

# スギ林分収穫表調製法のシステム化に関する研究 — 東京大学千葉演習林スギ林を対象として —

Systematic Method Constructing an Yield Table for Sugi Even-Aged Stand  
— A Case Study in Experimental Plots of the Tokyo University Forest in Chiba —

南雲 秀次郎\*, 白石 則彦\*, 田中 万里子\*

Hidejiro NAGUMO\*, Norihiko SHIRAIISHI\* and Mariko TANAKA\*

## I. 序 論

収穫表がはじめてつくられてからすでに250年以上も経過している。この間世界各地で森林施業の指針とするための多くの収穫表が調製されてきた。わが国でもその歴史はすでに100年をこえ、今日までに100種類以上の林分収穫表が調製されてきている。しかし、こうした多くの収穫表は、現在、森林経営を行なう上でそれほど有効なものとは評価されていない。

収穫表の定義は人によって細かい点では相違があるが、要するに、「生長条件が近似している地方において、一定の地位、作業種に対して一つの林分が法正な生長状態を維持しているとき、単位面積あたりの収穫量を一定年度ごとに記載する表である」というように要約できよう。このような定義の中にもすでに実践性が欠けしう理由を見出すことができる。いま簡単にそのいくつかを列举してみよう。

1) 一つの地方、一定の作業種、法正な生長状態などの定義が曖昧である。関東地方とか秋田地方などを一つの地域とし、その中で極端な生長状態を維持している林分のみを集めて収穫表を調製しても、それは広域的に散在し、それぞれ施業目的も異なる林分を平均化し、これをつなぎ合せたものであるだけに過ぎない。これはどうてい個別的な施業目的をもつ林分の施業指針にはなりえない。

2) 現在、わが国のほとんどの収穫表は、林分蓄積、生長量、立木密度などの記述をしているにすぎない。実際の森林経営で必要なのは利用材積に関する情報であって、主間伐いずれの場合でも素材の径級別本数などが記載されていることが望ましい。

この他にも多くの問題があるものと思われるが以上の内容だけからみても現在の収穫表は実

\* 東京大学農学部林学科

Department of Forestry, Faculty of Agriculture, University of Tokyo.

践性に乏しいことがわかる。こうした多くの批判から、現在、国有林では上述の収穫表とは若干違った収穫予想表が利用されている。しかしこれも上述の欠点を幾分是正したものにすぎず、その本質においてはあまり大きな変化がないものと思われる。

近年、各地で密度管理図が作成されるようになった。これは立木密度を制御の手段として利用し、森林の状態を記述しようとするものであり、多くの種類の施業方法を同時に検討することができるという点では従来の収穫表より形式としては優れている。しかし、これにもなお上述の欠点のいくつかは保持されている。しかも、この図には生育に要する時間が直接表示されていない。もし「時間」を基準にして森林の変化を示す必要がある場合には、この図の結果から改めて収穫予想表を作成しなければならない。

そこで次に実践性ある収穫表とは何かということが問題となる。

これからの森林経営では、予め明確な製品生産の目標をもつべきである。それは隣接する経営体の経営目標とは異なってもよい。また、同一経営体の中に複数の製品生産目標があってもよい。しかし、予め生産の目標を設定し、この目標に向かって合理的な施業を実行していくことが近代的森林経営として必要なことであろう。この場合、その目標を実現するための森林施業を規定し、主間伐時にどのような製品がどれほど得られるかが具体的に表示された収穫表が必要になる。この収穫表は多様な施業をすべて記述する必要はない。個々の生産目標に応じて必要とされる一つの施業の実体が具体的に記述されているだけでよい。

このように、収穫表が各経営単位で独自の生産目標に応じて調製される必要性が出てくると、従来のように、一つの収穫表の調製に多くの専門家が関与し、多額の費用や時間をかけるということは不可能となる。新しい収穫表は普通の林業技術者が、比較的短時間に、容易に調製しうるものでなければならない。このためには予め収穫表調製システムを決定しておき、このシステムをコンピューター内にプログラム化しておいて、予めきめられた様式で必要とする資料を入れれば誰でもそれに基づく収穫表が調製できるものでなければならない。これを実現するためには次のような研究が必要と考えられる。

