

カラマツの材質育種に関する研究

— 旋回木理の遺伝的改良 —

三 上 進⁽¹⁾

Susumu MIKAMI : Breeding for Wood Quality of Japanese Larch,

Larix kaempferi (LAMB.) CARR. [= *L. leptolepis* GORD.]

— Genetic Improvement of Spiral Grain —

要 旨：カラマツ材のねじれを遺伝的に改良する目的で、材のねじれの大きな要因である旋回木理について育種学的研究を進めた。カラマツの旋回木理は個体内で複雑な発達過程をたどるが、最大角度と平均角度によって個体間の相対評価が可能であり、旋回角度の小さい個体を容易に選抜することができる。選抜基準を最大角度が3.0°以下で平均角度が1.5°以下とすると、既往造林地からの選抜強度は5.6%前後となる。また、旋回木理の発達はクローン、母樹、産地によって大きな違いを示し、幼齡時における旋回角度は強い遺伝支配を受けていることが明らかとなった。多くの材料で推定した狭義の遺伝率は、材料によって異なった値を示したが、いずれも0.5以上であった。これらの値を用いて推定した遺伝獲得量を親集団の平均値に対する%で示すと、最大角度で29%、平均角度で46%であり、大きな改良効果が見込まれる。しかし、次代集団に含まれる希望型（選抜型）の頻度は30%程度に過ぎず、実用的にはこの割合を大幅に向上させることが必要である。その手段として選抜個体のクローンの利用を検討した。カラマツはさし木困難樹種の一つであるが、早期選抜によって若い親木を確保し、それらの不定枝を利用したさし木が実用的に可能であり、また、それらの複合クローンにおける希望型の割合は80~90%に向上する。

目 次

緒 言	49
第1章 樹木の旋回生長及び旋回木理に関する国外・国内の研究史；とくに 遺伝・育種関連研究について	51
第1節 国外における研究史	51
第2節 国内における研究史	54
第2章 育種母材の選抜を目的とした旋回木理の測定方法	56
第1節 各種測定法の得失	56
第2節 育種母材の選抜に適用する測定方法	57
第3節 本研究で採用した測定方法	57
第3章 旋回木理の個体内及び個体間変異	59
第1節 幹の旋回木理	59
1. 旋回木理の年輪間・個体間変異	59
2. 旋回木理の地上高による変異	64
第2節 枝の旋回木理	68
1. 供試材料及び測定方法	68
2. 枝における旋回木理の現れ方	68

1987年6月15日受理

(1) 東北林木育種場（現、林業試験場東北支場）

3. 枝の旋回木理と幹の旋回木理との関係	72
第3節 考察	73
第4章 旋回木理の林分間・種子産地間変異	75
第1節 旋回木理の林分間変異	75
1. 供試林分及び供試木の概況並びに旋回木理の測定方法	75
2. 結果	76
第2節 旋回木理の種子産地間変異	79
1. 調査した種子産地試験地・産地集団及び調査方法	79
2. 結果	79
第3節 考察	84
第5章 旋回木理と生長形質及び他の材質形質との	86
第1節 供試材料及び測定方法	86
第2節 旋回木理と生長形質との関係	87
第3節 旋回木理と材のねじれ及び材のそりとの関係	89
第4節 考察	93
第6章 旋回木理の遺伝変異	95
第1節 旋回木理のクローン間変異	97
第2節 自然交配家系における旋回木理の遺伝変異	99
1. 精英樹の自然交配家系における旋回木理の遺伝変異	99
2. 造林地からの自然交配家系における旋回木理の遺伝変異	101
第3節 考察	104
第7章 旋回木理の選抜基準, 選抜効果及び育種方法	105
第1節 旋回木理の選抜基準	105
第2節 選抜効果の推定	106
第3節 旋回木理の早期評価と早期選抜法	108
1. 旋回木理の早期評価	108
2. 旋回木理の早期選抜法	112
3. 早期選抜個体のクローン検定	115
第4節 考察	119
第8章 カラマツのさし木増殖技術に関する検討	121
第1節 カラマツのさし木に関するこれまでの研究成果の要約	121
第2節 カラマツのさし木条件に関する追試	123
1. さし穂の時季別発根能力	124
2. 夏ざしにおけるさし木床の種類と発根との関係	126
3. 夏ざしにおけるさし付け時期の検討	127
第3節 採穂木仕立てにした親木の萌芽枝を用いてビニール・トンネル内の 畑土にさし付ける簡易なさし木増殖法	128
第4節 考察	134
第9章 総合考察	135
要約	138
謝辞	140
引用文献	141
Summary	149

緒 言

林業においては生産期間が長期にわたり、木材需要の将来予測や品質にたいする要求を的確に把握することが困難なこともあり、ごく一部の先進林業地を除き、その生産目標は量生産の向上にとどまっている。しかし木材生産と木材利用は表裏一体のものであり、木材資源の有効活用と木材の利用拡大を図るためには、その生産過程において、利用目的に応じた材の品質管理を行う必要がある。

林木は長期にわたり周囲環境の変化に適応しながら自らの樹体を増大させていくので、幹の材質は均一ではなく、基礎材質あるいは実用性能の異なる部分より構成されている。これは、樹齢による木材形成の基本的な違いと、生長の良否による年輪構成の違いや同化器官である枝葉の着生数の多少・大きさ・枯れ上がりや遅速が節の多少・大小・無節部分の多少として木材の実用性能に違いを生ずるためである。しかし、後者については林分の密度管理や枝打ち等の生産技術によってコントロールすることが可能であり⁵⁹⁾、また基礎材質に関与する形質についても遺伝変異が大きく改良の可能性が示唆され¹⁷²⁾、諸外国では1950年代後半から、わが国では1960年代前半から材質育種に関する一連の研究が進み^{169) 170) 173)}、多くの技術的な基礎情報を提供した。これらの結果は、木材の材料的な用途と繊維原料としての用途にたいして大幅な材質向上を期待させるものである。

カラマツは、わが国の中部地方及び北関東の亜高山帯を中心とした比較的狭い地域に天然分布する樹種であるが、生長が早く、高冷地に良く適応する特性をもつことから、東北・北海道にまで広く造林されてきた。このように、郷土から遠く離れた地域にまで適応する樹種は、わが国の造林樹種の中では他に例がなく、極めて貴重な樹種である。ただし、カラマツは木材利用上の要求から造林が拡大されたものではなく、林地生産力増強のために造林が先行したものである。現在、それらの造林地から大量のカラマツ材が生産される段階になっているが、造林木の材質にはいくつかの欠点があり、市場性に乏しく、とくに間伐木等の小径木では材の利用拡大が進んでいない。

カラマツ材は、わが国の針葉樹材の中では高い比重をもつ群に属する。引張り強度と曲げ強度が低い傾向を示すが、その他の強度性能はアカマツ級である³²⁾。しかし、木理の旋回性が強いために、製材された場合に繊維走向が材軸に対して強く傾斜する。乾燥による収縮が最も大きいのは繊維方向に直交した方向であり、これは材軸に傾斜した方向となるので、繊維方向が材軸に対して傾斜した材はねじれ狂いが生じる^{56) 114) 115) 116)}。このことがカラマツ材の特徴的な欠点となっている。この欠点を克服するため材の利用開発が進められており、部分技術も確立されている⁷²⁾。しかし、根本的には、ねじれ狂いのない材または少ない材を生産するカラマツを育成することであり、それによって材の利用拡大が図られるものと考ええる。

木理の旋回性は、樹木の肥大生長に伴う紡錘形始原細胞の偽横分裂の左右頻度の違いにより生ずるとされ、最近においては樹木の正常な生長パターンである云われている²⁹⁾。生物器官の左右性あるいは巻性は、他の動植物においても一般的に認められる現象であり、それらは器官の分化過程で非相称性を生ずるためであり、左右性は極性分化の問題であると理解されている⁶⁵⁾。この極性分化は、遺伝的に決まるものと外部要因によって誘発されるものがある^{44) 106)}。

樹木の旋回生長については、風衝地の枯れ木や剥皮丸太の表面に見られる干割れの配列等から、幹の表面部分についてはあるが、その事実を知ることができる。とくに顕著な旋回生長を示す樹木については、古くから多くの研究者の興味をひき、19世紀において既に200種に近い樹種でその事例が報告されている¹⁶⁾。その後、興味の中心は旋回生長の要因に向けられ、長い間、環境要因と遺伝要因についての論議が続けられた

が、多くは環境要因—風や雪の圧力、重力や陽光に対する屈性、地形や土壤等の立地条件—にその要因をもとめた。しかし、これらの多くは事例からの推論である。由来の明らかな材料を用いて計画した試験の結果では、産地及び母樹の特性によることが明かとなり^{23) 24) 53)}環境要因の影響を受けないことが実験的に確かめられ^{97) 98)}、遺伝分散についても大きな推定値が得られている^{30) 79) 84) 93) 151)}。最近においては、細胞及び細胞以下のレベルでの研究が進み、紡錘形始原細胞の分裂パターンを動的にとらえる研究^{38) 39) 128)}および生長調節物質の濃度勾配の影響に関する研究^{33) 34) 152)}も行われている。しかし、木理の旋回方向及び旋回角度は、樹種によって個体によって異なり、また個体内にあっては年輪及び地上高によって変化するので、一部の樹種で見られる交錯木理を含めて、樹木における旋回生長の要因を十分説明できる段階には至っていない。

一方、これら木理の形態形成に関する問題とは別に、前述したように施回木理は材の利用上好ましくない形質である。このため、わが国の木構造設計規準⁹⁹⁾では厳しい許容規準が定められており、また製材等の日本農林規格¹⁷¹⁾の品等区分における重要な指標となっている。カラマツは他の針葉樹に比較して旋回木理の発達が顕著であり¹⁰⁸⁾、カラマツ材を構造用材として利用可能なものにするためには、旋回木理の改良が前提条件となる。

わが国においてカラマツの旋回木理に関する調査研究が本格的に開始されたのは1950年代に入ってからである。主として木材理学あるいは基礎材質に関する研究であるが、旋回木理の樹幹内分布について豊富な情報を提供した。1970年以降からは旋回木理の育種に関連した研究が進み、多くの知見が得られた。これらの成果をふまえ林野庁は1980年から「からまつ材質育種事業」⁸¹⁾を実施し、各地で材質優良木の選抜に着手し所期の成果を得た^{54) 63) 85) 120)}。

本論文は、カラマツにおける旋回木理の遺伝的改良を目的として実施してきた一連の研究をとりまとめたものである。第1章では旋回木理に関する国内外のこれまでの研究情報をレビューし、問題点を整理するとともに育種の可能性を摘出した。第2章では旋回木理の各種測定法の得失を比較検討し、割裂法が育種母材の選抜に役立つ方法であることを示した。また、苗木や幼齡木に対しては引裂き法を応用することによって早期選抜が可能になることを示した。第3章および第4章では旋回木理の表現型変異を調べ、個体の評価方法、各種集団における変異の大きさ、優良木選抜の難易を明らかにした。第5章では施回木理と生長および他の材質形質との関係を調べ、旋回木理の選抜が他の有用形質にマイナスの効果を与えないことを明らかにした。第6章ではクローンおよび母樹別自然交配家系を用いて旋回木理の遺伝変異を分散分析によって解析し、若い年齢部分で遺伝分散が大きいことを明らかにした。第7章では育種母材の選抜基準、選抜差、選抜効果を検討し、集団選抜の効果とその限界を明らかにした。それに替わる方法として選抜木のクローンの利用を検討し、その有効性を実証した。第8章では、カラマツがさし木困難樹種であることから、さし木増殖上の問題点の整理と検証を行い、低台仕立てにして強度の剪定を行った親木からの萌芽枝を利用することによって高い発根率が得られることを明らかにした。第9章では総合考察を行い、遺伝的に改良されたカラマツ生産集団を育成するためには、若い選抜木のさし木複合クローンの利用が最も有効であり、その方法を具体的に示した。

第1章 樹木の旋回生長及び旋回木理に関する国外・国内の研究史；とくに遺伝育種関連研究について

第1節 国外における研究史

旋回木理の発達について、古くは、BRAUN (1854) が幹の生長に伴って生ずる新しい細胞の侵入方向によることを報告し¹⁶⁾、HARTIG³⁵⁾が形成層始原細胞の増殖分裂において横断壁が右か左に傾くためであることを指摘し *Pinus sylvestris* L. ではそれらの方向と木理の方向が一致することを報告した。その後、KLINKEN⁶⁷⁾は形成層における増殖分裂の経過を追跡して細胞の数・大きさ・伸長方向を詳細に記録した結果を発表し、NEEF^{91) 92)}は道管の傾斜は形成層細胞が斜めに分裂するためであり、そのことによって旋回生長が起こることを示した [BANNAN¹⁶⁾参照]。この間に、多くの樹種について旋回生長の事例報告やその要因に対する考察が行われた。しかし、多くの場合は材の表面における観察記録であり、旋回木理の樹幹内変異や個体間変異を調査した報告例は少ない。

SMYTHIES¹⁴⁵⁾は Chir pine (*P. roxburghii* SAR.)の旋回木理を調査し、同一林分でも個体内でも地上高及び年輪によって変化し、年輪増加によって旋回性が弱まることを報告した。一方、CANNING²²⁾は Chir pine で、McCARTHY⁷⁴⁾は Red spruce (*Picea rubens* SARG.)で、旋回木理の角度は地上高及び年輪によって変化するが年輪増加とともに旋回性が強まることを報告した。

1920年代になって、CHAMPION^{23) 24)}が Chir pine で旋回木理における遺伝の役割を明快に説明できる研究結果を発表した。その内容は旋回性の個体が多く出現する林分と少ない次分を選び種子を採取し、それらの子供群を検定して、①ほとんどの個体は左旋回から始まり年齢が高くなると右方向に旋回するようになる、②このルールから外れて不安定な旋回方向を示すものがある、③旋回性の大きい林分の次代集団は旋回性が大きい、④立地条件が旋回性を支配するとは考えにくい等の結論を得た。さらに、この研究結果を裏付けるために5つのタイプの親林分の子供を4箇所植栽して調査し、①100%ねじれていた親林分の子供は65%がねじれる、②通直な木理をもつ親林分からの子供はほとんどねじれない及び③子供は親のねじれ程度に影響されるという結果を得た。同氏の研究成果は、その後の旋回木理に関する研究に大きな影響を与えた。

1930年代に入って旋回木理の成因に関する遺伝説と環境説の論議が再び高まった。CAHN²¹⁾は小島に生育する *Thuja occidentalis* L. 312本を調査して、ほとんど右旋回に幹がねじれていることを常風の影響と考え、YEAGER¹⁶⁸⁾及びWENTWORTH¹⁶⁹⁾も風衝地で顕著な旋回性樹木が出現することと旋回方向が一定であることから風の影響を支持した。KOEHLER⁶⁵⁾は旋回木理の発達に遺伝と環境の両者が関係をもつが環境がより重要であり、風と雪の影響が大きいことを主張した。またBUTLER²⁰⁾はリング園を広域にわたり調査して老齢木がほとんど右旋回であることを観察し、品種による変異がないことと風の影響も考えられないことから、陽光に対する屈性反応であると考えた。一方、KNORR⁶⁸⁾は樹種に関係なく822本の樹木を調べ73%が通直で27%がねじれ、ねじれの52%が右旋回で48%が左旋回であることを観察した。この結果から、旋回の左右差は2%であり、風が影響するならば大多数が一定方向にねじれる筈であるとして旋回木理に対する気象の影響を否定した。同時に *Sequoia sempervirens* (LAMB.) ENDL.の同じ根株からの萌芽による複数個体が親と同じ方向に旋回していたことから、遺伝説を支持した。さらに、針葉樹の2~6年生実生苗木261本を調査し、苗木においても旋回木理が発達していること、地上部と地下部のねじれ程度が同じであることを明かにした。HERRIC⁴⁰⁾

はLongleaf pine (*Pinus palustris* MILL.) 1,527本を調査し、通直木が23%、右旋回木が53%、左旋回木が24%出現する結果を得た。また、枝の旋回木理は幹のそれと一致し、根の旋回木理は33%が通直、55%が右旋回、12%が左旋回である結果を得て、これらは風の影響によるものではないことを主張した。SEIFRIZ¹³⁷⁾ 138)はHERRICK⁴⁰⁾及びその他の報告を引用し、旋回生長は遺伝的性質であり環境によるものではないと主張した。MISRA⁸⁹⁾はChir pineの直径生長が劣る個体の旋回木理が大きいことを指摘した。

1940年代に入り、BURGER¹⁹⁾がNorway spruce (*Picea abies* KARST.)及びSilver fir (*Abies alba* MILL.)の幹外周の木理を調査し、若い個体では地上高が高くなると旋回角度が大きくなり、老齢木では基部が施回、中部が通直、上部が左旋回を示し、劣勢木は優勢木よりも旋回角度が大きいことを報告した。これに対し、TURNBULL¹⁵⁵⁾は南アフリカに植栽された*Pinus pseudostrabus* LINDL.の旋回木理は直径生長率と正の相関関係にあり、生長の速い系統は旋回木を生産する遺伝能力が高いことを指摘した。

1950年代に入ると旋回木理の樹幹内変異に関する研究が進み、多くの情報が提供された。RAUTら¹²⁹⁾はChir pineの旋回木理に影響する重要因子として年齢、生長率、立地条件をあげ、KENNEDYら⁶⁴⁾はRed alder (*Alnus rubra* BONG.)の旋回木理は樹心からの距離より年齢の影響が大きいと示した。ELLIOTT²⁹⁾は旋回生長が樹木の正常な生長パターンであり、年齢増加とともに左旋回が強くなり、最大値に達した後0となり右旋回に傾くようになること、生育適地では樹心からの距離に、不適地では年齢が影響することを、Douglas fir (*Pseudotsuga taxifolia* (POIR.) BRITT.)とWestern hemlock (*Tsuga heterophylla* (RAF.) SARG.)で明らかに示した。NOSKOWIAK¹⁰²⁾はRed pine (*Pinus resinosa* AIT.)の旋回木理の年輪間変異を調べ、初め左旋回で角度が増大し、5年輪から9年輪で最大値に達し、やがて0になり、さらに右に施回することを明らかにするとともに、直径生長の影響を除くと年齢増加とともに角度の変化は小さくなることを指摘した。FIELDING³⁰⁾はMonterey pine (*Pinus radiata* DON.)の旋回木理の角度と樹高生長とは無関係であることを報告した。NORTHCOTT¹⁰⁰⁾はRed alderの外周木理の地上高変異を調べ、胸高部では左旋回、40フィートの高さでは右旋回であり、変化は連続的であることを観察した。しかし、同時に調査したWestern hemlockでは地上高と木理の角度との間に一定の関係は認められなかった。また、PAUL¹²⁶⁾はPonderosa pine (*Pinus ponderosa* LAWS.)で、VITE¹⁵⁹⁾はPonderosa pine及びWhite-fir (*Abies concolor* (GORD.) EENGLM.)で、樹心から同一距離であれば左旋回は地上高に応じて強くなる結果を報告した。VITE¹⁵⁸⁾は枝打ちが直径生長に影響し、それが間接的に旋回木理に影響する考えを示した。

これら一連の研究において、生長率と旋回木理の関係に若干の混乱が認められるが、これは年齢因子を無視したためであると考えられる。また、地上高と旋回木理の関係については、各測定部の年齢及び直径との関係が総合的に現れたと理解すべきであり、老齢木の幹の下部が右施回で上部が左施回であることは各地上部における半径方向の変動パターンを示したものであり、地上高が高くなると樹心からの年輪数が少なくなることによるものである。

遺伝に関連するものとしては、KADAMBI⁵³⁾はCHAMPIONの一連の研究が母樹のみに注目し花粉親の影響を考慮しなかった点を補足するため、Chir pineのねじれ木を自殖させ、その子供の68~82%がねじれる結果を得て旋回性は優性形質であると結論した。SCHMUCKER¹³⁵⁾は*Fagus sylvatica* L.の旋回木理が規則的であることから、またNORTHCOTT¹⁰⁰⁾も広葉樹6種と針葉樹6種の旋回木理を検討し同様な結論を得た。PAUL¹²⁵⁾は旋回木理の発達については遺伝よりも他の要因が大きく、むしろ交錯木理 Interlocked grainの方が強い遺伝支配を受けているとする考えを示した。SCHREINER¹³⁶⁾は林木の遺伝的改良の可能性を検討する中で、旋回木理は遺伝率も高く、選抜育種で改良できる形質にランクした。

1960年代に入ると、樹木の肥大生長に関する細胞レベルの研究が進み^{16) 36) 37) 38) 152)} 旋回木理の木材組織学的知識が深まるとともに、一方では旋回木理の量的遺伝に関する研究が行われた。ZOBEL^{172) 173)}は材質育種の可能性を検討するため関連文献をレビューし、またNOSKOWIAK¹⁰³⁾は旋回木理に関する文献をレビューして、旋回木理の発達における遺伝の重要性を強調した。DADSWELLら²⁸⁾はMonterey pineのつぎ木クローンをを用いて旋回木理の広義の遺伝率0.66を推定し、さらにNICHOLLSら⁹³⁾はDADSWELLらの研究を補足するため、Monterey pineの10年生自然交配家系について狭義の遺伝率を推定し、樹心から4年輪目で0.46、7年輪目で0.24と年齢の高まりによって低下する結果を得た。ZOBEL¹⁷⁴⁾はこれらの結果を引用し、材質改良のための選抜や育種計画を進めるためには遺伝率が低過ぎるとしながらも、Monterey pineにおける旋回木理の遺伝変動は明らかに年齢によって変化し、若い年齢では強い遺伝支配を受けると考えられることを述べた。NICHOLLS⁹⁴⁾はMonterey pineの25年生クローンについて樹心から20番目までの年輪の広義の遺伝率を推定し、2年輪で0.6、8年輪で0.2、以降ゆるやかに低下することを再確認し、*Pinus pinaster* AIT.で顕著な産地間差があることを明らかにした。FIELDING³⁰⁾もMonterey pineの9年生自然交配家系における樹心から7番目の年輪について狭義の遺伝率0.55を推定した。一方、ZOBELら¹⁷⁵⁾はLobolly pine (*Pinus taeda* L.)の4年生人工交配家系50組合せを調査し、旋回木理の遺伝分散は非相加的である結果を得て、もし年齢が高くなっても同様な結果を示すならば、集団選抜の見込みがないことを指摘した。またLOWERY⁷³⁾はLodgepole pine (*Pinus contorta* DOUGL.), Western larch (*Larix occidentalis* NUTT.) Douglas-fir, Engelmann spruce (*Picea Engelmanni* (Parry) ENGELM.)の旋回木理における半径方向変動を調べ、9基本型4変化型のパターンに分類し、そのパターンを用いて①各樹種に特有なパターンがあり、②通直な木理をもつ個体の出現率は4樹種合計で5.9%、その順位はDouglas-fir > Engelmann spruce > Western Larch > Lodgepole pineであり、③右旋回で始まるものは左旋回のものよりも方向変化が少ない等の結果を得た。

1970年代に入って、PEDERICK¹²⁷⁾は*Pinus radiata*の4年生人工交配22家系を用いて狭義の遺伝率0.40を推定した。同時に非相加的遺伝分散が小さいことも明らかにした。また、集団選抜によって親集団の平均値3.81°を3.08°に低下させることが可能であることを示した。NICHOLLS^{97) 98)}は材質に及ぼす環境因子の影響を調べるため、*Pinus pinaster*に間伐と施肥を実行し、*Pinus radiata*に灌水と土壌乾燥の実験を行ったが、旋回木理については何れも効果を示さず、生長率に影響する環境因子と木理の旋回性とは関係がないことを裏付けた。またHARRIS³⁴⁾は代謝物質の流動方向に繊維の走行が定められることを想定し、*Pinus radiata*の4年生苗木を用いて38°右旋回のSpiral girdling処理を行い、木理の旋回方向がGirdling方向に発達することを確認した。この方法はMcDANIELS⁷⁹⁾がリングの木で実験したのと同じであり、同氏らの結果でも仮道管細胞及び放射組織の長軸はら旋軸(45°)と平行になった。しかし、THAIR¹⁵²⁾は*Malus* spp., *Thuja occidentals* L., *Cornus stolonifera* NICHX.で幹から四角の樹皮片を取り、それを90°回転させてくっつけ、形成層始原細胞群を幹の主軸方向及び代謝物質の流れの方向に対して直角な位置に保たせる実験を行った。ところが回転された形成層はそのままの方向で正常に機能し続け、元の幹と直角な方向に2次木部及び師部が形成された。このように、形成層始原細胞の方向性を維持するための自律性と外部要因に対する反応の生理については、なお研究すべき問題が多い。

1980年代に入って、TEISSIERら¹⁵¹⁾は*Fagus sylvatica* L.の自然交配家系について旋回木理を調査し、狭義の遺伝率0.66を推定し、選抜が有効であることを明らかにした。

以上の研究史を一瞥すると、非常に長い期間にわたり旋回生長及び研究対象として取り上げられてきた。しかし、研究の進歩はその期間に必ずしも比例していないように思われる。最近になって細胞レベルの研究

が進んでいるが、旋回生長の要因については勿論のこと半径方向における旋回木理の発達要因についても明らかでない。旋回木理の遺伝変異に関する研究も1920年代と1960年代に比較的確度の高い成果が公表され、また木材利用上の重要な形質であると指摘されながら、育種を目的とした研究はごく一部の樹種に限られ、多くの報告は断片的なものにとどまった。そのような中で、*Pinus radiata*の旋回木理に関する情報は、育種の可能性を十分保証するものであり、高く評価できる。

第2節 国内における研究史

わが国において旋回木理の変異に関する研究が本格的に開始されたのは、1950年代に入ってからである。それ以前においては、樹木の旋回生長の要因に関する諸説の紹介あるいは一般的な説明であり、研究課題として取り組んだ例は極めて少ない。

1930年代に、金井⁵⁵⁾はツガの幹のねじれと幹の径級及び偏奇率とは無関係であり、ねじれの大きさは北斜面では傾斜度に逆比例し南斜面では比例し、右巻きの出現率は常に傾斜度に比例することを報告するとともに、不良環境で顕著なねじれが見られることから、旋回生長は立地と密接な関係にあるとする考えを示した〔戸田¹⁵³⁾は、本報告におけるねじれと斜面の関係はサンプリングのユガミではないかと指摘している〕。大島¹¹⁷⁾は、同じ環境に生育するイスノキで旋回木と通直木が混在している事実はねじれの成因が遺伝であることを示すが、一方では同一株から分岐した2本のイスノキが左と右にそれぞれ旋回していることもあり、全ての場合に遺伝説が通用せず、風圧説も捨て難いことを述べた。

1950年代に入って、大倉¹⁰⁸⁾はカラマツ樹幹内部のねじれ角の変異を調べ、繊維の旋回角度は樹齢に応じて最大値をとる位置があり、幼齢では樹心に近く、加齢とともに向頂的かつ遠心的にその位置が移動し絶対値が大きくなることを報告した。その後も引き続き多くの樹種の木理の旋回現象を調査して^{109) 110) 111) 112) 113)}、邦産針葉樹2科16属29種と広葉樹41科90属141種について左旋回のSタイプと右旋回のZタイプにそれぞれI～VIのパターンをあてはめ、さらに通直なものを含むその他の6パターンを加えて旋回生長型を類別した。また旋回生長の2元説—旋回性と左右性の分離—を提唱し、左右性は同一個体でも変化し易く、そのことは遺伝しないと^{110) 113)}。さらに、仮道管のフィブリル傾角と旋回木理との関係についても調査したが、十分説明できる結果は得られていない¹¹³⁾。同氏らの研究は、所期の目的である旋回木理の変異を明らかにすることとは異なり定性的な旋回型の類別に終わった。したがって、供試材料も少なく信頼できる変異幅は示されなかった。しかし、同氏らの研究はわが国におけるこの分野の研究を開拓したものであり、その後の研究の発展に大きく寄与した。

1960年代においては見るべき研究成果がなく、1970年代に入って再び活発な研究が進められた。小沢¹²¹⁾は大倉らの研究を補足する形でカラマツ・スギ・アカマツ・ヒノキの旋回木理の樹幹内変異を調べ、同様な結果を得た。重松^{139) 141) 142) 143)}はカラマツの用材品質の観点から樹幹内変異、とくに未成熟材や年輪幅との関係を検討した。また、北海道産カラマツにおける旋回木理の現れ方については石田⁴⁷⁾、福島産と長野産のカラマツ林分における旋回木理の変異については小沢^{122) 123)}、カラマツ天然木と造林木の旋回木理の比較については重松¹⁴⁰⁾および渡辺¹⁶²⁾が報告した。

一方、カラマツの育種に関連した旋回木理の研究も同年代から始まり、三上⁷⁶⁾はつぎ木クローンを用いて旋回木理の遺伝変異が大きいことを明らかにし、育種の可能性を指摘した。さらに三上らは、タネの産地による旋回木理の現れ方の違い⁷⁷⁾、選抜方法及び選抜効果⁷⁸⁾、実生苗木における家系間変異の大きさ⁷⁹⁾を明らかにした。中川⁸⁹⁾は、カラマツの1林分から200個体の材料を採取して旋回木理の樹幹内変異を解析し、胸高円板

の測定値が個体の代表値になり得ること、造林地の中には通直に近い木理をもつ個体が5%前後含まれていること等を明らかにし、旋回木理の選抜に有力な手がかりを与えた。加納ら⁶⁰⁾は、材質の早期検定法の開発に関する研究の中でカラマツの旋回木理を取上げ平均角度と最大角度との間に高い相関関係があり、しかも最大角度が早い時期に出現することから、早期検定の可能性が高いことを指摘した。さらに、小野寺ら¹⁰⁷⁾はカラマツ属3種及びそれらの種間雑種を調査し、旋回木理の角度は $L. gmelini > L. olgensis \times L. olgensis > L. gmelinii \times L. leptolepis > L. leptolepis$ の順に並ぶが、 $L. olgensis$ 及び $L. olgensis \times L. leptolepis$ は年齢増加に伴う変化が他の樹種に比較して小さいことを明らかにした。

1980年代に入って、中川⁹⁰⁾はカラマツの旋回木理についてOrtet-Ramet相関を求め、平均角度と最大角度について0.465と0.619の相関係数を得た。また、クローン内及びクローン間分散から平均角度と最大角度の回復力を推定し、それぞれ0.27と0.54の値を得た。三上ら⁸⁹⁾は無性繁殖を前提とした旋回木理の早期選抜法をカラマツで検討し、選抜個体のクローンの80%、さし木個体の90%が選抜時の基準に適合することを確認した。また、三上ら⁸⁴⁾はカラマツの母樹別家系を用いて旋回木理の遺伝変異を解析し、5~8年生年輪(樹心から2~5番目の年輪)で遺伝率が高いことを報告した。これらの研究と並行して、各地でカラマツの旋回木理に関する優良個体の選抜および選抜に関連した研究が開始され^{27) 81) 88) 104) 119)}、個体間変異の大きさ、クローン間変異の大きさ、旋回角度の小さい個体の出現率等に関する情報が提供された。また、カラマツ属の種間雑種についての材質調査も引き続き行われ^{62) 118) 148) 149)}、針葉樹の旋回木理と乾燥ねじれに関する研究が小沢¹²⁴⁾によってまとめられた。

第2章 育種母材の選抜を目的とした旋回木理の測定方法

旋回木理の測定対象物は丸太・角材・板材・単板・立木から採取された生長錐片・苗木及び立木そのもの
の場合がある。したがって、対象物に応じた測定方法を採用することが必要である。加納ら⁵⁸⁾及び加納⁵⁹⁾は従
来の測定方法を説明するとともに、自ら考案した引きかき用器具⁵⁸⁾による測定法を紹介した。NICHOLLS⁹⁶⁾は旋
回木理の測定上の問題点を検討した。TEISSIERら¹⁵¹⁾は⁴²Kを樹幹に注入して写真フィルムに撮り、その映像で
繊維の傾斜を測定している。その他、色素を注入して調べる方法や顕微鏡で観察する方法も試みられてきた。

本章では、これら旋回木理の測定方法の得失を評価し、育種母材の選抜に適する方法を検討した。また、
本研究で採用した測定方法を述べる。

第1節 各種測定法の得失

1) 割裂法 (Splitting method)

大倉ら¹⁰⁸⁾によって開発された方法であり、円板を対象とするものである。円板の上下に樹心を通る平行な
基準線を引き、一方の基準線に鉋をおき加撃すると繊維走行に沿って割れ、他方には基準線からずれた割裂
線が現れるので、このずれと円板の高さから年輪ごとに繊維の傾斜角度を求める方法である。この方法の欠
点として、樹種によっては繊維の走向と一致しない弱い部分で割れることが指摘されており⁹⁶⁾、また両半径方
向で対称に割れず同一側に割れるものが出現することも報告されている²⁷⁾。カラマツを例にとると、円板の中
で樹心が極端に曲がっている場合にこのような割れ方をするようであり、同じ円板で方向を変えて割裂する
と正常な割れ方をする。この方法では、樹木を伐倒して円板を採取することになるので、保存すべき個体や
林分においては実行できない問題がある。しかし、測定そのものは簡便であり、カラマツ等では有効な方法
である。

2) 引裂き法 (Sliver method)

材の表面から繊維の小片を引きはぐと繊維走行が現れるので、それと材軸線との角度を測定する方法であ
り、小試料片の測定に適している。また、苗木や幼齢木の幹表面の旋回木理を測定するのに応用できる。

3) 引っかき法 (Scribe method)

先鋭な器具の先端を材面にくいこませ材軸方向に軽く引くと、繊維走行に沿って溝ができるので、それと
材軸との角度を測定する方法である。器具は引っ張り作用力を消去できるものでなければならない。
KOEHLER⁷⁰⁾は蓄音機針を利用した方法で丸太・角材・板材・単板の繊維傾斜を測定した。加納ら⁵⁸⁾は鉤状に湾
曲した鋼製の棒(約18cm)の先端を尖鋭なクサビ状にし、棒の中間にベアリングを挿入して左右にフレキ
シブルな引っかき用器具を考案した。この方法は、大型材料について材面の繊維傾斜を測定するのに適して
いる。

4) ⁴²Kを用いる方法 (⁴²K method)

生立木を対象として樹液流動の最も活発な時期に放射性塩化カリウム溶液(⁴²K)を幹に注入し、その流れを
放射線写真フィルムに撮り、その映像で繊維傾斜角を測定する方法である。樹幹軸を決めるには、幹が太い
場合はTacheometerを使用し幹が細い場合は金属製の二面角定規を使用する。地上9mまではパララックス
を補正する必要がないと言われる¹⁵¹⁾。この方法の特色は立木を痛めつけないことであり、伐倒できないもの
についても測定できる利点がある。ただし、年輪ごとの旋回木理の角度は測定できない。

5) その他の方法

生立木の幹に色素を注入し、高さ別に円板を採取して染色部分を調査し、木理の傾斜を測定する方法も採用されてきた¹⁵⁹⁾。また、材面に色素の溶液を落とし、その浸潤方向を利用する方法もあるが、色素の浸潤長が短く局部的な確認にとどまり、材全体の繊維方向を測定するには不適である⁵⁸⁾。非常に若い材料で木理の傾斜を調べる場合は、形成層にごく近い木部に注射針で色素を注入し、適当な時間をおき、樹皮を剥ぎ色素の経路を確認する方法が有効であるとする報告もある¹⁰¹⁾。その他、顕微鏡を用いて観察測定することも行われてきたが⁸⁶⁾、局部的測定であり実用的ではない⁵⁸⁾。

第2節 育種母材の選抜に適する測定方法

林木の諸形質は一般的に大きな遺伝変異を含むので、林木育種では集団選抜が基本となっている。したがって、育種母材の選抜にあつては、できるだけ選抜差を大きくし選抜効果を高めるようにする必要がある。そのためには、可能な限り多くの集団及び個体を対象にすることになるので、調査方法あるいは選抜作業はより簡便で能率の良いものが要求される。また、選抜木の増殖についても同時に考慮されなければならない。

これらの方点を考えると、引っかけ法は大きな素材や製材品を対象にすることと材の表面の測定にとどまることから、色素の注入や顕微鏡による方法は測定精度及び作業能率の面から、それぞれ問題があり、育種母材の選抜に応用できる方法ではない。

割裂法は、調査対象木が伐倒され失われるので、あらかじめ増殖用つぎ穂を確保しなければならない季節的制約を伴う。しかし、繊維走向に沿って割れ易い樹種の幹を対象にする場合は有効な方法である。それは、測定作業が比較的単純であり、試料採取から加工・測定まで流れ作業的な処理が可能であるから、大量の個体を対象にすることができ、しかも若齢から老齢までの旋回木理の発達過程を把握できるので、育種母材の選抜に最も適した方法である。

割裂法が適用できない生長錐片や苗木については、引裂き法が有効である。色素を注射する方法¹⁰¹⁾も苗木に応用できるが、樹皮に傷をつける点では引裂き法と変わらず、むしろ繊維の傾斜を直接測定する引裂き法が能率的である。

放射性同位元素を用いる方法は、費用の問題と材内部の観察ができない点から選抜の一般的な方法にはなり難いが、保存個体や保存林分を対象にする場合に採用できる唯一の方法である。

第3節 本研究で採用した測定方法

本研究では、割裂可能な太さの幹及び枝については割裂法を採用し、苗木については引裂き法を採用した。それぞれの方法を模式的に示したがFig. 1及びFig. 2である。

割裂法による円板の旋回木理の角度は、厚さ約10cmの円板を割裂した後、Fig. 1の下面から厚さ25mm、幅70mm、長さ任意の試料を再採取して、カーブリーダー(オートプロセス:5701型)と同機器からのデーターを計算処理する電算機(OKITACsystem 50 model 10)を組み合わせた装置(以下、旋回木理測定装置という)で基準線から割裂線までの距離(CD)を0.1mm単位で測定し、 $\text{Grain angle } (\theta) = \tan^{-1} \frac{CD}{h}$ を求めた。また各年輪の値は、両半径方向によって若干の誤差があるので、両者を平均して求めた。

なお、カーブリーダーはX軸レールとY軸レールの移動量からY軸先端についているポインターの位置をX・Y座標で表示するものであるが、マイクロコンピュータとメモリーを内蔵し、データの出力等を制御している。測定範囲はX方向700mm、Y方向400mm、測定単位は0.1mmであり、厚さのある試料については付属

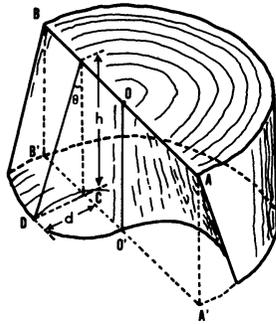


Fig. 1. 割裂法による幹の旋回木理の測定模式図。

Grain-angle determination by splitting method. Grain angle (°) = $\tan^{-1} \frac{CD}{h}$

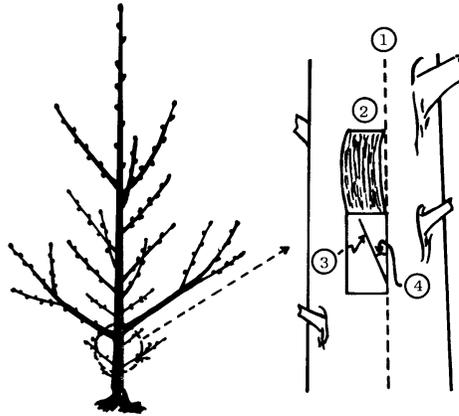


Fig. 2. 引裂き法による苗木の旋回木理の測定模式図。

①樹軸線, ②剥皮, ③繊維の傾斜, ④木理の角度
Grain-angle determination on seedling by sliver method. Notes: ①; tree axis, ②; removed bark, ③; fiber inclination, ④; grain angle.

の固定装置を用いる。具体的操作としては、円板試料(厚さ25mm, 幅70mm, 長さ700mm以下に調整)を固定装置にセットし、各年輪の測定点である基準線と年輪との交点および割裂と年輪との交点にポインターを合わせ、測定スイッチを押すだけのものである。カーブリーダーから出力された各年輪ごとのX・Y座標データは、電算機によって年輪ごとにX・Y座標から基準線と割裂線までの距離が計算され、あらかじめ入力してある割裂時の円板の厚さのデータを加えて旋回木理の角度が計算される。同時に、半径、年輪幅等の必要な計算を行うことができる。

引裂き法による苗木の旋回木理の角度は、樹液の流動が始まった4月中旬に樹軸線に沿って樹皮を剥ぎ、材の表面から尖鋭なピンセットで繊維を引裂き、その軌跡を角度目盛りのあるルーペで1°単位に測定した。測定部位は枝のない部分で幅4～5mm, 長さ15mmの樹皮が剥がされるが、1年後には目立たない程度に癒合しており、次年度は測定位置を変えるので、剥皮や繊維の引裂きが周囲の旋回木理の発達に影響していることは少ないと思われる。

なお、木理の傾斜程度を表すのに度、ラジアン、パーセントが用いられているが、研究上は度による表示が一般的であり、度に統一すべきだとする提案⁹⁶⁾もあるので、本研究では度を採用した。とくに苗木の測定では度による表示が直接的で都合がよい。ただし、製材等の日本農林規格¹⁷¹⁾ではパーセントで表示することになっている。また、傾斜方向を表すのに左方向：右方向, S方向：Z方向が使用されているが、同じ理由から、左方向と右方向で表すことにした。

第3章 旋回木理の個体内及び個体間変異

多くの針葉樹における幹の旋回木理は、左旋回で発達し、比較的若い時代に最大角度に達し、以降減少傾向を辿り、さらに右旋回に方向を変える個体が多く出現することが知られている^{29) 89) 102) 112) 121)}。このような旋回木理の発達過程をいくつかのパターンに類別することも試みられ、大倉¹¹²⁾は多くの針葉樹について12基本型+6変化型、中川⁸⁹⁾はカラマツについて5基本型+6変化型、LOWERY⁷³⁾は針葉樹数種について9基本型に分類している。しかし最大角度の大きさ及びその出現時期、その後の変化過程、とくに右方向への変化の有無及び変化の時期は個体ごとに異なり、これらのパターンによって育種母材を選抜することは難しい。

また、旋回木理の個体評価に適する測定材料の採取位置については、胸高位置の値が幹全体の評価に適しているとする報告⁸⁹⁾がある一方、胸高位置では根張りの影響をうけるので、さらに高い位置(3.0m)から採取する必要があることも指摘されている⁹⁶⁾。

さらに、枝の旋回木理の発達も基本的には幹と同じであると予想されることから、選抜の代替形質として利用できることも考えられる。しかし、カラマツの枝の旋回木理を調べた例は極めて少なく、重松¹⁴⁴⁾が単木における枝内・枝間変異を報告しているに過ぎない。他の樹種についても、KNORR⁶⁸⁾が針葉樹の枝の旋回木理は幹と同じ方向であるが、角度は著しく異なること、さらに枝では老齢になるほど角度が大きくなること等を報告し、HERRICK⁴⁰⁾がLongleaf pineで同じく枝の木理は幹と同一方向に旋回していることを報告している程度に過ぎない。

本章では、幹における旋回木理の年輪間変異と地上高による変異を検証し、育種母材の選抜を目的とした旋回木理の個体評価方法を検討した。さらに枝の旋回木理の発達過程、個体内・個体間変異の大きさ及び幹との関係を調べ、枝の特性値で個体評価が可能かどうかを検討した。

第1節 幹の旋回木理

1. 旋回木理の年輪間・個体間変異

1) 供試材料及び測定方法

岩手県岩手郡岩手町、岩手営林署25林班は小班の26年生カラマツ林から90本、同郡滝沢村、盛岡営林署143林班の31年生カラマツ林から105本の供試木を選び伐倒し、胸高部分から厚さ10cmの円板を採取した。供試木群の生育概況は次の通りであった。

岩手-25；樹高18.8m/15.2-22.8m，胸高直径21.9cm/18.4-26.3cm，枝下高10.1m/5.4-15.1m

盛岡-143；樹高17.5m/15.5-20.0m，胸高直径22.0cm/19.4-25.0cm，枝下高9.4m/3.0-14.6m

各円板の旋回木理は前章の割製法によって測定した。割製方向は節またはその他の欠点のない1直径方向とした。測定は両半径方向について行い、同じ年輪の平均値をもってその年輪の値とした。

2) 結果

調査した2林分の年輪増加に伴う旋回木理の変化過程をFig. 3及びFig. 4にそれぞれ示した。旋回木理はいずれも左旋回で発達し、林分平均値で見ると3～4年輪で最大角度を示し、その後遞減傾向を辿る。ただし、各林分とも10～12年輪で若干角度が大きくなる傾向を示し、16年輪前後で小さな山を形成している。また標準偏差は年輪増加とともに大きくなる傾向を示している。外周1～2年輪については標本数が70%程度に減少しているため、その影響も若干含まれているかも知れないが、旋回木理の角度そのものは4～5年

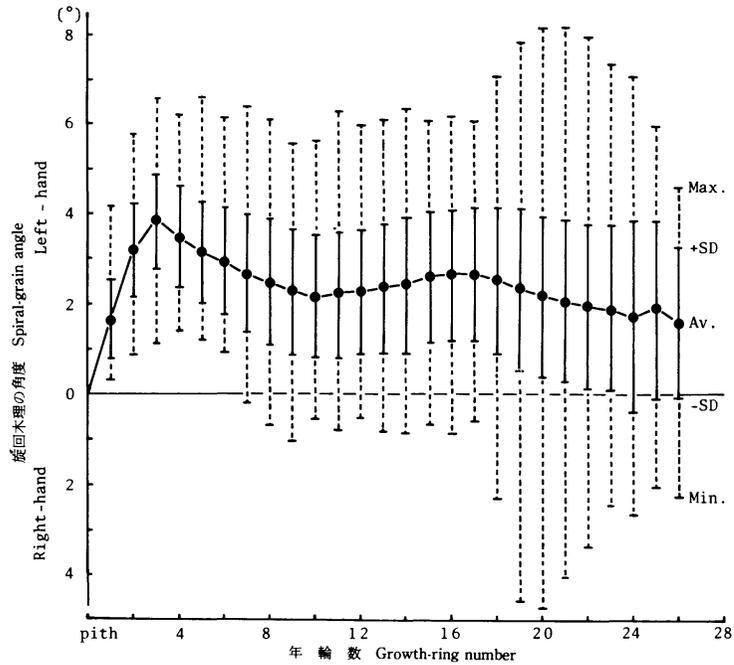


Fig. 3. 若手-25の林分における年輪施回木理の平均値, 標準偏差, 範囲の半径方向変異。
Variations through successive growth rings from the pith, of the average, the standard deviation, and the range of the spiral-grain angle in IWATE-25.

