

アカマツ林の重量生長に関する基礎的研究 (I)

妹 尾 俊 夫

TOSHIO SENOO

Fundamental studies on the weight increment of AKAMATSU
(*Pinus densiflora* S. et Z.) stand (I)

要 旨

本研究は林木の生長論的立場からアカマツ林の重量およびセルロース生産量の経時変化の過程を明らかにしようとしたものである。

これは森林経営の基礎としての林木の生長法則を解明するための一環として、林分の重量生産量ならびにセルロース生産量の査定とその経時変化としての生長過程の共通的法則性を見出すことに主たる目的がある。

この研究での重量による生長過程の解明には総乾物量と樹体の形成に直接的に関与する細胞膜の骨格物質であるセルロースを採りあげた。すなわち、容積密度数の樹幹内変動の基礎的パターンやその生長過程に影響をもつ抽出成分およびリグニン等を除去したホロセルロースならびに α セルロースを総乾物量と対比させて追跡することによって、いわば材質の総合的な指標としての容積密度数と樹木の純然たる生長の度合を示す単位容積当りのセルロース含有量の経時的変化のパターンから重量生長の過程を解明しようとしたものである。

さらに林分の生長過程を考える場合、林分を構成する各個樹の経時的変化量を考えるだけでなく構成メンバーの変化もとらえなければならない。このような林分構造の変化の過程を正しくとらえるために、材積の場合と同様に重量によるそれぞれの収穫表を調製し、これらの収穫表に基づいて生長過程の解明を行なった。したがって、この方法によって研究を進めるためには木材の材質特性や林木の成熟現象あるいは単木ないしは林木についての重量測定および生長過程の推定等の前提課題の解明が必要であった。

とくに測定方法ならびに現存量の推定等に関する技術的諸問題は本研究の主目的達成に至る基礎的課題として重要視した。

ま え が き

古来、林木に関する計量的尺度としては、もっぱら体積が用いられ、重量が用いられることはほとんどなかった。それは木材が主として構造材や燃料材として利用されることが多かったことと、重量での計測が困難なことによるものと思われる。

近年、わが国における木材の需要量の増大ならびにその需要構造の変化には著しいものがあり、とくに原料材として木材組成物質を利用するケースが多くなってきた。たとえば、パルプ、ファイバーボード工業等においては、木材の組成物質の一つであるセルロースがその原料として用いられる。今後はさらに高分子化学、木材化学等における研究の進歩とともに、木材組成の完全利用を指向する広範囲な原料材としての需要はますます増大することが予想される。

このような利用形態にあっては木材の体積が問題ではなく、木材の重量とくにその中に含まれるセル

京都府立大学農学部附属演習林研究室
Experimental Forest station, Faculty of Agriculture, Kyoto Prefectural University,
Kyoto, Japan.

昭和49年7月27日受理

ロースの重量が問題となる。したがってまた、このような原材料としての木材を供給することを目的とする森林経営にあっては、森林の重量での木材生産量、セルロース生産量を知ること、ならびにそれらの経時的变化の過程を知ることに関心がもたれてくる。

しかし、いままでの森林経営においては、森林の重量およびセルロース生産量に基づく施業は全く行なわれておらず、また研究面でも重量の計量に関する技術および重量生産量に関する研究はほとんど行なわれていないといつてよい。

そこで、著者はここにパルプ原料として重要な地位をしめるアカマツ林を対象として、その重量生長に関する基礎的研究を行なうことにしたのである。

本研究の端緒を示され、研究遂行上のことからとりまとめにいたるまでご懇切なご指導を賜わった京都府立大学大隅真一教授に厚く感謝の意を表します。

また、この論文のとりまとめに際し適切な批判と検討を加えていただいた京都大学半田良一教授、四手井綱英教授、寺崎康正教授、和田茂彦助教授に深甚の謝意を表します。

さらに重量測定ならびに化学分析についてご指導、ご助言を賜わった京都大学岡本一教授、同原田浩教授、京都大学木材研究所貴島恒夫教授、京都府立大学福山萬治郎教授、同原代純輔教授、農林省林業試験場木材部中野達夫室長に心より御礼申し上げます。

最後に本研究をすすめるにあたり、終始ご援助をいただいた京大名誉教授佐野宗一先生、京都府立大学本吉瑠璃夫教授、同本城尚正助教授に深く感謝いたします。

なお本論文は京都大学審査学位論文としてとりまとめたものである。

結 論

1. 研究の目的

アカマツはわが国の温帯北部より暖帯南部にわたってもっとも広範囲に分布する主要樹種であり、特性上いたるところに一斉同齢林を現出し、その蓄積はスギに次いで多く、全森林資源の約10%を占めている。また、広範囲な用途をもつなかでパルプ原料としても適しており、原料用材としても重要な地位を占めている。

本研究は林木の生長論的立場からこのアカマツ林の重量およびセルロース生産量の経時変化の過程を明らかにすることを主目的とするものである。いしかえるならば、本研究は森林経営の基礎としての林木の生長法則を解明するための一環として、林分の重量生産量、セルロース生産量ならびにその経時変化としての生長過程の共通的法則性を見出すことを主たる目的とするものである。したがって本研究の成果は、原料用材としての木材生産を目的とする森林経営に応用することができるであろうし、その土地生産性および経済性の判定尺度として、あるいはまた経営計画のための量的基礎として、森林経理学的立場からみても重要な意義を持つものと考えられる。

さらに副次的目的は、この主目的達成に至る測定の技術的諸問題の解明を行なうことである。たとえば、単木の重量の測定方法ならびに林木における重量生産

量の推定方法を確立することは、この方面での研究で最も必要とされている課題である。

とくに林木は容積が大きいうえに、物理的、化学的性質が複雑であり、樹木個体内でのそれらの変異性が大きいことが森林での計測作業ならびにその重量測定を困難にしている。

したがって、林木の重量推定方法を確立することは、林木の重量生長に関する研究の前提課題であると同時に、森林計測学的にみても重要な意義を持つものと考えられる。ところで林木の重量生長法則を研究する場合、森林の施業方法によって生長過程は大きく変わってくることを考慮しなければならない。施業方法はまず作業種によって全伐作業と択伐作業に大別せられ、前者は皆伐作業と漸伐作業とに、後者は単木択伐作業と群状択伐作業とに分けられる。この作業種によって森林は根本的に異なったものになる。すなわち全伐作業による森林は単層の一斉同齢林となり、択伐作業による森林は複層の択伐林となる。この全く相異なる2つの林型は林木の生長法則を研究する上で切り離して取り扱わなければならない。

しかしながら現在わが国において、アカマツ林の択伐作業が行なわれているところは菊間（愛媛県）のアカマツ林以外は聞かれないうし、アカマツは陽樹であるから強度の枝打ちを行なわないと択伐林型を維持できなくなる特性を持っている。したがって、将来においても大面積のアカマツの単一樹種から成る択伐林は造

成される見込みは少ないと考えられる。そこで、皆伐用材林作業をとるアカマツの一斉同齢林が本研究の対象として必然的に選ばれることになる。

以上本研究においてはアカマツを単なる研究材料として選んだのではなく、アカマツ林の森林資源としての重要性を認め、原料用材として利用する場合の森林経営の基礎を与えようとするものである。

2. 林木の重量生長に関するこれまでの研究

木材の重量については材質の直接的指標の一つとして古くから関心がもたれていたが、今日の科学的測定概念として確立されたのは19世紀末であり、加納⁴²⁾によればそれは R. HARTIG(1882)⁴¹⁾によるものとされている。彼は「生材容積にたいする乾燥実質」を容積密度数と称して木材材料学的基础概念をつくり、従来の容積生長表に対してブナ林分の重量生長表²⁷⁾をつくった。

この容積密度数の概念は単に材料学的な指標であるだけでなく、林木の重量生長ならびに樹幹の重量生産量を研究するうえで重要な手がかりを与えるものである。

しかしながら、それ以降の研究は材料学的分野に関するものばかりであって、生長論的研究を進展させてはいかなかった。最近になって生長論の立場から林分の実質量あるいは重量的にみた森林生産力の推定に関する研究も若干みられるようになった。

平井信二は「林木の重量生長に関する研究」と題してカラマツ、オウシュウトウヒ、スギ、ストロブマツ、ヒノキ、ドロノキ属などについて一連の報告^{4*11)}(1947~1966)を行ない、蕪木自輔、加納孟はエゾマツ、トドマツを対象として木材材質の森林生物学的研究²⁷⁾(1950~1958)を行なった。

これらの報告はどちらかというともまだ木材理学的性格をもつ研究であるが、平井はそれらの報告の中で林分の重量生長量の推定を行なっていることは注目すべきである。彼は林分重量生長量の推定方法として、林分材積測定における直径級法に準じて次のような方法を用いた。

$$\text{直径級重量} = \text{標準木重量} \times \frac{\text{直径級胸高断面積合計 (皮付)}}{\text{標準木胸高断面積合計 (皮付)}}$$

あるいは

$$\text{直径級重量} = \text{標準木重量} \times \frac{\text{直径級材積合計 (皮付)}}{\text{標準木材積合計 (皮付)}}$$

ここに標準木の重量は標準容積密度数に皮内材積を乗じて求め、さらに標準容積密度数は単木の重量総生

長量を皮内材積総生長量で割って求めるものである。そして林分の総重量生長量は直径級重量の和として求められる。

樹幹の重量は厳密には胸高断面積や材積に比例しないから、上の方法は厳密には成立たず、いくらかの誤差を伴ない、しかもその誤差を客観的に評価できないという林分材積測定における標準木法と同様の欠点をもっている。しかし一斉同齢林の同じ直径級に属する林木の標準容積密度数の変動はあまり大きくないことが予想されるので、同一樹種の同齢林分における重量生長量の大きな推定方法として意義をもつものと思われる。

これらの研究とほぼ同じ頃 C. E. MCGEE⁵⁴⁾(1959)はスラッシュマツの樹木重量表を調製した。

つづいて辻本克己⁸³⁾(1963)はリュウキュウマツの重量生長量に関する研究を行ない、関屋雄偉⁸⁴⁾(1964)はアカマツ同齢単純林における材積、重量、熱量の成長に関する研究を、さらに飯塚 寛⁸⁵⁾(1964)は成長曲線にもとづく樹幹の重量成長の研究を行なった。

この中で辻本、関屋の研究は林分重量収穫表を作成し、これに基づいて一般的な傾向としての林木の重量生長経過を明らかにすることを試みた点で共通している。まず辻本は89本のリュウキュウマツ供試木から単木の胸高直径、樹高および年齢による全乾比重式を求めて得られた全乾比重より容積密度数に換算した。材積平均木と重量平均木との間には直接的な対応がなかったため、別個に林木の年齢、平均胸高直径および平均樹高との回帰によって林分容積密度数を求め、林分重量収穫表を調製した。また関屋はその研究において、容積密度数の代りに全乾重量を気乾体積で除した一種の比重を用い、標準容積密度数の代りに単木全体の全乾重量をその気乾体積で除した標準比重を用いた。

まず予備調査によって、同齢林分の重量平均木、林分断面積平均木および林分材積平均木のもつ胸高直径の大きさは3者の面で一致することを明らかにした。そこで材積収穫表の資料標準地において胸高断面積平均木を選び、これを重量標準木としてその重量測定を行なった。この標準木重量をその気乾体積で割って標準比重を求め、標準比重と年齢との間に2次回帰式を得た。この回帰式の各年齢に対応する標準比重を材積収穫表の林分材積にかけ合わせて林分重量を求め、経時的にまとめて林分重量収穫表を調製した。まず両者の重量収穫表の作成過程で問題となる点は容積密度数か、関屋の用いたような比重か、どちらが妥当であるかということである。容積密度数の測定は非常に困難

であるが、林木の生活状態での重量生長量を求めるためには、やはり容積密度数を用いる方がよいであろう。第二の問題点は重量測定に供する標本木の選び方についてである。両研究とも材積と重量は比例しないことを前提にして、限られた標本の効率をあげるための方法が検討されているが、どちらも標準木法であるため誤差の客観的な評価は不可能である。しかしながら、これらの点を別とすれば両研究は本格的に重量生長をとらえようと最初に試みられたものとして注目に値するものである。

飯塚の研究は、単木の材積生長と重量生長の関係を BRUCE, SCHUMACHER の総生長曲線式を用いて理論展開を試みたものである。

まず総生長曲線式 $GZ = 10^{a-b(1/x)}$ (ただし GZ : 総生長量 x : 年齢 a, b : 定数) の一般的特徴を明らかにするとともに、重量生長曲線式としての適用性を検討した。その結果、上式は $b < 0$ の場合に総生長曲線式であり、その年齢に関する一次微分は連年生長曲線式、年齢で割った式は総平均生長曲線式として、それぞれ適用できることを理論的に明らかにした。この結果を半径生長、面積生長、区分材積生長、単木の重量生長に適用し、考察を行なった。これによると秋材率が一定で、単位年輪の容積密度数が断面高によって変化がない場合は、単木の材積と重量の生長経過は一致するが、容積密度数が断面高によって変化する場合は一致しない。また秋材率が年輪幅の一次関数であらわされる場合には材積と重量の生長経過は一致しない。すなわち秋材率が年輪幅の広狭に対応して減増し、秋材容積密度数が春材のそれよりも大きい場合には、重量生長が最大値に達する年齢は材積生長よりも遅く、全く反対の場合には早くなることを明らかにした。この研究は単木樹幹の材積と重量の両生長関係について生長曲線式の適用性を検討することに重点が置かれており、林分における実際の解明は行なわれていない。

その後、柿原道喜⁵⁰⁾(1967)は九州地方におけるカラマツ林の施業上の特性に関する研究を行ない、その中で重量生産量に基づく施業方法を検討しているが重量生産量の推定方法は関屋の方法とほとんど変わらないものである。

一方、近年世界各国における活発な研究によって、材質の変異に関する知識は個々の断片的、経験的なものから次第に統一的に組織づけられつつある。田島俊雄⁴⁹⁾(1967)は自らも林木の生長と材質について研究するとともに、最近数年間の世界各国の173種におよぶ研究報告に基づいて生長と材質の変動の傾向をとりまとめている⁷⁶⁾ことは今後の研究方向の指針として有用

なものである。

以上、林木の重量生長に関するこれまでの研究についてとくに気付くことは、林分の幹の重量合計を推定する問題は林木生長論において、また林分葉量の推定は森林生態学において、さらに材質と生長の問題は木材理学あるいは木材材料学などにおいて、それぞれの立場からまちまちに考察されていることである。さらに注目すべきは今までの諸研究においては標準木の容積密度数の測定が容易でないため、標本の数が極端に制限されていることであろう。したがって、いずれも限られた標本の効率をあげるために標準木法がとられることになり、ここに誤差評価の点でいずれも問題もっている。また、林木の重量生長経過に関する研究は数少なく、そのうえその推定の方法もそれぞれ異なった方法がとられている。このように林木の重量生長に関する研究方法はまだ理論的にも技術的にも確立されていないことが指摘できよう。さらに、セルロースは細胞膜の主成分として樹体の形成に直接的に関与し、林木の重量生長過程解明の鍵とも云うべきものであり、木材を重量で扱う場合には最も重要な成分であるにもかかわらず、これまでの研究において、その生長経過ならびに生産量については全くとりあげられていないこともこの方面の研究の不充分なことを示すものであろう。

3. 研究の方法および内容

本研究においては林木の重量ならびにセルロース生産量の生長過程を明らかにする方法として、材積の場合と同様に重量によるそれらの収穫表を調製し、これを利用することとした。

したがって、この方法の原則的な順序としては、まず林分材積収穫表を調製し、つぎに林齢に対する林分の標準容積密度数および標準セルロース含有量を求め、これらを林分材積収穫表における材積諸量にかけることによって林分重量収穫表および林分セルロース収穫表を調製する。そして、これらの収穫表に基づいて林分の重量生長量およびセルロース生産量の査定とその経時変化の過程を解明しようとするものである。

ここに林分の標準容積密度数ならびに標準セルロース含有量とは、林分を構成する個々の材木の全幹乾重量ならびに全幹セルロース生産量の合計をその林分幹材積で割ったものであって、いわば林分全体についての容積密度数ならびにセルロース含有量の総平均に相当するものである。

したがって、この方法によって研究を進めるためには次のようなことが付随してすべて必要になってくる。すなわち、アカマツ林の重量生長量ならびにセル

ロス生産量の査定を行なうためにはアカマツ林を構成している単木の平均的な重量生長量ならびにセルロス生産量を明らかにすることが前提となり、さらにそのためには樹木個体について重量およびセルロス含有量を推定する方法を知らなければならない。

とくに今までこの方面の研究において林木のセルロス生産量の推定に関しては全く報告されていないように、林木の重量測定ならびにその生長過程の推定方法に関する研究についても不十分なため、このような過程を順次解決することがこの研究を進める重要な前提課題となってくるわけである。そこで研究の順序として最初に単木の容積密度数およびセルロス含有量の測定方法を確立することから始めたわけである。

なお、木材にあっては測定される時の含有水分の量によって容積および重量が変わるから、いわゆる比重には種々のものがあるが、本研究では林木の生活状態での木材実質量を推定しようとするものであるから、生材単位容積当りの全乾重量、すなわち容積密度数(kg/m^3)を重量測定のための媒介因子として用いることにしたのである。また幹の内部における容積密度数および生材単位容積当りのセルロス含有量の分布は一樣でないため、各部分の任意の測定値の算術平均を求めても、その値は幹全体を代表するものとは云えない。そこで単木の標準容積密度数および標準セルロス含有量という概念を導入することとした。すなわちこれは幹全体についての容積密度数ならびにセルロス含有量の総平均に相当するものである。これら単木の標準容積密度数および標準セルロス含有量の実際の測定方法は、伐倒木の樹幹解析を行なった後、各円板から試片をとって容積密度数、セルロス量を測定し、これらの値と対応する部分の体積とをかけ合わせて各部分のそれぞれの重量とし、これらを合計して幹全体の重量を求める。それを幹の材積で割って幹全体についての容積密度数およびセルロス含有量の平均を求めるものである。

さらに樹木は、細胞膜の肥厚ならびに木質化や髄周辺部の心材化など、材質的に未成熟材から成熟材への変化によって、容積密度数ならびに生材単位容積当りのセルロス含有量も経時的变化をうけると考えられる。したがって単に老齢木の樹幹解析の結果をもとにして、実際の過去の生長経過の推定を行なうことは正しいとはいえない。このような理由から齡級別供試木によって、年齢に対応する容積密度数および単位容積当りのセルロス含有量の測定を行なうことが要求される。

木材は主要組成成分であるセルロス、ヘミセルロー

スおよびリグニンと、従属組成成分である灰分、油脂、精油、タンニン、色素、含窒素化合物などからできている。主要組成成分は細胞膜を構成する成分ならびに中間層すなわち細胞と細胞とを接着する部分を構成する成分であり、全木材質の90%以上存在し、樹体の形成に直接に関与している。またセルロスとヘミセルロスを合わせた全多糖類部分をホロセルロスと呼んでいる。セルロスはさらにアルカリに対する溶解度によって、 α 、 β および γ セルロスに区別されるが、 β および γ セルロスはヘミセルロスと分離されにくい。本研究でとりあげる生産物質は研究目的から考えて全乾物量、ホロセルロスおよび α セルロスとした。全乾物量は容積密度数であらわし、全乾物量からリグニンおよび従属組成成分を除去してホロセルロスを求め、さらにそのホロセルロスより α セルロスを定量することとした。

本論文はⅣ章から成り、Ⅰ章では本研究の最も基本となる単木を対象として、その樹幹内の容積密度数および単位容積当りのセルロス含有量の変動について齡級別供試木を用いて明らかにしている。さらに樹幹内各部位の材積とその重量値から、樹幹全体について重量の材積加重平均値を求めて単木の標準容積密度数および標準セルロス含有量とし、これら標準値に最も近い値を常に示す樹幹内位置を求めた。その結果、樹幹内の垂直方向および半径方向において常にその木の標準容積密度数および標準セルロス含有量に充分近い値を示す位置“代表的位置”の存在を明らかにした。幸いにして、その“代表的位置”は立木について手の届く高さの範囲内であったため、立木のままで標準容積密度数ならびに標準セルロス含有量の推定が可能であることを明らかにしている。

Ⅱ章においては、単木での成果を林分の測定に適用することを試みている。まず標本木の“代表的位置”より採取された生長錐試片について、軟X線と濃度計を組合わせた非破壊的測定法の適用性について検討を行ない、この推定方法が精度のうえからも実行上からも有用性の高いことを実証している。本研究では以上のような非破壊的測定方法を採用することによって標本木法を林分量重生長ならびに林分セルロス生産量の推定方法とすることができるようになった。齡級別プロットにおいて、この測定方法を適用し、得られた結果にもとづいて、林齢とその林齢に対応する林分の標準容積密度数および標準セルロス含有量について検討を行ない、重量の生長過程解明の手がかりを得ようとしている。

Ⅲ章においては、滋賀県信楽地方のアカマツ林を対

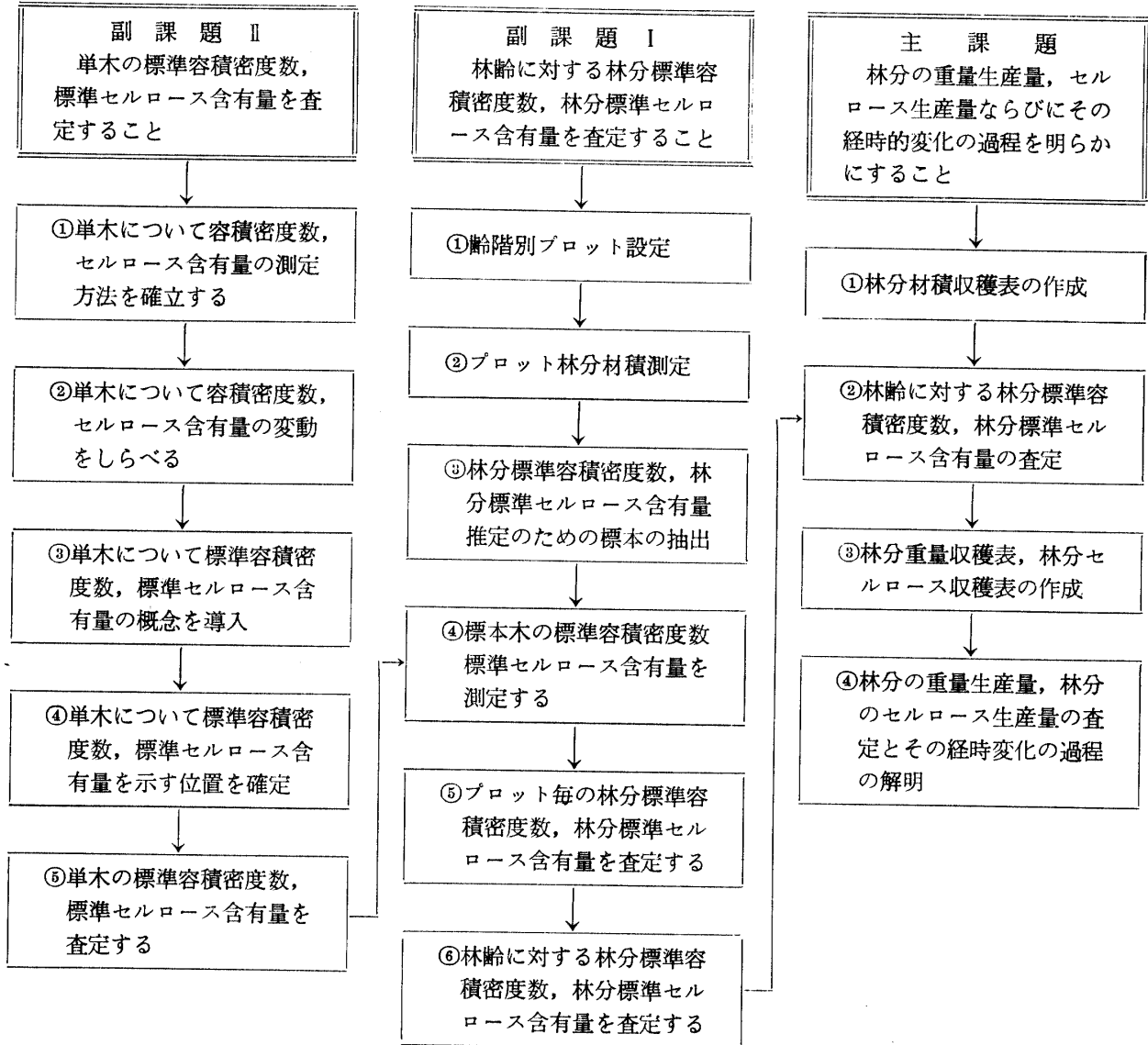
象に、林分材積収穫表を調製するとともに、Ⅱ章で得られた林齢に対応する林分標準容積密度数、林分標準セルロース含有量を用いて、乾重量、ホロセルロースおよび α セルロースの林分収穫表の調製を行なっている。