- 1) 収穫表の調製が一貫してコンピューターで処理できるような調製方法のシステム化をはかる。
- 2) ここで調製する収穫表は従来あるような一般収穫表ではない。それは一経営体とその生産計画等を決定するために使用することを主眼とするものである。すなわち、新しい収穫表は経営体の独自の生産目標を実現するための森林施業を規定するものでなければならない。
- 3) このためには、従来の収穫表で規定している諸項目に加えて、主伐時及び間伐時に予想される径級別素材収穫量なども記載されていなければならない。
- 4) 上記収穫表調製プログラムを適用する際、予め必要な資料が全部整わない場合でも、その一部を補って収穫表の調製ができるようなサブシステムがなければならない。

このような収穫表調製システムを開発するためには、まず、森林の生長を記述できるモデルを決定する必要がある。

これまでの生長モデルの研究では、林木の生長現象一般を正確に記述できる関数が存在するという前提から出発していた。しかし、現在、こうした点についても再検討する段階にきているものと筆者らは考えている。ウィーナーらは実験科学におけるモデルの役割を次のように分析している。「数式であらわされたモデルは、もとの実際の系と構造上は同じような性質をもつけれども、しかし、より単純な状態を理想的に考え、それを論理的な言葉で抽象的に表現したものである」<sup>(28)</sup>。

このように考えれば、同じ森林に対してモデルは無限にありうる。それらは、森林のある側面を表現する目的で作られ、その側面が記述できる範囲内でのみモデルはモデルたりうる。そこで筆者らは森林の側面を記述するモデル群を有機的にくみ合わせることによって利用材積収穫表の調製をおこなうこととした。

ところで、これまでの森林の生長モデルはマクロモデルとマイクロモデルに大別できる。前者は林木の生長現象を林分のレベルで捉えるものであり、後者は単木のレベルで捉えるものである。この二種類のモデルは本質的に異なる目的で研究されるべきものと考えられる。

収穫表の調製で使用するモデルはいうまでもなくマクロモデルである。しかもこれは長期予測の可能なモデルであることが望ましい。しかし、このことはきわめて困難な問題である。一般に林木はその周囲の自然のおよび人為的な環境の影響をうけつつ生長をしている。ここでは、その樹種固有の生長法則と環境との相互作用の結果としてその生長が定まる。したがって、かりにある時点で林分の生長を正確に記述できる関数が見出されたとしても、これを具体的に林分の生長に適用した場合、長期的には、その結果と現実の生長との間に大きな乖離が生ずる恐れがある。そこで筆者らはモデルの使用にあたって、それぞれの生長過程でたえず実際の資料と対応させ、極力、モデルが現実の資料を補完する役割に留まるように留意した。

モデルを上のような手段で使用する場合、まず必要なことは、モデルで記述する対象が、より自然な形で与えられる量であることである。たとえば、林分の動態を直接記述する場合には、蓄積よりも、具体的に測定できる量である林分胸高断面面積の動態を記述するモデルを使用することが望ましい。次に、多くの多様な森林の資料を比較検討するためには、対象をできるだけ無次元の量に変換してモデルをくむことが必要である。第三に留意すべきことは、使用するモデルの間には論理的な矛盾が生じないようにすることである。

以上のような前提にたって筆者らは次のような順序で収穫表調製システムを作成することにした。

- 1) 林分の胸高断面面積合計の時間的変化を間伐効果を含めて記述するモデルを見出すこと。
- 2) 樹高の生長曲線を決定すること。

- 3) 樹幹の相対幹曲線を決定すること。
- 4) 林分の直径分布を記述する関数を決定すること。
- 5) 相対樹高曲線を決定すること。
- 6) 細り表を決定すること。
- 7) 幹材積および径級別素材量が表示されている収穫表を調製すること。

