

アカマツ同令単純林における材積, 重量, 熱量の成長に関する研究

関屋, 雄偉

<https://doi.org/10.15017/15002>

出版情報 : 九州大学農学部演習林報告. 38, pp. 39-159, 1964-11-28. 九州大学農学部附属演習林
バージョン :
権利関係 :



穫表の調製を行ない、林分熱量の年令に対する変化を明らかにしている。

第4章では第2章で行なった実験結果にもとづき、まず同令単純林を構成する林木の材積、重量および熱量の各成長量相互の関係および胸高直径との関係を明らかにするとともに、同令単純林における材木構成と材積、重量、熱量の構成の関係を究明した。つぎに第3章で行なった測定研究の結果により、年令を異にする林木の材積、重量および熱量の各成長量の相互関係を明らかにしている。また調製を試みた林分材積収穫表、林分重量収穫表、林分熱量収穫表により、林分の材積、重量および熱量の各成長量の相互関係と特長を明らかにしている。

第5章は、これまでの各章において明らかにされたアカマツ同令単純林における林木の材積、重量および熱量の相互関係、材積、重量および熱量の各成長量の相互関係についての考察と研究の要約である。

注1. 林業統計要覧(1963)によれば、昭和12～15年の平均需要量が2,512万 m^3 に対して昭和25年の需要量2,675万 m^3 は6.5%の漸増に過ぎない。しかし昭和30年の需要量4,031万 m^3 は60.5%と急増している。近年の需要量は昭和31年4,433万 m^3 (昭和12～15年の平均需要量に対して176.5%)、昭和32年4,490万 m^3 (178.7%)、昭和33年4,457万 m^3 (177.4%)、昭和34年4,899万 m^3 (195.0%)、昭和35年5,342万 m^3 (212.7%)、昭和36年6,027万 m^3 (241.7%)であって、最近の需要量の増大は特に著しく、昭和36年は戦前の平均需要量の約2.4倍、戦後の昭和25年の約2.3倍、かなり増加した昭和30年の1.5倍に達している。一方薪炭材は昭和25年約4,000万 m^3 、昭和30年4,000万 m^3 、昭和35年3,400万 m^3 、昭和36年3,000万 m^3 と漸減している。

木材需要の内容を用途別にみると、建築用材、パルプ用材、坑木の各占有率は、昭和30年35.5%、19.4%、6.2%、昭和32年36.2%、20.9%、6.6%、昭和34年36.3%、23.7%、5.6%、昭和35年37.6%、24.6%、5.0%、昭和36年37.7%、24.3%、4.2%であって、建築用材はその占有率がほとんど変化しないが、パルプ用材は年々占有率が増大している。総需要量の増大とその占有率の増加をあわせ考えると、パルプ用材の需要の激増が認められる。

注2. 林野庁計画課編集による経営案10年史資料(自昭和22年至昭和31年)(1956)により、国有林における普通林地の作業級別面積の推移をみると、昭和22年には普通林地の55%は択伐作業であり皆伐作業は38%に過ぎなかったが、昭和29年には半々となり、昭和31年には逆に皆伐作業が普通林地の55%を占めるにいたっている。

注3. 木材資源利用合理化推進本部編「わが国における木材需要の長期的見通し」(1962)によれば、昭和40年には6,322万 m^3 (対昭和35年比率118.5%)、昭和45年には7,783万 m^3 (145.7%)に達し、昭和35年の需要量の約1.5倍と激増が予想されている。また用途別占有率をみると、昭和40年は土木建築用材56.9%、パルプ用材32.7%、その他10.4%、昭和45年は土木建築用材52.5%、パルプ用材39.3%、その他8.2%であって、土木建築用材、その他の需要量の占有率が低下し、パルプ用材の占有率の増大が予想される。総需要量の増加とその占有率の増大をあわせ考えるとパルプ用材の需要量の激増が認められる。

第2章 同令単純林における資料採取法

林分を構成する全林木について全乾重量や燃焼熱量を直接に実測することは困難であるから、その平均状態を示す標本木を供試木とし、これによって全林を推定するほかない。そこでまず全乾重量、燃焼熱量などの平均を示す標本木を見出すにはどうしたらよいかを

明らかにする必要がある。このような観点から林分の全乾重量、燃焼熱量を合理的に推定するための供試木の採取方法を検討する目的で、同令単純林を構成する林木を4 cm 括約の直径級に分け、各直径級の林木より標本木を伐倒し材積、重量、熱量を測定して林分材積、林分重量、林分熱量を推定し、林分の重量平均木および熱量平均木と材積平均木との関係を明らかにすることにした。

I. 重 量

i 資 料

1) 調 査 地

調査対象に選んだ林分は福岡県朝倉郡朝倉町大字宮野八坂にある八坂山国有林（久留米事業区41林班は小班）の天然生アカマツ同令単純林である。調査地は北緯33°24′，東経130°44′の附近に位置する低い丘陵状の団地で、標高約100m，南西方向の斜面（平均傾斜18°）の下部に位置する。石英絹雲母片岩を基岩とし、細礫を含む埴壤土で土壌は浅く地味不良である。

附近の三奈木気象観測所（北緯33°24′，東経130°43′，海拔36.0m）における最近の観測値¹⁵⁾を示すと第1表のとおりである。降水量および日照時間は月および年合計値であり、蒸発量は24時間平均である。なお久留米事業区における初霜は11月上旬で終霜は4月下旬である。

第1表 気 象 観 測 値

Tab. 1 Climate Observation

月別 種別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年平均
気 温 (°C)	4.0	5.9	9.3	13.1	20.7	22.6	26.8	28.7	23.9	18.7	14.2	6.9	16.2
降 水 量 (mm)	73.6	124.3	96.4	172.2	141.4	252.7	332.6	145.9	188.6	94.8	94.6	51.1	1,768.2
湿 度 (%)	83.9	75.5	71.9	78.5	72.4	79.7	77.8	71.4	76.2	74.2	77.9	85.3	77.1
日 照 (時)	99.7	87.0	130.9	125.7	165.2	144.3	138.3	194.4	140.5	165.7	122.1	92.6	1,606.3
地 温 (°C)	4.0	5.6	7.7	15.6	20.3	24.1	28.2	30.0	23.3	16.5	10.9	6.5	16.1
蒸 発 量 (mm)	0.8	0.7	1.7	2.5	3.2	2.9	3.3	4.3	2.4	2.0	1.6	0.8	2.2
平均雲量	6.9	6.6	6.5	5.9	5.8	6.4	6.3	4.7	6.6	5.7	5.6	5.9	6.1

注) 降水量，日照は年合計である。

調査林分は一斉に更新したと思われるアカマツ単純林で，下層にシイ類，カシ類，タブノキ等が生育する暖帯下位植生に属する天然生林であって成長は良好とはいえない。

2) 調査林分の林木構成

胸高直径，樹高，形質，樹冠構成状態が同令単純林として適正と認められる林分を区画選定して標準地とし毎木測定した。その結果は面積0.24ha，立木本数320本，材積65.1044 m³であって，林令44年，胸高直径6～34cm，平均直径16.8cm，樹高7～22m，平均樹高15.5m，ha当り立木本数1,333本，ha当り材積271.3m³である。

林分の構成状態を 4 cm 括約の直径階別本数分配で示すと第 1 図のとおりであって 齊一な同令単純林である。

ii 試 験 方 法

1) 供試木の選定

この林分の胸高直径を 4 cm 括約の直径階すなわち 7, 11, 15, 19, 23, 27, 31, 35cm で区分した 8 個の直径級に分け, 各直径級より 3 本宛供試木を採取することとし, 各直径級の平均樹高を示す林木を供試木として選定した。ただし最小直径級および最大直径級の林木は標準地内に前者が 1 本後者が 2 本しかないため, これらの径級ではこの本数にとどめた。また全林の胸高断面積平均木を算出し, 林分の平均を示す直径および樹高の林木を選んで比較測定することとしたので, 全供試木本数は 22 本である。

2) 供試片の抽出

選定した供試木の樹幹を地上 0.2m, 1.2m, 3.2m,…… の正規樹幹析解法による区分長に切断し, 各区分点より厚さ 6 cm の円盤を採り, 基部より順次円盤番号を付した。各円盤については髓心より山側, 谷側およびこれと直角の 4 方向に 5 年毎の年輪で区分し, 材積成長経過を測定するとともに, 区分された各成長期間ごとに令階を接続して供試片を採取した。ただし外側の端数となる令階は, 年輪幅が極端に狭い場合には供試片が小さくなり測容精度が充分でなくなるため, 相隣接する内側の令階の供試片に含めて採取した。