Ⅳ章においては、材積生長と重量生長の関係をはじめ

め、全体を通じて林分の重量生長ならびにセルロース生産量に関する総合的考察を試みている。

最後に本研究の方法と順序について整理を行ない、研究の流れが理解できるようなフローチャートとして示すと次のようになる。

研究の内容と過程を示すフローチャート



I 単木の標準容積密度数および標準セルロース含有量とそれらの生長過程

1. 資料

本章で検討を行なった資料供試木は、京都府立大学大枝演習林（京都市右京区大枝沓掛町）第5林班い小班および第10林班は小班より得たものである。ここにその調査地の概況を述べるとともに供試木の測定結果を資料として表I-1-1に示す。

1) 調査地の概況

当調査地は京都市の南西部（東経139°39′，北緯34°59′）に位置し，その範囲は国道9号線を挟んで東西約2km，南北約1.2kmの一団地で総面積125.20haである。東・南・北の三面は沓掛町民有地に接し，西方は京都市と亀岡市の境界に接している。標高は117～329mで高低差約200m，傾斜は比較的急で20°～30°，まれには40°～45°におよぶところがある。本地域は暖帯北部に属し，かつてはコジイ，アラカン，ヤブニツ

ケイ等の常緑広葉樹とコナラ、クヌギ等の落葉広葉樹にモミ、ツガ、アカマツ等の針葉樹が混生していたことは明らかである。すなわち京都盆地を囲むいわゆる東山、北山、西山の丘陵地帯の一部として植生上特に異なる点はない。しかしながら現在の林相は人為的変遷が著しく、ほとんど固有の森林の特色を残していない。全地域の約50%はアカマツ天然林によって占められ、残りの約50%はスギ、ヒノキを主体とする人工林（スギ約12%、ヒノキ約34%）で構成されている。本林の約半分を占める天然生のアカマツ林はスギ、ヒノキの上部に成立し、ほとんど二次林であって天然更新による一斉同齢林と見なせる程である。樹齢は10~60年生にわたって各所に存在し、生育状況は近畿地方アカマツ収穫表の3~4等地に該当する。その植生は次のようである。すなわち、ソヨゴ、イヌツゲ、アラカン、ヤブニッケイ等の常緑広葉樹、コナラ、クヌギ、アベマキ、タカノツメ、リュウブ、ナツハゼ、ネジキ、エ

ゴノキ、ヤマウルシ、ヌルデ等の落葉広葉樹を混生し、下木にコバノミツバツツジ、モチツツジ、ヤマツツジ、カクミノスノキ、マルバスノキ、アキシバ等が密生している。

地質は秩父古生層に属し、基岩として現われるものは角岩、粘板岩、砂岩等であるが、なかでも角岩、粘板岩が多く、粘板岩の重畳は所々に見られる。

土壌は主に壤土、埴壤土よりなり、谷間に近づくにしたがって粘重な土壌となる。溪流に沿うところは腐植質に富み、地味は峰筋を除いて一般に中庸である。深度は溪筋においてやや深く、屋根筋は浅く、大部分が中庸といった状態で落葉量が相当あるが、低湿度でうっ閉が疎なところでは腐植が形成されていないところが多い。

調査地に近い亀岡における過去48年間の気象に関する統計を求めたところ、年平均気温14.3°C、暖かさの指数115°、寒さの指数-16°、年間降水量1,560mm、

Table I-1-1 List of sample trees

No.	Age.	D·b·h (cm)	Height (m)	Stem volume without bark (m ³)	Volume with bark (m ³)
1	10	4.5	4.20	0.00335	0.00438
2	10	6.0	5.87	0.01037	0.01275
3	10	4.3	4.70	0.00378	0.00493
4	10	5.2	4.70	0.00506	0.00632
5	10	4.3	4.70	0.00385	0.00506
6	13	6.2	6.20	0.00932	0.01057
7	12	8.4	6.60	0.01934	0.02248
8	14	7.7	6.20	0.01487	0.01668
9	13	7.7	6.10	0.01534	0.01748
10	14	8.3	6.00	0.01700	0.01884
11	30	12.1	7.43	0.04410	0.05038
12	30	10.8	8.55	0.04015	0.04666
13	30	14.0	8.85	0.06756	0.07619
14	30	10.0	8.81	0.03684	0.04281
15	30	11.2	8.21	0.05322	0.06080
16	40	12.7	10.20	0.08005	0.09457
17	39	18.0	11.29	0.09359	0.11385
18	38	20.0	10.80	0.14064	0.16797
19	38	16.0	11.30	0.08117	0.09843
20	40	18.0	12.08	0.13585	0.15274
21	60	17.0	10.35	0.11122	0.13034
22	59	17.0	8.80	0.07133	0.08209
23	60	18.0	10.50	0.11491	0.13514
24	61	16.0	10.40	0.09050	0.09961
25	62	21.0	11.50	0.14822	0.15983

積雪日数10日前後、最深積雪量20cm、最多風向NWであった。

2) 供試木

最初にI章において共用される供試木に関するデータを一括して示すこととした。これらのデータは全て樹幹解析を行なって材積を求めたものである。

2. 容積密度数およびセルロース含有量の測定方法

1) 容積密度数の測定方法

本研究においては立木の状態で木材実質量を推定するわけであるから、生材の容積 (Vg) に対する全乾重量 (Go) の比、すなわち容積密度数: $R = \frac{Go}{Vg} \times 1000$ (kg/m³) を基礎的計量単位として用いることにした。

容積密度数を求めるには、生材の容積と全乾重量とを求めなければならない。幹からとり出した小試片について、全乾重量を求めることは比較的容易であるが、生材容積を精密に測定することは困難である。このような木材小試片の容積を測定する方法には幾何学的方法、測容器による方法および液体の浮力を応用する方法がある。

最初の幾何学的方法は試片を規則的な幾何学的形状に採材して容積を求めるものでそれが困難な場合には適用できない。第二番目の測容器による方法は、水、水銀などの媒体の中に試片を入れ、媒体の容積の増加量によって試片の容積を求めるもので比較的よく用いられている。この方法には BREUIL の水銀測容器が知られているが、多孔質の試片には使用できない。最後の浮力法は、物体を水中で測るときは空気中で測った重量よりその物体と同容積の液体の重量だけの重量を減ずるというアルキメデスの原理を応用して容積を求めるものである。この方法は比較的簡便で精度もよい。

本研究では伐採供試木についての基礎的調査に関しては測定精度や重量測定後化学分析を行なうことを考慮して水を用いた浮力法によることとした。すなわち、飽水試片の空気中における重量(w)と、空気を除いた純水の4°C (比重1.0) に保たれた水中における重量(w')から $Vg = \frac{w - w'}{\rho}$ (ただしVg: 生材容積, ρ: 液体の比重で、水の場合も水温による水の密度によって補正する) によった。この場合、重さの単位をkgにとれば、体積は $\frac{1}{1000}$ m³ で求められる。

2) セルロース含有量の測定方法

次にセルロース含有量の測定方法について述べる。

木材の元素組成はどの樹種もほとんど変わらず、炭素50%、水素6%、酸素その他44%から成っているが、木材の化学的組成は樹種、個体別および個体内部位で

それぞれ異なっている。

木材中のセルロースは非セルロース物質であるリグミンおよびヘミセルロースと極めて緊密に結合しているので、これを損傷することなく、純粋に分離することは困難である。

今日の木材分析法はショルガー法を基幹としたものが多く採用されているが、分析項目の選び方や、分析操作の細かい点で一致せず、標準となるべき分析法の規定は未だないようである。

本研究においては東京大学農学部林産化学教室で常用されている木材分析法にしたがって定量を行なった。

すなわち、全乾状態にした40~60メッシュの木粉6gをアルコール・ベンゼン混合液(33容:67容)でソックスレー抽出器によって6時間脱脂し、さらに脱脂試料2.5gを亜塩素酸ナトリウムと氷酢酸で非セルロース物質特にリグニンを除去してホロセルロースを求めた。この定量においては亜塩素酸ナトリウム処理以下の操作を5回反復し(所要時間は3時間45分)白色残渣は熱水およびアセトンで洗滌、乾燥、秤量し、最後に残留リグニンを72%硫酸法でチェックし、補正した。つぎにαセルロースの定量方法は、ホロセルロース試料1gを250c.c.ビーカーに採り、20°Cの17.5%苛性ソーダー溶液25c.c.に浸漬して35分間20°Cの恒温槽中に放置し、その間ガラス棒を用いて軽く試料を浸して溶液の吸収をよくするとともに、最後に20°Cの水25c.c.を加えて正確に1分間攪拌し、それから5分間放置した後、予め秤量瓶に入れて恒量を求めたガラスフィルター1G1で濾過し、20°Cの水で約3分間洗滌した。洗滌の終点はフェノールフタレインを用い

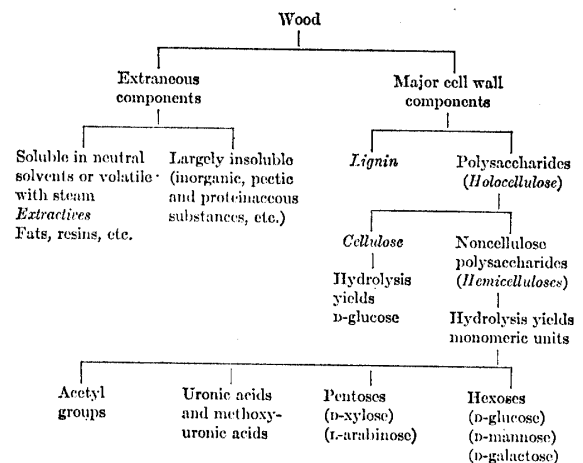


Fig. I-2-1 Idealized outline of wood components (B. L. Browning, 1963).⁵¹⁾

て知り、水洗した残渣には、10%酢酸 40c.c.を注ぎ、吸引除去後、1 lの煮沸水で洗滌、105°Cで恒量となるまで乾燥し、秤量した。

なお、この分析法に従って定量される諸成分の概略について BROWNING によって図式化されたものを参考に示すと図 I-2-1のとおりとなる。

とくにセルロースはアルカリに対する抵抗の順序に従って α , β , γ にわけられている。

3. 単木樹幹における容積密度数およびセルロース量の変動

1) 幼 齢 木

通常針葉樹においてはどの断面高においても髓から10~15年輪までが未成熟材とされている。^{45,75)}

生長過程において樹幹における容積密度数およびセルロース量がどのように変化するかを明らかにするため、まずいずれの断面においても未成熟材で構成されていると思われる10~15年生の幼齢木を対象としてとりあげた。ここでは幼齢木の樹幹内各部位の容積密度数と単位容積当りのホロセルロースおよび α セルロース含有量の変動の傾向ならびにその変動の大きさについてみることにした。

供試木はこのような意図から資料番号の6~10番の5本を用いて、それぞれ一般の樹幹解析を行ない、材積の計算および容積密度数、ホロセルロース、 α セルロースの測定を行なった。単木樹幹の各断面高別、年齢階別の4方向の供試片の採取方法は図 I-3-1のとおりである。

なお、この模式図において、採取断面は縦断面図の点線で示されるような樹高位であり、また各断面での供試片のとり方は横断面図の点と線で示されるような5年輪ごとに区切られた4方向の各部である。各断面の階層ごとの4方向の測定値について平均を求め、これをその部位における各単木の測定値とし、さらに5本についてそれぞれ対応する同一部位における個体間の平均値および変動係数を求めた結果は表 I-3-1に示されるとおりである。

まず各断面における半径方向の変動の傾向は、容積密度数、ホロセルロースおよび α セルロースとも最外層の11~15年輪のところが高くて、樹心に向かって、順次低くなっていることが共通している。

また、各年齢階における樹幹の垂直方向の変動の傾向は、容積密度数については、どの年輪区分においても共通して根元が最も高く、梢端に向かうにしたがって順次低くなっている。

一方、ホロセルロースおよび α セルロースについて

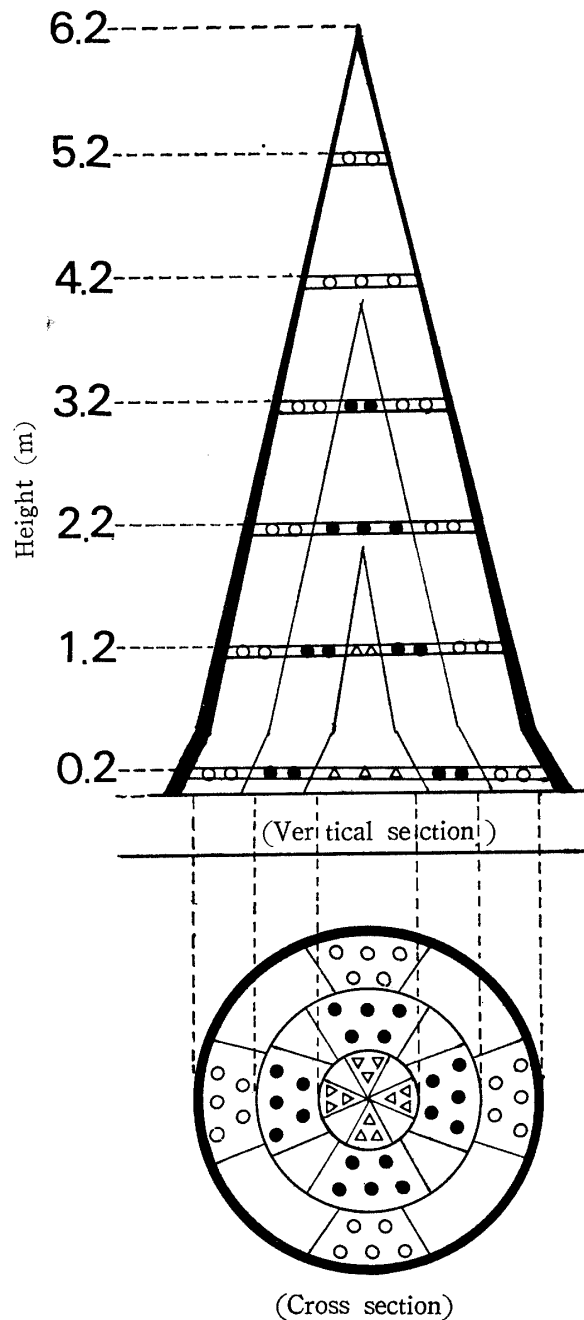


Fig. I-3-1 Figure showing how to take the sampling piece from 5 rings unit of each cross section in case of young trees.

みると、容積密度数の変動の傾向と同じであるが、これらの値は最外層の11~15年輪のところでは、おおむね断面高が上になるにしたがって減少しているが、梢端部でやや高くなっていることがうかがえる。測定結果から容積密度数、ホロセルロースおよび α セルロースの重量分布について年齢階別、断面高別樹幹内変動は図 I-3-2、図 I-3-3および図 I-3-4に示すとおりである。

Table I-3-1 Distribution of bulk density and hollocellulose and α -cellulose contents within stem. (kg/m³)

Height of cross section (m)	Annual rings		1~5	6~10	11~15
	Division				
0.2	Bulk density		336.56 (6.6)	397.44 (7.2)	423.42 (6.2)
	Hollocellulose		229.68(13.1)	274.36(12.8)	294.72 (7.9)
	α -cellulose		137.02(15.3)	188.10(13.0)	183.30 (7.6)
1.2	Bulk density		323.18 (9.1)	366.20 (2.3)	416.00 (4.4)
	Hollocellulose		226.55 (8.7)	253.26 (8.7)	297.64 (8.9)
	α -cellulose		131.30 (9.7)	155.00 (7.4)	179.94 (8.5)
3.2	Bulk density			334.48 (6.7)	382.06 (3.5)
	Hollocellulose			230.54(13.9)	259.24(11.8)
	α -cellulose			130.56(12.2)	153.56 (8.8)
4.2	Bulk density				382.53 (6.1)
	Hollocellulose				258.75 (3.4)
	α -cellulose				147.40 (2.7)
5.2	Bulk density				361.78 (4.7)
	Hollocellulose				264.90 (4.9)
	α -cellulose				148.85 (6.5)

() : The coefficient of variation in per cent.

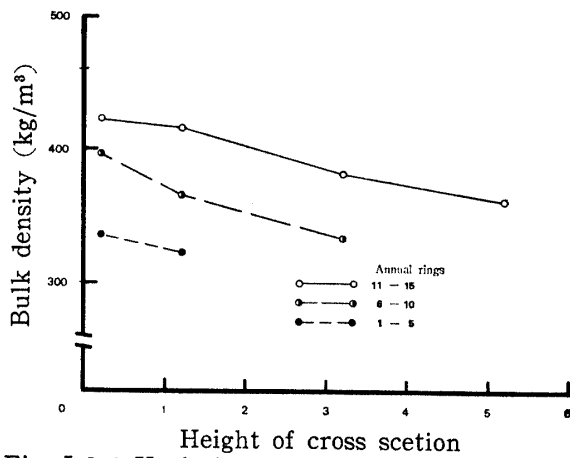


Fig. I-3-2 Variation of bulk density in a stem.

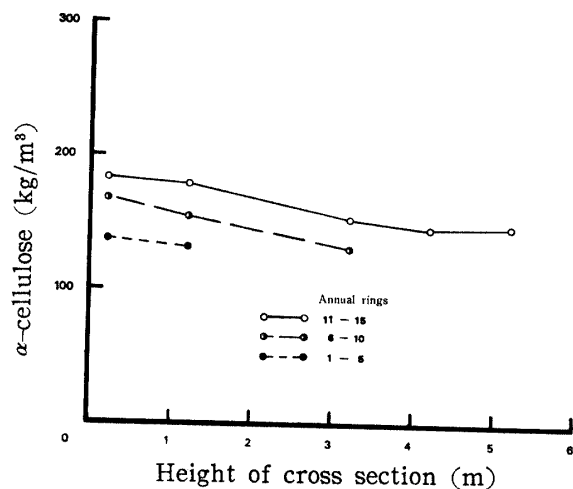


Fig. I-3-4 Variation of α -cellulose in a stem.

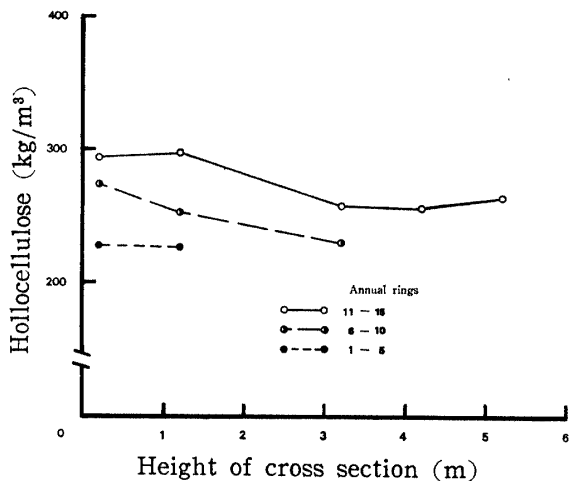


Fig. I-3-3 Variation of hollocellulose in a stem.

この変動の傾向はマツ型のパターンとしてすでに報告されている結果^{42,45,49,51,52}と一致するものである。樹幹内各部位での個体間変動の大きさについてはまちまちであるが、最高は根元の樹心部における α セルロースの変動係数で15.3%であった。

つぎにホロセルロースおよび α セルロースの量の、容積密度数に対する重量百分率を求めた場合、その大きさに個体間あるいは樹幹内各部分間において差がなければ、これをパラメーターとして容積密度数にかけることによって、それらの量を求めることができ便利である。

Tabale I-3-2 Mean percentage of hollocellulose and α -cellulose contents for bulk density (%)

Height of cross section (m)	Annual rings		1~5	6~10	11~15
	Division				
0.2	Hollocellulose		67.94 (6.9)	68.74 (6.2)	69.56 (3.4)
	α -cellulose		40.48 (9.2)	42.10 (6.3)	43.10 (6.2)
1.2	Hollocellulose		70.13 (1.5)	69.28 (9.9)	71.54 (6.9)
	α -cellulose		40.60 (1.6)	42.38 (8.6)	43.24 (5.9)
3.2	Hollocellulose			68.60 (7.9)	67.70 (9.4)
	α -cellulose			38.90 (5.7)	40.16 (6.5)
4.2	Hollocellulose				67.98 (8.0)
	α -cellulose				38.68 (6.2)
5.2	Hollocellulose				73.25 (3.9)
	α -cellulose				41.03 (4.3)

() : Coefficient of variation in per cent.

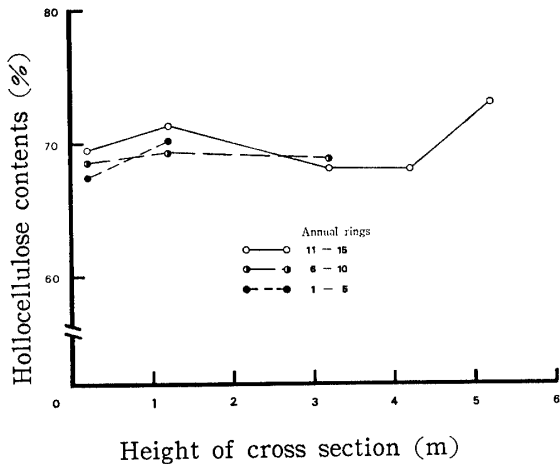


Fig. I-3-5 Variation of hollocellulose-contents ratio to bulk density.

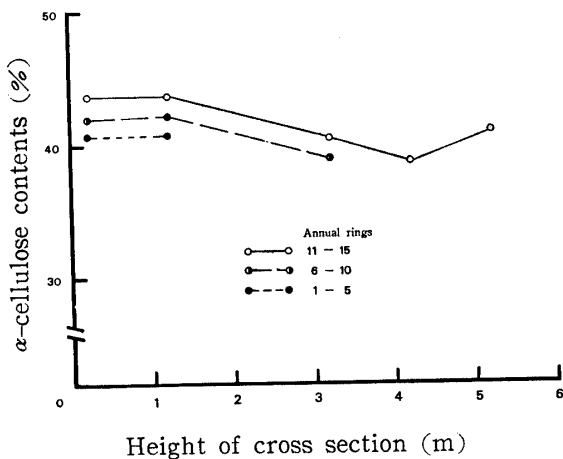


Fig. I-3-6 Variation of α -cellulose-contents ratio to bulk density.

そこで、樹幹内各部位における容積密度数に対するホロセルロースおよび α セルロースの重量百分率の平均値および変動係数を示すと表 I-3-2 および図 I-3-5, 6 のとおりである。表 I-3-5 および図 I-3-6 からわかるようにホロセルロースも α セルロースもほぼ一定の値に近い数字であるが、一直線上には並ばないで梢端部でいずれも少し高くなっている。そこで、そのふれが個体差によるものか、個体内部の差によるものかについて分散分析を行なって検討した。ホロセルロ

Table I-3-3 Analysis of variance of hollocellulose contents.

Factor	S.S.	d.f.	M.S.	F ₀
Trees	73.02	4	18.26	2.28
Posilions	1015.72	9	112.86	14.11***
Error	288.09	36	8.00	
Total	1376.83	49		

*** : Significant at the 0.1% level

Table I-3-4 Analysis of variance of α -cellulose contents.