本研究は、東京大学千葉演習林のスギ林を対象としておこなった。計算には東京大学大型計算センターの Hitac M200H を利用した。なお本研究をおこなうにあたり、ご協力いただいた東京大学千葉演習林の職員各位に対して謝意を表する。

## II. 千葉演習林スギ林生長試験地の概要

### 1. 試験地の概要

東京大学千葉演習林の「森林測定試験地」いわゆる生長試験地は、大正5年(1916年)吉田正男氏の発意によって設定されたものである。それから今日まで60余年が経過した。途中、試験地の一部に改廃はあったが、現在なおスギ林分8ヶ所、ヒノキ林分4ヶ所、クス林分1ヶ所の計13ヶ所、総面積で1.194haが生長試験地として存続している。

これらの試験地は、本地域で標準的と考えられる施業の下で林木がどのように生長してゆかかを調査する目的で設定されたものである。これまでほぼ5年目ごとに直径に関して毎木調査と樹高に関してはある基準で選ばれた林木に対して測定がおこなわれてきた。

一般に、森林の状態の推移は地位及び施業方法の相違によって林分ごとに異なる。この点を考慮して試験地はその設定の当初から場所の選定及び施業の方法等に関して一般性を保つべく努力がなされた。それにも限界はあったが、本試験地はなお周辺の森林の大かたの遷移の傾向を代表していると想定することができる。この試験地の遷移の経過に関しては、昭和2年から31年まで吉田らによって「植栽木の林木構成状態に関する統計的研究」として計7回の報告がなされている<sup>(38-44)</sup>。また昭和50年には竹内らによって試験地のこれまでの遷移を総括した「千葉演習林における林分生長資料」が発表されている<sup>(34, 35)</sup>。これらのうち筆者らは、スギ林分試験地のなかで特に林相が安定していると思われる6ヶ所を選んで、その解析をおこなった。これらの試験地は房総清澄山系の複雑で急峻な地形の影響もあって、その生育条件は多様である。

郷台1号試験地は1976年現在で、林齢71年、平均胸高直径37.0cm、平均樹高25.2m、面積0.141haで、立木密度は745本/haである。本演習林の基準ではその地位は上である。方位は北西70°、平均傾斜30°で斜面下部はなだらかになっている。

郷台2号試験地は、樹齢74年、平均胸高直径36.3cm、平均樹高26.4m、面積0.034haで、立木

密度676本/haである。北西の斜面のすそに位置し、傾斜はゆるやかで、西側林縁は水源池と接し開放している。地位は上と評価される。

安野1号試験地は、林齢73年、平均胸高直径と平均樹高はそれぞれ22.1cm, 17.0mである。面積0.109ha, 立木密度1,404本/ha。小高い台地状の平坦地で、地位は中の下である。この試験地と接している安野2号試験地は、林齢74年、平均胸高直径25.7cm, 平均樹高20.4m。面積0.073haで立木密度1,192本/ha, 地位中で安野1号試験地よりやや優っている。

牛蒡沢試験地は、林齢71年、平均胸高直径40.8cm, 平均樹高31.0m, 面積0.540ha, 立木密度552本/haである。林齢は他の試験地とほとんど変わらないが、試験地の設定年次がやや遅れ、林齢35年以前の資料は存在していない。方位北東10°, 傾斜25° および方位南西20°, 傾斜20° の両斜面にまたがり、その間の凹部では特に林木の生長が良好である。地位は上である。

南沢3号試験地は、林齢79年、平均胸高直径42.4cm, 平均樹高26.5m, 面積0.090ha, 立木密度656本/haである。本演習林を南北に貫く県道の下側に位置し、方位南西45°, 傾斜33°。地位は上である。

南沢3号試験地を除く5試験地は互いに近接している。気象条件は南沢3号が他にくらべ平均気温や湿度に於てわずかではあるが高い傾向がある。以上6ヶ所の試験地の推移については前述の竹内の報告に詳しく記載されている。

## 2. 胸高断面積合計の生長

林分の生長解析をおこなう場合、われわれは通常これを直径生長、樹高生長及び材積生長という諸側面からおこなっている。しかし幼齢林を除き、終局的にはその分析の焦点が材積生長にあてられるのが普通である。