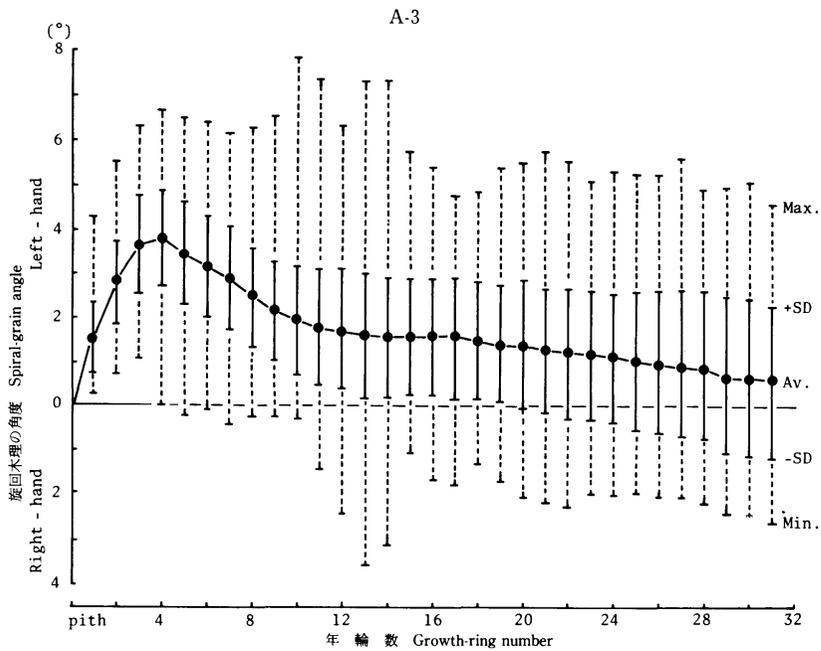


Fig. 4. 盛岡-143の林分における年輪別旋回木理の平均値, 標準偏差, 範囲の半径方向変異。
Variations through successive growth rings from the pith, of the average, the standard deviation, and the range of the spiral-grain angle in MORIOKA-143.

輪目から小さくなる過程を辿るのに対し、個体間のばらつきの程度は年輪増加とともに大きくなる。このように林分平均値で見ると、多くの樹種で説明されてきたのと同じ変化パターンを示すが、個体単位で見ると、各年輪における最大値と最小値の範囲は、岩手—25では $6 \sim 13^\circ$ 、盛岡—143では $6 \sim 11^\circ$ であり、個体によるばらつきが大きい。

Fig. 5は岩手—25 (I)と盛岡—143 (M)の林分における旋回木理の小さい個体、大きい個体及び年輪による変化の大きい個体を例として示したものである。この例によれば、旋回木理の角度が全年輪を通じて大きいものと小さいものは、その個体の最大角度の大小で判定できそうである。なお詳細に観察すると、最大角度を長い期間維持する個体も見られるので、より通直に近い木理をもつ個体を選ぶためには、全年輪の平均角度も求める必要がある。

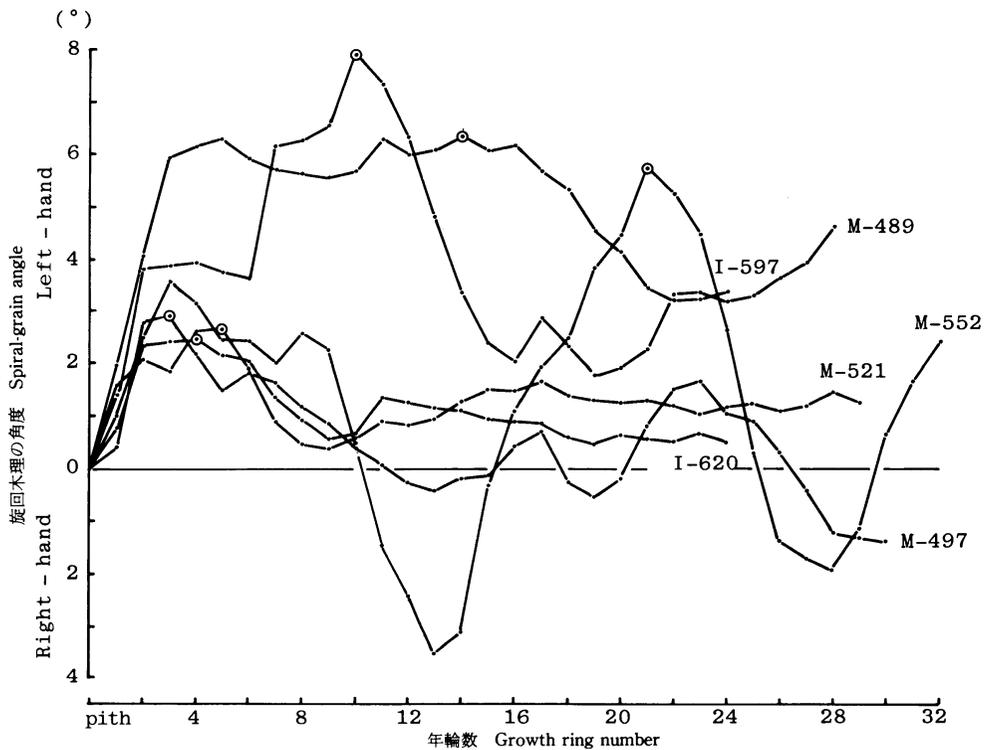


Fig. 5. カラマツの幹における旋回木理の半径方向変異例

Examples of radial variation of spiral grain in the stems of larch trees.

Table 1は、両林分における旋回木理の最大角度の出現範囲、林分平均値及び標準偏差を示したものである。最大角度の林分平均値は両林分とも 4.5° と同じであったが、平均角度は岩手—25が 2.6° であるのに対し盛岡—143は 2.0° であり、大きな違いを示した。個体の出現範囲は、最大角度がそれぞれ $2.5 \sim 8.2^\circ$ と $2.6 \sim 7.9^\circ$ 、平均角度がそれぞれ $0.8 \sim 5.1^\circ$ と $0.7 \sim 4.4^\circ$ であり、個体によって大きな違いがあることを示した。

平均角度は樹齢によって変化するが、最大角度に大きな差がある個体間では平均角度についても大きな差があり、両者の間に従属関係が認められる。Fig. 6及びFig. 7は林分別に両者の関係を示したものである。いずれも有意な正の相関関係を示した。ただし、盛岡—143においては最大角度 3.0° 以下の個体の平均角度は全て 1.3° 以下であるが、岩手—25では平均角度 1.9° のものまで出現する。したがって、より木理の通直な個体

Table 1. 岩手-25と盛岡-134のカラマツ林分における個体間変異の大きさ

Variation of spiral-grain angles among trees in the IWATE-25 and the MORIOKA-143 larch stands

林分 Stand	変数 Variable	旋回木理 (度) Spiral-grain angle [deg.]	
		最大角度 Max. angle	平均角度 Mean angle
岩手-25 IWATE-25	範囲 Range	2.5~8.2	0.8~5.1
	平均 Average	4.5	2.6
	標準偏差 Standard deviation	1.0	0.9
盛岡-143 MORIOKA-143	範囲 Range	2.6~7.9	0.7~4.4
	平均 Average	4.5	2.0
	標準偏差 Standard deviation	1.0	0.8

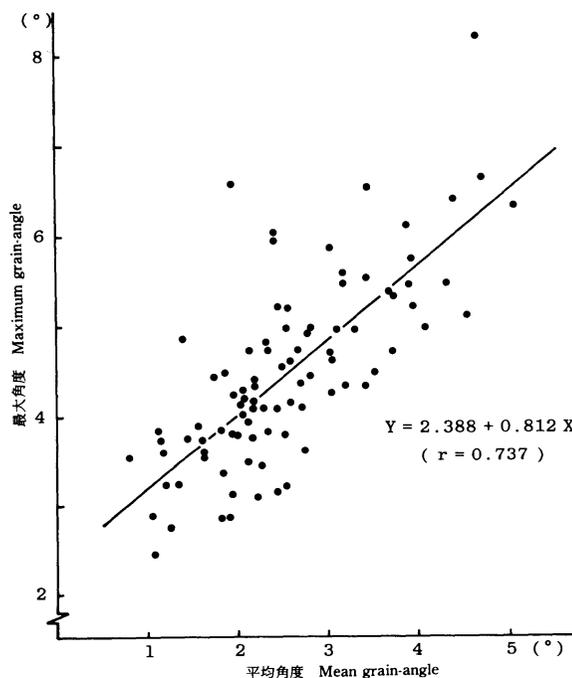


Fig. 6. 岩手-25のカラマツにおける旋回木理の最大角度と平均角度との関係。

Relationship between mean and maximum angles of spiral grain in larch trees of IWATE-25.

を選ぶためには両者を評価することが必要である。

いま仮に最大角度が3°以下で平均角度が1.5°以下のものを旋回木理の小さい個体であるとする、岩手-25では3本(3.3%)、盛岡-143では6本(5.7%)が対象になる。それぞれの旋回木理の年輪による変化過程は、Fig. 8の通りであり、全年輪を通じて旋回角度が小さい。

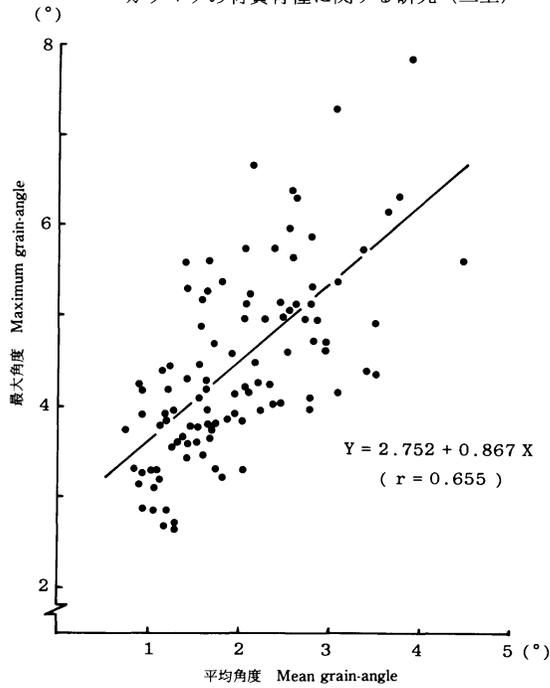


Fig. 7. 盛岡-143のカラマツにおける旋回木理の最大角度と平均角度との関係。

Relationship between mean and maximum angles of spiral grain in larch trees of MORIOKA-143.

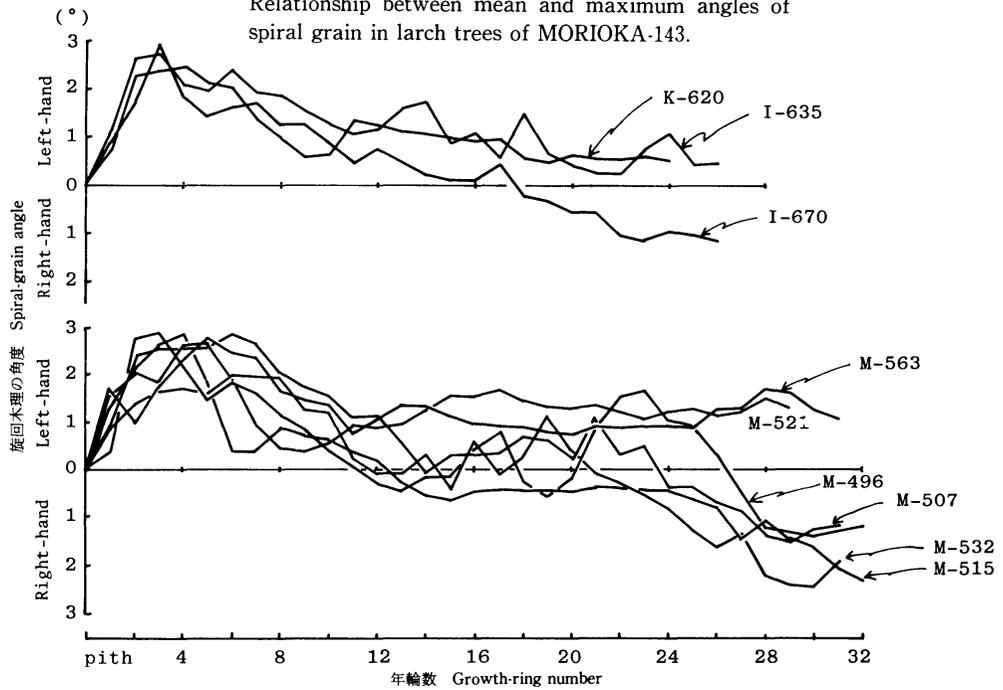


Fig. 8. 最大角度と平均角度によって選出したカラマツ個体における旋回木理の半径方向変異。
Radial variations through successive growth rings from the pith, of spiral grain angles in larch trees selected by means of the magnitudes of maximum grain-angle and mean grain-angle.

2. 旋回木理の地上高による変異

1) 供試材料及び測定方法

岩手県下閉伊郡川井村門馬山国有林230林班い小班の25年生カラマツ造林地から、Table 2 に示した15個体を供試木として選び伐倒して、地上高0 mから1 mおきに厚さ10cmの円板を採取した。この造林地は海拔高600mの西向き中傾斜地に成立し、林分の平均樹高は14.1m、平均胸高直径は13.8cm、平均枝下高は9.8mであった。

旋回木理の測定は、第2章で述べた割裂法によって行った。

2) 結果

供試木の中から樹高生長が良く、かつ樹冠長と枝下高が異なる3個体(No 1, No 3, No 7)、劣勢木2個体(No 4, No 9)及び樹高生長が中庸で肥大生長の良い個体(No 10)を選び、各地上高における旋回木理の半径

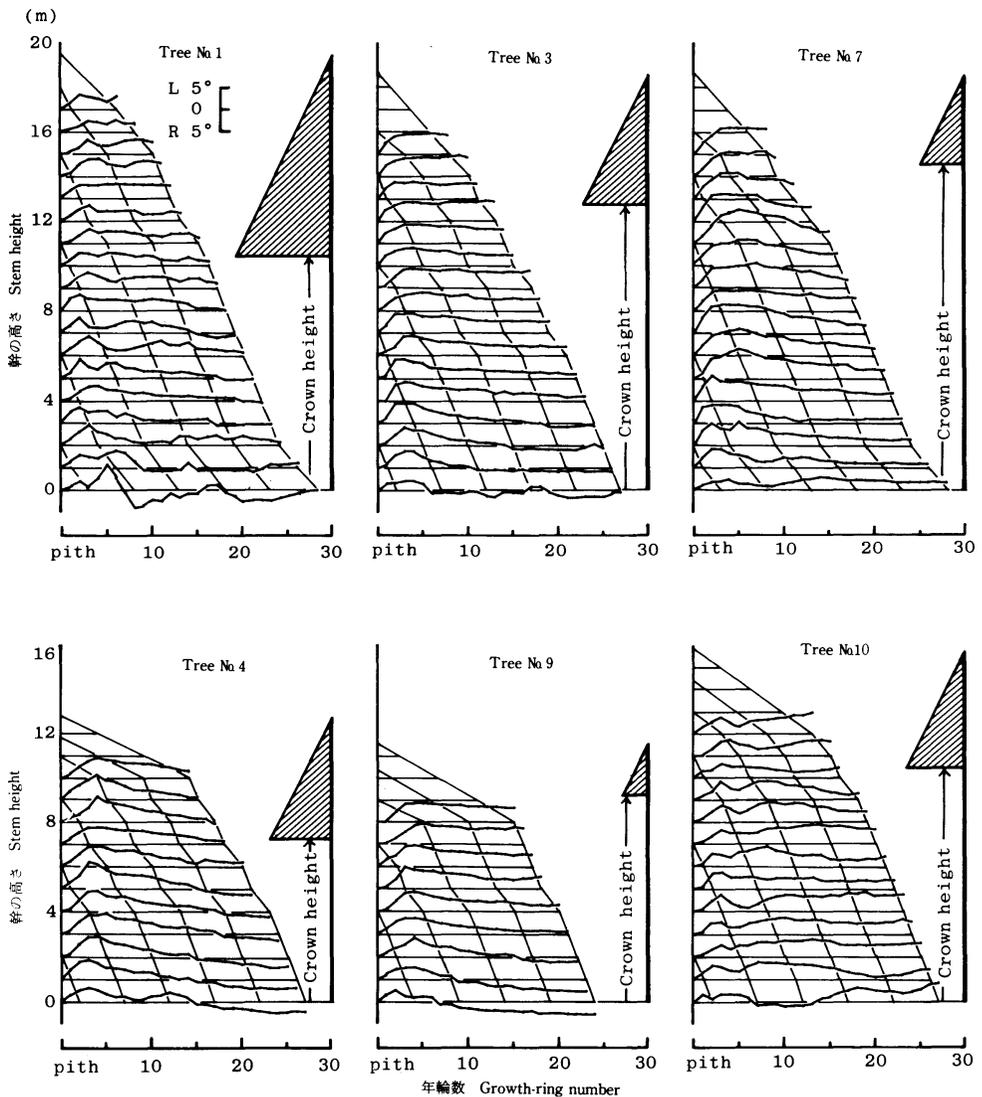


Fig. 9. カラマツの幹における旋回木理の半径方向及び地上高変異。

Radial and longitudinal variations of spiral grain in the stems of larch trees.

Table 2. 旋回木理の地上高変異の調査に供したカラマツ個体の生育概況
General descriptions of larch trees sampled in investigating
the longitudinal variation of spiral grain.

個体番号 Tree No.	樹高 Tree height [m]	胸高直径 D.B.H. [cm]	枝下高 Crown height [m]	備考 Remarks
1	19.5	16.8	10.7	
2	14.5	14.6	11.3	
3	18.6	17.7	12.8	
4	12.7	12.8	7.1	Inferior tree
5	17.2	15.6	11.2	
6	17.5	15.8	10.5	
7	18.3	15.6	14.3	
8	18.1	18.0	11.2	
9	11.6	10.3	9.2	Inferior tree
10	15.8	16.8	10.5	
11	16.5	15.6	11.0	
12	13.7	15.0	9.1	
13	15.8	17.2	10.5	
14	16.2	16.6	10.8	
15	17.6	16.4	12.3	

Table 3. 地上高別旋回木理の最大角度と平均角度
Maximum and mean angles of spiral grain at different heights

旋回木理 Spiral grain	個体番号 Tree No.	幹の高さ Stem height										
		0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m	10m
最大角度 (度) Max. angle [deg.]	1	5.3	3.9	4.6	3.9	3.1	4.2	4.1	3.1	3.8	3.7	3.3
	2	2.5	4.9	5.0	4.5	3.9	3.6	4.5	3.6	3.9	4.6	3.5
	3	2.0	3.8	4.0	4.6	4.2	4.3	4.6	4.3	4.2	4.7	3.9
	4	3.1	4.0	4.6	4.8	4.5	5.2	4.5	3.9	5.2	5.1	4.3
	5	6.0	3.1	3.9	4.9	4.7	3.9	3.8	4.1	3.0	5.9	3.7
	6	4.5	4.0	4.7	5.4	5.3	5.1	5.5	5.4	5.7	5.6	5.4
	7	2.7	4.4	5.1	4.5	5.2	5.0	5.8	6.0	4.8	5.2	5.8
	8	2.0	3.5	4.1	4.7	4.5	4.1	3.8	5.0	4.4	4.9	4.2
	9	2.9	3.3	4.1	4.2	4.5	5.0	5.0	5.0	4.3	—	—
	10	3.1	2.9	3.6	3.5	2.9	3.1	3.3	3.2	3.0	3.5	3.3
	11	2.7	2.3	2.3	2.5	2.8	4.3	3.4	2.8	2.3	2.9	2.1
	12	3.2	5.4	5.6	5.2	4.8	4.9	5.3	5.6	5.2	5.5	6.3
	13	4.4	3.6	3.7	3.8	4.2	3.5	4.5	4.5	4.5	4.4	2.9
	14	4.5	3.5	4.5	4.8	4.7	6.1	6.8	6.1	6.0	7.5	7.1
	15	2.9	3.6	3.3	4.0	3.1	3.6	3.4	3.0	3.3	3.1	3.3
平均角度 (度) Mean angle [deg.]	1	1.8	1.1	1.7	1.1	1.3	1.8	2.0	1.6	2.1	2.2	2.3
	2	1.1	1.5	1.5	1.6	1.3	2.1	2.6	1.6	2.5	2.1	2.3
	3	1.0	1.0	1.0	1.4	2.3	1.9	2.7	2.9	3.0	3.7	2.9
	4	1.7	1.8	1.7	1.8	1.7	2.1	2.2	2.3	2.1	2.5	2.9
	5	2.5	1.6	2.8	2.6	2.4	2.1	2.0	1.9	1.9	2.3	1.8
	6	1.6	1.6	1.6	1.8	2.2	2.1	2.4	2.3	2.3	2.4	3.2
	7	1.9	1.7	2.4	1.6	2.8	2.3	3.5	4.1	3.5	3.8	3.9
	8	1.1	1.3	1.7	1.9	1.7	1.6	1.6	2.1	2.0	2.0	2.3
	9	2.0	1.7	1.2	1.7	2.5	3.0	3.3	3.5	3.7	—	—
	10	0.7	1.0	1.3	1.1	0.9	2.0	1.5	1.3	1.5	2.8	2.6
	11	1.4	1.0	0.8	0.8	0.7	2.2	1.3	1.7	0.9	1.9	1.3
	12	1.0	1.5	2.4	2.5	2.5	3.1	3.4	4.2	3.4	4.2	4.9
	13	1.8	2.2	2.6	2.7	3.1	2.1	2.5	3.3	3.2	2.5	1.8
	14	2.4	1.7	2.1	2.2	2.4	3.4	4.4	5.0	4.9	6.3	1.8
	15	1.4	1.1	1.2	1.1	1.6	1.5	2.0	1.6	1.4	1.5	1.8

方向変化過程をFig. 9に示した。個体内の旋回木理は地上高が高くなると同一年輪では勿論のこと、同一年輪数であっても旋回性が強まる傾向が認められる。また、地上高0mでは他の近接する位置と異なる特異なパターンを示す個体が多い。さらに、地上高ごとに旋回木理の半径方向変異パターンが乱れる個体も観察される(No.10)。

このように、樹心からの年輪数に応じた旋回角度の絶対値及び減少・増大時期は地上高によって異なるが、その変化は連続である個体が多く、旋回木理の樹幹内分布の全体様相は個体によって明らかな違いを示す。

Table 3は、全供試木について地上0mから10mまでの高さ別最大角度及び平均角度を示したものである。最大角度についてみると、No.4, No.6, No.7, No.12, No.14は各地高で大きな値を示し、No.10, No.11, No.15

Table 4. 旋回木理の地上高別最大角度の相関係数

Correlation coefficients between maximum angles of spiral grain at different stem heights

	幹の高さ Stem height										
	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m	10m
0m	1.000	-0.124	0.076	0.169	0.124	0.084	0.132	0.029	0.067	0.331	0.081
1m		1.000	0.890	0.639	0.466	0.212	0.466	0.412	0.563	0.325	0.525
2m		**	1.000	0.776	0.652	0.432	0.648	0.612	0.713	0.587	0.718
3m		**	**	1.000	0.832	0.470	0.577	0.671	0.737	0.525	0.560
4m			**	**	1.000	0.619	0.734	0.886	0.767	0.828	0.750
5m					*	1.000	0.823	0.695	0.746	0.716	0.803
6m			**	*	**	**	1.000	0.862	0.861	0.811	0.883
7m			*	**	**	**	**	1.000	0.813	0.826	0.889
8m		*	**	**	**	**	**	**	1.000	0.754	0.835
9m			*	*	**	**	**	**	**	1.000	0.831
10m		*	**	*	**	**	**	**	**	**	1.000

* Significant at 5% level. ** Significant at 1% level.

Table 5. 旋回木理の地上高別平均角度の相関係数

Correlation coefficients between mean angles of spiral grain at different stem heights

	幹の高さ Stem height										
	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m	10m
0m	1.000	0.562	0.506	0.413	0.479	0.360	0.403	0.378	0.396	0.268	0.180
1m	*	1.000	0.681	0.776	0.734	0.415	0.506	0.545	0.570	0.251	0.272
2m		**	1.000	0.836	0.665	0.270	0.376	0.450	0.414	0.321	0.327
3m		**	**	1.000	0.763	0.421	0.447	0.539	0.536	0.282	0.283
4m		**	**	**	1.000	0.416	0.680	0.757	0.737	0.475	0.435
5m						1.000	0.796	0.798	0.764	0.855	0.837
6m					**	**	1.000	0.912	0.956	0.874	0.879
7m		*		*	**	**	**	1.000	0.920	0.875	0.837
8m		*		*	**	**	**	**	1.000	0.879	0.834
9m						**	**	**	**	1.000	0.921
10m						**	**	**	**	**	1.000

* Significant at 5% level. ** Significant at 1% level.

Table 6. 枝の旋回木理を調査したカラマツ個体の特性

Characteristics of the larch trees sampled in investigating the spiral grain of branches

個体番号 Tree No.	樹高 Tree height (m)	枝下高 Crown height (m)	胸高直径 D.B.H. (m)	円板の年輪数 Annual ring number in the disk		枝の直径 (mm)・(年輪数) Branch diameter (mm) (annual-ring number)			
				全体 Entire	半径5cm内 Within5cm radius	枝の番号 Branch No.			
						1	2	3	4
1	18.2	11.0	17.6	23	8	26(10)	22(8)	23(8)	
2	19.0	12.5	19.3	22	8	23(9)	23(9)	25(10)	
4	17.2	9.9	15.8	21	9	22(9)	22(10)	23(11)	
5	15.6	8.7	18.1	22	8	22(11)	32(11)	23(9)	
6	18.3	12.5	18.6	22	8	23(8)	22(7)	23(8)	
7	18.8	10.9	18.0	22	8	24(8)	22(6)	26(6)	
9	17.7	10.8	18.7	22	10	30(11)	25(10)	24(11)	
10	16.4	9.2	17.5	22	8	20(8)	26(11)	22(11)	
11	17.2	10.2	18.8	22	8	26(10)	27(10)	26(9)	
12	17.9	10.5	19.0	22	7	28(10)	25(9)	30(10)	
13	19.9	12.7	19.4	22	8	29(9)	28(10)	25(10)	
14	20.7	11.9	23.1	22	7	34(11)	31(11)	38(10)	
16	17.7	11.6	18.9	22	9	25(10)	21(10)	24(12)	
17	19.2	10.3	18.9	22	9	31(11)	32(12)	32(11)	
21	18.2	9.8	20.6	22	8	27(13)	30(15)	27(12)	
26	15.5	8.9	21.3	22	8	29(12)	34(13)	27(13)	
28	19.0	13.7	18.0	22	10	29(14)	26(12)	23(13)	
29	19.5	13.1	18.0	22	9	24(10)	27(11)	22(8)	
34	18.8	11.2	18.7	22	9	24(9)	23(9)	24(9)	24(9)
③⑦	18.5	6.3	20.4	22	6	34(14)	38(14)	32(13)	
42	18.8	10.2	20.1	23	9	28(14)	24(11)	30(11)	
43	18.9	8.9	20.5	22	8	27(10)	26(12)	29(13)	
64	18.4	11.5	18.3	22	8	29(10)	21(7)	24(8)	
68	19.4	9.8	21.5	22	8	23(7)	33(11)	29(8)	
69	19.8	12.2	20.3	23	9	28(11)	23(9)	28(11)	
70	17.3	9.0	18.9	22	7	29(10)	21(9)	27(10)	
71	16.9	8.2	16.2	22	10	28(12)	26(12)	26(11)	
73	19.3	10.8	17.7	22	9	30(9)	26(8)	24(7)	25(7)
76	15.7	8.1	19.0	22	8	20(9)	24(10)	25(9)	
77	14.5	8.1	16.3	22	8	33(12)	37(13)	31(13)	
78	17.9	8.6	18.2	21	8	21(9)	21(9)	31(10)	21(10)
80	18.6	10.8	16.7	22	8	26(10)	29(11)	27(11)	
83	18.6	11.8	19.2	22	8	29(9)	29(10)	26(10)	
84	19.1	5.9	19.8	21	9	33(15)	30(14)	31(13)	
85	19.3	12.3	17.5	22	8	28(10)	33(11)	29(11)	
88	16.9	11.1	17.1	22	9	32(11)	23(11)	28(11)	
95	18.4	10.4	18.1	22	9	19(10)	21(11)	24(12)	
96	17.3	11.5	16.4	22	10	23(11)	24(9)	23(9)	

注：③⑦は枝の旋回木理が右方向で発達する異常個体。

Note: ③⑦ is the aberrant tree developed right-handed spiral grain in all rings of branches.

は全体的に小さな値を示している。平均角度については値そのものが小さいので顕著な差は認めにくいですが、それでもNo10, No11, No15, は各地上高で小さな値を示している。

Table 4 及びTable 5 は、最大角度と平均角度について 0 mから10mまでの地上高間の相関係数を示したものである。相関係数は4～5 mを境にしてその上下で異なる様相を呈しており、5 m以上では最大角度と平均角度の両者において全ての地上高間で1 %レベルの高い有意な正の相関関係が認められた。4 m以下では地上高間によって相関係数に有意性が認められなくなるものがあり、とくに平均角度についてその例が多くなる。その中で、最大角度は2 m位置がより多くの地上高間で有意な相関関係を示した。

これらの結果から言えば、地上高5 m～10mの樹幹上部の旋回木理については、5 m以上のどの位置から測定材料を採取しても個体間の相対比較は可能であり、地上高4 m以下の樹幹下部を含めると最大角度の個体評価は2 m位置が、平均角度では4 m位置が適当である。

第2節 枝の旋回木理

1. 供試材料及び測定方法

岩手県遠野市附馬牛大字附馬牛字薬師国有林95林班い小班（海拔高550～600m、緩傾斜地）に生育する25年生カラマツ林から、任意に38個体を選び供試木とした。

各供試木の胸高位置から厚さ10cmの円板を採取するとともに、力枝付近から3～4本の枝を選び幹から10 cm離れた位置を元口として長さ10cmの試料を採取した。枝は斜面の山側・谷側及びそれと直角に交わる4方位から採取することを計画したが、四方に枝がなく、大部分は3方位からの試料であった。

旋回木理の測定は、幹については節のない方向で、枝については試料採取時に予めマークしていた重力方向で割裂し、両半径方向について年輪ごとに行った。これらの測定値から年輪別旋回角度、最大角度及び平均角度を求め、各試料の基礎値とした。

各供試木の樹高、枝下高、胸高直径、胸高円板の年輪数、枝の直径及び枝の年輪数は、Table 6 に示すとおりであった。なお、供試木No37は幹の旋回木理については他の供試木と変わらないが、枝の旋回木理が右旋回から始まり、年輪が増加しても右旋回のまま角度が大きくなる特殊個体であった。

2. 枝における旋回木理の現れ方

特殊個体（No37）を除く供試木37本の胸高円板について測定した旋回木理の角度は、平均角度が $2.2 \pm 0.87^\circ$ 、最大角度が $4.2 \pm 0.90^\circ$ であった（Table 7）。これらの値は岩手県下の他のカラマツ9林分で調査した例

Table 7. 幹と枝における旋回木理の平均角度及び最大角度
Mean and maximum angles of the spiral grain in stems and branches

項目 Item		標本数 Number of samples	旋回木理 (度) Spiral grain angle [deg]		
			平均 Average	標準偏差 Standard deviation	範囲 Range
幹 Stem	全年輪 Entire rings	平均角度 Mean angle 37	2.2	0.87	0.8～4.2
		最大角度 Max. angle 37	4.2	0.90	2.6～5.7
	半径5cm内 Within 5 cm radius	平均角度 Mean angle 37	2.7	0.89	1.4～4.7
		最大角度 Max. angle 37	4.2	0.91	2.6～5.7
枝 Branch		平均角度 Mean angle 114	1.2	0.46	0.2～2.6
		最大角度 Max. angle 114	1.7	0.50	0.4～3.7

(平均角度 $1.7\sim 2.8^\circ$, 最大角度 $3.7\sim 5.1^\circ$)と比較し, ほぼ平均的なものであり, 供試木群は幹の旋回木理について標準的な標本であったと考えられる。また, 枝の年輪数に近い直径10cm内の年輪を対象にした場合の幹の旋回木理は, 平均角度が $2.7\pm 0.89^\circ$, 最大角度が $4.2\pm 0.91^\circ$ であった。

枝の旋回木理は平均角度が $1.2\pm 0.46^\circ$, 最大角度が $1.7\pm 0.50^\circ$ であり, 幹の旋回木理と比較してかなり小さな値を示した。Fig.10は年輪増加に伴う枝の旋回木理の半径方向変化過程を年輪別角度の供試木平均値と標準偏差で示したものである。枝の旋回木理は左旋回で発達し, 4年輪目前後で角度が最大となり, 以降漸減する傾向をたどる。しかし, 枝ごとに観察すると大きなばらつきがあり, その範囲は4年輪目で左方向 $0.2\sim 2.8^\circ$, 6年輪目で右方向 $0.9^\circ\sim$ 左方向 3.3° , 8年輪目で右方向 $1.7^\circ\sim$ 左方向 3.6° となり, ばらつきの幅は年輪増加とともに拡大する傾向を示している。

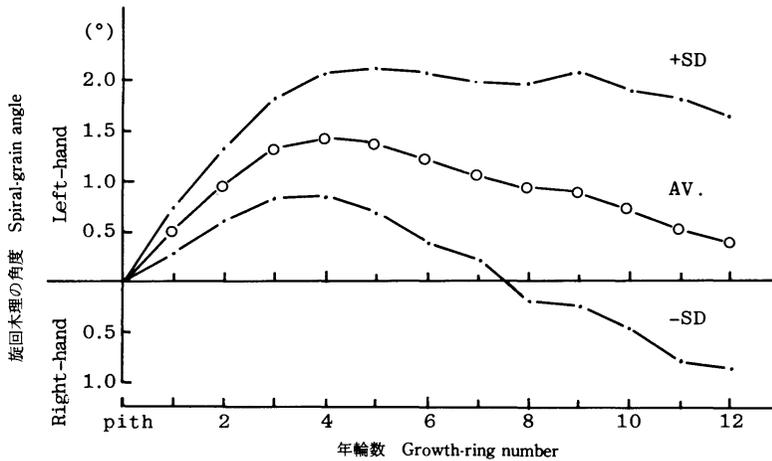


Fig. 10. 枝の旋回木理の年輪増加に伴う変化。

Transition of grain angle in branches through successive growth-rings from the pith to the periphery.

また, 木理の旋回方向が左から右に変化する枝は5年輪目から見られ, その頻度は1.8%であり, さらに6年輪目で8.8%, 8年輪目で15.8%, 10年輪目で17.5%となり, 幹の場合と比較して若齢で旋回方向を変え

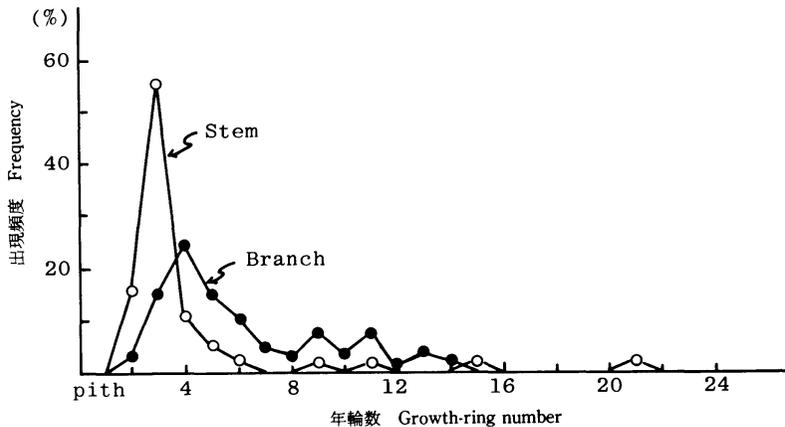


Fig. 11. 枝及び幹における最大角度の年輪別出現頻度。

Frequencies in the branches and stems of maximum grain-angles in certain growth rings from the pith.

る頻度が高い (Table 8)。最大角度の年輪別出現頻度は、幹では 3 年輪目に集中したが、枝では 4 年輪目にピークが現れるが全体に分散する傾向を示した (Fig.11)。

Table 8. 旋回木理の方向が左から右からに変化する枝及び幹の出現頻度
Frequency of branches and stems (at breast height) changing the spiral direction from left-hand to right-hand through successive growth rings

樹心からの年輪数 Growth-ring number from the pith	枝 Branches	幹 Stems
	%	%
1	0	0
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮
5	1.8	2.7
6	8.8	5.4
7	12.3	5.4
8	15.8	5.4
9	17.5	5.4
10	17.5	5.4
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮
17	16.2	16.2
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮
20	18.9	18.9

Fig.12は、異常個体として扱った供試木 (No.37) の幹及び枝における旋回木理の発達過程を示したものである。幹の旋回木理は一般的にみられる発達過程を辿り、とくに異常性は認められないが、枝の旋回木理はカラマツでは観察例がない右旋回から始まるものであった。しかも供試した 3 本の枝が全て同じ発達過程を辿った。この個体は林縁木であり、枝下高が低く、枝もやや太い個体であったが (Table 6)、同じ林縁木である No.84 及びその他の個体ではこのような現象が認められなかった。

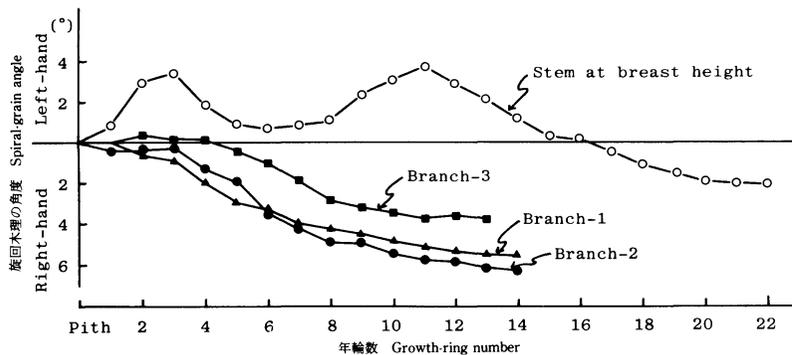


Fig. 12. 異常個体 No.37 の幹及び枝における旋回木理の半径方向変異。
Spiral grain variations in the radial direction in the stem and the branches of aberrant tree No.37.

枝においては、あて材の形成が旋回木理の発達に影響することも考えられるので、測定した全ての枝について両半径方向（重力方向で下部に圧縮あて材が形成される）の旋回木理の発達過程を比較検討したが、その影響は認められなかった。また、枝の測定試料は個体によって着生高及び太さがそれぞれ異なるので、こ

Table 9. 枝の着生高及び太さと旋回木理との相関係数
Correlation coefficients between spiral-grain angle and height from ground level and thickness of branch

	枝の旋回木理 Spiral grain of branch	
	平均角度 Mean grain-angle	最大角度 Maximum grain-angle
枝の着生高 Branch height from ground	0.0208	-0.0469
枝の太さ Branch thickness	0.0250	0.1094

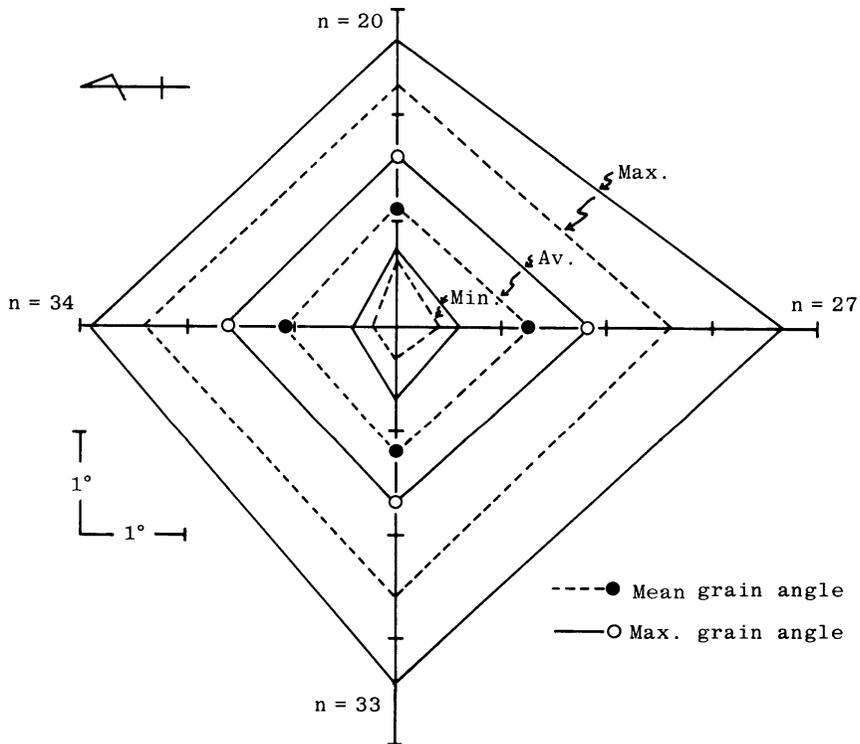


Fig. 13. 枝の着生方位と旋回木理との関係。

Relationship between spiral-grain angles and compass directions in branches.

