

若いメタセコイア林分の物質生産量について*

斎藤秀樹・河原輝彦・四手井綱英・堤利夫

Productivity of Young Stands of *Metasequoia glyptostroboides*

Hideki SAITO, Teruhiko KAWAHARA, Tsunahide SHIDEI and Toshio TSUTSUMI

目	次
要 旨	80
1. はじめに	81
2. 調査林分	81
3. 調査方法	82
4. 結果および考察	83
4.1) 現存量について	
4.2) 幹枝の生長量	
4.3) 純生産量の推定	
4.4) 林分の垂直構造について	
5. 樹体のもつ養分量	90
5.1) 分析方法	
5.2) 分析結果と考察	
文 献	93
Résumé	94

要 旨

1. 日本には落葉針葉樹はカラマツ 1 種しか分布せず、森林のタイプごとに生産力等を比較検討するのに、他の落葉針葉樹林の生産力などを知る必要があった。

2. 若いがよく閉鎖したメタセコイアの林分が、山口県の旧京大徳山試験地にあったので伐倒調査した。林分 1 と 2 ととも樹令 9 年生で、近接していて立地条件はほぼ同じである。林分 1 は立木本数約 6,200 本/ha, 平均樹高 8.9m, 林分 2 は立木本数約 12,900 本/ha, 平均樹高 8.0m である。林分 1 は個体差が大きい、林分 2 の個体は非常によくそろっていて、共倒れ型に近い林分である。

胸高断面積合計は両林分とも 24m²/ha 前後である。

3. 調査方法は 17 本の伐倒木（林分 1 は 10 本、林分 2 は 7 本で全伐調査）を、1 m 巾の層別刈取法で調べた。

調査は 1967 年 9 月上旬に行った。

4. 林分の現存量および生長量は、次の各器官の間に成立する相対生長関係と毎木調査結果とから推定した。

$$\text{幹 量 } V_S = 0.05957 \cdot (D^2H)^{0.948}$$

$$V_S = 0.0031 \cdot W_S$$

$$\text{枝 量 } W_B = 0.01611 \cdot W_S^{1.27}$$

$$\text{葉 量 } W_L = 0.127 \cdot W_S$$

$$\text{根 量 } W_R = 0.22 \cdot W_S$$

$$\text{幹生長量 } \Delta W_S = 0.02598 \cdot W_S^{1.23}$$

$$\text{枝生長量 } \Delta W_B = 0.9450 \cdot W_B^{0.915}$$

V_S ; 幹材積 dm³, D^2H ; (DBH)² × (樹高) cm² · m, W_S ; 幹乾重 g, W_B ; 枝乾重 g, W_L ; 葉乾重 g, W_R ; 根乾重 g, ΔW_S ; 幹重量生長量 g, ΔW_B ; 枝重量生長量

* Contributions from JIBP-PT No.69

5. 林分現存量および生長量の計算結果は表1に示した。

6. 幹量を林分樹高、立木本数のほぼ等しいカラマツ林分と比べるとほぼ同じであった。しかしこのメタセコイア林分は伸長生長が年平均1.2mと大きいので同じ幹量を蓄積するにも短期間で達成する。林分葉量は5 ton/ha (短枝を除くと4 ton/ha) と、同じ落葉針葉樹のカラマツ林の葉量とほぼ等しい(表2)。林分1の枝生長量は3.8 ton/ha・yr (9.9 m³/ha・yr) で、林分枝量 (7.5 ton/ha) の50%に相当する。また幹生長量の46%にあたる

7. 幹の生長量は大きな個体ほど大きく、単位葉量の生産する幹量 ($\Delta W_s/W_L$) は優勢木で1.7~2.3 kg/kg, 被圧木で1.1~1.2 kg/kg と2倍以上のひらきがある。

8. 林分1の純生産量 (ΔP_n) を次の式から推定した(表3)。

$$\Delta P_n = Y_{2N} + \Delta L_N + \Delta G_N$$

Y_{2N} ; 調査時における当年生長部分(新部分)の現存量

ΔL_N ; 新部分の枯死量

ΔG_N ; 新部分の被食消失量

各項目は主に表1の数値を代入した。樹皮の Y_{2N} は、現在の皮量に1年間の幹表面積の増加率を乗じて推定した。葉の ΔL_N には他のデータからの推測値を用いた。 ΔG_N は全項目を0とした。

9. 純生産量は21 ton/ha・yr となった。カラマツ林分と比較すると、最も多い部類に入るが、林分の若さ、立木本数を考慮してみると同程度の生産力と考えてよからう。

10. この林分の乾物量62.0 ton/ha で、養分量はそれぞれチッ素279.6 kg/ha, リン42.2 kg/ha, カリウム187.1 kg/ha, カルシウム393.5 kg/ha, マグネシウム34.0 kg/ha と推定した。

1. は じ め に

近年、IBP を中心にして森林生産力の調査が盛んに行なわれているが、我が国では10数年以前から日本にあるいろいろなタイプの多種多様な林分の生産力等が調査され報告されてきている。

たとえば常緑針葉樹ではスギ、ヒノキ、アカマツをはじめ、ヨーロッパトウヒ、シラベ等の林分、常緑広葉樹ではコジイ、ウバメガシ、アラカシ、ツバキ等の林分、落葉広葉樹ではブナ、ミズナラ、ヤチダモ、ケヤキ等の林分などで、どの森林タイプも数種類の林分が調査されている。しかし落葉針葉樹は日本にはカラマツ1種しか分布しないために、カラマツで落葉針葉樹を代表させるしかない。

徳山市に落葉針葉樹であるメタセコイアのよく閉鎖した林分があったので、その物質生産力と養分量とを調べたのでここに報告する。

メタセコイアは生きる化石²⁾として有名になった樹種で、若木の材積生長は非常によく、平坦地で水条件に恵まれますとスギの数倍もの大きさになるものもある。

最後に、4節は斎藤が5節は河原がそれぞれ中心になりとりまとめた。

また調査にあたって御援助御協力下さった西田八州男氏、鬼石長作氏に深く謝意を表する。

2. 調 査 林 分

調査林は、京大農学部付属演習林の旧徳山試験地(山口県徳山市笹葉ヶ丘)内にある樹令9年生のメタセコイア (*Metasequoia glyptostroboides* Hu et Cheng) の2林分である。

両林分は近接していて立地条件はほぼ同じである。谷筋の平坦地に植えられたもので、地位はあまり良くないが、土壌が温潤なため生長は良好のようである。

林分1は、立木本数は植栽当時約10,000本/ha あったのが、調査時約6,200本/ha に減っていた。

しかし、枯体が見当たらないところからみると、相当以前に枯れたと考えられる。林分内個体差は比較的大きく、樹高 5.6~10.7m (DBH:3~10cm) の範囲に散らばっている。

林分2は、個体の大きさがよくそろっていて立木本数も植栽時とほとんど変わらず約 12,900本/ha あり、林分1のほぼ2倍である。樹高は6~9m の範囲内にあり、しかも全体の75%以上の個体は樹高 8m 以上とよくそろっている。

ここでこれら林分内の個体差が林分1と2で違う原因について考えてみよう。今、平坦地で立地条件の均一な場所に大きさや活力のよくそろった苗木を正状植えすると、どの苗木もほぼ生育空間が与えられたことになる。そして、この植栽木の中で偶然に良い生育条件を得た個体、遺伝質の良い個体でも、植栽間隔が狭いと比較的短い期間内に閉鎖し、将来優勢木となるに十分な生育空間を閉鎖前に占有することが出来ないと考えられる。従って、どの個体もほぼ等しい生育空間をもち、個体差が比較的小さいままで、ある期間林分は生長してゆくと思われる。しかも、メタセコイアの場合は、さし木で苗木を作るし、又その由来から考えて非常に単純なクローンであると考えられるから、上のように共倒れ型に近い林分になり易いだろう。

