

ISSN-0289-4033

大分林試研報. 第 11 号

ヒノキのとっくり病に関する研究

諫 本 信 義

STUDIES ON THE STEM-HYPERTROPHY
(TOKKURI-DISEASE) OF HINOKI

(*Chamaecyparis obtusa*)

By Nobuyoshi ISAMOTO

Bull. Oita Pref. For. Exp. Sta., No. 11

大分県林業試験場

大分県日田市有田

平成元年3月

OITA PREFECTURAL
FOREST EXPERIMENT STATION

Arita, Hita, Oita, Japan

March, 1989

ヒノキのとっくり病に関する研究

Studies on the Stem-hypertrophy (Tokkuri-disease)

of Hinoki (*Camaecyparis obtusa*)

Nobuyoshi ISAMOTO

諫 本 信 義

1989

序 文

本県の林業、木材産業はスギを主体にして展開されており、人工林面積 215千haのうちスギ152千haに対しヒノキは44千haの20%にすぎない。

しかし、ヒノキの造林面積は昭和40年代から増加し、その後もスギを上廻る実績を示している。これはヒノキの材価がスギに比べ約2倍と高く安定していること、或は材質の面から外材との競争に強いことなどによると思われる。また、最近では県北部をはじめとし一部の地域でヒノキ銘柄材の産地化の動きもでてきている。

このような状況のもとで、ヒノキに関する研究として本報告は研究報告第10号（ヒノキ林の生長と形状、1983年）に統いて、特にとっくり病に焦点をしぼり考察したものである。

ヒノキのとっくり病は一般的に見られる現象でありながら、他の病害虫のように伝染拡散することができないため見過ごされ易いが、その発生が元玉部位に限られ、利用に際しては重大な損失につながるもので、対応策が望まれているところである。

本報告は県下の96林分、7ヶ所の試験地、4ヶ所の次代検定林を調査対象として遺伝、立地、施業、組織構造の面から総合的に解析し、とっくり病の被害形態と発生条件及び抑制方法についてとりまとめたものである。

今回は、とっくり病の真因解明までは至らなかったものの、予防・抑制の条件などについて一応の知見が得られた。この報告が健全なヒノキ林の造成、さらには優良材生産につながっていくことを期待するものである。

おわりにこの調査研究にあたり指導、協力いただいた各位に対し深く感謝の意を表するものである。

平成元年2月

大分県林業試験場長 並 松 達 也

ま　え　が　き

当時林業試験場九州支場土じょう室長であった堀田 庸氏（現森林総合研究所土壌物理研究室長）の肝煎りで発足した九州地区林業試験研究協議会立地分科会は、ヒノキを共通の話題とすることで意見が一致し、その最初の現地検討会が長崎県の担当のもとで、1983年7月に実施された。その際、我々は、佐賀県有田町および長崎県波佐見町において、狹樹冠をもつヒノキの造林地を見る機会に恵まれた。このヒノキは、従来の我々のもつヒノキの概念を一変させるほどの独特的の樹形を有し、その印象はきわめて強烈なものがあった。遠くから眺めるとそれはさながら若いさし木スギの造林地のような端正さと齊一性がありよく刈りこまれた庭木を見るようでもあった。單一クローンのように見えるこれらのヒノキも林内に入り、一本一本を仔細に観察すると、それぞれ明らかに異なっているのが認められ、まぎれもない実生集団であることが確かめられた。この当時、筆者は、すでにとっくり病の試験研究に取り組み、数ヶ年が経過していた状態にあったが、研究は遅々として進まず、調査を重ねれば重ねるほど疑問や矛盾が次々と生じ、その解決の困難さにひと知れず難渋を味わっていた時であった。しかしこのヒノキ林を見た時、私はそれまで自分の頭を悩まし続けてきたとっくり病についての幾多の疑問や矛盾が音をたてて氷解していくのを憶えていた。何故このようなスリムな樹冠形になったかの問題とは別に、私はこのヒノキを見て、ヒノキというものは、環境や施業の違いによって、その形態や形状が信じられない程に変化する性質をもつものであるということを強い認識をもって確認したことであった。とすればとっくり病も、このヒノキのもつ変化の巾の一方の極端のあらわれとして位置づけられる。この変化を惹起させるものは何か、この何かが単一的に、あるいは複合的に作用することによって、とっくり病の発生に関して、様々の林分構成となってあらわれているに違いない。それぞれの林分から逆に変化要因を抽出し、それを組み直すことによってとっくり病の解明は可能となるのではないかという考えが頭の中をはげしく駆けめぐっていた。

このとっくり病の研究は、1978年群盲象をなでるが如き、はなはだ手ごたえのない林分調査より開始された訳であるが、正確には、その前年、とっくり病の親木を用いてのさし木苗の養成に端を発する。当時親木がとっくり病であれば、そのさし木苗もまたとっくり病となるだろうとの予測のもとに次代検定を実施し、遺伝的な関与を強く信じていたが、結果的には、遺伝というよりも、適地のあやまり、粗放施業といった人為的要因によるところが大きいという結論が導き出された。また次代検定を通じて、さし木による被害回避の可能性が検証されたことは、この研究より派生した思いがけない大きな収穫であった。

しかし何故さし木ではとっくり病が発生しにくいのかという新たな課題の提起も同時に引き起こした結果となった。藪をついたら蛇ならぬ思いがけぬ獲物が見えてきたが、筆者の役目は、藪をつくところまでとして、ひとまず退散することにする。

研究開始より早や十余年の歳月が流れたことになる。はるけくも来つる旅かなと思いつつ来し方の年月の重みをはかる時、それはこの研究に寄せられた多くの人たちのご尽力の重みであると思い至る。これらの方々のご厚情に感謝しつつ筆を擱くこととしたい。

平成元年初春

筆　者

目 次	
第1章 研究の目的と方法	1
第1節 研究の目的	1
第2節 研究史	2
第3節 研究方法	6
第2章 とっくり病と判別方法	8
第1節 目的	8
第2節 材料および方法	8
第3節 調査結果	8
第4節 考察	12
第3章 とっくり病の成長形態および組織的特性	13
第1節 とっくり病木の成長形態	13
第2節 とっくり病木の組織的特性	17
第3節 考察	28
第4章 とっくり病と遺伝的特性	30
第1節 目的	30
第2節 検定林および調査方法	30
第3節 調査結果	31
第4節 考察	37
第5章 とっくり病と発生条件	40
第1節 目的	40
第2節 調査および方法	40
第3節 調査結果	42
第4節 考察	52
第6章 とっくり病と施業条件	55
第1節 目的	55
第2節 実験I（玖珠試験地）	55
第3節 実験II（安心院および日田試験地）	60
第4節 実験III（別府試験地）	69
第5節 実験IV（天瀬試験地）	75
第6節 考察	81
第7章 とっくり病とさし木苗造林	84
第1節 目的	84
第2節 試験I（さし木造林木の形質）	84
第3節 試験II（とっくり病の次代検定）	87
第4節 考察	90
第8章 総合考察	92
 摘要	96
謝辞	103
引用文献	104
Summary	108
付表	115
付図	121
写真	122

第1章 研究の目的と方法

第1節 研究の目的

ヒノキのとっくり病は、九州においては、中部九州の阿蘇、九重の両山群を中心とするやゝ高冷湿润な黒色火山灰土地帯に多発の傾向があり、その被害形態も典型的なものが多い。このとっくり病は、被害の発生部位が根元であるため、最も材積の多い元玉が使用できず、林業者にとって深刻な問題となっている。本病がヒノキの病害の一つとして、はじめて学問的な場で公けにされたのは、1926年北島によってであるから、今日までに60年余の歳月が経過したことになる。この間、その発生原因に関して、立地、施業、組織など多方面より追究がなされてきたが、依然として、その真因は不明のまま現在に至っており、本病のもつ発生機構の複雑さとその解明の困難さがあらためて認識される。

とっくり病は、目下、ヒノキの一種の生理障害とする見方が有力となっているが、一步進めて、生理障害とは一体何かという本質的な問い合わせとなると話はまた漠然たるものとなり明解な答は出せそうもないが、簡単にいえば、ヒノキのもつ特有の性質のあらわれということになろう。わかりやすくいえば、ヒノキは、一定の条件が与えられれば、生理的に根元部が異常に肥大するもという性質を持つものであるということである。

そしてこの生理障害は、スギの適地において発生しやすいということから、ヒノキの植栽にあたっては、まず第一に湿润肥沃なスギの適地を避けること、いうなれば、適地適木の原則をつらぬくことが肝要とされ、これがその予防法として、ごく自然に林業関係者の意識の中に浸透し、たまたまとっくり病が話題となれば、それは適地を誤ったということで軽く片付けられているのが実情である。

- 何故スギの適地にヒノキを植えればとっくり病が発生するのか？
- スギの適地とは具体的にはどういうことなのか？
- 同じ針葉樹でもスギやマツには、このような現象がみられないのは何故か？
- 手入れ不良林で多発し、枝打ちをすることで抑制されるのは何故か？
- ナンゴウヒやさし木ヒノキではその発生の少ないのは何故か？

等々、ヒノキのとっくり病に関しての疑問は多々あるにかかわらず、本質的な追求はなされないまま現在に及んでいるというのが実情であろう。

本報告は、単にヒノキの生理障害として、あるいは適地の選定あやまりとして処理され、本質的な追究が見失なわれているとっくり病について、いま一度、原点に立ち帰り、その実態や形質的な特性、発現の条件、仕組みなどを総合的に検討したものである。

とっくり病の真因の解明は、その根底をなす重要な課題となっているが、これは細胞の分化にともなう生化学的な深い専門領域の知識が必要と思われるところより、ここでは、触れることができなかつた。しかしながら真因の捕捉は、達せられずとも、発生条件やその仕組みの解明により、実務面での支障はとくに生じないものと考えられる。この形状、形質ともに不良木の典型とされるとっくり病が、ヒノキの生理的な特性にもとづくものとすれば、その病状の有無、程度の違いは、遺伝的な関与はあるにせよ、大部分は立地や施業の違いによって生起するヒノキの樹種特性の変化の巾と考えられる。このことよりヒノキのとっくり病の発生量や被害程度に関する要因解明は、ヒノキのもつ樹種特性の解明にほかならず、うら返せば、良質のヒノキの生産要因を探る試みでもある。

ヒノキのとっくり病の発生条件を具体的に追究することは、とっくり病の抑制条件をさぐることを通じており、この解明によって、ヒノキの良質材生産の途がおのずから開かれることを意味する。

このような観点から、本報告では、ヒノキのとっくり病の発生に関して、成長、形質、組織構造、遺伝的特性、発生条件およびさし木による抑制可能性まで含めて、総合的な検討を加え、とっくり病の実態を明らかにすると共に、この病気を介在としてヒノキの樹種特性を探り、その特性を実務面において有効に活用することにより、ヒノキ造林とくに優良材生産のための指針となすことを目的としたものである。

第 2 節 研究史

ヒノキのとっくり病が林業において、学術的な課題として取りあげられたのは、北島（1926）による福島県下での被害報告に端を発するが、その最初の発見は1918年熊本県で、これを白澤保美林学博士が“徳利病”と命名したとされている（北島、1933）。

北島は、当初とっくり病は病菌によるものとし、その病菌はサルノコシカケ菌の一種らしいと推論していたが、後に（1933）これを病菌未定とした。

花田（1927）は、実態観察より枝の着生状態の均衡程度および枝の有無が樹幹の肥大に関連しているのではないかと述べ病菌による被害説を否定している。1929年に創設された鹿児島県林業試験場では、創設時より積極的にとっくり病の実態調査を実施し、141林分という当時としては画期的ともいえる事例を収集し、これより帰納的にとっくり病の発生条件と施業管理による予防法を導き出している（1936）。これによると発生条件として、立地的には、“スギの適地とされる湿潤肥沃地”で、施業的には、“疎林に多く密林で少ない”ことを見出し、従って、その予防法として、“土地の選定に留意し、疎植を避け、丁寧なる枝打ちを実行し、強度の間伐は避け、弱度の繰り返し”が効果的であるとし、とっくり病は立地および施業の両面がからんだ被害であり、その予防もこれら両面からの対策が必要であることを説いている。また幼齢時における樹幹への損傷もまたとっくり病誘発の原因になり易いことや、林縁部における被害の著しいことなど、ヒノキの根元肥大に関しての被害特性をよく把えている。この鹿児島県林試による報告は、成因不明の現今にあっても、その発生条件と予防に関して、正鵠を得ており、高く評価されるものとなっている。ほど同時に小林（1937）は、その発生条件を立地面より追求し、地形的に水分条件に恵まれたところに多発傾向のあることを報告している。北島の報告にはじまつたとっくり病に関する研究は、この小林の報告で一段落し、以後空白の時期が続くことより、この昭和初期より昭和15年前後における期間がヒノキのとっくり病に関する研究の黎明期といえるようである。

終戦後7年目にあたる1952年に坂口が「実用ヒノキ育林学」を著わし、とっくり病の発生条件として、“BE型土壤や湿潤、肥沃地に多い”“林縁木、孤立木と疎植造林地に多い”ことを指摘し、予防法として“徹底的な枝打ちの励行”、“土地の選定”“密植”をあげ、また“母樹に留意し、なるべく京都系のものを採種すること”とはじめて遺伝的な面からの予防の必要性を説いていることは注目される。

この坂口の著作を唯一のものとして、1938年から1956年にかけての約20年間は、ヒノキのとっくり病に関する報告は、ほとんど行われておらず長い空白時代が続いた。この空白時代に終止符を打ったのは、1957年、徳重による組織構造面からの解剖観察であった。こ

これは、とっくり病について、微視的な面より組織観察を行ったもので、とっくり病の異常肥大は、細胞分裂が異常に促進され、その結果として仮道管ならびに髓線（放射）柔細胞が方向性および形態を乱して増殖し、とくに髓線柔細胞の乱れ、多列化が著しいことを報告した。さらに被害部は、秋材巾が狭く、春材形成の期間の長いこと、髓線柔細胞中に樹脂様物質が溜って“黒褐色の水紋”をつくること等を観察した。また、仮道管の大きさは、正常材のそれと大差なくイネの馬鹿苗病におけるような病菌による細胞の巨大化ではなく、他の何らかの原因による細胞の異常分裂によるものとしているが、真因の解明には至っていない。

この徳重の報告につづいて、1959年、遠藤らによって、土壤面からの解析報告が出された。

これは戦後大政（1951）によって体系づけられた森林土壤の形態分類をもとに林野土壤調査指針（1955）がつくられ、これを応用して、立地と関係の深いとっくり病について土壤の理化学的機能より追求したもので、とっくり病と立地条件を土壤を介在させて論究した最初の具体的な解析であった。遠藤らは、同様の調査を更に引き続き報告している（1960, 1962）。これらの調査結果より、とっくり病は土壤の理学性、とくに含水率が高く埴質で透水性の悪いツマリ型の土壤に発生しやすいと述べている。このほか遠藤らは、地形的に傾斜のゆるやかな山脚の崩積土に多発しやすいこと、疎林で多いことなどもあわせて報告し、既往の成果とはゞ同様の結果を得ている。

とっくり病を直接対象としたものではないが、とっくり病と深い関連を有する重要な報告がこれら研究に少し先立って行われている。佐藤ら（1956）は、熊本県阿蘇地方に、一種のヒノキのさし木栄養系のあることを見出し、これをナンゴウヒと命名した。このナンゴウヒは通直性が高く、枝の分岐角が大きく晩生型で成長が持続するなどいくつかの特性を有することが明らかとされたが、そのうちでも注目されたのは、とっくり病の発生が少ないことであった。このことは宮島（1962）によって更に明確な事実として立証されたが宮島は、同報告において、ナンゴウヒ以外のさし木造林地でもとっくり病の発生が少ないという事例をあわせて報告し、ヒノキのさし木造林は、とっくり病の防除手段として効果が大きいのではないかと結論している。またこの報告においてとっくり病の判別方法として膨大係数を用いる簡易な定量的判別法を提案した。

1960年前後を中心として報告されたこの三つの業績は、とっくり病の研究推進にとって重要な示唆と方向性を含んでいたことより、これらの研究を一つの契機として、とっくり病の研究は、その後盛んな発展を示し多岐に亘って多くの報告がなされるようになった。

ヒノキのとっくり病における被害部の年輪構成において、春材比率の高いことは、徳重（1957）が既に指摘したことであるが、高橋（1965）は、ダイヤルゲージを用いて肥大成長の年変動を追跡し、異常肥大の生じているものでは、春材形成が9月末まで持続することを観察し、徳重の報告を裏付けている。このヒノキのとっくり病の成長特性に関しては、物質生産の面より筆者ら（1978 b）や橋詰ら（1988）の報告があり、幹脚下部に対する幹材積の垂直配分が健全木に比して著しく大きいことを指摘し、異常肥大の生産構造を物質生産の面より明らかにした。また従来、ヒノキのとっくり病における異常肥大の開始は20年生前後とされていたが（徳重, 1961）（新井ら, 1972）、が樹幹解析による結果10年生前にすでに開始されることが明らかにされた（諫本ら, 1978 a, 1978 b）（橋詰ら, 1988）。

とっくり病は、正常木と被害木との判別が明確でなく、林分内では、その肥大の程度が

連続した分布型をもって現出していることが多く、その被害の程度および判別には、困惑する場合が多い。このため、その定量的な判別方法として宮島（1962）が膨大係数を、また赤井ら（1967）が断面積比、材積比による方法を提案している。このうち膨大係数による方法は、胸高部位と地際部の直徑測定のみで算出しうることから簡易で至便な方法としてよく利用されているが、現実的には、実情にあわないところが生じたため、筆者はこれを改良し、膨大比数による判別法を提案した（1985）。また橋詰ら（1986, 1988）は、ヒノキの根元肥大は、とっくり病によるものだけではなく、雪圧によるものもあることから、多雪地帯では、幹脚の吟味の必要性を説いている。ある時点における形状がとっくり病であるかどうかは、前述の膨大比数によって判定しうるか、年々の成長量の異常性判別もとっくり病の研究にとっては必要不可欠の事項である。筆者はこの地際部における肥大成長の異常性判定のため肥大指標による方法を提案した（1983 b）。後にこれは橋詰ら（1988）によって現状に合う形に補正されている。

ヒノキのとっくり病は、物質生産面で樹幹下部に異常配分のなされることは、さきに述べたが、赤井ら（1967）は、とっくり病木について相対成長関係を調べ、とっくり病木では、幹の大きさに対して、葉量が過剰であることを指摘し、枝打ちを行い葉量を減じることは、異常肥大の抑制に効果的なことを立証した。この枝打ちによるとっくり病の予防および抑制効果については、古くより指摘されてきたことであるが、実証的にその効果を明らかにしたものは赤井らのほかに筆者（1983 b, 1987 a）の報告があるのみである。

筆者らは、林分の局所密度と枝打ちを組みあわせた実験計画から、異常肥大の抑制は、強度の枝打ちとともに、林分の閉鎖による効果の高いことを観察し、弱度の枝打ちでは、その効果の低いことを見出した。このように異常肥大の抑制には、枝打ちという施業と、林分の閉鎖の進行にともなう自然的抑制の二者のあることが明らかになったが、これと共に樹齢の高齢化にともなう生理的な抑制のあることも橋詰ら（1988）は指摘している。

とっくり病においては、異常肥大の発生部位が、最も材積の多い一番玉で生じるため、経済的な損失が大きい。原口（1975）は、採材歩止り、材積、評価額の三点よりとっくり病木と健全木を比較し、とっくり病木は、歩止りで7%劣るが材積では10%程高い。しかしながら評価額では34%低くなることを算定している。

一方立地および栄養生理学的な面からの検討も行われた。宮島ら（1973）は、阿蘇周辺のヒノキ林について、葉内成分および土壤の理学性を調査し、とっくり病被害林では、葉内成分のうち P_2O_5 の含有量、N/P 比の大きいことを指摘するも、林分内では、被害木と健全木間に差異がなかったとし、また土壤的には、被害林で保水力の相対的に大きいことを見出すも、いずれも決定的な解明には至っていない。中島（1975）も同地方の調査より被害林においては、土壤中の N 含量およびリン酸吸収係数の高いことを傾向として認めており、林分の疎密による影響も強いとし、土壤面のみからの解明の困難性を示唆している。森田（1978）は、岡山県において、被害林は、下層土が緻密で、微量な二価鉄の存在確認より、時期的に嫌気状態にあるのではないかと類推し、被害林では、過剰水分の停滞の可能性を示唆している。このように土壤を中心とした解析より、とっくり病の成因についていくつかの研究がつみ重ねられてきたが、この面からの進歩状況は、意外とはかばかしくないのが実情といえるようである。

立地、施業とならんで、とっくり病の解明によって、遺伝的な関与についての研究は、不可欠なものとされるが、この面での研究もまた意外といつていいほど進んでいない分野となっている。ヒノキのとっくり病について、遺伝的なものとして、筆者の行った遺伝力の推定(1985a)がある。これは、次代検定林10年目の調査結果にもとづく算出値で、0.207という遺伝力としては低い値が算出された。ヒノキの肥大成長に関しての遺伝力には胸高直徑のそれが0.5であったとする酒井ら(1969)や、胸高周囲について調べた明石ら(1967)の0.66という報告があるが、これにくらべるととっくり病の遺伝力はかなり低いといえるようである。永江(1987)は、15年生の次代検定林の調査より、とっくり病は、樹高成長の大きい家系で多発することのほかに、家系によって差異のあることを報告し、育種によるとっくり病の被害回避の可能性を示唆している。

さて徳重(1957)の研究に端を発したとっくり病の組織構造的な面からの研究は、その後しばらくの空白期が続くが、1973年新井らは、これを材質面より検討し、とっくり病患部は、正常材に比して、気乾比重で95%、曲げ強さ75%、曲げヤング係数は60%と、その材質の劣ることを報告した。また新井ら(1975)は、とっくり病患部における仮道管長が短いこと、そしてそれは、年輪巾と反比例の関係にあることを指摘した。

高島ら(1975)は、化学的、物理的な面より検討を加え、羅病部は、リグニン含量がやや多く、セルロースの少ないと、結晶化度の劣ることなど報告するとともに、黒褐色の斑紋の存在をとっくりの標徴とした徳重の指摘は、適当ではなく、とっくり病の真の標徴は異常な肥大そのものに求められるとしている。

筆者(1986a, 1987b)は、とっくり病材の組織構造について、単木的あるいは数本をこみにして、個体内の変異や特性を主成分分析等を用いて、定量的な把握を試み、この結果、とっくり病患部は、正常木の組織とは、明らかに異なり、それはむしろ根部や髓に近いものであると見出した。

大迫(1986)は、被害部における仮道管の詳細は観察結果にもとづき、仮道管の先端部どうしが上下で押しあい、押し遣されたような形状のみられることから、異常肥大部では、仮道管の発生と成長の過程で、L方向の応力の発生が生じているのではないかと推定し、とっくり病の生成過程に興味を引き起こしている。また放射組織の構成率の高さ、複列化、細胞高の高さ等も定量化し、その異常性を組織面より明らかにしている。また大迫(1986)は、物理的、力学的な面よりも検討を加え、羅病部では、収縮率が大きく、広年輪巾の部分ほどL方向の収縮率が著しく、このことが結果的に仮道管の湾曲や皺曲に密接に関連しているとし、とっくり病材部の異常性を摘出している。

ところできし木品種であるナンゴウヒについては、とっくり病が少ないことが注目され、宮島(1962)は、さらにナンゴウヒ以外のさし木造林でもとっくり病の少ないと立証したことは前にも述べたとおりであるが、その後、これを例証する報告がいくつか出され(諫本, 1983a)、(大山, 1984b, 大山ら, 1985)とっくり病の回避策としてさし木による造林の有効性が注目されるようになってきている。しかしながらさし木造林地でもその発生がみられたという報告(高木, 1988)もあり、更に詳しい調査解析が必要とされている。いずれにせよ、さし木という増殖過程を辿ることで、とっくり病が軽減されるという傾向は一般的に認められ、このさし木によるとっくり病の隠蔽化とその真因解明は今後に残された重要な課題となっている。

第 3 節 研究方法

ヒノキのとっくり病は、なんらかの原因によって、地際部の細胞分裂が異常に促進されこれが年々繰り返され累積することによって、形態的に、いわゆる根太りの症状となって顕在化してくるものである。とっくり病は、このように、細胞の異常分裂に起因する現象であるから、当然のことながら、分裂の程度や持続期間の長短によって、その肥大の程度が異なるてくる。それゆえとっくり病は、その程度のきわめて著しいものから、きわめて軽微なものまで含まれることになる。すなわちとっくり病は、量的形質であり、林分内では、一般に正規分布の型をとって連続しており、とっくり病木と正常木とが明瞭に独立して分布することはない。このため、とっくり病の発生林分においてはとっくり病木に関する判別方法が問題となる。現在のところ、厳密な意味で、とっくり病を定義づけるきめ手はないが組織的に細胞の分裂の異常性の発現をもって、とっくり病の標徴とすることも考えられるが、分裂の程度にも強弱があり、一律には論じられない点を残している。また、それを判別徴にしたとしても、そのためには、破壊的な方法によらねばならず、立木段階で、非破壊的な判別を客観的に行うためには、形状の定量的な計測による判別方法の確立が必要となる。このようなことから第2章ではまず、とっくり病の判別について検討を加えてみた。とっくり病の判別は、ある時点における根元肥大形状がとっくり病であるか否かの判別と、年々の肥大成長が異常であるかの判別の二つがある。前者は静的な面での判別、後者は動的な面での判別と考えられ、前者の判別には、膨大比数による方法を、後者には肥大指數による判別法を提案した。

第3章においては、とっくり病の病徴について、成長、経年変化、同化産物の垂直配分の三点から検討を加えるとともに、6本の供試木より得られた112枚の接線面プレパラートを用い、年輪巾との関連において、仮道管長、放射組織構成率、柔細胞数など、とっくり病の組織構成についてその定量化をはかるとともに、主成分分析によりとっくり病の形態的、組織的特異性について追究した。

とっくり病の発生は、立地、施業の影響の強いことが知られているが、その前段として遺伝的な面での関与についての検討は不可欠なものとされうる。第4章では、とっくり病の遺伝的特性について、ヒノキ精英樹次代検定林の調査結果より検討を加えてみた。大分県豊後高田市に設定されている九大14号次代検定林10年生時の調査結果をもとに、7つの家系を対象に、膨大比数を用いて、「家系」および「ブロック」を要因とする分散分析を行いヒノキの根元肥大に対する要因効果を検討するとともに、狭義の遺伝率を求めた。

またこの九大14号を含む4つの検定林（九大15号：大分県宇佐市、九大17号：大分郡庄内町、九大18号：大分県臼杵市）を対象に、在来種を含む共通6家系について、10年次の調査結果にもとづき、膨大比数を用い、「検定林」、「家系」を要因とする分散分析を行うとともに明石（1987）の手法に従って、狭義の遺伝率を求めた。

第5章においては、とっくり病の発生条件に関して、立地および施業の影響を把握するため、とっくり病の発生率を目的変数として、多変量解析（数量化・I類）を用いて検討した。とっくり病の発生に関する要因は、立地環境要因として、「土壤型」、「地形」、「年降水量」、「土壤ちみつ度」の4要因、施業要因として、「手入れ」、「こみ指数」の2要因、これに「林齢」、「地位指數」の2要因を加え、計8要因とし、これを29のカテゴリーに配列区分し解析を行った。調査林分數は96林分である。

数量化・I類による解析結果を歪度を用いて、再に検討を加えてみた。

また、ヒノキのとっくり病は、解析結果より、土壤水分の関与の強いことがうかがわれたため、96の調査林分より、とっくり病の発生程度別（激・中・微）に10林分ずつ、計30林分を選び出し、採土同筒を用いて得られた土壤の諸理学的機能について、「被害」および「深さ」（地表下5cmと30cm）を要因とする分散分析を行いとっくり病被害林の土壤機能についてその特性の把握を試みた。

第6章では、とっくり病の発生に関して、諸種の段階や条件下にある5つの試験地に対し、密度、枝打ち、施肥などの施業を導入し、各施業要因やその組み合わせが、ヒノキの根元肥大にどのような影響を与えるかについて検討した。根元肥大の大きさは、肥大指数を用い、分散分析によって解析した。また肥大指数75をこえる場合をとっくり病の発現とみなし、この発現率についても分散分析により要因効果を求めた。実験Ⅰは、とっくり病がほぼ終息状態にある林分に対する疎開、枝打ちの効果をみたものであり、実験Ⅱは、黒色土とやゝ乾性の褐色森林土という土壤の違いに、密度、枝打ちの施業条件を組み合わせたもので土壤の違いによる施業効果の変化を把握するための実験である。

実験Ⅲは、とっくり病の盛んに発現している林分について、単木単位に68本の供試木に対し、生育状況、枝打ちの根元肥大に対する施業効果を6ヶ年にわたって追跡したものであり、施業効果のほかに、林分の経年変化とともに生じる根元肥大への影響もあわせて検討した。

実験Ⅳは、5～7年生という若い林齢時における施業効果をみたもので、施業要因として、「位置」、「密度」、「枝打ち」および「施肥」の4要因を取りあげ検討した。

第7章においては、とっくり病の回避策について、さし木苗による方法の有効性を検討したもので、日田郡天瀬町に設定してある当場実験林における二つの試験地の事例よりこれを検証した。一つは、ナンゴウヒ、さし木および実生苗の16年生植栽試験地を用いてさし木苗の樹幹形状形質（根曲り、幹曲り、根元肥大、真円性）をナンゴウヒ、実生苗と比較検定したものであり、一つは、設定後7年目のとっくり病次代検定林について、「症状」（とっくり病、正常木）、「林分」（A、B、Cの三林分）および「密度」（高密、低密）の三要因の根元肥大に対する効果について検定した。

この研究において、種々の統計解析を行ったが、これらは次の統計書によった。

- ①George W. Snedecor (畠村又好又快・奥野忠一・津村善郎共訳) : 統計的方法、478pp., 岩波書店、1967.
- ②田中 豊ほか: パソコン統計解析ハンドブック、II、多変量解析編、403pp., 共立出版 1984.
- ③—— ほか: —————、III、実験計画編、488pp., 共立出版、1986.
- ④鷲尾泰俊: 実験の計画と解析、253pp., 岩波書店、1988.

第 2 章 とっくり病と判別方法

第 1 節 目 的

ヒノキのとっくり病における幹脚部の肥大量の程度の定量的な表現法として、膨大係数（宮島、1962）や断面積比（赤井ら、1967）等があげられる。このうち膨大係数は計測や算出が容易であるため、とっくり病木の被害度の指標としてよく用いられる。

筆者は、とっくり病の多発する林分や皆無の林分など、種々のヒノキ林において、単木ごとに外観形態よりとっくり病、正常および中間型の三型に区分し、これと膨大係数との対応について検討した。この結果、規準部位である胸高直径の増加にともない、膨大係数は相対的に減少することが認められ、膨大係数の値30をとっくり病の判別規準として固定した場合、胸高直径の小さいところでは過小すぎ、逆に大きいところでは過大すぎることが認められたため、新しい判別法として膨大比数という表現法を提案した（諫本, 1985 b）。

この膨大比数は、ある時点におけるいわば静的な量的判別値であるが、年々の肥大成長という動的な面での判別値として、肥大指数による表現法を併せて提案した(諫本, 1983)。

第 2 節 材料および方法

1980～1984年の5ヶ年にわたって大分県下のヒノキ林について96ヶ所の調査を実施したが、このうち32林分783本については、単木ごとにとっくり病、正常木およびその中間型に外観観察により区分を行った。またこれらについて胸高直径（D_{1.2}）および地際直径（D_{0.2}）を輪尺にてこの方向より計測し、膨大係数を算出した。膨大係数の算出は次式による。

$$\text{膨大係数} = \frac{D_{0.2} - D_{1.2}}{D_{1.2}} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

上式において $D_{0.2} - D_{1.2}$ の値を肥大較差と呼ぶこととする。

第 3 節

1. 外觀形態におけるとくり痕の判別

正常部位（胸高直徑）の大きさにともなうと
くくり、正常および中間型の各型における肥
大較差の推移は図-1
のとおりである。

肥大較差は、当然のことながら、とっくり型で最も大きく、正常型で最も小さい。そしてこの値は、胸高直徑

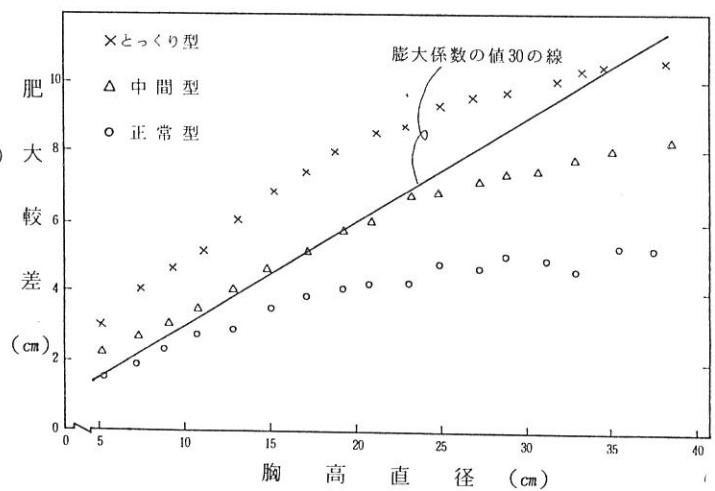


図-1. 胸高直徑と各タイプの肥太較差

の増加とともに大きくなる。しかしながら平均肥大較差の増加は直線的ではなく、胸高直径の増加に応じて、相対的に減少し、いわゆる成長曲線に似た傾向線をもって推移している。

平均肥大較差の変化は、とっくり型で大きく、正常型で小さい。このことから各型間の肥大較差は胸高直径の増加とともに大きくなる。ちなみにとっくり型と正常型の平均肥大較差は胸高直径5cmでは1.6cm、20cm前後では4.4cm、35cmになると5.4cmと増大している。

外観的形態で区分されたとっくり型、中間型、正常型の三型は、計測的にみれば、このように三者三様の形で分離され、肉眼観察と定量的表現がよく対応していることが認められる。

ただこの分類は、平均値を用いた場合の把握区分で、現実の林分では、正常型から中間型、とっくり型のものが連続した形で分布している場合が多い。

(1) とっくり病の判別基準

宮島(1962)は、膨大比数30以上をとっくり病被害木とし、それ以下を正常木と区分している。この膨大係数30の値は、図-1における中間型の肥大較差推移に相当すると考えられるが、前述のように肥大較差は胸高直径の増加とともに相対的な減少を示すことより、膨大係数30を基準値とした場合、図のように胸高直径15~25cm位の間ではよく対応するものの、それ以下は、過少に、25cm程度以上では過大な値として表現されることが認められる。

すなわち膨大係数の値30をとっくり病と正常木の判別規準値として用いる場合、胸高部位の大きさが20cm内外の場合は、よく適合するが、胸高直径が小さいところでは、正常木に近いものまで包含する可能性が高く、逆に胸高直径が大きくなれば、とっくり病被害木が正常木として判定される可能性が生じる。

いいかえれば、胸高直径の小さいヒノキでは、とっくり病の判別基準値としての膨大係数は30よりも大きくとる必要があり、逆に胸高直径が大きくなれば30よりも小さな値を判別基準とする必要がある。

図-2は外観形態区分によるとっくり、中間および正常の三タイプにおける平均膨大係数の推移を示したものである。

胸高直径の増加にともない正常型はほぼ直線状に漸減するが、中間型およびとっくり型は指數曲線的な傾向で減少している。

とっくり病の判別基

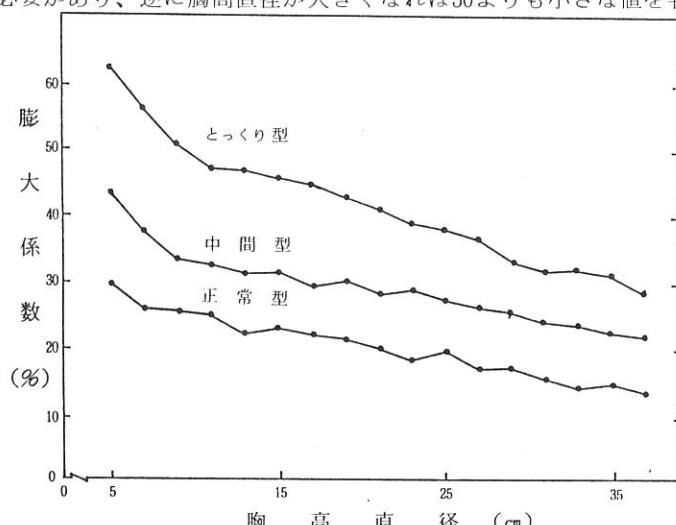


図-2. 胸高直径にともなう各タイプ別膨大係数

準界として中間型の膨大係数の推移をみると胸高直径 5 cm では 43.5、15 cm では 31.4、25 cm では 27.3、35 cm では 23.9 という経過を辿り、胸高直径の推移に応じて減少度合は急から緩という傾向線をもつ。

このように中間型の膨大係数は胸高直径の増加に応じて、相対的に減少しており、とっくり病の被害判別は、胸高直径の大きさに応じた膨大係数の設定が必要と考えられる。

(2) 膨大比数による判別法

肉眼観察で識別される中間型という区分は、とっくり病と正常木を区分する一つの規準界とされる。このことから、とっくり病被害の判別は、この中間型の膨大係数の辿る曲数を規準線として、これより上にくるものをとっくり病、下にあるものを正常木と区分しよう。またこの線よりの離れの度合によって被害の定量的な把握も同時に行うことができる。胸高直径の大きさにともなう中間型の膨大係数の推移は次の回帰式によって求められる。

$$\log \text{SHR} = 1.6183 - 0.00746 D_{1.2} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

(2) 式において SHR ; 中間型の膨大係数（基準膨大係数）
 $D_{1.2}$; 胸高直径 (cm)

を示す。またこの回帰における相関係数を求めるとき $r = -0.9693$ となり、高い精度を示した。この(2)式において求められる膨大係数は、とっくり病木と正常木の判別の基準となる膨大係数の関係を示したものである。

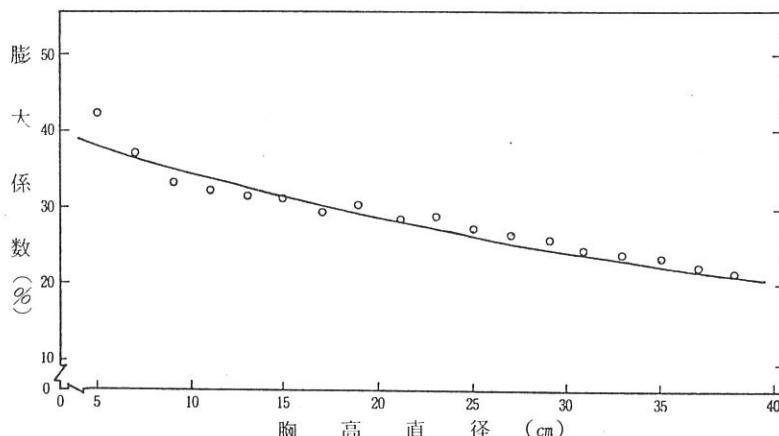


図-3. 基準膨大係数曲線

次にこの基準膨大係数を利用してとっくり病木の判別、あるいは被害度をあらわす尺度として、膨大比数を用いることにした。膨大比数は、同一胸高直径における実測膨大係数と基準膨大係数の比で、次式によって求められる。

$$\text{膨大比数} = \frac{\text{実測膨大係数}}{\text{基準膨大係数}} \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

この膨大比数は、(3)式より明瞭なように基準膨大係数を 1 としたときの比数であることより、この値が 1 より大きければ、とっくり病形態であることを示し、またこれが 1 より小さければ、正常木であることを示す。またこの数値の大小により被害の程度を量的に把

握することができる。

しかしながら膨大比数の基準値である 1.0 の値は、とっくり病と正常木の分界目安値であり、判然たるとっくり病の判別区分は、1.2 ぐらいに設定するほうが現実的と考えられることより、本報告においては、とっくり病の判別は、膨大比数 1.2 以上のものとして取り扱った。

2. 連年の肥大成長の異常性判別

膨大比数は、ある時点におけるヒノキの根元肥大について、正常であるかとっくり病であるかを判定するのに効果を發揮するが、とっくり病は、一時的に形成されるものではなく、数年または十数年にわたる地際部の異常肥大成長の累積の結果ほかならない。

それゆえ、施業等による効果判定のためには、年々における成長量を用いての判別が必要となる。年々における成長が異常な場合（とっくり病の発現）の判別として、肥大指数（諫本, 1983 b) を提案した。

ヒノキのとっくり病の内部観察において、最も特徴とされることは、第3章第2節で後述するように、板目面にみられる放射柔細胞の多列化に求められる。

組織構造的特性の項で用いた、とっくり病および正常木各3本計6本の供試木において地際部より得られた81枚の接線面プレパラート（但し髓部は除く）を用い、年輪巾と多列放射組織の発生率について集約したものを表-1として示した。

表-1. 年輪巾と多列放射組織の発生

年輪巾	試料数	多列放射組織 出現数	多列放射組織 発生率
3.0 mm以下	34	4	11.7 %
3.1 ~ 5.0 mm	12	3	25.0
5.1 ~ 7.0 mm	9	2	22.2
7.1 ~ 9.0 mm	10	5	50.0
9.0 mm以上	16	16	100.0
計	81	30	37.5

表にみられるように、年輪巾（半径成長量）7 mmまでは、多列の放射組織の発生率は25%以下であるが、7 mmを越すと急激に増加し、7.1 ~ 9.0 mmでは50%、9 mm以上では100%となっている。

このことから、大体年輪巾7 mm付近が異常肥大発現の目安となっていることがうかがわれる。

このため、ここでは、地際部の年間直徑成長量が15 mm以上（年輪巾で7.5 mm）以上をもち、胸高位との成長較差が5 mm

以上有するという二つの条件を同時に満足するものとし、この地際径と成長較差の積値を肥大指数と呼ぶこととし、この積値が75をこす場合を異常肥大（とっくり病）の発現とみなした。肥大指数は次式によって求められる。

$$\text{肥大指数} = \text{id}0.2 \times (\text{id}0.2 - \text{id}1.2) \dots \dots \dots \quad (4)$$

但し、idは地上0.2および1.2 mの部位における1年間の直徑成長量(mm)を示す。

しかしながら現実には、とっくり病の症状は、千差万別であり、被害の激しいものは、胸高部以上までにその症状が及ぶことが認められ、また最大肥大部は、地上0.2 m部化に限定されることもないため、連年の肥大成長動向の把握は、(4)式を改変した橋詰らの提案した次式によるのが妥当であろう。

$$\text{肥大指数} = \text{idmax} \times (\text{idmax} - \text{idn}) \dots \dots \dots \quad (4)'$$

但し(4)式において、 $i\text{dmax}$ は1年における最大肥大部の1年間の直径成長量(ミリ)、 $i\text{dn}$ は1年における立ち直り部の1年間の直径成長量(ミリ)を示す。

第 4 節 考 察

ヒノキのとっくり病は、幹脚部が正常部位（本報では胸高部位としたが厳密には、立ち直りの部位に求めるのが妥当と考えられる）に対して異常に肥大成長したものを指すが、その肥大量は林分内では連続した分布型を示し、その被害判定には困惑する場合が多い。またヒノキの幹脚部の肥大は、とっくり病のほか、根曲りや雪圧による異常肥大があり（橋詰ら、1988）その判別には、従来用いられてきた膨大係数（宮島、1962）30%以上の値のみでは区別できないとし、幹脚部の形状吟味の必要性を強調している。

このとくくり病木の厳密な判別や定義については、組織解剖的、化学的あるいは物理的な面からの総合的な解析によって決定されると考えられるが、当面は、外観上の形態観察や、これら計測にもとづいた判別法によらざるを得ない。

ヒノキの幹脚部における異常肥大の判別については、ある特定の時点における大きさが異常であるかどうかの判別と、年々の肥大成長が異常であるかの判定の二つに区分される。前者を静的な面での判別とすれば、後者は動的な面での判別ということになろう。

さて、静的な面での判定法として膨大係数は、利用度の高い簡易な方法であるが、胸高直径と肥大較差 ($D_{0.2} - D_{1.2}$)との関係が直線的でなく指数曲線的なため、膨大係数は、胸高直径の増加とともに相対的に減少する。このため膨大係数の値30%をとっくり病の判別基準値として固定した場合、胸高直径の小さいヒノキでは、その値は過少すぎて正常木に近いものまでが含まれる可能性が高く、また逆に胸高直径が大きい場合は、30%という値は過大すぎて、とっくり病木が正常木と判別されるおそれが生じる。このため、ここでは胸高直径の大きさに準じた膨大係数（基準膨大係数）を設定し、この値と実測の膨大係数の比、膨大比数による判別法を提案した。これは、とっくり病木と正常木との分界値である基準膨大係数を1としたときの比数で、この値が1より大きければ、とっくり症状を呈することを示し、1より小さければ、幹脚は正常であることを示し、その値の大小によって、被害の程度や幹脚部の完満性を把握することが出来る。この報告では、現実要素と安全性を加味して膨大比数1.2以上をとっくり病木と判別区分した。

次に連年における根元肥大成長の異常性判別は、筆者の提案した肥大指數（諫本、1983b）の値が75をこすものを異常肥大の発現とみなした。これは単年における根元径成長量（mm）より胸高径成長を差し引き、この値に、根元径成長を掛け合わせたもので、判定値75は、根元径直徑成長15mm以上（年輪巾一半径成長量ーが7 mmをこえると組織的な異常発生が増加する）、胸高位との成長較差が5 mm以上を有するという二つの条件を満足するものという前提より導き出したものである。しかしながら、異常肥大成長は、著しい場合胸高部位以上にも達することも稀ではないことから、橋詰ら（1988）の改案式が現実的と考えられる。橋詰らの提案した式は次のとおりである。

$$\text{肥大指数} = \text{idmax} \times (\text{idmax} - \text{idn}) \dots \dots \dots \quad (4)$$

上式において id_{max} は i 年における最大肥大部の直径成長量 (mm)、 id_n は i 年における立ち直り部の 1 ケ年間の直径成長量 (mm) である。

但し本報告では、idnは、すべて胸高直後の値を用いている。

第3章 とっくり病の成長形態および組織的特性

第1節 とっくり病木の成長形態

1. 目的

ヒノキのとっくり病は、幹の地際部付近から目通り付近までの間が異常に肥大成長し、いわゆる根太りとなるもので、その形はさまざまなものがあるが（巻末写真参照）、ごく一般的なものは、地際部付近が最も太く、目通りより上になると急に細くなり、正常に復す形のものである。このとっくり病の形態は、地際部において、異常肥大成長が数年～十数年にわたって継続することによって生じる累積成長の結果である。ここでは、典型的な形態を示し今なお盛んに異常肥大成長を続ける20年生のとっくり病木と、同年齢の正常木について、成長形態の比較を行い、また、いまひとつは、過去に異常肥大成長がみられ、現在は、正常に戻っている31年生のとっくり病木を対象に成長解析を行い、とっくり病の成長形態特性について検討した。

2. 材料および方法

成長形態特性把握のため樹幹解析を行った3本の供試木の概要は次のとおりである。

- No. 1. とっくり病木（大分県玖珠郡九重町大字管原の20年生町有林より選出、樹高9.30m、胸高直径18.8cm、地際直径34.6cm、膨大比数2.79）。
- No. 2. 正常木（大分県玖珠郡九重町大字管原、若杉邦明氏所有20年生林より選出、樹高10.5m、胸高直径12.2m、地際直径14.9cm、膨大比数0.69）。
- No. 3. とっくり病木（大分県直入郡久住町の31年生町有林より選出、樹高15.8m、胸高直径21.6cm、地際直径32.8cm、膨大比数1.81）。

