

木材材質の森林生物学的研究 (第14報)

トドマツ材の容積密度数の大きさと 幹のなかの分布

加 納 孟⁽¹⁾

目 次

1. まえがき.....	2
11. 容積密度数の意義と材質分類への方向.....	2
12. 材質成長という考えかたへの発展.....	3
13. 容積重にたいするこれまでの研究の概要.....	4
2. 試験地のあらましと供試木の Sampling.....	6
21. 標準地のもつ意味.....	6
22. 標準地のあらまし.....	6
23. 供試木の Sampling.....	6
3. 観察と測定の方法.....	9
31. 供試木の木取り.....	9
32. 年輪巾と秋材率の測定.....	10
33. 容積密度数の測定.....	10
34. 容積密度数分布図の作成.....	10
4. 観察の結果とその考察.....	11
41. 容積密度数のあらわれかた.....	11
411. 供試木の層別のちがい.....	11
412. 幹の部位によるちがい.....	13
413. 斜面と幹の方位によるちがい.....	17
42. 年輪巾と秋材率と容積密度数.....	18
421. 正常な年輪.....	18
a. 年輪巾と秋材率にたいする容積密度数のあらわれかた.....	18
b. 年輪巾と容積密度数の等秋材率曲線.....	21
c. 秋材率と容積密度数の年輪巾による変化.....	24
d. 年輪巾と秋材率と容積密度数との関係.....	25
e. 幹の部位が年輪巾と秋材率と容積密度数の関係におよぼす変化.....	27
422. アテの年輪.....	30
a. 年輪巾と容積密度数.....	30
b. 年輪巾とアテ材率と容積密度数.....	30
43. 幹のなかの年輪構成と容積密度数構成.....	31
431. 幹のなかの容積密度数の分布図.....	31
432. 容積密度数の分布層のあらわれかた.....	33
a. 各分布層のしめす容積密度数の大きさ.....	38
b. 各分布層の大きさ.....	41
c. 各分布層のしめす年輪構成.....	42

(1) 木材部木材材料科材質第二研究室長

44. 幹のなかで容積密度数の変化する類型	46
441. 容積密度数分布の類型	46
442. 幹のなかの容積密度数の垂直的な分布	51
a. 幹の垂直方向に容積密度数が変わらない場合	51
b. 幹の垂直方向に容積密度数が変わる場合	52
c. 容積密度数の変化する類型の地上高によるあらわれかた	54
45. 幹のかたちと容積密度数の変化	55
451. 幹の完満度と容積密度数の変化	55
452. 幹曲線の変異点と容積密度数の変化	58
46. 標準容積密度数 R_s の変化	61
5. 摘 要	64
文 献	71
Résumé	73
供試木の幹における容積密度数の特性的な分布 (図版)	82

1. ま え が き

11. 容積密度数の意義と材質分類への方向

木材の容積密度数は生材の単位容積にふくまれる木材実質の量をしめすものとして、これまでしばしばその材料的な指標の一つにもちいられている。たとえば、木材繊維を原料として利用するときはその容積当りの収量をしめし、構築材などへの用途にたいしてはその強度性能や伸縮性能をしめす数値はこの容積重とほぼ一次的な比例関係をしめすことがたしかめられている。このような材の容積重は木材を構成している細胞要素の種類やその大きさ、配列などによつてかわつていものであるが、一般にこの細胞要素の変化は遺伝的な種別のあいだではむしろかなり固有な変化をしているものであり、おなじ樹種のなかで最もいちじるしいちがいをしめしているのは年輪を構成している細胞の数である。年輪の半径方向にあらわれてくる細胞の数はこの年輪の成長の程度によつていちじるしくかわつており、成長のよい広い年輪では、その半径方向に数百列の細胞群が堆積しているのに、成長の抑圧されたせまい年輪では、わずか数列の細胞の成長よりみとめられないものまでがある¹⁸⁾²⁰⁾。しかもこの細胞は一般に春材と秋材とでいちじるしくかたちがかわつており、一つの年輪のなかで成長のはじめにできる春材細胞と、成長のおわりにできる秋材細胞ではそのかたちのうえでもおどろくべき変化をしめしている。春、秋材細胞はそのかたちがことなるばかりでなく、それぞれの材料的な特徴——たとえば比重とか湿氣的性質など——もいちじるしくことなつていて¹³⁾¹⁴⁾³⁶⁾⁴²⁾⁴³⁾、外的な条件の変化にたいしてこれらが一つの年輪のなかでたがいに制約されて年輪としての特徴をしめし、その年輪があつまつて木材としての特徴をしめしているものとみなされる。この春、秋材の材料的な特徴は春材と秋材のそれぞれのなかでもなおかなりはげしいバラツキをしめし、その分散域の一端はたがいに交叉することはあつても、それぞれことなつた出現域をしめし、これらの材料的な特性がまた春、秋材によつてかなりことなつていものであることはあきらかである。

したがつて、木材の材料的な特徴——たとえば重さとか強さとか伸縮性能など——はこの春、秋材べつての材料的なちがいと年輪のなかにしめる春、秋材細胞の量的な割合にもとづいていことになる。したがつて、もし一つの樹種のなかでその春、秋材部べつての構造的な要素がかなり安定しているとみなすならば、その年輪の材料的な特徴をきめているものはこの年輪の半径方向の成長量である年輪の巾とこれにふくまれている秋材の量(秋材巾)とであり、材料的な指標の一つである容積密度数についてもこの例外で

はない。すなわち、春、秋材の容積密度数は樹種によつてそれぞれかなり安定しているとみなすこと¹⁴⁾²⁰⁾²⁶⁾ができるから、年輪とその集合によつてできている木材の容積密度数はこの年輪を構成している春、秋材部の量的な割合によつてきめられてくるものとかがえられる。したがつて、材の容積密度数は年輪巾と秋材率の座標のうえにきめられてくる測定量であり、このような意味においては年輪巾と秋材率でその材料的な性質をみかけのうえから推定してその材質を分類していく根拠も発展してくるわけである。

トドマツ材の年輪巾と秋材率にたいする著者のこれまでの研究¹⁷⁾においては、従来、年輪巾がおなじであつても立地や環境によつて複雑に変化するものとみなされていた秋材率は、その年輪巾によつてかなり制限されたあらわれかたをしめしており、統計的には年輪巾ごとにその秋材率のあらわれかたに一つの傾向がみとめられてくることをあきらかにした。したがつて、もしこのような傾向が一般的なものであるとかんがえるならば、一つの年輪でその秋材率を無視して、たんに年輪巾だけでその材質を仕分けていこうとすることにも統計的には一応の蓋然性があるものといわなければならない。しかし、このような変化は一般にかなりいちじるしいバラツキをしめすものであり、年輪巾によつて仕分けられた容積密度数の個々の値もなおかなりいちじるしい変動をまぬかれぬ。このバラツキの原因をその年輪構成にもとめ、これをその立地とか成長の条件にむすびつけて解釈しようとするときに、これらの変化を一つの物理現象として、たんに決定論的なかんがえかたで取りあつかつてしまうには、この変化はあまりにもバラツキがおおきく、どうしてもその分散のしかたのなかから統計的に一つの傾向をひきだしてくるという立場にたたなければならない。

材質分類の最も直接的な指標とみなされる材の容積密度数がこの年輪巾と秋材率の2つの要素のうえにきめられてくるものであるか、あるいはこれらの関係がさらに個体によつてかわつてきたり、成長の条件によつて変化しているものかどうかによつて材質を仕分けていくための要素が、それらの材料に直接もとめられる材質の外観的特徴で充分であるか、あるいはこれをさらに立地とか成長の条件などのような材料にたいしてより間接的な要素にまでさかのぼらなければならないかによつて、木材を材料として取り扱うときの方向はいちじるしくかわつてくることになる。

この研究ではトドマツ材 (*Abies Mayriana* MIYABE et KUDO) の容積密度数をとりあげ、これをさらに個体群や成長の条件などについて検討したのはこのような意味においてまず材質分類の基本的な方向をあきらかにしようとしたからである。

この研究の実行と取纏めにあたつてたえず御指導と御便宜をいただいた林業試験場長齋藤美鷲氏、木材部長小倉武夫氏、前北海道支場長柳下鋼造氏、元札幌支場長林行五氏に厚く御礼を申し上げるとともに、測定観察に協力された蕪木自輔氏ほか材質第二研究室の方々にも深甚の謝意を表する。

12. 材質成長という考えかたへの発展

生産された木材にたいする材料的な仕分けかたがたんに材料の外観的な特徴によるだけでなく、その材料の生産された条件にさかのぼつてくるようになると、まず、その材質上のいくつかの特徴が立木の幹のなかでどのようなあらわれかたをしており森林のなかの個体によつてどんなちがいがいたかをしているか、またそのちがいがいたかたに立地とか環境による法則性がみいだせるかということが問題になつてくる。

林木が環境の変化をうけて生産していくところの木材は、それ自体がこの成長条件にたいする反応量としての意味をもっているわけであり、このような意味においては、どのような材質上の変化もこれをみちびいた成長条件とむすびつけてかんがえていこうとするところにこの材料にたいする正確な認識がうまれ

てくることになる。たとえば、材の容積重や年輪構成にしてもたんにその個々の大きさとバラツキを問題にするばかりでなく、それがつくられた条件と関連させていくことによつてその大きさやバラツキが林木の成長論的にもつ意味をたしかめうるならば、木材の容積密度数にたいするわれわれの知識はより統一的なものにたかめられてくるであろうし、われわれがこれを材質分類の指標にもちいたりあるいは林木の実質成長量の大きさとみなすときの根拠もよりあきらかになつてくるであろう。

樹冠のなかで同化作用がおこなわれ同化生産物が幹に配分されて幹の成長のエネルギーとしてつかわれていくときに、この成長量は同化作用に直接に影響する外的な条件——たとえば温度、関係湿度、陽光など——のほか、この同化作用とその配分に関する林木の内的な条件——たとえば樹令、成長の優劣、幹のかたち、クローネの大きさや位置など——によつてもいちじるしい影響をうけるであろう。したがつてこの成長量の配分が1本の立木のなかでどのようにあらわれており、その結果幹のなかの年輪構成の状態や容積重の分布がどのようにかわつてきているか、さらにそのちがいはこれらの外的な条件や内的な条件に関連してどのような特徴的な傾向があらわれてくるかということが次の問題になつてくる。

この研究では林分のなかでそれぞれ成長条件のちがつた供試木の幹のなかの年輪構成や容積密度数の分布を類型化し、それぞれの類型にこの供試木の成長の条件を結びつけ、それらの条件から抽出されてくる材質の変化の特徴を帰納していこうとした。このように材の容積重や年輪構成などの材質上の特徴をたんに材料的な指標としてみるばかりでなく、これを林木の成長の経過に関連させて発展させていくことによつて、この材料的な指標を理解するうえに役だつばかりでなく原木の品質上の問題や材料を収穫するうえでの問題などに有用な知見をくわえ、さらにこれを森林生産技術のうえに発展させていく可能性も期待されてくるとおもふ。

13. 容積重*にたいするこれまでの研究の概要

木材の容積重の概念をはじめのべたのは R. HARTIG で、彼は 19 世紀末に木材の容積が物理的にはまったく不確実なものであるという考えかたにたつし、“生材容積にたいする乾燥実質”を容積密度数と称して³¹⁾今日の木材材料学的研究の基礎概念をつくつた。このような考えかたのもとに彼はまず従来の容積成長表に対照してブナ林分の重量成長表をつくり、その後さらに林木の成長について広範な環境生態学的研究をおこないそれらの結論を“Ernährung Theorie”として発展させようとした。

これにたいして、木材の材料学的な分野でその強度、硬度等の機械的性質や伸縮性、燃性、電氣的性質などの物理的性質を容積密度数に関連してもとめ、この容積密度数の大きさによつてこれらの数値を類別しようとする試みにはすでに今日までにおおくの研究がおこなわれており、容積重とその強度数値や伸縮性能をしめす数値のあいだにはそれぞれ直線ないし拋物線的な比例関係が存在することがたしかめられている²³⁾²⁴⁾²⁷⁾²⁹⁾³¹⁾³²⁾⁴⁵⁾。

また、樹種ごとに材の容積重とその年輪構成（年輪巾、秋材率など）とのあいだの関係をみいだそうとしておおくの研究がおこなわれ、Abies 属だけについてもすでに大沢 (1930)²⁹⁾、ROCHESTER (1933)、VOLKERT³⁷⁾ (1941)、BURGER¹¹⁾ (1951)、加納¹⁶⁾ (1952) などの研究が報告されている。これらの研究結果からみても年輪巾と容積重との関係にはおなじ樹種群のなかでもなおかなりいちじるしい差異があらわれており、G. KLEM²⁵⁾、および平井⁶⁾などはこれらの研究資料によつて異なる結果が報告されているのは容

* この研究では木材の比重を容積密度数としてあらわしているが、これまでの文献には種々な容積重がもとめられており、これらをすべて含めて容積重なる言葉を用いた。

積重と年輪巾との関係には当然秋材率が介在し、これがおなじ年輪巾でも樹令、地上高などの変化で複雑にかわるためであるとし、とくに平井はトドマツ、アカマツ、スギ、ストロブマツなどについて年輪巾と容積重のあいだには簡単な相関関係はみいだせないとしている⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾。その後、著者(1953)は天然生トドマツ材で年輪巾と秋材率のあらわれかたを觀察し、年輪巾にたいしてその秋材率のあらわれかたは統計的にはあきらかに一定の傾向をしめしてくることをみだし¹⁷⁾、S. H. SPURR と W. HSIUNG (1954)は秋材率の大きさは幹の高さと髓心からの令階によつてかわつていから地上高と樹令のことなる位置でえられた供試片の年輪巾と容積重の相関はそれぞれことなつた関係をしめすものであることをのべている³³⁾。

このような一連の研究結果からみて、材の容積密度数の個々の値はもちろんその年輪巾と秋材率の2つの軸のうえにもとめられてこなければ意味をもちえないものであるが、これらの関係が充分おおくの試料についてもとめられたものであれば、秋材率を無視した年輪巾と容積密度数との関係は統計的な蓋然性をしめしてくるものと考えられ、おのおのの年輪巾にあらわれる秋材巾(率)の頻度をしらべその最頻数があらわれてくる年輪巾について年輪巾と容積密度数との関係をもとめると、この関係はまた材料の材質を仕分けていくために統計的な指標として役だつてくるものとおもわれる。このような年輪巾と秋材率と容積密度数との関係についてはすでに R. TRENDELENBURG³⁴⁾(1936)は Lärche についての関係をあきらかにし、この樹種については年輪巾と容積密度数との等秋材率の曲線にはいずれも年輪巾の一定範囲に容積密度数の最大値があらわれそれより年輪巾がせまくなつても広くなつても容積密度数の値は減少していくことをしめしている。

また、著者(1956)はトドマツ、シンシユウカラマツ、グイマツ、オウシユウトウヒ、ストロブマツなどの造林木についてこの年輪巾と容積密度数との関係を検討し、このいずれの樹種でも年輪巾の増加にたいして容積密度数が指数曲線的に減少していく傾向をみとめ、ただ年輪巾のせまいところには秋材率の大きいものがあらわれ、年輪巾が広くなると秋材率が小さいものに順次うつつており、年輪巾と容積密度数との関係があるいは上に凸であつたり、あるいは下に凸になつたりするのは試料によつて年輪巾と秋材率のあらわれかたが制限されてあらわれているので、この容積密度数の値を秋材率の大きさを無視してたんに年輪巾ごとに平均してもとめたためであらうとかがえた。したがつて、年輪巾と容積密度数との関係には一つの蓋然性はあるにしても、容積密度数を材質分類の拠点としてとりあげていくためには年輪巾と秋材率を軸として、そのうえに容積密度数の変化する関係をもとめおかねばならないことになる。

容積密度数の大きさや幹のなかの分布については R. TRENDELENBURG³⁵⁾(1937)が木材材料の研究についての必要と応用性をのべて以来、渡辺³⁹⁾(1939)、大沢³⁰⁾(1943)、平井⁴⁾(1949)はおもに幹のなかの容積密度数の分布と偏異性を検討し、平井⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾(1943~55)は二、三の樹種の容積重分布図からみられる一般的な特徴をあきらかにし、これらの林木の重量生産効果を検討した。これにたいし E. VOLKERT³⁷⁾(1941)は Oberswald の人工植栽の Tanne はか二、三の樹種について幹の容積重分布図をつくり、幹の容積重構成がその年輪構成にしたがつてあらわれてくることをしめし、この容積重構成を Raumgewichtzonen と称し、たとえば Tanne の幹においてはその内側から外側にむかう容積重の増加とか幹足部にあらわれてくる容積重の層状構造や樹冠部にあらわれてくる重い容積重の層があらわれてくるのが特徴的であるとしている。このような幹の容積重構成を彼は立木の成長の経過において外力にたいして等しい抵抗をもつための合目的性から説明しようとし、幹の容積重構成はこのための力学的な効果にあた

ついているとかがえた。このような考えかたにしたがえば、幹のなかの複雑な材質的な変異もその個々の変化をみちびいた成長条件のもとに理解していこうとする立場が不可欠なものになつてくるわけである。

2. 試験地のあらましと供試木の Sampling

21. 標準地のもつ意味

木材の材質的な特徴をその立地や産地の成長条件について解析していこうとするときに、どのような試料を研究の対象としてえらぶかということがまず問題になつてくる。これまでこのようなことについておこなわれたいくつかの実験例では、おおくの場合まったく主観的に 2~3 の代表木がえらばれ、この材質的な特徴をあきらかにしていることが普通である。これらのうちのおおくのものは林分の優勢木で外観上無キズなものが選定の対象になり、またある場合には林分の平均直径をもつものが大きさのうえでの標準とみなされたり、また林分の胸高直径の本数配分から、各直径階に属する平均的な大きさのものがそれぞれの径級の代表木としてえらばれたりしており、したがって代表木の選定の基準は研究例においてことなつていことがおおい。しかもこのいずれの場合においても、この代表例についてしられた材質的な特徴がこの林分の林木について普へん性をもつものであるかあるいはこの代表例に限られた事例であるかについては、ほとんど判断の外におかれているのが普通である。

天然林における林木はその遺伝的な系統からみても、本来まったく同質なものともみならずはできないし、さらにこれが環境条件に応じて複雑に変化しているとみならずならばそれぞれの単木のもつ個体差は必ずしも同種のものともみとめることはできない。したがって、このような個体の集団をたんに大きさのうえでの代表木によつてあらわすことにまずおおくの疑問を生じてくるわけで、この研究で取り扱おうとした林木の容積密度数の大きさや幹のなかの容積重構成などについてもその研究計画にあたつて、まずこうした事がらが問題になつてくる。それで、まずこれらの材質的な特徴がある大きさの林分のなかでどのようなバラツキをしめすものであるかをあきらかにし、そのバラツキのなかからいくつかの変化の傾向を類型化することができるかどうかということと、これらの類型と層別された成長の条件との間に何らかの法則的な関係があるかどうかを検討し、これによつておのおのの個体についてえられた材質的な特徴がどのような普へん性をもつものであるかをしろうとした。

このような意味で、まず適当な大きさの標準地を設けこのなかの林木の成長条件をいくつかに層別し、この林木の集団を皆伐してえられたものをすべて供試木とし、この供試木の個体間にあらわれる材質的なバラツキを成長条件の組合せのうえに集計してくることによつて、この材質的な特徴のあらわれかたをしろうとした。この成長条件の組合せによつて生ずる意義が標準地としてえらんだ林分からトドマツ天然林においてより一般的なものとして展開されるならば、この材質的な特徴のあらわれかたもトドマツ天然林についてさらに一般的なものとして帰納されるであろうとかがえたからである。

22. 標準地のあらまし

この試験のためにえらんだ標準地は北海道石狩国厚田郡厚田村大字発足札幌営林局管内厚田経営区96林班と98林班にまたがる峯筋をさかいとした南北の斜面による 0.4 ha の林分で、その詳細はすべてこれまでの報告⁵⁾⁷⁾¹¹⁾²⁰⁾²¹⁾に記載したものとおなじである。

23. 供試木の Sampling

この標準地のなかの林木の配置は Fig. 1 にしめたが、このなかで枯損立枯れおよび胸高径 5 cm 以

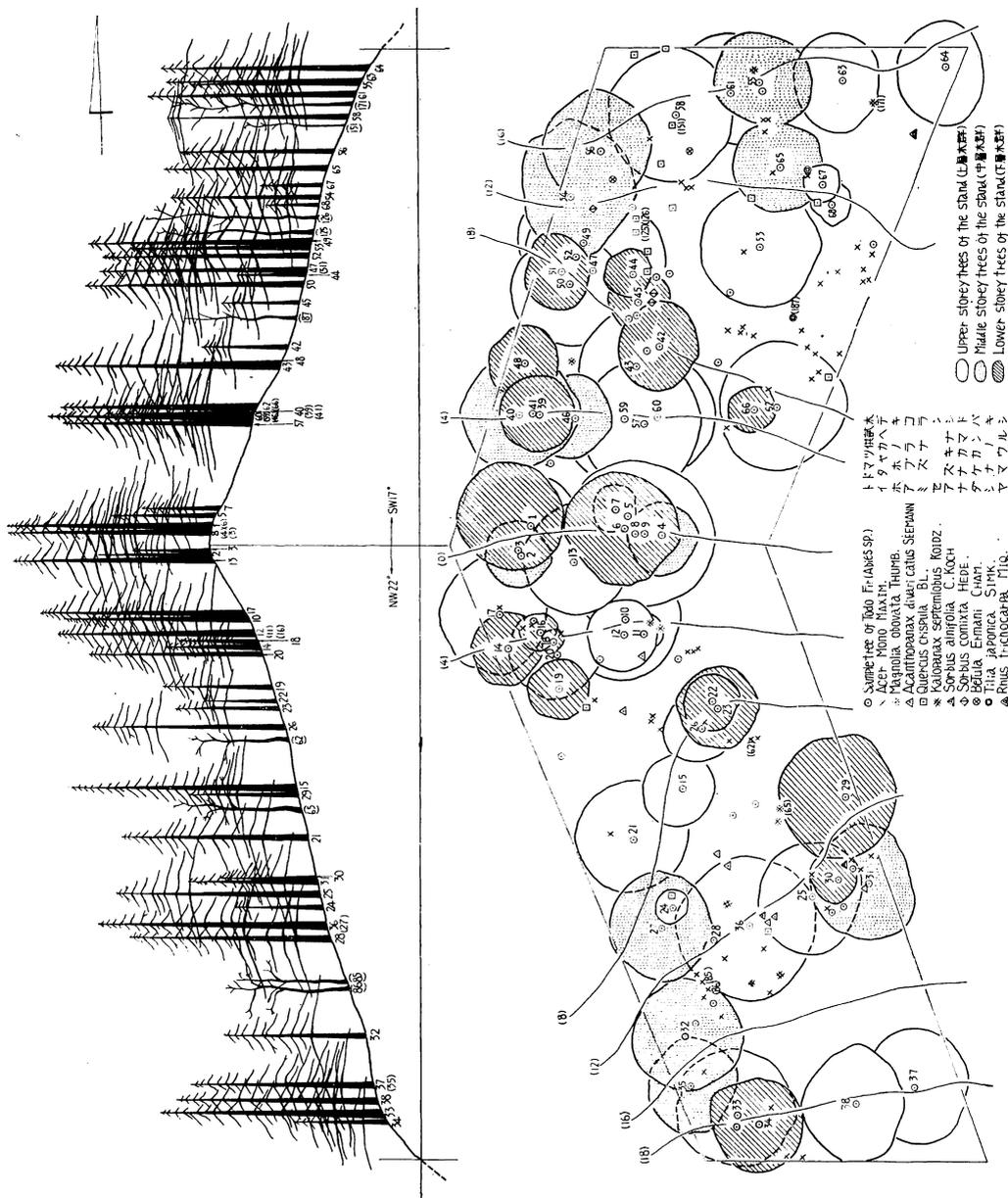


Fig. 1 標準地の側面図と投影図

Figure showing profile and projection of the researched stand.

下のものをのぞいてこの標準地を皆伐し、合計 68 本のトドマツ立木を供試木とした。これらの供試木についてはその生立した斜面によつて峯筋、南、北の斜面のものにわけ、さらにそれらの成長状態のちがいを垂直的な構成から上層木(樹高 ≥ 18 m) 中層木(樹高 = 17.9~12.1 m) 下層木(樹高 ≤ 12.0 m) の3つの群団にわけた。このような区分にしたがえば、林分の被圧木としてみとめられたものは例外なくこの下層木の群団にわけられ、この規準が立木の外見から判断される成長の良否とほとんど一致しているばかりでなく、幹の形態的な要素——たとえば樹冠長率、枯枝率、枝痕率などの変化や辺心材の量的な変化もこの樹高区分にしたがつてほぼ臨界的にかわつていることもこれまでの資料²¹⁾によつてあきらかであり、この林分においては立木の仕分けかたのうえで一つの基準になることがたしかめられた。このような区分に

Table 1. 供試木の樹令、樹高、直径など
The ages, the heights, the diameters, etc. of the sample trees.

供試木群	供試木の番号 No. of sample trees	樹令 Age (year)	樹高 Height (m)	胸径 B. H. D. (cm)	枝下高 Clear length (m)	枝下高率 Ratio of clear length (%)	皮ツキ材積 Volume with bark (m ³)	枝条材積率 Percentage of branch volume (%)
上層木群	1	95	22.5	39	9.0	40.2	1.2626	9.5
	8	173	22.2	50	7.8	35.1	2.0019	14.8
	10	—	20.1	31	4.1	20.4	0.5000	17.0
	11	175	18.6	28	6.3	34.0	0.6973	3.5
	12	169	21.3	43	12.9	60.6	1.3601	10.1
	13	—	22.0	47	10.9	49.9	1.2454	14.1
	15	—	24.1	52	7.3	30.3	2.0890	3.1
	17	115	22.1	44	8.6	39.1	1.6742	14.9
	20	100	18.5	34	9.4	50.8	0.6796	34.9
	21	74	19.7	34	4.4	22.5	0.8200	18.9
	25	—	21.5	52	13.4	62.3	1.5258	26.0
	26	—	20.6	32	13.4	65.4	0.7542	3.2
	28	110	21.4	36	3.7	17.4	1.1152	15.8
	33	—	23.4	51	4.8	20.6	1.5083	21.4
	36	114	24.4	61	8.5	35.2	2.6566	25.4
	37	88	19.3	36	3.4	44.5	0.9464	45.8
	38	75	21.1	48	4.5	21.3	1.6096	36.8
	43	104	24.2	56	10.6	44.0	2.3525	26.4
	47	105	22.2	42	11.8	53.7	1.6807	20.4
	49	207	24.0	60	11.4	47.6	3.0008	14.2
	50	110	23.3	42	12.1	51.8	1.7516	7.1
	52	107	22.0	32	11.0	50.1	0.9335	6.3
	53	72	19.1	32	6.0	31.5	0.7782	18.4
	57	133	20.4	39	10.2	50.1	1.1487	6.1
58	119	19.0	38	17.5	92.5	1.0096	18.0	
59	101	19.4	40	5.5	28.6	1.0952	14.3	
60	131	22.2	45	—	—	1.6410	—	
61	96	21.8	37	7.1	32.8	1.1967	13.6	
62	83	21.4	53	5.4	25.5	2.0271	16.2	
63	63	20.8	29	6.8	32.7	0.7704	26.9	
64	64	21.9	52	9.2	42.2	1.8985	21.6	

(Table 1. つづき)

供試木群	供試木の番号 No. of sample trees	樹令 Age (year)	樹高 Height (m)	胸径 B. H. D. (cm)	枝下高 Clear length (m)	枝下高率 Ratio of clear length (%)	皮ツキ材積 Volume with bark (m ³)	枝条材積率 Percentage of branch volume (%)
中層木群 Middle storey trees	2	98	12.5	15	—	—	0.1094	—
	4	99	12.5	19	3.2	25.6	0.1903	11.8
	27	98	15.6	29	4.3	27.6	0.4956	18.1
	31	84	13.5	22	3.2	23.7	0.3782	21.8
	32	67	15.1	20	5.5	36.9	0.2457	5.5
	35	68	13.6	23	3.2	23.4	0.3059	77.1
	40	106	15.5	33	6.2	40.2	0.7203	37.5
	46	72	12.4	17	5.0	41.1	0.1812	4.0
	54	109	15.8	43	3.5	22.2	1.5062	23.0
	55	91	17.8	29	7.2	40.9	0.5680	18.7
	56	—	16.2	35	7.3	45.6	0.8360	16.2
65	76	17.5	33	7.9	45.5	0.6937	34.1	
下層木群 Lower storey trees	3	99	8.4	22	4.7	56.8	0.1709	30.3
	5	57	11.3	18	3.5	31.6	0.1295	16.5
	6	66	10.7	16	4.4	40.9	0.1195	8.3
	7	64	8.5	13	2.9	33.5	0.0783	3.0
	9	48	5.8	4	2.6	45.3	0.0048	4.3
	14	89	10.1	16	3.6	36.2	0.1506	15.2
	16	86	6.3	8	5.9	93.0	0.0303	5.3
	18	92	8.4	13	2.6	32.0	0.0668	2.2
	19	99	11.7	14	6.6	56.4	0.1485	3.2
	22	86	7.8	10	7.3	93.6	0.0445	4.2
	23	87	11.0	15	5.5	50.3	0.1534	4.3
	24	88	9.2	11	7.8	85.7	0.0612	1.6
	29	70	11.3	24	6.1	54.0	0.2996	36.2
	30	110	10.3	11	6.3	60.9	0.0673	3.7
	34	100	10.0	14	2.4	24.4	0.0956	5.3
	39	79	9.4	13	4.7	50.3	0.0960	6.4
	41	81	5.7	8	3.9	68.4	0.0179	3.4
	42	77	9.1	17	6.2	68.5	0.1561	8.7
44	72	7.4	10	6.2	84.5	0.0417	3.5	
45	72	8.4	11	5.1	61.3	0.0390	8.2	
48	106	10.8	16	4.5	42.1	0.1210	8.0	
51	96	11.3	19	4.2	37.7	0.2033	6.8	
66	80	8.8	11	2.8	31.7	0.0618	3.7	
67	43	6.5	10	3.6	56.5	0.0783	1.9	
68	45	5.8	8	3.0	51.7	0.0193	6.2	

したがって供試木の生立した斜面ごとにその樹令, 樹高, 胸高径などをしめすと Table 1 のようであつた。

3. 観察と測定の方法

31. 供試木の木取り

この標準地にある 68 本の供試木はほとんど地ぎわに接して伐倒されそれから順次 2 m おきに樹梢まで厚さ約 10 cm の円板を採取した。この円板の上面で幹の N, S, E, W の方位ごとに樹皮側から 5~10 年輪ごとの半径成長量が測定され、さらに厚さ約 1 cm の 2 枚の円板が木取られ、そのうち 1 枚は年輪巾と秋材巾などの測定に供し、他からは容積密度数の測定のための供試片が木取られた。

32. 年輪巾と秋材率の測定

幹の 2 m おきの地上高から採取された円板は生材のまま鉋削し、樹心から幹の N, S, E, W の方位にそつて一直線上に各年輪の境界とその内側における春、秋材の境界をさだめ、樹心からこれらの境界までの距離を測定し、各年輪ごとにその年輪巾 (mm) と秋材巾 (mm) をもとめた。この測定はすべて×100の倍率のもとでおこなつたが、測定と同時にその年輪にアテ、ヤニスジ、樹脂細胞の形成、クサレの発達があるものを区別して記載した。これらの観察の方法はすべてこれまでの報告¹⁷⁾に詳述している。

33. 容積密度数の測定

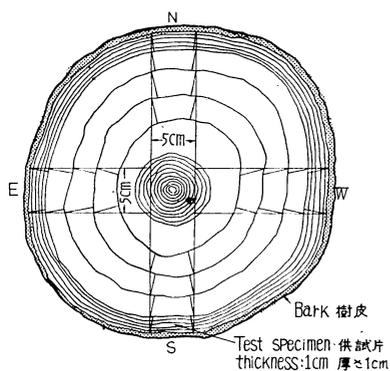


Fig. 2 供試片の木取りかた
Sampling of test pieces.

供試木の各地上高ごとに採取された厚さ約 10 cm の円板のはぼ中央部でさらに厚さ約 1 cm の円板を木取り、その両木口面を生材のままよく鉋削し、Fig. 2 にしめしているようにそれぞれ円板の N, S, E, W の 4 方位ごとにあらかじめ調査された樹幹析解の 5 年おきの等樹令線と一致させて円板の樹皮側から 5~10 年輪おきの年輪境界で剝離し、その側面を円板の半径方向に切断して扇形の供試片をつくつた。供試片は生材のまま水中に浸漬し、飽水後その重量と水中の浮力から飽水時の容積 (V) をもとめ、その後、絶乾時の重量 (g) を測定し、容積密度数 (R) を $R = g/V \times 1000$ (kg/m^3) としてしめた。

34. 容積密度数分布図の作成

おのおのの供試木について地上高べつての 5~10 年輪ごとに測つた N, S, E, W の方向の半径成長量を平均して Symmetric な樹幹成長図をつくり、その各地上高の円板で N, S, E, W の方位と 5~10 年輪の令階ごとに木取られた供試片についてもとめられた容積密度数の値をおなじ地上高でおなじ令階に属する方位べつての 4 コの供試片の平均値としてもとめ、これを R の階級が ~280, 281~320, 321~360, …… 641~680 kg/m^3 の 40 kg/m^3 おきの 11 階級にわけて前記の Symmetric な樹幹成長図にそれぞれの供試片の該当する地上高と令階の位置にこの容積密度数の値を記入して、R の階級のおなじものが分布する範囲をおなじ記号でむすんで等容積密度数曲線をつくりおなじ容積密度数の分布する範囲をおなじ記号でマークすることによつて容積密度数の分布図をつくつた。これらの供試木はそのほとんどのものが地ぎわに接するところにかなりいちじるしい肥大成長の偏りをしめし¹⁵⁾、その結果アテの発達もいちじるしい¹⁹⁾ものがおおいので、このような方位べつての供試片についてえられた容積密度数の平均値がしめす状態は幹における現実のあらわれかたとは多少ことなつていであろうが、これを方位べつての幹の縦断面についてその容積密度数の分布を検討することはいちじるしく問題を複雑にするので、この研究においてはやむをえず上述の Symmetric な容積密度数の分布図について検討することにした。

4. 観察の結果とその考察

41. 容積密度数のあられかた

411. 供試木の層別のちがい

容積密度数の測定値(測定法は33.項に記載)をその供試木の年輪にアテ、ヤニスジなどがあらわれているものをのぞいて正常な年輪のみで構成されているものだけをとりだして、その頻度分布を供試木の層別にくらべてみると Fig. 3 にしめすように、その容積密度数が $R \leq 360 \text{ kg/m}^3$ の領域においては成長のよい上、中層木群における出現率が成長の抑圧されている下層木群のものよりはるかに大きくなっているが、 $R \geq 360 \text{ kg/m}^3$ の領域においては逆に下層木群における出現率が上、中層木群のものよりはるかに大きくあらわれている。

このような結果は、この林分の供試木の層別にくらべた年輪巾のあられかた(木材材質の森林生物学的研究, 第5報 p. 4 Fig. 1)とあきらかに対照されるもので、この Fig. 3 であきらかなように下層木群における容積密度数の頻度が上、中層木群のものより小さくあらわれている $R \leq 360 \text{ kg/m}^3$ の領域は年輪巾 $R.B. \geq 2.0 \text{ mm}$ の範囲にあたっており、これにたいして $R \geq 360 \text{ kg/m}^3$ で下層木群のものが上、中層木群より出現率のおおくなっている領域は年輪巾 $R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$ の範囲に対応していることがあきらかである。

このような傾向はアテの年輪についてもかなり類似しており、Fig. 4 にしめしたように $R \geq 400 \text{ kg/m}^3$ の領域においては下層木の出現率が上、中層木群のものよりおおきく、この領域はまた $R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$ の範囲に対応していることもあきらかである。このような容積密度数の頻度分布から供試木の層別によるちがいはあきらかにみとめられるが、さらにおおの供試木群についてRの算術平均、モード、標準偏差などをくらべるとつぎの Table 2 にしめしたように容積密度数の算術平均と標準偏差はその年輪が正常であつてもあるいはアテがあらわれているようなときでも、成長のよい上層木群から成長のわるい下層木群にむかうにつれてつねに増大する傾向があきらかにみとめられている。

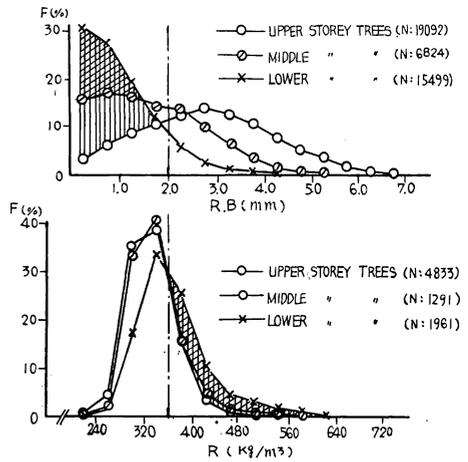


Fig. 3. 年輪巾と容積密度数の頻度(正常材)
The frequency of ring-breadth and bulk-density. (normal wood)

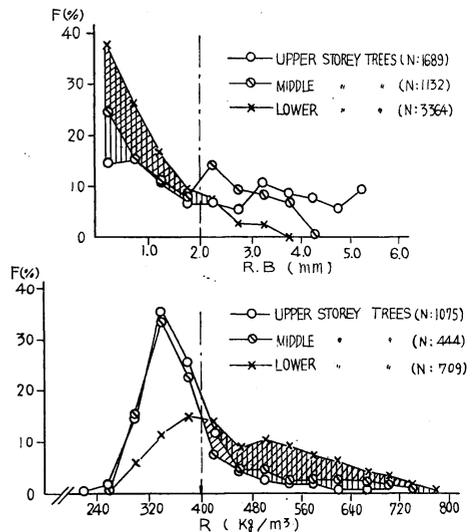


Fig. 4. 年輪巾と容積密度数の頻度(アテ材)
The frequency of ring-breadth and bulk-density (compression wood).

Table 2. 供試木の層別にくみわけした容積密度数の変化
The variation of bulk-density in the group of the storeies of trees.

			算術平均 Arithmetic mean kg/m ³	モード Mode kg/m ³	標準偏差 Standard deviation kg/m ³	測定数 Number of measurement
正 常 材 Normal wood	上 層 木 Upper storey trees		333	330	37	4833
	中 層 木 Middle storey trees		340	330	41	1291
	下 層 木 Lower storey trees		368	330	62	1961
	総 括 In all		342	330	48	8085
ア テ 材 Compression Wood	上 層 木 Upper storey trees		374	350	70	1075
	中 層 木 Middle storey trees		395	350	97	444
	下 層 木 Lower storey trees		471	390	116	709
	総 括 In all		409	350	101	2228

これらのちがいはさきに述べたように、あきらかに上層ないし下層木群における年輪巾のあらわれかた

によるもので、年輪が正常なものでもあるいはアテのものでもせまい年輪巾のものがより大きい容積密度数の値をしめし、その平均値からの偏差も大きい。したがって、せまい年輪巾で構成されている下層木群では、幹のなかの容積重構成についてもより大きい容積密度数をもつ材部が幹に分布する比率もたかくなり、その構成はより複雑になってくるものとかがえらる。

また、供試木の層別に正常な年輪とアテの年輪とで容積密度数の頻度分布をくらべてみると Fig. 5 にしめすようにいずれの立木群においてもアテの年輪がしめす容積密度数の頻度分布は正常な年輪のそれとたいしてRの大きくなる方向にズレている。このようにアテの年輪にその出現度のおおくなる容積密度数はおよそ $R \geq 360 \sim 400 \text{ kg/m}^3$ の領域にあたつており、この限界は Fig. 3 および Fig. 4 で正常な年輪とアテの年輪についてそれぞれの容積密度数の頻度分布にみられた供試木の層別の限界と一致しているが、さらに些細にみると成長のよい上層木群では $R \geq 360 \text{ kg/m}^3$ から成長のわるい下

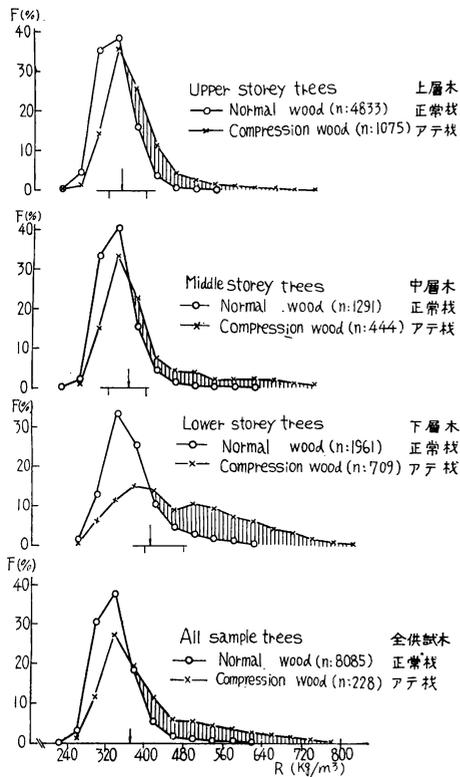


Fig. 5 正常材とアテ材にたいする容積密度数の頻度

The frequency of the bulk-density for the normal and compression wood.

