

アカマツ林におけるセルロースの生産に関する研究 (V)

単木におけるセルロースの標準含有量および総含有量について

妹 尾 俊 夫

TOSHIO SENOO : Studies on the Cellulose Productivity of
AKAMATSU (*Pinus densiflora* S. et Z.) Stand (V)
On the standard contents and the total contents
of celluloses in single tree.

要旨：単木における標準容積密度数，標準セルロース含有量およびそれらの総含有量に関して胸高直径，樹高，幹材積および年令との関係について検討を行なった。

各含有量の相互関係について得られた結果は次のとおりである。

1) 標準容積密度数および標準セルロース含有量は胸高直径，樹高および材積とは各因子の増加にともなって極大点を経て減少する2次の回帰式で示される。

2) 標準含有量は年令との関係において次式の修正指数曲線式がよく適合することが示された。

$$Y=K-ab^t \quad (K>0, a>0, 0<b<1, t=0, 1, 2, 3, \dots)$$

3) 年令との関係において，木材質の骨格物質であるセルロースは成熟期に入ってからほとんど経時的な変化はなくコンスタントとなり材積主長と全く同じ経過をたどるが，充填物質を含んでいる容積密度数はその後も生長増加が続くことが示された。

4) 単木重量および単木のセルロース含有量と胸高直径，樹高，幹材積および年令との関係は両対数表示の直線式で示された。

5) 単木重量と各因子との関係においては材積の影響が大きいことがわかった。

I. ま え が き

(I)~(III)報^{11, 12, 13)}において，幼・壮・老令木樹幹における容積密度数およびセルロース量の変動について，また，(IV)報¹⁴⁾において，樹幹における容積密度数およびセルロース量の標準含有値を示す位置について検討を行ってきた。しかしながら，この段階からは，単木樹幹内におけるセルロース生産量の経時的変化については十分傾向を知ることができなかった。そこで，本報では，木材組成の重量生長について，さらに生長論的立場から考究することを目的として，単木の標準容積密度数，標準セルロース含有量およびそれぞれの総含有量に関して胸高直径，樹高，幹材積および年令との関係について検討を行なったものである。ここで最も注目される点は標準含有量と年令との時間的な結びつきである。従来から材積生長経過と重量生長経過は本質的に一致するものかどうかという疑

問に対する十分な解答の報告はみうけられないようである。^{1, 10, 11)}少なくとも両者が完全に一致するものであるならば，単木の総重量および総含有量を総材積で除したものである標準容積密度数および標準セルロース含有量は統一された測定条件のもとでは経時的な変化はなくコンスタントな値を示すはずである。今回はそのような点に注目してとりまとめた。本報告をまとめるにあたり終始御指導をいただいた本学大隅真一教授に深甚の謝意を表する次第である。

II. 供試木および試験方法

供試木は前報と同様，本学大枝演習林（京都市右京区大枝当掛町）第5林班い小班，第10林班は小班より採取した天然生アカマツ(*Pinus densiflora* S. et Z.) 10~62年生，25本である。供試木についてはTable 1に示すとおりである。試験方法については前報までに記載しているので省略する。

Table 1. List of sample trees

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

なお、ここで取り扱う単木における標準容積密度数および標準セルロース含有量はそれぞれ総絶乾重量およびセルロースの総含有量を総生材積で除したものである。

III. 結 果

A. 標準容積密度数および標準セルロース含有量

Table. 1 に示した各供試木の標準容積密度数および標準セルロース含有量と胸高直径、樹高、幹材積および年令との関係について検討する。

1) 胸高直径との関係

Fig. 1 に示されるように小径木では標準含有量は小さいが径級の増大にしたがって大きくなる。大径木の資料がないのでそのさきについては不明であるが、一般的に肥大生長のさかんな木は早材率の割合が大きいことから密度は低くなることが知られている。したがって、極端な大径木になると標準値は減少することから、胸高直径との関係は二次式で示されるものと思われる。用いた資料には年令の異なるものを込みにして

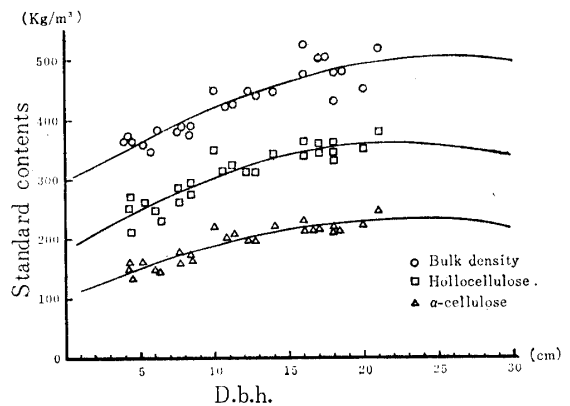


Fig. 1. Relation of d.b.h. to the standard bulk density and the standard contents of celluloses in single tree.

