

スギ幼齡林の一次生産力とその推定法の検討

誌名	日本林學會誌 = Journal of the Japanese Forestry Society
ISSN	0021485X
著者	斎藤, 秀樹 四平井, 綱英
巻/号	55巻2号
掲載ページ	p. 52-62
発行年月	1973年2月

論 文

スギ幼齢林の一次生産力とその推定法の検討*

齋藤秀樹**・四手井綱英***

Studies on the Productivity and its Estimation Methodology in
a Young Stand of *Cryptomeria japonica* D. DON*

Hideki SAITO** and Tsunahide SHIDEI***

Summary: Productivity and its estimation methodology within a planted Sugi forest (*Cryptomeria japonica* D. DON) at Kii Peninsula, Japan, are described and discussed. The allometric relations between leaf weight or branch weight and stem weight respectively differ clearly as time goes, but stem weight-D²H allometry does not differ (Fig. 1-5). The estimated values of plant biomass based on these allometries at the end of 10th and 12th growing season are shown in Table 1. The weight of branch with leaves decreased by about 30% in the process of death (Fig. 7). The amount of dead tree parts may be converted into the weight of living with this loss rate. As seen in Table 3 the net primary production is calculated by the sum of biomass increase and dead amount during two growing seasons; Method 1^{2,26)}, and compared with the amount calculated only by the measurements of field survey at 12 years. In a uniform forest it may be said that the part of tree crown in contact with the neighbouring tree crowns does almost not develop and new leaves are not seen there. A vertical distribution of leaves produced in this year is the same irrespective of tree height (Fig. 11).

要 旨: 林分密度のかなり高い若いスギ人工林で、2 生育期間をはさんだ 2 時点で伐倒調査し、生産生態学的調査を行なった。2 時点における各器官の相対生長関係を確かめたところ、時間方向で分離する器官とそうでない器官とがみられた。これらの相対生長関係等を用いて両時点での林分現存量を推定し、表-1 に示した。枝葉が枯れる過程で約 30% の重量減少が認められた。リタートラップで測定した枯枝葉量は、この減少割合を使って枯死前の重さに換算することができよう。当林分の純生産力を「積み上げ法」によって推定計算した(表-3)。また、一回の伐倒調査の結果から純生産力を推定し、両者による結果を比較検討した。隣接木のクローネが触れあう高さ以下では、クローネの拡大すなわち次期からの生育期で生産を主としてになり新葉の出現はほとんど認められない。また、この高さ以上では個体の大小に無関係に、新葉率は同じ分布を示した。

はじめに

京大、東大、大阪市大など 4 大学合同調査班¹⁾、また最近では IBP (国際生物学事業計画) の PT セクションの森林班グループが中心となって、生産生態学的手法を用いて種々の森林の調査を行ない、その報告も数多く、わが国の森林の生態学的特徴がかなりの程度解明されている。また、生産力の推定方法についても、上記グループが考案使用してきたものが、IBP ハンドブック No. 2²⁾ に記されているとおり、国際的に採用せられれば確立したと思われる。

森林の生産力推定は、一般に一時点における一回の伐

倒調査の結果から行なわれる場合がはなはだ多い。同一林分で 2 時点以上の伐倒調査を試みた報告は、安藤ら⁶⁾ がスギ人工林を対象としたものなどに限られよう。なお、JIBP-PT の 1 グループである「人工林における一次生産力の研究班」³⁻⁵⁾ が同一のアカマツ林を、対象にして、季節ごとに伐倒調査を試みている。

本調査はスギの幼齢林で、2 生育期をはさんで伐倒調査を行ない、この生産力を樹木を中心としたその物質収支の立場から求める方法、すなわち IBP による方法「Method 1」²⁾ に従って推定し、若干の検討を加えた。

なお、抜根調査にあたって山田 勇、大島誠一両氏のご助力を得た。厚くお礼申し上げる。

* Contributions from JIBP-PT No. 164

** 京都大学農学部演習林 Exp. For. Sta., Fac. of Agr., Kyoto Univ., Kyoto

*** 京都大学農学部 Fac. of Agr., Kyoto Univ., Kyoto

調査林分と調査方法

調査林分は三重県一志郡美杉村の民有林で、植栽後10生育期を終了したスギ (*Cryptomeria japonica* D. DON) 人工林である。林分の状況は表-1に示す。林分高は7~8m, 立木本数は約6,000本/haである。調査期間中に枯死した個体はない。この林分は谷筋のスギの生育に適した場所に成立し、生長状態も良好である。ただし、二代目の人工林である。傾斜は約20°, 林床植生はほとんどない。

場所は北緯 34°30', 東経 136°20' にあたり、海拔高は約 400m である。年平均気温約 14.4°C, 暖かさの指数 116°C・月, 年降水量 1,700 mm 以上である。

調査方法の概要は上記の表にまとめ示したように、生産生態学的手法を用いた。主たる調査の時期は植栽後11生育期の前の時点 t_1 と後の時点 t_2 , および12生育期の終了時点 t_3 に分けられる。

t_1 時点の調査: 同じ林分内に場所を選んで調査 plot (10m×10m) を2個設けた。そして plot 内の全立木の毎木調査を行なった。また、供試木6本を plot の付近

Table 1. Biomass and other properties in young stand of *Cryptomeria japonica*

Plot Year	Plot 1			Plot 2		
	1966	1967		1966	1967	
Stand age	10	11	12	10	11	12
Time of investigation	t_1	t_2	t_3	t_1	t_2	t_3
Stand density	P No./ha			— 6,160 —		
Average height of dominant trees	\bar{H}	m		7.1	8.4	8.4
Average diameter at 1.3m height	\bar{D}	cm		8.2	8.5	8.9
Average height of lowest living branch	\bar{H}_B	m		2.2	2.6	3.6
Total basal area at 1.3m height	$\sum \pi/4 D^2$	m ² /ha		34.2	37.3	40.8
Total cross-sectional area of stem at H_B	$\sum \pi/4 D_B^2$	m ² /ha		28.2	30.0	28.3
Biomass in dry weight per hectare			ton/ha			
Stem	y_S	m ³ /ha		50.4	61.1	68.3
(Volume)	y_{VS}	m ³ /ha		133.0	161.0	180.0
Branch	y_B	m ³ /ha		4.9	5.3	5.8
Leaf	y_L	m ³ /ha		20.2	19.8	20.0
Produced in 1967	y_{LN}	m ³ /ha		2.9*	2.9	2.9*
Old leaves more than 2 years	y_{LO}	m ³ /ha		17.2	16.9	17.1
Root	y_R	m ³ /ha		13.4**	18.1	13.2**
Aboveground	y_T	m ³ /ha		75.4	93.4	74.9
Total	y	m ³ /ha		88.8	112.0	88.2
Bark volume of stem		m ³ /ha		15.9	18.0	15.8
Surface area of stem		m ² /ha		762	827	732