Factor	S.S.	d.f.	M.S.	F ₀
Trees	120.94	4	30.24	7.08***
Posilions	146.92	9	16.32	3.82**
Error	153.73	36	4.27	
Total	421.59	49		

*** : Significant at the 0.1% level

** : Significant at the 1% level

ース含有率およびαセルロース含有率の分散分析表は表I-3-3, 表I-3-4に示すとおりである。

以上の結果に示されるように、αセルロースの場合は個体間にも有意差が認められたが、共通しているのはいずれも個体内部の位置間にいちじるしい有意差が認められることであろう。したがって、ホロセルロースおよびαセルロース含有率とも個体内部で一様でな

いことが明らかにされた。

つぎに容積密度数から2個のパラメーターをもつ回帰式によって生材単位容積当りのセルロース重量を推定することの可能性を検討することとした。そこで、容積密度数に対するホロセルロースおよびαセルロースの相関係数、回帰式および残差の標準誤差を求めてみるとそれぞれ次のとおりとなる。

Table I-3-5 Regression equations and correlation coefficients between bulk density and cellulose contents.

Division	Correlation coefficient	Regression equation	Standard error of residuals
Holocellulose	0.9685	$Y=0.7146X-7.13$	6.80
α-cellulose	0.9627	$Y=0.5244X-41.77$	5.37

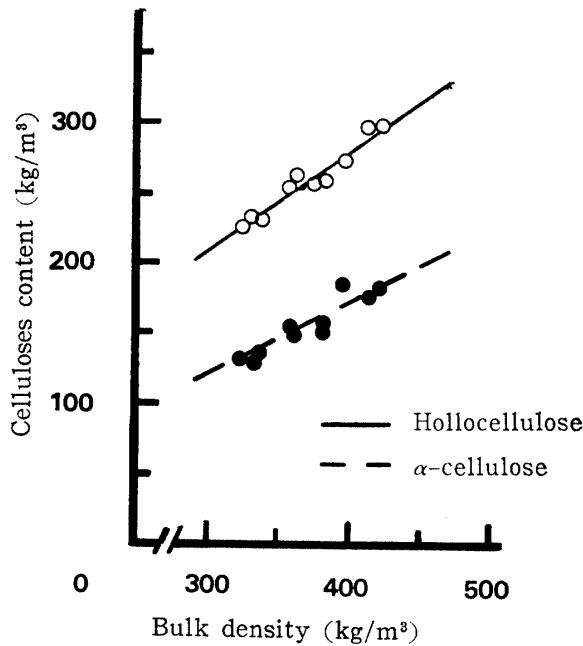


Fig. I-3-7 Relation between bulk density and celluloses contents.

Table I-3-7 Test of significance of correlation coefficients

Division	d.f.	R	t
Holocellulose	8	0.9675	10.8218***
α-cellulose	8	0.9627	10.0635***

*** : Significant at the 0.01 level

$$t = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}}$$

以上の結果に示されるように相関係数は非常に高く、2個のパラメーターをもつ1次回帰式によって、容積密度数からホロセルロースおよびαセルロースの含有量を推定することは可能である。

2) 壮 齢 木

幼齡木につづいて、40年前後の壮齡木を対象として、その樹幹内各部位の容積密度数と単位容積当りのホロセルロースおよびαセルロース含有量の変動の傾向ならびにその変動の大きさなどについて、幼齡木の場合と比較しながら検討した。

供試木は資料番号16~20番までの5本である。

まず樹幹解析を行なうが、ここでは相対樹高を用いて伐採高および樹高の $\frac{1}{10}$, $\frac{3}{10}$, $\frac{5}{10}$, $\frac{7}{10}$, $\frac{9}{10}$ の6断面から円盤をとり、樹高の異なる供試木間の比較をしやすいようにした。この標本採取位置は図I-3-8に示されるような各断面である。

Table I-3-6 Test of significance of regression coefficients.

Division	d.f.	b	Sb	t
Holocellulose	8	0.7146	0.0923	7.7421***
α-cellulose	8	0.5244	0.0958	5.3239***

*** : Significant at the 0.01 level

$$S_b = \frac{S_{yx}}{\sqrt{S^2_x}}, t = b/sb$$

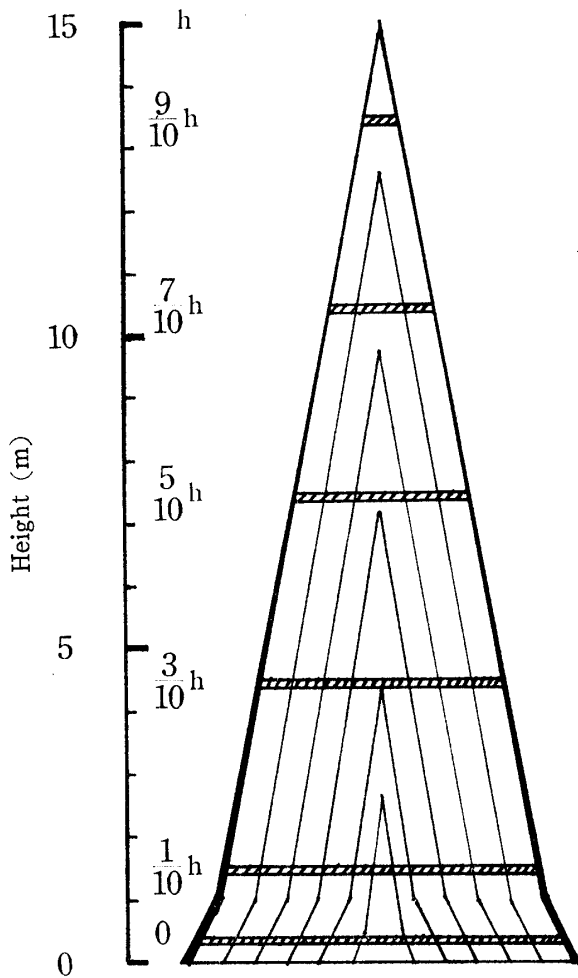


Fig. I-3-8 Figure showing the height of cross section of taking sample, based on relative tree height. (The height of above model shows 15 m.)

幼齢木の場合は大部分が未成熟材で構成されているため、抽出成分の集積は未だみられないと思われる。しかしながら壮齢木では抽出成分の集積が容積密度数の変動の一要因となりうる事が考えられる。そこでアルコール・ベンゼン抽出成分を含む場合(A)と差引いた場合(B)を求めた。アルコール・ベンゼン抽出成分はホロセルロースを求める前処理として求めるので実験を進めるうえには何らの支障も与えない。

単木樹幹の各断面高別、齢階別の4方向について求め、さらに対応する同位置について5本を平均した容積密度数および単位容積当りの平均ホロセルロースならびに平均 α セルロース含有量と、その部分における変動係数は表 I-3-8 に示すとおりである。またそれを図示したものは図 I-3-9、図 I-3-10 および図 I-3-11 である。

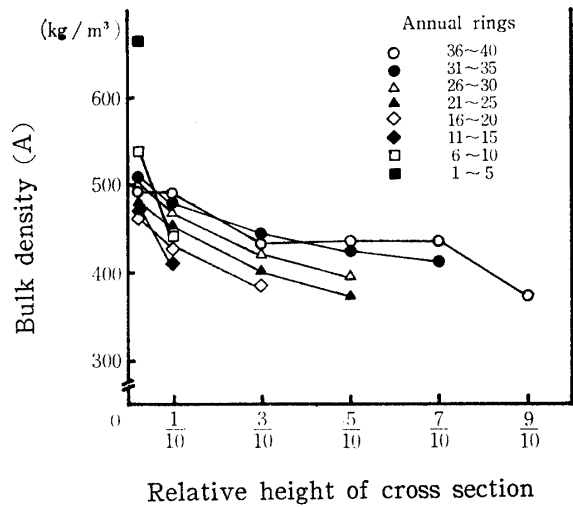


Fig. I-3-9 Variation of bulk density (A) in a stem.

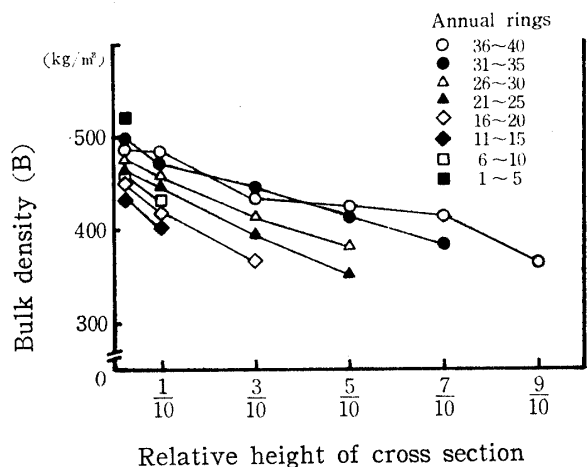


Fig. I-3-10 Variation of bulk density (B) in a stem.

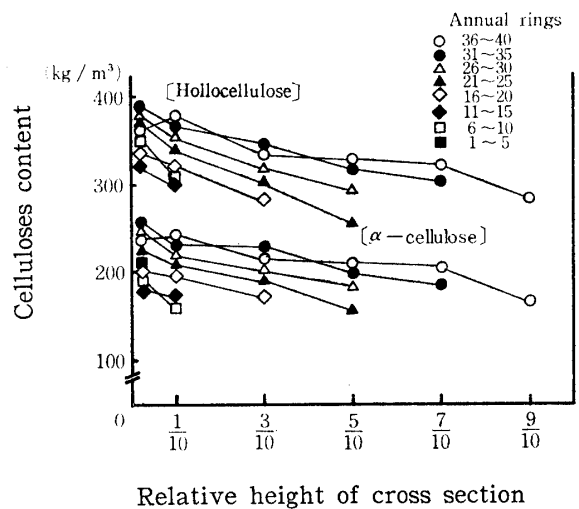


Fig. I-3-11 Variation of celluloses contents in a stem.

Table I-3-8 Distribution of bulk density, hollocellulose and α -cellulose contents within stem. (kg/m³)

Relative height of cross section	Annual rings		Division									
	1 ~ 5	6 ~ 10	11 ~ 15	16 ~ 20	21 ~ 25	26 ~ 30	31 ~ 35	36 ~ 40				
0	Bulk density(A)	540.99(16.64)	470.50(11.08)	461.47 (5.31)	492.97 (3.65)	500.24 (5.49)	509.23 (4.91)	497.40 (5.68)				
	" (B)	523.59(14.31)	443.19 (7.93)	450.07 (5.57)	482.96 (4.04)	491.13 (5.64)	499.15 (5.11)	488.62 (6.11)				
	Hollocellulose	362.50(20.93)	354.30(16.25)	336.43(13.43)	337.45 (9.81)	363.35 (9.74)	370.49 (9.98)	377.04(10.16)				
$\frac{1}{10}$	α -cellulose	219.33(23.88)	225.50(18.10)	218.46(14.76)	219.97(10.31)	240.76(10.63)	248.17 (9.27)	253.36 (9.72)				
	Bulk density(A)	453.33(10.54)	414.20 (6.79)	427.12 (6.77)	459.36 (5.27)	476.20 (4.38)	492.06 (2.37)	496.26 (4.72)				
	" (B)	430.27 (9.24)	400.87 (6.40)	418.14 (7.16)	450.19 (5.20)	467.51 (4.60)	484.67 (3.12)	487.89 (4.56)				
$\frac{3}{10}$	Hollocellulose	314.29 (9.74)	301.84 (9.04)	321.90(10.12)	347.38 (9.16)	361.70 (9.34)	374.02 (7.96)	376.15 (9.13)				
	α -cellulose	187.55(10.87)	187.92 (8.73)	206.52 (9.93)	225.23 (9.98)	237.15(10.48)	247.08 (7.56)	249.66 (8.41)				
	Bulk density(A)			388.77 (4.81)	404.93 (3.70)	423.72 (4.86)	447.37 (5.32)	438.85 (6.85)				
$\frac{5}{10}$	" (B)			368.61 (5.92)	394.12 (4.37)	414.29 (4.65)	439.45 (5.69)	431.61 (7.08)				
	Hollocellulose			286.42 (6.69)	306.69 (6.73)	322.41 (7.58)	345.11 (9.24)	339.35(11.35)				
	α -cellulose			172.17 (7.43)	193.47 (7.86)	206.66 (8.71)	226.82(10.61)	218.41(12.36)				
$\frac{7}{10}$	Bulk density(A)				372.31 (2.12)	398.57 (5.55)	435.65 (4.93)	441.07 (6.91)				
	" (B)				350.44 (3.93)	382.80 (5.46)	422.46 (4.08)	428.67 (5.83)				
	Hollocellulose				265.17 (3.25)	297.25 (4.17)	330.91 (7.31)	331.39 (8.92)				
$\frac{9}{10}$	α -cellulose				159.41 (3.93)	186.58 (3.93)	212.05 (5.75)	212.90 (7.82)				
	Bulk density(A)						412.32 (5.66)	436.99 (5.12)				
	" (B)						387.38 (6.41)	415.22 (5.10)				
$\frac{9}{10}$	Hollocellulose						300.39 (5.56)	322.04 (6.69)				
	α -cellulose						185.03 (5.56)	203.34 (6.80)				
	Bulk density(A)							371.40 (2.47)				
$\frac{9}{10}$	" (B)							365.62 (2.42)				
	Hollocellulose							284.00 (6.99)				
	α -cellulose							168.41 (7.02)				

() : Coefficient of variation in percent. Bulk density(B) : Deresinous bulk density which extracted with alcohol-benzene solution.

Table I-3-9 Mean percentage of hollocellulose and α -cellulose contents to bulk density. (%)

Relative height of cross section	Annual rings		Division											
	Division		1 ~ 5	6 ~ 10	11 ~ 15	16 ~ 20	21 ~ 25	26 ~ 30	31 ~ 35	36 ~ 40				
0	Hollocellulose(A)		54.31(14.35)	65.83 (9.67)	71.47 (7.57)	73.04 (6.51)	73.59 (7.20)	73.93 (7.05)	73.88 (6.66)	72.32 (8.28)				
	" (B)		68.83 (9.42)	74.13 (6.32)	75.65 (7.18)	74.91 (6.77)	75.10 (6.84)	75.34 (6.83)	75.39 (6.50)	73.62 (8.02)				
	α -cellulose (A)		32.94(19.19)	41.98(13.84)	46.40 (9.66)	47.60 (6.82)	48.76 (8.37)	49.59 (7.20)	49.68 (6.88)	49.01 (9.18)				
	" (B)		41.62(13.45)	47.19(10.08)	49.10 (8.94)	48.82 (6.97)	49.76 (8.04)	50.50 (6.83)	50.69 (6.78)	49.89 (8.89)				
$\frac{1}{10}$	Hollocellulose(A)			68.88 (8.77)	72.83 (5.00)	75.26 (5.18)	75.55 (6.35)	75.83 (6.33)	75.96 (6.34)	75.74 (7.08)				
	" (B)			73.14 (6.07)	75.21 (4.35)	76.86 (4.48)	77.07 (6.09)	77.22 (5.74)	77.09 (5.91)	76.99 (6.27)				
	α -cellulose (A)			41.15(10.75)	45.39 (6.14)	48.29 (5.05)	49.01 (8.23)	49.72 (8.11)	50.20 (6.64)	50.32 (7.48)				
	" (B)			43.67 (8.14)	46.86 (5.23)	49.32 (4.33)	49.99 (7.96)	50.62 (7.54)	50.95 (6.10)	51.15 (6.55)				
$\frac{3}{10}$	Hollocellulose(A)					73.71 (5.44)	75.68 (3.19)	76.03 (4.23)	76.99 (4.37)	77.08 (4.81)				
	" (B)					77.72 (3.79)	77.77 (3.66)	77.76 (4.38)	78.39 (4.23)	78.38 (4.58)				
	α -cellulose (A)					44.30 (6.42)	47.71 (4.75)	48.71 (4.90)	50.56 (5.62)	49.58 (5.93)				
	" (B)					46.70 (4.50)	49.03 (4.60)	49.81 (5.04)	51.48 (5.39)	50.40 (5.57)				
$\frac{5}{10}$	Hollocellulose(A)						71.26 (4.09)	74.69 (4.02)	75.98 (5.80)	75.10 (4.84)				
	" (B)						75.78 (4.84)	77.81 (5.18)	78.35 (6.35)	77.24 (5.09)				
	α -cellulose (A)						42.82 (3.83)	46.87 (2.77)	48.69 (3.78)	48.26 (3.26)				
	" (B)						45.50 (1.95)	48.79 (2.88)	50.20 (4.30)	49.63 (3.36)				
$\frac{7}{10}$	Hollocellulose(A)								75.05 (8.57)	76.02 (5.70)				
	" (B)								77.65 (8.18)	77.65 (6.23)				
	α -cellulose (A)								46.22 (8.28)	47.97 (4.36)				
	" (B)								48.01 (9.38)	48.98 (4.91)				
$\frac{9}{10}$	Hollocellulose(A)									76.71 (6.72)				
	" (B)									77.69 (6.74)				
	α -cellulose (A)									45.46 (6.16)				
	" (B)									46.06 (6.19)				

() : Coefficient of variation in per cent. Bulk density(B) : Deresinous bulk density which extracted with alcohol-benzene solution.

表 I-3-8 および図 I-3-9, 図 I-3-10 および図 I-3-11 から, 各断面における半径方向の変動の傾向は容積密度数, ホロセルロースおよび α セルロースとも, おおむね最外層が高く樹心部に向かうにしたがって低くなっているが, 根元の樹心部で異常に高くなっている。とくに容積密度数の場合アルコール・ベンゼン抽出成分を除いたものは, 変動の傾向が整然としていることが注目されることである。

樹幹の垂直方向における変動は抽出成分を除いた容積密度数やホロセルロースおよび α セルロースはいずれも根元が最も高く, 断面高が上になるにしたがって減少している。このようにこれら樹幹の垂直方向, 半径方向における変動の傾向はアルコール・ベンゼン抽出成分を含んだ状態ではその配列順序に混乱がみられたが, それを除くと幼齢木の場合と同様のアカマツ本来の変動の傾向を示すことが明らかとなった。樹幹内各部位の個体間での変動の大きさを変動係数によってみると, 幼齢木の場合と比較して全体的に大差はなく10%までがほとんどであるが, 根元の樹心部においてはかなり大きく, α セルロースの23.88%が最高を示した。

つぎにホロセルロースおよび α セルロース量の容積密度数に対する重量百分率として表わした場合について検討を行なった。この場合, アルコール・ベンゼン未抽出の容積密度数(A)に対する含有率(A)と, 抽出後の

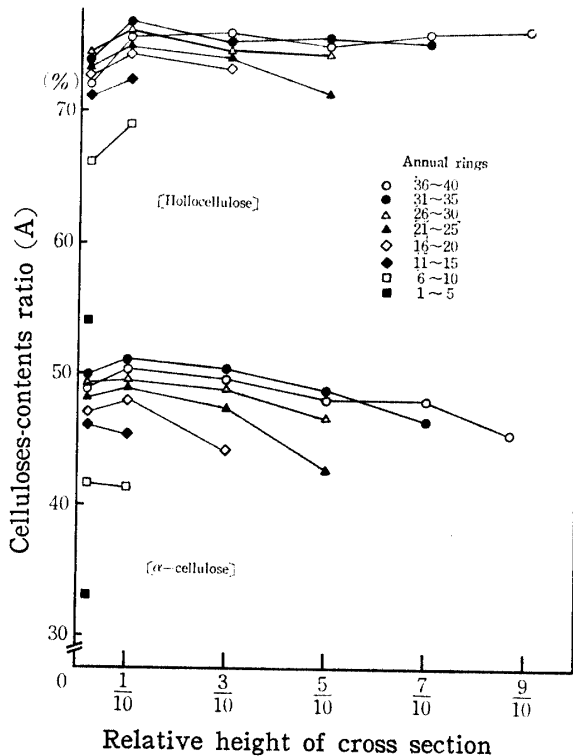


Fig. I-3-12 Variation of celluloses-contents ratio (A) to bulk density.

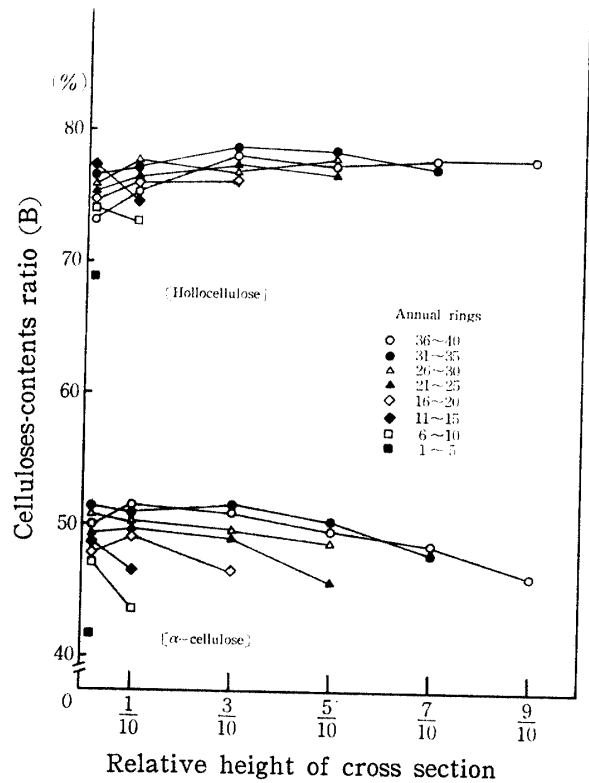


Fig. I-3-13 Variation of celluloses-contents ratio (B) to bulk density.

容積密度数(B)に対する含有率(B)の兩者について計算を行なった。

その結果は表 I-3-9 および図 I-3-12, 13 に示すとおりである。

この結果では, アルコール・ベンゼン抽出成分を差引いた容積密度数に対する含有率(B)の方は抽出成分を含む場合の含有率(A)と比較して全体の平均で約3%, また α セルロースでは約1%高くなり, 均一化しているが, 根元の樹心部に近いところでは異常に低い含有率を示していることがうかがわれる。

そこで, 幼齢木の場合と同様にホロセルロース含有率および α セルロース含有率の一様性について個体間および個体内部の位置による分散分析を行なった。

分散分析の結果は表 I-3-10~13 に示されるとおりである。

Table I-3-10 Analysis of variance of hollocellulose(A) contents.

Factor	S. S.	d. f.	M. S.	F ₀
Trees	2607.7629	4	651.9407	64.26***
Positions	2226.7842	26	85.6455	8.44***
Error	1055.1857	104	10.1460	
Total	5889.7328	134	$\bar{X}=73.44(\%)$ c.v.=8.99(%)	

*** : Significant at the 0.1% level

Table I-3-11 Analysis of variance of hollocellulose(B) contents.

Factor	S. S.	d. f.	M. S.	F ⁰
Trees	568.2412	4	142.0603	31.14***
Positions	2370.9178	26	91.1891	19.99***
Error	474.3914	104	4.5615	
Total	3413.5504	134	$\bar{X}=76.22(\%)$ c.v.=6.61(%)	

***Significant at the 0.1% level

Table I-3-12 Analysis of variance of α-cellulose(A) contents.

Factor	S. S.	d. f.	M. S.	F ₀
Trees	1910.1078	4	477.5250	152.72***
Positions	1077.7714	26	41.4527	13.26***
Error	325.1969	104	3.1269	
Total	3313.0761	134	$\bar{X}=47.00(\%)$ c.v.=10.84(%)	

***: Significant at the 0.1% level.

Table I-3-13 Analysis of variance of α-cellulose(B) contents.

Factor	S. S.	d. f.	M. S.	F ₀
Trees	721.4406	4	180.3602	47.16***
Positions	1076.1849	26	41.3917	10.82***
Error	397.7071	104	3.8241	
Total	2195.3326	134	$\bar{X}=48.69(\%)$ c.v.=8.28(%)	

***: Significant at the 0.1% level.

その結果、アルコール・ベンゼン抽出成分を除いた容積密度数(B)に対する重量百分率の方が変動係数はやや低くなって均一化しているものの、ホロセルロース、αセルロースの両者ともその含有率には個体間、個体内部位置においていちじるしい有意差が認められた。したがって、ホロセルロースおよびαセルロース含有率とも個体間や個体内部において一様でないことが明らかにされた。

しかしながら、それらの変動の大きさはホロセルロースおよびαセルロースそれ自体の変動の大きさに比べてはるかに小さく、樹幹全体において両含有率の変動係数は6~10%であった。しかも含有率の異常に低い部分は0と $\frac{1}{10}$ 樹高位の断面の最内層に限って見られることは注目される。これらの部分は表I-3-8および図I-3-9に見られるように容積密度数(A)が異常に高く、セルロース含有量は低くなっていることから、この原因の一つとして幼齢木にみられなかったアルコール・ベンゼン抽出成分の集積がこの部分に異常に高いことが考えられる。

そこで容積密度数に対するホロセルロースおよびαセルロースの含有量の相関係数、回帰式およびその残差の標準誤差を求めると表I-3-14のとおりである。なお、回帰係数の有意性の検定は表I-3-15に示すとおりである。

Table I-3-14 Regression equations and correlation coefficients between bulk density and cellulose contents.

