

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 :



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

いことから、必要なときに養分を供給し得ることである。通常、肥料は液体肥料を用いることから、適宜濃度や施用量を自由に変えることができることも利点としてあげられる。

さらに一般の林業用苗畑においてはとくにまき付床の除草は困難で、除草による毛苗の消耗率が高いことも一つの隘路になっていた。また最近林業労働力の減少、不足にともなうて手取り除草、消毒、灌水などに万全を期待しがたいのが現状であるが、砂では土壌中の雑草の種子がないため、従来の苗畑事業費のうち大半を占めていた除草経費がほとんどなくなり、わずかに生じる雑草は当年新しく飛散した種子によるもので、その量も少なく、除草作業も従来の土壌での苗木育成の場合にくらべ容易である。また、病原菌、害虫の侵入は少なく、防除が容易なこと、さらに堆肥の施用が不用なことも大きな利点である。

一方栽培のための設備に当初多くの資本を要することが不利な点といえる。しかしながら、砂を培土として砂の利点を生かして灌水、液肥を施し、作物を育成することは可能で、最近、園芸の分野でさかんにとり入れられ、好成績をあげている³³⁾³⁴⁾⁵⁸⁾⁵⁹⁾。

そこで、ここでは国有林の事業、実験苗畑に指定されている長崎営林署多比良苗畑（長崎県南高来郡多比良町）で、用土として砂を用い、まきつけ苗、床替苗の生長について実用的試験を行ない、苗畑における肥培の効率をたかめることをねらいとした。

1 材料と方法

砂栽培苗木の養成は、砂床と対比するため有機質に富む土耕の普通床を用い、まき付床については普通床と形質比較のため土質の瘠悪な砂質土壌床の2つを用いた。砂は長崎県島原市眉山から採取したもので、有機物含量はきわめて少なく、器械分析の結果は粗砂72.9%、細砂6.7%、シルト5.3%、粘土6.7%であった。普通床は長崎県南高来郡国見町長崎営林署多比良苗畑の土壌と砂質の福岡県粕屋郡九大粕屋演習林の土壌を用いた。

各床とも約6cmの中高とし、ビニールシートを底部に敷き、コンクリートブロックで枠づくりし、その中に砂を入れ、まき付床は深さ5cm、床替床は20、25、30cmとした。ベッド全体を水洗後、1967年3月末に播種、床替を行なった。まき付はスギ、ヒノキそれぞれ20m²にばらまきとし、8月までは寒冷紗でおおった。床替床は60m²につきヒノキ苗を3つの深さ別に100本/m²で正方形植とした。普通床は30本/m²の平床列植えであった。同年10月4日に丁寧に掘取り、地上高、根元径、各部重量などを測定した。肥料は「住友液肥1号」(15:6:6)の300倍液を施し、床替床はチッソ量で43.0g/m²、まき付床はチッソ量で23.8g/m²を27回に分施した。普通床は苦土石灰、堆肥熔燐、油かす、配合肥料を従来どおり与え、普通砂質床は養分を与えていない。消毒はウスプルンによった。

灌水はベッド中央部、高さ80cmよりビーノズルによる自動灌水で基準量は4月から7月までは7.56mm(227mm/月)を1日3回に分け、8月から9月までは5.04mm(151mm/月)を1日1回とし、降雨日は灌水を停止した。

2 結果と考察

まず床替苗の生長量は、地上高、根元径のいずれも砂栽培が優っており、全生重、乾重においても約2倍の生長を示した。枝張りも砂床100本/m²、普通床30本/m²の密度にもかかわらず、砂床の方がやや大きい値を示した。一方、T/R率は砂栽培の場合がやや大きく、根系が少なかった。これはあるいは排水と関係があるかも知れない。普通床では約8%が枯死したが、砂床ではほとんどみられなかった。床の厚さでは25cm床で最もよく、

30cm の厚さは必要なかった (Tab. 2-1)。

Tab. 2-1 Growth of HINOKI seedling for transplanting on sand-culture and soil-culture

TREATMENT	TOP LENGTH (cm)	ROOT LENGTH (cm)	CROWN DIAMETER (cm)	DIAMETER AT GROUND LEVEL (mm)	FRESH WEIGHT (g)				T/R RATIO	
					ROOT	LEAF	STEM AND BRANCH	TOP		TOTAL
SAND-CULTURE 20 cm BED *1	45.9	14.6	17.1	5.0	4.1 (1.03)	20.7 (5.71)	7.4 (2.56)	28.1 (8.27)	32.2 (9.30)*2	6.85
SAND-CULTURE 25 cm BED	47.4	15.0	18.3	5.5	5.7 (1.30)	22.4 (5.89)	9.9 (3.21)	32.3 (9.10)	38.0 (10.40)	5.67
SAND-CULTURE 30 cm BED	41.2	13.2	17.8	4.6	4.7 (0.98)	18.5 (4.87)	7.3 (2.34)	25.8 (7.21)	30.5 (8.19)	5.49
TRADITIONAL SOIL-CULTURE	29.5	13.4	17.2	3.2	2.7 (0.98)	9.2 (2.71)	3.7 (1.47)	12.9 (4.18)	15.6 (5.16)	4.78

*1: Depth of transplanting bed

*2: Dry weight (g)

Tab. 2-2 Growth of 1-0 SUGI and HINOKI seedling (one-year-old seedling) on sand-culture and soil-culture

SPECIES	KINDS OF CULTURED BED	TOP LENGTH (cm)	ROOT LENGTH (cm)	WEIGHT (g)						T/R RATIO
				TOTAL		TOP		ROOT		
				FRESH	DRY	FRESH	DRY	FRESH	DRY	
SUGI (<i>Cryptomeria japonica</i>)	SAND	21.80	8.35	7.0	1.57	5.8	1.31	1.2	0.26	4.79
	SOIL (TABIRA)	13.05	15.25	2.7	0.81	2.3	0.69	0.4	0.12	6.57
	SOIL (KASUYA)	9.02	8.16	0.9	0.22	0.7	0.18	0.2	0.04	5.29
HINOKI (<i>Chamaecyparis obtusa</i>)	SAND	18.95	8.60	2.7	0.58	2.2	0.52	0.5	0.06	4.89
	SOIL (TABIRA)	9.50	9.65	1.1	0.26	0.9	0.22	0.2	0.04	3.40
	SOIL (KASUYA)	7.23	7.95	0.3	0.09	0.2	0.07	0.1	0.02	4.45

苗木の全重に対する生葉の占める割合、すなわち生葉率は砂栽培苗は59~64%で、普通栽培(土耕)苗は59%と大差はないが、やや砂栽培で良く、生葉重は砂栽培が2倍以上を示し、葉の生産量の多いことが認められた。

まきつけ苗ではスギ、ヒノキとも生長は普通床の2倍以上で、根長は劣ったが、吸収根の発達した苗が得られた。またスギの生長はヒノキより著しかった(Tab. 2-2)。

発芽率はヒノキ400粒/g、スギ250粒/gとして算出し、砂床スギ16.2%、ヒノキ9.4%を得たのに対し、普通床スギは7.8%、ヒノキ4.7%で、砂床では2倍以上の発芽率を示し、秋期成立本数も砂床の方が優っていた。また砂床の間引苗は容易に移植ができ、しかも苗木として使用できるので得苗率はきわめて高くなった(移植本数260本/m²)。

経費は当初の灌水施設で高くなるが、10年償却期間として、本設備の余剰能力を考えれば、1年間の計算上の経費は砂栽培でやや高くなったが、単位面積当たりの養苗本数が多いため著しく有利となった。

つぎに砂床栽培における単位面積当たり肥料の吸収率をチッソについて算出した。

床替苗のm²当たり乾重は930gで、チッソ含有率は葉部1.8%、枝幹部0.8%、根系部1.3%であったので、苗木全体の平均チッソ含有率を1.3%としてチッソ含有量(m²当たりチッソ吸収量)を求めると、12.09g/m²となり、施用した液体肥料のチッソ吸収率は28.1%と計算された。

また、まきつけ苗のスギは苗木のチッソ含有率は1.5%で、Tab. 2-2の個体重に秋期成立本数と移植本数の和(660本)を乗じ、m²当たり苗木のチッソ吸収量を求めると15.543g/m²で、m²当たりチッソ施肥量23.8gのうちスギまきつけ苗に利用吸収されたチッソは65.3%であった。同様にヒノキまきつけ苗について求めると、チッソの吸収率は37.4%となった。

なお、ここで得た値は、床替床の場合、枯死本数はほとんどみられなかったので残存本数を100本/m²とし、まきつけ苗は間引苗も使用したことから、平均秋期成立本数は間引後移植した本数も加え、スギ660本/m²、ヒノキ960本/m²として計算した。また対照区の苗木はほとんど枯死したため、天然供給量は0とみなして算出した。したがって、ここで計算したチッソの利用率はわずかに過大な値を示していると思われる。

この砂栽培による苗木のチッソ吸収量を宮崎⁶⁵⁾がまとめた苗木の値と比較すると、まきつけ苗では本試験のチッソ吸収量が多く、とくに砂栽培したスギまきつけ苗は普通の苗畑の吸収量の約2倍の値を示した。ヒノキ床替苗のチッソ吸収量は苗畑の値と変わらなかった。

苗木によるチッソの利用率はまきつけ床で37~65%、床替床で28%とまきつけ苗が高かった。これはまきつけ床の施肥量が床替床より少なく、まきつけ苗の単位面積当たりの被覆度、すなわち密度が高かったため、吸収の機会が多く、苗木による施用養分の吸収量を高めたものと思われる。

ここで与えた液体肥料は希釈して苗木の上方からジョロで与えたので、未利用の施用養分は、土耕の場合と異なり、養分の吸着、保持力が弱い砂土では、分施によって補っても、施用した養分のうちかなりの量が流亡すると考えられるので、今後は流亡する肥料を回収し、さらにそれを利用するような循環式施肥法を採用すれば、施肥量を減らすことも可能

で、苗木による施用肥料の回収効率もさらに向上するものと考えられる。

また砂栽培した苗木の現地適応性をしらべるため、現地植栽(山出し)し、活着およびその後の生長をしらべた⁶⁰⁾⁸⁹⁾。すなわち、長崎営林署多比良苗畑で、従来の施業方法で生育させた15~18cmの毛苗を砂床へ床替、栽培して得た苗木で地上高(地際~先端まで)砂栽培苗平均44cm、普通床苗平均38cmのものを1967年11月25日長崎県南高来郡国見町多比良温泉岳国有林74林班つ小班、海拔高320mのアカマツ林伐採跡地で、傾斜約10°の東および西斜面0.5haに2,000本を植栽した。

土壌は黒褐色の火山灰土で有機質に富む土壌(A層の全チッソ0.483%,有機態炭素6.15%)であった。年間降水量2,000mm,年平均気温12°Cを記録している。

1968年10月9日に植栽木を掘り上げ、層別重量分布、根系図を作製した。

さらに毛苗—床替しない1年生苗(1-0苗)—の現地植栽も行ない、6か月後の生長を苗畑の1回床替苗と比較した。まず床替苗の結果をみると、現地における活着率は砂栽培苗で99%,普通苗95%で、地上部に比べ、根系の比較的少なかった砂栽培苗が良い結果を示した。これは細根の発達がよかったためと思われた。

林地植栽後の生長についてはTab. 2-3, Fig. 2-1, Fig. 2-2に示すとおりで、地上高、枝張り、根元直径ともに、砂栽培苗木が優れ、地上部においてはとくに葉部重が普通床替の約2倍に達した。根部についても同様であって、根張りも砂栽培苗98.0cm,普通栽培苗92.2cmとなり、重量でも砂栽培苗が良好で、植栽時の重量をそれぞれ差し引くと砂栽培苗は71.7g-4.8g=66.9g,普通床苗は58.0g-2.7g=55.3gと計算され、重量も大きく増加し、T/R率も3.51~2.73と小さくなった。根系図でもやや根の分布はよく砂栽培苗の今後の生長が充分期待されるものと思われる。

まきつけ苗は播種^①床替^②山出しの手順を初年度^①が砂栽培,土耕,次年度^②が土耕,砂栽培,現地栽培(林地)に分け,それぞれの組合せとして試験したが,初年度土耕,次