このうち供試木No. 1., 2.については、地上高0.0、0.2、0.7、1.2、3.2、5.2、7.2mの部位から、供試木No. 3.については、地上高0.2、0.4、0.8、1.2、3.2以下2mごとに11.2mの部位まで円板を採取し、毎年の年輪を4方向（東西南北）より計測し、樹幹解析の用に供した。

3. 調査結果

(1) とっくり病の成長形態特性（その1、とっくり病発現中の20年生ヒノキと正常木）

いずれも20年生時において伐採されたヒノキで、No. 1.は典型的なとっくり病の形態を示しその程度も著しい。そして伐採時点においても、今なお盛んな異常肥大の発現しているものである。No. 2.は、全くの正常木である。この対照的な2本について、成長形態の比較を行ってみた。

樹幹解析による各成長項目の総成長および連年成長量を図-4に示した。図にみられるように、とっくり病木と正常木との間における成長経過は、樹高ではほとんど差異は認められないが、直径成長とくに根元径成長と、材積成長に明らかな差異のあることが認められ、とっくり病の成長特性がよくあらわされている。とっくり病の特徴である地際部の成長について、連年成長量をみると、6年生時より上昇が開始され、漸増しつつ、12年生まで継続し、以後急増し、16年生時をピークに高い成長水準を保ちつつ伐採時まで持続してい

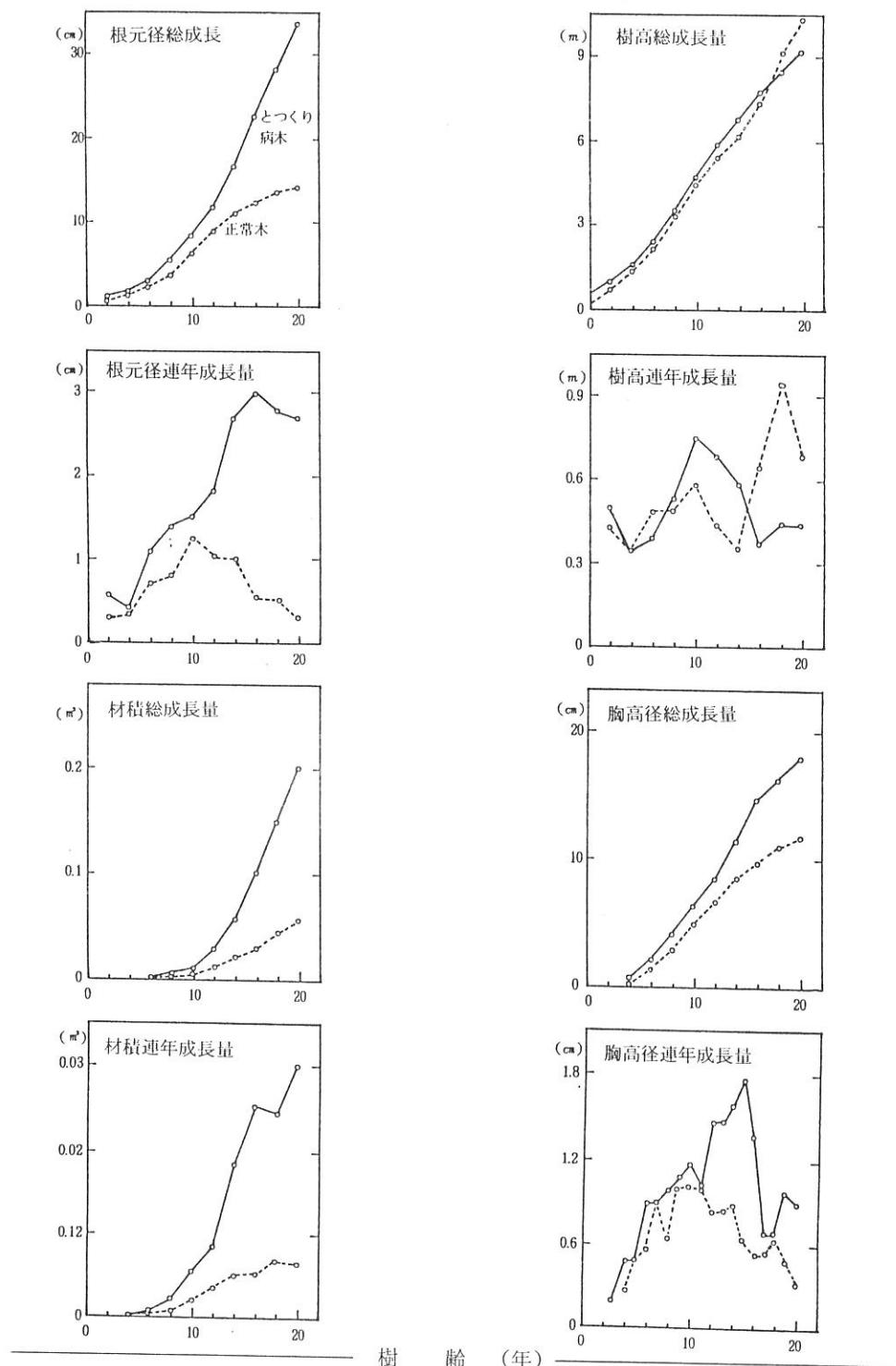


図-4. とっくり病木と正常木の成長比較

る。このことからして、とっくり病の開始は、ほぼ6年生時ごろと推定され（この時点で多列の放射組織の出現が認められる）、そして、12年生時以降において、その発現は著しく促進され、それが伐採時の20年生時点でもまだ持続している。この地際部の異常肥大は材

表-2 正常木に対するとっくり病木の成長比較
(正常木の成長を100とした指標)

項目	10年生時	20年生時
樹 高	104	88
直 径 (地際)	128	234
〃 (胸高)	127	152
材 積 (全体)	260	364
〃 (0.7 m以下)	420	1119

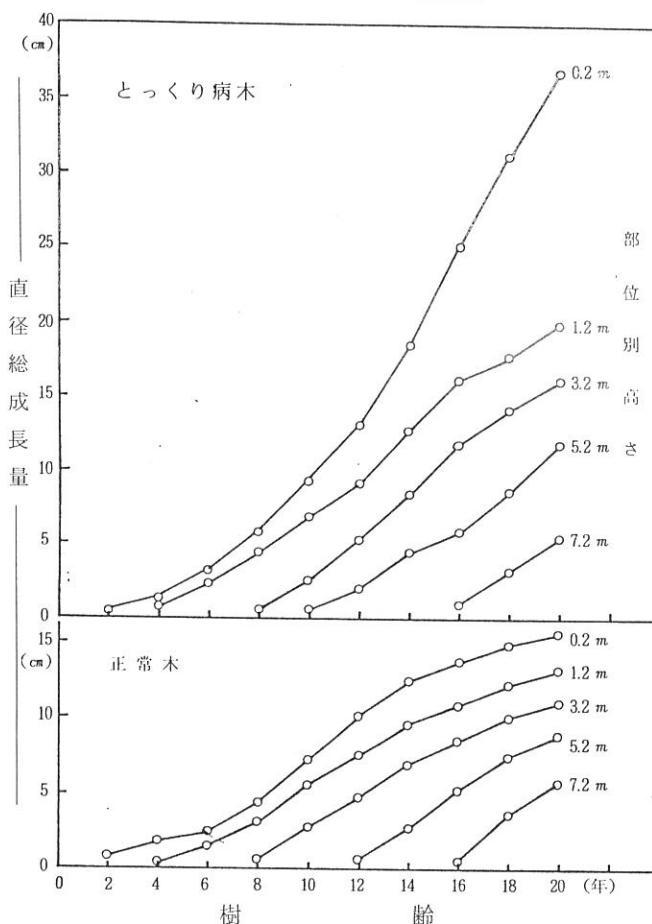


図-5 とっくり病木、正常木の部位別直径成長量(20年生)

積成長にもよくあらわれており、正常木との較差は、年とともに拡大している。ちなみに各成長項目を10, 20年生時の2時点において、正常木と比較してみると表-2のとおりとなる。表にみられるように、とっくり病木は、正常木にくらべ、10年生の時点で、地際径、胸高径において、約1.3倍、総材積で2.6倍、幹脚材積で実に4.2倍とこの時点でとっくり病の徵候が十分認められる。

これが20年生時になると、著しい根元肥大が明瞭となり、地際径で2.3倍、総材積3.6倍と拡大し、とくに幹脚材積では、11.2倍という大きな較差となっており、とっくり病の地際部における異常な肥大成長の跡がよくうかがわれる。

とっくり病の成長形態における特徴は、いうまでもなく地際部の成長が異常に大きいということであるが、このことを更に明瞭に把握するため部位別の直徑総成長量を求め正常木と比較してみた(図-5)。

とっくり病木では、1.2~7.2mの部位では、樹齢の推移にともない、ほぼ同一の傾向線をもって平行状に上昇しているが、0.2m部位では、指数曲線的な上昇を示し、明らかに他部位との成長過程が異なり、その成長が異常に大きいことが認められる。とくに12年生頃より以降の成長は著しく大きく、とっくり病の発現がきわめて盛んに行われ

たことを物語っている。

正常木では、地際部も含め、どの部位も、同様のゆるやかなロジスチックカーブをもって推移しており、部位別の直徑成長に特に目立った差異は認められない。

この地際部における異常成長は、前述のように、材積にも著しい成長をもたらすが、幹脚材積比率も正常木のそれとは明らかに異なることが認められる。

図-6は、とっくり病、正常木について、総材積および幹脚部(0.0~0.7m)における材積の成長量を示したものである。

とっくり病木における総材積は異常肥大成長が盛んとなった12年生ごろより急激な成長促進が行われ、正常木との拡差を広げてゆくが、正常木との成長比較において特徴的なことは、総材積に占める幹脚部材積の比率の違いに求められる。

正常木における幹脚部材積の比率は、10年時で35.2%、15年次で25.3%、20年次で17.3%と加齢とともに、その比率の低下が認められるが、とっくり病木では、10年次56.8%、15年次51.2%、20年次53.3%と、常時総材積の50%以上を維持しており、幹脚部位に異常な成長の蓄積が行われていること

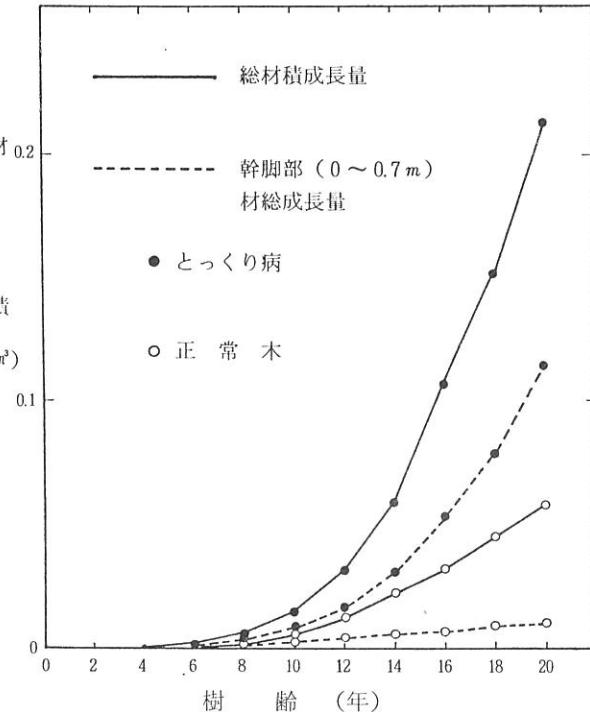


図-6. とっくり病木および正常木における総材積、幹脚部材積成長量

がうかがわれる。ちなみに20年生時単年における材積配分をみると、正常木では、幹脚部材積総生産量の4.6%が幹脚部に配分されているが、とっくり病木でのそれは、64.1%という過大配分となっており、とっくり病における同化生産物の異常配分の様子がよくうかがわれる。巻末付図-1にNo.1及びNo.2についての樹幹解析図を示した。

(2) とっくり病の成長形態特性 (その2、過去に被害履歴をもつ31年生ヒノキ)

前項では、今なおとっくり症状の発現が著しい20年生のヒノキについて、正常木との成長形態の違いについて述べてきたが、このとっくり症状は、いつまでも持続して発現することは林縁等を除いて稀であり、林分が閉鎖し、枝の枯れ上がりが進行してくれば、その症状は停止し、正常に復していくのが一般的である。

ここでは、一般的なとっくり病の被害履歴をもつものを対象として、その成長特性を検討することにする。

図-7は、供試木No.3における肥大指数の経年変化をみたものである。

この供試木は、後述の組織構造特性の解明の際にも利用した木である。肥大指數の推移より推察するに、とっくり症状は7年生時ごろより開始され、それが17年生時まで持続し、とくに11~15年生時にかけて著しく促進され、18年生時以降は正常に復したヒノキとされる。

組織的には、6年生時にすでに多列の放射組織の発生が認められることから、その開始は、もう少し早いことも考えられる。12年生時のピーク時には、多列の放射組織の発生は50%を越え、また肥大指數の急激に低下した18年時には、その発生は認められず、組織的にも正常に復している。若齢時における組織の乱れは成長の旺盛な髓部との関連で、もう少し検討の余地があるが、大体において、異常肥大の発現、終息は、この肥大指數の推移とよく照応していることが認められる。

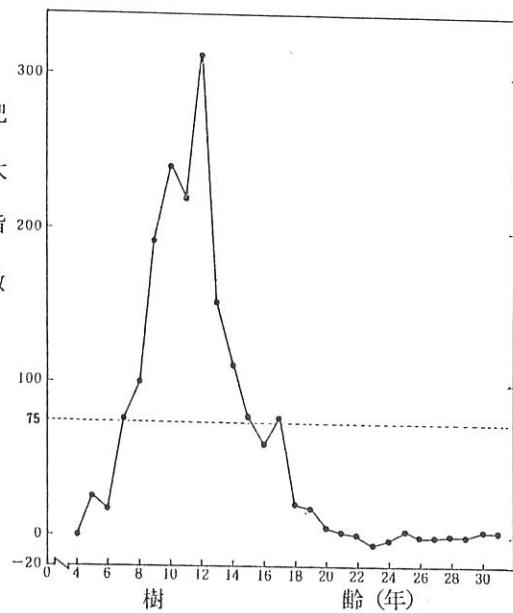


図-7. 樹齢と肥大指數の推移

この供試木No.3に見られるように、ふつうの場合におけるヒノキのとっくり病は、初期成長を終え、成長体制が整った6~7年頃を中心に開始され、枝葉を十分に拡張しつつ、林分が閉鎖にむかひ、枝の枯れ上がりが始まるまでの早壯齡期にかけて著しく促進され、林分が閉鎖し、林床植生が欠除し、枝の枯れ上がりが進行してくれば、異常肥大は終息し、正常に戻るというのが一般的なパターンとされる。しかしながら、孤立状態の木や林縁木で緑枝が樹幹下部まで付着している場合、壯齡以降もとっくり症状の発現の持続を見ることがある。

第 2 節　とっくり病木の組織構造特性

1. 目的

とっくり病は一種の生理障害とされるも、その発生のメカニズムについては、依然として不明である。ただ結果的には、羅病部における放射柔細胞の異常増殖とともにう放射組織の多列化や仮道管走行の乱れ、湾曲などが組織的な現象としてあらわれる。

このヒノキのとっくり病材部の組織構造に関しては徳重(1957)の研究を嚆矢として、いくつかの報告(大迫, 1986など)がなされ、その特異性が明らかにされつつある。

ここでは、外部形態により判別されたとっくり病木および正常木について、根部を含む部位別、年輪別の接線断面のプレパラートをつくり、この顕微鏡標本を用いて、組織構造の計測を行い、これらのデータをもとに主成分分析を用いてとっくり病材部の組織的な特性について検討した。

2. 供試材料および実験方法

(1) 供試材料

本実験に用いた供試木は、とっくり病木、正常木とも各3本宛計6本であり、これら諸元については表-3のとおりである。6本の供試木について地上高0.2、0.4、0.8(No.1、No.2のみ)、1.2、3.2m部位より円板を採取し、各円板について樹芯よりS方向に3, 6, 9, ……30年生と3年毎(一部6年毎)の年輪について早材部の接線断面の簡易プレパラートを用い倍率150の顕微鏡標本を作成した。解析に用いた資料は表-3に示すとおり122葉である。

表-3. 供試木一覧表

供 試 木 番 号	外部形態	直径		樹高	形状比	肥大度		発 期	現 場 所
		0.2 m	1.2 m			膨大*	膨大**		
						係數	比數		
1	とっくり	31	32.8	21.6	15.8	0.73	51.9	1.81	37 7~17 久住町
2	とっくり	20	33.9	18.8	9.3	0.49	80.3	2.67	32 6~20 九重町
3	とっくり	16	26.3	14.8	9.4	0.63	77.7	2.41	16 6~14 院内町
4	正 常	31	18.2	13.9	18.5	1.34	30.9	0.95	16 なし 院内町
5	正 常	20	14.9	12.2	10.4	0.85	22.1	0.66	10 なし 九重町
6	正 常	16	12.0	9.6	9.7	1.01	25.0	0.71	11 なし 臼杵市
計 112									

注) *; 宮島(1962)による、 **; 諫本(1985 b)による算出値

(2) 実験方法

接線断面の顕微鏡標本を用いて以下の組織構造を計測した。

1) 年輪巾 (mm)

簡易プレパラートを作成した各年輪の巾を $1/10\text{mm}$ 単位で計測した。

2) 仮道管長 (mm)

Cell tip method (Ladell, 1959)により計測した。この方法(図-8)による平均仮道管長は次式によって求められる。

$$\text{平均仮道管長} = \frac{n \times a}{\text{先端} (\times \text{印}) \text{ の数}} \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

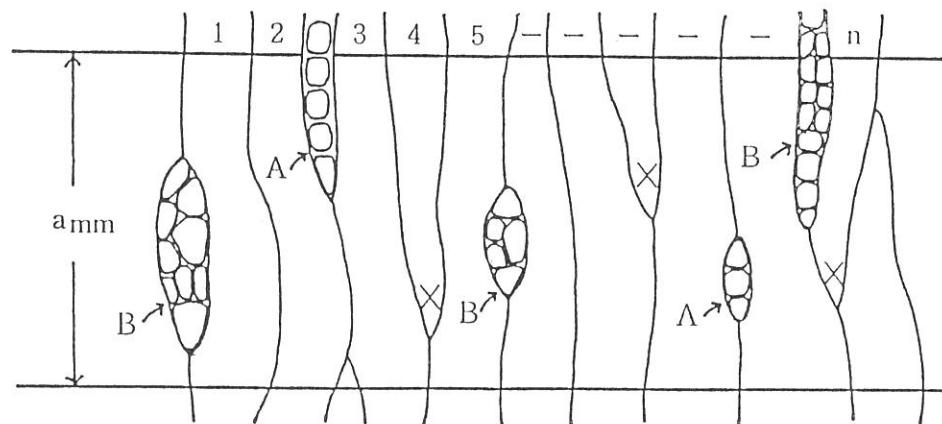


図-8. 接線断面の投影模式図 (Ladell, 1959原図)
A: 単列放射組織, B: 多列放射組織, ×: 先端

3) 放射組織構成率 (%)

一定の面積内にあらわれる放射組織 (図-8 の A, B) の占有割合を示す。

4) 柔細胞数 (個/ mm^2)

$300 \mu \times 400 \mu$ の枠内に出現する柔細胞数を計測し、 1mm^2 あたりに換算した値。

5) 多列放射組織発生率 (%)

一定面積内にあらわれる放射組織のうち、単列ではない組織の比率。一般にヒノキの放射組織は單列がふつうであり (島地, 1964) ここでは、多列化したもののが出現をもって、とっくり病判別の指標とした。

3. 調査結果

(1) 供試木の根元径成長

図-9に、とっくり病および正常木各3本ずつの供試木における地際径の総成長量曲線図を示した。

図にみられるように、とっくり病と、正常木は明らかな分離を示し、とっくり病の強大な根元部の成長を見る事ができる。とっくり病のNo.2およびNo.3は、よく似た成長経過を辿っており、大体4年生ごろより異常肥大が開始され、12~13年生までそれが続き、それ以降正常に復したものと推察される。No.2は、異常肥大の開始は、前二者よりも少し遅れて6~7年生頃とされ、その後、急激な成長促進が行われ、20年生時点で、依然とし

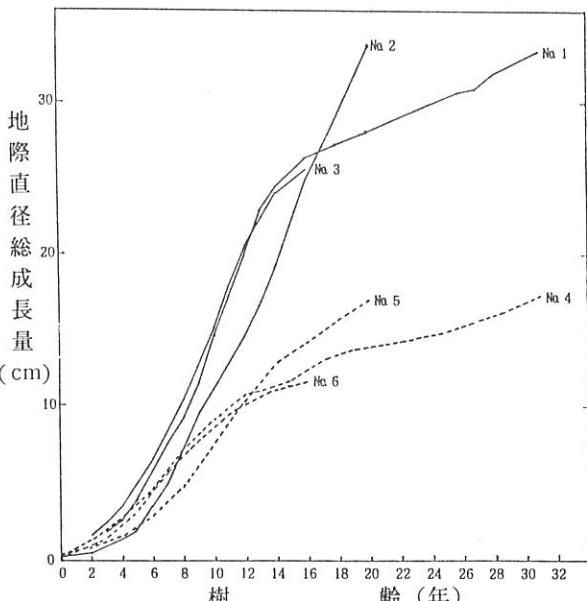


図-9. とっくり病木と健全木の地際直徑総成長曲線
—— とっくり病木 - - - 健全木

て、異常肥大の持続していることが読みとれる。これに対して、正常木では6~12年生ごろにかけて、相対的に成長の大きいところが見られるも、とっくり病木にくらべれば、その上昇度は低い。

(2) 肥大指數の経年変化

ヒノキのとっくり病は、地際部の肥大成長が、異常に大きく、これが継続することにより形成されるが、この地際部における肥大成長の異常性は、肥大指數の値と、その推移によりおおよそ類推される。

この肥大指數の値がおおよそ80をこえいれば、異常肥大成長がおこり、とっくり病の発現がなされているとみなしてよい(第2章、第3節、2、参照)。

図-10は、樹幹解析にもとづく各供試木の肥大指數の経年変化をみたものである。

No.1~No.3がとっくり病木、No.4~6が正常木の肥大指數の推移を示す。

とっくり病木であるNo.1では、7年生時に肥大指數76という値をとり、とっくり病の発現が開始されていることが推測される。

以後13年生時の312をピークとして17年生時までに高い値で推移し、この7年生時より17年生に至る11年間がとっくり病の発現期間であったとおおよそ把握される。

No.3は、No.1にくらべ樹齢が約15年程若いが、肥大成長のパターンがよく似た傾向を示す。すなわち6年生時にその値が75に達し8年生時から13年生時にかけて異常に大きな値をとり、15年生以降急減し、正常な肥大成長に復している。とくに10年生時における肥大成長は、とくに著しいものがあり、地際直徑成長37mm、胸高直徑成長12mmを示し、肥大指數は、実に925という異常に過大な値となっており、この前後にかけて、盛んなとっくり病の発現がなされたことがうかがわれる。

No.2木は、6年生時に肥大指數が75を越え、この時点で異常肥大の開始がなされたと推

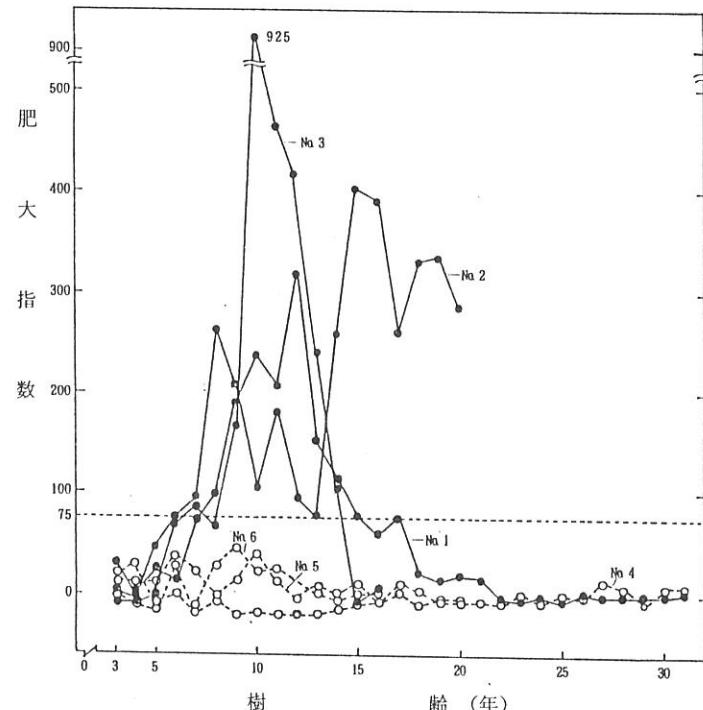


図-10. 6本の供試木における肥大指數の経年変化

察され、以後多少の増減をくり返しつつも、20年生時を経た時点でも、なお著しい根元肥大の持続がうかがわれる。

これに対して、正常木とされたNo.4～No.6においては、図にみられるように、いずれも肥大指数50以下という低い値で推移しており、地際部における異常肥大はいずれの時点でも生じていないことが認められる。

(3) 多列放射組織の部位別発生率

ヒノキのとっくり病のもつ組織的特性のうち最も特徴的なことは、放射柔細胞の異常増殖にともなう放射組織の多列化に求めることが出来る。図-11は、6本の供試木における部位別の多列放射組織の発生率をみたものである。

とっくり病木では、根部を含めて、地上高0.8mまでの部位においては、70%以上が多列の異常組織で占められている。

しかし1.2m以上になると、多列の組織は急激に減少している。これに対し、正常木では根部に多列のものが一部出現するも、他の部位では認められない。

すなわち、とっくり病における組織的な異常は、ヒノキの外観形態とよく照応しており地際部の異常肥大部に集中している。

(4) 主成分分析によるとっくり組織構造の個体内変異について

1) No.1供試木における組織構造の個体内変異について

前述のように、7年生頃より17年生時にかけて、とっくり病の発現がなされ、現在正常に復している31年生ヒノキ（供試木No.1）より得られた37枚のプレパラートをもとに組織構造の個体内変異について、主成分分析にて検討した。

5つの組織構造に関するデータを用いて各計測データ間の関連について相関係数を用いて検討した（表-4）。

まずヒノキのとっくり病患部の組織的特徴とされる多列放射組織の発生が他の組織構造とどのような関連下にあるかを主として検討してみた。

解析結果、多列放射組織発生率と相関の最も高い変数は、年輪巾であった。すなわち旺盛な肥大成長が結果として多列の放射組織の発生に大きく影響していることがうかがわれる。

次いで高い相関を示すものが柔細胞数である。とっくり病は、放射柔細胞の異常分裂の異常によるものとされることより当然のことと言えよう。

仮道管長とは負の相関を示しており、とっくり病患部ではその長さが短く、発生率が高くなるに従い、仮道管長は短くなる傾向が強い。この仮道管長は、当然のことながら年輪巾との関連も深く、年輪巾の広いものほど仮道管長は短い。

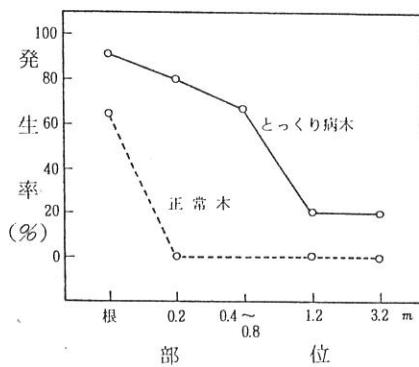


図-11. 部位別の異常組織発生率

表-4. 変数間の単相関係数

年輪巾 (mm) X ₁	仮道管長 (mm) X ₂	放射組織構成率 (%) X ₃	多列放射柔細胞数 (個/mm ²) X ₄	多列放射組織発生率 (%) X ₅
X ₁	—	- 0.5713	0.1125	0.4433
X ₂	—	- 0.1878	- 0.4303	- 0.4113
X ₃		—	0.3831	0.2058
X ₄			—	0.4528
X ₅				—

これらのことより総合して、ヒノキのとっくり病材における組織は、互いに関連しており、放射柔細胞の異常増殖とともにうなう変化が他の組織構造に影響を及ぼしていることが明らかである。すなわち、異常な肥大成長は、結果として放射柔細胞の増加と、これにともなう多列放射組織の発生、仮道管長の伸長抑制等をもたらしていることを示している。

次にこれら5つの組織計測データを対象とした総合特性により、ヒノキのとっくり病材部の組織的な違いについて主成分分析で検討した結果を表-5として示した。表にみられるとおり第3、第4主成分は固有値が小さいことより第1及び第2主成分まで取りあげ検討した。

表-5. 主成分と因子負荷量

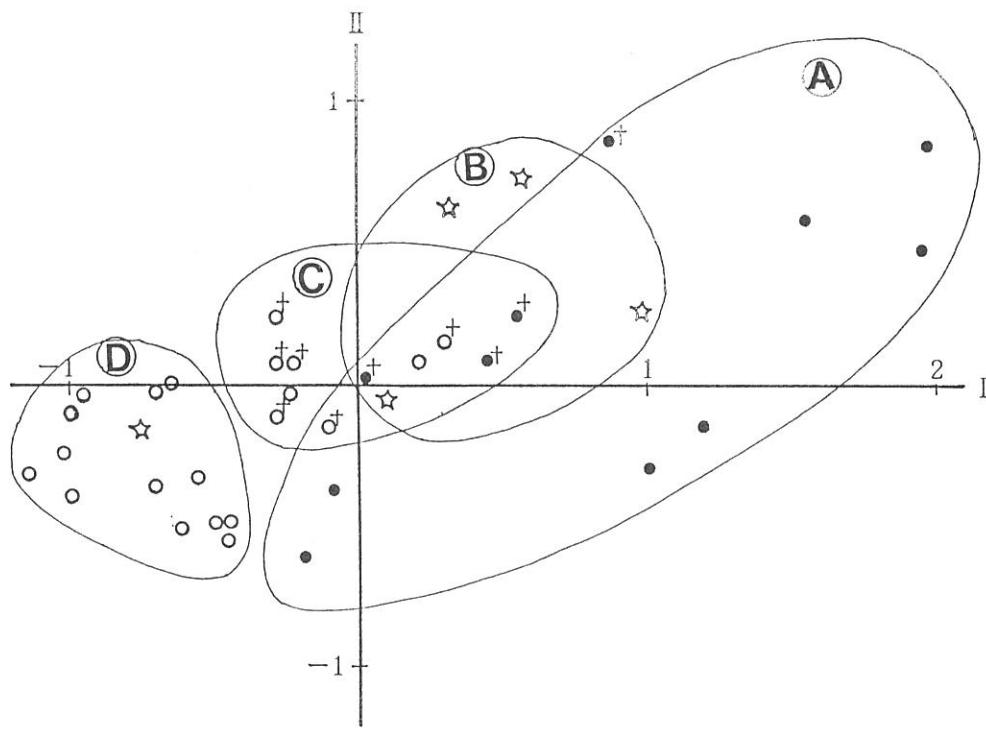
変 数	主 成 分			
	第 1	第 2	第 3	第 4
年 輪 巾 (cm)	0.8218	0.3615	0.0798	0.1212
仮 道 管 長 (mm)	- 0.7473	- 0.1751	0.5890	- 0.1656
放 射 組 織 構 成 率 (%)	0.4251	- 0.8440	0.0381	0.3182
柔 細 胞 数 (個/mm ²)	0.7520	- 0.2968	- 0.0351	- 0.5872
多列放射組織発生率 (%)	0.7892	0.1923	0.4875	0.1049
固 有 値	2.6031	0.9987	0.5937	0.4993
寄 与 率 (%)	52.06	19.98	11.88	9.98
累 積 寄 与 率 (%)	52.06	72.04	83.92	93.90

第1主成分は、仮道管長のみが負の値をとり、他はすべて正の相関をもつ。また放射組織構成率を除いて全体的に高い係数をもっている。年輪巾、多列放射組織発生率、柔細胞数が正で仮道管長が負が示すことにより、これはとっくり病における組織構造の構成を示す成分といえよう。年輪巾が大きく、多列放射組織の発生率の高いものはスコアが大きく、逆の場合は小さくなる。第2主成分は、年輪巾と多列放射組織発生率の係数が正で、他は負となっており構成率が特に高い値を示す。構成率の高いものはスコアが小さく逆の場合は大きくなる。この第1及び第2主成分による累積寄与率は72.04%となり、全体の7割強がこの二主成分で説明できることを示している。

次に各標本のスコアを計算し第1、第2主成分についての散布図を描いた。これを図-

12として示す。図において、判然とはしないまでも多列放射組織をもついわゆるとっくり病患部の集団(A)、単列の放射組織のみよりなる正常部の集団(D)、多列及び単列の組織構造をもちスコアが小さい髓とその近くの集団(C)及び根部(B)とおおよそ4つの集団に区分されることが認められる。特に、とっくり病の患部と正常部は判然と区分されうる。

髓、根部、およびとっくり病患部の一部の交わりは、これらの組織がかなり起源的に近いものをもっている可能性を示すものと解される。すなわちとっくり病の組織は、正常部よりもむしろ根部や髓に近い組織であることがうかがわれ、その成因をさぐる上で興味深いものとなっている。



○ 単列放射組織 ● 多列放射組織 ☆ 根 + 髓に近接したもの

図-12. 第1-2主成分の散布図 (No. 1供試木)

2) 部位または器官ごとの組織構成

前項の主成分分析において、ヒノキのとっくり病木における組織構成は、個体内において変異のあることが認められ、それは大きく、正常部、異常肥大部（とっくり病患部）、根および髓・髓近接部に分けられた。この区分された部位および器官ごとの組織構成の平均値を表-6として示す。

表-6. 部位または器官ごとの組織構成の平均値

部位 または 器 官	年輪巾 (mm)	仮道管長 (mm)	放射組織 構 成 率 (%)	柔細胞数 (個/mm ²)	多列放射 組織発生率 (%)
正 常 部	3.12	2.32	10.4	329	0.0
とっくり病患部	7.22	1.59	12.6	462	26.5
髓及び髓付辺	4.40	1.30	9.1	367	8.4
根 部	8.20	1.73	11.3	249	11.1

表にみられるようにとっくり病患部は、他のどの部位より放射組織構成率、柔細胞数、多列放射組織平均発生率が高く、とくに柔細胞数が多いことが目立ち、とっくり病患部における柔細胞の異常な増殖が定量的に明確に示されている。また仮道管長の短いことも特徴である。これに対して正常部は仮道管長の長いことが最も特徴であり、放射組織及び柔細胞数においては中庸の値となっている。髓およびその近接部は仮道管長がきわめて短く、放射組織の構成率の低いことが目立つ。根部は柔細胞数の特に少ないことが特徴であり、多列放射組織の発生の多いことは、とっくり病患部のそれに次ぐ。

この組織構成でみると、とっくり病患部は、仮道管長や放射組織構成率では根部に似るも柔細胞数で異なり、仮道管長や柔細胞数では、髓に近い組織をもつも放射組織構成率で異なるなど、とっくり病患部は根部や髓と似た一面をもつもやはり同一のものではない。正常部とはすべての面で異なることが認められる。

3) 6本の供試木をこみにしたとっくり病の組織構造特性について

とっくり病木3本、正常木3本より得られた122葉のプレパラートにおける年輪巾、仮道管長等5つの計測データを変数として、とっくり病患部の組織が正常部や根部に対してどのような違いをもつかについて検討した。

前項での解析が単木を対象とした事例で個別的であることよりとっくり病木における組織的特徴について本数を増やすことにより、普遍的な特性を抽出しようとしたものである。

まず、5つの組織構造に関するデータを用い各計測データ間の関連について相関係数を求めた。この結果、No.1のみを用いて解析した場合には順ずるが、全体に相関係数の向上が認められ、組織構造間の関連がより明確となった(表-7)。

表-7. 変数間の単相関係数

年輪巾 (mm) X ₁	仮道管長 (mm) X ₂	放射組織 構 成 率 (%) X ₃		多列放射組織 発 生 率 (%) X ₅	
		柔細胞数 (個/mm ²) X ₄	-	X ₄	-
X ₁	-	-0.4217	0.5423	0.5059	0.6374
X ₂	-	-0.4542	-0.4114	-	-0.4639
X ₃		-	0.6852	-	0.6053
X ₄			-	0.4862	-
X ₅				-	-

年輪巾と放射組織構成率、柔細胞数と多列放射組織では、相関係数が著しく向上しこれらの計測データ間には、正の相関関係の成立することが認められた。

とっくり病の発現と関連の深いとされる多列放射組織の発生と相関の高い変数は、No.1供試木の場合と同様年輪巾で、これは正の相関関係を示しており、旺盛な直径成長は結果として多列の放射組織の発生に関連している。次いで放射組織構成率、柔細胞数となっている。とっくり病患部は、組織的に、柔細胞の異常増殖による結果とされており、このことより妥当な結果となっている。また柔細胞数と放射組織との間の関連も当然のことながら高い。仮道管長とは負の相関をます。

このとっくり病患部の組織的な特徴である多列放射組織の発生は、年輪巾と最も関連が深く、旺盛な肥大成長が結果として、多列の放射組織の発現に関与していることがうかがわれる。次いで柔細胞構成率、柔細胞数と関連が深い。とっくり病が放射柔細胞の異常な分裂によるものとすれば、このことは、当然の結果といえよう。

次にこれら5つの計測値を用いて、主成分分析を行った。その結果を表-8とし示す。

表-8. 主成分と因子負荷量

変 数	主 成 分			
	第 1	第 2	第 3	第 4
年 輪 巾 (X ₁)	0.7938	0.4772	0.0302	0.3957
仮 道 管 長 (X ₂)	-0.6782	0.3479	-0.6455	-0.0473
放 射 組 織 構 成 率 (X ₃)	0.8458	-0.1765	-0.2680	-0.2102
柔 細 胞 数 (個/mm ²)(X ₄)	0.7899	-0.3353	-0.3841	0.1826
多 列 放 射 組 織 発 生 率 (X ₅)	0.8180	0.3604	0.0834	-0.3823
固 有 值	3.0986	0.5945	0.6439	0.3826
寄 与 率 (%)	61.97	11.89	12.88	7.65
累 積 寄 与 率 (%)	61.97	73.86	86.74	94.39

第1主成分はX₂のみが負の値をとるが因子負荷量の絶対値が大きく、組織の全体的な大きさや発達程度を表わす主成分とみられ、年輪巾の広い、放射組織が異常に発達したところでは大きな値をとり、その逆では小さな値となる。この場合仮道管長は逆の動きを示す。第2主成分は、X₃、X₄が負で他は正となっている。

これは年輪巾が広く、多列放射組織の出現にかかわらず、放射組織構成率や柔細胞数の少ない集団（根部）のあることを示したものと解される。図-13はこの第1および第2主成分についての散布図である。前項のNo.1の場合とよく似たパターンを示すが、計測データが多いため、交わりの部分が広くなっている。図において判然とはしないまでも多列放射組織をもつとっくり病患部（A）、根部（B）、髓およびその周辺（C）および単列の放射組織よりなる正常部の組織（D）と大きく区分され、とっくり病の組織は、根や髓に近い構造をもつことがうかがわれる。

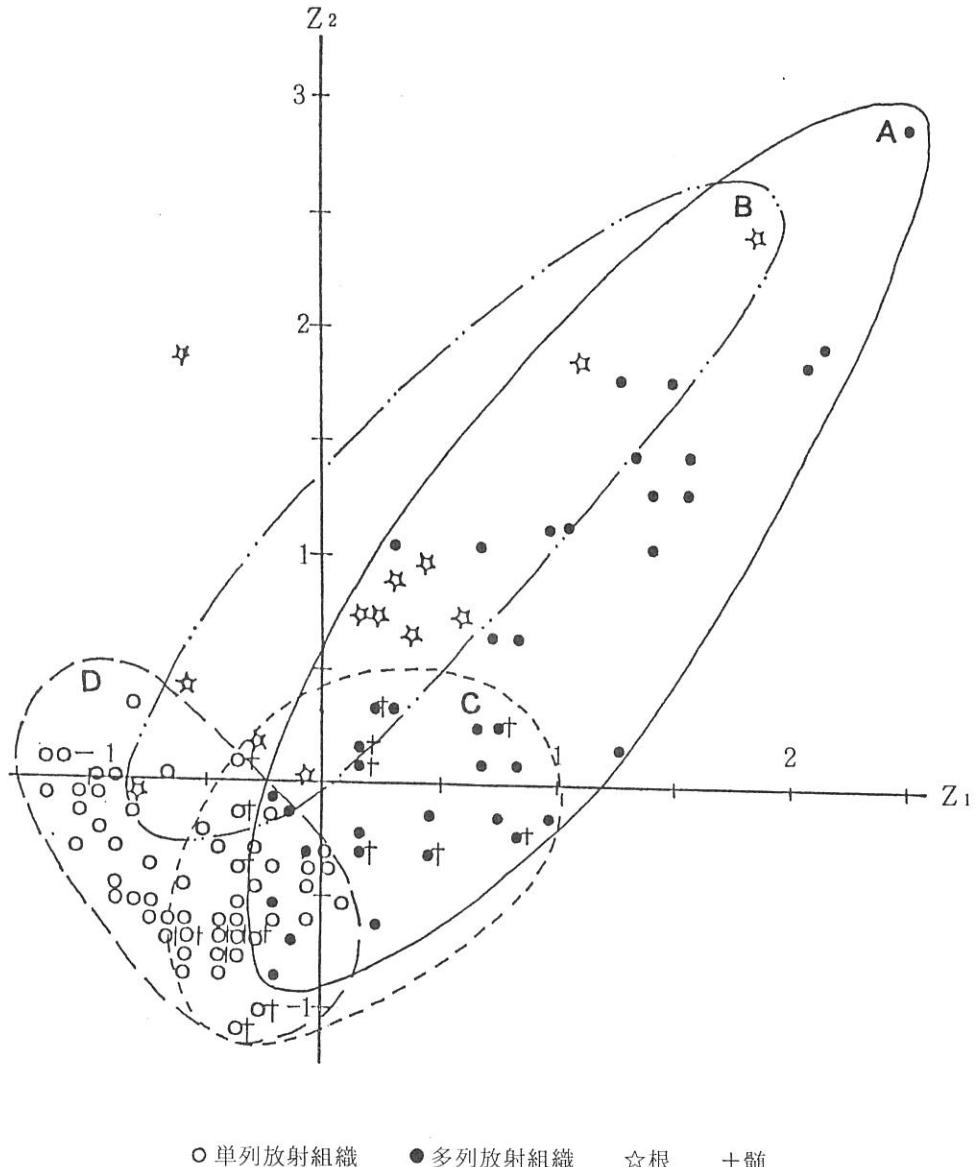


図-13. 第1-2主成分の散布図

4) 部位別・器官別の組織構成

前項で、ヒノキ材部の組織は、正常部、異常肥大部（とっくり病林部）、根、および鮫、鮫近接部に大きく区分されることが認められた。ここでは、この区分された部位および器官が組織的にどのような構成値をもつかその平均値を求めて比較した（表-9）。またそれをレーダ・チャート化したのが図-14である。

表-9. 部位または器官ごとの組織の構成値

部位 または 器官	年輪巾 (mm)	仮道管長 (mm)	放射組織 構成率 (%)	柔細胞数 (個/mm ²)	多列放射 組織発生率 (%)
正常材	3.53	2.14	8.7	301	0.0
とっくり病部	9.53	1.34	14.7	452	27.3
髓および近辺	4.09	1.22	10.6	346	10.9
根 部	10.2	1.52	11.1	267	17.7

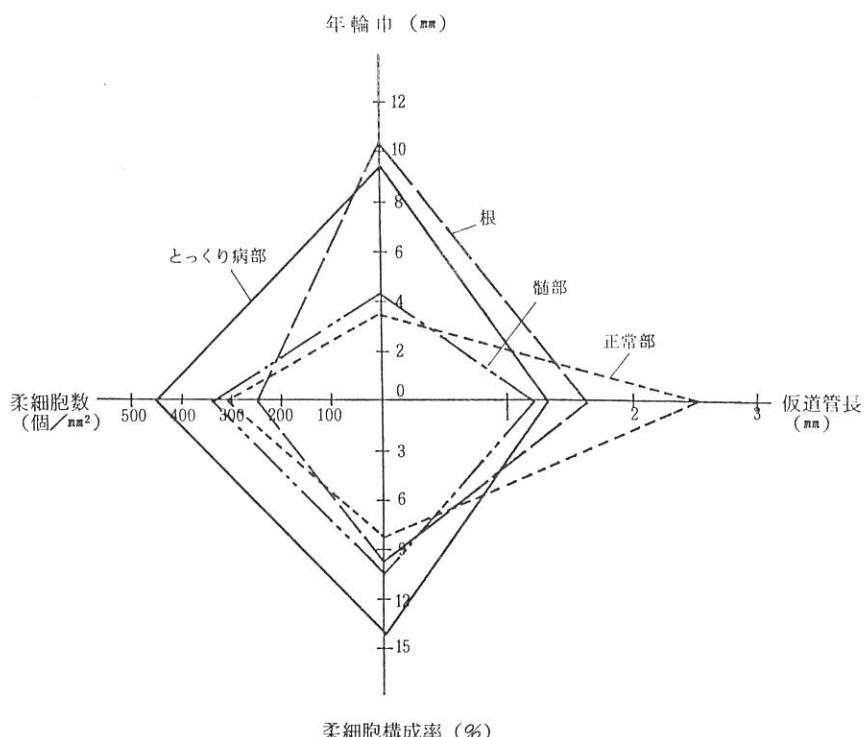


図-14. 器官別・症状別の組織構成

6本の供試木における部位または器官ごとの組織の構成値は、前出のNo.1を試料とした場合とほぼ同様の結果を示している。

すなわち、とっくり病材部は、柔細胞数、放射組織構成率が高く、仮道管長が短いという特徴をもっている。これは放射柔細胞の異常な増殖が仮道管長の正常な発達を阻害する

結果かも知れない。正常部は、これに対して仮道管長が最も長いことが特徴である。一般に仮道管長は、未成熟材部で短く、成熟材部で長くなることが認められているが、とっくり病材の仮道管長が短いということは、未成熟材としての特性があるかもしれない。

髓およびその近接部では仮道管長の短いことが目立っている。髓部は、未成熟材としての性格が強く、組織的に若い構造を有するからと考えられる。根部は柔細胞の数の少ないことが一つの特徴となっており、特に細胞高の1~2個のものが多くみられるのが特色となっている。

第 3 節 考 察

ヒノキのとっくり病の外観的特徴は、いうまでもなく地際部より目通りにかけて著しく肥大し、いわゆる“徳利”状を呈することに求められる。このとっくり病の発現時期は林分や個体によってかなりの差のあることが既往の報告よりうかがわれる。

徳重(1957)は、39年生のとっくり病木を樹幹解析し、その結果、異常肥大は、樹齢22年生頃より生じ、31~34年生の頃に終ると報告している。同様の報告に新井ら(1972)があり、ここでは、18~19年が開始の時期とされ、35年生で正常に復したとされ、20年生後に発現の開始を認めているが、一般的には、その開始はもう少し早い場合が多い。

筆者ら(1978a)は、15年生の林分より得られた樹幹解析資料より、樹齢8年生ですでに異常肥大の現れていることを報告した。また橋詰ら(1988)も、鳥取大学蒜山演習林におけるヒノキ林の調査結果から、とっくり症状が10年前後から現われ、そして25年生頃には終息したことを報告し、個体によって発現開始の時期や、期間に差のあることなどを、幹材積の垂直配分率等の面より裏付けている。

