アカマツ天然生除伐試験林の解析（第1報）

生育経過と相対成長

安藤　貴[1]・坂口勝美[2]
成田忠範[3]・佐藤昭敏[4]

I はじめに

林分における本数密度のちがいが，林木の成長や個々の木の形にどのような影響を与えるかについては古くから研究がおこなわれてきた。アカマツおよびカラマツの植栽疎密試験地が1904年に設定され，その結果を河田[5)6)]，佐田たち[16)]，河田たち[8)]が報告し，1938年中村が計画実施したアカマツ植栽本数試験地の結果を扇田たち[21)]，佐藤たち[19)]がとりまとめ，坂口たち[17)18)]はアカマツ幼齢天然更新林分の本数密度と成長について論じた。また，BAKER[1)]は ponderosa pine の天然更新林分をつかつて，本数密度と成長について論じ，REINEKE[15)]は同齢林の直径と本数密度との関係について論じた。KRAMER[13)]はヨーロッパにおける多くの樹種についての植栽本数試験結果を総括し，WAKELEY[29)]は southern pine の多くの植栽本数試験結果を総括した。

一方農学方面においても，植栽密度と収量の関係について，古くから研究されているが，近時，吉良たち[9)10)11)25)]は植栽密度をかえて個体の成長や面積あたりの収量をしらべ，個体間の競争現象と単位面積あたりの収量について，統一的な立場で理解しうる法則をうちたてた。この法則は冪乗式からロジスチック曲線の解析を経て，逆数式へと発展させ，密度法則の一般化に成功した。この吉良たちの密度法則が林木にもよくあてはまることについては，佐藤たち[19)]，四手井[23)]，加藤[2)3)]，柴田[22)]，坂口たち[17)18)]により認められている。しかしながら，これまで林木において，吉良たちの密度法則がなりたつことを認めた多くの報告は，林木の成長経過をとらえることなく，成長の一断面をとらえて解析をおこなうか，収穫試験地または収穫表調製資料にもとづき成長経過をとらえたにすぎない。十分な本数密度をもつた試験林の調査結果に乏しいため吉良たちの法則が，林業における植栽本数や除間伐の問題を解く有力な手段として役だつと考えられながら，満足すべき解析をすすめることができていない。河田[5)6)]，佐田たち[6)]，河田たち[8)]の一連の報告は資料として貴重なものではあるが，間伐に際して疎密区が一様な本数密度になるように間伐がなされたため，本数密度試験の意味がうすれていることは残念なことである。

筆者らは，栃木県芳賀郡益子町笠間営林署管内高館山国有林に1951年から1952年にかけて，アカマツ除伐試験地を設定し，1953年以来隔年調査をつづけてきた。この試験はパルプ用材林の短期育成に関する試験として計画されたものの1つであつて，伐期における平均胸高直径21 *cm* を期待することを前提としたとき，更新完了後の幼齢林時代の最適本数密度を見いだそうとするのが試験の目的であつた。この目的に対しては，まだ十分な結論をあたえるだけの資料とはならないが，1961年1月一部の伐倒調査をおこない，その結果にもとづいて，これまでの測定値の整理をおこなつた。本報告では成長経過および相対成長

(1)(3)(4) 造林部造林科造林研究室員　(2) 林業試験場長・農学博士

を中心に報告する。密度問題を中心とした解析も現在進行中であり，興味ある問題も見いだされているがこれらについては次報にゆずることとする。

この試験は坂口の設計により設定され，設定にあたつては当時の林業試験場造林部の多くの方々が参画したが，1953年以降の調査は安藤を中心に続けられ，1961年の調査ならびに資料の整理には，安藤，成田，佐藤があたつた。

この報告に際し，ご助言いただいた林業試験場造林部長加藤善忠技官，1961年1月の伐倒調査にご助力いただいた造林研究室林　敬太技官にお礼申しあげる。また，この試験地の管理にあたられた笠間営林署の多くの職員の方々の労に感謝いたします。

II 試　験　地

i）試験地の場所

栃木県芳賀郡益子町，東京営林局笠間営林署茨城経営計画区笠間事業区高館山国有林91林班う，ゐ，の，つ，ね，な，を，わ，か小班（Fig.1参照）。

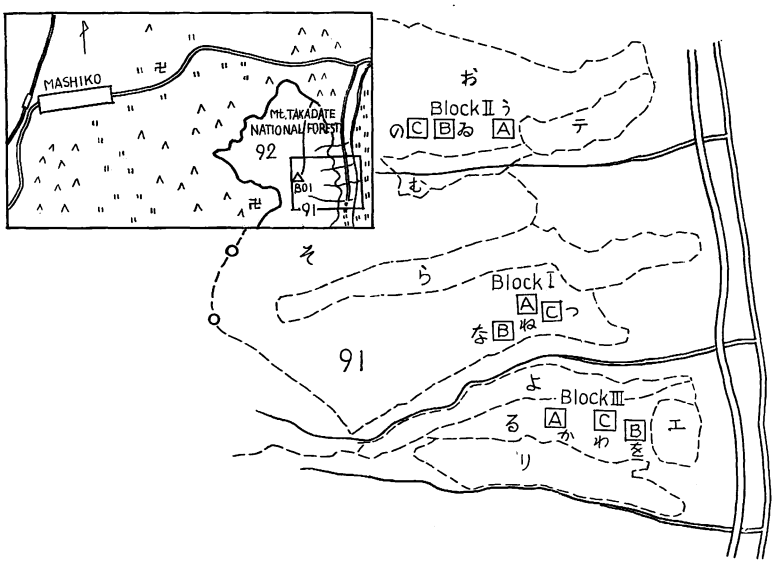

Fig. 1 試　験　地
Experimental plots.

ii）地　勢

高館山を中心として南北に走る大きな尾根があり，この尾根から小尾根が東に向かつて走つており，これにより南側と北側の斜面がつくられている。試験地はこの斜面の南側で，尾根に近いところに設定された。

iii）地　況

本区域は砂質の古第3紀の砂岩の風化土で，土壌は B_A 型土壌に属する。

iv）林　況

尾根の北側はおおむね落葉広葉樹林，南側は1942年から1947年にかけて天然下種がおこなわれた。試

験地設定当初（1951年）の林齢は平均8年と推定された。

Ⅲ 試 験 設 計

i） 処理および配置

アカマツ天然生幼齢林の密度問題を取り扱う上でもつとも重要な数値，すなわち孤立木状態に近い状況で生育するとき，および過密な状態で自然間引をおこしながら生育するときの数値がとらえられるように，つぎの3処理をした。

Plot A: 疎立区　強い競争の起こらないよう適宜間伐をおこなう区

Plot B: 10,000本/*ha*区　1952年10,000本/*ha*に除伐しそのまま生育させる区

Plot C: 無処理区

これらの処理を環境の均一と考えられる，すなわち南向斜面，B_A型土壌で林床の植生の種類，被度などに大きなちがいが認められない場所に，3ブロックの乱塊法により配置した。

試験区の面積は10 *m*×10 *m*＝100 m^2 でその外側に幅5 *m*の同処理をおこなう外周をつけた。

なお，広葉樹や雑草との競争をおこさないよう除去に留意した。

ii） 試験開始前の状況に対する検討

試験開始前の状況について，各試験区の樹高120 *cm* 以上の立木について，各区を2 *m* ごとのコドラートに分割し，その中における立木数のカタヨリについて検定をおこない，カタヨリのない場所に試験地を設定した。また各区の 120 *cm* 以上の立木の平均樹高について，有意性の検定をおこなつたが，有意性は認められなかつた。しかしながら，巻末の表の1953年の測定値でわかるように，平均個体の大きさは低密度区ほど大きい傾向がある。このことは処理をおこなうに際し十分注意したつもりであつたが，小さい立木から多く伐られたことを意味する。このことは極端に小さいものは枯死寸前の状態にあり，残存しても試験の遂行上かえつてマイナスの結果をまねくことも考えられ，天然更新林分をもちいるうえではやむをえないことであつた。また，1961年までの成長経過を見ると，ブロックⅢの成長が悪く，地位差があつたものと考えられる。

Ⅳ 調 査 方 法

i） 定 期 調 査

1953年以降成長休止期に隔年ごとに直径，樹高，枝下高および枝張りの測定をおこなつた。

直径の測定にあたつては，120 *cm* 以上の立木については胸高直径を，120 *cm* 以下の立木については根元直径を，傾斜の方向とそれに直角の2方向をノギスで *mm* 単位で，樹高と枝下高は測竿をもちいて10 *cm* 単位まで，また枝張りは傾斜の上下方向と，それに直角の4方向について最大枝張りを10 *cm* 単位で毎木測定した。枝張りは Plot A（疎立区）と Plot B（10,000本/*ha*区）は毎木，Plot C（無処理区）はあらかじめ選ばれ，固定された100本についてのみ測定した。

ii） 1961年の伐倒調査

定期調査の結果から材積を推定するために，1961年1月ブロックⅠの伐倒調査を実施した。

Plot A，Plot B からは各20本，Plot C からは30本の標本木を無作為に選んだ。これらの標本木は伐倒後地際から0.0 *m*，0.2 *m*，0.7 *m*，1.2 *m*．1.7 *m*……の位置で円盤を採取，円盤をふくめた幹の生重を

測定し，また葉と枝をわけて重量を測定した。幹，枝および葉の一部をもち帰り，80°C の定量乾燥器中で乾燥し，測定値を乾重に換算した。

なお，根量については植生研究室苅住　昇技官が調査したので別途報告されるはずである。

V 生 育 経 過

1953年から調査をはじめたが，1953年と1954年にマツケムシの発生があり，防除につとめた。

そのため1955年の調査結果を見ると，1953年以来ほとんど成長しなかつたことがわかる。しかしながら，さいわいにもマツケムシにより枯死した立木はほとんど認められなかつたので，その後も調査を継続した。

これまでの調査結果を巻末に一括表示しておく。この表の本数，平均樹高，平均直径，平均枝下高，平均枝張り，および断面積はこれまでの調査結果からもとめた。断面積合計は調査時に現存した立木の断面積合計で，樹高 120 *cm* 以上のものから胸高断面積合計を求め，樹高 120 *cm* 以下のものから地際断面積合計を求め，後者は（ ）を付した。

材積は1961年の伐倒調査における標本木の樹幹解析を2年間隔でおこない，調査年度と一致する年度の材積をもちい，次式で推定した。

$$V_i = G_i \times \frac{\sum v_{ij}}{\sum g_{ij}} + G_i' \times \frac{\sum v_{ij}'}{\sum g_{ij}'}$$

v_i:　調査年 i の *ha* あたり幹材積（m^3/ha）

G_i:　調査年 i における樹高が 120 *cm* 以上の全立木の i 年の胸高断面積合計（m^2/ha）

g_{ij}:　調査年 i における樹高が 120 *cm* 以上の標本木の i 年の胸高断面積（m^2）

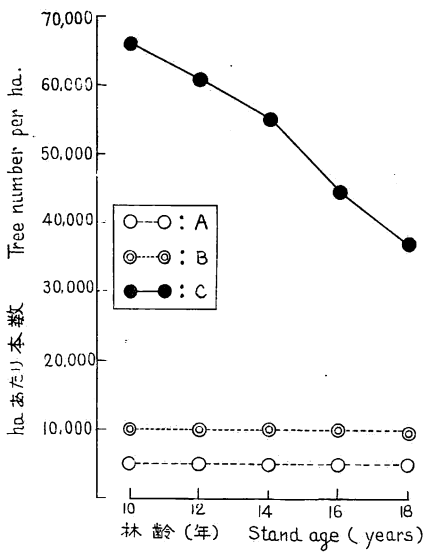

Fig. 2　*ha* あたり本数の経過
Relation between stand age and tree number per *ha*.

v_{ij}:　調査年 i における樹高が 120 *cm* 以上の標本木の i 年の幹材積（m^3）

G_i':　調査年 i における樹高が 120 *cm* 以下の全立木の i 年の根元断面積合計（m^2/ha）

g_{ij}':　調査年 i における樹高が 120 *cm* 以下の標本木の i 年の根元断面積（m^2）

v_{ij}':　調査年 i における樹高が 120 *cm* 以下の標本木の i 年の幹材積（m^3）

推定にあたつては，各処理区ごとに同じ処理区からえられた標本木の樹幹解析の数値をもちいた。また，材積推定にもちいた標本木の過去の材積には，樹皮率は過去においても1961年と同じ値であつたものとして樹皮量を加えた。

i）本数の経過

Plot C（無処理区）においては，調査のたびに自然まびきによる本数の減が著しかつた。Plot C のブロック間の本数差は非常に大きいが，これまでの各処理別の平均

的な減小経過を Fig. 2 に示す。各調査年における，Plot A の本数を1としたときの各区の平均本数の比数の経年変化を，Table 1 に示す。

Table 1.　比数で示した本数の変化
Ratio of tree number per *ha* in Plot B and Plot C to that in Plot A.

