

論文 (Original Article)

収穫試験地における主要造林木の全乾容積密度及び気乾密度の樹幹内変動

藤原 健^{1)*}・山下 香菜¹⁾・平川 泰彦¹⁾

Mean basic density and density variation within individual trees in major plantation species

FUJIWARA Takeshi^{1)*}, YAMASHITA Kana¹⁾ and HIRAKAWA Yasuhiko¹⁾

Abstract

In order to obtain basic density of major plantation species and to analyze variations of density within individual trees, the basic density at breast height and air-dried density at 1 m intervals from 0.2 m above the ground were measured on 6 major species from 37 test stands. The density of *Cryptomeria japonica* D. Don and *Chamaecyparis obtusa* Endl. calculated for each site was stable, while *Larix kaempferi* (Lamb.) Carr. showed significant difference between sites. The difference in the density between trees growing under different silvicultural treatments (thinning) was not significant, though the trees from thinned stands showed lower density than the trees from the control stands. The averages and 95% confidence limits of basic density in *C. japonica*, *C. obtusa*, *L. kaempferi*, *Picea jezoensis* (Sieb. et Zucc.) Carr., *Abies sachalinensis* (Fr. Schm.) Mast. and *Picea glehnii* (Fr. Schm.) Mast. were 0.314 ± 0.008 g/cm³, 0.401 ± 0.010 g/cm³, 0.409 ± 0.013 g/cm³, 0.338 ± 0.008 g/cm³, 0.323 ± 0.007 g/cm³, 0.370 ± 0.010 g/cm³, respectively. Two types of longitudinal variation in the density were found from bottom to top. The mean density of the bottom part was lower than that of the upper part in *C. japonica* and *C. obtusa*. On the other hand, the density was higher at the bottom part in *L. kaempferi* and the other three species, *A. sachalinensis*, *P. jezoensis* and *P. glehnii*. The pattern of radial variation was also classified into two groups and the species in each group corresponded with the species of the groups classified by the longitudinal variation. Because the density of the core woods of *C. japonica* and *C. obtusa* was higher than that of outer woods, upper discs showed higher density due to an increase of the core wood percentages. In the other species, low density in core wood resulted in the lower density at the upper discs.

Key words : basic density, variation within trees, tree ring analysis, biomass, carbon absorption.

要旨

樹木地上部の容積密度を取得することを目的として、主要造林樹種の30収穫試験地(37試験区)から採取した個体の容積密度の測定を行い、樹幹内での気乾密度の変動を解析した。各樹種について試験区ごとに平均密度を比較すると、ヒノキでは試験区間でほとんど差がみられず地域差は検出されなかった。スギでは、1試験区を除けば平均値に差はみられなかった。カラマツはスギ及びヒノキに比べて試験区間での平均値の差が大きく、試験区間で有意差がある組み合わせが存在した。また、同一試験地に間伐区と対照区があるものについて比較してみると、対照区の方が間伐区よりも密度が高い傾向にあった。樹種ごとの全乾容積密度の平均値は、スギ 0.314 ± 0.008 g/cm³、ヒノキ 0.401 ± 0.010 g/cm³、カラマツ 0.409 ± 0.013 g/cm³、ウラジロモミ 0.359 ± 0.017 g/cm³、エゾマツ 0.338 ± 0.008 g/cm³、トドマツ 0.323 ± 0.007 g/cm³、アカエゾマツ 0.370 ± 0.010 g/cm³であった。調査個体数が多いスギ、ヒノキ、カラマツの中では、試験区の間で有意差がみとめられたカラマツは誤差率が3.2%と、スギの2.7%やヒノキの2.4%に比べてやや大きな値を示した。気乾密度の樹幹内分布には樹幹下部で密度が低いパターンと密度が高いパターンの2つのパターンが認められた。前者にはスギ及びヒノキが該当し、後者にはカラマツ、エゾマツ、トドマツ、アカエゾマツが該当した。これらのパターンの違いは、若齢時に形成される部分(髄周辺部)の密度が外周部よりも前者では高く、後者では低いことに加え、それら自体に密度の高さ方向変動があることに起因すると考えられる。

キーワード：容積密度、樹幹内変動、年輪解析、バイオマス推定、炭素吸収

原稿受付：平成16年6月23日 Received June 23, 2004 原稿受理：平成16年8月27日 Accepted Aug. 27, 2004

* 森林総合研究所木材特性研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里1

Department of wood properties, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687, Japan; e-mail: fujiwara@ffpri.affrc.go.jp

1) 森林総合研究所木材特性研究領域 Department of wood properties, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

はじめに

人為的活動による温室効果ガス濃度の上昇により温暖化が進行しつつあり、気象災害をもたらす異常気象の頻発が心配されている。このため、国際的に温室効果ガスの排出削減に取り組む動きが加速し、温室効果ガスの削減を定めた京都議定書と呼ばれる国際連合枠組条約が合意された。京都議定書が規定する森林による温室効果ガス吸収量を推定するために、森林の炭素貯留量の変動を透明かつ検証可能な方法で計測するシステムを開発する必要があるが、このシステムは幹直径、樹高、一部の環境条件など林分固有のパラメータを測定することによって、高い信頼性で林分が獲得する炭素量の推定が可能であることが望まれる。このようなシステムモデルの信頼性を担保するためには、林分固有のパラメータの測定精度を高めることはもちろん、それ以外の基本パラメータの科学的信頼性を高めることが必要である。本論では、基本パラメータの一つとして密度を取り上げる。