Values in *italic* show the estimates

* from w_{LN} - w_L allometry at t_3

** from w_R - w_S allometry at t_3

List of investigated items at field survey

1966					1967					Year		
Jan.	Mar.	May	Jul.	Sep.	Nov.	Jan.	Mar.	May	Jul.	Sep.	Nov.	Month
t_1	Growing season				t_2	Growing season				t_3	Time of investigation	
(H. 22 trees)					(Excel. H)							Items of measurements at field survey
(Excl. w_{LN}, w_R)												(1) Diameter and Height (D, D_B, H, H_B)
												(2) Cutting investigation
												Weight or volume of each organ ($w_S, w_B, w_L, w_{LN}, w_R$; V_{BA} ; $\Delta V_S, 2\Delta V_S$)
												Crown diameter at present, one and two years before (at t_1, t_2 and t_3)
												(3) Amount of litter fall caught with litter trays
												(4) Amount of dead leaves and branches on stem plot 1, plot 2
(*)									(*)			

One growing season of trees in Mie Pref., Japan, is from April to October. D (DBH) (Diameter at 1.3m height). D_B (Diameter at lowest living branch). H (Tree height). H_B (Height at lowest living branch). Dry weight of stem (w_S), branch (w_B), leaf (w_L), leaf produced within a year (w_{LN}), root (w_R). Volume of stem (V_S) and bark of stem (V_{BA}). Stem volume increment for one growing season (ΔV_S), or for two growing seasons ($2\Delta V_S$)

から選り伐倒し、地上部各器官の重量を計測した。

t_2 時点の調査: 毎木調査、ただし林分の現状維持のため樹高の測定は行なわなかった。

t_3 時点の調査: 毎木調査、および伐倒調査を1m層で層別刈り取りをした。特記すべき測定は、当年生産された葉量と、抜根による根重測定および各層ごとに $t_1 \sim t_3$ 時点での樹冠幅(枝の伸長量にほぼ相当)を測り、クローネの拡大の状態を測ったことである。 t_3 時点での伐倒予定木6本の枝にはすべて、 t_1 時点において各枝の先端から10cmの位置にビニールテープで印をつけ、当年葉量等の測定に誤差のないようにした。

樹体各部分の枯死量を測るため、1966年8月に litter trap を設け1年間測定した。円形の枠に寒冷紗製の袋をつけた trap で、採集面積は1m²、各 plot に6個をランダムに配置した。

若いスギ人工林では枯枝葉が枯死後ただちに落下しない。そのために litter fall 量が過少に推定される危険があるので、著者ら^{10~12)}が吉野のスギ人工林で行なっている調査と同様に、枯枝葉を樹体から採集し計測した。Plot 2 では t_1 時点で付着している枯枝葉を除去し、litter trap による測定が終了した時点で再び枯枝葉を採集して計測し、同様のことを t_3 時点でも行なった。Plot 1 では trap による測定が終了した時に付着している枯枝葉を除去し、 t_3 時点で再び枯枝葉量を測った。この方法で秋に一斉に枯れた枝葉量をほぼ確実に測ることができたと思われる。

1967年2月に枯れた枝(葉も含めた)の重さを測り、その長さ基部直径を測った。また8月には、生きているが秋には枯れると思われる枝(葉も含めた)を同様にして計測した。(注 スギは葉と枝が分離できず、枯枝にはつねに枯葉が含まれる)

調査結果と考察

1. 相対生長関係について

森林の生産生態学的な調査にあっては、樹体の各部分量の間に見られる相対生長関係は、測定し易い部分から測定困難な部分量を推定するのに広く応用されている。ここでは、伐倒した2生育期間をはさんだ2時点での相対生長関係の相異を中心にして述べる。

まず、幹材積 (V_S)- D^2H 関係は、回帰性は非常に良い。直線の勾配は4大学合同調査班¹⁾によるものと同じとした。

$$\log V_S = 0.921 \log D^2H - 1.1631 \quad (1)$$

$$V_S \text{ (dm}^3\text{)}, D^2H \text{ (cm}^2 \cdot \text{m)}$$

幹乾重 (w_S)- V_S 関係は、図-1 に示すようにほぼ比例す

る。

$$w_S = 0.380 V_S \quad (2)$$

$$w_S \text{ (kg)}, V_S \text{ (dm}^3\text{)}$$

若いスギ林分と比較すると、幹比重は比較的大きい傾向がある^{1,13)}。また、 w_S - D^2H 関係は、

$$\log w_S = 0.921 \log D^2H - 1.5833 \quad (3)$$

$$w_S \text{ (kg)}, D^2H \text{ (cm}^2 \cdot \text{m)}$$

となる。この図-1のように、2生育期間をはさんだ2時点(t_1, t_3)での幹量に関する相対生長関係は同一であった。したがって、 t_1 および t_3 の時点での林分幹材積量は(1)式から、林分幹乾重は(3)式または(1)(2)式とから推定が可能である。

(1), (3) 式を使うにあたって、樹高(H)とDBH(D)との相対生長関係を知る必要がある。この関係はC-D rule¹⁴⁾を使って容易に求められる(図-2)。 t_1, t_2, t_3 の各時点において D - H 関係が異なる。なお、B-point は45°の勾配で移動させると、どの時点においても適合性は高い。

$$1/H = 0.556/D + 0.0740 \quad (t_1 \text{ 時点}) \quad (4)$$

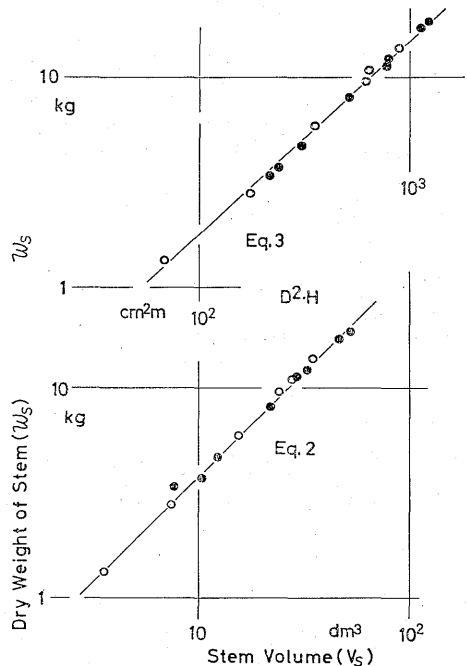


Fig. 1. Allometric relations between stem weight (w_S) and (square of DBH) × (tree height) (D^2H), and w_S and stem volume (V_S), on a log scale

○ : at t_1 (March, 1966)

● : at t_3 (November, 1967)

