

九州スギ林の物質生産力

只 木 良 也⁽¹⁾
尾 方 信 夫⁽²⁾
長 友 安 男⁽³⁾

生産性の向上は、林業が当面する大きな課題であるといわれている。

林業が自然の力に依存した産業である以上、自然が樹木に与えている生産力を越えて生産を期待することはできないが、自然の許す範囲内でこの生産力を人為的にコントロールすることはある程度可能であろう。その意味で、樹種固有の生産力、つまりその樹種が作り出す有機物の総量を調べることは、林業生産性向上のための一つの拠点となる。

多年生植物である樹木の集合体としての森林の生産は、葉の光合成生産によっているが、ある樹種がどれだけの有機物量を生産しているか、その物質がどういう仕組みで生産され、どういう具合に費されているかを調べることを、森林の物質生産構造の研究と呼んでいる。

こうした生産構造の研究は、BOYSEN JENSEN³⁾をもって始祖とするが、BURGER^{6)~8)}のいろいろな樹種や林型などについての葉量と成長の関係を調べた一連の研究、MÖLLERを中心とするグループ^{19)~22)}の*Fagus sylvatica*を主体とする数種についての系統的な研究、OVINGTONを中心とするグループ^{29)~34)}の広範囲な樹種にわたる研究などをはじめとする数多の業績が積み重ねられつつある。

わが国においても、この方面の研究はとみに盛んになりつつある。佐藤・扇田を主体としたアカマツ⁴¹⁾³⁸⁾、ストロブマツ⁴²⁾、チョウセンヤマナラシ³⁷⁾、ヒノキ⁴⁰⁾、ケヤキ³⁹⁾の林分、坂口・安藤らのアカマツ林³⁵⁾¹⁾、北沢ら¹⁸⁾やKIMURA¹⁴⁾の照葉樹林、OSHIMA et al. のシラベ・オオシラビソ林²⁸⁾、四大学合同調査班のトドマツ・エゾマツ・アカエゾマツ林⁵⁵⁾、浅田・赤井のカラマツ²⁾、シラベ²⁾の林分、四手井のハイマツ林⁴⁴⁾、菅らのコジイ林¹²⁾、山田・丸山のブナ林⁵⁴⁾などについての報告はその例であるが、日本各地で調査が行なわれているばかりでなく、東南アジア²⁶⁾²⁷⁾¹⁷⁾での調査も進められている。

筆者らも、シラカンバ⁵¹⁾、コジイ⁴⁸⁾、モリシマアカシア⁴⁶⁾などの林分の生産構造や生産力について報告してきたが、この報告では九州支場で行なわれている「立木密度と生産構造に関する研究」の一部として、九州のスギ林分の生産力について述べたい。

九州地区では古くからサシキ苗によるスギの造林が盛んで、品種の分化が進んでいて30数種類に分類され、造林地の広く分布する代表的な品種だけでも10数種におよぶが¹¹⁾、この中からとくに代表的なものとして日田地方の主要品種であるヤブクグリを玖珠営林署部内で、飫肥地方の主要品種であるアカを串間営林署部内でそれぞれ林分調査した。また、密植、無間伐という施業形態をもつ長崎県下の実生スギ林をも調査した。ヤブクグリ林²⁴⁾もアカ林²⁵⁾も、その現存量の推定まではすでに報告したが、今回は方法を違えて計算をやりなおしたので、数字にも既報告と若干の違いがある。また、実生スギ林についても純生産量の推定までは報告済み⁴⁷⁾である。

この研究を進めるうえで、前九州支場長片山佐又技官、現支場長甲斐原一朗博士からは種々の助力を、調査にあたっては元玖珠営林署長波多野文雄技官、元串間営林署長椎井一夫技官はじめ両営林署員各位、旧東長崎町長松永繁一氏はじめ同町吏員各位からはいろいろな便宜を与えられた。また、長崎県総合農林センター吉岡 清、宮川良幸両技師は調査におしみなく協力され、長崎海洋気象台からは貴重な気象資料を教えていただいた。ここに感謝の意を示すしだいである。

調査地の概況

1. ヤブクグリ この品種は大分県を中心として主として北部九州に造林地が分布する優良品種であって、日田・小国林業地に植栽される数品種の大半を占める代表的な品種である。この品種については玖珠営林署九重施業区2林班(大分県玖珠郡九重町)の官行造林地で1961年3月に調査を行なった。この造林地は、九重連峰の北斜面に発達したいわゆる飯田高原の一部で、標高約850mのなだらかな原野の一斉造林地で、調査時には34年生であった。林床植生はあまり豊富でなく、ネザサ、イヌツゲなどが点在する程度である。基岩は輝石安山岩、土壌は深い黒色火山灰土である。調査地から約4km離れた(標高差なし)飯田気象観測所の資料によれば、年平均気温は11°Cであるが冬期は-15°Cに下がることも多く、雪積も2月には40cmに達する。なお、夏半年(4~9月)の平均気温は17°Cである。年雨量は2,100mm、このうち1,500mmは夏半年の降水量である。

2. アカ この品種は、宮崎県南部の飫肥林業地の品種として、もっとも代表的なもので、飫肥地方を中心として主として南部九州に造林地が分布する。単木としてではなく、林分としての生産を追求する今回の調査には、飫肥林業の特徴である疎植林分は調査材料として不相当であると考え、飫肥系統の林分としては植栽本数の多い造林地を串間営林署の7、8林班(宮崎県串間市)に求め、1961年11月に調査を行なった。この林班は宮崎・鹿児島県境に近く、志布志湾より4km内陸寄りで標高は約150m、基岩は古第三紀層、土壌は砂壤土ないしは埴壤土で腐植もかなり多い。約10km離れた本城での資料によれば、年平均気温は18°C、夏半年の平均気温は23°C、冬半年でも13°Cと温暖で、雨量も年間2,800mm、夏半年では1,800mmと多い。ここでは、アカの林分のうち、24、28、34、49年生の林分を調査したが、24年生林は北向き25°の斜面で枝の枯れあがりの最盛期と思われ、林床植物をほとんど欠いている。28年生林は南東面25~30°の斜面でヤツデ、アオキ、ヘゴ、アオグスなどの植生がみられ、34年生林は南西面35°の斜面で林床植物はアオキ、ヤツデ、アオグス、ネズミモチ、ウラジロヘゴなど、49年生林は北面30°の斜面で、ユズリハ、アオグス、アオキ、ヤツデ、ヘゴ、フキなどの林床植物が多い。

3. 実生スギ 長崎県西彼杵郡東長崎町(1963年長崎市に編入)の民有林で、1961年3月予備的に、1962年11月に、11、22、31年生林を本調査した。当地区は諫早、長崎両市の中間にあり、実生苗を用いて足場丸太生産のためにhaあたり6,000~10,000本植栽、無間伐で20~30年生で皆伐という施業形態がとられているが、林分の単位は小さく、0.5~1.0ha程度の林分が点在するにすぎない。海岸沿いの標高200m以下であって、約10km離れた長崎海洋気象台の資料によれば年平均気温16°C、夏半年の平均気温22°C、冬半年は11°Cと温暖で、雨量は年間2,300mm、うち1,800mmが夏半年に集中している。基岩は第三紀層頁岩、土壌は砂質で腐植もかなり多い。造林地は、植栽本数が多く、また無間伐であることに由来して林冠の閉鎖は密である。そのために林床植物は乏しく、ウラジロ、ツワ、オオカグマ、ヤブショウガなどが点在するにすぎない。

調 査 の 方 法

1. 大分のヤブクグリ林 伐根その他から判断して、haあたり3,000本程度の植栽本数であったと推定されたが、その後の枯損、調査の5年前に行なわれた間伐などによって、調査時(34年生)には林分内での局所的な立木密度は1,300~2,600本/ha程度の差を生じていた。そこで、比較的立木密度の疎なところから3個、中庸度のところから2個、密なところから3個の計8個のプロットをそれぞれ400~600m²の大きさで選んで、各プロット内の毎木調査を胸高直径と樹高について行なった。疎、中、密それぞれについてプロット間の本数分布はいずれもよく似ていたので、以後の計算や検討はこれらを総括して疎、中、密の3区分で行なうことにしたい。

供試木は、直径分布と見あわせて、それぞれの直径級を代表するように疎立地から10本、中庸地から8本、密立地から9本を選んだ。供試木は1本ごとに地際から伐倒し、幹、枝、葉に分けて生重量を測定した。ただし、スギの場合葉と枝の区分が明確でないので緑色部分を葉とした。したがって、葉と称するもののなかに、内部はかなり枝化した緑軸を含んでいる。各器官は少量を取りだし絶乾重量算定のための資料とした。また幹は円板を持ちかえて樹幹解析を行なって成長量などを求めた。

2. 宮崎のアカ林 24年生2個、28、34、49年生それぞれ3個ずつのプロットを200~500m²の大きさで選んで毎木調査した。供試木は24、28、34、49年生林でそれぞれ6、2、5、3本を選んだ。選び方や測定はヤブクグリの場合と同様である。供試本数のすくない28年生林を除いて、その他3林齢のプロットのうち代表的なもの1個ずつについて以下の検討に供している。

3. 長崎の実生スギ林 予備調査として10、12、20年生林で100m²のプロット3個ずつと、12年生林から9本の供試木が測定された。本調査では11年生林で20および25m²の2個のプロットと8本の供試木、22年生林では100m²のプロット2個と9本の供試木、31年生林で510m²のプロットと8本の供試木をとった。この調査の詳細はすでに報告⁴⁾したが、今回の報告では本調査の11、22、31年生林を主体に検討したい。

プロットや供試木、および今後用いるプロットの略号などをまとめて Table 1 に示した。

Table 1. 調 査 地 一 覧
The list of investigated plots.

