

スギ・ヒノキ苗の成長におよぼす N・P・K濃度および受光量の影響

九州支場林木栄養研究班

Project Team for Studying Tree Nutrition in Kyushu Branch :
Influences of N, P, K and Light Supply on Seedling Growth of
Cryptomeria japonica and *Chamaecyparis obtusa*

要 旨：この研究は、スギ、ヒノキの育林技術手段に関連する多要因実験を、隣耕法により実施した。実験の要因には育林技術手段として効果が期待できる培地の N, P, K 濃度および受光条件の 4 要因をとりあげ、これらの主効果および 2 因子交互作用効果が、スギ、ヒノキ苗の成長量だけでなく、成長終了後の葉内無機成分量、同化呼吸量、耐凍性などにおよぼす影響を検討した。

その結果、生育期間中の成長量は、培地の N 濃度の影響を最も強くうけるが、その影響の程度と範囲は受光条件によって変化し、最適な養分水準は単一でないと推定された。

また、成長終了後の葉内無機成分量は、培地の N, P, K 濃度と受光条件によって変化が起り、ヒノキでは N 含有量に顕著に現われたが、スギではそれほどでなかった。さらに、スギのみかけの単位光合成量は、培地の受光条件および葉内成分の N, Mg 含有濃度の影響をうけた。また、スギの耐凍性は、培地の K 濃度が過剰になると、かえって低下する傾向がみられた。

これらの成果は、実際に苗畑や造林地において、培地の N, P, K 濃度や受光条件の主効果と、4 要因相互の 2 因子交互作用効果として起っているものであり、育林技術、とくに林木の肥培技術の改善上、役立つ。

目 次

はじめに	2
1. 研究計画	3
1-1. 研究内容の概要	3
1-2. 研究組織	4
1-3. 実験計画	5
2. 実験材料と方法	9
2-1. 実験材料	9
2-2. 隣耕装置	9
2-3. 隣耕培養液	10
2-4. 遮光装置と受光量の制御	13
3. 隣耕ベッドの気象環境と樹体温度	16
3-1. 気象環境	16
3-2. ベッドの温度	18
3-3. 樹体温度の測定	20
4. 隣耕液の N, P, K 濃度および受光条件がスギ、ヒノキ苗の成長量に及ぼす影響	25
4-1. 樹高成長の反応	25
4-2. 根元直径の反応	31
4-3. 全生重量の反応	33

1974年8月8日受理

造林—10 Silviculture—10
経営—4 For. Manage.—4
土壌—9 For. Soils—9

4-4. スギ苗の部分重(乾).....	38
4-5. ヒノキ苗の部分重(乾).....	41
4-6. 考 察.....	43
5. 磷耕液の N, P, K 濃度および受光条件がスギ, ヒノキの葉内成分量におよぼす影響.....	43
5-1. 葉内無機成分量.....	43
5-2. 葉内クロロフィル含有量.....	50
5-3. 樹体内含水量.....	55
6. スギ苗の光合成反応.....	58
6-1. 材 料 と 方 法.....	58
6-2. みかけの単位光合成量.....	59
6-3. みかけの単位光合成量と葉内成分量との関係.....	62
6-4. 単 位 呼 吸 量.....	64
7. スギ苗の耐凍性反応.....	64
7-1. 材 料 と 方 法.....	64
7-2. 結 果 と 考 察.....	66
ま と め.....	67
文 献.....	70
Summary.....	72

は じ め に

育林技術には、地ごしらえ、植えつけ、補植、下刈り、つる切り、除伐、間伐、枝打ちのほか、薬剤散布、耕うん、灌がい、施肥などがある。これらの個別技術のなかで、その効果が明確である場合ほど、林業経営の目標に応じた制御が可能である。ここで、効果と呼ぶ意味は、終局的には、林業生産の目標であるところの幹の量的、および質的成長におよぼす影響をさす。

幹の量、および質的成長におよぼす技術の効果を明確にするためには、幹の成長が最終の目標だからといって、単に幹の成長量を調べるだけでは、必ずしも十分でない。第 1 に必要なことは、幹の成長量を変化させる生理、生態的要因、および遺伝的要因などのすべの要因のなかで、個別技術が、どの要因をどれくらい動かし得るかをまず明らかにしなければならない。

そこで、まず研究の第 1 段階では、一般に実態調査によって、実際に幹の成長を左右している要因の種類と、技術的手段が動かし得る各要因の水準を明らかにしようとするが、しかし現地の調査回数をいくら増しても、幹の成長に関連をもつすべての要因の種類や、その関連要因の水準の範囲を、完全に解明することは非常に困難である。それは、現地では各要因が相互に関連しあって幹の成長に関与するという、いわゆる交互作用が存在しているためである。ここに、実態調査の限界がある。

そこで、研究の第 2 段階では、実態調査によって明らかにされた要因の技術的手段となり得る水準をもとにした多要因実験が必要である。すなわち、ここでは幹の成長に関連のある多要因の主効果や、交互作用効果を定量的、および定性的に把握しようとする意図が生れる。

第 3 の研究段階は、実態調査によって得た記録と、多要因実験結果の解析によって得た理論とを総合しながら一定の仮説を組み立てて、それを現地で実際に試行してみることである。この第 3 の研究段階は、もはや研究ではなく、技術そのものであるという見方が強い。いずれにしても、この実地試験はその理論および技術適用に誤りがなかったかどうかをチェックし、もしも誤りを発見できれば、それを修正するう

えに役立てることができる。

本研究は、以上の3研究過程の中で、第2の研究過程、すなわち多要因実験を取り扱ったものであり、また、九州支場が昭和40年度より着手した支場内の共同研究である。

本研究の主目的は、つぎのことにある。造林地経営の基本問題は、その林分の現実の生育過程を期待林分構成（単木の形質も含む）を目標として制御するための最適技術手段を選択することである。このために、技術的手段の主効果および交互作用に対して林木がいかに反応するかを明らかにする必要がある。そこで、本研究は、スギ、ヒノキの育林技術手段に関連する多要因実験を、礫耕法により実施することとした。そして、その要因としては、造林木に対する施肥、下刈り、枝打ち、間伐などの技術効果と関係の深い培地のN、P、K濃度と受光条件をとりあげ、これら4要因の主効果と交互作用が、スギ、ヒノキ苗の量的成長および2、3の質的成長におよぼす影響を検討した。

本研究を実行するにあたり、直接、研究のご指導をいただいた元支場長 甲斐原一朗博士および研究の推進にご援助いただいた元九州支場育種研究室長、現造林部長 戸田良吉博士、九州支場前育林部長 細井 守技官、前保護部長 徳重陽山博士、元九州支場土じょう研究室長 吉筋正二技官、前九州支場土じょう研究室長脇 孝介技官の各位に深甚の謝意を表する。また、単位光合成量の重相関解析の計算にご協力いただいた本場電子計算機室 川端幸蔵技官、および、脱稿に際してご助言いただいた農業技術研究所塩見正衛技官、広崎昭太技官および九州支場育林部長 吉本 衛技官、同土じょう研究室長 下野園 正技官、本場造林部生理研究室 斎藤 明博士に厚くお礼を申し上げる。なお、この研究の基盤は礫耕栽培実験にあり、この装置の管理に精力的に取り組まれた香川照雄技官に敬意を表する。また本稿の校閲を賜った前支場長、現土じょう部長 塘 隆男博士に厚くお礼を申しあげる。（とりまとめ総括者一同）

1. 研究計画

1-1. 研究内容の概要

この礫耕実験は、礫耕床の受光条件と培養液の養分濃度をかえて、スギ・ヒノキを栽培し、培地の養分および受光の主効果および交互作用を解析した。

培地の受光要因は、全受光条件とその約27%受光条件の2水準である。

培地の養分要因は、N、P、Kの3要素で、各要素の濃度は、低、適、高の3水準である。

実験計画は、養分要因を L_{27} 型直交表²⁸⁾ にわりつけ、毎年その1/3あて実施することとし、受光要因は、それぞれにわりつけた。スギは、1967年より1969年までの3年間、ヒノキは、1966年より1968年までの3年間に、毎年1回あて、新しい苗を礫耕ベッドへ植えかえて、その年の秋に掘りとりを行ない、各年ごとのデータを得た。

スギ、ヒノキの成長量には、毎年5月16日から10月4日までの増加量で表わした樹高、根元直径、全重のほか、1育成期間を経過したときの現存量で表わした樹体の部分重をとりあげ、これらの値がN、P、K受光の4要因の主効果、交互作用効果によって、どのような影響をうけるかを解析した。また、1年間礫耕栽培されたあとの葉内無機成分量、クロロフィル含有量、含水量の分析実験を行ない、各要因の効果が光合成器官としての針葉の特質にどのような影響をおよぼすかを考察した。さらに、同化組織の光合成量、耐凍性なども調べて、各要因の効果がそれらの性質におよぼす影響を考察した。

（とりまとめ総括者一同）

1-2. 研究組織

担 当 事 項	担 当 者	所 属
研 究 計 画	甲 斐 原 一 朗	佐賀大学 経済学部教授 (元九州支場長)
	尾 方 信 夫	九州支場育林部造林第 2 研究室長
	栗 屋 仁 志	本場経営部経営第 2 科測定研究室長 (元九州支場育林部経営研究室長)
	吉 筋 正 二	元九州支場土じょう研究室長
	塚 原 初 男	山形大学助教授 (前九州支場育林部育林第 1 研究室)
	森 田 栄 一	九州支場育林部経営研究室
礫耕装置の設計	尾 方 信 夫	
礫耕装置の設定	尾 方 信 夫	
	高 木 哲 夫	九州支場育林部造林第 1 研究室
	只 木 良 也	本場造林部造林第 2 研究室長 (前九州支場造林研究室)
	長 友 安 男	本場調査部企画科企画室 (前九州支場育林部造林第 2 研究室)
	上 中 作 次 郎	九州支場育林部造林第 2 研究室
	香 川 照 雄	九州支場調査室 (前九州支場造林研究室兼務)
遮光装置の設定	竹 下 慶 子	九州支場育林部造林第 2 研究室
	栗 屋 仁 志	
	森 田 栄 一	
	本 田 健 二 郎	九州支場育林部経営研究室
礫耕装置の管理	香 川 照 雄	
遮光装置の管理	森 田 栄 一	
礫耕液の調整および濃度測定	塚 原 初 男	
	上 中 久 子	九州支場育林部造林第 1 研究室
	川 添 強	九州支場育林部土じょう研究室
	佐 伯 岩 雄	九州支場育林部土じょう研究室
	長 友 忠 行	九州支場育林部土じょう研究室
礫耕装置および礫耕苗の管理	香 川 照 雄	
	上 中 作 次 郎	
礫耕装置の環境測定	森 田 栄 一	
成 長 量 測 定	栗 屋 仁 志	
	本 田 健 二 郎	
	塚 原 初 男	
	上 中 久 子	
統計解析および電子計算機プログラミング	森 田 栄 一	

担 当 事 項	担 当 者	所 属
樹体内無機成分濃度の分析	上 中 久 子	
光合成量の測定	塚 原 初 男	
耐凍性の測定	高 木 哲 夫	
研究結果のとりまとめ	塚 原 初 男	(1-3-1, 1-3-2, 2-1, 2-3, 4-4, 4-5, 4-6, 5, 6)
	森 田 栄 一	(1-3-3, 4-1, 4-2, 4-3, 4-6)
	尾 方 信 夫	(2-2)
	上 中 久 子	(5-1)
	栗 屋 仁 志	(1-3-3, 2-4)
	上 中 作 次 郎	(3)
	高 木 哲 夫	(7)
とりまとめ総括	塚 原 初 男(主査)	
	森 田 栄 一(副査)	
	大 山 浪 雄	
	尾 方 信 夫	(とりまとめ総括者一同)

1-3. 実 験 計 画

1-3-1. 実 験 要 因

幹の成長を制御するすべての理論的要因を同一実験に同時に組みこむことは理想的ではあるが、理想的大型ファイトロン設備を持たない現状²⁷⁾では、そのいくつかの要因にしぼって、多要因実験をすすめるはかに方法はない。その場合、どの要因にしぼるかが問題になる。

林木の生育、成長は、遺伝、環境および遺伝と環境の交互作用によって左右される。この研究では、環境要因の効果を決定することが、主な目標である。この環境要因には、光、温度、水、土じょう(理化学性、化学性、微生物など)などがある。これらの要因の作用を、できるだけ自然に近い条件で研究することが必要であることはいうまでもない。

光要因は、林木が、水と炭酸ガスを用い、葉緑体の中に含まれた酵素によって、炭水化物を合成するという光合成過程のエネルギー源を左右している。この光要因と直接、間接的に関係のある個別技術は、植栽密度、下刈り、つる切り、枝打ち、除伐、間伐、などがある。本研究では、上述の個別技術と関係の深い自然光の量を実験の要因としてとりあげることにした²⁸⁾³²⁾³⁴⁾。

光合成で合成された炭水化物は、根から吸収されるNと共に、P、Kなどの養分の助けを借りて、木材成分に生合成される。したがって、幹の成長にとって、培地のN・P・Kほか養分の状態が重要な要因となる。

培地の養分量を増大することによって、地力を左右する技術としては施肥がある。この施肥は、培地中の有効態無機養分の組成および濃度を変化させる技術であるといえることができる。無機養分のなかで最も現地で問題になるのは、N・P・Kの肥料3要素とされている。

これらの養分要素による林木の反応を調べたものには、芝本²⁹⁾、塘³⁵⁾、川名¹³⁾らの報告がある。しかしながら、これまでの研究では培地の養分要素と地上部の環境要因との交互作用効果を調べた報告はほとんど例をみない。そこで、本研究では培地の養分の中から、特に地力と関係の深いNおよびP、Kの要素

を実験要因としてとりあげ、これら各要素相互の 2 因子交互作用と、養分要素と受光要因との 2 因子交互作用効果について調べた。

(塚原 初男)

1-3-2. 各要因の水準

この実験でとりあげた 4 要因、すなわち、受光条件、培地の N, P, K の各濃度条件は、以下のとおりである。

(1) 受光要因

いま、地上における遮蔽物が全くない場合を全光、または全受光条件と呼び、苗木の頂端部における受光角が 180 度の場合を標準とし、その点における受光エネルギーの 1 生育期間の総量を 100% とおいて、受光要因の対照区とみなした。

これに対して、遮光区を設定した。遮光方法は大別すると 3 種に分けられる。その第 1 は、光源と対象物との間に、半透明の膜を張って、光の一部を膜に吸収、反射させる方法である。この方法は、たとえば林内稚樹、幼樹の光条件のように、透過光線としての光要因を重点的に問題にする場合に有効である。第 2 の遮光方法は、1 日のなかで、一定の時刻だけ直射光線をさえぎる方法である。この方法には、平行形遮光法と、円形遮光法とがあり、いずれも、現実林分の地形要因や、隣接木による遮光を考慮して、栗屋ら²⁾³⁾⁴⁾によって、新しく開発された方法である。第 3 の遮光方法は、日陰格子による方法である。この方法は、第 1 および第 2 の 2 種の方法にまたがっており、現実には、クローネの内層の針葉がこの条件に近い。しかし、地形要因による遮光のモデル化が全く考慮されていない弱点がある。

そこで、ここでは、栗屋らによって開発された、第 2 の遮光法のなかの、平行形遮光法を用いることによって、1 水準だけ遮光区を設定した。

この遮光区の受光入射角は、40 度に制御した。なお、この緑色の平行形遮光板によって遮光された磷耕ベッド上の苗の、頂点における受光エネルギーは、全受光区の約 27% にあたる。

これら実験装置の全景を Photo. 1 に示す。

(2) N 要因

磷耕液の N 濃度は 3 水準にし、スギ、ヒノキに共通である。その濃度は、芝本²⁹⁾が、0 ppm から 400 ppm までの範囲に、7~9 段階の濃度条件をつくって水耕した実生のスギ、ヒノキ苗の成績を参考にして決定した。すなわち、スギ、ヒノキの乾重量、根元直径増加量、地上部伸長量などが最高か、またはそれに近い N 濃度を求めた。その結果、スギでは $N=60$ ppm ($NO_3-N=30$ ppm, $NH_4-N=30$ ppm)、ヒノキでは $N=80$ ppm が得られ、 $N=60\sim 80$ ppm の適濃度を第 2 水準にとった。

また、成長量は最高ではないとしても濃度障害による枯損木があまり認められない範囲内で、できるかぎり高濃度にとれるだけといった場合を高濃度と呼び、これを第



Photo. 1 実験に用いた磷耕ベッド
Culture beds used for the
experiments.

3水準とした。芝本²⁹⁾のスギでの実験では、120 ppm 以上から枯損本が多く、400 ppm では著しく多い傾向があった。このため、第3水準は、120 ppm から200 ppm までの範囲にとることに決定した。

Nの第1水準は低濃度にとった。スギ、ヒノキの成長量が不良なN濃度は、20 ppm 以下であった。

礫耕実験では、スギとヒノキを同時に、同一組成の培養液で育成した。また、各水準の間隔は対数目盛で等間隔とし、N=20 ppm, 60 ppm, 180 ppm とした。

(3) P 要 因

礫耕液の P_2O_5 濃度は、N濃度の場合と同様に、低濃度、適濃度、高濃度の3水準を、濃度(ppm)の対数で、等間隔になるように5, 20, 80 ppm と決定した。

すなわち、芝本²⁹⁾が、スギ、ヒノキの実生1年生苗で水耕した結果によると、水耕液の P_2O_5 の適濃度は、それぞれ20~40 ppm, 20~80 ppm であり、最適濃度は、スギ、ヒノキともに、20 ppm であった。この水耕実験によって得られた結果をもとにして、礫耕液の P_2O_5 の適濃度としては、20 ppm に決定した。また、芝本²⁹⁾によると、スギ苗の枯損と水耕液の P_2O_5 濃度との関係は、 P_2O_5 の濃度が80 ppm 以下では枯損率も小さいが、それ以上の濃度になると増加し、400 ppm では健全に発育するものはほとんどなくなると述べている。これより、スギ、ヒノキに共通の礫耕液の高濃度は80 ppm に決定した。

礫耕液の低濃度水準は、スギ、ヒノキが、欠乏症状を示さない範囲内で、できるかぎり低い濃度にした。しかし、実際には、適濃度を20 ppm, 高濃度を80 ppm と決定することによって、低濃度は対数目盛で等間隔に5 ppm とした。

(4) K 要 因

スギ、ヒノキ苗に共通な礫耕液の K_2O 濃度は、N, P_2O_5 濃度の場合と同じように、低濃度、適濃度、高濃度の3水準を対数で等間かくになるように10, 40, 160 ppm と決めた。

すなわち、芝本²⁹⁾によると、水耕液の K_2O の適濃度は、20~200 ppm の範囲で、このなかで成長が最も良好なのは、 $K_2O=40$ ppm で、つぎは $K_2O=60$ ppm の場合であったと述べている。以上の結果にもとづいて、礫耕液の K_2O 適濃度は、40 ppm に決定した。また、同氏は K_2O 濃度が0 ppm から400 ppm までの範囲では、あまり枯損に影響がないと述べている。このため、礫耕液の K_2O 濃度の高濃度と低濃度の2水準は、0 ppm から400 ppm までの範囲で、 $K_2O=40$ ppm を中心に、その4倍と、その1/4倍を、それぞれ高、低濃度を選んだ。(塚原 初男)

1-3-3. 要因のわりつけ

要因のわりつけはスギ苗およびヒノキ苗のそれぞれについて、培養液の3要素N, P, Kの濃度を、低、中、高の3水準、受光条件を全光区と遮光区の2水準とした。このデザインを完全にランダムに、しかも1年で完了するためには、108個の培養液タンクと礫耕ベッドのセットが必要である。しかし、実験予定地は約20個のベッドが設置できる余地しかなく、直射光を制御する遮光装置により陰影を生ずる制約のために全光区と遮光区のベッドをランダムに配置することはできなかった。

そこで、1次単位として培養液の3要素を L_{27} 型直交表でわりつけ、2次単位としての受光条件は1ベッド内を南北に分割して並列にわりつけることとし、さらに1年の実験量をその1/3とすることによって18個のベッドを設置した。このために実験材料は毎年均質なものを使用し、毎年新しく植えかえると共に、ベッドの礫は毎年実験開始前に、ミキサーによりよく攪拌洗浄し、前年の実験の影響が残らないよう配慮した。

Table 1. 直交表 L_{27} (3^{13}) と要因のわりつけ
Orthogonal table and lay out of factors

列 Row	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
要 因 Factor	N	P_2O_5			K_2O					Y (年)			
成 分 Element	N	P	N P	N P^2 (K Y)	K	N K	N K^2 (P Y)	P K (N Y ²)	e (N Y)	Y	P K^2	e (K Y ²)	e (P Y ²)

(NY, NY²……KY²) は別名関係を示す。

この実験では、苗木の各形質の 1 年間の成長量と要因との関係を分析するにあたり、特に各養分条件の主効果だけでなく、2 因子交互作用の効果に注目することを一つの目的としている。したがって、 L_{27} 型直交に表示されている 4 つの 3 因子交互作用項のうち、第 10 列に年次をわりつけることにより、各養分の主効果と年との交互作用は Table 1 に示すような別名関係を示すが、これらの交互作用はすべて無視して解析した。

以上により実験の装置は 9 個の培養タンクとそれに連結する 2 個の礫耕ベッドから成り立ち、2 個の礫耕ベッドの一方にはスギ苗、他のベッドにはヒノキ苗が植えられた。さらに 2 次単位の受光条件は一列に並んだ 18 本のベッドのすべて北側半分に遮光区、南側半分に全光区をわりつけた。このように、受光条件はランダムにわりつけることができなかったので、分散分析は全光区、遮光区別に行なった。また、9 個の培養液タンクにわりつける培養液の組成は Table 2 に示すように、10 列目の年が交絡するように要因配置表⁽¹²⁾⁽¹⁵⁾の組合せを 9 個のタンクにランダムにわりつけ、スギについては 1967～1969 年、ヒノキについては 1966～1968 年にわたって実験を行った。

以上のデザインによる実験の構造式は次のように表わすことができる。

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_l + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + \theta x_{ijkl} + e_{ijkl}$$

ここで、 y_{ijk} ：反応値、 μ ：全体の平均、 α_i ：N の効果、 β_j ： P_2O_5 の効果、 γ_k ： K_2O の効果、 δ_l ：受光条件の効果、() は交互作用、 x_{ijkl} ：期首の大きさ、 e_{ijkl} ：誤差。(森田栄一、栗屋仁志)

Table 2. 礫 耕 液 の 組 成
Composition of culture solution

Experiment in 1966, 1969				Experiment in 1967				Experiment in 1968			
NPK level	N ppm	P_2O_5 ppm	K_2O ppm	NPK level	N ppm	P_2O_5 ppm	K_2O ppm	NPK level	N ppm	P_2O_5 ppm	K_2O ppm
111	20	5	10	333	180	80	160	222	60	20	40
212	60	5	40	131	20	80	10	323	180	20	160
313	180	5	160	232	60	80	40	121	20	20	10
123	20	20	160	312	180	5	40	231	60	80	10
221	60	20	10	113	20	5	160	332	180	80	40
322	180	20	40	211	60	5	10	133	20	80	160
132	20	80	40	321	180	20	10	213	60	5	160
233	60	80	160	122	20	20	40	311	180	5	10
331	180	80	10	223	60	20	160	112	20	5	40

2. 実験材料と方法

2-1. 実験材料

2-1-1. スギ

スギの礫耕実験材料には、宮崎署6号クローンを用いた。

スギの礫耕実験は1967年度から1969年度に行った。その第1年目および第2年目に用いた材料は九州林木育種場が事業用として苗畑で1年間養成した第2次枝からの1年生さし木苗である。第3年目の材料は、九州林木育種場が、一般事業用として養成した第1次枝からの1年生さし木苗である。

宮崎署6号クローンは、宮崎営林署内のオビスギさし木林分から選抜された精英樹で、スギさし木在来品種のなかでは、外見上、オビアカによく類似している。

塚原ら⁴¹⁾⁴⁹⁾が、スギの第2種次代検定林設定用として選ばれた12クローンについて、N, P, K濃度各3水準の水耕実験を実施した結果によると、この宮崎署6号クローンは、3要素の濃度に対して非常に敏感な反応を現わすクローンに属している。礫耕への植込みは、毎年4月上旬に行った。

2-1-2. ヒノキ

ヒノキの礫耕実験材料には、一般の事業用として育成された実生苗を用いた。

ヒノキの礫耕実験は1966年度から1968年度に実行した。その第1年目、第2年目に用いた材料は、熊本営林局玖珠営林署ヒノキ優良母樹林からとれたオープン種子を、1965年春、九州林木育種場苗畑にまきつけ、育種事業用として育成された実生苗である。同年秋、そのまきつけ床から、特に大型苗に生育した個体だけをほりとり選苗し、このグループの苗を礫耕第1年目の材料にあてた。第2年目は翌1967年春、礫耕第1年目と同一グループの床替苗の中で、比較的小型に生育した個体を選苗して用いた。したがって、第1年目と第2年目の材料とは苗齢および選苗基準の点で、必ずしも均質にならなかったうらみがある。1968年の礫耕第3年目の材料には、前年までの材料と同一グループの実生苗の使用を希望したが、前年1967年の熊本地方をおそった長期の異常乾燥の影響によって、やむをえず他に求めた。すなわち、1968年の礫耕第3年目に用いた材料は、熊本営林局高崎営林署部内の壮齢ヒノキ母樹林からとられたオープン種子を、1967年春、菊池営林署菊池苗畑（黒色火山灰土壌）にまきつけ、事業用として育成した1年生実生苗から比較的大形苗を選んだ。礫耕への植込みは、スギと同時に毎年4月上旬に行った。

（塚原 初 男）

2-2. 礫耕装置

礫耕の実験装置は、礫耕ベッド、礫耕液タンク、礫耕液循環用ポンプ、礫耕液循環用パイプなどからなる礫耕装置と、木製平行形遮光板を組み立てた遮光装置からなる（Fig. 1）。

礫耕装置は、1965年に設置した。礫耕ベッドは、幅50 cm、深さ40 cm、長さ420 cmの長方形で、その周囲および底面にコンクリートブロックで型わくを組み、その内面に厚さ0.5 mmの黒色ポリエチレン・シートを張り、内部に、直径1～5 cmの川砂利をつめた。細長いベッドは南北に向けて、東西方向に18列、50 cm間かくで並べた。ベッドの北側半分は、平行形遮光板をその東西に立てた遮光区であり、南側半分は遮光物の無い全受光区である。

礫耕液タンクは、約150 l容の円型コンクリート製で、これに常時130 lの礫耕液を満たした。ポンプによってタンクからベッドへ送られた礫耕液は、ベッドに満たされたあと、礫面を完全に越えてから約数

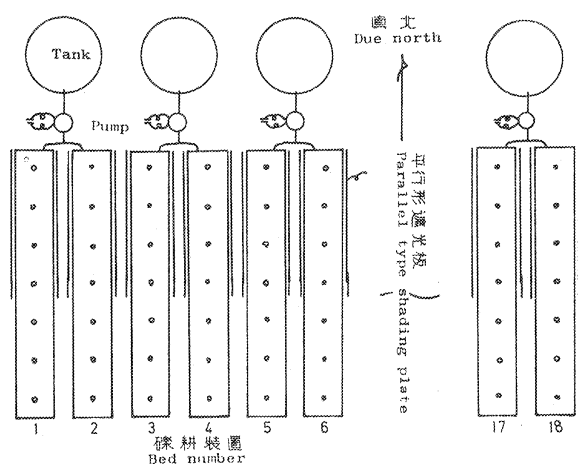


Fig. 1 礫耕装置
Arrangement of culture set.

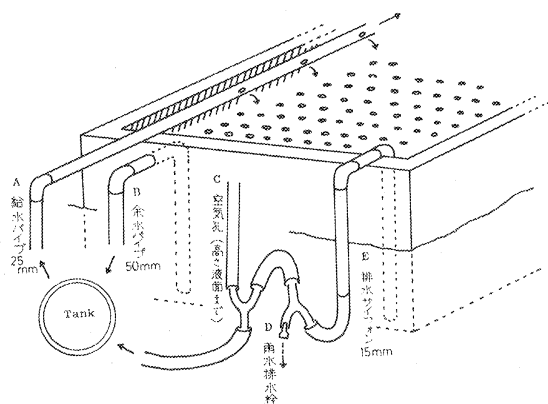


Fig. 2 循環装置
Arrangement used for circulation
of culture solution.