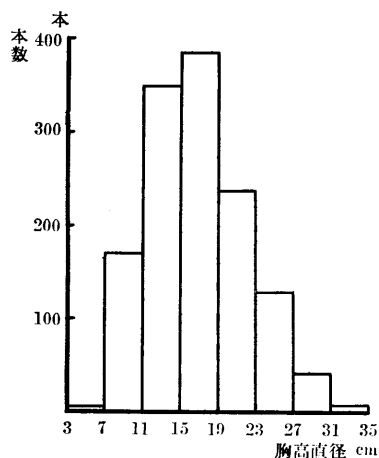
3) 測 定

各供試片は鉋削した後熱風定温乾燥器に入れ, 100°C で全乾状態として重量を秤量し, これを気乾状態にもどした後容積を水銀測容器で測定し, 容積当り重量を算定して全乾比重 (g/cm^3) を求めた。したがって本研究における全乾比重というのは, すべて全乾重量 (g) を気乾容積 (cm^3) で除して求めたものである。

以上の方法で求めた樹幹各部分の比重 (4 方向の平均) をそれぞれの令階材積に乗じてその令階の重量を算定する。幹足および梢頭部分についても同様にして算出し, これを合計して各令階の材積に対応する重量を求めるとともに, 全幹材積についての重量を求めた。全幹の重量を皮内材積で除したものを単木標準比重とする。測定を行なった 22 本の算出結果を示せば第 2 表のとおりである。

第 1 図 直径階別本数分配

Fig. 1 Distribution of Stem Number by Diameter Class



第 2 表 重 量 測 定 値

Tab. 2 Weight Measurement

番号	年令	皮付胸高直径	樹 高	皮 付 幹材積	皮 内 幹材積	胸高年輪密度	重 量	単木標準比重	胸高平均比重
		cm	m	m ³	m ³		kg	g/cm ³	g/cm ³
1	43	24.2	16.80	0.3273	0.3019	3.5	149.404	0.495	0.551
2	42	29.9	19.70	0.5795	0.5395	2.9	259.769	0.481	0.513
3	41	12.5	13.15	0.0873	0.0835	6.3	45.742	0.548	0.615

番号	年令	皮付胸高直径 cm	樹高 m	皮付材積 m ³	皮内材積 m ³	胸高年輪密度	重量 kg	単木標準比重 g/cm ³	胸高平均比重 g/cm ³
4	40	17.6	15.50	0.1736	0.1650	4.5	80.554	0.488	0.562
5	39	17.5	13.40	0.1474	0.1365	4.0	66.454	0.487	0.525
6	42	13.6	13.50	0.0966	0.0891	6.0	46.395	0.521	0.551
7	40	12.7	12.25	0.0776	0.0715	6.4	39.439	0.552	0.614
8	43	27.6	21.95	0.5586	0.5277	3.0	261.761	0.496	0.525
9	42	24.5	17.70	0.3165	0.2961	3.4	150.470	0.508	0.587
10	41	23.0	19.10	0.2868	0.2685	3.6	133.521	0.497	0.538
11	41	35.0	20.25	0.8595	0.8288	2.3	388.083	0.468	0.508
12	37	9.2	10.10	0.0306	0.0274	8.9	13.201	0.482	0.509
13	41	20.9	15.20	0.2009	0.1871	4.2	102.964	0.550	0.568
14	40	15.4	13.45	0.1186	0.1119	5.5	54.309	0.485	0.485
15	41	16.5	14.80	0.1599	0.1443	4.3	74.298	0.515	0.589
16	42	19.4	18.05	0.2400	0.2321	4.2	122.723	0.529	0.555
17	41	31.3	16.10	0.4525	0.4155	2.9	209.189	0.503	0.575
18	42	26.8	17.75	0.3671	0.3442	3.0	176.210	0.512	0.553
19	44	29.2	18.95	0.4816	0.4526	3.0	220.934	0.488	0.518
20	36	6.0	8.10	0.0110	0.0100	9.0	4.579	0.458	0.470
21	37	7.6	11.90	0.0284	0.0268	7.0	12.203	0.455	0.481
22	42	18.3	17.70	0.1943	0.1774	4.9	100.887	0.569	0.670

iii 標準比重

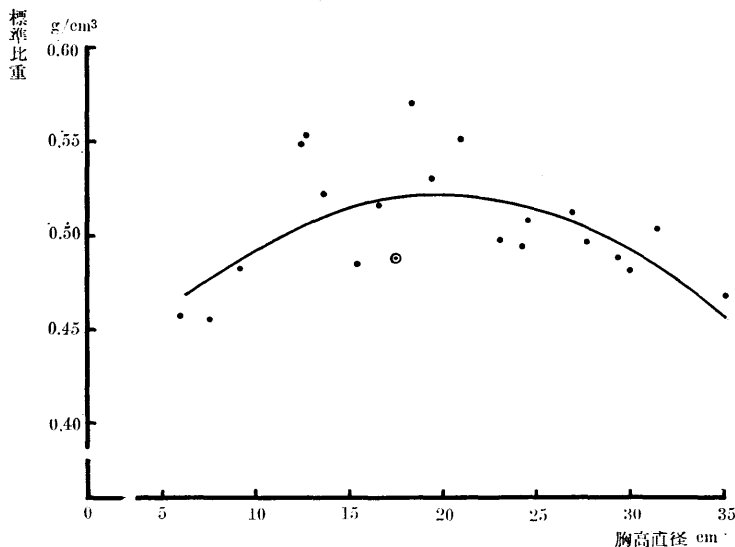
第2表に算出した各供試木の標準比重と胸高直径、樹高、幹材積、胸高年輪密度、胸高平均比重との関係をつぎに検討する。

1) 胸高直径との関係

同令単純林における皮付胸高直径と標準比重の関係を見るため、第2表の数値を用いて

第2図 胸高直径対標準比重

Fig. 2 Relation of D.B.H. to Mean Specific Gravity



グラフに示したのが第2図である。

この図からみると、アカマツ同令林分においては極端な小径木では標準比重は小さいが、径級の増大に伴って標準比重も増大し、平均直径附近で最大となり、さらに胸高直径が大きくなれば標準比重は逆に漸減している。この関係は二次式で示され、最小自乗法により

係数を求めると次式が得られる。

$$y=0.410+0.0112x-0.000282x^2\cdots\cdots(1)$$

x : 胸高直径, y : 標準比重

(1)式は実測値によく適合している。したがってこの曲線式よりこの林分における標準比重の最大となる直径を求めると19.9cmとなり、最大本数が存在する直径階より一段大きい直径となる。

2) 樹高との関係

つぎに樹高と標準比重の関係を調べたが、両者の間には相関が認められなかった。これは一斉林であって径級別樹高差が少ないためと考えられる。

3) 幹材積との関係

皮付幹材積と標準比重の関係をグラフに示すと第3図のように林木の大小との間に曲線の関係が認められる。胸高直径と同様にして回帰式の係数を求めると次式が得られる。

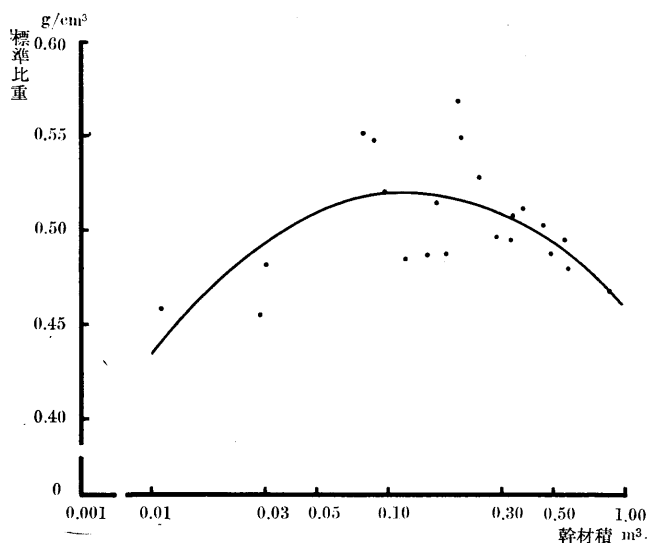
$$y=-0.174+0.4486\log(10,000x)-0.0724\{\log(10,000x)\}^2\cdots\cdots(2)$$

x : 幹材積, y : 標準比重

(2)式は図にみられるように実測値とよく適合している。したがって幹材積と標準比重の関係は二次式で示され、林分内の小径木を除けば、単木材積の増加にともなって標準比重は小さくなるものといえる。

