

珠洲県有林の若齢ケヤキ人工林の現存量と生産力の推定

Estimation of standing crop and productivity of an even-aged young Keyaki (*Zelkova serrata* Makino) plantation in Suzu prefectural forest

ステフィ D.マクングワ¹⁾

小谷 二郎

要旨: 珠洲県有林の16年生のケヤキ人工林の地上部の現存量と生産力を調査した。その結果、幹・枝・葉の現存量はそれぞれ23.6、5.1、2.3t/haで、葉面積の合計は3.8ha/haであった。また、木質部の年生産量が3.8t/ha・年であったので、地上部の純生産量は葉の2.3t/ha・年を加えて6.1t/ha・年と推定された。幹の年成長量は4.3m³であった。また、生産構造図では地上部2~5m付近に約77%の枝と約87%の葉が集中する結果となったが、枝が2~3mにピークをもったのに対し、葉は4~5m付近が最も多く、次いで2~3mであった。これらの結果は、ケヤキが箒型の樹型を示しているため、樹冠の下部で太い枝が保持され、上部では多くの小枝と葉が着生していたことを示していた。以上の結果は、幼齢時でのケヤキの枝下高の確保にはある程度の高密度仕立てが有効であることが示唆された。

Synopsis: Standing crop and productivity above the ground were investigated in 16 year-old Keyaki (*Zelkova serrata* Makino) plantation of Suzu prefectural forest. The biomass of foliage, branches and stems were 2.3, 5.1 and 23.6 t/ha, respectively. Specific leaf area was 3.8 ha/ha. The increment of woody organs was 3.8 t/ha·yr and net production of the above ground tree components was estimated at 6.1 t/ha/yr. Stem volume increment was 4.3 m³/ha. About 87 percent and 77 percent of foliage and branches, respectively were included in the strata between 2 to 5 m above the ground. Although the vertical distribution of branch had the peak in the strata from 2 to 3 m, that of leaf was from 4 to 5 m, and from 2 to 3 m. These results indicated that, as Keyaki has Palmate growth form, big branches were retained in under-crown positions and a lot of twigs and leaves were retained in upper-crown positions. Consequently, it was suggested that the high density control for clear length of wood in the young Keyaki plantations was effective.

I はじめに

人口が増加し続けるにつれて、工業用の丸太、繊維、化学製品、さらにエネルギーなどのための森林生産物の供給と需要の差が小さくなり続け、21世紀には需要が供給を越えることが予想される(Industrial Working Party 1982)。森林におい

ては、生産量を増加するための生物学的な潜在力は存在するが(e.g. Gordon et al 1982)、この潜在力を高めるためには、林冠構造の動態に関するものや乾物生産に関係した知識の獲得と適応を含めた森林管理のさらなる強化増大が要求されるであろう。

林冠構造と生産力との生物学的な関係の理解を深めることは、森林管理の原則を明確にするうえで重要である。只木・四手井(1962)は、林冠が十

1) Stephy David Makungwa: マラウイ国林業試験場 Forest Research Institute of Malawi (FRIM)

分な葉量に伴って完全に閉鎖する時、林分はその最大の乾物生産を示すことを示唆した。ゆえに、こうした研究は森林所有者に対し林分の早期林冠閉鎖に導くための操作方法の支援となる多くの情報を与えるものと思われる。

森林樹木において、林冠構造に関係した物質生産の情報は乏しく、多方面での利用はいまだなされていない。ケヤキもその中の一つである。ケヤキは、小石の混じった肥沃な土壌を持つ斜面下部の崩積土を好む落葉広葉樹である。材質が優れているので、日本では数世紀に渡って建築物や家具や漆器の木材などに使われている。また、その幼齢木は街路樹としても使われている。

そこで、この研究では今後のケヤキ人工林の保育に寄与すべく、16年生の人工林における乾物生産とその垂直分布を調べた。

なお、この研究の実施に当たって、珠洲農林総合事務所森林部の方々には、常日頃より管理等多方面に渡り便宜を図っていただいたことに対しお礼申し上げます。また、調査補助をお願いした林業試験場の片岡久雄技師と森吉昭技師に対してもお礼申し上げます。