プロット Plot	県 Prefec- ture	営林署 Forest office	品 種 Cultivar	林 齢 Stand age	プロット 面積 Plot area	供試木 本数 No. of sampled trees	注 Remark	標高 Altitude	年平均 気温 Mean tempe- rature	年 降水量 Annual rainfall	調査年月 Date of investi- gation
O-T O-M O-D	大分 OITA	玖珠 Kusu	ヤブクグリ(サシキ) Yabuku- guri (cuttings)	34	1373	10	疎 thin	850	11	2100	1961年3月 Mar. 1961
999					8	中 medium					
1372					9	密 dense					
M-24 M-34 M-49	宮崎 MIYA- ZAKI	串間 Kushi- ma	アカ(サシキ) Aka (cuttings)	24	123	6		150	23	2800	1961年11月 Nov. 1961
34				331	5						
49				416	3						
N-11 N-22 N-31	長崎 NAGA- SAKI	—	実生 (seed- origin)	11	45	8		100	22	2300	1962年11月 Nov. 1962
22				200	9						
31				510	8						

なお、この報告での重量データは、特記する場合を除いては絶乾重量を用いている。

林分の現存量

林分の現存量 (standing crop) は現在の生物質量をいうが、ここで取りあげた林分は、いずれもスギの純林で、地表植物も無視できる程度にわずかであるので、現存量はスギについてのみの値とする。

現存量は断面積配分法によって算定した。すなわちプロット内全立木の胸高断面積合計、ある部分の重量をそれぞれ G, y 、そのプロットに対応する供試木全部の胸高断面積合計、ある部分の重量をそれぞれ G', y' とするとき

$$y = y' G / G' \dots\dots\dots(1)$$

として y を推定するものである。その結果やその他の数値をまとめて Table 2 に示す。

Table 2. ha あたりの現存量その他
The standing crop per hectare and others.

場所 Locality	大分 (玖珠) Oita			宮崎 (串間) Miyazaki			長崎 Nagasaki		
プロット Plot	O-T	O-M	O-D	M-24	M-34	M-49	N-11	N-22	N-31
林 齢 (年) Stand age (yr)	34	34	34	24	34	49	11	22	31
立木本数 (本) Tree number (no.)	1333	1952	2420	2110	1239	722	9750	6350	3664
胸高断面積 (m ²) Basal area (m ²)	59.4	58.0	63.3	46.6	42.7	47.6	24.2	38.5	40.1
平均胸高直径 (cm) Mean D.B.H. (cm)	23.3	19.0	17.9	16.2	20.2	28.5	5.5	8.4	11.4
平均樹高 (m) Mean height (m)	12.3	11.4	12.9	12.5	14.7	17.3	5.7	9.3	10.7
幹乾重 (ton) Stem dry wt. (ton)	115.7	110.3	120.3	95.2	88.4	109.0	31.2	82.4	93.8
枝乾重 (ton) Branch dry wt. (ton)	9.0	14.6	10.4	15.6	14.7	13.3	3.0	7.7	12.3
葉乾重 (ton) Leaf dry wt. (ton)	16.5	21.1	22.7	25.6	20.0	17.3	16.7	18.5	21.8
地上部乾重 (ton) Above-ground dry wt. (ton)	141.1	146.0	153.4	136.4	123.2	139.6	50.9	108.5	127.9
根乾重 (ton) Root dry wt. (ton)	35.3	36.5	38.3	34.1	30.8	34.9	12.7	27.1	32.0
全乾重 (ton) Whole plant dry wt. (ton)	176.4	182.5	191.7	170.5	154.0	174.5	63.6	135.7	159.8
幹材積 (m ³) Stem volume (m ³)	380.4	377.4	408.6	265.7	310.8	372.3	87.3	217.4	246.5

注 1. 現存量は $y = y' G / G'$ として求めた。 y, y' はプロット、および供試木の現存量合計、 G, G' はプロット、および供試木の胸高断面積合計である。

2. 根の重量は、全重量の1/5として求めた^{13) 52)}。

Note 1. Standing crop was estimated after $y = y' G / G'$, where y, y', G and G' were total weight of plot, of sample trees, total basal area of plot and of sample trees respectively.

2. Root weight was estimated tentatively at 1/5 of the whole plant weight^{13) 52)}.

Table 3. 各プロットの ha あたり葉量
The leaf amount in each plot.

プロット Plot	O-T	O-M	O-D	M-24	M-34	M-49	N-11	N-22	N-31
葉生重量 Leaf fresh wt. (t/ha)	38.3	49.0	52.7	59.6	46.6	40.3	43.3	48.0	54.5
葉乾重量 Leaf dry wt. (t/ha)	16.5	21.2	22.7	25.6	20.0	17.3	16.7	18.5	21.8
葉面積 Leaf area (ha/ha)	9.4	12.1	13.0	14.7	11.5	10.0	10.7	11.8	13.5

注：葉面積は汰木⁵⁶⁾の係数を用いて算定した。

Note: The leaf area was calculated after YURUKI's constants⁵⁶⁾.

大分のヤブクグリ林では同齢で、立木密度が高いほど現存量が大きい傾向がみられないことはないが、宮崎のアカ林では林齢と現存量の関係は明らかでない。いずれにしても、局地的な土地条件の違い、あるいは間伐などの過去の取扱いの違いなどのために現存量差があらわれると思われるから、これだけの資料からは現存量について検討することはできない。なお、根重量は実測していないが、荻住・寺田¹⁸⁾、塘⁵²⁾のデータその他を参考にして全重量の1/5として算定した。

同化作用の担い手である林分の葉量をはあくすることは、森林の物質生産機構研究の端緒である。いま、各プロットの葉量だけを取りだして別記すると Table 3 のとおりとなる。

スギの葉の重量に対する葉面積について、汰木⁵⁶⁾は内部の心材化のすくない葉の先端部の面積は生重量1gに対して14.7423cm²、内部の心材化の進んだ葉軸部の面積は生重量1gあたり5.1471cm²とし、全葉量の半分を先端部、残り半分は先端部と葉軸部の平均と仮定して林分の葉面積を求めているが、今回のスギ林についても、これと同じ方法で葉面積を求めてみた。

haあたりの葉量は、幹や枝の量よりも各プロット間の差はすくない。林分が閉鎖完了した後の単位面積あたりの葉量は樹種によってほぼ一定となる³⁶⁾⁵⁰⁾とすれば、スギの場合、その一定値はhaあたり生重量で40~50t、乾重量で17~22t、葉面積は10~13ha程度になるものであろう。これらスギ林のhaあたり葉乾重量は、BURGER⁷⁾の *Picea abies* の15~20t、四大学合同調査班⁵⁵⁾のトドマツの19.1tとほぼ似ているが、その他のマツ類を除く常緑針葉樹林の値、たとえば MÖLLER¹⁹⁾の *Picea abies* の12t、四大学合同調査班のアカエマツの7.53t、OSHIMA et al.²⁸⁾のシラベーオオシラビソの8.6~12.1t、佐藤・扇田⁴⁰⁾のヒノキの9.5~10t、WEETMAN and HARLAND⁵³⁾の *Picea mariana* の8.6tなどにくらべると著しく多く倍に達している。これはスギでは葉として重量を測定したものの中に、内部の心材化の進んだ緑軸をも含むためである。したがって、推定した葉面積でみるとBURGERの *Picea abies*⁷⁾の17~28haや、*Pseudotsuga douglasii*⁸⁾の18.4~27.1ha、*Abies alba*⁹⁾の17haより小さく、MÖLLER¹⁹⁾の *Picea abies* の13.1ha、藤井⁹⁾のヒノキの11.04ha、WEETMAN and HARLAND⁵³⁾の *Picea mariana*の9.8haなどとよく似ている。

プロットM-24は林分の葉量が最大になる時期ではないかと思われる。林分の閉鎖初期には一時的に葉量が非常に多くなる時期があると考えられ、この時期はOVINGTON³⁰⁾の *Pinus sylvestris* 林の調査では20年生ごろ、OSHIMA et al.²⁸⁾のシラベーオオシラビソ天然林では30年生ごろに認められている。

幹、枝、葉の重量配分

すでに数多く報告されているように、生物個体の任意の2つの部分の量、 x, y の間に成立する相対成長

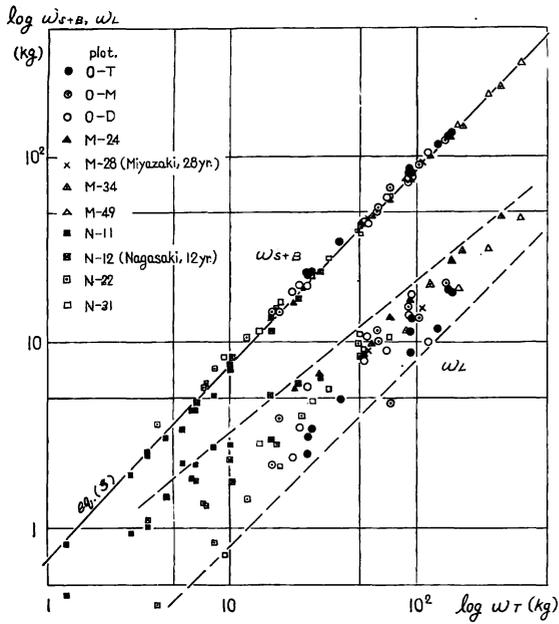


Fig. 1 地上部乾重 (w_T) に対する幹+枝乾重 (w_{S+B}), 葉乾重 (w_L) の相対成長関係

Allometric relations of stem + branches (w_{S+B}) and leaves (w_L) to above ground part (w_T) in dry weight. The $w_T \sim w_{S+B}$ relation seems to be irrespective of stands and cultivars,

$$\log w_{S+B} = 1.05 \log w_T - 0.168 \dots\dots(3)$$

but, $w_T \sim w_L$ relation differs with stands.