第3図 皮付幹材積対標準比重

Fig. 3 Relation of Volume to Mean Specific Gravity



幹材積は胸高直径の二乗と樹高の相乗的關係を示すものであるから、林木の大小と標準比重の關係は、胸高直径の場合よりもさらに鋭敏にあらわれるものと認められる。

4) 胸高年輪密度との関係

胸高部位における年輪密度と供試木の成長状態とは相関々係が高いので、胸高部位の年輪密度と標準比重の關係を検討してみる。グラフ上に示すと第4図のよう

に、胸高部位の年輪密度が増加するにしたがい標準比重は増加するが、ある程度以上年輪密度が増加すると逆に標準比重は低下している。

回帰式を前と同様にして求めれば次式が得られる。

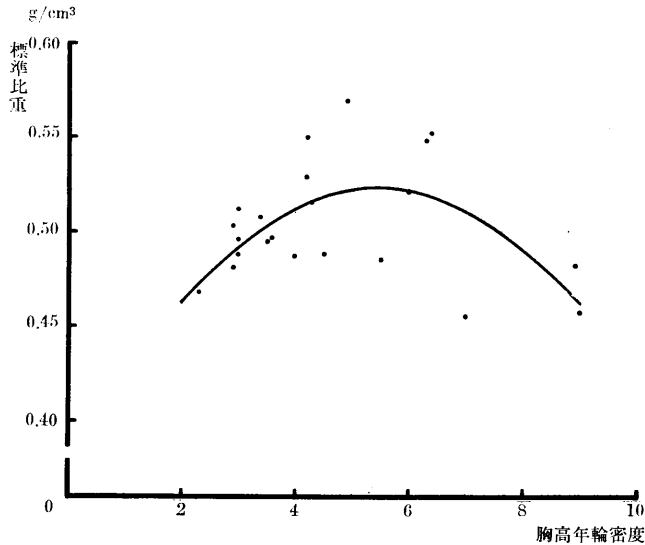
$$y=0.378+0.0532x-0.00487x^2\cdots\cdots(3)$$

x : 年輪密度, y : 標準比重

(3)式から算出すれば、年輪密度4~6附近で標準比重は最大となる。すなわち同令一斉林においては、平均的サイズの林木の標準比重が大きく大径級および小径級では標準比

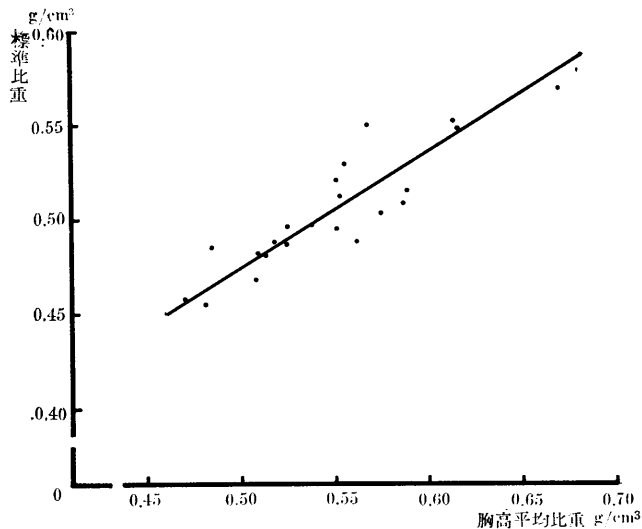
第4図 胸高年輪密度対標準比重

Fig. 4 Relation of Annual Ring Density at Breast Height to Mean Specific Gravity



第5図 胸高平均比重対標準比重

Fig. 5 Relation of Average Specific Gravity at Breast Height to Mean Specific Gravity



$$\log y = -1.0118 + 2.32084 \log x \dots\dots\dots (5)$$

x : 胸高直径 y : 単木重量

(5)式は第6図のように実測値によく適合するので、対数表示の単木重量と胸高直径との間に一次式であらわしうる関係があるといえる。

2) 樹高との関係

樹高との関係を胸高直径の場合と同様にして求めた結果はつぎのとおりである。

重が小さい。

5) 胸高平均比重との関係

地上 1.2m の位置の平均比重と標準比重の関係は第5図に示すように相関関係が高い。前と同様にして求めた回帰式はつぎのとおりである。

$$y = 0.163 + 0.6259 \dots (4)$$

x : 胸高平均比重,

y : 標準比重

(4)式によると、胸高平均比重が増大するにつれて標準比重は増大する。両者の相関係数は0.90で相関度が高い。

iv 単木重量

つぎに径級別供試木の単木重量と胸高直径、樹高、幹材積、胸高年輪密度との関係を検討する。

1) 胸高直径との関係

皮付胸高直径との関係を見ると、胸高直径の増加に伴って単木重量は急激に増加する。単木重量を対数目盛にとり胸高直径との関係をグラフ上に図示したのが第6図である。この関係に回帰式として一次式を用い、最小自乗法により係数を求めると次式が得られる。

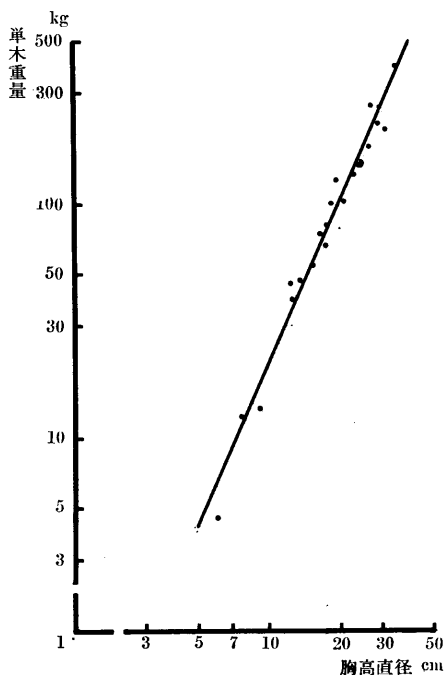
$$\log y = -3.2326 + 4.34357 \log x \cdots \cdots (6)$$

x : 樹高 y : 単木重量

(6)式は第7図のように実測値とよく適合する。したがって 同令一斉林における単木重量の対数は樹高が高くなるにつれて増大し、胸高直径の場合と同じく樹高の対数と一次式であらわしうる関係がある。

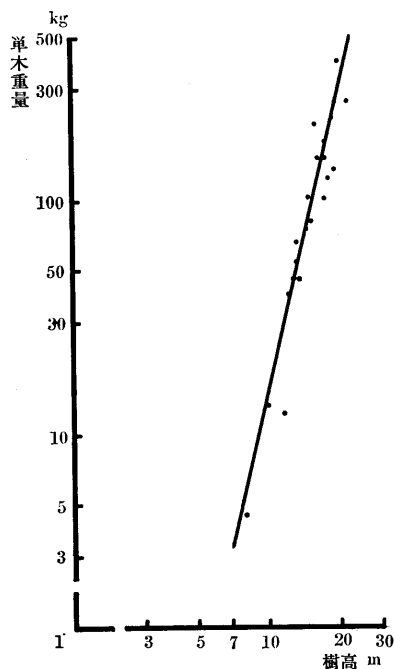
第6図 皮付胸高直径対単木重量

Fig. 6 Relation of D.B.H. to Tree Weight



第7図 樹高対単木重量

Fig. 7 Relation of Height to Tree Weight



3) 幹材積との関係

皮付幹材積と単木重量の間にはきわめて高い相関係数があり、その相関係数は0.999である。したがって第8図に示すように単木材積に対する回帰は一次式で示され、最小自乗法により係数を求めるとつぎのとおりである。

$$\log y = -1.3809 + 1.01597 \log(10,000x) \cdots \cdots (7)$$

x : 幹材積 y : 単木重量

4) 胸高年輪密度との関係

胸高部位の年輪密度と単木重量の関係を片対数グラフで示したのが第9図であって、二次式を用いて係数を求めてみると二次の係数は統計的に有意ではない。すなわち求める回帰式はつぎのとおりである。