- A : Feed pipe (25 mm)
- B : Overflow pipe (50 mm)
- C : Ventilation pipe
- D : Drainhole
- E : Drain siphon (15 mm)

ム製のホースを塩化ビニールパイプに直結した。

2-3. 礫耕培養液

2-3-1. 組成および調整

礫耕液の組成は、芝本²⁹⁾の水耕第Ⅱ液、および塘³⁸⁾の水耕液を参考にして N, P, K 濃度を決めた。これら 3 要素以外の CaO, MgO などは、水道水、礫、および降雨などから、かなりの量が天然供給される可能性があるため、人為的には供給しなかった。

礫耕液の N, P, K の各濃度は、第 1 水準を低、第 2 水準を適、第 3 水準を高濃度とし、各水準を組合せ、合計 27 種類の礫耕液 (Table 3) を、3 か年にわりつけた (Table 2)。

礫耕液は、毎年、苗木を 4 月上旬に植え込み、それが完全に活着した 5 月上旬から当年成長がほぼ終了

分間その状態を保ち、その後は、重力のはたらきによって、自動的にタンクに循環されるような配管を研究グループの 1 人である香川が考案した (Fig. 2)。また、ベッドの底にたまる降雨は、手で排水サイフォンのコックをとりはずして排水し、礫耕液タンクへ流れこまないように設計した。

礫耕液循環用ポンプは、1966年に開始した礫耕第 1 年目の育成実験では、ギヤーポンプを 3 馬力のモーターにとりつけて、24 l/min. の礫耕液をベッドへ送った。1967 年からは石倉ポンプ製作所製の電動機直結型ポンプに切りかえた。

礫耕液の循環用パイプは、培養液タンクから礫耕ベッドへ培養液を送る給水管パイプ、礫耕ベッドに満たされた培養液を重力の作用によって培養液タンクへ送りかえす余水管パイプ、余水管パイプのはたらきを助け、さらに余水管パイプで残された培養液をタンクへ送りこむ排水サイフォンの 3 本から構成されている。以上の 3 パイプの大きさは、内径で、給水管パイプ=25 mm、余水管パイプ=50 mm、排水サイフォン=15 mm である。給水、余水管パイプは、塩化ビニール製、排水サイフォンはゴ

(尾方 信夫)

する 10 月上旬まで、約 5 か月間、礫耕ベッドへ循環した。循環回数は、日中 9～11 回、夜間 2～3 回とし、時刻どおり自動的に作動させた。

礫耕液の更新は毎月 1 回とし、約 150 l 容の液タンクには補給を欠かさず、常時 130 l の礫耕液を満して置いた。

2-3-2. 更新前後の濃度および pH

更新したばかりの新しい礫耕液の K, Ca, Mg の各濃度、および pH が、1 か月間にわたる礫耕ベッド循環によって、どのように変化したかどうか調べた。

1969 年 9 月 3 日、当年度第 5 回目の礫耕液の更新の際に、更新直前の古液と、更新直後の新液を各培養液タンクから採水した。N が高水準（180 ppm）の各ベッドには、礫の表面に緑色の藻類の繁茂が認められ、その一部はタンク内の培養液中に混入しているため、これをろ過した。礫耕液に含まれる K, Ca, Mg の各濃度は、原子吸光分光光度計（Hitachi 207 Atomic Absorption Spectrophotometer）で測定した。また、礫耕液の pH は日立一堀場型 pH メーターで測定した。

（1）K 濃度

更新したばかりの新しい礫耕液に含まれる K 濃度は、理論的には調整目標の理論値に等しいはずである。しかし実際には、18 ベッド全体の水洗回数が等しくとも、1 か月間も循環をくりかえした古い礫耕液の影響によって、礫表面にしみついた成分が、かなり存在しているため、理論値とは相当のズレが認められた。

Table 4 は、実際に 1969 年に使用した 9 種類の礫耕液について K を分析し、その実測値と理論値をくらべたものである。

礫耕液の K 濃度の理論値が低水準の 10 ppm の場合は、更新直後の新しい礫耕液でさえ 16～39 ppm を示し、さらに礫耕ベッドを 1 か月循環した更新前の古液では 27～60 ppm まで高まり、K 濃度の理論値が適水準の 40 ppm に近づいていた。しかし、K 濃度の理論値が高水準の 160 ppm の場合は、更新後の新液で 121～168 ppm を示し、さらに礫耕ベッドを 1 か月循環した古液でも 103～176 ppm にとどまり、かなり理論値に近い K 濃度が保たれていた。

なお、ここで礫耕液に用いた熊本市水道水には、K₂O が約 5 ppm 含まれていた。

以上のように、実際に使った礫耕液中の K 濃度は、K 調整濃度が低い場合には、その理論値よりも高くなり、反対に調整濃度が高い場合には、その理論値より低目の値を示した。これらは、水道水からの K 供給の影響

Table 3. 礫耕液の組成と濃度水準
Composition of culture solution

要素 Element	使用塩類 Salts used	濃度水準 Level		
		1 (低) Lower ppm	2 (適) Proper ppm	3 (高) Higher ppm
N	NH ₄ NO ₃	20	60	180
P ₂ O ₅	Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	5	20	80
K ₂ O	KCl	10	40	160

Table 4. 礫耕液の更新前後の K₂O 濃度 (1969)
K concentration in culture solution (1969)

水準 NPK level	礫耕液 Culture solution		理論値 Theoretical value ppm
	更新前 Before renewal ppm	更新後 After renewal ppm	
111	27.1	16.3	10
221	29.9	24.7	10
331	60.6	38.9	10
132	25.3	37.9	40
212	53.3	51.5	40
322	67.2	79.8	40
123	104.1	144.5	160
233	103.5	121.4	160
313	176.4	167.7	160

Table 5. 礫耕液の更新前後の CaO 濃度 (1969)
Ca concentration in culture solution (1969)

水 準 NPK level	更 新 前 Before renewal ppm	更 新 後 After renewal ppm
111	0.5	0.4
221	1.1	0.5
331	3.4	0.6
132	0.5	0.4
212	1.4	0.6
322	3.8	0.8
123	0.9	0.6
233	1.5	0.7
313	4.3	0.9

供給していないので、主として水道水に含まれていたものによろう。ついで、礫耕ベッドを1か月循環した更新前の古液では 0.5~4.3 ppm が含まれていた。この増加量は主として礫から溶出されたものとみられる。

なお、この更新前の古液における Ca の増加量は、その液中に N 濃度が高いほど濃度が高まっていた。しかし、他の P や Ca の施用量の違いでは Ca の濃度に一定の影響がなかった。そして、スギ、ヒノキの成長に対して、塘³⁸⁾の標準的林木苗木用水耕液の 20 ppm からみれば、ここにおける礫耕液中の 0.4~4.3 ppm は、かなり不足であったが、Ca 欠乏症³⁸⁾はとくに認められなかった。

(3) MgO 濃 度

調整した礫耕液には Mg が加えられていないが、実際には水道水や礫、雨水などからの天然供給が考えられる。そこで、実際に更新前後の礫耕液の Mg を分析した結果が Table 6 である。更新直後の新しい礫耕液に含まれる MgO 濃度は 0.7~1.5 ppm であり、この場合の水道水中に含まれていた 0.66 ppm に近似している。

この新しい礫耕液にくらべて、礫耕ベッドを1か月循環した古液では MgO が 0.8~9.2 ppm に高まっ

Table 6. 礫耕液の更新前後の MgO 濃度 (1969)
Mg concentration in culture solution (1969)

水 準 NPK level	更 新 前 Before renewal ppm	更 新 後 After renewal ppm
111	0.8	0.7
221	2.2	0.9
331	8.5	1.3
132	1.0	0.9
212	2.0	0.9
322	7.4	1.3
123	1.9	1.2
233	2.4	1.2
313	9.2	1.5

もあるが、このほかに雨水からの供給や礫耕ベッドの礫からの供給、あるいは礫への吸着など、礫自体もかなり緩衝していることが推察される。

(2) CaO 濃 度

礫耕液の調整には CaO を加えていないが、実際に使った礫耕液には、水道水に含まれているものと礫からの溶出や雨水からくるものなどの天然供給量が考えられる。そこで礫耕液中の CaO を分析した結果が Table 5 で、更新直後の新しい液では 0.4~0.9 ppm が含まれていた。これには人為的に CaO を

ていた。そして、この濃度内では、N 施用濃度が高い液ほど MgO 濃度が高まっていた。しかし、他の P および K 施用量の違いでは MgO の濃度に影響がなかった。

N の施用量が多い礫耕ベッドには、緑色または緑褐色の藻類の繁茂が認められた。礫耕液の MgO 濃度が、CaO 濃度と同じように、N 施用量が多い液で高くなっている原因が、この藻類の着生による天然供給量の増大にあるのかもしれない。

いずれにしても、以上のように礫耕液中に MgO が 0.7~9.2 ppm 含まれていたので、

塘³⁸⁾の標準的林木苗用水耕液の 10 ppm からみれば、不足気味であるが、スギ、ヒノキの成長に対して、N 濃度の低い場合を除いて、必ずしも不足であったとは考えられない。

(4) 礫耕液の pH

熊本市水道水で調整した 9 種類の礫耕液の更新直前と更新直後の pH は Table 7 のとおりである。更新直後の新液の pH は、4.0 から 6.3 までの酸性ないし弱酸性であった。これが礫耕ベッドを 1 か月循環し更新前の古液となると、pH が 3.5 から 6.3 までとなっ

た。そして、この場合は、N 施用量が多い礫耕液ほど、循環回数あるいは日数の経過とともに、しだいに酸性にかたよる傾向が認められた。

以上のように、礫耕液の pH は、その液中の 3 要素量によってかなりの違いを示したが、全体的には 3.5~6.3 にあって、しかも新液が古液になる過程で 0.05~0.88 ぐらい上下している。したがって、塘³⁸⁾の標準的林木苗用水耕液の pH 4.2~6.2 からみれば、ここにおける礫耕液の pH は総体的には不適性とは考えられない。

(塚原 初 男)

2-4. 遮光装置と受光量の制御

苗木は、その生育期間を通じて受ける直射光量を制限すると成長に差が生ずる。この研究では、養分量間および受光量と養分量の交互作用が成長におよぼす影響の解明を重要な観点の一つとしたが、遮光は 1 種類の制限しか採用できなかったため、開放区の 1/4 に直射光量を制御した受光角 40° の平行遮光装置を用いた¹¹⁾。

ここでいう受光角とは、Fig. 3 に示すように、東西方向に設置した遮光板の東および西側の上端と苗木の頂点とをなす角である。受光角は直射光の入射角を直接示すものでなく、例えば Table 8 に示すように 1966 年度の理科年表³⁹⁾に示してある赤緯を用いて計算した礫耕ベッドの位置（東経 131°、北緯 30°）における苗木の頂点への直射光の入射時における太陽高度の最低値は季節で変化する。したがってこの太陽高度から求められる入射開始および停止時刻を用いて、次式で算出した日射量²⁴⁾の生育期間における 1 日あたりの平均値の全光区に対する値（相対的受光量）は、Fig. 4 に示すように受光角と関数的関係にあり、苗木全体の受光量は、頂点における受光量と比例するものとした。この受光角は、苗木の生育期間における受光量を示す相対的指標であり、その値が大きい程、受光量が多いことを表す。

$$I_s = I_0 \left[\frac{1}{w} (\cos \theta \cdot \cos \delta \sin wt + \sin \theta \sin \delta \cdot t) \right]_{t_1}^{t_2}$$

ここで、 $w = ^\circ/\text{hour}$ 、 $\theta =$ 緯度、 $\delta =$ 赤緯、 $t =$ 時刻、 $t_1 =$ 入射時刻、 $t_2 =$ 停止時刻、 $I_s =$ 日射量、 $I_0 =$ 日射の強さ、 $b_0 = \text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{hour}$

苗木は Fig. 5 に示すように真方位で南北方向に設置した礫耕ベッドの南北両端から 25 cm の所に第 1 の苗木を植え、それから、50 cm 間隔でベッドの中心線に沿って 1 本ずつ植え込み、遮光装置によって

Table 7. 礫耕液の更新前後の pH (1969)
pH value in gravel culture solution (1969)

水 準 NPK level	更 新 前 Before renewal ppm	更 新 後 After renewal ppm
111	5.1	5.7
221	4.9	4.5
331	3.5	4.3
132	6.3	6.3
212	5.0	4.5
322	3.7	4.0
123	5.7	5.6
233	5.2	4.3
313	3.5	4.6

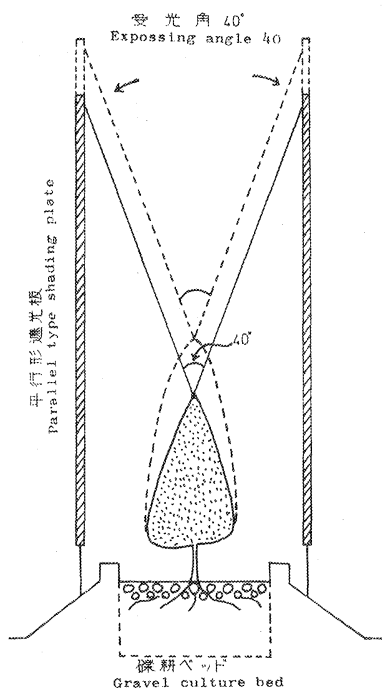


Fig. 3 受光量の制御方法
Control method of radiation intensity

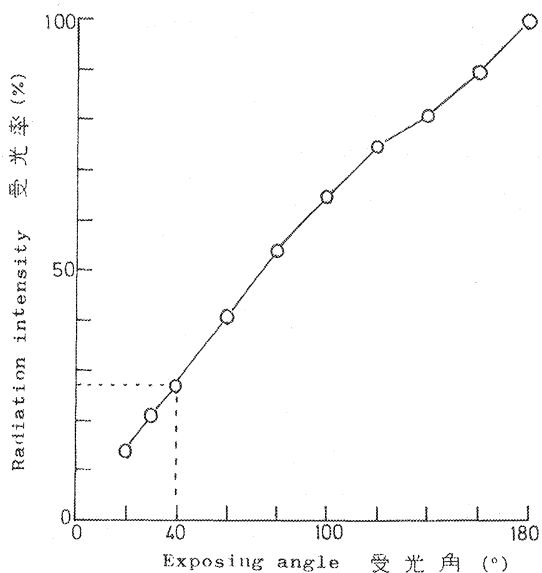


Fig. 4 平行形遮光板制御法による受光角と受光量（1日あたり平均受光エネルギーの比）との関係
Relation between exposing angle and relative intensity of radiation received throughout a day (ratio of mean solar energy per a day) by parallel type shading equipment.

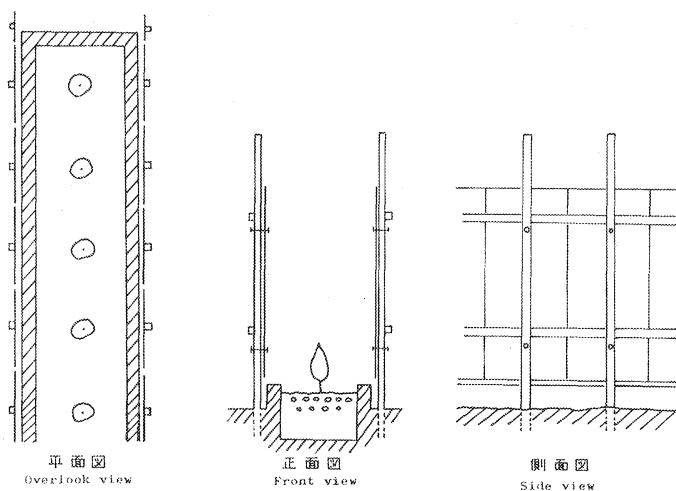


Fig. 5 平行形遮光装置
Arrangement of parallel type shading plate.

生ずる陰影が、開放区の苗木に影響をおよぼさないようにするため、ベッドの北側の苗木グループを対象として遮光装置を設置した。

苗木の生育停止時期は、正確には不明であるが、一応11月初旬として、受光角40°の場合に直射光が苗木の頂点にあたり始める時刻における太陽方位は、Table 8に示す太陽高度を用いて、次式で算出するとS15°10'Eとなる。

$$\sin A = \sin \omega t \cdot \cos \delta / \cos h$$

ここで、A=時刻tにおける太陽方位

$h = t$ における太陽高度

ベッドの外縁にとりつけた遮光板の幅は70 cm であるので、苗木から遮光板までの距離は35 cm となる。

したがって11月17日に受光角40°に相当する直射光を苗木に受光させるには苗木から南方向に約129 cm、太陽が最も北側にある夏至における日出時刻の太陽方位は、N 28°48'E となるから北方向に約19 cm、全体で約148 cm の長さの遮光板が必要となる。さらに樹冠の最大直径を30 cm とした場合、苗木全体を遮光するには、約180 cm の遮光板が必要となる。

苗木1本ごとに、このような長さの遮光装置を設けることはベッドの大きさの関係から不可能であるので、Fig. 5に示すように、一番北側にある苗木の東および西側に立てた支柱を基点としてその北方向に1対、南方向に4対の支柱を50 cm 間隔で設置し、50 cm 幅の遮光板を取り付け、受光量を制御することとした。遮光板は、林内の反射光と類似させるため緑色ペンキを塗布した防水ベニヤ板を使用した。

年間を通じて40°の受光角(35 cm × tan 70° = 96.2 cm を基準に)を維持するため、Fig. 6に示すようにベニヤの上部と下部に長さ10 cm の小判形の穴をあけ、支柱の地際から約70 cm 以上について、10 cm 間隔で適当な数だけあけた小穴を通じて、ボルトで固定し、苗木の伸長に応じて、遮光板を10日間隔で上昇させることとした。なおFig. 7に示すように、太陽軌跡⁷⁾が前方の遮光板の直射光空域に含まれるようになった時点で常にその板の上端が40°の受光角を保つようにした。

苗木の伸長量に応じて高さの調整を行う遮光板の位置と期間をTable 9に示す。

例えば、3月15日から5月11日の間は、苗木の真横にある遮光板で受光量を制御するのではなく、その南側にある遮光板で制御することになる。この場合、前後にある苗木との苗高の差のため、板に若干の高低を生じ、

Table 8. 平行遮光板による直射光の入射開始時における太陽高度の季節変化

Seasonal change in altitude of sun at the beginning of light irradiation controlled by parallel type shading plate (Exposing angle 40°)

月 Date	受 光 角 Exposing angle			
	30°	40°	60°	80°
Mar. 22	55°24'	53°48'	49°19'	43°29'
Apr. 21	65°03'	62°23'	55°51'	47°53'
May 21	71°00'	67°25'	59°04'	49°42'
June 20	72°52'	68°42'	59°43'	49°39'
July 20	71°33'	67°46'	59°14'	49°33'
Aug. 19	66°08'	63°22'	56°38'	48°17'
Sep. 18	56°59'	55°15'	50°33'	44°15'
Oct. 18	46°29'	45°26'	42°20'	38°10'
Nov. 17	37°32'	36°50'	34°50'	31°54'

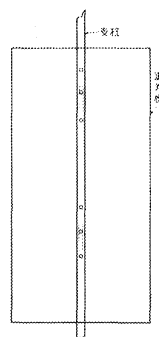


Fig. 6 遮光板の細部
Detail of shading plates.

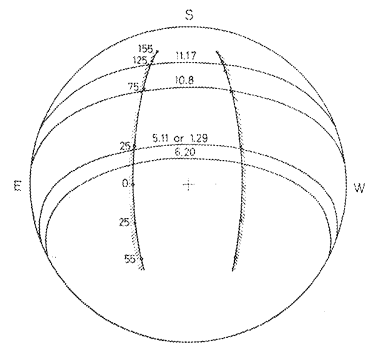


Fig. 7 遮光板の境と太陽軌跡の交さる月日
Date crossed the boundary of shading plates and the sun locus.

Table 9. 受光角 40° を維持するために高さの調整を行なう遮光板の位置と期間
Position of shading plates and period for adjustment their height to keep the exposing angle (40°)

板の位置 Position	期 間 Period
Side	5. 11 ~ 7. 29
First	3. 15 ~ 5. 1, 8. 9 ~ 9. 29
Second	10. 8 ~ 11. 17

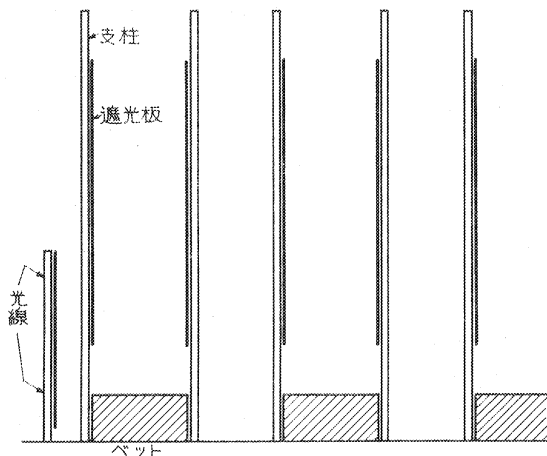


Fig. 8 遮光装置下部における側方光線の遮光
Shading of side sun beam at the lower part of the equipment.

その量だけ所定の位置の遮光板を上昇させ、生育期間（3月15日～11月17日）を通じて、受光角 40° で得られる遮光状態を維持することとした。

(栗屋仁志)

3. 礫耕ベッドの気象環境と樹体温度

この実験において、ベッドに植え込まれた供試苗が受ける気象条件は、苗畑土壤に植えられた場合にくらべて、かなり特殊な気象条件下におかれていた。すなわち、本実験は3か年に分割した実験であるので、各実験年の気象環境の違いを明らかにし、あわせて1966年と1967年に礫耕ベッド内の各部位ごとの温度や供試苗の樹体温を検討した。

3-1. 気 象 環 境

礫耕実験を開始した1966年から最終年の1969年までの4年間にわたり5月より10月までの6か月間について、各年、各月の旬ごとの平均気温、最高気温、最低気温、降水量、日照時間を熊本県気象月報¹⁹⁾²⁰⁾²¹⁾²²⁾を用いて実験各年の気象環境を明らかにした。実験期間における、平均気温、降水量、日照時間の旬ごとの平均値よりの偏差を Fig. 9～11 に示してある。これらの気象要素を年ごとに一覧表にして Table 11 に示してある。この表に用いている環境表現の記号は、Table 10 の季節予報階級区分⁹⁾¹⁰⁾によ

苗木全体が受ける直射光量は、1枚の板を用いたときと幾分異なるが、その差はわずかであるので無視した。

遮光区は、遮光板によって囲まれるため、通風が阻害され、ベッドの温度が上昇し、苗木の生育に影響する危険を除くために、遮光板の下部とベッドとの間隙をできるだけ開けるようにした。しかし、この場合には間隙を通して、太陽高度の低い早朝および夕方の直射光の射入を防ぐために、東および西端にある遮光板の外側に、Fig. 8 に示すように補助の遮光板を立てた。それ以外のベッドでは、隣接ベッドの遮光板によって空隙を通過する直射光をより長い遮光板に取替えることによって防止した。

また遮光区の3本の苗木のうちもっとも南側にある苗木は他の2本の苗と同じ条件にするため、南側50 cmの所に補助苗を植えた。さらに、苗木の倒伏によって、その頂点の位置に狂いが生ずるのを防ぐために、添え木で垂直方向に伸長するよう矯正した。

このようにして、遮光区内の各苗木の遮光条件を等しくし、10日間隔で伸長量を測定し

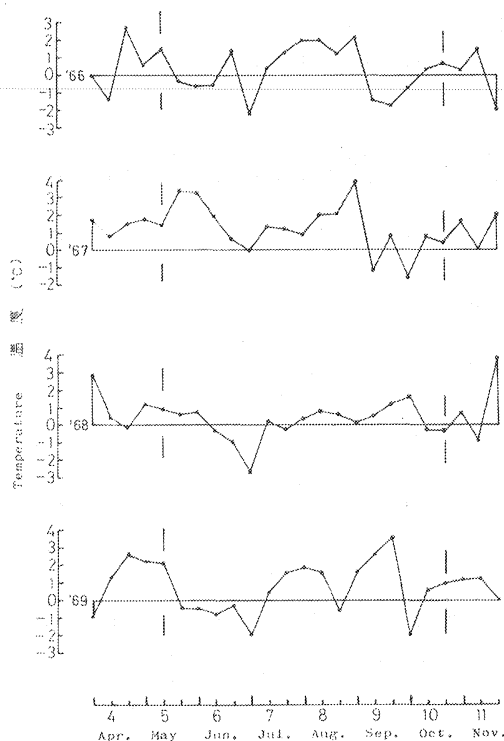


Fig. 9 日平均気温の旬ごとの平均値よりの偏差
Deviations of daily mean air temperature from average record in past 10 years every a period of 10 days.

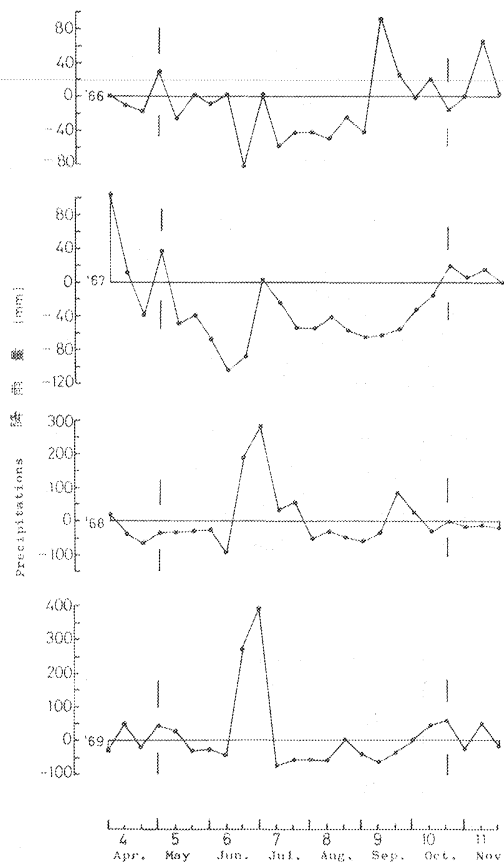


Fig. 10 降水量の旬ごとの平均値よりの偏差
Deviations of precipitation from average record in past 10 years every a period of 10 days.

Table 10. 季節予報に用いられる階級区分
Classification used as seasonal forecast

階級区分用語 Technical term for classification	生起確率% Happen probability (%)	記号 Mark
かなり低い, またはかなり少い Very few or very lower	10	F
やや低い, またはやや少い Slightly lower or a few	20	L
平年並み A normal year	40	N
やや高い, またはやや多い More or a little higher	20	M
かなり高い, またはかなり多い Great many or very higher	10	H

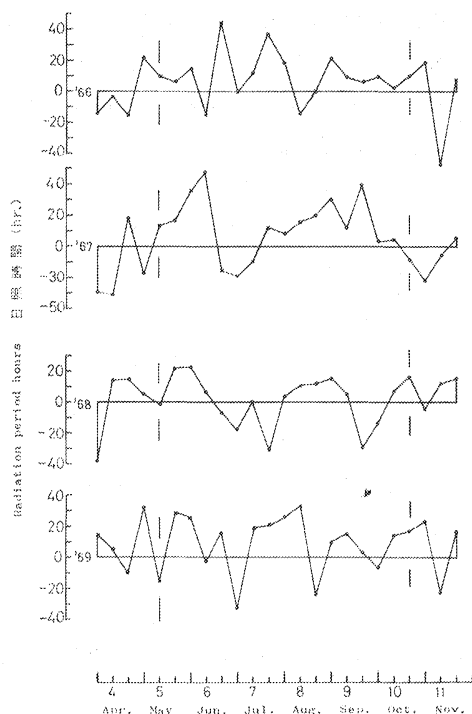


Fig. 11 日照時間の旬ごとの平均値よりの偏差
Deviations of radiation period hours from average record in past 10 years every a period of 10 days.

Table 11. 年ごとの実験期間の気象状態
Weather condition of experimental period in each year

年 Year	'66		'67		'68		'69	
要 因 Factor	偏 差 Deviation	記号 Mark	偏 差 Deviation	記号 Mark	偏 差 Deviation	記号 Mark	偏 差 Deviation	記号 Mark
月平均気温 Mean temperature in month (°C)	+ 0.2	N	+ 1.3	H	+ 0.2	N	+ 0.6	M
最高気温の平均 Mean of maximum temperature (°C)	- 0.2	N	+ 1.5	H	- 0.7	F	- 1.2	F
最低気温の平均 Mean of minimum temperature (°C)	+ 0.3	N	+ 0.9	H	+ 0.2	N	+ 0.4	M
月間降水量 Rainfall on month (mm)	- 206	L	- 702	F	+ 222	M	+ 212	M
月間日照時間 Duration of sunshine in month (hour)	+ 18	M	+ 18	M	- 9	N	+ 16	M

* : Mark showed in Table 10.

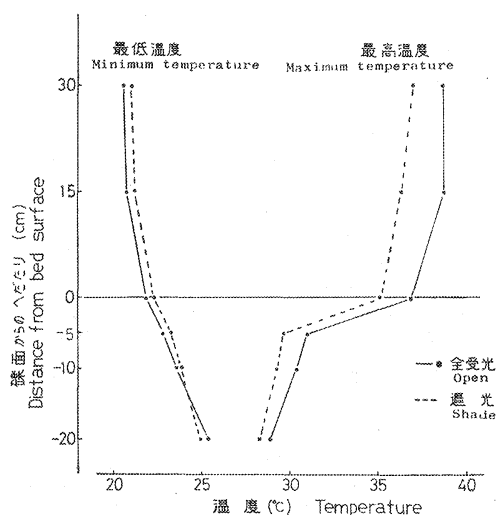


Fig. 12 1966年6月17日～10月4日までのベッドの計測位置ごとの最高および最低温度の平均値
Mean maximum and minimum temperatures on culture bed from June 17 to Oct. 4 in 1966.

やや多く、全般的にもやや多い年であった。

計測開始日の6月17日から成長量測定終了の10月4日までの期間のベッドの測温結果を半旬ごとの平均値で、処理、部位ごとの違いをみると (Fig. 12), 全般的な傾向は、

1) 全光区では、礫面から高い位置ほど日最高は高く、日最低は低く、日較差も大きい。礫内の深部ほど温度は安定しており、日較差は小さい。

遮光区では、日最高は礫上 30 cm が最も高く、礫内 20 cm が最も低く、日最低、日較差は完全に全光区と同じ傾向を示す。

るものである。この Table 11 から 1967 年は異常気象年⁸⁾であることがわかる。

(上中作次郎)

3-2. ベッドの温度

測温は、12点式白金線端子自動平衡記録計を用いて、ベッド No. 15 の全光区、遮光区の礫上 30 cm, 15 cm, 礫表、礫内 5 cm, 10 cm, 20 cm の各部位を1点ずつ計12点に白金線端子の測温体を設置し、1966年6月15日より1967年2月16日まで計測した。

3-2-1. 礫上、礫内の温度

測定期間のうち1966年5月～10月の熊本地方の月別気象の年平均偏差は、平均気温では、8、9月がかなり高かったが、全般的にはほぼ平年並み。降水量は、8月がかなり少なく、全般的にはやや少ない。日照時間では、5、6、9月が

2) 全光区と遮光区との違いをみると、

日最高の差は、礫上 15 cm > 礫上 30 cm = 礫表 > 礫内 5 cm > 礫内 10 cm > 礫内 20 cm の順に大きく、日最低は、礫上 30 cm ~ 礫内 10 cm までは、0.3 ~ 0.5°C 遮光区が高く、礫内 20 cm のみが 0.4°C 低い。

3) 礫上 30 cm と礫上 15 cm の温度には、全光区、遮光区ともほとんど差はない。

4) 礫上 30 cm と礫表では、全光区、遮光区とも日最高は礫上 30 cm が 1.8°C 高く、日最低は礫表が 1.3°C 高い。

5) 礫上 30 cm と礫内 20 cm では、全光区の日最高は礫上 30 cm が 9.8°C 高く、日最低は礫内 20 cm が 4.8°C 高く、日平均で礫上 30 cm が 2.5°C 高い。遮光区では全光区より幾分緩和され、日最高は礫上 30 cm が 8.7°C 高く、日最低は礫内 20 cm が 4.0°C 高く、日平均で礫上 30 cm が 2.3°C 高い。

6) 礫表と礫内 20 cm では、全光区の日最高は礫表が 8.0°C 高く、日最低は礫内 20 cm が 3.5°C 高い。遮光区の日最高は礫表が 6.9°C 高く、日最低は礫内 20 cm が 2.7°C 高い。

3-2-2. 礫表、礫内温度の日変化

夏季のベッド環境温度は、日中は礫上が最も高く、ついで礫表で、礫内は深くなるほど低い。夜間は礫内深部ほど高く、礫上が最も低く、日中の逆の状態、夜間と日中の温度条件の逆転は、朝は 6 時半より 8 時頃までに起り、夕方は 18 時頃より始まる。

培養液循環による礫表以下の温度の日変化をみると (Fig. 13)、日中の 1 時間おきの循環で、礫表温度は下降→上昇→下降をくりかえし、異常昇温をおさえている。この培養液の循環によって、日最高温度を 44°C 以下に保ち、13 時の循環では、同じ時刻で循環を止めた時より 7 ~ 9°C さがった。礫内 5, 10 cm では礫表にくらべ、循環による影響は小さく、礫内 20 cm になるとほとんど影響をうけない。

3-2-3. 礫耕ベッドの昇温抑制処理

1966 年 8 月にはベッドの礫上 20 cm の気温が 13 時前後に 45°C をうわまわるようになり、供試苗が高温による生理障害を起しかねない状態になったので、礫表付近の温度の上昇を抑止するための種々な処理

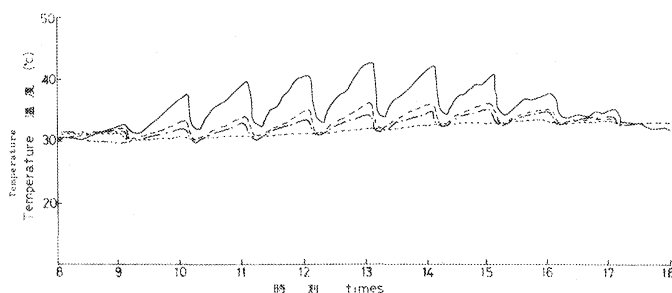


Fig. 13 培養液循環による礫表および礫内温度の日変化（全光区、1966. 8. 9）

Daily changes of temperatures in inner and outer parts of culture bed circulated culture solution. (Full sunlight plots, Aug. 9, 1966)

	全光区礫表	Bed surface
—	礫中 5cm	5cm below bed surface
- - -	" 10cm	10cm below bed surface
· · ·	" 20cm	20cm below bed surface

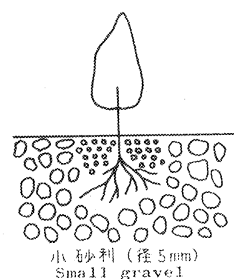


Fig. 14 礫耕ベッド表層面の昇温抑制処理

Control method of temperature of gravel in surface of culture bed.