調査年度 Observed year	林齢 Stand age (yrs.)	Plot A	Plot B	Plot C
1953	10	1.0	1.9	12.5
1955	12	1.0	1.8	11.6
1957	14	1.0	1.8	10.3
1959	16	1.0	1.8	8.4
1961	18	1.0	1.8	7.1

ii）閉鎖度の経過

枝張りの調査結果から樹冠の平均直径をもとめ，占有面積を円とみなして林分の全占有面積をもとめ，試験地面積との比を求め，閉鎖度とした。Plot C においては全立木の枝張りが測定されていないので，後に述べる相対成長式と直径の度数分布からもとめ，樹高 1.2 *m* 以下の立木は枝張りが小さいので無視した。閉鎖度の経過を Table 2 に示す。この表からわかるように，Plot A は 1955 年までは林分が閉鎖していない。アカマツのような陽性の樹種でも幼時は隣接木の幹の近くまで枝をのばして枝の交錯していることが測定中認められたが，このことは閉鎖度からもうかがうことができる。

Table 2.　閉鎖度の経過
Crown closure ratio.

調査年 Observed year	閉鎖度 Crown closure ratio		
	Plot A	Plot B	Plot C
1953	0.71	——	——
1955	0.79	1.33	1.87
1957	1.29	1.62	2.18
1959	1.68	2.44	2.40
1961	1.60	1.92	2.57

iii）平均樹高

巻末の測定値総括表を見ると，ブロックⅢの樹高が低く，さきに述べたように地位にちがいがあると思われるが，処理別に平均した樹高は Fig. 3 に示すように，処理により大きなちがいを示さない。各調査年における Plot A の平均樹高を1としたときの，各区の平均樹高の比数の経年変化を Table 3 に示す。この表からも処理間の平均樹高に大差ないことがわかる。また，Fig. 4 にブロックⅠにおける樹高の相対度数分布の経年変化を示しておく。

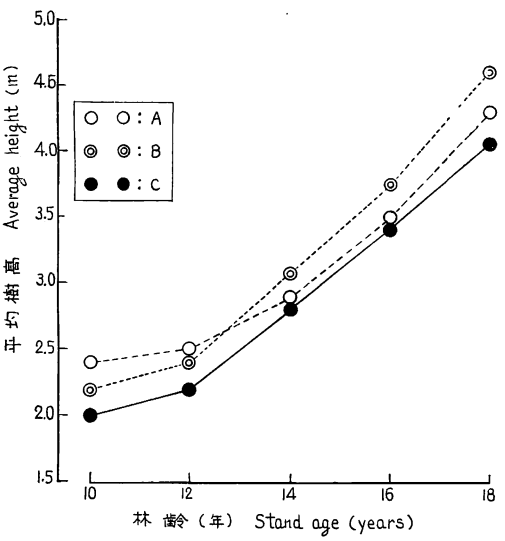

Fig. 3　平均樹高の経過
Relation between stand age and average height per *ha*.

iv）平均胸高直径

樹高が 120 *cm* に達していない立木のあつた

Table 3.　比数で示した平均樹高の変化
Ratio of average height in Plot B and Plot C to that in Plot A.

調査年度 Observed year	林齢 Stand age (yrs.)	Plot A	Plot B	Plot C
1953	10	1.00	0.96	0.83
1955	12	1.00	1.00	0.88
1957	14	1.00	1.07	0.97
1959	16	1.00	1.08	0.97
1961	18	1.00	1.04	0.91

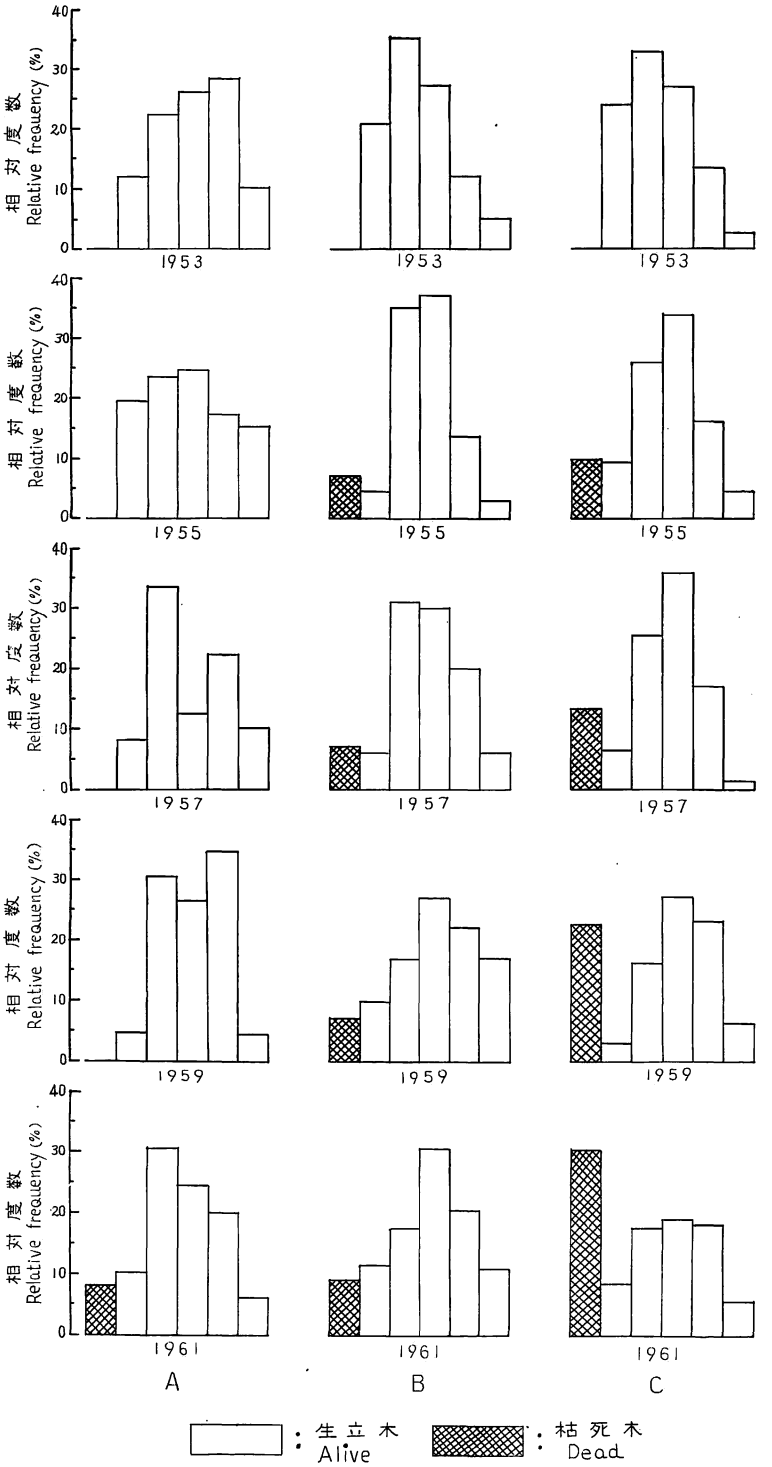

Fig. 4　樹高の相対度数分布
Relation frequency distribution of individual tree height.
この図は1953年の本数を100としてもとめた。
These percentages are based on the tree number in 1953.

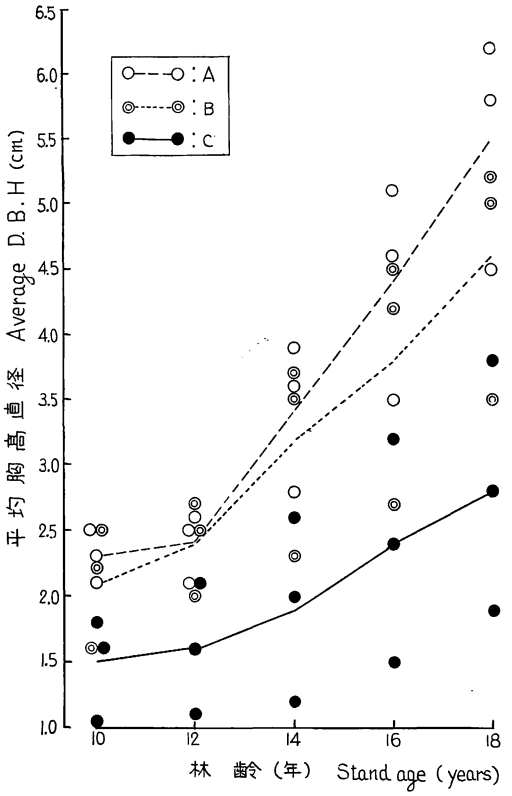

Fig. 5　平均胸高直径の経過
Relation between stand age and average diameter at breast height.

Table 4.　比数で示した平均胸高直径の変化
Ratio of average diameter at breast height in Plot B and Plot C to that in Plot A.

調査年 Observed year	林齢 Stand age (yrs.)	Plot A	Plot B	Plot C
1953	10	1.00	0.91	0.65
1955	12	1.00	1.00	0.67
1957	14	1.00	0.94	0.55
1959	16	1.00	0.86	0.55
1961	18	1.00	0.84	0.51

ことについては，すでに述べたが，ここでは樹高が 120 *cm* 以上の立木の平均胸高直径についてのべてみよう。平均胸高直径の経年変化は Fig. 5 に示すとおりで，これまでにも多くの報告があるように，本数密度の低いものほど大きい。Plot A の平均胸高直径を 1 としたときの，各区の平均胸高直径の比数を Table 4 に示す。この表から，Plot A と他区の平均胸高直径の相対的な大きさの差は，時間の経過とともに増す傾向がうかがえる。胸高直径の相対度数分布の経年変化を，Fig. 6 に示しておく。この図をつくるときの 120 *cm* 以下の立木数は，最小の直径階に加えてある。胸高断面積の度数分布は，高密度区においてL字形の分布となることを吉良[11]は指摘しているが，胸高直径においてもその傾向は著しい。

v）平均枝下高

平均枝下高の経年変化を Fig. 7 に示す。これもこれまでによく知られているように，高密度区ほど下枝の枯れ上りは高くなる。Plot A の枝下高を 1 としたときの各区の比数と，平均枝下率を Table 5 に示す。これらも枝下高と同じで，高密度区ほど大きな値を示す。樹高が処理の影響をうけないので，樹冠長

Table 5.　比数で示した平均枝下高と平均枝下率の変化
Ratio of average clear length in Plot B and Plot C to that in Plot A, and average clear length ratio.

		比数で示した平均枝下高 Ratio of average clear length			平均枝下率 Average clear length ratio		
調査年 Observed year	林齢 Stand age (yrs.)	Plot A	Plot B	Plot C	孤立木区 Plot A (%)	10,000本区 Plot B (%)	無処理区 Plot C (%)
1955	12	1.00	1.00	1.20	0.40	0.40	0.55
1957	14	1.00	1.09	1.36	0.38	0.39	0.54
1959	16	1.00	1.14	1.35	0.40	0.42	0.58
1961	18	1.00	1.25	1.50	0.37	0.44	0.62

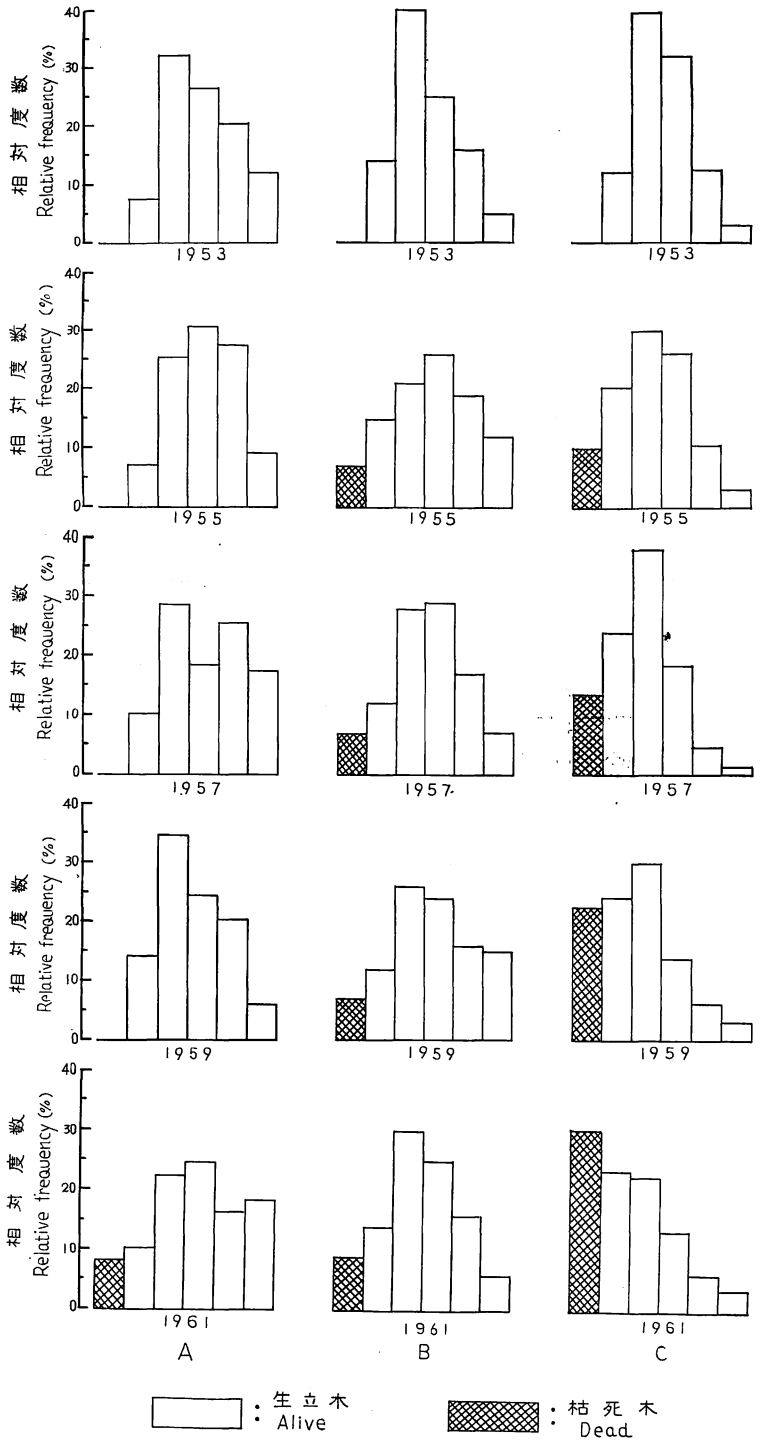

Fig. 6　胸高直径の相対度数分布

Relative frequency distribution of individual tree diameter at breast height.
この図は1953年の本数を100としてもとめた。
These percentages are based on the tree number in 1953.

