

育林保育作業における林地肥培の応用に関する研究

竹 下 純一郎

緒 言

第一節 林地肥培による材積増加	3
第一項 林齢別の肥培効果	3
I 植栽時の肥培	3
II 若齢林肥培	13
III 壮齢林肥培	17
IV まとめ	28
第二項 肥培による林分葉量及び葉の養分濃度の変化	30
I 閉鎖林分の葉量に及ぼす肥培の影響	30
II 針葉中の養分含有率に及ぼす肥培の影響	31
A スギの養分含有率	31
B カラマツの養分含有率	34
III まとめ	36
第三項 土壌の性質と肥培効果及び肥培による土壌の変化	36
I 土壌条件と肥効のバラツキ	37
II 土壌中の無機態窒素と肥培効果	37
A 無機態窒素の変動	38
(i) 無機態窒素の経時変化	38
(ii) 無機態窒素の垂直分布	40
B 無機化率	42
C 無機態窒素と肥効	44
III 肥培による土壌の性質変化	46
IV まとめ	47
第二節 林地肥培における経済性	48
第一項 肥培による支出経費の試算	48
第二項 丸太の採材評価及び伐採適期	50
第三節 林地肥培の技術的応用	62
第一項 下刈り施業省力への応用	62
I 下刈り終了時点	63
II 下刈り施業の省力	67
第二項 雪害木、虫害木の樹勢回復及び枝打ち木の完満化促進への応用	70
I 肥培によるスギ幼齢林の雪害回復	70
II スギハダニ着生による幼齢林の生長低下と肥培効果	76
III スギ枝打ち木の肥培による完満化促進	78
第三項 複層林内下層木の生長促進	81
第四項 母樹林における結実促進への応用	83
I アカマツ林における間伐肥培効果	83
A 球果について	86
B タネについて	88
第五項 まとめ	93
第四節 総 括	94

緒 言

第二次大戦後、拡大造林が推進されたことによって、人工林分は増大したというものの、我が国の森林資源は、未だ林齢が若く構造的にその内容は脆弱であって、1980年代においては外材への依存率は、遂に60余%にも達している。

石油の埋蔵資源の減少という危機感からもたらされた1973年の所謂オイルショックがキッカケとなり、世界全域において森林資源ナショナリズムの風潮が抬頭したが、この時期において我が国森林資源の充足は、さらに一段と急を要する課題となってきている。

このような背景のもとにおいて、森林蓄積の充実のための保育技術の開発及びその普及は、極めて重要となってきているが、これらの保育技術体系の一環として林地肥培をあげることができよう。

林地肥培に関する研究は、1955年～1960年代以降、主要造林樹種について植栽直後の造林地を対象にして実施され、数多くの研究成果が報告されている。

これらの研究は、当初は植栽時施肥が問題とされたが、その後、次第に若齢、壮齢林にも研究が進められるようになってきている。しかしなお研究の歴史は浅く、また一方、わが国の山地は急傾斜で局地的な環境条件の変化が激しいなどのため、施肥の効果のあらわれ方に、局所的に著しい違いのあることが多く、また、一旦認められた肥効は、必ずしも安定して継続するとは限らず、比較的短い期間の後に肥効が消えてしまう例もある。しかしながら、施肥の目的は材積の増加であり、従ってその効果を明らかにすることが必要であり、肥効のあらわれ方、とくにその継続性について検討する必要がある。

肥効のあらわれ方に関係する条件は数多いから、その全貌を明らかにすることは困難であるが、安定した施肥効果が期待できるための施肥体系の確立には、施肥効果のあらわれ方についての詳しい解析を必要とする。

著者は1955年以降、林地肥培に関する研究に着手したが、肥培効果の持続性については、固定試験地を設定し現在まで10数年間、継続的に調査研究を行ってきた。

本研究のねらいは、1つには、林地肥培によって、林分材積の増加が長期的に持続することができるかどうかである。このため、同一試験地において長期的な調査を続け実証すると同時に、林木の栄養状態及び林地の土壌条件が、林地肥培によってどのように変化するかを究明することであった。また一方、肥培の実際においては、その経済的効果を考慮しなければならない。このために林分材積の増加量の把握の他に、立木ごとに有利な採材評価を行ない、林地肥培による金収穫の変化を求め経済性をも検討することであった。

2つとしては、施肥による材積増という直接的な効果のほかに、育林保育のための応用技術として施肥がどのような効果をもっているかを明らかにする。そして、このことによって、材積増を軸としながら、その他の保育効果をとりにこんだ保育体系を考える基礎をえる。そのために、林地肥培が下刈り、枝打ちなどの保育作業や雪害、虫害などの被害対策として、どれ程の有用性をもっているかということなどが問題となろう。このことは、林木の生長促進と関連して、人工林の保育体系を再検討するための基礎的な資料となるであろう。

このような森林の総合的保育技術としての林地肥培技術の確立は、今後、多くの研究成果を俟たねばならないが、今までに行ってきた研究成果を取りまとめることも意義があると考え、本論文を取りまとめたものである。

本論文を取りまとめるにあたり、京都大学農学部 教授 堤 利夫博士の懇切なるご指導を賜わった。また、同学教授 和田茂彦博士、同教授 川那部三郎博士には、本稿のご校閲を賜わった。厚く御礼申し上げます。

岐阜大学農学部 教授 岡田幸郎博士、同教授 石川達芳博士には、討論の相手となって頂いたり、種々のご助言を頂いたりご指導を賜わった。感謝の意を表します。

本研究は、前農林省林業試験場 土じょう部長 塘隆男博士（現玉川大学教授）の指導のもとに研究が開始されたものであり、また、本研究の実行にあたっては、各研究課題ごとに、協同研究者として調査、分析など協力を頂いた岐阜県林政部 中村基氏、岐阜県寒冷地林業試験場 戸田清佐氏、山口清氏、岐阜県林業センター 野平照雄氏、中川一氏に対して、深甚なる謝意を表します。

また、石原木材K K社長、石原猛志氏及び同社日出雲事業所長 日下部良一氏をはじめ同社の諸氏には、調査及び試験地の維持管理について、一方ならぬご協力を頂いた。こゝに深く御礼を申しあげます。なお、研究報告の公表に際しては、岐阜県林政部長 今山 林氏、同林業センター場長 中島 巴喜治氏に、ご指導並びにご便宜を賜わった。厚く御礼申し上げます。

第一節 林地肥培による材積増加

第一項 林齢別の肥培効果

肥培効果のあらわれ方に関係する要因は種々あるが、こゝでは林分の林齢を取りあげた。林分は林齢の違いによって、個体および林分の生長速度、個体の大きさ、林分のバイオマス、個体間の関係、林内環境などが異なるから、肥効が違ってくるものと思われる。そこで林齢の区分として、植栽直後若齢林、壮齢林の3成育段階における肥培効果の検討を行なった。

I 植栽時の肥培*

I-1 試験の目的

生育段階のちがいで行なわれる林地肥培の中で、植栽直後の肥培は、十分な陽光量のもとで行なわれるため、苗木の生育に光環境が制限的に働くことはおこらないから、施肥の効果があらわれやすいとされている。しかし反面に、長い生育期間を通して、この初期の肥効がそのまゝ伐期まで持続されるかどうかには疑問があり、この時期の林地肥培は、肥効の持続性が問題である。こゝでは植栽直後の肥培効果とその持続性の究明を取りあげた。

I-2. 試験方法

1) 試験地の立地条件

試験地は図1に示される4カ所に設定した。

これらの試験地は、地理的に岐阜県のほぼ中央部にあたる金山1号、下呂1号試験地、県北部にあたる白川1号、2号試験地とである。

試験地の立地条件を表1に示したが、気象条件はそれぞれ異なっており、金山1号、下呂1号試験地は、年平均気温がほぼ13℃、年降水量2300～2500mm、積雪量20cmで、このような気象条件は、岐阜県のほぼ平均的なものである。白川1号、2号試験地は、年平均気温11℃、年降水量2200mmであり、積雪量は200～250cmと多く、岐阜県でもっとも積雪量が多い地帯である。

地質は金山1号が古生層、下呂1号が石英斑岩、白川1号、2号試験地は、いずれも花崗岩であるが、これらの地質は、岐阜県において分布面積が広く試験地はこのようなところに設定されている。

土壌条件は金山1号、下呂1号試験地いずれもBD-d型、白川1号、2号試験地はBD型であったが、これらの4試験地は、ほぼスギ造林地としては適当な土壌だと思われる。

- 植栽時林地肥培試験地
- ▲ 若齢林地肥培試験地
- × 壮齢林地肥培試験地

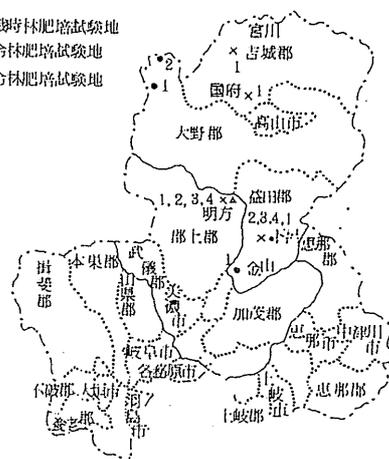


図1 試験地の分布

* この報告の内容の一部は文献1、2に発表した。

表 1 試験地の立地条件

試験地	所在地	施肥時林令 試験地 設定年月	立 地 条 件						
			年平均 気温 ℃	年降水量 mm	積雪量 cm	標 高 m	地 質	傾斜 度	土 壌 型
金山1号	益田郡金山町 厚曾	スギ 2 S39年6月	13.5	2330	20	500	砂岩粘 板岩互層	40	BDd
下呂1号	益田郡下呂町 大川平	スギ 2 S40年6月	12.5	2460	20	400	石英斑岩	35	BDd
白川1号	大野郡白川村 馬狩	スギ 4 S39年8月	11.1	2200	250	650	黒雲母花 崗 岩	0	BD
白川2号	大野郡白川村 小白川	スギ 1 S41年6月	11.1	2200	200	500	黒雲母花 崗 岩	0	BD

2) 試験設計及び経過

表 2 に試験設計と試験地の管理状況を示した。

試験区の種類は、金山1号、白川1号、2号の各試験地では、施肥区と無施肥区の2処理2回繰り返しであり、下呂1号試験地では、集約育林区と普通育林区の2処理2回繰返しとした。集約育林区では、植え穴を大きくし、テイネイ植えて施肥を行ない、下刈りも年2回刈りとしたが、普通育林区では、普通の大きさの植え穴に普通植栽で施肥は行わずに、下刈りも年1回刈りであった。

試験区の大きさは、金山1号試験地は20m×20m、その他の試験地は10m×10mであった。

使用した肥料は、いずれも化成肥料で試験地ごとに成分の配合割合は同じではなかった。

白川2号試験地は、窒素、リン酸、加里の施肥量を同じにするために、成分割合が少なかったリン酸を過リン酸石灰で補った。

施肥量は、初回で林木1本当り窒素成分量10gを基準とした。ただし、下呂1号試験地の集約育林区では、施肥回数を多くするという目的のため、初回の施肥量を5g、また白川1号試験地は、寒冷で生育期間が短いため、肥料の吸収を促進するように施肥量を15gとした。2回以降の施肥量は、樹体が大きくなるにつれて施肥量を増やした。

施肥回数はおおむね5回、連続的に施肥することを基準とした。

施肥時期は、白川2号試験地で植栽当年6月、金山1号、下呂1号で植栽翌年6月、白川1号で植栽4年後8月であった。

施肥方法は、穴施肥、上方半円状溝施肥および地表面バラマキ施肥の3方法が行なわれたが、穴施肥とは植栽苗木の中心から半径約20cmの円周上、4～5カ所に鋤で深さ4～5cmの穴を掘り、所定量の肥料をこの穴に分けて施し、土をかぶせる方法である。また、上方半円状溝施肥は、苗木の中心から半径約20cmの山側半円状に深さ4～5cmの溝を掘り、所定量の肥料をこの溝内に均等にまき土をかぶせた。地表面バラマキ施肥は、苗木の中心から半径約20cmの範囲に、所定量の肥料を地表面からバラマキ散布する方法である。これらの施肥方法のちがいでによる肥料効果の差異は、ほとんど認められないことが他の実験³⁷⁾で示されている。こゝでは、施肥方法の違いは、肥効には影響を与えないものと考えたことにした。

3) 測定方法

試験区内の植栽木をすべて測定木としたが、試験区が大きな場合は、植栽木の中から40～50本を無作為に選り測定木とした。

これらの測定木について、樹高H、根元直径R（または胸高直径D）を、生長休止期の10～12月に測定した。

表 2 試 験 設 計

試験地	試験区	施 肥				施肥時期	施 料 種 類		施 肥 量		施肥方法	その他の保育作業
		化成肥料	化成肥料	kg, ha当り	kg, ha当り		N:P ₂ O ₅ :K ₂ O	kg, ha当り	kg, ha当り			
金山 1号	施肥区	化成肥料(15:8:8)	化成肥料(15:8:8)	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O=30:15:15	上方半円周上施肥(単木)	1964年6月	試験区面積 20m×20m	1963年4月植栽	植栽密度 3000本/ha			
		"	"	"	"	1965年4月						
		"	"	"	"	1966年4月						
		"	"	"	"	1967年4月						
		"	"	"	"	1968年6月						
下呂 1号	無施肥区	化成肥料(24:16:11)	化成肥料(24:16:11)	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O = 18:11:7	六施肥(単木)	1965年6月	試験区面積 10m×10m	1964年4月植栽				
		"	"	"	地表バラマキ散布	1966年6月		植栽密度 3600本/ha				
		"	"	"	"	1967年5月		植穴半径 45cm×深30cm				
		"	"	"	"	1968年6月		テイナー植(1人1日150本)				
		"	"	"	"	1972年6月		下刈り年2回、1965年~1970年				
白川 1号	普通育林区	"	"	"	"	1973年6月		植穴半径 30cm×深20cm				
		"	"	"	"	1979年6月		普通植(1人1日280本)				
		化成肥料(15:15:10)	化成肥料(15:15:10)	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O = 38:38:25	上方半円周上施肥(単木)	1964年8月	試験区面積 10m×10m	1961年春植栽				
		"	"	"	六施肥	1965年6月		植栽密度 2500本/ha				
		"	"	"	地表バラマキ散布	1967年5月						
白川 2号	施肥区	"	"	"	六施肥	1968年5月						
		"	"	"	地表バラマキ散布	1968年5月						
		"	"	"	六施肥	1969年5月						
		"	"	"	地表バラマキ散布	1977年8月						
		"	"	"	"	1966年6月		試験区面積 10m×10m	1961年春植栽			
無施肥区	無施肥区	化成肥料(14:8:14)	化成肥料(14:8:14)	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O = 25:25:25	地表バラマキ散布	1966年6月						
		過磷酸石灰	過磷酸石灰	"	"	1967年5月						
		"	"	"	"	1968年5月						
		"	"	"	"	1969年5月						
		"	"	"	"	1977年8月						

材積または幹重は、 D^2H ときれいな相関関係をもつことが知られているから、単木当りの $\overline{R^2H}$ (または $\overline{D^2H}$) で材積をあらわすものとして肥効の判定を行なった。ただし単木当りの立木材積 V が推定できるものについては、次のようにして求めた。

立木材積の推定値は、立木の樹幹位置別の直径が測定されている調査木について、区分求積法により求められた立木材積 V と胸高直径の相対生長関係から、胸高直径 D を用いて求めた。

白川1号試験地以外の試験地では樹高、胸高直径の測定が行なわれた時点からは、立木材積の推定値を求め、それによって比較した。

肥効の程度をあらわすのに、無施肥区の $\overline{R^2H}$ (または $\overline{D^2H}$) 或いは V を100とし、施肥区の $\overline{R^2H}$ ($\overline{D^2H}$) 或いは V をもとめて肥効指数を用いた。樹高 H 及び根元直径 R (または胸高直径 D) についても同じように肥効指数で比較した。

肥料効果の程度を客観的にあらわす基準はないが、こゝでは次のように区別した。

肥効指数が110未満は、「肥効がない」、110~120未満は、「やや肥効がある」、120~150未満は、「肥効がみられる」、150以上は、「肥効が著しい」とした。

この値は個体の大きさによって、同じ指数でも絶対値の差が違う。したがって、林齢が著しく異なる林分或いは同一林分の経年変化をみる時には、指数のほかに絶対値の差についても考慮する必要がある。

そこで肥効の経年変化をみる場合、肥効指数の経年変化と施肥区、無施肥区の生長曲線の差の絶対値について考えておく必要がある。この2つの関係から肥効のタイプを区分したが、図2 a~e に示した。

I型は施肥区と無施肥区の生長曲線の絶対値の差が著しく増加して、個体の大きさが大きくなる以上に施肥による生長増加が大きく、従って指数も増加する。II型は施肥区の生長曲線は無施肥区のそれよりも増加量が大いだがI型よりも少なく、従って肥効指数が或る時点から一定となる。III型は初めは施肥区の生長曲線が無施肥区のそれよりも増加量が大いだが、或る時点からその量が少なくなる。しかしながら、絶対量の差は依然として増えるが肥効指数は減少する。IV型は施肥区の生長は、初めは無施肥区より大いだが、或る時点からは、両区の生長増加量が等しくなり、絶対量の差は一定となり、したがって肥効指数は低下するが100とはならない。V型は施肥区の生長は、初めは無施肥区より大いだが、或る時点から低下し遂には100となる。VI型は施肥区、無施肥区の生長曲線が同じで肥効指数も初めから100で一定して全く肥効が認められない。

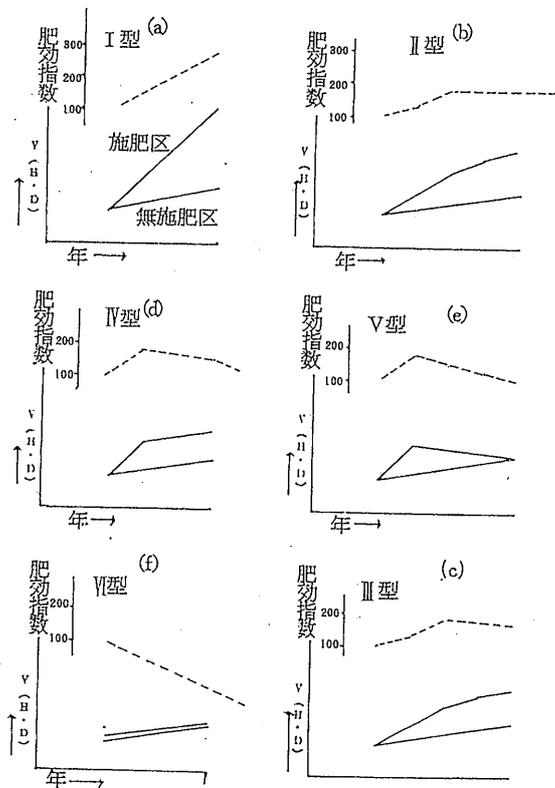


図2 a~e 肥効のタイプ

I-3 試験結果

(i) 金山1号試験地

単木の R^2H 及び平均立木材積 \bar{V} についての経年変化を図3に示した。

試験開始時点では施肥区は、無施肥区よりもやや値が小さかったが、2年目で施肥区が上まわり肥効指数も128となり肥効があらわれた。

その後も R^2H の絶対値の差は増加し、試験開始後5年目で \bar{V} の差がもっとも大きく、肥効指数も233と著しい肥効があらわれた。

\bar{V} の絶対値の差は、その後も増大しているが、開始後15年目では肥効指数は156と低下している。従ってこの試験地の肥効は現在も継続して認められるが肥効のタイプとしてはほぼⅢ型にあたる。

これを樹高及び根元直径の経年変化としてみると、それぞれ図4、図5のようである。

樹高は開始時点で施肥区はやや小さかったが、2年目で無施肥区とほぼ樹高が等しくなった。その後、施肥区は無施肥区を上まわり、5年目では無施肥区との樹高差が約75cm(無施肥区の平均樹高 \bar{H} 3m)、肥効指数125となり肥効が認められた。さらに15年目では、樹高差が約50cm(無施肥区の \bar{H} 9.25m)と小さくなり、肥効指数105で肥効はみられなかった。

一方、根元直径は開始後2年目で施肥区が大きな値を示し、直径差0.5cm(無施肥区平均根元直径 \bar{R} 2.5cm)、肥効指数115と肥効がややみられた。その後、直径差は増加し開始後5年目で1.5cm(無施肥区平均胸高直径 \bar{D} 2.7cm) 肥効指数が146と増大し肥効が認められた。しかしながら15年経過した時点では、直径差は変化なく1.5cm(無施肥区 \bar{D} 1.13cm)、肥効指数112となり肥効指数が小さくなっていった。

このように \bar{D} 、 \bar{H} ともに5年目までは肥効がはっきりしており、肥効指数においても増大するが、それ以後は肥効は次第に低下し、とくに \bar{H} においては著しく肥効指数が低下し樹高差も縮まった。

これらの傾向は、さきに示したⅢ型、Ⅳ型のタイプにあたる。

(ii) 下呂1号試験地

単木の R^2H (\bar{V}) の経年変化を図6に示した。

R^2H は試験開始後3年目で、集約育林区の値が大きくなり、差が約2800cm³、肥効指数281で肥効が著しく認められた。その後絶対値の差は増大し、試験開始後5年目で15000cm³、肥効指数276となった。6年目以降は、 \bar{V} としてあらわれたが、集約育林区と普通育林区の \bar{V} の差は増大するが、肥効指数は低下の傾向を示し、試験開始後13年目では肥効指数200となったが肥効は高かった。

これを \bar{H} 及び \bar{R} (\bar{D}) の経年変化で示したのが図7及び図8である。

\bar{H} は試験開始後3年目で集約育林区で大きくなり、樹高差約60cm、肥効指数147であった。その後、樹高差はやや増加の傾向を示し、4回の連続施肥の直後の試験開始後の6年目では、樹高差約180cm、肥効指数168となり肥効指数はもっとも大きくなった。この試験地では中断されていた施肥が、試験開始後の8年目、9年目に再び2回連続追肥され、樹高差はさらに増加傾向を示し、試験開始後13年目で樹高差約300cm、肥効指数142となった。

\bar{R} は集約育林区で試験開始後3年目で値が大きくなり、直径差1.3cm、肥効指数141であった。その後、直径差はさらに増加傾向を示し、試験開始後6年目で胸高直径差約2cm、肥効指数157であった。その後両区の \bar{D} の生長はほぼ平行しており、肥効指数は漸減して試験開始後13年目で肥効指数は126となったが、なお肥効は認められた。

以上、下呂1号試験地における肥効のあらわれかたをまとめると次のようであった。

施肥当年で肥効はみられなかったが、8年目で単木の R^2H で集約育林区が肥効指数281となり肥効が著しく認められたが、 \bar{H} 、 \bar{R} の肥効指数は140~150とほぼ同じ程度であった。その後、 \bar{H} 、 \bar{R} (\bar{D}) の絶対値の差は増加し、それにともなって、 R^2H の絶対値の差も増加し、試験開始後

6年目で集約育林区の $\overline{R^2H}$ の肥効指数が320ともっとも大きな値を示し、この場合は \overline{H} の肥効が \overline{D} よりも大きかった。その後も \overline{V} の肥効指数は次第に小さくなったが、試験開始後13年目で肥効指数が200であり肥効は依然として高く維持されていた。この場合にも \overline{H} の肥効が \overline{D} よりも大きく影響を及ぼした。そして肥効のタイプとしては、ほどⅢ型にあたると思われる。

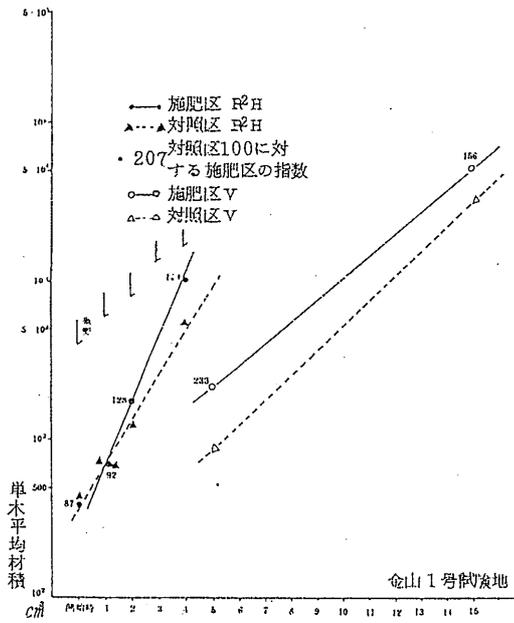


図3 $R^2H(V)$ の経年変化

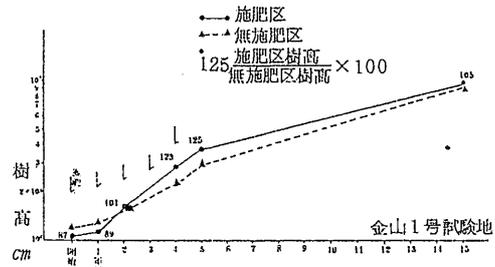


図4 樹高生長の経年変化

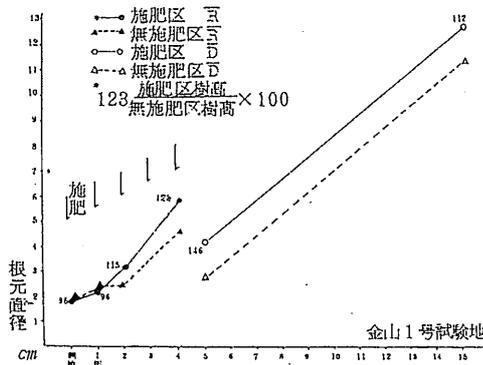


図5 根元直径(胸高直径)生長の経年変化

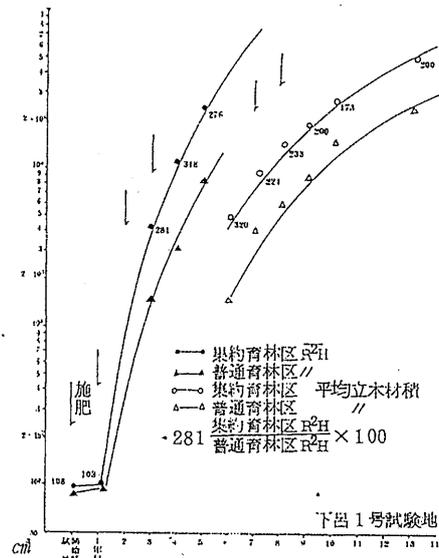


図6 $\overline{R^2H}$ の経年変化

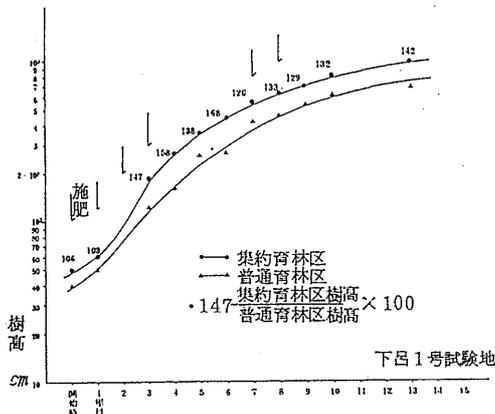


図7 樹高生長の経年変化

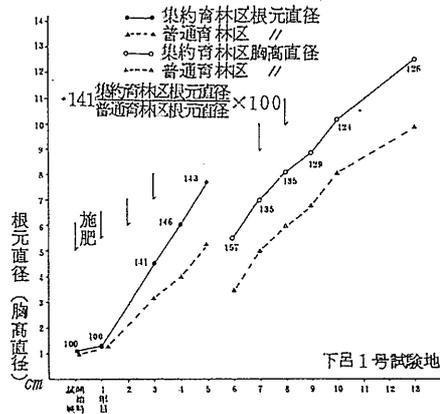


図8 根元直径(胸高直径)生長の経年変化

(iii) 白川1号試験地

この試験地では肥大生長の測定は行なわなかったため、 $\overline{R^2H}$ についての肥効の検討はできなかった。樹高生長 \overline{H} の経年変化を図9に示した。

試験開始時の \overline{H} は、施肥区でやや小さかったが、施肥当年から3年目までは、施肥による生長促進はみられなかった。試験開始後4年目で僅か約10%の増加がみられたにすぎなかった。その後試験開始後6年まで、樹高差はほとんど認められず、連続5回施肥の終了後の試験開始後8年目に施肥区の値が大きくなり、樹高差約120 cm、肥効指数134と肥効が認められるようになった。肥効のタイプとしては、Ⅵ型からⅠ型へ変わったことになるが、その後の経過については判らない。

(iv) 白川2号試験地

単木の $\overline{R^2H}$ 及び \overline{V} の経年変化を図10に示した。

試験開始後3年目まで \overline{R} が測定されなかったため、 $\overline{R^2H}$ は求められなかったが、4年目以降では施肥区が大きく肥効指数145となり肥効が認められた。その後6年目で $\overline{R^2H}$ の差4000 cm^3 、肥効指数178を示し、10年目で肥効指数200ともっとも大きくなった。その後も両区の差異は増加し、12年目で \overline{V} の差は7000 cm^3 、肥効指数188となって指数はやや低下の傾向を示したが、肥効は依然と高かった。

また、 \overline{H} 、 $\overline{R}(\overline{D})$ の経年変化を図11及び図12に示した。

試験開始時点で施肥区の \overline{H} が無施肥区のそれよりも大きかったことを考慮しておかねばならないが、施肥区の \overline{H} は、わずかではあるが無施肥区との樹高差を大きくし、試験開始後6年目で、樹高差50 cm、肥効指数124、10年目で樹高差90 cm、肥効指数124、12年目で樹高差120 cm、肥効指数127であって肥効は持続している。

\bar{R} は試験開始後 3 年目まで測定されなかったが、4 年目以降は、施肥区はわずかながら無施肥区との差を大きくし、6 年目で直径差 1.0 cm、肥効指数 117、10 年目で直径差 1.5 cm、肥効指数 127、12 年目で直径差 2.0 cm、肥効指数 126 で肥効が持続している。

以上、白川 2 号試験地における肥効のあらわれかたをまとめると次のようであった。

単木の $\overline{R^2H}$ は、試験開始後 4 年目で施肥区で大きな値を示し肥効指数 145 と肥効が認められた。試験開始時点で $\overline{R^2H}$ の算出値はないが、 \bar{H} では施肥区が若干大きかった。

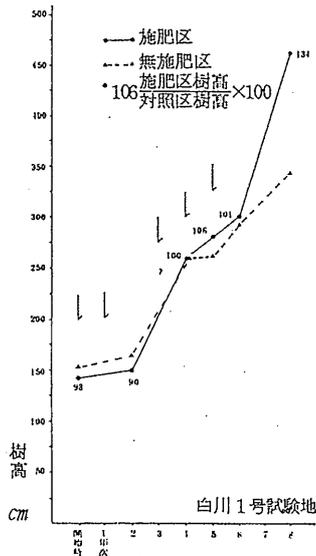


図 9 樹高生長の経年変化

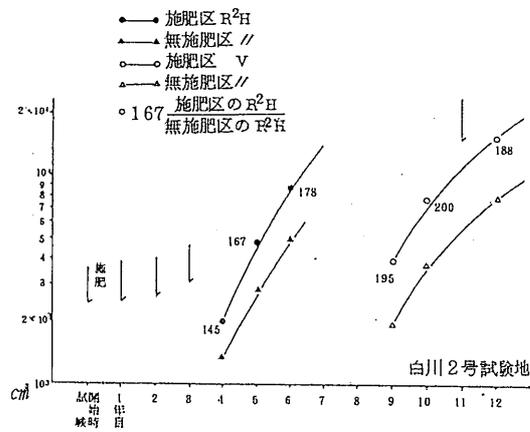


図 10 $\overline{R^2H} (V)$ の経年変化

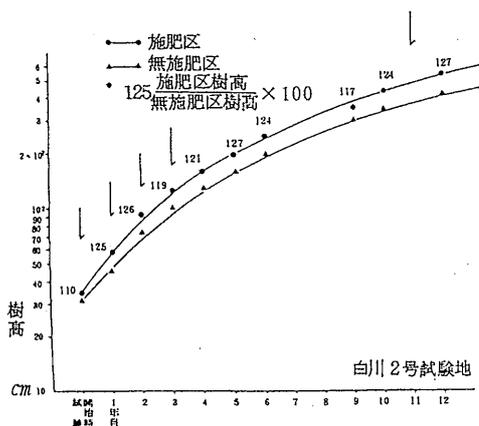


図 11 樹高生長の経年変化

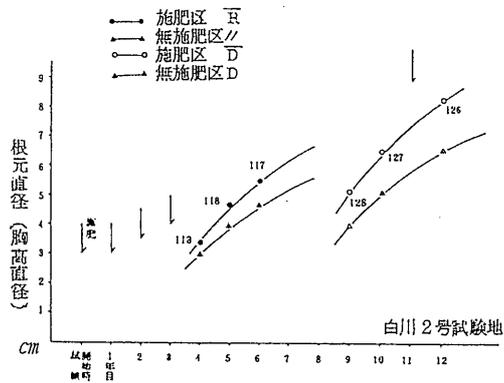


図 12 根元直径(胸高直径)の経年変化

したがって $\overline{R^2H}$ も若干大きかったとも考えられ、4年目で肥効があったかどうかの判定はむずかしい。その後、施肥区の \overline{H} 、 \overline{R} は無施肥区との差異を僅かであるが大きし、6年目で施肥区の肥効指数は $\overline{R^2H}$ で178が示されたので、肥効があったものとみてよいであろう。さらに12年目では、 \overline{V} の差も増加し肥効指数は188であって、肥効は高く維持されているといえよう。なお、この場合において、 \overline{H} 、 \overline{D} はほぼ同じ程度の肥効が示された。したがって、肥効のタイプとしてはⅡ型といえる。

I-4 考察

植栽時肥培の肥効について、総括的に表3に示したが、そのあらましは次のとおりである。

肥効は、2～4年目にあらわれ、もっとも大きく肥効があらわれた場合の肥効指数は、 \overline{V} で200～320であって、肥効タイプとしてはⅢ型が一般的であった。

スギに対する施肥量は、本試験の場合、植栽当初、1本당り窒素成分で5～15g (ha当り18kg～30kg) にわたり、試験地でかなりの幅があった。

一般に植栽直後の造林木への施肥量は、スギ1本당り窒素成分で8～10g (ha当り24kg～30kg) とされている。

河田³⁾(1966)は、植栽時肥培における初回の肥効は、施肥量を2～3倍に増加させても、生長量はそれ程かわらないとしている。

本実験では、植栽時の施肥に続いて連続施肥が行なわれ、初回の施肥量の違いは、各試験地での比較に際して、とくに考慮する必要はないものと考えられる。

いずれの試験地でも、連続施肥後の肥効は認められたが、その程度には大小がみられた。

植栽直後の造林木に連続施肥を行なって、その肥効の程度や持続性を検討した報告は多い。⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾
伊藤ら⁷⁾(1975)は、スギ造林地に4回連続施肥(窒素成分324kg/ha)を行なって15年経過時点での肥効を調査した結果、 \overline{H} 10%、 \overline{D} 14%、 \overline{V} 39%それぞれ増加したと報告している。

生原ら⁹⁾(1979)は、植栽直後のスギ造林地に連続3回施肥(ha当り窒素成分108kg)し15年経過した調査結果において、施肥により \overline{H} 32～35%、 \overline{D} 22～41%増加したと報告している。

本試験の結果もあわせて考えると、植栽時連続施肥の効果は、数年から10数年間効果を維持する例が多いといえる。

本試験では肥効タイプとしてはⅢ型が多かった。Ⅲ型はさきに図2(c)で示したように、施肥区と無施肥区の生長量の差は増加しつづけるが、肥効指数は減少する型である。

植栽時肥培のように未だ樹冠が閉鎖していない状態で、しかも連続施肥という極めて条件がよい場合においても、絶対値の差を増加しつづけて、肥効指数を同程度かそれ以上にすることすなわちⅠ、Ⅱ型にすることは困難のようである。もっともおこりやすいのがⅢ型で、場合によってはⅣ型、Ⅴ型へと変化して肥効が消滅することもある。

初回の施肥効果のあらわれる時期は、白川1号試験地以外はいずれも2～3年目であった。

佐藤ら⁴⁾(1964)はスギ植栽時施肥の肥効はいずれも施肥当年に認められるとし、同じように河田ら³⁾(1966)もスギ幼齢林の施肥効果(植栽時施肥)は一般に肥効指数で初年度がもっとも大きく年数の経過とともに低下する場合が多いとしている。

原田ら⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁸⁾(1965、1970)は、スギ植栽時施肥では、施肥後2～3年目ごろから施肥区と無施肥区の生長量の差が明瞭になったとしている。

本試験結果とあわせて考えると、植栽時肥培の肥効は1～3年目ごろの比較的早い時期からあらわれるものと考えられる。

次に連続施肥後において、もっとも肥効が大きくあらわれる時期及びその時点での肥効の大きさは、金山1号、下呂1号試験地では、植栽後4～5年目で、肥効の大きさは \overline{V} 230～320、 \overline{H} 120～170、 \overline{D} 140～160であったが、白川1号、2号試験地では5～10年目で、 \overline{V} 約200、

表 3 植栽時施肥の肥効の総括

試験地	施肥時林令及び施肥量		最初に現われた肥効		もっとも大きな肥効		持続		肥効タイプ		
	林令	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O kg/ha	時期(林令)	肥効指数	時期(林令)	肥効指数	経過年数	肥効中止された てからの年数			
金山 1号	1年	—		樹 高 101		樹 高 125			Ⅲ		
	2	30: 15: 15		樹 高 147		樹 高 168					
	3	30: 15: 15	3	根元直径 115	6	胸高直径 146	15	10			
	4	30: 15: 15		$\overline{R^2H}$ 128		\overline{V} 233					
	5	51: 27: 27									
	6	66: 36: 36									
	計	207:108:108									
下呂 1号	1	—		樹 高 147		樹 高 168			Ⅲ		
	2	18: 11: 7		樹 高 141		樹 高 157					
	3	18: 11: 7		根元直径 141	7	胸高直径 157	13	5			
	4	36: 25: 18	4	$\overline{R^2H}$ 281		\overline{V} 320					
	5	72: 47: 32									
	9	100: 67: 46									
	10	100: 67: 46									
		計	344:228:156								
	白川 1号	1~8	—		樹 高 106	12	樹 高 134	8		3	Ⅵ → Ⅰ
		4	38: 38: 25								
5		38: 38: 25									
7		38: 38: 25	9								
8		125:125: 88									
9		125:125: 88									
		計	364:364:251								
白川 2号		1	25: 25: 25		樹 高 125	11	樹 高 127	12	9	Ⅱ	
		2	25: 25: 25								
	3	25: 25: 25									
	4	38: 38: 38	2								
	12	100:100:100									
		計	213:213:213								

\bar{H} 120~130、 \bar{D} 約130であった。

原田⁶⁸⁾(1970)はスギ植栽時肥培(2回施肥、施肥量は窒素成分105kg/ha)で、肥効がもっとも大きくあらわれる時期は植栽後4~5年目で、肥効の大きさは \bar{V} で140~200、 \bar{H} 約110、 \bar{D} 115~130であったとし、また、河田ら⁶⁾(1968)は、スギ植栽時肥培(3回施肥、施肥量は窒素成分で213kg/ha)で植栽後5~6年目で、肥効の大きさは \bar{H} で260~300、 \bar{R} 200~400であったと報告している。

これらの試験結果から、肥効がもっとも大きくあらわれる時期は、植栽後4~6年目ごろとみられる。

肥効の大きさは、施肥回数が3~6回で施肥量が窒素成分で200kg/ha以上の場合は、 \bar{V} で200以上、 \bar{H} 120~140以上、 \bar{D} 130~160以上となるが、施肥回数が2~3回で施肥量が窒素成分で100kg/ha以下の場合は、肥効の大きさは若干少ないようである。

白川1号試験地での初回の肥効のあらわれかたが遅かったこと及び白川2号試験地で、肥効がもっとも大きくなる時期が遅れた。

両試験地は表3にみられるように、施肥回数及び施肥量は、それぞれ5回、窒素成分で200~360kg/haと他の試験地と何ら変るところがないが、いずれも積雪量が多く200~250cmの平坦地形であったため、植栽木は雪害を繰り返すことがその原因であろう。

II 若齢林肥培 *

II-1 試験の目的

下刈り作業が終了し林分がほぼ閉鎖状態になった林分や、さらに閉鎖が進み林木個体間の競争がこり、除間伐が実行されるようになった林分、すなわち林齢7~15年生林分における肥培がこゝでとりあげた若齢林肥培である。

若齢林の林地肥培は、植栽直後の林地肥培と異なっている。若齢林分は不完全ではあるが林冠が閉鎖し、林木個体間に相互作用が生じており、個体の生長は密度の影響をうけ始めるが、個体及び林分としての生長速度は大きい時期にあたっている。さらにいえば、植栽肥培が、III型からIV型、V型へと変化し、次第に肥効が減少してくる時期にあたっている。

このような状態における林分の肥培効果を検討する目的で行なうものである。

II-2 試験方法

1) 試験地の立地条件

表4 試験地の立地条件

試験地	場所	林分状態			立地条件						
		樹種	立木密度 本/ha	施肥時 林令 設定年月	樹高 m	地質	土壌型	傾斜度	年平均 気温 ℃	年降 水量 mm	積雪量 cm
明方 1号	郡上郡明方村 小川	スギ	3000	13年生 S.42年4月	800	古生層	BD	30	10.9	3456	100
明方 2号	郡上郡明方村 小川	スギ	7000	9年生 S.36年8月	800	古生層	B/D	35	10.9	3456	100

試験地の立地条件を表4に示した。

試験地は図1に示されているように、岐阜のほぼ中央の明方村地内にあって、標高800m、年平均気温10.9℃と低いが、積雪量は約100cmとそれ程多くはなく、年間降水量は約3500mmと本県でも多い地域である。

* この報告の内容の一部は文献10に発表した。

2) 試験設計

試験設計を表5に示した。スギを対象樹種としたが、林齢は1号試験地で13年生、2号試験地で9年生であった。

両試験地とも試験区として施肥区、無施肥区の2種類を設定したが、試験区の大きさは1号試験地で120m²、2号試験地で200m²であった。

施肥量は1号試験地では、1本当り窒素成分50gの割合でha当り200kg、3回連続施肥し、2号試験地では、1本当り窒素成分20gの割合でha当り80kg、4回連続施肥を行なった。

表5 試験設計

試験地	試験区	施肥				備考
		施肥時期	肥料種類	施肥量 kg/ha	施肥方法	
明方 1号	施肥区	1967年4月	化成肥料 (20:10:10)	K:P ₂ O ₅ :K ₂ O=200:100:100	地表バラキ散布	試験区面積 20m×10m 1955年5月 直さし 植栽密度 3000本/ha
		1968年5月	〃	〃	〃	
		1969年4月	〃	〃	〃	
		計		〃	600:300:300	
	無施肥区					
明方 2号	施肥区	1961年8月	化成肥料 (20:10:10)	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O=80:40:40	林木間溝状施肥	試験区面積 10m×12m 1953年5月 直さし 植栽密度 7000本/ha
		1963年6月	〃	〃	〃	
		1964年4月	〃	〃	〃	
		1965年5月	〃	〃	140:70:70	
	計			380:190:190		
	無施肥区					

3) 測定方法

両試験地とも供試木全部について、樹高及び胸高直径をそれぞれ測高器、直径巻尺で測定し、また各試験区で約10本の測定木を選定して樹幹位置別直径を毎年測った。

II-3 試験結果

(1) 明方1号試験地

H及びDの生長経過を図13に示した。

施肥区のHは、試験開始後3年目に肥効指数106で肥効は明らかではなかった。Dは試験開始後3年目で肥効指数110（無施肥区のD 9.9cm）で肥効がやゝ認められた。

ha当りの林分材積の経年変化を図14に示した。

施肥区の林分材積は、試験開始時点で無施肥区よりもやゝ大きかった。試験開始とともに施肥では林分材積の増加が大となり、肥効指数は1生育期後に113、3年目には肥効指数132（無施肥の林分材積62m³/ha）となった。

以上のように本試験地では、Hには肥効が認められなかったが、Dでは肥効がわずかながら認められ、その結果、ha当りの林分材積では肥効が認められ、肥効タイプとしてはI型であった。

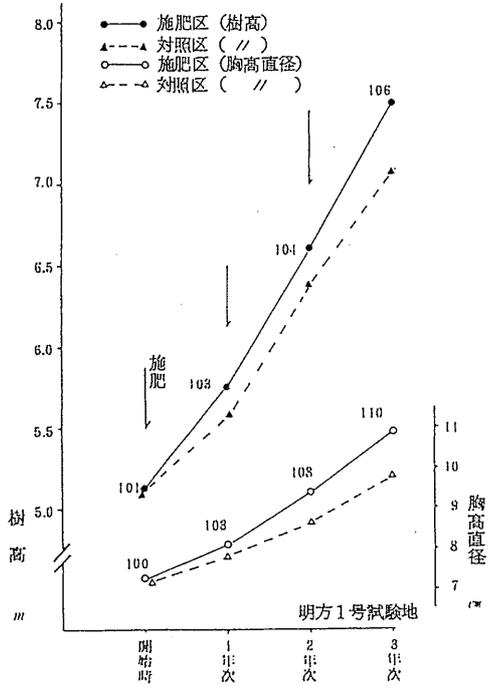


図 13 樹高、胸高直径生長の経年変化

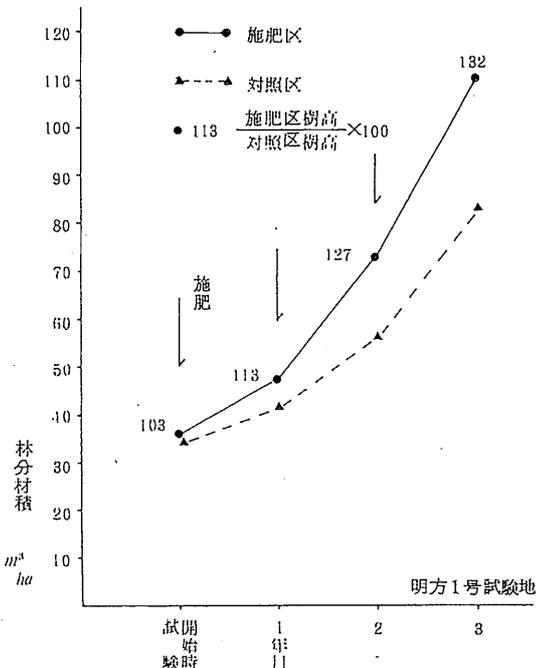


図 14 林分材積の経過年変化

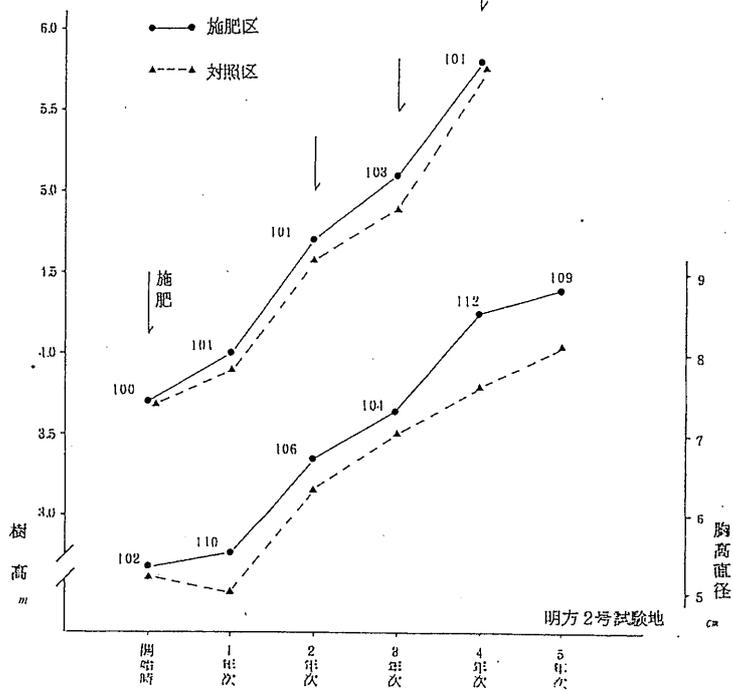


図 15 平均樹高、平均胸高直径生長の経年変化

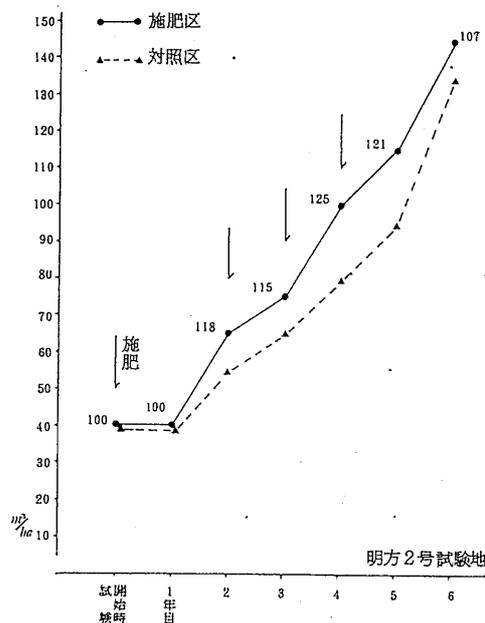


図 16 林分材積の経年変化

(2) 明方 2号試験地

H¹及びD¹の生長経過を図 15 に示した。

H¹は試験開始後 4 年目では、施肥区と無施肥区との差はそれ程大きくなく肥効はみられない。

D¹は試験開始時点における両区の違いを考えると、肥効が認められたとはいえないが、僅かに施肥区の方が大であった。これを肥効とみるかどうかには疑問がある。

ha 当りの林分材積の経年変化を図 16 に示した。

H¹及びD¹は僅かであるが施肥区の方が大であったので、林分材積は、試験開始後 5 年目までは、施肥区が無施肥区よりも大きな値を示し、肥効指数も 115~125 であって肥効があったということになる。しかしながら、試験開始後 6 年目にいたり、施肥区と無施肥区の材積差が少なくなり肥効指数も 107 と肥効がみられなくなった。