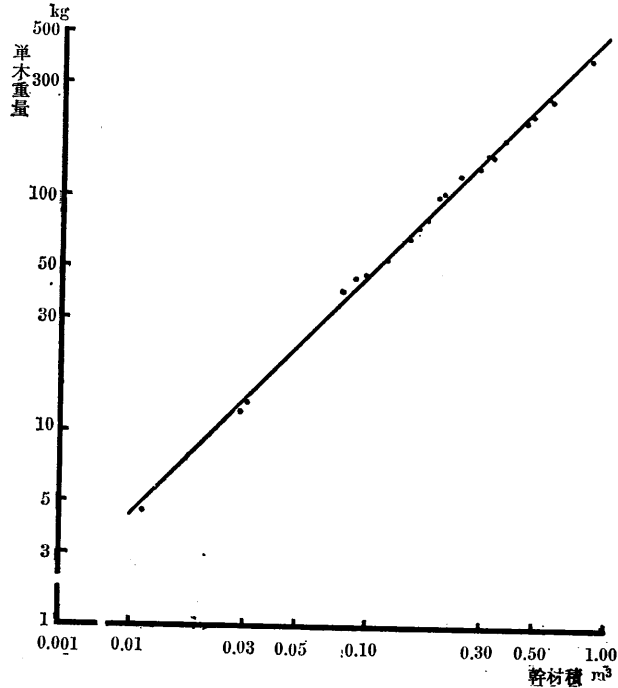
$$\log y = 3.0451 - 0.24272 x \cdots \cdots (8)$$

x : 胸高年輪密度 y : 単木重量

したがって胸高年輪密度と単木重量の対数の間には直線的関係が認められ、同令一斉林の単木重量は胸高部位における年輪密度の減少、すなわち大径木となるにしたがって急激

第8図 皮付幹材積対単木重量

Fig. 8 Relation of Volume to Tree Weight



に増大するものである。

5) 単木重量式

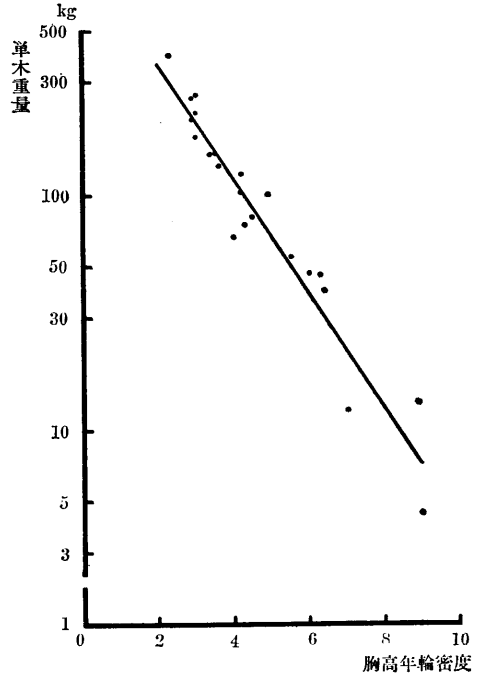
以上単木重量と各測定因子との関係を検討したが、最後に測定因子全体を含めた単木重量式を重回帰により求めてみよう。材積が大となるにしたがって単木重量の分散が大となるので、 $\left(\frac{1}{D^2H}\right)^2$ を重みとする重回帰式を用いてつぎのように残差平方和を計算し分散分析法により各係数の有意性を検定すれば、第3表に示すように a, b, d, e で示される各係数が有意となる。

$$\begin{aligned} SSR &= \sum \left[\frac{1}{(D^2H)^2} \left(y - a - bD - cD^2 - dDH - eD^2H - f\frac{D}{A} \right)^2 \right] \\ &= \sum \left[\left(\frac{y}{D^2H} - \frac{a}{D^2H} - \frac{b}{DH} - \frac{c}{H} - \frac{d}{D} - e - \frac{f}{ADH} \right)^2 \right] \end{aligned}$$

D: 胸高直径 H: 樹高 A: 年令
y: 単木重量

第9図 胸高年輪密度対単木重量

Fig. 9 Relation of Annual Ring Density at Breast Height to Tree Weight



第3表 分散分析表

Tab. 3 Analysis of Variance

要因	平方和	自由度	平均平方	分散比
1/ I	0.0058592064	1	0.0058592064	4031.10**
1/ D	0.0000170879	1	0.0000170879	11.76**
1/ D ² H	0.0000440491	1	0.0000440491	30.31**
1/ DH	0.0000382305	1	0.0000382305	26.30**
1/ ADH	0.0000002535	1	0.0000002535	non-sig.
1/ H	0.0000000519	1	0.0000000519	non-sig.
誤差	0.0000232566	16	0.000014535	
合計	0.0059821363	22		

したがって各係数を逆解法により計算して決定すれば次式が得られる。

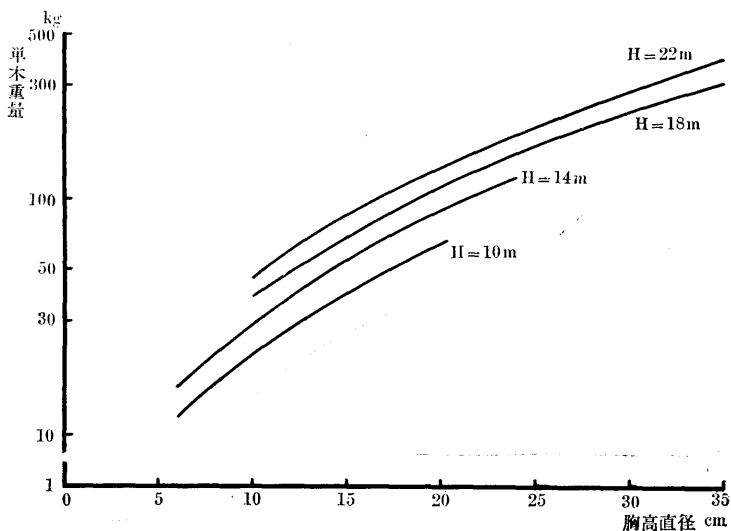
$$y = 3.383 + 7839D + 0.08023DH + 0.011052D^2H \dots\dots\dots (9)$$

D: 胸高直径 H: 樹高 y: 単木重量

すなわち単木重量は胸高直径、樹高およびその相乗積による重回帰式によって示されるもので、(9)式による単木重量を示したのが第10図である。

第10図 単木重量式による曲線

Fig. 10 Curves by Tree Weight Formula



v 林分の材積平均木と重量平均木の関係

同令単純林を構成する林木の標準比重、単木重量と胸高直径、樹高、幹材積、胸高平均比重、胸高年輪密度との関係を検討したが、つぎに林分の材積平均木と重量平均木の関係を明らかにし、林分の全乾重量を合理的に推定するための供試木の採取法を検討することとする。

調査対象に選定した林分の材積平均木を毎木測定資料により算出すれば、胸高直径17.9 cm、樹高15.5mの林木である。材積平均木の胸高直径は、さきに述べた林分の平均胸高

直径(算術平均胸高直径) 16.8cmより大きい。これは既往の測樹学に述べるところと一致している。

つぎに重量平均木について計算すれば、胸高直径と単木重量の回帰式は前記(5)式である。ゆえに(5)式による算出重量を用い、各直径階の本数に乗じて合計し、林分重量を求めたのち、これを全本数で除して林分の平均1本当りの重量を計算すれば、80.27kgである。この数値を用い、(5)式により逆算して胸高直径を求めると、林分重量平均木の胸高直径は17.8cmになる。これを林分材積平均木の胸高直径17.9cmと比較するとわずかに0.1cmの差でしかない。この程度の差異は測定誤差によっても起りうるものであるから、同令単純林における林分の材積平均木の胸高直径と重量平均木の胸高直径は、同一と見做して差支えあるまい。

林分の材積平均木と胸高断面積平均木の関係は、全林木の形状高(hf)が等しいと見做しうる場合、すなわち林分内の各林木の大きさに差の少ない均一な林相の場合に等しくなる。調査対象に選定した林分の胸高断面積平均木の胸高直径を測定資料により算出すると17.6cmであって、材積平均木の胸高直径と比較するとわずかに0.3cmの差でしかない。この程度の相違は誤差と見做しうるので、材積平均木の胸高直径と断面積平均木の胸高直径は同一と見做しうる。

