

アカマツ林の林分成長の解析

—岩手地方壮齡人工林の一例—

蜂 屋 欣 二⁽¹⁾
土 井 恭 次⁽²⁾
小 林 玲 爾⁽³⁾

1. はじめに

林分の立木密度と成長、とくに幹材積成長との関係については最近多くの研究が行なわれ、森林の保育、とくに林分密度の管理のために応用されてきている。また、森林の物質生産の機構についての研究も保育技術および林地の地力維持、増進の技術などに生態学的基礎を与えるものとして活発にすすめられてきている。しかし、わが国の主要樹種の森林について、その生産力や生産の構造、機能を統一的に理解するためには、まだまだ資料が不足している現状にある。アカマツ林についても立木密度を中心として林分成長の解析が佐藤ら¹⁷⁾、坂口ら¹⁴⁾¹⁵⁾、安藤ら²⁾³⁾、只木ら²³⁾²⁴⁾によって行なわれているがまだその説明は十分ではない。われわれもアカマツについていくつかの資料を得ているが、今回はそのうち岩手地方の密度の異なる壮齡林についての調査結果の一部を、アカマツ林の林分成長解析の一つの資料として報告する。

この研究をすすめるにあたり、ご指導をいただいた林業試験場長坂口勝美博士、造林部長加藤善忠技官、また種々助言をいただいた造林第二研究室安藤貴技官、さらに現地調査の便宜もいただいた岩手営林署の各位に厚く感謝する。

2. 調査地

調査は1957年11月上旬の生育終止期に行なったが、調査地として岩手県岩手営林署管内（旧沼宮内営林署）19, 20, 39林班から土地的条件の似かよった、しかも立木密度の大幅にちがった壮齡造林地を5林分えらんだ。

第1表 調査林分の概況

Table 1. The sample stand.

調査林分	Stand	A	B	C	D	E
林 齡	Age yr	46	44	43	46	33
面 積	Area m ²	216	400	308	397	180
方 位	Exposure	E	S E	S W	W	S
立 木 密 度	Stand density No./ha	370	750	1009	1310	2340
平均胸高直径	Mean D.B.H. cm	28.9	23.5	22.2	21.2	15.7
平均樹高	Mean height m	19.5	18.5	18.2	19.2	15.7
胸高断面積合計	Basal area m ² /ha	23.7	32.3	38.5	46.4	45.6
標本木本数	No. of sample tree	3	6	8	8	10

(1) 造林部造林科造林第二研究室長 (2) 造林部造林科造林第一研究室長 (3) 現関西林木育種場山陰支場

これらの調査地について整一な林相をもつ部分を区画し調査を行なったが、その概況は第1表のとおりである。A～D林分は43～46年生の林分で、E林分はそれより若く33年生であったが、きわめて密立して枯死木も多く、いわゆるfull-densityの状態に達しているものとみられたので、参考のため調査した。

調査地はいずれも丘陵性地形の10～20°程度の緩斜面にあり、火山灰土壌では土層のふかいB₀型とみなされた。各調査地内の林冠層はすべてアカマツによって構成されていたが、低木層にはコナラ、ヤマウルシ、アオダモ、クロモジ、コメウツギなどが普通にみられた。とくにC、D林分では下層植生は1m前後のササによってほとんど占められていた。

林齢と平均樹高の関係からみると、これらの調査地は岩手地方アカマツ林分収穫表による地位I等地の下からII等地の上に相当するものとみられる。

これまでの林分の手入れ、間伐などの詳細は不明であったが、林内の枯死木および伐根などの年齢からみて、各調査地とも少なくとも最近7～8年の間には、除・間伐などはおこなわれなかったとみられ、現在の密度の差はかなり以前の林の取扱いのちがいでよってできたものと考えられた。

以下、林齢のそろった約45年生のA～Dの4林分を中心にその成長を検討したい。

3. 調 査 法

調査地内の立木について胸高直径、および樹高の毎木調査を行なったのち、径級の大、中、小のグループの本数にほぼ比例するよう、A林分から3本、B林分から6本、C、D林分から8本、E林分から10本を標本木として無作為にえらび、伐倒して幹、枝、葉の各部分の量を測定した。なお、E林分の10本の供試木のうち2本は、樹幹解析だけ行なった。

幹の材積は、通常の樹幹解析法によって求めた。幹の重量は、樹幹解析のため採取した円板の皮つき容積密度数を材積に乗じて乾燥重量として求めた。枝、葉の重量は伐倒した標本木ごとにクローネ長を2分して上層、下層に分ち、それぞれの重量を測定した。このときまず枝葉をつぎの部分に分けた。

葉つき枝：現在葉の着生している枝、葉と小枝を含む。

細枝：5年生未満の枝。

中枝、太枝：5年生以上の枝で長い枝は太さで2分する。

上、下各層ごとに幹から切りはなした枝葉から細、中、太枝をそれぞれ分けて秤量した。つぎに葉つき枝については量に応じてその約1/2から全量をとって新葉（当年葉）、旧葉（1年葉および2年葉、2年葉はきわめてわずかであった。）および小枝に分けて秤量し、重量抽出比から各部分の生重量を得た。さらに林分ごとに各層の枝、葉の各部分の試料をいくつかとり、80°Cで乾燥して乾量率を求め、各部分の乾重を算出した。

単位面積当たりの各器官の現在量の推定には、胸高断面積合計による比推定法¹³⁾によった。

すなわち、標本木の胸高断面積合計を g 、標本木のある部分の合計量を y とし、毎木調査による林分の ha 当たりの胸高断面積合計を G とすると、 ha 当たりのその部分の現存量 Y は

$$Y/G = y/g$$

より求められる。

なお、今回は根の量については測定をしていないが、林分のT/R率は年齢や密度であまり大きな変化をしないようであり、しかも、アカマツ、スギ、カラマツなどでもあまりT/R率に差がなく3～4程度

第2表 ha 当たりの現存量

Table 2. Standing crop per hectare.