を試み、サーミスター温度計で処理ごとに測温した。その結果、苗の根周りに径 2~5 mm の小砂利を敷く方法 (Fig. 14) が、礫表近くの樹体温度の上昇を抑える効果があった。したがって、1966 年 8 月から 1969 年 12 月の実験完了時まで、毎年、この方法を全供試苗に行い、夏季の異常昇温から苗を保護した。

(上中作次郎)

3-3. 樹体温度の測定

樹体温度の測定は 6 点式白金線端子自動平衡記録計を用いて、ベッド No. 15 の全光区、遮光区の礫表温度、礫上 20 cm の気温と同ベッドに、樹体温度測定用として、別に植え込んだスギ苗木 (さし木養成山行苗) の礫上 20 cm の高さの幹中心部に、針状サーミスター測温体をさし込み、針の露出部は外気温の影響を少なくするため、1.5 cm 角の発泡スチロール片で包み、針が風の影響で幹より離脱しないように苗の横に立てた支柱に固定し、温度電圧変換器 (ブリッジ・ボックス) を経由して記録計に記録させた。

計測は 1967 年 5 月 11 日より 12 月 19 日まで行った。なお、別に対照として隣接苗畑の裸地に、12 点式記録計を用いて地上 120 cm, 30 cm, 地中 20 cm の温度も計測した。

3-3-1. 測温結果の概要

1967 年の熊本地方の気象は、梅雨期以降の異常乾燥にみまわれ、無降水 (日降水量 ≤ 0.0 mm) 継続期

間は 8 月 26 日~9 月 16 日の 25 日間、日降水量 ≤ 5 mm の継続期間は 8 月 15 日~10 月 4 日という異常乾燥のため、明治 27 年以來 73 年ぶりの大旱ばつとなった。特に夏~初秋にかけての降雨量は、平年にくらべてきわめて少なく、日照時間はかなり多く、平均気温も高い異常気象年であった。このため、この年の測温結果は、実験 4 年間のベッド環境、樹体温度の平均的傾向は示していないと考える。

5 月 16 日より 10 月 7 日までの実験期間の半旬ごとのベッド、苗畑の気温と樹体温度の平均値 (Fig. 15) は、全般を通じて、つぎのように処理ごとに違った。

1) 全光区気温と遮光区気温では、日最高気温は全光区

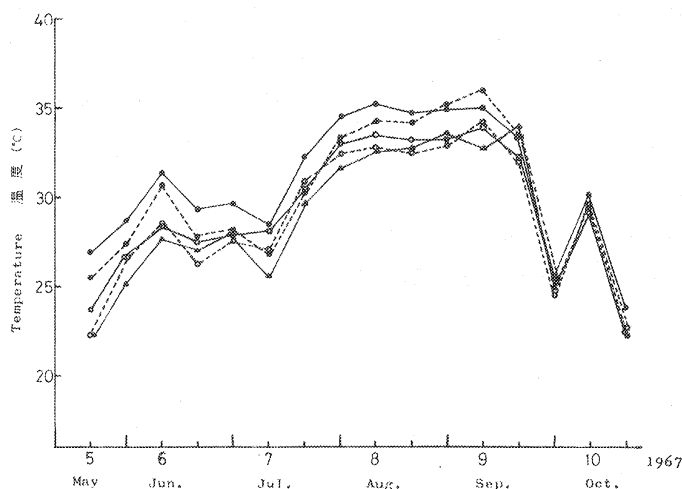


Fig. 15 1967 年実験期間の半旬ごとのベッドおよび苗畑の気温と樹体温の平均値 (平均温度)

Mean values of air mean temperatures of culture bed and nursery and stem's mean temperature every a period of 10 days.

- 全光区礫上 20cm の気温
Temperature 20cm above the gravel (open plot)
- 全光区礫上 20cm の樹体温
Temperature in stem on 20cm above the gravel (open plot)
- 遮光区礫上 20cm の気温
Temperature 20cm above the gravel (shade plot)
- 遮光区礫上 20cm の樹体温
Temperature in stem on 20cm above the gravel (shade plot)
- ▲—▲ 苗畑地上 30cm の気温
Temperature 30cm above the nursery

が16°C高く、日最低気温は遮光区が0.2°C高く、平均気温（日最高と日最低の平均）で全光区が0.8°C高い。

2) 全光区樹体温度と、遮光区樹体温度では、日最高温度は全光区が1.2°C高く、日最低温度は遮光区が0.3°C高く、平均温度で全光区が0.4°C高い。

3) 全光区気温と全光区樹体温では、気温が日最高で1.7°C、日最低で1.1°C、平均で1.4°C高い。

4) 遮光区気温と遮光区樹体温では、全光区と同じく、気温が日最高で1.3°C、日最低で1.0°C、平均で1.1°C高い。

5) 全光区気温と苗畑30cmの気温では、全光区が日最高で21°C、日最低で1.0°C、平均で1.5°C高い。

3-3-2. 季節別のベッドの気温、樹体温度の日変化

1967年の代表的な天候日にベッド温度、樹体温度の日変化を測定した結果はつぎのとおりである。

1) 5月晴れの5月16日

夜間の気温および樹体温度は遮光区が全光区より1°Cくらい高い。

日最高は全光区で13時前後、遮光区で13時30分に現われ全光区より2.5°C低い。35°C以上の持続時間は、全光区で5時間以上、遮光区で1時間30分であり、遮光板の影響がベッドの気温にはっきり現われる。樹体温の日最高は、全光区で15時30分、遮光区で12時に現われた。礫表温度は12時30分の培養液の循環により、全光区で14°C、遮光区で11.5°C下がったが礫上気温、樹体温は変らなかった。苗畑気温と全光区気温は、13時前後に、後者が7~8°C高い。

2) 梅雨期中の7月1日（日降水量65.4mm）

各測温点間の温度差は小さく、日較差も5~6°Cで小さい。礫上気温は、夜間、日中とも全光区がわずかに高い。樹体温の両区の違いはほとんどない。日最高気温はいずれも14時頃に現われる。

3) 盛夏の8月18日（日最高気温37.5°C）

Fig. 16に示すように礫上気温は全光区では9時40分から17時15分まで7時間35分、40°C以上の気温が持続するが、遮光区では11時45分から15時30分までの3時間45分である。50°C以上の気温は全光区で13時から約1時間、遮光区では30分間である。

樹体温は、夜間には遮光区と差はないが、全光区では日出後約40分で急上昇を始め、気温より20分前に40°Cに達し、17時20分までの8時間20分が40°C以上で、日最高は気温より遅れて14時30分から48°C前後が1時間続く。遮光区でも気温より40分早く40°Cに達し、15時20分まで続き、日最高は12時前後に47°Cに達し、気温より約1時間早く日最高が現われる。

培養液循環により、液温が礫表温度より低い全光区では礫表温度の上昇を抑止するが、遮光区では12時~14時の3回の循環以外は逆にわずかではあるが上昇する。13時の循環では、全光区で8.6°C、遮光区で7.3°C低下した。

全光区礫上20cmと苗畑地上30cmの気温は、礫上が日最低で15°C、日最高で2.5°C高いがほとんど変らない。

4) 秋晴れの9月26日

13時に遮光区の気温が全光区より7.5°Cも高く、樹体温も12時には遮光区が全光区より7°C高い。気温は全光区で10時から16時まで34°C前後を持続するが、遮光区では12時前まではゆるいカーブで

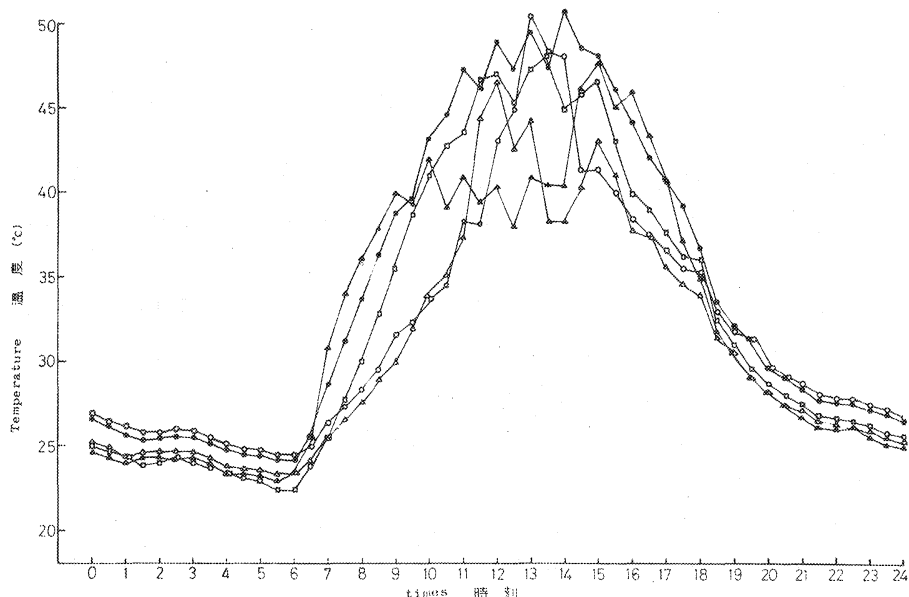


Fig. 16 気温と樹体温の日変化 (1967. 8. 18)

Daily course of air temperature and stem's temperature.
(Aug. 18, 1967).

- 全光区礫上 20cm の気温
Temperature 20cm above the gravel (open plot)
- 全光区礫上 20cm の樹体温
Temperature in stem on 20cm above the gravel (open plot)
- ▲—▲ 遮光区礫上 20cm の気温
Temperature 20cm above the gravel (shade plot)
- △—△ 遮光区礫上 20cm の樹体温
Temperature in stem on 20cm above the gravel (shade plot)
- 苗畑地上 30cm の気温
Temperature 30cm above the nursery

上昇し、13時の42.6°Cを頂点に急下降し、15時には30°Cまでさがる。このように遮光区では遮光板が受光量の制限と、一時的な熱せられた空気の停滞に大きく影響することが温度にはっきり現われる。

樹体温度は全光区では9時には30°Cに達し、13時30分まで続き、日最高は15時前後に現われる。遮光区では11時まではゆるやかに上昇し、樹体に陽光の当る11時過ぎから急上昇して11時30分～12時30分の1時間に、日最高の38°C前後が現われ、13時前後になると急下降して、以後ゆるやかに下降する。夜間は両区とも礫上気温が樹体温度より2°Cぐらい高く、全光区より遮光区が気温、樹体温ともわずかに高かった。

苗木の樹体温度は日中、夜間とも気温より高く日最高温度も気温より1～2時間おくられて現われる測定例が散見されるが、本実験では特異日を除いて、測定期間をつうじて、全光、遮光区とも樹体温度のほうが低かった。

この理由は礫耕による樹体へのコンスタントな給水状態が樹体温の調節に大きく働いたのではないかと考えられる。

(上中作次郎)

Table 13. 隣耕ヒノキ苗の樹高、根元径、全生重の反応値
The seedling growth of *Chamaecyparis obtusa* cultivated in gravel bed

年 Year	水 NPK level	樹 高 (cm)		Height (H)		根元径 (mm)		Basal diameter (D)		全生重 (g)		Fresh weight (W)	
		全 光 区 Open plots	遮 光 区 Shade plots	もとの 大きさを Starting size	Increase	全 光 区 Open plots	遮 光 区 Shade plots	もとの 大きさを Starting size	Increase	全 光 区 Open plots	遮 光 区 Shade plots	もとの 大きさを Starting size	Increase
1966	111	18.17	18.73	11.83	9.67	3.96	3.03	3.27	3.03	3.3	103.4	3.1	58.4
	212	20.53	18.93	19.50	10.00	3.13	6.53	4.60	3.13	2.9	203.1	3.9	54.4
	313	15.43	18.87	16.33	11.90	2.67	5.80	3.17	2.73	3.3	66.5	2.8	38.2
	123	20.90	14.30	6.73	3.77	3.47	3.50	2.67	1.80	3.7	78.3	4.4	12.9
	221	18.87	16.83	21.10	10.87	2.63	7.43	2.63	3.43	2.9	233.0	2.9	51.4
	322	22.40	20.00	18.93	11.07	3.30	8.23	2.37	4.07	3.1	114.8	3.9	23.9
	132	21.43	17.37	13.77	9.43	3.10	7.10	2.57	3.07	3.1	181.9	3.1	42.3
	233	25.67	21.63	11.73	8.43	3.50	5.80	2.83	3.30	4.3	170.7	3.6	55.6
	331	24.03	19.23	25.43	11.93	3.90	9.27	2.93	4.20	2.8	283.7	4.2	63.5
	333	12.23	16.07	32.03	18.33	4.59	4.94	4.78	3.13	14.5	165.3	15.2	62.2
1967	131	15.37	12.90	10.97	9.23	3.96	2.30	4.63	0.87	4.7	73.7	12.0	19.5
	232	12.33	12.97	18.96	14.57	2.94	2.43	3.40	2.63	9.7	62.0	12.7	51.7
	312	16.63	9.50	20.16	19.95	3.77	5.33	3.87	2.06	12.8	133.0	10.5	89.5
	113	10.30	11.73	16.60	9.13	4.66	1.91	3.71	1.21	13.8	54.7	11.0	22.7
	211	10.90	12.10	26.23	16.83	4.87	5.83	4.15	2.30	15.5	193.5	10.8	48.8
	321	10.43	13.50	24.03	12.67	3.45	5.54	3.01	2.43	9.5	145.5	8.2	31.2
	122	12.60	12.63	11.67	13.63	4.21	2.90	4.36	1.35	15.3	106.4	12.0	27.6
	223	11.43	10.13	28.36	26.53	3.83	4.50	3.72	3.17	11.5	185.2	12.0	86.2
	222	10.13	10.83	30.20	17.40	2.81	5.91	2.74	3.13	5.0	190.5	5.1	48.4
	323	11.63	15.97	32.36	20.63	2.71	7.58	3.17	4.11	4.8	273.5	7.0	84.0
1968	121	14.83	10.73	11.83	11.90	3.15	3.88	2.40	1.86	5.3	82.9	4.2	19.3
	231	14.20	12.43	16.07	13.10	2.88	5.23	2.63	2.14	5.7	108.7	4.7	27.5
	332	14.47	12.87	23.76	19.30	3.21	7.65	2.83	2.41	5.9	257.5	5.2	50.6
	133	14.07	11.93	15.37	8.13	3.32	3.28	2.67	1.57	7.3	66.8	4.7	13.8
	213	13.00	12.20	27.96	18.86	2.70	8.63	2.60	2.37	4.3	208.9	3.6	36.7
	311	14.90	12.70	26.73	22.50	3.02	6.73	3.25	3.00	5.5	234.0	5.8	61.7
	112	11.37	12.00	14.47	11.53	2.75	3.29	3.29	1.84	4.1	63.2	5.1	35.1

4. 礫耕液の N, P, K 濃度および受光条件がスギ、 ヒノキ苗の成長量に及ぼす影響

スギ苗の礫耕は、1967年から1969年までの3年間、ヒノキ苗の礫耕は、1966年から1968年までの3年間に、27種類の礫耕液と、2種類の受光条件で、各3個体、計162個体、両樹種で324個体の材料を育成した。このうち、1年間に育成した材料数は、両樹種とも、9種類の礫耕液と、2種類の受光条件で、各3個体、計54個体である。

礫耕ベッドは、南北に細長い形をしているが、ベッド内の位置による成長ならびに18列のベッドごとの成長量には、検定の結果有意な差は認められなかった。礫耕ベッドに植えつける直前の樹高、根元径、ならびに全重（生）を測定し、これらを、期首の大きさと5か月間の礫耕後（期末）におけるおのおのの値から期首の値を引いた差を成長量として表わした（Table 12, 13）。

なお、これらの成長量は期首の大きさによって影響を受けると考えられるので、期首の大きさを補助変量とした共分散分析で要因効果の解析を行なうことが適当と考えた。しかし、この補正方法の有効性を調べるため、N, P, Kの主効果について補正した場合と補正しない場合の効率を求めたところ Table 14に示すように、補正することが、必ずしも有効とは認められなかった。したがって、主効果のうち1.0を超える効率を示す成長因子についてのみ近似式による共分散分析を行い、他は通常の分散分析で解析を進めることとした。

4-1. 樹 高 反 応

4-1-1. ス ギ 苗

Table 15 は Table 12 のスギ苗の樹高成長量のデータを解析したものである。

Table 14. 共 分 散 分 析 の 効 率 の 比 較
Comparison of the effect of covariance analysis

樹 種 Species	ス ギ <i>C. japonica</i>		ヒ ノ キ <i>C. obtusa</i>	
要 因 Factor	全 光 区 Open plots	遮 光 区 Shade plots	全 光 区 Open plots	遮 光 区 Shade plots
樹 高 成 長 量 Height increase				
N	0.919	0.805	1.283	0.421
P	1.053	0.850	0.708	0.508
K	1.086	0.614	1.215	0.750
根 元 径 成 長 量 Basal diameter increase				
N	0.525	1.160	0.783	0.980
P	0.695	1.168	0.955	0.670
K	0.730	0.894	0.866	0.957
全 重 成 長 量 Fresh weight increase				
N	1.041	1.057	0.934	0.809
P	0.752	1.077	0.868	0.655
K	0.936	1.060	0.773	0.725

Table 15. 礫耕におけるスギクロン苗の樹高増加量の分散分析
Covariance analysis for height increase of *Cryptomeria japonica* in Table 12

全光区 (共分散分析)

Open plots (Covariance analysis)

要因	df	SS x^2	SS xy	SS y^2	SS Residual	ms	F_0
Season	2	2055.9383	-54.8433	302.8721	849.5017	424.7509	44.19**
N	2	34.4654	-82.0954	264.9499	185.9565	92.9783	9.67*
1次(l)		(21.8020)	(-28.3523)	(36.8654)(+)	(12.5031)		1.30
2次(q)		(12.6634)	(-53.7431)	(228.0845)(-)	(173.4534)		18.05**
P	2	13.7329	-21.5672	111.8721	92.4993	46.2497	4.81
l		(0.0242)	(-1.4161)	(82.8614)(-)	(81.3307)		8.46*
q		(13.7087)	(-20.1511)	(29.0107)(-)	(11.1686)		1.16
K	2	9.2379	1.6971	9.8430	14.4098	7.2049	0.75
l		(0.9385)	(-2.6624)	(7.5531)(+)	(4.9384)		0.51
q		(8.2994)	(+4.3595)	(2.2899)(+)	(9.4714)		0.99
NP	4	85.5921	-15.3928	99.7244	108.2445	27.0611	2.82
NK	4	89.4049	-44.7193	133.3419	111.1378	27.7844	2.89
PK	4	79.2142	-26.3740	84.4714	79.1855	19.7964	2.06
Error	6	64.7050	-35.1348	67.1372 (5)	48.0590	9.6118	
Total	26	2432.2909	-278.4297	1074.2120	1488.9941		
(Individuals)						(6.237)	(0.65)

遮光区 (分散分析)

Shade plots (Analysis of variance)

SS y^2	ms	F_0
40.1352	20.0676	4.39
189.1085	94.5543	20.70**
(94.1192)(+)		20.61**
(94.9893)(-)		20.80**
8.3269	4.1635	0.91
(8.2825)(-)		0.81
(0.0444)(+)		0.01
20.6070	6.6478	1.46
(13.2956)(+)		2.91
(7.3114)(-)		1.60
20.8589	5.2147	1.14
33.7742	8.4436	1.85
32.6644	8.1661	1.79
27.4044	4.5674	
372.8795		
	(11.120)	(2.43)

2因子交互作用の分割 Division of interlaction between two factors

	NP	NK	PK
l l	(+) 24.6451	—	(+) 22.4271
l q	(-) 8.4447	—	(-) 0.0974
q l	(+) 64.7696*	—	(+) 2.1223
q q	(-) 10.3851	—	(-) 79.1855*

スギ苗の樹高成長に対する養分の影響は、全光区と遮光区によって異なっている。すなわち、全光区ではNの2次効果(Nq), Pの1次効果(Pl), Nの2次効果とPの1次効果との交互作用(NqPl)が有意となったのに対し、遮光区ではNの1次効果(Nl)と2次効果(Nq)だけが有意であった。

全光区のNとPの各水準ごとの樹高成長量は、Fig. 17に示すようにN濃度に対しては2次曲線の傾向を示し、N濃度の3つの水準の幅の中に最適濃度が存在することが認められるが、 P_2O_5 濃度の変化に対しては、 P_2O_5 濃度が増加するにしたがって樹高増加量は逆に直線的に減少している。しかし、Nが高水準(180 ppm)で P_2O_5 が低水準(5 ppm)の場合は他の組み合わせと異なり樹高成長量が著しく小となる特異な結果を示している。

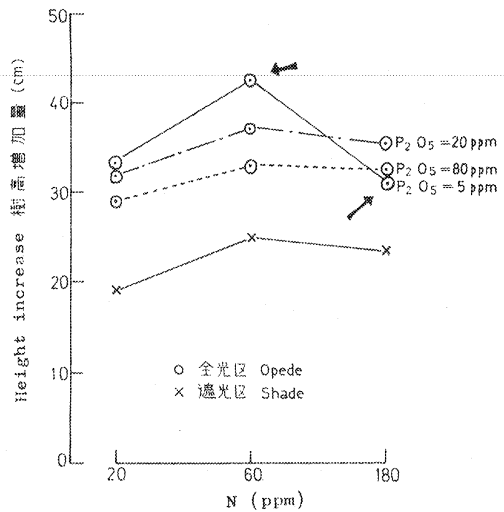


Fig. 17 スギ苗の樹高増加量におよぼすNの2次効果と P_2O_5 の1次効果との交互作用の影響（全光区）

Influences of N and P_2O_5 concentrations on height increase of *Cryptomeria japonica* (in normal light supply).

これに対して遮光区ではNの1次効果(Nl)および2次効果(Nq)だけが有意となり、遮光によって養分条件に対する反応が鈍くなっている。しかも遮光区内で有意差を示したNに対する樹高成長量は、Fig. 17に示すように全光区に比べるとどの水準でも約10 cm程度の差が認められ、遮光による樹高増加量の減少をN濃度の増加によって補えないことが認められた。

4-1-2. ヒノキ苗

Table 16はTable 13のヒノキ苗の樹高成長量のデータを解析したものである。

ヒノキ苗の樹高成長に対する養分の影響は、スギ苗の場合と同じように受光条件によって異なっている。すなわち、全光区ではNの1次効果(Nl)と2次効果(Nq), Pの1次効果(Pl), NとPの2因子交互作用のNlPl, NlPq, NqPl, NqPq, NとKの2因子交互作用のNlKq, NqKqおよびPとKの2因子交互作用のPlKqが有意であったのに対し、遮光区ではNの1次効果(Nl)と2因子交互作用NqPqおよびPqKlが有意となった。

N要因の各水準別の樹高増加量はFig. 18に示すように、すべて全光区の値が高いが、遮光区のNの適水準(60 ppm)とNの高水準(180 ppm)は全光区のNの低水準(20 ppm)よりやや大きい値

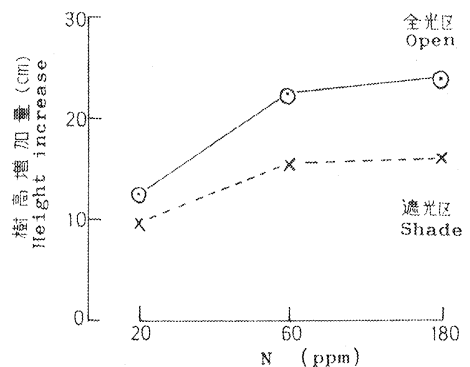


Fig. 18 ヒノキ苗の樹高増加量におよぼすNおよび受光の影響

Influences of N concentration and light supply on height increase of *Chamaecyparis obtusa*.

Table 16. 隣耕におけるヒノキ実生苗の樹高増加量の分散分析
Covariance analysis for height increase of *Chamaecyparis obtusa* in Table 13

全 光 区 (共分散分析)				遮 光 区 (分散分析)			
Open plots (Covariance analysis)				Shade plots (Analysis of variance)			
要 因	df	SS x ²	SS xy	SS y ²	SS Residual	ms	F ₀
Season	2	386.4747	-255.4467	179.7218	892.3509	446.1755	93.63**
N	2	1.4629	9.6035	714.0378	698.7811	349.3966	73.32**
I		(0.5373)	(18.4043)	(630.3614)(+)	(599.4887)		125.80**
q		(0.9256)	(- 8.8008)	(83.6764)(-)	(99.2924)		20.84**
P	2	34.6997	-22.4483	17.0218	80.1781	40.0891	8.41*
I		(28.3003)	(-14.6956)	(7.6310)(-)	(53.0035)		11.12*
q		(6.3994)	(- 7.7527)	(9.3908)(-)	(27.1746)		5.70
K	2	3.7730	-7.7723	16.3335	32.2563	16.1282	3.38
I		(2.7534)	(- 5.1822)	(9.7535)(+)	(20.5415)		4.31
q		(1.0196)	(- 2.5900)	(6.5800)(+)	(11.7418)		2.46
NP	4	18.0624	-50.7754	273.4676	372.7387	93.1847	19.55**
NK	4	43.7824	-32.6624	51.8196	138.8758	34.7190	7.29*
PK	4	17.5784	-5.8634	29.3366	51.9742	12.9936	2.73
Error	6	19.7181	16.7459	38.0504 (5)	23.8267	4.7653	
Total	26	525.5516	-348.6191	1319.7891	2290.9818	(8.515)	(1.79)
(Individuals)						(8.392)	(1.72)

2 因子交互作用の分割 Division of interlaction between two factors

				NP		PK	
I I	(+)	59.4871*	(+)	3.3914	(+)	4.6802	(+)
I q	(-)	48.3317*	(-)	86.1676**	(-)	41.6719*	(-)
q I	(+)	134.9409**	(-)	12.1299	(-)	4.4621	(-)
q q	(+)	129.9790**	(+)	37.1869*	(+)	1.1606	(+)

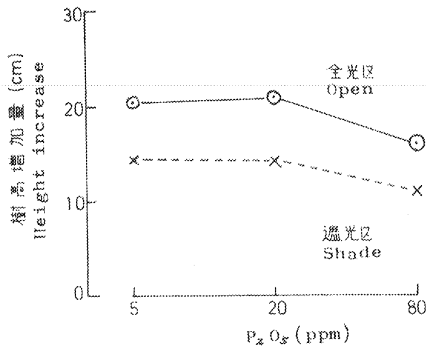


Fig. 19 ヒノキ苗の樹高増加量におよぼす P_2O_5 および受光の影響
Influences of P_2O_5 concentration and light supply on height increase of *Chamaecyparis obtusa*.

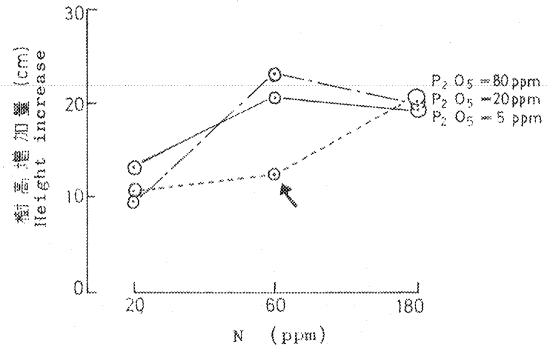


Fig. 20 ヒノキ苗の樹高増加量におよぼす N および P_2O_5 の影響（全光区、遮光区こみ）
Influences of N and P_2O_5 concentrations on height increase of *Chamaecyparis obtusa* (in both normal light supply and shading).

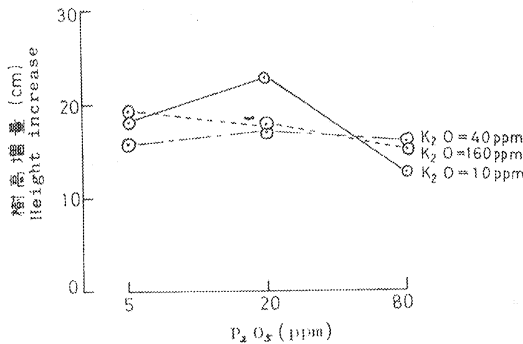


Fig. 21 ヒノキ苗の樹高増加量におよぼす P_2O_5 および K_2O の影響（全光区、遮光区こみ）
Influences of P_2O_5 and K_2O concentrations on height increase of *Chamaecyparis obtusa* (in both normal light supply and shading).

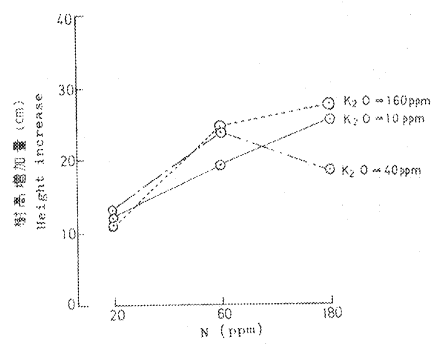


Fig. 22 ヒノキ苗の樹高増加量におよぼす N および K_2O の影響（全光区）
Influences of N and K_2O concentrations on height increase of *Chamaecyparis obtusa* (in normal light supply).

を示し、遮光による樹高成長量の減少がNの施用量の増加によってある程度補われる傾向が認められた。また全光区のPの1次効果は Fig. 19 に示すようにPの高水準（80 ppm）まで増加すると逆に樹高成長量が減少する傾向を示し、NとPの2因子交互作用は Fig. 20 に示すようにNの適水準でPの3つの水準に対して著しい変化を示すが、Nを高水準まで上げるとP濃度に関係なくほぼ等しい樹高成長量を示した。この傾向は Fig. 21 に示したPとKの2因子交互作用にも現れたが、Fig. 22 に示したNとKの2因子交互作用では、Nの高水準とKの適水準の組み合わせだけが施用量の増加と逆に樹高成長量の低下する傾向を示した。

4-1-3. 樹種間の比較

樹高成長量について両樹種の反応を比較すると、両樹種共に全光区では遮光区よりも有効な要因の数が

Table 17. 礫耕におけるスギクロン苗の根元径増加量の分散分析
Covariance analysis for basal diameter increase of *Cryptomeria japonica* in Table 12

全光区 (分散分析)

Open plots (Analysis of variance)

要因	df	SS y^2	ms	F_0
Season	2	11.6749	5.8375	19.65**
N	2	25.1995	12.5998	42.41**
1		(22.0891)(+)		74.35**
q		(3.1104)(-)		10.47*
P	2	0.1644	0.0822	0.28
1		(0.0108)(-)		0.04
q		(0.1536)(+)		0.52
K	2	0.0410	0.0205	0.07
1		(0.0009)(+)		0.00
q		(0.0401)(+)		0.14
NP	4	3.0019	0.7505	2.53
NK	4	2.2612	0.5653	1.90
PK	4	0.7792	0.1948	0.66
Error	6	1.7823	0.2971	
Total	26	44.9044		
(Individuals)			(0.283)	(0.952)

遮光区 (共分散分析)

Shade plots (Covariance analysis)

SS x^2	SS xy	SS y^2	SS Residual	ms	F_0
83.1698	1.2432	0.7908	28.4521	14.2261	145.61**
0.1005	0.0080	2.3126	2.3533	1.1767	12.04*
(0.0)	(-0.0036)	(2.3112)(+)	(2.3072)		23.62
(0.1005)	(0.0116)	(0.0014)(-)	(0.0461)		0.47
0.0896	0.1741	0.9949	1.2189	0.6095	6.24*
(0.0329)	(0.1809)	(0.9941)(+)	(1.2078)		12.36*
(0.0567)	(-0.0068)	(0.0008)(-)	(0.0111)		0.11
0.5768	-0.2104	0.1981	0.1438	0.0719	0.74
(0.4737)	(-0.0714)	(0.0108)(+)	(0.0802)		0.82
(0.1031)	(-0.1390)	(0.1873)(+)	(0.0636)		0.65
1.0248	0.7942	1.3170	2.5332	0.6333	6.48*
0.8311	-0.4334	0.6603	0.4357	0.1089	1.14
0.3440	-0.3422	0.5604	0.2845	0.0711	0.73
0.7506	-0.4218	0.7255 (5)	0.4885	0.0977	
86.8872	0.8117	7.5596	35.9100		
				(0.191)	(1.96)

2 因子交互作用の分割 Division of interlaction between two factors

	NP	NK	PK
1 1	(+) 0.1906	—	—
1 q	(-) 0.0101	—	—
q 1	(+) 1.1985*	—	—
q q	(+) 1.1340*	—	—

多く、特にヒノキでは、その傾向が著しいが、遮光によって両樹種とも反応が鈍くなる傾向を示している。しかし、Fig. 17 におけるスギの全光区と遮光区間の樹高成長量のちがいと Fig. 18 におけるヒノキの全光区と遮光区間の樹高成長量のちがいは異なった特長を示している。すなわち、スギでは遮光による樹高成長量の減少をNの施用量の増加で補えないのに対し、ヒノキではある程度遮光による減退を補う傾向が見られた。（森田 栄一）

4-2. 根元直径の反応

4-2-1. スギ苗

Table 17 は Table 12 のスギ苗の根元径成長量のデータを解析したものである。

スギ苗の根元径成長に対する養分の影響は、樹高成長の反応とは逆に、遮光区において著しかった。すなわち、全光区ではNの1次効果(NI)および2次効果(Nq)だけが有意であったのに対し、遮光区ではNの1次効果(NI)のほかにPの1次効果(PI)、NとPの交互作用のうちNqPI、NqPqが有意となった(Fig. 23, 24, 25)。

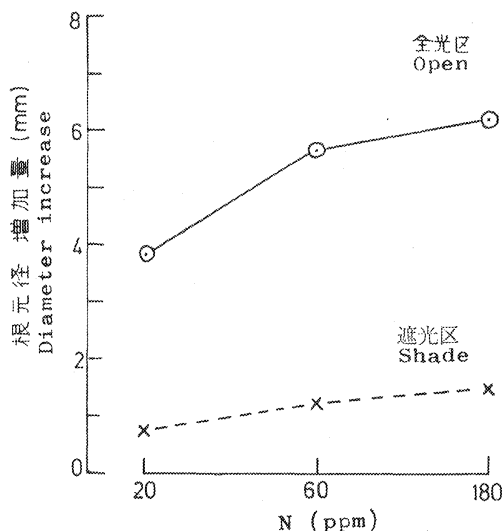


Fig. 23 スギ苗の根元径増加量におよぼすNおよび受光の影響

Influences of N concentration and light supply on basal diameter of *Cryptomeria japonica*.