ここでは、今なお盛んに異常肥大が行われている20年生のとっくり病木を同年齢の正常木と比較し、その成長特性をあきらかにするとともに、過去に被害履歴のある31年生のヒノキについて肥大成長の推移を追跡したものである。

20年生のとっくり病木は、樹幹解析の結果、すでに6年生頃より、異常肥大の発現が見出された。正常木と比較した場合、樹高成長では、差は認められなかったが、根元径成長と材積成長とくに幹脚部材積成長において著しい差異が認められた。20年生時においてのとっくり病の成長は、正常木に比して、胸高直径で1.52倍、根元直径で2.34倍、材積で3.64倍、幹脚材積(0.7m以下)では実に11.9倍という値となっており、地際部における異常な過大蓄積の跡が見出される。20年生時における幹脚部の材積配分率は、正常木で17.3%、とっくり病木で53.3%となっており、とっくり病での異常配分が目立っている。

橋詰ら(1988)の調査では、同年齢時で、正常木32%、とっくり病木で38~48%となっており、ここで値は、正常木で大きく、とっくり病木で小さいが、発現条件や被害の程度は個体により異なることより、このような違いは当然生じうる。しかしながら幹脚部への同化生産物の配分の過大さは、程度の差こそあれどっくり病に共通した特異の現象である。

樹幹解析を行ったいま1本の31年生ヒノキは、とっくり病の発生から終息、そして正常に復すという被害履歴をもつことから、一つの典型事例として取りあげたものである。このヒノキは、7年生頃よりとっくり症状が現われ、11~15年生頃にピークをむかえ、18年生頃に終息し以後正常に復しているもので、このとっくり病徵の消長は肥大指數を用いることによって明瞭に把握することができる。この例にみられるように、ヒノキのとっくり

病は、成長体勢のととのった5~10年頃の比較的早い時期よりその発現が開始され、枝葉の繁茂伸長の盛んな10~20年生頃の早壯齡期に著しい促進がみられ、林分が閉鎖し、枝の枯れあがりが進行すれば、正常に復してくるというのが一般的なパターンとみてよいようである。しかしながら、このパターンも、立地条件や保育条件および個体差等によってかなり変化することは、現実林分の実態から容易に想像しうるところであり、また、林縁木や孤立状での木では、その程度が著しく発現期間の長いことなど林内とは異なったパターンを示すことも往々にして見出すことが出来る。

ヒノキのとっくり病についての形態的特性もさることながら、その成因解明や材質検定のため微視的な面での組織構造の研究も重要である。とっくり病患部における組織構造の特徴は、徳重（1957, 1961）の報告にみられるように、仮道管および髓線柔細胞の方向性および形態を乱しての異常な増殖とこれにともなう髓線柔組織の多列化に求められる。また徳重は、異常肥大は、細胞の巨大化によるものではなく、細胞数の増加によるものであることもあわせて報告している。新井ら（1975）は、とっくり病患部の仮道管長が正常部に比較して短く、年輪巾と反比例の関係にあることを報告している。また新井ら（1973）は、材質強度の面より試験を行い、とっくり病患部は、正常材に比して気幹比重で95%、曲げ強さ75%、曲げヤング係数は60%と著しく劣ることを指摘している。

大迫（1986a）は、40年生の典型的なとっくり病木の樹幹内特性について詳細な観察を行い、とっくり病患部においては、仮道管の湾曲、皺曲が著しく、先端どうしの接合とその部分につぶれが見られ、これは、仮道管の発生の成立過程で圧縮力が生じている可能性を示唆している。また放射組織の多列化、細胞高の高さおよび分布率の高さなど、正常木とは明らかに異なることを指摘し、異常肥大は、単位期間中に他の部分より多量の細胞が形成された結果であろうとし、徳重の報告を再確認したかたちとなっている。

さらに大迫（1986b）は同一木について物理的、力学的な面より検討を加え、羅病部は、収縮率が大きく、広年輪巾の部分ほど、L方向の収縮率が著しく、このことが仮道管の湾曲や皺曲に密接に関連しているとしている。また仮道管長は正常材では、髓から樹皮に向かって長くなるが、とっくり病部では、その法則性のないことをあわせて報告し、とっくり病患部の異常性を指摘している。

今回は、31年生のとっくり病木と、これを含め計6本のとっくり病、正常木の顕微鏡標本112枚を用いて、正常部位との比較観察を行ってみた。この結果、羅病部における仮道管長の短さ、放射組織構成率の高さ、柔細胞数の多さ、多列の放射組織の出現など、既報どおり認められ、とっくり病患部における組織構造の異常性について、定量的に把握することが出来た。仮道管長など5つの組織構造の計測値を用いて、主成分分析を行って検討したところ、多列の放射組織をもつとっくり病患部の集団、根部、髓部および正常部の4つの集団に大きく区分された。このうちとっくり病患部と正常部は、大きく区分されたが、髓、根部およびとっくり病患部では、交わりがみられ、とっくり病の組織は、正常部よりもむしろ根部や髓に近い組織であることがうかがわれ、とっくり病の成因解明に一つの興味を引きおこしている。

第 4 章 とっくり病と遺伝的特性

第 1 節 目 的

ヒノキのとっくり病の遺伝的な面からの研究として、ナンゴウヒで少ないと（宮島, 1962）、さし木林で少ないと（大山, 1983など）、さし木発根性にすぐれていること（諫本ら, 1979）、タネの形態や発芽状況では差がないこと（諫本, 1983d）等いくつかの報告例はみられるが遺伝的な面からの積極的な研究はまだ少ない。

ここでは、ヒノキ次代検定林における10年次の定期調査にもとづき、ヒノキのとっくり病と関連の深い膨大比数を用いてヒノキの根元肥大について多面的な検討を行い、加えて、狭義の遺伝率の推定を行い、その遺伝的特性について検討した。

第 2 節 検定林および調査方法

1. 検 定 林

調査の対象とした次代検定林は、九大ヒノキ次代検定林第14号～18号の検定林で、これら検定林の所在地と立地環境は表-10のとおりである。

表-10. ヒノキ次代検定林の所在地と環境（大分県）

検定 林名	所在 地	設定 年月	クローン 家系 数	立 地			環 境			備考
				標高 m	方位	傾斜	土壤型	年平均 気温*1) °C	年間降 水量*2) mm	
九大 14号	豊後高田市大字 露貝の迫	昭49, 3	精英樹39, 在来 1	300	N～ NE	10～25° ～B _D (d)	B _L _D (d) ～B _D	14.5	1,750	
九大 15号	宇佐市大字山袋 字丸山	昭49, 3	精英樹37, 在来 1	150	NE	15～35°	B _C ～ B _D (d)	15.0	1,600	粘質
九大 17号	大分郡庄内町 大字竜原字袋	昭50, 3	精英樹24, 在来 3	300	SW	5～25°	B _D (d) ～B _D	14.8	1,930	
九大 18号	臼杵市大字望月 字新吾畑	昭50, 3	精英樹24, 在来 3	250	SE	25～35°	B _D (d) ～B _D	15.8	1,980	石礫 にとむ

* 1, 2) 大分地方気象台: 大分県の気象百年, 216pp., 1987による推定値。

2. 供 試 苗

これら検定林に植栽されている精英樹家系は、すべて、九州林木育種場の精英樹つき木苗よりクローン別に採種し養苗した自然受粉による二年生苗である。

3. 調査および解析方法

1984年12月に、九大14号、15号を1985年12月には九大17号および18号についてそれぞれ10年次の定期調査を実施した。調査は樹高（0.1 m単位）、胸高直径（0.1 cm単位）について毎木調査を行うとともに、解析対象とした家系および在来種について地際径（地上10～20cm部位、単位 0.1 cm）の計測を実施した。樹高測定は測高桿を用い、直径測定は、輪尺を用いた。根元肥大の定量的な表現として膨大比数を用いた。

解析にあたっては4つの検定林に共通して植栽されている6つのクローン（国東18号、

玖珠6号、薩摩1号、竹田署2号、中津10号、在来種)を対象とした。

また、九大14号においては、根元肥大の程度の差異の大きいクローンが多くみられたことより、この検定林のみを対象とした解析をあわせて行った。

第3節 調査結果

1. 九大14号次代検定林における解析

火山灰土を母体とするこの九大14号検定林は、他の検定林にくらべ、とっくり病の発生が著しい。ここでは比較的保存状態の良い7家系(姶良25、姶良42、大分8、神崎5、薩摩1、中津10、山田2号)を対象として解析を行った。

(1) 現存率

検定林全体の現存率は67.5%であった。解析に用いた供試家系の現存率は姶良25号が79%で最も高く中津10号が64.0%で低かったが平均的には71.0%で検定林平均値を若干上回っている。

(2) 生育状況

39家系全体の平均樹高は5.14mであったが、供試7家系の平均は5.25mであり、大分8号、山田2号が5.90mと優れ神崎5号が5.20mで低かった。

胸高直径では精英樹家系の全体平均値が8.02cmで、7家系の平均値は8.48cmであった。このうち大分8号が9.80cmと最も良好な生育を示し、神崎が6.40cmで最も小さかった。

供試7家系の樹高、胸高直径について、プロット平均値を用いて分散分析を行ったところ、家系およびブロックとも有意差は認められなかった(表-11)。

表-11. 樹高および胸高直径成長についての分散分析表

胸 高 直 径				
要 因	平方和	自由度	平均平方	分散比
ブロック (B)	0.4066	2	0.2033	0.0938
家系 (S)	22.9961	6	3.8326	1.7697
誤差 (E)	25.9866	12	2.1656	
全 体 (T)	49.3895	20		
樹 高				
要 因	平方和	自由度	平均平方	分散比
ブロック (B)	0.7552	2	0.3776	2.2529
家系 (S)	2.7600	6	0.4600	2.7446
誤差 (E)	2.0114	12	0.1676	
全 体 (T)	5.5266	20		

(3) 形質相関

5家系(ブロックごみ)を用いての根元直径($D_{0.2}$)、胸高直径($D_{1.2}$)、樹高(h)、および膨大比数(HR)について、それぞれの間の相関関係を求めた。その結果を表-12に示す。

表-12. 家系別の根元肥大に関する形質相関

組合せ	家系				
	薩摩1号	中津10号	恰良42号	玖珠6号	竹田署2号
D _{0.2} : D _{1.2}	0.8796 **	0.8559 **	0.9001 **	0.9229 **	0.8814 **
D _{1.2} : h	0.4683 **	0.3158 **	0.6090 **	0.5283 **	0.4216 **
D _{0.2} : HR	0.4683 **	0.3155 **	0.6084 **	0.5283 **	0.4991 **
D _{1.2} : h	0.5834 **	0.5761 **	0.5766 **	0.3750 **	0.5433 **
D _{1.2} : HR	-0.0003	-0.2113	0.2174 *	0.1734	0.0421
h : HR	0.2374 *	-0.2381 *	0.2779 *	-0.0157	0.1611

**, *: 1%および5%水準で有意, HR: 膨大比数の略

表にみられるように形質間において、最も有意な相関を示したもののは、各家系に共通して胸高直径と根元直径であった。根元直径と樹高、根元直径と膨大比数、胸高直径と樹高も、それぞれ相関関係のあることが認められた。

根元肥大の指標である膨大比数は、地際直径と関係の深いことが認められたが胸高直径とは、始良42号を除いて、相関係数が低く、関連の少ないことが認められた。

これは、胸高直径の成長量と、肥大較差（根元部と胸高位との直径較差）がそれぞれ独立していることを示している。すなわち、ヒノキのとっくり病は、肥大較差の程度の大きなものと解されうるが、

この肥大較差の大きさ

は、胸高直径成長（被害の激しい場合、とっくり病状がしばしば胸高部以上に達するため異常肥大部との比較は立ち直り部位まで高める必要がある）と関連していないということである。

胸高直径と根元直径の間には、高い相関がみられることより、このことは、いささか奇異な現象と解されるが、これは根元肥大の指標

である膨大比数は、胸高直径成長とは独立的に動き、肥大較差の影響が強いためである。このことを薩摩1号のIブロックにおける例でみてみることにする（図-15）。

図-15の左図は、胸高直径と根元径の関係である、相関係数は0.8485と高い。右図は胸高直径と肥大較差の関係であるが相関係数は0.3005と低くなり、胸高直径と肥大較差の関係は、不明瞭である。

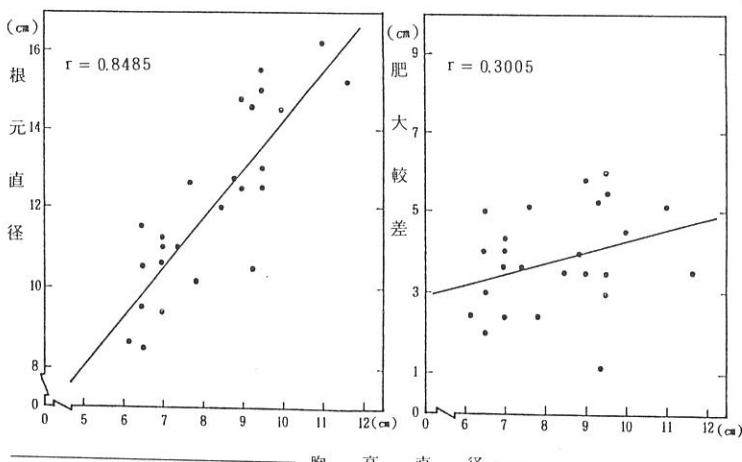


図-15 胸高直径と根元直径および肥大較差との関係（薩摩1号）

ちなみに根元直径と肥大較差との関係は $r = 0.7597$ と高く、肥大較差は根元部の大きさによる影響が大きい。

以上のこととは、ヒノキのとっくり病は、胸高直径の大きさ（言いかえれば成長の大きさ）に関係なく発生し、いわゆる優勢木のみで発生するというものではないことを示している。また樹高と膨大比数との相関も低い。しかしながら、とっくり病の発生に関連しては言われてきた優勢木とは測樹学的な意味の優勢木ではなく、外観形態においてクローネが強大で他を在している木を指していた可能性が強い。

(4) 根元肥大の家系間比較と遺伝率

ヒノキのとっくり病と関連の深い根元肥大について膨大比数を用い、「家系」および「反復」を要因とした二元配置分散分析を行った（表-13）。

表-13 膨大比数を用いた分散分析とその成分

要 因	自由度	平方和	平均平方	分 散 比	期 待 値
ブロック (b)	2	0.6093	0.3046	1.8860 N, S	$\sigma_e^2 + y \sigma_{bs}^2 + y \cdot s \sigma_b^2$
家 系 (s)	6	9.3515	1.5585	9.6501 **	$\sigma_e^2 + y \sigma_{bs}^2 + y \cdot b \sigma_s^2$
交互作用 (b × s)	12	7.2804	0.6067	3.7566 **	$\sigma_e^2 + y \sigma_{bs}^2$
誤 差 (e)	504	81.4194	0.1615		σ_e^2
全 体	524	98.6608			

注) **, * : 1%, 5%水準で有意
N, S.: 有意差なし, y: 家系内個体

この結果「家系」および「反復×家系」の交互作用に 1% 水準で有意差が認められた。有意差の認められた「家系」要因について処理平均間の比較を行ったところ、始良42 > 大分8号・中津10号・始良25号・山田2号・薩摩1号 > 神崎5号となった。すなわち始良42号は、根元肥大の著しい家系すなわちとっくり病の出やすい家系とみなすことが出来、逆に神崎5号はとっくり病の発生が少ない家系とみなされた。他の5家系間には特に差異はなく、中間的な性質一根元肥大量の大きさが遺伝的な要因以外で左右されやすい——をもつ家系とみなされた。図-16はブロックと家系の交互作用を示したものである。

図-16にみられるように、始良42号、大分8号等でブロック間変動が大きく、神崎5号・中津8号等で小さいことが認められる。

次に分散分析の結果から次式によって狭義の遺伝力を推定した。

$$h^2 = \frac{4 \sigma_s^2}{\sigma_e^2 + \sigma_s^2 + \sigma_{bs}^2} \quad \dots \quad (6)$$

(6)式において h^2 : 遺伝力、 σ_e^2 : 家系内個体間の分散、 σ_{bs}^2 : 家系とブロック交互作用分散、 σ_s^2 : 家系間の分散を示す。

(6)式によって求められた遺伝力は 0.264 と算出され、膨大係数を用いた場合(諫本, 1985a)の遺伝力 0.207 より若干高い値となつたが、いずれも遺伝力としてそう高い値とはいえず、選抜効果は低いと考えられる。

いずれにせよ、膨大比数の大きさで指標されるヒノキのとっくり症状は、程度の差こそ

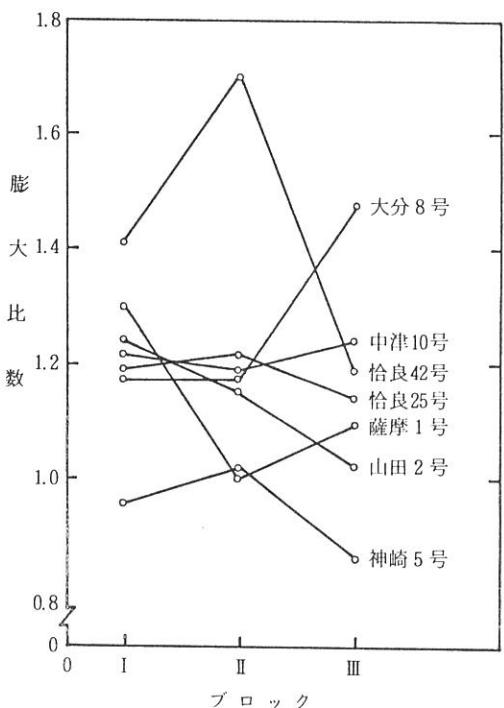


図-16. ブロックごとの家系別膨大比数

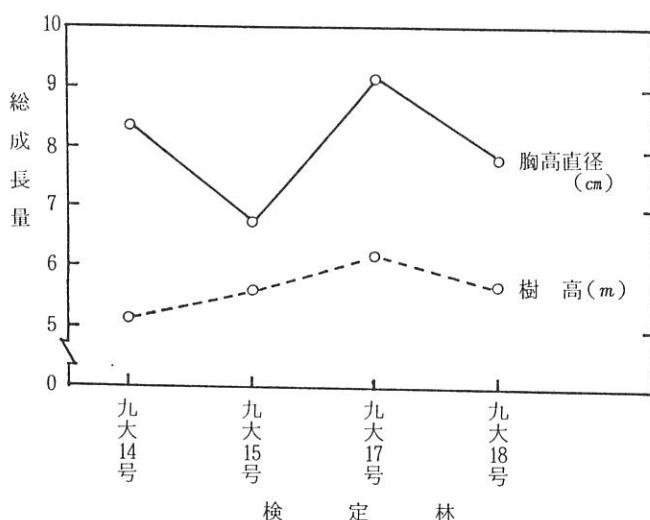


図-17. 検定林別成長状況

ヒノキの根元肥大に対する要因効果を求めた。その結果を表-15に示す。

あれ、いずれの家系にも出現するポリジーン系の遺伝形質とみなされるが、この形質の発現には、遺伝的なものより、環境や施業の影響が相対的に大きいことがうかがわれる。

2. 共通家系を用いた4次代検定林における解析

九大14号～九大18号において、共通して植栽されている6家系（国東18号、玖珠6号、中津10号、竹田2号、薩摩1号、在来種）を用いて、検定林別および検定林をこみして根元肥大に対する遺伝率を求めた。

(1) 各検定林における成長状況

4つの検定林における各家系ごとの10年次における成長状況把握のため、ブロック、家系をこみにして比較した。（図-17）。全体で最も良好な生育を呈する検定林は九大17号であり、とくに直径成長ですぐれる。

九大15号は、直径成長は劣るが、樹高成長は平均的な検定林となっている。

九大14号、同18号検定林では、中庸な成長を示している。

(2) 検定林別、家系別の根元肥大

ヒノキの根元肥大を指標する検定林、および家系ごとの膨大比数は表-14に示した。この膨大比数を用い、「検定林」および「家系」を要因とした分散分析を行い、ヒノ

表-14. 検定林、家系別の平均膨大比数

検定林	九大14号				九大15号				九大17号				九大18号				平均	
	ブロック	I	II	III	平均	I	II	III	平均	I	II	III	平均	I	II	III	平均	
県国東18号	1.30	1.14	0.97	1.14	0.90	0.83	0.75	0.83	1.15	0.84	0.87	0.95	1.09	0.96	0.83	0.96	0.97	
家 県玖珠6号	1.07	1.09	1.04	1.07	0.71	0.78	0.80	0.76	0.97	1.06	0.78	0.94	0.94	1.08	1.26	1.09	0.97	
県中津10号	1.22	1.19	1.24	1.22	0.92	0.92	0.79	0.88	1.10	1.25	1.01	1.12	0.98	0.93	1.10	1.00	1.08	
県薩摩1号	1.30	1.00	1.10	1.13	0.88	1.07	1.04	1.00	1.16	0.86	1.03	1.02	0.94	1.29	1.29	1.17	1.07	
系 竹田署2号	1.34	1.26	1.17	1.26	0.75	1.10	0.94	0.93	0.95	1.19	0.98	1.04	1.09	0.98	1.06	1.04	1.05	
在来種		1.10	1.04	1.04	1.06	0.84	0.91	0.93	0.89	0.88	1.11	0.93	0.97	1.04	0.94	0.80	0.93	0.96
平 均		1.22	1.12	1.09	1.15	0.83	0.94	0.88	0.88	1.04	1.05	0.93	1.01	1.01	1.03	1.06	1.03	1.02

表-15. 根元肥大に関する分散分析

要 因	平方和	自由度	平均平方	分 散 比
検定林 (P)	0.6707	3	0.2235	15.4137 **
家 系 (S)	0.1757	5	0.0351	2.4206 *
P × S	0.1892	15	0.0126	0.8689 N.S.
誤 差 (E)	0.6969	48	0.0145	
全 体 (T)	1.7327	71		

**, *; 1%および5%水準で有意
N.S.; 有意差なし

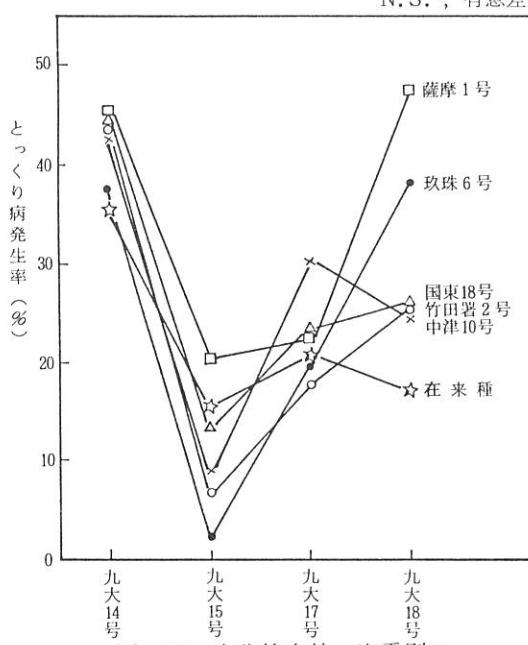


図-18. 次代検定林、家系別のとっくり病発生率

分散分析の結果、「検定林」間に1%水準で、「家系」間に5%水準でそれぞれ有意差が認められた。交互作用は、有意でなかった。有意差の認められた「検定林」について処理平均を求めるに、黒色土壌の九大14号で最も大きく、乾性傾向の最も強い九大15号で最も小さく、ヒノキの根元肥大成長は、立地条件の関与の強いことが指摘された。検定林ごとの膨大比数の処理平均比較は次のとおりである。

九大14号 (1.15) > 九大18号 (1.03)
= 九大17号 (1.01) > 九大15号 (0.85)。
次に「家系」について同様に処理平均を求め検討した。この結果、中津10号 (1.08) = 薩摩1号 (1.07) = 竹田署2号 (1.05) > 国東18号 = 玖珠6号

(0.97) = 在来種 (0.96) と大略二つのグループに区分され、家系によって根元肥大に差異のあることが認められたが、その差異は、検定林間でみられる程の大きさではなく、ヒノキの根元肥大には、立地条件の関与の大きいことが把握された。

膨大比数 1.2 をこすものをとっくり病として、検定林、家系別にとっくり病の発生率を示したもののが図-18である。

とっくり病の発生は検定林によって異なり、立地の影響の強いことを示している。

九大14号では、各家系とも発生率が著しく高く、黒色土という土壤条件がとっくり病の発生にとって、好条件となっていることを示している。逆に、九大15号は、その発生が少ない検定林となっている。この検定林は $B_c \sim B_d(d)$ というやや乾性指向の強い、強粘質の土壤であり、このような土壤はとっくり病の発生に抑制的といえるようである。九大17号は、九大14号と九大15号の中間的な発生を示す。土壤は、適潤性の褐色森林土で、九大15号にくらべ、土壤水分や、生産力で優れる。九大18号は、家系間の変動が大きく、全体的にその発生率も高い。礫質の適潤性褐色森林土となる。家系間の変動は九大18号で大きいほかは、よくまとまっており、検定林ごとの立地条件が家系要因に優先して関与していることがうかがえる。

(3) 4 検定林における根元肥大の遺伝率推定

4つの検定林における根元肥大（膨大比数）に対する遺伝率を求めた。遺伝率の算定は明石（1987）による手法に従って行った。各検定林における反復ごとの家系別本数は不揃いであるため、第一段階として、反復ごとに家系別平均値を求め、その値をもとに二元配置の分散分析を行った。このプロットごとの平均値をデータとした場合の分散分析の自由度とその平均平方の期待成分を表-16として示す。

図-16. プロットごとの平均値をデータとした分散分析における自由度と平均平方の期待成分

要 因	自由度	平均平方の期待成分
家 系	$(s - 1)$	$\sigma_e^2/n + \sigma_p^2 + \sigma_s^2$
反 復	$(b - 1)$	$\sigma_e^2/n + \sigma_p^2 + s \sigma_B^2$
誤 差	$(s - 1)(b - 1)$	$\sigma_e^2/n + \sigma_p^2$

但し左表において

s: 家系数

b: 反復数

n: プロット内個体数

σ_e^2 : 誤差分散(プロット内個体分散)

σ_p^2 : プロット間分散

σ_B^2 : 反復分散

σ_s^2 : 家系間分散

次に第2段階として、個体単位のデータをもとに、ブロックを要因とした一元配置の分散分析を行い、個体単位の変動を求めた。

この膨大比数を用いて、4ヶ所の検定林ごとに家系と反復を処理要因として分散分析した結果は、表-17のとおりである。

表の第4行までは、プロットごとの平均値をデータとした場合の分散分析の値であり、单木データを用いた分析は第5～8行欄に示した。

これら検定林における供試苗は、自然受粉種子によるものであるため、遺伝率は、家系間分散 (σ^2_S) の4倍を分子として、分母にプロット内個体分散 (σ^2_e) とブロック間分散 (σ^2_p) と家系内個体分散 (σ^2_s) をとることによって求められる。すなわち

$$h^2 = \frac{4 \sigma^2_S}{\sigma^2_e + \sigma^2_p + \sigma^2_s} \times 100 \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

(7)式における遺伝率は、狭義の遺伝率であり、この(7)式によって求められた検定林ごとの遺伝率は表-17の下から2行目の欄に示した。

表-17. 膨大比数についての分散分析

	九大14号			九大15号			九大17号			九大18号		
	d.f.	SS	MS	d.f.	SS	MS	d.f.	SS	MS	d.f.	SS	MS
プロック	2	0.0279	0.0139	2	0.0313	0.0156	2	0.0492	0.0246	2	0.0057	0.0028
家系	5	0.0751	0.0150	5	0.0982	0.0196	5	0.0687	0.0137	5	0.1228	0.0245
誤差	10	0.1000	0.0100	10	0.0823	0.0082	10	0.1882	0.0188	10	0.2120	0.0212
全 体	17	0.2031		17			17	0.3062		17	0.3406	
プロット	17	4.800	0.2823	17	6.043	0.3554	17	10.490	0.6171	17	15.5914	0.9171
誤 差	434	76.350	0.1759	468	41.460	0.0885	624	70.300	0.1126	741	98.5100	0.1329
全 体	451	81.150		485	45.503		641	80.790		758	114.1014	
遺伝率	3.70 %			17.06 %			15.33 %			4.73 %		
ko *	23.6			26.1			34.2			41.5		

$$Ko = \frac{1}{s-1} \left(\sum k - \frac{\sum k^2}{\sum k} \right) \text{ただし } s: \text{家系数}, k: \text{家系ごと個体数}$$

表にみられるように各検定林における根元肥大に対する遺伝率は、九大15号で17.06%と最も大きく、九大14号で3.70%と小さかった。4つの検定林の平均の遺伝率は10.2%で、遺伝率としては低い値とされた。とっくり病の発生と遺伝率との関係をみてみると、最も遺伝率の高い九大15号では、その発生率は11.5%と低く、逆に遺伝率の低い九大14号では、42.0%という高いとっくり病の発生がみられ、遺伝率は、とっくり病の発生の高い検定林で小さく、発生の少ない林分で高くなる傾向がみとめられた。これは、とっくり病の発生の高い検定林では、個体変動が相対的に大きいことより、遺伝率は小さくなり、逆にとっくり病の発生の少ない検定林では、個体変動が相対的に小さいことより遺伝率が大きくあらわれるものと解される。個体変動の大きいことは、立地的な面での肥大量の変化が大きいことを意味しており、全般に遺伝率が低いことは、ヒノキのとっくり病は、立地の影響を強くうけていることを示したものと考えられる。

第4節 考察

遺伝力の推定は、効率的な育種を推進する上で最も基本となるべき重要な項目である。ヒノキのとっくり病は、真因は不明のまま現在に至っているが、その発生に関して、遺伝的な面からの解析は、まず何よりも先になされるべき課題であろう。ヒノキの各形質についての遺伝力推定は、すでにいくつかの手法で試みられ、これに関する報告も多いが、こ

のうちとっくり病と関連する肥大成長の遺伝力については、酒井ら(1969)、明石ら(1970)の報告があり、前者では、ヒノキ実生林における胸高直径の遺伝率が平均50%であることを、後者では、同じくヒノキ実生林の胸高周囲の遺伝率を求め、66%という値を得ており、いずれも比較的高い遺伝力を有することを報告している。

とっくり病と直接関連する根元成長についての遺伝力推定は、現在のところ、筆者の報告例(1985a)を除いてまだみられないようである。この事例は、九大14号ヒノキ次代検定林10年目の調査結果にもとづき、7家系の根元肥大の指標値、膨大比数を用いて算出した狭義の遺伝率推定で、算定結果20.7%の値を得ている。

遺伝力の算定は、なされていないものの、とっくり病の発生に関して遺伝的な面から積極的な検討がなされたものとして永江(1987a,b)の報告があり注目をひくものとなっている。永江は、15年生のヒノキ精英樹次代検定林において、25家系について根元肥大調査を実施し、とっくり病は、成長の大きい家系で多発し、立地条件の影響の強いことを指摘し、また、家系によっては、立地条件とは別に、とっくり病の多発家系、低発生家系のあることを認め、とっくり病の発生は、立地とともに遺伝的な面での関与が大きく、育種によるとっくり病の被害回避の可能性を示唆している。

今回の筆者による解析は、前述の九大14号次代検定林における調査結果について、膨大係数で表示した根元肥大の指標値を、膨大比数におき直して遺伝率を再算定したものと、地域を異にする4つの次代検定林における共通6家系を用いてのヒノキの根元肥大における遺伝力の推定であった。

九大14号次代検定林において、膨大比数を用いた場合の遺伝率は26.7%ときの膨大係数を用いた算定値20.7%よりいく分高い値となった。胸高部における遺伝率が50%、66%であった事例からすれば、とっくり病にみられる根元肥大の遺伝率は、とくに高いものとはいえない。

この九大14号次代検定林における根元肥大に関する分散分析結果は、「家系」および「家系×ブロック」の交互作用に1%水準で有意差が認められ、これは永江の報告にも指摘されたように、ヒノキ集団の中に、根元肥大成長に関して遺伝的な大小があり、この特性に関する育種の可能性のあることを示したものと解される。また交互作用が認められたことは、根元肥大が立地条件によって大きく左右される家系の存在を意味しており、ヒノキのとっくり病は、遺伝的なものと立地条件の組み合わせの中で多様な変化を示すことがうかがわれる。有意差の認められた「家系」について処理平均比較を行ったところ、このうちの一家系(始良42号)は、根元肥大の著しい家系として区分され、逆に神崎5号という家系は、とっくり病の発生がきわめて少ない家系として他の家系と区分された。

他の5家系は、中間的な家系とされ、根元肥大が遺伝以外の要因で左右されやすい家系と見なされた。ここに取りあげた7家系は、精英樹として選抜されたヒノキであり、ヒノキの実生集団の一般的特性を表現するものとは言えないまでも、ヒノキのとっくり病の発生に関しては、この家系間比較の中によくその特性があらわれているように思える。

すなわち、ヒノキ実生集団においては、とっくり病の発生に関して、始良42号にみられるように、遺伝的に、その発現力の著しく高いもの、あるいは神崎5号のように逆に弱いもののあることを示すが、それは、遺伝率にみられるように、その出現比率はそう高いものではなく、大部分のヒノキは、中間的な性質、すなわち条件(立地、施業)による差異によって、とっくり病の発生が助長されたり抑制されたりするものであるという見方であ

る。いいかえれば、大部分のヒノキは、潜在的に条件が与えられれば、とっくり病を発現する性質を有しているということである。

次に、4つの検定林における在来種を含む6家系を用いた分散分析および遺伝率推定の結果では、検定林間に1%水準で有意差が認められ、とっくり病の発生に関して立地条件の関与の大きさが改めて確認され上記の論旨を裏づけている。また家系間においても5%水準で有意差が認められ、遺伝的な関与もまたここで再確認することが出来た。

根元肥大量が大きく、とっくり病の発生が最も多かった検定林は九大14号で、その発生率は42.0%と顕著であった。逆に根元肥大量が最も小さく、とっくり病の発生が少なかった検定林は九大15号で、その発生率は11.5%であった。同一家系を用いながら、とっくり病の発生に関してこのような差異のみられることは、くり返し述べてきたように、立地的な関与がとっくり病の発生には、密接であるということであろう。ちなみに、九大14号は黒色火山灰土によって被覆された検定林で、膨軟で保水力の高い土壤となっており、九大15号は、粘質の赤色系に近い褐色森林土でやゝ乾性気味となっており、堅密な堆積を示している。このような土壤条件の違いが、ヒノキのとっくり病の発生に関して、強い影響を及ぼしていることが推測されるが、それがどのような形で、根元肥大と直接むすびついているかは、現時点では不明である。

各検定林の根元肥大に対する遺伝率は、九大14号で3.7%、九大15号で17.1%、九大17号で15.3%、九大18号で4.7%であり、平均的には10.3%と低かった。各検定林における遺伝率と、とっくり病の発生率をみると、とっくり病の発生が42.0%と高い九大14号で遺伝率は最も小さく、逆にとっくり病の発生が最も少ない九大15号では、最も高い遺伝率を示し、遺伝率はとっくり病の発生の高い検定林で小さく、発生の少ない検定林で高くなる傾向を示している。

次代検定林は、成長、形質にすぐれた選抜集団であり、当然選抜段階で、とっくり病に対する陶汰はなされていたものと考えられるが、それでも、これら検定林の事例にみられるように多くの家系においてとっくり病の輩出がみられることは、前にも述べたように、大部分のヒノキは、潜在的に条件が与えられれば、とっくり病状を発現していく性質をもつ樹種として認識さるべきものかも知れない。4つの次代検定林における遺伝率の平均は、前述の如く10.3%と低かったが、現実林分では、陶汰がなされていないことより、個体間の変動が更に大きくなり、この結果、遺伝率はもう少し低くなると考えられる。しかしながらとっくり病の発生に関して、遺伝的な関与は、否定さるべきでなく、育種による回避の可能性は、残されているが、遺伝力としては小さいことより選抜効果はかなり低いものになることが予想される。

第 5 章 とっくり病と発生条件

第 1 節 目 的

ヒノキのとっくり病の発生に関して、立地および施業面からの調査研究は、古くから行われ、その発生条件に一定の傾向のあることが指摘されてきた。すなわち水分環境に恵まれた肥沃地に多いこと（遠藤ら, 1962など）、疎林状況や林縁部で多発傾向にあること（鹿児島県林試, 1936など）、枝打ちや高密度管理では、その発現が抑制される（赤井ら, 1967など）等である。ここでは、これら既往の成果を勘案して、とっくり病の発生に関して、土壤、地形、年降水量などの自然的要因と、枝打ち、密度といった施業要因の影響について検討した。

第 2 節 調査および方法

1. 調 査

1980年～1985年の5ヶ年にかけて実施した「ヒノキ幹材の形質特性に関する研究」および「ヒノキのとっくり病に関する研究」によって収集した大分県下のヒノキ林96林分の資料を用いた。調査は、林況に応じて半径7～10m（面積150～300m²）の円形プロットを用い標準地を設定した。直径は胸高部位（1.2m）と地際部（0.2m）の二ヶ所を輪尺にて二方向より計測した（0.1cm単位）。樹高は直径階ごとに1～2本宛選出し、ブルメライス測高器を用いて0.1m単位まで計測した。

また標準地の中央部において、土壤断面調査を行い、このうち41林分については、表層部（0～10cm）と中層部（30～40cm）において、採土円筒を用い土壤の採取を行った。

保育履歴は現況把握および聞き取りによった。

2. 方 法

とっくり病を指標するものとして、膨大比数を用い、この値が1.2を越えるものをとっくり病とみなし、その出現比率（発生率）の逆正弦変換値を数量化・I類を用いての解析の目的変数とした。とりあげた説明変数は以下の8要因で、その内容は次のとおりである。

- ①土壤（X₁ ……林野土壤分類による土壤群、土壤型区分で、大きく褐色森林土壤群と黒色土壤群に分け、それをさらに乾性型と適潤型に区分した。この結果4つのカテゴリーに区分された）。
- ②枝打ち（X₂ ……林分の手入れの良否の指標で、幼時より入念なる枝打ちをくり返したものと良、据枝払いに加え、手のとどく範囲までの枝打ちが行われたものを普通とし、全く枝打ちの行われていない放置林を不良とし、3つのカテゴリーに区分した）。
- ③地形（X₃ ……斜面の形態的区分に土壤の堆積様式を加味し表-18のとおり6つのカテゴリーに区分した）。
- ④年降水量（X₄ ……「九州地方年降水量 平均値 分布図」（竹下ら, 1977）により推定した値を用い、4つのカテゴリーに区分した）。
- ⑤こみ指数（X₅ ……大分県におけるヒノキ林の密度百分比式（諫本, 1983c）、 $\log n = 3.700 - 0.03049 h$ （但し n：立木本数/ha、h：林分高）による算出値を1/100値に変換したもの。従ってこの算出値が90であれば、ここでは0.9となり、110であれば、

その値は1.10となる。この値が小さいほど林分は疎であることを示し、この値が高くなるほど、林分は相対的に高密であることを示す)。

表-18. 地形の定性区分と区分基準

名 称	区 分 基 準
山 頂	山頂部、山稜線、尾根
山 頂 緩 斜 面	山頂部の平坦ないし、小起伏の面で、傾斜角25°以内の高原状斜面。 (谷の下刻作用や谷壁の側刻作用など及んでいない上位未開析緩斜面)
開 析 斜 面 (凸)	開析作用の行われている山腹の斜面で匍匐土とする。傾斜角20°以上で斜面型は上昇または平衡の形状を示す。
開 析 斜 面 (凹)	開析作用の行われている山腹斜面で崩積土に富む。斜面型は下降の形状をとる。傾斜20~40°のものが多い。
谷 筋	斜面下部内もしくは開析斜面直下に分布する20~25°以下の堆積面で開析斜面内で発生した崩壊土砂や土石流が流出・堆積する谷間の堆積面や山麓堆積面(斜面直下70m以内)を一括する。
山 麓 ・ 台 地	斜面下部にひろがる10°前後以下の緩斜~平坦面で、斜面直下の地形変開点よりの範囲が70mを越すものを山麓とした。台地は、開析斜面下位にある平坦地で山頂緩斜面との区別は、頂部と山麓部の比高が小さい割にその表面が広く平坦であることである。

⑥土壤ちみつ度(X_6 土壤(土層)のもつ硬さに、粘度を加味したものを土壤ちみつ度として呼称した(諫木, 1983c)。土壤のちみつ度の高いことは、土壤が堅くてしかも粘性が高いことを意味する。土壤のちみつ度は、土壤硬度(硬いほどちみつ度が高い)、土性(粘土の多いほどちみつ度が高い)および母材(火山灰は容積重小さく軽便のため、ちみつ度低し)の三因子にそれぞれ評点を与え、その総積値とした。硬度、土性、母材の三因子を用いて土壤ちみつ度を算出したものを表-19として示す。

表-19. 土壤のちみつ度数値表

土 性	母 材	土 壤 硬 度						
		(表層)(0~14) (下層)(0~14) (0.7)	(0~14) (15~19) (0.8)	(0~14) (20~) (0.9)	(15~19) (15~19) (1.0)	(15~19) (20~) (1.1)	(20~) (20~) (1.2)	
L S L	(0.8)	非火山灰土 (1.0)	0.56	0.64	0.72	0.80	0.88	0.96
		火山灰土 (0.8)	0.54	0.51	0.58	0.64	0.70	0.77
C L S i L	(1.0)	非火山灰土 (1.0)	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20
		火山灰土 (0.8)	0.56	0.64	0.72	0.80	0.88	0.96
C	(1.2)	非火山灰土 (1.0)	0.84	0.97	1.08	1.20	1.32	1.44
		火山灰土 (0.8)	0.67	0.77	0.86	0.96	1.06	1.15

() は評点

この算出値に対し、0.80以下、0.81~1.0、1.01~1.20、1.20以上の4つのカテゴリーに区分した。値が大きくなる程、土壤は堅密で粘質なこと、すなわち緻密であることを

示す)。

⑦林齢 (X₇ ……25年生以下、26~40年生、41年生以上の三つにカテゴリー区分した)。

⑧地位指数 (X₈ ……地力の絶体表示で40年生時における主林木の樹高。地位指数の推定は大分県ヒノキ林地位指数曲線図 (諫本, 1983 c) によった)。

この結果、数量化・I類を用いての本解析は、8要因項目29カテゴリーに配列区分された。

第 3 節 調査結果

1. 数量化・I類による発生要因の解析

数量化・I類では、採用された要因項目が相互に独立的であることが望ましいので、各要因項目間の内部相関関係を算出した (表-20)。

表-20. 内部相関行列

	土壤	枝打ち	地形	年降水量 (mm)	こみ指数	土壤ちみつ度	林齢 (年)	地位指数	とっくり発生率 (%)
X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	Y	
X ₁	1.000	-0.178	-0.091	0.164	0.162	0.611	-0.248	0.053	0.469
X ₂		1.000	0.027	0.250	0.286	0.119	-0.282	-0.061	0.567
X ₃			1.000	-0.113	0.019	-0.035	0.084	-0.184	0.851
X ₄				1.000	0.214	0.264	-0.174	0.074	0.482
X ₅					1.000	0.141	-0.134	0.000	0.408
X ₆						1.000	-0.169	0.066	0.485
X ₇							1.000	0.043	-0.218
X ₈								1.000	0.061
Y									1.000

表にみられるように、土壤と土壤ちみつ度の間に比較的高い相関関係が認められたが、他の要因項目間での相関は低く、各要因項目は、独立性が高いと判断された。このため、この8つの要因項目を用いて、とっくり病の発生率 (逆正弦変換値) を外的基準とした数量化・I類による多変量解析を行った。解析結果を表-21として示す。解析結果、重相関係数は0.6300と特に高い値とはいえなかったが、1%水準で有意であった。さきに、同じ資料を用い、とっくり病の発生率を膨大比数1.0以上とし、逆正弦変換をしなかった場合 (諫本, 1986 a) のそれは0.832と今回より高い値であったが、内容的には、ほど類似した傾向を示し、とっくり病の発生に関しての要因解析は、どちらを用いてもほど同様の結果を示している。

さて、今回の解析結果について検討してみると。

表-21において、レンジ、偏相関係数、偏差は、各要因項目、カテゴリーのとっくり病の発生に対する影響の度合を示すものとして重要である。各要因項目について、偏相関係数の有意性検定を行ったところ、「地形」、「林齢」および「地位指数」の3要因項目は有意でなかったが、「土壤」を含め、他の5要因項目は、1%または5%水準で有意差が

認められた。このうち「枝打ち」の要因項目が最も高い偏相関係数とレンジを示し、林分の手入れの良否が、とっくり病の発生に強い影響を及ぼしていることが認められた。

次いで「年降水量」、「こみ指数」、「土壤ちみつ度」および「土壤」の順でとっくり

表-21. 要因群スコア表と偏相関係数の有意性検定

要 因 項 目	カ テ ゴ リ ー	反 応 個 数	ス コ ア	レ ン ジ	偏 相 関 係 数	平 均 値	偏 差	と く り 病 発 生 率(%)
土 壤 (X ₁)	1) Bc, Bd(d)相当	36	-3.704	8.404	0.253*	0.1988	-3.902	9.8
	2) Bd, Be "	26	0.622				0.423	13.4
	3) Blc, Bld(d) "	11	4.699				4.500	29.1
	4) BlD, BlE "	23	3.677				3.478	32.5
枝 打 (X ₂)	1) 3回以上(良)	20	-10.431	18.353	0.511**	-0.169	-10.262	4.9
	2) 2回程度(普)	47	-0.449				0.618	13.2
	3) なし(不)	27	7.921				8.090	34.6
地 形 (X ₃)	1) 尾根・山腹緩斜	25	0.377	6.299	0.155	-0.059	0.436	18.3
	2) 山 腹	41	0.886				0.945	16.4
	3) 山腹下部・谷筋	23	-0.341				-0.282	21.8
	4) 台 地	7	-5.414				-5.355	13.9
年降水量 (X ₄)	1) 1,800 mm以下	26	-0.273	17.935	0.373**	0.177	-0.450	9.5
	2) 1,801~2,000	44	-3.145				-3.322	15.1
	3) 2,001~2,200	21	3.406				3.229	24.2
	4) 2,201以上	5	14.790				14.613	60.3
こみ指数 (X ₅)	1) 0.80以下(疎)	21	5.182	8.205	0.263**	0.080	5.102	31.7
	2) 0.81~1.00↓	20	-0.769				-0.849	17.8
	3) 1.01~1.20↓	28	-1.228				-1.308	12.7
	4) 0.21以上(高密)	17	-3.022				-3.102	9.9
土 壤 ちみつ度 (X ₆)	1) 0.80以下(軟)	44	3.483	8.056	0.271**	0.620	2.863	29.2
	2) 0.81~1.00↓	19	2.467				1.847	20.0
	3) 1.01~1.20↓	20	-4.573				-5.193	8.2
	4) 1.21以上(堅)	13	-3.778				-4.398	7.4
林 齡 (X ₇)	1) 25年生以下	39	-0.441	1.543	0.065	-0.207	-0.234	22.6
	2) 26~40年生	35	0.901				1.108	11.2
	3) 41年生以上	22	-0.643				-0.430	20.4
地位指数 (X ₈)	1) 14以下	8	0.837	1.821	0.090	-0.018	0.855	23.7
	2) 15~17	41	0.876				0.894	20.5
	3) 18以上	47	-0.945				-0.927	14.7
重 相 関 係 数						0.6300**		