れらの影響も考えられる。Table 9 は枝の着生高及び太さと旋回木理の角度との関係を相関係数で示したものである。これらの値を見る限りでは、枝の旋回木理は着生高や肥大生長と独立であると考えられる。Fig.

13は同様に枝の着生方位との関係を示したものである。最小値や最大値に若干の歪みが見られるが、着生方位との間にも一定の関係は認められなかった。

3. 枝の旋回木理と幹の旋回木理との関係

異常個体を除く37本からの測定資料を用いて枝の旋回木理の分散分析を行った(Table 10)。平均角度と最大角度の両者について個体間分散は有意であった。枝の旋回木理は幹のそれと比較して小さいことを前述したが、それでもなお個体による差異が大きいことを示している。

Table 11は、個体平均値を用いて枝の旋回木理と幹の旋回木理との相関係数を求めたものである。平均角度と最大角度の両者において正の有意な相関関係が認められる。とくに、幹の全年輪を対象にした場合より

Table 10. 枝の旋回木理に関する分散分析
Analysis of variance for spiral-grain angles of branches

要 因 Source of variation	自由度 D.F.	平均平方 M.S.	
		平均角度 Mean grain-angle	最大角度 Max. grain-angle
個 体 Tree	36	0.6463**	0.7945**
個体内枝 Branch within tree	77	0.1139	0.1773

**Significant at 1% level.

Table 11. 枝と幹の旋回木理の相関係数
Correlation coefficients between spiral-grain angles of branches
and stems at breast height

幹 (胸高部) Stem at breast height		枝 Branch	
		平均角度 Mean grain-angle	最大角度 Max. grain-angle
全年輪 Entire rings	平均角度 Mean grain-angle	0.4286**	0.3938*
	最大角度 Max. grain-angle	0.3837*	0.3909*
半径 5 cm 内年輪 Rings within 5 cm radins	平均角度 Mean grain-angle	0.5131**	0.5044**
	最大角度 Max. grain-angle	0.3915*	0.4035*

*Significant at 5% level.

**Significant at 1% level.

も、枝の年輪数に近い直径10cmに限定した場合において相関係数が大きな値を示した。これらの中から、最も大きな相関係数を示した幹の直径10cm内平均角度を取り上げ、その関係をFig.14に示した。●は枝単位の平均角度であり、○は平均角度の個体平均値であり、それぞれの相関係数は0.44, 0.51である。いずれも1%水準で有意である。ただし、No37の個体は計算から除いている。また幹の平均角度(X)に対する枝の個体

平均値 (Y) の回帰式は、 $Y = 0.4347 + 0.2660X$ で表される。

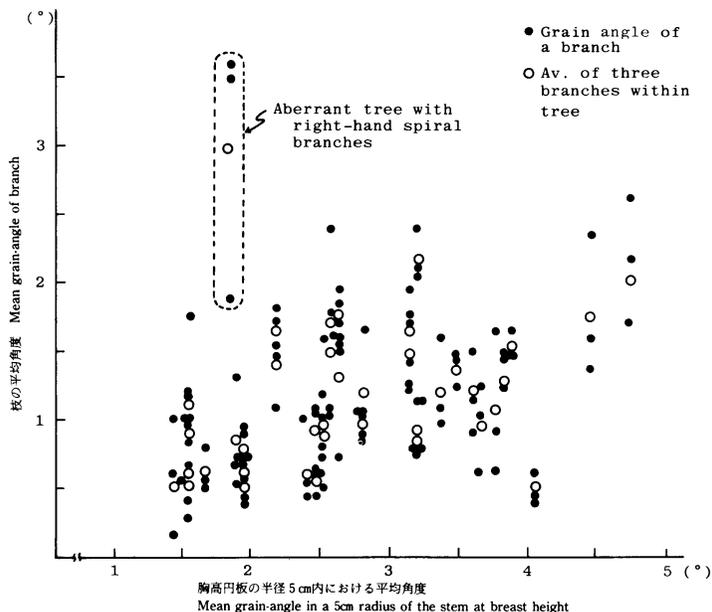


Fig. 14. 幹の旋回木理の平均角度と枝の平均角度との関係。

Relationship between mean grain-angles of stem and branches.

以上は、カラマツの幹と枝の旋回木理における一般的関係を示したものであるが、幹の旋回木理の個体評価を枝の旋回木理で代替できるほどの精度はない。いま仮に、供試集団を対象として幹の旋回木理 (X) が 1.5° 以下の個体を選ぶために、枝の個体平均値 (Y) について 0.83° 以下のものを選別したとすると集団の約 $\frac{1}{5}$ の個体が該当する。しかし、その中に含まれる希望個体は 8% に過ぎない。また、X を 2.0° 以下としても希望個体は約 25% である。さらに Y についての選別基準を強めても、その効果は期待できない。したがって、枝の旋回木理の大小で幹の旋回木理の大小をおおまかに区分することは可能であるが、精度は極めて低く、幹の旋回木理について一定の基準を設けて個体評価をする場合の代替形質としては採用できない。

第3節 考察

カラマツの幹における旋回木理は、左旋回で発達して $3 \sim 4$ 年輪目で最大角度に達し、その後減少経過をたどるのが一般的パターンである。しかし、最大角度の大きさ、その出現時期及びその後の変化過程は、個体によって一様ではなく、また個体内においても地上高によって変化する。旋回方向がある時期から右に変わる個体も高い頻度で出現する。このような変化過程をいくつかのタイプに類別することも試みられてきたが^{79) 89) 112)}、タイプでは旋回角度の大きさを直接表していないので、選抜のための個体評価には不適である。

旋回木理は個体内変異の大きい形質であるが、望ましい育種母材は通直あるいは通直に近い木理をもつ個体であるから、全年輪を通じて旋回角度が小さいことを表す尺度があれば良い。最大角度は個体に与えられた唯一の値であり、その小さい個体を選ぶことによって、平均角度も付随的に小さくなるので、選抜指標として利用できる。ただし、多くの個体の中には、最大角度を長い期間維持する個体や最大角度が樹心近くの特定期年輪で大きいその後通直に近い木理をもつ個体等が認められる。したがって、総合的に見てより通

直な木理をもつ個体を選ぶためには、最大角度と平均角度の両者で評価することが望ましい。両者の値が小さい個体の例をFig. 8に示したが、これとFig. 3及びFig. 4の林分における例を比較すると、この評価方法の有効性が裏付けられる。

旋回木理の個体評価に関連して無視できないのは、地上高による変異である。マツ属では胸高部よりもやや高い位置(3.0m)から測定試料が採取されている⁹⁶⁾。カラマツでは胸高部が幹全体の評価に適しているとした報告があり⁸⁹⁾、樹幹内分布を調べた例もあるが^{108) 139)}、いずれも供試個体数が極めて少ない事例である。本章で検討した結果では、地上高5m前後を境にして樹幹上部と下部の旋回木理の様相が異なる。とくに5~10mの範囲では、いずれの位置間においても高い相関関係を示し、どの位置から採取された試料によっても個体間の相対評価が可能である。一方、地上高4m以下の樹幹部では、0m位置(正確には10~20cm)の半径方向変化過程が他の位置と著しく異なるのと、1m位置においても0mに近い変化を示す個体も見られる。最大角度について位置間の相関関係をみると、2~4m位置とそれ以上の高さの位置と有意な相関関係を維持するが、1m位置ではその程度が低下し、0m位置は他と全く相関関係が認められなくなる。平均角度については年輪数の問題もあるが、4m以下の位置と5m以上の位置とは明らかに相関関係が弱まる。2m位置と他の位置との相関係数が1m及び3m位置と比較して小さな値を示したのは、標本による偏りであろうと思われる。

これらの結果から言えば、幹全体の評価をある任意の位置から採取した試料で行うには無理があるが、利用価値の高い幹の中・下部を評価するのであれば、下部の試料によっても可能である。その場合、0m位置は不適であり、1m位置も若干問題が残るのでカラマツにおいても2~3m位置から採取することが望ましい。

割製法によって幹の旋回木理を測定する場合は、対象木が伐倒され消失するので、多くの制約条件を伴う。このことから、同じ樹体内で木部を形成している枝を用いて、旋回木理の個体評価が可能かどうかを検討した。カラマツの枝の旋回木理は、極めて特殊な例を除き、幹の場合と同様に左旋回で発達し、4~5年輪目で最大角度に達し、その後減少するパターンあるいは右に旋回方向を変えるパターンを示すものが多い。しかし、幹に比較して旋回角度が小さく、左旋回への変化が早く現れる頻度が高く、また最大角度の出現が幹におけるような集中型ではなく分散型になることが特徴として上げられる。さらに、個体間変異も大きく、幹との間にも正の有意な相関関係($r=0.44\sim0.51$)が認められる。枝の着生高、着生方位及び太さとは無関係である。しかし、幹の旋回木理の代替形質として取り上げるには精度が低い。

第4章 旋回木理の林分間・種子産地間変異

カラマツの天然分布は、わが国中央部の比較的狭い地域に限られている¹⁵⁴⁾。カラマツ造林木は、もともとこれらの天然林に由来するものであるが、その種子源はさらに限定されたものになっていると考えられる。しかし、種子産地試験の結果^{26) 66) 71) 133) 167)}によれば、産地間で生長、幹や枝の特性、耐病性及び植物季節学的特性がかなり異なる。したがって、造林地においても、多くの形質について種子源及び採種年による変異の存在が予想される。

本章では、カラマツの旋回木理について選抜を実施する際の林分による難易を知るため、11箇所の造林地を調査し、旋回木理の現れ方、旋回角度の大きさ及び旋回木理の角度が小さい個体の出現率が林分によってどの程度異なるかを検討した。また、種子産地を異にするカラマツ集団間における旋回木理の変異、産地による変異の方向性、同一産地の異なる環境下での旋回木理の発現等を明らかにするため、各地のカラマツ天然林に由来する産地試験地の材料を用いて、旋回木理の産地間変異及び植栽試験地間相関を検討した。

第1節 旋回木理の林分間変異

1. 供試林分及び供試木の概要並びに旋回木理の測定方法

Table 12. 供試林分及び供試木の記録
General descriptions of the sampled stands and the sampled trees

林分 Stand	所在地 Locality	地況 Site conditions					供試木 Sampled trees			
		林齢 Age (years)	海拔高 Altitude (m)	方位 Direction	傾斜 Slope	土壌型 Soil type	本数 Number of trees	樹高 Tree height (m)	胸高直径 D.B.H. (cm)	枝下高 Grown height (m)
1. 岩手-52 IWATE-52	岩手県岩手郡岩手町御堂, 北上山国有林52林班 Kitakamiyama Nat. forest 52, Iwate, Iwate prefecture	31	460	W	gentle	BlD (d)	45	17.8	28.8	8.6
2. 盛岡-48 MORIOUA-48	岩手県岩手郡滝沢村柳沢, 一本木山国有林48林班 Ippongiyama Nat. for. 48, Takisawa, Iwate pref.	27	360	S	slightly steep	BlD (d)	45	17.6	22.8	6.6
3. 川井-240 KAWAI-230	岩手県下閉伊郡川井村, 門馬山国有林230 林班 Monmayama Nat. for. 230, Kawai, Iwate pref.	25	600	S	//	BE	90	19.7	21.1	11.4
4. 川井-286 KAWAI-286	岩手県下閉伊郡川井村, 北田代山国有林286 林班 Kitatashiroyama Nat. for. 286, Kawai, Iwate pref.	23	660	W	//	BE	90	18.8	21.7	8.9
5. 川井-296 KAWAI-296	岩手県下閉伊郡川井村, 北田代山国有林296 林班 Kitatashiroyama Nat. for. 296, Kawai, Iwate pref.	25	760	SE	//	BE	86	18.2	16.0	7.8
6. 雫石-191 SIZUKUISHI-191	岩手県岩手郡雫石町, 網張国有林 林班 Amihari Nat. for. 191, Shizukuishi, Iwate pref.	25	470	S	gentle	BlD	120	15.1	20.4	6.7
7. 盛岡-143 MORIOKA-143	岩手県岩手郡滝沢村, 滝沢国有林143 林班 Takisawa Nat. for. 143, Takisawa, Iwate pref.	31	385	SE	flat	BlB (d)	105	17.5	22.0	9.4
8. 盛岡-277 MORIOKA-277	岩手県岩手郡玉山村, 外山第一国有林277 林班 Sotoyama-1 Nat. for. 277, Tamayama, Iwate pref.	25	765	SE	Slightly steep	BlD	89	19.2	20.4	11.4
9. 岩手-25 IWATE-25	岩手県岩手郡岩手町, 四日市山国有林25 林班 Yokkaichiyama Nat. for. 25, Iwate Iwate pref.	26	440	S	//	BB	90	18.8	21.9	10.1
10. 常和 TOKIWA	長野県佐久市大字常和, 常和区有林 Tokiwa public for., Saku, Nagano pref.	31	750	—	//	BlD	163	15.0	18.0	—
11. 和田山-147 WADAYAMA-147	長野県小県郡和田村, 和田山国有林147 林班 Wadayama Nat. for. 147, Wada, Nagano pref.	54	1450	—	gentle	BlD	192	23.0	30.0	—

1972年と1973年に長野県下の2林分, 1980年から1982年にかけて岩手県下の9林分, 合計11林分について1.115本のカラマツ個体を調査した。供試林分の地況及び供試木の生育状況は, Table 12に示すとおりであった。長野県下の和田山-147は54年生林分であり, 他は23~31年生の壮齡林であった。海拔高は長野県の林分では750~1.450m, 岩手県の林分では360~765mであり, いずれも2倍前後の海拔高差がある場所から試料が採取された。各林分の傾斜方位, 傾斜度及び土壌型についても条件がそれぞれ異なっていた。

供試木本数は, 1林分あたり45~192本であった。供試木の生育状況は, 和田山-147が林齡の関係で他と著しく異なる。残りの10林分のうち, 常和は林分平均値を示しているが, 岩手県下の林分は, 育種母材の選抜をかねた調査であったので, 生長がその林分の上位10%に入るものであった。したがって, 林齡から判断すると, 岩手県の供試木はかなり生育の良いものになっている。

旋回木理の測定試料は, 各供試木を伐倒して胸高部の節のない位置から採取した厚さ10cmの円板である。測定は割裂法によったが, 長野県下の供試木についてはノギスを用いて0.1mm単位で, 岩手県下の供試木については旋回木理測定装置を用いて0.1mm単位で測定した。なお, 前章で旋回木理の個体評価のための測定試料は胸高部より高い位置(2~3m)から採取することが望ましいと述べ, 本章で胸高部の試料を用いた理由は, この研究の前半では胸高部の試料で幹全体の評価が可能である報告もあって⁸⁾, 既に大部分の試料が胸高部から採取されており, 後半の試料もそれらに合わせる必要があったためである。

2. 結果

各林分の旋回木理の年輪による変化過程を林分平均値で示したのが, Fig.15である。各林分とも2~4年輪目で最大値に達し, 以降減少過程をたどる。しかし, 林分によっては6~7年輪から, あるいは12~13年輪

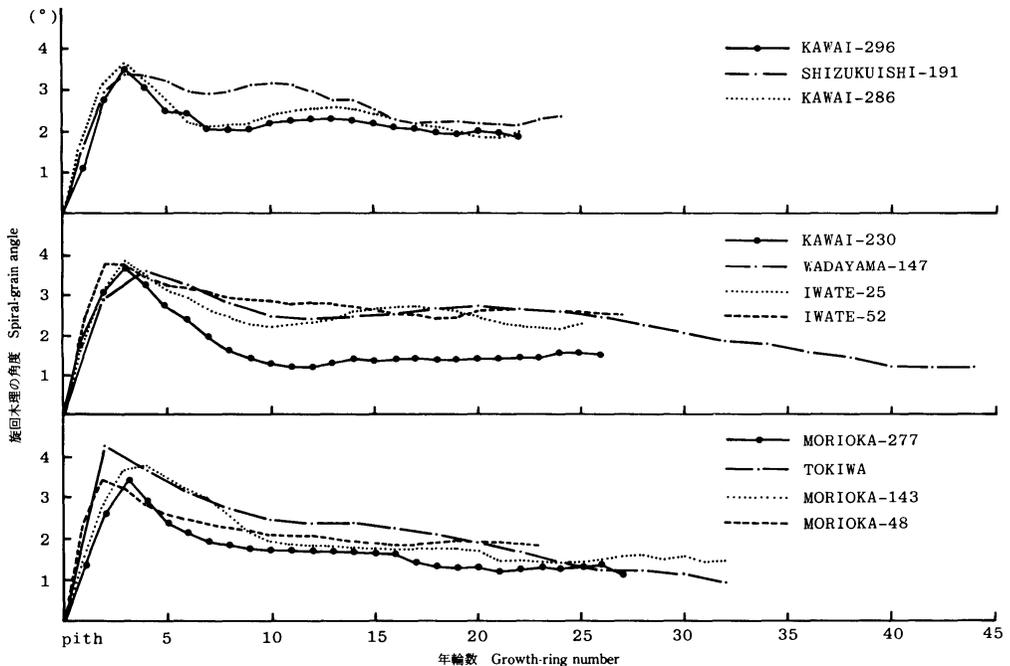


Fig. 15. カラマツ11林分における旋回木理の半径方向変化パターン。

Radial variation patterns through successive growth-rings from the pith in eleven larch stands.

から再び旋回性を強める傾向を示すものが見られる (Fig.15の上・中段の林分)。これらの林分では、川井-230を除き年輪増加に伴う旋回木理の角度の減少が顕著に認められない。ただし、これらの変化過程のタイプと旋回角度の大小とは直接関係がなく、常和の林分では年輪増加にしたがって旋回角度が減少するタイプであるが、後述するように、他の林分と比較して旋回木理の角度が有意に大きいものであった。

Table 13は、11林分のカラマツ個体1.115本の資料を用いて旋回木理の最大角度及び平均角度の分散分析を行った結果である。両形質とも林分間分散に高い有意性が認められた。

Table 13. カラマツ林分における旋回木理の最大角度及び平均角度の分析
Analysis of variance of maximum grain-angle and mean grain-angle in larch stands.

要因 Source of variation	自由度 DF	平均平方 MS	
		最大角度	平均角度
		Max. grain-angle	Mean grain-angle
林分 Stand	10	15.1108**	12.7660**
林分内個体 Tree within stand	1104	1.3985	1.0217

** : Significant at 1% level.

Table 14は、林分平均値間差を最小有意差 (L. S. D) によって検定した結果である。和田山-147は林齢が高いので、平均角度について比較することは本来正しくないが、他の林分のばらつきの範囲にあり、しかも大きい方に属していたので、ここでは同じ取り扱いをした。最大角度については岩手-52と常和が他の林

Table 14. 旋回木理の最大角及び平均角度の林分間有意差

Test of significant differences between stands for maximum grain-angle and mean grain-angle

林分 Stand	最大角度 Max. grain-angle (deg.)	平均角度 Mean grain-angle (deg.)	林分野差の有意性 Significance of the differences between stands											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
			1. IWATE-25	5.07	2.75		**	**	**	**	**	**	**	**
2. MORIOKA-48	4.08	2.14	**		NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	**	NS	
3. KAWAI-230	3.98	1.74	**	*		NS	NS	**	**	NS	**	**	**	*
4. KAWAI-286	4.32	2.37	*	NS	**		NS	NS	NS	**	NS	**	NS	
5. WAWAI-296	4.06	2.22	**	NS	**	NS		**	*	NS	*	**	*	
6. SHIZUKUISHI-191	4.58	2.68	NS	**	**	*	**		NS	**	NS	**	NS	
7. MORIOKA-143	4.46	1.97	**	NS	NS	**	NS	**		**	NS	**	NS	
8. MORIOKA-277	3.73	1.76	**	*	NS	**	**	*	NS		**	**	**	*
9. IWATE-25	4.47	2.56	NS	*	**	NS	*	NS	**	**		**	NS	
10. TOKIWA	4.98	2.65	NS	**	**	*	**	NS	**	**	NS		**	
11. WADAYAWA-147	4.98	2.65	NS	*	**	NS	*	NS	**	**	NS	NS		

注：対角線上部は最大角度，下部は平均角度についてのものである。

NS:有意差なし，* ; 5%レベルで有意，** ; 1%レベルで有意。

Notes : The upper diagonal refers to maximum grain-angle and the lower one mean grain-angle.

NS non-significant, *signifscant at 5% level, **significant at 1% level.

分と有意に差が大きく、また盛岡-277と川井-230は小さく、他の多くの林分との間で有意差が認められた。平均角度についても同様な傾向が見られる。

Fig.16は、各林分における最大角度と平均角度の頻度分布を示したものである。供試本数の多少による偏りも含まれているが、長野県、岩手県の岩手地区、盛岡地区、雫石地区、川井地区に分けると、林分内ばらつき幅は長野県、岩手地区及び雫石地区の林分で大きく、盛岡地区及び川井地区の林分で小さい傾向が認められる。

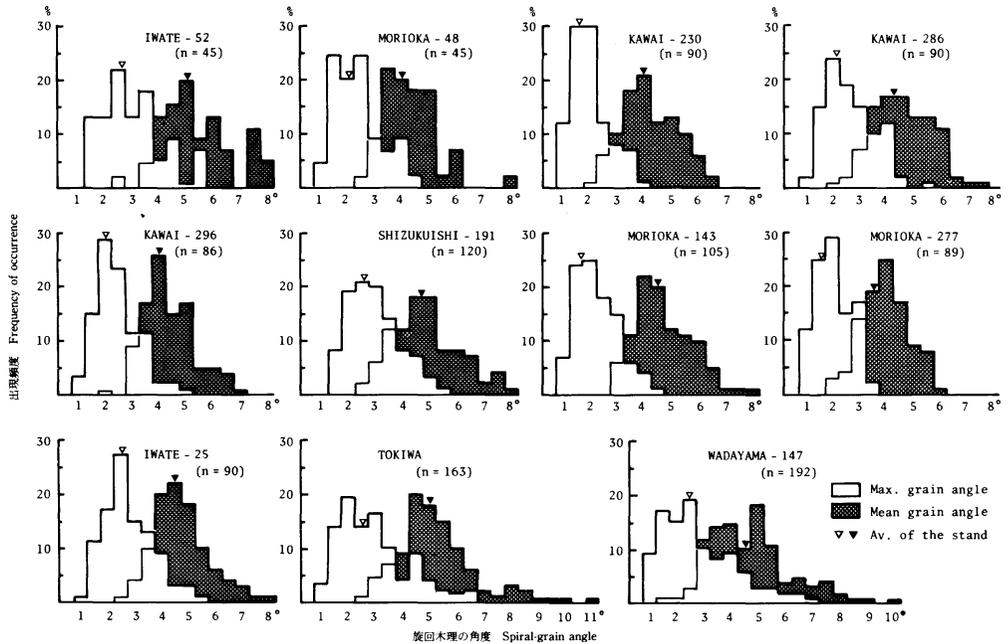


Fig. 16. カラマツ11林分における旋回木理の最大角度と平均角度の頻度分布。
Frequency distribution of maximum grain-angles and mean grain-angles in eleven larch stands.

旋回木理の林分平均値及び林分内の頻度分布を見ると、明らかに林分間に違いが認められる。これらの林分を対象として旋回木理の角度の小さい個体を選抜する場合の林分による選抜の難易、あるいは選抜強度を知るために、仮に最大角度3°以下で平均角度1.5°以下のものが旋回角度の小さい個体であるとして林分別にその出現頻度を調べたものがTable15である。林分によって2.6%~14.6%と大きなばらつきを示した。とくに、盛岡-277が14.6%、川井-230が10.0%と他の林分に比較して異常に高い出現率を示した。また、全林分の合計値では5.6%、盛岡-277と川井-230を除く合計値では4.6%であった。このように、林分によって旋回角度の小さい個体を含む割合が異常に高いものもあるが、多くの林分は3~7%の範囲にあるので、平均としては5%前後を予想するのが適当であると考えられる。

なお、旋回木理の林分間変異と海拔高、傾斜方位、傾斜度、土壌型及び林分の生育状況との間には一定の関係は認められなかった。

Table 15. 旋回木理の角度が小さい個体の出現頻度
Frequency of occurrence of trees with slight spiral-grain

林分 Stand	出現頻度		AとBの条件を満たすもの Suitable for criterion of A and B
	(A) 最大角度3.0°以下 Less than 3.0° on max. grain-angle	(B) 平均角度1.5°以下 Less than 1.5° on mean grain-angle	
1. IWATE-52	4.4	11.1	4.4
2. MORIOKA-48	8.9	26.7	6.7
3. KAWAI-230	14.4	37.8	10.0
4. KAWAI-286	8.9	14.4	6.7
5. KAWAI-296	8.1	14.0	3.5
6. SHIZUKUISHI-191	5.8	6.7	4.2
7. MORIOKA-143	5.7	31.4	4.8
8. MORIOKA-277	15.7	40.0	14.6
9. IWATE-25	5.6	11.1	3.3
10. TOKIWA	4.9	11.7	2.6
11. WADAYAMA-147	15.1	17.2	4.7
Total	9.2	18.9	5.6

第2節 旋回木理の種子産地間変異

1. 調査したカラマツ種子産地試験地、産地集団及び調査方法

調査したカラマツ種子産地試験地は、国立林業試験場が1959年4月に長野営林局岩村田営林署管内に植栽した浅間試験地と1962年4月に同局上田営林署管内に植栽した和試験地である (Table 16)。1971年5月と1973年10月にそれぞれ間伐を行ったので、その中から試料を採取した。いずれも植栽後12生長期を経たものであった。

供試産地はTable 17に示したものであり、浅間試験地では25産地、和試験地では10産地である。和試験地には16産地が植栽されていたが、枯損や雪害等のため必要本数が得られなかったため、旋回木理の測定は10産地にとどめた。これらの産地集団は、いずれも1956年の豊作時に、各天然林で20本前後の母樹から採集した種子に由来するものである。

供試個体数は、間伐木の中から正常に生育しているものを選び、浅間試験地では1プロット10本×4反復×25産地=1,000本、和試験地では1プロット15本×3反復×10産地=450本、合計1,450とした。

測定は、間伐木の胸高部から厚さ10cmの円板を採取し、割裂法によって行った。円板の年輪数は8～9個であった。

2. 結果

浅間試験地と和試験地では産地が不揃いであったので、試験地ごとに最大角度と平均角度のプロット平均値を用いて分散分析を行った (Table 18)。両試験地で最大角度及び平均角度の産地間分散が有意であった。また、反復(ブロック)間分散については、浅間試験地の最大角度のみが5%レベルで有意であった。

Table 16. 旋回木理を調査した産地試験地の概要
Outline of the provenance test-plantations studied for spiral grain.

	浅間試験地 ASAMA plantation	和試験地 KANO plantation
所在地 Locality	岩村田事業区18林班ろ小班 Nat. for. 18, Komoro, Nagano pref.	上田事業区24林班と小班 Nat. for. 24, Toobumachi, Chiisagata, Nagano pref.
産地数 Number of provenances	25	16
反復数 Replication	4	3
プロット面積 (m ²) Plot size (m ²)	467	389
プロット本数 Plants per plot	144	120
設 計 Type of design	Double lattice	Triple lattice
植 裁 Planting	Apr. 1959	Apr. 1962
間 伐 Thinning	May. 1971	Oct. 1973

Table 17. 旋回木理を調査した産地
The provenances studied for spiral grain

番号 No.	産 地 Provenance	産地名 Name	浅間試験地の産地 Provenances in ASAMA		和試験地の産地 Provdnances in KANO	
			植 裁 Planted	供 試 Studied	植 裁 Planted	供 試 Studied
1	富士山一天神峠	Mt.Fuji-Tenjin	○	○	—	—
2	〃 一三合目	〃 -Sangoome	○	○	○	○
3	〃 一静岡	〃 -Shizuoka	○	○	○	○
4	甲斐信岳	Kobushidake	○	○	○	○
5	八ヶ岳一稲子	Yatsugatake-Inago	○	○	○	○
6	〃 一海の口	〃 -Uminokuchi	○	○	○	○
7	蓼科山	Tadeshinayama	○	○	○	—
8	八ヶ岳一豊平	Yatsugatake-Toyohira	○	○	○	○
9	〃 一立沢下	〃 -lower Tatsusawa	○	○	—	—
10	〃 一立沢上	〃 -upper Tatsusawa	○	○	○	—
11	甲斐駒ヶ岳	Kai-Komagadake	○	○	○	—
12	赤石大沢岳	Akaishi-Oosawadake	○	○	—	—
13	日光一赤沼	Nikkoo-Akanuma	○	○	○	—
14	〃 一光徳	〃 -Kootoku	○	○	—	—
15	〃 一野州原	〃 -Yashuubara	○	○	○	○
16	万座	Manza	○	○	○	—
17	浅間一水の登下	Asama-lower Mizunoto	○	○	—	—
18	〃 一沓掛	〃 -Kutsukake	○	○	○	○
19	〃 一追分	〃 -Oiwake	○	○	—	—
20	上高地	Kamikoochi	○	○	—	—
21	蓮華岳	Rengedake	○	○	—	—
22	高瀬川	Takasegawa	○	○	○	○
23	木曾駒ヶ岳	Kiso-Komagadake	○	○	○	○
24	御岳	Ontake	○	○	○	—
25	鉢盛山	Ilachimoriyama	○	○	○	○

Table 18. 浅間試験地及び和試験地における旋回木理の最大角度と平均角度の分散分析
Analysis of variance of maximum grain-angle and mean grain-angle in ASAMA and KANO plantations of larch provenances

試験地 Plantation	要因 Source of variation	自由度 DF	平均平方 MS	
			最大角度 Max. grain-angle	平均角度 Mean grain-angle
ASAMA	Replication	3	0.708*	0.325
	Provenance	24	0.612**	0.706**
	Error	72	0.233	0.220
KANO	Replication	2	0.066	0.134
	Provenance	9	0.354*	0.346**
	Error	18	0.128	0.091

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

Fig.17は、各産地の最大角度と平均角度がどのような範囲にばらつくかを見るために、浅間試験地の25産地のデータを用いて産地平均値の散布を示したものである。多くの産地は試験値平均値±0.4°の範囲に散布するが、木曾駒ヶ岳 (No.23) が異常に大きな値を示し、日光野州原 (No.15)・浅間追分 (No.19)・富士山静岡 (No.3) が小さな値を示した。産地間のL.S.D.は最大角度で $t_{(0.01)} \geq 0.94^{\circ} > t_{(0.05)} \geq 0.71^{\circ}$ 、平均角度で $t_{(0.01)} \geq 0.90^{\circ} > t_{(0.05)} \geq 0.68^{\circ}$ であった。最大角度と平均角度との関係は、産地平均値のレベルにおいても高い正の相関関係 ($r=0.83$) を示した。

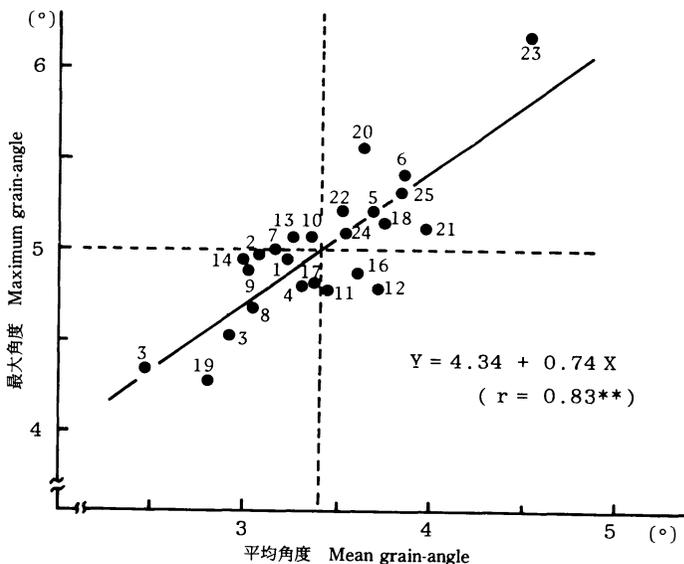


Fig. 17. 浅間試験地における25産地の平均角度と最大角度との関係。点線は試験地平均値を示す。

Relationship between mean grain-angles and maximum grain-angles of 25 provenances of the ASAMA plantation.

Note: The dotted lines represent the average of the plantation.

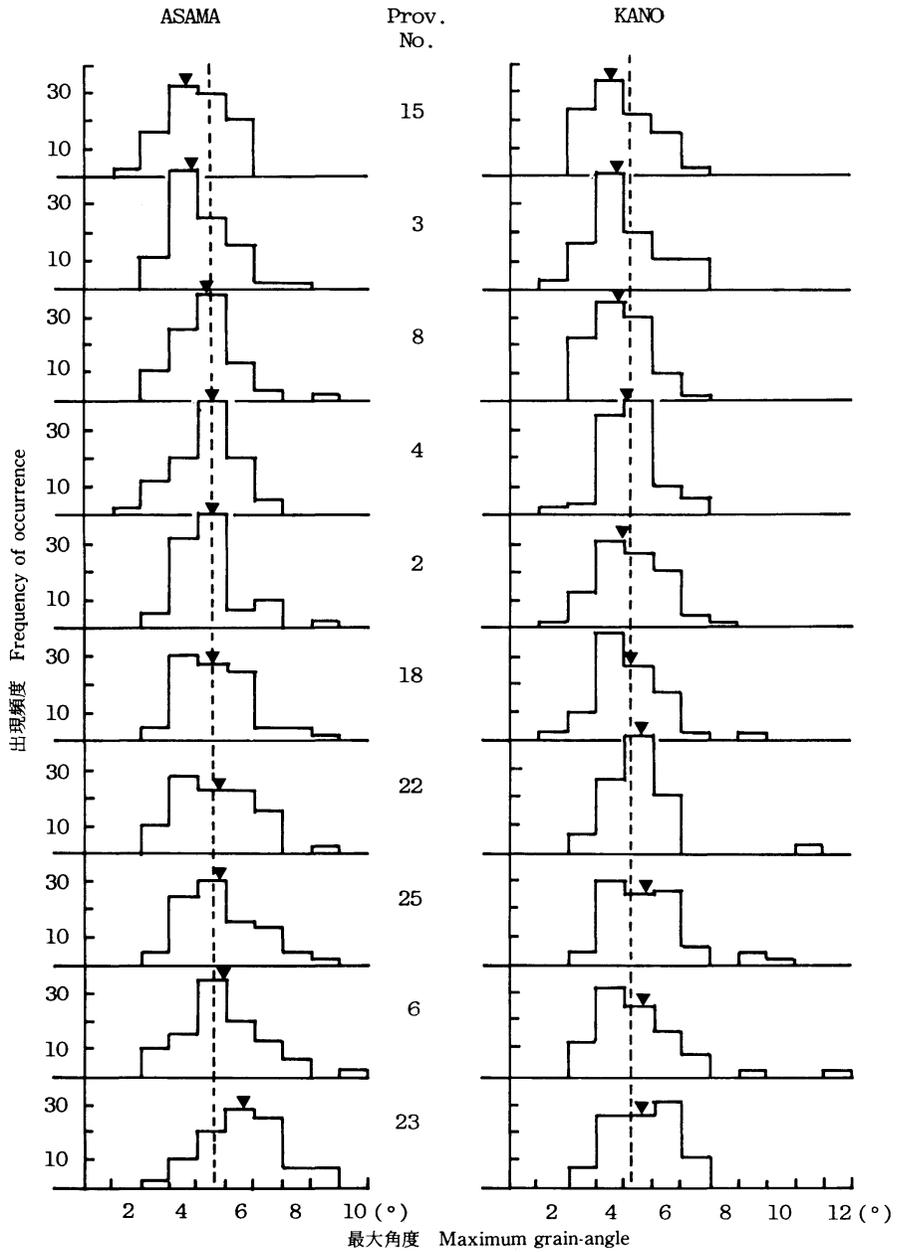


Fig. 18. 浅間試験地と和試験地に共通する10産地における旋回木理の最大角度の頻度分布。点線は試験地平均値，▼は産地平均値を示す。

Frequency distribution of maximum grain-angles in ten provenances commonly included in the ASAMA and KANO plantations.

Note: The dotted lines and symbols (▼) represent the averages of the plantations and provenances, respectively.

Fig.18は、両試験地に共通する10産地を取り上げ、個体を単位として最大角度の頻度分布を示したものである。供試個体数が十分に多くないので、分布型及び分布幅は両試験地で必ずしも一致しないが、産地平均値の試験地平均値からのずれは良く一致している。

この関係をさらに詳しく調べるため、最大角度と平均角度の産地平均値を用いて試験地間の関係を見たのがFig.19及びFig.20である。試験地によって絶対値は異なるが、最大角度の相対的關係は良く一致しており、相関係数 ($r=0.80$) は1%レベルで有意であった。しかし、平均角度については試験地によるばらつきが大きく、有意な相関関係は認められなかった。供試個体は8~10年輪のものであり、最大角度は多くの個体で安定した値を示していると思われるが、木理の旋回性が急激に変化する期間にあたることから、平均角度はこのような結果を示したものと考える。

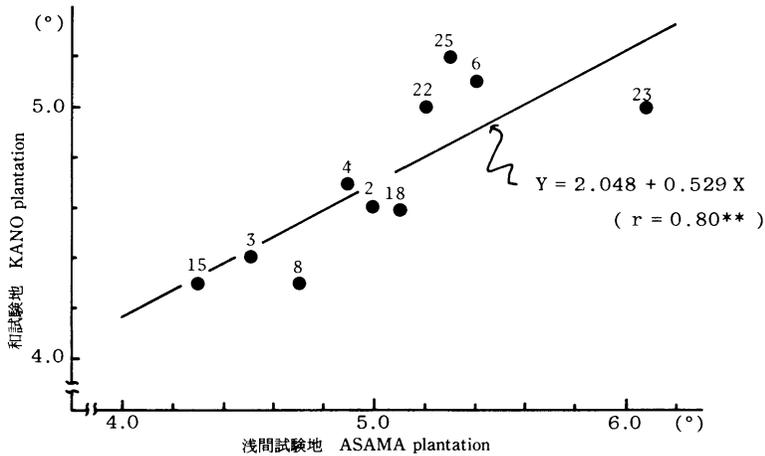


Fig. 19. 最大角度の産地平均値における試験地間相関。
Relationship between ASAMA and KANO plantations in the provenance means of maximum grain-angle.

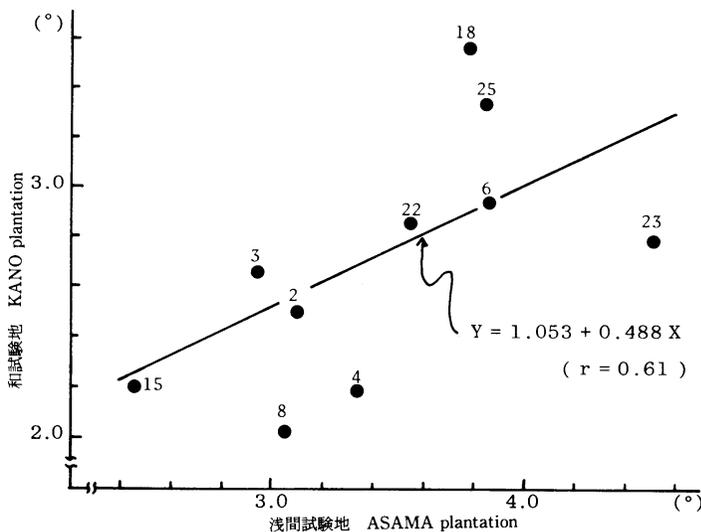


Fig. 20. 平均角度の産地平均値における試験地間相関。
Relationship between ASAMA and KANO plantations in the provenance means of mean grain-angle.

Fig.21は、両試験地に共通して植栽されている10産地について、最大角度が3°以下である個体の出現率を示したものである。日光野州原 (No.15) が20%弱で最も高く、ついで八ヶ岳豊平 (No.8) が10%強であった。富士山静岡 (No.3) は浅間試験地で0%、和試験地で10%であった。Fig.18の富士山静岡では3°のところは13%になっているが、これは3.4°までを含めた値であり、3°以下の個体は見られなかった。しかし、最大角度の頻度分布から判断すると、浅間試験地では偏った分布をしているので、むしろ和試験地の結果が正しいのかも知れない。このほか、浅間試験地のみ結果であり図には示さなかったが、甲斐駒ヶ岳 (No.11) 及び浅間追分 (No.19) が共に13%であった。木曾駒ヶ岳 (No.23) は両試験地を通じて3°以下の個体が1本も認められなかった。全産地をまとめて3°以下の最大角度をもつ個体の出現率を見ると、浅間試験地では5.8%、和試験地では6.7%であり、前節の人工林で得られた値 (5.6%) に近いものであった。

これら産地集団間における旋回木理の現れ方の違いと母林分である天然林の地理的位置や海拔高との間には、一定の関係は認められなかった。

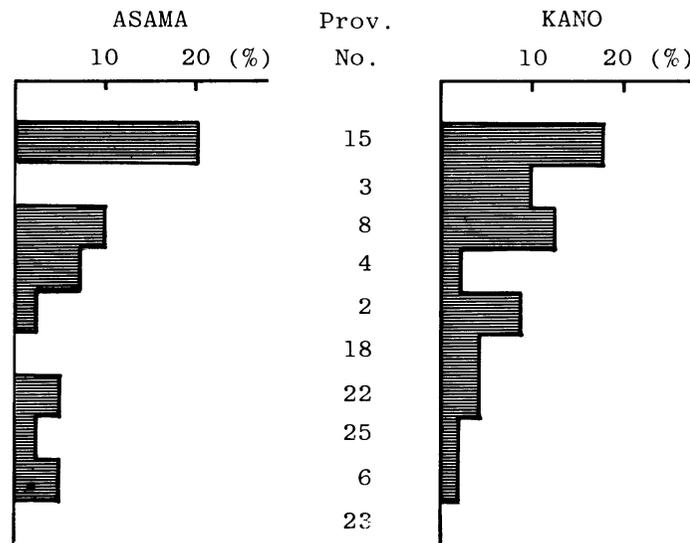


Fig. 21. 浅間試験地と和試験地に共通する10産地における最大角度3°以下の個体の出現頻度。

Frequency of occurrence of trees with slight spiral grain (less than 3°) in ten provenances of ASAMA and KANO plantations.