調査林分		Stand	A	B	C	D	E
材積 (m ³) Volume	幹	Stems	215.2	324.9	374.6	472.6	408.6
	枝	Branches	26.2	25.9	36.3	34.4	32.3
	計	Total	241.4	350.8	410.9	506.0	440.9
乾重 (ton) Dry weight	幹	Stems	83.9	126.0	153.6	198.5	163.4
	枝	Branches	14.1	13.4	15.6	16.6	14.6
	葉	Leaves	4.0	5.1	6.4	7.0	6.9
		(新葉 New)	(2.2)	(2.8)	(3.4)	(3.8)	(3.4)
		(旧葉 Old)	(1.8)	(1.8)	(3.0)	(3.2)	(3.5)
	地上部	Above-ground parts	102.0	144.5	175.6	221.8	184.9
	根*	Roots	29.1	41.3	50.2	63.4	52.8
	全重 Whole weight	131.1	185.8	225.8	285.2	237.7	

* 根の重量については T/R=3.5 として推定

Dry weight of roots was estimated from T/R = 3.5

の値をとるとされる⁹⁾¹⁰⁾。そこでアカマツ林分の乾重の T/R 率を平均的に 3.5 として地上部重より根の重量を推定した。

各調査林分の ha 当たりの各部分の現存量は第2表のとおりである。この報告ではとくに記述しないかぎり、重量は乾燥重量でしめしている。

各器官の成長量はつぎのようにして求めた。

幹の成長量は樹幹解析によって1年間の皮なし成長量を求め、現在の樹皮率から最近1年間の皮つき材積成長量を算出した。さらに各林分ごとの平均の容積密度数をかけて重量成長量を求めた。枝の成長量については、各林分ごとにさきに述べた枝の各部分のうち、中枝、太枝別にそれぞれ8~10本の試料の枝をとり、その中央部から試料をとって最近5年間の材積成長率を出し、中枝、太枝別の容積密度数によって重量成長率を求めて、中枝、太枝別の重量よりそれぞれの最近5年間の重量成長量を推定した。さらに5年生未満の枝である細枝、小枝の量を加えて、最近5年間の枝の成長量とし、その1/5を1年間の成長量とみなした。葉の成長量は各林分の新葉量をもって最近1年間の成長量とした。根の成長量については林分ごとの地上部重に対する幹重の割合が最近1年間に変化しないものとして、1年前の地上部重を求め、

第3表 ha 当たりの最近1年間の成長量

Table 3. Annual increment per hectare in the latest one year.

調査林分		Stand	A	B	C	D	E
材積 (m ³) Volume	幹	Stems	9.5	13.3	13.7	14.1	21.8
	枝	Branches	1.8	1.7	1.9	2.1	2.1
乾重 (ton) Dry weight	葉	Leaves	2.2	2.8	3.4	3.8	3.4
	地上部	Above-ground parts	7.7	9.7	10.9	11.8	14.2
	根	Roots	1.3	1.7	1.8	1.9	2.8
		純生産量 Net production	9.0	11.4	12.7	13.7	17.0

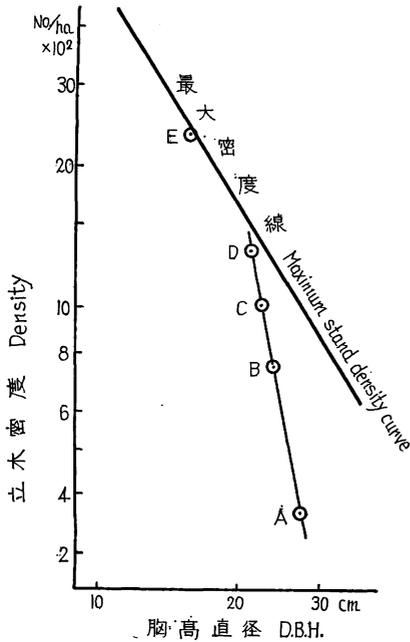
さらに T/R 率をさきと同じく 3.5 として 1 年前の根の重量を出し、推定された根の現存量との差を一応根の成長量とみなした。

ha 当たりの成長量は現存量の場合と同じく、胸高断面積合計による比推定法によって推定した。各林分の成長量は第 3 表のとおりである。

4. 調査林分の現存量と立木密度

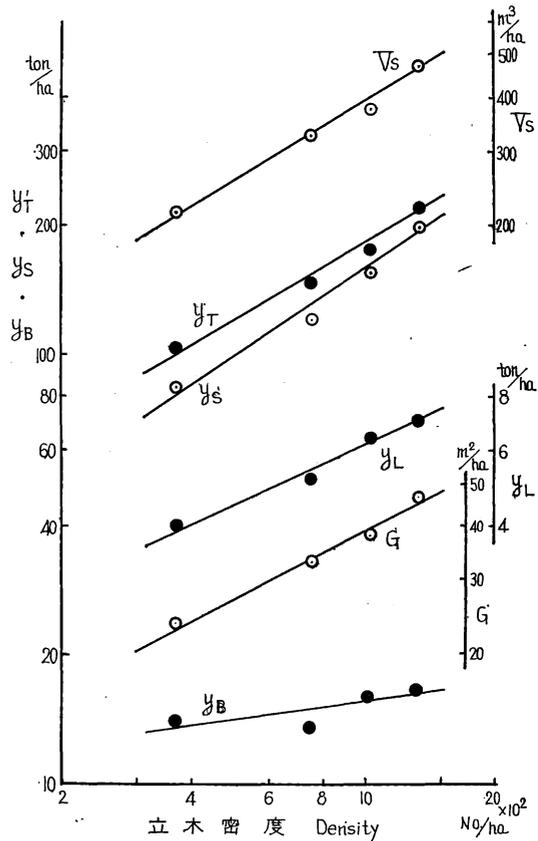
今回の調査林分は一般の施業林分の中から、地位は等しいが現在の密度に大きな差のある林分をえらんでいる。各林分はこれまでの取扱いの経過は明らかでないが、最近 7~8 年の間は間伐などの手入が行なわれておらず、立木密度の変化も競争による自然枯損によるもの以外にみられない。そこで普通の立木密度比較試験の場合とは意味はちがうが、調査林分の現在の状態と立木密度との間に密接な関係がみられることが予想される。