層木群では $R \geq 400 \text{ kg/m}^3$ にいたるまでに順次うつっていることがみとめられる。

したがって、年輪にアテがあらわれてくる確率のおおくなる材の容積密度数はおよそ $R \geq 360 \sim 400 \text{ kg/m}^3$ にあたり、この限界容積密度数は成長のわるい下層木群ほどむしろ大きい値をとるものとかがえられる。

412. 幹の部位によるちがい

立木をその枝下をさかいとして幹の枝下の部位(枝下材ということにする)と樹冠のついている幹の部位(樹冠材ということにする)とにわけ、枝下材のうちでとくに地ぎわに接する位置のもの(地ぎわ材ということにする)を区別し、この3つの幹の部位ごとにその容積密度数のあらわれかたを供試木の層別にくらべて Fig. 6 にしめた。これからあきらかなように地ぎわ材におけるRの頻度分布は枝下材ないし樹冠材のものにくらべていずれもかなりRの大きい方向にズレており、供試木の各層をつうじておよそ $R \geq (360 \sim 400) \text{ kg/m}^3$ の領域に地ぎわ材の容積密度数があらわれる確率が枝下材ないし樹冠材のものよりかなりたかくあらわれていることはあきらかである。また、枝下材と樹冠材における容積密度数の頻度分布は上層木ないし中層木ではほとんど一致している(樹冠材のRの頻度曲線は枝下材のものにくらべてきわめてわずかながらRの大きいほうにズレている)が、下層木群では枝下材の頻度曲線は樹冠材のものよりあきらかにRの大きい方向にズレている。このように容積密度数の幹の部位によるあらわれかたにはあきらかなちがいがあるが、これをその年輪巾のあらわれかたに関連してみてもこれにあたる年輪巾のちがいはあまりあきらかにはみとめられてこない。しかし、この変化を幹の部位ごとにおいて供試木の層別にくらべると Fig. 7 にしめすように年輪巾のあらわれかたと容積密度数のあらわれかたに

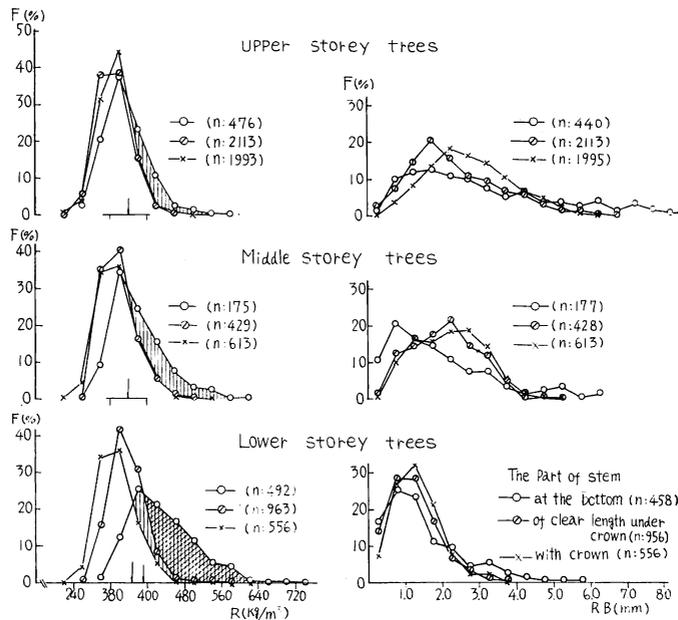


Fig. 6 幹の部位べつにくみわけした容積密度数と年輪巾の頻度
Frequency of the bulk-density and the ring-breadth grouped in the parts of stem (normal wood).

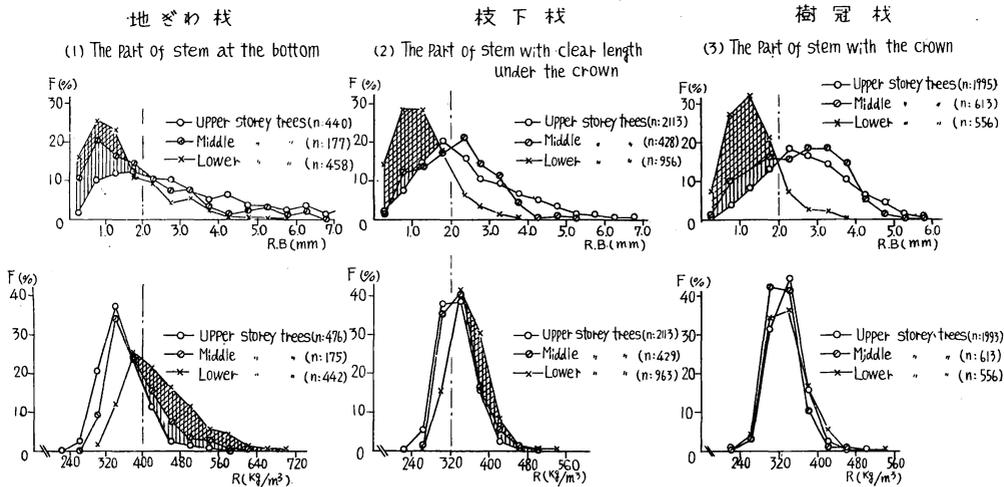


Fig. 7 供試木の層別における容積密度数と年輪巾にたいする幹の部位の影響
Influence of the parts of stem on the frequency of the bulk-density and ring-breadth grouped at every storey tree (normal wood).

はかなりあきらかな関連がみとめられてくる。ここで特徴的であることは幹のいずれの部位においてもその年輪巾が $R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$ の領域では下層木, 中層木, 上層木の順にその出現度がたかくなっており, このような年輪巾のあらわれかたに対応してそれぞれの幹の部位でその容積密度数のあらわれかたにかなりいちじるしい変化がみとめられていることである。

これは Fig. 7 にあきらかにみとめられることであるが, 地ぎわ材では $R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$ の領域は, $R \geq 400 \text{ kg/m}^3$ の範囲に枝下材ではおなじ年輪巾の領域は $R \geq (320 \sim 360) \text{ kg/m}^3$ の範囲に対応し, さらに樹冠材においてはその年輪巾のあらわれかたには $R.B. \approx 2.0 \text{ mm}$ をさかいにして供試木層によるいちじるしい変化がみとめられているにもかかわらず容積密度数のあらわれかたはこれらの供試木層についてほとんどかわっていない。したがって, 成長の悪い下層木群では幹のどの部位についてもせまい年輪巾 ($R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$) がおおく, これが地ぎわ材と枝下材とは容積密度数の大きい材部をつくっているが, 樹冠材においては下層木にこのせまい年輪巾 ($R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$) がおおいにもかかわらずその材部の容積密度数は上層ないし中層木群のそれにくらべてより大きくなることはない。このようなことは, 年輪巾がおなじであつてもその容積密度数は幹の部位によつてことなつた大きさをもつこと——あるいは年輪巾がちがつていてもその容積密度数の大きさは幹の部位によつておなじ値をとりうること——をしめしているものである。このような結果は幹の部位ごとにあらわれている $R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$ の年輪巾についてその秋材率のあらわれかたをしめた Fig. 8 から推察されてくるものであり, 一定の年輪巾の範囲にあらわれてくる秋材率の大きさは地ぎわ材のものが $S.P. \geq (20 \sim 30) \%$ の範囲におおくなり $S.P. \leq (20 \sim 30) \%$ のものはかえつて樹冠材にその頻度がたかい。したがって, これらの図から年輪巾がおなじであつても秋材率は地ぎわ材に最もおおく (秋材率の大きいものの頻度がたかい), 樹冠材に最も小さい (秋材率の小さいものの頻度がたかい) ことになり, これは S. H. SPURR と W. HSIUNG がおなじ年輪巾であつてもその秋材率の大きさは地上高や樹令によつてかわつてくるという観察の結果³³⁾と一致していることになる。

また, アテの年輪について幹の部位による容積密度数の頻度分布をくらべてみると Fig. 9 にしめす

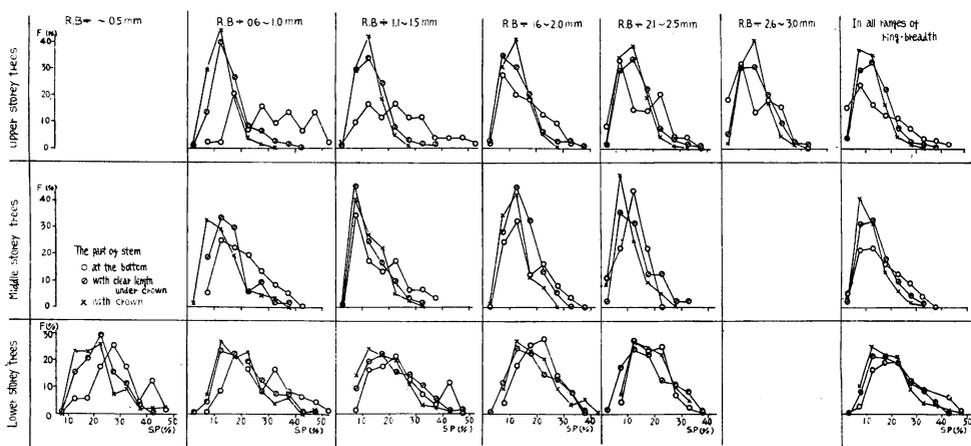


Fig. 8 供試木の層別における各年輪巾にあらわれる秋材率の頻度
Frequency of the summer wood percent on every range of ring-breadth grouped in the storey of trees.

ように、地ぎわ材の年輪がしめす容積密度数の頻度分布は枝下材や樹冠材のものにくらべて $R=400\sim440 \text{ kg/m}^3$ をさかいにしていちじるしく R の大きい方向にズレており、枝下材と樹冠材とのあいだにはあきらかなちがいはみとめられない。つぎにこれらの容積密度数の頻度分布についてその算術平均と標準偏差をもとめると Table 3 にしめすように、 R の算術平均と標準偏差は供試木を層別したくみのなかで概して地ぎわ材に最大値があらわれ樹冠材に最小値があらわれていて、地上高をまずにつれて材の容積密度数

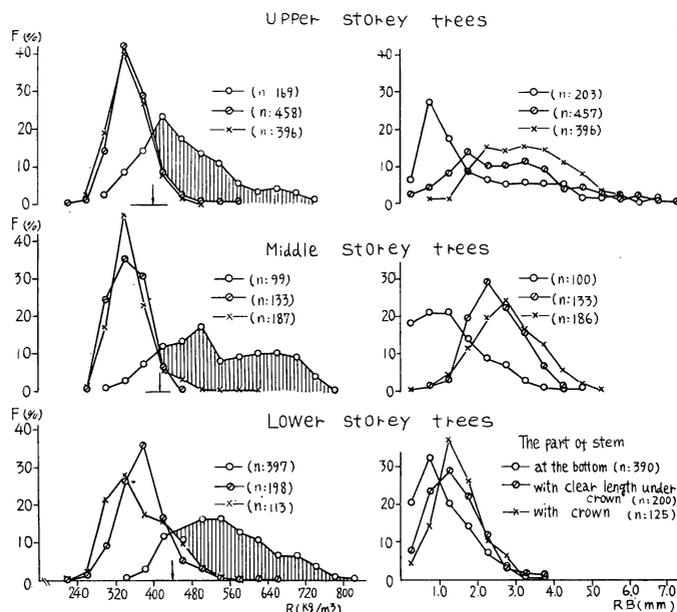


Fig. 9 幹の部位べつにあらわれる容積密度数と年輪巾の頻度 (ア材)
Frequency of the bulk-density and the ring-breadth grouped in the parts of stem (compression wood).

Table 3. 各供試木層における幹の部位べつにあらわれる容積密度数の変化
Variation of the bulk-density in the parts of stem on every storey trees.

		算術平均 Arithmetic mean kg/m ³	モード Mode kg/m ³	標準偏差 Standard deviation kg/m ³	測定数 Number of measurement	
正常材 Normal wood	上層木 Upper storey trees	地ぎわ材 The part of stem at the bottom	355 ↑	330	50 ↑	476
		枝下材 with clear length	329 ↓	330	34	2113
		樹冠材 with crown	334	330	34 ↓	1993
	中層木 Middle storey trees	地ぎわ材 The part of stem at the bottom	385 ↑	330	63 ↑	175
		枝下材 with clear length	338	330	38 ↓	429
		樹冠材 with crown	326 ↓	330	30 ↓	613
	下層木 Lower storey trees	地ぎわ材 The part of stem at the bottom	431 ↑	390	67 ↑	442
		枝下材 with clear length	357	330	45 ↓	963
		樹冠材 with crown	336 ↓	330	41 ↓	556
アテ材 Compression wood	上層木 Upper storey trees	地ぎわ材 The part of stem at the bottom	479 ↑	430	94 ↑	169
		枝下材 with clear length	359	370	44 ↓	458
		樹冠材 with crown	351 ↓	350	41 ↓	396
	中層木 Middle storey trees	地ぎわ材 The part of stem at the bottom	537 ↑	510	108 ↑	99
		枝下材 with clear length	351	350	40 ↓	133
		樹冠材 with crown	353 ↓	330	47 ↓	187
	下層木 Lower storey trees	地ぎわ材 The part of stem at the bottom	545 ↑	530	94 ↑	397
		枝下材 with clear length	380	390	55 ↓	198
		樹冠材 with crown	368 ↓	350	59 ↓	113

が減少し、そのバラツキをしめす標準偏差も減少していく傾向があきらかにみとめられる。しかしまた、樹冠材のRの算術平均と標準偏差のうちには枝下材のものよりも大きくあらわれているものもあり Fig. 6, Fig. 9などで樹冠材と枝下材のRの頻度分布や後述する幹の容積密度数の分布図などからみて、幹の樹冠部位にかなり重い容積密度数の材部があらわれることもしばしばみとめられることである。これは太い枝のついている部分にはしばしばアテがあらわれたりしてその材部が異常に重くなっていることなどからも理解できるようにおもわれる。

このような幹の部位による容積密度数の算術平均と標準偏差のちがいについてはこれまでに調査した2, 3の樹種²³⁾とくらべてみると、容積密度数の算術平均が地ぎわ材に最大になり樹冠材に最小になることは針葉樹にたいして一般的な傾向であり、また、その標準偏差が地ぎわ材に最も大きくなることも、この部分にアテなどの発達がおおくしたがつてその材質的なバラツキが異常に大きくなることも容易にかん

がえられるものである。

また、アテの年輪について幹の部位ごとに容積密度数のあられかたをその年輪巾に関連して供試木の層別にもとめてみると Fig. 10 にしめすように、枝下材と樹冠材では年輪巾 $R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$ の範囲のものは下層木にいちじるしく頻度がたかく、これに $R \geq (360 \sim 400) \text{ kg/m}^3$ の容積密度数の領域が対応しているが地ぎわ材ではこのような下層木における特徴はほとんどみとめられず、むしろ上層木群における $R.B. \geq 3.0 \text{ mm}$ の年輪巾に対応して $R \leq 480 \text{ kg/m}^3$ の容積密度数の領域がみとめられてくる。これを正常材についてしめた Fig. 7 とくらべると、枝下材と樹冠材のいずれについても $R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$ の年輪巾に下層木群の頻度がたかくなっているのにこの領域は正常材については $R \geq (320 \sim 360) \text{ kg/m}^3$ 、アテ材については $R \geq (360 \sim 400) \text{ kg/m}^3$ の容積密度数にあたつていて、アテ材のほうが正常材にくらべてやや大きい容積密度数のものからその頻度がたかくなってくるほかはいちじるしいちがいはみとめられない。

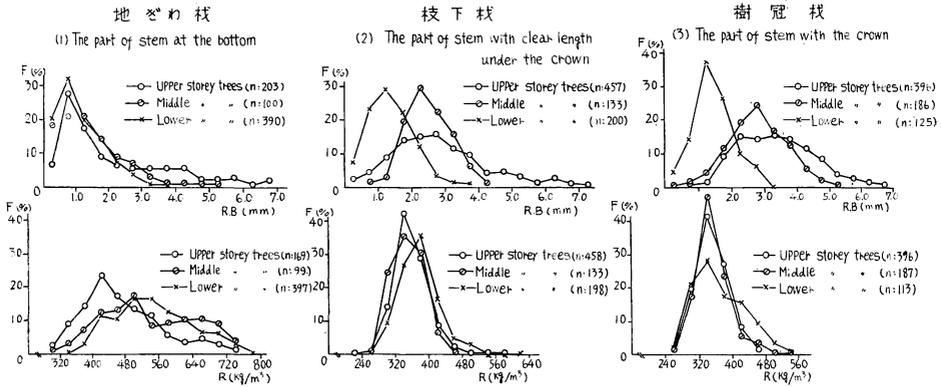


Fig. 10 各供試木層における容積密度数と年輪巾の頻度に対する幹の部位べつの影響
Influence of the parts of stem on the frequency of the bulk-density and ring-breadth grouped at every storey tree (compression wood).

413. 斜面と幹の方位によるちがひ

供試木をその生育していた立地の斜面によつて N. S. の slope と峯筋のものとのわけ、それぞれの立地ごとに幹の N. S. E. W. の4方位につくられている容積密度数のあられかたをくらべてみると Fig. 11 にしめしているように、上層木群のものでは N-slope におけるものが S-slope のものより $R \geq 360 \text{ kg/m}^3$ の容積密度数の領域にあらわれる頻度がたかくなつており、幹のいずれの方位においても N-slope のものが S-slope のものにくらべてつねに $R \geq 360 \text{ kg/m}^3$ の重い材部をつくる傾向があきらかにみとめられている。これにたいして中層木群のものでは幹のいずれの方位においても $R \geq 320 \text{ kg/m}^3$ の領域には S-slope のものが N-slope のものよりわずかではあるがその出現の頻度がたかくなつており、この2つの斜面のものにくらべて峯筋のものは、いずれもその容積密度数が大きいところに頻度がたかくなっている。また、下層木のものではその容積密度数のあられかたはこれらの斜面べつや幹の方位べつにみてもあまりあきらかなちがひはみとめられていない。

また、この Fig. 11 で N. S. の slope ごとに幹の N. S. 方位べつの容積密度数の頻度曲線をくらべてみても、これらの度数はそれぞれ幹の全長にわたつて集計されているためにいちじるしいちがひ(幹足における偏心成長やアテの発達にともなつてあらわれてくる幹の方位べつの容積密度数の偏異)はほとんど

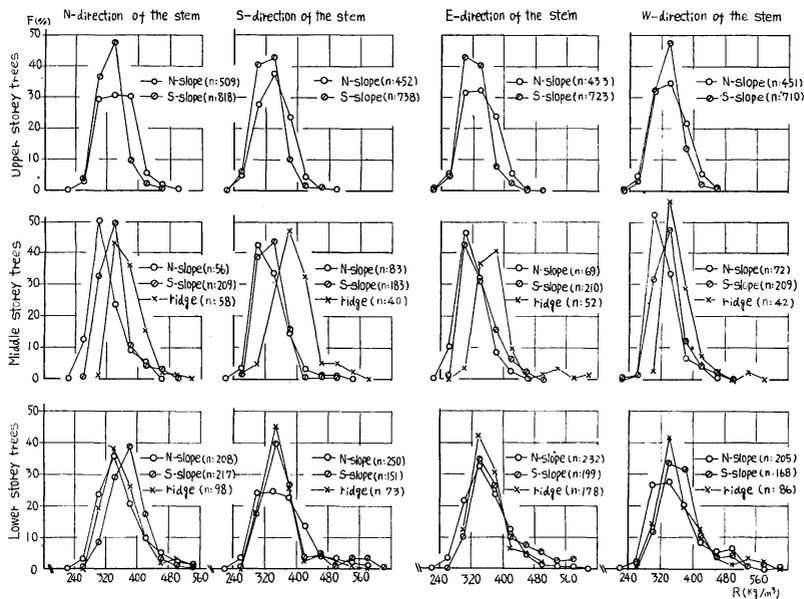


Fig. 11 北斜面, 南斜面および峯筋における供試木の幹の方位べつにあらわれる容積密度数の頻度

Frequency of the bulk-density developing on the directions of stem of sample-trees grown at the N-slope, S-slope and the ridge (normal wood).

相殺されているようにおもわれる。

42. 年輪巾と秋材率と容積密度数

(33) に述べた方法で供試木の各地上高の円板の令階べつに木取られた供試片の容積密度数が測定され、その供試片にふくまれる 5~10 コの年輪については (32) に記載された方法でそれぞれの年輪の年輪巾と秋材巾 (率) がもとめられた。この年輪巾と秋材巾 (率) の値は容積密度数を測定した供試片にふくまれている年輪ごとに平均され、この平均年輪巾と平均秋材率を供試片の容積密度数の値と対照するようにした。約 10,000 コをこえる供試片についてもとめられたこれらのすべての測定値はその整理と分類の正確さと便利さのために Fig. 12 にしめすような記録カードに記入し該当する因子をパンチングして、その測定値を種々の条件の組合せのもとに容易に分類、集計できるようにした。

421. 正常な年輪

68 本の供試木の各地上高べつ円板で 5~10 年おきの令階ごとに木取つた供試片の容積密度数 R (kg/m^3) のうちで、まずその年輪にアテその他の欠点のない正常なものだけを区別して、その容積密度数の値とその供試片をつくつている 5~10 コの年輪の平均年輪巾と平均秋材率との関係をもとめた。正常な年輪によつて構成されていた供試片の数は上層木 4903 コ、中層木 1292 コ、下層木 949 コ、合計 8144 コであり、これらの供試片の容積密度数の値をその供試片のしめす平均年輪巾と平均秋材率によつてくみわけして、年輪巾は 0.5 mm おき秋材率は 5% おきのくみごとに容積密度数の算術平均をもとめて年輪巾と秋材率の一定範囲ごとに容積密度数の平均値の変化をくらべた。

a. 年輪巾と秋材率にたいする容積密度数のあらわれかた

試料番号		年輪		秋材率		容積密度		試料番号	
試料番号	年輪	秋材率	容積密度	試料番号	年輪	秋材率	容積密度	試料番号	年輪
1	1.0	1.0	1.0	101	1.0	1.0	1.0	201	1.0
2	1.5	1.5	1.5	102	1.5	1.5	1.5	202	1.5
3	2.0	2.0	2.0	103	2.0	2.0	2.0	203	2.0
4	2.5	2.5	2.5	104	2.5	2.5	2.5	204	2.5
5	3.0	3.0	3.0	105	3.0	3.0	3.0	205	3.0
6	3.5	3.5	3.5	106	3.5	3.5	3.5	206	3.5
7	4.0	4.0	4.0	107	4.0	4.0	4.0	207	4.0
8	4.5	4.5	4.5						
9	5.0	5.0	5.0						
10	5.5	5.5	5.5						
11	6.0	6.0	6.0						
12	6.5	6.5	6.5						
13	7.0	7.0	7.0						
14	7.5	7.5	7.5						
15	8.0	8.0	8.0						
16	8.5	8.5	8.5						
17	9.0	9.0	9.0						
18	9.5	9.5	9.5						
19	10.0	10.0	10.0						
20	10.5	10.5	10.5						
21	11.0	11.0	11.0						
22	11.5	11.5	11.5						
23	12.0	12.0	12.0						
24	12.5	12.5	12.5						
25	13.0	13.0	13.0						
26	13.5	13.5	13.5						
27	14.0	14.0	14.0						
28	14.5	14.5	14.5						
29	15.0	15.0	15.0						
30	15.5	15.5	15.5						
31	16.0	16.0	16.0						
32	16.5	16.5	16.5						
33	17.0	17.0	17.0						
34	17.5	17.5	17.5						
35	18.0	18.0	18.0						
36	18.5	18.5	18.5						
37	19.0	19.0	19.0						
38	19.5	19.5	19.5						
39	20.0	20.0	20.0						
40	20.5	20.5	20.5						
41	21.0	21.0	21.0						
42	21.5	21.5	21.5						
43	22.0	22.0	22.0						
44	22.5	22.5	22.5						
45	23.0	23.0	23.0						
46	23.5	23.5	23.5						
47	24.0	24.0	24.0						
48	24.5	24.5	24.5						
49	25.0	25.0	25.0						
50	25.5	25.5	25.5						
51	26.0	26.0	26.0						
52	26.5	26.5	26.5						
53	27.0	27.0	27.0						
54	27.5	27.5	27.5						
55	28.0	28.0	28.0						
56	28.5	28.5	28.5						
57	29.0	29.0	29.0						
58	29.5	29.5	29.5						
59	30.0	30.0	30.0						
60	30.5	30.5	30.5						
61	31.0	31.0	31.0						
62	31.5	31.5	31.5						
63	32.0	32.0	32.0						
64	32.5	32.5	32.5						
65	33.0	33.0	33.0						
66	33.5	33.5	33.5						
67	34.0	34.0	34.0						
68	34.5	34.5	34.5						
69	35.0	35.0	35.0						
70	35.5	35.5	35.5						
71	36.0	36.0	36.0						
72	36.5	36.5	36.5						
73	37.0	37.0	37.0						
74	37.5	37.5	37.5						
75	38.0	38.0	38.0						
76	38.5	38.5	38.5						
77	39.0	39.0	39.0						
78	39.5	39.5	39.5						
79	40.0	40.0	40.0						
80	40.5	40.5	40.5						
81	41.0	41.0	41.0						
82	41.5	41.5	41.5						
83	42.0	42.0	42.0						
84	42.5	42.5	42.5						
85	43.0	43.0	43.0						
86	43.5	43.5	43.5						
87	44.0	44.0	44.0						
88	44.5	44.5	44.5						
89	45.0	45.0	45.0						
90	45.5	45.5	45.5						
91	46.0	46.0	46.0						
92	46.5	46.5	46.5						
93	47.0	47.0	47.0						
94	47.5	47.5	47.5						
95	48.0	48.0	48.0						
96	48.5	48.5	48.5						
97	49.0	49.0	49.0						
98	49.5	49.5	49.5						
99	50.0	50.0	50.0						
100	50.5	50.5	50.5						
101	51.0	51.0	51.0						
102	51.5	51.5	51.5						
103	52.0	52.0	52.0						
104	52.5	52.5	52.5						
105	53.0	53.0	53.0						
106	53.5	53.5	53.5						
107	54.0	54.0	54.0						

Fig. 12 年輪巾, 秋材率, および容積密度数のあいだの関係をもとめるために設計された記録カード

The punching card designed for studying the relation among ring-breadth, summer wood percent and bulk-density of wood.

この林分の供試木の層別に年輪巾にたいする秋材率のあらわれかたをもとめ（木材材質の森林生物学的研究 Report 5 の Fig. 4 (1~30) にしめた), これから年輪巾にたいする秋材率の出現度数が 1%, 10%, 20%, 30% になるような秋材率の等頻度曲線をつくり, その曲線でかこわれた部分にそれぞれの年輪巾と秋材率の範囲が該当する容積密度数の平均値を容積密度数の一定範囲ごととわけて (この範囲は後述する幹のなかの容積密度数の分布図をつくっている R の 11 階級の範囲と一致させた), 供試木の層別にし

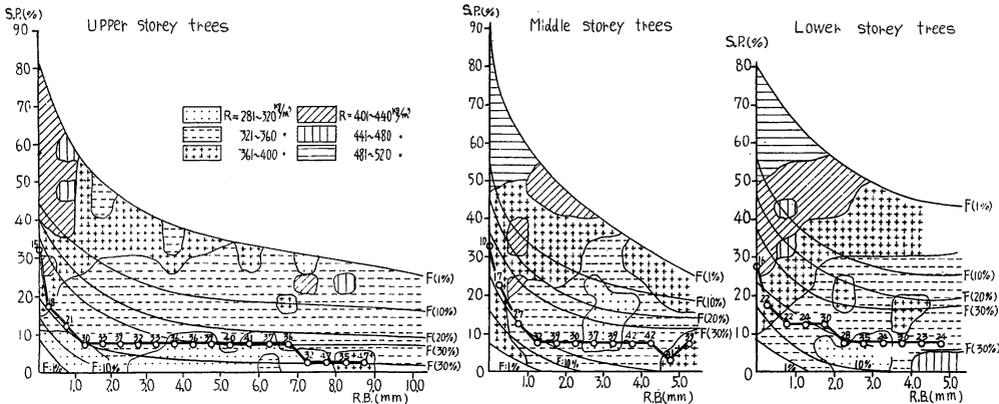


Fig. 13 年輪巾と秋材率の等頻度曲線にたいする容積密度数のあらわれかた (上, 中, 下層木群)

Distribution of the bulk-density to the equal frequency curves of ring-breadth and summerwood-percent (upper, middle and lower storey trees).

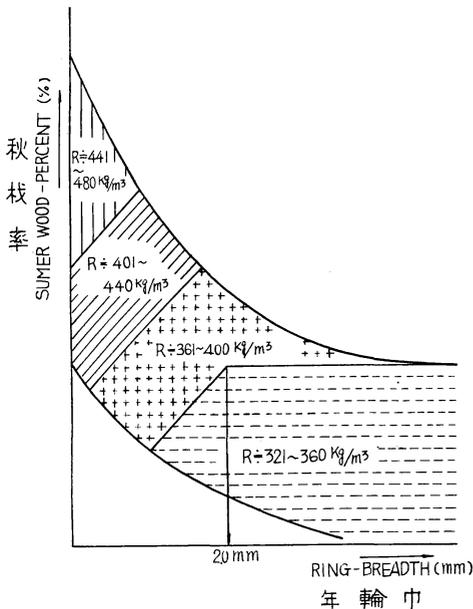


Fig. 14 年輪巾と秋材率の頻度曲線にたいする容積密度数の模式的なあらわれかた
Diagrammatic distribution of the bulk-density to the frequency curves of ring-breadth and summerwood-percent.

めしてみると Fig. 13 のようになる。この供試木の層別につくられた図形をくらべて年輪巾と秋材率にたいして容積密度数のあらわれかたで特徴的であるとみられることを模式的にしめすとつぎの Fig. 14 にみとめられるように, 等しい年輪巾にあらわれてくる秋材率の大きいほうの限界と小さいほうの限界とであたえられているパラボラ型の出現域のなかで, いちじるしくかぎられた範囲に容積密度数の階段的な変化があらわれており, 等容積密度数曲線ともいうべき一定容積密度数の出現域の変化はこの年輪巾と秋材率の等頻度曲線にたいしてほとんど直交するような放射方向にあらわれてくる。すなわち年輪巾と秋材率のこの等頻度曲線でかこまれた範囲にせまい年輪巾と秋材率の大きい曲線の一端に最もたかい容積密度数の出現域がこのパラボラ型の曲線にほとんど直交してあらわれ, これより小さい容積密度数の出現域がこの

方向に順次に層状にあらわれてきている。しかしこの年輪巾と秋材率の等積密度曲線の tangent がしだいに小さくなり曲線が横軸に平行してくるところでは容積密度数の変化はほとんどなく、広い範囲にわたって $R \approx 321 \sim 360 \text{ kg/m}^3$ の出現域があらわれている。

この $R \approx 321 \sim 360 \text{ kg/m}^3$ の R 階のものは後述するようにこの樹種にあらわれてくる容積密度数のうちで幹の根張りとか樹冠の影響の比較的すくない幹の中央部に発達してくる R(b) 分布層の容積密度数の大きさにあつているものであり、またこの容積密度数の出現域の限界はこの Fig. 14 であきらかであるように $R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$ の年輪巾の範囲では $S.P. \approx 10 \sim 30 \%$ の秋材率のあいだで年輪巾に比例して変化しており、年輪巾がせまくなるほど秋材率も小さくなる範囲にうつっており、年輪巾の最もせまいときで $S.P. \approx 10\%$ の秋材率ぐらゐまで低下していることになる。これにたいして $R.B. \geq 2.0 \text{ mm}$ の年輪巾の範囲においてはこの出現域は年輪巾の大きさに関係なくほぼ一定の秋材率 ($S.P. \leq 30\%$) のあいだに広くあらわれていてトドマツ材にたいして基準的な容積密度数の大きさであるとかんがえた。

このような年輪巾と秋材率にたいする容積密度数のあらわれかたを上、中、下層木群の層別にくらべてみると、この $R \approx 320 \sim 360 \text{ kg/m}^3$ の出現域は上層と下層木群とのあいだにほとんど変化はない(中層木群では容積密度数を測定した供試数がややすくないためかその傾向は上、下層木群の模式図にくらべていくぶん不規則にあらわれている)がこれより大きい容積密度数 ($R > 360 \text{ kg/m}^3$) の出現域は供試木の層別にかなりかわっており、おなじ年輪巾でおなじ容積密度数のものの出現域は下層木群が上層木群にくらべてより小さい秋材率の範囲にあらわれている。すなわち、 $R > 360 \text{ kg/m}^3$ の範囲においてはおなじ年輪巾でおなじ秋材率でも成長の悪い下層木群にできる材は成長のよい上層木群にできる材よりやや重くなる傾向があるものとみとめられる。また、Fig. 13 の図形をくらべてみると下層木群における容積密度数のあらわれかたは $R > 360 \text{ kg/m}^3$ の容積密度数の範囲においては年輪巾と秋材率の両軸にたいしてあきらかに放射方向の出現域をしめしているが、上、中層木群についてはこのような放射方向の出現域はさほどあきらかではなく、そのうちにはこの年輪巾と秋材率の出現域のなかでこの容積密度数の出現域に相当するところにむしる局部的にかなり不規則なあらわれかたをしているようであつた。

b. 年輪巾と容積密度数の等秋材率曲線

年輪巾 0.5 mm おき秋材率 5% おきのくみごとにもとめられた供試片の容積密度数の算術平均値から、年輪巾と容積密度数の関係とその秋材率のくみごとにもとめ、供試木の層別にしめすと Fig. 15 のようになる。このようにしてつくられた年輪巾と容積密度数の等秋材率曲線は供試木の層別にもかなりいちじるしい変化がみとめられ、おなじ供試木群のなかでもその秋材率のくみごとに複雑な変化のしかたがあらわれている。たとえば、上層木群においては秋材率が 5% 、 10% 、 15% のそれぞれの等秋材率曲線は $R.B. \approx 2.0 \sim 2.5 \text{ mm}$ ぐらゐの年輪巾のところ R の最大値があらわれる上に凸な曲線群としてしめされるが $S.P. \approx 30\%$ の等秋材率曲線は下に凸なパラボラ型の曲線をしめし、 $R.B. \approx 2.0 \text{ mm}$ ぐらゐの年輪巾のところと同様に曲線の変異点にあつており、さらに秋材率が 20% 、 25% の等秋材率曲線はこれらの2つの型の曲線のあいだにあつて部分的に上に凸な曲線と下に凸な曲線が組み合わされた経過があらわれている。したがつて、供試片を構成する年輪でその年輪巾は広く秋材率がかなり小さい ($S.P. \leq 15\%$) ものと秋材率が大きい ($S.P. \geq 20\%$) ものからえられた年輪巾と容積密度数との関係はまつたくことなつた結果をしめすことになり、秋材率に関係なく年輪巾と容積密度数との関係を検討したこれまでの研究結果があるいは下に凸な曲線をあたえたり、あるいは上に凸な曲線をあたえているのはおそらくこのようなこと

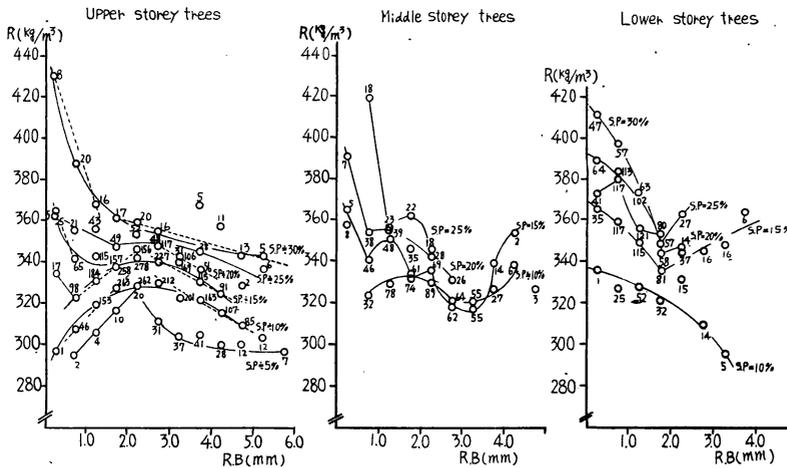


Fig. 15 各秋材率にあらわれる年輪巾と容積密度数との関係 (上, 中, 下層木群)
 The curves showing the relation between the ring-breadth and the bulk-density developed at every each equal summerwood-percent (upper, middle and lower storey trees).

によるものであろうとおもわれる。このような研究資料によつて全くことなつた結果が報告されていることについてはすでに述べたように G. KLEM²⁵⁾ および平井²⁾ らは年輪巾と容積重との関係には当然その年輪の秋材率が介在し、これは年輪巾がおなじであつてもその樹令とか地上高などの条件で複雑に変化するためであらうとかがえ、S. H. SPURR と W. HISUNG³³⁾ らは樹令 57~70 年の *Pinus Banksiana* (Minnesota 産) を試料として、幹の等しい地上高においては容積重と樹令とのあいだに若干の相関はあるが、おなじ地上高でおなじ樹令のものをとりだしてみると年輪巾と容積重とのあいだにはいかなる相関もないことをあきらかにした。これにたいして M. WEGELIN²⁶⁾ は、*Larix leptolepis* の試料でおなじ地上高でおなじ樹令のものを区別したときに年輪巾と容積重の関係はかなりあきらかにみとめられることをのべており、R. WANDT²⁸⁾ は Fichte と Kiefer について幹の地上高べつに 3 つの成長期間 (樹令による区分) にわけて年輪巾と容積重との関係をしめし、Fichte では年輪巾の増加にたいして容積重の減少が対応し、Kiefer では R.B. = 20 mm で容積重が最大になりそれより年輪巾が広がつてもせまくなつてもその容積重が低減する傾向をしめしている。この R. WANDT の研究から年輪巾と容積重の関係で幹の最下部のものがたかい容積重の位置にあらわれ、地上高をますにつれてしだいに低い容積重の位置にうつつていくことはあきらかであるが、この樹令と地上高による区分によつてもその容積重が年輪巾にたいして安定しているとはかえられないので、彼らはこの年輪巾がその材質の判定にたいしていずれもかなり不確実な指標にすぎないことをみとめている。

また、Fig. 15 で上に凸な曲線と下に凸な曲線の変異点がいずれも R.B. = 2.0~2.5 mm の年輪巾にあらわれており、これより広い年輪巾では秋材率の大ききにかかわらず年輪巾の増加にたいして容積密度数は低減しているが R.B. ≤ (2.0~2.5) mm の年輪巾の範囲では秋材率の大ききくみ (S.P. ≥ 20%) では同様に年輪巾の増加にたいして容積密度数は減少しているが、秋材率の小さきくみ (S.P. ≤ 15%) では年輪巾の増加に比例して容積密度数の増加する傾向があらわれており、R.B. ≤ 2.0 mm の範囲ではその秋材率の大

きさによつて年輪巾に比例して容積密度数が増加するくみと、これに逆比例して容積密度数が低減するくみとがあらわれていることになる。

このような年輪巾と容積密度数の等秋材率曲線のあらわれかたは中層木や下層木群などではまたかなりことなつており、とくに下層木群では $R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$ の年輪巾では秋材率の大きさにかかわらず年輪巾の増大にたいする容積密度数の低減があらわれ上層木群にみられるような容積密度数の増加する傾向はあらわれていない。しかし、 $R.B. \geq 2.0 \text{ mm}$ の年輪巾ではこの下層木群にあらわれてくる供試数もいちじるしくすくないので、なお、かなり不規則な変化しかみとめられないが、そのうちのおおくのものに年輪巾の増大に比例して容積密度数の増加する傾向がみとめられている。

つぎに、年輪巾と容積密度数にたいする秋材率の関係を、供試木の層別にくらべてみると、Fig. 16 にしめすように、秋材率 $S.P. \leq 20\%$ の領域においては $R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$ の年輪巾の範囲で成長のわるい下、中層木群にあらわれる容積密度数は成長のよい上層木群におけるおなじ年輪巾とおなじ秋材率のものがしめす容積密度数よりもかなり大きな値をしめしており、 $R.B. = 2.0 \text{ mm}$ の年輪巾のところではこの層別のちがいが一度消失し、その後ふたたび年輪巾がますますつれて中、下層木群の容積密度数が大きくなつていく。このような傾向は秋材率 $S.P. \leq 15\%$ の範囲にはかなりあきらかであるが、 $S.P. \geq 16\%$ の秋材率の範囲にはそのちがいはほとんどみとめられない。しかし、秋材率のすべての範囲について集計してみればこの供試木の層別のちがいは一層あきらかにあらわれており、 $R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$ の年輪巾では成長のわるい下、中層木群におけるものがおなじ年輪巾でもその容積密度数があきらかに大きくなつており $R.B. = 2.0 \text{ mm}$ ぐらいの年輪巾で一度この層別

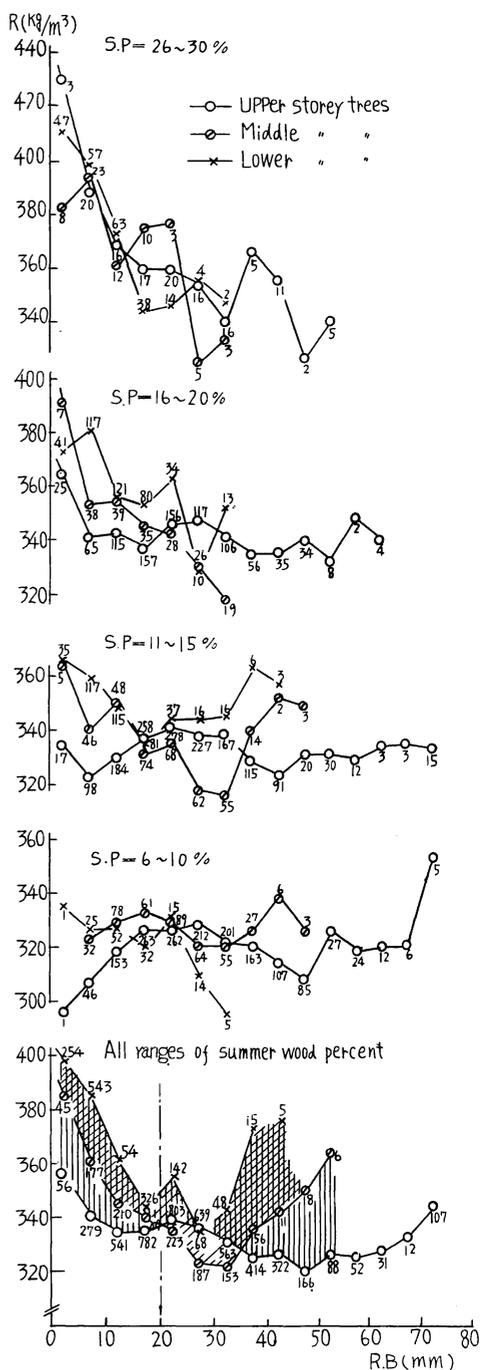


Fig. 16 年輪巾と容積密度数の関係にたいする秋材率の影響(上, 中, 下層木群)
Influence of summerwood-percents to the relation between ring-breadth and bulk-density (upper, middle, lower storey trees).