逆に植栽間隔が広いと、閉鎖に時間がかかり、その間に大きな個体差が生じてしまうのであろう。²¹⁾²²⁾

このような共倒れ型に近い林分は、スギ苗の苗畑をそのまま放置した場合に時々見い出される。

生枝の枯れ上りは、樹高のよくそろった林分2の方が高く、平均すると林分1が3.2m、林分2が3.8m となった。胸高断面積は両林分とも 24m²/ha 前後である。

なお林床の植生はほとんど見当たらない。

リター量は絶乾重で 480g/m²(4.8 ton/ha) 程度で、それは主に落葉であり短枝もかなり目立った(メタモコイアは着葉している短枝は葉と共に枯死する)。枯枝はほとんど落ちず幹に着いたままである。

なお測定地の気候は年平均気温 15°C、年降水量 2,000mm ほどである。

3. 調査方法

まず標準地を設け、その中の立木の DBH、樹高の毎木調査を行なった。次に、林分1ではその中から DBH の全範囲にわたるように 10 本の供試木を選び、1m 間隔の層別刈取法で調査した。林分2では枯死木もなく、正方形植えになっていたので、任意に一行を選び出し、その列から連続して7本を伐倒し 1m 間隔の層別刈取法で調べた。

絶乾重は樹体各部サンプル(200~500g)を105°C下で乾燥し、乾物率を求め計算した。両林分とも各部の乾物率は、幹35%、枝38%(当年枝34%)、葉27%、根36%となった。

葉面積は10~20gの陽葉と陰葉とをとり、葉面積計にかけて、単位重さあたりの片面葉面積を求めた。

林分1の10本の伐倒木のうち、6本を精密調査木として選び、根量、枝生長量、および養分量を推定出来る計測を行なった。

根はチェーンブロックを用いて抜根した。非常に軟弱な材のため、細根が切れ回収率は良くなかった。枝は、まず層別に当年枝と2年生以上の枝とに分けて重さを計った。2年生以上の枝は各層から本数で $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ の枝を取り出し、全部 10cm の等間隔に切断しその年輪巾を読み、当年の枝生長量を推定した。

この6本の他に1本を加え計7本の幹枝葉根から各々分析用のサンプルを研究室に持ち帰り、化学分析を行って樹体内の養分量を計算した。

調査は1967年9月上旬に行なった。

4. 結果および考察

4.1) 現存量について

haあたりの樹体各器官の現存量を計17本の伐倒木の相対生長関係の成立を根拠として、各直径階の現存量を求め、その合計値として推定した。

使った相対生長関係式は次の通りである。

$$\text{幹} \quad V_S = 0.05957 \cdot (D^2H)^{0.948}$$

$$V_S = 0.0031 : W_S$$

$$\text{枝} \quad W_B = 0.01611 \cdot W_S^{1.27}$$

$$\text{葉} \quad W_L = 0.127 \cdot W_S$$

$$\text{根} \quad W_R = 0.22 \cdot W_S$$

V_S ; 幹材積 (dm³), D^2H ; (DBH)²×(樹高) (cm²・m), W_S ; 幹乾重(g),

W_B ; 枝乾重(g), W_L ; 葉乾重(g), W_R ; 根乾重(g)

幹量は $W_S \sim D^2H$ 関係よりも, $V_S \sim D^2H$ 関係の方が回帰性がよく, 式が決定しやすい (図1)。また2林分は個体生長率が2倍近く異なるのに, 幹比重の関係 $V_S \sim W_S$ では林分の分離は認められな

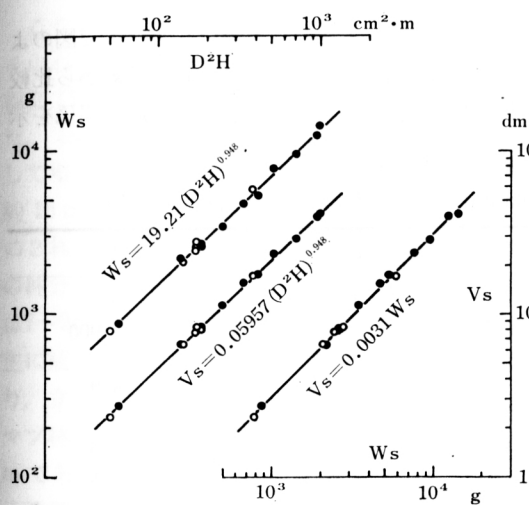


図1 幹に関する相対生長関係

Fig. 1 Allometric relations of $V_S \sim D^2H$,

$V_S \sim W_S$ and $W_S \sim D^2H$

D^2H ; (DBH)²×(Height),

V_S ; Stem volume

W_S ; Stem dry weight

●; Stand 1

○; Stand 2

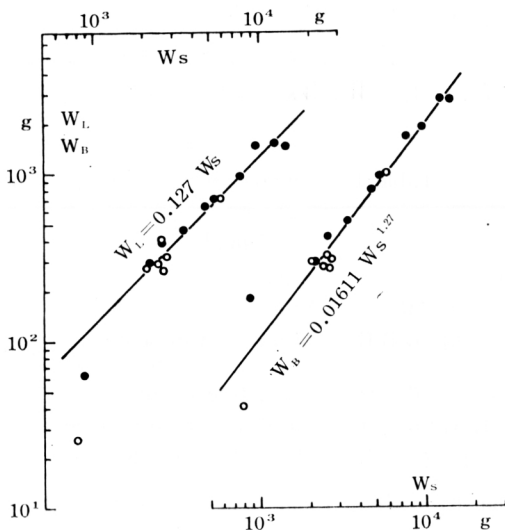


図2 枝, 葉に関する相対生長関係

Fig. 2 Allometric relations of $W_L \sim W_S$

and $W_B \sim W_S$

W_B ; Branch dry weight

W_L ; Leaf dry weight

W_S ; Stem dry weight

いようである。

$W_B \sim W_S$ および $W_L \sim W_S$ 関係も, 林分の変離はないようで, 小さい被圧木を除けば点のバラッキは非常に少ない (図2)。図のように被圧木2本は直線からかなり離れているが, 幸いにも毎木調査の結果は図上に印した2本以外は, D^2H が100以上 (W_S が1.5kg以上)であったから, haあたりの量を求めるばあいは, これら個体のズレの影響はほとんどない。