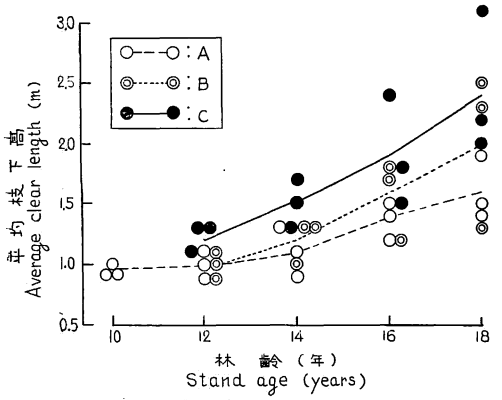

Fig. 7　平均枝下高の経過
Relation between stand age and average clear length.

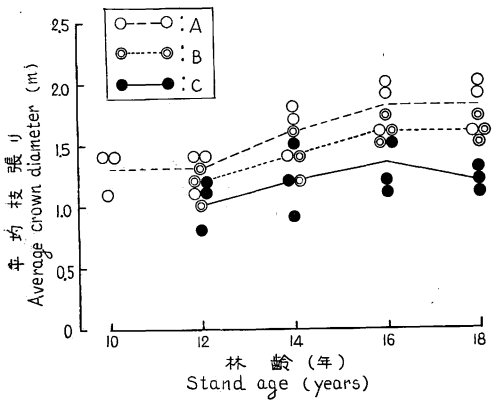

Fig. 8　平均枝張りの経過
Relation between stand age and average crown diameter.

Table 6.　比数で示した平均枝張りの変化
Ratio of average crown diameter in Plot B and Plot C to that in Plot A.

調査年 Observed year	林齢 Stand age (yrs.)	Plot A	Plot B	Plot C
1955	12	1.00	0.92	0.77
1957	14	1.00	0.88	0.75
1959	16	1.00	0.89	0.72
1961	18	1.00	0.89	0.67

Table 7.　比数で示した胸高断面積合計の変化
Ratio of total basal area per *ha* in Plot B and Plot C to that in Plot A.

調査年 Observed year	林齢 Stand age (yrs.)	Plot A	Plot B	Plot C
1953	10	1.00	1.55	3.53
1955	12	1.00	1.79	4.13
1957	14	1.00	1.66	3.00
1959	16	1.00	1.52	2.29
1961	18	1.00	1.40	1.88

と樹冠率が高密度区ほど小さな値を示すことは，このことから容易に考えられる。また Plot B, Plot Cで枝下率が年を経るにしたがい大きくなつていることは，樹高の成長率より，下枝の枯れ上がる率の大きいことを意味する。

vi）平均枝張り

平均枝張り（樹冠直径）の経年変化を Fig.8 に示す。また，Plot A の枝張りを 1 としたときの各区の比数を，Table 6 に示す。枝張りは密度の低い区ほど大きい。Plot C において 1961 年の枝張りが 1959 年の枝張りより小さくなつているが，この理由ははつきりつかめない。

vii）胸高断面積

*ha*あたりの胸高断面積合計の経年変化を Fig. 9 に示す。また，Plot A の値を 1 としたときの各区の比数を，Table 7 に示す。胸高断面積合計は密度の高い区が大きいが，各調査年における相対的な大きさの差は，林齢が高くなるにつれて小さくなる。

平均胸高断面積の経年変化を Fig. 10 に示す。また，Plot A の値を 1 としたときの各区の比数を

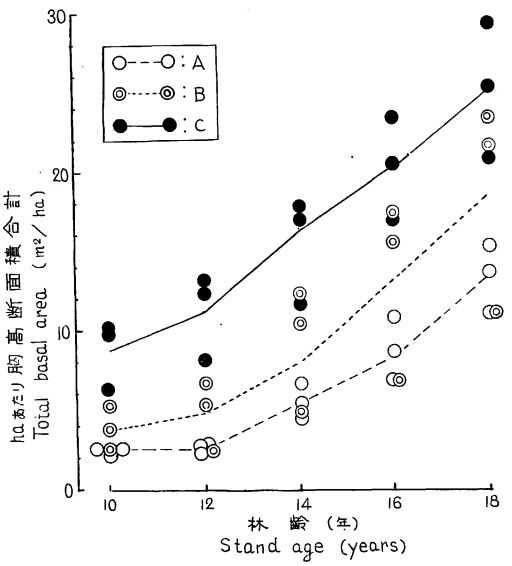

Fig. 9　胸高断面積合計の経過
Relation between stand age and basal area at breast height per *ha*.

Table 8.　比数で示した平均胸高断面積の変化
Ratio of average basal area in Plot B and Plot C to that in Plot A.

調査年 Observed year	林齢 Stand age (yrs.)	Plot A	Plot B	Plot C
1953	10	1.00	0.80	0.40
1955	12	1.00	1.00	0.60
1957	14	1.00	0.91	0.55
1959	16	1.00	0.82	0.35
1961	18	1.00	0.74	0.33

Table 8 に示す。この変化は胸高直径に似ている。

viii) 幹　材　積

*ha*あたり幹材積の経年変化を，Fig. 11 に示す。また，Plot A の *ha* あたり幹材積を 1 としたときの各区の比数を，Table 9 に示す。

平均幹材積の経年変化をFig. 12 に示す。また Plot A の平均幹材積を 1 としたときの各区の比数を Table 10 に示す。

幹材積の変化は，断面積の変化に似ている。

Table 9.　比数で示した全幹材積の変化
Ratio of total stem volume per *ha* in Plot B and Plot C to that in Plot A.

調査年 Observed year	林齢 Stand age (yrs.)	Plot A	Plot B	Plot C
1953	10	1	1.58	3.33
1955	12	1	1.83	3.89
1957	14	1	1.82	2.74
1959	16	1	1.72	2.50
1961	18	1	1.71	2.21

Table 10.　比数で示した平均単木材積の変化
Ratio of average stem volume in Plot B and Plot C to that in Plot A.

調査年 Observed year	林齢 Stand age (yrs.)	Plot A	Plot B	Plot C
1953	10	1.00	0.82	0.34
1955	12	1.00	0.99	0.48
1957	14	1.00	0.97	0.38
1959	16	1.00	0.92	0.39
1961	18	1.00	0.88	0.37

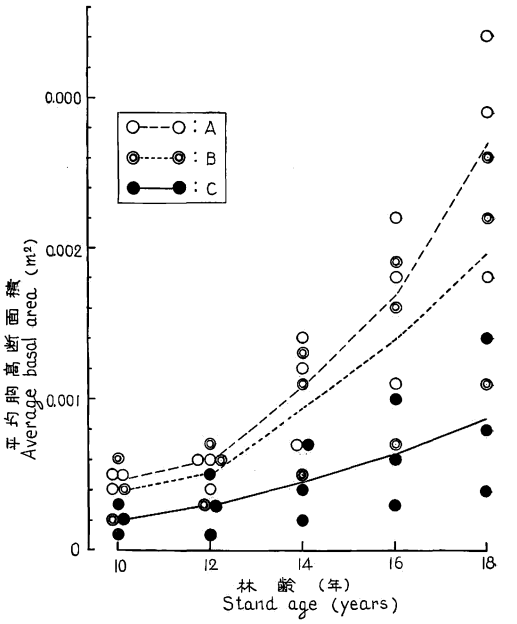

Fig. 10　平均胸高断面積の経過
Relation between stand age and average basal area at breast height.

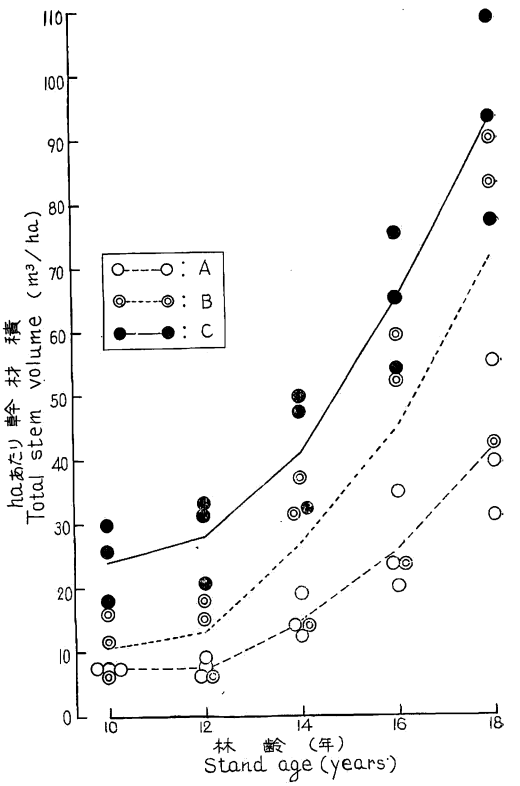

Fig. 11　*ha* あたり幹材積の経過
Relation between stand age and stem volume per *ha*.

VI 相 対 成 長[24)]

成長の研究には，時間の経過を追つて，部分あるいは全体の量の変化を追及すると同時に，ある時期における部分と部分，あるいは全体と部分の量的な相互関係がどのような状態にあるかを追及することが必要である。林学において前者はこれまで成長の研究の大勢を占めてきたが，後者についてはあまり研究がおこなわれていない。動物の分野においては，1932 年以来 HUXLEY や TEISSIER により，成長系の 2 つの部分，x と y の間にかなり普遍的に

$$\left.\begin{aligned} y&=bx^k \\ \log y&=k\log x+a \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

（b, k, log b＝a：常数）

が成立することが経験的に明らかにされ，このような成長系自体の状態を函数で示し，これを相対成長（Allometry, Relative growth）と呼んだ。

林木についての相対成長に関する研究としては，相対成長という言葉はもちいていないが，KITTREDGE[12)] や丸山たち[14)]の示した胸高直径と葉量の関係がそれであり，佐藤たち[20)21)]はこの関係をもちいて林分葉量を推定した。また戸田[26)27)]の示した，胸高直径と枝張りの関係も一つの相対成長関係である。四大学合同調査班[28)]による「森林の生産力に関する研究」においては，北海道の主要針葉樹について多くの相対成長関係を指摘し，その結果を林分の諸量の推定にもちいた。加藤[4)]はトドマツ人工林の成長解析に相対成長をもちい，相対成長係数が林齢や林分密度と関連して変化することを指摘した。

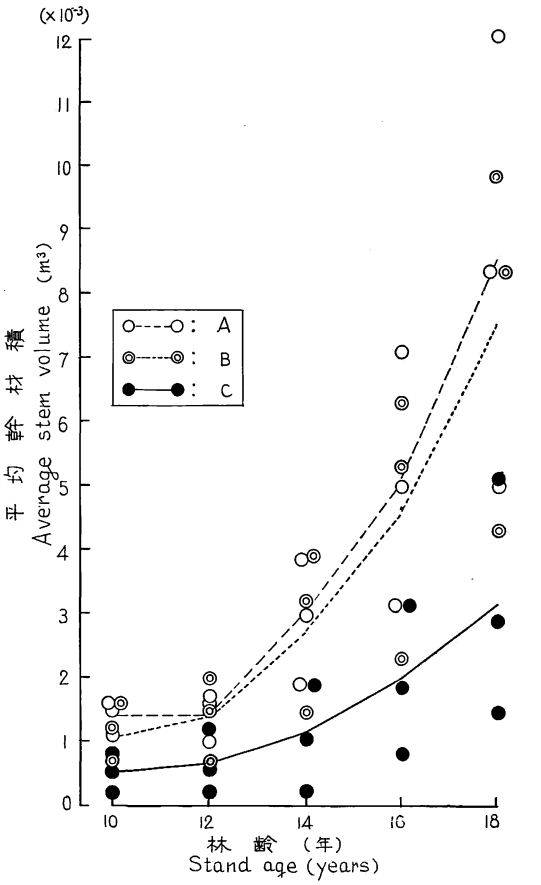

Fig. 12　平均幹材積の経過
Relation between stand age and average stem volume.