によるちがいはなくなり、その後ふたたび下、中層木群の容積密度数が上層木群のものより大きくなっている。この層別による容積密度数のちがいが消失する $R.B. \approx 2.0 \text{ mm}$ の年輪巾にあらわれている容積密度数の大きさは $R \approx 321 \sim 360 \text{ kg/m}^3$ にあたっており、この容積密度数の出現域は Fig. 13 ですであきらかにしたように供試木の層別によるちがいがなく一致しており、またこれよりせまい年輪巾ではおなじ年輪巾でもその容積密度数の大きさが層別にことなることは、この Fig. 13 でしめたように $R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$ の年輪巾では年輪巾と秋材率の等頻度曲線にたいして放射方向にあらわれてくる容積密度数 ($R \geq 360 \text{ kg/m}^3$) の出現域が供試木の層別にあきらかにことなっており、おなじ年輪巾で、おなじ容積密度数のものの出現域は下、中層木群のものが成長のよい上層木のものにくらべてより小さい秋材率の範囲にあらわれている結果とまったく一致していることになる。

c. 秋材率と容積密度数の年輪巾による変化

年輪巾と秋材率のくみごとにもとめられた供試木の容積密度数の平均値から秋材率と容積密度数の関係を年輪巾の一定の範囲ごとにもとめて Fig. 17 にしめたが、容積密度数は秋材率に比例してほぼ直線的な変化をしめており、 $R.B. \approx 0.6 \sim 2.0 \text{ mm}$ の年輪巾の範囲では供試木の層別にしめされる秋材率と容積密度数との直線の勾配はほとんど等しく、したがって、それらの直線はたがいに平行しているが、おなじ秋材率においても成長の悪い下、中層木の上層木群にくらべてその容積密度数の値がやや大きくあらわれている。このような傾向は $R.B. \geq 2.0 \text{ mm}$ の年輪巾の範囲ではあまりあきらかでなく、 $R.B. \geq 4.0 \text{ mm}$ ではこの秋材率と容積密度数の関係はまったく不規則になつている。しかし、年輪巾に関係なくたんに秋材率と容積密度数との関係を見ると Fig. 17 にしめた上層木群の例で最もあきらかにしめされているように、秋材率と容積密度数との関係をしめず直線の勾配は年輪巾のせまいときは大きく、年

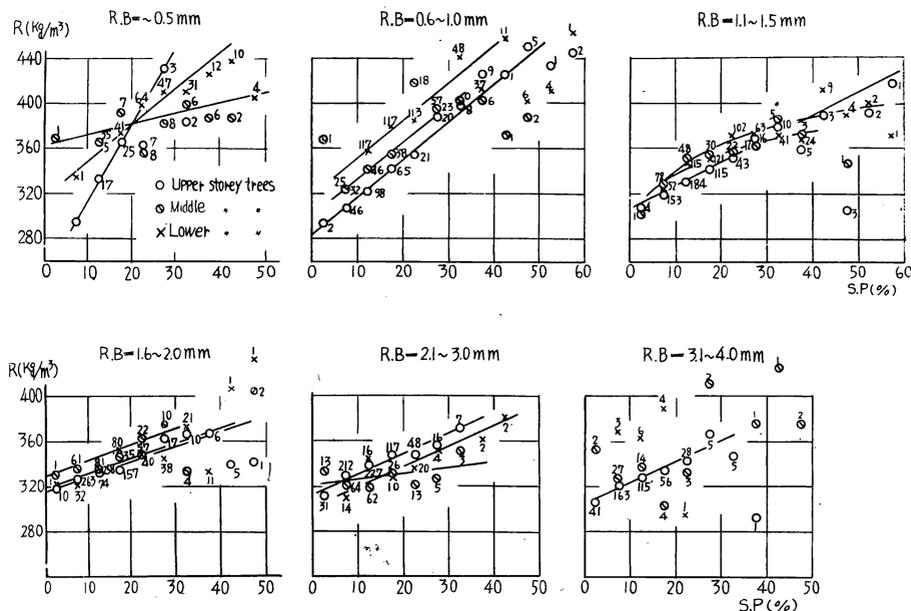


Fig. 17 各年輪巾における容積密度数と秋材率の関係 (上, 中, 下層木群)

The relation between the bulk-density and the summerwood-percent at the every each range of the ring-breadth (upper, middle and lower storey trees).

輪巾がしだいに広くなるにつれてその勾配がしだいに小さくなり、 $R.B. \geq 2.0 \text{ mm}$ の範囲ではその直線
 の方向はほとんど一定している。このような秋材率と容積密度数との年輪巾による変化のしかたはつぎの
 Fig. 18 に模式的に示したが $R.B. \approx 0.5 \text{ mm}$ の年輪巾における秋材率と容積密度数との直線がその直
 線上の一点を軸として $R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$ の年輪巾に
 における秋材率と容積密度数との直線に回転したとき
 にできる扇形の部分に $R.B. \approx 0.5 \sim 2.0 \text{ mm}$ の範囲
 における秋材率と容積密度数のすべての変化がふく
 まれており、 $R.B. \geq 2.0 \text{ mm}$ における変化は $R.B.$
 $\approx 2.0 \text{ mm}$ の年輪巾における秋材率と容積密度数の
 直線にほとんど一致してあらわれていることになる。

したがって、この Fig. 18 からみられるように
 この2つの直線の軸になつている点は年輪巾が変つ
 ても容積密度数の値はほぼ一定の大きさをしめして
 いることになり、この点は秋材率が $S.P. \approx 10 \sim 15$
 %でその容積密度数は $R \approx 320 \sim 360 \text{ kg/m}^3$ にあた
 つている。この秋材率 $S.P. \approx 10 \sim 15$ %の値はこれ
 までの研究ですでにきらかにしたように(木材材
 質の森林生物学的研究, Report 5, Fig. 5(1-4)
 にしめた年輪巾による秋材率の特性分布), $R.B.$

$\approx 2.0 \sim 5.0 \text{ mm}$ の年輪巾でその秋材率が $S.P. \approx 10 \sim 15$ %に安定してきている範囲にあつていること
 になり、また容積密度数 $R \approx 320 \sim 360 \text{ kg/m}^3$ の範囲はさきのべたように供試木層や年輪巾の変化に関係
 なく幹の中央部に最も普通につくられているトドマツ材の基準的な容積密度数の範囲にあつていること
 になる(年輪巾と秋材率にたいする容積密度数のあらわれかたをしめた Fig. 13, 年輪巾と容積密度数
 にたいする秋材率の関係をしめた Fig. 16, および後述する幹のなかの容積密度数の分布図を参照)。
 これにたいして $R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$ の年輪巾ではこの軸より大きい秋材率 ($S.P. > (10 \sim 15)\%$) の範囲では年
 輪巾が広くなるとその容積密度数は減少する方向に変化し、この軸より小さい秋材率 ($S.P. < (10 \sim 15)\%$)
 では年輪巾が広くなるとその容積密度数は増加する方向に変化し、 $S.P. \approx 10 \sim 15$ %の秋材率を中心として
 その両側で年輪巾にたいする容積密度数の変化する方向がことなつていることになり Fig. 14 でしめた
 年輪巾と容積密度数の等秋材率曲線で $R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$ の年輪巾ではその秋材率の大きさによつて容積
 密度数が年輪巾の増減に比例して変化するものとこれと逆に年輪巾の増減に反比例して変化するものと
 が同時にあらわれていることとまつたく一致していることになる。

d. 年輪巾と秋材率と容積密度数との関係

秋材率のくみごとに年輪巾と容積密度数との関係をもとめた Fig. 14 と、年輪巾のくみごとに秋材率
 と容積密度数の関係をもとめた Fig. 17 とから容積密度数にたいする年輪巾と秋材率の関係はそれぞれ
 別個に抽出されてきたが、これらの関係をさらにいつそうきらかにしめすために年輪巾と秋材率と容積
 密度数をそれぞれ直交する3軸にとつてこの3つの関係を供試木の層別(中層木群については供試数が比

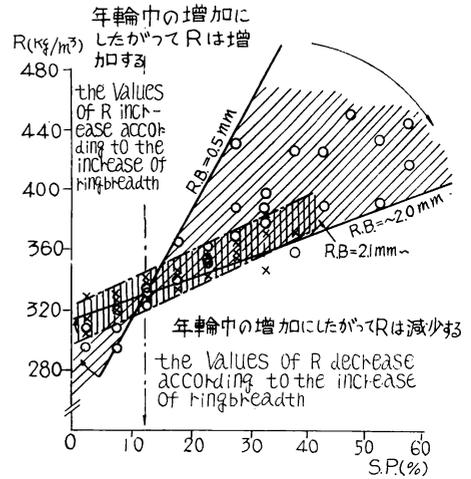


Fig. 18 容積密度数と秋材率の関係にたいする年輪巾の影響(上層木群)

Influence of the ring-breadth on the relation between bulk-density and summerwood-percent (upper storey trees).

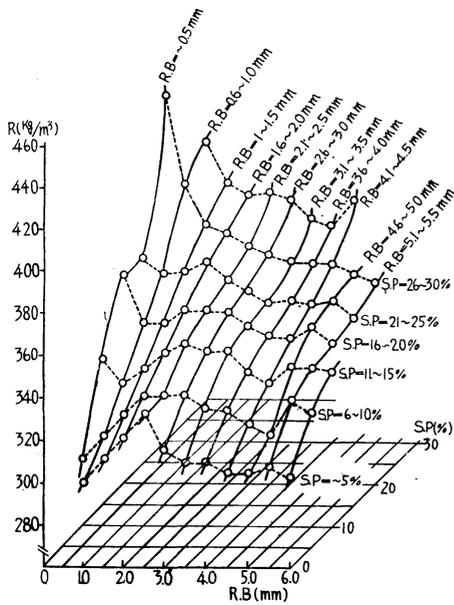


Fig. 19-1 容積密度数と年輪巾と秋材率のあいだの関係 (上層木群)
The relation among bulk-density, ring-breadth and summerwood-percent (upper storey trees).

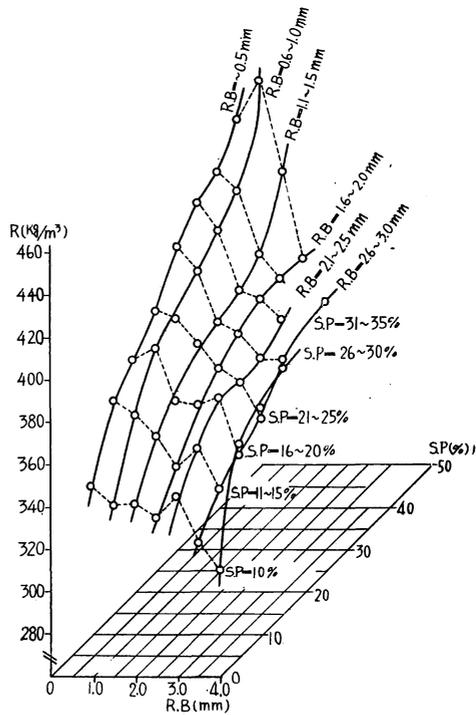


Fig. 19-2 容積密度数と年輪巾と秋材率のあいだの関係 (下層木群)
The relation among bulk-density, ring-breadth and summerwood-percent (lower storey trees).

較的すくなくその関係にもなおかなり不規則な点がおおいのでここでは省略した) にもとめて、これらの軸にたいして変化する曲面として

Fig. 19(1~2)にしめた。したがって、この Fig. 19 では Fig. 14 にしめた年輪巾と容積密度数との関係はこの曲面を年輪巾 (R.B.) と容積密度数 (R) の2軸に平行で秋材率 (S.P.) の軸に垂直な平面できつたときの断面がこの秋材率における年輪巾と容積密度数の関係をしめしており、また、Fig. 16 にしめた秋材率と容積密度数との関係は、この曲面を秋材率 (S.P.) と容積密度数 (R) の2軸に平行で年輪巾 (R.B.) の軸に垂直な平面できつたときの断面がこの年輪巾における秋材率と容積密度数との関係をしめしていることになる。この Fig. 19 にしめた関係からもあきらかであるように、容積密度数 (R) はその材の年輪巾と秋材率とからあたえられる曲面としてみなければならぬわけで、これを年輪巾と秋材率の関係にわけてみちびいた Fig. 16 と Fig. 17 の例はすべてこの曲面の一つの断面にすぎないことになる。また、この年輪巾と秋材率と容積密度数の関係で、上層木群と下層木群とのちがいはこれらの供試木群についてえられた Fig. 19 (1~2) の年輪巾と秋材率と容積密度数の曲面をくらべてみるとさらにあきらかで、Fig. 20 にしめすように R.B. ≤ 2.0 mm の年輪巾の範囲では下層木群の曲面は上層木群の曲面より容積密度数の大きい方向に位置しており、R.B. = 2.0 mm の年輪巾でこの2つの曲面の一端がたがいに交叉しあつており、曲面のもう一つの一端は S.P. = 35% の秋材率のところで交叉してあらわれている。

したがって、下層木の曲面は上層木の曲面にくらべて R.B. ≤ 2.0 mm, S.P. ≤ 35% の年輪巾と秋材率

の範囲で容積密度数の大きい方向に彎曲しており、したがって、この範囲ではその年輪巾と秋材率がおなじであつても下層木群からとられた試料は上層木群のものにくらべてその容積密度数の値がやや大きいことになる。しかし、この供試木層におけるちがいは $R.B. \geq 2.0 \text{ mm}$ の年輪巾のところからはほとんどまったく一致しており、材の容積密度数はその供試片のとられた立木の成長の履歴にかかわらず、たんに年輪巾と秋材率によつてあたえられるものとかがえられる。このことはすでに年輪巾と秋材率のあらわれかたによる特性 (木材材質の森林生物学的研究, Report 5, Table 3, Table 5) からある程度推察されていることであり、年輪巾の一定範囲ごとにみてもその秋材率のあらわれかたがおそらく供試木層によつて一定の偏りをしめしているためによるものであらうとおもわれる。

e. 幹の部位が年輪巾と秋材率と容積密度数の関係におよぼす変化

Fig. 19 (1~2) で上層木群と下層木群についてその容積密度数が年輪巾と秋材率を軸とした曲面でしめされ、さらにこの関係は Fig. 20 によつてもあきらかであるように、年輪巾の一定範囲については立木の成長の状態から仕分けられた上層ないし下層木群でその年輪巾と秋材率のおなじくみのものについてもかなり異なる値をとつていることがあきらかになつた。また Table 2 と Table 3 でしめたように、供試木の層別にもとめられている容積密度数のバラツキはこれをさらに幹の部位べつに区分したときにははたに安定してくる (地ぎわ材のもの以外はそのバラツキがいずれも小さくなつてい) 傾向をしめしているから、この年輪巾と秋材率と容積密度数との関係についてもこのようなくみわけをさらに細分していくことによつて年輪巾と秋材率によつてきまる容積密度数の安定性を問題にしなければならない。

ここでは幹の部位がこの年輪巾と秋材率と容積密度数の関係に与えている変化をたしかめるためにまず、幹の地ぎわ材・枝下材・樹冠材の3つの部位ごとに年輪巾と秋材率のくみによる容積密度数の変化を供試木の層別 (上層木群と下層木群の例で) にくらべると Fig. 21 にしめすように、下層木群と上層木群では $R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$ の年輪巾で枝下材と樹冠材はほとんどおなじ変化の傾向をしめしているが、地ぎわ材はこの枝下材や樹冠材にくらべておなじ年輪巾とおなじ秋材率のものでもかなり大きな容積密度数の値をしめし、材料的に異質なものとなさなければならぬようにおもわれる。また Fig. 20 でしめされている上層木群と下層木群による年輪巾と秋材率と容積密度数の関係のちがいはこの Fig. 21 で上層木群と下層木群の年輪巾べつにもとめられた秋材率と容積密度数の関係をくらべると一層あきらかであり (Fig. 22), 枝下材と樹冠材のしめす秋材率と容積密度数の関係は年輪巾が広がるにつれてかなり近接

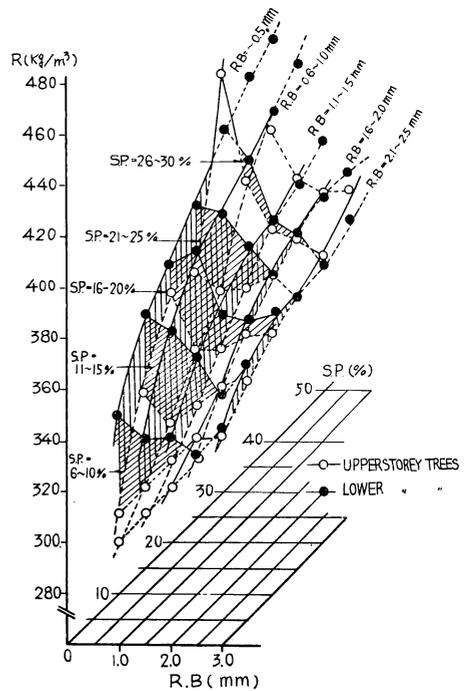


Fig. 20 上層木と下層木群における容積密度数と年輪巾と秋材率のあいだの関係のちがひ。Difference of the relation among bulk-density, ring-breadth and summerwood-percent developed in the group of the upper and the lower storey trees.

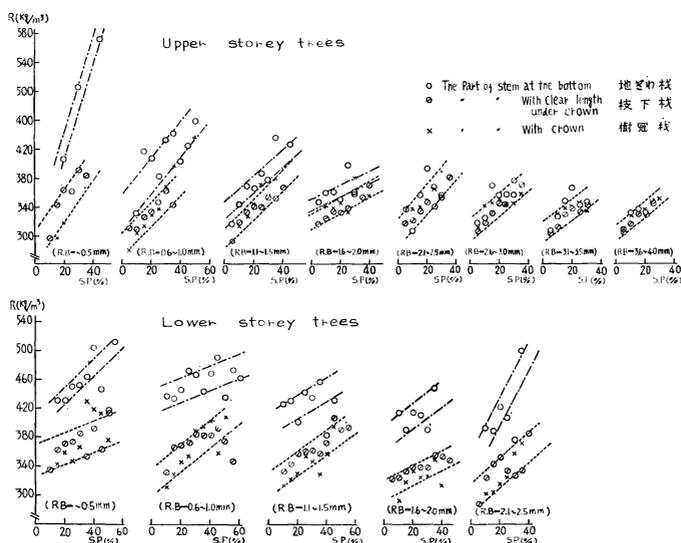


Fig. 21 各年輪巾の範囲における容積密度数と秋材率のあいだの関係(上層と下層木群)

The relation between bulk-density and summerwood-percent at every each range of ring-breadth (the upper and lower storey trees).

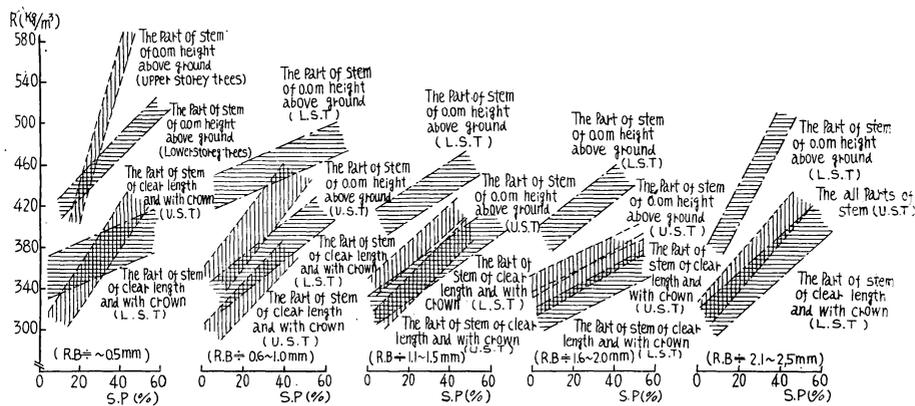


Fig. 22 上層木と下層木群における容積密度数と秋材率のあいだの関係のちがい
Difference of the relation between bulk-density and summerwood-percent developed in the group of the upper and lower storey trees.

してあらわれている。また、このような年輪巾と秋材率と容積密度数の関係とはべつにたんに秋材率と容積密度数の関係(年輪巾の大きさに関係なく秋材率の一定範囲ごとにもとめた容積密度数の平均値)と年輪巾と容積密度数の関係(秋材率の大きさに関係なく年輪巾の一定範囲ごとにもとめた容積密度数の平均値)を幹の部位べつにもとめて Fig. 23 にしめた。この図で秋材率と容積密度数との関係では地ぎわ材のものは枝下材と樹冠材のものにくらべていずれの秋材率でもかなり大きい容積密度数の値をあたえており、とくに成長の悪い下層木群でそのちがいが最もいちじるしくなっている。また、年輪巾と容積密度数との関係についてみると、中層ないし下層木群にあらわれる年輪巾と上層木群における $R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$ の年輪巾で地ぎわ材のものが枝下材と樹冠材のものより大きい容積密度数をあたえており、このような経

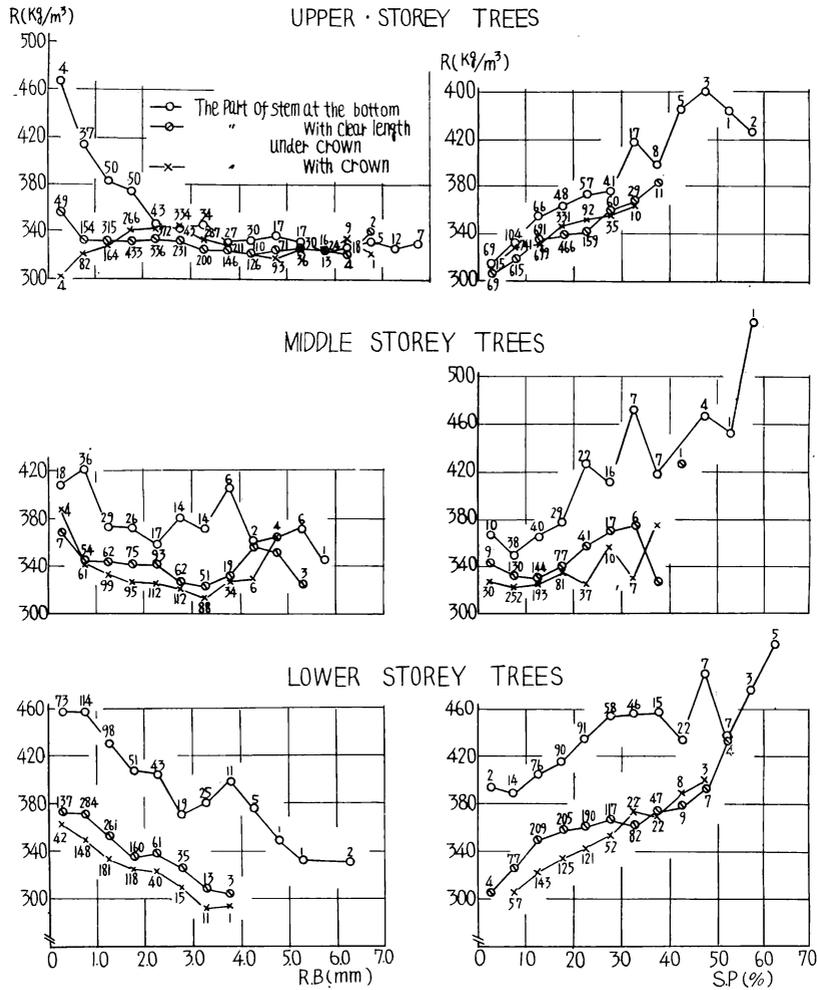


Fig. 23 幹の部位べつにあらわれる容積密度数と年輪巾の関係および容積密度数と秋材率の関係 (上, 中, 下層木群)

The relation among bulk-density and ring-breadth and the relation between bulk-density and summerwood-percent developed at the parts of stem (upper, middle and lower storey trees).

過は Fig. 21 の年輪巾べつにしめた秋材率と容積密度数の関係からもあきらかであり, またとくに上層木群においては年輪巾と容積密度数との関係が $R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$ のときは, 幹の部位によつてその容積密度数がこたなつてゐるが, $R.B. \geq 2.0 \text{ mm}$ の年輪巾ではその容積密度数がほとんど $R=300 \sim 340 \text{ kg/m}^3$ に安定していることによつてもこの関係はあきらかである。

このような結果はトドマツ材の年輪巾と秋材率のあらわれかたの特性からこれを材質分類の根拠としたこれまでの結果 (木材材質の森林生物学的研究, Report 5, Table 8. 年輪巾と秋材率の特性) とまったく一致するものであり, また地ぎわ材のものが下側に凸な曲線をしめし, 樹冠材のものが上側に凸な曲線をあたえていることは Fig. 19-1 であきらかなように地ぎわの年輪にはその秋材率が大きく樹冠材ではその秋材率が小さい (およそ $S.P. \leq 15\%$) のものがおおいであることをかんがえれば, Fig. 19 にし

めした年輪巾と秋材率と容積密度数の曲面が秋材率の大きさによつてことなつた年輪巾—容積密度数曲線をあたえていることとまつたく一致していることになる。

422. アテの年輪

供試片の材部にアテがあらわれているものだけをとりだして、このアテの年輪について年輪巾とアテ材率（正常な年輪で秋材にあたる着色帯部がその年輪の半径方向にしめる比率を秋材率としてもとめたのと同様にアテの年輪におけるこの着色帯部の比率をアテ材率とし（D.P.）でしめた）とその容積密度数との関係をもとめた。

a. 年輪巾と容積密度数

年輪巾と容積密度数との関係をその年輪にしめるアテ材率でくみわけしてしめすと、Fig. 24 にみられるように、いずれのアテ材率についても年輪巾が広がるにつれて容積密度数が低減していく傾向がみと

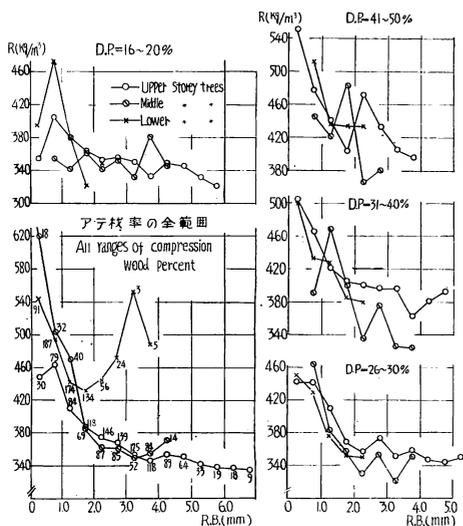


Fig. 24 各アテ材率の範囲にあらわれる容積密度数と年輪巾のあいだの関係（アテ材）

The relation between bulk-density and ring-breadth at every each range of compression wood percent (compression wood).

められる。この容積密度数の大きさにはそれぞれのアテ材率のくみによつてかなりいちじるしいちがいがみとめられるが、おなじアテ材率のくみのなかで供試木の層別によるちがいはあまりあきらかではない。しかし、アテ材率のすべての範囲を集計してたんにアテのある年輪の年輪巾と容積密度数との関係をみると、上層木ないし中層木群のものではその容積密度数が年輪巾の増加にたいして指数曲線的に低減しているが、下層木群ではその容積密度数は $R.B. \geq 2.0\text{mm}$ の範囲で年輪巾に比例して増加する傾向がみられ、このためにこの範囲の年輪巾 ($R.B. \geq 2.0\text{mm}$) においては、年輪巾がおなじであっても下層木における容積密度数は上層木ないし中層木群の容積密度数にくらべていちじるしく大きな値をとりながら変化している。

b. 年輪巾とアテ材率と容積密度数

正常な年輪についてその容積密度数（R）を年輪巾（R.B.）と秋材率（S.P.）の直交する2軸のうえにもとめたおなじように、アテのある年輪の材部についてその容積密度数を年輪巾（R.B.）とアテ材率（D.P.）の軸のうえにもとめて上層木群と下層木群についてそれぞれ Fig. 25 (1~2) にしめた。

この年輪巾とアテ材率と容積密度数との関係をしめす曲面は、 $R.B. \leq 2.0\text{mm}$ の年輪巾の範囲では容積密度数をしめす R-軸にたいしてその勾配がいちじるしく急であるのにならして、 $R.B. \geq 2.0\text{mm}$ の範囲ではこの曲面の勾配はかなり緩になつている。このような傾向は Fig. 24 にしめた年輪巾と容積密度数の曲線にもあきらかにみとめられており、この曲面を年輪巾（R.B.）と容積密度数（R）の軸に平行でアテ材率（D.P.）の軸に垂直な平面で切断したときの断面にも同様な傾向はみとめられてくる。また、この Fig. 25 (1~2) であきらかなようにいずれのアテ材率においても年輪巾と容積密度数の等アテ材率

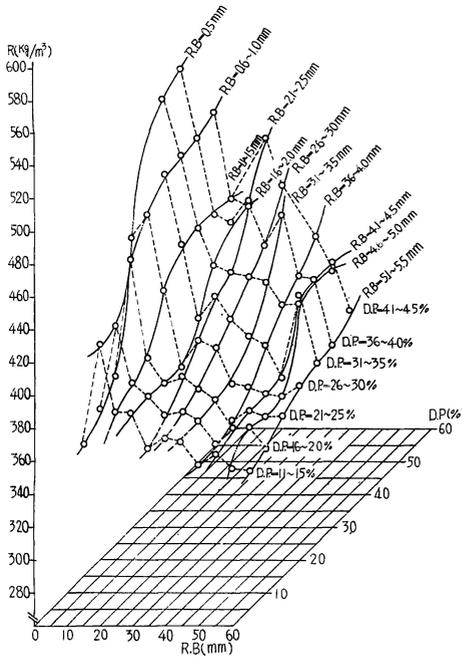


Fig. 25-1 年輪巾とアテ材率と容積密度数の
あいだの関係 (上層木群におけるアテ材)
The relation among ring-breadth,
compression wood percent and bulk-
density (compression wood at the
group of upper storey trees).

曲線はすべてほとんど平行し、アテ材率が大きくなるにつれてその年輪はしだいに容積密度数の大きい grad で変化しており、それらの曲線が交叉することはない。これにたいしてアテ材率と容積密度数との等年輪巾曲線ともいべきものは必ずしも Fig. 19 (1~2) におけるような整然とした平行関係をし

めさず、部分的には互に交叉しているものもあつてその関係はやや不規則にあらわれている。したがつてこれらの関係からアテ材の容積密度数はそのアテ材率の増減にたいしてははかなり正確に比例的な関係がたもたれているが、年輪巾の増減にたいしては正常材にくらべてやや不規則になり、部分的にはその関係がまったく交錯してくるところもあらわれているとかんがえなければならぬ。

43. 幹のなかの年輪構成と容積密度数構成

431. 幹のなかの容積密度数の分布図

おのおのの供試木についてつくられた Symmetric な樹幹成長図でその各地上高の円板で樹令階べつにもとめられたそれぞれ4方位ごとの供試片の容積密度数を平均してその円板の樹令階べつの容積密度数を代表させ、その一定範囲のものをおなじ記号でしめすと幹のなかの等容積密度数曲線ができる。この等容

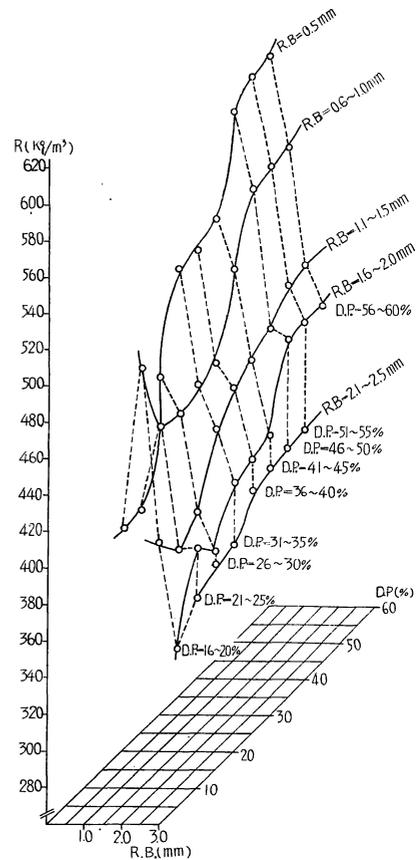


Fig. 25-2 年輪巾とアテ材率と容積密度数の
あいだの関係 (下層木群におけるアテ材)
The relation among ring-breadth,
compression wood percent and bulk-
density (compression wood at the
group of lower storey trees).

積密度数曲線でかこまれた部分を 40 kg/m^3 * おきの容積密度数の階級にわけて区別すると幹のなかにそれぞれ特徴のある容積密度数の分布図がつくられてくる。

この 68 本の供試木の容積密度数の分布図は付図 (p. 82) にしめしてあるが、これからあきらかなように幹の特定の部位にそれぞれ特徴のある容積密度数の分布層があらわれており、それらの分布層があつまつて幹の容積密度数の分布をかたちづくっていることになる。この幹のそれぞれの部位にあらわれてくる容積密度数の分布層のうちでこれらの供試木を通じてかなり一般的にみとめられてくるものは

- 幹足部に層状にあらわれているやや重い容積密度数の分布層..... R (f)
- 樹冠部にあらわれている容積密度数の分布層..... R (c)
- 樹心にあらわれている軽い容積密度数の分布層..... R (k)
- 地ぎわに近い樹心部で被圧年輪にそつてあらわれてくる異常に重い容積密度数の分布層..... R (k-g)
- これらの幹の特定の位置をのぞいてほとんどその全面にひろがつている容積密度数の分布層..... R (b)

であり、これらの容積密度数の分布層が幹にしめている大きさやその分布層にあらわれる容積密度数の大きさの範囲は Table 4 にしめしたようである。

Table 4. 幹にあらわれる容積密度数の分布層
The distributing layers of bulk-density developed in the stem.

1 分布層**	2 発達する幹の部位	3 容積密度数の値 kg/m^3			4 R-分布層の幹にしめる大きさ %		
		Value of bulk-density kg/m^3			Mass of distributing layers of bulk-density (%)		
		Upper storey	Middle storey	Lower storey	Upper storey	Middle storey	Lower storey
R (b)	All parts of stem	300~420	300~380	300~420	81.8~19.0	57.7~7.9	55.1~8.4
R (f)	Foot of stem	241~480	241~560	241~480	48.2~ 0	45.0~ 0	49.1~ 0
R (c)	Parts of stem with crown	241~640	241~480	241~600	43.6~ 0	21.7~ 0	13.7~ 0
R (k)	Heart of stem	241~640	241~480	241~520	38.3~4.3	45.5~7.9	41.2~ 0
R(k-g)	Heart at the bottom of stem	321~640	281~680	281~680	14.4~ 0	21.5~ 0	61.4~2.4

表の 4 列目の数字のうちで 0 はこの分布層の発達がみとめられないことをしめしている。

このような幹のなかの容積密度数の分布層については、E. VOLKERT (1941)³⁷⁾ が人工植栽の Tanne の林分で 8 本の供試木についてもとめた容積密度数の分布図の模様にくらべるといずれもはるかに複雑であり、この分布層が彼のいう“Raumgewichtszonen”にあたつているものであつて、その構造は幹の容積密度数の分布図における R 階のとりかたで多少ことなつてくるものであるが、この分布図においてはこの容積密度数の変化を単純にするために 40 kg/m^3 以下の変化をまったく無視することにした。

*この 40 kg/m^3 は Table 3 にしめしたように幹の部位べつにあらわれる容積重のパラツキのそれぞれの算術平均値からの標準偏差にあたつている。

**R (b), R (f), R (c), R (k), R (k-g) などを総称して R-分布層という言葉を用いた。

この容積密度数の分布層の特徴的なあらわれかたを模式的に Fig. 26 にしめたが、この図でみられるように、幹の大部分の領域にわたって R(b) の分布層がまったく不規則なかたちであらわれており、この分布層が幹にしめる比率も概して最も大きくなつており(最も大きい例は供試木 No. 17 で R(b) の大きさは幹の容積の約 82 %をしめ、最も小さいものの例は供試木 No. 27 でその大きさは幹の容積の約 8 %になっている)、正常な成長をしたトドマツ立木の幹に最も普遍的にあらわれてくる容

積密度数にあたつているとみなすことができる。この R(b) 分布層がひろがっているなかでそれぞれ特異な部位に R(f), R(c), R(k), R(k-g) などの分布層がそれぞれ特徴あるかたちで発達しているものとみなされるようで、さらに下層木群の例ではこれらの容積密度数の分布層にはしばしば層状構造をもつものがあり、幹の外側が重く内側が軽い例と、外側が軽く内側が重い例とがあらわれている。

43. 容積密度数の分布層のあらわれかた

このような各単木の容積密度数の分布図(付図参照)にあらわれているそれぞれの容積密度数の分布層を、その容積密度数の階級ごとにプランメーターをまわしてその大きさをもとめ、それがそれぞれの樹幹成長図のなかにしめる大きさをその百分比でしめし(各単木でその R-階ごとにしめされた各容積密度数の分布層の大きさの集計がその樹幹成長図の 100 %になる)、供試木ごとにあらわれてくる分布層の大きさをその容積密度数ごとに区分してしめしてみると Fig. 27 のようになる。この Fig. 27 においては各単木におけるこの分布層の大きさやその容積密度数の値はかなりことなつてきているが、まず、これを林分の上層木群、中層木群、下層木群に層別して、容積密度数の一定範囲ごとにあらわれてくるこの分布層の出現度をくらべてみるとつぎの Table 5 のようになる。この Table 5 からあきらかにみとめられるように、R(b) 分布層は上層ないし中層木群では $R=321\sim 360\text{ kg/m}^3$ 、下層木群では $R=361\sim 400\text{ kg/m}^3$ のところに最もおおくなつており、R(f) 分布層は上層木群では $R=281\sim 320\text{ kg/m}^3$ 、中層木群では $R=361\sim 400\text{ kg/m}^3$ 、下層木群では $R=401\sim 440\text{ kg/m}^3$ の容積密度数の範囲にそれぞれ最も出現数がおおく、また R(k-g) 分布層についても、上層木群では $R=361\sim 440\text{ kg/m}^3$ 、中層木群では $R=361\sim 400\text{ kg/m}^3$ 、下層木群では $R=441\sim 480\text{ kg/m}^3$ の容積密度数の範囲にそれぞれその出現数が最もおおくなつており、これらの R(b), R(f), R(k-g) の 3 つの容積密度数の分布層では、林木が成長のよい上層木群から成長の悪い下層木群にむかうにつれてそれらの分布層があらわれる容積密度数の範囲は、しだいに大きくなつていく傾向があきらかにあらわれている。これにたいして樹冠部にあらわれている R(c) 分布層では上層、中層、下層木群のいずれれにおいてもその容積密度数は $R=361\sim 400\text{ kg/m}^3$ に出現が最もおおく、また R(k) 分布層では $R=281\sim 320\text{ kg/m}^3$ の容積密度数にその出現数が最もおおく、これらの分布層では林分の上層ないし下層木といつた成長条件のちがいは、その分布層のあらわれてくる容積密度数の大きさはほとんどかわらないもののおもわれる。

また、各単木の容積密度数の分布図でそれぞれの分布層のあらわれる位置は Table 4 の 2 列目に記載してあるが、このうち R(b) 分布層はほとんど幹の全面にわたつてあらわれ、そのほかの分布層は幹

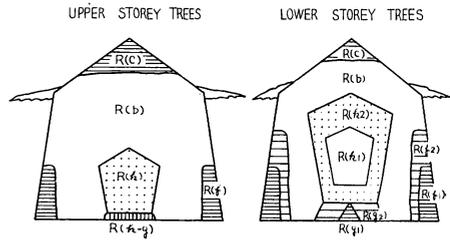


Fig. 26 幹における容積密度数の模式的な分布

Diagrammatic distribution of the bulk-density in stems.