密度は最も基本的なパラメータの一つであり、木材の物理的性質や強度的性質を研究する際には必須と言ってよく、密度値についての報告は相当数にのぼる。密度そのものをあつかった研究では、密度の変動に関するものが多い。密度に影響を及ぼす因子は数多く、それぞれの因子の密度変動への影響を直接検討することは容易ではないために、任意の因子に限定し、目的の因子が異なるグループ間で密度を比較することにより、その因子の密度変動への影響を検討した例が多い。密度変動に影響を与える因子として、成育地域、遺伝的背景、個体内の変動などが考えられる。この中では遺伝的背景の違いが密度に与える影響を考慮して、品種やクローンの違いなどを変動要因として解析したものが多く、品種間（宮島ら、1982、1983；矢幡ら、1987）、産地間（中川、1963；高田、1992；松崎、1999；飯塚ら、2001b）、クローン間（片寄、1985；織田、1985；野堀ら、1988a、1988b；小泉ら、1990；飯塚ら、1994、2000）、家系間（飯塚ら、2001a）の比較を行って容積密度の変異を解析している。また、個体内での変動を解析した例もあり、スギでは樹幹上部で密度が高く（加納、1961；深澤、1967；藤原・岩神、1986；Minato et al., 1989）、カラマツでは樹幹下部で密度が高い（高橋、1987）と報告されている。その他の樹種では、ヒノキはスギと同様に樹幹上部で密度が高いという結果が得られており（三好、1952；Minato et al., 1989）、さらにトドマツの樹幹内の密度分布を三次元的に図示した例がある（Hishinuma et al., 1992）。このような樹幹内の密度分布の解析を通じて、矢幡ら（1987）はスギについて胸高部の平均密度と樹幹全体の平均密度との間に強い正の相関（ $r=0.980$ ）があることを示し、胸高部の測定値で樹幹全体を代表させることができるとした。

本論では、主要造林木であるスギ、ヒノキ、カラマツ、トドマツ、エゾマツ、アカエゾマツの6樹種を取り上げ

て、容積密度の試験地間の変動を検討し、さらに試料採取部位による密度値の変動を念頭に置いて密度の樹幹内高さ方向変動を検討した。なお、本研究は環境省地球環境保全研究費「透明かつ検証可能な手法による吸収源の評価に関する研究」によって行った。

試料と方法

試料

主要造林樹種であるスギ（*Cryptomeria japonica* D. Don）、ヒノキ（*Chamaecyparis obtusa* Endl.）、カラマツ（*Larix kaempferi* (Lamb.) Carr.）、エゾマツ（*Picea jezoensis* (Sieb. et Zucc.) Carr.）、トドマツ（*Abies sachalinensis* (Fr. Sch.) Mast.）、アカエゾマツ（*Picea glehnii* (Fr. Sch.) Mast.）の6樹種を対象とした（Table 1）。ウラジロモミ（*Abies homolepis* Sieb. et Zucc.）は1試験地（4個体）のみであったので平均容積密度のみを算出し、主たる解析対象には含めなかった。Table 1に示した30試験地のうち7試験地は、無間伐の対照区あるいは間伐強度が異なる試験区をもち、試料を採取した試験区は37試験区である。各試験地ではほぼ5年ごとに直径、樹高、幹級の計測が行われている（近藤・野田、2000；家原ら、2001a、2001b；小谷ら、2002）。各試験区から、胸高直径が大きいもの1個体、平均程度のもの2個体、小さいもの1個体の計4個体を選び試料木とした。

樹幹の全乾重量の測定

地上0.2m部位から頂端まで1mごとに約5cm厚さの円板を採取した。直径が約10cm以上の円板からは髄を含む密度測定用ストリップを作製し、その残部とストリップを採取しなかった小径の円板を全乾重量の測定に供した（60℃：24時間、102℃：6日間）。密度測定用ストリップを作製したものについては、全乾重量測定用試料の円板に対する重量比から円板の全乾重量に換算した。円板とその円板を採取した1m丸太の生材時の重量比により、円板の全乾重量から1m丸太の全乾重量に換算した。丸太重量は樹幹平均密度を算出する際の重み付けとしてのみ用いたので、本論では結果を省略する。

全乾容積密度の測定

胸高部から5mm厚さの薄片を採取し、減圧により水を注入した後、飽水状態になるまで水中で貯蔵した。飽水状態になった試験体の重量（飽水重量）及び飽水材の水中での重量（水中重量）を測定した。飽水状態の試験体を2日間風乾した後、60℃で24時間、ついで102℃で3日間乾燥して全乾重量を測定した。全乾重量を飽水重量と水中重量の差で除したものを全乾容積密度（全乾重量/生材体積）とした。

軟x線年輪解析による年輪幅及び年輪内平均密度の測定

密度測定用ストリップから作製した2mm厚さの木口薄片を恒温恒湿室内（20℃、65%）で調湿して試験片の含水率（気温と相対湿度から想定される含水率は11%である）を平衡させ、密度既知の標準吸収体とともに軟

Table 1. 試料木採取地および林分概況
Location of the stands used in present study and their basic information.