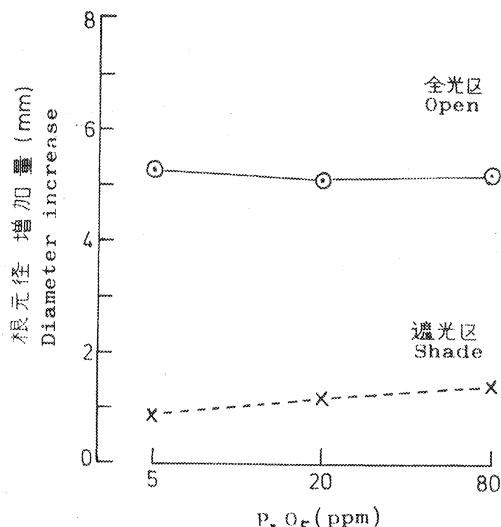


Fig. 24 スギ苗の根元径増加量におよぼすP₂O₅および受光の影響

Influences of P₂O₅ concentration and light supply on basal diameter of *Cryptomeria japonica*.

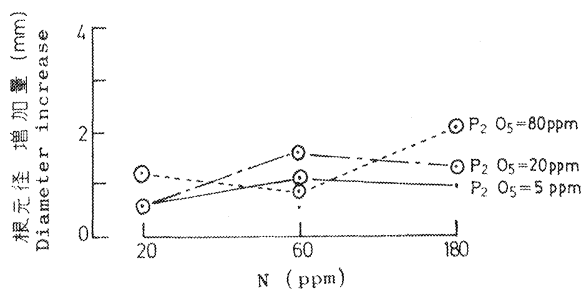


Fig. 25 スギ苗の根元径増加量におよぼすNおよびP₂O₅の影響（遮光区）
Influences of N and P₂O₅ concentrations on basal diameter of *Cryptomeria japonica* (in shading).

スギ苗の根元径成長は遮光によって著しく抑制され、全光区のほぼ 1/4 しか成長できない (Fig. 23, 24)。その中で P_2O_5 濃度が高水準 (80 ppm) の場合には他と異り、N 濃度の変化に対して全く逆の傾向を示し、N の低水準と高水準では、かなり大きい成長量を示しているのに対し、適水準では N_1P_1 とほぼ等しい成長しか示さなかった (Fig. 25)。

4-2-2. ヒノキ苗

Table 18 は Table 13 のヒノキ苗の根元径成長量のデータを解析したものである。

ヒノキ苗の根元径成長に対する養分の影響はスギ苗の場合よりも鈍い傾向がみられた。すなわち、全光区では N の 1 次効果 (NI) および N と P の交互作用のうち NqP_1 のみが有意であり、遮光区では N の 1 次効果 (NI) のみであった (Fig. 26)。

4-2-3. 樹種間の比較

根元径成長量について両樹種の反応を比較すると、スギ苗の全光区を除いて他のすべての区が N 濃度の変化に対して直線的に増加する傾向を示した (Fig. 23, 26)。

根元径の反応は樹高の傾向と同様に、スギは全光区と遮光区の生長は約 4:1 ~ 5:1 であるのに対し

Table 18. 疎耕におけるヒノキ実しよう苗の根元径増加量の分散分析

Analysis of variance for basal diameter increase of
Chamaecyparis obtusa in Table 13

全 光 区 (分散分析) Open plots (Analysis of variance)					遮 光 区 (分散分析) Shade plots (Analysis of variance)		
要 因	df	SS y^2	ms	F_0	SS y^2	ms	F_0
Season	2	27.1856	13.5928	15.16**	5.3030	2.6515	8.28*
N	2	52.4115	26.2058	29.22**	8.1713	4.0857	12.76**
1		(49.6008)(+)		55.31**	(7.3984)(+)		23.10**
q		(2.8107)(-)		3.13	(0.7728)(-)		2.41
P	2	0.3229	0.1615	0.18	0.7750	0.3775	1.18
1		(0.0470)(+)		0.05	(0.1513)(+)		0.47
q		(0.2759)(-)		0.31	(0.6037)(-)		1.89
K	2	0.8397	0.4199	0.47	0.0108	0.0054	0.02
1		(0.6050)(-)		0.67	(0.0009)(+)		0.00
q		(0.2347)(-)		0.26	(0.0099)(-)		0.03
NP	4	15.6786	3.9197	4.37	1.5542	0.3886	1.21
NK	4	8.7924	2.1981	2.45	1.0775	0.2694	0.84
PK	4	1.8061	0.4520	0.50	1.1617	0.2904	0.91
Error	6	5.3807	0.8968		1.9216		
Total	26	112.4175			19.9551		
(Individual)			(0.546)	(0.61)		(0.209)	(0.65)

2 因子交互作用の分割 Division of interlaction between two factors

NP	
1 1	(-) 0.0169
1 q	(-) 0.3081
q 1	(+) 15.3533**
q q	(-) 0.0003

て、ヒノキではほぼ2:1の割合であって、遮光による成長抑制は、樹高よりも著しい傾向を示した。（森田 栄一）

4-3. 全生重量の反応

4-3-1. スギ苗

Table 19 および 20 は Table 12 のスギ苗の全生重量成長量のデータを解析したものである。

スギ苗の全重成長に対する養分の影響は、受光条件によって異なっている。全光区ではNの1次効果(NI)と2次効果(Nq)およびNとKの交互作用のうちNqK1が有意となったのに対し、遮光区では全く有意な要因は認められなかった。

全光区のN濃度は、Fig. 27 に示すようにスギの全光区の樹高と同様、最適水準が含まれる傾向を示した。またNとKの交互作用は

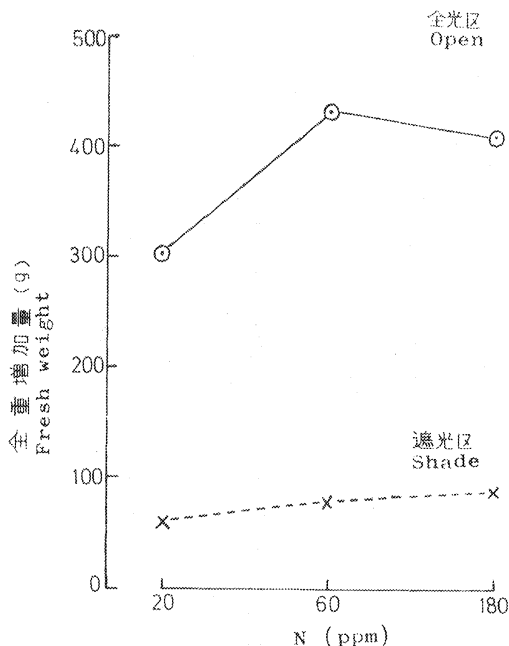


Fig. 27 スギ苗の全生重増加量におよぼすNおよび受光の影響
Influences of N concentration and light supply on total fresh weight increase of *Cryptomeria japonica*.

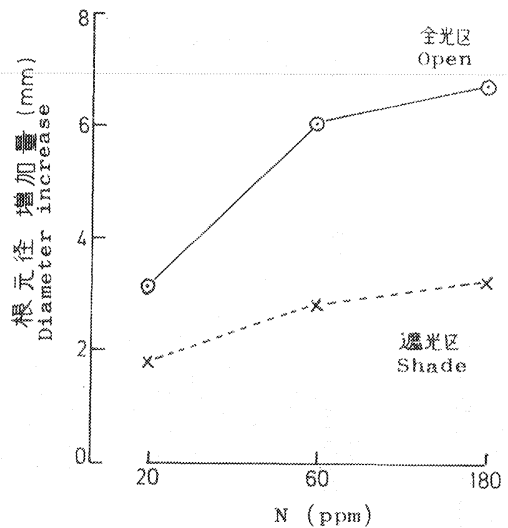


Fig. 26 ヒノキ苗の根元径増加量におよぼすNおよび受光の影響
Influences of N concentration and light supply on basal diameter of *Chamaecyparis obtusa*.

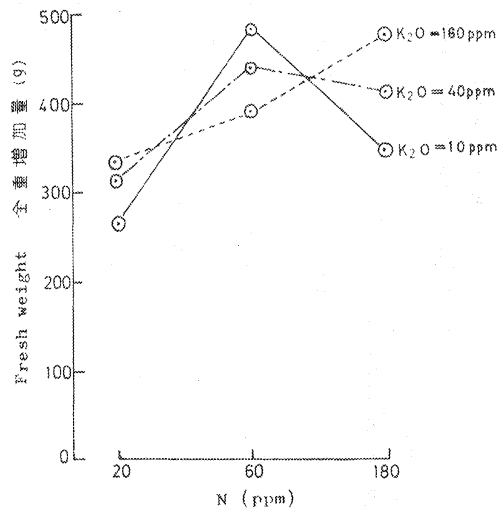


Fig. 28 スギ苗の全生重増加量におよぼすNおよびK₂Oの影響
Influences of N and K₂O concentrations on total fresh weight increase of *Cryptomeria japonica*.

Table 19. 礫耕におけるスギクローン苗の全重(生)増加量の分散分析
Covariance analysis for fresh weight increase of *Cryptomeria japonica* in Tabel 12

全 光 区 (共分散分析)

Open plots (Covariance analysis)

要 因	df	SS x^2	SS xy	SS y^2	SS Residual	ms	F_0
Season		20801.8686	120155.7706	727066.1641	138366.3064	69183.1532	17.64**
N	2	51.0565	1608.3683	97224.1873	86517.1451	43258.5726	11.03*
l		(0.7091)	(106.0395)	(52839.5869)(+)	(52094.0745)		13.28*
q		(50.8474)	(1502.2788)	(44384.6004)(-)	(34423.0706)		8.78*
P	2	305.7624	482.4197	1155.8135	1555.0703	777.5352	0.20
l		(218.3353)	(501.4503)	(1151.6800)(+)	(329.8718)		0.08
q		(87.4271)	(- 19.0306)	(4.1335)(-)	(1225.1985)		0.31
K	2	89.6793)	-253.5806	3590.3576	6493.4031	3246.7016	0.83
l		(68.5230)	(-409.2859)	(2444.4032)(+)	(6182.4301)		1.58
q		(21.1563)	(155.7053)	(1145.9544)(-)	(310.9730)		0.08
NP	4	301.6866	1597.8727	18138.671	10550.8747	2637.7187	0.67
NK	4	334.7952	1774.0627	47771.7801	39423.6494	9855.8424	2.51
PK	4	183.2377	1305.5128	26825.9272	19897.7713	4974.4428	1.27
Error	6	396.1312	1396.7036	24512.4239 (5)	19587.8454	3917.5691	
Total	26	22464.2175	128077.1298	946285.3247	322392.0657		
(Individual)						(3636.646)	(0.93)

2 因子交互作用の分割 Division of interlaction between two factors

	NP	NK	PK
l l	—	(+) 2733.8811	—
l q	—	(+) 82.0510	—
q l	—	(+) 36547.9488*	—
q q	—	(-) 59.7685	—

Table 20. 礫耕におけるスギクローン苗の全重(生)増加量の分散分析
Covariance analysis for fresh weight increase of *Cryptomeria japonica* in Table 12

遮光区(共分散分析)

Shade plots (Covariance analysis)

要 因	df	SS x^2	SS xy	SS y^2	SS Residual	ms	F_0
Season	2	23120.0747	28197.5913	37454.8200	3064.6150	1532.3075	2.62
N	2	199.6823	699.6744	4170.9522	2761.3050	1380.6525	2.36
I		(61.3463)	(485.2640)	(3838.6322)(+)	(2746.2119)		4.69
q		(138.3360)	(214.4104)	(332.3200)(-)	(15.0931)		0.03
P	2	172.1283	-176.6426	312.4685	999.3746	499.6873	0.85
I		(10.2002)	(25.0148)	(61.3463)(+)	(15.5017)		0.03
q		(161.9281)	(-201.6574)	(251.1222)(+)	(983.8729)		1.68
K	2	195.8373	182.3101	379.4955	226.0996	113.0498	0.19
I		(191.7535)	(149.5466)	(116.6374)(+)	(37.0730)		0.06
q		(4.0838)	(32.7635)	(262.8581)(-)	(189.0266)		0.32
NP	4	366.9175	359.1471	1028.9779	698.7110	147.6778	0.25
NK	4	304.0200	39.5324	1759.0176	2114.8069	528.7017	0.90
PK	4	386.8898	-146.8000	1436.6949	2370.5013	592.6253	1.01
Error	6	651.8407	952.7402	4279.9700 (5)	2925.6051	585.1210	
Total	26	25397.3906	30107.4529	50822.3966	15161.0185		
(Individual)						(270.534)	(0.46)

Table 21. 礫耕におけるヒノキ実しよう苗の全重(生)増加量の分散分析
Analysis of variance for fresh weight increase of
Chamaecyparis obtusa in Table 13

全 光 区 (分散分析) Open plots (Analysis of variance)					遮 光 区 (分散分析) Shade plots (Analysis of variance)		
要 因	df	SS y ²	ms	F ₀	SS y ²	ms	F ₀
Season	2	8775.8689	4387.9345	1.08	219.9623	109.9812	0.33
N	2	48587.4067	24293.7034	6.00*	4065.8467	2032.9234	6.09*
l		(41328.1250)(+)		10.20*	(3561.6800)(+)		10.68*
q		(7259.2817)(-)		1.79	(504.1667)(-)		1.51
P	2	1337.9289	668.9645	0.17	264.1867	132.0934	0.40
l		(672.2222)(+)		0.17	(192.0800)(-)		0.58
q		(665.7067)(-)		0.16	(72.1067)(+)		0.22
K	2	2172.3889	1086.1945	0.27	106.1956	53.0978	0.16
l		(1974.0139)(-)		0.49	(53.3889)(+)		0.16
q		(198.3750)(+)		0.05	(52.8067)(-)		0.16
NP	4	28772.1446	7193.0362	1.78	1284.3867	321.0967	0.96
NK	4	9384.3845	2346.0961	0.58	1068.2312	267.0578	0.80
PK	4	9081.8689	2270.4672	0.56	2905.8445	726.4611	2.18
Error	6	24300.8556	4050.1426		2001.3134	333.5522	
Total		132412.8470			11915.9671		
(Individual)			(1229.537)	(0.30)		(107.891)	(0.27)

Fig. 28 に示すように N 濃度と K 濃度の組み合わせによってかなりの変化が認められ、N の各水準の差(約 100 g)は K 濃度によって順序が逆転し、特に N の適水準と K の低水準の組み合わせ(N₂K₁)は N₃K₃ とほぼ等しい成長量が期待できることを示した。

4-3-2. ヒノキ苗

Table 21 は Table 13 のヒノキ苗の全生重量成長量のデータを解析したものである。

ヒノキ苗の全重成長に対する養分の影響は、全光区、遮光区とも N の 1 次効果 (NI) だけが有意であった。(Fig. 29)。

4-3-3. 樹種間の比較

全生重量成長量について両樹種の反応を比較すると、根元径増加量と同様、遮光による成長の抑制は、きわめて著しく、特にスギでは N 濃度を高水準にしても約 100 g の成長しか期待できず、全光区の約 1/4 であり、ヒノキ苗では約 1/3 であった。(森田 栄一)

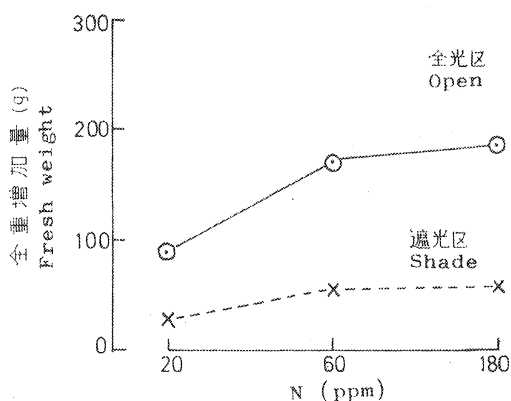


Fig. 29 ヒノキ苗の全生重増加量におよぼす N および受光の影響
Influences of N concentration and light supply on total fresh weight increase of *Chamaecyparis obtusa*.

Table 22. 礫耕スギおよびヒノキ苗の部分重における有意な要因
 Significant factors on dry weight in each part of *Cryptomeria japonica*
 and *Chamaecyparis obtusa* cultivated

樹種 Species	スギ <i>Cryptomeria japonica</i>						ヒノキ <i>Chamaecyparis obtusa</i>					
要因 Factor	全重 Whole	新葉 New leaves	古葉 Old leaves	幹 Trunk	根株 Stump	根 Root	全重 Whole	葉 Leaves	枝 Branch	幹 Trunk	根株 Stump	根 Root
N	*			*	*		*	*	*	**	*	
l					*		*	**	**	**	*	
q	*			*								
P				*							*	
l				*								
q												
K												
l												
q			*			**						
NP												
NP ²												
NK												
NK ²						**						
PK												
PK ²												
Y(年)	**	*	**	**		**					**	

*: Significant at 1% level **: Significant at 5% level

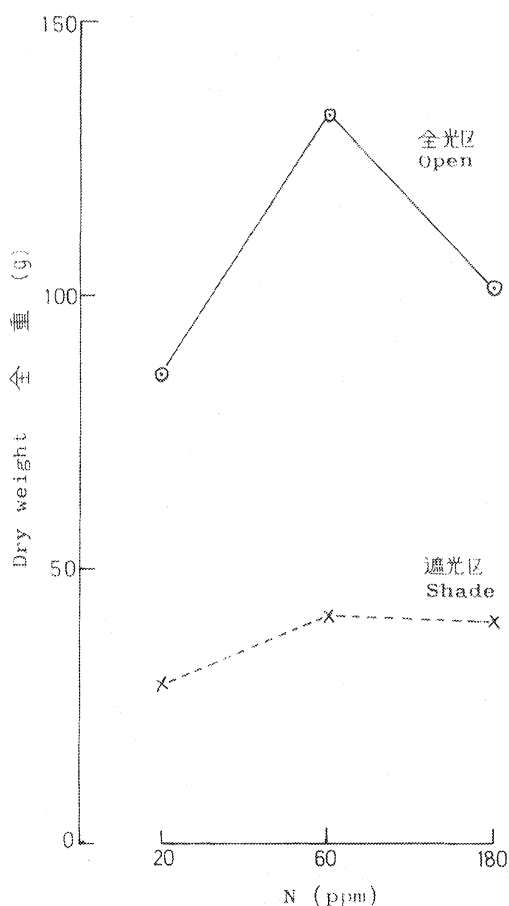


Fig. 30 スギ苗の全乾重におよぼす
 N および受光の影響
 Influences of N concentration
 and light supply on total dry
 weight of *Cryptomeria japonica*.

4-4. スギ苗の部分量 (乾)

前節では、全生重の成長量について検討したが、ここでは、さらに養分および受光条件に対するスギ苗の全重および部分重すなわち新葉重、古葉重、幹重、根株重、根重の反応を乾重で調べ解析した。解析は期首における全生重を補助変量とする共分散分析で行った。その結果は Table 22 にまとめて示してある。

4-4-1. 全 重

Table 22 に示してあるように、有意な要因は N の 2 次効果であった。N の各水準に対する全重を受光条件別に示すと Fig. 30 のようになる。

全光区では、N の適水準で最大値の得られる、明瞭な傾向が得られたが、遮光区では、N 濃度の増加に対する反応は鈍いようである。

4-4-2. 新 葉 重

Table 22 に示してあるように、有意な要因は、認められなかった。

4-4-3. 古 葉 重

Table 22 に示したように、古葉重では、K の 2 次効果が有意であった。

古葉は植えつけ当時の苗木にあった葉である。したがって、これらの差異は古葉に含まれた組織の肥大成長が、処理によって異なった影響を受けたことや、一部の処理では枯損して脱落したために起る差とみられるが、とくに K_2O 濃度を 40 ppm から 160 ppm まで高めると著しく古葉の重量が小さくなる傾向が示された (Fig. 31)。これは K 濃度が異常に高い環境にあると、古い組織がより多く脱落するためでは

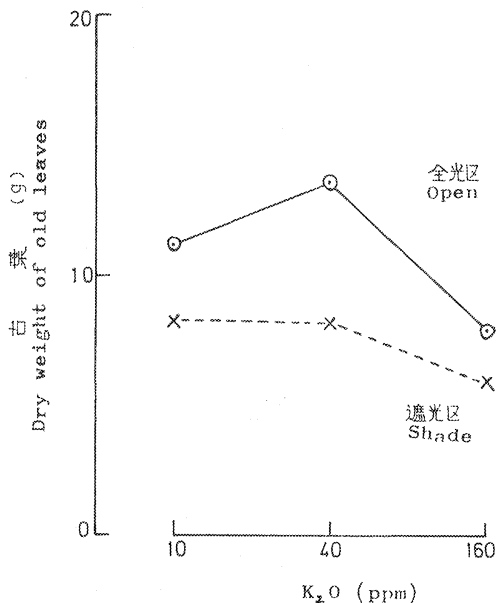


Fig. 31 スギ苗の古葉乾重におよぼす K_2O および受光の影響

Influences of K_2O concentration and light supply on dry weight of old leaves in *Cryptomeria japonica*.

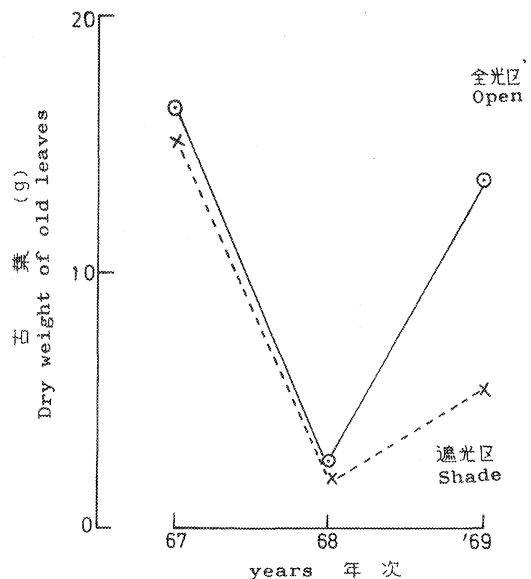


Fig. 32 スギ苗の古葉乾重におよぼす年次および受光の影響

Influence of light supplies every investigated years on dry weight of old leaves in *Cryptomeria japonica*.

ないかと考えられる。また、年次と受光の関係をみると、1967 年と 1968 年のように比較的小型な苗よりも、1967 年の山行苗を使用した場合の方が、受光環境の違いが古葉の重量に影響している (Fig. 32)。

4-4-4. 幹 重

Table 22 に示したように、幹重は他の部分重よりも有効な要因の種類が多い。すなわち、N の 2 次効果、P の 1 次効果、などが有意であった。そのうち、N の効果は、Fig. 30 で示した全重の効果とかなり類似した傾向を示している (Fig. 33)。全光区では、N の 60 ppm 付近に最適値をもつ、上に凸な 2 次曲線型を示し、遮光区は N=20 ppm から N=60 ppm にわずかに上昇傾向をたどるが、N=60 ppm から N=180 ppm までは、ごくわずかに減少して、全重と同様にほぼ横ばいの傾向を示している。

一方、6 種の部分重の中で、ただ一つ現われた P の効果は、とくに、全光区で顕著な傾向を示している。P₂O₅ 濃度を 5 ppm から 20 ppm まで増加させても幹重はほぼ一定であるのに対し、80 ppm まで上げると著しく幹重が減少している。遮光区では反応がにぶく、ほぼ一定の値を示している (Fig. 34)。

4-4-5. 根 株 重

ここでいうスギの根株重とはさし枝の地下部の部分をさすが、Table 22 に示したように、根株重は幹重と反対に有効な要因が最も少なく、N の 1 次効果のみが有意であった (Fig. 35)。全光区で N の適水準において、わずかに上に凸な傾向を示してはいるが、2 次の効果が有意となるほど顕著なものではなかった。

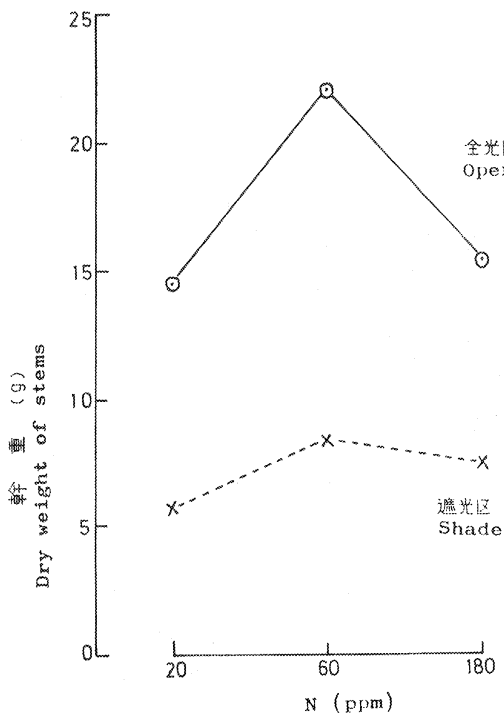


Fig. 33 スギ苗の幹乾重におよぼす N および受光の影響

Influences of N concentration and light supply on dry weight of stem in *Cryptomeria japonica*.

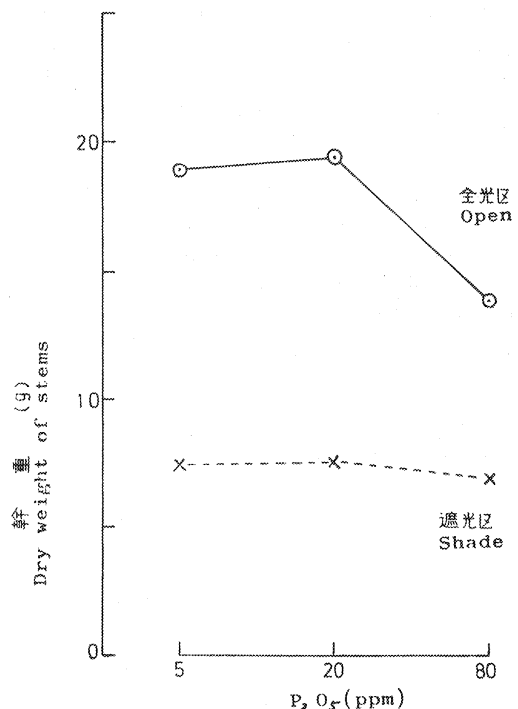


Fig. 34 スギ苗の幹乾重におよぼす P₂O₅ および受光の影響

Influences of P₂O₅ concentration and light supply on dry weight of stem in *Cryptomeria japonica*.

4-4-6. 根 重

Table 22 に示したように、根重は K の 1 次効果 および $N \times K^2$ の 2 因子交互作用が有意であった。これらのうち、K の 1 次効果は遮光区での $K_2O=160$ ppm がわずかに減少傾向を示しているにもかかわらず、全光区の $K_2O=160$ ppm の増加が著しいので、平均としての K の 1 次効果が現われている (Fig. 36)。一方、N と K_2O の組み合わせは、N 濃度が高まるほど K_2O 濃度の変化による根重の変動が大きくなっている (Fig. 37)。すなわち $N=20$ ppm での 3 つの K_2O 濃度の違いによる根重の差は 2 g 程度であるが、 $N=60$ ppm では約 3 g、 $N=180$ ppm では約 7 g と広がっている。しかも、 $N=60$ ppm における K_2O 濃度の違いによる根重の順位と $N=180$ ppm の根重の順位が逆転している点は興味深い。

スギ苗における根量は、苗木の形質の良否を左右する重要な条件であり、上記のように N 濃度と K_2O 濃度の組み合わせの違いによって、著しく根重量が変化することは、健苗育成の施肥技術としての活用が期待できる。

(塚原 初男)

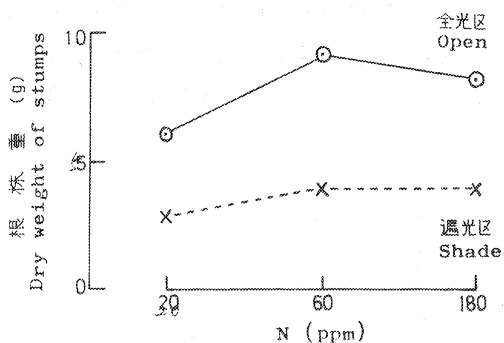


Fig. 35 スギ苗の根株乾重におよぼす N および受光の影響

Influences of N concentration and light supply on dry weight of stump in *Cryptomeria japonica*.

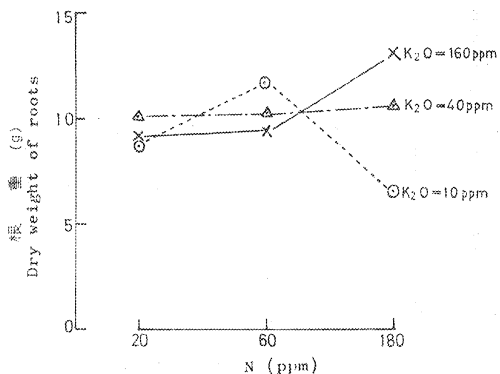


Fig. 37 スギ苗の根乾重におよぼす N および K_2O の影響

Influences of N and K_2O concentrations on dry weight of roots in *Cryptomeria japonica*.

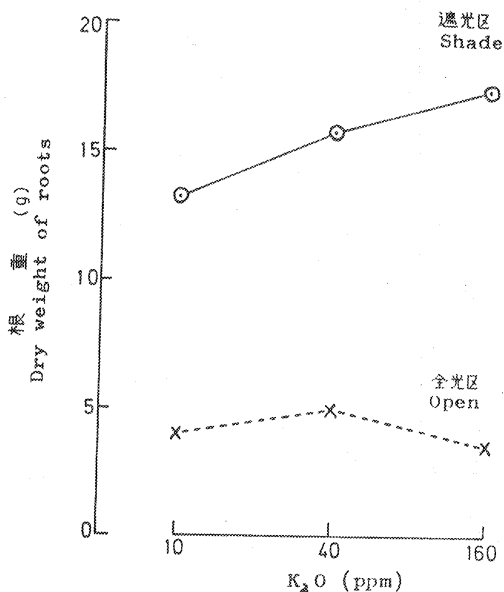


Fig. 36 スギ苗の根乾重におよぼす K_2O および受光の影響

Influences of K_2O concentration and light supply on dry weight of roots in *Cryptomeria japonica*.