The regression is exactly the same at the time of t_1 and t_3

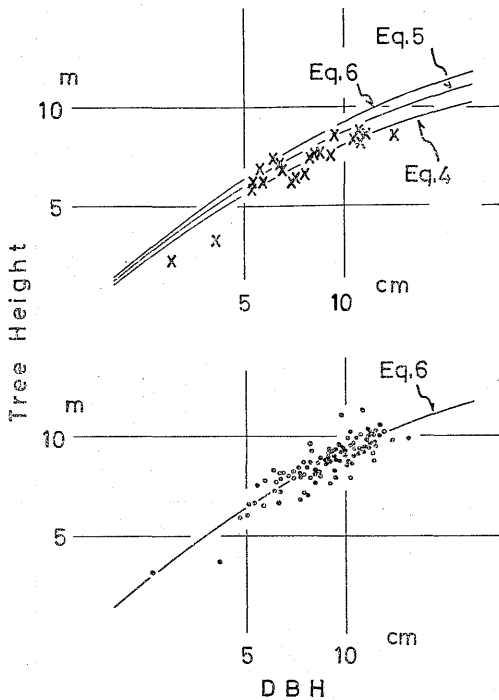


Fig. 2. Allometric relations between tree height (H) and stem diameter at 1.3 m height (DBH: D), on a log scale
 x: at t_1 (March, 1966)
 ●: at t_3 (November, 1967)

$$1/H = 0.556/D + 0.0631 \quad (t_2 \text{ 時点}) \quad (5)$$

$$1/H = 0.556/D + 0.0555 \quad (t_3 \text{ 時点}) \quad (6)$$

H (m), D (cm)

スギ¹¹⁾やカラマツ¹⁵⁾の人工林について報告されているように、葉乾重 (w_L)- w_S 、枝乾重 (w_B)- w_S の相対生長関係は、一般に林分分離型を示すという。本調査林分も図-3のように、 $t_1 \sim t_3$ 時点の間はかなり明確な分離を示している。これらの分離は勾配は一定で、切片の移動の形で示されよう。 w_L-w_S 関係の勾配は 1、 w_B-w_S 関係のそれは大きく 1.59 程度にすると回帰が良いと思われる。同一林分下におけるこの分離の原因は、4 大学合同調査班第 III 報¹¹⁾に詳しいが、生産物質が年々蓄積し減少しない幹量に対して、葉および枝では年々生産量がある一方、年々ある量が枯死し落葉落枝となって減少する量であるという、器官の性質が異なるためと思われる。

$$w_L = 0.400 w_S \quad (t_1 \text{ 時点}) \quad (7)$$

$$w_L = 0.290 w_S \quad (t_3 \text{ 時点}) \quad (8)$$

$$\log w_B = 1.59 \log w_S - 1.6108 \quad (t_1 \text{ 時点}) \quad (9)$$

$$\log w_B = 1.59 \log w_S - 1.7914 \quad (t_3 \text{ 時点}) \quad (10)$$

w_L (kg), w_B (kg), w_S (kg)

安藤ら⁶⁾は 15 年生スギ人工林で、一生育期の前後における w_L または w_B を、DBH との相対生長関係の形で図示している。この形では両関係ともほとんど分離は識別できない。これは、D に対する関係のためか、1 年間の短い間隔のために分離が明白にならないためと考えられよう。

t_3 時点における当年葉乾重 (w_{LN})- w_L 関係を 図-4 に示した。測点は 6 個で少ないが勾配を 1 とすると回帰は良い。切片すなわち比例定数は 0.145 で、これは葉量中の約 15% が当年葉であることを意味する。

$$w_{LN} = 0.145 w_L \quad (11)$$

w_{LN} (kg), w_L (kg)

安藤ら⁶⁾は、生育終了時の当年葉の占める割合は約 40% という。しかし、著者ら^{10-12, 16)}が吉野のスギ人工林で調べた結果や、ヒノキ人工林¹⁷⁾における結果をあわせ

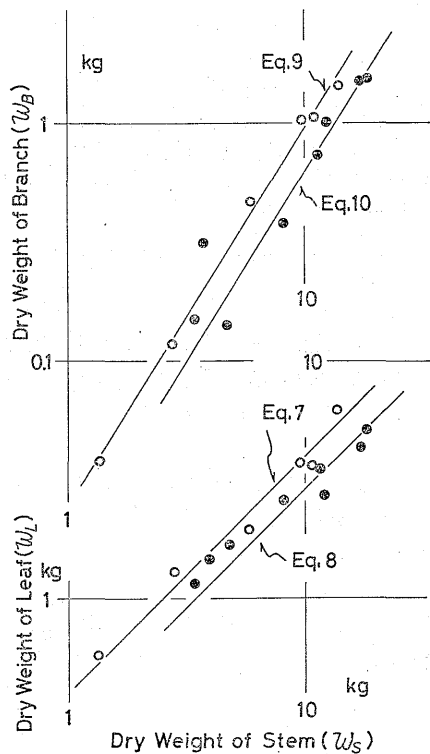


Fig. 3. Allometric relations between leaf weight (w_L) and stem weight (w_S), and branch weight (w_B) and w_S , on a log scale

For symbols see Fig. 2

The stands at the time of t_1 and t_3 have respectively different regressions. Namely the regression equation: $y = Ax^h$ of w_L-w_S or w_B-w_S differs by the stand age. Constant h does not change with the stand age very much, but constant A does

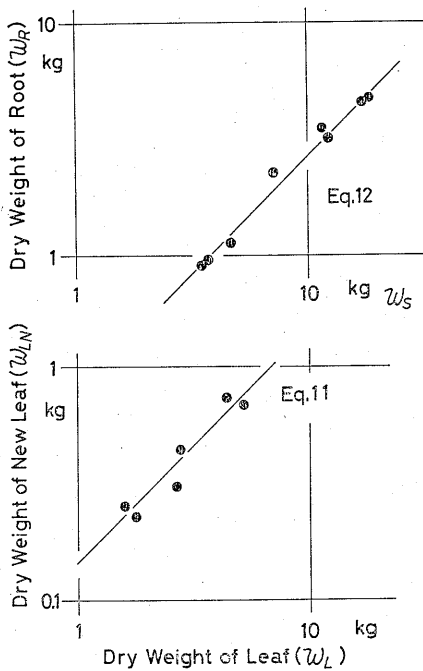


Fig. 4. Allometric relations between root weight (w_R) and stem weight (w_S), and weight of new leaf produced in this year (w_{LN}) and leaf weight (w_L), on a log scale