いるが、この場合の年令の影響は両者の関係曲線を緩和する方向に働くものと思われる。そこで、標準容積密度数、標準セルロース含有量について最小自乗法によって係数を求めると次のとおりである。

標準容積密度数：

$$Y = 290.6074 + 16.1847X - 0.3048X^2 \dots\dots(1)$$

$$r_{x,y}=0.995 \quad s=26.436$$

標準ホロセルロース含有量：

$$Y=173.9996+16.6280X-0.3670X^2 \dots\dots(2)$$

$$r_{x,y}=0.995 \quad s=21.511$$

標準 α セルロース含有量：

$$Y=97.9057+11.5975X-0.2458X^2 \dots\dots(3)$$

$$r_{x,y}=0.996 \quad s=14.298$$

ただし X：胸高直径， $r_{x,y}$ ：相関比

s：標準偏差

2) 樹高との関係

つぎに樹高と標準値の関係について Fig. 2 に示した。

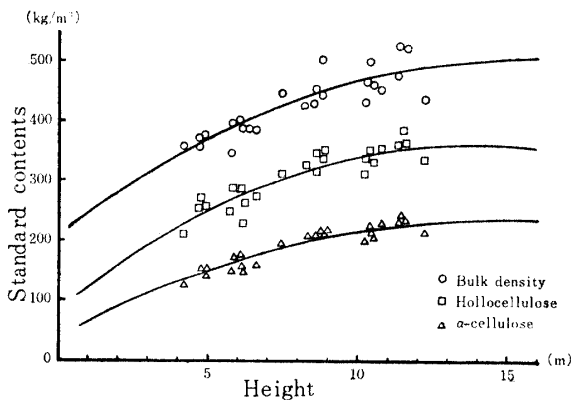


Fig. 2. Relation of tree height to the standard bulk density and the standard contents of celluloses in single tree.

これに示されるように胸高直径の場合と同様の傾向であることがわかる。したがって、2次式を適用して最小自乗法で係数を求めると次に示されるとおりである。

標準容積密度数：

$$Y=209.7998+37.3634X-1.1639X^2 \dots\dots(4)$$

$$r_{x,y}=0.994 \quad s=29.107$$

標準ホロセルロース含有量：

$$Y=84.2085+40.6023X-1.4747X^2 \dots\dots(5)$$

$$r_{x,y}=0.995 \quad s=22.171$$

標準 α セルロース含有量：

$$Y=35.9509+27.8305X-0.9597X^2 \dots\dots(6)$$

$$r_{x,y}=0.996 \quad s=14.256$$

ただし X：樹高 $r_{x,y}$ 相関比

s：標準偏差

3) 幹材積との関係

胸高直径および樹高と標準値とのそれぞれの関係から推して幹材積とも当然高い相関関係が認められるであろう。そこで、幹材積を対数とする片対数グラフにプロットしてみると Fig. 3 にみるように直線的な配列をしているが、幹材積も2次曲線式が適用されるもの

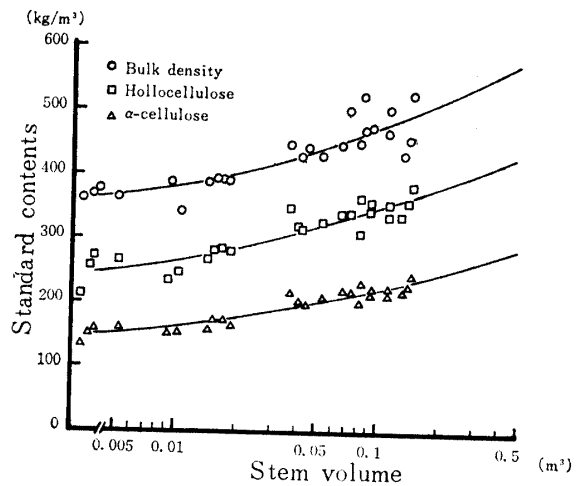


Fig. 3. Relation of stem volume to the standard bulk density and the standard contents of celluloses in single tree.

と思われる。最小自乗法によって係数を求めると次のとおりである。

標準容積密度数：

$$Y=490.40763-133.34135\log(10^5 X)$$

$$+32.36998\{\log(10^5 X)\}^2 \dots\dots(7)$$

$$r_{x,y}=0.994 \quad s=29.410$$

標準ホロセルロース含有量：

$$Y=261.53434-59.84280\log(10^5 X)$$

$$+20.40074\{\log(10^5 X)\}^2 \dots\dots(8)$$

$$r_{x,y}=0.995 \quad s=22.096$$

標準 α セルロース含有量：

$$Y=196.99021-66.58916\log(10^5 X)$$

$$+18.26645\{\log(10^5 X)\}^2 \dots\dots(9)$$

$$r_{x,y}=0.996 \quad s=14.730$$

ただし X：幹材積 $r_{x,y}$ ：相関比

s：標準偏差

これら3曲線はいずれも上に凹であるので、幹材積が増加するにしたがって標準値も増加するが、幹材積との関係上、極大点をもって下降することになるものと思われる。したがって、この回帰曲線式は幹材積が大きい部分では適用できなくなる。幹材積の十分大きい資料を補充して再検討する必要がある。