このように，林木の相対成長に関する研究はその緒についたばかりであるが，相対成長関係がどのような要因により変化するかを明らかにすることは，応用的には間伐指針作製のための林分構造に関する研究あるいは選抜育種の基準作製のための基礎として大きな意味がある。

本報においては，本数密度と林齢が相対成長にどのようなちがいを与えるかを明らかにしたい。また，相対成長関係から容易に導くことのできる配分率の問題を同時に取り扱つておいた。

ここで取り扱つた相対成長は，各処理の試験林からとられた標本木について，処理ごとに個体の相対成長としてとらえ，また林齢については，同一林齢の個体について，処理を無視して相対成長をとらえ検討を加えた。このほかに，各林分または調査地の平均個体についても相対成長関係は示されるが，今回は資料の調整が十分でないのでこのことにはふれない。

i） 本数密度と相対成長

a） 樹高と胸高直径

四大学合同調査班[28]によると，トドマツとエゾマツ類の樹高と胸高直径についての相対成長関係は，相対成長式によくのらないと述べているが，アカマツ幼齢林のばあいは相対成長式で示すことができた。この関係は Fig. 13 に示すとおりで，本数密度によりかわる。このことは密度効果から考え当然のことで，疎な林分ほど直線は上位にある。これらの関係はそれぞれ Table 11 の常数をもつ式で示される。

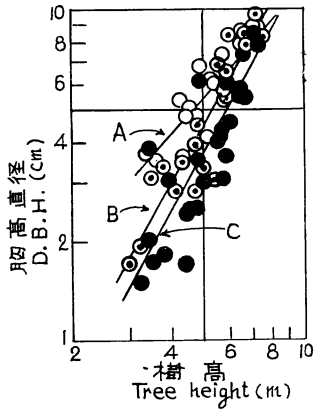

Fig. 13　樹高と胸高直径の相対成長
Relative growth between tree height and diameter at breast height.

Table 11.　Plot 別の樹高と胸高直径の相対成長式(1)の常数
The constant values of relative growth equation (1) between height and diameter at breast height on each plot.

Plot	k	a
A	1.0633	−0.0206
B	1.8320	−0.6309
C	1.7052	−0.6454
Total	1.6281	−0.5146

b） 全地上部重と地上部部分重

全地上部重（乾重）と葉・枝および幹など，それぞれの地上部部分重（乾重）との関係を Fig. 14 に示す。全地上部重と幹重との相対成長関係は，本数密度の影響のうけかたが少ないようであるが，直線は密度が疎な Plot A が下位にあり，密な Plot C が上位にある。また枝重，葉重との相対成長関係は，疎な Plot A が上位に，密な Plot C が下位にあり，いずれも Plot A の傾きが他の Plot に比べ緩である。これらの直線はそれぞれ Table 12 の常数をもつた式で示される。

これらの関係から，おのおのの Plot での全地上部重(T)別の幹(S)，枝(B)，葉(L)の割合をもとめ Fig. 15 にしめす。この図はおのおのの全地上部重に対する S，B，L を Table 12 の常数からもとめ，S+B+L=T として百分率をもとめた。この図からわかるように．密度の疎な Plot A では全地上部重が大きくなるにしたがい幹の割合が大きくなり，枝の割合はあまりかわらないが，葉の割合は小さくなる。また密度の大きい区では，全地上部重が大きくなると幹の割合が小となり，枝と葉の割合が大きくなる。密度を考慮に入れないと Fig. 23 に示されるように，高密度区と同じような傾向を示す。佐藤たち[20]

Table 12.　Plot 別の全地上部重と地上部部分重の相対成長式 (1) の常数
The constant values of relative growth equation (1) between total weight of above ground and parts weight of above ground on each plot.

Relation / Constant / Plot	全地上部重——幹重 Total weight—— Stem weight		全地上部重——枝重 Total weight—— Branches weight		全地上部重——葉重 Total weight—— Leaves weight	
	k	a	k	a	k	a
A	0.9686	−0.1285	1.0373	−0.8112	0.9212	−0.8264
B	0.9404	−0.1257	1.2202	−0.9397	1.1091	−0.9322
C	0.9343	−0.0878	1.2270	−1.0481	1.2222	−1.0767
Total	0.9296	−0.1223	1.2445	−0.9621	1.1528	−0.9542

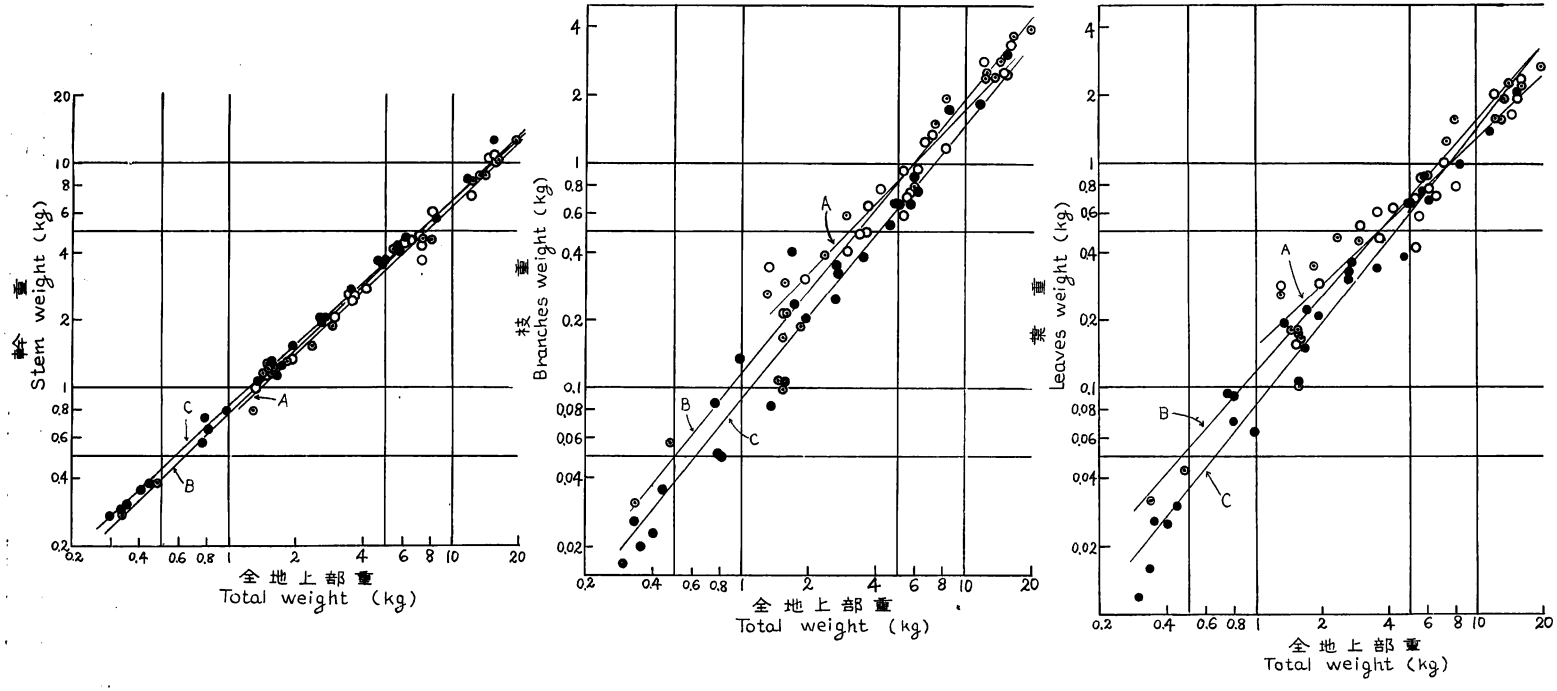

Fig. 14　全地上部重と地上部部分重の相対成長

Relative growth between total tree weight of above ground and tree parts weight of above ground.

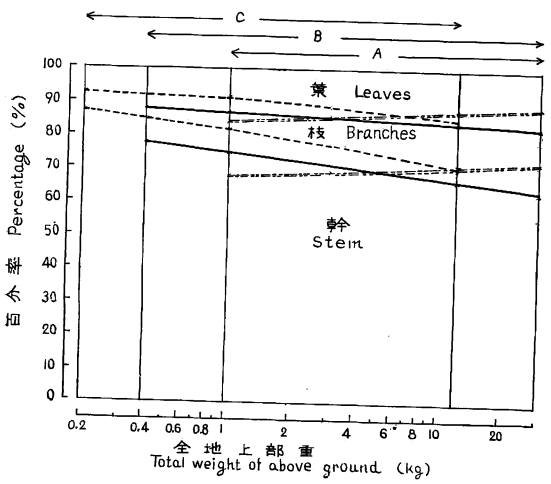

Fig. 15　全地上部重に対する地上部部分重の割合
Percentage of tree parts weight of above ground against total weight of above ground.

はチヨウセンヤマナラシの再生林で，葉の量と幹・枝葉の割合が，葉量の大きいものほど幹の割合が少なく，枝と葉の割合が大きいことを示した。全地上部が大きいほど葉量は大であるから，高密度区または密度を無視したときには同様な結果がえられたことになる。四大学合同調査班[28]は胸高直径が大きくなると幹枝の割合が増し，葉が減ることを指摘しているが，これは異齢林であるためで，このようになる理由はのちに述べる。

c）胸高直径と全地上部重および地上部部分重

胸高直径と全地上部重および地上部部分重の関係を Fig. 16 に示す。これらの関係はそれぞれ Table 13 の常数をもつ式で示されるが，本数密度の影響は比較的少ない。胸高直径と幹重の関係では，直線は途中で交わるが，全体として見ると低密度区が下位に，高密度区が上位にあり，直径の大きいところでは差が小さい。胸高直径と枝重および葉重の関係は低密度区が上位にあり，幹のばあいの逆の位置を示す。また直線の傾きは，ともに

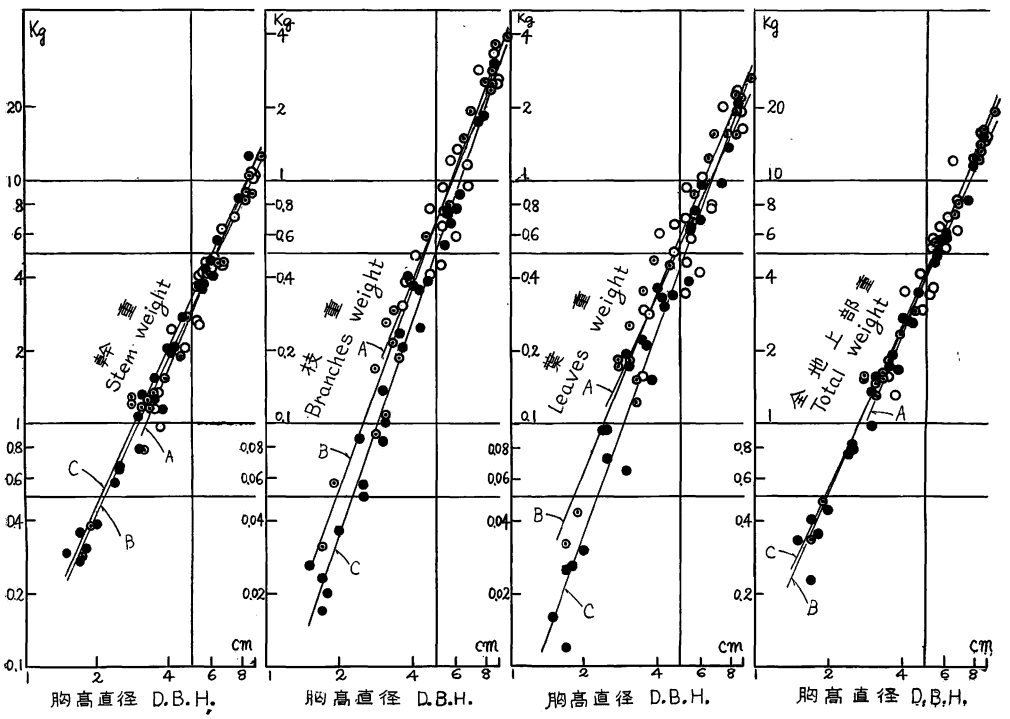

Fig. 16　胸高直径と全地上部重，地上部部分重の相対成長
Relative growth between diameter at breast height and tree parts weight of above ground.

Table 13. Plot 別の胸高直径と全地上部重および地上部部分重の相対成長式（1）の常数
The constant values of relative growth equation (1) between diameter at breast height and total weight of above ground or parts weight of above ground on each plot.