本試験地の肥効のタイプは II 型から V 型に変わったものと思われる。

このことから考えて本試験地での肥効は明らかでなく、少なくとも試験開始後 6 年目に肥効は消滅したものと考えられる。

II-4 考察

両試験地の肥効のあらわれ方を表 6 に示した。

表 6 肥効の現われ方

試験地	施肥林齢	初めの肥培効果		最高の肥培効果		肥培効果の持続性	肥効タイプ
		現われた時期	効果の程度	現われた時期	効果の程度		
明方 1号	13, 14, 15	胸高直径 3年目 林分材積 1年目	胸高直径 10% 林分材積 13%	3年目	胸高直径 10% 林分材積 32%	増加傾向	I 型
明方 2号	9, 11, 12, 13	林分材積 2年目	林分材積 18%	4	林分材積 25%	増加から消滅	II 型から V 型

明方1号試験地は、第1回施肥後3年目の林齢15年生時点で、林分材積の肥効指数1.32が示され肥効が認められたが、その後の肥効の変化は判らない。なお、この林分は \bar{H} 7.5 m、 \bar{D} 11.0 cm、立木密度3000本/haであり、収量比数は0.73で中庸仕立ての林の密度状態を示していた。

これに対して明方2号試験地は、 \bar{H} 、 \bar{D} ともに肥効が明らかでなく、第1回施肥後4年目の林齢11年生時点で肥効指数1.25となるが、6年目以降での肥効はみられなかった。この林分は、林齢11年生時点で、 \bar{H} 5.7 m、 \bar{D} 8.5 cm、立木密度7000本/haであって収量比数0.85で密仕立ての林の密度状態を示すが、6年目の林齢13年生時点で収量比数0.93となり、極めて過密な林分状態となった。この林分で肥効がみられなくなったことに、このような高密度が関係しているのではないかと思われる。

渡辺¹⁵⁰⁾(1967)は、スギ23年生林分において4回連続施肥(施肥量、窒素成分440 kg/ha)を行ない、各立木の局所密度と肥効の関係をしらべ、局所密度が低くなるほど施肥による直径生長の増加が大きくなり、逆に局所密度が高くなるにしたがって生長量が小さかったと報告している。

過密な林分では、個体の生長が抑制され枝下が高くなり、個体のもつ葉量が平均して少なくなる傾向がある。また少数の優勢木と多数の劣勢木とにわかれてくるが、このように比較的生長の遅い被圧木が増えることが、少なくとも個体の直径生長に対する肥効の低下につながるものと考えられる。

若齢林における施肥後の肥培効果のあらわれ方について、次のような研究報告がある。

川名ら²²⁾(1971)は、スギ15年生林分において3回連続施肥(施肥量、窒素成分で300 kg/ha)を行ない肥効をしらべた結果、施肥後3~4年目に差がみられ肥効があらわれたとし、また、渡辺¹⁵⁰⁾(1967)は、スギ11年生林分で4回連続施肥(施肥量、窒素成分で455 kg/ha)を行ない肥効をしらべ、施肥後4年目に \bar{H} 、 \bar{D} とくにha当りの胸高断面積合計に肥効がみとめられたと報告している。

この両事例では、前者は6年間の経年変化から肥効タイプはI~II型とみられ、後者は4年間の生長経過からI型とみられる。

本試験結果も含めて、若齢林の林地肥培は肥効のあらわれる時期は1~4年目とやや遅いようであり、林分の閉鎖が進み過密になると肥効が低下する傾向をもつのみでなく、効果のあらわれ方も遅くなる。

III 壮齢林肥培 米

III-1 試験の目的

若齢林よりもさらに生育段階が進んで、林齢がほゞ20年生以上になった壮齢林では、面積当りの葉量は、十分大きくなって、その後、ほゞ一定になる傾向がある。(依田、1971²⁵⁾)

さらに壮齢林では、森林の現存量が大きいこと、林分の閉鎖がよく進行し、個体間のかかわりが大きくなることなど林分の物質生産面において、若齢林とは異なる面をもっている。また、若齢林肥培が行なわれた林分でも、その効果が消滅する時期にもあたっている。

そこで、壮齢林の肥培効果について検討した。

III-2 試験方法

1) 試験地の立地条件

壮齢林肥培試験地は、図1に示されるように、岐阜県内の環境条件が異なった地域に設定された。県北部の積雪寒冷地域にあたる国府、宮川のカラマツ林肥培試験地、県北西部で多雨地にあたる明方のスギ、ヒノキ林肥培試験地、県中央部で平均的気候条件をもつ下呂のスギ、ヒノキ林肥培試験地あわせて7カ所の壮齢林肥培試験地が設定された。

試験地の立地条件は表7に示されるとおりである。

明方試験地(3号、4号)は、標高700~800 m、積雪量約100 cmとやゝ多く、年平均気温

※ この報告の一部は文献12、13、14、72、73に発表した。

表 7 試験地の立地条件

樹種	試験地	所在地	施肥時林令 設定年月	立木密度 本/ha	立地条件						
					年平均気温 °C	年降水量 mm	積雪量 cm	標高 m	地質	傾斜度	土壌型
スギ	明方3号	郡上郡明方村 小川	22 S 336年4月	1750	10.9	3456	100	700	古生層	80	B0E
	下呂2号	益田郡下呂町 奥茂谷	59 S 338年4月	1200	12.5	2460	50	600	石英斑岩	85	B0Dd
ヒノキ	明方4号	郡上郡明方村 小川	40 S 337年7月	800	10.9	3456	100	800	古生層	20	B0Dd
	下呂3号	益田郡下呂町 奥茂谷	46 S 338年4月	1400	12.5	2460	50	800	石英斑岩	10	B0Dd
カラマツ	下呂4号	益田郡下呂町 奥茂谷	59 S 338年4月	1300	12.5	2460	50	700	石英斑岩	35	Bb
	国府	吉城郡国府町 宇津江	17 S 338年6月	1120	10.6	1800	100	760	流紋岩	10	B0D
宮川	宮川	吉城郡宮川村 小谷	31 S 338年6月	700	8.0	2000	250	900	片麻岩	20	B0Dd

1 0.9℃とやや低い。年間降水量は3500～4000mmと本県内でもっとも多い地域にあたり、また年間降水量の分布は夏に多く太平洋型気候の特徴を示している。

地質は古生層の砂岩、粘板岩であるが土壌は火山灰に由来する黒色土壌である。

スギの3号試験地は、ヒノキの4号試験地に較らべると、標高がやや低く傾斜はやや急で土壌がややよい。

下呂試験地(2号、3号、4号)は、山あしが長い同一斜面上に2カ所、山頂部平坦地に1カ所試験地が設定された。

斜面中腹部の2号試験地(スギ)の土壌はBDd型、稜線付近の4号試験地(ヒノキ)はBB型、山頂部平坦地の3号試験地(ヒノキ)はBDd型である。

標高は2号試験地600m、3号試験地800m、4号試験地700mと異なるが、積雪量は試験地全体として50cmと少く、年平均気温12.5℃、年間降水量約2500mm、地質は石英斑岩で土壌はやや埴質である。

国府試験地は標高760m、積雪量100cmとやや多く、年平均気温10.6℃と低く、年間降水量1800mmと少ない。地形は谷沿いの緩傾斜地は流紋岩、土壌はBD型である。

宮川試験地は標高900m、積雪量250cmと多く、年平均気温8℃と低い。年間降水量は2000mm、土壌はBDd型である。

2) 試験設計及び試験経過

試験設計及び試験経過を表8に示した。

明方3号試験地はスギが対象樹種であって、試験地設定時点の林齢22年生であった。施肥区と無施肥区の2処理で2回繰返し試験を行なったが、試験区の大きさは178m²(斜面下部)、113m²(斜面上部)であった。施肥はほぼ毎年1回ずつ連続して6回施肥を行なったが、その後10年経過の時点でさらに7回目の施肥を行なった。施肥方法はすべて地表バラマキであった。施肥量は窒素成分でha当り950kgとなった。

明方4号試験地(ヒノキ)の試験地設定時点の林齢は40年生であった。試験区は施肥区、無施肥区の2種類で2回繰返しを行なったが、1試験区の大きさは100m²であった。施肥は3回連続して行ない、施肥量の合計は、窒素成分でha当り450kgで施肥方法は地表バラマキと溝施肥であった。

下呂2号試験地(スギ)の試験地設定時の林令は59年生であった。施肥区の大きさは100m²であった。施肥は4回連続して行ない、施肥量は窒素成分でha当り400kgで、施肥方法は林木間に帯状の溝を設けて散布した。

下呂3号試験地(ヒノキ)の試験地設定時の林齢は46年生であった。施肥区、無施肥区の2種類の2回繰返しを行ない、1試験区の大きさは100m²であった。施肥は4回連続施肥で、施肥量は窒素成分でha当り400kgで、施肥方法は林木間に帯状の溝を設け施肥した。

下呂4号試験地は、試験地設定時の林齢59年生のヒノキ林で、施肥区、無施肥区の2種類の2回繰返しを行ない、1試験区の大きさは100m²であった。施肥は4回連続施肥で、施肥量は窒素成分でha当り400kg、施肥方法は林木間での帯状の溝施肥であった。

国府試験地は試験地設定時林齢が17年生のカラマツ林であった。施肥区、無施肥区の2種類で2回繰返し試験を行ない、1試験区の大きさは600m²であった。施肥は7回連続施肥したが、施肥量は窒素成分でha当り700kg、施肥方法は地表バラマキ施肥であった。

宮川試験地は、試験地設定時の林齢が31年生のカラマツ林であった。施肥区、無施肥区の2試験区で2回繰返しを行なった。1試験区の大きさは600～750m²であった。

この試験地は、地形、土壌条件が局所的に異なったため、試験区の配列は立地条件がよいところを無施肥区にあて、悪いところを施肥区とした。

表 8 試 験 設 計 (その 1)

試験区	施 肥				備 考	
	施肥時期	肥料種類	施肥料 kg/ha	施肥方法		
明方 3号 施肥区	1961年4月	化成肥料(15:8:8)	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O = 100:58:58	行列間溝施肥	試験区面積 11.8m ² ~ 17.8m ² 1941年4月 スギ植栽 間伐第1回 1974年11月 15~30% 第2回 1976年11月 20~40% 枝打ち 1966年12月 弱度 1969年12月 " 1973年11月 "	
	1962"6"	"	"	地表パラマキ散布		
	1964"5"	"	"	"		"
	1965"6"	"	"	"		"
	1966"4"	"	"	"		"
	1968"5"	化成肥料(20:10:10)	250:125:125	"		"
1977"5"	"(20:5:6)	200:50:60	"	"		
	合計		950:440:450			
無施肥区						
明方 4号 施肥区	1962年7月	化成肥料(15:8:8)	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O = 150:80:80	地表パラマキ散布	試験区面積 10.0m ² 試験開始時林令 40年生 樹種 ヒノキ	
	1968"7"	"	"	"		
	1964"4"	"	"	行列間溝施肥		
	合計		450:240:240			
無施肥区						
下呂 2号 施肥区	1968年4月	化成肥料(8:8:5)	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O = 100:100:68	行列間溝施肥	試験区面積 10.0m ² 試験開始時林令 59年生 樹種 スギ	
	1964"8"	"	"	"		
	1964"6"	"	"	"		
	1965"8"	"	"	"		
	合計		400:400:252			
無施肥区						
下呂 3号 施肥区	1968年4月	化成肥料(8:8:5)	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O = 100:100:68	行列間溝施肥	試験区面積 10.0m ² 試験開始時林令 46年生 樹種 ヒノキ	
	1964"8"	"	"	"		
	1964"6"	"	"	"		
	1965"8"	"	"	"		
	合計		400:400:252			
無施肥区						

表8 試験設計(その2)

下呂 4号	施肥区	1968年4月	化成肥料(8:8:5)	N: P ₂ O ₅ :K ₂ O=100 ^{kg} :100 ^{kg} :68 ^{kg}	行 列 間 溝 施 肥	試験区面積 100 m ²
		1964年8月	"	"	"	試験開始時林令 59年生
		1964年6月	"	"	"	樹種 ヒノキ
		1965年8月	"	"	"	
		合 計	"	"	400:400:252	
国府	無施肥区	1968年7月	化成肥料(24:16:11)	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O=100:67:46	地表バラマキ施肥	試験区面積 600 m ²
		1964年6月	"	"	"	試験開始時林令 17年生 カラマツ
		1965年5月	"	"	"	カラマツ落葉病消毒
		1966年4月	" 過磷酸石灰 塩化加里	" 100:188:104	"	1966年8月
		1967年4月	化成肥料(20:10:10) 過磷酸石灰、塩化加里	" 100:150:150	"	1967年8月
		1968年6月	"	"	"	
		1969年6月	"	"	"	
合 計	"	"	700:1617:1176			
宮川	無施肥区	1968年7月	化成肥料(24:16:11)	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O=120:80:55	地表バラマキ施肥	試験区面積 600~750 m ²
		1964年6月	"	"	"	試験開始時林令 81年生 カラマツ
		1965年5月	"	"	"	
		1966年4月	消石灰	1700kg	"	
		1967年4月	化成肥料(24:16:11)	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O=120:80:55	"	
		1968年6月	化成肥料(20:10:10)	" 120:60:60	"	
		1969年6月	"	"	"	
合 計	"	"	840:1140:840			
	無施肥区					

3) 測定方法

各試験地において、樹高、胸高直径は、試験区内の全林木について、それぞれブルメライズ測高器、直径巻尺または輪尺によって測定した。

明方3号、明方4号、国府及び宮川の各試験地において、1試験区から5～10本の測定木を選定し、それらの測定木について樹幹の高さ別に(0.8 m、1.3 m、3.3 m、5.3 m、7.3 m……)白帯の印をつけ、その部分の直径を直径巻尺で測定し、また同時に梢端部までの長さを布巻尺で直接測って樹高を求めたが、これらの測定は定期的に行なった。

それらの測定値を用い、区分求積法により立木材積を算定した。これらの測定木の立木材積と胸高直径との相対生長関係から、試験区あたりの総立木材積を推定し、ha当りの林分材積を算出した。

下呂2号、3号、4号試験地では、樹幹の高さ別直径測定は行なわなかった。したがって、これらの試験地での立木材積の推定は、他で求められた立木材積と胸高直径との相対生長関係によった。

III-3 試験結果

1) スギ

明方3号試験地(試験地設定時林齢2年生林分)及び下呂2号試験地(試験地設定時林齢5年生林分)の結果は次のとおりである。

(1) 明方3号試験地

H、D及びVの生長経過を図17及び付表3に示した。

Hは第1回の施肥後3年目において、 \bar{H} 1.2.0 mで無施肥区よりも0.9 m大きく肥効指数110で肥効がやゝ認められた。この効果はその翌年までみられたが、その後樹高差は殆んど変ることなく、試験開始後17年経過の現時点では、肥効指数はやゝ低下したが施肥区と無施肥区の樹高差は殆んど同じで肥効タイプとしてはⅡ型であった。

Dは試験開始時点で施肥区が無施肥区よりもやゝ大きかった。

試験開始後5年目では、施肥区の \bar{D} 1.7.4 cmで無施肥区よりも1.8 cm大きく肥効指数112で、試験開始時の胸高直径差を考慮しても、肥効はやゝ認められた。試験開始後17年目の現時点において、施肥区の \bar{D} 2.4.6 cmで無施肥区よりも3.4 cm大きく、肥効指数116を示し肥効がやゝ認められ、効果は持続していた。

VはDと同様、試験開始時点において、施肥区のVは無施肥区よりも大きかった。

肥効は施肥当年の生長休止期にあらわれ、施肥区のVは $1.25 m^3/ha$ で無施肥区よりも $1.6 m^3/ha$ 大きく、肥効指数121で肥効がやや認められた。その後も肥効は持続して7年目の時点で肥効指数137となり、さらに17年目の現時点においては、Vは $3.92 m^3/ha$ で無施肥区よりも $9.6 m^3/ha$ 大きく、肥効指数132を示し肥効が持続し肥効のタイプとしてはⅠ型であった。

(2) 下呂2号試験地

H、D及びVの生長経過を図18及び付表3に示した。

Hは測定値が第1、2年次のみであり、試験開始時点において、施肥、無施肥の両区の \bar{H} に差があったから、Hにおける肥効は判定できない。

Dは試験開始時点で、施肥区の \bar{D} は無施肥区よりも小さかった。その後も両区の生長差は殆んど変わらず肥効は認められなかった。

Vは、施肥区で立木本数が多かったため、試験開始時点で無施肥区よりも大きかった。その後も両区の生長差は殆んど変わらず肥効が認められなかった。

2) ヒノキ

明方4号試験地(設定時林齢40年生)、下呂3号試験地(設定時林齢46年生)及び下呂4号試験地(設定時林齢59年生)において行なった。

(1) 明方4号試験地

H、D及びVの生長経過を図19及び付表3に示した。

Hは、試験開始時点で施肥区は無施肥区よりやや大きかったが施肥後、両試験区に差異がみられず、肥効は認められなかった。

Dについても、6年間の生長経過では、肥効が認められなかった。

Vでは、施肥後2年目に肥効指数が125となったが、試験開始時点の指数が118であったこと、H、Dに明らかな肥効がみられなかったことから、肥効があったとは認められない。また、その後も、同じように肥効が認められなかった。

(2) 下呂3号試験地

H、D及びVの生長経過を図20及び付表3に示した。

Hは、測定値が少ないのではっきりしないが、施肥による樹高生長の変化はなかった。

Dについても、その生長経過からは肥効が認められなかった。

Vは、試験開始時点で施肥区は無施肥区より小さく指数で84であった。その後3年目には、肥効指数91となったが、H、Dに肥効が明らかでなく、肥効のあらわれとみることはできないようであった。

(3) 下呂4号試験地

H、D及びVの生長経過を図21及び付表3に示した。

Hは、試験開始時点で施肥、無施肥区のHは殆んど差異がなかったが、その後においても、両試験区の生長差はみられず肥効が認められなかった。

Dは、試験開始時点で、施肥区が無施肥区よりも小さかった。その後3年目でこの差はやや小さくなったが、有意の差とは認められず、肥効があったと認めることができなかった。

Vは、試験開始時点において、施肥区で指数が90で、無施肥区よりも小さかった。その後の生長経過では、Dの生長の影響をうけて、施肥区の生長がやや大きくなったが、前述のようにこれも肥効と認めることができなかった。

以上のようにして、ヒノキ壮齡林肥培試験の事例として、40年生林分、46年生林分及び59年生林分の試験結果を示したが、いずれの林分でも、H、D及びVで肥効が認められなかった。

3) カラマツ

国府試験地(設定時林令17年生)、宮川試験地(設定時林令31年生)において試験を行なった。

(1) 国府試験地

H、D及びVの生長経過を図22及び付表3に示した。

Hは試験開始時点で、施肥区が無施肥区よりも大きな値を示したが、その後の両試験区の生長差が殆んど認められず、15年経過の現時点においても、両試験区の樹高差はほぼ同じで肥効は認められなかった。

Dは、Hと同じように試験開始時点で、施肥区は無施肥区よりやや大きな値を示した。その後4年目に両試験区間のDの差が大きくなり、肥効と認めることができる。しかしながら5~6年後以降は、Dの生長経過はほぼ平行しており、指数は低下したが15年経過の現時点まで肥効は持続していたとみることができよう。

Vは、H、Dと同じく、試験開始時点で施肥区は無施肥区より大きく、指数で110と大きな値を示したが、その後4年目において、施肥区のVは $102\text{ m}^3/\text{ha}$ で無施肥区よりも $24\text{ m}^3/\text{ha}$ 多く肥効指数131を示した。試験開始時点での指数と比較して、肥効と認めてよいだろう。

それ以降は、材積生長の経過はほぼ平行しており、従って肥効指数はやや低下した。この肥効のタイプはⅣ型である。

(2) 宮川試験地

H、D及びVの生長経過を図23及び付表3に示した。

Ⅲ-2 試験設計及び試験経過で述べたように、試験地設定にあたって、無施肥区には立地条件、生育状態がよい林分をあてたので、H、D及びVはいずれも施肥区よりも10~18%大きかった。

Hは、経年的に殆んど差がみられず肥効は明らかではなかった。

Dは、試験開始後2年目あたりから、施肥区で生長が大きくなり、4~5年目で差が明らかとなった。

Vは、試験開始時点で無施肥区が施肥区よりも指数で14%大きかった。

試験開始後2~3年目から施肥区の生長量が大きくなり、5年目で施肥区のVは、無施肥区と同じになった。これは主にDにみられた肥効によるものであり、Vにおいても肥効と認めてよく、肥効のタイプとしてはI型であった。

以上のように、カラマツ壮齡林の場合、いずれの林分でも、Hでは肥効が明らかでなかったが、Dではやゝ認められ、Vは、両試験地とも試験地設定後4~5年目において肥効が認められた。

国府試験地は、試験開始の翌年1964年から1966年にかけて落葉病が発生した。そのために1965年には、水銀ボルドー剤を散布した。また、その後の施肥においてはリン酸及びカリ成分を増やした。

この林分は、落葉病の発生によって、カラマツは8月下旬に落葉したが、このために生育は明らかに阻害されたものと考えられた。従って、このことによっても、肥効のあらわれ方が若干影響されたものと考えられた。

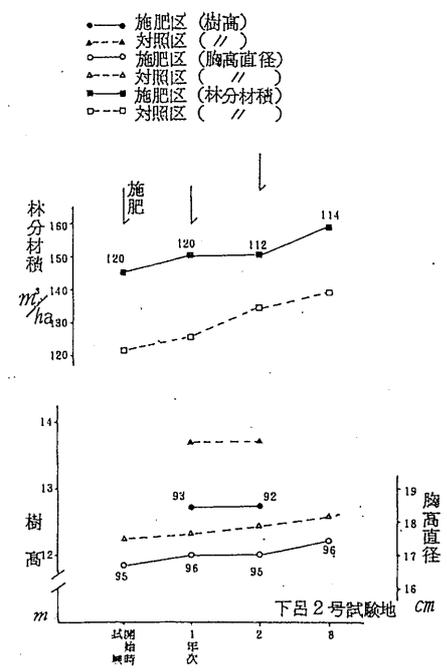
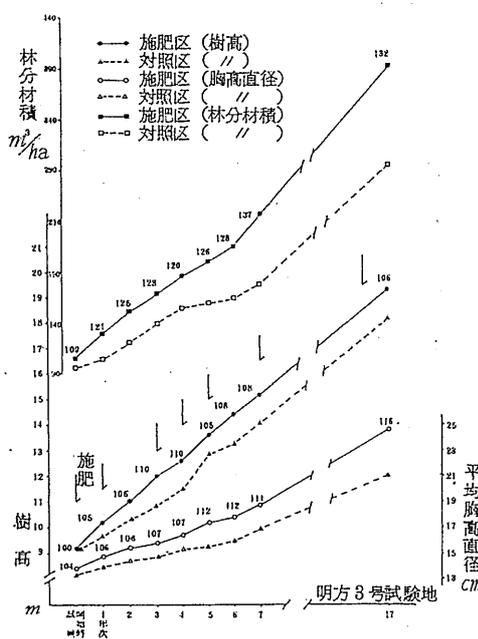


図17 樹高、胸高直径、材分材積生長の経年変化 図18 樹高、胸高直径、材分材積生長の経年変化

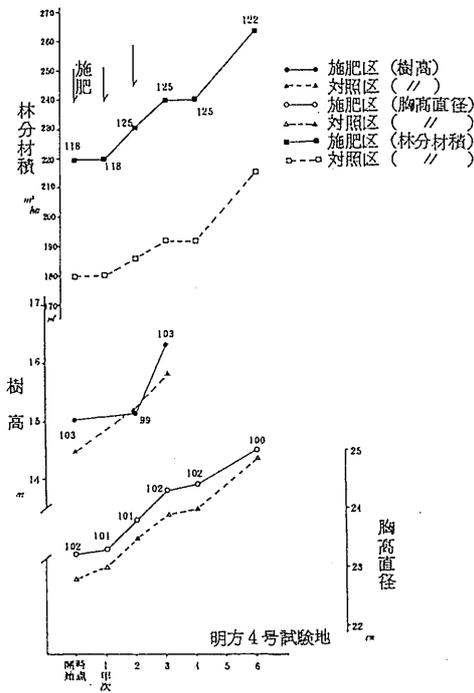


図 19 樹高、胸高直径、林分材積生長の経年変化

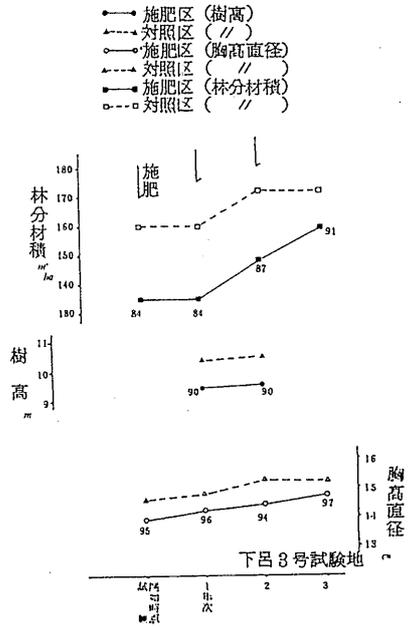


図 20 樹高、胸高直径、林分材積生長の経年変化

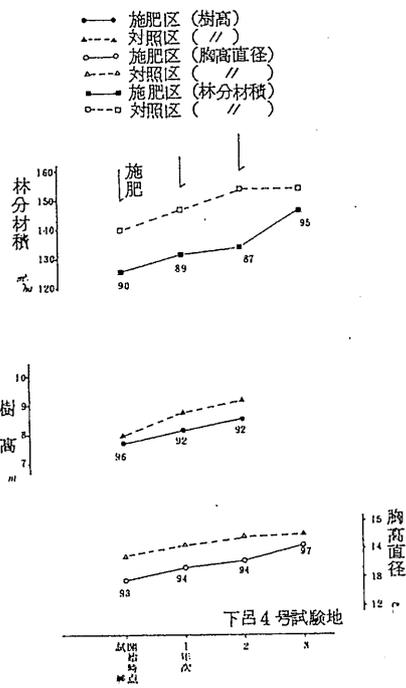


図 21 樹高、胸高直径、林分材積生長の経年変化

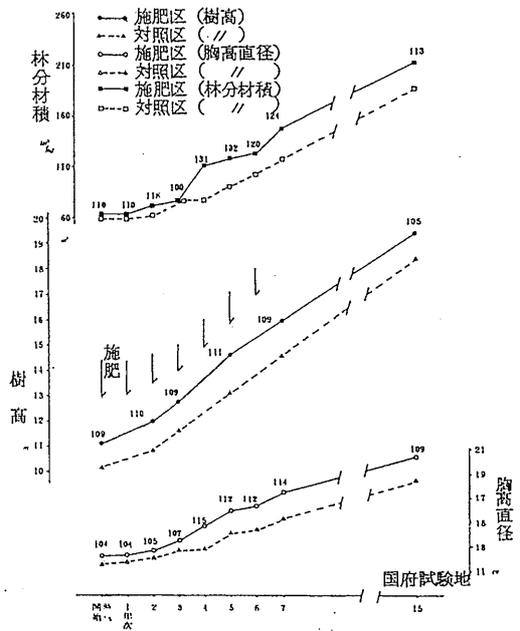


図 22 樹高、胸高直径、林分材積生長の経年変化

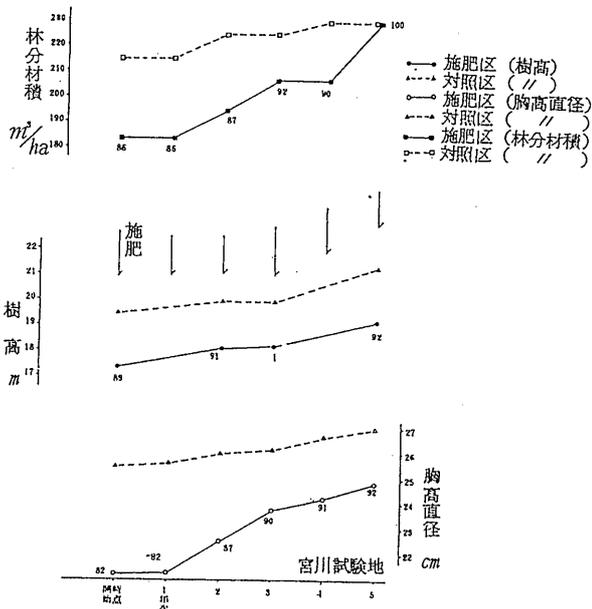


図23 樹高、胸高直径、林分材積生長の経年変化

III-4 考察

壮齡林肥培試験の肥効について、総括的にとりまとめて、表9に示した。

スギ、ヒノキ、カラマツ3樹種をとおしてみた場合に、林齡30年生以下の明方3号(スギ22年生)、国府(カラマツ17年生)、宮川(カラマツ31年生)は、施肥回数6~7回、施肥合計量、窒素成分で700~950 kg/ha であって、いずれもDで10~12%、Vで12~21%増加しており、肥効があったとみてよいであろう。

林齡30年生以上の下呂2号(スギ59年生)、明方4号(ヒノキ40年生)、下呂3号(ヒノキ46年生)、下呂4号(ヒノキ59年生)の各林分は、いずれも3~4回連続施肥、施肥合計量、窒素成分で400~450 kg/ha にもかかわらず肥効がみられなかった。

林齡が30年生前後の壮齡林肥培試験は、それ程多くはないが、その殆んどで肥効が認められている。18) 20) 24) 25) 26) 152) 155) 156)

生原ら²⁵⁾(1973)及び伊藤¹⁸⁾(1972)は、ヒノキ37年生林分、スギ35年生林分において、肥大生長は樹幹上部で胸高部位より肥効が大きく、その結果、林分材積においても肥効がみられたと云っている。

本試験では、スギ22年生林分、カラマツ17年生、31年生両林分は、胸高直径で肥効がみられ(スギ22年生林分では樹高でも肥効がみられた)、その結果、林分材積でも肥効が認められた。

一方、林齡が40年生以上の壮、老齡林分の肥培事例はあまりないが、藤田ら¹⁶⁾(1974)は、スギ59年生林分に対する肥培試験において、標準木の樹幹解析で、立木材積で極めて顕著な肥効がみられたと報告している。

丹下¹⁷⁾(1970)は、スギ51年生林分で、肥大生長における肥効は、胸高直径では殆んどみられず、樹冠内部で肥効が大きいと述べている。

これらの試験例のように、林齡が高い壮齡林の肥培効果は、樹高及び胸高直径にあらわれにくく、

表9 壮齡林肥培の肥効総括

樹種	試験地	施肥時林齢 年生		施肥成分量 N:P ₂ O ₅ :K ₂ O kg/ha	肥 培 効 果			肥効 タイプ
		項目	効果程度		あらわれ はじめる 時期 年	持続期間 (最終施 肥後)年		
スギ	明方 3号	22 23 25	950:440:450	樹高	110	3	11以上	IV
		26 27 29		胸高直径	112	5	11	I
		38		林分材積	112	1	11	II
ギ	下呂 2号	59 60	400:400:252	樹高	—			—
		60 61		胸高直径	0			VI
				林分材積	0			VI
ヒノキ	明方 4号	40 41	450:240:240	樹高	0			VI
		42		胸高直径	0			VI
				林分材積	0			VI
ノキ	下呂 3号	46 47	400:400:252	樹高	0			VI
		47 48		胸高直径	0			VI
				林分材積	0			VI
カラマツ	国府	17 18 19	700:1617:1176	樹高	0	—	—	—
		20 21 22		胸高直径	110	4	7以上	IV
		23		林分材積	121	4	7以上	IV
宮川	31 32 33	840:1140:840	樹高	0	—	その後の調		
			34 35 36	胸高直径	110	4	査なし	
			37	林分材積	114	5		

樹冠内部から樹冠直下の直径の生長に肥効があらわれる傾向がある。

これは、林齢が40年生以上になると樹高の生長量が低下すること、また、樹高が高くなるにつれて枝下部分が長くなり、樹冠内部またはその直下では肥大生長が促進されても、胸高部位までその影響が及びにくいということが考えられる。このことは、樹高と胸高直径の測定だけで肥効が判定できないことを意味する。

本試験におけるスギ59年生林分、ヒノキ46年生林分及びヒノキ59年生林分で肥効がみられなかったのは、このようなことが関係しているものと考えられる。

壮齡林肥培において肥効があらわれにくい理由として、肥効を判定するにあたっての測定上の問題がある。

これは、すでに第一項1-2、3)において述べたことであるが、樹高、胸高直径及び林分材積の諸量において、施肥による生長量の増分が同じでも、個体が小さい若齡林分では指数としては大きく、個体が大きくなるにつれて小さくなるということが考えられる。

次に森林では、林齢とともに乾物現存量が増加する。葉量と同地位の開鎖林分では、林齢に無関係に一定とされているが、幹、枝、根は増大し、これらの部分の養分集積量も次第に増加する。

スギで地上部現存量が約110ton/haの林分の場合、幹、枝に含まれる割合は窒素で27%、リン30%、カリウム35%、地上部現存量が約370ton/haの林分の場合、窒素57%、リン60%、カリウム61%といずれの成分も配分割合が増加する。(堤、1973¹³⁷)

林齢が増し、幹、枝の現存量が増大するにともなって、この部分へ集積される養分も増加するはずである。このように考えると、条件が同じで施肥量が等しい場合には、地上部現存量の増大にともなって、幹、枝への肥料成分の集積が多くなり、肥効は低下することが考えられる。

IV まとめ

本項では、林木の生育の全過程を通じての林地肥培方法を明らかにするために、林齢別の肥培効果の検討を行なった。

生育過程として、植栽直後造林地、若齢林及び壮齢林をとりあげ、肥培効果のあらわれ方、肥効の程度及びその持続性について、試験地を設けて継続調査を行なった。

林齢別の林地肥培では、いずれの試験地においても、年1回ずつの回数施肥を行なったが、これは次のような理由によった。

林地肥培は農地肥培と異なって、(1)耕耘をしないから、土壌の物理性の改良を伴わない。(2)傾斜地での地表バラマキ施肥であるため流亡しやすい。(3)灌木草類にも吸収され、施された肥料の全部は、林木へまわらない。(4)土壌中の有機物の分解が遅く、養分の回転が一般には遅い。(5)農作物は一年生を主体とするのに対して、林木は数十年の生育期間があるなどの理由で、1～2回の施肥では、肥培効果の期待度が少ないと考えられた。

このことは、この試験と相前後して行なわれた次の諸研究によって、その妥当性が実証された。

佐藤ほか⁴⁹⁾(1964)によれば、1回の施肥しか行なわなかった2カ所のスギ植栽時肥培試験において、施肥当年目に樹高の肥効指数110、114で肥効がみられたが、その後2～4年目で肥培指数101、108となり肥効が消滅した。また、他の試験地では、2～3年目で樹高の肥効指数110、114に対して、4～7年目には101、106となり、肥効がみられなくなったと報告している。また佐藤ほか⁴⁹⁾(1964)によれば、スギ植栽時肥培において、第1回施肥及びその後5年目に追肥として第2回目の施肥を行なった結果、第1回施肥の効果は、2年目に肥効指数124であったが、その後減少した。追肥によって肥効指数110と上昇したが、その翌年には108と肥効は消滅した。このことから肥効の持続のためには、連続施肥が必要であることを示唆している。

原田⁶⁸⁾(1970)は、スギ植栽時施肥において、植栽当初の1回施肥は、その効果が明瞭でなく、第2回目施肥後の5～6年時点において、効果が初めて明瞭となったとしている。また桑原¹⁵¹⁾(1977)も10年生スギ林に対する追肥試験において、施肥は植栽当年だけでは十分でないことを報告している。

次に林齢別の林地肥培についてまとめると次のとおりであった。

植栽直後から連続回数施肥を行なう植栽時施肥効果は、初回の肥効が1～3年目にあらわれ、4～6年目で肥効がもっとも大きくなる。肥効は数年から10数年間持続する例が多い。また肥効のタイプとしてはⅢ型が多く、施肥区と無施肥区の差は増加するが、肥効指数は減少する。したがって、植栽時施肥しても放置すると、Ⅳ型～Ⅴ型(第一節 第一項 1-2)となり、肥効が消滅することもありうると思われる。

若齢林肥培は、植栽時の肥培と比較すると、閉鎖状態にあるため、個体の生長が抑制され、個体レベルの肥効においては、とりわけ密度と密接な関係が示され、適当な密度では肥効がみられるが、過密な林分では、個体のもつ葉量が少くなり、劣勢木が増えて、これが肥効の低下につながってくる。すなわち、明方1号(収量比数0.73)では肥効がみられ、肥効タイプとしてはⅠ型で、施肥区と無施肥区の絶対値の差が増加し肥効指数も増えた。

しかしながら、明方2号(収量比数0.85)では、肥効タイプがⅡ型からⅤ型となり、初めは肥効がみられたが後消滅した。

壮齢林肥培の中で林齢30年生以下の林分の効果は、肥効タイプとしてⅠⅡⅣ型で肥効は持続したが、林齢30年生以上の林分では肥効がみられなかった。

肥効の大きさは、林分材積の肥効指数で112～121で壮齢林肥培が、3つの林齢別肥培の中でもっとも小さく、植栽時肥培はもっとも大きかった。

以上のように、3つの生育過程における肥培効果のそれぞれについて述べたが、次にこれらの林齢

別林地肥培の効果のちがいでについて考えてみる。

林木は、植栽当初、相互間のせり合いが全くなく生育しているが、樹冠が閉鎖し林木個体間の相互作用がみられると、立木密度によって平均樹高は変わらないが、平均胸高直径は影響をうける。また各個体の着葉量も密度によって変化するが、林分当りの葉量は、地位が同じであれば、密度、林齢には無関係で一定である。

植栽当初は、個体相互のせり合いはないが、雑草木類との競争がみられる。しかしながら、一般の造林地では、下刈りが行なわれ、このことにより、これも軽減され無視してよい。

面積当りの地上部現存量(乾物重)は、 $200 \sim 11000 \text{ kg/ha}$ で、総量としても極めて少ない。(原田⁶⁸⁾1970)

施肥量は窒素成分で $200 \sim 360 \text{ kg/ha}$ であって、植栽木の根元にバラまかれるので吸収されやすく、植栽時肥培の肥効は一般にあらわれやすく、数年から10数年は続くものと思われるが、ⅢⅣ型の林分があることから、肥効は次第に低下する傾向をもつと考えられる。

若齢林では、樹冠の閉鎖が始まり、林分葉量が一定に達する。このことは肥効に大きな影響をもつであろう。このような林分の面積当り現存量は、 $50 \sim 100 \text{ t/ha}$ (四大学合同調査班¹⁵⁰⁾1966)であるが、この量は次の生育段階の壮齢林に較らると $1/2 \sim 1/4$ で少ない。

施肥量は窒素成分で $400 \sim 600 \text{ kg/ha}$ で、地表面全体にバラまき散布されるが、植栽時肥培に比較すると、現存量の割合には、若齢林肥培は施肥量が少いとも云える。しかしながら、若齢林の肥効は認められたが、これは、恐らく後述するように、葉の養分濃度の増大あるいは葉量の増加によるものであろう。

次に壮齢林肥培であるが、こゝで云う壮齢林は、林齢が約15～16年生以降の林分が包括されている。

一般的に単位当りの林分葉量は、15～16年生前後で最大値がみられ、その後は、ほど一定となるが、施肥により地位が高かまれば増加することがある。(四大学合同調査1966)

壮齢林の林分当りの地上部現存量は、スギで $110 \sim 370 \text{ t/ha}$ 、カラマツで $50 \sim 100 \text{ t/ha}$ 程度(四大学合同調査班¹⁵⁰⁾1966)で若齢林よりもかなり多くなっている。

これに対して、施肥量は3～4回施肥で窒素成分 $400 \sim 450 \text{ kg/ha}$ 、6～7回で $700 \sim 1000 \text{ kg/ha}$ 程度で、この量は、若齢林肥培に比較すると、地上部現存量が壮齢林で増大している割には少ないように思われる。単純に言うならば、窒素成分で $1 \sim 2 \text{ t/ha}$ の施肥が必要であろうが、この量を4～5回で施肥するならば、1回当り窒素成分で $200 \sim 500 \text{ kg/ha}$ となる。

壮齢林の肥培効果は、地上部現存量が小さなカラマツ林で明らかである。スギ、ヒノキ林では、林齢が30年生以下で肥効がややみられるのに対し、40年生以上では肥効があらわれにくい。

この理由として、次の3点があげられる。(1)林齢が高かまり、壮齢になるほど個体が大きくなるので、増加量が同じである場合は、指数が小さくなり、肥効といえなくなる (2)林齢とともに、森林の現存量(乾物量)は、幹枝で増加割合が大きい。従って、同程度の施肥量の場合は、肥料成分の葉への配分が少なくなり肥効が低下する (3)林齢とともに閉鎖状態が進み、優勢木と劣勢木ができ、着葉量に大きな差がみられ、優勢木で肥効があらわれやすいが、劣勢木ではでにくく、林分全体で平均化すると肥効がみられなくなる (4)後述するように、枝打ちを実施する壮齢林肥培では樹幹の下方部よりも上方部で肥大生長が大きく、完満化の傾向がみられるが、胸高直径、樹高を基準とすると肥効があらわれにくい。

以上のように、生涯過程ごとの林地肥培効果のあらわれ方は、植栽時肥培>若齢林肥培>壮齢林肥培という順になるものと考えられる。

塘⁵¹⁾(1962)は、林地肥培必要論の解析において、急傾斜地で雨量が多い日本の林地では、針葉

樹の皆伐作業を続けることによって、伐採ごとに地力が低下するが、このことは、すでに吉野地方、尾鷲地方、木頭林業地帯の各地で地力低下の問題があらわれている。また、日本の森林土壌は、温暖多雨の気象条件のもとで、塩基の溶脱作用が激しく貧養性であるので、林地生産力を維持増進する何らかの手段をとらねばならないと指摘している。

しかしながら、林分閉鎖が進むこと、局部的に立地条件の違いが大きいこと、物質の回転速度が大きいことのために、肥効にムラがみられたり、肥効に持続性がなかったりするので、林木の生育期間を通じた適切な施肥方法が考えられねばならない。

生育期間を通して、毎年、連続して施肥することは、第二節において述べるように、経済的にも不可能であるとともに、土壌の酸性化の面からも適当でない。

したがって、肥培効果をたかめるための施肥としては、除間伐によって林分の閉鎖状態や生育状態をととのえ、肥効があらわれやすいようにするなど方法が構じられねばならない。とりわけ、林分閉鎖がすすんだ、物質現存量が大きい壮齡林では、間伐の繰り返しと関連づけた肥培を行ない、葉量の速やかな回復及び葉の養分濃度を高かめることによって、幹部現存量の増大を促すことが必要である。

また、林地肥培は、第三節林地肥培の技術的応用において後述するように、下刈り期間の短縮、枝打ちによる完満化の促進及び間伐後の林分閉鎖の回復など育林作業との関連のもとで実行することも効果があるので、育林技術体系の中に施肥技術を組み込むことが必要であると考えられる。

第二項 肥培による林分葉量及び葉の養分濃度の変化

施肥の効果は、葉量の増加、葉の光合成能率の増大の両方またはいずれか一つがおこることによるものと考えられる。

本項では施肥によって、林分葉量及び葉の光合成能率が、どのように変るかについて検討を行なう。なお、葉の光合成能率については、葉の養分含有率の変化で示した。

I. 閉鎖林分の葉量に及ぼす肥培の影響^{*}

I-1 試験の目的

肥培によって、閉鎖林分の葉量が、どのように変化するかということは、大きな問題であるが、今日なお明らかでない面が多い。

森林の葉量については、数多くの測定が行なわれてきたが、その測定には労力が多だけでなく、個体によるバラツキ、季節による変化などがあって、測定精度は十分高くはなく、さらにその林分の破壊を伴なう。従って林木の伐倒を行わずに、同一林分で施肥前後の葉を継続して測定するには、落葉量の測定を行なうのが妥当である。施肥によって林分葉量に変化があったかどうかをみるのには十分だと考えたからである。

I-2 試験方法

カラマツ23年生林地肥培試験地(国府 1963年試験地設定、設定時林齢17年生)において1969年秋、落葉期に調査を行なった。

この試験地は、設定以来7回施肥が行なわれ、施肥量はいずれも窒素成分でha当り100kgであった。

肥培効果は第1回施肥4年目で肥効指数131となり、7年目以降、指数は減少しているが、施肥区と無施肥区との林分材積の差は変わらず、肥効は15年経過の現時点まで持続している。

落葉量の測定方法は、施肥区及び無施肥区のそれぞれにおいて、2カ所で4m×4mのサランネットを地表近くに張り、これによって落葉をすべて採取し、落葉が終わった後にこれらを集収して重量を測定した。

I-3 試験結果

試験結果を表12に示したが、カラマツ肥培林分における葉量は、乾物重で4.6ton/haあり、無施肥^{*} この報告の内容の一部は文献72,73に発表した。

肥林分の約 1.5 倍の重量があった。

佐藤 (1971)¹³⁴⁾ は、クロマツ林に多量の肥料を与えた場合に、葉の現存量が 7.8 5ton/ha となり、無施肥林分よりも 13% 現存量が増加したとしている。

川名ら (1969)¹²³⁾ は、ヒノキ苗木の模型林分において、高密度 (225 本/m²) の施肥区では約 6.9 kg/m² の葉量認められ、これは無施肥区の約 2.1 倍であったという。

また四手井ら (1961)¹³⁵⁾ は、スギ苗木の模型林分において、施肥区では約 5.5 kg/m² の葉量があり、無施肥区の 20% 多かったと報告している。

次に地位の違いによる林分当りの葉量の現存量についての報告もみられる。

佐藤 (1973)¹³⁶⁾ は、スギ林についての多くの報告から、ha 当りの葉の現存量は、明らかに地位のよい林ほど多かったとしている。

相場ら (1968)¹³⁸⁾ は、アカマツ天然生林 (林齢約 30 年生) において、新葉量は地位が大きく変わってもその差が小さいが、旧葉の現存量では違いが認められ、多くなると報告している。