以上の結果、同令単純林の均一な林相を呈する林分においては、林分断面積平均木、林分材積平均木、林分重量平均木の3者の胸高直径は等しいと見做すことができよう。

つぎに林分の平均標準比重を算出してみよう。胸高直径と標準比重の関係は前記(1)式によって示される。ゆえに(1)式によって算出される各直径に対応する標準比重を、各直径階のそれぞれの本数に乗じて合計し、これを全本数で除して林分の平均比重を求めると、林分の平均標準比重は0.511である。これを(1)式により逆算して胸高直径を求めると、林分の平均標準比重を示す胸高直径は13.9cmと25.9cmである。このように同令単純林においては、林木の標準比重が胸高直径と二次式で表示される関係にあるため、林分平均比重を示す径級は、林分内において大小2つの位置にあらわれるものである。

通常、同令単純林は主林木および副林木より構成される。しかもそれぞれの成長経過は異なっている。ゆえにさきに述べた林分の平均標準比重を与える2つの胸高直径のうち、大きい方を主林木、小さい方を副林木の平均直径と見做すならば、主副林木についてそれぞれ胸高断面積平均木を選びだせば、その林分の平均標準比重をうることになる。

II 熱 量

i 資 料

林分の材積、重量および熱量による標準木相互の関係を明らかにするため、重量測定に用いたアカマツ同令単純林の資料と全く同じものを用い、熱量測定の場合の資料採取方法を検討した。すなわち資料は福岡県朝倉郡朝倉町大字宮野八坂における林令44年のアカマツ林である。

ii 試 験 方 法

1) 供試木の選定

重量測定用の各供試木をそのまま熱量測定用供試木とした。

2) 供試粉の抽出

上記の供試木の区分求積点より採取した各円盤を試料とすることも重量測定の場合と同様である。ただし林木の熱量は木粉にして測定を行ない、かつ重量との関係を知る必要があるので、重量測定用供試片を採取した残りの円盤部分より木粉を作製した。この場合5年を1令階とするときは測定に充分な量の木粉が得られないため10年を1令階とする。同一令階内においては熱量に方向差が認められないことが明らかとなっている⁵⁴⁾ので、同一令階の4方向の部分をあわせて木粉を作製した。熱量測定用木粉を均一な大ききとするため、鋸を用いて調製した木粉を60meshの篩により選別し、測定に供することにした。

3) 測定

前述の方法で採取した木粉を成型器により固型し、定温乾燥器で全乾状態にして秤量し、全乾重量に対する発熱量を測定した。測定に用いた熱量計は燃研式断熱熱量計(JIS-B型断熱熱量計)であって、JISM 8802に指定された熱量計である。

測定は一般の発熱量試験方法に準じて行ない、次式によって発熱量を算出した。

$$\text{発熱量(cal/g)} = \frac{\text{上昇温度(}^{\circ}\text{C)} \times \text{内筒水量(g)} + \text{水当量(g)} - (\text{補正值})}{\text{試料(g)}}$$

補正は点火用ニッケル線の燃焼熱の補正について行なうものである。

測定は同一試料について2回以上行ない、結果が平均値より0.5%以下の差すなわち50cal/gを越えないものを平均して測定値とした。

第4表 熱量測定値

Tab. 4 Calory Measurement

番号	年令	皮付胸高直径	樹高	皮幹材積	皮付材積	内材積	胸高年輪密度	重量	単木標準比重	胸高平均比重	熱量	単木標準容積熱量	単木標準重量熱量
		cm	m	m ³	m ³	m ³		kg	g/cm ³	g/cm ³	Cal	cal/cm ³	cal/g
1	43	24.2	16.80	0.3273	0.3019	3.5		149.404	0.495	0.551	720,060	2387	4820
2	42	29.9	19.70	0.5795	0.5395	2.9		259.769	0.481	0.513	1,237,408	2294	4763
3	41	12.5	13.15	0.0873	0.0835	6.3		45.742	0.548	0.615	220,313	2638	4816
4	40	17.6	15.50	0.1736	0.1650	4.5		80.554	0.488	0.562	383,754	2326	4764
5	39	17.5	13.40	0.1474	0.1365	4.0		66.454	0.487	0.525	318,302	2332	4790
6	42	13.6	13.50	0.0966	0.0891	6.0		46.395	0.521	0.551	219,972	2469	4741
7	40	12.7	12.25	0.0776	0.0715	6.4		39.439	0.552	0.614	188,955	2643	4791
8	43	27.6	21.95	0.5586	0.5277	3.0		261.761	0.496	0.525	1,268,052	2403	4844
9	42	24.5	17.70	0.3165	0.2961	3.4		150.470	0.508	0.587	774,258	2614	4825
10	41	23.0	19.10	0.2868	0.2685	3.6		133.521	0.497	0.538	639,178	2381	4785
11	41	35.0	20.25	0.8585	0.8288	2.3		388.083	0.468	0.508	1,866,691	2252	4810
12	37	9.2	10.10	0.0306	0.0274	8.9		13.201	0.482	0.509	62,513	2281	4735
13	41	20.9	15.20	0.2009	0.1871	4.2		102.964	0.550	0.568	494,689	2643	4804
14	40	15.4	13.45	0.1186	0.1119	5.5		54.309	0.485	0.485	261,959	2341	4823
15	41	16.5	14.80	0.1599	0.1443	4.3		74.298	0.515	0.589	355,756	2465	4788
16	42	19.4	18.05	0.2400	0.2321	4.2		122.723	0.529	0.555	587,239	2530	4785
17	41	31.3	16.10	0.4525	0.4155	2.9		209.189	0.503	0.575	1,021,733	2459	4884
18	42	26.8	17.75	0.3671	0.3442	3.0		176.210	0.512	0.553	843,425	2450	4786
19	44	29.2	18.95	0.4816	0.4520	3.0		220.934	0.488	0.518	1,069,321	2363	4840
20	36	6.0	8.10	0.0110	0.0100	9.0		4.579	0.458	0.470	23,627	2353	4849
21	37	7.6	11.90	0.0284	0.0268	7.0		12.203	0.455	0.481	58,369	2178	4783
22	42	18.3	17.70	0.1943	0.1774	4.9		100.887	0.569	0.670	493,910	2784	4801

上記の式で算出した熱量は単位全乾重量に対応するものであるから、前節に求めた全乾重量に対応する成長期間の重量に乘じ、これを合計して単木総熱量を算出した。これを皮内材積で除したものを単木標準熱量とする。測定を行なった22本の供試木につき実験結果を示すと第4表のとおりである。

iii 標準熱量

一般に発熱量は単位重量当りで示されるものであるから、筆者はこれを重量熱量と呼び、これに対して単位容積当りの熱量を容積熱量と呼んで、両者を区別して用いることにする。

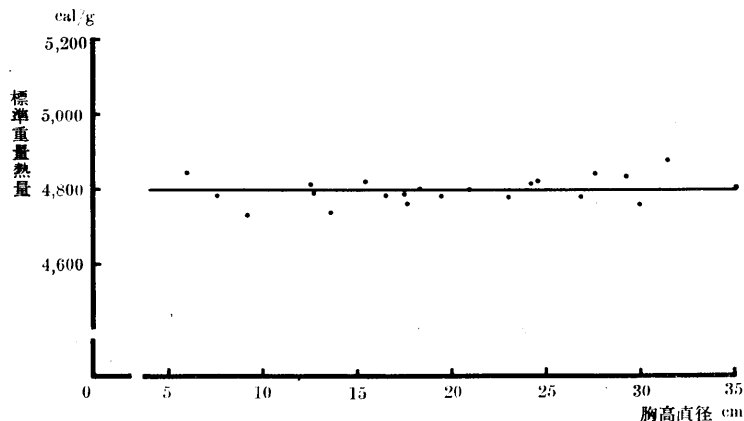
つぎに両者につき、第4表の測定値を用いて胸高直径、樹高、幹材積、胸高年輪密度、胸高平均比重、標準比重との関係を検討する。

