

カラマツの材質向上のための 施業技術に関する研究

武井 富喜雄

カラマツの材質向上のための施業技術に関する研究

武 井 富喜雄

要 旨

幕藩時代に、すでに全国各地に特色ある造林事業を展開してきたスギやヒノキに比べ、カラマツ造林の歴史は、その草創期から今日まで、わずか150年ほどしか経過していない。このような歴史の浅いカラマツ造林にあって、その施業技術について、カラマツ材の心材形成の促進や年輪幅の制御、ねじれ狂いの一因である回旋角の制御及び強度性能の向上などの材質向上を目指した森林施業技術の開発を進めた。

- (1) 樹幹に沿って複雑に変化する連年成長量の垂直的分布や辺材部量の垂直的分布を、単純な指標で表すことができた。
- (2) これら指標と樹幹の枝下高、枝下高率および葉量と関連性が高いことを利用して、希望とする樹幹内の心材材積率や年輪幅を得るための施業モデル図を作成した。
- (3) 成長初期の肥大成長が回旋角に影響していることを示し、この時期に裾枝払いなどの人為的な成長抑制によって回旋角を小さくすることが可能なことを明らかにした。
- (4) 生育環境が大きく異なる長野材と北海道材との比較では、心持ち正角材を用いた材質比較結果から、一般的に北海道材が曲げヤング係数や強度性能などがやや小さかったが、同じ年輪幅材であれば両者間には強度性能などに違いがみられなかった。

以上の結果、カラマツの強度性能やねじれなどの材質向上のためには、成長初期の段階から肥大成長を抑制する施業法、すなわち植栽本数の増大や裾枝払いなどの保育行為が必要であること、および、目的とする心材材積率や年輪幅を得るためには、本研究で提案した施業管理モデル図に従ってカラマツ林を管理することが有効であることを提示した。

本論文は、「三重大学審査学位論文」である。

目 次

序 論	5
I. 研究の背景	5
II. 研究の目的	9
第 I 章 心材形成制御および年輪幅制御のための施業技術の開発	10
I 節 カラマツ樹幹における連年成長量の垂直的分布と葉量、枝下高との関係	10
I. 資料および方法	10
1. 資料の収集	10
2. 樹幹解析	11
3. 幹材積連年成長量の垂直的配分状況の表し方	12
II. 結果および考察	13
1. 比例定数の計算	13
2. L_{vi} と L_{gi} の計算	14
3. 比例定数 L_{gi} の変化と枝下高、枝下高率、葉量	14
4. 生育段階における葉の幹生産能率の変化と比例定数 L_{gi} との関係	16
III. 摘 要	17
II 節 カラマツ樹幹における幹断面積連年成長量の配分と辺材量の垂直的分布	18
I. 資料および方法	18
II. 結果および考察	20
1. 比例定数の計算	20
2. 比例定数と心材材積率の関係	20
3. 生育段階における比例定数 L_{gs} と葉の幹生産能率との関係	22
4. L_{gs} と L_{gi} との関係	23
5. 枝打ちによる L_{gs} 値の変化	24
III. 摘 要	24
III 節 心材形成制御および年輪幅制御のための施業技術の開発	26
I. 心材形成制御のための施業技術の開発	26
1. 資料および方法	27
2. 結果および考察	27
3. 摘 要	33
II. 年輪幅制御のための施業技術の開発	35
1. 資 料	35
2. 結果および考察	35
3. 摘 要	39
第 II 章 カラマツ樹幹における肥大成長とらせん木理との関係	40
I. 資料および方法	40
1. 調査林分・標本木	40
2. 回旋角の測定方法	41

Ⅱ. 結果と考察	42
1. 回旋角の変動タイプとその林分別出現状況	42
2. 回旋角最大値とその出現状況	43
3. 変動タイプ間の回旋角最大時の年輪幅の比較	45
4. 変動タイプ間における平均回旋角の比較	46
5. 肥大成長（年輪幅）と回旋角	47
Ⅲ. 摘 要	50
第Ⅲ章 カラマツの成長が材の密度や曲げ強度などの材質に及ぼす影響	52
Ⅰ. 資料および方法	53
1. 調査林分・供試材	53
2. 各材質の測定	54
3. 平均値の比較の方法	56
Ⅱ. 結果と考察	57
1. 回 旋 角	57
2. 平均年輪幅	60
3. 気乾比重	62
4. 曲げヤング係数	66
5. 曲げ強度	72
Ⅲ. 摘 要	77
第Ⅳ章 総合考察	79
1. 心材形成および年輪幅制御のための施業技術の開発	79
2. カラマツ樹幹における肥大成長とらせん木理との関係	80
3. カラマツの成長が材の密度や曲げ強度などの材質に及ぼす影響	81
4. 総合考察	82
第Ⅴ章 要 約	83
1. 心材形成および年輪幅制御のための施業技術の開発	83
2. カラマツ樹幹における肥大成長とらせん木理との関係	83
3. カラマツの成長が材の密度や曲げ強度などの材質に及ぼす影響	84
謝 辞	84
引用文献	85
Summary	92
資 料	95
カラマツ樹幹解析木の解析資料一覧表 (1)	96
カラマツ樹幹解析木の解析資料一覧表 (2)	101
カラマツ枝下高解析用調査林分一覧表	106
枝打試験林標本木樹幹解析一覧表（朝日試験地）	108
カラマツらせん木理解析資料	109
長野県内カラマツ産地別材質（10.5cm心持正角材）	111

序 論

I. 研究の背景

幕藩時代からすでに全国各地に林業地を形成し、特色ある造林事業を展開してきたスギやヒノキの歴史は、地域により差はみられるものの、カラマツに比べ約二百年以上も古い歴史を持っている⁽³²⁾。

カラマツが林業生産の目的で継続的に造林され始めたのは、わが国が近代国家として誕生後間もない明治11年(1878)、明治政府の「部分木仕付条例」により林業生産のための具体的な林業施策を開始したのと全く同じ時期であった⁽³²⁾。

明治政府の土地制度の確立と官林管理を主体とした林政の中で、長野県ではこの部分木制度を進めるとともに、明治14年には全国にさきがけて「植樹奨励規則」を制定して奨励金助成による造林も開始した。造林事業は、その大部分がカラマツによって占められ、明治20年代に入ると各地で育苗生産が定着し始め、カラマツの寡雨で寒冷な気候に生育する特性を利用した大規模造林が、浅間山麓の国有林などを中心として公有林および私有林へと広がった。

明治20年代には本県以北の各県にも広がりを見せ、種苗の供給が本県のみという限られた条件にもかかわらず、短期間に主として東北、北海道など全国各地へ広がった。また、諸外国でのニホンカラマツの導入もこの時期に行われ、最も古い植栽事例はフランスで、文久元年(1861)といわれるが、他のドイツ、イギリス、デンマーク、オランダなどのヨーロッパ諸国や、隣の韓国などへはこの時代に本県からの種子導入により造林が始まった⁽¹¹⁶⁾。

今日におけるヨーロッパでのニホンカラマツの評価は、既存のヨーロッパカラマツと比べ「がんしゅ病」等の耐病性や害虫類に対する被害の低さと回復力の強さ、良好な成長性、通直な幹形あるいは造林の確実性などに優れていることから高い評価を得てきた⁽¹¹⁹⁾。

このように、明治時代の中程に植栽が始まり全国的な広がりをみせ、各地に成林したカラマツ林も、先の第二次世界大戦の後期までにはそのほとんどが伐採され、今日では当時の林分をほとんどみることができない。このことから、カラマツ造林の歴史は造林の草創期から今日までの約120年の歴史を持つものの、実際には戦後からの、わずか50年の歴史を持つといっても過言ではない。

カラマツに関する研究は前にも記したように、わが国よりもむしろ歴史の古いドイツを中心としたヨーロッパ諸国で盛んに行われ多くの成果をあげた。

このような状況にあるカラマツ林について、わが国におけるカラマツに関する施業技術の変遷を整理してみたい。

(1) カラマツの間伐に関する研究

戦前までについてみると、この時代はカラマツ造林技術(施業技術)にとっては早創期であり、植栽本数の問題や成林したカラマツ林の間伐を中心とした保育管理法の問題について検討が始まった時代でもある⁽¹²⁴⁾。

なかでも、明治20年代に浅間の国有林に植栽されたカラマツ林を対象にして、わが国林業史上およびカラマツ造林史上においても、最初の間伐試験地が、明治36年(1903)に寺崎(1905)によって設置された。この試験地では当時としては画期的な樹型級区分による林木の分類と、樹型級を基にした間伐法による単位面積当りの材積変化の検討が進められた。

寺崎によって提唱された寺崎式間伐法は、林分の競争結果として表れた樹型級に基準をおいている。この間伐法は、主観によって樹型級を決定しなければならないから、客観性を欠くことがあり、客観性を増すように樹型級の分類を細かくすると、かえって実践面でむづかしくなってしまうたり

した。

戦後にはいると、牛山⁽¹³⁵⁾はカラマツの胸高直径に基準をおく間伐法として、牛山式間伐法を提案した。これは、「樹種品種が同じである場合、胸高直径の等しい林木は、地位、林位、林齢に関係なく等しい領有面積を持つとみてさしつかえない」という考えに立って、間伐の実行はその地方の収穫表の適正本数より算出した平均間隔を保有するように配慮する方法を主張した。この方法は、民有林より国有林で主として利用された。

吉良⁽⁴⁹⁾を中心とする大阪市立大学の研究グループは、生態学の分野で密度と成長との関係について明らかにした。安藤⁽²⁾は吉良らの密度理論を林業において実用化の研究をすすめ、林分の樹高階別の本数密度と幹材積、直径との関係を「林分密度管理図」で示す成長予測図にまとめ、スギ、ヒノキのみならずカラマツについても密度管理に必要な指針を与えた。

高橋ら⁽¹²²⁾はカラマツ林の間伐促進の立場から、残存林分の状況、間伐材生産・販売などを同時に調整する間伐法を考えねばならないとして、「間伐をシステム化」することによって進めようと、列状間伐を取り入れたいくつかの集運材モデルを作り、最も効果的な作業工程および手順を検討し成果を得た。

(2) カラマツ収穫表の調整に関する研究

戦後になってカラマツ造林が進むにつれ、カラマツ林経営上、将来の成長量や収穫量の予測、育林保育の指針および地位の判定などに収穫表を利用する必要が生じてきた。

嶺⁽⁷⁰⁾は長野営林局を主体として収集した資料に基づき、「信州カラマツ林の収穫表」を調整した。なお、カラマツの収穫表として最も古い収穫表は、寺崎(1907)の収穫表があるが、測定林分数が少ないことや対象林分が若い林であったことなどから、現実の成長と著しく異なってしまった。

杉浦(1927)は「長野県諏訪地方カラマツ収穫表」を作ったが、これも今日の諏訪地方のカラマツ林には適合しにくいといわれている。

(3) カラマツ林の立地条件に関する研究

造林地の拡大が進むにつれ、カラマツの成長不良現象がみられるようになってきた。浅田^(3, 4)は、カラマツの二代目造林地が、隣にある一代目造林地と比較して著しい成長不良現象を呈していることに着目し、カラマツ地帯に多く分布している火山灰質土壌が磷酸を不可給態にする性質を持つため、二代目では磷酸欠乏をもたらしているとした。

河田ら^(42, 43)は、二代目造林地で調査した結果、火山灰質土壌では水分条件などによる根系の発達不良のところへ、ナラタケ菌の侵入によるものと結論した。

原田⁽²¹⁾は、一代目の皆伐による表土の流亡や土壌を含めた環境条件の悪化、植栽後の手入れの悪さなどをあげた。

国立林業試験場の「カラマツ造林地の実態調査」では、カラマツの根は環境に対する適応性の幅が広く、化学的な影響よりも、むしろ通気と水分状態が悪いような土壌の理学的性質の良くない堅密な土壌で、その成長が著しく阻害されることが明らかになった⁽³⁴⁾。

小林⁽⁵⁰⁾や西沢ら⁽⁸⁴⁾は、土壌条件や環境因子などから林地の示す生産力を推定しようとする試みを発表した。西沢ら⁽⁸⁴⁾は上田署を中心とする国有林での調査資料から、林地の生産力を推定する「地位指数スコア表」を作成した。菅原ら⁽¹¹⁸⁾も、東信地域のカラマツ林に対する「地位指数スコア表」を作成した。これらを利用することによって、与えられた林地におけるカラマツの成長予測や適地適木の判定を数量的につかむことが可能となった。

(4) カラマツの材質に関する研究

戦後に植栽されたカラマツ造林木が間伐期を向かえ、間伐材を角材や板材などとしての利用が進むなかで、「ねじれ」や「割れ」あるいは「ヤニの滲出」等がカラマツ小径材に顕著に表れる材の欠点が明らかになってきた。加納ら^(38, 39)は、立地条件の著しく異なっているカラマツ林から資料を得て立地条件と材質との関係を検討した。その結果、林地の傾斜と林分密度によって材質は異なり、一般に平坦地に植栽されたものは、急斜地に比べ材面割れ、ねじれ、そりなどの欠点による材の品質低下が小さく、また、林分密度の高い林分からの材は角材面での節は小さく、節まわりの繊維の回旋を小さくして、材のねじれ量を減少させていることを明らかにした。

大倉ら^(88,89,90,91,92)は、アカマツやカラマツ等を用いて回旋木理と材のねじれ狂いとの関係を検討し、若齢時での回旋角方向と成熟時の回旋角方向とは異なる（ねじれ返し）ものがあることや、柱角や板材ではねじれ狂い方向と回旋方向とが一致することを明らかにした。その後、加納ら^(38, 39)、川口ら⁽⁴⁴⁾、小沢^(96,97,98)、重松^(104,105,111)、向山ら^(73,74,75)、三上ら^(64,65,66)、三上⁽⁶⁸⁾、大島⁽⁹³⁾などによってカラマツの回旋角の樹齢と共に変化する変動状況や製材品でのねじれ狂いと回旋角との関係等の研究が進められた。また、小沢⁽⁹⁸⁾や中川⁽⁸³⁾は回旋角の樹齢と共に変動する状況の特徴的なタイプに分類し、小沢は3タイプに中川は5タイプに区分して、それぞれの出現頻度と林木の外形などとの関係を考察した。重松⁽¹¹¹⁾、小沢^(96,97)、武井⁽¹²⁸⁾は、樹幹の肥大成長と回旋角との関係を検討し、髓心からごく限られた数年輪での肥大成長の大小が回旋角の大小に影響することを示した。三上⁽⁶⁷⁾、久保ら⁽⁶⁰⁾は肥大成長が回旋角に及ぼす影響を調べ、肥大成長との関係は認められなかったと報告した。織田⁽⁹⁵⁾は樹幹部に着生する枝が回旋角を高める一つの原因であることを指摘した。さらに、三上ら⁽⁶⁶⁾および三上⁽⁶⁸⁾はカラマツの回旋木理は成長率や樹幹の形態等に從属していない遺伝的性質であることから、望ましい回旋木理を持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ことを指摘し、優れた育種クローンの増殖を進めた。

カラマツ材の強度性能に関する研究はごく最近からである。重松^(106,107,108)は長野県内各地産のカラマツについて、未成熟材部と成熟材部での強度性能の違いを明らかにし、向山ら⁽⁷⁶⁾、橋爪ら^(16,19)、名取ら⁽⁷⁹⁾は心持ち柱角の実大材について年輪幅や比重などと曲げ強度性能との関係を明らかにし、橋爪ら⁽¹⁷⁾は平割材について年輪幅、比重および繊維傾斜角などと曲げ強度性能との関係を明らかにした。高橋ら^(120,121)、小泉ら⁽⁵²⁾、川口ら⁽⁴⁶⁾は北海道各地からのカラマツ実大材について年輪幅、比重、繊維傾斜角などと曲げ強度性能との関係を明らかにした。

小泉ら^(53,54)、小泉⁽⁵⁵⁾、高田ら⁽¹²³⁾はカラマツ精英樹クローンあるいは産地試験の供試材について、肥大成長の違いと材の曲げ強度性能との関係および強度性能の違いからみた種子産地の遺伝的特性の発現の差異について明らかにした。

三村ら⁽⁶⁹⁾、橋爪ら⁽¹⁸⁾はカラマツ材の人工乾燥に関する研究で、高温高湿乾燥法により、ほとんど材の割れは防止することが可能であること、ヤニ滲出防止は可能なこと、および材のねじれ狂いなどは「圧縮」により少なくすることが可能であることを明らかにし、これら一連の研究によりカラマツ材の利用拡大が図られた。

昭和61年構造用大断面集成材の日本農林規格の発令を前後して、構造用大断面集成材を用いた大型構造物が着工されるようになってきた。同時に集成材の構成要素であるラミナの曲げ強さや曲げヤング係数などの研究が進められてきた。橋爪⁽²⁰⁾は造林木から得られたラミナの曲げ強度試験の結果から曲げ強度や曲げヤング係数などと年輪幅や繊維傾斜角とは互いに相関関係があることを明らかにした。

心材に関するわが国最初の研究は、山内⁽¹³⁹⁾であるといわれ、スギの心材材積率と胸高直径が

最も相関が高いことを明らかにした。カラマツについては、平井^(28,29,30)の研究により、成長の良否と心材移行の量および速度は明確な差異がみられないこと、同一立地で同一条件で生育するものが心材化の始まる時期に差が認められることは、樹幹の長短・大小あるいは枝條量の多少によること、辺材料と枝條量との結び付きが大きいこと、および辺材幅は横断面径の大小にかかわらずほぼ常数の関係があることなどを明らかにした。

矢沢^(143,144,145)はアカマツで成長の良否と心材化について報告し、千葉⁽⁶⁾はクロマツで直径大なものほど心材部も大きいことを報告した。

II. 研究の目的

前記の背景のもとに、カラマツ材が建築用材や家具材など土木用材以外に積極的に利用されるようになってきたのは、最近の約20年間ぐらいからである。材の利用が盛んになるにしたがい、利用者や加工業者からカラマツの材質に対する要望が顕著になってきた。材質に対する林業者への要望の中で主なものをあげると、心材色がすばらしいことからの心材量が大きな材の生産や、他の樹種にない木目の美しさからの年輪幅の均一な材の生産、あるいは工業的に加工する集成材製造時の高い強度性能を持った材の生産、さらには、ねじれ狂いの少ない材などの生産などさまざまである。

最近、長野では県外からのカラマツ材の移入量も年々増加の傾向にある。これにともない、産地の違いにともなう材の強度性能や年輪幅など、材質の違いを明らかにする必要性がでてきた。このような状況下にあって、現在のところカラマツ材の欠点である「ねじれ」の少ない材をはじめ、付加価値を生む心材材積率の高い材や年輪幅の均一な木目の美しい材を生産するための施業技術は確立されていない。本論文はこの様な視点に立って、カラマツの材質向上のための施業技術の開発を図ることにある。

第Ⅰ章では、本論文で最も重要な課題である、要求された樹幹内の心材材積率や年輪幅を得るための施業技術の開発を図ることを目的として進めた。ここでは樹幹に沿った連年成長量の垂直的分布を示す「指標」について考察し、この指標と林木の成長にともなう枝下高や葉量の変化との関連性および樹幹に沿って分布する辺材量との関連性を検討することによって、樹幹に占める心材材積率の変化あるいは胸高位置での肥大成長との関係を明らかにして、要求された心材材積率や年輪幅を得るための施業技術の開発を図る目的で行った。

第Ⅱ章においては、一般的には遺伝的な要因が大きく影響していると考えられている回旋木理について、施業的視点から樹幹における肥大成長の制御によって回旋角を低減できないかどうかについて研究を進めた。

第Ⅲ章では、カラマツが本来の天然分布域から遠く離れた北海道のような高緯度地方での、日長や気温など本来の生育環境とは異なった条件下で生育した材の材質、すなわち回旋角最大値、平均回旋角、平均年輪幅、気乾比重、曲げヤング係数および曲げ強度の6項目について両地域内および両地域間の違いについて明らかにする目的で行った。材料としては長野と北海道産材の比較的成林後の密度管理などによる影響の少ない、成長初期の部分である心持ち角材を用いて検討を進めた。

第Ⅰ章 心材形成制御および年輪幅制御のための施業技術の開発

Ⅰ節 連年成長量の垂直的分布と葉量、枝下高（率）との関係

土木用材など限られた所にしか利用されなかったカラマツ材も、近年、その利用技術が開発⁽¹⁸⁾されるにしたがい、その利用用途も拡大してきた。中でもカラマツ材の心材色はカラマツ固有の美しさがあることから、建築用構造材や内装材として、あるいは家具材などとして盛んに利用されてきている。

こうしたことは、カラマツ材に限ったことではなく、他の樹種においても心材部の多少および材色は、その材の材質や価値に大きな影響を与えていることも事実である⁽³¹⁾。

一般に心材形成は心材部と辺材部を分ける移行材部の放射柔細胞の死によって生じることは知られている。また、その死の原因とプロセスを解明することが心材形成機構の解明につながるものとも考えられている⁽²⁵⁾。しかし、今日もなお心材形成の全体を説明するに至っていない^(25,26,57)。また、林学的立場からの心材形成に関する研究については、林木の成長の違い^(6,28,139,143,144,145)や高齢化^(27,141,145)、あるいは樹冠量（葉量、葉面積指数）と辺材部量^(5,29,30,47,48,62,136,138)との関係などの報告がみられる。しかし、林木の生育段階あるいは生育にともなう葉量や枝下高（枝下高率）などの変化と、心材形成の変化を説明しようとする報告は少ない。

一般に、幹の肥大成長は葉で生産された同化物質が樹幹師部を通過する際に、活きた細胞である辺材部の生活のために呼吸により消費されながら樹幹各部に配分されることによって生ずると考えられている^(61,86,87,100)。

このことから、葉で生産された同化物質は、樹幹における辺材部量の分布の状況によって異なった垂直的配分をとるものと考えられ、また、逆に、同化物質の仕方によって樹幹における辺材部量の分布の状況も異なったものになると考えられる。

筆者はこのような考え方に立って、同化物質の配分の仕方によって生じる連年成長量の樹幹における垂直的配分の仕方を解析すれば、辺材部の量の分布の状況も明らかにすることができるものと考えた。

そこで、本研究では幹材積および幹断面積の連年成長量を軸とした成長量の垂直的配分の問題をまず考え、次いでこれらの連年成長量の配分と辺材量の分布の関係について検討し、最後に心材形成制御のための施業技術について検討しようとするものである。

Ⅰ. 資料および方法

1. 資料の収集

長野県内のカラマツ人工林21林分から、各林分での平均胸高直径の標準偏差内に含まれる標本木を合計190本選び、次に示す方法により資料の収集を行った。

すべての標本木は根元から伐倒し、同時に枝下高、枝下直下の直径（皮付）および樹高を測定した。幹からの樹幹解析用円板採取は通常の樹幹解析法によった。現地での現存量調査では、表-1に示す*印8林分の標本木について、層別刈取法を実施した。円板採取時に各層に含まれる幹、枝および葉をそれぞれ分離して生重量を測定し、これらは小量ずつ持ち帰り実験室にて絶乾重量を求め各部の全絶乾重を推定した。

表-1に示す現存量測定林分以外の標本木の葉量は、四大学および信大合同調査班による資料⁽¹⁴⁶⁾に前記の層別刈取法で求めた資料を一部加えて、林齢や立地などの林分間差をなくすため⁽¹¹⁵⁾、次式で示す関係式から葉量を推定した。

$$\log Y = 1.9346 \log d - 1.5743 \quad R^2 = 0.8851 \quad (1)$$

ただし、Y：葉乾重(kg)、d：枝下直下の皮付直径(cm)である。

表-1 カラマツ標本木の場所別本数とその概要
Sample trees collected in larch stands.

Localities	Stand ages (years)	Number of sample trees (No.)	Mean for				
			D.b.h.s (cm)	Tree heights (m)	Clear lengths (m)	Percentages of heartwood per tree (%)	Foliage biomass (kg)**
Tatsuno-1	21	19	14.58	12.95	6.89	39.1	2.00
Tatsuno-3	18	26	12.77	11.73	6.96	33.4	1.44
Tatsuno-4	25	18	11.38	13.41	8.22	36.3	1.27
Tatsuno-8	25	24	11.79	12.92	6.43	35.8	1.62
Koumi	38	15	31.60	25.01	12.63	58.0	10.99
Nobeyama	35	10	20.12	15.72	8.50	52.7	3.91
Iriyamabe	36	13	23.04	19.63	11.10	48.2	5.37
Komoro-1	25	2	15.75	16.65	9.00	39.4	3.70*
Shiga	24	4	13.50	13.85	9.48	43.0	1.28
Suwa	15	3	9.03	7.27	1.10	21.9	1.97*
Ohmachi	16	5	9.36	11.36	5.48	28.4	0.96*
Asahi	16	4	9.50	9.70	2.95	18.6	1.30*
Usuda	66	7	37.24	23.64	13.93	64.8	9.93*
Kita-aiki	61	6	32.03	26.57	13.63	70.1	9.33
Hase	53	9	37.40	27.48	13.38	61.6	12.57
Inekoki	48	6	42.07	29.30	15.92	64.6	12.68
Ueda	71	2	46.35	32.20	17.00	73.6	15.55
Komoro-2	75	2	55.25	35.30	18.10	72.7	29.85
Tatsuno	30	6	15.23	19.72	12.17	46.6	1.88*
Takato	31	5	13.68	10.92	5.58	45.3	2.14*
Hongo	23	4	15.98	14.08	5.45	38.2	2.75*
Total		190					

* Direct determination of the biomass by stratified clip method.

** Dry weight.

2. 樹幹解析

各標本木ごとに採取してきた円板は髓から4方向について、1年輪ごとの半径を測定した。これらの測定値から各年輪の平均半径および心材部平均半径を求めて樹幹解析図を作成した。

現在時(伐採時)の全幹材積計算を各標本木について行った。これらの計算には各上下の円板の測定値を用いて区分求積し、それらを合計して求めるのが一般的ではある。しかし、後述するように、樹高の異なる標本木について、ある高さ位置の心材部断面積率および辺材部平均年輪幅などと連年成長量や辺材部量の分布状況を示す比例定数との関連や、ある樹幹位置における年輪幅の管理などを検討するために、相対高位置での測定値を用いた。そこで根元から樹高の1割高さから9割高さまで、各高さごとの幹直径を樹幹解析図から読み取り、スマリアン式による区分求積を行って各相対高ごとの幹材積を求めた。このスマリアン式での求積は樹幹の大部分を占める円柱体や放物線体には正しい体積を与えるものの円錐体および幹足部のナイロイドに対しては過大な値を得ることが知られている⁽⁹⁴⁾。そこで、9割高さ以上の先端部分は円錐形と仮定して円錐形の求積を行った。また幹足部の材積はスマリアン式で計算した。以上の方法で求めた各部分の幹材積を合計して全幹材積を求めた。また、各相対高ごとの幹直径を用いて各相対高位置における幹断面積を求めた。

最近1年間の幹材積成長量の計算は、全標本木の伐倒時期が必ずしも成長休止期とは限らなかつ

たため、1年前の樹高を基準とした各相対高ごとに、1年前の幹直径および2年前の幹直径を読み取り、各々について各相対高ごとにスマリアン式により幹材積を求積して、両者の差から各相対高ごとの幹材積成長量を計算した。

最近1年間の幹断面積成長量も、各相対高位置ごとに1年前の幹直径を用いた幹断面積から、2年前の幹直径の幹断面積を差し引いて、各相対高位置ごとに求めた。以下の記述ではこの幹材積成長量を幹材積連年成長量および幹断面積成長量を幹断面積連年成長量と呼ぶ。

3. 幹材積連年成長量の垂直的配分状況の表し方

尾中^(86,87)は高密度によって樹冠が小さくかつ枝下高の高いものや被圧状態のものは、樹幹上部から下部に向かって年輪幅が小さくなることを報告し、佐藤ら⁽¹⁰¹⁾も密度が高いほど肥大成長最大の部分は上方にあることを示した。このような状態にある林木は、強度の枝打ち木や高密度林の林木などに、よくみられることが知られている^(9,33,35,58,61,100,102,125,126,131)。その反対に、枝下高が低く、根際近くまで樹冠がよく発達した孤立木や疎開した林内にみられる林木は下部に向かって年輪幅が大きくなる^(58,61,72)。

このように、林木間でさまざまに異なった分布の形をとる連年成長量の垂直的配分状況を統一的に表現するため、次に示す「ものさし」を考えた。

SHINOZAKIら^(114, 115)は、樹冠内での同化部分の分布の形と非同化部分の分布の形とを対比すると、両者の分布の形は大きく異なるが、同化部分の梢端からの積算量と非同化部分との対比では、ほぼ対称的な関係が得られ、両者間には次式が成立することを明らかにした。

$$F(z) = L \cdot C(z) \quad (2)$$

ただし、 $F(z)$ ：梢端からの同化部分（葉量）の積算量、 $C(z)$ ：非同化器官密度、 L ：比例定数、 z ：梢端からの深さである。

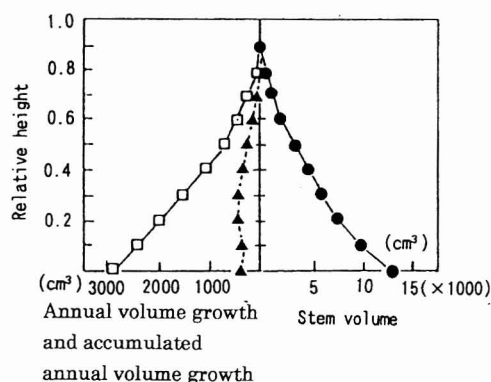


図-1 幹材積連年成長量の垂直分布及び積算幹材積連年成長量と幹材積との関係（標本木 No.78）

Relationships between vertical distributions of annual volume growth (▲), accumulated annual volume growth (□), and stem volumes (●) at height (No.78)

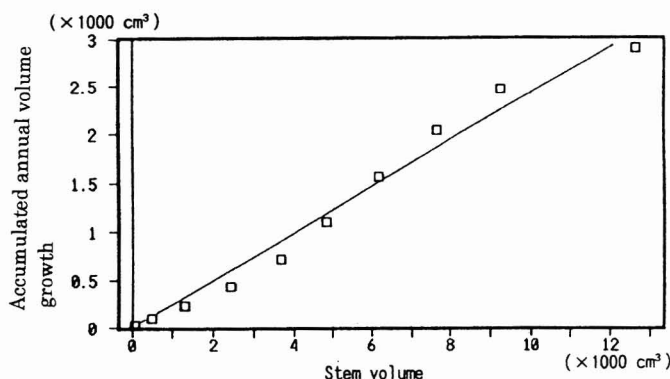


図-2 幹材積と積算幹材積連年成長量との直線回帰
Regression between stem volume and accumulated annual volume growth at height (No.78)

本報告では、各標本木について各相対高ごとに求めた幹材積連年成長量と2年前の幹材積とを対比した。図-1はその一例として辰野試験地の標本木No.78（後で述べる比例定数 L_{vi} の平均値に近い値を持つ標本木）の結果を示す。幹材積連年成長量の樹幹に沿った分布と幹材積の分布とは全く異なった分布の形を示した。そこで、梢端からの幹材積連年成長量の積算値を各相対高ごとに求め、

同じ相対高における幹材積とを対比すると、図-1の左側に示すように両者にほぼ同じような増加傾向が認められた。そこで各相対高ごとの2年前の幹材積と、各相対高ごとの積算幹材積連年成長量との関係を見ると、両者が正比例関係にあり、ややバラツキがみられるものの直線関係が成立することがわかった(図-2)。

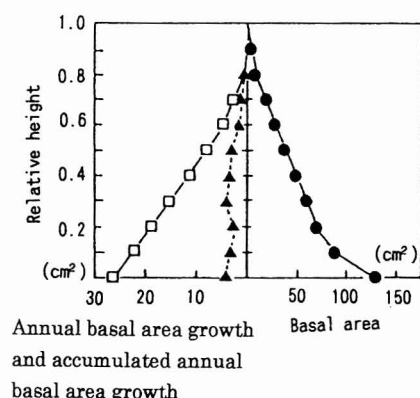


図-3 幹断面積連年成長量の垂直分布及び積算幹断面積連年成長量と幹断面積との関係(標本木 No.78)
Relationships between vertical distributions of annual basal area growth (▲), accumulated annual basal area growth (□), and stem basal area (●) at height. (No.78)

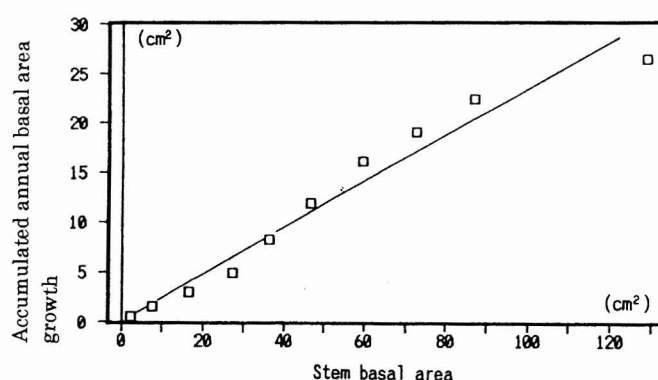


図-4 幹断面積と積算幹断面積連年成長量との直線回帰
Regression between basal area and accumulated annual basal area growth at height. (No.78)

幹断面積連年成長量と2年前の幹断面積との対比および梢端からの積算幹断面積連年成長量と2年前の幹断面積との対比でも、幹材積の場合とほぼ同じ結果となった(図-3および4)。梢端からの深さ z の相対高における積算幹材積連年成長量を $P(z)$ 、同じ深さ位置の幹材積を $C(z)$ とし、比例定数を L_{vi} とすると、両者間には次式が考えられる。

$$P(z) = L_{vi} \cdot C(z) \quad (3)$$

樹幹上部から下部に向かって年輪幅が小さくなる林木では、梢端部からの積算幹材積連年成長量と梢端部から同じ深さの位置の幹材積とを対比した直線回帰では、比例定数 L_{vi} (直線の勾配)は小さくなることが予想される。これとは反対に、樹幹下部ほど年輪幅の大きな林木では、比例定数 L_{vi} は大きな値をとるものと考えられる。さらに、生育に適した環境条件の良いところに生育するものであっても、高齢化と共に枝下高や直径の増大により呼吸消費量も増大し、幹材積連年成長量はその樹幹量に比べ相対的に小さくなり、比例定数 L_{vi} も小さな値をとるものと予想される。

このように樹幹における幹材積連年成長量の分布状況は、樹木の生育段階や周囲密度あるいは枝打ちなどさまざまな条件によって異なってくる。すなわち、この比例定数 L_{vi} はさまざまな条件によって異なる幹材積連年成長量の樹幹内の分布状況を表現する「ものさし」と考えられる。

II. 結果および考察

1. 比例定数の計算

全標本木190本について、各相対高ごとに求めた2年前の幹材積と樹幹下部に向かって積算した積算幹材積連年成長量との関係に、直線回帰式を当てはめたとところ次のような結果が得られた。全標本木に対する比例定数 L_{vi} は0.04~0.93の範囲にあり、平均値は0.28で標準偏差は0.17であった。また、決定係数 R^2 は0.8702~0.9993の範囲にあり、平均値が0.9795、標準偏差が0.0257であった。

各相対高ごとに求めた2年前の幹断面積と積算幹断面積連年成長量との関係に直線回帰を当てはめたところ、次のような結果が得られた。比例定数 L_{gi} は0.04~1.02の範囲にあり、その平均値は0.31であって、標準偏差は0.18となった。決定係数 R^2 は0.9096~0.9994の範囲にあり、平均値が0.9874で、標準偏差は0.0147であった。

2. L_{vi} と L_{gi} との関係

梢端から根元に向かって深さ z における幹断面積を $G(z)$ とし、層の厚さを Δz とすると、この部分の幹材積 $C(z)$ は、

$$C(z) = A \cdot G(z) \cdot \Delta z \quad (4)$$

となり、 Δz が一定ならば $C(z)$ は $G(z)$ に比例する。したがって、(3)式との関係から、ある位置での幹断面積 $G(z)$ は積算幹材積連年成長量とも比例関係にある。このことから、前項で求めた比例定数 L_{vi} および L_{gi} 間には比例関係が成り立つことが推察された。

比例定数 L_{vi} と L_{gi} との関係を求めると、図-5に示すように両者間には比例関係がみられた。これらの結果から、本論文以降に検討を進めようとしている、ある断面での年輪幅の管理を考慮に入れ、ここからは幹断面積を基にした比例定数である L_{gi} を用いて本研究を進めることにした。

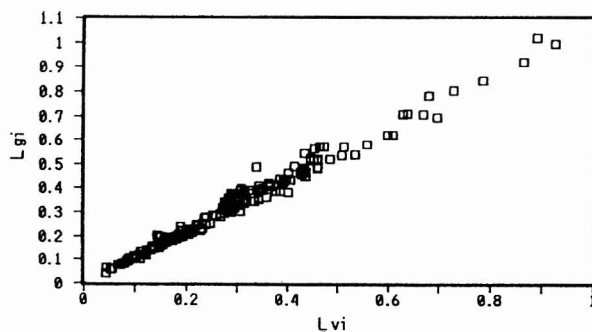


図-5 L_{vi} と L_{gi} との関係
Relationships between L_{vi} and L_{gi} .

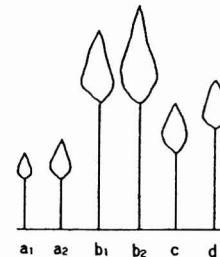


図-6 枝下高と葉量との関係の模式図
An illustration of clear length (H_b) and foliage biomass.

Case(i). H_b is constant, short(a_1, a_2), and long(b_1, b_2), but foliage amount is different.
Case(ii). Foliage amount is the same, but H_b is different(c, d).

3. 比例定数 L_{gi} の変化と枝下高、枝下高率、葉量

林木の肥大成長量の樹幹に沿った垂直的配分に影響をもつものとして考えられる要因はいくつもあるが、中でもその林木のもつ同化器官としての葉量の大きさや、その葉の樹幹での着生状態（枝下高あるいは枝下高率）^(7,33,35,86,87,100)、さらには林木の生育段階^(58,61)などがあげられよう。そこで、主としてこれら要因を考慮して、次に示すように大きく2つの場合を想定し、その中において枝下高、枝下高率（枝下高／樹高）および葉量との組合せによる肥大成長量の分布の違いを L_{gi} で説明できるかを検討した。ただし、葉量の大小は樹冠長の長短と仮定した。

(i) 枝下高が一定で枝下高率が異なる場合（葉量が異なる場合）

(a) 枝下高が小さくて、

a_1 葉量が小（枝下高率大）の場合

a_2 葉量大（枝下高率小）の場合

(b) 枝下高が大きくて、

b_1 葉量が小（枝下高率大）の場合

b₂ 葉量が大（枝下高率小）の場合

(ii) 葉量が一定で枝下高が異なる（したがって枝下高率が異なる）場合

(c) 枝下高が小の場合（枝下高率は小となる）

(d) 枝下高が大の場合（枝下高率は大となる）

これらの場合を図-6に示す。(i)の場合、枝下高一定で葉量の違う場合であるから、葉量の大小は仮定から樹冠長の大小となるので、枝下高率は葉量大のものほど小さくなり、葉量が小さなものはその反対となる。したがって、この場合は枝下高を除いて葉量と枝下高率とでLgiとの関係を考えればよい。図-7で明らかなように、全葉量を通じて枝下高率の大きなものほどLgiの値は小さく、また葉量の小さな林木ほど枝下高率の違いによる影響が大きくあらわれ、枝下高率が大のものは小のものよりLgi値は著しく小さいことがわかる。これらの関係を概念的に図-8に示す。まず、(i)の場合、葉量も小さく枝下高率も小さいa₂では、Lgiの値は枝下高率が大のa₁より大きい。また、葉量が大きく枝下高率の小さなb₂の場合は、枝下高率の大きなb₁の場合のものよりLgiの値は大きい。(ii)の場合は仮定から枝下高の大小だけであるから、枝下高が小の場合は枝下高率は小となり(cの場合)、枝下高が大の場合は枝下高率也大(dの場合)となる。

図-8のLgiと葉量および枝下高率の関係から、枝打ちや密度調節などによって枝下高率を変化させた場合のLgiの変化を知ることができる。たとえば、a₂の位置にある林木を枝打ちすることによってa'₂まで枝下高率を高めた場合、その木の幹断面積連年成長量の配分状況を示すLgiの値はa₂の時より小さくなることが分かる。また、そのまま同じ枝下高率を枝打ちや密度調節などにより続けければ、Lgiの値はこの線を右に移りながら減少して行くものと考えられる。

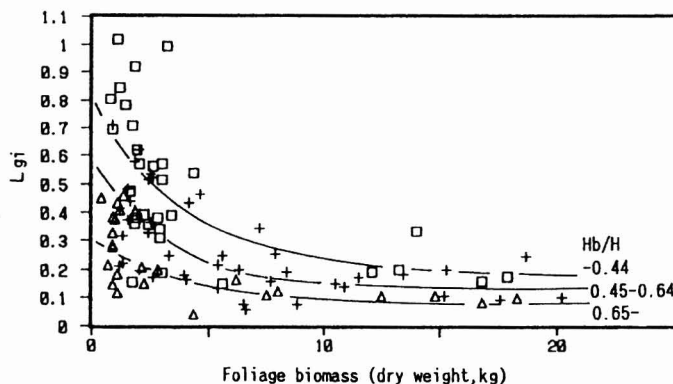


図-7 枝下高率の違いによる葉量とLgiとの関係
Relationships between foliage biomass and Lgi
at different clear length ratios.
Ratio of clear length (classified)
□ under 0.44, + 0.45~0.64,
△ above 0.65.

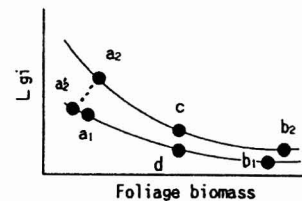


図-8 枝下高率の違いによる葉量とLgiとの関係の模式図
An illustration of foliage biomass and Lgi at different clear length ratios.

そこで、各枝下高率階ごとに葉量とLgiとの関係を明らかにするため、次に示す回帰式をあてはめた。

$$y = ax^b \quad (5)$$

ただし、y: Lgi x: 葉量(kg)である。

(5)式は対数をとると直線回帰となるので、各枝下高率階ごとに(5)式を当てはめ、回帰係数bおよび回帰定数aを求めた。各枝下高率階ごとの回帰式は次の通りであった。

枝下高率	0.44以下	$y=0.6939x^{-0.4774}$	$R^2=0.4653$	$N_1=31$
	0.45~0.54	$y=0.4685x^{-0.4688}$	$R^2=0.4469$	$N_2=44$
	0.55~0.64	$y=0.3423x^{-0.3290}$	$R^2=0.3656$	$N_3=89$
	0.65以上	$y=0.2698x^{-0.3824}$	$R^2=0.5322$	$N_4=26$

各回帰式での回帰係数および定数間の差の検定⁽¹¹³⁾を行ったところ、いずれの回帰式間においても係数間には差が認められず、一部を除いて定数間にのみ差が認められた。回帰定数間に唯一差が認められなかった枝下高率0.45~0.54と0.55~0.64の資料は込みにして、次の回帰式を求めた。

$$\text{枝下高率 } 0.45 \sim 0.64 \quad y = 0.3640x^{-0.3514} \quad R^2 = 0.3772 \quad N_2 = 133$$

以上の結果、これら3回帰式からの曲線を図-7に示したが、図-8に示す模式図を満足した。すなわち、同じ枝下高率ならば葉量が小さな林木ほどLgi値は大きく、葉量の大きなものほどLgiの値は小さくなる。また、ある葉量以上ではLgi値はほぼ一定となる傾向を示した。

同じ葉量での枝下高率の違いによるLgi値は、枝下高率の大きな林木ほど小さく、葉量の小さなものほど枝下高率による違いが大きい。しかし、葉量が大きく、生育段階が十分進んだものではLgi値の差は小さい。

4. 生育段階における葉の幹生産能率の変化と比例定数Lgiとの関係

生育段階を通して葉の幹生産能率（幹材積連年成長量／葉乾重）の変化や、ある生育段階における葉の幹生産能率とLgiとの関係を検討するため、葉の幹生産能率を各標本木について計算した。なお、生育段階を示す指標として、単純に各標本木の樹高を用いた。

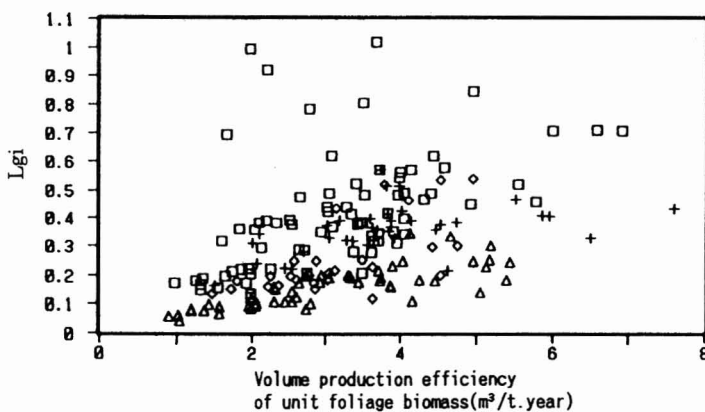


図-9 樹高階ごとの葉の幹材積生産能率とLgiとの関係
Changes of relationships between Lgi and volume production efficiency of unit foliage biomass at classified tree height.
Tree heights classified as
□ 0.0~8.0m, + 8.1~15.0m,
◇ 15.1~20.0m, △ above 20.1m.