II 材料と方法

1 調査場所

調査は、珠洲市にある県有林地内にある0.23haの16年生のケヤキ人工林である。標高は約300mで傾斜5から10°の北西向きの斜面である。表層地質は第三期の砂岩・泥岩・礫岩（石川県 1995）で、土壌型はB_DからB_D(d)である。

2 調査方法

0.23ha内に225m²（15m×15m）のプロットを3つ設定し、プロット内の全木について樹高、胸高直径（1.3m）、生枝下高を測定した。

現存量調査を行うために、0.23ha内からランダムに13本のサンプル木を選定し、層別刈り取り方（Monsi & Saeki 1953）に基づき、伐倒して根元から1mごとに幹と枝と葉に分けて生重量を測定した。各層から100から200g程度のサンプルを採取し、持ち帰り研究室内で105℃で24時間乾燥して絶乾重量を求めた。また、幹は1m毎（0.0m、1.0m、2.0m……）に円板を採取し、樹幹解析に供した。

生産構造図を作成するためにプロット内で林内

照度を測定し、林外との相対照度を求めた。林内での照度は林床の草丈の上で測定した。用いた照度計はミノルタのデジタル照度計T-1Hである。また、樹冠の葉面積を把握するため、伐倒木の各層から葉面積測定用のサンプルを持ち帰り、面積を測定したのち105℃で24時間乾燥してその絶乾重量を求めた。葉面積は、パーソナルコンピューターを使って、スキャナーで読みとったのちフリーソフトLIA32を用いて計算した。

III 結果

1 林分状況

この人工林の立木密度、平均胸高直径、平均樹高はそれぞれ7,466本/ha、4.1cm、4.7mであった（表-1）。また、林分の樹高階別本数分布図および胸高直径階別本数分布図を図-1、2に示す。直径分布では少し小径木階へ偏っているが、ほぼ一斉林型を示していた。

表-1 調査地の概要

Table 1. Study site, site area, density, height (H), diameter at breast height (DBH), branch height (BH) and basal area (BA).

調査地 Site	対象面積 Area (ha)	本数 Density (/ha)	H (m)	DBH (cm)	BH (m)	BA (m ² /ha)
珠洲市	0.23	7,466	4.7 7.3-2.2	4.1 9.5-1.0	1.9 4.3-0.5	10.9

H：樹高、DBH：胸高直径、BH：枝下高、BA：胸高断面積合計、上段/下段：平均/範囲
Average/range (maximum and minimum).

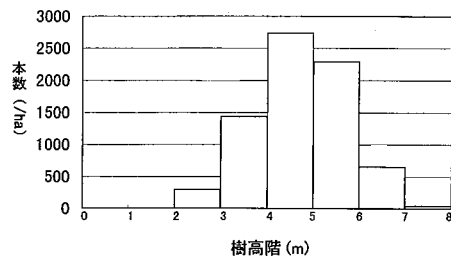


図-1 調査プロット内の樹高階別本数分布図

Fig. 1. Distribution frequency of height classes in the study plot.

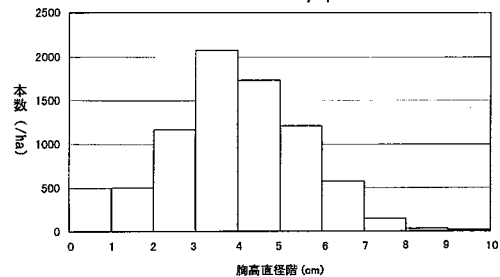


図-2 調査プロット内の胸高直径階別の本数分布図

Fig. 2. Distribution frequency of diameter classes in the study plot.