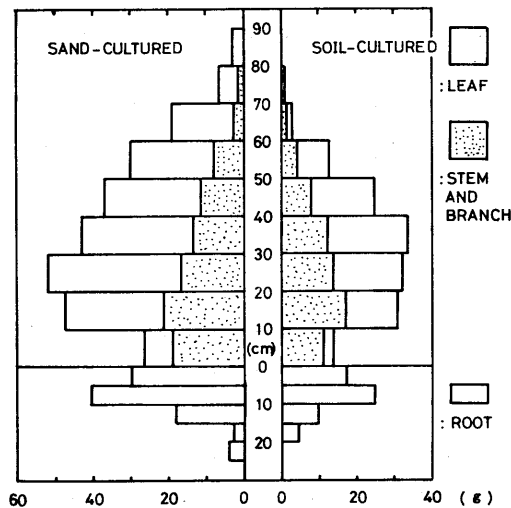


Fig. 2-1 Growth of sand-cultured and soil-cultured seedling in forest land

Tab. 2-3 Growth of 1-1 HINOKI seedling (two-year-old seedling)
in forest land 11 months after plantation

KINDS OF SEEDLING	TOP LENGTH (cm)	CROWN DIAMETER (cm)	DIAMETER AT GROUND LEVEL (mm)	FRESH WEIGHT (g)				
				LEAF	STEM AND BRANCH	TOP	ROOT	TOTAL
SAND-CULTURED	84.3	56.0	12.9	162.3	89.5	251.8	71.7	323.5
SOIL-CULTURED	74.9	51.8	10.9	87.8	70.9	158.7	58.0	216.7

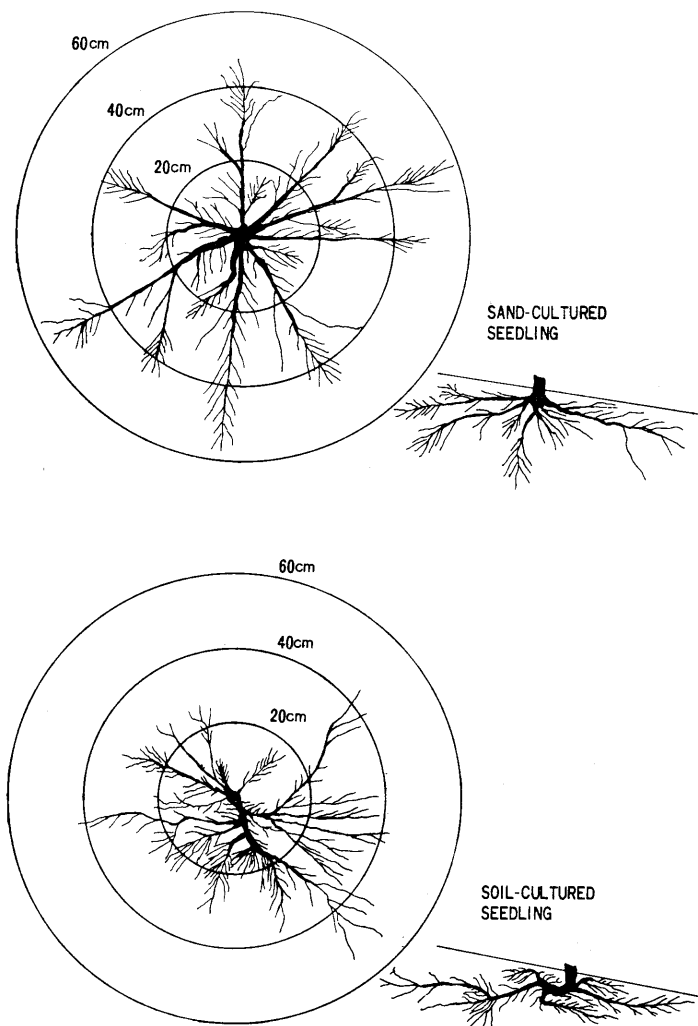


Fig. 2-2 Horizontal and vertical distribution of one-year-old HINOKI tree roots grown in forest land

年度砂栽培した苗はここでは除外した。その結果、それぞれの苗木の生長を Tab. 2-4 と Fig. 2-3 に示した。Tab. 2-4 から砂・林地は 苗畑の生長とかわらず、むしろ土床よりもよかった。地上高については土耕・土耕区が最も小さく、次いで砂・土耕区であって、土耕によると地上部の伸びは比較的少ないことがわかった。また林地での生長は苗畑での砂耕床まきつけのものにくらべて劣ったが、これは立地条件のちがいと追肥、灌水、除草などの手入れが苗畑ほど十分ではなかったからであろうが、その差は小さかった。枝張りについては普通土床 30本/m² の列植えに対して、砂床は 81本/m² の密度であったため小さかった。一方、活着率については砂一砂区は枯れず 100%であったのに対し、土耕一土耕区が約 80%で、砂・林地の活着率は 84.5%と中間の比率を示し、林地植栽時の活着は好成績であった。T/R 率は砂・土耕区が最も小さく、砂一砂区が最も大で、林地は 3.63 とやや大きかったが、植栽当初の 4.89 に比べると、小さくなっていて根ののびもよかった。このことから、林地での根系の発達がうかがわれ、今後の生長も期待できるであろう。

Tab. 2-4 Growth of 1-0 HINOKI seedling (one-year-old seedling)
6 months after transplanting

TREATMENT		TOP LENGTH (cm)	ROOT LENGTH (cm)	DIAMETER AT GROUND LEVEL (mm)	FRESH WEIGHT (g)			T/R RATIO
SEEDLING (1ST YEAR)	TRANSPLANT PLACE (2ND YEAR)				TOTAL	TOP	ROOT	
SAND-CULTURED	SAND-CULTURED BED	49.9	24.6	6.3	62.0	51.0	11.9	4.28
SAND-CULTURED	SOIL-CULTURED BED	48.4	29.6	7.5	77.0	56.8	20.2	2.81
SOIL-CULTURED	SOIL-CULTURED BED	45.1	25.7	6.0	32.9	23.8	7.2	3.31
SAND-CULTURED	FOREST LAND	48.6	28.3	5.0	41.8	28.3	7.8	3.63

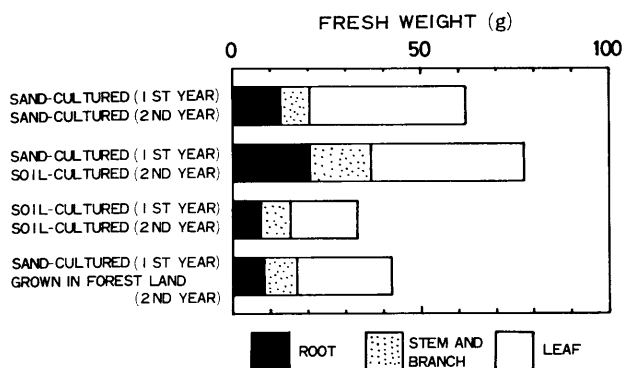


Fig. 2-3 Fresh weight of 1-0 HINOKI seedling (one-year-old seedling)
6 months after transplanting

Fig. 2-3 の苗木の各部重でも、砂・林地区は土耕・土耕区に優り、苗畑床替の砂床替には劣ったが、苗畑養成の苗木はまだ現地植栽という移植の過程があることは逆に、床替が植栽に変わった1年生山出し苗は、現地の環境に慣らす点で有利となろう。以上のことからさらに今後2, 3年目の生長についての検討も必要であるが、1-0 砂栽培苗の現地植栽は不可能ではないというみとおしが得られた。

3 結 論

本章では苗木養成の省力化として砂栽培による方法を取り上げた。砂土を培土とした苗木の育成は、苗木に必要な水分、養分を自動灌水、液体肥料の施用によって、適期に供給できること、除草、消毒、灌水の労力の必要がほとんどないことなどの利点がある。この利点を林業用苗木の養成に応用し、事業的および実験的規模で試験を行なった。栽培されたまきつけおよび床替苗木の形態的特性と施用肥料の吸収を土耕苗木の場合と比較した。また、砂栽培によって得られた苗木の現地での活着、生長についてしらべ、実用化の可能性について考察した。これらの一連の試験からつぎの結果がえられた。

1回床替苗の地上高、根元直径は砂栽培して得られたものが大きく、全生重も、植栽密度が砂栽培では100本/m²と従来の土耕苗の3倍以上も高かったが、砂栽培による苗木で大きい値を示し、生長の良いたことが認められた。T/R率は砂栽培した苗木が大きく、地上部重とくに生葉重が大きな値を示した。苗木養成期における枯死率は普通床約80%に対し、砂床では枯死個体はほとんどみられず、夏期の乾燥による枯損はなかった。

まきつけ苗の生長はスギ、ヒノキとも砂栽培苗の生長が土耕した普通床苗より約2倍以上もすぐれ、とくにスギ苗の生長は砂土を培土として、適宜灌水、液肥施肥することで著しく増大することがわかった。まきつけ床における秋期成立本数も砂栽培区で多く、間引き苗がほとんど使用できたことから、砂栽培によるまきつけ苗の得苗率をあげることができた。

ここで用いた尿素複合液肥(15:6:6)を与えたときのチッソ吸収率は床替苗で28%、まきつけ苗で37%(ヒノキ)、65%(スギ)と計算され、高い値が得られ、培土に砂を用いることは施肥の効率をたかめる上に極めて有利であると結論しうる。

砂栽培した床替苗を現地植栽した結果、その活着率は99%とほとんどが活着したが、これは細根の発達が良いであったためと思われる。また植栽後の現地における生長も砂栽培した苗が、樹高、根元直径、重量生長量とも土耕苗よりすぐれており、現地植栽後1生長期を経過した時点におけるT/R率は3.5~2.7となり、根系の発達が著しいことがわかった。

1年生苗(1-0苗)の現地植栽試験で活着は約85%で、苗畑の土耕、床替区の80%より高い値を示し、林地での根系の発達もよかったことから、今後の生長が期待されるものと思われる。さらにまきつけ苗を直接林地に植栽することは床替苗としての1年間の苗畑での養苗期間がなく、移植回数が1回で、かつ現地の環境に早く適応する点で有利になると考えられる。

以上の砂栽培床替(1-1)苗、1年生(1-0)苗の養成および現地植栽試験から、今後、砂栽培による苗木養成が林業用苗畑でも実用化し得る見とおしが得られた。

第2章 ヘリコプターによる林地施肥の効果と省力化

わが国の林地肥培は今日かなりの普及をみている。林業統計要覧⁹⁶⁾によると、1969年では1960年の5.3倍、民有林63,000ha、国有林26,000haと拡大し、年間造林面積の17%を占めるに至っている。林地肥培の目標は、造林初期の下刈年限の短縮、間伐、主伐期の材積および形質生長の増大、ならびに林地瘠悪化の防止、改善や病虫害、気象害などに対する抵抗性の増大などが考えられ、近時施肥が多くとり入れられたのも、これらのことを考慮してのことである。しかし、今日の労働力の減少、高賃金が林業経営を困難にしている現状では、極力人力にたよる面を縮少し、労働生産性を高めることが要求されており、このことから現在育林の省力化は、林業の共通の問題であるといわねばならない。

ここでは省力と短期間で達成できる作業、人力では困難な急峻な山岳地でも可能な施肥法として、ヘリコプターによる散布の諸問題をとりあげたが、わが国では農薬散布からの移入、地形的制約などでヘリコプターが導入されている。川名⁵⁶⁾によれば、航空機による肥料散布は、北欧では小型機が有利で、アメリカ、カナダでは最近ヘリコプターに変わりつつあるといっている。航空施肥の利点として塘¹³²⁾は、広大な面積、遠隔地、急峻山岳地、岩石地、湿地など人力では不可能な森林、路網未発達な森林および労力確保の困難な場合に、その威力を発揮するという。

いずれにしろ、ヘリコプター散布の効果は、植栽木生長促進の効果が問題で、ここでは施用養分の利用率の低い火山灰土壌の閉鎖前の幼齡林分における試験について調査検討することにし、熊本営林局で1967年に計画実行されたヘリコプターによる林地施肥林を対象とした。

この林分で、

- ① 空中からの地表面散布と散布による施肥効果
- ② 肥料の質的面についての検討
- ③ 散布量と肥料害の問題
- ④ 施肥前後の植生の推移と保育との関連性
- ⑤ 経済性の検討

の5項目を確かめるため⁴⁷⁾、実施された計画の一部で、1967年、1968年、1969年と引きつづいて3年間行なわれたものである。

このうち、本試験は菊池営林署深葉国有林15、16林班において行なわれた試験について、1967年より肥培効果調査を抽出標本と全体の観察をもとにして、4年間にわたって追跡したものである。

1 試験地概況と調査方法

散布の行なわれた場所は、熊本県阿蘇郡阿蘇町、菊池営林署管内阿蘇深葉国有林の緩傾斜で連なる起伏のとぼしい台地であって、海拔高およそ600m、黒色火山灰土壌で深く被われ、年降水量4,000mm、年平均気温17°C、最低気温-18°Cを記録したやや高冷な地帯で、土性は埴壤土に属するが、軽しょうで、容重およそ40gを示し、下層ではやや増加する傾向にある。pH値5.0~5.3(H₂O)、有機態炭素含量は15%と多い。スギ伐採跡地であって、1961年度に11.06ha、1962年度に13.19ha、1963年度に15.14ha、1964年度に17.51ha、1965年度に11.95ha、1966年度に8.14haそれぞれ植栽されたアヤスギ幼齡林地