**: 1%水準で有意 *: 5%水準で有意

病の発生に影響を及ぼしていることがうかがわれた。

次に外的基準であるとっくり病の発生に影響している要因項目のうち、どのカテゴリーが影響をもっているかについて検討した。これは各スコアの値と平均値との差である偏差の値が判断のよりどころとなる。また偏差値が正の値をとれば、とっくり病の発生に促進的であり、負の値をとれば、抑制的なカテゴリーとなる。正の値で、最も大きな値をとるカテゴリーは、「年降水量」の2,201 mm以上であり、このカテゴリーにおいてとっくり病の発生が著しいことを示している。ちなみに、このカテゴリーに属する林分での発生率は60.3%となっている。次いで「枝打ち」要因項目の中の枝打ちなし(手入れ不良)であり、

「こみ指数」では、0.80以下という疎林で値が大きい。また「土壤」では、黒色土の二つのカテゴリーが大きく、褐色森林土にくらべその発生の多いことを示している。

「土壤ちみつ度」では、0.80以下という膨軟な土壤での値が大きく、「年降水量」2,001～2,200 mmでの値も高い。これらの各カテゴリーが主としてヒノキのとっくり病の発生条件を形成している。逆に、とっくり病の発生に抑制的なカテゴリーとして、「枝打ち」要因項目の3回以上の枝打ち（手入れ良好）がまず第一にあげられる。次いで「土壤ちみつ度」の1.01以上といううちみつ性の高さを示すカテゴリー、「こみ指数」においては、1.01以上の高密度カテゴリーに、また「土壤」では、乾性指向の強い褐色森林土、「年降水量」の1,800 mm以下にそれぞれ、負の偏差値がみられ、ヒノキのとっくり病の発生に対する抑制因子となっていることが指摘される。

以上の解析結果より、ヒノキのとっくり病の発生条件として、黒色土で、年平均2,000 mm以上の降水量があり、土壤膨軟な自然環境下にあり、これに枝打ち皆無といった粗放管理で放置され、しかも立木密度が低いという人為的条件が加わった場合、最も顕著な発生を示す。逆に褐色森林土で、年降水量が、1,800 mm以下と少なく、土壤緻密で、これに幼時よりの入念な枝打ち、高密度管理が加われば、その発生は十分に抑制される。

ちなみに今回の調査によれば、発生条件がすべて満たされた林分は、9ヶ所計上されるがこの場合のとっくり病の平均発生率は61.8%と高率であり、逆に抑制条件がすべて満たされた5つの林分での平均発生率は5.0%であり、前者の約1/12の発生率にすぎなかった。

2. 歪度によるパターン分布

数量化・I類によって、とっくり病の発生条件に関する解析結果、「土壤」、「枝打ち」、「年降水量」、「こみ指数」および「土壤ちみつ度」の5つの要因項目が、その発生に関与していることが認められた。このため、ここでは更に稿を進め、各要因項目におけるカテゴリーごとに、平均膨大比数、歪度（pearson法（森田、1964など）を改変したもの）およびとっくり病発生率（膨大比数1.0以上と1.2以上の二区分）を求め、検討した。

Pearson法による歪度は次式により求められる。

$$Sk = \frac{\bar{x} - Mo}{S} \quad \dots \dots \dots \quad (8)$$

(8)式において、Sk：歪度、 \bar{x} ：算術平均、S：標準偏差、Mo：度数の集中点（並数）

ここでは、とっくり病の発現の分界値、膨大比数1.0を中心とした分布型の変化をこの歪度によってさぐることが目的であるので(8)式におけるMoを、分界値である1.0と定数と定め算出してみた。従って(8)式は次のように書きあらわされる。

$$Sk' = \frac{\bar{x} - 1.0}{S} \quad \dots \dots \dots \quad (9)$$

この場合、歪度は、ヒノキの根元肥大を指標する膨大比数の分布パターンの非対称度をあらわす値となっており、当然のことながら、とっくり病の発生との関連が深い。

膨大比数の頻度分布において、その分布が右方向に集中度が高い場合（変量値1.0よりの広がりが大きい場合）は、とっくり病の発生が著しく高いことを示しており、この時、歪度は負の値をとる。逆に分布の広がりが左に大きい場合（変量値1.0より左に集中度が

高い場合)は、健全木の出現比率が高く、その値は正値となる。正値でも、その値が0に近ければ、その発生は高くなることが認められ、この値が高くなるほど、幹脚部のより締った健全木の比率が高くなることを示す。

表-22に要因項目、カテゴリー別に肥大状況(膨大比数、歪度、とっくり病発生率)を示し、図-19に膨大比数のカテゴリー別頻度分布を示した。

表-22. 要因項目およびカテゴリー別肥大状況

項目	要因 カテゴリー	個体数 (林分数)	膨大比数		歪度	とっくり病発生率	
			平均	標準偏差		1*	2*
土 壤	1) 褐色森林土	1,293 (63)	0.812	0.334	0.563	33.9%	17.6%
	2) 黒色土	770 (33)	1.040	0.426	-0.093	58.8	39.2
枝打ち	1) 良	445 (21)	0.775	0.285	0.789	25.1	9.7
	2) 普通	953 (46)	0.831	0.349	0.484	36.8	20.6
	3) 不良	665 (29)	1.088	0.425	-0.207	64.5	43.6
年降水量	1) 1,800mm以下	265 (12)	0.797	0.261	0.778	29.4	10.6
	2) 1,801~2,000	988 (48)	0.823	0.353	0.501	36.5	19.8
	3) 2,001~2,200	661 (29)	0.968	0.391	0.081	51.4	33.4
	4) 2,201mm以上	149 (7)	1.259	0.498	-0.520	75.8	57.0
こみ指数	1) 0.80以下	381 (21)	1.086	0.410	-0.209	65.8	41.2
	2) 0.81~1.00	663 (30)	0.911	0.386	0.230	42.5	26.4
	3) 1.01~1.20	569 (27)	0.850	0.364	0.412	38.3	21.6
	4) 1.21以上	450 (18)	0.777	0.335	0.665	31.3	16.7
土 壤 ちみつ度	1) 0.80以下	977 (44)	0.990	0.410	0.024	54.5	34.6
	2) 0.81~1.00	311 (15)	0.965	0.416	0.084	46.9	31.5
	3) 1.01~1.20	541 (24)	0.743	0.384	0.669	24.5	10.7
	4) 1.21~	240 (13)	0.793	0.323	0.640	35.4	17.5
とっくり発生条件完備林		199 (9)	1.308	0.454	-0.678	77.0	61.8
とっくり抑制条件完備林		100 (5)	0.718	0.250	1.128	8.5	5.0
全 林 分		2,063 (96)	0.898	0.388	0.262	43.2	25.7

注) *1, 2はそれぞれ膨大比数1.0, 1.2以上の出現比率

表にみられるように、歪度が負の値を示したカテゴリーは、黒色土、枝打ち不良、年降水量2,201mm以上およびこみ指数0.80以下の4カテゴリーで、いずれも40%以上という高いとっくり病発生率(膨大比数1.2以上)を示しており、とくに、負値の大きい年降水量のカテゴリーでは、その発生率は57.0%と著しく高かった。図-19の頻度分布図においても、これらのカテゴリーは、1.0をピークとした、右に据の長い広がりを持ち、右に延びる程とっくり病の程度の著しいことを示すことより、質量とともに、とっくり病の発生条件としての因子となっていることがうかがわれる。年降水量2,001~2,200mm、土壤ちみつ度の0.80以下のカテゴリーは負の値こそ示さないものの、きわめて小さな正値を示し、こ

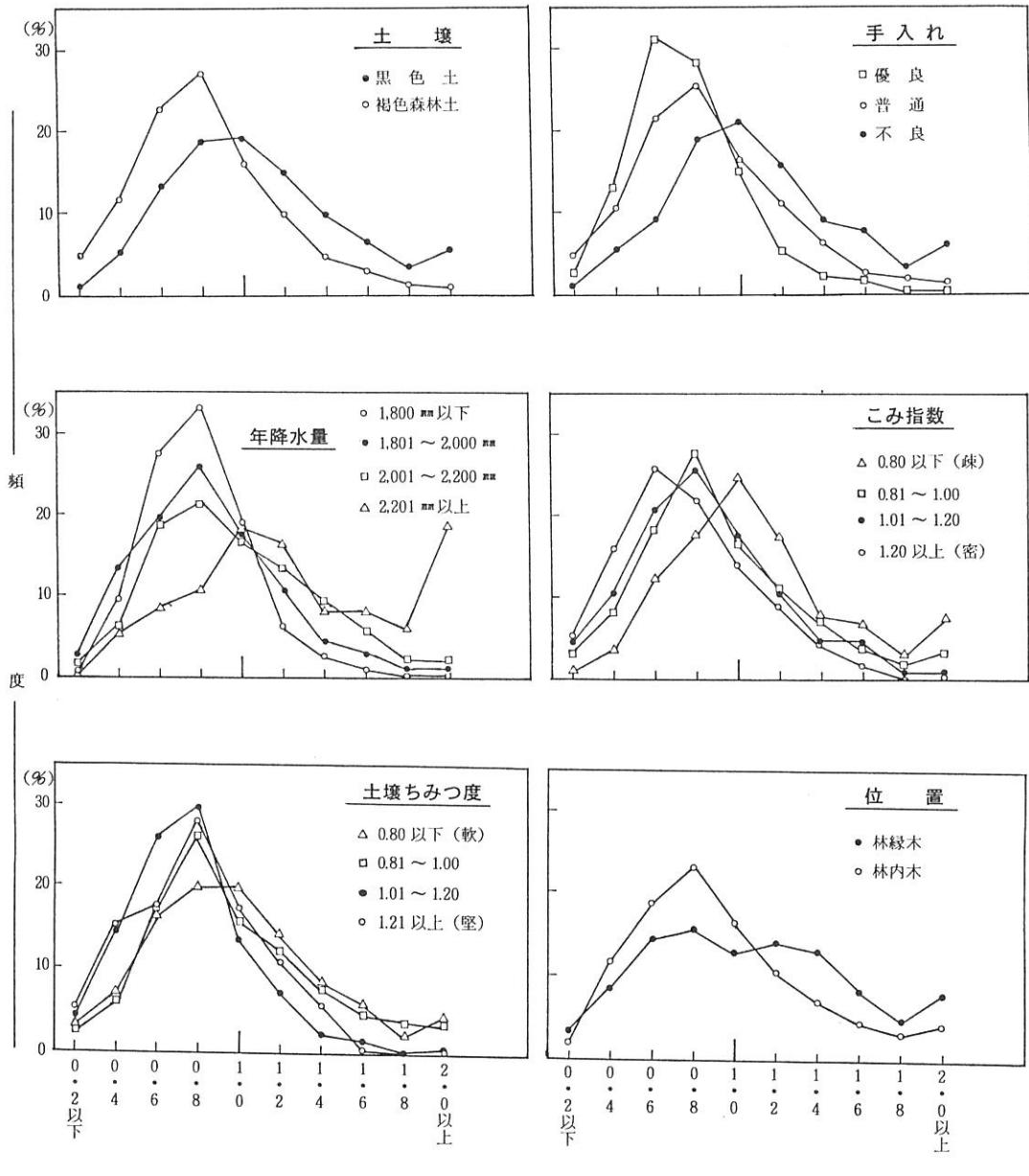


図-19. 要因項目別、カテゴリー別の膨大比数の頻度分布

のカテゴリーもとっくり病の発生に関する因子となっている。

逆に歪度が正值で、値の大きいカテゴリーは、とっくり病の発生に関して抑制的に作用する因子とみなされるが、この値の高い順に取り出せば、枝打ち項目の良、年降水量の1,800 mm以下、土壤ちみつ度の1.01~1.20、こみ指数の1.21以上、そして土壤の褐色森林土となっており、寡雨、入念な保育管理、高密管理、ちみつ性の高い土壤そして褐色森林土という因子は、とっくり病の発生に関して、抑制的であることが認められる。また要因項目とは、直接関係ないが、位置関係において、林縁木と林内林の頻度分布を見るに、林

内木では、膨大比数0.8をピークとしたパターンで健全木の出現比率が高いが林縁木では、1.0を中心とした高原状分布を示し、とっくり病の発現が質量とともに著しいことを示しており(図-19)、林縁という棟立条件もまたとっくり病の重要な発生要因になっていることが指摘されうる。

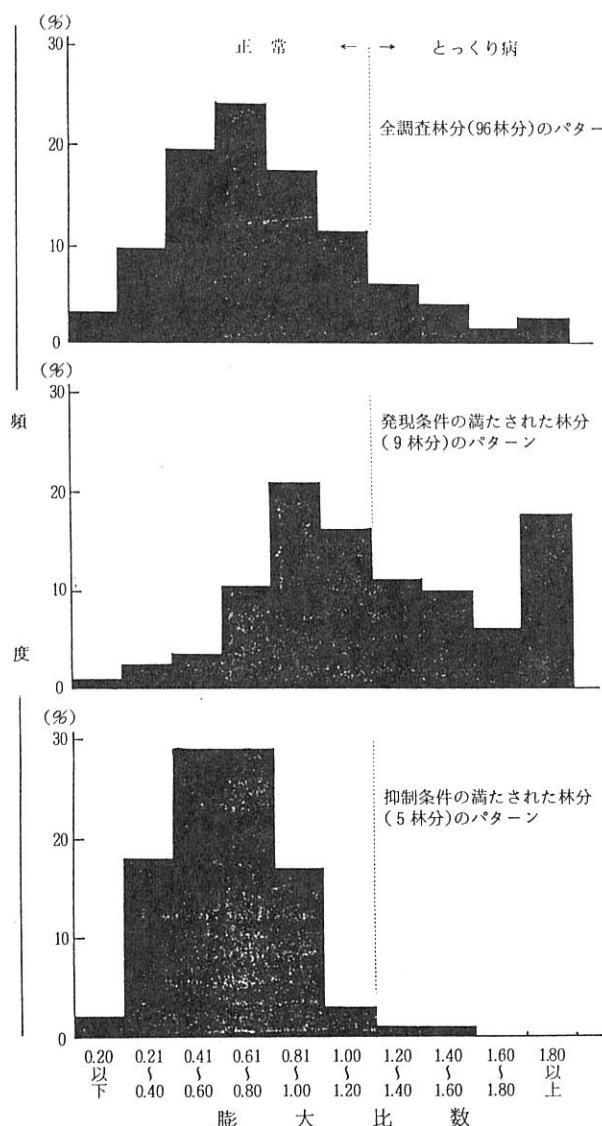


図-20. 幹脚部膨大比数の頻度分布

図-20は、今回の調査にかかる全96林分の膨大比数の頻度分布、発現条件のすべて満たされた9林分(黒色土、年降水量2,201 mm以上、こみ指数0.80以上、土壤ちみつ度0.80以下)の頻度分布および抑制条件の満たされた5林分(乾性褐色森林土、年降水量1,800 mm以下、こみ指数1.21以上、土壤ちみつ度1.21以上)の頻度分布を示したものである。

全林分では、やゝ左に中心をもつ正規分布型を示すが、とっくり病多発林では、ピークは変量0.8~1.0のところにあるも、右への広がりが大きく、とくに膨大比数1.80以上という著しいとっくり症状をもつものの出現が約18%にも達しているのが目立つ。

抑制条件のそろった林分では、左に中心をもつまとまった型の正規分布を示し、とっくり病の発生はほとんどみられない。とっくり病発現の目安である膨大比数1.2

以上の出現率をみると、全林分では、25.7%、とっくり病発現条件完備林では、61.8%、抑制条件完備林では5.0%となっており、環境施業条件の違いは、とっくり病の発生に大きな影響を及ぼしていることが認められる。

3. とっくり病の発生と土壤の理学的機能

前述のように、とっくり病の発生に関して、自然的条件として、土壤型、年降水量、土壤ちみつ度、施業的条件として手入れの良否、こみ指数等があげられ、これらが単一的にあるいは相乗的に作用することで、とっくり病の発生を助長し、あるいは抑制することが認められた。

ここでは、これら多くの要因のうち、古くよりその関連について調査研究がなされてきた土壤要因、とくにそのうちの理学的機能の面より検討を加えてみた。

調査対象とした96林分より、とっくり病の発生程度によって、激害林（膨大比数1.2以上の発生率が30%を越える林分）、中害林（発生率15~30%）および微害林（発生率0~10%）に分け、それぞれの被害林分より10林分ずつ、計30林分を選出し、採土円筒を用いて算定した土壤の理学的機能の諸項目について、「被害別」（激、中、微害の三水準）および「深さ別」（地表下5cmと30cmの2水準）に二元配置分散分析（くり返し10）にて解析した。

表-23に、被害別の対象林分を示した。

表-23. とっくり病の発生と被害区分一覧

区分 林 分 数	調 査 番 号 *1)	とっくり病発生率(%) *2)		土壤型 (%)	土 性 比 (%)
		平均	標準偏差		
激 害 林	57, 59, 62, 65, 78	42.6	9.6	B _D	10
	88, 91, 93, 94, 95			B _D (d)	30
				B _D p	60
中 害 林	58, 64, 69, 73, 77	20.0	4.2	Bc	30
	79, 80, 83, 84, 86			B _D (d)	30
				B _D	20
				B _D p	20
微 害 林	66, 67, 70, 71, 72	2.5	2.2	Bc	50
	75, 76, 81, 85, 87			B _D (d)	50
				C	50

*1) 卷末調査林分における調査地番号

*2) 膨大比数1.2以上のもの

*3) B層上部の土性

とっくり病の発生程度と土壤条件をみると、表より明確な差異のあることが認められる。まず激害林とされるものは、黒色土それもB_Dp型という土壤に多発していることが特徴である。褐色森林土では、激害とされる林分は、ここでは1林分のみである。これに反して微害林では、すべて褐色森林土となっており、しかも乾性傾向をもつBc,B_D(d)型の二型で適潤性土壤や、黒色土は見出しえない。そして、更に特徴的なことは、粘性の強い埴土が50%を占めていることであろう。中害林は、土壤型、土性とも多様である。

このことから明らかなように、土壤条件のみからとっくり病の発生を把えた場合、黒色土

それも、適潤性のB ℓ_D 型で著しいことが指摘され、乾性傾向のある粘質の褐色森林土では、その発生の少ないことがあげられる。表-24に、土壤の理学的機能について分散分析を行った結果についてその分散比を示す。

表-24. とっくり病の被害程度と土壤の理学性に関する分散分析（分散比のみ計上）

要因	分散								比				
	由度	容積重	固體	液体	気体	最大容水量	最小容気量	全孔隙	細孔隙	粗孔隙	透水性	飽水差	
		(g/100g)										(g/100g)	
被害度(A)	2	23.85**	19.50**	8.16**	3.05	13.01**	2.93	22.20**	6.53**	5.44**	1.70	3.80*	19.84**
深さ(B)	1	11.59**	8.06**	1.50	11.32**	0.17	11.78**	6.19*	0.00	6.59**	12.60**	2.70	7.01**
A × B	2	0.14	0.19	0.51	0.24	0.43	1.03	0.43	0.34	0.42	1.35	0.90	1.64
誤差(E)	54												

**; 1%水準で有意 *; 5%水準で有意

分散分析の結果、「被害度」要因では、容積重、固相および液相比率、最大容水量、全孔隙、細および粗孔隙、飽水差重（固体100 gに対する飽水差）の8項目が1%水準で、飽水差（飽水時重量から脱水時重量を差し引いた値）が5%水準で有意であった。また、「深さ」別では、容積重、固相および気相比率、最小容気量、粗孔隙、透水性、飽水差重の7項目が1%水準で、全孔隙が5%水準でそれぞれ有意であった。「被害度×深さ」の交互作用は、いずれの項目においても認められなかった。

これら分析結果にもとづき、「被害度」、「深さ」別に水準ごとの差異や傾向把握のためすべての測定項目について、処理平均を求めた。表-25に要因ごとの水準別処理平均を示した。

表-25. 土壤の理学的機能の処理平均

要因	水準	項目								飽水差重 (g/100g)			
		三相組成(%)			最大容水量 (%)	最小容気量 (%)	孔隙(%)			透水量 (ml/min)	飽水差 (g)		
		容積重 (g/100cc)	個體	液体			全	細	粗				
健全	93.2	36.2	41.4	22.6	56.1	7.6	63.8	35.8	27.9	127	81.7	23.3	
被害度	中害	77.2	30.2	41.5	28.3	58.5	12.6	70.3	35.2	34.5	187	88.3	32.3
	激害	51.9	21.6	49.6	28.8	65.4	10.3	78.4	42.2	36.2	206	106.9	55.7
深さ	5cm	65.7	26.6	42.9	30.4	59.4	13.0	73.4	37.7	35.6	221	98.9	42.9
	30cm	82.5	32.0	45.3	22.6	60.5	7.3	68.2	37.8	30.1	125	82.4	31.2

ヒノキのとっくり病の発生に関して、微害林と激害林間における土壤の理学的機能の違いを、これらの分析結果より総括すれば、微害林が表層よりしまり気味の強い土壤であり、激害林では、孔隙に富む軽鬆で膨軟な土壤であるということであろう。

微害林では、容積重が大きく（激害林の1.8倍）、固相率が高く（同1.7倍）、孔隙量

が激害林にくらべ2割程度少なく、孔隙組成において細孔隙が粗孔隙に優占し(約1.3倍)これらの諸点より、土壤が全体的につまり気味であることが認められる。透水性も激害林の60%程度となっている。これに対して激害林では、容積重、固相率が小さく、最大容水量、全孔隙が大きく、孔隙組成において、粗孔隙>細孔隙を示し、土壤が軽便で、粗造な堆積を示す膨軟なもの多いことを示し、微害林の土壤とは、明瞭な差異のあることが認められる。中害林は、両者の中間的な性質をもつ土壤となっている。深さ別では、表層部より下部位で土壤がつまり気味となっていることが認められる。

図-21に、被害度、深度ともに有意差の認められた代表的な項目についてその関係図を示す。

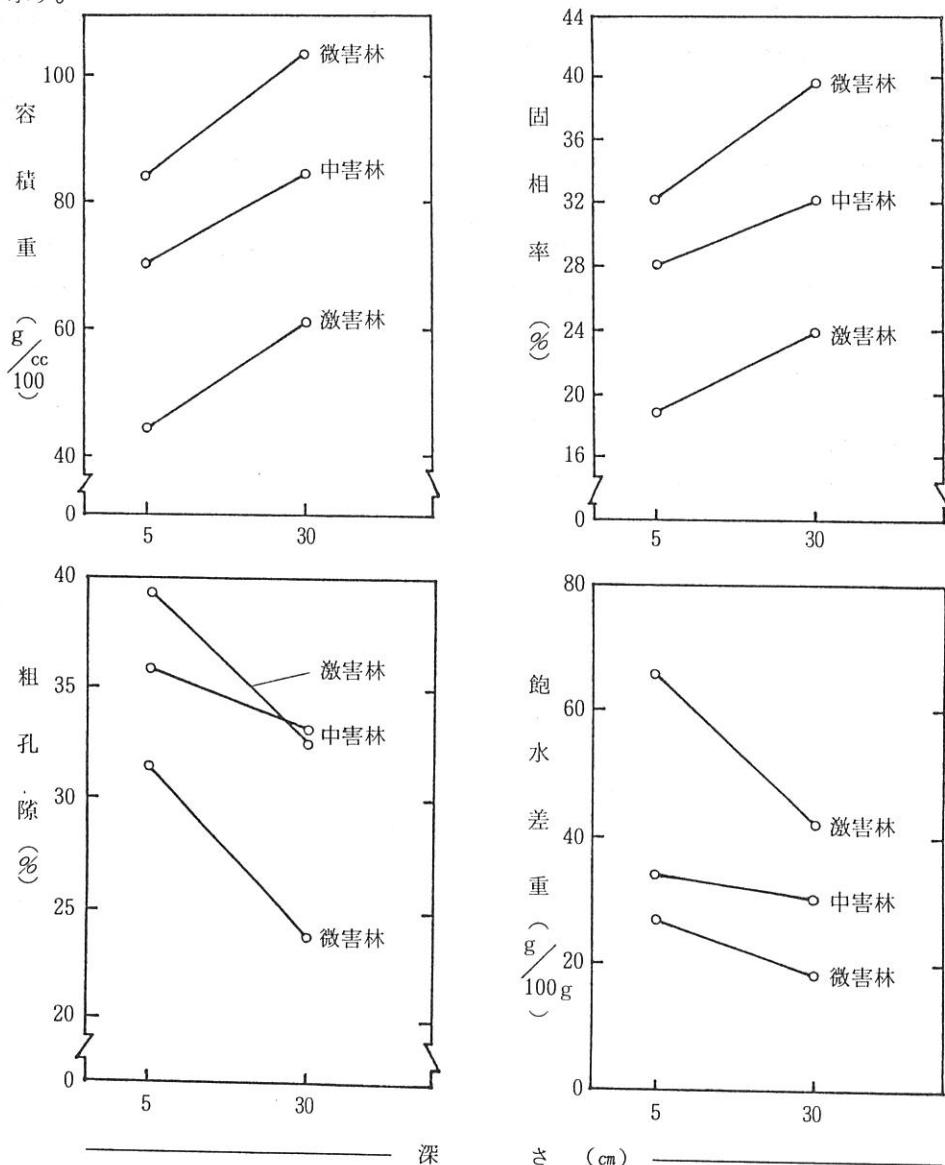


図-21. 代表的な測定項目における被害と深度の関係

容積重と固相率は、お互に密接に関連していることから、図よりも明らかなように、被害と深さの関係は、よく近似している。両図とも、激害林で小さく、表層部で小さな値をとり、激害林ほど土壌は粗造であることを示し、それも表層で著しいことを示している。粗孔隙量は、激害、中害林で値が高く、微害林で小さい。深さ別では、表層部で大きい。微害林、下層土ほど粗孔隙量は小さい。貯水率(%)は、粗孔隙率から最小容気量を差し引いたものであるが、微害林で20.3%（深さごとの平均値）、中害林21.9%，激害林で25.1%と激害林での貯留機能が高い。飽水差は、飽水時の円筒試料から素焼吸収板によってP^F2.7までの引きだした水の量を示したものであるが、これはその土壌のもつ保有水分量の大きさと変化の巾を示している。この値が大きいことは、その土壌を介在して可動する水分の量と変化の巾の大きいことを示し、この値が小さいことは、可動分量が少なく、また変化の巾も小さいことを意味する。飽水差は400ccの採土円筒内における可動水分量の絶対値であるため、ここでは相対値として飽水差重（固体100gに対する飽水差量）にて検討したのが図-21の右下図である。表層土壌では激害林で著しく大きく、66.9ccという高い値をとっている。これは100gの固相（土壌、石礫）が保持しうる水分量が66.9ccであり、0~66.9ccの間の水分量がこの固相を介在して変化していくと考えてよい。

中害林では34.5と小さくなり、微害林では27.2と更に小さくなる。下層土も微害林の値が高いが表層土にくらべると急激に減少している。表層、下層の平均値では、激害林55.7 中害林32.3、微害林23.3となっており、微害林を1とすれば中害林で約1.4倍、激害林で2.4倍となり、この値からみて、激害林において、貯留し、そして可動する水分量は、微害林の2倍以上の量とみなすことが出来る。この可動水分の保持力の大きさと、変域巾の大きさ（いいかえれば、土壌水分の安定性の低さ）が、最終的には、とっくり病の発生に重要な役割りをはたしていることがうかがわれる。図-22に被害別の平均的な土壌の理学性について深さ別に示した。

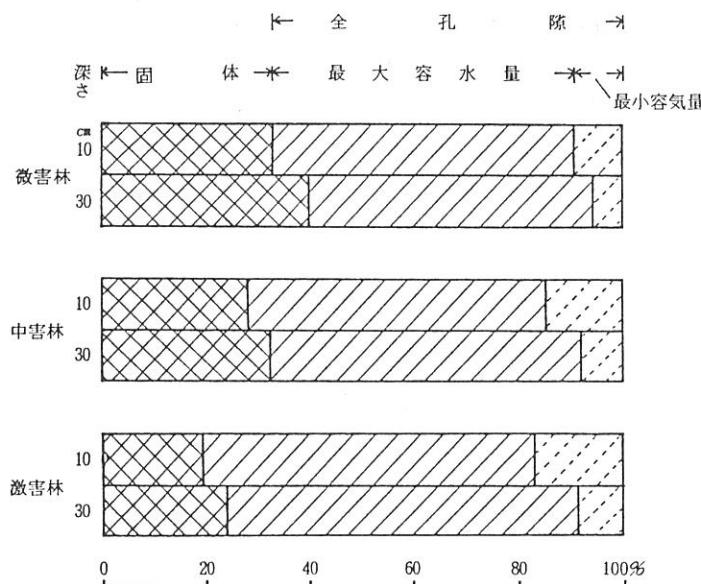


図-22. とっくり病被害度と土壌の理学性

第 4 節 考 察

ヒノキのとっくり病の発生条件として、湿潤な肥沃地でスギの適地というのが立地面での通説となっているが、過去の報告例を仔細に検討してみれば、確かに傾向として認められるも定説として受け入れるには、まだ検討の余地があるようと思える。

それは、湿潤地はともかくとして、肥沃地、スギの適地という表現が抽象的すぎて具体性に欠くところに一つの原因があると考えられる。とっくり病の発生に関して用いられる肥沃地、スギの適地とは、おそらく地形的には谷筋や谷近くの凹地、あるいは山脚、山麓部で、水分の供給に恵まれ、樹高成長量の期待される高い地位をもった立地条件を総称したものと解され、このような高位生産力地にその発生の多いことは確かであるが、発生条件としては、いまひとつ具体性に欠けることはいなめない。

またとっくり病の発生条件は、この立地要因のみではなく、林分の密度、手入れ等の施業要因の関与の深いことも多々報告されており、その発生に関しては、立地、施業の両面からの総合的なそして具体性のある解析が必要である。本報はこのような意図のもとに、とっくり病の発生条件に関して、数量化・I類を用いることにより自然的要因と施業要因との関連を同時に解明しようとしたものである。

今回の解析結果、「地形」、「林齢」および「地位指数」の三要因では、偏相関係数有意性は認められなかった。従来地形的には、尾根、山腹上部に認められず、山腹中部以下、それも山腹下部から山脚部で多かったという山梨県の事例（遠藤ら, 1962）がその発生環境の代表的な事例となっているが、尾根筋での報告例（森田, 1978）、（実松ら, 1982）もあり、谷筋をその主たる発生環境とするも、その発生は、地形的には、多岐に亘っていることが認められる。とくに黒色火山灰土を母材としたところでは、かなり普遍的に出現する事例が多い。とっくり病は、高い生産力地で発生しやすいとされるが（永江, 1987 b）樹高ではあまり差が認められず、肥大成長ですぐれているとの報告（遠藤ら, 1959），（橋詰ら, 1988）があり、熊本県の例では地位2～3に相当するB₆D、B₆m型に多いとし、（中島, 1975）必ずしも高い地位で発生しているとは限らない。

ここで用いた「林齢」は、調査時点における形態区分によるもので、とっくり病の発現する林齢ではない。林齢の加齢とともに、とっくり病は形質不良木として除かれる割合が高くなると推定されることよりか、41年生以上の林分では、その発生率が低い傾向にある。次に有意差の認められた要因について検討してみる。施業要因では、手入れの良否すなわち枝打ちの程度がその発生に大きく関与していることが認められ、入念な枝打ちの行われた林分では、その発生は、きわめて少なく、放置林でその発生は顕著である。

保育との関連で、枝打ち不良の立木が多く（鹿児島県林試, 1936）、地際付近に多数の枯枝の付着したのに被害がみられる（北島, 1933）等、粗放な林分管理は、とっくり病の発生を助長する因子として位置づけられる。逆に枝打ちによって、その発生が抑制されるという報告（赤井ら, 1967）、（諫本, 1983 b）、（橋詰, 1988）があり、従ってその防除法として積極的な枝打ちの必要性を説いたものもある（鹿児島林試, 1936）、（坂口, 1952）。このように、枝打ちによる保育管理は、とっくり病の発生を左右する重要な因子となっていることが報告されているが、今回の解析結果もそれを裏づけている。

土壤型では、乾性傾向をもつBc型、B₆(d)型でその発生が少なく、黒色土の各土壤型で明らかに発生が多い。この火山灰土壤での発生報告は比較的多くみられ（遠藤ら, 1959）、（高橋, 1965）、（中島, 1975）、（諫本, 1983 b）、（橋詰ら, 1988）とっくり病の発

生に関して重要な促進因子として注目されうる。本県の場合、褐色森林土では、適潤性の B_D 型や弱湿性の B_E 型では、その発生率が乾性傾向の土壤にくらべてやゝ高い傾向をもつが黒色土に比すれば、著しく低いといってよい。そしていまひとつは黒色土では被害の程度も著しいことも特徴である。褐色森林土の $B_D(d)$ 型で激害様相を呈し、 B_D 型で被害の少ない例（森田, 1978）もあるが、一般には、水分条件に恵まれた土壤型での発生が高い。

年降水量と直接関連づけて研究されたものはみあたらないが、とっくり病の発生林分の環境条件として取りあげれば、山梨県で 1,300 mm, 1,414 mm（遠藤ら, 1959, 1960）、岡山県で 1,700 mm（森田, 1978）、長崎県で 2,400 mm（永江, 1987 b）等があげられかなりの変域巾のあることがうかがわれる。土壤の湿润度がその発生の大きな要因とされており（鹿児島県林試, 1936）、（坂口, 1952）、降水量もまた、土壤の保水能と結びついてとっくり病の発生に関与していることがうかがわれる。本県の事例では、年降水量ととっくり病の発生は、正の相関下にあり、1,800 mm以下のところでは、非常に少なく、2,000 mmをこえると増加傾向が目立ち、2,200 mm以上の多雨地帯では、実に 60.3% の発生率となっている。本県の場合、2,200 mm以上のところは、全般に高海拔で黒色火山灰土の分布が広いことから、土壤条件と年降水量が相乗して、このような高い発生率になったとみなされる。

林分の疎密もまたその発生に対して関与が大きく、疎林ほど発生が多く、高密度林で、被害の少ないことが認められた。林分の疎密との関連で、疎林に最も多く（32.9%）、中庸林でこれに次ぎ（20.8%）、密林で最も少ない（12.7%）という結果（鹿児島県林試, 1936）があるが、当県の結果も疎林で 31.7%、中庸林で 12.7~17.8%、高密度林で 9.9% となっており、よく類似した傾向を示す。高密度管理の抑制効果は坂口（1952）も指摘している。

土壤の理学的な機能では、粘質で緻密な土壤で発生が少なく、膨軟な土壤で発生の多いことが認められた。既往の報告では、被害林では、含水量多く、粗孔隙が少なく通気・透水性に劣るしまり型の土壤であり（遠藤ら, 1959, 1960）、容積重が高く、とくに下層土では固体部分が多く、つまり型の土壤であり（森田, 1978）、下層土の最小容気量や気相の乏しい土壤（実松ら, 1982）等があり、いずれも、下層土がつまり気味で、水分の停滞が推測しうる感じの土壤となっており、今回の解析とはかなり異なる結果となっている。今回の解析では、激害林とされる林分は、その 9 割が黒色土であり、微害林ではすべてが複色森林土の B_C , $B_D(d)$ 型となっており、土壤の違いがそのまま理学的機能の違いとなってあらわれている。ヒノキのとっくり病の発生が、環境的に湿润地や谷筋に多いということは、その内的要因として、土壤水分の供給量の大きさとそれを保持する容量の大きさのあることが推測されるが、解析結果、激害林では、固相率が小さく、孔隙量に富み、貯水率、飽水差重など、水分を貯留する容量の大きさや、保水力など微害林に比して倍以上とされる機能をもつことが認められ、この可動水分の容量の大きさと変動域の大きさが、とっくり病の発生に対して促進的に作用していることがうかがわれる。微害林では、粘質で緻密な構成を示すことから、土壤内の水分変動が少なく（過湿とか過干となることが少ない）、比較的低い水準での安定が、異常肥大に対する抑制となっている可能性が考えられる。土壤断面において、表層土にくらべて、下層土が堅密であるのは、一般的に認められることであり、これは、今回の調査でも認められるが、既往の報告において、この点が特に強調されているのは、この層の介在が排水機能を阻害し、これが結局ヒノキのとく

り病発生の原因をつくり出しているということであろう。ヒノキは過剰水分に対して、異常重量成長を遂げる性質があることが苗木実験で確かめられており（芝本, 1952）、ヒノキのとっくり病も、この延長線上にある一つの生理的特性とするならば、排水機能を阻害する緻密な下層土の介在は、表層部における過剰な水分の停滞を意味し、この過剰水分の存在がとっくり病の誘発原因となっていることが推測される。ヒノキにおいては、供給水分量の大きさと、貯留機能の大きさは、上長成長よりも肥大成長にその作用の大きいことを筆者は指摘し（諫本, 1983c）、それゆえ、湿潤地では、密植、枝打ちなど施業面からの肥大成長抑制の必要性のあることを説いている。

いずれにせよ、今回の調査におけるとっくり病発生林分の表層部の膨軟さと、既往の調査結果におけるつまり気味の下層土の介在は、いずれも表層部における供給水分の量的および変化の巾の大きさを示唆しており、このことがとっくり病の発生にとって重要な役割をはたしているものと考えられる。

以上の結果よりヒノキのとっくり病の発生について総括するに、ヒノキの根元肥大の異常な促進には、基本的には、十分な量の土壤水分と生育空間の広さが必要であるということである。年降水量が多く、保水力の高い黒色土で、しかも孔隙量の多い膨軟な土壤での発生の多いことは、水分量の関与の大きさを裏づける。次に手入れ不良で疎林という施業条件がその発生に強い影響を及ぼすことは、根元肥大の促進に十分なる業量と、これを維持増進しそる生育空間の大きさが重要な因子となっていることがうかがわれる。

このように、ヒノキのとっくり病は、その発生に関して促進的なあるいは抑制的な自然的要因と施業要因の組合せの違いによって、特有の被害状況を呈しているものと思われる。

第 6 章 とっくり病の発生と施業条件

第 1 節 目 的

ヒノキのとっくり病の発生は、遺伝、立地および施業の三要因およびこれらの交互作用からの追求が必要とされる。このうち、本病の多発する立地条件については、前章で述べたように、黒色火山灰土で、年 2,000 mm 以上という降水量をもち、土壤膨軟という肥沃地に多いということを指摘した。一方施業面では、枝打ちなしで低密度管理といった粗放な施業でその発生が著しいことをあわせて指摘し、施業要因もまた、とっくり病の発生に関して重要な鍵を握っていることを示唆した。このため、この章においては、施業条件の違いが、ヒノキの根元肥大（とっくり病）にどのような影響を及ぼすかを具体的に把握するため、5 つの試験地（実験内容は 4 方法）を設け検討した。以下実験方法別に検討する。

第 2 節 実験 I (玖珠試験地)

1. 目 的

枝の枯れあがりが進行し、すでに閉鎖状態にあるヒノキ林に対し、枝打ち、疎開という施業を実施し、これら施業がヒノキの根元肥大（とっくり病）に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした実験である。

2. 場所および方法

試験地は、大分県玖珠郡玖珠町大字山浦に位置し、標高 800 m の高原台地で土壤は火山灰由来の黒色土となっており、土壤型は $B\ell_D$ 型である。1961 年 3 月に植栽された造林地で 1978 年 3 月試験地を設定した。設定時の林齡は 17 年生である。その後 3 ヶ年後の 1981 年 3 月まで毎年追跡調査を実施した。

試験方法は、林分内および林縁木より症状別（とっくり病木、正常木）に計 50 本を選出し、選出木ごとに単木処理として、生育型（疎立、閉鎖）および枝打ち処理（あり、なし）の実験計画を導入した。疎立は、対象木が孤立状態となるよう周囲木を伐採し、また枝打ちは、樹高の 2 分の 1 を目途に実施した。この結果平均的枝打ち下高は 3.2 m であった。測定は、毎年成長休止期を利用して、地際部 (0.2 m) および胸高位 (1.2 m) について直径巻尺にて計測した。

3. 調査結果

(1) 3 ヶ年の肥大成長推移

対象とした 50 本のヒノキの肥大成長について、処理要因ごとに整理し、表-26・27 として示した。表にみられるように、根元直径成長は、疎立木、枝打ちなしの木で大きいことが認められる。これとは逆に、閉鎖状況にある木や、枝打ち実施木では、その値が小さい。すなわち、ヒノキの根元部の肥大成長は、単木の生育状況や枝打ちという施業の有無で、大きく左右されることを示している。胸高直径も根元直径と同様、疎立木や枝打ちなしの木で値が大きいが、根元部ほど顕著ではない。

表-26. 実験計画と肥大成長量

設定時 の 症 状	枝打ち 条件	生育 本数	平 均		直 径		平均膨大比数			75以上の 発生率
			設定時('78.3)	終了時('81.3)	0.2	1.2	0.2	1.2	'78	
とっくり	あり	疎立	5本	21.6cm	13.6cm	24.1cm	16.0cm	7.0	5.6	31.6 6.6%
		閉鎖	3	23.0	14.6	24.8	16.2	2.0	6.0	25.0 0
	なし	疎立	15	20.5	12.9	23.9	15.6	32.6	40.4	103.9 26.6
		閉鎖	8	20.0	12.9	22.4	14.8	5.1	21.0	36.7 9.5
正 常	あり	疎立	3	12.2	8.5	15.0	10.7	11.3	9.3	38.0 0
		閉鎖	8	14.5	11.7	16.7	13.1	3.8	4.4	30.0 0
	なし	疎立	5	12.3	9.0	16.1	11.8	42.2	26.8	72.4 20.0
		閉鎖	3	14.1	11.2	15.9	12.9	2.7	5.7	27.3 0
計			50							

表-27. 処理要因別の直径成長量

要 因	水 準	本数	3ヶ年定期成長量(cm)	
			根元直径	胸高直径
設 定 時 の 症 状	とっくり	31	2.84 (157)	2.33 (137)
	正 常	19	2.65 (147)	2.15 (126)
枝 打 ち	あ り	19	2.32 (128)	2.02 (118)
	な し	31	3.05 (169)	2.41 (141)
生 育 型	疎 立	28	3.24 (180)	2.61 (153)
	閉 鎖	22	2.16 (120)	1.83 (107)

() はコントロール(正常木、枝打ちなし、閉鎖型)の成長量を100とした比数。

(2) 肥大指数による根元肥大の要因解析(疎立状態の場合)

この実験計画においては、要因として「症状」、「枝打ち」および「生育型」の三つが組みこまれているが、3ヶ年の継続調査による成長量の「年次別変化」もまた一つの要因として意義が深い。しかしながらこれら4つの要因について、その効果を同時に解明するには、統計的にむつかしいため、「生育型」要因でこの実験計画を「疎立型」と「閉鎖型」に分割し、それぞれについて、三元配置の分散分析により解析した。分散分析の結果を表-28に示す。

表-28. 「疎立型」における肥大指数の分散分析(その1)

要 因	平方和	自由度	平均平方	分散比
症 状(A)	37.1008	1	37.1008	0.3179
枝打ち(B)	3870.0208	1	3870.0208	33.1555*
年次別(C)	4191.6067	2	2095.8033	17.9553
A × B	207.5008	1	207.5008	1.7777
A × C	193.2067	2	96.6033	0.8276
B × C	458.0867	2	229.0433	1.9623
誤 差(E)	233.4467	2	116.7233	
全 体(T)	9190.9692	11		

*; 5%水準で有意

分散分析の結果、「枝打ち」要因に5%水準で有意差が認められたが、他の要因および交互作用は有意でなかった。ところで、Aの主効果およびA×Cの交互作用は $F_o < 1.0$ と小さいため、この二つの効果を無視して、誤差項にプールした分散分析表を作成した。その結果を表-29に示す。

表-29. 分散分析表（その2・A×Cをプーリングした場合）

要 因	平方和	自由度	平均平方	分散比	寄与率(%)
枝打ち (A)	3870.0208	1	3870.0208	41.7249**	41.1
年次別 (B)	4191.6067	2	2095.8033	22.5960**	43.5
A × B	207.5008	1	207.5008	2.2371	1.2
B × C	458.0867	2	229.0433	2.4694	2.9
誤 差 (E)	463.7542	5	92.7508		11.3
全 体 (T)	9190.9692	11			100.0

** ; 1%水準で有意

誤差項へのプーリングの結果、「枝打ち」および「年次別変化」の二要因に1%水準で有意差が認められた。交互作用は有意ではなかった。

有意差の認められた枝打ち要因について、処理平均を求めるに、枝打ち木では17.1、枝打ちなしで53.1となっており、ヒノキの根元肥大に対して、枝打ちの抑制効果の高いことを示している。

「年次別変化」では、試験開始1年目が23.3、2年目20.4、3年目で61.5となっており3年目の肥大成長の大きいことが目立っている。図-23に、枝打ちの有無と年次別変化の関係を示した。上述のように枝打ちの有無による根元肥大に対する影響が明瞭に把握される。

設定後3年目に肥大指数の大巾増加がみられるのは気象要因あるいは、設定時における周囲木疎開の効果があらわれた結果と推定される。

(3) 肥大指数による根元肥大の要因解析 (閉鎖状態の場合)

閉鎖状態にあるヒノキ林に対し、枝打ちを実施した場合の根元肥大に対する要因効果を検討した。

分散分析の結果（表-30）、「年次別変化」に1%水準で有意差が認められたが、他の要因および交互作用は有意でなかった。有意差の認められた「年次別変化」について処理平均を求めるに、1年目3.4、2年目9.2、3年目29.7となっており、3年目の値が他の年にくらべ著しく大きい。しかしながら絶体

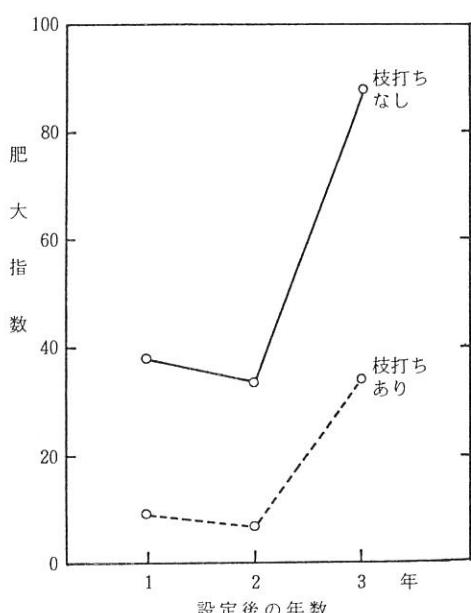


図-23. 孤立状のヒノキにおける枝打ちの影響と年次別変化

値はきわめて小さく、前項の孤立状の場合に比較して、半分以上下となっている。

表-30. 「閉鎖型」における根元肥大の分散分析

要 因	平 方 和	自 由 度	平均平方	分 散 比	寄与率(%)
症 状 (A)	39.9675	1	39.9675	4.9246	1.8
枝 打 ち (B)	62.1075	1	62.1075	7.6526	3.0
年次別変化 (C)	1,530.7517	2	765.3758	94.3065**	84.2
A × B	86.9408	1	86.9408	10.7125	4.4
A × C	36.3650	2	18.1825	2.2404	1.1
B × C	25.5650	2	12.7825	1.5750	0.5
誤 差	16.2317	2	8.1158		5.0
全 体 (T)	1,797.9292	11			100.0

**: 1%水準で有意

これらのことよりして、林分が閉鎖状態にある場合、根元肥大は過去の被害履歴としての症状効果や、枝打ちによる影響を受けていないことが認められ、そしてその肥大量も小さい。すなわち、林分の閉鎖という条件は、ヒノキの根元肥大成長に対して、きわめて重要な抑制因子としての作用を持つことを示している。

(4) 肥大指數による根元肥大の要因解析（「症状」要因をブーリングした場合）

これまでの二つの分散分析の結果、「症状別」要因において、いずれも有意差が認められなかったことにより、ここでは、「症状別」要因をこみにして、「生育型」、「枝打ち」および「年次別変化」を要因とした三元配置分散分析により解析検討した。この結果を表-31に示す。