ここに求めた葉の幹生産能率の値は、ほぼ1~8 m³/t・yearの範囲にあり（図-9）、資料全体の平均値は3.26 m³/t・yearであって、蜂屋ら⁽¹⁴⁾のカラマツの値（平均値で3.67 m³/t・year）をほぼ満足した。樹高階ごとの葉の平均幹生産能率および標準偏差は次に示す通りであった。

樹高	8.0m以下	3.15±1.25 m³/t・year	n=76
"	8.1~15.0m	3.88±1.28	" n=35
"	15.1~20.0m	3.15±0.93	" n=27
"	20.1m以上	3.06±1.27	" n=52

樹高階ごとの葉の平均幹生産能率の差の検定を行ったところ、樹高8.1~15.0mと樹高20.1m以上のところで5%水準で有意差がみられた他は、いずれの生育段階とも差は認められなかった。

生育段階を通しての葉の幹生産能率変化については、生育が旺盛な時期に葉の幹生産能率のやや

大きな値がみられるようであったが、この時期は、幹材積連年成長量の配分率の増大する時期⁽²²⁾に相当するためと考えられる。その時期を除くと生育段階と葉の幹生産能率にはあまり変化がないようであるが、これも幹配分率の安定期⁽²²⁾に相当するものであろう。次に、 L_{gi} と葉の幹生産能率との関係を見ると、成長初期にややバラツキがみられ、両者の相関関係はやや低い（樹高8.0mまでで $R^2=0.2546$ ）ものの、生育段階が進むと共に相関関係は高くなり（樹高20.1m以上では $R^2=0.6220$ ）、いずれの生育段階でも両者間にはほぼ直線関係が成立した。各生育段階とも葉の幹生産能率の大きなものは L_{gi} の値も大きく、葉の幹生産能率の低いものは小さな値であった。著しく葉の幹生産能率が低いものでは、全生育段階を通じて L_{gi} の値は小さなままであった。

このことは、もともと全生育段階を通じて葉の幹生産能率の低いものは樹幹下部への配分量も少ないと考えると L_{gi} の値は小であることが理解できる。ある程度、葉の幹生産能率の高い成長の良いものは、生育が十分進むと樹幹量が増大（枝下高の増大）するため、同化物質の呼吸消費の増大によって樹幹下部への相対的な配分量の減少が起こる。このように、比例定数 L_{gi} を用いると、林木の生育期間を通じての葉の幹生産能率の変化を把握できるものと推察され、林木の成熟化による心材形成問題にも応用できるものと考えられた。

Ⅲ. 摘 要

幹での同化物質の垂直的な配分の仕方は、その木のもつ遺伝的な特性で決まるばかりでなく、その木の生育する土壌環境や気象環境、立木密度や生育段階などによっても異なる⁽⁸⁷⁾と考えられている。

樹齢15～75年生カラマツ標本木の樹幹解析資料を用いて、樹幹に沿った各相対高ごとの幹材積連年成長量を求め、梢端から積算した積算幹材積連年成長量と、同じ相対高で区分求積された幹材積とを対比すると直線関係が成立し、直線回帰式の比例定数 L_{vi} を各標本木について計算した。同じように幹断面積連年成長量を求め、幹断面積と対比したところ同様に直線関係が得られ、直線回帰式の比例定数 L_{gi} を求めた。

- (1) 比例定数 L_{vi} および L_{gi} は樹幹に沿った幹材積連年成長量および幹断面積連年成長量の垂直的配分状況を示すものと考えられた。
- (2) 林木を取り巻く多くの要因の中から、とくに同化物質の垂直的配分にとってむすびつきが大きいと考えられる要因として、各生育段階における葉量、枝下高あるいは枝下高率をとりあげ、その組合せによつての配分の仕方の違いを比例定数を用いて検討した。比例定数 L_{vi} や L_{gi} により、林木の枝下高や枝下高率、葉量あるいは葉の幹生産能率の違いなどによる連年成長量の垂直的配分状況が異なることを明らかにすることができた。
- (4) この結果を応用すれば間伐や枝打ちなどの施業技術によって連年成長量の垂直的配分を変化させることができるものと考えられた。

Ⅱ節 樹幹における連年成長量の配分と辺材量の垂直的分布との関係

前節では次のことを明らかにした。カラマツ21林分からの標本木190本の樹幹解析資料を用いて、樹幹に沿った各相対高ごとに求めた幹材積連年成長量や幹断面積連年成長量の梢端から各相対高までの積算値と、同じ相対高での幹材積や幹断面積との間には直線関係が成立し、回帰係数（比例定数）を求めた。この直線回帰式から求めた幹材積連年成長量に対する比例定数 L_{vi} と幹断面積連年成長量に対する比例定数 L_{gi} は、樹幹に沿った各々の連年成長量の垂直的配分状況を示した。また、これらの比例定数は林木の枝下高や枝下高率、葉量あるいは葉の幹生産能率などの違いによる連年成長量の垂直的配分の仕方を示した。この結果を間伐や枝打ちなどの施業に応用すれば、樹幹に沿って連年成長量の垂直的配分を変化させることができるものと考察した。

本節では、まず(1)樹幹に沿った辺材部量の垂直的分布が、前節での連年成長量の場合と同じ方法により表現できるかどうかを検討し、(2)この辺材部量の比例定数の変化と幹における心材部の占める割合との関係を調べ両者の関連性を明らかにした。次に、(3)各生育段階における辺材部量の比例定数と葉の幹生産能率との関係を明らかにし、(4)この辺材部量の比例定数を用いて、前節で求めた幹断面積連年成長量の比例定数 L_{gi} との関連性を検討した。最後に、(5)実際の枝打ち試験により、枝打ち前後の辺材部量の比例定数の変化を検討し、摘葉による辺材部量の比例定数の変化を確かめた。

以上の検討結果から樹幹に沿った幹断面積連年成長量の垂直的分布を示す L_{gi} で、辺材部量の垂直的分布の変化を示すことができることを明らかにした。

I. 資料および方法

前節の表-1に示したとおり、長野県内での林齢15年生から75年生のカラマツ林21林分からの標本木190本を用いた。枝打ち試験の資料については次の通りである。林齢15年生、平均樹高10.5m、平均胸高直径11.6cm、平均枝下高3.6m、ha当たり本数密度1320本の林分に、摘葉率35%、50%、65%および80%の枝打ちを実施した枝打ち試験林⁽¹²⁵⁾から、試験林設定時に無枝打ち木4本（胸高直径平均木2本、標準偏差内2本）、2年後に摘葉率28%~58%の枝打ち木7本、計11本の伐倒調査した資料を用いた。樹幹解析および方法については、次に示す方法と同じであった。

前節のとおり、各標本木ごとに採取された円板について4方向での1年輪ごと半径測定を行い、さらに心材部と辺材部の境までの4方向半径（距離）を測定して、心材部平均半径を求めた。これらの測定値から樹幹解析図を作成した^(129,130)。

各標本木の全辺材部材積は樹幹解析図から、各相対高別に求めた心材部平均半径および樹幹平均半径を用いて、現在時（伐採時）の幹材積と心材材積を区分求積し、両者の差から求めた辺材部材積を集計して求めた。各標本木の全心材部材積は各相対高ごとに求めた心材部材積を集計して求めた。幹材積および心材部材積の計算では、樹幹の梢端部分は円錐体とみなして求積し、他の円柱体部、放物線体部および幹足部分のナイロイドにはスマリアン式を用い求積した。

各相対高位置ごとの心材材積率は次式により計算した。

$$\text{心材材積率} = \text{心材部材積} / \text{幹材積} \quad (6)$$

全ての標本木についての各相対高位置における辺材部断面積の計算は、その位置での幹断面積から心材部断面積を差し引いて求めた。

各相対高位置ごとの心材部断面積率は次式により計算した。

$$\text{心材部断面積率} = \text{心材部断面積} / \text{幹断面積} \quad (7)$$

前節では、幹材積連年成長量の垂直的配分を、標本木の梢端からの積算幹材積連年成長量と、幹材積との関係を利用して求めた比例定数 L_{vi} で表現することができることを明らかにした。また、同じ手法により幹断面積連年成長量の配分についても、比例定数 L_{gi} で示すことができることを明らかにした。

本節でも前節と同じ手法を用いて、辺材部量を示すことが可能かどうかを検討した。

各標本木について、各相対高別に区分求積した辺材部材積および梢端からの積算辺材部材積と幹材積とを各相対高ごとに対比すると、辺材部材積の分布では不規則な分布を示したが、積算辺材部材積と幹材積とを対比すると、両者には同じような増加傾向が認められた。

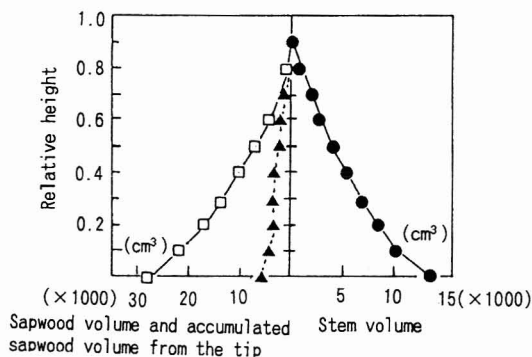


図-10 辺材部材積の垂直分布及び積算辺材部材積と幹材積との関係 (標本木 No.78)

Relationships between vertical distributions of sapwood volume($\blacktriangle$), accumulated sapwood volume($\square$), and stem volume($\bullet$) at height.(No.78)

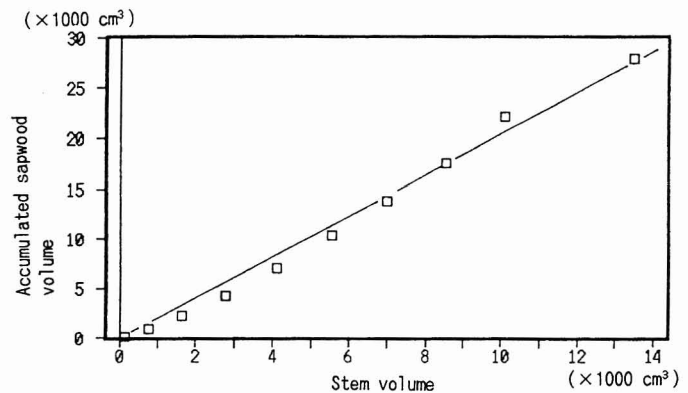


図-11 幹材積と積算辺材部材積との直線回帰

Regression between accumulated sapwood volume and stem volume at height.(No.78)

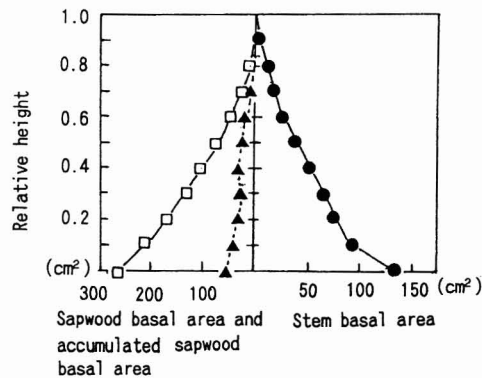


図-12 辺材部断面積の垂直分布及び積算辺材部断面積と幹断面積との関係 (標本木 No.78)

Relationship between vertical distributions of sapwood basal area($\blacktriangle$), accumulated sapwood basal area($\square$), and stem basal area($\bullet$) at height.(No.78)

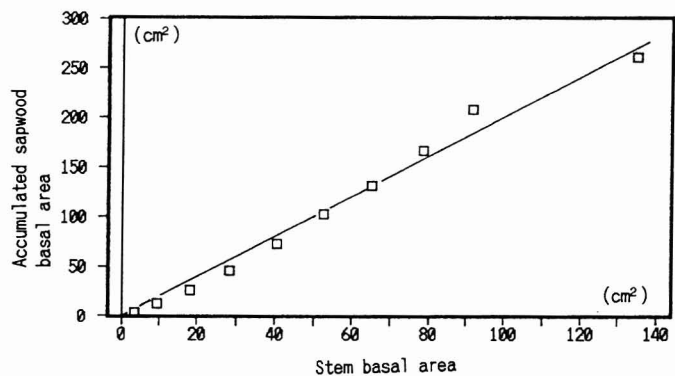


図-13 幹断面積と積算辺材部断面積との直線回帰

Regression between stem basal area and accumulated sapwood basal area at height.(No.78).

一例として、前節での比例定数 L_{vi} の平均値を示す標本木No.78について図-10に示す。梢端から根元に向かって深さ z の相対高における積算辺材部材積を $P_s(z)$ 、同じ深さ位置での幹材積を $C(z)$ と

し、比例定数を L_{vs} とすると両者には図-11に示す直線回帰が得られた。

$$P_s(z) = L_{vs} \cdot C(z) \quad (8)$$

同じように、深さ z の相対高における積算辺材部断面積を $G_s(z)$ 、同じ深さ位置での幹断面積を $G(z)$ とし、比例定数を L_{gs} とすると、両者には次式が得られる。

$$G_s(z) = L_{gs} \cdot G(z) \quad (9)$$

各相対高別に求めた辺材部断面積と幹断面積との関係でも、図-12および13に示すような結果が得られ、直線回帰の決定係数 R^2 は0.9877となった。

これらの結果から、各相対高における積算辺材部材積と幹材積との直線回帰の比例定数 L_{vs} および積算辺材部断面積と幹断面積との比例定数 L_{gs} とを求めて、前項で示した(2)から(5)までの課題について検討を進めることにした。

II. 結果および考察

1. 比例定数の計算

全標本木190本について、各相対高ごとに求めた幹材積と、梢端から樹幹下部に向かって積算した積算辺材部材積とに直線回帰式を当てはめ、比例定数 L_{vs} を求めた。全標本木に対する比例定数 L_{vs} は1.08～3.80の範囲にあった。なお、平均値は2.49で標準偏差は0.68であった。直線回帰の決定係数 R^2 は0.9299～0.9971の範囲にあり、平均値が0.9794であった。

比例定数 L_{vs} の計算と同じ手法により全標本木に対し比例定数 L_{gs} を求めた。すなわち、各標本木について、梢端から樹幹下部に向かって各相対高ごとに積算辺材部断面積を求め、この値と同じ相対高位置での幹断面積とに直線回帰式を当てはめ、回帰の比例定数 L_{gs} を計算した。全標本木に対する比例定数 L_{gs} は1.13～4.05の範囲にあった。またその平均値は2.74で標準偏差は0.72であった。直線回帰の決定係数 R^2 は0.9106～0.9982の範囲にあった。また、決定係数 R^2 の平均値は0.9775であった。

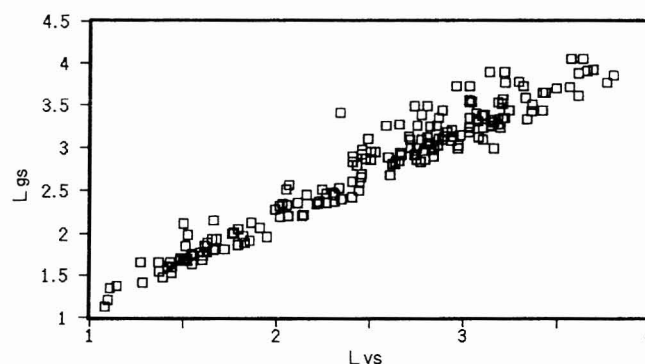


図-14 L_{vs} と L_{gs} との関係

Relationships between L_{vs} and L_{gs} .

2. 比例定数と心材材積率との関係

(1) 比例定数 L_{vs} と比例定数 L_{gs} との関係

前節で示したように、梢端から深さ z における幹断面積を $G(z)$ とし、層の厚さを Δz とすると、この部分の幹材積 $C(z)$ は、

$$C(z) = A \cdot G(z) \cdot \Delta z \quad (10)$$

となり、 Δz が一定ならば $C(z)$ は $G(z)$ に比例する。この(10)式と(8)式および(9)式とから、ある

位置での幹断面積 $G(z)$ はその位置までの積算辺材部断面積ばかりでなく積算辺材部材積とも比例関係にあることがわかる。

このことから、全標本木について求めた比例定数 L_{gs} と L_{gs} との関係は、図-14に示すように両者間には比例関係が成立した。

(2) 比例定数 L_{gs} と、各相対高位置での心材部断面積率との関係

比例定数 L_{gs} は、単位幹断面積当りの積算辺材部断面積（単位は無名）の値を示す。したがって、 L_{gs} の値が大きいものほど積算辺材部断面積は大きい。反対に、積算心材部断面積は小さい値を取るようになるが、この時は、各相対高における心材部断面積が小さくなることから、心材部断面積率も小さい。ある相対高位置での樹幹断面における比例定数 L_{gs} と心材部断面積率との関係を図-15に示す。比例定数 L_{gs} と相対高1割高さにおける心材部断面積率（ H_{gp} ）と関係は、次式の負の直線式で示された。

$$H_{gp} = -0.19L_{gs} + 1.04 \quad R^2 = 0.8716 \quad (11)$$

各相対高位置での L_{gs} と心材部断面積率との直線回帰式を表-2に示す。直線回帰の決定係数は、根元部分および梢端部分でやや相関関係が低い傾向にあった。

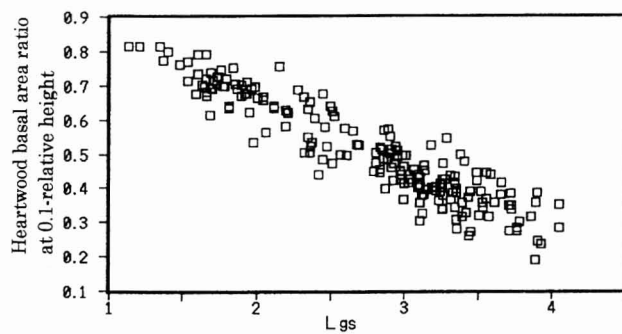


図-15 L_{gs} と相対高1割高さ位置での心材部断面積率との関係

Relationship between L_{gs} and heartwood basal area ratios at 0.1-relative height.

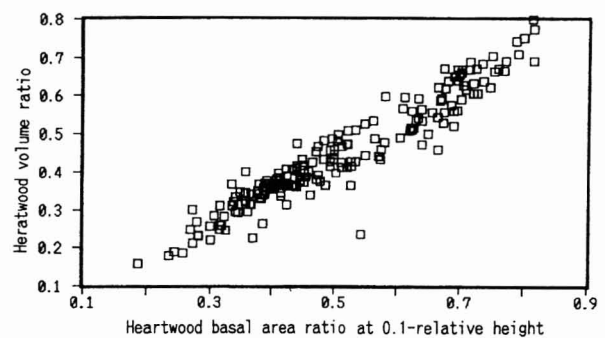


図-17 相対高1割高さ位置での心材部断面積率と心材材積率との関係

Relationship between heartwood basal area ratio and heartwood volume ratio at 0.1-relative height.

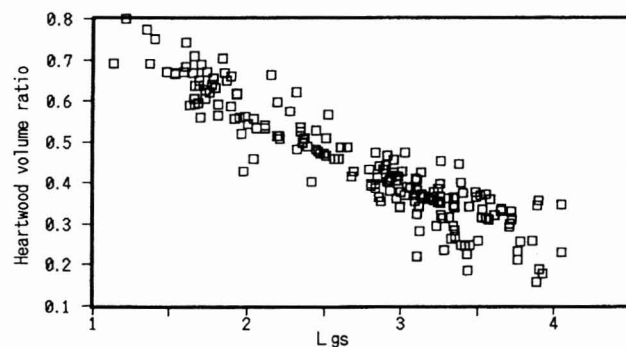


図-16 L_{gs} と心材材積率との関係

Relationships between L_{gs} and heartwood volume ratio.

表-2 各相対高位置における $L_{gs}(x)$ と心材断面積率(y)との直線回帰式
Regressions of $L_{gs}(x)$ and heartwood basal area ratio(y) at relative heights.

Relative heights	Regressions at relative heights	R^2
0.0	$y = -0.1692x + 1.0515$	0.7987
0.1	$y = -0.1940x + 1.0400$	0.8716
0.2	$y = -0.1960x + 1.0188$	0.8921
0.3	$y = -0.1994x + 0.9961$	0.8643
0.4	$y = -0.2049x + 0.9707$	0.8613
0.5	$y = -0.2112x + 0.9402$	0.8131
0.6	$y = -0.2011x + 0.8524$	0.8010
0.7	$y = -0.1857x + 0.7336$	0.6989
0.8	$y = -0.1578x + 0.5932$	0.7088

(3) 比例定数 L_{gs} と心材材積率との関係

樹幹での比例定数 L_{gs} と心材材積率 (H_{vp}) との関係を図-16に示す。比例定数 L_{gs} と心材材積率 H_{vp} とには次式で示す直線関係が成立した。

$$H_{vp} = -0.18 L_{gs} + 0.94 \quad R^2 = 0.8665 \quad (12)$$

比例定数 L_{gs} が大きいほど樹幹に占める心材材積率は小さくなる。すなわち、この比例定数 L_{gs} は、その林木の樹幹内の心材材積率を示す。また、相対高 1 割高さ位置での心材部断面積率 H_{gp} と全樹幹の心材材積率 H_{vp} との関係は、次式で示す直線関係が成立し (図-17)、

$$H_{vp} = 0.89 H_{gp} - 0.01 \quad R^2 = 0.9085 \quad (13)$$

で与えられた。

3. 生育段階における比例定数 L_{gs} と葉の幹生産能率との関係

前節と同様に、単純に生育段階を示す指標として、4 区分 (～8.0m、8.1～15.0m、15.1～20.0m、20.1m～) した樹高階を用いた。

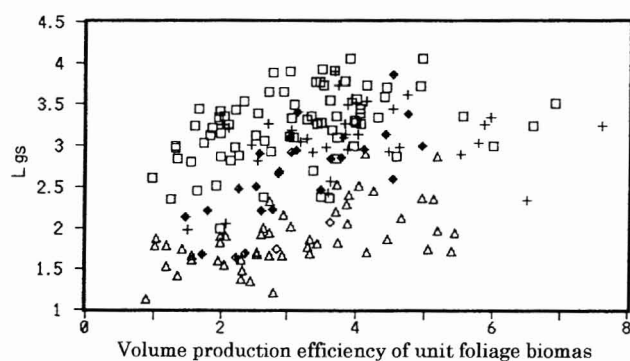


図-18 葉の幹生産能率と L_{gs} との関係
Relationship between volume production efficiency of unit foliage biomass and L_{gs} at classified tree heights.
□ below 8.0m, + 8.1~15.0m
◆ 15.1~20.0m, △ above 20.1m

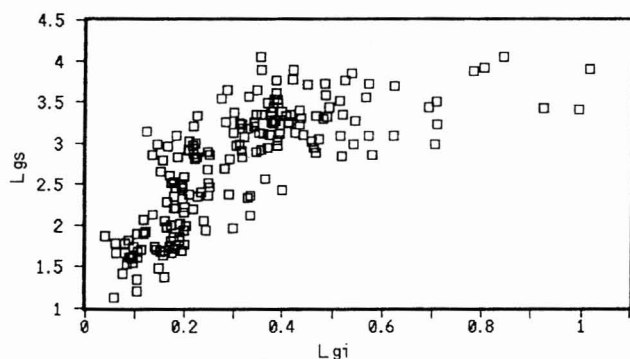


図-19 L_{gi} と L_{gs} との関係
Relationship between L_{gi} and L_{gs} .

各生育段階ごとに比例定数 L_{gs} と葉の幹生産能率との関係を図-18に示す。各生育段階ごとに両者間の相関関係を求めたところ、樹高8.0m以下では $R^2=0.1503$ 、8.1～15.0mでは $R^2=0.0441$ 、15.1～20.0mでは $R^2=0.4447$ および20.1m以上では $R^2=0.3221$ となった。

樹高 20.1m以上の生育段階では、両者間に低い値ではあるが正の相関関係がみられ、葉の幹生産能率の大きなものは L_{gs} も大きい。さらに樹高が大きくなると、 L_{gs} は葉の幹生産能率が大きなものであっても、前の生育段階での値より小さい値をとる (図-18)。すなわち、樹高の増大と共に、葉の幹生産能率の高いものであっても L_{gs} の値は小さくなる。これらのことを心材化で考

えてみると、樹高15.0m以下の生育段階では葉の幹生産能率とは関係なく樹幹内の心材化は低い。しかし、樹高が20mほどになると、葉の幹生産能率の値の高低によって心材化の進み具合に違いがみられ、高いものほど心材化は進まない。さらに、樹高が大きい生育段階では、葉の幹生産能率とはあまり関係なく心材化が進む。このことは、前節でのLgiの値の場合と同じで、葉の幹生産能率の高い成長の良いものは、生育が十分進むと樹幹量が増大（枝下高の増大）するため、同化物質の呼吸消費量の増大によって樹幹下部への相対的な配分量の減少が起きることによるものと考えられる。

4. LgsとLgiとの関係

幹断面積連年成長量の垂直的配分を示す比例定数Lgiと比例定数Lgsとを用いて、両者の関係を図-19に示す。全体として成長曲線のように、両者の関係は急増する比例関係の部分と、漸増かあるいはほぼ一定となる部分を含む曲線となった。おおよそ、Lgiの値が0.4付近までは、両者間には直線関係が認められた。しかし、Lgiの値がそれ以上となる肥大成長の大きなものでは、Lgsの値はほとんど増加しない。このことは、樹幹の肥大成長が旺盛なものは、辺材部断面積量は幹断面積連年成長量に比例して増加せず、樹幹内ではほぼ一定量を保っていることを示している。

相対高1割高さ位置での辺材部平均年輪幅によって区分された標本木のLgsと、同じ位置での幹断面積との関係を求めた。相対高1割高さを用いたのは、胸高位置で検討するのが一般的ではあるが、樹高が異なる林木間の比較では、ある一定の相対位置での比較が必要となる。また相対高1割高さ位置が胸高に最も近いことなどから採用した。

まず、年輪幅区分では、全標本木について相対高1割高さ位置の幹平均半径と心材部平均半径の差から辺材部幅を求め、これを辺材部の年輪数で除して辺材部平均年輪幅を求めた。全標本木に対して年輪幅の平均値および標準偏差を求めたところ、平均値は0.22cmおよび標準偏差は0.07cmであった。このまま平均値を中心にして標準偏差内に含まれるものと、それ以外のものとに区分すれば、中心部に含まれる標本木数が多くなるため、これらの値を参考にして、次の、年輪幅小（～0.149cm、n=34）、中（0.15～0.249cm、n=99）、大（0.25cm～、n=57）とした。

相対高1割高さ位置での幹断面積（対数値）と平均年輪幅によって3区分されたLgsとの関係を図-20に示す。幹断面積とLgsとの間には負の相関関係が成立し、決定係数 R^2 は0.6916となった。平均年輪幅区分ごとの幹断面積とLgsとの関係に各々直線回帰式を当てはめたところ、次に示す直線回帰式が得られた。

$$\text{年輪幅小 (直線A)} \quad y_s = -1.4261 \log G + 5.6451 \quad R^2 = 0.7980 \quad n = 34$$

$$\text{年輪幅中 (直線B)} \quad y_m = -1.5464 \log G + 6.2798 \quad R^2 = 0.7870 \quad n = 99$$

$$\text{年輪幅大 (直線C)} \quad y_o = -1.4743 \log G + 6.2909 \quad R^2 = 0.6484 \quad n = 57$$

3区分の回帰係数間については差⁽¹¹³⁾が認められなかったが、回帰定数（切片）間では全てに差が認められた（表-3）。幹断面積が大きいことを生育段階が十分進んだ林木と仮定すると、十分生育が進んだ段階で、同じ幹断面積をもつ林木でも肥大成長の小さな（年輪幅小）ものの方が、肥大成長の大きなものよりLgsは小となっていた。このように、生育が十分進んだ段階にあって、樹幹下部での肥大成長が小さなものでは、心材化が進んでいるものと考えられた。

心材化は高齢化と共に進む^(27,141,145)といわれるが、このことは生育段階が十分進んだ段階にあり、さらに樹幹に沿った肥大成長の配分量が小さくなっていることの2つの要因に起因しているものと考察された。

表-3 三つの直線回帰の回帰係数及び定数の差の検定結果
Comparison of slope and height of regression line A,B and C.
(F-value)

Regression lines	Slopes			Heights		
	A	B	C	A	B	C
A	-	0.60	0.05	-	30.83**	41.41**
B		-	0.23		-	8.55**
C			-			-

Notes: Regression line A for sapwood ring width below 0.149cm,
B for 0.15~0.249cm, C for more than 0.25cm.
** 1% significance level.

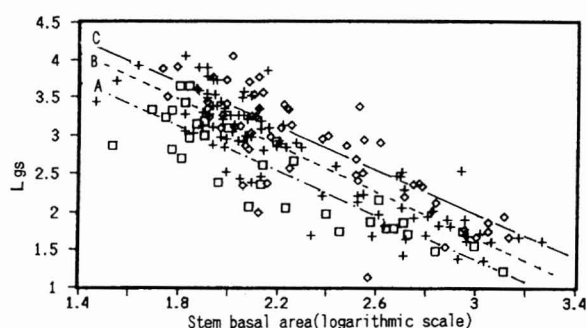


図-20 相対高1割高さ位置での幹断面積と
辺材部平均年輪幅別のLgsとの関係
Relationship between stem basal area at
0.1-relative height and Lgs at classified
sapwood year ring width.
Year ring width: □below 0.149cm,
+0.15~0.249cm, ◇above 0.25cm.

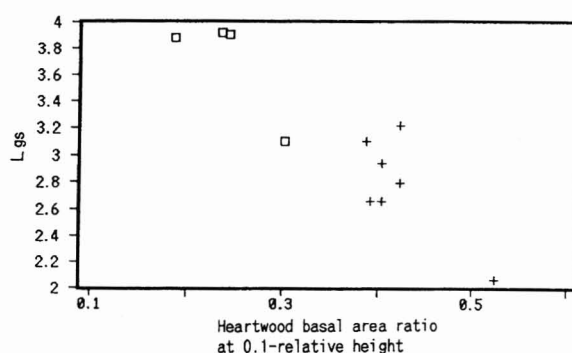


図-21 枝打ち前後の相対高1割高さ位置での
心材部断面積率とLgsとの関係の変化
Changes in the Lgs and ratios of heartwood
basal area relationship at 0.1-relative height
before and after pruning (□before, +after).

5. 枝打ちによるLgs値の変化

標本木11本についてLgsを求め、相対高1割高さ位置における心材部断面積率と、このLgsとの関係を図-21に示す。枝打ち後は相対高1割高さ位置での心材部断面積率の増大と同時にLgsの値が一段と小さくなった。このように、枝打ち試験による摘葉が心材化に与える影響をLgsの変化でみることができた。

Ⅲ. 摘 要

本節では前節と同じように、樹幹に沿って分布する辺材部量の垂直的分布の状況を示す「ものさし」としてLvsやLgsが提案された。本節での結果を要約すると次のとおりである。

- (1) 辺材部材積や辺材部断面積など、辺材部量の樹幹に沿った垂直的分布の状況は、梢端から、これら積算辺材部材積および積算辺材部断面積と幹材積および幹断面積とに直線関係が成立し、直線回帰式での比例定数LvsおよびLgsで示すことができた。
- (2) この比例定数LvsとLgsとは両者間に正の相関関係が成立した。
- (3) 比例定数Lgsと各相対高位置での心材部断面積率との関係は、負の相関関係が成立し、Lgsの値が大きいものほど心材部断面積率は小さくなる傾向を示した。また、このLgsは全樹幹での心材材積率とも同じように負の相関関係が成立した。これらのことから、Lgsの値は樹幹に沿った

辺材部量の垂直的分布状況を示すばかりでなく、樹幹内の心材部量の全幹に占める割合をも示すものと考えられた。

- (4) 単純に樹高が生育段階を示すものとするれば、各生育段階における葉の幹生産能率と L_{gs} との関係を見ると、生育初期段階では両者の関係はあまり明かでないが、生育段階が進むにしたがい、両者間に正の相関関係がみられ、葉の幹生産能率の大きなものは L_{gs} の値も大きく、小さなものは L_{gs} の値も小さい。
- (5) 比例定数 L_{gs} と L_{gi} との関係では、樹幹の肥大成長が旺盛な L_{gi} の値がほぼ0.4以上をとるようなものでは、 L_{gi} の値が増加しても L_{gs} の値はほぼ一定を保っていた。 L_{gi} の値が0.4以下のものは両者間に正の相関関係が成立した。
- (6) ある相対高での肥大成長（辺材部の平均年輪幅）と L_{gs} との関係では、同じ幹断面積（直径）を持つものであっても、辺材部の平均年輪幅が小さなものほど L_{gs} の値は小さかった。すなわち、同じ相対高位置で直径が等しい林木なら、肥大成長（辺材部平均年輪幅）が大きなものより小さなものの方が心材化が進んでいる。
- (7) 比例定数 L_{gs} の摘葉による変化をみるため、15年生カラマツ林で枝打試験を実施した。摘葉率は28%～58%であったが、枝打ち前後で明らかに L_{gs} の値に差がみられ、枝打ち後では L_{gs} の値が小さくなり、ある相対高位置での心材部断面積率は大きくなった。このことは、枝打ちや密度管理による枝下高の管理により、 L_{gs} を変化（辺材部量の分布状況の変化）させ、樹幹内の心材部材積を増加させることができることを示唆している。

以上の結果から、枝打ちや密度管理などの施業によって、連年成長量の樹幹における垂直的分布や辺材部量の垂直的分布の仕方を管理することが可能と考えられ、このことは心材形成にも応用可能であるものと考察された。

Ⅲ節 心材形成制御および年輪幅制御のための施業技術の開発

Ⅰ. 心材形成制御のための施業技術の開発

Ⅰ節では、幹材積連年成長量や幹断面積連年成長量の樹幹に沿った垂直的な分布状況を示す指標として、梢端からの積算幹材積連年成長量と幹材積との直線回帰式における比例定数 L_{vi} や、積算幹断面積成長量と幹断面積との直線回帰式の比例定数 L_{gi} を提案した。これらの L_{vi} や L_{gi} を用いた林木の枝下高や枝下高率、葉量あるいは葉の幹生産能率等の違いによる連年成長量の垂直的分布状況の検討結果では、 L_{vi} や L_{gi} が連年成長量の垂直的分布状況を示す指標となり得ることを明らかにした。さらに、Ⅱ節では、辺材部材積や辺材部断面積の樹幹に沿った垂直的分布の状況も、 L_{vs} や L_{gs} で表現できることを示した。また、これらの比例定数は、ある高さ位置での心材部断面積率や樹幹の心

表-4 カラマツ林分の概要
Japanese larch stands collected.

NO.	Stand ages	Mean for					NO.	Stand ages	Mean for					NO. /ha
		D.b.h.s	Dom.	Clear	H _b	D.b.h.s			Dom.	Clear	H _b			
		tree heights (cm)	(H)(m)	(H _b)(m)	/H	tree heights (cm)			(H)(m)	(H _b)(m)	/H			
1	20	14.6	15.5	10.3	0.66	889	40	26	17.9	20.9	11.5	0.55	736	
2	41	26.2	24.4	16.1	0.66	501	41	47	21.3	22.6	13.5	0.60	928	
3	25	15.0	15.1	7.9	0.52	942	42	61	25.8	22.8	13.8	0.61	379	
4	35	17.6	20.3	14.4	0.71	1088	43	27	18.2	17.4	12.6	0.72	641	
5	36	21.0	20.3	13.8	0.68	674	44	56	22.1	20.7	12.3	0.59	667	
6	46	25.4	27.0	18.6	0.69	486	45	55	29.9	29.0	16.3	0.56	253	
7	21	18.1	15.4	7.4	0.48	913	46	18	14.2	14.4	5.8	0.40	764	
8	31	20.5	17.2	11.1	0.65	811	47	24	20.9	19.5	12.2	0.63	515	
9	46	26.3	27.3	17.6	0.64	476	48	23	13.8	14.1	10.6	0.75	1715	
10	26	15.9	16.5	8.0	0.48	1027	49	16	11.7	12.2	6.8	0.56	1346	
11	53	36.4	27.6	18.8	0.68	284	50	27	17.5	17.6	9.2	0.52	1263	
12	22	14.9	15.4	8.1	0.53	1369	51	58	31.5	25.1	16.1	0.64	281	
13	52	23.5	20.0	13.4	0.67	634	52	28	16.0	17.2	9.4	0.55	1029	
14	57	23.7	19.6	12.8	0.65	640	53	28	17.4	19.3	14.4	0.75	948	
15	15	10.9	11.5	5.7	0.50	2075	54	28	18.4	16.4	10.6	0.65	932	
16	28	20.8	18.4	12.0	0.65	605	55	47	23.5	24.6	13.4	0.54	517	
17	41	22.5	23.0	15.0	0.65	794	56	37	16.3	15.6	10.0	0.64	1003	
18	41	25.7	22.5	13.7	0.61	628	57	28	14.5	12.6	5.9	0.47	842	
19	14	11.6	12.2	6.7	0.55	1801	58	16	14.2	13.4	8.7	0.65	1040	
20	21	15.2	15.3	6.7	0.44	781	59	24	14.5	12.9	5.7	0.44	1154	
21	27	17.8	16.8	9.4	0.56	685	60	25	19.5	19.3	13.2	0.68	977	
22	14	8.4	10.1	5.2	0.51	2306	61	54	26.5	23.6	14.6	0.62	413	
23	20	14.3	13.5	7.9	0.59	1140	62	67	23.6	20.5	14.7	0.72	945	
24	27	15.2	16.4	9.5	0.58	1091	63	42	19.5	18.1	10.9	0.60	604	
25	21	15.5	16.2	9.1	0.56	1033	64	27	16.2	17.2	11.7	0.68	1242	
26	31	15.1	16.8	11.3	0.67	1773	65	21	15.3	15.8	7.9	0.50	1119	
27	34	20.8	19.7	10.6	0.54	589	66	21	14.0	15.1	9.2	0.61	1766	
28	19	12.8	11.4	5.6	0.49	811	67	28	18.5	17.1	9.5	0.56	909	
29	41	24.0	21.6	14.5	0.67	745	68	18	12.2	13.1	5.3	0.40	1809	
30	36	15.6	16.1	9.3	0.58	750	69	35	19.8	14.4	8.5	0.59	842	
31	25	16.2	21.3	13.9	0.65	1139	70	40	18.7	13.6	7.4	0.54	778	
32	45	27.8	21.2	15.7	0.74	426	71	32	16.3	16.6	9.5	0.57	850	
33	34	28.2	26.9	17.4	0.65	349	72	50	14.8	13.3	7.4	0.56	1190	
34	19	12.4	13.2	5.8	0.44	1662	73	20	15.7	18.5	8.1	0.44	881	
35	30	11.5	11.8	6.8	0.58	1211	74	24	16.9	12.2	5.2	0.43	1002	
36	45	24.2	21.2	13.7	0.65	744	75	51	31.9	26.5	17.3	0.65	470	
37	50	33.1	26.8	18.0	0.67	152	76	67	31.3	22.5	15.3	0.68	304	
38	15	11.1	11.2	4.9	0.44	1215	77	74	41.3	32.4	17.0	0.52	164	
39	34	20.8	23.0	11.9	0.52	821	78	47	26.7	25.2	17.0	0.67	619	

材材積率などの心材部量と高い相関関係のあることを示した。I 節での連年成長量の垂直的分布状況を示す L_{gi} と、辺材部断面の垂直的分布状況を示す L_{gs} とは、 L_{gi} の値がほぼ 0.4 以上となる肥大成長の旺盛なものを除き、 L_{gi} の値がそれより以下の値をとるものでは、 L_{gi} と L_{gs} との間に正の相関関係が成立することを示した。これらの結果から枝打ちや密度管理などによる枝下高や葉量の変化と共に変化する L_{gi} の値を用いて、樹幹内の辺材部量の把握の可能性が指摘された。

本節では前節の結果を用いて、心材形成のための施業技術について考察した。

1. 資料および方法

(1) 資 料

本節では、前の I、II 節で用いた 190 本の樹幹解析資料の他に、カラマツ林分の樹高や林分密度と枝下高との関係から枝下高推定のため、新たに調査したカラマツ林分資料を加えた。

新たな調査林分は、できるだけ林冠が閉鎖状態にあり、面積は少なくとも 0.1ha 以上の同齢単純林で、樹間に異常な空隙がなく、かつ間伐が行われた林分では少なくとも 5 年以上経過した林分を対象とした。

調査林分においては、胸高直径毎木調査を実施し、同時に林木を上層木とその他の木に区分した。上層木は寺崎式樹型級区分での 1 級木および 2 級木が該当した。上層木の樹高測定は該当する各直径階からおおむね 3 本以上を選びブルーメライズ測高器で測定した。枝下高測定では各直径階毎に 3 本以上を対象として測定した。

林分ごとの調査資料から林分平均胸高直径、林分平均上層高および林分平均枝下高を計算した。これら調査林分の概要は表-4 に示す。林分数 78 林分、林齢 14~74 年生、林分平均胸高直径は 8.4~41.3cm、上層木平均樹高は 10.1~32.4m、平均枝下高は 4.9~18.8m、ha 当り本数密度は 152~2306 本、枝下高率は 0.40~0.75 の範囲にあった。

(2) 方 法

以下に示す方法により、与えられた心材材積率を得るための樹高・枝下高（率）・林分密度を用いた施業管理手法の開発を試みた。1) 新たなカラマツ林調査資料を用いて、樹高による相対幹距と枝下高の枯れ上がりによる枝下高相対幹距との関連性を検討し、樹高と林分密度から枝下高の推定方法について検討した。2) 樹高成長にともなう林分密度の変化により枯れ上がった林木の樹冠における葉量の推定方法を検討した。3) 幹断面積連年成長量の垂直的配分状況を示す比例定数 L_{gi} を用いて、樹幹の心材材積率との関係に直線回帰式を当てはめ両者の関係式を得た。4) I 節で求めた枝下高率別の葉量と L_{gi} との関係式から、与えられた樹高と林分密度を持った林分での L_{gi} の値を推定する方法を検討した。5) 以上の結果を利用して、与えられた心材材積率を得るための樹高・枝下高（率）・林分密度を用いた施業管理モデル図を作成した。

2. 結果および考察

(1) 枝下高の推定

樹高成長にともなう林分密度の相対的な変化と、枝下高の相対的な変化との関係を明らかにし、枝下高を推定する方法を試みた。林分密度および枝下高の相対的な変化を示すものとして、樹高による相対幹距および枝下高相対幹距を考えた。相対幹距および枝下高相対幹距は、次式により、表-4 に示す林分について計算した。

$$\text{相対幹距 (S}_R\text{)} = S/H \quad \text{枝下高相対幹距 (S}_B\text{)} = S/H_b$$

ただし、 H : 林分上層木平均樹高(m)、 H_b : 林分平均枝下高(m)

S : 林木間平均距離(m) = $100/\sqrt{N}$, N : ha当たり本数である。

S_R と S_b との関係を図-22に示す。バラツキは大きいものの、 S_R が増大(相対密度の減少)すると共に S_b も増加する傾向を示す。ここで、OGAWA *et al* ⁽⁸⁵⁾ によって提案された次に示す拡張相対成長式をあてはめた。この場合、 S_R を R として、 R が最大1になることを想定した。

$$1/R = 1/(cS_R^d) + 1 \quad (14)$$

ただし、 c, d は定数、 $c, d > 0$ である。

式(14)は、また対数変換して次式で示される。

$$\log(1/R - 1) = \log(1/c) - d \log S_R \quad (15)$$

そこで、実際の資料に対数で示した $1/R - 1$ と S_R の関係をみると(図-23)、バラツキはあるものの直線関係がみられ式(14)を満足していた。

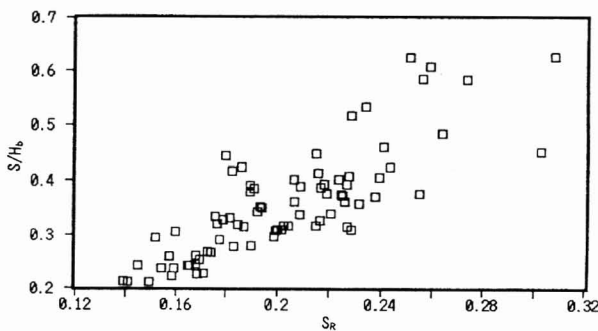


図-22 林分相対幹距(S_R)と S/H_b との関係
Relationship between S_R and S/H_b .
 S_R : relative spacing(S/H), S : mean spacing,
 H : dominant tree height, H_b : clear length.

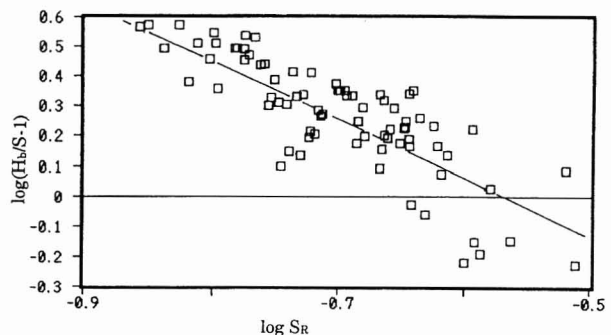


図-23 $\log S_R$ と $\log(H_b/S - 1)$ との関係
Relationship between $\log(H_b/S - 1)$ and $\log S_R$.
Note: allometric equation,
 $1/(S/H_b) = 1/(cS_R^d) + 1$, c, d : constants.

式(15)にしたがって、実際の資料に直線回帰をあてはめたところ、決定係数 $R^2 = 0.6730$ が得られ、回帰係数および定数は各々 $d = 2.0362$ 、 $c = 14.2987$ であった。なお、この直線回帰式における回帰係数の帰無仮説検定、すなわち、

$$t = (d - \beta) / S_b \quad \text{ここに} \quad S_b = S_{yx} / \sqrt{(x_1 - x)^2}$$

において、 $\beta = 0$ の時の t の値を求め、自由度 $n - 2 = 76$ で有意水準1%での t_0 とで検定を行ったところ、

$$t = 2.0361 / 0.16282 = 12.51 > t_0(0.01) = 2.64$$

が得られ高度に有意であった。直線回帰式の分散分析表(表-5)からも回帰式が成立することが確かめられた。

式(15)からの回帰係数(d)と定数(c)を用いて、ha当たりの本数密度と上層木平均樹高が与えられれば、式(16)により林分平均枝下高(H_b)を推定することができる。

$$H_b = (SH^d + cS^{d+1}) / cS^d \quad (16)$$

図-24は調査林分のha当たりの本数密度と上層木平均樹高で計算した相対幹距を用いて推定した枝下高と、実際の測定枝下高との関係を示す。バラツキはあるものの、決定係数 $R^2 = 0.8607$ がえられた。全調査林分(78林分)について、林分平均推定枝下高(Y_{es})と林分平均実測枝下高(Y_{ob})とから、次に示す方法により誤差率(%)を計算した。

$$(Y_{ob} - Y_{es}) \times 100 / Y_{ob}$$

表-5 $\log S_k$ と $\log(H_k/S-1)$ との直線回帰分散分析表
Analysis of variance for regression between
 $\log S_k$ and $\log(H_k/S-1)$.

Source	df	SS	MS	F
Explained by reg.	1	1.82189	1.82189	156.45**
Unexplained by reg.	76	0.88505	0.01165	
Total	77	2.70694		

** 1% significance level

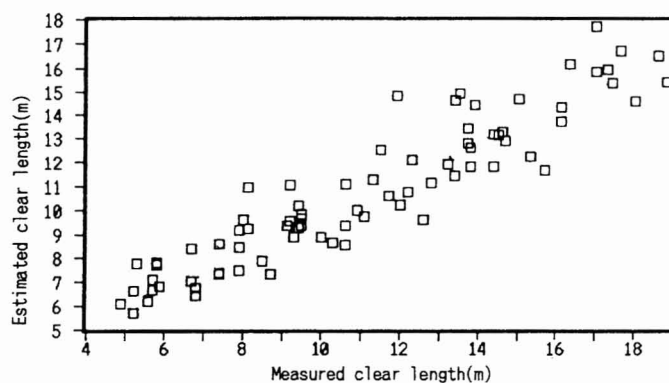


図-24 実測枝下高と推定枝下高との関係
Relationship between measured clear length
and estimated clear length.