上田ら (1979)¹³⁹⁾ は、ヒノキ 50 年生林のリターフオール地位による差異について、斜面上部の地位良好の場所では、葉のリターフオール量は 4.31 ~ 5.16 ton/ha・yr で、斜面上部の地位不良の場所の 3.11 ~ 3.64 ton/ha・yr よりも明らかに多いと報告している。

また片桐ら¹⁴⁰⁾ (1973) は、落葉広葉樹林において、年間のリターフオールは、斜面上部の地位が高い場所では、約 4.0 ton/ha を越えていたが、斜面上部の地位が低いところでは 3.0 ton/ha にも満たなかったとしている。

閉鎖した同じ種類の森林では、地位が同じである場合には、林齢に無関係に面積当りの葉の現存量は、一定となることが知られている。これは主に林冠内の光条件によって、一定空間内に存在する葉量が決定されるからである。

また閉鎖した林分の葉量は、地位が高かくなっても光が制限的に働き、葉量は増加しないという疑問もあり、地位によって林分葉量が増加しなかったり、年間のリターフオールが増えなかった例もみられる。

立地条件、樹種、林齢の違いもあるので、施肥量や地位と葉量との間には、必ずしもきれいな関係が成立しない。施肥による林分葉量の変化もまた一様ではないが、それが生長量の増大の要因として機能していると考えてよいであろう。

II 針葉中の養分含有率に及ぼす肥培の影響*

肥培によって、葉の光合成能率がどのように変化するかについて、本項で検討してみる。

葉の光合成能率は、葉の養分含有率の増加と関係しているとされているので、ここでは、施肥による針葉中の養分含有率の変化を、スギ、カラマツ林分について調べた。

A スギの養分含有率

A-1 試験方法

実験に用いた材料は、いずれも第一項において検討した林地肥培試験地の一部からとったものである。葉分析試料を採取した林分の生育状態を表 10 に示した。

表 10 供試林分の生育及び肥培管理状態

試験地	樹種	土壌型	施肥開始時 林令年	生育及び肥培管理状態						
				試料採取 年月	林令 年	積算施肥 回数	積算養分 成分量 kg/ha	肥効指数		
							樹高	胸高直径	林分材積	
白川2号	スギ	BD	1	1977.10	12	5	213	127	126	188 ※
下呂1号	スギ	BDd	2	1978.10	15	4	344	142	126	200 ※
明方3号	スギ	BDE	22	1962.6	23	1	100	106	106	125
				1977.8	38	7	950	106	116	132

※ D₁H の比数

※ この報告の内容の一部は文献 12, 14, 50, 72, 73 に発表した。

その1つは、施肥開始後1年目に葉の養分含有率がどう変化するかという実験で、これを23年生スギ林(明方3号試験地)について行なった。

その2の実験は、12年生スギ林(白川2号試験地)、15年生スギ林(下呂1号試験地)、38年生スギ林(明方3号試験地、前回の実験後、さらに追肥を行なった)について行なったが、いずれも施肥開始後11年~16年経過し、施肥回数も4~7回に及んだ葉の養分含有率の変化を検討した。これらの試験地の肥培効果は、表10に示されるように、程度の違いはあるが認められた。

葉分析試料は、各試験区ごとに、樹高、胸高直径が平均的な3~4本の供試木を選定し、それぞれの供試木において、陽光がよくあたる3~4方向に伸びた枝の先端部の針葉を採取し、これらから当年生葉を主として集め混合し分析に供した。

これらの試料を乾燥粉末化し、乾物2gを湿式灰化し、窒素はケールダール法、磷はモリブデンブルー法、加里は炎光分析法、カルシウム、マグネシウムはEDTA法(或いは原子吸光分析法)によって定量した。

A-2 試験結果

試験結果を表11に示した。

表11 針葉中の栄養成分含有量

試験地	採取時期	乾物%									
		N		P ₂ O ₅		K ₂ O		CaO		MgO	
		施肥区	無施肥区	施肥区	無施肥区	施肥区	無施肥区	施肥区	無施肥区	施肥区	無施肥区
白川2号	1977.10 スギ12年生	(163) 1.37	0.84	(155) 0.51	0.33	(119) 1.07	0.90	(160) 0.13	0.08	(80) 0.08	0.10
下呂1号	1978.10 スギ15年生	(93) 1.36	1.47	(127) 0.19	0.15	(96) 0.80	0.83	(102) 1.45	1.42	(100) 0.08	0.08
明方3号	1962.6 スギ23年生	(120) 2.06	1.72	(113) 0.09	0.08	(91) 0.52	0.57	(119) 0.75	0.63	(94) 0.16	0.17
	1977.8 スギ38年生	(114) 1.85	1.62	(154) 0.20	0.13	(113) 0.70	0.62	(105) 1.34	1.28	(113) 0.17	0.15

()無施肥区を100とした指数

1回の施肥による肥培木の葉の養分濃度の変化について、明方3号試験地(スギ23年生)で検討すると、肥培木の含有率は、窒素2.06%で無肥培木よりも20%多く、磷は0.09%で無肥培木よりも13%多く、加里は0.52%で無肥培木よりも9%少なかった。カルシウムは、肥培木で0.75%と無肥培木よりも19%多く、マグネシウムは0.16%で無肥培木と含有率に殆んど差異がみられなかった。

次に、施肥回数が4~7回、施肥開始後11~16年経過した肥培木では、窒素は白川2号試験地1.37%で無肥培木よりも63%多く、下呂1号試験地1.36%で無肥培木よりも7%少なく、明方3号試験地1.85%で無肥培木よりも14%多かった。

磷は、白川2号、下呂1号及び明方3号の各試験地で、肥培木の含有率がそれぞれ0.51%、0.19%、0.20%で、いずれも無肥培木よりも55%、27%、54%多かった。

加里成分は、白川2号、明方3号において肥培木の含有率がそれぞれ1.07%、0.70%であって、無肥培木よりも19%、13%多かったが、下呂1号試験地は肥培木の含有率が0.80%で無肥培木と殆んど差異が認められなかった。

カルシウム成分は白川2号試験地で、肥培木の含有率が0.13%を示し、無肥培木より60%含有量が多かったが、下呂1号、明方3号では、肥培木の含有率はそれぞれ1.45%、1.34%を示し、

無肥培木と殆んど差がなかった。

マグネシウム成分は、白川2号試験地では肥培木の含有率が0.08%で無肥培木よりも20%少なかったが、下呂1号試験地では肥培木の含有率が0.08%で無肥培木と差がみられなかった。明方3号試験地では、肥培木の含有率が0.17%を示し無肥培木よりも13%多かった。

各栄養成分の含有率について総括してみると、施肥回数1回で施肥後1年目の事例では、窒素、磷酸、カルシウムについては、肥培により増加したが、加里、マグネシウムで殆んど差異がみられなかった。

施肥回数が多く施肥開始後の経過年数が長かった事例では、窒素、磷酸、加里は肥培により増加したが、カルシウム、マグネシウムでははっきりした傾向が認められなかった。

針葉の養分含有率が、肥培によってどう変化するかについての報告はかなり多い。^{3) 6) 7) 18) 19) 43) 44) 49) 51) 52) 53) 55) 56) 151) 152)}

これらの報告の主な結果について、まとめて表12に示した。

表12 針葉中の栄養成分含有量と肥培効果

No.	樹種 林齢	第1回施肥後の経過年数	施肥回数	肥効指数			肥培木の養分含有率					文 献		
				樹高	胸高直径	材積	N%	P ₂ O ₅ %	K ₂ O%	CaO%	MgO%			
1	スギ 7年生	7	3	107	117	147	1.64 (148)	0.34 (94)	1.06 (109)				原田洗ら ⁴³⁾	1964
2	スギ 15年生	15	4	110	114	139	1.06 (107)	0.28 (112)	0.76 (79)	0.98 (80)	0.21 (91)		伊藤守夫ら ⁷⁾	1975
3	スギ 4年生	4	2	178	240	—	1.26 (110)	0.17 (142)	1.53* (182)	0.48* (67)	0.25* (86)		河田弘ら ³⁾	1966
4	スギ 5年生	5	1	127	129	—	0.90 (120)	0.21 (117)	1.12 (81)		—		佐藤俊ら ⁴⁹⁾	1964
5	スギ 7年生	6	3	150	148	—	1.23 (108)	0.18* (120)	1.01* (115)	0.68* (106)	0.20* (105)		河田弘ら ⁶⁾	1968
6	スギ 7年生	7	3	149	167	—	0.71 (86)	0.22 (116)	0.88 (91)				塘ら ⁵¹⁾	1962
7	スギ 10年生	10	4	231	258	—	1.37 (165)	0.20* (222)	1.04* (139)	0.44* (42)	0.19* (127)		河田弘ら ⁵⁴⁾	1972
8	スギ 12年生	5	3	123	135	138	1.25 (111)	0.40 (125)	0.85 (100)				伊藤守夫 ¹⁸⁾	1972
9	スギ 23年生	6	3	126	128	118	1.28 (102)	0.38 (109)	0.88 (97)				〃	〃
10	スギ 35年生	7	3	136	123	121	1.25 (100)	0.40 (114)	0.80 (114)				〃	〃
11	スギ 44年生	4	3	114	103	—	1.11 (103)	0.25* (119)	0.62* (138)				川谷ら ¹⁹⁾	1968

()無施肥木を100とした指数 *P%, K%, Ca%, Mg%を示す

いずれの試験地も、林分材積或いは平均樹高(平均胸高直径)において、肥効がほど認められたが、肥培による養分含有率の変化としては、窒素では、No.6、No.9、No.10、No.11の4事例において、肥培木が無肥培木よりも少なかったが、その他の7事例で多かった。

磷酸成分では、No.1の1事例で肥培木の含有率が無肥培木よりも少なかったが、他の10事例ではいずれも肥培によって養分含有率が増大した。

加里成分では、No.2、No.4、No.6、No.8、No.9の5事例で肥培木の含有率が無肥培木よりも少なかった。

カルシウム、マグネシウム成分は、No.5で肥培木の含有率がやゝ多く、No.7では肥培木のカルシウム含有率が少ないがマグネシウム含有率は多かった。No.2、No.3ではカルシウム、マグネシウムいずれも肥培木で少なかった。

すなわち肥培によるカルシウム、マグネシウムの含有率の変化は一定の傾向を認めることができなかった。

また、窒素、リン酸、加里の3要素成分いずれもが、肥培木において含有率が高かったものは、No. 3、No. 5、No. 7の3事例、2要素成分が、肥培木で含有率が高かったのは、No. 1、No. 2、No. 4、No. 8、No. 10、No. 11の6事例、1要素だけが、肥培木で含有率が高かったのは、No. 6、No. 9の2事例であった。

すなわち11事例中で、2要素以上で含有率が、肥培木で高かったものは、その殆んど大半の9事例であった。

著者が行なった試験結果も、これらの報告とほぼ同じで、肥培によって、主として窒素、リン酸の吸収が促され、葉の養分含有率が增大するとみられる。このことが光合成能率を増大させ、林分材積の増加に関係している可能性は、十分考えられることであろう。

B カラマツの養分含有率

B-1 試験方法

この実験は、第一項で検討した林地肥培試験地において行なった。

葉分析試料を採取した林分の肥培管理状態及び肥培効果について表13に示した。

表13 供試林分の生育及び肥培管理状態

試験地	樹種	土壌型	施肥開始時林齢 年	生育及び肥培管理状態						
				試料採取年月	林令年	積算施肥回数	積算窒素成分量 kg/ha	肥効指数		
								樹高	胸高直径	材分材積
高山	カラマツ	BB(Im)	4	1960.7	9	1	30	182	205	※766
明方4号	〃	BD	8	1969.11	14	6	540	94	104	122
国府	〃	BD	17	1969.11	23	7	700	109	114	124
宮川	〃	B/Dd	31	1970.11	37	7	840	(89) 92	(82) 92	(86) 100

※ D²H

() 試験設定時における無施肥区100に対する施肥区の指数

高山試験地(カラマツ9年生林)は施肥回数が1回であるが、明方4号(同14年生林)、国府(同23年生林)、宮川(同37年生林)の各試験地は、施肥回数6~7回が多い。

肥培効果は、明方4号試験地でははっきりしなかったが、その他では、いずれもかなりの効果が認められた。

葉分析試料の採取は、試験区ごとに樹高、胸高直径の平均的な3~4本の供試木を選定し、それぞれの供試木で、陽光が十分に当たった3~4方向にのびた枝の先端部から針葉を採取し、それらを混ぜ合わせて分析に供した。

試料は乾燥粉末化し、乾物2gを湿式灰化し、窒素はケールダール法、リン酸はモリブデンブルー法、カリは炎光分析法、カルシウム、マグネシウムはEDTA法によって定量した。

II-2 試験結果

試験結果を表14に示した。

肥培効果が、ややはっきりしなかった明方4号では、針葉中の養分含有率は、加里で肥培木が1.04%で無肥培木よりも4.0%多かったが、窒素、リン酸では、肥培木で1.40%、0.23%で無肥培木よりも8%、2.9%含有量が少なかった。

表 14 針葉中の栄養成分含有量

乾物%

試験地	採葉時期	成分		N		P ₂ O ₅		K ₂ O		CaO		MgO	
		試験地		施肥区	無施肥区	施肥区	無施肥区	施肥区	無施肥区	施肥区	無施肥区	施肥区	無施肥区
		()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()
高山試験地	カラマツ9年生 1960年7月	(325) 2.60	0.80	(110) 0.23	0.21	(125) 2.50	2.00	(119) 0.32	0.27	(125) 0.25	0.20		
明方4号試験地	カラマツ14年生 1969年11月	(92) 1.40	1.53	(71) 0.23	0.32	(140) 1.04	0.74	—	—	—	—		
国府試験地	カラマツ23年生 1969年11月	(117) 2.16	1.85	(163) 0.30	0.18	(99) 1.22	1.24	—	—	—	—		
宮川試験地	カラマツ37年生 1970年11月	(119) 2.39	2.01	(107) 0.35	0.32	(113) 0.54	0.48	—	—	—	—		

() 無施肥区を100とした指数

肥培効果が、かなり認められた他の3試験地では、窒素は高山が肥培木で2.60%、国府2.16%、宮川2.39%で、いずれも無肥培木よりも、それぞれ225%、17%、19%含有量が多かった。

磷酸は、高山0.23%、国府0.30%、宮川0.35%で、いずれも無肥培木よりも、それぞれ10%、63%、7%含有量が多く、加里は、高山2.50%、宮川0.54%で、それぞれ無肥培木よりも25%、13%含有量が多かった。ただ国府では、加里が肥培木で1.22%で無肥培木とほとんど含有量に差が認められなかった。

カルシウム、マグネシウムは、高山でそれぞれ0.32%、0.25%で、無肥培木よりも19%、25%含有量が多かった。

カラマツの葉の養分含有率の季節変化については、中村⁵⁹⁾(1961)の研究があり、窒素及び磷酸は、ほぼ同じ傾向の変化を示し、7月から8月にかけて含有率が減少し、9月に再び上昇し、以後、減少して11月に最低となる。カルシウム、マグネシウムは、逆に秋にむかって漸増の傾向がみられたと報告している。

片桐¹⁴⁰⁾(1973)は、落葉広葉樹林のリター・フォールの葉の養分含有率の季節変化をしらべ、N、Kで春から秋にかけて含有率は低下の傾向がみられ、Pは8月～9月で最低となり10月以降は再び上昇する傾向があるが、Ca、Mgでは、これらと逆に秋に向かって高くなる傾向があるとしている。

本実験での葉分析試料は、高山試験地で7月、その他の試験地で11月であったので、この2つの地区間での比較は成りたないが、同一地区で施肥による変化をみるには、重大な欠点とはならないであろう。

カラマツの肥培効果と針葉中の栄養成分の含有率の関係についての研究は比較的少ない。^{49) 57) 58) 59) 60) 141) 142)}

河田⁵⁸⁾(1964)は、肥培効果が著しかったカラマツ3年生造林地において、肥培木の葉の窒素含有率は、無肥木と殆んど差がみられなかったが、磷酸は、0.41%～0.46%と無肥培木よりも38%～43%多く、加里も0.94%～0.95%と無肥培木よりも32%～61%多かったと報告している。

佐藤⁴⁹⁾(1964)は肥培効果が認められたカラマツ7年生林分において、窒素は2.20%、磷酸は0.42%で、いずれも無肥培木よりも12%、17%多かったが、加里は殆んど無肥培木と差がみられなかったと報告している。

以上のようにカラマツの肥培木の針葉中の窒素、磷酸、加里成分について検討したが、本実験結果とほぼ同じ傾向が示され、肥培効果が認められた試験地においては、肥培木の3要素成分の含有率はほぼ増大するものと考えられる。

Ⅲ まとめ

施肥によって、面積当りの葉量ならびに葉の養分含有率の増加がおこるかどうかは問題と考えられる。

植栽直後の造林地や未閉鎖の若齢林では、葉量の増加は、個体レベルでおこるが、閉鎖林分では、面積当りの林分葉量として測定する必要がある。

こゝでは、カラマツ肥培林分の葉量は乾物で無肥培林分の1.5倍の4.6ton/haであったが、その他の研究においても、肥培林分は無肥培林よりも13~110%^{123) 134) 135)}林分当りの葉量が多かったことが報告されており、肥培林分や地位が良好な林分では、無肥培林分や地位が低い林分よりも葉量は増加するようである。

葉の養分含有率は、スギ肥培林分においては、窒素、リン酸は無肥培林分よりもそれぞれ14~63%、13~55%増加したが、場合によっては増加しない例もみられた。

とくに加里、カルシウム、マグネシウムは、肥培木で増加する場合と肥培木の方が少ない場合とがみられ一定の傾向が認められなかった。

このことは他の研究例においても、同様な傾向が示されている。

カラマツ肥培林分においては、窒素、リン酸、加里はいずれの場合にあっても、無肥培林分よりもそれぞれ17~44%、7~63%、13~25%増加したが、他の研究事例においては増加しない場合もみられた。

葉の養分含有率と光合成能率との関係については、次のような報告がある。

宮島ら⁶¹⁾(1979)は、窒素の含有率が増加するにつれて光合成速度も増加し、リン酸の含有率は、窒素の濃度が十分高い場合には、リン酸の含有率の増加にともなって光合成が増大するが、加里ははっきりした傾向がみられなかったと述べている。

また、水稻において、窒素と光合成速度は、正の相関が示され、窒素の含有率の増加にともなって原形質蛋白の含有率が増加し、これが光合成の促進につながることも、村田、長田(1959)、武田・玖村(1959)、津野ら(1959)、戸丸ら¹¹⁹⁾(1959)によって報告されている。

このように、葉の養分含有率の増加によって、光合成能率が高かまるが、この含有率がある一定濃度以上に増加しても、林木の生長は、それ以上増加しなくなるとされている。

我が国の林地は、傾斜が急で降雨量が多いので、林地土壌の表層の流亡が起りやすく、流亡に際しては、粒径の細い粘土部分が流亡し、林地土壌は一般に貧栄養性だとされている。(塘⁵¹⁾1962)

栄養成分のうち、とりわけ窒素、リン酸成分が欠乏しているため、林地肥培によって土壌及び林木の葉の含有率が増大することは、十分に可能であるものと考えられる。

施肥によって土壌に与えられた窒素成分は後述するように、土壌によって窒素の消長が異なるために、必ずしも、すべてが林木に充分吸収されるとは限らない。

だから施肥、葉の養分含有率の増加、生長増大という関係が成立するが、種々の条件によって、同じ施肥を行なっても、肥効の発現過程に違いが認められることになるといえる。なお、このことについては後述する。

この中で、施肥によって生長が増大しても、葉の養分含有率が、無肥培木よりも高くない場合がある。施肥が林分葉量と葉の養分含有率に影響を与えることは明らかだとしても、肥培効果としてのあらわれ方は、林地によって一様ではない。土壌条件のちがいでによる肥培効果のあらわれ方についての検討が必要となる。

第三項 土壌の性質と肥培効果及び肥培による土壌の変化

前項において、ほぼ同じような林齢の林分で、同じような施肥を行なった場合でも、葉の養分含有率の増大がみられない場合があることを述べた。

そして、また、施肥によって葉の養分含有率は増加しないが、生長が増大する事例もあることを示した。このような肥効の違いは、一般に土壌条件によって、施肥された養分の土壌中での動きが違ってくるからだと予想できる。

こゝでは、土壌の性質と肥効のムラについて、土壌中の施肥窒素の動態との関連で検討するとともに、連続施肥が林地土壌に、どのような変化を与えるかということについても検討を行なった。

I 土壌条件と肥効のバラツキ

土壌条件と肥培効果に関する研究はいろいろあって、肥効のバラツキが示されている。

桑原⁴¹⁾(1964)は、スギについて、BB型土壌、Bdd型土壌での肥効の比較を行ない、BB型では肥効が大きいが、肥効の低下は早いのに対して、Bdd型では、肥効は小さく持続性があると報告している。

一般に、BB型はBdd型よりも乾燥しており、瘠悪であるから貧養性で、C/Nが大きい土壌で肥効が大きいということになる。

岩川⁴²⁾(1968)は、スギ植栽木肥培試験において、肥効指数はBD型>BC型>BB型、また原田⁴³⁾(1965)は、スギについて、BC型で肥効がみられなかったが、BD型で肥効が認められたと報告している。

これらは、前の試験結果とは逆であり、適潤性でC/Nの小さなBD型で肥効が大きかったことになる。

宮島⁴⁴⁾⁴⁵⁾(1964、1966)は、スギでは砂土よりも埴質土で肥効が大きく、窒素の吸収効率も大きい、ヒノキでは、砂質壤土、埴壤土、重埴土の順に肥効が小さいという結果を示している。

これらの研究結果にみられるように、肥培効果のバラツキと土壌の栄養条件との関係について得られた結果は、必ずしも同じではないようである。

そこで、施肥窒素の土壌中での動きをしらべ、それと肥効との関係について検討を試みた。

II 土壌中の無機態窒素と肥培効果*

施肥された窒素の土壌中での消長には、土壌条件、気象条件など多様な要因が関係するが、施肥された窒素のいくへは、肥培効果に直接つながる重要な問題である。

このような観点から、第一節においてとりあげた肥培試験地について、施肥された窒素の消長と肥培効果との関係をしらべた。

1 試験方法

この実験に用いた肥培試験地は、カラマツ29年生国府試験地、スギ38年生明方3号試験地、スギ27年生金山2号試験地及びスギ16年生下呂1号試験地であるが、立地条件は次のとおりである。

国府は標高760m、積雪量約100cm、年平均気温10.6℃と寒冷、積雪地域にあり、年間降水量は約1800mmと少く、BD型土壌である。

明方3号は、標高700m、積雪量約100cm、年平均気温10.9℃で低いが、年間降水量は約3500mmと極めて多く、Bd型土壌である。

金山2号は、標高500m、積雪量20cmであるが、年平均気温13.5℃、年間降水量約2300mmで本県における平均的な値を示している。土壌はBdd型である。

下呂1号は、標高400m、積雪量20cm、年平均気温12.5℃、年間降水量約2500mm、土壌はBdd型である。

これらの試験地において、次に示すような追肥を行ない施肥窒素の消長について、月別の動態を検討した。

国府は1975年5月、窒素成分でha当り150kg、明方3号は、1977年5月、窒素成分でha当り200kg、金山2号は、1978年6月、窒素成分でha当り200kg、下呂1号は、1979年

* この報告の内容の一部は文献151に発表した。

6月、窒素成分でha当り180kg、それぞれ化成肥料を地表バラマキ散布した。

土壌分析試料は、施肥区、無施肥区の中であらかじめ設定された5地点から、A₁層、A層について毎月採取し、各層位ごとに混ぜ合わせて1点とした。A層の厚さは、試験地によって違うが、深さ5cm、15cm、20cm、30cmの部分のいずれか2~3で試料を採取した。

土壌の採取は、国府、明方3号は5月から10月、金山2号、下呂1号は6月から11月にかけて、毎月1回ずつ行なった。

土壌の無機態窒素の分析は、蒸溜法(Bremner法の改変)によりNH₄-N、NO₃-Nを測定した。

その他に、土壌の理化学的性質をしらべるために、これら4試験地及び白川2号試験地(第一節第一項1)から、化学試料及び円筒試料を深さ0~4cm、20~24cm(15~19cm)、30~34cmから採取した。試験区内の数カ所に、土壌断面を設定し、それぞれの深さから、化学試料及び円筒を採取した。化学試料は同一の深さごとに試料を混ぜ合わせ1点として分析に供した。円筒試料はそれぞれ別個に処理した。

化学分析方法は、PH、ガラス電極法、全炭素、Tiurin法、全窒素、Kjeldahl法によった。円筒処理は国有林野土壌調査方法によった。

葉分析試料は、各試験区ごとに5個体の林木の樹冠上方の十分に陽光のあたる部分で、当年生葉を8月に採取した。試料は乾燥後粉碎し、試験区ごとに混ぜあわせて1点とした。Nの分析は、ケルダール法によった。

2 試験結果

A 無機態窒素の変動

(i) 無機態窒素の経時変化

試験地ごとに、無機態窒素の変動をしらべた。

国府試験地

試験結果を図2.4及び付表4に示した。

F層のNH₄-Nをみると、施肥区において施肥後1カ月の6月に最高の137ppmとなったが、以後少し低下して9月までは、ほぼ60ppmレベルで変動し10月には10ppmに低下した。

これに対して無施肥区は、5月~8月の間施肥区のような大きな変化はなく、およそ10~5ppmで、9月にやや大きく20ppmとなったが10月には5ppmに低下した。

すなわち施肥区のNH₄-Nは、施肥後5カ月間(6~10月)無施肥区よりもかなり高い濃度レベルを維持していた。

F層のNO₃-Nは施肥区においては5月が30ppmと高かったが、施肥後1カ月の6月で3ppmに低下し、以後7~15ppmの間になった。

一方無施肥区では、NH₄-Nと同様、明らかな月別変化はなく、5~10月の間、およそ1~4ppmの間であって、全体として施

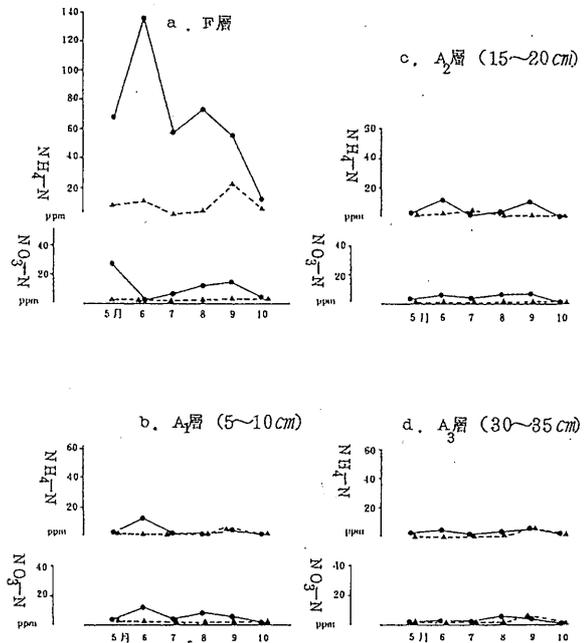


図2.4 a~d 土壌中の施肥窒素の変動(1)
—カラマツ29年生国府試験地—

●施肥区 ▲無施肥区

肥区より低かった。

A層上部(A₁、A₂)におけるNH₄-Nは、施肥区において施肥後1カ月の6月に10 ppmとなったが、その後は無施肥区と差がなく、いずれも2~4 ppmの間にあった。

A層上部(A₁、A₂)のNO₃-Nは、施肥区1~12 ppmに対し無施肥区では1~2 ppmの間であって、施肥区がやや高かった。

A層下部(A₃)のNH₄-Nは、施肥区、無施肥区とも殆んど差異が認められず、2~5 ppmの間で変動していた。

NO₃-Nは施肥区で1~6 ppm、無施肥区で1~5 ppmで、両者に殆んど差はなかった。

以上のように、国府試験地での無機態窒素は、F層において施肥による差異が認められたが、その他の層位では、NH₄-N、NO₃-Nいずれにおいても施肥による無機態Nの増加は、明らかに認められなかった。

このことは地表からバラマキ散布された肥料が、鉍物質土層まで滲透しなかったか或いはその間に林木に吸収または有機態に変化してしまったことを示唆するものである。

明方3号試験地

結果を図25及び付表5に示した。

A₀層のNH₄-Nは、施肥1カ月後の6月に含有率が1226 ppmと極めて高くなったが、7月には急激に低下し45 ppmとなった。この間無施肥区は約20 ppm程度であった。

8月以降は施肥区、無施肥区はともに約30~40 ppmの間にあった。

NO₃-Nは施肥1カ月後の6月に含有率が130 ppmでもっとも高い値を示したが、7月には低下し25 ppmとなり、その後はほぼ同じ値で経過した。無施肥区は6月に20 ppmと高かったが、それ以降は、ほぼ10 ppmを示し施肥区よりも値は低かった。

A層上部(0~5 cm)のNH₄-Nは、A₀層同様施肥区は施肥1カ月後の6月に400 ppmと高く、7月には急激に低下して20 ppmとなり、それ以後無施肥区と違いがなかった。

NO₃-NもNH₄-Nとほぼ同じ経過を示した。すなわち、施肥区で6月に95 ppmとなったが、7月以降では、7~27 ppmで無施肥区とほぼ同じであった。

A層下部(20~35 cm)でもNH₄-Nは、上記2層とほぼ同様であったが、施肥区の6月の濃度は、前2層に比して低く193 ppmであった。7月以降の濃度は両区に差がなくほぼ20 ppm程度でA層上部とほぼ同じであった。

この層のNO₃-Nは、施肥区で6月、7月と2カ月にわたって無施肥区より高く48~57 ppmであった。しかしこの値はともにA₀、A層上部に比べると低い。8月以降の濃度はほぼ10~20 ppmでA層上部とほぼ同じであり無施肥区の2~10 ppmより高かった。

以上のように明方3号試験地の無機態窒素の動態は、国府試験地と異なりNH₄-Nの濃度が極めて

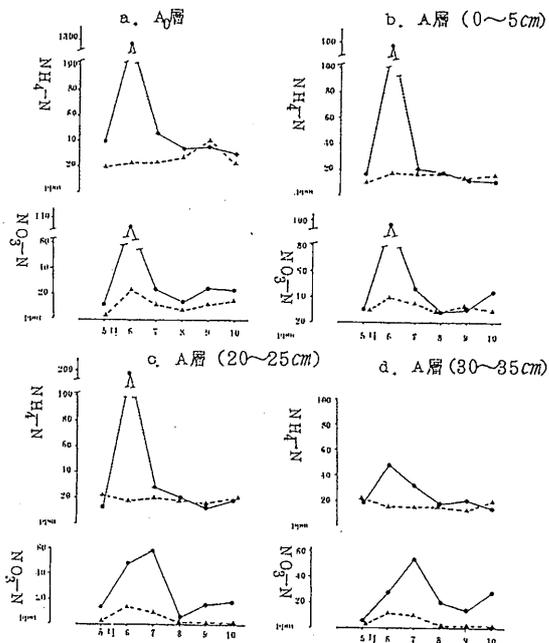


図25 a~d 土壌中の施肥窒素の変動(2)
—スギ38年生明方3号試験地—
● 施肥区 ▲ 無施肥区

高く、その上A層下部においても施肥区の濃度が高かった。NO₃-Nについても各層の最高の濃度が高く、またいずれも施肥区の濃度が高かった。

金山2号試験地

結果を図26及び付表6に示した。

A₀層のNH₄-Nは、施肥区で施肥1カ月後の7月に最高の447ppmとなり、8月に急に低下し約25ppmとなり、以後10~20ppmで無施肥区とほぼ同じであった。

NO₃-Nは、施肥区で7月において最高の300ppmであったが、8月には約10ppmに低下し、以後無施肥区との差も明らかでなかった。

A層上部(0~5cm)のNH₄-Nは、施肥区ではA₀層と同じであるが、最高の濃度は157ppmで低く、8月以後は4~20ppmで無施肥区との間に明らかな違いはなかった。

NO₃-Nの変動もA₀層のそれと類似しているが濃度は低かった。

A層下部(20~25cm)及びB層におけるNH₄-Nの変動は、施肥区の最高濃度がA層下部で60ppm、B層で50ppmであったほかは、A₀、A層とほぼ同じような変動を示した。

NO₃-Nの変動は、前の明方3号試験地と同様、A層下部とB層では、ともに施肥区濃度が7月、8月にわたって高く、その最高は約60ppmでA₁層とほぼ同じであった。9月以後は10~30ppmで無施肥区とほぼ同じかやや高い程度であった。

以上のように金山2号試験地の無機態窒素の変動は、明方3号試験地とほぼ同じであったが、濃度に差異が認められた。

無施肥区のNH₄-Nは、A₀層で金山2号試験地が高いが、A層上部、A層下部では、いずれも明方3号試験地の方が高かった。

無施肥区のNO₃-Nは、明方3号試験地でやや濃度が高いようであった。

施肥区のNH₄-N及びNO₃-Nの最高濃度は、いずれも明方3号試験地が金山2号試験地よりも高かった。

(ii) 無機態窒素の垂直分布

無機態窒素の垂直分布は、3試験地で、それぞれ様相が異なっていた。

国府では、無施肥区の無機態窒素の垂直分布は、F層のNH₄-Nが2~20ppmの間で変動する以外は、いずれの層でも、NH₄-N、NO₃-Nとも極めて含有率が低かった。

これに対して、施肥区では、F層でNH₄-Nが60ppm~140ppm(10月は10ppm)、NO₃-Nが10~30ppm(6月、10月は低い)で、それぞれ無施肥区の含有率よりも高い値を示した。

しかしながら、F層以外の各層では、経時的な変化においては、施肥区、無施肥区の両者に、ほとんど違いがみられなかった。

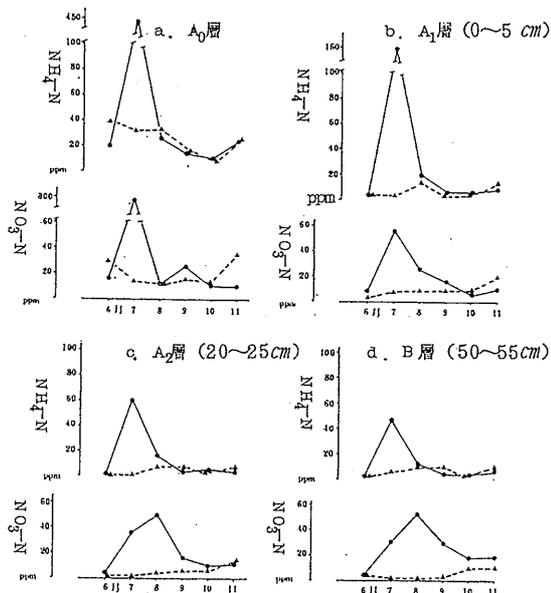


図26 a~d 土壌中の施肥窒素の変動(3)
—スギ27年生金山2号試験地—
● 施肥区 ▲ 無施肥区

明方3号では、無施肥区のNH₄-Nは、各層でほぼ20ppm(A0層はやや高い)を中心として変動していたが、NO₃-Nは、A0層、A層上部で10~20ppmの間にあり、A層下部ではこれよりやや低かった。これに対して施肥区では、NH₄-Nが各層とも6月に最高値を示し、それぞれA0層1300ppm、A層(0~5cm)400ppm、A層(20~25cm)200ppm、A層(30~35cm)50ppmで、いずれも無施肥区よりも含有率は高かった。また各層とも6月以外の各月では、20ppm前後で無施肥区と明らかな違いはみられなかった。また施肥区のNO₃-Nは、6月の最高値が、A0層140ppm、A層(0~5cm)100ppm、A層(20~25cm)60ppm、A層(30~35cm)50ppm、下層ほど低下したが、いずれも無施肥区よりも含有率は高かった。また各層において6月以外の月では、20ppm前後で無施肥よりも含有率は高かった。

すなわち、明方3号では、施肥によって無機態窒素が、A層下部までも含有率が増加した。

金山2号では、無施肥区のNH₄-Nは、A0層では10~40ppmで変動した。その他の層では、10ppm前後であった。NO₃-Nは、A0層で20ppm前後、A1層(0~5cm)で10ppm前後、A2層、B層では、さらに低かった。これに対して、施肥区では、NH₄-Nが各層とも7月で最高値を示し、それぞれA0層450ppm、A1層(0~5cm)160ppm、A2層(20~25cm)60ppm、B層50ppmで、下層ほど低かったが、7月以外の各月の値は、A0層で20ppm前後、それ以外の各層で10ppm前後であって、いずれも無施肥区とほぼ同じであった。またNO₃-Nは、7月の最高値(A2層、B層は、8月)は、A0層300ppm、A1層(0~5cm)60ppm、A2層(20~25cm)50ppm、B層50ppmで、A0層以外は低かった。また7月以外の各月は、10~20ppmで、各層でほぼ同じであり、さらに無施肥と類似していた。

すなわち、金山2号でも明方3号と同様に、無機態窒素は、施肥によってA層下部まで、含有率が增大するが、明方3号の方が下層まで含有率の高まりが大きかった。

以上のように、試験地によって無機態窒素の垂直分布のようすが異なったが、この原因について若干の考察をする。

これらの試験地の土壌の理化学的性質を表15に示した。

表15 土壌の理化学的性質

試験地	試験区	層位 cm	化学的性質					理学的性質				
			PH ^m	y ₁	C%	N%	C/N	容積重	三相組成			
									固相	液相	気相	
国府	施肥区	A1 0~4	4.1	18.5	8.0	0.41	19.5	—	27	37	36	1963年5月 試験地設定 1975年5月 土壌採取
		A2 15~19	4.2	14.0	7.4	0.40	18.5	—	28	44	28	
	無施肥区	A1 0~4	4.2	13.5	9.5	0.32	29.7	—	29	50	21	
		A2 15~19	4.2	11.9	8.5	0.41	20.7	—	22	55	23	
明方 3号	施肥区	A1 0~4	3.9	13.3	19.9	1.30	15.3	47.4	22	49	29	1961年4月 試験地設定
		A2 20~24	4.0	19.1	15.2	1.02	14.9	57.6	27	60	13	
	無施肥区	A3 30~34	4.4	9.9	12.5	0.83	15.1	53.0	24	55	21	1977年5月 土壌採取
		A1 0~4	4.3	13.3	23.7	1.39	17.1	59.2	25	48	27	
		A2 20~24	4.0	17.4	13.3	0.97	13.7	62.2	27	52	21	
		A3 30~34	4.3	17.0	12.1	0.88	13.8	65.5	29	60	11	
下呂 1号	施肥区	A1 0~4	4.0	13.5	5.6	0.31	18.1	60.8	30	38	32	1965年6月 試験地設定
		A2 20~24	4.2	11.7	2.5	0.15	16.7	77.5	33	31	26	
	無施肥区	A1 0~4	4.0	12.3	6.8	0.33	20.6	55.3	30	37	33	1979年6月 土壌採取
		A2 20~24	3.9	7.5	4.2	0.20	21.0	78.5	34	39	27	
金山 2号	無施肥区	A 0~4	3.9	25.6	5.1	0.49	10.4	52.0	27	43	30	1964年5月試験地設定
		A 20~24	3.9	21.2	2.7	0.29	9.3	81.0	39	43	13	1978年6月土壌採取
白川 2号	無施肥区	A1 0~4	4.2	23.7	10.1	0.71	14.2	47.3	20	36	44	1966年6月試験地設定
		A2 15~19	4.5	10.8	5.9	0.42	14.0	54.6	20	37	43	1977年11月土壌採取

試験地の本来の性質をあらわすという意味から無施肥区土壌について比較を試みる。

明方3号及び金山2号で、層位別の土壌の理化学的性質を比較してみると、試験地ごとに y_1 、 C/N は表層、下層でそれ程変りがない。しかしながら、容積重は明方3号で表層から下層にかけて5.9～6.6であるのに対して、金山2号は、5.2～8.1でA層下部の値が急激に大きくなり、下層で土壌が堅密化していることが示されている。このことは、三相組成の固相割合が大きくなっていることから判る。

前述したように、金山2号はA層上部では C/N が小さく、こゝでは施肥により無機態窒素の増大が認められたが、A層下部の土壌の理化学性が悪く堅密なため、明方3号に比らべて、無機態窒素の濃度の高かまりが、下層にまでも及ばなかったものと考えられる。

B 無機化率

施肥前後の土壌中の無機態窒素量の試算を行なった。

試算には、まず、試験区ごとに設けられた代表土壌断面から、層位別に円筒試料を採取し、これを用いて層位別の容積当りの総乾細土重量を算出し、これと前述の層位別の無機態窒素の濃度から、土壌の深さ0～4.0 cmの ha 当りの全窒素量、 NH_4-N 量、 NO_3-N 量を求めた。計算結果を表16に示した。

施肥1カ月後の無機態窒素の含有量は、国府、明方3号、金山2号の施肥区では、それぞれ ha 、深さ0.4 m当りで1.61 kg、41.80 kg、320.8 kgで、無施肥区の4～1.5倍であった。これに対して、下呂1号では、この時期の無機態窒素の含有量は、無施肥区とほとんど変らなかつた。

施肥2カ月後になると、国府、明方3号、金山2号の施肥区土壌においても、無機態窒素の含有量は低下し、国府で5.6 kg/ $ha \cdot 0.4 m$ で無施肥区の約1.4倍、明方3号で129.6 kg/ $ha \cdot 0.4 m$ 、金山2号で130.0 kg/ $ha \cdot 0.4 m$ で、それぞれ無施肥区の2.6倍、3.4倍となったが、明方3号では約29.0 kg/ $ha \cdot 0.4 m$ 低下しており、もっとも大きかった。これに対して、下呂1号の無機態窒素の含有率は、施肥2カ月後で高く、33.3 kg/ $ha \cdot 0.4 m$ で無施肥区の約1.7倍となった。しかし、この値は、他の試験地のもっとも高い値に比らべると小さい。

土壌中の無機態窒素の動態をしらべるにあたって、これらの試験地へ散布した施肥量は、 ha 当り窒素成分で150～200 kgであった。一方、明方3号、金山2号では、前述のように、施肥1カ月後における無機態窒素の含有量は、それぞれ41.8 kg/ $ha \cdot 0.4 m$ 、321 kg/ $ha \cdot 0.4 m$ であった。無施肥区の無機態窒素の含有量が、それぞれ5.5 kg/ $ha \cdot 0.4 m$ 、2.2 kg/ $ha \cdot 0.4 m$ であったので、その差が施肥によって、土壌中で増加した分だとみると、その増加分は、それぞれ、約36.0 kg/ $ha \cdot 0.4 m$ 、約30.0 kg/ $ha \cdot 0.4 m$ となる。後述するように、施肥後、土壌中で生成された無機態窒素は、林木の吸収、水による溶脱あるいは有機態化がおこるから、この値は、この期間に生成された無機態窒素の総量をあらわすものではないが、いずれも施肥された200 kg/ ha の窒素量を上廻っている。このことは、これらの土壌では、施肥によって土壌中にあった有機態窒素の無機化が促進されたということを示唆している。

伊藤¹²⁰⁾(1979)は、スギ11年生、20年生林分において、こゝで示したと同様な試算を行ない施肥によって施肥量の1.4～1.9倍の無機態窒素が、深さ4.5 cmの土壌で増大していることを認め、土壌中の有機態窒素の無機化が促進されたと報告している。

一方、国府、下呂1号では、施肥による無機態窒素の含有量の増加は、それぞれ12.1 kg/ $ha \cdot 0.4 m$ 、13.3 kg/ $ha \cdot 0.4 m$ であって少なかった。

このように、同じような施肥を行なっても、土壌中の無機態窒素の動きは土壌によって異なっていた。そこで、これらの違いが、何故におこるのかを検討するために、土壌の化学的性質を表15に示し対比した。

表15に明らかなように、無機化率が高かった明方3号、金山2号の C/N は、それぞれ1.7、

表1.6 土壌中の窒素量の推定

ha(深さ0.4m)当り

採取日 試験地	1975.5.24(施肥前)						7.24						8.11						9.11						10.11																																																																																																											
	NH ₄ -N			NO ₃ -N			Ni			NH ₄ -N			NO ₃ -N			Ni			NH ₄ -N			NO ₃ -N			Ni			NH ₄ -N			NO ₃ -N			Ni																																																																																																		
	t	kg	%	kg	kg	%	kg	kg	%	kg	kg	%	kg	kg	%	kg	kg	%	kg	kg	%	kg	kg	%	kg	kg	%	kg	kg	%	kg	kg	%																																																																																																			
国 府 集 施 肥 区	4.5						8.8						2.2						2.8						4.5						5.4						1.8						2.9																																																																																									
	1.9			0.8			2.7			0.06			8.8			7.8			(408)			16.1			0.84			2.2			3.4			(140)			5.6			0.12			2.6			7.2			(245)			9.8			0.22			4.5			5.4			(134)			9.9			0.22			1.8			1.1			2.9																																																					
明 方 3 号	4.5						2.8						1.2						2.8						4.0						0.09						2.8						4.7						2.7						7.4						0.16						4.2						0.07																																																											
	1977.5.28 (施肥前)						8.8						2.8						1.2						4.0						0.09						2.8						4.7						2.7						7.4						0.16						4.2						0.07																																																											
金 山 2 号	18.1						380.9						87.1						418.0						2.81						45.0						84.6						129.6						0.72						31.7						16.7						48.4						0.27						24.4						23.1						47.5						0.26						27.6						87.8						(179)						65.4						0.86					
	8.3			5.8			12.8			18.6			0.22			220.9			99.9			(1465)			320.8			3.87			40.5			89.5			130.0			(336)			130.0			1.57			12.0			86.8			48.8			(147)			48.8			0.59			14.7			19.4			84.1			(127)			84.1			0.41			12.4			26.8			(67)			88.7			0.47																																			
下 呂 1 号	8.3						10.7						11.2						21.9						0.26						23.6						15.1						88.7						0.47						16.4						16.9						38.8						0.40						9.6						17.8						26.9						0.32						23.6						84.1						57.7						0.70											
	8.8			8.8			17.1			0.21			10.7			11.2			21.9			0.26			23.6			15.1			88.7			0.47			16.4			16.9			38.8			0.40			9.6			17.8			26.9			0.32			23.6			84.1			57.7			0.70																																																														
施 肥 区	5.9						13.8						5.6						19.4						0.33						16.2						17.1						88.3						0.56						17.1						14.9						32.0						0.54						20.4						13.5						32.0						0.57						16.4						5.4						21.3						0.37											
	5.9			14.5			8.7			23.2			0.39			13.8			5.6			(107)			19.4			0.33			16.2			17.1			(167)			88.3			0.56			17.1			14.9			(142)			32.0			0.54			20.4			13.5			(140)			32.0			0.57			16.4			5.4			21.3			0.37																																															
集 施 肥 区	5.9						15.0						3.1						18.1						0.31						12.0						8.0						20.0						0.34						12.1						10.4						22.5						0.38						17.4						6.8						31.2						0.41						10.6						8.4						19.0						0.32											
	5.9			13.2			3.3			16.5			0.28			15.0			3.1			18.1			0.31			12.0			8.0			20.0			0.34			12.1			10.4			22.5			0.38			17.4			6.8			31.2			0.41			10.6			8.4			19.0			0.32																																																											

() 無施肥区100に対する比数 NT:全窒素, Ni=(NH₄-N)+(NO₃-N)

10で、国府、下呂1号の30、21よりも小さかった。

また、明方3号、金山2号の y_1 は、それぞれ3、5であって、国府、下呂1号の17、12よりも小さく酸性が弱い。

河原¹²²⁾(1970)によれば、無機化率はC/Nとの間に、やや明らかな関係があり、C/Nが大きいものは、無機化率が低かったとしている。すなわち、C/Nが無機化を支配する重要な要因の一つであろう。