表-31. 症状別をこみにした分散分析

要 因	平 方 和	自 由 度	平均平方	分 散 比	寄与率(%)
生 育 型 (A)	2,633.4150	1	2,633.4150	37.1444**	18.8
枝 打 ち (B)	2,456.3267	1	2,456.3267	34.6466**	17.5
年次別変化 (C)	5,299.6658	2	2,649.8329	37.3760**	37.8
A × B	1,475.8017	1	1,475.8017	20.8162**	10.3
A × C	422.6925	2	211.3463	2.9810	2.1
B × C	233.0108	2	116.5054	1.6433	0.7
A × B × C	250.6408	2	125.3204	1.7676	0.8
誤 差 (E)	850.7600	12	70.8967		12.0
全 体 (T)	1,3622.3133	23			100.0

**: 1%水準で有意

分散分析の結果、「生育型」、「枝打ち」、「年次別変化」の主効果および「生育型×枝打ち」の交互作用がそれぞれ1%水準で有意であった。

図-24は、交互作用の認められた「生育型×枝打ち」についてその実態を図示したものである。図にみられるように、ヒノキの根元肥大は、疎立状態におかれ、そして、これに枝打ちが行われない粗放な状態で大きな値をとり、根元部の肥大が著しいことが認められる。しかし疎立の状態のものでも、これに枝打ちが行われるならば、根元の肥大は著しく抑制される。閉鎖が進行し、単木間の競合が始まると、肥大指数は小さな値となる。すな

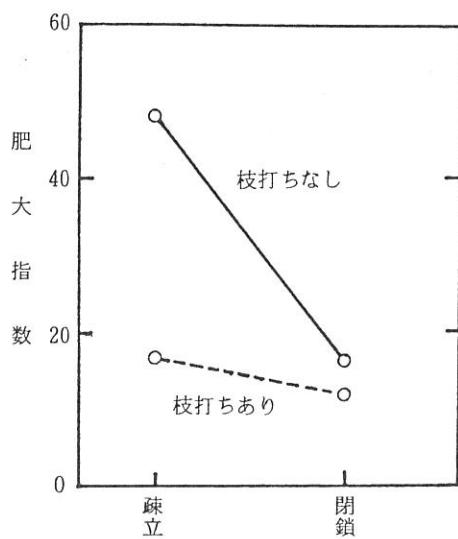


図-24. 生育状況と枝打ちの実態

わち肥大成長の異常さは生じない。このような閉鎖状態になると、枝打ちの根元肥大による影響は、ほとんど無視されるほど小さくなる。

(4) 異常肥大木の出現率に関する要因解析

ヒノキ根元部における年ごとの成長の異常性は、単木ごとの肥大指指数の大きさと経年変化によりおおよそ推定することができる。肥大指指数が75を越えていれば、異常肥大が生じている可能性が高い。

ここでは、それぞれの処理における3ヶ年間の単木ごとの肥大成長の結果より、具体的に異常肥大（肥大指指数75以上）の発生頻度について「生育型」、「枝打ち」および「症状別」を要因とし逆正弦変換値にて、三元配置分散分析を行い検討した。この結果（分散分析表は省略）、交互作用の分散比がいずれも

1.0以下と小さいことより、これらの効果を無視し誤差項にプールして再計算を行った。
プールング後の分散分析結果を表-32に示す。

表-32. 肥大指指数75以上の出現率に関する分散分析（逆正弦変換による）

要 因	平 方 和	自 由 度	平均平方	分 散 比	寄与率(%)
生 育 型 (A)	371.9628	1	371.9628	8.0624*	27.3
枝 打 ち (B)	460.1061	1	460.1061	9.9730*	34.7
症 状 (C)	174.1911	1	174.1911	3.7756	10.7
誤 差 (E)	184.5403	4	46.1350		27.3
全 体 (T)	1,190.8004	7			100.0

*; 5%水準で有意

分散分析の結果、肥大指指数75以上の出現率に対して、要因効果の認められたものは、「生育型」および「枝打ち」の二要因であり（5%水準で有意）、「症状別」要因は有意ではなかった。有意差の認められた要因について、処理平均を求めてみると、「生育型」要因では、疎立型で13.3%、閉鎖型で2.3%を示し、また「枝打ち」要因では、枝打ちなしで14.0%、枝打ち処理木で1.6%となっている。疎立型で枝打ちなしの組合せの場合その出現率は、26.6%と最も高くなる。逆に閉鎖型で枝打ち実施の処理木では、異常肥大の出現は認められない。

第3節 実験Ⅱ(安心院および日田試験地)

1. 目的

ヒノキのとっくり病の発生条件において、土壤的にみれば、黒色土で著しく、乾性の褐色森林土で少ないということを前章にて指摘した。このため、この実験では、林齡は異なるも、黒色土と褐色森林土という二つの相異なる土壤を母材とするヒノキ林に対し、密度と枝打ちを組み合わせた施業を導入し、施業による影響が、土壤の違いと相まって、ヒノキの根元肥大成長にどのような変化をもたらすかについて検討した。

1. 場所および方法

(1) 場所

土壤条件の異なる二つの試験地の所在および立地環境は、表-33のとおりである。地形はいずれも山腹斜面であり、標高、傾斜とも大体似かよった構成をなしている。日田試験地のほうが気象的にやゝ降水量が多い。土壤条件は、安心院試験地が適潤性の黒色土であり日田試験地は、弱乾性～偏乾亜型のやゝ乾性傾向をもつ褐色森林土となっており、明瞭に異なっている。

表-33. 試験地と立地環境

試験地名	所 在 地	植栽年月	標高	方位	傾斜	土壤型
安心院	宇佐郡安心院町大字笠ノ口	1975. 3	360 ^m	N E	18°~28°	B _D
日 田	日田市大字羽田字北向	1979. 3	380	N W	15°~25°	Bc~B _D (d)
<hr/>						
年平均 気温	年間 降水量	試験期間,()内は林齡 設定時～終了時				
14 13.8	1,800 1,950	1984. 4 (11年生) ~1987. 3 (13年生) 1984. 4 (7年生) ~1987. 3 (9年生)				

(2) 方法

1984年4月試験地を設定した。設定時の林齡は、安心院試験地で11年生、日田試験地で

表-34. 試験地と処理区の概要

試験地	処理 密度	供試 本数	本 数 (本/ha)		胸高直径(cm)		樹 高(m)		枝打ち高 (m)
			設定時	設定後	'84. 4	'87. 3	'84. 4	'87. 3	
安心院	普通 あり	33本	2,683	同左	10.8	14.2	7.4	9.1	2.4
	なし	32	2,464	同左	9.6	12.7	7.0	8.6	—
	低 あり	22	2,345	1,407	11.1	15.3	7.5	9.4	2.1
	なし	24	2,386	1,391	10.6	15.6	7.3	9.5	—
日 田	普通 あり	33	2,948	同左	6.6	9.8	4.8	6.7	1.65
	なし	45	2,839	同左	5.7	9.3	4.5	6.4	—
	低 あり	26	2,573	1,508	6.3	9.9	4.8	6.6	1.60
	なし	20	2,734	1,623	6.2	10.2	4.6	6.8	—

7年生であった。これら二つの試験地に対して、ほど同様の施業を実施した。一つは密度調整で、普通密度（現存のまま）と低密度区を設けた。低密度区は、40%の本数間伐を実施した。本数的には、日田試験地のほうが~~た~~あたり平均して300本（低密度区では150本）程度多くなっている。枝打ちは、設定時の樹高の3分の1を目安に打ち落とした。

枝打ち程度は、中庸とみなされ、安心院試験地で約2.3m、日田試験地で1.6mの枝打ち高となっている。安心院試験地では、一部閉鎖による枝の枯れあがりもみられ、またとっくり病の発生もかなり見出される林分となっている。表-34に試験の処理と成育状況の概略を示した。

3. 調査結果

調査結果については、まず試験地ごとに解析検討を行い、次に、試験地を要因とした（両試験地をプールした）解析を行い、土壤を異にする条件下において、枝打ち、密度という施業管理が、ヒノキの根元肥大やとっくり病の発生にどのように影響を及ぼすかについて検討した。

A 安心院試験地

(1) 根元肥大成長の推移

密度と枝打ちを組みあわせた4処理区における設定時から3ヶ年間にわたる根元肥大の成長状況を表-35として示す。

表-35. 処理別の肥大成長状況（安心院試験地）

密 度	枝 打 本 数	処 理	平均直径		成長量		平均肥大指数、()は異常肥大*の発生率%を示す			平 均
			設定時	3年後	3ヶ年計	11年次	12年次	13年次		
普 通	あり	33	16.2	10.8	19.8	14.2	3.6	3.4	45.9 (27.0)	29.5 (12.1)
	なし	32	14.1	9.6	17.7	12.7	3.6	3.1	50.6 (27.0)	33.9 (18.2)
低 密	あり	22	16.9	11.1	21.6	15.3	4.7	4.2	40.0 (31.8)	52.4 (22.7)
	なし	24	16.3	10.6	22.0	15.6	5.7	5.0	110.5 (50.0)	68.8 (27.2)
本 cm cm cm cm cm cm cm cm cm cm										
'84 '85 '86										
33.5 (17.1) 36.3 (19.1) 53.7 (27.2) 99.8 (46.4)										

注) *膨大比数75以上

各処理区の3ヶ年の定期成長量では、地際部、胸高部位とも、低密・枝打ちなし区で最も大きな値をとり、次いで低密・枝打ち区となっている。普通密度区では、閉鎖にともなう競合のためか、その成長量は低密度区にくらべ小さい。

(2) 肥大指数による根元肥大の要因解析

この試験地においても、前述のように、密度や枝打ちの影響によって、根元部の成長量に較差のあることが認められる。ここでは、肥大指数を用いて、「密度」、「枝打ち」および「年次別変化」を要因とした分散分析を行い、これら要因の根元肥大に対する効果を検討した。その結果を表-37に示す。

分散分析の結果、「密度」、「枝打ち」の二要因および「密度×枝打ち」の交互作用に5%水準で有意差が認められた。「年次別変化」および他の交互作用は有意ではなかった。

表-36. 肥大指数を用いた分散分析

要 因	平 方 和	自 由 度	平均平方	分 散 比	寄与率%
密 度(A)	5685.4533	1	5685.4533	74.0647*	53.9
枝 打 ち(B)	1550.4133	1	1550.4133	20.1973*	14.2
年次別変化(C)	312.9800	2	156.4900	2.0386	1.5
A × B	1633.3333	1	1633.3333	21.2775*	14.9
A × C	522.5267	2	261.2633	3.4035	3.5
B × C	552.0267	2	276.0133	3.5956	3.8
誤 差(E)	153.5267	2	76.7633		8.2
全 体(T)	10410.2600	11			100.0

* 5%水準で有意

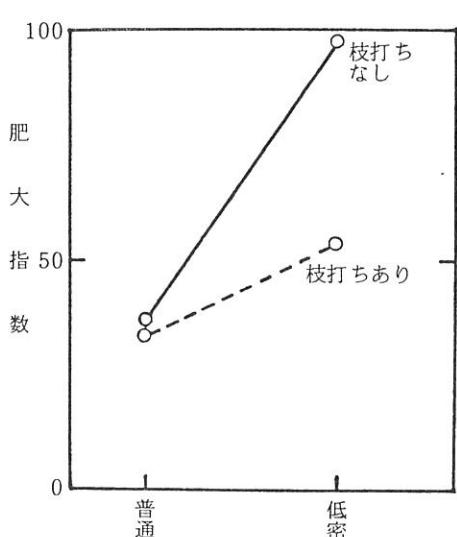


図-25. 密度と枝打ちの実態

図-25は、有意差のみられた「密度」と「枝打ち」の交互作用を示したものである。

表-36、図-25でみられるとおり、ヒノキの根元肥大は、「密度」による影響の大きいことが認められ、低密度の状態で著しい。「枝打ち」の影響は、「密度」条件に規制されていることが見出され、普通密度の状態では、活発な変化を示し、枝打ちなしの処理では、著しく大きな肥大指数を示し、異常肥大が活発に行われていることを示している。すなわち、根元部の異常肥大は、低密度で粗放管理という条件下で生じやすいということを明瞭示している。そして、この試験地の場合、ヒノキの根元肥大に対して、第一義的な要因は、林分の密度であり、枝打ちの作用は、この密度に規制されたかたちで、発現していることがひとつの特徴となっている。このことは、ヒノキのとっくり病の発現に関する施業要因の効果は、林齢や林分構成、林分の状態等によって、多元的な動きをもつものであることを示唆したものといえよう。

(3) 異常肥大の発生率についての要因解析

ここでは、具体的にとっくり病の発生について検討を加えることとする。肥大指数75以上の値の出現を、とっくり病の発生とみなし、その出現比率について、逆正弦変換値を用い、「密度」、「枝打ち」および「年次別変化」を変動因とする分散分析を行い解析した。表-37に分散分析結果を示す。

肥大指数75以上の異常肥大成長の発生率に関して、分散分析を行った結果、「密度」要因が1%水準で有意であり、寄与率も54%と高く、林分の疎密が根元部の異常肥大に強い影響を及ぼしていることが認められた。処理平均で比較すれば、普通密度で18.1%、低密度で36.8%と、普通密度にくらべその発生率は2倍強となっている。「枝打ち」、「年次

表-37. 異常肥大成長の発生率についての分散分析(逆正弦変換)

要因	平方和	自由度	平均平方	分散比	寄与率(%)
密度(A)	389.8800	1	389.8800	268.7283**	54.0
枝打ち(B)	95.2033	1	95.2033	65.6198*	13.0
年次別変化(C)	152.8117	2	76.4058	52.6634*	20.8
A × B	47.2033	1	47.2033	32.5353*	6.4
A × C	17.4650	2	8.7325	6.0190	2.0
B × C	13.9017	2	6.9508	4.7909	1.5
誤差(E)	2.9017	2	1.4508		2.3
全体会(T)	719.3667	11			100.0

**, *: 1%, 5%水準で有意

「別変化」要因および「密度 × 枝打ち」の交互作用には、それぞれ 5% 要因で有意差が認められた。

図-26は、有意差のみられた「密度」と「枝打ち」の交互作用をしたものである。

普通密度では、異常肥大の発生は、20%以下で少なく、また、枝打ちの影響も認められない。これに反して、低密度では、その発生が高くなり、とくに枝打ちなしで著しい。また低密度では、枝打ちによって、その発生率が大きく抑制されることも見出される。「年次別変化」をみると、11年生時33.9%、12年生時23.7%、13年生時22.5%と11年生時から12年生時にかけての低下が大きい。

気象要因など成長に関与する諸要因の影響もあるようだが、林分の閉鎖にともなう個体間競合が、その発生を抑制する方向に強く作用することがうかがわれる。

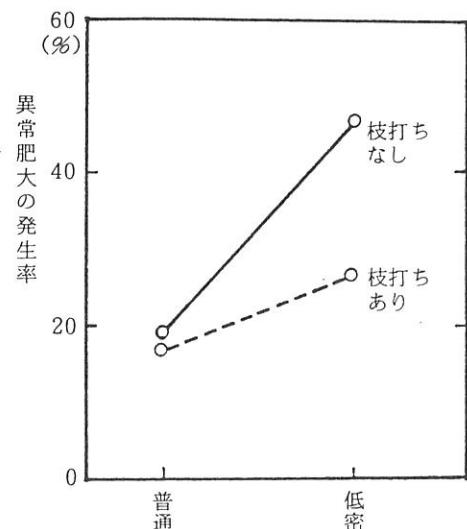


図-26. 密度と枝打ちの実態

B 日田試験地

(1) 根元肥大成長

林齢7~9年生にかけての試験である。競合の少ない孤立状態から、林分として閉鎖が開始され、部分的には、枝の枯れ上がりが生じつつある時期での試験である。処理別の肥大成長について表-38に示す。

単木的には、幼齢期の緩やかな成長から早壯齢期の旺盛な成長期にかかる時期にあたる。各処理区における成長は、比較的旺盛であり、年平均直径成長量でみると、低密度、枝打ちなし区で1.33cmと最も大きく、普通密度の枝打ち区で1.07cmと小さい。しかしながらどの区も1.0cm以上の成長を示している。根元径成長においても、低密度の枝打ちなし区が1.57cmと最も大きな値をとり、普通密度の枝打ち区では1.20cmとなっている。

表-38. 処理別の肥大成長状況

密 度	枝 打 ち 本 数	処 理	平均直径		定期成長量		平均肥大指數			平均		
			設定時		3年後	3ヶ年計	1年次	2年次	3年次			
			本	cm	cm	cm	cm	cm	cm			
普通	あり	33	9.2	6.6	12.8	9.8	3.6	3.2	18.7 (3.0)	27.0 (6.0)	21.3 (3.3)	19.0 (4.1)
		45	7.8	5.7	11.9	9.3	4.1	3.6	23.9 (11.1)	29.1 (17.7)	25.6 (10.0)	26.2 (12.7)
低密	あり	26	8.8	6.3	12.7	9.9	3.9	3.6	12.5 (8.0)	31.5 (8.0)	32.4 (12.0)	25.5 (9.3)
		20	8.4	6.2	13.1	10.2	4.7	4.0	44.1 (25.0)	49.2 (25.0)	35.8 (15.0)	43.0 (21.7)

注) () は異常肥大(肥大指數75以上)の発生率(%)

(2) 根元肥大の要因解析

年々の根元肥大の指標としての肥大指數を用いて、「密度」、「枝打ち」および「年次別変化」を要因とした分散分析を行い、その要因効果を検討した。分散分析の結果、いずれの要因も、また交互作用要因も有意差は認められなかった。しかしながら交互作用である「密度×年次別変化」は、分散比が0.1557と小さかったことから、この効果を誤差項にプールし再計算を行った分散分析表は、表-39のとおりである。

この分散分析の結果、「密度」および「枝打ち」要因に5%水準で有意差が認められたが、他の要因や、交互作用には、有意差は認められなかった。

表-39. 平均肥大指數を用いた分散分析表 (A×Cをブーリングしたもの)

要因	平方和	自由度	平均平方	分散比	寄与率%
密度 (A)	299.0008	1	299.0008	10.9497*	23.1
枝打ち (B)	344.5408	1	344.5408	12.6175*	26.9
年次別変化 (C)	178.1217	2	89.0608	3.2615	10.5
A × B	140.7675	1	140.7675	5.1550	9.6
B × C	106.8517	2	53.4258	1.9565	4.4
誤差 (E)	109.2267	4	27.3066		25.5
全 体 (T)	1178.5092	11			100.0

*: 5%水準で有意

有意差の認められた要因について、処理平均を求め比較するに、「密度」要因においては、普通密度で24.3、低密度で34.2という肥大指數を示し、低密度において根元肥大の促進されることが認められる。ただ異常肥大の発現値が75と予測されることからすれば、この値は、低い水準にあり、その成長は正常なことがうかがわれる。枝打ちの効果は、枝打ち区で23.9、枝打ちなし区で34.6となっており、ここでも枝打ちの根元肥大に対する抑制効果が認められる。

根元肥大の最も大きな組み合わせは、低密の枝打ちなし区での場合の平均肥大指數は43.0、逆に最も値の小さい組み合わせは、普通密度の枝打ち区でその値は19.0で前者の $\frac{1}{2}$ 以下と小さい。このように、ヒノキの根元肥大に対する密度、枝打ちといった施業の効果は、認められるが、その成長の絶体量は小さく、とっくり病にみられる異常肥大成長は、この試験地では少ない。これは、林齡的に若いということもひとつの要因となっているが、施業要因以外の要因の影響(立地条件等)があるものと推察される。このことについては項目Dにおいて解析検討を加えることとする。

(3) 異常肥大の発生率についての要因解析

日田試験地は、さきの安心院試験地にくらべ、各処理区の成長量や肥大指数も小さく、とっくり病の発生指標となる肥大指数75以上の異常肥大の出現も全般に少なくなっている。この日田試験地における異常肥大の発生率について、逆正弦変換値を用い、「密度」、「枝打ち」および「年次別変化」を要因とする三元配置分散分析にて解析した。分散分析表を表-40に示す。

この結果、「枝打ち」要因に1%水準で、「密度」要因に5%水準で有意差が認められた。「年次別変化」要因と交互作用は有意差は認められなかった。有意差の認められた要因について、処理平均を比較するに、「枝打ち」要因では、枝打ち区で6.7%、枝打ちなし区では17.2%を示し、枝打ち区の約2.6倍という発生率であり、枝打ちの有無がこの試験地では、とっくり症状の発現に大きく影響していることが認められた。「密度」要因では、普通密度で8.4%、低密度で15.5%の発生率であり、低密度区では、普通密度区にく

表-40. 異常肥大の発生率についての分散分析（逆正弦変換値）

要 因	平 方 和	自 由 度	平均平方	分 散 比	寄与率%
密 度 (A)	148.9665	1	148.9665	64.4368*	14.1
枝 打 ち (B)	316.0080	1	316.0080	136.6920**	60.4
年次別変化 (C)	15.6353	2	7.8177	3.3816	2.1
A × B	2.3232	1	2.3232	1.0049	0.0
A × C	17.0593	2	8.5297	3.6896	2.4
B × C	14.9127	2	7.4564	3.2253	1.9
誤 差 (E)	4.6236	2	2.3118		19.1
全 体 (T)	519.5288	11			100.0

**, *: 1%、5%水準で有意

らべ、約1.8倍の発生率を示し、低密度の状態で、とっくり病の発生が促進されることが見出される。この試験地は、全体的に異常肥大が少ないが、そのうちで最も発生率の高い処理区は、低密度の枝打ちなし区で、その発生率は21.7%であった。逆に、最も発生の少ない処理区は普通密度の枝打ち区で発生率4.1%であった。

このように、日田試験地では、全体的に発生率は少ないけれども、解析結果は、とっくり病の発生に対しては、密度の低さと、枝打ちなしという粗放管理が促進的に作用し、逆に密度の高さと、枝打ち管理が抑制という方向で作用しているということが認められる。

C 二つの試験地の比較

(1) 根元肥大の要因解析

安心院試験地は、設定時の林齢が11年生で、黒色土壌に成立している。また日田試験地は林齢7年生に設定がなされ、土壌は、弱乾性～偏乾亜型の褐色森林土と、この二つの試験地は、林齢、土壌は異なるが、実験計画は、共通しているため、試験地の違い（その違いの主たるもののは土壌である）を要因とした分散分析を行い、検討してみた。林齢の違いによる影響も変動因としてあげられるが、肥大指数は、胸高直径の大きさを規準とした相対値であるので、林齢の違い（木の大きさ）は、区別しなかった。またそれぞれの試験地ごとの解析結果、肥大指数の「年次別変化」要因には、有意差が認められなかったことから、この「年次別変化」はくり返しとして処理し、解析に供した。「試験地」、「枝打ち」

表-41. 二つの試験地における根元肥大量についての分散分析

要 因	平 方 和	自 由 度	平均平方	分 散 比	寄与率%
密 度 (A)	4296.0504	1	4296.0504	35.5181**	26.8
枝 打 ち (B)	1678.3538	1	1678.3538	13.8760**	10.0
試 験 地 (C)	3975.8004	1	3975.8004	32.8704**	24.7
A B	1366.5504	1	1366.5504	11.2981**	8.0
A C	1688.4038	1	1688.4038	13.9591**	10.1
B C	216.6004	1	216.6004	1.7908	0.6
A × B × C	407.5504	1	407.5504	3.3695	1.8
誤 差 (E)	1935.2600	16	120.9538		18.0
全 体 (T)	15564.5696	23			100.0

** : 1%水準で有意

「密度」を要因とし、「年次別変化」をくり返しとして分散分析を行った結果を表-41として示す。

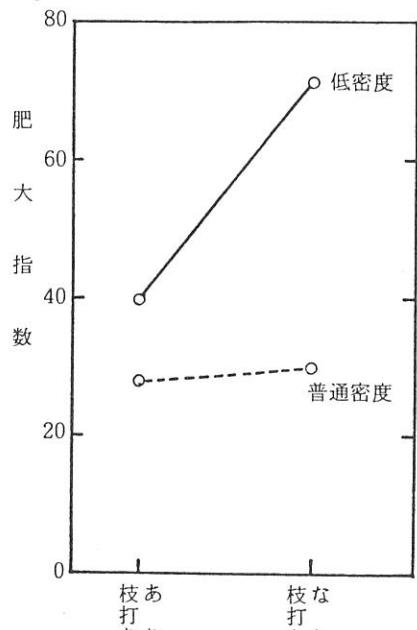


図-27. 枝打ちと密度の実態

分散分析の結果、「密度」、「枝打ち」、「試験地」の三主効果要因および「密度×枝打ち」、「密度×試験地」の交互作用にいずれも1%水準で有意差が認められ、このうちでも、「密度」と「試験地」の二要因が高い寄与率を示し、ヒノキの根元肥大に対する影響の大きいことが認められた。

図-27は、有意差のみられた「密度」と「枝打ち」の交互作用を示したものである。

この図より、ヒノキの根元肥大は、低い密度で大きく、そして、これに枝打ちなしという粗放管理が加わることにより著しく促進されることが明瞭に把握される。低密度においては、根元肥大成長は、枝打ちによって著しく抑制されることもこの図より明らかである。林分の密度が高くなれば、この要因が根元肥大成長の促進に対し、強い抑制要因として作用し、この場合、枝打ちの有無は、根元肥大に対し、ほとんど影響を及ぼしていない。

次に同じく1%水準で有意差のみられた「密度×試験地」の交互作用を図-28に示す。

日田試験地では、「密度」による差異が小さく、安心院試験地では、その較差が著しい。その較差は、日田で10.0、安心院で43.5である。また、試験地ごとの処理平均では、日田で29.2、安心院で54.9となっており、安心院試験地で根元肥大が活発に促進され、その要因効果の大きいことを示している。

肥大指数の値が低密度で大きいことは、両試験地で共通しており、低い密度がヒノキの根元肥大の促進に強い影響をもつことが認められる。また安心院試験地で、その値がとくに大きいことは、立地条件の違い、すなわち黒色土という条件が、促進的に作用している

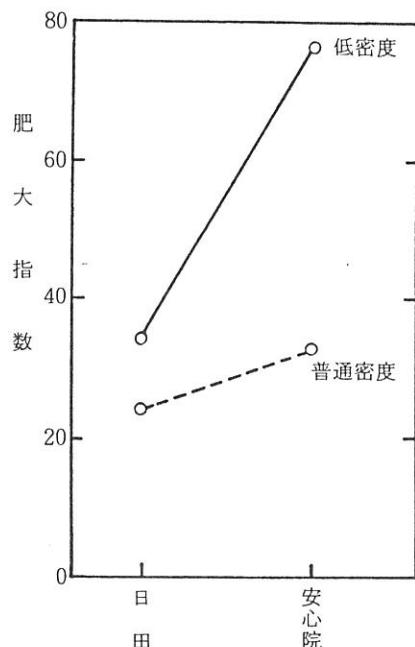


図-28. 試験地と密度の実態
試験地の普通密度 + 枝打ち区の 22.3 であった。

ことが認められる。

図-28は、二つの試験地間の比較であるが、この図をさらに敷衍するに、これは、立地条件とくに土壤条件で、ヒノキのとっくり病の発生は、大きく左右されるということを実態として示したものであり、また、施業による影響も、この立地条件に大きく規制されていることを併せて示したものと理解され、同一施業条件であれば、黒色土のほうがやや乾いた褐色森林土よりとっくり病の発生は、明らかに高く、そして、根元肥大量も著しいということができる。

処理条件の組み合わせで、最も肥大指数の大きな処理区は、安心院試験地の低密度 + 枝打ちなし区で平均肥大指数は 99.8 と著しく、これは、異常肥大成長の目安である 75 をはるかに越えており、とっくり病の発現がきわめて盛んに行われていることを示している。逆にその値が最も小さかった処理区は、日田試

(2) 異常肥大の発生率についての要因解析

根元部における異常肥大について、その目安である肥大指数 75 以上の値の出現率について逆正弦変換値を用い、「密度」、「枝打ち」および「試験地」を要因とする分散分析にて解析した。分散分析の結果を表-42に示す。

表-42. 異常肥大の発生率についての分散分析（逆正弦変換値）

要 因	平 方 和	自 由 度	平均平方	分 散 比	寄与率%
密 度 (A)	470.6433	1	470.6433	25.4639**	25.0
枝 打 ち (B)	344.8900	1	344.8900	18.6601**	17.6
場 所 (C)	641.7004	1	641.7004	34.7188**	33.7
A × B	25.3793	1	25.3793	1.3731	0.9
A × C	19.6566	1	19.6566	1.0635	0.1
B × C	43.1480	1	43.1480	2.3345	1.3
A × B × C	8.3073	1	8.3073	0.4495	0.0
誤 差 (E)	295.7243	16	18.4828		21.4
全 体 (T)	1849.4492	23			100.0

**, 1%水準で有意

分散分析の結果、「密度」、「枝打ち」および「試験地」の主効果に 1% 水準で有意差が認められたが交互作用は有意でなかった。このうち、「試験地」と「密度」要因の寄与率が大きく、異常肥大の発生に、大きな影響を与えていることがうかがわれた。

要因別の処理率平均を比較するに、「試験地」要因では、安心院 27.5%、日田で 12.0%

と安心院での発生が日田の2倍以上と高い。「密度」別では、低密度で26.2%、普通密度で13.3%となっており、低密度では、その発生が倍増する。「枝打ち」要因では、枝打ち区で、14.4%、枝打ちなしで25.0%と枝打ちなしの放置木でとっくり病の発生が高い。

最も発生率の高い処理区は、安心院試験地の低密度+枝打ちなし区であり、46.4%の発生率では△2本に1本の割合で、根元部の異常肥大が生じていることになる。逆に最も低い発生率を示した処理区は、日田試験地の普通密度+枝打ち区で、4.1%にすぎなかった。

D 二つの試験地における土壤の理学的機能ととっくり病の発生

これまで述べてきたように、同じ実験計画にもとづきながら、林齡の違いはあるにせよヒノキの根元肥大状況において、安心院試験地で著しく大きく、日田試験地で小さく、ヒノキのとっくり病の発生は、立地条件の関与の高いことが推察された。この両試験地における立地条件で、最も著しい差異は、安心院試験地が黒色土、日田試験地がやや乾いた褐色森林土であるという点にある。この土壤条件の違いがヒノキのとっくり病と直接的にどう結びついているかは、ここでは追求することはできないが、それぞれのもつ土壤の差異について、理学的機能の面より解析した。表-43に両試験地における土壤の理学的性質を示す。

表-43. 両試験地における自然状態の理学的性質

試 験 地 位	層 厚 (cm)	土 性	山中式 硬 度 指 數 (g/100cc)	項 目						土壤 型 水重 (g/100g)	
				容 積 重 量 體	三相組成(%) 固 液 氣	最容 大量 水 體	最容 小量 氣 量	孔隙(%) 全 細 粗	透 水 量 (cm/min)		
安 心 院	A ₁	15~20	S i L	9.4	47.9 20.7 42.9	36.4 70.9	8.4 79.3	39.2 40.1	136 127	67	
	A ₂	10~15	S i L	16.7	65.5 28.5 37.4	34.1 56.9	14.6 71.5	31.9 39.6	98 100	39 B _D	
	B	50~	C L	19.0	107.3 42.6 36.1	21.3 53.6	3.8 57.4	32.1 25.3	37	86	20
日 田	A	10	C L	13.0	112.5 31.9 39.5	28.6 60.5	7.6 68.1	33.0 35.1	80 110	39	
	A-B	12	CL~C	17.8	91.7 37.2 37.7	25.1 54.9	7.9 62.8	33.7 29.1	63	85	23 B _{D(d)}
	B	30~	C	20.3	98.2 38.1 45.1	16.8 57.1	4.8 61.9	43.3 18.6	10	55	14

安心院試験地と日田試験地では、土壤の生成、形態が異なるため、いろいろの点で差異が認められる。安心院試験地がとっくり病の出やすい土壤、日田試験地が出にくい土壤という観点で、表-43を検討してみると、第一に土性の違いがあげられ、日田試験地では粘性度が高い緻密な堆積を示す埴壌土や埴土が主体をなす。安心院では軽鬆な火山灰土がその主体をなし、土性はA層で微砂質壤土となり团粒状構造が発達する。理学的性質では、安心院試験地で、A層の容積重、固相率が小さく、孔隙量の大きいことが認められる。

下層では、日田試験地でB層の細孔隙の大きいことが指摘される。50cmの深さまでの孔隙量を算出してみると、安心院試験地では、粗孔隙量170.2mm、細孔隙量172.8mm、合計343mmであり、日田試験地は、粗孔隙量125.8mm、細孔隙量203.3mm、合計329.1mmとなっており、全孔隙量は、とくに差異はないが、日田試験地では、細孔隙量が優先し、粗孔

隙の少ないことが目立っている。貯水率(%)は、粗孔隙率から最小容気量を差し引くことによって求められるが、50cmまでの平均貯水率は、安心院試験地で25.9%、日田試験地で18.8%と算出され、安心院試験地での貯留機能の高いことがうかがえる。

飽水差は、飽水した採土円筒試料から素焼吸収板によってPF 2.7まで水を引き出したときの水分量をさすが、これは、その土壤のもつ保有水分量の大きさと、変化の巾(乾燥時から飽水時に至る保有水分の巾)を示す。この値が大きいことは、その土壤を介在して、水分の量と変動の大きいことを示し、この値が小さいことは、水分変動が小さく、その量も少ないことを意味する。飽水差は、400 ccの採土円筒内における変動水分量の絶体値であるため、ここでは相対値として飽水差重(固体100 gに対する飽水差量)を設定し検討してみた。表層 A₁層では、安心院試験地で67、日田試験地で39と安心院試験地で大きい。中、下層土になるにしたがいその値は両試験とも小さくなるが、値そのものは安心院試験地で大きい。地表下50cmまでの平均飽水差重は、安心院試験地で41.2、日田試験地で21.7となっており、この数値からみて、貯留し、そして流動する水分量は、安心院試験地では日田試験地のほど2倍の量とみなすことができうる。この可動水分の大きさが最終的には、ヒノキのとっくり病の発生に、重要な役割りをはたしているものと推察される。

第4節 実験Ⅲ(別府試験地)

1. 目的

とっくり病の発現が盛んに行われているヒノキ林に対し、局所密度と枝打ちを組み合わせた試験地を設け、71本の供試木について、肥大成長の変化を6ヶ年にわたって追跡調査し、とっくり病発現時における施業要因の効果について究明した。

2. 場所および方法

(1) 場所

試験地は、大分県別府市大字城島字瀬戸に位置する伊藤忠林業株式会社社有のヒノキ林で、標高720m、方位S E、傾斜15度内外の山麓部にあり、土壤はB₆b型である。

このヒノキ林は、疎密の程度が著しく、疎なところでは、250本/ha内外、密なところでは、2,600本/ha内外、平均して1,156本/haとなっている。この林分を対象に1980年4月試験を開始した。この時点での林齢は12年生であった。

(2) 方法

試験地(848m²)内に生存するヒノキ98本のうち被圧の影響の強いものを除いて、71本を供試木として選出し、地際部(0.2 m)および胸高位(1.2 m)の直径を直徑卷尺にて計測した。71本の供試木を、林分内における位置関係(周囲密度)に応じ、疎立型(孤立状態の木で、地際より緑枝が付着し、根元まで陽光がさしこむ木)、中間型(単木間競合が始まりつつある木で、やゝ枝の枯れあがりがみられる木)および閉鎖型(単木間競合が進行し、周囲の林床植生も消えつつある木)の三型に類別した。この結果疎立型に属するもの26木、中間型29木、閉鎖型16木であった。

設定1年後にあたる1981年3月に、前年の肥大成長の違いにより、71本の供試木をとっくり型(肥大指数75以上)と正常型(肥大指数74以下)に二分した。とっくり型40本、正

常型31本でとっくり病の発現が盛んに行われていることを示していた。

さらにこの試験地に枝打ちを加え、「周囲密度」（疎立、中間、閉鎖の三水準）、症状（とっくり型、正常型の二水準）および「枝打ち」（強度、弱度、なしの三水準）を要因とする三要因実験計画を導入した。

枝打ちは1981年3月に実施した。強度の枝打ち（16本）は、樹高の $\frac{2}{3}$ を目安に（枝下高3～4m）打ち落した。弱度の枝打ち（14本）は地上高1.3～1.5mの高さまで打ち落した。

(3) 異常肥大の判別

肥大指数75以上をとっくり病発現木、それ以下のものを正常木として判定区分した。

(4) 設定後の経過

枝打ち1年後にあたる1982年4月組織観察用として、標準地内より3本を供試材料として伐採した。このため調査追跡木は68本となった。これら68本について、1986年12月まで6ヶ年にわたり成長休止期に地際径、胸高径の計測を直径巻尺にて行った。また1985年12月には、立木位置図および樹冠投影図についての測定を実施した。

3. 調査結果

(1) 試験開始後1年目の結果（枝打ち前）

試験開始1年後（枝打ち前、林齡13年生）における根元肥大の状況を要因別に肥大指数を用い、処理平均値で比較してみた。この結果を表-44に示す。

表-44. 各処理における肥大成長状況

周 囲 密 度	本 数	肥 大 成 長 状 況						平 均	
		異 常 肥 大			正 常				
		本 数	出 現 率	平均肥大指 数	本 数	出 現 率	平均肥大指 数		
疎 立 型	26	19	73.1	302.8	7	26.9	24.7	232	
中 間 型	29	17	58.6	149.5	12	41.4	41.7	105	
閉 鎖 型	16	4	25.0	106.5	12	75.0	13.6	37	

表にみられるとおり、肥大指数は、周囲密度によって大きく異なることが認められ、疎立型できわめて大きく、閉鎖型で小さい。疎立型の値は、平均で232と著しい高い値を示し、これは異常肥大の発現の目安である75の3倍強にあたり、とっくり症状が盛んに進行していることを示す。これに反して閉鎖型では37という小さな値をとり、閉鎖条件では異常肥大は起りにくいことを示している。肥大指数75以上を示す異常肥大木の中でも、周囲密度の違いで、その肥大の程度の異なることが認められ、疎立型では308.2と異常に大きな値をとり、閉鎖型では、106.5と小さくなる。

また異常肥大発現の目安である肥大指数75以上の本数出現率をみると、周囲密度別では疎立型で26本中17本にみられ発現率73.1%であった。閉鎖型では16本中4本にみられ、その出現率は25%となっており、疎立型の約4分の1の出現であった。

このように、ヒノキの異常肥大は、疎立状況で活発に行われ、出現率および肥大程度も

著しい。すなわちヒノキにおける根元部の異常肥大の発現は、単木のもつ生育空間の大きさが密接に関連していることを示している。

(2) 試験開始後2年目(枝打ち1年後)の結果

試験地に枝打ちが実行され、林分の閉鎖が進行しつつあることで、肥大指数は、試験開始2年後には、試験地全体で33.8%の減少を示した。表-45に枝打ち前後における肥大指数の変化について示した。

表-45. 枝打ち前後における肥大成長の変化

要因	水準	処理本数	肥大指數		
			枝打ち前 1980	枝打ち後 1981	増減(△) 率(%)
枝打ち	強度	16	153	11	(△ 142) △ 92.8
	弱度	14	134	72	(△ 62) △ 46.3
	なし	41	130	121	(△ 9) △ 6.9
全 体		71	136	90	(△ 46) △ 33.8

表にみられるように、強度の枝打ちによって、肥大指數は、153からわずか11と著しい減少を示し、異常肥大の発現に対してきわめて抑制的であった。弱度の枝打ちも、46.3%の減少を示しかなりの抑制効果のあることを示している。枝打ちなしでは、6.9%の減少であり、閉鎖にともなう抑制効果を考慮すれば、ほとんど変化なしとみなされる。

このように、とくに症状の著しく発現している林分での枝打ちは、きわめて効果的なことが指摘される。

さて、枝打ち後1ヶ年の根元肥大の変化について、「周囲密度」、「枝打ち」および「症状」の要因効果をみるため、肥大指數を用い、三元配置分散分析で検討した。調査結果を表-46に示す。

表-46. 肥大指數を用いた分散分析表

要因	平方和	自由度	平均平方	分散比	寄与率(%)
周囲密度(A)	22850.8	2	11425.4	19.39**	26.7
枝打ち(B)	12872.1	1	12872.1	21.84**	15.1
症状別(C)	25253.3	2	12626.6	21.42**	29.7
A × B	2957.2	2	1478.6	2.50	2.2
A × C	10648.6	4	2662.1	4.51	10.2
B × C	4220.8	2	2110.4	3.58	3.7
誤差(E)	2356.9	4	589.2		12.4
全 体(T)	81159.9	17			100.0

**: 1.0%水準で有意

分散分析の結果、いずれの要因も1%水準で有意差のあることが認められたが、交互作用は有意ではなかった。

有意差の認められたそれぞれの要因について水準別に処理平均を求め検討した。この結果を表-47に示す。表にみられるとおり、「周囲密度」では、疎立型できわめて高い値を

とり、これは、異常肥大の発現目安75の1.4倍であり、また閉鎖型のものに比して5倍強に達する値である。すなわちヒノキの異常肥大の発現には、生育空間の大きさが強い影響を及ぼしていることが指摘される。

「枝打ち」要因をみると、枝打ちなしで100に近い値をとり、粗放管理で、異常肥大の促進されることを示している。逆に、強度の枝打ちを実行した場合、肥大指数は10以下のきわめて小さな値をとり、地際部の肥大が顕著に抑制されることを示している。

ちなみに、この試験地における強度枝打ち木は16本であり、そのうち7本が異常肥大の発現木であったが、枝打ち1年後は、すべて正常となった。この7本の枝打ち前の平均肥大指数は、339(異常肥大発現の目安75の4.5倍)という過大な値を示していたが、枝打ち1年後はわずか20.0と大幅に減少し、強度の枝打ちによる異常肥大の抑制効果は顕著であった。但し弱度の枝打ちでは、正常型への転換は8本中2本であった。

また前年度、異常肥大を示したものは、引きつづき異常肥大の症状を呈しやすいことも「症状別」にて認められた。但し、これは、遺伝的なものとするよりも、とっくり型は、全体的に優勢木で、正常型が総体的に成長の劣っているものが多いことより生じた結果とみるのが妥当かと思われる。

全供試木の平均肥大指数は136から87と1年間に36%減少し、枝打ちの実行と相乗して林分の閉鎖が進行していることをうかがわせた。

(3) 試験開始後7ヶ年(枝打ち後6ヶ年間)の結果

「周囲密度」、「枝打ち」および「症状別」を要因とした実験計画を配置し、ヒノキの根元肥大の変化に対する効果を検定する目的で設定した本試験地は、試験開始後7年、枝打ち実施後6年を経過した。この間個々の供試木も成長を重ね、林分構成も当然のことながら変化してきている。設定時疎立状態であったものが、中間型や閉鎖型へと移行してきている。閉鎖型のものは、枝の枯れ上がりが進み、閉鎖の度を更に加えている。

しかしながら、かなりの林分変化を生じているものの、それぞれの供試木は、設定時の実験条件の違いの影響を経年変化の中に内包、累積しているとされうる。このことより、ここでは、設定時(枝打ち実行時)の実験計画を踏襲し、「周囲密度」、「枝打ち」の二施業要因および、林分の構造変化とともに「年次別変化」を加え、比較的長期にわたる調査結果をもとに、ヒノキの根元肥大に対する要因効果について解析を加えた。

「症状別」要因は、「周囲密度」要因と関連が深いため、ここでは特に区別せず、こみにして計算を行った。この試験地における根元肥大状況を表-48として示す。

枝打ち実行後6ヶ年における肥大成長の状況を把握するため、要因別、水準別に6ヶ年の平均直径成長量を用いて処理平均値を算出し比較してみた(表-49)。

表-47. 要因別処理平均値の比較

要 因	水 準	処理平均値
周囲密度	疎 立	105.7
	中 間	49.7
	閉 鎖	19.8
枝 打 ち	強 度	7.9
	弱 度	69.7
	な し	97.5
症 状 別	と く り	85.1
	正 常	31.6

表-48. 処理区ごとの根元肥大状況

周枝処 開打密 度	平均直 径		平均成長量		平均肥大指 数										
	理 設定時 本 ('81.3)	6年後 ('86.12)	6ヶ年平均		林 齢			6ヶ年							
			13	14	15	16	17	18	平均						
度	ち	数	0.2 本	1.2 cm	0.2 cm	1.2 cm	0.2 cm	1.2 cm	'81 '82 '83 '84 '85 '86	平均					
疎	強	8	20.8	13.1	28.1	17.0	1.21	0.65	15	30	28	41	38	52	34.0
立	弱	3	19.3	12.5	29.5	20.0	1.70	1.25	138	147	79	91	74	7	89.3
なし	12	19.3	12.2	30.3	20.1	1.83	1.31	236	205	178	144	63	22	141.3	
中	強	2	18.4	11.9	24.7	16.5	1.05	0.77	13	41	66	39	-11	24	28.6
間	弱	6	17.3	11.7	24.0	16.3	1.11	0.77	59	98	110	52	17	17	58.8
なし	22	17.5	11.6	25.3	17.8	1.30	1.03	87	76	66	33	20	29	51.8	
閉	強	4	14.1	9.3	17.8	12.5	0.62	0.53	2	14	16	19	-1	3	8.8
鎖	弱	5	16.7	11.3	21.4	14.9	0.78	0.60	23	61	29	27	5	11	26.0
なし	5	15.0	10.0	20.1	14.1	0.85	0.68	18	61	1	28	4	19	21.8	

表-49. 直径成長量の処理平均の比較

要因	水準	6ヶ年平均直径成長量		
		0.2m	1.2m	較差(0.2m-1.2m)
周囲密度	疎立	1.58 cm	1.07 cm	0.51 cm
	中間	1.15	0.85	0.30
	閉鎖	0.75	0.60	0.15
枝打ち	強度	0.96	0.65	0.31
	弱度	1.20	0.87	0.33
	なし	1.32	1.00	0.32
年次別変化	13年生	1.58	1.19	0.39
	14年生	1.55	1.11	0.44
	15年生	1.50	1.15	0.40
	16年生	1.24	0.94	0.30
	17年生	0.97	0.74	0.23
	18年生	0.64	0.43	0.21

「周囲密度」でみた場合、6ヶ年の平均直径成長量は、地際、胸高径とも疎立型で最も大きく、肥大較差（地際径-胸高径）も大きい。閉鎖状況では、直径成長は、最も抑制され疎立状況にくらべ、根元部で47%、胸高位で56%、肥大較差では29%となっている。

枝打ち処理では、枝打ちなしで最も大きく、強度枝打ちで最も小さい。肥大較差は枝打ちでは、ほとんど変らなかった。年次別変化では、枝打ち後3ヶ年は、比較的大きな直径成長を示したが、枝打ち5~6年後には、大きく減少した。林分の閉鎖が全体的に進んだことによる現象であろう。

表-50. 平均肥大指數を用いた分散分析表

要 因	平 方 和	自 由 度	平均平方	分 散 比	寄 与 率(%)
周囲密度 (A)	43870.8000	2	21935.4000	28.5890**	28.1
枝 打 ち (B)	21866.7000	2	10933.4000	14.2497**	13.5
経年変化 (C)	27092.2000	5	5418.4300	7.0620**	15.5
A × B	16659.3000	4	4164.8200	5.4281**	9.0
B × C	14101.3000	10	1410.1300	1.8379	4.3
A × C	11542.5000	10	1154.2500	1.5044	5.1
誤 差 (E)	15345.4000	20	767.2690		24.5
全 体 (T)	150478.0000	53			100.0

