 1.4\text{m区 } 756\text{g} \times \frac{5,102}{20} \div 1,350\text{kg}$$

$$1.0\text{m} \times 1.0\text{m区 } 386\text{g} \times \frac{10,000}{20} \div 1,350\text{kg}$$

したがって各区とも1,350kgの施肥量となり、チッソ量に換算すると、3年間に324kg/haを与えたことになる。

上長、肥大生長については施肥前および施肥後3年目の1971年10月初旬に樹高は全供試木360本を、高さ別直径(0.2m, 1.2m, 3.2m高)については平均木に近い個体108本

を測定し、樹幹解析による材積生長経過をしらべ、各部位別の乾重は—針葉については当年生葉とそれ以上(1~3年生)の旧針葉を、枝条については一次枝と二次以上の枝を、幹部(主軸のみ)、樹皮部、根系部については1 cm以上の大径根と1 cm以下の小径根—の8部分に分けて、各プロット1本ずつ選定した標準木を標本木として計18本について測定し、樹幹解析は1 mごとに採取した円板の8方位の半径を測定して、それぞれ平均値で示した。

また各部位別に採取した標本木の試料についてチッソ、リン酸、カリの含有率を測定し、計算上の肥料の各要素の利用率を求めた。処理ごとに土壌を調査断面からA層、B層について採取し、全チッソ、0.03N  $\text{NH}_4\text{F}$  可溶の有効態リン、置換性K、全炭素、pH、 $y_1$ を測定し、施肥による影響を土壌の化学性についてしらべた。

林床の照度のちがいを2生長期間施肥した1970年5月末に、晴天の日を選び、プロット内で、4植栽木のほぼ中心部附近の地上30cm高を9点とって、平均相対照度を測定し、パーセントで示した。また葉部の光合成能と三要素含有率との関係を求めるためのサンプルは、1970年6月24日、各処理区から無作意に樹冠の北側について、上部、中部、下部位の二次枝のうち先端から2,3番目の小枝を採取した。この一部を養分含有率の測定に用い、光合成能の測定には生重約1.5gの小穂を2日間照明水耕した後、恒温恒湿の実験室で、硬質アクリル製密閉同化箱を用い、施肥2、植栽間隔3処理、樹冠部位3、同化照度(9000, 4500, 2500 lux)3処理、くり返し4の組合せで、すなわち施肥(2)×植栽間隔(3)×樹冠部位(3)×同化照度(3)×くり返し(4)計216本の小穂針葉の標識  $\text{CO}_2$  のとりこみ量から求めることとした。まず比放射能  $1 \mu\text{Ci}/\text{mg}$  の  $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$  500mgに乳酸約3mlを発生装置で徐々に滴下し、 $^{14}\text{CO}_2$ を発生させ、同化箱内に導入し、ファンで時々ボックス内の空気を循環させながら、3時間光合成させた。

とりこみ後、穂をとりだし、葉部の乾燥粉末試料を作り、1測定皿当たり、無限厚みの300mgをとり、GMカウンターの1分間当たり計測値(cpm)を同化能として比較した。

クロロフィル含量の定量は、1971年10月26日各処理区の樹冠の上、中、下部位から枝の先端部の針葉を、生重で300~400mg採取し、乳鉢で海砂と共にすりつぶした。さらに Tris-Buffer<sup>9)</sup> (0.4 M sucrose, 0.01 M NaCl, 0.05 M Tris-HCl pH=7.8, 0.01 M Na-ascorbate) 10 ml と懸濁した後、冷アセトンを終濃度80%になるよう加え、10分後に5000 rpmで5分間遠心分離して得られた上澄液についてその吸光度を日立分光光度計124型を用いて測定した。全クロロフィルの濃度およびクロロフィルa, bの比は ARNON<sup>13)</sup>の方法により求めた。

## 2 結果と考察

### ① 施肥、植栽密度が伸長、肥大、材積生長におよぼす影響

平均樹高生長量を Tab. 1-20 に、根元直径の高さ別肥大生長量を0.2m~3.2m高さまで測定し、Tab. 1-21 に示した。樹高については施肥前の1969年6月末にすでに密度間に差異があり、3生長期(1969年6月~1971年9月)の生長量についてみると、1.4m間隔(5,102本/ha)区で、肥効が大きく、1.8m間隔区では肥効はほとんどみられなかった。直径の生長量も1.4m間隔区で施肥の影響が大きかった。Tab. 1-21 に示す根元直径(0.2m高)に対する高さ別直径の比をパーセントで示した細り度については疎植区(3,086本

/ha) が密植 (10,000本/ha) 区より大きくなり、高い部位の直径はバラツキがみられたが、密度に関係なくその値は変らなかった。したがって直径に密度の影響がみられるのは細り度からみても11年生ヒノキ林の場合、ほぼ2.2m高以下の部位の直径で顕著といえよう。

Tab. 1-20 Height growth increment  
of young HINOKI tree affected by fertilization (cm)

NUMBER OF TREES/ha	UNFERTILIZED PLOT		FERTILIZED PLOT	
	BEFORE TREATMENT JUNE 27. 1969	AFTER TREATMENT SEP. 30. 1971	BEFORE TREATMENT JUNE 27. 1969	AFTER TREATMENT SEP. 30. 1971
10000	349	461(112)*	380	500(120)*
5102	381	487(106)	344	474(130)
3086	348	472(124)	349	474(125)

\* increment during 3 growing seasons

Tab. 1-21 Average diameter at 0.2(D<sub>0.2</sub>), 1.2(D<sub>1.2</sub>), 2.2(D<sub>2.2</sub>),  
3.2(D<sub>3.2</sub>) m height and their taperness

NUMBER OF TREES/ha (PLANTING INTERVAL)	TREATMENT	DIAMETER (mm)				DEGREE OF TAPERNESS (%)		
		D <sub>0.2</sub>	D <sub>1.2</sub>	D <sub>2.2</sub>	D <sub>3.2</sub>	D <sub>1.2</sub> /D <sub>0.2</sub>	D <sub>2.2</sub> /D <sub>0.2</sub>	D <sub>3.2</sub> /D <sub>0.2</sub>
10000 (1.0 m × 1.0 m)	UNFERTILIZED	73.4	52.8	41.5	26.4	71.9	56.5	36.0
	FERTILIZED	84.2	59.5	51.1	37.8	70.7	60.6	44.9
5102 (1.4 m × 1.4 m)	UNFERTILIZED	99.2	68.7	52.3	35.7	69.2	52.7	36.0
	FERTILIZED	97.3	69.8	56.3	38.9	71.7	57.9	40.0
3086 (1.8 m × 1.8 m)	UNFERTILIZED	95.8	65.9	48.4	25.5	68.8	50.5	26.6
	FERTILIZED	109.6	79.8	62.9	42.2	72.8	57.4	38.5

- 1) Degree of taperness means the diameter at 1.2, 2.2 and 3.2 m height/the diameter at 0.2 m height of tree × 100.
- 2) These figures are the average of 18 sample trees.

施肥区と無施肥区についてみると、施肥区は幹上部の直径生長量が大きく、細り度は小さくなり、完満度が高くなる傾向がうかがわれ、とくに1.0m×1.0m区の3.2m部位の細り度では施肥することによって約10%も完満度が増した。この細り度は樹幹上部では密植区ほど、樹幹下部では疎植区ほど小さくなる傾向を示した。植栽木の上長、肥大に対する肥効は地位、施業、林齢などによって異なると思われるが、一般に肥大生長が大きいようで、ZAHNER<sup>157)</sup>は4～8年生テーダマツ (*Pinus taeda*) 造林地にチッソ112kg/haを施肥し、肥大生長に肥効のあったことを、宮島ら<sup>69)</sup>も根元直径生長がチッソ施用で増大したことを報告している。またダグラスモミ (*Pseudotsuga menziesii*) 30年生に数年間施

肥を続けることで<sup>21)</sup>, oak 50年生林に N, Ca(OH)<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> を与えて<sup>154)</sup>, さらにスギ22年生採穂林に施肥し肥大生長がうながされたこと<sup>142)</sup>を確かめている。また FARMERら<sup>20)</sup>はマツ, 広葉樹混交林にチツソ, リン酸を与え, 断面積合計生長を5年間しらべ, チツソは常にプラスの効果があったという。このように一般には, 成木林の肥効は肥大生長にあらわれる例が多いようである。

さらに小林ら<sup>46)</sup>の11年生スギ施肥林では樹幹上部の直径生長の増大を, また川名<sup>42)</sup>は閉鎖林分に施肥することで樹幹上部の肥大が大きくなったとし, 末口直径が大きくなり幹の利用率が高まると報告した。