4) 年令との関係

令級別供試木について樹幹析解資料から5年ごとに算出された平均標準値を年令と結んで示したものが Fig. 4 である。壮・老令木の標準容積密度数は15~25年位までは異常に高い値をみせるが、年令が増加するにしたがって安定の傾向を示している。それにくらべ、ホロセルロースおよび α セルロースは15年以後は変化を示さないことがうかがえる。そこで、これらの令級別供試木について、幼令木は5~15年まで、壮令

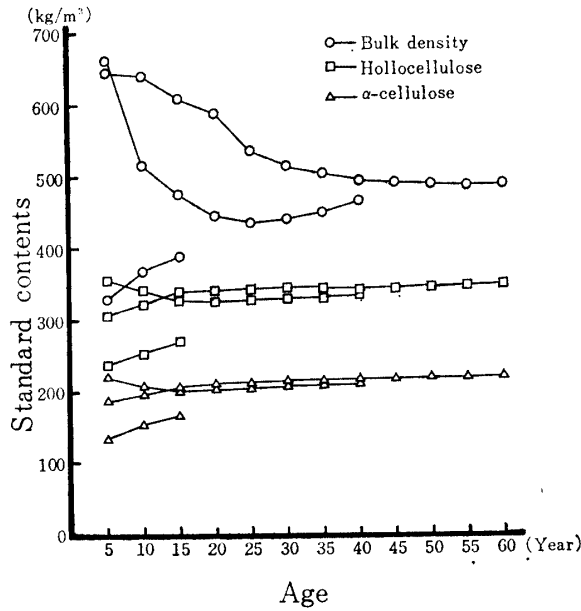


Fig. 4. Variation of the standard bulk density and the standard contents of celluloses from the different age class.

木は20~40年の、老令木は45~60年の標準値を採用してFig. 4と同様に年令と結んで図示するとFig. 5に示されるとおりである。Fig. 5の傾向から時間tを変数とする修正指数曲線式、すなわち $Y=K-ab^t$ ($k>0$, $a>0$, $0<b<1$, $t=0, 1, 2, 3, \dots$) が適用できるものと判断して3群法によって係数を求めた。

標準容積密度数：

$$Y=570.23734-220.97572(0.89692)^t \dots (10)$$

$$\eta_{t,y}=0.996 \quad s=9.409$$

標準ホロセルロース含有量：

$$Y=346.83112-141.50388(0.61336)^t \dots (11)$$

$$\eta_{t,y}=0.996 \quad s=8.697$$

標準αセルロース含有量：

$$Y=220.90943-108.28799(0.58264)^t \dots (12)$$

$$\eta_{t,y}=0.995 \quad s=7.508$$

ただし t：年令(0, 1, 2, 3, …) $\eta_{t,y}$ ：相関比 s：標準偏差

これらのいずれもFig. 5に示されるように15~20年に少し偏差のあることのほかはよく適合していることがわかる。この図からわかるように容積密度数は比較的長い期間にわたって増加生長を続けているがホロセルロースおよびαセルロースは初期に急激な増加をみせるが、20年以降は極くわずかしか増加せず、ほとんど一定の値をとるものであることがうかがえる。林木は10~15年以降は成熟期に入って未成熟材の割合がだんだん少なくなることを考慮するとFig. 5は注目すべき事実であるといえる。さらに、この関係を単木の重量と材積について連年生長および平均生長の関係からみるとよく理解できるものと思われるのでFig. 6にその1例を示した。

Fig. 6にみるように全体的には重量生長経過は材積生長経過とほとんど同じような経過をたどっていることがわかる。しかしながら、材積の連年生長量が極大点を過ぎると容積密度数を除くホロセルロースおよびαセルロースは遅れがみながら材積と同じように下降線をたどるが、容積密度数だけは上昇増加の傾向を示している。容積密度数もいずれ極大点をへて下降線をたどるものと思われる。