C. 無機態窒素と肥効

明方3号、金山2号、下呂1号肥培試験地の肥効については、すでに第一節第一項で述べたが、要約すると次のようであった。

明方3号は、試験開始後16年目の1977年5月に、追肥をした。この追肥によって、肥効指数は林分材積132、平均樹高106、平均胸高直径116(試験開始後7年目の肥効指数は、林分材積137、平均樹高108、平均胸高直径111)で肥効が認められた。

金山2号は試験開始後14年目の1978年6月に追肥を行なっている。施肥後から生長休止期の12月までの樹幹位置別の直径の年間生長量は、樹幹位置1.3m、3.3m、5.3mそれぞれにおいて、施肥区で0.6cm、0.4cm、0.4cmであったのに対して、無施肥区で0.2cm、0.1cm、0.1cmと極めて少なく、明らかに肥効が認められた。

下呂1号は、試験開始後15年目の1979年6月に追肥を行なった。生長休止期の生育状態は、肥効指数で平均樹高112、平均胸高直径110(試験開始後13年目の肥効指数、平均樹高142、平均胸高直径126)であって、追肥による肥効は認められなかった。

また、それぞれの試験地において、同時に施された肥料の吸収状態を知るために、針葉中の養分含有率についてしらべ、その結果を表17に示したが、肥効がみられた明方3号及び金山2号では、いずれもN、P、Kが施肥区で高くなっていたが、肥効が認められなかった下呂1号は、Kが施肥区で高かったほかは、N、Pいずれも無施肥区と変らなかった。

すなわち、施肥によって針葉中の養分含有率が高かった明方3号、金山2号は、林分材積或いは平均樹高、平均胸高直径に肥効があらわれ、養分含有率の高かまりが認められなかった下呂1号は、肥効は認められなかった。

表17 針葉中の養分濃度

試験地 項目	明方3号			金山2号			下呂1号		
	N%	P%	K%	N%	P%	K%	N%	P%	K%
施肥区	1.85	0.20	0.70	1.97	0.19	0.80	1.48	0.17	1.09
無施肥区	1.62	0.13	0.62	1.53	0.14	0.47	1.37	0.16	0.99
比数	114	154	113	129	136	170	108	106	110
試料採取	1977年8月			1978年8月			1979年8月		

これらの場合、土壌中の無機態窒素とどのような関係があるかについて検討しよう。

先に、各試験地土壌で無機態窒素の総量の全窒素に対する割合を無機化率としてあらわし、その推定値を表16に示した。さらに、これを図示したのが図27である。

明方3号、金山2号は、施肥1カ月後、A層上部及び下部のいずれにおいても、無機化率が1.0～4.5率と高い値を示したが、下呂1号では、施肥によってA層上部、下部のいずれにおいても、無機化率の極大値がはっきりとはみられず、ほとんどの場合0.5%で低かった。すなわち、明方3号、金山2号は施肥によって土壌中の無機態窒素が増加し、林木による養分の吸収が促進され、その結果、林分材積平均樹高、平均胸高直径に肥効があらわれたものだと考えられる。

以上のように、肥効が認められるかどうかは、施した肥料によって、土壌中の窒素の無機化が促されるかどうかと関係があるように思われる。そしてこのことは土壌のC/Nとの関係が大きい。

土壌中での施肥窒素の動態は、複雑であって未解決の面が極めて多い。土壌中の或る時点での無機態窒素の現存量は、有機態窒素の無機化、降水や窒素固定により供給される窒素などの収入と、林木による吸収、有機化及び水による溶脱などの支出の釣合いの結果である。従って、土壌中の現存量は無機化の総量を示すものではない。施肥区で無機態窒素の現存量が大きいのは、この収支において収入が大きいか支出が少ないかによるものであるが、林分状態においては、支出が少ないと考えるよりも施肥そのものによる増加や既存の有機態窒素の無機化が促進された結果、収入が大きくなったものと考えの方が妥当のように考えられる。そして、この無機態窒素の増加が、林木の吸収を促進し、針葉

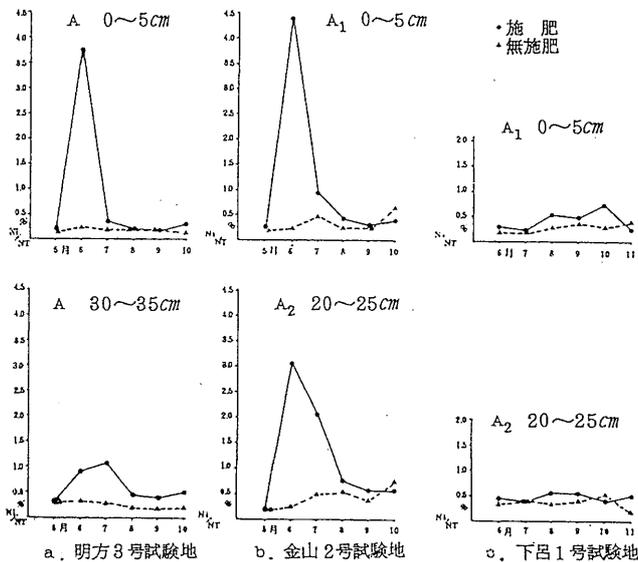


図 27 a~c 土壌の無機化率の変化
NT=全窒素 Ni=(NH₄-N)+(NO₃-N)

中の窒素含有率を高め、肥培効果につながることは、すでに考察したとおりである。

一方、同じように施肥しても肥効がない例があり、こゝでも3例で無機態窒素の生成量が違っている。この違いには、C/Nを考えねばなるまい。

一般に森林土壌のA0層やA層上部には未分解の有機物が多く、C/Nも大きいので、無機態窒素の濃度は一般に低く、それらは常に有機物の分解のために、有機化の傾向があるものと予想できる。

国府試験地における施肥窒素の動向は、図24で示したように、F層では施肥区の濃度が高かったが、A層では無施肥区と差異がみられなかった。すなわち、施肥された窒素が、F層で有機化され、下層にまで影響を及ぼさなかったのではないかと予想され、そのため林木への吸収量の増加もみられず肥培効率が低かったものと考えられる。

無機態窒素の濃度とC/Nとの関係が、上述のとおりだとすると、C/Nが大きなBA、BB型で肥効が小さく、C/Nが小さなBD、BE型で肥効が大きいということになるが、すでに述べたように必ずしもそうではない。

C/Nが大きな土壌でも、窒素を多量に投入した場合はC/Nが低下すると予想されるから、C/Nが小さな土壌で適量施肥を行なった場合と同じように、無機態窒素が増大し肥効があらわれるかも知れない。肥効にムラがみられるのは、C/Nと施肥量との関係やその他、酸度、気候、土壌の物理性などの条件の組合せによるものと思われる。

しかしながら、肥料の多量施肥は、反面、無機態窒素の流亡、脱窒などの原因となる。すなわち、土壌のC/Nが低下し、窒素含有率が高くなると、NO₃-Nの生成が盛んになり、これは流亡する。

前に示した明方3号、金山2号のA層下部、B層において、NH₄-N、NO₃-Nの濃度が高かったことは、土壌の上層部からの流亡であるものとするれば、これらの肥培林分では、施肥窒素の下方への移動が盛んなことを示しており、下層への流出のおそれを示唆しているのだから、施肥量については、このことを考慮した検討が必要である。

Ⅲ 肥培による土壌の性質変化

施肥を育林保育の中にとり入れるためには、肥料の施与が、森林土壌にどのような影響を及ぼすかについて検討しておく必要がある。

1. 試験方法

A0層の堆積状態の測定は、カラマツ23年国府試験地(1963年設定時林齢17年生、第一節第一項Ⅲ)及びカラマツ36年生宮川試験地(1963年設定時林齢30年生、第一節第一項Ⅲ)において、1969年8月に行なった。

各試験区(面積600m²)において、1m×1mの標準区を4カ所ずつ設定し、そこに堆積しているA0層を採取し生重量を現地で測定した。さらに含水率を測定するために、同時に試料を採取した。

土壌の酸性は、Ⅱの国府、明方3号、下呂1号、金山2号、白川2号の各試験地の分析値を用いて検討した。

2 試験結果

(1) A0層の堆積

測定結果を表18に示した。

国府試験地では、施肥区が乾物重で4.2ton/haあり、無施肥区の1.7倍、宮川試験地では、施肥区が乾物重で2.9ton/haあり無施肥区の1.5倍、A0層の堆積は、いずれでも施肥区で多かった。

四手井ら⁶²⁾(1962)は、林齢28~48年生カラマツ林において、A0層の乾物量が1.3~1.4ton/haあったと報告しているが、こゝで行なった試験の無施肥林分の2.0~2.5ton/haと比較すると少なかった。

佐藤¹⁵⁾(1974)は、スギ及びヒノキ11年生林分において、施肥によりA0層の堆積量は、それぞれ無施肥区の1.4倍、2.5倍で多かったと報告している。

森林の成立にともなうA0層堆積量の変化についての測定例は、極めて少ないが、堤⁶⁷⁾(1964)は、高野山において、スギ林の生育段階にともなう土壌の発達過程について調査を行なっている。

すなわち、森林の成立にともなって、有機物供給量は増加するが、それと同時に、A0層有機物の分解速度も増加する。A0層の堆積量は、この両者の釣合いによって、定常状態となる。この定常状態に達する速度には、分解速度の影響が大きく、BD型、BE型土壌で早く、BB型、BA型土壌で遅いとみられる。この時のA0層の堆積量は、BD型、BE型土壌で少く、BB型、BA型土壌で多くなるとみられる。

さきに第二項1で、カラマツ23年生肥培林の林分当りの着葉量が、乾物重で無施肥林の約1.5倍に増加し、肥培林では一般に林分の着葉量が増大するということを述べた。したがって、肥培林においては、リターフォールが多くなることもありうるものと考えられる。

施肥によって、A0層の堆積量が増えるのは、リターフォールの増大が、その一つの原因であると考えられよう。

一方、葉の養分含有率の増大がおこるから、分解速度もまた大きくなる可能性がある。施肥によるA0層量の変化は、これらの釣合の経時的な変化によって決まるが、リターの増大と分解速度の増大は、土壌中の有機物を増加させ、それに伴って、窒素がふえるとすると、土壌の諸性質が改善され

表18 A0層の堆積量

試験地	試験区	生産量 ton/ha	乾物量 ton/ha
国府	施肥区	$\frac{56}{47\sim65}$	$\frac{42}{35\sim49}$ (168)
	無施肥区	$\frac{35}{34\sim36}$	$\frac{25}{24\sim26}$ (100)
宮川	施肥区	$\frac{38}{35\sim41}$	$\frac{29}{27\sim31}$ (145)
	無施肥区	$\frac{28}{16\sim40}$	$\frac{20}{11\sim28}$ (100)

平均値 ()無施肥区を100とした指数
測定値の範囲

ることが期待される。(堤⁶³⁾(1963)

施肥は、A₀層の堆積速度を早めているとみられるが、さらに土壤に与える効果については、もっと時間をかけた調査が必要となろう。

(2) 酸性

分析結果は表15に示した。

PHはA₁層では、国府及び明方3号において、施肥区でやゝ酸性が強い傾向がみられたが、下呂1号では変らなかった。

置換酸度(y_1)は、国府、明方3号及び下呂1号いずれの試験地でも、A₁層、A₂層において、施肥区で明らかに値が大きく酸性が強いことが示された。

塘ら⁵¹⁾(1962)、宮島ら⁴⁴⁾(1964)、川名ら¹⁹⁾(1968)、河田ら⁵⁴⁾(1972)、佐藤ら¹⁵⁾(1974)は、スギ幼齡林及びスギ壯齡林において、施肥林土壤が酸性化すると報告している。

また岩坪ら¹⁴³⁾(1980)は、し尿処理水の林地散布実験において、散布後3年目から林地内の溪流水へカリウム、ナトリウム、マグネシウム、カルシウムなどのミネラル類の流出が増加したが、この理由として、高濃度のNH₄-Nにより置換されたミネラルのイオンが抽出されたか、或いはNH₄-NがNO₃-Nに変る際に発生する水素イオンによって、置換抽出されたという可能性が考えられるとし化成肥料による肥培も同様で、NH₄-Nの多量投下は、土壤の酸性化を招く可能性があることを指摘している。

これらのことから、酸度の低下は、施肥による影響だと考えてよく、その結果、塩基類の流出をさらに大きくする恐れがある。この点については、今度の検討を要するが、林地肥培の実際面において、十分注意する必要があるものと考えられる。

IV まとめ

施肥された肥料成分は、土壤条件によっては、林木に十分吸収されずに、肥効があらわれないことがあり、肥培効果にはムラがある。

肥効のムラは、種々の研究事例によっても伺われる。瘠悪で乾性な土壤で肥効が認められたり、また逆に理化学性のよい適潤性土壤で肥効がみられたりすることがある。

肥効ムラについては、土壤中の施肥窒素の動態との関連での説明が可能である。

試験地(明方3号、金山2号)によっては、施肥によって土壤中の無機態窒素の含有量の増加分が施肥量よりも大きく上廻ったが、これは有機態窒素の無機化が促進されたとみてよい。

一方、他の試験地(国府、下呂1号)では、施肥によって土壤中の無機態窒素の含有量の増加はみられなかった。

施肥によって土壤中の無機態窒素の増加した試験地(明方3号、金山2号)では、針葉中のN、P、K濃度が施肥で高かまり、その結果、林分材積、平均樹高、平均胸高直径に肥効があらわれた。無機態窒素が増加しなかった試験地(国府、下呂1号)では、針葉中の濃度の高かまりが認められず、生育状態でも肥効がみられなかった。

肥効は施した肥料によって、土壤中の窒素の無機化率が、高かまるかどうかと関連しており、これには土壤のC/Nとの関係が大きい。

C/Nが大きな土壤は、一般に土壤中に未分解の有機物が多く、施肥された窒素はC/Nを小さくするのに消費されるとすると、無機化率の増加には著しく影響を及ぼさなくて、肥効がみられよいことになる。

このような場合は、窒素の施肥によって、C/Nの値を低下させることが必要となろう。

林地肥培では、すでに述べたように、林分の生育段階ごとに施肥されるので、全過程を合計すると多量の肥料が林地へ施されることになる。

このことは、林地土壤の性質を変化させることが考えられる。そこでA₀層の堆積量及び酸性について検討した。

林地表面のA₀層は、定常状態ではリターの供給とその分解の速さによって決まる。BD型、BE型土壤では、分解が速くA₀層が少なく、BA型、BB型では分解が抑制されて多いとされている。

施肥によってリターフオールが多くなることがあるので、肥培林土壌では、A₀層の堆積量が増大する。他方では、施肥によって葉の養分含有率が高まるから分解速度が大きくなり、経時的変化後の釣合いによって、A₀層量は決まってくる。いずれにしろ、土壌中の有機物が増加し、土壌の諸性質の改善が期待される。

次に酸性化の問題であるが、施肥によって土壌が酸性化するという研究事例は多い。

施肥によって、土壌中に供給された高濃度のNH₄-Nによって、置換された塩基類が流亡したり、或いはまたNH₄-NからNO₃-Nに変化する、発生するHイオンによって、塩基類が置換流亡することによって、土壌は酸性化するものと考えられる。

土壌の酸性化は、林地肥培の実行面において、検討しなければならない課題であろう。

第二節 林地肥培における経済性

第一項 肥培による支出経費の試算

1 試算の目的

林地肥培によって、林分材積の増加を長期間にわたって持続させるためには、第一節第一項で述べたように、植栽時から引続いて若齢林肥、壮齢林肥培へと継続的に肥培を行なう施業方法を考えねばならない。

このように、林地肥培は、長期間にわたって行なわれるために、前述したように、林地土壌を酸性化するという影響のほかに、初期、中期での資金の投入が多いことから、肥培による生長促進との関係のもとで、経済収支の面で採算性にどう関係するか問題になる。

したがって、ここでは肥培による支出経費が、どの程度になるかを検討することにした。

林業生産における経営収支は、一般的には苗木の植栽から立木の伐採収穫までの種々の投入経費の後価計算し、その後価総額と伐採によってえられる収入額との差で考えられている。したがって、ここでもこの手法により、肥培による支出経費の後価を試算した。

2 試算材料と方法

試算の対象にしたのは、表1に示したスギ植栽木下呂1号試験地(1964年6月設定)及び表7に示したスギ壮齢林明方3号試験地(1961年4月設定)で、両試験地とも現在までにいたる林分の取り扱い状況が記録され、さらに生育状態の経過も測定されている。

下呂1号試験地は、当初の試験目的が林地肥培の効果のみの検討でなく、集約的な育林施業と普通施業による生育状態の比較を行なうことが目的であったので、両林分は施肥の有無のほかに、植栽及び下刈りもまた、それぞれ方法を変えて行なった。表19に施業内容を示した。

明方3号試験地は、壮齢林肥培試験地として設定したので、施肥以外の施業状態は、施肥区、無施肥区で全く同じであった。

これらの両試験地を取りあげた理由は、下呂1号試験地は、植栽直後から数年間施肥が行なわれ、その後も8~9年生時点で追肥がなされ、植栽木肥培について若齢林肥培がなされたこと、明方3号試験地は、林齢22年生から28年生にわたって、施肥が行なわれた壮齢林肥培試験地であるため、この両試験地を使えば、植栽当初から壮齢林にいたる一貫した林地肥培が想定できると考えたからである。

そして、これらの両試験地は、いずれも肥効が認められ、下呂1号では平均立木材積の肥培指数820を示し、試験開始13年後でも効果が持続している。明方3号は、林分材積の肥培指数137を示し、試験開始17年後においても効果が持続している。

3 試験結果

試験結果を表19、表20、表21、表22に示した。

下呂1号では、植栽は集約育林区がha当り延28.3人で、普通育林区より約17人多く、1978

時点の後価で集約育林区が、ha当り約57千円かかり、普通育林区よりも約35千円の経費増となっている。

施肥は集約育林区のみで実施され、窒素でha当り約321kgが施され、林齢15年生の1978年時点において、後価でha当り約181千円の支出となっている。また林齢30年生、林齢40年生時点の後価についても算出したがそれぞれ約376千円、612千円となった。

下刈りは、集約育林区で年2回、6年間行なったが、普通育林区では年1回、6年間で少なかったため、延労働量は、集約育林区でha当り延100人/haかかり、普通育林区よりも40人/ha多く、1978年時点の

林齢15年生の後価は集約育林区でha当り約210千円で普通育林区よりも77千円の経費増であった。

後に第三節第二項で述べるが、植栽木肥培を行なった場合は、肥培効果によって、樹高生長が促進されるために、下刈りは2回程度省力できるのが普通である。したがって、表19の普通施業肥培区において、このような場合の支出経費を試算した。延労働量は40人/haで、普通育林区よりも20人/ha少なく、1978年の林齢15年生時点の後価は、ha当りで約77千円で普通育林区よりも約56千円少なかった。

次に植栽、施肥及び下刈りを含めた施業の支出経費は、表20のとおりであるが、1978年の林齢15年生時点では、集約育林区がha当り約448千円、普通育林区約155千円であって、集約育林区は普通育林区の約2.9倍の経費がかかった。普通施業肥培区は、約28千円で、普通育林区の約1.8倍の経費であった。

表20 支出経費の試算(2) (下呂1号試験地)

試験区	後 価 合 計 額 円		
	1978年6月時点 林齢15年生	1993年6月時点 林齢30年生	2003年6月時点 林齢40年生
集約育林区	(289) 448,448	932,447	1,516,725
普通施業 肥培区	(181) 280,153	582,259	948,395
普通育林区	(100) 155,169	322,771	525,722

* 想定した試験区(下刈りが施肥によって省力できた) () 比較

表21 施肥経費の試算

(明方3号試験地)

肥料種類	施肥量 kg 291m ² 当	施肥 人工数 人 291m ² 当	肥料 価格 円 (20kg)	質金 単価 円	施肥年月	支出経費後価 N=V 1.0 P ⁿ p=0.05 円/ha当			
						林齢27年生 1965年10月 時点	林齢29年生 1967年10月 時点	林齢35年生 1973年10月 時点	林齢39年生 1977年10月 時点
化成肥料 (15:8:8)	20	0.3	800	1,000	1961年 4月	37,840×1.28 =48,435 ^円	37,840×1.41 =53,354 ^円	37,840×1.89 =71,518	37,840×2.29 =86,654
化成肥料 (15:8:8)	20	0.3	800	1,000	1962年 6月	37,840×1.22 =46,165	37,840×1.34 =50,706	37,840×1.80 =68,112	37,840×2.18 =82,491
化成肥料 (15:8:8)	20	0.3	800	1,000	1964年 5月	38,872×1.10 =42,759	38,872×1.22 =47,424	38,872×1.63 =63,361	38,842×1.98 =76,966
化成肥料 (15:8:8)	20	0.3	800	1,500	1965年 6月	45,752×1.05 =48,040	45,752×1.16 =53,072	45,752×1.55 =70,916	45,752×1.89 =86,471
化成肥料 (15:8:8)	20	0.3	800	1,500	1966年 4月		45,752×1.10 =50,327	45,752×1.48 =67,713	45,752×1.80 =82,354
化成肥料 (20:10:10)	36.5	0.3	800 (15kg)	1,500	1968年 5月			86,000×1.34 =115,240	86,000×1.63 =140,180
	(46956) 136.5	(62) 1.8				185,399 ^円	254,883 ^円	456,860 ^円	555,116 ^円

() ha当り

明方3号は、表21に示すように、施肥区で回数6回、ha当り窒素成分で約770kg施されている。施肥に要した労働量は、ha当りで62人、支出経費は林齢39年生時点(1977年10月)で、後価としてha当り約555千円であった。

明方3号における施肥は、下呂1号と比較すると、施肥量が窒素成分で2.4倍施され、また施肥に要した労働量も4.8倍と多かった。しかしながら、施肥経費の比較では、明方3号は林齢39年生時点の後価が約555千円となったのに対して、下呂1号は40年生時点で612千円となり、明方3号より約10%支出が多かった。これは下呂1号では、植栽木及び若齢林肥培であるため、投下期間が長くなったことが原因である。

下呂1号、明方3号試験地をつないで、植栽肥培、若齢林肥培及び壮齢林肥培という一連の林地肥培を行なった場合、それに要する支出経費(枝打ち、除間伐は含まない)をこれらの事例から試算できる。

表22に試算結果を示した。

表22 植栽時から壮齢までの全過程肥培の支出経費の試算

円(ha当り)

林分種類	30年伐期	40年伐期	備考
集約施業 肥培林	(368) 1,187,330	(394) 2,071,841	植え穴機械掘り、ていねい植栽、植栽木肥培回数4回、下刈り年2回刈り4年、1回刈り2年、若齢林肥培回数2回、壮齢林肥培回数6回
普通施業 肥培林	(259) 837,142	(286) 1,503,511	鋤掘り普通植栽、植栽木肥培回数4回、下刈り年1回刈り4年、若齢林肥培回数2回、壮齢林肥培回数6回
普通施業 無肥培林	(100) 322,771	(100) 525,722	鋤掘り普通植栽、下刈り年1回刈り6年、無施肥

普通施業の肥培林で、30年伐期の場合は、支出経費約84万円で、無肥培林の約32万円よりも約5.2万円多く、約2.6倍の支出である。40年伐期の場合は、支出経費約150万円で、無肥培林の約53万円よりも約9.7万円多く、約2.9倍の支出であった。

集約施業の肥培林で、30年伐期の場合は、支出経費が約119万円で、無肥培林よりも約87万円多く、約3.7倍の支出となり、40年伐期では、支出経費が約207万円で、無肥培林よりも154万円多く、約3.9倍の支出であった。

第二項 丸太の採材評価及び伐採適期

1 試験の目的

肥培による効果は、材積増加に現われるので、経済的な検討にあたっては、単純に材積増加量を金額に換算するのが一般的だといえよう。

しかしながら、このような評価は、木材の取引面からは、実際的ではなく適切でない。材長を考慮しながら、もっとも有利な丸太材を取るよう採材し取引きされる。

また、丸太材のm³当りの単価は、丸太材の末口直径に比例して、必ずしも高くはならない。したがって、単位材積当りの平均価格に、立木材積を乗じて算出した金額は、実際の取引き価格とは異なってくる。

このような考えから、肥培の経済性を検討するにあたって、すべての試験木について、その径級と幹形からもっとも有利な丸太材を採材した場合、どれ程の収入がえられるかを施肥区、無施肥ごとに推定することとした。

表19 支出試費の試算(1)

作業種類	試験区	内 容	人数 人/ha	資金 単価 (円)	実施年月	後 価 計 算 N=1.0P P=0.05 円/ha		
						1978年6月時点 林齢 15年生	1993年6月時点 林齢 30年生	2003年6月時点 林齢 40年生
植栽	集約育林区	機械掘り、植穴径40cm×30cm	8.3	960	1964年6月	29,098 ¹⁴ ×1.05 ¹⁴ =57,604 ^円	29,098×1.05 ²⁸ =120,323 ^円	29,098×1.05 ³⁸ =195,278 ^円
		ていねい植え(150本/人・日)	20.0	960				
		穴掘機償却費、燃料費	—	1,925				
		計	28.3					
普通育林区		手植え(280本/人・日)	11.7	960	1964年6月	11,232 ¹⁴ ×1.05 ¹⁴ =22,239 ^円	11,232×1.05 ²⁸ =46,453 ^円	11,232×1.05 ³⁸ =75,391 ^円

作業種類	試験区	肥料種類	施肥量 g/100m ²	施肥方法	施肥に 要する 人数 人/100m ²	肥料価 格 (15kg) 円	資金 単価 円	実施年月	後 価 計 算 N=1.0P P=0.05 円/ha		
									1978年6月時点 林齢 15年生	1993年6月時点 林齢 30年生	2003年6月時点 林齢 40年生
施肥	集約育林区	化成肥料	630	穴施肥	0.08	1,140	1,000	1965年6月	12,800 ¹³ ×1.05 ¹³ =24,192 ^円	12,800×1.05 ²⁶ =50,176 ^円	12,800×1.05 ³⁸ =81,792
		〃	630	バラマキ	0.01	1,140	1,000	1966年6月	5,800×1.05 ¹² =10,440	5,800×1.05 ²⁷ =21,634	5,800×1.05 ³⁷ =35,264
		〃	1,260	バラマキ	0.01	1,140	1,200	1967年5月	10,800×1.05 ¹¹ =18,468	10,800×1.05 ²⁶ =38,448	10,800×1.05 ³⁶ =62,532
		〃	2,520	バラマキ	0.01	1,140	1,200	1968年6月	20,400×1.05 ¹⁰ =33,252	20,400×1.05 ²⁵ =69,156	20,400×1.05 ³⁵ =112,608
		〃	4,167	バラマキ	0.01	1,200	2,800	1972年6月	36,100×1.05 ⁶ =48,374	36,100×1.05 ²¹ =100,719	36,100×1.05 ³¹ =163,894
		〃	4,167	バラマキ	0.01	1,200	2,800	1973年6月	36,100×1.05 ⁵ =46,208	36,100×1.05 ²⁰ =95,665	36,100×1.05 ³⁰ =155,952
		計	(1337.4kg) 13,374		(13人) 0.13				180,934 ^円	375,798 ^円	612,042 ^円

作業種類	試験区	内 容	人数 人/100m ²	資金 単価 (円)	実施年月	後 価 計 算 N=1.0P P=0.05 円/ha		
						1978年6月時点 林齢 15年生	1993年6月時点 林齢 30年生	2003年6月時点 林齢 40年生
刈り	集約育林区	手 刈 り	0.2	1,000	1965年6月, 8月	20,000×1.05 ¹³ =37,800 ^円	20,000×1.05 ²⁶ =78,648 ^円	20,000×1.05 ³⁸ =127,730 ^円
			0.2	1,000	1966年6月, 8月	20,000×1.05 ¹² =36,000	20,000×1.05 ²⁷ =74,580	20,000×1.05 ³⁷ =121,370
		0.2	1,200	1967年6月, 8月	24,000×1.05 ¹¹ =41,040	24,000×1.05 ²⁶ =85,428	24,000×1.05 ³⁶ =138,648	
		0.2	1,200	1968年6月, 8月	24,000×1.05 ¹⁰ =39,120	24,000×1.05 ²⁵ =81,360	24,000×1.05 ³⁵ =132,288	
		0.1	1,700	1969年7月	17,000×1.05 ⁹ =26,350	17,000×1.05 ²⁴ =54,910	17,000×1.05 ³⁴ =89,199	
		0.1	2,000	1970年7月	20,000×1.05 ⁸ =29,600	20,000×1.05 ²³ =61,400	20,000×1.05 ³³ =100,170	
		計	(100人) 1.0			209,910 ^円	436,326 ^円	709,408 ^円
刈り	普通育林区	手 刈 り	0.1	1,000	1965年6月	10,000×1.05 ¹³ =18,900	10,000×1.05 ²⁶ =39,324	10,000×1.05 ³⁸ =64,071
			0.1	1,000	1966年6月	10,000×1.05 ¹² =18,000	10,000×1.05 ²⁷ =37,290	10,000×1.05 ³⁷ =61,020
		0.1	1,200	1967年6月	12,000×1.05 ¹¹ =20,520	12,000×1.05 ²⁶ =42,714	12,000×1.05 ³⁶ =69,563	
		0.1	1,200	1968年7月	12,000×1.05 ¹⁰ =19,560	12,000×1.05 ²⁵ =40,680	12,000×1.05 ³⁵ =66,308	
		0.1	1,700	1969年7月	17,000×1.05 ⁹ =26,350	17,000×1.05 ²⁴ =54,910	17,000×1.05 ³⁴ =89,199	
		0.1	2,000	1970年7月	20,000×1.05 ⁸ =29,600	20,000×1.05 ²³ =61,400	20,000×1.05 ³³ =100,170	
		計	(60人) 0.6			132,930 ^円	276,318 ^円	450,331 ^円
刈り	普通施肥肥培区	手 刈 り	0.1	1,000	1965年6月	10,000×1.05 ¹³ =18,900	10,000×1.05 ²⁶ =39,324	10,000×1.05 ³⁸ =64,071
			0.1	1,000	1966年6月	10,000×1.05 ¹² =18,000	10,000×1.05 ²⁷ =37,290	10,000×1.05 ³⁷ =61,020
		0.1	1,200	1967年6月	12,000×1.05 ¹¹ =20,520	12,000×1.05 ²⁶ =42,714	12,000×1.05 ³⁶ =69,563	
		0.1	1,200	1968年7月	12,000×1.05 ¹⁰ =19,560	12,000×1.05 ²⁵ =40,680	12,000×1.05 ³⁵ =66,308	
		0.1	1,200	1968年7月	12,000×1.05 ¹⁰ =19,560	12,000×1.05 ²⁵ =40,680	12,000×1.05 ³⁵ =66,308	
計	(40人) 0.4			76,980 ^円	160,008 ^円	260,962 ^円		

※1 想定した試験区(下刈り省力が施肥によってできた)

(下呂1号試験地)

() ha当り

2 試算材料及び方法

試算材料としては、スギ壮齡林肥培の明方3号試験地を用いた。この試験地は、第一節第一項Ⅲにおいて検討した試験地である。山脚部のD林分は、中腹部のU林分に比較して生育がよい。そのために、U林分の立木密度は、ha当り1777本(間伐後974本)で、D林分の1405本(間伐後899本)に比較して多い。

各試験区の生育状態は、林齡39年生時点においては、D林分の無施肥区で平均樹高18.7m、平均胸高直径21.8cm、施肥区で平均樹高19.6m、平均胸高直径25.1cmに対して、U林分の無施肥区で平均樹高17.7m、平均胸高直径20.5cm、施肥区で平均樹高18.9m、平均胸高直径24.0cmであった。

また、この試験地では、各試験区ごとに10本ずつ、樹幹位置別直径測定木が選定されており、各樹幹位置の直径が定期的に測定されている。

そこで、それぞれの生育段階において、試験区ごとに、これらの測定値をプロットして、樹幹形の傾向を求め、次にこの樹幹形をもとにして、いろいろの大きさの胸高直径をした樹幹形図を相似形として画いた。

これらの樹幹形図において、 m^2 当りの単価をもとに、材長のちがいと末口直径との関係を配慮して図上で採材を行なった。

林齡39年生時点における樹幹形図での採材方法を図28～図31に1例として示した。

各試験区内の全立木は、いずれも胸高直径が測定されているので、上記の樹幹位置別測定を行なった測定木以外の立木については、胸高直径によって、図のいずれかの採材方法をあてはめ、すべての立木について採材評価した。

丸太材の価格は変動しているが、ここでは表23に示す市売市場価格を、いずれの評価時点においても採用した。

3 試験結果

丸太は、価格の上からは、元玉、2番玉以上及び梢端材の3種類に大別されている。同じ末口直径、材長のものであれば、元玉が2番玉以上のよりも m^2 当りの単価が高く、梢端材は1本当りの値段でとり扱われ、もっとも安くになっている。

同じ丸太区分の中では、末口直径が14～16cmで材長3mの材が、ここで示されたものの中では、 m^2 当りの価格がもっとも高かった。末口直径18～20cmのものは安く、これは3m材よりも4m材でさらに安い。末口直径が24cm以上になると m^2 当り価格は若干高くなる。梢端材では、3m材よりも4m材が高く、末口直径が4cmから大きくなるにしたがって高くなり、末口直径12cm、4m材でもっとも高い。

m^2 当りの価格によって、丸太の形質区分を行なったが、表24に示すとおりで、Ⅰ～Ⅳ(梢端材はⅠ～Ⅲ)の区分をした。

表23 スギ丸太価格

(千円)

丸太種類			元玉	2番丸太以上	梢端材
材長 m	末口径 cm	材積 m^3	m^2 当り	m^2 当り	本当り
3	12	0.043	32	26	
	13	0.051	36	30	
	14	0.059	40	33	
	16	0.077	40	33	
	18	0.097	30	25	
4	20	0.120	30	25	
	18	0.130	28	26	
	20	0.160	28	26	
4	22	0.194	28	26	
	24	0.230	35	33	
	3	4	0.005		
5		0.008			100
6		0.014			100
4	4	0.006			200
	5	0.010			200
	6	0.014			200
	7	0.020			300
	8	0.026			500
	9	0.032			500
	10	0.040			500
	11	0.048			850
12	0.058			850	

注1) 梢端材1本当り円

注2) 岐阜木材市売市場1978年7月市況

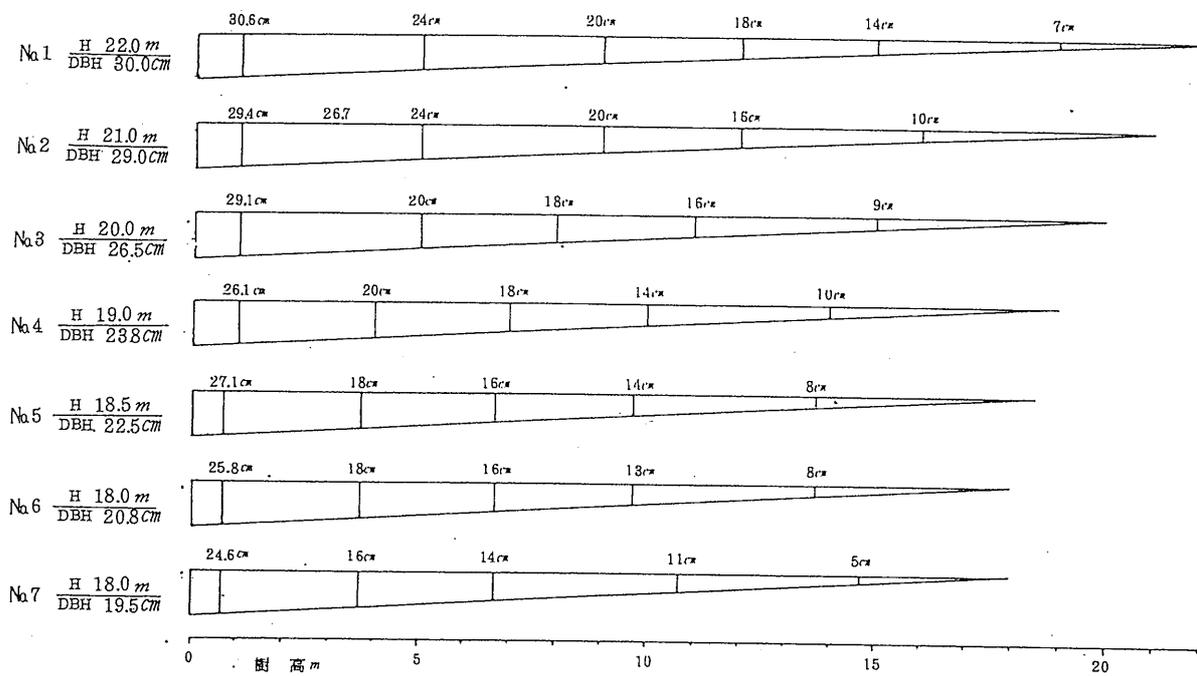


图 28 採材方法(1) - 施肥区A (林齡 39 年生)

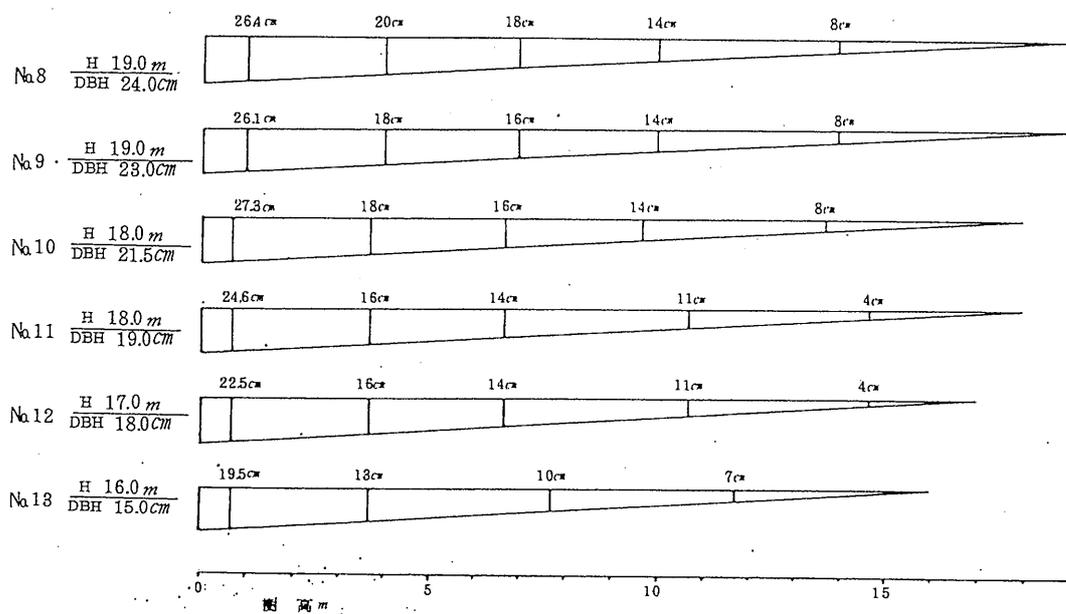


图 29 採材方法(2) - 無施肥区B (林齡 39 年生)

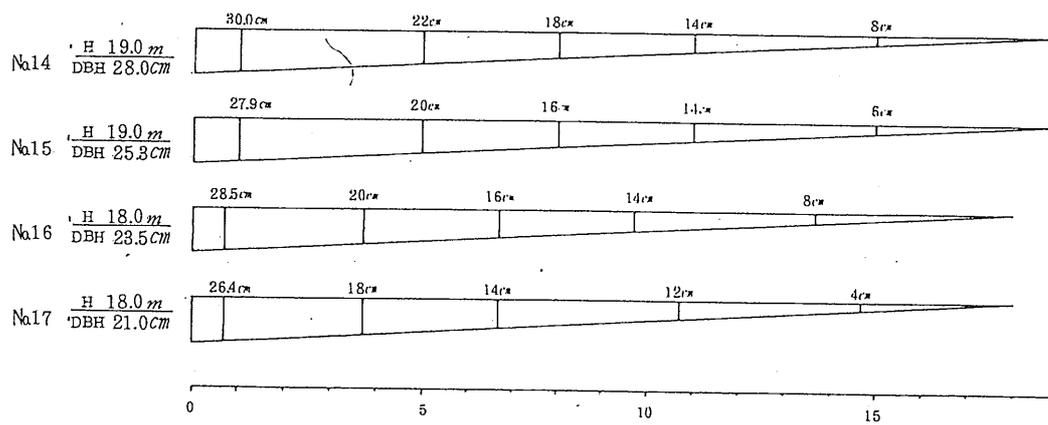


图 30 採材方法(3) - 施肥区 a (林齡 39 年生)

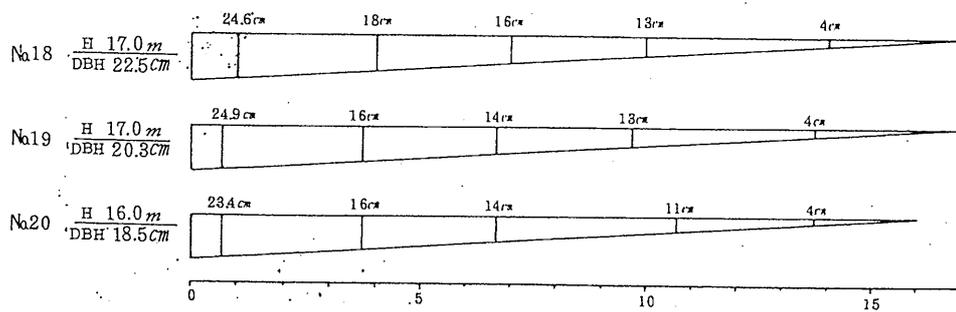


图 31 採材方法(4) - 無施肥区 b (林齡 39 年生)

林齢27年生、29年生、35年生、39年生時点において、各試験区ごとに丸太種類別本数、材積及び評価額を求めたが、その中で、林齢29年生、39年生のものについて、その結果を図32～図37に示した。

また、林齢27年生、29年生、35年生、39年生時点におけるha当りの丸太材の総評価額を試算し表25に示した。

(1) 林齢、試験区別の丸太種類

林齢29年生時点

ha当りの丸太材の評価額は、施肥区A無施肥区B、施肥区a、無施肥区b、それぞれ約690万円（施肥による支出経費の後価を差し引いた額、以下同じ）、628万円、709万円、403万円であった。

丸太本数では、D林分は元玉は施肥区Aと無施肥区Bの本数が等しいが、2番玉以上ではAが若干多いが、梢端材はBで多かった。

U林分は、元玉は施肥区a、無施肥区bの本数が等しいが、2番玉以上ではaがかなり多く、梢端材でもaが若干多かった。

表24 丸太形質区分

丸太種類	符号	長さ × 末口直径	m ³ 当り価格 ^米 冊
元玉	I	3m × 13 ^{cm} ~ 16 ^{cm}	36~40
	II	4 × 24 ~ 28	35
	III	3 × 18 ~ 20	30~28
	IV	4 × 20 ~ 22	
2番丸太以上	I	3 × 13 ~ 16	30~33
	II	4 × 24 ~ 28	33
	III	3 × 18 ~ 20	25~26
	IV	4 × 20 ~ 22	
梢端材	I	4 × 11 ~ 12	米 850 ^冊
	II	4 × 7 ~ 10	米 300~500
	III	3 × 4 ~ 7	米 100~200
		4 × 4 ~ 6	

米 岐阜市売市場価格(1978年7月24日)

米 1本当り円

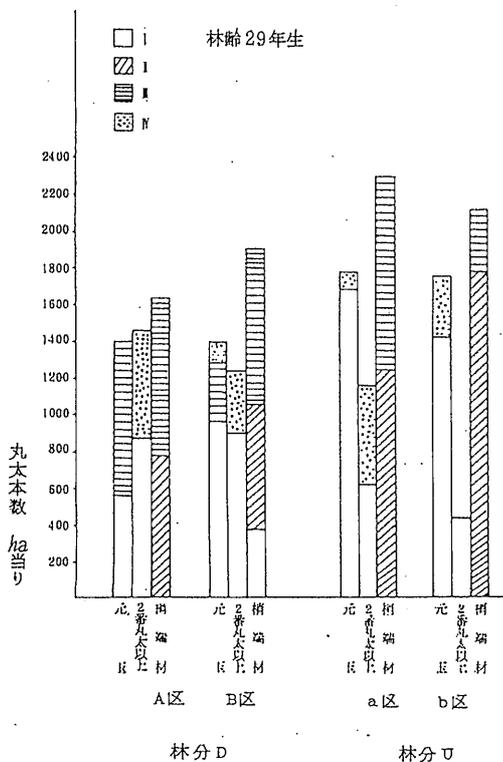


図32 丸太の種類別本数

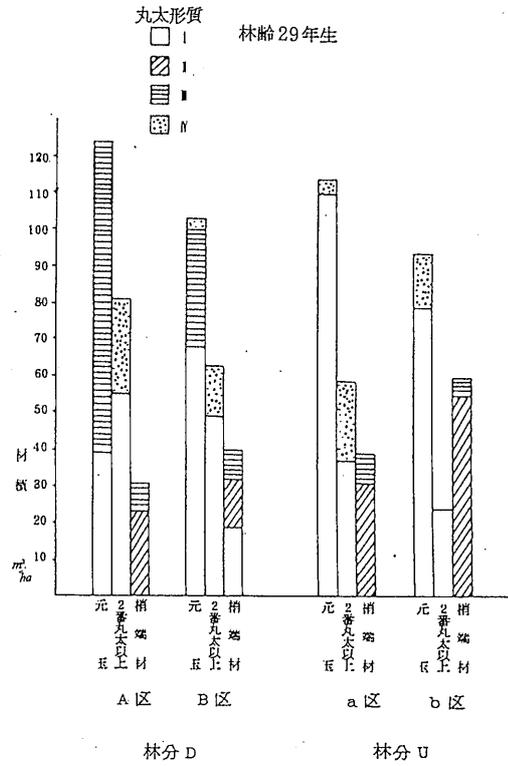


図33 丸太種類別材積

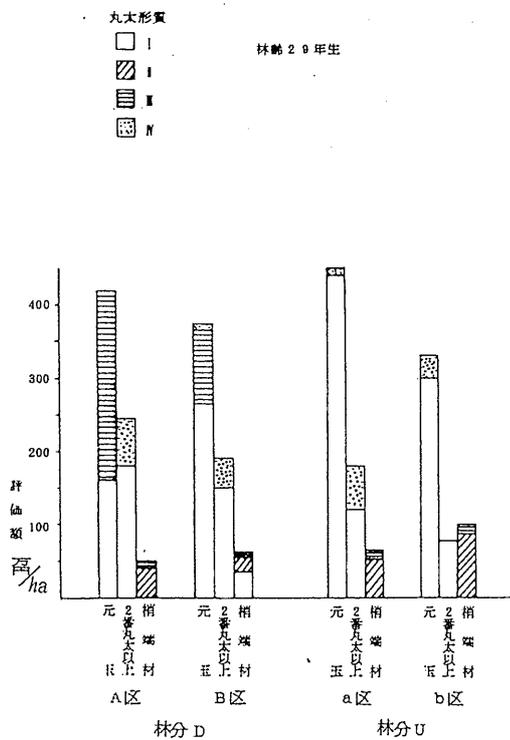


図 34 丸太の種類別評価額

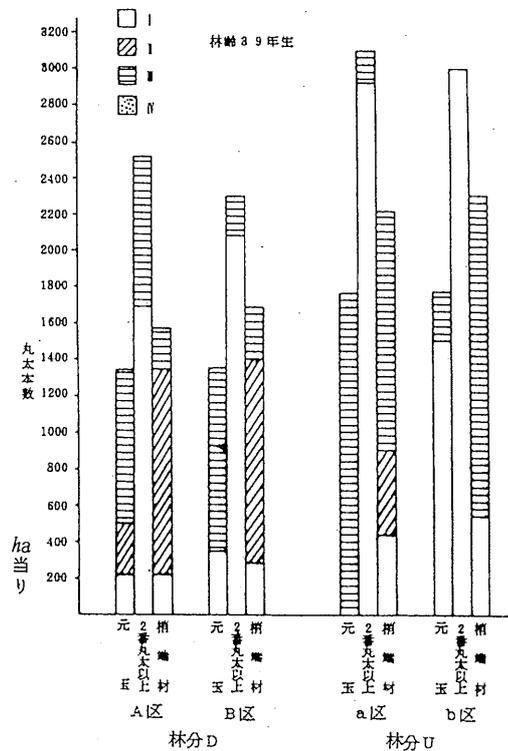


図 35 丸太の種類別本数

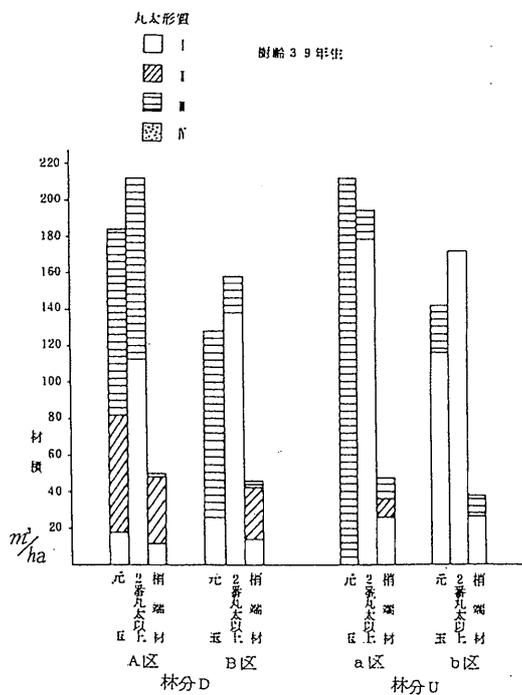


図 36 丸太の種類別材積

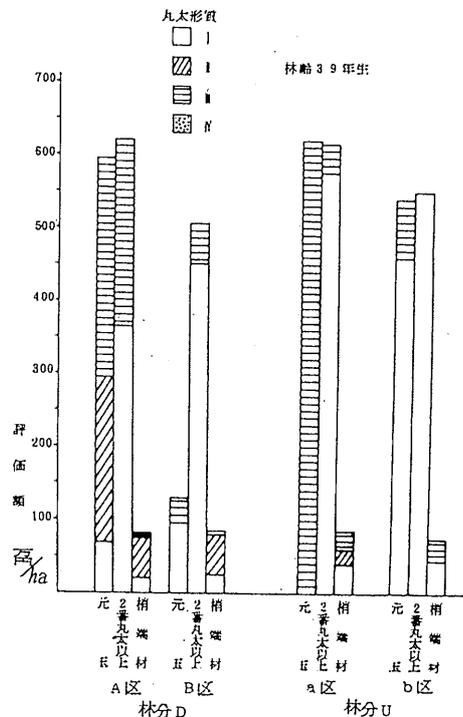


図 37 丸太の種類別評価額

丸太材積では、D林分は施肥区Aが元玉及び2番玉以上でそれぞれ2.2m³、1.7m³無施肥区Bより多かったが、梢端材では逆にBが約1.0m³多かった。U林分は、元玉及び2番玉以上でそれぞれ2.0m³、3.5m³施肥区aが無施肥区bよりも多かったが、梢端材では、逆にbが2.1m³多かった。