4-5. ヒノキ苗の部分重（乾）

スギ苗の部分重と同様の手法によって、ヒノキ苗の部分重についても全実験期間のデータを解析した（Table 22）。この表から概観的にスギ苗と比較すると、スギでは苗の部位によって、N, P, K の効果の現われ方にかなりの変化がみられ、幹重には P、古葉重と根重には K などの効果がみられたのに対し、ヒノキでは根重を除くすべての部分重に N の 1 次効果が認められた。

4-5-1. 全 重

Table 22 に示したように、全重のデータの分散分析の結果では、N の 1 次効果が有意であった。N 濃度の増加にともなう全光区の全重の増加と遮光区の全重の増加の較差は次第に広がっている（Fig. 38）。しかも、Fig. 30 のスギの全重と異なり、最適水準がなく左傾した直線的傾向を示している。

4-5-2. 葉 重

Table 22 に示すように、葉重での有効な要因は全重と全く同様である。また全光区と遮光区のちがいは全重とよく類似している（Fig. 39）。

4-5-3. 枝 重

Table 22 に示すように、枝重での有効な要因は全重と全く同様である（Fig. 40）。

4-5-4. 幹 重

Table 22 に示すように、幹重においても有効な要因は全重と全く同様であるが、全光区も全重の場合よりも、より直線的傾向がみられる（Fig. 41）。

4-5-5. 根 株 重

Table 22 に示したように、根株重では N の 1 次効果および P の 1 次効果が認められた。

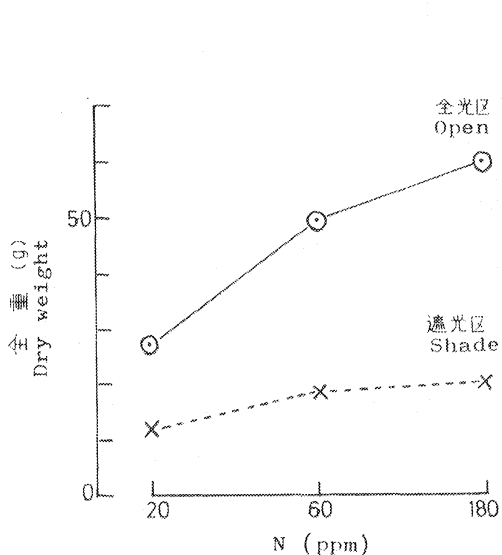


Fig. 38 ヒノキ苗の全乾重におよぼす N および受光の影響

Influences of N concentration and light supply on total dry weight of *Chamaecyparis obtusa*.

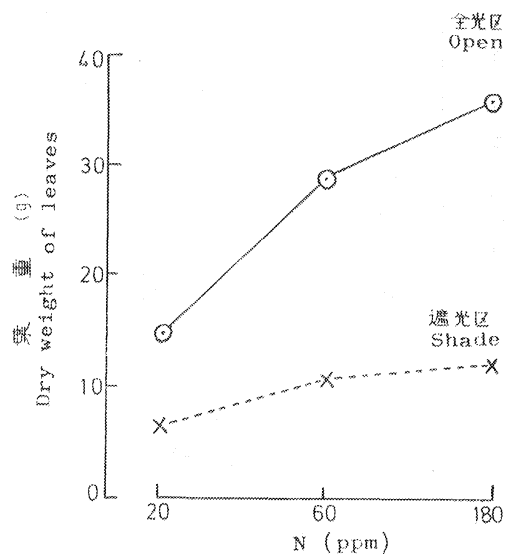


Fig. 39 ヒノキ苗の葉乾重におよぼす N および受光の影響

Influences of N concentration and light supply on dry weight of leaves in *Chamaecyparis obtusa*.

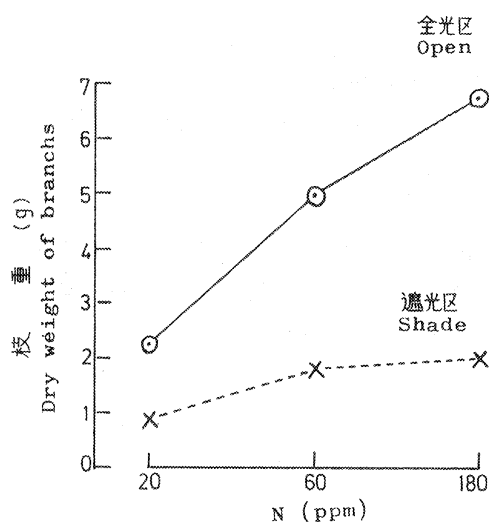


Fig. 40 ヒノキ苗の枝乾重におよぼす N および受光の影響
Influences of N concentration and light supply on dry weight of branches in *Cha-maecy-paris obtusa*.

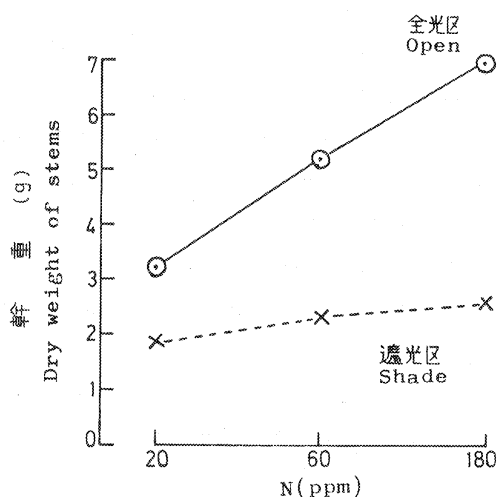


Fig. 41 ヒノキ苗の幹乾重におよぼす N および受光の影響
Influences of N concentration and light supply on dry weight of stems in *Cha-maecy-paris obtusa*.

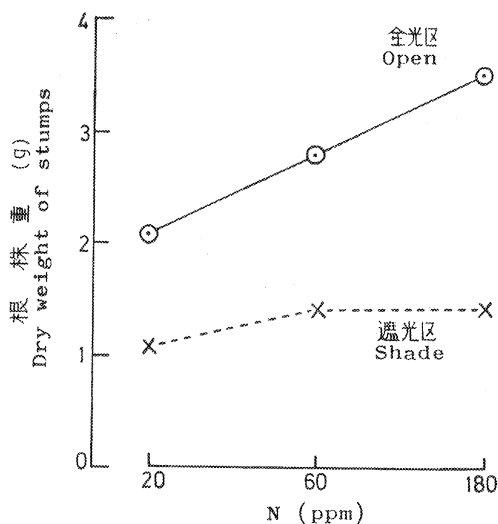


Fig. 42 ヒノキ苗の根株乾重におよぼす N および受光の影響
Influences of N concentration and light supply on dry weight of stumps in *Cha-maecy-paris obtusa*.

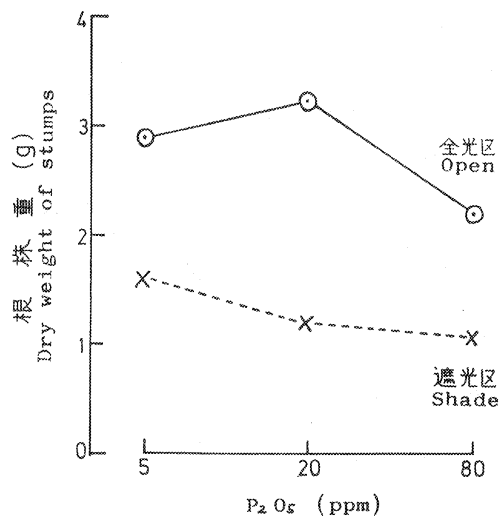


Fig. 43 ヒノキ苗の根株乾重におよぼす P₂O₅ および受光の影響
Influences of P₂O₅ concentration and light supply on dry weight of stumps in *Cha-maecy-paris obtusa*.

ただ、根株重における全光区と遮光区のちがいは Fig. 38~41 に示した全重、葉、枝および幹の4つの部分重の場合よりも差が小さかった (Fig. 42)。一方、ただ一つ有意に現われた P の効果は、 P_2O_5 濃度が高まるにつれて根株重が減少する傾向を示し、特に全光区の高水準が著しい (Fig. 43)。

4-5-6. 根 重

Table 22 に示したように、根重での有効な要因は認められなかった。

(塚原 初男)

4-6. 考 察

磗耕液の N, P, K 濃度および受光条件に対するスギ、ヒノキの各成長量反応については、4-1 から 4-5 までに順をおって述べた。これらの分散分析をつうじて全般的傾向をみると、スギ、ヒノキとも遮光による成長抑制の効果および N 濃度の増加にともなう成長増加の効果は最も出現頻度が高く、重要な要因であった。

そして、スギにおいては全重 (生) の遮光区で N, P, K のすべての因子とも有意でなく、遮光条件下では施肥の効果が現われにくいことが認められた。また、樹高の全光区、根元径の遮光区で P が有意となり、それにとまって一部の N × P の 2 因子交互作用まで効果が認められ、遮光条件下では P の施用およびその施肥技術が大切であるといえよう。さらに部分重との関係で特筆すべきことは、養分条件において、N は全重、幹重、根株重に、P は幹重と根元径 (遮光区) に、K は古葉重と根重に対する効果が大きく現われている。このことは、一般に N は葉肥え、P は成熟促進、K は根肥えという定説³⁰⁾と一致する。

一方、ヒノキでは、P が樹高の全光区で効果が目立つ。P の主効果が有意であることはスギと同様であるが、それよりも NP, PK など、スギより多くの 2 因子交互作用に効果が認められ、ヒノキではとくに P の施肥技術が大切であるといえる。

(森田栄一, 塚原初男)

5. 磗耕液の N, P, K 濃度および受光条件が スギ、ヒノキの葉内成分量におよぼす影響

磗耕によるスギおよびヒノキ苗は、毎年 11 月に掘り、磗耕液の N, P, K 濃度および受光量の 4 要因が、1 生育期後の葉内に含まれる N, P, K, Ca, Mg の 5 無機成分量およびクロロフィル含有量、樹体内含水量に対して、どのような影響を及ぼすかを調べた。

5-1. 葉内無機成分量

5-1-1. 分析方法

分析用のサンプルは、各磗耕ベッドに育成された苗木の 1~3 個体を乾燥、粉末とし、分析試料とした。分析は 2 回反復して行い、その平均値を求めた。

分析方法は、N はケルダール法により、P は湿式灰化したのち、モリブデン酸法により光電比色計を用いて定量した。K, Ca, Mg については湿式灰化処理後、原子吸光分光光度計により定量した。

スギおよびヒノキ苗の葉内の N, P, K, Ca, Mg の各含有率 (%) は Table 23, Table 24 に示すとおりである。これらの各データを分散分析した結果は Table 25 に示すとおりである。以下 Table 23, 24 により各成分ごとの反応について述べる。

Table 23. 礫耕スギ苗の葉内無機成分含有率
Nutrient contents in leaves of *Cryptomeria japonica* cultivated

Year	NPK level	N		P		K		Ca		Mg	
		Open	Shade	Open	Shade	Open	Shade	Open	Shade	Open	Shade
1967	113	2.19	1.93	0.17	0.13	2.90	2.96	1.46	1.52	0.07	0.15
	122	1.41	1.17	0.32	0.27	1.61	1.15	1.14	1.48	0.09	0.24
	131	1.61	1.41	0.42	0.41	2.13	2.00	1.31	1.52	0.14	0.17
	211	1.68	1.53	0.12	0.11	1.97	1.67	0.85	1.41	0.10	0.12
	223	2.04	2.13	0.73	0.73	2.35	3.10	1.36	1.57	0.09	0.14
	232	1.76	1.68	0.62	0.65	2.35	2.40	1.27	1.59	0.15	0.17
	312	2.17	1.64	0.11	0.07	2.34	2.08	1.72	1.28	0.13	0.12
	321	2.36	2.19	0.43	0.53	2.26	2.33	1.32	1.36	0.12	0.14
	333	2.29	2.35	0.64	0.66	3.72	3.17	2.49	1.72	0.18	0.21
1968	112	2.54	2.23	0.26	0.15	1.10	1.34	1.10	1.76	0.13	0.18
	121	2.48	2.48	0.25	0.28	1.28	1.16	1.76	2.38	0.17	0.22
	133	2.19	1.77	0.39	0.43	1.29	2.27	1.56	1.19	0.14	0.17
	213	2.49	2.61	0.17	0.23	1.54	1.61	1.45	1.51	0.12	0.16
	222	1.95	2.32	0.41	0.40	1.24	2.07	2.34	1.71	0.20	0.19
	231	2.37	2.41	0.59	0.80	1.14	1.30	2.02	1.83	0.18	0.21
	311	2.18	2.38	0.13	0.17	0.96	1.15	1.42	1.84	0.12	0.16
	323	2.71	2.34	0.45	0.17	1.90	0.97	1.40	2.17	0.19	0.17
	332	2.38	2.38	0.60	0.66	1.11	2.13	1.64	1.74	0.15	0.29
1969	111	1.80	1.71	0.18	0.16	1.15	1.00	1.66	1.65	0.18	0.21
	123	1.94	1.96	0.25	0.28	1.69	1.29	1.29	1.73	0.15	0.21
	132	1.69	1.71	0.44	0.42	1.03	1.12	1.48	1.62	0.21	0.27
	212	1.96	1.85	0.16	0.25	2.18	1.80	1.66	1.37	0.14	0.18
	221	1.88	1.90	0.35	0.41	1.29	1.66	1.67	1.35	0.18	0.17
	233	2.07	1.73	0.83	0.89	1.59	1.70	1.59	1.61	0.17	0.20
	313	1.98	2.23	0.19	0.22	1.11	1.56	1.38	1.37	0.15	0.16
	322	2.11	1.85	0.27	0.28	1.77	1.06	1.43	1.61	0.13	0.19
	331	1.90	1.98	0.62	0.74	1.59	1.42	1.31	1.51	0.18	0.20

Table 24. 礫耕ヒノキ苗の葉内無機成分含有率(%)
Nutrient contents in leaves of *Chamaecyparis obtusa* cultivated

Year	NPK level	N		P		K		Ca		Mg	
		Open	Shade	Open	Shade	Open	Shade	Open	Shade	Open	Shade
1966	113	2.20	1.76	0.20	0.17	2.98	2.81	1.67	1.63	0.08	0.16
	122	1.80	1.34	0.26	0.17	2.66	2.38	1.24	1.10	0.16	0.16
	131	1.42	1.53	0.70	0.45	1.83	1.58	1.46	1.33	0.18	0.13
	211	3.08	2.26	0.32	0.25	2.39	1.86	1.71	1.33	0.18	0.16
	223	2.86	2.96	0.19	0.44	3.23	3.64	1.40	1.33	0.09	0.09
	312	2.97	2.85	0.20	0.22	1.66	2.12	2.28	2.05	0.20	0.19
	321	3.09	3.01	0.26	0.24	2.00	2.13	1.36	1.43	0.18	0.17
	232	2.58	2.23	0.60	0.45	1.64	1.92	1.85	1.46	0.13	0.12
	333	3.19	2.56	0.42	0.29	2.05	2.58	1.17	1.04	0.15	0.11

Year	NPK level	N		P		K		Ca		Mg	
		Open	Shade	Open	Shade	Open	Shade	Open	Shade	Open	Shade
1967	112	2.28	2.31	0.26	0.23	1.23	1.44	1.09	1.09	0.12	0.13
	121	2.20	2.11	0.36	0.27	1.18	1.07	1.27	1.41	0.15	0.18
	133	2.13	1.80	0.55	0.36	1.66	1.66	1.18	1.12	0.14	0.14
	213	3.10	3.02	0.21	0.24	1.33	1.97	1.27	0.83	0.14	0.13
	222	2.90	2.80	0.40	0.33	0.67	1.03	1.13	1.20	0.13	0.15
	231	2.68	2.42	0.49	0.58	1.72	1.60	1.10	1.05	0.16	0.18
	311	2.60	2.80	0.17	0.18	1.40	0.60	0.67	1.35	0.14	0.15
	323	3.23	3.24	0.38	0.24	1.60	0.81	0.93	1.07	0.14	0.16
	332	2.99	2.51	0.46	0.31	1.11	0.92	1.48	1.10	0.20	0.14
1968	111	2.70	2.54	0.18	0.30	1.96	1.57	1.17	1.67	0.12	0.20
	123	1.86	2.88	0.35	0.43	1.58	1.49	1.58	1.40	0.19	0.19
	132	1.59	2.47	0.65	0.67	1.22	1.88	1.40	1.27	0.19	0.18
	212	2.90	3.19	0.29	0.23	1.12	0.89	1.33	1.46	0.13	0.16
	221	2.59	2.86	0.30	0.24	1.54	1.54	1.35	1.12	0.17	0.17
	233	2.94	2.94	0.81	0.65	2.23	1.39	1.25	1.20	0.17	0.21
	313	3.16	3.08	0.28	0.28	1.09	0.80	1.04	1.21	0.15	0.20
	322	2.81	3.12	0.26	0.24	0.94	1.48	1.19	1.30	0.19	0.18
	331	2.74	2.72	0.34	0.35	0.72	1.76	1.40	1.15	0.21	0.20

Table 25. 葉内無機成分含有率の分散分析
Analysis of variance for nutrient contents in leaves

Factor	Row	df	スギ <i>Cryptomeria japonica</i>					ヒノキ <i>Chamaecyparis obtusa</i>				
			N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
N	1	2	0.75	0.29**	0.69	0.03	0.0020	7.87**	0.11	1.41	0.02	0.0033
l			0.74*	0.08*	0.47	0.03	0	6.70**	0.06	1.14	0.02	0
q			0.01	0.21**	0.22	0	0	1.17*	0.05	0.27	0	0
P	2	2	0.08	1.71**	0.37	0.26	0.02**	0.85	0.73**	0.10	0.14	0.0010
l			0.06	1.71**	0.26	0.19	0.02**	0.74*	0.67**	0	0.09	0
q			0.02	0	0.11	0.07	0	0.11	0.06	0.10	0.05	0
K	5	2	0.49	0.042	2.57**	0.01	0.0024	0.47	0.01	2.23	0.21	0.0045
l			0.20	0.02	2.39	0	0	0.40	0.01	1.17	0.03	0
q			0.29	0.02	0.18**	0.01	0	0.07	0	1.06	0.18	0
NP	3	2	0.2218	0.0396	0.0515	0.0191	0.0013	0.2319	0.0398	0.2044	0.0109	0.0010
NP ²	4	2	0.1268	0.1496	1.5535	0.3337	0.0017	0.1569	0.0550	0.6973	0.0780	0.0042
NK	6	2	0.0134	0.0150	0.7911	0.0519	0.0028	0.0837	0.0090	0.2977	0.4330	0.0003
NK ²	7	8	0.0140	0.1225	0.5298	0.5824	0.0033	0.0897	0.0087	1.8054	0.4169	0.0028
PK	8	2	0.1624	0.0054	0.8704	0.0455	0.0006	0.3347	0.0117	0.0715	0.1274	0.0004
PK ²	11	2	0.4245	0.0095	0.0562	0.0244	0.0005	0.0239	0.0015	0.0544	0.1977	0.0000
Y(年)	10	2	2.5633**	0.0091	10.3926**	0.6084	0.0172**	0.8188	0.0320	11.3068**	1.1729*	0.0115
e ₁		(6)	0.4900	0.0750	0.7800	0.9535	0.0053	0.5576	0.0907	1.4141	0.3863	0.0079

5-1-2. N

(1) スギ苗については培地の N の 1 次効果が有意であった。すなわち、培地の N 濃度が高い条件にあるほど、葉内の N 含有率が高まる (Fig. 44)。

培地の P 濃度、K 濃度、ならびに、受光条件の違いは、スギ苗の葉内 N 含有率に、あまり影響をおよぼさないようであった。

(2) ヒノキ苗については培地の N の 1 次効果 および 2 次効果、P 要因の 1 次効果がいずれも有意または著しく有意であった。すなわち N 濃度を高くすると、ヒノキの葉内 N 含有率が増加する。ただし、ある一定の濃度以上の高濃度条件におくと、葉内 N 含有率は横ばいとなり、いわゆる飽和曲線型反応を示す (Fig. 44)。

P₂O₅ 濃度を 20 ppm 以上の高い条件におくと、ヒノキ苗の葉内 N 含有率は低下する (Fig. 45)。この関係が、どのような生理機構によるものかについては不明である。

5-1-3. P

(1) スギ苗については N の 1 次効果、2 次効果、P の 1 次効果が有意であった。また N と P の 2 因子交互作用効果は、かなり大きく、1/4 分割を行っていないが、無視できないと思われる (Fig. 46)。

N 濃度を 20 ppm より高めると、スギ苗の葉内リン酸含有率が高まる。しかし N 濃度を 60 ppm 以上に高めるとしだいに低下し受光条件にかかわりなく最適曲線型を示した (Fig. 47)。

スギ苗の葉内リン酸含有率については P 濃度が高いほど高い (Fig. 48)。この関係は全光区で顕著であるが、受光と P の 2 因子交互作用まではおよんでいない。また、N 濃度が 20 ppm の低い場合よりも 60 ppm の濃度にある場合にこの関係が顕著であった (Fig. 46)。

(2) ヒノキ苗については P の 1 次効果が有意であった。すなわち P 濃度を高めるほど、葉内リン酸含有率が高くなる (Fig. 49)。

なお、ヒノキ苗の場合には、スギと異なり N 濃度差および受光条件の影響は不明瞭であった。

5-1-4. K

(1) スギ苗については K の 1 次効果が有意であった。すなわち K 濃度が高い場合には葉内カリ含有率が高くなる可能性がある (Fig. 50)。

(2) ヒノキ苗の葉内カリ含有率は、K₂O 濃度が 160 ppm 程度の高濃度になると、やや高くなるが有意ではなかった (Fig. 50)。有意性が認められた要因は年のみであった。

5-1-5. Ca

(1) スギ苗については培地の N、P、K および受光条件など、すべての要因の効果は、いずれも有意でなかった。

この場合、前の 2-3-2 で述べたように更新直前における礫耕液の Ca 濃度は、N 濃度が 180 ppm の場合、CaO が 4.3 ppm に高まっていた。したがって、N 濃度が高い場合に、更新直前の古い礫耕液ほど、Ca 濃度が高かったといっても、この最高 4.3 ppm 程度の CaO 濃度では、葉内 Ca 濃度に直接影響を与えなかったものと思われる。

(2) ヒノキ苗についてはスギと同様にいずれの要因も有意ではなかった。ただし、N と K の 2 因子交互作用効果が、やや大きかった。

K₂O 濃度を 10 ppm の低濃度から 160 ppm の高濃度まで、しだいに高めた場合、培地の N 濃度が低い

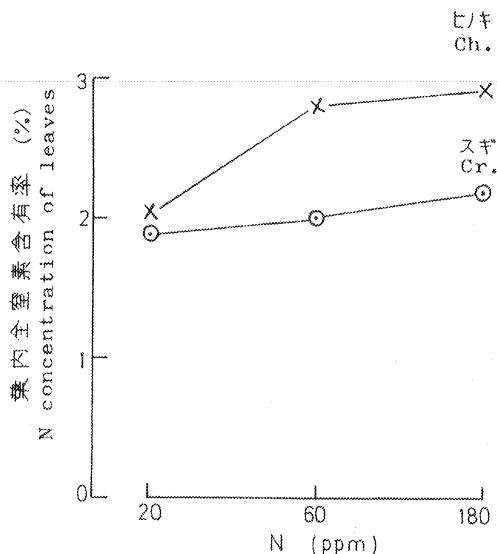


Fig. 44 スギおよびヒノキ苗の葉内全窒素含有率におよぼす培地のNの影響

Influence of N concentration of culture solution on N content in leaves of *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa*.

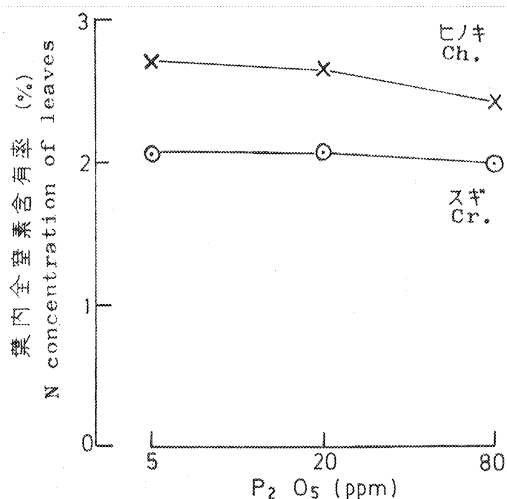


Fig. 45 スギおよびヒノキ苗の葉内全窒素含有率におよぼす培地のP₂O₅の影響

Influence of P₂O₅ concentration of culture solution on N content in leaves of *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa*.

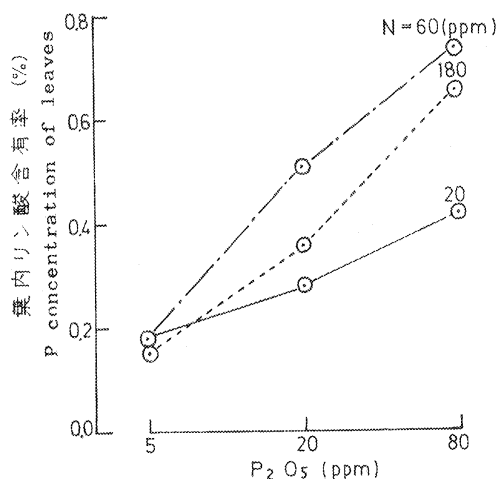


Fig. 46 スギ苗の葉内リン酸含有率におよぼす培地のNおよびP₂O₅の影響

Influences of N and P₂O₅ concentrations of culture solution on P₂O₅ content in leaves of *Cryptomeria japonica*.

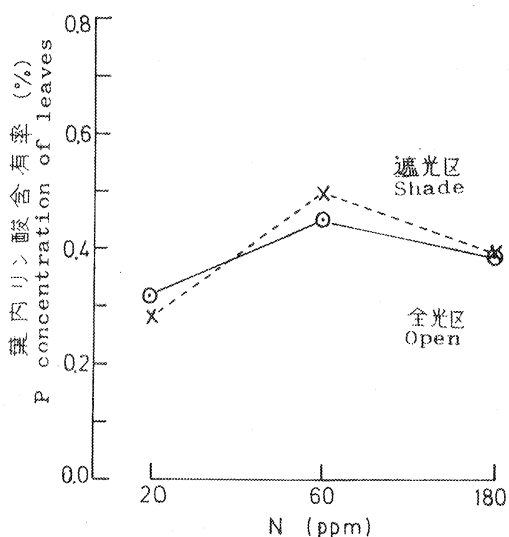


Fig. 47 スギ苗の葉内のリン酸含有率におよぼす培地のNおよび受光の影響

Influences of N concentration and light supply of culture solution on P₂O₅ content in leaves of *Cryptomeria japonica*.

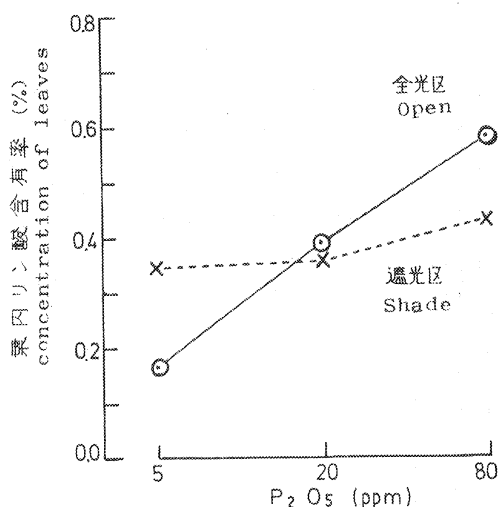


Fig. 48 スギ苗の葉内リン酸含有率におよぼす培地の P_2O_5 および受光の影響
Influence of P_2O_5 concentration of culture solution on P_2O_5 content in leaves of *Cryptomeria japonica*.

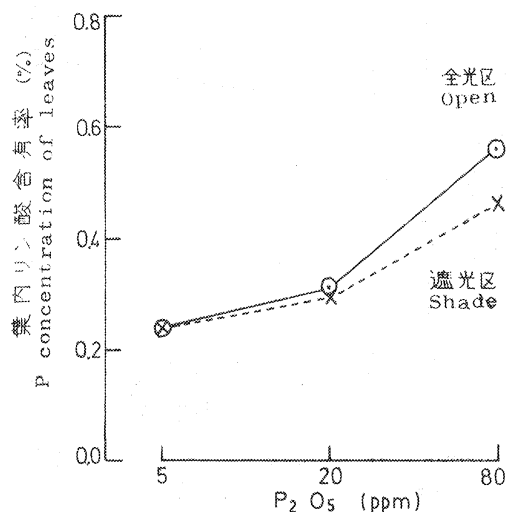


Fig. 49 ヒノキ苗の葉内リン酸含有率におよぼす培地の P_2O_5 および受光の影響
Influence of P_2O_5 concentration of culture solution on P_2O_5 content in leaves of *Chamaecyparis obtusa*.

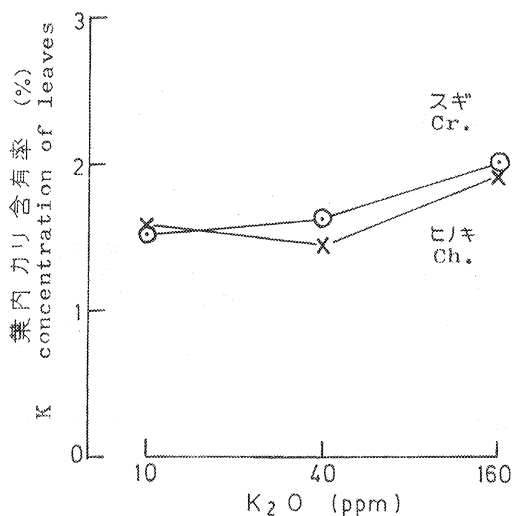


Fig. 50 スギおよびヒノキ苗の葉内カリ含有率におよぼす培地の K_2O の影響
Influence of K_2O concentration of culture solution on K_2O content in leaves of *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa*.

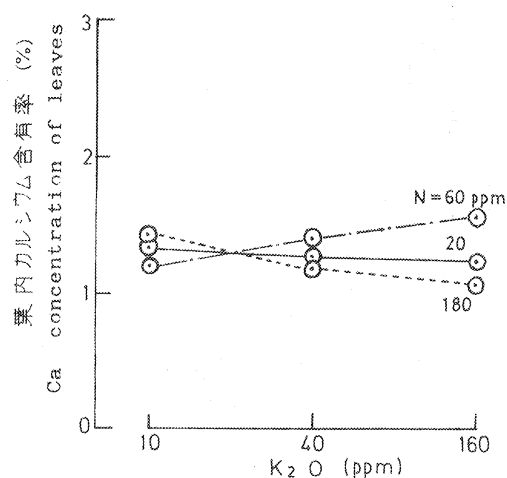


Fig. 51 ヒノキ苗の葉内カルシウム含有率におよぼす培地の N および K_2O の影響
Influences of N and K_2O concentrations of culture solution on Ca content in leaves of *Chamaecyparis obtusa*.

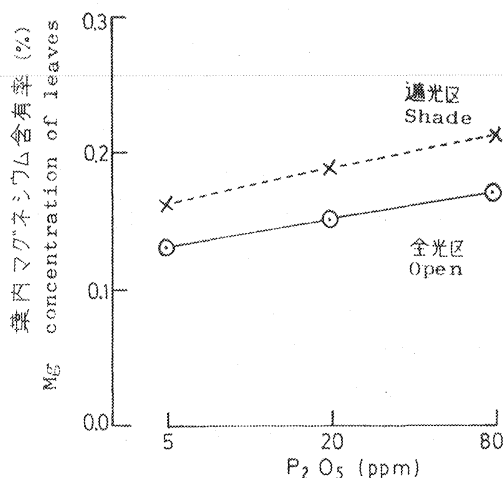


Fig. 52 スギ苗の葉内マグネシウム含有率におよぼす培地の P_2O_5 および受光の影響
Influences of P_2O_5 concentration of culture solution and light supply on Mg content in leaves of *Cryptomeria japonica*.

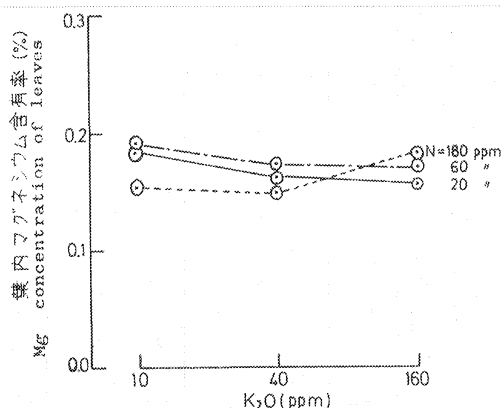


Fig. 53 スギ苗の葉内マグネシウム含有率におよぼす培地の N および K_2O の影響
Influences of N and K_2O concentrations of culture solution on Mg content in leaves of *Cryptomeria japonica*.