For symbols see Fig. 2

w_R or w_{LN} is approximately proportional to w_S or w_L respectively

考えると、林分葉量は同一林分下でもかなり変動性の大きい量であって、林分の生育段階によって変化するものと想像されるので、この当年葉の割合そのものの意味は薄い。

また、根乾重 (w_R)- w_S 関係は、図-4 のように、ほぼ比例していて回帰性もかなり良い。

$$w_R = 0.265 w_S \quad (12)$$

$w_R(\text{kg}), w_S(\text{kg})$

根量は幹量の約 27% に相当する。この割合は高立木密度の徳山スギ小型林分 plot 1 における結果¹³⁾とおおよそ一致する。また、同齡の吉野のスギ人工林¹⁰⁾では約 33% が根であった。この w_R - w_S 関係の検討は、いまだ根量の資料が不足するため困難を伴う。

図-5 は幹皮容積 (V_{BA})- V_S 関係を示す。両者の量はほぼ比例し、また 2 年間でわずかながら分離がみられる。これは両器官の蓄積の速度が異なるのが主要原因である。

$$V_{BA} = 0.120 V_S \quad (t_1 \text{ 時点}) \quad (13)$$

$$V_{BA} = 0.100 V_S \quad (t_3 \text{ 時点}) \quad (14)$$

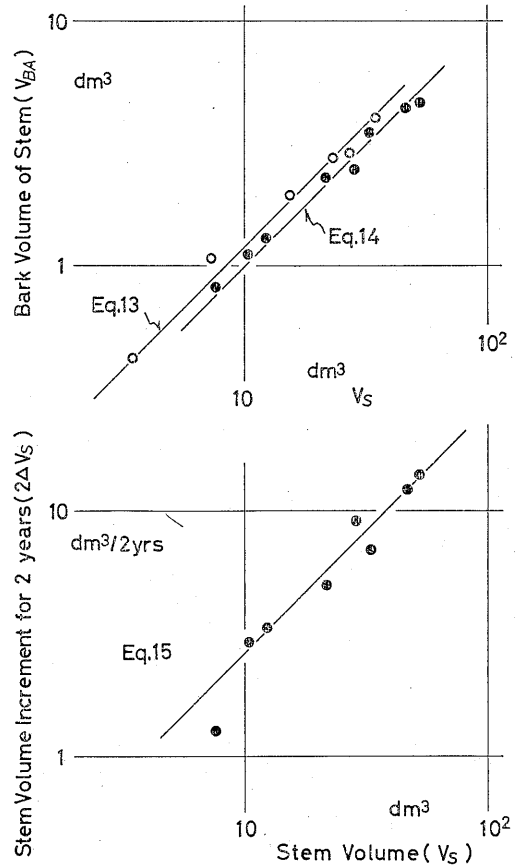


Fig. 5. Relations between bark volume of stem (V_{BA}) and stem volume (V_S), and stem volume increment for 2 years ($2\Delta V_S$) and V_S , on a log scale

For symbols see Fig. 2

$$V_{BA} (\text{dm}^3), V_S (\text{dm}^3)$$

樹幹解析で求めた最近 2 年間の幹材積生長量 ($2\Delta V_S$) と V_S の関係は、ほぼ比例しているとみなしてよく、また回帰性も高い。

$$2\Delta V_S = 0.265 V_S \quad (15)$$

$$2\Delta V_S (\text{dm}^3/2\text{yrs}), V_S (\text{dm}^3)$$

以上、樹体各器官間における相対生長関係の同一林分下における時間方向への動きを調べた。2 年間という比較的短い期間でありながら、 w_L - w_S , w_B - w_S 関係等では明確な分離が生じた。これは林分葉量ないしは枝量、おのおのの生長量等を推定するには、その時点で実際に伐倒調査をして相対生長関係を吟味しなければならないことを意味する。

また、 w_S - D^2H ないしは V_S - D^2H 関係のように、蓄積器官である幹量に関する相対生長関係は、時間方向に

は分離しないと思われる。これはすでにスギ¹⁾ やカラマツ¹⁵⁾ の人工林で確かめられている。しかし、 $D-H$ 関係は時間に対して明らかに動くから、推定時には D ならびに H の測定は欠かせない。

2. 林分現存量について

各時点における毎木調査結果と、前述した相対生長関係等を用いて樹体各器官の林分現存量の推定を試みた。 t_3 時点では全立木につき H を測定したので、この実測した D^2H と(3)式から推定した林分幹重量現存量(y_s)と、 $D-H$ 関係を介して推定した y_s との間には 3 ton/ha (2%) 程度の差しか認められなかった。そこで、統一する意味ですべての林分現存量は、 $D-H$ 関係を介して得た D^2H をもとに推定計算し、表-1 にまとめ示した。

林齢 12 年生 (t_3 時点) の y_s は、約 70 ton/ha と大きい。単位高さ当りの y_s (y_s/\bar{H}) は plot 1 の方が大きく、 t_3 時点では 8.1 ton/ha \cdot m となる。この値を、ほぼ同じ林分高をもつ一般のスギ人工林の値¹³⁾ と比較すると、最も多い部類の林分に属するといえよう。これは立木密度が高いことによると思われる。しかし、最多密度時の値 11 ton/ha \cdot m¹⁾ と比べれば、十分に熟した林分とはいえない。林分葉量 (y_L) は $t_1 \sim t_3$ 時点ではほとんど差はなく、20 ton/ha 程度で調査期間中はほぼ安定していた。この値はスギ人工林では、ほぼ平均的な数値であろう^{1,6,10~13,16,18~22)}。 y_L のうち当年生産葉量 (y_{LN}) は約 3 ton/ha である。安藤ら⁶⁾ が 15 年生人工林で 8.3 ton/ha (y_L の 40%) と報告しているのと比べると少ない。4 大学合同調査班¹⁾ が種々のスギ林分で調べた結果 y_L の約 1/8 が新葉量であるという。

スギの葉は緑色部と定義しているから、旧葉ほど木部に入る割合が大となる。しかし、 y_{LN} の量そのものにはほとんど誤差はない。さらに t_1 時点で枝先きに印をつけ枝の伸長量を押さえてあるから、測定の誤差は少ないと思われる。

林分枝現存量 (y_B) は 2 年間に 0.5~0.8 ton/ha が増加した。

根の林分現存量 (y_R) は全体の 16% を占め、 T/R 比は 5.2 となった。

t_3 時点での樹幹解析による林分幹材積生長量 ($2\Delta y_{VS}$) は、2 年間で 47.6 m³/ha \cdot 2 yrs となった。また、幹現存量の増分 ($y_{S13} - y_{S11}$) は 47.1 m³/ha \cdot 2 yrs となり、両者による推定量はほぼ一致した。

また、樹幹解析によって求めた幹皮容積は、2 年間に約 1 m³/ha の増加があった。脱落する樹皮量があるから、これは最小の増加量である。

ヒノキ人工林で樹幹解析の原理を利用して求めた根の

重量生長量 (Δw_R) と w_R の関係は、幹重量生長量 (Δw_S) - w_S 関係とよく一致している²³⁾。また著者は落葉広葉樹であるカンレンボク林分でも同様の結果を得た。これらの関係を用いて林分根重量生長量 (Δy_R) を計算すると、2 年間で 4.8~5.0 ton/ha \cdot 2 yrs となり、幹重量生長量の約 25% に相当する。