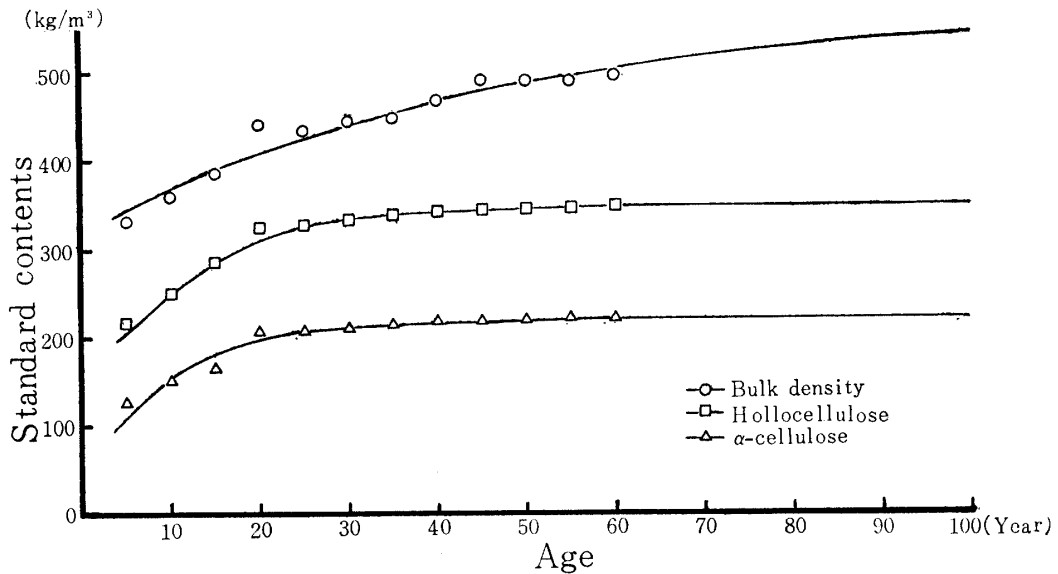


Fig. 5. Relation of age of tree to the standard bulk density and the standard contents of celluloses in single tree.

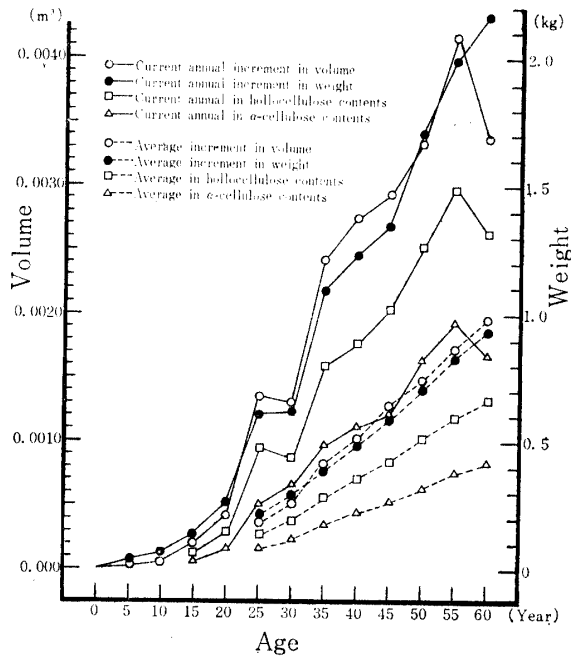


Fig. 6. Current annual increment and average increment of a sample tree.

5) 総 括

標準容積密度数および標準セルロース含有量は、胸高直径、樹高および材積とはある極大点を越えると、減少する2次の回帰式で示される。今回の資料の中には大径木のもの不足しているため、とくに幹材積との関係においてみられるような、直線性の強い回帰式で示されるものもあったが、全体的には、同樹種について関屋氏⁶⁾の報告されている傾向と全く同様の結果であったといえる。また、関屋氏等の報告では年令との関係も2次式で示されているようであるが、今回の結果では修正指数曲線式で表わされるものと判断したことが特徴的である。少なくとも、単木における標準容積密度数および標準セルロース含有量の年令的な変化について、木材の骨格物質であるセルロースだけは材積生長と全く同じ経過をたどるという結果は容易にうなづけるところである。また、その経時的変化も未成熟期の15~20年位までは急激な増加を示し、成熟期に入ってからほとんど変化をしないという生長経過は木材質の生長について他の組成成分の経過や物理的・化学的諸性質を理解する場合にも大きな足がかりとなる。

B. 単木重量および単木のセルロース含有量

Table. 1に示した各供試木の単木重量およびセルロース含有量と胸高直径、樹高、幹材積および年令との関係について検討する。

1) 胸高直径との関係

標準容積密度数および標準セルロース含有量と胸高

直径の関係でみたように、この場合も高い相関が認められるものと思われるので、両対数表示で図示するとFig. 7に示されるように直線性と高い相関が認められ

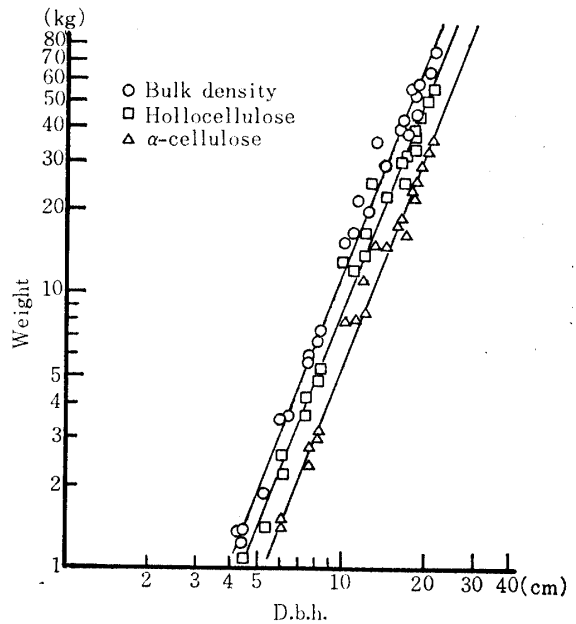


Fig. 7. Relation of d.b.h. to the total weight increment and the total contents of celluloses in single tree.