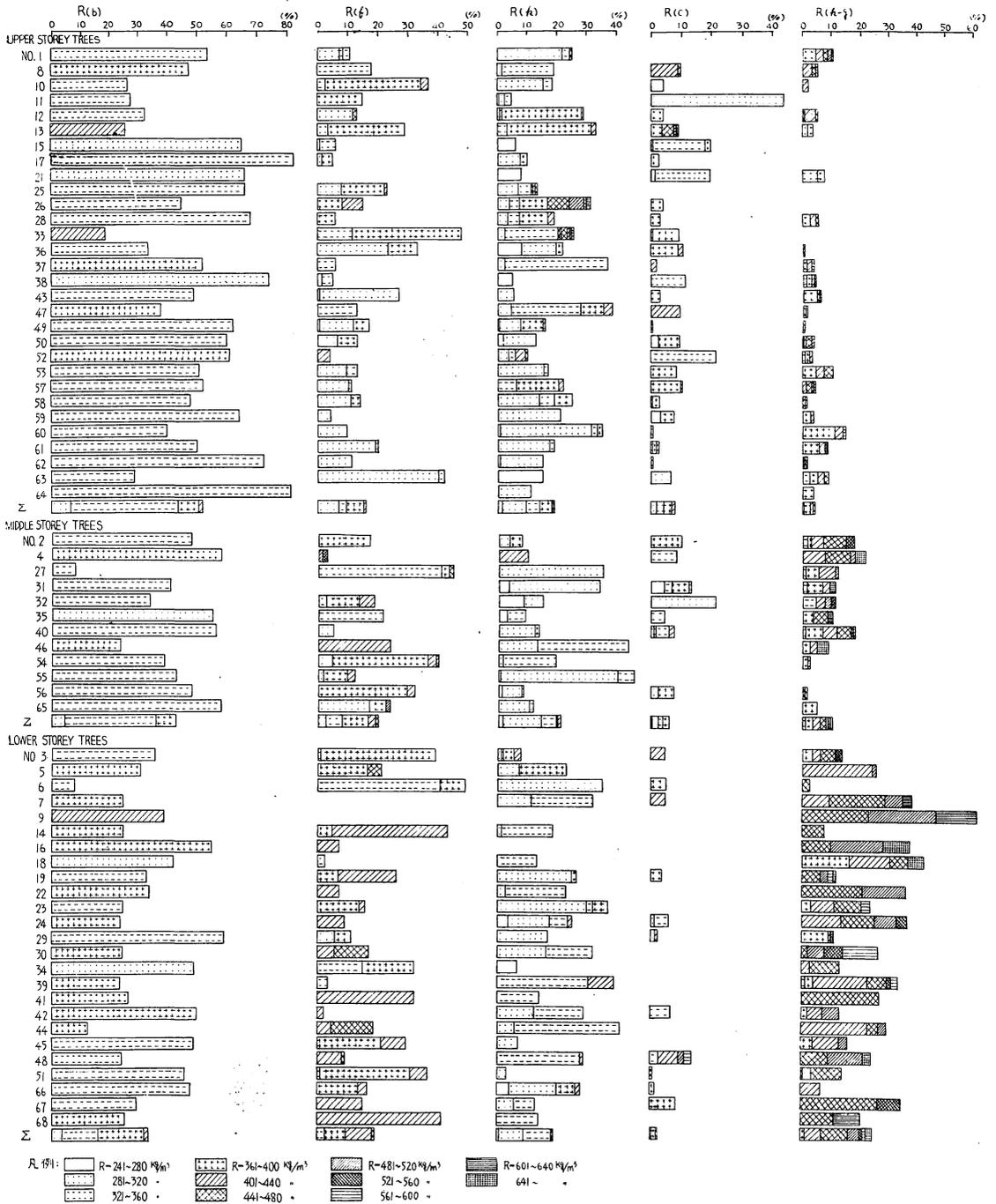


Fig. 27 容積密度数の分布層の特性的なあらわれかた

The characteristic development on the distributing layers
the bulk-density.

Table 5. 供試木の層別における容積密度数の分布層のあらわれかた

Development on the distributing layers of the bulk-density at the groups of stored trees.

容積密度 分布層 Species on the layers of bulk-density	容積密度数 Bulk-density classes kg/m ³	241~280		281~320		321~360		361~400		401~440		441~480		481~520		521~560		561~600		601~640		641~		Σ
		N %		N %		N %		N %		N %		N %		N %		N %		N %		N %				
		供試木群 Tree classes																						
R (b)	上層木 Upper storey trees	—	—	3	10.0	21	70.0	4	13.3	2	6.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	30
	中層木 Middle storey trees	—	—	1	8.3	9	75.0	2	16.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12
	下層木 Lower storey trees	—	—	3	12.0	9	36.0	13	52.0	1	4.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	25
R (f)	上層木 Upper storey trees	4	7.8	16	31.4	13	25.5	12	23.5	4	7.8	2	3.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	51
	中層木 Middle storey trees	—	—	4	16.6	3	12.5	7	29.1	5	20.8	2	8.3	2	8.3	1	4.2	—	—	—	—	—	—	24
	下層木 Lower storey trees	—	—	3	7.9	4	10.5	11	28.9	16	42.1	4	10.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	38
R (c)	上層木 Upper storey trees	3	7.1	8	19.0	5	11.9	16	38.1	6	14.3	2	4.8	—	—	1	2.4	—	—	1	2.4	—	—	42
	中層木 Middle storey trees	1	7.1	3	21.4	4	28.6	4	28.6	2	14.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14
	下層木 Lower storey trees	—	—	2	13.3	3	20.0	5	33.3	3	20.0	—	—	1	6.7	—	1	6.7	—	—	—	—	—	15
R (k)	上層木 Upper storey trees	10	11.7	24	28.1	18	21.1	14	16.4	9	10.5	4	4.7	2	2.3	1	1.2	2	2.3	1	1.2	—	—	85
	中層木 Middle storey trees	5	20.8	10	41.6	6	25.0	2	18.3	1	4.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24
	下層木 Lower storey trees	3	6.7	17	37.7	14	31.1	6	13.3	5	11.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	45
R (k-g)	上層木 Upper storey trees	—	—	—	—	5	7.7	20	30.6	20	30.6	10	15.3	3	4.6	2	3.1	5	17.7	—	—	—	—	65
	中層木 Middle storey trees	—	—	1	2.5	5	12.5	9	22.5	8	20.0	5	12.5	3	7.5	4	10.0	1	2.5	2	5.0	2	5.0	40
	下層木 Lower storey trees	—	—	—	—	1	1.4	7	9.8	14	19.6	20	28.0	11	15.4	6	8.4	4	5.6	5	7.0	3	4.2	71

N は出現数, % は出現率をしめし, 太字は各容積密度数の分布層ごとにあらわれる最多出現数(率)をしめす。

Table 6. 各地上高べつにあらわれる
The number of R-layers developed

樹高 Height (u)	容 積 密 度 数 の 分 布 層											
	R (f)						R (k)					
	Upper storey trees		Middle storey		Lower storey		Upper storey		Middle storey		Lower storey	
	Under side	Upper side	Under side	Upper side	Under side	Upper side	Under side	Upper side	Under side	Upper side	Under side	Upper side
0.0	25	—	17	—	30	—	14	—	2	—	—	—
~2.2	15	10	4	8	7	21	16	—	8	1	23	1
~4.2	5	7	3	8	1	5	21	3	8	3	16	13
~6.2	2	6	—	3	—	7	12	11	3	4	6	11
~8.2	—	9	—	3	—	5	7	15	3	2	—	13
~10.2	1	6	—	2	—	—	6	17	—	5	—	6
~12.2	—	4	—	2	—	—	4	15	—	4	—	—
~14.2	—	6	—	—	—	—	1	9	—	4	—	1
~16.2	—	1	—	—	—	—	1	7	—	1	—	—
~18.2	—	1	—	—	—	—	—	5	—	—	—	—
~20.2	—	—	—	—	—	—	—	2	—	—	—	—
~22.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
~24.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Σ	48	49	24	26	38	38	82	84	24	24	45	45

のある限られた範囲にのみあらわれてくるものである。この R(b) 分布層をのぞいた容積密度数の分布層がそれぞれ幹の垂直方向に発達している位置を、その容積密度数の分布図からもとめてみると Table 6 にしめすように、これらの分布層が垂直的にひろがっている範囲は供試木によつていちじるしい個体差があり、容積密度数の分布図にみられるこれらの分布層の上側および下側の位置はそれぞれ重複してはいてもその両端はけつてかさなることはない。このようなバラツキを無視して各分布層のあらわれる位置をその上、下側べつに平均してしめすと Table 7 のようになり、おのおの分布層についてそれらが幹の垂直方向にあらわれてくる範囲と、その平均的な値とがしられてくる。Table 7 ではさらにこれらの分布層のあらわれる平均地上高をそれぞれの供試木群の平均樹高にたいする相対的な高さとしてしめしたが、供試木が上層木群のものから下層木群のものにむかうときに R(f) と R(k-g) 分布層があらわれてくる下側の位置（その相対的な地上高%）が下降する（下層木になるとこれらの分布層はその相対的位置のかなり低いところまで発達してくる）傾向をしめすが、そのほかの分布層はその上、下側ともしだいに上昇する（下層木になるとその分布層はその相対的な高さのかなり高いところまでよく発達する）傾向をしめしている。このような結果は、平井¹⁰⁾ (1953) が人工植栽スギの供試木で優勢木と劣勢木の容積密度数の分布図をくらべて、劣勢木のは幹の内側にできる軽い材が上方に伸びて靴状になる傾向をみとめているが、この場合においてはすでに Fig. 26 でしめしたように劣勢木においてはその容積密度数の分布層にしばしば層状構造（容積密度数をこにしたものの層がかさなっている構造）があらわれてくるほか、これらの分布層のあらわれてくる高さ（相対的な地上高%）は一般に下層木ほど高くなつてきているが、幹基部に発達する重い R (f) 分布層と地ぎわの近くにできる重い R(k-g) 分布層の下側の位置（相対的な高さ）は成長の悪い下層木ほど低いところから発達してくることがしられた。

R分布層の位置 (出現数)
at every each height of stem.

The distributing layers of bulk-density													
Uppre storey		R(c)				Lower storey		Uppre storey		R(k-g)			
		Middle storey		Lower storey						Middle storey		Lower storey	
Under side	Uppre side	Under side	Upper side	Under side	Upper side	Under side	Upper side	Under side	Upper side	Under side	Upper side		
—	—	—	—	—	—	59	—	34	1	64	—		
—	—	—	—	3	—	2	50	6	26	5	64		
2	—	4	—	1	2	—	11	—	12	—	16		
1	—	2	—	5	1	—	3	—	1	—	—		
7	1	1	2	5	3	—	1	—	—	—	—		
7	3	1	1	2	7	—	—	—	—	—	—		
1	3	4	5	—	3	—	—	—	—	—	—		
8	1	1	4	—	—	—	—	—	—	—	—		
9	2	—	3	—	—	—	—	—	—	—	—		
3	9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
4	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
—	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
—	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
42	41	13	15	16	16	61	65	40	40	69	80		

Table 7. 容積密度数の分布層があらわれる地上高の特性的な変移
Characteristic transition of height on which the distributing layers are developing.

分布層 Distributing layers	供試木群 Tree classes	地上高 Height of stem	位置 Position of developing	上層木 Upper storey trees		中層木 Middle storey trees		下層木 Lower storey trees		成長が被圧されたときの分布層 のあらわれる地上高の変化 Transition of height on which the distributing layers are developing, as the growth of tree suppressed
				m	%	m	%	m	%	
				R(f)	下部 Under side	1.6	7.4	0.9	6.1	
	上部 Upper side	7.9	36.7	5.5	37.0	4.0	44.8	増加する Increasing		
R(k)	下部 Under side	4.6	21.3	3.9	26.2	3.4	38.1	増加する Increasing		
	上部 Upper side	11.1	51.5	9.2	61.9	6.7	75.1	〃 〃		
R(c)	下部 Under side	12.8	59.4	8.6	57.8	6.5	72.8	増加する Increasing		
	上部 Upper side	18.5	85.8	12.7	85.5	8.9	99.8	〃 〃		
R(k-g)	下部 Under side	0.1	0.5	0.0	0	0.0	0	減少する Decreasing		
	上部 Upper side	2.7	12.5	2.6	17.5	2.0	22.4	増加する Increasing		

注) 相対的地上高はその平均樹高を上層木群 21.53 m, 中層木群 14.85 m, 下層木群 8.42 m として計算した。

a. 各分布層のしめす容積密度数の大きさ

Fig. 27 には単木ごとにあらわれている R-分布層の容積密度数の範囲を 40 kg/m^3 おきの 11 階級にわけて模式的にしめしているが、この図で各 R-階ごとにあらわれている分布層の大きさをその供試木の層別におおの R-階にあらわれてくるものの平均値でしめしてみると Table 8 がもとめられる。

Table 8. 各分布層が容積密度数の階級ごとにあらわれる容積比率
The bulk percent of each distributing layer developed at every class of bulk-density.

Tree classes	Bulk-density classes kg/m^3	241	281	321	361	401	441	481	521	561	601	641	Σ
		~280	~320	~360	~400	~440	~480	~520	~560	~600	~640	~	
上層木 Upper storey trees	R(b)	—	6.8	36.8	6.6	1.5	—	—	—	—	—	—	51.8
	R(f)	0.1	7.1	2.3	5.5	0.5	0.1	—	—	—	—	—	15.6
	R(k)	1.5	7.9	4.5	3.9	0.5	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	—	18.8
	R(c)	0.2	2.0	2.3	2.4	0.8	0.2	—	0.0	—	0.0	—	7.8
	R(k-g)	—	—	0.4	1.8	1.1	0.4	0.1	0.0	0.1	0.0	—	3.9
	Σ	1.8	23.8	46.3	20.2	4.4	1.0	0.3	0.0	0.1	0.0	—	97.9
中層木 Middle storey trees	R(b)	—	4.6	31.2	6.8	—	—	—	—	—	—	—	42.6
	R(f)	—	2.4	5.4	8.7	3.1	0.2	0.2	0.2	—	—	—	20.1
	R(k)	1.4	13.3	5.1	0.4	0.8	—	—	—	—	—	—	21.0
	R(c)	0.4	2.1	1.3	2.2	0.2	—	—	—	—	—	—	6.1
	R(k-g)	—	0.0	0.7	2.5	2.6	2.2	0.4	0.5	0.1	0.3	0.5	9.8
	Σ	1.8	22.4	43.7	20.6	6.7	2.4	0.6	0.7	0.1	0.3	0.5	99.8
下層木 Lower storey trees	R(b)	—	3.6	13.3	15.4	1.5	—	—	—	—	—	—	33.8
	R(f)	—	0.3	2.5	7.0	8.3	1.3	—	—	—	—	—	19.3
	R(k)	0.6	8.4	9.4	0.2	0.6	—	—	—	—	—	—	20.5
	R(c)	—	0.1	0.6	0.8	0.6	—	0.1	—	0.1	—	—	2.2
	R(k-g)	—	—	0.0	1.6	5.6	9.1	4.1	1.0	0.8	1.1	0.7	24.0
	Σ	0.6	12.4	25.8	25.0	16.6	10.4	4.2	1.0	0.9	1.1	0.7	98.7

- 注) 1. 太字はR-階ごとにあらわれている分布層の大きさのうちで最大値をしめしている。
2. 上層木群でR分布層の合計値が100%よりかなり小さいのは“くされ”などのために不明の部分があつたからである。

この表から層別した供試木群についてもその R-分布層はいずれもかなり広い範囲にわたつてあらわれているが、それらの分布層が最も大きい比率であらわれてくる出現域は、その立木群についてなお特徴的な変化がみとめられている。すなわち、おのおの容積密度数の分布層のうちで上層木群から下層木群にむかつて最大比率があらわれる容積密度数の範囲は R(c) 分布層をのぞいてすべてしだいにその容積密度数の大きくなる方向に変化しているが、R(c) 分布層ではその最大比率は $R=361\sim 400 \text{ kg/m}^3$ の範囲に一定していることがみとめられている。それで Table 8 にしめされている容積密度数の範囲ごとにあらわれている分布層の大きさを、層別された林木の各分布層ごとの合計値にたいする百分率としてしめして各分布層についてその容積密度数ごとにあらわれている大きさの度数分布をつくつてみると Fig. 28 がえられる。この図からわかるように、R(k) 分布層をのぞいては容積密度数がある範囲以上になると下層

木群の分布層が上, 中層木群のものよりその大きさの分布する比率がいずれもかなりたかくなつており (Fig. 28 でハッチングをいれてしめしているところが度数分布がたかくなっている範囲にあたつては), したがつて R(k) 分布層をのぞいては, 一般に容積密度数の分布層は成長の悪い林分の下層木のものゝ成長のよい上, 中層のものより大きい容積密度数の範囲にあらわれる比率がたかいことになるが, この容積密度数の限界についてはその分布層の種類によつてかなりの変動があり, R(b) 分布層では $R \geq 360 \text{ kg/m}^3$, R(f) と R(c) 分布層では $R \geq (360 \sim 400) \text{ kg/m}^3$, R(k-g) 分布層では $R \geq 400 \sim 440 \text{ kg/m}^3$ の容積密度数の領域からいずれも前述したように下層木群にあらわれてくるそれぞれの分布層の大きさの比率がしだいにたかくなつていく。このことは材積成長が抑圧された林分の下層木が成長のよい立木群のものより重い木材をつくつていることになるが, 成長が抑圧されたときに幹のどの部分にも等しく重い材部をつくつているということではなくて, 幹のある特定の部位にだけこのような傾向があらわれ, 樹心部のまわりの R(k) 分布層にあたるような部位にはこのような傾向はあらわれてこないものにおもわれる。

また, おのおのの分布層の容積密度数の値をその容積密度数の大きさごとにあらわれている分布層の大きさ (幹にしめている大きさ%) を重みとしてもとめ, これをさらに供試木ごとにあらわれるそれぞれの分布層の大きさを重みとして上, 中, 下層木群にわけて集計して, 供試木の層別にそれぞれの分布層の容積密度数の平均値をもとめて, Table 9 にしめた。この Table 9 では, さらにこの供試木の層別にもとめられた各分布層の大きさを立木の層別にもとめられた R(b) 分布層の容積密度数の平均値を 100 として, おのおのの分布層の容積密度数の平均値 (kg/m^3) とその比率をしめしている。したがつてこの表では, それぞれの分布層の平均容積密度数の絶対値 (kg/m^3) の変化をしめしているとともに, 幹にあらわれてくる容積密度数のうちで R(b) 分布層が幹の最も広い範囲にわたつてあらわれ, またその容積密度数の範囲も供試木の層別によつてほとんどかわらない (Table 4. 3 列目参照) から, この R(b) 分布層が幹の容積密度数構成において基準的な性格 (正常な成長をしているトドマツ立木に最も普へん的にあらわれてくるもので, 正常なトドマツ材がしめす容積密度数の値とみなしたわけである) をもつものと仮定して, このほかの分布層の容積密度数の絶対値をこの R(b) 分布層の容積密度数の値にたいする変化としめしていることになる (R(b) 分布層の容積密度数の絶対値を 100 として, これにたいする相対的な変

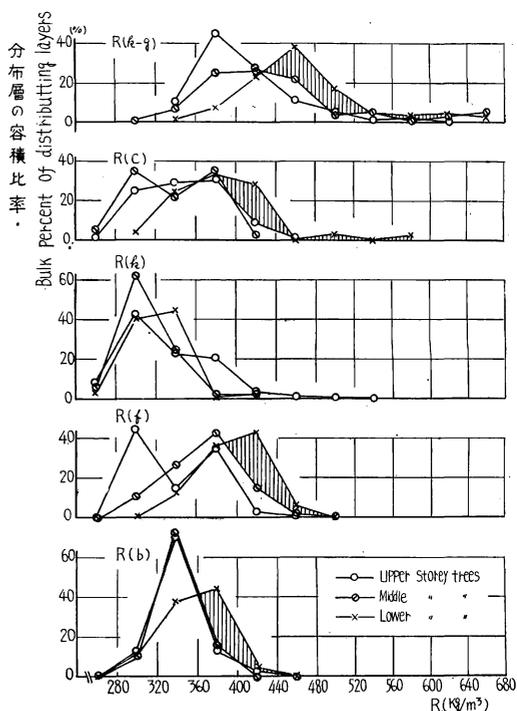


Fig. 28 容積密度数分布層の容積比率
The bulk percentage of the distributing layers of bulk-density.

Table 9. 各分布層における容積密度数の平均値
The mean values of bulk-density on each distributing layer.

R-分布層 Distributing layers of 供試木群 Tree classes	1	2		3		4		5		6		7	
	Number of sample	R(b)		R(f)		R(k)		R(c)		R(k-g)		Rs	
		kg/m ³	%	kg/m ³	%	kg/m ³	%	kg/m ³	%	kg/m ³	%	kg/m ³	%
上層木 Upper storey trees	30	342	100	345	101	331	97↑	352	103	405	118	344	101
中層木 Middle storey trees	12	342	100	369	108	313	92	337	98	442	129	351	102
下層木 Lower storey trees	25	358	100	396	110↓	326	91	390	109	472	134↓	387	108↓

注 1) 3. 4. 6. 7 列目の→の方向は数値の増加をしめしている。

注 2) Rs (kg/m³) はそれぞれの分布層の R-階べつの大きさを重みとしてもとめた幹の平均容積密度数をしめしている。

化でその材部が正常なものより重くなっているか軽くなっているかをかんがえる。))

この Table 9 についてみとめられているように R(f) と R(k-g) 分布層とはその容積密度数の絶対値 (kg/m³) も R(b) 分布層の容積密度数にたいする相対的な値 (%) もともに上層木から下層木にむかうと増加していることがみとめられ、このような結果は Table 8 と Fig. 28 からもあきらかであつて、この2つの分布層がしめす容積密度数は、材積成長が悪くなるにしたがつてその絶対値においてもまたそのまわりの容積密度数にくらべてもつねにあきらかに増大していくものとみなすことができる。

これにたいして R(k) 分布層は、Table 8 と Fig. 28 についてもこのような容積密度数の増加の傾向はあきらかでなく、Table 9 の 4 列目にしめた相対的な容積密度数の値では材積成長のわるい下層木ほどむしろかえつて小さくなつている。この R(k) 分布層はそのまわりの R(b) 分布層よりつねに小さい容積密度数をもつものであるが、この分布層の容積密度数が R(b) 分布層の容積密度数にくらべて小さくなつている程度は成長の悪いものほどむしろ著しくあらわれる傾向をしめしている。また、R(c) 分布層については Fig. 28 において、R ≧ (360~400) kg/m³ の容積密度数の領域については下層木群にあらわれてくる比率が大きいけれども Table 8 にしめすように、この分布層が最もおおくあらわれてくる容積密度数はつねに (R ≐ 361~400 kg/m³) のところに一定して成長の良否によつてあまりかわらない。この R(c) 分布層の大きさはいずれの層別においてもかなり小さく (上層木群 7.8 %, 中層木群 6.1 %, 下層木群 2.2 %), そのあらわれかたもかなり不規則なものであつて、Table 9 の 5 列目にみとめられる容積密度数の絶対値と、その相対的な大きさについても成長の良否によつて一様な傾向はみとめられていない。

このような幹のなかの容積密度数の分布層のあらわれかたから幹全体の容積密度数の平均値 (幹の容積密度数の分布図から各 R-階のもの大きさを重みとしてもとめたもので標準容積密度数 Rs として Table 9 の 7 列目にしめた) を供試木の層別にくらべると、成長の悪いものほどあきらかに大きくなつており、それぞれの層別の R(b) 分布層にたいする比率もまたあきらかに増大している。このような結果からみると、林分で成長が抑圧された下層木群では成長のよい上層木群にくらべて幹足部に発達してくる R(f) 分布層の容積密度数の絶対値がしだいに増大する (R(f) 分布層の大きさは、後述する Fig. 30 にしめすように成長の良否によつてあまりかわらない) ことと、地ぎわにちかく発達してくる R(k-g) 分布層はその大きさ (幹にしめる比率 %) がますばかりでなく、その容積密度数の絶対値もいちじるしく増加していること

によつて幹全体の容積密度数の平均値(標準容積密度数)も大きくなっていくものとみとめることができるようである。

また、供試木層におけるちがいを無視しておのおのの分布層がその容積密度数ごとにあらわれている大きさ(幹にしめる比率%)の合計値をもとめ、これをその分布層の大きさ(すべてのR階にわたるもの)の集計値)にたいする百分率でしめしてみると、容積密度数べつにあらわれてくる分布層ごとの(上, 中, 下層木群を合計した全供試木群について)大きさの比率がしめされる。これは Fig. 29 にしめたが、この図からあきらかなように各分布層のうちで最も小さい容積密度数があらわれてくるものは幹の中央部にできる R(k) 分布層であり、最も大きい容積密度数があらわれてくるものは地ぎわに接した樹心部の被圧年輪をつくつている R(k-g) 分布層で、R(b), R(f), R(c) 分布層がその中間的な値をとつていることになる。また、R(k-g) 分布層の容積密度数はほかの分布層より大きくなつていのは $R \geq 400 \text{ kg/m}^3$ の領域からで、この領域はすでに Fig. 5 にのべたように年輪がアテになつてくる傾向がつよくあらわれてくるから、R(k-g) 分布層の大きさとその容積密度数の絶対値は立地の傾斜やこれに相応する幹の偏心成長のしかたなどによつてもまたいちじるしくかわつてくるものとおもわれる。

b. 各分布層の大きさ

おのおのの単木にあらわれてくる R-分布層の大きさ(幹のなかにしめる比率%)は Fig. 27 にしめしてあるが、この分布層ごとの大きさを単木ごとにあらわれる個体差を無視して林分の上層, 中層, 下層木ごとに集計してその平均をもとめてみると、Fig. 30 にしめすように、これらの分布層の大きさには供試木の層別にあきらかなちがいがみい

だされる。すなわち、R(b) 分布層の大きさは上層木群では 51.8%, 中層木群では 42.6%, 下層木群では 33.8% となり、また R(c) 分布層の大きさは上層木群では 7.8%, 中層木群では 6.1%, 下層木群では 2.2% で、これらの分布層の大きさは成長のよい上層木群に最も大きく、成長の悪い下層木群にむかうとしたいに減少していることがあきらかである。

これにたいして R(k-g) 分布層の大きさは上層木群では 3.9% にすぎないが中層木群では 9.8%, 下層木群では 24.0% に達しており、上層木群から下層木群にむかうとしたいにその大きさが増加している。また、R(f) 分布層と R(k) 分布層には供試木の層別によつてこのような漸進的な増加もしくは減少の傾向はあきらかではなく、R(f) 分布層の大きさはほぼ 15~20% (上層木群 15.6%, 中層木群 20.1%,

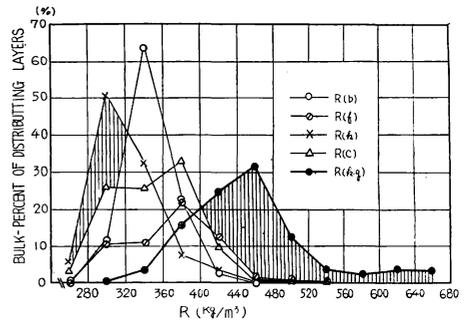


Fig. 29 各分布層の容積密度数
(上, 中, 下層木群)

Bulk-density of each distributing layer
(upper, middle and lower storey trees).

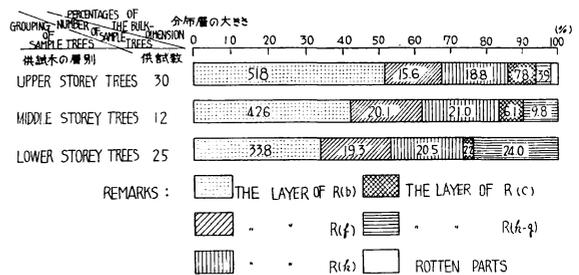


Fig. 30 各分布層の容積比率

Bulk percentage of each distributing layer.

下層木群 19.3%) の範囲に R(k) 分布層の大きさも 18~21% (上層木群 18.8%, 中層木群 21.0%, 下層木群 20.5%) の範囲にそれぞれ変化しているにすぎない。もちろん、これらの分布層の容積密度数の絶対値はそれぞれことなつているので、幹の特定の部位に発達してくる分布層はその幹のなかに発達しているすべての分布層と関連して与えられた環境条件に平衡してつくられてきたものとみなすべきであろうから、特定の分布層だけをとりだしてその量的な変化(大きさの変化)や質的な変化(Rの絶対値の変化)がもつ環境論的な意味を追求することはむずかしいけれども、この Fig. 30 にしめされているように林分の下層木としてその成長が非常に悪くなつてきたときでも、幹足部にできる R(f) 分布層と樹心のまわりのできる R(k) 分布層が発達する相対的な大きさ(%) はあまり変らないことは、これらの分布層が幹の大きさにたいしてかなり安定した関係をたもちながらつくられてくる傾向をしめすものようである。これにたいして R(b), R(c) および R(k-g) 分布層が幹の大きさにたいしてしめす比率は、林分の上層木群から下層木群にむかうといちじるしい変化をしめすもので、R(b) と R(c) 分布層ではこの比率は成長が抑圧されてくると減少し、R(k-g) 分布層ではかえつて増加する傾向があきらかにあらわれているようにおもう。

また、Fig. 27 と Table 8 からあきらかなように上, 中, 下層木群において幹にしめる大きさの最も大きい R(b) 分布層の容積密度数は上, 中層木群ではその約 70% 以上のものが $R=321\sim360\text{ kg/m}^3$ の領域にあらわれ(上層木群では R(b) 分布層の大きさが 51.8% のうちこの容積密度数の範囲にあらわれてくるものは 36.8% 約 71%, 中層木群では R(b) 分布層の大きさが 42.6% のうちこの範囲にあらわれてくるものは 31.2% 約 73% である), これはすでに 421. にのべたように R.B. $\geq 2.0\text{ mm}$ の年輪巾で S.P. $\leq (10\sim30)\%$ の秋材率の範囲に広くあらわれてくる容積密度数にあつており、正常な成長をしているトマツ材に最も普遍的にあらわれてくる基準的な材質のものであるとかんがえた。

c. 各分布層のしめす年輪構成

幹のなかにあらわれてくるこのような容積密度数の分布層ごとにその年輪構成をくらべてみると、Fig. 31 にみとめられるように年輪巾のあらわれかたについては分布層ごとにかなりのちがいがあらわれており、R.B. $\geq (1.5\sim 2.0)\text{ mm}$ の年輪巾の範囲に R(b), R(k), R(c) 分布層などの頻度がたかく、R(f) と R(k-g) 分布層にあらわれる頻度はこれよりかなりひくくなつており、なかでも R(k-g) 分布層にあらわれる頻度が最もひくい。これを秋材率のあらわれかたについてみると、この R(k-g) 分布層をのぞいたほかの分布

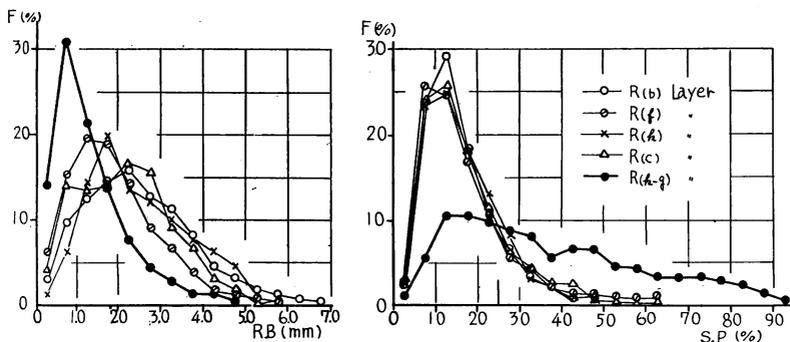


Fig. 31 容積密度数の各分布層における年輪巾と秋材率の頻度

Frequencies of ring-breadth and summerwood-percent on each distributing layers of bulk-density.

層における秋材率の頻度分布はほとんどおなじであらわれかたをしており、年輪巾にくらべて秋材率のほうがこのような幹の特定の部位にあらわれる分布層に関係なくかなり安定していることをしめしている。これにたいして、 $R(k-g)$ 分布層にあらわれている秋材率の頻度分布だけはほかの分布層におけるものといちじるしくことなっており、 $S.P. \approx 25\%$ の秋材率をさかいにしてこれより大きい秋材率の範囲にはいちじるしく頻度がたかく、これより小さい秋材率の範囲にはいちじるしく頻度がひくくなっている。この $S.P. \approx 25\%$ の秋材率の範囲は年輪に **アテ** がおおくなるにつれて秋材率の限界にかなりちかいため、この $R(k-g)$ 分布層には **アテ** の材部がかなりおおくなるものとおもわれる。このような各分布層ごとにあらわれる年輪構成のちがいを供試木の層別にくらべると、Fig. 32 にしめすように、年輪巾のあらわれかたについては $R(k-g)$ 分布層をのぞいては $R.B. \geq 1.5 \sim 2.0 \text{ mm}$ の年輪巾の範囲には成長のわるい下層木に最も頻度がたかく、上層木群には頻度がひくくなっている ($R(k-g)$ 分布層だけは供試木の層別によるちがいはほとんどない)。しかし、これを秋材率のあらわれかたについてくらべてみると $S.P. \approx 15\%$ の秋材率をさかいにして、これより大きい秋材率の範囲には成長のわるい下層木群の頻度が例外なく大きく、上層と中層木群の度数分布は R -分布層ごとにあまりかわらない。

また、年輪巾と容積密度数の関係と、秋材率と容積密度数の関係は供試木の層別に Fig. 33 にしめしたが、年輪巾にたいして容積密度数の変化の傾向はすでに Fig. 23 にしめしたような上に凸か下に凸かの2つのタイプの曲線型があらわれており (下に凸な曲線型は上層木群における $R(b)$ と $R(c)$ の分布層におけるものにあらわれている)、供試木の層別と容積密度数の分布層ごとに複雑な変化をしめしている。このうち $R(k-g)$ 分布層では、年輪巾に対応する容積密度数はほかの分布層におけるおなじ年輪巾に対応する容積密度数にくらべてかなりたかい値をしめしており、 $R(f)$ 分布層では成長の悪い下層木におけるものは上層木群におけるものよりおなじ年輪巾においてはいずれもかなりたかい容積密度数の値に対応している。 $R(b)$ 分布層においては Fig. 23 の幹の部位べつにしめされた年輪巾と容積密度数の関係とまったく近似しており、 $R.B. \geq 2.0 \text{ mm}$ の年輪巾の範囲では各供試木層にあらわれる容積密度数はいずれも $R \approx 320 \sim 360 \text{ kg/m}^3$ に近接している。また、これらの分布層において下層木群のものが上層木群のものよりおなじ年輪巾でもたかい容積密度数に対応しているが、 $R(k)$ 分布層ではこれと逆におなじ年輪巾においてはむしろ上層木群のものがたかい容積密度数に対応している。また、秋材率と容積密度数との関係はこの Fig. 33 にしめしたように各分布層ともほぼ直線的な関係をしめしているが、 $R(f)$ と $R(k-g)$ 分布層ではおなじ秋材率でも供試木の層別に変化する巾がひろく、これらの分布層では下層木群が上層木群よりおなじ秋材率においても、より大きい容積密度数の値に対応している。この分布層ごとに秋材率と容積密度数との関係をくらべてみると、おなじ秋材率で $R(k-g)$ 分布層が最もたかい容積密度数に対応し $R(k)$ 分布層が最もひくい容積密度数に対応して $R(f)$ 、 $R(c)$ 、 $R(b)$ 分布層はいずれもこの中間の値をとつて変化していることがみとめられる。これらの分布層から木取られた供試片で、正常な年輪からできているものと **アテ** の年輪からできているものの比率をくらべてみると、Table 10 にしめすように $R(k-g)$ 分布層に最もたかく (約 50%)、 $R(b)$ と $R(k)$ 分布層をのぞいては成長のよい上層木から成長の悪い下層木群にうつるとこの比率はしだいに増加していることがあきらかである。

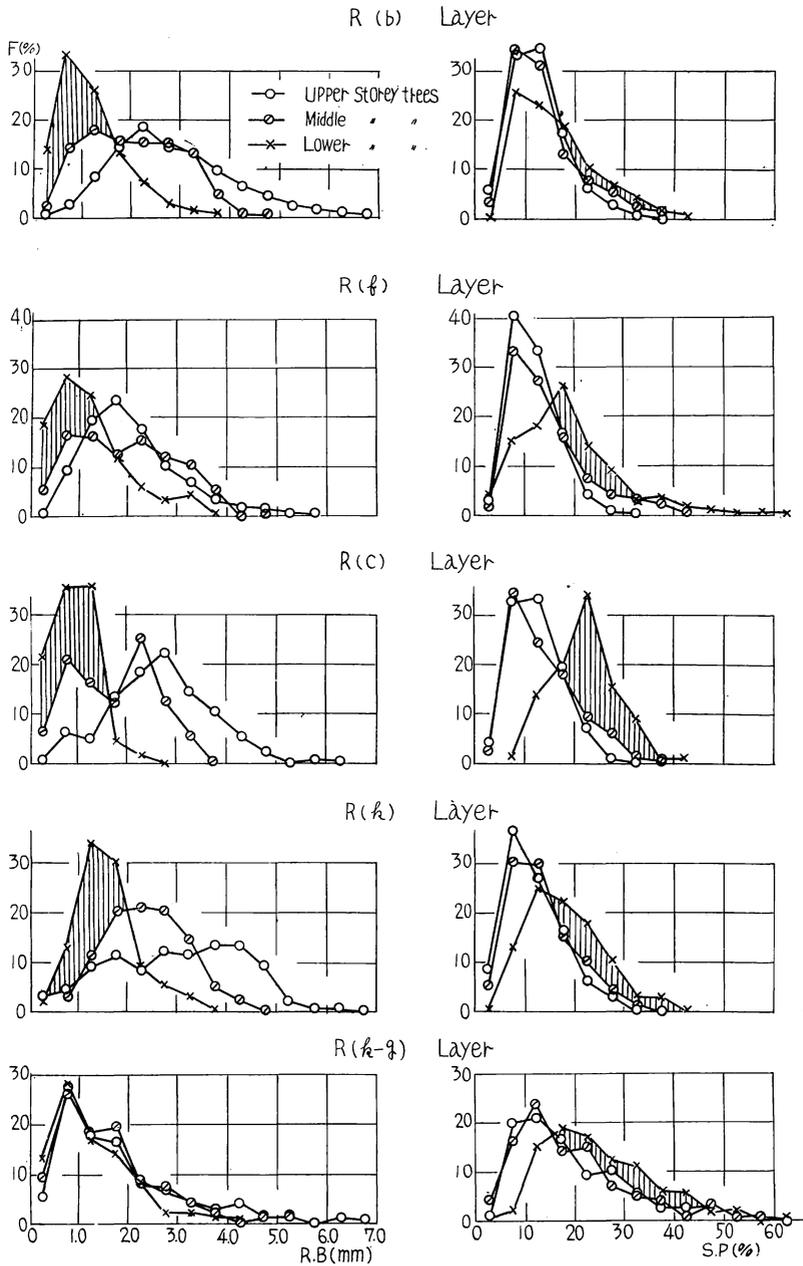


Fig. 32 供試木の層別における容積密度数の各分布層にあらわれる年輪巾と秋材率のあらわれかた

The frequency of ring-breadth and summerwood-percent on each distributing layers of bulk-density at the storey of tree groups.

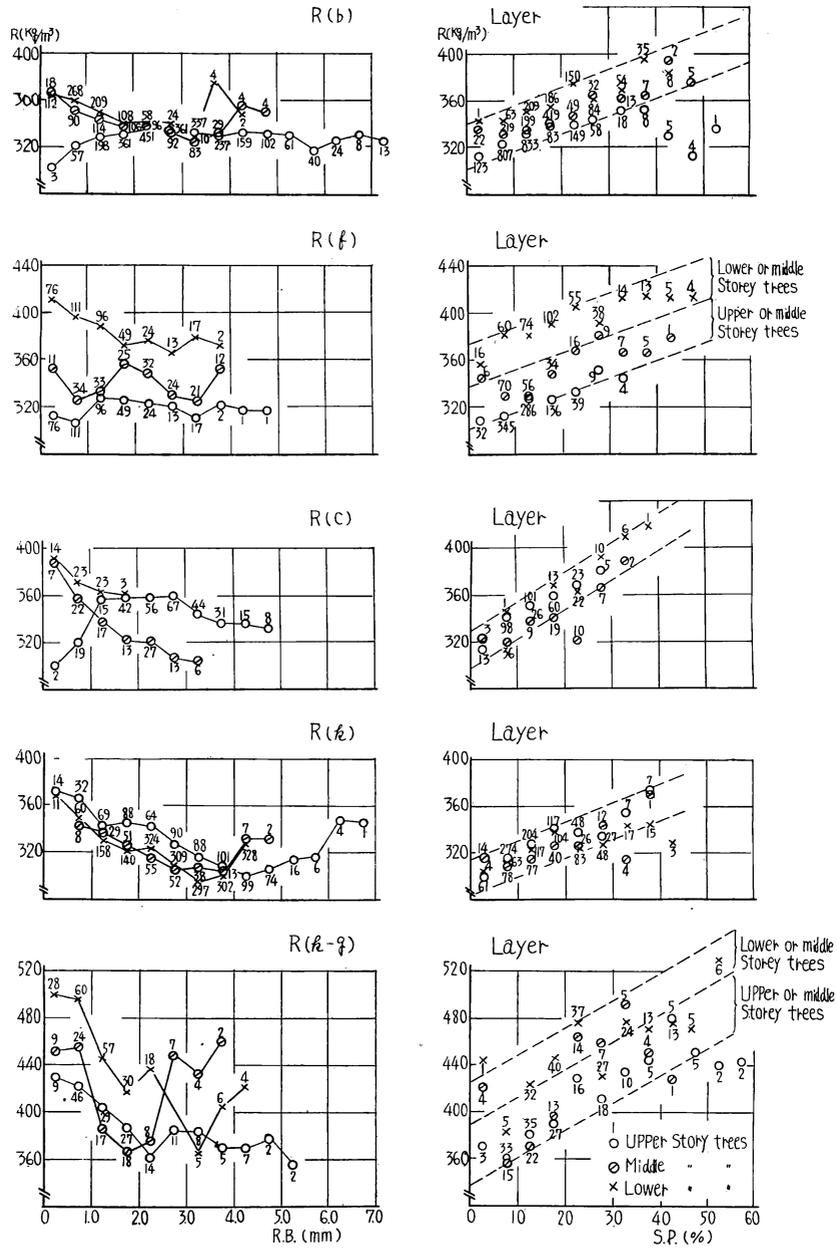


Fig. 33 各分布層ごとにあらわれる容積密度数と年輪巾の関係と
容積密度数と秋材率の関係

The relation between bulk-density and ring-breadth and the relation
between bulk-density and summerwood-percent developed
on each distributing layers of bulk-density.