$W_R \sim W_S$ 関係はきれいな直線関係とは言えない (図3)。これは抜根が不完全だったことにもよる

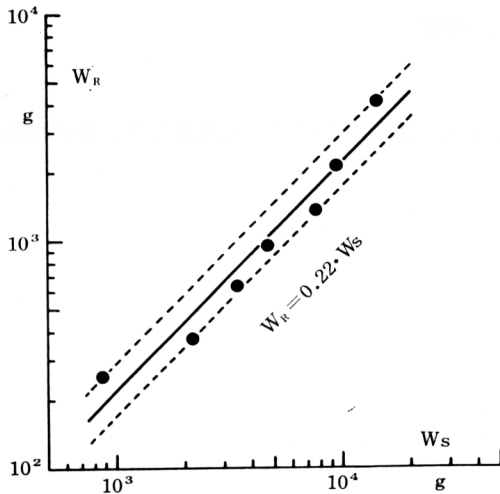


図3 根に関する相対生長関係

Fig. 3 Allometric relation of $W_R \sim W_S$
 W_R ; Root dry weight

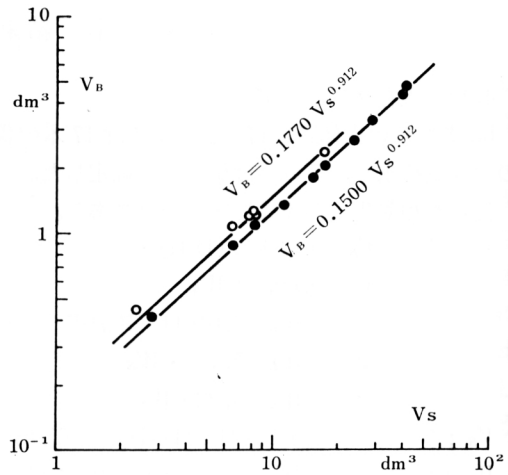


図4 幹量と樹幹の皮量の関係

Fig. 4 Relations between bark volume on stems and stem volume
 V_B ; Bark volume of stems

だろう。スギでは W_R と W_S はほぼ比例していると考えてよいから、メタセコイアでも勾配1で図のように上限と下限を各々決め、その中間に求める式を決めた。スギ、カラマツなどの W_R/W_S から比較すると、上の $W_R/W_S = 0.22$ は小さく過小値かもしれない。図4は V_S と樹皮容積(V_B)の関係を示

表1 メタセコイア林分の樹体各部現存量および最近1年間の生産量など

Table 1 Biomass and other properties in plantations of *Metasequoia glyptostroboides*.

林 分 Stand				1	2
樹 令	Ages	years		9	9
立 木 本 数	Number of trees	No/ha		6,180	12,900
平 均 DBH	Mean stem diameter at breast height $\bar{D}$	cm		6.9	4.9
平 均 樹 高	Mean tree height $\bar{H}$	m		8.9	8.0
胸高断面積合計	Basal area at breast height	m ² /ha		24.3	22.6
平均生枝下高	Mean clear bole length $\bar{H}_B$	m		3.2	3.8
ha あたり現存量	Biomass in oven-dry weight per hectare				
幹	Stem	Y_S	ton/ha	40.4(125)	40.0(123)
枝	Branch	Y_B	ton/ha	7.5(19.4)	7.0(18.1)
葉	Leaf	Y_L	ton/ha	5.1(4.1)*	5.0(4.0)*
根	Root	Y_R	ton/ha	8.9	—
地上部合計	Aboveground	Y_T	ton/ha	53.1(148.5)	51.6(145.1)
植物体合計	Sum total	Y	ton/ha	62.0	—
幹の樹皮容積	Bark volume of stem	m ³ /ha		14.7	18.0
ha あたり最近1年間の生長量	Annual increment in oven-dry weight per hectare				
幹	Stem	ΔY_S	ton/ha·yr	8.2(25.4)	8.0 (24.7)
枝	Branch	ΔY_B	ton/ha·yr	3.8 (9.9)	—

() ; 材積 Volume or Volume increment, m³/ha or m³/ha·yr

() * ; 短枝を除いた葉量 Leaf biomass excluding short branchlets, ton/ha

した。相対生長係数は0.912で個体が大きくなるにつれ樹皮率は小さくなる。また、林分1と2とは明らかに分離した関係が認められる。同じ大きさの個体を比較すると、立木本数の高い林分2の方が林分1にくらべ樹皮は20%近く多い。

以上から樹体各器官の ha あたり現存量を計算し、表1にまとめた。

個体の大きさの分布が違う2林分（個体差の大きい林分1、共倒れ型に近い林分2）の各諸量は表1のように非常によく一致した値が得られた。幹量が40 ton/ha（材積124 m³/ha）、枝量が7 ton/ha（材積19 m³/ha）前後、葉量が約5 ton/ha、以上地上部量を合計すると、約53 ton/haとなった。また根量は約9 ton/haとなった。

地上部について幹、枝、葉の占める割合は、それぞれ76、14、10%である。

メタセコイアの通常葉と称している部分は、緑色をした短枝をふくむが、この短枝を除いた葉のみの量は約4 ton/haとなる。

葉面積指数は大略7 ha/haと推定した。ただし短枝を含んだ値である。

樹皮容積量は林分1が15 m³/ha、林分2が18 m³/haとなり、林分1の方が20%ほど少ない。従って、皮を除いた幹材積量は、林分1が111 m³/ha、林分2が104 m³/haとなる。

ここで同じ落葉針葉樹のカラマツの林分現存量を中心にして比較検討してみる。図5に林分平均樹高($\bar{H}$)と林分幹材積量(Y_{vs})との関係を図示した。林分が十分に成熟すると Y_{vs} は $\bar{H}$ に比例して増大し、その比例定数の最大は、¹¹⁾ 菅によれば約16 m³/ha・mであるという。さてメタセコイアの2林分の $Y_{vs}/\bar{H}$ は約14 m³/ha・mであり、この林分とほぼ同じ $\bar{H}$ をもつ普通のカラマツ林では7~9 m³/ha・mで2倍近くの差がある。これは主に植栽密度の違いによって生じてくるものであり、立木本数が6,700本/haという高密度のカラマツ林では、この2林分と同じように14 m³/ha・mである。

この $Y_{vs}/\bar{H}$ が14 m³/ha・mは、 $\bar{H}$ が8~9 m、¹²⁾ 立木本数6,000本/ha程度のスギ林分のそれに匹敵する。

重量にしてみると、平均幹比重はメタセコイアが0.31、カラマツの多くは0.40、スギ0.35程度であるから、メタセコイア林分の $Y_s/\bar{H}$ はその比重の小さい分だけ小さい値となる。メタセコイアの樹高生長量は年平均1.2m前後もあるから、同じ幹量を蓄積するにも短期間で達成する。ちなみに、前述した高密度のカラマツ林では同じ幹量を蓄積するのに、本調査林分の約2倍、13年を要している。⁷⁾

林分葉量について検討しよう（表2）。本調査の林分葉量は5 ton/haだから、表2からわかるようにカラマツ林分葉量の最大値に相当し、短枝を除いた葉のみの量4 ton/haは、カラマツのそのの平均的な値にはほぼ等しい。したがって、閉鎖した落葉針葉樹林の葉量は3~5 ton/haの範囲にちらばり、林分が一応安定と思われる30年以後では3~4 ton/haになるようである。林が若くて密度の

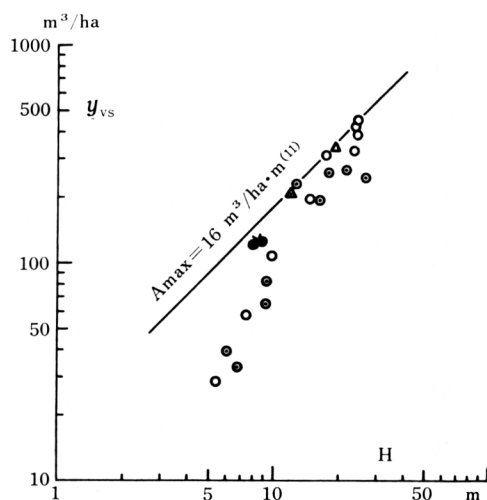


図5 林分平均樹高と林分幹材積量の関係

Fig. 5 Relation between stem biomass per ha and mean tree height

$\bar{H}$; Mean tree height

Y_{vs} ; Stem volume per hectare

Metasequoia glyptostroboides

● ; Stand 1 & Stand 2

Larix leptolepis

○, △, ▲ ;

from References (4). (8). (9),

× ; from Ref. (7)