Division	Correlation coefficient	Regression equation	Standard errors of residuals (%)
Hollocellulose (A)	0.7859	$Y=0.4009X_a+150.23$	19.56
" (B)	0.9624	$Y=0.6529X_b+47.73$	8.59
α-cellulose(A)	0.6803	$Y=0.2959X_a+78.31$	19.76
" (B)	0.9131	$Y=0.5282X_b-17.57$	10.99

X_a: Bulk density(A).

X_b: Bulk density(B).

Table I-3-15 Test of significance of regression coefficients.

Division	b	S _b	t
Hollocellulose(A)	0.4009	0.0631	6.35***
" (B)	0.6529	0.0369	17.69***
α-cellulose (A)	0.2959	0.0637	4.65***
" (B)	0.5282	0.0472	11.19***

***: Significant at the 0.01 level

$$S_b = \frac{S_{yy}}{\sqrt{S^2_{xx}}}, t = b/S_b$$

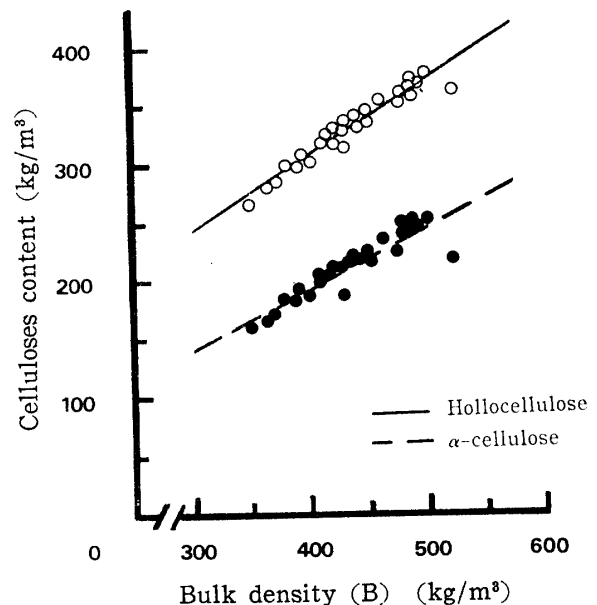


Fig. I-3-14 Relation between bulk density (B) and celluloses contents.

Table I-3-16 Distribution of bulk density, hollocellulose and α -cellulose contents in the stem. (kg/m³)

Relative height of cross section	Annual rings											
	Division	1~5	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31~35	36~40	41~45	46~50	51~55
0	Bulk density (A)	645.01 (14.20)	651.40 (12.72)	585.91 (12.35)	556.11 (14.48)	510.88 (5.88)	485.18 (6.52)	482.82 (7.61)	484.88 (8.06)	499.62 (6.98)	513.07 (6.41)	528.69 (7.59)
	" (B)	491.91 (13.31)	520.91 (8.66)	483.87 (9.10)	483.26 (9.47)	486.56 (3.95)	474.39 (5.76)	471.64 (6.85)	473.70 (7.67)	475.32 (9.50)	500.89 (5.63)	521.52 (7.28)
	Hollocellulose	324.94 (15.09)	354.20 (9.94)	335.20 (10.96)	345.38 (9.94)	359.37 (4.85)	357.18 (6.26)	356.11 (6.98)	357.82 (7.28)	371.71 (6.35)	378.37 (5.39)	394.37 (7.99)
	α -cellulose	190.34 (15.70)	213.27 (10.10)	209.29 (11.94)	216.74 (11.92)	235.56 (4.23)	239.53 (6.19)	236.80 (7.05)	239.61 (8.25)	248.42 (6.85)	253.60 (6.41)	264.44 (9.47)
$\frac{1}{10}$	Bulk density (A)	492.51 (9.01)	492.51 (9.01)	511.24 (7.47)	502.33 (7.64)	470.30 (3.65)	464.03 (3.50)	461.47 (5.05)	466.54 (7.41)	475.32 (9.50)	481.40 (8.86)	504.40 (5.95)
	" (B)	430.97 (7.22)	430.97 (7.22)	451.56 (5.45)	451.05 (5.33)	455.16 (3.93)	453.85 (3.30)	451.70 (4.31)	457.82 (7.34)	468.45 (10.08)	476.24 (8.96)	499.28 (6.16)
	Hollocellulose	296.09 (7.74)	296.09 (7.74)	316.49 (7.39)	319.77 (6.64)	341.08 (4.49)	345.39 (4.53)	341.57 (4.86)	340.63 (8.18)	358.88 (11.24)	365.02 (9.83)	377.79 (6.68)
	α -cellulose	182.98 (7.42)	182.98 (7.42)	199.60 (8.52)	203.31 (6.43)	225.59 (5.21)	225.52 (5.77)	221.06 (5.69)	225.74 (7.99)	234.89 (12.84)	245.39 (10.95)	255.47 (7.42)
$\frac{3}{10}$	Bulk density (A)			437.23 (8.34)	446.38 (3.32)	430.03 (2.70)	415.97 (2.96)	416.63 (4.45)	438.70 (5.83)	441.74 (8.23)	444.55 (7.70)	
	" (B)			412.41 (8.48)	424.32 (5.48)	416.99 (3.81)	406.88 (4.28)	408.73 (5.64)	432.04 (7.17)	434.62 (8.96)	437.43 (8.20)	
	Hollocellulose			291.40 (9.87)	305.52 (6.77)	307.53 (5.71)	301.96 (7.18)	307.56 (8.58)	328.89 (7.40)	334.28 (8.95)	332.94 (8.82)	
	α -cellulose			174.69 (13.23)	190.84 (8.33)	195.22 (8.09)	197.00 (8.93)	200.18 (10.46)	215.21 (9.74)	218.47 (10.88)	217.59 (9.76)	
$\frac{5}{10}$	Bulk density (A)				428.31 (11.64)	397.05 (6.11)	405.80 (4.86)	415.16 (3.43)	437.56 (4.56)	443.46 (5.23)	439.57 (8.24)	
	" (B)				407.19 (5.08)	383.67 (6.95)	386.47 (5.77)	403.24 (4.52)	424.97 (4.60)	431.19 (5.99)	429.65 (8.78)	
	Hollocellulose				304.93 (5.33)	288.87 (8.00)	299.07 (5.47)	311.24 (5.23)	327.08 (5.52)	328.11 (6.36)	322.04 (8.54)	
	α -cellulose				185.06 (6.60)	180.07 (9.32)	189.90 (5.89)	193.50 (6.59)	205.53 (5.67)	205.84 (6.71)	202.08 (8.85)	
$\frac{7}{10}$	Bulk density (A)							426.37 (7.77)	420.82 (5.45)	421.65 (5.55)	435.16 (6.24)	
	" (B)							409.78 (8.38)	410.27 (5.34)	410.89 (4.63)	426.06 (6.45)	
	Hollocellulose							308.07 (10.88)	313.14 (6.96)	312.11 (5.15)	323.94 (6.17)	
	α -cellulose							183.62 (13.86)	189.56 (11.61)	190.53 (7.02)	201.75 (6.64)	
$\frac{9}{10}$	Bulk density (A)								426.68 (9.53)	426.68 (9.53)	440.88 (9.56)	
	" (B)								416.64 (9.41)	416.64 (9.41)	431.10 (9.54)	
	Hollocellulose								316.52 (9.07)	316.52 (9.07)	324.55 (8.63)	
	α -cellulose								175.74 (8.27)	175.74 (8.27)	187.69 (8.14)	

() : Coefficient of variation in percent. Bulk density(B) : Deresinous bulk density which extracted with alcohol-benzene solution.

以上の結果から、アルコール・ベンゼン抽出成分を差引いた容積密度数(B)に対するホロセルロースおよびαセルロース含有量の相関関係はかなり高く、回帰式の残差の標準誤差も小さいことから判断して容積密度数(B)を独立変数とするホロセルロースおよびαセルロースの回帰推定は可能であろう。

3) 老 齡 木

壮齢木につづいて60年前後の老齢木を対象として、その樹幹内における容積密度数と、単位容積当りのホロセルロースおよびαセルロース含有量の変動の傾向ならびにその変動の大きさなどについて、幼・壮齢木と同様の検討を行なった。

供試木は資料番号21~25番のを用いた。樹幹解析については壮齢木の場合と同様に、相対樹高によって区分計算し、重量測定およびセルロースの定量に用いる供試木の標本採取位置も図I-3-8と同様の方法によって定められた。

単木樹幹の各断面高別、齡階別について求めた5本の平均容積密度数および単位容積当りの平均ホロセル

ロース、αセルロース含有量と、同位置の個体間における変動係数は表I-3-16に示すとおりである。また、容積密度数をはじめ単位容積当りのセルロース含有量の樹幹内の変動を図示したものは図I-3-15, 16, 17に示すとおりである。

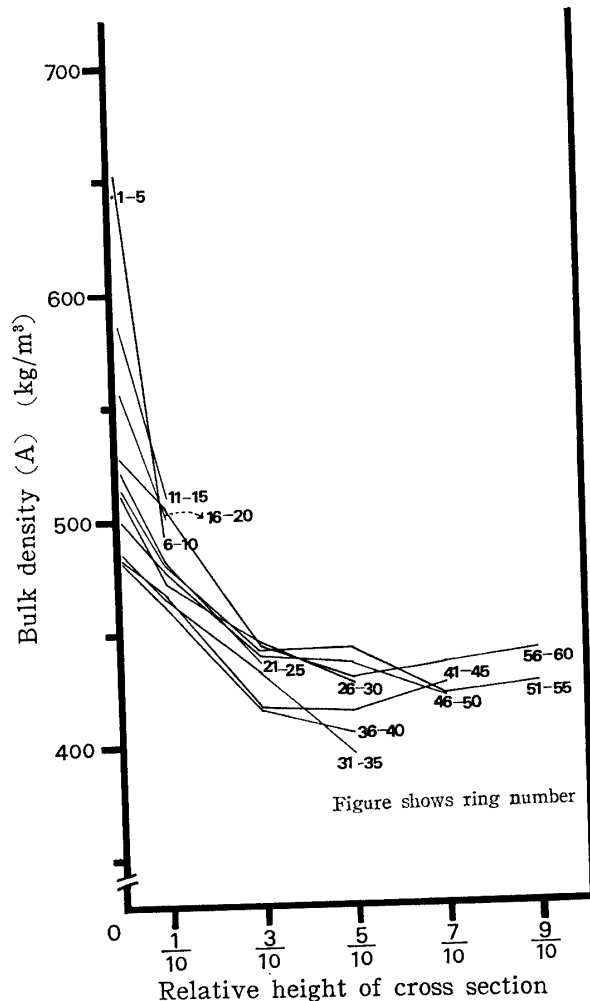


Fig. I-3-15 Variation of bulk density (A) in a stem.

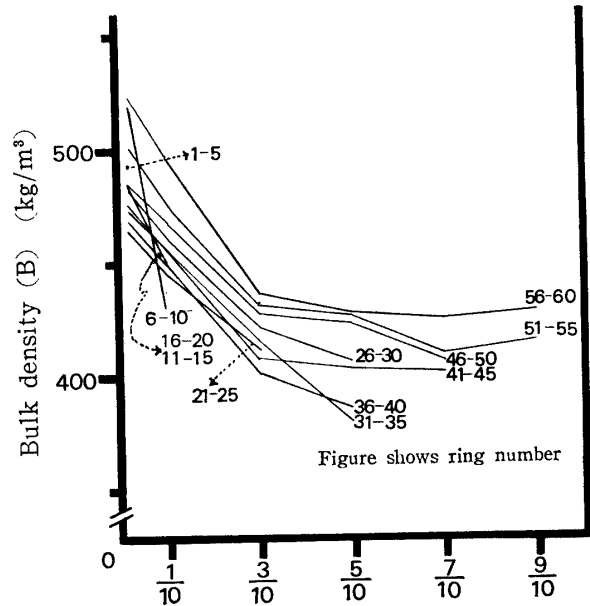


Fig. I-3-16 Variation of bulk density (B) in a stem.

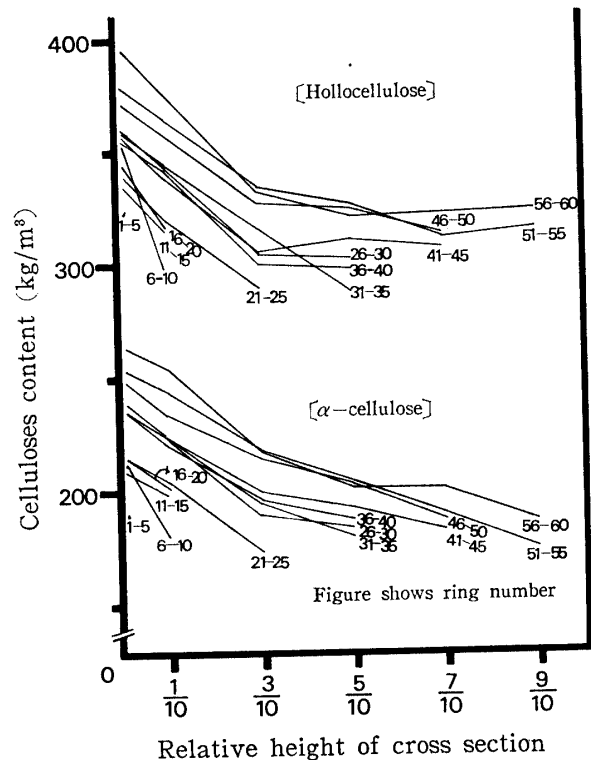


Fig. I-3-17 Variation of celluloses contents in a stem.

Table I-3-17 Mean percentage of hollocellulose and α -cellulose contents to bulk density. (%)

Relative height of cross section	Annual rings													
	Division	1 ~ 5	6 ~ 10	11 ~ 15	16 ~ 20	21 ~ 25	26 ~ 30	31 ~ 35	36 ~ 40	41 ~ 45	46 ~ 50	51 ~ 55	56 ~ 60	
0	Hollocellulose (A)	50.31 (1.86)	54.64 (5.49)	57.64 (5.49)	62.78 (10.23)	65.93 (9.12)	70.56 (6.92)	73.66 (4.12)	73.86 (1.28)	73.86 (2.06)	74.44 (1.74)	73.82 (2.59)	74.57 (0.64)	
	" (B)	65.90 (2.10)	67.92 (2.42)	69.17 (2.28)	71.45 (1.33)	72.19 (1.89)	73.86 (2.65)	75.29 (1.83)	75.51 (1.54)	75.57 (1.54)	76.49 (1.05)	75.56 (1.49)	75.58 (0.80)	
	α -cellulose (A)	29.45 (2.66)	32.95 (8.21)	35.93 (10.07)	39.44 (13.18)	41.95 (10.26)	46.05 (6.45)	49.40 (2.59)	49.08 (2.11)	49.44 (3.16)	49.74 (2.64)	49.45 (2.83)	49.45 (2.55)	
	" (B)	38.58 (3.45)	40.90 (3.14)	43.15 (2.76)	44.77 (4.61)	45.90 (3.40)	48.22 (2.34)	50.49 (1.94)	50.22 (2.33)	50.58 (2.77)	51.09 (1.97)	50.62 (1.90)	50.63 (2.52)	
$\frac{1}{10}$	Hollocellulose (A)	60.15 (5.61)	62.07 (7.61)	63.75 (3.46)	68.75 (3.46)	66.62 (2.49)	72.52 (2.31)	74.44 (3.20)	74.06 (3.17)	73.01 (3.17)	75.39 (3.03)	75.77 (1.71)	74.87 (1.17)	
	" (B)	68.70 (2.46)	70.65 (2.94)	70.86 (2.41)	74.92 (2.29)	71.72 (2.29)	74.92 (0.88)	76.08 (1.76)	75.62 (2.28)	74.39 (2.80)	76.51 (2.02)	76.60 (1.41)	75.65 (1.12)	
$\frac{3}{10}$	α -cellulose (A)	37.31 (7.73)	39.19 (10.13)	42.73 (6.46)	40.61 (6.46)	42.73 (4.88)	47.99 (4.75)	48.62 (5.08)	47.96 (5.26)	48.41 (3.94)	49.31 (5.08)	50.90 (3.24)	50.64 (4.12)	
	" (B)	42.51 (5.32)	44.19 (6.10)	45.09 (3.98)	45.09 (3.98)	45.98 (3.55)	49.55 (2.75)	49.67 (3.62)	48.95 (4.33)	49.32 (3.34)	50.03 (4.08)	51.45 (2.99)	51.17 (4.20)	
$\frac{5}{10}$	Hollocellulose (A)					66.71 (6.57)	68.44 (5.82)	71.51 (4.78)	72.52 (4.95)	73.67 (4.20)	74.91 (2.24)	75.66 (2.65)	74.84 (1.93)	
	" (B)					70.58 (2.43)	71.97 (2.93)	73.71 (2.69)	74.13 (3.28)	75.14 (3.23)	76.13 (1.68)	76.93 (2.26)	76.08 (1.28)	
$\frac{7}{10}$	α -cellulose (A)					39.96 (10.17)	42.75 (7.46)	45.37 (6.62)	47.29 (6.62)	47.93 (6.10)	48.95 (4.06)	49.40 (5.18)	48.89 (3.53)	
	" (B)					42.22 (6.45)	44.94 (4.91)	46.76 (4.95)	48.34 (5.32)	48.86 (5.19)	49.74 (3.25)	50.23 (4.62)	49.70 (3.22)	
$\frac{9}{10}$	Hollocellulose (A)						71.80 (8.53)	72.77 (5.49)	73.70 (2.84)	74.93 (2.60)	74.75 (2.93)	73.97 (2.96)	73.28 (2.99)	
	" (B)						74.92 (3.62)	75.26 (2.76)	76.19 (2.55)	77.17 (1.99)	76.95 (1.98)	76.10 (2.73)	74.98 (1.69)	
$\frac{9}{10}$	α -cellulose (A)						43.64 (10.64)	45.36 (7.24)	46.80 (3.45)	46.57 (4.17)	46.97 (2.92)	46.41 (4.16)	46.03 (5.57)	
	" (B)						45.49 (6.08)	46.89 (4.70)	48.41 (3.60)	47.95 (3.20)	48.35 (1.97)	47.75 (3.82)	47.08 (4.16)	
$\frac{9}{10}$	Hollocellulose (A)										74.36 (2.56)	74.05 (1.98)	74.45 (1.65)	
	" (B)										76.27 (2.51)	75.96 (2.36)	76.06 (2.06)	
$\frac{9}{10}$	α -cellulose (A)										44.92 (7.44)	45.18 (4.12)	46.37 (3.11)	
	" (B)										46.07 (5.98)	46.35 (4.75)	47.38 (4.10)	
$\frac{9}{10}$	Hollocellulose (A)											74.23 (2.96)	73.70 (3.18)	
	" (B)											76.12 (3.04)	75.37 (3.07)	
$\frac{9}{10}$	α -cellulose (A)											41.28 (5.52)	42.68 (5.82)	
	" (B)											42.27 (5.53)	43.65 (5.88)	

() : Coefficient of variation in per cent. Bulk density(B) : Deresinous bulk density which extracted with alcohol-benzene solution.

表 I-3-16 から各断面における半径方向の変動の傾向についてみると、とくに容積密度数は心材部および心材部から辺材部への移行する部分においても異常に高くなっているため、すでに明らかとなっているアカマツの基本的配列型とはかなりちがったものになっている。しかしながら、アルコール・ベンゼン処理によって脱脂した場合の容積密度数(B)やホロセルロースおよび α セルロース含有量の変動の型をみると従来の樹心部から辺材部に向かうにしたがって高くなるという配列型に変わりはないようである。樹幹の垂直方向における変動についても容積密度数(A)は樹幹下部の樹心部が異常に高いため従来の基本配列型からかなりちがった型になっているが、アルコール・ベンゼン処理によって脱脂した場合の容積密度数(B)やホロセルロースおよび α セルロースをみると根元から梢端に向かうにしたがって次第に低くなるという幼・壮齢木にみられた変動の配列型がやはり存在することは明らかである。

樹幹内各部位における同位置の個体間の変動係数において、10%を越える部分がかかなり増えてはいるが、最高を示したのは幼・壮齢木の場合と同じく、 α セルロースにおける根元の樹心部での15.70%であった。

つぎに、ホロセルロースおよび α セルロースの容積密度数(A)、(B)に対する重量百分率を計算し、検討を加えた。

その結果は表 I-3-17に示すとおりである。また、その含有率の一様性について個体相互間および個体内部の位置による分散分析の結果は表 I-3-18、表 I-3-19、表 I-3-20および表 I-3-21に示すとおりである。また、ホロセルロースおよび α セルロースの容積密度数に対する重量百分率の樹幹内の変動の様態を図示したものは図 I-3-18および図 I-3-19である。

表 I-3-17からわかるように、ホロセルロース、 α セルロースとも25年を境としてそれ以下の容積密度数に対する含有率が特に低いことが注目される。そしてホロセルロースの25年以上の年齢についてはどの断

Table I-3-18 Analysis of variance of hollocellulose(A) contents.

Factor	S. S.	d. f.	M. S.	F ₀
Trees	7768.8300	4	1942.2075	227.5687***
Positions	628.9679	43	14.6272	1.7139*
Error	1467.9514	172	8.5346	
Total	9865.7493	219	$\bar{X}=70.80(\%)$ c.v.=9.46(%)	

Table I-3-19 Analysis of variance of the ratio of hollocellulose(B) contents.

Factor	S. S.	d. f.	M. S.	F ₀
Trees	1544.5294	4	386.1324	150.6388***
Positions	232.2166	43	5.4404	2.1068**
Error	440.8924	172	2.5633	
Total	2217.6384	219	$\bar{X}=74.25(\%)$ c.v.=4.28(%)	

Table I-3-20 Analysis of variance of α -cellulose(A) contents.

Factor	S. S.	d. f.	M. S.	F ₀
Trees	5062.2550	4	1265.5638	228.1449***
Positions	608.2610	43	14.1456	2.5500**
Error	954.1173	172	5.5472	
Total	6624.6333	219	$\bar{X}=45.05(\%)$ c.v.=12.18(%)	

Table I-3-21 Analysis of variance of α -cellulose(B) contents.