Table 10. 各分布層に
The percentage of compression

供試木群 Tree classes	R(b)				R(f)			
	材 常 正 Normal wood	材 子 ア Compression wood	料 試 *全 All specimen	数 ア テ材数 Number of of all compression wood specimen	材 常 正 Normal wood	材 子 ア Compression wood	料 試 *全 All specimen	数 ア テ材数 Number of of all compression wood specimen
	N	N	N	%	N	N	N	%
上層木 Upper storey trees	2433	535	3132	17.1	854	71	954	7.4
中層木 Middle storey trees	631	173	855	20.2	204	43	269	16.0
下層木 Lower storey trees	799	162	1019	15.9	392	123	544	22.6
計 Total	3863	870	5006	17.4	1450	237	1767	13.4

44. 幹のなかで容積密度数の変化する類型

441. 容積密度数分布の類型

幹のなかの容積密度数の分布図を幹の成長図に記入されている5~10年おきの年輪ごとに分解してみると、この5~10年間の成長部分に容積密度数の大きさが地上高によつていくつかの階段的な分布がみつめられてくる。この地上高による容積密度数の階段的な分布についてその垂直的な変化のしかたをみると——ここでは容積密度数の分布にたいする幹の水平方向のつながりはまつたくかんがえない——容積密度数の階級が地上高によつてまつたく変らないもの(0段の変化)とその変化の方向が Fig. 34 にしめすよ

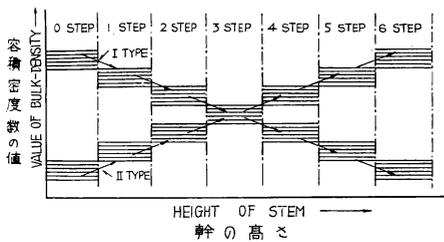


Fig. 34 幹の高さにたいする容積密度数の分布型

Distribution form of bulk-density to the height of stem.

うに地上高の低いほうから高いほうにむかうにつれて容積密度数の大きさがより大きい階級からより小さい階級にかわるもの(I型の変化)と、これと逆に容積密度数の小さい階級から大きい階級にかわるもの(II型の変化)およびこの2つの変化の方向が交錯してあらわれてくるもの(I II型あるいはII I型)にわけられる。

地上高による容積密度数の変化のしかたはおそらくその年輪が形成されるときに環境因子や、同化生産物の幹のなかの配分に関する要素、たとえば樹

木が旺盛な成長をしているか或いはその成長が抑圧されているかといったことや、そのときの幹のかたちたとえばクローネの量や位置などによつて複雑にかわつてくるものであろうが、ここで調査した天然生のものようなときには過去の成長の履歴をあきらかにすることはほとんどできないのでそのおのおのの変

* 正常材とアテ材数との合計が全試料数にならないのは、ほかの欠点材を含んでいるからである。

あらわれるアテ材の比率
wood on each distributing layers.

R(c)				R(k)				R(k-g)			
材 正 常 Normal wood	材 ア テ Compression wood	料 全 試 All specimen	数 総 Number of compression of all wood specimen	材 正 常 Normal wood	材 ア テ Compression wood	料 全 試 All specimen	数 総 Number of compression of all wood specimen	材 正 常 Normal wood	材 ア テ Compression wood	料 全 試 All specimen	数 総 Number of compression of all wood specimen
N	N	N	%	N	N	N	%	N	N	N	%
302	46	396	11.6	746	228	1076	21.2	165	158	350	45.1
105	19	131	14.5	255	108	406	26.6	92	100	206	48.5
64	30	110	27.3	460	100	596	16.8	211	284	525	54.1
471	95	637	14.9	1461	436	2078	21.0	468	542	1081	50.1

化と、それをとりまいている条件とを相関させて考えていくことはできない。しかし、このような容積密度数の変化のしかたをいくつかの類型にわけ、その類型があらわれてくる条件をおおくの個体について共通であるとみなすことができれば、これらの類型をそれがあらわれる林木の成長の量的な変化とかあるいはその時間的な経過にむすびつけて考えることがこの容積密度数の変化を知るために必要になってくる。

すでにのべたように（幹のなかの容積密度数の分布図でその容積密度数の大きさが 40 kg/m^3 ことの階級でつくられると、幹の垂直あるいは水平方向に容積密度数の分布層があらわれてくる）、幹のなかの容積密度数の変化を $R=40 \text{ kg/m}^3$ ことの階級における変化とみなし、この階級内の容積密度数のバラツキを無視して（層別された供試木の幹の部位べつの容積密度数の標準偏差はおよそ 40 kg/m^3 であるから）みると、調査したすべての供試木の5~10年輪おきの成長部分で地上高による容積密度数の階段的な分布はこのI型とII型の変化がくみあわされて出現し、地上高によつてその容積密度数が変化しない（0段のもの）ものから、その変化する階段が合計6段（Rの7の階級にわたつて変化しているもの）におよぶものまでがあらわれてくる。この変化は Table 11 にしめたように供試木をそれぞれ5~10年輪をふくむ976本の成長部分に分解したもののうちで、Rの階級が1段（Rの2階級にわたつて変化しているもの）に変化しているものの例が最もおおく、全体の31.5%におよんでおり、4段（Rの5階級にわたるもの）以上のRの階級にわたつて変化するものは全数の5%以下でしかないから、このような変化はかなり偶然な因子であらわれてくる例外的なもののみならず、よきようにおもわれる。また、この容積密度数の階段による変化のあらわれかたを供試木を上、中、下層木に層別してくらべてみてもいちじるしいがいはないが、容積密度数が2段（Rの3階級にわたつて変化する）以下に変化するものは上層木群より中層、下層木群のほうにややその出現率がたかく、容積密度数が3段（4階級にわたつて変化する）以上に変化するものはむしろ上層木のほうにわずかに出現率がたかいようにみとめられる。

このような変化と、供試木の樹令との関係は Table 12 であきらかなように、容積密度数の変化のな

Table 11. 樹高にたいする容積密度数の階段的な分布のあらわれかた
Frequency of stepwise distribution of bulk-density for the tree height.

Distributing steps of bulk-density for tree height	Upper storey trees		Middle storey trees		Lower storey trees		Total	
	N	%	N	%	N	%	N	%
0	111	24.8	51	28.0	92	26.5	254	26.0
1	129	28.8	47	25.8	131	37.7	307	31.5
2	115	25.6	54	29.6	94	27.1	263	26.9
3	61	13.6	21	11.5	28	8.1	110	11.3
4	23	5.1	8	4.4	2	0.6	33	3.4
5	7	1.6	1	0.5	—	—	8	0.8
6	1	0.2	—	—	—	—	1	0.1
Σ	447	99.7	182	99.8	347	100.0	976	100.0

Table 12. 樹令にたいする容積密度数の階段的な分布の特性的なあらわれかた
Characteristic appearance of the stepwise distribution of bulk-density for the tree ages.

供試木 Tree classes	分布段階 Distributing steps	樹令 Years of age		~20		~40		~60		~80		~100		~120		~140		~160		~180		~200		Σ
		N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N		
上層木 Upper storey trees	0	59	53	21	19	12	11	7	6	6	5	4	4	—	—	—	—	2	2	—	—	—	—	111
	1	14	11	34	26	29	23	20	16	16	12	7	5	7	5	2	2	—	—	—	—	—	—	129
	2	2	2	24	21	25	22	21	18	17	15	8	7	7	6	5	4	2	2	4	4	—	—	115
	3	—	—	2	3	12	20	14	23	10	16	9	15	6	10	5	8	3	5	—	—	—	—	61
	Σ	75	17	82	18	84	19	70	16	56	13	32	7	20	4	14	3	9	2	5	1	—	—	447
中層木 Middle storey trees	0	37	73	10	20	1	2	2	4	1	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	51
	1	2	4	22	47	12	26	8	17	3	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	47
	2	1	2	10	19	21	39	12	22	8	15	2	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	54
	3	—	—	1	5	8	38	8	38	4	19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21
	Σ	40	22	43	24	44	24	34	19	19	10	2	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	182
下層木 Lower storey trees	0	68	74	22	24	2	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	92
	1	15	12	49	37	41	31	20	15	6	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	131
	2	—	—	17	18	33	35	35	37	8	9	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	94
	3	—	—	2	7	9	32	7	25	9	32	1	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	28
	Σ	83	24	90	26	86	25	62	18	24	7	2	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
計 All groups	0	164	65	53	21	15	6	9	4	7	3	4	2	—	—	—	—	2	1	—	—	—	—	254
	1	31	10	105	34	82	27	48	16	25	8	7	2	7	2	1	—	—	—	—	—	—	—	307
	2	3	1	51	19	79	30	68	26	33	13	11	4	7	3	5	2	2	1	4	2	—	—	263
	3	—	—	5	5	29	26	29	26	23	21	10	9	6	6	5	5	3	3	—	—	—	—	110
	Σ	198	20	215	22	214	22	166	17	99	10	36	4	20	2	14	1	9	1	5	1	—	—	976

Table 13. 容積密度数の分布型のあらわれかた
The appearance on distribution types of bulk-density.

容積密度 数の分布型 Distribution types of bulk-density	供試木群 Tree classes	上 層 木 Upper storey trees				中 層 木 Middle storey trees					下 層 木 Lower storey trees					総 括 In all						
		段 階 Distributing steps	1	2	3	Σ	1	2	3	Σ	1	2	3	Σ	1	2	3	Σ				
			N	N	N	N	%	N	N	N	N	%	N	N	N	N	%	N	N	N	N	%
I 型 Type I	I I I I I I Σ	112	—	—	—	—	42	—	—	—	—	127	—	—	—	—	281	—	—	—	—	
		—	60	—	—	—	—	23	—	—	—	—	76	—	—	—	—	159	—	—	—	
		—	—	2	—	—	—	—	8	—	—	—	—	15	—	—	—	—	—	25	—	
		—	—	—	174	57	—	—	—	73	60	—	—	—	218	86	—	—	—	—	465	68
II 型 Type II	II II II II II II Σ	17	—	—	—	—	5	—	—	—	—	4	—	—	—	—	26	—	—	—	—	
		—	5	—	—	—	—	2	—	—	—	—	3	—	—	—	—	10	—	—	—	
		—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	
		—	—	—	23	8	—	—	—	7	6	—	—	—	—	7	3	—	—	—	37	5
I II 型 Type I II	I II I I II I II II Σ	—	33	—	—	—	—	27	—	—	—	—	14	—	—	—	—	74	—	—	—	
		—	—	9	—	—	—	—	2	—	—	—	—	6	—	—	—	—	—	17	—	
		—	—	13	—	—	—	—	2	—	—	—	—	4	—	—	—	—	—	19	—	
		—	—	—	55	18	—	—	—	31	25	—	—	—	—	24	9	—	—	—	110	16
II I 型 Type II I	II I II II I II I I Σ	—	17	—	—	—	—	2	—	—	—	—	1	—	—	—	—	20	—	—	—	
		—	—	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	—	
		—	—	8	—	—	—	—	3	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	12	—	
		—	—	—	28	9	—	—	—	5	4	—	—	—	—	2	1	—	—	—	35	5
I II I 型 Type I II I	I II I	—	—	22	22	7	—	—	4	4	3	—	—	2	2	1	—	—	—	28	28	4
		—	—	3	3	1	—	—	2	2	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5	5
II I II 型 Type II I II	II I II	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	305	—	—	—	—	122	—	—	—	—	—	253	—	—	—	—	—	680

が 20~60 年の樹令のところにあられてくるのにたいして、II型のもは樹令が 61~100 年のところにおおくあらわれて (この令階には全数の約 68 %があらわれており、最も出現率のたかいは 81~100 年の令階になつている) いて、I型のもはかなり壮令期にII型のもはかなり老令期にできており、この I, II型の交錯した類型のものは 60~80 年の令階を中心にしてあらわれていることがみとめられる。

これをさらに容積密度数の変化する I型と II型の類型についてその樹令によるあらわれかたをくらべてみると、Fig. 35 にしめたように I型のもでは樹令 40 年ぐらまでは容積密度数が 1段に変化するものがおおいが、40年以上の樹令になると 2~3段に変化するものがよりおおくあらわれている。また II型のもでは樹令が 80 年ぐらまでは容積密度数の 1段の変化が多いが、これ以上の樹令では 2段のものがおおくあらわれていることがみとめられる。

442. 幹のなかの容積密度数の垂直的な分布
 a. 幹の垂直方向に容積密度数が変らない場合

すでに述べたように、5~10 年おきに解析された幹の成長部分でその垂直方向に容積密度数がかわらないものは全数の 26 %におよんでおり、これはその 65 %が 20 年以下の樹心部にあらわれていることがしられた。

したがって、この大半のものは幹の容積密度数の分布図で R(k-g) として区別された被圧年輪で構成されている R分布層にあたり、そのほかの 35%のものはその成長経過で、樹冠部から幹足にいたるまでまつたく均等な容積密度数の分布ができているもので、そのおおくが R(b) 分布層にあたつていであろうことがかんがえられる。このような容積密度数の分布は Table 12 で中層木や下層木では樹令 40 年以下の令階にあらわれてくるものが全体の 93~98 %にたつていて、このようなものでは樹心の近くの成長の被圧部がほとんどこの例にあたつていであろうし (下層木の容積密度数の分布図では R(k-g) 分布層があらわれる地上高の上端はほとんど 2 mにおよび、この分布層の大きさも上層木にくらべていちじるしく大きくなることから推察される)、上層木群ではこの樹令 40 年以下の令階にあらわれてくるものは全体の 72 %で、しかもその容積密度数の分布図で R(k-g) 分布層の大きさもかなり小さいから、おそらく 30 %以上のものは R(b) 分布層にあたつていであろうとおもわれる。したがって、令階べつに容積密度数の垂直的な分布をしらべて、このうちで容積密度数の分布に変化のないものだけをとりだしてその容積密度数の大きさをみても、Table 15 にしめすように上層木群ではそのモードが $R=320\sim360 \text{ kg/m}^3$ にあらわれるような左偏した頻度分布をしめしているが、中、下層木ではその頻度分布はかなり不正常でしかもそのモードは $R=561\sim680 \text{ kg/m}^3$ の容積密度数の領域にわたつてあらわれていることがしられ、おなじく容積密度数が垂直的にかわらない (0 段の変化) のものでも、前者は上層木群において最も成長の旺盛な時期に幹の垂直方向に容積密度数の分布が均一になる場合にあた

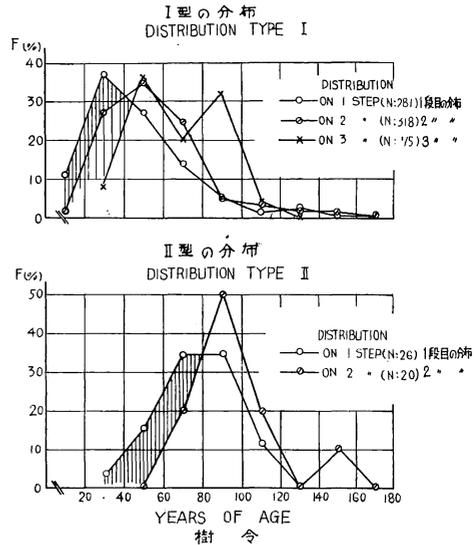


Fig. 35 容積密度数の分布型の樹令べつの頻度
 Frequency of Distribution types of bulk-density developed at the every tree age.

Table 15. 垂直的な分布が変わらない
Developing frequency of the bulk-density

Classes of bulk-density kg/m^3	~280		~320		~360		~400		~440	
	%	N	N	%	N	%	N	%	N	%
Upper storey trees	2	1.6	12	9.3	29	22.5	19	14.7	13	10.0
Middle " "	—	—	—	—	6	11.8	5	9.8	5	9.8
Lower " "	—	—	—	—	—	—	3	3.2	2	2.2
In all	2	0.7	12	4.4	35	12.8	27	9.9	20	7.3

り、後者は中、下層木で樹心部の被圧時代につくられたものにあつており、まったく異質なものであることがあきらかである。

b. 幹の垂直方向に容積密度数が変わる場合

Table 11 で知られたように、各成長期のおよそ 74 % におよぶものは幹の垂直方向に容積密度数の分布が変化しているもので、この大半のものはその変化が 3 段までのものであつた（4 段以上に容積密度数の分布が変化するものは全数の 5 % 以下にすぎない）。このような容積密度数の垂直的な分布のうちで、最も普通にあらわれてくる I 型の変化についてまずその容積密度数のかわりかたをくらべてみると Fig.

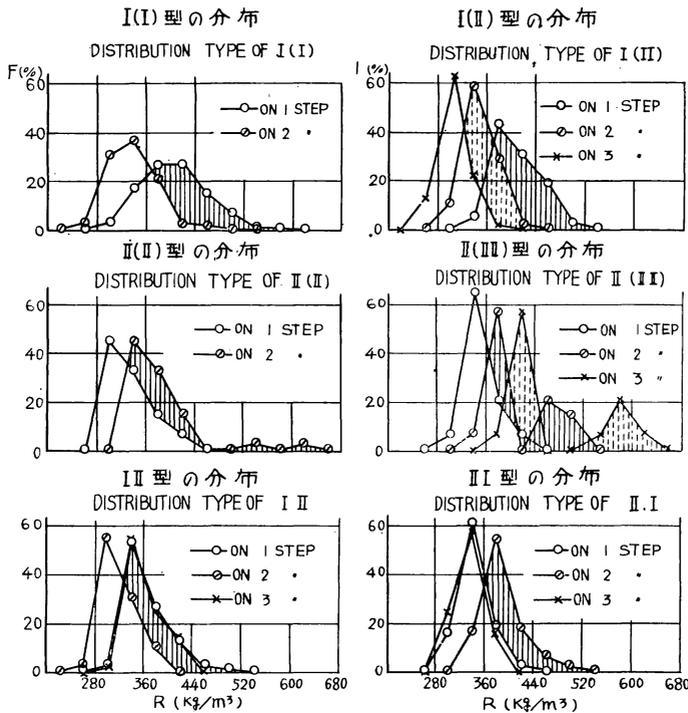


Fig. 36 容積密度数の分布型 I, II および I II (II I) のあらわれる頻度
Developing frequency of bulk-density on the distribution types of I, II, and I II (or II I).

ときのRのあらわれかた

equally distributing to the vertical direction of stem.

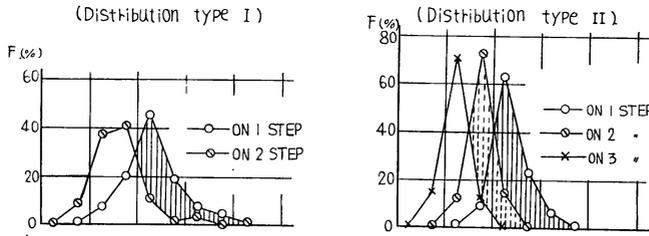
~480		~520		~560		~600		~640		~680		Σ
N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N
15	11.6	4	3.1	5	3.9	27	20.9	3	2.3	—	—	129
1	2.0	3	5.9	8	15.7	1	2.0	11	21.6	11	21.6	51
13	14.0	15	16.2	10	10.8	20	21.6	10	10.8	19	(20.5)	92
29	10.6	22	8.1	23	8.4	48	17.6	24	8.8	30	11.0	272

36 にしめすように、 $R \geq 360 \text{ kg/m}^3$ の領域では幹の下底部(1段目の容積密度数)にできるものがその上方にできるものよりおおくあらわれ、 $R \geq 360 \text{ kg/m}^3$ の領域では上方の部分(2段目の容積密度数)におおくなっている。このような容積密度数の限界はさらに供試木を層別してくらべてみると、およそ $R = 350 \sim 380 \text{ kg/m}^3$ の領域にわたつてかわつており、上層木群では $R = 350 \text{ kg/m}^3$ にちかいところに、下層木群では $R = 380 \text{ kg/m}^3$ にちかいところにあらわれていて、上層木群から中、下層木群にうつるとこの容積密度数の限界もしいにその絶対値の大きくなるほうにズレていることがみとめられるが、幹のこの上下の部分で容積密度数の変化する量的な割合(2つの頻度分布をくらべたこの Fig. 36 にハッチングしている部分の量)はほとんどかわらない。

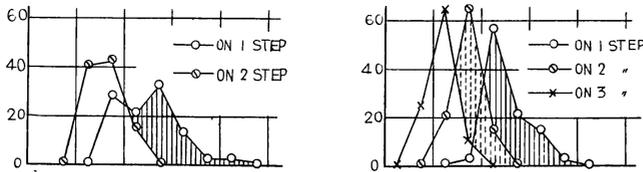
また、おなじI型のもでも容積密度数が2段にわかれているものでは Fig. 37 にしめすごとくその容積密度数の大きさはどの階級においてもかなり正常な分布をしめしており、そのモードは幹の下底部(1段目の容積密度数)では $R = 360 \sim 400 \text{ kg/m}^3$ (下層木群では $R = 400 \sim 440 \text{ kg/m}^3$)、2段目のものは $R = 320 \sim 360 \text{ kg/m}^3$ (下層木群は $R = 360 \sim 400 \text{ kg/m}^3$)、幹の上端(3段目の容積密度数)では $R = 280 \sim 320 \text{ kg/m}^3$ と順次に容積密度数が小さくなる方向にうごいており、1段目と3段目ではその容積密度数の出現域にもかなりのズレができてはいるが、 $R = 360 \text{ kg/m}^3$ を中心としてほぼ $R = \pm 40 \text{ kg/m}^3$ のはんいはこのいずれの段階のものについても共通であり幹のこの上、中、下の部分で容積密度数の変化する量的な割合はほとんどかわらないようである。

これにたいしてII型の変化をしめたものは Table 13 にしめたように全数のわずか5%にすぎないので、その容積密度数の分散のしかたもあまりあきらかでないが、Fig. 36 にみられるように、容積密度数が2段にかわるものでも3段にかわるものでも幹の下底部にできるもの(1段目の容積密度数)は、I型のもののおなじ位置のものくらべてかなり容積密度数の小さい方にズレており、そのモードは $R \leq 360 \text{ kg/m}^3$ (2段に変化するものでは $R = 280 \sim 320 \text{ kg/m}^3$ 、3段のものは $320 \sim 360 \text{ kg/m}^3$ の範囲にあらわれている)の領域にあらわれており、この2~3段目にできるものの容積密度数は双峯型の分散をして $R = 400 \sim 680 \text{ kg/m}^3$ の範囲にふたたびその出現数がおおくなるような異常な分散のしかたをしめているのが特徴のようにみられる。また、I II型ないしII I型として区別したものは、Fig. 36 にみられるように幹の下部のもの(1段目)と上部のもの(3段目)の容積密度数の分散はほとんどおなじであつて、中央部(2段目)のものがこれらのものより容積密度数の小または大になるほうにズレているものであつ

UPPER STOREY TREES



MIDDLE STOREY TREES



LOWER STOREY TREES

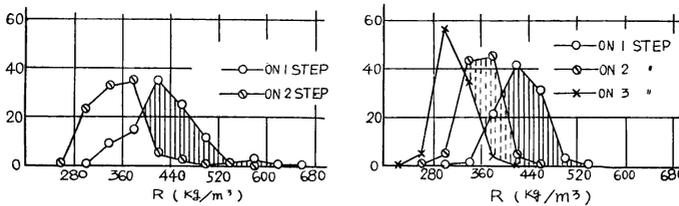


Fig. 37 I型およびI I型にあらわれる容積密度数の頻度

Frequency of the bulk-density developed on the distribution type I and I I.

た。

c. 容積密度数の変化する類型の地上高によるあらわれかた

幹のなかで容積密度数のかわる地上高をその樹高の相対的な高さ(%)としてあらわし、この頻度をI型とII型の類型にわけてくらべてみると、Table 16 にしめすようにI型のは容積密度数の1段に

Table 16. 容積密度数の分布が階段状にあらわれる相対的な地上高の出現

Appearance of the relative height on which the distribution of bulk-density are stepwisely developed.

地上高 Relative height %	I 型 Type I						II 型 Type II					
	1段の分布 distribution of 1 step		2段の分布 distribution of 2 steps		3段の分布 distribution of 3 steps		1段の分布 distribution of 1 step		2段の分布 distribution of 2 steps		3段の分布 distribution of 3 steps	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
~20	10	3.6	16	5.0	4	5.3	—	—	—	—	—	—
21~40	56	19.8	105	33.0	22	29.4	6	23.0	2	10.0	—	—
41~60	92	32.7	81	25.4	16	21.4	5	19.4	3	15.0	—	—
61~80	81	28.8	76	23.9	18	24.0	8	30.8	7	35.0	2	66.6
81~100	42	14.9	40	12.6	15	20.0	7	26.9	8	40.0	1	33.3
Σ	281		318		75		26		20		3	

化するものは地上高 41~60% に最もおおく、容積密度数が 2~3 段にわかれるものでは地上高 21~40% に最もおおくあらわれている。

これにたいして II 型の類型では、その容積密度数の変る段数にかかわらずその位置は地上高の 61~80% に最もおおくあらわれていて、I 型のものにくらべてかなりたかい位置で変化があらわれていることがわかる。また、このような容積密度数の変る地上高をその変化が、1 段と 2 段のものについて供試木を層別してくらべてみると、Fig. 38 にみとめられるように、上、中層木ではその変化が 1 段のものが 2 段のものよりいずれも地上高 40% 以上のところで容積密度数の変る頻度がたかくなり、40% 以下の地上高ではその変化が 3 段のものの頻度よりおおくあらわれていることになる。したがって、容積密度数が 1 段にかわるものでは、地上高の 40% のややたかい幹の部位にその変移点があられやすく、容積密度数が 3 段にかわるものでその 1 段目の変移点が地上高 40% 以下の幹の部位にあられやすいものであるとかんがえられる。この地上高の 40% は上層木では 8.6m (上層木の平均樹高 21.5m として) 中層木では 5.9m (中層木の平均樹高 14.9m として) にあつているが、下層木については容積密度数の 1 段と 2 段の変化のちがいはあまりあきらかな傾向がみとめられない。これにたいして II 型の類型では、地上高が 60% 以下では容積密度数の 2 段の変化が 3 段のものよりおおくあらわれていて、地上高 60% 以上の幹の部位には容積密度数が 2 段にかわるときの変移点があられやすく、I 型の類型のものがあられる地上高にくらべてかなりことなつていることになる。

45. 幹のかたちと容積密度数の変化

451. 幹の完満度と容積密度数の変化

供試木を 5~10 年おきに析解した樹幹成長図で、その令階ごとの胸高径 (D cm) と樹高 (H m) との比 H/D をもとめ、その令階の成長部分にあらわれている容積密度数の垂直的な変化の段数をかぞえて供試木の層別にしめすと Table 17 のように上、中、下層木を通じて容積密度数の変化する段数のおおいものは完満度 H/D の小さいところにおおく、H/D が大きくなるにつれて漸次、容積密度数の変化する段数がすくないものに集中してきており、H/D > 100 では容積密度数が地上高によつてまつたく変化しない (0 段のもの) ようになる。このような傾向は上層木群の供試木に最もあきらかであり、また容積密度数が垂直的にかわらなくなるところは上層木群では H/D > 81, 中層木群では H/D > 91, 下層木群では H/D > 101 になつて成長の悪いものほどしだいに H/D の大きいところにつつていることがみとめられる。

また、幹の完満度 H/D によつて容積密度数の変化する地上高のあらわれかたをくらべてみると Table 18 にしめすように、H/D = 71~80 のときに地上高 = 21~40% で容積密度数が変化しているものが最も

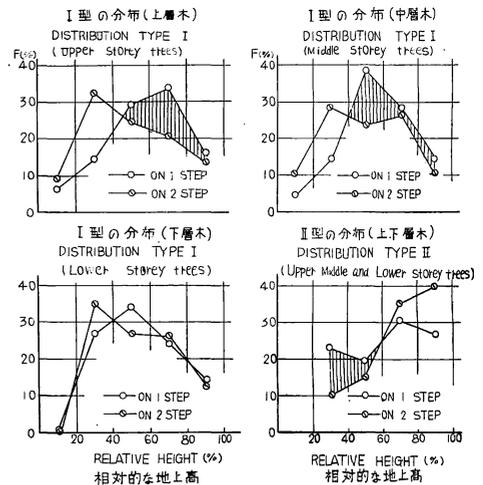


Fig. 38 幹の地上高(相対的な高さ)べつにあられる容積密度数の分布する頻度
Frequency on the distribution of bulk-density developed at the stem height (relative height) above ground.

Table 17. 幹の完満度 (H/D) と容積密度数の分布が変化する段数
Degree of full-bodies (H/D) and the number of steps on which the distribution of bulk-density are transforming.

幹の 完満度 H/D	Distri- bution steps	Upper storey trees					Middle storey trees					Lower storey trees																	
		0		1		Σ	0		1		Σ	0		1		Σ													
		N	%	N	%		N	%	N	%		N	%	N	%		N	%											
~50		13	8.7	42	28.0	36	24.0	59	39.3	150	1	2.9	20	58.8	9	26.5	4	11.8	34	4	26.7	8	53.3	3	20.0	—	—	15	
~60		31	10.8	80	27.8	108	37.5	69	24.0	288	8	11.6	16	23.2	24	34.8	21	30.4	69	11	26.8	16	39.0	6	14.6	8	19.5	41	
~70		24	11.6	84	40.8	60	29.1	38	18.4	206	10	9.7	54	52.4	27	26.2	12	11.6	103	19	23.5	38	46.9	24	29.6	—	—	81	
~80		26	22.4	52	44.8	18	15.5	20	17.2	116	13	30.2	8	18.6	18	41.9	4	9.3	43	34	28.3	56	46.7	30	25.0	—	—	120	
~90		26	50.0	16	30.8	6	11.5	4	7.7	52	6	20.7	20	69.0	3	10.3	—	—	29	21	22.6	54	58.1	18	19.4	—	—	93	
~100		8	80.0	2	20.0	—	—	—	—	10	5	71.4	2	28.6	—	—	—	—	7	13	43.3	14	46.7	3	10.0	—	—	30	
~110		4	100.0	—	—	—	—	—	—	4	3	100.0	—	—	—	—	—	—	3	10	100.0	—	—	—	—	—	—	10	
~120		4	—	2	—	—	—	—	—	6	1	—	—	—	—	—	—	—	1	4	—	—	—	—	—	—	—	—	4
~130		2	—	—	—	—	—	—	—	2	3	—	—	—	—	—	—	—	3	4	—	—	—	—	—	—	—	—	4
~140		1	—	2	—	—	—	—	—	3	1	—	—	—	—	—	—	—	1	3	—	—	—	—	—	—	—	—	3
~150		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	1
~160		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	—	—	—	—	—	—	—	—	3
~170		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	2
~180		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	1
~190		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
~200		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
201~		1	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	1
Σ		140	—	280	—	228	—	190	—	838	51	—	120	—	81	—	41	—	293	131	—	186	—	84	—	8	—	409	

Table 18. 幹の完満度 (H/D) と容積密度数の分布が変化する相対的な地上高との関係
Relation between the degree of full-bodies (H/D) and the relative height of stem, on which the distribution of bulk-density are transforming.

幹の完満度 H/D	相対的地上高 Relative Height		~20%		~40%		~60%		~80%		~100%		Σ
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N
~50	29	14.6	39	19.6	42	21.1	50	25.1	39	19.6			199
~60	46	11.5	79	19.8	86	21.6	94	23.6	93	23.3			398
~70	25	6.4	98	25.1	99	25.3	91	23.3	77	19.7			390
~80	13	4.7	91	32.6	73	26.1	57	20.4	45	16.1			279
~90	2	1.1	47	27.0	52	29.8	49	28.1	24	13.8			174
~100	—	—	8	17.0	15	31.9	19	40.4	5	10.6			47
101~	—	—	2	3.8	12	22.6	20	37.7	20	37.7			53
Σ	115		364		378		380		303				1540

おおく、これより完満度が小さくなつても大きくなつても容積密度数の垂直的な変化はいずれもしだいに地上高のたかいところにあられてくる傾向がみとめられるようである。

また、単木の容積密度数の分布図からその幹の標準 (平均) 容積密度数 R_s をもとめ、これをその立木の樹高 (H m) と胸高径 (D cm) の比 H/D についてプロットしてみると Fig. 39 にしめすように、幹の標準容積密度数 R_s は完満度 H/D には

ほぼ比例する一定領域 (Fig. 39 にハッチングをしている) のなかにあられてくる。この Fig. 39 では供試木の標準容積密度数 R_s の変動のなかで、上層木ないし下層木といった個体差はほかの複雑な要素のためにまったく消えているけれども、H/D の一定の範囲ごとに R_s の平均値をもとめると上層木と下層木のあいだにはあきらかな変化があらわれてくる。このような幹のかたちと R_s とのあいだの関係については、つぎの Fig. 40 で等高で直径のことなる A-B-C の幹と A-B'-C' の幹を考えたときに、この2つの幹が外力 (風圧など) にたいして等しい抵抗をもつためには (クローネが等しいとして)、この細いほうの幹が容積密度数のたかいしたがって単位面積当りの強度の大きいものがつくられてくる

ことはまったく合目的であり、Fig. 39 で完満度 H/D の値と供試木の標準容積密度数 R_s とが比例することもこのような仮定とまったく一致していることになる。E. VOLKERT はこの外力にたいする抵抗性をますために林木はその平均容積密度数をますばかりでなく、幹につくられる実質配列の効果について

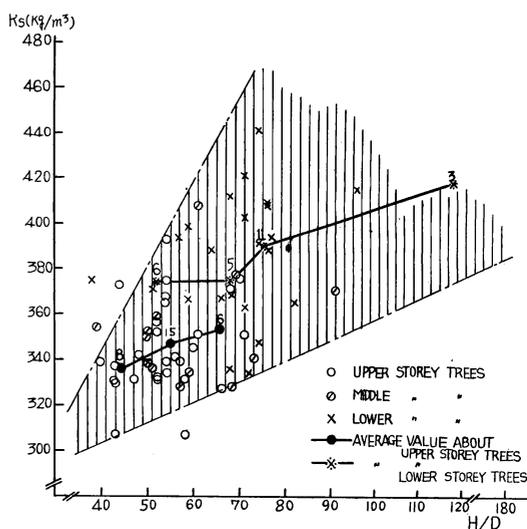


Fig. 39 各供試木の標準容積密度数と幹の完満度 (H/D) との関係

Relation between the standard value of bulk-density and the degree of full-bodies (H/D) at every sample trees.

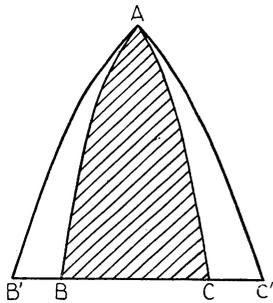


Fig. 40 等高で直径の異なる2つの幹

2 stems with equal tree height and different diameters.

のべ、幹の外側に容積密度数の大きいものがつくられてくるいわゆる管状構造がより合目的であるとしているが、この天然林の供試木にあらわれてくるような樹心のまわりの被圧部分をのぞいては一般に年輪の形成は幹の内側で広く、外側にむかうほどせまくなる（成長量がおなじであれば年輪巾は外側にむかうほどせまくなる）傾向をもつもので、年輪巾のせまくなることが容積密度数の大きくなることと対応するとすればこのような一般的な成長の経過がまた外力の抵抗にたいして合目的な構造であるということができ、さらにまた幹の地ぎわにちかいた側の部分は、外力にたいしてそのモーメントの最も大きくなる部位にあつており、この部位が幹の根張りとしてその肥大成長が最もいちじるしくなるばかりでなく、さらに容積密度数の大きい R(f) 分布層の発達があらわれてくることもこの目的のためには効果的であることとなる。

452. 幹曲線の変異点と容積密度数の変化

幹曲線についてはこれまで測樹学上の問題としておおくの研究がおこなわれており、一般にクローネの部分は円錐型、枝下の部分は円筒型、地ぎわのちかくの根張りのある部分はナイロイド型をしているものといわれ、幹曲線にいくつかの変異点がかんがえられている。このうち幹の樹冠部と枝下部とのあいだにみられる変異点を、樹幹成長図の各令階ごとにもとめ、その変異点のあらわれている位置をその令階の樹高にたいする相対的な高さ(%)としてしめし、この幹曲線の変異点の位置(%)とその令階にあらわれている容積密度数の垂直的にかわる地上高との関係を見ると、Table 19 にしめすように、これを容積密度数の変る段数に関係なくみてみると、たとえば幹の変異点が ~40 %のものでは容積密度数のかわる地上高も~40%のところにも最も確率がたかく、また、幹の変異点が 41~60 %の地上高にあるものでは容積密度数のかわる地上高も 41~60 %にあらわれる確率が最もたかくなり、幹の変異点と容積密度数のかわる地上高とはかなりたかい相関がみとめられている。しかし、これを容積密度数のかわる段数ごとにつ

Table 19. 幹曲線の変異点と容積密度数の分布が
Relation between the transforming point on the external form of stem and the

Number of steps	I 段階の分布 distribution of 1 step						II 段階の分布 distribution of 2 steps					III 段階の分布 distribution of 3 steps						
	~20	~40	~60	~80	~100	Σ	~20	~40	~60	~80	~100	Σ	~20	~40	~60	~80	~100	Σ
変異点 Transforming point %																		
Relative height %																		
~40	1	10	4	11	2	28	11	31	22	21	17	102	4	6	8	9	6	33
~60	8	32	82	22	19	163	25	79	67	67	50	288	22	49	57	63	52	243
~80	1	19	10	63	7	100	11	52	43	40	30	176	9	27	21	26	28	111
~100	—	2	2	—	27	31	—	4	5	2	5	16	—	1	1	—	1	3
Σ	10	63	98	96	55	322	47	166	137	130	102	582	35	83	87	98	87	390

いてくらべてみると、容積密度数がただ 1 段の変化をしているときは上述のときとまったくおなじ傾向で容積密度数のかわる地上高は幹の変異点と非常にたかい相関をしめしていることがみとめられるが、容積密度数の変化が 2 段のときは、容積密度数のかわる地上高は幹の変異点に関係なく、いずれも地上高 21~40% のところに最も出現数がたかい。これは容積密度数が 2 段にかわっているときの下段の位置が地上高 21~40% にあたるものがおおいためであろうとおもわれ、これにたいして容積密度数が 3 段以上にかわるときはいずれも 60 % 以上の地上高にその出現数がたかくなっている。

また、幹の標準容積密度数 R_s は、その個体間にかなりいちじるしい変動があるにせよ、それが幹の完満度 H/D に比例して増減していく傾向にあることは Fig. 39 であきらかであるが、幹のかたち特に H/D の変化にたいして幹のなかの容積密度数の構成がどのような変化をしめしてくるものであるかを知るために、Fig. 39 にプロットされている供試木を上、中、下層木ごとにその完満度 H/D の一定範囲のものにくみわけして H/D の大きさごとに標準容積密度数 R_s と容積密度数の分布層の大きさ (幹のなかにしめる比率%) とその容積密度数の絶対値 (kg/m^3) をくらべて Table 20 にしめた。この表であきらかであるように、幹の完満度 H/D が大きくなると幹曲線の変異点(樹高の相対的な高さであらわしたもの%) は林分の上層木群ではしだいに上昇しているが、成長の抑圧されている中層ないし下層木群ではこれと逆に変異点の相対的な位置はあきらかに低くなつており、その標準容積密度数 R_s も完満度 H/D に比例して増減する傾向がしめされていることはあきらかである (Table 20 の 10 列)。

これを幹に発達している分布層ごとにみると、まず容積密度数の絶対値が完満度 H/D に比例して変化してくるとみなされるものは $R(b)$ および $R(f)$ 分布層であり (Table 20. 5, 6 列の容積密度数の絶対値の変化)、これにたいして $R(c)$ 分布層にあらわれてくる容積密度数は H/D に逆比例している (Table 20. 8 列)。また、 $R(k)$ 分布層ではその容積密度数の値は上、中層木群では H/D に比例しているが、下層木群ではむしろこれに逆比例する関係がうかがわれ、 $R(k-g)$ 分布層についても中、下層木群ではその容積密度数の絶対値が H/D に比例する傾向があきらかにみとめられるが、上層木群においてはこのような傾向はあきらかではない。

つぎに、これを各分布層の大きさ (幹にしめる比率%) についてくらべてみると H/D に比例してあきらかに増減しているものは上層木群の $R(c)$ 分布層と下層木群の $R(k-g)$ 分布層の 2 つであつて、 H/D

階段的にかわる相対的な地上高との関係

relative height on which the distribution of bulk-density are stepwise developed.

IV 段階の分布 distribution of 4 steps						全段階の分布 distribution of all steps										
~20	~40	~60	~80	~100	Σ	~20		~40		~60		~80		~100		Σ
						N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N
5	8	9	11	9	42	21	10.2	55	26.8	43	21.0	52	25.4	34	16.6	205
15	32	38	35	39	159	70	8.2	192	22.5	244	28.6	87	21.9	160	18.8	853
3	9	8	9	9	38	24	5.6	107	25.2	82	19.3	138	32.5	74	17.4	425
—	—	—	—	—	—	—	—	7	14.0	8	16.0	2	4.0	33	66.0	50
23	49	55	55	57	239	115		361		377		379		301		1533

Table 20. 幹のかたちと容積密度数の分布
The external form of stem and the distribution of bulk-density.