Code	試験地 Test stand	試験区 Division	樹種 Species	試験地所在地 Location	林齢(年) Age (year)	平均直径 DBH (cm)	平均樹高 Height (m)	立木本数 Density (N/ha)
UTT	内野	間伐区 ^{a)}	スギ ^{c)}	群馬県黒保根村	46	23.4	17.9	1529
UTC	内野	対照区 ^{b)}	スギ ^{c)}	群馬県黒保根村	46	19.4	17.8	2444
KGT	小下沢	間伐区 ^{a)}	スギ ^{c)}	東京都八王子市	43	21.8	16.6	1397
FST	富士里	間伐区 ^{a)}	スギ ^{c)}	長野県信濃町	47	24.9	19.1	905
FSC	富士里	対照区 ^{b)}	スギ ^{c)}	長野県信濃町	47	24.4	22.1	1514
OIT	荻の入	間伐区 ^{a)}	スギ ^{c)}	静岡県河津町	82	32.0	21.1	721
AST	阿木恵那	間伐区 ^{a)}	スギ ^{c)}	岐阜県中津川市	50	26.6	21.1	1201
NHT	西又東又山	間伐区 ^{a)}	スギ ^{c)}	高知県馬路村	51	28.3	24.7	1222
NHC	西又東又山	対照区 ^{b)}	スギ ^{c)}	高知県馬路村	52	22.7	22.8	2385
KKT	下る川山	間伐区 ^{a)}	スギ ^{c)}	高知県大野見村	45	34.7	28.8	741
KKC	下る川山	対照区 ^{b)}	スギ ^{c)}	高知県大野見村	45	27.2	26.3	1690
TIT	立石	間伐区 ^{a)}	ヒノキ ^{d)}	栃木県黒羽町	51	19.6	16.5	1842
TIC	立石	対照区 ^{b)}	ヒノキ ^{d)}	栃木県黒羽町	51	19.3	17.9	1845
UTM	裏谷	間伐区 ^{a)}	ヒノキ ^{d)}	愛知県設楽町	75	26.0	19.4	1187
UTL	裏谷	間伐区 ^{a)}	ヒノキ ^{d)}	愛知県設楽町	75	24.3	20.7	1563
HHT	一ツ梨	間伐区 ^{a)}	ヒノキ ^{d)}	岐阜県清見村	49	24.6	15.7	987
AHT	阿木恵那	間伐区 ^{a)}	ヒノキ ^{d)}	岐阜県中津川市	50	23.6	16.3	1483
MGT	茗荷淵	間伐区 ^{a)}	ヒノキ ^{d)}	三重県熊野市	51	24.5	19.1	1170
NKT	仁川	間伐区 ^{a)}	ヒノキ ^{d)}	熊本県熊本市	71	27.6	20.9	846
TYT	竜田山	間伐区 ^{a)}	ヒノキ ^{d)}	熊本県熊本市	86	27.2	21.5	670
YCT	余市	間伐区 ^{a)}	カラマツ ^{e)}	北海道仁木町	46	25.2	21.3	520
KMT	小桧沢	間伐区 ^{a)}	カラマツ ^{e)}	岩手県遠野市	52	26.8	26.4	649
AZT	朝日沢	間伐区 ^{a)}	カラマツ ^{e)}	山形県最上町	53	23.6	21.6	835
YMT	横向	間伐区 ^{a)}	カラマツ ^{e)}	福島県猪苗代町	49	24.0	21.6	760
YMC	横向	対照区 ^{b)}	カラマツ ^{e)}	福島県猪苗代町	49	21.8	21.2	1100
ART	安良沢	間伐区 ^{a)}	カラマツ ^{e)}	栃木県日光市	46	19.3	16.2	915
HKT	一ツ梨	間伐区 ^{a)}	カラマツ ^{e)}	岐阜県清見村	48	27.6	24.3	525
NGT	濁河	間伐区 ^{a)}	カラマツ ^{e)}	岐阜県小坂町	51	23.6	20.1	792
AGT	秋神	間伐区 ^{a)}	カラマツ ^{e)}	岐阜県朝日村	52	26.5	25.5	785
TBT	利根別	間伐区 ^{a)}	トドマツ ^{f)}	北海道岩見沢市	60	30.9	21.1	610
NPT	新冠	間伐区 ^{a)}	トドマツ ^{f)}	北海道新冠町	53	31.8	20.8	455
MNT	森野	間伐区 ^{a)}	エゾマツ ^{g)}	北海道白老町	67	31.8	20.6	530
MYT	丸山	間伐区 ^{a)}	エゾマツ ^{g)}	北海道千歳市	49	19.1	13.9	1413
YBT	余別	間伐区 ^{a)}	アカエゾマツ ^{h)}	北海道積丹町	69	26.0	18.3	945
HOT	羊ヶ丘	間伐区 ^{a)}	アカエゾマツ ^{h)}	北海道札幌市	27	14.7	10.0	2330
TMT	苫小牧	間伐区 ^{a)}	アカエゾマツ ^{h)}	北海道苫小牧市	43	17.3	12.0	1550
FJC	富士	対照区 ^{b)}	ウラジロモミ ⁱ⁾	静岡県富士宮市	49	22.5	13.3	1168

Note: a) Thinned stand, b) control stand, c) *Cryptomeria japonica*, d) *Chamaecyparis obtusa*, e) *Larix kaempferi*, f) *Abies sachalinensis*, g) *Picea jezoensis*, h) *Picea glehnii*, i) *Abies homolepis*.

x線撮影を行った(20kVp、14mA、4分)。軟x線ネガフィルムを年輪構造解析装置(Dendro2003、Walesche ElectronicあるいはMicrodensitometer 3CS、Joyce Loeb)でスキャンし、測定部位の透過光の強度と標準吸収体の透過強度との比較によって、密度値のプロファイルに変換した。密度プロファイル上で年輪界を特定し、年輪幅及び1年輪ごとの平均密度(年輪内平均密度)を測定した。測定は各高さ別に2方向について行った。

結果と考察

全乾容積密度の試験区別、樹種別平均値及び95%信頼区間

スギの胸高部から採取した試料について測定した全乾容積密度の試験区ごとの平均値及びその95%信頼区間をFig. 1に示す。各4個体の平均値であるが、試験区による全乾容積密度の平均値の差はごくわずかであった。

また、間伐区及び対照区が測定対象となった4試験

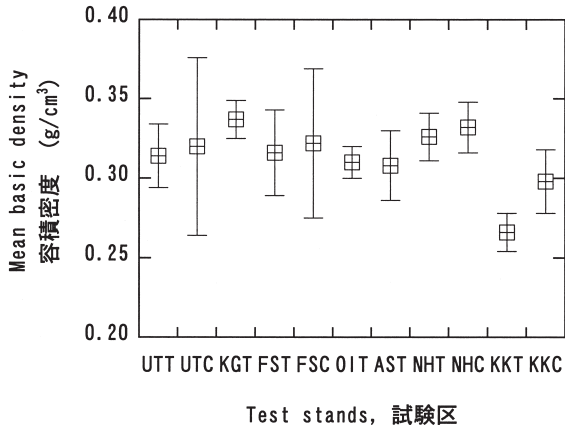


Fig. 1. スギ容積密度の試験地・試験区別平均値及び95%信頼区間
Mean basic density and 95% confidence limit of *C. japonica* test stands.