2 現存量および生産構造

伐倒木の樹高および胸高直径を表-2に示す。概ね、プロット内のサイズの分布範囲内で均等になるように選んだが、No.1はそれよりも多少大きいサイズのものであった。おそらく、この林分での最大級と思われる。

表-2 伐倒木の樹高と胸高直径
Table 2. Sample trees selected for felling in the study plot

供試番号 Tree No.	樹高 (m) Height	胸高直径 (cm) DBH
1	8.0	11.9
2	7.7	8.6
3	7.1	5.6
4	5.9	3.8
5	5.0	2.9
6	4.0	2.2
7	5.5	5.0
8	6.6	6.1
9	6.7	4.9
10	2.3	1.0
11	7.0	7.7
12	4.0	3.1
13	4.5	2.6

伐倒木の D^2H (胸高直径の自乗×樹高) と幹、枝、葉の各絶乾重量および葉面積との関係を図-3、4に示す。4つとも相対成長関係式は相関係数が0.92以上で非常に有意性が高かった (Eq. 1~4: $P < 0.001$)。

$$1. \text{Stem}(W_s) = 0.0895D^2H^{0.7913} \quad \dots \text{Eq. 1}$$

$$2. \text{Branch}(W_b) = 0.0105D^2H^{0.91821} \quad \dots \text{Eq. 2}$$

$$3. \text{Foliage}(W_L) = 0.0058D^2H^{0.8792} \quad \dots \text{Eq. 3}$$

$$4. \text{Leaf area} = 0.2258D^2H^{0.6985} \quad \dots \text{Eq. 4}$$

この式を使って林分の地上部の現存量と葉面積の合計を計算した (表-3)。幹・枝・葉の現存量およびその配分率は、それぞれ23.6t/ha (76.1%)・5.1t/ha (16.5%)・2.3t/ha (7.4%)で、合計31.0t/haであった。また、葉面積の合計は3.8ha/haであった。

単位葉面積当たりの光の減衰係数は、以下のBeer-Lambert'sの方程式を使って推定される (Monsi & Saeki 1953)。

$$I = I_0 e^{-KF} \quad \dots \text{Eq. 5}$$

ここで、 I は葉面積指数 F 下での林内の照度、 I_0 は林外の照度、 e は自然対数の底そして K は光減衰係数を表す。林内の相対照度 (I/I_0) は、7.5

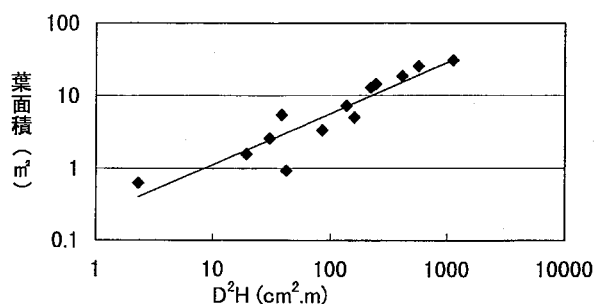


図-3 D^2H と葉面積 (LA) の相対成長関係
D: 胸高直径、H: 樹高

Fig. 3. Allometric relation between the leaf area (LA) in a tree and the size of its trunk given by the square of DBH (D) multiplied by height (H).
 $LA = 0.2258D^2H^{0.6985}$; $r = 0.9249$

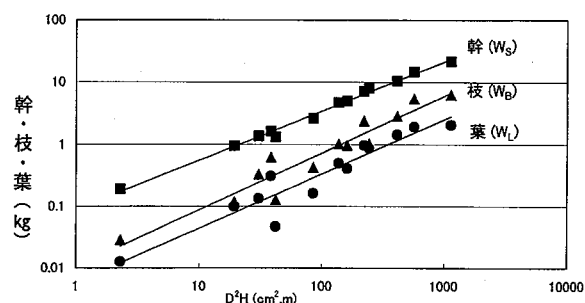


図-4 D^2H と幹、枝、葉の絶乾重量との関係
D: 胸高直径、H: 樹高

Fig. 3. Allometric relation between the dry weight of the tree stem (W_s), branches (W_b) and foliage (W_L) and its size given by the square of DBH (D) multiplied by tree height (H).
 $W_s = 0.0895D^2H^{0.7913}$; $r = 0.9965$
 $W_b = 0.0105D^2H^{0.9182}$; $r = 0.9586$
 $W_L = 0.0058D^2H^{0.8792}$; $r = 0.9481$

表-3 幹・枝・葉の現存量および葉面積指数
Table 3. Standing crop of the stand-Biomass in dry weight of stem, branch and leaf; and leaf area index.