ところで、直径に比較して樹高の測定は労力を要しかつその測定精度を高めることは極めて困難である。また、材積はいわば抽象化された概念であってこれを正確に査定することは樹高以上に困難である。そこで、材積生長の動向を把握することが生長解析の終局的な目標であるとしても、これを直接測定してその目的を達しようとするれば、その査定に関して大きな誤差の介入を避けることはできない。これまでの多くの研究によれば、林分の胸高断面積合計と蓄積との間には大きな相関が存在する。そこで筆者らは、まず林分の胸高断面積の変化に注目し、その変化から森林蓄積の動向を把握することが適切な方法であると判断した。そこでまず、長年にわたる上述の生長試験地の測定資料に基づいてスギ林分の胸高断面積の生長の動向をみることにしよう。

林木は一般に樹齢とともに生長をくり返し単調に増大してゆく。しかし、その集合体である林分の胸高断面積合計に関しては、必ずしもこの傾向をとるとは限らない。間伐による立木密度の減少という要素が加わるために、その胸高断面積の合計は減少することがありうるからである。いま、生長試験地の資料について、立木密度と胸高断面積合計の関係を図に表わすと図

II-2 のようになる。

この図は穂積ら<sup>(9)</sup>によって提案されたものであり、図の中で点線で示されているのは等限界直径線と呼ばれるものである。これは

$$N_{di} = \int_{di}^{d_{max}} \phi(D) dD / \left\{ \int_0^{d_{max}} \phi(D) dD \right\}_{max}$$

$$G_{di} = \frac{\pi}{4} \int_{di}^{d_{max}} D^2 \phi(D) dD / \left\{ \frac{\pi}{4} \int_0^{d_{max}} D^2 \phi(D) dD \right\}_{max} \quad (i = 1, 2, \dots)$$

ただし  $\phi(D)$  は直径の分布を表わす関数

によって定義される点  $(N_{di}, G_{di})$

の軌跡である。簡単にいえば、これは林分の直径分布において、ある直径  $d_i$  よりも太い林木の本数、

$\int_{di}^{d_{max}} \phi(D) dD$  と、それらの断面面積合計  $\frac{\pi}{4} \int_{di}^{d_{max}} D^2 \phi(D) dD$  をそれぞれ林分全体の

本数  $\int_0^{d_{max}} \phi(D) dD$  の最大値とその断面面積合計

$\frac{\pi}{4} \int_0^{d_{max}} D^2 \phi(D) dD$  の最大値で

割った比で表わされる点の軌跡である。また、太字の実線は、各林齢

における全林木の立木密度と胸高

断面面積合計の推移を示したものである。この図は林分の内部構造を表現する手段としても便利なものである。いま図 II-1 の模式図を例にとってこの内容を説明しよう。

横軸に密度、縦軸に断面面積合計をとり、それぞれの最大値を100%とする。A 点は20年生の立木密度と胸高断面面積を表わし、A, B, C, O がその林分構造を表わしている。たとえば O C 間の縦横軸が20cm以上30cm未満の林木の占める断面面積合計と立木本数の、それぞれの最大値に対する比を表わしている。いま A 点の状態の間伐をおこなうと、立木本数や断面面積合計が減少して D 点の状態になる。D 点から E 点は、間伐がないため10年間は本数に変化がなく、胸高断面面積合計のみが生長したことを表わしている。30年生の林分の10cm以下の材木は E F のみとなり、間伐および直径の進級によって20年生において約25%を占めていたものが5%にまで減少している。