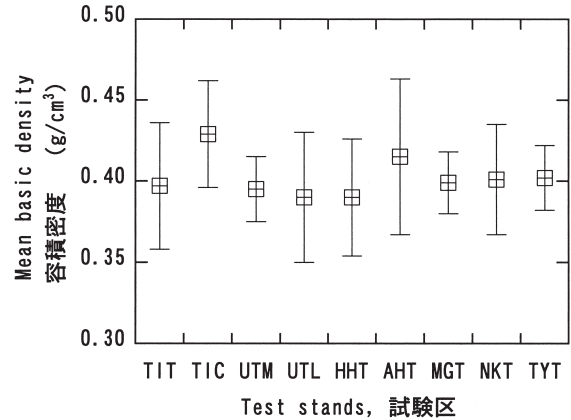


Fig. 3. カラマツ容積密度の試験地・試験区別平均値及び95%信頼区間
Mean basic density and 95% confidence limit of *L. kaempferi* test stands.

地について間伐区と対照区の平均容積密度を比較してみると、いずれの試験地においても対照区の方がやや容積密度が高かったが、間伐区と対照区の間には5%レベルでは有意差はみとめられなかった。したがって、地域や間伐などの容積密度の平均値への影響は小さいと考えられた。ヒノキについてもスギと同様で、試験区ごとの平均値に大きな差はみとめられなかった (Fig. 2)。試験区

に比べて密度が高い傾向がみとめられるが、東北地方の試験地でも小桧沢試験地 (岩手県遠野市) のように密度が低かった試験地もあり、カラマツの容積密度に地域差があるのかどうかは明確ではない。北海道産の針葉樹3種 (エゾマツ、トドマツ、アカエゾマツ) では、樹種ごとにみた場合には試験地の平均値間に有意差はみとめられなかった (Fig. 4)。

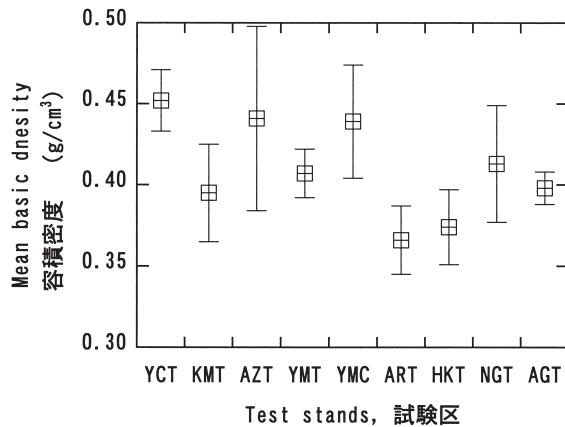


Fig. 2. ヒノキ容積密度の試験地・試験区別平均値及び95%信頼区間
Mean basic density and 95% confidence limit of *C. obtusa* test stands.

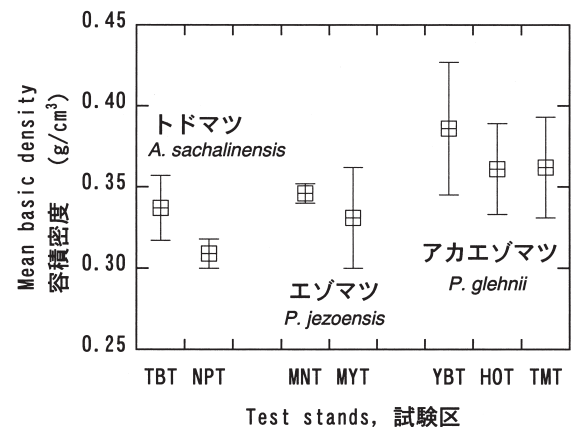


Fig. 4. トドマツ、エゾマツ及びアカエゾマツ容積密度の試験地・試験区別平均値及び95%信頼区間
Mean basic density and 95% confidence limit of *A. sachalinensis*, *P. jezoensis* and *P. glehnii* test stands.

ごとの平均値は、立石試験地の対照区を除けば $0.390\text{g}/\text{cm}^3 \sim 0.402\text{g}/\text{cm}^3$ の間に分布しており、試験区が関東、中部、九州と広い範囲に点在するのに対して試験区間差は極めて小さいといえる。カラマツでは、安良沢試験地での $0.366\text{g}/\text{cm}^3$ から余市試験地での $0.452\text{g}/\text{cm}^3$ までの範囲で、試験地間のばらつきがスギ及びヒノキに比べて大きかった (Fig. 3)。北海道・東北地方の試験地 (余市、朝日沢、横向) では岐阜県の試験地 (一ツ梨、濁河、秋神)

本論で対象とした6樹種では、スギ (宮島ら, 1982, 1983; 矢幡ら, 1987)、カラマツ (織田, 1985; 野堀ら, 1988a, 1988b; 小泉ら, 1990; 高田, 1992)、トドマツ (松崎, 1999; 飯塚ら, 2001a)、アカエゾマツ (飯塚ら, 1994, 2000, 2001b) などについて密度にクローン間差や品種間差、産地間差などがあるとされている。したがって、植栽される種苗によっては試験地間で平均値に差が生じることもあり得る。クローンや品種などのグルー