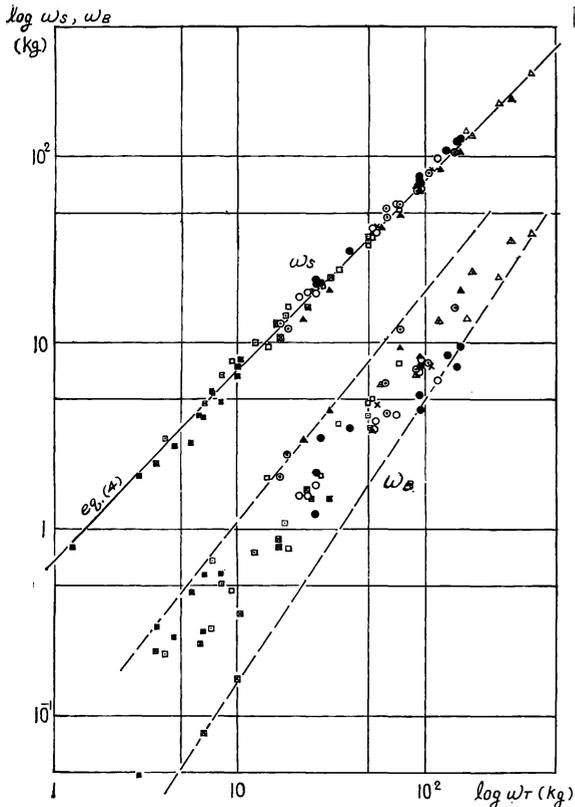


Fig. 2 地上部乾重 (w_T) に対する幹乾重 (w_S), 枝乾重 (w_B) の相対成長関係—Fig. 1 の凡例参照。

Allometric relation of stem (w_S) and branches (w_B) to above ground part (w_T) in dry weight. —See the explanation in Fig. 1.

The $w_T \sim w_S$ relation seems to be irrespective of stands and cultivars.

$$\log w_S = 1.03 \log w_T - 0.178 \dots\dots(4)$$

法則 (law of allometry), すなわち,

$$\log y = h \log x + A \dots\dots\dots(2)$$

という関係は植物の場合にも適合する。ただし h, A は x, y の組み合わせで決まる係数である。

Fig. 1 には地上部乾重 (w_T) に対する幹+枝乾重 (w_{S+B}), 葉乾重 (w_L) の, また Fig. 2 には w_T に対する幹乾重 (w_S), 枝乾重 (w_B) の相対成長関係を示した。 w_T に対する w_{S+B}, w_S の関係は, (2) 式の関係をよく満足し, 地域や林齢, 品種による差はほとんど認められない。また直線の勾配, すなわち (2) 式の h (相対成長係数) は 1 よりやや大きく, w_T が大きくなるほど w_{S+B} や w_S が w_T の中で占める比率が大きくなる傾向を示している。なお, これら直線はつぎのように近似される。

$$\log w_{S+B} = 1.05 \log w_T - 0.168 \dots\dots\dots(3)$$

$$\log w_S = 1.03 \log w_T - 0.178 \dots\dots\dots(4)$$

ここで w_T, w_{S+B}, w_S は kg で示している。

w_T に対する w_L, w_B の関係では, 点のちらばりが大きくなり, 全体を通じて 1 本の直線で近似できない。各林分ごとに異なった直線関係が得られるような傾向が認められるが, その適合度は悪い。

胸高直径, あるいは D^2H (D は直径, H は樹高) に対する w_L の相対成長関係が, 林分ごとに異なった線に分かれる現象—林分分離型—についてはすでに論ぜられたが⁴⁵⁾, Fig. 1, 2 の w_L, w_B もこの現象の一つのあらわれであるといえる。胸高直径や樹高が過去の蓄積全部を表わし, また地上部重も過去の蓄積がその大半を占めているのにくらべて, 葉や枝は更新されていくものであるから, 林分の成長にともなって個体の各器官の量の配分が変わることが原因するのであろう。

供試木 1 本ごとの幹, 枝, 葉の重量配分を, それぞれの胸高直径と対比したのが Fig. 3 である。N-11, N-12 のような幼齢林では, 胸高直径が大きいほど w_L の占める比率が小さくなり, それ以外の林分では直径が大きいほど w_L の占める率が大きくなる傾向がある。閉鎖初期の幼齢林では枝葉拡張の段階であって, 直径の小さいものほど相対的な葉の保有量が大きい, 壮齢期の林分では, 直径の小さいことは劣勢

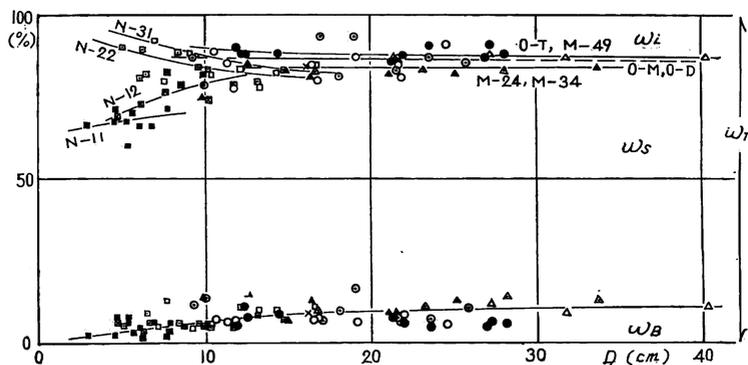


Fig. 3 胸高直径 (D) に対する地上部 (w_T) 中の幹 (w_S), 枝 (w_B), 葉 (w_L) の重量比—Fig. 1 の凡例参照。

Relations between D.B.H. (D) and the percentage of stem (w_S), branches (w_B) and leaves (w_L) to above ground part (w_T) per tree in dry weight.—See the explanation in Fig. 1. The percentage of leaves to total top tends to decrease with smaller D.B.H. in older stands, but reverse in younger ones, because smaller D.B.H. individuals are suppressed ones in older stands.

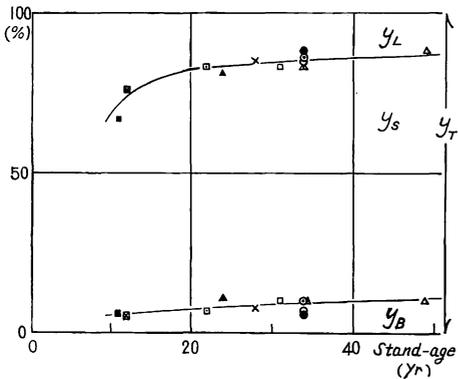


Fig. 4 林齢に対する林分の地上部(y_T)中の幹(y_s), 枝(y_B), 葉(y_L)の重量比—Fig. 1の凡例参照。 Percentage of total stems (y_s), branches(y_B) and leaves (y_L) to total above ground (y_T) per stand in dry weight related to stand age.—See the explanation in Fig. 1. Percentage of y_L seems to be decreased and that of y_B increased with stand age.

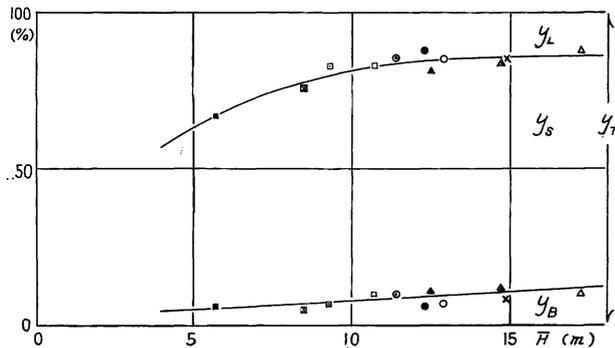


Fig. 5 林分の平均樹高(\bar{H})に対する地上部(y_T)中の幹(y_s), 枝(y_B), 葉(y_L)の重量比—Fig. 1の凡例参照。

Percentage of total stems (y_s), branches (y_B) and leaves (y_L) to total above ground (y_T) per stand in dry weight related to stand mean height \bar{H} — See the explanation in Fig. 1. Percentage of y_L seems to be decreased and that of y_B increased with \bar{H} .