である。下層植生は、キク科を主とする広葉雑草、常緑および落葉性低木類、ススキ、チヂミザサの多いイネ科雑草が一般的にいて、大体4:1:2の割合で分布し、低木類ではカナクギノキ、マメイヌツゲ、アセビ、サルトリイバラなどが多く、キイチゴ類(ナガバモミジイチゴ、クマイチゴ)が地域によっては密生して特異な景観を呈する。広葉雑草は、ヨモギ、ベニバナボロギク、ヨメナ、ニガナ、ヤクシソウ、ノゲシなどのキク科の植物のほか、場所によっては、ヌスビトハギが多かった。イネ科雑草ではススキ、チガヤ、匍匐性のチヂミザサの他、メヒシバ、エノコログサ、コヌカキビの群落も出現した。この地域のうち、1963~1966年度植栽の45.45 haに、24:16:11の東洋高圧マルリン尿素リン安カリ(マルリンスーパー1号)250kg/ha散布区、400kg/ha散布区、および無散布の対照区の3区を設定した。ここで用いたマルリン尿素リン安カリはチッソ源は尿素を主とし、全チッソ24%、可溶性リン酸16%、水溶性カリ11%を保証する化成肥料であって、計画施肥量は Tab. 2-5 のとおりであった。試験地の概要は Fig. 2-4 に示すとおりである。

Tab. 2-5 Description of experimental plots used in this study

PLOT NO.	SPECIES	AREA (ha)	TREE AGE AT FIRST FERTILI- ZATION	APPLIED FERTILI- ZER	AMOUNT OF APPLIED FERTILIZER (kg/ha/year)	TOTAL AMOUNT OF APPLIED N, P ₂ O ₅ , K ₂ O DURING 3 YEARS (kg/ha)		
						N	P ₂ O ₅	K ₂ O
I ₁ 25-1	<i>Cryptomeria japonica</i>	8.20	2	MARURIN SUPER NO. 1	250	180	120	82.5
	and		3					
	<i>Chamaecyparis obtusa</i>		3					
I ₂ 40-1	<i>Cryptomeria japonica</i>	11.31	2	MARURIN SUPER NO. 1	400	288	192	132
			3					
			4					
I ₃ CO-1	<i>Cryptomeria japonica</i>	6.75	3	UNFERTILIZED	0	0	0	0
			4					
I ₄	<i>Cryptomeria japonica</i>	7.75	4	GRANULAR UREA	100	46	0	0
I ₅ CO-4	<i>Cryptomeria japonica</i>	8.75	4	UNFERTILIZED	0	0	0	0
	and		5					
	<i>Chamaecyparis obtusa</i>							
I ₆ 25-4	<i>Cryptomeria japonica</i>	10.44	5	MARURIN SUPER NO. 1	250	180	120	82.5
	and							
	<i>Chamaecyparis obtusa</i>							

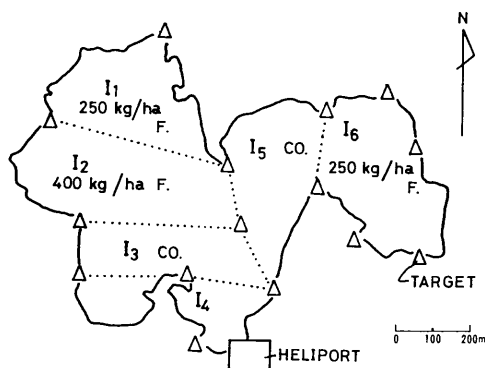


Fig. 2-4 Diagram of experimental area

Dash line shows the border of each blocks.

CO: Control (Unfertilized)

TARGET: Target for fertilization by helicopter

散布に使用した機種はヘリコプター、全日空 Bell 47 型KH-4 で、ANA・G-11 型散布装置を搭載している。本散布装置は 飛行速度 60 km/hour, 高度 100 feet で散布幅 40m, 有効散布幅 30m, 最大吐出量 215 kg/min, 最大積載量 220kg であって、これによって高度約 30m から散布帯を交錯させながら 1967年 7月, 1968年 5月および 1969年 5月に散布した。

この散布地域の I₄ を除く各区に 10m×15m または 10m×10m 調査プロット 3~6 個, 合計 18プロットを散らし, 1968年に 3プロットづつを加え, このプロット内について, 土壌と草生を, さらにこのプロット内から 25本の植栽木を抽出して, 合計 450 本について生長量と養分濃度変化を調査測定した。

生長量については施肥前および生長休止期の 1967年 7月, 11月, 1968年 5月, 11月, 1969年 5月, 11月, 1970年 7月, 12月に樹高, 根元直径(地上 10cm 部位の 2方向)を測定し, それぞれの差から上長生長量, 肥大生長量を求め, 各年の生長休止期に植栽木を掘取って各部重量を求め, 無施肥区と比較した。

養分濃度は, ほぼ 2 か月おきに各処理区から当年生葉, 1年生以上の古葉を採取し, 乾燥, 粉化し, チッソはセミマイクロケルダール法, リン酸はバナドモリブデン比色法, カリは炎光光度計で測定し, その含有率を求めた。草生量は 1967年, 1968年, 1969年につき約 2 か月おきに, 出現種をしらべ, さらに広葉雑草, 低木類, イネ科, 場合によってはササ, シダ類にまで分け, 2m²内のすべての雑草の地上部を刈り取って重量を求め一部をもち帰り, チッソ, リン酸, カリ含量を測定した。なお, 1970年は試験地に除草剤ブッシュキラー-250kg/ha を散布したため雑草についての調査は行なわなかった。

土壌は施肥前, 施肥後について表面から 10cm, 40cm 部位の全チッソ含有率を硫酸分解試料についてコンウェイ微量拡散分析法で定量して求めた。さらに 1970年 12月に各層位別に pH 値, 有機態炭素, 置換酸度, 有効態リン, 容重を測定した。

またスギ幼齢木による施用肥料の養分利用率を算出するため, 掘取った 9~18本/1 処理

の標本木について、各部乾重×養分濃度として求め、1967年、1968年はチッソの利用率のみを、1969年、1970年はチッソ、リン酸、カリの植栽木による利用率を施肥区含有量から対照区含有量を減じ、それを施肥要素量で除して算出した。

雑草による施用養分の利用率は草生量を測定した1967、1968、1969年について養分含有率×雑草乾重で得た各月の養分含有量を平均して、天然供給量を差し引き年間施用量で除して求めた。

さらに、ヘリコプター散布による肥料のまきむらを現地にセットした5個の捕集枠(捕集口1m²のロート状のポリエチレン製袋)で1967年、1968年の散布時に散布量を測定し、ha当たりに換算した。

2. 結果と考察

① 植栽木の上長、肥大生長に与える影響

15~30本の植栽木を含むプロットを処理区別に3~6個各林分におとし、樹高は地際部に1967年7月施肥前の調査時に標示した部位から主軸の先端までとし、根元直径は標示地際部を斜面の上下方向、水平方向の2方向を測定し、平均して得た値である(Tab. 2-6, Tab. 2-7)。

Tab. 2-6 Height growth of young SUGI tree (*Cryptomeria japonica*) at different fertilizer levels (cm)

FERTILIZER LEVEL	REPLI-CATION	SURVEYED DATE								GROWTH DURING 4 YEARS	
		JULY 1967	NOV. 1967	MAY 1968	NOV. 1968	MAY 1969	NOV. 1969	JULY 1970	DEC. 1970	INCREMENT	GROWTH RAITO
CONTROL (UNFERTILIZED)	1	67.3	78.3	80.0	95.7	96.8	141.0	161.7	189.1		
	2	72.6	85.2	85.4	107.8	107.5	155.6	170.7	193.8		
	3	67.4	79.8	80.2	95.1	92.6	134.3	151.7	172.5		
	4	—	—	88.1	112.1	115.5	172.7	183.7	204.7		
	5	—	—	83.8	99.3	102.7	153.6	174.5	187.9		
	6	—	—	84.2	98.4	100.7	134.9	157.0	165.7		
	AVERAGE	69.1	81.9	83.6	101.4	102.6	148.7	166.6	185.6	116.5	168.6
INDEX (%)									—	100.0	
250 kg/ha FERTILIZED	1	56.8	70.6	73.7	98.4	103.5	139.5	154.6	168.9		
	2	65.9	84.9	81.4	112.6	114.8	168.6	185.3	207.9		
	3	60.7	82.1	81.7	101.9	101.6	136.6	142.7	154.9		
	4	—	—	104.5	140.4	140.1	194.1	211.7	227.9		
	5	—	—	91.4	125.5	122.8	185.6	199.9	204.6		
	6	—	—	91.6	122.3	125.0	172.9	193.8	207.1		
	AVERAGE	61.1	79.2	88.4	116.9	118.0	166.2	181.3	195.2	134.1	219.5
INDEX (%)									—	130.2	
400 kg/ha FERTILIZED	1	61.3	76.1	71.6	105.5	110.4	161.1	183.6	201.1		
	2	57.5	75.2	70.7	101.8	103.7	157.1	181.1	198.7		
	3	62.3	77.9	72.3	106.8	108.4	151.4	175.5	189.8		
	4	—	—	94.1	115.7	113.3	181.3	200.8	217.4		
	5	—	—	88.8	124.3	120.4	184.9	209.5	236.1		
	6	—	—	94.6	119.6	122.5	181.6	202.3	219.8		
	AVERAGE	60.4	76.4	82.0	112.3	113.1	169.6	192.1	210.5	150.1	248.5
INDEX (%)									—	147.4	

Tab. 2-7 The growth of diameter at ground level at different fertilizer levels (mm)

FERTILIZER LEVEL	REPLI-CATION	SURVEYED DATE								GROWTH DURING 4 YEARS	
		JULY 1967	DEC. 1967	MAY 1968	DEC. 1968	MAY 1969	NOV. 1969	JULY 1970	DEC. 1970	INCREMENT	GROWTH RAITO
CONTROL (UNFERTILIZED)	1	11.6	15.4	18.0	25.2	26.3	36.8	46.1	53.7		
	2	11.7	15.4	16.5	25.3	27.9	39.7	47.3	56.4		
	3	11.8	14.8	14.7	21.5	22.9	32.7	37.3	47.6		
	4	—	—	20.1	30.1	32.8	43.0	47.3	58.5		
	5	—	—	18.5	29.7	31.7	42.1	47.6	59.8		
	6	—	—	17.8	25.3	29.1	36.7	42.0	53.0		
	AVERAGE	11.7	15.2	17.6	26.2	28.5	38.5	44.6	54.8	43.1	368.4
	INDEX (%)									—	100.0
250 kg/ha FERTILIZED	1	10.9	14.1	17.2	27.7	29.7	38.0	46.8	55.6		
	2	10.6	14.4	15.2	25.7	30.3	42.0	44.1	63.5		
	3	12.8	16.9	26.1	37.9	26.6	36.8	41.9	51.5		
	4	—	—	23.4	33.9	40.4	54.4	63.4	70.7		
	5	—	—	16.5	28.1	35.6	48.1	52.9	63.6		
	6	—	—	21.6	33.1	35.8	50.4	57.0	65.2		
	AVERAGE	11.4	15.1	20.0	31.1	33.1	44.9	51.0	61.7	50.3	441.2
	INDEX (%)									—	119.8
400 kg/ha FERTILIZED	1	12.3	17.4	18.6	31.7	34.5	50.0	54.7	67.2		
	2	11.9	16.4	19.4	32.3	34.3	50.0	60.0	71.8		
	3	13.1	19.1	20.4	30.4	32.7	46.7	51.6	65.9		
	4	—	—	20.6	36.3	40.1	56.2	60.4	75.5		
	5	—	—	18.7	32.5	35.7	52.0	62.7	80.5		
	6	—	—	19.4	32.0	34.1	46.9	53.9	68.1		
	AVERAGE	12.4	17.6	19.5	32.5	35.2	50.3	57.2	71.5	59.1	476.6
	INDEX (%)									—	129.4

とくに3プロット平均の樹高の生長経過を図示すると Fig. 2-5 のようになった。

それぞれの年間生長量は Fig. 2-6, Fig. 2-7 に示した。

樹高生長量は、施肥前の1967年7月には対照区 69.1 cm, 250 kg/ha 施肥区 61.1 cm, 400 kg/ha 施肥区 60.4 cm と無施肥区が約 10 cm 優っていたが、施肥区は2生長期経過後には無施肥区をうわまわり、3年目(1969年11月)には約 20 cm の差をつけ、生長量も施肥区が大きくなった。