	1 供試木数 Number of sample tree N	2 H/Dのはんい Range of H/D %	3 樹幹係数 Volume of stem/ Area of bottom of stem × Height of tree	4 幹の変異点の 相対的な高さ r. h. of trans- forming point %	5 R(b)		6 R(f)		7 R(k)		8 R(c)		9 R(k-g)		10 Rs kg/m ³				
					%	kg/m ³	%	kg/m ³											
上層木 Upper storey trees	{	8 40~44~48	0.33	40 ↓	62.0 ↑	338 ↓	16.7	325	13.2	312	4.3	380 ↓	2.6	404	336				
					15	50~54~58	0.37	48 ↓	48.9 ↑	346 ↓	13.9	338	23.7	333 ↓	6.5	374 ↑	5.1	409	347
					6	60~66~71	0.41	54 ↓	42.9 ↑	349 ↓	19.7	382 ↓	16.1	351 ↓	13.7 ↓	317 ↓	3.1	395	353 ↓
中層木 Middle storey trees	{	7 39~51~59	0.42	60 ↑	43.5	333 ↓	23.7	355 ↓	18.7	306 ↓	4.6	349	8.4	421	345 ↓				
					5	61~72~91	0.41	47 ↑	41.2	356 ↓	14.7	400 ↓	24.2	321 ↓	8.0	328	11.7	463	364 ↓
下層木 Lower storey trees	{	11 38~59~68	0.40	62 ↑	38.4	346	20.1 ↑	388	18.5	327	3.2	405	19.1 ↓	456 ↓	374 ↓				
					11	71~74~77	0.45	64 ↑	28.4	340 ↓	19.5 ↑	399 ↓	24.4	327 ↑	1.9	367	25.9 ↓	473 ↓	391 ↓
					3	82~119~178	0.45	46 ↑	37.3	376 ↓	15.4 ↓	412 ↓	13.0	316 ↓	—	—	34.3 ↓	508 ↓	419 ↓

注) 各分布層の容積密度数 (kg/m³) は該当する単木にあらわれてくるそれぞれの分布層の大きさ (%) を重みとして平均した。

Table 21. 標準容積密度数と供試木の幹におけるその分布
Standard value of bulk-density and its distribution in the stem of sample trees.

層別 Storey of tree groups	供試木数 Number of sample trees N	Range of Rs kg/m ³	R(b)		R(f)		R(k)		R(c)		R(k-g)		
			%	kg/m ³	%	kg/m ³	%	kg/m ³	%	kg/m ³	%	kg/m ³	
上層木 Upper storey trees	{	2 307 327~339~356	70.0 ↑	300	2.6	318	6.4 ↓	260	15.4	336	5.7 ↑	364 ↓	
			20	53.4	340	16.1	336	17.7	319	5.9	338	4.4	410
			5	48.8	373 ↓	11.1	363 ↓	26.9 ↓	360 ↓	9.4	381 ↓	2.7	422 ↓
中層木 Middle storey trees	{	2 375~384~393	22.6	420	38.4	372	28.8	370	9.0	409	1.7	356 ↓	
			9	42.3	334	21.9	360	21.2	304	6.0	330	7.8	422 ↓
			2	35.8	353 ↓	20.4	403 ↓	25.7	330 ↓	5.0	380	13.0	465 ↓
下層木 Lower storey trees	{	1 406	57.7	380	3.0	525	9.7	420 ↓	8.2	340	21.5 ↓	483 ↓	
			4	40.8	328	27.1	357	21.8	303	2.1	370	8.0	428
			13	32.5	354	18.8	398	23.1	330 ↓	1.9	373	23.2	449 ↓
	{	6 403~411~421	27.5	373 ↓	20.2	424 ↓	20.7	335 ↓	3.7	418 ↓	27.7 ↓	496 ↓	
			2	46.8	396 ↓	3.6	420 ↓	—	—	—	—	49.4 ↓	521 ↓

がまずと上層木群の樹冠部にはより軽い容積密度数のものが幹にしめる比率がしだいに大きくなり、下層木群の地ぎわ部においてはより重い容積密度数のものがますますおおくなることをあきらかにしめしている。また、この分布層の大きさが完満度 H/D に逆比例して増減してくるものは上層木群の $R(b)$ 分布層と下層木群の $R(f)$ 分布層で、いずれも H/D がまずとそれらの分布層に重い容積密度数のものの生産がしだいに減少していることをしめしている。

Fig. 28 と Table 10 などで成長の良否が幹の標準容積密度数やその容積密度数の構成にあたえている変化についてのべたが、林分の上層、中層、下層木といった供試木の層別のなかでも林木の標準容積密度数はいちじるしい個体差をしめし、幹のなかの容積密度数の分布の模様もなおかなり複雑に変化していることがしめされている。この供試木をその標準容積密度数の大きさによつていくつかにくみわけして、それぞれにくみごとにその R 分布層の大きさをくらべてみると Table 21 にしめすように、標準容積密度数が大きいものはその各分布層にあらわ

れる容積密度数の絶対値もほとんど例外なく大きくなっているが、その分布層の大きさはかならずしもこれに比例した関係をしめしていない。これらの供試木の層別のなかでさらに幹型の特徴によつての区分(たとえば完満度 H/D による区分など)がなされれば、それぞれの類別のなかでその標準容積密度数 R_s や容積密度数の分布がさらに一層安定してくることはあきらかである。したがつて、このような標準容積密度数 R_s やその容積密度数の構成に影響をあたえている要素をとりだしてこれらの影響をあきらかにするとともに、これを林木の類別の規準にとりいれることができれば材料を仕分けていくうえにさらに有効な手段として役だつてくることとおもわれる。このような幹のかたちの変化と容積密度数の構成との関係を模式的にしめすと、つぎの Fig. 41 のようになる。

46. 標準容積密度数 R_s の変化

幹のなかの容積密度数の分布図で樹幹析解をおこなつた 5~10 年輪おきの成長部分について容積密度数の平均値 (R 階ごとの大きさに重みをつけこれをその成長部分について平均してその令階の標準容積密度数 R_s とした)をもとめ、この標準容積密度数 R_s とその成長部分の樹高、樹令および幹曲線の tang. (地上高 2.2 m の直径 d と 2.2 m をこえる令階ごとの樹高 h とから d/h をこの令階の幹曲線の tang. としめした)などの関係をもとめた。それで、この樹幹成長図の樹令階ごとにもとめた標準容積密度数 R_s をその供試木の層別にくらべてみると Table 22 にしめすように、樹令約 100 年以下では R_s がほぼ樹令に反比例して変化していることがみとめられ、この範囲においてはまた成長のよい上層木群より成長の悪い中、下層木群の R_s がおおむねたかい容積密度数の値をしめしている。また、上層木群では樹令 20 年

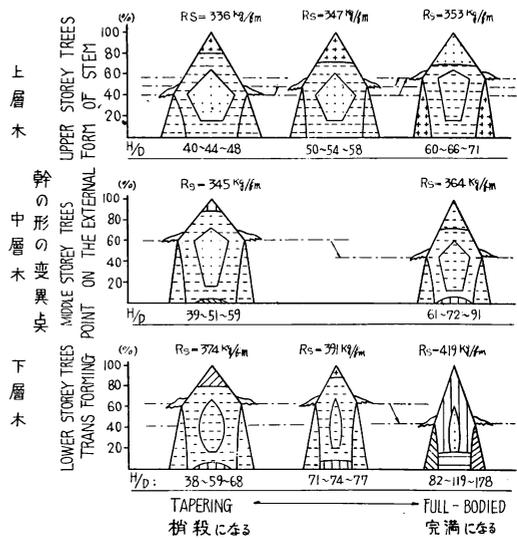


Fig. 41 幹のかたちと容積密度数の分布
The external form of stem and the distribution of the bulk-density.

として役だつてくることとおもわれる。このような幹のかたちの変化と容積密度数の構成との関係を模式的にしめすと、つぎの Fig. 41 のようになる。

Table 22. 樹令と標準容積密度数との関係

Relation between the standard value of the bulk-density and the years of age.

樹令 Years of age	上層木 Upper storey tree		中層木 Middle storey tree		下層木 Lower storey tree		Σ	
	kg/m ³	N	kg/m ³	N	kg/m ³	N	kg/m ³	N
~ 20	376	17	341	3	420	11	388	31
~ 40	347	49	385	29	388	46	371	124
~ 60	343	66	353	39	375	65	357	170
~ 80	345	60	350	28	373	43	358	131
~100	343	43	348	17	369	18	350	78
~120	350	30					351	33
~140	346	16					346	16
~160	342	14					342	14
~180	347	8					347	8
~200	324	4					324	4

以下の範囲をのぞいてその標準容積密度数は、各成長層とも $R_s \approx 340 \sim 360 \text{ kg/m}^3$ にほとんど安定しており、幹の局部的にその容積密度数の分布層に多少の変動はあつてもこのような立木群では幹全体の標準容積密度数 R_s を樹令に関係なくかなり安定したものと取りあげることができるが、成長の抑圧されている立木群ではその標準容積密度数には樹令によりあきらかな変化がみとめられるから、これを無視してたんに立木の平均容積密度数をもとめても個体によつてかなりの変動をまぬがれないことになる。このような下層木群で、標準容積密度数の変化するところは 30~80 年（平均して約 50 年）の樹令階にあつており、供試木の樹幹成長図であきらかにみとめられるように、この立木群ではこの令階まではいちじるしい被圧をうけて異常にせまい年輪がつくられており、幹のなかの R-分布層についても地ぎわにちかい樹心部に R(k-g) の特異な分布層をみとめ、これが被圧時代の幹においてはかなりの大きさにたつており (Table 4. 参照)、幹の標準容積密度数の大きさにいちじるしい影響をあたえていることもあきらかである。

つぎに、令階ごとの樹高階についてその標準容積密度数 R_s を供試木の層別にくらべてみると、Table 23 にしめすように樹高 8 m 以下ではいずれの供試木層においても樹高がますにつれてほとんど直線的な R_s の減少があきらかにみとめられ、しかもこの範囲においては、成長のよい上層木群より成長の悪い中、下層木群のものがおおむねよりたかい R_s の値をしめしている。樹高が約 8 m をこえるとその標準容積密度数はほぼ $R_s \approx 340 \sim 360 \text{ kg/m}^3$ の領域に安定しているのがみとめられるが、この領域はこれまでにのべたように、この材にたいして最も普遍的なものであつて、幹足部、樹冠部、樹心部などの幹の特定の部分をのぞいて幹のほとんど全面に広く分布している R(b) 分布層にあつていることがたしかめられている。したがつて、樹高 8 m 以上の成長部分にたいしてはそれぞれの令階ごとに幹のなかの容積密度数の分布層の特徴はあるにせよ、これらをその令階ごとの成長部分に平均した標準容積密度数 R_s はほぼ一定している ($R_s \approx 340 \sim 360 \text{ kg/m}^3$) ものとみなしてよく、これにたいして樹高が 8 m 以下の令階における R_s はその樹高に反比例していちじるしい変化をしめすものである。

このような標準容積密度数 R_s の樹令と、樹高にたいする変化を、5 年おきの樹令階と 1 m おきの樹高階ごとにおいてその平均値をもとめてみると、この樹令と樹高階の一定範囲にあらわれてくる R_s の平均

Table 23. 供試木の樹高階べつの標準容積密度数
The standard value of the bulk-density grouped by the every class of tree height about the sample trees.

樹高階 H m	上層木 Upper storey trees		中層木 Middle storey trees		下層木 Lower storey trees		Σ	
	Rs(kg/m ³)	N	Rs(kg/m ³)	N	Rs(kg/m ³)	N	Rs(kg/m ³)	N
~ 3	429	6	465	3	470	6	452	15
~ 4	395	20	402	13	431	22	412	55
~ 5	366	8	391	8	382	19	380	35
~ 6	352	21	359	10	373	26	363	57
~ 7	352	13	337↓	9	373	22	360	44
~ 8	339↓	12	351	10	368	25	358↓	47
~ 9	358	14	352	10	361↓	30	359	54
~10	353	20	360	11	375	16	362	47
~11	341	18	357	6	356	12	349	36
~12	353	18	347	10	353	16	352	34
~13	347	22	352	8			348	30
~14	354	18	336	6			350	24
~15	349	19	340	11			345	30
~16	342	19	338	14			340	33
~17	343	19	346	2			344	21
~18	351	18	330	2			349	20
~19	344	22					344	22
~20	352	24					352	24
~21	344	22					344	22
~22	341	19					341	19
~23	349	12					349	12
23~	328	10					328	10
Σ	352	374	358	133	380	184	360	691

値はなおかなり不規則なバラツキをしめしているが、これをさらに樹高階ごとに平均してみると Fig. 42 のようになる。

このような樹令と樹高にたいする Rs の関係は Table 22 と Table 23 にしめた傾向からもある程度うかがわれるものであるが、Rs の樹高階ごとの平均値はその樹令にたいして一つの曲面としてあらわれ、樹高 6~8 m まではこの曲面は Rs の軸にかなり急な勾配をもち、成長の悪い下層木群の

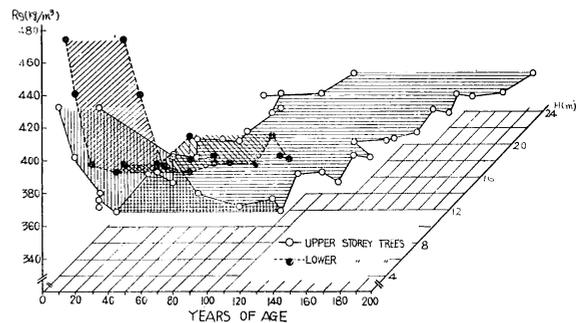


Fig. 42 供試木の樹令と樹高階べつにあらわれる標準容積密度数

The standard value of the bulk-density developed at the every classes of tree height and years of age about the sample trees.

ものが成長のよい上層木群より容積密度数の大きい側にあつて、しかもその勾配も大きい、樹高6~8m

で一度 Rs 軸にたいして屈曲し、樹令と樹高の平面にほぼ平行しており、この範囲ではその容積密度数は $R \approx 340 \sim 360 \text{ kg/m}^3$ にほぼ安定していることになる。

5. 摘 要

この研究は天然林におけるトドマツ材の容積密度数の大きさと幹の容積密度数の構成について検討をくわえたもので、これまで該材についてあきらかにしてきた年輪構成や年輪の構造的な研究などにむすびつけることによつてトドマツ立木にあらわれてくる材部の構成状態をあきらかにしこの構造的のちがいがどのような因子によつて支配されているものであるかをあきらかにするときに、このいちじるしい材質の偏異を材質成長的な立場から理解することによつてその材質分類の方向を体系づけようとしたものである。

一般に木材の材質はおなじ樹種のなかでも個体によつていちじるしい変異をしめし、さらにおなじ個体のなかでもその生産される部位によつてはげしい変動をしめすものであることはすでによく知られていることである。このような材質の変動がその材料の信頼度を低下させているわけであるから、まずこれらの変動の巾と、これがどのような因子によつて支配されているかということを追求め、このような変動の状態をみわけていこうとすることが木材材料を利用するときの基本的な問題になつてくる。たとえば、木材の容積密度数は同一樹種の個体のあいだにおいてもほぼ 50 %以上もの偏異をもつものであり、これを材質の指標としてもちいる場合においてもこの容積密度数のバラツキをどの程度の安定した巾に区分できるかということが、この材料にたいする信頼度をきめる根拠になつてくるわけである。

この研究においてはこのような考えかたのもとでまず、

(A) 天然林のトドマツ立木における容積密度数のあらわれかたをあきらかにするため約 0.4 ha の林分を皆伐して 68 本のトドマツ立木を供試木とし、この各地上高べつに採取した円板の N.S.E.W. の 4 方位と 5~10 年おきの令階べつに木取つた総数で 10,813 個の供試片を正常な年輪でつくられているもの(測定数 8,085)と年輪にアテが発達しているもの(測定数 2,228)とにわけ、これをさらに立木の成長状態によつて層別して、各供試木層について正常な年輪とアテの年輪ごとに容積密度数の供試木層によるあらわれかた、幹の部位べつのあるあらわれかた、幹の方位によるあらわれかたをあきらかにし、各層別の分散の特性、算術平均値、標準偏差などをくらべて立木にあらわれてくる容積密度数の変動の巾とその安定性について検討した。

(B) 容積密度数をはかつた供試片についてその年輪構成(年輪巾と秋材率のあるあらわれかた)と容積密度数の値とを関連させ、各供試木層の年輪構成に対応して容積密度数のあらわれかたをあきらかにし、さらに年輪巾と秋材率の一定範囲にくみわけされた供試片の容積密度数の平均値をもとめ、それぞれのくみごとにこの平均値の安定性を検討し、この容積密度数の値を年輪巾と秋材率を軸とした直交 3 軸上に変化する曲面としてしめし、この曲面を容積密度数の軸に平行な 2 つの平面で切斷したときの年輪巾と容積密度数の等秋材率曲線、および秋材率と容積密度数の等年輪巾曲線をもとめ年輪構成と容積密度数の変化をあきらかにした。

(C) 68 本の供試木の Symmetric な樹幹成長図をつくつて幹の各地上高と令階べつの位置で木取られた供試片の容積密度数の平均値(幹の N. S. E. W. の方位べつに 4 個の供試片の容積密度数の平均)を、 40 kg/m^3 おきに区分して容積密度数の一定範囲のものをおなじ記号であらわし、おなじ容積密度数のひろがつている範囲をむすんで幹のなかの容積密度数の分布図をつくつた。この分布図にあらわれてく

る幹の容積密度数の構成はかなり特徴的であり、幹の特定の部位に一定の R 階の集団的な構造があらわれてくる。この容積密度数の集団的な発達とみられるものは、幹足部に R(f) 分布層、樹冠部に R(c) 分布層、樹心部に R(k) 分布層、地ぎわに接した樹心部に R(k-g) 分布層および幹のほとんど全面にわたってこれらの分布層のあいだに不規則にあらわれている R(b) 分布層であつて、これらの容積密度数の分布層のあらわれかた(各分布層のあらわれる位置、各分布層がしめす容積密度数の大きさおよび幹のなかにしめる大きさ)をそれぞれの供試木の個体別にあきらかにした。また、この分布層がしめす年輪構成の特徴をたしかめ、これらの分布層の発達が成長の良否によつてわけた供試木層や幹のかたちなどによつてどのような変動をしめしているかについて検討した。

(D) 供試木の樹幹成長図で 5~10 年輪ごとに総計 976 ヲの成長層を解析し、この成長層について容積密度数の垂直的な分布をたしかめ、これをいくつかの段階に類型化しそれぞれの類型があらわれてくる条件を統計的にもとめようとした。これらの一連の観察からえられた結果のおもなものはつぎのようである。

容積密度数のあらわれかた

(1) 容積密度数のあらわれかたを供試木の層別にくらべてみると、 $R \approx 360 \text{ kg/m}^3$ をさかいにしてこれより大きい R の領域には下層木群の出現率がおおく、これより小さい容積密度数の領域には上、中層木群の出現率がおおい。この $R \leq 360 \text{ kg/m}^3$ の領域は R.B. $\geq 2.0 \text{ mm}$ の年輪巾の範囲にあつており、 $R \geq 360 \text{ kg/m}^3$ の領域は R.B. $\leq 2.0 \text{ mm}$ の年輪巾の範囲に対応しているものである (Fig. 3, Fig. 4 参照)。

(2) 立木の層別に容積密度数の算術平均値と標準偏差をもとめると、正常な年輪でもまたアテの年輪においても、成長の抑圧されてくるにしたがい容積密度数の算術平均とその標準偏差はいずれも大きくなつてくる (Table 2 参照)。

(3) 一般にアテの年輪は $R \approx 360 \text{ kg/m}^3$ より大きい容積密度数の領域にあらわれる確率がたかいが、このアテの年輪のあらわれてくる限界容積密度数は成長のよい上層木群から成長の悪い下層木群にいたるまでに $R \approx 360 \sim 400 \text{ kg/m}^3$ のあいだで漸増的にかわつていく (Fig. 5 参照)。

(4) 幹を樹冠材と枝下材と地ぎわ材の 3 つの部位にわけて、その部位ごとに容積密度数のあらわれかたをくらべてみると、供試木の各層を通じて $R \approx 360 \sim 400 \text{ kg/m}^3$ より大きい領域は地ぎわ材に最も出現の確率がたかく、枝下材と樹冠材にはあきらかなちがいはみとめられない (Fig. 6 参照)。

(5) この幹の部位べつに、年輪巾の範囲に対応する容積密度数の領域をくらべてみると、地ぎわ材では R.B. $\leq 2.0 \text{ mm}$ の年輪巾の範囲は $R \geq 400 \text{ kg/m}^3$ の容積密度数の領域に、枝下材ではおなじ年輪巾の範囲は $R \geq 320 \sim 360 \text{ kg/m}^3$ の領域に対応し、さらに樹冠材では供試木層により年輪巾のあらわれかたにいちじるしいちがいがみとめられているが、容積密度数のあらわれかたはこれらの層別にもほとんどかわらない。したがつて年輪巾がおなじであつてもこれに対応する容積密度数は幹の部位によつてことなつた値をもつことをしめしているものである (Fig. 7 参照)。

(6) 幹の部位べつにあらわれてくる容積密度数の算術平均と標準偏差を供試木の層別にもとめると、これらの値はいずれも地ぎわ材に最大で、樹冠材に最小になる傾向がみとめられ、容積密度数の標準偏差は地ぎわ材をのぞいてはほぼ 40 kg/m^3 ぐらいに安定してくる (Table 3 参照)。

年輪巾と秋材率と容積密度数

(7) 年輪巾と秋材率の頻度分布 (年輪巾にたいしてその秋材率の出現度数が 1%, 10%, 20%, 30%

になるような秋材率の等頻度曲線)にそれぞれの年輪巾と秋材率の一定範囲のものが該当する容積密度数の平均値を記入していくと、容積密度数のあらわれかたはこの年輪巾と秋材率の等頻度曲線にほぼ直交するような放射方向に段階的にあらわれており、せまい年輪巾で秋材率の大きい曲線の一端に最も大きい容積密度数があらわれ、これにつづいて順次に容積密度数の小さい出現域が層状にあらわれていて、秋材率の等頻度曲線が年輪巾の軸に平行してくるところでは容積密度数 $R \approx 320 \sim 360 \text{ kg/m}^3$ の出現域が広い範囲にわたつてあらわれてくる。

この $R \approx 320 \sim 360 \text{ kg/m}^3$ の出現域は $R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$ の範囲では秋材率 $S.P. \approx 10 \sim 30\%$ にわたつて年輪巾の増減に比例して変化しており、この容積密度数の範囲があらわれてくる秋材率の限界は年輪巾がせまくなるほど秋材率も小さくなる範囲に移動しているが、 $R.B. \geq 2.0 \text{ mm}$ では $S.P. \leq 30\%$ の範囲で年輪巾に関係なくあらわれてくることになる (Fig. 14 参照)。また、この $R \approx 320 \sim 360 \text{ kg/m}^3$ の出現域は供試木の層別にほとんどかわらないが、 $R \geq 360 \text{ kg/m}^3$ の出現域は年輪巾がおなじであつても下層木群では上層木群のものよりより、小さい秋材率の範囲にあらわれており、おなじ年輪巾でおなじ秋材率のものであつても成長の悪い下層木群にできる材は成長のよい上層木群にできる材より重くなる傾向がみとめられる (Fig. 13 参照)。

(8) 年輪巾と秋材率の一定範囲のくみごとに容積密度数の平均値をもとめ年輪巾と容積密度数の等秋材率曲線をつくると、たとえば上層木群の例におけるように $S.P. \leq 15\%$ の等秋材率曲線は年輪巾の軸に凸な曲線でしめされ、容積密度数の最大値が $R.B. = 2.0 \sim 2.5 \text{ mm}$ にみとめられるが、 $S.P. \approx 30\%$ の等秋材率曲線は凹な曲線でしめされ、 $S.P. \approx 20 \sim 25\%$ の曲線はこの2つの型の曲線のあいだで部分的に凸または凹な曲線の組合せからできている。これらの曲線の変異点はいずれも $R.B. \approx 2.0 \sim 2.5 \text{ mm}$ の年輪巾にあつており、したがつて、 $R.B. \geq 2.0 \text{ mm}$ の範囲では秋材率に関係なく年輪巾の増加にたいして容積密度数が低減しているが、 $R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$ では $S.P. \geq 20\%$ のものは同様に年輪巾の増加にたいして容積密度数が低減しているが、 $S.P. \leq 15\%$ のものはこれと逆に年輪巾の増加にたいして容積密度数が増大する傾向がみとめられている (Fig. 13 参照)。このような傾向は中、下層木群ではかなりことなつており、とくに下層木群では、 $R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$ ではすべての秋材率のくみにたいしては年輪巾の増大に容積密度数の低減が対応しており、上層木群におけるような容積密度数の増加の傾向はあらわれてこない (Fig. 15 参照)。このような変化から秋材率の大きさに関係なくたんに年輪巾と容積密度数との関係をみちびくと、供試木の層別にあらわれる年輪巾と容積密度数の関係をしめす曲線群は $R.B. \approx 2.0 \text{ mm}$ で互に交叉しあつており、この両側の年輪巾の範囲ではいずれも下層木群のものが中、上層木群よりつねに大きい容積密度数をあたえているが、 $R.B. \approx 2.0 \text{ mm}$ ではその容積密度数は供試木の層別にほとんどことなることがなく、ほぼ $R \approx 340 \sim 360 \text{ kg/m}^3$ に安定している (Fig. 16 参照)。

(9) 年輪巾の一定範囲ごとにしめされる容積密度数はその秋材率に比例して直線的な関係がみとめられており、この直線の勾配も供試木の層別にあまりかわらない。しかし、年輪巾に関係なくたんに秋材率と容積密度数との関係を見ると、この直線の勾配は年輪巾のせまいときは大きく、年輪巾が広くなるにつれてしだいに小さくなり、 $R.B. \approx 2.0 \text{ mm}$ をこえるとほとんど一定しているのがみとめられ、Fig. 17 にしめされるように $S.P. \leq 10 \sim 15\%$ では年輪巾が広くなるとおなじ秋材率にたいする容積密度数は増加し、 $S.P. \geq (10 \sim 15)\%$ では年輪巾が広くなるとおなじ秋材率にたいする容積密度数は減少する傾向がみとめられており、この限界秋材率 $S.P. \approx 10 \sim 15\%$ では年輪巾の大きさに無関係にその容積密度数はほぼ $R \approx$

320~360 kg/m^3 に一定している。この秋材率の値はトドマツ材でその秋材率がほぼ安定してくるときの値 (R.B. \approx 2.0~5.0 mm の年輪巾の範囲でその秋材率は S.P. \approx 10~15 %に安定してくる*) に該当し、 $R \approx 320 \sim 360 \text{ kg/m}^3$ の容積密度数は(7)でのべた容積密度数の出現域にまったく一致している。

(10) 年輪巾 (R.B.) と秋材率 (S.P.) と容積密度数 (R) との関係を直交3軸上の曲面としてしめすと(8)でのべた容積密度数と年輪巾の等秋材率曲線および(9)でのべた容積密度数と秋材率の等年輪巾直線はいずれもこの曲面を容積密度数 (R) の軸に平行な2の平面で切断したときの断面にあたっていることになる (Fig. 19 参照)。

(11) 上層木と下層木の層別につくつたこの年輪巾と秋材率と容積密度数との曲面をくらべてみると下層木の曲面は上層木の曲面に比べて R.B. \leq 2.0 mm, 秋材率 S.P. \leq 35% の範囲で局部的に容積密度数の大きいほうに凸に彎曲しており、この範囲では年輪巾と秋材率がおなじであつても下層木群からえられた試料は上層木群のものよりその容積密度数の値は大きいことになる (Fig. 20 参照)。

(12) 幹の部位べつにこの年輪巾と秋材率と容積密度数との関係をくらべてみると、地ぎわ材のものをのぞいて枝下材と樹冠材の秋材率と容積密度数との等年輪巾直線は R.B. \leq 1.0 mm ではかなりくいちがつているが、年輪巾が広くなるにつれてしだいに近似してきている (Fig. 22 参照)。

(13) 秋材率に関係なく年輪巾と容積密度数との関係をもとめると、地ぎわ材をのぞいた枝下材と樹冠材の年輪巾と容積密度数の関係はかなり近似しており、それらのうちで上層木群については地ぎわ材のものもふくめて R.B. \geq 2.0 mm ではその容積密度数は $R \approx 320 \sim 340 \text{ kg/m}^3$ にほとんど安定している (Fig. 23 参照)。

(14) アテの年輪について年輪巾 (R.B.) とアテ材率 (D.B.) と容積密度数 (R) の曲面をもとめてみると、この曲面は R.B. \approx 2.0 mm をさかいにして R-軸 にたいする勾配がことなつており、また、容積密度数とアテ材率にはほぼ比例関係がみとめられるが、年輪巾と容積密度数との関係は正常材に比べてかなり不規則になつている。

幹の容積密度数の構成 (容積密度数の分布図の特徴)

(15) 幹の容積密度数の分布図から、一定範囲の容積密度数の帯状な層状構造ないし集団的な発達とみとめられるものはつぎのようなものであつた (Table 4 参照)。

幹のほとんど全面にわたつて.....	R(b)	分布層
幹足部.....	R(f)	〃
樹冠部.....	R(c)	〃
樹心部.....	R(k)	〃
地ぎわに接した樹心部.....	R(k-g)	〃

(16) この容積密度数の分布層のあらわれかたを供試木の層別にみると、R(b) 分布層は上、中層木群では $R \approx 321 \sim 360 \text{ kg/m}^3$, 下層木群では $R \approx 361 \sim 400 \text{ kg/m}^3$ の領域に最も出現度が高い。R(f) 分布層は上層木では $R \approx 281 \sim 320 \text{ kg/m}^3$, 中層木では $R \approx 361 \sim 400 \text{ kg/m}^3$, 下層木では $R \approx 401 \sim 440 \text{ kg/m}^3$ にまた、R(k-g) 分布層は上層木では $R \approx 361 \sim 440 \text{ kg/m}^3$, 中層木では $R \approx 361 \sim 400 \text{ kg/m}^3$, 下層木群では $R \approx 441 \sim 480 \text{ kg/m}^3$ にそれぞれその最頻度があらわれており、この2つの R-分布層は、成長が抑圧されるとその容積密度数が増加する傾向をしめしている。これにたいして R(c) 分布層と R(k) 分布層

*木材材質の森林生物学的研究 Report 5, p. 10, Fig. 5 (1~4) 参照

の最頻数があらわれる出現域は、成長の状態に関係なく前者は $R \approx 361 \sim 400 \text{ kg/m}^3$ 、後者は $R \approx 281 \sim 320 \text{ kg/m}^3$ にはほぼ一定している。

(17) この容積密度数の分布層のあらわれる地上高は Table 6 にしめたが、供試木の層別にその平均値の変化をみると、成長が抑圧されるとこの分布層のあらわれる地上高（幹の相対的な高さ）が低くなってくるものは R(f) 分布層と R(k-g) 分布層の下側の位置であり、R(f), R(k-g) 分布層の上端および R(k), R(c) 分布層の上、下端はいずれも上昇しており、成長が抑圧されるほどその分布層の発達と比較的上方に伸長する傾向がみられる。

(18) 容積密度数の各分布層の大きさ（幹のなかにしめる比率%）を供試木の層別にみると、R(b) 分布層は上層木群で 51.8%、中層木群で 42.6%、下層木群で 33.8%、R(c) 分布層は上層木群に 7.8%、中層木群に 6.1%、下層木群に 2.2% でこの2つの分布層は成長が抑圧されるほどその大きさは減少しているが、R(k-g) 分布層では上層木群に 3.9%、中層木群に 9.8%、下層木群に 24.0% で成長の抑圧されたものほどむしろ増大しており、R(f) 分布層と R(k) 分布層では成長の良否に関係なくその大きさは前者では 16~20%、後者では 19~21% にはほぼ安定しているようである。

(19) これらの分布層について、その最大域（幹にしめる大きさの比率%）があらわれてくる容積密度数は、R(c) 分布層をのぞいて成長の悪い中層ないし下層木ほどより大きい R階にうつっており、R(c) 分布層の最大域があらわれる容積密度数は供試木の層別にもほぼ $R \approx 361 \sim 400 \text{ kg/m}^3$ に一定している。また、この R階べつにあらわれてくる分布層の大きさ（%）をくらべても、R(k) 分布層をのぞいては下層木が中、上層木群のものよりいずれもより大きい R階のものにその出現域（%）が大きくなっている。したがって、成長が抑圧された林分の下層木群が成長のよい上層木群のものより重い材部をつくっていることになるが、幹のどの部分にも等しく重い材部をつくっているということではなく、その特定の部位（たとえば幹足とか地ぎわに接した部分など）により重い材部ができてくることになる（これらの部位にできる分布層の大きさは(18)でのべたように成長の良否に関係なくほとんど一定している）。

(20) 各供試木層で容積密度数ごとにあらわれてくる各分布層の大きさをくらべてみると、最も小さい容積密度数があらわれてくるものは R(k) 分布層であり、最も大きい容積密度数があらわれてくるものは R(k-g) 分布層で R(b), R(f), R(c) 分布層はその中間的な値をとってあらわれてくる。また、R(k-g) 分布層がほかの分布層より大きくなってくる容積密度数は $R \geq (360 \sim 400) \text{ kg/m}^3$ の領域で、これはすでに(3)でのべたように年輪にアテがあらわれてくる確率がかなりたかくなる範囲にあたっている (Fig. 29)。

(21) 各供試木層を通じてその分布層ごとの容積密度数の大きさをしめすとつぎのようである (Fig. 29 参照)。

	R(b)	R(f)	R(k)	R(c)	R(k-g)
上層木 Upper storey trees	340~ 342 ~420	300~ 345 ~420	260~ 331 ~413	300~ 352 ~424	379~ 406 ~445
中層木 Middle storey trees	300~ 342 ~380	332~ 369 ~525	297~ 313 ~420	300~ 338 ~380	380~ 442 ~504
下層木 Lower storey trees	300~ 358 ~420	300~ 369 ~525	277~ 313 ~420	300~ 337 ~380	380~ 442 ~504

注) (1): 各供試木における分布層の大きさを重みとしてその容積密度数を供試木の層別に集計した。

(2): 太字は各層別の容積密度数の平均値をしめす。

(22) 容積密度数の分布層のうちでその大きさが最も大きいものは R(b) 分布層であり（すでに(18)にのべ

たようにその大きさは上層木 51.8%, 中層木 42.6%, 下層木 33.8%), この R(b) 分布層の出現域は容積密度数 $R=321\sim 360\text{ kg/m}^3$ に最もたかく (Table 8, Fig. 29 参照), この容積密度数の領域は (1) にのべたように $R.B.\geq 2.0\text{ mm}$ の範囲にあつており, この年輪巾の範囲では (7) にのべたように $S.P.\leq 30\%$ の範囲に広い出現域をもつもので, このような意味においてトドマツ材において最も基準的な材質のものがしめす容積密度数にあつていと考えられる。

幹のなかで容積密度数の変化する類型

㉔ 供試木の樹幹成長図の 5~10 年ごとの年輪で析解した成長層のなかで, 容積密度数の階級が地上高によつて階段的にかわつている状態がみとめられる。この容積密度数の地上高による階段状の変化は 0 段 (地上高によつて容積密度数の変化がないもの) から 3 段 (容積密度数の変化が 4 階級にわたつてかわつている) までの変化が普通にあつており, これ以上の複雑な変化はその出現率が全体の 5% 以下にすぎない。そのうちで最も出現率のおおいは 1 段の変化 (容積密度数が 2 階級にわたつて変るもの) で全数の 31.5% にたつし, 地上高によつて容積密度数の変化しない 0 段のものは 26.0% になつている (Table 11 参照)。

㉕ この地上高による容積密度数の変化する段数は樹令に比例する傾向がみとめられ, 0 段の変化は樹令~20年, 1 段の変化は 21~40 年, 2 段の変化は 41~60 年にそれぞれ最も出現率がたかい (Table 12 参照)。

㉖ この地上高による容積密度数の階段的な変化は, 地上高の低いところに容積密度数の大きいものがあられ, 地上高をますとしだいに容積密度数の小さいものがあられてくる (I 型) ものと, 地上高の低いところに容積密度数の小さいものがあられ地上高をますとしだいに容積密度数の大きいものがあられてくる (II 型) もの, およびこの 2 つの型が交錯してあられてくるもの (I II 型あるいは II I 型) にわけられ, このうち最も普通にあられてくるものは I 型の変化で容積密度数の変化するすべての類型のうちで 67% にたつし II 型のものはわずか 5% にすぎない。

㉗ 地上高によつて容積密度数のかわらない (0 段の変化) ときの容積密度数の大きさをみると上層木では $R=321\sim 360\text{ kg/m}^3$, 中, 下層木では $R=561\sim 680\text{ kg/m}^3$ にその出現数はおおく, このような幹の全面に均一な容積密度数の構成状態があつていのは, 上層木ではその成長の旺盛な時期につくられる R(b) 分布層に中, 下層木では成長がまつたく抑圧されたときにつくられる R(k-g) 分布層にあつていことになる (Table 15 参照)。

㉘ 地上高によつて容積密度数が階段的に変るときは $R\geq 360\text{ kg/m}^3$ の領域のものは 1 段目の容積密度数の階級におおく, $R\leq 360\text{ kg/m}^3$ のものは 2 段目の容積密度数の階級におおくなつている (Fig. 36, 37 参照)。

㉙ 地上高によつて容積密度数のかわる段数はこの容積密度数の階段的な分布をしらべた各成長層べつ々の令階における幹の完満度 H/D の値にはほぼ逆比例し, 供試木の層別を通じて容積密度数の変化する段数のおおいは H/D の小さいところにおおく, H/D が大きくなるにつれてしだいに容積密度数のかわる段数は小さいものに集中してきており, $H/D > 100$ の範囲では容積密度数は地上高によつてまつたく変らなくなつている (Table 17 参照)。

㉚ この成長層で容積密度数のかわる位置を, その令階の樹高にたいする相対的な高さ (%) でしめすと, この位置は完満度 $H/D = 70\sim 80$ のときは地上高 = 21~40% のところに最もおおく, これより完満度

が大きくなつても小さくなつても容積密度数の変化はしだいに地上高(%)のたかいところにおおくなつている (Table 18 参照)。

80) 容積密度数のかわる地上高(%)は、この成長層ごとの幹曲線の変異点(令階べつ)の樹高にたいする相対的な高さ(%)でしめすとかなりたかい確率で一致している (Table 19 参照)。

81) 供試木ごとにもとめた標準容積密度数 R_s はまた、その供試木の完満度 H/D に比例する一定の領域のなかにあらわれており、完満度 H/D の大きいものが大きい容積密度数(したがつて単位容積当りの強度が大きくなる)をもつことは林木の成長経過にたいして外力の抵抗をかながえるとまつたく合目的である (Fig. 39 参照)。

82) 幹のかたちと幹の容積密度数の構成をみると容積密度数の絶対値が完満度 H/D に比例して変化しているとみられるものは $R(b)$ と $R(f)$ 分布層であり、 $R(c)$ 分布層の容積密度数は H/D に逆比例し、 $R(k)$ 分布層では上、中層木では H/D に比例し、下層木ではむしろ逆比例しており、 $R(k-g)$ 分布層では中、下層木では H/D に比例しているが上層木ではあきらかでない。また、これを容積密度数の分布層の大きさ(幹にしめる比率%)についてみると、その大きさが H/D に比例しているのは上層木の $R(c)$ 分布層と下層木の $R(k-g)$ 分布層であり、 H/D に逆比例しているのは上層木の $R(b)$ 分布層であり、完満度をますにつれて上層木では樹冠部により軽い容積密度数のものがしだいにその大きさをまし、 $R(b)$ 分布層には重い容積密度数のものの生産が減少し、また、下層木では地ぎわ部により重い容積密度数のものがしだいにその大きさをまし $R(f)$ 分布層には重い容積密度数のものの生産が減少していく (Table 20, 21, Fig. 41 参照)。

83) このような一連の結果から、幹のかたちがその容積密度数の構成に影響をあたえていることはあきらかであり、したがつて、これらの林木の形態的な要素たとえば成長の良否による層別、幹の完満の程度、幹曲線の変異点、枝下の位置などはその林木から生産される材料の材質を仕分けていくうえにもかなり有効な手段となりうるわけである。

84) 5~10年輪おきの各成長層についてもとめた標準容積密度数は約100年以下の樹令ではほぼ樹令に反比例して変化しており、しかもこの範囲では、成長のよい上層木群より成長の悪い中、下層木群がおおむねよりたかい容積密度数の値をしめしており、上層木群では樹令~20年以下をのぞいてその標準容積密度数は $R_s \approx 340 \sim 360 \text{ g/m}^3$ にほぼ安定している。

85) 各成長層の標準容積密度数をその樹高べつにくらべてみると、樹高約8mまでは樹高をますにつれて R_s はほとんど直線的に減少しており、この範囲では成長のよい上層木群より成長の悪い中、下層木群がよりたかい容積密度数をしめしているが、樹高が8mをこえるとその値は $R_s \approx 340 \sim 360 \text{ kg/m}^3$ にほぼ安定している。

86) 各成長層の標準容積密度数を一定の樹高階と樹令階べつに平均してみると、 R_s の樹高階ごとの平均値はその樹令にたいして一つの曲面としてあらわれ、樹高6~8mまではこの勾配は R_s -軸にかなり急でしかも成長の悪い下層木群が成長のよい上層木群より容積密度数の大きくなる側にあつて R_s -軸にたいする勾配も大きいがこの曲面は樹高 $H \geq (6 \sim 8) \text{ m}$ になると、樹令と樹高の平面にほとんど平行して行くようになる (Fig. 42 参照)。

87) 各成長層の標準容積密度数は幹曲線の勾配 $d/h = 61 \sim 100$ のあいだではその大きさに比例しておりしかもこの範囲では成長の抑圧されたものほどたかい容積密度数の値をしめしている。