表2 カラマツ林の林分葉量
Table 2 Leaf biomass in Stands of *Larix leptolepis*

林 令 Age (years)	葉の現存量 Leaf biomass in oven-dry weight (ton/ha)	文 References	献
4	0.62	菅誠・浅田節夫 (1968) ⁽⁸⁾	
4	0.64	KAN, M. et al. (1968) ⁽⁸⁾	
15	3.6		
26	3.2		
9	4.8	菅誠・浅田節夫 (1968) ⁽⁸⁾	
28	4.8	“森林の生産力に関する研究 第II報 信州産カラマツ林について” ⁽¹⁸⁾ から再計算	
48	3.2		
56	2.9	KAN, M. et al. (1968) ⁽⁸⁾	
10	2.7	Recalculated after “Studies on the productivity of forest, Part II, Larch (<i>Larix leptolepis</i> Gord.) forests of Shinshu District” ⁽¹⁸⁾	
17	3.7		
18	5.1		
43	3.1		
18	3.7		
39	3.6	佐藤大七郎 (1966) ⁽⁴⁾ SATO, T. (1966) ⁽⁴⁾	
17	3.4	浅田節夫・菅誠(1966) ⁽⁸⁾ ASADA, S. et al. (1966) ⁽⁷⁾	
13	5.3	蜂屋欣二・棚秋一延・藤森隆郎 (1966) ⁽⁷⁾	
40	2.5~3.0	HACHIYA, K. et al (1966) ⁽⁵⁾	
19	4.2	千葉宗男・永野正造 (1966) ⁽⁵⁾ CHIBA, M. et al. (1966) ⁽⁵⁾	
52	3.3	芝本武夫 (1951) ⁽⁹⁾ SHIBAMOTO, T. (1951) ⁽⁹⁾	
16	3.3 *	大政正隆・森徑一 (1937) ⁽¹⁰⁾	
21	2.5 *	OOMASA, M. et al (1937) ⁽¹⁰⁾	
10	4.4 *		
28	0.5 *		
18	0.3 *		
20	1.2 *		

* 年間の落葉量 Annual leaf litter fall

高い林分では 5 ton/ha に達することも少なくないと思われる。平均すると約 3.7 ton/ha となった。

4.2) 幹枝の生長量

樹幹解析によって得た当年の幹材積生長量に、幹比重を乗じて幹重量生長量 (ΔW_s) を計算し、 W_s との関係、また枝解析によって得た当年の枝材積生長量に、枝比重を乗じて枝重量生長量 (ΔW_b) を計算し、 W_b との関係を図6に示した。

関係式は次の通りである。

$$\text{幹生長量 } \Delta W_s = 0.02598 \cdot W_s^{1.23}$$

$$\text{枝生長量 } \Delta W_b = 0.9450 \cdot W_b^{0.915}$$

$$\Delta W_s, W_s, \Delta W_b, W_b; g$$

$\Delta W_S \sim W_S$ 関係式の勾配は 1.23 で 1 より大きく、大きい個体ほど幹の生長量は大きい。前にのべたように、 $W_L \sim W_S$ 関係が比例していたから、 $\Delta W_S \sim W_L$ 関係式の勾配も同じく 1.23 となり、葉量の多い木ほど単位葉量の生産する幹量 ($\Delta W_S / W_L$) は大きくなる。林分 1 の優勢木の $\Delta W_S / W_L$ は 1.7~2.3kg/kg、被圧木では 1.1~1.2kg/kg と 2 倍以上のひらきがある。次に $W_B \sim W_S$ および $W_L \sim W_S$ 関係式の勾配はそれぞれ 1.27 と 1.00 だから、 $\Delta W_B \sim W_L$ 関係式の勾配は 1.16 となり、葉量の多い木ほど多少枝生長量が多い傾向がみられる。

以上 2 つの関係式から ha あたり幹および枝の生長量を、現存量のばあいと同じ方法でもとめた (表 1)。

幹生長量 (ΔY_S) は林分 1 と林分 2 とはほぼ同じで、8ton/ha・yr (25m³/ha・yr) と推定した。カラマツ林分の ΔY_S についてみると、林令、立木密度などで異なるが、2~8ton/ha・yr (5~19m³/ha・yr) の範囲にあり、最大の ΔY_S は蜂屋らが調べた高密度カラマツ林分である。したがって、本調査のメタセコイア林分の ΔY_S は、カラマツ林分中の最も生長量の多い部類に入る。メタセコイアはカラマツに比べ比重が小さいから、林積生長量ではどのカラマツ林分よりも大きい。

次に林分の枝生長量 (ΔY_B) は 3.8ton/ha・yr (9.9 m³/ha・yr) とかなり大きな値が得られた。この枝生長量中には、当年枝の樹皮量を含んでいる。また樹冠下層部の枝で葉を少ししか着けていず、近々枯死すると思われる枝では年輪欠けが起こる可能性が高い。したがって、このような枝の生長量は 0 とし、過大推定にならぬように注意してある。

この ΔY_B は林分枝量 7.5ton/ha の 50% に相当する。したがって枝生長率は 0.5 で、量的にみると枝は 2 年間分しかないことになる。また幹生長量のほぼ 1/2 の 46% に当たる。

カラマツ林分についてみると、13年生の高密度林の ΔY_B を 4.6ton/ha・yr といい、メタセコイア林分の ΔY_B よりも大きい。しかし生長率は 0.35 でメタセコイアより小さい。35年生の林分で ΔY_B が 3.26ton/ha・yr、生長率 0.21 と報告している。

本調査のメタセコイア林分の枝生長率が大きいのは、若い林で、立木本数が高く、かつ樹高生長が大きいために起こるのであろう。

以上のように、比較的若い林では ΔY_B はかなり大きく、幹生長量に比べても上のカラマツ林分の ΔY_B は 56% の多くを占めている。これはアカマツ林分でも同じことが報告されている。

図 7 はある層の枝生長率 (ΔW_{Bi}) とその層の葉量 (W_{Li}) との関係を、個体ごとに記号をつけてプロットしたものである。この関係は、主に陽葉で構成されている樹冠上部層と、陰葉で構成されている樹冠下部層とで分離していない。これは $\Delta W_{Bi} / W_{Li}$ の比が木の上部和下部とが同じであることを示し、枝の生長量は幹についている高さ (位置) に左右されずに、その枝の葉量に主に影響されることを示している。また個体による差もほとんど認められない。