以上のことから壮令林の施肥効果は上長よりも直径生長にあらわれ, 密な林分では直径生長はとくに樹冠の下部附近の幹部で大きいと思われる。

材積生長については樹幹解析より平均木の年平均生長量の縦変化を Fig. 1-32 に, 3年間の直径生長と樹高生長を Fig. 1-33 に, 単木の幹材積の年変化を Fig. 1-34 に, また面積当たり施肥した3年間の材積生長量とそれ以前の材積生長量を Fig. 1-35 に示した。この結果から単木材積生長量は疎植区ほど大きく, 施肥によって疎植区の材積生長がうなが

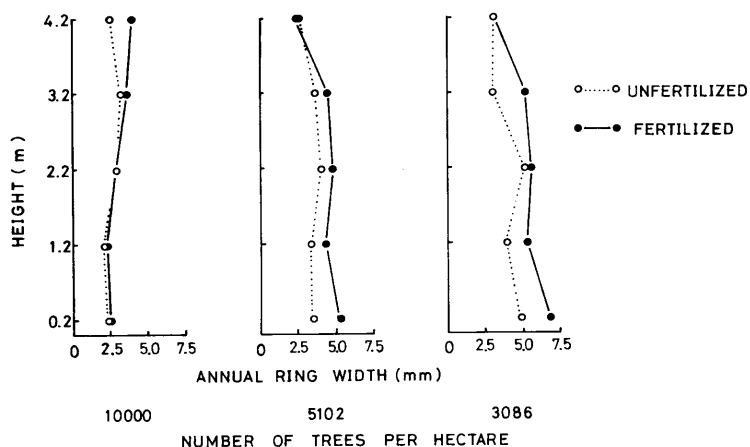


Fig. 1-32 Growth of average annual ring width during last 3 years at various height of stem in young HINOKI stand

され, 密植の1.0m 間隔区の材積生長曲線——材積の年変化 (Fig. 1-34)——は勾配がゆるやかで, 施肥による材積増加も1.4m 間隔, 1.8m 間隔に比べ少なかった。施肥による幹部の肥大は密植区では高さ2.2m~4.5m 部位での肥大が大きい特長があった。

面積当たりの材積生長量は密植区ほど大きく, 本林分のような閉鎖初期の林分での単位面積当たり材積生長の肥効は密な林分ほど大きいと考えられる。

施肥による林分材積の増大は oak 林<sup>154)</sup>, レジノーマツ林<sup>71)</sup>, アカマツ幼令林<sup>24)</sup>, スギ10~15年生<sup>138)</sup>, 22年生採穂林<sup>142)</sup>, スギ29年生<sup>151)</sup>および優良地の30年生林<sup>5)</sup>などでみられ, 肥効は大きかったとされている。渡辺<sup>152)</sup>は11年生スギ林に施肥し, 樹幹解析により幹材積生長増加量をしらべ, 施肥林で4年間に10~15 m<sup>3</sup>/haであったと推定し, 密度別では除間伐によりある程度疎開した林分で肥効は大きく, 施肥2年後に根元, 樹冠部が肥

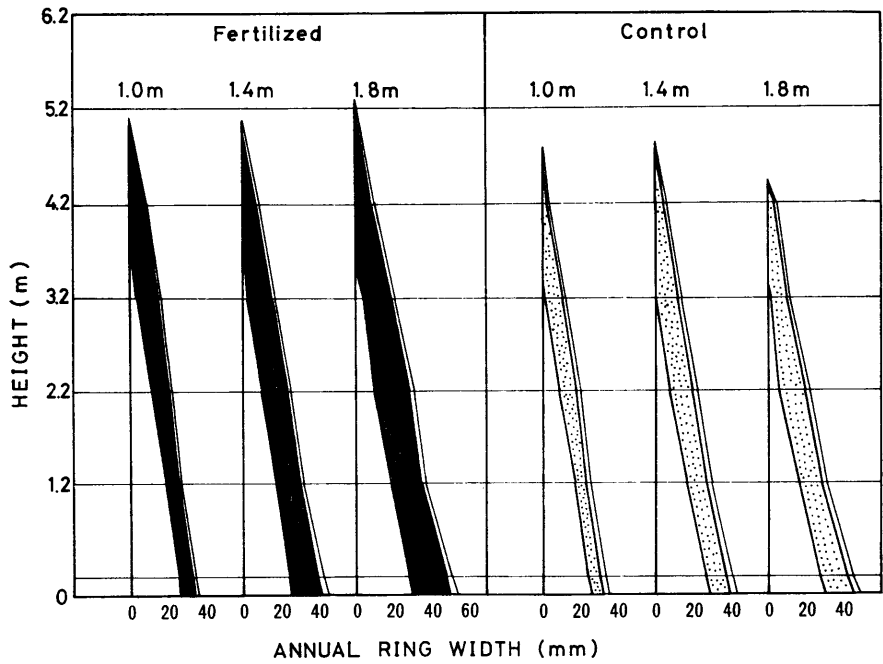


Fig. 1-33 Effects of fertilization and planting density on stem form in young HINOKI stand

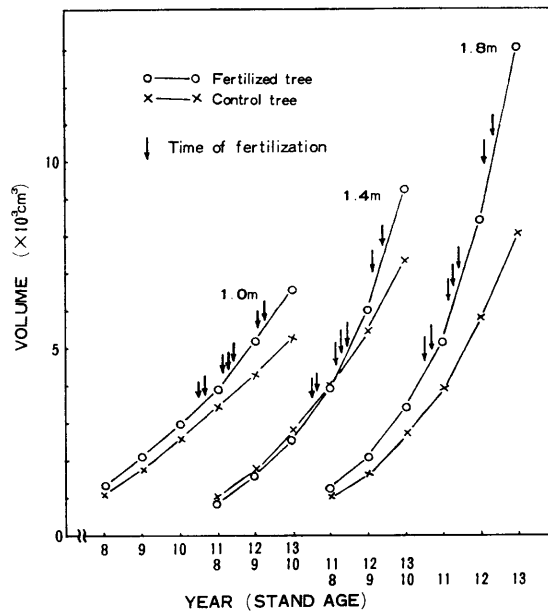


Fig. 1-34 Changes of stem volume caused by fertilization at different densities in young HINOKI stand  
 Note; 1.0 m, 1.4 m, 1.8 m show the planting distance.

大し、4年後に胸高部位附近に生長が進んだとしている。樹冠下、生枝下部の直径肥大が施肥によりうながされたことはスギ壮齡林<sup>43)</sup>、16年生スギ林<sup>39)</sup>、ヒノキ壮齡林<sup>57)</sup>の例でもみられ、壮齡林の閉鎖前後の林分では施肥によって樹冠下部附近での肥大が大きく、密度

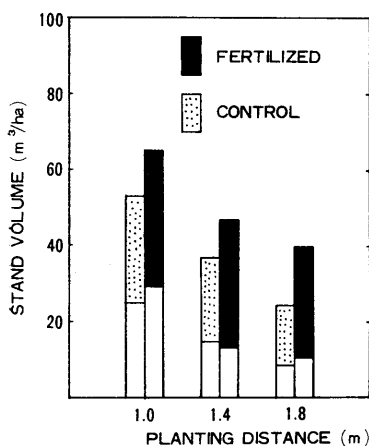


Fig. 1-35 Relationship between stem volume and planting distance in young HINOKI stand

によって変わるといえる。したがって面積当たり幹材積生長量は施肥により、密度の高い林分ほど大きくなり、単木生長量は密植区ほど小さいが、完満度が高くなると思われる。

さらに川名ら<sup>44)</sup>によると、 $D^2H$  (根元直径の2乗×樹高)の増大経過は施肥区と無施肥区とでは異なり、高密度区ほど増加量は大きくなったことを認めており、このことは密度のちがう林分収量の経路(3/2乗則のカーブに到達する経路)が施肥することによって変化することを意味するものと思われる。一方単木生長を増大させるための間伐に関して、CURLIN<sup>15)</sup>は、間伐施肥林での肥効をしらべ、林分密度はチッソ施用時には生長を妨げないよう十分小さくしなければならないとし、施肥時の間伐の必要性を強調した。本試験の結果からも、単木生長、面積当たり生長を考慮し適宜除・間伐を平行させ、適切な密度のもとで施肥すること