なお、全植物体の 2 年間増加量の内訳は、幹 75~78%、根 20% で、残り 5~2% は枝と葉である。

3. 枯死量について

litter trap で測定した litter fall 量の季節変化は、図-6 に示す。11~12 月のピークには枝葉の落下が目立つ。litter 中の成分は枝葉が 85% で、残りのほとんどは生殖器官である。年間の litter fall 量は 1~2 ton/ha \cdot yr と非常に少ない⁶⁾。また、trap 設置前に枯枝葉を除去した plot 2 の方が逆に多い結果が得られた。これらから枯死時期とそれが落下する時期とが相当長期にわたってずれることが予想されよう。そこで、plot 2 で t_2 時点に樹体に付いている枯枝葉を採集し計測したところ 2.2 ton/ha あり、trap による量を加えて 4.1 ton/ha となった (表-2)。これは 1966 年秋に枯死したものが主体であると思われる。

trap で年間枯死量を推定するには、枯死量と落下量とが一定となる、すなわち樹体に着いている枯枝葉量が時間的に安定していなければならない²⁴⁾。本調査林分のように若いスギ林分では、付着している枯枝葉量が増大の過程にあるから、trap のみで枯死量を測定すると過少になる危険が大きい。

なお、若いスギ林分では枯れ枝はその基部から折れて

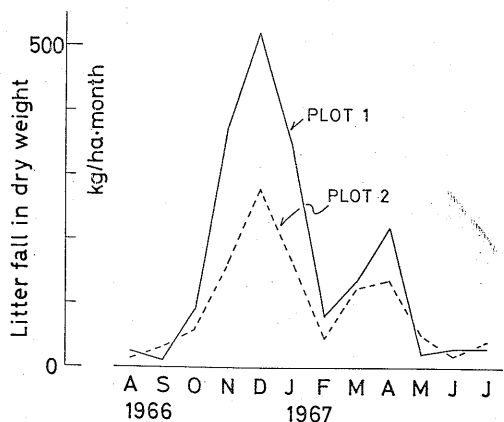


Fig. 6. Seasonal changes of litter fall collected by litter trays

The six collective litter trays were placed at random in each plot. The tray shape is circle, having a catching area of 1 m²

落下する。その枝の長さは 1m 前後で, litter としてはかなりの大形である。したがって trap の大きさが小さすぎて過少値を得ている可能性もある²⁵⁾。

以上の測定方法や理由から, この枯死量は過少評価になっていると考えられる。

図-7 は, 一本の枝単位でその葉付きの枝乾重(w'_{B+L})と(枝の基部直径の2乗)×(枝の長さ)(D_0^2L)の関係である。まず枯れて幹に付着している枝については, 図のように勾配は 1.0 としてもとめた。

$$w'_{B+L} = 0.54 D_0^2L \quad (16)$$

$$w'_{B+L}(g), D_0^2L(\text{cm}^3)$$

また, 生きている枝についてみたものである。

$$w'_{B+L} = 0.80 D_0^2L \quad (17)$$

$$w'_{B+L}(g), D_0^2L(\text{cm}^3)$$

このように両関係の回帰は異なり, 枯死を境にして重量が減少し, 枯枝の方が約 30% 方少ない。したがって, 枯枝葉量を枯れる以前の重量に換算するには,

$$0.80/0.54 \approx 1.48$$

倍すれば求められる。この枯死の過程における重量減少の原因は, 幹に再転流するのか, 雨水で溶脱されるのが定かではないが, この減少の比率はかなり大きい。

4. 生産力について

2 生育期間をはさんだ t_1, t_2 時点における現存量をおのおの推定し, またその間における枯死量を測ることができた。ここでこれらの量を使って純生産量(ΔP_n)の推定を試みる。この推定法は KIRA, T. et al²⁶⁾, 小川²⁴⁾によって, また IBP Handbook²⁾ に紹介されているように, 樹体を中心にした立場から物質の収支を考えて計算するものである。 ΔP_n は, ある 2 つの時点間における物質現存量の増分に, その期間中に枯死したり被食されて消失した量を加えた値としてほぼ与えられよう。この「積み上げ法」を式に表わすと,

$$\Delta P_n = \Delta y + \Delta L + \Delta G \quad (\text{Method 1})$$

Δy : 2 時点における林分現存量の増分

ΔL : 2 時点における枯死量

ΔG : 2 時点における被食消失量

となり, 本調査では, これらに必要な測

Table 2. Amount of dead parts measured

			Plot 1	Plot 2
Dry weight of dead parts (mainly dead, 1966)				
1. Amount of litter fall caught with litter trays (Aug., 1966—July, 1967)	Leaf	ton/ha·yr	0.93	1.50
	Branch	ton/ha·yr	0.03	0.08
	Total	ton/ha·yr	1.13	1.85
2. Amount collected directly from stems (at t_2)	Total	ton/ha·yr	—	2.2
3. Total (=1+2)	Total	ton/ha·yr	—	4.1
Dry weight of dead parts (mainly dead, 1967)				
2. Amount collected directly from stem (at t_2)	Total	ton/ha·yr	4.4	4.3
Total amount of dead parts, 1966 and 1967				
		ton/ha·2yrs	—	8.3
Mean				
		ton/ha·yr	—	4.2

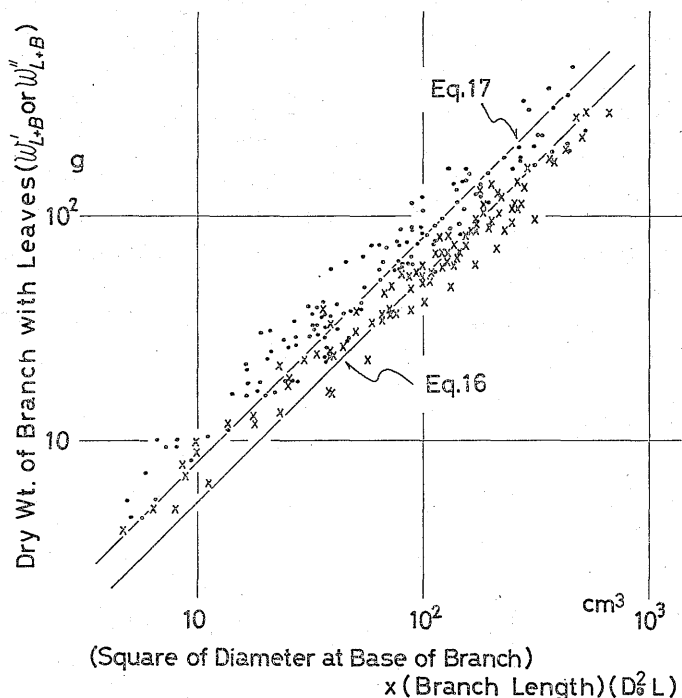


Fig. 7. Allometric relations between dry weight of one branch with leaves and (square of diameter at the base of branch) × (branch length), on a log scale