林分の平均直径と立木密度との関係を見ると、第 1 図のように林齢のほぼ等しい A~D 林分の間では、平均直径の対数と本数密度の対数との間に直線関係がある。この関係は立木密度比較試験¹⁷⁾や間伐試験²⁰⁾などのこれまでの結果とよく一致している。坂口¹⁶⁾は REINEKE の方法¹³⁾に準じて十分にうっぺいしたアカマツ林の平均胸高直径と立木密度との間の関係として最大密度線(第 1 図右上太線)を求めている。そして、それぞ



第 1 図 平均胸高直径と立木密度

Fig. 1 Relation between mean D.B.H. and stand density.



第 2 図 立木密度と ha 当たりの現存量
幹重 (y_S), 枝重 (y_B), 葉重 (y_L), 地上部重 (y_T), 幹材積 (V_S), 胸高断面積合計 (G)

Fig. 2 Relation between stand density and standing crop per ha.

Stem wt.: (y_S), branch wt.: (y_B), leaf wt.: (y_L), above-ground parts wt.: (y_T), stem volume: (V_S), basal area: (G).

れの直径に対応する最大本数密度を 100 とした現実の本数密度の百分率を本数密度比数 (SDR) として、林分の相対的な密度をあらわす尺度としている。A~E 林分の SDR を求めると A 37%, B 61%, C 74%, D 90%, E 98% となり、A から D と現在の本数密度の順に最大本数密度に近づき、E 林分はほとんど最大本数密度に達して、いわゆる Full-density の状態に近いことがわかる。

A~D 林分の各器官の現存量を現在の立木密度との関係で比較すると、第 2 図にみるとおりになる。これまで林分の密度効果については吉良ら¹¹⁾²²⁾の見いだした密度効果の法則がよく適合することが認められている³⁾⁵⁾¹⁴⁾¹⁶⁾¹⁷⁾²⁴⁾。えらばれた A~D 林分の間でも多少の年齢、樹高の差があるにもかかわらず、ha あたりの幹重、幹材積、胸高断面積合計、葉重、枝重、地上部重などと本数密度との間の関係は両対数でほぼ直線的な関係、すなわち、吉良¹¹⁾らの収量—密度効果の冪乗式でよく近似された。

次の冪乗式、

$$y = kp^{1-a} \quad \left(\begin{array}{l} y: \text{単位面積当たりの各器官の量} \\ p: \text{密度 } k, a: \text{生育段階による常数} \end{array} \right)$$

において a は 0 から 1 まで値をとる。密度試験において初期には単位面積当たりの量は密度に比例して $a = 0$ であるが、生育するにつれ a は 1 に近づき、十分時間がたつて単位面積当たりの量が密度に無関係に一定になる、すなわち、収量一定の状態になると $a = 1$ となる。そこで a の値は密度効果のすすみ方の程度をあらわす指数として、競争密度指数 (C-D 指数) とよばれる。

A~D 林分の地上部重と密度との関係を冪乗式にあてはめると a の値を求めると約 0.40 程度であって、各林分間の密度効果のすすみ方の程度が収量一定の状態にはほど遠い状態にある林分がえらばれたことを示している。

単位面積当たりの葉量は林分が十分にうっぺいしておれば、立木密度にかかわらずほぼ一定となり、また間伐された林分でも、十分にうっぺいが回復すれば葉量はやはり一定の値になると考えられている¹⁷⁾¹⁹⁾²⁰⁾。A~D 林分の葉量と密度との関係も冪乗式でよく近似されたが、C~D 指数 a の値は約 0.55 であって、A, B 林分などのうっぺいの回復が十分でなく葉量一定の状態にはまだ到達していなかった。しかし、地上部重の a の値からみて葉量の方に密度効果がより早くあらわれるようである。33 年生で Full-density の状態にある E 林分の葉量が 6.9 ton/ha、46 年生でかなり密度の高い D 林分 (SDR=90) で 7.0 ton/ha という値からみて、アカマツ壮齡林の最大葉量は乾燥重量でほぼ 7.0 ton/ha 程度といえよう。なお今回の調査時期 11 月上旬にはすでに秋季の落葉が一段落した時期に当たっていた。うっぺいしたアカマツ林の葉量は生重で 12~13 ton/ha 程度と報告¹⁷⁾されているが、これは乾重に換算すると、約 5~6 ton/ha 程度となる。これにくらべ以上の結果は多少大きい値となった。しかし、密生した天然生幼齡林では 7~8 ton/ha という葉量も報告³⁾されており、密度だけでなく林齡、地位などとの関連においてさらに検討する必要がある。なお全葉量に対する新葉量の割合、新葉率は A~D 林分で 56~53%, E 林分で 49% と密度が高いほど多少ともへる傾向があったが大差はなかった。これからみて十分にうっぺいしたアカマツ壮齡林の葉の平均寿命は、これまでいわれているようにほぼ 2 年であるといえる。しかし、後述の東大造林学教室の 14 年生アカマツ林の資料²⁷⁾によれば、新葉率は約 90% であり、またわれわれの 12~22 年生林分の調査資料⁶⁾などからすると新葉率は年齢が若いほど大きくなり、葉の寿命は年齢が若いほど短いものと考えられる。