プ内での変動は、複数のグループを含めた全体の変動に比べると小さいことが知られており（藤澤, 1998）、いわば全体の変動の一部を人為的に取り出したものと考えられることができる。また、多数のクローンについて計測した変動の幅は全国のスギの変動実態とほぼ一致する（平川ら, 2003）という報告もある。さらに、家系や品種を込みにした場合でも、容積密度の変異の幅がヤング係数や心材含水率の変位幅に比べると小さいとされている（藤澤, 1998）。本論で用いた試験地は、品種やクローンなどの選抜されたものではないので、多くの樹種で結果的に試験地間の差が生じなかった可能性がある。対象とした樹種の中ではカラマツで試験地間に容積密度の差がみとめられた。カラマツの試験地は、カラマツが天然には分布しない地域にも設定されており、種苗を他地域から導入したと考えられる。カラマツの場合、種子産地によって密度が異なることが産地試験林によって明らかにされており（中川, 1963；高田, 1992）、試験地の環境条件の違いに加えて造林時の種苗生産地によって容積密度に差が生じた可能性があると考えられる。さらに、カラマツ材中に存在するアラビノガラクトンの含有率が3.9～9.8%に達することから（橋爪・高橋, 1974）、アラビノガラクトンの含有率も容積密度の変動に影響するものと考えられる。

樹種ごとの平均容積密度及び95%信頼区間をTable 2に示す。測定個体数が多いスギ、ヒノキ、カラマツの3樹種については、95%信頼区間は概ね0.01g/cm³程度であり、誤差率はスギ、ヒノキではそれぞれ2.7%、2.4%で、カラマツではそれらよりやや高く、3.2%であった。

気乾密度の樹幹内高さ方向変動

髄から樹皮までの密度の半径方向変動パターンについては、数多くの報告がある（例えば、宮島, 1958、1985；深澤, 1967；矢幡ら, 1987）。さらに、密度を髄から樹皮までの平均値として計測する場合には、試料の採取高さによって密度がどのように変動するのかが問題であるので、本論では樹幹内高さ方向の変動について検討する。各2方向について測定した年輪幅から各年輪の面積を求め、その面積に該当する年の年輪内平均密度を

乗じたものの和を合計年輪面積で除したものを方向別の平均密度とし、2方向の算術平均を円板平均密度とした。さらに、個体による密度差を排除して変動パターンのみを抽出するために、各個体の胸高部（1.2m 部位）の密度を1とする相対値に変換し、高さ別に算術平均を求めて平均的な高さ方向変動パターンを求めた。

気乾密度の高さ方向の変動をみてみると、密度は樹幹内で一定ではなく、樹幹下部から樹幹上部に増加するあるいは減少するパターンが認められた（Figs. 5, 6）。樹幹下部から密度が増加するパターンを示したのはスギ及びヒノキで、これらでは地際部（0.2m 部位）及び胸高部の密度に対して樹幹上部では5～10%程度密度が高かった（Fig. 5）。一方、カラマツ、エゾマツ、アカエゾマツ、トドマツでは、樹幹下部に対して樹幹上部では5%程度密度が低かった（Fig. 6）。これらのパターンの違いは、密度の半径方向変動パターンの関与が考えられ、髄近くの若齢時に形成された部位で密度が高いスギやヒノキと、若齢時に形成された部位の密度が低いカラマツなどでは高さ方向の変動パターンに違いが生じたと考えられる。これらの高さ方向の変動パターンは、加納（1961）および深澤（1967）、Minato et al.（1989）、三好（1952）、Hishinuma et al.（1992）がそれぞれスギ、スギ及びヒノキ、ヒノキ、トドマツについて示したパターンと一致する。これらの報告では、未成熟材といわれる樹心付近の密度が高さ方向に一様ではないことも示しており、本論においても髄周辺の若齢時に形成された部分（いわゆる未成熟材）とその外側に形成された部分（いわゆる成熟材）それぞれにおける密度の高さ方向変動を検討する必要があると考えられる。

若齢時に形成される部位の影響をより詳細に検討するために、髄から15年輪目まで（CW）と16年輪目以降（OW）にわけてそれぞれの平均密度を求めた（Figs. 7, 8）。スギ及びヒノキでは、CW、OWともに樹幹下部で小さく、樹幹上部で大きい傾向がみとめられた（Fig. 7）。一方、その他の4樹種では、CWは地際から樹幹中部（地上高5～10m）まで減少する傾向が顕著であったが、OWの変動はCWの変動とは異なるパターンを示した

Table 2. 樹種ごとの平均容積密度、平均値の95%信頼区間及び誤差率
Mean basic density and their 95% confidence limits of 7 species.

樹種 Species	個体数 Number of trees	平均密度 Mean density (g/cm ³)	標準偏差 Standard deviation (g/cm ³)	95%信頼区間 95% confidence limit (g/cm ³)	誤差率 Error ratio (%)
スギ <i>Cryptomeria japonica</i>	44	0.314	0.028	0.008	2.7
ヒノキ <i>Chamaecyparis obtusa</i>	39	0.401	0.031	0.010	2.4
カラマツ <i>Larix kaempferi</i>	36	0.409	0.039	0.013	3.2
ウラジロモミ <i>Abies homolepis</i>	4	0.359	0.033	0.017	9.1
アカエゾマツ <i>Picea glehnii</i>	12	0.370	0.033	0.010	5.1
エゾマツ <i>Picea jezoensis</i>	8	0.338	0.022	0.008	4.5
トドマツ <i>Abies sachalinensis</i>	8	0.323	0.021	0.007	4.5

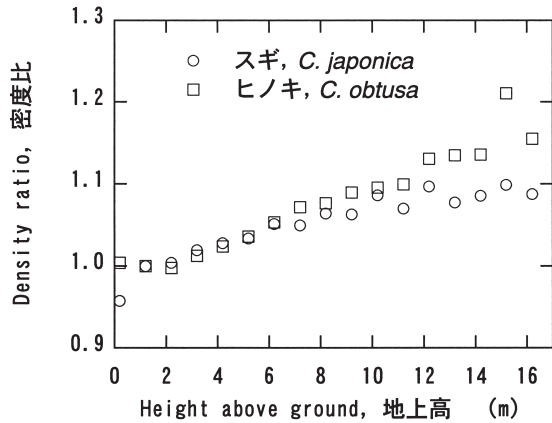


Fig. 5. スギ及びヒノキの気乾密度の樹幹高さ方向変動
Longitudinal density variations of *C. japonica* and *C. obtusa* trees.