第3節 考察

カラマツの造林地における旋回木理の現れ方の違いについては、加納ら⁵⁷⁾が地域・環境条件の著しく異なる7林分を対象として用材品質におよぼす立地条件の影響を調査したが、木理の傾斜と立地との関係については強調できる結果を得なかった。一方、小沢^{122) 123)}は福島県下と長野県下の2林分からそれぞれ30本ずつの供試木を選び旋回木理を調査し、前者の林分は後者にくらべて最大角度及び平均角度が小さく、ねじれ返しが早く現れる結果を得て、その違いを生育条件と関連づけた。つまり、福島県下の林分は長野県下の林分よりも生育が劣り、それが旋回木理の角度を小さくしていると考えた。

本研究においては、カラマツの一般造林地から11林分 (長野県下で2林分、岩手県下で9林分) を選び、1林分あたり45~192本の個体を調査した。その結果では、各林分の半径方向変化過程は異なり、最大角度及

び平均角度の林分平均値はそれぞれ $3.7\sim 5.1^\circ$ 、 $1.7\sim 2.8^\circ$ のばらつきを示し、林分平均値間に有意な差が認められた。しかし、これらの差は直接生育条件と結びつくものではなかった。すなわち、同一林齢階に属し生育状況にも大きな差がない盛岡—48、川井—230、川井—286、盛岡—277及び岩手—25の5林分においても、最大角度と平均角度の林分平均値は、それぞれ $3.7\sim 4.5^\circ$ 、 $1.7\sim 2.6^\circ$ であり、林分間に大きな有意差が認められた。また、同一林齢階で生育が劣る零石—191は最大角度も平均角度も大きく、川井—296では平均的な値を示している。

旋回木理の小さな個体の出現率は、全林分をこみにした場合は5.6%であるが、10~14%の高い出現率を示す林分や3%以下の林分があり、林分による選抜の難易が予想される。

これらの林分間差異は造林地の立地条件—海拔高・傾斜方位・傾斜度・土壌型の影響をほとんど受けていない。したがって、カラマツの一般造林地における旋回木理の林分間変異は、多分、種子源や採種条件によるものであろうと考えられる。

カラマツ天然林から種子を採取して育成した産地集団間では、旋回木理の大きさが明らかに異なり、しかも異なる植栽地間においても旋回木理の産地内分布及び産地間の最大角度の相対関係は良く一致する。また、旋回木理の小さい個体の出現率は、全産地をこみにすると約6%であるが、産地別に見ると0~20%の違いが認められる。この場合、産地ごとの採種条件がどうであったかが問題になるが、いずれの産地も1956年の大豊作時に20本前後の母樹から採種したものであり、母樹の選び方が子供集団の旋回木理の特性を極端にゆがめたとは考えられない。したがって、これらの産地間変異は天然林の遺伝特性の違いを示しているものであろう。

しかし、産地集団間における旋回木理の現れ方の違いには、一定の地理的傾斜は認められず、また生育地の環境要因に基づく自然選択の効果も認められない。現存するカラマツ天然林は小集団のものであり、これらの変異は遺伝的浮動によるものと考えられる。

以上のようにカラマツの旋回木理については、産地間変異が大きく、また一般造林地においても林分間変異が大きいが、優良産地や優良林分の選択が直ちに利用上優れた材質をもつカラマツ集団の育成につながらない。それは、望ましい個体の出現率が最も高い産地で20%、人工林では14%止まりであることが理由である。やはり、優良個体の選抜が基本になるだろう。また、旋回木理と立地との関係については、風や雪の影響^{21) 41) 160) 168)}、傾斜方位⁵⁵⁾、林分密度¹⁰¹⁾等が問題にされてきたが、本研究ではこれらの主張を支持する結果は得られず、種子源の重要性を指摘したCHAMPION²⁴⁾、BURGER¹⁹⁾、RAUT & MARSH¹²⁹⁾及びKADAMBI & DABRAL⁵³⁾の主張の正当性を裏付け、さらに一般造林地における林分間変異から母樹、母樹数及び種子の豊凶等の採種条件が大きな影響をもつのではないかと推測された。

第5章 旋回木理と生長形質及び他の材質形質との関係

旋回木理と生長との関係については、樹種により事例により異なった結果が報告されている。もし旋回木理の角度と直径生長や樹高との間に正の相関関係があるとすれば、既に育種によって獲得されている生長形質のレベルが旋回木理の選抜によって低下することになる。この場合は、各形質に一定の重みづけをした総合評価によって選抜を行うことになるが、各形質のレベルは低下する。この関係は、単に生長形質とだけではなく、他の有用形質に共通する問題である。

カラマツの有用形質としては生長、耐病性（落葉病、先枯病）及び材質関連形質（幹の通直性・完満性・正円性、節の多少、旋回木理、材のねじれ・そり、その他比重等の基礎材質）があげられるが、本章では、旋回木理と生長、材のねじれ及び材のそりとの関係を取り上げ検討した。

旋回木理と材のねじれとの関係については、既に木材理学あるいは木材利用の研究によって、正の比例関係にあることが明らかである。しかし、これまでの研究成果は少数の試料に基づくものであり、十分に大きな変異を含む多数の試料による調査例がなく、育種あるいは選抜の基礎データとして直接利用できるものが少ない。旋回木理の育種目標は材のねじれを改良することにあるので、両者の関係を数量的に正しく評価する必要があり、そのための検証を行ったものである。

第1節 供試材料及び測定方法

調査林分は、Table 19にかかげた13林分である。このうち、旋回木理と樹高・枝下高・胸高直径・材のねじれ・材のそりとの関係を調査したのは、岩手—52と盛岡—48の2林分であり、残りの11林分では旋回木理と年輪幅との関係を調査した。

Table 19. 供試林分及び供試木の記録
General descriptions of the sampled stands and the sampled trees

林分 Stand	所在地 Locality	地況 Site conditions					供試木 Sampled trees			
		林齢 Age (years)	海拔高 Altitude (m)	方位 Direction	傾斜 Slope	土壌型 Soil type	本数 Number of trees	樹高 Tree height (m)	胸高直径 D.B.H. (cm)	枝下高 Grown height (m)
TOONO-95	岩手県遠野市附馬牛、薬師国有林95林班 Yakushi Nat. forest 95, Toono, Iwate prefecture	23	575	SW	gentle	B/D	120	18.1	19.8	10.6
TOONO-123	岩手県遠野市小友町、袋畑国有林123林班 Fukurohata Nat. for. 123, Toono, Iwate pref.	22	650	W	gentle	B/D	100	15.3	19.8	7.0
TOONO-255	岩手県遠野市小友町、小友第二国有林255林班 Otomo 2nd Nat. for. 255, Toono, Iwate pref.	25	530	W	gentle	B/D	90	18.1	20.2	10.4
TOONO-257	岩手県遠野市小友町、小友第二国有林257林班 Otomo 2nd Nat. for. 257, Toono, Iwate pref.	24	520	SW	slightly steep	B/D	100	18.7	20.9	10.0

上記のほかTable12のNo.1~No.9の林分を加えた。
Added No.1~No.9 stands of Table12.

各林分とも11月~12月に供試木を伐倒して胸高部から厚さ10cmの円板を採取し、割裂法によって年輪べつに旋回木理の角度を測定し、全年輪の平均値（平均角度）と最大値（最大角度）を求めた。また、樹心から半径5cm内に含まれる年輪についての平均角度と最大角度を求めた。

岩手—52及び盛岡—48の2林分では、各供試木の胸高円板につづく3.5m部分の丸太を採取し、長さ3.5m

の10cm心持ち角を製材した。製材に際しては2～3回の修正挽きを行った。これらの角材を東北林木育種場の屋根付き木材乾燥場(周囲は寒冷紗)に「もたせかけ」の状態で置き、12月下旬から4月下旬までの約4ヵ月間天然乾燥させた後、材のねじれ量とそり量を測定した。材の含水率は、Kett木材水分計(MT-8SK)で測定した結果、材面で約11%、材の内部で約12%であった。材のねじれ量は、3.0mの基準台に角材の3稜線を固定し、1稜線が基準台から離れる量を0.1mm単位で測定して正角一辺長(100mm)に対する百分率で求めた。材のそり量は、角材の内曲面の矢高を1mm単位で測定して材長(3,000mm)に対する百分率で求めた。

また、乾燥によって材面に割れが生じ、それが繊維走向と一致するので、角材の元口から基部(0～1.0m)・中部(1.0～2.0m)・上部(2.0～3.0m)の3部分に分けて、材の長軸方向に対する割れの傾斜角度を測定した。

角材についての測定は、いずれも4材面について行い、材のねじれ量及びそり量は最大値を、材面の旋回木理の角度は平均値をその供試木の値とした。

第2節 旋回木理と生長形質との関係

岩手-52と盛岡-48の林分における旋回木理と樹高、枝下高及び胸高直径との相関係数を求めた(Table 20, Table 21)。旋回木理と樹高直径との間では有意な相関関係は認められなかった。ただし、旋回木理の平均角度と樹高及び枝下高の間では、両林分とも負の相関関係を示し、しかも岩手-52では1%レベルで有意であった。

この関係をさらに詳しく調べるため、岩手-52における旋回木理の平均角度と枝下高との関係をFig.22に示した。この図から明らかなように、とくに枝下高の高い5本の供試木の影響が大きく、これらを除くと有

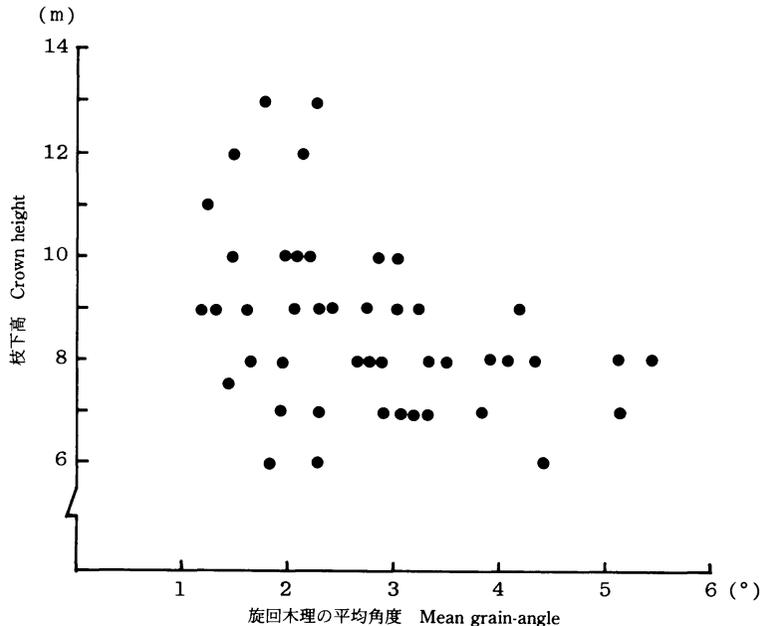


Fig. 22. 岩手-52における旋回木理と枝下高との関係。

Relationship between mean grain-angle and crown height in the larch stand, IWATE-52.

Table 20. 岩手-52における旋回木理の角度と生長形質との相関係数
Correlation coefficients between spiral-grain angle and growth traits (tree height, crown height, D. B. H.) on IWATE-52

形質 Trait	7	8	9	10	11	12	13
7	-----	0.692	0.711	0.420	-0.209	-0.381	0.053
8	**	-----	0.671	0.673	0.073	-0.058	0.161
9	**	**	-----	0.748	0.001	-0.036	0.140
10	**	**	**	-----	0.176	0.143	0.066
11					-----	0.267	0.666
12	**					-----	0.246
13					**		-----

Notes : n=45, $r_{0.05}=0.294$, $r_{0.01}=0.380$

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

Traits : 7. 胸高円板の平均角度 Mean grain-angle in a disk at breast height.
8. // 最大角度 Maximum grain-angle in a disk at breast height.
9. 半径5cm内の平均角度 Mean grain-angle within a 5cm radius from the pith.
10. // 最大角度 Maximum grain-angle within a 5cm radius from the pith.
11. 樹高 Tree height.
12. 枝下高 Crown height.
13. 胸高直径 Diameter at breast height.

Table 21. 盛岡-48における旋回木理の角度と生長形質との相関係数
Correlation coefficients between spiral-grain angle and growth traits (tree height, crown height, D. B. H.) on MORIOKA-48

形質 Trait	7	8	9	10	11	12	13
7	-----	0.586	0.704	0.434	-0.076	-0.033	0.213
8	**	-----	0.607	0.887	0.019	0.214	0.096
9	**	**	-----	0.659	-0.111	0.068	0.104
10	**	**	**	-----	-0.098	0.189	-0.026
11					-----	0.114	0.433
12						-----	-0.082
13					**		-----

Notes : n=45, $r_{0.05}=0.294$, $r_{0.01}=0.380$

** : Significant at 1% level, * : Significant at 1% level.

Traits : 7. ~13. 表-20参照 Refer to Table 20.

意な相関関係は認められない。この5本の供試木は、年輪増加にともなう旋回角度の減少が顕著であった。しかし、盛岡-48の枝下高の高い個体では同様な傾向を示さなかった。したがって、岩手-52における両形質の関係は、少数個体の特性が強調されたものであって、旋回木理と枝下高の一般的関係を説明するもので

はないと考える。

旋回木理の角度と年輪幅との関係については、年齢の影響を無視することができないので、年輪別に相関係数を求めた。その結果を林分ごとに示したのがFig.23である。1林分あたりの供試木本数は86~120本であった。樹心から1番目の年輪は、年輪形成そのものが不安定であり、得られた相関係数の信頼度は低い。各林分とも2年輪目で比較的高い値から非常に高い値を示すが、3~4年輪目で相関係数は急激に低下し0前後の値となる。その後、プラスの側でやや値が大きくなる傾向を示すが、ほとんど0~0.3の範囲内で推移する。全体の傾向としてはプラスの関係にあるが、樹心近くの年輪を除くと、旋回木理の発達に及ぼす年輪幅(直径生長率)の影響は無視できると考える。

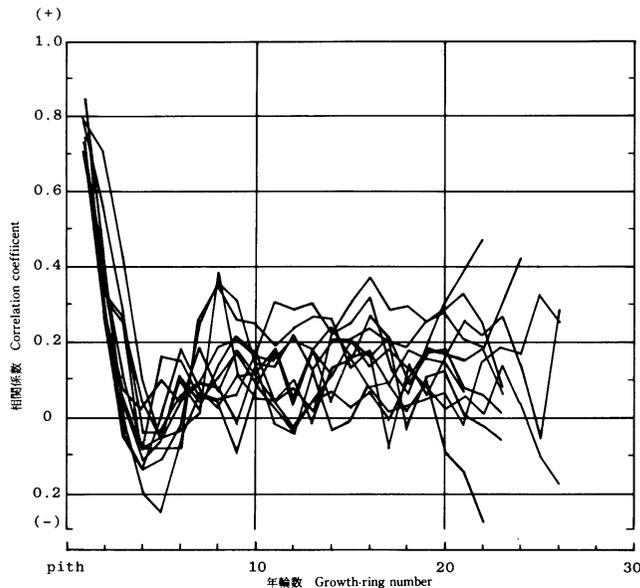


Fig. 23. カラマツ11林分における旋回木理の角度と年輪幅との相関係数の年輪による推移。

Transition of correlation coefficients between spiral-grain angle and growth-ring width through successive growth-rings from the pith in eleven larch stands.

以上のように、カラマツの旋回木理の角度と生長形質の表現型では、信頼できる規則的關係がなく、選抜にあたってはそれぞれ独立な形質として扱うことができる。したがって、生長の優れた個体の中から旋回木理の角度の小さい個体を通抜することが可能である。旋回木理の発達に枝下高あるいは樹高生長が影響したとしても、それは旋回木理と負の相関関係にあり、たがいに望ましい関係を求めることができるので、選抜の精度を低下させることはない。

第3節 旋回木理と材のねじれ及び材のそりとの関係

岩手—52と盛岡—48の2林分について、それぞれ45本の供試木を用いて検討した。材のねじれ量は岩手—52で16.8% (8.4~30.0%)、盛岡—48で12.8% (2.7~26.3%) であり、材のそり量は岩手—52で0.22% (0.05~0.56%)、盛岡—48で0.28% (0.03~0.70%) であった。

Table 22及びTable 23は、それぞれの林分において材のねじれ、材のそり、胸高円板の平均角度と最大角

Table 22. 岩手-25における旋回木理の角度と材のねじれ及び材のそりとの相関係数

Correlation coefficients between spiral-grain and twist and warp to timber on IWATE-52

形質 Trait	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-----	0.110	0.521	0.753	0.745	0.759	0.714	0.515	0.813	0.566
2		-----	-0.164	-0.023	-0.022	-0.079	0.056	0.132	0.146	0.291
3	**		-----	0.681	0.574	0.848	0.543	0.485	0.631	0.364
4	**		**	-----	0.782	0.921	0.805	0.535	0.737	0.426
5	**		**	**	-----	0.890	0.713	0.489	0.723	0.422
6	**		**	**	**	-----	0.773	0.567	0.789	0.456
7	**		**	**	**	**	-----	0.692	0.711	0.420
8	**		**	**	**	**	**	-----	0.671	0.673
9	**		**	**	**	**	**	**	-----	0.748
10	**		*	**	**	**	**	**	**	-----

Notes : n=45, r_{0.05}=0.294, r_{0.01}=0.380

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

- Traits : 1. 材のねじれ Twist of timber (10cm square and 3.0m long).
 2. 材のそり Warp of timber (10cm square and 3.0m long).
 3. 角材面の旋回木理(0~1.0m) Spiral-grain angle on the surface of lower part (0~1.0m) of the timber.
 4. " (1.0~2.0m) Spiral-grain angle on the surface of middle part (1.0~2.0m) of the timber.
 5. " (2.0~3.0m) Spiral-grain angle on the surface of upper part (2.0~3.0m) of the timber.
 6. " (平均) Average of traits 1, 2, and 3, .
 7. } 表-20参照
 ~ }
 10. }

Table 23. 盛岡-48における旋回木理の角度と材のねじれ及び材のそりとの相関係数

Correlation coefficients between spiral-grain and twist and warp to timber on MORIOKA-48

形質 Trait	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-----	-0.192	0.622	0.830	0.739	0.827	0.691	0.459	0.800	0.481
2		-----	-0.013	-0.097	-0.003	-0.042	-0.031	-0.219	-0.085	-0.281
3	**		-----	0.674	0.523	0.846	0.521	0.243	0.648	0.275
4	**		**	-----	0.785	0.927	0.681	0.340	0.742	0.447
5	**		**	**	-----	0.865	0.547	0.320	0.621	0.383
6	**		**	**	**	-----	0.661	0.373	0.762	0.415
7	**		**	**	**	**	-----	0.586	0.704	0.434
8	**			**	*	*	**	-----	0.607	0.887
9	**		**	**	**	**	**	**	-----	0.659
10	**			**	**	**	**	**	**	-----

Notes : n=45, r_{0.05}=0.294, r_{0.01}=0.380

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

- Traits : 1. ~10. 表-22参照 Refer to Table 22.

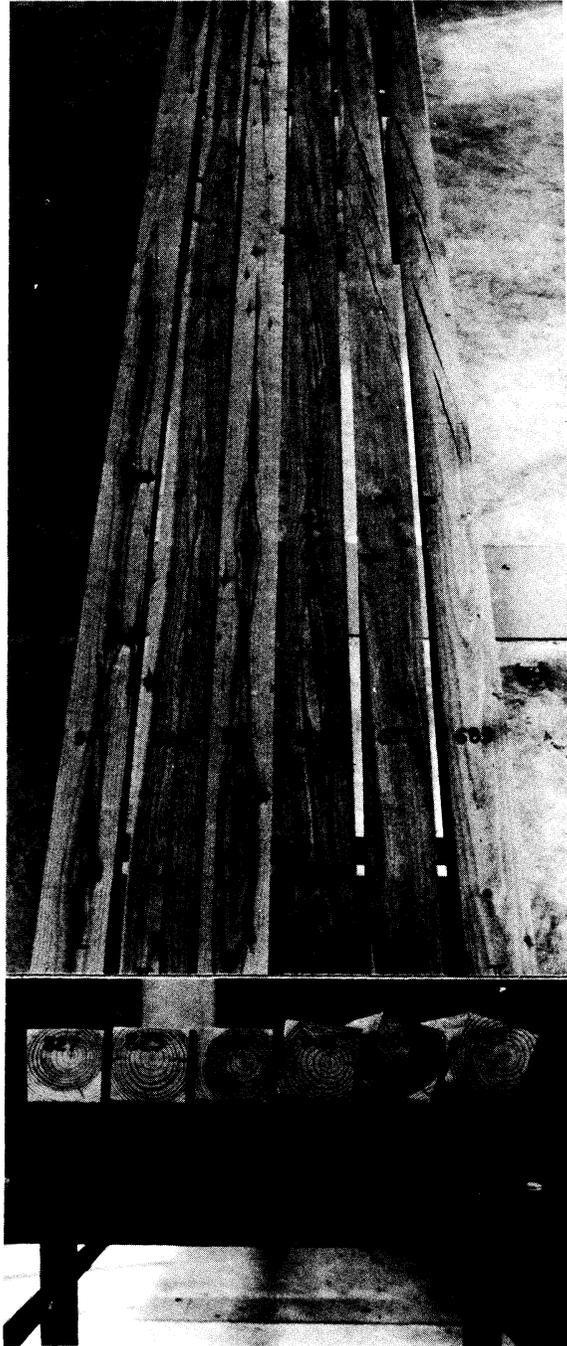


Fig. 24. カラマツ角材の材面における木理の傾斜角度（干割れの方角と一致）と材のねじれとの関係。

Relationship between spiral-grain angle on the surface of timber, which coincides with the direction of surface checks, and twisting of timber in larch wood.

度，樹心から半径5cm内の平均角度と最大角度，角材面の3部分における旋回木理の角度とそれらの平均値を取り上げ，形質間の相関係数を求めたものである。

材のねじれは，旋回木理の角度を表す全ての形質と1%レベルで正の有意な相関を示した。それらの中で，とくに高い相関係数を示したのは材面の旋回木理の角度と樹心から5cm内の平均角度である。また，材面の旋回木理は基部及び上部よりも中部の値が材のねじれとより密接な関係をもっている。このように，旋回木理の平均的な値が材のねじれの良い指標になるようである。

材のそりは，取り上げた形質との間では有意な相関関係を示さなかった。

Fig. 24は，材面の干割れの方向と繊維の走行と一致することから，それとねじれの実例で示したものである。材軸に対する干割れの傾斜が大きいものほどねじれ量が大きくなっている。

Fig. 25は，最も相関係数の大きかった半径5cm内の平均角度と材のねじれ量との関係を示したものである。供試個体数は，岩手—52と盛岡—48の2林分のもを合わせた90本である。両形質は直線的な関係にあり，相関係数も0.824と大きく，ねじれ量の変異に対する旋回木理の角度の寄与率が極めて高いことを示している。

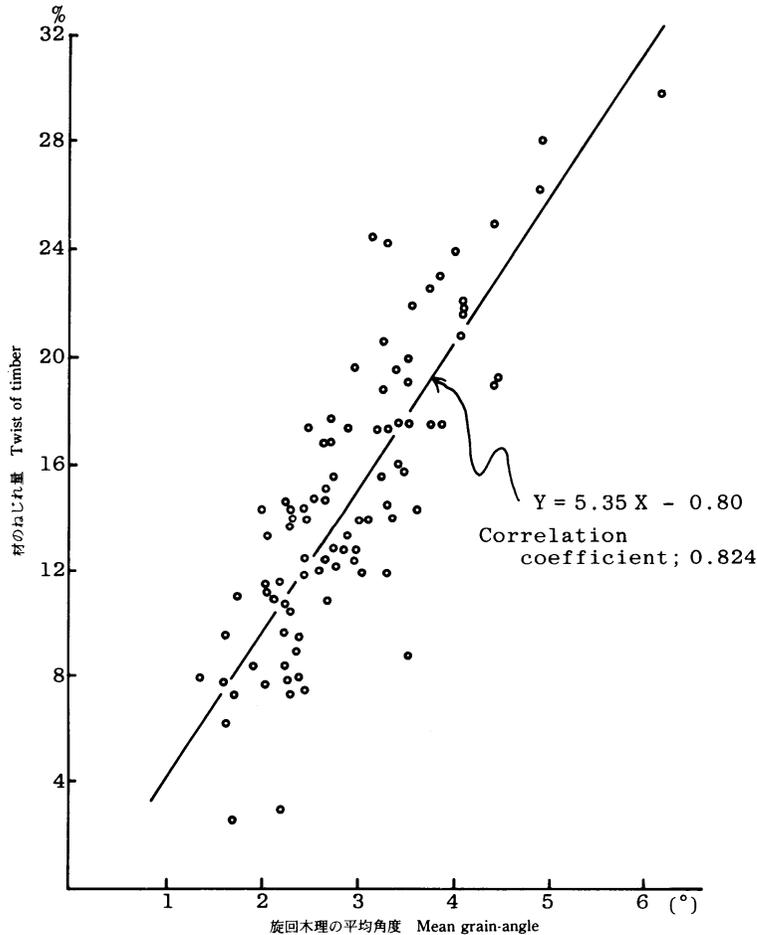


Fig. 25. 材のねじれ量と樹心から半径5cm内年輪の平均角度との関係。
Relationship between twist of timber (10cm square and 3.0m long) and mean grain-angle on the growth rings within a 5cm radius from the pith.

第4節 考察

旋回木理の角度の大きさと肥大生長との関係については、いくつかの相反する報告が見られる。*Ponderosa pine*では肥大生長が抑制されると木理の旋回性が強められ¹²⁵⁾、*Chir pine*でも同様に旋回木理の角度と年輪幅が逆相関関係にあることが報告されている⁸⁶⁾。一方、同じ*Chir pine*でも同一年齢ならば両者は明らかに比例関係を示し¹²⁹⁾、*Red pine*では直径生長率が增大すると木理の旋回性が強まり¹⁰²⁾、*Pinus pseudostrobus*では肥大生長の旺盛なものが旋回する幹を生産する能力が高い¹⁵⁵⁾ことが報告されている。カラマツにおいても、若い時代には年輪幅が広くなると木理の傾斜が強まるという主張があり¹²³⁾、また両者の間に従属関係がない結果^{27) 76) 78)}も報告されている。

直径は年輪幅の累積結果であるから、もしも旋回木理の発達に年輪幅が大きな影響をもっているとするならば、直径生長の良否と旋回木理の角度との間に一定の関係が認められて良い筈である。しかし本研究の結果では、相関係数は $-0.026 \sim 0.213$ の範囲であり、両者の間に一定の関係があるとは認められなかった。重松¹⁴⁾はカラマツの未成熟材において両者の関係を検討し、若い時は肥大生長が旺盛であると旋回木理の角度は大きくなる傾向にあるが、全体としては旋回木理の変異が多様であり、一定の関係を認めることは困難であると述べている。

本研究では、さらに11林分から、1,080本のカラマツ個体を伐倒し、年輪ごとに旋回木理の角度と年輪幅を解析した。その結果では、樹心から1~2年輪は高い正の相関係数を示すが、3~4年輪になると相関係数は0前後となる。NICHOLLSら^{97) 98)}は*Pinus pimaster*及び*Pinus radiata*で施肥区と灌水区を設けて長期にわたる実験を続け、材質に及ぼす環境因子の影響を調査した。その結果では、年輪幅、材の比重、仮道管長に対する影響は大きかったが、旋回木理に対しては全く効果は認められなかった。旋回木理については、年齢による変異、幹の高さによる変異が存在するが、これらの条件を一定にすると、少なくとも表現型では年輪幅との関係は認められなくなるものと思われる。上記NICHOLLSらの実験結果はそのことを示しており、カラマツについても当てはまるものと考えられる。

樹高と旋回木理の関係については、*Norway spruce*と*Silver fir*では生長の劣る個体で旋回木理の角度が大きくなり¹⁹⁾、*Chir pine*では正の相関関係が存在し¹²⁹⁾、*Pinus radiata*では明らかな関係がない³⁰⁾こと等が報告されている。本研究結果では、胸高円板における旋回木理の平均角度と樹高及び枝下高との相関関係は負の値を示し、1林分では枝下高との相関係数に高い有意性が認められた。このことは、樹高生長が優れ枝下高が高い個体では、旋回木理の角度が小さいことをうかがわせるが、一般的な現象として説明できるほどの関係は認められない。ただし、両者は正の相関関係にない限り同一方向での選抜が成立するので、選抜上の問題は無い。

旋回木理の育種目標は材のねじれを遺伝的に改良することである。しかし、材のねじれを選抜形質として取り上げるには制約条件が多く、実行が困難であることから、本研究では材のねじれの大きな要因である旋回木理を選抜形質として取り上げるものである。したがって、両者の関係を正しく把握して、育種の可能性あるいは限界を見定める必要がある。本研究では、旋回木理について十分な変異を含む供試木群(90本)を対象として両者の関係を検討した結果、地上高1.2mを元口とする長さ3.5mの丸太から製材された一辺10cmの心持ち正角の長さ3.0m部分におけるねじれ量と胸高円板における半径5cm内の平均角度との間で、高い正の相関関係($r=0.82$)が認められた。また、胸高円板の全年輪を対象とした平均角度とは0.728、最大角度と

は0.556の相関係数が求められ、とくに平均角度との間に高い相関関係が存在する。材のねじれの変動量に対する旋回木理の角度の寄与率は67%が最大である。年輪構造等他の要因も考えられるので、この値は限界値であろうと思われる。

材のそりについては、取り上げた全ての形質との間で有意な相関関係を示さなかった。したがって、この形質については直接測定して選抜することが必要であり、現在のところ制約条件が多く、選抜の実行が困難な形質である。

第6章 旋回木理の遺伝変異

木理の旋回性については多くの樹種で調べられてきたが、立地条件や林分の取り扱い等の外部要因を重視する意見^{21) 41) 69) 129) 131) 158) 160) 168)}と遺伝の役割が大きいとする意見^{40) 68) 103) 135) 136) 138) 155)}に分かれる。しかし、これらの多くは単なる事例調査からの推論あるいは他の研究結果に対する論評の範囲にとどまる。旋回木理の遺伝様式を解明するためには、材料の育成を含めて、長年月を要するので、これまでは他の研究に供された材料を利用するケースが多く、十分満足できるデータを提供していない。とくに計画的に交配された材料による遺伝試験の例はきわめて少ない。そのような状況ではあるが、由来の明らかな材料を用いて計画した実験または植栽試験の結果では、旋回木理の発達要因として遺伝の役割が大きいことを明らかにしている。

CHAMPION^{23) 24)}はChir pineの産地別及び母樹別苗木で旋回木理の遺伝性を認め、さらにそれらの植栽試験地の結果から、立地条件の影響を受けずに産地及び母樹の特性が発現されることを確認した。NICHOLL⁹⁷⁾は*Pinus pinaster*で旋回木理の発達に及ぼす間伐や施肥の影響を長期間にわたり調査し、処理効果が全く認められないことから、旋回木理は遺伝的に安定した形質であるとした。また*Pinus radiata*における遺伝率の推定に関する多くの研究結果^{28) 31) 93) 94) 127)}は、年輪によって遺伝支配を強く受けるゾーンとそうでないゾーンがあり、とくに若い年輪で高い遺伝率を示し、相加的遺伝分散が大きいことを明らかにした。*Fagus sylvatica*においても高い狭義の遺伝率(0.66)が推定されている¹⁵¹⁾。

本章では、カラマツの旋回木理に関する遺伝情報を得るために、既存のつぎ木クローン及び自然交配家系を用いて、旋回木理の発現の違いとその程度を明らかにし、同時に遺伝分散の大きさを推定した。

遺伝分散および遺伝率の推定は次のモデルによって行った。

モデル I : クローンの場合

要 因	自由 度	分 散	分散の期待成分
クローン間	n - 1	M ₁	$\sigma^2e + m\sigma^2c$
クローン内	n(m - 1)	M ₂	σ^2e
全 体	nm - 1		

σ^2e = 環境分散

$\sigma^2c = \sigma^2g$ = 遺伝分散

h^2 = 広義の遺伝率 = $\frac{\sigma^2g}{\sigma^2e + \sigma^2g}$

モデル II : 母樹別自然交配家系の場合

要 因	自由 度	分 散	分散の期待成分
家 系 間	m - 1	M ₁	$\sigma^2e + \sigma^2\text{half-sib} + m\sigma^2p$
家 系 内	n(m - 1)	M ₂	$\sigma^2e + \sigma^2\text{half-sib}$
全 体	nm - 1		

σ^2e = 環境分散

$\sigma^2\text{half-sib} = \frac{3}{4}\sigma^2g + \sigma^2h$

σ^2g : 相加的遺伝分散

σ^2h : 非相加的遺伝分散

$\sigma^2p = \frac{1}{4}\sigma^2g$

h^2 = 狭義の遺伝率 = $\frac{\sigma^2g}{\sigma^2e + \sigma^2h + \sigma^2g}$

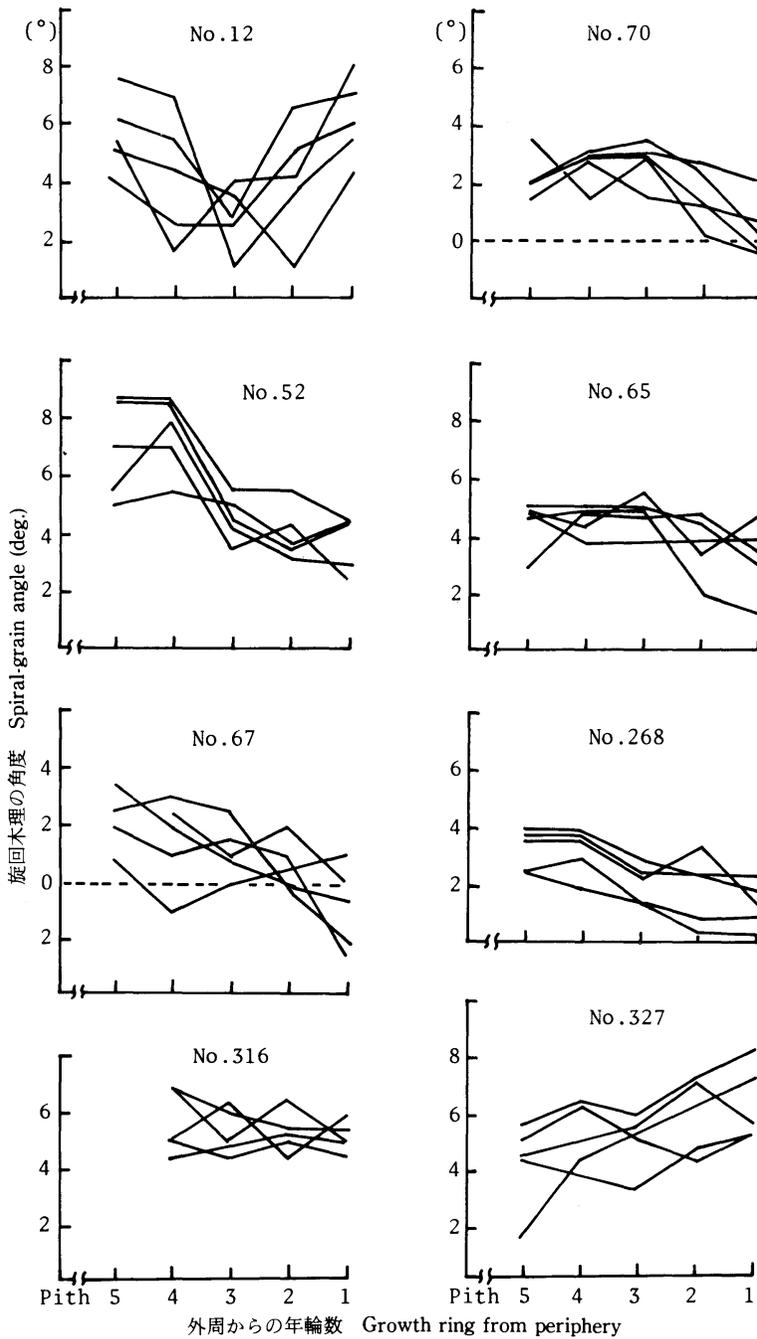


Fig. 26. カラマツクローンにおける旋回木理の角度の樹齢による変化。
 Variation patterns of spiral-grain angles with age in larch clones.
 Note: Below the dotted line represents right-handed spirality.

第1節 旋回木理のクローン間変異

1. 供試材料及び測定方法

東北林木育種場のクローン集植所に植栽されていたカラマツつぎ木クローンから、1クローンあたり5本の供試木が得られる80クローンを選び伐倒して、地上高130~150cm部分の節のない位置から厚さ5cmの円板を採取した。供試クローンは、長野県から北海道までの各地で選抜された精英樹のクローンであり、植栽後8年を経過したものである。

各円板から樹心を含む幅3cm、高さ3cmの測定試料を採り、その上面と下面に樹心を通る平行な基準線をしるして、年輪界で剥離した。供試円板の全てが測定可能な4個以上の年輪を含んでいたため、外周から4~5個の年輪について、晩材部における繊維の傾斜角度を引裂法によって0.5°単位で測定した。樹心部の1~2年輪は測定できなかった。また、基準線の設定に伴う誤差は、同一直径上の2半径方向の対応する年輪の測定値を平均することによって消去した。

2. 結果

旋回木理の角度がクローン間およびクローン内の個体によってどのような現れ方をするのかを、特徴的な8クローンについてFig.26に示した。No.12のように複雑な変化を示すクローンは10.0%、No.327のように旋回性が年輪増加とともに強まる傾向を示すクローンは5.0%、No.65やNo.316のように変化の少ないクローンは7.5%出現した。残りの77.5%のクローンは、No.52やNo.268のように、樹心から3~4年輪目以降で旋回角度が急激に小さくなるものや漸減する過程をたどるものであった。旋回方向は大多数のクローンでは全ての個体が左旋回であったが、No.67のように左旋回から右旋回に変化する個体を含むクローンは15%出現した。こ

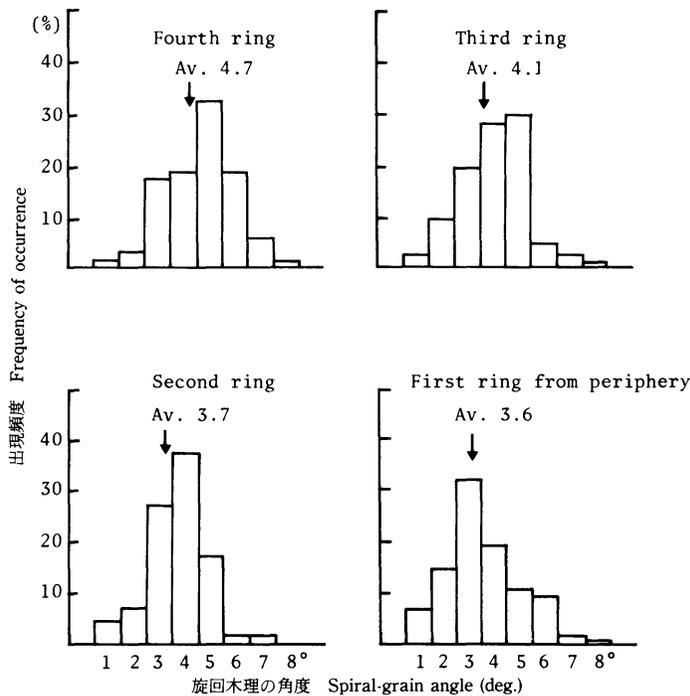


Fig. 27. 各年輪における旋回木理の角度のクローン平均値の頻度分布。
Frequency distribution of clonal averages of spiral angles in each growth ring from the periphery

のように、クローン内の個体間でも旋回木理の角度にばらつきは認められるが、年輪による変化過程を見ると、クローン内の個体差よりもクローン間による違いはるかに大きい。

Fig. 27では、旋回木理の角度のクローン平均値の頻度分布を年輪ごとに示した。樹心に近い4番目の年輪から外周の1番目までの年輪で、それぞれ1.2~7.5°, 0.6~7.6°, 0.7~6.8°, 0.7~8.1°のばらつきを示した。年輪増加とともに角度の小さい階級の頻度が高まり、全クローンの平均値は低下するが、各年輪における変異幅は変わらず、クローンによる違いが大きいことを示している。また、クローンごとに見ると、常に2°以下の小さな角度を示すものと逆に6°以上の大きな角度を示すものが、3クローンずつ認められた。

Table 24は、年輪別に旋回木理の角度の分散分析を行った結果である。各年輪でクローン間分散に有意性が認められた。また、クローン間分散とクローン内分散から求めた広義の遺伝率は0.35~0.42であった。

旋回木理の最大角度は個体評価の重要な指標である。前述したように77.5%のクローンは測定年輪の範囲

Table 24. 旋回木理の年輪別角度の分散分析と広義の遺伝率
Analysis of variance of spiral-grain angle on each growth ring and their broad-sense heritabilities

要因 Source of variation	自由度 DF	平方和 SS	平均平方 MS	分散比 F _o	遺伝率 h ²
Fourth ring from periphery					
Between clones	79	666.68	8.44	4.44**	0.42
Within clones	320	608.00	1.90		
Third ring from periphery					
Between clones	79	669.96	8.48	4.66**	0.42
Within clones	320	582.90	1.82		
Second ring from periphery					
Between clones	79	597.99	7.57	3.71**	0.35
Within clones	320	653.35	2.04		
First ring from periphery					
Between clones	79	900.54	11.40	4.65**	0.42
Within clones	320	783.50	2.45		

** : Significant at 1% level.

Variance components of mean squares between clones = $\sigma^2 e + n\sigma^2 g$

Variance components of mean squares within clones = $\sigma^2 e$

$$h^2 = \frac{\sigma^2 g}{\sigma^2 e + \sigma^2 g}$$

で旋回木理の角度が小さくなる傾向を示しており、これに変化の小さい7.5%のクローンを加えると、85%のクローンは既に最大角度を示していると考えられる。そこで、最大角度についてのクローン間変異を調べた。Table 25は、個体最大角度を用いて分散分析を行った結果である。クローン間分散に1%レベルで有意性が認められた。また、年輪別に求めた遺伝率 (Table 24)と同じ方法で推定した広義の遺伝率は0.49であった。

Table 25. 旋回木理の年輪別角度の分散分析と広義の遺伝率
Analysis of variance of maximum grain-angle and broad-sense heritabilities

要因 Source of variation	自由度 DF	平方和 SS	平均平方 MS	分散比 F _o	遺伝率 h ²
Between clones	79	753.57	9.34	5.84**	0.49
Within clones	320	510.80	1.60		
Total	399	1248.37			

** : Significant at 1% level.

h² : Refer to Table 24.