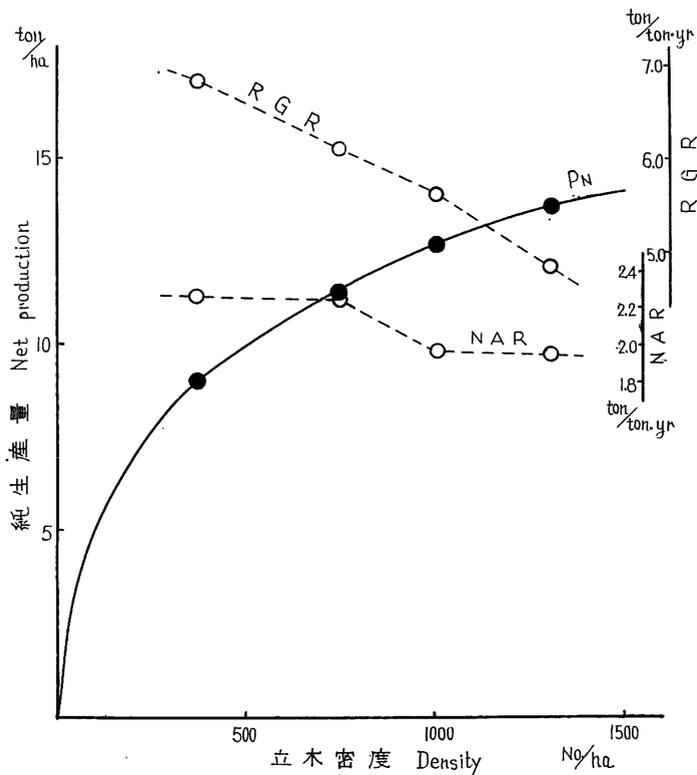
林分成長を解析するには、各器官の現存量とともにそれらの間の量的な割合をみる必要があるが、第 4 表に地上部現存量に対する各器官の割合を示す。

第4表 地上部各器官の割合 (ton/ton)
Table 4. Ratio of each organ to above-ground parts.

調査林分	Stand	A	B	C	D	E
幹	Stems	0.823	0.870	0.875	0.894	0.884
枝	Branches	0.138	0.094	0.089	0.074	0.079
葉	Leaves	0.039	0.036	0.036	0.032	0.037

地上部重に対する割合をみると幹重では密度の高い林分ほどその割合が増加するが、枝重の割合は逆に減少する。葉重の割合も枝の場合ほど大きな差がないが、高密度の林分ほど多少減少する傾向がみられる。また非同化器官の幹と枝の重量に対する同化器官の葉重の割合は地上部に対する葉の場合と同じく密度が増すにつれ減少する傾向があった。またクローネをつくる枝と葉の関係をみると、枝重に対する葉重の割合は高密度の林分ほど大きく増加している。これらの傾向はこれまでの立木密度比較試験²⁾⁵⁾¹⁵⁾¹⁷⁾²⁰⁾などで明らかにされた関係と同じであった。

以上のように施業林分からえらんだA~D林分の間で各器官の現存量や、それらの割合などを比較してみると、立木密度比較試験などで普通みられる関係と同じ傾向が立木密度との間に認められた。したがって、えらばれた各林分の最近の成長も現在の密度と密接に関係していると考えられるので、各林分の物質



第3図 立木密度と純生産量 (PN), 成長率 (RGR), 純同化率 (NAR)
Fig. 3 Net production (PN), relative growth rate (RGR) and net assimilation rate (NAR) in relation to stand density.

生産や各器官の成長についておもに現在の密度を中心に比較してみよう。

5. 林分の物質生産と密度

各器官の成長量をあわせた全成長量は、多少の枯損量を無視すれば、葉による同化生産量から呼吸量を差引いたアカマツの純生産量(Net production)とみなせる。各林分の密度と ha 当たりの最近 1 年間の純生産量との関係は第 3 図のとおりで、純生産量は密度が増すにつれ増加しているが、その増加の割合はしだいに低下して飽和曲線的な傾向をみせている。純生産量を全現存量で割った成長率 (Relative growth rate, RGR) と密度の関係をみるとおなじく第 3 図にみるように、成長率は密度が増すにつれてほぼ直線的に低下している。

いま、ha 当たりの全現存量を y 、純生産量を $4y$ 、葉量を y_L (通常葉面積が用いられている) とすると、成長率 $4y/y$ はつぎのように書きあらわせる。

$$4y/y = 4y/y_L \times y_L/y$$

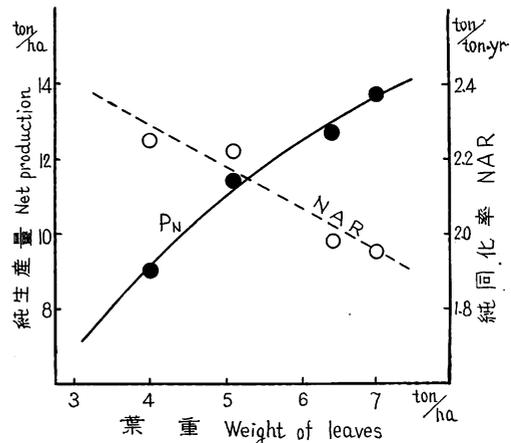
$4y/y_L$ は純生産量を葉量で割った値で純同化率 (Net assimilation rate, NAR) であり、単位量の葉当たりの純生産量、すなわち葉の物質生産の能率をあらわしており、 y_L/y は全現存量に対する葉量の割合である (通常葉面積比, Leaf area ratio, LAR とよばれる)。成長率はこの 2 つの要因に分けて考えることができるが、各林分の成長率、純同化率、葉の割合をまとめて第 5 表に示す。なお、ここでは葉面積のかわりに葉の乾重を用いている。

第 5 表 純同化率、全重に対する葉重の割合、成長率

Table 5. Net assimilation rate (NAR), ratio of leaves to whole weight and relative growth rate (RGR).

調査林分	Stand	A	B	C	D	E
純同化率	NAR ton/ton·yr	2.25	2.22	1.98	1.95	2.47
葉重/全重	Leaves/whole %	3.04	2.75	2.84	2.47	2.89
成長率	RGR ton/ton·yr	6.84	6.11	5.63	4.81	7.15

まず A~D 林分の純同化率のちがいをみると、林分の密度が増すにつれ純同化率も低下している (第 3 図)。また葉の全現存量に対する割合もさきの第 4 表のように密度とともに低下する。したがって、A から D 林分へと成長率が低下する原因としては純同化率、すなわち葉の物質生産の能率の低下とともに、葉の割合の減少という 2 つの要因が同時に働いていることがわかる。純同化率が低下する理由として考えられる大きなものは、これらの調査林分では密度の増加とともに林分葉量が増すにつれ葉の重なり合いが烈しくなり、個々の葉のうける光条件が悪化し単位量の葉の純同化量が減少することで



第 4 図 ha 当たり葉量と純生産量 (PN) および純同化率 (NAR) in relation to amount of leaves per ha.