1) 標準重量熱量

まず標準重量熱量について検討してみると、その数値は大体 $4,800 \pm 50 \text{ cal/g}$ の範囲に分布してほとんど変化が認められない。したがって単木の胸高直径、樹高、幹材積、胸高年輪密度、胸高平均比重、標準比重など各測定因子の大小にかかわらず、標準重量熱量はほぼ一定である。これを胸高直径との関係について例示すると第11図のとおりである。このようにアカマツ全乾材の発熱量は $4,800 \text{ cal/g}$ と推定され、他の樹種の発熱量⁴⁵⁾ $4,200 \sim 4,800 \text{ cal/g}$ と比較すれば大きい部類に属するものと考えられる。

第11図 皮付胸高直径対標準重量熱量

Fig. 11 Relation of D.B.H. to Mean Gravimetric Calory



2) 標準容積熱量

つぎに標準容積熱量と胸高直径、樹高、幹材積、胸高年輪密度、標準比重、胸高平均比重との関係を検討する。

(1) 胸高直径との関係

標準容積熱量と皮付胸高直径の関係をグラフに示したのが第12図である。この図によると、同令単純林内における林木は、直径の増大にともなって標準容積熱量が増加するが、ある限度を越えると標準容積熱量は逆に減少する傾向が認められる。この関係は二次式で示され、最小自乗法により係数を決定すると次式が得られる。

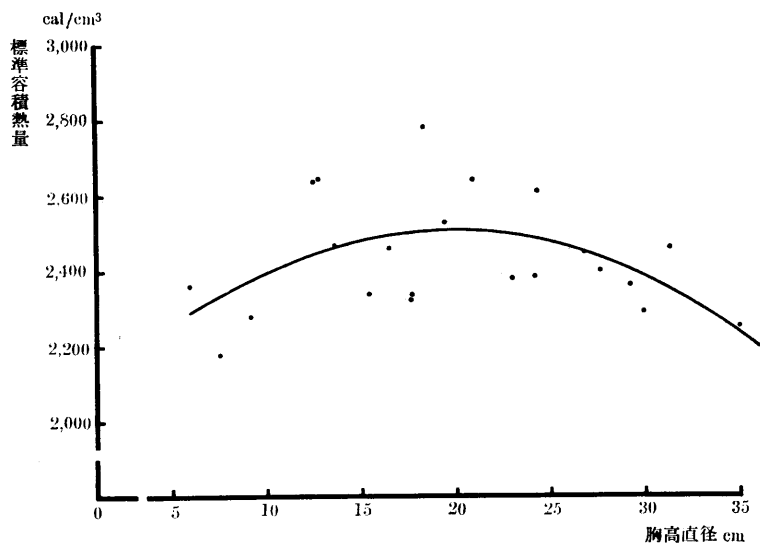
$$y = 2046 + 46.85x - 1.1849x^2 \dots \dots (10)$$

x : 胸高直径 y : 標準容積熱量

この式は第12図に示すように実測値とよく適合している。ゆえに(10)式から標準容積熱量が最大となる胸高直径を算出すると19.8cmとなり、前述の標準比重最大の胸高直径19.9cmと比較するとほとんど等しい。

第12図 皮付胸高直径対標準容積熱量

Fig. 12 Relation of D.B.H. to Mean Volumetric Calory

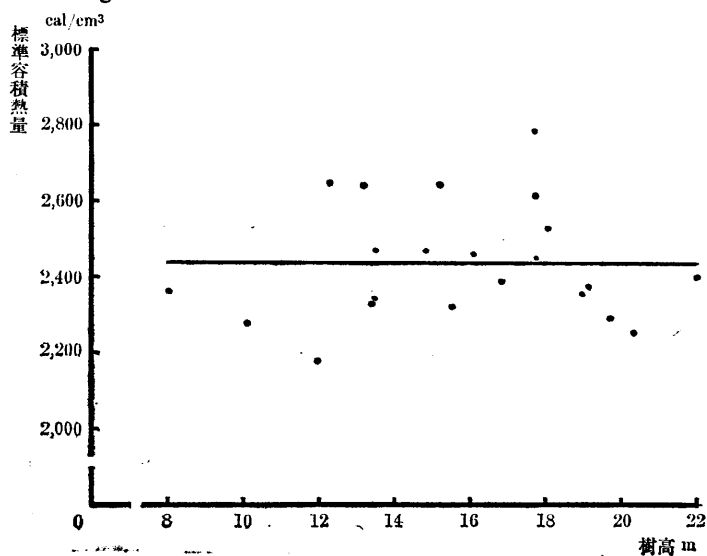


(2) 樹高との関係

標準容積熱量と樹高との関係をグラフに示したのが第13図である。この図によると、同令単純林内における林木は、樹高の増加にともなって標準容積熱量が増加するが、ある限

第13図 樹高対標準容積熱量

Fig. 13 Relation of Height to Mean Volumetric Calory



度を越えると標準容積熱量は逆に減少する傾向が認められる。この関係を二次式を用い、最小自乗法により回帰式の各係数を決定すると次式が得られる。

$$y=1559.4+115.29x-3.5525x^2\cdots\cdots(11)$$

x : 樹高 y : 標準容積熱量

(11)式の各係数の有意性の検定を分散分析法により行なえば、一次および二次の係数に有意性が認められない。ゆえに同令単純林における林木の標準容積熱量と樹高の間には相関が認められない。これは一斉林であって径級別樹高差が少ないためと考えられる。

(3) 幹材積との関係

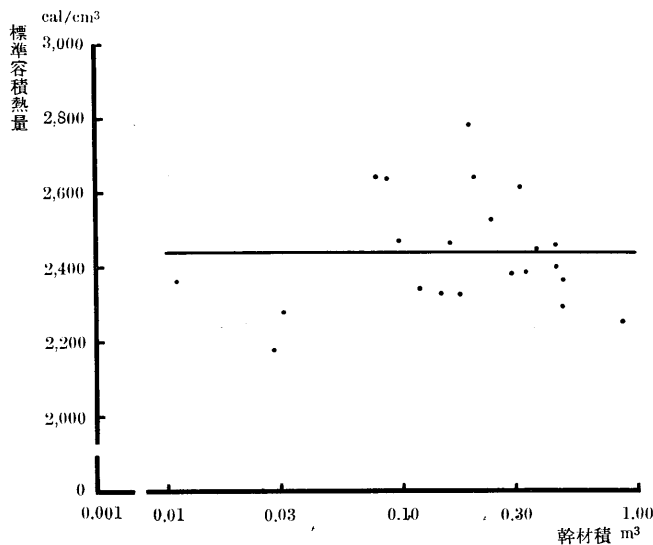
標準容積熱量と皮付幹材積との関係をグラフに示したのが第14図である。この図によると、同令単純林内における林木は、幹材積の増加にともなって標準容積熱量が増加するが、ある限度を越えると標準容積熱量は逆に減少する傾向が認められる。前と同様にして二次式を用い、最小自乗法により回帰式の各係数を決定すると次式が得られる。

$$y=252.3+1418.2\log(10,000x)-223.63\{\log(10,000x)\}^2\cdots\cdots(12)$$

x : 幹材積 y : 標準容積熱量

第14図 皮付幹材積対標準容積熱量

Fig. 14 Relation of Volume to Mean Volumetric Calory



(12)式の各係数の有意性の検定を分散分析法により行なえば、一次および二次の係数に有意性が認められない。ゆえに同令単純林における林木の標準容積熱量と皮付幹材積の間には相関が認められない。

