

## 東京大学富士演習林ブナ植栽試験地の成長経過

池田裕行\*・西山教雄\*\*・千島 茂\*\*  
大橋邦夫\*\*\*・井出雄二\*\*\*\*

### Growth of the Artificial Stand of *Fagus crenata* Planted in the University Forest at Yamanakako

Hiroyuki IKEDA\*, Norio NISHIYAMA\*\*, Shigeru CHISHIMA\*\*,  
Kunio OHHASHI\*\*\* and Yuji IDE\*\*\*\*

#### I. はじめに

ブナは冷温帯林の主要な構成樹種であり、これまで天然林や二次林について、林分構造、成長、更新に関して多くの研究が行われてきた<sup>6-8, 10</sup>。しかし、ブナの人工林の成長に関する研究は少なく、しかも、それらは日本海側の林に関するものであり<sup>1, 3, 9</sup>、太平洋側のブナ人工林の成長に関しては例がない。

東京大学農学部附属演習林富士演習林には、1959年に植栽されたブナ林があり、数少ない太平洋側のブナ人工林の一つとして、その成長特性や施業法を明らかにすることは、今後の太平洋側地域におけるブナ林造成の指標を与えるものと考えられる。

このブナ人工林は、国立公園内に位置することから風致林としての利用を念頭におき、大径木からなる林へ誘導する施業を考えている。しかし、これまで一度も間伐が行われておらず、植栽後35年を経過して被圧木や自然枯死木が多く認められることから、この林分は現在自己間引きが起こっている過密な状態にあるといえる。

そこで、本人工林の植栽35年目における林分の構造および成長経過を調査するとともに間伐を実施したので、その結果について報告する。

報告にあたり、本試験地の設定、育成にあたってこられた富士演習林歴代職員諸氏ならびに苗木の提供を受けた山梨県林業試験場（現山梨県森林総合研究所）に厚くお礼申し上げる。

#### II. 材料と方法

調査地は、山梨県南都留郡山中湖村の東京大学農学部附属演習林富士演習林 II 林班に1959年5月に植栽されたブナ植栽試験地である。調査地の概況を表-1に示す。

本試験地は富士演習林内の風致地区に所在するため、試験地の掃除をかねて植栽後毎年1, 2回

\* 東京大学農学部附属演習林樹芸研究所

Arboricultural Research Institute, The University Forests, Faculty of Agriculture, The University of Tokyo.

\*\* 東京大学農学部附属演習林富士演習林

The University Forest at Yamanakako, The University Forests, Faculty of Agriculture, The University of Tokyo.

\*\*\* 東京大学農学部附属演習林田無試験地

Experiment Station at Tanashi, The University Forests, Faculty of Agriculture, The University of Tokyo.

\*\*\*\* 東京大学農学部附属演習林千葉演習林

The University Forest in Chiba, The University Forests, Faculty of Agriculture, The University of Tokyo.

表-1 東京大学農学部附属演習林富士演習林ブナ植栽試験地の概況

Table 1. Outline of the test plantation of *Fagus crenata* in University Forest at Yamanakako

標高	傾斜	土壌	面積	植栽本数 (密度)	年平均気温*	年降水量*
Altitude	Angle of slope	Type of soil	Area	No. of planted trees (Tree density)	Annual mean temperature (1961~1990)*	Annual precipitation (1961~1990)*
996 m	0°	未熟土 (火山砂礫)  Immatured soil (Volcanic sand and gravel)	828 m <sup>2</sup>	203 本 (2,452本/ha)	9.7°C	2,738 mm

\* 東京大学農学部附属演習林気象報告<sup>14, 15, 16, 17)</sup>による。

\* After meteorological reports of the University Forests<sup>14, 15, 16, 17)</sup>.

表-2 標本木の概要

Table 2. Outline of sample trees

個体番号 Sample No.	No. 36	No. 110	No. 134	No. 126	No. 115
樹高 (m) Height	6.3	9.0	12.7	14.6	16.3
樹高偏差値* Deviation value of height*	32	41	54	57	67
胸高直径 (cm) D.B.H.	6.1	8.1	11.6	16.3	23.9
胸高直径偏差値* Deviation value of D.B.H.*	36	40	47	57	73

\* 林分平均樹高 11.5 m, 標準偏差 2.9, 平均胸高直径 12.9 cm, 標準偏差 4.7 から計算した。

\* Deviation values are calculated by the result of stand survey, i.e. the mean height is 11.5±2.9 m and the mean D.B.H. is 12.9±4.7 cm.