た。そこで単木重量および胸高直径を対数変換して、胸高直径に対する回帰式および相関係数を求めると次のとおりである。

総乾重量：

$$\log(10^3 Y) = 2.60163 \log X + 1.48769 \dots (13)$$

$$r = 0.991 \quad s = 1.201$$

総ホロセルロース含有量：

$$\log(10^3 Y) = 2.66427 \log X + 1.27743 \dots (14)$$

$$r = 0.989 \quad s = 1.235$$

総αセルロース含有量：

$$\log(10^3 Y) = 2.70780 \log X + 1.02878 \dots (15)$$

$$r = 0.989 \quad s = 1.239$$

ただし x：胸高直径 r：相関係数

s：標準偏差

2) 樹高との関係

つぎに単木重量および単木のセルロース含有量と樹高との関係についてFig. 8に示した。これに示されるように両者について両対数をとれば、胸高直径の場合と同様直線性が認められる。回帰式および相関係数は次のとおりである。

総乾重量：

$$\log(10^3 Y) = 4.04235 \log X + 0.53953 \dots (16)$$

$$r = 0.980 \quad s = 1.309$$

総ホロセルロース含有量：

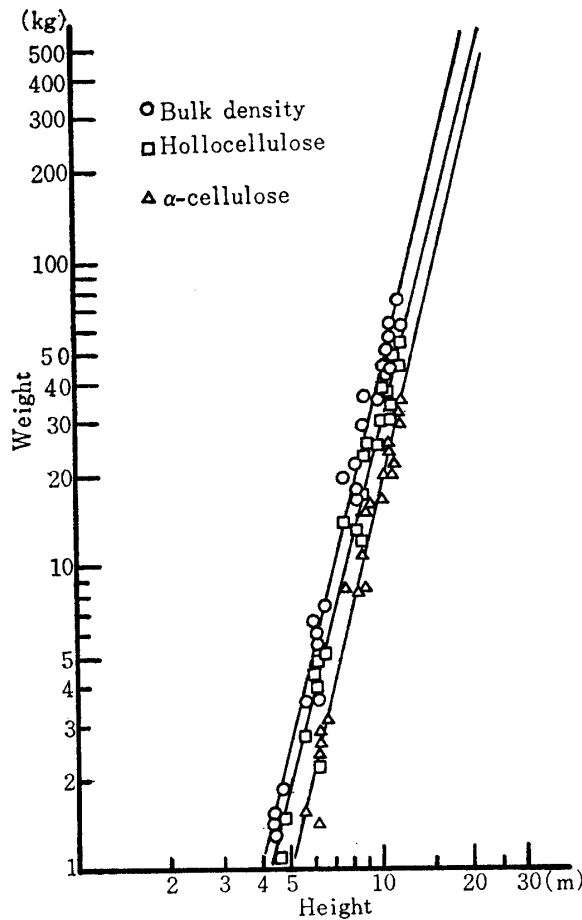


Fig. 8. Relation of tree height to the total weight increment and the total contents of celluloses in single tree.

$$\log(10^3 Y) = 4.14576 \log X + 0.30101 \dots (17)$$

$$r = 0.979 \quad s = 1.339$$

総αセルロース含有量:

$$\log(10^3 Y) = 4.21681 \log X + 0.03346 \dots (18)$$

$$r = 0.980 \quad s = 1.337$$

ただし x : 樹高 r : 相関係数

s : 標準偏差

3) 幹材積との関係

単木重量および単木のセルロース含有量と幹材積との関係は胸高直径や樹高との関係以上に高い相関関係が認められるものと思われる。そこで両者について、両対数をとって図示するとFig. 9に示されるとおり直線性と高い相関が認められた。回帰式および相関係数は次のとおりである。

総乾重量:

$$\log(10^3 Y) = 1.08536 \log(10^6 X) + 0.33026 \dots (19)$$

$$r = 0.999 \quad s = 1.006$$

総ホロセルロース含有量:

$$\log(10^3 Y) = 1.11369 \log(10^6 X) + 0.08441 \dots (20)$$

$$r = 0.999 \quad s = 1.078$$

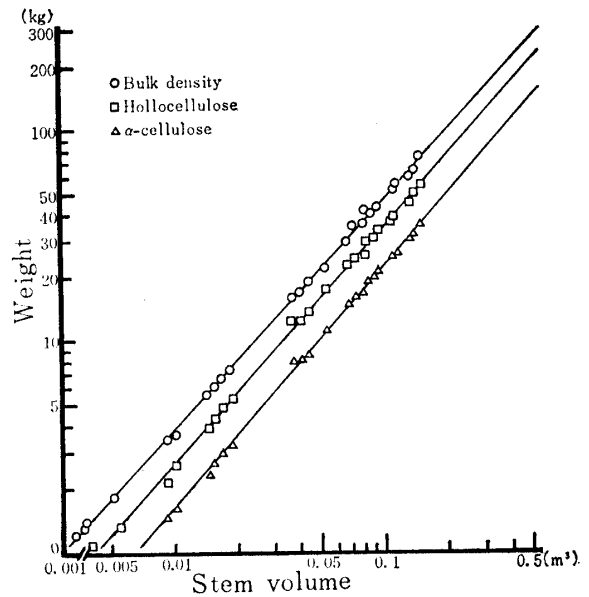


Fig. 9. Relation of stem volume to the total weight increment and the total contents of celluloses in single tree.