幹 (t/ha) Stem	枝 (t/ha) Branch	葉 (t/ha) Leaf	合計 (t/ha) Total	葉面積指数 (ha/ha) Leaf area index
23.6	5.1	2.3	31.0	3.8

%であった。この式より、 K は0.68と推定された。これを基に、林分での幹・枝・葉の現存量の垂直分布を生産構造図として相対照度に対比させて図-5に示した。1~3m付近に、全体の0.95%に当たる量の枯死枝が見られた。この図によると、葉の垂直分布は先端から徐々に増加し、3分の1のところまで最大に達した。また、2~3m付近でも葉の量が多くなった。この場所は、枝の量が最大

の場所でもあった。2～5 m付近で枝は約77%、葉は約87%が分布し、この付近に樹冠が集中していた。

図-6は、葉の生産量(左)と幹の1年間の生産量(右)の垂直分布関係を示している。幹の1年間の生産量は、葉の生産分布パターンと無関係に先端から下部に向かって高さに比例して分配されていた。

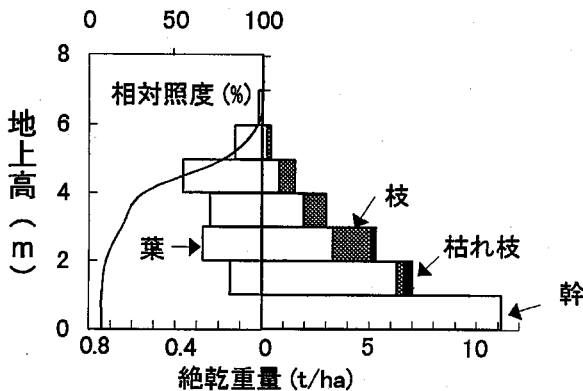


図-5 生産構造図

右は幹と枝の重量、左は葉の重量と相対照度。

Fig. 5. Production structure diagram. Vertical distributions of the amounts of stems, branches and foliage per ha. The line cutting through the leaf biomass expresses the course of extinction of relative light intensity (I/I_0) along the community profile, estimated by equation 5.

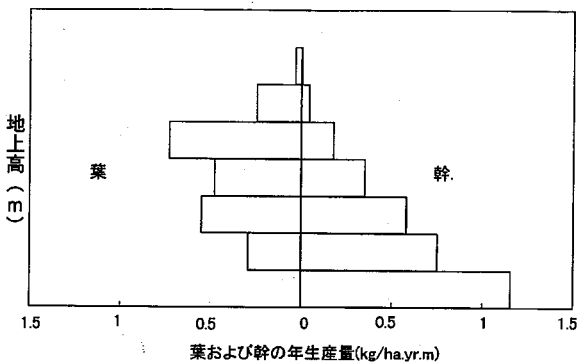


図-6 葉および幹の年生産量の垂直分布図

Fig. 6. Productivity profile of the stand, showing the vertical distribution of stem wood increment per year (Δ_{vs}) in correspondence with that of leaf biomass (Y_L)

3 純生産量

純生産量の計算においては、伐倒木の樹幹解析の結果を基に伐倒の1年前の皮付きの胸高直径の値(d cm)を最初に推定した。樹皮の厚さの比は、

前の年と同じとして計算された。 d に一致する樹高(h m)もまた樹幹解析から推定された。 d^2h と D^2H とは相関関係が深く(Eq. 6)、図-7のような回帰直線が描かれた。

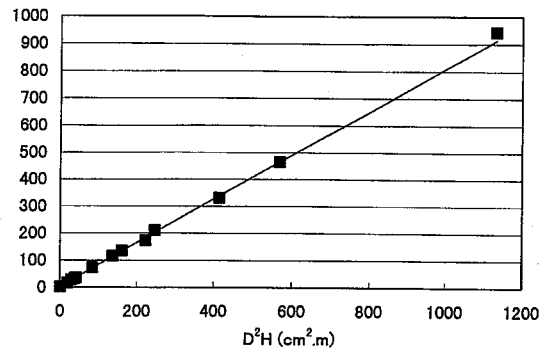


図-7 D^2H と d^2h との相対成長関係

D および d は、当年および昨年の胸高直径
 H および h は、当年および昨年の樹高

Fig. 7. Allometric relation between the square of diameter multiplied by height (d^2h) one year before and the square of diameter multiplied by height (D^2H) of the current year.