Relation / Constant / Plot	胸高直径——幹重 D.B.H.—— Stem weight		胸高直径——枝重 D.B.H—— Branches weight		胸高直径——葉重 D.B.H.—— Leaves weight		胸高直径——全地上部重 D.B.H.—— Total weight	
	k	a	k	a	k	a	k	a
A	2.4084	−1.2328	2.5706	−1.9877	2.2142	−1.8199	2.4626	−1.1233
B	2.0984	−0.9989	2.7645	−2.1012	2.4629	−1.9496	2.2376	−0.9324
C	2.1042	−0.9971	2.9404	−2.3494	2.7847	−2.2861	2.5230	−0.9733
Total	2.1242	−1.0141	2.9174	−2.2723	2.6601	−2.6601	2.2757	−0.9770

低密度区ほど緩になる。胸高直径と葉重の関係が林分葉量の推定にもちいられることはすでに述べたが，筆者たちのうち坂口・安藤が土井・福田[18]とともにすでに指摘しているように，密度や後述するように林齢によつてかわることに十分留意してもちいる必要がある。しかしながら密度との関係は，密度の幅の大きさに比べ相対成長のちがいが少ない。佐藤たち[19]が林分葉量を推定したアカマツ植栽本数試験地では1つの相対成長式をもちいたが，このばあいはすべての林分が自然まびきをおこしていたし，他の例でも密度の幅があまり大きくなかつたので，条件によつてはいくつかの林分からとられた資料で1本の直線を求め推定してもよさそうだ。

胸高直径と全地上部重の関係は，本数密度によつて大きなちがいがなさそうだ。

d） 樹高と全地上部重および地上部部分重

樹高と全地上部重および部分重の関係を Fig. 17 に示す。これらの関係は Table 14 の常数をもつ式で示されるが，本数密度の影響をうけることが比較的大きい。

Table 14. Plot 別の樹高と全地上部重および地上部部分重の相対成長式（1）の常数
The constant values of relative growth equation(1) between height and total weight of above ground or parts weight of above ground on each plot.

Relation / Constant / Plot	樹高——幹重 Height—— Stem weight		樹高——枝重 Height—— Branches weight		樹高——葉重 Height—— Leaves weight		樹高——全地上部重 Height—— Total weight	
	k	a	k	a	k	a	k	a
A	2.9724	−1.5789	2.9659	−2.2082	2.6290	−2.0633	3.0233	−1.4648
B	3.9808	−2.4189	4.7986	−3.6664	4.4931	−3.4900	4.1700	−2.3939
C	3.8702	−2.5552	4.7008	−4.0247	4.9949	−4.2579	4.0779	−2.5948
Total	3.7524	−2.3162	4.2418	−3.4121	4.3226	−3.5218	3.9187	−2.3000

樹高と全地上部重および部分重の関係は，低密度区が上位に高密度区が下位にあり，樹高が同じならば低密度区の重量が大きい。

これらの関係から樹高別の幹，枝，葉の全地上部重に対する割合をもとめ，Fig. 18 に示した。この傾向が Fig. 15 に示したものとかわりがないことは，樹高が大きいものほど全地上部重も大きいことから，当然推察のつけられることだ。

e） 葉量と最近1年間の幹材積成長量

葉量と樹幹解析で，最近1年間の年輪測定により求めた1年間の幹材積成長量の関係を，Fig. 19 に示

す。この関係は Table 15 の常数をもつ式で示される。

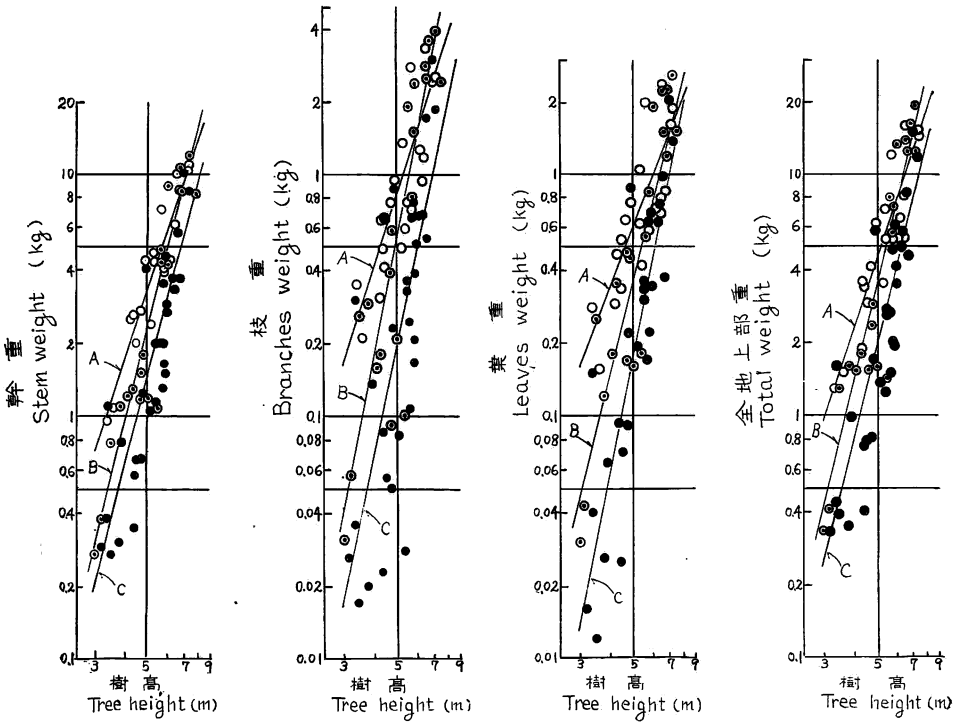

Fig. 17　樹高と全地上部重，地上部部分重の相対成長

Relative growth between tree height and tree parts weight of above ground.

Table 15.　Plot 別の葉量と1年間の幹材積成長量の相対成長式(1)の常数

The constant values of relative growth equation (1) between leaves weight and nearest annual increment of stem on each plot.

Plot	k	a
A	0.9863	0.3495
B	0.9749	0.3130
C	0.8880	0.5490
Total	0.9395	0.4391

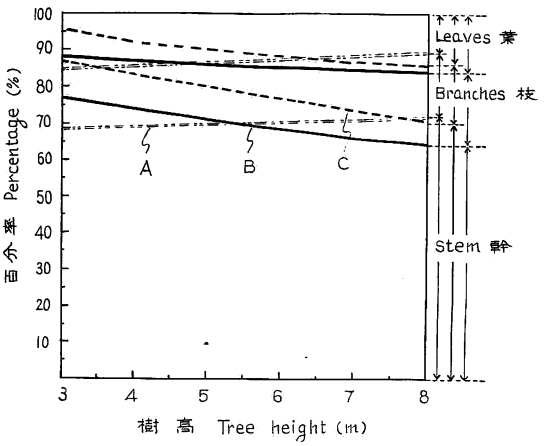

Fig. 18　樹高ごとの地上部部分重の割合

Percentage of tree parts weight of above ground on each tree height.

この関係から1年間の幹材積成長量をもとめ，葉1gが生産した1年間の幹材積量（葉の能率）を計算して図示したのが Fig. 20 である。葉の能率については多くの報告があるが，アカマツについてみると佐藤たち[19]は標準木の葉の能率が本数密度とともに上昇し，また優勢木は劣勢木よりも能率がよいようだと述べ，坂口たち[17]はこの報告の試験地周辺の林分を調査して，葉の能率については林分の平均的な値が最大になる最適な密度があることを報告したが，その後青森県と岩手県の調査[18]では明らかな傾向が認められなかつた。

Fig.20からは本数密度による能率のかわりかたに傾向が認められないが，葉量のすくない木（劣勢木）は葉量の多い木（優勢木）よりも能率はよいが，この傾向は低密度区のPlot A, Plot Bでは差が少なく，高密度区のPlot Cの差が著しい。葉量の多い部分では低密度区ほど能率が高く，このことから優勢木については低密度区ほど能率がよいといえそうだが，これは佐藤たち[19]の報告と全く逆の結果になる。佐藤たち[19][20]はいろいろな樹種についてのこの種報告を示しているが，さまざまな傾向が認められ，今後さらに資料を蓄積し検討する必要がある。

参考のために，林分葉量（この量については別報にゆずる）と最近2年間の林分材積成長量から求めた1年間の平均成長量により葉の能率を求めてみると，Plot A: 2.22 cm^3/g/year, Plot B: 1.91 cm^3/g/year, Plot C: 2.28 cm^3/g/year で Plot B の値が低い。

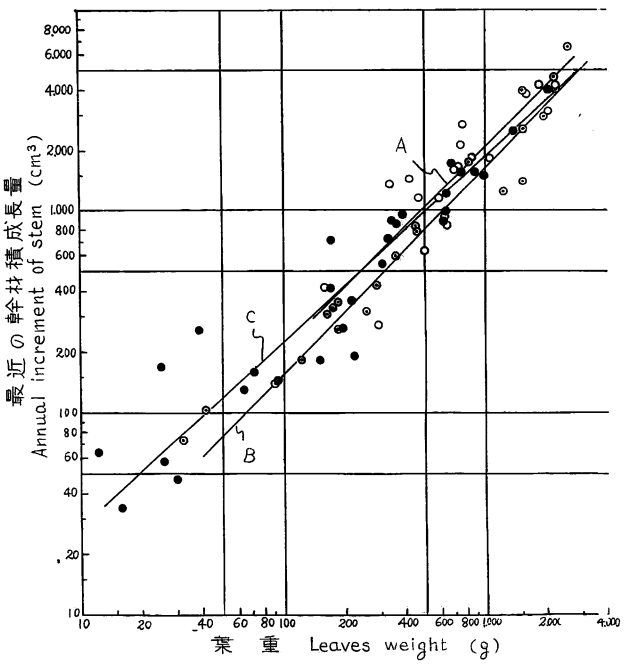

Fig. 19　葉量と成長量の相対成長

Relative growth between leaves volume and nearest annual increment of stem.

f）胸高直径と枝張り

胸高直径と枝張り（樹冠直径）の関係を Fig. 21 に示す。胸高直径と枝張りが相対成長式で示せることは，河田たち[7]，戸田[26][27]によりすでに指摘されている。この図から直線の傾きは本数の多い区ほど緩で，疎な林分ほど上位にあり，この関係は密度の影響を大きくうけることがわかる。これらの関係は Table 16 の常数をもつ式で示される。

戸田は[26][27]，枝張りのあたいを

$$\frac{K'S}{100}=\log S-0.51(\log D-1)$$　（K'S: 枝張りのあたい，S: 樹冠直径，D: 胸高直径）

で示し，選抜育種をおこなうときのモノサシとした。胸高直径と枝張りの関係は密度の影響を大きくうけ

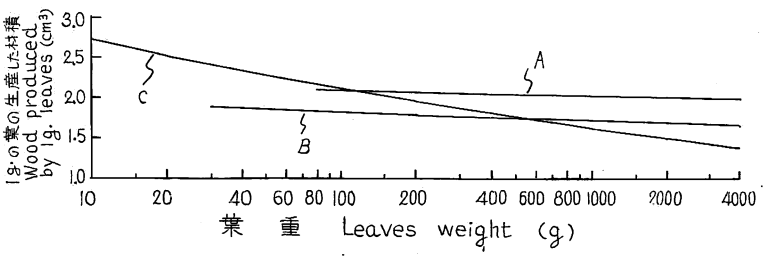

Fig. 20　葉量と1 g の葉の生産した幹の材積の関係

Relation between leaves weight and the amount of stem volume produced by 1 g of leaves.

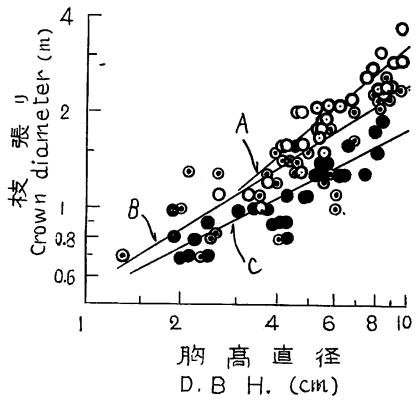

Fig. 21　胸高直径と枝張りの相対成長
Relative growth between diameter at breast height and crown diameter.

Table 16.　Plot 別の胸高直径と枝張りの相対成長式 (1) の常数
The constant values of relative growth equation (1) between diameter at breast height and crown diameter on each plot.

Plot	k	a
A	0.8534	−0.3538
B	0.6415	−0.2625
C	0.5325	−0.2886

るから，選抜にあたつては林分の本数密度を十分考慮しなければならない。

ii）林齢と相対成長

林分における本数密度と相対成長関係については前節で述べたとおりであるが，これらの関係は密度によるちがいが小さく，1つの相対成長式で示してよいと考えられるものも多い。そこで本数密度を無視したばあい，林齢により相対成長関係がどのようにかわるかをもとめてみた。このためにもちいた資料は，1954年に著者である坂口・安藤が土井とともに[17]報告した。この試験林の隣接地の8年生（平均樹高 1.3 *m*），13年生（2.4 *m*）と今回の報告資料18年生(5.3 *m*)である。

a）全地上部重と地上部部分重

全地上部重と地上部部分重の関係を Fig. 22 に示す。全地上部重と幹重の関係は林齢の多いものが上位にあり，少ないものが下位にあるが，枝，葉の関係においては逆に林齢の少ないものが上位にある。これらの直線は Table 17 の常数をもつ式により示される。

この関係から各部分重の割合を林齢別にもとめ Fig. 23 に示す。このもとめ方はVI—i）—b）で述べた方法と同じである。18年生の図は Fig. 15 を密度を無視して引きなおした。この図から，同じ全地上部重の個体でも林齢の若いものが葉の割合が大きく幹の割合が少ないこと，また同一林齢では全地上部重が大きいほど葉の割合が大きく，幹の割合が少ないことがわかる。四大学合同調査班[28]は北海道のエゾマツ・トドマツ異齢林で，胸高直径が大きくなると，幹・枝の割合が増し，葉の割合が減少することを示した。このことは全地上部重と胸高直径の相関が高いことから，筆者らの結果と逆の結果を示すように思えるが，Fig. 23 で林齢のちがいを無視してみると全地上部重が大きくなるほど，幹・枝の割合が大きくなり，葉の割合が小となつて，四大学の結果は林齢による相対成長のちがいを無視したためで，矛盾はない。

Table 17.　林齢別の全地上部重と地上部部分重の相対成長式 (1) の常数
The constant values of relative growth equation(1) between total weight of above ground and parts weight of above ground on each stand age.