このようにして、60年生では20年生にくらべ、立木本数は半分に減少し、胸高断面面積合計は約2.7倍に生長したことがわかる。

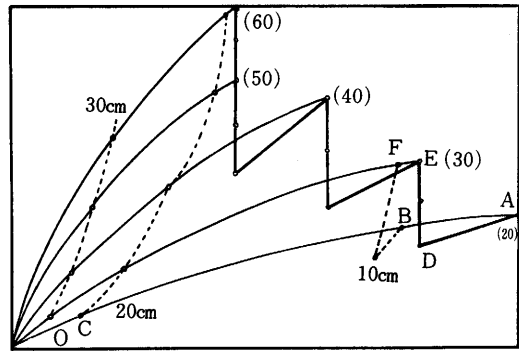
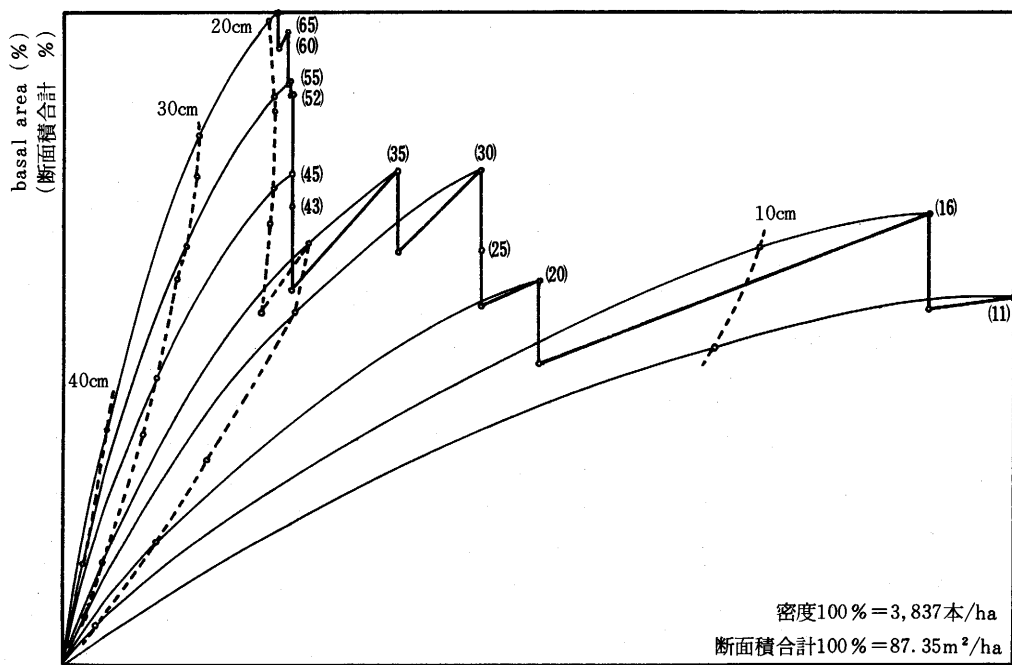
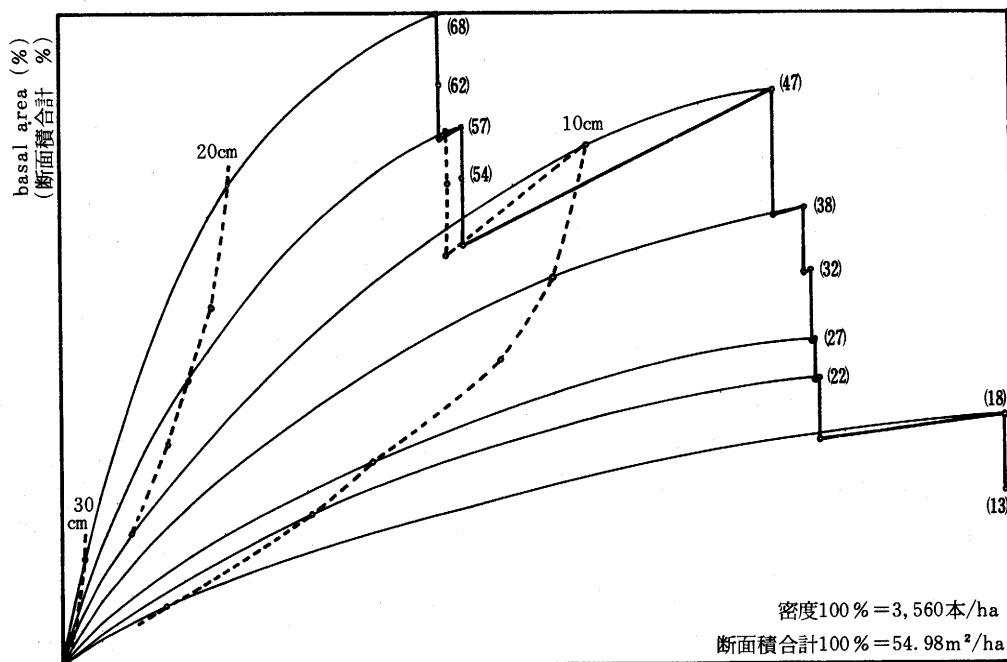