ここで、実測枝下高を3区分し、各区分ごとの平均誤差率を求めた。区分は実測枝下高の平均値と標準偏差とから、平均値を中心とした標準偏差内に含まれるもの、その範囲以外で小さなものおよび大きなものとした。実測枝下高の平均値は10.8m、標準偏差は±3.9mであったので、区分は6.9m以下、7.0m～14.7mおよび14.8m以上の3区分となった。実測枝下高6.9m以下の範囲には14林分が該当し、平均誤差率は符号を考慮した場合-19.2%、絶対値では20.1%が得られた。同じように、実測枝下高7.0m～14.7mの範囲では49林分、符号を考慮した場合の平均誤差率は+1.6%、絶対値での平均誤差率は10.2%となった。さらに、14.8m以上の範囲では15林分が該当し、符号を考慮した場合の平均誤差率は+10.5%で、絶対値での平均誤差率は11.3%であった。以上の結果から、実測枝下高6.9m以下の範囲での枝下高推定値はほとんどがやや過大推定となり、絶対値での平均誤差率も20.1%と大きかった。反対に、実測枝下高14.8m以上の範囲での枝下高推定値は、大部分がやや過小推定となって、絶対値での平均誤差率は11.3%であった。実測枝下高平均値の標準偏差内での枝下高推定値は、符号による誤差率がほぼ相殺して、どちらか一方に片寄るような推定にはならなかったが、絶対値での平均誤差率は10.0%であった。また、各区分における絶対値での平均誤差量は、6.9m以下の範囲で1.1m、7.0m～14.7mの範囲で1.1m、14.8m以上の範囲では1.9mとなった。なお、全資料に対する符号を考慮に入れた平均誤差率は-0.4%であり、絶対値での平均誤差率は12.2%であって、平均誤差量は1.3mとなった。以上から、実測枝下高の平均値を中心とした標準偏差の範囲以外にある、資料数の少ないところでの枝下高推定誤差率がやや大きい傾向はみられるものの、林分密度と上層木樹高からの枝下高推定は、ほぼ良好であったと考察された。

FUJIMORI *et al* ⁽¹⁰⁾ や KANAZAWA *et al* ⁽³⁶⁾、金沢 ⁽³⁷⁾ は若齢スギ林について、立木密度を示す相対幹距と立木密度によって変化する樹冠長率との関係が高いことを利用して、枝下高の推定を試み良好な結果を得た。

本報告でも、カラマツ林分調査資料を用いて、樹冠長率と林分上層木平均樹高による相対幹距との関係をみたところ、両者間に顕著な関連性を示す傾向が認められなかった。

調査資料の中には、樹高成長が進んで比較的樹高成長も緩慢となって密度変化がほとんどないような林分や、間伐後相当の年数が経過したにもかかわらず、枝下高が変化していない林分なども含まれていたものと推察され、相対幹距と樹冠長率との関連性が低くなっているものと考えられた。橋本ら ⁽²²⁾ はスギ林に関する樹冠底高の解析で、林冠閉鎖後では樹冠長は一定かやや上昇傾向にあることを報告している。

(2) 樹冠長と樹高より葉量の推定

樹高の増大と共に枝下高（枝下高率）や樹冠幅などが変化する。そこで、生育段階（樹高）が同じならば、林分密度によって枝下高（率）、樹冠長あるいは樹冠幅などが影響を受け、これらの変化と共に葉量も変化するものと仮定して葉量の推定を試みた。

I 節での資料を用いて、生育の進み具合を示すものとして樹高を、林分のこみ具合によって変化するものとして樹冠長を取り上げ、また同じ樹冠長であっても樹冠幅によって葉量が異なることから、この樹冠幅は樹高に比例するものとして仮定した。長ら⁽¹³³⁾はカラマツ林に対し林分側断面積と林分材積の関係に関する検討の中で、求められた林分側断面積は平均樹高や平均樹冠直径あるいは平均胸高直径、ha当り本数密度および材積等と高い相関関係のあることを示した。

各標本木について葉量対樹高と樹冠長との積の関係を求め、対数グラフ上に示すと直線関係が成立し、次に示す直線回帰式を得ることができた（図-25）。

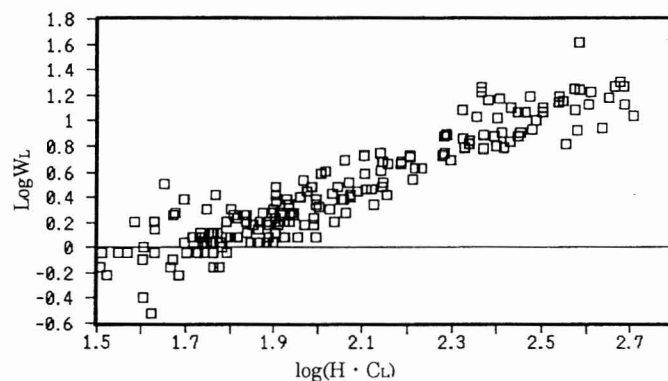


図-25 樹冠長と樹高の積と葉量との関係
Relationship between foliage biomass(W_L , dry weight)
and $H \cdot C_L$.
 H : tree height, $C_L = H - H_b$: crown length.

$$\log W_L = 1.2910 \log(H \cdot C_L) - 2.1845 \quad R_2 = 0.8675 \quad n = 190 \quad (17)$$

ただし、 W_L :葉量(乾重kg)、 H :樹高(m)、 $C_L = H - H_b$:樹冠長、

H_b : 枝下高(m)である。

式中 $H \cdot C_L$ は $H^2(1 - H_b/H)$ で与えられるので、枝下高率と樹高からも葉量を推定することができる。I 節に示した枝下高率階ごと葉量と幹断面積連年成長量の比例定数である L_{gi} との関係は、次の通りであった。

枝下高率階	0.44以下	$\log L_{gi} = -0.4774$	$\log W_L - 0.1587$	
	0.45~0.64	$\log L_{gi} = -0.3514$	$\log W_L - 0.4389$	(18)
	0.65以上	$\log L_{gi} = -0.3824$	$\log W_L - 0.5690$	

ただし、 y : L_{gi} : 葉量 (kg) である。

ある樹高における枝下高あるいは枝下高率が与えられれば、これらの式を用いることによって、その樹高における葉量が求まり、この樹高、枝下高あるいは枝下高率と葉量から樹幹における幹断面積連年成長量の分布状況を示す L_{gi} を求めることができる。

(3) 目標とする心材材積率を得るための林木の葉量、枝下高率の推定

幹断面積連年成長量の比例定数 L_{gi} は、葉量および枝下高率によって影響を受け変化するということおよび辺材部の分布状況を示す比例定数 L_{gs} との相関関係がみられることを明らかにした^(129,130)。

ここでは、このLgiと樹幹内の心材部の占める割合（心材材積率）との関係を考察した。

比例定数Lgiと心材材積率との関係を明かにし、両者の関係式を導き出し、この関係式から与えられた心材材積率に該当するLgiの値を計算し、そのLgi値を生じる林木の葉量や枝下高率などを推定する。

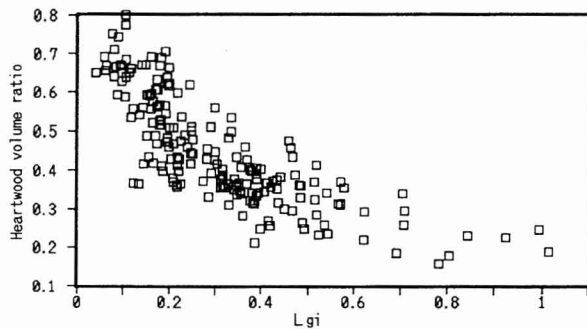


図-26 幹断面積連年成長量に基づく比例定数Lgiと幹心材材積率との関係
Relationship between Lgi and heartwood volume ratio in the stem.
Lgi: an indicator for vertical distribution patterns of basal area annual growth along the stem.

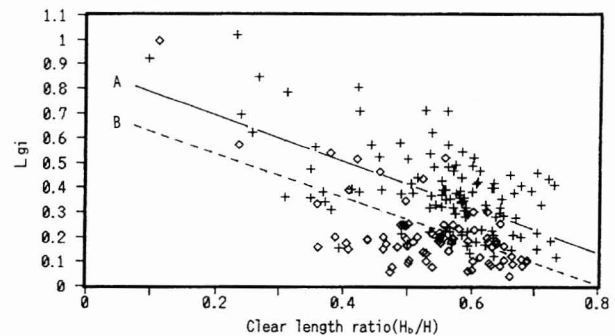


図-27 枝下高率(Hb/H)とLgiとの関係
Relationship between clear length ratio(Hb/H) and Lgi.
Foliage biomass(dry weight)
+ Under 3.0kg, ◇ Above 3.1kg.

まず、樹幹の心材材積率と比例定数Lgiとの関係を図-26に示す。前Ⅱ節ではLgiがほぼ0.4以上となる肥大成長（断面積成長）の旺盛な林木では、Lgiの値はほぼ一定となることを示したが、ここでのLgiと心材材積率との関係でも、Lgiの値がおおよそ0.4以上の林木では心材材積率の値も小さく、Lgiの増加に対し心材材積率はほぼ一定値を示す傾向にあった。Lgiと心材材積率（Hvp）との関係を次式で示す。

$$\text{Hvp} = -0.443 \log \text{Lgi} + 0.188 \quad R^2 = 0.7066 \quad (19)$$

次に、Lgiと葉量、枝下高率との関係はⅠ節の図-7で示したが、葉量の小さい林木ほど枝下高率の違いによるLgiの変化が大きいことを明らかにした。そこで、枝下高率の違いによるLgiの変化の大きな、小さな葉量を持つ標本木と、枝下高率の違いによってLgiの変化が比較的少ない、大きな葉量を持つ標本木とにグループ分けを行い、各グループごとにLgiと枝下高率との関係を考察した。グループ分けは、前Ⅰ節図-7を参考に、おおよそ葉量3.0kg以下の標本木と、葉量が3.1kg以上の標本木の2グループに区分した。これら2グループ各々に、直線回帰式を当てはめた（図-27）。直線回帰は分散分析の結果、高度な有意水準で成立（表-6）し、両者の回帰式間の差の検定⁽¹¹³⁾では回帰係数間には差がみられなかったものの、回帰定数間（切片間）には有意水準1%で差が認められた（表-7）。なお、直線回帰式は次式で示された。

$$\text{葉量3.0kg以下} \quad y_A = -0.83x + 0.84 \quad R^2 = 0.3354 \quad (20)$$

$$\text{葉量3.1kg以上} \quad y_B = -0.86x + 0.67 \quad R^2 = 0.3638 \quad (21)$$

ただし、 y_A 、 y_B はLgi、 x は枝下高率である。

このことから、いずれの葉量のグループにおいてもLgiの値は枝下高率が大きくなるとともに減少するが、同じ枝下高率ならば葉量の大きなグループに属する林木の方がLgiの値は小さい。

ここでは、葉量が比較的大きなグループに対し、(19)式を用いて目標とする心材材積率に相当するLgiの値をあらかじめ計算し、このLgiの値に相当する枝下高率が、(21)式を用いて求められた（表-8）。

表-6 葉量二区分別の枝下高率(H_b/H)とLgiとの直線回帰分散分析表

Analysis of variance for regression between H_b/H and Lgi in foliage biomass classified, A for under 3.0kg and B for above 3.1kg.

Regression A

Source	df	SS	MS	F
Explained by reg.	1	1.12498	1.12498	57.8**
Unexplained by reg.	112	2.17919	0.01946	
Total	113	3.30417		

** 1% significance level

Regression B

Source	df	SS	MS	F
Explained by reg.	1	0.66788	0.66788	52.3**
Unexplained by reg.	74	0.94545	0.01278	
Total	75	1.61333		

** 1% significance level

表-7 葉量二区分別の枝下高率(H_b/H)とLgiとの直線回帰の回帰係数及び定数の差の検定

Comparison of slope and height between regression line A for foliage biomass classified under 3.0kg and B for above 3.1kg.

Source	df	Sum of Squares, Products			Reg. coeff	df	Deviations from Reg.	
		Σx^2	Σxy	Σy^2			SS	MS
Reg. A	113	1.53945	-1.31600	3.30417	-0.85485	112	2.17920	0.01946
Reg. B	75	0.80387	-0.73273	1.61333	-0.91150	74	0.94545	0.01278
	188	2.34332	-2.04872	4.91750	-0.87428	186	3.12464	0.01680
Between Reg.						1	0.00170	0.00170
Total	189	2.35369	-1.92888	6.30234	-0.81952	188	4.72159	
						1	1.59526	1.59526

Comparison of slope $F=0.00170/0.01680=0.10$ no significanceComparison of height $F=1.59526/0.01672=95.41$ significance(1% level)表-8 与えられた心材材積率に対応するLgiと枝下高率 (H_b/H) Lgi and clear length ratio(H_b/H) in relation to proportion of heartwood volume.

Proportion of heartwood vol.	0.75	0.70	0.65	0.60	0.55
Lgi	0.0539	0.0669	0.0906	0.1176	0.1525
H_b/H	0.705	0.688	0.665	0.636	0.597

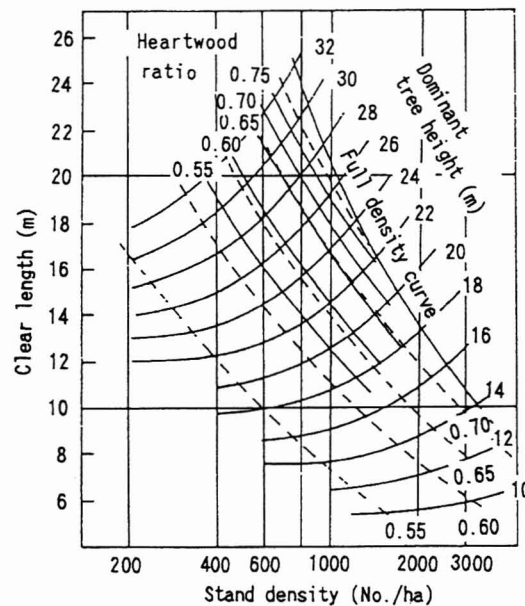


図-28 目標とする心材材積率管理モデル図
Silvicultural handling chart for given heartwood volume ratio.

(4) 心材材積率と樹高・枝下高（率）・林分密度関係モデル図

以上の結果をまとめ、図-28に心材材積率と林分上層木樹高、枝下高（率）および林分密度との関係を一括して示した。縦軸には枝下高、横軸にはha当りの本数密度を示し、図の中には等心材材積率曲線と等上層木樹高曲線を記した。

この図から、同じ上層木平均樹高を持つ林分でも林分密度が高くなると、急激に林分平均枝下高も高くなることが分かる。なお、図には林分密度と上層木平均樹高との関係で最大本数密度となるカラマツ最多密度曲線⁽⁸⁰⁾も入れた。また、等心材材積率曲線の最下端を示す位置は、葉量3.1kgを持つときの林木の樹高としたが、これは式(19)から、式(18)を用いて枝下高率階別に計算した。

(5) 目標とする心材材積率を得るための管理図の適用

ここでは、図-28にしたがって、目標とする心材材積率を得るための密度管理の一例を述べてみよう。例えば、与えられた林分における樹幹の心材材積率を0.7かそれ以上にするためには、常に等心材材積率曲線0.7に沿って樹高成長と共に密度管理をすることになり、この場合はかなりの高密度を保たねばならない。しかし、心材材積率0.55～0.65を得るような管理では、等枝下高率曲線の0.60～0.65の範囲で管理すればよい。また、枝打ちによって枝下高を調節し、心材材積率を高める場合では、等上層木樹高曲線に沿って目的とする心材材積率を得る高さまで打ち上げることになる。

このように、このモデル図を利用すれば林分で生産される材の心材材積の増大による材質向上を狙った新しい施業方法が可能となろう。

3. 摘 要

本節では立木密度と上層木樹高から枝下高の推定を試み、さらに前節で検討した樹幹に沿った幹断面積連年成長量の比例定数である L_{gi} によって示される成長量の樹幹上への配分の仕方と、辺材部量の分布の状況とが関連性のあることを利用して、上層木樹高・ha当り本数密度・林分平均枝下高などと、樹幹内の心材部の占める割合との関係を示した密度管理施業モデル図を作った。

一般に、育林施業を考える場合、その材の生産目的として構造材生産を目的とする場合が多い。今日、構造材としての優良形質木の育成として、枝打ちや密度管理などによる無節材や年輪幅の均等材などの生産を狙った施業が行われているのが現状である。構造材として持つべき優良形質の中でも、さきにあげた形質以外に、通直性や完満性および色沢のよい心材部量が多いこと⁽³¹⁾などがあげられる。

本報告は、カラマツ材の利用が進む中で、その心材色が固有の美しさを持ち、利用者に好感を持って受け止められていることから、心材部量を多くする施業法について検討したものである。

本節をまとめると次のとおりである。

- (1) 新たに調査されたカラマツ林分資料を用いて、ha当りの林分密度と上層木樹高とから、枝下高を推定する計算式（式(16)）を導き出した。
- (2) 樹高成長にともなって変化する葉量を推定するため、実測した葉量に対する樹高と樹冠長の積との関係式を求めた（式(17)）。
- (3) 樹幹内の心材材積率と幹断面積連年成長量の垂直的配分状況を示す L_{gi} との関係式が成立することを明らかにした（式(19)）。
- (4) 葉量の小さな林木では葉量の大きな林木と比べ、枝下高の変化による影響が大きく L_{gi} の値の

変化も大きいことから、おおよそ葉量3.0kgを境に2つのグループに区分した。各グループごとに枝下高率と L_{gi} の値との直線回帰式を求めた(式(20)と(21))。

- (5) ここでは、葉量が大きなグループに対し、与えられた心材材積率に相当する L_{gi} の値を式(19)を用いて計算し、さらに、式(21)を用いて、この L_{gi} に相当する枝下高率を求めた。
- (6) 以上の結果から、目標とする心材材積率を得るための上層樹高・枝下高・ha当りの本数密度関係図、すなわち、「目標とする心材材積率管理モデル図」を作成することができた(図-28)。

II. 年輪幅制御のための施業技術の開発

1. 資料および方法

(1) 資 料

前項と同じ樹幹解析に用いた標本木190本の資料（表－1）と、枝下高の推定に用いたカラマツ林調査資料（表－4）を用いた。

(2) 方 法

次に示す方法により林分密度と枝下高との関係を利用して年輪幅管理の施業技術の開発を試みた。1) 表－4の調査林分資料を用いて、前項で用いた相対幹距の代わりに、枝下高と同じように林分密度の影響を受けやすい胸高直径(D)を用いた胸高直径相対幹距($R_D = S/D$)と枝下高相対幹距($R = R_D = S/H_b$)との関係を利用して枝下高推定を試みた。2) 前項の葉量区分ごとに、比例定数 L_{gi} と胸高位置における年輪幅との関係式を得た。3) 前項で求めた枝下高率 (H_b/H) と L_{gi} との関係式 (式(21)) と、2) での葉量区分別胸高位置での年輪幅と L_{gi} との関係式から、胸高位置での与えられた年輪幅を得るための密度管理モデル図の作成について考察した。

2. 結果および考察

(1) 胸高直径を利用した枝下高の推定

枝下高相対幹距と胸高直径相対幹距との関係を図－29に示す。両者間にはバラツキはみられるものの、胸高直径相対幹距 (R_D) の値が増大（相対密度の減少）すると共に枝下高相対幹距 ($R = S/H_b$) も増大する比例関係が成立した。そこで、前項と同様、OGAWA *et al* ⁽⁸⁵⁾ によって提案された次に示す拡張相対成長式をあてはめた。なお、この場合も R が最大1になると仮定した。

$$1/R = 1/(fR_D^e) + 1 \quad (22)$$

ただし、 e, f は定数、 $e, f > 0$ である。

式(22)はまた、対数変換して次式で示された。

$$\log(1/R - 1) = \log(1/f) - e \log R_D \quad (23)$$

対数で示した $1/R - 1$ と R_D の関係を図－30に示す。バラツキはあるものの直線関係がみられ式(22)を満足していると考えた。

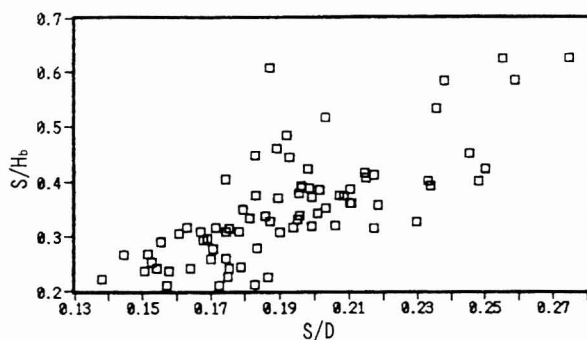


図-29 S/D と S/H_b との関係
Relationship between S/D and S/H_b .
 S : mean spacing, H_b : clear length
 D : D.b.h. (with bark).

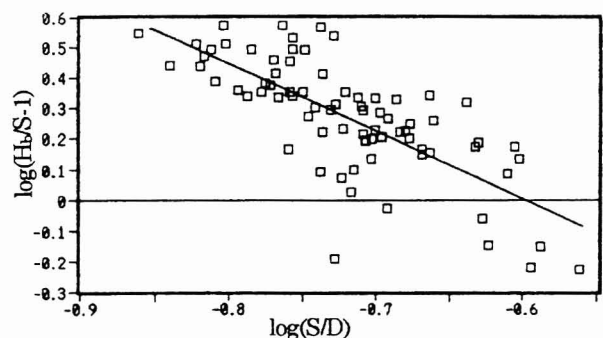


図-30 $\log(S/D)$ と $\log(H_b/S - 1)$ との関係
Relationship between $\log(S/D)$ and $\log(H_b/S - 1)$.
Note: allometric equation,
 $1/(S/H_b) = 1/(f(S/D)^e) + 1$, e, f : constants.

式(23)にしたがって、実際の資料に直線回帰を当てはめたところ、決定係数 $R^2=0.5421$ が得られ、回帰係数および定数は各々 $e=2.1910$ 、 $f=20.1706$ であった。決定係数で直線の当てはめ状況を前項の S_R の場合と比較すると、 S_R の場合よりやや低い当てはめ状況であった。しかし、この直線回帰に対し回帰の有意性の検定を行ったところ、高度に有意であって(表-9)、回帰式が成立することが分かった。

表-9 $\log R_b$ と $\log(H_b/S-1)$ との直線回帰の分散分析表
Analysis of variance for regression between $\log R_b$ and $\log(H_b/S-1)$.

Source	df	SS	MS	F
Explained by reg.	1	1.4672	1.4672	89.94**
Unexplained by reg.	76	1.2397	0.0163	
Total	77	2.7069		

** 1% significance level

Notes: $R_b=S/D$, S :mean spacing, D :Dbh,
 H_b :clear length.

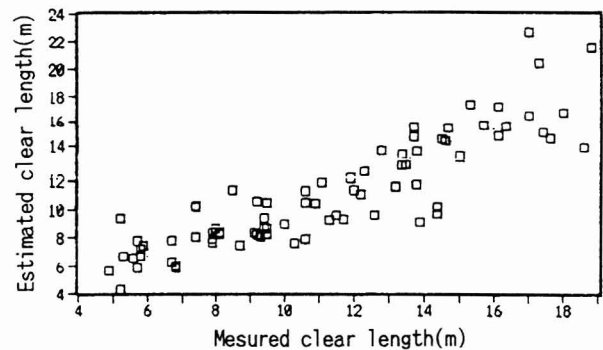


図-31 実測枝下高と推定枝下高との関係
Relationship between measured clear length and estimated clear length.

式(23)からの回帰係数(e)と定数(f)を用いて、式(24)により林分平均枝下高(H_b)を推定した。

$$H_b = (SD^e + fS^{e+1}) / fS^e \quad (24)$$

この式(24)から林分平均枝下高は、 ha 当りの本数密度と林分平均胸高直径が与えられれば容易に求めることができる。前項と同様に、調査林分の平均胸高直径で計算した胸高直径相対幹距を用いて推定した枝下高と実際の測定枝下高との関係を図-31に示す。バラツキはあるものの、決定係数 $R^2=0.7733$ が得られた。全調査林分(78林分)について、実測枝下高(Y_{ob})と推定枝下高(Y_{es})とから、次に示す方法により誤差率(%)を計算した。

$$(Y_{ob} - Y_{es}) \times 100 / Y_{ob}$$

ここで、実測枝下高を前項と同じ方法により3区分し、各区分毎の平均誤差率を求めた。実測枝下高6.9m以下の範囲には符号を考慮した平均誤差率で-14.6%、絶対値で21.9%となった。同じように実測枝下高7.0m~14.7mの範囲では、符号を考慮した平均誤差率で+3.6%、絶対値での平均誤差率は12.2%であった。さらに、実測枝下高14.8m以上の範囲では、符号を考慮した平均誤差率は、-1.4%で、絶対値での平均誤差率は11.4%であった。結果は全体として前項での ha 当たりの本数密度と上層木平均樹高から推定した傾向と、ほぼ同じ結果となった。実測枝下高6.9m以下の範囲ではやや過大推定であり、絶対値での平均誤差率も21.9%となって、前項での同範囲の平均誤差率よりやや大きかった。しかし、実測枝下高14.7m以上の範囲については、符号を考慮した平均誤差率からみれば、前項でみられたような、どちらか一方に片寄った推定とはならなかった。実測枝下高7.0m~14.6mの範囲では、前項とほぼ同じように誤差率のバラツキはほぼプラス、マイナス相殺していた。

絶対値でみた各実測枝下高範囲での平均誤差量は、6.9m以下の範囲で1.2m、7.0m~14.6mの範囲で1.3m、14.7m以上では1.9mであった。全資料に対する符号を考慮した平均誤差率は-0.6%で、絶対値での平均誤差率は13.8%および平均誤差量は1.4mであった。これらの値は前項での同範囲の値と比べほぼ同じ結果となった。以上の結果から、林分密度と林分平均胸高直径から

の枝下高推定でも、前項での上層木平均樹高からの推定とあまり変わらない結果が得られたものと考察された。

(2) 目標とする年輪幅を得るための L_{gi} 、枝下高率

1) 比例定数 L_{gi} と胸高位置における年輪幅との関係

I 節の表-1 に示す樹幹解析木について、樹幹下部にある胸高位置での肥大成長量である年輪幅を、樹幹外側より 1 年前直径から 2 年前直径を差引して求めた。このことは、樹幹解析木の伐採時期が必ずしも一致しなかったため、最も外側の年輪幅は除外した。前項での葉量区別に胸高位置での年輪幅と L_{gi} との関係を図-32 に示す。葉量の大きなグループと小さなグループ各々に直線回帰式を当てはめた。

表-10 葉量で区分した二つの直線回帰分散分析表
Analysis of variance for regression C and D
at classified foliage biomass(dry weight).

Regression C for foliage biomass under 3.0kg.

Source	df	SS	MS	F
Explained by reg.	1	1.9933	1.9933	159.69**
Unexplained by reg.	116	1.4479	0.0125	
Total	117	3.4412		

** 1% significance level

Regression D for above 3.1kg

Source	df	SS	MS	F
Explained by reg.	1	0.3418	0.3418	23.07**
Unexplained by reg.	70	1.0371	0.0148	
Total	71	1.3789		

** 1% significance level

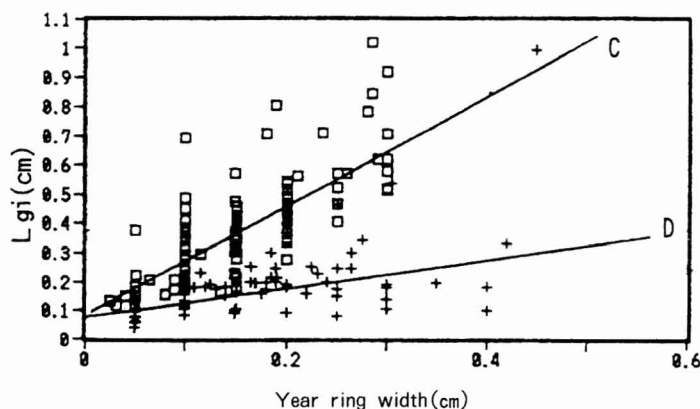


図-32 葉量二区分群別胸高位置における年輪幅と L_{gi} との関係

Relationship between year ring width at breast height and L_{gi} at two foliage biomass groups.
Group C for foliage biomass under 3.0kg($\square$) and group D for above 3.1kg(+).

直線回帰Cは葉量3.0kg以下のグループに、回帰Dは葉量3.1kg以上のグループに当てはめた。回帰式は次の通りであった。

$$\text{回帰 C } y = 1.947x + 0.085 \quad R^2 = 0.57915 \quad N = 118 \quad (25)$$

$$\text{回帰 D } y = 0.651x + 0.076 \quad R^2 = 0.2479 \quad N = 72 \quad (26)$$

ただし、 y : L_{gi} 、 x : 胸高位置の年輪幅である。

直線回帰Cに比べ直線回帰Dは決定係数値が低かった。

各々の直線回帰式の回帰の有意性検定を表-10に示す。いずれの直線回帰式も有意水準1%で有意であった。また、回帰Dについて前項同じように回帰係数の帰無仮説検定⁽¹¹³⁾を行ったところ、

$$t = 4.80 > t_0(0.01) = 2.65 \quad n = N - 2 = 70$$

が得られ、有意水準1%で有意であった。

2つの直線回帰の差の検定では、両者間には回帰係数および定数とも有意水準1%で差が認められた(表-11)。

2) 胸高位置の年輪幅別 L_{gi} 、枝下高率

葉量3.1kg以上の標本木を対象とした直線回帰Dを用いて、あらかじめ設定した胸高位置の

年輪幅ごとに Lgi 値を計算した。また、前項での Lgi と枝下高率 (H_b/H) との関係式 (前項の式 (21)) から、Lgi に該当する枝下高率 (H_b/H) を計算した (表-12)。

表-11 葉量で区分した二つの直線回帰の回帰係数及び定数の差の検定
Comparison of slope and height of regression line C and D.

Source	df	Sum of Squares, Products			Reg. coeff	Deviations from Reg.		
		Σx^2	Σxy	Σy^2		df	SS	MS
Reg. C	117	0.52559	1.02353	3.44158	1.94739	116	1.448370	0.012486
Reg. D	71	0.80669	0.52511	1.37888	0.65095	70	1.037060	0.014815
						186	2.485430	0.013363
Between Reg.	188	1.33228	1.54864	4.82045	1.16240	187	3.020320	0.016151
Total	189	1.39405	1.24608	6.30234	0.89386	188	5.188530	0.027600
						1	2.168210	2.168210

Comparison of slope $F=0.534893/0.013363=40.03$ significance(1% level)
Comparison of height $F=2.168210/0.016151=134.24$ significance(1% level)

表-12 胸高位置における与えられた年輪幅に対応する Lgi、枝下高率 (H_b/H)
Lgi and clear length ratio (H_b/H) in relation to given year ring width at breast height in foliage biomass group-D.

Year ring width(cm)	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
Lgi	0.1085	0.1411	0.1736	0.2062	0.2387	0.4898
H_b/H	0.674	0.637	0.600	0.564	0.527	0.490

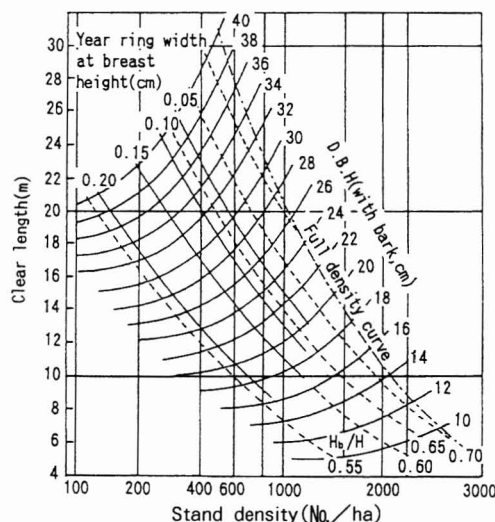


図-33 目標とする年輪幅管理モデル図
Silvicultural handling chart for
given year ring width at breast
height.

(3) 胸高位置における年輪幅と胸高直径・枝下高 (率)・林分密度との関係図

以上の結果をまとめ、前項と同様な手法により、胸高位置での年輪幅と林分平均胸高直径、枝下高 (率) および林分密度との関係を作図した (図-33)。

実線で示した「等年輪幅曲線」での最下部位置は前項の図-28と同様、前項の式(17)から葉量 3.1kg に相当する枝下高率ごとの樹高を求め、この樹高に相当する胸高直径を、次に示す主林木平均樹高-林分平均胸高直径との関係式から求めた。

林分平均胸高直径と主林木平均樹高との関係式は、次式で与えられた。

$$\text{Log } H = 0.7758 \text{ Log } D + 0.2663 \quad R^2 = 0.8426 \quad N = 78$$

(4) 目標年輪幅を得るための管理モデル図の適用

図-33にしたがって、胸高位置での与えられた年輪幅を得るための密度管理の一例を述べる。同じ林分密度のまま間伐等による本数調節を行わずに放置すると、林分の成長（胸高直径の増大）と共に枝下高および枝下高率の上昇と、反対に年輪幅が減少する状況がこの図から読み取れる。さらに、林分の成長にしたがって、同じ年輪幅を保つためには、「等年輪幅曲線」に沿って林分平均胸高直径と林分密度、林分平均枝下高との関係をうまく保つよう間伐を繰り返し行う必要がある。同じ林分平均胸高直径を持つ林分に対し枝打ちを実施すると、枝下高率の値は「等胸高直径線」に沿って右上方向に移動し高率となるため、見かけ上林分密度が増したことと同じになる。

図-33には林分密度と上層木平均樹高との関係で最大本数密度となるカラマツ最多密度曲線⁽⁸⁰⁾も記入した。

このように、この目標とする年輪幅管理モデル図を利用すれば、林分で生産される材の必要とする胸高位置での年輪幅を得ることが可能となり、均一な年輪幅を持つ材の生産のような材質向上のための新しい施業方法が可能となろう。

3. 摘 要

以上の結果を要約すれば、次のとおりである。

- (1) 胸高直径位置での年輪幅制御を目的として、胸高直径相対幹距と枝下高相対幹距とから枝下高の推定を試みた。
- (2) 前項と同じ拡張相対成長式を用いて胸高直径相対幹距と枝下高相対幹距との関係に回帰式を当てはめた。回帰の有意性検定では回帰式が成立することがわかった。
- (3) 前記(2)での拡張相対成長式から、ha当たりの本数密度と林分平均胸高直径が与えられれば、林分平均枝下高を推定することができる。なお、推定誤差率については、全資料平均誤差率（絶対値）で13.8%、平均誤差量で1.4mとなった。
- (4) 前項と同じ葉量区別に胸高位置での年輪幅とLgiの値との直線回帰式が得られた（式(25)および(26)）。いずれの直線回帰式も有意性の検定結果では有意であった。両直線式は回帰係数間および回帰定数間に差が認められた。
- (5) 葉量の大きなグループの回帰式（式(26)）から、与えられた年輪幅に対するLgiの値を計算した。また、Lgiに相当する枝下高率を計算（前項の式（21））した。
- (6) 以上の結果から、与えられた年輪幅・胸高直径（皮付）・ha当り林分本数密度・枝下高で示す「目標とする年輪幅の管理モデル図」を得た。

第Ⅱ章 カラマツ樹幹における肥大成長とらせん木理との関係

カラマツ材の性質をわが国の主要針葉樹と比べてみると、カラマツ材はアカマツに次いで高い比重や曲げ強度、あるいはせん断強度などをもち、圧縮強度はやや低いものの、硬度においても高い特性を持っている⁽⁷¹⁾。このように優れた材質を持つカラマツ材も、木理の回旋性が他の樹種に比べ強いために、これが原因となって製材品のねじれ狂いが大きいことから、材の利用拡大が遅れてきた。

このような製材品のねじれ狂いについて、材における回旋性との関係は次のように説明できる。

木理の回旋性が強い製材品（柱、板など）は繊維走行が材軸に対して強く傾斜する。また、乾燥による収縮が最も大きいのは繊維方向に直行した方向であり、これは材軸に傾斜した方向となるので、材軸に対する繊維走行の傾斜角が大きいほど、製材品はねじれ狂いが生じやすい^(38,39,40,41,65,66,74,75,90,91,92,93,98)。しかし、最近では断面の大きな材を除き、挽割材等に対しては人工乾燥過程での、ねじれ狂い抑制技術が開発され^(18,69,73)、利用拡大が急速に進んでいる。しかしながら、根本的には、ねじれ狂いの少ない材を持つカラマツを育成することが重要である。

木理の回旋性の原因は主として2つに分けられる。その一つは樹木の肥大成長にともなう紡錘形原始細胞の偽横分裂の左右頻度の違いにより生ずる、とする考え方と、他は新生した紡錘形原始細胞の先端の伸長方向の偏りが成因とされる考え方とがある⁽¹¹⁷⁾。この分裂面の偏りを決定するのが環境要因なのか、遺伝的要因なのかは簡単には決めがたい。三上ら⁽⁶⁴⁾や、三上^(67,68)は長い間、環境要因と遺伝的要因について議論が続けられてきたが、多くの研究者は環境要因（風や雪の圧力、重力や陽光に対する屈性、地形や土壌などの立地条件）にその要因を求めたが、これらの多くは事例からの推論であって、由来の明かな材料を用いて計画した試験の結果では、産地や母樹の特性によるところが明かで、環境要因の影響を受けないことが実験的に確かめられ、遺伝による影響が少なくはない、と述べ遺伝的な視点から、らせん木理の小さな林木の育種の必要性を強調した。

小沢⁽⁹⁸⁾は回旋成長の遺伝的性質は認めながら、S回旋からZ回旋へと変化する、いわゆる「ねじれ返し」年齢は環境的要因に左右されやすいと考えられるとし、年輪幅の狭い生育の緩慢な林分ほど「ねじれ返し」年齢は早く、また樹幹内総平均回旋角も小さいようで、成長のよい林分と比べ成長の緩慢な林分からの製材品の方が、ねじれ狂いの少ない材が得られることが予想されると述べている。重松^(105,110,111,112)は成長初期の15年輪以内での肥大成長とらせん木理との関係について、肥大成長の大きなものほど、らせん木理角も大きい傾向があることを指摘している。

本研究ではこれらの点を踏まえ、とくに、林分密度調節や枝打ち、立地条件の良否などによってもたらされる樹幹の肥大成長の変化と、らせん木理との関係について明らかにし、施業的な視点から、らせん木理回旋角の制御の可能性について検討した。

I. 資料および方法

1. 調査林分・標本木

長野県内のカラマツ主伐6林分から標本木49本を抽出した。各林分からの標本木の概要は表-13に示したが、樹齢は45年～72年生（表-23参照）、標本木平均胸高直径は32cm～48cmの範囲にあっ

た。

これら各林分からの標本木は、林分の胸高直径分布の中で、平均直径に近い値を持つもの、平均直径より大なものおよび小なものを、ほぼ均等数選び出し伐倒した。各標本木は約2～6 mに玉切り、らせん木理解析用円板を各丸太の末口より約10cm厚さで採取した。

表-13 カラマツ調査林分別標本木の概要
Trees sampled in different localities.

Stands	Number of trees sampled	Tree ages (years)	Mean for		Disks	
			D.b.hs (cm)	Heights (m)	Positions (m)	Ring numbers
Kurohime	8	72	48.1	30.6	2.1-6.2	63-70
Inekoki	9	48	39.7	28.7	3.4	43-44
Hase	9	52	33.9	27.9	3.4	46-49
Kitaaki	7	61	31.5	27.4	3.2	49-57
Usuda	9	67	38.0	23.9	3.4	59-63
Motizuki	7	45	37.7	24.3	3.3-4.5	38-42
Total	49					

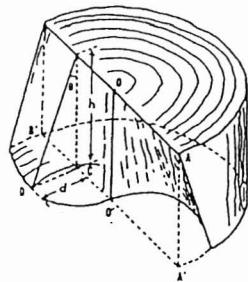


図-34 割裂法による回旋木理の測定模式図
Grain-angle determination by splitting method.(MIKAMI 1988)

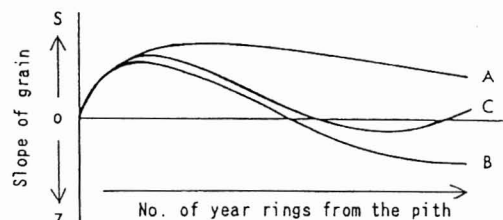


図-35 回旋角の樹幹半径方向における変動タイプ
An illustration of radial variation types of slope of grain(OZAWA 1984).

したがって、採取円板高は地上高2～4 m位置でのものがほとんどであったが、中には円板採取の都合上6 m高さの円板もあった。三上^(67, 68)は最大回旋角度と平均回旋角度についての樹幹における高さ別の相関関係を検討し、最大回旋角度の個体評価は2 m位置がよく、平均回旋角度では4 m位置が適当だったと報告した。したがって、ここでの2 m～6 m高さでの円板を用いて、らせん木理解析に共することはほぼ問題ないものと考えられた。

2. 回旋角の測定方法

回旋角の測定は、各標本木の1番玉(2.1～6.2 m高さ)の末口での円板を用いて割裂法によって行った(図-34)。

すなわち、採取した円板を厚さ10 cmになるよう加工し、両木口に樹心を通り互いに平行な一対の基準線を引き、末口の基準線に沿って両刃のナタで割裂した。次に、元口面に生じた割裂線と基準線の距離を各5年輪ごとに0.1 mm単位で測定した。なお、調査林分で黒姫、北相木、臼田および望月については1年輪ごとに同単位で測定した。

この距離と円板の厚さとを用いて次式により各年輪における繊維傾斜度(回旋角)を測定した(図-34参照)。

$$\theta = \tan^{-1}(CD/h) \quad (27)$$

II. 結果と考察

1. 回旋角の変動タイプとその林分別出現状況

回旋角は樹齢と共に変化し、その変化の状況はさまざまであるが、成長初期にその最大値があり、次第に回旋角は小さくなる傾向を示すのが一般的である。大倉^(88, 89, 92)は多くの国産針葉樹および広葉樹について木理の回旋現象を調査し、樹齢と共に変化する回旋角変動を6タイプに類別した。また、中川⁽⁸³⁾は、髄からの年輪数と回旋角との変動関係を大きく5タイプに分類した。小沢⁽⁹⁸⁾もカラマツに対し図-35に示すように大きく3タイプに分けた。ここでは最も単純で分類容易な小沢のタイプ分けを採用した。Aタイプはいわゆる「ねじれ返し」のないもの、B、Cタイ

表-14 林分ごとの回旋角変動タイプ別出現本数
Frequency of radial variation types of
slope of grain in different stands.

Stands	Number of trees sampled	Frequency of radial variation types		
		A	B	C
Kurohime	8	3	3	2
Inekoki	9	7	2	0
Hase	9	8	0	1
Kitaaiki	7	2	4	1
Usuda	9	5	2	2
Motizuki	7	4	2	1
Total	49	29	13	7

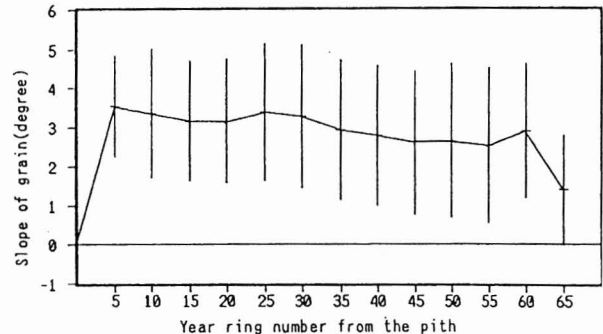


図-36 変動タイプAの樹心からの年輪数と
平均回旋角度及び標準偏差
Relationship between mean slope of
grain, standard deviation and year
ring number from the pith in A-type.

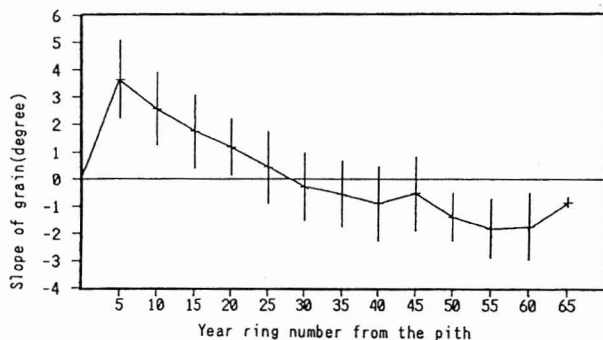


図-37 変動タイプBの樹心からの年輪数と
平均回旋角度及び標準偏差
Relationship between mean slope of
grain, standard deviation and year
ring number from the pith in B-type.

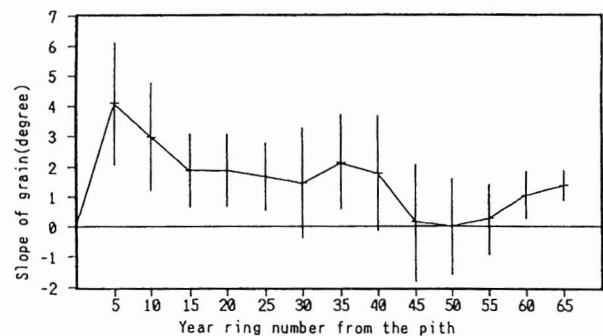


図-38 変動タイプCの樹心からの年輪数と
平均回旋角度及び標準偏差
Relationship between mean slope of
grain, standard deviation and year
ring number from the pith in C-type.

プは「ねじれ返し」のあるものであって、BタイプはS旋回からZ旋回へと変動するタイプ、CタイプはS旋回からZ旋回へ、さらにS旋回へと変動するタイプである。これらのタイプ分けに基づき全標本木について髄からの年輪数と回旋角との関係を作図しタイプ分けを行い、各林分についてこれらタイプの出現状況を把握し(図-36、37、38)、その概要を表-14に示す。全標本木49本中Aタイプの出現率が最も多く約59%を占め、次いでBタイプの約27%、Cタイプは少なく、約14%であった。

小沢⁽⁹⁸⁾は、福島県中道り地方のカラマツ1林分でAタイプの出現率が24%、長野県南信地方のカラマツ1林分で60%と報告しているが、本調査でも林分内でAタイプの出現率が大きく、全標本木の過半数を占める林分が調査6林分中4林分であった。次にBタイプの占める割合の大きな林分

は1林分、Cタイプは出現率の大きな林分はなく、3タイプともほぼ同率の出現率の林分が1林分あった。樹心からの年輪数が増加するにしたがってS旋回からZ旋回へとねじれ返しの生ずるB、Cタイプは、その出現率が比較的大きい林分として、黒姫、北相木の2林分であり、中でも、黒姫および北相木の林分はAタイプの占める割合よりもB、Cタイプの占める割合の方が大きかった。

2. 回旋角最大値とその出現状況

(1) 回旋角最大値の林分間比較

異なる立地環境に生育する林木の樹幹における回旋角が環境によって異なるかを検討した。すなわち、林分間で立地環境が異なると仮定して、各林分ごとに、回旋角最大値の平均値およびその変動係数を求めた。

表-15 調査林分別回旋角最大値とその時の年輪数、平均回旋角及び年輪幅
Number of year rings from the pith, year ring width at maximum slope
of grain appeared and average slope of grain.