ときには、Ca 含有率は、ほとんどかわらないが、N 濃度が適水準にあるとき、葉内 Ca 含有率は、しだいに高くなり、また、N 濃度が高水準のときには、その含有率はしだいに低くなるようであった (Fig. 51)。

5-1-6. マグネシウム

(1) スギ苗については P の 1 次効果が有意であった。また、N と K の 2 因子交互作用効果は有意ではなかったが、かなり高いはたらきを示した。 P_2O_5 濃度が高いときほど、あるいは、受光量が少ないときほど、スギ苗の葉内マグネシウム含有率が高い (Fig. 52)。

K_2O 濃度を低水準から高水準へ高めてゆく場合、N 濃度が適水準以下の条件にあるとき、スギ葉内 Mg 含有率は低下の傾向を示し、N 濃度が高水準のときには、その Mg 含有率は上昇の傾向を示した (Fig. 53)。

この場合、前の 2-3-2 で述べたように、更新直前の古い礫耕液の Mg 濃度は、N 濃度が 180 ppm まで高まると、MgO が 9.2 ppm まで高くなっていた。したがって、ここにおける葉内 Mg 含有率の変化は、それら礫耕液の N 濃度の間接的な影響を、ある程度、うけている可能性がある。

(2) ヒノキ苗については解析したすべての要因の効果に有意性は認められなかった。

5-1-7. 葉内無機成分量の相互関係

スギおよびヒノキ苗における葉内無機成分含有率 (Table 23, Table 24) から、さらに各無機成分含有率の相互関係をみるため Fig. 54 を調製した。

スギでは、N 濃度を高めると、葉内の N 濃度が高まると同時に相互作用として、P, K もある程度まで高まるが、Ca, Mg は高まらない。P 濃度を高めると、葉内の P 濃度は直線的に高まり、K, Ca, Mg も高まるが N は高まらない。K 濃度を高めると、葉内の K 濃度は高まるが、N, P, Ca, Mg はあまり高まらない。

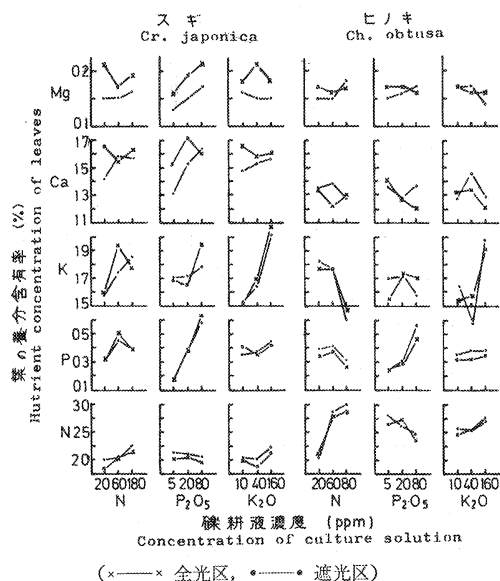


Fig. 54 スギおよびヒノキ葉の無機成分含有率の相互関係におよぼす培地の $N \cdot P_2O_5 \cdot K_2O$ の影響

Influences of N , P_2O_5 and K_2O concentrations of culture solution on inorganic matter contents in leaves of *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa*.

異なる他のクローンでも同様な傾向をもっているかどうかはわからない。また、上中ら¹⁴⁾はヒノキ苗の系統が異なると葉内無機成分含有率にも変化があることを明らかにしており、したがって、上記のスギとヒノキの樹種の違いも、クローン差は十分考慮に入れておく必要がある。

なお、この礫耕実験における礫耕液組成 (Table 2, 3) では、 P_2O_5 が 80 ppm および K_2O が 160 ppm の高濃度の場合、その使用塩類中の Na および Cl もそれぞれ 160 ppm 含まれているので、 P_2O_5 および K_2O の高濃度障害が生じているものでは、この Na および Cl の過剰害もともなっているかもしれない。この点は今後なお検討してみなければならない。

また、この礫耕実験では、礫耕液に Ca, Mg を直接供給していないが、葉内含有率は、スギでは Ca が 1.3~1.7%, Mg が 0.13~0.22%, ヒノキでは Ca が 1.2~1.4%, Mg が 0.13~0.18% も含まれており、従来の塘³⁸⁾、芝木³⁹⁾の水耕実験苗にくらべて過少ではなかった。これは本礫耕液には Ca, Mg が含まれていないが、水道水中の Ca, Mg および礫より溶出する Ca, Mg の量で著しく不足していなかったことを示している。

(上中久子・塚原初男)

5-2. 葉内クロロフィル含有量

5-2-1. 材料と方法

1969年9月25日、当年度におけるスギおよびヒノキ苗各54個体の各頂端部から、一定重量の当年生葉を採取し、その葉内のクロロフィル a, クロロフィル b, 全クロロフィル含有量およびクロロフィル a/b 比を調べた。

ヒノキでは、N 濃度を高めると、葉内の N 濃度は高まるが、P, K は低下し、Ca は変わらず、Mg は高まる傾向がある。P 濃度を高めると、葉内の P 濃度は直線的に高まり、N, Ca は低下し、K, Mg はあまり変わらない。K 濃度を高めると、葉内の N, K 濃度は高まるが直線的ではなく、P は変化がなく、Ca, Mg は低下の傾向がある。

培地の養分濃度と葉内の養分濃度との関係は一般に遮光区より全光区で顕著である。また、培地の N , P_2O_5 , K_2O 濃度を高めると、ほぼ同じ傾向でそれぞれ葉内含有率も高まるが、他の成分濃度におよぼす相互作用として、とくに培地の N 濃度を高めると、スギでは P, K 濃度も高まりやすいが、ヒノキではむしろ反対に低下する傾向がある。この樹種の差異は施肥技術上、考慮を要する点であるかも知れない。

ただ、この樹種の差異もスギの場合は、宮崎署 6 号という単一クローンであり、特性の

分析方法は生重で0.5gの葉を、80～85%アセトンで、くりかえし抽出する。この、クロロフィル抽出液を、東洋ろ紙（No. 6）でろ過して、50 ml 定容とする。このアセトン抽出液の645 m μ および663 m μ における吸光度（D₆₄₅、D₆₆₃）を、分光光度計（Hitachi Perkin-Elmer 139 UVVIS Spectrophotometer）で読みとり、MACKINNEY（1941）の式¹⁷⁾を、MACLACHLAN and ZALIK（1963）が修正して得た方程式¹⁸⁾（5.1, 5.2）に代入し、クロロフィル a、クロロフィル b の単位葉重あたりの含有量を求めた。全クロロフィル含有量は、クロロフィル a、クロロフィル b の和である。

MACLACHLAN ら¹⁸⁾の修正式は、つぎのとおりである。

$$\text{クロロフィル a (mg/g, flesh)} = \frac{12.3D_{663} - 0.86D_{645}}{d \times 1,000 \times W} V \quad \dots\dots\dots(5.1)$$

$$\text{クロロフィル b (mg/g, flesh)} = \frac{19.3D_{645} - 3.6D_{663}}{d \times 1,000 \times W} V \quad \dots\dots\dots(5.2)$$

ここで V はアセトン抽出液の定容量（=50 ml）、d はガラスセルの幅（=1 cm）、W は葉の生重（=0.5 g）である。

Table 26. 1969年礫耕スギ苗のクロロフィル含有量 (mg/g)
Chlorophyll contents in leaves of *Cryptomeria japonica* cultivated (1969)

水 準 NPK level	クロロフィル a Chlorophyll a		クロロフィル b Chlorophyll b		全クロロフィル Total chlorophyll		比 a/b	
	Open	Shade	Open	Shade	Open	Shade	Open	Shade
111	0.60	0.79	0.27	0.34	0.87	1.13	2.3	2.3
123	0.67	0.98	0.24	0.39	0.91	1.37	2.8	2.5
132	0.62	0.74	0.24	0.29	0.86	1.03	2.6	2.5
212	0.77	0.98	0.28	0.40	1.05	1.38	2.7	2.4
221	0.78	0.90	0.30	0.37	1.08	1.27	2.6	2.4
233	0.63	0.81	0.24	0.33	0.87	1.14	2.6	2.4
313	0.71	1.06	0.26	0.42	0.97	1.48	2.8	2.5
322	0.71	1.06	0.26	0.44	0.97	1.50	2.8	2.4
331	0.59	0.78	0.29	0.33	0.88	1.11	2.1	2.3

Table 27. 1969年礫耕ヒノキ苗のクロロフィル含有量 (mg/g)
Chlorophyll content in leaves of *Chamaecyparis obtusa* cultivated (1969)

水 準 NPK level	クロロフィル a Chlorophyll a		クロロフィル b Chlorophyll b		全クロロフィル Total chlorophyll		比 a/b	
	Open	Shade	Open	Shade	Open	Shade	Open	Shade
111	1.07	1.41	0.44	0.56	1.51	1.97	2.4	2.5
123	1.12	1.41	0.41	0.57	1.53	1.98	2.7	2.5
132	0.76	1.12	0.30	0.44	1.06	1.56	2.5	2.5
212	1.14	1.51	0.41	0.61	1.55	2.12	2.8	2.4
221	0.93	1.52	0.35	0.63	1.28	2.15	2.6	2.4
233	0.68	1.42	0.25	0.55	0.93	1.97	2.7	2.5
313	1.41	1.62	0.53	0.65	1.94	2.27	2.6	2.5
322	1.17	1.59	0.43	0.68	1.60	2.27	2.7	2.3
331	1.05	1.41	0.40	0.59	1.44	1.99	2.6	2.4

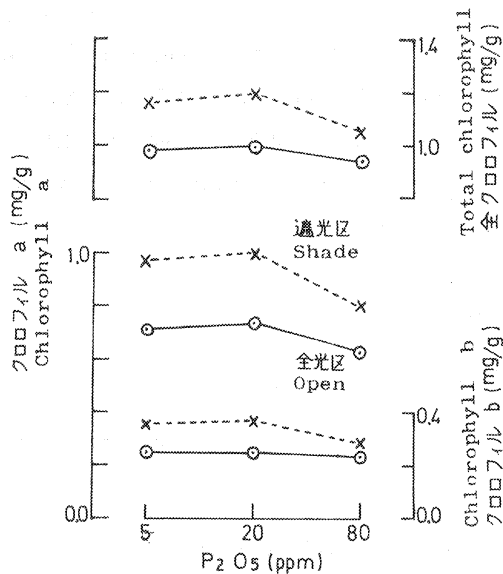


Fig. 55 スギ苗の葉内クロロフィル a, b, 全クロロフィル含有量におよぼす培地の P_2O_5 および受光の影響 (1969年)

Influences of P_2O_5 concentration and radiation intensity in culture bed on chlorophyll content in leaves of *Cryptomeria japonica* (in 1969).

果, P の 1 次効果が有意であったほか, N の 1 次効果もかなり大きかった。ヒノキ苗もスギと同様, 低受光量条件で育成されたものが高く, また, その葉内クロロフィル a 含有量は, 培地の P 濃度が 5 ppm から 80 ppm までの範囲に限定すれば, 高濃度条件のときほど, 直線的に低下した (Fig. 56)。培地の N 濃度が 20 ppm 程度の低濃度のときよりも, 180 ppm の著しく高濃度のときほど, その葉内クロロフィル a 含有量は高い (Fig. 57)。

5-2-3. クロロフィル b

(1) スギ苗

スギ苗の葉内クロロフィル b 含有量を分散分析により解析した結果, 受光条件および, P の 1 次効果が有意であった。

この葉内クロロフィル b 含有量は, 全光区よりも, 遮光区で育成されたものが高く, また, その含有量は, 培地の P 濃度が 5 ppm から 80 ppm までの範囲にある場合, マイナスの直線型反応を示し, 高濃度の条件になるほど, そこで育成されるスギのクロロフィル b 含有量が低くなるようであった (Fig. 55)。

(2) ヒノキ苗

ヒノキ苗の葉内クロロフィル b 含有量を分散分析により解析した結果, 葉内クロロフィル a 含有量について得られた結果と同一であり, 受光要因の効果, および, P 要因のマイナスの 1 次効果が有意であったほか, N 要因のプラスの 1 次効果も, かなり大きかった。すなわち, この葉内クロロフィル b 含有量は, 低受光量条件で育成されたものが高く (Fig. 56, Fig. 57), また, その葉内クロロフィル b 含有量は, 培地の P 濃度が, 5 ppm から 80 ppm までの範囲にある場合, 高濃度条件のときほど低い含有量を

葉内クロロフィル含有量, a/b 比は, Table

26, Table 27 に示すとおりである。

5-2-2. クロロフィル a

(1) スギ苗

スギ苗の葉内クロロフィル a 含有量を分散分析により解析した結果, 受光要因の効果, P の 1 次および 2 次効果が有意であった。この葉内クロロフィル a 含有量は, 低受光量条件で育成されたものが高く (Fig. 55), また, その含有量は, P 濃度に対して, 最適曲線型の反応を示している。すなわち, 培地の P 濃度が, 5 ppm から 20 ppm までの範囲にあるとき, 葉内クロロフィル a 含有量は最高になるものと見受けられるが, P 濃度が 20 ppm 以上の場合には, 高濃度になるほど, クロロフィル a 含有量が低くなる (Fig. 55)。

(2) ヒノキ苗

ヒノキ苗の葉内クロロフィル a 含有量を分散分析により解析した結果, 受光条件の効

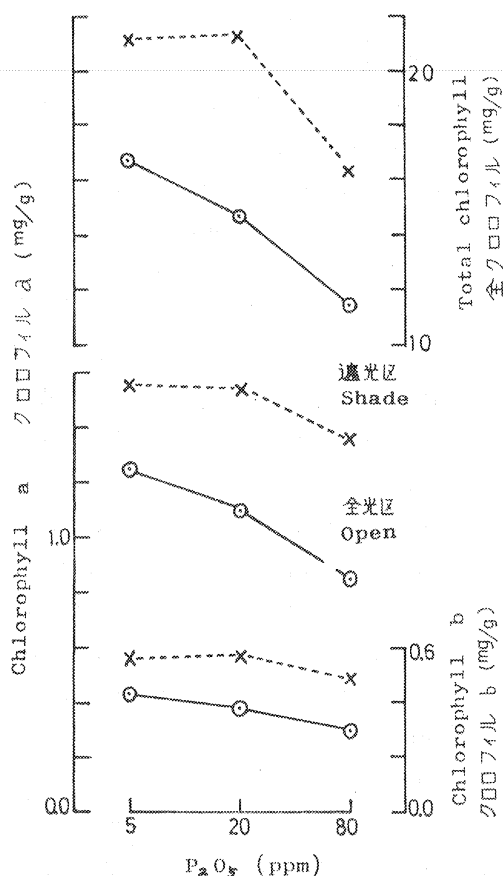


Fig. 56 ヒノキ苗の葉内クロロフィル a, b, 全クロロフィル含有量におよぼす培地の P_2O_5 および受光の影響 (1969年)
Influences of P_2O_5 concentration and light supply on a, b and total chlorophyll contents in leaves of *Chamaecyparis obtusa* (in 1969).

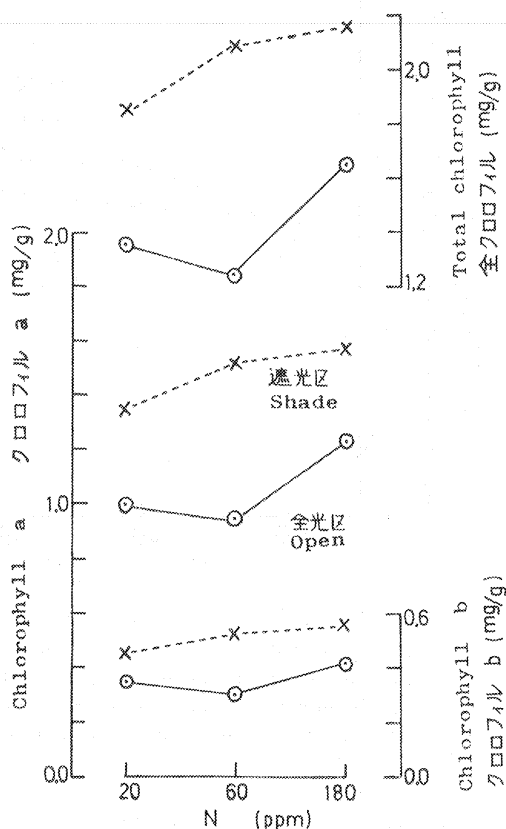


Fig. 57 ヒノキ苗の葉内クロロフィル a, b, 全クロロフィル含有量におよぼす培地の N および受光の影響 (1969年)
Influences of N concentration and light supply on a, b and total chlorophyll contents in leaves of *Chamaecyparis obtusa* (in 1969).

示した。また培地の N 濃度が高濃度条件のときほど、その葉内クロロフィル b 含有量は、やや高い含有量を示す傾向があった。

5-2-4. 全クロロフィル

(1) スギ 苗

スギ苗の葉内全クロロフィル含有量を分散分析した結果、受光条件、P の 1 次および 2 次効果が有意であった。すなわち、葉内全クロロフィル含有量は、低受光量条件で育成されたものが高く、また、その含有量は培地の P 濃度が 5~20 ppm までの範囲にあるとき増加傾向を示し、20 ppm をこえて高濃度になるほど低くなる (Fig. 55)。

(2) ヒノキ 苗

ヒノキ苗の葉内全クロロフィル含有量を分散分析により解析した結果、受光要因の効果、N 要因の P

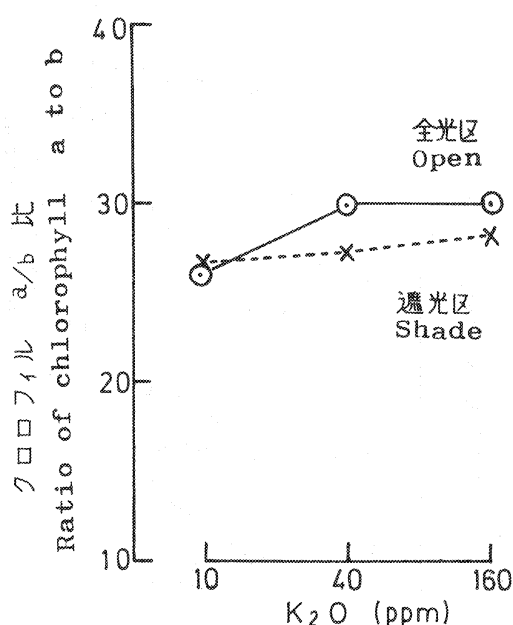


Fig. 58 スギ苗のクロロフィル a/b 比におよぼす培地の K₂O および受光の影響 (1969年)
Influences of K₂O concentration and light supply on ratio of chlorophyll a to b contents in leaves of *Cryptomeria japonica* (in 1969).

ラスの1次効果, P 要因のマイナスの1次効果が有意で, ヒノキ苗の全クロロフィル含有量は, 低受光量条件で育成されたものが高く, また, その含有量は, 培地のN濃度が高いと大きく, 培地のP濃度が高いほど小さくなるようである (Fig. 56, 57)。

5-2-5. クロロフィル a/b 比

(1) スギ苗

スギ苗の葉内クロロフィル a/b 比を分散分析により解析した結果, 受光要因の効果および K 要因のプラスの1次効果に有意性が認められた。すなわち a/b 比は, 低受光条件で育成されたものが小さい。また, その比は, 培地の K 濃度が高いほど大きくなる。ただし, K 濃度が高く, 遮光されている場合には, その反応が直線型に近いが, 全光区の場合には, その反応が飽和曲線型に近づく (Fig. 58)。

(2) ヒノキ苗

ヒノキ苗の葉内クロロフィル a/b 比のデー

タを分散分析により解析した結果, 受光要因の効果が有意であり, N, P, K 要因の効果に有意性は認められなかった。ただし遮光区よりも全光区で育成されたものが若干大きい傾向がみられる (Table 27)。

5-2-6. クロロフィルの含有量におよぼす4要因の影響

(1) 受光条件の影響

受光量が約27%となる遮光区で育成されたスギおよびヒノキ苗の葉内クロロフィル a, b, 全クロロフィル含有量は, 受光量が100%の全光区で育成されたものよりも, かなり多かった。これは, 受光量が20~80%の範囲であれば, 受光量が少ないほどクロロフィル含有量が多いという, これまでの知見⁵⁾⁶⁾³⁰⁾⁸⁴⁾⁸⁵⁾⁸⁶⁾によく一致している。塚原⁴⁰⁾によると, クロロフィル含有量の多いスギさし木品種は, 少ない品種にくらべて, 低受光下における日補償時間が短く, 耐陰性が高いと報告している。また, *Tilia cordata* (シナノキの1種) および *Acer pseudoplatanus* (モミジの1種) の生育期間における葉内クロロフィル含有量と同化量の変動を調べた Willstätter ら⁴⁹⁾の実験によると, 高受光下ではクロロフィル以外に, なんらかの要因が, 光合成速度を支配しているらしいが, 低受光下では, クロロフィルが光合成速度の支配的要因となっていることを認めた。和田ら⁴⁶⁾によると, 低受光下では, 単位光合成量の大きさは, ほぼ, クロロフィル含有量に比例するという。本実験でも遮光区で育成されたものが多いのは, 比較的低い受光量で同化能率をよくするための適応現象と考えられる。

(2) N 要因の影響

葉内クロロフィル含有量は, N 施肥によって高められることが, すでに知られている。礫耕液の N 濃

度が、20 ppm から 180 ppm までの範囲では、ヒノキ苗については、その傾向がみられた。しかし、スギ苗では、その傾向は、それほどはっきりしていなかった。ただし、Table 26 で認められるとおり、全光区で育成された材料では最適曲線型の反応を示し、遮光区で育成された材料では、プラスの傾斜をもつ直線型の反応を示す数値を得ており、従来の知見に相反するものではない。

（3）P 要因の影響

磷耕液の P_2O_5 濃度に対して、スギおよびヒノキ苗の葉内クロロフィル含有量の反応は、最適曲線型あるいはマイナスの傾斜を有する直線型であり、とくに P_2O_5 が 20 ppm から 80 ppm になると、その傾向が一層強まる。これは葉内クロロフィル生成に対する P の 1 種の高濃度障害ではないかと考えられる。従来、スギ、ヒノキ苗の生育には、培地条件を、20 ppm 程度の P_2O_5 濃度に保つのが最適とされてきた。しかし、この実験ではクロロフィル含有量では、 P_2O_5 の最適濃度は、20 ppm 以下にあるようであり、一致しなかった。

（3）K 要因の影響

培地の K_2O 濃度を高めても、スギ、ヒノキの葉内クロロフィル a, b, 全クロロフィル含有量には、あまり大きな影響をおよぼさなかった。

5-3-7. クロロフィル a/b の比におよぼす 4 要因の影響

クロロフィル a/b の比が一定でないことは、すでに多くの報告がある^{16) 85) 40)}。しかし、この比の値が、一体どのような生理的役割と関係が深いかどうかは、まだ詳しい報告をみていない。本実験では、スギおよびヒノキ苗の葉内クロロフィル a/b 比は、ともに、高受光量条件で高く、低受光量条件で低かった。しかし、他の培地の N, P, K 要因については、スギで K 濃度を高めるクロロフィル a/b 比が大きくなったぐらいで、他にはあまり影響が認められなかった。

塚原⁴⁰⁾が九州地方における在来のスギさし木品種であるニンジンバについて調べた葉内クロロフィル a/b 比を解析してみると、葉内クロロフィルの含有量を測定した日の、以前一週間における日照時間と $\gamma_1 = 0.58$ の関係があったほか、その日の以前 2 週間における日照時間と $\gamma_2 = 0.75^*$ 、その日の以前 3 週間における日照時間と $\gamma_3 = 0.78^*$ 、その日の以前 4 週間における日照時間と $\gamma_4 = 0.76^*$ の高い相関関係が認められた。このような結果からみても、スギ、ヒノキ苗の葉内クロロフィル a/b 比の値が、生育環境のなかで、とくに受光条件と密接な関係があることは明らかなようである。（塚原 初 男）

5-3. 樹体内含水量

5-3-1. 材料と方法

1967 年から 1969 年の実験においては各 11 月の掘りとり時点における苗木の含水量を調べた。

スギは、新葉、古葉（いずれも緑軸を含む）、幹、根株、根、および全体について、ヒノキは、葉、枝、幹、根株、根、および全体について測定した。ここで、含水量は、その測定点における生重を、乾重で除した値、すなわち、含水率²⁸⁾で表わした。

5-3-2. 結果と考察

苗の全体的含水量をみるために、スギ苗、ヒノキ苗の各部分の含水率を、54 種類の条件の各 3 個体、計 162 個体の平均値で表わすと Table 28 のとおりである。これによるとスギ苗とヒノキ苗では、根の含水率に大きな差異が認められた。しかし、他の根株、幹、葉の各部分、さらに個体全体では両樹種間に差異が認められなかった。また、両樹種の含水率は、土耕苗^{28) 29)}にくらべると、かなり高い。これは、磷耕

Table 28. 磯耕スギ, ヒノキ苗の各部分別含水率 (162 個体の平均)
Moisture contents of each part of *Cryptomeria japonica* and
Chamaecyparis obtusa (Average per 162 trees)

樹 種 Species	部 分 Part	葉 Leaves		枝 Branch	幹 Stem	根 株 Stump	根 Root	全 体 Whole
		新葉 New	古葉 Old					
<i>Cryptomeria japonica</i>		2.95	2.46	—	2.35	2.94	6.43	3.33
<i>Chamaecyparis obtusa</i>		2.95		2.07	2.24	2.76	4.67	3.33

中の水分条件が、非常に潤沢であったためであろう。

(1) スギ 苗

苗木の各部分および全体の含水率は、根が最高であり、幹が最低であった。また、新葉の含水率は、緑軸を含む古葉の含水率よりも、やや高い値を示した (Table 28)。この各部分の含水率におよぼす、N, P, K 受光条件の影響を各処理 3 個体の平均値の分散分析により解析した。その結果、スギ苗の新葉、古葉、幹の含水率には、4 要因とも、ほとんど影響をおよぼしていなかった。ただし、根株の含水率は、受光条件の影響を受けて、全光区で育成されたスギのほうが、やや高い値を示した (Fig. 59)。また、根の含水率は、受光条件、培地の N, P, K 濃度によって、なんらかの影響を受けている傾向があった。すなわち、根の含水率は、全光区で育成されたものが高く、高濃度の N で育成されたものほど高い傾向があった (Fig. 60)。P 濃度の高い場合にも、スギ苗の根の含水率が高くなる。この傾向は、遮光区のほうが明らかである (Fig. 61)。培地の K_2O 濃度が、高い場合には、そこで育成されるスギの根の含水率も高くなる傾向があった (Fig. 62)。

このことから N, P, K 濃度および受光条件は、スギ苗の地上部よりも地下部の含水率に大きな影響力をもっている傾向があると考えられる。

(2) ヒノキ 苗

苗木の各部分および全体の含水率は、スギ苗と同様、根が最高であった。最低の含水率は、枝の部分であり、幹の部分も、やや低い値を示した (Table 28)。

つぎにスギと同様に、この各部分の含水率におよぼす、N, P, K 濃度および受光条件の影響を分散分析により解析した。その結果、ヒノキ苗の葉、枝、幹、根株の含水率には、以上の 4 要因とも、影響をおよぼしてはいなかった。ただし、根の含水率には、4 要因とも、ある程度の影響をおよぼしていることが

わかった。

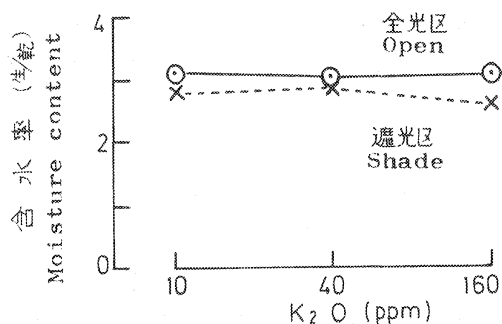


Fig. 59 スギ苗の根株の含水率におよぼす培地の K_2O および受光の影響
Influences of K_2O concentration and light supply on moisture content in stump of *Cryptomeria japonica*.

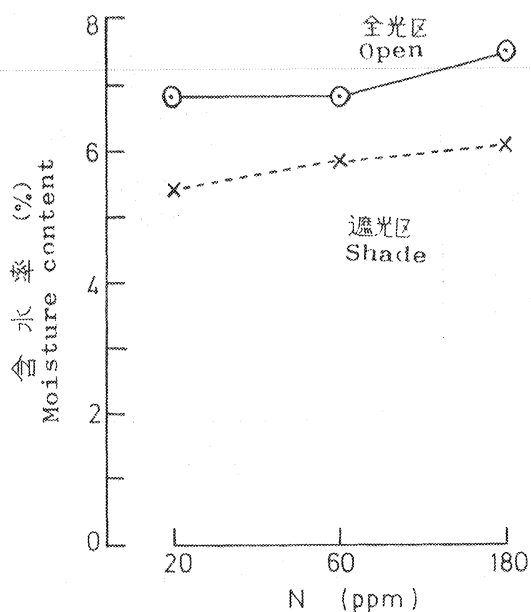


Fig. 60 スギ苗の根の含水率におよぼす培地のNおよび受光の影響
Influences of N concentration and light supply on moisture content in roots of *Cryptomeria japonica*.

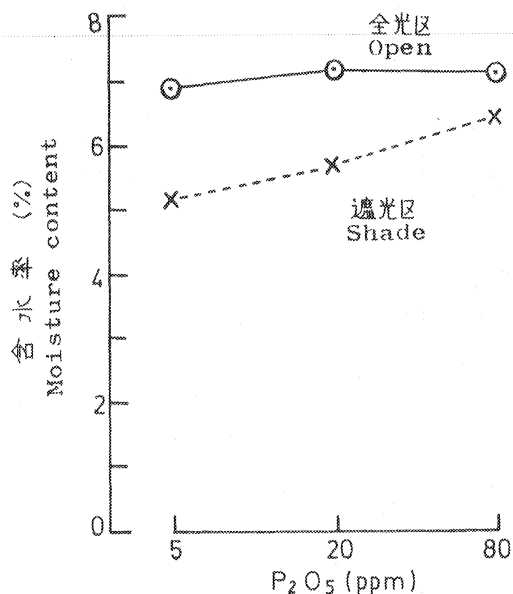


Fig. 61 スギ苗の根の含水率におよぼす培地のP₂O₅および受光の影響
Influences of P₂O₅ concentration and light supply on moisture content in roots of *Cryptomeria japonica*.

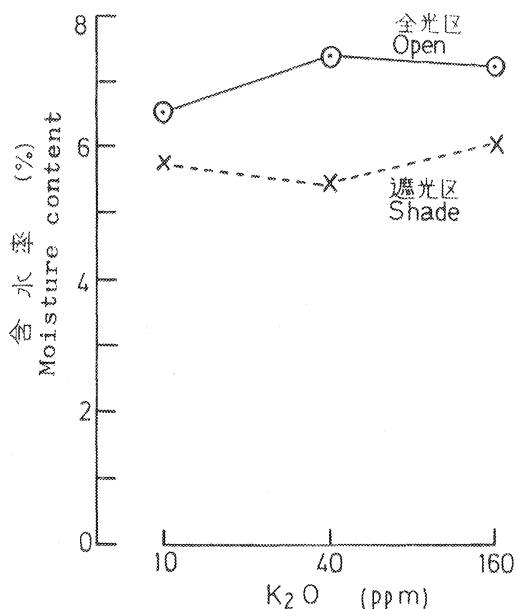


Fig. 62 スギ苗の根の含水率におよぼす培地のK₂Oおよび受光の影響
Influences of K₂O concentration and light supply on moisture content in roots of *Cryptomeria japonica*.