図 II-1 収量密度の模式図  
Fig. II-1 An imaginal yield density diagram



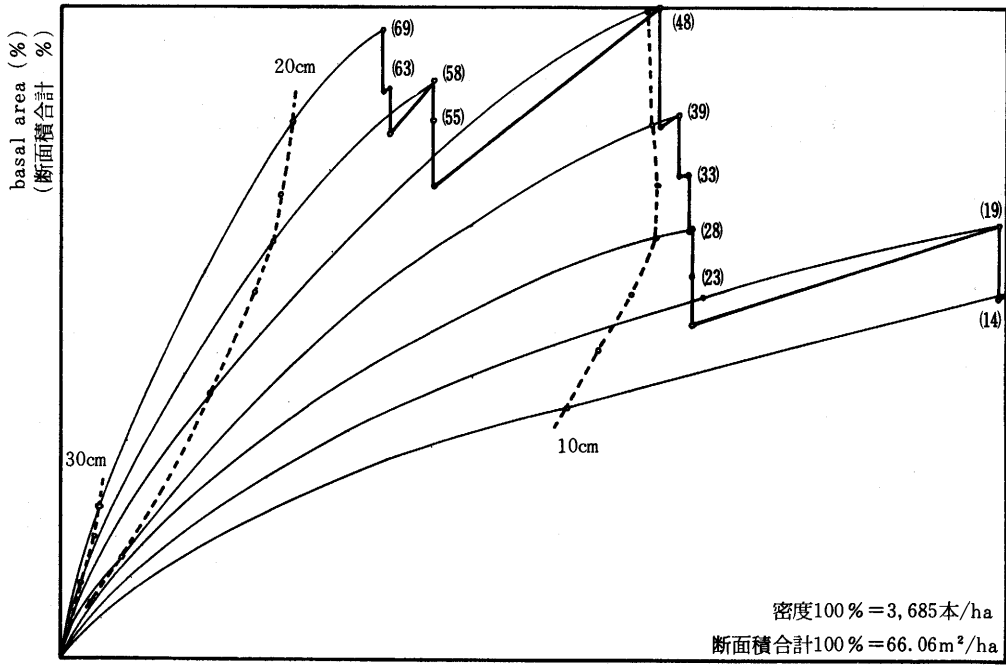
図Ⅱ-2(1) 郷台1号試験地

Fig. Ⅱ-2(1) The yield density diagram for Godai experimental plot 1.