$$d^2h = 0.9115D^2H^{0.9826}, r = 0.9998$$

$$d^2h = 0.9115D^2H^{0.9826} \dots \text{Eq. 6}$$

方程式1・2・6を使って、前年の秋における林分の木質部の現存量を推定し、当年度の現存量との差を求め、さらに葉の当年度の生産量を加えて純生産量を求めた(表-4)。この結果、純生産量は $6.1\text{t/ha}\cdot\text{年}$ 、幹の材積成長量は $4.3\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{年}$ となった。

表-4 純生産量および年材積成長量の推定
Table 4. Estimates of net production and stem volume increment

1997年の木質部の現存量 (Wood biomass in 1997)	28.7 t/ha
1996年の木質部の現存量 (Wood biomass in 1996)	24.9 t/ha
木質部の年生産量 (Increment of woody organs)	3.8 t/ha
葉の年生産量 (Increment of foliage)	2.3 t/ha
純生産量 (Net production)	6.1 t/ha
幹の年成長量 (Stem volume increment)	4.3 $\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{年}$

IV 考察

図-3、4から相対成長関係式の相関係数は、すべて0.92以上であった。これは、現存量の推

定、特に葉量と葉面積を推定するには非常に精度が高いものと思われる。このように高い相関が得られたのは、人工林内の樹高が相対的に均一であったこと(図-1)が原因と思われる。

葉の現存量(表-3)は、他のケヤキで報告(佐藤ほか 1959、片倉・三原 1984、鈴木ほか 1990)されている結果の範囲内にあることが分かった。片倉・三原(1984)は約30年生で7.0t/haと高く、一方鈴木ほか(1990)の31年生で1.7t/haと低かった。他の落葉広葉樹で得られた結果では平均1.1~3.8(±1.8)t/ha(齊藤 1989)であることから、本調査地のケヤキもこの範囲内にあるものと思われる。

本林分の相対照度は7.5%と比較的高かった。他の落葉広葉樹林内での林内相対照度は、ブナの天然林で3.5~4.7%(橋詰・大西 1980)、ミズナラ林で3~5%(田淵ほか 1991)にあったことが報告されている。このことは、本林分がまだまだ十分に閉鎖した林分でなく、また樹冠が薄いことも関係していると思われる。

スギやヒノキのようにはっきりとした主幹を持たず、枝が斜め上へ張り出すケヤキにとっては、層別刈り取り法は林分の直接的な生産構造を示すものではない。しかし、それぞれの高さにおける枝と葉の関係を見る点では重要な解析手法と考えられる。葉量の垂直分布では、地上部2~3mの層はそれよりも1階層上の層よりも多少多い葉量分布を示した(図-5)。この林分の平均生枝下高が1.9mであり(表-1)、またこの層が他の層よりも枝の量が多かったことから(図-5)、この層に太い枝が集中し、1階層上の枝に比較し相対的に多い葉を着けていたことが考えられる。先端から3番目の層(4~5m)で最大の葉量分布を示したのは、この層は重量的にはさほど大きくないが、小枝が多く存在したために、多くの葉を着生したものと思われる。いずれにしても、2~5mの範囲に約77%の枝と約87%の葉が集中していたことから、この層に着生した葉が林冠の中心を成していることが示された。枝と葉の分布パターンが異なるのはケヤキの持つ箒型樹形(近藤 1951)の特徴と考えられる。また、この林分の平均樹高は、4.7mであったが、枝の77%を占める2~5m層の範囲に平均樹高が位置することは、枝が比較的高い位置の幹に支えられていることを示している。実際それ以下の層では、生枝よりも

枯れ枝の割合が高かった(図-5)。このことは、生枝下高を高くすることが施業の一つの目的であることからすると、明確な主幹を持たないケヤキにとって、枝下を高めるためにはある程度の高密度が必要であることを示した結果と思われる。