Stands	Maximum slope of grain (degree)			Average slope of grain (degree)			Number of year rings from the pith			Year ring width (cm)		
	Mean	S.D	C.V	Mean	S.D	C.V	Mean	S.D	C.V	Mean	S.D	C.V
Kurohime	5.00	0.900	0.18	1.99	1.40	0.70	12.63	13.26	1.05	0.57	0.26	0.46
Inekoki	4.25	1.530	0.36	2.40	1.81	0.75	10.00	9.60	0.96	0.61	0.25	0.41
Hase	3.51	1.088	0.31	2.21	0.91	0.45	14.67	17.60	1.20	0.53	0.24	0.45
Kitaaiki	5.14	1.388	0.27	1.48	1.51	1.02	4.86	2.38	0.49	0.69	0.08	0.12
Usuda	5.12	1.126	0.22	0.48	2.07	0.83	13.78	12.68	0.92	0.42	0.13	0.31
Motizuki	5.02	1.350	0.27	2.57	1.45	0.56	14.00	13.72	0.98	0.44	0.21	0.48

表-16 カラマツ林における平均回旋角及び最大回旋角の長野県内林分間比較
Comparison of average and maximum slope of grain between stands
in Nagano(t-value).

Stands	Average maximum slope of grain						Average slope of grain					
	Kuro.	Ine.	Hase	Kita.	Usuda	Moti.	Kuro.	Ine.	Hase	Kita.	Usuda	Moti.
	5.00	4.25	3.51	5.14	5.12	5.02	1.99	2.40	2.21	1.48	0.48	2.57
Kurohime	-	1.21	3.05	0.23	0.24	0.03	-	0.52	0.39	0.68	0.56	0.79
Inekoki		-	1.18	1.20	1.37	1.05		-	0.28	1.08	0.09	0.20
Hase			-	2.64	3.08	2.48			-	1.20	0.36	0.61
Kitaaiki				-	0.03	0.16				-	1.07	1.38
Usuda					-	0.16					-	0.10
Motizuki						-						-

いずれの林分でも回旋角最大値の林分平均値はほぼ近似しており(表-15)、5度前後の林分が多い。比較的小きな値を示した林分は稲核と長谷の2林分であった。また、変動係数は、黒姫の18%を最小として他の林分はほぼ20~35%の範囲にあった。小沢⁽⁹⁸⁾は、福島県中通り地方のカラマツ林および長野県南信地方のカラマツ林においても回旋角最大値の林分平均値はほぼ5度前後と報告している。林分間による回旋角最大値の平均値の差の検定⁽¹¹³⁾結果では、いずれの林分間にも有意な差はみられなかった(表-16)。すなわち、環境の違いが回旋角最大値の出現に影響を及ぼしてはいないようだ。

(2) 回旋角最大値をとるときの平均年輪数の林分間比較

回旋角最大値の出現時期は、一般に未成熟材部と言われている樹心に近い位置にあることは、多くの研究者により認められている。

回旋角最大値をとるときの樹心からの年輪数の林分平均値を表-15に示す。北相木を除いたほかの林分では、バラツキは大きいもののほぼ平均10~15年輪であった。北相木の林分はこれらと対比的に非常に小さな年輪数(4.86)であった。これは、後で述べるが回旋角の変動タイプによって回旋角最大値の現れる時期が異なり、回旋角最大値が比較的早期に現れるBタイプの個体が北相木林分では多かったことによると考えた。

表-17 カラマツ林における回旋角最大値をとるときの樹心からの平均年輪数及び平均年輪幅の長野県内林分間比較
Comparison of average year ring numbers and average year ring width from the pith between stand locations in Nagano(t-value).

Stands	Average year ring number						Average year ring width					
	Kuro.	Ine.	Hase	Kita.	Usuda	Moti.	Kuro.	Ine.	Hase	Kita.	Usuda	Moti.
	12.6	10.0	14.7	4.9	13.8	14.0	0.57	0.61	0.53	0.69	0.42	0.44
Kurohime	-	0.47	0.27	1.52	0.18	0.20	-	0.32	0.33	1.17	1.53	1.05
Inekoki		-	0.70	1.37	0.71	0.69		-	0.69	0.81	2.02	1.44
Hase			-	1.45	0.12	0.08			-	1.68	1.21	0.78
Kitaaki				-	1.82	1.74				-	4.81**	2.94
Usuda					-	0.16					-	0.23
Motizuki						-						-

** 1% significance level

表-18 最大回旋角、平均回旋角、年輪数及び年輪幅平均値の変動タイプ別差の検定
Comparison of maximum slope of grain, average slope of grain, number of year rings and year ring width between radial variation types of slope of grain.

	Mean for radial variation types			Comparison between radial variation types		
	A	B	C	A-B	A-C	B-C
Max.slope of grain (deg.)	4.68	4.16	5.21	-	-	-
Average slope of grain(deg.)	3.02	0.41	2.15	**	-	**
Number of year rings	17.97	4.46	16.86	**	-	-
Year ring width(cm)	0.47	0.65	0.47	*	-	-

- No significance * 5% significance level ** 1% significance level

回旋角の最大値の現れる時期は、一般の造林木では比較的早い時期に現れる傾向があると言われている。三上⁽⁶⁷⁾は、樹心からの最大回旋角度と年輪数との相関関係をみると、4年輪までに相関係数は0.8前後に達すると報告し、小沢⁽⁹⁸⁾は平均6~7年輪にあることを報告した。中川⁽⁸³⁾は、5年輪までに約60%が回旋角最大値を持つことを認め、重松⁽¹¹¹⁾は、植栽密度との関係から3000本/ha植えの場合は中川の結果とほぼ同じであったが、植栽密度が高くなるほど5年輪以内に90%以上が含まれたとし、植栽密度が高いほど早い時期に発生すると報告した。

ここでの資料の回旋角最大値を持つ年輪数について、林分間での差の検定を行った(表-17)。結果はいずれの林分間においても有意な差は認められなかった。この理由として、各林分内での最大値の現れる時期にバラツキが大きいことがあげられる。

(3) 回旋角最大値をとるときの樹心からの平均年輪幅の林分間比較

前項と同様に回旋角最大値をとる年輪までの樹心からの平均年輪幅を求めた(表-15)。一般的には、樹心からの平均年輪幅は樹心近くが大きく、樹心から離れるにしたがって狭くなる傾向となる。また、肥大成長の大きさは肥大成長に影響を及ぼす立地条件や間伐などの施業条件等に

よって異なるため、肥大成長量が異なると回旋角最大値も異なることが考えられる。回旋角最大値をとるときの平均年輪幅の林分間比較の検定結果を表-17に示す。結果はほとんどの林分間で差が認められなかったが、北相木と臼田間に有意な差が認められた。このことは前項でみたように、北相木の林分は回旋角最大値が早期に現れたため、年輪幅が大きかったこと、さらに臼田は成長が良くないことから最も年輪幅が小さかったことによるものと考えられる。したがって、このような特殊な例を除き、一般的な林分間では、回旋角最大値をとるときの平均年輪幅には、林分間による違いが認められないようであった。

(4) 回旋角変動タイプ間の回旋角最大値の比較

各林分内にみられる回旋角変動タイプを各タイプごとにまとめて、タイプ間で回旋角最大値の違いがみられるかを比較した。

各林分からの回旋角変動タイプを各タイプごとにまとめて、回旋角最大値の平均値、最大値をとるときの平均年輪数および平均年輪幅を求め、各タイプ間の平均値の差の検定を行った（表-18）。回旋角最大値はタイプ間で4.1～5.2度の範囲にあり、各タイプ間に有意な差は認められなかった。すなわち、ここでの回旋角変動タイプごとの回旋角最大値には、タイプ間で違いが認められなかった。この結果はまた、前項の林分間比較の結果と同じとなった。小沢⁽⁹⁸⁾も、各タイプ間で回旋角最大値に差は認められなかったことを報告している。

(5) 変動タイプ間の回旋角最大の出現時期（年輪数）の比較

変動タイプ別にみた回旋角最大値の現れ方は、A、Cタイプがほぼ同じ値で平均17～18年輪で現れるのに対し、Bタイプは極端に小さく平均値で約4年輪となっていた。つまり、A、Cタイプに比べBタイプのものは、早くに回旋角最大値が現れることにある。出現時期（年輪数）の差について検定したところ、BタイプはAタイプとに有意な差が認められたが、Cタイプとには差が認められなかった。これは、Cタイプの標本数が少なかったため、最大値出現時期の変動が大きかったことによるものと考えられた。

(6) 変動タイプ間の回旋角最大時の年輪幅の比較

変動タイプ別にみた回旋角最大時における樹心からの平均年輪幅は、A、Cタイプでまったく同じ0.47cmであったのに対し、変動タイプBでは0.65cmと大きな値をとった。年輪幅間の差の検定を行ったところ、A、B間に有意水準5%で差が認められた。Bタイプは回旋角最大が早期に現れることから、明らかに平均年輪幅の値は大きいと差がでたものと考えられる。Cタイプとの差が認められなかったのは、前項と同じ理由によるものと考えられた。

3. 回旋角最大値と平均回旋角との関係

回旋角変動タイプ別に、回旋角最大値と全年輪を通じての平均回旋角および未成熟材部（20年輪まで）の平均回旋角を求めた。

対象円板の全年輪平均回旋角は、樹心から5年輪ごとに測定された回旋角を平均して求めた。未成熟材部平均回旋角は樹心から20年輪までの部分での5年輪ごとに測定された回旋角を平均して求めた。各タイプごとに回旋角最大値と2つの平均回旋角との相関関係を比較した（表-19）。

表-19 回旋角タイプ別の最大回旋角と20年輪までの平均回旋角および
円板内平均回旋角との相関係数
Correlation coefficients between maximum slope of grain and mean
slope of grain to 20-year rings, mean slope of grain for all rings.

Radial variation types	Number of samples	Mean slope of grain from the pith to 20-year rings	Mean slope of grain for all rings at the disk
A	29	0.8438**	0.8842**
B	13	0.8463**	0.5650*
C	7	0.4014	0.0364
B,C types	20	0.6655**	0.5471*
All types	49	0.7708**	0.6406**

* 5% significance level ** 1% significance level

樹心から20年輪までの平均回旋角と回旋角最大値との相関関係は、A、Bタイプで高い相関関係を示し、Cタイプでは相関係数値は低い結果となった。回旋角最大値と平均回旋角との関係は、大きな回旋角最大値を持つ林木は全年輪を通じて平均回旋角も大きい値をとる傾向にあることが報告されている^(66, 83, 98)。全円板平均回旋角と回旋角最大値との関係では、Aタイプが最も高い相関関係を示し、次いでBタイプであったが、Cタイプはほとんど相関関係が認められなかった。このことは、Aタイプ標本木は未成熟部分および円板全体を通じて回旋角最大値が大きいと円板全体の平均回旋角も大きい傾向にあることを示している。したがって、Aタイプの回旋角変動を持つ標本木では、回旋角最大値が小さいものほど全体としての回旋角も小さいものとなる。一方、Bタイプのものは、未成熟材部で高い相関関係を示したが、全体での平均回旋角とでは相関関係も低くなっていた。このことは、このタイプの特徴である最大値が未成熟材部分の初期に現れること、未成熟材部以外では、ねじれ返しが生ずるタイプであることなどから、20年輪以上の部分とでは相関関係が低くなるものと考えられた。Cタイプの標本木については未成熟材部および全体での平均回旋角と回旋角最大値とはほとんど相関関係が認められなかった。

4. 変動タイプ間における平均回旋角の比較

変動タイプ別に平均回旋角を求め、各タイプ間で平均回旋角に違いがあるかをみた(表-18)。まず各林分での平均回旋角の値をみると、Aタイプが3.02度、Bタイプが0.41度、Cタイプが2.15度であり、S旋回からZ旋回へと変化するBタイプで平均回旋角は小さい値を取った。ねじれ返しのあるCタイプが大きな値を取ったことは、CタイプがS旋回からZ旋回へ、さらにS旋回へとねじれ返すが、成熟材部でのZ旋回からS旋回へとねじれ返しでの回旋角の値がほぼ相殺して、回旋角の大きな未成熟材部での回旋角の平均値となることによるためであろうか。各変動タイプ間の平均値の差の検定では、このBタイプとAおよびCタイプ間で有意水準1%で有意な差が認められた。小沢⁽⁹⁸⁾は長野県南信地方のカラマツ林で、同じ変動タイプ区分でのタイプ間比較を行い、AタイプとBタイプ間に平均回旋角に有意水準1%で差が認められ、変動タイプAの値は3.33度、Bタイプでは0.85度となってAタイプの方が平均回旋角の値も大きい結果となったことを報告した。ここでの結果は、小沢⁽⁹⁸⁾の報告とほぼ同じ結果と考えられた。以上の結果から、Aタイプの林木が全年輪を通じての平均回旋角では大きな値を示し、Bタイプ変動を示す林木が最も平均回旋角が小さ

な値を示した。Cタイプでの林木はこれらAおよびCタイプ間の中間的な値を取った。以上、回旋角から成熟材部での材質を考える場合、Bタイプの林木は優れていると考えられた。

5. 肥大成長（年輪幅）と回旋角

(1) 回旋角最大時の年輪幅と年輪数の関係

回旋角が最大になるときの年輪数は、回旋角変動タイプによって異なることを前項で述べた。そこで、各変動タイプ間で肥大成長の違いによって回旋角最大値の出現時期（年輪数）に違いがみられるかを考察した。

表-20 回旋角変動タイプ別の最大回旋角時の平均年輪幅と年輪数との相関係数
Correlation coefficients between year ring width and number of year rings at maximum slope of grain in radial variation types.

Radial variation types	Number of year rings from the pith				
	5	10	20	30	40
A	-0.5278**	-0.4121*	-0.2570	-0.1471	0.0779
B	0.1106	-0.0425	-0.0789	0.0111	0.0344
C	0.3089	0.2829	0.5371	0.6532	0.6546
All types	-0.3762*	-0.3094	-0.1522	-0.0511	0.0786

* 5% significance level ** 1% significance level

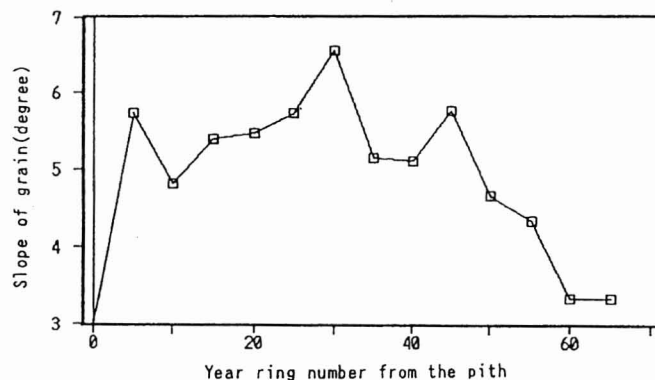


図-39 回旋角最大値が遅れて現れる例
An example of sampled tree as maximum slope of grain appeared later.
(Kurohime No.3)

肥大成長の大小を示すものとして、樹心から5、10、20、30年輪…ごとに、各年輪までの平均年輪幅を求め、これと、回旋角最大値の出現時期（年輪数）との相関関係を変動タイプ別に求た（表-20）。この結果からAタイプの5年輪と10年輪までの平均年輪幅との間に負の相関関係がみられたが、他のB、Cタイプにはほとんど相関関係は認められなかった。このことは、Aタイプのものは肥大成長初期における成長の大小によって回旋角が最大になる年数（年輪数）が異なり、肥大成長の大きいものは最大になる時期が早く現れ、肥大成長が劣るものは（平均年輪幅が小さいもの）、最大に達する年数が遅く現れることを示している。

重松⁽¹¹⁰⁾は、変動タイプとは関係なく、成長の劣るものほど回旋角が最大に達する年輪数が大きくなる（出現時期が遅くなる）ことを指摘している。

Aタイプで比較的初期肥大成長の劣るものは、回旋角が最大となる時期が遅くに現れ、中には30年輪あるいは40年輪と、一般にいわれている未成熟材部である10～20年輪をはるかに超えて、回旋角最大値が現れるものもみられた (図-39)。

- (2) 各調査林分 (変動タイプ込み) での樹心から一定年輪ごと年輪幅と回旋角との関係
樹心から一定年輪ごと (2年輪、3、4、5、10、20、30…) に変化する年輪幅とその時の回旋角との関係を把握するため、各林分ごとに樹心から一定年輪における年輪幅とその時の回旋角と

表-21 各調査林分における髄からの年輪数別年輪幅と回旋角との相関係数
Correlation coefficients between year ring width at the number of rings from the pith and slope of grain.

Stands	No. of trees sampled	Number of year rings from the pith							
		2	3	4	5	10	20	30	40
Kurohime	8	0.3919	0.1836	0.3125	0.3107	0.2763	0.3976	0.0369	0.4147
Inekoki	9	-	-	-	0.5986	0.6497	0.3981	0.6986*	0.565
Hase	9	-	-	-	0.1907	0.0577	0.4550	0.4133	0.0943
Kitaaiki	7	0.5875	0.8731	0.6857	0.4549	0.1874	0.3472	0.5148	0.2086
Usuda	9	0.0455	0.4495	0.4614	0.3402	0.3718	0.6439	0.3366	0.0445
Motizuki	7	0.0293	0.5354	0.4606	0.2065	0.2489	0.8557	0.2451	-

* 5% significance level

表-22 髄からの一定年輪における回旋角変動タイプ別年輪幅と回旋角との相関係数
Correlation coefficients between year ring width and slope of grain at number of year rings from the pith in each radial variation types.

Radial variation types	Number of year rings from the pith						
	2	3	4	5	10	20	30
A	0.2035	0.6081*	0.3130	0.1553	0.0575	0.1425	0.1315
B	0.1658	0.0876	0.0059	0.0446	0.1608	0.1029	0.2356
C	0.3849	0.2601	0.1325	0.3732	0.1284	0.8025*	0.6241
All types	0.0682	0.4270**	0.0690	0.0808	0.0401	0.1881	0.0898

* 5% significance level ** 1% significance level

を求め、両者の相関係数を計算した (表-21)。結果は一部の年輪に相当高い相関値が認められるものもあったが、ほとんど有意性が認められなかった。重松^(110, 111) はごく限られた年輪で肥大成長と回旋角との間に高い相関関係がみられたことを報告しているが、三上ら⁽⁶⁴⁾、滝沢ら⁽¹³²⁾ や川口ら⁽⁴⁵⁾ も、肥大成長の大小と回旋角の大小との関係は認められなかったことを報告し、小沢⁽⁹⁶⁾ も、年輪幅の広狭は回旋角の変動に影響する支配的因子ではないと考えるべきだとしている。

- (3) 変動タイプ別樹心から一定年輪ごと年輪幅と回旋角との関係

変動タイプ別に前項と同じ手法で年輪幅と回旋角との関係を求めた (表-22)。結果はAタイプの3年輪とCタイプの20年輪でのみ高い相関値が得られた。

また、Aタイプのものは3年輪以外の2および4年輪でもやや相関係数は高くなっていた。Cタイプにも、30年輪付近で相関係数が高かったが、これはCタイプの標本数が少ないこと (7本) から理由ははっきりしない。Bタイプについてはまったく相関は認められなかった。

このようにB、Cタイプについては、年輪幅と回旋角とは関係が認められないようである。

三上⁽⁶⁸⁾は、カラマツについて回旋角度と年輪幅との相関は樹心から1～2年輪は高い正の相関を認めたが、3～4年輪になると0前後となったとし、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としているが、Aタイプについてはこの結果とはほぼ合致するものと思われた。さらに、Aタイプについて3年輪時の回旋角と回旋角最大値との相関関係を求めたところ、正の相関 $r=0.3841$ （有意水準5%で有意）が得られ、Aタイプでは成長初期の回旋角の大小はその後に現れる回旋角最大値に関係しているようであった。Aタイプでは、比較的早期での肥大成長が大きいと回旋角も大きくなり、この部分の回旋角が大きいとその最大値も大きく、またその出現は早期に現れ、全体としての回旋角も比較的大きなものとなることが明らかとなった。

(4) 肥大成長とねじれ返し時期

回旋角変動タイプのB、Cタイプは成長初期にみられるS旋回から年数の経過と共にZ旋回へ、あるいはまたS旋回へと変化するいわゆる「ねじれ返し」を生じる変動タイプである。

回旋角変動タイプのB、Cタイプについて、樹心から15年輪以上の5年ごとに求めた年輪幅を平均したものをも平均年輪幅とし、ねじれ返し時の樹心からの年輪数との関係を求めた（図-40）。

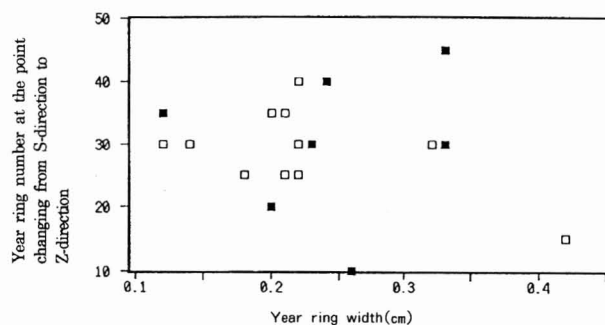


図-40 回旋角変動タイプB、Cについての平均年輪幅とねじれ返し年輪数との関係
Relationship between mean year ring width and year ring number at the point changing from S-direction to Z-direction in radial variation B,C types.
(□ B-type, ■ C-type)

両者について R^2 を求めたところ、Bタイプについては $R^2=0.2458$ 、Cタイプについては $R^2=0.0203$ が得られ、また、両タイプを合わせた資料については $R^2=0.0303$ が得られた。このように低い相関関係であるので、検定結果でも、いずれの決定係数（ R^2 ）には有意な差は認められなかった。すなわち、年輪幅とねじれ返し年齢とは密接な関係が認められなかった。

小沢⁽⁷³⁾は、カラマツ2林分について、林分の平均回旋角およびねじれ返しの出現する時期と年輪幅の大小との関連性を検討する中で、ねじれ返しの時期の差異を平均年輪幅の差異に関係づけることは早計としながらも、この2林分と今日までの調査結果から、回旋成長における遺伝的性質を考慮外にすれば、特にねじれ返し年齢は環境的因子に左右されやすいと考えられるとし、年輪幅が狭い生育の緩慢な林分ほどねじれ返しの年齢は早く、また樹幹内の総平均回旋角も小さいようだとしている。今後この点に関する詳しい検討が必要であろう。

Ⅲ. 摘 要

カラマツ樹幹における1番玉末口部分からの円板を用いて、らせん木理の出現状況および肥大成長とらせん木理との関係について検討したが、その結果は次のように要約することができる。

(1) 長野県内から抽出されたカラマツ6主伐林分からの49標本木について、回旋角変動タイプ別出現率をみたところ、Aタイプのものが過半数の約59%を占めた(49標本木中29本)。残りは、ねじれ返しのみられるB、Cタイプで、それぞれ約27%、14%であった。各変動タイプの林分間による出現割合が異なることの理由は明かでない。

(2) 回旋角最大値の林分間比較では、各林分ともほぼ平均5度前後の値であって、林分間に明らかな差はみられなかった。回旋角変動タイプと回旋角最大値との関連性をみたが、各タイプ間にはほとんど違いは認められなかった。

(3) 回旋角最大値が現れる平均年輪数については、A、Cタイプに比べBタイプは著しく小さな値を示した。すなわち、Bタイプが平均4.46年と早期に出現するのに対し、Aタイプで17.97年、Cタイプで16.86年となったが、これらはいずれも一般に未成熟材部といわれる部分にあった。

Aタイプについてみると、初期年輪幅(10年輪ごろまで)が大きなものは回旋角最大値の出現時期が早く、小さいものは相当遅くに現れるものがあった。

(4) 全年輪を通しての平均回旋角と変動タイプとの関係では、平均回旋角が最も大きなタイプはAタイプで、最も小さな値を示したタイプはBタイプの林木であった。Cタイプの林木はこれら2つのタイプの中間の値を示した。回旋角に限っての材質比較では、Bタイプ回旋角変動を持つ林木がよい材と考えられる。

(5) 年輪幅の大小が回旋角に与える影響を検討したところ、Aタイプのごく初期(3年輪)で年輪幅が大きいと回旋角も大きくなるといった関係が認められたが、他のタイプでは明かな関係が認められなかった。このAタイプ標本木について、3年輪時の回旋角とその後現れる回旋角最大値との関係をみたところ有意な相関関係が認められた。すなわち、3年輪時の年輪幅が大きなものほど回旋角最大値も大きい。さらに、最大値が大きなものは全年輪にわたって比較的大きな回旋角となっていることがわかった。

(6) A、Bタイプ標本木では、回旋角最大値と円板全体での平均回旋角との間に関連性が認められた。このことは、回旋角最大値が小さなものは円板全体での平均回旋角も小さく、回旋角最大値の大きなものは全体でも大きいことが予想された。

(7) 年輪幅の大小と回旋角との関連性についてみた場合、各林分で出現頻度の高いAタイプのものがごく限られた範囲で関わりを持っているようであった。すなわち、初期年輪幅の小さいものは回旋角最大値の出現時期が遅くなること、初期年輪幅が大きいと(肥大成長が大きい)回旋角も大きく、しかも最大値も大きくなり、その出現時期は早くに現れることなどが推測された。

(8) 年数の経過と共に回旋方向がS旋回からZ旋回へ、またS旋回へと変化するB、Cタイプについて、初期ねじれ返し時の年輪数と肥大成長(年輪幅)との関連性をみたところ、両者間に明らかな相関関係は認められなかった。

以上のことから、肥大成長と回旋角との関係では、林分内出現率の大きなAタイプの林木で、ごく限られた成長初期での肥大成長が大きいと、その後現れる回旋角も大きく、また回旋角最大値も大きな値を取る傾向にあることが明らかになった。このようにごく限られた成長初期での肥大成長の大小は、林木そのものの遺伝的要素の存在も否定はできないものの、どちらかという立地要因に影響さ

れる方が大きいものと考えられる。林木の全年輪を通じて回旋角を小さくする施業を考える場合、遺伝的に回旋角の小さな林木をつくりだし育成する場合と、立地条件の良いところに普通のカラマツ苗を植栽して、裾枝払いなどの実施により人為的な成長抑制により初期肥大成長を抑える施業を進めるといったことが考えられる。

第Ⅲ章 カラマツの成長が材の密度や曲げ強度などの材質に及ぼす影響

本州中部の寡雨で乾燥・冷涼な気候の亜高山帯に限られて天然分布するカラマツは、人工造林の拡大と共に同地域はもとより、同じ様な乾燥・冷涼気候である東北・北海道へと植栽されて行った⁽⁶³⁾。その結果、今日では全国カラマツ林面積約109万haのうち、北海道では全体の44%の48.1万haがカラマツ人工造林地であり、東北地域では全体で約21万ha（全国の19%）となって、東北・北海道地域だけでも全国カラマツ林面積の約63%を占めるに至っている⁽⁸¹⁾。このように、本来の生育環境である天然分布地域を離れて、遠く高緯度地域に植栽されたカラマツは、同じような気候とはいえ温度や日長などの変化が異なる地域での生育で、成長停止、冬芽形成等に違いがみられることが考えられ^(77, 140)、新しい生育地での環境、とりわけその地域の季節変化への同調の仕方によって、さまざまな生育上の変化や時には弊害等となって現れてくることが考えられる。一例として、本来の生育地ではもともと耐寒性が高く、寒害などはほとんどみられなかったカラマツが、北海道では一部の地域で凍害の発生^(8, 99)も報告され、また霜害の危険性なども指摘されている。さらには病虫害として、本州中部でも一部発生がみられるカラマツ落葉病⁽⁹⁹⁾や先枯れ病⁽¹⁴²⁾の大面积発生や、カラマツヤツバキクイ⁽⁵⁶⁾や本来はスギ害虫であるミスジツマキリエダシャク⁽²⁴⁾などの大面积被害発生等も報告されている。これらを全て新生育地への環境適応問題としてと即断するわけにはいかないが、本来の生育地ではあまりみられない現象でもある。

柳沢⁽¹⁴⁰⁾は本州中部の天然分布地域からのカラマツ種子の北海道における産地試験において、産地の違いと苗木の成長周期との関連性をみたところ、産地別苗木の成長停止期と黄葉期と関連性が高く、黄葉期が遅くくるものは、その苗木の頂部の木化および成熟度が遅れることから先枯れ病被害が生じているとし、さらにカラマツの植栽限界に近い凍霜害の危険性のある地域では成長停止期の早い、すなわち黄葉期の早い高緯度地域産の日光、浅間系の種子を選んだ方がよいとしている。新里ら⁽⁸²⁾は、カラマツ苗の冬芽形成に対する日長と温度との関係性をみたところ、多少のバラツキはあるが、15～20℃の範囲では温度が高くなるほど限界日長は長くなり、また、21℃を超えると逆に温度が高くなると限界日長は短くなる傾向がみられるとして、冬芽形成には温度による限界日長の変化が考えられるとしている。このことから、永田ら⁽⁷⁷⁾は、カラマツを信州から北海道に移すと、北海道で冬芽を形成する時期の気温は、21℃以下になるので、冬芽形成の限界日長は短くなり冬芽形成が遅れ、霜害にかかりやすくなることを指摘した。

このように本来の生育環境とは異なった環境下におかれたカラマツは、気温の低下にもかかわらず限界日長の変化により遅くまで成長することが指摘されることから⁽¹⁾、冬芽形成の時期や生育期間の差異など、本来の生育地での材質と比べ異なることが推測され、この問題に関して、特に成長が材の密度や曲げ強度などの材質に及ぼす影響について検討することにより施業を考えてみた。

また、同時に本来の生育地（長野）内あるいは北海道地域内での生育環境の違いによる成長と材質との関連についても検討した。

なお、ここでの検討項目としての材質は、回旋角最大値および平均回旋角、平均年輪幅、気乾比重、曲げヤング係数および曲げ強度の6項目であった。

I. 資料および方法

1. 調査林分・供試材

(1) 調査林分の概要

長野県内のカラマツ資料については、前項の回旋角解析で用いた林分と同じ主伐林分であり、その概要は表-23に示した。すなわち、林齢は45～72年生であり、平均胸高直径は林分平均値で26.7～39.4cm、平均樹高は22.4m～27.0mの範囲にあり、林分密度はha当り200～700本であった。なお、林分の標高は望月の700mを最低に他の林分では1200m～1350mの範囲にあった。また長野県における林分位置は図-41に示したが、ほぼ全県4地域からの資料であって、北信地域で1林分（黒姫）、中信地域で1林分（稲核）、南信地域で1林分（長谷）および東信地域で3林分（北相木、臼田、望月）であった。

表-23 カラマツ北海道、長野地域別林分の概要
Stands sampled in different localities in Hokkaido and Nagano.

Localities	Stand ages	Soil type	Altitude (m)	Mean for Heights (m)	D.b.hs (cm)	Stand densities (No./ha)
(Hokkaido) ¹⁾						
Kitami	20-21	BD	-	15.2	13.8	900
Shibetsu	37-42	BD(d)	-	18.5	22.2	800
Kikonai	24	BD	-	13.7	18.7	600
Urakawa	24	BD	-	18.5	16.5	700
Shizunai	26-30	BD	-	19.2	17.5	700
(Nagano)						
Kurohime	72	B&D	1260	27.0	39.4	380
Inekoki	48	BD	1340	25.2	26.7	717
Hase	52	BD	1350	26.5	31.9	470
Kitaai	61	B&D	1300	26.7	29.9	540
Usuda	67	BD	1200	22.4	31.3	304
Motizuki	45	BD	700	25.4	31.6	200

Note: 1) Data from KOIZUMI.A, UEDA.K and KATAYOSE.T(1987).

北海道からの資料については、小泉ら⁽⁵²⁾による資料を用いた。すなわち、これらの資料は図-42に示すように、北海道各地からの調査林分資料であり、気候的に広範囲の環境から選ばれたもので、表-23にみられるように長野の資料採取林分と比べ若齢林分であって、林齢20～42年生で、平均胸高直径は13.8cm～22.2cm、平均樹高は13.7cm～19.2cmであり、ha当りの林分密度は600本～900本であった。また、これらの林分は、静内のみ昭和47年と53年の2回、本数割合で20%の間伐が行われているが、他の林分は初回の間伐であって、特に、士別の林分は間伐遅れがみられる⁽⁵²⁾。

(2) 供試材

長野県内調査林分からの供試材は、前項の回旋木理解析と同様の標本木から、材長3mの丸太をⅠ、Ⅱ、Ⅲ…番玉として採取し、各丸太の直径に応じて10.5cmの正角を心持正角、心去正角別に採材した。したがって、径級の大きな丸太からは心持正角の他に心去正角が採材されたが、径級の小さな丸太からは心持正角のみとなった。なお、本研究では北海道の供試材が心持正角材であることから、長野県の林分からの供試材も心持正角材のみとした。これは、後述の肥大成長や材質について比較する場合、統一された条件での資料が必要であることおよびこの心持正角材部という成長初期での年輪幅の肥大成長は隣接木等の競争による影響が少ないと考えられること

(53) などにもよる。

長野の供試材も北海道の供試材と同様、天然乾燥後、以下に述べる各材質調査を実施した。供試材総本数は111本である。

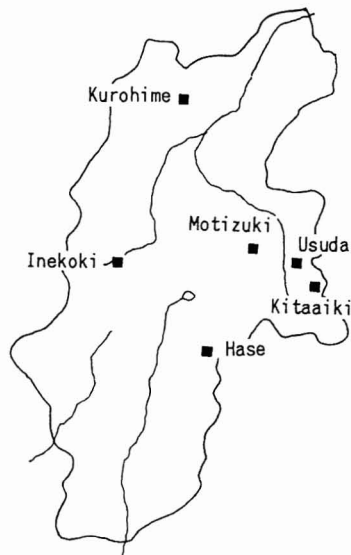


図-41 長野県におけるカラマツ標本木採取林分位置
Location of sample plots in Nagano.



図-42 北海道におけるカラマツ標本木採取林分位置 (小泉ら (52) 原図)
Location of larch sampled plots in Hokkaido.
(KOIZUMI et al(52))

北海道からの供試材は、すべて各調査林分からの間伐材であり、比較的成長の良いものを選び、地上高1.0m～4.65mのから採材した丸太（素材）から10.5cm心持正角材を製材し、天然乾燥後供試材としたものである⁽⁵²⁾。なお、供試材の総数は231本あった。

表-24 カラマツ北海道、長野地域別林分の平均回旋角度および最大角度の平均値
Average and maximum slope of grain in different localities in Hokkaido and Nagano.

Localities	Number of disks	Position of disks collected at disks (m)	Number of year rings at disks	Maximum slope of grain (degree)		Average slope of grain ²⁾ (degree)	
				Av.	S.D	Av.	S.D
(Hokkaido) ¹⁾							
Kitami	111	0.9-1.0	-	3.97	0.997	2.08	0.831
Shibetsu	100	0.9-1.0	-	4.51	1.547	2.24	1.020
Kikonai	81	0.9-1.0	-	4.10	1.088	2.38	0.928
Urakawa	98	0.9-1.0	-	4.42	1.043	2.81	0.951
Shizunai	134	0.9-1.0	-	4.25	1.232	2.41	0.991
(Nagano)							
Kurohime	8	2.1-6.2	63-70	5.00	0.900	1.99	1.401
Inekoki	9	3.4	43-44	4.25	1.530	2.40	1.813
Hase	9	3.4	46-49	3.51	1.088	2.21	0.912
Kitaaiki	7	3.2	49-57	5.14	1.388	1.48	1.510
Usuda	9	3.4	59-63	5.12	1.126	2.48	2.073
Motizuki	7	3.3-4.5	38-42	5.02	1.355	2.57	1.451

Note: 1) Data from KOIZUMI.A, UEDA.K and KATAYOSE.T(1987)

2) Data of slope of grain in Hokkaido converted percent into degree by author.

2. 各材質の測定

(1) らせん木理角（回旋角）の測定

長野県内各林分ごとのらせん木理角調査資料は前項での資料を用いた。

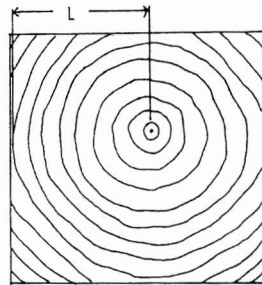


図-43 年輪幅測定法（長野地域）
Measurement of year ring width
at cross section of specimen.
Mean year ring width=L/n (mm)
L:Distance n:Number of year ring

北海道のらせん木理角測定では、地上高90cm～100cmの円板について割裂法（前章2項図-34参照）により測定し、回旋角最大値および平均回旋角を求めた（表-24）小泉ら⁽⁵²⁾の資料によった。なお、小泉ら⁽⁵²⁾の測定値は％で示してあったので、筆者が次式により角度に変換して用いた（表-24参照）。

$$\theta = \tan^{-1} (s/100) \quad s: \text{回旋傾斜} (\%)$$

表-25 カラマツ北海道、長野地域の林分別心持正角（10.5cm）の平均年輪幅、
平均気乾比重、曲げヤング係数及び曲げ強度
Average ring width, average specific gravity, modulus of elasticity in bending
and bending strength of boxed-heart squares in different localities.

Localities	No. of speci- mens	Mois. of cont. (%)	Ring width (mm)		Specific gravity (g/cm ²)		MOE (t/cm ²)		MOR (kg/cm ²)	
			Av.	S.D	Av.	S.D	Av.	S.D	Av.	S.D
(Hokkaido) ¹⁾										
Kitami	112	18.8	6.4	1.2	0.454	0.035	69.3	12.2	347	49
Shibetsu	55	18.8	4.9	1.2	0.543	0.040	88.1	16.6	404	67
Kikonai	15	18.1	6.3	1.2	0.483	0.034	92.0	14.5	399	57
Urakawa	19	18.7	6.9	0.8	0.437	0.027	68.5	8.1	328	32
Shizunai	30	18.7	5.3	0.9	0.468	0.027	80.0	6.6	374	42
(Nagano)										
Kurohime	27	14.2	3.89	0.87	0.509	0.038	92.63	18.66	411.56	118.82
Inekoki	23	15.4	4.43	0.80	0.476	0.045	77.86	12.34	408.26	84.84
Hase	23	15.7	4.39	0.46	0.470	0.040	90.15	11.88	369.96	107.51
Kitaaiki	12	16.0	4.67	1.26	0.466	0.037	89.63	12.60	424.08	96.99
Usuda	11	16.7	3.00	0.78	0.537	0.030	104.62	18.47	456.55	90.23
Motizuki	15	13.4	4.43	0.56	0.568	0.033	99.85	12.81	477.47	128.14

Note: 1) Data from KOIZUMI.A, UEDA.K and KATAYOSE.T(1987).

(2) 年輪幅測定

長野の各供試材は、曲げ破壊試験を実施した後、できるだけ材の木口面から中央部寄りでしかも非破壊部分から、厚さほぼ1.5cm～2.0cmの試験片を採取し、だだちに樹心より最外部年輪までの年輪数と距離を測定して平均年輪幅を求めた（図-43）。さらに、この試片を用いて気乾含水率および次項に示す気乾比重を求めた。北海道の供試材の年輪幅測定では、実大圧縮試験片の木口で樹心から材縁までの1年輪ごとの年輪幅が測定された⁽⁵²⁾。

(3) 気乾比重の測定

長野県の資料については、前項での試片を用いて試片体積と試片重量を測定し、次式にて気乾

比重を計算した。

気乾比重 = 試片気乾重量 (g) / 試片気乾体積 (cm³)

調査林分ごとの気乾含水率は、望月の13.4%から臼田の16.7%の範囲にあった (表-25)。

北海道の資料は正角材の気乾比重を用いた。含水率は各林分間で変動は少なく18.1%~18.8%の範囲にあった (表-25)。

(4) 曲げ破壊試験

長野県の資料については、気乾状態の供試材について次の試験方法により各々曲げ破壊試験を行った。稲核、長谷、北相木および臼田の供試材に対して集成材曲げ試験機 (2t) を用い、200cmスパンで中央集中荷重方式で行い^(16, 76)、黒姫および望月産の供試材に対しては、実大材強度試験機 (ミネベア製、30t) を用い⁽¹⁹⁾、270cmスパンで90cm 3等分点 4点荷重方式で行った (図-44)。

北海道産材の強度試験は気乾状態の供試材について図-45に示す方法で行われた⁽⁵²⁾。

いずれの産地の供試材も曲げヤング係数 (MOE) および曲げ破壊強度 (MOR) が求められた。ただし、MOEについて、小泉ら⁽⁵²⁾による測定は、モーメント一定区間内のひずみ測定のため、せん断によるたわみは0とみなせ、長野 (全スパンに対するたわみ測定) でのMOEよりやや大きめにでているものと考えられた。

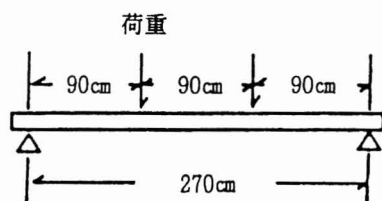


図-44 長野試料での実大材曲げ試験 (橋爪 (19) 原図)
Method of bending test in Nagano.
(HASHIZUME(19))

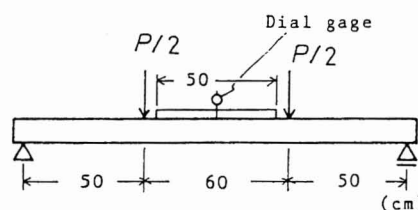


図-45 北海道試料での実大材曲げ試験 (小泉ら (52) 原図)
Method of bending test in Hokkaido.
(KOIZUMI et al(52))

3. 平均値の比較の方法

北海道資料⁽⁵²⁾は、平均年輪幅や気乾比重などの比較しようとする項目すべてが、平均値と標準偏差および供試材数で記載されている。

長野の資料についても各項目別に平均値、標準偏差および資料数を計算して次式によりt-値を求め、2つの項目間の平均値の比較⁽¹¹³⁾を試みた。

$$t = (M_1 - M_2) / S_m \quad d.f = N_1 + N_2 - 2 \quad (28)$$

ただし、 M_1 、 M_2 : それぞれ比較する標本の平均値

N_1 、 N_2 : それぞれ比較する標本の数

SD_1 、 SD_2 : それぞれ比較する標本の標準偏差

$$S^2 = (\sum x_1^2 + \sum x_2^2) / d.f$$

$$S_m = \sqrt{S^2(N_1 + N_2) / (N_1 N_2)}$$

$$\text{標本の平方和} \quad \sum x_1^2 = (N_1 - 1) SD_1^2$$

$$\sum x_2^2 = (N_2 - 1) SD_2^2$$

II. 結果と考察

比較しようとする材質について、まず施業と環境条件がほぼ同じような状況下にある狭い地域内での違いの比較を長野、北海道両地域内で比較検討し、次に生育環境条件が大きく異なると考えられる長野、北海道両地域間の比較を行い、各材質が環境の違いによる影響について検討した。

1. 回旋角

(1) 回旋角最大値の各地域内林分間比較

a. 長野県地域内林分間の比較

長野地域内の回旋角について、回旋角最大値の林分間比較では、前項でみたように、長谷および稲核の値がやや小さな値を示したが、林分間に有意な差がみられなかった（表-16参照）。各林分における回旋角最大値はほぼ5度前後であり、標準偏差もほぼ1度から1.5度の範囲にあった。この値を長野県内の他の地域である和田山（林齢54年生、平均最大値4.5度、標準偏差1.4度）や常盤（林齢23年生、平均最大値5.1度、標準偏差1.4度）⁽⁶⁶⁾あるいは信州大手良演習林（林齢45年生、平均最大値5.0度、標準偏差0.71度）および福島県前ヶ岳の林分（林齢70年生、平均最大値4.1度、標準偏差1.2度）^(96, 97)と比べてみると、稲核の林分と常盤および信州大手良林分とに有意な差が認められたものの、他の林分ではこれら4林分を含め、いずれの林分間においても違いが認められなかった。

これらの林分について、林齢や林分密度の違い（表-23）などからみても、林分平均の回旋角最大値間に特別な関連性はみられなかった。

b. 北海道地域内林分間の比較

北海道地域内での回旋角最大値の比較を行ったところ、表-26に示す結果となった。北海道地域での林分における回旋角最大値の平均は、長野の林分の5度前後の値と比べ4度前後とほぼ1度ぐらい小さな値を示したが、特別な理由は考えられなかった。北見の林分は他の林分と比べやや小さい値を示したことで（表-26）、他の回旋角最大値の大きな値を示す士別および浦河と有意な差が現れた。

表-26 北海道カラマツ林分における平均回旋角及び最大回旋角の林分間比較
Comparison of average and maximum slope of grain between stand locations in Hokkaido.

Stands	Maximum slope of grain					Average slope of grain				
	Kitami	Shibe.	Kikonai	Urakawa	Shizu.	Kitami	Shibe.	Kikonai	Urakawa	Shizu.
	3.97	4.51	4.10	4.42	4.25	2.08	2.24	2.38	2.81	2.41
	----- t-value -----					----- t-value -----				
Kitami	-	3.04*	0.86	3.19*	1.93	-	1.25	2.35	5.92**	2.79
Shibetsu		-	2.02	0.48	1.43		-	0.96	4.07**	1.28
Kikonai			-	2.00	0.90			-	3.04*	0.22
Urakawa				-	1.11				-	3.09*
Shizunai					-					-

* 5% significance level ** 1% significance level

Note: 1) Data from KOIZUMI.A, UEDA.K and KATAYOSE.T(1987).

いずれの林分も気候的に広範囲の環境から選ばれたもので⁽⁵²⁾、施業については士別の林分が間伐遅れ林分であった他は、植栽本数もほぼ同じで、静内（過去2回間伐済み）を除き、いずれの林分も初回の間伐であったことを考えると、施業の違いや環境の違いが回旋角最大値の

林分間差異となっているとは考えられなかった。三上⁽⁶⁸⁾は、岩手県内の11林分について調査し、カラマツ個体1115本の資料を用いて林分回旋角最大値および平均回旋角の林分間分散分析を行った結果、両形質ともに林分間に有意な差が認められたとし、各林分内の供試材からの回旋角最大値および平均回旋角の分布状況からも違いが確かめられ、回旋角の小さな個体の選抜の可能性を報告した。また、回旋角の林分間差異と海拔高、傾斜方位、傾斜度、土壌型およ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と報告している。

(2) 回旋角最大値の地域間比較

結果を表-27に示したが、北見と臼田間に5%有意水準で違いが認められたものの、両地域内における林分間には、ほとんど差は認められなかった。特に、北海道地域内で他の林分と比べやや小さな値を示し、有意な差もみられた北見の林分でも、長野県内林分間とは臼田を除き全く違いは認められなかった。北海道の林分と長野の林分とは表-23示すように樹齢や林分密度においても大きく異なっているにもかかわらず、差が認められなかったことは、回旋角最大値の出現が成長の違いや生育環境の違いによる影響が少ないものと考えられた。三上⁽⁶⁶⁾や三上⁽⁶⁸⁾は回旋角最大値が比較的早い時期(3~4年輪)に現れることから、少なくとも幼齢時期においては環境条件の違いや成長率の違いの影響を受けることが少ない形質であろうと報告している。

表-27 カラマツ林分回旋角最大値の北海道と長野の地域間比較
Comparison of maximum slope of grain between
Hokkaido and Nagano.