ある。林分の葉量と純同化率との関係をみると、第4図のように葉量の増加とともに純同化率がほぼ直線的に低下している。さらに高密度の林分ほど葉の量の割に非同化器官の量が多くなることも、同化量に比して呼吸消費の量が増加することとなり、純同化率をひき下げる原因となつていよう。このほか葉自体の同化能力や非同化器官の呼吸率などの変化についても検討する必要があるが、今回の調査ではこれらにふれることはできなかった。これまでの農作物⁷⁾⁸⁾²⁶⁾や林木苗木²¹⁾などによる成長解析においても以上と大略一致した結果がみられる。

なお地上部だけの成長率、純生産量、純同化率などの傾向も以上の全生産量における場合とほとんど同じであった。

Watson²⁶⁾は群落の収量成長速度(単位時間の単位面積当たり純生産量)が葉面積の増加にともなって放物線的に増加し、ある葉面積のとき最大に達し、それより葉面積が増してもかえって収量成長速度は減少する、すなわち、群落の生産にとって最適葉面積のあることを認めている。この約45年生のアカツ林の結果では第4図のように葉量が過大となって純生産量が減少するということは認められなかった。しかも、最も純生産量の大きいD林分は7ton/haの葉量を持ち、すでにアカマツ壮齡林の最大葉量に達していると考えられるので、現実のアカマツ林の成長において最適葉量を考える必要はないようである。

アカマツ林の物質生産については、あまり報告された資料がない。今回調査した岩手地方のほぼ1等地の下から2等地の上という地位にあたる約45年生のアカマツ林では、密度によってちがうが、うっぺいの進んだC、D林分で最近1年間で約13~14ton/haの純生産量、約2.0ton/tonの純同化率を示した。地上部だけでは約11~12ton/haの純生産量である。なお、これらは下草、低木類を含まぬアカマツだけについての値である。年齢の若い33年生の密生したE林分では、年純生産量は約17ton/ha、地上部だけの純生産量は約14ton/haに達した。

四大学合同による“物質循環面よりみた森林生産力の研究”のアカマツ林調査資料²⁷⁾(東大造林学教室調査)によれば、14年生でかなり密生した、平均樹高約6~7mの若いアカマツ林の最近2年間の成長量は、アカマツだけの地上部で27.1ton/ha、根を含めて29.8ton/haという。これを1年間に平均すると全体で約15ton/ha、地上部で約13.5ton/haという純生産量となり、今回のC、D林分の測定値とほぼ合致するようである。なお、只木²⁸⁾らは苗畑でm²あたり100本という密生させた3年生の模型林分で、地上部の3年間の年平均純生産量が約20ton/haに達したと報告している。また、Ovington¹²⁾は年齢のちがったヨーロッパアカマツ人工林について、35~55年生の林分で年平均純生産量が約12ton/ha、20年前後で最大の年純生産量約22ton/haに達することを述べている。このように純生産量は当然年齢や密度、地位などによって変化するものであるが、アカマツについてはなお資料が乏しく、全体的な検討はできない。

6. 分配率と各器官の成長

各器官の成長は、葉による同化生産物の量と、各器官の呼吸消費量および生産物の各器官への分配の割合によってきまる。呼吸量については調査されていないので、ここでは最近1年間の純生産量の分配率を各器官の成長量から算出すると第6表のようになる。根の成長量はかなりあいまいな推定によっているので、ここでは主に地上部器官だけの純生産量の分配率についてみると、幹への分配率はAからB林分へと立木

第6表 生産物の各器官への分配率 (%)

Table 6. Ratio of distribution of annual products among various organs.

調査林分	Stand	A	B	C	D	E
幹	Stems	41 (48)*	46 (53)	44 (51)	43 (50)	51 (62)
枝	Branches	20 (23)	15 (18)	15 (18)	15 (18)	12 (15)
葉	Leaves	25 (29)	24 (29)	26 (31)	28 (32)	20 (24)
根	Roots	14	15	15	14	17

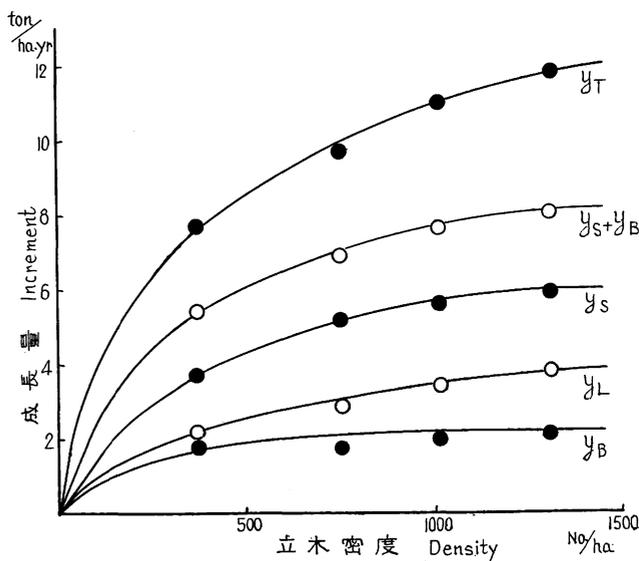
* () 内は地上部純生産量に対する%

The numbers in parentheses indicate the percentage to annual products of above-ground parts.