の下刈りが行われているが、調査時点までにその他の施業はまったく行われていない。

林分調査を 1994 年 3 月に行った。現存する全個体 (170 本) について、樹高をブルーメライズ測高器により 1 m 単位で、また、地上 1.2 m の位置の直径 (以下胸高直径という) を直径巻尺により 0.1 cm 単位で測定した。

次いで、標本木については 1994 年 3 月、他の構成木は 1995 年 4 月に、東西南北 4 方向の枝張りを 50 cm 括約で測定し、平均値を半径とする円面積として個々の樹冠占有面積を求めた。また、高さ 4 m までの幹の曲がり、生枝下高、幹と枝の区別が不明瞭になる位置 (以下幹枝区分高という) を測定した。

標本木は、調査地における樹高、胸高直径の分布に配慮して、双方が林分の平均を上回っている優勢な個体を 2 本、林分平均に近い個体を 1 本、林分平均を下回って被圧状態にあると思われる個体を 2 本、計 5 本を選び、その標本木を伐倒し、樹幹解析を行った。標本木の概要を表-2 に示す。樹幹解析に用いた円板は、幹枝区分高以上の高さでは、調査時点で、より太く、枝葉が多

くついている分枝を主幹として 0.0, 0.2, 0.7, 1.2 m と、それ以上では 1 m おきに採取した。

幹材積は 1 m ごとの区分求積法で求めたが、0~0.2 m, 0.2~0.7 m の幹足部は根張りの影響を考慮しスマリアン式で、梢端部は円錐体公式で、その他の部分は 1 m ごとのフーベル式を用いた。また、枝材積は、枝の基部直径が 5 cm 以上のものは 1 m ごとの区分求積法、2 cm 以上 5 cm 未満のものは円錐体公式で求め、2 cm 未満のものについては材積を求めなかった。

これらを測定した後間伐を実施した。ブナ林の間伐に関しては、二次林を対象とした研究は行われているが<sup>4-6, 11, 12)</sup>、人工林に関する例はないので、今回は、立木配置を考慮しながら被圧木や形質不良木を中心にした定性的間伐を、本数間伐率約 50% で実施した。

なお、1993 年には結実が認められ、1994 年 3 月の調査時に着果個体を確認できたので、あわせて記録した。しかし、調査時期が遅く着果量は調査できなかった。

### III. 結果と考察

#### 1. 林分構造

毎木調査の結果から得られた林分の状態を表-3 に示す。植栽本数に対する残存率は 84% であった。また、樹冠占有面積からもとめた鬱閉率は 253% と大きく、本林分が過密であることを示している。

樹高は、4~20 m の範囲にほぼ正規分布し (図-1)、林分平均は 11.5 m であった。本数で 25% を占める樹高 10 m 未満の個体の大部分は、林冠に達しない小さな樹冠を持った被圧木であった。

胸高直径は、4~28 cm の範囲にばらついて分布し (図-2)、林分平均は 12.9 cm であった。本数で 14% を占める胸高直径 8 cm 未満の個体は、明らかに被圧木と認められた。一方、胸高直径 20 cm を超える極端に成長の良い個体が数本認められた。また、胸高直径と樹高の間には強い相関 ( $r=0.831$ , 1% 水準で有意) が認められた。

一個体あたりの平均樹冠占有面積は 12.3 m<sup>2</sup> であるが、胸高直径と樹冠占有面積の間には、強い相関 ( $r=0.715$ , 1% 水準で有意) が認められ、その回帰式は、

$$y=1.38x-5.48 \approx 1.38(x-4)$$

(x: 胸高直径, y: 樹冠占有面積)

で示された。この式で、y 切片の値がマイナスであることから、樹冠を維持できる最小の個体サイズが存在すると推察され、それは胸高直径 4 cm 程度であると考えられる。