Factor	S. S.	d. f.	M. S.	F ₀
Trees	2077.6427	4	519.4107	183.4272***
Positions	357.9312	43	8.3240	2.9396**
Error	487.0523	172	2.8317	
Total	2922.6262	219	$\bar{X}=47.18(\%)$ c.v.=7.73(%)	

*** Significant at the 0.1% level

** Significant at the 1% level

* Significant at the 5% level

面高もおおむね一定の含有率を示すのに対して、 α セルロースの方は断面高が上るにしたがって減少している傾向を示している。この傾向は壮・老齢木に共通して確認されるものであるが、壮齢木において顕著でなかったこれらの特徴が老齢木において強調されているようにみえる。すなわち、壮齢木においては最内層の5年輪までの含有率が特に離れて低かったわけであるが、老齢木においては25年輪のところまでの含有率が一段と低い。これはセルロース等の化学的変化によるものではなく、壮齢木に比べて心材域は半径方向へさらに拡がり、その領域にアルコール・ベンゼン抽出物の集積が進行した結果、容積密度数を大きくしていることによるものと思われる。さらに表 I-3-18、表 I-3-19、I-3-20および表 I-3-21に示されるように、個体間、個体内部の位置の間のいずれにも有意差がみられ、供試木相互間にも、また樹幹内部における断面高

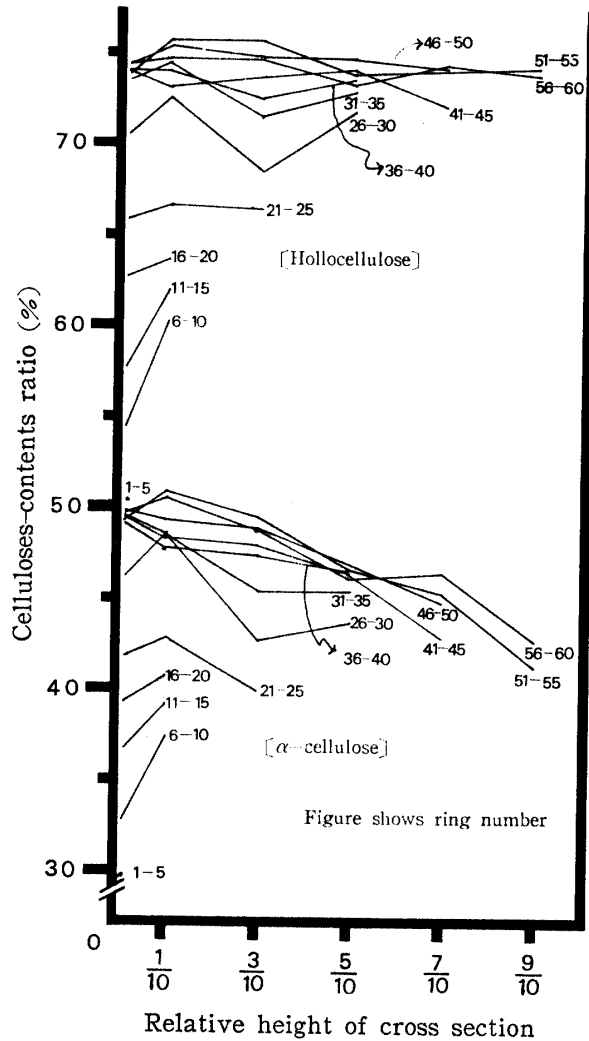


Fig. I-3-18 Variation of celluloses-contents ratio (A).

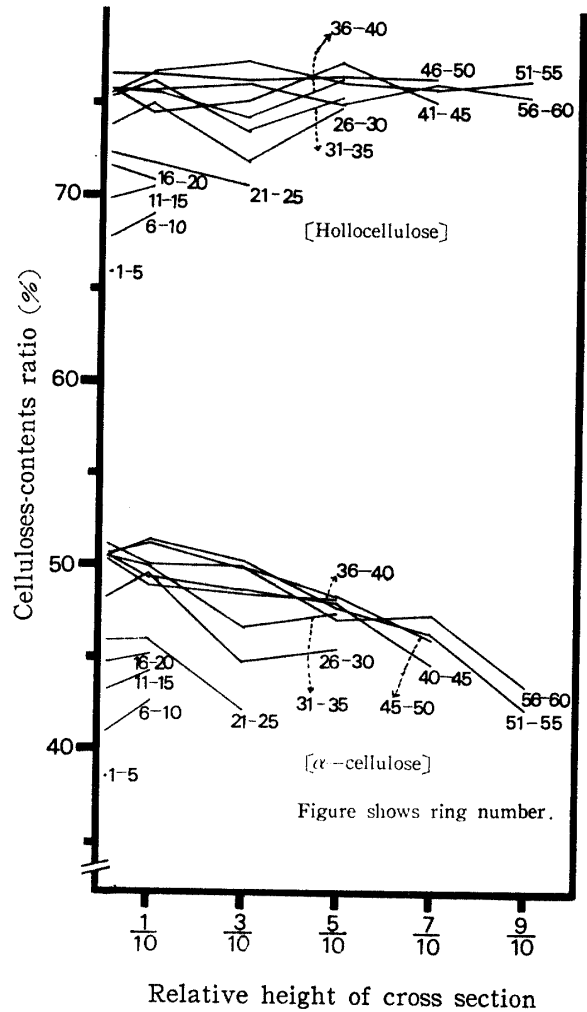


Fig. I-3-19 Variation of celluloses-contents ratio (B).

および年輪階においても一様でないことが確認されたわけである。

しかしながら、樹幹全体における変動係数も小さく、樹幹における半径方向、垂直方向の変動の傾向は容積密度数、ホロセルロースおよびαセルロースの三者ともおおむね同様のパターンを示していることからそれぞれの間に相関関係があることがうかがえる。そ

こで容積密度数とホロセルロースの含有量およびαセルロースの含有量の相関係数、回帰式およびその残差の標準誤差を求めたものは表I-3-22に示されるとおりであり、回帰式について図示したものは図I-3-20に示されるとおりである。

なお、回帰係数の有意性の検定は表I-3-23に示すとおりである。

Table I-3-22 Regression equations and correlation coefficients between bulk density and cellulose contents.

Division	Correlation Coefficient	Regression equation	Standasd error of residuals
Hollocellulose (A)	0.5132	$Y=0.2285X_a+223.59$	21.98
" (B)	0.8782	$Y=0.6335X_b+ 48.89$	12.25
α-cellulose (A)	0.3682	$Y=0.1510X_a+139.77$	21.92
" (B)	0.7831	$Y=0.5202X_b- 21.25$	14.66

X_a : Bulk density(A).

X_b : Bulk density(B).

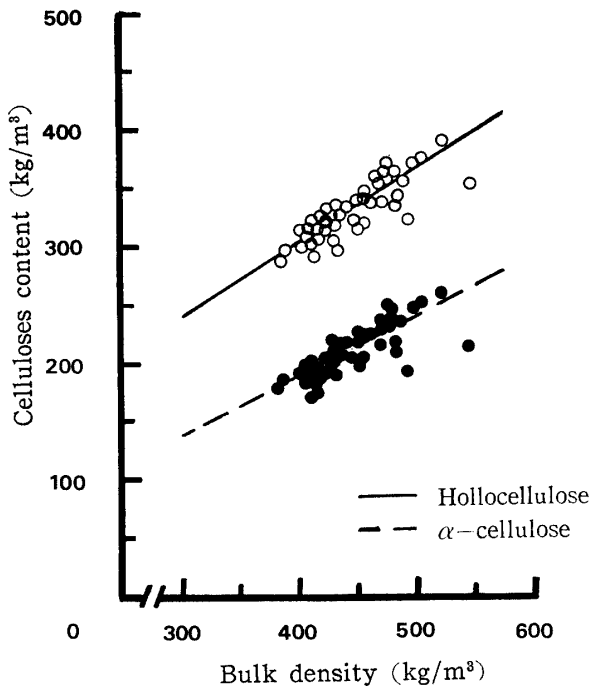


Fig. I-3-20 Relation between bulk density(B) and celluloses content.

Table I-3-23 Test of significance of regression coefficients.

Division	b	s _b	t
Hollocellulose (A)	0.2285	0.0590	3.8729***
" (B)	0.6335	0.0532	11.9079***
α-cellulose (A)	0.1510	0.0588	2.5690*
" (B)	0.5202	0.0637	8.1664***

$$s_b = \frac{S_{yx}}{\sqrt{S^2_{xx}}}, t = b/s_b$$

*** Significant at the 0.1% level

* Significant at the 5% level

表 I-3-22 における未処理の容積密度数に対する相関係数はホロセルロース、αセルロースとも小さい。これではこの関係を回帰推定に用いることには無理がある。したがって、アルコール・ベンゼン処理したものにに基づく回帰推定なら有用性がある。

4. 単木樹幹における標準容積密度数および標準セルロース含有量

1) 標準容積密度数ならびに標準セルロース含有量の測定結果およびその検討

容積密度数、セルロース含有量ともに幹の内部において変動があり、また木によっても差がある。また、年齢とともにアルコール・ベンゼン抽出物等の集積が考えられるので、樹幹解析によって容積密度数、セル

ロース含有量等の年齢による変化を求めることには無理がある。したがって、幹全体としての重量、セルロース生産量の生長を明らかにするために単木の材積にかけることによって、直ちにその木の乾重量、セルロース量が求められるような容積密度数、セルロース含有量の標準値を求めることが必要である。この標準値をそれぞれ標準容積密度数、標準セルロース含有量と呼ぶ。本節ではこの標準量について考察する。

(1) 標本木の抽出と測定

標本供試木は表 I-1-1 の全資料25本を用いた。これらの供試木について樹幹解析によって材積を求めるとともに、解析木の各円盤について年輪による齢階別供試片の容積密度数、ホロセルロースおよびαセルロースを測定し、これらに対応する部分の材積にかけ合わせ、樹幹全体について合計し、単木樹幹における総幹重量、総ホロセルロースおよびαセルロース量を求めた。さらに、これらの総量を幹材積で割って、幹全体についてのそれらの総平均すなわち単木における単位容積当りの平均量を求めた。

これは容積密度数、ホロセルロースおよびαセルロース含有量を樹幹内各部分の材積によって加重平均したことになり、単木の材積にかけることによって単木の乾重量およびセルロース量を求めることができる。したがって、これら幹全体についての総平均値を単木の標準容積密度数、標準ホロセルロース含有量および

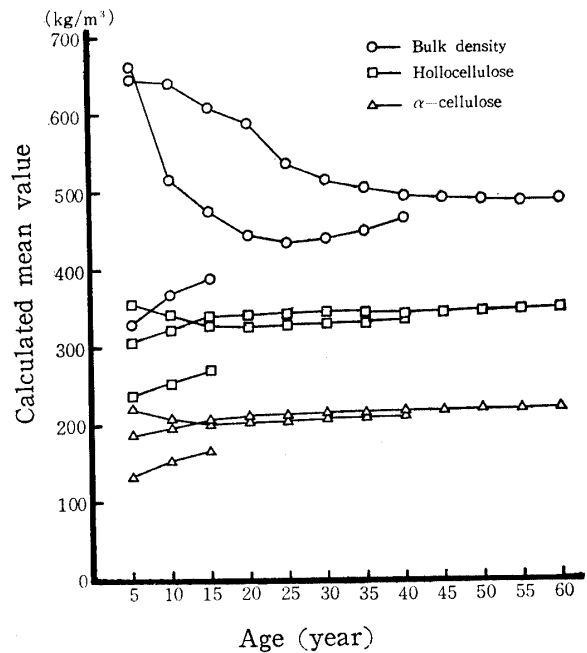


Fig. I-4-1 Transition of mean values of bulk density and cellulose contents which were calculated based on the stem analysis data by age grade of sample trees.

Table I-4-1 The standard contents and the total productivities of each sample trees.

No.	Age	D·b·h (cm)	Height (m)	Stem volume without bark (m ³)	Standard contents(kg/m ³)			Total weight increment and total contents of celluloses.(kg)		
					Bulk density	Hollo- cellulose	α- cellulose	Dry weight	Hollo- cellulose	α- cellulose
1	10	4.5	4.20	0.00335	363.582	206.567	132.537	1.218	0.692	0.444
2	10	6.0	5.87	0.01037	348.023	247.541	149.373	3.609	2.567	1.549
3	10	4.3	4.70	0.00378	370.370	256.085	147.090	1.400	0.968	0.556
4	10	5.2	4.70	0.00506	364.032	266.008	164.822	1.842	1.346	0.834
5	10	4.3	4.70	0.00385	375.065	274.545	164.156	1.444	1.057	0.632
6	13	6.2	6.20	0.00932	384.013	227.468	146.352	3.579	2.120	1.364
7	12	8.4	6.60	0.01934	374.871	274.199	160.703	7.250	5.303	3.108
8	14	7.7	6.20	0.01487	380.901	261.197	153.867	5.664	3.884	2.288
9	13	7.7	6.10	0.01534	392.438	282.790	171.512	6.020	4.338	2.631
10	14	8.3	6.00	0.01700	392.176	286.412	170.353	6.667	4.869	2.896
11	30	12.1	7.43	0.04410	449.546	312.789	193.651	19.825	13.794	8.540
12	30	10.8	8.55	0.04015	429.489	319.875	204.035	17.244	12.843	8.192
13	30	14.0	8.85	0.06756	441.519	344.568	221.877	29.829	23.279	14.990
14	30	10.0	8.81	0.03684	451.493	350.543	223.290	16.633	12.914	8.226
15	30	11.2	8.21	0.05322	429.030	328.899	212.420	22.833	17.504	11.305
16	40	12.7	10.20	0.08005	448.919	309.457	197.502	35.936	24.772	15.810
17	39	18.0	11.29	0.09359	477.893	360.156	228.123	44.726	33.707	21.350
18	38	20.0	10.80	0.14064	450.619	353.477	228.150	63.375	49.713	32.087
19	38	16.0	11.30	0.08117	532.253	369.299	238.253	43.203	29.976	19.339
20	40	18.0	12.08	0.13585	427.162	331.336	213.581	58.030	45.012	29.015
21	60	17.0	10.35	0.11122	503.650	353.704	223.809	56.016	39.339	24.892
22	59	17.0	8.80	0.07133	507.206	344.343	219.010	36.179	24.562	15.622
23	60	18.0	10.50	0.11491	467.975	329.179	209.799	53.775	37.826	24.108
24	61	16.0	10.40	0.09050	472.095	344.401	217.106	42.583	31.065	19.583
25	62	21.0	11.50	0.14822	526.520	382.117	247.023	75.345	54.681	35.349

標準αセルロース含有量とする。標本木の標準値および重量での総量は表I-4-1に示すとおりである。

(2) 単木樹幹の齢階を追って求めた容積密度数およびセルロース含有量の積算平均

はじめに年齢にともなう単木の標準容積密度数および標準セルロース含有量の変化を知るために樹幹解析資料に基づいて5年ごとの積算平均値を算出し、その推移を調べた。

供試木は資料番号6~10, 16~20および21~25番の幼・壮・老齢木それぞれ5本を用いた。各齢階別、5年ごとの積算平均値を供試木5本について平均した値は表I-4-2に示すとおりである。さらにこれらを齢階別に年齢を結んで単木の解析結果による経時変化として図I-4-1に示した。

壮・老齢木のアルコール・ベンゼン未処理の積算平均容積密度数は15~25年までは異常に高い値をみせるが、年齢の増加にしたがって安定化の傾向を示している。それにくらべ、ホロセルロースおよびαセルロー

スの標準含有量は15年以後はほとんど変化を示さないことがうかがえる。なお、壮・老齢木の15~25年までの部分は、年齢とともに樹脂分などの集積が進み、局部的に容積密度数が高くなったものと考えられる。

(3) 年齢にともなう標準容積密度数および標準セルロース含有量の変化

前節に得た幼・壮・老齢木それぞれの最高の齢階における積算平均容積密度数はとりまなおさず、幼齢・壮齢・老齢の各個体における標準容積密度数である。これを年齢に対してプロットして得られる曲線は一つの生長過程を表わすことになる。しかしながら、この曲線に用いられたデータはあまりにも少なく、仮りに表I-4-1の全供試木のデータを用いたとしても、その年齢分布が一樣でないために経時変化を追跡するうえに不十分な区間を残すことになる。この不十分を補うために、前節の幼・壮・老齢木の最高の齢階以外の齢階における積算平均容積密度数の中で抽出分の集積等の影響を受けることが比較的少なく、それぞれの年齢

Table I-4-2 Calculated mean values of bulk density and cellulose contents based on the analysis data by age grade of sample trees. (kg/m³)

Division	Age	Young					Thriftly					Old					Remark
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	Mean of sample trees No. 6-10	Mean of sample trees No. 16-20	Mean of sample trees No. 21-25	
Young	Bulk density	328.982	364.214	384.880													
	Hollocellulose	224.266	250.149	266.413													
	α-cellulose	132.345	151.596	160.557													
Thriftly	Bulk density	662.857	515.930	473.508	446.460	435.321	440.204	448.535	467.369								
	Hollocellulose	358.762	346.511	339.107	332.314	327.398	331.335	339.375	344.745								
	α-cellulose	223.457	210.198	206.791	209.580	207.430	211.055	217.577	221.122								
Old	Bulk density	647.274	642.145	607.466	585.770	531.370	518.071	506.500	495.903	491.727	488.290	488.655	495.489				
	Hollocellulose	306.042	320.696	340.444	343.257	342.831	345.538	342.423	339.795	339.983	344.867	345.428	350.749				
	α-cellulose	190.938	198.387	206.118	210.464	210.646	218.910	217.641	216.525	216.937	219.394	220.910	223.349				

における単木の標準容積密度数と考えられるものを追加して、できるだけなめらかな曲線が得られるようにした結果を示したものが図 I-4-2 の容積密度曲線である。この曲線を構成するための積算平均容積密度数としては、供試幼齡木の 5~15 年，壯齡木の 20~40 年，老齡木の 45~60 年の年輪区分に属するものが選ばれたこととなった。ホロセルロース含有量および α セルロース含有量の経時変化も同様の手法によって構成し、併せて図 I-4-2 に示した。

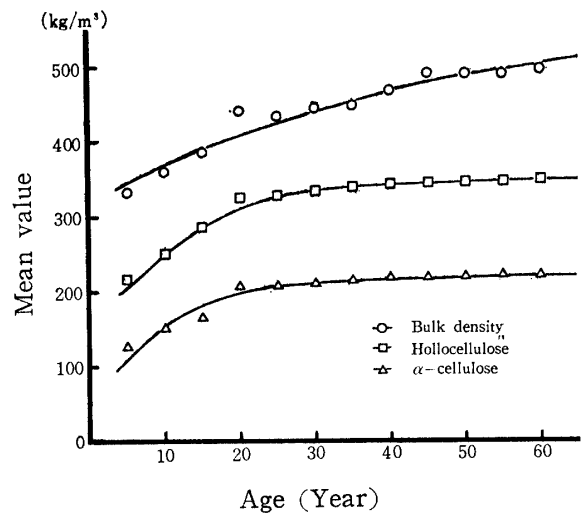


Fig. I-4-2 Time series variation of mean values of bulk density and cellulose contents, obtained from the analysis data of sample trees.

このように構成された経時変化について生長曲線式で表わすこととする。生長曲線式はある生長過程を時間の関数としてあらわそうとするものであり、生物学関係の諸分野において種々の生長曲線式が数多く発表されている。図 I-4-2 に示されるような容積密度数ならびにセルロース含有量の経時変化に適用しうのではないかと思われる生長曲線式をいくつかあげてみよう。

ミッチャーリッヒ式：

基本型 $Y = K(1 - e^{-at})$ ($k > 0, a > 0$)

一般型 $Y = K(1 - e^{-at})^n$ ($k > 0, a > 0, n \geq 2$)

ロジスチック曲線式：

基本型 $Y = \frac{K}{1 + me^{-at}}$ ($k > 0, m > 0, a > 0$)

一般型 $Y = \frac{K}{1 + me^{-\phi(t)}}$
 ($k > 0, m > 0, \phi(t) = a_0 + a_1 + a_2t^2 + \dots + a_mt^m$)

修正指数曲線式：

$Y = K - ab^t$ ($k > 0, a > 0, 0 < b < 1$)

ゴンパーツ曲線式：

$Y = Ka^b t^b$ ($k > 0, 0 < a < 1, 0 < b < 1$)

ただし Y:総生長量 K:最終到達量
 t:時間 e:自然対数の底
 $\phi(t)$:時間 t の関数
 m, n, a, b:係数

などが比較的適合性の高い曲線式としてあげられよう。^{26, 85, 56, 59, 63)}

まず、ミッチャーリッヒ式は基本型では変曲点はなく、一般型では変曲点がある。この曲線式は原点を通り $t \rightarrow +\infty$ のとき $Y=K$ の漸近線を持つ生長曲線をあらわす。

ロジスチック曲線式にも基本型ロジスチック曲線式と一般型ロジスチック曲線式の別がある。前者は $a > 0$ の場合適用が可能となり、 $t \rightarrow -\infty$ のとき $Y \rightarrow 0$ に収斂し、 $t \rightarrow +\infty$ のとき $Y \rightarrow K$ に収斂するシグモイド型の曲線である。この曲線の特徴は $t=0$ のとき $\frac{K}{1+m}$ を通り、変曲点の位置は $Y = \frac{K}{2}$ すなわち、最終到達量の中間に固定されている。したがって、この曲線式のあてはめはこの特徴に適合したものに限定されてくる。一般型ロジスチック曲線は基本型よりも柔軟性があり、変曲点の位置も固定されることはないが、t の関数 $\phi(t)$ を定めることが難しく、この点に適用の困難さがある。

また修正指数曲線式は $t=0$ のとき $K-a$ を通り、 $K > 0, a > 0, 0 < b < 1$ ならば $t \rightarrow +\infty$ で $Y=K$ となる変曲点のない単調増加曲線である。 $K=a$ のときは基本型ミッチャーリッヒ式に類似した曲線となる。

最後のゴンパーツ曲線式は $K > 0, 0 < a < 1, 0 < b < 1$ であれば $t \rightarrow +\infty$ のとき $Y \rightarrow K$ 、 $t \rightarrow -\infty$ のとき $Y \rightarrow 0$ となり、 $t=0$ のときは $Y=Ka (> 0)$ となる。また、変曲点は $t = -\frac{\log(-\log a)}{\log b}$ ($0 < a < 1, 0 < b < 1$) のとき $Y = \frac{K}{e}$ となるシグモイド曲線であり、基本型ロジスチック曲線のように変曲点に関して対称的でないことから柔軟性に富み適用範囲の広い曲線式である。

さて、容積密度数やセルロース含有量は一つの質を示す量であり、胸高直径、樹高、材積等とは異なる性質のものである。したがって $t \rightarrow 0$ においても 0 とはならず、また 0 で近似することもできない。このような理由からミッチャーリッヒ式は適用できない。

残る 4 式のうち、基本型ロジスチック曲線式は変曲点が固定化されてしまうことにより、一般型ロジスチック曲線式は適用が困難なことにより除外することとする。また修正指数曲線式は変曲点を持たない点を除けば問題はないが、もう一方のゴンパーツ曲線式に比べれば柔軟性や精度においてやや劣ることが実際に適用した結果認められた⁷¹⁾。したがって、生長経過の諸条件を全て満足するゴンパーツ曲線式がこの場合にお

いて、最も適合性の高いものと判断して、3 群法⁷²⁾によつて係数を求めた。その結果は (I-4-1) ~ (I-4-3) 式に示されるとおりである。

積算平均容積密度数:

$$\hat{Y}_t = 550.478(0.63100)^{0.86288t} \dots \dots \dots (I-4-1)$$

$$\eta_{t \cdot y} = 0.966$$

$$s = 14.661$$

積算平均ホロセルロース含有量:

$$\hat{Y}_t = 346.561(0.60749)^{0.58870t} \dots \dots \dots (I-4-2)$$

$$\eta_{t \cdot y} = 0.968$$

$$s = 11.446$$

積算平均 α セルロース含有量:

$$\hat{Y}_t = 220.765(0.53927)^{0.55806t} \dots \dots \dots (I-4-3)$$

$$\eta_{t \cdot y} = 0.963$$

$$s = 9.003$$

ただし t:年齢 $\eta_{t \cdot y}$:相関比 s:標準偏差

これらのいずれも図 I-4-2 に示されるように 15~20 年に少し偏差がみられる以外はよく適合していることがわかる。したがって、このゴンパーツ曲線式は実測された標準容積密度数、標準ホロセルロース含有量および標準 α セルロース含有量に対してもおそらくよく適合すると考えられる。そこで表 I-4-1 における年齢と標準容積密度数、ホロセルロースおよび α セルロースの標準含有量とのそれぞれの関係に対してこの曲線式を当てはめると結果は次のようになった。

標準容積密度数:

$$\hat{Y}_t = 524.627(0.64439)^{0.88267t} \dots \dots \dots (I-4-4)$$

$$\eta_{t \cdot y} = 0.924$$

$$s = 21.200$$

ホロセルロースの標準含有量:

$$\hat{Y}_t = 353.306(0.60379)^{0.67759t} \dots \dots \dots (I-4-5)$$

註) ゴンパーツ曲線式はそれを線型にすることが困難なため、係数の解法として最小自乗法によらず 3 群法を用いた。

3 群法は系列の項数を 3 の倍数 $N=3n$ に整理し、3 等分して各部分の系列の和をそれぞれ $\Sigma_1 Y, \Sigma_2 Y, \Sigma_3 Y$ として次の 3 元連立方程式の係数の解法によって求める。

$$b^n = \frac{\Sigma_3 Y - \Sigma_2 Y}{\Sigma_2 Y - \Sigma_1 Y} \quad a = (\Sigma_1 Y - \Sigma_2 Y) \frac{b-1}{(b^n-1)^2}$$

$$K = \frac{1}{n} \left\{ \Sigma_1 Y + a \left(\frac{b^n-1}{b-1} \right) \right\}$$

なお、その場合の相関比および標準偏差の計算方法は各実測値 (Y_i) とそれに対応する曲線式の値 (\hat{Y}_i) から次のように求めた。

$$\eta_{t \cdot y}^2 = \frac{S_y - S_{t \cdot y}}{S_y}, \quad s^2 = \frac{S_{t \cdot y}}{n-3}$$

ただし $S_{t \cdot y} = \Sigma (Y_i - \hat{Y}_i)^2$

$\eta_{t,y} = 0.900$
 $s = 21.101$
 α セルロースの標準含有量:
 $\hat{Y}_t = 225.253(0.55074)^{0.65685t} \dots \dots (I-4-6)$
 $\eta_{t,y} = 0.927$
 $s = 12.996$
 ただし t : 年齢 $\eta_{t,y}$: 相関比 s : 標準偏差
 さらに、これを図示すると図 I-4-3 のようになる。

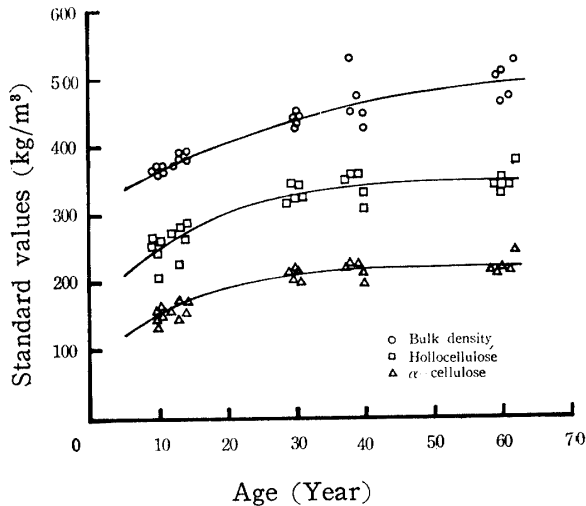


Fig. I-4-3 Time series variation of the standard bulk density and the standard contents of celluloses in single tree.