丸太区分別の評価額は、D林分では、施肥区Aが元玉及び2番玉以上でそれぞれ約50万円、約60万円、無施肥区Bよりも多かった。U林分では、施肥区aが元玉及び2番玉以上でそれぞれ約120万円、115万円、無施肥区bよりも多かったが、梢端材は逆にbが約35万円多かった。

以上に総括してみると、D林分の場合、丸太本数は、施肥区A、無施肥区Bの間で殆んど差異が認められなかったが、材積は元玉及び2番玉以上でAが若干多く、したがって、評価額においても、元玉及び2番玉以上ではAが高く比数で1.16であった。U林分の場合は、丸太本数及び材積は、元玉及び2番玉以上で施肥区aが無施肥区bよりもかなり多く、したがって、元玉及び2番玉以上の評価額も、aが多く比数で1.46であった。

林齢39年生時点

ha当りの丸太材の評価額は、施肥区A、無施肥区B、施肥区a、無施肥区bで、それぞれ約121.2万円、94.9万円、124.2万円、116.6万円であった。

丸太本数では、D林分は元玉について、施肥区A、無施肥区Bの本数が等しいが、2番玉以上ではAが多く、梢端材では逆にBが多かった。U林分でも元玉は、施肥区a、無施肥区bで本数が等しかったが、2番玉以上ではaが多く、梢端材で逆にbが多かった。

丸太材積については、D林分では、元玉及び2番玉以上で、施肥区Aが無施肥区Bよりもいずれも約5.4m³多かったが、梢端材では両区がほぼ等しかった。

U林分では、施肥区a、無施肥区bを比較すると、元玉及び2番丸太以上で、それぞれaの材積が約7.0m³、2.2m³多く、梢端材においてもaが約1.0m³多かった。

丸太区分別の評価額について、施肥区Aと無施肥区Bを比較すると、元玉及び2番丸太以上でそれぞれ約4.65万円、1.15万円、AがBよりも多いが、梢端材では、両区の評価額はほぼ等しい。

施肥区aと無施肥区bを比較すると、元玉及び2番丸太以上で、それぞれ約80万円、65万円、aがbよりも多いが、梢端材では両区で殆んど差がない。

以上、総括的にみると、施肥区Aと無施肥区Bでは、施肥区Aが元玉及び2番丸太以上において材積が多いが、このことが全体の評価額に影響して、Aの丸太材の評価額は、比数で1.28となりBよりも多くなっている。

施肥区aと無施肥区bの比較では、元玉の材積でaがbよりもかなり多かったが、元玉に属する丸太の品質がⅢであって、bよりも劣っていたために、評価額が逆に少くなり、従って、合計されたaの丸太材の評価額は、比数で1.07と僅かにbよりも多かったに過ぎなかった。

(2) 丸太材の形質の変化

丸太材の形質区分では、元玉での価格差が大きく、2番玉以上ではその差があまり大きくない。

したがって、元玉の形質についての経年変化を、林齢29年生、39年生時点について検討した。

D林分(立木密度が低い林分)では、林齢29年生時点(平均胸高直径は施肥区A 19.7cm、無施肥区B 18.1cm)で、形質Ⅰは施肥区Aが材積で約4.0m³あって、無施肥区Bよりも約3.0m³少なく形質Ⅲの丸太は、Aで8.5m³あってBの2.7倍であった。

これは、平均胸高直径が約1.8cmの無施肥区Bが、約2.0cmの施肥区Aよりも、m³当り価格が高い良形質の丸太が、より多く採材されることを示している。

次に、さらに生育段階が進んだ林齢39年生時点では、形質Ⅰの丸太はA、Bでほぼ等しく、材積はそれぞれ2.0m³、2.5m³であって、林齢29年生時点の材積の約40～50%に低下している。

また、Aでは形質Ⅱの丸太が約6.0m³、形質Ⅲが約2.0m³、それぞれ29年生時点よりも増加しているのに対して、Bは形質Ⅲが約7.0m³増加しているにすぎない。

すなわち、平均胸高直径が2.5cmと生育がよい施肥区の方が、平均胸高直径が約2.2cmの無施肥区

よりも、経級の大きな丸太が多く採材され、経級が大きくなったことによる品等の向上が示されている。

形質がよい丸太材が、もっとも多く生産されるのは、林齢29年生時点の無施肥区B（平均胸高直径18cm）、次いで29年生時点の施肥区A（平均胸高直径20cm）、39年生時点の施肥区A（平均胸高直径25cm）であって、39年生時点の無施肥区B（平均胸高直径22cm）は、形質が良い丸太材がもっとも少ない。

U林分（立木密度が高い林分）は、林齢29年生時点（平均胸高直径、施肥区a 18.1cm、無施肥区b 15.8cm）で、形質Ⅰの丸太は、aで11.0m³あってbよりも約30m³多い。

林齢39年生時点（平均胸高直径、施肥区a 24cm、無施肥区b 20.5cm）では、29年生時点と比較すると、施肥区aは形質Ⅰが全くなくなり、これに代って形質Ⅱが増加している。

無施肥区bは、形質Ⅰで約30m³、形質Ⅱで約26m³、29年生時点よりも増加している。

平均胸高直径が約2.1cmの39年生無施肥区bは、もっとも形質がよい丸太材が多く生産されることが示され、次いで平均胸高直径18cmの29年生施肥区aの形質がよく、平均胸高直径16cmの29年生無施肥区b、平均胸高直径24cmの39年生施肥区aの順となっている。

立木密度が高い林分と低い林分とにおける良形質丸太材の生産に及ぼす影響を比較すると、密度の高い林分では、39年生無施肥区b（平均胸高直径21cm）にみられるように、元玉における形質Ⅰの材積11.6m³と29年生無施肥区B（平均胸高直径18cm）の6.7m³よりも著しく多いが、このことは本数密度が高いことに起因している。

（3）肥培林の伐採適期

さきに述べたように、伐採木は末口直径と材長を考慮して採材が行なわれ、素材として取りきされるので、有利な樹幹形を示す伐採適期があるが、肥培林において、これを検討した。

スギ壮齡林明方3号試験地を対象としたが、この試験地は、林齢22年生以前の林分の取扱いの記録がない。経済的な伐採時点の検討において、費用の推定を行わねばならないので、この林分の植栽から林齢22年までの取り扱いを、岐阜県での一般的施業基準にもとづいてつくり、表25、26に示した。

施肥区、無施肥区のそれぞれについて、費用後価を算出したが、この場合に用いた賃金単価は、岐阜農林水産統計年報によった。ただし1954年以前は、単価が明らかでなかったため、1955年と同じにした。

また、施肥区は、植栽の翌年から3回連続に施肥を行なった結果、樹高生長が増加し、下刈りが4回で終了したとし、その後、林齢13年生から15年生までの3回及び21年生から15年生の5回、それぞれ施肥を行ない、第一節で述べた植栽施肥、若齡林施肥及び壯齡林施肥という一貫した林地肥培が実施されたものと仮定した。

これに対して、無施肥区は、植栽翌年から7年生まで6回の下刈り作業が行われたものとした。

また施肥区及び無施肥区は、いずれも枝打ちは行なわれなかったものと仮定した。

費用は採材評価が行なわれた林齢27年生、29年生、35年生、39年生の各時点までの後価として算出したが、年利率は5分とした。

試験結果を表27、図38に示した。

林分密度が低いD林分では、林齢27年生時点で、施肥区は純収入が約558万円、無施肥区約362万円、無施肥区に対する指数154が示され、施肥区で著しく純収入が多かった。林齢29年生時点では、施肥区は約633万円、無施肥区は約597万円、指数106と純収入の差は、僅かであった。さらに林齢35年生時点では、この差が全く認められなくなって、施肥区で約850万円、無施肥区で約855万円となった。このような施肥区の純収入の減少は、林齢35年生における施肥区は、平均胸高直径が23.7cmで、無施肥区の21.0cmよりも大きく、このことが採材評価では、m³当りの単価が安いため丸太価格にそれが影響して、純収入が少なくなったものと考えられた。

表 25 育林経費の試算（施肥林分）

年次	年 月	作業の 種 類	工 程	数 量	単 価 円	金 額 円	合計額 円	後 価 1.05 ⁿ			
								林齢27年 1965.10	林齢29年 1967.10	林齢35年 1973.10	林齢39年 1977.10
1	1941年4月	新 植	地母1人1日 0.03ha 苗木代 苗木運搬、仮植、植付	34人 3000本 20人	450 10 450	15,300 30,000 9,000	54,300	184,077	202,485	272,434	331,839
2	1942年5月 7月	施 肥 下 刈	化成肥料(15:8:8) 200kg 1袋20kg入 バラマキ散布 1人1日 0.09ha	10袋 5人 12人	800 450 450	8,000 2,250 5,400	15,650	50,393	55,706	74,805	90,721
3	1943年5月 7月	施 肥 下 刈	化成肥料(15:8:8) 200kg 1袋20kg入 バラマキ散布	10袋 5人 12人	800 450 450	8,000 2,250 5,400	15,650	48,046	53,054	71,092	86,477
4	1944年5月 7月	施 肥 下 刈	化成肥料(15:8:8) 200kg 1袋20kg入 バラマキ散布	10袋 5人 12人	800 450 450	8,000 2,250 5,400	15,650	45,854	50,550	67,908	82,233
5	1945年7月	下 刈		12人	450	5,400	5,400	15,066	16,578	22,333	27,093
7	1947年7月	つる切り	1人1日 0.5ha	2人	450	900	900	2,277	2,511	3,539	4,302
9	1949年7月	除 代	雑草除去1人1日 0.2ha	5人	450	2,250	2,250	5,153	5,693	8,390	10,221
12	1952年7月	つる切り	1人1日 0.5ha	2人	450	900	900	1,782	1,962	3,204	3,905
13	1953年5月	施 肥	化成肥料(15:8:8) 533kg 1袋 20kg入 バラマキ散布	26.7袋 5人	800 450	21,360 2,250	23,610	44,623	49,109	80,038	97,646
14	1954年5月	施 肥	化成肥料(15:8:8) 533kg 1袋 20kg入 バラマキ散布	26.7袋 5人	800 450	21,360 2,250	23,610	42,498	46,748	76,260	92,844
15	1955年5月	施 肥	化成肥料(15:8:8) 533kg 1袋 20kg入 バラマキ散布	26.7袋 5人	800 450	21,360 2,250	23,610	40,373	44,623	72,719	88,042
21	1961年4月	施 肥	化成肥料(15:8:8) 687kg 1袋 20kg入 バラマキ散布	34.4袋 5人	800 1000	27,520 5,000	32,520	41,626	45,853	95,284	115,755
22	1962年6月	施 肥	化成肥料(15:8:8) 687kg 1袋 20kg入 バラマキ散布	34.4袋 5人	800 1000	27,520 5,000	32,520	39,674	43,577	90,731	110,243
24	1964年5月	施 肥	化成肥料(15:8:8) 687kg 1袋 20kg入 バラマキ散布	34.4袋 5人	830 1000	28,552 5,000	33,552	36,907	40,933	88,913	108,373
25	1965年6月	施 肥	化成肥料(15:8:8) 687kg 1袋 20kg入 バラマキ散布	34.4袋 5人	830 1500	28,552 7,500	36,052	37,855	41,820	91,212	110,680
26	1966年4月	施 肥	化成肥料(15:8:8) 687kg 1袋 20kg入 バラマキ散布	34.4袋 5人	830 1500	28,552 7,500	36,052	—	39,657	86,885	105,632
28	1968年5月	施 肥	化成肥料(20:10:10) 256kg 1袋 15kg入 バラマキ散布	83.7袋 5人	830 1500	69,471 7,500	76,971	—	80,820	176,264	214,749
	合 計							636,204	821,679	1,382,011	1,680,255

注1. 作業種及び工程は「優良材生産の経済性」（岐阜県林政部）
資料（一般材生産）による。

明方3号試験地

注2. 1955年以前の資金単価450円、1955年以降の資金単価は岐阜県農林生産統計年報による。

表 26 育林経費の試算（無施肥林分）

(ha当り)

年次	年月	作業の種類	工程	数量	単価 円	金額 円	合計額 円	後 価 1.05 ^D				
								林令27年生 1965.10	林令29年生 1967.10	林令35年生 1973.10	林令39年生 1977.10	
1	1941年 4月	新植	地拵 1人1日 3α 苗木代 3000本 苗木運搬、仮植、植付 20人	34人	450	15,300						
					10	30,000						
					450	9,000	54,300	184,077	202,485	272,434	331,339	
2	1942年 7月	下刈	1人1日9α	12人	450	5,400	5,400	17,388	19,221	25,811	31,303	
3	1943年 7月	下刈	〃	12人	450	5,400	5,400	16,578	18,306	24,530	29,839	
4	1944年 7月	下刈	〃	12人	450	5,400	5,400	15,822	17,442	23,432	28,374	
5	1945年 7月	下刈	〃	12人	450	5,400	5,400	15,066	16,578	22,333	27,093	
6	1946年 7月	下刈	〃	12人	450	5,400	5,400	14,310	15,822	21,235	25,811	
7	1947年 7月	下刈	〃	12人	450	5,400	5,400	13,662	15,066	20,137	24,530	
9	1949年 7月	つる 切り	1人1日50α	2人	450	900	900	2,061	2,277	3,051	3,722	
12	1952年 7月	除伐	雑木除去 1人1日20α	5人	450	2,250	2,250	4,455	4,905	6,593	8,009	
15	1955年 7月	つる 切り	1人1日50α	2人	450	900	900	1,539	1,701	2,277	2,763	
	合計							284,958	313,803	421,833	512,783	

表 27 伐期別の純収入額

林分生育状態	施肥区	平均樹高 m	D 林分 (立木密度 1405本)				U 林分 (立木密度 1777本)			
			林令27年生 1965年	林令29年生 1967年	林令35年生 1973年	林令39年生 1977年	林令27年生 1965年	林令29年生 1967年	林令35年生 1973年	林令39年生 1977年
			平均胸高直径 cm	林分材積 m ³	平均樹高 m	平均胸高直径 cm	林分材積 m ³			
林分生育状態	施肥区	平均樹高	12.6	14.3	16.5	19.6	11.6	13.0	15.7	18.9
		平均胸高直径	18.5	19.7	23.7	25.1	16.3	18.1	22.2	24.0
	無施肥区	平均樹高	(146)	(116)	(112)	(137)	(159)	(146)	(177)	(129)
		林分材積	207.7	239.4	336.6	445.9	142.6	222.8	443.0	453.1
林分生育状態	施肥区	平均樹高	11.9	13.2	15.4	18.7	11.0	12.0	14.5	17.7
		平均胸高直径	16.6	18.1	21.0	21.8	14.6	15.8	18.9	20.5
	無施肥区	平均樹高	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)
		林分材積	141.7	206.5	300.5	326.6	89.5	152.8	249.7	350.7
金員収権 (ヘクタール当り・円)	費用後価	施肥区	636,204	821,679	1,382,011	1,680,255	636,204	821,679	1,382,011	1,680,255
		無施肥区	284,958	313,803	421,833	512,783	284,958	313,803	421,833	512,783
	租収入	施肥区	6,212,854	7,155,384	9,879,510	12,929,260	3,939,578	7,342,668	12,814,712	13,232,520
		無施肥区	3,904,214	6,283,834	8,966,935	9,494,990	1,626,188	4,033,476	9,320,821	11,658,282
純収入	施肥区	(154)	(106)	(99)	(125)	(246)	(175)	(128)	(104)	
	無施肥区	5,576,650	6,333,705	8,497,499	11,249,005	3,303,374	6,520,989	11,432,701	11,552,265	
		(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	
		3,619,256	5,970,031	8,545,102	8,982,207	1,341,230	3,719,673	8,898,988	11,145,499	

(明方3号試験地)

林齢 39 年生時点では、施肥区は約 1125 万円、無施肥区は約 898 万円、指数 125 で純収入は再び増加した。

林分密度が高い U 林分において林齢 27 年生時点では、純収入は施肥区で約 330 万円、無施肥区で約 134 万円、指数 246 で施肥区が著しく多かったが、これは無施肥区の平均胸高直径 14.6 cm 林分材積約 90 m³/ha (施肥区は平均胸高直径 16.3 cm、林分材積約 143 m³/ha) で、採伐評価を

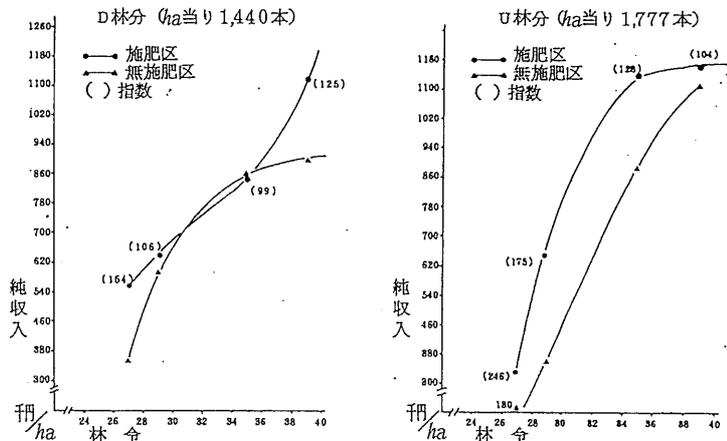


図 38 伐期と純収入

するには、まだ早かったことによるものと考えられた。林齢 29 年生では、施肥区は約 652 万円、無施肥区は約 372 万円、指数 175 で、施肥区、無施肥区の純収入の差は、まだかなり大きかった。林齢 35 年生では、施肥区は約 1143 万円、無施肥区は約 890 万円、指数 128 で、施肥区、無施肥区の純収入の差は減少したが、まだ施肥区で純収入は大きかった。しかしながら、林齢 39 年生では、施肥区は約 1155 万円、無施肥区は 1115 万円、指数 104 で、施肥区と無施肥区では、純収入の差が殆んど認められなくなった。

以上のように、肥培による経済効果は、同一林齢の無施肥区の純収入と対比させるならば、肥培林分の径級が、m² 当りの単価で安い時点以外は、施肥によって 25%~75% の純収入の増加が期待できそうである。

したがって、林分密度が普通程度の肥培林分の伐採適期は、図 38 でみられるように、平均胸高直径 18 cm 程度の林齢 25~27 年生時点だと考えられる。また林分密度がやや密になれば、林齢がやや高くなり、平均胸高直径 18~22 cm の林齢 30 年~35 年生時点が有利なようである。

第三節 林地肥培の技術的応用

林地肥培は林木の生長を促進して林分材積を増加させることが、第一義的な目的であるが、一方で林地肥培には林木の生長に伴って、下刈りの省力、雪害木及び虫害木の樹勢回復、複層林内の下層木の生長促進、採種木の結実促進などの育林保育の過程で、好ましい効果をもたらすとすれば、生長促進とあいまって林業経営上の効果が大きいといえる。

このような場合の林地肥培は、それぞれの保育技術の補完手段としての役割を果すことになるが、本節では、このような林地肥培の技術的応用について述べる。

第一項 下刈り施業省力への応用

人工造林地の初期の生育段階では、雑草木類が繁茂し、放置すると林木は雑草木類によって被圧され、生長が低下し、甚だしいときは枯死にいたる。下刈り作業は、このような雑草木類による生長阻害を取り除くために行なうもので、林木の生育初期における重要な保育作業であるが、労働量が多く、そのために十分な下刈りが実行されないことが、不成熟造林地をつくる大きな原因となることが多い。

そこで、下刈り作業の省力化が、保育作業の実際面から、強く要求されてきた。このことに、林地肥培技術を取り入れることができるかどうか、次のような検討を行なった。

下刈りは、雑草木類によって、植栽木が影響を受けなくなれば終了するから、この時点に植栽木と雑草木類の生長関係から推定し、その関係が、施肥によってどう変わるかを明らかにしようとした。

普通、植栽時には、植栽木の周囲にのみ施肥されるが、それが雑草木類の生長をも促進することが

多いからである。

I 下刈り終了時点^{*}

I-1 試験の目的

植栽木と雑草木類との相互作用を、実験的に植栽木をサランネットで被覆する方法によってしらべた。

I-2 試験方法

試験地は、岐阜県金山町戸川地内の飛騨造林の山林内において、標高400~800m、年間降水量2500mm、年平均気温13.8℃、土壌はBD型である。

供試木として、100cmから350cmまでの、いろいろの樹高のものを選らんだ。

植栽木及び雑草木類の生長は、造林地では局所的に異なるため、こゝではサランネットを用いて、植栽木の葉を被覆する方法をとった。

供試木は、樹高のそれぞれ1/3、1/2、2/3に相当する長さの樹幹を、根元の方からサランネットで覆い、樹高の年間生長量を測定して、サランネット被覆と生長との関係をしらべた。

また、それぞれの被覆において、施肥区を加えたのは、樹冠被覆による生長低下が、施肥によって軽減されるかどうかを調らべるためであった。

供試木の種類と本数は、表28に示したとおりで、総数で120本であった。

施肥量は、樹高によって変え樹高階100cm~150cmで窒素10g、200cm~250cmで20g、300cm~350cmで30gとし、根元から40~50cmの円周上にバラマキ施肥を行なった。

表28 供試木の種類

樹高階 被覆度合	施肥区			無施肥区		
	100cm ~150cm	200cm ~250cm	300cm ~350cm	100cm ~150cm	200cm ~250cm	300cm ~350cm
対照区	0	0	0	5	5	5
樹幹1/3被覆区	5	5	5	5	5	5
樹幹1/2被覆区	5	5	5	5	5	5
樹幹2/3被覆区	5	5	5	5	5	5
計	20	20	20	20	20	20

(1969年)

サランネット被覆内部及び雑

草木類内部のそれぞれの照度は、東芝5号照度計を用いて、9月中旬の天気の良い日を選らんで、午前10時~午後2時の間に測定した。

サランネット被覆内部の照度測定は、20本の供試木について、中央部で行ない、また雑草木類内部は、前年度に下刈りを行なった調査区で、地上高30cm、60cm、120cm位置で、裸地との相対照度で求めた。

また、その他の実験条件として、サランネット及び雑草木内部の気温及び湿度を5本の供試木及び雑草木内部の数カ所で測定した。

1/3、1/2及び2/3被覆区では、それぞれどの程度の葉が被覆されるかを測定するために、100~150cm、200~250cm、300~350cmの3樹高階から、2本ずつ標準木を選らんで樹体解析を行なった。

I-3 試験結果

(1) サランネット被覆内部の環境条件

サランネット被覆内部の気温、湿度及び照度は、表29に示すとおりである。気温及び湿度は、裸地とはほぼ同じであるが、雑草木類内部よりも値が大きい。

サランネット被覆部分及び雑草木類内部の照度の垂直分布との関係は、模式図として図89に示した。

サランネット被覆内部の照度条件は、雑草木類内部のそれとは同じではない。その違いは、供試木

^{*} この報告の内容の一部は文献81に発表した。

の樹高によっても違う。

この点について、若干の検討を加える。

千葉ら⁸³⁾(1969)は、雑草木類の下刈りの高さを変えて、植栽木の生長への影響を調べたが、同時に草丈が異なる雑草木類内部の照度の垂直分布を測定している。

表 29 実験条件

項目	サラネット内部	灌木草類内部				裸地
		地上 30 cm	地上高 60 cm	地上高 120 cm	地上高 180 cm	
気温 °C	25	23				26
湿度 %	96	79				94
相対照度 %	22	地上 30 cm	地上高 60 cm	地上高 120 cm	地上高 180 cm	100
		7	14	43	100	

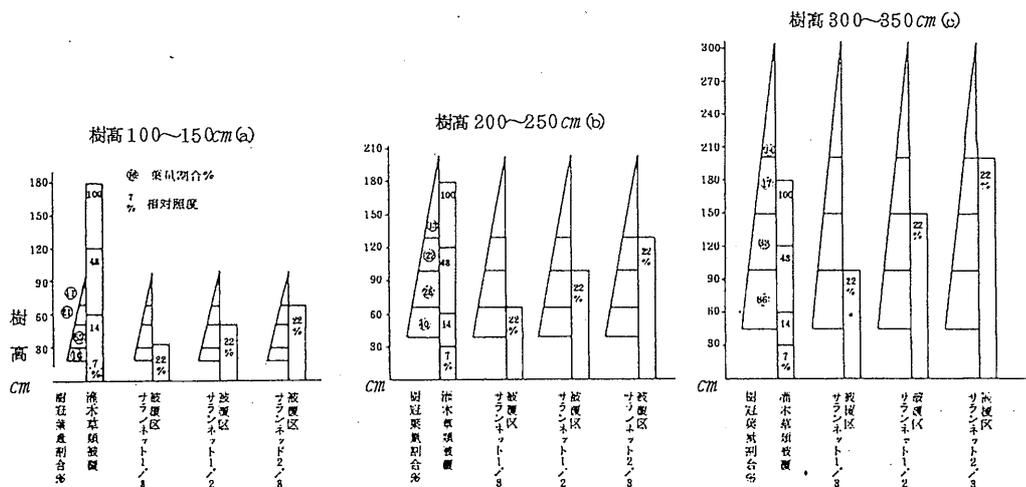


図 39 a~c 灌木草類による被覆

草丈が、100 cm、50 cm、30 cmの雑草木類内部の地表面付近の照度は、10~20%と草丈が低いにもかかわらずかなり暗い。本実験では、地上30 cmで相対照度7%、60 cmで14%であったので、千葉らの試験結果とかなりよく似ている。

図 39 でみられるように、雑草木類の平均草丈は、180 cmであるから、植栽木の平均樹高によって、雑草木類からうける被圧の度合は、それぞれ異なる。植栽木の平均樹高100~150 cmでは、全体が相対照度40%以下、また、その樹冠の半分以下が相対照度14%以下になってしまう。平均樹高200~250 cmでは、樹冠の半分以下が相対照度40%以下、樹冠下部位置で14%である。平均樹高300~350 cmでは、樹冠の半分以下が、相対照度43%以下である。すなわち、本実験条件の下では、雑草木類の中で平均樹高の最小クラスの供試木は、梢端部分でも相対照度が50%以下の光条件となることが判る。

サラネット被覆では、相対照度が22%であるので、雑草木類による被覆状態を想定すると、内部のかなり低い位置、すなわち地表面から80 cm程度の照度に相当することになる。

(2) 樹冠被覆と葉量

樹高階が異なる供試木について、サラネットによる3種類の被覆処理を行なって実験に供したが、この場合、どの程度の葉量が被覆されるかを調べた。その結果を図40に示した。

1/3被覆区で被覆される葉量は、樹高105 cmで全葉量の16%、樹高210 cmで38%、樹高308 cmで38%で、被覆される葉量は樹高の増大とともに増えた。1/2被覆区では、樹高105 cm、210 cm、308 cmの供試木で、それぞれ68%、65%、69%で、樹高に関係なく被覆される葉の割合はほぼ同じであった。2/3被覆区では、1/2被覆とほぼ同じ傾向を示し、それぞれ全葉量の90%、87%、86%と被覆される葉量は変わらないが、被覆される割合は、1/2区より大であった。

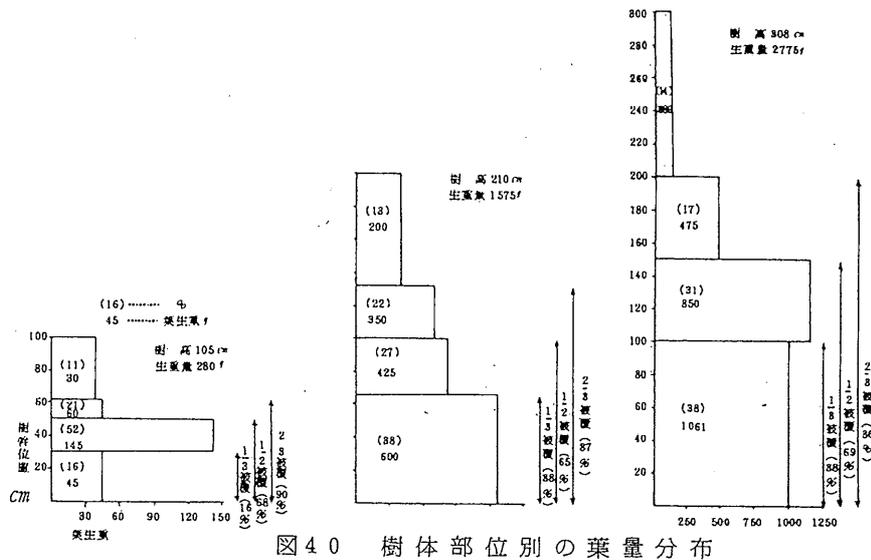


図40 樹体部位別の葉量分布

(3) 樹冠被覆による生長低下と施肥の影響

試験結果を図41に示した。

被覆割合のちがいによる生長低下を、無施肥無被覆区の樹高生長量を100として指数で示した。

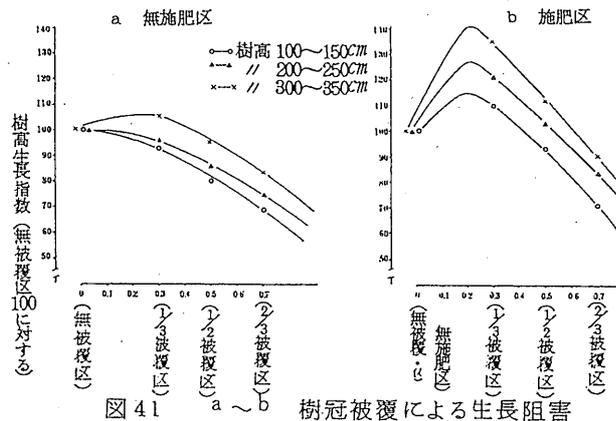


図41 樹冠被覆による生長阻害

無施肥区の場合は、樹高階100~150cm及び200~250cmでは、被覆割合が増加するに従って、生長量が減少するが、この生長低下の割合は、樹高階の小さい100~150cmの供試木でやや大きい。すなわち、1/3被覆区で4~7%、1/2被覆区で14~20%、2/3被覆区で25~30%、それぞれ生長が低下した。樹高階300~350cmの供試木では、生長に対する被覆の影響はやや異なる。1/3被覆区は、無被覆区との比が105で、生長量は殆んど変わらないが、1/2被覆区で5%、2/3被覆区で15%、それぞれ生長低下が認められた。

施肥区の場合は、被覆割合と生長との関係は、次のとおりであった。ただし対照としては、無施肥、無被覆区を用い、施肥、無被覆区は設けなかった。

1/3被覆区では、無施肥、無被覆区(対照区)との樹高の比は110~135で、いずれの樹高階でも対照区に較べて、樹高生長が大きかった。1/2被覆区では、樹高階100~150cmで、対照区との比93とやや生長が減少するが、樹高階200~250cmでは、102と殆んど変わらなかった。樹高階300~350cmでは、112でやや生長が増大していた。2/3被覆区では、樹高階

100～150 cmで対照区との比が70と最も小さく、樹高階200～250 cmで84、樹高階300～350 cmで90となって、樹高階が大きい供試木ほど生長低下が少なかった。

すなわち、1/3被覆区では、無施肥の場合、生長が5%増加するものから約7%低下するものまで、樹高階によって若干ちがったが、施肥の場合は、いずれの樹高階でも10～35%生長が増加した。1/2被覆区では、無施肥で5～20%の生長低下がみられたが、施肥区の場合は、樹高階100～150 cmで約7%の生長低下がみられた以外は、生長量は対照区と変わらないか12%増加した。2/3被覆区では、樹高階100～150 cmで、両試験区とも生長低下は、約30%で等しかったが、樹高階200～250 cmでは、無施肥区25%、施肥区17%、また樹高階300～350 cmでは、無施肥区16%、施肥区10%、それぞれで生長が低下したが、いずれの場合でも施肥区の方が低下が少なかった。

これらの結果に基づき、被覆葉量と生長低下の関係を図42に示した。

樹高階100～150 cmの供試木の着葉量は、1本当たりで約280 gであって、1/3被覆区は全葉量の16%が被覆され、したがって、被覆されなかった葉量は240 gであった。1/2被覆区では、68%が被覆されたので、残った葉量は90 g、2/3被覆区は90%が被覆され残った葉量は30 gであった。

生長に対する被覆の影響は、無施肥区の場合は、いずれの被覆でも生長が低下し、その程度は8%～30%であったが、これに対して施肥区の場合は、2/3被覆区で30%、1/2被覆区で7%生長が低下したが、1/3被覆区では約10%生長が増加した。

樹高階200～250 cmの供試木の着葉量は、1本当たりで1600 gであって、1/3被覆区は全着葉の約40%が被覆され、残った葉量は約1000 g、1/2被覆区では約65%が被覆され、残った葉量は約600 g、2/3被覆区は約90%が被覆され、残った葉量は約200 gであった。

生長に対する被覆の影響は、無施肥区ではいずれでも4%～25%生長が低下したが、施肥区では1/3被覆区、1/2被覆区で対照区よりも20%、3%生長量が大きかったが、2/3被覆区で17%生長が少なかった。

(4) 施肥木の下刈り終了時点

雑草木類の繁茂状態は、種類や立地条件によって異なり、その草丈の生長量も変ってくる。下刈りを止めた場合、その年に生長する雑草木類の草丈を、隣接の数カ所の標準地で測定した。その結果、雑草木類の1年間の生長量は、ほぼ150～200 cmであった。雑草木類の草丈生長量が、150～200 cmの林地における下刈り終了時点について考えてみる。

雑草木類の草丈がほぼ一定で150～200 cmと仮定すると、造林木の樹高が450～600 cmで、雑草木類による被覆度合は1/3被覆となり、300～400 cmで1/2被覆、220～300 cmで2/3被覆となる。

すでに図41aで示したように、樹高階300～350 cmの場合は、無施肥で1/2被覆区は、対照区との比が95となり、生長低下は僅かであった。

林地で雑草木類によって被覆される場合、その上層では、サランネットの22%よりも相対照度は大きく明るいので、1/2被覆で生長低下がほとんどないことが期待でき、従って、下刈りの終了時点は、造林木の樹高が300～400 cmの時点だと云える。

施肥した場合は、同じく図41bで示したように、樹高階200～250 cmの場合では、2/3被覆で対照区との比が85となり生長低下がみられた。しかしながら、林地で雑草木類によって被覆される場合は、さきに述べたように、この実験よりも明るいので、造林木の樹高階が220～300 cmであれば、生長低下は殆どないものと思われる。

すなわち、施肥木は第一節 第一項で述べたように、施肥によって葉の養分含有率が高くなり、葉の同化能率が増大し、無施肥木に較らべて、少ない葉量で同じ程度の年間生長量が示されたものと考えることができる。従って施肥した場合の下刈り終了時点は、樹高220～300 cmとみてよいだろう。

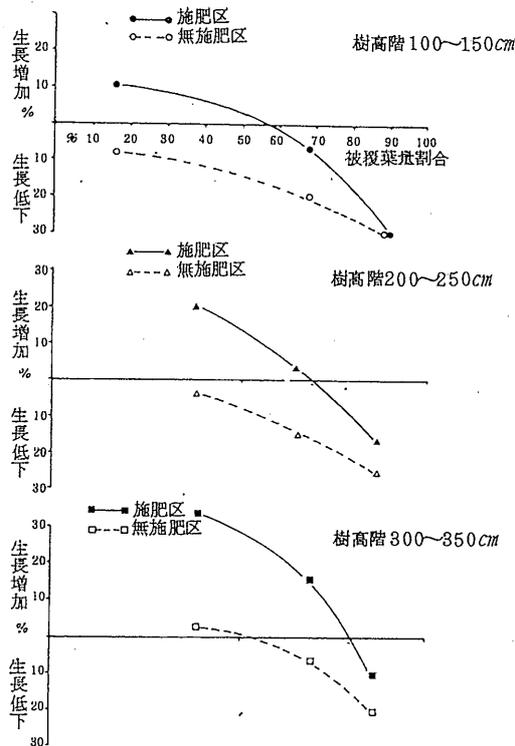


図42 被覆葉量と生長との関係

II 下刈り施業の省力

II-1 試験の目的

先のIでは、雑草木類の草丈は、施肥によってそれ程生長が促進されずに、ほゞ一定だとの考えのもとで試験を行なった。しかしながら、実際の林地では、肥培によって雑草木類の草生量は増加するものと考えられる。

そこで、林地肥培による下刈り施業の省力化を検討するために、下刈り期間を通じた下刈り作業量を測定するとともに、投入経費の多少についても調べた。

II-2 試験方法

明方村小川地区の

スギ8年生直ざし造林地(1966年5月直ざし、BD型土壌)において、表30のような試験設計に基づいて試験を行なった。

表30 試験設計

試験区	施肥回数	備考
1回施肥区	1年目のみ施肥	施肥量:N:P ₂ O ₅ :K ₂ O=20 ^g :10 ^g :10 ^g /1本当 施肥時期:5月 植栽密度:3000本/ha 試験区の大きさ:15m×15m 2回繰返し
2回施肥区	1年、2年目施肥	
3回施肥区	1年、2年、3年目施肥	
無施肥区	—	

樹高及び枝張りは、生長休止期の秋に測定し、また、各試験区内の標準地(10m×10m)の雑草木類を7月下旬に刈りとり、生重量を測定した。

II-3 試験結果

(1) 樹高及び枝張りの経年変化

試験結果を図43、図44及び付表8に示した。

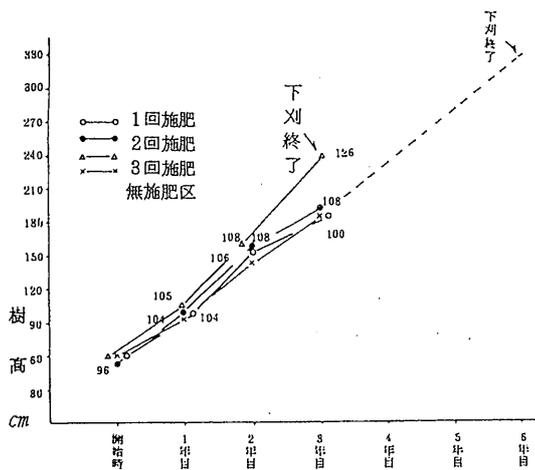


図 4.3 樹高生長の経年変化

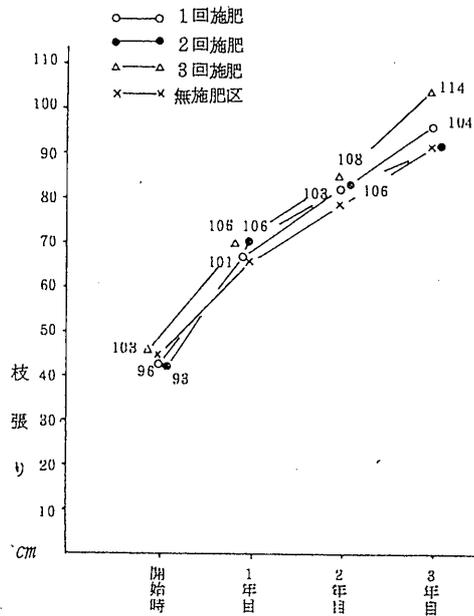


図 4.4 枝張りの経年変化

試験開始時点の樹高は、1回施肥区、3回施肥区及び無施肥区ではほぼ等しかったが、2回施肥区は約10%低かった。

施肥後3年目の肥効指数（無施肥区の樹高を100とした指数）を比較すると、1回施肥区は殆んど肥効が認められなかったのに対して、3回施肥区は、肥効指数126で肥効が認められた。2回施肥区についても、試験開始時の樹高が、無施肥区よりも低かったことを考慮すれば、肥効指数108は、十分に肥効があったといえよう。

枝張りは、2回施肥区以外は、3試験区ではほぼ等しかったが、2回施肥区は、他の試験区より約7%小さかった。

試験開始後3年目の肥効指数を比較すると1回施肥区で肥効がみられなかったが、3回施肥区では14%大きく、肥効が認められた。2回施肥区は、試験開始時点で、枝張りが小さかったことを考慮しても、肥効は認められなかった。

本試験地において、雑草木類の草丈の経年変化及び施肥区、無施肥区間の差を観測したが、草丈は、両試験区で殆んど差がみられなく、前項の場合とほぼ同様で、150~200cm程度と測定された。

従って、先のIの試験結果から、下刈り終了時点の樹高階は、施肥木で2/3被覆時点にあたる220~300cm、無施肥木で1/2被覆時点の300~400cmということになる。図4.3において3回施肥区の樹高生長経過で、3年目の樹高は、240cmであるから、3年目から下刈りは不要となる。無施肥区は、樹高生長経過から6年目の樹高が330cmと推定されるので、この時点から下刈りが不要となる。

すなわち、本試験では、肥効がみられた3回施肥区の下刈りは3回、これに対して、無施肥区は、6回実施されたことになり、3回下刈り回数が省力できたといえよう。

今井⁸⁶⁾(1970)は、施肥を2回行なって、無施肥区で下刈りが5回必要なものが、2回の下刈りで完了し、3回省力できたと報告している。この場合造林木への肥効が著しく、肥効指数185であって、本試験の肥効指数126よりも大きかった。

このように造林木への肥効によって、省力の度合いが異なるが、肥培によって、樹高生長及び枝張りが増大すると、無施肥の造林地よりも生長が早く、下刈りの期間を短縮することができるものといえよう。

(2) 下刈り量に及ぼす施肥の影響

雑草木類の生重量の経年変化を図45a～d、付表9に示した。

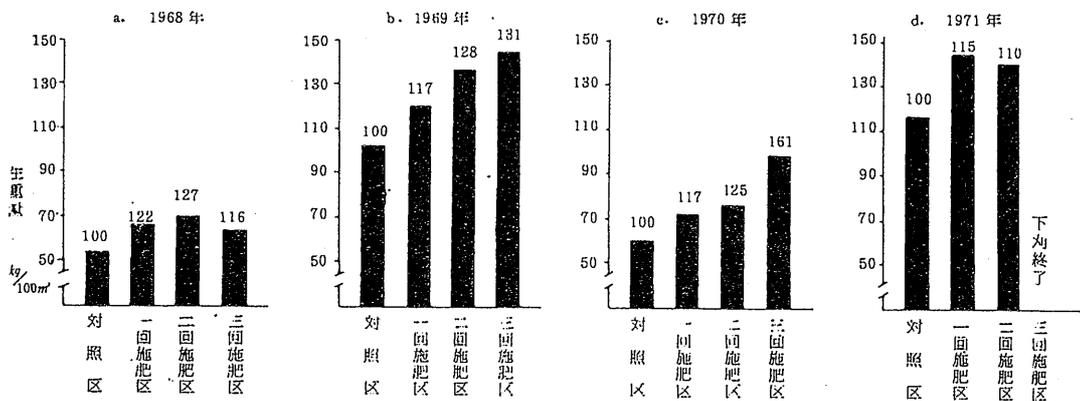


図45 a～d 灌木草類の生重量

下刈りの労力は、雑草木類の量にほぼ比例するので、これを下刈り量とみることができよう。

また、雑草木類の量は、局所的に違うのみならず、年によっても違い、同じ処理でも年による違いが大きい。そこで、ここでは雑草木類の絶対量よりも、無施肥区を100とした相対値によって施肥による影響を検討した。

1回施肥区は、1年目の雑草木類の下刈り量は、無施肥区よりも22%多く、2年目以降でも15～17%であって、おおよそ20%前後、下刈り量が多くなった。

2回施肥区は、1年目から3年間、無施肥区よりも25～28%多かったが、4年目は無施肥区より僅かに10%多い程度であった。

3回施肥区は、1年目、2年目、3年目と16%、31%、61%それぞれ無施肥区よりも多く、年次を追って増大したが、4年目には下刈りが終了した。

施肥によって、いずれも雑草木類の下刈り量は増加した。そして施肥回数が多いほど下刈り量は多くなった。ただし、3回施肥区は、無施肥区よりも、早く下刈りが終了した。

(3) 下刈り作業量及び経費

下刈りに要する総人数及び総経費における林地肥培の影響を検討した。

表 31 下刈、施肥の所要人数と経費の試算

試験区	所要人数 (人)						所要経費 円		
	1968年	1969年	1970年	1971年	1972年	1973年	計	算出基礎	計
1回施肥区	11 ①	20	12	22	14	14	(119) 94	2400 ^円 ×94人=225,600 ^円 1200 ^円 ×10袋=12,000 ^円	(125) 237,600
2回施肥区	11 ①	21 ①	12	21	15	—	(104) 82	2400 ^円 ×82人=196,800 ^円 (1200 ^円 ×10袋)×2回=24,000 ^円	(116) 220,800
3回施肥区	10 ①	22 ①	16 ①	—	—	—	(65) 51	2400 ^円 ×51人=122,400 ^円 (1200 ^円 ×10袋)×3回=36,000 ^円	(84) 158,400
無施肥区	9	17	10	19	12	12	(100) 79	2400 ^円 ×79人=189,600 ^円	(100) 189,600
備考	灌木草類量 5520 kg/ha の下刈り人数 = 9 人 付表 2 の灌木草類量について下刈り人数算出 1972年、1973年は付表 2 の平均値について下刈り人数算出						肥料所要量 (ha 当り) …… 150 kg (N 20%) 施肥所要人数 (ha 当り) …… ①人 賃金単価 (1人1日) …… 2400 ^円 肥料価格 …… 1200 円 (15kg) 下刈り終了時点の推定 …… 図 7 試算時点 1970年		