が必要であると考える。

幹部の完満度と下枝の枯れ上がりの関連をみるため、枝下高を測定したが、その平均値は3,086本/ha区の施肥区で0.95m、無施肥区0.91m、5,102本/ha区の施肥区で0.90m、無施肥区1.03m、10,000本/ha区の施肥区で1.85m、無施肥区1.43mと高密度区ほど生枝着生の枝下は高い位置になり、密植、施肥(1.0m×1.0m間隔)区は疎植(1.8m×1.8m間隔)区の約2倍の枝下高を示した。密度別に植栽されたスラッシュマツ林<sup>3)</sup>、ヒノキ模型林分<sup>41)</sup>の場合にも枝下高は高くなったことが報告されており、植栽木相互の競合の著しいほどクローネは小さく、上部にわずかに着生する程度となり、葉、枝の量は減少し、施肥がさらにそれをうながすことがここでも認められた。閉鎖初期の林分でも密度増加につれ枝下高は高くなったが、枝下高が高くなることにより幹部は完満となり、幹部の生産能率(単位葉量が生産する幹部量)は向上するものと思われる。

## ② 重量生長におよぼす影響

単木の8部位の重量を処理ごとに測定し、Fig. 1-36、Fig. 1-37に示したがha当り本数が増加するにつれて減少し、肥効はどの密度区でもみられたが、とくに3,086本/ha区での肥効が著しかった。各部位別についてはFig. 1-38に示す各部乾重の分布割合から幹部の占める割合は高密度(10,000本/ha)区で大きくなり、疎植区より約10%も大きかった。根系重の割合は密度、施肥処理に関係なく、ほぼ均一で、閉鎖初期の林分では単木の根系重の占める割合は密度、施肥処理による影響は少ないと考えられる。

一方、葉重、枝重の割合は疎植区ほど大きくなったが、施肥の効果はほとんどみられな

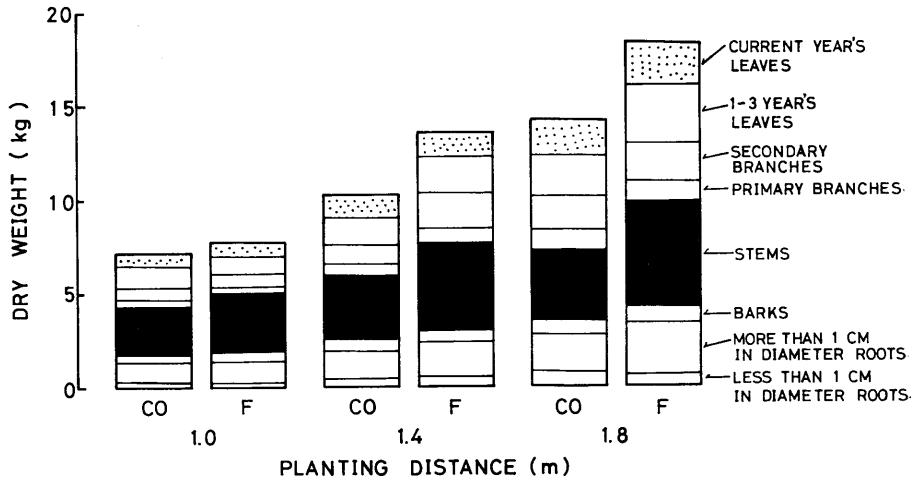


Fig. 1-36 Effects of fertilization and planting density on dry weight of young HINOKI tree  
CO: Unfertilized F: Fertilized

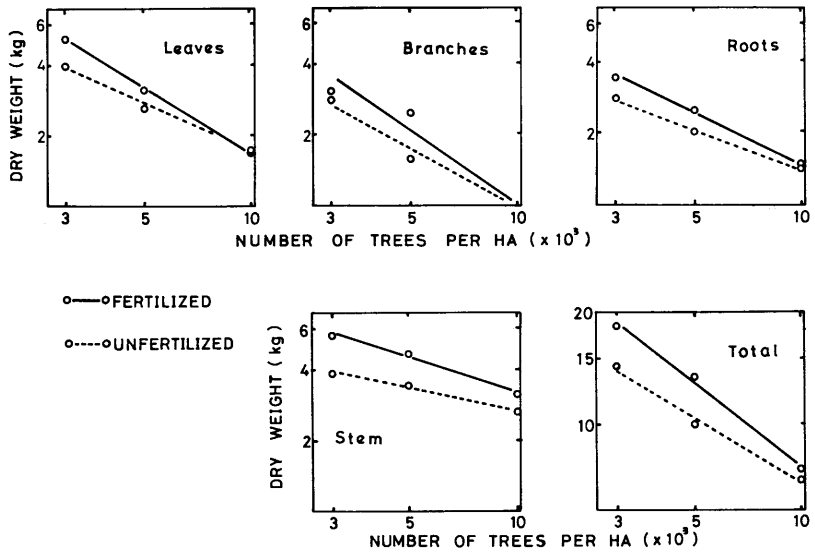


Fig. 1-37 Relationship between dry weight in various parts of young HINOKI tree and number of trees per hectare at planting

かった。塘ら<sup>133)</sup>は生産力の低いアカマツ6年生林に施肥し、8年目の結果では肥効が地上部重量とくに幹部重にあらわれたことを報告しており、本試験でも肥効は非同化部分の幹部にあらわれ、葉重には高密度区で肥効が少なかったことなどから、ヒノキ12年生くらいの閉鎖当初の林分での肥効は根重、枝重で小さく、幹部重において最も大きいと考えられ

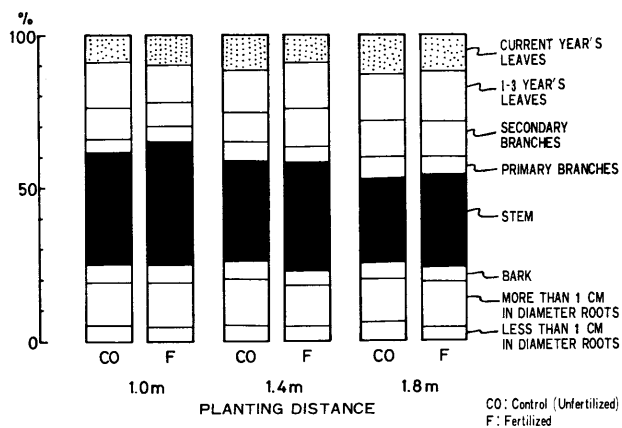


Fig. 1-38 Dry weight distribution of various parts of young HINOKI tree in each treatment  
Secondary branches implies the secondary, tertiary, ..... branches.

る。このことは塘ら<sup>143)</sup>の6～40年生スギの年齢別重量割合をしらべた結果およびOVINGTON<sup>93)</sup>のヨーロッパアカマツ (*Pinus sylvestris*)の結果からも幹の生長量は年齢の増加に伴って旺盛になることが確かめられており、この林分を林齢の段階からみた場合、幹部の生産量が増加の傾向にある時期かと思われた。

単位面積当たり (ha 当たり) 乾物重をみると (Fig. 1-39), 全重は密度の増加にともな

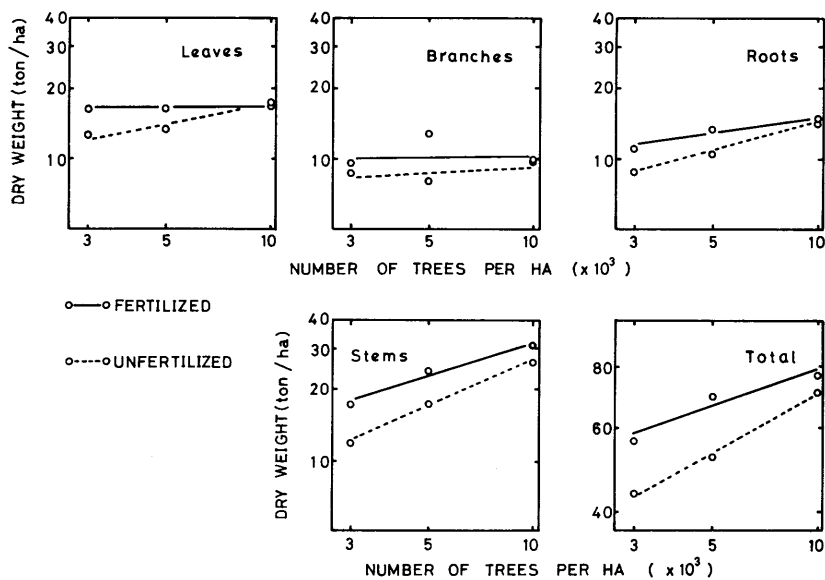


Fig. 1-39 Relationship between dry weight of young HINOKI trees per hectare and planting densities