根元直径生長量は当初の大きさには大差なかったが、肥大生長量は施肥区で大きく、4年間では指数でみると対照区 100, 250 kg/ha 区 120, 400 kg/ha 区 129, と対照区より 20~30% 施肥区が優り、肥大率の最も大きかったのは2年目にみられた。

本吉ら⁶⁴⁾はスギ幼齡林に施肥し、肥効は1年目で地下部の生長に向けられ、その結果2年目は伸長、肥大生長が大きかったことを、伊藤ら³⁷⁾も2年生サンブスギ林で緩効性肥料は2年目の生長が優れていたことを報告しているが、ここでは3年目の生長量が著しく、毎年の施肥がこのような結果をもたらしたものと思われる。

幼齡期ほど肥効が顕著であることはすでに阿蘇火山灰土壌で認められ¹²⁰⁾、一般にアヤスギは晩生型の生長を示す品種的特性を有し、クモトオシ、イワオスギなどの早生品種とく

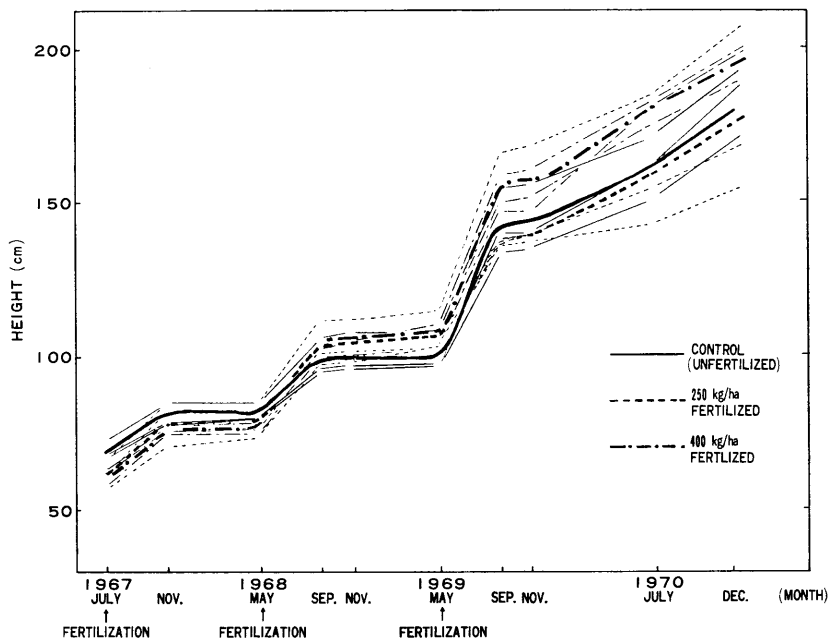


Fig. 2-5 Changes of height growth on young SUGI stand at different fertilizer levels

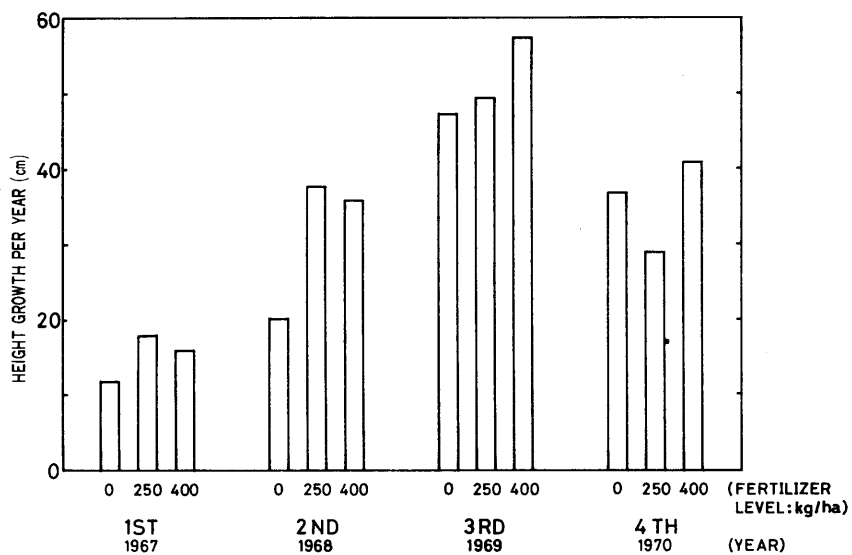


Fig. 2-6 Annual height growth increment of young SUGI tree at different fertilizer levels

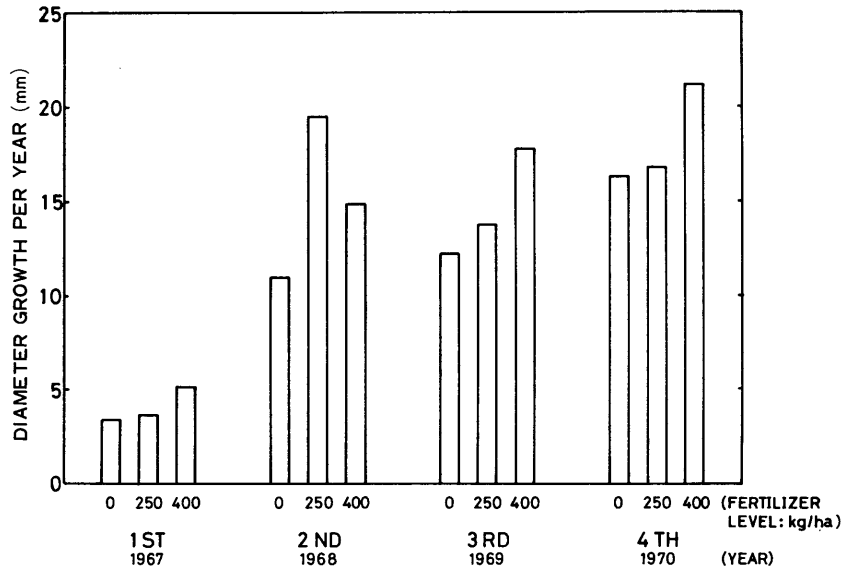


Fig. 2-7 Annual diameter at ground level growth increment of young SUGI tree at different fertilizer levels

らべ初期の生長は比較的遅いとされている¹¹³⁾。

同じ黒色火山灰土壌でアヤスギ2年生に対し、3要素試験を行ない上長生長では完全肥料区は無施肥区の50%の増加をみ、チッソの効果が著しいことが認められており¹¹⁴⁾、ここでも4年間の施肥区の上長伸長率指数からみると、無施肥区より30~40%増で、高冷な阿蘇地方の黒色火山灰土では十分満足される肥効ということができ、幼齡期のアヤスギでも肥培管理による生長の増大は十分期待できるものと思われる。

根元直径生長については各年の生長期の生長量は1年目は小さく、2, 3, 4年目は変らなかった。各年の一生育期間の生長量を各年の生育当初の値で除してパーセントであらわした肥大率として示すと、コントロール区、施肥区とも2年目の肥大率が大きい傾向がみられたが、これが環境条件によるのか、品種的特性によるのかについては不明であった。初めの3年間について施用量別にみると400kg/ha施肥区の生長量は常に対照区よりまさり、コンスタントの肥効がみられたのに対し、250kg/ha施肥区は3年目で対照区より劣った。しかし肥大生長についても肥効はほぼ認められたといえる。施肥量が上長、肥大生長量に与える影響については400kg/ha施肥区がわずかに4年間の生長が良かった程度であり、佐藤ら¹¹⁷⁾の行なった施肥量試験によると当地域では植栽当年スギ林分でチッソ成分量30g/本程度で十分肥効は期待できるとしており、ここでは250kg/ha施肥区の場合チッソ39g/本、400kg/ha施肥区でチッソ63g/本の値で3年連続施用して、生長に大差のないことなどから、火山灰土壌の場合、林齡2~5年生ではチッソ約40g/本の量で十分であると思われる。

② 植栽木の重量生長量について

4年間の各生長休止期にサンプル木を掘取って、新葉部(当年生葉)、古葉部(1年生以

上の葉部), 枝幹部, 根系部の4部に分け, 各処理区より3~6本について, 4年目は樹高中央値に近い値をもつサンプル, 2年目は樹高最大, 最小値のサンプルを各プロットから2本ずつ掘取って, 3年目は各プロットの樹高上位を占める5本の平均値に近似する植栽木を標本木として掘り上げ, 生重, 乾重を測定した(Fig. 2-8)。

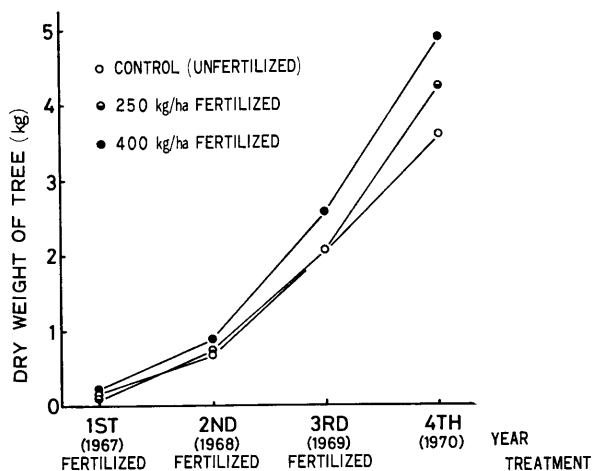


Fig. 2-8 Changes of dry weight of young SUGI tree grown at different fertilizer levels

各部乾重の変化を示すと Tab.2-8 のとおりである。個体の乾重については 400kg/ha

Tab. 2-8 Changes of average dry weight of young SUGI tree at different fertilizer levels (g)

YEAR		1967	1968	1969	1970
CONTROL (UNFERTILI- ZED)	N	56.3	169.3	435.4	793.9
	O	19.5	70.7	337.8	461.8
	BS	55.9	287.1	776.9	1605.2
	R	40.3	151.6	558.1	757.0
	TOTAL	172.0	678.7	2108.2	3617.9
250 kg/ha FERTILIZED	N	43.6	212.3	450.8	1152.0
	O	13.8	78.3	295.6	593.2
	BS	39.0	286.9	924.7	1714.0
	R	25.7	144.5	425.6	769.3
	TOTAL	122.1	722.0	2096.7	4228.5
400 kg/ha FERTILIZED	N	69.5	261.9	651.7	1317.2
	O	26.0	83.6	312.6	658.0
	BS	61.9	314.4	1061.0	2042.8
	R	46.5	200.4	576.7	870.0
	TOTAL	203.9	860.3	2602.0	4888.0

N: Current year's leaves

BS: Branches and stems

O: 1, 2, 3 year's leaves

R: Roots

区は常に対照区にまさり、250 kg/ha 区も当初対照区より劣ったが、4年目の測定値では十分肥効を認めえた。4年目の重量を指数で示すと、対照区100に対し、250kg/ha施肥区121、400kg/ha 施肥区151と施肥区の重量生長は良好で、乾重生長量についてもこのような抜取り調査では抽出サンプルのバラツキは大きく、誤差も大きかったが、2年目以降は肥効が認められた。各部位の重量割合をみると2、3、4年目とも施肥することで、同化器官である針葉部重量の増加がみられ(Fig. 2-9)、4年目の測定結果の指数では対照区100、

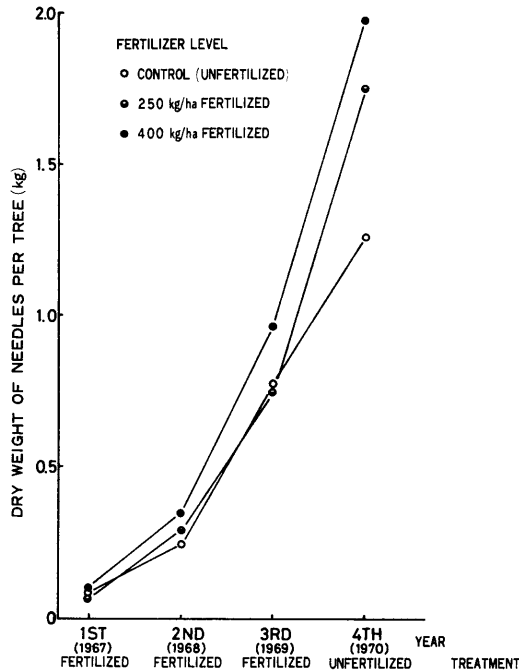


Fig. 2-9 Changes of dry weight of needles per tree in young SUGI stand at different fertilizer levels

250kg/ha施肥区148、400kg/ha施肥区173と、400kg/ha区は無施肥区より7割も新葉量が多かった。施肥以降各年を通じ新葉量の大きいことから、とくに新葉量/古葉量で示される新葉率も施肥区で大きい値を示した。

通常肥効は乾重にあらわれるが、ここでも各年を通じ重量では肥効をみており、特に施肥区は施肥処理によって増加した葉量の落葉、野草による養分還元量を積極的に吸収し、毎年の施肥によって樹勢を旺盛にしたものと考えられることができる。