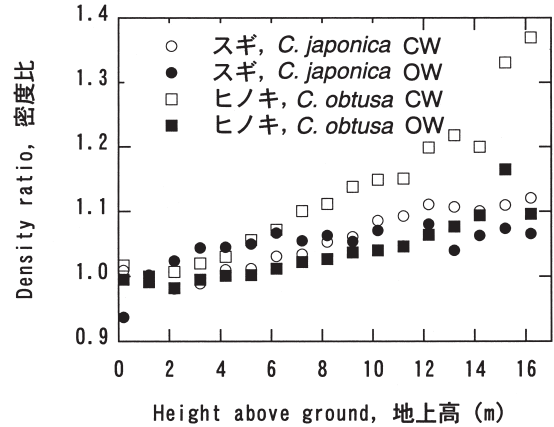


Fig. 7. スギ及びヒノキの部位別気乾密度の樹幹高さ方向変動
Longitudinal density variations of CW and OW in *C. japonica* and *C. obtusa* trees.

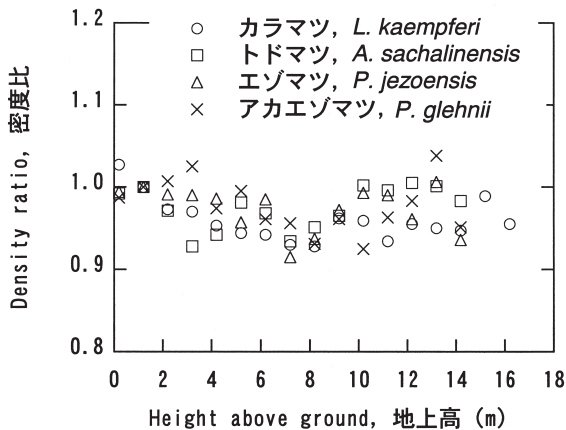


Fig. 6. カラマツ、トドマツ、エゾマツ及びアカエゾマツの気乾密度の樹幹高さ方向変動
Longitudinal density variations of *L. kaempferi*, *A. sachalinensis*, *P. jezoensis* and *P. glehnii* trees.

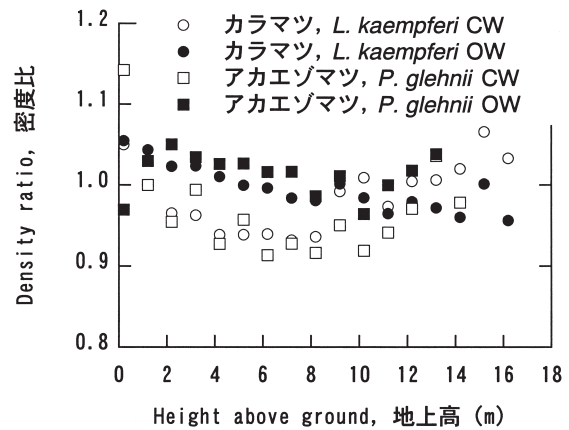


Fig. 8. カラマツ及びアカエゾマツの部位別気乾密度の樹幹高さ方向変動
Longitudinal density variations of CW and OW in *L. kaempferi* and *P. glehnii* trees.

(Fig. 8)。これらの点を考慮すると、スギとヒノキの樹幹上部で密度が高い現象は、樹幹上部でCWの比率が高いことに加えて、CWとOWの双方が高いことによると考えられる。また、その他の4樹種では、OWの変動は平均密度の変動パターンと異なっているのに対して、CWは平均密度とほぼ同じ変動を示したことから、主としてCWの密度変動によって樹幹高さ方向の密度変動が生じると考えられた。

胸高部平均密度と樹幹平均密度の関係

密度は主として胸高部について測定されることが多い。地上部バイオマスを検討する場合には幹全体の平均密度を求め、胸高部平均密度との関係を検討しておくことも必要であると考えられる。地上高0.2m部位から樹幹上部の直径10cm程度の部位までについて、それぞれ円板の平均密度を求め、その円板が属する1m丸太の全乾重量により重み付けして樹幹平均密度を算出した。胸高部平均密度と樹幹平均密度の関係を検討するために、y切片を0に固定し、回帰直線を当てはめたところ、回

帰係数が1を越えるグループ(スギ及びヒノキ)と回帰係数が1未満のグループ(カラマツ、エゾマツ、トドマツ、アカエゾマツ)に区分できた(Figs. 9-12)。これは、胸高部で密度が低いグループと高いグループのように樹幹内の密度分布のパターンが異なるためと考えられた。胸高部平均密度と樹幹全体の密度の関係を相関係数で見ると、y切片を0で固定した場合には相関係数は0.42~0.83の範囲にあり、y切片を固定しない場合には0.62~0.97の範囲で、いずれも危険率5%レベルで有意であった。これらの相関係数は、矢幡ら(1987)がスギ品種について報告した相関係数0.980に比べるとかなり小さいが、相関係数が有意であったことで胸高部平均密度と樹幹平均密度との間に比例関係があることは明らかで、過去に多くの測定が行われている胸高部で樹幹全体の密度を代表させても問題ないと考えられる。