って増大するが、葉部、枝部の増加はきわめてわずかで、幹部重の増加が著しかった。施肥による ha 当たり乾重の増大はいずれの密度区でも、また部位別にもみられ、葉部重では無施肥区は密度の増加にともない増加したが、施肥区は各密度区間ではほとんど差異はみられず、10,000本/ha 区では施肥区と無施肥区はほぼ等しい値(約16トン/ha)を示した。肥効は幹部重に対して著しく、どの密度区でも肥料を施すことで幹重が増大し、疎植区の重量増加量は施肥することで密植区の約2倍の肥効をあげることができた。枝部の ha 当たり重量は植栽本数のちがいが、施肥処理の影響はみられず、ほぼ一定の傾向を示した。ha 当たり重量増加におよぼす施肥の影響は疎な林分ほど大きかったことから、閉鎖林分では枝打や間伐などによる密度緩和をはかって施肥することが必要であると思われる。

一方、面積当たり現存量は高密度区で多く、施肥がそれを促がす結果については4,5年生のコパノヤマハンノキ林の密度別施肥試験<sup>109)</sup>や、スラッシュマツ幼齡林の密度試験<sup>3)</sup>、幼齡のヒノキ模型林分における施肥、密度試験<sup>41)</sup>などで認められていて、ここでも密植施肥(10,000本/ha)区の総現存量は約75トン/haと大きく、疎植(3,086本/ha)の無施肥区は45トン/ha、施肥区は約53トン/haと高密度の現存量が著しく大きいことがわかった。

施肥と植栽本数の関係について単位面積当たり各部の重量を指標として Fig. 1-39 に示した。この結果から閉鎖初期の林分では施肥の効果は疎植区ほど大きく、絶対量としての面積当たり幹部、全体の乾重は密植区ほど大きいことがわかった。ha 当たり現存量の密度による変化は無施肥区では密度増加につれ急勾配で増大するが、施肥区では無施肥区よりも勾配はゆるやかとなったことから、施肥処理によりまた経時的に疎植区が完全に閉鎖すると肥効は小さくなるものと思われる。

### ③ チッソ、リン酸、カリ含有率および肥料の吸収率

3年間施肥し、1971年10月初旬各処理区からサンプル木を掘り上げ、そのサンプル木の8部分(葉部2、枝部2、幹部、樹皮部、地下部2の各部)のチッソ、リン酸、カリの含有率を測定し Fig. 1-40, Fig. 1-41, Fig. 1-42 に示した。

三要素ともおおむね肥効がみられたが、カリ濃度については非同化部分のうち樹皮、幹部では施肥区が高かったが、枝条部、根系部では施肥、無施肥区の差は認められなかった。チッソ、リン酸の含有率はすべての部分で肥効がみられ、分散分析の結果からも施肥の項は1%レベルの危険率で有意であった。すなわち三要素を含む化成肥料(24:16:11)を3年間分施によって与えることで植栽木各部のチッソ、リン酸の含有率をあげることができるといえよう。密度と含有率の関係はみられなかった。

この含有率に各部の ha 当たり乾重を乗じ、ha 当たり三要素の含有量を求めると Fig. 1-43, Fig. 1-44, Fig. 1-45 のようになった。ha 当たり乾重は密度増加につれて増大する傾向があったが、これに比例して養分含有量も植栽本数の多い区で多かった。

施肥が針葉の養分含量におよぼす影響については、テーダマツ(*Pinus taeda*)の4~8年生林分に6施肥処理を行ない針葉の養分濃度が施用チッソ量に比例して増加した例<sup>157)</sup>があり、GESSLEら<sup>22)</sup>によれば15~20年生の天然のダグラスモミ(*Pseudotsuga menziesii*)林のチッソ施肥試験でも、チッソ濃度が1%以下から1.2~1.8%に増加したという。フランスカイガンショウ(*Pinus pinaster*)にチッソ、リン酸を施用し、チッソ、リン酸の濃度が上昇した例<sup>61)</sup>があり、他にダグラスモミ幼齡林<sup>23)</sup>、クロマツ16年生林<sup>4)</sup>、29年生

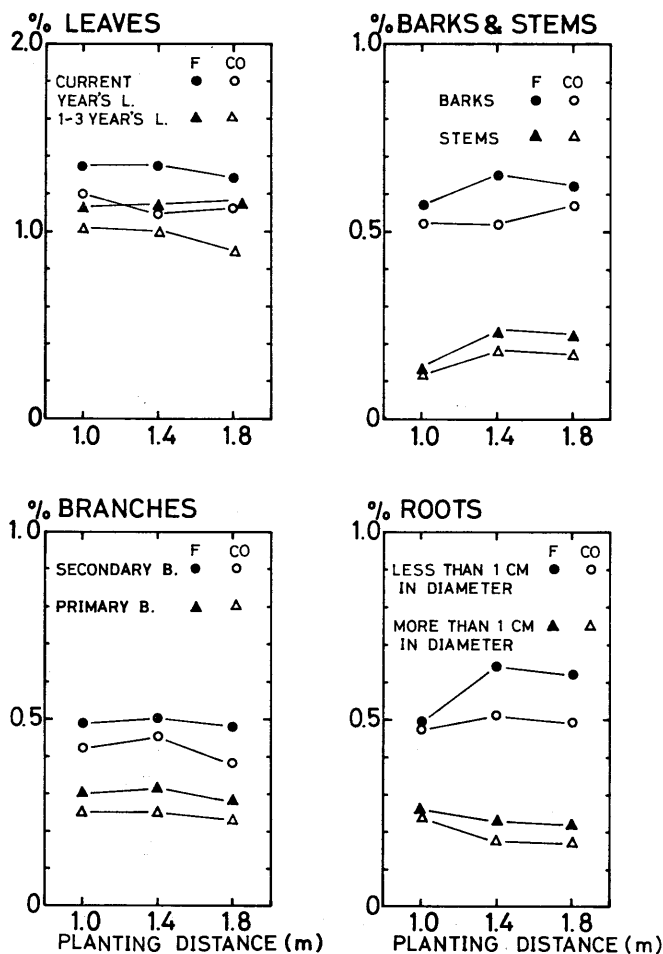


Fig. 1-40 Nitrogen concentration of leaves, branches, barks, stems and roots at 3 levels of planting interval in young HINOKI stand  
CO: Control (Unfertilized) F: Fertilized

スギ林<sup>151)</sup>, 30年生スギ林<sup>5)</sup>, ヒノキ壮齡林<sup>57)</sup>, 7年生テーダマツ林<sup>155)</sup>など針葉のチッソ, またはリン酸含量の増加を見た報告<sup>24)26)43)63)74)114)117)142)</sup>は多い。したがって壮齡林の場合も施肥することでまず針葉のチッソ濃度の上昇として肥効があらわれると考えられる。

施肥区の三要素含有量から無施肥区の含有量を減じ, 施用要素量で除し, 百分率で求めた計算上の肥料吸収率を密度別に Fig. 1-46, Fig. 1-47, Fig. 1-48 に示した。三要素とも比較的大きな値を示し, チッソは 5,102本/ha 区で最も良く (約 35%), 3,086本/ha 区がつぎ, 10,000本/ha 区は約 13% と他の密度区より悪かった。リン酸は 13~16% と全体的に低い利用率であったが, 植栽本数に関係なく, ほとんど変化は認められなかった。カリの利用率はチッソの傾向と似て, 5,102本/ha 区で 33% と高く, 10,000本/ha 区で 26% と

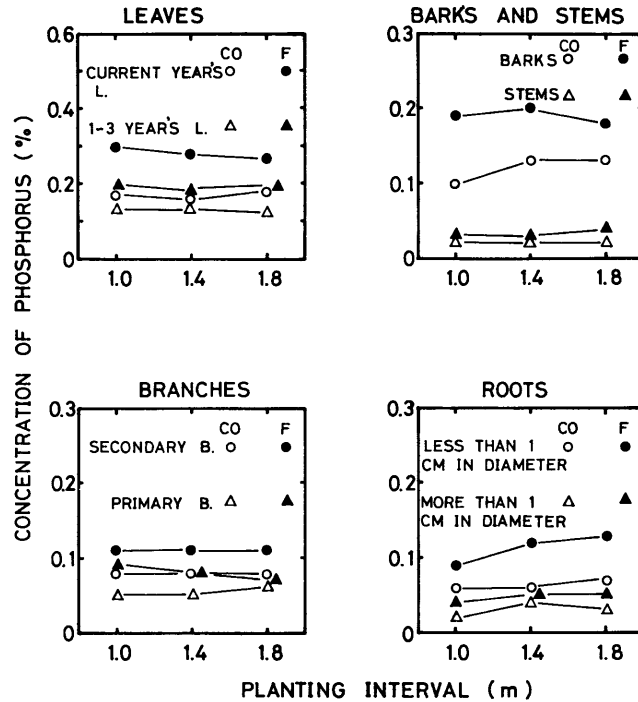


Fig. 1-41 Phosphorus concentration of leaves, branches, barks, stems and roots at 3 levels of planting interval in young HINOKI stand  
CO: Control (Unfertilized) F: Fertilized