一般に広葉樹では、ある高さまで成長すると主幹と枝の区別が不明瞭になり、ほうき状の樹形を示すようになる。本林分では、生枝下高の林分平均は 4.9 m であったが、胸高直径 8 cm 未満の個体や、樹高 10 m 未満の個体などごく小さい被圧個体を除いて直径階や樹高階による違いは認められなかった。また、幹枝区分高の林分平均は 7.7 m であり、生枝下高同様、被圧個体を除いて、直径階や樹高階による違いは認められなかった。さらに、形質調査の結果、幹の 4 m 以下の部分が通直な個体が林分全体の 63% を占め、極端に幹が曲がった個体はわずかであった。

これらの原因として、本林分は植栽後の本数減少が少なく、高い密度で維持されていたため、樹幹の低い位置での太い枝の発達が抑制されたと考えられる。また、ブナは急傾斜地においては雪圧のため根元曲がり、幹曲がりが多く発生することが報告されているが<sup>3, 13)</sup>、本林分は平坦地にあることから、雪の斜面移動がなく、最大積雪深も約 35 cm と少ないことも幹の曲がりが少ない

表-3 35年生ブナ人工林の間伐前後の林分状態

Table 3. Stand status of 35-year-old *Fagus crenata* artificial forest before and after thinning

	間伐前 Before thinning	間伐後 After thinning	変化率(%) Change
立木本数(本) Number of trees	170	83	-51
植栽本数に対する残存率(%) Ratio of remaining trees to the planted trees	84	41	
立木密度(本/ha) Tree density	2,053	1,002	-51
平均樹高±標準偏差(m) Mean height±S.D.	11.5±2.9	13.3±1.9	+16
平均胸高直径±標準偏差(cm) Mean D.B.H.±S.D.	12.9±4.7	15.8±3.7	+23
胸高断面積合計(m <sup>2</sup> /ha) Basal area	30.5	20.7	-32
幹材積(m <sup>3</sup> /ha) Stam volume	187.3	133.1	-29
平均生枝下高±標準偏差(m) Mean clear length±S.D.	4.9±2.0	5.4±2.0	+10
平均幹枝区分高±標準偏差(m) Mean length of obvious stem±S.D.	7.7±2.9	9.0±2.7	+17
樹冠占有面積(m <sup>2</sup> /ha) Total crown area	25,292	14,960	-41
鬱閉率(%) Crown density	253	150	
通直木の割合(%) Ratio of straight stem trees	63	69	
結実木の割合(%) Ratio of seed beared trees	12	20	

原因と考えられる。

林分の12%の個体で結実が認められたが、着果個体は、樹冠を大きく広げた大きな個体に集中しており、胸高直径20cm以上の個体はすべて、16cm以上では40%の個体で着果が認められた。また、樹高で見ると、16m以上で67%、14m以上では40%の個体で着果が認められた。着果個体のうち最小のものは、胸高直径12.6cm、樹高12mであった。

下部ブナ帯の天然生ブナ林では、胸高直径20cm以上、樹齢40年以上で開花結実するという<sup>2)</sup>。本調査林分は、これよりも若くかつ小さな個体でも着果が認められた。また、この結実により1994年には林床に多数の稚樹の発生を見、これらの種子に稔性があることが明らかになった。

## 2. 標本木および林分の成長経過

樹幹解析によって求めた標本木の材積等と成長経過をそれぞれ表-4と図-3に示す。樹高につ

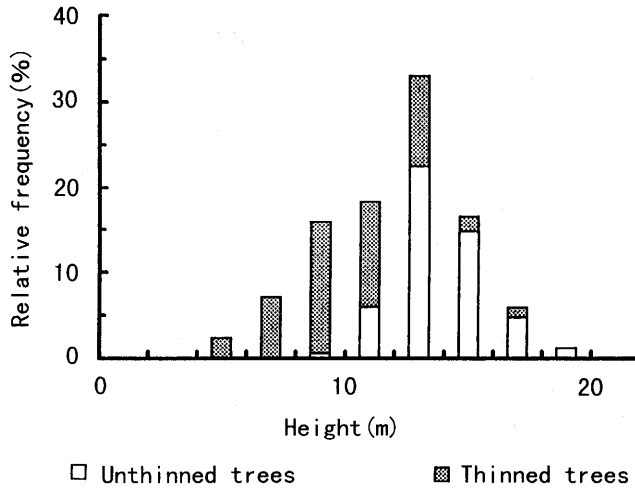


図-1 35年生ブナ人工林における樹高の頻度分布.