(Hokkaido)						
		Kitami	Shibetsu	Kikonai	Urakawa	Shizunai
	Av.	3.97	4.51	4.10	4.42	4.25
(Nagano)		t-value				
Kurohime	5.00	2.66	0.88	1.23	1.53	1.57
Inekoki	4.25	0.71	0.49	0.38	0.45	0.00
Hase	3.51	1.25	1.89	1.55	2.50	1.65
Kitaaiki	5.14	2.73	1.05	2.38	1.73	1.65
Usuda	5.12	3.12*	1.15	2.66	1.92	1.94
Motizuki	5.02	2.46	0.85	2.11	1.44	1.48

* 5% significance level.

(3) 平均回旋角の各地域内林分間比較

回旋角の林齢との関係は林齢の増加と共に回旋角は減少傾向となるのが一般的であるので、回旋角の林分平均値は高齢な林分ほど小さくなることが予想され、林齢と共に「ねじれ返し」の生ずる回旋角変動タイプの林分内占有割合によっても異なってくるものと考えられる。したがって、高齢でしかも「ねじれ返し」タイプの割合の多い林分は林分平均回旋角の値も小さくなることが考えられた。しかし、実際には高齢であっても「ねじれ返し」タイプの出現割合の少ない場合もあり、林分平均回旋角の値を複雑なものにしているものと考えられる。なお、平均回旋角は心持正角(10.5cm)の断面内での値でなく、資料円板内での測定値である。

a. 長野県地域内林分間の比較

長野県地域内の林分における平均回旋角は、表-24に示すように2度前後の値を示していた。平均値間にやや大小の違いがみられるが、これらの値の違いは林齢の違いよりも、各林分内に占め回旋角変動パターンのタイプ別割合の違いによるところが大きいものと考えられ、密度などの影もほとんどみられないようであった。これらの値の林分間比較(表-28)では、いずれ

の林分間においても平均回旋角に有意な差は認められなかった。

表-28 カラマツ林分平均回旋角の長野地域内林分間比較
Comparison of average slope of grain between stand locations
in Nagano.

Stands	Av.	Kuro.	Ine.	Hase	Kita.	Usuda	Moti.
----- t-value -----							
Kurohime	1.99	-	0.52	0.39	0.68	0.56	0.79
Inekoki	2.40		-	0.28	1.08	0.09	0.20
Hase	2.21			-	1.20	0.36	0.61
Kitaaiki	1.48				-	1.07	1.38
Usuda	2.48					-	0.10
Motizuki	2.57						-

* 5% significance level.

b. 北海道地域内林分間の比較

林分平均回旋角は表-24にみられるように2度前後の値を示し、この値は長野県の林分とはほとんど変わらなかった。標準偏差については、長野県の林分が1.5～2.0度であるのに対し、北海道の林分は変動幅が小さく、いずれの林分においてもほぼ1度ぐらいであった。

林分平均回旋角の北海道地域内林分間の比較では、表-26に示すように浦河の林分のみが比較したいずれの林分とも有意な差が認められた。浦河の林分の平均回旋角の値がやや大きな値であった理由は、成長量が優れていた⁽⁵²⁾ こと以外、他に特別に遺伝的に回旋角の大きな個体が多かったのか、あるいは「ねじれ返し」タイプの個体が少なかったのか理由は明かでない。この浦河の林分以外では各林分間には有意な差は認められなかった。

これらのことから、両地域内での林分間における林分平均回旋角には、一部の林分を除き全体として有意な差は認められないものと考えられた。

表-29 カラマツ林分平均回旋角の北海道と長野の地域間比較
Comparison of average slope of grain between
Hokkaido and Nagano.

(Hokkaido)						
	Kitami	Shibetsu	Kikonai	Urakawa	Shizunai	
Av.	2.08	2.24	2.38	2.81	2.41	
(Nagano)						
----- t-value -----						
Kurohime	1.99	0.49	0.65	1.08	2.26	1.06
Inekoki	2.40	1.74	0.42	0.05	1.13	0.03
Hase	2.21	0.81	0.09	0.52	1.82	0.55
Kitaaiki	1.48	2.83	1.84	2.33	0.85	2.17
Usuda	2.48	1.67	0.54	0.26	0.88	0.18
Motizuki	2.57	2.35	0.80	0.50	0.62	0.37

* 5% significance level.

c. 平均回旋角の地域間比較

北海道と長野の地域間における林分平均回旋角の違いを比較検討した。前項での各地域内で

は、北海道では生育林分の樹齢や林分密度などがほぼ同じ林分であり、また、長野地域内の林分では北海道と比べ高樹齢ではあるものの樹齢差や林分密度差などがみられる林分について比較したにもかかわらず、地域内では全く林分間に差は認められなかった。また、北海道地域でも一部の林分を除き違いは認められなかった。

両地域間の比較結果を表-29に示したが、両地域林分間全てにおいて有意な差は認められなかった。北海道地域内で有意と認められた浦河の林分でも、長野の林分間とでは全く差は認められなかった。両地域の林分は林齢および林分密度において、一方はほぼ初回間伐林分であり、一方は主伐林分であるように両地域の林分は大きく異なっていた。

また、遠く離れた地域間では生育環境条件も大きく異なっているはずであるが、これらの違いが地域間の違いとなって現れなかったことは、そもそも回旋角の現れ方は遺伝的要因の関与が大きいものと考えてよいかもしれない。

2. 平均年輪幅

以下に述べる気乾比重や曲げ強度などを比較検討する上で、資料がある基準で統一され調査されている必要がある。ここでは、いわゆる未成熟材部を含むように同じ寸法で製材された心持正角材を用い、気乾状態になったところで材の木口面にみられる年輪幅を測定したものをを用いた。

心持正角材の木口面での限られた生育年数において、生育環境の良否や密度管理などによって影響を受けるだろうと推測される年輪幅を取り上げた理由は、本州中部に天然分布するカラマツが北海道のような高緯度地方に造林された場合、仮に立地環境や施業条件が同じであったとすれば、長野においては冬芽形成期が10月上旬から下旬であるのに、北海道においては限界日長の変化で、低温下の10月中旬から下旬⁽¹⁾と遅くまで成長を続けることから、成長量に違いが認められるかも知れないと考えたためである。

(1) 長野県地域内林分間の比較

長野県内調査林分の心持正材における平均年輪幅は表-25に示したが、これらの測定値を用いて林分間における年輪幅の違いを比較した(表-30)。心持10.5cm角部分という限られた成長期間でも立地条件や気象条件による成長への影響や、同一地域内にあってもいくらかは間伐などの人為的な密度管理の影響も現れることが予想された。

表-30 長野地域内カラマツ心持正角(10.5cm)における平均年輪幅及び気乾比重の林分間比較
Comparison of average year ring width and specific gravity between stand locations in Nagano.

Stands	Average year ring width						Average specific gravity					
	Kuro.	Ine.	Hase	Kita.	Usuda	Moti.	Kuro.	Ine.	Hase	Kita.	Usuda	Moti.
	3.89	4.43	4.39	4.67	3.00	4.43	0.509	0.476	0.470	0.466	0.537	0.568
	----- t-value -----						----- t-value -----					
Kurohime	-	2.27	2.47	2.24	2.94	2.16	-	2.81	3.53**	3.29*	2.18	5.04**
Inekoki		-	0.21	0.69	4.91**	0.00		-	0.48	0.66	4.07**	6.80**
Hase			-	0.96	6.55**	0.24			-	0.29	4.92**	7.89**
Kitaaki				-	3.78*	0.66				-	5.03**	7.56**
Usuda					-	5.45**					-	0.40
Motizuki						-						-

* 5% significance level ** 1% significance level

表-30によると、臼田の平均年輪幅は他の林分と比べ最も小さいことから、臼田とほぼ同じ値の黒姫とは有意な差がみられなかったものの、臼田より大きな値の林分は全て有意な差がみられた。仮に間伐などの密度管理は同じ条件とみても、臼田の林分は林齢に比べ樹高成長が低いことから、立地的な条件が良くない林分と考えられ⁽¹²⁷⁾、肥大成長も同じ様な状況下にあるものと推測された。

(2) 北海道地域内林分間の比較

長野と同じ心持正角材にみられる平均年輪幅の林分間比較をみた(表-31)。士別と静内の林分は平均年輪幅がほぼ同じであり、比較林分の中で最も小さな平均年輪幅を持っていた。他の林分はこれら両林分よりいずれの林分も大きな値を持っていたため、この両林分と他の3林分との間のみ差が認められた。

表-31 北海道地域内カラマツ心持正角(10.5cm)における平均年輪幅及び気乾比重の林分間比較¹⁾

Comparison of average year ring width and specific gravity between stand locations in Hokkaido.

Stands	Average year ring width					Average specific gravity				
	Kitami	Shibe.	Kikonai	Urakawa	Shizu.	Kitami	Shibe.	Kikonai	Urakawa	Shizu.
	6.4	4.9	6.3	6.9	5.3	0.387	0.440	0.392	0.358	0.382
	----- t-value -----					----- t-value -----				
Kitami	-	7.59**	0.30	1.75	4.68**	-	14.72**	3.02*	2.02	2.03
Shibetsu		-	4.01**	6.75**	1.60		-	5.30**	10.71**	9.18**
Kikonai			-	1.75	3.14*			-	4.40**	1.61
Urakawa				-	6.32**				-	3.92**
Shizunai					-					-

* 5% significance level ** 1% significance level

Note: 1) Data from KOIZUMI.A, UEDA.K and KATAYOSE.T(1987).

士別の林分は間伐遅れの林分であり、しかも生育の良くない環境下にあった⁽⁵²⁾ため、年輪幅も小さいものと考えられるが、静内の林分は過去2回も間伐が実施されているにもかかわらず林分年輪幅平均値は士別に次いで小さかった。やはり土壌などの生育条件が良くなかったためであろうか。

(3) 平均年輪幅の地域間の比較

心持正角材の木口面といった成長初期段階の限られた一定断面にみられる平均年輪幅について、北海道と長野の地域間での違いを検討した。一般的に、同じ地域内では日長やその他の気象条件がほぼ同じであっても、年輪幅にみられる直径成長は生育地の立地条件などの多くの他の要因の違いによって異なるであろうし、あるいは間伐などの密度調節を含む施業条件の違いなどによっても影響を受けることが予想される。しかし、ここでの年輪幅は、心持正角材の木口面というきわめて限られた成長初期であるから、どちらかという立地環境や気象環境による影響が大きいものと考えられる。

表-25にもみられるように一様に北海道の平均年輪幅の値は長野と比べ大きい。そこで両地域間での年輪幅に差が認められるかを平均値の差の検定を行った(表-32)。

北海道地域の林分は長野の林分とほぼ同じ値を示した士別の林分と静内の林分を除き、他の林分では長野地域の林分と比べてほぼ1%の有意水準で差が認められた(表-32)。すなわち心持正角材の木口面という限られた断面での範囲ではあるが、北海道地域の林分は長野地域の林分と比

べ比較的年輪幅が大きい傾向にあった。北海道の士別や静内の林分のように、道内では比較的成長の良くない林分の成長量と長野県の成長量とがほぼ一致しているのに対し、他の林分では長野との差がはっきり現れている。小泉ら⁽⁵²⁾によれば士別の林分は間伐手遅れ林分であり、静内の林分は間伐2回実施林分であると記しているが、心持正角の木口面にみられる成長初期の限られた期間では、密度管理等の施業による違いはあまり現れにくい様にも考えられた。したがって、長野と北海道では土壌条件などの条件が仮に同じならば、北海道の林分の方が生育旺盛な時期での日長や、秋での成長休止期までの生育期間の長さの違い等により年輪幅は大きくなるのではないかと推測された。

表-32 カラマツ心持ち正角 (10.5cm) における平均年輪幅の北海道と長野の地域間比較
Comparison of average year ring width of boxed-heart squares between localities in Hokkaido and Nagano.

(Hokkaido)						
		Kitami	Shibetsu	Kikonai	Urakawa	Shizunai
	Av.	6.4	4.9	6.3	6.9	5.3
(Nagano)		t-value				
Kurohime	3.9	10.23**	3.89**	7.50**	11.94**	6.00**
Inekoki	4.4	7.53**	1.72	5.78**	9.96**	3.66**
Hase	4.4	7.89**	1.97	6.93**	12.73**	4.42**
Kitaaiki	4.7	4.72**	0.60	3.43**	6.05**	1.82
Usuda	3.0	9.19**	5.03**	7.95**	12.98**	7.49**
Motizuki	4.4	6.25**	1.47	5.47**	10.14**	3.42*

* 5% significance level.

** 1% significance level.

3. 気乾比重

一般に、材の密度を示す尺度として気乾比重や容積密度数などがある。これは材の強度性能と関連性が高いことから材質を考える上で大変重要な要因である⁽¹⁵⁾。

年輪内の晩材幅と晩材密度が同じならば、年輪幅の大小により年輪幅に占める晩材部の割合（晩材率）は異なる。すなわち晩材率が異なれば気乾比重も違ってくる。藤沢ら⁽¹²⁾はスギについて年輪構造の植栽密度による変異を調べたところ、晩材幅および晩材部密度には顕著な変化がみられなかった。植栽密度を高めることで年輪幅は減少し、年輪の平均密度は逆に高くなった。久保ら⁽⁵⁹⁾は樹冠量の異なったスギの年輪構造について調べたところ、高樹冠率の林木と低樹冠率の林木とでは晩材への移行時期、細胞生産の停止時期はかなり異なったが、晩材の形成期間はいずれの樹冠率でも概ね同じであったと報告している。すなわち、晩材幅および晩材部密度はほぼ同じと考えられる。カラマツ材の晩材幅および晩材部密度については明かではないが、晩材率と容積密度数との関係については未成熟材部、成熟材部ともに正の相関関係がみられ、特にカラマツのように早材から晩材への移行が急で、厚い細胞壁を持つ樹種の密度は、晩材率に大きく影響される⁽⁵¹⁾。したがって、この気乾比重はカラマツ生育地域間の材質の違いをみる上で重要な要因と考えられる。

(1) 長野県地域内の林分間の比較

表-30は長野県内林分間の気乾比重の比較結果を示している。比較的密度の高い林分として黒姫、臼田および望月の3林分があり、その値は0.509～0.568であった。また小さな密度の林分として稲核、長谷および北相木の3林分がみられ、その値は0.466～0.470であった。気乾比重の比

較では、ほぼこれら2グループに属する林分間で有意な差が認められた。

(2) 北海道地域内の林分間の比較

北海道地域内の林分間における気乾比重の林分平均値の比較は、表-31に示した。これによると、北海道の林分内で成長が最も良くない（年輪幅が最小）士別の林分が気乾比重は最大値を示し、成長の最もよい浦河の林分で気乾比重は最小値を示したことから、これら2林分と他の林分間の平均値に差が有意な差が認められた。

(3) 平均気乾比重の地域間の比較

北海道と長野地域間での林分平均気乾比重の平均値の比較を試みた。両地域における各林分の林分平均気乾比重をみると、気乾比重0.5以上と比較的高い値の林分が北海道では士別の1林分のみであるのに対し、長野地域では黒姫、臼田および望月の3林分であり、やや長野の方が林分平均気乾比重が高い値を示すようであった。

表-33 カラマツ心持ち正角（10.5cm）における気乾比重の北海道と長野の地域間比較

Comparison of average specific gravity of boxed-heart squares between localities in Hokkaido and Nagano.

	(Hokkaido)				
	Kitami	Shibetsu	Kikonai	Urakawa	Shizunai
Av.	0.454	0.543	0.483	0.437	0.468
(Nagano)	t-value				
Kurohime	0.509	7.21**	3.68**	2.20	7.09**
Inekoki	0.476	2.61	6.50**	0.51	3.31*
Hase	0.470	1.95	7.35**	1.04	3.06*
Kitaaki	0.466	1.12	6.12**	1.24	2.52
Usuda	0.537	7.59**	0.47	4.20**	9.39**
Motizuki	0.568	11.92**	2.22	6.95**	12.74**

* 5% significance level. ** 1% significance level.

平均値の差の検定で比較すると、平均値が高い値を示した北海道士別の林分と長野での平均値が低い値の林分間とでは有意水準1%で差が認められ、また、長野での高い値の林分と士別を除く北海道の低い値の林分とは、これも有意水準1%で差のあることが認められた（表-33）。

一般に、気乾比重は年輪幅と関連性のあることが知られている。すなわち、両者間には負の相関関係がみられ、年輪幅が大きくなると気乾比重は小さな値を取る傾向にある。このように、気乾比重を比較する場合は、同じ年輪幅での材の密度（気乾比重）の違いを比較しなければならない。そこで、北海道の資料として小泉ら⁽⁵²⁾の資料の他に高橋ら^(120, 121)の資料も加えた。高橋らは旭川の60年生カラマツ林と新得での50年生カラマツ林および浦幌の31年生カラマツ林から10.5cm心持ち正角を製材し、気乾状態になった後、平均年輪幅、気乾比重、曲げ強度および曲げヤング係数を求めた。また、カラマツ天然分布地域に造林された資料として、名取⁽⁷⁹⁾の山梨県富士山県有林からの資料を加えた（表-34）。ただし、この資料は8.5cm心持ち正角材であったので、10.5cm心持ち正角材より樹心に近い部分の材質を示すことから、年輪幅、気乾比重および強度性能などにおいてやや異なることが予想されたが参考的に加えた。これらの北海道資料と長野（富士山の資料は長野に含めた）の資料を用いて、林分平均年輪幅と気乾比重との関係を求めると（図-46）、全体として明らかに年輪幅が大となると気乾比重の値も小さくなる。

表-34 カラマツ北海道林分（旭川、新得、浦幌）からの心持
正角（10.5cm）及び山梨（富士山）心持正角（8.5cm）の
平均年輪幅、平均気乾比重、曲げヤング係数及び曲げ強度
Average ring width, average specific gravity, modulus of
elasticity in bending and bending strength of boxed-heart
squares(10.5cm in Hokkaido and 8.5cm in Fujisan).

Localities	No. of speci- mens	Mois. of cont. (%)	Ring width (mm)	Specific gravity (g/cm ³)	MOE (t/cm ²)	MOR (kg/cm ²)
(Hokkaido) ¹⁾						
Asahikawa	-	-	5.8	0.45	64.2	346
Shintoku	-	15.0	4.1	0.50	88.5	448
Urahoro	8	14.1	6.7	0.43	69.3	384
(Yamanashi) ²⁾						
Hujisan	15	14.0	3.1	0.55	104.3	488.7

Notes: 1) Data from TAKAHASHI, M., KAWAGUCHI, N(1986).

2) Data from NATORI, J(1979).

3) - : Data unknown.

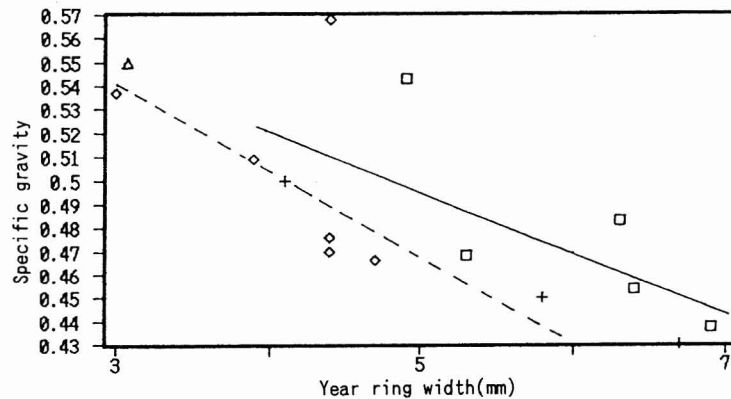


図-46 北海道、長野別カラマツ林分での年輪幅と気乾比重との関係
Relationship between year ring width and specific density
of sampled stands in Nagano and Hokkaido.
□+: Hokkaido, ◇△: Nagano

しかし、バラツキは大きいものの、年輪幅の大きなグループは北海道、小さなグループは長野といった区別はできるが、同じ年輪幅で北海道と長野に気乾比重に違いはみられないようであった。北海道と長野地域別に直線回帰式を当てはめ、両直線回帰式の回帰係数および定数の差の検定を行ったところ、有意な差は認められなかった（表-35）。

北海道の林分での直線回帰式は

$$y = -0.03x + 0.64 \quad R^2 = 0.5696$$

ただし、y：気乾比重 x：年輪幅である。

長野の林分については、

$$y = -0.04x + 0.65 \quad R^2 = 0.3470$$

であり、両地域の林分を含めた直線回帰は、

$$y = -0.03x + 0.62 \quad R^2 = 0.5613$$

となった。

表-35 年輪幅と気乾比重での北海道及び長野地域の二つの直線回帰の差の検定
Comparison of regression line A(Hokkaido) and B(Nagano) in relation to
year ring width and specific gravity.

Source	df	Sum of Squares, Products			Rer. coeff	df	Deviations from Reg.	
		Σx^2	Σxy	Σy^2			SS	MS
Reg. A	7	6.57996	-0.19110	0.00974	-0.02904	6	0.004194	0.000699
Reg. B	6	2.78857	-0.10001	0.01038	-0.03587	5	0.006794	0.001359
						11	0.010988	0.000999
	13	9.36852	-0.29112	0.02012	-0.03107	12	0.011079	0.000923
Between Reg.						1	0.000091	0.000091
Total	14	21.65730	-0.56362	0.02617	-0.02602	13	0.011500	
						1	0.000421	0.000421

Comparison of slope $F=0.000091/0.000999=0.09$ no significance

Comparison of height $F=0.000421/0.000923=0.46$ no significance

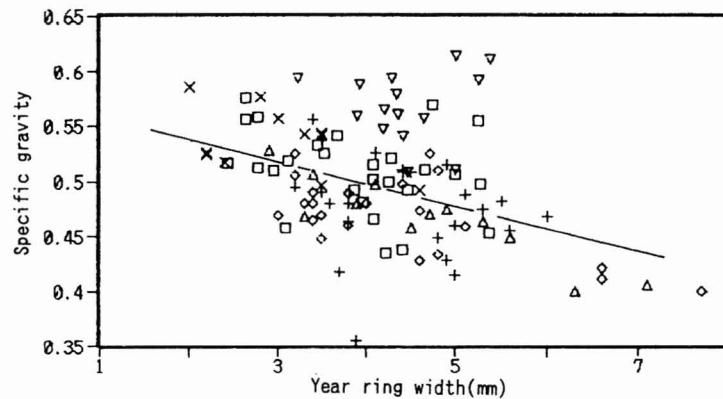


図-47 長野の林分における心持正角材の年輪幅と気乾比重との関係
Relationship between year ring width and specific density
of sampled specimens in Nagano.
□:Kurohime, +:Inekoki, ◇:Hase, △:Kitaaiki, ×:Usuda, ▽:Motizuki.

なお、長野の6林分での心持正角材111本について、平均年輪幅と気乾比重との関係を直線回帰式を当てはめたところ (図-47)、

$$y = -0.02x + 0.58 \quad R^2 = 0.1616$$

表-36 カラマツ長野地域林分試料での平均年輪幅と気乾比重との
回帰の有意性検定

Analysis of variance for regression of year ring width
and specific gravity in Nagano.

Source	DF	SS	MS	F
Explained by reg.	1	0.04527	0.04527	21.227**
Unexplained by reg.	110	0.23459	0.00213	
Total	111	0.27986		

** 1% significance level.

が得られ、回帰の有意性を検定すると有意水準1%で有意となり(表-36)、心持正角断面にみられる平均年輪幅と気乾比重とは関連性のあることが確かめられた。

以上から同じ年輪幅を持つ材は両地域間で材の密度には違いは認められないものと考えられた。同じ年輪幅を持つ材なら、年輪幅に占める晩材率や晩材部分の密度および早材部の密度などもほぼ同じであると言えそうで、生育条件の違いがカラマツ材の密度に影響を及ぼしてはいないようであった。藤原ら⁽⁴¹⁾はスギ林の間伐による年輪幅の増大と材質の変化を検討し、年輪幅が広い場合、晩材部の仮道管長が僅かではあるが減少したこと、また、比重に対する影響については年輪幅が広くなると密度の減少がみられ、これは主として晩材率の減少によるものとしている。

小泉ら⁽⁵⁴⁾は、カラマツつぎ木クローンの肥大成長と容積密度や樹幹ヤング係数などの材質との関係を研究し、クローン間では樹心から5cm以内のcore woodで年輪幅および容積密度数ともに差が認められたとして、クローン間での成長の違いおよび材の密度の違いを明らかにした。この容積密度数を左右する主要な因子は晩材率であるとされていることから、晩材率の遺伝率が大きいことを示唆するものと考えた。今後の課題として、クローンによる生育条件の違いと肥大成長および材の密度の違い等の検討が必要となろう。

以上、ここでの結果は、心持正角材の断面に限った年数では、むしろ日長などの気象条件の違いが成長に影響を与えるようで、このことから長野に比べ北海道の材は成長がよいため、すなわち北海道では年輪幅が比較的大きいため、年輪幅の違いによる材の密度が異なっているものと考えられた。長野に比べ北海道の林分は年輪幅が大きいため気乾比重は小さくなる傾向にあった。

4. 曲げヤング係数

実大材の強度性能をみる上で重要な要因として曲げヤング係数(MOE)および曲げ強度(MOR)がある。曲げ強度は実大材試験において材の破壊が節などの欠点によって影響を受ける場合もあるのに対し、曲げヤング係数は材のたわみにくさを測定するので、材の欠点の影響を受けにくい。さらに、らせん木理角と曲げヤング係数との関係については、ほかのカラマツ資料の測定結果で、心持正角材には相関関係が認められないこと(橋爪ら、未発表)、およびここでの北海道産の資料でも、心持正角材の材面上での繊維走向方向が定まらないため傾斜角の定量は困難である⁽⁵²⁾ことから、らせん木理角と強度性能についての検討は行わなかった(以下、曲げ強度性能についても同様である)。

表-37 長野地域林分のカラマツ心持正角(10.5cm)における曲げヤング係数及び曲げ強度の林分間比較

Comparison of modulus of elasticity in bending(MOE) and bending strength(MOR) between stand locations in Nagano.

Stands	Modules of elasticity(MOE)						Bending strength(MOR)					
	Kuro.	Ine.	Hase	Kita.	Usuda	Moti.	Kuro.	Ine.	Hase	Kita.	Usuda	Moti.
	92.6	77.9	90.2	98.6	104.6	99.9	412	408	370	424	457	477
	----- t-value -----						----- t-value -----					
Kurohime	-	3.24*	0.55	0.51	1.80	1.33	-	0.11	1.29	0.32	1.13	1.68
Inekoki		-	3.44*	2.66	5.02**	5.29**		-	1.34	0.50	1.52	2.01
Hase			-	0.12	2.77	2.39			-	1.46	2.31	2.79
Kitaaiki				-	2.29	2.07				-	0.83	1.19
Usuda					-	0.78					-	0.46
Motizuki						-						-

* 5% significance level. ** 1% significance level

長野および北海道地域における調査林分の心持正角材の実大材強度試験の資料を用いて比較検討を試みた。

(1) 長野県地域内の林分間の比較

各林分平均曲げヤング係数（表-25）を用いて林分間の比較を試みた（表-37）。長野の林分では稲核の曲げヤング係数が最も低い値（77t/cm²）であった他は、全ての林分で90t/cm²以上であった。

したがって、稲核のみが他の林分と有意な差が認められた。

(2) 北海道地域内の林分間の比較

長野におけると同じように、小泉ら⁽⁵²⁾の資料を用いて林分平均曲げヤング係数の林分間比較を試みた（表-38）。

表-38 北海道地域林分のカラマツ心持正角（10.5cm）における曲げヤング係数及び曲げ強度の林分間比較¹⁾

Comparison of modulus of elasticity in bending(MOE) and bending strength(MOR) between stand locations in Hokkaido.

Stands	Modules of elasticity(MOE)					Bending strength(MOR)				
	Kitami	Shibe.	Kikonai	Urakawa	Shizu.	Kitami	Shibe.	Kikonai	Urakawa	Shizu.
	69.3	88.1	92.0	68.5	80.0	347	404	399	328	374
	----- t-value -----					----- t-value -----				
Kitami	-	8.28**	6.62**	0.28	4.62**	-	6.23**	3.79**	1.63	2.76
Shibetsu		-	0.83	4.93**	2.56		-	0.26	4.75**	2.22
Kikonai			-	5.99**	3.84**			-	4.60**	1.67
Urakawa				-	5.44**				-	4.08**
Shizunai					-					-

* 5% significance level ** 1% significance level

Note: 1) Data from KOIZUMI.A, UEDA.K and KATAYOSE.T(1987).

北海道の資料では、曲げヤング係数が長野よりやや低い値を取っている。中でも北見と浦河はほぼ70t/cm²であるのに対し、士別、木古内および静内の林分は80t/cm²以上であった。川口ら⁽⁴⁶⁾は北海道幾寅産のカラマツ心持正角での曲げ強度試験で、平均年輪幅4.6mm、平均曲げヤング係数76.9t/cm²をえており、高橋ら⁽¹²¹⁾は、同じく高齢カラマツ林での心持正角材で、平均年輪幅7.6mm、平均曲げヤング係数78.7t/cm²を得ている。これらの値は小泉らの資料に近い値を示していた。

小泉ら⁽⁵²⁾の値を用いた林分比較では、林分間の平均値間の差の大きなものが有意性が認められた。

(3) 曲げヤング係数の地域間の比較

林分平均曲げヤング係数の単純な長野と北海道の比較（表-39）では、明らかに北海道の林分で北見、浦河および静内のような長野の林分より曲げヤング係数の低い値の林分が、ほぼ同じ値の長野の稲核を除いて他の長野の林分との間に有意な差が認められた。しかし、ここでは、生育環境の異なる両地域での材の強度比較をすることであるから、同じ年輪幅や気乾比重などでの強度比較でないと意味を持たない。

曲げヤング係数は材の密度である気乾比重やこの気乾比重と関連性のある年輪幅などと関係することは多くの報告がある。

a. 年輪幅と曲げヤング係数との関係

同じ年輪幅を持つ材が両地域で異なる曲げヤング係数を取るかを検討した。

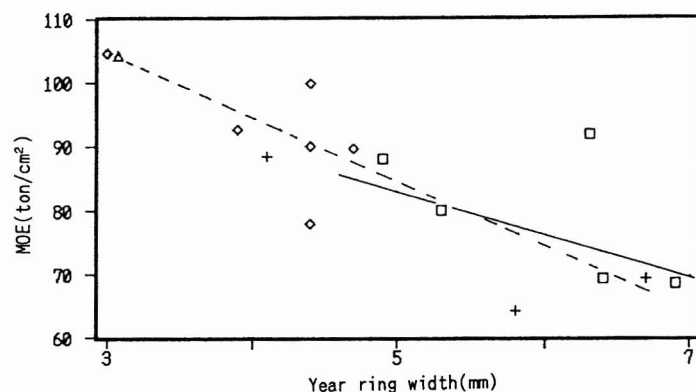


図-48 北海道、長野別カラマツ林分での年輪幅と曲げヤング係数との関係
Relationship between year ring width and modulus of elasticity in bending(MOE) of sampled stands in Nagano and Hokkaido.
□+: Hokkaido, ◇△: Nagano

表-39 カラマツ心持正角 (10.5cm) における曲げヤング係数の北海道と長野の地域間比較

Comparison of average modulus of elasticity in bending of boxed-heart squares between localities in Hokkaido and Nagano.

(Hokkaido)						
		Kitami	Shibetsu	Kikonai	Urakawa	Shizunai
	Av.	69.3	88.1	92.0	68.5	80.0
(Nagano)		----- t-value -----				
Kurohime	92.6	7.96**	1.11	0.11	5.28**	3.48**
Inekoki	77.9	3.06*	2.66	3.22*	2.84	0.81
Hase	90.2	7.50**	0.54	0.43	6.75**	3.96*
Kitaaiki	98.6	5.47**	0.30	0.45	5.70**	3.25**
Usuda	104.6	8.71**	2.96*	1.95	7.44**	6.38**
Motizuki	99.9	9.06**	2.54	1.57	8.71**	6.90**

* 5% significance level.

** 1% significance level.

図-48は高橋ら⁽¹²¹⁾の資料も加えた北海道林分と、富士山の資料を含む長野の林分について、林分平均年輪幅と曲げヤング係数との関係を図示したものである。両者の関係は負の相関関係が成立することが予想されたので、両地域の林分にそれぞれ直線回帰式を当てはめたところ、北海道については、

$$y = -6.75x + 116.66 \quad R^2 = 0.3564$$

ただし、y: 曲げヤング係数(t/cm²)、x: 林分平均年輪幅(mm)である。

長野の林分については、

$$y = -10.20X + 134.43 \quad R^2 = 0.5297$$

が与えられた。そこで両回帰式の回帰定数および回帰係数間に差がみられるかを検定したところ、いずれにも差は認められなかった(表-40)。したがって両地域の林分資料を全部一括して直線回帰式を当てはめたところ、

$$y = -8.58x + 127.64 \quad R^2 = 0.6568$$

が得られた。

これらのことから、両地域の林分の曲げヤング係数の違いは、年輪幅の違いでもあり、年輪幅の大きな北海道の林分では曲げヤング係数も長野の林分に比べやや小さい傾向にある。たぶん同じ年輪幅であればほぼ同じ曲げヤング係数を取るであろう。

表-40 年輪幅と曲げヤング係数での北海道及び長野地域の二つの直線回帰の差の検定
Comparison of regression line A(Hokkaido) and B(Nagano) in relation to year ring width and modulus of elasticity in bending(MOE).

Source	df	Sum of Squares, Products			Deviations from Reg.			
		Σx^2	Σxy	Σy^2	Regr. coeff	df	SS	MS
Reg. A	7	6.57996	-44.43970	842.23000	-6.75380	6	542.094000	90.349000
Reg. B	6	2.78857	-28.45340	549.25000	-10.20360	5	258.924000	51.784700
						11	801.017000	72.819800
	13	9.36852	-72.89310	1391.48000	-7.78064	12	824.326000	68.693800
Between Reg.						1	23.308600	23.308600
Total	14	21.65730	-185.74400	2427.81000	-8.57651	13	834.777000	
						1	10.450600	10.450600

Comparison of slope $F=23.308600/72.819800=0.32$ no significance

Comparison of height $F=10.450600/68.693800=0.15$ no significance

高田ら⁽¹²³⁾や小泉ら⁽⁵⁴⁾は、長野県を中心とした本州中部産のカラマツ種子を用いた北海道における産地試験林3ヶ所から樹幹ヤング係数を測定した結果、種子産地間に有意な差が認められた試験地は1ヶ所のみであった。このことから、各種子産地はそれぞれの試験地において産地×環境の交互作用を受けることによって本来有している遺伝的特性の発現に差異を生じていることが示唆され、植栽環境によって成長・材質ともに大きく変動することを報告した。また、小泉ら⁽⁵³⁾はカラマツ実生の18年生次代検定林で、胸高直径と樹幹ヤング係数との間に負の相関($r=-0.28$)が有意水準1%で認められたことを報告した。

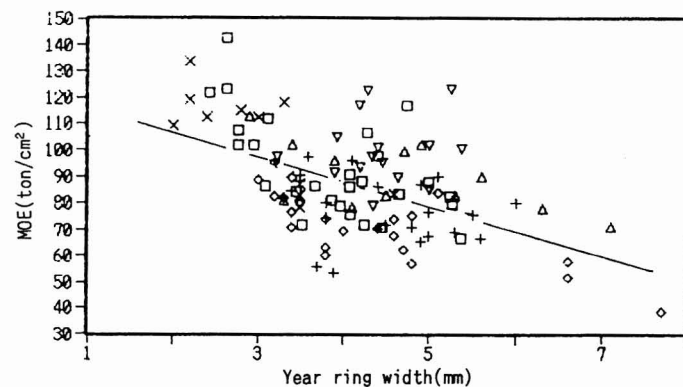


図-49 長野の林分における心持正角材の年輪幅と曲げヤング係数との関係
Relationship between year ring width and modulus of elasticity in bending(MOE) of sampled specimens in Nagano.
□:Kurohime, +:Inekoki, ◇:Hase, △:Kitaiki, ×:Usuda, ▽:Motizuki.

長野県の6林分からの心持正角材111本を用いて、年輪幅と曲げヤング係数との関係に直線回帰を当てはめ検討したところ(図-49)、表-41に示すように回帰の有意性が認められ、回帰式は、

$$y = -9.47x + 126.43 \quad R^2 = 0.2064$$

であった。

表-41 カラマツ長野地域の林分試料での年輪幅と曲げヤング係数
との回帰の有意性検定

Analysis of variance for regression between year ring width
and modulus of elasticity in bending in Nagano.

Source	DF	SS	MS	F
Explained by reg.	1	10606.67808	10606.67808	42.713**
Unexplained by reg.	110	27315.72192	248.324745	
Total	111	37922.40000		

** 1% significance level.

b. 気乾比重と曲げヤング係数

同じ密度の材の場合でも、生育環境の異なる北海道と長野の地域間で曲げヤング係数に差が認められるかを検討した。

図-50は気乾比重と曲げヤング係数との関係を高橋ら⁽¹²¹⁾の資料を加えた北海道林分と長野（富士山資料を含む）の林分について図示したものである。気乾比重と曲げヤング係数とは、明らかに正の相関関係があることが分かる。そこで、前項と同じように各々の地域別に直線回帰式を当てはめた。北海道については、

$$y = 237.03x - 34.06 \quad R^2 = 0.6500$$

ただし、 y : 曲げヤング係数 (t/cm^2)、 x : 気乾比重 (g/cm^3) である。

長野については、

$$y = 186.26x - 1.00 \quad R^2 = 0.6557$$

であった。

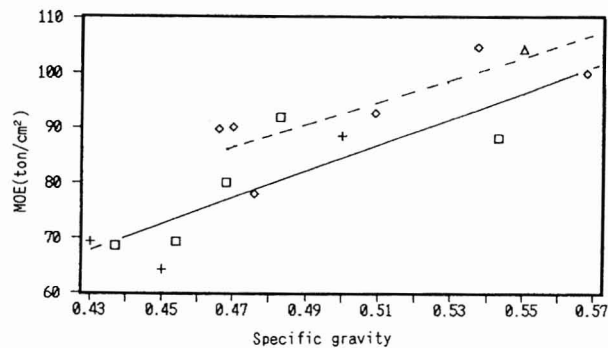


図-50 北海道、長野別カラマツ林分での気乾比重と曲げヤング係数との関係
Relationship between specific gravity and modulus of elasticity
in bending(MOE) of sampled stands in Nagano and Hokkaido.
□+: Hokkaido, ◇△: Nagano

両回帰式の回帰定数間および係数間の差の検定を行ったところ、いずれにも差は認められなかった (表-42)。そこで、全資料を一括して回帰直線式を当てはめると、

$$y = 257.78x - 40.90 \quad R^2 = 0.7163$$

となった。

前項年輪幅と同様、同じ気乾比重を持つ材であれば両地域に関係なく同じ曲げヤング係数を持つことが予想された。

表-42 気乾比重と曲げヤング係数での北海道及び長野地域の二つの直線回帰の差の検定
Comparison of regression line A(Hokkaido) and B(Nagano) in relation to specific gravity and modulus of elasticity in bending(MOE).

Source	df	Sum of Squares, Products			Rer. coeff	df	Deviations from Reg.	
		Σx^2	Σxy	Σy^2			SS	MS
Reg. A	7	0.00974	2.30957	842.23000	237.03200	6	294.787000	49.131200
Reg. B	6	0.01038	1.93356	549.25000	186.26000	5	189.104000	37.820900
						11	483.892000	43.990200
	13	0.02012	4.24313	1391.48000	210.84200	12	496.848000	41.404000
Between Reg.						1	12.956500	12.956500
Total	14	0.02617	6.74561	2427.81000	257.78400	13	688.901000	
						1	192.053000	192.053000

Comparison of slope $F=12.956500/43.990200=0.29$ no significance

Comparison of height $F=192.053000/41.404000=4.64 < F_{0.05}=4.75$ no significance

北海道材は年輪幅が大きいことに関連して、気乾比重が長野に比べ比較的小さい傾向にあるので、曲げヤング係数も小さい値を示すようであった。

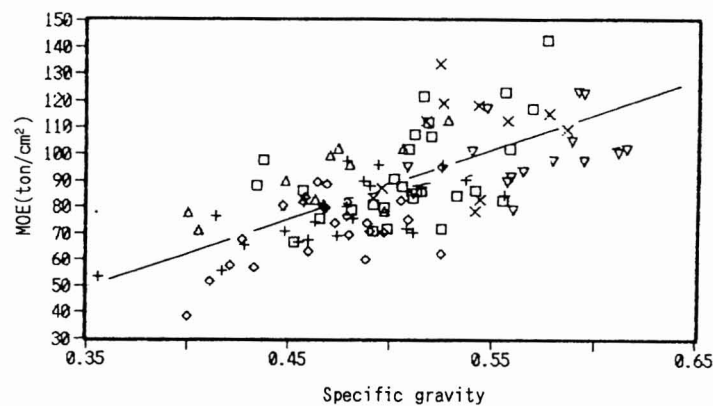


図-51 長野の林分における心持正角材の気乾比重と曲げヤング係数との関係
Relationship between specific gravity and modulus of elasticity in bending(MOE) of sampled specimens in Nagano.
□:Kurohime, +:Inekoki, ◇:Hase, △:Kitaaiki, ×:Usuda, ▽:Motizuki.

長野地域での6林分からの心持正角材111本について、気乾比重と曲げヤング係数との関係に直線回帰式を当てはめると(図-51)、次式が得られ、

$$y = 242.83x - 34.35 \quad R^2 = 0.4352$$

回帰の有意性の検定でも有意水準1%で有意差が認められた(表-43)。

表-43 カラマツ長野地域の林分試料での気乾比重と曲げヤング係数との回帰の有意性検定
Analysis of variance for regression between specific gravity and modulus of elasticity in bending in Nagano.

Source	DF	SS	MS	F
Explained by reg.	1	16503.95062	16503.95062	84.76**
Unexplained by reg.	110	21418.44974	194.71317	
Total	111	37922.40036		

** 1% significance level.

以上のように曲げヤング係数と年輪幅および気乾比重とは関連性のあることがわかったが、関連性の強さでは気乾比重の方が年輪幅より高い傾向にあった。

5. 曲げ強度

一般に実大材の曲げ強度は材にみられる節や材の繊維傾斜度（回旋角度）など、その材の持つ固有な要因によって影響を受ける。畑山⁽²³⁾や上田⁽¹³⁴⁾は、実大材曲げ性能に関して節による断面欠損より節周辺の繊維の乱れが強度低下に関与することを認めている。福原ら⁽¹³⁾は節と強度性能の関係調べ、節の増加が比重を高め、逆にMOE、MORの値を低くしていることを確かめた。しかし、樹心を含む心持材では未成熟材部が強度自体小さいために、節の影響が支配的にならない⁽⁵²⁾。また、繊維傾斜についても、心持正角材は材面上で繊維の走行方向が一定にならないため、はっきりとした強度性能との関係は認められない⁽⁵²⁾。これらの報告から節や繊維傾斜などの影響を考えずに年輪幅や気乾比重との関係をみることができると考え、長野での6林分からの心持正角実大材に対し曲げ強度を測定した。なお、北海道の資料は、小泉ら⁽⁵²⁾の資料によった。

(1) 長野県地域内の曲げ強度の比較

長野県内6林分における平均曲げ強度値は長谷の370kg/cm²を最低に、最高は望月の477kg/cm²であった。これらの平均値の差の検定を各林分間で行ったところ、表-37に示す結果が得られた。曲げヤング係数では稲核と他の林分間に差が認められたが、曲げ強度についてはいずれの林分においても林分内強度値にバラツキが大きいいためか、林分間には明かな差は認められなかった。

(2) 北海道地域内の曲げ強度の比較

小泉ら⁽⁵²⁾の資料を用いて林分平均曲げ強度の地域内林分間の比較を行ったところ、表-38に示す結果が得られた。北海道の各林分での平均曲げ強度値は長野における値よりもやや低く、林分平均曲げ強度値は328kg/cm²～404kg/cm²の範囲にあった。

林分間比較では、強度値の低い北見と浦河の2林分が他の林分と比べ有意な差が認められた。この結果は、曲げヤング係数での比較結果とほぼ同じであった。

(3) 曲げ強度の地域間の比較

北海道および長野地域の林分の平均曲げ強度値の比較では（表-44）、前項の曲げヤング係数の比較結果とほぼ同じ結果となった。

北海道の林分の中でも曲げ強度値の低い北見、浦河は長野での同じように低い値を示した長谷との関係を除き有意な差が認められた。

表-44 カラマツ心持正角（10.5cm角）における曲げ強度の北海道と
長野の地域間比較
Comparison of average bending strength of boxed-heart squares
between localities in Hokkaido and Nagano.

		(Hokkaido)				
		Kitami	Shibetsu	Kikonai	Urakawa	Shizunai
Av.		347	404	399	328	374
(Nagano)		t-value				
Kurohime	412	4.43**	0.37	0.38	2.98*	1.62
Inekoki	408	4.73**	0.24	0.37	3.89**	1.93
Hase	370	1.60	1.70	0.96	1.64	0.19
Kitaaiki	424	4.61**	0.86	0.84	4.02**	2.36
Usuda	457	6.47**	2.24	1.99	5.68**	4.02**
Motizuki	477	7.53**	3.03*	2.17	4.91**	4.05**

* 5% significance level.

** 1% significance level.

反対に、長野地域の林分とほぼ同じ値を示した士別や木古内の林分は比較した長野の林分とは有意な差は認められなかった。

単に林分平均曲げ強度値の比較だけでなく、前項と同じように年輪幅や気乾比重が同じ場合、材の強度は地域によって異なるかを検討した。

a. 年輪幅と曲げ強度

北海道と長野の林分資料を年輪幅と曲げ強度との関係グラフ示した(図-52)。曲げヤング係数と同様、全体として年輪幅が大きくなると曲げ強度値は低くなる傾向が認められた。また同じ年輪幅で両地域の曲げ強度値に地域的な差があるかをみるため、北海道の林分と長野の林分別々に直線回帰式を当てはめ、回帰定数および係数の差の検定を行った。

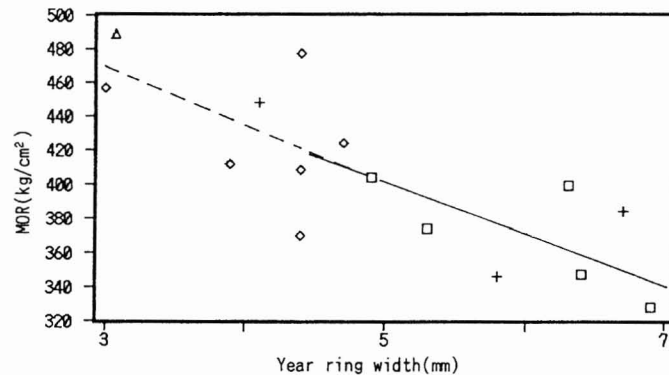


図-52 北海道、長野別カラマツ林分での年輪幅と曲げ強度との関係
Relationship between year ring width and bending strength(MOR)
of sampled stands in Nagano and Hokkaido.
□+: Hokkaido, ◇△: Nagano

北海道に対しては、

$$y = -30.11x + 553.37 \quad R^2 = 0.5653$$

ただし、y: 曲げ強度 (kg/cm²)、x: 平均年輪幅 (mm) である。

長野に対しては、

$$y = -34.08x + 569.20 \quad R^2 = 0.3057$$

であった。

表-45 年輪幅と曲げ強度での北海道及び長野地域の二つの直線回帰の差の検定
Comparison of regression line A(Hokkaido) and B(Nagano) in relation to
year ring width and bending strength(MOR).