3年目(1969年11月)測定時における総乾重量で250kg/ha施肥区が無施肥区に劣ったのは全体的に含水率がとくに新葉部(当年生葉)で高かったこと、細根重を含まなかったことなどが考えられ、生重では施肥区の方が大きかった。また地上部重は無施肥区1.55kg、250kg/ha施肥区1.67kg、400kg/ha施肥区2.03kgと両施肥区とも対照区を凌駕し、施肥区はとくに地上部の生長率が大きくなることがわかった。この試験地に植栽された供試品種は中晩生型の生長を示す幼齢期のアヤスギであったこと¹¹³⁾も加味され、葉重、

個体重、樹幹部の肥大などによく肥効があらわれたものと思われる。渡辺¹⁵²⁾はスギ11年生施肥木を樹幹解析し、若い林分ほど樹冠部の占める割合が大きく、樹冠部で生産された同化物は樹幹の生長につながるとして、施肥林では葉量増加、幹部の肥大を認めており、本試験の実験結果と一致した。また施肥区での当年生葉の占める割合が大ききことは塘ら¹⁴³⁾の林齢別にスギの重量を調べた結果でも、幼齢なものほど同化器官である葉の部分が多く、年令の増加につれて貯蔵器官である幹部が増大する傾向にあることを報告しており、当年生葉の増加はこれらの落葉による還元の形で肥効は翌年以降の生長にも影響し、林地肥培は植栽木の将来の生長に良循環をくり返すことが考えられる。

葉量について検討するため、4年目の1970年11月に各処理区の単木の樹冠のひろがりや30~40本の標準木について測定し、平均したものを示すとTab.2-9のとおりで、施肥木は樹

Tab. 2-9 Shaded area by young SUGI tree crown after treatment in 1970

FERTILIZER LEVEL	SHADED AREA BY CROWN (m ²)	INDEX
UNFERTILIZED PLOT (0 kg/ha)	1.226 *	100
250 kg/ha FERTILIZED PLOT	1.261	103
400 kg/ha FERTILIZED PLOT	1.687	138

* These figures show the average of 30~40 sample trees.

冠投影面積が大ききことがわかった。このことから400kg/ha施肥区の単位面積当たり投影面積は無施肥区よりも極めて大きくなり、下層植生の生長を阻止する効果は大きく、下刈労力、年限の短縮という点で省力につながるものであろう。一般的にいつて植栽後2年目の幼齢林で施肥による着葉量の増加に伴って地表被覆度が高まり、閉鎖を早めることは多い。原田²⁵⁾の7年生スギ林の樹冠占有面積は対照区100に対し施肥区126であったと述べており、ここでも施肥によって枝葉量の増大がみられた。

③ 雑草の推移におよぼす影響

各処理区内にあらわれた下層植生を低木類、広葉雑草類、イネ科、シダ植物類に類別し、調査した。その結果、全出現種は初年度では低木類37種、広葉雑草24種、3年度は低木類62種、広葉雑草38種、イネ科13種とやや増大し、低木類の増加がみられた。

養分奪取を支配する広葉雑草としてノコンギク、アレチノギク、ノアザミ、ヨモギ、ヒメムカシヨモギ、ヘクソカズラ、ベニバナボロギク、キオンが主なものであった。新植地でしばしばみられる帰化植物アレチノギク、ヒメムカシヨモギ、ベニバナボロギク、アメリカセンダングサ、オオアレチノギク、ヒメジオンなども侵入した。

施肥後の草量をしらべるためプロット内で各調査年月に、異なる場所に2m²(1m×2m)内の雑草を刈り取り地上部のみを測定し、各処理区の平均値をhaあたりに換算して乾重で示すとTab. 2-10のとおりであった。

1967年では施肥前に刈り取られた草生は1か月後の8月には400kg/ha施肥区は対照区

Tab. 2-10 Dry weight of undergrowths in each treatment (ton/ha)

TREATMENT	YEAR												
	1967				1968				1969				
UNDER-GROWTHS	JULY	AUG.	SEP.	NOV.	JULY	SEP.	OCT.	NOV.	JUNE	JULY	SEP.	NOV.	
CONTROL	SHRUBS	0	0.21	0.23	1.19	0.60	0.55	0.45	0.24	1.79	1.84	0.88	1.21
	HERBACEOUS PLANTS	0	0.52	0.97	0.21	1.34	1.30	0.85	1.17	0.51	0.80	0.79	0.16
	GRAMINEAE	0	0.46	0.86	0.32	0.17	0.42	0.22	0.28	0.37	0.17	0.50	0.12
	TOTAL	0	1.19	2.06	1.72	2.11	2.27	1.52	1.69	2.67	2.81	2.17	1.49
250 kg/ha FERTILIZED	SHRUBS	0	0.63	0.93	0.84	0.43	0.43	0.21	0.59	4.13	2.65	1.43	1.34
	HERBACEOUS PLANTS	0	1.99	2.32	1.04	3.39	2.03	2.32	2.48	0.36	0.96	0.53	0.34
	GRAMINEAE	0	0.04	0.30	0.04	0.21	0.21	0.21	0.28	0.11	0.04	0.38	0.39
	TOTAL	0	2.66	3.55	1.92	4.03	2.67	2.74	3.35	4.60	3.65	2.34	2.07
400 kg/ha FERTILIZED	SHRUBS	0	0.47	0.37	0.21	0.81	1.96	1.51	1.20	0.60	1.62	1.34	1.65
	HERBACEOUS PLANTS	0	2.32	0.72	0.64	0.20	0.66	0.34	0.81	1.67	0.67	0.32	0.08
	GRAMINEAE	0	0.11	0.85	0.79	0.15	0.64	0.44	0.33	0.50	0.92	1.47	0.45
	TOTAL	0	2.90	1.94	1.64	1.16	3.26	2.29	2.34	2.77	3.21	3.13	2.18

1) Each figure were obtained from the average of 2-3 sample plots.

2) Undergrowths mean the understory vegetation.

(無施肥区)の3.5倍の量に再生した。1968年、1969年も同様、施肥後に草生量は増大し、種類別にみると低木では大差ないが、キク科多汁性の広葉雑草ベニバナボロギク、ヤクシソウ、ヨモギ、オトコヨモギ、ヒメムカシヨモギ、アキノノゲシ、ニガナなどが夏期に増加し、施用養分のはげしい奪取を示すことがうかがわれた。これらの広葉雑草は11月になると枯死しはじめその量は減少し、活動の盛んな6月、7月、8月ごろが最盛期で、イネ科は9月頃が本試験地では生育のピークを示す時期であるといえよう。

この地域で林木の養分吸収が低いことの一つには雑草による養分収奪の大きいことがあげられている⁸⁾。

航空機による空中からの林地全面散布は、林木と雑草とに対し均一に散布されるため、幼齡な閉鎖前の林分では点状、列状、スポット状などの施肥法にくらべ雑草による収奪は大きいことが当然考えられる。

原田ら³¹⁾は阿蘇火山灰土壌で4月に施肥し、6月下旬の調査結果では施肥区の野草の乾重生産が大きかったことをあげており、本試験地でも施肥後2-3か月には対照区の2-3倍の乾重生産量を示した。戸沢ら¹⁰³⁾によると、岩手の火山灰母材の黒色火山灰土に施肥し、草生量は、対照区の0.5-0.8 ton/haに対して、基準量施肥区では1.2-3.0 ton/ha、4倍量区では1.7-4.2 ton/haとなり、肥効は広葉草本について明瞭に認められたとし、クマノイチゴ、ナワシロイチゴの低木類、ヤマシロギク、ヒメジョオンなどの大形キク科植物が繁茂したと述べており、ここでも広葉雑草が繁茂し、多汁性キク科草本は生重では400kg/ha施肥区で対照区の4倍にも再生したところもあった。

阿蘇原野の多くはススキが主草生で、施用養分のうち植生に利用される養分は、ほとんどススキによって吸収利用されるのが普通である¹²³⁾。しかし本試験地は伐採跡地(2代目造林地)でススキは点状に散在する程度であったため、広葉雑草の繁茂としてあらわれたものと思われる。本試験地内にみられる下層植生は阿蘇火山灰台地に通常みられる種で、このような幼齡林地では施肥による草生種の変化は3年間くらいではみられないことがわかった。

中島ら⁷²⁾は幼齡ヒノキ施肥林で雑草とくにススキの吸収率が高いと植栽木のそれは小さく、チッソ吸収率はヒノキ2.5%に対し、ススキ40.8%と大きいことを確かめ、このような林地では植穴を大きく、雑草木の根切りを丁寧に行なうことが必要であるとしており、阿蘇火山灰土壌でも雑草収奪の大きかったことから、植栽木の養分吸収率を増加させるためには、雑草の制御が必要で、下刈回数をふやし、草生に吸収された養分を還元させるようにすることや、除草剤などによる雑草抑制を図る必要がある。

④ 植栽木および雑草による施用肥料の吸収

チッソ、リン酸、カリの濃度については、針葉(新葉=当年生葉、古葉=1,2,3年生葉)は施肥後、生育初期~生育終期の間1~3回、4年間測定し、各年の生育休止期に掘り取った標本木を、新葉、古葉、枝幹、根系部の4部分に分け、実験室に持ち帰ったものについて、チッソ、リン酸、カリの含有率を測定した。ただし、1968年度はチッソのみについて行なった。要素別に示すとTab.2-11, Tab.2-12, Tab.2-13のようになった。チッソ濃度は初年度、施肥後1か月の新葉濃度は無施肥区の1.7%に対し250, 400kg/ha施肥区は2.1%と高く、4か月後でも400kg/ha施肥区の含有率は高かった。古葉濃度にも肥効はみられ、両施肥区とも4か月後まで持続した。2年度、3年度とも同様で、4年度の除草剤のみの散布処理では施肥区の含有率は対照区(無施肥区)と変わらず、このような火山灰土の場合、植栽木のチッソ濃度は施肥処理を施さないと肥効はあられわれず、前年度の残効は樹体内養分濃度に対してはほとんどみられなかった。生育休止期に採取した試料木の幹枝、根系は初年度、3年度にわずかに施肥区で高くなったが、針葉のように顕著ではなかった。すなわち、植栽木では針葉とくに当年生葉に顕著にあらわれ、施肥後1~2か月の濃度が高い傾向にあった。施肥による針葉の養分濃度の増大について GESSER²²⁾はダグラスモミ幼齡林に施肥し、針葉のチッソ%が20~80%増加したことを報告し、テーダマ

Tab. 2-11 Nitrogen concentration in various parts of young
SUGI trees at different fertilizer levels (%)

TREATMENT	YEAR	1967				1968				1969				1970	
		COMPONENT	JULY	AUG.	SEP.	NOV.	JULY	SEP.	NOV.	JUNE	JULY	SEP.	NOV.	JULY	DEC.
CONTROL	N	1.60	1.73	1.26	1.31	1.33	1.30	1.38	1.45	1.47	1.45	1.25	1.55	1.23	
	O	1.25	0.75	0.91	1.03	0.87	0.88	0.94	0.96	0.73	0.90	0.96	0.91	0.90	
	BS	—	—	—	0.53	—	—	0.45	—	—	—	0.48	—	0.53	
	R	—	—	—	0.44	—	—	0.35	—	—	—	0.45	—	0.43	
250 kg/ha FERTILIZED	N	1.61	2.08	1.51	1.31	1.81	1.47	1.42	1.69	1.72	1.65	1.35	1.58	1.22	
	O	1.20	1.27	1.23	1.09	0.84	1.01	1.14	1.09	1.03	1.24	1.10	0.88	0.91	
	BS	—	—	—	0.56	—	—	0.36	—	—	—	0.53	—	0.53	
	R	—	—	—	0.47	—	—	0.52	—	—	—	0.52	—	0.48	
400 kg/ha FERTILIZED	N	1.44	2.06	1.66	1.60	1.97	1.49	1.50	1.97	1.86	1.55	1.56	1.60	1.25	
	O	1.01	1.27	1.25	1.28	1.20	1.01	1.19	1.10	1.12	1.03	1.03	1.02	0.91	
	BS	—	—	—	0.56	—	—	0.49	—	—	—	0.59	—	0.53	
	R	—	—	—	0.55	—	—	0.49	—	—	—	0.60	—	0.55	

N : Current year's leaves O : 1, 2, 3 year's leaves

BS: Branches and stems R: Roots

ツ幼齡造林地¹⁵⁷⁾, フランス海岸松⁶¹⁾, アヤスギ4年生林³⁰⁾, その他の樹種, 林齡においてもチッソ濃度が上昇した例^{28) 31) 37) 43) 51) 55)}は多く, 施肥によってほとんどの場合, 植栽木葉部のチッソ濃度に肥効があらわれるといえよう。