その結果を表 31 に示した。

1回施肥区及び2回施肥区では、肥培効果が殆んど認められず、下刈りに要する総人数は、無施肥区とほとんど違いがなかった。3回施肥区は、所要総人数が51人/haとなり、無施肥区の79人/haに対して、35%の下刈り労力の軽減となった。

これを経費で検討すると、3回施肥区は、約15万8千円/haかかり、無施肥区の約19万円/haの支出よりも、16%支出が少なかった。

すなわち、連続して3~4回施肥を行なうと、造林木の樹高生長が明らかに促進される。一方で、雑草木類の下刈り量が無施肥区より増加するが、下刈り回数を約3回減らすことができ、下刈り労働量は約35%軽減でき経費も安くなることが確かめられた。

第二項 雪害木、虫害木の樹勢回復及び枝打ち木の完満化促進への応用

I 肥培によるスギ幼齢林の雪害回復*

積雪地帯における、幼齢林の保育上の重要な課題は、埋雪による雪害の防止である。

雪害の種類⁸⁷⁾は、12種あるとされているが、林業において、このうちで被害程度が大きなものとしては、「根倒れ」、「根元・幹割れ」及び「根元・幹折れ」であって、「幹曲り」や「梢折れ」は、被害も回復しその後の生長も続けることができるとされている。

雪害対策としては、雪害をできるかぎり軽減すること、雪害をうけた個体は、生長を促進させて、速やかに回復させること、造林木の生長を促進して、雪害をうけない樹高に早く成長させることなどがあげられる。

こゝでは、林地肥培によって、このようなことが可能であるかどうかを検討するために試験を行なった。

I-1. 試験目的

肥培によって生長が促進されると、材質面で雪害をうけやすくなるという考えがある¹²⁸⁾ また、反面には、埋雪によって幹折れや梢端折れが起きたとしても、被害からの回復やその後の生長を早くす

* この報告の内容の一部は文献2に発表した。

るという点について、肥培が有効だという考えもある。

これらの点についての検討を行なうため、この試験を実施した。

I-2 試験方法

本県で積雪量をもっとも多い白川村に、試験地を設定した。

本地域は湿雪で「幹折れ」、「幹曲り」などの造林木被害が頻発している。

試験地は、白川1号試験地及び白川2号試験地の2カ所で、白川1号は、庄川の支流の水源地域にあたる「馬狩」地内にあり、白川2号は、これより北の「小白川」地内にある。

両試験地の立地条件を表32に示した。

表32 立地条件

試験地	所在地	施肥時林令 試験地設定年月	年平均 気温 °C	年降 水量 mm	最深 積雪量 cm	標高 m	地質	傾斜度	土壌型
白川 1号	大野郡白川村馬狩	スギ 4年生 1964.6月	10.5	2700	250	700	黒雲母 花崗岩	0	BD
白川 2号	大野郡白川村小白川	スギ 2年生 1966.6月	11.1	2200	200	500	黒雲母 花崗岩	0	BD

白川1号は、標高700m、年平均気温10.5°C、年降水量2700mm、最深積雪量250cm、土壌はBD型(平坦地)である。白川2号は、標高500m、年平均気温11.1°C、年降水量2200mm、最深積雪量200cm、土壌はBD型(平坦地)である。

試験設計を表33、表34に示した。

表33 施肥設計

試験区	施肥時期	1964.8	1965.6	1967.5	1968.5	1969.5
施肥区	施肥成分 量g/1本当	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O =15:9:23	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O =15:9:23	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O =15:9:23	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O =50:29:75	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O =50:29:75
	施肥方法	植栽木の周り半 円上溝状施肥	植栽木の周り3 ~4カ所穴施肥	植栽木の周り バラマキ施肥	植栽木の周り6 カ所穴施肥	植栽木の周り バラマキ施肥
無施肥区		—	—	—	—	—

(白川1号試験地)

白川1号は、スギ4年生造林地において、

て、施肥区、無施肥区の2回繰返し試験を設け、1試験区の大きさは、10m×10mとした。施肥量は、植栽時点で窒素、リン酸、加里は、1本当たり15g、9g、23gとし、この方法で3年継続した後、第4、5回(林令7年及び8年生)では、窒素50gとし、試験地設定後、

通算して5回、1本当たりの合計した窒素量は130gとなった。

白川2号は、イケダスギの秋植え造林地において、植栽の翌年の1966年6月に試験地を設定した。試験区の大きさは、10m×10m、N区、PK区、NPK区及び無施肥区の4区2回繰返しとし、施肥のちがいによる雪害及び雪害回復の差を検討した。施肥量は、植栽当初から3年目までは、窒素、リン酸、加里いずれも成分量で1本当たり10gで、リン酸、加里は、標準施肥量よりも多かった。4年目の5年生時点では、各成分1本当たり15gと施肥量を増やした。したがって、通算4回、連続

表34 施肥設計

(1本当たりg)

試験区	年月	1966.6	1967.5	1968.5	1969.5
N区		10:0:0	10:0:0	10:0:0	15:0:0
PK区		0:10:10	0:10:10	0:10:10	0:15:15
NPK区		10:10:10	10:10:10	10:10:10	15:15:15
無施肥区		—	—	—	—

(白川2号試験地)

施肥が行なわれ、窒素成分で合計して45g、1本に施された。

施肥方法は、両試験地とも、初回は半円周上に浅い溝を掘り、そこに肥料をまき、その上に土をかぶす溝状施肥や3～5カ所に穴を掘り、そこに肥料を分けて施し、その後、土をかぶす穴施肥を採用したが、第2回以降については地表面バラマキ散布をした。

調査方法は、次のようにして行なった。

1) 雪害及び被害回復調査

白川1号では、雪害程度及び被害回復の状態について調べた。

四手井⁸⁷⁾(1954)は、雪害の形態として、「根元割れ」、「枝抜け」、「幹曲り」、「根倒れ」、「幹割れ」、「根元折れ」、「幹折れ」、「先折れ」をあげている。本試験地は、平坦地形であるため、雪の匍行による被害がみられないので、雪害形態区分として、「根元折れ」、「幹折れ」、「先折れ」、「曲り」、「無被害」の5区分とし、消雪後、外観から之を判別した。

次に、被害回復については、生長休止期の樹幹形態から、「回復」、「半回復」、「未回復」に分けて調べた。「回復」とは、被害木の樹幹が、ほゞもとどおりになったもの、または折損部付近から萌芽し、新しい樹幹ができたもの。「半回復」は、樹形は、かなり回復したが、樹幹にはまだ被害の跡がみられ、幹が直立していないもの。「未回復」はそれ以外のもので、回復していないもの。

岐阜県北部の本地域では、埋雪による雪害は、北陸などの豪雪地帯に較らべ、積雪量が少なく雪質が乾いているので、「幹折れ」よりも「幹曲り」が頻発し、これらが累積しながら生育阻害があらわれるという傾向を示している。

そこで、白川2号では、被害形態及び被害の履歴からみた、今後の生育見込みについて調査を行なった。

その区分は、次のとおりであった。

Aは樹幹が直立し、枝張りが正常で健全なもの。Bは樹幹がやや傾き、枝張りが偏平で雪害をうけたもの。Cは根元曲りが大きく、芯が折れ枝抜けしたもの。Dは根元折れ、幹折れなどで今後の生育不能なもの。Eは枯損木。

2) 根曲り量調査

林齢が10～15年生ごろになると、林木が成長して、ほゞ雪害が少なくなる。これまでに雪害を繰り返えしうけてきた結果、根曲りがおこるが、根曲りは、材の利用度や材質を低下させるから、ここでは、この根曲り量を調べた。

根曲り量の測定は、植栽の地際に垂直に測桿をたて、この測桿上で地上高1mの地点から、水平に線を引き樹幹との交点を求め、測桿との水平距離を測定した。

I-3 試験結果

1) 白川1号試験地

試験区別の雪害形態及びその回復状態について調べたが、その結果を表35に示した。

雪害の総本数は、施肥区で43本で全体の96%、無施肥区で38本、95%であって、両区の間で差異が全くみられなかった。

被害の形態は、「根元折れ」、「幹折れ」、「先折れ」などの「折れ」は、施肥区で17本で施肥区全体の38%の被害率であったのに対して、無施肥区で28本で70%と多かった。「幹曲り」は、施肥区で26本、38%に対して、無施肥区が少なかった。「無被害」は、施肥区、無施肥区ともに2本ずつであって、それぞれ4%、5%で、両試験区の間で差が認められなかった。

本試験地の供試木の樹高階別本数割合を図46に示したが、これによると樹高400cm以上のものは、極めて少なかった。

四手井⁸⁷⁾(1954)は、雪圧の害は最深積雪の2倍ぐらいまでの樹高をもつ幼齢林に起こりやすいと報告しているが、本試験地の最深積雪量250cmであるため、雪害をうける樹高は500cm位まで

である。このような条件下では、施肥が雪害を軽減する効果をもつとは云えないように思われる。ただし、図46で示されるように、無施肥区は樹高400cm以下の供

表 35 雪 害 の 回 復 (本)

試験区 回復度区分 被害型	施 肥 区					無 施 肥 区				
	無被害	回 復	半回復	未回復	計	無被害	回 復	半回復	未回復	計
根元折れ				(100)	(100)				(100)	(100)
幹折れ		(58)	(25)	(17)	(100)	(35)	(40)	(25)	(100)	(100)
先折れ		7	3	2	12	7	8	5	20	20
幹曲り		(25)		(75)	(100)	(15)	(70)	(15)	(100)	(100)
無被害	2	1	0	3	4	1	5	1	7	7
		(84)	(8)	(8)	(100)	(100)			(100)	(100)
		22	2	2	26	10			10	10
計	(4)	(67)	(11)	(18)	(100)	(5)	(45)	(33)	(17)	(100)
	2	30	5	8	45	2	18	13	7	40

被害調査：1969・5月、回復状態調査：1969年11月、()指数 (白川1号試験地)

試木が95%で、施肥区の82%よりも多かったが、このことが無施肥区において、激害の「折れ」被害が多くなった理由ではないかと考えられる。

雪害回復状態は、表35に示したように、施肥区で30本、67%が秋季までに回復したが、無施肥区は、18本、45%で、回復状態が若干悪かった。

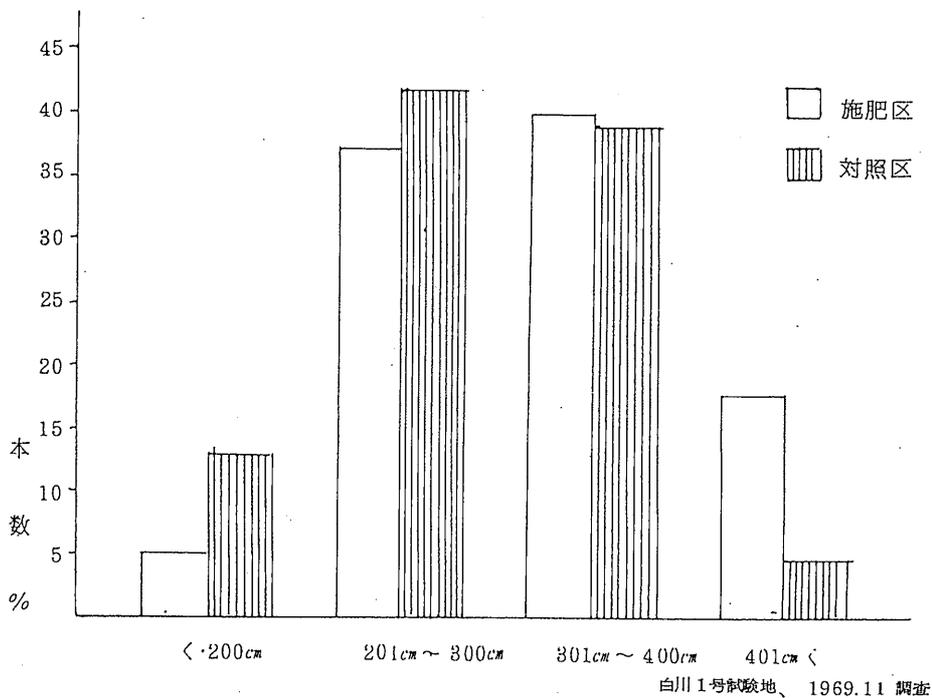


図 46 樹高階別本数割合

2) 白川2号試験地

雪害形態別の出現頻度を図47に示した。

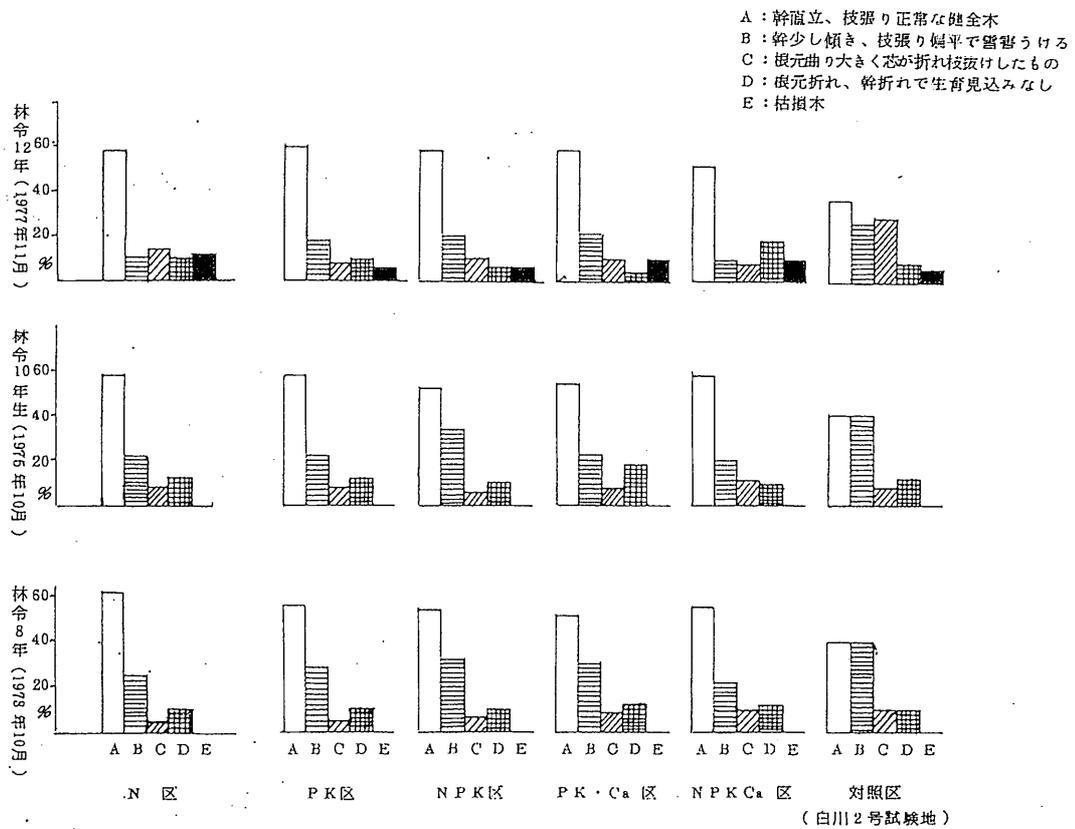


図47 雪害形態

雪害形態の中で、C（根元曲りが大きく、芯が折れ枝抜けたもの）、D（根元折れ、幹折れで生育見込みがないもの）及びE（雪害による枯損木）が激害とみてよいので、これらの合計の本数割合によって、試験区間の雪害状態を検討した。

林齢8年生（1973年4月）において激害率は、N区、PK区及びNPK区で4～15%、無施肥区で20%を示し、無施肥区がやや大きかった。林齢10年生（1975年10月）では、NPK区14%、N区、PK区、無施肥区で20～22%で、NPK区の激害率がやや小さかった。林齢12年生（1977年11月）では、N区、PK区、NPK区で20～23%、無施肥区で40%、激

害率は無施肥区で大きかった。

すなわち、無施肥区の被害率が大きく、NPK区でやや低い場合があったが、全般的にはその差が明らかでなく、施肥によって雪害が、明らかに軽減されるとは云いきい。

試験地設定12年後の生育状態を、表36に示した。

樹高、胸高直径を通じて、PK区で肥効がもっとも大きく、次いでNPK区、N区の順であったが、いずれも施肥区で肥効が認められた。

根曲り量は、無施肥区が27cmで最も大きかった。これに対して、N区17cm、NPK区18cmで、これらの根曲り量は、無施肥区の約60~70%であった。

樹幹形態をあらわす形状比(樹高と胸高直径の比)が大きいと雪害をうけ

やすいとされている。形状比は、NPK区68、無施肥区67、PK区64、N区61であって、各試験区間で、明らかな差があるとは云えず、本試験では、肥培によって形状比が大きくなって、雪害に対する危険性が高くなる傾向はみられなかった。

渡辺¹²⁹⁾(1975)は、積雪深250~300cm地帯における9年生肥培試験林において、平均樹高408cmの施肥区では、雪害木本数率0%、これに対して、平均樹高298cmの無施肥区の雪害本数率16%で、施肥区は雪害がなかったと報告している。

須藤¹³⁰⁾(1975)は、積雪深200cm地帯における10年生肥培試験林において、平均樹高834cmの施肥区の雪害木本数率25%、平均樹高733cmの無施肥区の雪害木本数率14.3%と両試験区で差がみられたが、立木の成立本数は、平均傾斜角に関係が深く、雪害は、むしろ地形的要因に影響をうけると述べている。

これらの例にみられるように、雪害木の本数率は、肥培によって多少減少する場合があるとしても、無施肥区との差は、明らかでない場合が多く、従って肥培によって必ずしも減少するとは云えない。

著者が行った両白川試験地においても、先に述べたように、雪害木本数率は、肥培によって減少した場合とそうでなかった場合とがみられた。

しかしながら、肥培の効果として、次の点を指摘することができよう。それは、雪害のうちで重度被害とみられる「折れ」被害が、施肥区で減少することが示されたことである。この肥培による「折れ」被害の減少についての研究例は、全くみられない。林木の生長が極端に不良な「栄養不良材」は、年輪内の晩材細胞の形成が悪く、また晩材細胞膜も薄く、正常な生長条件で、形成された材部に較べて、容積重は著しく小さいとされている。(加納¹²⁸⁾1973)雪圧による倒伏の繰返しで、根切れをおこした造林木は、生育が阻害され、「栄養不良」状態になるのに対し、施肥によって生長が回復されるとすると、肥培木で材質が変化し、「折れ」被害の減少に関係してくるものと考えられるが、今後の検討が必要である。

「樹幹折れ」は、側枝及び不定芽が主軸に代るような経過をたどり回復し、また「樹幹割れ」は、被害部が癒合し巻込むような経過で回復するが¹³¹⁾、このような場合において、肥培は雪害からの回復速度を早めることができよう。すなわち、施肥によって上長及び肥大生長が盛んになると、白川1号試験地においてみられたように、回復本数率が高くなることは、十分期待できよう。また施肥によって、造林木の樹高生長が促進され、雪害をうける樹高範囲を早くこえることができることも、雪害を軽減し防止する面で、有効に作用するものと考えてよいだろう。

表36 生育状態

項目	試験区	N区	PK区	NPK区	対照区
樹高	cm	507±103 (120)	555±98 (132)	536±125 (127)	421±123 (100)
胸高直径	cm	8.7±2.3 (132)	8.8±1.8 (133)	8.3±2.3 (126)	6.6±2.0 (100)
根曲り量	cm	17±10 (63)	21±16 (78)	18±13 (67)	27±18 (100)
H/D比		61±12	64±9	68±12	67±12

() 指数

(白川2号試験地)
1977年11月調査

II スギハダニ着生による幼齡林の生長低下と肥培効果*

II-1 試験目的

吸汁性害虫のスギハダニは、高温乾燥時に幼齡造林地に大発生し、造林木の針葉の葉汁を吸収し、針葉が黄褐色化し葉の機能を低下させ、造林木の生長を著しく阻害する¹⁰¹⁾

スギハダニの着生によって、幼齡造林木の生長が、どの程度低下するか、肥培がスギハダニの着生状態やスギハダニ着生造林木の生長に、どのように影響するか、さらにまた、肥料と滲透移行性殺虫剤の混合施用効果について検討を行なった。

II-2 試験方法

県南地域にあたる金山町戸川地内のスギ2~4年生造林地に、試験地を設定し、1967年から1968年にわたって、試験を行なった。

本試験地は、1965年から、ほとんど毎年スギハダニが発生した常習地であった。

試験地の立地条件は、表37に示した。

表37 立地条件

試験地	試験項目	設定時林齡 試験地設定年月	立地条件						
			年平均気温 °C	年降水量 mm	積雪量 cm	標高 m	地質	傾斜度	土壌型
金山3号	スギハダニ着生による生長低下	2 1967年4月	13.5	2330	20	600	砂岩、粘板岩互層	5	BDd
		2 1968年5月	13.5	2330	20	600	砂岩、粘板岩互層	5	BD

年平均気温は13.5°Cで、県全体の平均よりもやや高いが、年降水量は2300mmでは県平均値を示している。

積雪量は20cmで、比較的少ない地域である。

地質は、砂岩、粘板岩互層で、礫質の適潤性土壌で標高500~600mの林地である。

金山3号試験地は、滲透移行性殺虫剤のジメトエート、エカチンの2種類の殺ダニ剤を施用し、スギハダニが着生しない試験区をつくり、スギハダニが着生した試験区と比較することによって、生長のちがいを調べた。

平均樹高約100cmのスギ2年生造林地に試験地を設け、ジメトエートを施用したスギハダニ駆除区A、エカチンを施用したスギハダニ駆除区B及び殺ダニ剤を施用しないスギハダニ発生区Cの3試験地を設定し、供試木はそれぞれ20本ずつとした。

滲透移行性殺虫剤の施用量は、A、B区いずれも供試木1本当たり32gずつで、1967年4月に地表面にバラマキ散布した。

金山4号試験地は、1試験区が10m×10mの大きさのものを4区設け、それぞれ、滲透移行性殺虫剤ジメトエート区A、化成肥料区B、化成肥料・ジメトエート混合施用区C及び無処理区Dとした。供試木は、樹高約150cmのものを各区35本ずつとした。

A、C区の滲透移行性殺虫剤ジメトエートは、供試木1本当たり30gを5月上旬に、根元の周りにバラマキ散布し、またB、C区の肥料は、成分比が20:10:10の化成肥料を、林木1本当たり窒素で10g、5月上旬に地表バラマキ散布した。

スギハダニ着生数調査は、各試験区から無作為に数本の供試木を選び、1本の供試木で樹冠の上、下2カ所から、長さ約10cmの枝葉を採取し、白紙上でその枝葉を叩き、ハダニを落下させ、ルーペを用いて計数した。枝葉の表面積は、山科、吉武の方法によって算出し、ハダニの生息数は、表面積100cm²当りで算出した。

* この報告の内容の一部は文献100に発表した。

II - 3 試験結果

スギハダニの着生による造林木の生長への影響（金山3号）について、試験結果を表38に示した。

表38 スギハダニ着生状態と生長

試験区	処 理	樹 高 cm		根元直径 cm		スギハダニ着生状態 100cm ² 当り					
		1967.5	1967.11	1967.5	1967.11	6.1	6.27	7.24	8.24	10.7	11.14
A	滲透性殺虫剤施用によりスギハダニが完全駆除された区	101.1	(109) 131.2	1.0	(114) 1.6	0	0	0	0	0.1	1.6
B	滲透性殺虫剤施用によりスギハダニが少し駆除された区	102.0	(105) 126.5	0.9	(107) 1.5	1.8	5.9	1.0	2.2	2.0	1.0
C	薬剤処理を行わないためスギハダニが発生した区	100.0	(100) 120.6	1.0	(100) 1.4	2.1	12.8	7.4	34.8	151.1	124.7

() 比数

(金山3号)

スギハダニがもっとも多く発生したC区は、6月から7月では着生数が少ないが、8月から増加し、9月から11月にかけて、著しく多くなっている。

山田ら¹³³⁾(1970)によると、スギハダニの発生は、一般的には5月及び9月に大きな山があって、約50~60頭(10cm枝4本当り)の生息数がみられるが、気象条件によって、その時期が異なるとされている。

スギハダニ着生程度による造林木の生長への影響を、樹高、根元直径についてしらべた。

無処理でスギハダニの発生がもっとも多かったC区の樹高、根元直径を100として、その他の試験区の比数を求めた。

B区は、スギハダニの発生が少なかったため、生長はC区よりややよく、比数では樹高105、根元直径107であったが、スギハダニの発生が全くみられなかったA区は、樹高で109、根元直径114と生長がもっともよかった。

このことによって、スギハダニの着生は、造林木の生長を、樹高で5~10%、根元直径で7~14%低下させるようであった。

肥培木におけるスギハダニの着生状態及び肥料、殺ダニ剤の混合施用効果(金山4号)について、試験結果を表39に示した。

表39 処理別スギハダニ着生数と生長

試験区	処 理	樹 高 cm		スギハダニ着生状態 100cm ² 当り			
		1968.5	1968.11	7月10日	8月9日	9月11日	10月1日
A	滲透性殺虫剤ジメトエート単用区	150	(106) 209	1	1	0	2
B	肥料単用区	149	(110) 218	2	15	91	259
C	肥料・滲透性殺虫剤ジメトエート混合施用区	151	(118) 233	2	1	1	1
D	無 処 理 区	148	(100) 198	2	10	70	150

() 比数

スギハダニの発生状態は、無処理のD区で9月から10月にかけて、70~150頭/100cm²発生したが、肥料単用区Bは、9月から10月にかけて90~260頭/100cm²で、無処理区よりも多かった。ジメトエート施用区A、肥料・ジメトエート混合施用区Cは、いずれもスギハダニの着生が殆んど認められなかった。

生長に及ぼす影響は、無処理区Dの樹高を100とすると、ジメトエート施用区A106、肥料単用区B110、肥料・ジメトエート混合施用区C、118で、いずれも樹高が無施肥区よりも多くなった。肥料単用区では、スギハダニの着生数が多いが、樹高は無処理よりも10%大きく、ジメトエート単用区よりも樹高が高い。

スギハダニの駆除効果は、ジメトエート単用区A、肥料・ジメトエート混合施用区Cとの間に差異がなく、スギハダニは、いずれも殆んど認められなかった。すなわち、肥料とジメトエートとの混合施用は、スギハダニの駆除効果を低下させないばかりでなく、樹高の比数は118で、もっとも大きかったから、肥料効果も低下させないものと考えられる。

青沼¹⁰²⁾(1969)は、施肥試験地において、スギハダニの着生数は、無施肥区が施肥区よりも多かったとし、杉本¹⁰³⁾(1968)は、肥効が認められた肥培試験地において、スギハダニの着生数をしらべた結果、施肥区、無施肥区の間に差異がみられなかったと報告している。

西口¹⁰¹⁾(1963)は、アブラムシ、スギハダニなど吸汁性害虫は、水分条件や栄養条件のよい木で繁殖率が高いため、施肥を行なった場合、これらの害虫の被害をうける可能性があるとして報告している。また、MERKER¹⁵⁹⁾(1985)は、肥培によって虫害予防ができると報告している。

吸汁性害虫に対する肥培の効果についての研究は多くはないが、本結果は、西口の報告を裏づけており、施肥によって虫の発生は多くなるものと考えられる。しかし一方、肥料効果があつて、本試験では薬剤処理とほぼ同程度の生長を示し、施肥は虫を多くするとしても生長低下の抑制には効果があるといえる。実際には、両者の併用が害虫の発生を抑え、生長を促進するので最も望ましいといえよう。

Ⅲ スギ枝打ち木の肥培による完満化促進*

Ⅲ-1 試験の目的

枝打ちは生枝を落すことによって、幹の肥大生長の垂直分布をかえ、完満で無節の樹幹を生産する技術である。

枝打ち作業に肥培を併用すると、樹幹の完満化が促進されるかどうかについて検討を行なう。

Ⅲ-2 試験方法

試験林分は図1に示すように、岐阜県の南部地域にある金山町地内にあり、立地条件は表40に示すように、年平均気温、年降水量及び積雪量は、岐阜県のほぼ平均的値を示している。地質は砂岩、粘板岩の互層で、礫質のBD型土壌が分布して、林地生産力が高い。

スギ14年生林分に、表41に示すように強枝打(施肥、無施肥)区、弱枝打(施肥、無施肥)区、無枝打(施肥、無施肥)区を設け、1965年6月に枝打ち及び施肥をしたが、施肥は、その後1966~1968年まで、毎年1回、合計4回行なつた。

表40 立地条件

試験地	試験場所	試験開始時林分	立地条件						
		試験地設定年月	年平均 気温 °C	年降水 量 mm	積雪量 cm	標高 m	地質	傾斜度	土壌型
金山 5号	益田郡金山町 厚層	14年	13.5	2330	20	500	砂岩、粘 板岩互層	20	BD
		1965年6月							

* この報告の内容の一部は、文献91、92、93に発表した。

表4 1 試験区の種類

試験区	強枝打区		弱枝打区		無枝打区		施肥方法
	施肥	無施肥	施肥	無施肥	施肥	無施肥	
枝打度合%	30		15		0		1965.6 1966.4 窒素成分1本当り 50g バラマキ施肥
供試木の生育状態	供試本数	5	5	5	5	5	
樹高m	9.0~10.5	9.5~10.5	10.0~11.5	9.5~11.5	9.5~11.5	9.5~11.5	1967.4 1968.6、 窒素成分1本当り 100g バラマキ施肥
	10.1	10.1	10.6	10.6	10.4	10.4	
樹冠長m	8.20	8.20	8.80	8.80	8.50	8.50	
枝下高m	1.5~2.3	1.6~2.3	1.7~1.9	1.8~2.0	1.6~2.2	1.5~2.0	
	1.9	1.9	1.8	1.9	1.9	1.8	
設定後の枝下高m	4.30	4.30	3.30	3.30	1.9	1.8	

$$\text{枝打度合\%} = \frac{\text{枝打した樹冠長}}{\text{樹冠長}} \times 100$$

供試木の選定にあたっては、あらかじめ、100~150本の林木について、樹高、枝下高及び樹幹各位置別直径を測定し、これらの測定値から、生育状態及び樹幹形がほぼ同じようなものを30本選定した。

供試木は、約10m×20mの広がりをもつ区域内で、散在的に配置し、この区域を2分し、一方を施肥区、他方を無施肥区とし、それぞれの区域において、強枝打ち、弱枝打ち及び無枝打ちの3処理木を隣合うようにして、5群ずつ配置した。

供試木は、陽光が十分にかつ同じように投射するように、周囲の林木は、やや強い枝打ちを行なった。

供試木の生育状態は、平均樹高は10.1~10.6m、樹冠長8.2~8.8m、平均枝下高1.8~1.9mとほぼ同じであった。枝打度合は、全樹冠長に対する枝打ち樹冠長の割合であらわし、強枝打30%、弱枝打15%とした。施肥は、1本当り窒素で50gを2回、100gを2回バラマキ施肥した。

樹幹の肥大生長の垂直的な分布を測定するため、供試木の樹幹上0.3、1.3、2.3、3.3、4.3、5.3mの位置に、白ペンキで印をし、その部分の直径を、1965から1970年まで、6回毎年9月~11月の生長休止期に測定した。

III-3 試験結果

試験区別の供試木の樹幹位置別直径の経年変化を、図48~図50、付表10に示した。

試験開始時点での各試験区供試木の平均樹幹形は、付表10に示すようにほぼ類似していたが、直径の大きさでは若干の差異があった。そこで、それぞれの試験区ごとに、施肥区の試験開始時の各直径を無施肥区に等しくするとともに、その後の施肥区の直径をも、この割合でもって補正して、図48~図50は作図した。

強枝打区の直径生長に及ぼす施肥の影響は、樹幹位置2.3m以下及び4.3mの直径ではほとんどなく、無施肥区の直径生長と変わらない。樹幹位置3.3m及び5.3mの直径では、施肥による生長の増大が認められる。

すなわち、強枝打施肥区では、枝下1.0m以上の樹冠部分において直径生長の

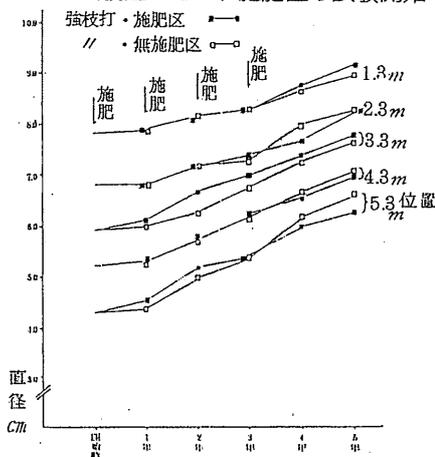


図48 直径生長の変化

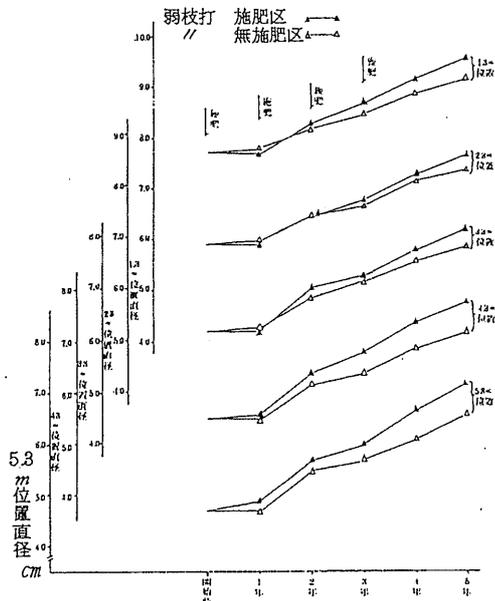


図49 直径生長の変化

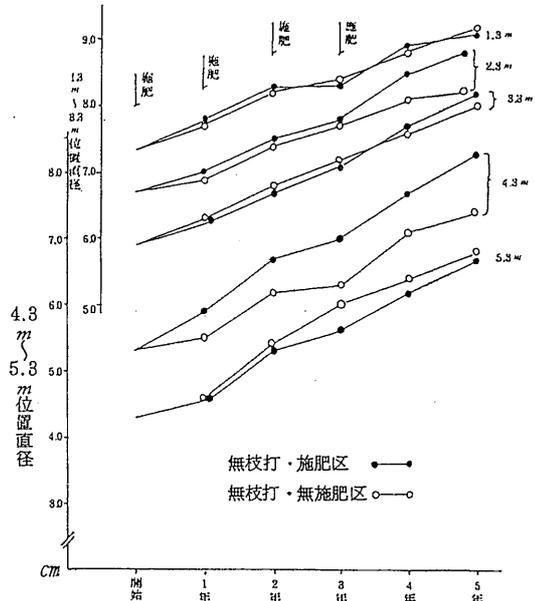


図50 直径生長の変化

増大がみられるが、樹幹下部の直径生長は無施肥区と差がないので、樹幹の完満化がみられた。
 弱枝打区の直径生長では、樹幹位置 3.3 m 以下では枝打後 3 年間に於いて施肥による増大はみられないが、その後において施肥区で若干大きくなる傾向が認められた。樹幹位置 4.3 m、5.3 m の直径は、施肥によって増大している。

すなわち、弱枝打施肥区では、樹幹の下部の直径は若干増大するが、それ以上に樹冠内にある樹幹位置 3.3 m 以上の直径が増大するので、わずかながら完満化の傾向をみとめることができる。

無枝打区の直径生長は、樹幹位置 2.3 m で試験開始 4 ~ 5 年後から施肥区の方が無施肥区よりも大きくなったが、樹幹位置 4.3 m では試験開始直後から施肥区の方が大きくなった。樹幹位置 1.3 m、3.3 m の直径は、施肥による変化はほとんど認められなかった。また樹幹位置 5.3 m の直径変化は、施肥区でむしろ無施肥区よりも低かった。

すなわち無枝打区は、施肥による樹幹形の完満化は、あまりはっきりしなかった。

桑原⁹⁷⁾(1973)は、ヒノキ 3 6 年生林分において、枝打ちと施肥を組合せた試験を行なって、その結果完満度が高かったと報告している。

枝打ちによる樹幹の完満効果については、数多くの研究が^{94) 95) 96) 144)} 従来からなされており、このことが定説となっている。

尾中¹⁴⁴⁾(1950)は、ヒノキ、アカマツ壮齡木などの解析実験によって、樹冠下方が適度以上に枝打されると、枝下部分より下方の幹の肥大生長が減少するが、枝を残した樹冠部においては、年輪巾は処理前よりも増加する傾向があるが、これも著しく枝葉の量が減れば、その部分も生長を減じた」と報告している。

枝打ち施肥は、このような枝打ちによる樹幹の肥大生長の変化に対して、施肥がどのような影響を及ぼすかということであろう。

尾中が述べているように、枝打ちによって枝が除去された部分より下方の肥大生長が減少するが、

このことは施肥を行なってもほとんど変わらないことは、本試験の結果から判るところである。また枝打ちによって、枝が残った樹冠部は、枝打ち前よりも肥大生長は一般には促進されるが、減少する場合も稀にはあるとされているが、施肥がなされた場合には、肥大生長はさらに増加することが本試験で示された。

枝打ち施肥木は、樹冠内の葉量が速やかに回復するとともに、同化機能が高くなり、このことによって、この部分の肥大生長は、枝打ちの効果をさらに促進するものと考えられる。しかしながら、枝葉の着生がみられない樹幹下方部の肥大生長は、施肥によってもそれ程影響をうけない。したがって樹幹の上方部と下方部の肥大生長に差異がみられることによって、枝打ち施肥による完満化の傾向があらわれるものと考えられる。

第三項 複層林内下層木の生長促進

I ヒノキ林内のスギ直さし造林木の肥培効果*

I-1 試験の目的

近年、主に皆伐による様々な危険を回避し、下刈作業の軽減などを目的として、成林した林内の下層に植栽し、二段林ないしは多段林として育成しようとする試みがなされている。

これらの施業は林地を裸地化しないという面で、地力維持には効果があるとみられるが、下層に植栽された造林木にとっては、光条件が十分でなく生長は一般によくはない。

このように、照度が低い林分において、施肥によって、下層造林木の生長を促進することができれば、下木植栽に関する育林技術にとって、大いに意味のあることと思われる。

I-2 試験方法

岐阜県明方村小川の石原林材山林内に試験地を設定した。

試験地は北東に面し、傾斜約30°の起伏が少ない広い斜面で、土壌はB D型である。

ヒノキ50~55年生林内において、表42に示すような5つの試験区を、それぞれ1aずつ一定間隔をおいて設定した。

試験区ごとの林内照度が異なるようにするために、立木密度の疎密に応じて、試験区を設け、設定後、あとで述べるような方法によって照度を測定した。

試験区ごとの林内照度が異なるようにするために、立木密度の疎密に応じて、試験区を設け、設定後、あとで述べるような方法によって照度を測定した。

試験区内の上層木は、平均樹高はほぼ15~16m、平均枝下高は12~13mであって、強枝打ちが行なわれたヒノキ林分であった。

A1区は立木密度が900本/haでもっとも密で相対照度13%ともっとも暗い試験区、次いで立木密度が700本/haのA2区は23%で、B1、B2区はいずれも立木密度600本/haで、枝下高が11.8mのB1区が37%、枝下高12.8mのB2区が47%であった。C区は林齢約30年生の広葉樹林の伐採跡地に試験区を設定した。

これらの試験区において、1964年5月上旬に、スギの大ざし穂を40本ずつ直ざしした。

各試験区を施肥区、無施肥区に分け、施肥区は1965年から1967年まで、毎年春1回ずつ(1965年は春、秋の2回)合計4回、化成肥料(15:8:8)を1本当たり窒素で60gずつ地表バラマキ散布した。

林内の試験区は、いずれも下刈り作業を全く行なわなかったが、裸地Cの施肥区は、1964年か

* この報告の内容の一部は文献105に発表した

表42 上層林分状況

試験区	上層木ヒノキ 平均樹高 m	上層木ヒノキ 平均枝下高 m	立木密度 本/ha	相対照度 %
A1	15.80	11.84	900	13
A2	15.70	11.70	700	23
B1	15.20	11.76	600	37
B2	16.30	12.82	600	47
C	—	—	—	100

ら毎年1回、6月下旬に下刈りを行ない、1967年までに4回実施したが、平均樹高が200cmに達し、樹冠が閉鎖したので下刈りを終了した。一方、裸地Cの無施肥区は、その後1969年まで、下刈りが行なわれ合計6回であった。

林内照度の測定は、1965年8月、11月、1966年4月と3時期において行なった。測定は快晴の日を選らび、正午から3時まで、3台の照度計(東芝5号)を用いて行なった。試験区の対角線上で、15~20の測定点を選らび、連続的にその点照度を測り、それらの平均値を求め、さらに3時期の測定値の平均値を表42に示した。

直ぎし造林木については、毎年、秋に樹高を測定し、各試験区ごとに、無施肥区の樹高に対する指数としてあらわした。

I-3 試験結果

試験結果を図51に示した。

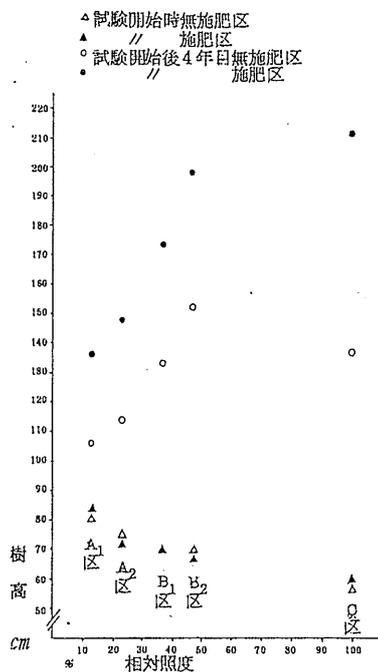


図51 下層木スギの生長

試験開始時点の各試験区の平均樹高は、A₁区、81cm、84cm、A₂区、72cm、75cm、B₁区、67cm、69cm、B₂区、67cm、69cm、C区、57cm、59cmで、5つの試験区間では差がみられたが、それぞれの試験区内の施肥、無施肥の間では、差はほとんどなかった。

4年目の平均樹高についてみると、施肥区と無施肥区の間大きな差が認められ、A₁からCまでいずれの試験区でも、施肥区が大きかった。無施肥区の場合は、平均樹高は、B₂区(相対照度47%)>C区(100%)≒B₁区(37%)>A₂区(23%)>A₁区(13%)であったが、これに対して、施肥区の場合は、C区>B₂区>A₂区>A₁区であった。無施肥区で、裸地区よりも相対照度47%のB₂区で、平均樹高が大きかったが、これは、川那辺¹⁴⁵⁾(1971)が、アカマツ、クロマツを除いたスギ、ヒノキなど多くの樹種の樹高生長は、いずれも被陰によって、裸地区よりも大きくなって、ある程度の強さの被陰区は最大値がみられる傾向があると報告しているのと一致し、初期の平均樹高の影響は少ないとみられる。

照度50%以下では、4年間の伸長量は、照度が低くなる程小さく、無施肥の場合は、B2区の約80cm(20cm/yr.)に対して、A1区では約25cm(6cm/yr.)にすぎず、B2区の約1/3であった。施肥では、B2区の約130cm(30cm/yr.)に対して、A1区では約50cm(10cm/yr.)にすぎず、無施肥の場合と同様に、B2区の約1/3で、照度が低い試験区では、伸長量は小さかった。しかしながら、いずれの試験区でも、施肥によって、伸長量はほぼ1.5倍になった。

このように、光条件が悪い低照度の林内下層造林木の肥培効果について、小川¹⁰⁸⁾(1962)は、次のような実験を行なって、肥培効果の可能性を根拠づけている。

スギ、ヒノキ2~6年生苗を用いて、施肥による日補償点の変化を測定した結果、施肥苗で日補償点が低く、葉の陰葉化が認められ、弱い光で物質生産が可能となり生長が促進されると述べている。

一般に、複層林内の下層木の生長では、光条件がもっとも重要な要因であるが、安藤ら¹⁰⁶⁾(1979)によると、スギ下層木は、相対照度4%程度で、樹高生長が認められなくなり、相対照度5.5%程度で、胸高直径生長が認められなくなるとされている。

実際に、複層林内の光条件は、上層木の樹種、林齢及び立木密度によって変るのみならず、斜面方位によっても変り、かつ水平的にもかなり不均一であるなど、極めて多様にわたっている。

一方、下層木の生長は、樹齡、土壌条件の影響をもうけるから、照度との関係は、決して単純ではない。しかし、ここでみられたように、林内に植栽された下層木の生長は、低照度においても、施肥を行なうことによって、生長が促進され、従って、照度の低いことをある程度補償しうる効果のあることが判った。そしてこのことは、複層林として植栽された下層造林木の生長促進あるいは枯損減少という効果をもたらす、複層林育成の技術の一つとして、十分考慮に値するものと思われる。

第四項 母樹林における結実促進への応用

I アカマツ林における間伐肥培効果*

1 試験の目的

母樹林の結実促進のための施業には、間伐及び施肥が考えられる。間伐により林分を疎開し、残存木に十分な陽光があたるようにすると、結実種子量及び種子重量の増加が期待されると云われている。また、施肥は(1)花芽分化の促進及び花性の調節、(2)球果の収量及びタネの収率の向上、(3)タネの品質向上などの効果が期待されている。

これらの効果を実証するために、1962年から1968年にわたって試験を行なった。

2 試験方法

1) 供試林分及び立地条件

試験地は、岐阜県宮村、刈安峠の林齢65~70年生アカマツ天然林に設定したが、この付近のアカマツは、刈安マツと呼ばれ、樹幹通直で、優良な形質の林分である。

また、この林分は、母樹林として、專業的に施業されているが、林齢が高いため結実量が低下していた。

試験地一帯は、日本海及び太平洋に注ぐ河川の分水嶺をなす、標高940mの高原地形を呈し、石英斑岩を母材とするBDd型土壌で、土壌は比較的浅く、堅密度は固い。

年降水量2000mm、年平均気温8.7℃で寒冷で積雪量も2~3mと多い。

2) 試験区の種類及び保育経過

試験区の種類及びその配列について、表43及び図52に示した。

表43 供試林分の生育状態

試験区	間伐前の立木			間伐後の立木						
	試験内立木本数	平均樹高 m	平均胸高直径 cm	試験内立木本数	平均樹高 m	平均胸高直径 cm	間伐本数率 %	試験区当り胸高断面面積合計 m ²	樹冠占有面積	
									試験区当り m ²	無間伐に対する割合 %
A 間伐無施肥区	53	16.7	30.5	24	18.0	33.0	53	2.13	656	59
B 無間伐施肥区	58	19.7	29.0	52	19.7	29.0	10	3.64	1059	95
C 間伐施肥区	50	16.0	26.8	24	17.2	29.4	52	1.74	634	57
D 無間伐無施肥区	56	20.4	28.6	56	20.4	28.6	0	3.78	1110	100