の割合がやや大きくなる傾向が認められる。さらに、Fig. 5のように、林分の生育段階をあらわすものとして平均樹高と対比させてみても同様で、平均樹高が大きくなるほど葉の割合は小さくなり、枝の割合がやや大きくなることがわかる。

木であることをあらわしているから、当然葉の更新量もすくなく、極端な場合はその樹体を維持するのに最小限必要なだけの葉をもっている状態が考えられる。枝の占める割合は、直径が大きくなるほど増加する傾向が認められるが、全体に対する割合は小さい。全般的な傾向からみれば、胸高直径15cm以上の葉、幹、枝の重量配分比は3:15:2程度といえる。

林分全体の葉、幹、枝の重量配分をみると、Fig. 4のように、林齢が大きくなるほど葉の割合が減じ、枝

純生産量の算定

純生産量 (net production) とは、ここでは生物体物質の生産量を意味し、樹木群落では葉、幹、枝、根がその大部分を占める。この報告ではプロットごとの年間純生産量をつぎのようにして算定した。

根の重量を、前述のとおり全重量の1/5として、供試木1本ごとに非同化部分(材)の重量(幹+枝+根, w_0)を決め、 D^2H (D は胸高直径; cm, H は樹高;m)との関係を図にすると Fig. 6 となる。 $w_0 \sim D^2H$ の関係は、対数軸上での直線関係を比較的好く満足するが、詳細に検討すると大分、宮崎のもの、長崎のものとは別の直線となることわかる。

$$\text{大分} \cdot \text{宮崎} \quad \log w_0 = 0.879 \log D^2H - 1.324 \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{長崎} \quad \log w_0 = 0.936 \log D^2H - 1.409 \dots\dots\dots(6)$$

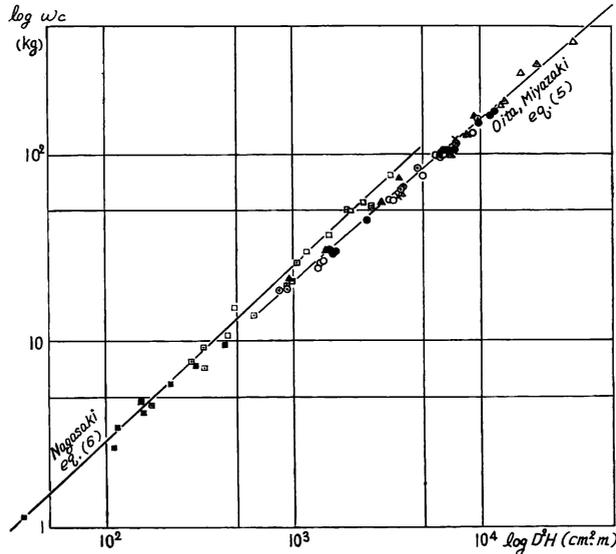


Fig. 6 幹+枝+根乾重 (w_c) の D^2H に対する相対成長関係 — Fig. 1 の凡例参照。

Allometric relations between stem+branch+root weight (w_c) and D^2H in sample trees, where D and H express D.B.H. and height respectively. — See the explanation in Fig. 1.

Oita and Miyazaki; $\log w_c = 0.879 \log D^2H - 1.324$ (5)

Nagasaki; $\log w_c = 0.936 \log D^2H - 1.409$ (6)

From these relations, as w_c at present and one year before can be estimated, the annual increment of woody parts is given by the difference of them.

Table 4. 純生産量の算定と幹材積成長
Calculation of net production and stem volume increment.

プロット Plot		O-T	O-M	O-D	M-24	M-34	M-49	N-11	N-22	N-31
幹+枝+根 乾重	現在 (t/ha) Present	167.9	161.2	177.0	133.4	135.5	154.5	46.1	118.3	138.8
	1年前 (t/ha) One year before	162.3	152.5	166.7	124.7	128.1	150.0	40.5	108.9	127.6
Dry weight of stems+ branches+ roots	当年生産量(t/ha·yr) Production in this year	5.5	8.8	10.3	8.7	7.3	4.5	5.6	9.4	11.2
	当年の葉生産量 (t/ha·yr) Production of leaves in this year	4.1	5.3	5.7	6.4	5.0	4.3	4.2	4.6	5.5
当年純生産量 (t/ha·yr) Net production in this year.		9.6	14.0	16.0	15.1	12.3	8.9	9.7	14.0	16.7
当年幹材積成長 (m ³ /ha·yr) Stem volume increment in this year		15.2	22.5	25.6	19.4	17.8	8.5	11.8	17.1	22.0

注 1. 現在および1年前の幹+枝+根乾重は Fig. 6 の関係から算定した。

2. 当年の葉生産量は現存葉量の1/4として算定した。

Note 1. Dry weight of stems + branches + roots at present and one year before were calculated from the relation in Fig. 6

2. Production of leaves in this year was calculated tentatively at 1/4 of the whole leaves.

しかし、これをもってサシキスギと実生スギの差と決めるのは早計であろう。

大分、宮崎のプロットについて、(5)式を用いて ha あたりの非同化部分重 (y_0) を算定してみると、Table 4 からわかるように、(1)式を用いて算定した Table 2 の値とは比較的良好に適合し、M-24 が 8% の誤差となるのを除けば、あとはいずれも 5% 以内の差である。

つぎに、樹幹解析の結果を用いて、現在の皮つき直径と皮なし直径の比が 1 年前にも同じであったものとして、1 年前皮つき直径を推定した。そして、(5)式が大分、宮崎の供試木の地域、樹齢に関係なく成立している点からみて、1 年前にも(5)式の関係が成立していたものと考えて 1 年前の ha あたり非同化部分重 (y'_0) を算定した。 y_0 から y'_0 を差し引くと当年の ha あたり非同化部分増加量 (Δy_0) が求められる。

過去の資料などから考えて、現在林分が保有している葉量の 1/4 が当年に生産された葉であると仮定して、現存葉重の 1/4 を Δy_0 に加えると当年の純生産量が求められる。こうした計算の結果をまとめて Table 4 に示した。ただし、落枝、枯根などの損失は無視している。なお、長崎のプロットについては既報⁴⁾で、 D^2H でなく胸高断面積を用いて純生産量を算定したので、この報告でも、長崎の分は既報の数字のままとしておく。

総生産量の算定

総生産量 (gross production) は、光合成によって生産された全有機物質量を指す。したがって、純生産量と樹体各部の呼吸による乾物消費量の合計が総生産量である。

1. 葉の呼吸量 スギの葉の呼吸についての資料はほとんど見当たらないが、根岸・佐藤²³⁾は、スギ 1 年生苗の 20°C における地上部乾重に対する呼吸量を、夏期 0.51、冬期 0.58 mg CO₂/g·hr としている。この値は苗木の、また幹を含む地上部乾重に対する値であるので、これをそのまま今回の調査林分にあてはめることは危険であるが、他に資料がなく、また 1 年生苗木では、その地上部のほとんどが緑色部分であることを考え、以下の計算は一応この数字を基にした。

まず、林分の葉量の半分を陽葉、残りは陰葉の性質をもつものと考え、前述の 0.51、0.58 mg CO₂/g·hr をそのまま陽葉の呼吸量、その半分を陰葉の呼吸量、また、4~10 月を夏期、11~3 月を冬期と仮定した。つぎに根岸・佐藤²³⁾が同時に調べた温度係数が $Q_{10}=1.5$ であったことと、調査林分もよりの気象観測所の月別気温を標高差を用いて換算した調査林分の月別気温とを用いて、それぞれのプロットにおける年間 ha あたりの葉の CO₂ 排出量を算定した。

呼吸で分解される植物質を、(C₆H₁₀O₅)_n の平均組成をもつものと考え、以上のようにして求めた CO₂ 年間損失量を植物乾物量に換算するためには、0.614 を乗ずればよい。