Source	df	Sum of Squares, Products			Rer. coeff	df	Deviations from Reg.	
		Σx^2	Σxy	Σy^2			SS	MS
Reg. A	7	6.57996	-198.10000	10549.50000	-30.10650	6	4585.410000	764.235000
Reg. B	6	2.78857	-95.02340	10755.70000	-34.07610	5	7517.720000	1503.540000
						11	12103.100000	1100.280000
	13	9.36852	-293.12300	21305.20000	-31.28810	12	12134.000000	1011.170000
Between Reg.						1	30.862300	30.862300
Total	14	21.65730	-665.97700	32618.00000	-30.75060	13	12138.800000	
						1	4.794920	4.794920

Comparison of slope $F = 30.862300 / 1100.280000 = 0.03$ no significance

Comparison of height $F = 4.794920 / 1011.170000 = 0.005$ no significance

両回帰直線の回帰定数および回帰係数の差の検定をおこなったところ、回帰定数および回帰係数間に有意な差は認められなかった(表-45)。すなわち、同じ年輪幅の材であれば両地域の材はほぼ同じ曲げ強度値を持つことになると言えよう。

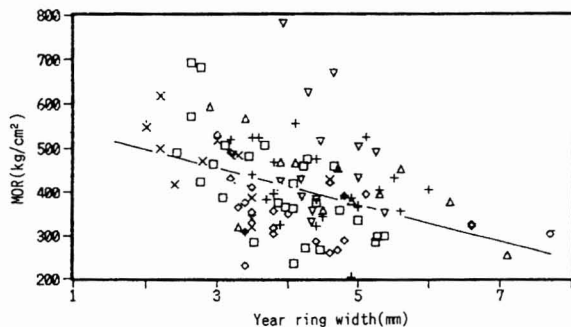


図-53 長野の林分における心持正角材の年輪幅と曲げ強度との関係
Relationship between year ring width and bending strength(MOR)
of sampled specimens in Nagano.
□:Kurohime, +:Inekoki, ◇:Hase, △:Kittaiki, ×:Usuda, ▽:Motizuki.

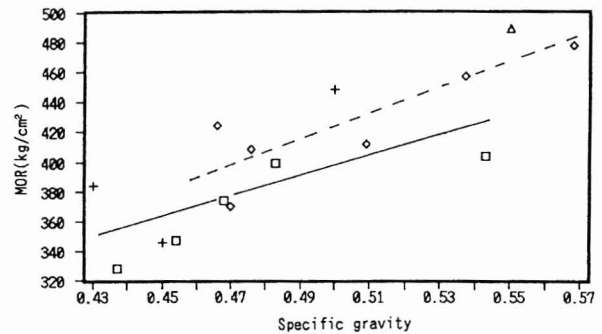


図-54 北海道、長野別カラマツ林分での気乾比重と曲げ強度との関係
Relationship between specific gravity and bending strength(MOR)
of sampled stands in Nagano and Hokkaido.
□+: Hokkaido, ◇△: Nagano

表-46 カラマツ長野地域の林分試料での年輪幅と曲げ強度
との回帰の有意性検定

Analysis of variance for regression between year ring
width and bending strength in Nagano.

Source	DF	SS	MS	F
Explained by reg.	1	199889.2663	199889.2663	21.294**
Unexplained by reg.	110	1032580.7340	9387.0975	
Total	111	1232470.0003		

** 1% significance level.

北海道および長野両地域の林分を含めた回帰直線を求めたところ、次のようになった。

$$y = -30.75x + 556.49 \quad R^2 = 0.6294$$

長野県内6林分からの心持正角材111本の測定値を用いて、年輪幅と曲げ強度との関係(図-53)に直線回帰式を当てはめたところ次式が得られた。

$$y = -41.09x + 584.19 \quad R^2 = 0.1622$$

回帰の有意性の検定では表-46に示すように有意水準1%で有意となった。

b. 気乾比重と曲げ強度

北海道と長野の各林分について、平均気乾比重と曲げ強度値とを図示したところ、図-54に示す結果となった。全体の傾向として気乾比重が大きいほど曲げ強度値も大きい傾向にあった。同じように両地域別に直線回帰式を当てはめるところ、北海道に対しては、

$$y = 700.06x + 49.29 \quad R^2 = 0.4527$$

ただし、y: 曲げ強度 (kg/cm²)、x: 気乾比重 (g/cm³) である。

長野に対しては、

$$y = 887.69x - 19.69 \quad R^2 = 0.7605$$

表-47 気乾比重と曲げ強度での北海道及び長野地域の二つの直線回帰の差の検定
Comparison of regression line A(Hokkaido) and B(Nagano) in relation to specific gravity and bending strength(MOR).

Source	df	Sum of Squares,Products			Deviations from Reg.		
		Σx^2	Σxy	Σy^2	Res.coeff	df	SS MS
Reg. A	7	0.00974	6.82117	10549.50000	700.06000	6	5774.280000 962.379000
Reg. B	6	0.01038	9.21509	10755.70000	887.68900	5	2575.610000 515.123000
						11	8349.890000 759.081000
	13	0.02012	16.03630	21305.20000	796.84500	12	8526.830000 710.569000
Between Reg.						1	176.942000
Total	14	0.02617	24.30420	32618.00000	928.78900	13	10044.500000
						1	1517.700000 1517.700000

Comparison of slope $F=176.942000/759.081000=0.23$ no significance

Comparison of height $F=1517.700000/710.569000=2.14$ no significance

であった。これら2つの回帰式について回帰定数および回帰係数の差の検定をおこなったところ、回帰係数間および定数間には有意な差は認められなかった(表-47)。したがって、両地域の林分資料を一括して直線回帰式を当てはめると、

$$y=928.79x-50.11 \quad R^2=0.6921$$

となった。

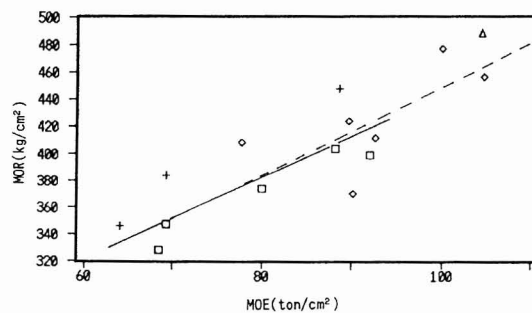


図-55 北海道、長野別カラマツ林分での曲げヤング係数と曲げ強度との関係
Relationship between modulus of elasticity in bending(MOE) and bending strength(MOR) of sampled stands in Nagano and Hokkaido.
□+: Hokkaido, ◇△: Nagano

表-48 曲げヤング係数と曲げ強度での北海道及び長野地域の二つの直線回帰の差の検定
Comparison of regression line A(Hokkaido) and B(Nagano) in relation to modulus of elasticity in bending(MOE) and bending strength(MOR).

Source	df	Sum of Squares,Products			Deviations from Reg.		
		Σx^2	Σxy	Σy^2	Res.coeff	df	SS MS
Reg. A	7	842.23000	2420.77000	10549.50000	2.87423	6	3591.660000 598.610000
Reg. B	6	549.25000	1793.53000	10755.70000	3.26542	5	4899.120000 979.824000
						11	8490.780000 771.889000
	13	1391.48000	4214.30000	21305.20000	3.02864	12	8541.650000 711.804000
Between Reg.						1	50.873000
Total	14	2427.81000	7638.28000	32618.00000	3.141616	13	8586.760000
						1	45.110400 45.110400

Comparison of slope $F=50.873000/771.889000=0.07$ no significance

Comparison of height $F=45.110400/711.804000=0.06$ no significance

この結果は、前項の気乾比重と曲げヤング係数との関係と同様に、同じ気乾比重を持つ材ならば地域間によって曲げ強度値に違いが生じないことになる。このことは、曲げ強度値と関連性の高い曲げヤング係数値との関係でみても有意な差が生じていないことからもいえた。曲げ強度値と曲げヤング係数との関係(図-55)では、明らかに両者間には高い相関関係がみられ($R^2=0.7368$)、また両地域間には回帰定数および係数間ともに差が認められなかった(表-48)。

表-49 カラマツ長野地域の林分試料での気乾比重と曲げ強度との回帰の有意性検定

Analysis of variance for regression between specific gravity and bending strength in Nagano.

Source	DF	SS	MS	F
Explained by reg.	1	272191.712	272191.712	28.50**
Unexplained by reg.	110	1050648.289	9551.348	
Total	111	1322840.001		

** 1% significance level.

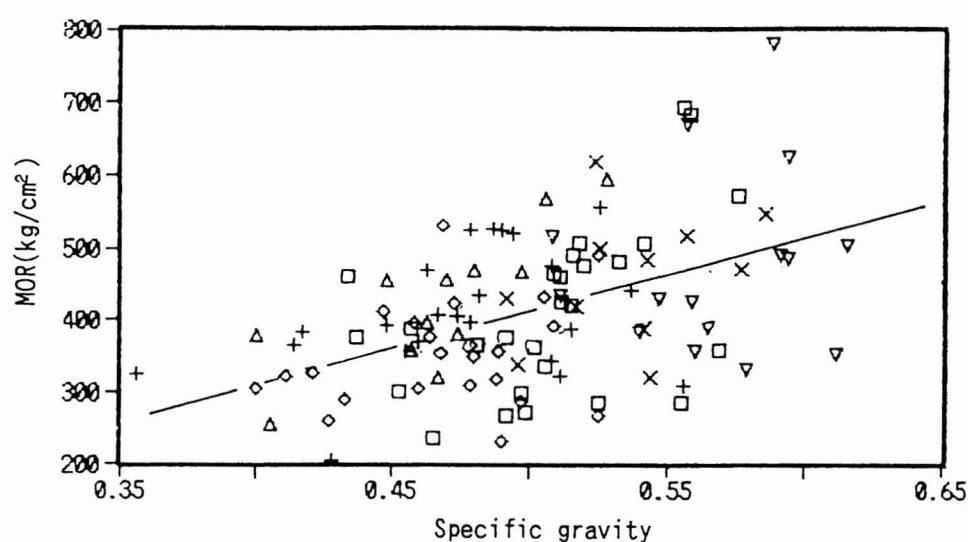


図-56 長野の林分における心持正角材の気乾比重と曲げ強度との関係
Relationship between specific gravity and bending strength(MOR) of sampled specimens in Nagano.

□:Kurohime, +:Inekoki, ◇:Hase, △:Kitaaki, ×:Usuda, ▽:Motizuki.

長野県内6林分からの心持正角材111本の測定値を用いて、気乾比重と曲げ強度との関係に直線回帰式を当てはめたところ(図-56)、次式が得られ、回帰の有意性の検定では表-49に示すように有意水準1%で有意となった。

$$y = 922.30x - 45.67 \quad R^2 = 0.2104$$

Ⅲ. 摘 要

カラマツが本来の天然分布域から遠くはなれて、しかも北海道のように高緯度地域に植栽された場合、日長や気温など本来の生育環境とは異なった条件下で生育することになる。このような生育条件下では、生育期間や冬芽形成時期などに違いがみられるようで、カラマツは材質的にみてもこの生育の違いが本来の生育地での材質と比べ異なることが予想された。

両地域材の材質比較に当たっては、比較資料ができるだけ同じ条件を持った資料でなければならない。そこで、密度管理などの施業の影響をできるだけ排除することを考えると、本格的な密度競争が始まる前の段階であると考えられる生育初期段階を含む資料、すなわち心持正角材を利用することが適しているものと考えた。ここでは各調査林分の標本木丸太から製材した10.5cm心持正角材を用い、北海道の資料として小泉ら⁽⁵²⁾の報告した資料を主として利用し、長野県の資料については、向山ら⁽⁷⁶⁾、橋爪ら⁽¹⁹⁾、武井⁽¹²⁷⁾の調査資料を用いた。さらに長野県の資料には他に山梨県富士山での既発表資料⁽⁷⁹⁾も加えて比較検討を試みた。

比較検討項目としては、回旋角最大値および平均回旋角、平均年輪幅、気乾比重、曲げヤング係数および曲げ強度の6項目であった。

比較検討項目別の結果は次のとおりに要約された。

- (1) 回旋角最大値の長野地域内林分間比較では、いずれの林分間にも有意な差は認められなかった。また、北海道地域内での林分間比較では、北見の林分を除き、いずれの林分間でも差は認められなかった。長野と北海道両地域間の比較では一部の林分を除きほとんど差が認められなかった。両地域間では樹齢や林分密度など大きな違いがあるにも関わらず差が認められなかったことは、回旋角最大値の値は成長の違いや生育環境の違いによって影響を受けることは少ないものと考えられた。
- (2) 平均回旋角の長野地域内林分間比較では、いずれの林分間でも有意な差は認められなかった。北海道地域内林分間の平均回旋角比較では、浦河の林分以外他の林分間では有意な差は認められなかった。

長野と北海道地域間の比較では、いずれの林分間にも有意な差は認められなかった。このように平均回旋角においても地域間に差が認められなかったことは、次項に示す年輪幅の違いによる回旋角への影響もみられなかったことから、生育環境の違いによる影響よりも遺伝的要因の関与が大きいものと考えられた。

- (3) 平均年輪幅の長野地域内林分間比較では、最も年輪幅が小さな値を示した臼田の林分が他の林分と比べ有意な差がみられた。臼田以外の林分間では有意な差は認められなかった。仮にどの林分も植栽初期密度やその後の密度管理を同じとみると、臼田の林分は林齢に比べ樹高成長が低いことから、他の林分に比べ立地的な条件が良くないことによるものと考えられた。

北海道地域内の林分間比較では士別と静内の林分の値が小さいため、比較的大きな値の他の林分との間に有意な差が認められた。この士別と静内の林分の年輪幅の小さな値の原因は、やはり土壌条件など生育条件が良くないことによるものと考えられた。

長野地域の林分と北海道地域の林分との年輪幅比較では、北海道の林分で長野の林分とほぼ同じ年輪幅の値を示した士別の林分以外は、全ての林分間に有意な差が認められた。同じ心持正角材断面での長野地域の林分平均年輪幅の値は3.0mm～4.67mmであったが、北海道の林分では4.9mm～6.9mmであって、北海道の林分の中で最も成長の良くない士別の林分の値4.9mmでも、長野の林分と比べれば、最大値を持つ北相木の林分より大きな値を取っていた。このように土壌などの立地条件を考慮にいれても両地域の年輪幅成長には違いがみられるのではないかと考えられた。また、このこと

は生育旺盛な時期での日長や秋での成長休止期までの生育期間の長さの違い等によるものと推察された。

- (4) 気乾比重の長野地域内の林分間比較では、年輪幅が大きくなると気乾比重は小さくなる傾向が認められた。年輪幅の比較的大きな稲核、長谷および北相木の林分と年輪幅が小さな黒姫、臼田および望月の林分間で有意な差が認められた。

北海道の地域内林分間の平均気乾比重の比較では、最も年輪幅成長の良くない士別の林分は最も大きな気乾比重を取り、しかも他の林分全てと有意な差が認められ、最も成長の良い浦河は北見を除く全ての林分と有意な差が認められた。

長野地域の林分と北海道の林分間の気乾比重の比較では、北海道の林分の気乾比重の値が、年輪幅の大きい割にやや高い値を取っていたことから、年輪幅の比較ほどきれいな差が認められなかった。北海道の中でも最も年輪幅成長が小さい士別は最も高い気乾比重を持つが、長野での高い気乾比重を持つ臼田と望月以外の林分間に有意な差が認められた。また最も年輪幅が大きな浦河は気乾比重も最も小さいが、この林分と長野の林分とはほぼ全ての林分間で有意な差が認められた。

両地域の資料について年輪幅と気乾比重との関係を求めたところ、いずれの地域でも直線関係が認められ、各々の地域に直線回帰式を当てはめ、直線回帰の回帰定数および係数間の差の検定を行ったが、いずれにも有意な差は認められなかった。したがって、同じ年輪幅を持つ材であれば地域に関わらず、気乾比重もほぼ同じ値を取るものと考えられた。

- (5) 曲げヤング係数の長野地域での林分間比較では、比較林分の中で最も小さな曲げヤング係数の値を示した稲核の林分のみが他の林分と比べ有意な差が認められた。

北海道地域林分間の比較では、曲げヤング係数の小さな値の北見および浦河と、大きな値の木古内、士別および静内との間に有意な差が認められた。

長野地域の林分と北海道の林分との比較では、北海道の中でも小さな値を取った北見および浦河の林分と、次に低い値の静内の合わせて3林分が、ほぼ全ての長野地域の林分と有意な差が認められた。両地域に対し、各々年輪幅と曲げヤング係数および気乾比重と曲げヤング係数との関係をみたところ、いずれの地域でも両者間には直線関係が認められ、両地域の直線回帰間の回帰定数および係数の差の検定でも有意な差は認められなかった。北海道の林分は長野の林分に比べ年輪幅が比較的大きいので曲げヤング係数も小さい値を取るようであった。このことは気乾比重でも同じことが言えよう。

- (6) 曲げ強度値の長野地域での林分間比較では、曲げヤング係数よりも林分内のバラツキが大きいためか、いずれの林分間にも有意な差が認められなかった。

北海道地域での林分間比較では、曲げヤング係数の項と同じように、北見と浦河の林分が他の林分と比べ有意な差が認められた。

前項と同じように、長野と北海道地域の林分それぞれに、年輪幅と曲げ強度および気乾比重と曲げ強度との関係をみたが、いずれにも直線関係が認められ、直線回帰式を当てはめ両地域の直線回帰の回帰定数および係数について差の検定を行ったところ、いずれも両者に差が認められなかった。すなわち、同じ年輪幅および同じ気乾比重を持つ材は地域間に差がなく同じ曲げ強度値を持つことになる。

カラマツ材の材質に関する報告は多くはない。その中であって本研究を進める上で大変貴重な資料として、小泉ら⁽⁵²⁾の報告を利用させていただいた。

第Ⅳ章 総 合 考 察

カラマツが林業生産の目的で継続的に造林され始めたのは明治11（1878）年であった。また、明治20年代に盛んに植林されたカラマツ林も、第2次世界大戦時の乱伐によって、現在ではほとんど当時の林分を見ることができない。本格的なカラマツ造林は戦後から始まり、気候が乾燥・冷涼で雨量の少ないカラマツ天然分布域である本州中部から、東北地方や北海道などの類似した生育環境地域に造林が進められていった。カラマツの造林面積は現在では全国で約109万haも造林されて、わが国の人工林面積の約1割を占めるに至っている。

今日、戦後に植林されたカラマツ林は、ようやく成熟期を迎え、カラマツの材質に特徴的な「ねじれ」や「割れ」あるいは「ヤニの滲出」等の欠点も、人工乾燥^(18,69,74,76)などによる加工技術によって、これらの欠点の少ない加工材が次第に利用されるようになってくると、材の利用面から、カラマツ材の材質の解明や良質な材質を得るための施業技術の開発が必要となってきた。

本論文では(1)樹幹内の心材材積率および年輪幅制御のための施業技術の開発、(2)カラマツ材の「ねじれ狂い」の欠点の主要な要因となっている「らせん木理」について、そのほとんどが遺伝的要因の影響を受けると考えられているなかで、林分密度調節や枝打ちなどによって影響を受ける肥大成長との関連性を明らかにして、施業的に「らせん木理」制御の可能性の検討をすること、(3)本来の生育環境である天然分布域を離れて高緯度地方に植栽されたカラマツの成長と材質の違いの検討を行い、生育環境と材質との関係の解明により、目的とする材質を生産するための新しい施業技術を求めることを目的として進められた。

1. 心材形成および年輪幅制御のための施業技術の開発

幹の肥大成長は葉で生産された同化物質が樹幹師部を通過する際に、活きた細胞である辺材部の生活のために呼吸により消費されながら樹幹各部に配分され肥大していく^(61,86,87,100)と考えられている。そこで、筆者は同化物質の配分の仕方は、林木の同化物質の生産量の違いや樹幹に分布する辺材部の量や分布状況の違いなどに影響を受けるものと考え、同化物質の配分の仕方によって生じる連年成長量の樹幹における垂直的分布の仕方を解析すれば、辺材部量の分布状況も把握することができるものと考えた。

梢端から積算した積算幹材積連年成長量と同じ相対高で区分求積された幹材積と、同じように梢端からの積算幹断面積連年成長量と相対高位置での幹断面積との直線回帰の比例定数である L_{vi} 、 L_{gi} は、樹幹に沿った幹材積連年成長量および幹断面積連年成長量の垂直的配分状況を示す指標と考えられた。梶原⁽³⁵⁾は幹材積連年成長量の垂直的配分状況を示すものとして、梢端から陽樹幹基部位置までは増加し、それ以下では一定となる垂直的配分モデルを提案した。このモデルの適合は過密状態での樹冠長率が異常に小さい木での樹冠下部での成長量の減少や、孤立木のような樹冠長率が極めて大きな木での樹冠以下における成長量の増加傾向などのみられる木など、いろいろな林齢のスギ、ヒノキ人工林で検討したところ、平均誤差率は18%であったと報告している。

ここでの、 L_{vi} や L_{gi} を用れば、林木間でさまざまに異なった分布の形をとる連年成長量の垂直的配分状況を統一的に表現するものと考えた。また、 L_{vi} や L_{gi} などを用いて、林木の枝下高や枝下高率、葉量などの違いによる連年成長量の垂直的配分状況が異なる状況を明らかにすることができた。

さらに、樹幹に沿って分布する辺材部量についても、梢端からの積算辺材部幹材積と幹材積および

積算辺材部断面積と幹断面積との関係から、同じように直線回帰の比例定数である Lvs 、 Lgs が計算され、これらは辺材部量の垂直的分布状況を示す指標と考えられた。さらに、これらの値は樹幹内の心材材積率や葉の幹生産能率などと関連性が高いことが認められた。比例定数 Lvs や Lgs を用いた解析では連年成長量の配分の仕方と辺材部の分布の状況とは関連性があることがわかった。

林分平均枝下高と林木間平均距離との比と、林分上層木平均樹高を用いた相対幹距との関係を利用して、林分上層木平均樹高と ha 当りの林分密度とから、林分平均枝下高を推定することができた。推定に際しては、調査林分の中には完全に閉鎖し競争状態にある林分ではないものが含まれたためか、枝下高推定の全資料での平均誤差量は $1.3m$ 、平均誤差率は 12.2% となった。調査に際し、林分密度測定や上層木樹高測定などの測定誤差を考えれば、ほぼ良好な枝下高推定と考えられたが、一層精度の高い推定に向けて競争状態にある林分資料の収集を図りさらに検討する必要がある。

目標とする心材材積率を得るための林分施業管理モデル図を作成したが、この林分管理モデル図による施業はカラマツ林施業において全く新しい提案と考えられる。

枝下高相対幹距と胸高直径相対幹距とを用いて枝下高を推定することができた。この場合、上層木樹高での推定よりやや推定誤差は大きい傾向にはあったが、平均誤差量は $1.4m$ 、平均誤差率は 13.8% となって、上層木樹高での推定とほぼ同じ結果となった。

胸高位置での年輪幅と Lgi との関係式が成立することを利用して、目標とする年輪幅を得るための年輪幅の管理モデル図を作成した。このモデル図作成に関しても、今後葉量の小さな林木や大きな林木の資料を増して精度向上を図る必要がある。

本論では連年成長量の樹幹に沿った配分状況を示す Lvi や Lgi を用いて、心材材積率や年輪幅制御問題を論じたが、今後はさらに、これらの比例定数を用いて枝打ち後の幹材積成長量の解析やスギ品種間での樹幹に沿った成長量の垂直的配分の違いなど、さまざまな成長解析にも応用可能となろう。

2. カラマツ樹幹における肥大成長とらせん木理との関係

高い比重や曲げ強さなど針葉樹材の中でも優れた材質を持つカラマツ材は、他の樹種に比べて木理の回旋性が強いために、製材品のねじれ狂いが大きなことから、材の利用拡大の阻害要因ともなっていた。

カラマツの回旋性は遺伝要因による^(64,67,68)と考えられているが、成長初期などごく限られた成長期間では環境要因によって影響を受ける^(98,105,110,111,112,128)、と考える報告も見られる。ここでは、樹幹の肥大成長とらせん木理との関係について明らかにし、施業的な立場から回旋角制御の可能性について検討した。

まず、回旋角変動タイプ別出現率についてみると、小沢⁽⁹⁸⁾の提案したA、B、Cの3タイプのうち、Aタイプが約59%、ねじれ返しのみられるB、Cタイプがそれぞれ約27%、14%であった。また、小沢⁽⁹⁸⁾は福島県中道り地方でAタイプが24%、Bタイプが60%、Cタイプが16%であった。また、長野県南信地方のカラマツで、Aタイプが60%、Bタイプが36%、Cタイプが4%であった。このようにタイプ別出現率は地方や地域によっても異なることから、タイプ別出現の原因は明かでない。

回旋角最大値の現れる平均年輪数は、Bタイプが4.46年と最も早く現れた。全年輪を通して平均回旋角が最も大きなタイプはAタイプで、最も小さな値を示したのはBタイプであった。Cタイプは中間の値を示した。したがって、Bタイプの林木は回旋角最大値が早期に現れ、しかも全年輪を通じての平均回旋角も小さいことから、回旋角での材質を考える場合、材質的に好ましいものと考えられた。

年輪幅の大小が回旋角に与える影響を検討したところ、Aタイプのごく初期(3年輪)で年輪幅が

大きいと回旋角も大きくなる関係が認められたが、他のタイプでは明かな関係が認められなかった。

年輪幅の大小と回旋角との関連性では、全年輪を通して平均回旋角の大きなAタイプで、ごく限られた範囲で関わりを持っているようであった。このことからAタイプの林木では成長初期段階での回旋角の大小は、どちらかという立地要因に影響される方が大きいものと考えられた。たとえAタイプの林木が識別できなくとも、成長初期段階での裾枝払いや樹高成長に伴う枝打ち等の実施により、成長を抑える施業を進めることがカラマツ林施業を考える上で必要となろう。

3. カラマツの成長が材の密度や曲げ強度などの材質に及ぼす影響

近ごろ、長野地域に比べ材価の安いカラマツ中・小径の県外産が長野県内に移入されている現況にある。

長野県内カラマツ加工業者の間での北海道産材の評価として、長野地域産材と比べ材質的に強度性能がやや劣る傾向がありそうだ、あるいは材色がやや黄色味を帯びているようだ、等といった評価が出ている。また、長野地域内にあっても、佐久産材や上高地産材は、他の産地材と比べ、ねじれ狂いが少なく材色も良い、といった材評があるのも事実である。しかし、これらの評価に対し材質の立場からの検証はほとんどなされて来なかった。

この様な意味から、ここでは成長が材質に与える影響といった観点から、長野県内6林分からの資料と、小泉ら⁽⁵²⁾が報告した北海道5林分からの資料を用いて、長野県地域内および北海道地域内、さらには長野と北海道地域間の材質比較を試みた。

このカラマツ樹幹の肥大成長と材質との関係をみる場合、密度管理などの施業の影響をできるだけ小さくするため、10.5cm心持正角材といた限られた範囲内での成長と、材質的には未成熟材といわれる成長初期範囲での材質の比較になった。

また、今後の課題として検討しなければならない項目として、未成熟材部以外での材質比較、すなわち強度性能などの材質を考える上で重要な、気乾比重に影響を与えると考えられる晩材幅と肥大成長との関係および長野地域内あるいは北海道地域内での種子の産地の違いと成長および材質との関係を明らかにすること等があげられる。

今日、ニホンカラマツの国際産地試験が32年前から始まり、国内でも北海道や長野地域に試験地が設定され、産地の違いと成長および材質などの調査結果が明らかになりつつある。特に、北海道および長野の産地試験林における樹高、胸高直径、幹曲がり、枝の太さなど7項目に及ぶ形質の産地間比較^(78,137)が報告され、また材質に関しては樹幹ヤング係数について産地間の比較を試みた小泉⁽⁵⁵⁾の報告がある。

今後も材質に関する成果報告が多くなることを期待すると共に、長野県内のカラマツ林のほとんどを占める産地が明らかでないカラマツ人工林の材質について、立地条件や施業の違いと材質との関係を明かにし、良質なカラマツ材の生産に向けた施業技術を持たねばならない。

本論では長野と北海道の資料を用いて、成長の違いと回旋角最大値、平均回旋角、平均年輪幅、曲げヤング係数および曲げ強度の6項目の材質について比較検討した。

回旋角最大値および平均回旋角の両地域間の比較では、一部の林分を除きほとんどの林分で差は認められなかった。回旋角最大値は成長の違いや生育環境の違いによって影響を受けることは少ないものと考えられた。回旋角については遺伝的な要因の関与^(67,68)が大きいものと考えられた。

心持正角材内にみられるごく限られた期間での平均年輪幅の比較では、一部の林分を除き、長野地域の林分と北海道の林分とは林分間に有意な差が認められ、北海道の林分の方が年輪幅は大きかった。

このことは、両地域間での立地条件の違いの影響も考えねばならないが、北海道での生育旺盛な時期での日長や成長休止期までの生育期間の長さの違いなど気象環境要因による影響もあることが推察された。

気乾比重は強度性能などの材質にとって影響を与える重要な要因であるので、両地域で平均気乾比重に差があるかを検討した。その結果、年輪幅の比較の場合ほどきれいな差は認められなかった。気乾比重は年輪幅や晩材率によって影響を受けることから、同じ年輪幅で比較しなければならない。そこで両地域について年輪幅と気乾比重との関係式を求め、各々の回帰式の回帰定数および係数間の差の検定をおこなったところ、回帰定数および係数間には有意な差が認められなかった。このことから同じ年輪幅を持つ材であれば、気乾比重も同じ値を取るものと考えられた。

平均曲げヤング係数についても、気乾比重や年輪幅が異なるものの比較では意味がないので、まず、平均年輪幅と曲げヤング係数および気乾比重と曲げヤング係数との関係をみたが、どちらにも直線関係が認められ、両地域の回帰係数および定数間の差の検定では有意な差が認められなかった。すなわち、両地域材で年輪幅や気乾比重が同じ材ならば、曲げヤング係数は同じ値をとることになる。また、曲げ強度についても同じ検定を行ったところ両者には差が認められなかった。すなわち、同じ年輪幅および同じ気乾比重を持つ材は地域間に差がなく、同じ曲げ強度を持つことになる。

以上の結果を総合すると、ここでの数少ない資料に限れば、両地域間に平均年輪幅に差があることが認められることから、年輪幅と関係の高い曲げヤング係数および曲げ強度には年輪幅の違いによる両地域間差がでてくることが考えられた。しかし、両地域材で同じ年輪幅を持つものであれば、強度性能の違いは認められないようであった。今後、さらに強度性能などの材質の詳細な検討には、立地条件や気象条件、さらには施業の違いなどを含んだ多くの林分の調査資料が必要となろう。

4. 総合考察

以上の結果から、カラマツ材の材質向上のためには、今日行われているような疎植にして成長初期から肥大成長促進、という施業法ではなく、成長初期段階から肥大成長を抑制する施業法を採用することが必要であり、他樹種との混交や植栽本数の増大、あるいは早くからの裾枝払いの実施などの保育行為を行い、肥大成長の抑制を保ちつつ、本研究によって新しく提案した施業管理モデル図にしたがってカラマツ林を管理することが目的とする心材材積率や年輪幅を持ち、さらには高い強度性能を持つカラマツ材を育成する上で有効である。

最後に、カラマツの材質に関する報告は多くはない。その中において本研究を進める上で大変重要な資料として、小泉ら⁽⁵²⁾の報告した論文での試験結果を利用させて頂いた。

記して感謝申し上げる次第である。

第Ⅳ章 要 約

本論文において検討した結果を要約すると次のとおりである。

1. 心材形成および年輪幅制御のための施業技術の開発

- (1) 樹幹に沿った各相対高ごとの幹材積連年成長量を求め、梢端から積算した積算幹材積連年成長量と、同じ相対高で区分求積された幹材積とを対比したところ直線関係が成立した。同じように樹幹の各相対高位置における幹断面積連年成長量の積算値と各相対高での幹断面積とを対比すると直線関係が得られた。幹材積連年成長量での回帰の比例定数を L_{vi} とし、幹断面積での比例定数を L_{gi} とすると、両者は樹幹に沿った幹材積連年成長量および幹断面積連年成長量の垂直的配分状況を示す指標と考えられた。
- (2) これらの指標を用いることによって、林木の枝下高や枝下高率、葉量などの違いによる連年成長量の垂直的配分状況が異なることを明らかにすることができた。
- (3) 樹幹に沿って分布する辺材部についても、梢端からの積算辺材部幹材積と幹材積および積算辺材部断面積と幹断面積との関係を求めると直線関係が得られ、各々の直線回帰の比例定数をそれぞれ L_{vs} 、 L_{gs} とすると、これらは樹幹内の心材材積率や葉の幹生産能率などと関連性があり、樹幹に沿った辺材部の分布状況を示すものと考えられた。
- (4) 辺材部の分布状況を示す L_{vs} や L_{gs} は幹材積や幹断面積の連年成長量の分布状況を示す L_{vi} や L_{gi} とも相関関係があることが認められた。
- (5) L_{gi} と心材材積率との関係式を利用して、目標とする心材材積率を得るための林分施業管理モデル図を作成した。
- (6) 林分平均枝下高と林木間平均距離との比と、林分上層木平均樹高を用いた相対幹距との関係を利用して、林分上層木平均樹高と h_a 当りの林分密度とから、林分平均枝下高を推定することができた。
- (7) 枝下高相対幹距と胸高直径相対幹距とをもちいて枝下高を推定することができた。
- (8) 胸高位置での年輪幅と L_{gi} との関係式が成立することを利用して、目標とする年輪幅を得るための年輪幅の管理モデル図を作成した。

2. カラマツ樹幹における肥大成長とらせん木理との関係

- (1) 回旋角変動タイプ別出現率はAタイプが約59%、ねじれ返しのみられるB、Cタイプがそれぞれ約27%、14%であった。また、回旋角最大値の現れる平均年輪数は、Bタイプが4.46年と最も早く現れた。
- (2) 全年輪を通して平均回旋角が最も大きなタイプはAタイプで、最も小さな値を示したのはBタイプであった。Cタイプは中間の値を示した。したがって、Bタイプの林木が回旋角からみた場合、好ましいものと考えられた。
- (3) 年輪幅の大小が回旋角に与える影響を検討したところ、Aタイプのごく初期(3年輪)で年輪幅が大きいと回旋角も大きくなる関係が認められたが、他のタイプでは明かな関係が認められなかった。
- (4) 年輪幅の大小と回旋角との関連性では、全年輪を通して平均回旋角の大きなAタイプが、ごく限られた範囲で関わりを持っているようであった。このことから成長初期段階での成長の大小は林木そのものの遺伝的要素の存在は否定できないものの、どちらかという立地要因に影響される方

が大きいものと考えられた。施業的には裾枝払い等の実施により初期成長を抑える施業が考えられた。

3. カラマツの成長が材の密度や曲げ強度などの材質に及ぼす影響

- (1) 回旋角最大値の長野と北海道の両地域間の比較では、一部の林分を除きほとんどの林分で差は認められなかった。回旋角最大値は成長の違いや生育環境の違いによって影響を受けることは少ないものと考えられた。
- (2) 平均回旋角では、長野と北海道の林分間に有意な差は認められなかった。(1)での結果と同様、回旋角については遺伝的な要因の関与が大きいものと考えられた。
- (3) 心持正角内にみられるごく限られた期間での平均年輪幅の比較では、一部の林分を除き、長野地域の林分と北海道の林分とは林分間に有意な差が認められ、北海道の林分の方が年輪幅は大きかった。このことは、立地環境の違いや施業条件の違いなどをも考えねばならないが、気象環境要因として北海道での生育旺盛な時期での日長や成長休止期までの生育期間の長さの違いなどの違いもあるものと推察された。
- (4) 平均気乾比重の両地域間の比較では、年輪幅の比較の時ほどきれいな差は認められなかった。両地域の資料で年輪幅と気乾比重との直線回帰式を求め、各々の直線回帰式の回帰定数および係数間の差の検定をおこなったところ、いずれにも有意な差が認められなかったことから、同じ年輪幅を持つ材であれば、気乾比重も同じ値を取るものと考えられた。
- (5) 平均曲げヤング係数の両地域間の比較では、一部の林分を除き、差が認められた。(4)と同じように平均年輪幅と曲げヤング係数および気乾比重と曲げヤング係数との関係をみると直線関係が認められ、両地域の回帰係数および定数間の差の検定では有意な差が認められなかった。すなわち、両地域の材で年輪幅や気乾比重が同じ材ならば、曲げヤング係数は同じ値をとる。また、曲げ強度についても同じ検定を行ったところ両者には差が認められなかった。すなわち、同じ年輪幅および同じ気乾比重を持つ材は地域間に差がなく、同じ曲げ強度を持つことになる。
- (6) 以上の結果を総合すると、ここでの少ない資料に限れば、両域間に平均年輪幅に差が認められることから、年輪幅と関係の高い曲げヤング係数および曲げ強度には年輪幅の違いによる両地域間差がでてくることが考えられる。

謝 辞

最後に本研究を進める上で現地調査および資料の取りまとめにご協力いただいた長野県林業総合センターの育林部の前遊橋洪基研究技監兼部長をはじめ片倉正行育林部長、岡田充弘技師、小山泰弘技師、古川仁技師、元育林部の大木正夫主任研究員、小島耕一郎主任研究員および育林部職員の方々に感謝申し上げます。また、試験材の採取に関わる現地調査および材の採取にご協力いただいた前三村典彦林産部長、故向山繁人研究員および木材部研究員の方々、調査地の該当地方事務所林務課職員の方々、さらに、各種材質試験などを行っていただいた、木材部の故向山繁人研究員をはじめ橋爪丈夫主任研究員、柴田直明研究員、吉田孝久研究員、吉野安里研究員および取りまとめにご協力いただいた木材部および育林部女性職員の方々に感謝申し上げます。

また、本稿をまとめるにあたり、終始適切なアドバイスとご校閲をいただいた三重大学生物資源学部永田洋博士をはじめ渡辺定元博士、武田明正博士、徳田迪夫博士および田中和博博士に感謝申し上げます。

引用文献

- (1) 赤井龍男・浅田節夫・野笹多久男 (1964) : カラマツの休眠現象に影響する光と温度の条件. 75 回日林大論. 235~237.
- (2) 安藤 貴 (1968) : 同齢単純林の密度管理に関する研究. 林試研報. 210. 2~142.
- (3) 浅田節夫・赤井龍夫 (1962) : 造林技術的にみた信州のカラマツ林. 林業技術. 238. 36~41.
- (4) 浅田節夫 (1966) : カラマツ二代目不良造林地に関する研究. 信大農演習林報. 4. 1~65.
- (5) BANCARARI,M.A.E.,PERRY,D.A.,MARSHALL,J.D. (1987) Leaf area-sapwood area relationships in adjacent young Douglas-fir stands with different early growth rates. Can.J.For.Res. 17. 174~180.
- (6) 千葉宗男 (1950) : 樹木の心材形成に就いて. (第1報) クロマツ樹幹内に於ける心材部存在状況に就いて. 九大演報18. 59~70.
- (7) DENNE,M.P., (1979) Wood structure and production with in the trunk and branches of *Picea sitchensis* in relation to canopy formation. Can.J.For.Res. 9. 406~427.
- (8) 江口 完・渡辺富夫・森田健次郎・山根玄一・岡田 滋・合田昌義 (1972) : 北海道における林木の寒害. 北方林業叢書. 50. 3~6.
- (9) FARRAR,J.L., (1961) Longitudinal variation in the thickness of the annual ring. For.Chronicle 37. 323~330.
- (10) FUJIMORI,T.,KANAZAWA,Y.,KIYONO,K.,IIMORI,I.(1984) Crown development and stem growth in relation to stand density in even-aged pure stands (I) Stand structure of young *Cryptomeria japonica*. J.Jpn.For.Soc. 66. 132~140.
- (11) 藤原新二・岩神正朗 (1991) : 林分の疎開によるスギの成長と材質の変化. 高知大演報. 18. 11~20.
- (12) 藤沢義武・太田貞明・明石孝輝 (1995) : スギの材質と遺伝 (第4報) 年輪構造のクローンと植栽密度による変異. 木材学会誌. 41. 631~639.
- (13) 福原敬彦・仁平康介・松尾 毅 (1988) : 造林木の材質について. 宇都宮大演報. 24. 39~57.
- (14) 蜂屋欣二・棚秋一延・藤森隆郎 (1966) : 高密度のカラマツ幼齡木の成長解析. 日林誌 48. 445~448.
- (15) 半沢道朗・沢田稔 (1969) : カラマツ材の性質と利用. 北方林業会. 18~31.
- (16) 橋爪丈夫・奥村俊介・吉田孝久・三村典彦 (1983) : カラマツ材等による構造用製材の強度等級区分. 長野林指業務報告. 昭和58年度. 78~79.
- (17) 橋爪丈夫・三村典彦・吉田孝久・奥村俊介・向山繁人 (1986) : カラマツ材の実大材強度試験 (Ⅱ). 長野林指研報. 1. 14~18.
- (18) 橋爪丈夫・吉田孝久・吉野安里・武井富喜雄 (1987) : 長野県における乾燥技術とその普及. 第20回 林業技術シンポジウム. 全林試協. 19~29.
- (19) 橋爪丈夫・武井富喜雄・吉田孝久 (1992) : カラマツ等県産材の需要開発に関する総合研究. 長野林総セ研究報告. 6. 79~97.
- (20) 橋爪丈夫 (1993) : カラマツ構造用大断面集成材の強度性能評価. 住宅部材安全性向上事業報告書. 日本住宅・木材技術センター. 1~62.
- (21) 原田 洸 (1974) : 北海道の二代目造林. 北方林業. 8. 209~211.
- (22) 橋本良二・玉泉幸一郎 (1995) : スギ林における林冠の発達過程と個体の器官成長様式. 日林誌

77. 153～162.
- (23) 畑山 男 (1984) : 有節材の強度推定に関する研究. 林試研報. 326. 69～167.
- (24) 東浦康友・原秀穂 (1988) : 庭木・花木・林木の被害. ミスジツマキリエダシヤク. 養賢堂. 東京. 304～305.
- (25) 樋口隆昌 (1969) : 心材形成. 樹木生化学. 共立出版. 173～177.
- (26) 樋口隆昌 (1970) : 心材形成の機構. 日本木材学会誌 16. 99～103.
- (27) HILLS,W.E.,DITCHBURNE,N. (1974) The prediction of heart wood diameter in Radiata Pine trees. Can.J.For.Res. 4. 524～529.
- (28) 平井左門 (1951) : 落葉松樹幹に於ける心材部の増量の過程に就いて. 日林論 第59回. 231～235.
- (29) 平井左門 (1952) : 落葉松に於ける心材化の始期とその位置に就いて. 北大演報 15. 239～250.
- (30) 平井左門 (1953) : 落葉松に於ける枝條量と樹幹内各材部量、特に心材部量との関係. 北大演報 16. 197～251.
- (31) 井原直幸 (1972) : 林木の心材の測樹学的研究. 九大演報 46. 7～110.
- (32) 今井元政 (1978) : カラマツ造林の発祥. 信州からまつ造林100年の歩み. 長野県. 7～32.
- (33) 猪瀬光雄・真辺昭 (1979) : トドマツ樹幹の競合と幹の肥大成長. 北方林業 31. 267～272.
- (34) 加藤善忠 (1962) : カラマツの造林. 日林論. 73. 15～26.
- (35) 梶原幹弘 (1986) : 幹材積成長量の垂直的配分モデルとそれを利用した胸高断面積成長量と幹材積成長量の相互変換. 日林誌68. 338～342.
- (36) KANAZAWA,Y.,KIYONO,Y.,FUJIMORI,T.(1985) Crown development and stem growth in relation to stand density in even-aged pure stands (II) Clear-length model of *Cryptomeria japonica* stands as a function of stand density and tree height. J.Jpn.For.Soc.67. 391～397.
- (37) 金沢洋一 (1987) : 枝の枯れ上がりと枝下高モデルー若齡スギ林の場合. 北方林業 39. 238～241.
- (38) 加納 孟・中川伸策・斎藤久夫・小田正一 (1964) : カラマツの用材品質について (I) 用材品質におよぼす立ち木素材および角材の条件. 林試研報 162. 1～44.
- (39) 加納 孟・中川伸策・斎藤久夫・小田正一・重松頼生 (1965) : 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.
- (40) 加納 孟 (1965) : 森林の取扱方による材質. 林業科学技術振興所. 東京. p49.
- (41) 加納 孟 (1973) : 林木の材質. 日林協. 東京. p168.
- (42) 河田 弘・鷹見守兄・笠井正徳 (1962) : 大門国有林のカラマツ二代目造林不成績地について (1). 長野林友. 7. 26～32.
- (43) 河田 弘・鷹見守兄・笠井正徳 (1962) : 大門国有林のカラマツ二代目造林不成績地について (2). 長野林友. 8. 16～22.
- (44) 川口信隆・山本 宏・高橋政治・滝沢忠昭 (1979) : 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. 4～8.
- (45) 川口信隆・滝沢忠昭 (1983) : 二面交雑家系カラマツ材の材質 (第3報). 林産試月報. No.375. 1～10.
- (46) 川口信隆・高橋政治・大久保勲 (1987) : 幾寅産カラマツ人工林材の材質. 北海道林産試月報. 7. 1～12.
- (47) KEANE,M.G.,WEETMAN,G.F. (1987) Leaf area-sapwood cross sectional area relationship in

- repressed stands of Lodgepole Pine. Can.J.For. 17. 205~209.
- (48) KENDALL,J.A.,BROWN,J.K. (1978) Comparison of tree biomass estimators-DBH and sapwood area. For.Sci. 24. 445~457.
- (49) 吉良竜夫 (編) (1960) : 相対成長. 植物生態学 (2). 古今書院. 265~272.
- (50) 小林正吾 (1963) : 数量化による地位指数の推定法. 森林立地. IV. 2. 21~26.
- (51) 古賀信也・小田一幸・堤壽一・古賀英明 (1992) : ヒノキおよびカラマツ人工造林木の木材性質のバラツキ - 林分内のバラツキ -. 九大演報. 66. 55~68.
- (52) 小泉章夫・上田恒司・片寄 譚 (1987) : カラマツ間伐材の力学的性質. 北大農演習林研究報告. 44. 327~354.
- (53) 小泉章夫・高田克彦・上田恒司・片寄譚 (1990) : カラマツ精英樹の肥大成長と材質 (第1報) つぎ木クロウンの肥大成長、容積密度数および樹幹ヤング係数. 木材学会誌. 36. 98~102.
- (54) 小泉章夫・高田克彦・上田恒司 (1990) : カラマツ精英樹の肥大成長と材質 (第2報) 18年生子供家系の胸高直径と樹幹ヤング係数. 木材学会誌. 36. 704~708.
- (55) 小泉章夫 (1993) : カラマツの樹幹ヤング係数の産地間差. 林木の育種. 168. 12~13.
- (56) 小泉 力・山田博昭・秋田米治 (1970) : パイロット, フォレストにおけるカラマツヤツバキクイムシの被害と枯損との関係. 林試北海道支場年報. 1970年. 140~145.
- (57) 近藤民雄 (1960) : 心材の化学. 木材工業 15 : 2~5.
- (58) KOZLOWSKI,T.T. (1971) Growth and development of trees. Academic Press, New York. 107~122 .
- (59) 久保隆文・塩原 豊・蕪木自輔 (1983) : 樹冠量の異なったスギの年輪構造およびその形成 (第4報) 木部形成活動の季節変化. 東京農工大演報. 19. 21~26.
- (60) 久保隆文・森田 司・伏谷賢美 (1994) : カラマツにおけるらせん木理の出現性. 東京農工大演報. 32. 31~38.
- (61) LARSON,P.R., (1963) Stem form development of trees. For.Sci., 9. Monograph, 5. 1~31.
- (62) LONG,J.N.,SMITH,F.W., (1981) The role of Douglas fir stem sapwood and heartwood in the mechanical and physiological support of crowns and development of stem form. Can.J.For.Res. 11. 459~464.
- (63) 三原康義 (1978) : 日本におけるカラマツ造林. からまつ造林100年の歩み. 長野県. 343~360.
- (64) 三上 進・渡辺 操・太田 昇 (1972) : カラマツの繊維傾斜度におけるクロウ間変動. 日林誌. 54(7). 215~216.
- (65) 三上 進・長坂寿俊 (1974) : カラマツの繊維傾斜度とタネの産地. 日林誌. 56. 228~230.
- (66) 三上 進・長坂寿俊 (1975) : カラマツの繊維傾斜度による選抜. 林試研報. 276. 1~22.
- (67) 三上 進 (1985) : カラマツの材質育種に関する研究と事業の成果. 林木育種. No.136. 1~4.
- (68) 三上 進 (1988) : カラマツの材質育種に関する研究. 林木育種場研報 No.6. 47~152.
- (69) 三村典彦・橋爪丈夫・吉田孝久・奥村俊介・小林大徳・向山繁人 (1986) : カラマツ材の乾燥. 長野林指研報 1. 19~43.
- (70) 嶺 一三 (1955) : 収穫表に関する基礎的研究と信州カラマツ林収穫表の調整. 林野庁. 1~158.
- (71) 木材工業ハンドブック (1982) : 丸善出版. 186~189.
- (72) MYERS,C.A. (1963) Vertical distribution of annual increment in thinned Ponderosa Pine.