(注) 無間伐施肥区の6本の間伐は被圧木、枯損木

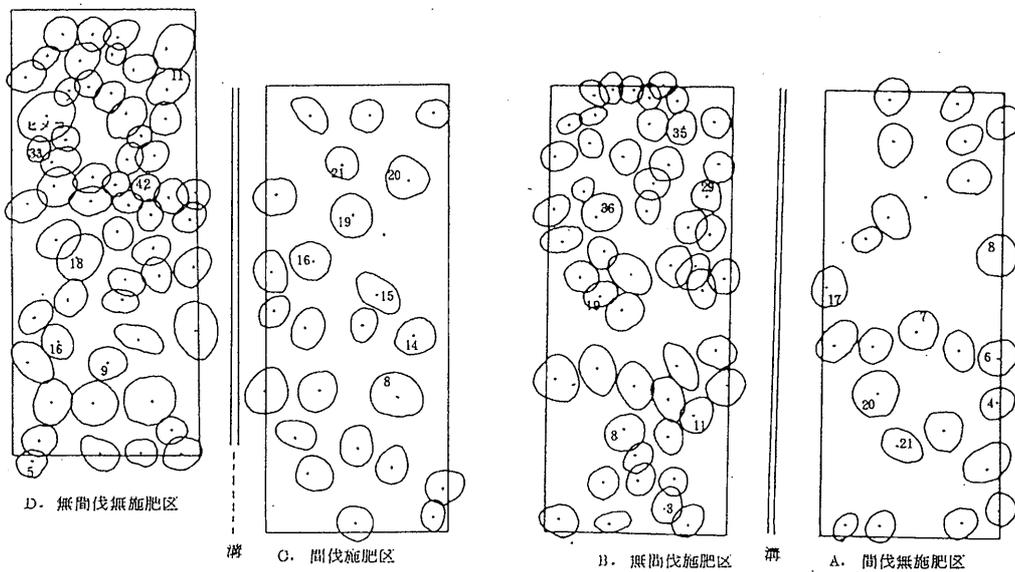


図52 測定木と樹冠配置

米 この報告の内容の一部は文献109、110、111に発表した。

試験区は、巾20m長さ50mの長方形で、図のように配列し、各試験区は5m以上の間隔を設けた。内側にある2つの施肥試験区とその両端に1つずつある無施肥試験区のそれぞれの間に、巾、約30m、深さ30cm、長さ60~70cmの溝を設け、無施肥試験区に対する肥料の影響を防ぐようにした。

試験区には、間伐施肥区、間伐無施肥区、無間伐施肥区、無間伐無施肥区の4種類を設けた。各試験区の保育経過は表4.4に示した。

表4.4 試験区の種類と保育経過

試験林分所在	岐阜県大野郡宮村刈安峠249林班		
樹種及び林齢	アカマツ 65~70年生		
試験地設定年月	1962年7月		
試験区の種類及び大きさ	A 間伐無施肥区 B 無間伐施肥区 C 間伐施肥区 D 無間伐無施肥区 20m×50m		
間伐	実施年月	1962年7月~8月	
	間伐前立木本数	500本/ha	
伐	間伐後立木本数	250本/ha	
	間伐率(本数)	50%	
施肥	第1回施肥	1962年11月	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O=100kg:100kg:100kg/ha
	第2回 "	1963年9月	同上
	第3回 "	1964年9月	同上
	第4回 "	1965年9月	同上
調査	第1回	1962年7月	生育調査 土壌調査
	第2回	1963年10月	生育調査 結実調査 球果採取
	第3回	1964年10月	同上
	第4回	1965年10月	同上

間伐は、1962年7月から8月にわたって行ない、間伐率50%(本数)としたので、立木本数は、間伐区で250本/ha、無間伐区で500本/haとなった。

施肥は、第1回目は1962年11月に、施肥量として窒素、リン酸、加里で100kg/haを施した。続いて毎年1回、計4回の施肥を行なった。ただし、施肥量は第1回目と同量であったが、施肥時期は、施した肥料がその年に吸収されるように、9月に地表面にバラマキ散布した。

各試験区の樹冠配列状態は、図5.2のとおりで、間伐処理の2試験区及び無間伐の2試験区で、それぞれほぼ同じような配列状態が示され、また、表4.3に示したように、樹冠占有面積でもほぼ同じであった。

しかしながら、林分の間伐前の生育状態は、表4.3に示すとおり、各試験区間で差異があった。すなわち、A間伐無施肥区は、平均樹高16.7m、平均胸高直径30.5cm、B無間伐施肥区19.7m、29.0cm、C間伐施肥区16.0m、28.6cmであり、また、立木本数においても、A区53本、B区58本、C区50本、D区56本であった。

このように試験林分としては、初期条件に違いがあったから、試験区の設定にあたって、樹高、胸高直径が大きな試験区に、B無間伐施肥区及びD無間伐無施肥区をあてた。

3) 測定方法

試験区内のすべての測定木について、樹高、胸高直径、枝下高及びクローネ直径を測定した。樹高、枝下高は、ブルメリス測高器、胸高直径は直径巻尺、クローネ直径は巻尺によって、それぞれ測定した。

また、試験区内の7本ずつの測定木において、球果の着生数などの結実状態をしらべた。着生球果数は、各測定木に登り、双眼鏡を用いて数えた。

球果は毎年調査のため採取したが、枝を折らぬようにすることは困難で、実際には枝をいため、かなりの幼球果や花芽を落したものと推定される。

球果1コ当りの生重量は、測定木ごとに採取された球果の中から50コ選らび、上皿天秤で1g単位で測定し、1コ当り生重量を求めた。

球果の大きさは、ノギスでその長径と短径を1mm単位で測定した。

球果1コ当りのタネの数は、天然乾燥した球果50コに含まれる充実したタネの粒数を計測し、この値から球果1コ当りの平均粒数を求めた。

球果1コ当りに含まれるタネの重量についても、タネの粒数と同じように、球果50コに含まれるタネの総重量から求めた。

タネの1000粒当りの重量は、100粒ずつ選別された4組の種子群の重量をg単位で秤量し、これらの平均値を求め、この値から1000粒重を換算した。

発芽勢、発芽率は、25℃±1℃の定温器内で素焼の発芽皿を用いて測定したが、同時にテルル酸ソーダーによる還元法も行なった。

3 試験結果

アカマツでは花芽分化の時期は7月中旬から8月中旬で、花芽分化から結実までに普通3カ年を要する。

この試験で1962年に実施した間伐及び施肥の影響は、一般的には1964年からの結実にあらわれるものと思われるが、この試験においては、間伐の実行が8月下旬であったこと、初回の施肥は11月中旬であったことなどの理由で、実際にはこれらの施業の影響は、さらに1年後の1965年以降の結実からとみるべきだと考えられる。

A 球果について

(1) 着生球果数

測定木1本当りの着生球果数の経年変化を調査したが、その結果を図53 a～b、図54 a～bに示した。

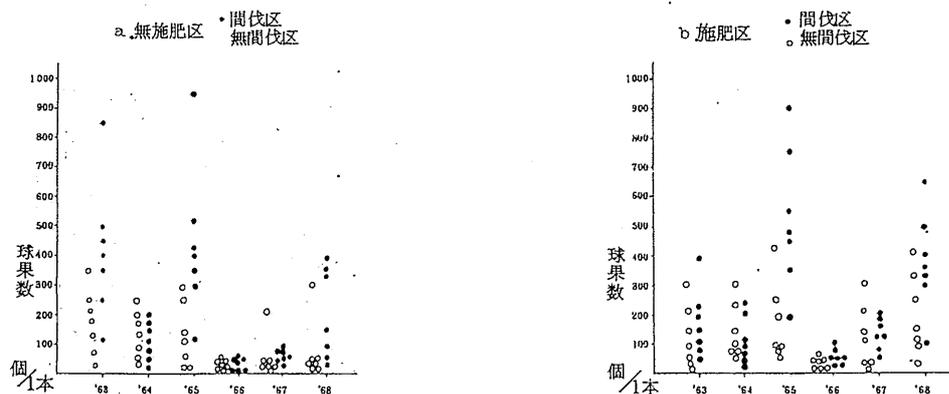


図53 a～b 着生球果数に及ぼす間伐効果

さきに述べたように、間伐及び施肥の影響があらわれるのは、1965年以降である。

図53 a～bにおいて、間伐効果をみると、無施肥区では、1963年の着生球果数に差があるが、この違いは、前述のように林分間の差とみることができる。林分間の比較で、個体差を考慮すると、処理効果があらわれる1965年以降における差異においては、球果数に及ぼす間伐の効果は明らかでなく、ほとんどないものと考えられる。

施肥区では、1963年の着生球果数は、間伐区、無間伐区でほとんど差異がないので、1965年、1968年において、間伐区は無間伐区よりも明らかに多く、間伐効果が認められた。ただし、この場合でも、1966年の結実凶作年及びその翌年では、間伐効果は認められなかった。

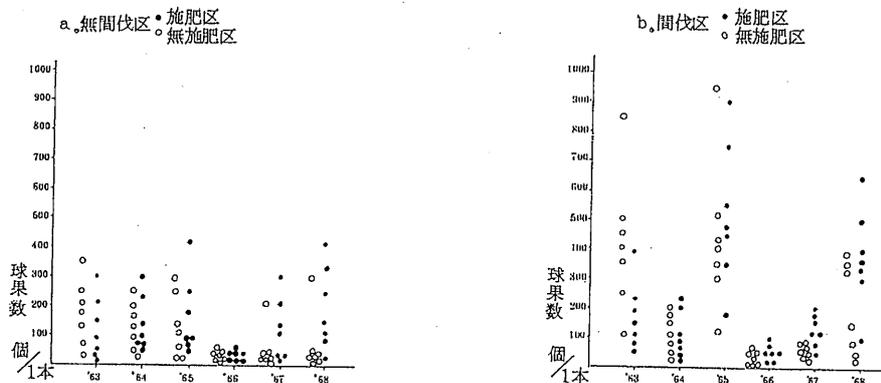


図54 a～b 着生球果数に及ぼす肥培効果

次に図54 a～bにおいて、肥培効果をみると、無間伐区では、1963年の球果数は、施肥区、無施肥区で差がないので、1965年以降の影響では、凶作年を除いた1967年、1968年で、施肥区の球果数が明らかに多く、肥培効果が認められた。

間伐区では、1963年の着生球果数は、林分間に差がみられ、無施肥区の球果数が多かった。したがって、1965年、1967年、1968年における球果数は、施肥区で多くなっているのので、このことを考えあわせると、肥培効果が認められたということができよう。

この試験では、無施肥区の間伐効果は認められなかったが、これは、初期条件に差異がみられたための推論によるもので、初期条件をそろえた場合には、どのような結果になるか、さらに検討する必要がある。

1966年の凶作年の結実量は、著しく少ないが、この結実量はその後回復し、1965年の豊作年と等しくなる。

図54 a～b によれば、無間伐では、無施肥区は1968年でも、1965年の結実量よりもかなり少ないが、施肥区は1968年では結実量ほぼ等しくなっている。

間伐区においても、無間伐区と同じように、施肥区は1968年で結実量は1965年とほぼ等しい。すなわち、凶作年の結実量の低下は、施肥によってその後早く回復する。

(ii) 球果の大きさ

着生球果数の場合と同様に、間伐、施肥効果があらわれていると思える1965年結実の球果について、その大きさを比較したが、図55にその結果を示した。

施肥区は、長径3.4 cm～5.0 cm、平均値4.12 cm ± 0.49 cm、短径1.9 cm～2.3 cm、平均値2.03 cm ± 0.11 cm、無施肥区は、長径3.0 cm～4.0 cm、平均値3.34 cm ± 0.27 cm、短径1.5 cm～2.1 cm、平均値1.83 cm ± 0.14 cmであって、長径で約0.5 cm～1.0 cm、平均値で0.8 cm、短径で0.2 cm～0.5 cm、平均値で0.3 cm施肥によって球果が大きくなった。

間伐区は、長径3.1 cm～5.0 cm、平均値3.74 cm ± 0.60 cm、短径1.7 cm～2.2 cm、平均値1.90 cm ± 0.13 cmであり、無間伐区は、長径3.0 cm～4.6 cm、平均値3.74 cm ± 0.51 cm、短径1.5 cm～2.3 cm、平均値1.96 cm ± 0.19 cmであって、間伐区、無間伐区の間には、球果の大きさの差がなく、間伐による大きさの増加は認められなかった。

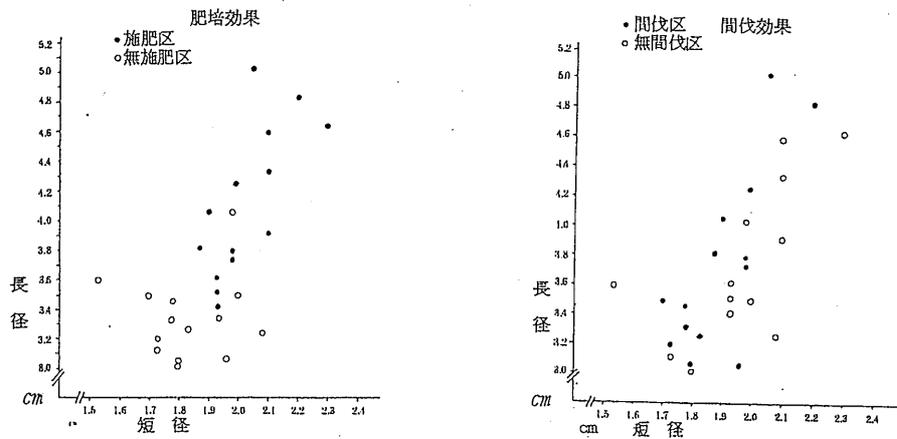


図 55 a~b 球果の大きさに及ぼす肥培効果及び間伐効果

B タネについて

(i) タネの総重量

測定結果を、図 56、図 57 に示した。

施肥効果については、間伐区、無間伐区いずれにおいても、その影響があらわれない初期の 2 年 (1963 年、1964 年) の総重量 (測定木 1 本当り) は、各試験区ともほぼ同じとみてよいが、1965 年以降では、間伐区では、施肥によって多くなる傾向がみられた。しかしながら、凶作の 1966 年では、その差が少なく、施肥の影響より年ごとの変動が大きかったと思われる。なお、同一処理内での個体差は大であった。

無間伐区においても、ほぼ間伐区と同じ傾向がみられた。

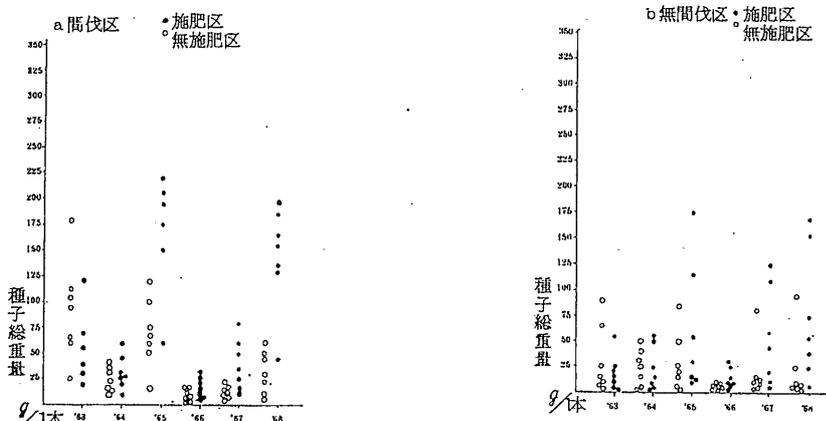


図 56 a~b 種子総重量に及ぼす肥培効果

タネの総重量に及ぼす肥培効果は、間伐、無間伐区のいずれの場合でも認められ、タネの総重量が増加した。

図 57 において間伐効果を見ると、施肥、無施肥区いずれでも、初期条件にあたる 1963 年のタネの総重量は間伐区がわずかに多かった。このような初期条件をふまえて比較すると、施肥区は 1965 年及び 1968 年で間伐区が多く効果がみとめられた。これに対して無施肥区では、間伐区と無間伐区で差異がみられなかった。

すなわちタネの総重量に及ぼす間伐効果は、施肥条件のもとでは効果がみられ総重量が増加したが、無施肥の場合ではその効果がみられなかった。

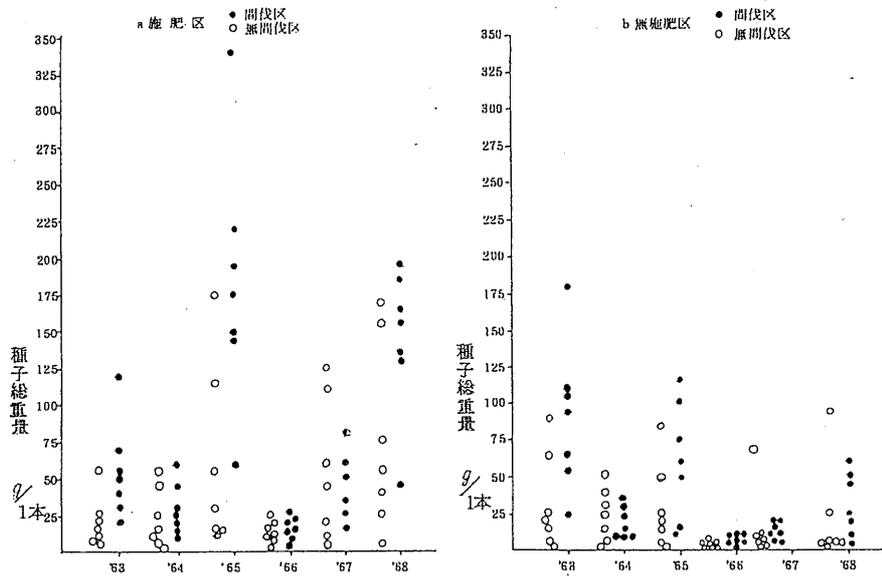


図 57 a～b 種子総重量に及ぼす間伐効果

以上のように母樹1本当たりのタネの総重量は施肥によって増加するが、とくに間伐・施肥によってタネの生産を多くすることが可能とみられる。また間伐施肥、とくに施肥効果は豊作後の樹勢の回復をはやめ、その後の結実量を多くすることにも役だつものと考えられる。

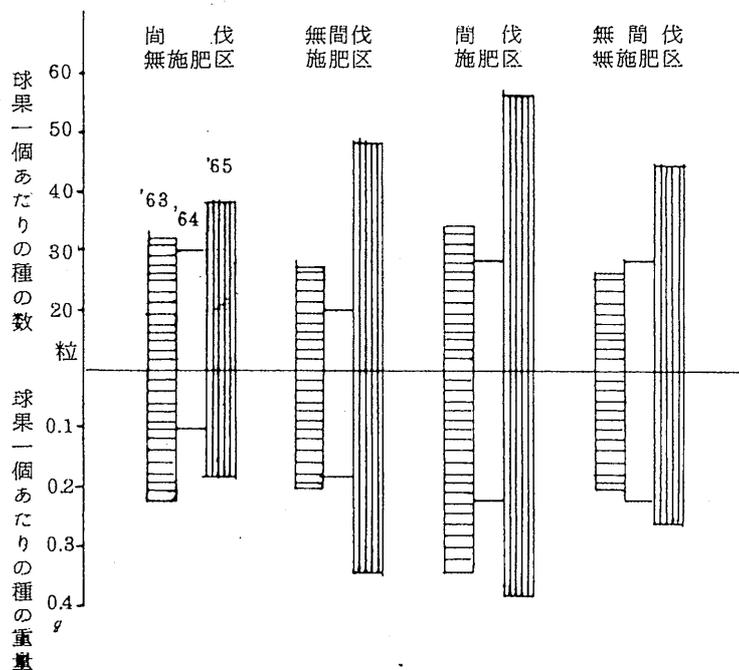


図 58 球果1コ当たりのタネの数と重量

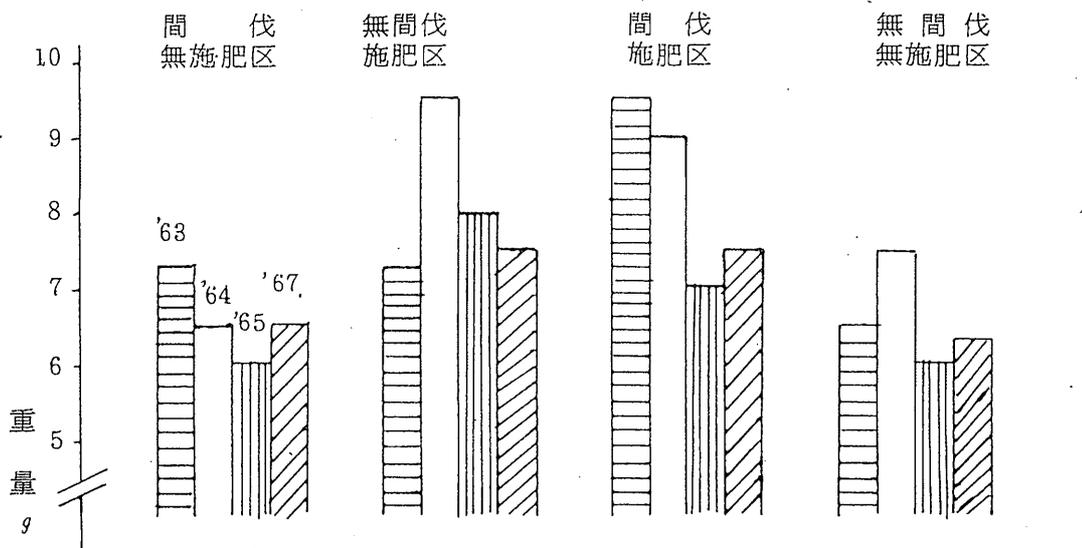


図 59 タネの 1000 粒重

(ii) タネの稔性と品質

球果 1 コ当りのタネの数量と重量について、測定結果を図 58 に示した。

前項同様に 1965 年のタネの数量、重量について比較した。

タネの数量に及ぼす施肥効果は、間伐無施肥区 38 粒（初期条件にあたる 1963 年のタネの数量、32 粒、以下同じ）、間伐施肥区 56 粒（34 粒）及び無間伐無施肥区 44 粒（26 粒）、無間伐施肥区 48 粒（27 粒）となり施肥効果がみとめられ、とくに間伐施肥の相乗効果が大きかった。

次に間伐効果は無間伐施肥区 48 粒（27 粒）、間伐施肥区 56 粒（34 粒）及び無間伐無施肥区 44 粒（26 粒）、間伐無施肥区 38 粒（32 粒）で、初期条件のちがいを考慮にいれると差異はななく効果が認められなかった。

球果 1 コあたりのタネの重量では、施肥効果は、間伐無施肥区 0.18g（0.22g）、間伐施肥区 0.38g（0.34g）及び無間伐無施肥区 0.26g（0.21g）、無間伐施肥区 0.34g（0.20g）で施肥効果が認められたが、間伐効果は、無間伐施肥区 0.34g（0.20g）、間伐施肥区 0.38g（0.34g）及び無間伐無施肥区 0.26g（0.21g）、間伐無施肥区 0.18g（0.22g）で間伐効果はみられないうばかりでなく、むしろタネの重量が減少するようであった。

すなわち、球果 1 コ当りのタネの数量及び重量は、間伐のみによっては、ほとんど変化がなかったが、施肥効果は、明らかに認められた。

試験区間全体の比較は、初期条件がやや異なっているので適切でないが、タネの数量及び重量は間伐施肥区でもっとも大きな値を示し、無間伐無施肥区 100 に対して、数量 127（56 粒）、重量

146 (380mg)であった。

次にタネの品質に及ぼす間伐、施肥の影響を調らべるために、タネ1000粒当りの重量を比較した。その結果を図59に示した。

1000粒当りのタネの重量は、球果1コ当りの重量とは逆に、豊作年の1965年よりも、凶作年の1964年で重い傾向がみられた。

施肥効果をみるために、間伐無施肥区と間伐施肥区を比較したが、間伐無施肥区では、1965年、1967年にそれぞれ6g(100)、6.5g(100)、これに対して間伐施肥区は7g(117)、7.5g(115)と17%、15%重かった。無間伐無施肥区では、6g(100)、6.3g(100)、これに対して無間伐施肥区では、8g(133)、7.5g(119)と33%、19%重かった。

すなわち施肥によって15~30%、1000粒当りのタネの重量は増加した。

間伐効果をみるために、無間伐無施肥区と間伐無施肥区を比較したが、無間伐無施肥区では、1965年、1967年にそれぞれ6g、6.3g、これに対して間伐無施肥区では、6g、6.5gとほとんど重量は変らなかつた。また無間伐施肥区では、8g、7.5g、これに対して間伐施肥区では、7g、7.5gと重量はやや軽いか等しかった。

すなわち間伐によって1000粒当りのタネの重量はほとんど増加しなかつた。

球果の生重量に対するタネの生重量の割合を収率というが、測定木ごとに収率を調べた結果を表45に示した。

1963年、1964年における収率については、試験区間に一定の傾向がみられなかつた。間伐、施肥の影響があらわれているとみられる1965年の収率では、間伐無施肥区3.1%、無間伐無施肥区3.8%、これに対して間伐施肥区4.7%、無間伐施肥区4.3%であった。このことは、施肥の効果はやや認められるのに対し、間伐の効果は明らかでないことを示している。

(iii) タネの発芽

1967年産の種子について、発芽勢及び発芽率を調査したが、その結果を表46に示した。

測定値のバラツキが大きかったが、平均値で各処理間の比較を試みた。

間伐効果については、間伐無施肥区は無間伐無施肥区よりも値が大きく効果がみられたが、間伐施肥区と無間伐施肥区との間には、はっきりした傾向がみられなかつた。

施肥効果については、無間伐施肥区は無間伐無施肥区よりも大きな値が示され効果がみられたが、間伐無施肥区と間伐施肥区との間には、はっきりした傾向がみとめられなかつた。

以上のような結果から、発芽勢及び発芽率に及ぼす間伐、施肥の効果ははっきりしなかつた。

表45 タネの収率

試験区	%		
	1963年	1964年	1965年
無間伐無施肥区	$\frac{3.1}{1.5 \sim 4.2}$	$\frac{3.3}{2.6 \sim 4.1}$	$\frac{3.8}{2.7 \sim 5.4}$
間伐無施肥区	$\frac{3.8}{2.8 \sim 5.2}$	$\frac{3.1}{1.8 \sim 5.0}$	$\frac{3.1}{2.3 \sim 3.7}$
無間伐施肥区	$\frac{2.3}{1.1 \sim 4.6}$	$\frac{2.3}{1.1 \sim 3.9}$	$\frac{4.3}{2.9 \sim 5.3}$
間伐施肥区	$\frac{3.3}{2.0 \sim 5.2}$	$\frac{2.9}{1.9 \sim 4.4}$	$\frac{4.7}{3.7 \sim 5.6}$

(注) 収率 = $\frac{\text{各測定木ごとの全種子重}}{\text{各測定木ごとの全球果重}} \times 100\%$

表46 発芽率と発芽勢

試験区	%			
	還元法		定温器	
	発芽勢	発芽率	発芽勢	発芽率
A 間伐無施肥区	$\frac{27}{14 \sim 40}$	$\frac{59}{42 \sim 80}$	$\frac{26}{15 \sim 50}$	$\frac{62}{43 \sim 80}$
B 無間伐施肥区	$\frac{30}{20 \sim 62}$	$\frac{72}{60 \sim 98}$	$\frac{24}{18 \sim 66}$	$\frac{75}{40 \sim 95}$
C 間伐施肥区	$\frac{24}{16 \sim 32}$	$\frac{60}{40 \sim 70}$	$\frac{24}{22 \sim 44}$	$\frac{71}{40 \sim 86}$
D 無間伐無施肥区	$\frac{19}{16 \sim 28}$	$\frac{52}{42 \sim 76}$	$\frac{17}{15 \sim 30}$	$\frac{50}{44 \sim 92}$

(注) 還元法: 1測定木当り50粒 (1967年実験)
定温法: 1測定木当り100粒

4 考 察

針葉樹採種林の結実促進において、間伐及び施肥が、花芽の着花及び種子の品質に及ぼす影響についての研究は、数多くなされている。^{112) 113) 114) 115) 116) 117) 118) 153) 154)}

橋詰¹¹²⁾(1961)は、アカマツ2～3年生苗において、花芽及び花性分化に及ぼす肥料効果は、疎植状態の全光条件のもとで、もっとも大きくあらわれ、雌花の着生が多かったことを認めている。

右田¹¹³⁾(1962)は、スギ3年生苗について、燐酸多用の3要素施肥区で、花芽の着生がとくに多かったとしているが、一方、田辺¹¹⁶⁾(1976)によれば、ヒノキ45年生母樹林の結実促進試験において、PK施肥区では、花芽の着生が促進されなかったと報告している。

このように、花芽の着生に対する施肥効果が認められる場合が多いが、効果がない場合もある。

このようなことから、本試験では、高林齢のアカマツ母樹林において、間伐及び施肥による結実促進効果について検討を行なったが、本試験を行なうにあたっての施肥量、立木密度などの試験条件について、浅川¹¹⁸⁾(1966)のアカマツ50年生採種林の施肥事例をもとに、試験設計をたてた。

すなわち、浅川¹¹⁸⁾(1966)は、アカマツ採種林では、施肥量はN:P₂O₅:K₂O=100kg:200kg:200kg(ha当り)とし、結実促進のための肥培では、材積生長促進の場合と異なって、P₂O₅、K₂Oを多く配合するのがよいとしている。本試験でも、N:P₂O₅:K₂O=100kg:100kg:100kg(ha当り)を施用した。また、立木密度については、浅川¹¹⁸⁾(1966)は、採種林の立木密度は少ないのがよく、平均樹高を基準として、ha当りの本数を定めることができるとしている。この基準によって、本試験の立木本数を算出すると、平均樹高が約18mの本試験林では、立木本数が200～250本(ha当り)となり、本試験で行なった240本(ha当り)は、妥当な本数密度であったといえることができる。

本試験結果は、測定木1本当りの着生球果数及び種子量は、施肥及び間伐によって増加した。

浅川¹¹⁵⁾(1966)は、アカマツ、カラマツ採種林の結実促進試験で、調査木1本当りの平均球果数あるいは重量は、無間伐区で1年目に対して3年目は減少しているが、間伐区では2～3倍に増加し、とくに強度間伐及び施肥区で増加割合が大きいとしている。また、浅川¹¹⁸⁾(1966)は、アカマツ採種林において、疎開により結実が増加したが、その後、著しい結実の低下が認められた。しかしこの低下は、施肥によってかなりくい止められたと述べている。

結実には豊凶があって、毎年のタネ生産量は、大きく変動するのが一般である。本試験の間伐施肥区においても、これと同じように周期性が認められ、施肥によって、結実の豊凶がなくなるとは云えなかった。

間伐は樹冠に陽光をよく当てて、開花結実を促進し、また、間伐によって樹冠が大きくなれば、個体の着果量の増加につながるもので、開花結実に及ぼす間伐効果は、十分に認めることができよう。

稔性及び種子の品質は、間伐だけではその効果がほとんど認められないが、施肥とくに間伐施肥によって大きな効果が認められ、球果1コ当りのタネの数量及び球果1コ当りの重量は20～40%、タネ1000粒当りの重量は20～30%それぞれ増加している。

浅川¹¹⁵⁾は、さきの採種林の結実促進試験において、タネ1000粒重は、無施肥区では年ごとに減少するが、施肥区で増加することを認めており、本試験結果と一致している。

三宅¹⁴⁹⁾は、球果の重量、大きさ及び種子重は、土壌条件のよい区で大であり、球果、種子の生長のためには枝条の栄養状態の良否が影響して、栄養状態がよい場合に大きくなると述べている。

アカマツ種子の発芽率に及ぼす間伐及び施肥効果は、本試験ではほとんど認められなかったが、浅川¹¹⁸⁾(1966)は、アカマツ採種林における試験で、施肥によって、タネの品質がよくなったが、発芽率はほとんど影響がみられなかったと報告している。これは本試験結果と同じであった。

以上のように、間伐によって林内の陽光条件を十分にした肥培は、開花結実後の球果の重量及び大きさの増加、タネの収量増加及び品質の向上、結実後の樹勢の回復などにおいて効果が認められ、採

種林における結実促進のための林地肥培は、有効な施業技術であると考えられる。

第五項 ま と め

育林作業には、地ごしらえから始まって、植栽、下刈り、雪おこし、除間伐、枝打ち、主伐と種々の作業がある。

自然条件を人為的に制御することができない広大な山地では、作業労働には制限があり人力の及ぶ限界がみられる。

また自然条件は、きわめて多様でしかも変化するので、育成過程における森林には、いろいろの被害が発生する。したがって森林を安全、確実にしかも生産が十分にあがるようにするためには、自然条件にみ合った適地適木、適施業が行なわれねばならないが、このことは育林の原則でもあろう。

林業における施肥は、農業における施肥のように単に生産力の増大を目的とするのみではなくて、林業の長期性と従自然性に基づいた育林作業技術として取りあげられねばならない。

保育作業の中で下刈りは重要な作業であり、これが十分でない場合には、不成績造林地として、成林すら危ぶまれる程である。しかしながら、下刈り作業は労働力と経費がかかることが、実際面では大きな問題であって、下刈り作業の省力化が課題となっている。このために、種々の方法が試みられているが、その主なものとして先行造林、林地除草剤散布、巢植え、列状植えなどがある。

施肥による植栽木の生長促進は、下刈りとどうかかわるだろうか。

施肥によって植栽木の生長が促進される場合は、同時に灌木草類の生長も促進される。したがって、施肥した場合は、下刈り量が多くなり、労力は増加すると考えねばならない。施肥をすると、下刈りを十分に行なう必要があるが、その場合、植栽木の生長が早くなった分だけ、下刈り期間が短縮できるとみてよいように思われる。

本実験結果の場合、連続的に3～4回施肥を行なって、造林木の樹高生長を促進させ、さらに、適切な下刈り終了時点を適合させることによって、下刈り回数を約2回減らすことができ、これを下刈り労働量としてみるならば、全体で約35%軽減することができた。

このように植栽時の施肥は、植栽木の生長促進のほか下刈り軽減という保育作業面での効用がみられるようである。

さらに日本海側、多雪地における育林では、雪おこしという作業があり、多量の労働力がこのために投下される。しかも樹幹の根元部分が根曲りをおこして、材質及び生長の低下をきたす場合もかなり多い。

また、その他に樹幹の折損などの雪害も頻発するが、これは造林地の成林すら危くする。

このような積雪地帯での幼齢造林木肥培、すなわち、造林木の生長促進は、雪害とどう関係するかということは、育林の上から重要な課題である。

施肥によって、樹高が伸び過ぎたり、材質が軟弱になって、雪害が多発するという懸念があるが、本試験結果では、雪害は、施肥、無施肥に関係なく、被害程度に変わりが認められなかった。また、施肥は、雪害の回復を早める効果をもつことが明らかにされた。したがって、同じような被害を繰り返しても、施肥によって、樹高生長が無施肥区より大となる。その結果、積雪量が一定とすると、施肥によって、より早く積雪深をこえ、雪害をうけやすい期間を短縮することができると思われる。施肥による生長促進は、被害の回復を通じて雪害の軽減につながるようである。

虫害木についても、虫害による生長低下の軽減あるいは回復に施肥効果が認められる。防除薬剤に肥料を添加することによって、防除効果が著しく高まるので、林木の保護面においても、施肥が考慮される必要があろう。

幼齢期の林木の保育問題として、複層林内低照度条件における下層植栽木の取扱いということがある。すなわち、皆伐造林による諸被害の回避、下刈り作業の軽減など種々の面から、択伐ないし非皆

伐施業が、現在、多く試みられているが、この場合、下木の育成、保育が問題である。

下木の生存や生長の維持には、林内照度の調節を、上層木の間伐、枝打などによって、常に配慮していかなばならない。上層木への干渉が遅れると、下層木の生長が停止し、はなはだしい時には枯死してしまう。

このような低照度条件下にある下層木への施肥が、その生長にどう影響するかを知ることは、複層林施業の確立に大いに意味がある。

本試験結果によれば、林内に植栽された下層木の生長は、低照度においても、施肥を行なうことによって、生長が促進され、さらには枯損を防止し、健全な生育をある程度保証することができるように思われた。

この他に、育林の実際面で、採種林でのタネの生産の確保が重要である。

すなわち、品質のよい種子を多量に生産するために、採種林への施肥が、どの程度の効果をもたらすかということである。

本試験結果では、間伐を行ない、林内の陽光条件を十分に明るくした上での施肥では、開花結実の促進、球果重量の増加、タネの収量増加及び品質の向上に効果がみられ、採種林におけるタネの生産管理において、施肥は有効であった。

施肥が採種林の施業として必要であるということは、浅川ら¹¹⁵⁾(1966)が、FAULKNER(1962)が示した採種林の施業方法を紹介して、次のように述べている。英国における採種林の造成計画には、施肥がとり入れられており、採種木が平均して配置されている場合は、 $2N : 1P : 2K$ の肥料を、 ha 当たり約630kg、4月の生長直前に、バラマキ施用するのがよいとしている。

以上、述べたように、林地肥培は、ただ単に、林木の生長量を増加させるのみでなく、その他の保育、育林上の諸過程に関係をもっている。したがって、これらの諸点にも、十分考慮して、肥培効果の判定を行なうことが望ましく、また、本節で述べた林地肥培の応用性についても、今後、さらに研究を進めることが必要であろうと考えられる。

第四節 総 括

林地肥培は、土壌条件如何で、林木の生育に必要な栄養成分を、人為的に補給することによって、林分当りの葉量が増加したり或いはまた葉の栄養分の含有率が高くなり、同化物質が増大することが可能であることが、ほど明らかとなったといえよう。

また、林地肥培は、林木の生長促進を介して、下刈りの省力化、雪害木の回復、枝打ちの完満化の促進、複層林内の下層木の生長促進など、育林保育の補完手段としても、有効であり、育林技術体系の中に取り入れ、有利な林業経営に役立てうるものと考えられる。

複雑な立地環境条件にある岐阜県では、育林技術体系も多様であり、その選択と適用如何が、林業経営に大きな影響を及ぼすことが考えられる。

林地肥培を取り入れた育林技術体系の1つとして、次のようなものが考えられるであろう。

植栽時に施肥を行ない、樹高生長を促進することによって、一般に7~8回実施される下刈りが、2~3回省力できるようである。この場合に、植栽密度を増やすことによって、なお省力することができる。

施肥林分は、ほど4~5年生で、林分が閉鎖し、枝打ち作業も始まる。

若齢林肥培は、この時期に行なわれるが、枝打ちによる完満化を促すのに効果がみられ、林分材積を増大することもできる。

枝打ちによって、樹冠下方の枝葉が除去されるならば、この部分の樹幹の肥大生長は減少するが、枝葉が着生する樹幹部分では、肥大生長がほど増大する。施肥によって、この程度がさらに大きくなり、確実となるから、施肥による完満化の効果が、認められるのである。

施肥による肥大生長の増大は、枝打ち跡の巻込みを早めることが可能となり、枝打ちによる林木の材積生長の低下を軽減することも可能であろう。

枝打ちによる完満化は、林分密度を高めめる方がよいが、林分材積を増加させるには、適切な密度管理を行なうのが、肥効を高めめるのによいようである。

若齢及び壮齢肥培林において、林分当りの総生産量を増大させ、経営を有利にするためには、適切な間伐の繰返しが必要である。間伐後の樹冠の閉鎖を早め、間断期間を短くするために、施肥が有効であり、肥培林分は十分に間伐を実行しなければならないだろう。

集約施業ができるような壮齢肥培林分では、下層木を植栽し複層林仕立てとすることも考えられよう。

下刈りが省力でき、年輪巾の狭い良質材を生産するのが目的であって、施肥により、下層木の枯損を防ぎ生長を促進し、低照度条件下の生育を可能にする効果がみられよう。

植栽後から壮齢林までの一貫した肥培が実行された林分は、伐採適期が早く到達するので、この時期において強度の利用間伐によって、下層木の生長条件は良くなる。その後標準伐期（約40年生）において、皆伐するならば、約20年生の一斉林が更新される。また、この時点で、一部大径材生産のために保残されれば、二段林としての大径材生産林分ができる。

以上は、本県における少雪地帯での育林技術であるが、北部の積雪地帯では若干異なってくる。

植栽時及び若齢林肥培によって、折損、倒伏などの雪害木の被害回復が促進され、その結果、雪害をうける樹高範囲を早くこえることができ、雪おこし期間の省力ともなるようである。

積雪地帯における植栽時及び若齢林肥培は、成林可能な林分を造成するという面で効果があると云えよう。

枝打による完満化促進のための肥培などの集約技術は、積雪地帯では、経営上有利と思えないのでそれ程とりあげていない。

文 献

- 1) 竹下純一郎・東基：林地肥培に関する研究（第3報）、岐阜県林試報、3、7～26、(1958)
- 2) 竹下純一郎・山口清・中村基：多雪地における林地肥培試験、岐阜県寒林試報、1、28～37、(1972)
- 3) 河田弘・衣笠忠司：高野山国有林におけるスギ、ヒノキ幼齡林施肥試験、林試研報、191、115～136、(1966)
- 4) 安藤愛次・小島俊郎：林地肥培—固形肥料の用量試験、山梨県林試報、8、(1958)
- 5) 安藤愛次・小島俊郎：固形肥料によるアカマツ、カラマツ林の肥効、山梨県林試報、11、(1962)
- 6) 河田弘・衣笠忠司：スギ幼齡林施肥試験、林試研報、216、75～79、(1968)
- 7) 伊藤守夫・堀田庸：大日山県営林におけるスギ肥培試験(I)、静岡県林試報、7、1～14、(1975)
- 8) 衣笠忠司・河田弘：スギ幼齡林施肥試験、林試研報、271、125～134、(1975)
- 9) 生原喜久雄・新井稚夫・川名明：植栽後3年間連続施肥したスギ18年生林分の生長、農工大演報、15、59～65、(1979)
- 10) 竹下純一郎：幼齡木施肥試験、開東中部林試連協議会、1～29、(1967)
- 11) 生原喜久雄・川名明・相場芳憲：ヒノキ幼齡林に対する石灰窒素配合・石灰窒素施肥試験、農工大演報、8、1～8、(1969)
- 12) 竹下純一郎・東基・石原猛志・塘隆男：成木施肥試験(I)6年間採穂した22年生スギ林分に対する効果（第1報）、74回日林講、137～140、(1963)
- 13) 竹下純一郎・中村基・石原猛志・塘隆男：成木施肥試験、6年間採穂した22年生スギ林分における効果（第2報）、日林会中部支講集、17、35～41、(1969)
- 14) 竹下純一郎・中川一・中村基：スギ22年生林分に対する肥培効果、89回日林講、147～148 (1978)
- 15) 佐藤俊：林地施肥が土壌の化学的性質および養分循環に及ぼす影響、森林と肥培、81、2～7 (1974)
- 16) 藤田桂治・塘隆男・佐藤久男・堀田庸・宮下信嗣：スギ成木林の肥培効果(II) 樹幹析解による肥効のあらわれ方 85回日林講、110～112、(1974)
- 17) 丹下勲：壮齡林肥培について 森林と肥培、64、7～11、(1970)
- 18) 伊藤守夫：壮齡林肥培に関する研究(I) — スギ壮齡林の肥効について — 静岡県林試報 4 1 1～16、(1972)
- 19) 川名明・相場芳憲・生原喜久雄・毛呂真：壮齡林の肥培に関する研究(I)、スギ壮齡林の肥効について(その1)、農工大演報、7、1～8、(1968)
- 20) 川名明・相場芳憲・生原喜久雄・松永栄夫：壮齡林の肥培に関する研究(II) ヒノキ壮齡林の肥効について(その1)、農工大演報、7、9～13、(1968)
- 21) 川名明・相場芳憲・生原喜久雄：壮齡林の肥培に関する研究(III) ヒノキ壮齡林について(2)、79回日林講、333～335、(1968)
- 22) 川名明・相場芳憲・生原喜久雄：壮齡林の肥培に関する研究(IV)、スギ壮齡林の肥効について(その2)、農工大演報、9、11～24、(1971)
- 23) 諸戸清一・福沢和雄：ヒノキ壮齡林における立木密度と肥培効果、日林会中部支講集、19、21～24、(1971)
- 24) 植田正幸・伊藤忠夫・川名明：壮齡林に肥培に関する研究(V)、スギ壮齡林に対する生育相別施肥試験、日林誌、53、42～50、(1971)

- 25) 生原喜久雄・川名明・相場芳憲：壮齡林の肥培に関する研究(Ⅱ) ヒノキ肥培木の造材歩止りに
ついて、農工大演報、10、91～95、(1973)
- 26) 生原喜久雄・川名明・相場芳憲：壮齡林の肥培に関する研究(Ⅲ) ヒノキ林分の材積、養分量及
び造材歩止りに及ぼす施肥効果、農工大演報、11、39～56、(1974)
- 27) 塘隆男・藤田桂治・磯和幸・渡辺扶三男：スギ成木林の肥培効果(I)、9年間の材積増加、85
回日林講、107～109、(1974)
- 28) 窪田四郎・井上輝一郎・岩川雄幸・安岡桂子：林地における施肥時期試験、日林会関西支講集
9、89～91、(1959)
- 29) 渡辺資伸・丹下勲・糟谷由助：林木苗木に対する施肥方法の検討(第1報)、施肥の深さがス
ギ苗木の生育におよぼす影響1、東大演報、13、62～67、(1960)
- 30) 柴田信男・上中幸治・小倉政市：林木施肥に関する研究(Ⅱ)、肥料要素の形態に関する研究(4)、
京大演報、34、65～79、(1963)
- 31) 下野園正・長友忠行：施肥方法、回数毎のスギ葉内養分濃度と成長、日林会関西支講集、39
35～36、(1964)
- 32) 塘隆男・藤田桂治：標識過石を用いたスギ、アカマツの植栽時における施肥位置試験、75回
日林講、137～139、(1964)
- 33) 藤田桂治・塘隆男：施肥位置の違いが燐酸の吸収に及ぼす影響、76回日林講、95～98、
(1965)
- 34) 山内孝平：幼齡林の林地肥培試験、施肥月と施肥方法について、日林会九州支講集、19、131～
132、(1965)
- 35) 河野俊光・飯田達雄：林地肥培試験(第1報)、施肥時期と施肥量の関係について、日林会九
州支講集、20、43～45、(1966)
- 36) 熊瀬川忠夫：幼齡スギ造林地の時期別施肥効果、森林と肥培、44、2～3、(1966)
- 37) 上田普之助・渡辺政俊：スラッシュマツの造林木に対する肥培の効果について(I)、78回日林講、
293～295、(1967)
- 38) 柴田信男・足立尚義：スギ地方品種に対する2、3の考察(第Ⅱ報)幼齡期の生長状態並びに
施肥方法との関係について、日林会関西支講集、19、68～70、(1968)
- 39) 柴田信男：林地施肥に関する研究(Ⅲ)肥料の形態と肥効との関係について、70回日林講、
183～186、(1960)
- 40) 佐藤敬二・須崎民雄：林業施肥の合理化に関する研究(第5報)火山灰土壌における遅効性肥
料の肥効、日林会九州支講集、16、107～109、(1962)
- 41) 桑原武男：乾性土壌に植えられたスギの肥培効果、75回日林講、124～126、(1964)
- 42) 岩川雄幸・下野園正：苗木形状、土壌ごとの肥培効果について、日林会関西支講集、19、
73～75、(1968)
- 43) 原田洗・佐藤久男・塘隆男：スギ肥培試験地における7年間の生長経過と樹体内における養分
分布について、76回日林講、117～120、(1965)
- 44) 宮島寛・沢木達郎：土壌の物理性が林木の養分吸収に及ぼす影響、75回日林講、129～131
(1964)
- 45) 宮島寛・荒上和利：ヒノキ生長と土壌条件(予報)土壌母材別施肥の影響、日林会九州支講集、
20、9～10、(1966)
- 46) 佐藤敬二：土壌の性質と施肥効果、森林と肥培、36、5～9、(1965)
- 47) 吉本衛・川添強：林地肥培に関する研究(3)、新植時の施肥障害について、日林会九州支講集、
22、118～119、(1968)