こうして葉による呼吸消費量をえた。

2. 非同化部分の呼吸量 スギの材部の呼吸消費についての資料は皆無に近い。ここでは、つぎのようにして材の呼吸量の概略を推定することにした。

成長は、葉による光合成量と、各部分での呼吸量との収支であらわされるが、いま葉の単位量あたりの年間の純同化率 (葉による呼吸を差し引く) を a 、非同化部分 (材部)、ここでは幹+枝+根の単位量の 1 年間の呼吸率を R であらわし、落葉落枝などを無視すると、

$$\Delta w = aw_L - R w_0 \dots\dots\dots (7)$$

となるはずである⁵⁵⁾。ここで、 Δw は 1 本の樹木の年間乾物生産量、 w_L 、 w_0 はそれぞれの葉重、非同化

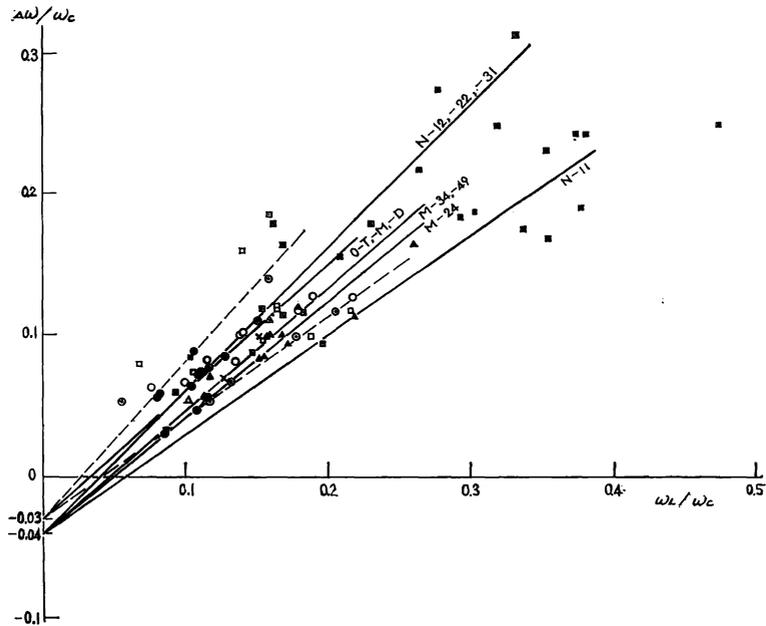


Fig. 7 年間の葉の純同化率 (a) と材の呼吸率 (R) の推定——Fig. 1の凡例参照。

Estimation of annual net assimilation rate in leaves (a) and respiration rate in woody parts (R). —See the explanation in Fig. 1. The relation

$$\Delta w = aw_L - R w_C \dots\dots\dots(7)$$

can be transformed into

$$\frac{\Delta w}{w_C} = a \frac{w_L}{w_C} - R \dots\dots\dots(8)$$

where Δw , w_L and w_C are annual net dry matter production, leaf weight and wood weight per tree respectively. On $\Delta w/w_C \sim w_L/w_C$ linear relation, a and R are given by the inclination and $\Delta w/w_C$ -intersection severally. The values of a and R are shown in Table 7.

部分重である。(7)式はつぎのように書きなおせる。

$$\frac{\Delta w}{w_C} = a \frac{w_L}{w_C} - R \dots\dots\dots(8)$$

$\Delta w/w_C$, w_L/w_C は供試木 1本ごとに計算できるから、両者を両軸にとってグラフにすると直線関係が期待され、直線の勾配が a を、 $\Delta w/w_C$ 軸上の切片が $-R$ を与えるはずである。この関係を、供試木全部について図にしたのが Fig. 7 であるが、かなり広い幅に分布し、林分ごとにちがった直線が得られるようで、 a の値も 0.7~1.4 ぐらいの範囲となる。 R はほぼ類似の点に収斂し、大分の林分では 0.03、宮崎・長崎では 0.04 程度となる。

(7)式と同様に、単位面積あたりの林分の乾物純生産量 Δy は、林分の葉重量 y_L 、非同化部分重 y_C とを用いると、

$$\Delta y = ay_L - Ry_C \dots\dots\dots(9)$$

となる。先に求めた $R=0.03$, 0.04 を用いた Ry_C は林分の非同化部の年間 ha あたりの呼吸乾物消費量を与えているわけである。

Table 5. 総生産量の算定
Calculation of gross production. (t/ha・yr)

プロット Plot		O-T	O-M	O-D	M-24	M-34	M-49	N-11	N-22	N-31
純生産量 Net production	葉 leaves	4.1	5.3	5.7	6.4	5.0	4.3	4.2	4.6	5.5
	材 wood	5.5	8.8	10.3	8.7	7.3	4.5	5.6	9.4	11.2
	計 sum	9.6	14.0	16.0	15.1	12.3	8.9	9.7	14.0	16.7
呼吸消費量 Respiration loss	葉 leaves	26.2	33.5	36.1	52.3	41.0	35.4	32.1	35.5	41.8
	材 wood	4.8	4.8	5.1	5.8	5.4	6.3	1.9	4.7	5.5
	計 sum	31.0	38.4	41.2	58.1	46.3	41.7	33.9	40.2	47.4
総生産量 Gross production		40.6	52.4	57.1	73.3	58.7	50.6	43.7	54.2	64.1

3. 林分の総生産量 以上のようにして推定した葉, および非同化部分の呼吸量を, Table 4 の純生産量に加えると林分の総生産量となる。この算定の結果は Table 5 に示した。

物質生産のエネルギー効率

植物による物質生産のエネルギー効率 (energy efficiency) とは, 光合成によって一定期間内に固定されたエネルギー量と, その期間にその植物群に降りそそいだ太陽エネルギーの総量との比率をいう。こ

Table 6. 長崎スギ林のエネルギー効率の計算
Calculation of energy efficiency on plots of Nagasaki.

プロット Plot		純生産量に対して For net production			総生産量に対して For gross production			
		N-11	N-22	N-31	N-11	N-22	N-31	
乾物生産量 Dry matter produced	t/ha・yr	9.7	14.0	16.7	43.7	54.2	64.1	
グルコース換算量 Converted into glucose	t/ha・yr	10.8	15.6	18.5	48.5	60.2	71.1	
単位グルコース量合成に必要なエネルギー量 Requisite energy for glucose composing		3760Kcal/kg (3.760×10 ⁶ Kcal/t)						
固定エネルギー量 Energy fixed	×10 ⁶ Kcal/ha・yr	40.6	58.5	69.7	182.2	226.3	267.3	
太陽輻射量 Solar radiation	年間 annual 生育期間 (4~10月) growth period (Apr. ~Oct.)	14617.2×10 ⁶ Kcal/ha・yr 10136.0×10 ⁶ Kcal/ha・yr						
エネルギー効率 Energy efficiency	年間 annual	%	0.28	0.40	0.48	1.25	1.55	1.83
	生育期間 growth period	%	0.40	0.58	0.69	1.80	2.23	2.64

の報告では、太陽輻射量の資料が得られた長崎のプロットのみについて、エネルギー効率を求めてみた。

まず、乾物生産量をグルコース量に換算し ($\times 1.11$)、これに単位グルコース量合成に必要なエネルギー量 $3,760\text{Kcal/kg}$ を乗ずればエネルギー固定量が得られる。

つぎに、長崎海洋気象台の資料によって、この林分を調査した年の長崎市における年間、あるいは4～10月の生育期間の太陽輻射量を知り、Table 6 のとおりエネルギー効率を算定した。

検 討

1. 純生産量 林分の年間単位面積あたりの乾物純生産量 Δy は、落葉落枝などの損失を無視すると(9)式で表現できるが、ここで、Fig. 7によって求めた林分ごとに違ふ a , R の値をそのままではめて Δy を算定してみた。その結果、Table 7 のとおりの値となったが、Table 4 に示した純生産量の値とほぼ同じである。

閉鎖したスギ林の年間純生産量は、 10t/ha より多くなるのはほぼ確実であろう。プロット N-11 は11年生であっても、 10t/ha の年間純生産量をあげているのは注目し値する。このプロットは $10,000\text{本/ha}$ 植栽の林分であり、すでに閉鎖を完了して投下される陽光量を満度に利用しうる段階にある。植栽本数を多くするなどして早く閉鎖させることは早期から高い物質生産を期待しうる。

只木・四手井⁴⁹⁾は、 100本/m^2 (100万本/ha) 植えのアカマツの群落で、2～4年生の3年間の地上部の年平均純生産量が約 2kg/m^2 (20t/ha) に達することを認め、吉良¹⁶⁾ は平均樹高5mで数万～数十万本/ha のトドマツ林が 20t/ha の年純生産量をあげている例を引いて、幼齢期あるいは林分の生育段階が早期であっても高い生産力が得られるのは、高密度が維持されて、それが個体間のせりあいによって自然に間引かれながら、つねに高度の閉鎖を保っていることによると指摘している。

さて、いろいろな樹種についての純生産量を Table 8 にあげた。その推定法は測定者によって異なっているので一概にはいえませんが、一般に暖温帯の森林の純生産量は、落葉樹林で $5\sim 10\text{t/ha}\cdot\text{yr}$ 、常緑樹林ではこれの倍といえるようである。BRAY⁴⁾ によれば、地上部と地下部の純生産量の比は、森林の場合平均して0.21であるという。

Table 7. (9)式を用いて算定した純生産量
Net production estimated after eq. (9). — $\Delta y = a \cdot y_L - R \cdot y_C$. (rf. Fig. 7)

プロット Plot	O-T	O-M	O-D	M-24	M-34	M-49	N-11	N-22	N-31	記号 Notation
純同化率 (t/t·yr) Net assimilation rate	0.90	0.90	0.90	0.82	0.87	0.87	0.70	1.01	1.01	a
材の呼吸率 (t/t·yr) Respiration rate in wood	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	R
葉重量 (t/ha) Weight of leaves	16.5	21.1	22.7	25.6	20.0	17.3	16.7	18.5	21.8	y_L
材重量 (t/ha) Weight of wood	159.9	161.4	169.0	144.9	134.0	157.2	46.9	117.2	137.0	y_C
純生産量 (t/ha·yr) Net production	10.1	14.1	15.4	15.2	12.0	8.8	9.8	14.0	16.5	Δy
Table 4 の純生産量 (t/ha·yr) Net production in Table 4	9.6	14.0	16.0	15.1	12.3	8.9	9.7	14.0	16.7	

Table 8. 森林の年間純生産量
Annual net production of forests.