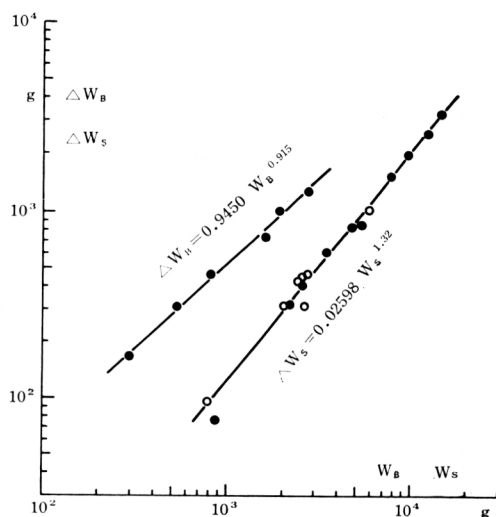


図 6 幹および枝生長量と幹量および枝量の各関係

Fig. 6 Relations of $\Delta W_S \sim W_S$ and

$\Delta W_B \sim W_B$

ΔW_S ; Annual increment of stem
in oven-dry weight

ΔW_B ; Annual increment of branch
in oven-dry weight

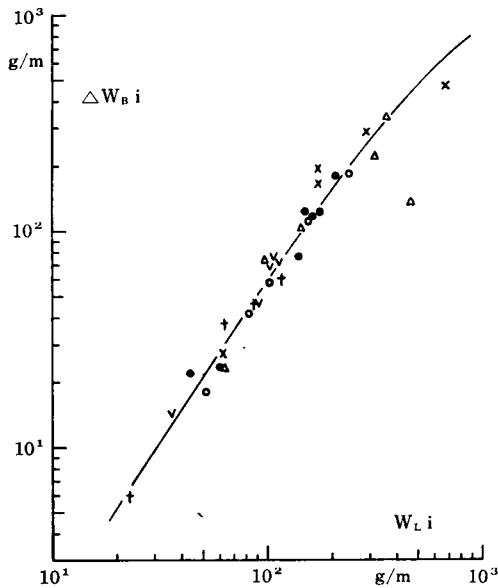


図7 ある層における葉量とその層の枝生長量との関係(記号は個体ごとに印した)

Fig. 7 Relations between ΔW_{Ni} and W_{Li}
 W_{Li} ; Leaf dry weight in i th layer
 ΔW_{Ni} ; Annual increment of branch in i th layer

4.3) 純生産量の推定

林分1の純生産量(ΔP_n)を推定しよう。

小川の物質収支表による純生産量の推定方法¹⁴⁾ 2.3>に従って、

$$\Delta P_n = Y_{2N} + \Delta L_N + \Delta G_N$$

Y_{2N} ; 調査時における当年生長部分(新部分)の現存量

ΔL_N ; 新部分の枯死量

ΔG_N ; 新部分の被食消失量

の式から計算することができる。

このばあい新部分と、形成されてから2年以上経っている旧部分との間にみかけ上物質の轉移はないばあいである。しかし実際には当年生長した非同化部分の比重は旧部分より小さいから、まずこの仮定において ΔP_n の過小を得ることになるだろう。

表3は ΔP_n を推定するための計算表である。樹体部分の幹枝葉その他(幹および枝の樹皮、球果など)に分け、それぞれの Y_{2N} , ΔL_N , ΔG_N について考えてみよう。ただしここでは相対生長関係式の決定、およびこれを用いて諸量を推定する過程での誤差はふれないことにする。

表3 純生産量推定のための計算表(林分1)

Table 3 Estimation of net primary production in plantation of *Metasequoia glyptostroboides* (Stand 1)

(ton/ha·yr)		Y_{2N}	ΔL_N	ΔG_N	ΔP_n
幹	Stem	8.2	0	0	8.2
枝	Branch	3.8 *	0	0	3.8
葉	Leaf	5.1 *	(1.0) *	0 *	6.1
根	Root	(1.8)*	0 *	0 *	1.8
その他	Bark and others	(0.7)* (0.3)	0	0	1.0
合 計	Total	20.0	1.0	0	21.0

* Under estimate

ΔP_n ; 純生産量 (14 18) Net primary production (ton/ha·yr)

Y_{2N} ; 新部分の量 Amount of dry matter newly formed in the latest one year period (ton/ha·yr)

ΔL_N ; 新部分の枯死量 Amount of loss of new components (ton/ha·yr)

ΔG_N ; 新部分の消失量 Amount of grazing of new components (ton/ha·yr)

まず Y_{2N} についてみよう。

幹の Y_{2N} は当年の幹生長量に相当する (8.2ton/ha·yr), 枝の Y_{2N} は、枝解析して得た当年の枝生長量をあてる (3.8ton/ha·yr), しかし枝は生長にともなって下枝が枯れ落ちるが、その年に枯れる枝が生長する量はわずかと思われる。本調査林分のように若くて生長の旺盛な林分では、上のばあい5%程度過小値となっているかもしれない。

葉の Y_{2N} は、落葉樹であるから葉の現存量に相当する ($5.1\text{ton/ha}\cdot\text{yr}$)、しかし9月以降に葉が展開する可能性もあるから、いく分過小値となる。

根の Y_{2N} は、1年間には W_S/W_R の比が変わらないとして、根の現存量の差で推定した ($1.8\text{ton/ha}\cdot\text{yr}$)、これから根の生長率は幹生長率とほぼ同じであるが、現存量そのものが過小評価だから、 Y_{2N} も過小評価となる。

その他の部分の Y_{2N} のうち、球果、花は調査時に発見されなかった。(メタセコイアの雄花はまだ我が国では自然着花したことはない。雌花はつくことがあるが皆シナである)。

つぎに幹の樹皮の Y_{2N} を推定しよう。少なくとも樹皮は幹表面積が増加する分だけは増えると考えてよい。いま1年前の皮量を、現在の幹表面積と1年前のそれとの比で求めると約 $13\text{m}^3/\text{ha}$ となり、現在の皮量との差を Y_{2N} にあてた ($2\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{yr}$, 約 $0.7\text{ton/ha}\cdot\text{yr}$)。皮の厚さは年と共に増すだろうから、上の量は過小評価となる。この樹皮の増加量は幹生長量の約10%に相当する。

次に枝の樹皮の Y_{2N} だが、当年生枝の樹皮は材にひっくるめて計測してあるから、2年生以上の枝の樹皮の Y_{2N} だけ同様に計算して推定した ($0.3\text{ton/ha}\cdot\text{yr}$)。

ΔL_N についてみよう。

幹枝の ΔL_N は普通なら0とみなせよう。葉の ΔL_N は相当量あると思われる。1年間に樹高が1.2m前後伸びる苗畑のカンレンボク(落葉広葉樹¹⁵⁾)では、最大葉量をもつのが8~9月頃で、その量は年間落葉量の約50%くらいである。アカシデでは年間葉量の19%が4~7月の間に落ちるとい¹⁴⁾う。そこでこの割合を過大評価にならぬように20%として求めた ($1.0\text{ton/ha}\cdot\text{yr}$)。

林床の新しいリターから想像すると、調査時の9月までに落ちた量は上の $1.0\text{ton/ha}\cdot\text{yr}$ よりも多いように思えるが、実測していないから明らかでない。

根の ΔL_N は非常に重要な意味をもつ量だが、実測、推定が不可能に近いので0とした。重量的にはkgのオーダーと考えられている。樹皮の ΔL_N は測定困難なので0と考えておこう。

次に ΔG_N はすべての部分について0とみなす。幹枝皮は問題はないが、葉および根の部分でわずかなのであるが過小評価となろう。

以上により純生産量を推定すると $21\text{ton/ha}\cdot\text{yr}$ となる(表3)。測定しなかった量を測り、過小になっている項目を補正すると、 ΔP_N は少なくとも $2\sim 3\text{ton/ha}\cdot\text{yr}$ はこれにプラスされる可能性がある。

カラマツ林分の純生産量についてみると、 $5\sim 20\text{ton/ha}\cdot\text{yr}$ ¹⁾ であるから、このメタセコイア林分のそれは最も純生産量の高い部類に入る。