結論

樹種ごとの全乾容積密度の平均値は、スギ 0.314 ±

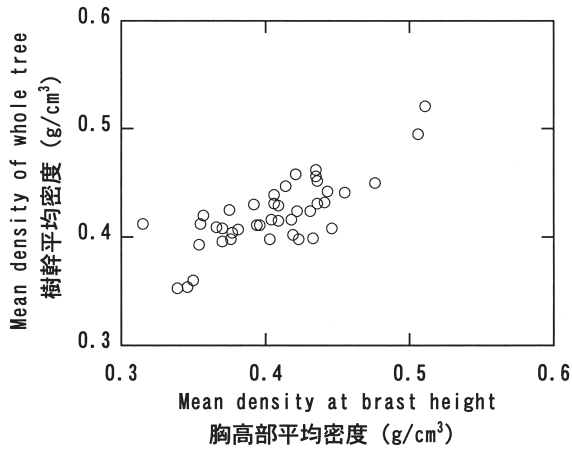


Fig. 9. スギの胸高部平均密度と樹幹平均密度の関係
Relationships between mean density at breast height and mean density of trunks in *C. japonica*.

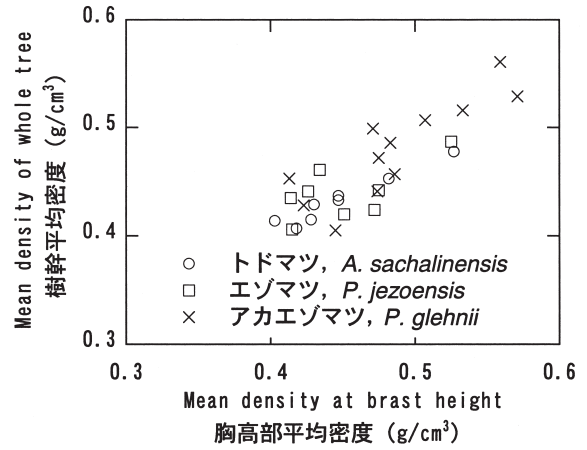


Fig. 12. トドマツ、エゾマツ及びアカエゾマツの胸高部平均密度と樹幹平均密度の関係
Relationships between mean density at breast height and mean density of trunks in *A. sachalinensis*, *P. jezoensis* and *P. glehnii*.

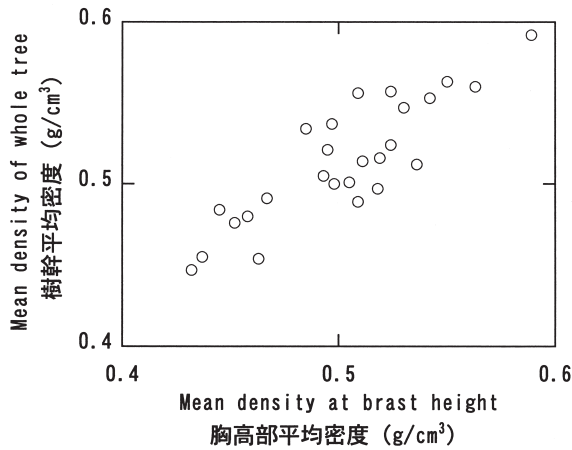


Fig. 10. ヒノキの胸高部平均密度と樹幹平均密度の関係
Relationships between mean density at breast height and mean density of trunks in *C. obtusa*.

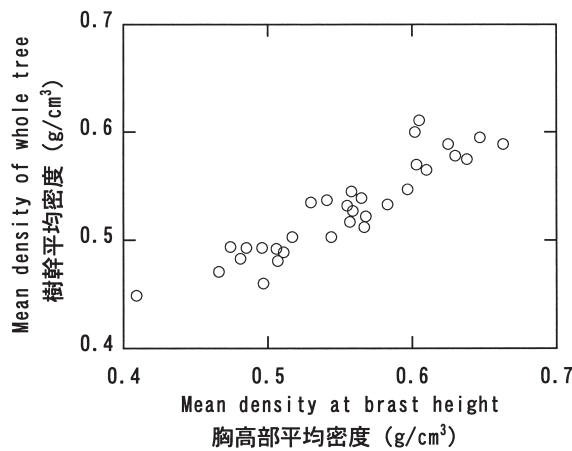


Fig. 11. カラマツの胸高部平均密度と樹幹平均密度の関係
Relationships between mean density at breast height and mean density of trunks in *L. kaempferi* tree.

0.008 g/cm³、ヒノキ 0.401 ± 0.010 g/cm³、カラマツ 0.409 ± 0.013 g/cm³、ウラジロモミ 0.359 ± 0.017 g/cm³、エゾマツ 0.338 ± 0.008 g/cm³、トドマツ 0.323 ± 0.007 g/cm³、アカエゾマツ 0.370 ± 0.010 g/cm³であった。スギとヒノキについては試験地が関東から中部、四国、九州と広く分布しているにもかかわらず、試験区による平均値の差はわずかであり、調査した範囲では地域差を考慮する必要がないと考えられる。一方、カラマツでは試験区によっては他の試験区と有意な差が認められる場合があったが、この差が成育地域の違いによるのか種苗の遺伝的な背景の違いであるのかは不明である。密度の測定値に影響を与える因子として測定部位があるが、採取高さによる密度変動は樹幹上部で密度が高いタイプと、樹幹上部で密度が低いタイプの2タイプに区分できた。この区分は胸高部の平均密度と樹幹全体の平均密度の関係に影響し、樹幹全体の密度が胸高部の平均密度よりも高いものと低いものに区分できた。このように胸高部と樹幹全体の平均密度の関係は樹種により異なるが、いずれも胸高部の平均密度と樹幹平均密度との直線回帰の相関係数は有意なため、胸高部の平均密度で代表させても大きな差が生じることはないと考えられた。

引用文献

藤澤義武 (1998) 高度木材利用に適合する品質管理型木材生産への林木育種的対応に関する研究, 林木育種研報, 15, 31-107.
 藤原新二・岩神正朗 (1986) 四国産スギ材の生長と材質 (第2報) 仮道管長及び容積密度数の樹幹内変動, 高知大学術研究報告 (農学), 35, 55-71.
 深澤和三 (1967) スギ樹幹内の材質変動に関する研究 産地を異にする林木樹幹の未成熟材などの区分とその材質特徴, 岐阜大農研報, 25, 47-127.