樹種 Species	純生産量 Net production (t/ha·yr)		出典 Reference
	全体 Total	地上部 Above ground	
<i>Fagus sylvatica</i>		5.0	29
do. — 8 yr	7.5	6.6	21
do. — 25 yr	13.5	11.7	21
do. — 46 yr	13.5	11.7	21
do. — 85 yr	11.3	9.9	21
<i>Northofagus obliqua</i>		4.3	29
<i>Quercus robur</i>		3.9	29
<i>Quercus rubra</i>		2.1	29
<i>Quercus petraea</i>		2.0	29
<i>Quercus</i> sp.		3.2	29
<i>Castanea sativa</i>		3.7	29
<i>Fraxinus excelsior</i>	5.2~6.3		3
do.	13.5		19
<i>Alnus incana</i>		5.1~6.3	29
<i>Betula alba</i>		2.7~2.9	29
<i>Betula verrucosa</i> — maximum		7.9	34
<i>Betula platyphylla</i> (シラカソバ)		5.0	51
<i>Populus tremuloides</i>		10	5
<i>Populus grandidentata</i>		4	5
<i>Distylium racemosum</i> (イス)	21.6		14, 18
<i>Castanopsis cuspidata</i> (コジイ)		16.5	48
<i>Acacia mollissima</i>		27.6	46
<i>Rhizophora mangle</i>	10.8		10
Temperate evergreen forest	18.9		26
Evergreen gallery forest	25.3		26
Tropical rain forest	28.5		17
<i>Larix decidua</i>		6.0	29
<i>Larix eurolepis</i>		9.6	29
<i>Larix leptolepis</i> (カラマツ)		4.4~4.7	29
do.	8.1	7.6	43
do.	7.6~17.1		2
<i>Pinus sylvestris</i>		7.9	29
do.	12.4	10.5	30
do. —maximum	22		30
<i>Pinus nigra</i>		5.9~10.3	29
<i>Pinus densiflora</i> (アカマツ)		18~22	49
<i>Pinus pumila</i> (ハイマツ)	16	11.3	44
<i>Picea abies</i>		7.5~11.2	29
do. —maximum	18.0		19
<i>Picea omorika</i>		14.3	29
<i>Picea glehnii</i> (アカエゾマツ)	6.7		55
<i>Abies sachalinensis</i> (トドマツ)	21		55
<i>Abies mariesii</i> - <i>A. veitchii</i> (オオシラビソ—シラベ)	8.3		28
<i>Abies veitchii</i> (シラベ)	7.6~19.7		2
<i>Abies grandis</i>		9.3~18.4	29
<i>Pseudotsuga taxifolia</i>		7.2~9.8	29
<i>Tsuga heterophylla</i>		12.9	29
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>		10.6	29
<i>Chamaecyparis obtusa</i> (ヒノキ)	5.5~8.4	5.2~7.9	43
<i>Thuja plicata</i>		3.1	29
<i>Cryptomeria japonica</i> (スギ)	6.5~12.7	6.1~12.0	43

表中の芝本⁴³⁾によるスギ林の値は、カラマツ林の乾物生産の資料や、ヨーロッパでの例を参考にして、収穫表の平均成長量を基礎として推定されているが、これらは根の生産量を地上部のその1/16として算定するなどやや過少評価と思われ、Table 4 に示したわれわれの調査結果を幾分下廻っている。

今回の九州スギ林で推定された純生産量は10~16 t/ha·yrであり、これは落葉樹林のそのの倍にあたる

Table 9. 森林の総生産量と純生産量
Gross and net production of stands.

樹種	Species	種	総生産量 Gross production (t/ha・yr)	純生産量 Net production (t/ha・yr)	出典 Reference
<i>Fagus sylvatica</i>	—	8 yr	13.9	7.5	21
do.	—	25 yr	22.3	13.5	21
do.	—	46 yr	23.5	13.5	21
do.	—	85 yr	21.4	11.3	21
<i>Fraxinus excelsior</i>			21.5	13.5	19
do.	—	unthinned	8.9	5.2	3
do.	—	thinned	9.1	6.3	3
Tropical rain forest			77.4	28.5	17
<i>Distylium racemosum</i>	(イス)		73.1	21.6	14, 18
<i>Picea abies</i>			26.5	18.0	19
<i>Abies sachalinensis</i>	(トドマツ)		50.2	23.8	16, 55

が、モミ属、トウヒ属のような陰性針葉樹林の示す値と同等とみられる。したがって、この調査で得られた数字からみれば、乾物生産の面ではスギは一般針葉樹なみであって、とくに生産力の大きい樹種であるとはいえないのである。

2. 総生産量 総生産量を決めるためには、葉や材の呼吸量を求めなければならないが、これには推定部分が非常に多く、なかなか適確な数字を把握し難い。したがって、森林の総生産量を推定した報告はきわめてすくないが、いまこれに関する資料を集めてみると Table 9 のようになる。表中の *Fagus*, *Fraxinus*, *Picea* の例は、いずれも北ヨーロッパにおける値であるから、温暖多雨な九州のスギ林ではこれらの数字を上廻るであろうことは容易に想像され、Table 5 に示した推定値40~70t/ha・yrは北ヨーロッパにおける値のほぼ倍となっている。KIMURA¹⁴⁾の推定によるイスの林分は、大隅半島で得られた数字であって、今回の宮崎の調査林分とは位置的に近く、両者を比較するのは興味がある。温度が高い地方では、純生産量はもちろん、呼吸消費量が急激に増すことが考えられ、OGAWA et al.²⁰⁾は熱帯多雨林では純生産量 40 t/ha・yr、呼吸消費量は 60~70 t/ha・yr に達するであろうと述べている。

Table 5 の数字から、MÖLLER et al.²¹⁾ や吉良¹⁶⁾ が行なったのと同様の物質生産スペクトルを組み立てようと試みたが、今回のスギ人工林の場合は3地域にわたり、保育上の取扱いもそれぞれ異なっているので信頼できるスペクトル図をうることができなかった。しかし、一応の傾向としては、生産力が最大になる時期は20~30年生、あるいは林分の平均樹高にして10~15m程度の時ではないかと推測される。

3. エネルギー効率 物質生産のエネルギー効率は長崎の林分のみについて計算されたが、Table 6 に示したとおり、純生産量に対するエネルギー効率は、生育期間内でも1%に満たず、投下される太陽エネルギー量のうち植物が固定する量はごくわずかであることがわかる。OVINGTON³¹⁾は *Pinus sylvestris* の生産最盛期でも、純生産量に対しては1.3%であるとし、四大学合同調査班⁵⁵⁾は20 t/ha・yrの純生産量のある北海道のトドマツ林でも、全年、生育期間の純生産量に対する効率をそれぞれ0.74, 1.2%と算定している。OVINGTON and HEITKAMP³³⁾は、いろいろな樹種を含めて純生産量に対しては1%程度のエネルギー効率と考えている。

これらスギ林分の総生産量に対するエネルギー効率をみても、全年で2%以下、生育期間内でも3%以下である。OVINGTON²²⁾ は OGAWA et al.²⁶⁾ の 40t/ha・yr の純生産量をもつ熱帯林でも総生産量に対するエネルギー効率は3%程度であることなどを例にあげて、総生産量に対してもエネルギー効率の上限は3%程度であることを示し、またすでに、吉良¹⁵⁾は高等植物の総生産量に対する効率は2~3%であると指摘している。

おわりに

森林という生態系 (ecosystem) のなかで、ほとんどが樹木によって代表される生産者 (producer) が、無機物を有機物に換える仕事をどれほど行っているかはあくすることは、森林生態系理解の基礎である。また、森林という生態系の中から、その生産物である樹木をもちだす林業にあっても、その基礎生産をよく知っておく必要があるのはいうまでもない。

この報告では、九州のサシキスギ品種2種と実生スギの人工林の生産力について推測した。生態系の基礎生産、あるいは物質生産構造の研究は若い学問であって、まだ基礎資料を収集する段階をでない。したがって、今回の調査だけで、スギ品種間の生産力差を検討し、結論を導きだすのは早計である。という意味で、この報告を今後の研究発展のための資料として役立てたいと考えている。

要 約

今日まで、森林の物質生産についての研究は多くを数えるが、森林の総生産量、すなわち成長量はもちろん、呼吸消費までを含めた全光合成有機物生産量にまでおよんだものは数すくない。ここでは、九州地方のスギ林の中から、代表的なサシキ品種としてヤブクグリとアカ、それに実生スギ林を調査して、それぞれの林分の有機物生産力を推定した。

調 査 大分県下でヤブクグリ、宮崎県下でアカ、長崎県下で実生スギの林分を Table 1 のとおりに調査した。プロット調査は胸高直径と樹高を毎木調査した。供試木は1本ごとに伐倒して幹、枝、葉に分けて生重量を計り、一部資料を持ちかえって乾重量を算定した。幹は樹幹解析した。