測定した全個体の最大角度の範囲は1.0~13.5°であり、最大角度のクローン平均値の範囲は2.6~8.6°、クローン内個体間における変異幅は大多数のクローンで3.5°以下であった。

これらの事実から、旋回木理の角度は遺伝子型によって著しく異なり、遺伝的変異の大きいことが示された。

第2節 自然交配家系における旋回木理の遺伝変異

1. 精英樹の自然交配家系における旋回木理の遺伝変異

1) 供試材料及び測定方法

東北木育種場カラマツ採種園から種子を採取し、同場苗畑で養成した1回床替2年生の精英樹自然交配家系苗木を用いて、旋回木理の角度を測定した。供試家系数は17であり、1家系あたり苗木数は100本であった。

旋回木理の角度は、4月中旬に、第2章第3節のFig. 2に示した苗木を対象とした引裂法により、樹軸線と繊維走行とのなす角度を1°単位で測定した。測定器具として10倍率のピーク・ルーペを用いた。

2) 結果

測定された1,700本の全苗木集団における旋回木理の角度の分布は、Fig. 28に示されるように、最小値が0°、最大値が19.0°、平均値が7.1°であり、正規分布に近いものであった。これらの値は、早期選抜を目的として調査した長野県南佐久郡川上村産の2,000本の苗木集団(最小値1.0°、最大値16.0°、平均値6.4°)及び岩手県岩手郡玉山村小沢山国有林の遺伝子保存指定林分から採種し養苗した2,000本の苗木集団(最小値1.0°、最大値17.0°、平均値7.3°)と比較して大きな違いを示さなかった。このことは、採種園産苗木集団の旋回木理についても一般造林地からの苗木集団と同じ程度の変異を含むことを示している。

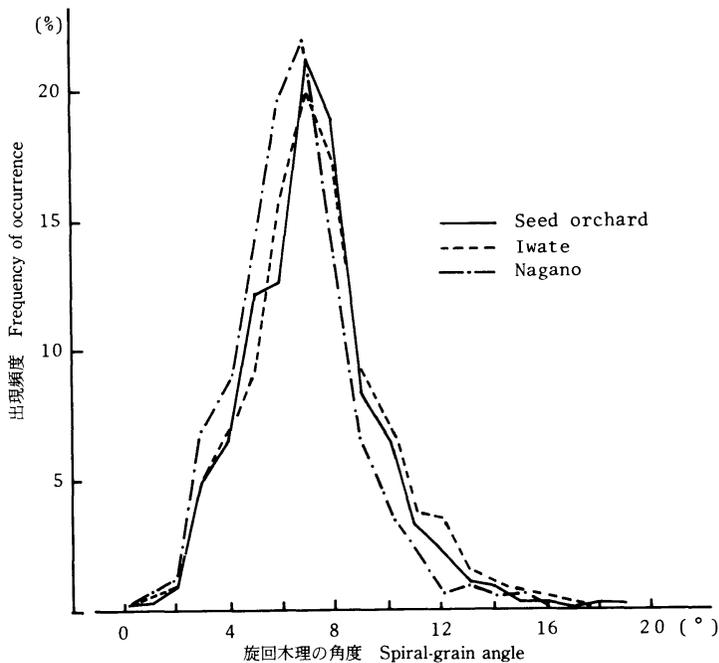


Fig. 28. カラマツの採種園産苗木集団と一般造林地産苗木集団における旋回木理の角度の頻度分布。

Frequency distributions of spiral-grain angles in the seedlings derived from a seed orchard and two seedling groups from plantations of larch.

Table 26は、家系別に旋回木理の角度の最小値、最大値及び平均値を示したものである。家系ごとに見ると、ばらつきの幅は著しく異なり、最もばらつきの小さいもので8°(3~11°)、最も大きいもので19°(0~19°)であった。また、平均値の最も小さい家系では6.1°、最も大きい家系で9.7°であった。

Fig. 29は、3°以下の小さい角度をもつ個体の出現頻度を家系別に示したものである。集団全体では6.4%であったが、No.3の家系では19%、No.13では11%と著しく高い出現率を示した。逆にNo.17では1%に過ぎなかった。

Table 26. カラマツ精英樹家系間及び家系内における旋回木理の角度の変異

Variation of spiral-grain among the open-pollinated progenies from plus-trees of larch

No.	家系 Progeny Name	供試個体数 Number of trees	旋回木理の角度 Spiral-grain angle(deg.)		
			最小値 Minimum	最大値 Maximum	平均値 Average
1	MORIOKA-2	100	3	11	7.1
2	// -13	100	0	19	9.7
3	TOONO-1	100	1	14	6.1
4	OOTSUCHI-1	100	2	14	6.9
5	SHIROISHI-11	100	2	11	6.7
6	ABASHIRI-23	100	2	12	6.6
7	// -34	100	3	14	6.8
8	TOKACHI-24	100	3	13	6.8
9	// -29	100	2	12	7.2
10	SHIRIBESHI-30	100	3	13	7.1
11	MINAMI•TSURU-1	100	3	13	8.4
12	IWAMURATA-2	100	2	14	6.9
13	// -44	100	1	13	6.5
14	USUDA-4	100	3	11	6.9
15	SUWA-9	100	1	13	6.3
16	NAKANIIDA-MIYAZAKI-2	100	1	12	6.3
17	OOTSUCHI•KURIHASHI-3	100	0	16	8.6
Total		1700	0	19	7.1

Table 27. カラマツ精英樹家系における旋回木理の角度の分散分析

Analysis of variance of spiral-grain angle in 17 open-pollinated progenies from plus-trees of larch

要因 Source of variation	自由度 DF	平均平方 MS	分散比 F。	平均平方の分散成分 Variance components of mean squares
Between progenies	16	90.81	19.02**	$\sigma^2 e + \sigma^2 h a l f - s i b + n \sigma^2 p$
Within progenies	1683	4.78		$\sigma^2 e + \sigma^2 h a l f - s i b$
Total	1699			

**Significant at 1% level.

以上のように、集団全体を見ると他と大きな差はないが、家系によって旋回木理の発現が異なり、分散分析の結果からも母樹の影響が大きいことが裏付けられる (Table 27)。また、本章序節のモデルIIによって推定した狭義の遺伝率は0.61であった。本節の実生家系と前節のつぎ木クローンとは測定位置 (地上高) が異なるが、年輪について見ると前節の外周から3~4番目の年輪に相当するものである。この部分における旋回木理の広義の遺伝率は0.42であり、これと比較して高い値が推定された。遺伝率は供試材料の種類及び生

育条件によって変わるので、絶対値の比較は難しいが、相対的に見て旋回木理の遺伝分散は大きく、しかもその大部分は相加的遺伝分散であることがうかがわれる。

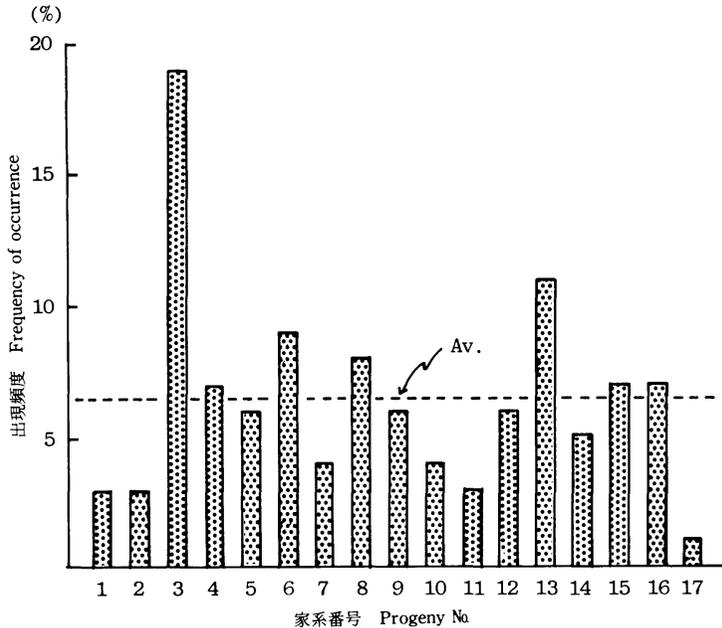


Fig. 29. 旋回木理の角度が 3.0° 以下の個体の家系別出現頻度。
Frequency of seedlings with slight spiral-grain (less than 3.0°) in each progeny.

2. 造林地からの自然交配家系における旋回木理の遺伝変異

1) 供試材料及び測定方法

岩手県岩手郡滝沢村柳沢、滝沢国有林143林班の23年生カラマツ林から20本の母樹を選び種子を採集し、東北林木育種場苗畑で養苗し、2回床替3年生苗を同場内の試験地に植栽した。試験地は均一な条件とみなされる平坦地である。1家系あたりの植栽本数は23本 x 3列=69本であり、植栽間隔は列間1.3m x 株間1.0mであった。反復はなかった。

植栽後6生長期を経過した段階で全植栽木を伐倒し、1家系あたり60本 (No.1の家系についてのみ53本) を対象として、地上高1.0mの位置から厚さ10cmの円板 (円筒) を採取して測定試料とした。

旋回木理の角度は、割裂法を採用し、旋回木理測定装置で測定した。各個体の年輪別角度は、同一直径上の両半径方向を測定し、対応する年輪の値を平均して求めた。また、個体の平均角度と最大角度は、年輪別角度の平均値と最大値である。

2) 結果

測定に供した円板直径及び旋回木理の角度の家系平均値をTable 28に示した。供試円板の大多数は5年輪を含んでいたため、樹心から1番目の年輪はまき付けから数えて4年生時に形成されたものであり、5番目の年輪は8年生時に形成されたものである。

旋回木理の年輪別角度は、1年輪目及び2年輪目で小さく、3年輪目で最大となり、4~5年輪目から再び小さくなる傾向を示した。Table 29の分散分析の結果では、1年輪及び2年輪においても家系間分散に有意性は認められるが、年輪による家系の順位変動が大きく、旋回木理の角度が大きい家系であるか否かの判

定は3年輪目以上でなければ難しい。家系平均値は3年輪目で2.5~4.5°, 4年輪目で1.9~4.1°, 5年輪目で1.8~4.2°の範囲にばらつき, 家系間で大きな差が認められた。3年輪目で角度が最も小さかった家系はNo.9であり, 家系内個体間のばらつきの範囲は0.2~4.2°であった。これに対し, 最も大きかったNo.10の家系では2.5~8.6°の範囲にばらつき, 両者における角度の分布は明らかに異なる。4年輪目及び5年輪目においても, 最小家系と最大家系の間では同程度の違いが認められた。

平均角度は一般的には年輪数の増加によって小さくなるので, 絶対値そのものはあまり大きな意味をもたないが, 個体, クローンあるいは家系の旋回木理を相対的に評価する場合には重要な形質である。本調査結果では家系間分散に高い有意性が認められた (Table 29)。また, 家系平均値の範囲は2.2~3.7°であり, 家系平均値で1.5°の差は非常に大きいものであった。

Table 28. 供試円板の大きさと旋回木理の角度の家系平均値
The size of sampled disks and average values of spiral-grain angles in
open-pollinated progenies

家系番号 Progeny No.	供試円板の平均直径 (cm) Av. diameter of sampled disks (cm)	旋回木理の角度		Spiral-grain angle (°)				
		平均角度 Mean angle	最大角度 Maximum angle	樹心からの年輪 Growth ring from the pith				
				1st	2nd	3rd	4th	5th
1	2.6	3.5	4.5	1.2	2.6	3.6	3.9	4.2
2	3.7	3.4	4.5	1.3	3.4	4.2	3.9	3.9
3	3.9	3.3	4.3	1.2	3.1	3.9	3.7	3.7
4	3.9	2.9	3.9	0.9	1.5	3.6	3.1	3.1
5	3.8	2.3	3.1	1.1	2.4	2.9	2.4	2.4
6	3.8	3.2	4.1	1.5	3.3	3.9	3.4	3.4
7	3.8	2.4	3.3	1.7	2.8	2.8	2.2	2.1
8	3.6	3.0	4.0	1.7	3.3	3.4	3.0	3.0
9	4.4	2.3	3.5	2.3	3.0	2.5	1.9	1.8
10	3.9	3.7	4.8	1.6	3.8	4.5	4.1	4.0
11	4.0	2.6	3.5	1.3	2.9	3.2	2.8	2.7
12	4.0	2.6	3.6	1.4	2.8	3.1	2.7	2.7
13	3.8	2.7	3.7	1.3	3.0	3.4	2.9	2.7
14	3.6	2.6	3.5	1.4	2.7	3.1	2.6	2.5
15	4.0	2.4	3.3	1.5	2.8	2.9	2.4	2.4
16	3.7	3.0	4.0	1.4	3.2	3.6	3.3	3.3
17	4.2	2.2	3.1	1.3	2.6	2.7	2.2	2.2
18	3.6	2.7	3.7	1.3	2.7	3.3	3.0	2.8
19	3.3	2.7	3.6	1.0	2.2	3.2	3.1	3.1
20	3.5	2.3	3.0	1.1	2.3	2.7	2.9	2.8
Av.	3.7	2.8	3.7	1.4	2.8	3.3	3.0	2.9

最大角度については, 供試個体1,193本のうち1年輪目で最大角度を示した個体は1%, 2年輪目で30%, 3年輪目で43%, 4年輪目で5%, 5年輪目で22%であった。5年輪目で最大角度をしめした個体については, その後さらに角度が大きくなるのか小さくなるのか不明であるが, 少なくとも80%に近い個体は最大角度を示したとみなすことができる。この段階における最大角度の家系平均値のばらつきは3.0~4.8°であり (Table 28), 家系間分散は高い有意性を示した (Table 29)。各家系の最大角度の分布はFig. 30のとおりであり, 角度の大きいNo.1, No.2, No.3, No.10の家系と角度の小さいNo.5, No.17, No.20の家系とでは, 一見して明らかに異なる分布を示した。

また、モデルIIによって推定した狭義の遺伝率 (h^2) はTable 29に示したように、1年輪と2年輪では0.594と0.526であったが、3年輪以上では0.851~0.989、平均角度は0.985、最大角度は0.873と著しく大きな値が推定された。

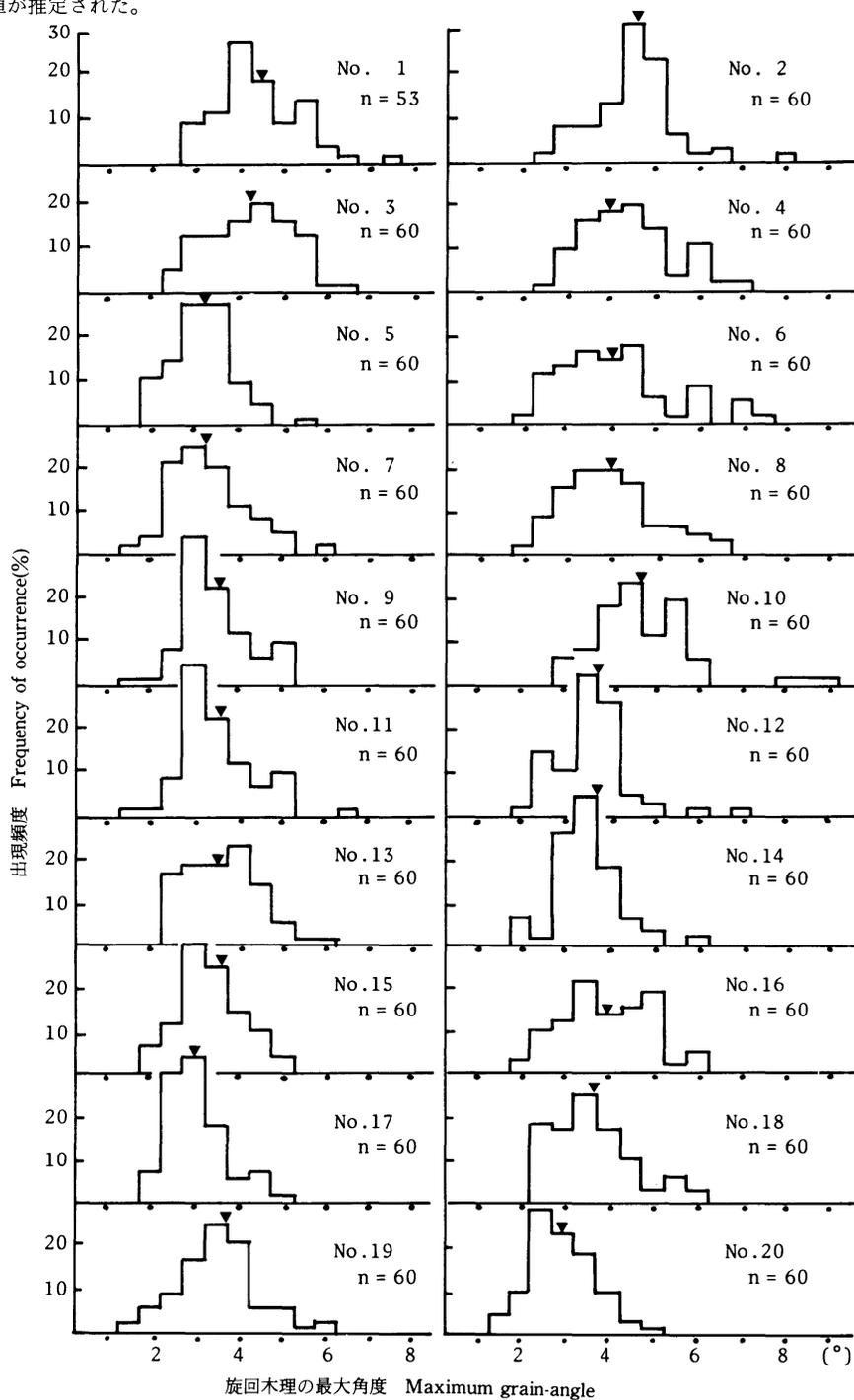


Fig. 30. 各家系における旋回木理の最大角度の頻度分布。

Frequency distribution of maximum grain-angles in each progeny.

Table 29. 自然交配家系における旋回木理の分散分析

Analysis of variance of spiral-grain angle in open-pollinated progenies

旋回木理 Spiral grain	家系間 Between progenies		家系内 Within progenies		F ₀	h ²
	DF	V _{bp}	DF	V _{wp}		
Mean grain angle	19	11.000	1117	0.563	19.559**	0.985
Maximum grain angle	19	13.967	1117	0.826	16.871**	0.873
Grain angle of the indicated growth ring from the pith.						
1st ring	19	3.536	823	0.423	8.322**	0.594
2nd ring	19	8.545	1117	0.889	9.613**	0.526
3rd ring	19	18.050	1117	0.918	19.671**	0.989
4th ring	19	22.664	1117	1.210	18.736**	0.951
5th ring	19	24.222	1117	1.480	16.363**	0.851

** : Significant at 1% level.

$$V_{bp} = \sigma^2e + \sigma^2\text{half-sib} + n\sigma^2p$$

$$V_{wp} = \sigma^2e + \sigma^2\text{half-sib}$$

$$h^2 = \frac{4\sigma^2p}{\sigma^2e + \sigma^2\text{half-sib} + n\sigma^2p}$$

これらの結果のうち樹心から 1～2 年輪目の値と前項の精英樹家系で推定された値を比較すると、ほぼ似た値であり、本項の材料がとくに偏ったものとは考えられない。樹心から 3～4 年輪は多くの個体が最大角度を示す部分であり、この部分における旋回木理の発現は強い遺伝支配を受けているものと考えられる。

第 3 節 考 察

旋回木理の遺伝に関する既往の研究情報は極めて限られた樹種についてのものである。KADAMBIら⁵³⁾は Chir pine のねじれ木を自殖させ、その子供の 68～82% がねじれることから、旋回性は単純な優性形質によるものと考えた。*Pinus radiata* における旋回木理の遺伝率に関する多くの研究結果では、広義の遺伝率は幼齡期では 0.6 前後の値を示すが、年輪増加とともに漸減し、8 年輪目で 0.2 以下となる例^{28) 94)}、自然交配家系で推定した狭義の遺伝率は 4 年輪目で 0.44 であったが 7 年輪目で 0.24 に低下した例⁹³⁾、7 年輪目でも 0.55 を維持する例⁹³⁾が報告されている。これらの結果は、若い年輪ゾーンでは強い量的遺伝支配を受け、7～8 年輪になるとその影響が少なくなることを示している。また、*Fagus sylvatica* においても相加的遺伝分散が大きく、量的遺伝によるとされている¹⁵¹⁾。一方 *Pinus taeda* の人工交配家系では非相加的遺伝分散が大きい結果が報告されている¹⁷⁵⁾。

カラマツにおける旋回木理の遺伝変異に関する本研究結果では、クローンあるいは母樹の違いによって旋回木理の発現が著しく異なることが明かとなった。とくに、樹心から 3～5 年輪目の最大角度を示す年輪で遺伝分散が極めて大きな割合を示した。その後の変化については確認できなかったが、旋回木理の年輪による変化過程から考え、*Pinus radiata* と同様に年輪増加にしたがって遺伝分散の割合が低下するものと予想される。しかし、Table 24 に見られるように、カラマツでは *Pinus radiata* よりも遺伝分散の割合が高い期間がやや長く続くようである。

小沢¹²⁴⁾はカラマツの旋回木理の発達に及ぼす遺伝と環境の影響を考察する中で、幼齡期における旋回方向及び最大角度に達する年輪数は遺伝的なものであり、その後の変化は他の要因による年輪幅にそれを求めたが、少なくとも前段部分については正しい指摘であると考え。カラマツでは幼齡期（8～10 年生頃まで）に旋回木理の角度が小さい個体はその後小さい角度を示す確率が高いので⁷⁸⁾、幼齡期に遺伝分散が大きいことは早期選抜が有効に働くことを意味する。

第7章 旋回木理の選抜基準, 選抜効果及び育種方法

カラマツの旋回木理は個体間変異が大きく、全分散に占める遺伝分散の割合が大きいことを前章で推定した。また、多くのカラマツ林では旋回木理の角度が小さい個体が平均で数%出現する (Table15)。これらの結果から、旋回木理の角度の小さいカラマツ個体を一般造林地から選抜することが可能であり、それらを母材としてカラマツ集団の旋回木理を望ましい方向に遺伝的に改良することが可能であることも明らかとなった。

本章では、カラマツにおける旋回木理の選抜基準を示すとともに、その基準で選抜を実行した場合の選抜強度及び選抜差を現実の林分から求め、集団選抜による遺伝獲得量を推定した。さらに、次代における選抜型 (希望型) の割合を推定し、選抜個体の混合採種圃方式では生産される希望型の出現率が低く、実用上の要求を満たすものにはならないことを明らかにした。この出現率を高める手段としては選抜個体の遺伝子型を直接利用する方式が有効である。その障害となるカラマツのさし木困難性を克服するため、みしょう苗木を対象として早期選抜を実施し、それらの個体のさし木クローンによる改良苗木の供給方式を検討した。

第1節 旋回木理の選抜基準

カラマツの旋回木理は地上高及び年齢によって複雑な変化を示すが、一定の地上高 (2~3 m) 部分の円板における最大角度と平均角度によって個体の相対評価が可能であり、望ましい旋回木理をもつ個体を選出すことができることを第3章で明らかにした。

一方、旋回木理については木材利用の面からいくつかの制約がある。まず、旋回木理は木材の強度に影響する。渡辺¹⁶⁾によれば「木材の強度は、引っ張りと圧縮では繊維と平行方向に外力が作用する場合に、静的曲げと動的曲げ (衝撃曲げ) では繊維方向に長軸があってこれに直角に外力が作用する場合に、最も大きい。これらの条件から外力の作用方向がずれるにしたがって強度は低下する。衝撃曲げでは繊維方向と材料の軸方向との角度が5°のとき強度は10%低下し、10°になると強度は1/2になる。引っ張り強度においても15°の角度では1/2に低下する。さらに、繊維走向は木材の疲労に影響し、振動応力を受ける部材では軸方向と繊維走向との角度が10°以上のものは不相当である。」とされている。また、旋回木理の角度が大きい場合は、製材後の乾燥によって材幅方向に異常収縮が起こりねじれ狂いの原因となるほか、材面の切削不良を生じ易い等、加工過程でも著しい欠点となる⁵⁹⁾とされている。

このようなことから、製材等の日本農林規格¹⁷⁾では、実用上の基準として、ひき割り類・ひき角類のいずれについても繊維走向の傾斜を特等で5% ($\approx 3.0^\circ$)、1等で8% ($\approx 4.5^\circ$) 以下と定めている。また、木構造設計規準⁹⁹⁾では、建築用構造材の許容し得る欠点として、繊維傾斜は4/100 ($\approx 2.3^\circ$) 以下としており、さらに上級構造用材の針葉樹I類 (アカマツ, クロマツ, カラマツ, ヒバ等) の引張材と曲げ材では繊維傾斜の最大値は2/100 ($\approx 1.1^\circ$) 以下、圧縮材では4/100 ($\approx 2.3^\circ$) 以下として、厳しい規準を定めている。

Table 30は、これまでに調査した15林分における1,525本のカラマツ個体について最大角度の出現範囲を示したものである。最大角度の最も小さい個体は1.4°であり最も大きい個体は10.7°であった。他の調査例における最大角度の出現範囲は、長野県下の49年生林分¹²³⁾では2.8~9.1°, 福島県下の70年生林分¹²²⁾では3.9~10.4°, 北海道の35年生林分²⁷⁾では2.2~12.8°である。これらの結果から、製材等の日本農林規格の特等に適合する個体及び建築用構造材の許容基準に適合する個体は出現するが、上級構造用材の基準に当てはま

る個体は認められない。勿論、1本の素材についても用途に応じて製材し利用するので、カラマツでも老齢大径木になると部分的には上級構造用材の生産も可能であろうが、壮齡林からこの基準をみたす材を生産できる個体を選出することは不可能である。

Table 30. カラマツ15林分における最大角度の林分平均値及びその出現範囲
Average and range of maximum grain-angles in fifteen larch stands

林分 Stand	林齡 Age years	供試本数 Number of trees	旋回木理の角度 Maximum grain-angle(deg.)		
			平均値 Average	最小値 Minimum	最大値 Maximum
1. IWATE-52	31	45	5.1	2.2	7.9
2. MORIOKA-48	27	45	4.1	2.3	8.8
3. KAWAI-230	25	90	4.0	1.9	6.3
4. KAWAI-286	23	90	4.3	1.9	7.4
5. KAWAI-296	25	86	4.1	1.9	6.7
6. SHIZUKUISHI-191	25	120	4.6	2.3	7.9
7. MORIOKA-143	31	105	4.5	2.6	7.8
8. MORIOKA-277	25	89	3.7	1.8	5.6
9. IWATE-25	26	90	4.5	2.5	8.2
10. TOKIWA	31	163	5.0	2.1	10.7
11. WADAYAWA-147	54	192	4.5	1.4	9.8
12. TOONO-95	23	120	4.2	2.4	6.7
13. TOONO-123	22	100	4.5	2.2	8.5
14. TOONO-255	25	90	4.2	2.1	8.2
15. TOONO-257	24	100	4.2	2.2	6.7

したがって、旋回木理の角度の小さいカラマツ個体の選抜基準としては、製材等の日本農林規格に定める特等の条件をみたすものとし、最大角度を $5/100$ ($\approx 3.0^\circ$) 以下とするのが適当であると考えられる。また個体によっては最大角度またはそれに近い角度を長期間にわたり維持するものも見られるので、そのような個体を除くために、平均角度については $2.5/100$ ($\approx 1.5^\circ$) 以下とすることが必要である。

なお、旋回木理と生長及び幹の形質との関係については、第5章で明らかにしたように、互いに独立な形質として扱うことができるので、予め生長や樹形の優れた個体を選び、それらの中から旋回木理が上記の基準に適合するものを選ぶことによって、総合的に優れた育種母材料を得ることができる。

第2節 選抜効果の推定

前節で示した選抜基準によって旋回木理の角度の小さい個体を選抜し、それらを母材として次代を育成した場合に旋回木理の角度をどの程度小さくできるのかが、育種計画をたてる場合の重要な鍵になる。本節では、遺伝得量(ΔG) $= \bar{i} \times s \times h^2$ を求め、集団選抜の効果を推定するとともに、実用上の問題点を検討した。

標準化された選抜差(\bar{i})は、第3章のTable 15における旋回木理の角度の小さい個体の出現率5.6%から選抜強度を5%とし、集団中の下位5%に含まれる全個体を選抜することとして $\bar{i} = -2.06$ を求めた。標準偏差(s)は、Table 31に示した11林分の平均角度と最大角度の標準偏差から、それぞれの平均標準偏差 $s = 1.06$ 及び $s = 1.23$ を用いた。遺伝率(h^2)は、第6章で0.45~0.99の値が推定されたが、これらの値と他の樹種での推定値0.40~0.66^{31) 93) 127)}とから、ここでは0.4~0.7までの値を想定して用いた。

Table 32は、それぞれの遺伝率に応じた遺伝獲得量の推定値を示したものである。親集団の平均角度は 2.35° であるから、遺伝率0.5とすると、次代集団の旋回木理の平均角度は約 1.1° だけ小さくなり 1.25° とな

る。その効果を親集団の平均角度に対する百分率で示すと-46%である。最大角度についても同様に、次代集団では1.27°小さくなり3.15°となる。その効果は-28.7%である。このように、カラマツの旋回木理については集団選抜によって大きな遺伝獲得量を期待することができる。

しかし、木材の利用においては集団の平均値が問題になるのではなく、一本の素材あるいは製材品が定められた基準に適合するかどうか問題になる。旋回木理については傾斜が5/100 (≒ 3°) 以下でなければ特

Table 31. カラマツ11林分における旋回木理の角度の林分平均値と標準偏差
Averages and standard deviations of spiral-grain angle in eleven larch stands

林分 Stand	平均角度		最大角度	
	Mean grain-angle(deg.)		Maximum grain-angle(deg.)	
	平均値 Average	標準偏差 SD	平均値 Average	標準偏差 SD
1. IWATE-52	2.75	1.10	5.07	1.32
2. MORIOKA-48	2.14	0.85	4.08	1.09
3. KAWAI-230	1.74	0.68	3.98	1.02
4. KAWAI-286	2.37	0.92	4.32	1.10
5. KAWAI-296	2.22	0.82	4.06	0.95
6. SHIZUKUISHI-191	2.68	0.93	4.58	1.20
7. MORIOKA-143	1.97	0.78	4.46	1.03
8. MORIOKA-277	1.76	0.67	3.73	0.82
9. IWATE-25	2.56	0.94	4.47	1.04
10. TOKIWA	2.63	1.24	4.98	1.39
11. WADAYAMA-147	2.55	1.33	4.45	1.43
Total	2.35	1.06	4.42	1.23

Table 32. 集団選抜による遺伝獲得量
Estimates of the genetic gain of spiral grain through mass selection

遺伝率 Heritability (h ²)	遺伝獲得量 Genetic gain			
	平均角度 Mean grain-angle		最大角度 Max. grain-angle	
	ΔG	%	ΔG	%
0.4	-0.87	37.0	-1.01	22.9
0.5	-1.09	46.0	-1.27	28.7
0.6	-1.31	55.7	-1.52	34.4
0.7	-1.53	65.1	-1.77	40.0

Notes : Genetic gain (ΔG) = $i \times s \times h^2$.
Standardized selection differential in case of 5% of selection intensity $i = 2.06$
Standard deviation of mean grain-angle in Table 31 $s = -1.06$
Standard deviation of maximum grain-angle in Table 31 $s = -1.23$

等に該当せず、利用価値が低下する。したがって、この場合は平均値ではなく、希望型（選抜型）の出現頻度が重要となる。

Table 33は理論式¹⁾ $Q = \int_{t=0}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{i}{2}t^2} dt$ から、F位5%に含まれる全個体を選抜した場合の次代における希望型の割合 (Q) を求めたものである。遺伝率0.5のときの次代における希望型の割合は

27%である。遺伝率0.7のときは42%となる。

このように、一代の集団選抜によって希望型の出現率を数%から30%前後に向上させることが可能なので、

Table 33. 遺伝率と次代における希望型の出現割合

Proportion of desirable trees qualifying for the selection criteria in the following generation corresponding to the different heritability values; in case of 5% of selection intensity

遺 伝 率 Heritability (h^2)	希望型の出現割合 (%) Percent of desirable trees
0.4	21
0.5	27
0.6	34
0.7	42

選抜効果は大きいと評価できる。しかし、林分中に占める選抜型の割合が30%前後にとどまるとすると、改良された集団として実用に供することは難しい。しかも、旋回木理の良否を外観から判定することが不可能であり、林分の保育過程で不良木を除くことができない。したがって、旋回木理について改良された苗木集団を実用に供するためには、採種園方式では無理であり、他の増殖手段を検討する必要がある。

第3節 旋回木理の早期評価と早期選抜法

育種計画を進める上で、選抜個体の検定期間の長さが大きな問題となる。その期間が短いほど計画を効率よく進めることができ、一定期間内の累積効果は大きくなる。

カラマツの壮老齢林を対象として旋回木理について望ましい育種母材料を選抜する場合は、最大角度と平均角度の両者が選抜基準に適合しているものを選ぶのが望ましいことを前述した。しかし、後代検定では旋回木理の平均角度の検定に長い期間をかけるよりも、その期間内で望ましい方向へ数次にわたる選抜を反復した方が、はるかに大きな効果を期待することができる。

本節では、成木の全年輪を対象として旋回木理を評価した結果と若い時代に形成された年輪で評価した結果の関連性を検討し、旋回木理の角度の小さい個体を選ぶことに目的を限定すれば、幼齢段階においても実用にたえ得る精度で評価が可能であることを確認した。このことから、実生苗木を対象として早期選抜を試み、若い選抜個体から増殖したさし木クローンの実用性を検討した。

1. 旋回木理の早期評価

1) 供試材料及び測定方法

調査林分は、第4章のTable 12に示した川井-230, 川井-286, 雫石-191, 盛岡-143, 盛岡77, 岩手-25の6林分である。各林分の供試木本数はTable 12の供試木本数と一致する。旋回木理の測定は、供試木から採取した厚さ10cmの円板を用いて、割裂法によって年輪ごとに行った。

2) 結 果

個体の全年輪を対象とした最大角度と各年輪までの最大角度との相関係数を求め、年輪増加にともなう相関係数の変化を、Fig. 31に示した。いずれの林分においても、早い時期から比較的高い正の相関関係が認め

られる。ただし、雫石-191では相関係数が最終年輪までゆるやかに上昇する特異なパターンを示した。また、岩手-25においても似た傾向が見られる。しかし、他の林分では3~7年輪の間で相関係数が急激に高まっ

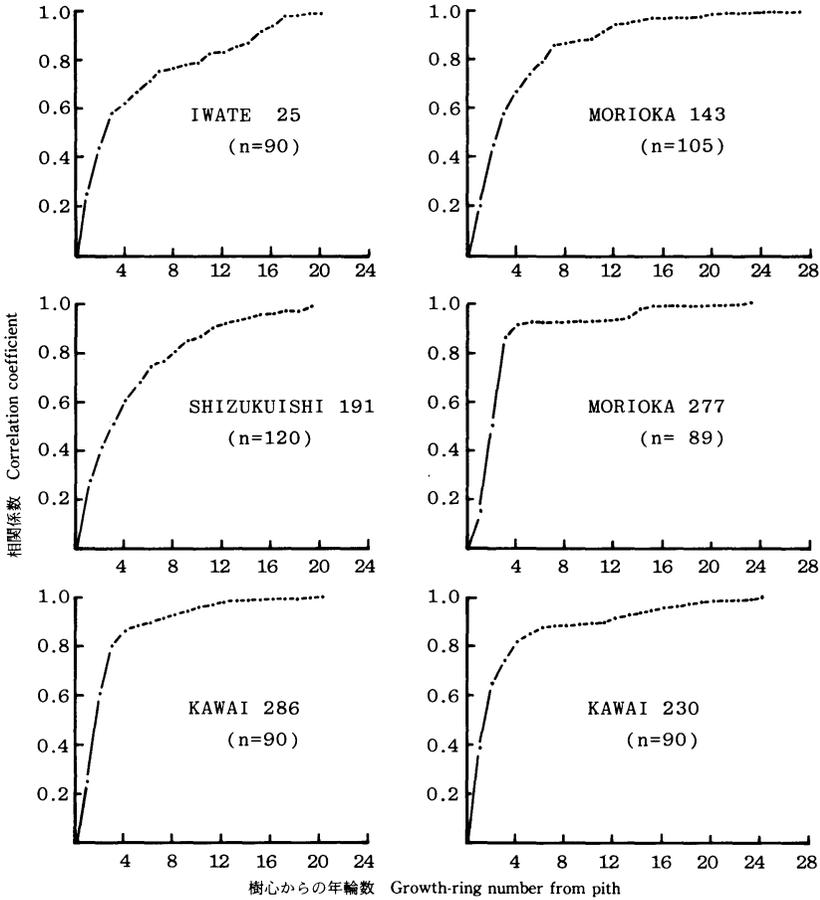


Fig. 31. 全年輪を対象とした旋回木理の最大角度と樹心から各年輪までの最大角度との相関係数。

Transition of correlation coefficients between the maximum grain-angle through entire growth-rings and up to a certain growth-ring (n-th) from the pith.

ている。

Fig. 32は、各林分における最大角度の年輪別出現頻度とその累積頻度を示したものである。年輪別出現頻度をみると、雫石-191を除く他の5林分では樹心から3年輪目にピークが現れている。とくに盛岡-277では、60%に近い個体が3年輪目に最大角度を示した。これに対し雫石-191では、3年輪と4年輪にかけて一つの山が見られるが、若い年輪のみに集中せず、分散する傾向を示した。最大角度の累積頻度をみると、雫石-191においても11年輪目で80%になっており、岩手-25及び川井-286と同程度であった。盛岡-143、盛岡-277及び川井-230の累積頻度は6年輪目で80%に達している。

以上は林分別に全供試木を対象として調べたものであるが、旋回木理の小さい個体では、この傾向がさらに早まることが予想される。Fig. 33は、6林分の中から最大角度が3°以下の個体63本を選び出し、最大角度の年輪別出現頻度と累積頻度を示したものである。Fig. 32と比較すると、年輪別出現頻度では良く似た傾向

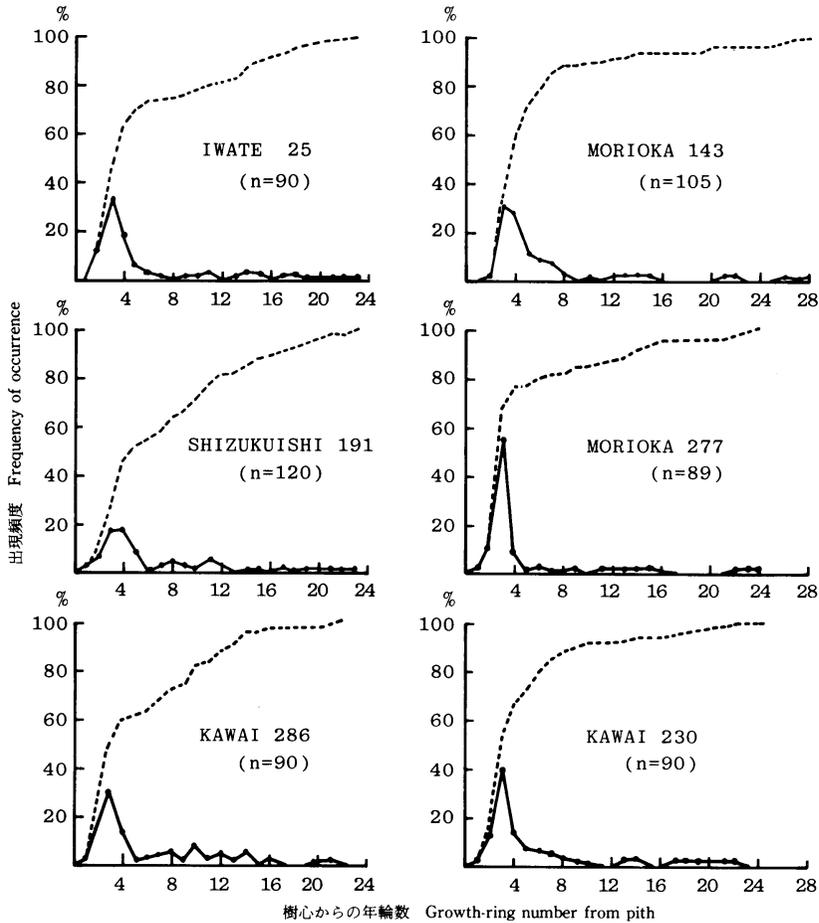


Fig. 32. 旋回木理の最大角度を示す個体の年輪別出現頻度と累積頻度。

Frequency of trees showing the maximum grain-angle in a certain growth-ring from the pith and the cumulative frequency.

を示したが、累積頻度では4年輪目で85%、6年輪目で90%に達しており、最大角度の出現時期が早い個体が多くなっている。旋回木理の早期評価における問題は、幼齢段階で角度が小さく高齢で角度が大きくなる個体を、旋回木理の角度の小さい個体として評価する誤りである。Table 34は、幼齢期に旋回木理の角度が3°以下である個体のうち、成木になっても3°以下の角度を維持する個体の割合を適合度として表したものである。適合度は林分によって異なり、4年輪で34~79%、5年輪で44~83%、6年輪で50~91%、8年輪で58~100%、10年輪で78~100%であった。適合度の良否は最大角度の累積頻度の多少と一致しており、最大角度が早く出現する林分では6年輪で83~91%の適合度を示した。6林分の全供試木584本を対象とした場合は、4年輪で57%、6年輪で73%、8年輪で79%、10年輪で87%であった。

以上の調査結果から、旋回木理の最大角度については高い幼老相関が存在し、旋回木理の角度の小さい個

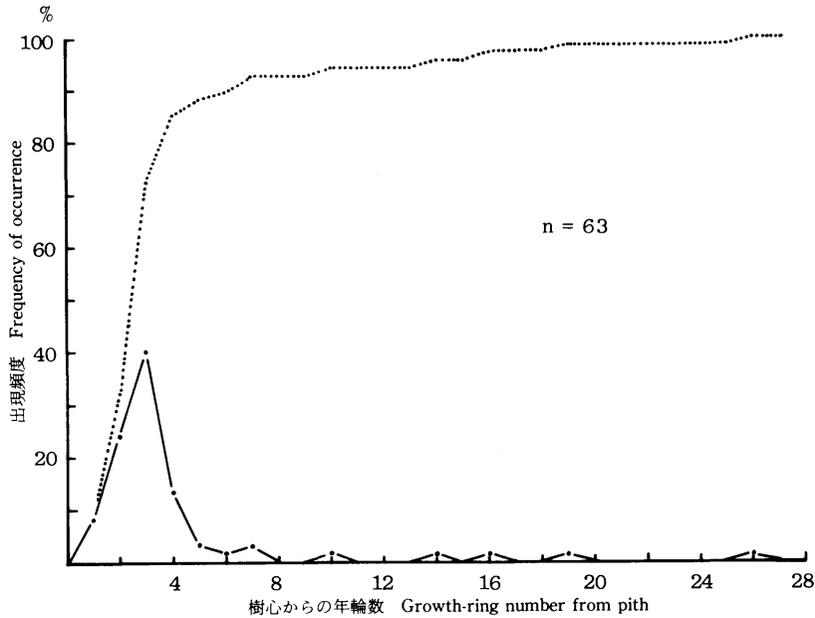


Fig. 33. 旋回木理の角度の小さい個体群における最大角度の年輪別出現頻度と累積頻度。
Frequency of trees showing the maximum grain-angle in a certain growth-ring from the pith and the cumulative frequency in a tree group with slight spiral grain.

体を早期に評価できる可能性が示された。評価の精度は対象林分における最大角度の出現時期の遅速に関係

Table 34. 旋回木理の早期評価の精度
Accuracy of early evaluation for spiral grain

調査林分 Stand	調査木本数 No. of trees	(A)	樹心からn番目年輪までの旋回木理の角度3°以下の個体数及びそれらに対する (A) の割合 Percentage of (A) to the number of trees with grain angles of less than 3° up to a certain growth ring (n-th) from the pith													
			4th		5th		6th		7th		8th		9th		10th	
			No. of trees	%	No. of trees	%	No. of trees	%	No. of trees	%	No. of trees	%	No. of trees	%	No. of trees	%
IWATE-25	90	7	16	46.7	15	46.7	12	58.3	12	58.3	12	58.3	11	63.6	9	77.8
MORIOKA-143	105	6	11	54.5	9	66.7	7	85.7	6	100	6	100	6	100	6	100
MORIOKA-277	89	19	24	79.2	23	82.6	21	90.5	21	90.5	21	90.5	21	90.5	21	90.5
SHIZUKUISHI-191	120	11	32	34.4	25	44.0	22	50.0	20	55.0	16	68.8	15	73.3	14	78.6
KAWAI-230	90	16	22	68.2	20	75.0	18	83.3	18	83.3	18	83.3	18	83.3	18	83.3
KAWAI-286	90	10	16	62.5	16	62.5	15	66.7	15	66.7	14	71.4	13	76.9	11	90.9
Total	584	69	121	57.0	108	63.9	95	72.6	92	75.0	82	79.3	84	82.1	79	87.0

(A) : 全年輪を通して旋回木理の角度が3°以下の個数。

Number of trees with grain angles of less than 3° through entire growth ring.