文 献

- 1) BURGER, H.: Holz, Blattmenge und Zuwachs die Tanne. Mitt. der Schweizerischen Zentralanstalt für das Forst. Versuchswesen. 27, (1951) p. 247~286
- 2) CHALK, L.: Variation of density of Douglas-fir. Forestry. 26, (1953) p. 33~36
- 3) HARTIG, R.: Untersuchungen aus Forstbotanischen Institut zu München. 2. (1882)
- 4) 平井左門: 樹幹内木材容積重の錯列性(主として落葉松樹幹について), 北大演習林報告, 14, (1949) p. 124~154
- 5) 同 上: 落葉松樹幹内の含水率, 容積密度数, 体積収縮率及び水分, 空隙, 木材実質容積率分布について, 北大演習林報告, 15, (1951) p. 97~150
- 6) 平井信二: パルプ資材としての北海道産樹種の研究並にその育林的考察(第4報), アオトドマツ及カラマツ林の重量生産成果, 日本林学会論文集, (1943) p. 257~296
- 7) 同 上: 林木の重量生長に関する研究(第1報), 富士演習林産カラマツ, 東京大学演習林報告 35, (1947) p. 92~105
- 8) 同 上: 同上(第2報), 秩父演習林産欧州トウヒ, 東京大学演習林報告, 33, (1950) p. 141~152
- 9) 同 上: 同上(第3報), 茨城県大子産スギ, 東京大学演習林報告, 39, (1951) p. 219~234
- 10) 同 上: 同上(第4報), 千葉県演習林産スギ, 東京大学演習林報告, 45, (1953) p. 203~220
- 11) 同 上: 同上(第5報), 北海道演習林産ストロブマツ, 東大演習林報告, 48, (1955) p. 221~235
- 12) 井阪三郎: Metzger の法則について, 帝室林野局北海道林業試験場彙報, (1943) p. 1~32
- 13) JOHANSON, D.: Über Früh- und Spätholz in Schwedischen Fichte und Kiefer und über ihren Einfluss auf die Eigenschaften von Sulfit und Sulfatzellstoff. Holz als Roh- und Werkstoff 3. 3. (1940) p. 73~78
- 14) 蕪木自輔: 木材材質の森林生物学的研究(第1報), 野幌産トドマツ材の生材含水率容積密度数及び収縮変形に関する春秋材部別観察, 林業試験場研究報告, 46, (1950) p. 37~70
- 15) 蕪木自輔: 同上(第6報) 北海道厚田産トドマツ材の偏心成長と立地の傾斜, 林業試験場研究報告 61, (1953) p. 41~56
- 16) 加納 孟: 同上(第3報), 野幌産トドマツ材の年輪巾, 秋材率, 容積密度数の偏異について, 林業試験場研究報告, 52, (1952) p. 23~51
- 17) 同 上: 同上(第5報) 北海道厚田産トドマツ材の年輪巾と秋材率, 林業試験場研究報告 61, (1953) p. 1~40
- 18) 加納・蕪木: 同上(第7報) トドマツに於ける樹皮の形態的特徴による材質診断の可能性, 林業試験場研究報告, 61, (1953) p. 57~73
- 19) 加納 孟: 同上(第8報) 北海道厚田地方トドマツ林に於ける「アテ」の出現, 林業試験場研究報告, 71, (1953) p. 1~14
- 20) 同 上: 同上(第9報) 北海道厚田産トドマツ材の年輪の構造について, 林業試験場研究報告 71, (1953) p. 15~28
- 21) 同 上: 同上(第10報) 北海道厚田地方トドマツ原生林における林木の幹のかたちと辺心材及び樹皮の量, 林業試験場研究報告 71, (1954) p. 30~38
- 22) 同 上: 同上(第11報) 北海道野幌地方における造林木の材質成長, 林業試験場研究報告, 90, (1956) p. 37~76
- 23) 北村義重: トドマツ全幹材に於ける年輪巾と比重並に抗圧強との関係について, 日本林学会誌, 17, (1935) p. 136~145
- 24) 同 上: 北海道産主要樹種の全乾材に於ける年輪巾と比重並びに圧縮強度との関係について,

- 北海道林業試験場報告, 14, (1943) p. 1~92
- 25) KLEM, G.: Papierfabrikant Bd. 37 (1939) S. 49 Cited by D. Johanson: Über Früh und spätholz in Schwedischen Fichte und über ihren Einfluss auf die Eigenschaften von Sulfit und Salfatzellstoff. Holz als Roh-und Werkstoff. (1940) p. 73~78
- 26) MAYER-WEGELIN, H.: Das Holz als Rohstoff. (1955) p. 407.
- 27) NEWLIN, A. and WILSON, T. R. C.: The relation of shrinkage and Strength properties of wood to its specific gravity. Bull. U. S. D. A. Washington (1919)
- 28) 尾中文彦: 林木の肥大生長の縦断的配分, 京都大学演習林報告, 18, (1950) p. 1~53
- 29) OSAWA, M.: Vergleichende Untersuchungen über die Qualitäten, insbesondere die Elastizität und Festigkeit der Tannen und Fichtenhölzer Hokkaidos. Journ. of College of Agr. Hokkaido Imp. Univ. 27, (1930)
- 30) 大沢・井阪: アカエゾマツ樹幹内木材比重の偏異, 札幌農林学会報, 35, (1943) p. 1~23
- 31) 大沢・石田: 北海道産潤葉樹の材質に関する研究, ナラ属三種の年輪密度, 比重及強度, 北大農学部森林利用学教室研究抄報, 1, (1945)
- 32) 大沢・宮島・東山: 北海道産ナラ材の材質に関する研究, 北大演習林研究報告, 17, (1955) p. 794~869
- 33) SPURR, S. H. and HISUNG, W.: Growth rate and specific gravity in Conifers. Journal of Forestry. 52, 3, (1954) p. 191~200
- 34) TRENDELENBURG, R.: Das Holz als Rohstoff. (1935)
- 35) TRENDELENBURG, R.: Über Stammwuchsuntersuchungen und ihre Auswertung in der Holzforschung. Holz als Roh-und Werkstoff, (1937) p. 3~13
- 36) VINTILA, E.: Untersuchungen über Raumgewicht und Schwindmass von Früh-und Spätholz bei Nadelholzen. Holz als Roh-und Werkstoff, 2, 10. (1939) p. 345~357
- 37) VOLKERT, E.: Untersuchungen über Grösse und Verteilung des Raumgewichts in Nadelholz-stämmen. Schriftenreihe d. Hermann-Göring-Akademie d. Deutsch Forstwiss. 2, (1941)
- 38) WANDT, R.: Die Eigenschaften "Stamm-und Kronenbürtigen" Holzes. Mittlg. Forstwirtschaft. u. Forstwiss. 8, (1937) p. 353~369
- 39) 渡辺治人: 人工杉林の樹幹における容積重の分布について, 日林誌, 21, (1939) p. 543~558
- 40) WIKSTEN, A.: Metodik vid mätning av årsringens varved och höstved. Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt. 34. (1944~1945) p. 351~496
- 41) 矢沢亀吉: 木材の理学的性質に関する統計的研究, 木材工業, 1, (1946) p. 4~18
- 42) 矢沢・楯・岩田: アカマツ樹幹, 枝条における生材含水率, 比重, 体積収縮率及春秋材別の比重, 生材含水率について, 日本林学会誌, 33 (1951) p. 34~39
- 43) 矢沢亀吉: 針葉樹材における春材と秋材の比重並びに体積収縮率について, 岐阜大学農学部研究報告, 2, (1953) p. 42~46
- 44) 矢沢・深沢: 中部地方における人工植栽スギ材の生長状況と理学的性質との関係(第2報), 生材含水率, 比重, 年輪密度及び体積収縮率について, 岐阜大学農学部研究報告, 6, (1956) p. 85~95
- 45) YLINEN, A.: Über den Einfluss des Spätholzanteils und der Jahrringbreite auf die Rohwichte beim finischen Kiefernholz. Holz als Roh-und Werkstoff. 9, 12, (1951) p. 449~456

Forest-biological Studies on Wood Quality (Report 14)
On the dimension of bulk-density of wood and its
distribution in the stem of Todo-fir

Takeshi KANÓ

(Résumé)

In this report we described the results of the observation about the value of the bulk-density and its distribution in the stem of Todo-fir (*Abies Mayriana* MIYABE et KUDO) grown in the virgin forest of Hokkaido. In connection with the appearance of the width of annual rings, summer-wood percentage, and their constructions described in our former reports, further study was desired to ascertain what dimensions of bulk-density the rings at each place of standing trees consist of, and to find methods of a systematic classification of the wood quality from the characteristic significance as applying to the relation between the bulk-density of wood and the construction of the ring-breadth. It has often been noticed that the wood qualities are individually different not only among the same specimens but also on each place at the same stem of standing trees. As this variation on wood quality reduces the reliability of wood materials, it is a fundamental problem in the utilization of the materials that we recognize the region of their variations, and the factors that influence them. For example, the variations of the bulk-density of wood in the same specimens amount to over 50%, so we shall be able to raise the reliability of the materials if we can classify the variations of the bulk-density within a stabilized range of it.

In this study, the matters described as follows were the subjects of investigation.

(A) In order to observe the developing frequency of the bulk-density on the stem of Todo-fir, the sample trees were selected by clear-cutting the sample-plot (0.4 ha.) in a large experimental virgin forest of Todo-fir at Atsuta district in Hokkaido. The number of sample trees was 68, the disks used for measuring were prepared at intervals of 2 m each from the ground height, and the test pieces prepared in 4 directions (N, S, E, W) were at the intervals of 5—10 rings each on the disks, amounting to 1,083 pieces in all. They were divided into two groups—the one consisting of normal annual rings amounting to 8,085 pieces, and the other consisting of rings of compression wood. In our investigation of these two groups, we studied the developing frequency on the bulk-density of wood by means of grouping their growth conditions and the parts of this stem in the standing trees. And further, the range of the bulk-density developing in the stem of standing trees and its stability were examined and compared for characteristic tendencies as to their developing frequency, the mathematical mean, and the probable errors, as revealed in a comparison with those of other groups.

(B) The standard ranges of ring-breadth and summer-wood percentage when grouped at intervals of 0.5 mm each of ring-breadth and of 5 % each of summer-

wood percentage, were calculated the mean of the bulk-density of wood belonging to each of them in every range. After the stabilization of variations of bulk-density in each range of ring-breadth and summer-wood percentage were confirmed, the value of the bulk-density was shown as the curved surface that transforms on both axes of ring-breadth and summer-wood percentage. The curves of two groups were found as the cross sections when the curved surface cutting by the two planes parallel to the axes of bulk-density. The one of these sections shows the relation between ring-breadth and the bulk-density at the same summer-wood per cent, and the other shows the relation between summer-wood per cent and the bulk-density at the same width of annual rings.

(C) We then recorded the distributions of the mean values of bulk-density in each part of stem on the symmetrical diagrams that were drawn for the stems of 68 sample trees. Marking these distributions on the bulk-density of wood at intervals of the regions $R \approx 40 \text{ kg/m}^3$ each for every stem of sample tree, we can recognize the characteristic distributions on the bulk-density somewhat as those of their own dimensions of the bulk-density at the definite parts of stem. These characteristic distributions of bulk-density are the definite parts of stem, called "Raumgewichtszonen" by E. VOLKERT, develop in the form of layers. For example, the layers of the bulk-density of R(f) develop at the foot of stems, the layers of R(c) at the parts of stem with tree crown, the layers of R(k) in the heart of stem, the layers of R(k—g) in the heart of the bottom of stem, and the layers of R(b) are spread over irregularly among these distributing layers. Here we were studying to ascertain the position on which these distributing layers were developing, the percentages which were proportional to the whole volume of the stems, and the dimension of bulk-density shown in these layers at each and every individual sample tree. So also we were inquiring about the variations of these layers influenced by the process of growing conditions and the appearance in the stem of standing trees.

(D) In addition we gathered together the diagrammatic distributions of the bulk-density on the parts of 976 growth-rings, divided at intervals of 5—10 rings each from the diagrams of stem analysis, and the several groups of these diagrams were shown as the characteristic types, which the distribution of the bulk-density were changing vertically on these growth-rings, and seeking to connect statistically the appearance of these groups with the growing conditions and the external form of the stem of standing trees.

The outline of the results considered from these observation are grouped as follows:

Appearance of the developing frequency on the bulk-density of wood.

(1) Comparing the value of developing frequency on the bulk-density of wood among the groups of the storied trees, it is higher in the lower storey trees than in the middle or upper storeys on the region of the bulk-density $R \geq 360 \text{ kg/m}^3$, but on the region of $R \leq 360 \text{ kg/m}^3$ it is higher in the upper storeys than in the middle or lower storeys. And so the region of $R \geq 360 \text{ kg/m}^3$ corresponds to the range of ring-breadth $R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$, and the region $R \leq 360 \text{ kg/m}^3$ to the range of $R.B. \geq 2.0 \text{ mm}$ as shown in Fig. 3 and Fig. 4.

(2) The less increment the sample trees have, the higher is the value of bulk-

density on the mathematical mean and its probable errors, calculated at each group of storied trees, either normal or compression wood. These are shown in Table 2.

(3) Generally speaking, the developing frequency on the bulk-density of compression wood is higher at the region of the bulk-density $R \geq (360 \sim 400) \text{ kg/m}^3$, and this limiting value of the bulk-density gradually increases from the region of $R \approx 360 \text{ kg/m}^3$ to the region of $R \approx 400 \text{ kg/m}^3$, as shown in Fig. 5, when the frequency at the group of the upper storey trees are coming to that of the lower storeys.

(4) Dividing the stem of standing trees into three parts—the part of stem with tree crown, the part of stem with clear length under tree crown, and the bottom part of stem—the region of the bulk-density $R \approx 360 \sim 400 \text{ kg/m}^3$ is more frequent in the bottom part than in the part of stem with tree crown, and the clear length under tree crown, as shown in Fig. 6.

(5) Inquiring into the region of the bulk-density that corresponds to the range of ring-breadth in each part of stem, we find that the region of the bulk-density $R \geq 400 \text{ kg/m}^3$ corresponds to the range of ring-breadth $R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$ in the bottom part of stem and the same range of ring-breadth to the region of $R \geq (320 \sim 360) \text{ kg/m}^3$ in the clear length under tree crown; but the appearance of the developing frequency on the bulk-density corresponding to the distinct difference on that of ring-breadth is almost unobservable in the part of stem with crown. Therefore, even if the ring-breadth is the same, there can be a corresponding on the different parts of the stem with a different value on the bulk-density.

(6) Both of the values on the arithmetical mean and its probable error as regards the bulk-density calculated for each part of stem at every group of the storied trees are observed to be maximum in the bottom part of stem and the minimum in the part of stem with tree crown. And the values of this probable error are considerably stable in the range of $\sigma \approx 40 \text{ kg/m}^3$ except in the bottom part.

Relation between the bulk-density of wood and the construction of annual rings.

(7) Drawing the equal developing curves of the frequency on the summer-wood percentage, such as 1%, 10%, 20% and 30% at each range of ring-breadth, and marking with the mean values of the bulk-density of wood corresponding to each region of ring-breadth and summer-wood percentage on the part included by the group of these curves, there can be observed the radial distribution of bulk-density to the developing curves on both the ring-breadth and summer-wood percentage. For instance, the maximum value of bulk-density appears in the range of the minimum value on ring-breadth and the maximum on summer-wood percentage, and the developing region on the values of bulk-density decreases intermittently toward the radial direction to the region included by these curves, but the region of the bulk-density $R \approx 320 \sim 360 \text{ kg/m}^3$ spreads over where the equal developing curves of frequency on the summer-wood percent come to be parallel to the axes of ring-breadth as shown in Fig. 2. The region of the bulk-density $R \approx 320 \sim 360 \text{ kg/m}^3$ among the range of the ring-breadth $R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$ extends over in the range of summer-wood percent $S.P. \approx 10 \sim 30\%$ proportional to that of the ring-breadth, so the limiting value of the summer-wood percent, where the region of this bulk-density appeared, diminishes proportional to the decreases on the value of ring-breadth, but in the range of ring-breadth $R.B. \geq 20 \text{ mm}$ it is considerably stable in the range of the

summer-wood percent $S.P. \leq 30\%$, and bears no relation with the value of ring-breadth. The region on which the bulk-density $R \approx 320 \sim 360 \text{ kg/m}^3$ develops, is markedly stable among the groups of storied trees, but in the region of the bulk-density $R \geq 360 \text{ kg/m}^3$ the range of summer-wood percent in the lower storey trees is less than that of the upper storeys, in spite of the same value of ring-breadth.

Therefore, irrespective of the same ring-breadth and the same summer-wood percentage, the bulk-density in lower storey trees is bigger than that in upper storeys.

(8) Inquiring now into some groups of curves showing the relation between ring-breadth and bulk-density at every summer-wood percentage, we have to notice that the groups in the range of summer-wood percent $S.P. \leq 15\%$ appear to be convex to the axis of ring-breadth, and that the maximum value of bulk-density appears in the range of ring-breadth $R.B. \approx 2.0 \sim 2.5 \text{ mm}$, but the groups in the range of summer-wood percent $S.P. \approx 30\%$ appear to be concave, and the other groups between $20 \sim 25\%$ of summer-wood percent appear to be partially convex and partially concave.

Since the transforming point of these curves appears almost in the range of ring-breadth $R.B. \approx 2.0 \sim 2.5 \text{ mm}$, the value of the bulk-density in the range of the ring-breadth $R.B. \geq 2.0 \text{ mm}$ decreases according to the increase of ring-breadth without the influence of summer-wood percentage, and in the range of the ring-breadth $R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$ it likewise decreases under the range of the summer-wood percent $S.P. \geq 20\%$, but increases proportional to the ring-breadth under the range of the summer-wood percent $S.P. \leq 15\%$. These are shown in Fig. 14. Such tendencies occur particularly in the middle or lower storey trees as shown in Fig. 13; for instance, in the case of the lower storeys the increases of ring-breadth in the range of $R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$ correspond to the decreases of bulk-density without influence of summer-wood percent. Therefore, these groups of curves obtained at every storied tree as the relation between the ring-breadth and the bulk-density are observed to be intersecting at the range of $R.B. \approx 2.0 \text{ mm}$, and on both sides of this intersection point showing the value of bulk-density in lower storeys we see constantly higher values than those of middle or upper storeys, but in this intersection point, corresponding to the range of ring-breadth $R.B. \approx 2.0 \text{ mm}$, the values of the bulk-density are almost stable in the region of the bulk-density $R \approx 340 \sim 360 \text{ kg/m}^3$ without influence of these storeys.

(9) The values of bulk-density at every range of ring-breadth are observed as an almost linear process proportional to the value of summer-wood percentage, and the tangent of this line is markedly stable among the groups of the storied trees, but evaluating the relation between bulk-density and summer-wood percentage averaged on every range of ring-breadth, it gradually decreases according to the increases of ring-breadth and is remarkably stable beyond the range of ring-breadth $R.B. \approx 2.0 \text{ mm}$. As shown in Fig. 17, these can be observed to confirm that the increases on the value of ring-breadth at every equal range of summer-wood percent correspond to the increases of bulk-density in the range of summer-wood percent $S.P. \leq (10 \sim 15)\%$ and to the decreases of it in the range of $S.P. \geq (10 \sim 15)\%$, so the limiting value of the summer-wood percent $S.P. \approx 10 \sim 15\%$ is markedly stable without influence of the value of ring-breadth. This range on the summer-wood percent corresponds to the region where the developing frequency on summer-wood percent

at the range of the ring-breadth $R.B. \approx 2.0 \sim 5.0 \text{ mm}$ comes to be stable, as shown in Fig. 5 and described in the former report*, and the region of the bulk-density $R \approx 320 \sim 360 \text{ kg/m}^3$ coincides with the region as described in the Clause (421. a).

(10) Showing the values of bulk-density as the curved surface transforming on both axis of ring-breadth and summer-wood percentage, the groups of curves showing the relations between bulk-density and ring-breadth at every summer-wood percentage, as described in the Clause (421. b) and the relations between summer-wood percent and bulk-density at every ring-breadth, as described in the Clause (421. c) are recognized as the cross-section that appears in the case of cutting this curved surface by two planes parallel to the axis of bulk-density.

(11) Comparing this curved surface among the groups of storied trees. the one given in the lower storey trees is partially more convex towards the direction of increasing the bulk-density than the other in the upper storeys on the range of ring-breadth $R.B. \leq 2.0 \text{ mm}$ and the summer-wood percent $S.P. \leq 35 \%$. So in this range of ring-breadth and summer-wood percentage we find the value of bulk-density higher on the test pieces sampled in the lower storey trees than that in the upper storeys.

(12) Comparing now the relation between bulk-density, ring-breadth and summer-wood percentage among the parts of stem, the linear process showing the relations between bulk-density and summer-wood percent at every equal ring-breadth differ from each other in the parts of stem with crown or the clear length under tree crown in the range of ring-breadth $R.B. \leq 1.0 \text{ mm}$, but come gradually near each other according to the increase in ring-breadth.

(13) The relations between ring-breadth and bulk-density get near regardless of the values of summer-wood percentage on both the part of stem with crown and on the clear length under tree crown excepting the bottom part of stem, and in the group of the upper storey trees, the bulk-density in the range of ring-breadth $R.B. \geq 2.0 \text{ mm}$ are stable to the region of $R \approx 320 \sim 340 \text{ kg/m}^3$ even including the bottom part of stem. These are shown in Fig. 9.

(14) The curved surface showing the relation between bulk-density, ring-breadth and summer-wood percentage for the compression wood has a different inclination to the axis of bulk-density bounded by the limiting range of ring-breadth $R.B. \approx 2.0 \text{ mm}$. In these curved surfaces the bulk-density is observed to be proportional to the summer-wood percentage, but the relations between ring-breadth and bulk-density are considerably irregular compared with the normal wood.

The characteristic properties on the diagrammatic distribution of bulk-density of wood.

(15) On the diagrammatic distribution of bulk-density in the stem of standing trees are observed the characteristic distributions developing in the form of layers at the definite parts of stem. These are as follows:

- the distribution layer of $R(f)$ that develops in the part of the foot of stem
- the distribution layer of $R(c)$ that develops in the part of stem with crown
- the distribution layer of $R(k)$ that develops in the part of the heart of stem
- the distribution layer of $R(k-g)$ that develops in the part of the heart at the

* Forest-biological studies on the wood quality. p. 10, Report 5. 1953.

bottom of stem

the distribution layer of R(b) that develops in all parts of the stem irregularly.

(16) Considering the region of bulk-density in which these distribution layers appear in the groups of storied trees, the distribution layers of R(b) are frequent in the region of bulk-density $R=320\sim360\text{ kg/m}^3$ at the groups of upper and middle storey trees, but are infrequent in the region of bulk-density $R=360\sim400\text{ kg/m}^3$ at the group of lower storey trees. The distribution layers of R(f) are frequent in the region of $R=281\sim300\text{ kg/m}^3$ for the upper, $R=361\sim400\text{ kg/m}^3$ for the middle and $R=401\sim440\text{ kg/m}^3$ for the lower storey groups, and the layers of R(k—g) in $R=361\sim400\text{ kg/m}^3$ for the upper, $R=361\sim400\text{ kg/m}^3$ for the middle and $R=441\sim480\text{ kg/m}^3$ for the lower storeys, so both these layers of R(f) and R(k—g) seem to be more frequent in high value of bulk-density, the less the growth of the sample trees is; but on the contrary, the region where the two layers of R(c) and R(k) frequent, are found to be noticeably stable in such a way that the former occurs in the region of $R=361\sim400\text{ kg/m}^3$ and the latter in $R=281\sim320\text{ kg/m}^3$.

(17) The developing parts of these layers are different in the direction of tree height; they decrease at the position of the upper side of R(f) and at both sides of upper and under of R(f) and R(k—g), but increase at the position of the upper side of R(f), R(k—g) and at both upper and under of R(k), R(c) when they are shown as the relative values to the height of tree, so it can be seen that the distribution of these layers develops upwards when the growth of trees comes to be inferior.

(18) When the bulk dimension at which the distribution of each layer takes place in the stem of trees is shown as the relative value to the whole volume of each stem, the dimension of the layer of R(b) amounts to 51.8 % for the upper, 42.6 % for the middle, and 33.8 % for the lower storey trees. The dimension of R(c) amounts to 7.8 % for the upper, 6.1 % for the middle, and 2.2 % for the lower storey trees, so the dimensions of these latter two on both R(b) and R(c) decrease when the growth of trees is inferior, but on the contrary the dimension of R(k—g) increases when it is dominant, and amounts to 3.9 % for the upper, 9.8% for the middle, and 24.0 % for the lower storey trees, and the dimension of the layers on both R(f) and R(k) are particularly stable, and uninfluenced by the growth of trees as the former amounts to the range of about 16~20 %, the latter to about 19~21 %.

(19) The region in which the developing of bulk-density appears on the largest dimension almost turns into the direction of increasing the value of bulk-density, but on the layer of R(c) they are stable in the region of $R=361\sim400\text{ kg/m}^3$ at every storey of each tree.

Observation of the dimension of these layers as developed in every class of the bulk-density shows that the distributing range at the lower storey trees is more frequent at higher classes of bulk-density than at the middle or upper storey except the layers of R(k). So it can be generally assumed that the weighty wood is more frequently produced on the lower storey trees in which the growth is suppressed than on the middle or upper storeys in which the growth is dominant, but it is not equally spread over for all parts of the stem; in fact it occurs only at definite parts of the stem as, for example, the foot of stem, the bottom of stem, and so on.

(20) Coming now to the bulk dimension of the distribution layers developed at

every region of bulk-density, the least value of it develops on the layer of R(k), the biggest on that of R(k—g) and the values on the layers of R(b), R(f) and R(c) range between the least and the biggest. Development of the layer of R(k—g) is more frequent in the region of the bulk-density $R=360\sim 400\text{ kg/m}^3$ than that of other layers, and it corresponds to the region in which the compression wood comes to be prevalent as shown in Fig. 29.

(21) The bulk dimension of the layer of R(b) is the biggest among all kinds of these layers—it amounts to 51.8 % for the upper, 42.6 % for the middle, and 33.8 % for the lower storey of trees, as described in the Clause (432. b)—and the distribution layers of R(b) develop most frequently in the region of the bulk-density $R=321\sim 360\text{ kg/m}^3$, as shown in Table 8 and Fig. 29, and this region of bulk-density corresponds to the range of ring-breadth R.B. $\geq 2.0\text{ mm}$ as described in the Clause (421. a). Then they are spread over broadly in the range of summer-wood percent S.P. $\leq 30\%$ as described in the Clause (421. a). When considered with the above facts in mind, these regions seem to correspond to that of bulk-density as regards the standard value on the stem of normal grown trees of Todo-fir (*Abies sp.*).

The characteristic types on the distribution of the bulk-density.

(22) Gathering together the diagrammatic distribution of the bulk-density on the parts of growth-rings at every interval of 5~10 rings, we can observe the vertical distribution that is transforming intermittently in the direction of the height of trees. Showing them at every 40 kg/m^3 interval, the number of these steps on which the value of bulk-density vertically transforms, comes up to six steps that extend over seven classes on the values of bulk-density, but it is generally frequent from the zero step, distributing equally through the height of tree to three steps, and then the frequencies of the distribution developing over three steps only develop below about 5 % of all distributions. Among these distributions the frequency on that of one step that extends over two classes on the values of bulk-density, is developed to 31.5 % and that of zero step to 26.0 % of all of them, as shown in Table 11.

(23) The number of these steps seem to be proportional to the tree age; for instance, the distributions on zero steps seem to be most frequent in the range of below 20 years of age, those on one step in the range of 21~40 years of age, and those on two steps in the range of 41~60 years of age, as shown in Table 12.

(24) On these distributions of bulk-density, there can be seen some types such as the I type, in which the values of bulk-density are inclined to decrease in the direction of increase of tree height, in the II type they are inclined to increase in the direction of increase of tree height, and in the I. II type or the II. I type they are partially complex on the distribution of the I and the II type. Among these types, the distribution on the I type is most frequently developed and amounts to 67 % of all kinds, but the distribution on the II type is seldom developed and amounts to only 5 % of all.

(25) As regards the distribution on zero step that develops on an almost constant value of bulk-density through all parts of the layer and influenced in no way by the tree height, the value of bulk-density is frequent in the range of $R=321\sim 360\text{ kg/m}^3$ for the upper, and $R=561\sim 680\text{ kg/m}^3$ for the middle or lower storey trees. Therefore it develops mostly in the distribution layer of R(b) shown as equal con-

struction of bulk-density on all parts of the stem, within the period of dominant growth, but in the middle or lower storeys it develops chiefly on the layer of R(k-g) shown as the same equal construction within the period of suppressed growth, as verified in Table 15.

(26) When the values of bulk-density are changing over with the height of trees, they are frequent in the region of bulk-density $R \geq 360 \text{ kg/m}^3$ for the first step of this distribution, and are frequent in the region of bulk-density $R \leq 360 \text{ kg/m}^3$ for the second step, as shown in Fig. 36 and Fig. 37.

(27) The number of these steps vary so much as to be almost in inverse proportion to the degree of full-body at each stem shown as H/D, in which H represents the height of trees (m) and D the breast height diameter (cm). So for all storeys of trees, the larger the ratio of H/D is, the less numerous these steps are, and it will be found that the distribution on the values of bulk-density comes to be almost constant beyond the range of $H/D > 100$, as shown in Table 17.

(28) As to the transforming position on which the distribution of bulk-density varies vertically among the layers of the same growth-rings as the relative value corresponding to the height of trees of the same ages, it most frequently appears at the relative height $H \doteq 21 \sim 40 \%$ when the degree of full-body comes to $H/D \doteq 70 \sim 80$, and this position shown as relative height seems to go down whenever the ratio increases or decreases.

(29) There is a distinctive correlation between these positions and the transforming points on the forming curve of stem at every year of age as shown in Table 19.

(30) The standard bulk-density obtained from every sample tree appears in some definite region proportional to the degree of full-body H/D as shown in Fig. 39, and it serves the very useful purpose of resisting the external force loaded on stems such as that of wind force. It is seen that the stems having a large ratio of H/D correspond to the stems producing the weighty wood that is stronger per unit volume, as shown in Fig. 39.

(31) As to the relation between the external form of stem and the distribution of bulk-density, the values of bulk-density increase proportionally to the ratio of H/D among the distribution layers of R(b) and R(f), but are in inverse proportion among the layers of R(c), and then on the layers of R(k) they are proportional for the upper and middle storey but are in inverse proportion for the lower storey. On the layer of R(k-g) they are proportional for the middle and lower storey but are not distinctly so for the upper storey. Then to the bulk-dimension of these developing layers shown as the relative value to the whole volume of each stem, it is proportional to the ratio of H/D for the layer of R(c) at the upper storey and the layer of R(k-g) at the lower storey, but is inverse proportional for the layer of R(b) at the upper storey. So we may conclude that the larger value the ratio of H/D becomes, the more the weighty wood is enlarged in the part of stem with crown and the less volume the weighty wood represents on the layer of R(b) for the upper storey, but the more the weighty wood is enlarged in the part of bottom, the less volume the weighty wood represents on the layer of R(f) for the lower storey trees. These are shown in Table 20, 21, and Fig. 41.

(32) According to the results above mentioned, it is clear that the distribution of bulk-density in the part of stem is influenced by the external form of this stem, so the factors obtained as the external appearance of stem such as the increment of the sample trees, the degree of full-body, the transforming point on the forming curve of stem, the position of clear length under tree crown etc., should be useful in deriving some effective methods to determine the wood qualities for the materials produced at the same stand of forest.

Standard bulk-density of wood.

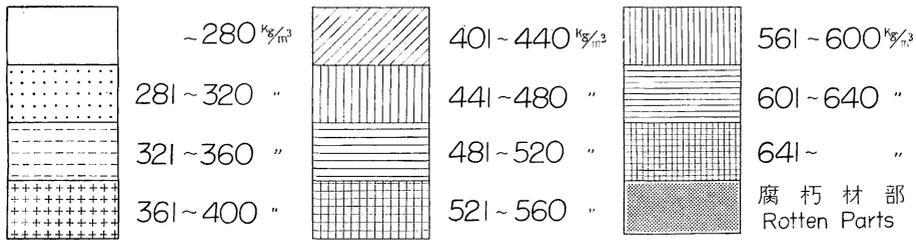
(33) The values of standard bulk-density on every growth layer at intervals of 5~10 rings each seem to be inverse proportional to the age of trees below about 100 years of age, and in this region they are a little larger in the middle and lower storeys than in the upper, but they tend to be noticeably stable to the region of $R=340 \sim 360 \text{ kg/m}^3$ when the tree is over 20 years of age.

(34) The values of the standard bulk-density obtained at every growth layer linearly decrease in accordance with the increase of tree height at every layer when it is below 8 m high, and in this range they are a little larger for the middle and lower storey than for the upper storey, but they become considerably stable to the region of $R=340 \sim 360 \text{ kg/m}^3$ when it is over 8 m high.

(35) The value of standard bulk-density averaged at every definite range of height and age of tree on each layer is shown as the curved surface to both axes of them, and the inclination of this curved surface to the axis of bulk-density is very steep when the height of tree is below 6~8 m, but the surface obtained at the lower storey is situated in the direction of increasing the bulk-density over that of the upper storey. Under this range its inclination is more steep in the lower storey than in the upper, but over this range it comes to be parallel to the plane of age and height of tree, as shown in Fig. 42.

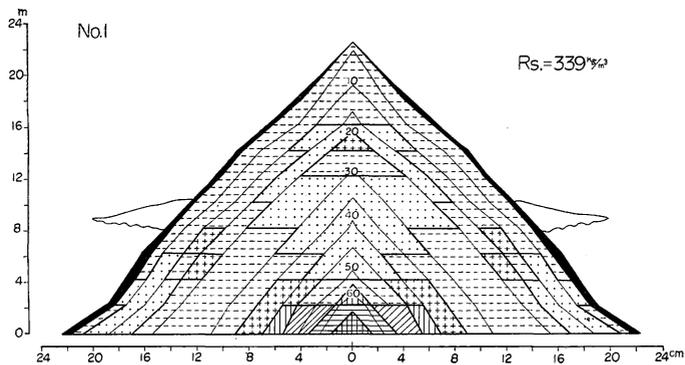
(36) The values of standard bulk-density obtained at every growth layer are proportional to the tangent of the forming curves of stem, and a little larger in the lower storey than in the middle or upper storey when the range of this tangent is $d/h=61 \sim 160$, in which h represents the height of trees above 2.2 m, and d the diameter on 2.2 m high.

供試木の幹における容積密度数の特性的な分布
 The characteristic distribution of the bulk-density
 in the stem of sample trees (No. 1~68)

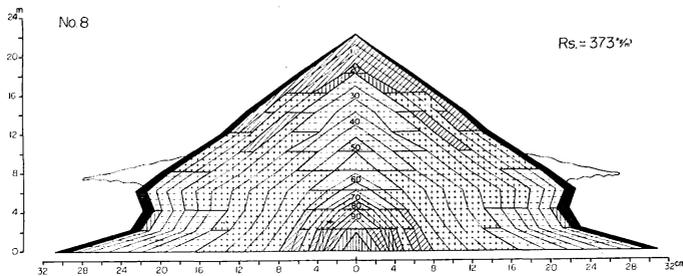


凡例 容積密度数の記号
 Remarks: The mark of the bulk-density.

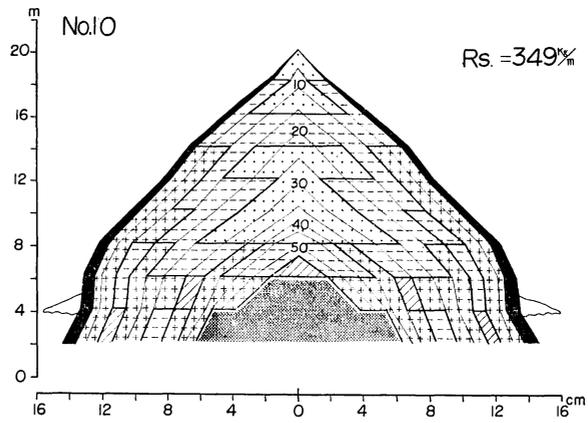
上層木群
 The group of the upper storey trees.



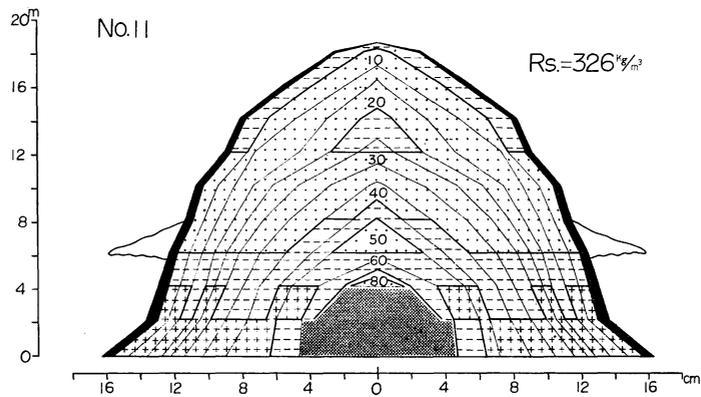
No. 1 Age: 95 Height: 22.5 m B. H. D.: 39 cm Clear length: 9.0 m



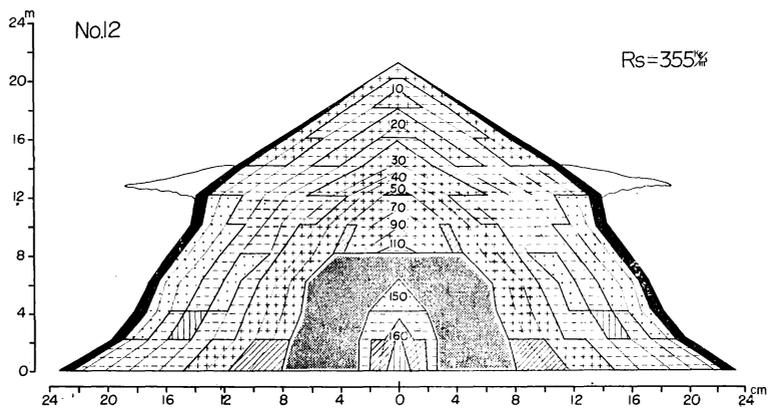
No. 8 Age: 173 Height: 22.2 m B. H. D.: 50 cm Clear length: 7.8 m



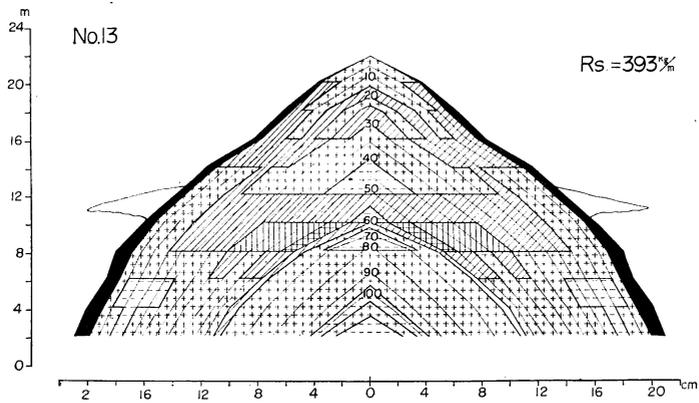
No. 10 Age: — Height: 20.1 m B. H. D.: 31 cm Clear length: 4.1 m



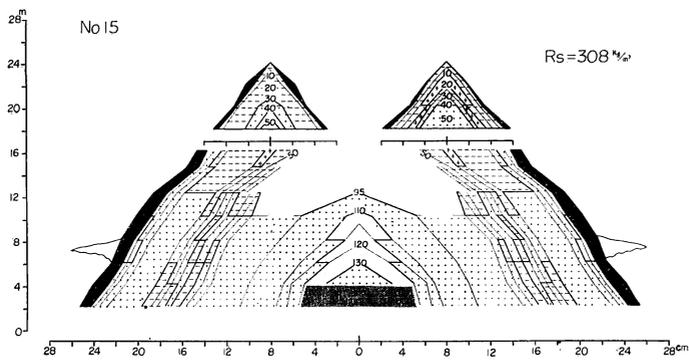
No. 11 Age: 175 Height: 18.6 m B. H. D.: 28 cm Clear length: 6.3 m



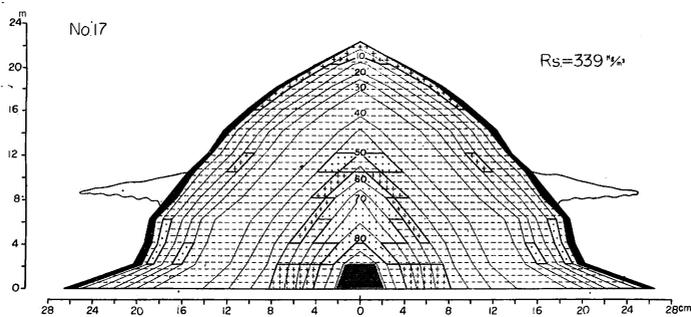
No. 12 Age: 169 Height: 21.3 m B. H. D.: 43 cm Clear length: 12.9 m



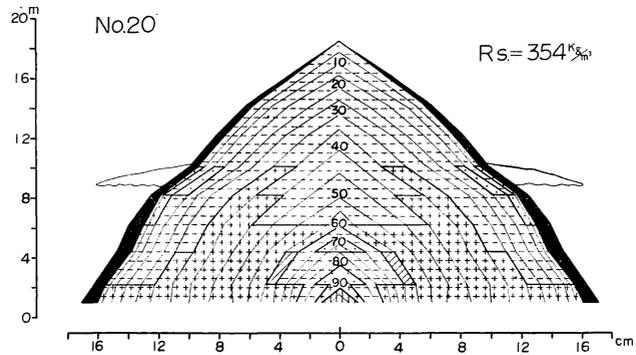
No. 13 Age: — Height: 22.0 m B. H. D.: 47 cm Clear length: 10.9 m



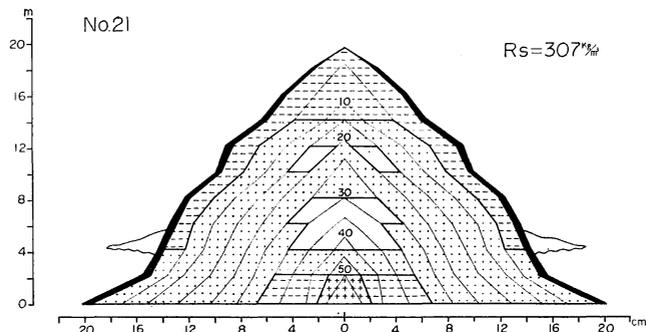
No. 15 Age: — Height: 24.1 m B. H. D.: 52 cm Clear length: 7.3 m