現存量 断面積配分法によって、供試木の重量から算定した。根重量は実測していないが、植物体全重の1/5とした (Table 2)。閉鎖したスギ林の葉量は、haあたり生重量で40~50t、乾重量で17~22t、葉面積で10~13ha程度と思われる (Table 3)。

幹、枝、葉の重量配分 地上部乾重に対する幹+枝、幹乾重の相対成長関係には、林分ごとの差はみられないが、枝重、葉重では林分差が認められる (Fig. 1, 2)。胸高直径が小さいほど地上部重中での葉の占める割合は小さくなる。しかし、幼齢林では逆である (Fig. 3)。林分全体としての葉の現存量の地上部重に対する割合は、林齢が大きくなるほど (Fig. 4)、また林分の平均樹高が大きくなるほど (Fig. 5) 低下する。枝の割合はいずれの場合も生育段階が進むほど大きくなる傾向がある。

純生産量 供試木の D^2H (D は胸高直径、 H は樹高) と幹+枝+根乾重との相対成長関係 (Fig. 6) が1年前にも成立していたものとして、樹幹解析の結果を用いて1年前の現存量を推定し、現在との差を求めた。現在の葉量の1/4が、当年に生産されたものと仮定してこれに加え、純生産量とした (Table 4)。

総生産量 葉の年間呼吸損失量は、20°Cにおける乾重に対する呼吸量を夏期 0.51、冬期 0.58mgCO₂/g・hr、温度係数 $Q_{10}=1.5$ として月別気温を考慮して算定した。材の呼吸消費量は、その単位量の1年間

の呼吸率を Fig. 7 で求めて算定した。純生産量に葉、材の呼吸消費量を加えて総生産量とした (Table 5)。

エネルギー効率 太陽輻射エネルギー量に対する光合成で固定されたエネルギー量の比を、長崎の林分についてのみ求めた (Table 6)。総生産量に対するエネルギー効率は全年で 2% 以下であった。

以上の純生産量、総生産量を他の樹種と比較した (Table 8, 9)。スギ林の物質生産力は、いわゆる陰性針葉樹林なみであって、スギはとくに生産力の高い樹種とはいえない。今回の調査の範囲内では、スギ人工林の生産量は 20~30 年生、林分の平均樹高 10~15m 程度で最大になる傾向が認められた。

文 献

- 1) 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 (第 1 報) 生育経過と相対成長, 林試研報, 144, pp. 1~30, (1962)
- 2) 浅田節夫・赤井龍男：亜高山帯の森林の取扱いについて, 長野林友, 38/7 pp. 2~49, (1963)
- 3) BOYSEN JENSEN, P. : Die Stoffproduktion der Pflanzen. Fischer Jena. (1932)
- 4) BRAY, J.R. : Root production and the estimation of net productivity. Can. J. Bot., 41, pp. 65~72, (1963)
- 5) BRAY, J.R. and L. A. DUDKIEWICZ: The composition, biomass and productivity of two Populus forests. Bull. Torrey Bot. Club., 90, pp. 298~308, (1963)
- 6) BURGER, H. : Holz, Blattmenge und Zuwachs. II. Die Douglasie. Mitteil. Schweiz. Centralanst. Forstl. Versuchsw., 19, pp. 21~72, (1935)
- 7) BURGER, H. : Ditto V. Fichten und Föhren verschiedener Herkunft auf verschiedenen Kulturorten. Ibid., 22, pp. 10~62, (1941)
- 8) BURGER, H. : Ditto XI. Die Tanne. Ibid. 27, pp. 247~286, (1951)
- 9) 藤井真一：ヒノキ林の遮断雨量に関する試験, 日林誌, 41, pp. 262~269, (1959)
- 10) GOLLEY, F., H. T. ODUM and R.F. WILSON : The structure and metabolism of a Puerto Rican red mangrove forest in May. Ecol., 43, pp. 9~19, (1962)
- 11) 石崎厚美・下野園正：九州における主なスギさし木品種と造林地の土壌の性質について, 林試研報, 117, pp. 43~63, (1959)
- 12) 菅 誠・四手井綱英・堤 利夫・須崎敏一：常緑広葉樹林の生産力について, 1, 2, 日林講, 72, pp. 249~250, (1962), 74, pp. 171~172, (1963)
- 13) 菊住 昇・寺田正男：スギ林の地下部の構造に関する研究(III), 日林誌, 41, pp. 279~284, (1959)
- 14) KIMURA, M. : Primary production of the warm-temperate laurel forest in the southern part of Osumi Peninsula, Kyushu, Japan. Misc. Rep. Res. Inst. for Nat. Resources, 52~53, pp. 36~47. (1960)
- 15) 吉良龍夫：生態系の自然構造とその生産力, 現代生物学講座, 5, pp. 149~195, 共立出版, (1958)
- 16) 吉良龍夫：原生林保護の必要とその生態学的意義, 日生態誌, 13, pp. 67~73, (1963)
- 17) 吉良龍夫：熱帯多雨林の物質代謝, 自然, 19/9, pp. 22~29, (1964)
- 18) 北沢右三・木村 允・手塚泰彦・倉沢秀夫・坂本 充・吉野みどり：大隅半島南部の植物生態学的研究, 資源研報, 49, pp. 19~36, (1959)
- 19) MÖLLER, C.M. : Untersuchungen über Laubmenge, Stoffverlust und Stoffproduktion des Waldes. Det forstl. Forsøgsv. i Danmark, 17, pp. 1~287, (1945)
- 20) MÖLLER, C. M., D. MÜLLER and J. NIELSEN : Loss of branches in European Beech, Ibid., 21, pp. 253~271, (1954), Respiration in stem and branches of Beech, Ibid., 21, pp. 273~301, (1954)
- 21) MÖLLER, C. M., D. MÜLLER and J. NIELSEN : Graphic presentation of dry matter production

- of European Beech. Ibid. 21, pp. 327~335, (1954)
- 22) MÜLLER, D.: Die Atmung der Buchenblätter. Ibid. 21, pp. 303~318, (1954), Die Blätter und Kurztribe der Buche. Ibid., 21, pp. 319~326, (1954)
- 23) 根岸賢一郎・佐藤大七郎: 温度とアカマツ・スギ・ヒノキのナエの同化・呼吸, 日林誌, 43, pp. 336~343, (1961)
- 24) 尾方信夫・長友安男: ヤブクグリ伐期林分の生産構造について, 日林九講, 15, pp. 138~139, (1961)
- 25) 尾方信夫・長友安男: オビアカ林分の生産構造について, 同上, 16, pp. 148~150, (1962)
- 26) OGAWA, H., K. YODA and T. KIRA: A preliminary survey on the vegetation of Thailand. Nature and Life in Southeast Asia, 1, pp. 21~157, (1961)
- 27) OGINO, K., S. SABHASRI and T. SHIDEI: The estimation of the standing crop of the forest in northeastern Thailand. Southeast Asian Stu., 4, pp. 89~97, (1964)
- 28) OSHIMA, Y., M. KIMURA, H. IWAKI and S. KUROIWA: Ecological and physiological studies on the vegetation of Mt. Shimagare. 1. Preliminary survey of the vegetation of Mt. Shimagare. Bot. Mag. Tokyo, 71, pp. 289~301, (1958)
- 29) OVINGTON, J. D.: The form, weight and productivity of tree species grown in close stand. New phytol., 55, pp. 289~304, (1956)
- 30) OVINGTON, J. D.: Dry-matter production by *Pinus sylvestris* L. Ann. Bot. N.S., 21, pp. 287~314, (1957)
- 31) OVINGTON, J. D.: Some aspects of energy flow in plantations of *Pinus sylvestris* L. Ibid., 25, pp. 12~20, (1961)
- 32) OVINGTON, J. D.: Quantitative ecology and the woodland ecosystem concept. Advances in Ecol. Res., 1, pp. 103~192, Acad. Press., (1962)
- 33) OVINGTON, J. D. and D. HEITKAMP: The accumulation of energy in forest plantation in Britain. J. Ecol., 48, pp. 639~646, (1960)
- 34) OVINGTON, J. D. and H. A. I. MADGWICK: The growth and composition of natural stand of Birch. I. Dry-matter production. Plant and Soil, 10, pp. 271~283, (1958)
- 35) 坂口勝美・土井恭次・安藤 貴・福田英比古: 本数密度からみたアカマツ天然生幼令林の解析, 林試研報, 93, pp. 1~25, (1957)
- 36) 佐藤大七郎: 林木の生長の物質的基礎, 育林学新説, pp. 116~141, 朝倉書店, (1955)
- 37) 佐藤大七郎・功力六郎・桑川昭夫: 林分生長論資料, 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との関係, 東大演報, 52, pp. 33~51, (1956)
- 38) 佐藤大七郎・中村賢太郎・扇田正二: 同上, 1, 立木密度のちがう若いアカマツ林, 同上, 48, pp. 65~90, (1955)
- 39) 佐藤大七郎・根岸賢一郎・扇田正二: 同上, 5, 上層間伐を行なったケヤキ人工林における葉の量と生長量, 同上, 55, pp. 101~123, (1959)
- 40) 佐藤大七郎・扇田正二: 同上, 4, わかいヒノキの人工林における葉の量と生長量の関係, 同上, 54, pp. 71~100, (1958)
- 41) 扇田正二・中村賢太郎・高原末基・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, 同上, 43, pp. 49~57, (1952)
- 42) 扇田正二・佐藤大七郎: 林分生長論資料, 2, いろいろなツヨサの間伐をした北海道のストロブマツ林, 同上, 52, pp. 15~31, (1956)
- 43) 芝本武夫: 我が国森林土壌の生産力と造林用肥料に就いて, みどり, 3/3, pp. 9~16, (1951)
- 44) 四手井綱英: 立山付近に分布するハイマツの物質生産について, 日林誌, 45, pp. 169~173, (1963)
- 45) 只木良也: 森林の生産構造に関する研究, IV, 林分および単木の葉量についての若干の考察, 日林