リン酸濃度については, 初年度をのぞき新葉に施肥効果がわずかにみられ, 他の部位においては明瞭な効果はみられなかったが, 各年の生長休止期に採取した標本木の根, 幹部の測定値は極めてわずかであるが, 施肥区の濃度が高かった。

Tab. 2-12 Phosphorus concentration in various parts of young
SUGI trees at different fertilizer levels (%)

YEAR		1967				1969				1970	
TREATMENT	COMPONENT	JULY	AUG.	SEP.	NOV.	JUNE	JULY	SEP.	NOV.	JULY	DEC.
CONTROL	N	0.38	0.37	0.37	0.29	0.43	0.37	0.44	0.39	0.37	0.27
	O	0.20	0.21	0.25	0.16	0.24	0.23	—	0.25	0.16	0.18
	BS	—	—	—	0.14	—	—	—	0.15	—	0.12
	R	—	—	—	0.14	—	—	—	0.16	—	0.10
250 kg/ha FERTILIZED	N	0.35	0.46	0.29	0.27	0.58	0.40	0.51	0.42	0.49	0.30
	O	0.18	0.20	0.38	0.14	0.30	0.19	0.28	0.36	0.14	0.22
	BS	—	—	—	0.49	—	—	—	0.17	—	0.12
	R	—	—	—	0.24	—	—	—	0.18	—	0.12
400 kg/ha FERTILIZED	N	0.26	0.42	0.22	0.36	0.69	0.46	0.47	0.40	0.47	0.31
	O	0.18	0.19	0.25	0.21	0.26	0.23	0.22	0.33	0.18	0.21
	BS	—	—	—	0.15	—	—	—	0.17	—	0.12
	R	—	—	—	—	—	—	—	0.20	—	0.13

N : Current year's leaves O: 1, 2, 3 year's leaves
BS: Branches and stems R: Roots

Tab. 2-13 Potassium concentration in various parts of young
SUGI trees at different fertilizer levels (%)

YEAR		1967				1969				1970	
TREATMENT	COMPONENT	JULY	AUG.	SEP.	NOV.	JUNE	JULY	SEP.	NOV.	JULY	DEC.
CONTROL	N	0.91	1.31	1.51	1.16	0.77	1.11	0.74	1.00	1.12	0.58
	O	0.92	0.80	0.81	0.48	1.33	0.45	—	0.86	0.57	0.57
	BS	—	—	—	0.45	—	—	—	0.26	—	0.25
	R	—	—	—	0.24	—	—	—	0.12	—	0.16
250 kg/ha FERTILIZED	N	0.88	1.70	1.00	1.06	1.04	1.38	0.49	0.90	1.34	0.92
	O	0.61	0.93	0.68	0.49	0.51	0.62	0.52	0.95	0.46	0.57
	BS	—	—	—	—	—	—	—	0.36	—	0.24
	R	—	—	—	0.24	—	—	—	0.25	—	0.23
400 kg/ha FERTILIZED	N	0.87	1.34	1.01	1.27	1.07	1.74	1.04	0.96	1.02	0.74
	O	0.92	0.69	0.97	0.78	0.70	1.13	0.55	0.86	0.71	—
	BS	—	—	—	0.48	—	—	—	0.44	—	0.23
	R	—	—	—	—	—	—	—	0.17	—	0.16

N : Current year's leaves O: 1, 2, 3 year's leaves
BS: Branches and stems R: Roots

施肥区のカリ含有率は植栽木の新葉部で施肥1~1.5か月後対照区よりやや上昇したが、他の部位では肥効はみられなかった。チップ、リン酸の場合と異なり、古葉(1, 2年生葉)のカリ濃度が高いのが特徴であった。また、幹、枝、根系の含有率は針葉の1/2~1/4程度

であった。施肥による効果は針葉のチッソ%のように明瞭でなかった。

雑草の養分含有率は、1970年の除草剤散布以前については、チッソは3年間、リン酸、カリは1年おきに、1967、1969年の2回調査した(Tab. 2-14, Tab. 2-15, Tab. 2-16)。

Tab. 2-14 Nitrogen concentration of undergrowths in young SUGI stand at different fertilizer levels (%)

TREATMENT	YEAR	1967					1968					1969				
		UNDERGROWTHS	JULY	AUG.	SEP.	NOV.	JULY	SEP.	OCT.	NOV.	JUNE	JULY	SEP.	NOV.		
CONTROL	SHRUBS	—	2.20	1.87	1.46	1.19	1.69	2.15	1.47	1.83	1.91	1.76	1.61			
	HERBACEOUS PLANTS	2.19	2.24	2.11	2.03	1.53	2.37	2.04	2.43	1.81	1.89	1.78	1.84			
	GRAMINEAE	2.13	1.42	1.07	1.13	1.20	1.74	1.39	1.21	1.35	1.57	1.48	1.44			
250 kg/ha FERTILIZED	SHRUBS	2.17	2.78	2.17	1.48	2.63	2.42	2.58	1.64	1.95	2.23	2.22	1.56			
	HERBACEOUS PLANTS	2.82	4.27	2.13	1.76	2.14	2.30	2.89	2.77	2.55	2.14	1.73	2.73			
	GRAMINEAE	—	1.87	1.50	1.13	1.33	1.67	1.54	1.58	1.80	1.86	1.82	1.77			
400 kg/ha FERTILIZED	SHRUBS	1.44	2.83	2.53	1.90	2.50	2.23	2.40	1.33	3.03	2.22	2.98	2.34			
	HERBACEOUS PLANTS	3.61	3.85	2.68	2.48	3.23	2.97	3.01	2.75	3.56	2.88	3.39	2.10			
	GRAMINEAE	—	2.73	1.67	1.67	2.35	2.32	1.77	1.37	2.66	2.32	2.34	1.85			

Each value shows the average of 2-3 samples.

チッソ、リン酸、カリ濃度とも広葉雑草の含有率が高く、低木、イネ科にくらべ、肥効が高く、カリは施肥効果は認められたが、生育最盛期が必ずしも高いとはいえず、全生育期間を通じ、バラツキが大きかった。

とくに、中島ら⁷²⁾はススキのカリ含有率、吸収率からカリ吸収能の高いことを述べてい

Tab. 2-15 Phosphorus concentration of undergrowths in young
SUGI stand at different fertilizer levels (%)

YEAR		1967				1969			
TREATMENT	UNDERGROWTHS	JULY	AUG.	SEP.	NOV.	JUNE	JULY	SEP.	NOV.
CONTROL	SHRUBS	—	0.52	—	0.23	0.35	0.37	0.36	0.35
	HERBACEOUS PLANTS	0.59	0.51	—	0.38	0.49	0.53	0.61	0.63
	GRAMINEAE	0.42	0.40	0.48	0.28	0.28	0.42	0.47	0.25
250 kg/ha FERTILIZED	SHRUBS	0.28	0.44	0.49	0.25	0.52	0.45	0.72	0.42
	HERBACEOUS PLANTS	0.92	0.93	0.57	0.46	0.66	0.81	0.69	0.56
	GRAMINEAE	0.97	0.40	—	0.20	0.41	0.48	0.38	0.28
400 kg/ha FERTILIZED	SHRUBS	—	0.60	0.41	0.47	0.59	0.54	0.33	0.56
	HERBACEOUS PLANTS	0.87	0.52	0.60	—	0.89	0.71	0.74	0.82
	GRAMINEAE	0.90	0.65	0.41	0.41	0.74	0.85	0.66	0.53

Each value shows the average of 2-3 samples.

るが、ここでも400kg/ha施肥区のように多量に与えた区では、イネ科のカリ含有率があまり同様の傾向がうかがえた。

Tab. 2-16 Potassium concentration of undergrowths in young
SUGI stand at different fertilizer levels (%)

YEAR		1967				1969			
TREATMENT	UNDERGROWTHS	JULY	AUG.	SEP.	NOV.	JUNE	JULY	SEP.	NOV.
CONTROL	SHRUBS	—	2.18	—	1.01	1.48	1.43	1.44	1.44
	HERBACEOUS PLANTS	1.75	3.04	—	3.30	1.90	2.70	2.35	3.92
	GRAMINEAE	1.43	2.18	1.90	1.51	1.36	2.40	1.88	1.35
250 kg/ha FERTILIZED	SHRUBS	1.08	2.07	2.08	0.85	1.53	1.49	1.94	1.46
	HERBACEOUS PLANTS	2.84	4.00	2.68	2.73	3.57	3.37	3.14	5.73
	GRAMINEAE	—	0.59	—	0.42	2.56	2.52	1.94	1.35
400 kg/ha FERTILIZED	SHRUBS	—	2.22	1.88	1.40	2.04	2.40	2.17	4.75
	HERBACEOUS PLANTS	3.40	2.73	5.80	3.18	3.53	3.25	3.95	3.27
	GRAMINEAE	—	3.08	2.20	1.86	2.39	2.69	2.56	1.35

Each value shows the average of 2-3 samples.

施肥区は、その傾向がやや大きく、一般にチッソ、リン酸、カリとも夏期の生育旺盛なときの濃度が高く、秋期には低下し、無処理区との差は幾分、秋期に小さくはなるが、なお高濃度を維持していたことは、翌年の生長が期待できるものと考えたい。

施肥区で雑草の養分濃度上昇、乾物生産量の増大は雑草による収奪の大きいことを物語

るが、これらは枯死、下刈によって土壤に還元され、施肥処理と同様に考えれば、植栽木にとっては肥料の緩効、肥効持続の点で有利であるとも考えられる。

佐藤ら¹²⁰⁾は雑草乾物量は施肥区で対照区の2倍近くになり、これらは下刈で還元され、地床植物は肥料養分の流亡、土壤への固定を防ぎ、養分循環や、土壤理化学性を良好にするとし、中島⁷³⁾も草生造林施肥地でスギ新生葉のチッソ、リン酸の含有率が無施肥区より高く、ラジノクローバー、オーチャードグラスなどの草生種が優占すると多年生草本ケネザサなどの雑草は著しく少なくなり、雑草の発生を抑制したとして、養分循環としても草生の役割は大きく、造林木の施用養分利用率を高めるために草生に吸収させて、合理的な養分保持が必要であると報告し、草生造林の重要性を述べている。また黒色火山灰土では、雑草による施用養分利用率はきわめて高く、このことは施用養分流亡防止および抑制の点で価値が高いことも確かめられている¹²³⁾。

施用した肥料の利用率については標準木の乾重、養分含有率をもとに、養分含量のうち無施肥区含量を天然供給量とみなし、施肥区の含有量から差し引いた値を施肥量で除して求めた。各年次について求めると、スギの利用率はFig. 2-10のようになった。リン酸、カリについては3年目、4年目のみを算出した。また雑草による還元量は考慮せずに毎年次

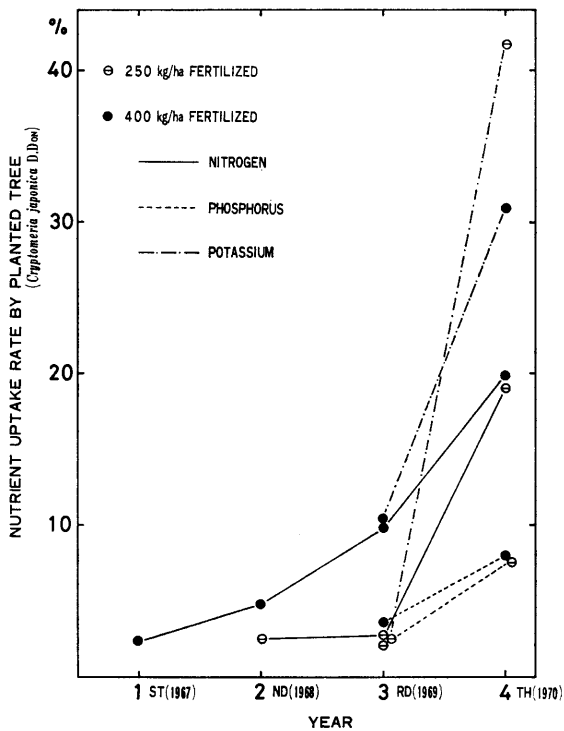


Fig. 2-10 Calculated nutrient uptake rate by young SUGI trees in each year
Comercial fertilizer (24:16:11) was applied to fertilized plot in 1967-1969.