Relation / Constant / Stand age	全地上部重——幹重 Total weight—— Stem weight		全地上部重——枝重 Total weight—— Branches weight		全地上部重——葉重 Total weight—— Leaves weight	
	k	a	k	a	k	a
8 years	0.7401	+0.1648	1.3422	−1.3826	1.0683	−0.6014
13 years	0.8865	+0.0809	1.3970	−1.8436	1.0843	−0.8909
18 years	0.9296	−0.1223	1.2445	−0.9621	1.1528	−0.9542

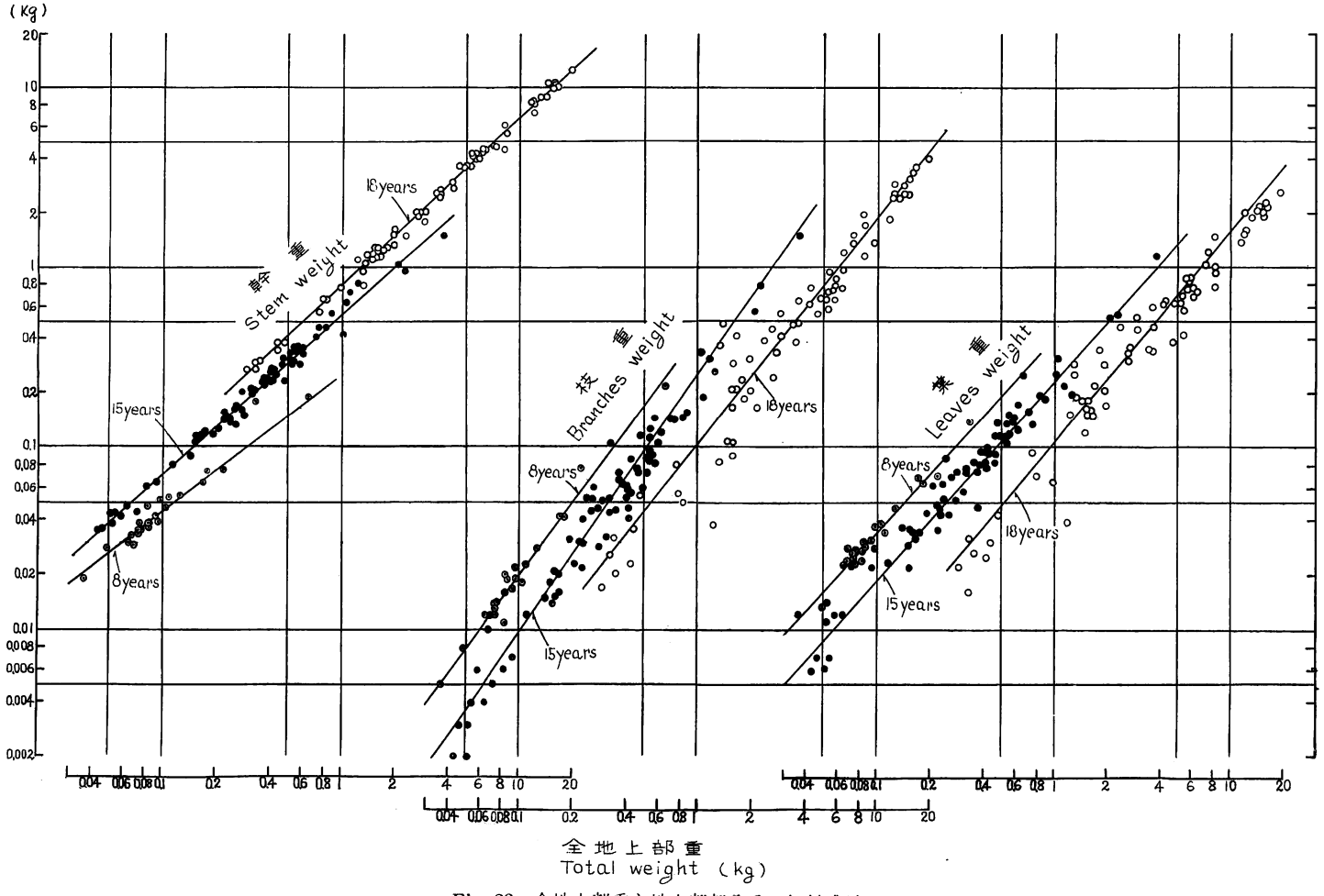

Fig. 22　全地上部重と地上部部分重の相対成長
Relative growth between total weight of above ground and tree parts weight of above ground.

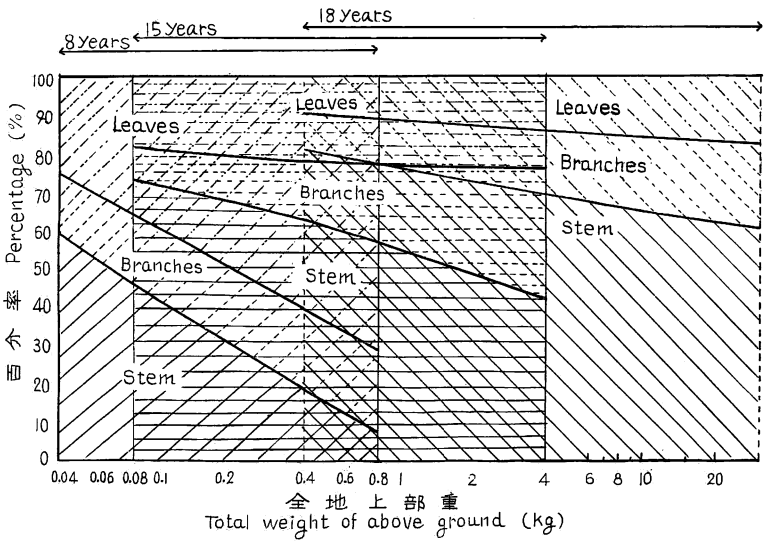

Fig. 23　地上部部分重の割合

Percentage of tree parts weight of above ground against total weight of above ground.

b)　胸高直径と全地上部重および地上部部分重

胸高直径と全地上部重および地上部部分重との関係を Fig. 24 に示す。いずれとの関係においても直線の傾きは林齢が多くなるにしたがい急になり，幹との関係では同一曲線上にあるように並ぶが，他は林齢がすすむにつれて右側にずれるようなかたちに並ぶ。これらの関係は Table 18 の常数をもつ式により示

Table 18.　林齢別の胸高直径と全地上部重および地上部部分重の相対成長式 (1) の常数

The constant values of relative growth equation (1) between diameter at breast height and total weight of above ground or parts weight of above ground on each stand age.

Relation / Constant / Stand age	胸高直径——幹重 D.B.H—— Stem weight		胸高直径——枝重 D.B.H—— Branches weight		胸高直径——葉重 D.B.H—— Leaves weight		胸高直径——全地上部重 D.B.H—— Total weight	
	k	a	k	a	k	a	k	a
8 yrs.	0.9674	+2.0395	1.5294	+1.9271	1.2050	+2.0276	1.1931	+2.4871
13 yrs.	1.8109	+2.1045	2.6693	+1.3649	2.0916	+1.5972	1.9818	+2.2891
18 yrs.	2.1242	−1.0141	2.9174	−2.2723	2.6601	−2.1589	2.2757	−0.9770

Table 19.　林齢別の樹高と全地上部重および地上部部分重の相対成長式 (1) の常数

The constant values of relative growth equation (1) between height and total weight of above ground or parts weight of above ground on each stand age.

Relation / Constant / Stand age	樹高——幹重 Height—— Stem weight		樹高——枝重 Height—— Branches weight		樹高——葉重 Height—— Leaves weight		樹高——全地上部重 Height—— Total weight	
	k	a	k	a	k	a	k	a
8 yrs.	4.1935	−7.2641	5.8852	−11.1987	4.8329	−8.7309	4.8182	−8.2352
13 yrs.	4.3620	−7.8907	6.0947	−12.5861	4.8163	−9.4293	4.6549	−8.3722
18 yrs.	3.7524	−2.3162	4.2418	−3.4121	4.3226	−3.5218	3.9187	−2.3000

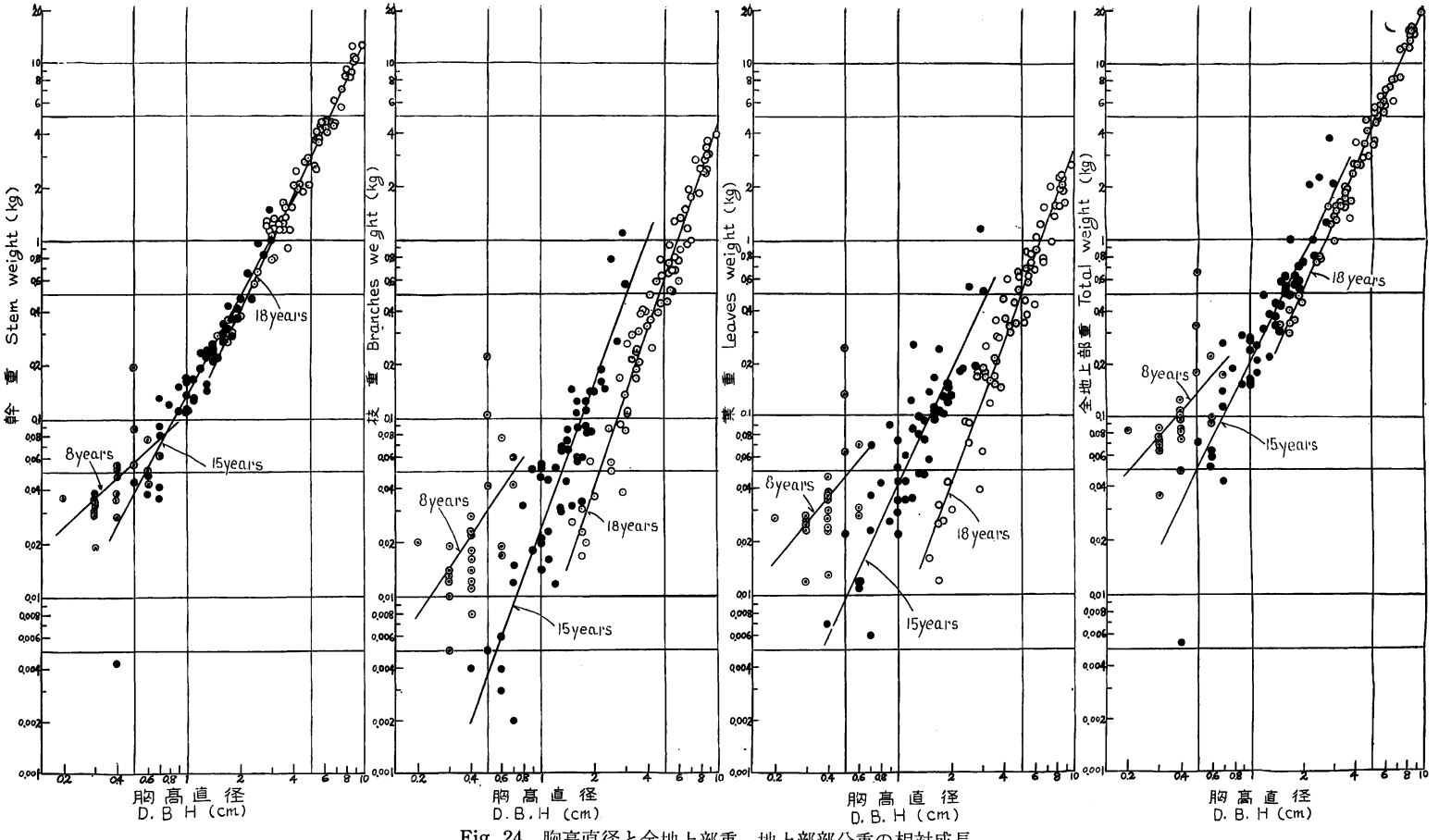

Fig. 24　胸高直径と全地上部重，地上部部分重の相対成長

Relative growth between diameter at breast height and tree parts weight of above ground.