×: Dry weight of one dead branch with leaves

o: Dry weight of one living branch with leaves

The weight loss from branch with leaves may be recognized in the process of death. The weight of dead branch with leaves can be converted into the weight of living branch by use of the ratio (0.80/0.54 ≈ 1.48) of coefficients in Eq. 16 and Eq. 17 as seen in these figures

Table 3. Estimation of net primary production of young stand of *Cryptomeria japonica*

Parts	Plot 1				Plot 2				
	Biomass in dry wt. per ha			Increase in biomass t_1-t_3 Mean $2dy (=y_2-y_1)$ ton/ha·2yrs ton/ha·yr	Biomass in dry wt. per ha			Increase in biomass t_1-t_3 Mean $2dy (=y_2-y_1)$ ton/ha·2yrs ton/ha·yr	
	t_1 y_1	t_2 y_2	t_3 y_3		t_1 y_1	t_2 y_2	t_3 y_3		
Stem	50.4	68.3	17.9	a	50.0	70.5	20.5		
Branch	4.9	5.3	0.5	b	4.9	5.8	0.8		
Leaf	20.2	19.8	-0.3	c	20.0	20.5	0.5		
Root	13.4	18.1	4.7	d	13.2	18.7	5.4		
Aboveground	75.4	93.4	18.0	9.0	e=a+~+c	74.9	96.7	21.8	10.9
Whole plant (Total)	88.8	111.6	22.8	11.4	f=a+~+d	88.2	115.4	27.3	13.6
Dry weight of dead leaves & branches	4.1	4.4		g	4.1	4.3	8.3	4.2	
Dry weight of dead leaves & branches converted into the weight of living	6.1	6.5		6.3 (Mean)	h=g×1.48	6.0	6.3	6.2 (Mean)	
Net primary production (ΔP_n)				17.7	i=f+h			19.8	
By the Allometric Method*:									
Woody parts (stem+branch+root)	59.0	85.7	26.7	13.4	j	61.7	90.3	28.6	14.3
Leaf produced in this year				2.9	k				3.0
Net primary production (ΔP_n)				16.3	l=j+k				17.3
Stem increment in volume (dyv_s)				23.8 (m ³ /ha·yr)	m			24.6 (m ³ /ha·yr)	
Stem increment in dry wt. (dy_s)				9.1	n			9.4	

a~f: See Table 1

g~h: See Table 2 & Fig. 7

i: Method 1 ($\Delta P_n = dy + \Delta L + \Delta G$) for estimation of net primary production (Newbould, P.J., 1967)

j: Estimated from Eq. 18

k: y_{LN} (See Table 1)

m: Mean values for 2 years estimated by stem analysis

*: woody parts-D²H allometry (TADAKI, Y. et al 19⁻²¹, 27-28)

定項目はほとんどすべて網羅して測定したから、この Method 1 はこの ΔP_n 推定に最も適している。欠測となっている ΔG は、害虫等が異常発生した形跡がないから、おそらく kg/ha·yr オーダーの量と推察されるから無視した。

この ΔP_n の推定計算の手順は表-3に示した。 y_B および y_L は、 t_1 および t_3 時点で伐倒調査し、それぞれの相対生長関係を利用して推定しているから誤差は小さい。しかし、直線への回帰性が悪いので y_s に比べて精度は下がる。 t_1 における y_R は、 t_3 時点の w_R-w_S 関係が2年間にはほとんど変化しないと仮定して推定した。この方法で得た y_R の2年間の増分量は、plot 1 が4.7, plot 2 が5.4 ton/ha·2yrs となる。前述した $2\Delta w_R-w_R$ 関係から推定した2年間の生長量は plot 1, 2 それぞれ4.8, 5.0 ton/ha·2yrs となり、上記の増分量とほぼ一致した量となった。したがって、根に関する値には大きな誤差は無いと思われる。

次に、枯死量 ΔL を枯死する以前の生体重量に換算す

る、いにかえれば Δy と同じ生きている器官としての重さに統一すると、前の換算比を乗じて ΔL は6 ton/ha·yr を越える。

2年間の平均として得た ΔP_n は18~20 ton/ha·yr である。他のスギ人工林で調べた値^{1,6,10~13,16,18~22}とおおよそ一致する。

ここで再度 ΔP_n を求めた個々の数値を点検すると、量的に大きい項目として次のものが考えられる。まず、旧葉における生長量 (4 大学合同調査班¹⁾によれば2 ton/ha·yr のオーダー)。枯死量の測定段階での測定もれなどのため少なめに推定されている。一方、枯死過程での重量減少が樹体内への流転によるとすれば、上の値は過大推定となっている。

積み上げ法の他の方法 Method 2 から ΔP_n を推定する、すなわち一生育期間内に生産された物質質量をおのおの加え合わせる方法を適用すると、下記のように多くの項目が欠測になっているにもかかわらず、Method 1 による方法と量そのものはおおよそ一致する。

plot 1: $\Delta P_n = \text{幹}(9.1) + \text{枝}(1.2) + \text{葉}(2.9+2.1) + \text{根}(2.4) = 17.7 \text{ ton/ha}\cdot\text{yr}$

plot 2: $\Delta P_n = \text{幹}(9.3) + \text{枝}(1.4) + \text{葉}(3.0+2.2) + \text{根}(2.5) = 18.4 \text{ ton/ha}\cdot\text{yr}$

ただし、幹 (Δy_s), 枝 ($y_B \times 1/8$), 葉 ($y_{LN} + y_{LO} \times 1/8$), 根 (Δy_R) である。 y_{LO} は 2 年生以上の旧葉。 y_B と y_{LO} を $1/8$ としたのは 4 大学合同調査班報告¹⁾ によった。