この場合もゴンパーツ曲線式はよく適合していることがわかる。これらの両関係図から明らかなように、標準容積密度数は比較的長い期間にわたって増加生長を続けているが、ホロセルロースおよび α セルロースの標準含有量は初期に急激な増加を見せ、20~25年以降は極くわずかしき増加せず、ほとんど一定の値をとるものであることがうかがえる。

針葉樹は10~15年以降は成熟期に入って、未成熟材部の割合がだんだん少なくなり、樹幹内の変動も安定化の傾向を示す。^{27,42,45,74} 図 I-4-2, 3 の関係図はこの傾向を実証するものであると同時に、また生長経過を推定する場合の有用な注目すべき結果であるといえる。

2) 単木樹幹における標準容積密度数および標準セルロース量をしめす位置

前項で述べたところの標準容積密度数、あるいはセルロースの標準含有量の推定方法は、煩雑であるうえに、立木に対しては適用できない。立木について、その重量あるいはセルロースの量を推定しようとするとき、あるいは林木の重量生産量およびセルロース生産量を推定しようとするときには、適当な位置から採取された生長錐片を用いて、標準容積密度数、標準セル

ロース含有量を推定する必要が生じてくる。したがって、立木の手の届く範囲内において、その木の標準容積密度数および標準セルロース含有量に充分近い値を示す部分が一般的に見出され得るならばはなはだ好都合である。したがって、本項ではこのような“代表的な位置”の存在を探ってみることにする。資料供試木は表 I-1-1 の資料番号 6~10, 16~20 および 21~25 番の幼・壮・老齢木それぞれ 5 本を用いた。

(1) 容積密度数およびセルロース含有量の標準値からの偏差率の垂直方向における変動

容積密度数およびセルロース含有量について各地上高における年輪区別の面積加重平均値を求め、その標準値からの偏りを標準値に対する百分率で示した。結果は表 I-4-3 に示すとおりである。なお表中の数字は 5 本の平均値であり、容積密度数はアルコール・ベンゼン抽出成分を含んだままの値である。

幼齢木では 2.2m の高さ (平均相対樹高は 35% に相当する) で容積密度数およびセルロースともそれぞれの標準値からの偏差率が最小となり、しかもその高さにおいて標準偏差が最小で最も安定していた。また、壮・老齢木においては容積密度数およびセルロースとも共通して、地上高 10% の樹高位で偏差率が最小となり、いずれも絶対値の 5% 以内であった。各階階を通じて垂直方向における傾向は容積密度数、セルロースとも根元が最も重く、断面高が上になるにしたがって軽くなり、梢端部ではやや重くなるものや、さらに軽くなるものなどばらつきが大きかった。

以上の検討によって、標準容積密度数および標準セルロース含有量を推定するためのサンプルを抽出すべき断面の高さとして、幼齢木では約 2m 附近、壮・老齢木では樹高の $\frac{1}{10}$ を選ばばよいことがわかる。その意味でこれを標準断面と呼ぶことにする。

(2) 容積密度数およびセルロース含有量の標準値からの偏差率の標準断面における半径方向の変動

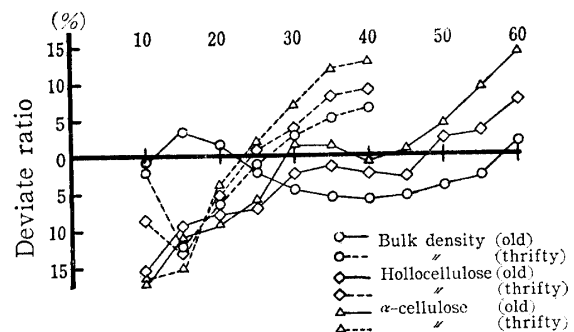


Fig. I-4-4 Variation of deviate ratio from the standard value in representative cross-section.

Table I-4-3. The deviation rate for the standard value by age class and cross section. (%)

Height of cross section (m)	Young trees			Relative height (%)	Thrifty trees			Old trees		
	Bulk density	Hollo cellulose	α -cellulose		Bulk density	Hollo cellulose	α -cellulose	Bulk density	Hollo cellulose	α -cellulose
0	+5.58(3.82)	+7.10(3.67)	+9.70(4.80)	0	+6.67(4.02)	+4.86(3.44)	+8.78(5.45)	+3.93(2.57)	+2.93(3.14)	+6.03(4.74)
1.2	+4.14(2.21)	+5.96(4.11)	+6.69(3.85)	10	+0.87(2.47)	+2.95(2.62)	+4.72(3.92)	-3.04(2.33)	-2.03(1.27)	+0.65(1.80)
2.2	+0.91(0.84)	+0.36(1.83)	+0.06(1.13)	30	-8.18(5.94)	-5.26(5.65)	-5.43(6.06)	-12.29(3.11)	-11.01(2.37)	-10.75(2.97)
3.2	-2.32(2.18)	-4.70(4.03)	-6.56(3.40)	50	-9.42(6.03)	-8.20(3.29)	-9.00(4.11)	-14.52(4.19)	-10.41(39.2)	-11.70(4.18)
4.2	-3.00(2.88)	-5.05(5.41)	-10.43(8.50)	70	-11.30(7.36)	-9.63(3.19)	-12.06(4.20)	-14.52(7.13)	-9.21(4.13)	-12.74(5.21)
5.2	-2.63(4.61)	-1.34(4.23)	-7.66(6.23)	90	-20.57(5.24)	-17.89(3.80)	-24.16(3.82)	-12.46(5.59)	-8.18(3.40)	-17.83(4.33)

() : Standard deviation

Table I-4-4. Relation between the standard value and the value which obtained from the representative cross section.

Division	Correlation coefficient r	Regression equation	Standard error of residuals $S_{y\cdot x}$	Test of constant $\alpha=0$ and coefficient $\beta=1$			
				Sa	Sb	t_a t_b	
Bulk density of every age-class	0.9207	$Y = 1.0670X - 26.79$	22.6196	53.3226	0.1278	0.467	0.621
Hollocellulose of every age-class	0.9554	$Y = 0.8865X + 34.78$	13.7788	24.7660	0.0760	1.404	1.493
α -cellulose of every age-class	0.9663	$Y = 0.8449X + 27.80$	8.7375	13.0495	0.0625	2.130	2.482*

where Y : standard value

X : value of representative cross section

* Significant at the 5% level

$$S_a = S_{y\cdot x} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\bar{X}^2}{\sum (X_i - \bar{X})^2}}$$

$$t_a = \frac{a - \alpha_0}{S_a}$$

$$S_b = \sqrt{\frac{S_{y\cdot x}}{\sum (X_i - \bar{X})^2}}$$

$$t_b = \frac{b - \beta_1}{S_b}$$

標準断面における半径方向の変動を確かめておくことは、生長錐を用いて標本としての錐片を抽出する場合は、生長錐を入れる深さに関連して重要である。この場合、直径の小さな幼齢木は現実には問題にならないので、ここでは壮・老齢木の標準断面について齢階別平均重量の標準値に対する変動を検討してみることにした。結果は図 I-4-4 に示すとおりである。

すなわち、この断面における最外層の10年輪は標準値よりも重く、また最内層より10年輪のところは軽くなっており、全体として内側から外側に向かって漸増傾斜を示している。ところが樹心部にあたる容積密度数は逆に重くなって標準値に近い値を示しているが、この部分には抽出成分の集積が考えられるので変動は大きいと思われる。したがって、生長錐を用いる場合には、最外層の10年輪と心材部とをさけた辺材部の安定している部分より試片をとるべきである。

標準断面において測定値の偏差率の小さいこの部分を標準帯と名付けることにする。さらに、この方法の実用性の有無について検討するため、単木の標準値と標準帯における値の関係について図示すると図 I-4-5 のとおりである。

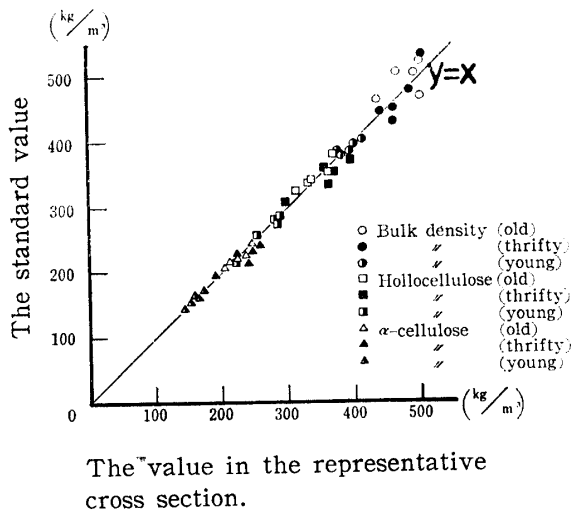


Fig. I-4-5 Relation between the standard value and the value in the representative cross section.

両者の間には当然高い相関が認められるから、むしろ適用性の判別は両者の回帰式を求め、その回帰式の常数が0、係数が1という条件を検定することが重要であろう。そこで、仮説：母集団の回帰常数 $\alpha=0$ 、回帰係数 $\beta=1$ であるとして t 検定を行なった。結果は表 I-4-4 に示すとおりで、 α セルロースの回帰係数以外の有意差は認められず、仮説は棄却されない。また α セルロースの t_b の値もそう大きくはない。した

がって、標準帯からの資料を用いることによって標準値の推定は可能である。

5. 要 約

林木の重量およびセルロース生産量を明らかにするため、まず単木の容積密度数およびセルロース含有量の樹幹内における変動の状態を明らかにし、ついで標準容積密度数および標準セルロース含有量の概念を導入して、それらの生長関係を明らかにするとともに、資料採取の必要上、それらの値に近い値をもつ位置を樹幹内にもとめて、それを標準帯と名付けた。標準帯から採取した資料を用いることにより、容易に標準容積密度数および標準セルロース含有量を求めることができる。

i) 樹幹内部における容積密度数、ホロセルロースおよび α セルロースの変動について部分的にみると、幹足部の樹心部がとくに大きく、変動係数にして15~20%を示したほかは10%までであった。この幹足部の中心には年齢とともに樹脂分などの集積が進み、局部的に容積密度数の異常高値を示すところが生じて変動を大きくしている。そしてこの異常に高い容積密度数が現われる範囲は樹幹下部より順次上部へ、あるいは樹心部から半径方向へ拡がる傾向をもつものと思われる。

ii) 幼齢・壮齢・老齢の各齢級を通じて容積密度数、ホロセルロースおよび α セルロースの単位容積当り含有量の分布の基本的な傾向として、樹幹の垂直方向ではいずれも根元が最も重く、断面高が上になるにしたがって減少する傾向が認められた。各断面の半径方向についても、最外層が最も重く樹心部に向かうにしたがって減少する傾向が明らかであった。

iii) ホロセルロースおよび α セルロースの容積密度数に対する重量百分率は樹幹内を通じて一様ではない。またアルコール・ベンゼンによる脱脂された容積密度数に対するそれらの重量百分率も、樹幹下部の樹心部でその他の部分との間で有意差があった。したがって、容積密度数に対する比推定の形でホロセルロースおよび α セルロースの含有量を推定することは無理である。しかし、脱脂容積密度数に対するホロセルロースおよび α セルロースの相関はきわめて高いから回帰によるそれらの推定は有効であることが明らかにされた。

iv) 単木樹幹における標準容積密度数および標準セルロース含有量の経時変化は幼齢時代において急速に成長し、壮齢以後は一定値に漸近する傾向が認められた。

v) 単木の標準容積密度数および標準セルロース含有量の経過に適用しうる関係式としては生長曲線式の適用が可能であり、ミッチャーリッヒ式、ロジスティック曲線式、修正指数曲線式およびゴンパーツ曲線式について検討の結果ゴンパーツ曲線式 $Y = Ka^{bt}$ を適用することとした。

このように単木の標準容積密度数および標準セルロース含有量がいずれも特徴ある経過を示したことによって、単木における材積生長と重量生長とは異なった生長経過をもつものであることが明らかにされた。

vi) 単木樹幹における標準容積密度数および標準セルロース含有量をしめす位置について検討した結果、幼齢木では地上高35%樹高位の断面高で、成熟木ではいずれも地上高10%樹高位の断面高で標準値との偏差率が最小となり、標準偏差が最小で最も安定していた。この断面を標準断面とし、その半径方向についてさらに検討したところ、樹皮より10年輪内側から心材までの辺材域であれば標準値との偏差率は±5%以内であることが明らかにされた。標準断面において測定値との偏差率の小さいこの部分を標準帯と名付けた。この標準帯は材木の重量生長およびセルロース生産量に関する研究をすすめるに当り標本抽出のための“代表的な位置”として、その有用性は高いと思われる。

II 林分の標準容積密度数および標準セルロース含有量とそれらの生長経過

前章においてはアカマツ同齢林の単木を対象とし、容積密度数およびセルロース含有量の齢級別樹幹内変動の傾向を明らかにするとともに、単木の標準容積密度数および標準セルロース含有量をしめす樹幹内の位置すなわち“代表的な位置”の存在を明らかにした。

このことによって単木の標準容積密度数および標準

セルロース含有量は、伐倒木について樹幹解析することなく、立木のままで測定できるようになり、さらに林分の重量生長量およびセルロース生産量の推定方法として標本木法（無作為抽出法）の採用が可能となった。

本章においては林分の重量生長経過を明らかにするために、林分標準容積密度数および林分標準セルロース含有量の概念を導入し、これらの経時変化をみることにした。ここに林分標準容積密度数および林分標準セルロース含有量とは、それぞれ林分を構成する各個樹の標準容積密度数、標準セルロース含有量の材積による重みつき平均であり、逆に林分材積にかけ合わすとただちに林分乾重量および林分セルロース生産量が求まることになる。ここでは齢級別プロットを設定し、プロットごとに標本木法を適用して林分におけるそれらの推定値を求めて検討を行なうこととした。

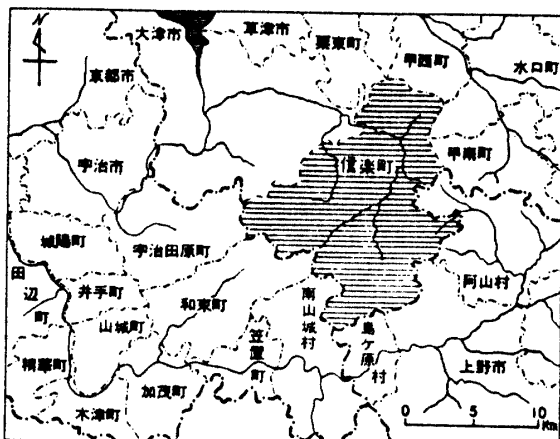


Fig. II-1-1 Locality of SHIGARAKI district.

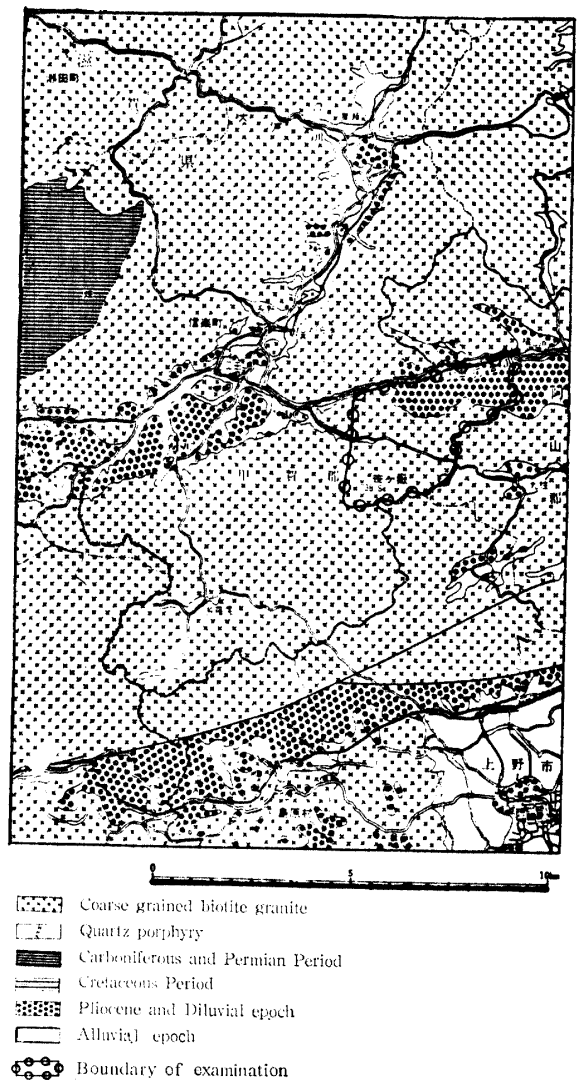


Fig. II-1-2 Geology of SHIGARAKI district (Kenjiro FUJIOKA, 1970).⁶⁷⁾

1. 資料の蒐集

1) 調査地の概況

資料蒐集地域としてはアカマツの各齢級別林分がそろっている滋賀県信楽地方を選んだ。

信楽地方は琵琶湖の南方 20km, 滋賀県の, 三重県および京都府との境界付近を占める高度数百米の準平原化されたところで, 周囲の山地には笹ヶ岳 (738.8 m) が東南の伊賀盆地に, 東北の飯道山 (664m) が水口町, また猪の背山 (533m) が京都府の宇治田原町と接して高原盆地を形成しているが, 全般的には平地に乏しく小起伏の多い複雑な地形である。信楽町の面積は約 13km 平方の 163.5km² であるが, 信楽山地としてその周辺部も含めると 200km² におよぶ。そして信楽町の地目別面積比で 81.2% までが林野で占められ, その約 62% にあたる 8,255ha が針葉樹であり, そのほとんどがアカマツである。信楽町の位置図は図 II-1-1 に示すとおりである。

地 質

本地域の基岩は古生代と中生代の花崗岩質岩石で, 前者は西部に, 後者は東部に広く分布している。古生代は秩父古生層に属するもので, 頁岩, 砂岩, チャートおよび輝緑凝灰岩からなり, 特に頁岩とチャートが多い。また花崗岩類はいずれも粗粒黒雲母花崗岩で北部のものは田ノ上山付近のものと同質であるが, 南部のものは領家帯に属する花崗岩でそれら両部の境界は明確でない。地質図は図 II-1-2 に示すとおりである。

気 候

信楽の気候の特徴は瀬戸内型気候に属し, 降水量が少なく晴や快晴の日が多い。しかし山間盆地であるため年内を通じて日較差が大きく, また結氷や霜の初日が早く終日が遅い。信楽の気候要素は表 II-1-1 に示すとおりである。なお, 観測地は甲賀郡信楽町長野滋賀県立信楽窯業試験場 北緯 34°52', 東経 136°03', 海拔高 304m である。

Table II-1-1 Climate of SHIGARAKI district(1963・1~1967・12)

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year	
Mean temperature	1.2	1.6	4.9	11.8	16.7	20.6	25.1	26.0	21.0	14.4	9.0	3.5	mean 13.0	
Max temp. in day	5.7	6.6	10.9	17.4	23.1	25.9	30.0	31.5	25.9	20.1	15.0	8.7	18.4	
Min temp. in day	-3.4	-3.5	-1.2	6.1	10.2	15.4	20.1	20.5	16.1	8.5	3.0	-1.7	7.5	
Mean range in day	9.1	10.1	12.1	11.3	12.9	10.5	9.9	11.0	9.8	11.6	12.0	10.4	10.9	
Precipitation	59	57	128	160	202	179	238	157	200	102	68	41	total 1,591	
Days of precipitation (≥ 1mm)	8	7	11	12	12	13	13	10	13	9	10	8	126	
Days of precipitation (≥ 10mm)	2	2	5	6	6	6	6	4	5	3	3	1	49	
Days of precipitation (≥ 30mm)	0.	0	1	0	2	2	2	2	2	1	—	—	12	
Snow days	8	5	2	1	—	—	—	—	—	—	—	4	total 20	
The most frequent direction of wind	NW	NW	NW	NW	SE	E	SE	SE	SE	SE	NW	NW		
Fine clear days	13	12	8	5	9	4	3	6	3	10	9	15	total 97	
Clear days	6	3	5	7	11	11	12	15	12	10	6	4	102	
Cloudy days	12	13	18	18	11	15	16	10	15	11	15	12	166	
Mean temperature in year	13.0°C									at the first.			at the end.	
Range in year	24.8°C						Snow			Dec. 4			Mar. 26	
Max temp.	35.2°C			1964・8・13			Freezen			Nov. 12			Apr. 13	
Min temp.	-11.4°C			1966・2・8			Frost			Oct. 22			May. 7	
Max precipitation	155mm			1965・9・17										
Max drifted snow	19cm			1963・3・13										

2) 標準地の設定とその調査

標準地の設定には大津営林署三郷山国有林におけるアカマツ林の各齢級について正常林分と認められる斉一な同齢単純林を選んで標準地とした。

標準地の選定にあたっては, 面積, 年齢, 疎密度, 立木密度, 地位, 生育状況などから判断して標準地として適当と認められる林分を選んだ。選んだ標準地は 32 箇所であって, その測定方法はつぎのとおりである。