**: 1%水準で有意

次に平均肥大指數を用い、「周囲密度」、「枝打ち」および「年次別変化」を要因として分散分析を行い、それぞれの要因効果について検討した。分散分析の結果を表-50として示す。

分散分析の結果、いずれの要因とも1%水準で有意差が認められた。また「周囲密度×枝打ち」の交互作用に1%水準で有意差が認められた。

図-29は、有意差の認められた「枝打ち」と「周囲密度」の関係を示したものである。肥大指數は、疎立型での変化が大きく、強度の枝打ちでは、その値は小さいが、弱度の枝打ち、枝打ちなしの粗放管理が加わると、その値は直線的に増大している。とくに枝打ちなしでは、肥大指數は141と、異常肥大の発現目安の約2倍の値をとり、疎立状況で、枝打ちなしという条件は、とっくり病の発生に相乗的に作用している。閉鎖状況であれば、肥大指數は、非常に小さい値をとりまた、この条件下では、枝打ちの影響も見出しえない。すなわち、林分が閉鎖状況にあれば、これがヒノキの根元肥大に対して第一義的な抑制を示し、この場合他の要因の効果は小さい。「年次別変化」にみられる林齢の推移とともに変化は、林分の閉鎖の進行による変化とみなされるが、この処理平均値は、加齢にともなって低下していることが見出され(13年生時73.8、15年生時63.7、17年生時23.2)、とくに17年生以降はその低下が著しく、林分の閉鎖の程度が著しく進んだことを示している。

このように、ヒノキのとっくり病の発現抑制には、林分の閉鎖にともなう個体間競合が重要な要因になっていることがうかがわれる。

異常肥大発現の目安である肥大指數75をこえる比率を、枝打ち後6ヶ年の成長記録より算出するに、疎立型で35.5%、中間型26.1%、閉鎖型で5.9%であった。

また枝打ちでは、枝打ちなしで29.0%と大きく、強度枝打ちで10.7%であった。弱度の枝打ちでは28.5%と枝打ちなしと均衡しており、枝打ちでも弱いものは、とっくり病の発現に対して、その抑制力は少ないことがうかがわれた。

図-30はこの試験地における供試木の配置図と異常肥大の発現状況（異常肥大木の判定は、肥大指数75をこえる値が6ヶ年中4年以上出現したものとした）を示したものである。異常肥大の発現は、林縁状の疎立状態にあり、クローネの大きなものに多発しており、密度の高い混んだところには、その発現はほとんど認められていない。

強度の枝打ち木では、孤立状態にあっても、異常肥大は上端の1本を除いて他は認められない。

以上6ヶ年の結果を総括すれば、ヒノキの根元部における異常肥大は、競合の少ない疎立状の木で生じやすく、競合が始まると

閉鎖が進行してくれれば、その発現は小さくなる。枝打ちの抑制効果は高いが弱度の枝打ちでは、その抑制は十分でないことなどが見出された。

第5節 実験IV(天瀬試験地)

1. 目的

林齢5～7年生という若い林分を対象とした試験で、施業条件として、密度（普通、低密度）、枝打ち（あり、なし）および施肥（あり、なし）の三要因を配置し、また林縁および林内における根元肥大についても検討し、若い林分における施業要因の効果について究明したものである。

2. 試験地および方法

(1) 試験地

大分県日田郡天瀬町大字桜竹にある大分県林業試験場天瀬試験地に設定した。天瀬試験地は、海拔340mの平坦地で、土壤は火山灰由来の黒色土となっており、土壤型はB₆D型である。試験地設定前は、苗圃として利用されていたところである。

(2) 実験計画

植栽後5年目にあたる1985年4月、この若い林分に対し、「密度」、「枝打ち」および「施肥」を要因とした実験計画を配置した。「密度」要因は、普通密度（4,444本/ha）と低密度（2,310本/ha）の二水準とした。「枝打ち」は、樹高の1/2枝打ちと枝打ちなしの二水準とし、また「施肥」は連続施肥と無施肥の二水準とした。

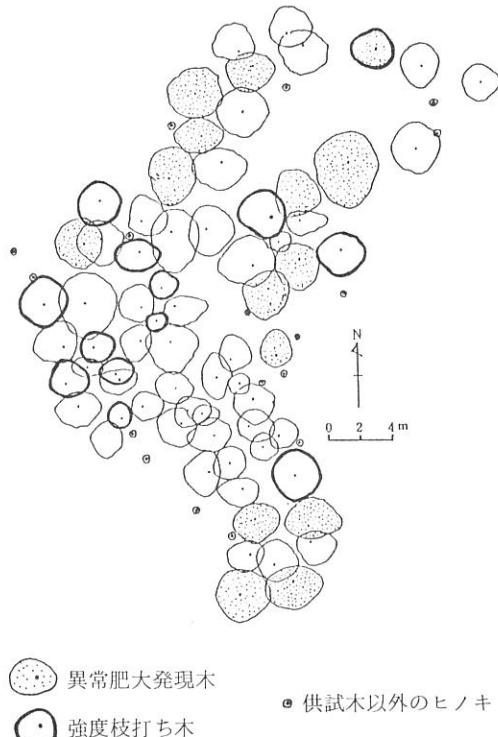


図-30. 試験地の投影図と異常肥大の発生状況

試験地における具体的な施業履歴は次のとおりである。

1) 植 栽

1981年4月植栽を行った。植栽間隔は $1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$ とし、1プロットの大きさは、 $5\text{ m} \times 5\text{ m} = 25\text{ 本}$ とした。

2) 密度調整

植栽後4生育期を経た1985年4月、4つのプロットについて、本数の $\frac{1}{2}$ を伐採し、低密度区とした。

3) 枝打ち

植栽後4生育期を経た1985年4月、枝打ち対象の4プロットについて樹高の $\frac{1}{2}$ を目安に第1回目の枝打ちを実行した。更に1987年4月にも同様の規準で第2回目の枝打ちを実施した。

4) 経 過

試験開始時（1985年4月）より施肥対象の4プロットについて、毎年4月施肥を実施した。肥料は三要素化成肥料（20:10:10）を用い、チッ素換算で 200 kg/ha となるよう施用した。

5) 調 査

試験開始時（1985年4月）より毎年3月時に地際部（地上高20cm）および胸高部（1.2m部位）の直径について、直径巻尺を用い計測した。

(3) 解析方法

1985年4月～1987年3月の3ヶ年（林齡5～7年生）における直径計測データをもとに「密度」、「枝打ち」、「施肥」および「位置」（林内と林縁部）の根元肥大に対する要因効果を肥大指數と、異常肥大の発現率より検討した。

普通密度の試験地は、南北方向に配列し、東側は、スギの見本園と小道をもって近接し、庇陰の影響がみられるため、林縁木は、空地に接する西側の5本に限定して解析を行った。

3. 調査結果

1985年から1987年にかけての各処理区における根元肥大状況は表-51に示した。

表-51. 処理区ごとの根元肥大状況

密 度	施 肥	枝 打 ち	平均直径(cm)				成長量(cm)			平均肥大指數			異常肥大発生率*	
			設定時		3年後		3ヶ年平均		5		6		7	
			本数	cm	本数	cm	本数	cm	'85	'86	'87			
普 通	あり	あり	20	4.9	3.5	8.4	6.4	1.17	0.97	-4.4	61.6	39.4	32.2	13.3
		(5)	(5.8)	(4.2)	(10.7)	(8.3)	(1.63)	(1.37)	(21.2)	(51.4)	(59.6)	(44.0)	(33.3)	
普 通	なし	あり	20	4.7	3.4	8.5	6.7	1.26	1.10	19.4	45.6	19.4	28.1	30.0
		(5)	(6.1)	(4.8)	(11.5)	(8.8)	(1.80)	(1.33)	(58.6)	(105.0)	(90.6)	(84.7)	(53.3)	
低 密	あり	あり	20	5.1	3.5	8.3	6.5	1.07	1.00	-15.4	37.2	29.3	17.0	5.0
		(5)	(6.1)	(4.2)	(10.0)	(7.9)	(1.30)	(1.23)	(-20.7)	(79.5)	(33.0)	(30.6)	(26.6)	
低 密	なし	なし	20	4.1	2.9	7.8	6.1	1.23	1.07	36.0	28.3	28.3	30.8	15.0
		(5)	(4.8)	(3.5)	(9.5)	(7.4)	(1.57)	(1.30)	(32.0)	(42.6)	(75.6)	(50.1)	(33.3)	
密 な し	あり	あり	12	4.5	3.0	9.5	6.6	1.67	1.20	-24.7	65.0	58.8	33.0	25.0
		なし	12	5.6	4.1	11.7	8.9	2.03	1.60	94.2	99.0	115.6	102.8	50.0
密 な し	なし	あり	11	5.4	4.0	9.4	7.4	1.33	1.13	2.5	54.2	55.7	37.5	18.0
		なし	10	4.4	3.3	8.9	7.0	1.50	1.23	39.7	36.6	58.8	45.0	26.6

注) () は林縁木, *: 肥大指數75以上

(1) 根元肥大量の比較

3ヶ年間の平均直径成長量を用い、要因別に処理平均を求め、比較してみた（表-52）。表にみられるように、直径の成長量は、「密度」要因でみた場合、低密度で大きく、普通密度で小さい。林縁木は、低密度に近似している。肥大較差（0.2m径 - 1.2m径）も低密度、林縁木で大きく、普通密度で小さい。

「施肥」要因では、施肥区で大きく、無施肥区で小さい。肥大較差は施肥区では \times 倍増している。

「枝打ち」要因では、林縁木の枝打ちなしで最も大きく、林内枝打ち木で最も小さい値をとっている。このように若い林分

においても、ヒノキの根元肥大成長は、これら施業要因によって大きく変化することが認められ、その成長を助長するものとして、低密度（林縁も含む）、施肥および枝打ちの不実行があげられる。ちなみに、最も肥大成長が促進された低密度+枝打ちなし+施肥の処理区における根元直径成長量（3ヶ年平均）は、2.03cmと大きく、逆に最も成長の劣った普通密度+枝打ち+無肥の処理区のそれは1.07cmで前者の約半分であった。

肥大較差は、前者で0.43cm、後者で0.07cmと相違がみられた。

(2) 肥大指標による根元肥大の要因解析

要因数が多く、同時にその効果を判定することは、困難であるため、実験計画をいくつかに分割し、その要因効果を検討した。

1) 密度、枝打ち、施肥の根元肥大に対する要因効果

「密度」、「枝打ち」および「施肥」の要因効果について、三元配置分散分析を用いて

表-53. 根元肥大に関する分散分析

要 因	平 方 和	自 由 度	平均平方	分 散 比	寄与率(%)
密 度 (A)	21251.31	1	21251.31	11.2736**	9.8
枝 打 ち (B)	20273.26	1	20273.26	10.7550**	9.4
施 肥 (C)	12981.17	1	12981.17	6.8865*	5.7
A × B	4237.67	1	4227.67	2.2481	1.2
A × C	1251.41	1	1251.41	0.6639	0.3
B × C	8848.26	1	8848.26	4.6940*	3.6
A × B × C	6596.60	1	6596.60	3.4995	2.4
誤 差 (E)	120641.06	64	1885.01		67.6
全 体 (T)	196080.77	71			100.0

**, *: 1%、5%水準で有意

検討した。解析データは3ヶ年間の肥大指數の平均値を用いた。普通密度区は、林縁効果の影響を除くため、プロットの周囲木を除いた9本とした。低密度区は、10~12本の本数より成り立っているが、処理上、胸高直径の大きいものから9本を選出し、解析に供した。すなわち、くり返し本数を9本とした三元配置分散分析である。解析結果を表-53に示す。

分散分析の結果、「密度」および「枝打ち」要因に1%水準で、「施肥」要因および「枝打ち×施肥」の交互作用に5%水準で有意差が認められた。有意差の認められた要因について、処理平均を求め、比較してみると、「密度」要因では、普通密度で28.9、低密度で63.4となっており、低密度における根元部の肥大の著しいことを示している。

図-31は、有意差の認められた「枝打ち×施肥」の交互作用をみたものである。枝打ちを行った木では、施肥の有無にかかわらず、その値は低く変化の幅も小さい。枝打ちが根元肥大に対して強く抑制的に作用していることが認められる。

枝打ちなしでは、施肥による効果が著しいことが認められる。これらのことより、ヒノキの根元肥大の促進は、低い密度の状態で枝打ちを実行しないままの粗放木に、施肥が加わることにより著しく促進され、逆に高い密度で、枝打ちを実行し、施肥を行わないという条件下では、根元肥大は抑制される。ちなみに、「低密度+枝打ちなし+施肥」の三つの条件が与えられたプロットの平均肥大指數は126.1となっており、とっくり病の目安

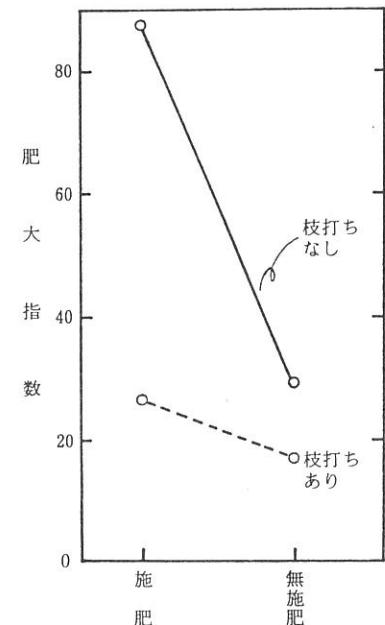


図-31. 施肥と枝打ちの実態

である75の1.68倍の高い値を示している。また3ヶ年を通して、肥大指數75を越える値の出現率は62.9%となっており、全供試木の6割強に異常肥大が生じていると推定される。

逆に、抑制条件のそろった「普通密度+枝打ち+無肥」区では、肥大指數はわずか12.1と、前者の10分の1に過ぎない値となっている。またこの区においては、肥大指數75をこえる値は、3ヶ年を通じて全くみられない。

2) 林縁木の根元肥大（林内木との比較）

普通密度で枝打ちを実施していない試験区を対象として、林縁木と林内木の根元肥大の違いについて検討した。要因は、「位置」（林縁と林内の二水準）、「施肥」（あり、なしの二水準）および「林齢別変化」（5、6、7年生時）の三要因とし、肥大指數を用いて解析した。分散分析の結果は表-54のとおりである。

分散分析の結果、「施肥」、「位置」、「林齢別変化」の三要因、および「施肥×林齢別変化」、「位置×林齢別変化」の交互作用に1%水準で、「施肥×位置」の交互作用に5%水準で有意差が認められた。このうち、「位置」および「施肥」要因では、寄与率が高く、要因効果の著しいことが認められた。「位置」要因、すなわち、林縁木と林内木では、根元肥大の大きさが明らかに異なり、処理平均でみると、林縁木67.4、林内木38.2と

表-54. 林縁木と林内木の根元肥大についての分散分析表

要 因	平 方 和	自 由 度	平均平方	分 散 比	寄与率(%)
施 肥 (A)	2402.67	1	2402.67	1193.37**	29.5
位 置 (B)	2563.76	1	2563.76	1273.39**	31.5
林齢別変化 (C)	561.30	2	280.65	139.39**	6.8
A × B	121.60	1	121.60	60.39*	1.5
A × C	1309.52	2	654.76	325.21**	16.1
B × C	1165.78	2	582.89	289.51**	14.3
誤 差 (E)	4.02	2	2.01		0.3
全 体 (T)	8128.67	11			100.0

**、*: 1%、5%水準で有意

なっており、林縁木で、根元肥大の著しいことを示している。「施肥」別では、施肥区で44.6、無施肥区で25.7を示し、施肥の効果が認められる。「林縁+施肥」の組み合わせでは、84.7という高い値を示す。逆に「林内+無施肥」の組み合わせの処理平均は、27.2と小さく、前者の約30%の値しか示さない。このように、ヒノキの根元肥大は、林縁状の生育空間をもち、施肥という土壤の富養化により、促進され、逆に林内という閉鎖による個体間競合と無施肥という条件では、抑制され、異常肥大は生じにくい。

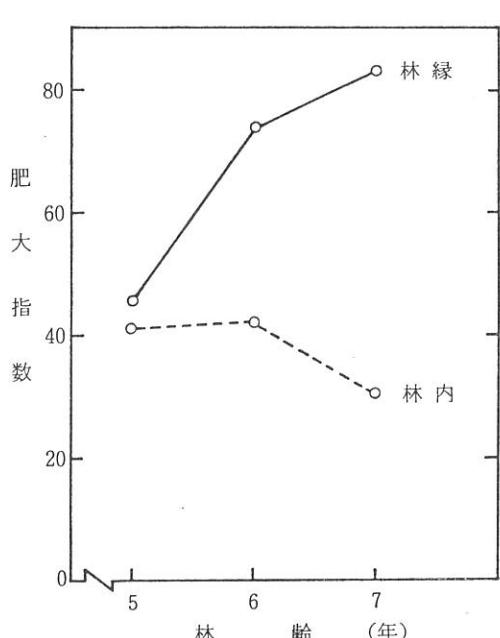


図-32. 加齢とともに林内木、林縁木の肥大指数の変化

図-32は、有意差の認められた「位置×林齢別変化」の交互作用をしたものである。

林縁木では、加齢にしたがって肥大指数が増大し、根元肥大が活発に促進されていることが読みとれるが、林内木では、逆に年々その値が減少している。これは、林分の閉鎖による競合開始（現実に林内木では、枝の枯れ上がりが起こっている）による影響と推察される。

このように、林縁木と林内木では、根元肥大の状況を異にするのが明瞭に認められ、このことよりして、ヒノキの根元部の異常肥大は、林縁木のもの（疎立）でよく発生し、閉鎖環境にある林内では、発生しにくいことを示している。

3) 林縁木の根元肥大（低密度区との比較）

林縁木は、林内木にくらべ、根元肥大の著しいことが認められた。また、1)項における分散分析の結果では、低密度で粗放管理を

した場合、根元肥大の著しいことが指摘されている。ここでは、林縁木と、低密度の状態で粗放管理（枝打ちなし）した場合の根元肥大について比較検討した。要因は、「生育状況」（林縁木、低密度枝打ちなしの二水準）、「施肥」（あり、なしの二水準）、「林齢別変化」（5, 6, 7年次の三水準）とした。分散分析の結果を表-55に示す。

表-55. 林縁木の根元肥大についての分散分析（低密度区との比較）

要 因	平 方 和	自 由 度	平均平方	分 散 比	寄与率(%)
生育状況 (A)	130.68	1	130.68	1.1523	0.17
施肥 (B)	6431.07	1	6431.07	56.7097*	65.33
林齡別変化 (C)	1682.06	2	841.03	7.4163	15.05
A × B	406.00	1	406.00	3.5802	3.03
A × C	393.02	2	196.51	1.7328	1.72
B × C	399.86	2	199.93	1.7630	1.78
誤 差 (E)	226.80	2	113.40		12.92
全 体 (T)	9669.50	11			100.0

*: 5%水準で有意

分散分析の結果、「施肥」要因に5%水準で有意差のみられたほかは、有意差は認められなかった。すなわち、林内木でも、低い密度で粗放管理すれば、根元肥大の状況は、林縁木と変わらないということを示している。施肥の要因効果は高く、これは、いずれの生育状況においても、根元肥大を助長する作用を示す。ちなみに、無施肥における肥大指数の処理平均値は47.5であり、施肥木での値は93.7ほど2倍となっており、肥培木で根元肥大の促進が著しいことを示している。施肥区における林縁木の肥大指数の平均値は84.7、低密度+枝打ちなし+施肥では、102.9と高い値を示し、異常肥大の目安値である75をこえており、とっくり病の発現の進行がうかがわれる。

4) 異常肥大の発生率

肥大指数による解析結果、「密度」、「枝打ち」、「施肥」の施業要因、林内、林縁という「位置」要因および林分の加齢とともに「林齡別変化」のそれぞれに、主効果や交互作用が認められ、これら要因がヒノキの根元肥大成長に単独で、あるいは複合的に影響を及ぼしていることが認められた。ここではこれらの要因効果を総括する意味で、異常肥大の発生率（肥大指数75以上の発現率）を求めてみた。「位置」要因による影響は大きく林縁では35.5%という高い発生率を示している。林内は9.4%と低かった（但し普通密度区）。「密度」要因では、低密度で28.5%と高く普通密度で9.4%（林縁木を除く）であった。「枝打ち」要因では枝打ちで16.0%、枝打ちなしで23.6%を示し特に顕著な差はなかった。若い林分では、成長量が大きく、回復力が強いので、枝打ちの程度によっては、抑制が十分でないことが生じる。ここでは第1回目の枝打下高が1.2~1.5m程度であり、とくに程度としては、強度とはいえないことよりその抑制効果が樹勢の回復に従って減じたことが考えられる。ちなみに、枝打ち処理木における「林齡別変化」でその発生率を見るに、第1回目の枝打ち年（5年生時）の発生率は0%であったが翌年は30.1%と上昇した。ここで再び第2回目の枝打ち（約2.0mまで）を行った結果、7年生次の発生率は17.8%と減少した。「施肥」要因では、施肥で23.8%、無施肥で16.4%であった。

3ヶ年の試験を通じて、最も高い異常肥大木の発生率をみた処理は、林縁+枝打ちなし+施肥の組合せで、その平均発生率は53.3%であった。逆に最も少ない処理の組合せは、普通密度+枝打ち+無施肥で平均発生率はわずか5.6%となっている。

低密度+枝打ちなし+施肥は、50.0%と高い発生を示し、低い密度における根元肥大成長は、ほど林縁木と同様の発生条件を有することが認められた。

第6節 考察

ヒノキのとっくり病の発生に関して、施業条件と強いかかわりのあることは古くより指摘されており、鹿児島県林業試験場（1936）では、多くの林分調査事例より、林分の疎密の影響について疎林にもっとも多く（32.9%）、中庸林がこれに次ぎ（20.8%）、密林でもっとも少ない（12.7%）という結果を報告し、その回避方法として、“植栽は疎植を避け、密植を行うこと”を説き、更に続けて“特に林縁部は密植すること”と特記し、また“間伐は一時に強く実行するよりも弱く度々繰り返し施行すること”等、現実林分の実態観察の中から、帰納的にとっくり病の発生と密度管理の重要性をつとに指摘している。

この疎林状態の木にとっくり病の発生の多いことは、坂口（1952）、遠藤ら（1962）および筆者（1988）も同様に指摘しており、また林縁木に発生の多いことを実松ら（1982）は報告しており、とっくり病と林分の疎密は、深い関連下にあることがうかがわれる。また、枝打ちや高密度管理でその被害は、軽減することができるという報告（坂口, 1952）、（赤井ら, 1967）がみられ、施業要因は、遺伝、立地とともにとっくり病の発生に関して、重要な鍵を握っていると考えられる。ここではとっくり病の発現がようやく開始されつつある林分から、今盛んにとっくり病の発現がなされている林分、そしてその発現がほど終息したとされる林分まで、諸種の段階にある五つの林分を対象に、施業要因を軸とした四

表-56. 試験地別の根元肥大平均（膨大比数）に対する要因効果

要因 または 項目	水準 および 組み合わせ	実験 I		実験 II		実験 III		実験 IV	
		玖珠町*	安心院町*	日田市	別府市*			天瀬町*	
	17~19年生 (3ヶ年)	11~13年生 (3ヶ年)	7~9年生 (3ヶ年)	13~18年生 (6ヶ年)	5~7年生 (3ヶ年)				
生育条件	疎	35.1 (13.3)	76.8 (36.8)	34.3 (15.3)	88.2 (36.9)	54.6 (29.9)			
	中	—	—	—	46.4 (27.7)	—			
	密	14.1 (2.4)	34.9 (18.1)	22.6 (8.4)	18.8 (4.7)	27.0 (15.8)			
	あり	14.4 (1.0)	43.6 (22.2)	22.3 (6.7)	28.3 (11.9)	29.9 (15.3)			
枝打ち	弱度	—	—	—	58.0 (28.5)	—			
	なし	54.6 (14.0)	68.1 (32.1)	34.6 (17.2)	71.6 (30.4)	51.6 (30.4)			
	あり	—	—	—	—	49.0 (21.3)			
施肥	なし	—	—	—	—	32.5 (14.2)			
	疎×放置	53.0 (26.6)	99.8 (46.4)	43.0 (21.7)	141.3 (47.2)	73.9 (38.3)			
相乗効果	疎×枝打ち	17.1 (3.3)	53.7 (27.2)	25.5 (9.3)	34.0 (16.6)	35.2 (21.5)			
	密×放置	16.4 (2.4)	36.3 (19.1)	26.2 (12.7)	21.8 (3.3)	29.4 (22.5)			
	密×枝打ち	11.8 (0)	33.5 (17.1)	19.0 (4.1)	8.8 (0)	24.6 (19.2)			
有意な交互作用	生育型 × 打ち	生育型 × 打ち	生育型 × 打ち	なし	生育型 × 打ち	施 肥 × 打ち			
最大の発生率をもつ 組み合わせ	疎+放置 26.6 %	疎+放置 46.4 %	疎+放置 21.7 %	疎+放置 47.2 %	疎+放置 50.0 %				
最小の発生率をもつ 組み合わせ	密+枝打ち 0.0 %	密+枝打ち 17.1 %	密+枝打ち 4.1 %	密+強度 枝打ち 0.0 %	密+枝打ち +無施肥 5.0 %				

*印は黒色土、() 内の数値は異常肥大の発生率(%)

つの実験計画を実行し、ヒノキの根元肥大に対する施業効果を検討したものであるが、これら四つの実験計画において、最終的には、これまでの報告のとおり、とっくり病の発生は、生育空間の大きさの影響の大きいこと、枝打ちによる抑制効果のあること、施肥による促進効果および林縁木での発生多発などを定量的に把握することが出来た。根元肥大を総合的に把握するため、各試験地の調査結果を整理し、表-56として示した。

表-56にみられるように、ヒノキの根元肥大は、4つの実験方法および5つの試験地を通して、程度の差の違いはあるものの、共通の要因効果をもつことが認められ、ヒノキのとっくり病に関して、施業要因の効果について、高い再現性のあることが確認される。

まず「生育条件」であるが、疎な状態で、根元肥大は著しく、密な状態では、強く抑制される。膨大比数の値が大きい程根元肥大は著しく、その値が75をこえれば、異常肥大の発現が行われていると類推されるが、この数値よりみて、安心院町および別府試験地ではその発現が著しい。とっくり病の指標である異常肥大の出現頻度は、両試験地とも約37%と高い。玖珠試験地は、とっくり病の発現がほど終息された林分であるためか、根元肥大は他の試験地に比して小さい。林分の密度が高く、閉鎖状況におかれると、ヒノキの根元肥大は著しく抑制される。

「枝打ち」による施業効果も、「生育条件」とほど同様の傾向を示し、いずれの試験地でも、枝打ちなしの処理において、根元肥大は著しく促進され、枝打ち実施で抑制が行われる。立地条件に恵まれた別府試験地では、とっくり病の発現が旺盛であったためか弱度の枝打ちでは抑制が十分でないことが認められる。このことは、安心院試験地においても指摘することが出来、とっくり病の発生に適した環境条件のところでは、枝打ちの程度を強くする必要がある。「施肥」の影響もその発現に促進的であることが実験IVで認められた。

このようにヒノキの根元肥大は、「生育条件」では、疎な状態で促進され、密な状態で抑制を受け、「枝打ち」では、放置で促進され、枝打ち実施で抑制される。また施肥によっても促進が助長されることが認められそれぞれの要因効果が明確となった。

これらの要因は、それぞれ単独でも作用するが、要因を組み合わせることによって、その効果は、より顕著となることが認められ、ヒノキのとっくり病は、いくつかの要因が相乗することによって顕在化する一種のポリジーン系の遺伝形質とみなすことが出来よう。疎な生育条件と放置という粗放管理が相乗された場合、ヒノキの根元肥大は、著しく促進され、とっくり病の発現の旺盛な別府市の試験地では、異常肥大の発生率が47.2%とほど過半に達することが認められた。逆に、抑制作用の強い密な生育条件と、枝打ち保育がなされた場合、膨大比数の値にみられるように根元肥大は著しく抑制され、やゝ林齢の進んだ玖珠町、別府市の試験地では、異常肥大の発現は全く生じていない。

またヒノキの根元肥大は、交互作用の認められる試験地が多く、実験I、IIの安心院試験地、および実験IIIでそれぞれ「生育条件×枝打ち」に、また実験IVでは「枝打ち×施肥」にそれが認められる。「生育条件×枝打ち」の実態を各実験ごとに検討すると、いずれも、根元肥大は疎な生育条件で大きく、密な条件下で小さい。そして、枝打ちの影響は疎な生育条件で大きくあらわれ、密なところでは、その作用は小さいということが認められた。すなわち、ヒノキのとっくり病は、疎な条件下で発現しやすく、放置すれば著しく促進される。しかしながら、枝打ちを実行することにより著しく抑制が可能とされ、枝打ちの効

果が顕著に認められる。密な生育条件では、とっくり病そのものの発現も小さく、枝打ちの有無による影響も小さい。このように、ヒノキのとっくり病の発生に関しては、ヒノキの生育条件が第一義的に作用し、枝打ち、施肥といった要因の効果は、二次的な役割をはたしていることが指摘されうる。

また立地条件のちがいによる効果も認めることが出来る。実験Ⅱは、林齡はやゝ異なるも、試験設計をほど同一にそろえた試験地での結果であるが、黒色土の安心院試験地で根元肥大は著しく、粘質性で乾性傾向のある褐色森林土を母材とする日田試験地では、その値は小さい。この場合、「試験地×密度（生育条件）」で交互作用が認められ、日田試験地では、密度による差が小さいが安心院試験地では、低密度での値が異常に大きく、普通密度との較差が著しい。このことは、土壤条件もまた、とっくり病の発生にとって強い作用をもつ要因として認識され、とくに黒色土で促進的、やゝ乾いた粘質の褐色森林土では抑制的であることが認められる。

実験ごとに異常肥大の発生頻度について、最大（max）、最小（min）の発生率を示す組み合わせをみると次のようになる。

1. 実験 I

(max) 疎立+放置（枝打ちなし）= 26.6%
(min) 閉鎖+枝打ち = 0.0 %

2. 実験 II

(max) 黒色土（B_{lo}）+ 低密度+放置 = 46.4%
(min) 褐色森林土（B_c）+ 普通密度+枝打ち = 17.1%

3. 実験 III

(max) 疎立+放置 = 47.2%
(min) 閉鎖+強度枝打ち = 0.0 %

4. 実験 IV

(max) 低密度+放置+施肥 = 50.0% (高密度+林縁+放置+施肥 = 53.3%)
(min) 高密度+枝打ち+無施肥 = 5.0 %

以上の組み合わせ結果よりも明らかなどとく、ヒノキの根元肥大に対して、促進的なものは、広い生育空間を有する疎な生育条件、枝打ちなしという粗放管理、施肥という施業管理条件、土壤条件として黒色土、位置条件として林縁部などがあげられる。逆に抑制的な因子として、密な生育条件、枝打ち（弱度では、効果が十分でない）、無施肥、やゝ乾いた粘質の褐色森林土があげられた。

ヒノキの根元肥大は、このように、いくつかの因子の相互作用によって促進されたり、抑制されたりするポリジーン系の遺伝形質とみなすことができるようであり、この形質の発現には、施業要因の影響の相対的に大きいことが認められ、これら施業要因と環境とが相互に作用することにより、とっくり病の発生に関してそれぞれ特有の発生構造を示しているものと考えられた。

第 7 章 とっくり病とさし木苗造林

第 1 節 目 的

ヒノキのさし木品種であるナンゴウヒは、根曲りが少なく、とっくり病の発生が少ないなど、形質的にすぐれていることが知られている（宮島, 1962）、（佐藤, 1968ほか）。このナンゴウヒに限らず在来のヒノキでも、さし木苗として用いれば、実生苗造林地と比較して、曲りが少なく、とっくり病の発生が少ないという報告が最近ふえつつある（前田, 1970）、（諫本, 1983a）、（大山, 1984ほか）。

この、実生からさし木苗に移行する増殖過程のなかで、通直性や直円性の向上が認められ、またとっくり病の発生が抑制されるとされる現象のメカニズムについては、今後の重要な課題とされうるが、ここでは、その現象について、二つの試験地の調査をもとに検証し、解析を加えてみた。

第 2 節 試験 I (さし木造林の形質特性)

1. 目 的

林齢、密度、施業および立地条件を同じくするヒノキさし木造林地（ナンゴウヒおよび在来種由来のさし木……以下単にさし木苗と略す）と実生苗造林地について、16年生時における成長量、形質（曲り、根元肥大）について比較を行い、さし木苗造林木の特性について究明し、あわせてこれがとっくり病の回避手段としての有効性を検討した。

2. 試験地および方法

(1) 試験地

試験地は、大分県日田郡天瀬町大字桜竹に位置し、標高 340 m の丘陵性台地にあり、土壤は、火山灰由来による黒色土となっており、土壤型は $B\ell_D-(d)$ 型である。

1971年3月に、ナンゴウヒ、さし木苗および実生苗を用いた試験地を設定した。調査時（1986年11月）における林齢は16年生である。

植栽間隔は、いずれも $1.8 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ で、 ha あたりに換算すれば 3,703 本となる。総植栽本数は、ナンゴウヒ 187 本、さし木苗 265 本、実生苗 136 本となっている。

ナンゴウヒおよびさし苗は、1968年春挿付けの床替 3 回 4 年生苗であり、実生は 1 回床替 2 年生苗である。ナンゴウヒは、熊本県阿蘇郡高森町の馬原広雄氏の所有山林からの穂木を用い、またさし木苗は、大分県日田市内河町の日田市市有林 10 年生の実生ヒノキ林からのオープン穂木によるものである。この試験地における施業履歴は、植栽後 5 ケ年間連続施肥を実施し、枝打ちは 2 回（第 1 回据枝払 6 年次、第 2 回枝打ち 4 ~ 5 m まで 12 年生時）実施されている。除伐は行っていない。

(2) 方 法

調査は、それぞれの系統について、林内木、林縁木にわけ、各 30 本ずつ計測を行った。樹高は測高程を用い 0.1 m 単位で、直径は、地際部（ 0.2 m 部位）と胸高位（ 1.2 m ）について、二方向より輪尺を用いて 0.1 cm 単位で計測した。曲りは、根元部（地上 1 m 以下）と幹曲り（地上高 1 m 以上）について、肉眼観察により 0：通直、1：少し曲りあり、2

: 中曲り、3: 大曲りの4つに評定区分した。真円性は、胸高部位について、長径D₁より短径D₂をさし引き、この値を平均直径で除した百分比にて算定した。根元肥大については膨大比数を用いた。

3. 調査結果

(1) 16年生時における各系統の成長量

16年生時における各成長量（地際径、胸高径および樹高）について、「系統別」（ナンゴウヒ、さし木苗、実生苗）および「位置別」（林内、林縁）を要因とし、くり返し本数を30本とする二元配置分散分析を行った。その結果について、成長項目ごとに分散比を表-57として示した。

表-57. 成長量に関する分散分析の分散比

項 目	要 因	自由度	分 散 比		
			地際直径	胸高直径	樹 高
系 統 (A)		2	25.424**	1.993N.S.	3.852*
位 置 (B)		1	5.896**	9.638**	2.855N.S.
A × B		2	4.097*	5.746**	3.605*
誤 差 (E)		174			

**, *: 1%, 5%水準で有意 N.S.: 有意差なし

分散分析の結果、地際径成長では、「系統別」、「位置別」要因に1%水準で、「系統×位置」の交互作用に5%水準で有意差が認められた。胸高直径成長では、「位置」要因および「系統×位置」の交互作用に1%水準で有意差が認められたが、「系統」要因には、有意差は認められなかった。樹高成長では、「系統」要因および「位置×系統」の交互作用に5%水準で有意差が認められた。有意差のみられた各成長量の「系統×位置」についての交互作用を図-33に示す。

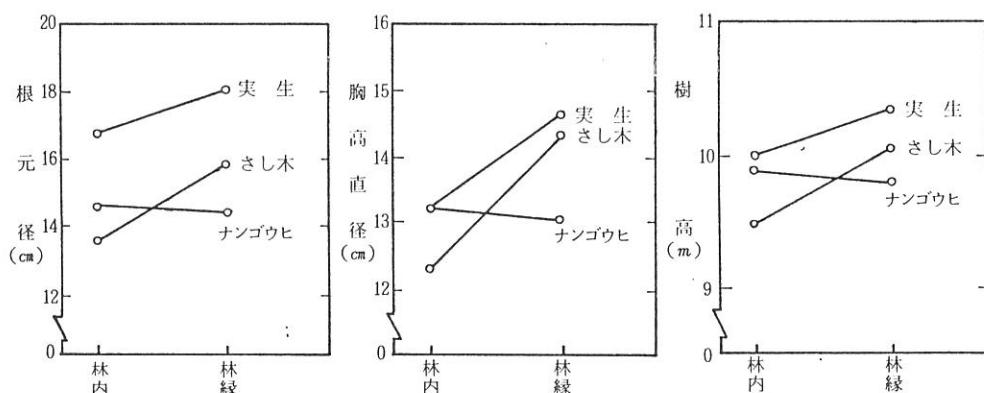


図-33. 位置と系統の実態

図にみられるとおり、ナンゴウヒは、林内、林縁との成長差が小さく、またその成長量もさし木苗、実生苗にくらべ、やゝ劣ることが認められる。これは、ナンゴウヒの初期成長が一般に劣るという通例を実証したものとなっている。

さし木苗ヒノキ、実生ヒノキでは、林内、林縁間で成長量の違いが認められ、いずれも林縁部でその成長が大きい。また全体に実生ヒノキの成長量が優れており、とくに地際部の成長の大きいことが目立っている。すなわち、ナンゴウヒ、さし木苗では、完満で締まりの良い幹脚となっていることが指摘される。

(2) 各系統の形質間の比較

16年生時における各形質（真円性、根曲り、幹曲り、膨大比数）について、「系統別」「位置別」を要因とし、くり返し本数を30本とする二元配置分散分析を行った。その結果について、形質ごとに分散比を表-58として示し、表-59にその処理平均を示した。

表-58. 形質に関する項目ごとの分散比

要 因	自由度	分 散 比			
		真 圆 性	根 曲 り	幹 曲 り	膨 大 比 数
系 統 (A)	2	0.276N.S.	36.704**	0.014 N.S.	175.379**
位 置 (B)	1	1.695N.S.	0.513N.S.	0.715 N.S.	0.317N.S.
A × B	2	1.703N.S.	0.171N.S.	0.710 N.S.	0.158N.S.
誤 差 (E)	174				

**: 1%水準で有意 N.S. : 有意差なし

表-59. 形質に関する処理平均の比較

要因	水 準	形 質			
		真 圆 性	根 曲 り	幹 曲 り	膨 大 比 数
系 統	ナンゴウヒ	3.40 %	0.10	0.49	0.30
	さ し 木	2.39	0.47	0.52	0.27
	実 生	2.67	1.10	0.50	0.75
位 置	林 内	2.58	0.51	0.46	0.43
	林 縁	3.06	0.60	0.54	0.44

分散分析の結果、根曲りおよび膨大比数の二つの形質において「系統」要因に1%水準で有意差が認められたが、他の形質では、要因効果も交互作用も認められなかった。

「系統」間に有意差が認められた根曲りでは、表-59にみられるように、実生での根曲りが大きく、逆にナンゴウヒの抜群ともいえる通直性が確認された。またさし木苗もナンゴウヒほどではないが通直性が高く、さし木による増殖は、ヒノキの根曲りに対し、通直性の向上をもたらしていることが認められる。とっくり病判定の指標である膨大比数は、実生で大きく、さし木苗、ナンゴウヒで小さかった。膨大比数 1.2 以上（とっくり病の判別規準値）の出現率は、ナンゴウヒ、さし木苗では、全く認められず、実生苗では 8.3 % であった。このように、ナンゴウヒ、さし木苗においては、とっくり病の発現は、今のところ全くみられておらず、さし木による増殖が、とっくり病の発現をなんらかの形で抑制または、隠蔽していることが認められる。

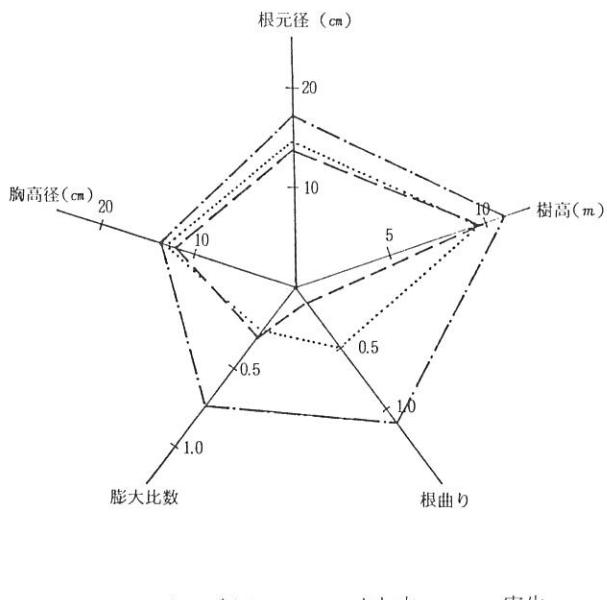


図-34 ヒノキ各系統における成長特性

第3節 実験Ⅱ（とっくり病の次代検定）

1. 目的

三つのヒノキ林において、著しいとっくり症状を示す木と健全木をそれぞれ一本ずつ計6本を選び出し、それらを母樹として、さし木苗を養成し、その苗を用いて、密度条件をえた試験地を設定し、7年生時における測定データをもとにとっくり病についての次代検定を行った。

2. 材料および方法

(1) 材料

試験に供したさし木苗の採穂親木の成長および根元肥大を表-60に示した。

表-60. 親木一覧

林分 記号	樹齢	場所	親木	諸元			
				D 0.2(cm)	D 1.2(cm)	H(m)	膨大比数
A	16	大分県玖珠郡大字大原野	とっくり病	22.0	12.8	6.5	2.15
			健全	14.4	10.9	7.3	0.93
B	16	"	とっくり病	33.0	17.6	8.5	2.85
			健全	16.1	13.0	8.3	0.72
C	45	"	とっくり病	48.3	32.5	15.6	2.05
			健全	28.8	26.2	15.5	0.37

以上ヒノキの各系統について成長量および形質の面より、類似性、相違点について検討したが、ここでは、系統間で有意差のみられた項目をレーダチャートを用いて、その特性比較を行ってみた。レーダチャートを図-34に示す。

図にみられるように、根曲りがきわめて小さいことを除いて、ナンゴウヒとさし木苗は、成長量、形質とも類似性の高いことが認めらる。

ナンゴウヒにおける根元部の通直性の高さは、選抜効果の一つのあらわれであろう。

これに対して実生では、成長量はやや優れるも、根曲りや根元肥大の大きいことが指摘され、ナンゴウヒやさし木苗というさし木という増殖過程を経たものにくらべ、その特性をかなり異にすることが認められた。

膨大比数 1.2 をとっくり病判定の目安とすれば、A、B、C 三つの林分におけるとっくり病木は、いずれもこの値を大きく上回っており、形態的に著しいとっくり症状を示していた。また健全木は、いずれも膨大比数 1.0 を下回っており、幹脚の締った健全木であった。

(2) 方 法

1978年4月 A、B、C の三林分より、とっくり病木および健全木を各1本あて選出し、これら親木の樹冠中～上部より採穂を行いさし付けた（さし穂長25cm、IBA 100ppm 18時間浸漬後さし付け、1年後床替）。

1980年3月、このさし木苗（床替1回2年生苗）を用い試験地を設定した。試験地は、大分県日田郡天瀬町大字桜竹にある大分県林業試験場天瀬試験地内（海拔高340m、年平均気温14°C、年降水量1,900mm、苗畑跡、平坦地、土壤B ℓ_D 型）に設定した。

試験は、「親木別」（とっくり、健全）と「密度別」（高密区—1.2m×1.2m植、6,944本/ha、低密区—2.4m×2.4m植、1,736本/ha）の二要因配置の実験とし、高密区に20本、低密区に12本を植栽した。親木によってさし木活着本数が異なっていたので林別の仕分けは行わなかった。また低密区におけるC林分からのとっくり病さし木苗のみは、1年前の1977年4月にさし付け、2回床替3年生苗を用いている。くり返した行っていない。設定時より5ヶ年間下刈りを実施したが、枝打ち、除伐は行っていない。設定5年目にあたる1985年4月に地際径（20cm高）および胸高径の計測を開始し、以後毎年成長休止期に計測を実施している。計測は直径巻尺を用いた。

3. 調査結果

この試験地における最新のデータは、1987年10月における測定結果で、この時点での林齢は、7年生で平均樹高5.3m、平均胸高直径7.3cmとなっている。

根元肥大状況の把握は、膨大比数（7年生時における総成長量を用いての判定で、この値の1.2以上をとっくり病木とみなす）、肥大指数（単年における成長の異常性の判定で、この値が75をこえる場合、とっくり病の発現の目安とする）の両面より解析を行った。

解析は親木の「親木別」（とっくり病、健全木の二水準）、「林分」（A、B、C 林分の三水準）および「密度」（高密、低密の二水準）を要因とした三要因配置による分散分析によった。

(1) 膨大比数による根元肥大の解析

膨大比数を用いての分散分籠の結果を表-61に示す。分散分析の結果、いずれの要因も有意差はなく、また交互作用についても有意差は認められなかった。

有意差は、認められなかつたが、各要因の傾向把握のため、処理平均を求めて比較してみた（表-62）。

膨大比数 1.2 をとっくり病類別の一つの基準とすれば、いずれの要因、水準別にみられる膨大比数は、0.6～0.8の間にあり、根元部における異常肥大は、見出しえない。傾向として、「親木」要因でとっくり病水準が、「林分」要因でB林分が、「密度」要因で低密がやゝ高い値をとるが、問題となる値ではない。

試験地設定後、7年目のまだ若い時点での結果ではあるが、以上の解析にみられる

表-61. 膨大比数を用いての分散分析

要因	平方和	自由度	平均平方	分散比
親木 (A)	0.1121	1	0.1121	4.0987
林分 (B)	0.0058	2	0.0029	0.1063
密度 (C)	0.0341	1	0.0341	1.2476
A × B	0.0616	2	0.0308	1.1261
A × C	0.0021	1	0.0021	0.0780
B × C	0.0181	2	0.0091	0.3311
誤差 (E)	0.0547	2	0.0274	
全休 (T)	0.2887	11		

表-62. 膨大比数の処理平均の比較

要因	水準	平均膨大比数
親木	とっくり	0.80
	正常	0.61
林分	A	0.69
	B	0.73
	C	0.68
密度	低密	0.76
	高密	0.65

とおり、さし木という増殖過程を辿った場合親木がとっくり病であっても、また植栽密度がとっくりの発現に好適な低密度であってもとっくり症状は生じていないことが認められる。

(2) 肥大指数による根元肥大

肥大指数は、年々の根元肥大成長が正常であるが、異常であるかを判定するために提案したものであり、その値が75をこえた場合、

異常肥大発現の目安としている。ここでは、林齢5年～7年生時における3ヶ年の平均肥大指数を用いて、さし木ヒノキの根元肥大に対する要因効果の解析を行った。

用いた要因は、前出の膨大比数の場合と同様、「親木」、「林分」および「密度」の三要因とした。分散分析の結果を表-63に示す。表にみられるとおり、肥大指数においても要因、あるいは交互作用とも、有意差は認められず、さし木ヒノキにおける連年の根元肥大状況は、親木の症状の違い、林分の違い（いいかえれば個体間差異）、密度の違いの影響を受けることなく、ほど正常な幹脚を形成しつつ成長していることが認められる。