加算され増加する施肥量で、肥料に由来する各養分量を除いてパーセントで利用率をあらわした。植栽木アヤスギの利用率は対照区の植栽年度が異なり、同一レベルでの比較は必ずしも妥当ではないが、肥料利用効率の目安として単位面積当たりについてみると、チッソについては、1年目は施肥後4か月間で、2.37%がスギに吸収された。2年目は、250 kg/ha施肥区で2.55%、400kg/ha施肥区で4.86%と生長および含有率に肥効のみられた400kg/ha施肥区が高かった。3年目も同様であったが、4年目には250kg/ha区で19.05%、400 kg/ha施肥区で19.95%と少量施肥区が多量施肥区に近づいた。

リン酸は3年目2~3%、4年目8%と上昇したが、他の成分とくらべて低かった。

カリは4年目には31~42%となり、250kg/ha施肥区が高かった。これは4年目が無施肥であったにもかかわらず、分母にくる施肥量が減り、重量増加が大きかったため、施用養分の利用率を向上させたものと思われる。ただし、これらの値は、三要素を含む化成肥料施用のときの値である。

原田²⁵⁾は7年生スギ林に7年間に3回、チッソ、リン酸、カリを含む化成肥料を与え、吸収率は、チッソ73%、リン酸14%、カリ66%の高い値を得ている。このことから吸収率を高めるためには、施用量は過剰にならないように適量を与え、生長(乾重生産量)を最大にあげるようにすることが重要で、これらのバランスを常に考慮しなければならない。

施肥による植栽木の細根の発達に伴い、これらの土壌中から養分の積極的吸収が考えられるが、上田¹⁴⁹⁾によるとスラッシュマツ施肥林を6年生時に根系についても調べ、細根の発達を認め、これにより土壌中の養分吸収の場を拡大することができるとしている。

雑草(下層植生)による3年間の施用養分の利用率は、チッソについては3年間、リン酸、カリについては3年目のみについてしらべたが、チッソ、リン酸の利用率は施用量の少ない250kg/ha施肥区で大きく、1,2年間は70~80%の利用率を示し、リン酸も13~19%と、チッソ、カリよりは劣ったが、比較的高く、カリの利用率は79~98%と最も大きな値となった。雑草による施用肥料の吸収は、林木の約10倍の値で、雑草による養分の奪取の大きいことがうかがわれた(Tab. 2-17)。ただし、ここでいう雑草による施用肥料の利用率は根系を含まない地上部の草生のみを吸収量から求めたが、1年生草本が大部分を占め、低木類は施肥前下刈りによって刈り取られ、これらの前年度施肥の雑草による養分吸収量の還元、前年度施肥による土壌中に残留する養分量の影響などは、すべて考慮せず、各年次における施用量でその年の養分吸収量を除して求めた値である。

ただし、1年間の植生量はくり返しをふやすため同一個所をとらず、各調査月日ごとに調査個所(2m×1mの面積)を変え、年間の植生重量は、その年の調査回数で除して年平均重量として求めたため、盛夏が最盛期となるキク科、秋期に最盛期をむかえるイネ科と面積当たりの重量は各月で変化し、面積当たりの年間草生生産量を平均値とするのは、過少な値になる傾向があるように思われ、またここで計算した雑草による施用養分利用率は乾重の平均値から得た値で、実際よりも低い値であると思われる。植栽木同様、カリ、チッソの利用率がよく、リン酸利用率は低かった。

辻田¹²⁷⁾もヒノキ造林地で再生したススキについて吸収率はチッソ35~50%、リン酸10%、カリ90%と、チッソ、カリの収奪の大きいことを報告している。

本試験地と同様な火山灰土壌で2年生アヤスギ林内での野草の施用養分吸収率はチッソ

Tab. 2-17 Nutrients uptake rate by undergrowths in young
SUGI stand

SURVEYED YEAR	FERTILIZER LEVEL	ANNUAL AMOUNT OF NUTRIENT IN UNDERGROWTHS (kg/ha)	NUTRIENT ABSORBED IN EXCESS OF CONTROL (kg/ha)	AMOUNT OF APPLIED N, P ₂ O ₅ , K ₂ O (kg/ha)	N, P ₂ O ₅ , K ₂ O UPTAKE RATE (%)
1967	CONTROL (UNFERTILIZED)	N : 27.33	—	0	—
	250 kg/ha FERTILIZED	N : 69.68	42.35	60	70.58
	400 kg/ha FERTILIZED	N : 60.40	33.07	96	34.45
1968	CONTROL	N : 25.50	—	0	—
	250 kg/ha FERTILIZED	N : 73.62	48.12	60	80.20
	400 kg/ha FERTILIZED	N : 63.68	38.18	96	39.77
1969	CONTROL	N : 40.21	—	0	—
		P ₂ O ₅ : 9.34	—	0	—
		K ₂ O : 39.73	—	0	—
	250 kg/ha FERTILIZED	N : 63.41	23.20	60	38.67
		P ₂ O ₅ : 16.94	7.60	40	19.00
		K ₂ O : 61.33	21.60	27.5	78.55
400 kg/ha FERTILIZED	N : 74.21	34.00	96	35.42	
	P ₂ O ₅ : 17.74	8.40	64	13.13	
	K ₂ O : 82.90	43.17	44	98.11	

The amount of N, P₂O₅, K₂O applied as fertilizer show the only amount of N, P₂O₅, K₂O applied every year without consideration of the cycling of nutrients of undergrowths, litter and soil.

29%, リン酸 5%, カリ 35%と3.5か月の吸収は大きかったことが確かめられ⁷⁾, また同地域で主要野草であったヨモギによるチッソ, リン酸, カリ成分含有量は施肥による増加は明瞭で, 野草による利用率はカリ 20~25%, チッソ 10~15%, リン酸 2~3%で, カリは肥料成分の溶脱が遅いこと, チッソは溶脱が速いこと, リン酸は火山灰土壌による固定が大きいことが原因であろうとする報告⁷⁾がある。このことは, ここでは雑草, 植栽木による施用養分利用率の結果にあらわれたといえる。ここで求めた利用率および含有率は施用肥料が3要素を含んだ化成肥料で成分相互的作用によって施肥区の値が高くなっており, 単一成分での試験では, これより低くなる。また, これらの吸収量が施用養分に由来しているのか, 施肥による根系の発達で, 土壌中の可給態養分を積極的に利用したのかは不明であるが, 施肥区の利用率が高まったのは前述のとおりで, 火山灰土壌でもヘリコプター一斉散布による肥培の導入は分施で肥料の流亡を防ぎ, 植栽木による養分吸収の向上が考慮されれば, 有意義なことといえよう。

⑤ 土壌への影響

本試験地は阿蘇火山の外輪山の西北に位置する火山灰堆積地であり、その土壌型は Bl_d (d)~Bl_d がほとんどで⁸⁾、ここでは表層下 10cm, 40cm 部位について、1967, 1968年には施肥 1 か月, 1.5 か月後の全チッソ含有率を、1969 年には施肥前, 1.5 か月後, 3.5 か月後にそれぞれ測定し (Tab. 2-18, Tab. 2-19), 3 回の施肥が火山灰土壌の理, 化学性に与える影響をしらべた。また、1970 年には生長休止期の 12 月に各処理区別に、pH(H₂O, KCl), Y₁(置換酸度), 有機態炭素, 有効態リン酸, 容積重, 採取時含水量 および 最大含水量を求めた (Tab. 2-20)。

全チッソ濃度は全般的に、一般の森林土壌より高いが、処理間、時期別にも差は認めら

Tab. 2-18 Nitrogen concentration of soil in young SUGI stand affected by fertilization (%)

FERTILIZER LEVEL	SOIL LAYER	YEAR	
		30 DAYS AFTER FERTILIZATION	45 DAYS AFTER FERTILIZATION
		1967	1968
CONTROL (UNFERTILIZED)	10 cm DEPTH FROM SURFACE	0.75	0.77
	40 cm DEPTH FROM SURFACE	0.46	0.41
250 kg/ha FERTILIZED	10 cm DEPTH FROM SURFACE	0.71	0.70
	40 cm DEPTH FROM SURFACE	0.28	0.46
400 kg/ha FERTILIZED	10 cm DEPTH FROM SURFACE	0.65	0.75
	40 cm DEPTH FROM SURFACE	0.35	0.51

Fertilizer was applied in July, 1967 and May, 1968.

Tab. 2-19 Nitrogen concentration of soil in young SUGI stand affected by fertilizer levels in 1969 (%)

FERTILIZER LEVEL kg/ha	SOIL LAYER	MAY (BEFORE FERTILIZATION)	JULY (45 DAYS AFTER FERTILIZATION)	SEP. (105 DAYS AFTER FERTILIZATION)
0	10 cm DEPTH FROM SURFACE	0.68	0.83	0.82
	40 cm DEPTH FROM SURFACE	0.43	0.61	0.43
250	10 cm DEPTH FROM SURFACE	0.48	0.52	0.46
	40 cm DEPTH FROM SURFACE	0.43	0.33	0.25
400	10 cm DEPTH FROM SURFACE	0.57	0.63	0.75
	40 cm DEPTH FROM SURFACE	0.45	0.29	0.38

Fertilizer was applied in July 1967, May 1968 and May 1969.

れず、すでに施肥 1 か月後には対照区と変らない値を示した。このことは施肥後 1 か月を経過すると、すでに対照区と変わらず、ほとんどが流亡したか、植栽木、下層植生によって吸収されたものと考えられる。この地方の火山灰土壌と他の土壌とに植栽したスギ幼齡木

Tab. 2-20 Physical and chemical analysis of the soil samples grouped by soil depth and treatment on December 1970

FERTILIZER LEVEL	SOIL PROFILE DEPTH (cm)	PH VALUE		CARBON CONTENT (%)	VOLUME WEIGHT g/100 c.c.	MAXIMUM WATER CAPACITY (%)	WATER CONTENT WHEN SAMPLED (%)	EXCHANGEABLE ACIDITY (SOIL LAYER)	AVAILABLE P ₂ O ₅ mg/dry soil 100 g
		H ₂ O	KCl						
CONTROL 0 kg/ha	0-10	5.19	4.62	15.2	47.1	49.8	35.1	4.0(A)	1.0
	11-20	5.10	4.63	16.1					
	21-30	5.39	4.69	16.1	25.1	82.0	74.4		
	31-40	4.87	4.80	15.5	25.9	84.9	81.0		
	41-50	4.97	5.07	10.5					
51-	5.00	5.32	5.4						
250 kg/ha FERTILIZED	0-10	5.20	4.75	11.8	39.0	68.6	60.1	2.5(A)	2.0
	11-20	5.19	4.83	9.5					
	21-30	5.10	4.98	5.8	31.2	78.6	75.2		
	31-40	4.99	5.00	3.4	40.7	82.5	76.3		
	41-50	5.18	5.00	3.8					
51-	5.15	5.11	—						
400 kg/ha FERTILIZED	0-10	4.98	4.53	17.3	30.3	84.3	78.3	1.8(A)	1.5
	11-20	4.87	4.48	17.9	29.1	77.1	72.0		
	21-30	4.84	4.70	16.3	29.0	81.7	74.2		
	31-40	4.70	4.72	15.2					
	41-50	4.90	5.16	8.0					
51-	5.16	5.20	6.6						

1) Phosphate (0.03 N NH₄F soluble) was traceable in each treatment (0-1 ppm).

2) Exchangeable acidity and available phosphate were determined by Kawana's forest soil tester.

3) Soil color, distribution of roots and soil hardness in soil profile of each plot were approximately same.