(4) 胸高年輪密度との関係

標準容積熱量と胸高年輪密度との関係を検討したが、両者の間には一定の関係が統計的に認められなかった。これは林木の成長状態との間に関係

が認められないことを意味し、標準容積熱量が幹材積との間に関係が認められなかったことと一致している。

(5) 胸高平均比重との関係

標準容積熱量と胸高平均比重との関係をグラフに示したのが第15図である。これによると両者の間には高度の相関が認められ、その相関係数は0.908であって、回帰式はつぎのとおりである。

$$y=711+3135.7x\cdots\cdots(13)$$

x : 胸高平均比重 y : 標準容積熱量

この式は第15図にみられるように実測値ときわめてよく適合する。したがって(13)式を

用いるならば、胸高平均比重を測定することにより標準容積熱量を推定することができる。

(6) 標準比重との
関係

標準容積熱量と標準比重の関係をグラフ上で検討してみると、第16図のとおりであってその相関係数は0.993となり、きわめて高い相関を示す。回帰式を前と同様に計算すると次式が得られる。

$$y = 37.1 + 4724.7x \quad \dots\dots\dots(14)$$

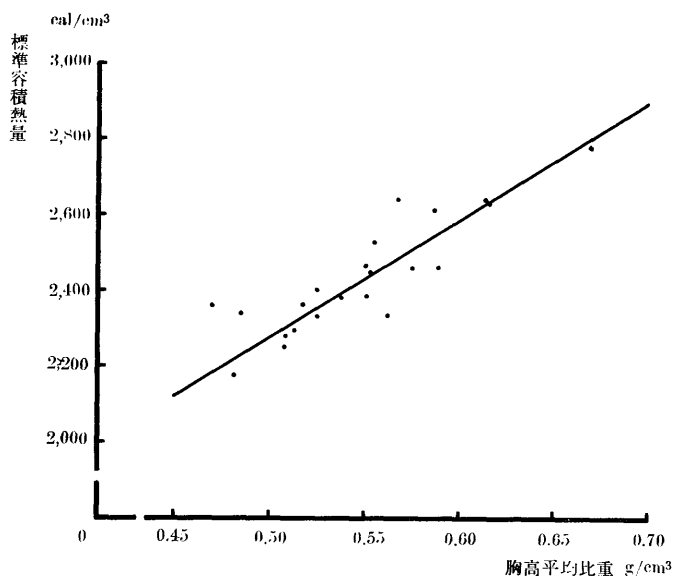
x : 標準比重

y : 標準容積熱量

(14)式は第16図にみられるように実測値によく適合しているので、同令単純林における林木の標準容積熱量は標準比重との間に高い相関が認められる。

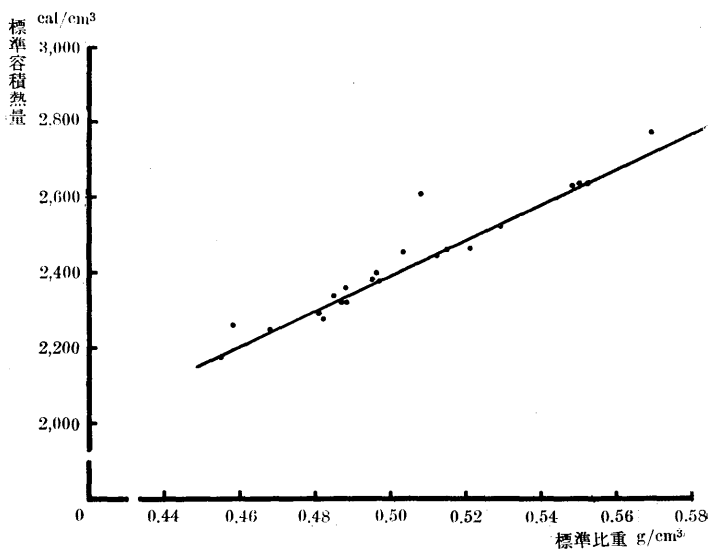
第15図 胸高平均比重対標準容積熱量

Fig. 15 Relation of Average Specific Gravity at Breast Height to Mean Volumetric Calory



第16図 標準比重対標準容積熱量

Fig. 16 Relation of Mean Specific Gravity to Mean Volumetric Calory

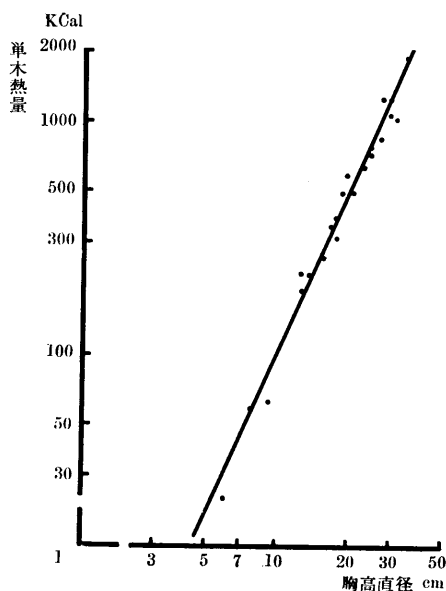


iv 単木熱量

同令単純林における単木熱量と測定因子の関係を単木重量の場合と同様に検討してみよう。

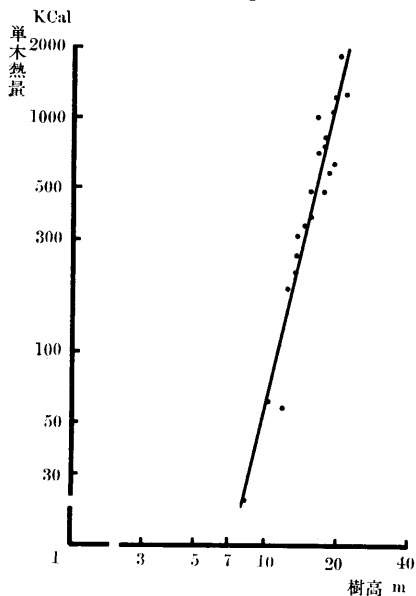
第17図 胸高直径対単木熱量

Fig. 17 Relation of D.B.H. to Tree Calory



第18図 樹高対単木熱量

Fig. 18 Relation of Height to Tree Calory



を回帰式で示すとつぎのとおりである。

$$\log y = 6.7357 - 0.2435 x \dots\dots\dots (18)$$

x : 胸高年輪密度 y : 単木熱量

したがって同令単純林の対数表示の単木熱量は胸高年輪密度に反比例するものといえよう。

1) 胸高直径との関係

単木熱量と皮付胸高直径の関係をグラフに示したのが第17図であって、単木熱量は胸高直径の増加にともない増加し、両者の間に高度の相関が認められる。胸高直径に対する回帰式を最小自乗法により係数を決定すると次の式が得られる。

$$\log y = -0.3342 + 2.32838 \log x \dots\dots\dots (15)$$

x : 皮付胸高直径 y : 単木熱量

すなわち対数表示の単木熱量と胸高直径の間には一次式で示される関係がある。

2) 樹高との関係

樹高との関係は第18図にみられるように、胸高直径の場合と同様、高度の相関が認められ、樹高の増加にともなって単木熱量も増大している。前と同様にして両者の関係を求めると次式が得られる。

$$\log y = -2.5503 + 4.34762 \log x \dots\dots\dots (16)$$

x : 樹高 y : 単木熱量

すなわち対数表示の単木熱量と樹高の間には一次式で示される関係がある。

3) 幹材積との関係

皮付幹材積との関係は、単木重量の場合と同様にきわめて相関が高く、相関係数は 0.998 を示している。両者の間の回帰式はつぎのとおりである。

$$\log y = 2.2983 + 1.0184 \log(10,000x) \dots\dots\dots (17)$$

x : 幹材積 y : 単木熱量

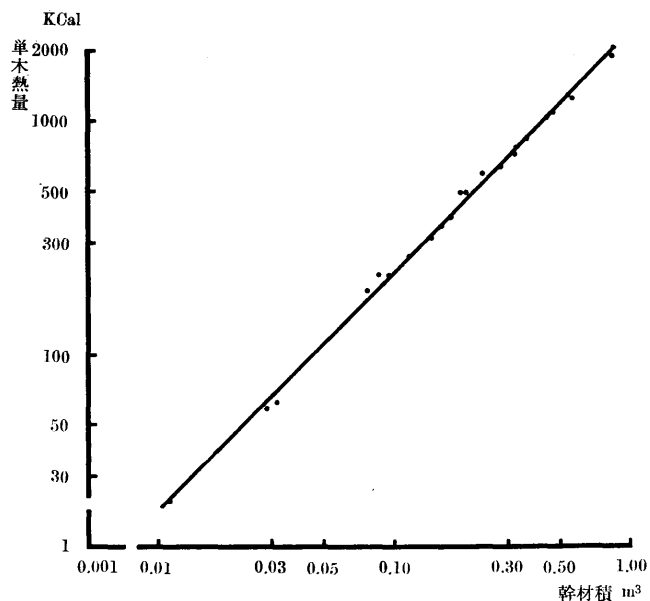
(17)式によると、係数 1.0184 が示すように単木熱量は幹材積に正比例的に増加している。