次に、1 回の伐倒調査資料をもとにして、積み上げ法で ΔP_n を推定する方法に、只木ら^{19~21, 27, 28)} がしばしば用いるものがある。すなわち、非同化部分量 (幹+枝+根) (w_C) と D^2H の関係を求め、この関係が一年間では変化しないと仮定して計算した現時点の林分非同化器官量 (y_C) と同じ一年前の量 (y'_C) の差を推定する。この量は非同化部分の生長量に相当するので、これに当年葉を加え ΔP_n とするものである。まず、 t_1, t_3 時点における w_C - D^2H 関係を吟味する。図-8(A) のように、両対数軸上では 2 年間ではほとんど分離は識別できない。この関係は t_1 時点で w_R を測定していないので、 t_1, t_3 時点ともに w_R は $1/5 w_T$ (地上部量) とした。そこで、 t_3 時点での実測した w_R を用いた w_C - D^2H 関係は、図-8(B) のようにほぼ比例関係にあり回帰も非常に良い。

$$w_C = 0.021 D^2H \quad (18)$$

$w_C(\text{kg}), D^2H(\text{cm}^2 \cdot \text{m})$

次に、 t_1 時点での D^2H (d^2h とする) を求めるために、毎木調査で実測したサンプル木 22 本の t_1, t_3 時点の D と H をもとにして、 d^2h - D^2H 関係を、

$$\log d^2h = 0.916 \log D^2H + 0.0837 \quad (19)$$

$d^2h(\text{cm}^2 \cdot \text{m}), D^2H(\text{cm}^2 \cdot \text{m})$

と求めた。(18), (19) 式より両時点における y_C を計算した。以上のようにして得た ΔP_n は表-3 に示したように、16~17 ton/ha·yr となった。この値は先の Method 1 によった ΔP_n とほぼ一致するが、すこし少なめになっている。図-8(A) の w_C - D^2H 関係を t_1, t_3 時点でののおおのの回帰式を求めてみると、切片は両時点で約 6% 移動するといえる。この移動量と(18)式とから y_C を求め ΔP_n を計算すると、14~15 ton/ha·yr で以前の ΔP_n より小さい値となる。

只木らが用いるこの方法は、いくぶん過少の傾向は認められると思われるが、一生育期間中での ΔP_n を推定するには簡単な方法といえよう。

5. 垂直構造について

t_3 時点での伐倒調査予定木 6 本には、 t_1 時点において全枝に印をつけておいたので、これをもとにしてクロー

ネ直径の変化 (枝の伸長生長量にもほぼ相当) を測定し、クローネの発達を調べた。図-9 から新しい葉が生産され、クローネが拡大し、上方に移行する様子がある

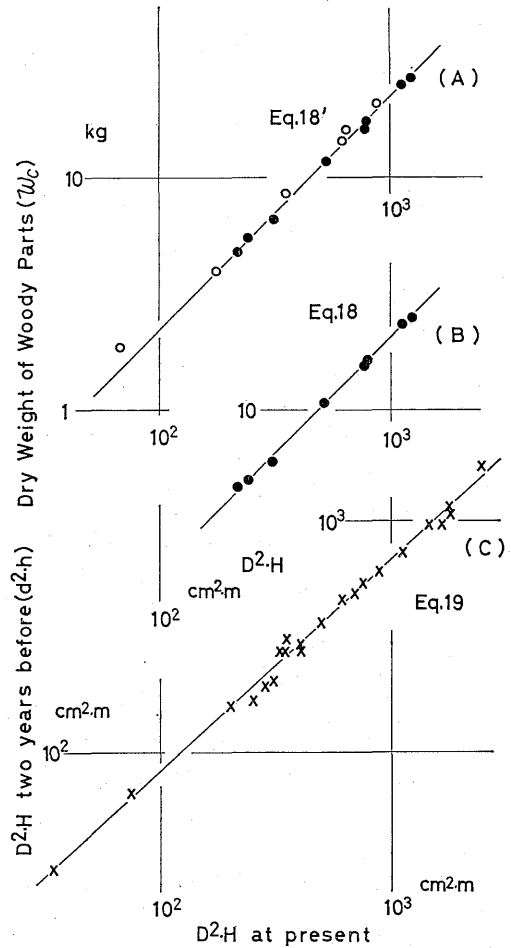


Fig. 8. Regression for estimating the net primary production with the method as used by Tadaki, Y. et al^{19~21, 27~28)}

For symbols see Fig. 2

- (A) Woody parts (w'_C)- D^2H allometry on a log scale at the time of t_1 and t_3 . w'_C in this regression is the amount of stem+branch+root ($1/5$ of above ground parts), since root weight was not measured at the time of t_1 . The relations between w'_C and D^2H at the time of t_1 and t_3 have approximately the same regression
- (B) Woody parts (w_C)- D^2H allometry on a log scale at the time of t_3 . w_C in this regression is the weight of stem+branch+root (measured by digging out)
- (C) Relation between D^2H at present and D^2H two years before (d^2h) on a log scale. The $D, H, d,$ and h were measured on the part of sample trees, where d and h is DBH and tree height two years before respectively (see the list on the measuring items). From these regression equations (Eq. 18 and Eq. 19), as w_C at present (t_3) and two years before (t_1) can be estimated, the increment of woody parts for two years is given by their difference

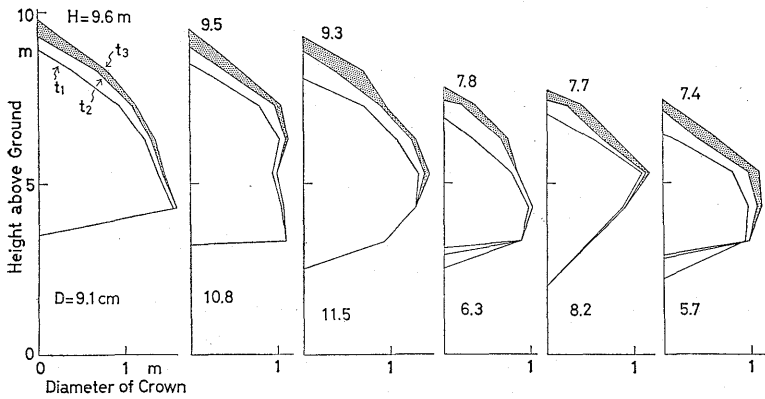


Fig. 9. Vertical distribution of crown width per sample tree at present, one and two years before (at t_1 , t_2 and t_3)
The growth of crown width or branch length increases with the tree's becoming higher, and a tree crown develops upward. The increase in branch length is not almost recognized below about 5m height

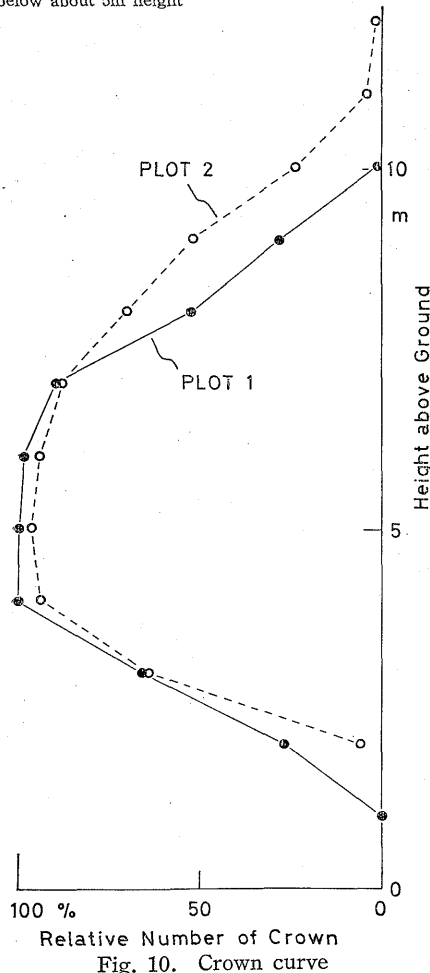


Fig. 10. Crown curve
The "Crown curve"²⁰⁾ shows the relative number of tree crowns bearing their leaves at respective height on the horizontal axis. Almost all the trees have their crown at 5m height above the ground