密度が増すと増加するが、さらに密度の高いC, D林分では分配率は低下している。枝への分配率は密度の低いA林分でかなり大きくなったが、B~D林分については差はみられなかった。葉への分配率は密度が高いほど多少分配率も大きくなるようだが、大きな差ではなかった。したがって、幹と枝とをあわせた地上部の材部への分配率は、密度によって大差はなかった。

C, D林分のようにうっぺいが進んだ林分では分配率には大差がみられず、アカマツの約45年生のうっぺいした林分では地上部生産物の分配率は大よそ幹50%, 枝20%, 葉30%程度といえる。林業のおもな生産目的である幹の生産量は地上部生産量の約1/2に過ぎず、クローネをつくる枝、葉にまわる割合が大きいことがわかる。しかも枝の生産の幹の生産に対する割合は、うっぺいの進んだC, D林分でも約1/3、密度の低いA林分では約1/2にも達していた。さらに根の生産量を加えて、全体の生産物の分配率を推定するとうっぺいの進んだ林分で幹45%, 枝15%, 葉25%, 根15%程度とみられ、枝と根への分配率はほぼ等しい値となった。若い33年生のE林分では、地上部の生産物の分配率は幹61%, 枝15%, 葉24%, 根を含めた全生産物の分配率では幹51%, 枝12%, 葉20%, 根17%と幹への分配率が45年生の林分にくらべて少し大きくなっている。

また、さきの東大造林学教室の資料²⁷⁾によれば、15年生のアカマツ林分の地上部生産物の分配率は幹50%, 枝19%, 葉31%であって、A~D林分のそれとほぼ一致していたが、分配率も当然林齢や林分構造、地位などによって大きく影響をうけることが考えられる。



第5図 立木密度と最近1年間の各器官の成長量 (第2図の説明参照)

Fig. 5 Relation between stand density and increment in various organs in the latest one year (see the explanation in Fig. 2).

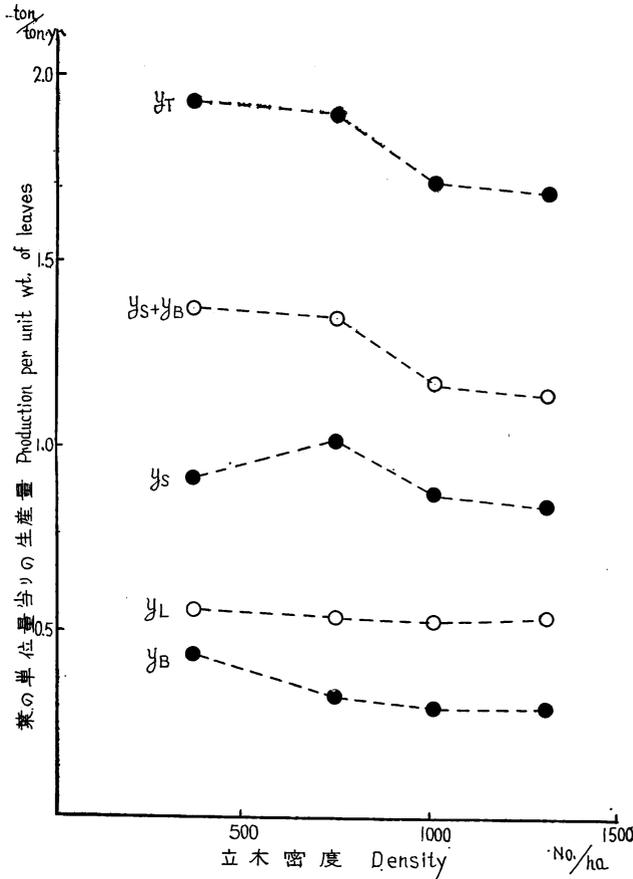
葉による同化生産量とその分配率によって、各器官の成長がきまることになるが、直接葉の量と各器官の成長量とを比較することは、生産と分配の関係の総合的な結果をみることになる。林業における生産目的である幹の生産と葉量との関係については、林齢や林分の密度、間伐などの取扱い、環境要因などとの関連において古くより検討されてきた。

第5図にみるように、地上部各器官の ha 当たりの成長量と密度とは密接に関係している。林分の幹の成

第7表 葉の単位量当たりの最近1年間の各器官の生産量 (ton/ton)

Table 7. Annual production in various organs per unit weight of leaves in the latest one year.

調査林分	Stand	A	B	C	D	E
幹	Stems	0.93	1.02	0.87	0.84	1.26
枝	Branches	0.44	0.33	0.30	0.30	0.31
葉	Leaves	0.56	0.54	0.53	0.54	0.49
地上部	Above-ground parts	1.93	1.89	1.70	1.68	2.06



第6図 立木密度と葉の単位量当たりの各器官の生産量 (第2図の説明参照)

Fig. 6 Relation between stand density and production in various organs per unit weight of leaves (see the explanation of Fig. 2).

長量は密度が高いほどふえるが、密度の増加の割には増加しない飽和曲線的な傾向を示す。枝、葉の成長量も密度とともに増加するが、枝では密度のちがいによる成長量の増加はいちじるしくない。葉の成長量はこの密度の範囲では、密度とほぼ直線的な関係にあった。

各器官の生産についての葉の能率を比較するため、単位量の葉の生産する各器官の量を求めると第7表に示すとおりで、これらの葉の能率と林分の密度との関係は第6図のようになる。葉の単位量あたりの幹の生産量、すなわち葉の幹生産能率については、これまで立木密度や間伐の程度がちがう林分間で多く検討されてきたが、立木密度と葉の幹生産能率との関係には佐藤ら¹⁷⁾⁻²⁰⁾が指摘するよういいろいろな傾向がみられている。これまでの報告のうち、調査の精度が高いと思われるいくつかのものについてみると、立木密度が高い林分ほど葉の幹生産能率が