For.Sci. 9. 394~404.

- (73) 向山繁人・小林大徳・三村典彦 (1974): カラマツ心持ち正角材の圧縮によるねじれ防止の検討. 23回日林中部支論. 192~196.
- (74) 向山繁人・三原康義 (1977): カラマツ精英樹のクローンから得られた材のねじれとらせん木理について. 25回日林中部支論. 30~33.
- (75) 向山繁人・橋爪丈夫 (1980): カラマツ良質材の材質指標に関する研究. 長野林指業務報告. 昭和55年度. 188~206.
- (76) 向山繁人・橋爪丈夫・三村典彦・吉田孝久 (1982): カラマツ材等による構造用製材の強度等級区分. 長野林指業務報告. 昭和57年度. 105~107.
- (77) 永田 洋・万木 豊・堀内洋二 (1990): シラカンバの冬芽形成に及ぼす暗期温度の影響. 日林誌. 72. 339~341.
- (78) 長坂寿俊 (1993): 北海道におけるカラマツ産地試験の30年の結果. 林木の育種. 168. 10~11.
- (79) 名取 潤 (1979): 造林木の材質と保育. 山梨林試業報. 53年度. 104~110.
- (80) 日本林業技術協会 (1981): 本州地域カラマツ林分密度管理図 (カラマツ人工林林分密度管理図説明書、林野庁). 1~30.
- (81) 日本林業技術協会 (1987): 日本の森林資源. 86~87.
- (82) 新里孝和・赤井龍男・薬師寺清男 (1980): カラマツ苗の出芽と冬芽形成に対する日長と温度の影響. 91回日林論. 275~276.
- (83) 中川伸策 (1972): カラマツ樹幹内における旋回木理の分布と出現型. 林試研報. 248. 97~120.
- (84) 西沢正久・眞下育久・川端幸蔵 (1965): 数量化による地位指数推定法. 林試研法. 176. 1~54.
- (85) OGAWA,H.,YODA,K.,OGINO,K.,KIRA,T.(1965) Comparative ecological studies on the three main types of forest vegetation in Thailand (II) Plant biomass. Nature and Life in SE Asia. 4. 49~80.
- (86) 尾中文彦 (1950): 樹木の肥大成長の縦断的配分. 京大演報18. 1~53.
- (87) 尾中文彦 (1950): 摘葉、輪截、光の遮断等の処理が常緑針葉樹の成長特に肥大成長に及ぼす影響. 京大演報 18. 55~96.
- (88) 大倉精二 (1955): 樹木の回旋性について (Ⅲ). いろいろの樹種が現す回旋成長型式一回旋成長の2元説. 日林論. 64. 298~301.
- (89) 大倉精二 (1960): 回旋成長の原因について. 信大演報. (2)、p2.
- (90) 大倉精二・小沢勝治・高島恵浩・竹入勝美 (1961): 木材のねじれ狂い. 木材誌. 7. 205~207.
- (91) 大倉精二・小沢勝治 (1962): 木材のねじれ狂い (Ⅱ). 木材誌. 8. 105~108.
- (92) 大倉精二・小沢勝治・高垣宣裕 (1963): 木材のねじれ狂い(Ⅳ). 繊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.
- (93) 大島卓司 (1934): 旋回木理の成因とその影響について (予報). 成因についての基礎的一考察. 日林誌. 16. 561~571.
- (94) 大隅眞一・北村昌美・菅原 聡・大内幸夫・梶原幹弘・今永正明 (1971): 森林計測学. 養賢堂. 東京. 47~55.
- (95) 織田春紀 (1994): 高齢カラマツにおける樹幹内の繊維傾斜度の分布パターンについて. 林育研報. 12. 27~55.
- (96) 小沢勝治 (1972): 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.
- (97) 小沢勝治 (1973) : カラマツ—林分 (中部地方) における旋回木理の現れ方. 日林誌. 55. 221～226.
- (98) 小沢勝治 (1984) : 針葉樹の回旋木理と乾燥ねじれ. 33～34.
- (99) 林業試験場北海道支場 (1970) : パイロットフォレストを中心とする北海道道東地方におけるカラマツ造林の成長阻害、枯死原因の解明. 林業試験場北海道支場年報. 1970年. 20～29.
- (100) 斉藤秀樹・四手井綱英・菅誠 (1968) : 幹形についての考察. 2、3の幹形の表し方および幹における同化物質の垂直配分についての考え方. 京大演報 40. 93～110.
- (101) 佐藤大七郎・中村賢太郎・扇田正二 (1955) : 林分成長論資料1. 立木密度のちがう若いアカマツ林. 東大演報48. 65～90.
- (102) 扇田正二・佐藤大七郎 (1956) : 林分成長論資料2. いろいろなツヨサの間伐をした北海道のストロブマツ林. 東大演報 52. 15～32.
- (103) 重松頼生 (1970) : カラマツ材質試験 (I). 日林中支論. 19. 92～94.
- (104) 重松頼生 (1973) : 未成熟材における回旋木理の現れ方. 日林中支論. 21. 56～57.
- (105) 重松頼生 (1973) : 回旋木理と年輪幅の関係. 日林中支論. 22. 7～10.
- (106) 重松頼生 (1974) : カラマツの材質試験 (XII). 強度的性質の樹幹内変動. 日林中支論. 23. 208～218.
- (107) 重松頼生 (1976) : カラマツの材質試験 (XIII). カラマツ、アカマツおよびヒノキ材の強度比較. 日林中支論. 24. 43～48.
- (108) 重松頼生 (1980) : カラマツの材質試験 (XVIII). 浅間山麓産材の強度的性質について. 日林中支論. 28. 247～251.
- (109) 重松頼生 (1980) : カラマツの材質試験 (XIX). 日林中支論. 28. 253～257.
- (110) 重松頼生 (1982) : カラマツの材質に関する調査報告書. 長野営林局. 8～15.
- (111) 重松頼生 (1984) : カラマツ造林木の植栽密度による成長と材質の変動. 昭57・58年度科学研究費補助金 (一般研究C) 研究成果報告書. 18～19.
- (112) 重松頼生 (1984) : カラマツ造林木の材質と用材品等. 「Theカラマツ」日本木材学会・木材強度・木質強度研究会 13～24.
- (113) スネデカー・コックラン (1972) : 統計的方法、畑村又好、奥野忠一、津村善郎 共訳、546p. 岩波書店. 86～410.
- (114) SCHINOZAKI,K.,YODA,K.,HOZUMI,K.,KIRA,T. (1964) A quantitative analysis of plant form-the pipe model theory. I. Basic analysis. Jpn.J.Ecol. 14. 97～105.
- (115) SCHINOZAKI,K.,YODA,K.,HOZUMI,K.,KIRA,T. (1964) A quantitative analysis of plant form-the pipe model theory. II Further evidence of the theory and its application in forest ecology. Jpn.J.Ecol.14. 133～139.
- (116) SCHOBBER.R (1953) Die japanische Laerche. J.D.Sauerlaender's Verlag. 7～14.
- (117) 島地 謙・佐伯浩・原田浩・塩倉高義・石田茂雄・重松頼生・須藤彰司 (1988) : 木材の構造. 文永堂出版. 189～192.
- (118) 菅原 聡・高橋勇吉・宮崎敏孝 (1967) : 自然環境因子からの地位推定. 信大農紀要. 266～312.
- (119) 菅原 聡 (1978) : 諸外国におけるカラマツ造林. 信州からまつ造林100年の歩み. 長野県. 361～375.

- (120) 高橋政治・川口信隆・大久保勲 (1985) : 浦幌産カラマツ人工林の材質. 北海道林産試月報. 402. 5~10.
- (121) 高橋政治・川口信隆 (1986) : 高樹齢カラマツ人工林の製材品質. 北海道林産試月報. 414. 5~12.
- (122) 高橋祐吉・島崎洋路・菅原聡・木平祐吉 (1971) : 信州カラマツ林の間伐計画. 信大農紀要. 8. 161~206.
- (123) 高田克彦・小泉章夫・上田恒司 (1992) : カラマツ産地試験林における樹幹ヤング係数の地理的変異. 木材学会誌. 38. 222~227.
- (124) 武井富喜雄 (1978) : カラマツ育林技術の変遷. 信州からまつ造林100年の歩み. 長野県. 375~397.
- (125) 武井富喜雄 (1979) : カラマツ枝打ち試験、長野林指業務報告、昭54年度. 16~17.
- (126) 武井富喜雄 (1983) : カラマツ樹幹の肥大成長について. 信州のからまつ. リンケイ新聞出版局、長野市. 134~151.
- (127) 武井富喜雄 (1983) : カラマツ良質材生産の保育技術に関する研究. 長野林指業務報告. 昭和58年度. 111~118.
- (128) 武井富喜雄 (1991) : カラマツ樹幹における肥大成長とらせん木理との関係について. 日林中支論. 39. 187~189.
- (129) 武井富喜雄 (1996) : カラマツ樹幹における連年成長量の垂直的分布と葉量、枝下高との関係. 日林誌78. (3) 231~237.
- (130) 武井富喜雄 (1996) : カラマツ樹幹における幹断面積連年成長量の配分と辺材量の垂直的分布. 日林誌78. (3) 238~243.
- (131) 竹内郁雄・蜂屋欣二 (1977) : 枝打ちが成長におよぼす影響 (I) スギ模型林分での枝打ち試験. 日林誌 59. 313~320.
- (132) 滝沢忠昭・川口信隆 (1982) : 二面交雑家系カラマツ材の材質 (第1報). 林産試月報. 3. 1~9.
- (133) 長正道・長淵哲也 (1995) : カラマツ人工林の林分側断面積と林分構造の関係. 九大演報. 72. 125~134.
- (134) 上田恒司 (1983) : 木材の弾性挙動に関する基礎的研究. 北大演習林研報. 40. 627~708.
- (135) 牛山六郎 (1954) : 胸径に基準をおく間伐法. 長野営林局局報. 21. 12~23.
- (136) WARING,R.H.,SCHROEDER,P.E. (1982) Application of the pipe model theory to predict canopy leaf area. Can.J.For.Res.12. 556~560.
- (137) 山本千秋 (1993) : 長野試験地におけるカラマツ25産地の特性評価. 林木の育種. 168. 7~9.
- (138) YAMAMOYO,K.,KOBAYASHI,S., (1993) Analysis of crown structure based on the Pipe Model Theory. J.Jpn.For. Soc. 75. 445~448.
- (139) 山内俊枝 (1928) : スギの心材率に就いて. 日林誌10. 624~630.
- (140) 柳沢聡男 (1960) : ニホンカラマツの種子の産地のちがいがその苗木の成長周期に及ぼす影響. 林試北海道支年報. 65~69.
- (141) YANG,K.C.,HAZENBERG,G. (1991) Sapwood and heartwood width relationship to tree age in *Pinus banksiana*. Can.J.For.Res.21. 521~525.
- (142) YOKOTA, S. (1966) Ecological studies on *Guignardia laricina* (SAWADA) W.YAMAMOTO et K.

ITO, the causal fungus of the shoot blight of Larch trees, and climatic factors influencing the outbreak of the disease. Bulletin of the Gov. Forest Exp. Station. 18 4. 1~79.

- (143) 矢沢亀吉 (1951) : アカマツの心材率と成長状況との関係. 日林論 第59回. 234~236.
- (144) 矢沢亀吉 (1952) : アカマツの心材率と成長との関係 (第2報). 日林講 第61回. 202~203.
- (145) 矢沢亀吉 (1954) : アカマツ樹幹の心材率および心材形成についての研究. アカマツに関する研究論文集. 363~373.
- (146) 四大学 (北大、東大、京大、大阪市大) および信大合同調査班 (1964) : 森林の生産力に関する研究. 第II報 信州産カラマツ林について. 日林協. 7~10.

Development of tending techniques in relation to wood quality improvement of Japanese larch (*Larix leptolepis* Gord.).

Fukio TAKEI

Summary

I. Development of tending techniques to control the heartwood formation along the stem and year ring width at breast height.

1. The relationship between the amount of foliage biomass, clear length and the vertical distribution of the annual growth increment along the stem of Japanese larch.

The stem analysis of the Japanese larch sample trees was made to measure the vertical distribution of the annual volume growth increment and basal area growth increment along the stem. The curve between the amount of the annual volume growth increment and the stem volume along the bole was nearly linear, and the same result was obtained with the basal area growth increment. The two regression coefficients, an L_{vi} for the annual volume growth increment and an L_{gi} for the annual basal area growth increment, were determined.

- (1) It was considered that these two coefficients represented the vertical distribution of the annual growth increment along the stem.
- (2) Using the L_{vi} and L_{gi} , it was possible to analyze the annual growth increment patterns varying mainly with such conditions of the tree as the amount of biomass, clear length, and the ratio of clear length and volume production efficiency of unit foliage biomass in every growing stage.
- (3) It was considered that there was the possibility of changes in vertical distribution patterns of annual growth increment along the stem by silvicultural practices.

2. The relationship between the vertical distribution of the basal area annual growth increment and the heartwood distribution along the stems of Japanese larch.

The author obtained the regression coefficient L_{vs} for the relation between the accumulated sapwood volume from the tip and the stem volume at each relative height along the stem. With the same method, the author calculated an L_{gs} for the linear regression between the amount of sapwood basal area and the stem basal area.

- (1) It was considered that these two coefficients represented the vertical distribution of the sapwood volume or sapwood basal area along the bole; there was a positive relationship between these two coefficients.
- (2) There was an inverse relationship between the coefficient L_{gs} and the heartwood basal area ratio at each relative height.
- (3) With every growing stage, there was a large positive relationship between L_{gs} and the volume production efficiency of unit foliage biomass.

- (4) There was a large positive relationship between L_{gs} and L_{gi} for the annual basal area growth increment, except for large values of L_{gi} . Therefore, it was considered that there was a good relationship between the vertical distribution of the annual growth increment and the sapwood distribution along the stem.
3. Development of tending techniques to control the heartwood formation in the stem and year ring width at breast height.
 In paragraphs 1 and 2, the author reported the relationship between an L_{gi} for the basal area annual growth increment and an L_{gs} for the sapwood basal area as an indicator of the distribution patterns along the stem. Using this L_{gi} , this study was made to get a silvicultural practicing chart for given heartwood volume ratios along the bole and year ring width at breast height.
 - (1) The clear length estimation of the Japanese larch stands was made by using the relationship between relative spacing (S/H) (S :mean spacing, H :dominant tree height) and S/H_b (H_b :clear length) for heartwood volume ratios and by using the relationship between S/H_b and relative spacing (S/D , D : d.b.h) for year ring width.
 - (2) Using the foliage biomass estimation formula, an L_{gi} estimation was made for every clear length ratio class.
 - (3) Finally, it was possible to get a silvicultural practicing chart for given heartwood volume ratios in the stem and year ring width at breast height.

II. The relationship between annual growth increment and spiral grain.

- (1) The twisting angle variation type-A was found in about 59% of all sampled trees, and types-B and C with unwinding were calculated to be about 27% and 14% respectively. The mean number of rings in which the maximum twisting angle of type-B was reached was about 4.46 from the pith earliest in all types.
- (2) Type-A had the largest mean twisting angle through all year rings, and type-B had the smallest spiral grain angle, and type-C was in the middle.
- (3) No relation was found in B and C types between year ring width and twisting angles, but type-A year ring width was related to spiral grain angles in the early growing stage (3-rings from the pith).
- (4) There was a relationship between year ring width and twisting angles to a limited extent in type-A, with large twisting angles through all year rings from the pith. It was considered that the growth of type-A trees in the early stages was more effected by site environment than genetic factors.

It may be considered that pruning of type-A trees should be adopted in the early growing period to minimize twisting angles.

III. The influence of tree growth on mechanical properties such as specific gravity or bending strength.

- (1) There was no significant differences of maximum slope of grain between Nagano

and Hokkaido larch stands except for in a few stands.

- (2) Differences in mean twisting angles between Nagano and Hokkaido stands were found to be insignificant.
- (3) There were significant differences in year ring width in boxed heart squares sampled from Nagano and Hokkaido stands.

Larger year ring width was found in Hokkaido stands. It was considered to be because larch stands in Hokkaido had long day length in summer, and a long growth period before dormancy.

- (4) There were no significant differences between regression coefficients in relation to year ring width and specific gravity in two local stands. It was considered that boxed heart squares with same year ring width in two local stands had the same specific gravity. There were significant differences in mean modules of elasticity in bending (MOE) between Nagano and Hokkaido.

In the regression analysis, there were no significant differences in regression coefficients in relation to specific gravity and MOE between two local stands.

It was considered that boxed heart squares with the same specific gravity from two local stands had the same MOE and the same bending strength (MOR).

- (5) However, it may be said that there were significant differences in MOE and MOR, because larger year ring width in boxed heart squares were found in Hokkaido larch stands than in Nagano.

資 料

カラマツ樹幹解析木の解析資料一覧表 (1)

No.	調査林分	樹齡 (年)	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	枝下高 (m)	枝下高率 (Hb/H)	幹材積 (cm ³)	幹心材率	樹高1割高 位置心材部 面積(cm ²)	樹高1割高 位置心材部 面積率	葉量 (kg)	樹高1割高 辺材部平均 年輪幅(cm)
1	辰野-1	21	13.5	12.4	7.2	0.5806452	86329	0.363	47.783736	0.4225	1.8	0.2333333
2	"	21	12.2	12	7	0.5833333	68085	0.348	38.4846	0.3770391	1.1	0.2444444
3	"	21	16.1	13.6	7.7	0.5661765	132576	0.366	67.929246	0.3793255	2.3	0.3166667
4	"	21	14.5	12.5	5.1	0.408	104578	0.404	66.476256	0.4509564	3.4	0.25
5	"	21	14	11.7	6.3	0.5384615	78226	0.29	41.853966	0.3465791	2	0.2833333
6	"	21	13.4	12.1	5	0.4132231	71380	0.341	41.853966	0.3763152	2.2	0.25
7	"	21	14.3	13.6	8	0.5882353	88679	0.416	54.106206	0.440896	1.6	0.2333333
8	"	21	13.6	13.5	8.4	0.6222222	80812	0.377	49.016814	0.412519	1.3	0.215
9	"	21	14.4	10.3	5.7	0.5533981	67006	0.428	70.88235	0.5340237	1.9	0.25
10	"	21	13.5	11.4	6.5	0.5701754	57044	0.466	46.566366	0.4726563	1.1	0.2125
11	"	21	19.4	16.2	7.4	0.4567901	22371	0.457	118.82317	0.4940082	4.6	0.31875
12	"	21	11.5	13.8	7.7	0.557971	61863	0.376	36.316896	0.4444444	1.2	0.1833333
13	"	21	13.8	13.9	8.2	0.5899281	97585	0.453	54.106206	0.470528	2	0.2375
14	"	21	12.2	13.7	7.6	0.5547445	65738	0.332	30.190776	0.3421146	1.2	0.2
15	"	21	17	14	7.5	0.5357143	130844	0.458	88.247544	0.4993778	2.5	0.275
16	"	21	13.8	12.2	4.5	0.3688525	83787	0.315	45.364704	0.3581127	2.8	0.2777778
17	"	21	12.2	11.8	6	0.5084746	60726	0.4	32.169984	0.3577605	1.6	0.2333333
18	"	21	16	13.9	8.5	0.6115108	117867	0.434	93.313374	0.5729649	1.9	0.2125
19	"	21	21.6	13.5	6.6	0.4888889	62782	0.408	37.392894	0.4318367	1.5	0.2
20	辰野-3	18	12.1	11.8	6.9	0.5847458	56145	0.235	45.364704	0.5444434	1.3	0.2166667
21	"	18	12.5	12.7	8.2	0.6456693	82257	0.345	36.316896	0.3496408	1.3	0.2875
22	"	18	12	12.3	7.8	0.6341463	54849	0.254	24.630144	0.3014225	1.1	0.23
23	"	18	12.1	11.9	6.7	0.5630252	68390	0.309	33.18315	0.3368144	1.6	0.2555556
24	"	18	16	13.8	5.8	0.4202899	118756	0.323	58.088184	0.3566744	3	0.3625
25	"	18	12.5	11.8	6.8	0.5762712	62816	0.319	32.169984	0.3385124	1.3	0.25
26	"	18	10.3	10	6	0.6	33755	0.312	28.2744	0.4253308	0.8	0.16
27	"	18	13.2	13.7	8.5	0.620438	87937	0.309	36.316896	0.3158254	1.5	0.2409091
28	"	18	13.4	14	8.5	0.6071429	86203	0.365	46.566366	0.4258115	1.5	0.205
29	"	18	15.8	14.1	8.2	0.5815603	121690	0.408	67.929246	0.4229547	1.9	0.245
30	"	18	13.2	11.5	6.7	0.5826087	52202	0.211	23.75835	0.2743764	1.2	0.25
31	"	18	16.4	11.8	7.1	0.6016949	107114	0.283	52.810296	0.3069759	2	0.3666667
32	"	18	9	8.7	5	0.5747126	24691	0.391	28.2744	0.4756243	0.7	0.1444444
33	"	18	10.8	11.3	7.2	0.6371681	35888	0.429	34.212024	0.5260234	0.7	0.1333333
34	"	18	15	12.1	5.5	0.4545455	90458	0.231	37.392894	0.281716	2.6	0.375
35	"	18	12.4	9.6	5.6	0.5833333	56783	0.381	43.008504	0.406956	1.6	0.2625
36	"	18	14	12.8	7.5	0.5859375	96106	0.36	52.810296	0.3978698	1.8	0.29375
37	"	18	14.5	14.4	10.4	0.7222222	102973	0.351	50.2656	0.390625	1.1	0.2666667

N o.	調査林分	樹齡 (年)	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	枝下高 (m)	枝下高率 (Hb/H)	幹材積 (cm ³)	幹心材率	樹高1割高 位置心材部 面積(cm ²)	樹高1割高 位置心材部 面積率	葉量 (kg)	樹高1割高 辺材部平均 年輪幅(cm)
38	"	18	13.4	14.2	9	0.6338028	86859	0.403	49.016814	0.4407175	1.6	0.2
39	"	18	14.4	13.2	7.2	0.5454545	95545	0.481	65.038974	0.4825476	2	0.2222222
40	"	18	8.4	9.5	6	0.6315789	24063	0.364	21.237216	0.4332639	0.6	0.13
41	"	18	12.3	9.9	5.6	0.5656566	52325	0.355	38.4846	0.4049587	1.4	0.2166667
42	"	18	11.4	10	6.3	0.63	46159	0.247	27.339774	0.315737	0.9	0.225
43	"	18	11.2	11.3	5.7	0.5044248	45361	0.268	22.902264	0.2802768	1.2	0.2611111
44	"	18	10.8	10.8	6.2	0.5740741	46760	0.246	22.061886	0.2699923	1.1	0.2611111
45	"	18	15	10.1	5.9	0.5841584	74108	0.497	72.382464	0.505679	1.6	0.2785714
46	辰野-4	25	10.4	13.8	9.6	0.6956522	60165	0.319	26.420856	0.35753	0.9	0.1583333
47	"	25	14.3	14.7	8	0.5442177	112102	0.363	70.88235	0.5259018	2.4	0.245
48	"	25	16.2	14.6	9.9	0.6780822	140630	0.342	72.382464	0.4151164	1.8	0.2944444
49	"	25	9.9	13.4	7.5	0.5597015	48311	0.334	26.420856	0.4153086	1.1	0.1333333
50	"	25	11.4	13.6	8	0.5882353	69093	0.342	29.224734	0.3576509	1.1	0.1708333
51	"	25	13.5	15	7.5	0.5	110046	0.369	47.783736	0.389376	2.4	0.23
52	"	25	10.8	9.8	6.5	0.6632653	40969	0.414	39.592014	0.4941672	0.9	0.1409091
53	"	25	11.1	12.7	8.5	0.6692913	59747	0.37	36.316896	0.4444444	0.9	0.17
54	"	25	11.7	13.5	9	0.6666667	70428	0.339	36.316896	0.3891928	1	0.1863636
55	"	25	11	13.2	8.5	0.6439394	56565	0.358	32.169984	0.4015293	0.9	0.1423077
56	"	25	10.8	12.6	8	0.6349206	46356	0.366	29.224734	0.3954724	0.7	0.1384615
57	"	25	11.7	13.1	7	0.5343511	60866	0.433	41.853966	0.483356	1.3	0.155
58	"	25	11.4	14.3	8	0.5594406	64788	0.427	39.592014	0.4941672	1.2	0.125
59	"	25	10.4	12	7.8	0.65	47446	0.33	26.420856	0.3807153	0.9	0.1384615
60	"	25	14.3	13.5	7.7	0.5703704	97876	0.294	45.364704	0.3417751	1.9	0.225
61	"	25	11.7	14.2	10	0.7042254	68541	0.36	39.592014	0.4242909	0.7	0.1681818
62	"	25	13.1	14	8	0.5714286	87484	0.402	52.810296	0.4592582	1.6	0.1772727
63	"	25	12.5	13.4	8.5	0.6343284	74828	0.378	51.530094	0.4712008	1.2	0.15
64	辰野-8	25	13.4	14.5	5.4	0.3724138	95842	0.377	46.566366	0.3918964	2.9	0.2090909
65	"	25	11.6	12.3	5.2	0.4227642	58564	0.397	34.212024	0.4105948	1.9	0.1681818
66	"	25	11.8	13.1	7	0.5343511	68589	0.387	43.008504	0.4444444	1.3	0.18
67	"	25	14.5	14.4	5.5	0.3819444	97254	0.353	51.530094	0.4004517	2.9	0.1958333
68	"	25	10.9	11.3	3.5	0.3097345	41684	0.281	25.517646	0.3249	1.8	0.1909091
69	"	25	12.3	14.8	8.2	0.5540541	78914	0.425	50.2656	0.5102041	1.5	0.16
70	"	25	12.8	14.6	6.7	0.4589041	81423	0.39	44.17875	0.4253308	1.9	0.1772727
71	"	25	10.6	12.9	4.5	0.3488372	46590	0.388	30.190776	0.4541588	1.6	0.15
72	"	25	11.8	13.8	6.1	0.442029	77805	0.313	31.172526	0.3466678	2	0.22
73	"	25	14.3	13.9	7.7	0.5539568	77472	0.372	47.783736	0.4521403	1.6	0.1727273
74	"	25	13.8	12.7	6.2	0.488189	75911	0.352	46.566366	0.3983472	1.8	0.25
75	"	25	7.1	10.2	6.1	0.5980392	16836	0.363	16.619064	0.4857668	0.3	0.0863636
76	"	25	11.4	13.3	7.2	0.5413534	64643	0.327	33.18315	0.38322	1.5	0.1818182
77	"	25	11	13.3	7.5	0.5639098	55000	0.362	34.212024	0.4356	1.2	0.17
78	"	25	12.1	11.6	6.9	0.5948276	54143	0.51	49.016814	0.5350652	1.1	0.145

No.	調査林分	樹齡 (年)	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	枝下高 (m)	枝下高率 (Hb/H)	幹材積 (cm ³)	幹心材率	樹高1割高 位置心材部 面積(cm ²)	樹高1割高 位置心材部 面積率	葉量 (kg)	樹高1割高 辺材部平均 年輪幅(cm)
79	"	25	12.8	13.2	4.6	0.3484848	69320	0.337	37.392894	0.3864134	2.4	0.1909091
80	"	25	11.4	13.5	8.1	0.6	57013	0.359	33.18315	0.4399209	1.1	0.1833333
81	"	25	10.5	11	5.4	0.4909091	40797	0.369	30.190776	0.4171007	1.2	0.15
82	"	25	9	9.3	5.5	0.5913978	27543	0.383	22.902264	0.4132653	0.9	0.1208333
83	"	25	8.4	12	7.2	0.6	41107	0.262	22.902264	0.3852556	0.9	0.0954545
84	"	25	12.3	13	6.7	0.5153846	66934	0.314	35.256606	0.3643373	1.6	0.2
85	"	25	15.2	15.9	8.5	0.5345912	123792	0.258	45.364704	0.3169273	2.5	0.2416667
86	"	25	14.6	13.9	7.7	0.5539568	96970	0.352	54.106206	0.4014335	1.8	0.1958333
87	"	25	10.8	11.5	7	0.6086957	50725	0.355	29.224734	0.3874427	1.2	0.225
88	小海	38	28.4	24.6	16	0.6504065	713902	0.575	356.32813	0.6868991	6.2	0.1833333
89	"	38	27.1	25.4	16.2	0.6377953	703029	0.53	336.53605	0.6747449	6	0.2045455
90	"	38	30.4	26.2	14.6	0.5572519	962449	0.637	463.77085	0.7372923	10	0.2
91	"	38	29	25.6	14.6	0.5703125	834182	0.5	383.59721	0.6505541	8.1	0.2944444
92	"	38	36.1	25.2	9.1	0.3611111	1126740	0.692	655.97393	0.7716207	16.8	0.205
93	"	38	31.4	25.6	9.9	0.3867188	927188	0.617	456.16817	0.7100714	13.3	0.2
94	"	38	32	22.9	10.7	0.4672489	795739	0.563	459.96166	0.6963615	11.5	0.2181818
95	"	38	40	25	10.1	0.404	1298260	0.605	725.83526	0.7210761	17.9	0.25
96	"	38	34	26.6	14.7	0.5526316	1143640	0.632	572.5566	0.7208971	11.5	0.24
97	"	38	27.3	23	12.8	0.5565217	647793	0.511	314.16	0.6249121	7.8	0.2208333
98	"	38	27.9	24.9	13.7	0.5502008	671761	0.599	301.71926	0.5816288	7.5	0.3388889
99	"	38	32.9	23.1	8.3	0.3593074	886223	0.533	441.15133	0.6410815	14	0.29
100	"	38	31.9	25.8	11.3	0.4379845	916681	0.544	444.88198	0.6643366	12.1	0.2454545
101	"	38	29.1	26	15.7	0.6038462	839207	0.536	352.99018	0.6304479	6.8	0.3055556
102	"	38	36.5	25.3	11.7	0.4624506	1212340	0.622	678.86834	0.7477163	15.3	0.2555556
103	野辺山	35	20.8	16.3	10.4	0.6380368	239874	0.607	206.12038	0.7269806	3	0.14
104	"	35	22.6	15.8	9.4	0.5949367	245479	0.517	211.24118	0.6276926	3.9	0.2388889
105	"	35	22.1	16.4	8.7	0.5304878	298960	0.542	213.82515	0.6353707	5.4	0.2277778
106	"	35	24.4	15.2	6.2	0.4078947	284001	0.594	257.30489	0.6707684	5.6	0.195
107	"	35	18	16.2	9.6	0.5925926	183257	0.595	132.7326	0.6132966	2.7	0.1916667
108	"	35	16.3	16.6	8.2	0.4939759	173257	0.443	103.86915	0.5504683	3.3	0.2222222
109	"	35	16	13.9	7.8	0.5611511	124725	0.458	113.0976	0.666389	2.4	0.1227273
110	"	35	19.4	16.1	8.2	0.5093168	200332	0.516	149.57158	0.6218449	3.9	0.1681818
111	"	35	22.2	16.3	9.3	0.5705521	289085	0.473	172.03402	0.5212136	4.9	0.2590909
112	"	35	19.4	14.4	7.2	0.5	180476	0.521	172.03402	0.6913269	4	0.1318182
113	入山辺	36	22.9	17.6	9.7	0.5511364	309838	0.508	219.04021	0.6205278	4.8	0.2045455
114	"	36	22.1	21.7	12.6	0.5806452	397115	0.49	203.58353	0.6049383	4.9	0.2875
115	"	36	26.3	19.7	9.9	0.5025381	519966	0.477	277.59178	0.5793244	7.9	0.1954545
116	"	36	24.5	20.5	10.2	0.497561	460251	0.433	206.12038	0.5004481	7.2	0.3722222
117	"	36	28.7	19.4	9.4	0.4845361	487810	0.59	369.83701	0.7019722	7.7	0.2333333
118	"	36	22.2	18.9	10.4	0.5502646	341206	0.471	224.31809	0.6415175	5.2	0.26
119	"	36	24.4	20.2	12.6	0.6237624	433020	0.561	254.4696	0.6232687	4.8	0.1846154

N o .	調査林分	樹齡 (年)	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	枝下高 (m)	枝下高率 (Hb/H)	幹材積 (cm ³)	幹心材率	樹高1割高 位置心材部 面積(cm ²)	樹高1割高 位置心材部 面積率	葉量 (kg)	樹高1割高 辺材部平均 年輪幅(cm)
120	"	36	21.3	21.4	13.8	0.6448598	345179	0.442	172.03402	0.5701791	3.5	0.2611111
121	"	36	22.6	18.6	10	0.5376344	347981	0.413	183.85429	0.5208482	5.4	0.295
122	"	36	25.7	21	12	0.5714286	461000	0.565	277.59178	0.64	5.4	0.2
123	"	36	20.1	19.5	13.2	0.6769231	282465	0.458	156.14537	0.5746618	2.8	0.1875
124	"	36	22.1	19.4	9.5	0.4896907	329927	0.416	174.36665	0.5282808	5.6	0.2545455
125	"	36	22.4	19.6	11.8	0.6020408	371629	0.445	169.71709	0.4994684	4.6	0.3333333
126	小諸-1	25	15.8	16.3	9.1	0.5582822	126585	0.413	80.118654	0.513103	3.3	0.2222222
127	"	25	15.7	17	8.9	0.5235294	152406	0.374	80.118654	0.4785607	4.1	0.375
128	四賀	24	13.8	14.1	10.3	0.7304965	104524	0.366	41.853966	0.3356639	1.2	0.53
129	"	24	12.9	13.8	9.8	0.7101449	82839	0.482	58.088184	0.5051568	0.9	0.35
130	"	24	13.8	13.5	9.5	0.7037037	93724	0.474	54.106206	0.440896	1.3	0.43
131	"	24	13.5	14	8.3	0.5928571	92556	0.396	60.821376	0.503642	1.7	0.2642857
132	諏訪	15	11.1	7.1	0.8	0.1126761	31834	0.245	32.169984	0.3265306	3.2	0.35
133	"	15	9.6	7.2	0.7	0.0972222	24355	0.225	24.630144	0.3705104	1.8	0.09375
134	"	15	6.4	7.5	1.8	0.24	10182	0.186	7.547694	0.2582639	0.9	0.2071429
135	大町	16	9.1	11.6	3.1	0.2672414	42521	0.23	18.857454	0.283672	1.2	0.215
136	"	16	10.3	10.8	5.7	0.5277778	46472	0.294	30.190776	0.3623339	0.9	0.25625
137	"	16	8.5	10.5	5.9	0.5619048	32145	0.258	18.095616	0.3188927	0.6	0.2642857
138	"	16	12.2	13	5.5	0.4230769	79348	0.338	54.106206	0.462846	1.7	0.195
139	"	16	6.7	10.9	7.2	0.6605505	22156	0.298	9.62115	0.2728893	0.4	0.2285714
140	朝日	16	9.4	8.6	2	0.2325581	28021	0.189	15.205344	0.2444136	1.1	0.3142857
141	"	16	11.9	10.9	2.8	0.2568807	45784	0.22	28.2744	0.3030048	1.9	0.3571429
142	"	16	7.8	9	3.8	0.4222222	19937	0.178	10.178784	0.2366691	0.8	0.23125
143	"	16	8.9	10.3	3.2	0.3106796	28685	0.156	10.178784	0.188126	1.4	0.3357143
144	臼田	66	29.4	23.2	13.8	0.5948276	565703	0.656	326.85206	0.6990056	7	0.0934783
145	"	66	36.4	22.7	14.3	0.6299559	790801	0.593	448.62833	0.6346778	7.5	0.1823529
146	"	66	28.1	21.7	11.7	0.5391705	482278	0.641	307.90822	0.6979651	6.5	0.0769231
147	"	66	25.5	22.4	14.8	0.6607143	417313	0.65	260.1559	0.6906445	4.3	0.1088235
148	"	66	40.7	23.3	14.3	0.6137339	1141400	0.661	637.94115	0.7026384	12	0.1764706
149	"	66	47.3	27.7	13.9	0.5018051	1660200	0.67	779.31315	0.6764311	17.6	0.1815789
150	"	66	53.3	24.5	14.7	0.6	1658920	0.667	945.69229	0.6957806	14.6	0.45625
151	北相木	61	30	27.5	13.7	0.4981818	795988	0.704	383.59721	0.7511111	8.4	0.1214286
152	"	61	24.5	26	12.3	0.4730769	504914	0.691	301.71926	0.8158169	6.6	0.26875
153	"	61	30	28.7	13.7	0.4773519	791507	0.752	411.87161	0.8001862	8.8	0.1928571
154	"	61	48	30	15.1	0.5033333	1724280	0.775	881.41515	0.8153457	15.2	0.2375
155	"	61	31.6	24.5	15.3	0.6244898	826029	0.623	404.70877	0.6667486	10.7	0.3428571
156	"	61	28.1	22.7	11.7	0.5154185	530482	0.663	307.90822	0.7541551	6.3	0.1230769
157	長谷	53	42.7	28.6	19.7	0.6888112	1349260	0.685	678.86834	0.7346939	14.8	0.15
158	"	53	41.8	27.8	18.1	0.6510791	1329260	0.638	633.47222	0.6815846	12.5	0.1764706
159	"	53	43.6	28.2	17.7	0.6276596	1455310	0.667	706.86	0.714144	15.3	0.1472222
160	"	53	40	27.2	18.7	0.6875	1248990	0.627	629.01901	0.7052012	18.3	0.1470588

No.	調査林分	樹齡 (年)	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	枝下高 (m)	枝下高率 (Hb/H)	幹材積 (cm ³)	幹心材率	樹高1割高 位置心材部 面積(cm ²)	樹高1割高 位置心材部 面積率	葉量 (kg)	樹高1割高 辺材部平均 年輪幅(cm)
161	"	53	38.1	28.2	17	0.6028369	1103610	0.588	514.71974	0.6689463	12.6	0.1964286
162	"	53	36.3	26.9	18.3	0.6802974	1047990	0.666	581.07034	0.7698647	16.8	0.275
163	"	53	31.3	27.6	18.3	0.6630435	784519	0.557	383.59721	0.674963	8	0.1846154
164	"	53	31.8	26.2	14.8	0.5648855	734435	0.561	369.83701	0.6912553	8.6	0.1466667
165	"	53	31	26.6	16.8	0.6315789	744497	0.558	330.06435	0.6565483	6.2	0.2227273
166	稻核	48	45.1	32.8	18	0.5487805	1789890	0.688	749.90777	0.7166898	13.5	0.2208333
167	"	48	33	21.6	10	0.462963	719477	0.671	526.85417	0.760478	10.5	0.11875
168	"	48	37.9	27.8	17.4	0.6258993	1358150	0.568	530.9304	0.6096186	11.7	0.225
169	"	48	39.7	27.7	18.8	0.6787004	1297080	0.651	629.01901	0.6928114	7.5	0.2192308
170	"	48	45.9	28.6	16.3	0.5699301	1734270	0.669	794.2279	0.7040051	14.2	0.2636364
171	"	48	50.8	30.2	15	0.4966887	2015210	0.62	876.16082	0.6767696	18.7	0.3363636
172	上田	71	44.1	32.7	17.2	0.5259939	1931790	0.672	819.39997	0.7263177	10.9	0.3111111
173	"	71	48.6	31.7	16.8	0.5299685	2251500	0.799	1057.8474	0.8130988	20.2	0.115625
174	小諸-2	75	53.7	36.8	23.7	0.6440217	3228010	0.709	1182.3726	0.7919367	18.5	0.1678571
175	"	75	56.8	33.8	22.5	0.6656805	3669070	0.744	1452.2046	0.7893074	41.2	0.2076923
176	辰野	30	17.6	19.2	11.8	0.6145833	205390	0.474	102.07058	0.5205896	2.6	0.1571429
177	"	30	16.7	18.3	12.9	0.704918	179595	0.487	103.86915	0.5649537	2.2	0.1392857
178	"	30	13.5	17	12.5	0.7352941	103608	0.534	67.929246	0.5625	1.1	0.1107143
179	"	30	15.2	17.3	11.5	0.6647399	152473	0.467	80.118654	0.513103	2.1	0.13
180	"	30	12.4	16.4	11.9	0.7256098	88932	0.41	44.17875	0.44052	1.1	0.1461538
181	"	30	16	19.3	12.4	0.642487	175317	0.426	76.977054	0.4661593	2.2	0.15
182	高遠	31	10.1	10.3	6.4	0.6213592	38538	0.419	31.172526	0.4491852	1	0.1
183	"	31	14.3	10.8	5.4	0.5	83220	0.487	67.929246	0.4963843	2.6	0.121875
184	"	31	16	11.9	5.2	0.4369748	102940	0.398	76.977054	0.453561	3	0.16
185	"	31	14.2	10.4	4.1	0.3942308	74462	0.433	62.211534	0.4477924	1.7	0.1653846
186	"	31	13.8	11.2	6.8	0.6071429	76062	0.527	73.898286	0.5482781	2.4	0.1307692
187	本郷	23	15.1	13.5	3.2	0.237037	108628	0.369	59.446926	0.4092236	3	0.245
188	"	23	14.9	13.5	4.8	0.3555556	108508	0.311	50.2656	0.3673095	2.6	0.2888889
189	"	23	20	16.3	6.2	0.3803681	205288	0.341	93.313374	0.3666975	4.3	0.35
190	"	23	13.9	13	7.6	0.5846154	81043	0.507	65.038974	0.5216049	1.1	0.1590909

カラマツ樹幹解析木の解析資料一覧表（２）

No.	調査林分	幹材積成長 量の回帰		幹V-辺V 回帰係数		幹断面積 成長量の 回帰係数		同左の 断面積回帰 係数		同左の 断面積回帰 係数	
		葉の生産 能率	係数 (Lvi)	同左の R2	(Lvs)	同左の R2	(Lgi)	同左の R2	(Lgs)	同左の R2	(Lgs)
1	辰野-1	3.0961111	0.2897	0.97129	2.7303	0.95423	0.368	0.996157	3.4913	0.965183	
2	"	4.0554545	0.2736	0.97758	2.7447	0.9789	0.3413	0.997292	3.2559	0.990292	
3	"	3.85	0.2957	0.97809	2.7013	0.98504	0.3519	0.999385	3.1262	0.989715	
4	"	2.1923529	0.3051	0.96418	2.4526	0.96931	0.388	0.99596	2.9708	0.97318	
5	"	4.437	0.5971	0.99337	3.4868	0.97828	0.623	0.986037	3.7038	0.964158	
6	"	2.5136364	0.3457	0.98504	2.8003	0.9846	0.3917	0.997301	3.1153	0.97863	
7	"	3.564375	0.3064	0.99202	2.8436	0.98302	0.3049	0.988547	2.9731	0.969747	
8	"	3.9576923	0.2771	0.98177	2.7423	0.99305	0.3097	0.995965	2.994	0.992294	
9	"	1.9857895	0.1439	0.92724	1.5261	0.96328	0.2033	0.985111	1.9781	0.989989	
10	"	1.9272727	0.1446	0.98333	2.0457	0.98518	0.1716	0.998085	2.5069	0.988503	
11	"	4.1134783	0.4026	0.98113	2.5003	0.96703	0.4617	0.991037	2.9506	0.955704	
12	"	3.8741667	0.3499	0.98092	2.7977	0.96416	0.391	0.994234	3.4865	0.988621	
13	"	2.7015	0.2396	0.97802	2.5792	0.95639	0.2815	0.960817	3.2581	0.964007	
14	"	4.1425	0.3242	0.96708	3.0319	0.98085	0.3883	0.995931	3.5335	0.980613	
15	"	3.6244	0.2879	0.95634	2.066	0.96479	0.3646	0.99342	2.5677	0.990888	
16	"	2.3314286	0.3431	0.9804	3.1802	0.98794	0.3821	0.997835	3.5275	0.985103	
17	"	2.534375	0.2882	0.94369	2.7708	0.97094	0.3755	0.989663	3.3876	0.97996	
18	"	5.5231579	0.4366	0.99478	2.5893	0.9851	0.4651	0.997878	2.8857	0.991988	
19	"	3.0133333	0.3083	0.97359	2.4833	0.96926	0.3736	0.993661	3.0994	0.989755	
20	辰野-3	3.9869231	0.4328	0.96793	2.6469	0.96332	0.5437	0.997317	3.2757	0.990885	
21	"	3.9	0.3437	0.99509	3.5631	0.978	0.3536	0.98156	4.0468	0.964969	
22	"	3.8327273	0.3619	0.97138	3.2867	0.98033	0.4177	0.986334	3.7814	0.98693	
23	"	4.139375	0.4631	0.98886	2.9575	0.96614	0.5719	0.998831	3.7251	0.985398	
24	"	3.8156667	0.4516	0.99068	2.7055	0.98378	0.516	0.999176	3.0966	0.979399	
25	"	3.4230769	0.3139	0.99043	2.8508	0.98447	0.3761	0.988317	3.2597	0.980791	
26	"	3.49	0.4011	0.99588	3.1802	0.99	0.3834	0.998185	3.2723	0.986545	
27	"	3.92	0.3028	0.9876	3.2035	0.98482	0.3297	0.993061	3.5736	0.976958	
28	"	3.8226667	0.3667	0.99207	3.1388	0.97605	0.413	0.99759	3.254	0.964727	
29	"	4.4768421	0.2887	0.96438	2.4547	0.98108	0.3561	0.997307	2.9222	0.994587	
30	"	3.4666667	0.3869	0.99716	3.7561	0.9732	0.3854	0.997668	3.7597	0.970804	
31	"	5.5515	0.4594	0.98023	3.0278	0.9898	0.5188	0.992506	3.3465	0.988916	
32	"	2.1342857	0.267	0.98144	2.6092	0.99409	0.2918	0.980637	2.8047	0.997704	
33	"	3.3685714	0.269	0.96696	2.4543	0.99007	0.2805	0.963831	2.6902	0.993434	
34	"	3.4107692	0.446	0.98113	3.2184	0.97979	0.5245	0.999114	3.7591	0.979396	
35	"	3.0175	0.3983	0.9915	2.8649	0.97646	0.4393	0.99576	3.1016	0.957198	
36	"	3.6983333	0.3118	0.99756	2.8624	0.9782	0.3442	0.994692	3.3483	0.980543	
37	"	7.6090909	0.3924	0.99736	3.0236	0.98107	0.4333	0.997148	3.2406	0.967813	