幹の年生産量の垂直変化においては、林冠が十分に閉鎖状態にある林分は、葉量が最も多く分布する層以下はほぼ一定を示すのが普通である(只木・四手井 1960a, b)。しかし、本林分では階層の下降と共に、生産量が大きくなった(図-6)これは、相対照度が7.5%と完全な閉鎖状態になかったことと、明確な主幹を示さないケヤキの特徴と考えられる。

6.1t/ha・年という純生産量は、ブナ林の7.5~15.3t/ha・年(8~85年生)に比べれば低いが、ヨーロッパのトネリコの5.17~13.5t/ha・年(12~35年生)にほぼ匹敵する値と思われる(佐藤 1983)。また、4.3m³/ha・年という材積成長量は、佐藤(1959)が調査した42年生のケヤキ人工林の8.73m³/ha・年には及ばなかったが、45年生のミズナラを主体とする落葉広葉樹二次林の3.6~5.4m³/ha・年の値(橋詰ほか 1990)とほぼ同じであった。これらのことは、この林分は16年生というほぼ年齢相応な生産力を示していることが示された。

以上のことから、本調査地の16年生のケヤキ人工林は、いまだ十分な林冠閉鎖状態にはなかったが、現段階までは順調な生育により十分な生産力を示していたと考えられる。また、ケヤキの樹型の特徴から独特な生産構造図が示され、高密度仕立てによる枝下の自然な枯れ上がりの効果が見られたものと思われる。

V 引用文献

- Gordon J. P., P. Farnum and R. Timmis (1982) Theoretical maximum phytomass yield as guides to yield improvement. Proceedings 7th North America Forest Biology Workshop. Lexington, Ky. 1982.
- 橋詰隼人・大西良幸(1980) 蒜山のブナ林の生産構造と生産力について. 広葉樹研究1:73-84.
- 橋詰隼人・黒井 大・小谷二郎(1990) 落葉広葉樹二次林の間伐試験. 101回日林論:413-414.
- Industrial Working Party (1982) World forest products demand and supply 1990 and

2000. Food and Agriculture Organization, UN. Rome. 222pp.
- 石川県農林水産部耕地整備課(1995)土地分類基本調査. 国土調査. 宝立山・能登飯田・珠洲岬. 48pp. (株)北日本測量. 金沢.
- 片倉正行・三原康義(1984)長野県中部におけるケヤキ人工林の生長について. 32回日林中支講: 205-208.
- 近藤 助(1951)闊葉樹用材樹種の諸性質. 闊葉樹用材林作業. 37-87. 朝倉書店. 東京.
- Monsi M. and T. Saeki (1953) Uber den Lichtfaktor in den pflanzengesellschaften und sein Bedeutung fur die Stoffproduktion. Jap. J. Bot., 14: 22-52.
- 斎藤秀樹(1989)森林の葉量, 生産構造. 森林生態学. 56-66. 朝倉書店. 東京.
- 佐藤大七郎・根岸賢一郎・扇田正二(1959)上層間伐をおこなったケヤキ人工林における葉の量と生長量. 東大演報55: 101-121.
- 佐藤大七郎(1983)林木の生長と物質生産. 育林. 46-61. 文永堂. 東京.
- 鈴木 誠・丹下 健・鈴木 保・鈴木貞夫(1990)東京大学千葉演習林におけるケヤキ人工林の生長と現存量. 東大演報82: 113-129.
- 田淵隆一・高橋邦秀・小池孝良・斉藤武史(1991)落葉広葉樹林内の稚幼樹の葉群動態と光合成. 102回日林論: 485-486.
- 只木良也・四手井綱英(1960a)材積生産構造図(仮称)の提案(1) - その意味と作図方法 -. 70回日林講: 294-295.
- 只木良也・四手井綱英(1960b)材積生産構造図(仮称)の提案(2) - その利用方法と検討 -. 70回日林講: 295-297.
- 只木良也・四手井綱英(1962)林木の競争に関する研究(Ⅲ)アカマツ幼樹を用いた小型林分での機械的な間伐試験. 日林誌44: 129-139.