3,086本/ha 区で25%と凸型の傾向を示し、高密度区ではチップの傾向とは異なりやや大きな値となった。苗木による第1章でのべた試験とは異なった傾向を示し、三要素とも本試験では、5,000本/haの密度附近で利用率はピークとなり、施肥による乾重増加との関係が深いようであった。

これらのことから肥料利用率向上のためには、閉鎖初期の林分では、過密林分よりも、適当な密度条件下で利用率は高まるようである。

計算式から明らかなように、施用肥料の利用率は施肥量および養分含有率×乾重として算出される含有量の多少で変化するものであるから、利用率を向上させるためには植栽林の養分濃度、重量増加量に肥効があらわれることがまず必要であり、施肥量を必要以上に与えることは分母の値を大きくすることからマイナスとなり、施肥量と肥効のバランスを常に考慮して施肥は行なわなければならないと考える。

林地の場合、施用養分のうち直接吸収された量はわずかであっても、吸収された養分は落葉、落枝によりまたは下層植生に吸収され、その養分はその枯死によって再び土壌に還元される。したがって土壌とくにA<sub>0</sub>層、表層土壌(根系とくに吸収根の分布が多い層)の理、化学性が改良され、施肥林は時間の経過とともに良循環をくり返し、間接的に利用

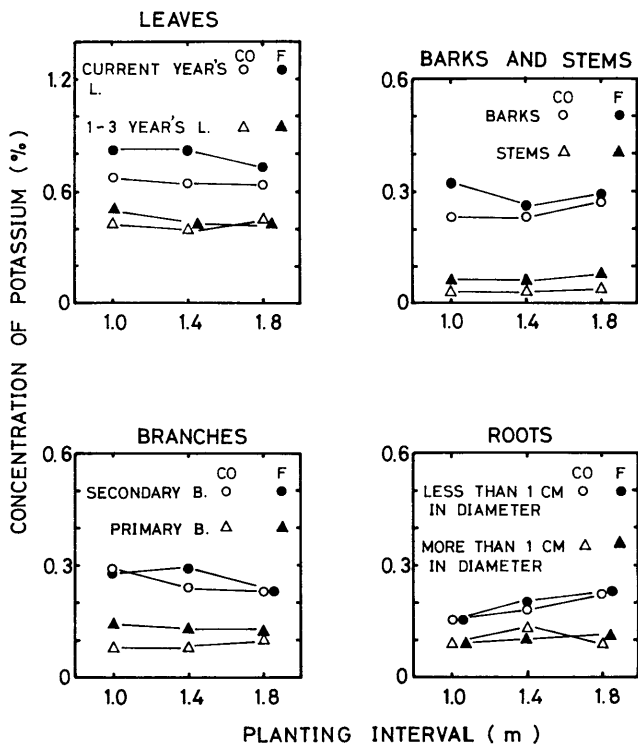


Fig. 1-42 Potassium concentration of leaves, branches, barks, stems and roots at 3 levels of planting interval in young HINOKI stand  
CO: Control (Unfertilized) F: Fertilized

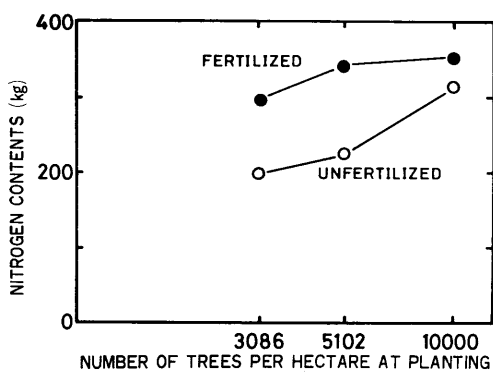


Fig. 1-43 Nitrogen contents of young HINOKI trees per hectare at different densities

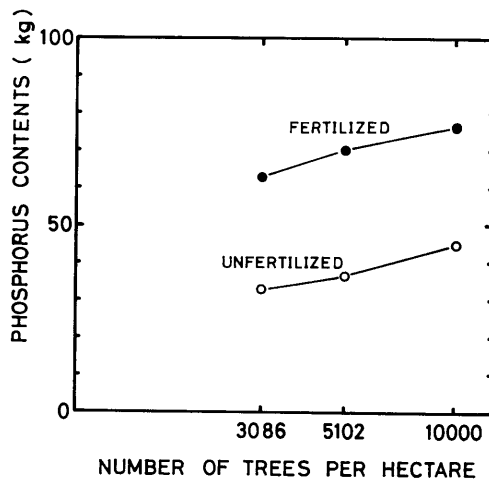


Fig. 1-44 Phosphorus contents of young HINOKI trees per hectare at different densities

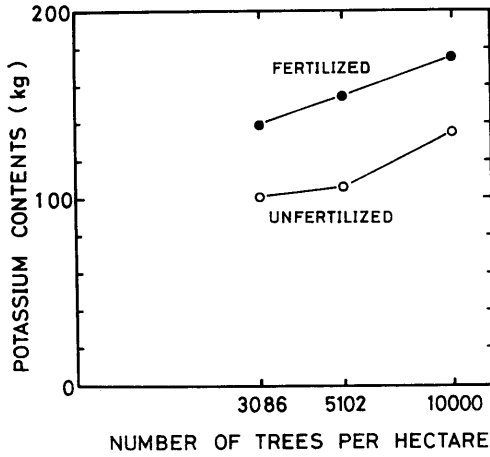


Fig. 1-45 Potassium contents of young HINOKI trees per hectare at different densities

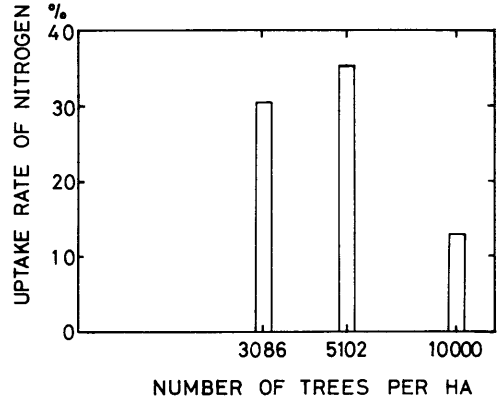


Fig. 1-46 Relationship between the calculated nitrogen uptake rate by HINOKI trees and planting density

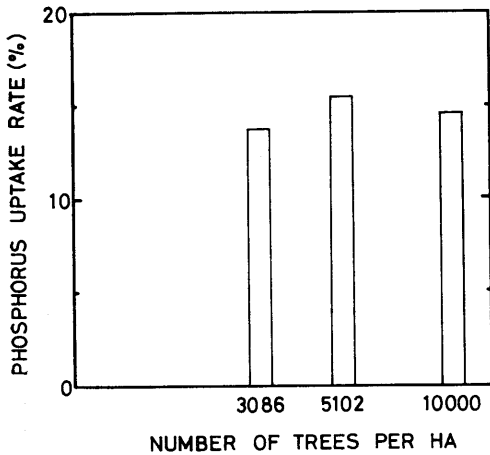


Fig. 1-47 Relationship between the calculated phosphorus uptake rate by HINOKI trees and planting density

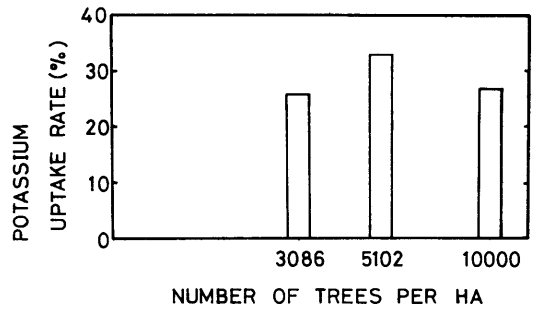


Fig. 1-48 Relationship between the calculated potassium uptake rate by HINOKI trees and planting density

率は高くなると考えられる。林地肥培の機構として塘<sup>131)</sup>は林地に施肥し、林木の生長が促進されると、養分に富んだ落葉が多量に林地に還元され、土壌を改善するとし、このことは肥料の直接的効果が2次的に作用してもたらず間接効果が実際の林地肥培を構成するものであるとし、農地肥培とは異なった独特の機構であると述べている。林地における肥料の利用率はこの直接、間接の効果を含めたもので、前述したように経時的に肥料の利用率は高くなるもので、落葉落枝の多い<sup>9)</sup>、養分流亡の少ない閉鎖前後の林分を理想とすると考えられる。