No.	調査林分	葉の生産 能率	幹材積成長 量の回帰	同左の R2	幹V-辺V 回帰係数	同左の R2	幹断面積 成長量の 回帰係数	同左の 相関係数 R2	幹辺材部 断面積回帰 係数	同左の 相関係数 R2
			係数 (Lvi)		(Lvs)		(Lgi)		(Lgs)	
38	"	3.59375	0.3074	0.98468	2.4003	0.95135	0.3983	0.992878	2.4201	0.910601
39	"	1.6465	0.167	0.96862	2.3084	0.979	0.1956	0.958451	2.4458	0.955082
40	"	1.9633333	0.2292	0.99772	3.1821	0.99018	0.2244	0.994045	3.3423	0.989077
41	"	1.8642857	0.2047	0.98142	2.9359	0.98662	0.218	0.979946	3.2083	0.978679
42	"	4.0466667	0.3509	0.99258	3.1044	0.98814	0.3974	0.998044	3.3873	0.983629
43	"	3.3341667	0.3879	0.994	3.2046	0.99106	0.4141	0.996349	3.352	0.9862
44	"	4.0509091	0.4136	0.97906	2.8829	0.98003	0.4923	0.999051	3.4471	0.988788
45	"	3.60125	0.3136	0.98709	2.2629	0.99508	0.3349	0.989748	2.3621	0.988475
46	辰野-4	4.74	0.3767	0.98381	3.6064	0.94649	0.3853	0.972934	3.6112	0.935199
47	"	3.0358333	0.306	0.99542	2.9134	0.97226	0.3288	0.985255	3.1773	0.956571
48	"	5.96	0.3675	0.99077	3.0657	0.98453	0.4054	0.980345	3.3388	0.977509
49	"	2.9281818	0.3195	0.99354	3.4282	0.98123	0.3471	0.984032	3.6532	0.978455
50	"	3.6809091	0.2814	0.9581	3.1353	0.95751	0.3568	0.969692	3.8906	0.952433
51	"	3.985	0.4605	0.99499	3.1998	0.98295	0.5144	0.990651	3.5199	0.970287
52	"	1.3166667	0.1373	0.99365	3.1609	0.93941	0.1447	0.995337	2.9826	0.991513
53	"	3.6133333	0.2362	0.98102	3.0436	0.97442	0.2748	0.955023	3.5501	0.977846
54	"	4.54	0.3291	0.97361	3.2353	0.98098	0.3789	0.992605	3.4451	0.968016
55	"	3.6366667	0.2722	0.98042	3.0206	0.98701	0.3166	0.998093	3.1846	0.978572
56	"	1.9914286	0.1177	0.98806	2.978	0.99376	0.1231	0.996279	3.1441	0.991182
57	"	2.2646154	0.1924	0.9751	2.472	0.98238	0.2188	0.992284	2.8778	0.993595
58	"	2.4533333	0.1928	0.98048	2.7104	0.98766	0.222	0.983615	3.0015	0.983764
59	"	2.7088889	0.2587	0.9759	3.4097	0.98133	0.2841	0.943759	3.6473	0.968762
60	"	4.32	0.4262	0.99172	3.3279	0.96466	0.4652	0.98186	3.3427	0.947382
61	"	4.6285714	0.2036	0.99911	2.8261	0.99592	0.2157	0.99261	2.9728	0.993753
62	"	3.36375	0.2707	0.96667	2.6567	0.98847	0.3159	0.995665	2.9067	0.981526
63	"	2.7516667	0.1839	0.98017	2.7362	0.98681	0.2074	0.988611	2.9264	0.981244
64	辰野-8	2.1010345	0.3026	0.98594	2.9356	0.97948	0.3409	0.98053	3.2079	0.962846
65	"	2.1	0.3129	0.961	2.8179	0.97934	0.3806	0.997111	3.2521	0.972207
66	"	3.6992308	0.2756	0.98343	2.3973	0.97971	0.3175	0.995168	2.835	0.987561
67	"	2.0144828	0.2871	0.9903	3.1465	0.99121	0.3101	0.997944	3.2498	0.986656
68	"	1.8411111	0.3586	0.99906	3.0784	0.99291	0.3597	0.998651	3.1235	0.992055
69	"	3.868	0.316	0.96927	2.5225	0.98016	0.368	0.995156	2.9459	0.99061
70	"	3.1789474	0.3424	0.98536	2.7999	0.99057	0.3877	0.997325	3.0355	0.987924
71	"	2.6475	0.4334	0.99518	2.8093	0.9909	0.4732	0.99754	3.0567	0.986615
72	"	3.733	0.4726	0.98347	3.0297	0.95645	0.5707	0.991264	3.7273	0.940405
73	"	4.00875	0.3918	0.99456	2.8931	0.98632	0.425	0.988685	3.1313	0.980639
74	"	4.5872222	0.5561	0.99527	2.7888	0.98794	0.5789	0.9934	2.8652	0.97763
75	"	1.9866667	0.1101	0.8199	2.5018	0.98424	0.1345	0.909606	2.8535	0.998209
76	"	3.5213333	0.4322	0.99289	3.3127	0.97871	0.4826	0.987961	3.7189	0.969984
77	"	3.9658333	0.4589	0.99322	3.1572	0.98516	0.4817	0.988061	3.3047	0.978097
78	"	2.6390909	0.2527	0.98019	2.2244	0.99548	0.2887	0.991634	2.3719	0.992498

No.	調査林分	葉の生産 能率	幹材積成長 量の回帰 係数	同左の R2	幹V-辺V 回帰係数	同左の R2	幹断面積 成長量の 回帰係数	同左の 相関係数 R2	幹辺材部 断面積回帰 係数	同左の 相関係数 R2
			(Lvi)		(Lvs)		(Lgi)		(Lgs)	
79	"	2.0354167	0.343	0.99241	3.2091	0.97847	0.3554	0.980018	3.3499	0.964911
80	"	4.4136364	0.4602	0.99664	3.3215	0.98003	0.4862	0.988108	3.5781	0.972223
81	"	1.7441667	0.2045	0.99099	2.8595	0.98835	0.2102	0.993496	3.0243	0.980884
82	"	1.6066667	0.2932	0.97288	3.1934	0.97594	0.315	0.969041	3.2341	0.97114
83	"	3.0422222	0.337	0.97764	3.1394	0.97604	0.4879	0.960772	3.3282	0.95686
84	"	3.273125	0.3843	0.99228	3.0729	0.98814	0.4365	0.995791	3.3143	0.982596
85	"	4.532	0.5083	0.99488	3.7953	0.96903	0.5365	0.990226	3.8571	0.962169
86	"	3.2805556	0.289	0.99519	2.9313	0.98936	0.322	0.994996	3.0848	0.982616
87	"	3.0316667	0.3625	0.98501	3.2089	0.97023	0.4207	0.983703	3.8967	0.975652
88	小海	3.8517742	0.1545	0.99646	1.9895	0.9608	0.1631	0.991491	2.279	0.966704
89	"	4.2523333	0.1571	0.99012	2.1594	0.98081	0.1808	0.998008	2.449	0.985685
90	"	3.3195	0.1472	0.91244	1.4801	0.95186	0.1938	0.964102	1.69	0.933707
91	"	4.9507407	0.2248	0.98984	2.1097	0.9794	0.2482	0.9944	2.3578	0.969509
92	"	2.2993452	0.1361	0.97892	1.1444	0.97295	0.1596	0.991373	1.373	0.989536
93	"	2.7303008	0.1809	0.99291	1.6794	0.97732	0.1984	0.990922	1.9314	0.97554
94	"	2.6350435	0.1594	0.99255	1.7582	0.98243	0.1724	0.992913	1.9884	0.984005
95	"	2.9105028	0.1528	0.97883	1.3629	0.96889	0.1756	0.996557	1.6599	0.988364
96	"	3.4373043	0.1626	0.98329	1.6578	0.98826	0.1735	0.998997	1.7946	0.983441
97	"	4.0342308	0.2309	0.99386	2.2392	0.97064	0.2488	0.988029	2.5078	0.957353
98	"	3.6949333	0.207	0.98976	2.0192	0.98349	0.217	0.991772	2.1939	0.973132
99	"	4.6595	0.2777	0.98468	1.5029	0.93223	0.3344	0.995901	2.1162	0.983268
100	"	3.0450413	0.174	0.99136	1.7631	0.98148	0.1927	0.996767	2.0087	0.980956
101	"	5.135	0.2016	0.98534	2.032	0.97021	0.2256	0.980896	2.3477	0.962243
102	"	3.2918954	0.186	0.99393	1.545	0.98232	0.1997	0.998724	1.7606	0.991005
103	野辺山	2.8396667	0.1567	0.99317	1.5385	0.98446	0.1708	0.991694	1.7346	0.989296
104	"	2.5976923	0.1639	0.98992	2.059	0.98957	0.1812	0.99771	2.1972	0.983526
105	"	1.4744444	0.1147	0.96133	1.8594	0.98079	0.1357	0.985922	2.1198	0.976308
106	"	1.7266071	0.1333	0.98247	1.4985	0.99126	0.1511	0.992307	1.6678	0.996188
107	"	2.3651852	0.1467	0.9678	1.6014	0.98852	0.1618	0.96491	1.687	0.967666
108	"	2.5727273	0.222	0.98053	2.4006	0.96773	0.2456	0.958315	2.9034	0.96946
109	"	2.075	0.1887	0.94984	1.7856	0.97942	0.2404	0.970662	2.0411	0.980575
110	"	1.7984615	0.1717	0.99516	2.1332	0.99214	0.1791	0.992588	2.2047	0.989609
111	"	2.2581633	0.1712	0.98787	2.3028	0.97826	0.1933	0.995297	2.4783	0.961552
112	"	1.5065	0.1477	0.97567	1.8171	0.98778	0.1633	0.978344	1.9665	0.98797
113	入山辺	2.7797917	0.1933	0.99785	2.1398	0.99089	0.2001	0.995802	2.2117	0.986812
114	"	3.882449	0.2336	0.99513	2.3393	0.97902	0.2333	0.987091	2.3912	0.973999
115	"	3.4860759	0.2324	0.99284	2.2644	0.98285	0.2504	0.991232	2.4632	0.971223
116	"	4.1308333	0.3338	0.99817	2.8342	0.96984	0.3452	0.995781	2.8997	0.958159
117	"	2.2258442	0.1489	0.9917	1.5477	0.99486	0.1569	0.982922	1.634	0.992263
118	"	2.5326923	0.1907	0.9978	2.4343	0.98528	0.1931	0.988679	2.4986	0.982501
119	"	5.1927083	0.2818	0.99658	1.9494	0.98315	0.2987	0.992608	1.9515	0.979434

N o.	調査林分	葉の生産 能率	幹材積成長 量の回帰 係数 (Lvi)	同左の R2	幹V-辺V 回帰係数 (Lvs)	同左の R2	幹断面積 成長量の 回帰係数 (Lgi)	同左の 相関係数 R2	幹辺材部 断面積回帰 係数 (Lgs)	同左の 相関係数 R2
120	"	5.184	0.2478	0.99473	2.7391	0.98522	0.2501	0.9862	2.8628	0.979345
121	"	3.1175926	0.2114	0.99882	2.6517	0.98549	0.217	0.996431	2.9341	0.985154
122	"	3.727037	0.177	0.97649	1.7156	0.98957	0.1907	0.981268	1.8181	0.978939
123	"	4.5289286	0.1932	0.9917	2.4434	0.98946	0.1986	0.996445	2.5947	0.98491
124	"	2.8657143	0.2388	0.99203	2.5988	0.97805	0.2456	0.98327	2.6762	0.969832
125	"	4.746087	0.2883	0.9944	3.0928	0.97891	0.3003	0.986125	3.3768	0.967996
126	小諸一	3.7872727	0.4852	0.97787	2.6493	0.98701	0.5176	0.980931	2.8427	0.985891
127	"	3.134878	0.4054	0.99134	3.0656	0.98435	0.4343	0.997872	3.4029	0.984555
128	四賀	5.8633333	0.3441	0.98108	3.031	0.95985	0.4095	0.992894	3.2488	0.92708
129	"	6.5155556	0.279	0.97679	2.0514	0.9861	0.3284	0.997939	2.3244	0.986223
130	"	5.7830769	0.4281	0.99229	2.9724	0.94894	0.4572	0.985815	3.0215	0.936923
131	"	2.5470588	0.1994	0.96567	2.6272	0.98624	0.2199	0.993818	2.8072	0.979045
132	諏訪	1.970625	0.9245	0.99241	2.335	0.9299	0.9935	0.994907	3.4145	0.98973
133	"	2.205	0.8636	0.99809	3.3512	0.98107	0.9225	0.995926	3.4271	0.971706
134	"	1.6588889	0.6952	0.99268	3.4144	0.99182	0.6926	0.992392	3.4374	0.989487
135	大町	4.9616667	0.7838	0.98976	3.6273	0.98412	0.8443	0.99072	4.0501	0.979132
136	"	6.5833333	0.6374	0.9855	3.098	0.99094	0.7105	0.989634	3.2314	0.987282
137	"	6.925	0.6679	0.9868	3.3579	0.9891	0.7073	0.997194	3.5033	0.978529
138	"	6.0123529	0.6267	0.99254	2.7469	0.98909	0.7048	0.998885	2.987	0.987711
139	"	4.9275	0.4346	0.99268	3.5607	0.96022	0.449	0.989824	3.714	0.935653
140	朝日	3.6709091	0.8892	0.99152	3.6555	0.97847	1.0168	0.987267	3.9028	0.960351
141	"	3.0736842	0.6076	0.99764	3.1021	0.98564	0.621	0.992292	3.0973	0.981144
142	"	3.5025	0.7274	0.98282	3.6801	0.97486	0.805	0.99806	3.9221	0.956577
143	"	2.7764286	0.6775	0.98253	3.6061	0.97868	0.7823	0.998536	3.8848	0.95925
144	臼田	1.026	0.0557	0.96191	1.5858	0.9841	0.0599	0.988094	1.7803	0.987269
145	"	1.9917333	0.0781	0.96923	1.6605	0.9927	0.0854	0.988585	1.82	0.99597
146	"	1.1895385	0.0702	0.92303	1.6222	0.9917	0.079	0.946024	1.7735	0.997471
147	"	1.0325581	0.0422	0.99333	1.7874	0.99472	0.0392	0.990661	1.8688	0.994621
148	"	1.9993333	0.0978	0.9479	1.6287	0.9774	0.1162	0.981198	1.8958	0.987834
149	"	1.9544318	0.0889	0.97888	1.4433	0.98628	0.092	0.96622	1.5926	0.974545
150	"	1.5736986	0.0457	0.93544	1.2709	0.95254	0.0636	0.975538	1.6526	0.994247
151	北相木	3.3314286	0.1581	0.96687	1.513	0.96657	0.1901	0.991506	1.847	0.989815
152	"	0.8895455	0.0534	0.9717	1.0839	0.99382	0.0582	0.954434	1.1314	0.987412
153	"	1.3613636	0.0669	0.95917	1.28	0.98531	0.0763	0.987611	1.4072	0.986096
154	"	2.4448026	0.0889	0.97317	1.1098	0.96472	0.1044	0.991802	1.352	0.990967
155	"	2.7241121	0.1721	0.96579	2.0105	0.97146	0.196	0.975957	2.3176	0.975791
156	"	2.9269841	0.1516	0.87019	1.6583	0.93834	0.199	0.920207	2.1515	0.983665
157	長谷	2.3005405	0.0982	0.9899	1.4126	0.97802	0.106	0.998875	1.6063	0.994192
158	"	2.5464	0.0987	0.99221	1.5243	0.98592	0.1063	0.992637	1.6661	0.979009
159	"	2.0624837	0.0835	0.95694	1.3687	0.97588	0.0949	0.990127	1.5369	0.967544
160	"	1.4292896	0.084	0.94215	1.5581	0.98474	0.0966	0.986378	1.7311	0.985652

N o.	調査林分	葉の生産 能率	幹材積成長 量の回帰 係数 (Lvi)	同左の R2	幹V-辺V 回帰係数 (Lvs)	同左の R2	幹断面積 成長量の 回帰係数 (Lgi)	同左の 相関係数 R2	幹辺材部 断面積回帰 係数 (Lgs)	同左の 相関係数 R2
161	"	2.0744444	0.1007	0.99459	1.8245	0.987	0.1035	0.989801	1.8961	0.980922
162	"	1.1976786	0.0794	0.97841	1.4361	0.99507	0.0832	0.989775	1.5359	0.996398
163	"	2.6045	0.1136	0.98855	1.8506	0.99705	0.121	0.995976	1.9203	0.995551
164	"	2.5402326	0.1237	0.95761	1.5123	0.98613	0.1428	0.983597	1.6969	0.986148
165	"	3.8727419	0.139	0.95827	1.7881	0.97658	0.159	0.990434	2.0419	0.972604
166	稻核	5.4000741	0.1727	0.99369	1.4802	0.98063	0.1808	0.997809	1.7095	0.991285
167	"	2.3251429	0.1474	0.9978	1.3878	0.99253	0.1499	0.997919	1.4792	0.996084
168	"	3.7163248	0.1695	0.99248	2.3294	0.97842	0.1787	0.994696	2.5248	0.971873
169	"	4.1494667	0.1012	0.98093	1.5259	0.98819	0.1111	0.989785	1.6927	0.989432
170	"	4.4508451	0.1664	0.99287	1.6135	0.98319	0.1793	0.999187	1.8578	0.991954
171	"	5.4357754	0.2204	0.99021	1.6545	0.97579	0.2437	0.995804	1.9353	0.987228
172	上田	5.0536697	0.1311	0.98018	1.608	0.98483	0.1393	0.960825	1.7407	0.977602
173	"	2.790297	0.1089	0.9713	1.0992	0.96987	0.1033	0.949111	1.2032	0.946801
174	小諸-2	2.7251351	0.0745	0.99901	1.4309	0.97596	0.0802	0.993873	1.6578	0.979666
175	"	1.5759223	0.0842	0.95817	1.4158	0.97515	0.088	0.922747	1.6028	0.963274
176	辰野	3.6211538	0.2145	0.9993	2.6305	0.97743	0.2253	0.99599	2.829	0.967443
177	"	2.8563636	0.138	0.91992	2.4494	0.99191	0.1502	0.962613	2.6496	0.98965
178	"	3.6190909	0.1215	0.7795	1.9058	0.99449	0.1173	0.933697	2.0631	0.990663
179	"	3.0385714	0.1956	0.98957	2.7289	0.98532	0.2085	0.997506	2.9095	0.975925
180	"	3.0245455	0.1592	0.94919	2.7719	0.98367	0.1835	0.991008	3.0926	0.976821
181	"	4.4204545	0.2748	0.99168	2.9414	0.98053	0.2981	0.997831	3.1289	0.96943
182	高遠	1.32	0.1531	0.98281	2.782	0.98256	0.1656	0.989775	2.9681	0.969439
183	"	0.9669231	0.1463	0.9842	2.399	0.96391	0.1706	0.981967	2.6069	0.932637
184	"	1.3486667	0.1801	0.99292	2.7636	0.975	0.1855	0.987558	2.8335	0.961577
185	"	1.5505882	0.1343	0.97634	2.4253	0.98146	0.1546	0.995918	2.7912	0.981977
186	"	1.2475	0.1632	0.97802	2.213	0.99262	0.18	0.989041	2.3478	0.988373
187	本郷	3.7223333	0.512	0.99302	2.8798	0.98009	0.5723	0.995389	3.0905	0.960374
188	"	4.0034615	0.4535	0.96069	3.0213	0.96824	0.5647	0.997224	3.5518	0.95284
189	"	4.9569767	0.5327	0.99867	2.9646	0.97861	0.5406	0.995709	2.9934	0.972645
190	"	3.4881818	0.2057	0.99784	2.3034	0.98912	0.2082	0.997666	2.3658	0.980375
AVG		0.2838221	0.9795348	2.4895111	0.9794369	0.3127384	0.9874218	2.7441689	0.9774683	
STD		0.167212	0.0256844	0.6753384	0.0120716	0.182127	0.0147491	0.7153217	0.0149101	

カラマツ枝下高解析用調査林分一覧表

調査地名	No	林齢	平均上層木 樹高(H) (m)	平均 樹高(m)	平均胸高 直径(cm)	平均枝下 高(h) (m)	平均 樹冠長(Lc)	平均 枝下高率 (h/H)	ha当り 本数 (本)	相対幹距比 (SR)
白田町	1	20	15.5	15.2	14.6	10.3	5.2	0.6645161	889	0.2163802
白田町	2	41	24.4	23.5	26.2	16.1	8.3	0.6598361	501	0.1831013
佐久町	3	25	15.1	14.1	15	7.9	7.2	0.5231788	942	0.2157732
佐久町	4	35	20.3	18.9	17.6	14.4	5.9	0.7093596	1088	0.1493446
小海町	5	36	20.3	20	21	13.8	6.5	0.679803	674	0.1897466
小海町	6	46	27	26.7	25.4	18.6	8.4	0.6888889	486	0.1680034
川上村	7	21	15.4	15	18.1	7.4	8	0.4805195	913	0.2149037
川上村	8	31	17.2	15.9	20.5	11.1	6.1	0.6453488	811	0.2041555
川上村	9	46	27.3	26.1	26.3	17.6	9.7	0.6446886	476	0.1678935
南牧村	10	26	16.5	15.9	15.9	8	8.5	0.4848485	1027	0.1891171
南牧村	11	53	27.6	27.2	36.4	18.8	8.8	0.6811594	284	0.2149967
南相木村	12	22	15.4	15.1	14.9	8.1	7.3	0.525974	1369	0.1755002
八千穂村	13	52	20	19.5	23.5	13.4	6.6	0.67	634	0.1985754
八千穂村	14	57	19.6	18.3	23.7	12.8	6.8	0.6530612	640	0.2016759
小諸市	15	15	11.5	10.8	10.9	5.7	5.8	0.4956522	2075	0.1908944
小諸市	16	28	18.4	18.3	20.8	12	6.4	0.6521739	605	0.2209553
小諸市	17	41	23	21.9	22.5	15	8	0.6521739	794	0.1542986
小諸市	18	41	22.5	22.3	25.7	13.7	8.8	0.6088889	628	0.1773526
佐久市	19	14	12.2	10.5	11.6	6.7	5.5	0.5491803	1801	0.1931449
佐久市	20	21	15.3	14.3	15.2	6.7	8.6	0.4379085	781	0.2338746
佐久市	21	27	16.8	15.7	17.8	9.4	7.4	0.5595238	685	0.2274288
軽井沢町	22	14	10.1	8.9	8.4	5.2	4.9	0.5148515	2306	0.2061812
軽井沢町	23	20	13.5	12.6	14.3	7.9	5.6	0.5851852	1140	0.2193885
軽井沢町	24	27	16.4	15.2	15.2	9.5	6.9	0.5792683	1091	0.1846051
御代田町	25	21	16.2	14.6	15.5	9.1	7.1	0.5617284	1033	0.1920591
御代田町	26	31	16.8	16.4	15.1	11.3	5.5	0.672619	1773	0.1413632
立科町	27	34	19.7	19.2	20.8	10.6	9.1	0.5380711	589	0.2091588
上田市	28	19	11.4	10.9	12.8	5.6	5.8	0.4912281	811	0.3080241
上田市	29	41	21.6	20.9	24	14.5	7.1	0.6712963	745	0.1696165
丸子町	30	36	16.1	14.4	15.6	9.3	6.8	0.5776398	750	0.2268002
長門町	31	25	21.3	18.6	16.2	13.9	7.4	0.6525822	1139	0.1391101
長門町	32	45	21.2	20.6	27.8	15.7	5.5	0.740566	426	0.2285385
東部町	33	34	26.9	25.4	28.2	17.4	9.5	0.6468401	349	0.1989917
真田町	34	19	13.2	11.8	12.4	5.8	7.4	0.4393939	1662	0.1858277
真田町	35	30	11.8	10.5	11.5	6.8	5	0.5762712	1211	0.2435263
真田町	36	45	21.2	19.3	24.2	13.7	7.5	0.6462264	744	0.1729329
真田町	37	50	26.8	26.5	33.1	18	8.8	0.6716418	152	0.3026519

調査地名	No	林齢	平均上層木 樹高(H) (m)	平均 樹高(m)	平均胸高 直径(cm)	平均枝下 高(h) (m)	平均 樹冠長(Lc)	平均 枝下高率 (h/H)	ha当り 本数 (本)	相対幹距比 (SR)
武石村	38	15	11.2	10.5	11.1	4.9	6.3	0.4375	1215	0.2561497
武石村	39	34	23	20.9	20.8	11.9	11.1	0.5173913	821	0.1517402
武石村	40	26	20.9	20.1	17.9	11.5	9.4	0.5502392	736	0.176366
和田村	41	47	22.6	21.3	21.3	13.5	9.1	0.5973451	928	0.1452505
和田村	42	61	22.8	21.4	25.8	13.8	9	0.6052632	379	0.2252919
青木村	43	27	17.4	16.7	18.2	12.6	4.8	0.7241379	641	0.2269978
岡谷市	44	56	20.7	19.8	22.1	12.3	8.4	0.5942029	667	0.1870539
諏訪市	45	55	29	28.7	29.9	16.3	12.7	0.562069	253	0.2167912
茅野市	46	18	14.4	13.9	14.2	5.8	8.6	0.4027778	764	0.2512412
富士見町	47	24	19.5	19.1	20.9	12.2	7.3	0.625641	516	0.2257566
富士見町	48	23	14.1	12.5	13.8	10.6	3.5	0.751773	1715	0.1712572
伊那市	49	16	12.2	12.1	11.7	6.8	5.4	0.557377	1346	0.2234177
駒ヶ根市	50	27	17.6	16.5	17.5	9.2	8.4	0.5227273	1263	0.1598769
高遠町	51	58	25.1	24.5	31.5	16.1	9	0.6414343	281	0.2376693
辰野町	52	28	17.2	15.2	16	9.4	7.8	0.5465116	1029	0.1812441
箕輪町	53	28	19.3	18.1	17.4	14.4	4.9	0.746114	948	0.1682823
飯島町	54	28	16.4	16.2	18.4	10.6	5.8	0.6463415	932	0.1997323
上郷町	55	47	24.6	24.6	23.5	13.4	11.2	0.5447154	517	0.1787803
平谷村	56	37	15.6	14.6	16.3	10	5.6	0.6410256	1003	0.2024067
檜川村	57	28	12.6	10.6	14.5	5.9	6.7	0.468254	842	0.2735101
木祖村	58	16	13.4	13.1	14.2	8.7	4.7	0.6492537	1040	0.2314081
波田町	59	24	12.9	12.6	14.5	5.7	7.2	0.4418605	1154	0.2281957
四賀村	60	25	19.3	19.3	19.5	13.2	6.1	0.6839378	977	0.165766
奈川村	61	54	23.6	22.1	26.5	14.6	9	0.6186441	413	0.2085033
大町市	62	67	20.5	20.5	23.6	14.7	5.8	0.7170732	945	0.1586829
小谷村	63	42	18.1	16.5	19.5	10.9	7.2	0.6022099	604	0.2248034
更埴市	64	27	17.2	15.7	16.2	11.7	5.5	0.6802326	1242	0.1649722
坂城町	65	21	15.8	14.2	15.3	7.9	7.9	0.5	1119	0.1892029
山ノ内町	66	21	15.1	14.4	14	9.2	5.9	0.6092715	1766	0.1575897
長野市	67	28	17.1	16.5	18.5	9.5	7.6	0.5555556	909	0.1939644
信州新町	68	18	13.1	12.1	12.2	5.3	7.8	0.4045802	1809	0.1794773
信濃町	69	35	14.4	13.4	19.8	8.5	5.9	0.5902778	842	0.2393214
信濃町	70	40	13.6	13.2	18.7	7.4	6.2	0.5441176	778	0.2636157
戸隠村	71	32	16.6	15.2	16.3	9.5	7.1	0.5722892	850	0.2066248
小川村	72	50	13.3	12.1	14.8	7.4	5.9	0.556391	1190	0.217959
大岡村	73	20	18.5	16	15.7	8.1	10.4	0.4378378	881	0.1821127
飯山市	74	24	12.2	12.2	16.9	5.2	7	0.4262295	1002	0.2589443
長谷村	75	51	26.5	26.5	31.9	17.3	9.2	0.6528302	470	0.1740625
臼田町	76	67	22.5	22.5	31.3	15.3	7.2	0.68	304	0.2549064
上田市	77	74	32.4	32.4	41.3	17	15.4	0.5246914	164	0.2410089
安曇村稲核	78	47	25.2	25.2	26.7	17	8.2	0.6746032	619	0.1594976

枝打ち試験林標本木樹幹解析一覽表 (朝日試験地)

種類	No.	樹齡 (年)	胸高直径 (cm)	樹高 (H) (m)	枝下高 (Hb) (m)	枝下高率 Hb/H	幹材積 (cm ³)	幹心材率	樹高 1 割高 位置心材部 面積 (cm ²)	樹高 1 割高 位置心材部 面積率
枝打ち前	1	16	9.4	8.6	2	0.23255814	28021	0.189	15.205344	0.244413584
	2	16	11.9	10.9	2.8	0.256880734	45784	0.22	28.2744	0.303004798
	3	16	7.8	9	3.8	0.422222222	19937	0.178	10.178784	0.236669102
	4	16	8.9	10.3	3.2	0.310679612	28685	0.156	10.178784	0.188125998
枝打ち後	1	18	12	11	5.8	0.8	54470	0.372	30.190776	0.393471
	2	18	11.3	10.4	7.1	0.4625	47037	0.345	37.392894	0.4237273
	3	18	11.4	10.3	5.6	0.4625	44509	0.375	37.392894	0.4237273
	4	18	11.2	11	6.5	0.8	47003	0.473	32.169984	0.5239002
	5	18	13.1	12.8	6.7	0.671428571	75069	0.35	49.016814	0.4040622
	6	18	12.2	11.9	6.4	0.757142857	61503	0.317	31.172526	0.3878885
	7	18	11.5	11	6.8	0.642857143	52088	0.409	32.169984	0.403878

種類	No.	葉量 (kg)	樹高 1 割高 辺材部平均 年輪幅 (cm ²)	幹材積成長 量の回帰係数 (Lvi)	同左の R2	幹V-辺V 回帰係数 (Lvs)	同左の R2	幹断面積 成長量の回帰 係数 (Lgi)	同左の R2	幹辺材部断面 積回帰係数 (Lgs)	同左の R2
枝打ち前	1	1.1	0.314285714	0.8892	0.99152	3.6555	0.97847	1.0168	0.987267	3.9028	0.960351
	2	1.9	0.357142857	0.6076	0.99764	3.1021	0.98564	0.621	0.992292	3.0973	0.981144
	3	0.8	0.23125	0.7274	0.98282	3.6801	0.97486	0.805	0.99806	3.9221	0.956577
	4	1.4	0.335714286	0.6775	0.98253	3.6061	0.97868	0.7823	0.998536	3.8848	0.95925
枝打ち後	1	1.2	0.8	0.7111	0.987212	2.1841	0.969623	0.6132	0.996927	2.6536	0.919778
	2	0.5	0.4625	0.4249	0.971009	3.1038	0.99105	0.3596	0.993314	3.217	0.989395
	3	0.6	0.4625	0.77754	0.985992	2.543	0.956293	0.5211	0.959145	2.7906	0.964099
	4	0.6	0.8	0.5263	0.982572	1.669	0.986841	0.4836	0.978079	2.0563	0.937694
	5	1.8	0.671428571	0.6183	0.994617	2.6389	0.968569	0.5431	0.995572	2.9381	0.961909
	6	0.8	0.757142857	0.65	0.9598	2.8442	0.985806	0.4918	0.987024	3.102	0.977445
	7	0.5	0.642857143	0.5387	0.959101	2.1718	0.926712	0.4205	0.982132	2.6584	0.902944

カラマツらせん木理解析資料

場所名	標本木NO	円板高さ	円板樹齢	DBH(皮無し)	樹高	らせん木理タイプ	最大回旋角	最大角時髓からの年輪数
黒姫	1.00 1-2	3.1	65.0	39.4	31.9	A	5.21	5.00
黒姫	2.00 2-1-B	2.1	70.0	46.0	30.6	C	5.82	40.00
黒姫	3.00 3-1-B	2.2	70.0	46.2	29.2	A	6.55	30.00
黒姫	4.00 4-1-B	6.2	63.0	50.0	30.8	A	4.84	5.00
黒姫	5.00 5-1-B	2.0	71.0	43.1	31.7	B	3.80	3.00
黒姫	6.00 6-2	3.2	65.0	48.5	31.3	C	5.50	3.00
黒姫	7.00 7-1-2	3.2	67.0	42.4	30.7	B	4.22	10.00
黒姫	8.00 8-1-2	4.0	66.0	48.2	28.5	B	4.08	5.00
稲核	9.00 1-2	3.4	43.0	43.6	33.3	A	3.51	25.00
稲核	10.00 2-2	3.4	44.0	32.2	21.8	A	6.36	20.00
稲核	11.00 3-2	3.4	43.0	36.8	28.0	B	1.04	5.00
稲核	12.00 4-2	3.4	42.0	32.0	30.9	A	4.95	5.00
稲核	13.00 5-2	3.4	44.0	31.5	30.3	A	5.17	25.00
稲核	14.00 6-2	3.4	43.0	39.1	28.0	A	4.70	2.00
稲核	15.00 7-2	3.4	43.0	44.5	28.8	A	3.10	2.00
稲核	16.00 8-2	3.4	43.0	48.8	30.7	B	3.60	3.00
稲核	17.00 9-2	3.4	44.0	33.2	26.2	A	5.80	3.00
長谷	18.00 4-2	3.4	48.0	40.1	29.0	A	4.75	45.00
長谷	19.00 5-2	3.4	48.0	39.2	28.1	A	4.87	45.00
長谷	20.00 7-2	3.4	48.0	41.5	29.0	C	3.48	25.00
長谷	21.00 11-2	3.4	48.0	38.1	27.5	A	4.90	3.00
長谷	22.00 12-2	3.4	47.0	34.0	28.5	A	2.60	2.00
長谷	23.00 13-2	3.4	49.0	34.0	27.1	A	3.40	3.00
長谷	24.00 14-2	3.4	48.0	29.2	28.0	A	3.38	5.00
長谷	25.00 15-2	3.4	47.0	30.4	26.5	A	2.50	2.00
長谷	26.00 16-2	3.4	46.0	29.4	27.0	A	1.70	2.00
北相木	27.00 1-2	3.2	55.0	30.4	27.9	A	2.60	5.00
北相木	28.00 12-2	3.2	55.0	23.8	26.1	B	6.30	3.00
北相木	29.00 14-2	3.2	57.0	42.3	30.4	B	5.40	4.00
北相木	30.00 22-2	3.2	53.0	28.8	29.0	B	4.20	2.00
北相木	31.00 23-2	3.2	57.0	44.6	30.3	B	4.40	5.00
北相木	32.00 24-2	3.2	51.0	30.6	24.8	A	7.00	10.00
北相木	33.00 25-2	3.2	49.0	26.6	23.2	C	6.10	5.00
白田	34.00 4-2	3.4	62.0	34.5	24.0	A	4.50	5.00
白田	35.00 5-2	3.4	60.0	27.5	23.3	C	4.30	5.00
白田	36.00 7-2	3.4	62.0	33.5	22.8	A	6.30	30.00
白田	37.00 8-2	3.4	61.0	26.0	21.9	B	4.50	5.00
白田	38.00 9-2	3.4	59.0	23.8	22.5	B	3.70	5.00
白田	39.00 10-2	3.4	63.0	42.2	25.1	A	5.60	4.00
白田	40.00 11-2	3.4	61.0	38.7	23.4	A	5.00	5.00
白田	41.00 12-2	3.4	61.0	45.2	27.8	C	4.60	35.00
白田	42.00 13-2	3.4	62.0	51.3	24.7	A	7.60	30.00
望月	43.00 1-2	4.5	41.0	35.6	25.5	A	6.39	40.00
望月	44.00 2-2	3.3	41.0	28.4	24.3	B	3.10	3.00
望月	45.00 3-2	3.3	41.0	27.2	23.8	B	5.76	5.00
望月	46.00 4-2	4.5	39.0	28.7	24.2	A	4.52	5.00
望月	47.00 5-2	4.5	38.0	25.1	22.9	A	3.13	10.00
望月	48.00 6-2	3.5	42.0	27.6	24.6	C	6.68	5.00
望月	49.00 7-2	4.5	40.0	30.4	24.6	A	5.59	30.00

場所名	標本木NO	MAX時-----	平均年輪幅-----				20年輪まで	
		年輪幅	直径	MAX年時	40年時	平均回旋角	平均回旋角	
黒矩	1.00 1-2	1.18	6.18	1.24	0.74	2.75	4.09	
黒矩	2.00 2-1-B	0.23	32.63	0.82	0.82	1.52	1.09	
黒矩	3.00 3-1-B	0.52	24.90	0.83	0.75	5.16	4.83	
黒矩	4.00 4-1-B	1.50	5.45	1.09	0.69	2.88	4.19	
黒矩	5.00 5-1-B	1.92	3.85	1.28	0.73	1.13	2.89	
黒矩	6.00 6-2	1.63	3.28	1.09	0.73	1.76	4.40	
黒矩	7.00 7-1-2	0.98	12.68	1.27	0.74	0.68	2.90	
黒矩	8.00 8-1-2	1.15	4.40	0.88	0.64	0.68	3.02	
稲核	9.00 1-2	0.65	26.05	1.04	0.86	2.52	2.37	
稲核	10.00 2-2	0.92	16.05	0.80	0.64	5.35	4.86	
稲核	11.00 3-2	1.05	7.65	1.53	0.77	0.14	0.86	
稲核	12.00 4-2	1.08	6.93	1.39	0.62	3.02	3.44	
稲核	13.00 5-2	0.38	21.08	0.84	0.64	3.24	2.71	
稲核	14.00 6-2	1.60	2.48	1.24	0.78	3.25	2.99	
稲核	15.00 7-2	1.40	2.35	1.18	0.87	1.75	1.80	
稲核	16.00 8-2	1.82	3.60	1.20	0.93	-1.13	0.72	
稲核	17.00 9-2	1.98	4.33	1.44	0.62	3.32	3.14	
長谷	18.00 4-2	0.44	31.64	0.70	0.75	3.75	3.47	
長谷	19.00 5-2	0.31	31.66	0.70	0.74	2.71	1.65	
長谷	20.00 7-2	0.54	25.41	1.02	0.79	2.60	1.82	
長谷	21.00 11-2	1.59	3.64	1.21	0.76	3.40	4.12	
長谷	22.00 12-2	1.29	2.18	1.09	0.71	1.09	1.66	
長谷	23.00 13-2	1.66	3.97	1.32	0.69	1.94	2.52	
長谷	24.00 14-2	1.39	6.23	1.25	0.60	1.26	2.42	
長谷	25.00 15-2	1.30	2.05	1.03	0.56	1.70	2.10	
長谷	26.00 16-2	0.97	1.64	0.82	0.54	1.37	1.37	
北相木	27.00 1-2	1.24	6.43	1.29	0.52	2.16	2.69	
北相木	28.00 12-2	1.65	4.23	1.41	0.50	1.17	3.97	
北相木	29.00 14-2	1.55	4.88	1.22	0.82	1.00	4.01	
北相木	30.00 22-2	1.28	1.40	0.70	0.57	0.79	3.19	
北相木	31.00 23-2	1.49	6.50	1.30	0.80	0.28	3.36	
北相木	32.00 24-2	1.18	11.32	1.13	0.58	4.78	4.63	
北相木	33.00 25-2	1.23	4.33	0.87	0.45	2.19	4.01	
白田	34.00 4-2	1.25	5.45	1.09	0.58	2.63	3.79	
白田	35.00 5-2	1.05	4.50	0.90	0.46	0.61	2.30	
白田	36.00 7-2	0.53	18.85	0.63	0.54	5.15	4.66	
白田	37.00 8-2	0.67	3.40	0.68	0.41	0.85	3.11	
白田	38.00 9-2	0.75	4.88	0.98	0.43	0.13	2.19	
白田	39.00 10-2	1.20	4.43	1.11	0.70	2.95	3.80	
白田	40.00 11-2	0.95	5.38	1.08	0.62	1.90	3.76	
白田	41.00 12-2	0.60	25.93	0.74	0.70	1.85	3.03	
白田	42.00 13-2	0.58	25.53	0.85	0.74	6.82	5.46	
望月	43.00 1-2	0.50	34.90	0.87	0.87	4.10	3.95	
望月	44.00 2-2	1.20	3.10	1.03	0.70	0.55	1.52	
望月	45.00 3-2	1.40	4.40	0.88	0.67	1.88	3.60	
望月	46.00 4-2	0.30	6.30	1.26		3.10	3.61	
望月	47.00 5-2	1.00	13.80	1.38		1.47	2.05	
望月	48.00 6-2	1.30	4.30	0.86	0.66	2.02	3.28	
望月	49.00 7-2	0.40	25.50	0.85	0.76	3.42	2.93	

長野県内カラマツ産地別材質(10.5cm 心持正角材)

黒姫				稲核				長谷			
平均年輪幅	気乾比重	EL	MOR	平均年輪幅	気乾比重	EL	MOR	平均年輪幅	気乾比重	EL	MOR
4.08	0.515	85.7	420	4.9	0.428	65.4	204	3.4	0.479	76.6	308
4.46	0.492	70.7	267	3.4	0.556	84.3	309	3.3	0.479	81.8	364
2.95	0.509	101.6	463	5.5	0.482	75.6	433	3.4	0.464	89.5	375
3.96	0.481	78.5	363	3.8	0.463	74.3	467	5.1	0.458	83.6	395
2.77	0.558	101.8	682	4.4	0.508	86	474	3.5	0.447	80.6	410
3.67	0.542	86.2	505	3.5	0.49	88	524	3.2	0.525	94.9	490
4.08	0.502	90.6	362	5.1	0.487	90	525	3	0.469	88.5	530
4.65	0.511	83.2	458	4.1	0.526	95.8	557	3.4	0.49	70.7	232
3.52	0.525	71.8	285	3.9	0.356	53.3	325	3.8	0.488	60.2	317
4.09	0.465	75.8	236	3.7	0.417	55.7	382	3.5	0.468	79.4	353
4.73	0.569	116.8	357	5.3	0.474	68.8	403	3.8	0.489	73.8	354
4.4	0.437	97.6	375	4.4	0.511	70.2	321	4.8	0.509	75.1	391
5.27	0.497	79.8	298	5.6	0.455	66.7	355	4.6	0.473	73.7	422
5.24	0.555	82.1	285	5	0.414	76.5	363	3.2	0.505	82.4	430
3.08	0.457	86.4	387	5	0.46	67.7	369	4.6	0.427	67.6	259
3.87	0.492	81.1	375	4.8	0.448	70.9	391	4.7	0.525	62.4	266
4.25	0.499	71.8	270	3.8	0.479	79.9	395	4.8	0.433	57	288
3.45	0.533	84.1	481	3.5	0.537	90.1	439	4.4	0.497	70.5	287
5.36	0.453	66.8	299	3.2	0.494	96	518	3.8	0.46	63.1	304
2.43	0.516	121.6	490	3.6	0.479	97.2	524	4	0.48	69.3	348
2.63	0.576	142.3	573	6	0.467	80	405	6.6	0.411	51.5	321
2.77	0.512	107.7	423	4.5	0.508	71.5	342	7.7	0.4	38.4	305
3.11	0.518	111.9	505	4.9	0.515	86.9	385	6.6	0.421	58	326
4.22	0.434	87.9	459								
2.63	0.556	123.2	694								
5	0.506	87.7	336								
4.28	0.52	106.4	474								

北相木				臼田				望月			
平均年輪幅	気乾比重	EL	MOR	平均年輪幅	気乾比重	EL	MOR	平均年輪幅	気乾比重	EL	MOR
4.1	0.497	78.4	466	3	0.557	112.2	517	5	0.615	101.8	504
4.7	0.47	99.3	454	3.3	0.543	118.3	483	4.2	0.565	93.5	389
3.9	0.48	95.8	468	2.8	0.577	114.8	470	4.28	0.594	122.5	624
3.4	0.506	102.1	567	2	0.586	109.4	547	4.18	0.547	117	429
2.9	0.528	112.7	595	2.2	0.526	119	499	3.93	0.588	104.7	781
5.3	0.463	82.7	394	2.2	0.524	133.5	619	4.33	0.579	97.2	331
5.6	0.448	89.7	453	2.4	0.517	112.3	416	5.36	0.611	100.6	351
4.5	0.457	82.7	358	4.6	0.492	83	428	3.22	0.594	97.5	486
4.9	0.474	102.1	380	3.5	0.496	87.1	337	5	0.511	85.1	433
6.3	0.4	77.8	378	3.5	0.544	82.9	319	3.89	0.559	91.2	423
7.1	0.405	71.4	256	3.5	0.542	78.3	387	4.64	0.557	89.4	670
3.3	0.467	80.8	320					5.24	0.591	122.8	491
								4.35	0.56	78.5	354
								4.4	0.54	101	382
								4.46	0.508	95	514