がえる。 t_3 時点には地上高 5 m 以下では、ほとんど新葉量の生産は認められない。この高さは OGAWA, F. et al²⁰⁾が提案した crown curve からわかるように (図-10), クローネ数が最も多くなった部分であり、また生枝下高の最も高い高さにも相当する。

小径木では 5m 以下の高さにもかなりの葉層を持つが、ここでの新葉の生産量はわずかし認められない。ここで、クローネの頂端からの距離とクローネ直径との関係から、地上高 5m 部におけるクローネの閉面積割合を計算してみると、約 90% となる。隣接木の枝は互いに接触し、ほとんど閉さの状態にある。すなわち、人工一斉林では隣接木の枝が接触しはじめる高さ以下の葉の生産量は、非常に少ないといえる。このことは、間伐のさい樹高の低い小径木から順次間伐する方法——著者らはこれを小径木間伐と呼ぶ——の意味深いことを証明している。

文 献

- 1) 四大学 (北大・東大・京大・大阪市大) および信大 (特別参加) 合同調査班: 森林の生産力に関する研究 第三報 スギ人工林の物質生産について. 日林協, 1966
- 2) NEWBOULD, P.J.: Methods for estimating the primary production of forests (IBP Handbook No. 2), 1967
- 3) 佐藤大七郎 (編): 人工林における一次生産力の研究班中間報告. JIBP-PT-F, 1968
- 4) _____: _____, 1969
- 5) _____: _____, 1970
- 6) 安藤 貴・竹内郁雄・宮本知子: スギ幼齢林の現存量とリター量の季節変動ならびに養分吸収量と還元量. 天然林の一次生産力の比較研究班中間報告 (四手井綱英編): 35~41, 1970
- 7) 只木良也・尾方信夫・高木安男: 森林の生産構造に関する研究 (Ⅲ) コジイ幼齢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 44: 350~359, 1962
- 8) TADAKI, Y.: Studies on production structure of forests (VII) The primary production of a young stand of *Castanopsis cuspidata*. Jap. J. Ecol. 15: 142~147, 1965
- 9) _____: _____(XIV) The third report on the primary production of a young stand of *Castanopsis cuspidata*. J. Jap. For. Soc. 50: 60~65, 1968
- 10) 斎藤秀樹・山田 勇・四手井綱英: 小径木間伐に関する研究 (Ⅱ) 第 1 回間伐 1 年後の林況の変化について. 京大演報 39: 64~78, 1967
- 11) 斎藤秀樹・玉井重信・荻野和彦・四手井綱英: (Ⅲ) 第 1 回間伐 2 年後の林況の変化について. 京大演報 40: 81

- ~92, 1968
- 12) 玉井重信・四手井綱英：——(IV) 第1回間伐4年後の林況の変化について。京大演報 42: 163~173, 1971
 - 13) 斎藤秀樹・山田 勇・四手井綱英：高立木密度のスギ幼齡林の物質生産量に関する若干の検討。京大演報 44 (投稿中)
 - 14) SHINOZAKI, K. and T. KIRA: The C-D rule, its theory and practical uses. J. Biol., Osaka City Univ. 12: 69~82, 1961
 - 15) 菅 誠：カラマツ人工林の林分管理と生産力に関する研究。長野宮林局：1~49, 1968
 - 16) 川那辺三郎・四手井綱英：小径木間伐に関する研究(V) (未発表)
 - 17) 斎藤秀樹・四手井綱英：個体ごとにみた落葉(枯死葉)量について——ヒノキ人工林のばあい——, 83回日林誌(要旨), 1972
 - 18) 斎藤秀樹・菅 誠・四手井綱英：小径木間伐に関する研究(I) 第1回間伐前後の林況の変化について。京大演報 38: 50~65, 1966
 - 19) 只木良也・尾方信夫・長友安男・吉岡 清・宮川良幸：森林の生産構造に関する研究(VI)足場丸太生産スギ林の生産力について。日林誌 46: 246~253, 1964
 - 20) 只木良也・尾方信夫・長友安男：九州スギ林の物質生産力。林試研報 173: 45~63, 1965
 - 21) TADAKI, Y. and Y. KAWASAKI: Studies on the production structure of forest IX. Primary productivity of a young *Cryptomeria* plantation with excessively high stand density. J. Jap. For. Soc. 48: 55~61, 1966
 - 22) 安藤 貴・蜂屋欣二・土井恭次・片岡寛純・加藤善忠・坂口勝美：スギ林の保育形式に関する研究。林試研報 209: 1~76, 1968
 - 23) YAMAKURA, T., H. SAITO and T. SHIDEI: Production and structure of upper-ground part of Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) stand (I) Estimation of root production by means of root analysis. J. Jap. For. Soc. 54: 118~125, 1972
 - 24) 小川房人：群落枯死量測定上の問題点とくに枯死量と落葉枝量の関係について。森林の一次生産測定法の研究班中間報告(吉良竜夫編): 71~76, 1968
 - 25) 斎藤秀樹・四手井綱英：均質な模型林冠下での落葉量推定に関する検討。京大演報 43: 162~185, 1972
 - 26) KIRA, T. and T. SHIDEI: Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the western pacific. Jap. J. Ecol. 17: 70~87, 1967
 - 27) 只木良也・尾方信夫・長友安男・吉田武彦：森林の生産構造に関する研究(X)無間伐の45年生ヒノキ林の生産力。日林誌 48: 387~393, 1966
 - 28) 只木良也・蜂屋欣二・棚秋一延：——(XV) ブナ人工林の一次生産。日林誌 51: 331~339, 1969
 - 29) OGAWA, F., K. YODA, T. KIRA, K. OGINO, T. SHIDEI, D. RATANAWONGSE and C. APASUTAYA: Comparative ecological study on three main types of forest vegetation in Thailand I. Structure and floristic composition. Nature and Life in SE Asia 4: 13~48, 1965
 - 30) 山倉拓夫・斎藤秀樹・四手井綱英：ヒノキ人工林の物質生産の検討。京大演報 43: 106~123, 1972
- (1972年8月14日受理)