原田<sup>24)</sup>のアカマツ幼齡林肥培試験では、植栽当年から2～3年おきに3回化成肥料を与え、6年間の養分吸収率を求め、チッソ10.5～12.7%、リン酸7.3～7.5%、カリ23.4～35.6%を得ている。またスギ林に対して7年間の化成肥料の吸収率について、原田<sup>25)</sup>はチッソ73%、リン酸14%、カリ66%とし、チッソとカリで高い傾向のあったことを報告した。これらの値は施用肥料のうち吸収された養分が林地に還元され、さらにその養分が分解し、吸収されたものも加味されて大きな値をとったものと考えられる。塘ら<sup>144)</sup>は3年生のコバノヤマハンノキ施肥林の肥料吸収率を求め、チッソ343%、リン酸24%、カリ93%と肥料吸収率が高かったとし、これは土壌、空気中のチッソの固定、養分吸収力がきわめて強い特性によること、根系の生理的活性が施肥によって高められたことによるものとした。桑原<sup>55)</sup>のしらべたスギ幼齡林でもチッソ吸収率は6年間で57～206%と高く、HEILMANら<sup>36)</sup>は生産性の低い30～52年生のダグラスモミ (*Pseudotsuga menziesii*) 林のチッソ分布から、2～10年間にチッソ量で200～600ポンド/エーカー(224～672kg/ha)を与え、対照区林の総チッソ量は2,050～3,200ポンド/エーカーであったのに対し、施肥林のチッソ量は無施肥林より200～600ポンド/エーカー多く、計算上の施肥量は失なわれなかったとし、年間吸収量も施肥林で多かったとのべている。

一方、1生育期の2年生アヤスギ林のチッソ吸収率は原田ら<sup>29)</sup>によると、1%前後ときわめて小さい値を示し、幼令林では雑草による奪取が大きかったことが報告され、同5年生林<sup>29)</sup>ではチッソ吸収率は5～7%で、2年生林分よりもやや大きく、これは根系吸収能、植栽木の生長過程などと関連のあるものと思われるとしている。

このように林地では、肥料の利用率の値はまちまちであるが、これは肥料の種類、施肥量および施肥方法、土壌、林齢、下層植生、樹種、地況など多くの因子によって決定され、1年生作物とは異なり養分の循環、還元、施肥による造林木の活性の高まりなど複雑に変化するもので、これらを考慮して利用率向上に努めるべきであろう。

三要素の林地での循環について堤<sup>145)</sup>はチッソを開放系とし、チッソは空気中のチッソの固定で森林内で増加して行き、無機養分の循環は土壌中のものを吸収し、落葉、落枝の形で林分の量的変化には無関係で閉鎖的であるとしており、これらの供給、流亡(損失)量はきわめて大きいとしている。施肥処理による林分内での養分増加はわずかで少なく、林地施肥処理は二次的に働く植栽林の樹勢の高まり、腐植、落葉層の分解<sup>49)</sup>による未利用養分の有効化<sup>9)</sup>が主なものであると考えられる。

施肥林の循環量については、落葉によるチッソ成分の還元を40年生スギ林について計算した例<sup>33)</sup>では落葉量は3.6トン/haで、落葉中のチッソ量は約19kg/haとしている。また塘ら<sup>133)</sup>のしらべた生産力の低いアカマツ林では、落葉中のチッソ量は年間ha当たりチッソ22.4kg、リン酸4.1kg、カリ3.3kgであったと計算している。このように落葉だけでもかなりの還元量があり、他に落枝、下層の1年生草本の還元、施肥による葉量の増加をも考慮すると年間の養分還元量は壮齡林の場合きわめて大きい量となることがうかがえる。

閉鎖と養分循環について、赤井ら<sup>10)</sup>および上田ら<sup>150)</sup>は植栽密度の高い、早くうっ閉した林分ほど循環効果は良好であったという。

したがって、肥料の利用率を高めるためには植栽本数をふやし、施肥することで林分の

葉量をふやし、落葉量を多くし、還元量をふやすことも必要であると考えられる。

なおここで算出した利用率は三要素を含む化成肥料、すなわちマルリン尿素リン安カリ<sup>78)</sup>を用い、チツソは尿素を主とし、メチレン尿素態11%、尿素態9%、アンモニア態4%で、リン酸は可溶性のリン安(硫安)、カリは水溶性の塩化加里として、単位面積当たり施用量を一定にして与えたときの値であった。さらに施肥による土壌、腐植層の未利用養分の可給態養分への転換、落葉などによる養分の循環による再利用、肥料の三要素の相互作用の効果などをすべて含めたときの値を用いて考察した。

#### ④ 土壌の化学性におよぼす影響

3年間施肥し、1971年10月下旬に各処理区のA層、B層から土壌を採取し、風乾後化学性の変化をしらべた(Tab. 1-22)。密度、施肥処理の効果はここでしらべた測定値にはほとんどみられず、A、Bの層位間には5%レベルで有意差が認められたが、処理間の差は有意でなかった。分散分析の結果、置換性Kが施肥の項に5%レベルで有意となった。本試験で施用した程度の施肥量、回数、方法および施肥3年目の結果では土壌の化学性が変わるほどにはあらわれず、落葉、落枝による土壌への影響も3年間くらいではみられないものと思われる。

土壌の化学性の変化について、C/N率は施肥林で減少することが認められているが<sup>26)43)</sup>

Tab. 1-22 Chemical characteristics of the soil in young  
HINOKI forest affected by fertilization and planting density

	SOIL LAYER	UNFERTILIZED			FERTILIZED		
		NUMBER OF TREES PER ha			NUMBER OF TREES PER ha		
		10000	5102	3086	10000	5102	3086
pH (H <sub>2</sub> O)	A	5.59	5.26	5.71	5.60	5.49	5.45
	B	6.35	6.01	6.43	6.37	6.42	6.14
pH (KCl)	A	4.55	4.48	4.86	4.60	4.49	4.50
	B	4.34	4.48	4.68	4.83	4.50	4.59
EXCHANGEABLE ACIDITY y <sub>1</sub>	A	9.87	18.29	6.62	13.36	13.29	10.29
	B	10.85	10.23	5.59	7.06	10.75	7.14
ORGANIC MATTER (%)	A	6.73	8.43	6.66	7.62	5.99	7.47
	B	0.56	1.46	0.92	1.92	1.17	1.42
CARBON (%)	A	3.90	4.89	3.86	4.42	3.47	4.34
	B	0.33	0.85	0.54	1.11	0.68	0.82
TATAL NITROGEN (%)	A	0.25	0.30	0.27	0.29	0.21	0.26
	B	0.03	0.06	0.08	0.07	0.04	0.05
C/N RATIO	A	15.6	16.3	14.3	15.2	16.5	16.7
AVAILABLE PHOSPHATE ppm/dry soil	A	2.25	2.26	1.72	1.84	0.70	2.11
	B	1.21	0.67	1.37	1.40	1.28	1.09
EXCHANGEABLE K me./100 g	A	0.31	0.18	0.28	0.38	0.36	0.34
	B	0.05	0.04	0.10	0.12	0.06	0.12

<sup>139)</sup>、これは施肥による有機物の分解が促進されたためと考えられている。また置換酸度 ( $y_1$ ) は土壤条件や施用肥料の種類などで異なるよう<sup>26)55)</sup>である。

施肥による林地土壤の改善に関しては、RICHARDS<sup>99)</sup> は生長の休止したナンヨウスギ (*Araucaria cunninghamii*) 林にテーダマツを補植し、施肥することでナンヨウスギは樹勢を回復し生長を始めたとし、これはテーダマツの落葉による腐植量の増加と施肥による土壤の改良、養分増加であると考察している。青峰ら<sup>6)</sup>も28, 29年生スギ施肥林の土壤の化学的性質をしらべ、有機物の集積がみられ、全チッソ、置換性 Ca, K, Mg, Na などが対照区より多くなったが、施肥の直接効果としてあらわれたのではなく、有機物累積が肥効の一面としてあらわれたものであると推察した。このように林地の場合、落葉の還元による土壤への影響が強いと考えられる。

また上田ら<sup>150)</sup> は密度の異なる8年生スラッシュマツ林に施肥し、表層土壤の理化学性が改善されたと報告し、塘ら<sup>133)</sup> もアカマツ天然更新による林地の土壤をしらべ、施肥林では pH, 置換酸度, チッソ含量が良好になったとしている。