総αセルロース含有量:

$$\log(10^3 Y) = 1.13180 \log(10^6 X) - 0.18343 \dots (21)$$

$$r = 0.999 \quad s = 1.079$$

ただし x : 幹材積 r : 相関係数

s : 標準偏差

なお、上記3式はいずれも係数が1に近いことから両対数表示でなくても直線性があるものと思われる。ただ、材積は増加率が大きいから図示するには対数表示の方が便利である。それぞれについて真数で求めたものを掲げておく。

総乾重量:

$$Y = 4.81274 (10^2 X) - 1.006 \dots (22)$$

$$r = 0.995 \quad s = 2.433$$

総ホロセルロース含有量:

$$Y = 3.56736 (10^2 X) - 2.260 \dots (23)$$

$$r = 0.997 \quad s = 1.207$$

総αセルロース含有量:

$$Y = 2.29818 (10^2 X) - 0.789 \dots (24)$$

$$r = 0.997 \quad s = 0.835$$

4) 年令との関係

単木重量および単木のセルロース含有量と年令との両者について両対数をとってFig. 10に図示すると直線的な関係が認められた。そこで、それぞれについて年令との回帰式および相関係数を求めると次のとおりである。

総乾重量:

$$\log(10^3 Y) = 1.87705 \log X + 1.52477 \dots (25)$$

$$r = 0.949 \quad s = 1.045$$

総ホロセルロース含有量:

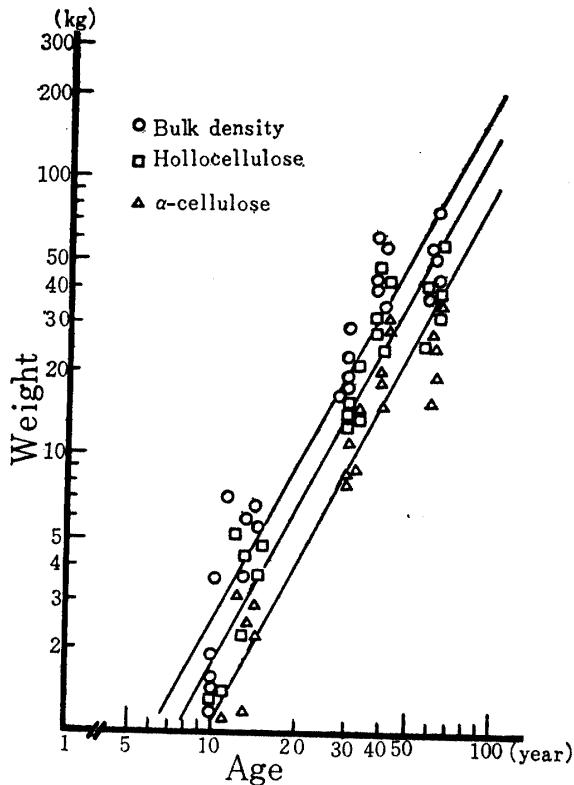


Fig. 10. Relation of age of tree to the total weight increment and the total contents of celluloses in single tree.

$$\log(10^3 Y) = 1.91166 \log X + 1.33019 \dots (26)$$

$$r = 0.941 \quad s = 1.617$$

総 α セルロース含有量:

$$\log(10^3 Y) = 1.94645 \log X + 1.07744 \dots (27)$$

$$r = 0.943 \quad s = 1.618$$

ただし x : 年令 r : 相関係数

s : 標準偏差

5) 総括

以上、単木重量および単木のセルロース含有量と各因子との関係は、いずれも各因子の増加にともなう重量増加が急激なことから対数表示を行なって両者の関係を求めたわけであるが、結果はいずれも高い相関と直線的な回帰性を有することが示された。

標準値の場合と異なり、単木重量および単木のセルロース含有量における各因子の増加は、年令も含めて材積の増加につながるものであるから、いずれも材積増加率の影響に支配されてしまう結果になると思われる。

IV. 考察

今回とりまとめた供試木には年令に差があり、その結果として胸高直径、樹高、幹材積等に差があるから、これをもとにして標準容積密度数等と胸高直径、樹高、幹材積等との関係を論ずるのは問題があ

るようであるが、20年以上では年令の増加によるセルロースの標準含有量はほとんど変化がなく、また、標準容積密度数は材積よりもおそくまで連年生長の増加が続くので、少しは両者の関係曲線を緩和する方向に働くかも知れないという程度であるからほとんど各関係への影響は考えられない。