よくなる傾向が認められたものには、佐藤らのアカマツ立木密度比較試験地¹⁷⁾ やストローブマツ間伐試験地²⁰⁾、ケヤキ間伐試験地¹⁸⁾ についての報告などがある。アカマツ、ストローブマツの場合は比較された林分は十分うっぺいして林分葉量に差がなかった。しかし、ケヤキの場合は間伐区の葉量が無間伐区にくらべて約半分程度という大きな差がある場合であった。また、立木密度が高い林分ほど葉の幹生産能率が低くなった報告は、Burns ら⁴⁾ の white pine および red pine の立木密度比較試験地、蜂屋ら⁶⁾ のスギ植栽本数比較試験地の例である。両者とも林分葉量が密度とともに増加している場合であった。また、安藤ら²³⁾ のアカマツ除伐試験地の例はやはり林分間に葉量の差がある場合で、葉の幹生産能率は林分葉量がますます低下する傾向があった。

立木密度と葉の幹生産能率についてのもう一つの傾向として、立木密度が増すにつれ葉の幹生産能率も増すが、ある密度以上になるとかえって葉の幹生産能率は低下する場合が認められている。坂口ら¹⁴⁾ のアカマツ天然生幼齢林の調査のように、広い密度の範囲で葉量のちがう林分を比較した報告はこの例である。今回の密度と葉量のちがう林分についての調査結果も第6図にみるようにある密度のところで葉の幹生産能率が最大となる、いわゆる optimum curve で示される関係がうかがえる。以上の3つの場合を統一的に理解するには単に葉の量と幹の生産量とを直接比較するだけでなく、同化器官の葉の量とともに非同化器官の幹、枝、根などの量とそれらの割合などによって左右される同化生産物の量、呼吸量、さらに生産物の分配率などについて十分検討する必要がある。今回のアカマツ林の場合でも幹と枝をあわせた地上部の材部の生産についての葉の能率を考えただけでも、A林分の葉の能率は相対的に高くなり、第6図のように立木密度との関係では幹の場合にみられた optimum curve はきえて、葉の能率は一方的に密度の増加とともにさがる傾向を示す。さらに葉と根の生産をもあわせて考えた純同化率と林分の密度および葉量との関係は前述したとおりで、林分の葉量や葉の他の器官に対する割合などを考えても、A林分の葉の物質生産能率はB林分より低くはないであろうと考えられる。

したがって、A林分でみられた葉の幹生産能率の低下は、おもにA林分の枝への分配率が他の林分にくらべてかなり高いことによっているといえる。

そして枝への高い分配率は、A林分のうっぺいの程度がかなり低いことと関連していよう。

しかし、これらの器官についての葉の生産能率や分配率を左右する樹体の生理的な要因や林地の環境的な要因については、なお今後の問題とされよう。

8. 要 約

岩手地方の地位1等地の下から2等地の上という壮齢の人工造林地から、立木密度が大きくちがう5林分をえらんでそれらの林分成長を解析した。

調査林分のうち、林齢のほぼ等しいA~D林分(43~46年)の現在の立木密度と各器官の現存量との関係は、これまで立木密度比較試験などで認められている密度効果の冪乗式によくあてはまっていた。なお若い33年生のE林分は平均直径と立木密度の関係からみて、いわゆる full-density の状態にあった。うっぺいの進んだD、E林分などからみて、アカマツ壮齢林の林分の最大葉量は乾重で約7 ton/ha と考えられた。また、新葉率は密度にかかわらずほぼ一定で53~56%程度であった。

A~D林分の ha 当たり最近1年間の純生産量には現在の立木密度と密接な関係がみられ、密度が高い林分ほど純生産量は増加するが、密度の増加の割には増さず、各林分の成長率をみると高密度の林分ほど低

下していた。このことは高密度の林分ほど純同化率が低下すること、また現存量に対する葉の割合が減少することの2つの要因によっている。純同化率の低下は、密度にともなう林分の葉量の増加とほぼ直線的な関係にあった。

うっぺいの十分な地位の良好な約45年生のアカマツ壮齢林の1年間のha当たり純生産量は13~14ton程度、地上部で11~12ton程度であった。純生産量の各器官への分配率はC、D林分で幹45%、枝15%、葉25%、根15%程度であり、地上部純生産量についてはほぼ幹50%、枝20%、葉30%であった。若く密生したE林分では純生産量は17ton/ha・yearに達し、幹への分配率も高くなっていた。

各器官の成長は純生産量とその分配率によってきまるが、やはり立木密度と密接な関係がみられた。各器官の生産に対する葉の能率のうち葉の幹生産能率はB林分でもっとも高く、それより低密度でも高密度でも低下した。これには枝への分配率をもっとも関係しており、枝と幹をあわせた材部の生産についての葉の能率は高密度の林分ほど一方的に低下していた。

文 献

- 1) 安藤 貴・蜂屋欣二・土井恭次・福田英比古：標本調査によるスギ単木および林分枝葉量の推定，日林誌，41，4，pp.117~124，(1959)
- 2) 安藤 貴・坂口勝美・成田忠範・佐藤昭敏：アカマツ天然生除伐試験林の解析，(1)生育経過と相対成長，林試研報，144，pp.1~30，(1962)
- 3) 安藤 貴：同上，(2) 本数密度を中心とした解析，林試研報，147，pp.45~77，(1962)
- 4) BURNS, G. P. and E. S. IRWIN: Studies in tolerance of New England forest trees XIV. Effect of spacing on the efficiency of white and red pine needles as measured by the amount of wood production on the main stem. Vt. Agr. Expt. Sta. Bull., 499, (1942)
- 5) 蜂屋欣二・安藤 貴：スギ人工林の密度と生長，三俣植栽密度比較試験地の解析，75回日林講集，(1964)
- 6) 蜂屋欣二・棚秋一延・成田忠範：アカマツ天然生幼齢林の生産構造と成長，益子アカマツ天然生幼齢林の地位と成長，16回日林関東支部講演，(1964)
- 7) HOGETSU, K., Y. OSHIMA, B. MIDORIKAWA, Y. TEZUKA, M. SAKAMOTO, I. MOTOTANI and M. KIMURA: Growth analytical studies on the artificial communities of *Helianthus Tuberosus* with different densities. Jap. J. Bot., 17, pp. 278~306, (1960)
- 8) IWAKI, H.: The influence of density on the dry matter production of *Fagopyrum esculentum*. Jap. J. Bot., 16, pp. 210~226, (1958)
- 9) 荻住 昇：林木の根の働きと成長，林業研究解説シリーズ(3)，(1963)
- 10) 荻住 昇：本数密度と根の成長，山林，936，pp.10~21，(1963)
- 11) KIRA, T., H. OGAWA and N. S. SAKAZAKI: Intraspecific competition among higher plants 1, Competition-density-yield interrelationship in regularly dispersed populations. J. Inst. polytech. Osaka City Univ., D4, pp.1~16 (1953)
- 12) OVERTON, J. D.: Dry matter production by *Pinus sylvestris* L.. Ann. Bot. N. S. 21, pp. 287~314, (1957)
- 13) REINEKE, L. H.: Perfecting a stand density index for even-aged forests. J. Agr. Res., 46, pp. 622~638, (1933)
- 14) 坂口勝美・土井恭次・安藤 貴：立木密度からみたアカマツ天然生幼齢林の生産構造，アカマツに関する研究論文集，pp.312~327，(1954)
- 15) 坂口勝美・土井恭次・安藤 貴・福田英比古：立木密度からみたアカマツ天然生幼齢林分の解析，