竹下ら<sup>137)</sup> によれば10~15年生スギ林で土壤の化学的性質は施肥後10年位を経過すれば林分による二次的影響によって改善されるとしている。

したがって施肥による土壤の化学性の改善は有機物増大、 $A_0$  層の分解によって促されると考えられるが、そのためには落葉、落枝の分解などから、普通の林地では少なくとも5~10年を要するものと思われる。

#### ⑤ 針葉の三要素濃度と同化能との関係

密度別に植栽された林分の針葉の同化能におよぼす影響をみるため、施肥を2年間行なって、1969年10月に測定した値を Fig. 1-49 に示した。

針葉部の光合成能は施肥区の樹冠下部位で高く、照度が高いほどカウント数は多かった。統計的に1%レベル以上で有意であったのは、施肥、樹冠部位、照度の各項にみられ、植栽間隔ではやや有意(10%レベルで)となった。しかし4個体3回測定値の平均値をプロットして示したがバラツキは大きかった。これは個体間の差異としてあらわれたものと考えられるが、計数值=同化能としてみた場合、施肥区葉部の光合成能は一般に高かったことから施肥によって現地林分の場合も陰葉化が早く、陰葉量も多いと考えられる。閉鎖と照度の関係について、林床の相対照度を2年間施肥した時に測定した値を Tab. 1-23 に示した。密度別にみると10,000本/ha区は3,000本/ha区の約1/5の相対照度で1.6~1.7%と低い値を示した。施肥の効果は閉鎖を促進させ、葉量、樹冠量の増加としてあらわれたためか、5,000本/haの施肥区で3.6%となり、無施肥区より庇陰度が高く、3,000本/ha、10,000本/ha区では施肥の効果はみられなかったことから、相対照度については、施肥の効果は1.4m区の葉枝量の増加としてあらわれたといえる。なおここで用いた照度は9,000, 4,500, 2,500luxと低い、林地の相対照度は比較的閉鎖の進んでいない3,000本/ha区の地上30cm部位の照度が10%前後、(昼間の裸地照度を50,000luxとすれば林内は5,000lux)で、また閉鎖した10,000本/ha区は1.6%~1.7%と極めて低く、農作物とは異なり林地とくに本試験のような閉鎖状態のもとでは、針葉の大部分が低照度をうけていることから、低照度下で炭酸ガスをとりこませた。Fig. 1-50に示した針葉のチッソ、リン酸、カリ濃度は施肥プロットで高く、とくに上部位葉が高い値を示し、チッソ濃度で顕著であ

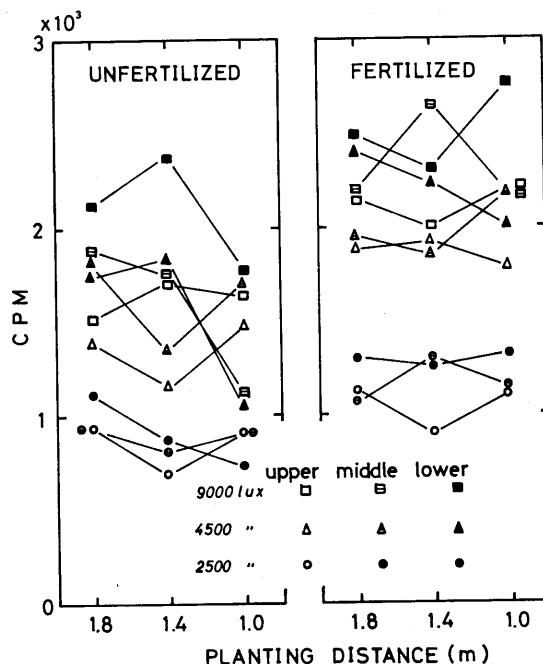


Fig. 1-49 Labeled  $\text{CO}_2$  fixation of young HINOKI tree leaves in each treatment

Upper: Leaves, from upper part of tree crown

Middle: Leaves, from middle part of tree crown

Lower: Leaves, from lower part of tree crown

Tab. 1-23 Relative light intensity at 30 cm height from young HINOKI forest floor (%)

NUMBER OF TREES/ha (PLANTING INTERVAL)	UNFERTILIZED	FERTILIZED
3086 (1.8m×1.8m)	10.4	10.0
5102 (1.4m×1.4m)	11.5	3.6
10000 (1.0m×1.0m)	1.7	1.6

った。すなわち光合成能と養分の濃度の関係はチッソ濃度と最も相関が高く、リン酸、カリの濃度も高いほど光合成能は高まる傾向であった。針葉のチッソ濃度と同化量との関係は堀田ら<sup>32)</sup>、川名ら<sup>40)</sup>の実験でも確かめられている。施肥によって炭酸ガス固定率が増加することはフランスカイガンショウ (*Pinus pinaster*) 林<sup>61)</sup>でも確かめられ、チッソ、リン酸濃度増加と関係があるとした。

塚原<sup>146)</sup>は 生育中の養分状態を施肥でカバーすると 光不足をある程度補うことができる

とし、また坂上<sup>111)</sup>も弱光下ではカリを多く与えることで同化能は上がり、日照不足を補う働きがあるとしている。本試験でも陰葉である樹冠下部位葉の同化能は施肥によって増加し、このことと一致するものと思われる。坂上<sup>111)</sup>は施肥木の炭酸ガス固定量が増加するのは葉の単位面積当たり光合成能が増加する場合と葉量が施肥によって増加する場合が考えられるとしている。この両者の場合が同時に施肥林では考えられ、単位面積当たり (ha 当たり) 同化量はきわめて大きくなるものと思われる。

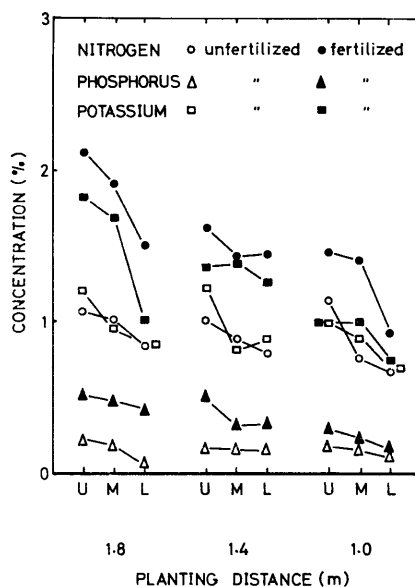


Fig. 1-50 Concentration of nitrogen, phosphorus and potassium in current year's HINOKI leaves of young stand

U: Leaves, from upper part of crown

M: Leaves, from middle part of crown

L: Leaves, from lower part of crown

#### ⑥ 針葉のクロロフィル含量に及ぼす影響

施肥と葉緑素の関係をしらべるため、プロット内の標本木を無作意にえらび、4回くり返して、針葉のクロロフィル量を測定したのが Tab. 1-24 である。この結果から施肥と植栽密度との関係は一定の傾向はみられず、1.4m 植栽間隔区の施肥区がわずかにクロロフィル a, b とも増加したが、1.8m, 1.0m 間隔区では逆に無施肥区が大きい値を示した。統計的には部位の項に有意性 (1% レベルで) がみられたにすぎなかった。施肥処理によるクロロフィル含量の増加については苗木の場合<sup>124)147)</sup>でみられており、また KEAY ら<sup>61)</sup>もフランスカイガンショウ (*Pinus pinaster*) のクロロフィル a, b 量が増加したことを報告しているが、本試験では Tab. 1-24 に示したようにクロロフィル a, b とも光の強さの異なる樹冠上部位葉, 中, 下部位葉の差はみられたが、施肥の影響はあらわれなかった。針葉の養分濃度は施肥によって高まったが、クロロフィル含量は一定の傾向は示さなかつ

Tab. 1-24 Chlorophyll content in leaves of young HINOKI tree in each treatment (mg/fresh weight g)