される。

c）樹高と全地上部重および地上部部分重

樹高と全地上部重および地上部部分重の関係を Fig. 25 に示す。いずれのばあいにもほぼ平行的に林齢の増加とともに右側にずれる。これらの関係は Table 19 の常数をもつ式で示される。

これまでこの章で取り扱つた相対成長のほかに，たとえば枝重と葉重，幹重と葉重などいろいろな相対成長関係が考えられるが，これらの関係は

$$\left.\begin{aligned} S&=aH^{b} \\ L&=a'H^{b'} \end{aligned}\right\}$$

（S: 幹重，L: 葉重，H: 樹高，a，b，a′，b′: 常数）

から

$$L=K_1\ S^{k_2}\quad (K_1,\ K_2\text{: 常数})$$

が成立することは容易にうかがうことができるので，今回は取り扱わなかつた。

本報で取り扱つた相対成長関係の大部分は，本数密度の影響をうけ変化するが，本数密度の差を無視して，林齢によるちがいをもとめてみると，大きく影響をうけることが知られた。このことから，相対成長に響影を与える因子としては，本数密度よりも林齢がはるかに大きいことがわかつた。

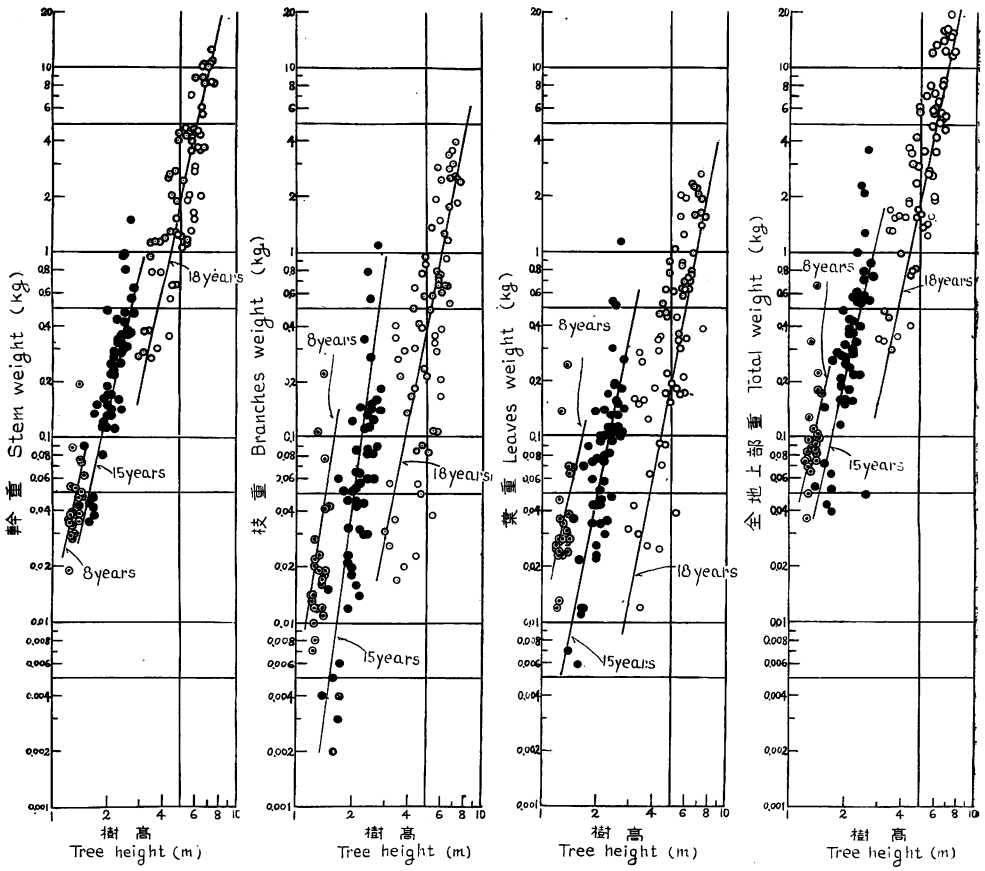

Fig. 25　樹高と全地上部重，地上部部分重の相対成長

Relative growth between tree height and tree parts weight of above ground.

Ⅶ 摘　　要

天然生アカマツ幼齢林保育の基礎資料をうるために，1951年，栃木県芳賀郡益子町高館山国有林（笠間営林署管内）の天然生アカマツ幼齢林（8年生）に除伐試験林の設定が企てられ，1952年設定を完了した。

処理は

Plot A: 疎立区

Plot B: 10,000本/*ha* 区

Plot C: 無処理区

の3処理で，3ブロックの乱塊法に配置した(Fig. 1)。

隔年調査をつづけてきたが，1961年一部の伐倒調査をおこない，これまでの生育経過と相対成長につきとりまとめた。

ha あたり本数，平均樹高，平均胸高直径，平均枝下高，平均枝張り，胸高断面積，幹材積の経年変化を Fig. 2～12 に示した。また Plot A の値を1としたときの Plot B，Plot C の比数の経年変化を Table 1～10 に示した。これらの値の本数密度の影響のうけかたは，これまでの多くの報告と同じであるが，一括して示すとつぎのようになる。

1. 本数密度が大きいほど小となるもの

平均胸高直径，平均枝張り，平均胸高断面積，平均幹材積，樹冠長。

2. 本数密度が大きいほど大となるもの

枯損本数，枝下高，*ha* あたり断面積，*ha* あたり幹材積，閉鎖度。

3. 本数密度の影響をうけないもの

平均樹高。

相対成長関係については本数密度の影響（Fig. 13～21，Table 11～16）と本数密度の影響を無視したときの林齢の影響（Fig. 22～25，Table 17～19）について検討を加えた。

相対成長は本数密度より林齢の影響を大きくうける。本数密度と林齢の影響のうけかたを一括して次に示す。

1. 本数密度の影響の比較的大きいもの

樹高——胸高直径，樹高——幹重，樹高——枝重，樹高——葉重，樹高——全地上部重，胸高直径——枝張り。

2. 本数密度の影響の比較的少ないもの

全地上部重——枝重，全地上部重——葉重，胸高直径——幹重，胸高直径——枝重，胸高直径——葉重，葉重——最近1年間の幹材積成長量。

3. 本数密度の影響をうけないもの

全地上部重——幹重，胸高直径——全地上部重。

4. 林齢の影響をうけるもの

全地上部重——地上部部分重，胸高直径——全地上部重および地上部部分重，樹高——全地上部重および地上部部分重。

付表 1.　測　定

Measured data

調査年 Observed year	林齢 Stand age (yrs.)	ブロック Block	処理区 Treatment	平 樹高 Tree height (*m*)	直径 Diameter (*m*)	枝張り Crown diameter
1953	10	I	A	2.5	2.5	1.4
		II	A	2.5	2.3	1.4
		III	A	2.3	2.1	1.1
		I	B	2.5	2.5(1.3)	—
		II	B	2.2	2.2(1.0)	—
		III	B	2.0	1.6(1.0)	—
		I	C	2.2	1.8(1.0)	—
		II	C	1.9	1.6(1.0)	—
		III	C	1.9	1.0(0.7)	—
1955	12	I	A	2.7	2.6	1.4
		II	A	2.5	2.5	1.4
		III	A	2.4	2.1	1.1
		I	B	2.7	2.7(1.0)	1.3
		II	B	2.5	2.5(2.0)	1.2
		III	B	2.0	1.9(1.4)	1.0
		I	C	2.6	2.1(1.3)	1.2
		II	C	2.1	1.6(1.1)	1.1
		III	C	2.0	1.1(1.0)	0.8
1957	14	I	A	3.3	3.9	1.8
		II	A	2.8	3.6	1.7
		III	A	2.7	2.8	1.4
		I	B	3.6	3.7(1.0)	1.6
		II	B	3.2	3.5	1.4
		III	B	2.4	2.3	1.2
		I	C	3.5	2.6	1.5
		II	C	2.7	2.0(0.4)	1.2
		III	C	2.3	1.2(0.5)	0.9
1959	16	I	A	4.3	5.1	2.0
		II	A	3.4	4.6	1.9
		III	A	2.9	3.5	1.6
		I	B	4.5	4.5	1.7
		II	B	4.1	4.2	1.6
		III	B	2.7	2.7	1.5
		I	C	4.4	3.2	1.5
		II	C	3.1	2.4	1.2
		III	C	2.7	1.5(1.0)	1.1
1961	18	I	A	5.4	6.2	2.0
		II	A	4.1	5.8	1.9
		III	A	3.4	4.5	1.6
		I	B	5.4	5.2	1.7
		II	B	5.0	5.0	1.6
		III	B	3.1	3.5	1.5
		I	C	5.2	3.8	1.1
		II	C	3.5	2.8	1.3
		III	C	3.1	1.9	1.2

平均直径，平均断面積，*ha* あたり断面積の（ ）は樹高 1.2 *m* 以下の立木の地際の値。（ ）のな
全立木の本数。

The average diameter, average basal area and basal area per *ha* for the trees taller than 1.2*m*, on the diameters at the ground level and shown in parenthesis.

The tree number in parenthesis shows the number of trees shorter than 1.2*m*, while the

値　総　括　表

of each plots.

均 Average			*ha* 当たり Per *ha.*		
枝下高 Clear length (*m*)	断面積 Basal area (m^2)	材積 Volume (m^3)	本数 Tree number (No.)	断面積 Basal area (m^2)	材積 Volume (m^3)
0.9	0.0005	0.0015	4,900	2.57	7.52
0.9	0.0005	0.0016	4,700	2.56	7.58
1.0	0.0004	0.0012	6,300	2.47	7.48
—	0.0006(0.0001)	0.0018	10,000(500)	5.54(0.03)	16.71
—	0.0004(0.0001)	0.0012	10,000(200)	3.95(0.03)	11.91
—	0.0002(0.0001)	0.0007	10,000(600)	2.29(0.05)	6.92
—	0.0003(0.0001)	0.0009	30,400(1,400)	9.42(0.14)	26.13
—	0.0002(0.0001)	0.0006	35,000(3,900)	6.65(0.34)	18.58
—	0.0001(0.0000)	0.0002	134,700(25,400)	10.73(1.12)	30.24
1.0	0.0006	0.0017	4,900	2.95	8.33
0.9	0.0006	0.0016	4,700	2.80	7.58
1.1	0.0004	0.0010	6,300	2.42	6.44
1.0	0.0007(0.0001)	0.0020	9,300(100)	6.71(0.00)	18.74
1.1	0.0006(0.0006)	0.0015	9,900(100)	5.46(0.06)	15.27
0.9	0.0003(0.0002)	0.0007	10,000(400)	2.48(0.08)	6.92
1.3	0.0005(0.0001)	0.0012	27,400(100)	13.12(0.04)	33.23
1.1	0.0003(0.0001)	0.0006	33,400(3,800)	8.17(0.46)	20.91
1.3	0.0001(0.0001)	0.0003	126,500(24,400)	12.40(1.99)	32.36
1.1	0.0014	0.0039	4,900	6.67	19.18
0.9	0.0012	0.0031	4,700	5.44	14.52
1.3	0.0007	0.0019	6,300	4.48	12.04
1.3	0.0013(0.0001)	0.0040	9,300(100)	12.22(0.00)	37.06
1.3	0.0011	0.0032	9,900	10.43	31.62
1.0	0.0005	0.0015	10,000	4.86	14.75
1.7	0.0007	0.0019	26,300	17.93	49.95
1.3	0.0004(0.0000)	0.0011	30,600(400)	11.82(0.00)	32.92
1.5	0.0002(0.0000)	0.0004	107,500(5,300)	17.04(0.19)	47.46
1.5	0.0022	0.0071	4,900	10.98	34.80
1.2	0.0018	0.0051	4,700	8.66	23.78
1.4	0.0011	0.0032	6,300	6.92	19.85
1.8	0.0019	0.0064	9,300	17.46	59.12
1.7	0.0016	0.0053	9,900	15.53	52.60
1.2	0.0007	0.0023	10,000	6.88	23.30
2.4	0.0010	0.0032	23,500	23.44	75.02
1.5	0.0006	0.0019	29,400	17.10	54.71
1.8	0.0003(0.0001)	0.0008	81,200(1,300)	20.45(0.06)	65.43
1.9	0.0034	0.0123	4,500	15.25	55.25
1.4	0.0029	0.0084	4,700	13.75	39.69
1.5	0.0018	0.0050	6,300	11.01	31.49
2.5	0.0026	0.0099	9,100	23.30	90.06
2.3	0.0022	0.0084	9,900	21.58	83.43
1.3	0.0011	0.0043	9,900	11.08	42.84
3.1	0.0014	0.0051	21,200	29.18	108.52
2.0	0.0008	0.0029	26,700	20.83	77.48
2.2	0.0004	0.0015	62,900	25.18	93.67

いものは1.2*m* 以上の立木の胸高の値。本数の（ ）は樹高 1.2 *m* 以下の本数，（ ）のないものは

are based on the diameters at breast height, while those for the trees shorter than 1.2*m* are based

tree number without parenthesis shows the total number including the former.

付　表 2.　標本木測定値一覧表 Measured data of sample trees.