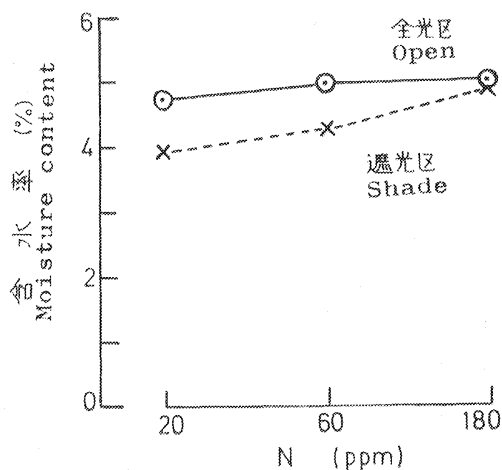


Fig. 63 ヒノキ苗の根の含水率におよぼす培地のNおよび受光の影響
Influences of N concentration and light supply on moisture content in roots of *Chamaecyparis obtusa*.

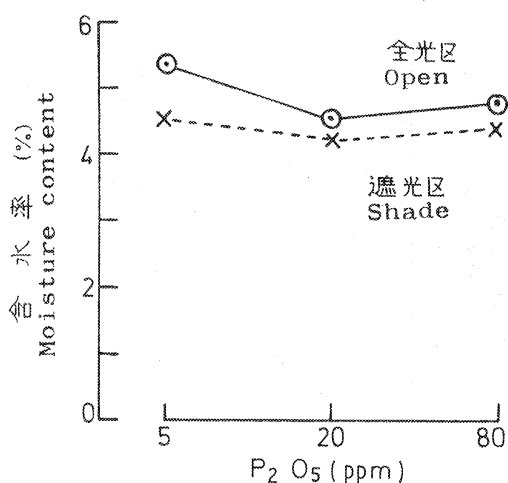


Fig. 64 ヒノキ苗の根の含水率におよぼす培地の P_2O_5 および受光の影響
Influences of P_2O_5 concentration and light supply on moisture content in roots of *Chamaecyparis obtusa*.

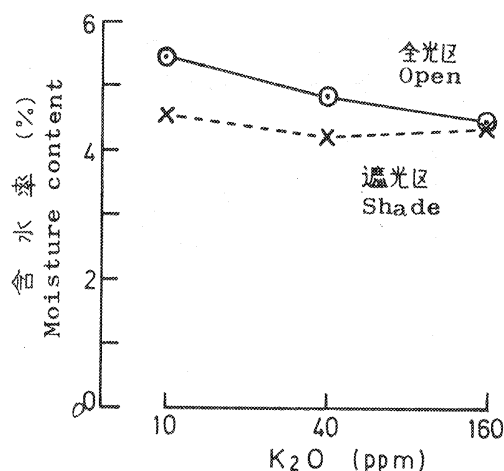


Fig. 65 ヒノキ苗の根の含水率におよぼす培地の K_2O および受光の影響
Influences of K_2O concentration and light supply on moisture content in roots of *Chamaecyparis obtusa*.

全光区で育成されたヒノキ苗の根の含水率は遮光区で育成されたものよりも、常に高かった。すなわち高い N 濃度で育成されたヒノキ苗の根の含水率は、低濃度の場合よりも高い傾向があった (Fig. 63)。培地の P 濃度および K 濃度が高い場合には、その濃度が低い場合よりも、そこで育成された苗の根の含水率が低い傾向があった (Fig. 64, Fig. 65)。

このことから N, P, K 濃度および受光条件はヒノキ苗の根の含水率に、大きな影響力をもっている傾向があると考えられる。(塚原 初男)

6. スギ苗の光合成反応

6-1. 材料と方法

スギ苗のみかけの単位光合成量は、1968 年における 1 年間の育成をほぼ完了した 11 月から 12 月の組織について測定した。1968 年の籾耕では、養分濃度と受光条件の組合せは 18 種類であり、1 種類あたり 3 個体、計 54 個体のスギ苗が育成されている。光合成の測定には、3 個体のなかから、大きさが中位の 1 個体を選び、その頂端部における針葉を残した切り枝を材料に用いた。したがって、スギ苗の光合成測定材料数は、全部で 18 本の切り枝である。

測定には、1 点式の赤外線 CO_2 ガス分析計 (NDIQ, 日立堀場 LTA 型) を使用した。その測定条件は、同化箱内の気温が、17°C, 27°C, 37°C の 3 段階と、照度が、単位呼吸量を測定するための 0 lux, みかけの単位光合成量を測定するための 2 K lux, 14 K lux, 26 K lux の 4 段階の、すべてを組み合わせる 12 種類である。

同化箱は、光合成用 2 個 (これを第 1, 第 2 同化箱と呼ぶ), ブランク用 1 個 (これを第 3 同化箱と呼ぶ) の計 3 個からなり、無色透明の亚克力板製で、いずれも、九州支場冷凍室内の採光恒温器の中のほうろびきバット上に静置した。バットには、厚さ約 3~5 cm の流動パラフィンを張り、同化箱内外の

空気の流入を完全に遮断した。また、同化箱内の気圧を、外気圧と同一にさせるために、同一馬力のポンプおよび、引き込みポンプを同時に作動させて、同化箱内における流動パラフィンの位置を一定の高さに保った。切り枝は、小型の円型ポットに、その切り枝を養成したときと同一の礫耕液で水耕し、ポット液面を発泡スチロール板で密栓して、同化箱に入れた。

人工光源は、東芝プラントルックス2個を2 K lux用、同4個と10 KW 蛍光水銀灯1個を14 K lux用、同4個と同2個と沃素灯1個を26 K lux用とした。光源からの放熱は、冷凍機の作動によって冷却した。

1本の切り枝が測定を終了するまでに要する日数は3日間である。すなわち、冷凍室の採光恒温器の中に静置された光合成測定用の第1、第2同化箱を同時に運転させると、3日間で、2本の材料を測定できる。その測定順序は、つぎのとおりである。①前夜、採光恒温器内の気温を17°Cに調節し、第1、第2、第3同化箱に、18 l/hourの通気を行ったまま、室内を暗黒状態にしておき、第1同化箱の材料の呼吸量を、記録計に書かせておく。②その第1日目、室内を暗黒状態にしたまま第1同化箱より第2同化箱へ切り換えて、第2同化箱内の17°Cにおける呼吸量を測定する。③室内に点灯し、温度は17°Cのまま、照度を2 K luxに調節後、直ちに第3同化箱で、ブランク測定を行い、九州支場構内の野外大気中のCO₂ガス濃度を測定する。④第1同化箱の17°C、2 K luxにおけるみかけの光合成量を測定する。⑤第2同化箱も同じ。⑥温度は17°C、照度は14 K luxに調節し、第3同化箱でブランク測定。⑦第1同化箱の17°C、14 K luxにおけるみかけの光合成量を測定。⑧第2同化箱も同じ。⑨17°C、26 K luxへ調節。第3同化箱でブランク測定。⑩第1同化箱の17°C、26 K luxにおけるみかけの光合成量を測定。⑪第2同化箱も同じ。⑫照度26 K luxのまま、温度を27°Cへ調節。第3同化箱でブランク測定。⑬温度27°Cのまま、消灯し、第1同化箱の材料の呼吸量を記録させたまま、第2日目へ。第2日目は引き続き温度27°C条件下で、前記②～⑪に準じ、照度3段階で測定する。第3日目は引き続き温度37°C条件下で、第2日目に準じ、測定する。これで第1回目の実験を終わる。ついで、第2回目の実験に入り、新しい切り枝を第1、第2同化箱へ挿入、消灯。翌日は、第2回目実験の第1日目にあたる。第1同化箱と第2同化箱の切り枝は、同一礫耕液の、全光区と遮光区で育成されたいずれか一方の材料をあてた。測定順序を礫耕液のN、P、Kの水準記号で表わすと、222（11月初旬）、323、121、231、332、133、213、311、112（12月下旬）の順である。

みかけの単位光合成量は、次式で計算した。

$$\text{CO}_2 \text{ mg/g/h} = \frac{(a-b)F}{10^3 W} \cdot \frac{273}{T} \cdot \frac{p}{760} \cdot \frac{44}{224} \quad \dots\dots\dots (6.1)$$

ここで $a-b$ は、材料の赤外線 CO₂ ガス分析計の読みとブランクの読みとの差 (ppm)、 F は通気速度 (l/h)、 W は材料切り枝の葉重 (乾、g)、 T は絶対温度で表示した同化箱の気温 (273+気温 °C)、 p は同時刻の大気圧 (mmHg) である。

6-2. みかけの単位光合成量

以上の方法でスギ苗の単位光合成量 (CO₂・mg/乾重・g/h) を測定した。この測定値を受光条件、培地のN、P、K濃度、および、みかけの単位光合成量の測定条件としての温度 (T)、照度 (L) の合計要因によって分散分析により解析した。その結果、受光条件 (Q) の主効果、培地のN、Kの主効果、受光とNの2因子交互作用、測定条件としての温度、および照度の主効果、受光とT、PとTおよびK

と L の 2 因子交互作用に有意性を認めた。ただし、以上の解析結果は、1968 年における 1/3 実施のデータについて行った場合であり、NT, NL, PT, PL, KT, KL, TL などの 2 因子交互作用効果は、あくまでも参考程度に解釈するのが妥当であろう。

スギ苗の、みかけの単位光合成量は遮光区のもの、つねに大きい値を示した。また、その単位光合成量は、培地の N 濃度の 60 ppm 前後に最大値をもつ最適曲線型の反応を示した (Fig. 66)。

前に述べたように N 濃度を 180 ppm に高めると、それにともなって、礫耕液の K 濃度、Ca 濃度、Mg 濃度が異常に高められ (Table 4~6)、そのうえ、pH の値 (Table 7) を低下させた。これらの間接的な作用が、そこで育成されたスギ苗の単位光合成量を低下させている原因であるのかも知れない。

礫耕液の K 濃度に対しては、凹型曲線型の反応を示した (Fig. 67)。とくに、その傾向は、遮光区で育成されたものほど明らかである。礫耕液の K 濃度を 40 ppm の、適水準に調整した場合、更新直前の礫耕液の Mg 濃度 (Table 6) あるいは pH (Table 7) のわずかな変化が、Fig. 67 におけるみかけの光合成量と関係があるかもしれない。

スギ苗の、みかけの単位光合成量は、礫耕中の環境条件だけでなく、光合成の測定中の環境条件によっても、著しい変化が起る。たとえば、同化箱の温度が、17°C~37°C の範囲では、高温の場合ほど、みかけの単位光合成量が低かった (Fig. 68)。また、同化箱の照度が、2 K lux~26 K lux の範囲では、高い照度になるにつれて、その単位光合成量は、飽和曲線型の反応を示した (Fig. 69)。

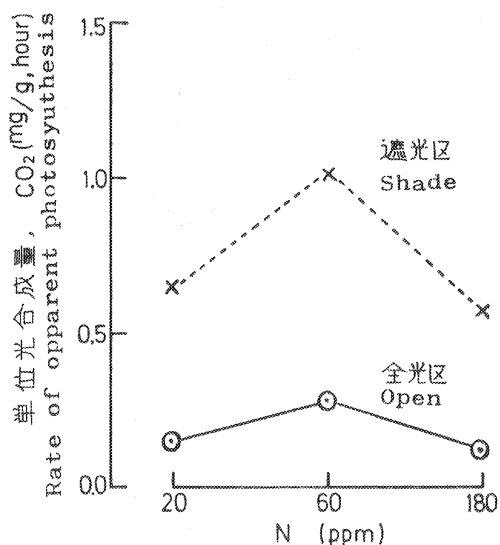


Fig. 66 スギ苗のみかけの単位光合成量におよぼす培地の N および受光の影響 (1968 年)
Influences of N concentration and light supply on apparent photosynthesis in *Cryptomeria japonica* (in 1968).

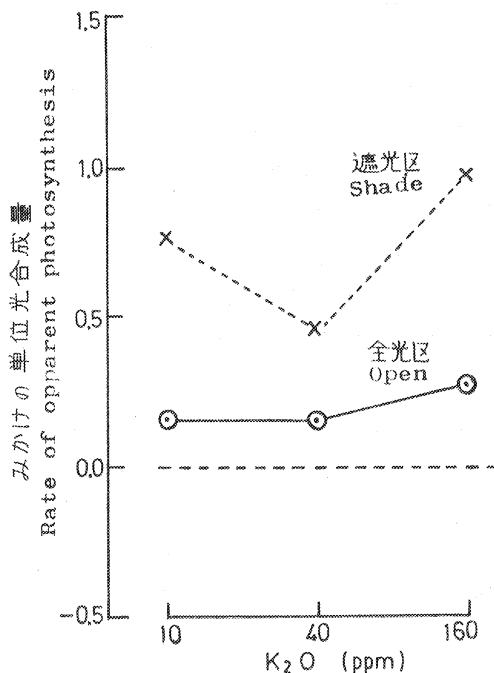
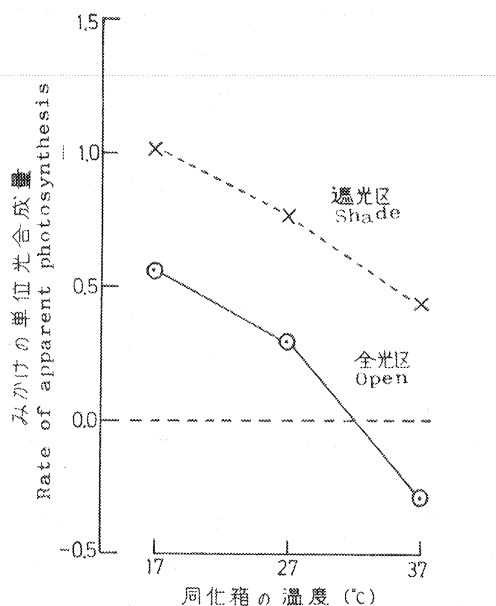


Fig. 67 スギ苗のみかけの単位光合成量におよぼす培地の K₂O および受光の影響 (1968 年)
Influences of K₂O concentration and light supply on apparent photosynthesis in *Cryptomeria japonica* (in 1968).



Temperature in assimilation chamber

Fig. 68 スギ苗のみかけの単位光合成量におよぼす培地の受光および同化箱温度の影響 (1968年)

Influences of light supply and temperature in assimilation chamber on apparent photosynthesis in *Cryptomeria japonica* (in 1968).

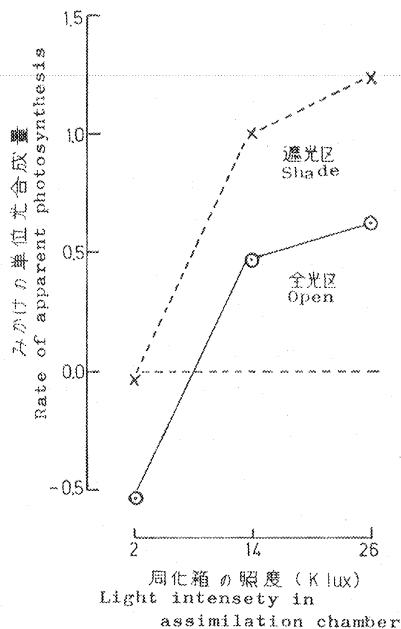


Fig. 69 スギ苗のみかけの単位光合成量におよぼす培地の受光および同化箱照度の影響 (1968年)

Influences of light supply and light intensity in assimilation chamber on apparent photosynthesis in *Cryptomeria japonica* (in 1968).

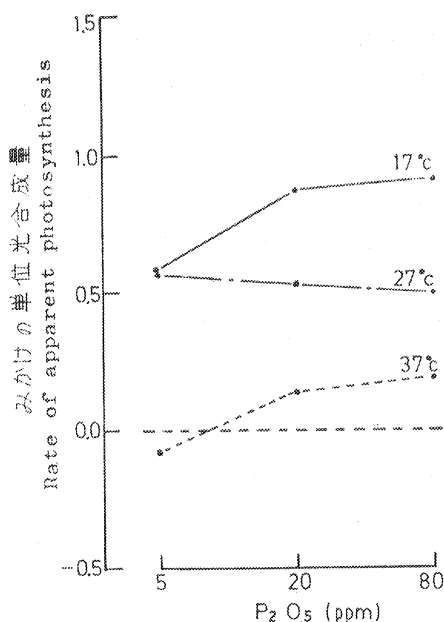


Fig. 70 スギ苗のみかけの単位光合成量におよぼす培地のP₂O₅および同化箱温度の影響 (1968年)

Influences of P₂O₅ concentration and temperature of assimilation chamber on apparent photosynthesis in *Cryptomeria japonica* (in 1968).

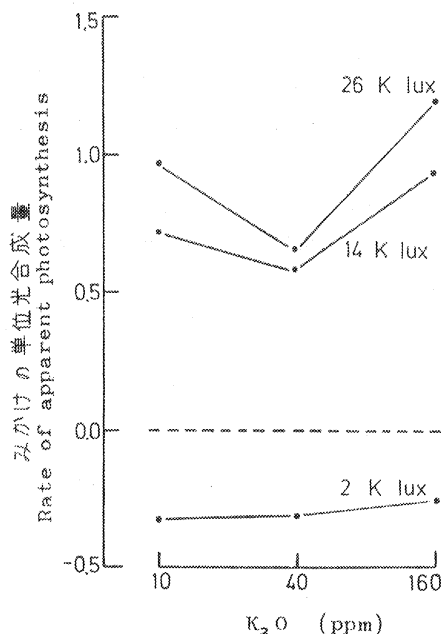


Fig. 71 スギ苗のみかけの単位光合成量におよぼす培地のK₂Oおよび同化箱照度の影響 (1968年)

Influences of K₂O concentration and light intensity in assimilation chamber on apparent photosynthesis in *Cryptomeria japonica* (in 1968).

また P_2O_5 濃度が低水準で育成された切り枝のみかけの単位光合成量は、測定中の同化箱の温度 $27^{\circ}C$ だけが特異な反応を示した (Fig. 70)。また培地の K 濃度に対する光合成反応が凹型であるのは、遮光区で育成された場合のほか、同化箱の照度を 14 K lux 以上の明るさで測定した場合に一層明らかに現われている (Fig. 71)。

いずれにしても、スギ苗の光合成反応は、育成中の 4 つの環境条件のうち N 濃度と受光条件が、かなり密接な関係をもっていることがわかった。

6-3. みかけの単位光合成量と葉内成分量との関係

前節 6-2 で述べた 1968 年におけるスギ苗の、切り枝の単位光合成量と、その時の光合成測定条件としての照度 (Fig. 69), 温度 (Fig. 68) ならびに、前章で述べたその材料の葉内成分量 (N, P, K, Ca, Mg) の各含有率 (Table 23), 含水率 (Table 28 の各個体), クロロフィル a および b (Table 26) の各データを用いて重相関の解析を行った⁴³⁾⁴⁴⁾。ここでは、各変量の単相関、および平均値のほか偏相関、重相関などを求めた (Table 29, Table 30)。その結果全体の重相関は $+0.87$ で、かなりの関係があるといえよう。各変量について、単位光合成量に対する偏相関をみると最も相関の著しいものは照度の $+0.84$ であり、つぎに温度の -0.55 であった。ついで N の $+0.19$, 遮光の $+0.17$, Mg の -0.14 , Ca の $+0.12$, 含水率の $+0.12$ の順で、そのほかは 0.10 以下であった。

これら変量の中で、検定により有効と認められるものは、照度、温度、遮光、N, Mg の 5 要因であった。これらの偏相関のうち照度、温度について 0.55 , 0.84 と高いことは、実験の要因として取上げたことでも一応予知していたが、その次に N 含有率や遮光について 0.17 , 0.19 , さらに Mg 含有率も 0.14 で有効なことは、光合成量を高める材料の育成制御技術として効果が期待できる。また、マイナスの相関をもつものに、温度と Mg が入ったことは、高温障害や Mg 過剰害によるものと考えられる。しかしながら、この解析はあくまで L_{27} 磷耕実験のうち、1968 年の材料による光合成実験の結果のみであって、本実験の全材料による実験の結果を用いて解析した場合は、遮光の効果がもう少し大きくなるのではない

Table 29. スギの単位光合成量と諸条件の重相関解析 (1) (単相関係数マトリックス)
Analysis of multiple correlation (1) (Correlation coefficient matrix)

X	1 照度	2 温度	3 N	4 P	5 K	6 Ca	7 Mg	8 含水率	9 クロロ フィル a	10 クロロ フィル b	11 受光	Y 単 位 合成量
1	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.752
2		1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.323
3			1.0	-0.052	-0.137	-0.069	-0.037	-0.391	-0.043	-0.061	-0.099	0.032
4				1.0	0.307	0.089	0.580	-0.342	-0.135	-0.098	0.017	0.070
5					1.0	-0.356	0.416	0.362	0.300	0.288	0.233	0.090
6						1.0	0.464	0.360	0.293	0.288	0.233	0.090
7							1.0	0.504	0.404	0.422	0.463	0.124
8								1.0	0.516	0.470	0.530	0.205
9									1.0	0.991	0.961	0.223
10										1.0	0.976	0.219
11											1.0	0.239

X_1 : Light intensity

X_2 : Temperature

X_8 : Moisture content

X_9 : Chlorophyll a

X_{10} : Chlorophyll b

X_{11} : Light supply

Y: Rate of apparent photosynthesis

Table 30. スギの単位光合成量と諸条件の重相関解析（2）

Analysis of multiple correlation (2)

X	Sum	Mean	Variance	S. D ¹⁾	CV %	P. C. C ²⁾	Partial b	S. E of b	t-test
1	2268.0	10.5	109.2558	10.4526	99.5	0.8351	0.0699	0.0032	21.684**
2	5832.0	27.0	66.9767	8.1839	30.3	-0.5457	-0.0383	0.0041	-9.301**
3	507.96	2.3516	0.0480	0.2190	9.3	0.1925	0.6037	0.2155	2.801**
4	80.16	0.3711	0.0370	0.1923	51.8	0.0325	0.1577	0.3399	0.464
5	307.68	1.4244	0.1596	0.3995	28.0	0.0766	0.1662	0.1514	1.097
6	370.56	1.7155	0.1156	0.3443	20.1	0.1171	0.3213	0.1907	1.685
7	39.12	0.1811	0.0015	0.0385	21.3	-0.1420	-3.6454	1.7794	-2.049*
8	650.88	3.0133	0.0241	0.1554	5.2	0.1193	0.9058	0.5277	1.716
9	170.28	0.7883	0.0130	0.1141	14.5	-0.0251	-1.4024	3.9173	-0.358
10	68.28	0.3161	0.0029	0.0542	17.1	-0.0247	-3.2955	9.3322	-0.353
11	108.0	0.5000	0.2512	0.5012	100.2	0.1659	1.0274	0.4276	2.403**
Y	20.0	0.0925	0.9429	0.9710	1048.7		B ₀ - .23095		

Variance of estimate 0.2437

Standard error of estimate 0.4938

Multiple correlation coefficient 0.8687

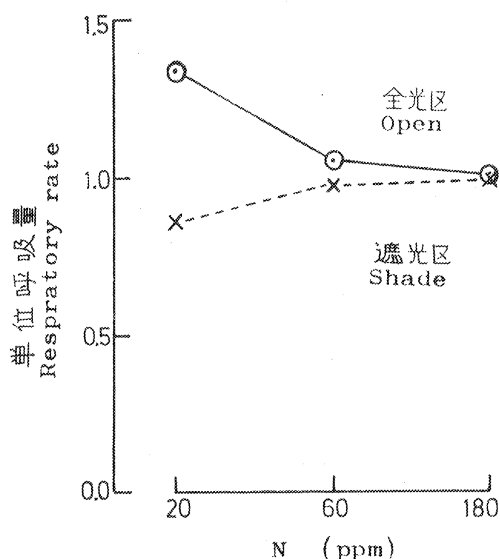
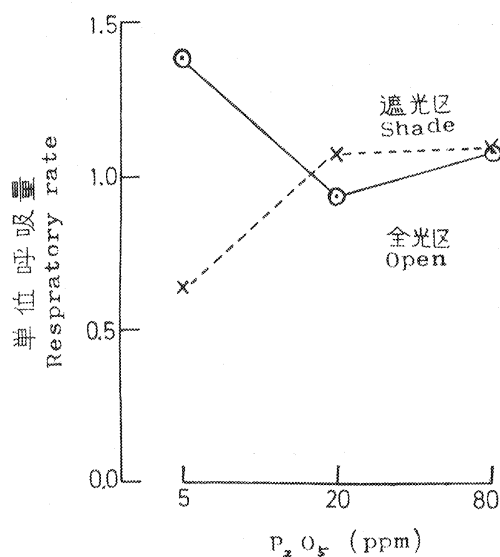
 $\Sigma(\hat{Y} - Y)^2$ 49.7527Standard error ($n=216$) 0.4926¹⁾ : Standard deviation²⁾ : Partial correlation coefficients (x_i, y)

Fig. 72 スギ苗のみかけの単位呼吸量におよぼす培地のNおよび受光の影響（1968年）

Influences of N concentration and light supply on respiration in *Cryptomeria japonica* (in 1968).Fig. 73 スギ苗の単位呼吸量におよぼす培地のP₂O₅および受光の影響（1968年）Influences of P₂O₅ concentration and light supply on respiration in *Cryptomeria japonica* (in 1968).

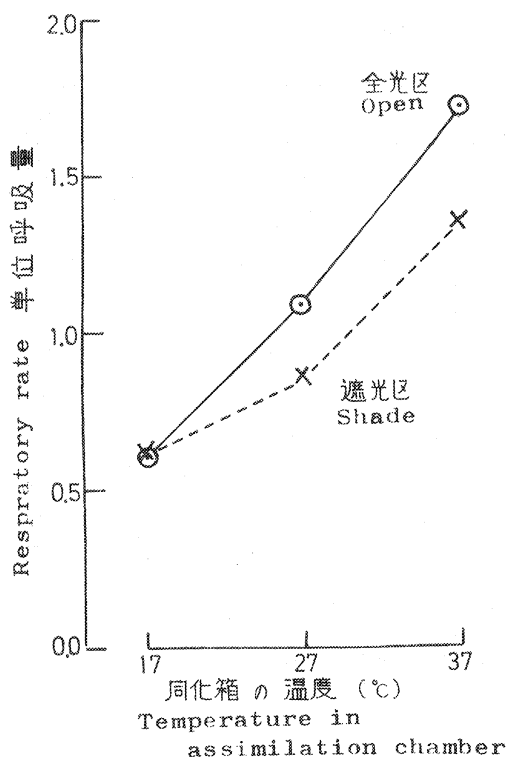


Fig. 74 スギ苗の単位呼吸量におよぼす培地の受光および同化箱温度の影響 (1968年)
Influences of light supply and temperature in assimilation chamber on respiration in *Cryptomeria japonica* (in 1968).

かと思われる。

6-4. 単位呼吸量

1968年10月～12月における、スギ苗の単位呼吸量を、受光条件、N、P、K濃度、および、呼吸量測定中の要因により、分散分析により解析した。その結果、受光条件の主効果、Nの1次効果、受光条件とPの1次効果との2因子交互作用、呼吸量測定中の温度などに有意性を認めた。

スギ苗の単位呼吸量は、育成した環境条件が、全光区で、N濃度が低い場合 (Fig. 72)、同じく全光区条件で培地のP濃度が低い場合に (Fig. 73)、いずれも、高くなるようであった。また、その単位呼吸量は、測定中の温度が高温になるほど高くなるが、その高まりは、遮光区で育成された材料よりも、全光区での材料のほうが、一層大きい傾向があった (Fig. 74)。

このように、スギ苗の単位呼吸量は、その材料の育成中の環境条件と、ある程度の関連があり、とくに、受光条件、培地のN、P濃度条件が、無視できないことがわかった。(塚原初男)

7. スギ苗の耐凍性反応

九州地方におけるスギ、ヒノキ幼齢造林地の凍害はかなり多い。一生育期間に形成された組織は、冬期の低温によって、被害を受け翌年の成長が大きく阻害され、はなはだしい時には枯死する。ここでは1969年に行った9種の培養液と2種の受光条件の18種類の処理条件で育成されたスギ苗について、育成条件の違いによる耐凍性を凍結実験によって調べた。

7-1. 材料と方法

使用した材料は、前述の4章の成長量から6章の光合成量までに至る解析に用いた供試苗とは別に、6月にこの実験用として各ベッドに植栽した18個体の苗である。これらの個体は11月に掘り取られた他の解析用の苗と異なり、翌年2月まで各ベッドで育成をつづけた。その間の培養液の循環回数は、12月下旬から1日3～4回に減じ、翌1970年1月中旬以降は完全に停止させた。

供試材料数は、各苗木1個体から頂部に近い当年生の側枝葉を9本ずつとり、各育成条件とも低温処理の各水準 (−15°C, −20°C, −25°C) ごとにそれぞれ3本ずつ使用した。

研究の当初では、耐凍性形成期、最高期、消失期の3期に分けて測定する予定であったが試料の量が不

足したため測定を1回に限った。このため、スギ苗体内の栄養状態が安定するステージであり、かつ耐凍性最高期にあたる1月下旬から2月の時期を選んで、耐凍性を調べた。具体的には九州で最も寒冷な期間のうち2月16日を選んでいっせいに採取し、長さ10 cmに切りそろえ、水洗い水切り後、ポリエチレン袋に封じ込み、九州支場の低温実験室で凍結処理を行った。

この凍結処理の手順は、まず、 -5°C で2時間冷却し、その間に過冷却状態を避けるための植氷を行っ

Table 31. 礫耕スギ苗の耐凍性におよぼす礫耕液の濃度と受光量の影響
(凍結処理後の生存本数) (1969)

Influences of N, P, K concentration and light supply on frost hardiness
every tissues in *Cryptomeria japonica* (Survival after freezing)

処理温度 Temperature	水 準 NPK level	全 光 区 Open			遮 光 区 Shade		
		じん皮部 Bast	形 成 層 Cambium	木 質 部 Xylem	じん皮部 Bast	形 成 層 Cambium	木 質 部 Xylem
-15°C	111	3	3	3	3	3	3
	212	3	3	3	3	3	3
	313	3	3	3	3	3	3
	123	3	3	3	3	3	3
	221	3	3	3	3	3	3
	322	3	3	3	3	3	3
	132	3	3	3	3	3	3
	233	3	3	3	3	3	3
	331	3	3	3	3	3	3
	Total	27	27	27	27	27	27
-20°C	111	3	3	1	3	3	1
	212	0	3	0	1	2	1
	313	2	0	0	0	0	0
	123	3	1	0	1	1	1
	221	0	2	0	1	1	1
	322	3	3	3	3	3	3
	132	3	2	2	1	0	0
	233	0	0	0	1	0	0
	331	3	2	2	2	1	1
	Total	17	16	8	13	11	8
-25°C	111	0	0	0	0	0	0
	212	0	0	0	0	0	0
	313	0	0	0	0	0	0
	123	0	0	0	0	0	0
	221	0	0	0	0	0	0
	322	0	0	0	0	0	0
	132	0	0	0	0	0	0
	233	0	0	0	0	0	0
	331	0	0	0	0	0	0
	Total	0	0	0	0	0	0

すべてのプロットの標本数は3本
Number of sample is 3 in each plot.