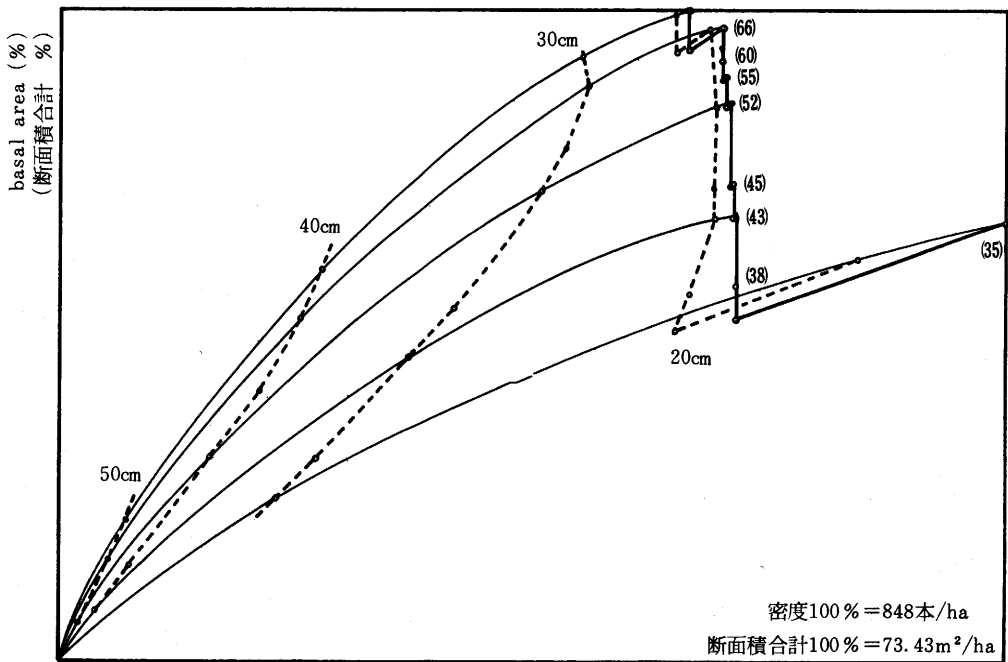
図Ⅱ-2(2) 安野1号試験地

Fig. Ⅱ-2(2) The yield density diagram for Anno experimental plot 1.



図Ⅱ-2(3) 安野2号試験地

Fig. Ⅱ-2(3) The yield density diagram for Anno experimental plot 2.



図Ⅱ-2(4) 午券沢試験地

Fig. Ⅱ-2(4) The yield density diagram for Gobouzawa experimental plot 2.



それでは、以下に実際の生長試験地について、これと同様の図によって林分構造の変化を示すことにする。(図II-2(1)~(4))

これらの図から、林木の生長に関して次のような事実が認められる。

- i) 立木密度の減少は、年齢のある程度進行したところでほとんど止まる。この傾向は地位の良い試験地ほど顕著である。
- ii) 立木密度の減少が進行している間、胸高断面積合計は増加減少をくり返し、徐々に増大してゆくが、立木密度の減少が止まった以後では、それは単調な増加に転ずる。
- iii) 胸高断面積合計は70年生の時と較べ、20年生以下ですでにその4~6割に達している。したがって胸高断面積合計の生長は、林木の直径や樹高、林分材積などと比較して若齢時において限界附近に到達する割合が高いといえることができる。

### 3. 平均断面積の生長

林分の平均断面積 $\bar{g}$ と平均胸高直径 $\bar{d}$ の関係は(1)の通りである。

$$\bar{g} = \frac{\pi}{4} (\bar{d})^2 (1 + C_d^2) \quad C_d = \frac{\sigma_d}{\bar{d}} \quad (1)$$

ただし、 $C_d$ 、 $\sigma_d$ は直径に関する変動係数と標準偏差

この平均断面積の生長は、実際に直径が肥大する純生長と、下層間伐により小径木が除去されることから生ずる見かけの生長の総合されたものである。純生長は、樹齡、地位、疎密度などの影響を受けるが、見かけの生長は間伐の強度や方法という人為的な要素によって決定されるものである。したがってこの2種の生長は分離して考えなくてはならない。そこでまず純生長についてみてみよう。

#### (1) 平均断面積の純生長

純生長とは、間伐を終えた時点Tから次の間伐のおこなわれる前(T+t)までの生長であると定義できる。 $P_g$ をこの間における断面積生長率とすれば、この二時点の平均断面積 $\bar{g}_T$ および $\bar{g}_{T+t}$ の間には

$$\bar{g}_{T+t} = \bar{g}_T \left( 1 + t \cdot \frac{P_g}{100} \right) \quad (2)$$

なる関係式がなりたつ。これらを試験地の資料により計算したものが表II-1である。この結果から、断面積生長率 $P_g$ は20年生以下の場合をのぞけば次のような傾向があることがわかる。

- i) 生長率は樹齡とともに低下する。
- ii) 地位の高い試験地では、若齢時に $P_g$ が大きく、高齢化とともに減少傾向が著しい。地位の低い試験地では、若齢時の $P_g$ はさほど高くないが、その後の減少傾向は弱く、高齢になると地位の高い試験地よりも高い値を示す。

表II-1(1) 間伐による林分の変化

Table. II-1(1) Change of stand after thinnings

## 郷台1号試験地

Godai experimental plot 1.