また落葉広葉樹の ΔP_N よりも大きく、スギや常緑広葉樹の林分のそれに匹敵するようである¹⁾。しかし調査林分の若さを考えると、メタセコイア林分の純生産量は同じ落葉針葉樹のカラマツ林分よりはるかに多いとは考えられない。

4.4) 林分の垂直構造について

幹枝葉、幹および枝の生長量の垂直分布は図8のようになる。林分1では直径階別に代表木を選び、その直径階の本数を乗じて求め描いた。林分2では、ある一列の7本を連続して伐倒調査したから、それらを層別に合計して描いた。

幹は林分1と2ともに下方ほど比例的に多くなっている。幹生長量は葉量の最も多い層までは、上方から順に増すが、その層より下方ではじよじよに減少してゆく。この形は林分1も2も同じである。

単木的に幹生長量の垂直分布をみると、図9のように被圧された小径木ほど上記の生長量の下方への減少の傾向は顕著である。これは幹の呼吸消費に起因したものであろう。

枝の生長量は樹冠の上層部では相当に多く、上から4層にあっては、各層の枝量の70%以上が今年生長した枝で占められている。

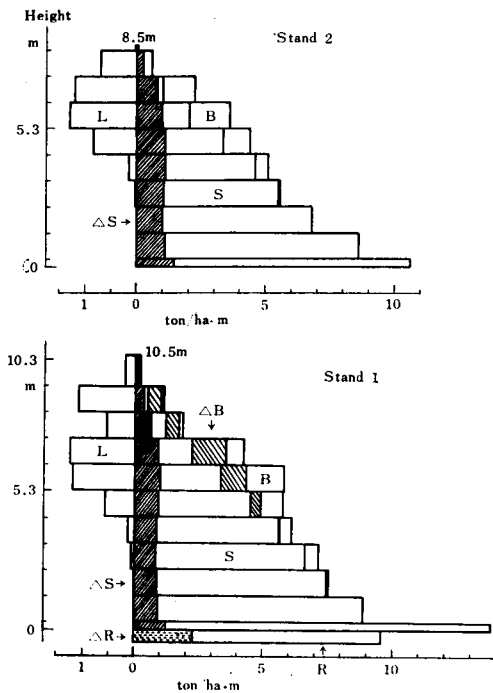


図8 林分の垂直構造

Fig. 8 Vertical distributions of stems, branches, leaves, and stems and branches produced in current year
Amount in oven-dry weight,
S; Stems B; Branches, L; Leaves,
R; Roots
Annual increment in oven-dry weight,
ΔS; Stems, ΔB; Branches,
ΔR; Roots

4.3~5.3m層のほとんど被圧されている下部層でも、枝の生長はかなり認められ、30%は当年の生長量である。

図9に単木ごとに当年枝の量(ΔB_N)と、2年生以上の枝での生長量(ΔB_O)に分け、その垂直分布を示した。 ΔB_N 、 ΔB_O の分布は優勢木から劣勢木までほとんど同じで、地上7.3m以上の層での枝生長量はほとんど新しい枝の出現(ΔB_N)であり、6.3~7.3m層では ΔB_O が70%以上を占める。

5.3m以下では枝の伸長は全然見られない。しかし ΔB_O はそれより下部でも僅かであるが認められる。これは径級にかかわらず同じであった。

カラマツの葉の垂直分布はほとんど高さによる差がなくて、樹冠の上から下まで同じ葉量をもっていると従来から言われているが、メタモコイアのばあいもこの傾向は少し認められる(図8)。特に中庸木で著しいようである(図9)。又両林分ともかなり葉層が深い。

5. 樹体のもつ養分量

5.1) 分析方法

7本の供試木を直径階別を選び伐倒し、各供試木について葉、当年枝、2年生以上の枝(旧枝)、幹および根の重量を測定し、同時に各部分から分析試料を取った。

各供試木の各部分は風乾、細粉し、チッ素はケルダール法で、他の養分は混酸(硝酸-過塩素酸)

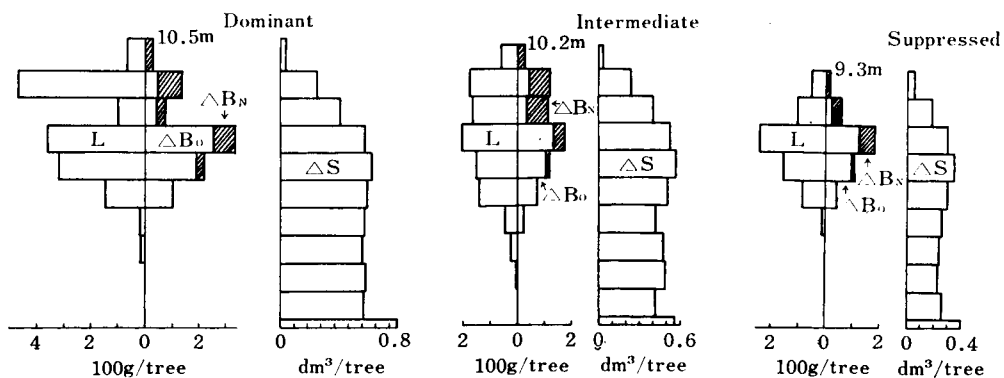


図9 単木の垂直構造

Fig. 9 Vertical distributions of leaves and annual increment of stem and branches per tree
L; Leaf dry weight
ΔB_N; Amount of branch newly formed in the latest one year period
ΔB_O; Annual increment of branch more than two years old

で湿式灰化したのち、リンはモリブデン青法、カリウムは炎光分析法、カルシウムとマグネシウムは原子吸光分析法で行なった。

5.2) 分析結果と考察

樹体の各部の養分含有率にはかなり個体差があった。

個体の大きさと養分含有率との関係についてはすでにいくつかの報告があり、個体が大きくなるにつれて養分含有率は小さくなるとされている。¹⁹⁾

メタセコイアでこの関係を見ると、図10のようになった。ここで個体の大きさを表すパラメーターとして胸高直径 (DBH) を用いた。チッ素およびカリウムでは、各部分とも個体の大きさの間にはっきりした傾向はなかった。しかし、リンでは葉、当年枝、根にばらつきはあったが、個体が大きくなるにつれてその含有率は小さくなる傾向が認められた。カリウムでは旧枝でこの傾向がみられたが、他の部分でははっきりしなかった。

一方、カルシウムとマグネシウムでは、葉と当年枝で個体が大きくなるにつれて多少小さくなる傾向がみられた。

次に、単木のもつ全養分量と全乾物重との関係を同じ落葉針葉樹であるカラマツを加えて調べてみた (図11)。ただし、ここに用いたカラマツの資料には根を含んでいない。各養分はとも両者の間には両対数グラフで直線関係が得られた。

カリウムを除いた他の養分では両樹種は分離し、両者の関係式は平行の直線関係にあり、メタセコイアが上方にきた。すなわち、カラマツよりもメタセコイアの方が単木のもつ単位重量あたりの養分量が多