た。そのあと、1時間毎に5°C間隔で、所定の温度まで下げ16時間おいてから、0°Cの室に移し、5時間の融解時間をおいて常温の室に移した。その翌日から温室の水槽に水ざしした。なお、温室内の気温は日中最高30°C前後、夜間20°C前後であった。

生死の判定は、水ざししてから約3週間後の3月5日に剥皮して、組織の褐変の有無を調べ、全く褐変のないものを生存とみなし、それぞれの処理本数に対する生存数または生存率で耐凍性を比較した。

7-2. 結果と考察

耐凍性は組織によって差がある²⁶⁾ので、この実験でも、各個体のじん皮部、形成層、木質部の3つの組織について調べた。

凍結処理温度の違いによる組織別の生存数のうち、3つの処理温度のなかで、最も温度の高い-15°Cでは、全光区も遮光区も各組織はすべて健全であった。これに反し、最も低い-25°Cでは、両区とも各組織のすべてが褐変枯死した (Table 31)。処理温度-20°Cは、従来スギの耐凍性の限界温度とされている温度であるが、培養液の濃度水準、受光条件による組織の違いによって、さまざまな反応を示した。したがって、結果の解析は-20°Cについてのみ行った。その結果、全光区で育成されたじん皮部の生存率は、遮光区にくらべて約15%高く、形成層は約20%高いが、有意な差とは認められなかった。また、3つの組織間も同様であった (Fig. 75)。

培地の養分濃度の違いによる生存率の違いは、じん皮部はN濃度が適水準(60 ppm)のとき、著しく

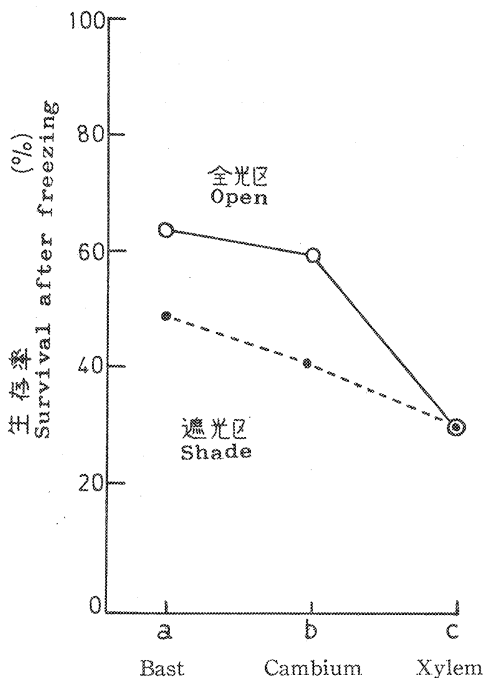


Fig. 75 培地の受光の違いによるスギ苗の凍結処理後の組織別生存率(-20°C)
Influence of light supply on frost hardiness every tissues in *Cryptomeria japonica* (frozen at -20°C for 16 hr.).

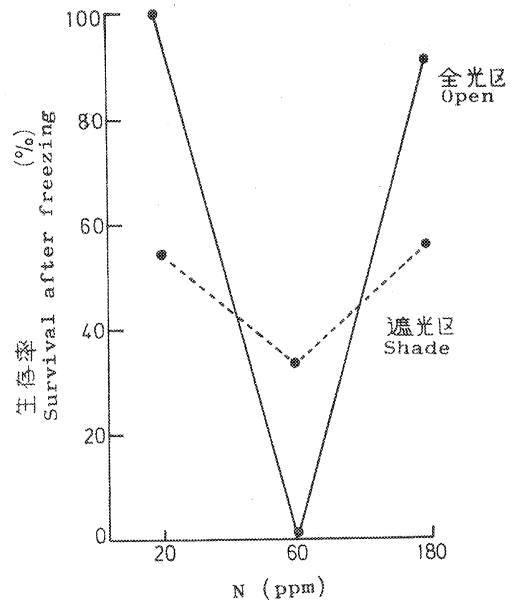


Fig. 76 培地のNおよび受光の違いによるスギ苗の凍結処理後のじん皮部の生存率(-20°C)
Influences of N concentration and light supply on frost hardiness of bast in *Cryptomeria japonica* (frozen at -20°C for 16 hr.).

生存率が低下した。しかも、N 受光の2因子交互作用も有意であって、全光区は遮光区にくらべて、濃度の変化による生存率の変化が大きい (Fig. 76)。また、形成層はK 濃度が高水準 (160 ppm) のとき、著しく生存率が低下した。しかも、全光区も遮光区も、低濃度、適濃度間に最適値をもつ、ほぼ似たような曲線型を示した (Fig. 77)。このK 濃度が高水準のとき生存率が低下している現象は、K 多用による一種の生理障害と思われる。スギ苗にK を多用して寒さに対する抵抗性が弱くなることは、すでに相場ら²⁾の研究で認められており、この場合はK の多施用が耐凍性に関係が深い冬期の糖濃度の増加のステージを遅らせているものと思われる。従来、K 施用は苗木の寒害対策に効果があるという説がだされていたが、K 多用については慎重な検討が必要であろう。

(高木 哲夫)

ま と め

本研究は、造林木の生育過程において、実際に幹の成長を左右している要因の種類と、技術的手段がうごかしうる各要因の水準を明らかにしようとして、スギ、ヒノキの育林技術手段に関連する多要因実験を、礫耕栽培により実施した。その要因としては、造林木に対する施肥、下刈り、枝打ち、間伐などの技術効果と関係の深い培地のN, P_2O_5 , K_2O 濃度および受光条件をとりあげ、これら4要因の主効果と交互作用効果が、スギ、ヒノキ苗の成長量をはじめ、葉内無機成分含有率、クロロフィル含有量、単位光合成量、耐凍性などに、どのような影響をおよぼすかについて検討した。その研究概要は、下記のとおりである。

1~2. 実験計画および実験方法

1) 礫耕培地の4要因は、受光条件が2水準、培養液のN, P_2O_5 , K_2O 濃度が各3水準である (Table 2, Table 3)。

受光条件の2水準は全光区と遮光区で、遮光区の受光量は全光区の約27%に制御した。この遮光装置は、平行型遮光板を、定植された苗の梢端部における受光角が常に40度に保たれるように、10日ごとに苗の伸長にあわせて、手で調節した (Fig. 3~8)。

培養液のN, P_2O_5 , K_2O 濃度の各3水準は、それぞれ第1水準を低濃度、第2水準を標準の適濃度、第3水準を高濃度とした (Table 3)。

これら3要素の各濃度の組み合わせ、合計27種類の培養液は L_{27} 直交表にわりつけ、毎年その1/3を実

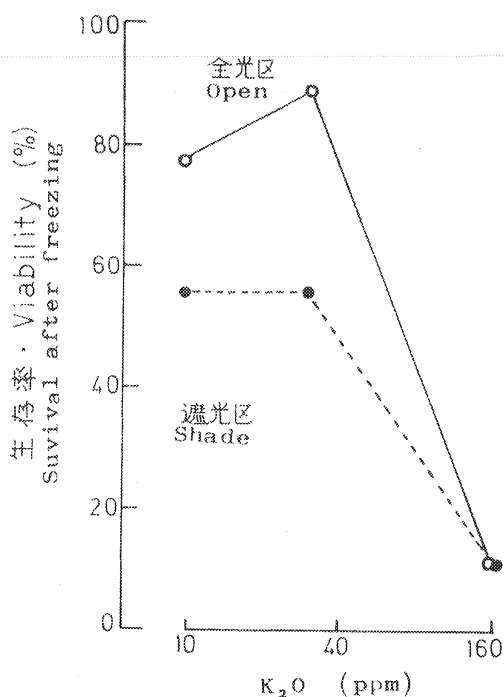


Fig. 77 培地の K_2O および受光の違いによるスギ苗の凍結処理後の形成層部の生存率 ($-20^{\circ}C$)
Influences of K_2O concentration and light supply on frost hardiness of cambium in *Cryptomeria japonica* (frozen at $-20^{\circ}C$ for 16 hr.).

施し、3 か年で 1 実験を完了させた。なお、受光要因はそのデザインの中に分割法でわりつけた (Table 1)。

2) この多要因実験の構造式はつぎのとおりである。

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_l + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + \theta x_{ijkl} + e_{ijkl}$$

この礫耕実験は、スギは 1967～1969 年、ヒノキは 1966～1968 年に実施した。

実験材料は、スギは精英樹宮崎署 6 号クローンの子木苗、ヒノキは優良林分の自然交雑種子の実生苗である。

礫耕装置は、18 個の南北に細長いベッドからなり、2 個ずつ同一種類の培養液を循環させた。この 1 個のベッドにはスギを、他の 1 個にはヒノキを、それぞれ南側の全光区に 3 本、北側の遮光区に 3 本定植した。したがって、毎年、スギ、ヒノキともに 9 個のベッドに 54 本ずつ植えつけることになる (Fig. 1, 5)。

3. 礫耕ベッドの気象環境と樹体温

1) 1966～1969 年のうち、1967 年は夏から秋にかけて異常乾燥が続き、平年にくらべて、かなり特異な気象年であった (Fig. 9～11)。

2) 礫耕ベッドの日最高温度は、全光区、遮光区とも、礫上が最も高く、ついで礫表で、礫内は深いほど低かった。日最低温度は、最高温度の逆で、礫内深部ほど高く、礫上が最も低かった (Fig. 12, 13)。

全光区と遮光区との間では、日最高は各部位とも全光区が高く、日最低は礫内 20 cm を除いて、すべて遮光区が高かった (Fig. 12)。

全光区の気温は、隣接する場内の苗畑気温にくらべて、日最高、日最低とも、1～2°C 高かった (Fig. 15, 16)。

3) スギ苗の礫上 20 cm の樹体温は、全光区、遮光区とも、つねに礫上気温より低かった。また、全光区と遮光区の樹体温では、全光区が遮光区より平均 1.2°C 高く、日最低は 0.3°C 低かった (Fig. 15, 16)。

4. 培地の 4 要因に対する成長量の反応

1) 以上のような装置とデザインによって礫耕実験されたスギ、ヒノキについて、樹高、根元径、重量および部分重を測定し、計量的に解析した。これらは期首の大きさを補正する共分散分析法によって解析した。

2) スギ、ヒノキをつうじて、遮光による受光量の差は、すべての形質に影響が現われた。N, P, K の 3 要素の中で最も影響のあるものは N で、スギの全重 (遮光区)、新葉、古葉の部分重およびスギ、ヒノキの根の部分重以外のすべての形質に現われた。これら全般的に効果の現われた要因のほか、P はスギ、ヒノキの樹高 (全光区)、スギの根元径 (遮光区) およびスギの幹重、ヒノキの根株重に影響が現われ、K はスギの古葉重および根重に影響が現われた。同時に NP, NK, PK などの 2 因子交互作用にまで影響が現われた形質も認められた (Table 12～22, Fig. 17～43)。また、3 年間に分割した年次の影響は、スギの樹高における遮光区と、スギ、ヒノキの全重 (生) における遮光区をのぞいて影響が現われた。

5. 培地の 4 要因に対する樹体内成分含有量の反応

1) 葉内の N 含有率は、スギでは培地の N 濃度が高まると、それに比例して 1 次的に高まるが、ヒノ

キでは 2 次効果も現われて、N 濃度が低いときは著しく低く、また、P 濃度が高まるときにも N 含有率が低下した (Fig. 44, 45)。

葉内の P 含有率は、スギでは培地の P 濃度だけでなく N 濃度も大きく作用している。しかも、それは受光条件に関係なく、最適曲線を示した。一方、P 濃度が増すと全光区では P 含有率が直線的に増加し、P 濃度の高水準では、N 濃度の違いによって葉内の P 含有率の増減もみられた。ヒノキでは、P 濃度が高水準になると急に葉内の P 含有率も高まる。また、P 含有率には N 濃度も影響したが、K 濃度の影響は認められなかった (Fig. 46~49)。

葉内の K 含有率は、スギでは培地の K 濃度によって変化するが、ヒノキでは明らかでなかった (Fig. 50)。葉内の Ca 含有率は隣耕時に Ca を十分に供給していないことによるかもしれないが、スギ、ヒノキとも、N, P, K の濃度との関係はなく、量的変動も少なかった (Fig. 51)。葉内の Mg 含有率は、スギでは P 濃度の影響を強くうける。しかも全光区より遮光区がどの P 濃度でも多く含まれている。ヒノキではこのような関係は認められなかった (Fig. 52, 53)。

このように、葉内無機成分量は、培地の養分条件や受光条件によってかなり変化するものがみられる。また、スギとヒノキでは、それらの条件によって変化する葉内無機成分の種類も異なる現象がみられた (Fig. 54)。

2) 葉内クロロフィル a および b 含有量はスギもヒノキも遮光区と、低、適水準の P 濃度において高かった (Fig. 55~57)。全クロロフィル含有量も、クロロフィル a, b 含有量とはほぼ似た傾向を示したが、ヒノキにおいては N 濃度が高いほど大きくなる傾向がみられた (Fig. 57)。

クロロフィル a/b 比では、スギは遮光区では小さく、K 濃度が高いほど大きくなる傾向を示した (Fig. 58)。しかし、ヒノキでは受光量の違いによる差だけしか認められなかった (Table 27)。

3) 樹体内含水率は全般に土耕苗より高いが、そのうちスギとヒノキの著しい差異は、根で見られた。培地の 4 要因に対する各部分の含水率は、スギでは根に対する受光量、P, K の影響が目立った (Fig. 61, 62)。ヒノキでも根の含水率で 4 要因の影響が認められるが、そのうち受光条件の違いはスギほど大きくなかった (Fig. 63~65)。

6. 培地の 4 要因に対するスギ苗の光合成量の反応

1) スギ苗のみかけの単位光合成量は、遮光区は全光区にくらべて、著しく高かった。また、N, P, K 濃度に対する反応は、N 濃度に対しては両区とも最適曲線を示し、特に遮光区は著しい。K 濃度に対しては遮光区において凹形となった (Fig. 66, 67)。

2) 同化箱の温度による単位光合成量の変化は、同化箱の温度の上昇にしたがって直線的に減少するが、特に全光区は 27°C から 37°C に上ると減少の度合いが大きい傾向を示した (Fig. 68)。同化箱の照度が 2~26 K lux の範囲では、照度の増加にともなって直線的に著しく上昇する。なお、遮光区と全光区の差は、照度の変化にかかわらず、ほぼ一定であった (Fig. 69)。

3) 2 因子交互作用の効果は、P 濃度が 5 ppm で 27°C の場合は 17°C とほぼ同じ程度の単位光合成量を示したが、K 濃度の違いによる単位光合成量の変化は、照度が 2 K lux では、他の水準と大きく異なった傾向を示した (Fig. 70, 71)。

4) この解析でとりあげた照度および温度と、いままで述べてきた葉内成分含有率 (N, P, Ca, Mg) および含水率、クロロフィルの量、受光量など 11 変量に対する単位光合成量の重相関解析から有効と認

められた変量は、照度、温度、N、受光、Mg の 5 変量であった (Table 30)。

7. 培地の 4 要因に対するスギ苗の耐凍性の反応

1) スギ苗の耐凍性は、組織によって差があるので、各供試苗のじん皮部、形成層、木質部の 3 つの組織別に剥皮して褐変の有無を調べ、生死を判定した。−20°C における各組織の生存率の違いでは、全光区は遮光区にくらべて、じん皮部で約 15%、形成層で約 20% 高かったが、有意な差とはならなかった (Fig. 75)。じん皮部の生存率は、N 濃度の違いによってかなり変化した (Fig. 76)。形成層の生存率は、K 濃度の違いによる影響を受け、K の高濃度は耐凍性を低下させた (Fig. 77)。K 多用は、慎重な検討が必要である。

以上の結果を要約するとつぎのとおりである。

成長量に最も大きく関与した要因は受光量と N 施用量であり、これは従来の定説を強くうらづけたことになるが、これらの調節手段は成長量の有効な制御技術になるといえよう。しかし、この N に限らず、P、K の効果も遮光条件下ではあまり有意に現われないので、このことは樹下植栽苗や底陰環境下の成木に対する施肥技術面で、参考となる知見となるであろう。

また、受光量が少ないと、葉内成分含有濃度が高まりにくい。P の施用量を多くするとクロロフィルが減少する。遮光条件下で育てたスギは常に光合成能が高い。スギで葉内 Mg 濃度の高いものは光合成能が低い。光合成量と反対に、受光量が豊富で培地の N・P 施用量が少ない条件下で育てたスギは呼吸量が多い。これらの知見も、本研究の特筆すべき成果で、今後施肥技術の研究上、参考となる。

(とりまとめ総括者一同)

文 献

- 1) 相場芳憲・川名 明・山根光晶：過剰要素施用がスギ苗におよぼす影響 (1)——耐凍性増大期での糖、水溶性窒素の変化——，日林講，83，245~249，(1972)
- 2) 栗屋仁志・森田栄一：受光量と成長に関する一考察，日林会九支講，20，112~113，(1966)
- 3) 栗屋仁志：局所密度と成長に関する研究 (I)——ヒノキ苗による実験——，日林会九支講 22，22~23，(1968)
- 4) 栗屋仁志・森田栄一：局所密度と成長に関する研究，林試九州支場年報，10，923，(1968)
- 5) GUTHRIE, J. D. : Effect of environmental conditions on the chloroplast pigments, Amer. Jour. Bot., 16, 716~746, (1922)
- 6) GOODWIN, R. H. : Chemistry and biochemistry of plant pigment, Academic press London and New York, p. 466, (1964)
- 7) 細井 守：アカマツの帯状皆伐天然更新に関する研究——林縁が更新稚樹におよぼす影響——，林試研報，78，35~58，(1955)
- 8) 熊本地方気象台：昭 42.5 以来の干ばつに関する異常速報
- 9) 日下部正雄：天気予報の利用，農業気象・日本農業気象学会，25.4，267~274，(1970)
- 10) 熊本県農業気象協会：季節予報階級区分用語
- 11) 甲斐原一朗：計量造林の手法，寒帯林，108，87~98，(1963)
- 12) 北川敏男・三留三千男：要因配置表，培風館，II-35~37，(1953)
- 13) 川名 明・田中和之助・高橋光信・松久 周：スギ砂耕苗の生長におよぼす窒素施用と秋期灌水の影響，日林講，69，174~178，(1959)
- 14) 上中久子・大山浪雄：ヒノキ産地別実生苗にみられる耐乾性と養分含有濃度のちがい，日林九支講 26，171~172，(1972)

- 15) コクラン・コックス：実験計画法，丸善，II-329～354，(1961)
- 16) LUNDEGÅRDH, H. : Klima und Boden in ihrer Wirkung auf das Pflanzenleben, Gustave Fisher Verlag, (1957)
- 17) MACKINNEY, G. : Proc. Roy. Soc. Lond, 102, 488 pp, (1941)
- 18) MACLACHLAN, S. and ZALIK, S. : Canad. J. Bot. 41, 1053, (1963)
- 19) 日本気象協会：熊本県気象月報，1966. 5～10
- 20) —————：熊本県気象月報，1967. 5～10
- 21) —————：熊本県気象月報，1968. 5～10
- 22) —————：熊本県気象月報，1969. 5～10
- 23) 汰木達郎：林木の物質生産に関する研究（Ⅲ）——下刈と林木の環境について——，日林会九支講，13, 14～16, (1959)
- 24) 岡上正夫：斜面の受ける日射量を求める簡単な方法について，日林誌，39, 435～437, (1957)
- 25) 奥野忠一：統計講習会テキスト 資料 4, 熊本県農林技術会議 p. 20, (1965)
- 26) PARKER, J. : Cold resistance in woody plants, Bot. Rev., 29(2), 123～185, (1963)
- 27) 佐藤敬二：造林の科学と経済，熊本営林局造林情報，13(5)～14(4), (1968～1969)
- 28) 佐藤大七郎：スギ・ヒノキ・アカマツのまきつけ苗の耐乾性とくに樹種のあいだのチガイについて，東大演報，51, 1～108, (1956)
- 29) 芝本武夫：スギ・ヒノキ・アカマツの栄養ならびに森林土壌の肥沃度に関する研究，林野庁，47～93, (1952)
- 30) STALFELT, M. G. : Till kännedom om förhållandet mellan solbladens och skuggbladens kollydratsproduktion, Meddel. fran Statens Skogsförsöksanstalt, 18, 221～280, (1921)
- 31) スネデカー・コクラン：統計的方法，原書第6版，岩波書店，pp. 546, (1972)
- 32) 竹下敬司：山地の地形形成とその林業的意義，福岡県林試時報，17, 1～109, (1964)
- 33) 高木哲夫：樹木苗の霧培養試作装置について，日林誌，49(3), 94～98, (1967)
- 34) 高原末基：スギおよびヒノキの枝打ちが幹の生長におよぼす影響，東大演報，46, 1～95, (1954)
- 35) TAKAHARA, S. and KAWANA, A. : The chlorophyll content of leaves in two so-called races of *Cryptomeria japonica* D. DON, Jour. Jap. For. Soc. 37(10), 428～431, (1955)
- 36) 高原末基・川名 明・丹下 勲：受光量と土壤水分の量とがシラカシ苗の耐陰性におよぼす影響，植物学雑誌 68, 212～215, (1955)
- 37) 東京天文台：理科年表，(1966)
- 38) 塘 隆男：わが国主要樹種の栄養および施肥に関する基礎的研究，林試研報，137, 1～158, (1962)
- 39) —————：苗畑施肥と林地肥培，地球出版，26～27, (1971)
- 40) 塚原初男：スギの栄養系ニンジンバに関する造林学的研究，九大演報，37, 1～84, (1964)
- 41) 塚原初男・森田栄一・松永健二郎：スギ精英樹クローンの無機養分要求度について，日林会九支講，20, 20～22, (1966)
- 42) —————：NPK 3要素に対するスギ精英樹クローンの反応性，日林誌，49(8), 340～342, (1967)
- 43) 塚原初男・森田栄一・上中久子：礫耕条件を異にしたスギクローンの光合成と葉内無機成分量，82日林講，198～200, (1971)
- 44) 塚原初男・森田栄一：スギクローン苗の単位光合成と葉内成分量との関係，83日林講，235～237, (1972)
- 45) WILLSTÄTTER, R., und STOLL, A. : Untersuchungen über die Assimilation der Kohlensäure, Jrlus Springer, (1918)
- 46) 和田喜徳・渡辺誠子・黒田昭太郎：タバコ葉の生育にともなう光合成能力とクロロフィル量の消長，Bot. Mag. Tokyo 80, 123～129, (1967)

Influences of N, P, K and Light Supply on Seedling Growth of *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa*

Project Team for Studying Tree
Nutrition in Kyushu Branch

Summary

In order to clarify the influence of N, P, K and light supply on seedling growth of *Cryptomeria japonica* D. DON and *Chamaecyparis obtusa* ENDL. in the Kyushu district, the main effect of light supply and nutrient factors in culture media on the growth and interactive effects were analyzed. Two levels were provided for the indicator of light supply, and the factors of nutrient in culture media were respectively at three levels with N, P_2O_5 , and K_2O . The culture method was that with gravel. The object of this analysis was not only the growth in height, diameter at stem base, total weight, and weight of leaf, branch, stem, root, respectively but also mineral content in leaf (N, P, K, Ca, and Mg), chlorophyll content in leaf, photosynthetic rate per leaf weight, and frost hardiness of primary stem in clone seedlings of *Cryptomeria japonica* and seedlings of *Chamaecyparis obtusa*.

For the design of experiments, three factors of nutrient were allotted in the orthogonal table of L_{27} type, the one-third was used every year and the total experiment was finished in three years. And, the light receiving factor was allotted in the design by split plot (Tables 1, 2).

The formula for this multi-factor experiment was as follows :

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_l + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + \theta x_{ijkl} + e_{ijkl}$$

The experiment of gravel culture was continued with *Cryptomeria japonica* from 1967 up to 1969 and with *Chamaecyparis obtusa* from 1966 up to 1968.

Materials for experiment were the *Cryptomeria japonica* seedlings by cutting from elite clone No. 6 in the Miyazaki district forestry office, and the *Chamaecyparis obtusa* seedlings originated from open crossing seeds in the plus stands.

The apparatus for gravel culture consisted of 18 strips of bed oriented from south to north, and the culture solution of same components was circulated in one pair of beds with *Cryptomeria japonica* seedling for one, and *Chamaecyparis obtusa* seedlings for the other (Fig. 2). Three seedlings for fully shining in south side and three seedlings for shading in north side were planted in each plot. Total number of seedlings amounted to 54 of each species for 9 beds in every year.

For the shading apparatus, the parallel shading plots were operated by hand each 10 days to adapt to the growth of seedlings in which tips of planted seedlings received light at 40° of incidence angle (Fig. 3). Light quantity in this shading plot was about 27% of fully shining plot (Fig. 4). The number of seedling materials was 3 each for fully shining and shading plots. The culture solution for gravel culture contained 27 kinds of solution of standard optimum concentration (level 2), lower concentration, (level 1), and higher concentration (level 3) consisted of three kinds of N, P and K solutions. From combination of solutions, 9 kinds

of gravel culture solution were allotted into each tank by the orthogonal table of L_{27} (Table 2). These culture solutions were renewed once a month.

The meteorological environment surrounding seedlings planted in gravel culture beds in the experimental apparatus was measured with atmospheric conditions in the Kumamoto district during May to October, from 1966 to 1969, with atmospheric conditions at various height in gravel culture bed, and with seedling body temperature between 1966 and 1967.

In respect to the meteorology during the year of experiment compared with the average, the abnormal dry season continued from summer to early autumn in 1967, and it was an abnormal meteorological year.

The daily maximum temperature in gravel culture beds was the highest on gravels, the next over gravels, and in the deeper part of gravels it lowered. The daily minimum temperature was the reverse of the maximum: it was lower in the deeper part and at the position of 30 cm high over gravels it was the lowest.

All daily maximum temperatures in fully shining plots were higher than those in shading plots, and the minimum temperatures were higher in shading plots except in the depth of 20 cm in gravels.

Temperatures in fully shining plots, both daily maximum and minimum, were 1~2°C higher than those in surrounding nursery field (Fig. 12). The daily maximum temperature over gravels in summer season was controlled under 44°C by the circulation of culture solution each one hour.

Favourable treatment to control the rise of summer temperature in gravel culture beds was to lay small pieces of gravel around the main root attached to gravels (Fig. 14). The seedling body temperature at the position of 20 cm high over gravels was always lower than on gravels with *Cryptomeria japonica* in both fully shining and shading plots. And, the stem temperatures in fully shining plots were on the average 1.2°C higher than in shading plots, and the minimum was 0.3°C lower.

For seedlings of *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* cultured in gravels by the above-mentioned apparatus and design, the height growth, diameter, weight, and the part weight were measured and the correlation was analyzed by measurement of values. These values were analyzed by the method with covariance analysis revised by values at the beginning of period.

The effect of light quantity by shading in seedlings of *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* appeared in all qualities. The most effective one in three elements of N, P and K was the N nutrient, and the effect appeared in various qualities except the part weight of new leaves and old leaves in *Cryptomeria japonica* and part weight of roots in both species *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa*. And also, the effect of each year divided into three years was found except the height growth of *Cryptomeria japonica* seedlings in shading plots and total fresh weight of both species seedlings in shading plots. Besides the factors of general effectiveness, the concentration of P affected the height growth of *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* seedlings in fully shining plots, the diameter at stem base in shading plots, the stem weight of *Cryptomeria japonica*, and weight of main root of *Chamaecyparis obtusa* seedlings, and the concentration of K affected the weight of old leaves and roots in *Cryptomeria japonica*. At the same time, the effect of interaction between two element factors such as NP, NK and PK was found in same qualities (Tables 12~22, Figs. 17~43). Especially, the estimated values of quality in seedlings cultivated at the optimum concentra-

tion of $N_2P_2K_2$ level were shown to be proper in the balance of height, diameter, and weight in fully shining and shading plots of *Chamaecyparis obtusa*, but the value with *Cryptomeria japonica* indicated the trend of quality with excessive total fresh weight in proportion to the rate of height growth in fully shining plot and with exaggerated stem growth in shading plots. But, through three estimated qualities in both species, the combination of concentration with 3 elements N, P and K was not always simple.

The difference of mineral content in leaves was brought out by conditions of culture medium component and receiving light.

The content of N in leaves increased linearly in proportion to the rise of N concentration in culture medium for *Cryptomeria japonica*, but the content decreased with lowering of N concentration and also decreased with the rise of P concentration by quadric effect in *Chamaecyparis obtusa* (Figs. 44, 45).

The content of P in leaves was affected not only by the concentration of P but also by N concentration in culture medium for *Cryptomeria japonica*, and the relation was illustrated by the optimum curve in both fully shining and shading plots. Furthermore, the content of P was shown in the relation of remarkable linearity in fully shining plots as its rise or fall was brought out by the difference of N concentration at the higher level of P concentration. In *Chamaecyparis obtusa*, the content of P in leaves increased with the rise of P concentration in medium up to the level 3. And, the N concentration affected also the content of P, but the effect of K concentration did not do so. The content of K in leaves was changed by the K concentration in medium for *Cryptomeria japonica*, but its effect was not distinguished in *Chamaecyparis obtusa*.

The content of Ca in leaves had no relation to the concentration of N, P and K in both species, and the change of amount was slight.

The content of Mg in leaves was affected evidently by the concentration of P in *Cryptomeria japonica*. Furthermore, the content for all media of P concentration indicated the more amount in shading plot than in fully shining plot. Such a relation was not recognized in *Chamaecyparis obtusa*.

As mentioned above, the mineral content in leaves was considerably varied by the conditions of nutrient and receiving light for media. And, the kind of mineral in leaves was different between *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* (Fig. 54).

The content of chlorophyll a and b was shown at the higher level of the condition of low receiving light quantity, and low and optimum concentration with P in both species (Figs. 55, 56). On the other hand, the total chlorophyll content showed the similar trend to the content of a and b, but in *Chamaecyparis obtusa* it tended to grow up with the higher concentration of N (Fig. 57). The ratio of chlorophyll a/b tended to decrease at the lower level of light quantity in *Cryptomeria japonica*, and to increase at the higher level of K concentration (Fig. 58). But, in *Chamaecyparis obtusa*, the difference was brought out only by the difference of receiving light quantity (Table 27).

The water content of plant body was researched in each part of seedlings through 3 years. Average water content in each part was generally higher than in seedlings cultured in soil, but the most evident difference between *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* was found in roots.

The effect of four growth factors with N, P, K concentration and light supply on water content of each part was distinguished in the light supply, P and K concentration to main

roots. On the other hand, the effect of four growth factors in lateral roots was found also in *Chamaecyparis obtusa*, but the effect of light receiving condition seemed to be not so evident as in *Cryptomeria japonica*.

Apparent photosynthetic rate was measured in clone seedlings of *Cryptomeria japonica* in the gravel culture experiment of 1968, one-third of all experiments. Three levels of air temperature and four levels of illumination were adopted as the condition for measurement, and total 18 cut branches were selected with each one branch at gravel culture conditions.

The result showed that the apparent photosynthesis in shading plot was higher than those in fully shining plot. In the effect of each factor on this apparent photosynthetic rate, the relation to concentration of N was shown by the optimum curve in both plots, especially distinguished in shading plot. The relation to concentration of K was shown by the concave curve in shading plot. The photosynthesis accompanied with change of temperature in assimilation chamber decreased linearly by the rise of temperature in the chamber, but the ratio of decrease tended to attain to a little higher level by the rise of temperature from 27°C to 37°C especially in fully shining plot (Fig. 68). The photosynthesis accompanied with the change of illumination in chamber rose evidently, and it was estimated that the maximum was present at the illumination higher than 26 K lux. But, the difference between shading and fully shining plots was nearly constant despite the change of illumination (Fig. 69).

In respect to the interactive effect between two factors, the concentration of P_2O_5 at 5 ppm indicated the photosynthetic rate at 27° as that at 17°C, but the varier of K concentration brought out a very different trend at 2 K lux from that at other levels (Figs. 70, 71).

The variates, which seemed to be effective from the analysis of multi-correlation between the photosynthetic rate and 11 variates such as the above-mentioned leaf component per cent (N, P, Ca and Mg), water content, chlorophyll content, light quantity in gravel culture and others, were five ones of light quantity (+), concentration of nitrogen (+) and magnesium (-) during the culture, illumination (+), and temperature (-) in the experiment (Table 30).

With respect to the varier with frost hardiness by the different gravel culture condition for growth, the freezing experiment was executed at -15°C, -20°C and -25°C. For 18 kinds of *Cryptomeria japonica* seedlings with all treatments of 1969, three cut branches were used each at 3 levels of frozen temperature.

In as much as each tissue showed the different frost hardiness, after the samples were separated into phloem, cambium, and wood, the presence of brown change was observed, and it was shown by the survival per cent to the number of treated samples.

The reaction of *Cryptomeria japonica* seedlings by the difference of frozen treatment temperature showed a distinct trend. Namely, any change in each tissue did not appear at -15°C, but all samples changed brown and dried up to death, and at -20°C of middle level they showed various reactions (Table 31).

Accordingly, what kind of characteristics the different gravel culture condition brought out was examined on the base of result at this temperature -20°C.

First, the difference in survival of each tissue by light quantity showed about 15% higher degree in phloem and about 20% higher degree in cambium in fully shining plot than in shading plot, but it did not attain to the significant level (Fig. 75).

The difference by N concentration was evident in phloem, and also the varier of N concentration by the difference of light quantity was evident (Fig. 76).

And, the difference by K concentration showed the evident varier in cambium (Fig. 77).