- 誌, 45, pp. 249~256, (1963)
- 46) 只木良也・尾方信夫・長友安男: 同上, V, モリシマアカシヤ人工林の生産力について, 同上, 45, pp. 293~301, (1963)
- 47) 只木良也・尾方信夫・長友安男・吉岡 清・宮川良幸: 同上, VI, 足場丸太生産スギ林の生産力について, 同上, 46, pp. 246~253, (1964)
- 48) 只木良也・尾方信夫・高木哲夫: 同上, III, コジイ幼齡林における現存量の推定と生産力についての若干の解析, 同上, 44, pp. 350~359, (1962)
- 49) 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, 同上, 44, pp. 129~139, (1962)
- 50) 只木良也・四手井綱英: 数量的間伐に関する生態学的研究, 京大演報, 34, pp. 1~31, (1963)
- 51) 只木良也・四手井綱英・酒瀬川武五郎・荻野和彦: 森林の生産構造に関する研究, II, シラカンバ幼齡林における現存量の推定と生産力についての若干の解析, 日林誌, 43, pp. 19~26, (1961)
- 52) 塘 隆男: わが国主要造林樹種の栄養および施肥に関する基礎的研究, 林試研報, 137, pp. 1~158, (1962)
- 53) WEETMAN, G. F. and R. HARLAND: Foliage and wood production in unthinned Black Spruce in northern Quebec. For. Sci., 10, pp. 80~88, (1964)
- 54) 山田昌一・丸山幸平: プナ天然林分についての計量生態学的検討 (予報)——プナ林分の生態学的研究——, 日林講, 72, pp. 245~248, (1962)
- 55) 四大学合同調査班: 森林の生産力に関する研究, I. 北海道主要針葉樹林について, 国策パルプ, (1960)
- 56) 汰木達郎: 林木の成長を支配する要因に関する解析的研究, 九大演報, 37, pp. 85~178, (1964)

**The Dry Matter Productivity in Several Stands
of *Cryptomeria japonica* in KYUSHU.**

Yoshiya TADAKI, Nobuo OGATA and Yasuo NAGATOMO

(Résumé)

The dry matter production of forests has been estimated and discussed by several investigators. But, most of them were mainly concerned with the net productivity, and unfortunately, the reports on the gross productivity of the forest are very few.

In KYUSHU district, there are many cultivars of *Cryptomeria japonica* for cuttings. But we have scarcely any information on the dry matter productivity of their stands. In this paper, the stands of two major cultivars made up of cuttings, *Yabukuguri* and *Aka*, and the seed-origin stands are adopted for estimating their productivity.

Field work Nine pure, even-aged and well covered stands were investigated; three of them were of *Yabukuguri* in OITA Pref., three were *Aka* in MIYAZAKI Pref. and the remnants were seed-origin in NAGASAKI Pref. (Table 1). The plots were settled in each stand for D.B.H. and height measurement. Several sample trees representing various D.B.H. classes were felled one by one and immediately measured of their weight of stem, branches and leaves (green parts) independently. Small samples of each organ and stem discs were brought back to the laboratory for dry weight determination and stem analysis. In this report, weight data are given on an oven-dry basis, unless otherwise stated.

Standing crop This means the present amount of living substance in the stand. The total amount of each organ in plot was calculated according to the following equation;

$$y = y' G / G' \dots\dots\dots(1)$$

where y , y' , G and G' were the total weight of plot, of sample trees, the total basal area of plot and of sample trees respectively. The root weight was estimated tentatively at 1/5 of the whole plant weight¹³⁾⁵²⁾. The composition and standing crop of each stand are shown in Table 2. The leaf amount per hectare of *Cryptomeria* stand (Table 3) was considered 40~50 t/ha in green weight, 17~22 t/ha in dry weight and 10~13 in leaf area index. Incidentally, the leaf area was calculated after YURUKI's constants⁵⁶⁾.

Proportion of each organ The allometric relation of stem + branch weight and stem weight to above-ground weight seemed to be irrespective of the difference of stands, but those of leaf and branch-weight to above-ground weight differed with stands (Fig. 1, 2). The percentage of leaves to above-ground in weight of individual sample trees had a tendency to decrease in smaller D.B.H. but to increase in younger stands (Fig. 3). That of stands was apt to decrease in older stands (Fig. 4) and in higher mean height (Fig. 5). The proportion of branches to above-ground slightly increased with progress of growth.

Net production The net production here means the production of living substance, which are mainly stems, branches, roots and leaves. The allometric relation between D^2H (D :D.B.H., H :height) and weight of stem + branches + roots per tree was shown in Fig. 6. By the method of stem analysis, D.B.H. and height of one year before were measured for sample trees. And from the relation of Fig. 6 the weight of woody dry matter of one year before was calculated. Thus, annual increment of woody dry matter could be estimated. The new leaves were regarded as 1/4 of the whole living leaves in weight tentatively. The net production in each

stand was shown in Table 4.

Gross production The gross production here means the production of organic substance through photosynthesis. Accordingly, it is the total sum of the net production and the amount of dry matter loss by respiration in living tree parts which are roughly divisible into leaves and woody parts. The calculation of respiration loss in leaves was made on the basis of the figures by NEGISHI and SATO²³⁾. They had studied the photosynthesis and respiration of one-year-old *Cryptomeria* seedlings and found that the respiration activity of them was 0.51 and 0.58 mg CO₂ per 1 g dry weight of above-ground part per hour at 20°C in summer and in winter respectively. It might be unreliable to use these figures for our stands, but available data concerning this could not be found. However, above-ground part of seedling mostly showed green, so that those figures were of necessity used. NEGISHI and SATO²³⁾ also found that the temperature coefficient Q_{10} of the respiration activity was 1.5. Assuming that the half of total leaf amount of stand consisted of sun leaves, the remnants shade leaves, and the respiration activity in shade leaf was 1/2 of that in sun leaf, the annual respiration of leaves was calculated, utilizing monthly temperatures at the stand which were converted from the data of the nearest meteorological station. The respiration loss of CO₂ was converted into dissimilated dry matter which was mainly composed of (C₆H₁₀O₅)_n.

The respiration loss by wood (stems, branches and roots) was estimated as follows: The relation of the annual dry matter production per tree (Δw) to weight of leaves (w_L) and of woody parts (w_O) can be approximated by

$$\Delta w = aw_L - R w_O \dots\dots\dots(7)$$

where a and R are the annual net assimilation rate in leaves and the annual respiration rate in woody parts respectively. This formula can be converted into

$$\Delta w/w_O = a w_L/w_O - R \dots\dots\dots(8)$$

then, on $\Delta w/w_O \sim w_L/w_O$ axes, a linear relation is expected and, a and R are given by the inclination and $\Delta w/w_O$ -intersection respectively (Fig. 7). The relation of the annual dry matter production of stand (Δy) to total weight of leaves (y_L) and of woody parts (y_O) can also be approximated by

$$\Delta y = a y_L - R y_O \dots\dots\dots(9)$$

As y_O of our stands were known and R were recognized as 0.03 in stands of Oita and 0.04 in Miyazaki and Nagasaki, from Fig. 7, the annual respiration loss of woody parts in each stand could be calculated.

Summing up the net production and the respiration loss, the gross productions were estimated as given in Table 5.

Energy efficiency This means the rate of energy fixation by plants to total solar energy given to plants. This rate could not be calculated except for the stands of Nagasaki, because of lack of the solar radiation data. At Nagasaki stands, efficiencies even in gross production were less than 2% to annual solar radiation, and less than 3% to total energy in growing period (Table 6).

Discussion As mentioned above, annual net dry matter production may be approximately estimated also as formula (9). The figures estimated with this formula are shown in Table 7. As compared with the figures in Table 4, these values of net production obtained in different ways well agree with one another.

The net production for our *Cryptomeria* stands are 10~16 t/ha·yr. The values, in compa-

rison with other tree species (Table 8), are twice as large as those for the deciduous forests, and are somewhat similar values for shade coniferous stands such as *Abies* and *Picea*.

The reports on gross production are very few (Table 9). For our forests, the gross productions are estimated to amount to 40~70 t/ha·yr. The fact that the gross productions of our forests are double the quantity of North European species may be due to the large amount of dry matter lost by respiration in our warm temperate forests than in the cool temperated ones.

Within our investigations, the productivity in the artificial stand of *Cryptomeria* seems to be maximum in 20~30 years of age and in 10~15 meters of mean height.