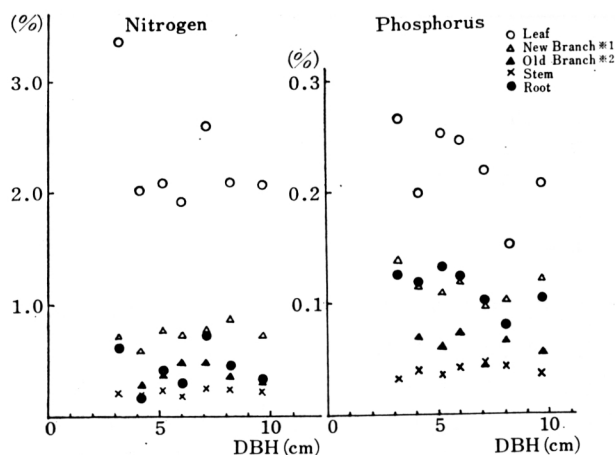


Fig. 10 Relationships between DBH and nutrient concentrations

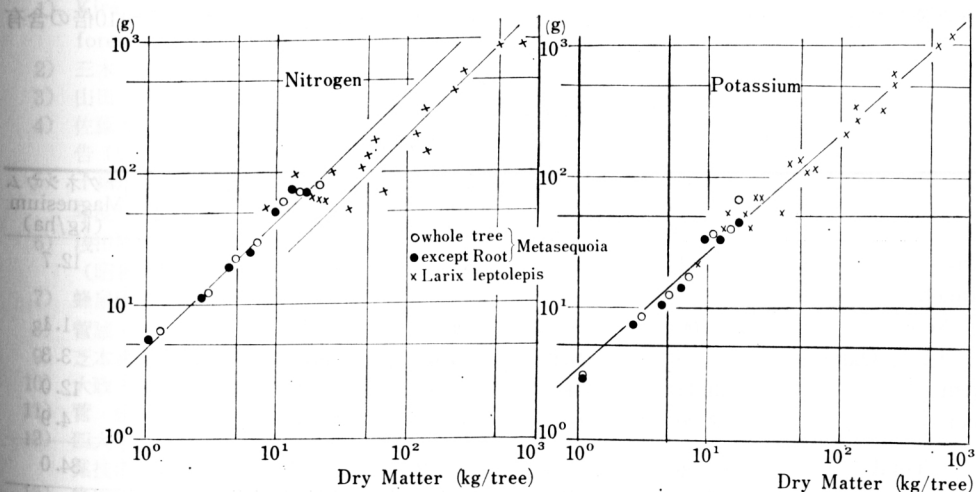


Fig. 11 Relationships between weights of dry matter of single trees and their nutrient contents

く、カラマツのおよそ2～3倍の養分量をもっていた。

各養分の対数値の直線の勾配はチッ素ではほぼ1になったが、リン、カルシウムおよびマグネシウムでは1より小さい勾配を示した。

一方、カリウムは乾物との関係で両樹種は、勾配1より小さい同一直線で近似することができ、両樹種は単位重量あたり同じくらいのカリウムを含んでいた。

林分あたりの樹体養分量は相対生長関係から求められた乾物重に、各器官の平均含有率を乗じて求められる。

すでに上述したように各養分とも個体間にその養分含有率はかなりの差があり、従ってその大きさとの間に一定の傾向は判然と認められなかった。そこで、単木の養分含有率を平均してその林分の平均含有率とした（表4）。

表4 樹体内の養分含有率(%)
Table 4 Average Nutrient Concentration of Sample Tree

	チッ素 Nitrogen(%)	リン Phosphorus(%)	カリウム Potassium(%)	カルシウム Calcium(%)	マグネシウム Magnesium(%)
葉 Leaf	2.32	0.218	1.52	1.72	0.247
枝 Branch					
当年枝 New ^{*1}	0.75	0.112	0.72	1.33	0.104
2年生以上の枝 Old ^{*2}	0.39	0.063	0.26	1.01	0.052
幹 Stem	0.22	0.039	0.13	0.46	0.030
根 Root	0.43	0.112	0.36	0.45	0.055

この平均含有率の器官間の大きさの順をみると、およそ各養分とも同じような順序を示し、もっとも含有率の大きいのが葉、次いで当年枝、根、旧枝で、幹がもっとも小さかった。一般にカルシウムは新しいものより古いものの方が含有率は大きいとされているが、メタセコイアの枝ではこの傾向はみられず、逆に旧枝よりも当年枝の方が大きい含有率を示した。

カラマツと比較してみると、葉のチッ素とマグネシウムでは両者に大きな差はみられなかった。しかし、リン、カリウム、カルシウムではメタセコイアの方がかなり大きな含有率を示し、リンで1.2～1.6倍、カリウムで1.5～2.0倍、カルシウムでは3～5倍の違いがあった。

幹でも葉と同じような傾向を示し、チッ素とマグネシウムで両樹種はほぼ同じくらいの含有率であったが、他の養分ではメタセコイの方が大きく、なかでもカルシウムではカラマツの5～10倍の含有率であった。

表5 林分1の養分含有量
Table 5 Amounts of Nutrient of Stand 1

	乾物量 Dry Matter (ton/ha)	チッ素 Nitrogen (kg/ha)	リン Phosphorus (kg/ha)	カリウム Potassium (kg/ha)	カルシウム Calcium (kg/ha)	マグネシウム Magnesium (kg/ha)
葉 Leaf	5.14	119.2	11.2	78.1	88.4	12.7
枝 Branch						
当年枝 New ^{*1}	1.09	8.2	1.2	7.8	14.5	1.1
2年生以上の枝 Old ^{*2}	6.39	24.9	4.0	16.6	64.5	3.3
幹 Stem	40.44	89.0	15.8	52.6	186.0	12.0
根 Root	8.90	38.3	10.0	32.0	40.1	4.9
合計 Total	61.96	279.6	42.2	187.1	393.5	34.0

*¹ ; Amount of branch newly formed in this year

*² ; Amount of branch of more than 2 years old

上で求めた平均含有率に乾物量を乗じて林分あたりの養分量を求めて表5に示した。林分あたりの各養分量は乾物 6.2ton に対して、チッ素 280 kg, リン 42.2 kg, カリウム 187 kg, カルシウム 393 kg, マグネシウム 34.0 kgとなり、カルシウムがもっとも多く、マグネシウムがもっとも少なかった。今まで調査された林分で樹体の²⁰⁾もつ養分でもっとも少なかったのはリンであり、メタセコイア林と異なる。これはこの林がもと苗畑であったため、施肥の影響などが関係しているのかもしれない。他の樹種と単位乾物量あたりの養分量で比較してみると、各養分とも今までに調査された林分よりも多い。特にリンやカルシウムで著しく大きかった。これはこの林分が9年生で非常に若い林であるため、各器官の養分含有率が高いこと、また、非同化部分に対し含有率の大きい同化部分の割合が大きいことなどが影響していると考えられる。

ここで同化部と非同化部の割合を図12に示した。

乾物では幹が大部分を占め、葉、枝、根は各10%前後であった。これに対して養分は乾物に比べて葉の占める割合は大きく、カルシウムの22.5%からチッ素の42.6%までの値をとった。

幹の比率はカリウムがもっとも小さく28.1%, リンがもっとも大きく37.4%であった。根、枝は各養分とも乾物と同じくらしい比率で、枝で12~20%, 根で10~24%であった。

この林と6年生のスギ林および9年生のカラマツ林の同化部と非同化部との比率を比較すると、メタセコイアの同化部の比率は他の2林分よりも小さい。それにもかかわらず単位重量あたりの養分量が多いということは、養分含有率が他の樹種よりもかなり大きいことになる。