の養分吸収の試験によると、黒色火山灰土は物理性にすぐれ、無施肥区の養分吸収量(天然供給量)の多いことが確かめられ¹¹⁵⁾、¹⁵N 標識肥料試験により求めた土壌 N に由来するチッソの吸収からも一般に火山灰土壌はチッソ供給量の大きいことが報告されている¹²⁸⁾。

ここでも対照区のチッソ含有率、全炭素量の多いことがTab.2-20から明らかであった。

施用された肥料のチッソ源は尿素を主とし、リン酸アンモニアのアンモニウムイオンが加えられたが、その量は少なかった。アンモニア態チッソ、尿素の急速な硝酸化があり、硝酸イオンは火山灰土壌では流亡しやすく、とくに雨量の多いことがこれらを促がしていると考えられる。本試験地と同様な阿蘇外輪山で、チッソ、リン酸、カリ3成分の動態をしらべた報告によれば⁷⁾、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は2週間後にはほとんどが消失し、リン酸は大部分土壌に固定され、カリは置換性 K^+ として効果的な形で比較的長く残っていたという。また肥料のチッソの溶脱に拍車をかける原因には、火山灰土壌が陽イオン吸着力の弱いこともあげられている⁷⁾。

火山灰土壌でのチッソの動きについてもすでに本試験地対照区より採取した土壌を持ち帰り、恒温湿実験室で大型塩ビパイプを用いて、模型断面を作り、施肥、灌水(現地での降水量に換算して)とくに施用チッソの動き、流亡、土壌への吸着に与える影響を試験した結果⁷⁹⁾、400kg/ha施肥程度の量ではほとんどが表層土で吸収され、あるいは硝酸態チッソとして流亡したと考察している。また現地の阿蘇火山灰土壌に固型肥料を約5cmの深さに与えたとき、3か月後の有効態チッソ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$)の分布は施肥チッソ量の1/600~1/1500であったことが確かめられ⁶⁾、また分施肥効果についてはすでにアヤスギ幼齢林阿蘇火山灰土壌でも認められていて¹¹⁸⁾、流亡を少なくするためには分施肥、硝酸化成抑制などが考えられる。

土壌養分と施用養分の割合では、仮に根系の分布範囲を半径75cm、深さ50cmの1.6m³とすると、全チッソ含有率から天然供給量はチッソ約3.5kgと計算され、400kg/ha施肥区での施肥量は1.6m³(面積では1.76m²)当たり約3gが加えられたことになり、その量は少なく、吸着流亡や他に野草への吸収もあり、スギの吸収は極めてわずかと推定される。

土壌の物理、化学性に与える施肥の影響をしらべるため、4年目の1970年12月に測定した結果では、置換酸度はやや低下の傾向を示した。表層土の有機態炭素は400kg/ha施肥区ではやや増加したが、250kg/ha施肥区では対照区より少なく、一定の傾向は得られなかった。竹下ら¹⁴⁰⁾は22年生スギ採穂林に施肥し、0~12cmの土壌で置換酸度は経年的に大きくなる傾向を、全チッソ、炭素パーセントは2年目からは小さな傾向を認め、また10~15年生スギ林では土壌の化学性、全炭素、置換容量は肥培後10年ぐらい経過すれば、林分による二次的影響で改善されるとしている。佐藤ら¹⁰²⁾によれば秋田スギ林業地帯の7年生スギ施肥林で、炭素、全チッソは明らかにふえ、置換酸度は変わらず、施肥林分の土壌は良好になったと報告している。斎藤ら¹⁰⁴⁾は新第三紀層砂岩を基岩とする瘠悪地で、テーダマツ幼齢林に3回施肥し、深さ5cm部位土壌の孔隙量と、保水力は大きくなり、置換酸度は硫加燐安の化成肥料区で小さくなったと述べている。また桑原⁵⁵⁾も石英班岩を基岩とするB_B~B_E型土壌で置換酸度が小さくなったことを報告している。ここでは土壌の化学性に対しては明らかな肥料の影響は認められなかったが、孔隙量の増加など多少の物理性の改善がみられた程度であったといえる。

有効態リン酸は施肥区でやや高くなったが、0.03N NH_4F (0.025N HCl)可溶の有効態リン酸は非常に乏しく、施肥による変化は見られなかった。対照区の土壌のリン酸吸収係数

は2500前後を示し⁷⁹⁾、極めて高く、火山灰土壌の特性を有し、ここで3回施用した肥料のリン酸は土壌だけについて考えるとただちに吸収されたものと考えられる。

浅田¹⁾はカラマツ林で黒色火山灰土の場合に、有効態リン酸の欠乏をおこしやすく、その原因として硅礬比の不均衡をあげ、リン酸がAl, Feに固定されるためであるとしている。一方、リン酸配合の大きい肥料の施肥効果はすでにこの火山灰土壌についての試験で良好な結果が認められている¹²⁰⁾。以上のことから、この地域で肥効を高めるにはリン酸およびチッソ配合の高い緩効性肥料を分施し、流亡を少なくすることが必要であろう。

⑥ ヘリコプター散布の問題点について

まきむらと植栽木付着による濃度障害については、初年度および次年度の散布時に1m×1m枠にビニール製袋を設置し、飛散による誤差をなくすよう注意し、250kg/ha散布区に5個所設定して測定した結果を示すと、Tab. 2-21のとおりであった。なお散布時の気象条件は晴天、風速6～7m/secで、ベルト状に交錯して散布したときの値で、期待値よりやや多く、2年目で30.4±3.9g/m²と10%のバラツキはあるがほぼ均一に散布されたといえよう。

Tab. 2-21 The amount of fertilizer broadcast by helicopter
in young SUGI stand (g/m²)

YEAR	EXPECTED VALUE	AMOUNT OF FERTILIZER FALLEN IN THE COLLECTING BOX	MEAN
1ST(1967)	25	25.8 33.7 26.9	28.8
2ND(1968)	25	30.2 36.5 26.1 31.2 27.9	30.4

In 1968, paraffin coated fertilizer was applied to the fertilized plots.

稜線付近での風によるまきむら⁷⁶⁾や、風の影響、捕集袋からの散逸、飛込みによるまきむらの例があり¹⁰⁸⁾、桑原⁵⁴⁾は落下量は8割で、残りの2割は区域外への飛散か、壮齡林であったため枝葉への付着かが考えられると報告している。本試験地は起伏に乏しい平坦～緩傾斜地でまきむらについてはほとんど問題はなかった。また粒径が異なっていたため、まきむらを少なくし、散布幅を拡げる効果があったように思われる。

樹木への付着は、パラフィンコート肥料の場合の測定では0～30粒/本が散布直後に付着したが、風などの動揺で落下する状態にあり、外見上、付着、枝葉の枯死などの濃度障害はみられなかった。他の実行例⁵⁴⁾⁷⁶⁾¹⁰⁶⁾¹⁰⁸⁾でもパラフィンコートの場合、枝葉への付着による障害はみとめられていない。

初年度は吸湿により粒子がくずれ、枝葉への付着がややみられたが、パラフィンコートによって散布時の吸湿を防ぐことは植栽木への付着を少なくし、肥料の粉化・固着を防ぎ肥料の緩効化にも役立つようである。DAHNIKEら¹⁷⁾は肥料をポリエチレンでカプセル状に被覆することにより、肥料成分の分解率を抑制し、またワックス、パラフィンでコートした(NH₄)₂SO₄をトウモロコシに与えチッソの吸収が増加したことを報告しており、樹木、低木の施肥には大型のカプセル肥料の使用を推奨している。

佐藤¹¹⁴⁾¹²⁰⁾も雨量の多い流亡の著しい火山灰土壌での表面散布による肥料は大粒の成分濃度の高い肥料がよいとしており、航空機の場合散布、まきむらからして粒径の大きさに

は限度があろうが、今後大径のカプセル、パラフィンコートの高濃度化成肥料を取り入れるべきであろう。

ヘリコプター散布は天候に左右されるが、時期は本試験では初年度7月、次年度からは5月に施用された。一般に施肥時期について川名⁴²⁾は施肥月が早いと初期に効果があり、遅いと秋伸びの傾向があるとしている。丹下¹³⁵⁾は地温の低い、養分無効化の少ない、硝酸化成スピードの遅い時期は土壌中に長期保有され、有効で、春期が有利であるという。また高冷な阿蘇黒色火山灰土で施肥時期別試験で検討した結果¹¹⁴⁾では、3月や12月より7月施肥がより効果的であったことが認められており、今回の試験では5月施肥で肥効がみられたことから、また流亡を少なくするために5月以前に1回、7月初めに1回の少なくとも2回以上に分施することが効果的かと思われる。

ヘリコプター散布による省力については、佐々木¹⁰⁶⁾によると、航空機による幼齢林への肥料散布は0.3人/haとし、経常施肥100に対し4となり、1/25の労力で実行できたと報告している。本試験の場合でも77haの散布に手まき1人/haとし、ヘリコプターへの積込み手間を4人として計算すると、従来的人力による手まき施肥にくらべ、1/19と人員の大布な節減となった。また、ヘリ散布には散布面積が広いことが要求されるが、80~90 ha以上の林地であれば経済的にプラスともいわれ¹³²⁾、広域の一斉散布が経済的にも有利であるのはいうまでもない。また塘¹³²⁾は他に雑草抑制のための除草剤入り肥料の散布を推奨し、さらに肥料積載量の多い大型ヘリコプターが有望であるとし、そのためには肥料運搬のための林道整備が必要であるといっている。

今後はこれらのことも十分検討して実行にうつすべきであろう。

3 結 論

阿蘇黒色火山灰土からなる 熊本県阿蘇郡阿蘇町深葉国有林の アヤスギ幼齢林(2~5年生)にヘリコプターで1967年、1968年、1969年の3か年にわたって、肥料を一斉散布し、その肥料の効率をしらべた。

肥料は マルリンスーパー 1号(24:16:11)をha当たり250kg、400kgとして3年間、毎年それぞれ、1回ずつ施与した。とくに本試験ではヘリコプター施肥が植栽木の生長、施用養分の吸収、雑草による肥料の奪収、散布の諸問題を中心にしらべた。

その結果、当初2年間に調査したヘリコプター散布による、林地でのまきむらは計算値よりやや多かったが、おおむね均一に散布されることがわかった。2年目以降はパラフィンコートされた肥料を用いたため、散布直後に植栽木に付着した量は0~30粒/本で、ほとんどが風などの動揺で落下する状態にあって、付着による葉害はみられなかった。したがって、肥料のパラフィンコーティングは散布時の吸湿防止、植栽木への付着、粉化、固着を防ぎ、緩効化にも役立つものと思われる。

植栽木の上長生長は施肥前に平均値で対照区69cm、250kg/ha施肥区61cm、400kg/ha施肥区60cmで、無施肥区がまさっていたが、4年後にはそれぞれ187cm、195cm、211cmとなり、肥効がみられた。4年間の肥大生長率を指数であらわすと、無施肥区100に対し、250kg/ha施肥区120、400kg/ha施肥区129と施肥区での肥大生長が大きかった。また植栽木の乾重については各年次とも肥効がみられ、4年後には平均単木乾重は対照区3.6kg、250kg/ha施肥区4.2kg、400kg/ha施肥区4.9kgを得、とくに針葉部重量増加

が顕著で、単位面積当たり同化能の向上に役立ち、さらに収量増加を導くものと思われる。

雑草の種類は当地の火山灰土壌に通常みられる種がほとんどで、閉鎖前の幼齢林地では施肥が雑草の種の変化に及ぼす影響はほとんどみられず、各年次とも施肥後1,2か月目にキク科の広葉雑草の繁茂が著しかった。施肥区雑草のチッソ、リン酸、カリ濃度は、広葉草本で著しく高まり、各年次の雑草による施用肥料の利用率は250kg/ha施肥区でチッソ39~80%、リン酸19%、カリ79%となり、400kg/ha施肥区ではチッソ34~40%、リン酸13%、カリ98%と計算され、幼齢林に一斉散布したときの雑草による施用肥料の回収率が高いことが認められた。

施肥が植栽木樹体内のチッソ、リン酸、カリの含有率におよぼす影響をみると、とくに施肥区の新葉部のチッソ濃度が施肥後1~2か月目で高かった。植栽木による施用肥料の利用率は施肥による乾重増加につれてふえ、経年的に大きくなり、初年度では400kg/ha施肥区のチッソの利用率は2%程度であったが、4年目にはチッソ20%、リン酸7%、カリ35%に上昇した。このことから、ヘリコプターによる一斉散布も毎年施肥することで手まき同様に肥料の利用率を向上でき、実用化の見とおしが得られた。

施肥による土壌への影響はほとんどみられなかった。

植栽木の施用養分の利用率の低い黒色火山灰土壌でも毎年施肥することで、肥効をあげることができ、ヘリコプター散布も本試験のような大面積一斉散布には有効で、緩傾斜で凹凸の少ない地形的に制約のない所で、適切なヘリポートの設置、散布作業の安全性および作業能率の向上を考慮して積極的にとり入れられるべきであろう。

総 括

林地肥培は第1に幼齢期の植栽木の生長促進によって、林分の閉鎖を早め、下刈年数の短縮と労力の省力化を目的として行なわれる。第2に閉鎖後の壮齢林肥培として間伐や主伐時の材積を増大させるとともに、枝打や間伐と併行させて無節、完満材を生産して、市場価格を高める目的を有している。また第3には施肥によって生産力の低い林地での生長促進と人工造林のくり返しによる林地の生産力低下の防止、瘠悪地の改良、病虫害や寒害などに対する抵抗性を高めるため、造林木の樹勢を旺盛にさせることなどの効果が期待される。

これらの理由から、林地肥培は今日ではかなりの造林地にとり入れられているが、育成期間に長年月を要し、対象となる林木は大型で、しかも大面積の林地を対象とするため、施肥効果の判定がむずかしく、したがって林地肥培に関する基礎的研究も遅れがちである。これまで林木に対する施肥効果の判定は単木的な樹高や直径生長についての検討が多く、林分として単位面積当たりの肥効について検討した例は少ない。また施用肥料の吸収率についてはその測定や結果の判定が困難であるところから、その例は比較的少ないようである。

さらに林地においては林木相互および下層植生などの競合、植栽木の落葉、落枝による有機物の分解、土壌への還元などがあり、林地肥培の効果の判定は林分の環境や養分循環