し、早い林分では6年輪で80~90%の高い精度になるが、遅い林分では8年輪になっても60~70%の精度にとどまる。これらの林分をまとめて平均的にみると、樹心から8年輪までの最大角度によって、将来とも小さな角度を維持する個体を約80%の確からしきで選び出すことができそうである。なお、最大角度を示したかどうかを確認する手段として、連続する年輪の旋回木理の角度を測定し、増大傾向にあるものを除くこと

によって評価の精度をさらに向上させることができる。

2. 旋回木理の早期選抜法

1) 供試材料及び測定方法

供試苗木は、Table 35に示した4集団のものであり、それぞれ2回床替3年生であった。このうち長野一川上産と岩手一久慈産は種子源が不明であった。また、岩手一採種園産は東北林木育種場のカラマツ精英樹採種園からのものである。供試本数は岩手一採種園産が1,700本、他の3集団がそれぞれ2,000本、計7,700本であった。

Table 35. 早期選抜に供した苗木集団

Seedlings used for early selection

苗木集団 Seedling-population	供試本数 Number of seedlings	初回選抜時の苗齢 Age of seedling in the first selection	選抜年 Selection year
NAGANO-Kawakami	2000	2-3	1974-1976
IWATA -Morioka	2000	2-3	1974-1976
IWATE -Kuji	2000	2-3	1975-1977
IWATE -Seed orchard	1700	2-3	1977-1979

選抜作業は、長野一川上産については関東林木育種場長野支場（現、同場長野事業場）で、岩手の3集団については東北林木育種場で実行した。

旋回木理の測定は、第2章のFig. 2に示した引裂き法によって行った。

選抜方法としては、まず旋回木理の角度が3°以下の全個体を選抜して床替え養苗し、同様な測定を3～4年継続して3°以上の角度を示す個体を順次除去してゆき、角度の小さい個体群に収斂させる方法を検討した。

2) 結果

3年生苗木集団における旋回木理の角度は、Table 36に示したように、長野一川上産が $6.4 \pm 2.1^\circ$ で他の集団よりもやや小さく、岩手一久慈産が $7.4 \pm 3.1^\circ$ でやや大きな値を示した。最小値はいずれの集団においても

Table 36. 初回選抜時における各苗木集団の旋回木理の角度

Spiral-grain angle in each seedling-population in the first selection

苗木集団 Seedling-population	旋回木理の角度 Spiral-grain angle			SD
	平均値 Average	最小値 Minimum	最大値 Maximum	
NAGANO-Kawakami	6.4°	1°	16°	2.1°
IWATE -Morioka	7.3	1	17	2.4
IWATE -Kuji	7.4	1	21	3.1
IWATE -Seed orchard	7.1	0	19	2.4

0～1°であった。Fig. 34は各苗木集団における旋回木理の角度の分布を示したものである。岩手一久慈産の

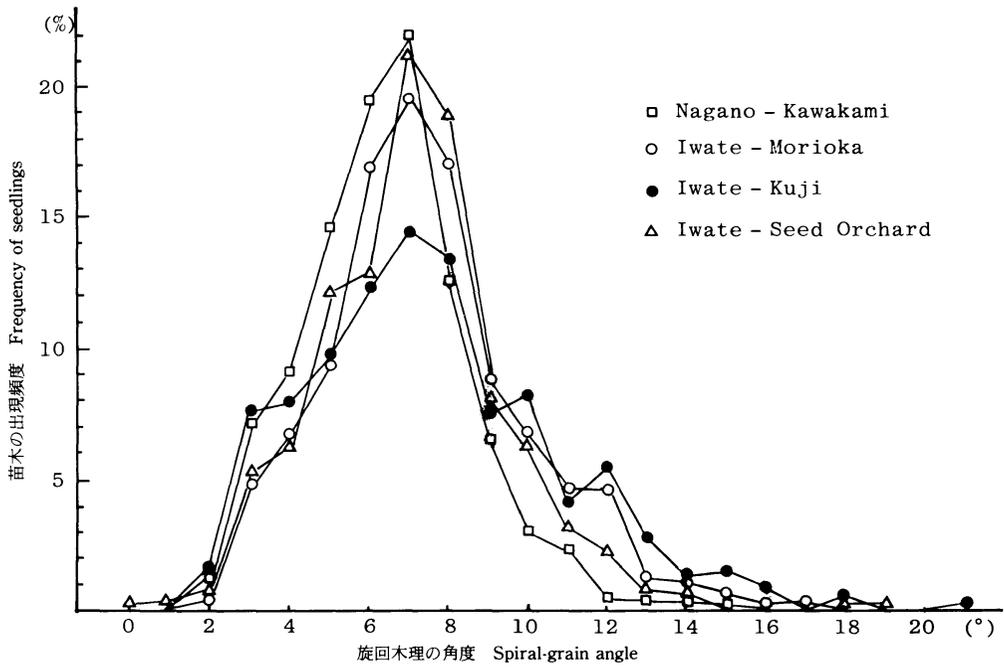


Fig. 34. カラマツの4苗木集団における旋回木理の角度の頻度分布。

Frequency distribution of spiral-grain angles in four seedling-populations of larch.

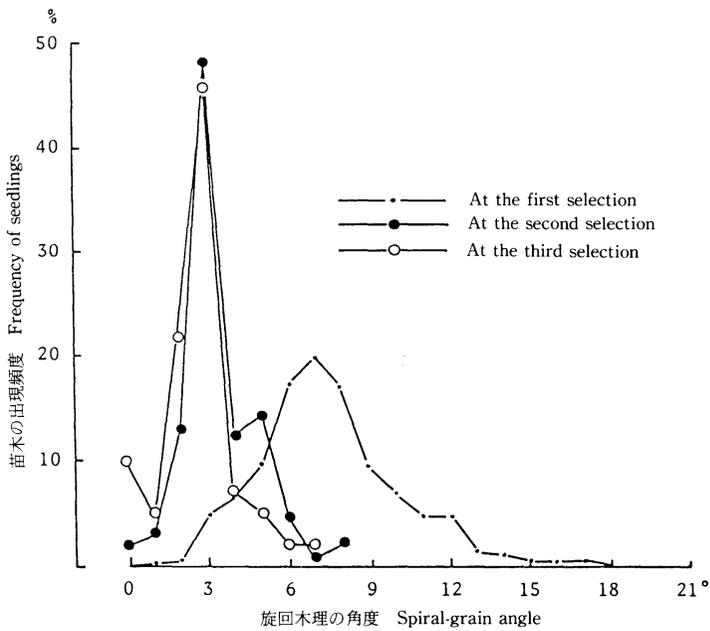


Fig. 35. 岩手一盛岡産の苗木群における選抜時の旋回木理の角度の頻度分布。

Frequency distribution of spiral-grain angle at the 1st, 2nd, and 3rd selections in the seedlings from IWATE-Morioka.

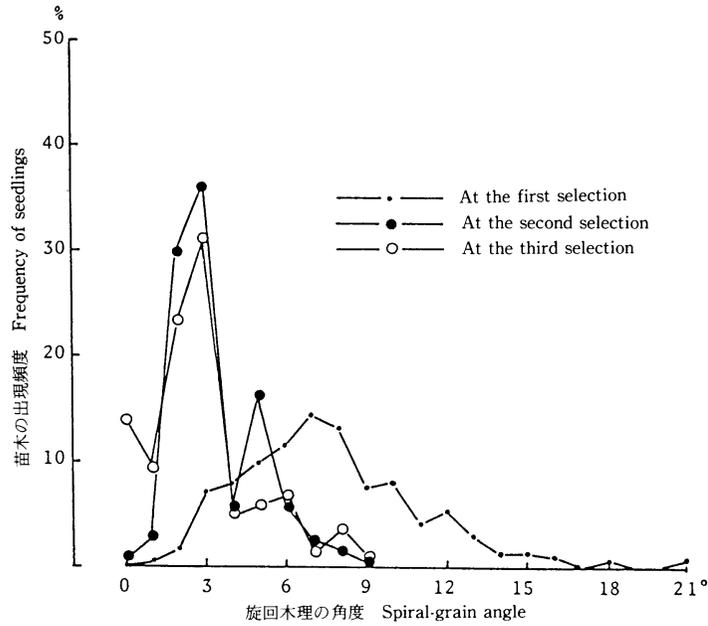


Fig. 36. 岩手一久慈産の苗木群における選抜時の旋回木理の角度の頻度分布。
Frequency distribution of spiral-grain angle at the 1st, 2nd, and 3rd selections in the seedlings from IWATE-Kuji.

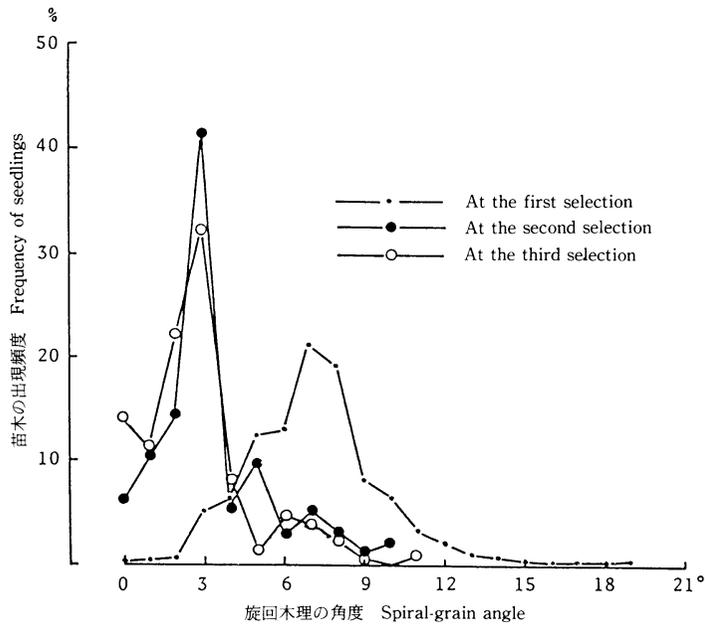


Fig. 37. 岩手一採種園産の苗木群における選抜時の旋回木理の角度の頻度分布。
Frequency distribution of spiral-grain angle at the 1st, 2nd, and 3rd selections in the seedlings from IWATE-Seed orchard.

モードが低いことを除けば、集団間に大きな違いは認められなかった。

Fig. 35~37は岩手の3集団における選抜前と選抜後の旋回木理の角度の分布を示したものである。各集団は1回目の選抜で平均値が7.1~7.4°から2.8~3.3°に低下し、最大値が17~21°から8~10°に低下した。年齢が3年から4年になったことによる角度の減少を考慮しても、これらの値の大幅な低下は選抜が有効に働いたことを示している。2回目の選抜では0°及び1°の出現頻度が若干高まり、平均値は2.8~2.9°になったが、分布型には大きな変化が見られなかった。

Table 37は1~3回の選抜において3°以下の角度を示した個体数とそれらの供試本数に対する割合(選抜率)を示したものである。1回目の選抜における選抜率は7.4% (5.2~8.3%)であり、2回目では4.7% (3.3~5.1%)、3回目では4.0% (2.7~4.8%)であった。

Table 37. 旋回木理の早期選抜結果
Results of early selection for spiral grain

苗木集団 Seedling-population	供試苗木数 Number of seedlings	初回 First		2回 Second		3回 Third	
		選抜苗木数 No. of selected seedlings	選抜率 Selection rate (%)	選抜苗木数 No. of selected seedlings	選抜率 Selection rate (%)	選抜苗木数 No. of selected seedlings	選抜率 Selection rate (%)
NAGANO-Kawakami	2000	169	8.45	96	4.80	78	3.90
IWATE -Morioka	2000	104	5.20	66	3.30	53	2.65
IWATE -Kuji	2000	166	8.30	102	5.10	56	4.75
IWATE -Seed orchard	1700	109	6.41	77	4.53	56	3.29
Total	7700	548	7.12	341	4.43	282	3.66

当初の計画では、前項で検討した早期評価の精度を考え、選抜操作を4回連続して行い6年生まで観察することにしたが、2回目と3回目における選抜率の差が0.77%と小さく、選抜個体群の角度の分布に変化が見られず、しかも3回目で既に選抜率が4%前後になったことから、3回で選抜を終了した。一般造林地における最大角度3°以下の個体の出現率は9.2%であるから(第4章のTable 15)、選抜率が4%前後になれば、旋回木理の角度の小さい個体群にはほぼ収斂したものと考えられる。勿論、前項で明らかにしたように、若い時代には小さい角度であっても壮老齢で大きな角度をもつ個体が20%程度出現するので、早期選抜個体群についても同じ程度の誤りを含むものと予想しなければならない。

3. 早期選抜個体のクローン検定

1) 供試材料及び測定方法

前項で供試した岩手一盛岡産と岩手一久慈産の苗木集団から選抜した旋回木理の角度の小さい個体、それぞれ34本と95本、両集団で大きな角度を示した個体9本と3本、岩手一久慈産で中程度の角度を示した個体19本、計160本を採穂木として東北林木育種場採穂園に定植した。岩手一盛岡産の選抜個体は1976年春に、岩手一久慈産の選抜個体は1977年春に定植し、翌年から強度の剪定を行って萌芽枝を発生させた。

1978年6月下旬に、これらの採穂木から当年生萌芽枝を採取して夏ざしを実行した。発根したものを1981年まで毎春床替えて養苗した。

1981年秋に、Table 38に示した50クローンを供試し、選抜時と同じ方法で旋回木理の角度を測定してクローン検定を行った。

Table 38. 早期選抜木のクローン検定に供したクローン数及びさし木個体数
Clones and trees (rooted cuttings) used for clone-test of early selected individuals

選抜木群 Group of selected individuals	IWATE-Morioka		IWATE-Kuji		Total	
	クローン数 No. of clones	個体数 No. of trees	クローン数 No. of clones	個体数 No. of trees	クローン数 No. of clones	個体数 No. of trees
旋回木理 (大) Heavy spiral-grain	3	27	—	—	3	27
旋回木理 (中) Moderate spiral-grain	—	—	5	25	5	25
旋回木理 (小) Slight spiral-grain	17	137	—	—	42	261
旋回木理 (小) Slight spiral-grain	—	—	25	124		
Total	20	164	30	149	50	313

2) 結果

早期選抜個体から増殖した4年生さし木クローンについて、3年輪を含む部分の外周年の旋回木理の角度を測定した。Table 39はその結果である。

角度の大きい選抜個体のクローン群は8.1~8.7°の範囲に含まれ、クローン群平均値は8.3°であった。これらのクローン群では、さし木苗単位に見ても、選抜時よりも大きな角度をもつものは出現しなかった。また、角度が中程度の選抜個体のクローン群は5.2~7.3°の範囲にあり、クローン群平均値は6.2°であった。

一方、角度が3°以下の選抜個体のクローン群では、岩手一盛岡産が1.0~3.7°、岩手一久慈産が1.0~5.0°であり、それぞれのクローン群平均値は2.3°と2.5°であった。この両群を合わせた42クローンのうち、3.1°以上の角度を示したのは7クローンのみであり、その出現率は17%に過ぎなかった。しかも、その中の4クローンは3.3°以下であった。

Fig. 38は、Table 39の選抜個体群ごとに、さし木個体を単位として旋回木理の角度の分布を示したものである。角度の大きい選抜個体群の分布幅は6~11°、中程度の群では4~8°、小さい群では0~7°であり、選抜個体群間で明らかに異なる分布を示した。

Table 40は、旋回木理の角度の小さい選抜個体のクローン群の中に、平均値が3°以下のクローン及び3°以下のさし木個体がどの程度の割合で含まれているかを示したものである。42クローンのうち35クローンは平均値が3°以下であり、その割合は83.3%であった。また、測定した261本のさし木個体のうち、232本が3°以下であり、その割合は88.9%であった。

Fig. 39は、選抜個体の角度とクローンの平均角度との関係を示したものである。旋回木理の角度の小さい個体を選抜することが目的であったので、供試クローンは角度の小さいものに偏っているが、両者はほぼ直線的な関係にあり、相関係数は0.88であった。

前項で早期選抜の可能性を指摘したが、早期選抜個体のクローンを検定した結果、供試クローンの83%、さし木個体の89%が選抜型を示しており、この方法の有効性が裏付けられた。なお、検定に供したさし木苗は3年輪を含むものであり、ほぼ最大値を示す部分についての測定結果であるから、大きな誤りはないと考える。

Table 39. 早期選抜木ローンの旋回木理の角度
Spiral-grain angles in the clones of selected individuals

Selected individual		Clone		
No.	Spiral grain (°)	No. of ramets	Spiral grain (°)	
			Av.	Range
51-1	12	10	8.1	7~ 9
3	11	3	8.7	7~10
9	12	14	8.3	6~11
Total	11~12	27	8.3	6~11
52-4	8	5	5.2	5~ 6
11	9	3	6.3	5~ 8
12	9	4	6.5	5~ 8
21	8	4	7.3	7~ 8
22	8	9	6.0	4~ 8
Total	8~ 9	25	6.2	4~ 8
51-11	3	3	2.7	2~ 3
12	3	4	2.5	2~ 3
13	1	15	1.9	0~ 3
14	3	4	2.5	2~ 3
15	2	4	3.0	2~ 4
16	3	15	3.7	3~ 5
17	3	7	1.0	0~ 3
18	2	7	1.4	0~ 2
22	3	14	2.4	1~ 3
23	2	12	1.9	0~ 3
25	2	9	2.4	1~ 3
27	3	4	2.5	2~ 3
29	3	15	2.7	0~ 4
35	3	3	1.0	1
36	3	7	2.3	1~ 4
41	0	10	2.0	0~ 3
42	2	4	2.3	1~ 3
Total	0~ 3	137	2.3	0~ 5
52-27	3	3	2.0	0~ 4
28	0	8	1.9	0~ 3
30	0	3	2.3	1~ 4
33	3	3	3.3	3~ 4
40	3	7	2.3	1~ 3
44	0	4	2.8	2~ 3
48	3	4	1.0	0~ 2
52	3	4	3.3	3~ 4
58	3	3	1.3	0~ 3
62	3	3	5.0	3~ 7
68	0	4	1.8	0~ 3
74	1	5	3.2	2~ 4
78	3	9	2.4	1~ 3
88	3	9	2.4	1~ 3
90	2	5	1.2	0~ 3
95	2	8	3.8	3~ 5
100	2	3	2.7	2~ 3
104	2	4	2.8	2~ 3
106	2	6	2.5	0~ 5
109	2	6	2.5	0~ 3
112	3	8	2.5	1~ 3
113	0	5	2.8	2~ 3
114	2	3	3.3	3~ 4
115	2	4	2.8	2~ 3
117	0	3	1.3	1~ 2
Total	0~3	124	2.5	0~ 7

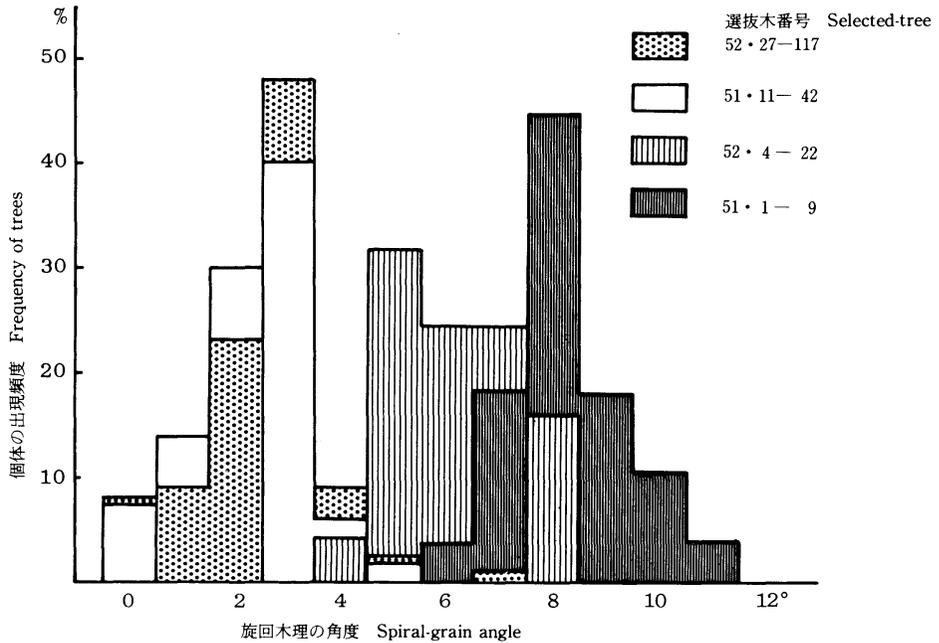


Fig. 38. 選抜木クローン群における旋回木理の角度の頻度分布。
Frequency distribution of spiral-grain angles in the four groups of clones of early selected trees.

Table 40. 旋回木理の角度の小さい早期選抜木のクローン群に含まれる希望型クローン及びさし木個体の割合

Proportion of desirable clones and trees (rooted cuttings) qualifying under selection criteria* in the clones of early selected individuals with slight spiral-grain angles

選抜集団 Original population	検定クローン数 Tested clones	検定個体数 Tested trees	希望型 Desiable type*		希望型 Desiable type*	
			No. of clones	%	No. of trees	%
IWATE-Morioka	17	134	16	94.1	124	90.5
IWATE-Kuji	25	124	19	76.0	108	87.1
Total	42	261	35	83.3	232	88.9

* : クローン平均値及び個体の旋回木理の角度が3°以下のもの。
Clone or trees with slight spiral-grain angles of less than 3°.

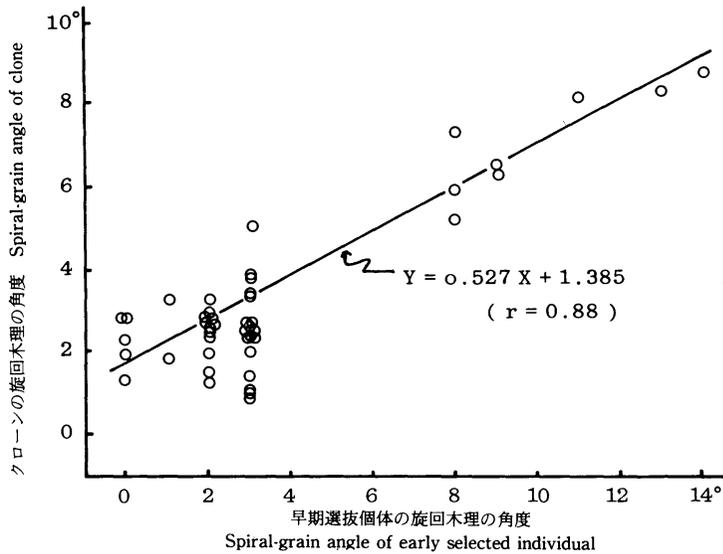


Fig. 39. 早期選抜個体の巡回木理とそれらのさし木クローンの巡回木理との関係。
Relationship between spiral-grain angles of early selected individuals
and their clones propagated by cuttings.

第4節 考察

カラマツの一般造林地における巡回木理の表現型変異は大きく、製材等の日本農林規格に定める特等（繊維傾斜5/100以下）及び建築用構造材の許容基準（繊維傾斜4/100以下）に適合する材を樹心部を含めて生産する能力をもつ個体が存在する。しかし上級構造用材の引張材・曲げ材で要求される基準（繊維傾斜2/100以下）を満たす個体を既存のカラマツ林から選び出すことは不可能である。これらの材は大径材からの部分的な生産にとどまる。したがって、既存のカラマツ集団から巡回木理について望ましい育種母材を選抜する基準としては、日本農林規格の特等に相当するものとして最大角度が5/100（≒3°）以下、さらに年輪増加にともなって角度が小さくなる個体を選ぶために平均角度が2.5/100（≒1.5°）とするのが適当である。

この基準を用いてカラマツの一般造林地で選抜を実行したとすると、林分による違いはあるが平均的には5.6%の選抜強度となる。この値と標準偏差から算出される選抜差と前章で推定された狭義の遺伝率を用いて集団選抜による遺伝獲得量を推定した結果では、選抜強度が5%で遺伝率が0.5の場合、親集団の平均値に対する増分は平均角度で-46%、最大角度で-29%であった。これらの選抜効果は、生長形質等で推定されている効果よりもはるかに大きいものである。また、同じ条件で次代における選抜型の出現割合を推定すると27%になる。この場合においても、親集団では数%の出現率であるから、遺伝的には大きな進歩量である。

しかし、木材の利用を考えると上記の遺伝獲得量では満足できる内容にはならない。木材の利用にあたっては、品等に応じた一定の性能が一本ごとの素材または製材品に要求されるので、集団平均値のレベルそのものには大きな意味がなく、その中から品等の高い素材・製材品をいかに多く生産できるかが問題となる。集団選抜によって次代を育成した場合の選抜型の出現率は30%前後にとどまると予想されるので、この内容の造林材料では実用に結びつかないと考える。

選抜型の出現頻度が高い集団を育成する手段としては、対象形質が遺伝的に安定したものであれば、選抜

個体の遺伝子型をそのまま利用するのが最も効果的である。しかし、カラマツをさし木で増殖させるためには採穂親木が若くなければならないので、そのためには幼齢段階で旋回木理を評価し選抜個体を得る必要がある。本章の結果では、カラマツの旋回木理の最大角度は高い幼老相関を示し($r=0.80\sim 0.85$)、多くの林分の多くの個体では樹心から2~4番目の年輪に最大角度が集中して現れ、その累積頻度は4年輪目で60~80%に達する。選抜精度はやや低くなるが、幼齢木を対象としても旋回木理の角度の小さい個体の選抜が可能である。

早期選抜の方法としては、苗木または幼齢木の幹を対象として、外周年輪の旋回木理を引裂き法によって測定し、3~4年繰り返し選抜を行って、基準内の旋回木理をもつ個体群に収斂させるのが有効である。本章の結果では、3年生実生苗木を対象として3°以下の角度をもつ個体を選抜したときの選抜率は、1回目で5.2~8.3%、2回目で3.3~5.1%、3回目で2.7~4.7%であった。2回目と3回目の違いは0.7%と小さく、3回の繰り返し選抜で目的の個体群にほぼ収斂させることが可能である。これらの選抜個体をさし木で増殖しクローン検定を行った結果では、平均値が選抜基準の3°以下であるクローンが全体の83%を占め、さし木個体を単位として見ると3°以下の角度をもつ個体は89%であった。また、あらかじめ角度の大・中・小に区分して選抜したグループのさし木個体群間では、旋回木理の角度の分布が明らかに異なり、この方法による早期選抜の有効性が裏付けられた。

以上のように、旋回木理についての選抜個体を母材として実用上役立つ次代を早期に供給するためには、さし木クローンの実用化を考える必要がある。そのためには、選抜個体群の実生系統または精英樹採種園産の実生系統を対象として上記の早期選抜を行って、それらを採種木として利用するのが効果的である。カラマツのさし木増殖技術についてはまだ多くの問題が残されているが、それらについては次章で検討する。

第8章 カラマツのさし木増殖技術に関する検討

わが国では、1940年の林業試験研究協議会でカラマツのさし木増殖方法の検討を進めることが申し合わされて以来、カラマツのさし木に関する研究が進められてきた。さらに、第二次大戦後の拡大造林にともなう種子の不足と林木育種研究におけるクローン増殖技術の開発とがあいまって、さし木の研究成果が発表されてきた。しかし、それらの研究成果は供試材料や実験場所によって異なり、また発根率そのものも全体に低かったことから、造林用種子が確保されるとともにさし木苗生産の要求が後退し、研究も実用化できる技術にまで発展せず現在に至っている。

本章では、旋回木理の早期抜個体の実用化を目的として、カラマツのさし木に関するこれまでの研究成果を整理し、部分的な追試を行い、さらに早期選抜個体を採穂木として仕立て、それらの当年伸長の萌芽枝を夏ざしするさし木増殖法を検討した。

第1節 カラマツのさし木に関するこれまでの研究成果の要約

カラマツのさし木試験に関する報告としては、池内⁴³⁾が1941年に東京営林局上田営林署で実行した結果を予報的に発表したことに始まる。翌年に上田営林署¹⁵⁷⁾がその結果をまとめ、前年生枝を0.02%のIAAで処理し春ざしした場合の発根率は10%であり、8月9日に3年生苗の当年伸長枝を0.005~0.02%のIAAで処理し夏ざしした場合の発根率は40~60%であったことを報告した。石井⁴⁸⁾は4年生カラマツから採穂し、4月と8月にフレーム内で鉢ざしした場合と露地ざしした場合におけるIAAの処理効果、補助処理としての砂糖・ペプトン・ビタミンB₁の効果を検討した。その結果、4月にさし付けたものが8月のものよりも良い成績を示し、4月ざしのIAA-0.04%-24hrs処理の発根率は約70%であった。補助処理の効果は認められず、ビタミンB₁はむしろ抑制的に働いた。8月ざしではIAA0.02~0.04%、NAA0.02%処理が効果的であった。さらに、カラマツのさし木では吸水を良好にするか蒸散を制限する方法の採用と通気性が必要であるとした。猪瀬⁴⁵⁾⁴⁶⁾は規模の大きいさし木試験を実行し、採穂親木は5~6年生までが適当であること、さし付け季節は夏の方が春よりも高い発根率を得ること、春ざしでは開葉が進み新梢が伸び始める直前に採穂したものが良く、夏ざしでは伸長生長中に摘心処理を行ってから採穂するのが良いことを報告した。摘心した当年伸長枝をIAA 2千倍液で3~6時間処理した場合は88~98%、NAA 4万倍液で3~6時間処理した場合は86~100%の発根率であった。

その後、柳沢ら¹⁶⁵⁾は10年生と25年生の母樹から採穂し、春ざしにおける時期別発根能力を調査するとともに、10年生親木について発根促進剤の処理効果、長枝と短枝の夏ざしにおける時期別発根能力を調査した。その結果、採穂木の年齢とさし穂の年齢が高いほど発根成績が悪く、春ざしでは開葉前が適期であり、夏ざしでは伸長生長の最盛期後が発根率・癒傷率とも高まるが8月以降では発根しないこと等を明らかにした。また、春ざしでは切口面の上方幹部より発根し夏ざしではカルス部から発根するものが多く、さらに、短枝においても親木の年齢が若く短枝の年齢も若ければ27%の発根率が得られることを確認した。柳原¹⁶⁴⁾は2年生苗木の頂枝と側枝を春ざしし、開葉が十分進み伸長生長を開始する前の側枝をさし付けるのが良く、さし付け直後の灌水は効果が無いことを報告した。塩田¹⁴⁶⁾は、4年生苗木を用いて7月20日に摘心処理を行い、7月28日に採穂しさし付けて降雨量と発根促進剤の効果を調査し、さし付け後30~40日間に晴天無降水日が10日以上続くとさし木成績は不良となり、ホルモン処理は根数に効果はあるが枯損が多くなる結果を得た。

Table 41. カラマツのさし木の発根に関する既報の成績一覧
List of previous reports on rooting of larch cuttings

さし付け時期 Insertion season	採穂木の年齢 Age of ortet	さし穂 Cuttings	さし床 Propagation bed	発根処理 Treatment	発根率 Rooting (%)	報告者 Author
(Spring) late March ~ late April	1	Lateral shoot, 15-20cm long	Flower pot, Sandy loam	NAA	38	ASADA and others 1959
	2	" , 15cm long	Nursery bed	non	18	YANAGIHARA 1952
	"	Terminal shoot, 15cm long	"	non	8	"
	"	Lateral shoot, 15-20cm long	Flower pot, Sandy loam	NAA	19	ASADA and others 1959
	"	" , ?cm long	Green house, Heated bed (18°-22°C)	non	57	UCHIHORI 1964
	"	" , 10m ² long	Heated bed (+20°) in a netted house, Kanuma-soil.	non	18-79	ASADA and others 1977
	3	" , ?cm long	Nursery bed	IAA	10	UEDA For. Office 1942
	4	?	Green house, Flower pot	IAA	70	ISHII and others 1934
	6	5cm long	Flower pot, Red soil	non	93	ISHIKAWA 1968
	7	?	Green house, Kanuma soil	NAA	55	YAMATE 1961
	10	?	Nursery bed	NAA	25	YANAGISAWA and others 1958
	25	?	?	NAA	15	"
	33	5cm long	Flower pot, Red soil	non	30	ISHIKAWA 1962
	35	"	" , "	non	10	"
	"	"	" , "	IAA	80	"
	43	?	Green house, Kanuma soil	NAA	20	YAMATE 1961
(Summer) late June ~ early Sept.	0	Softwood	?	non	13-55	ASADA and others 1959
	1	"	?	non	18-29	"
	2	"	Green house, Misotsuchi ,a Kind of sub-soil	non	73	ASADA and others 1955
	3	Adventitious Softwood, 10cm long	Outdoor, Subsoil and sand	non	50-53	MOMOSE 1960
	"	Softwood, 3cm long	Flower pot, Red soil long	non	83	ISHIKAWA 1968
	4	Pinched soft- wood, ? cm long	Nursery bed	NAA	16-58	SHIOTA 1953
	5	Softwood, 3cm long	Flower pot, Red soil	non	32	ISHIKAWA 1968
	"	Softwood, 9cm long	" , "	non	0	"
	5-6?	Pinched soft- wood, ? cm long	Nursery bed	NAA	86-100	INOSE 1953
	7	Softwood, 3cm long	Outdoor, Subsoil	NAA	17-53	ARAI 1967
	"	"	" , "	IAA	0-33	"

浅田は1940年代後半からカラマツのさし木に関する研究に着手し、長野県下で長期にわたり試験を継続し、単独または共同研究者とともに多くの成果を報告した。その内容は、採穂木の年齢とさし穂の活着率及び発根率との関係⁶⁾、採穂時期とさし付け時期⁹⁾、発根部位¹³⁾、カルス形成の促進^{8) 9)}、採穂木の年齢と土壤中の *Rhizocotonia* sp.、*Fusarium* sp. に対する抗菌性¹¹⁾、発根の難易と樹体養分との関係¹²⁾ にわたるものである。採穂木の年齢については、3年生以上になるとさし木を成功させる見込みがなく、1~2年生が限度であるとした。また、カルス部位から多く発根することから、休眠期に採穂してカルスの形成を促進させ、さし付ける方法の可能性を指摘した。さし付け時期については、芽ぶき前後の3月下旬を適期としたが、同氏らの最近の試験結果¹⁵⁾では開葉が十分進んだ4月下旬でより高い発根率を得ている。

その間、百瀬⁸⁷⁾は3年生苗木を用いて6月下旬に剪定し不定根を発生させ、それらを8月中旬に砂床にさし付け53%の発根率を得た。山手¹⁶³⁾は7年生と43年生個体から3月上旬に採穂して雪中埋蔵し、3月下旬にNAA処理してハウス内の鹿沼土にさし付け、7年生親木で55%、43年生の親木で20%の発根率を得た。発根部位は、若い親木からのものは70%が切口上部の幹であり、老齡の親木からのものは大部分がカルスであることを観察した。内堀¹⁵⁶⁾は2年生苗木の側枝を3月下旬~4月上旬にハウス内の18~22°Cに加温したさし木床にさし付け、3月下旬さし付けで60%、4月上旬で17%の発根率を得た。同時に、地温が高いほど発根に要する日数は少ないが枯損が多くなること、発根開始までの積算温度は地温に関係なく75°C前後であることを確認した。荒井^{3) 4) 5)}は1964年から1966年にかけて試みた夏ざしの結果から、採穂木の年齢が高くなるとさし穂の発根能力が低下しさし付け適期が変わることを確認した。すなわち、2~3年生苗木から採穂した場合のさし付け適期は6月下旬から8月中旬までの幅があるが、5年生以上になると当年枝に冬芽を形成する直前が適期であった。

石川^{49) 50) 51) 52)}はさし木発根の内的条件を検討し、カラマツでは早春における前年生枝のさし付け、夏における当年伸長枝のさし付け及び9月上旬の当年枝のさし付けが良い成績を示すことを報告した。また、さし穂の長さが長くなるほど発根能力が低下することから、さし穂の成熟度と発根能力を関連づけた。

以上がわが国におけるカラマツのさし木に関する主な研究成果の要約であるが、これらの成果を春ざしの場合と夏ざしの場合に区分し、それぞれにおける採穂木の年齢別発根成績を整理したのがTable 41である。この表から明らかなように、事例によるばらつきが非常に大きい。春ざしと夏ざしでは前者が良い例^{12) 48) 52)}と後者が良い例⁴⁵⁾があり、さらに、春ざしでは芽ぶき前後を適期とする意見^{15) 156) 165)}と開葉が十分進んだ4月下旬から5月上旬を適期とする意見^{15) 45) 46) 164)}に分かれる。採穂木の年齢が高いほどさし穂の発根能力が低くなることは、多くの樹種で一般的に認められる現象であるとする意見及び実験例^{46) 52)}、35年生の採穂木で80%の発根率を得た実験例⁴⁹⁾がある。夏ざしにおけるさし付け時期については、伸長生長を停止し肥大生長を開始する時期が良いとする例^{46) 52) 165)}が大勢を占めるが、さし穂の成熟度⁵¹⁾との関係では一致しない。

このように、従来のカラマツのさし木に関する研究成果を整理してみると、場所、親木やさし穂の条件及びさし付け条件によって発根成績が極端に異なり、さし木増殖技術を組み立てるにはなお検討すべき問題が多い。

第2節 カラマツのさし木条件に関する追試

カラマツのさし木時期としては春・夏・秋の3時期があるが⁴⁹⁾、カラマツの養苗地は一般に寒冷地であり、春ざしでは地温がさし木の発根に適するほど上昇しておらず、さし木床を加温する施設が必要である^{14) 156)}。晩夏または初秋のさし木では生存率は高いが発根までには至らない^{3) 46) 53)}。夏ざしは、さし穂の成熟度と発根

との関係⁵¹⁾から適期と考えられるが、発根前の枯損が多いのとさし付け後の管理が難しい¹⁴⁾。さらに、事業的にさし木苗を生産するためには80%以上の発根率を必要とするが、既往の結果では10~30%台の例が多く、カラマツのさし木苗生産のためには発根率の大幅向上が前提となる。そのためには、さし穂・さし木床・さし付け時期について最も望ましい条件を組合せることが必要であるが、既往の結果から一定の傾向をつかむことが困難であったので、次の追試を行った。

1. さし穂の時季別発根能力

1) 試験方法

東北林木育種場試験地に植栽されていた14年生カラマツ精英樹クローン(盛岡-2, 白石-11)から、1974年にTable 42に示した時期にさし穂を採取した。さし穂の長さは枝の先端から5cmと10cmの2種類とし、IBA 1%粉剤で発根処理をして屋外とミストハウス内にさし付けた。さし付け本数は、両クローンとも1時期あたり20本×2種類×2さし木床=80本とした。

Table 42. 採穂時期, さし付け時期, 採穂木の状態及び採穂木あたりさし付け本数
Collecting and inserting date of cuttings, phenological condition of ortets and number of inserted cuttings per ortet

採穂・さし付け時期 Collecting and inserting date of cuttings	採穂木の状態 Phenological condition of ortet	さし穂の種類 Kind of cutting	さし木床 Propagation bed	採穂木あたりさし付け本数 Number of cuttings per ortet	
				Outdoors	Green house
Apr. 20	開葉前である。 Before flushing	前年枝 Hardwood cutting	鹿沼土 Kanuma-soil	40	—
May. 13	開葉したが新条が伸びていない。 Flushed.	〃	〃	40	40
Jur. 1	新条が3cm程度に伸びた。 With new shoots, 3cm long	〃	〃	40	40
Jun. 20	〃 10cm 〃 With new shoots, 10cm long.	新条 Softwood cutting	〃	40	40
Jul. 9	〃 15cm 〃 With new shoots, 15cm long.	〃	〃	40	40
Aug. 19	〃 30cm 〃 With new shoots, 30cm long.	〃	〃	40	40
Sep. 25	新条の伸びは止まり木質化していた。 With lignified shoots.	〃	〃	40	40

屋外のさし木：さし木床は幅1m×長さ20m×高さ30cmの木枠に鹿沼土を25cmの厚さに入れたものである。さし付け間隔は5cm×10cmとし、穂長の1/3をさし付けた。灌水はさし付け直後に行ったが、それ以降は行わなかった。乾燥防止のためヨシズで日覆を行った。発根調査は11月上旬に行った。

ミストハウス内のさし木：さし木床は水切りカゴにピートモスを入れたものであり、水を十分に与えてから、4cm×6cmの間隔で穂長の1/3をさし付けた。噴霧灌水量は5月上旬から9月上旬までは36.7mm/日、9月上旬から10月上旬までは10.7mm/日に規制した。なお、必要本数のさし付け区と各時期の無処理区を設けることができなかった。発根調査は11月上旬に行った。

また、6月1日に3年生実生苗木群から当年伸長枝を採取し、IBA 1%粉剤で発根処理をしたものと処理をしないものそれぞれ40本ずつをミストハウス内にさし付けた。さらに、白石-11から6月20日に萌芽枝を採取し、IBA 1%粉剤処理と無処理にわけて、それぞれ40本ずつをミストハウス内にさし付けた。いずれの場合も、さし穂の長さは10cmであり、さし木床はピートモスであった。

2) 結果

各さし付け時期における採穂木別さし穂の生存率及び発根率は、Table 43のとおりであった。屋外ざしで発根促進処理をしなかった場合は、いずれの時期においても発根苗は得られなかった。発根処理を行った場合は、穂長5cmのものでは6月1日さし付けの白石-11が20%、6月20日さし付けの盛岡-2が5%の発根率を示し、穂長10cmのものでは白石-11が4月20日と5月13日さし付けの前年生枝で10~15%、6月1日さし付けの当年枝で15%、盛岡-2の8月19日さし付けの当年枝で20%の発根率を示した。さし穂の生存率は、遅くさし付けたものほど、また穂長が長いほど高い傾向を示した。

Table 43. さし付け時期とさし穂の生存率及び発根率
Survival and rooting percentages of cuttings collected in different growing stages

さし穂木床 Propagation bed	発根促進処理 Treatment	さし穂の長さ Length of cutting	採穂木 Ortet	さし付け時期別生存率及び発根率 Survival and rooting percentage of cuttings differest times													
				4/20		5/13		6/1		6/20		7/9		8/19		9/25	
				S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R		
屋外の鹿沼土 Kanuma-soil outdoors	IBA 1% powder	5cm	M- 2	0	0	0	0	20	0	45	5	35	0	95	0	95	0
			S-11	10	0	5	0	20	20	25	0	50	0	95	0	100	0
			Av.	5	0	3	0	20	10	35	3	43	0	95	0	98	0
	Control	5cm	M- 2	0	0	5	0	10	0	25	0	15	0	55	0	100	0
			S-11	10	0	15	0	60	0	10	0	15	0	80	0	100	0
			Av.	5	0	10	0	35	0	18	0	15	0	68	0	100	0
Control	10cm	M- 2	0	0	15	0	15	0	35	0	5	0	100	0	100	0	
		S-11	0	0	25	0	25	0	20	0	0	0	95	0	100	0	
		Av.	0	0	20	0	20	0	27	0	3	0	98	0	100	0	
ミストハウス内の鹿沼土 Kanuma-soil in green house	IBA 1% powder	5cm	M- 2	—	—	100	5	100	0	95	0	100	40	35	15	100	0
			S-11	—	—	100	0	100	5	100	0	100	85	100	5	100	0
			Av.	—	—	100	3	100	3	98	0	100	63	63	10	100	0
	Control	10cm	M- 2	—	—	100	15	100	0	95	10	85	10	65	30	95	0
			S-11	—	—	90	60	100	0	100	20	95	15	80	20	100	0
			Av.	—	—	95	38	100	0	98	15	90	13	73	25	98	0
Control	10cm	3-year old seedling		80		75											
	10cm	"		65		65											
Control	10cm	S-11 adventitious shoot		100		80											
	10cm	S-11 "		100		10											

S : 生存率 Survival percentage, R : 発根率 Rooting percentage.
M- 2 : 盛岡- 2 Morioka-2, plus-tree clone.
S-11 : 白石-11 Shiroishi-11, plus-tree clone.