また、単木重量および単木の総セルロース含有量と胸高直径、樹高、幹材積等との関係は材積の影響が大きいこれは当然のことといえる。

注目される点は標準値と年令との関係についてである。これらについて時間的経過をみても、容積密度数は約100年間で $300 \sim 570 \text{ kg/m}^3$ の増加を少しずつ続けているが、ホロセルロースおよび α セルロースは15~20年間で増加生長は終わり、それぞれ 350 kg/m^3 、 220 kg/m^3 の漸近線に近づく指数曲線的な経時的变化を示している。これは次のように理解できるものと思われる。すなわち、木材質の骨格に相当する部分を構成しているセルロースは未成熟期には急上昇の増加を示すが、成熟期に入ってから材積生長とはほぼ一致する経過をたどるのではないかということ。ところが充填物質も含んだ木材組成物質の総合的実質量を示す容積密度数は骨格物質よりも長い期間にわたって材積生長の比率よりも大きい増加を続けるが、やがては漸近線に近づくように一定となり材積生長と一致する修正指数曲線的な傾向をもつ経時的变化を示すものと思われる。

むすび

今回の結果から木材の骨格物質と充填物質では経時的变化が違うのではないかという推定ができるが、この点についてさらに検討を行なうには他の主要組成分であるリグニンをはじめ他の非セルロース多糖類などの充填物質についての時間的変化の追跡を行なう必要がある。これらの問題は林分を対象として重量生長経過を検討する段階に入ってからでは、たとえ同令単純林であっても、生長経過に作用する諸要因の解析は大変困難なものになると思われる。したがって、早い機会にこれらの点についても検討を試みて上述のことをたしかめたい。

引用および参考文献

- 1) 平井信二(1955): 東大演報, 48: 221~235.
- 2) ———(1958): 東大演報, 54: 199~217.
- 3) ———(1962): 東大演報, 57: 189~201.
- 4) ———(1966): 東大演報, 62: 189~196.
- 5) 飯塚 寛(1964): 九大演集報, 20: 9~53.

6) 関屋雄偉(1964) : 九大演報, 38 : 85~119.
 7) 須藤彰司, 齊藤久夫, 石原重春(1967) : 木材学会講演要旨集, 17 : 218~219.
 8) 柿原道喜(1967) : 九大演報, 41 : 69~77.
 9) 田島俊雄 (1967) : 東京教育大農紀要, 13 : 64~210.
 10) 大隅真一(1968) : 林木生長論講義, 京府大・農・森林經理学教室, 51~71, 186~205.
 11) 妹尾俊夫(1969) : 京府大演報, 13 : 87~92.
 12) ———(1970) : 京府大演報, 14 : 58~68.
 13) ———(1970) : 京府大演報, 15 : 65~81.
 14) ———(1971) : 第82回日本林学会講演集 (投稿中).
 15) 渡辺治人(1971) : 木材工業, 290 : 7~10.

Summary

This paper deals with the standard contents and the total contents of celluloses in single tree.

The sample tree used in this experiments is *Pinus densiflora* of 25 trees taken from the different age class of even-aged stands in the Ōe Experimental Forest of kyoto Prefectural University.

We obtained the following regression equations concerning the standard contents and the total contents of celluloses in single tree related with each one of the factors such as $d \cdot b \cdot h$, tree height, stem volume and age of tree.

1. Relation of $d \cdot b \cdot h$ to the standard bulk density and the standard contents of celluloses in single tree.

Standard bulk density :

$$Y = 290.6074 + 16.1847X - 0.3048X^2 \dots\dots(1)$$

$$\eta_{x,y} = 0.995 \quad s = 26.436$$

Standard contents of hollocellulose :

$$Y = 173.9996 + 16.6280X - 0.3670X^2 \dots\dots(2)$$

$$\eta_{x,y} = 0.995 \quad s = 21.511$$

Standard contents of α -cellulose :

$$Y = 97.9057 + 11.5975X - 0.2458X^2 \dots\dots(3)$$

$$\eta_{x,y} = 0.996 \quad s = 14.298$$

where $X : d \cdot b \cdot h$ $\eta_{x,y}$: correlation ratio
 s : standard deviation

2. Relation of tree height to the standard bulk density and the standard contents of celluloses in single tree.

Standard bulk density :

$$Y = 209.7998 + 37.3634X - 1.1639X^2 \dots\dots(4)$$

$$\eta_{x,y} = 0.994 \quad s = 29.107$$

Standard contents of hollocellulose :

$$Y = 84.2085 + 40.6023X - 1.4747X^2 \dots\dots(5)$$

$$\eta_{x,y} = 0.995 \quad s = 22.171$$

Standard contents of α -cellulose :

$$Y = 35.9509 + 27.8305X - 0.9597X^2 \dots\dots(6)$$

$$\eta_{x,y} = 0.996 \quad s = 14.256$$

where X : tree height $\eta_{x,y}$: correlation ratio
 s : standard deviation

3. Relation of stem volume to the standard bulk density and the standard contents of celluloses in single tree.

Standard bulk density :

$$Y = 490.40763 - 133.34135 \log(10^5 X) + 32.36998 \{\log(10^5 X)\}^2 \dots\dots(7)$$

$$\eta_{x,y} = 0.994 \quad s = 29.410$$

Standard contents of hollocellulose :

$$Y = 261.53434 - 59.84280 \log(10^5 X) + 20.40074 \{\log(10^5 X)\}^2 \dots\dots(8)$$