表-63. 肥大指数の分散分析

要因	平方和	自由度	平均平方	分散比
親木 (A)	3368.4008	1	3368.4008	8.5281
林分 (B)	2777.3067	2	1388.6533	3.5210
密度 (C)	991.9008	1	991.9008	2.5150
A × B	1352.4467	2	676.2233	1.7146
A × C	1010.1675	1	1010.1675	2.5613
B × C	1208.0867	2	604.0433	1.5316
誤差 (E)	788.7800	2	394.3900	
全休 (T)	11497.0892	11		

有意差は認められなかったが、要因の傾向をみるため、処理平均を求め検討した。この結果を表-64に示す。

処理平均でみた場合、親木別にみると、とっくり病親木の値が健全木にくらべ大きいことが目立っているが、異常肥大発現の目安である75にくらべれば、半分程度で問題になら

表-64. 肥大指數の処理平均

要因	水準	平均肥大指數
親木	とっくり	37.9
	健全	4.4
林分	A	1.9
	B	22.4
	C	39.1
密度	低密	30.2
	高密	12.0

ない。とくにこの差が大きい原因は、健全木の試験地の配置が、スギの見本園と接し、スギの庇陰の影響があるものと推察される。

林分では、A林分のものがとくに値が小さく、C林分で大きい。根元肥大に個体間差異のあることがうかがわれるが、値そのものは、小さく、問題となる数値ではない。

密度別では、低密区で大きく、高密区で小さい。数値そのものは、小さくて、異常肥大成長の生じる値ではないが、低密度において

根元肥大は促進されるという傾向は認められる。

第 4 節 考 察

熊本県阿蘇郡南郷谷一帯において、古くよりさし木によって増殖してきたヒノキの一叢養系がナンゴウヒと命名され、(佐藤ら, 1957)、これが一般的形質において、実生ヒノキのそれとくらべて、独特の形質を有し、根曲りがなくとっくり病の発生がきわめて少ない等が明らかにされ(佐藤ら, 1956)、(佐藤, 1968)、(宮島, 1962)、次第に大方の注目を浴びるようになった。このナンゴウヒに限らず一般のヒノキでも、さし木という増殖によれば、実生造林地と比較して、曲りが少なく、とっくり病の発生が少ないという報告が増えつつあり(前田, 1970)、(諫本, 1983a)、(大山, 1984)、(大山ら, 1985)とっくり病の回避を含め、幹形形質向上のためさし木造林の有効性が注目されつつある。一方さし木苗と実生苗の造林比較において、とっくり病の発生も含め、諸形質に差異がなかったという例(高木ら, 1988)もあり、また、長浜(1987)は、加齢の進んでいない若齢母樹からのさし木は、とっくり病の発生のあることを指摘しており、さし木ととっくり病の発生についてはさらに検討の余地が残されるが、一般的傾向として、さし木による樹幹形質の向上は、信頼性が高いといえるようである。ここでは、そのひとつの検証事例として、さし木における形状特性およびとっくり病の発現について検討してみた。

ナンゴウヒは、比較的純度の高いクローン、コンプレックスとされているが、これは一般のさし木とどう異なるのか、そして、一般のさし木はまた実生ヒノキとどのように異なるかについて、16年生の試験地を用いて検討した。この結果、根曲りがきわめて小さいことを除いて、ナンゴウヒ(さし木)と一般のさし木ヒノキは、成長量、形質ともによく類似していることが認められ、さし木による増殖によって、ヒノキは、成長量および形態的特性が近似した変異の少ない種と変化することが認められた。これに対して実生ヒノキでは成長量がやゝすぐれ、根曲りや、根元肥大の大きいことが指摘され、ナンゴウヒやさし木ヒノキと、その特性をかなり異にすることが見出された。

また、とっくり病木を親木とするさし木試験を行い、根元肥大成長について検討したところ、7年生時点では、「親木」(とっくり病と正常木)、「林分」(A、B、Cの三林分)および「密度」($1.2\text{ m} \times 1.2\text{ m}$ 、 $2.4\text{ m} \times 2.4\text{ m}$)の三要因とも有意差は生じておらず、根元部の異常肥大は、見出しえなかつた。すなわちさし木という増殖手段を辿った場合、親木がとっくり病で、また密度がとっくり病の発現に好適な低密度で、しかも黒色土という条件にも拘らず、異常肥大は全く認められず、さし木苗による造林がとっくり病

の回避にとって、有効な手段になりうることが認められた。

このように、さし木という増殖過程を経ることで、とくに病の隠蔽を含め、樹幹形状の優良化がはかられることは、この試験地においても明らかとされたが、そのメカニズムについては、今のところ不明となっている。しかしながらこの現象は、ヒノキのもつ重要な特性と考えられ、今後積極的な解明が望まれる。

第8章 総合考察

ヒノキのとっくり病の成因については、病菌説（北島、1926、但し1933年にはこれを未定とす）、土壌菌説（四手井、1974）、立地説（坂口、1952）、生理病説（伊藤、1971）等諸説論じられているが、本報では、結果的に、生理病説を支持する形となった。

その根拠は、発生条件を整理するに、とっくり病は、同一の苗木を用いた同一林分において、林縁部で明らかに発生率が高く、発生程度も著しいこと、疎林状況で多発すること、枝打ちや閉鎖によって抑制がなされること、手入れの悪い林分に多いこと、林齡的に10～20年生時の成長極大期に多いことなど、ヒノキの旺盛な成長条件ときわめて密接に関連して生起していることによる。

とっくり病は、徳重（1957）の報告のとおり、なんらかの原因によって、細胞の異常分裂が行われ、その増殖の結果の発現にほかならないとされうるが、異常な増殖の前提として、生理的な面での内生物質（成長ホルモン）の活性化があるものと推定される。この面で、橋詰ら（1986）は、とっくり病木では5～6月時に地際部及び根においてサイトカインの含有量の増加を認めているが、その増加の原因が何によるものかについては言及していない。内生物質の活性化の真因として、四手井の説くように、糸状菌の一種による根系への刺激も考えられるが、前述の発生条件と照応した場合、やはり病菌説は、不自然といわざるを得ない。林縁部で多いこと、枝打ちによって抑制されること、一定林齡に達するとその発現がみられなくなることなどである。

とっくり病の真因については、今のところ不明としかいいようもないが、その発生条件と病徵は、今も昔も変わることはない。とっくり病の発生条件を既往の報告にもとづき、いま一度整理してみると、そこに一定の共通した傾向のあることが見出される。

①適潤肥沃地であること、②疎林状況であること、③枝條の繁茂が旺盛な優勢木であると、④枯枝の付着が著しい手入れ不良林であること、⑤林縁木で著しいこと、⑥枝打ちを実行した林や高密度林分では少ないことなどである。

このとっくり病の発生条件から類推されるように、被害木は、旺盛な生育条件が与えられていることである。すなわち、立地的に水分環境に恵まれ、生育状況として、孤立状で枝葉が自在に拡張しうる生育空間を有し（枯枝の付着は、同化生産が長く行われた一つの証拠産物）ていることである。赤井ら（1967）が、とっくり病被害木は、相対成長関係において、葉量が幹に対して過大であると報告しているように、ヒノキは孤立状で放置されると、一般に異常な成長を生じる性質を潜在的にもつ種として認識され、その成長は、樹幹下部において集中的に行われるという特殊性を有する。この疎立状況と枝葉の地際部からの繁茂は、一般には、手入れ不良による場合が多く、これに水分的に恵まれた立地条件が加われば、異常肥大が生じ、とっくり病が発生していく。今回の解析結果においても、疎立と枝葉の繁茂を促す手入れ不良という粗放管理は、とっくり病の発生にとって、要因効果が高いことが見出され、施業の重要性があらためて認識されることになった。このように生育状況として、疎立、枝葉の繁茂がとっくり病の誘発因として強い影響をもつことは、これと逆の状況に置くことによってとっくり病は、抑制しうることを示したものにはかならない。古くより枝打ち、高密度管理が施業面の重要な抑制方法として経験的に認知されているのは、理にかなっていると思われる。

この施業条件に関して、ここでは、5つの試験地を設定し、4つの実験計画を取り入れヒノキの根元肥大に対する施業の要因効果について、定量的な解明を試みた。その結果次のことが明らかとされた。

- ①ヒノキのとっくり病にとって促進的なものは、疎立（低密度）、枝打ちなし、施肥であり、これらは単一的にまたは相乗的に被害を促進する。
- ②ヒノキのとっくり病にとって抑制的なものは、閉鎖（高密度）、枝打ち、無施肥であり、これらは、単一的にまたは相乗的に抑制する。
- ③枝打ちと生育状況には、交互作用が認められ、とっくり病は、疎な状況で著しく促進されるが、密な状況では、ほとんど認められない。枝打ちの効果は、疎な生育状況で顕著であり、密な状況では、効果がない。すなわち、ヒノキのとっくり病は、疎密という生育状況が第一義的に作用しており、枝打ちの作用は、二義的なものと考えられる。しかし閉鎖前の若い林分においては、枝打ちの効果は一義的に作用する。
- ④林分の閉鎖の進行や、加齢という生理的老化現象は、根元部の異常肥大を抑制する。
- ⑤とっくり病の発現の著しいところでは、弱度の枝打ち（据枝払い程度）では、抑制効果は少なく、強度の枝打ちが必要である。
- ⑥林縁木は疎立状況の木と類似した肥大成長を示し、とっくり病の発生が多い。
- ⑦同一施業条件の場合、黒色土で異常肥大は促進され、乾性傾向の褐色森林土では抑制される。

以上のことから、とっくり病の発生に関する最多発生条件と、抑制条件は次の組み合せが成り立つ。

最多発生条件：疎立+枝打ちなし+施肥+黒色土

最大抑制条件：高密+枝打ち+無施肥+褐色森林土（やや乾性）

但し最多発生条件は、林分の成長量最盛期も加えられ、これは、大略10~20年生時とみなされよう。

この施業条件もさることながら、これまで少し触れたように、立地的な面で、特に黒色土で発生の多いこと、そしてその程度の大なることは、特筆すべきものがある。既往の報告では、立地条件に関して、具体的な解析は少なく、湿潤肥沃地、スギの適地といった抽象的表現で処理されており、土壤面では、坂口（1952）がB_E型に多いとしているが目立つ程度である。今回の数量化・I類による解析では、立地条件として、黒色土に多く、褐色森林土で少ないと、更に褐色森林土では、B_c、B_D(d)といった乾性傾向のある土壤型で特に発生の少ないことを明らかにした。地形的には、一定の傾向が見出しえなかつたが、これは、黒色土壤の出現地では、地形に無関係に発生していることが影響していると考えられた。また手入れ不良林での多発事例が多く、とくにこれが地利に恵まれない尾根筋や山腹上部に多いことから、地形との関連を不明にしている可能性もある。

年降水量は、多い方が発生が高く、寡雨のところでは少ない。そして保水力の高い黒色土では、被害は、相乗されることから、とっくり病と、土壤水分の多寡は密接な関連を有することが指摘される。また土壤条件において、膨軟な土壤で発生が多く、緻密な粘性土で発生の少ないと、土壤水分の動態まで含めた検討の必要性のあることを示している。既往例（遠藤ら, 1959, 1960）、（森田, 1978）では、全体的につまり気味で、特に下層土に緻密な層の介在を報告しており、ヒノキの根系域において、過剰水分の停滞のあることを示唆しているが、今回の解析結果では、それは普遍的なものではないと判断された。

勿論、下層土が表層部位より緻密なることは、一般にみられる現象で、特に意を払う必要はないが、とっくり病の出現地において下層が特に緻密であるということは、共通した事象として認められず、むしろ、とっくり病多発地においては、深くまで孔隙に富む膨軟な土壤が多く、表層よりつまたた粘性度では、その発生は少なかった。

このことは、土壤水分的にみれば、とっくり病の発生にとって誘発的なものは、供給水分量の大きさに加えて、可動水分の変化の大きさがあるのではないかと考えられる。

膨軟な黒色土においては、降雨に際しては、多量の水分を吸湿保持し、保水力の高さと相まって、土壤は、當時湿润の状態にあるも、孔隙量に富むことより、過剰な水分の停滞は少ない。降水量の少ない粘性の褐色森林土では、土壤孔隙は少ないが、粘性であるゆえ、土壤水分の保持力は、高く、降雨、乾燥時においても、水分変動が小さく、土壤水分の恒常性が高い。供給水分の大きさと、それを内部で貯留する変化の巾が大きいほど、とっくり病の発生は促進され、供給水分の小ささと、土壤水分の変化を出来るだけ恒常に小さくしうる土壤ほど、とっくり病の発生は抑制されるのではないかと推察される。

芝本（1952）は、苗木実験ながら、ヒノキは過剰水分に対して異常な重力成長を遂げるとしているように、ヒノキは、土壤水分の多寡に対して、かなり敏感に反応する性質を有しており、これが成長の旺盛な時期と生育条件に結びついて、とっくり病という一つの被害として現出していることが考えられる。

このように、ヒノキのとっくり病は、立地、施業の影響が強いことが指摘されたが、遺伝的な関与もまた検討されねばならない。根元肥大に対する遺伝率は、7家系を用いた九大14号の次代検定林では26.7%と推定され、また共通6家系を用い、九大14号を含め、4つの次代検定林での値は、3.7～17.1%、平均で10.2%と遺伝力としては小さいことが認められた。次代検定林は、成長、形質はもとより、とっくり病に対しても、十分なる陶汰がなされた集団とみることが出来るが、このような集団にあっても、とっくり病の発生は、九大14号で42.8%を筆頭に、かなり著しいことが認められ、そして検定林間における差異が大きいことより、とっくり病は、やはり、遺伝的な面での関与は小さく、相対的に、施業、立地の影響の大きい生理的障害とみなす見方が妥当と考えられる。次代検定林における根元肥大に対する遺伝力は、陶汰集団におけるものであるから、現実林分では、個体間変動が大きくなることが予想され、従って遺伝力は更に低くなることが予測され育種による選抜効果はかなり低いのではないかと考そられる。

このとっくり病の回避方法として、立地、施業面から発生条件を抑制すること、育種面において、次代検定林よりの発生の少ない家系の選抜などがあげられるが、ナンゴウヒにみられるように、さし木という増殖によって、被害を回避するという試みが注目されてきた。さし木によってとっくり病が全くなくなるということはない（高木ら、1988）にしても、とっくり病を含め、ヒノキの形質優良化にさし木が有効であることはこれまでの事例（宮島、1962）、（大山、1984）、（大山ら、1985）に加えて、今回の二つの試験地の調査結果においても、あらたに立証することが出来た。このさし木という増殖過程も経ることで、何故とっくり病の発生が抑制され、形質の優良化が行われるのかは、とっくり病の真因解明とともに、不明であるが、この現象は、ヒノキのもつ重要なそして不可思議な特性と考えられ、今後の積極的な解明が望まれる。

以上のようにとっくり病に関しての真因は、この研究において解明することは出来なかったが、その発生条件を、遺伝、立地、および施業の面より総合的に検討してみると、とっくり病のもつ発現特性がほど明らかとなり、それはヒノキの一種の生理的な特性にもとづく現象ではないかという見方を本報告では、支持する形となった。現在のところ理論的にも実証的にもこれを否定する材料は見あたらないことより、とっくり病は、伊藤(1971)の云うように、生理障害説とみなしてさしつかえないようと考えられる。

その根拠は、発生や抑制にかかる条件が、ヒノキの生育状況を操作することによって規制しうるということに求めることが出来る。とっくり病の発生と促進は、立地的には、水分条件に恵まれた肥沃地で、生育状況は、枝葉を自在に拡張しうる疎立と無枝打ち、これに成長促進の施肥など、ヒノキの自在で奔放な生育を保証しうる条件下において行われ、逆にその抑制は、乾燥地、枝打ち、高密、無肥といったヒノキの成長を阻害する条件下で行われていることである。まさしくとっくり病は、ヒノキの成長の良否と密接に関連して生じる一種の生理障害で、一種の栄養多過による肥満現象ととらえることも出来るかも知れない。いずれにせよ、とっくり病は、一定の条件の付与のもとで生じる可能性をもつものであることが明確とされ、それは、一つは粗放施業によるところが大きいことから、これは、一つの人為的被害と見なすことができよう。このことは、逆に、人為的な施業管理によってとっくり病の予防、抑制が可能なことを意味する。

また、とっくり病が形質的に不良木の典型とされ、それがヒノキの生理的特性にもとづくものならば、とっくり病は、その特性の最も悪しき側に片よった結果と見なすことが出来る。従って、その特性を良い側に持ちこむこと、すなわちとっくり病の発生条件を完全に抑制することは、良質なヒノキ材生産を可能とする条件と一致することとなる。

このような面で、ヒノキのとっくり病の解明は、単に、その被害実態や発生条件の解明にとどまらず、ヒノキの樹種特性を介在して、良質材生産に直接役立てることが可能である。

勿論、とっくり病は、人災的な要素が大きいと考えられるも、遺伝的な関与も否定されるべきではない。遺伝率そのものは、低いけれども、次代検定林においては、その発生が少なく、立地変動も小さい家系が存在しており、育種からの回避も今後続けていく必要がある。また、さし木によるとっくり病の隠蔽化も、理論的に説明しがたい現象であるが、その効果は、注目すべきものがあり、今後のヒノキの造林にとって有効な力となりうる可能性を持つものと期待される。

摘要

地際部が異常に肥大し、材質に致命的な欠陥をもたらすヒノキのとっくり病は、1926年北島によって最初の被害報告がなされて以来、各方面より調査研究が行われ、被害の実態や発生条件、予防法など多くの知見が得られている。この報告は、これまで個別に行われてきた本病について、成長形態、組織構造、遺伝育種、立地、施業の各面より総合的な検討を加え、その形態特性を明らかにし、発生条件や予防法について言及したものである。調査結果は次のとおりである。

1. とっくり病の判定方法

幹脚部における肥大が異常であるかの判別は、ある時点における形態判別と連年ごとの肥大判別に分けられる。前者を静的な判別とすれば、後者は動的な判別とされる。宮島（1962）の提案した膨大係数は、静的な面での判別法として至便であるが、膨大比数30をその判別の基準として固定した場合、現実林分の観察結果と相応しないところが認められたため、筆者はこれを改良し、膨大比数による判定法を提案した（1985 b）。膨大比数は次式より求められる。

$$\text{膨大比数} = \frac{\text{膨大係数}}{\text{基準膨大係数}} \quad \dots \quad (3)$$

上式において、膨大係数は $\{(D_{0.2} - D_{1.2}) \div D_{1.2}\} \times 100$ で求められ、基準膨大係数は $\{41.5240 \div (1.01732)D_{1.2}\}$ を示す。とっくり病の判別は、膨大比数の値が 1.20 をこすものとし、この出現比率をもってとっくり病の発生率とした。

また連年における根元肥大成長の異常性判別には、筆者の提案した肥大指数（1983 b）を用い、この値が 75 をこすものを異常肥大の発現とみなした。肥大指数は次式によって求められる。

$$\text{肥大指数} = (id_{0.2} - id_{1.2}) \times id_{0.2} \quad \dots \quad (4)$$

上式において、 $id_{0.2}$ 、 $id_{1.2}$ はそれぞれ 1 年における 0.2 および 1.2 m 部位の直径成長量 [mm] を示す。この式を更に橋詰ら（1988）は、より現実的なものとして次のように改変している。

$$\text{肥大指数} = (id_{\max} - id_n) \times id_{\max} \quad \dots \quad (4)'$$

上式において、 id_{\max} 、 id_n は、それぞれ 1 年における最大肥大部および立ち直り部の 1 ケ年の直径成長量 [mm] を示す。

2. 成長形態および組織構造特性

異常肥大が今なお盛んに発現している 20 年生ヒノキと過去に異常肥大の被害歴をもつ 31 年生のヒノキについて、詳細な樹幹解析を行い、とっくり病の成長についてその特性把握を行った。典型的なとっくり症状を示す 20 年生のヒノキは、成長解析の結果、すでに 6 年生頃より異常肥大の開始がなされ、それが依然として続いていることが認められた。

とっくり病は、条件によっては、このようにきわめて初期の段階でその発現が開始されることが見出された。このとっくり病木の成長について、同年齢の正常木と比較してみると

と胸高直径で1.5倍、地際直径で2.3倍、材積で3.6倍となっており、とくに幹脚材積(0.7m以下)では、11.9倍という著しく過大な成長量を示している。今なお異常肥大の行われている20年生時における幹脚部への材積配分は53.3%という過半をこす配分率を示し地際部における異常な過大配分が明瞭である。ちなみに、正常木のそれは17.3%であった。

ヒノキのとっくり病は、成長体制のととのった比較的早い時期にその発現の開始が行われ、枝葉の繁茂の盛んな10~20年生頃の早壯期に著しい促進がみられ、林分が閉鎖し枝の枯れあがりが進行してくれば、正常に復してくるというのが、一般的なパターンといえるようである。31年生のヒノキは、とっくり病の被害に関して、以上のような消長をもつことより、とっくり病の一つの典型事例として取りあげたもので、このヒノキは、7年生頃より異常肥大が開始され、11~15年生時にそのピークをむかえ、18年生頃に終息がみられ、以後正常に復しており、この消長は、肥大指数を用いることにより明瞭に把握される。このように、とっくり病は、その被害消長からみて、比較的若い時期の成長量の最も旺盛な、いわば生理的に活性度の最も高い時期に発現がみられ、加齢が進むことによってそれが止むことより、成長最盛期における一種の生理特性(過大同化生産)ではないかと考えられる。

とっくり病材部における組織構造は徳重(1957)がすでに指摘したように、細胞の異常分裂によって、異常な増殖が行われ、仮道管や髓線(放射)柔組織が方向性や形態を乱し、異常な構成を示すことに求められる。

ここでは、3本のとっくり病木(16、20、31年生)および樹齢を同じくする3本の正常木の計6本より、器官別(根、髓部、幹部)、部位別(0.2、0.4、1.2、3.2m)および年齢別(3年ごと)に早材部について合計112枚の接線方向(板目)プレパラートを作成し、年輪巾、仮道管長、放射組織構成率、柔細胞数、多列放射組織発生率を計測し、とっくり病の組織構造の定量化をはかると共に、これら計測データを用いて主成分分析を行いその特性把握を行った。この結果、とっくり病羅病部においては、仮道管長の短いことが指摘され、それは正常材の70%程度とされた。またこの仮道管長は、年輪巾と負の相関のあることが認められた。逆に放射組織構成率では、正常木の1.2倍、柔細胞数では1.4倍と高く、異常な分裂による増殖の結果が認められた。また主成分分析の結果、多列の放射組織をもつとっくり病羅病部の集団、根部、髓部および正常部の4つの集団に大きく区分された。このうちとっくり病患部と正常材部は、区分されたが、とっくり病患部と髓、根部では交わりがみられ、とっくり病の組織は、正常部と異なり、むしろ根部や髓と近い組織を有することがうかがわれた。

3. 遺伝的特性

九大14号次代検定林(大分県豊後高田市)は、火山灰土を母材とするためか、とっくり病の発現が著しい検定林となっている。この検定林における10年生時の調査にもとづき、根元肥大の指標である膨大比数を用い、7つの家系について分散分析を行った。この結果「家系」および「家系×ブロック」の交互作用に1%水準で有意差が認められた。交互作用の認められた家系とブロックの実態から、解析に用いられた家系のうち、「始良42号」は、根元肥大の著しい家系とされたが、ブロック間の変動も大きいことが認められた。

これに反して、「神崎5号」という家系は、根元肥大量も小さく、ブロック間変動も小さいことが見出された。このほかの5家系はその中間的な家系とみなされ、根元肥大が遺伝以外の要因の影響で左右されやすい性質をもつものと解された。この分散分析表を用いて狭義の遺伝率を推定したところ26.7%という値が得られ、遺伝力としては中程度とされた。

次に、この九大14号を含む4つの検定林（九大15号：大分県宇佐市、九大17号：大分郡庄内町、九大18号：臼杵市）において、在来種を含む共通6家系について10年次の調査結果にもとづき、膨大比数を用い、分散分析を行うとともに、狭義の遺伝力を推定した。分散分析の結果、「検定林」間に1%水準で、「家系」間に5%水準で有意差が認められ、ヒノキの根元肥大は、遺伝的な関与にまして立地的な面での関与の大きいことが指摘された。4つの検定林において、最も根元肥大の著しい検定林は、黒色土の九大14号で、とっくり病の発生率は42.8%と著しく高い値を示している。逆に最もその発生の少ない検定林は九大15号の11.5%であり、九大14号の約4分の1の発生率であった。九大15号は、乾性傾向の粘質の褐色森林土となっており、土壤の違いが、このような差異を生じしめている可能性が強い。遺伝率は、九大14号で3.7%、九大15号で17.1%と、とっくり病の発生の高い検定林で小さく、発生の少ない検定林で遺伝率は大きくなる傾向が認められた。この4つの検定林における平均の遺伝率は10.2%と小さかったが、次代検定林は、成長、形質はもとより、とっくり病に対しても十分なる陶汰がなされた集団とみることができることから、現実林分では、個体間変動が大きくなることが予想され、従って、遺伝力は、もう少し低くなると思われる。いずれにせよ、とっくり病の発生に関して、遺伝的な関与は否定さるべきでなく、育種による回避の可能性は、考えられるが、遺伝力としては小さく選抜効果は、かなり低いのではないかと思われる。

4. とっくり病と発生条件

ヒノキのとっくり病の発生に関して、立地および施業要因の影響を知るため、とっくり病の発生率を外的基準として多変量解析（数量化・I類）を用いて検討した。解析資料は1980～1984年にかけて収集された大分県下96ヶ所の林分調査資料である。とっくり病の発生に関する要因は、自然的要因として土壤型、地形、年降水量（竹下ら、1977）、土壤ちみつ度（諫本、1983c）の4要因、施業的要因として、手入れの良否（枝打ち）、こみ指数（諫本、1983c）の2要因その他林齢、地位指数の2要因を加え、計8要因29のカテゴリーに配列区分した。解析結果、重相関係数は0.6300であった。このとっくり病の発生に関する解析結果、最も関連の深い要因は、手入れの良否、すなわち枝打ちの有無と程度であった。次いで年降水量があげられ、以下、土壤型、こみ指数、土壤ちみつ度、地位指数の順で、地形および林齢の2要因は有意ではなかった。またこれら要因のうちどのカテゴリーがとっくり病の発生と強く関連しているかを検討するに、最も偏差の大きなものは年降水量の2,201mm以上であり、次いで手入れ要因の枝打ちなし、こみ指数要因の0.80以下という疎林となっている。また土壤型では、黒色土における二つのカテゴリーが大きく褐色森林土にくらべ、その発生の高いことを示している。土壤ちみつ度では、0.80以下という膨軟土壤での値が大きい。逆に、とっくり病の発生に対して、抑制的なカテゴリーとして、手入れ要因の枝打ち3回以上という入念な保育管理があげられ、次いで土壤ちみつ度の1.01以上という土壤の堅密性を示すカテゴリー、こみ指数では1.01以上の高密度管

理に、そして土壤では乾性傾向をもつ褐色森林土に、年降水量では、1,800 mm以下があげられた。

以上の解析結果より、ヒノキのとっくり病の発生条件として、黒色土で、年平均2,000 mm以上の降水量があり、土壤膨軟でこれに疎立、枝打ちなしといった粗放管理が加われば、最も顕著な発生となってあらわれる。逆に乾性傾向をもつ褐色森林土で、年降水量が1,800 mm以下と少なく、土壤緻密で、これに幼時からの入念な枝打ちや高密度管理が加われば、その発生は十分に抑制されうる。ちなみに今回の調査によれば、発生条件のすべて満たされた林分でのとっくり病の平均発生率は61.8%と高く、逆に抑制条件が満たされた林分での平均発生率はわずか5%にすぎなかった。

この数量化・I類による解析を、歪度を用いて検討したところほど同様の結果が得られた。

ヒノキのとっくり病は、黒色土で年降水量に恵まれたところで多発傾向のあることから土壤水分の関与の強いことがうかがわれる。このことより96の調査林分より、とっくり病の発生程度により激害林（発生率30%以上）、中害林（同15~30%）、微害林（同0~10%）に分け、それぞれの林分より10林分ずつ、計30林分を選出し、「被害度」別および、「深さ別」（地表下5 cmと30 cm）に土壤の理学的機能の面より検討した。

このうちで最も注目されたのは、激害とされる林分は、ほとんど黒色土であるということであり、逆に微害林では、黒色土はみられず、大部分が乾性傾向をもつB_C~B_D(d)型であり、更に特徴的なことは、粘性の強い埴土が多いということであった。

解析結果、激害林では、固相率が小さく、孔隙量に富み、貯水率、飽水差重など、水分を保持する容量が微害林に比して倍以上に大きいことが認めた。この容量の大きさは、過湿と乾燥に至る間の土壤水分の変動量の大きいことを意味し、降雨時には過剰の水分を保持しえる能力をもち、この水分保持力の大きさが、とっくり病の発生に促進的に作用していると考えられた。逆に微害林では粘質で緻密な構成を示すことから、保水力にすぐれ、降雨や乾燥による土壤内の水分変動の小さいことが予想され、比較的低い水準での土壤水分の安定が、とっくり病の発生に対して抑制的に働いていることが考えられる。

これらよりとっくり病の発生条件を総括するに、ヒノキの根元肥大の異常な促進には、その基底として、十分な土壤水分量の供給と保持、これに加えるに生育空間の広さが必要であるということである。年降水量が多く、保水力の高いそして孔隙に富む膨軟な黒色土で多発するということは、水分量の関与の強さを裏づけている。次に手入れ不良で疎立状況という条件がその発生に強くかかわっていることは、十分なる葉量と生育空間の広さが必要であることを示している。このように、ヒノキのとっくり病は、基本的には、土壤水分の多寡と、生育空間の広さに規制されて生じる生理的障害と考えられる。

5. とっくり病と施業条件

とっくり病の発生に関して諸種の段階や条件下にある5つの林分に対し、密度、枝打ち施肥等の施業を行ない、施業による根元肥大の影響について検討した。

(1) 実験 I

とっくり病のはゞ終息しつつある17~19年生時にかけて実施した試験で、はゞ閉鎖状態にあった林分を、強度に疎開するとともに、枝打ちを実施し、根元肥大に対する影響を調べた。この結果、疎立状態で枝打ちなしの放置木で、根元肥大は最も促進されこの場合のとっくり病の発生率は26.6%であった。逆に閉鎖状態で枝打ちを実施したものは、とっくり病の発生は全く認められなかった。とっくり病の発現がピークをすぎたとされる林分であることより、施業による根元肥大に対する影響は、特に顕著とはいえなかつたが、林分の疎開と、枝打ちなしという粗放管理がとっくり病の発現に促進的に、閉鎖という林分状況と枝打ちは、その発現に抑制的に作用していることが認められた。また、生育状況の枝打ちとの間には交互作用があり、とっくり病は、疎開され孤立状態におかれれば、その発現が認められるが、この場合、枝打ちによる抑制効果が顕著である。しかし閉鎖状況では、枝打ちの有無に拘らず、とっくり病はほとんど発現しない。このようにとっくり病の発現がピークをすぎた林分では、とっくり病の抑制に対しては、閉鎖という条件が第一義的に作用し、枝打ちの効果は、二次的な要因となっていることが認められた。

(2) 実験 II

黒色土ではとっくり病が多発し、逆に、粘質の乾燥傾向のある褐色森林土では、その発生が少ないということが、前項の「とっくり病と発生条件」にて抽出されていることから、ここでは、明確な土壤の違いに施業条件を組み合わせ、その相乗的な影響を検討したものである。安心院試験地は黒色土で日田試験地は、やゝ乾いた粘質の褐色森林土である。

施業は、密度（普通密度、平均2,700本/ha内外、低密度、平均1,500本/ha内外）、枝打ち（あり、なしの2水準とし、枝打ち高は安心院試験地で2.3m、日田試験地で1.6m）の二要因とした。試験期間の林齡は、安心院試験地で11~13年生、日田試験地で7~9年である。要因の効果を、とっくり病の発生率でみると、試験地別では、安心院試験地で27.5%、日田試験地で12.0%と、黒色土での発生が著しかった。密度別では、低密度で26.2%、普通密度で13.3%となっており、低密度の発生は、倍以上と著しく高い。枝打ちの効果は、枝打ち実験で14.4%、枝打ちなしで25%となっており、枝打ちによる抑制効果が認められた。肥大指數を用いた解析では、「試験地×密度」および「密度×枝打ち」の二つの交互作用に有意差が認められた。黒色土の安心院試験地では、全体的に根元肥大量が大きく、特に低密度で、その肥大量が著しい。日田試験地では、全体的に肥大量が小さく、密度の違いによる差異も少ない。低密度における根元肥大の促進は、黒色土という条件が加わることにより更に助長されることを示している。また「密度×枝打ち」の関係は、低密度条件で枝打ちの有無が根元肥大の促進、抑制に大きく作用し、普通密度では、その効果が小さくなっている。このことは、実験Iと同様、とっくり病の抑制は、第一義的に、密度管理に求められ、次いで枝打ちということに求められよう。比較的密度の低い林分においては、枝打ちが第一義的に作用してくるということもこの関係から見出される。

この実験において、異常肥大の最も著しかった組み合わせは、黒色土+低密度+枝打ちなしで、とっくり病の発生率は46.4%であり、逆に最も低い組み合わせは、褐色森林土（弱乾～偏乾性）+普通密度+枝打ちでその発生率は4.1%と最多発生区の10分の1以下であった。

(3) 実験Ⅲ

とっくり病が盛んに発現しているヒノキ林について68本の供試木を選び、単木ごとに位置関係（局所密度）と枝打ちが根元肥大に対する影響を6ヶ年に亘って追跡したものである。実験期間における林齢は13年生～18年生時となっている。6ヶ年間を通じて、異常肥大の発生率を要因別、水準別に求めると、「位置関係」では、疎立型で35.5%、中間型で26.1%、閉鎖型で5.9%となっており、疎立状況で、異常肥大は著しく、閉鎖状況では抑制的であった。「枝打ち」要因では、枝打ちなしで29.0%、弱度枝打ちで28.5%、強度の枝打ちでは10.7%であった。この試験地のようにとっくり病の発現の著しいところでは弱度の枝打ち（1.5m内外）はとっくり病の発現に対して、その抑制は小さいことが認められた。この実験で最も高い発生を示した処理は、疎立型+枝打ちなしで48.1%を示した。逆に閉鎖型+強度枝打ちの処理木での発生は全く認められなかった。

(4) 実験Ⅳ

5～7年生という若い林齢時における施業効果をみたものである。施業要因として「位置」（林内、林縁）、「密度」（普通、低密）、「枝打ち」（あり、なし）および「施肥」（あり、なし）の4要因を取りあげた。要因別、水準別の異常肥大の発生率について処理平均を示すと次のようになる。

位置別	……… (林縁)	35.5%	(林内)	9.4%
密度別	……… (低密度)	28.5%	(普通)	9.4%
枝打ち別	……… (なし)	23.6%	(あり)	16.0%
施肥別	……… (あり)	23.8%	(なし)	16.4%

以上のように、林縁、低密、枝打ちなし、施肥が異常肥大に対して促進的であり、林内、普通密度、枝打ち、無施肥の処理条件が抑制的な因子として作用していることが認められる。この試験地における異常肥大の発生率の最も高い組み合わせは、林縁+枝打ちなし+施肥で、この場合53.3%と著しく高かった。低密度+枝打ちなし+施肥では50.0%となっており、低密度における根元肥大は、林縁木の状況に類似していた。林内+枝打ち+無施肥では、その発生は最も少なく5.0%であり、最多発生処理の十分の一にすぎなかった。

これらの試験結果を総括すれば次のようになる。

- ①とっくり病に対して促進的なものは、生育条件として疎であること、枝打ちなしで放置されること、そして施肥であった。これに立地条件として黒色土が加われば、とっくり病は更に促進される。
- ②とっくり病に対して抑制的な施業因子は、高密管理、枝打ち、無施肥であった。立地条件として粘性の褐色森林土が母材であれば、更に抑制効果が高くなる。
- ③生育条件と枝打ちとの間には、交互作用が認められ、枝打ちの影響は、疎の生育状況の場合に明瞭で、放置すれば、根元肥大は著しく促進され、枝打ちが実行されれば、顕著に抑制される。林分が密な状態では、とっくり症状はほとんど発現せず、枝打ちの有無による影響も小さい。このように、密な生育状況（林分の閉鎖）はとっくり病の発現、進行に対して、第一義的な抑制因子となっているとみなされ、枝打ちの抑制効果が主動的に作用するのは、閉鎖前の疎の生育状況においてであると指摘された。
- ④林齢が進み、林分の閉鎖が進行すれば、とっくり病の発現、進行は抑制される。

- ⑤とっくり病の発現の旺盛なところでは、弱度の枝打ち（据枝払い程度）では、抑制効果は十分でなく、強い枝打ちが必要である。
- ⑥林縁木は疎な生育状況と類似した根元肥大成長を示し、とっくり病が発現しやすい。

6. とっくり病とさし木苗造林

さし木苗による造林地では、とっくり病が少なく樹幹形状の向上がみられるとされていることから、これらの現象を二つの試験地の事例より検証したものである。

(1) さし木苗の樹幹形状特性

日田郡天瀬町に設定されているナンゴウヒ、さし木苗および実生苗の植栽試験地（いずれも 1.5 m × 1.8 m 植）16年生時における調査結果で次のことが見出された。

ナンゴウヒとさし木ヒノキは、成長量および樹幹形状（根曲り、幹曲り）ともよく類似していた。実生ヒノキは、これらにくらべると、成長量がやゝ優れるも、根曲りや、根元肥大の大きいことが認められ、さし木によって増殖されたヒノキとは、その特性をかなり異にすることが見出された。さし木による増殖は、ナンゴウヒに限らず一般のヒノキにおいても、樹幹形状の向上（通直性およびとっくり病の抑制）に効果のあることが認められた。

(2) とっくり病の次代検定

とっくり病の遺伝性と、さし木によるとっくり病の隠蔽化作用を検証するため、日田郡天瀬町の当場実験林において、「親木」（とっくり病木と正常木）、「林分」（A、B、C の三林分）および「密度」（高密、低密）の三要因実験計画を配置し、各要因の根元肥大に対する効果について検定している。開始後 7 ケ年経過したが、三要因および交互作用に有意差は生じておらず、根元部の異常肥大は、見出し得ていない。親木が典型的なとっくり病であり、黒色土で低密度というとっくり病の発現にとって最適の生育条件を与えられているに拘らず、根元部の異常肥大は全く認められないということは、林齢がまだ若いということを考慮しても、さし木による増殖が、とっくり病の回避にとって有効な手段になりうることを明瞭に示している。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり大分県林業試験場並松達也場長をはじめ、歴代場長である後藤泰敬氏（現大分県林業振興課長）および小野正昭氏の各位には終始ご指導ご鞭撻をいただき、当場佐々木義則主任研究員には、現地調査やとりまとめにあたって精力的なご支援を賜わった。

研究を進めるにあたって、遺伝的な面で、森林総合研究所集団遺伝研究室長明石孝輝博士、関東林木育種場主任研究官栗延晋博士、九州林木育種場戸田忠雄技官に、統計解析の面で、森林総合研究所気象研究室大谷義一技官にそれぞれ多くのご教示とご助力を賜わり、また統計処理については当場石井秀之主任、佐藤朗技師のご助力を得た。

九州地区林業試験研究機関協議会立地分科会の方々には、会議や現地検討会を通じ、多くのご教示と示唆を与えられた。

現地調査、試験地の設定、樹幹解析木の供与等について、大分県林業振興課県営林係、九州林産株式会社、伊藤忠林業株式会社、県日田事務所をはじめ県下12の県事務所林業課、調査該当地の各市町村森林組合の各位に多大のご協力をいただいた。

各種計算、図、表類の整理には、永井（旧姓井上）康子、財津徳子、栗崎幸子、浦塚輝美の各女史の手をわざらわした。

これらの各位に対し深甚の謝意を表する次第である。

引　用　文　献

- 1) 明石孝輝・戸田忠雄: ヒノキ精英樹接木クローン別の列状植栽地における遺伝力の推定例. 日林九支研論21, 52-53, 1967.
- 2) ———: スギの遺伝母数の推定に関する研究. 林試研報349, 1-70, 1987.
- 3) 赤井竜男・江間奉生: ヒノキとくり病木の肥大生長と葉量について. 78回日林論, 220-221, 1967.
- 4) 新井雅夫・中村克哉・千野 博: ヒノキとっくり病に関する研究(I)一異常発生と生長におよぼす影響について一. 83回日林論, 282-283, 1972.
- 5) ———・川口正夫・中村克哉: ヒノキとっくり病に関する研究(II)一羅病材の材質的観察一. 84回日林論, 297-299, 1973.
- 6) ———・———・———: ヒノキとっくり病に関する研究(III)一羅病材の仮道管について一. 86回日林論, 401-402, 1975.
- 7) 有光一登: 森林土壤の保水のしくみ. 199pp., 創文, 1987.
- 8) 遠藤 昭・渡瀬 彰: ヒノキのトックリ病と土壤の理化学性. 69回日林論, 360, 1959.
- 9) ———・———: 山梨県におけるヒノキのトックリ病の環境調査. 山梨県林試報告11, 53-58, 1962.
- 10) ———: ヒノキのとっくり病とその発生環境. 森林防疫20, 43-45, 1971.
- 11) 藤本吉幸: ヒノキ精英樹のさし木養苗一事業化の可能性一. 林木の育種124, 27-28, 1982.
- 12) Geoge, W. Snedecor (畠村又好・奥野忠一・津村善郎共訳): スネデカー・統計的方法, 478pp., 岩波書店, 1967.
- 13) Gray, R. L: Multiseriate rays in Redwood [*Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl.]. IAWA Bulletin, No.1, 7-8, 1973.
- 14) 花田乾助: 北島技師の徳利病に就て. 高知林友92, 6-9, 1927.
- 15) 原口義明: ヒノキ, トックリ病木の採材評価について. 日林九支研論28, 131-132, 1975.
- 16) 橋詰隼人・小林 優: ヒノキのトックリ病症状と内生生長物質の関係について. 97回日林大会講要旨集, 71, 1986 a.
- 17) ———・———: 多雪地帯のヒノキにおける地際部の異常肥大生長とトックリ病の発生について. 97回日林論, 357-358, 1986 b.
- 18) ———・———: 多雪地帯におけるヒノキの人工造林に関する研究(III)一鳥取大学蒜山演習林のヒノキ人工林における地際部の異常肥大生長とトックリ病の発生について一. 鳥取大演報17, 1-18, 1988.
- 19) 諫本信義・佐々木義則: ヒノキの徳利病に関する研究(I)一徳利病木の形態と被害開始の時期について一. 日林九支研論31, 131-132, 1978 a.
- 20) ———・———: ヒノキの徳利病に関する研究(II)一徳利病木の幹材積配分について一. 日林九支研論31, 133-134, 1978 b.
- 21) ———・———: ヒノキの徳利病に関する研究(III)一被害木と健全木の物質

- 生産構造の比較一. 日林九支研論31, 135-136, 1978 c.
- 22) ———・———: ヒノキの徳利病に関する研究(IV) —ファイトロンでの徳利病木の挿木発根性について. 日林九支研論32, 145-146, 1979.
- 23) 諸本信義: 立地とヒノキ幹材の形質特性(III) さし木苗と実生苗ヒノキ林の比較. 大分県林試年報25, 49, 1983 a.
- 24) ———: ヒノキの徳利病に関する研究(V) 一地際部における異常肥大の発現と制御(その1) 一. 日林九支研論36, 61-62, 1983 b.
- 25) ———: ヒノキ人工林の生長と形状に関する研究一大分県におけるヒノキ林について. 大分県林試研報10, 1-120, 1983 c.
- 26) ———: ヒノキの徳利病に関する研究(VII) 一ヒノキ徳利病木におけるタネの形質と発芽一. 大分県林試研究時報9, 6-11, 1983 d.
- 27) ———: ヒノキの徳利病に関する研究(VI) 一異常肥大の発現と制御(その2) 一. 日林九支研論37, 101-102, 1984.
- 28) ———: ヒノキの徳利病に関する研究(VIII) 一ヒノキ次代検定林10年生時における根元肥大と遺伝率推定一. 日林九支研論38, 77-78, 1984.
- 29) ———: ヒノキの徳利病に関する研究(IX) 一膨大比数による徳利病木の判定法について. 大分県林試研究時報11, 35-39, 1985 b.
- 30) ———: ヒノキの徳利病に関する研究(X) 一数量化・I類による発生要因の解析一. 日林九支研論39, 1986 a.
- 31) ———: ヒノキの徳利病に関する研究(XII) 一ヒノキ徳利病木の組織構造の個体内変異について. 大分県林試研究時報12, 13-19, 1986 b.
- 32) ———: トックリ病よりヒノキの樹種特性を探る. 森林立地29(I), 26-32, 1987 a.
- 33) ———: ヒノキのとっくり病に関する研究(XI) 一顕微鏡標本による組織構造の解析について. 日林九支研論40, 263-264, 1987 b.
- 34) ———: ヒノキのとっくり病に関する研究(XIII) 一局所密度ととっくり病の発生一. 大分県林試研究時報13, 1-7, 1988.
- 35) 伊藤一雄: 樹病学大系 I. 279pp., 農林出版, 1971.
- 36) 鹿児島県林業試験場: 扁柏徳利病調査. 鹿児島県林試業務報2, 104-113, 1936.
- 37) 北島君三: 扁柏樹の新病害に就て(予報). 東京営林局, 1-11, 1926.
- 38) ———: 最近研究せる新樹病に就て. 日林誌9(3), 24-28, 1927.
- 39) ———: 樹病学及木材腐朽論. 534pp., 養賢堂, 1933.
- 40) 小林 森: ヒノキ徳利病予防に関する一考察. 東京営林局報44, 142-143, 1937.
- 41) L ADELL, J.T: A New Method of Measuring Tracheid Length. Forestry 32, 124-125, 1959.
- 42) 前田末吉: ヒノキさし木苗の造林地での生長とその特性. 山林種苗13, 18, 1970.
- 43) 宮島 寛: ヒノキ栄養系の育成に関する基礎研究. 九大演報34, 1-64, 1962.
- 44) ———・矢幡 久・野上寛五郎: ヒノキのトックリ病について(予報). 日林九支研論26, 71-72, 1973.
- 45) 森田佳行: 岡山県下におけるヒノキのトックリ病の出やすい土壤条件. 89回日林論, 109-111, 1978.