ミストハウス内のピートモスにさし付けた場合は、穂長5cmの7月9日さし付けのものが平均63%の発根率を示した。穂長10cmでは6月1日と9月25日を除き13~38%の発根率であった。さし穂の生存率は、8月19日のさし付けで若干低い値を示したが、他のいずれの時期においても平均90~100%であった。

また、ミストハウス内にさし付けた3年生実生苗木の当年枝は、発根処理を行ったもので75%、無処理で65%の発根率を示した。14年生つぎ木クローン白石-11の萌芽枝を6月20日にさし付けた場合は、発根促進

処理をしたものが80%，無処理が10%の発根率であった。

Table 44は、屋外とミストハウス内の月別平均温度と降水量または灌水量を示したものである。気温は平年並であったが、春季に晴天が続き降水量が少なく、5月の平均湿度は57.1%で記録的に低いものであった。このことが屋外さしにおけるさし穂の生存率に影響したものと考えられる。

Table 44. 月別平均温度と降水・散水量

Mean temperature and precipitation per month from April to September

さし木床 Propagation place	温度及び降水・散水量 Temperature and precipitation	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.
屋外 Outdoors	気温 Air temp. (°)	11.4	16.5	19.1	20.9	24.6	18.6
	さし木床の温度 Propagation medium temp. (°)						
	5cm	8.4	12.2	16.7	19.5	22.6	18.2
	10cm	8.7	11.9	16.8	19.5	22.7	18.9
	降水量 precipitation (mm)	94.9	50.2	181.3	241.5	228.6	102.4
ミストハウス Green house	ミストハウス内の温度 Temp. in green house (°)	—	—	18.5	20.2	23.4	18.7
	さし木床の温度 Propagation medium temp. 5cm. (°)	—	—	17.4	19.5	22.3	16.7
	散水量 Watering (mm)	36.7mm/day from early May to early September. 10.7mm/day from early September to early October.					

発根促進処理は、IBA 1%粉剤をさし穂の基部1～2cmにつける簡便な方法を採用したが、効果が顕著に認められた。ただし、採穂木が若い場合は、無処理でも高い発根率を示した。

以上の結果から、さし木床の水分管理と夏さしのさし付け時期については検討すべき余地があるが、老齡の母樹のつぎ木クローン(14年生)であっても、その萌芽枝を利用し、IBA発根促進処理を行えば、十分発根させることが可能であることを確認した。

2. 夏さしにおけるさし木床の種類と発根との関係

1) 試験方法

東北林木育種場試験地に植栽されていた5年生実生個体から、1975年6月13日にさし穂を採取して、ミストハウス内の鹿沼土、ピートモス、川砂の3種類のさし木床にさし付けた。さし穂は新条の先端から5cmの部分とし、各さし木床に20本×3反復=60本をさし付けた。発根促進処理は行わなかった。噴霧灌水は前項の試験方法に準じて行った。発根調査は同年11月20日に行った。

2) 結果

1プロットあたりのさし付け本数が少なかったため、3反復こみの生存率、発根率及び発根苗1本あたりの根数をTable 45に示した。鹿沼土と川砂のさし木床では100%の生存率を示したが、ピートモスでは80%であった。発根率は鹿沼土が65%、ピートモスが25%、川砂が5%であり、さし木床によって極端な違いが認

められた。また、発根苗の根数も鹿沼土、ピートモス、川砂の順であった。未発根のさし穂は、さし木床の種類に関係なく、すべてカルスが形成されていた。

Table 45. さし木床による発根成績の違い
Differences of rooting among propagation media

さし木床 Propagation medium	生存率 Survival (%)	発根率 Rooted (%)	発根苗 1 本あたりの不定根数 Number of adventitious roots per rooted cutting
鹿沼土 Kanuma soil	100	65.0	4.7
ピートモス Peat moss	80	25.0	2.4
川砂 Sand	100	5.0	1.0

上記の結果から、ミストハウスで夏ざしを実行する場合のさし木床としては、鹿沼土が適していると認められた。

3. 夏ざしにおけるさし付け時期の検討

1) 試験方法

4年生実生個体14本から6月13日、7月15日及び8月12日に採穂した。さし穂は、各時期とも新条の先端から5cmの長さとし、IBA 1%粉剤で発根促進処理をしたものと無処理の2種類とした。1個体あたりの採穂量が少なかったため、14個体からのさし穂を混合して用いた。

各時期とも、採穂当日に屋外の鹿沼土とミストハウス内の鹿沼土にさし付けた。さし付け本数は1時期1処理あたり20本とし、2回反復した。屋外では5×10cm間隔で穂長の1/3をさし付け、鹿沼土が湿る程度の灌水を行った。さし付け直後から試験終了時までヨシズを用いて日覆を行った。ミストハウスでは4×6cm間隔で穂長の1/3をさし付けた。噴霧灌水は前々項の試験方法に準じて行った。

2) 結果

さし付け時期別生存率及び発根率は、Table 46のとおりであった。この試験では若い実生個体から採穂したが、1.の結果と同じく、屋外にさし付けた場合の生存率及び発根率は、ミストハウスの場合よりも低かった。

Table 46. 夏ざしにおけるさし付け時期別生存率及び発根率
Survival and rooting percentages of summer cuttings at different times

さし木床 Propagation bed	発根促進処理 IBA treatment	さし付け時期 Inserting date					
		6/13		7/15		8/2	
		S	R	S	R	S	R
Kanuma soil outdoors	IBA 1% powder	35	30	40	40	55	30
	Control	10	0	20	20	25	5
Kanuma soil in green house	IBA 1% powder	100	85	90	90	95	50
	Control	100	70	95	45	90	5

S: 生存率 Survival percentage, R: 発根率 Rooting percentage.

発根促進処理の効果は顕著に認められた。発根処理をした場合の最高の発根率は、屋外では7月15日の40%、ミストハウスでも7月15日の90%であった。無処理の最高の発根率は、屋外では7月15日の20%、ミストハウスでは6月13日の70%であった。

屋外にさし付けた場合の発根状態は、無処理では白根が多く、発根促進処理のものでは6月さし付けが良く細根が発達しており、7月と8月さし付けでは白根が多かった。一方、ミストハウスにさし付けた場合は、8月にさし付けた無処理の細根がやや短かったが、他は良く根が発達しており、屋外の場合と比較して根量が多かった。

本試験結果から、カラマツのさし木においては発根促進処理が必要条件であり、夏ざしにおける適期は東北地方では7月中旬であることが確かめられた。

第3節 採穂木仕立てにした親木の萌芽枝を用いてビニール・トンネル内の畑土にさし付ける簡易なさし木増殖法

カラマツのさし木苗生産をより一般的のものにするため、ミストハウスを密閉式のビニール・トンネルで代替し、さし木床の水分保持を考慮して鹿沼土を畑土に変え夏ざしを試み、好成績を得た。

1977年以降は、カラマツ幼齢木を毎年強度に剪定して萌芽枝を発生させ、それらの萌芽枝を用いて上記の方法による夏ざしを実行し、年次による発根成績の変動、採穂木による発根能力の違い、採穂木の年齢増加と発根能力の低下等を検討した。

1. 供試材料及び試験方法

1) 1977年さし付け

1976年春に4回床替5年生実生苗43本を東北林木育種場採穂園に定植し、採穂台木として育成した。その中から採穂量の多い33個体を選び、1977年6月28日と7月14日に当年伸長した萌芽枝を採取した。さし穂は萌芽枝の先端から茎頂を除く約10cm部分とし、IBA 1%粉剤による発根促進処理を行って、即日、苗畑に施設したビニール・トンネル内の畑土にさし付けた。また、比較のために、ミストハウス内の鹿沼土にもさし付けた。

さし付け本数は、各採穂木とも時期別さし木床別に3反復を設け、1反復区10本とした。さし付け総本数は33採穂木×2時期×2さし木床×3反復×10本=3,960本であった。

さし付け後の管理は、苗畑のビニール・トンネルでは、さし付け直後に十分散水してから密閉し周囲を寒冷紗で覆った。その後は一切手を加えなかった。ミストハウスでは9月末まで8~10時は30分間隔で20秒、10~15時は15分間隔で20秒、15~17時は30分間隔で20秒の噴霧灌水を行った。

苗木の掘取りは翌年の4月に行い、発根率と不定根の発生本数を調べた。

2) 1978年のさし付け

1976年定植の採穂木(まき付けから7生長期経過)33本と1977年定植の採穂木(まき付けから6生長期経過)56本からそれぞれ990本と1680本のさし穂を採取し、前者については7月12日、後者については7月14日に苗畑のビニール・トンネルにさし付けた。さし付け方法、管理及び調査は1977年のさし付けに準じた。

3) 1979年のさし付け

1976年定植の採穂木33本と1977年定植の採穂木64本から、1採穂木あたり20本ずつ、合計1940本のさし穂を採取し、7月10日に苗畑のビニール・トンネルにさし付けた。さし付け方法、管理及び調査は1977年のさし付けに準じた。

Table 47. 夏ぎしの発根率

Rooting percentage of summer cuttings

採穂木 Ortet No.	ミストハウス				Green house*				ビニール・トンネル				Tunnel with vinyl sheet**			
	June				July				June				July			
	I	II	III	Av.	I	II	III	Av.	I	II	III	Av.	I	II	III	Av.
15	50	60	60	57	100	60	60	73	90	80	70	80	100	100	90	97
61	20	20	50	30	80	100	60	80	90	90	50	77	60	40	30	43
63	10	0	40	17	70	40	40	50	50	70	50	57	20	60	30	37
73	40	0	30	23	10	40	70	40	100	90	100	97	90	100	100	97
74	50	50	40	47	50	80	90	73	90	90	80	87	90	100	90	93
112	10	10	10	10	20	90	10	40	50	80	50	60	80	100	90	90
122	60	50	80	63	70	80	20	57	90	80	80	83	100	100	100	100
258	40	30	50	40	80	70	50	67	90	80	60	77	90	100	100	97
353	60	30	30	40	80	60	50	63	60	80	50	63	40	90	100	77
371	50	60	50	53	90	80	20	63	100	90	60	83	50	50	60	53
399	10	10	80	33	90	80	60	77	70	90	100	87	100	100	100	100
414	0	20	60	27	80	60	40	60	100	80	90	90	100	90	100	97
448	30	30	60	40	90	60	100	83	60	90	30	60	90	100	90	93
512	20	10	90	40	60	90	20	57	80	60	60	67	90	100	100	97
527	20	30	70	40	70	60	80	70	80	90	60	77	70	100	90	87
537	30	20	50	33	90	70	70	77	60	50	100	70	90	100	100	97
550	0	30	70	33	100	50	20	57	90	90	60	80	90	100	100	97
772	0	30	50	27	70	100	40	70	80	20	50	50	80	100	100	93
776	80	40	70	63	100	80	40	73	90	80	70	80	60	70	100	77
787	40	40	50	43	80	90	70	80	60	80	90	77	90	100	100	97
819	10	10	10	10	60	90	40	63	80	90	70	80	70	50	80	67
822	50	20	70	47	100	70	70	80	80	80	100	87	100	80	100	93
826	0	50	10	20	70	100	70	80	70	70	80	73	70	80	80	77
828	40	10	80	43	100	80	50	77	90	40	80	70	90	80	100	90
845	40	30	70	47	90	70	50	70	60	50	20	43	60	80	50	63
847	40	0	20	20	10	40	60	37	80	80	70	77	70	100	90	87
851	30	10	20	20	20	30	60	43	70	60	100	77	40	50	70	53
854	30	10	30	23	70	60	80	70	90	90	50	77	40	80	100	73
861	40	20	30	30	30	80	60	50	70	20	80	57	60	100	90	83
870	50	50	60	53	90	70	30	63	100	90	100	97	100	100	100	100
891	0	10	70	27	100	100	80	93	100	100	100	100	90	100	100	97
909	0	0	30	10	30	40	20	30	70	60	90	73	50	60	50	53
917	30	10	50	30	40	60	40	47	30	60	60	50	70	30	10	37
Total	30	24	50	35	70	72	52	64	78	74	72	75	76	85	85	82

* : Propagation medium; Kanuma soil.

** : // ; nursery soil.

Table 48. 夏ざしの不定根発生数
Number of adventitious roots per rooted cutting for summer cuttings.

採穂木 Ortet No.	ミストハウス				Green house*				ビニール・トンネル				Tunnel with vinyl sheet**			
	June				July				June				July			
	I	II	III	Av.	I	II	III	Av.	I	II	III	Av.	I	II	III	Av.
15	5	5	8	6.0	14	16	15	15.0	8	9	7	8.0	9	11	7	9.0
61	5	5	13	7.7	17	12	20	16.3	12	14	2	9.3	7	9	4	6.7
63	5	0	11	5.3	14	15	12	13.7	8	4	2	4.7	5	4	10	6.7
73	4	0	8	4.0	6	8	9	7.7	9	7	8	8.0	7	9	5	7.0
74	11	8	9	9.3	10	10	10	10.0	6	9	4	6.3	6	8	7	7.0
112	1	4	2	2.3	7	7	9	7.7	6	8	7	7.0	8	7	6	7.0
122	5	3	5	4.3	10	9	10	9.7	9	9	6	8.0	10	6	9	8.3
258	3	6	6	5.0	13	12	14	13.0	8	6	6	6.7	8	8	11	9.0
353	5	5	7	5.7	4	8	7	6.3	4	8	5	5.7	3	5	9	5.7
371	7	5	6	6.0	11	10	12	11.0	7	6	6	6.3	5	4	7	5.3
399	9	2	9	6.7	12	14	10	12.0	12	10	13	11.7	19	11	15	15.0
414	0	11	13	8.0	19	19	15	17.7	8	9	11	9.3	11	11	11	11.0
448	4	6	11	7.0	11	10	12	11.0	8	8	9	8.3	9	9	6	8.0
512	3	5	7	5.0	10	12	11	11.0	7	5	4	5.3	11	9	14	11.3
527	6	8	6	6.7	6	8	10	8.0	7	7	2	5.3	9	6	6	7.0
537	4	3	8	5.0	6	13	9	9.3	5	4	9	6.0	8	11	8	9.0
550	0	4	9	4.3	7	7	9	7.7	6	6	6	6.0	6	6	9	7.0
772	0	2	3	1.7	13	11	12	12.0	5	6	3	4.7	12	11	12	11.7
776	5	9	12	8.7	9	11	11	10.3	7	11	6	8.0	5	7	12	8.0
787	7	6	8	7.0	11	16	17	14.7	8	11	8	9.0	12	12	13	12.3
819	3	1	2	2.0	8	10	9	9.0	7	10	5	7.3	5	6	7	6.0
822	10	16	10	12.0	18	18	22	19.3	16	16	8	13.3	11	14	17	14.0
826	0	8	1	3.0	9	12	14	11.7	10	8	9	9.0	6	6	9	7.0
828	5	3	8	5.3	9	18	21	16.0	7	10	5	7.3	10	12	11	11.0
845	11	9	12	10.7	14	11	17	14.0	8	9	13	10.0	9	10	6	8.3
847	5	0	6	3.7	14	8	12	11.3	6	5	4	5.0	5	7	7	6.3
851	4	7	8	6.3	7	9	8	8.0	6	7	8	7.0	1	3	3	2.3
854	3	2	4	3.0	10	10	11	10.3	7	9	4	6.7	6	4	6	5.3
861	4	6	4	4.7	9	10	14	11.0	4	8	7	6.3	7	5	7	6.3
870	5	9	5	6.3	10	8	9	9.0	8	10	6	8.0	9	6	10	8.3
891	0	11	9	6.7	12	12	16	13.3	11	9	9	9.7	4	7	11	7.3
909	0	0	2	0.7	10	10	9	9.7	4	4	5	4.3	3	6	5	4.7
917	6	5	6	5.7	8	7	4	6.3	3	3	2	2.7	6	5	1	4.0
Total	6	6	8	6.7	11	11	13	11.7	8	8	7	7.7	8	8	9	8.3

* : Propagation medium; Kanuma soil.

** : // ; nursery soil.

4) 1980年のさし付け

1976年定植の採穂木42本, 1977年定植の採穂木37本, 1979年定植の採穂木37本から3,450本のさし穂を採取し, 6月26日に苗畑のビニール・トンネルにさし付けた。さし付け方法, 管理及び調査は1977年のさし付けに準じた。

2. 結果

1977年に実施したさし木の発根率及び発根苗1本当たりの平均不定根発生数を採穂木別プロット別に示したのが, Table 47及びTable 48である。Table 49は, 採穂木をこみにして, さし木床・さし付け時期別発根率及び不定根発生数の分散分析を行った結果である。発根率はさし木床及びさし付け時期によって異なり, ビニール・トンネルにさし付けた場合は各時期とも成績が良く, また, さし付け時期が6月と7月では, 両さし木床で7月の成績が優れていた。一方発根苗の根数はさし木床×さし付け時期の交互作用が有意であり, ミストハウスで7月にさし付けたものの根系の発達に特に優れていた。

Table 49. 夏さしにおけるさし木床, さし付け時期別発根率及び不定根発生数の分散分析
Analysis of variance of rooting percentages and number of adventitious roots between propagation beds and inserting dates for summer cuttings

要因	自由度	平均平方	MS	平均平方の分散成分
Source of variation	DF	Rooting ¹⁾ percent.	No. of roots	Variance components of mean squares
Propagation bed (B)	1	941.46**	4.57	$\sigma^2e + 3\sigma^2BT + 2\sigma^2B$
Inserting date (T)	1	373.75**	25.23	$\sigma^2e + 3\sigma^2BT + 2\sigma^2T$
(B) × (T)	1	125.26	12.81**	$\sigma^2e + 3\sigma^2BT$
Error	8	31.95	0.76	σ^2e

1) : 発根率はアークサイン変換値である。

Rooting percentages were subjected to arcsin transformation before statistical analysis.

** : 1%レベルで有意。

Significant at 1% level.

Table 50. 夏さしにおける採穂木別発根率及び不定根発生数の分散分析

Analysis of variance of rooting percentages and number of adventitious roots among ortets for summer cuttings

要因	自由度	平均平方	MS	平均平方の分散成分
Source of variation	DF	Rooting ¹⁾ percent.	No. of roots	Variance components of mean squares
Ortet (S)	32	869.66**	55.24**	$\sigma^2e + \sigma^2SBT + 2\sigma^2BS + 2\sigma^2TS + \sigma^2S$
Propagation bed (B) × (S)	32	453.52**	10.16	$\sigma^2e + \sigma^2SBT + 2\sigma^2BS$
Inserting date (T) × (S)	32	280.69	13.99**	$\sigma^2e + \sigma^2SBT + 2\sigma^2TS$
(S) × (B) × (T)	32	288.88	8.01	$\sigma^2e + \sigma^2SBT$
Error	264	228.64	5.88	σ^2e

1) : 発根率はアークサイン変換値である。

Rooting percentages were subjected to arcsin transformation before statistical analysis.

* : 5%レベルで有意。 Significant at 5% level.

** : 1%レベルで有意。 Significant at 1% level.

Table 50は、採穂木単位の発根率及び発根苗1本あたり平均根数について分散分析を行った結果である。発根率及び根数ともに採穂木間の分散に1%レベルで有意性が認められた。ミストハウスにおける発根率の採穂木によるばらつきは、6月では10~63%、7月では30~90%であり、ミストハウスでは6月が43~100%、7月が37~100%であった。また、発根率のさし木床×採穂木、根数のさし付け時期×採穂木の交互作用に5%レベルで有意性が認められた。これらは、採穂木によって萌芽枝の発育過程にずれがあり、それがさし穂の生理条件に影響したものと考えられる。

Table 51は、ミストハウスとビニール・トンネルで7月にさし付けた場合の発根率階別採穂木本数の分布を示したものである。同一採穂木から同じ本数のさし穂を採取してさし付けた結果であるが、さし木床によって大きな違いを示し、ビニール・トンネルでは6割強の採穂木が80%以上の発根率を示したのに対し、ミストハウスでは9割強の採穂木が80%以下の発根率であり、4割近くの採穂木は60%以下の発根率であった。

Table 51. 採穂木による発根率のばらつき

Distribution of rooting percentages among ortets

発根率 Rooting percentage (%)	ミストハウス* Green house		苗畑のビニール・トンネル** Tunnel with vinyl sheet at nursery	
	No. of ortets	%	No. of ortets	%
91 - 100	1	3.0	16	48.4
81 - 90	1	3.0	5	15.2
71 - 80	10	30.3	4	12.1
61 - 70	9	27.4	2	6.1
51 - 60	4	12.1	3	9.1
Under 50	8	24.2	3	9.1
Total	33	100	33	100

* : Propagation medium; Kanuma-soil

** : // ; nursery soil

Table 52は、1977年の実行結果を含めて、4年間にわたりビニール・トンネルでさし木を行った結果をまとめたものである。1978年は7~8月が高温で9月が低温の年であったが、この年の平均発根率が最も低く46.0%であった。さらに、1980年は記録的な冷夏であったが、この年の平均発根率も68.4%でやや低下した。他はいずれも80%前後であった。

Table 52. 苗畑のビニール・トンネルにおけるさし木成績の年次間変動

Annul variation of rooting abilities of summer cuttings inserted in the tunnel with vinyl sheet at nursery

年 Year	採穂木数 No. of ortets	さし付け本数 No. of cuttings	発根苗 Rooted cutting		発根苗1本あたり根数 No. of roots per rooted cutting	さし付け時期 Inserting date
			Number	%		
1977	33	990	738	74.5	7.5	6/28
1977	33	990	807	81.5	8.5	7/14
1978	89	2670	1229	46.0	4.0	7/12-14
1979	97	1940	1595	82.2	7.1	7/10
1980	116	3450	2359	68.4	6.5	6/26

また、採穂木による発根率のばらつきを年次別に示したのがFig. 40である。1978年が異常な分布を示した。

しかし、この年においても80%以上の発根率を示すものがあり、また平均発根率の最も高かった1979年においても20%以下の発根率にとどまるものも見られる。このように、採穂木による発根能力の違いも大きいので、実用に供する場合は発根能力の低いものを除く必要がある。本試験の4年間の発根成績から試算して、仮に2割の発根不良採穂木を除いたとすると、平均発根率は10%向上する。

採穂木の加齢による発根能力の低下については、まき付けから起算して6～9年生の採穂木の萌芽枝を利用した限りでは、その兆しは認められなかった。

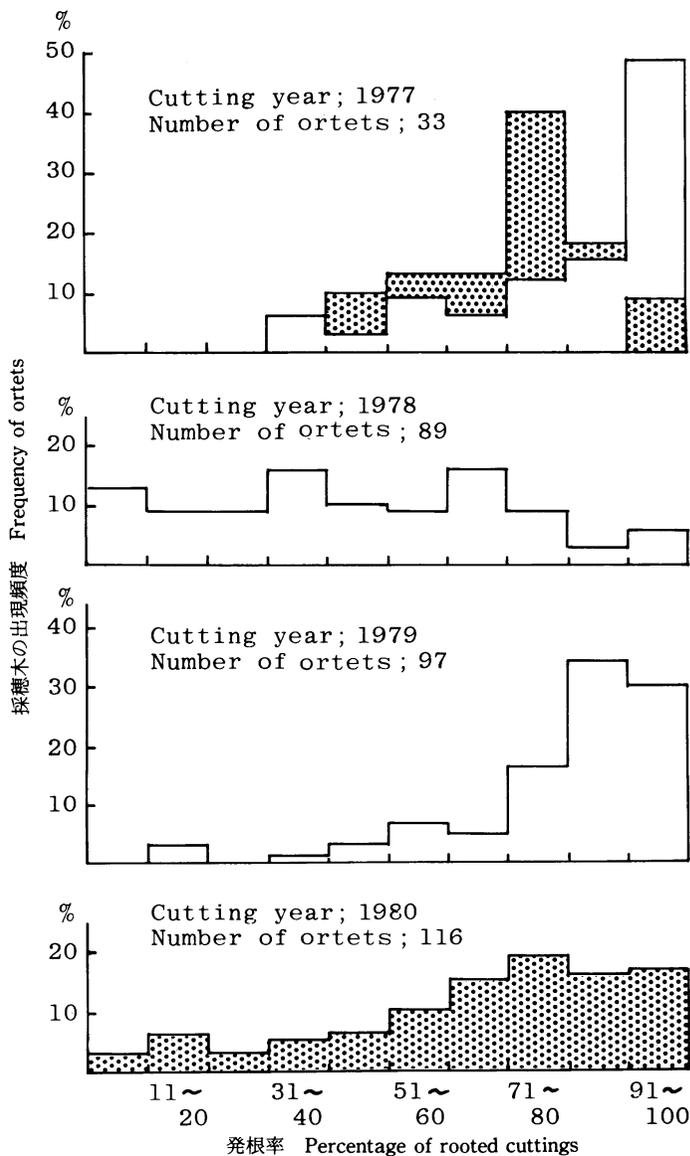


Fig. 40. 採穂木の発根能力に及ぼさし付け年の影響。

■は6月まき付け, □は7月まき付け。

The effects of year on the rooting abilities of ortets.

Legend : ■ inserting in June, □ inserting in July.

第4節 考 察

カラマツのさし木に関する研究例が少なくなかったため、既往の研究成果を整理して、さし木増殖技術を組み立てることを計画したが、試験実施場所、供試材料及びさし付け条件によって成績が著しく異なり、一定の傾向をつかむことができなかった。また、既往の結果では発根率が10~30%台の例が多く、カラマツのさし木増殖の可能性は否定的なものであった。

したがって、カラマツのさし木苗生産を実用化するためには、発根率の大幅な向上を図らなければならない。そのため、本章においてはさし穂の時期別発根能力および夏ざしにおけるさし木床とさし付け時期について再検討を行った。その結果、次のことが明らかとなった。

- 1) 春ざしでは、さし木床を人工的に加温しても大幅な発根率の向上は望めない（屋外に鹿沼土の電熱温床さし木床を設け春ざしを試みたが、見るべき成果は得られなかった。この結果は本章では割愛されている）。しかし、6月中旬~7月中旬の夏ざしでは高い発根率が期待できる。
- 2) 鹿沼土のさし木床がピートモスや川砂に比較して優れている。
- 3) カラマツのさし木では発根促進処理が必要条件である。IBA 1%粉剤処理が簡便で有効である。
- 4) 幹及び枝を剪定して発生させた萌芽枝の夏ざしは、採穂木の年齢が比較的高い場合でも良く発根する。
- 5) ミストハウス内にさし付けた場合は、時期に関係なく高い生存率を示す。しかし、生存率と発根率とは直接的な関係がない。

これらの結果からすれば、当年伸長の萌芽枝をIBA 1%粉剤で処理し、ミストハウス内の鹿沼土に7月中旬頃さし付ける方法が推奨される。

この方法をより簡易にし、屋外のビニール・トンネル内の畑土に萌芽枝を夏ざししても、高い発根率が得られる。勿論、この方法においては、苗畑で養成される他の苗木と同様にその年の気象条件の影響を受ける。とくに、さし付け直後に高温がつづき発根時期に低温になる年では、極端な成績不良になる。そのことを除けば、80%前後の安定した発根率が期待できる。また、事業規模でさし木苗を生産する場合は、発根能力の高い採穂木を選択して利用することになるだろうから、80%前後の平均発根率をさらに向上させることも可能である。

カラマツのさし木では、採穂木の年齢が大きな問題である。実生幼齡木を採穂木に仕立て、その萌芽枝を利用したとしても限界があり、他の樹種に比較して短い期間で採穂木を更新することになるだろう。その期間の確認はできなかったが、本章の結果では、まき付けから起算して9年生まで高い発根能力を示した。

第9章 総合考察

旋回木理は、自然界でごく一般的に見られる左右性や巻き性の現象と同じであり、樹木の正常な生長パターンであると言われる^{23) 60)}。しかし、木材利用の面から見ると、材の強度低減の要因となる¹⁶¹⁾ほか、含水率の低下に伴って材のねじれ狂いを生ずる原因となり^{114) 115) 116)}、また加工性に好ましくない影響をもつ⁸⁹⁾点で重要な形質である。カラマツは、わが国の針葉樹の中では高い比重をもつグループに属し、平均比重が0.5程度であり、引張り強度と曲げ強度がやや低い傾向をもつが、強度性能はアカマツ級であり、耐朽性にも優れている³²⁾。ただし、木理の傾斜によって、製材されたときに繊維走向が材軸に対して強く傾斜し、そのために乾燥すると材軸に傾斜した方向での収縮率が最大となるので、ねじれ狂いを生ずる。このことがカラマツ材の特徴的な欠点となっており、材の用途が制限されている。とくに未成熟材の比率が高い間伐木等の小径木でこの傾向が強い。したがって、カラマツにおける材質改良のねらいは、材のねじれ狂いを小さくすることであり、ねじれ狂いの大きな要因である旋回木理を遺伝的に改良することである。旋回木理の成因については、立地条件や林分の取り扱い等の外部要因によるとする意見と遺伝支配によるとする意見に分かれる。しかし、多くは単なる事例調査からの推論であり、由来の明らかな材料を用いて計画した試験または植栽試験地の調査結果では後者の例がほとんどである。

旋回木理の遺伝性に関する研究としては、CHAMPION^{23) 24)}の業績があげられる。古典的なものであるが、ねじれ木の多い林分とそうでない林分から子供集団を育成し、いくつかの異なる環境に植栽して旋回木理の現れ方を調べ、100%ねじれていた親林分の子供は2/3がねじれ、通直な木理をもつ親林分の子供はほとんどねじれない、また立地条件が木理の旋回性を支配するとは考えられない、という結論を得た。これらの成果は、旋回木理の遺伝性を実証したことで、高く評価される。また、旋回木理が環境条件の影響を受けにくい形質であることは、最近におけるNICHOLLSら^{97) 98)}の研究成果によっても明らかである。すなわち、*Pinus pinaster*と*Pinus radiata*の木材形成に及ぼす間伐、施肥、灌水及び一時的乾燥の影響を長期にわたり調査し、年輪幅、晩材率、比重、仮道管長に対する影響がないことを明らかにした。カラマツに関する本研究においても、旋回木理の角度と樹高・直径・年輪幅・枝下高との間に一定の関係は認められなかった。直径生長との関係については、同様な結果が報告されている^{27) 78)}。このように旋回木理は、少なくとも幼若齢期においては、環境条件の違いや生長率の違いの影響を受けることが少ない形質であると考えられる。

しかし、旋回木理の遺伝様式あるいは遺伝変動量の推定に関する研究例は、極めて少ない。KADAMBIら⁵³⁾はChir pineのねじれ木の自殖一代目におけるねじれ苗の頻度が68~82%であったことから、木理の旋回性は一对の遺伝子によって支配され、ねじれは優性であることを推論した。また、ZOBELら¹⁷⁵⁾は*Pinus taeda*の4年生人工交配家系を調査して、非相加的遺伝分散が大きい結果を得た。旋回木理の遺伝率については、*Pinus radiata*で推定された例が多い。クローンにおける広義の遺伝率は、幼齡年輪では0.6~0.7であるが^{28) 94)}、8年輪目になると0.2に低下する⁹⁴⁾。また、自然交配家系及び人工交配家系においても、9~10年生までは0.4~0.6の値を示すが、それ以降では0.2以下に低下する^{31) 93) 127)}。カラマツの定植後8年を経過したクローンについて推定した広義の遺伝率は、旋回木理の年輪別角度では0.35~0.46、最大角度では0.49であった⁷⁶⁾。また、最大角度についてのOrtet-Ramet相関では、相関係数0.66が求められている⁹³⁾。

本研究においてカラマツの実生家系で推定した狭義の遺伝率は、2年生自然交配家系で0.61、定植後6生長期を経過した8年生自然交配家系の1~2年輪で0.53~0.59、3年輪以上で0.85~0.99、平均角度で0.99、最大角度で0.87であった。2年生の外周年輪と8年生の樹心部の年輪では類似の値を示すので、8年生材料

がとくに偏ったものであったとは考えにくい。恐らく、後者の材料における3～5年輪は、旋回木理の発達過程からみて最大角度を示す時期であり、個体及び家系の旋回木理の遺伝特性が最大に発現されたものと考えられる。遺伝率は材料・場所・年によって変動するので、相対的な判断になるが、カラマツの旋回木理については遺伝分散の割合が高く、しかも相加的遺伝分散の割合が高いことを強調できる。

また、カラマツと*P. radiata*では旋回木理の発達過程が類似しているため、後者で認められた年輪増加に伴う遺伝率の低下は、カラマツでも予想される。ただし、クローンについて調べた広義の遺伝率を比較すると、カラマツの方がより多くの年輪で高い遺伝分散の割合を維持するように思われる。カラマツにおける旋回木理の半径方向の変化は、4～5年輪から低下傾向をたどるものが多く、若い年輪で角度の小さい個体は壮老齡年輪で通直に近い角度をもつ。したがって、壮老齡年輪における遺伝率の低下は、育種的にはあまり大きな意味をもたない。若い年輪で旋回木理の遺伝変異が大きければ、その改良によって十分目的が達せられる。

カラマツの旋回木理は生長率や樹幹の形態等に從属していないので、生長、樹形及び病害抵抗性について優れた個体を予め選び、その中から望ましい旋回木理をもつ個体を選抜することによって、総合的に優れた育種母材を得ることが可能である。ただし、既存のカラマツ造林地における旋回木理の変異幅から考え、木構造設計規準⁹³⁾に定める上級構造材の要求基準を満たす個体を選ぶことは困難である。これらの材は、大径木の成熟材部からの部分的生産にとどまることになる。したがって、既存のカラマツ林から望ましい旋回木理をもつ個体を選ぶ基準としては、製材等の日本農林規格¹⁷⁾に定める特等の条件を満たすものとするのが実際的である。そのためには、最大角度を5/100(≒3.0°)以下とし、また年輪増加にともなって木理の角度が小さくなるものが望ましいので、平均角度を2.5/100(≒1.5°)以下とするのが適当である。この選抜基準を適用して現実のカラマツ造林地で選抜を実行すると、林分によって異なるが、平均5.6%の選抜率となる。

上記の基準で旋回木理の優良木を選抜し次代を育成したときの選抜効果は、遺伝獲得量として求めることができる。本研究で得られた各種測定値及び推定値から、選抜強度を5%、遺伝率を0.5と想定した場合の遺伝獲得量は、最大角度では-1.3°、平均角度では-1.1°であった。これを親集団の平均値に対する%で示すと29%と46%であり、それぞれ大きな選抜効果が期待できる。ただし、これは集団平均値のレベルの向上である。

生長量や材の比重のように、一定面積あたりの木材生産量または一定材積あたりのパルプ収量の増大を育種目標とする場合は、集団平均値のレベルアップは大きな意味をもつが、旋回木理については利用段階で品等区分されるので、集団平均値よりは選抜型の出現頻度がより重要である。

カラマツ集団から旋回木理の角度の小さい5%の個体群を選抜し、混合採種園方式で次代を育成したときの選抜型の出現率は、遺伝率0.5の場合で27%である。親集団の5%から次代では27%に出現率が高まるので、その育種効果は大きいと評価できるし、また育種集団として利用しさらに改良を進めることの必要性も指摘できるが、生産された素材に占める選抜型の割合が30%以下では実用上の要求とはかけ離れたものであり、この割合を80%以上に高める必要がある。旋回木理の良否は、生長不良木や形質不良木のように外観から判断できないので、造林地の保育による林分改良も期待できない。上記の割合を高めるためには、選抜型の成木になり得る苗木集団を供給しなければならない。その手段としては、選抜個体の遺伝子型をそのまま利用できるさし木苗の供給が有効である。

カラマツのさし木を成功させるためには、採穂木が幼齡であることが条件になる^{14) 46)}。そのためには、旋回木理を早期に評価し、若い選抜木を確保し、それらを採穂木としてさし木増殖を行う方法を採用しなければならない。第6章第3節で旋回木理の早期評価及び早期選抜による育種方法の検討を行った結果、最大角度と平均角度との間には高い相関関係($r = 0.80 \sim 0.85$)が存在し、最大角度は樹心から2～4番目の年輪に

集中して現れ、その累積頻度は4年輪目で60~80%であることが明らかとなり、早期選抜の可能性が得られた。勿論、先に述べた造林地からの選抜のように高い精度は期待できない。調査した6林分の584個体について、8年輪までの旋回木理の角度が3°以下のものを選抜したと仮定し、選抜木のその後の年輪における旋回木理の角度を追跡したところ、80%の個体は最終年輪まで3°以下の角度であった。この程度の精度で許されるならば、早期選抜の実用化が可能である。

早期選抜の方法としては、苗木または幼齢木の幹の樹皮を剥ぎ、外周年輪の繊維の傾斜角度を「引裂き法」で測定し、同様な操作を3~4年継続して、順次小さい角度をもつ個体群に収斂させる方法を考えた。この方法を適用して4苗木集団(1集団 2,000本)について早期選抜を試みた結果、初回の選抜で5.2~8.3%、2回目で3.3~5.1%、3回目で2.7~4.7%の個体群に収斂した。一般造林地における最大角度3°以下の個体の出現率は4.4~15.7%であるから、上記の個体群はほぼ目的のものに収斂したと考えられる。

これらの早期選抜個体を採穂木としてさし木苗を増殖し、4年生クローンを検定した結果では、83%のクローンが選抜基準に適合しており、さし木個体単位では89%の個体はその基準に適合していた。基準外のクローン及び個体についても、基準にごく近いものであった。また、同時に旋回木理の角度の大きい個体及び中程度の個体を選抜していたので、それらのクローンを含めてOrtet-Ramet相関を検討した結果、高い相関々係($r=0.88$)が認められた。これらの結果から、選抜を反復して目的の個体群に収斂させる早期選抜法は、実用化できる有効な方法であると考えられる。

カラマツのさし木増殖については、既往の研究結果から実用化できる技術を組み立てることができなかった。その理由は、試験条件により結果が多様であり、しかも発根率が10~30%台のものが多かったためである。そこで、さし木条件について若干の追試を行い、早期選抜個体の萌芽枝を夏ざしする方法で高い発根率が得られることを確認した。さらに、この方法をより一般化するため、ミストハウス等の特殊な施設を必要としない方法—苗畑にさし付け、ピニール・トンネルで密閉する方法を検討した。

さし木成績は、その年の気象条件の影響を受け、夏期に高温が続き、秋季に気温が異常に低下する年は発根能力が著しく制限され、平均発根率が40%台にとどまる場合がある。しかし、平年の気象条件であれば、平均発根率は80%以上を維持する。また、発根成績は採穂木によっても異なり、早期選抜木では15~100%のばらつきを示した。この中から2割の発根不良木を除くと、平均発根率は約10%向上する。

さし木に関する既往の研究と本研究の最も大きな相違点は、利用するさし穂の条件にある。前者では正常に生育した個体の正常に伸長した枝を利用しているが、後者では強度な剪定によって採穂木の高さを70~80 cmに抑制し、それから発生した萌芽枝を利用している。これらを採穂木として9年生(まき付け年から起算)までのさし木成績を観察したが、年による成績低下はあっても、全体を通じて加齢による発根能力の低下は認められなかった。このことは、樹位性Topophysis¹²⁹⁾によると考えられ、低台の採穂木から生産される萌芽枝はJuvenile stageをより長い期間維持するものと思われる。

以上の研究結果から、カラマツの旋回木理を遺伝的に改良する方法が具体的に明らかにされた。カラマツの旋回木理は大きな遺伝変異を含み、集団選抜によっても大きな遺伝獲得量が期待できるが、集団平均値のレベルの向上のみでは、木材利用上の要求に応えることはできない。したがって、この形質について遺伝的に改良された生産集団を育成するためには、早期選抜個体のさし木複合クローンを利用するのが有効である。さし木増殖については、採穂木の加齢による発根能力低下の問題が残るが、一定期間ごとに早期選抜を行い採穂木を更新することで対応できる。なお、組織培養等の手法が応用できるようになれば、さし木問題は解消し、造林地からの選抜木を直接利用することが可能となるので、さらに精度の高い改良効果が期待できる。

要 約

カラマツは高海拔地や寒冷地に良く適応して生育する樹種であることから、わが国の中部地方以北で広く造林されてきた。しかしながら、カラマツ材は乾燥にもなつてねじれる欠点があり、構造用材としての価値が低く、用途が限定されている。とくに、壮齡木から生産された材でその欠点が著しい。このねじれ狂いの主たる原因は旋回木理であるとされている。

本研究では、旋回木理の発達過程・成因と環境条件・遺伝に関する国外及び国内の研究成果を検討し、旋回木理の育種の可能性を指摘するとともに、カラマツの旋回木理についての個体評価方法、林分間・種子産地間変異の大きさ、他の有用形質との関係、遺伝変異の大きさ、選抜効果を明らかにした。さらに、選抜木群の増殖方法によっては次代に含まれる希望個体の頻度が低く実用になりにくいことから、早期選抜による実生個体のさし木増殖方法を検討し、選抜から実用改良集団育成に至る一連の育種方法を組み立てた。

以下は、それらの結果の要約である。

1. 旋回木理の測定方法

旋回木理の各種測定法の得失を比較し、育種母材の選抜に役立つ方法として「割裂法」を取り上げた。その理由は、幼齡時から年輪別に旋回木理の発達過程を観察できることと、測定作業が比較的単純であり大量の試料を一定期間に消化できることである。この方法の欠点は、伐倒によって対象木が失われることと、増殖用のつぎ穂を採取するためには季節的制約があることである。割裂法を採用できない幼齡木では、「引裂き法」を応用することによって幹の表面の旋回木理を測定することができる。必要な個体は測定後もそのまま生育させ、年輪形成の都度、測定を繰り返すことができるので、早期選抜に採用できる極めて有効な方法である。

2. 旋回木理の個体内及び個体間変異

地上高2.0～4.5m以下では不規則な例が見られ、5.0m以上では旋回性が強く現れる。同じ林分の個体間では、最大角度で2.5～8.2°、平均角度で0.8～5.1°のばらつきが認められる。このように、旋回木理の発達過程は個体内及び個体間で多様であるが、通直に近い木理をもつ個体の選抜を目的とした場合は、地上高2～4m部分の年輪別角度を測定し、その最大値と平均値を用いて相対的な個体評価が可能である。

枝の旋回木理の発達には、基本的には幹の場合と同じであるが、幹に比較して旋回角度が小さく、左旋回から右旋回への変化が早く現れる頻度が高く、最大角度の出現が幹のように集中型ではなく分散型になることが特徴であった。幹との間には正の有意な相関関係 ($r = 0.44 \sim 0.51$) が存在するが、幹の旋回木理の代替形質として取り上げるには精度が低い。

3. 旋回木理の林分間・種子産地間変異

11か所のカラマツ造林地(1か所あたり45～195本)を対象として、旋回木理の林分間変異を検討した結果、最大角度及び平均角度の林分平均値に有意な差が認められた。また、旋回木理の角度の小さい個体の出現率は2.6～14.6%のばらつきを示した。これらの林分間差異は、造林地の環境条件のうち海拔高・地形・傾斜方位・傾斜度・土壌型とは関係がなく、種子源あるいは採種条件によるものと考えられる。この考えは、種子産地試験の結果から裏付けられる。