4) 胸高年輪密度との関係

胸高部位の年輪密度との関係をみると、第20図に示すように年輪密度が高くなるにつれて単木熱量は急激に減少している。この関係

第19図 幹材積対単木熱量

Fig. 19 Relation of Volume to Tree Calory



5) 単木熱量式

以上単木の熱量と各測定因子との関係を検討したが、最後に測定因子全体を含めた単木熱量式を重回帰により求めてみよう。重量の場合と同様に $\left(\frac{1}{D^2H}\right)^2$ を重みとする重回帰式を用いて分散分析法により各係数の有意性を検定すれば、第5表に示すように a, b, d, e で示される各係数が有意となる。

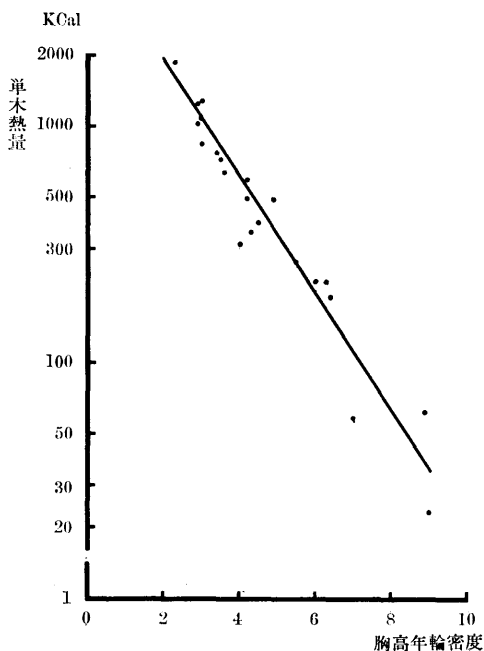
$$\begin{aligned}
 SSR &= \sum \left[\frac{1}{(D^2H)^2} \left(y - bD - cD^2 - dDH - eD^2H - f\frac{D}{A} \right)^2 \right] \\
 &= \sum \left[\left(\frac{y}{D^2H} - \frac{a}{D^2H} - \frac{b}{DH} - \frac{c}{H} - \frac{d}{D} - e - \frac{f}{ADH} \right)^2 \right]
 \end{aligned}$$

D: 胸高直径 H: 樹高

A: 年令 y: 単木熱量

第20図 胸高年輪密度対単木熱量

Fig. 20 Relation of Annual Ring Density at Breast Height to Tree Calory



第5表 分散分析表

Tab. 5 Analysis of Variance

要因	平方和	自由度	平均平方	分散比
1/I	137,238.81	1	137,238.81	2122.80**
1/D	449.16	1	449.16	6.95**
1/DH	830.16	1	830.16	12.84**
1/D ² H	190.25	1	190.25	2.94*
1/ADH	0.98	1	0.98	non.sig.
1/H	0.16	1	0.16	non.sig.
誤差	1,034.481	16	64.65	
合計	139,744.00	22		

ゆえに各係数を計算すれば次式が得られる。

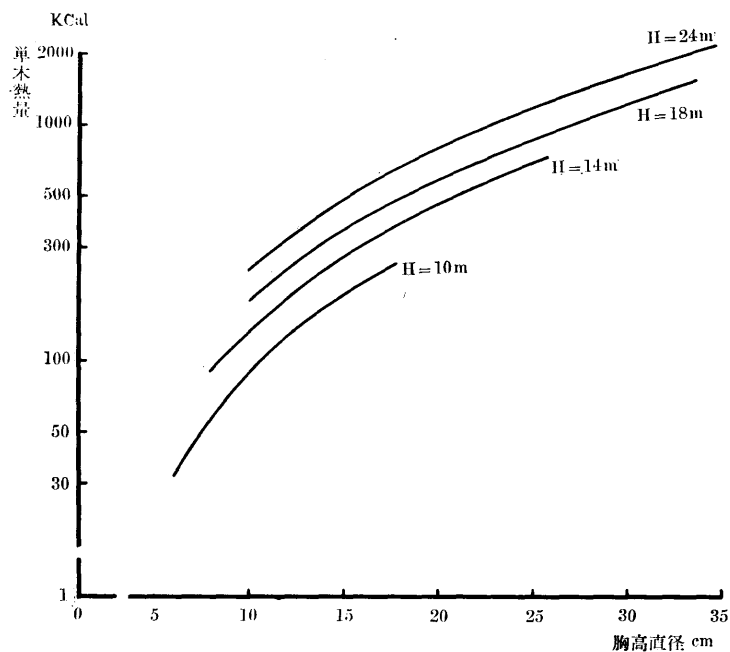
$$y = -22476 + 452.741D + 534.416DH + 53.476D^2H \dots\dots\dots (19)$$

D: 胸高直径 H: 樹高 y: 単木熱量

すなわち単木熱量は単木重量の場合と同様に、胸高直径、樹高およびその相乗積による重回帰式によって示されるものであり、(19)式による単木熱量を示したのが第21図である。

第21図 単木熱量式による曲線

Fig. 21 Curves by Tree Calory Formula



Ⅴ 林分の材積平均木と熱量平均木の関係

同令単純林を構成する林木の標準容積熱量、単木熱量と胸高直径、樹高、幹材積、胸高年輪密度、標準比重、胸高平均比重との関係を検討したが、つぎに林分の材積平均木と熱量平均木の関係を明らかにし、林分の燃焼熱量を合理的に推定するための供試木の採取法

を検討することとする。

調査対象に選定した林分の材積平均木の胸高直径および胸高断面積平均木の胸高直径はさきに述べたように 17.9cm, 17.6cm である。つぎに熱量平均木について計算すれば、胸高直径と単木熱量の回帰式は前記(15)式で示される。ゆえに(15)式による算出熱量を用い、各直径階の本数に乗じて合計し、林分熱量を求めたのち、これを全本数で除して林分の平均 1 本当りの熱量を計算すれば、389.090KCal である。この数値を用いて(15)式により逆算して胸高直径を求めると、林分の熱量平均木の胸高直径は 17.8cm になる。これは重量平均木の胸高直径とまったく同一であり、林分の材積平均木の胸高直径 17.9cm と比較するとわずかに 0.1cm の差でしかない。この程度の差異は測定誤差によっても起りうるものであるから、同令単純林における林分の材積平均木の胸高直径と熱量平均木の胸高直径は、同一と見做して差支えあるまい。同様に林分の断面積平均木の胸高直径とも同一と見做して差支えない。

つぎに林分の平均標準容積熱量を算出してみよう。胸高直径と標準容積熱量の関係は前記(10)式によって示される。したがって(10)式によって算出される各直径に対応する標準容積熱量を、各直径階のそれぞれの本数に乗じて合計し、これを全本数で除して林分の平均標準容積熱量を求めると 2,466cal/cm³ である。これを(10)式により逆算して胸高直径を求めると、林分の平均標準容積熱量を示す胸高直径は 25.8cm と 13.7cm である。したがって同令単純林における平均標準容積熱量を示す径級は、林分内において大小 2 つの位置にあらわれるものである。

重量の場合と同様に、林分の平均標準容積熱量を示す 2 つの胸高直径のうち、大きい方を主林木、小さい方を副林木の平均直径と見做すならば、主副林木についてそれぞれ胸高断面積平均木を選びだせば、その林分の平均標準容積熱量をうることになる。

第 3 章 アカマツ林分の材積、重量および熱量

前章においてはアカマツ同令単純林における 1 林分を対象とし、その径級別材積構成、重量構成、熱量構成について研究し、林分の材積平均木、重量平均木、熱量平均木の相互関係を調べ、林分の重量および熱量推定のための供試木抽出採取方法について検討を加えた。その結果、林分の重量および熱量を推定するには各林木を主副林木に層別し、それぞれの胸高断面積平均木を供試木として抽出する方法が適当であることを明らかにした。ゆえに林分の材積、重量および熱量の各成長量を研究するため、年令を異にする多数の同令単純林について、年令の変化に対応する林分重量および林分熱量の変化を調べる場合にも、各林分ごとに主副林木を層別し、それぞれの断面積平均木を供試木とする方法を用いるものである。いうまでもなくこの方法は同令単純林の場合のみに成立するものであるから、調査対象林分の抽出にあたっては充分この点に留意し、年令、胸高直径、樹高、立木位置等の構成が齊一な林分を選定しなければならない。

このような観点から、アカマツ林分の材積、重量、熱量ならびにそれらの各成長量の相互関係を、熊本県芦北地方のアカマツ林を対象として研究したので、つぎにその結果を報告する。