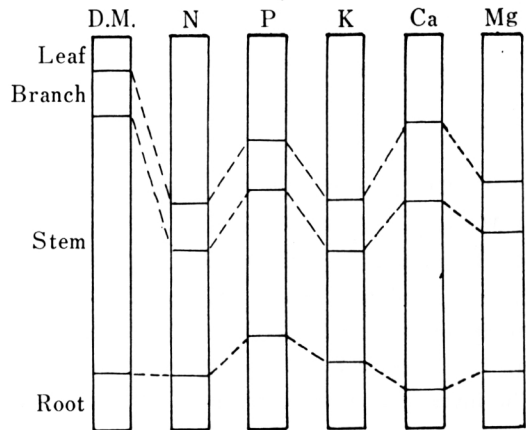


Fig. 12 Ratio of leaf, branch, stem and root to total of forest stand

文 献

- 1) Kira, T. and T. Schidei : Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the western pacific, Jap. Ecol. **17**, 70~87, (1967)
- 2) 三木 茂 : メタセコイア, (1953)
- 3) 山田 勇・四手井綱英 : スギ林の根の現存量について, 京大演報, **40**, 67~80 (1968)
- 4) 佐藤大七郎 : 小岩井農場カラマツ林の一次生産力 (合同調査), 人工林における一次生産力の 研究班中間報告 (昭和41年度), 7~19, (1967)
- 5) 千葉宗男・永野正造 : カラマツ人工林の一次生産力, 人工林における一次生産力の 研究班中間報告 (昭和41年度), 29~30, (1967)
- 6) 浅田節夫・菅誠 : 生育良好なカラマツ人工林の物質現存量, 人工林における一次生産力の 研究班中間報告 (昭和41年度), 31~32, (1967)
- 7) 蜂屋欣二・棚秋一延・藤森隆郎 : 高密度のカラマツ幼令林の生長解析, 日林誌, **48**, 445~448, (1966)
- 8) 菅誠・浅田節夫 : カラマツ人工林の林分管理と生産力に関する研究, 長野営林局, (1968)
- 9) 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, 9~16, (1951)
- 10) 大政正隆・森 徑一 : 落葉に関する2, 3の研究, 林試研報, **3**, 41~107, (1937)
- 11) 菅 誠 : 人工一斉林の林分密度に関する生態的研究, 学位論文, (1967)
- 12) 四大学および信大合同調査班 : 森林の生産力に関する研究, 第Ⅲ報スギ人工林の物質生産について, 日本林業技術協会育林技術研究会, 東京, (1966)
- 13) 蜂屋欣二・棚秋一延 : アカマツ林の生長について, 77回日林講, 209~211, (1966)
- 14) 小川房人 : 植物群落の物質収支表と物質生産測定項目, 森林の一次生産測定法の研究班中間報告 (昭和41年度), 4~11, (1967)

- 15) 斎藤秀樹・四手井綱英：カンレンボク小型林分の葉令に関する2, 3の考察, 日生態誌, **18**(5), 230~234, (1938)
- 16) Rodin, L. E. and N. I. Bazilevich : Production and mineral cycling in terrestrial vegetation, (1967)
- 17) 四大学および信大合同調査班：森林の生産力に関する研究, 第II報 信州産カラマツ林について, 日本林業技術協会育林技術研究会, 東京 (1964)
- 18) Newbould, P. J. : Methods for estimating the primary production of forest, IBP Handbook No. 2, (1967)
- 19) Ovington, J. D. and H. A. Madgwick : Distribution of organic matter and plant nutrients in a plantation on Scots pine, For. Sci, **5**, 344~355, (1959)
- 20) 堤利夫・河原輝彦・四手井綱英：森林生態系における養分の循環について(I), 個体および林分の地上部の養分量, 日林誌, **50**, 66~74, (1978)
- 21) 未発表
- 22) 斎藤秀樹・四手井綱英：高立木密度のスギ林の現存量, 日林関西支講, 59~60, (1966)

Résumé

1) The authors have dealt with some investigations on the forest production of two stands of *Metasequoia glyptostroboides* (deciduous needle-leaved sequoias) in Yamaguchi Prefecture (lat. N 34°, Long. E 132°, Alt. ca. 30 m). The summary of some of the quantitative characteristics of the two stands are shown on Table 1. Stand 1 and Stand 2 were near each other and the site quality of the stands were about the same. The tree heights of Stand 1 were from 5.6 m to 10.7 m, but those of Stand 2 were very uniform; more than 75% of the trees were 8-9m high. The investigation was carried out for about one week in September, 1967.

2) Biomass and biomass increase were estimated after allometric and other relation (Table 1) were calculated.

These relations were as follows;

$$\text{Stem} \quad V_S = 0.05957 (D^2H)^{0.948} \quad (\text{Fig. 1})$$

$$V_S = 0.0031 W_S \quad (\text{Fig. 2})$$

$$\text{Branch} \quad W_B = 0.01611 W_S^{1.27} \quad (\text{Fig. 2})$$

$$\text{Leaf} \quad W_L = 0.127 W_S \quad (\text{Fig. 2})$$

$$\text{Root} \quad W_R = 0.22 W_R \quad (\text{Fig. 3})$$

$$\text{Stem increment} \Delta W_S = 0.02598 W_S^{1.23} \quad (\text{Fig. 6})$$

$$\text{Branch increment} \Delta W_B = 0.9450 W_B^{0.915} \quad (\text{Fig. 6})$$

V_S ; stem volume in dm^3 , D^2H ; $(\text{DBH})^2 \times (\text{tree height})$ in $\text{cm}^2 \cdot \text{m}$,

W_S ; stem dry weight in gram, W_B ; branch dry weight in g.,

W_L ; leaf dry weight in g., W_R ; root dry weight in g., ΔW_S ; stem increment in g/yr, ΔW_B ; branch increment in g/yr.

The biomass of stem, branches and leaves, and the stem increment obtained in both stands corresponded closely with each other, in spite of the differences of tree sizes.

3) Leaf biomass (5 ton/ha; 4 ton/ha excluding branchlets) or stem biomass per one meter ($\text{ys}/\bar{H}$; 4.5ton/ha·m, 14m³/ha·m) agree very well with those of the larch forests.^{4) 8)} The accumulation of stem biomass is approximately two times the rate in larch forests having the same tree density, because the mean annual height growth (about 1.2m/yr) of Stand 1 and 2 was very vigorous. Branch increment of Stand 1 was estimated at 3.8 ton/ha·yr (9.9m³/ha·yr), and this corresponds to 50% of the branch biomass and to 46% of the stem increment.

4) The volume of stem produced by 1 kg of leaves (oven dry weight) was 1.7-2.3kg/kg by the dominant trees and 1.1-1.2 kg/kg in the case of the suppressed trees.

5) Net primary production (ΔP_n) of Stand 1 was calculated as

$$\Delta P_n = Y_{2N} + \Delta L_N + \Delta G_N \quad (\text{Table 3})^{18)}$$

For the items in this formula (Table 3) the numerical values in Table 1 were used for the most part. But Y_{2N} of bark was calculated as ;

$$\text{bark biomass at present} \times \left(1 - \frac{\text{Stem surface per ha at one year ago}}{\text{Stem surface per ha at present}} \right)$$

6) Net primary production in Stand 1 was estimated at 21 ton/ha₁·yr. This is nearly equal to that of larch forests, or all other forest types excluding the deciduous broad-leaved forests.

7) The amount of the nutrients in this forest were 61.96 ton/ha of dry matter, 279.6 kg/ha of nitrogen, 42.2 kg/ha of phosphorus, 187.1 kg/ha of potassium, 393.5 kg/ha of calcium, and 34.0 kg/ha of magnesium.