- 橋爪丈夫・高橋成直 (1974) 日本カラマツにおけるアラビノガラクタンおよび抽出物の樹幹内変動, 信大演報, 11, 19-45.
- 平川泰彦・藤澤義武・中田了五・山下香菜 (2003) 関東育種基本区から選抜されたスギ精英樹クローンの材質, 森林総研研報, 2, 31-41.
- Hishinuma, Y. Nakata, R. and Fukazawa, K. (1992) Analysis, using a three-dimensional view, of the process of tree growth (2). Distribution of basic density and fiber direction responding to a stem form, Res. Bull. Coll. Exp. Forest, 49, 23-35.
- 家原敏郎・宮本麻子・福田未来・西園朋広・佐野真・高橋正義 (2001a) 関東森林管理局東京分局管内収穫試験地の林分構造と成長, 収穫試験報告, 22.
- 家原敏郎・宮本麻子・福田未来・西園朋広・佐野真・高橋正義 (2001b) 中部森林管理局名古屋分局管内収穫試験地の林分構造と成長, 収穫試験報告, 23.
- 飯塚和也・丹藤修・上野義人 (1994) アカエゾマツ精英樹の容積密度と年輪幅のクローン間差, 日林北海道支部講, 42, 34-36.
- 飯塚和也・林英司・板鼻直栄 (2000) さまざまな採種園に植栽されたアカエゾマツ精英樹クローンの成長と材質諸形質の比較解析, 日林誌, 82, 80-86.
- 飯塚和也・高倉康造・生方正俊 (2001) トドマツ子供家系の容積密度数の変異, 木材学会誌, 47, 44-51.
- 飯塚和也・生方正俊・坂本庄生 (2001) アカエゾマツの成長および容積密度数の産地間変異, 日林誌, 83, 53-57.
- 加納孟 (1961) 幹の平均比重を示す位置について, 林試研報, 134, 141-148.
- 片寄謙 (1985) トドマツ精英樹クローンの特性 容積密度数および含水率, 日林北海道支部講, 33, 95-97.
- 小谷英司・平田泰雅・都築伸行 (2002) 西又東又山スギ人工林収穫試験地の調査結果, 平成13年度森林総研四国支所年報, 43, 29.
- 小泉章夫・高田克彦・上田恒司・片寄謙 (1990) カラマツ精英樹の肥大生長と材質 (第1報) つぎ木クローンの肥大生長, 容積密度数及び樹幹ヤング係数, 木材学会誌, 36, 98-102.
- 近藤洋史・野田巖 (2000) 森林の構造と成長の関係解析に関する研究 -九州における収穫試験30年の経過-, 収穫試験報告, 21.
- 松崎智徳 (1999) トドマツにおける容積密度の産地間変異, 北海道の林木育種, 42, 19-21.
- Minato, K., Ujiie, M. and Hishinuma, Y. (1989) Growth and wood quality of sugi and hinoki trees in the plantation of the Wakayama experimental forest, Res. Bull. Coll. Exp. Forest, 46, 223-247.
- 宮島寛 (1958) 苫小牧演習林産人工植栽ストロブマツ、バンクスマツおよびカラマツの材質試験, 北大演報, 19 (3), 99-216.
- 宮島寛 (1985) 苫小牧地方演習林産造林木3樹種の基礎材質, 北大演報, 42 (4), 1089-1116.
- 宮島寛・矢幡久・西林寺隆 (1982) スギ幹材部における容積密度の品種間差異, 日林九州支部論, 35, 55-56.
- 宮島寛・矢幡久・古家宏俊 (1983) スギ幹材部における容積密度の品種間差異 (2), 日林九州支部論, 36, 111-112.
- 三好東一 (1952) ヒノキに関する材質の生態的研究, 長野営林局.
- 中川伸策 (1963) 産地べつ試験地におけるカラマツの基礎材質について, 林試研報, 148, 93-105.
- 野堀嘉裕・永田義明・千葉茂 (1988a) カラマツ属の育種に関する研究 (XI) 軟x線写真によるカラマツの年輪幅、容積密度のクローン間差異の検定, 日林北海道支部講, 36, 105-107.
- 野堀嘉裕・永田義明・千葉茂 (1988b) 軟x線写真による造林木の容積密度解析 (I) カラマツクローンにおける高容積密度要因の解析, 日林論, 99, 239-240.
- 織田春紀 (1985) カラマツクローンによる材質形質の遺伝分散の推定 繊維形斜度と容積密度数, 日林論, 96, 287-288.
- 高橋祐吉 (1987) カラマツの重量生長に関する研究 密度試験林における容積密度数の樹幹内分布, 日林中部支部講, 35, 85-88.
- 高田克彦 (1992) カラマツ産地試験30年の結果 ヤング係数・材質, 北海道の林木育種, 35, 42-46.
- 矢幡久・宮島寛・西林寺隆・古家宏俊・児玉貴・汰木達郎・山本福寿・久保田茂・渡部桂・野上寛五郎・黒木晴輝 (1987) 六演習林スギ品種試験地のスギ在来品種および精英樹クローン間の材質変動, 九大演報, 57, 149-173.