Fig. 1. Frequency distribution of tree height at 35-year-old artificial stand of *Fagus crenata*.

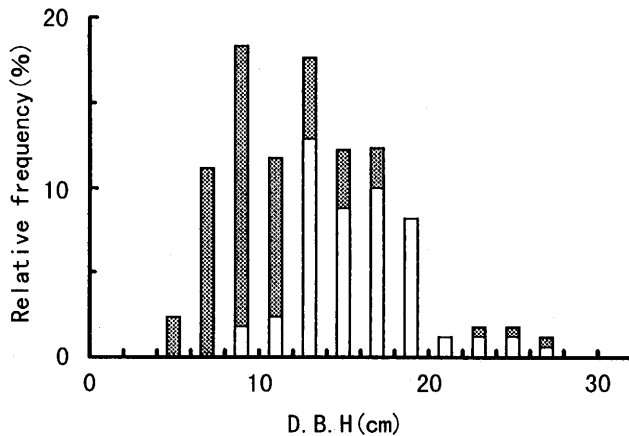


図-2 35年生ブナ人工林における胸高直径の頻度分布.

Fig. 2. Frequency distribution of D.B.H. at 35-year-old artificial stand of *Fagus crenata*.

いてみると、No. 115, No. 126, No. 134 の 3 個体は、似通った成長経過を示し、植栽当初から継続的に良好な成長を維持している。その結果として、3 個体とも林分平均を上回る樹高を示しているが、No. 36, No. 110 は、それらに比べ当初から樹高成長量が小さく、さらに 15~20 年生以降は極端に減衰し、最近はほとんど成長していない。

胸高直径についても、樹高とほぼ同様の傾向が認められるが、樹高成長に鈍化の見られなかった No. 126 と No. 134 でも鈍化の傾向が顕著である。それに対して、No. 115 は、引き続き高い

表-4 標本木とその隣接木の大きさ

Table 4. Sizes of the sample trees and their neighboring trees

	形質 Trait	標本木番号 Sample No.					
		36	110	134	126	115	
標本木 Sample tree	樹高 (m) Height	6.3	9.0	12.7	14.6	16.3	
	胸高直径 (cm) D.B.H.	6.1	8.1	11.6	16.3	23.9	
	樹冠占有面積 (m <sup>2</sup> ) Crown area	7.1	7.1	7.1	19.6	17.7	
	幹材積 (m <sup>3</sup> ) Stem volume	0.0090	0.0253	0.0515	0.1328	0.3258	
	枝材積 (m <sup>3</sup> ) Volume of branch	0	0	0.0089	0.0344	0.0905	
	生枝下高 (m) Clear length	2.8	6.4	2.9	3.6	5.8	
	幹枝区分高 (m) Height for stem and branch discrimination	—	—	2.9	3.6	5.8	
	隣接木 Neighboring trees	生存本数 Number of survivors	8	8	5	6	6
		樹高 (m) Mean height	12.6	11.8	14.2	9.7	11.3
胸高直径 (cm) Mean D.B.H.		13.6	12.9	15.7	11.0	11.8	

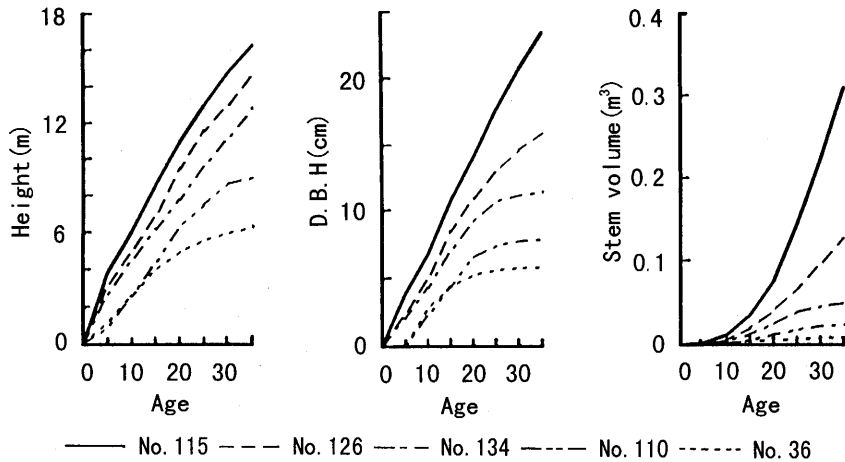


図-3 35年生ブナ人工林における標本木の成長経過。

Fig. 3. Growth of sample trees at 35-year-old artificial stand of *Fagus crenata*.