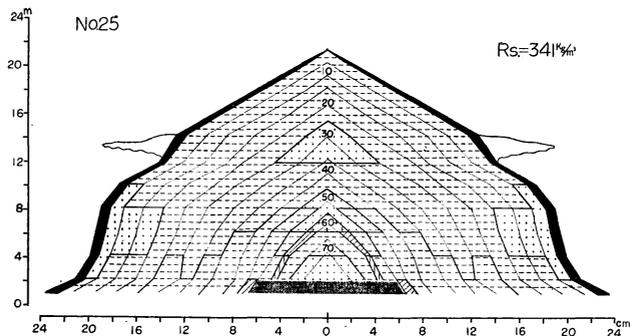
No. 17 Age: 115 Height: 22.1 m B. H. D.: 44 cm Clear length: 8.6 m



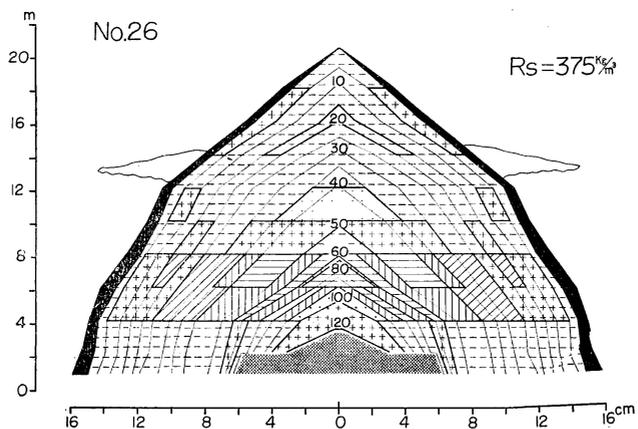
No. 20 Age: 100 Height: 18.5 m B. H. D.: 34 cm Clear length: 9.4 m



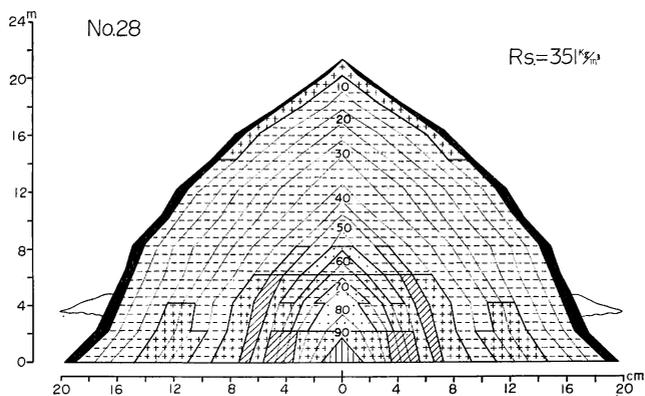
No. 21 Age: 74 Height: 19.7 m B. H. D.: 34 cm Clear length: 4.4 m



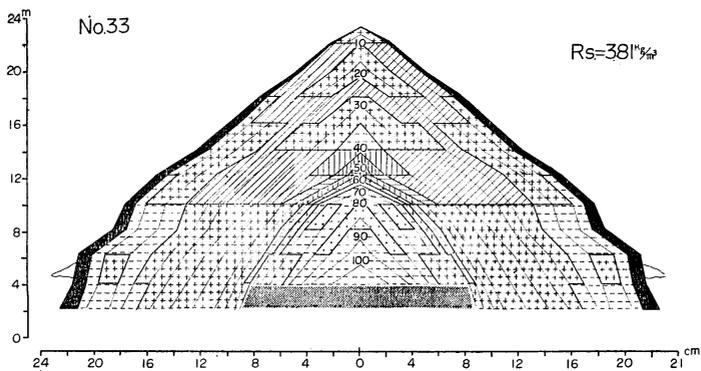
No. 25 Age: — Height: 21.5 m B. H. D.: 52 cm Clear length: 13.4 m



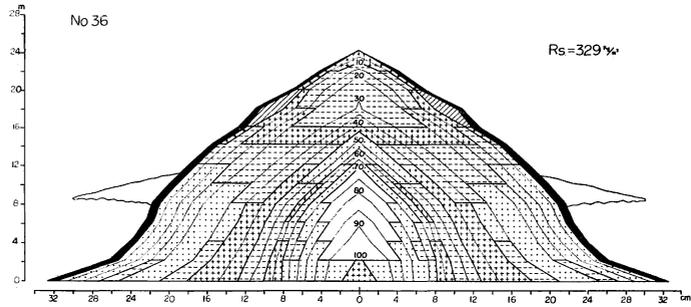
No. 26 Age:— Height: 20.6 m B. H. D.: 32 cm Clear length: 13.4 m



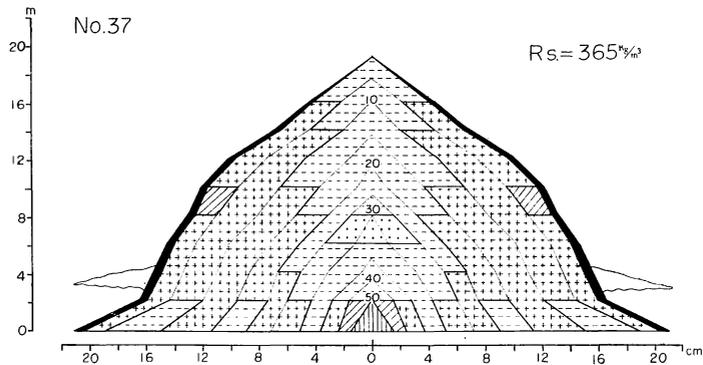
No. 28 Age: 110 Height: 21.4 m B. H. D.: 36 cm Clear length: 3.7 m



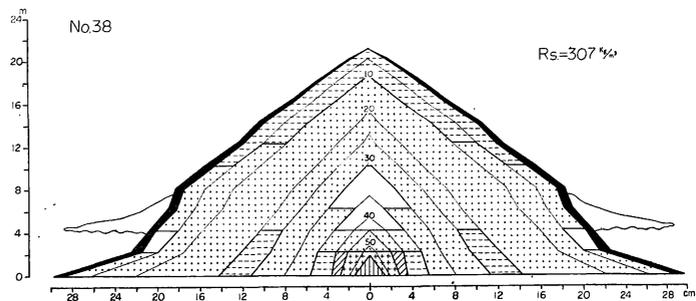
No. 33 Age:— Height: 23.4 m B. H. D.: 51 cm Clear length: 4.8 m



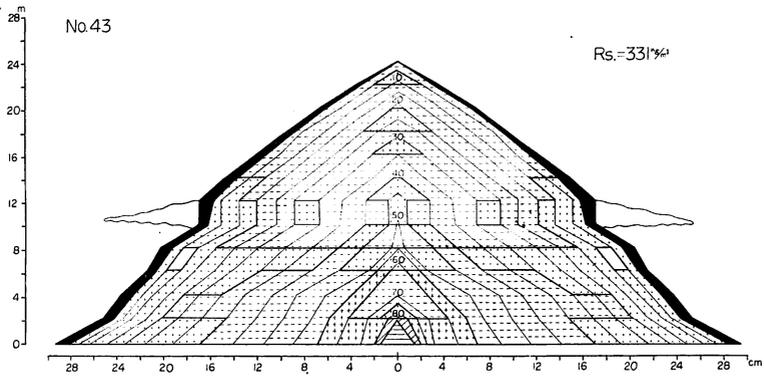
No. 36 Age: 114 Height: 24.4 m B. H. D.: 61 cm Clear length: 8.5 m



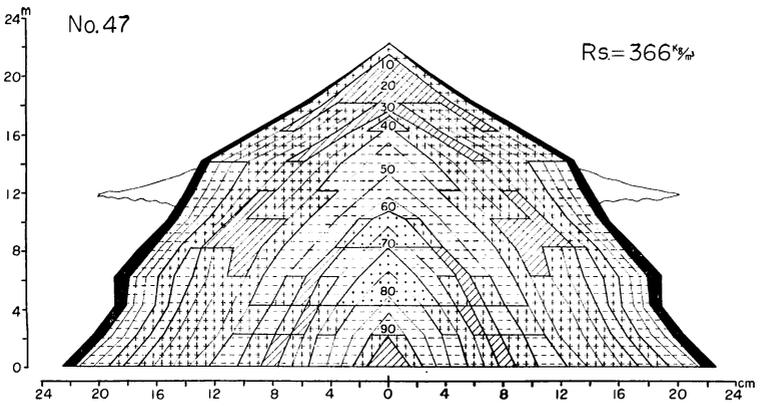
No. 37 Age: 88 Height: 19.3 m B. H. D.: 36 cm Clear length: 3.4 m



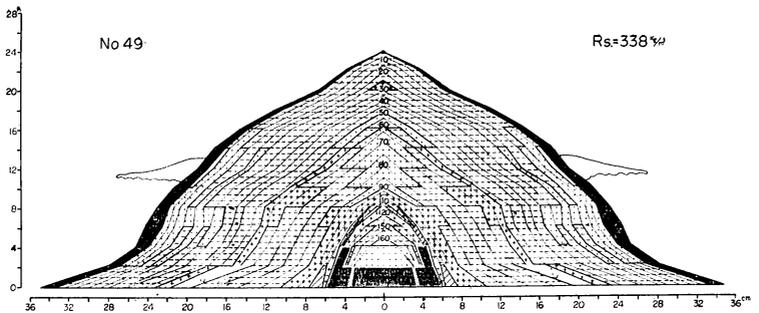
No. 38 Age: 75 Height: 21.1 m B. H. D.: 48 cm Clear length: 4.5 m



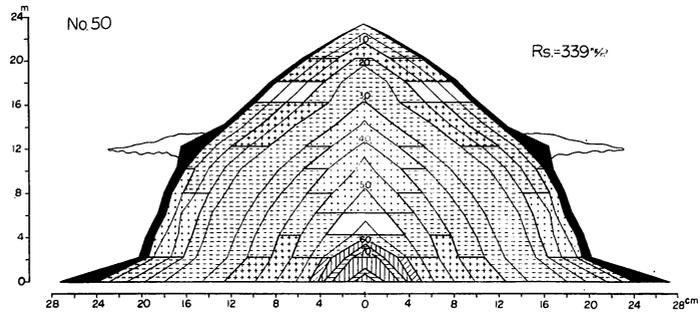
No. 43 Age: 104 Height: 24.2 m B. H. D.: 56 cm Clear length: 10.6 m



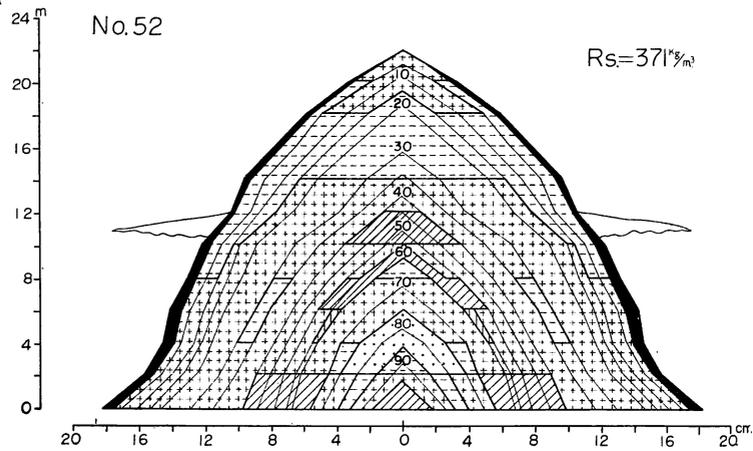
No. 47 Age: 105 Height: 22.2 m B. H. D.: 42 cm Clear length: 11.8 m



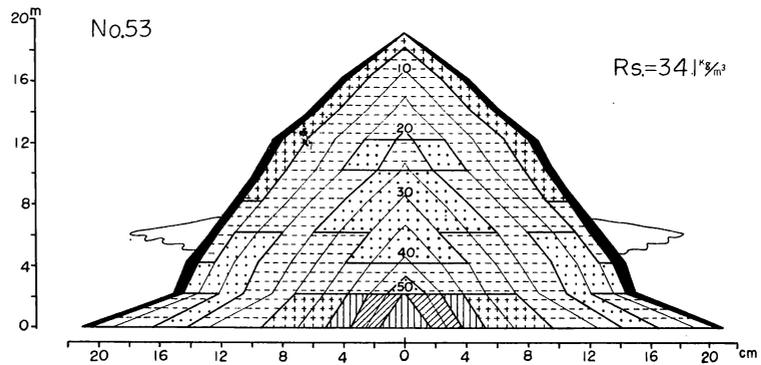
No. 49 Age: 207 Height: 24.0 m B. H. D.: 60 cm Clear length: 11.4 m



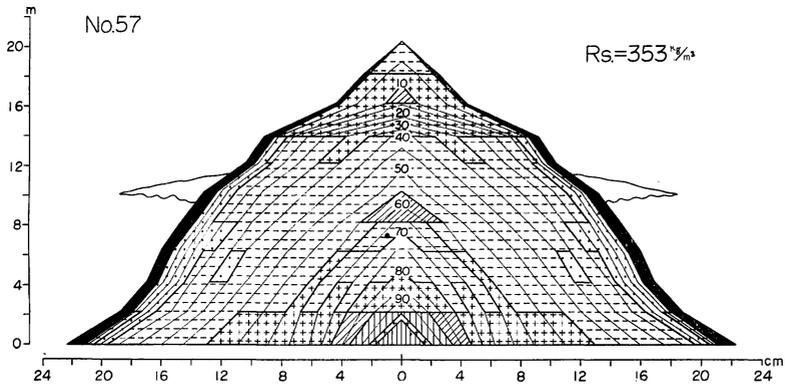
No. 50 Age: 110 Height: 23.3 m B. H. D.: 42 cm Clear length: 12.1 m



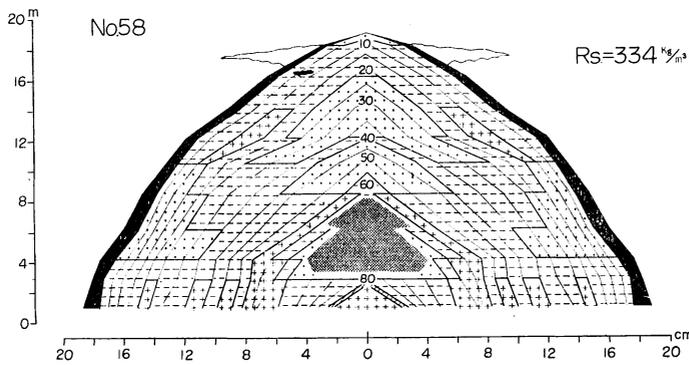
No. 52 Age: 107 Height: 22.0 m B. H. D.: 32 cm Clear length: 11.0 m



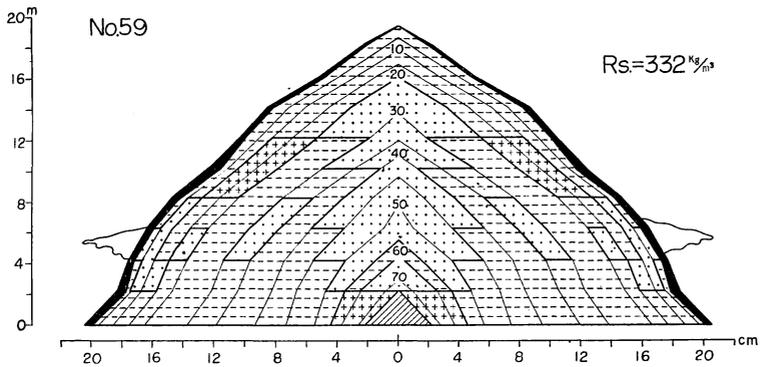
No. 53 Age: 72 Height: 19.1 m B. H. D.: 32 cm Clear length: 6.0 m



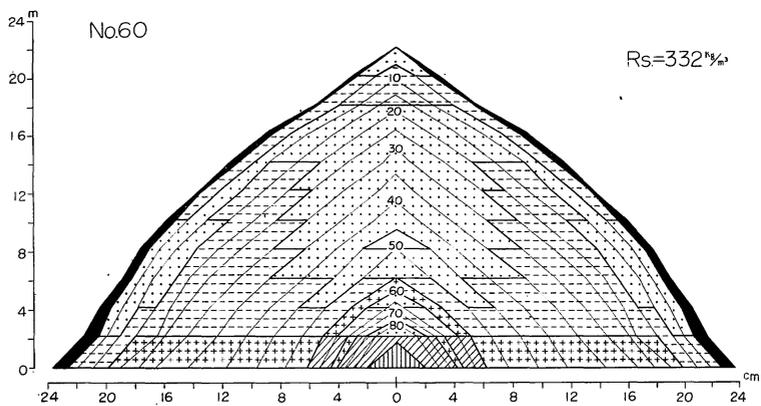
No. 57 Age: 133 Height: 20.4 m B. H. D.: 39 cm Clear length: 10.2 m



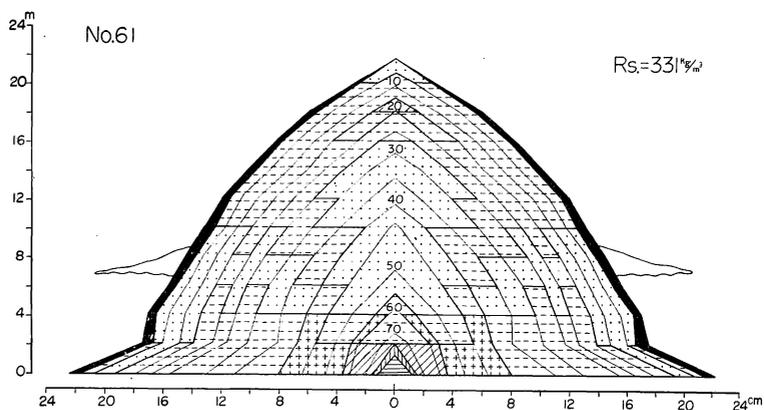
No. 58 Age: 119 Height: 19.0 m B. H. D.: 38 cm Clear length: 17.5 m



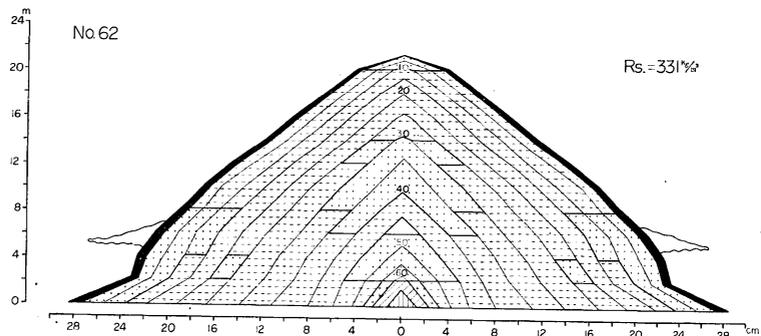
No. 59 Age: 101 Height: 19.4 m B. H. D.: 40 cm Clear length: 5.5 m



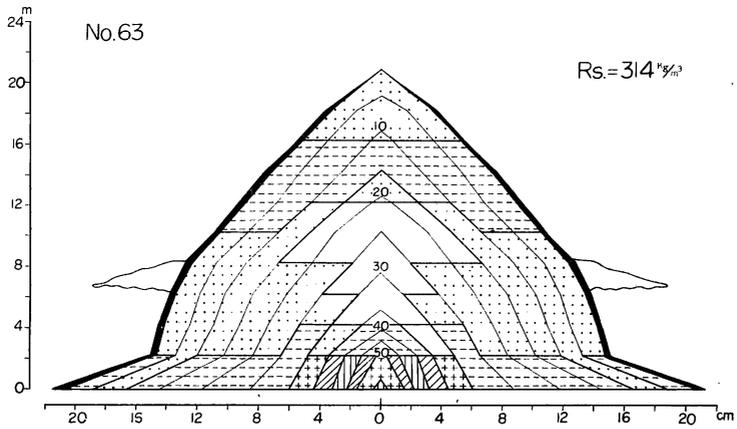
No. 60 Age: 131 Height: 22.2 m B. H. D.: 45 cm Clear length:—



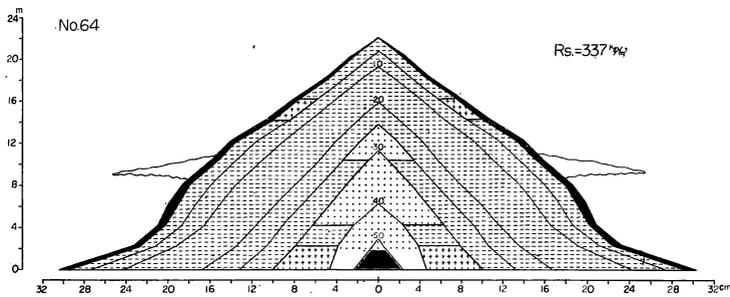
No. 61 Age: 96 Height: 21.8 m B. H. D.: 37 cm Clear length: 7.1 m



No. 62 Age: 83 Height: 21.4 m B. H. D.: 53 cm Clear length: 5.4 m



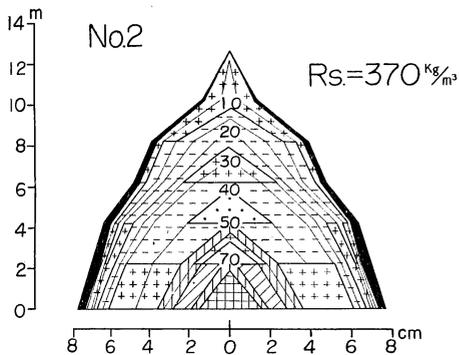
No. 63 Age: 63 Height: 20.8 m B. H. D.: 29 cm Clear length: 6.8 m



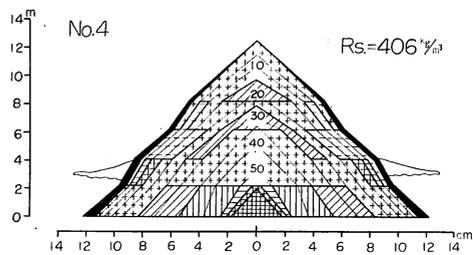
No. 64 Age: 64 Height: 21.9 m B. H. D.: 52 cm Clear length: 9.2 m

中 層 木 群

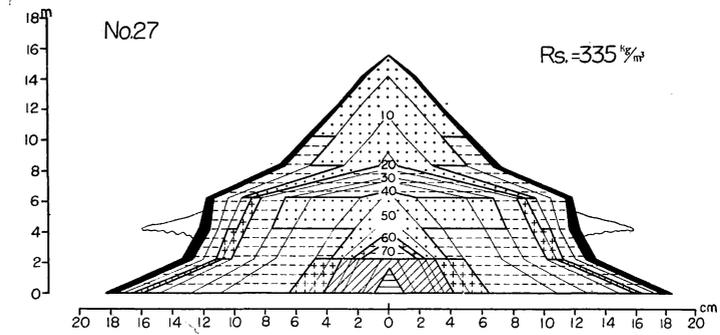
The group of the middle storey trees.



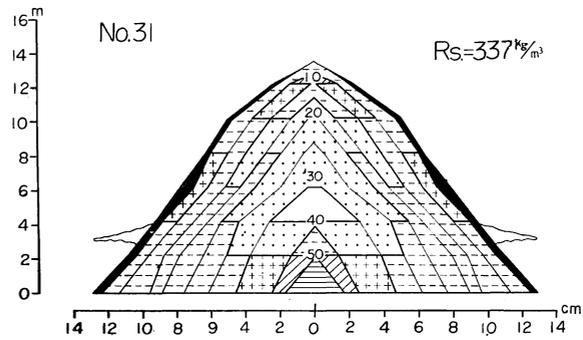
No. 2 Age: 98 Height: 12.5 m
B. H. D.: 15 cm Clear length: —



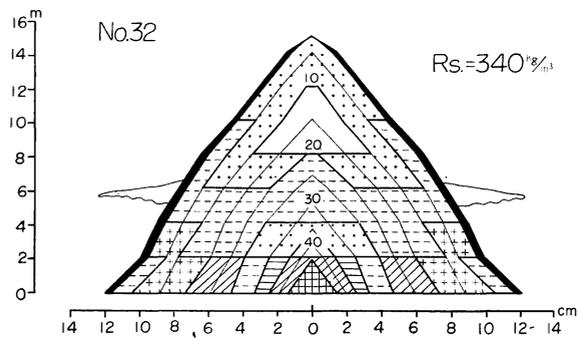
No. 4 Age: 99 Height: 12.5 m
B. H. D.: 19 cm Clear length: 3.2 m



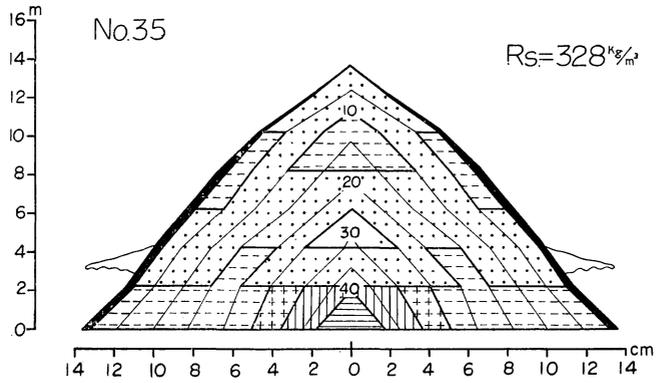
No. 27 Age: 98 Height: 15.6 m B. H. D.: 29 cm Clear length: 4.3 m



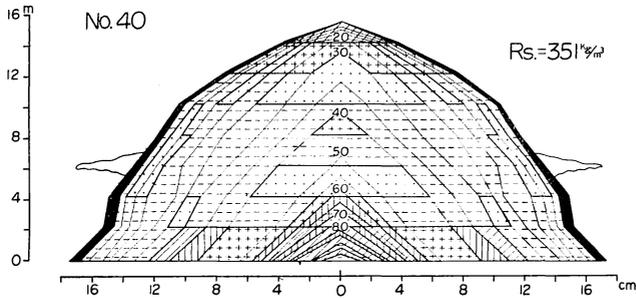
No. 31 Age: 84 Height: 13.5 m B. H. D.: 22 cm Clear length: 3.2 m



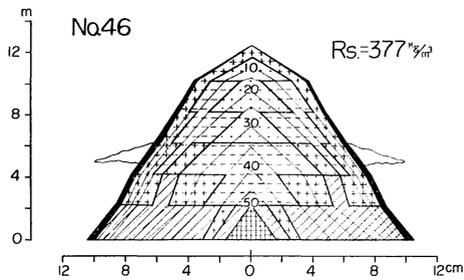
No. 32 Age: 67 Height: 15.1 m B. H. D.: 20 cm Clear length: 5.5 m



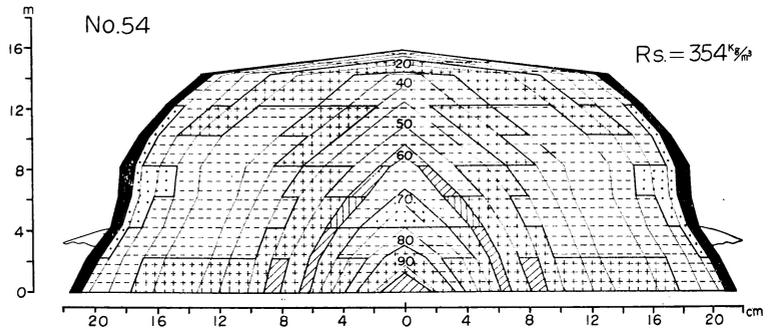
No. 35 Age: 68 Height: 13.6 m B. H. D.: 23 cm Clear length: 3.2 m



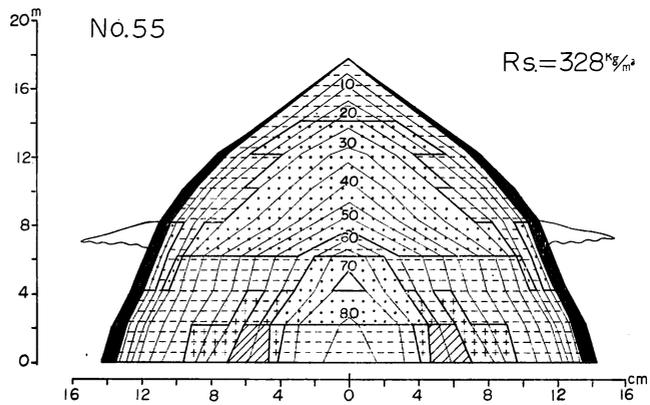
No. 40 Age: 106 Height: 15.5 m B. H. D.: 33 cm Clear length: 6.2 m



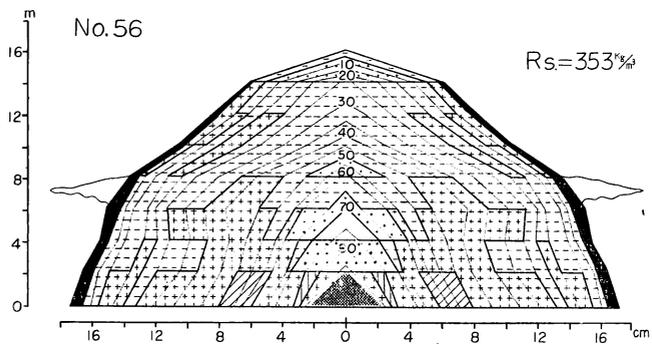
No. 46 Age: 72 Height: 12.4 m B. H. D.: 17 cm Clear length: 5.0 m



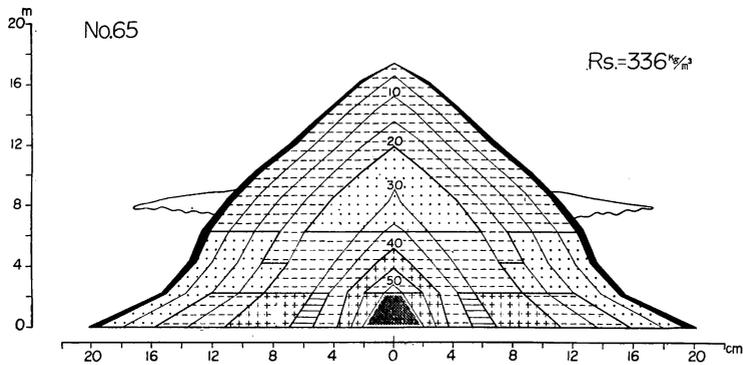
No. 54 Age: 109 Height: 15.8 m B. H. D.: 43 cm Clear length: 3.5 m



No. 55 Age: 91 Height: 17.8 m B. H. D.: 29 cm Clear length: 7.2 m

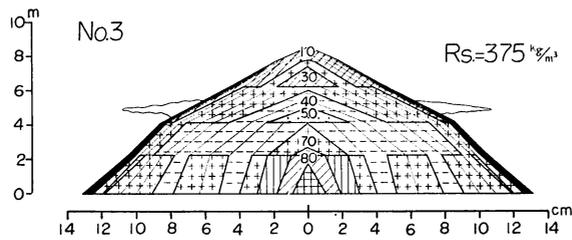


No. 56 Age: — Height: 16.2 m B. H. D.: 35 cm Clear length: 7.3 m

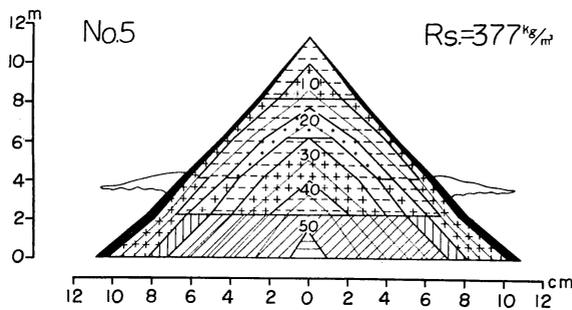


No. 65 Age: 76 Height: 17.5 m B. H. D.: 33 cm Clear length: 7.9 m

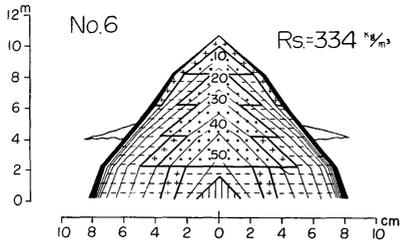
下層木群
The group of the lower storey trees.



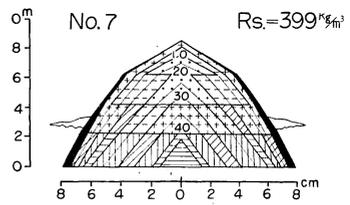
No. 3 Age: 99 Height: 8.4 m B. H. D.: 22 cm Clear length: 4.7 m



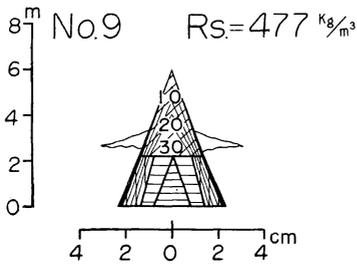
No. 5 Age: 57 Height: 11.3 m B. H. D.: 18 cm Clear length: 3.5 m



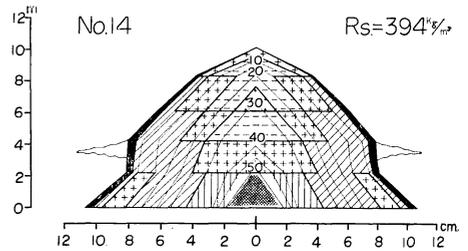
No. 6 Age: 66 Height: 10.7 m
B. H. D.: 16 cm Clear length: 4.4 m



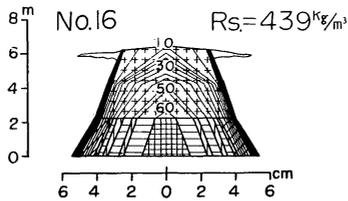
No. 7 Age: 64 Height: 8.5 m
B. H. D.: 13 cm Clear length: 2.9 m



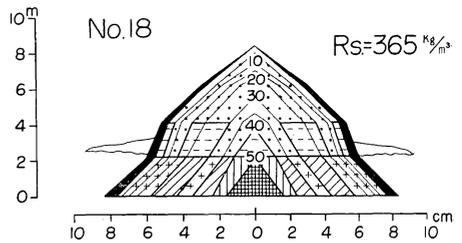
No. 9 Age: 48 Height: 5.8 m
B. H. D.: 4 cm Clear length: 2.6 m



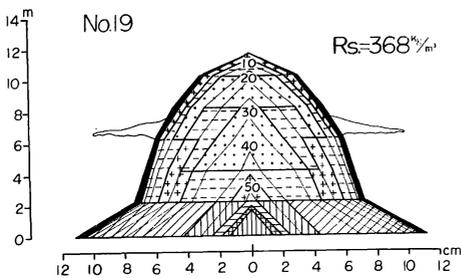
No. 14 Age: 89 Height: 10.1 m
B. H. D.: 16 cm Clear length: 3.6 m



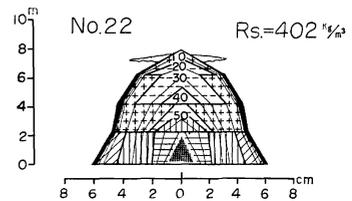
No. 16 Age: 86 Height: 6.3 m
B. H. D.: 8 cm Clear length: 5.9 m



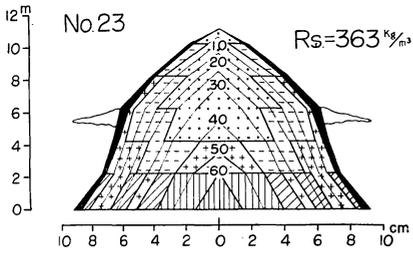
No. 18 Age: 92 Height: 8.4 m
B. H. D.: 13 cm Clear length: 2.6 m



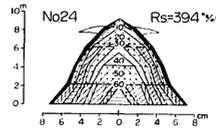
No. 19 Age: 99 Height: 11.7 m
B. H. D.: 14 cm Clear length: 6.6 m



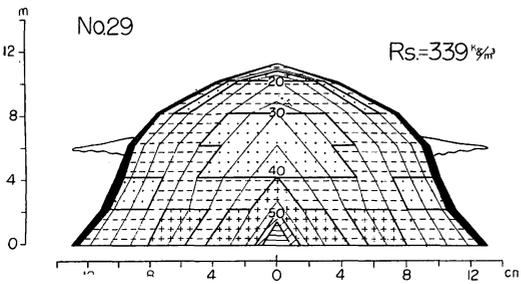
No. 22 Age: 86 Height: 7.8 m
B. H. D.: 10 cm Clear length: 7.3 m



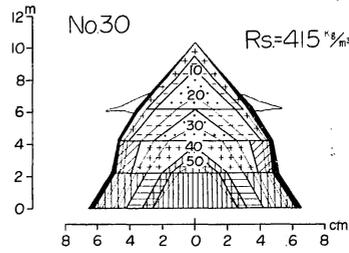
No. 23 Age: 87 Height: 11.0 m
B. H. D.: 15 cm Clear length: 5.5 m



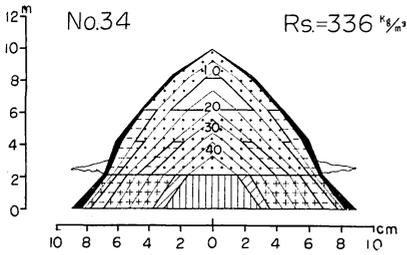
No. 24 Age: 88 Height: 7.8 m
B. H. D.: 11 cm Clear length: 7.8 m



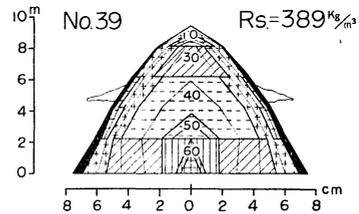
No. 29 Age: 70 Height: 11.3 m
B. H. D.: 24 cm Clear length: 6.1 m



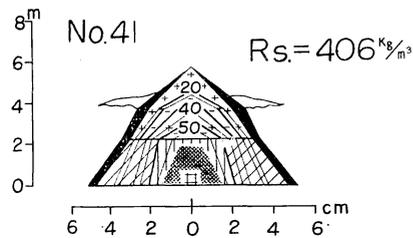
No. 30 Age: 110 Height: 10.3 m
B. H. D.: 11 cm Clear length: 6.3 m



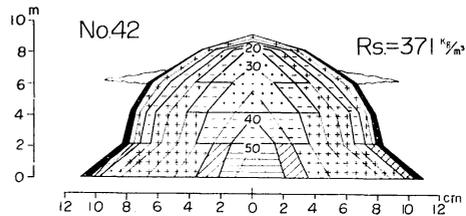
No. 34 Age: 100 Height: 10.0 m
B. H. D.: 14 cm Clear length: 2.4 m



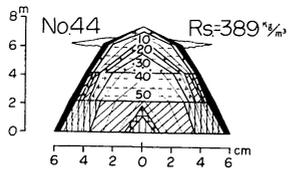
No. 39 Age: 79 Height: 9.4 m
B. H. D.: 13 cm Clear length: 4.7 m



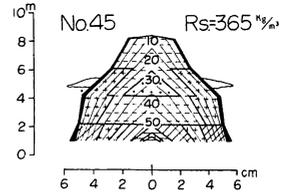
No. 41 Age: 81 Height: 5.7 m
B. H. D.: 8 cm Clear length: 3.9 m



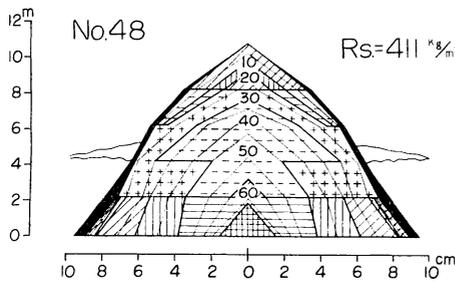
No. 42 Age: 77 Height: 9.1 m
B. H. D.: 17 cm Clear length: 6.2 m



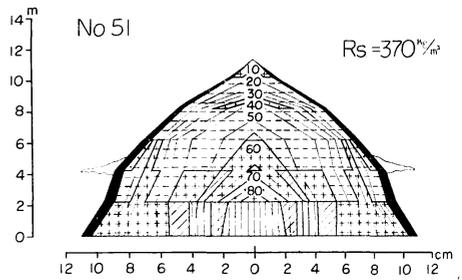
No. 44 Age: 72 Height: 7.4 m
B. H. D.: 10 cm Clear length: 6.2 m



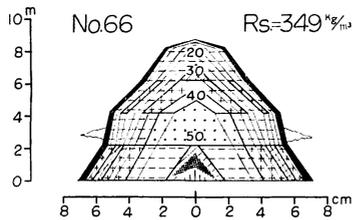
No. 45 Age: 72 Height: 8.4 m
B. H. D.: 11 cm Clear length: 5.1 m



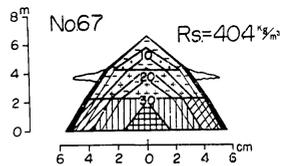
No. 48 Age: 106 Height: 10.8 m
B. H. D.: 16 cm Clear length: 4.5 m



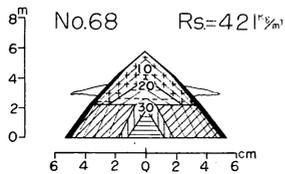
No. 51 Age: 96 Height: 11.3 m
B. H. D.: 19 cm Clear length: 4.2 m



No. 66 Age: 80 Height: 8.8 m
B. H. D.: 11 cm Clear length: 2.8 m



No. 67 Age: 43 Height: 6.5 m
B. H. D.: 10 cm Clear length: 3.6 m



No. 68 Age: 45 Height: 5.8 m
B. H. D.: 8 cm Clear length: 3.0 m