- 46) 森田優三: 統計概論(新版). 415pp., 日本評論社, 1964.
- 47) 永江 修: ヒノキ精英樹の家系別生長と根元肥大の関係. 日林九支研論40, 141-142, 1987 a.
- 48) ———: ヒノキ精英樹家系の根元肥大. 長崎県総農林試研報(林業部門) 18, 1-9, 1987 b.
- 49) 長浜三千治: ヒノキ挿し木における母樹生長点組織の加齢(老化)による発根率と生長の低下. 福岡県林試時報32, 1-15, 1987.
- 50) 鬼塚 勇: ヒノキさし木について. 林木の育種 129, 9-11, 1983.
- 51) 大政正隆: ブナ林土壤の研究. 林土調報 1, 1-123, 1951.
- 52) 大迫靖雄: ヒノキ徳利病羅病木の組織構造(I) - 徳利病部の組織特性の樹幹内分布について-. 日林九支研論39, 217-218, 1986 a.
- 53) ———: ヒノキの徳利病に関する研究(II) 物理的, 力学的特性. 36回日本木材学会発表要旨, 71, 1986 b.
- 54) ———: ヒノキの徳利病に関する研究(III) - 組織構造とフラクトグラフィー. 37回日本木材学会発表要旨, 71, 1987.
- 55) 大山浪雄: スギ, ヒノキ等のさし木苗と実生苗の造林特性比較. 天然しばの研究 3, 23-25, 1983.
- 56) ———: さし木ヒノキ林の優良特性. 天然しばの研究 5, 14-16, 1984.
- 57) ———・中島精之: ヒノキさし木造林木の樹幹形質. 36回日林関西支講, 137-140, 1985.
- 58) 林野庁・林業試験場: 国有林林野土壤調査方法書. 47pp., 1955.
- 59) 林野庁造林保護課・林業試験場土じょう部: 適地適木調査, 土じょう理化学分析法. 45 pp., 1973.
- 60) 酒井寛一・向出弘正・林 重佐・富田浩二: 本邦主要樹種の統計遺伝的研究. 80回日林論, 192-193, 1969.
- 61) 高木哲夫・上中久子・西山嘉彦: ヒノキさし木造林木の幹形質. 昭和62年度林試九支年報30, 13, 1987.
- 62) 高橋成直: ヒノキのトクリ病に関する研究, 第1報, 被害木の肥大成長および肥大時期について. 信大農學術報 9, 61-71, 1965.
- 63) 高島藤順・白井光雄: 徳利病にかかったヒノキ材の二, 三の化学的・物理化学的観察(第1報). 東農工大演報12, 57-62, 1975.
- 64) ———・石井 忠: ヒノキトクリ病材リグニンの2, 3の性質について. 23回木材学会研究発表要旨, 42, 1973.
- 65) 竹下敬司・高木潤治: 九州地方年降水量(平年値)分布図(「暖帯林地の水全環境に関する土壤および地形学的研究」の付図). 福岡県林試時報26, 1-56, 1985.
- 66) ———: 森林土壤と水源かん養機能. 森林立地27(II), 19-26, 1985.
- 67) 田中 豊・垂水共之・脇本和昌: パソコン統計解析ハンドブック, II, 多変量解析編. 403pp., 共立出版, 1984.
- 68) ———・——: パソコン統計ハンドブック, III, 実験計画編. 488pp., 共立出版, 1986.
- 69) 徳重陽山: ヒノキの徳利病の研究(病組織病理解剖及び病原菌分離). 九州中部山岳

- 地帶治山緑化研究調査報告, 43-106, 1957.
- 70) 徳重陽山: 徳利病にかかったヒノキの解剖觀察 (I). 林試研報 131, 31+17(写真), 1961.
- 71) 戸田忠雄: ヒノキ精英樹クローンのさし木発根性. 暖帯林 409, 27-33, 1983.
- 72) 実松敬行・前田美寿: ヒノキ林分における根元異常肥大について—トックリ病被害木の幹形と発病時期の推定—. 日林九支研論 35, 117-118, 1982.
- 73) 坂口勝美: 実用ヒノキ育林学. 331pp., 養賢堂, 1952.
- 74) 佐藤敬二・宮島 寛: ヒノキの一品種「南郷桧」について. 暖帯林 9, 4-8, 1956.
- 75) ———: ナンゴウヒ (南郷桧) とはどんなものか. 山林 1011, 12-19, 1968.
- 76) ———: 日本のヒノキー上巻—. 275pp., 全国林業改良普及協会, 1971.
- 77) ———: 日本のヒノキー下巻—. 361pp., 全国林業改良普及協会, 1973.
- 78) 芝本武夫: スギ, ヒノキ, アカマツの栄養並びに森林土壤の肥沃度に関する研究. 253pp., 林野庁, 1952.
- 79) 四手井綱英: ヒノキ林—その生態と天然更新—. 375pp., 地球社, 1974.
- 80) 島地 謙: 木材解剖図説. 114pp., 地球出版, 1964.
- 81) 鶴尾泰俊: 実験の計画と解析. 253pp., 岩波書店, 1988.

Studies on the Stem - hypertrophy (Tokkuri - disease) of Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* S. et Z.)

Nobuyoshi ISAMOTO

Summary

Tokkuri-disease is one of the most damaging tree diseases and its characteristic is hypertrophic growth on the base of stem. This disease occurs on the base of stem and it causes the deterioration of wood quality. It is a serious problem for the people who are engaged in forestry because the damage is too great to make use of wood. KITAJIMA had the first report on it in 1926, but the truth has not been made clear yet.

The author tried to a synthetic grasp of the growth, stem form, anatomic structure, genetics, breeding, habitat and tending of Tokkuri-disease, and in addition, studied about the occurrence condition and the prevention means in this report. The results are summarized as follows:

1. Tokkuri-disease and how to distinguish it

We have to consider in two cases whether the thickening growth of the base of stem is abnormal.

One is to distinguish between normal and abnormal in the shape at some moment and the other is to distinguish in the thickening growth at each year.

We will call the former "static distinction" and call the latter "dynamic one." We have the hypertrophic rate that MIYAJIMA suggested as a way of static distinction in 1962. This often used for finding Tokkuri-disease. It is a useful way in which we can regard more than 30% of the hypertrophic rate as tokkuri-disease. But there is something that doesn't agree to the actual conditions if we regard 30% as standard (cf. Fig-1). This is why the author suggested the way to distinguish by the hypertrophic ratio. The following is the hypertrophic ratio.

$$\text{hypertrophic ratio} = \frac{\text{hypertrophic rate}}{\text{standard hypertrophic rate}} \quad \dots \quad (3)$$

In formula(3) shows.

$$\text{hypertrophic rate (\%)} = \left\{ (D_{0.2} - D_{1.2}) \div D_{1.2} \right\} \times 100$$

$$\text{standard hypertrophic rate (\%)} = \left\{ 41.5240 \div (1.01732)^{D_{1.2}} \right\}$$

where $D_{0.2}$ and $D_{1.2}$ are basal and breast height diameter (cm). If the hypertrophic rate shows more than 1.20, it is regarded as Tokkuri-disease.

In making a distinction between normal and abnormal about the thickening growth of basic part in each year old, annual hypertrophic index (ISAMOTO,

1983 b) was used. If regarded what shows more than 75 of index as the occurrence of hypertrophic growth.

Annual hypertrophic index is given by the following formula.

$$\text{annual hypertrophic index} = (\text{id}_{0.2} - \text{id}_{1.2}) \times \text{id}_{0.2} \dots \dots \dots (4)$$

HASHIZUME and KOBAYASHI (1988) made a further improvement on formula (4), it was as follows :

$$\begin{aligned} & \text{annual hypertrophic index (improved formula)} \\ & = (\text{idmax} - \text{idn}) \times \text{idmax} \dots \dots \dots (4)' \end{aligned}$$

On (4) and (4)', $\text{id}_{0.2}$, $\text{id}_{1.2}$, idmax and idn shows the annual diameter growth (mm) on the part of 0.2, 1.2 m max and nomal in 1 year.

2. The growth form and anatomic structure on trees of Tokkuri-disease

1) The growth, form of 20-year old Hinoki that occurs Tokkuri-disease.

It was found that hyhertrophic growth began from 6- year old. The breast height diameter was 1.5 times as large as that of the normal tree of the same-year old and 2.3 times in the basal diameter and 3.6 times in stem volume. Especially in basal stem volume (less than 0.7 m), it showed 11.7 times as much as that of the nomal one.

53.3% of assimilated productions in 20-year old Hinoki that occurs Tokkuri-disease are allotted to the part of basal stem (less than 0.7 m), but the allotment was 17.3% of them in normal one.

Like this, a great deal of assimilated productions is accumulated on the basal stem in the tree that occurs Tokkuri-disease (cf. Fig.4 ~ 6, Table. 2).

2) The growth of 31-year old Hinoki : that had once Tokkuri-disease

A Tree that had once Tokkuri-disease and now is growing nomaly was examined. This is typical example of growing of Tokkuri-disease. The stem-analysis shows that this tree began to grow abnomally when it was 7-year old and its abnormal growth reached its peak between 11 and 15 years old and since 18 years old it has been growing nomally. The annual hypertrophic index makes clear how much the damage was. (cf. Fig. 7).

3) Anatomy structure of Tokkuri-disease.

112 sheets of tangential preparation were made from three Tokkuri-disease trees (16, 20 and 31 years old). The section of early wood was extracted according to the difference of organs (root, pith, xylem), height (0.2, 0.4, 1.2, 3.2 meters) and age (every 3 years). And annual ring width, tracheid length, the rate of ray, the number of parenchyma cell and the occurrent rate of multiseriate ray were measured.

The measurement showed that the tracheid length of Tokkuri-disease trees is shorter than that of normal trees, about 70% length of that of

normal trees, about 70% length of that of normal ones. It was recognized that the tracheid length is negatively correlative with the annual ring width and the bigger the annual ring width is the shorter the tracheid length. Ray of Tokkuri-disease trees increased, its rate 1.2 times greater and the number of parenchyma cell 1.4 times greater. This shows that the cells increased abnormally because of Tokkuri-disease.

Principal component analysis was done according to the measured factors mentioned above, and the tree was grouped into four parts, the abnormally grown part, root, pith and normal part. It was recognized that the hypertrophic grown part connected with the structure of root and pith, so that Tokkuri-disease had similar structure to those of root and pith. (cf. Fig. 12, Fig. 13, Table. 6, Table. 9)

3. The heredity of Tokkuri-disease

Narrow sense heritabilities were gained from investigation date of a 10 - years old tree in №14 progeny trial plantation (Bungotakada-city, Oita Pref.). Seven families were used and the repetition was three times. The data which were used were the hypertrophic ratio. As a result of the analysis of variance, difference of significance at 1% level was recognized in the "families" and "families × block". (cf. Table. 13) "Aira. 42" (one of the name of families) is a family which is apt to have Tokkuri-disease and the variance between blocks was large. "kanzaki.5" is assumed to be a family which will not suffer from Tokkuri-disease easily, and the variance between blocks was small. The heritabilities showed 26.7%, and its value were moderate.

Similar analysis was done using six families which have common factors among the four progeny trial plantations (using plantation numbers were kyudai・14, kyudai・15, kyudai・17 and kyudai・18). The hypertrophic ratio of a 10 -year old tree was used. According to the analysis of variance, differences of significance were perceived in progeny test factor at 1% level and in families factor at 5% level. (cf. Table. 15). 42.8% trees in kyudai・14 plantation suffered from Tokkuri-disease, while 11.5% trees in kyudai・15 ones suffered from it. There was a big difference between the plantation. The following are the narrow sense heritabilities (h^2) for each plantation, kyudai・14 ($h^2=3.7\%$), kyudai・15 ($h^2=17.1\%$), kyudai・17 ($h^2=15.3\%$) and kyudai・18 ($h^2=4.7\%$). The average of the above four is 10.2%. (cf. Table. 17). It can be found that the lower the heritabilities is, the higher the frequency of Tokkuri-disease becomes. This may be so because variance between individuals becomes large in the plantation where many trees have Tokkuri-disease. This shows that the heritability of Tokkuri-disease is weak and is concerned much with the

environment and tending factors. But when we take significantion between families into consideration, the avoidance of Tokkuri-disease by breeding though its effect is not strong, is not necessarily denied.

4. Occurrence condition of Tokkuri -disease

The analysis was done the relation between the occurrence of Tokkuri -disease and the environment and tending factors by multivariate analysis (Quantification・I). The Data were collected on 96 plots of Hinoki stands from 1980 to 1984 in Oita district. The criterion variable is the frequency of Tokkuri -disease. And the predictor variable consist of 8 factors, "soil type", "topography", "annual precipitation" (TAKESHITA and TAKAGI, 1977), "soil consistency" (ISAMOTO, 1983 c), "pruning", "stand dinsity index" (ISAMOTO, 1983 c), "stand age", "site index". These factors were divided into 29 categories.

As the result of the analysis, the multiple correlation coefficient was 0.6300. (cf. Table. 21). The factors that were deeply related to the occurrence of Tokkuri -disease were "pruning", "annual precipitation", "soil type", "stand dinsity index", "soil consistency" and "soil type". The category in which the frequency of Tokkuri -disease was high was the one whose "annual precipitation" was more than 2,201 mm, "non-pruning", "stand dinsity index" was less than 0.80 (thin stand), "black soils", and "soil consistency" was less than 0.80 (softy). The categories in which the frequency was restricted were elaborate cared one by "pruning" more than three times, the one whose "soil consistency" is over 1.01 (solid and stickiness), "stand density index" is over 1.01 (dense dinsity index), tend to dry and "brown forest soils"; and "annual precipitation" is less than 1,800 mm.

The frequency in the stand which meets the occurrence conditions of Tokkuri -disease (the annual precipitation is over 2,201 mm+block soil+thin stand+non - pruning+softy soils) was 61.8% (the average of 9 stands). And the frequency of Tokkuri -disease under the restraint conditions((the annual precipitation is less than 1,800 mm+brown forest soils (tend to dry)+elaborate pruning + dense stand+consistent soil)) was no more than 5% (the average of 5 stands).

In addition, the occurrence condition of Tokkuri -disease were examined by using skewness, and the result was the same as the case of Quantification・I. (cf. Table・22, Fig・19 ~ 20). In this chapter, the author studied the relation between the occurrence of Tokkuri -disease and the physical properties of soils, too. (cf. Table. 24 ~ 25, Fig. 21 ~ 22). The results were as follows :

Many of the slightly injured plantations consist of solidity soil tending to solid from surface. On the other hand there is much porosity in the hea-

vily injured plantations and there storage capacity of soil is high. The physical characters of the slightly injured plantations are is the following.

The volume weight is large (1.8 times as large as that of the heavily injured ones). The rate of solid phase is 1.7 times as high as that of the heavily injured ones. The total porosity composition is smaller by 20 %. This indicates that the soil tends to solid.

As for the heavily injured plantation, the volume weight and rate of solid phase are small, and maximum water-holding capacity and the total porosity composition are large. This suggests that the soil of the heavily injured plantations is softy and the water-control of soil that is concerned with the water-holding capacity, the storage capacity and drainage function is high. And it must be notice that many heavily injured plantations were seen in black soils.

5. Effect of the tending condition on the Tokkuri-disease

Four experiments were tried in five stands where the occurrence of Tokkuri-disease is begining, at its peak, and is ending. That were examined the relation between the effect the tending of the dinsity, the pruning, the fertilizing and Tokkuri-disease. The results were as follows (cf. Table. 56) :

1) The promotiveness for the Tokkuri-disease are thin stand (low density stand), non-pruning and fertilizing. These promote the damage with singleness and progressive increase.

2) The restrictiveness for Tokkuri-disease are the crown closure (dense stand), pruning and unfertilizing. These restrict the damage with singleness and progressive increase.

3) In pruning and the growth stands, interaction can be found. Tokkuri-disease is getting much worth in open stands, while it can hardly found in dense stands. pruning has an immediate effect in open stands and has no effect in the dense stands. Tokkuri-disease is influenced most the stand density and influenced by pruning is thought to be the sccondarey one. But in the young stand before crown closure the effect by pruning can be primarily seen.

4) The progress with crown closure in stand and phypiological symptoms of aging restrain the hypertrophic growth of the base of stem.

5) In the frequent occurrence of Tokkuri-disease, a slight pruning has little effect of restraining it and so a strong pruning is needed.

6) As edge trees on Hinoki shows the same hypertrophic growth as the trees in the thin stand, Tokkuri-disease often occurs.

7) In the same tending condition, black soils make the hypertrophic growth promote and it is restricted in brown forest soils tending to dry.

Consequently, the most frequent occurrence condition and the restraint condition can combine as follows :

① The condition for the most occurrences on the Tokkuri - disease. Thin stand + non - pruning + fertilizing + black soils.

② The condition for the most restraints on the Tokkuri - disease. Dense density + pruning + unfertilizing + blown forest soils (tend to dry).

But in the condition for most occurrences is included the maximum growth period of trees, and the period will be regarded as the one of from ten year old to twenty.

6. Tokkuri - disease and afforestation on by cutting

In the plantation by rooted cutting, there can be seen few Tokkuri - disease and can be improved on the stem form. Two experiment forests were set up and examined about this phenomenon.

1) Rooted cutting and its stem form.

From the result of the research on 16 - year old in the experiment forest where cutting of Nangohi (the only clone of Hinoki in Japan), rooted cutting and seedling are planted, the following was found :

Cutting of Nangohi was similar to seedling - bred Hinoki in both growth and stem form (butt bent, trunk bent, basal stem growth). Seedling - bred Hinoki was superior to this in growth, but it had a large butt bent and basal stem growth. The afforestation on by cutting was found that it was effective for the improvement of stem form on Hinoki and restraining Tokkuri - disease. (cf. Fig. 33 ~ 34).

2) Tokkuri - disease and progeny test

" Mother trees " (Trees of Tokkuri - disease and nomal trees), " selection stands " (three sections of stand A, B and C), and " planting dinsity " (dense density planting and low dinstity planting), experiment forest was set up based on factors above, and progeny test on Tokkuri - disease was done. Though seven years passed since then, any significant difference could not be found in any factors and in interaction.

As result of this, afforestation on by cutting was recognized as the effective means for preventing Tokkuri - disease. (cf. Table • 61 , Table 63).

卷 付 資 料

付表-1. ヒノキヒツツクの病調査地一覧 (その1)

番号	調査地番号	林		林		環境		境		林内		林		病			
		樹高 (m)	樹幹直径 (cm)	立木本数 (本/ha)	立木本数 (本/ha)	形状比	地盤指數	土壤型	地形	手入れ	年降水量 (mm)	土中みつ程度	発生率*	1.0以上 % %	1.2以上 % %	1.0以上 % %	1.2以上 % %
1	198	庄内町阿蘇野	20	11.8	17.6	15.2	2,268	78	19	B _D (d)	台状地	優良	2,050	1.04	-	1,02	59.1
2	199	庄内町畠田	22	10.3	12.3	11.0	4,134	94	16	B _D (d)	"	"	1,750	1.67	-	0.62	0.0
3	200	豊後高田市一畑	24	12.5	22.0	17.0	1,950	73	17	B _D	尾根	不良	1,950	0.92	0.80	1.05	48.4
4	201	"	24	10.3	21.2	16.0	2,035	64	15	B _D (d)	"	"	2,000	0.81	0.64	1.19	78.2
5	202	"	27	10.4	21.4	16.2	2,145	64	14	B _D	山腹	"	2,000	0.88	0.64	1.07	48.3
6	203	"	22	11.9	20.2	16.1	1,890	73	18	θB _D	"	優良	2,000	0.85	0.64	0.83	25.8
7	204	"	22	10.6	19.4	15.3	1,946	66	16	θB _D	"	"	2,000	0.80	0.64	0.77	22.7
8	205	"	21	13.6	20.8	17.0	2,388	80	20	B _D	山腹下部	普通	1,950	1.21	0.80	0.80	29.6
9	206	豊後高田市加礼川	33	15.1	23.1	19.1	1,430	79	17	B _D (d)	山腹	"	1,950	0.82	1.10	0.72	11.1
10	207	" 梅木	35	16.0	23.8	20.0	1,950	82	21	B _D	山腹下部	"	1,900	1.20	0.72	0.89	33.3
11	208	" 梅木	35	13.1	17.9	15.4	2,477	82	14	B _D (d)	山頂斜面	"	1,900	1.22	0.64	0.54	8.6
12	209	三光村深水	28	14.1	18.2	15.0	2,275	93	18	B _C	山腹	優良	1,850	1.18	1.32	0.75	0.0
13	210	耶馬溪町戸原	48	20.3	24.9	21.0	1,430	98	18	B _D	山腹下部	普通	1,800	1.18	1.20	1.03	44.4
14	211	"	48	20.1	24.3	21.0	1,365	97	18	B _D	山腹	"	1,800	1.12	1.32	0.95	38.1
15	213	本耶馬溪町東谷	29	14.4	20.3	16.0	1,949	89	18	B _D	山腹下部	"	1,950	1.07	0.80	0.64	0.0
16	214	"	29	16.1	21.1	18.3	1,430	87	20	B _D	山腹下部	"	1,950	0.88	0.80	0.88	37.5

*注) 発生率は脳大比数 1.0 以上および 1.2 以上の出現比率

ヒノキとっくり病調査地一覧(その2)

番号	調査地番号	調査地	林				環境				境				とつくり病			
			林樹高 (年)	直徑 (cm)	立木本数 (本/m ²)	0.2m (cm)	形狀比	地位指數 (本/m ²)	土壤型	地形	手入れ	年降水量 (mm)	こみ指数	立ちみつ度	林内	林	綠	発生率
17	215	本耶馬渓町多志田	50	19.8	26.1	20.0	1,235	101	18	BE	山腹	普通	1,800	0.99	0.80	0.94	50.0	1.2% 以上
18	216	山国町小星川	21	14.1	14.8	12.4	3,185	113	21	BD	山腹下部	優良	1,950	1.67	1.00	0.57	0.0	0.0
19	217	" 守実	41	18.6	28.4	23.0	1,045	80	18	BD	"	普通	2,100	0.76	1.08	0.88	28.6	19.0
20	218	" 守実	24	8.1	13.5	10.4	2,920	76	12	Bc	尾根	"	2,100	1.02	1.32	0.80	9.1	4.5
21	219	耶馬渓町柿坂	34	18.5	22.4	18.1	2,015	99	20	BD	山腹	"	1,800	1.45	1.10	0.81	29.0	6.5
22	220	"	40	18.2	25.3	21.0	1,294	87	18	BD	"	"	1,800	0.93	1.20	0.73	16.0	0.0
23	221	蒲江町米作	35	13.8	20.5	16.1	1,820	79	15	BD(d)	"	優良	2,050	0.90	0.90	0.78	15.4	15.4
24	223	" 竹の浦	16	6.2	11.3	9.1	3,538	68	16	yBc	"	普通	2,050	1.08	0.80	0.85	26.3	10.5
25	224	" 竹の浦	29	11.1	18.8	13.4	2,742	78	15	yBc(d)	山頂斜面	"	2,050	1.19	0.72	0.67	10.5	5.3
26	225	" 竹の浦	26	11.2	19.0	13.3	2,388	79	15	BD	山腹	"	2,050	1.02	0.80	0.88	42.1	15.8
27	226	" 森崎	44	16.2	24.8	18.0	1,680	89	15	BD	山腹下部	"	2,100	1.03	0.64	1.05	47.4	26.3
28	227	日田市小迫	27	14.5	20.1	16.0	1,946	90	18	BD	"	"	1,900	1.07	0.97	0.86	23.1	15.4
29	228	" 高瀬	40	14.4	25.4	20.0	1,300	74	14	Bc	尾根	不良	1,950	0.71	1.32	0.95	35.7	7.1
30	229	" 高瀬	25	14.4	17.9	13.4	2,930	104	19	BD	山腹	普通	1,950	1.60	1.20	0.70	18.2	0.0
31	230	" 桃山	27	12.2	19.7	5.0	2,300	81	16	Bc	山頂斜面	"	1,950	0.98	1.32	0.71	16.7	0.0
32	232	九重町松木	42	18.5	27.0	23.0	1,557	81	18	BD	山腹	"	2,000	0.78	1.20	0.98	42.8	14.3

*注) 発生率は膨大比数1.0以上および1.2以上の出現比率

ヒノキとつくり病調査地一覧 (その3)

番号	調査地番号	調査地	林況				環境				病害					
			林樹高 (m)	樹幹直徑 (cm)	立木本数 (株/ha)	形狀比	土壤型		地形		手入れ	年降水量 (mm)	こみ指數	土ちみ度	発生率*	
							B _D	山腹	B _D (d)	山頂						
33	233	九重町松木	29	14.8	25.8	20.4	843	73	18	B _D	山腹	普通	1,900	0.48	0.64	0.95
34	234	" 石田	70	26.3	48.4	39.0	381	68	20	B _D (d)	"	"	1,950	0.48	1.08	1.08
35	235	" 野上	20	11.6	17.2	14.0	2,649	82	19	B _C	山頂 緩斜面	"	1,950	1.17	1.08	0.76
36	236	" 野上	50	19.8	42.8	33.1	794	60	18	B _{LD}	山麓	不良	2,200	0.64	0.72	1.23
37	237	" 野上	43	16.0	25.2	20.0	1,492	82	15	B _{LD} (d)	山腹	普通	2,100	0.92	0.88	1.04
38	238	" 野上	41	15.9	31.1	23.4	1,142	68	16	B _{LD} (d)	山頂 緩斜面	"	2,100	0.70	0.80	1.24
39	240	天瀬町五馬市	18	13.9	18.7	16.0	2,029	86	22	B _{LD} (d)	谷筋	"	2,100	1.05	1.06	0.67
40	241	" 馬原	43	19.8	28.7	23.2	1,103	80	19	B _D	山腹下部	不良	2,000	0.82	1.32	0.98
41	242	" 馬原	36	16.0	22.0	18.4	1,768	81	17	B _D	山腹	普通	2,000	1.06	1.32	0.72
42	243	" 湯山	40	15.9	23.5	19.4	1,768	77	16	B _D	"	"	1,950	1.06	1.32	0.71
43	244	本耶馬渓町落合	50	16.7	20.7	18.0	2,002	95	15	B _D (d)	"	"	1,850	1.29	1.32	0.61
44	245	"	50	21.2	25.0	21.1	1,427	99	19	B _D	山腹下部	"	1,850	1.21	1.32	1.78
45	246	"	26	13.9	17.0	14.4	2,034	97	18	B _D (d)	山麓	優良	1,850	1.10	1.32	0.58
46	247	本耶馬渓町東谷	37	16.2	22.7	18.0	2,034	91	17	B _{LD}	山腹	普通	2,000	1.27	0.72	0.92
47	248	"	22	12.1	16.2	14.0	1,907	90	18	B _{LD}	"	優良	2,000	0.88	0.64	0.65
48	249	耶馬渓町大野	41	15.4	20.5	18.0	1,589	86	15	B _C	山頂 緩斜面	普通	1,800	0.92	1.08	0.47

*注) 発生率は膨大比数 1.0 以上および 1.2 以上の出現比率

ヒノキとっくり病調査地一覧(その4)

番号	調査地番号	調査地	林況				環境				境とくり病							
			樹高 (年)	直徑 (cm)	立木本数 (本/1.2m (cm))	形狀比	地位指數	土壤型	地形	手入れ	年降水量 (mm)	こみ指數	土ちみつ度	林内発生率*		林縁発生率		
														1.0以上	1.2以上			
49	251	耶馬渓町金吉	48	21.3	22.2	23.0	1,236	94	19	B _D	山腹下部	普通	1,900	1.10	0.97	0.40	0.0	0.0
50	253	九重町相狹間	19	9.9	22.6	15.0	2,475	65	17	B _{ℓD}	山腹	不良	2,300	0.97	0.88	1.55	85.1	74.1
51	254	"	19	9.8	29.6	18.3	1,236	54	17	B _{ℓD}	"	"	2,300	0.49	0.72	2.25	100	100
52	256	日出町わに沢	21	12.1	17.2	14.0	2,475	87	19	θB _{ℓD}	山頂面	優良	1,700	1.13	0.64	0.85	11.5	7.7
53	257	別府市大所	22	11.9	21.1	16.0	2,741	75	18	B _{ℓD}	"	不良	1,850	1.24	0.72	1.13	61.3	41.9
54	258	"	21	11.8	15.8	13.0	3,310	90	18	B _{ℓD(d)}	"	優良	1,850	1.47	0.72	0.74	15.4	3.8
55	259	杵築市船部	25	10.8	22.8	17.1	2,033	63	15	B _{D(d)}	"	不良	1,800	0.85	0.90	1.11	56.4	39.1
56	261	安心院町かやごもり	43	12.8	27.9	21.0	1,234	62	12	B _{ℓD}	山腹	"	2,100	0.58	0.72	1.23	84.2	31.6
57	262	院内町下船木	32	15.0	20.5	16.4	1,624	91	17	B _C ~ B _{D(d)}	山頂面	普通	1,800	0.91	0.90	0.84	20.0	15.4
58	263	"	30	14.9	20.8	17.0	1,689	90	18	B _D	山腹下部	優良	1,800	0.94	1.08	0.85	26.9	7.7
59	264	豊後高田市一畠	25	12.6	30.0	22.3	1,234	55	17	B _D	"	不良	1,850	0.59	0.70	1.09	63.2	31.6
60	265	"	32	13.6	20.8	16.4	1,289	82	16	ℓB _{ℓD}	山腹	優良	1,850	0.65	0.64	0.89	26.9	11.5
61	266	"	22	10.2	17.0	13.0	2,801	77	16	B _{ℓD(d)}	山頂面	不良	2,000	1.12	0.56	0.99	50.0	13.6
62	267	日出町豊田	22	8.1	19.6	14.3	1,519	57	13	B _{ℓD(d)}	"	"	1,900	0.53	0.64	1.16	55.5	38.9
63	268	山香町久木野尾	33	15.9	23.6	19.2	1,624	82	18	B _C	山腹	優良	1,750	0.97	0.80	16.0	8.0	1.27
64	269	"	30	14.3	25.9	21.0	1,291	69	17	B _{D(d)}	山頂面	普通	1,750	0.69	0.80	0.93	40.0	20.0

*注) 発生率は胞大比数 1.0 以上および 1.2 以上の出現比率

ヒノキとつくり病調査地一覧 (その5)

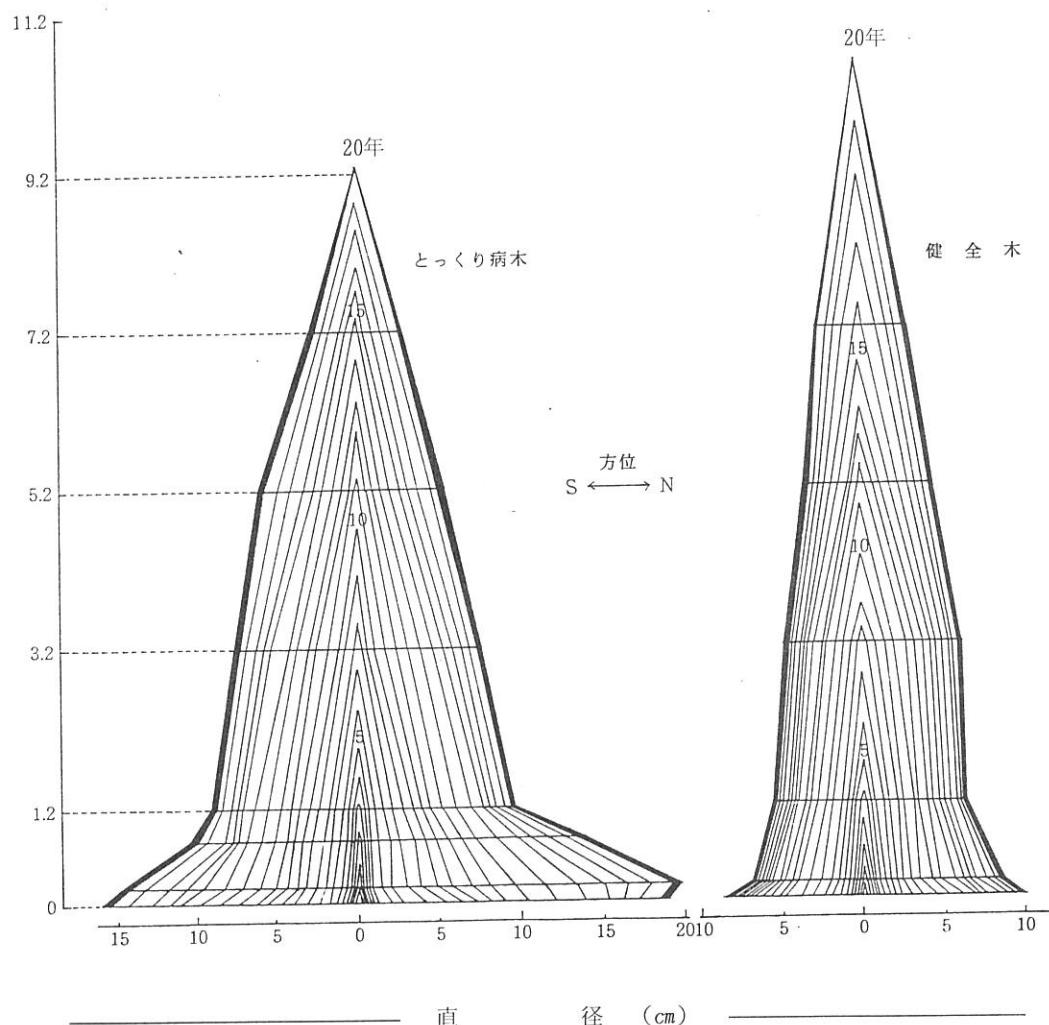
番号	調査地番号	調査地		樹立木本数(本/4a)		樹高(cm)		直径(cm)		形狀比		地位指數		土壤型		地形		手入れ		年降水量(mm)		こみ指數		土堆度		林内		とつくり病		林縁	
		林齡(年)	樹高(m)	0.2m(cm)	1.2m(cm)	立木本数(本/4a)	樹高(cm)	立木本数(本/4a)	樹高(cm)	0.2m(cm)	1.2m(cm)	地位指數	土壤型	地形	地形	手入れ	年降水量(mm)	こみ指數	土堆度	施大比數	発生率*	1.0以上%	1.2以上%	1.0以上%	1.2以上%	発生率					
65	271	山香町野原	22	10.6	21.1	6.0	1,945	69	14	B _D (d)	山腹	不良	1,900	0.81	0.56	1.17	54.5	54.5	1.09	50.0	50.0	30.0	0	0	0	0	0	0			
66	272	武蔵町吉広	29	12.8	18.2	15.2	2,299	86	16	B _D (d)	"	普通	1,750	1.12	1.00	0.64	7.7	7.7	3.8	0.59	16.6	0	0	0	0	0	0				
67	274	安岐町山浦	27	14.6	22.7	19.0	1,592	81	19	B _D (d)	山頂緩斜面 山腹	優良	1,650	0.87	1.20	0.76	5.5	5.5	5.5	1.08	60.0	40.0	0	0	0	0	0	0			
68	275	"	22	11.4	20.5	16.4	2,564	70	17	B _D (d)	山腹	不良	1,650	1.12	1.20	0.81	20.0	20.0	3.3												
69	276	国東町浜	44	16.5	27.6	22.0	909	78	16	B _D	山腹下部	"	1,600	0.57	0.97	0.91	35.7	35.7	21.4												
70	277	三光村真坂	25	14.2	22.8	18.4	1,149	78	19	B _C	山緩斜面	普通	1,800	0.61	1.08	0.82	7.7	7.7	0.0	1.05	40.0	30.0	0	0	0	0	0	0			
71	278	" 管ヶ谷	26	13.3	14.8	13.0	3,006	104	18	B _C	山腹下部	不良	1,800	1.48	1.20	0.52	2.9	2.9	0.76	20.0	20.0	20.0	0	0	0	0	0	0			
72	279	" 伊勢	28	14.4	17.6	14.3	2,299	102	18	B _C	山腹	優良	1,750	1.24	1.20	0.73	7.7	7.7	3.8	0.73	20.0	0.0	0	0	0	0	0	0			
73	280	" 岩屋	38	16.1	22.2	18.0	1,768	94	17	B _C	山麓台地	普通	1,800	1.07	0.97	0.90	40.0	40.0	20.0	0.93	60.0	40.0	0	0	0	0	0	0			
74	281	" 渋見	35	15.5	20.8	18.0	1,429	88	17	B _C	山腹	優良	1,800	0.83	0.97	0.61	9.1	9.1	0.0	0.60	10.0	10.0	0	0	0	0	0	0			
75	282	" 金色	28	12.0	18.3	15.4	2,299	80	16	B _C	山緩斜面	普通	1,850	1.05	1.08	0.60	0.0	0.0	0.0	0.60	10.0	0.0	0	0	0	0	0	0			
76	283	" 猪川内平	25	12.3	17.8	15.0	1,857	84	17	B _D (d)	山腹	"	1,800	0.87	1.32	0.63	4.8	4.8	0.0	0.56	0.0	0.0	0	0	0	0	0	0			
77	284	" 宇戸	28	12.5	23.1	18.1	1,494	65	16	B _D (d)	"	不良	1,800	0.68	1.00	0.94	42.1	42.1	15.8	0.92	54.5	27.2	0	0	0	0	0	0			
78	285	九重町管原	22	9.5	21.9	15.8	1,752	63	15	B _D	谷筋	"	2,300	0.68	0.64	1.28	69.2	69.2	46.2	1.39	90.9	72.7	0	0	0	0	0	0			
79	286	臼杵市藤尾	28	11.2	21.1	16.3	1,944	70	14	B _D	山緩斜面	普通	1,850	0.85	0.8	0.98	28.1	28.1	14.3												
80	287	"	15	9.6	17.0	13.0	3,447	76	18	B _D (d)	山頂緩斜面～山腹	"	1,850	1.35	0.56	0.96	38.4	38.4	23.1												

*注) 発生率は施大比数1.0以上および1.2以上の出現比率

ヒノキとっくり病調査地一覧(その6)

番号	調査地番号	調査地	林 沈 況				環 境				と く り 病							
			林 鮎 (m)	樹 高 (cm)	直 径 0.2m (cm)	立木本数 (本/ha)	形 状 比	土 壤 型	地 形	手 入 れ	年 降 水 量 (mm)	こ み 指 数	土 ち み つ 壤 度	林 内 発 生 率*	林 緑 発 生 率			
81	288	日杵市東神野	14	9.4	14.5	12.4	3,359	77	20	B _D (d)	山 腹	不良	2,150	1.30	0.80	0.58	1.0 以上 比數	1.2 以上 比數
82	289	"	14	8.9	15.8	12.5	2,741	72	19	B _D	"	普通	2,150	1.02	0.80	1.02	2.7 以上 比數	2.7 以上 比數
83	290	"	18	9.9	15.4	11.8	3,564	87	18	D _{RC}	"	不良	2,150	1.42	1.32	0.99	42.8	25.0
84	291	"	23	14.0	21.0	16.3	2,210	87	20	B _{LD}	山 頂 緩 斜 面	"	2,150	1.18	0.56	0.96	44.0	28.0
85	292	" 未広	15	8.2	13.2	10.9	2,829	77	17	B _C	山 腹	"	1,850	1.00	1.10	0.72	6.3	3.1
86	293	" 藤尾	12	6.8	15.2	12.1	2,546	57	18	B _{LD}	山 頂 緩 斜 面	"	1,850	0.82	0.88	0.89	20.0	15.0
87	294	院内町温見	33	17.5	19.9	17.1	1,891	103	19	B _D (d)	山腹下部	"	1,950	1.08	0.97	0.76	16.7	5.6
88	295	" かやごもり	17	8.9	18.4	13.5	3,182	68	17	B _{LD}	山 頂 緩 斜 面	不良	2,100	1.18	0.64	1.38	84.0	56.0
89	296	" 板場	17	9.7	14.9	11.9	3,310	82	18	B _C	山 腹	優 良	1,750	1.31	1.20	0.88	34.6	7.7
90	297	" 橋津	25	11.0	21.0	12.6	2,189	87	15	B _C	山 頂 緩 斜 面	"	1,650	0.95	1.20	0.89	36.7	13.3
91	298	久住町久住	32	15.6	31.9	24.7	1,045	64	18	B _{LD}	谷 筋	不良	2,200	0.63	0.80	1.15	75.0	35.0
92	299	直入町長湯	42	18.9	40.9	32.5	573	59	18	B _{LD}	"	"	2,150	0.43	0.88	1.28	77.8	50.0
93	300	"	55	23.0	33.0	25.8	891	92	19	B _{LD}	山腹下部	普通	2,150	0.89	0.72	1.14	64.3	32.1
94	301	竹田市神原	15	8.1	18.2	12.9	2,387	64	17	B _{LD} (d)	谷 筋	不良	2,350	0.84	0.64	1.25	65.4	46.2
95	302	萩町藤渡	16	8.8	14.1	9.9	1,944	92	18	B _{LD}	"	"	2,000	0.72	0.72	1.58	90.9	54.5
96	303	久住町久住	68	21.7	33.8	28.4	971	76	17	B _{LD}	"	優 良	2,200	0.95	0.64	0.67	10.0	0.0

*注) 発生率は膨大比数1.0以上および1.2以上の出現比率



付図-1. とっくろ病木および健全木の樹幹解析図

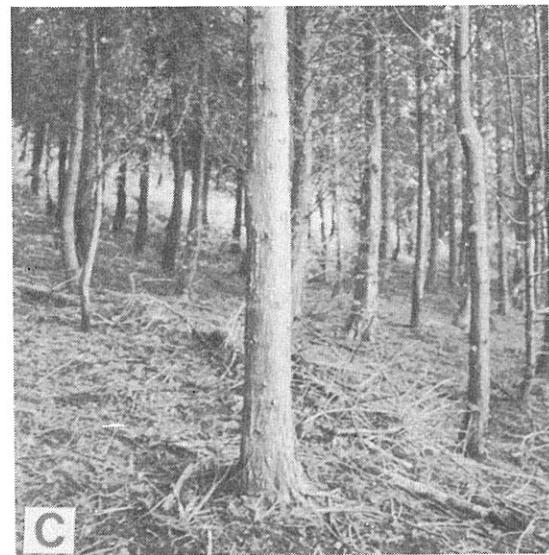
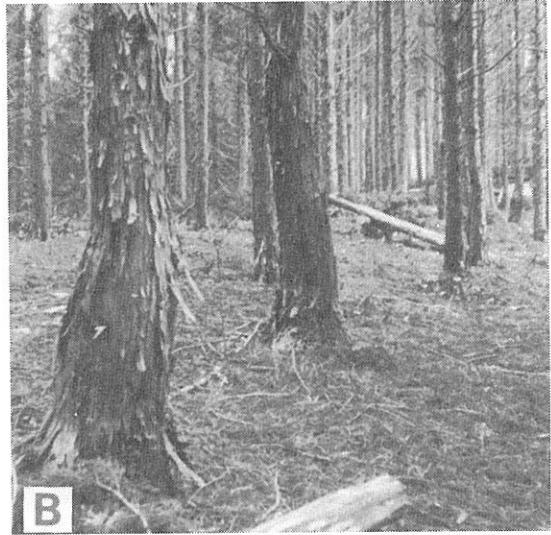
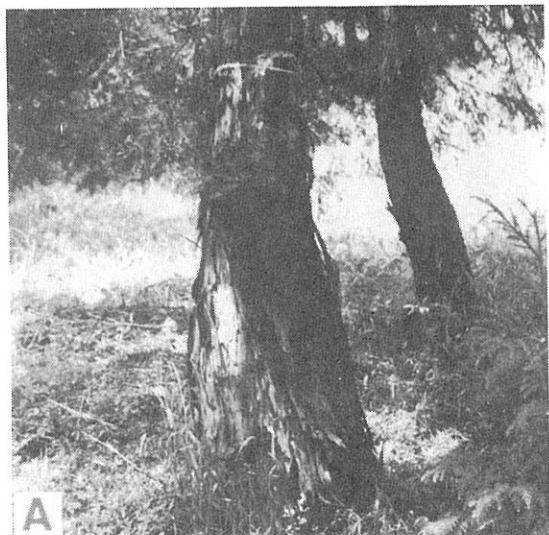


写真-1. とっくり病木と林分状況

A: とっくり病木 B: とっくり病多発林
C: 正常木 D: 健全木

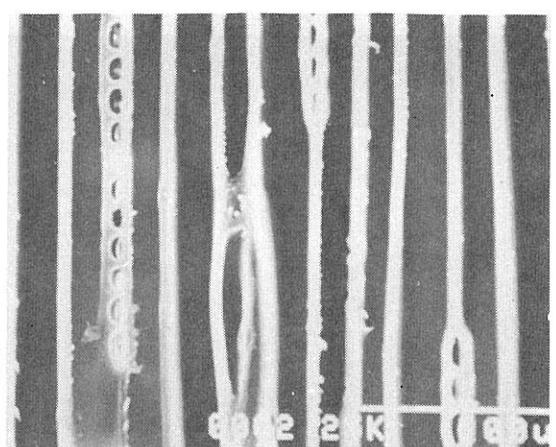
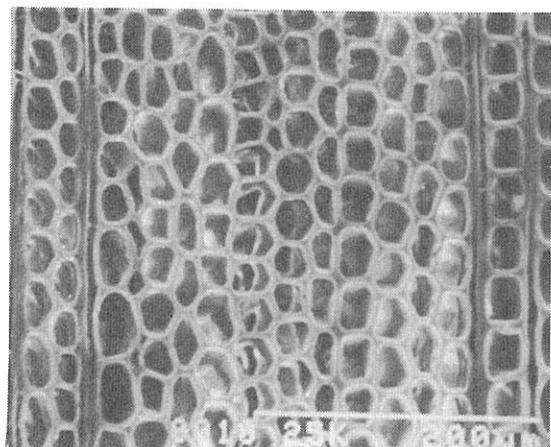
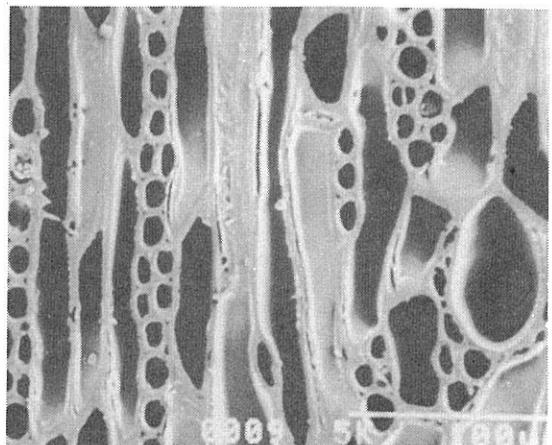
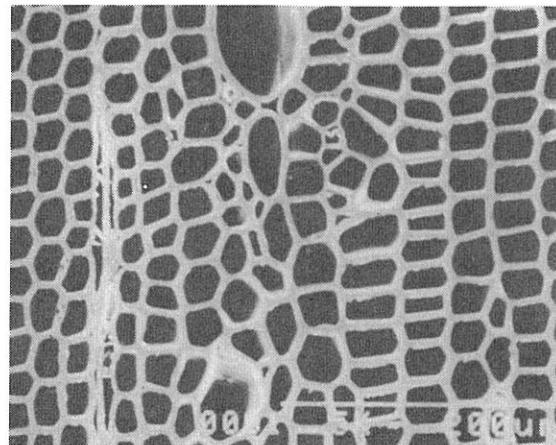


写真2. とっくり病と組織構造
(走査型電顕による)

A: とっくり病木木口面
C: 正常木木口面

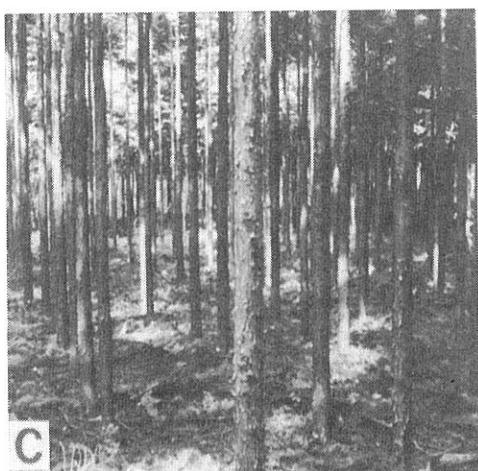
B: とっくり病木板目面
D: 正常木板目面



A: 実生苗造林地（15年生）



B: さし木苗造林地（15年生）



C: ナンゴウヒ（さし木苗）造林地（15年生）

写真-3. ヒノキ系統別の幹脚形（日田郡天瀬町、大分県林業試験場実験林）

平成元年3月25日 印刷

平成元年3月30日 発行

編集 大分県林業試験場

〒877-13 大分県日田市大字有田字佐寺原

TEL 0973 (23) 2146

(23) 2147

印刷所 川原企画

〒877 大分県日田市日の隈町195