成長を維持している。

幹材積については、樹高、胸高直径ともに成長量の大きい No. 115 は、継続的に大きな成長を示し、35 年生時の材積は 0.326 m<sup>3</sup> であったが、No. 126 では、胸高直径成長では最近 10 年間に鈍化の傾向が見られるものの、材積成長にはまだ顕著な減少は認められない。No. 134 は、樹高と胸高直径ともに林分の平均に近いが、25 年生以降胸高直径成長の著しい減衰が認められ、材積成長もほとんど認められない。その他の 2 個体は、20 年生以降ほとんど成長が停止している。

これらのことから、この林分では植栽 15 年生頃から林冠の閉鎖による個体間競争が生じ 20 年生頃に激しくなったと推察される。また、被圧木が生じる過程では、まず直径成長が、次いで材積成長、最後に樹高成長が、それぞれ低下するという一般的な傾向がみられた。

比較的植栽密度の影響を受け難いとされる樹高の成長について、本林分の標本木の樹幹解析結果と他の人工林を比較すると、これまで、20 年生、31 年生でそれぞれ 13 m、16 m<sup>1)</sup> と成長の良好な事例もみられるが、18 年生で 6 m<sup>1)</sup>、20 年生で 6 m<sup>3)</sup>、10 年生、20 年生でそれぞれ 4 m、7 m<sup>8)</sup>、23 年生で 4.1~4.6 m<sup>9)</sup> など、本林分の平均以下の樹高成長を示す No. 36、No. 110 に近い事例が多い(図-3)。このことは、本林分は肥沃とはいえない火山性未熟土に植栽された人工林ではあるが、比較的良好な樹高成長を示しているといえる。

標本木の解析結果より求めた、皮付き胸高断面積と皮付き幹材積の関係は、

$$\log y = 1.28 \log x - 3.87 \quad (r = 0.997, 1\% \text{ 水準で有意})$$

(x: 皮付き胸高断面積, y: 皮付き幹材積)

となる(図-4)。この式に毎木調査の結果を代入して求めた、林分の幹材積合計は 187.3 m<sup>3</sup>/ha(表-3)、幹材積の年平均成長量は 5.4 m<sup>3</sup>/ha であった。

枝の材積は、No. 115 で 0.0905 m<sup>3</sup>(表-4) で幹材積と枝材積の合計の 21.7% を占めている。胸高直径が小さくなるに従い、枝材積の割合は減少し、No. 126、No. 134 ではそれぞれ 20.6%、14.7% であった。また、No. 36 と No. 110 では基部直径 2 cm 以上の枝は存在しなかった。

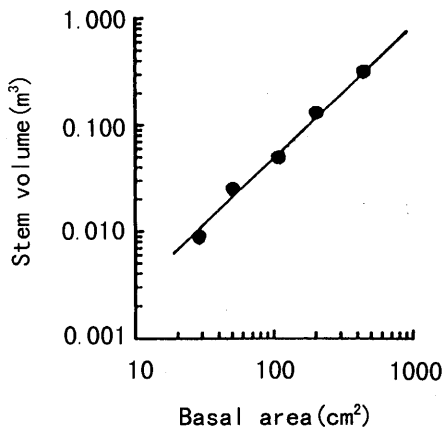


図-4 胸高断面積と幹材積の関係。

Fig. 4. Relationship between the basal area and the stem volume.