Plot A

No.	胸高直径 D. B. H (*cm*)	樹　高 Height (*m*)	枝下高 Clear length (*m*)	乾 重 Dry weight (*kg*)			
				幹 Stem	枝 Branches	葉 Leaves	計 Total
10	4.8	4.5	1.9	2.05	0.41	0.53	2.99
13	7.4	5.7	1.4	7.16	2.88	2.03	12.07
22	3.7	3.4	1.2	0.96	0.35	0.28	1.59
29	8.5	6.6	1.9	10.25	3.39	2.33	15.97
30	4.7	4.7	1.8	2.79	0.77	0.63	4.19
31	5.5	5.8	1.5	4.20	0.72	0.58	5.50
36	6.0	5.4	2.5	4.31	0.59	0.42	5.32
37	5.7	6.2	2.0	4.59	1.27	0.73	6.59
41	6.1	5.3	2.3	4.72	1.36	1.05	7.13
44	4.1	5.2	2.2	2.46	0.49	0.61	3.56
47	5.3	5.8	2.7	4.07	0.74	0.87	5.68
56	3.5	3.6	1.5	1.17	0.21	0.16	1.54
59	6.7	4.9	2.0	4.43	0.96	0.77	6.16
60	5.3	4.3	1.5	2.54	0.65	0.47	3.66
61	5.3	6.4	2.8	3.71	0.94	0.70	5.35
78	5.2	4.4	1.7	2.62	0.50	0.35	3.47
81	8.7	7.3	2.6	10.89	2.50	1.92	15.31
84	8.9	7.2	2.1	10.68	2.54	1.63	14.85
90	3.6	4.3	1.7	1.33	0.31	0.29	1.93
93	6.7	6.5	2.9	6.15	1.18	0.79	8.12

Plot B

No.	胸高直径 D. B. H (*cm*)	樹　高 Height (*m*)	枝下高 Clear length (*m*)	乾 重 Dry weight (*kg*)			
				幹 Stem	枝 Branches	葉 Leaves	計 Total
3	6.5	5.9	1.6	4.60	1.50	1.24	7.34
8	3.3	3.8	2.2	1.17	0.29	0.12	1.58
18	3.9	4.7	2.0	1.52	0.39	0.47	2.38
19	3.5	4.3	2.0	1.30	0.19	0.36	1.85
20	3.1	3.5	1.4	0.79	0.26	0.26	1.31
21	4.5	4.8	2.5	1.90	0.59	0.45	2.94
23	8.3	7.6	2.5	8.31	2.41	1.58	12.30
26	8.4	6.6	2.5	8.94	2.85	2.26	14.05
32	8.6	6.9	2.3	10.43	3.65	2.21	16.29
34	8.4	6.0	2.7	8.92	2.42	1.98	13.32
35	9.7	7.2	1.6	12.79	3.94	2.68	19.41
40	2.8	4.1	2.0	1.20	0.17	0.18	1.55
46	2.8	4.7	2.6	1.29	0.09	0.17	1.55
52	7.9	6.7	3.0	8.21	2.54	1.60	12.35
61	3.3	5.0	2.4	1.22	0.22	0.16	1.60
79	3.1	5.4	2.9	1.19	0.11	0.18	1.48
84	6.8	5.6	2.6	4.58	1.95	1.55	8.09
87	1.9	3.2	1.7	0.38	0.06	0.04	0.48
88	5.7	5.8	3.0	4.20	0.80	0.84	5.84
100	1.7	3.0	2.0	0.28	0.03	0.03	0.34

Plot C

No.	胸高直径 D. B. H (*cm*)	樹高 Height (*m*)	枝下高 Clear length (*m*)	乾重 Dry weight(*kg*)			
				幹 Stem	枝 Branches	葉 Leaves	計 Total
6	4.2	5.5	3.0	1.99	0.36	0.33	2.68
18	6.1	4.9	2.5	4.06	0.87	0.88	5.81
19	3.1	5.7	2.8	1.30	0.11	0.17	1.58
27	7.4	6.6	2.8	5.66	1.76	0.99	8.41
34	8.6	7.0	2.1	10.26	3.04	2.09	15.39
37	3.0	5.1	2.9	1.09	0.08	0.19	1.36
45	2.4	4.4	2.1	0.57	0.09	0.09	0.75
51	5.7	6.4	3.5	4.31	0.67	0.75	5.73
60	2.0	3.4	2.0	0.38	0.04	0.03	0.45
76	7.8	7.3	3.8	8.49	1.87	1.40	11.76
78	4.3	5.6	3.3	2.09	0.25	0.30	2.64
79	1.7	3.5	2.4	0.27	0.02	0.01	0.03
81	6.0	5.9	2.4	4.66	0.76	0.69	6.11
87	5.5	5.8	3.5	3.56	0.67	0.63	4.86
97	5.5	6.3	3.3	3.72	0.67	0.63	5.02
101	3.5	4.8	2.2	1.26	0.24	0.22	1.72
102	4.0	5.5	3.9	2.03	0.33	0.36	2.72
103	3.6	6.0	3.3	2.78	0.39	0.34	3.51
104	1.8	3.8	2.4	0.31	0.02	0.02	0.36
105	2.5	4.7	3.0	0.67	0.05	0.09	0.81
106	1.5	3.2	1.9	0.29	0.03	0.02	0.34
107	5.4	6.7	4.0	3.71	0.54	0.39	4.64
108	3.0	3.9	2.4	0.79	0.14	0.06	0.99
109	3.6	5.9	3.3	1.52	0.21	0.21	1.94
110	3.8	3.4	2.0	1.13	0.41	0.15	1.69
111	1.7	4.4	3.0	0.36	0.02	0.03	0.41
112	2.5	4.5	2.8	0.67	0.06	0.07	0.80
113	3.5	5.9	2.4	1.66	0.17	0.17	2.00
114	2.9	5.4	4.2	1.16	0.04	0.04	1.24
115	4.8	6.0	3.1	2.90	0.62	0.63	4.15

文　　献

1) Baker, F. S.: Stand density and growth, Jour. Forestry, 51.
2) 加藤亮助：様式を変えたばあいのカラマツ苗木の本数密度と生産量，林試北海道支場年報，(1958)
3) ――――：カラマツ幼齢林分における密度効果の一例，北方林業，11，(1959)
4) ――――：トドマツ人工林の解析の一例――その現存量と相対成長――北方林業，13，(1961)
5) 河田　杰：あかまつ及からまつ植栽ノ疎密カ成林状態ニ及ホス影響（第1回報告），林試報，25，(1924)
6) ――――：同上（第2回報告），同，27，(1927)
7) ――――・木島藤太郎：林木の枝張りに関する研究，同上，41，(1949)
8) ――――・金谷与十郎：アカマツ及びカラマツ植栽の疎密が成林状態に及ぼす影響（終結報），同上，41，(1949)
9) 吉良竜夫・穂積和夫・小川房人・上野善和：植栽密度の生態学的考察，園芸学研究集録，第6輯，(1953)
10) ――――編：密度・競争・生産，みやま，(1957)
11) ――――：植物生態学（2），(1960)
12) Kittredge, J.: Estimation of the amount of foliage of trees and stands, Jour. Forestry, 42, (1944)
13) Kramer, H.: Kulturverb and sversuche, Der Forst- und Holzwirt Nr. 23～24, (1960)
14) 丸山岩三・佐藤　正：林木および林分の葉量に関する研究（第1報）――岩手県地方のアカマツ林について――，林試報，65，(1953)
15) Reineke, L. H.: Perfecting a stand-density index for evenaged forest, Jour. Agri. Res. 46, (1933)
16) 佐田一至・大城川次郎・小池益夫：アカマツ及びカラマツ植栽の疎密が成林状態に及ぼす影響（第3回報告），林試報，37，(1941)
17) 坂口勝美・土井恭次・安藤　貴：立木密度からみたアカマツ幼齢林分の生産構造，アカマツに関する研究論文集，(1954)
18) ――――・――――・――――・福田英比古：本数密度からみたアカマツ天然生幼齢林分の解析，林試報，93，(1957)
19) 佐藤大七郎・中村賢太郎・扇田正二：林分生長論資料1，立木密度のちがう若いアカマツ林，東大演報，49，(1955)
20) ――――・功力六郎・桑川昭夫：同上3，チョウセンヤマナラシの再生林における葉の量と生長の関係，同上，52，(1956)
21) 扇田正二・中村賢太郎・佐藤大七郎：林分の生産構造の研究（予報）――アカマツ植栽疎密試験地に於ける若干の解析――，東大演報，43，(1952)
22) 柴田信男：植栽密度試験について，林業技術，228，(1961)
23) 四手井綱英：林分密度の問題，林業解説シリーズ，86，(1956)
24) 清水三雄：相対成長（1959）
25) 篠崎吉郎・吉良竜夫：生長曲線論，現代生物学講座6，発生と増殖，(1958)
26) 戸田良吉：枝張りの程度のあらわし方――キリシマアカマツでしらべた1例――，日林誌，35，(1953)
27) ――――：同II　スギ“クモトオシ”とヒウガマツでの効果，同，36，(1954)
28) 四大学合同調査班：森林の生産に関する研究　第1報　北海道主要針葉樹について，国策パルプ会社，(1960)

29) WAKELEY, P. C.: Planting the Southern Pines, Agri. Monog. No.18, Forest Service, U. Dep. of Agric., (1954)

Growth Analysis on the Natural Stands of Japanese Red Pine

(*Pinus densiflora* SIEB. et ZUCC.) I.

Effects of improvement cutting and relative growth.

Takashi ANDO, Katsumi SAKAGUCHI, Tadanori NARITA and Shoobin SATOO

(Résumé)

To study and obtain effects of improvement cutting on basic data of Japanese red pine thick stage stands, the experimental plots of improvement cutting were established in the National Forest, Mashiko Town, Tochigi Prefecture, in 1951～1952.

The plots were established on the naturally regenerated stand of 8 year-olds in 1951. We treated so as to obtain the limited values of the wide spaced stand and the over-stocked stand, and the growth of tree in the wide spaced stand resembled the growth of the isolated tree, and the over-stocked stand was proceeding in the natural thinning.

The treatment of improvement cutting was done as follows:

Plot A: Wide spaced plot. When the stand begins the competition, thinning is done.

Plot B: 10,000 trees per *ha.* in 1952.

Plot C: Non-treatment plot.

The arrangement of experiment plots are shown in Fig. 1.

Since 1953, diameter, height, clear length and crown diameter of the trees in each plot have been measured every other year. In 1961, we measured the weight of the stems, the branches, and the leaves of the sample trees in each treatment of block I. We sampled 20 sample trees from Plot A and Plot B, and 30 from Plot C. The sample tree volume was calculated by the stem analysis, and from these results we calculated the total stand volume of each plot in each measured year.

In this report we describe the development of stand structure elements in each measured year and discuss the relative growth.

I. The development of the stand structure elements.

The development of tree no. per *ha.*, average height, average diameter, average clear length, average crown diameter, basal area and volume of each plot are shown in Fig. 2 to Fig. 12. The development of the ratio of the above mentioned values of Plot B and Plot C to that of Plot A, are shown in Table 1 to Table 10. The results are summarized as follows:

1. Average diameter at breast height, average crown diameter, average basal area at breast height and average stem volume decreased with the increasing stand density.
2. No. of dead trees, average clear length, basal area at breast height per unit area, stem volume per unit area and crown closure ratio increased with the increasing stand density.

3. Average height was not affected by stand density.

II. The relative growth.

The relative growth has been studied mainly in the field of Zoology. The relation between two parts of growing system was shown by HUXLEY[2] in the following equation:

$$y=bx^k$$

or $$\log y=k\log x+a \quad (b,\ k;\ \text{constant}, \log b=a)$$

This relation was named "Relative Growth" and the equation was named "Relative Growth Equation" by HUXLEY. We have much information on the absolute growth (the relation between the time and the stand structure elements), while we have very little information on the relative growth. KITTREDGE[13], and MARUYAMA and SATOO[15] did not use the term "relative growth", but showed the same equation on the relation between diameter at breast height and the amount of leaves. SATOO et al.[20][21] applied it to the estimation of the stand leaves volume. TODA[28][29] showed the same equation on the relation between diameter at breast height and crown diameter. KATOO[5] applied the relative growth to the analysis of *Abies sachalinensis* stands, and the Four University Party[30] showed the many relative growths on naturally regenerated forests in HOKKAIDO.

In this report, we studied the relation between the relative growth and the stand density or the stand age. The effect of stand density on the relative growth is shown in Fig. 13 to Fig. 21, and Table 11 to Table 16, and the effect of stand age is shown in Fig. 22 to Fig. 25, and Table 17 to Table 19. The results are summarized as follows:

1. The relative growth is affected more by stand density than stand age.
2. The stand density has an influence on the relative growth of height—diameter at breast height, height—stem weight, height—branches weight, height—leaves weight, height—total weight of above ground and diameter at breast height—crown diameter.
3. The stand density has little influence on the relative growth of total weight of above ground—branches weight, total weight of above ground—leaves weight, diameter at breast height—stem weight, diameter at breast height—branches weight, diameter at breast height—leaves weight and leaves weight—nearest annual increment of stem.
4. The stand density has no influence on the relative growth of total weight of above ground—stem weight and diameter at breast height—total weight of above ground.
5. The stand age has a great influence on the growth of total weight of above ground —parts weight of above ground, diameter at breast height—total weight and parts weight of above ground, and height-total weight and parts weight of above ground.