- 林試研報, 48, pp.1~23, (1955)
- 16) 坂口勝美: 間伐の本質に関する研究, 林試研報, 131, pp. 1~95, (1961)
- 17) 佐藤大七郎・中村賢太郎・扇田正二: 林分成長論資料 1, 立木密度のちがう若いアカマツ林, 東大演報, 48, pp.65~90, (1955) .
- 18) ———・根岸賢一郎・扇田正二: 同上 5, 上層間伐をおこなったケヤキ人工林における葉の量と成長量, 東大演報, 55, pp.101~123 (1959)
- 19) ———: 森林の保育と林木の生理, 林業技術, 246, pp.6~11, (1962)
- 20) 扇田正二・佐藤大七郎: 林分成長論資料 2, いろいろなツヨサの間伐をした北海道のストロームマツ林, 東大演報, 52, pp.15~31, (1956)
- 21) 四手井綱英編: アカマツ林の造成, p. 81, (1963)
- 22) SINOZAKI, K., T. KIRA: Intraspecific competition among higher plants VII, Logistic theory of the C-D effect. J. Inst. Polytech. Osaka City Univ., D7, pp.35~72, (1956)
- 23) 只木良也・四手井綱英: 林木の競争に関する研究Ⅲ, アカマツ幼樹を用いた小型林分での機械的な間伐試験, 日林誌, 44, 5, pp.129~139, (1962)
- 24) 只木良也: 競争密度効果式を用いて検討した間伐と幹材積収穫との関係, アカマツ林の場合, 林試研報, 166, pp.1~22, (1964)
- 25) 植杉哲夫: 岩手地方赤松林の成長収穫並びに施業法に関する研究, 収穫表調整業務研究資料 1, (1952)
- 26) WATSON, D.J.: The dependence of net assimilation rate on leaf-area index. Ann. Bot. N.S., 22, pp. 37~54, (1958)
- 27) 四大学合同調査班: 物質循環面より見た森林生態系の生産力資料 1, pp.317~373, (1963)

Analysis of the Growth in Japanese Red Pine (*Pinus densiflora*) Stands.

— A report on the matured plantation in Iwate Prefecture. —

Kinji HATIYA, Kyooji DOI and Reiji KOBAYASHI

(Résumé)

Studies were made to obtain the materials for analysis of the growth in matured plantations of Japanese red pine (*Pinus densiflora*) in Iwate Prefecture. The area, ages, mean D.B.H., mean heights and stand densities, etc. of the sample stands are shown in Table 1, and the site quality of each stand presumed to be nearly equal. The sample trees of various dimensions were taken from each stand, and the volume of stems and branches, the weight of stems, branches and leaves, beside the annual increment of each organ were measured.

Among A~D stands which were about 45 years old and had various densities, as shown in Fig. 2, the amount of stems, branches, leaves and basal area per ha increased with increasing stand density. The logarithm of each value showed a linear relation with the logarithm of the number of trees per ha. These relations fitted precisely to the power-equation of the yield-density effect which were found by KIRA et al.¹¹⁾ and were recognized in many studies on the density effect in forest stands.

In the fully-closed stands, the dry weight of leaves per ha was estimated as about 7.0 ton. The ratio of new leaves to whole leaves was about 50%, regardless of stand density.

The net production of each stand, including the amount of increment in each organ was estimated as indicated in Table 3. In about 45 year-old closed stands, the annual dry matter

products were 13~14 ton per ha including roots and 11~12 ton per ha only above-ground parts.

The relations of stand density to the net production and the relative growth rate among A~D stands were shown in Fig. 3. The net production increased with increase of stand density, but it was not proportional to density, whereas the relative growth rate depressed with increasing stand density, because of the depressing of net assimilation rate and the ratio of photosynthetic organ to non-photosynthetic organ by increase in the amount of leaves per unit area. And the net assimilation rate decreased nearly linearly with increase of the weight of leaves per unit area, as shown in Fig. 4.

The ratios of distribution of dry matter products among various organs were estimated roughly 45% to stem, 15% to branches, 25% to leaves, 15% to roots, though that differed a little according to the condition of sample stands (Table 6).

The increment in various organs of a tree showed close connection with stand density (Fig. 5), and also the relation of the amount of each organ produced by a unit weight of leaves to stand density was connected closely (Fig. 6). Stem wood production per unit weight of leaves was maximum at the density in B stand, but adding dry matter production in branches and leaves per unit weight of leaves to the stem, the amount of dry matter products in above-ground parts produced by a unit weight of leaves depressed with increasing stand density, as indicated in Fig. 6.

These results suggest that it is important to study not only the production in stems, but the production in branches, leaves and roots, beside the consumption of photosynthate by each organ, in analysis of stand growth.