$$\log y = 1.28 \log x - 3.87$$

樹冠占有面積は、No. 115、No. 126 では、それぞれ 17.7 m<sup>2</sup>、19.6 m<sup>2</sup> と大きかった。このような樹冠占有面積の大きな個体では、多くの太い枝を発達させ、広い樹冠占有面積を維持し、他の個体よりも多くの光を受けることができるため、今後、林分内において優勢な位置を占めていくものと推察される。一方、No. 134、No. 110、No. 36 の樹冠占有面積は、ともに 7.1 m<sup>2</sup> で小さかった。被圧木の No. 110 や No. 36 でも、ある程度の樹冠占有面積を維持しているといえるが、観察では、これらの個体の樹冠長は短く、かつ枝が細くて量も少なかった。

次に、標本木とその周りの隣接木との関係を見るため、樹高、胸高直径について比較した。ここで、隣接木とは、植栽時に標本木と直接接するように植えられた 8 本の個体をさし、これらのうち

枯損木がある場合は、それは除いて考えた。この結果、表-4に示すように、樹高や胸高直径の大きな標本木の隣接木は、標本木に比べそれらが小さく、樹高や胸高直径が小さな標本木の隣接木はそれらが大きいことが明らかである。このことは、閉鎖林分においては、個体の成長はそれに隣接する個体の成長と相互に影響しあう関係にあることを示している。

### 3. 間伐後の林分状況

間伐木の選定は、個体の形質と林分内での配置を考慮して行った。間伐前後の樹高および胸高直径の分布の変化を図-1, 2に示した。結果的には、被圧された形質不良木を中心の間伐となった。林分全体の間伐率は、本数で51%, 胸高断面積合計で32%, 幹材積合計で29%であった(表-3)。

今後、本林分を風致林として長期にわたって維持してゆくためには、適正な立木配置と幹形質に配慮しながら、再度上層間伐を行う必要があると考えられる。

今後引き続き管理を行い、林分の動態を調査することにより、太平洋側におけるブナ人工林造成のための詳細な資料を得たい。

## 要 旨

太平洋側のブナ人工林造成の基礎資料を得るため、東京大学農学部附属演習林富士演習林の35年生ブナ人工林の、林分構造と成長経過を調査するとともに、間伐を実施した。

林分の立木密度は2,053本/ha、生存率は83.7%、平均樹高は11.5m、平均胸高直径は12.9cmであった。樹幹解析によって標本木の成長経過を調査した。この結果、20年生以降個体間競争が激しくなったことが推察された。胸高断面積( $x$ )と幹材積( $y$ )との関係は、次式で示され、

$$\log y = 1.28 \log x - 3.87$$

この式から求めた幹材積合計は187.3 m<sup>3</sup>/ha、年平均成長量は5.4 m<sup>3</sup>/haであった。また、樹高成長は、これまで報告されたブナ人工林の成長に比べ、良好であった。また、個体の成長がそれに隣接する個体の成長と相互に影響しあう関係にあることが示された。

キーワード：ブナ、人工林、林分構造、樹幹解析

## 引 用 文 献

- 1) 阿部正博(1963)ブナ人工植栽地の成長について、新潟県林試研報, 9, 111-130.
- 2) 橋詰隼人・福富 章(1977)ブナの結実に及ぼす疎開伐の影響, 日林論, 88, 201-202.
- 3) 橋詰隼人・谷口真吾・山本福壽(1994)ブナ人工林に関する研究(Ⅱ)—20年生人工林の生育状況—, 日林論, 105, 369-372.
- 4) 菊池 健(1993)ブナ二次林の上層間伐試験—林分構造と7年間の林分成長量—, 北海道林試研報, 30, 63-70.
- 5) 小西 明・小坂淳一・金 豊太郎, 高橋和規(1989)ブナ林の間伐効果分析(8)—間伐種別の直径成長分析—, 日林東北支誌, 41, 40-42.
- 6) 小坂淳一(1985)ブナ再生林の密度管理図(適用地域東北地方), 特別研究「ミズナラ等主要広葉樹の用材林育成技術の開発」研究成果報告書, 17 pp., 林業試験場.
- 7) 前田禎三(1988)ブナの更新特性と天然更新技術に関する研究, 宇都宮大農報特輯, 46, 1-79.
- 8) 村井 宏・山谷孝一・片岡寛純・由井正敏(1991)ブナ林の自然環境と保全, 399 pp., ソフトサイエンス社, 東京.