PLANTING INTERVAL (m)	TREATMENT	LEAVES POSITION OF TREE CROWN	CHLOROPHYLL a	CHLOROPHYLL b	a + b	a / b
1.0×1.0 10000 *	UNFERTILIZED	UPPER	0.53	0.16	0.69	3.31
		MIDDLE	0.77	0.27	1.04	2.85
		LOWER	1.07	0.37	1.44	2.89
	FERTILIZED	UPPER	0.47	0.12	0.59	3.91
		MIDDLE	0.75	0.23	0.98	3.26
		LOWER	0.91	0.28	1.19	3.25
1.4×1.4 5102 *	UNFERTILIZED	UPPER	0.50	0.15	0.65	3.33
		MIDDLE	0.68	0.24	0.92	2.83
		LOWER	0.81	0.28	1.09	2.89
	FERTILIZED	UPPER	0.55	0.15	0.70	3.66
		MIDDLE	0.68	0.27	0.95	2.51
		LOWER	1.03	0.35	1.38	2.94
1.8×1.8 3086 *	UNFERTILIZED	UPPER	0.52	0.15	0.67	3.46
		MIDDLE	0.83	0.28	1.11	2.96
		LOWER	1.04	0.37	1.41	2.81
	FERTILIZED	UPPER	0.48	0.15	0.63	3.20
		MIDDLE	0.65	0.19	0.84	3.42
		LOWER	0.80	0.30	1.10	2.66

\* Number of trees per ha

たことから、これは施肥量が少なかったためか、測定時期がヒノキ成木の生長休止期の10月末であったためなのか明らかではなかった。すなわち、肥効はみられても必ずしもクロロフィル含量には施肥の反応があらわれないこともあると考えたい。

以上の結果からこの比較的瘠悪な石礫に富む土壤で肥効をみたのは、3年間に7回に分け、肥料を施したこと、閉鎖林であるために雑草の繁茂による養分収奪がなかったことが考えられる。施用量は3年間にチッソ 324 kg/ha、リン酸 216 kg/ha、カリ 148.5 kg/ha を施し、年間当りそれぞれ 108kg/ha、72kg/ha、49.5kg/ha 与えたことになるが、第2、3期肥培の施肥量<sup>100)</sup> としては、ほぼ妥当といえよう。しかしこの林分は密度だけからみると密植区は 10,000本/ha と多く、3,000本/ha と同量与えるのではなく、密植区は施肥量をふやすことも必要であると思われる。

以上のことから成木林施肥について考えられることは、地位が最上ではなく、しかも林分が完全な閉鎖状態に達していなければ、肥培によってその効果は確実に期待できるものと考えられる。とくに林分での施肥効果は林木の各部分別にみれば、幹部に最も大きく、

枝葉や根部に少ない。このことは壮齡林においては幹の部分の現存量はこれまで生産されたもの(生長量)が年ごとに確実に蓄積されるのに対して、枝、葉、根では年次の経過とともに枯死脱落するものがあって、それらの現存量は生産と脱落の差として示されるからであろう。しかも、林分の密度効果は樹幹の高さ別肥大生長に対して、より高い部位にあらわれ、さらに肥培によってこのことは一層助長され、樹幹はより完満となる。また、葉の同化生産能力はそのチッソ含有量と相関があり、たとえ葉の幹物重が等しくてもチッソ含有量の高いものほど、全乾物生産量は大きい傾向がみられる。したがって、無施肥林分の示す現在の地位を施肥によって向上させることは可能であると考えられる。とくに林分における肥培効果は完全閉鎖状態(最多密度線)に到達する以前の状態(適正立木密度)で最も大きい傾向がみられることから、枝打や間伐を併行して肥培を励行することが必要と考えられる。

### 3 結 論

現地林分での施用肥料の吸収と動態をしらべる目的で、本試験では1960年に密度別に植栽されたヒノキ林について、その閉鎖初期の林分に対する施用養分の吸収および施用肥料の利用率、さらに施肥が生長におよぼす影響を上長生長、肥大生長、重量生長および材積生長などの各指標についてしらべた。また同化部分であり、落葉として林地に還元される針葉部のはたす役割が重要であることから、苗木による光合成能の測定で用いた方法で、壮齡林分の針葉の光合成能をしらべ、閉鎖と針葉の陰葉化の関係を検討するため、葉内クロロフィル含量と施肥との関係をしらべた。一方3年間施肥したあとの土壌への影響を土壌の化学性について検討した。

調査林分は1960年3月に10,000本/ha、5,102本/ha、3,086本/haの密度で植栽されたもので、1969年には、ほぼ閉鎖の状態に達していた。

植付後は数回の下刈を行なった程度でとくに除伐、枝打ちなどは行なわれていない。樹高、根元直径、生長量は施肥前および施肥後に測定し、とくに細り度を施肥後にしらべた。また材積生長、重量生長におよぼす施肥、植栽密度の影響をしらべるため平均木に近い個体を伐倒、掘取り、8部分に分け、その重量を測定し、三要素含有率をもとめ、肥料の単位面積当たり吸収率を密度別に算出した。

林内照度は林内の30cm高の照度を処理ごとに測定した。

それらの結果樹高生長におよぼす施肥の効果は比較的小さく、直径生長に肥効は大きくあらわれる傾向があった。樹幹部の完満度をみるため、根元直径に対する各高さ別の直径の割合を細り度(%)として、処理別に比較すると、施肥区で大きな値となり、施肥すること幹の上部が肥大し、とくに密植の施肥区は完満となった。

単木の材積生長は疎植区ほど大きく、ha当たりの林分材積は密植区で大きくなったが、施肥の効果は疎植区で大きくなったことから、閉鎖初期の林分の施肥効率をあげるためには適量の立木本数、この試験では5,000本/ha(10年生)が望ましい林分の状態といえる。

重量生長については、単木では疎植区ほど大きかったが、密植区は幹部重の占める割合が大きく、施肥効果は幹部重において大きい傾向がえられた。根系部重は施肥区、無施肥区の差はほとんどみられず、本試験地のような閉鎖林分においては、施肥処理は根系の重量生長には影響しないものと思われる。一方、面積当たり乾物重は植栽密度がふえるにつ

れ増加したが、葉、枝部の増加はわずかで、幹部の増加が著しいことが認められた。また面積当たり総乾重に対する施肥効果は10年生ヒノキでは5,000本/haの密度区で大きいことがわかった。

樹体内の養分濃度は施肥によって、チッソ、リン酸の含有率が各部で高くなり、カリ濃度は一定の傾向はみられなかった。

施用肥料のヒノキ林における利用率を差し引き法によって求めたが、利用率は比較的高く、チッソ13~35%、リン酸13~16%、カリ26~33%を示し、乾重増加に比例し、5,000本/ha区で利用率は最も高い値を示した。このことは閉鎖初期の林分で肥料利用率を高めるためには適当な密度(この場合5,000本/ha)であることが必要であると考えられる。本調査地の疎植区(3,085本/ha)でも比較的高い利用率を示したのは、施肥効果が養分濃度の高い葉部にあらわれたためであると考えられる。

林内とくに林床照度は10年生ヒノキ林では、植栽本数3,000本/ha区の相対照度は約10%、10,000本/ha区は1.6~1.7%ときわめて低い値を示し、密度が3倍になると、相対照度は約1/5に減少した。

針葉部の光合成能は樹冠下部位葉で高く、施肥区ほど高い値を示したことから、施肥したことで林分の閉鎖が促進され、針葉が陰葉化し、施肥林分の針葉は陰葉量が多くなると考えられる。光合成能と針葉の養分濃度(チッソ、リン酸、カリ)との関係を見ると、チッソ濃度と光合成能との相関が最も高い傾向がみられた。

一方、施肥が林内の土壌の化学性におよぼす影響をみると、本試験で施用した程度の施肥量、回数および方法では3年間では、まだ大きな変化はみられなかった。

針葉のクロロフィル含量について10年生ヒノキ林の植栽密度の異なる施肥、無施肥林から採取した針葉についてしらべたが、処理による差異はみられず、針葉着生部位のちがいによる差がみられたにすぎなかった。

## 第2部 省力的施肥の効率に関する応用的研究

### 第1章 砂栽培による苗木養成と施肥効果

砂土には有機物はほとんどなく、粗砂、細砂が大部分であるため、保水力に乏しく、通常の苗畑土壌にくらべ水分、養分の保持、供給の点で不利である。したがって、このような水分、養分の少ない砂という条件下では、特殊な多肉、有針などの植物を除き、他の植物は生育できない。この排水性の良好なこと、通気性のよいこと、土耕の場合とは異なり有機物含量がないことなどを利用して、第1部で林木の純粋な養分収支を検討した結果、施用する水、肥料をうまくコントロールすることによって、T/R率の小さい、根系発育の正常な苗木を得ることができた。また灌水、液体肥料の施用管理は比較的容易で、養分供給も適宜行なえることから、これを実際の林業用の事業苗畑に応用することを考え、試験を行なった。

一般に、砂栽培の利点は時期に応じた水管理、肥料管理を行なうことができることにある。すなわち、自動灌水で水分供給がコントロールできるため、培土の過湿過乾をさけることができ、植物の必要量を常に供給しうることと砂のもつ特性として養分の吸収が少な