$$\eta_{x,y} = 0.995 \quad s = 22.096$$

Standard contents of α -cellulose :

$$Y = 196.99021 - 66.58916 \log(10^5 X) + 18.26645 \{\log(10^5 X)\}^2 \dots\dots(9)$$

$$\eta_{x,y} = 0.996 \quad s = 14.730$$

where X : stem volume $\eta_{x,y}$: correlation ratio
 s : standard deviation

4. Relation of age of tree to the standard bulk density and the standard contents of celluloses in single tree.

Standard bulk density :

$$Y = 570.23734 - 220.97572(0.89692)^t \dots\dots(10)$$

$$\eta_{t,y} = 0.996 \quad s = 9.406$$

Standard contents of hollocellulose :

$$Y = 346.83112 - 141.50388(0.61336)^t \dots\dots(11)$$

$$\eta_{t,y} = 0.996 \quad s = 8.697$$

Standard contents of α -cellulose :

$$Y = 220.90943 - 108.28799(0.58264)^t \dots\dots(12)$$

$$\eta_{t,y} = 0.995 \quad s = 7.508$$

where t : age of tree $\eta_{t,y}$: correlation ratio
 s : standard deviation

5. Relation of $d \cdot b \cdot h$ to the total weight increment and the total contents of celluloses in single tree.

Total weight increment :

$$\log(10^3 Y) = 2.60163 \log X + 1.48769 \dots (13)$$

$$r = 0.991 \quad s = 1.201$$

Total contents of hollocellulose :

$$\log(10^3 Y) = 2.66427 \log X + 1.27743 \dots (14)$$

$$r = 0.989 \quad s = 1.235$$

Total contents of α -cellulose :

$$\log(10^3 Y) = 2.70780 \log X + 1.02878 \dots (15)$$

$$r = 0.989 \quad s = 1.239$$

where X : d·b·h r : correlation coefficient

s : standard deviation

6. Relation of tree height to the total weight increment and the total contents of celluloses in single tree.

Total weight increment :

$$\log(10^3 Y) = 4.04235 \log X + 0.53953 \dots (16)$$

$$r = 0.980 \quad s = 1.309$$

Total contents of hollocellulose :

$$\log(10^3 Y) = 4.14576 \log X + 0.30101 \dots (17)$$

$$r = 0.979 \quad s = 1.339$$

Total contents of α -cellulose :

$$\log(10^3 Y) = 4.21631 \log X + 0.03346 \dots (18)$$

$$r = 0.980 \quad s = 1.337$$

where X : tree height r : correlation coefficient

s : standard deviation

7. Relation of stem volume to the total weight increment and the total contents of celluloses in single tree.

Total weight increment :

$$\log(10^3 Y) = 1.03536 \log(10^5 X) + 0.33026 \dots (19)$$

$$r = 0.999 \quad s = 1.006$$

or

$$Y = 4.81274(10^2 X) - 1.006 \dots (20)$$

$$r = 0.995 \quad s = 2.433$$

Total contents of hollocellulose :

$$\log(10^3 Y) = 1.11369 \log(10^5 X) + 0.08441 \dots (21)$$

$$r = 0.999 \quad s = 1.078$$

or

$$Y = 3.56736(10^2 X) - 2.260 \dots (22)$$

$$r = 0.997 \quad s = 1.207$$

Total contents of α -cellulose :

$$\log(10^3 Y) = 1.13180 \log(10^5 X) - 0.18343 \dots (23)$$

$$r = 0.999 \quad s = 1.079$$

or

$$Y = 2.29818(10^2 X) - 0.789 \dots (24)$$

$$r = 0.997 \quad s = 0.835$$

where X : stem volume r : correlation

coefficient s : standard deviation

8. Relation of age of tree to the total weight increment and the total contents of celluloses in single tree.

Total weight increment :

$$\log(10^3 Y) = 1.87705 \log X + 1.52477 \dots (25)$$

$$r = 0.949 \quad s = 1.045$$

Total contents of hollocellulose :

$$\log(10^3 Y) = 1.91166 \log X + 1.33019 \dots (26)$$

$$r = 0.941 \quad s = 1.617$$

Total contents of α -cellulose :

$$\log(10^3 Y) = 1.94645 \log X + 1.07744 \dots (27)$$

$$r = 0.943 \quad s = 1.618$$

where X : age of tree r : correlation coefficient

s : standard deviation

From above results, it was recognized that quadratic equation is adaptable for the relation of d·b·h, tree height and stem volume to the standard bulk density and standard contents of celluloses in single tree.

Concerning with the relation of age of tree to the standard bulk density and the standard contents of cellulose, the following corrected exponential equation was adopted.

$$Y = K - ab^t (k > 0, a > 0, 0 < b < 1, t = 0, 1, 2, 3, \dots)$$

It was proved that the logistic curve given in above equation agree very well with the experimental results.

In the relation of d·b·h, tree height, stem volume, and age of tree to the total weight increment and the total contents of celluloses in single tree, linear equation of logarithmic expression is in conformity with them.