- 9) 中沢迪夫(1982)広葉樹林の育成に関する研究(I)ブナ人工林の成長について, 新潟県林試研報, **25**, 45-64.
- 10) 酒井 敦・桜井尚武・飯田滋生・斉藤昌宏・中静 透・柴田銃江(1994)苗場山におけるブナの天然更新の状況—母樹除去区と母樹保残区との比較—, 日林論, **105**, 377-378.
- 11) 高橋和規・小坂淳一・金 豊太郎・小西 明(1989)ブナ林の間伐効果分析(9)—間伐時の選木基準—, 日林東北支誌, **41**, 43-46.
- 12) 高橋和規・小坂淳一・金 豊太郎・小西 明(1990)ブナ林の間伐効果分析(10)—田沢湖営林署試験地10年目の成績—, 日林東北支誌, **42**, 78-80.
- 13) 高橋啓二・玉田克志・増井克司・沖津 進(1989)豪雪地帯におけるブナの日本海側から内陸にかけての生育状態の変化, 日林論, **100**, 199-201.
- 14) 東京大学農学部附属演習林(1985)富士演習林気象報告(自昭和28年至昭和58年), 演習林, **24**, 219-283.
- 15) 東京大学農学部附属演習林(1987)富士演習林気象報告(自昭和59年至昭和60年), 演習林, **25**, 113-119.
- 16) 東京大学農学部附属演習林(1992)東京大学演習林気象報告(自1986年至1989年), 演習林, **29**, 193-196.
- 17) 東京大学農学部附属演習林(1992)東京大学演習林気象報告(自1990年1月至1990年12月), 演習林, **29**, 299-311.

(1996年1月12日受付)

(1997年1月20日受理)

### Summary

The structure and growth of a 35-year-old artificial stand of *Fagus crenata* planted in the University Forest at Yamanakako, the University of Tokyo were investigated in order to obtain fundamental data for the establishment of an artificial forest of *F. crenata* on the Pacific Ocean side of Japan. Thinning was carried out after the investigation of the stand and the structural change was recorded.

The stand density was 2,053 stems/ha, the survival rate was 83.7%, the mean height was 11.5 m, and the mean D.B.H. was 12.9 cm. The growth patterns of sample trees were analyzed by stem analysis. It was proved that the competition among individual trees had become severe since the stand age of 20 years. The relationship between the basal area ( $x$ ) and the stem volume ( $y$ ) was shown by the following equation;

$$\log y = 1.28 \log x - 3.87$$

The total stem volume of the stand and the mean annual increment were estimated to be 187.3 m<sup>3</sup>/ha and 5.4 m<sup>3</sup>/ha. The height growth rate of this stand was higher than those of previously reported *F. crenata* forests. There is an interaction between the growth of an individual tree and the growth of its neighboring trees.

**Key words:** *Fagus crenata*, Artificial forest, Stand structure, Stem analysis

## Abstract

### Growth of the Artificial Stand of *Fagus crenata* Planted in the University Forest at Yamanakako

Hiroyuki IKEDA, Norio NISHIYAMA, Shigeru CHISHIMA, Kunio OHHASHI  
and Yuji IDE

The structure and growth of a 35-year-old artificial stand of *Fagus crenata* planted in the University Forest at Yamanakako, the University of Tokyo were investigated. The stand density was 2,053 stems/ha, the survival rate was 83.7%, the mean height was 11.5 m, and the mean D.B.H. was 12.9 cm. It was shown by stem analysis that the competition among individual trees had become severe from the stand age of 20 years. The total stem volume of the stand was 187.3 m<sup>3</sup>/ha and the mean annual increment was 5.4 m<sup>3</sup>/ha. The size of individual trees was strongly affected by the size of neighboring trees.

### A Comparative Study on the Transitional Patterns of Space Formation in the Urban Centers of Seoul and Tokyo

Hyun-Mi BAE

This study was conducted in the context of a growing need to restructure cities in order to achieve their revival.

This study aims to offer fundamental data necessary to enhance the appeal and characteristics of cities (urban space), based on an analysis of the city's spatial framework, in other words to focus on the formation and transition processes of streets (networks).

The results are as follows:

- ① The transitional patterns of main streets in Seoul and Tokyo are clarified.
- ② Distinct periods of development are suggested for both countries.
- ③ From the comparison of Seoul and Tokyo, characteristics (differences) and common aspects can be explained.