カラマツ天然林の産地集団間では、旋回木理の角度の分布が明らかに異なり、しかも異なる植栽地間においても旋回木理の産地内分布及び最大角度の産地間の相対関係は良く一致する結果を示した。しかし、産地間変異には地理的傾斜は認められず、また生育地の環境要因に基づく自然選択の効果も認められなかった。

4. 旋回木理と生長及び他の材質形質との関係

旋回木理の角度と年輪幅との関係を1,080本のカラマツ個体で解析した結果、樹心部の1~2では比較的高い正の相関々係を示したが、3~4年輪目になると相関係数はきわめて低く、0前後となり、直径生長との間には一定の関係は認められなかった。地上高1.2mを元口とする長さ3.5mの丸太から製材された一辺10cmの心持ち正角についての長さ3.0m部分におけるねじれ量と胸高円板における半径5cm内の平均角度との間に、高い正の相関々係 ($r=0.82$) が認められた。また、胸高円板の全年輪を対象とした平均角度とは0.73、最大角度とは0.56の相関係数が求められ、材のねじれの変動量に対する旋回木理の寄与率が大きいことが十分な量の試料によって明らかにされた。材のそりについては取り上げた全ての形質との間で有意な相関々係は認められなかった。

5. 旋回木理の遺伝変異

つぎ木クローン及び母樹別自然交配家系によって、旋回木理の発現が著しく異なることが明かとなった。しかも、樹心から3~5年輪目の最大角度を示すゾーンで遺伝分散が極めて大きな割合を示した。その後の変化過程については確認できなかったが、旋回木理の年輪による変化過程および他の樹種の例から考え、年輪増加にしたがって遺伝分散の割合が低下するものと予想される。

6. 旋回木理の選抜基準

カラマツにおける変異幅等から判断し、製材等の日本農林規格に定める特等の条件を満たすものとし、最大角度を5/100 ($\approx 3.0^\circ$) 以下、平均角度を2.5/100 ($\approx 1.5^\circ$) 以下とするのが適当である。この基準を用いてカラマツの一般造林地で選抜を実行すると、林分による違いはあるが、平均5.6%の選抜強度となる。

7. 旋回木理の選抜効果

選抜強度と標準偏差から算出される選抜差と狭義の遺伝率から遺伝獲得量を推定した結果、選抜強度が5%で遺伝率が0.5の場合、次代における増分は、親集団の平均値にたいして平均角度で-46%、最大角度で-29%であった。また、同じ条件で次代における選抜型の出現割合を求めると27%になる。しかし、生産された素材に占める選抜型の割合が30%以下であり、実用上の要求とはかけ離れている。その割合を高めるためには、選抜木の遺伝子型をそのまま利用するさし木繁殖法を採用する必要がある。

8. 旋回木理の早期評価

旋回木理の最大角度と平均角度との間には高い正の相関々係 ($r=0.80\sim 0.85$) が存在するので、精度は若干おちるが、前者のみによっても選抜が可能である。しかも、最大角度は若い年輪に集中して出現し、4年輪目までの累積頻度は60~80%である。6林分の584個体について、8年輪までの角度が 3° 以下のものを選抜して、その後の旋回木理の角度を追跡した結果、80%の個体は最終年輪まで 3° 以下であった。このように、旋回木理の最大角度については早期評価が可能である。

9. 旋回木理の早期選抜法

3年生以上の苗木または幼齡木を用いて、2年輪以上を含む幹の外周年輪の繊維傾斜角を「引裂き法」によって測定して基準外の個体を除去し、この操作を3~4年継続することによって目的の個体群に収斂させる方法を考えた。この方法を適用して、4苗木集団(1集団2,000本)で早期選抜を試み、3回の選抜操作の継続によって、供試集団の2.7~4.7%の個体群を得た。これらの個体群をさし木で増殖し、4年生クローンを検定した結果、クローン単位では83%、クローンをコミにしてさし木個体を単位としてみれば89%のものが選抜基準に適合していた。母樹とクローン間の旋回木理の角度の相関係数は0.88であった。

10. カラマツのさし木増殖法

巡回木理の早期選抜個体を採穂木とし、毎春、強度の剪定を実施して萌芽枝を発生させ、その萌芽枝を7月中旬にピニール・トンネル内の畑土にさし付ける方法で、高い発根率が得られることを確認した。発根促進処理は必要条件であり、IBA 1%粉剤が効果的であった。発根成績は採穂木によって異なり、早期選抜木の間で15~100%のばらつきが認められるので、発根能力について採穂木の選択が必要である。採穂木の加齢による発根率の低下は、9年生までの観察では認められなかった。

11. 以上の研究結果から、カラマツの巡回木理について遺伝的に改良された生産集団を育成するためには、若干の選抜誤差を含むが、早期選抜木のさし木複合クローンを利用するのが最も効果的である。さし木増殖については、採穂木の加齢による発根能力低下の問題が残るが、一定期間ごとに早期選抜を繰り返し、採穂木を更新することで対応できる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、元林業試験場木材部長加納孟博士（当時、同部材料科長）からカラマツにおける材質改良と巡回木理の重要性について御教示いただき、元同場造林部長戸田良吉博士（当時、遺伝育種科長）から研究の実施について多大な御配慮と直接的な御指導をいただいた。また、本論文のとりまとめに際しては、北海道大学農学部深沢和三教授、宮島寛教授、大金永治教授および五十嵐恒夫教授から懇切な御校閲と御助言をいただいた。以上の各位に対し心から感謝の意を表します。

本研究は林業試験場造林部遺伝育種第四研究室で開始し、東北林木育種場で完成させたものである。その間、巡回木理の測定法については林業試験場木材部材質研究室中川伸策主任研究官の御助言をいただき、調査・測定・材料育成については同場造林部遺伝育種第四研究室長坂寿俊技官（当時）、東北林木育種場育種研究室川村忠士技官および同場育種課佐々木文夫技官に多大の御協力をいただいた。さらに、本研究が「からまつ材質育種事業」の基礎となり、わが国において材質育種が事業として成功裡に実施されたことは著者の望外の幸せである。これは、すべて林野庁はじめ関係育種場および営林局の関係各位の御配慮と御協力の賜である。これらの方々に厚く御礼を申しあげる。

引用文献

- 1) 明峰英夫：植物の集団育種法，育種数値表解説，養賢堂，東京，314～337，(1958)
- 2) ANDERSON, E. A., KOEHLER, A. and KRONE, R. H. : Instruments for rapidly measuring slope of grain lumber. Forest Prod. Lab. Madison/Wisc., No.1592, pp.13, (1955)
- 3) 荒井国幸：林木の挿木試験 (I)，カラマツの夏ざしについて，長野林友，昭和42年 (3)，末尾1～6，(1967)
- 4) 荒井国幸：林木の挿木試験 (II)，カラマツの発根を促すためのオーキシソ処理濃度について，長野林友，昭和42年 (5)，末尾8～11，(1967)
- 5) 荒井国幸：林木の挿木試験 (III)，カラマツの夏ざしにおける親木の肥倍について，長野林友，昭和43年 (1)，末尾43～47，(1968)
- 6) 浅田節夫・中坪賢雄・長谷川勝好：林木の挿木困難樹種に関する研究 (II)，信大農学报，1，36～46，(1951)
- 7) 浅田節夫：からまつ樹の挿木に就いて，長野営林局造技研 (1952)，154～155，(1952a)
- 8) 浅田節夫：林木の挿木困難樹種に関する研究 (III)，特にカラマツ樹のCallus pits methodの適用について，61回日林講，92～93，(1952b)
- 9) 浅田節夫・島崎洋路：林木の挿木困難樹種に関する研究 (IV)，カラマツ樹の休眠期及び生長期に於けるカルス形成の消長並に発根について，日林中支講 (3)，5～9，(1955)
- 10) 浅田節夫：カラマツ属の自発休眠に関する研究，信大農紀要 (8)，1～24，(1958a)
- 11) 浅田節夫・宮坂芳和・西沢正人・野笹多久男：林木の挿木困難樹種に関する研究 (VIII)，母樹齢と発根の難易性について (その1) 母樹齢とさし穂の抗菌生との関係，68回日林講，182～183，(1958b)
- 12) 浅田節夫・野笹多久男：林木の挿木困難樹種に関する研究 (IX)，(その2) 樹体養料の差異について，69回日林講，285～281，(1959)
- 13) 浅田節夫・橋爪洋一：林木の挿木困難樹種に関する研究 (X)，とくにシンシュウカラマツの発根部位について，69回日林講，281～283，(1959)
- 14) 浅田節夫：カラマツのサシキ養苗法について，北海道の林木育種 6 (2)，12～17，(1964)
- 15) 浅田節夫・川崎圭造・前田孝：カラマツの挿木について，日林中支講 (25)，116～121，(1977)
- 16) BANNAN, M. W. : Spiral grain and anticlinal divisions in the cambium of conifers. Can. J. Bot. 44, 1515～1538, (1966)
- 17) BRAZIER, J. D. : An assessment of the incidence and significance of spiral grain in young conifer trees. For. Prod. J. No.8, 302～312, (1965)
- 18) BRAZIER, J. D. : The effect of forest practices on quality of the harvested crop. Proc. 16th Cong., Div. V, IUFRO, Norway, 83～99, (1976)
- 19) BURGER, H. : Der drehwuchs bei den holzarten (I), Drehwuchs bei Fichte und Tanne. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw., 22, 142～164, (1941)
- 20) BUTLER, B. T. : Twisted trees. Science, 73, 674, (1931)
- 21) CAHN, A. R. : Twisted trees. Science, 73, 561, (1931)
- 22) CANNING, F. : Twisted fibres in chir pine. Indian Forester, 41, 112～116, (1915)

- 23) CHAMPION, H. G. : An interim report on the progress of investigations into the origin of twisted fibre in *Pinus longifolia* ROXB. Indian Forester, **53**, 18~22, (1927)
- 24) CHAMPION, H. G. : Second interim report on the progress of investigations into the origin of twisted fibre in *Pinus longifolia* ROXB. Indian Forester, **56**, 511~520, (1930)
- 25) CHAMPION, H. G. : Genetics of forestry. Quart. J. For., **39**, 74~81, (1945)
- 26) 千葉茂・永田義明：カラマツ産地試験養苗期の特性と小樽・大平試験地の生育状況，北海道の林木育種 **15** (1), 17~22, (1972)
- 27) 千葉茂・永田義明・幸田秀穂：カラマツ属の育種に関する研究 (VI)，カラマツの振れに関する選抜，北海道の林木育種 **15** (2), 8~12, (1980)
- 28) DADSWELL, H. E., FIELDING, J. M., NICHOLLS, J. W. P. and BROWN, A. G. : Tree-to-tree variation and gross heritability of wood characteristics of *Pinus radiata*. TAPPI, **44**, 174~179, (1961)
- 29) ELLIOT, G. K. : Spiral grain in second-growth Douglas-fir and Western hemlock. For. Prod. J., **8**, 205~211, (1958)
- 30) FIELDING, J. M. : Variation in Monterey pine. Bull. For. Timb. Bur. Australia, **31**, pp. 43, (1953)
- 31) FIELDING, J. M. : Spiral grain in *Pinus radiata* plantation in the Australian Capital Territory. Leaflet For. Timb. Bur., Canberra, No. 103, pp.28, (1967)
- 32) 半澤道郎・澤田稔：カラマツ材の性質と利用，北方林業会，札幌，pp.207, (1969)
- 33) HARRIS, J. M. : On the causes of spiral grain in the corewood of *Pinus radiata*. D. DON. Proc. Meeting of Section 41, IUFRO, Gainesville, Florida, (1971)
- 34) HARRIS, J. M. : Spiral grain and xylem polarity in Radiata pine; Microscopy of cambial reorientation. N. Z. J. For. Sci., **3**, 363~378, (1973)
- 35) HARTIG, R. : Über den Drehwuchs der Kiefer. Forstl. Naturw. Z., **4**, 313~326, (1895)
- 36) HEJNOWICZ, Z. : Anticlinical division, intrusive growth and loss of fusiform initials in nonstoried cambium. Acta Soc. Bot. Pol., **30**, 729~748, (1961)
- 37) HEJNOWICZ, Z. : Orientation of partition in pseudotransverse division in cambia of some conifers. Can. J. Bot., **42**, 1685~1691, (1964)
- 38) HEJNOWICZ, Z. : The structural mechanism involved in the change of grain in timber. Acta Soc. Bot. Pol., **37**, 347~365, (1968)
- 39) HEJNOWICZ, Z. : Domain pattern in cambium and formation of spiral grain. Proc. Meeting of Division 5, IUFRO, South Africa, Vol. 2, 459~466, (1973)
- 40) HERRICK, E. H. : Further notes on twisted trees. Science, **76**, 406~407, (1932)
- 41) HOWARD, N. F. : Twisted trees. Science, **75**, 132~133, (1932)
- 42) 飯塚徳義：成長阻害物質とサシホの活着の難易について，日林北支講，**10**, 29~31, (1961)
- 43) 池内藤治：落葉松の挿木及び接木に成功す，山林 (700), 57~59, (1941)
- 44) IMAI, Y. : The right- and left-handedness of phyllotaxy. Bot. Mag., **41**, 592~596, (1927)
- 45) 猪瀬寅三：落葉松の挿木繁殖法，山林，(728), 46~50, (1943)
- 46) 猪瀬寅三：挿木造林特にカラマツ挿木苗養成法，国土再建造林技術講演集，林友会青森支部，154~166, (1947)

- 47) 石田茂雄・星英雄・小沢俊規：北海道産カラマツにおける旋回木理の現れ方，日材北支講，4，48～51，(1972)
- 48) 石井盛次・斎藤潤：生長ホルモン使用によるカラマツの挿木試験，昭和17年度日林会員研究論文集，199～205，(1943)
- 49) 石川広隆：カラマツのさし木に関する研究 (I)，林試研報 (135)，47～52，p1. 1～2，(1962)
- 50) 石川広隆：カラマツ壮齡樹のさし木でみられた2,3の問題点について，72回日林講，223～226，(1962)
- 51) 石川広隆：カラマツ当年枝の成熟度と発根力，75回日林講，232～234，(1964)
- 52) 石川広隆：マツ・カラマツ類を中心としたさし木困難樹種の不定根の形成に関する基礎的研究 (I)，林試研報 (214)，77～109，p1. 1～4，(1968)
- 53) KADAMBI, K. and DABRAL, S. N. : On twist in Chir Pine (*Pinus longifolia* ROXB.). Indian Forester, 81, 58～64, (1955)
- 54) 金子富吉・古越隆信・半田孝俊・田淵和夫・糸屋吉彦・山田勇・山手広太：関東育種基本区におけるカラマツ材質優良木の選抜，林育研報，4，71～90，(1986)
- 55) 金井彰：楯の捩じれに就いて，日林誌 14，739～749，(1932)
- 56) 加納孟・中川伸策・斎藤久夫・小田正一：カラマツの用材品質について (I)，用材品質におよぼす立木素材および角材の条件，林試研報 (162)，1～44，p1. 1～4，(1964)
- 57) 加納孟・中川伸策・斎藤久夫・小田正一・重松頼生：カラマツの用材品質について (II)，用材品質におよぼす立地条件の影響，林試研報 (182)，113～147，(1965a)
- 58) 加納孟・斎藤久夫：木材の纖維走行の新しい測定法，木材誌，11，33～35，(1965b)
- 59) 加納孟：林木の材質，日林協，東京，pp.168，(1973a)
- 60) 加納孟・須藤彰司・中川伸策・斎藤久夫：木本作物の育種，早期検定法の開発と利用，木本作物育種グループ，219～228，(1973b)
- 61) 川口信隆・山本宏・高橋政治・滝沢忠昭：津別産カラマツの樹幹内における旋回木理の現れ方，林産試月報 (5月)，1～5，(1979)
- 62) 川口信隆・滝沢忠昭：二面交雑家系カラマツの材質 (III)，林産試月報 (4月)，1～10，(1983)
- 63) 川村忠士・三上進・野口常介・板鼻直栄・吉村研介・井上幹博：東北育種基本区におけるカラマツ材質優良木の選抜，林育研報，4，47～69，(1986)
- 64) KENNEDY, R. W. and ELLIOTT, G. K. : Spiral grain in red alder (*Alnus rubra* BONG.). For. Chron., 33, 236～251, (1957)
- 65) KIHARA, H. : Right- and left-handedness in plants; A review. 生研時報 (23)，1～37，(1972)
- 66) 岸田昭雄・鮫島惇一郎・真鍋忠久・宍戸清次・柳沢聡雄・斎藤幹夫：カラマツ産地試験一国有林の野幌・清水・枝幸3試験地における成績，北海道の林木育種，15 (2)，2～16，(1972)
- 67) KLINKEN, J. : Über das gleitende Wachstum der Initialen im Kambium der Kniferen und den Markstrahlauf in ihrer sekundären Rinde. Bibliotheca Bot., 19, 1～37, (1914) [BANNAN (1966) 参照]
- 68) KNORR, F. : What cause twisted trees? J. Heredity, 23, 49～52, (1932)
- 69) KOEHLER, A. : Heredity vs. environment in improving forest trees. J. For., 37, 683～687, (1939)

- 70) KOEHLER, A. : Guide to determining slope of grain in lumber and veneer. U. S. For. Prod. Lab. Report, 1585, (1955)
- 71) 倉橋昭夫・佐々木忠兵衛・高橋康夫・浜谷稔夫：カラマツ産地試験—東京大学北海道演習林における植栽10年後の結果，北海道の林木育種，**15** (1)，23～27，(1967)
- 72) 倉田久敬：カラマツ材利用の展望，山林 (1196)，8～13，(1984)
- 73) LOWERY, D. P. : A spiral grain classification system and its application. For. Prod. J., **16**, 47～50, (1966)
- 74) MCCARTHY, E. F. and HOYLE, R. J. : Knot zones and spiral is Adirondack red spruce. J. For., **16**, 777～791, (1918)
- 75) MCDANIELS, L. H. and CURTIS, O. F. : The effect of spiral ringing on solute translocation and the structure of the regenerated tissues of the apple. Memoirs Cornell Univ. Agr. Expt. Station, 133, 3～31, (1930) [STEEVES, T. A. and SUSSEX, I. M. 著，竹内郁夫・前田靖男共訳：植物の発生様式，丸善，東京，pp.366，(1979) 参照]
- 76) 三上進・渡辺操・太田昇：カラマツの繊維傾斜度におけるクローン間変動，日林誌，**54**，213～217，(1972)
- 77) 三上進・長坂寿俊：カラマツの繊維傾斜度とタネの産地，日林誌，**56**，228～230，(1974)
- 78) 三上進・長坂寿俊：カラマツの繊維傾斜度に関する選抜，林試研報 (276)，1～22，(1975)
- 79) 三上進・佐々木文夫・渡辺操：カラマツ精英樹家系苗における繊維傾斜度の変異，日林東北支誌 (30)，201～203，(1979a)
- 80) 三上進・佐々木文夫・渡辺操：カラマツのさし木増殖試験，日林東北支誌 (30)，204～205，(1979b)
- 81) 三上進：からまつ材質育種事業，林野時報，**27** (12)，28～29，(1981)
- 82) 三上進・野口常介・川村忠士・井上幹博・板鼻直栄：カラマツの旋回木理と材のねじれに関する選抜，日林東北支誌 (33)，101～104，(1981)
- 83) 三上進・佐々木文夫・渡辺操：カラマツの旋回木理に関する早期選抜個体のクローン検定，日林東北支誌 (34)，137～138，(1982)
- 84) 三上進・川村忠士・佐々木文夫：カラマツの母樹別自然交配家系における旋回木理の遺伝変異，日林東北支誌 (35)，185～187，(1983)
- 85) 三上進：からまつ材質育種事業—事業計画と事業実施5か年間の成果，林育研報，**4**，1～28，(1986)
- 86) MISRA, P. : Observation on spiral grain in the wood of *Pinus longifolia* ROXB. Forestry, **13**, 118～133, (1939)
- 87) 百瀬行男：カラマツのさし木試験，長野林友，昭和35年 (2)，末尾 10～13，(1960)
- 88) 向山繁人・三原康義・今井元政：カラマツ材質育種に関する研究 (III)，長野林指業報，昭和53年度，64～67，(1979)
- 89) 中川伸策：カラマツ樹幹内における旋回木理の分布とその出現型，林試研報 (248)，97～120，(1972)
- 90) 中川伸策：カラマツの母樹とクローンの繊維傾斜度の関係，林試研報 (312)，21～43，(1980)
- 91) NEEF, F. : Über Zellumlagerung. Ein Beitrag zur experimentellen Anatomie. Z. Bot., **6**, 465～547, (1914) [BANNAN (1966) 参照]
- 92) NEEF, F. : Über polares Wachstum von Pflanzenzellen. Jahrb. Wiss. Bot., **61**, 205～283, (1922)

[BANNAN (1966) 参照]

- 93) NICHOLLS, J. W. P., DADSWELL, H. E. and FIELDING, J. M. : The heritability of wood characteristics of *Pinus radiata*. *Silv. Gen.*, **13**, 68~71, (1964)
- 94) NICHOLLS, J. W. P. : Preliminary observation on the change with age of the heritability of certain wood characters in *Pinus radiata* clones. *Silv. Gen.*, **16**, 18~20, (1967a)
- 95) NICHOLLS, J. W. P. : Assessment of wood quality for tree breeding. *Silv. Gen.*, **16**, 21~28, (1967b)
- 96) NICHOLLS, J. W. P. : Preferred methods for the investigation of spiral grain. Proc. Meeting of Sect. 41, 15th Cong. IUFRO, Gainesville, U. S. A., (1971a)
- 97) NICHOLLS, J. W. P. : The effect of environmental factors on wood characteristics. (II) The effect of thinning and fertilizer treatment on the wood of *Pinus pinaster*. *Silv. Gen.*, **20**, 67~73, (1971b)
- 98) NICHOLLS, J. W. P. : and WARING, H. D. : The effect of environment factors on wood characteristics. (IV) Irrigation and partial droughting of *Pinus radiata*. *Silv. Gen.*, **26**, 107~111, (1977)
- 99) 日本建築学会 : 木構造設計規準・同解説, 丸善, 東京, pp.461, (1979)
- 100) NORTHCOTT, P. L. : Is spiral grain the normal growth pattern? *For. Chron.*, **33**, 335~352, (1959)
- 101) NORTHCOTT, P. L. : The effects of spiral grain on the usefulness of wood. Proc. Meeting of Sec. 41, IUFRO, Melbourne, (1965)
- 102) NOSKOWIAK, A. F. : Spiral grain patterns in red pine and relationship of age and radial growth rate to change of angle. Doctoral thesis, State Univ., New York, College of Forestry, Syracuse N. Y., (1959) [NOSKOWIAK (1963) 参照]
- 103) NOSKOWIAK, A. F. : Spiral grain in trees. *For. Prod. J.*, **13**, 266~275, (1963)
- 104) 荻野務・清藤城広・長田十九三 : ねじれの少ないカラマツ精英樹クローンの選抜, 山梨林試情報 (7), 6~9, (1982)
- 105) 岡田滋 : カラマツさし木試験, 日林誌, **49**, 316~320, (1967)
- 106) 小野一 : 植物遺伝学IV, 形態形成と突然変異—左右性, 裳華房, 東京, 54~59, (1977)
- 107) 小野寺重男・高橋政治・川口信隆 : 北海道産造林木の材質試験 (II) カラマツとそのF₁類, 北海道林産試研報 (66), 32~110, (1977)
- 108) 大倉精二・鳥山清美 : 樹木の回旋性について (I), カラマツ樹幹の繊維回旋, 信大農学報 (1), 28~35, (1952)
- 109) 大倉精二・鳥山清美 : 樹木の回旋性について (II), アカマツの場合及び回旋繊維のねじれ角と年輪幅との関係, 信大農学報 (5), 33~38, (1956)
- 110) 大倉精二 : 樹木の回旋性について (III), いろいろの樹種が現す回旋生長型式—回旋生長の2元説, 64回日林講, 298~301, (1955)
- 111) 大倉精二 : 樹木の回旋性について (IV), ZV型(右旋樹種の左旋への方向変換)の存在, 日林中支講, 4, 44~48, (1956)
- 112) 大倉精二 : 樹幹における繊維回旋の現れ方, 信大農紀要 (8), 59~100, (1958)
- 113) 大倉精二 : 回旋生長の原因について, 信大農演報 (2), 1~65, p 1. 1~6, (1960)
- 114) 大倉精二・小沢勝治・高島恵浩・竹入勝美 : 木材のねじれ狂い, 木材誌, **7**, 205~207, (1961)
- 115) 大倉精二・小沢勝治 : 木材のねじれ狂い (II), 木材誌, **8**, 105~108, (1962)

- 116) 大倉精二・小沢勝治・高島宣裕：木材のねじれ狂い (IV)，纖維方向を考慮した場合の板材のねじれ狂いについて，木材誌，**9**，121～124，(1963)
- 117) 大島卓司：旋回木理の成因とその影響に就いて (予報)，成因についての基礎的一考察，日林誌，**16**，561～571，(1934)
- 118) 織田春紀：カラマツ類の纖維傾斜度の種間変異について，日林北支論，**34**，136～138，(1985)
- 119) 織田春紀：カラマツクローンによる材質形質の遺伝分散の推定，纖維傾斜度と容積密度数，96回日林論，287～288，(1985)
- 120) 織田春紀・片寄緑：北海道育種基本区におけるカラマツ材質優良木の選抜，林育研報，**4**，29～45，(1986)
- 121) 小沢勝治：針葉樹の回旋性について，日林誌，**53**，368～371，(1971)
- 122) 小沢勝治：カラマツ一林分 (東北地方) における旋回木理の現れ方，日林誌，**54**，269～274，(1972)
- 123) 小沢勝治：カラマツ一林分 (中部地方) における旋回木理の現れ方，日林誌，**55**，221～226，(1973)
- 124) 小沢勝治：針葉樹の旋回木理と乾燥ねじれ，pp.100，(1984)
- 125) PAUL, B. H. : Forest genetics in relation to wood quality. Proc. Lake States For. Gen. Conf., misc. Rept., **22**, 55～59, (1953)
- 126) PAUL, B. H. : Change in spiral grain direction in Ponderosa pine. U.S.D.A. For. Serv. Rept., No. 2058, (1956)
- 127) PEDERICK, L. A. : Inheritance of spiral grain in young Radiata pine. Proc. Meeting of Sect. 41, 15th Cong., IUFRO, Gainesville., U.S.A., (1971)
- 128) PYSZYNSKI, W. : Mechanism of formation of spiral grain in *Aesculus* stems : Dissymmetry of deformation of stems by cycle torsion. Acta Soc. Bot. Pol., **46**, 501～522, (1977)
- 129) RAUT, J. P. and MARSH, E. K. : The incidence and silvicultural implications of spiral grain in *Pinus longifolia* ROXB. in South Africa and its effect on converted timber. Brit. Common Wealth Forestry's 6th Conf., Canada. [For. Abstr., **13**, 4634, (1952) 参照]
- 130) 林野庁：からまつ材質育種事業実施要領，pp.17，(1980)
- 131) RUDINSKY, J. A. and VITE, J. P. : Certain ecological and phylogenetic aspects of the pattern of water conduction in conifers. For. Sci., **5**, 259～266, (1959)
- 132) SACHSSE, H. : The effect of the rate of growth on the occurrence of spiral grain. Proc. Meeting of Sect. 41, IUFRO, Melbourne, (1965)
- 133) 佐藤邦彦・横沢良憲・庄司次男：東北地方のスギ，アカマツおよびカラマツ種子産地試験地における病害の発生状態，日林誌，**47**，452～457，(1965)
- 134) SCHAFFALITSKY de MUCKADELL, M. : Investigations on aging of apical meristems in woody plants and its importance in silviculture. Forstl. Forsogsva. Danmark, **25**, 310～455, (1955)
- 135) SCHMUCKER, T. : Forstgenetik ; einige Befunde am Rande. Forstwiss. Cbl., **75**, 32～41, (1956)
- 136) SCHREINER, E. J. : Possibilities for genetic improvement in the utilization potentials of forest trees. Silv. Gen., **7**, 122～128, (1958)

- 137) SEIFRIZ, W. : Twisted trees and the spiral habit. *Science*, **77**, 50~51, (1933a)
- 138) SEIFRIZ, W. : More about the spiral habit. *Science*, **78**, 361~362, (1933b)
- 139) 重松頼生・安元善次：カラマツ材質試験 (I), 旋回木理と収縮率の樹幹内分布, 日林中支講 (19), 92~94, (1970)
- 140) 重松頼生：カラマツ材質試験 (IV), 天然林カラマツと人工林カラマツの材質比較, 日林中支講 (20), 259~263, (1971)
- 141) 重松頼生：カラマツ材質試験 (V), 未成熟材における旋回木理の現れ方, 日林中支講 (21), 56~60, (1972)
- 142) 重松頼生：カラマツ材質試験 (VII), 旋回木理と年輪幅の関係, 日林中支講 (22), 7~10, (1973)
- 143) 重松頼生：カラマツ材質試験 (XI), らせん木理の変動について, 日林中支講 (23), 202~207, (1974)
- 144) 重松頼生：カラマツ材質試験 (XV), 枝材におけるらせん木理について, 日林中支講 (25), 34~40, (1977)
- 145) SMYTHIES, E. A. : Notes on the twisted fibre in Chir pine. *Indian For.*, **41**, 69~75, (1915)
- 146) 塩田勇：からまつ挿木, 日林東北支誌 (3), 18~20, (1953)
- 147) 滝沢忠昭・川口信隆・高橋政治：カラマツ心持ち正角材の繊維傾斜度とねじれの関係, 林産試月報 (10月), 1~5, (1981)
- 148) 滝沢忠昭・川口信隆：二面交雑家系カラマツ材の材質 (I), 林産試月報 (3月), 1~9, (1982)
- 149) 滝沢忠昭・倉橋昭夫・小笠原繁男・川口信隆：二面交雑家系カラマツ材の材質 (II), 林産試月報 (8月), 1~8, (1983)
- 150) 玉利長三郎・岡田滋・丸岡富次郎：カラマツのサシキ試験 (I), 日林北支講 (14), 17~20, (1965)
- 151) TEISSIER, C. E., KLEINSCHMIT, J., AZOEUF, P. and HOSLIN, R. : Spiral grain in beech, variability and heredity. *Silv. Gen.*, **29**, 5~13, (1980)
- 152) THAIR, B. W. : Cambial polarity as revealed by grafting experiments. Thesis Univ. of Saskatchewan, (1968) [STEEVES, T. A. and SUSSEX, I. M. 著, 竹内郁夫・前田康男共訳：植物の発生様式, 丸善, 東京, pp.336, (1979) 参照]
- 153) 戸田良吉：林木育種関連日本文献抄 I - B, 農林出版, 東京, pp.918, (1972)
- 154) TODA, R. and MIKAMI, S. : The provenance trials of Japanese larch established in Japan and the tentative achievement. *Silv. Gen.*, **25**, 209~216, (1976)
- 155) TURNBULL, J. M. : A preliminary investigation into the causes of torsion in pine stems. *J. South Afr. For. Assoc.*, **8**, 112~117, (1942) [NOSKOWIAK (1963) 参照]
- 156) 内堀寿郎：カラマツさし木事業における実行結果について, 長野営林局技術研究, 昭和39年度, 55~66, (1964)
- 157) 上田営林署：落葉松の挿木養成に就いて, 東京局報 (57), 10~16, (1964)
- 158) VITE, J. P. : Über die transpirationsphysiologische Bedeutung des Drehwuchses bei Nadelholzern. *Forstw. Centr.*, **77**, 193~203, (1958)
- 159) VITE, J. P. : Observations on the movement of injected dyes in *Pinus ponderosa* and *Abies*

- concolor*. Contr. Boyce Thompson Inst., 20, 7~26, (1959) [NOSKOWIAK (1963) 参照]
- 160) WENTWORTH, C. K. : Twist in the grain of coniferous trees. Science, 73, 192, (1931)
- 161) 渡辺治人：木材理学総論，農林出版，東京，pp.640，(1978)
- 162) 渡辺利一・名取潤：天然林カラマツと造林カラマツの材質的差異について（II），カラマツ樹幹内の旋回木理，山梨林試研報（15），35~44，(1979)
- 163) 山手広太：からまつの挿木について，長野林友，昭和36年（4），末尾 30~33，(1961)
- 164) 柳原利夫：からまつの挿木について，長野営林局造林技術研究，昭和27年度，86~89，(1952)
- 165) 柳澤聡雄・川西利義：カラマツの挿木発根に関する二，三の実験観察，林試札幌支場昭和24年研究発表講演集，66~70，p1. 1~5，(1950)
- 166) 柳澤聡雄：カラマツのさし木，中村賢太郎監修さし木の実際，全苗連，東京，69~81，(1958)
- 167) 柳澤聡雄：ニホンカラマツの種子の産地のちがいがその苗木の生長周期に及ぼす影響，林試北海道支場年報，65~70，(1960)
- 168) YEAGER, W. C. : Regarding twist in conifers. Science, 73, 392~393, (1931)
- 169) 材質育種班：材質育種に関する研究（I），東北地方アカマツ，林試研報（222），1~113，(1967)
- 170) 材質育種班：材質育種に関する研究（II），関西地方アカマツ，林試研報（244），17~114，(1972)
- 171) 全国木材組合連合会：（林野庁監修）製材等の日本農林規格並びに解説，全木連，東京，pp.201，(1981)
- 172) ZOBEL, B. J. : Inheritance of wood properties in conifers. Silv. Gen., 10, 65~70, (1961)
- 173) ZOBEL, B. J. : Breeding for wood properties in forest trees. Unasylva, 18, 89~103, (1964)
- 174) ZOBEL, B. J. : Inheritance of spiral grain. Proc. Meeting of Sect. 41, IUFRO, Melbourne, (1965)
- 175) ZOBEL, B. J., STONECYPHER, R. W. and BROWNE, C. : Inheritance of spiral grain in young loblolly pine. For. Sci., 14, 376~379, (1968)

**Breeding for Wood Quality of Japanese Larch, *Larix
kaempferi* (LAMB.) CARR. [= *L. leptolepis* GORD.]**
— Genetic Improvement of Spiral Grain —

Susumu MIKAMI⁽¹⁾

Summary

The Japanese larch is the most popular tree species for reforestation in the hilly areas of the northern half of Japan because of its rapid growth and outstanding adaptability even to severe environmental conditions. Unfortunately, however, the larch produces less useful wood as a construction material. Although larch lumber from natural stands is greatly appreciated, the lumber from plantation trees often presents such serious defects as splits of boards and twisting of boxed-hearts, especially when the trees are young. It is recognized generally that the cause of the defects is spiral grain. Therefore, the minimizing of spiral grain is essential for producing wood which can be utilized as construction material.

The present studies aim to explore the possibility of genetically minimizing spiral grain in larch, and to examine the method of tree evaluation for spiral grain, phenotypic variation within and between stands and seed provenances, genetic variation between clones and half-sib progenies, selection criteria, and genetic gain through mass selection. Furthermore, vegetative propagation of the trees selected for spiral grain was investigated from the viewpoint of supplying genetically improved materials for reforestation, because the frequency of selection-type trees in the following generation propagated by seed would be not so great as to be acceptable to commercial forestry. For larch trees, however, it is very difficult for the rooting of cuttings unless taken from very young seedling. Thus, selection for spiral grain in younger stages and vegetative propagation by cuttings from selected trees were examined.

The results are summarized as follows :

(1) Measurement of spiral grain for phenotypic selections in larch stands

For the selecting of desirable trees with straight grain or slightly spiraling grain from larch stands, the splitting method of stem-disks is the most simple and preferable one. There are two reasons for this; one is that it is possible to observe and determine the development of spiral grain in each growth ring from the center of the stem to the periphery, and the other is that it is possible to measure a large number of samples at a time. This method, however, has some defects such as the loss of sampled trees by felling and the restriction of collecting graft-scions from selected trees only in the proper season.

On seedlings or young trees, which are incapable of accommodating the splitting method, the sliver method is effective. In this method, grain direction is disclosed by pulling small slivers from the surface of the stem wood, and it is possible to measure annually the spiral angle of the new growth ring of the same individual and to observe the development of spiral grain over a period of time.

(2) Phenotypic variation of spiral grain

The radial developing pattern of spiral grain in a stem is that it first develops in a left-hand spiral, reaches a maximum angle in the 2-5th growth rings from the pith, then its angle gradually decreases and changes direction to become right-handed. While this is the general development pattern of spiral grain in larch trees, the degree of the spiral angle in each growth ring, the degree of the maximum

angle, and the velocity of the appearance of the maximum angle differ at stem heights and in trees. Radial developing patterns of spiral grain were relatively stable in stems at 2.0~4.0m height from the ground and unstable in stems of less than 1.0m height. Spirality was intensified in stems more than 5.0m high. In the case of 20~30-year-old trees, the maximum and mean angles of spiral grain at 1.2m heights of stems varied widely among trees. They ranged from 2.5° to 8.2° in maximum angle and from 0.8° to 5.1° in mean angle. In spite of diversity of the developing pattern of spiral grain, when its angles were measured in each growth ring at from 2.0~4.0m in heights of stems, the selection of trees with straight grain or with slightly spiraling grain could be made by the evaluation of maximum and mean angles.

The development of spiral grain in branches fundamentally was similar to that of stems, but some noticeable features were observed. The spirality was weaker than that of stems; changing of the spiral direction from left to right appeared in an early stage; maximum angles did not concentrate in a few growth rings. Spiral grain of branches could not substitute for that of a stem in the evaluation of a tree, even though a significantly positive correlation between the spiral grain of the branch and the stem was computed ($r=0.44\sim0.51$).

(3) Variations in spiral grain among stands and provenances

The examination of spiral grain in eleven 25~50-year-old stands showed significant differences among stand means of maximum spiral-angles and of mean spiral-angles. The percentage of trees with slightly spiraling grain in each stand also ranged widely from 2.6% to 14.6%. These differences among stands appeared not to be associated with tree age, tending manner, and environmental conditions, but originated in seed trees or seed provenances. This fact was confirmed by an analysis of the data from provenance experiments, which showed large differences among 25 provenances in maximum spiral-angles and mean spiral-angles, and high correlation between two experiments (15-year-old). However, their variations were random, and no geographic cline and no effects of natural selection in original habitats were found. Thus, it seems that the provenance variations were derived from a random genetic-drift.

(4) Relationships between spiral grain and growth and other wood traits

The analyzed results of the relationship between the angles of spiral grain and the growth-ring widths of 1,080 trees from eleven stands showed no relationships in almost all growth rings except the first and second growth-rings from the pith. A small negative correlation between the mean spiral-angle and tree height or crown height was found, and the correlation coefficients were significant only in one of the eleven stands. A large positive correlation was found between the mean spiral-angle and twisting in $10\times 10\times 300$ cm boxed-hearts after air-drying for four months ($r=0.82$). On the other hand, on relationships were observed between warping of boxed-hearts and the other examined traits.

(5) Genetic variation in spiral grain

Development of spiral grain varied widely among clones and half-sib progenies. The genetic variance accounted for the greater part of the total variance in the zone from the third to fifth growth rings from the pith in which a large number of trees has maximum spiral-angles, and large heritability estimates were presented. These results suggest that the spiral grain in the juvenile wood of Japanese larch may be controlled genetically. As the examined materials were young, the transition of heritability estimates with age could not be confirmed. Nevertheless, in terms of the developing process of spiral grain, it is assumed that they may decrease gradually or rapidly with age.

(6) Selection standards for spiral grain of Japanese larch

Selection of desirable trees with straight or slightly spiraling grain could be made by simple criteria regardless of detailed radial variation patterns. As the standard for selection, it is practical to prescribe spiral angles of less than 3.0° for maximum angle and less than 1.5° for mean angle, judging

from the variation range of spiral grain in larch stands and regulations on spiral grain in larch wood for construction works. When selection was conducted with the above standards in commercial larch stands, selection intensity was 0.056 on the average. Thus, the necessary amount of breeding materials for spiral grain could be selected without much difficulty.

(7) Genetic gain through mass selection and its limitations in practical application

If the larch trees qualifying under the standards described above were selected and the following generation was produced under a system of random mating with them, the population means of spiral grain would be reduced by 46% in mean angle and 29% in maximum angle from those of the original population. These genetic gains were estimated on the basis of a selection intensity of 0.05 and a heritability of 0.5, which were averages of the values computed for different populations and half-sib progenies. Thus, large genetic gain on the basis of the population mean could be expected through mass selection. However, the proportion of the desirable trees qualifying for selection standards (selection-type) in the following generation may be under 30%.

On the other hand, a population mean on the quality of piled logs or lumbers is ignored in making use of wood, and the logs or lumbers are evaluated by a prescribed standard one by one. Therefore, the proportion of selection-types less than 30% is too far from the practical requirements in wood use, and it is necessary to sharply increase the proportion by an alternate reproductive means. The propagation of their genotypes by cuttings seems to be the best method of obtaining practical effects.

(8) Early evaluation of spiral grain

To produce rooted cuttings of larch, the scion trees need to be young. For that, we have to evaluate spiral grain in a young stage. There was a great positive correlation between maximum angle and mean angle of spiral grain ($r=0.80-0.85$). Furthermore, maximum angles appeared in young stages (2th-4th growth rings from the pith), and the accumulated frequency of their appearance up to the 4th growth ring amounted to 80%. These facts reveal that early evaluation and early selection for minimizing grain in larch would be possible by means of measuring only the maximum angle, although the accuracy of evaluation would be reduced to some extent.

(9) Procedure of early selection for spiral grain

The following method was devised; the angle of spiral grain on the outer growth ring of three and more year old seedlings or young trees was examined by means of the sliver method, and individuals beyond the standard (the angle less than 3°) were eliminated. This operation was repeated annually on the remaining seedlings or trees for three or four years. The final remaining group would be composed of individuals with acceptable spiral grain.

Applying this method, early selection was made on four populations (2,000 seedlings per population), and 2.7~4.7% of examined seedlings were selected through the annually repeated operations for three years. As these values were less than the occurrence (5.6%) of trees with straight or slightly spiraling grain in adult larch stands, it was assumed that early selection for spiral grain would be greatly efficient. The test of 4-year-old clones propagated by cuttings of early-selected individuals showed that 82% of the clones and 89% of all rooted cuttings were qualified under selection standard.

(10) Vegetative propagation of early-selected individuals for spiral grain by stem cuttings

Larch has been propagated by seed in normal commercial practice, because their cutting are difficult to root unless taken from very young seedlings. However, cuttings taken from the adventitious shoots of cutting-stock plants, which are topped at a height of 60~80cm and trimmed, can be rooted easily in spite of the plants' advanced age.

The level of rooting varied both with the cutting collecting times and with the root-inducing treatments. The cuttings collected from pinched adventitious shoots in mid-June were found to root at a significantly greater rate than other collections. The rooting of cuttings was increased remarkably

by dipping the bottoms of cuttings into a powder containing 1% IBA (indole butyric acid). When cuttings were inserted into peatmoss or Kanuma soil (a kind of massive subsoil) in a green house, the number and weight of roots per rooted cutting were increased, although survival percentages and rooting percentages varied from year to year. The cuttings inserted into nursery beds with a polyethylene cover had also a large percentage of rooting except in extremely dry or cold summers. The rooting percentage was 80% in an average normal year, although it was 46% in the year of fierce summer heat and 68% in the year of extremely cold summer. In the normal years, the rooting percentages varied among ortets (cutting-stock plants) from 20% to 100%. Four-fifths of 97 examined ortets showed a rooting proportion of more than 70%. If one-fifth of the lower ranked ortets were eliminated from the source of cuttings, the average rooting percentages could be increased by 10%. No tendency for a decreasing rooting-ability was recognized in cuttings from 6~9-year-old ortets.