Table II-1-2 List of sample plots

No.	Place	Plot size ha	Stand age	Main trees in sample plots					Secondary	
				Mean d.b.h. cm	Mean height m	Number of tree per ha.	Basal area per ha. m ²	Stem volume per ha. m ³	Mean d.b.h. cm	Mean height m
1	96 は	0.01	6	4.00	3.32	4497	9.50345	21.8703	2.00	2.35
2	96 は	0.01	8	4.50	3.26	4400	10.05570	13.3208	2.00	2.87
3	106 は	0.05	10	10.50	6.83	2813	21.42870	84.1741	5.20	5.79
4	103 に	0.04	16	12.10	8.97	2780	19.74954	97.7286	7.60	7.31
5	106 は	0.04	17	9.37	7.84	2554	14.74412	67.4027	6.00	6.55
6	106 は	0.05	17	12.36	9.82	2640	22.30566	118.8646	7.00	8.64
7	103 に	0.05	19	14.47	9.65	2144	22.58364	116.9720	7.67	7.60
8	106 ろ	0.04	23	12.80	10.35	2719	28.84153	164.0074	9.20	6.70
9	106 ろ	0.05	23	13.71	9.14	2489	33.07970	166.4670	8.00	7.15
10	106 ろ	0.05	28	21.43	12.36	2644	41.11633	250.2299	12.50	10.00
11	106 ろ	0.04	28	14.92	12.47	1991	32.33070	207.5437	9.33	10.62
12	106 ろ	0.03	29	17.91	11.87	1966	47.67834	281.2259	10.56	9.97
13	106 ろ	0.04	29	21.80	13.57	1265	35.18873	229.3883	11.20	10.18
14	106 ろ	0.1	35	29.60	19.67	775	36.65070	339.1912	15.60	15.60
15	113 と	0.05	40	23.85	15.09	902	45.56950	325.2523	17.50	11.08
16	106 は	0.1	40	31.26	20.01	936	47.73489	361.9259	18.57	16.04
17	113 ろ	0.08	45	25.17	12.18	630	53.43571	195.7190	13.33	12.10
18	113 い	0.08	48	27.83	13.90	547	40.27356	273.4091	14.57	10.51
19	113 ろ	0.08	48	24.08	14.00	1042	51.60639	348.0438	13.60	11.52
20	113 い	0.08	50	24.00	17.82	655	37.50543	310.1249	13.20	13.90
21	113 ほ	0.08	50	22.96	19.16	823	44.62824	397.8027	12.00	15.90
22	113 い	0.08	53	26.54	19.00	617	38.55280	327.5407	15.50	18.08
23	113 ろ	0.08	55	27.60	16.14	833	56.17139	421.2967	15.20	12.46
24	113 は	0.08	56	30.00	19.16	480	36.55725	307.9107	20.67	14.27
25	96 に	0.05	60	27.00	12.95	688	44.72980	273.3751	14.67	10.23
26	96 は	0.05	60	27.12	16.41	560	36.59282	272.3530	20.00	13.67
27	113 ほ	0.1	60	30.00	20.73	616	47.71272	438.4225	15.67	16.23
28	113 ほ	0.1	60	32.96	22.60	494	34.87640	336.5224	18.29	17.71
29	113 い	0.05	66	27.19	15.98	450	30.79896	240.6169	14.67	10.93
30	113 い	0.05	70	24.40	14.41	517	42.45914	281.8183	13.20	11.20
31	106 い	0.08	70	30.81	16.16	540	51.45065	381.2390	15.33	12.73
32	106 ろ	0.08	70	39.00	19.18	397	50.11109	412.0835	26.00	16.00

trees in sample plots			Total sum of main and secondary trees in sample plots					Stand age
Number of tree per ha.	Basal area per ha. m^2	Stem volume per ha. m^3	Mean d.b.h. cm	Mean height m	Number of tree per ha	Basal area per ha. m^2	Stem volume per ha. m^3	
2603	1.22655	2.2301	3.27	2.96	7100	10.73000	24.1004	6
1100	0.29430	0.6487	4.00	3.18	5500	10.35000	13.9695	8
1407	2.64930	9.7696	8.73	6.48	4220	24.07800	93.9437	10
1370	3.77246	16.3061	10.60	8.41	4150	23.52200	114.0347	16
1446	3.23388	13.2046	8.07	7.38	4000	17.97800	80.6073	17
960	2.54274	13.3608	10.93	9.51	3600	24.84840	132.2254	17
536	1.59636	7.1202	12.87	9.24	2680	24.18000	124.0922	19
906	4.77722	17.9944	11.90	9.44	3625	33.61875	182.0018	23
711	2.98430	12.5779	12.44	8.70	3200	36.06400	179.0449	23
756	3.87167	20.7460	19.44	11.84	3400	44.98800	270.9759	28
459	2.84080	16.9653	13.88	12.12	2450	35.17150	224.5090	28
598	5.26936	28.8429	16.27	11.43	2564	52.94770	310.0688	29
210	1.48377	8.3334	20.29	13.09	1475	36.67250	237.7217	29
155	2.06630	15.9167	27.27	18.90	930	38.71700	355.1079	35
138	3.70050	20.8103	23.00	14.55	1040	49.27000	346.0626	40
284	7.40211	56.6298	24.13	16.41	1220	55.13700	418.5557	40
158	2.30429	14.3719	22.80	12.16	788	55.74000	210.0909	45
166	3.41894	19.1656	24.73	13.11	713	43.69250	292.5747	48
208	3.08111	18.3631	22.33	13.59	1250	54.68750	366.4069	48
120	3.74332	27.4438	22.20	17.16	775	41.24875	337.5687	50
165	2.35426	19.2854	21.13	18.62	988	46.98250	417.0881	50
95	1.94600	16.8899	25.07	18.88	712	40.49880	344.4306	53
167	3.34986	21.2807	25.53	15.52	1000	59.52125	442.5774	55
120	4.27650	29.6199	28.13	18.18	600	40.83375	337.5306	56
172	3.31200	17.9348	24.53	12.41	860	48.04180	291.3099	60
140	5.03298	31.1265	25.73	15.86	700	41.62580	303.4785	60
154	3.12829	25.0591	27.13	19.83	770	50.84100	463.4816	60
76	3.20060	26.6133	29.53	21.46	570	38.07700	363.1357	60
50	1.00304	5.6449	25.93	15.48	500	31.80200	246.2618	66
103	2.43886	14.6061	22.53	13.88	620	44.89800	296.4244	70
60	1.37560	8.7067	29.27	15.81	600	52.82625	389.9457	70
28	1.55641	11.4012	38.13	18.97	425	51.66750	423.4847	70

(1) 面積

面積についてはプロット内に含まれる本数が少なくとも50~80本になるような面積を林齢との関係から設定した。すなわち、10年で0.01ha、15年で0.02~0.03ha、30年で0.04ha、50年で0.06~0.08ha、70年以上で0.08~0.1haを一応の見当にした。また、設定した標準地はコンパス測量を行なって区画するとともに面積を測定した。

(2) 林 齢

各標準地における何本かの供試木について、地上0.2mの位置に生長錐でボーリングを行ない、樹皮から髓までの錐片に含まれる年輪数で決定した。

(3) 胸高直径

各標準地の胸高直径の測定は毎木調査を行なった。その測定方法は山側より地上高1.2mの位置をポールで正確に高さを決め、スチール製輪尺で直角に2方向を測り平均した。単位cmとし、以下1位まで読み、未満は四捨五入した。

(4) 樹 高

樹高の測定は各標準地について標本木を抽出して、それについて行なった。この標本木の抽出方法は単純無作為法によって各標準地とも30本以上を選んだ。測定用具には低木の場合は樹高用測桿を、高木の場合はシュピーゲルレラスコープを用いた。単位はmとし、以下2位まで読み、未満は四捨五入した。

(5) 主副林木区分

主副林木の区分基準は中庸度から弱間伐程度で寺崎式の間伐型式でいうB種間伐区分に準拠して、林齢と地位に応じて間伐を施行した場合、残存されるものを主林木とし、その際伐採されるものを副林木とした。

(6) 胸高断面面積

主副林木ごとに直径階別断面面積を合計して、それぞれ標準地における胸高断面面積合計とした。

(7) 幹材積

林野庁計画課編の近畿地方アカマツ立木幹材積表⁷⁹⁾を適用して単木材積を算出し、これを合計して総材積とした。

(8) 供試片の採取

容積密度数ならびにセルロース含有量の測定を行なうため、さきに抽出した標本木について $\frac{1}{10}$ 樹高位の樹皮より5年輪内側から心材までの間の辺材部、すなわち標準断面の標準帯より生長錐によって錐片を採取した。樹皮厚をその場で測定したのち、標準帯部分の錐片を、乾燥して折れないように水を満たした試験管に入れて持ち帰り、生長錐片試料とした。

以上のような測定方法によって得られた各標準地の

測定結果は表Ⅱ-1-2に示すとおりである。

2. 標本木より採取された生長錐片試料についての容積密度数およびセルロース含有量の測定

1) 軟X線および濃度計による容積密度数の推定方法

まず、生長錐片試料の容積密度数の測定方法には、容積を切口断面積×長さによって円筒体積に近似させる方法または浮力法による方法から求め、その容積で全乾状態の重量を割って容積密度数とする方法、あるいはまた、全乾状態の錐片試料を既知試料とともに軟X線によって同時に透過撮影し、そのフィルムのX線透過濃度について既知試料の濃度との比較から容積密度数を求める方法がある。精度の面では浮力法を利用する方法が最も良いが、大量の試片について平均的な値を迅速に求めるために、軟X線透過写真フィルムの濃度から求める非破壊的測定方法を採用することを試みることにした。ここではこの推定方法ならびにその適用性について吟味した結果を以下に説明することとする。

(1) 軟X線について

a) X線の性質と軟X線

X線は波長が0.01~100Åの電磁波であり、加速された電子を金属対陰極に衝突させて発生させる。X線の波長は電子の速度に関係があり、その速度は電圧に比例する。電圧が高い程波長が短く、エネルギーが大きい透過力は高い。その波長によって0.5~2.5ÅのX線を超軟X線、0.1~0.5Åを軟X線、また0.05~0.1Åを硬X線、それよりさらに波長の短いX線を超硬X線として区分している。軟X線は鋼材などの厚物を透過することはできないが、生物体の軟組織を透過することができる。その透過の際、最初のX線照射量は次第に吸収されて減少する。この減少の程度はX線の波長、物質の種類、厚さおよび密度によって異なり、このX線の物質透過性を特色づけるとともに、内部構造の観察や透過濃度から密度の測定を可能にするものと思われる。

b) 物質中の透過とX線の吸収

X線が物質中を透過すると一部は熱などとなって吸収されるが、そのエネルギーの減少の程度は実験的に(Ⅱ-2-1)式で示されている。すなわち、波長λのX線が原子番号Z、厚さd、密度ρの物質中に垂直に入射する場合、物質表面での入射X線の強度をI₀、物質透過後のX線の強度をIとすれば

$$I = I_0 e^{-a \lambda^3 Z^4 \rho d} \dots\dots\dots (Ⅱ-2-1)$$

ただし a は定数

で与えられる。したがって、X線透過撮影の際のフィルム上の陰影の明度は、透過X線の強さIに関係するから、X線の波長、物質の原子番号、密度および厚さによって決定されることになる。

c) 木材の密度と光学的濃度

さきの(II-2-1)式において試験片の厚さd、原子番号Z、入射X線の波長λがすべて一定とするとき

$$I = I_0 e^{-\mu d} \dots\dots\dots(II-2-2)$$

で示される。さて、フィルム濃度の低い範囲ではその撮影条件、現像条件が一定ならば、フィルムの黒さはそのフィルムの入射X線エネルギーに比例する。そこでI、I₀に対するフィルムの不透明度をF、F₀、フィルム濃度をD、D₀とすれば(II-2-3)式が成立する。

$$F = F_0 e^{-\mu d} \dots\dots\dots(II-2-3)$$

両辺の対数をとれば

$$\log_{10} F = \log_{10} F_0 - (\log_{10} e) \mu d \dots\dots(II-2-4)$$

一方、不透明度と濃度の関係は

$$D = \log_{10} F$$

で示される。すなわち、

$$D = D_0 - (\log_{10} e) \mu d \dots\dots\dots(II-2-5)$$

が成立する。したがって、フィルム濃度Dは試験片の密度ρ、ここでは木材試験片の容積密度数の一次関数で示される。

(2) 測定装置

軟X線発生装置はソフテックスK-2型(ソフテックス社製)を用いた。この装置は薄物から厚物までを対象として長波長のX線を多量に放射するため二次電圧の最高は60KVP、二次電流は10mAと比較的大きい容量を持っている。また、X線の光源であるX線管球の焦点の大きさは1.2×1.2mmで、油冷式のT-0610型ベリリウム窓管球を装備している。ところで、軟X線による撮影にあたっては試片を透過するX線光束が充分平行であることが必要である。したがって、被放射面積を大きくするには試片と線源の距離は長い方が精度の点でよい。フィルム面までの距離は散乱線防護暗箱を使用したので、その最長距離の60cmにした。試片厚さ0.43~0.50cm、試片の大きさ3.0×3.0cm(誤差約0.25%)以内とした。

X線フィルムの濃度を測定した濃度計はマイクロデンシトメーターMⅢCS型(英国Joice社製)で、濃度測定範囲0~6.0、拡大率1~200倍、スリット幅は自由に変えられるものである。この濃度計の使用にさきだって3種類の濃度計の再現性、実測値との偏差率などについてテストを行なったが、結論的には目的とする森林調査について何ら支障となる程度の差異は示

されなかったことを付記する。

(3) 適用実験

実際に密度を求めるにあたっては、供試片と同じ厚さで密度のわかっている木材試験片を標準吸収体として同時に撮影した。用いた標準吸収体は厚さ0.43mmのチーク(*Tectona grandis*, L.)およびキリ(*Paulownia tomentosa* Steud.)で、それぞれの規準容積密度数を652.80, 262.60kg/m³に保持した。

a) 供試材

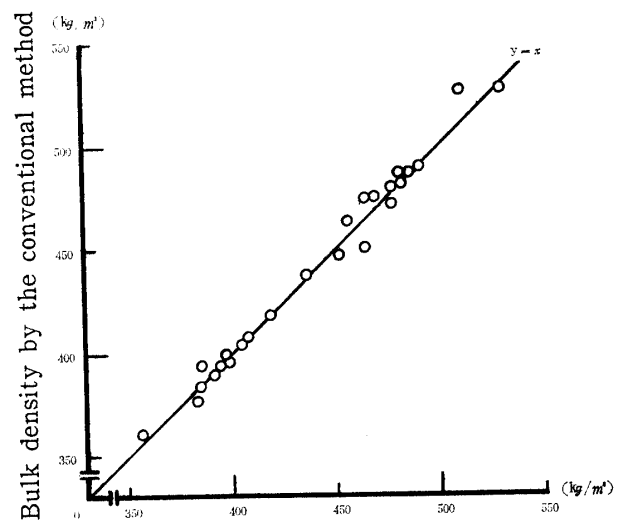
供試材として、アカマツについて京都府下から7本、山形、広島、島根の各県からそれぞれ5本、滋賀県から3本の合計25本および京都府立大学大枝演習林から31本を得たので用いた。供試片は地上高 $\frac{1}{10}$ 樹高位のいわゆる標準断面における標準帯の部分を採用した。それぞれについて浮力法で容積密度数を測定したものについて全乾状態で撮影した。

b) 撮影条件

撮影条件については、多数のテストを行なった結果、最適撮影条件として電圧25kvp(波長0.49Å)、電流5mA、照射時間45sec、線源とフィルム面の距離は60cmを統一条件とした。標準吸収体と供試片をフィルム上に直接おいて繊維方向に照射し、現像は恒温現像槽で20°C、5分間とした。

c) 平滑表面材の撮影

前述の供試材のうち全国アカマツ林より得た25本について標準断面の円盤から樹心を通る半径方向に、厚さ(繊維方向)0.5cm、幅(接線方向)3cmの帯状の試片を採用した。



Bulk density by the nondestructive method
Fig. II-2-1 Relation between the bulk density upon the conventional method and the one obtained by the nondestructive method.

照射される表面は円鋸材仕上げで平滑にし、厚さも0.5cmに均等にしたものを用いた。まず浮力法で容積密度数を実測し、同試料について全乾状態で軟X線を照射し、フィルム濃度から光学的に容積密度数を推定した。両者の測定結果は図II-2-1に示すとおりである。

また、光学的に得た密度(X)と実測値(Y)との回帰直線式、相関係数および回帰式の残差の標準誤差は次のとおりである。

$$Y = 1.003X + 0.627 \dots\dots\dots (II-2-6)$$

$$r = 0.985 \quad s = 8.523$$

なお、回帰式の定数 $\alpha = 0$ 、係数 $\beta = 1$ であるという仮説についても検定を行なった結果、 $t_a = 0.039$ 、 $t_b = 0.083$ で有意差は認められず、仮説は棄却されなかった。したがって、両者は $Y = X$ という関係にあるということから光学的濃度を測定することによって容積密度数の推定は実験的にも可能であることが示された。

$$\text{ただし } s_a = s_y \cdot x \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\bar{X}^2}{S_x^2}}, \quad t_a = \frac{a - \alpha_0}{s_a}$$

$$s_b = \frac{s_y \cdot x}{\sqrt{S_x^2}}, \quad t_b = \frac{b - \beta_1}{s_b}$$

軟X線写真とその濃度波形の1例は図II-2-2に示すとおりである。

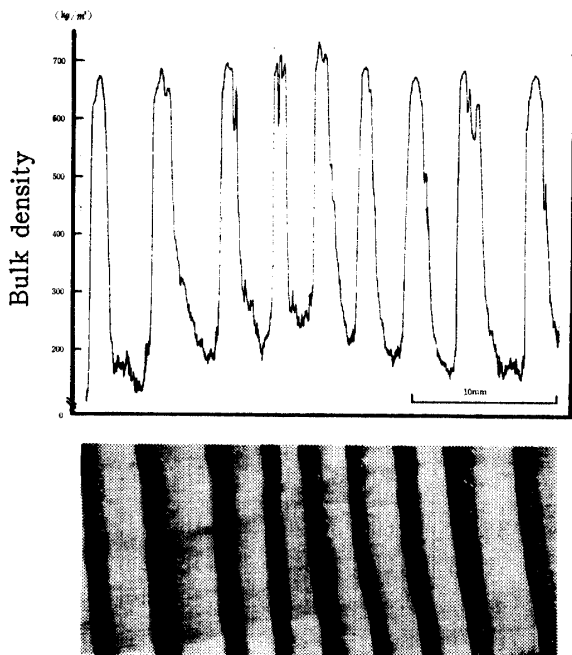


Fig. II-2-2 The Soft-X-Ray photograph of the core board of disk and the variation of the bulk density obtained from the densitometer on the X-Ray film.

d) 生長錐片の撮影

生長錐片は乾燥すると採取時の条件によって形状にかなりの影響を受ける。これは生長錐の挿入時における圧縮やねじれ、挿入方向のずれなどと立木の状況との組合わせによっていろいろに変形を生じるものと思われる。したがって、撮影にあたっては乾燥時の錐片をよく見極めて軟X線の照射方向を決めなければならない。また、標準吸収体は照射方向の厚みと同じにしなければならないので、予備実験を充分行なって、平均的などころで厚さを決めなければならない。以上のような問題点を考慮して、本学大枝演習林の天然生アカマツ31本の供試木の標準断面から5.0mm生長錐で錐片を採取して撮影に用いた。

予備実験の結果、乾燥時の繊維方向の厚さは0.43cmでほとんど変わらないことがわかったので標準吸収体の厚さも0.43cmにして用いた。

生長錐片について光学的に得られた密度(X)と実験(Y)値の測定結果は図II-2-3に示すとおりである。

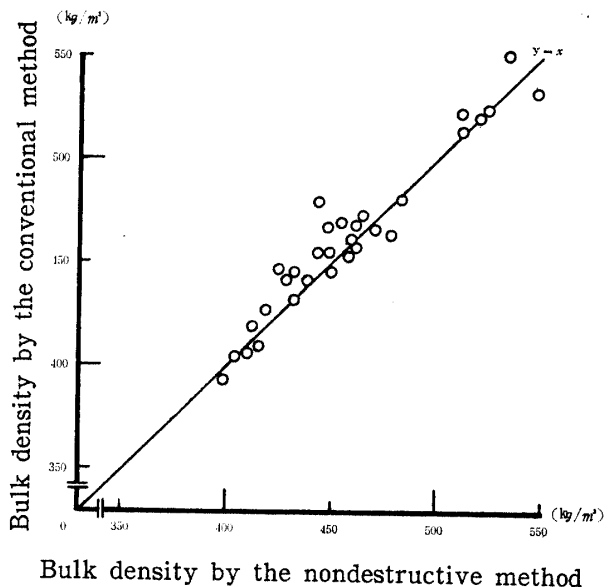


Fig. II-2-3 Relation between the bulk density upon the conventional method and the one obtained by the nondestructive method.

また、その回帰直線式、相関係数および回帰式の残差の標準誤差は次のとおりである。

$$Y = 0.943X + 31.062 \dots\dots\dots (II-2-7)$$

$$r = 0.948 \quad s = 13.121$$

なお、回帰式の定数 $\alpha = 0$ 、係数 $\beta = 1$ であるという仮説について検定を行なった結果、 $t_a = 0.059$ 、 $t_b = 0.978$ で有意差は認められず、仮説は棄却されなかった。したがって、両者は $Y = X$ という関係にあるであろうということから生長錐片の場合も光学的濃度を測

Table II-2-1 The standard values based on the sample trees of each plot.