- 48) 朝日正美：これからの林業、日疏工協、1～45、(1977)
- 49) 佐藤俊・山谷孝一・長谷川浩一・後藤和秋・西田豊昭・柳谷禰子：東北地方における主要造林樹種の幼齢時の施肥効果について、林試研報、167、93～190、(1964)
- 50) 竹下純一郎・東基：林地肥培に関する研究(第5報)葉の栄養成分の含有率と施肥効果(予報)、日林会中部支購集、10、1～3、(1962)
- 51) 堀隆男：わが国主要造林樹種の栄養および施肥に関する基礎的研究、林試研報137、1～153、(1962)
- 52) 朝日正美・原孝秀・春田泰次・八木久義：肥培木の栄養分の分布Ⅱ ヒノキ樹体の4無機成分、79回日林講、127～129、(1968)
- 53) 春田泰次・原孝秀・朝日正美：施肥成分が土壌と樹木の吸収成分におよぼす影響、82回日林講、111～113、(1971)
- 54) 河田弘・衣笠忠司：高野山国有林におけるスギ幼齢林施肥試験(第2回中間報告)、林試研報、248、1～13、(1972)
- 55) 堤利夫・四手井綱英：葉の養分量と林木の生長量との関係について(I)、76回日林講、108～110、(1965)
- 56) 杉浦孝蔵・鈴木裕美：林木の葉の要素含有率の季節的变化Ⅱ、スギ、ヒノキの壮齢林、86回日林講、178～179、(1975)
- 57) 浅田節夫・赤井竜男：カラマツ2代目不良造林地に関する研究(第6報)造林地に対する燐酸の施用試験、71回日林講、105～107、(1960)
- 58) 河田弘：湿性ポドゾルにおけるカラマツ幼齢林の施肥試験、カラマツの成長および針葉組成に及ぼす施肥の影響、林試研報、162、143～162、(1964)
- 59) 中村健：葉分析によるカラマツの栄養診断に関する研究、信大農学部紀要、2、377～419(1961)
- 60) 佐々木茂・後藤和秋・長谷川浩一・山谷孝一：カラマツ本数密度と肥培効果(I) 7年間の成長経過と葉中無機養分濃度の季節的变化、林試東北支年報、10、227～236、(1969)
- 61) 宮島寛：スギさし木地帯の再選対象集団の特性に関する研究、文部省科学研究、(1979)
- 62) 四手井綱英・堤利夫：林地の有機物集積量とその年分解率と気候との関係、日林誌44、297～303、(1962)
- 63) 堤利夫：森林の成立および皆伐が土壌の2,3の性質に及ぼす影響について、第1報森林の成立にともなう土壌の性質の変化、京大演報34、37～64、(1963)
- 64) 衣笠忠司・河田弘：クロマツ幼齢林施肥試験、林試研報300、121～140、(1978)
- 65) 原田光・佐藤久男・堀田庸・蜂屋欣二・只木良也：スギ壮齢林の養分含有量に関する研究、林試研報249、17～74、(1972)
- 66) 原田光：森林生態系内の養分循環と林地肥培、北方林業24、4～7、(1972)
- 67) 堤利夫：森林の成立および皆伐が土壌の2,3の性質に及ぼす影響について、第2報皆伐による土壌中諸物質の変化、京大演報35、110～126、(1964)
- 68) 原田光：スギの成長と養分含有量およびこれに及ぼす施肥の効果に関する研究、林試研報2301～104、(1970)
- 69) 竹下純一郎・東基：林地肥培に関する研究(第4報)施肥が土壌に及ぼす影響について(I)、71回日林講、198～199、(1961)
- 70) 竹下純一郎・東基：林地肥培に関する研究(第6報)施肥が土壌の理化学的性質に及ぼす影響(2)、75回日林講、131～134、(1964)
- 71) 竹下純一郎・中村基・山口清：林地肥培に関する研究(9報)カラマツ林における施肥が土壌

- の理化学的性質におよぼす影響(3)、78回日林講、297~299、(1967)
- 72) 中村基・竹下純一郎：成木施肥試験—カラマツ成木の施肥効果について、日林会中部支講集、19、25~28、(1970)
- 73) 中村基・竹下純一郎：成木施肥試験—カラマツ成木の施肥効果について、岐阜県林セ研報1、24~37、(1973)
- 74) 浅田節夫・赤井竜男：カラマツ2代目不良造林地に関する研究(第7報)施肥による微生物の変化、71回日林講、107~110、(1961)
- 75) 赤井竜男・島崎洋路・戸室誠一：土壌菌類に与える施肥の影響、76回日林講、104~106、(1965)
- 76) 石川達芳・岩村通正・岡山裕史：岡山県下における2、3針葉樹の林地肥培に関する試験(第3報)施肥が落葉量に及ぼす影響、72回日林講、179~182、(1962)
- 77) 四手井綱英・堤利夫・木村隆臣：環境の変化に応ずる土壌有機物の消長について(第1報)、65回日林講、119~121、(1956)
- 78) 塩崎正雄・永桶留蔵：エゾマツ人工林における堆積腐植の分解と土壌浸透水の成分に及ぼす石灰、尿素施肥の効果、林試研報242、1~19、(1971)
- 79) 宮崎安貞：肥培林業の経営に関する研究、九大演報42、1~97、(1968)
- 80) 藤田桂治・長谷浩一・樋口義男・泉富保：成木林の肥培効果 第2報、肥培効果と経済効果、日林会東北支部講集23、72~74、(1972)
- 81) 竹下純一郎・中村基：下刈り終了時点に関する試験、日林会中部支講集、18、39~42、(1969)
- 82) 草下正夫：生態的立場から見た下刈り、林業技術303、6~8、(1967)
- 83) 千葉春見・石井邦次：下刈りの高さと植栽木の生長、80回日林講、234~236、(1969)
- 84) 生原喜久雄・相場芳憲・川名明：下草と造林木の競争に及ぼす施肥の影響(I)造林年度を異にするスギ造林地の下草と造林木の現存量、82回日林講、170~173、(1971)
- 85) 吉村健次郎・菅原哲二：下刈り作業の適期に関する研究、82回日林講、173~176、(1971)
- 86) 今井勇：林地による下刈回数軽減、長野技研、(1963)
- 87) 四手井綱英：雪圧による林木の雪害、林試研報、73、1~83、(1954)
- 88) 野表昌夫・松田氏淑・中沢迪夫：豪多雪地帯の造林技術(IV)幼齢期の施肥と枝打と生長、雪害、新潟県林試研報20、1~13、(1977)
- 89) 金子章・中島幸雄・辻田昭夫・西山周三：アカマツ幼齢施肥林の雪害についてI雪害の被害形とその実態、日林会関西支講集、19、18~20、(1968)
- 90) 金子章・中島幸雄・辻田昭夫・西山周三：アカマツ幼齢施肥林の雪害についてII被害木のその後の生長と被害に対する2、3の考察、日林会関西支講集19、20~22、(1968)
- 91) 竹下純一郎・中村基・山口清：林地肥培に関する研究(第8報)枝打における施肥効果(予報)日林会中部支講集15、1~16、(1967)
- 92) 竹下純一郎・山口清・中村基：林地肥培に関する研究(第10報)枝打における施肥の影響について、日林会中部支講集20、144~150、(1971)
- 93) 竹下純一郎・山口清・中村基：林地肥培に関する研究(第10報)枝打効果促進のための施肥岐阜県寒林試報1、9~27、(1972)
- 94) 高原末基：スギおよびヒノキの枝打ちが幹の生長に及ぼす影響、東大演報46、1~95、(1954)
- 95) 川名明・松永栄夫・土井雅子：枝打ちがスギ、ヒノキの若い造林木に及ぼした影響の例、73回日林講、160~162、(1962)
- 96) 藤森隆郎：枝打ちの技術体系に関する研究、林試研報273、1~74、(1975)
- 97) 桑原武男：壮齢林肥培(II)ヒノキ枝打林に対する施肥の効果、広島県林試報8、47~55、(1973)

- 98) 四手井綱英・只木良也・根占勝彦・北村敦：強度枝打ちによる個体成長よくせいが林分成長に及ぼす影響、67回日林講 226～227、(1957)
- 99) 尾方信夫・長友安男：サシスギ幼齡木の枝打ちによる着葉量と生長状態、78回日林講 104～106、(1967)
- 100) 竹下純一郎・野平照雄：ハダニの着生とスギ幼齡木の生長、日林会中部支講集 18、87～89 (1969)
- 101) 西口親雄：林地肥培と虫害、森林と肥培 26、8～10、(1963)
- 102) 青沼和夫：施肥試験地にみられたスギハダニの発生、森林と肥培 59、9～10、(1969)
- 103) 杉本文三・茂沢隆之助・原喜一郎・川名明：波丘地におけるスギ、ヒノキ造林地の肥培試験、波丘地農研報 4、1～7、(1968)
- 104) 鳥居賢治・大久保良治：スギハダニに対する浸透性殺虫剤と肥料の混合施用試験、森林防疫、17、79～80、(1968)
- 105) 竹下純一郎・石原猛志：ヒノキ壯齡林内でのスギ直ざし造林木の生長、79回日林講、78～79、(1968)
- 106) 安藤貴・桜井尚武・竹内郁雄・宮本倫二：人工林の非皆伐施業に関する研究、S53年度プロジェクト研究推進会議資料(1979)
- 107) 安藤貴・宮本倫仁・谷本丈夫・桜井尚武：人工林の非皆伐施業に関する研究、S51年度プロジェクト研究推進会議資料(1977)
- 108) 小川保喜：林木の日光要求度に関する研究(4)施肥と陰陽性の變化、日林会九州支講集 16、124～126、(1962)
- 109) 戸田清佐・山口清・竹下純一郎：アカマツ採種林の結実促進試験(第1報)、岐阜県林試報 9、15～22、(1965)
- 110) 戸田清佐・竹下純一郎：アカマツ採種林の結実促進試験(第2報)アカマツ採種林の結実におよぼす間伐と施肥の影響、日林会中部支講集 15、1～12、(1967)
- 111) 戸田清佐・東方喜之・竹下純一郎・山口清：アカマツ採種林の結実促進試験、岐阜県林試報 11、1～24、(1969)
- 112) 橋詰隼人：アカマツ花性分化の人工管理(Ⅳ)花性分化におよぼす袋掛および施肥の影響、鳥取演報 2、1～8、(1961)
- 113) 右田一雄：施肥がスギ苗の花芽着生におよぼす影響、日林誌 44、87～91、(1962)
- 114) 右田一雄：施肥がスギ苗のタネの品質と着花におよぼす影響、日林誌 44、125～128、(1962)
- 115) 浅川澄彦・藤田桂治：採種林造成(Ⅰ)アカマツ、カラマツ試験地の設定と3年間の調査結果、林試研報 184、81～134、(1966)
- 116) 田辺紘毅：ヒノキ採種林の結実促進試験、広島県林試報 11、1～7、(1976)
- 117) 塘隆男：林地肥培効果についての2、3の解析、林業技術 344、8～11、(1970)
- 118) 浅川澄彦：林木のタネの生産と発芽、林業技術振興所、(1966)
- 119) 戸荻義次監修：作物の光合成と物質生産 養賢堂(1975)
- 120) 伊藤守夫：壯齡林肥培に関する研究(Ⅱ)、静岡林試研報 10、19～37、(1979)
- 121) 吉田重明・三宅大浄・仁王以智夫：森林土壌中の窒素の動態(Ⅰ)森林表層土における硝化細菌の分布と硝化活性、日林誌 61、21～25、(1979)
- 122) 河原輝彦：森林土壌中の無機態窒素量に関する研究(Ⅱ)、日林誌 52、71～79、(1970)
- 123) 川名明・相場芳憲・岩原徹典・佐藤信明：ヒノキ模型林分における密度と施肥量との関係、80回日林講、239～242、(1969)
- 124) 坂上幸雄：林木の光合成能力とNPK要素、森林と肥培、37、2～5、(1965)

- 125) 依田恭二：森林の生態学 1～331、筑地書館 (1971)
- 126) 堤利夫：森林生態系における窒素の循環、昭和54年度「窒素、リンの生物地球化学的循環」検討班 10～23、(1979)
- 127) 野上寛五郎：林地における施用肥料の効率に関する研究、九大演報、48、1～111、(1974)
- 128) 加納孟：林木の材質、日林協、1～168、(1973)
- 129) 渡辺哲夫：多雪地帯におけるスギ幼齡林の雪害と肥培、森林と肥培 86、8～10、(1975)
- 130) 須藤昭二：施肥と雪害—スギ幼齡林の実例を中心として— 森林と肥培 86、5～7、(1975)
- 131) 鈴木良悦・北村昌美・渡辺房生：スギ幼齡木の雪圧被害後の経過について、日林東北支誌、38～40、(1974)
- 132) 藤森隆郎：枝打ちに関する基礎的研究 I、生態学的調査資料に基づく枝打ちの考察、林試研報 228、1～38、(1970)
- 133) 山田房男・萩原実：スギハダニの生態と防除、林業研究解説シリーズ 38、(1970)
- 134) 佐藤大七郎：東大演報 65、125、(1971)
- 135) 四手井綱英・只木良也・菅 誠：施肥密度試験 (第 2 報) スギを用いた模型林分における施肥密度効果、日林講 71、212～213、(1961)
- 136) 佐藤大七郎：生態学講座 9 卷、共立出版 (1973)
- 137) 堤利夫：生態学講座 7 卷、共立出版 (1973)
- 138) 相場芳憲・川名明・佐々木巖：アカマツ林の地位と生産力について、日林講 70、89～90、(1968)
- 139) 上田普之助・堤利夫：ヒノキ人工林のリターフオールによる養分の還元について、京大演報 51、84～95、(1979)
- 140) 片桐成夫・堤利夫：森林の物質循環と地位との関係について (1) Litter fall 量とその養分量、日林講 55、83～90、(1973)
- 141) 安藤愛次：カラマツ苗の葉色と成育、日林講 65、178～180、(1956)
- 142) 津田耕治：カラマツ肥料試験 (第 1 2 報) カラマツ幼苗の養分吸収の季節変化について、日林講 67、158～160、(1957)
- 143) 岩坪五郎・堤利夫：し尿処理水の林地散布、森林と肥培、105、6～8、(1980)
- 144) 尾中文彦：樹木の肥大成長の縦断的配分、京大演報 18、1～54、(1950)
- 145) 川那辺三郎：陽光が樹木の生育におよぼす影響、学位論文 1～66、(1971)
- 146) 岩川盈夫：林木育種の技術解説 採種園(1)設定、林木の育種、34、17～19、(1965)
- 147) 三宅登：アカマツ、クロマツ採種園の管理に関する基礎的研究、学位論文、1～94、(1973)
- 148) 渡辺哲夫：成木施肥試験(I)、新潟林試研報 12、45～58、(1967)
- 149) 中川一・竹下純一郎：森林土壌における無機態窒素の動態、岐阜林セ研報 9、1～22、(1981)
- 150) 四大学・信大合同調査班：森林の生産力に関する研究(III)、日林協育技研、(1966)
- 151) GESSEL, S.P. and R.B. WALKER: Height growth response of Douglas-fir to nitrogen fertilization. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 20, 97～100 (1956)
- 152) GESSEL, S.P., T.N. STOATE and K.J. TURNBULL: The growth behavior of Douglasfir with nitrogenous fertilizer in western Washington. Washington Univ. Research Bull., 1, 1～204, (1965)

- 153) SCHMIDTLING, R.C.: Cultivating and fertilizing stimulate precocious flowering in Loblolly pine. *Silv. Gene.* 20, 220 ~ 221, 1971
- 154) YOUNGBERG, C.F.: Effect of soil fertility on the physical and chemical properties of tree seed. *Jou. For.* 50, 850 ~ 851, 1952
- 155) ALTEN, F. and W. DOEHRING: Die Düngung in der Forstwirtschaft. *Z. Pflanzenernähr. Düng. u. Bodenk.*, 59, 1 ~ 145, (1952)
- 156) LOHWASSER, W.: Kalkdüngungsversuche im Eggegebirge und Hunsrück. *Forstarchiv.*, 24, 213, (1953)
- 157) LUNT, H.A.: Effect of fertilizer treatment on field-planted spruce. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 10, 406 (1945)
- 158) MITSCHERLICH, G. und W. WITTICH: Düngungsversuche in alteren Bestände Badens. *Allg. For. und Jagdzeitung.*, 129, 169 ~ 190, (1958)
- 159) MERKER, E.: Forstschutz gegen Insekten durch Düngung der Baum bestände *Allgemeine Forstz.*, 13, 314, (1958)

付表1 樹高、根元直径及びD²Hの経年変化

試験地	試験区	年次		試験開始時	1年次	2年次	3年次	4年次	5年次	6年次	7年次	8年次	9年次	10年次	11年次	12年次	13年次	14年次	15年次				
		H cm	R ² H cm ³		(89) 118	(101) 157	(128) 284	(125) 378	(128) 284	(129) 311	(128) 284												
ス	金 山	H	R ² H	(87) 105	(101) 157	(128) 284	(125) 378	(128) 284	(105) 970														
		R	R ² H	(95) 1.8	(115) 3.1	(128) 58	(146) 41	(128) 58															
	1 号	H	R	(87) 380	(128) 1696	(179) 0.0021	(288) 0.0021	(179) 0.0021															
		H	R	121	155	281	302	281	302	281	302	281	302	281	302	281	302	281	302	281	302	924	
	2 号	H	R	1.9	2.7	4.7	2.8	4.7	2.8	4.7	2.8	4.7	2.8	4.7	2.8	4.7	2.8	4.7	2.8	4.7	2.8	11.3	
		R ² H	R ² H	487	1825	5802	0.0009	5802	0.0009	5802	0.0009	5802	0.0009	5802	0.0009	5802	0.0009	5802	0.0009	5802	0.0009	0.082	
	平	下 呂	H	R ² H	(106) 50	(147) 189	(158) 266	(188) 370	(158) 266	(188) 370													
			R	R ² H	(100) 1.1	(141) 4.5	(146) 6.0	(148) 7.7	(146) 6.0														
		1 号	H	R ² H	(108) 96	(281) 4344	(848) 11120	(276) 23621	(848) 11120	(276) 23621	(276) 23621												
			H	R	47	129	168	268	168	268	270	444	471	471	471	553	682	682	682	682	682	682	697
2 号		H	R	1.1	3.2	4.1	5.4	4.1	5.4	3.5	5.2	6.0	6.0	6.9	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	9.9	
		R ² H	R ² H	89	1546	8195	8558	8195	8558	0.0015	0.0042	0.0060	0.0060	0.0090	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0250	
白 川		H	R	(98) 142	(90) 149	(100) 260	(106) 280	(100) 260	(106) 280	(101) 288	(101) 288	(101) 288	(184) 468										
		H	R	153	166	260	264	260	264	295	295	295	345	345	345	345	345	345	345	345	345	345	
白 川		H	R	(110) 35	(126) 94	(121) 158	(127) 198	(121) 158	(127) 198	(124) 246													
		R	R ² H			(118) 34	(118) 47	(118) 34	(118) 47	(117) 47													
2 号	H	R ² H			(145) 1991	(167) 4810	(145) 1991	(167) 4810	(178) 8956														
	H	R	32	75	131	156	131	156	198	198	198	198	804	352	352	352	352	352	352	352	422		
3 号	H	R			8.0	4.0	4.0	4.7	4.7	4.7	4.7	4.0	4.0	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	6.6		
	R ² H	R ² H			1373	2880	1373	2880	5081	5081	5081	5081	0.0020	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089	0.0080		

H: 平均樹高、 D: 平均根元径、 R: 胸高直径、 R²H: 立木材積

付表2 樹高、胸高直径及び単木材積の経年変化

樹種	試験地	試験区	試験開始時点			1年次			2年次			3年次			4年次			5年次			6年次				
			H m	D cm	V m ³																				
ス	明方 1号	施肥区	(101)	(100)	(103)	(108)	(113)	(104)	(108)	(127)	(106)	(110)	(182)												
			5.18	7.3	0.0121	5.75	8.1	0.0160	6.59	9.4	0.0244	7.50	10.9	0.0871											
			5.09	7.3	0.0118	5.59	7.9	0.0142	6.36	8.7	0.0192	7.10	9.9	0.0281											
キ	明方 2号	施肥区	(100)	(104)	(100)	(106)	(100)	(101)	(106)	(118)	(103)	(104)	(115)	(101)	(112)	(125)	(109)	(121)						(107)	
			3.70	5.4	0.0080	3.97	5.5	0.0080	4.66	6.7	0.0180	5.07	7.3	0.0180	5.84	8.5	0.0200	8.8	0.0280					0.0290	
			3.70	5.2	0.0080	3.93	5.2	0.0080	4.60	6.3	0.0110	4.94	7.0	0.0180	5.77	7.6	0.0160	8.1	0.0190					0.0270	

H 平均樹高, D 平均胸高直径, V 平均単木材積

付表 3 樹高、胸高直径、单木材积及び林分積の経年変化

試験地	試験区	1 年次			2 年次			3 年次			4 年次			5 年次			6 年次			7 年次			15 年次			17 年次									
		H	D	V	H	D	V	H	D	V	H	D	V	H	D	V	H	D	V	H	D	V	H	D	V	H	D	V							
ス	樹高区	9.2	13.9	0.082	10.6	14.9	0.105	11.0	15.4	0.114	12.2	15.8	0.124	12.6	16.5	0.144	13.6	17.4	0.164	10.8	14.4	0.168	14.1	17.0	0.140	18.0	18.2	21.2	0.262	28.6	19.3	24.6	0.312		
	胸高区	9.2	13.9	0.082	10.6	14.9	0.105	11.0	15.4	0.114	12.2	15.8	0.124	12.6	16.5	0.144	13.6	17.4	0.164	10.8	14.4	0.168	14.1	17.0	0.140	18.0	18.2	21.2	0.262	28.6	19.3	24.6	0.312		
	対照区	9.2	13.9	0.082	10.6	14.9	0.105	11.0	15.4	0.114	12.2	15.8	0.124	12.6	16.5	0.144	13.6	17.4	0.164	10.8	14.4	0.168	14.1	17.0	0.140	18.0	18.2	21.2	0.262	28.6	19.3	24.6	0.312		
キ	樹高区	17.5	23.2	0.300	17.7	23.3	0.300	18.7	25.1	0.330	18.5	24.3	0.340	18.2	24.4	0.340	19.9	26.7	0.400	11.0	14.7	0.122	11.5	15.4	0.108	157	15.6	1.29	13.3	16.0	0.128	168	14.1	17.0	0.140
	胸高区	17.5	23.2	0.300	17.7	23.3	0.300	18.7	25.1	0.330	18.5	24.3	0.340	18.2	24.4	0.340	19.9	26.7	0.400	11.0	14.7	0.122	11.5	15.4	0.108	157	15.6	1.29	13.3	16.0	0.128	168	14.1	17.0	0.140
	対照区	17.5	23.2	0.300	17.7	23.3	0.300	18.7	25.1	0.330	18.5	24.3	0.340	18.2	24.4	0.340	19.9	26.7	0.400	11.0	14.7	0.122	11.5	15.4	0.108	157	15.6	1.29	13.3	16.0	0.128	168	14.1	17.0	0.140
ヒ	樹高区	14.5	22.8	0.300	15.2	23.5	0.310	15.2	23.5	0.310	18.6	25.8	0.320	18.2	24.0	0.320	19.2	26.7	0.440	11.0	14.7	0.122	11.5	15.4	0.108	157	15.6	1.29	13.3	16.0	0.128	168	14.1	17.0	0.140
	胸高区	14.5	22.8	0.300	15.2	23.5	0.310	15.2	23.5	0.310	18.6	25.8	0.320	18.2	24.0	0.320	19.2	26.7	0.440	11.0	14.7	0.122	11.5	15.4	0.108	157	15.6	1.29	13.3	16.0	0.128	168	14.1	17.0	0.140
	対照区	14.5	22.8	0.300	15.2	23.5	0.310	15.2	23.5	0.310	18.6	25.8	0.320	18.2	24.0	0.320	19.2	26.7	0.440	11.0	14.7	0.122	11.5	15.4	0.108	157	15.6	1.29	13.3	16.0	0.128	168	14.1	17.0	0.140
ノ	樹高区	7.7	12.9	0.090	8.1	13.3	0.094	8.5	13.6	0.096	13.4	18.2	0.124	12.6	16.5	0.144	13.6	17.4	0.164	10.8	14.4	0.168	14.1	17.0	0.140	18.0	18.2	21.2	0.262	28.6	19.3	24.6	0.312		
	胸高区	7.7	12.9	0.090	8.1	13.3	0.094	8.5	13.6	0.096	13.4	18.2	0.124	12.6	16.5	0.144	13.6	17.4	0.164	10.8	14.4	0.168	14.1	17.0	0.140	18.0	18.2	21.2	0.262	28.6	19.3	24.6	0.312		
	対照区	7.7	12.9	0.090	8.1	13.3	0.094	8.5	13.6	0.096	13.4	18.2	0.124	12.6	16.5	0.144	13.6	17.4	0.164	10.8	14.4	0.168	14.1	17.0	0.140	18.0	18.2	21.2	0.262	28.6	19.3	24.6	0.312		
キ	樹高区	8.0	13.3	0.100	8.8	14.2	0.105	9.2	14.5	0.110	15.4	18.2	0.124	12.6	16.5	0.144	13.6	17.4	0.164	10.8	14.4	0.168	14.1	17.0	0.140	18.0	18.2	21.2	0.262	28.6	19.3	24.6	0.312		
	胸高区	8.0	13.3	0.100	8.8	14.2	0.105	9.2	14.5	0.110	15.4	18.2	0.124	12.6	16.5	0.144	13.6	17.4	0.164	10.8	14.4	0.168	14.1	17.0	0.140	18.0	18.2	21.2	0.262	28.6	19.3	24.6	0.312		
	対照区	8.0	13.3	0.100	8.8	14.2	0.105	9.2	14.5	0.110	15.4	18.2	0.124	12.6	16.5	0.144	13.6	17.4	0.164	10.8	14.4	0.168	14.1	17.0	0.140	18.0	18.2	21.2	0.262	28.6	19.3	24.6	0.312		
カ	樹高区	11.1	12.3	0.071	6.6	11.7	0.060	6.0	10.9	0.062	8.2	11.7	0.078	7.8	12.8	0.094	11.7	12.6	0.078	11.0	14.7	0.122	11.5	15.4	0.108	157	15.6	1.29	13.3	16.0	0.128	168	14.1	17.0	0.140
	胸高区	11.1	12.3	0.071	6.6	11.7	0.060	6.0	10.9	0.062	8.2	11.7	0.078	7.8	12.8	0.094	11.7	12.6	0.078	11.0	14.7	0.122	11.5	15.4	0.108	157	15.6	1.29	13.3	16.0	0.128	168	14.1	17.0	0.140
	対照区	11.1	12.3	0.071	6.6	11.7	0.060	6.0	10.9	0.062	8.2	11.7	0.078	7.8	12.8	0.094	11.7	12.6	0.078	11.0	14.7	0.122	11.5	15.4	0.108	157	15.6	1.29	13.3	16.0	0.128	168	14.1	17.0	0.140
ウ	樹高区	10.2	11.6	0.060	6.0	11.7	0.060	6.0	10.9	0.062	8.2	11.7	0.078	7.8	12.8	0.094	11.7	12.6	0.078	11.0	14.7	0.122	11.5	15.4	0.108	157	15.6	1.29	13.3	16.0	0.128	168	14.1	17.0	0.140
	胸高区	10.2	11.6	0.060	6.0	11.7	0.060	6.0	10.9	0.062	8.2	11.7	0.078	7.8	12.8	0.094	11.7	12.6	0.078	11.0	14.7	0.122	11.5	15.4	0.108	157	15.6	1.29	13.3	16.0	0.128	168	14.1	17.0	0.140
	対照区	10.2	11.6	0.060	6.0	11.7	0.060	6.0	10.9	0.062	8.2	11.7	0.078	7.8	12.8	0.094	11.7	12.6	0.078	11.0	14.7	0.122	11.5	15.4	0.108	157	15.6	1.29	13.3	16.0	0.128	168	14.1	17.0	0.140
コ	樹高区	17.4	22.8	0.320	18.4	23.9	0.320	18.4	23.9	0.320	19.5	25.8	0.320	19.2	26.7	0.440	22.5	28.6	0.500	11.0	14.7	0.122	11.5	15.4	0.108	157	15.6	1.29	13.3	16.0	0.128	168	14.1	17.0	0.140
	胸高区	17.4	22.8	0.320	18.4	23.9	0.320	18.4	23.9	0.320	19.5	25.8	0.320	19.2	26.7	0.440	22.5	28.6	0.500	11.0	14.7	0.122	11.5	15.4	0.108	157	15.6	1.29	13.3	16.0	0.128	168	14.1	17.0	0.140
	対照区	17.4	22.8	0.320	18.4	23.9	0.320	18.4	23.9	0.320	19.5	25.8	0.320	19.2	26.7	0.440	22.5	28.6	0.500	11.0	14.7	0.122	11.5	15.4	0.108	157	15.6	1.29	13.3	16.0	0.128	168	14.1	17.0	0.140
ク	樹高区	19.6	25.5	0.420	21.6	25.6	0.420	21.5	20.0	0.440	22.6	20.0	0.440	22.5	26.7	0.440	22.5	28.6	0.500	11.0	14.7	0.122	11.5	15.4	0.108	157	15.6	1.29	13.3	16.0	0.128	168	14.1	17.0	0.140
	胸高区	19.6	25.5	0.420	21.6	25.6	0.420	21.5	20.0	0.440	22.6	20.0	0.440	22.5	26.7	0.440	22.5	28.6	0.500	11.0	14.7	0.122	11.5	15.4	0.108	157	15.6	1.29	13.3	16.0	0.128	168	14.1	17.0	0.140
	対照区	19.6	25.5	0.420	21.6	25.6	0.420	21.5	20.0	0.440	22.6	20.0	0.440	22.5	26.7	0.440	22.5	28.6	0.500	11.0	14.7	0.122	11.5	15.4	0.108	157	15.6	1.29	13.3	16.0	0.128	168	14.1	17.0	0.140

付表4 施肥窒素成分の月別消長

採取月日 圃位	5月24日				6月24日				7月24日				8月11日				9月11日				10月11日				
	NH ₄ -N		NO ₃ -N		NH ₄ -N		NO ₃ -N		NH ₄ -N		NO ₃ -N		NH ₄ -N		NO ₃ -N		NH ₄ -N		NO ₃ -N		NH ₄ -N		NO ₃ -N		
	ppm	Ni ppm	Ni %	Ni ppm	ppm	Ni ppm	Ni %	Ni ppm	ppm	Ni ppm	Ni %	Ni ppm	ppm	Ni ppm	Ni %	Ni ppm	ppm	Ni ppm	Ni %	Ni ppm	ppm	Ni ppm	Ni %	Ni ppm	
施肥区	F	67.1	28.9	96.0	30.1	186.8	3.1	189.9	2.2	57.8	7.2	65.0	1.1	73.8	11.7	85.5	18.7	56.4	14.5	70.9	20.5	11.8	4.8	16.6	28.9
	A1 5~10	1.9	0.8	2.7	29.6	18.0	11.7	24.7	47.4	2.8	4.2	7.0	60.0	2.0	8.8	10.8	81.5	4.0	7.1	11.1	64.0	1.7	1.7	3.4	50.0
	A2 15~20	2.4	0.8	3.2	25.0	12.5	5.9	18.4	32.1	2.0	3.8	5.8	65.5	4.8	4.8	9.6	50.0	10.5	5.9	16.4	36.0	2.6	0.9	8.5	25.7
	A3 30~35	2.0	0.8	2.8	28.6	4.0	2.1	6.1	34.4	1.5	2.7	4.2	64.3	3.5	5.7	9.2	62.0	5.4	3.6	8.6	9.0	2.1	0.4	2.5	16.0
無施肥区	F	7.2	2.4	9.6	25.0	12.6	1.2	13.8	8.7	3.6	1.3	4.9	26.5	4.4	1.9	6.3	30.2	2.2	4.1	27.0	15.2	6.0	3.6	9.6	37.5
	A1 5~10	1.6	0.8	2.4	33.3	3.4	1.3	4.7	27.7	2.7	1.2	3.9	30.8	2.0	2.0	4.0	50.0	4.6	1.5	6.1	24.6	2.4	1.0	3.4	29.4
	A2 15~20	2.7	0.9	3.6	25.0	3.9	1.2	5.1	23.5	3.5	1.8	5.3	34.0	2.6	1.8	4.4	40.9	4.7	0.7	5.4	18.0	3.2	1.8	5.0	36.0
	A3 30~35	3.1	1.3	4.4	29.5	2.8	1.2	3.5	34.3	3.1	1.4	4.5	31.1	2.8	1.4	4.2	33.3	5.2	4.5	9.7	46.4	2.4	0.9	3.3	27.3

カラマツ29年生林分(園附試験地)

付表5 施肥窒素成分の月別消長

採取月日 圃位	5月23日				6月24日				7月25日				8月30日				9月22日				10月29日					
	NH ₄ -N		NO ₃ -N		NH ₄ -N		NO ₃ -N		NH ₄ -N		NO ₃ -N		NH ₄ -N		NO ₃ -N		NH ₄ -N		NO ₃ -N		NH ₄ -N		NO ₃ -N			
	ppm	Ni ppm	Ni %	Ni ppm	ppm	Ni ppm	Ni %	Ni ppm	ppm	Ni ppm	Ni %	Ni ppm	ppm	Ni ppm	Ni %	Ni ppm	ppm	Ni ppm	Ni %	Ni ppm	ppm	Ni ppm	Ni %	Ni ppm		
施肥区 A	A0	39.5	12.4	51.9	23.9	1226.9	131.8	1353.7	9.7	46.8	25.3	72.1	35.1	34.2	15.0	49.2	30.5	36.1	23.7	59.8	89.6	29.8	25.4	55.2	46.0	
	A 0~5	(125)	(108)	27.4	40.5	(2322)	(494)	392.5	95.4	(126)	(176)	46.8	57.9	(105)	6.7	25.3	26.5	(97)	(76)	(232)	23.5	43.4	(82)	25.2	38.8	65.8
	" 20~25	(56)	(41)	27.8	53.2	(1064)	(317)	47.6	240.2	(181)	(601)	84.4	67.7	(102)	6.9	26.5	26.0	(74)	(930)	(894)	27.4	53.6	(90)	19.2	37.5	51.2
	" 30~35	(88)	(156)	24.9	22.5	(296)	(217)	26.5	75.0	(188)	(554)	86.0	63.1	(109)	19.8	37.4	52.9	(137)	(588)	(147)	35.2	41.8	(84)	28.4	43.3	65.6
無施肥区 B	A0	22.0	5.1	27.1	18.8	25.1	23.7	48.8	48.6	24.5	11.6	36.1	32.1	28.9	3.3	37.2	22.3	39.6	12.0	51.0	23.5	24.2	16.7	40.9	40.8	
	A 0~5	(100)	10.3	28.2	44.4	16.9	19.3	36.2	53.3	15.6	15.4	31.0	49.7	17.7	9.1	26.8	34.0	13.7	13.4	27.1	49.4	15.9	7.6	23.5	32.3	
	" 20~25	(100)	3.6	26.9	13.4	18.1	15.0	33.1	45.3	20.3	9.5	30.3	31.4	19.3	1.7	21.0	8.1	16.9	1.5	18.4	8.2	20.3	2.8	22.6	10.2	
	" 30~35	(100)	21.9	3.6	25.5	14.1	16.4	12.2	23.6	17.3	9.8	27.1	36.2	16.2	1.0	17.2	5.8	15.0	2.5	17.5	14.3	17.8	0.8	18.6	4.3	

スギ88年生林分 明方8号試験地

() 比数 Ni=(NH₄-N)+(NO₃-N) ppm

付表 6 施肥窒素成分の月別消長

採取月日 層位	6月6日						7月6日						8月4日						9月6日						10月5日						11月14日									
	NH ₄ -N		NO ₃ -N		Ni		NO ₃ -N		NH ₄ -N		NO ₃ -N		Ni		NO ₃ -N		NH ₄ -N		NO ₃ -N		Ni		NO ₃ -N		NH ₄ -N		NO ₃ -N		Ni		NO ₃ -N		NH ₄ -N		NO ₃ -N		Ni			
	ppm	Ni ppm	Ni %	ppm	Ni ppm	Ni %	ppm	Ni ppm	Ni %	ppm	Ni ppm	Ni %	ppm	Ni ppm	Ni %	ppm	Ni ppm	Ni %	ppm	Ni ppm	Ni %	ppm	Ni ppm	Ni %	ppm	Ni ppm	Ni %	ppm	Ni ppm	Ni %	ppm	Ni ppm	Ni %	ppm	Ni ppm	Ni %				
施肥区	20.1	17.0	45.8	37.1	798.9	39.5	25.6	12.7	88.3	33.2	14.4	25.5	39.9	63.9	10.5	11.0	21.5	51.2	23.5	11.0	84.5	81.9																		
A1 0~5 ^{cm}	3.6	8.8	71.0	12.4	215.1	27.2	19.9	25.7	45.6	56.4	6.4	17.0	33.4	72.6	7.2	6.3	13.5	46.7	7.9	10.2	18.1	56.4																		
A2 20~25 ^{cm}	1.9	8.7	66.1	5.6	95.6	37.1	17.0	49.9	66.9	74.6	4.7	16.2	20.9	77.5	6.2	10.3	16.5	62.4	4.0	12.9	16.9	76.3																		
A3 50~55 ^{cm}	1.9	4.4	69.8	6.3	77.7	39.3	13.4	51.8	65.2	79.4	5.4	29.1	34.5	84.3	4.3	18.8	23.1	81.4	7.4	19.2	26.6	72.2																		
Λ0	50.3	29.0	36.6	79.3	46.4	31.7	83.9	13.0	46.9	27.7	16.0	15.7	31.7	49.5	9.4	12.2	21.6	56.5	24.8	35.8	60.6	59.1																		
Λ1 0~5 ^{cm}	4.8	4.6	48.9	9.4	13.3	64.7	14.2	8.8	28.0	38.3	5.2	8.4	13.6	61.8	4.5	9.0	13.5	66.7	14.7	18.8	83.5	56.1																		
Λ2 20~25 ^{cm}	3.4	8.1	47.7	6.5	7.5	34.7	8.1	5.4	13.5	40.0	8.8	7.0	15.8	44.8	4.2	6.9	11.1	62.2	7.8	12.9	20.7	62.3																		
Λ3 30~55 ^{cm}	2.2	4.1	65.1	6.8	8.9	33.7	8.5	2.4	10.9	22.0	8.2	4.9	13.1	37.4	4.5	10.0	14.5	69.0	9.3	10.1	19.4	52.1																		

スギ27年生林 (金山2号試験地)

付表 7 施肥窒素成分の月別消長

採取月日 試験区 層位	1979.6.8						1979.7.10						1979.8.8						1979.9.8						1979.10.8						1979.11.21										
	NH ₄ -N		NO ₃ -N		Ni		NO ₃ -N		NH ₄ -N		NO ₃ -N		Ni		NO ₃ -N		NH ₄ -N		NO ₃ -N		Ni		NO ₃ -N		NH ₄ -N		NO ₃ -N		Ni		NO ₃ -N		NH ₄ -N		NO ₃ -N		Ni				
	ppm	Ni ppm	Ni %	ppm	Ni ppm	Ni %	ppm	Ni ppm	Ni %	ppm	Ni ppm	Ni %	ppm	Ni ppm	Ni %	ppm	Ni ppm	Ni %	ppm	Ni ppm	Ni %	ppm	Ni ppm	Ni %	ppm	Ni ppm	Ni %	ppm	Ni ppm	Ni %	ppm	Ni ppm	Ni %	ppm	Ni ppm	Ni %					
施肥区	6.8	4.6	42.2	10.9	8.2	43.9	8.2	10.1	18.3	55.2	7.8	9.7	17.5	55.4	15.0	9.0	24.0	37.5	6.8	1.8	8.6	20.9																			
A 0~5 ^{cm}	6.1	3.1	33.7	9.2	8.3	19.3	6.0	5.4	11.4	47.4	6.9	4.1	11.0	37.3	4.5	3.6	8.1	44.4	7.1	2.6	9.7	26.8																			
Λ 20~25 ^{cm}	5.8	2.7	31.8	8.5	8.1	16.0	5.2	5.7	10.9	52.8	4.9	3.3	8.2	40.2	3.9	8.1	7.0	44.3	7.5	3.2	10.7	29.9																			
B 50~55 ^{cm}	5.5	1.3	19.1	6.8	7.5	17.3	6.6	3.7	10.3	35.9	5.5	6.9	12.4	55.6	7.7	3.3	11.0	30.0	6.9	6.7	13.6	49.3																			
Λ 0~5 ^{cm}	5.7	1.5	20.8	7.2	7.8	16.7	4.1	3.2	7.3	43.8	4.9	2.8	7.7	36.4	7.2	2.6	9.8	26.5	2.9	1.5	4.4	34.1																			
Λ 20~25 ^{cm}	3.7	1.5	28.8	5.2	7.2	25.0	4.4	1.0	5.4	18.5	2.9	0.9	3.8	23.7	3.2	3.4	6.6	51.5	3.7	1.8	5.5	32.7																			
B 50~55 ^{cm}	3.7	1.5	28.8	5.2	7.2	25.0	4.4	1.0	5.4	18.5	2.9	0.9	3.8	23.7	3.2	3.4	6.6	51.5	3.7	1.8	5.5	32.7																			

スギ16年生林 (下田1号試験地)

付表8 樹高及び枝張

(cm)

試験区	樹高				枝張			
	1968年	1969年	1970年	1971年	1968年	1969年	1970年	1971年
1 回施肥区	(100) 60.0	(104) 101.0	(106) 153.1	(100) 182.0	(96) 43.7	(101) 66.8	(108) 81.7	(104) 96.2
2 回施肥区	(96) 58.0	(104) 101.4	(108) 156.0	(108) 195.0	(98) 42.8	(106) 70.4	(106) 84.0	(101) 98.4
3 回施肥区	(100) 60.4	(105) 102.1	(108) 155.8	(126) 223.1	(103) 46.9	(106) 70.4	(108) 85.3	(114) 105.3
無施肥区	(100) 60.3	(100) 97.2	(100) 144.3	(100) 181.0	(100) 45.5	(100) 66.4	(100) 79.2	(100) 92.6

付表9 灌木草類の下刈量

kg/100m²

試験区	年	計			
		1968年	1969年	1970年	1971年
1 回施肥区	1968年	(122) 67.2	(117) 120.2	(117) 71.4	(115) 134.0
	1969年	(127) 70.0	(128) 130.7	(125) 76.0	(110) 129.0
	1970年	(116) 64.0	(131) 135.2	(161) 98.0	--
無施肥区	1968年	(100) 55.2	(100) 103.1	(100) 61.0	(100) 117.0
	1969年	(100) 55.2	(100) 103.1	(100) 61.0	(100) 117.0
計		(117) 392.8	(121) 405.7	(88) 297.2	(118) 86.3
平均		(121) 405.7	(126) 492.2	(136) 99.1	(100) 78.1

* 平均値: 1968年~1970年までの8カ年平均とす

付表10 樹幹位置別直径

(単位 cm)

試験区	年月	1965.6 (設置時)										1965.11										1966.9										1967.11										1968.11										1969.11																																																																																													
		0.3	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3	9.3	0.3	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3	9.3	0.3	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3	9.3	0.3	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3	9.3	0.3	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3	9.3																																																																																														
無枝打	無施肥	18.5	14.9	13.2	11.8	10.5	8.6	18.9	15.1	13.5	12.8	10.8	9.2	20.2	16.1	14.7	13.4	12.1	10.5	21.1	16.8	15.2	14.2	13.5	11.9	18.5	15.5	14.1	12.7	11.0	9.8	18.7	15.6	14.4	13.0	11.7	10.0	20.2	16.8	15.8	14.5	13.2	11.6	21.3	17.4	16.6	15.3	14.0	12.8	19.0	15.2	13.7	12.4	10.7	9.1	19.5	15.4	13.8	12.5	10.8	9.3	20.6	16.3	14.9	13.7	12.3	10.9	20.6	17.0	15.4	14.2	12.8	11.3	18.6	14.8	13.4	11.9	10.3	8.9	18.6	14.8	13.4	12.0	10.6	9.3	19.6	15.9	14.6	13.3	12.0	10.9	20.8	16.6	15.2	13.9	12.8	11.6	19.6	15.4	13.5	11.7	10.1	8.4	19.7	15.6	13.6	11.9	10.5	8.8	20.4	16.1	14.4	12.9	11.6	10.0	21.3	16.4	14.9	13.6	12.4	10.8	18.9	15.6	14.4	12.7	10.9	9.4	19.1	15.6	14.4	12.8	11.4	10.0	20.8	16.3	15.3	14.0	12.7	11.4	20.2	16.6	15.8	14.5	13.8	12.7
	強枝打	18.5	14.9	13.2	11.8	10.5	8.6	18.9	15.1	13.5	12.8	10.8	9.2	20.2	16.1	14.7	13.4	12.1	10.5	21.1	16.8	15.2	14.2	13.5	11.9	18.5	15.5	14.1	12.7	11.0	9.8	18.7	15.6	14.4	13.0	11.7	10.0	20.2	16.8	15.8	14.5	13.2	11.6	21.3	17.4	16.6	15.3	14.0	12.8	19.0	15.2	13.7	12.4	10.7	9.1	19.5	15.4	13.8	12.5	10.8	9.3	20.6	16.3	14.9	13.7	12.3	10.9	20.6	17.0	15.4	14.2	12.8	11.3	18.6	14.8	13.4	11.9	10.3	8.9	18.6	14.8	13.4	12.0	10.6	9.3	19.6	15.9	14.6	13.3	12.0	10.9	20.8	16.6	15.2	13.9	12.8	11.6	19.6	15.4	13.5	11.7	10.1	8.4	19.7	15.6	13.6	11.9	10.5	8.8	20.4	16.1	14.4	12.9	11.6	10.0	21.3	16.4	14.9	13.6	12.4	10.8	18.9	15.6	14.4	12.7	10.9	9.4	19.1	15.6	14.4	12.8	11.4	10.0	20.8	16.3	15.3	14.0	12.7	11.4	20.2	16.6	15.8	14.5	13.8	12.7
弱枝打	無施肥	18.5	14.9	13.2	11.8	10.5	8.6	18.9	15.1	13.5	12.8	10.8	9.2	20.2	16.1	14.7	13.4	12.1	10.5	21.1	16.8	15.2	14.2	13.5	11.9	18.5	15.5	14.1	12.7	11.0	9.8	18.7	15.6	14.4	13.0	11.7	10.0	20.2	16.8	15.8	14.5	13.2	11.6	21.3	17.4	16.6	15.3	14.0	12.8	19.0	15.2	13.7	12.4	10.7	9.1	19.5	15.4	13.8	12.5	10.8	9.3	20.6	16.3	14.9	13.7	12.3	10.9	20.6	17.0	15.4	14.2	12.8	11.3	18.6	14.8	13.4	11.9	10.3	8.9	18.6	14.8	13.4	12.0	10.6	9.3	19.6	15.9	14.6	13.3	12.0	10.9	20.8	16.6	15.2	13.9	12.8	11.6	19.6	15.4	13.5	11.7	10.1	8.4	19.7	15.6	13.6	11.9	10.5	8.8	20.4	16.1	14.4	12.9	11.6	10.0	21.3	16.4	14.9	13.6	12.4	10.8	18.9	15.6	14.4	12.7	10.9	9.4	19.1	15.6	14.4	12.8	11.4	10.0	20.8	16.3	15.3	14.0	12.7	11.4	20.2	16.6	15.8	14.5	13.8	12.7
	強枝打	18.5	14.9	13.2	11.8	10.5	8.6	18.9	15.1	13.5	12.8	10.8	9.2	20.2	16.1	14.7	13.4	12.1	10.5	21.1	16.8	15.2	14.2	13.5	11.9	18.5	15.5	14.1	12.7	11.0	9.8	18.7	15.6	14.4	13.0	11.7	10.0	20.2	16.8	15.8	14.5	13.2	11.6	21.3	17.4	16.6	15.3	14.0	12.8	19.0	15.2	13.7	12.4	10.7	9.1	19.5	15.4	13.8	12.5	10.8	9.3	20.6	16.3	14.9	13.7	12.3	10.9	20.6	17.0	15.4	14.2	12.8	11.3	18.6	14.8	13.4	11.9	10.3	8.9	18.6	14.8	13.4	12.0	10.6	9.3	19.6	15.9	14.6	13.3	12.0	10.9	20.8	16.6	15.2	13.9	12.8	11.6	19.6	15.4	13.5	11.7	10.1	8.4	19.7	15.6	13.6	11.9	10.5	8.8	20.4	16.1	14.4	12.9	11.6	10.0	21.3	16.4	14.9	13.6	12.4	10.8	18.9	15.6	14.4	12.7	10.9	9.4	19.1	15.6	14.4	12.8	11.4	10.0	20.8	16.3	15.3	14.0	12.7	11.4	20.2	16.6	15.8	14.5	13.8	12.7