No.	Place	Plot size ha	Stand age	Standard bulk density				Alcohol-benzene extractives		Standard holo-cellulose contents		Standard α -cellulose contents	
				Mean in the stand kg/m ³	Max kg/m ³	Min kg/m ³	C.V. %	in kg/m ³	in %	in kg/m ³	in %	in kg/m ³	in %
1	96 は	0.01	6	368.86	464.87	327.30	8.55	6.90	1.87	268.32	72.74	156.03	42.30
2	96 は	0.01	8	405.62	469.41	346.25	6.90	7.46	1.84	300.89	74.18	177.68	43.80
3	106 は	0.05	10	422.83	523.62	353.33	10.35	11.84	2.80	300.76	71.13	184.22	43.57
4	103 に	0.04	16	429.40	534.90	373.35	8.96	16.40	3.82	311.53	72.55	175.98	40.98
5	106 は	0.04	17	436.08	536.02	355.08	11.02	15.00	3.44	314.93	72.22	188.90	43.32
6	106 は	0.05	17	394.34	467.72	323.14	10.86	4.30	1.09	292.41	74.15	175.24	44.44
7	103 に	0.05	19	412.32	499.26	329.69	9.43	13.90	3.37	302.16	73.28	170.84	41.43
8	106 ろ	0.04	23	471.26	513.06	427.21	6.12	25.45	5.40	336.59	71.42	205.82	43.67
9	106 ろ	0.05	23	490.12	574.26	410.06	8.50	21.47	4.38	350.41	71.50	212.63	43.38
10	106 ろ	0.05	28	468.50	533.69	420.99	6.54	18.79	4.01	339.98	72.57	218.61	46.66
11	106 ろ	0.04	28	477.86	565.52	406.82	8.42	31.83	6.66	341.21	71.40	216.84	45.38
12	106 ろ	0.03	29	469.54	572.55	387.50	9.22	23.01	4.90	336.73	71.72	208.50	44.41
13	106 ろ	0.04	29	464.72	518.25	388.51	7.43	23.56	5.07	330.65	71.15	206.99	44.54
14	106 ろ	0.10	35	451.51	541.06	362.49	8.63	2.98	0.66	339.72	75.24	222.21	49.22
15	113 と	0.05	40	457.32	543.55	376.37	8.52	7.36	1.61	334.73	73.19	218.91	47.87
16	106 は	0.10	40	454.34	513.30	408.31	5.84	5.41	1.19	333.20	73.34	220.25	48.48
17	113 ろ	0.08	45	456.32	511.00	376.40	7.68	5.66	1.24	338.27	74.13	223.60	49.00
18	113 い	0.08	48	448.44	556.69	372.89	8.99	2.56	0.57	392.95	73.58	218.82	48.80
19	113 ろ	0.08	48	474.37	544.74	394.50	7.69	5.65	1.19	347.60	73.28	229.94	48.47
20	113 い	0.08	50	451.58	519.57	369.10	7.94	3.03	0.67	334.26	74.02	217.60	48.19
21	113 ほ	0.08	50	450.89	525.10	385.26	8.26	5.68	1.26	335.69	74.45	221.22	49.06
22	113 い	0.08	53	456.93	502.99	393.62	6.22	8.54	1.87	334.23	73.15	219.25	47.98
23	113 ろ	0.08	55	459.27	522.00	390.92	6.52	1.33	0.29	342.77	74.63	229.72	50.02
24	113 は	0.08	56	450.34	550.18	379.13	8.39	6.71	1.49	332.01	73.72	216.17	48.00
25	96 に	0.05	60	487.40	543.13	427.07	7.38	18.47	3.79	356.39	73.12	244.48	50.16
26	96 は	0.05	60	491.22	538.07	450.79	5.65	13.26	2.70	358.57	73.00	239.56	48.77
27	113 ほ	0.10	60	445.65	537.78	372.75	8.61	6.95	1.56	325.34	73.00	214.01	48.02
28	113 ほ	0.10	60	448.18	511.04	391.01	6.04	5.42	1.21	331.14	73.89	217.13	48.45
29	113 い	0.05	66	450.92	524.92	355.06	8.07	7.12	1.58	326.28	72.36	219.62	48.71
30	113 い	0.05	70	462.03	596.59	399.25	8.64	7.39	1.60	338.57	73.28	222.10	48.07
31	106 い	0.08	70	447.13	512.27	386.92	7.17	4.87	1.09	333.69	74.63	216.87	48.50
32	106 ろ	0.08	70	438.70	519.01	384.98	7.47	1.75	0.40	334.18	76.18	207.76	47.36
			Max	491.22	596.59	450.79	11.02	31.83	6.66	358.57	76.18	244.48	50.16
			Min	368.86	464.87	323.14	5.65	1.33	0.29	268.32	71.13	156.03	40.98
			\bar{x}	(456.03)	527.69	382.06	8.00	(9.32)	2.33	(336.95)	73.19	(216.95)	46.59
			s	26.4898	28.9924	28.9901		7.7976		18.8468		20.3359	
			C.V. (%)	5.89	5.49	7.59		73.38		5.73		9.69	

() : Weighted mean with stand volume

定することによって容積密度数の推定は可能であることが示された。

生長錐片の軟X線写真とその濃度波形の1例は図II-2-4に示すとおりである。

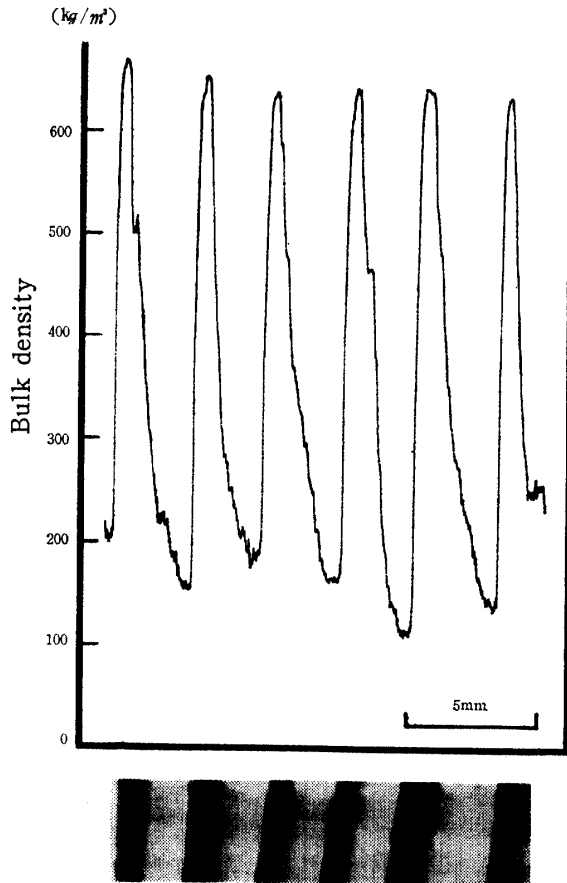


Fig. II-2-4 The Soft-X-Ray photograph of the increment core and the variation of the bulk density obtained from the densitometer on the X-Ray film.

2) セルロース含有量の推定方法

林分におけるホロセルロースおよび α セルロース生産量の推定には、容積密度数の場合と同様に、各標本木の“代表的位置”より採取した生長錐片試料を用いることとした。

1本の標本木からの生長錐片では分析試料として量的に不充分なので標準地ごとに全標本木の錐片を一まとめにして木粉とし、よくまぜ合わせてから木材組成分の定量を行なった。この方法において生材容積を求めるには標準地ごとに全標本木の混合された木粉の全乾重量とその標準地における林分標準容積密度数から換算した。

ホロセルロースおよび α セルロースの定量方法はす

で第1章において用いたものと同様である。したがって定量方法の説明は省略することとする。

3) 各標準地における標準容積密度数および標準セルロース含有量の測定結果

まず、各標準地について毎木調査を行なった後、単純無作為抽出法によって、それぞれ30本の標本木を選び、これらの標本木の代表断面の標準帯から5mm生長錐を用いて錐片を採取した。さらにこれらの錐片について、前節の測定方法によって、容積密度数ならびにセルロース含有量の測定を行ない、各標準地ごとに林分標準容積密度数ならびに林分標準セルロース含有量を求めた。なお、林分標準容積密度数の推定方法は次のようにして行なった。

$$\bar{X}_\omega = \frac{\omega_1 X_1 + \omega_2 X_2 + \dots + \omega_n X_n}{\omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n} = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i X_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i}$$

ただし \bar{X}_ω : 林分標準容積密度数

ω_i : 第*i*番目の標本木の材積

X_i : 第*i*番目の標本木の標準容積密度数

n : 標本木の数

以上のような要領によって得られた各標準地における林分標準容積密度数、林分標準ホロセルロース含有量および林分標準 α セルロース含有量の測定結果は表II-2-1に示すとおりである。

3. 年齢にともなう林分標準容積密度数および林分標準セルロース含有量の変化

前節の表II-2-1に示される林分標準容積密度数は、それぞれ林分を構成する各個樹の標準容積密度数の材積による重みつき平均であり、この標準地を林分乾材積にかけあわせれば、直ちに林分乾幹重量が求められるものである。また、林分標準セルロース含有量も各個樹の標準含有量を示す錐片試料を一まとめにして得られた、いわば林分における標準セルロース含有量の算術平均に相当するものである。したがって、容積密度数の場合と同様にその標準地を含む林分における林分標準セルロース含有量として取扱っても差しつかえないものと思われる。

そこで、これらの林分標準容積密度数および林分標準セルロース含有量の推定値と林齢との関係から林分における重量生長の過程を検討することにした。

表II-2-1の各標準地における林分標準容積密度数および林分標準セルロース含有量と林齢との関係をグラフに示すと図II-3-1に示すとおりである。

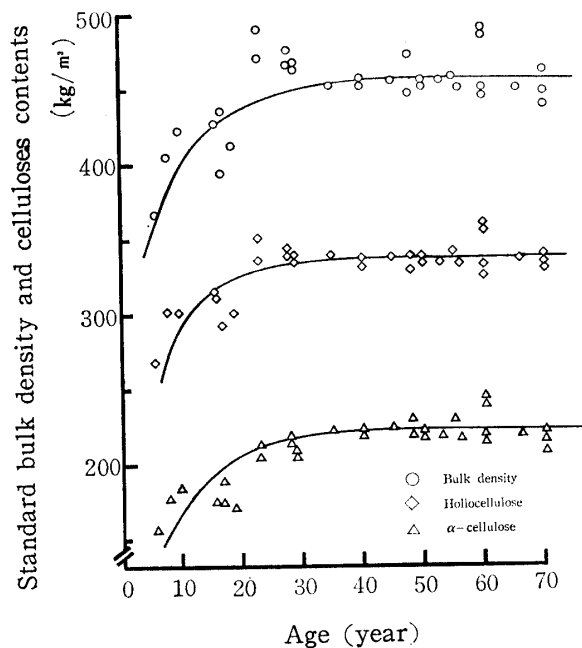


Fig. II-3-1 Relation between the stand age and the standard bulk density and celluloses contents

この図からわかるように、林分標準容積密度数および林分標準セルロース含有量とも20年位までは林齢の増加とともに急激に増大するが、それ以降はほとんど変化しないことがうかがえる。なお、これらの実測値の分布に適合する生長曲線式については、すでにI章4節において単木樹幹の標準容積密度数および標準セルロース含有量の経時変化を表わすために生長曲線式をいくつかあげて検討した。その結果では、ゴンパーツ曲線式は容積密度数ならびにセルロース含有量のような質的な量の生長過程をあらわす生長曲線式としても、最も適合性の高いことが認められたのでこの曲線式を採用した。

いま、図II-3-1に示される林分標準容積密度数および林分標準セルロース含有量の経時変化についても、さきの検討結果と同様の判断ができることは明りょうである。

そこで、このような根拠に基づいて、林分標準容積密度数および林分標準セルロース含有量と林齢の関係をゴンパーツ曲線式であらわすこととする。前節の場合と同様にゴンパーツ曲線式の係数の解法は3群法によった。

得られた結果は次のとおりである。

林分標準容積密度数：

$$\hat{Y} = 455.45(0.67344)^{0.48695t} \dots\dots(\text{II}-3-1)$$

$$\eta_{t,y} = 0.75 \quad s = 18.143$$

林分標準ホロセルロース含有量：

$$\hat{Y} = 388.95(0.41918)^{0.32553t} \dots\dots(\text{II}-3-2)$$

$$\eta_{t,y} = 0.77 \quad s = 12.381$$

林分標準αセルロース含有量：

$$\hat{Y} = 222.41(0.43143)^{0.47922t} \dots\dots(\text{II}-3-3)$$

$$\eta_{t,y} = 0.80 \quad s = 12.745$$

ただし t：林齢 $\eta_{t,y}$ ：相関比 s：標準偏差

得られた各曲線式の適合性は図II-3-1に示されるとおりである。単木の場合に比べて、それらの適合性はやや低くなっているが、林分における生長曲線としてはよく適合していると思われる。

このような結果によって、まず標準容積密度数およびセルロース含有量はいずれも生長するものであり、その生長経過も初期の10~25年にかけて急激に生長し、それ以降は安定してしまい、少なくとも60~70年位までは変わらない傾向を持つものであることが明らかにされた。さらに、容積密度数やセルロース含有量はいずれも材積に対する比率をあらわすものであるから、これらが経時変化することによって、材積生長と重量生長とは異なった生長経過を持つものであることが明らかにされた。どのような経時変化の違いを示すものであるかについては次章以降において順次明らかにしたい。

4. 要 約

前章において一斉同齢林の単木を対象として検討した結果、容積密度数、ホロセルロースおよびαセルロースの樹幹内分布の配列型が各齢階とも共通して比較的明りょうに存在するうえ、樹幹の標準値を示す“代表的位置”もほぼ決まっていることが明らかとなった。

すなわち、多少の不規則性はあるものの樹幹の垂直方向においては根元が最も重く、梢端部に向うにしたがって軽くなり、また年輪の半径方向においても最外層から樹心に向うにしたがって軽くなり、最外層から5~10年輪内側から心材までの辺材域が最も安定していることが明らかとなった。そして地上高が樹高の $\frac{1}{10}$ の断面での標準値との偏差率は容積密度数、ホロセルロースおよびαセルロースのいずれも±5%以内であった。このような前章の成果をふまえて、さらに本章ではまず立木の生長錐片試料から容積密度数の推定に対して、軟X線および濃度計による非破壊的測定方法の適用性について検討した。その結果この方法は林分を対象とするような場合の大量の試料について個々の平均的な値を迅速に求める方法として実用性の高いことが認められた。したがって立木の“代表的位置”の

錐片試料とともに、この測定方法を採用することによって各標準地を構成する個樹の材積とその標準容積密度数から、その標準地を含む林分の林分標準容積密度数(各個樹の標準容積密度数の材積による重みつき平均)を求めることがいっそう容易になった。また、林分標準セルロース含有量は各個樹の標準含有量を示す生長錐片試料を一まとめにして木粉とし、よく混ぜ合わせてからセルロースの定量を行なった。この方法によれば個々の錐片試料を分析する必要もなく、林分における標準セルロース含有量の算術平均に相当する値が得られることになる。このような実用的な測定方法が見出されたことによって、林分における標準供試木の抽出には年齢別標準地ごとに標準木法(無作為抽出法)を採用しううようになった。

以上の方法に基づいて得られた林分標準容積密度数および林分標準セルロース含有量の推定値に基づいて、その林齢との関係から林分における重量生長の過程を検討した。

i) 調査対象地は滋賀県信楽町三郷山国有林で、収穫表の調製要綱に準拠して32箇所標準地を選び、次のような順序で調査を行なった。

(1)面積測定 (2)林齢の推定 (3)毎木調査 (4)主副林木区分 (5)重量測定用標本木の抽出 (6)標本木の樹高測定および錐片の採取 (7)主副林木別林分断面面積および林分材積の推定 (8)林分平均胸高直径、平均樹高の計算 (9)標本木の容積密度数の測定 (10)標準地別ホロセルロースおよび α セルロースの定量

ii) 測定結果および検討結果を要約すると次のとおりである。

1) 一斉同齡林の標準地内における標準容積密度数の変動は最高11%、最低5.7%、平均8%であった。

2) 全標準地を通じて、林分標準容積密度数、林分標準ホロセルロース含有量および林分標準セルロース含有量の平均値(各標準地の林分材積による加重平均値)はそれぞれ456.03kg/m³、336.95kg/m³、216.95kg/m³であった。

3) 林分標準容積密度数および林分標準セルロース含有量の林齢との関係においてはいずれも10~25年にかけて急激に増大するが、それ以降は安定してしまい、少なくとも60~70年位まではほとんど変わらない傾向を示した。この傾向は単木の場合と全く同様であった。

4) このような特徴ある経過に適用しうう関係式として生長曲線式の適用が可能であり、検討の結果、単木の場合と同様に、ゴンパーツ曲線式 $Y=ka^{bt}$ が選ばれた。

5) 林分標準容積密度数および林分標準セルロース含有量がいずれも特徴ある経過を示したことによって、林分における材積生長と重量生長とは異なった生長経過をもつものであることが明らかにされた。

引用および参考文献

- 1) HARTIG, R (1882): Untersuchungen aus Forstbotanischen Institut zu München 2
- 2) TRENDELENBURG, R (1937): Über stammwuchster-suchungen und ihre Auswertung in der Holz-forschung. Holz als Roh-und Werkstoff: 3-13
- 3) BRUCE, B. A. und SCHUMACHER, B. S. (1942): Forest mensuration, McGraw-Hill: 343-401
- 4) 平井信二(1947): 林木の重量生長に関する研究 第1報 東大演報35: 91-105
- 5) 平井信二(1950): 同 上
第2報 " 38: 139-152
- 6) 平井信二(1951): 同 上
第3報 " 39: 219-234
- 7) 平井信二(1953): 同 上
第4報 " 45: 203-220
- 8) 平井信二(1955): 同 上
第5報 " 48: 221-235
- 9) 平井信二(1958): 同 上
第6報 " 54: 199-217
- 10) 平井信二(1962): 同 上
第7報 " 57: 189-201
- 11) 平井信二・相沢エイ子(1965): 同 上
第8報 " 62: 189-196
- 12) 右田伸彦(1950): パルプ及び製紙工業実験法, 共立出版
- 13) 右田伸彦(1950): 木材化学, 産業図書
- 14) YLINEN, A. (1951): Über den Einfluss des Spätholzanteils und der Jahrringbreite auf die Rohwichte beim finischen Kiefernholz. Holz als Roh-und Werkstoff. 9,12: 449-456
- 15) 林野庁(1949): 同齡単純林の林分収穫表調製要綱
- 16) SPURR, S. H. & HISUNG, W. (1954): Growth rate and specific gravity in Conifers. Jour. of Forestry 52, 3: 191-200
- 17) 嶺 一三(1955): 収穫表に関する基礎的研究と

- 信州地方カラマツ林収穫表の調製 林試研究資料
12
- 18) 加納 孟 (1958) : 木材材質の森林生物学的研究 (XIV), 林試報**101**: 1—73
- 19) 小原二郎 (1958) : 古材に関する研究, 千葉大工研 (9) 15, 16
- 20) 野口研究所木材化学研究会 (1961) : 木材化学工業, 新光社
- 21) ASSMANN, E. (1961) : The principles of forest yield study, Pergamon press: 1—38
- 22) 加納 孟 (1961) : 幹の平均比重をしめす位置について, 林試報**134**
- 23) 四手井綱英 (1963) : アカマツ林の造成, 地球出版: 54—153
- 24) 辻本克己 (1963) : リュウキュウマツの重量生長量に関する研究, 鹿大農学報**13**
- 25) 関屋雄偉 (1964) : アカマツ同齡単純林における材積, 重量, 熱量の生長に関する研究 九大演報**38**: 39—159
- 26) 飯塚 寛 (1964) : 成長曲線にもとづく樹幹の重量成長の研究, 九大演報**20**: 1—65
- 27) PANSIN, A. S. & ZEEUW, C. (1964) : Textbook of wood technology Vol. 1 McGraw-Hill
- 28) GREGORY, A.S. (1964) : Nondestructive testing of wood F.P.J. **14** (2) : 77—79
- 29) BERGER, H. (1964) : Radiography as a tool of nondestructive testing, F. P. J. **14** (7) : 290—292
- 30) KLEUTERS, W (1964) : Determining local density of wood by the Beta-Ray method, F.P.J. **14**(11) : 414—420
- 31) 岡本 一 (1965) : 木材の劣化 材料 (14) **143** : 685—689
- 32) 畔柳 鎮・西田晃昭 (1965) : 岡山大学報**26**: 9—18
- 33) 加納 孟 (1965) : 森林の取扱いかたによる材質, 林業科学技術振興所
- 34) LARSON, P. R. (1966) : Changes in chemical composition of wood cell walls associated with age, F.P.J. **16** (4)
- 35) 東大林産化学教室 (1967) : 林産化学実験書, 産業図書: 91—111
- 36) 渡辺治人 (1967) : 樹幹丸太の特性, 九大木材理学教室
- 37) 梶田 茂 (1967) : 木材工学, 養賢堂
- 38) 京大農芸化学教室 (1967) : 農芸化学実験書(3) 産業図書
- 39) FARMER, R. H. (1967) : Chemistry in the utilization of wood, Forest Product Research Laboratory
- 40) 田島俊雄 (1967) : 林木の生長と材質 東京教育大農紀要**13**: 64—210
- 41) 柿原道喜 (1967) : 九州地方におけるカラマツ林の施業上の特性に関する研究 九大演報**41**: 69—77
- 42) 須藤彰司, 斎藤久夫, 石原重春 (1967) : アカマツの材質, 木材学会講演要旨集**17**: 218—219
- 43) 深沢和三 (1967) : スギ樹幹内の材質変動に関する研究, 岐阜大農研報 (25)
- 44) 樋口隆昌, 島田幹夫, 渡辺考史 (1967) : 心材形成機構に関する研究 (VI), 木材誌 (13) 2
- 45) AVERY, T.E. (1967) : Forest measurements, McGraw-Hill : 30—45, 208—227
- 46) 中野準三 (1967) : 木材分析法, 産業図書: 91—111
- 47) 林業統計研究会編 (1967) : 新しい林業統計: 139—165
- 48) 石田茂雄, 大谷諄, 黒沢厚喜, 今川一志 (1967) : 北大演報**25** (1) : 35—61
- 49) 南享二, 佐分義正 (1968) : スギ・ヒノキ心・辺・移行材の化学組成 東大演報 (64)
- 50) 大隅真一 (1968) : 林木生長論講義, 京府大・農・森林経理学教室: 51—71, 186—205
- 51) 右田伸彦他 (1969) : 木材化学上・下, 共立出版
- 52) 樋口隆昌 (1969) : 樹木生化学, 共立出版
- 53) 寺崎康正, 小坂淳一, 金豊太郎 (1969) : スギ人工林施業の要点, 林業科学技術振興所
- 54) 岸根卓郎 (1969) : 理論・応用統計学: 91—182
- 55) FARMER, T. E. and NANCE, W. M. (1969) : Phenotypic variation in specific gravity and fiber length of cherrybark oak, Tappi (52) 2
- 56) 妹尾俊夫 (1969) : アカマツ林におけるセルロースの生産に関する研究 (I), 京府大演報**13**: 87—92
- 57) 妹尾俊夫 (1970) : 同上 (II), 京府大演報**14**: 58—68
- 58) 妹尾俊夫 (1970) : 同上 (III), 京府大演報**15**: 65—81
- 59) 妹尾俊夫 (1971) : 同上 (IV), 日林講演集**82**: 39—41

- 60) 妹尾俊夫 (1971) : 同上 (V),
京府大学報23 : 105—113
- 61) 妹尾俊夫 (1971) : 同上 (VI),
京府大演報16 : 40—47
- 62) 妹尾俊夫 (1972) : 同上 (VII),
京府大演報17 : 15—45
- 63) 妹尾俊夫 (1972) : アカマツ林の重量生長と材積生長の関係について, 日林関西支講23 : 20—24
- 64) 保積英次 (1970) : センシトメトリーの実際, 共立出版 : 16—49
- 65) ELLIOT, G.K. (1970) : Wood density in Conifers, Commonwealth Agricultural Bureaux.
- 66) 林野庁計画課 (1970) : 立木幹材積表 西日本編
- 67) 藤岡謙二郎 (1970) : 山間支谷の人文地理, 地人書房 : 7—74
- 68) 渡辺治人 (1971) : 林木の未成熟材, 木材工業290 : 7—10
- 69) 田島俊雄 (1971) : 林木の成長と材質の変動, 木材誌 (17) 10 : 423—430
- 70) 早尾丑磨 (1971) : 日本主要樹種林分収穫表, 林業経済研究所 : 124—175
- 71) 大隅真一他 (1971) : 森林計測学, 養賢堂

Summary

The purpose of this investigation was to find out the general principles of incremental process in dry weight and cellulose productivities of AKAMATSU (*Pinus densiflora* S. et Z.) stand, in the case of making use of wood components as the raw materials.

The mentioned subject must be investigated as the fundamental studies for the forest management.

The solution of the weight incremental process used in this investigation was carried out by the weight yield tables, prepared with each productivity of wood components.

Therefore, if we had taken the above method, it was necessary to estimate the standard values of bulk density (based on oven-dry weight and green volume), the standard contents of hollocellulose and α -cellulose with the stand age.

Thus, it became a premise problem of research in due order, for instance, establishment of measuring the bulk density and cellulose contents of a standing tree, decision of representative position in the stem and so on.

The important items among the results of studies on the weight increment in this paper were as follows :

I) Throughout each age-class trees which was taken from the natural forest stand of AKAMATSU in Kyoto district, it was recognized that the variation coefficient of bulk density and of cellulose contents at every

position in stem was less than 10%, except the part of pith in basal stem.

Furthermore, there was a pattern that bulk density, hollocellulose and α -cellulose contents decreased gradually with the height of cross section and it increased from the pith to the bark. This pattern of the variation was so called the pinus type.

II) The amount of hollocellulose and α -cellulose contents could not be estimated by the ratio estimate to the bulk density, because the variance of ratio of celluloses contents to the bulk density was significant by the position in stem.

In the other way, the correlation of hollocellulose and α -cellulose contents with the deresinous bulk density of wood which extracted with alcohol-benzene solution were highly recognized.

Therefore, the amount of cellulose contents could be estimated by the regression estimate based on the above correlation.

III) Every development process of the standard bulk density and the standard contents of celluloses in single tree increased at a high pace during 10~25 years, and its increasing pace gradually slowed down after the thrifty period, finally, which kept constant.

It could be expressed by means of the growth-curve equation for the described above the time series variation. So, examination was carried out on the applicability of growth-curves which became the object of this investigation such as

Mitscherich's, Gompertz's, Logistic's and Corrected exponential curve.

As a result, Gompertz's equation was most appropriate for the above growth-curve.

$$Y = Ka^{b^t}$$

where Y=Standard contents per unit volume.

K=Final reached value of standard contents.

t =Age of tree.

a, b=Constant ($0 < a < 1$, $0 < b < 1$)

IV) The position of representative wood quality in the stem was found.

It was very similar to the standard value of bulk density and cellulose contents.

Vertically, the position located at 10% of

the tree height above ground, horizontally, it occupied the part of sapwood inner about 10 annual rings from the bark in 10% section above ground.

V) It was recognized that the applicability of nondestructive testing technique with Soft-X-Ray and Densitometer to estimate the bulk density of standing tree through increment core was highly available.

It might be one of the most important method to survey the productivity of forest stand, because it made us measure efficiently the standard bulk density of forest stand by random sampling method based on the above technique.