林齢 age	間伐率 thinning rate	平均直径比 rate of mean diameters	変動係数 coefficient of variation	平均直径 mean diameter	平均断面積 mean basal area	生長率 rate of increment
11	9.1	0.590	0.266 0.226	12.4 12.9	0.0129 0.0137	5.295
16	44.9	0.853	0.249 0.180	14.4 16.2	0.0173 0.0211	6.733
20	12.2	0.783	0.192 0.178	18.1 18.7	0.0268 0.0282	3.476
25	0		0.199	20.2	0.0332	
30	19.3	0.802	0.214 0.192	21.8 22.9	0.0391 0.0426	3.613 2.818
35	31.8	0.884	0.212 0.197	24.3 25.7	0.0486 0.0539	2.925
43	0		0.213	28.5	0.0666	
45	0		0.220	29.4	0.0710	3.358
52	0.8	0.764	0.234 0.233	31.4 31.5	0.0817 0.0820	2.144
55	0.8	1.002	0.237 0.238	31.9 31.9	0.0845 0.0845	1.025 1.955
60	4.7	0.770	0.248 0.243	33.4 33.7	0.0928 0.0946	1.165
65	15.4	0.830	0.249 0.230	34.7 35.7	0.1001 0.1054	1.432
71			0.231	37.0	0.1129	

## 郷台2号試験地

Godai experimental plot 2.

林齢 age	間伐率 thinning rate	平均直径比 rate of mean diameters	変動係数 coefficient of variation	平均直径 mean diameter	平均断面積 mean basal area	生長率 rate of increment
14	0		0.281	11.6	0.0113	
19	32.0	0.657	0.312 0.170	13.4 15.6	0.0154 0.0195	7.191 6.247
23	10.3	0.809	0.191 0.187	17.3 17.7	0.0244 0.0254	2.782
28	0		0.207	18.8	0.0289	
33	36.1	0.825	0.246 0.213	20.0 22.0	0.0334 0.0399	3.127 3.512
38	35.9	0.928	0.234 0.254	23.8 24.8	0.0469 0.0511	2.481
46	0		0.257	27.0	0.0612	
48	0		0.267	28.9	0.0702	7.318
55	0		0.302	31.2	0.0834	2.699
58	0		0.310	31.9	0.0877	1.710
63	8.0	0.559	0.322 0.296	34.0 35.3	0.1002 0.1065	2.565 0.457
69	0		0.309	35.7	0.1094	
74			0.326	36.3	0.1148	0.986

表II-1(2) 間伐による林分の変化

Table. II-1(2) Change of stand after thinnings

安野2号試験地

Anno experimental plot 2.

林齢 age	間伐率 thinning rate	平均直径比 rate of mean diameters	変動係数 coefficient of variation	平均直径 mean diameter	平均断面積 mean basal area	生長率 rate of increment
14	0.7	1.091	0.215 0.216	11.0 11.0	0.0100 0.0100	4.072
19	33.0	0.826	0.220 0.163	12.1 13.1	0.0121 0.0139	3.528
23	0		0.172	14.0	0.0159	2.498
28	0.6	0.946	0.177 0.177	14.8 14.8	0.0178 0.0178	2.601
33	1.1	0.573	0.198 0.192	15.7 15.8	0.0202 0.0203	2.067
39	3.4	0.719	0.202 0.193	16.7 16.9	0.0228 0.0232	2.464
48	37.6	0.854	0.225 0.183	18.5 20.1	0.0284 0.0330	2.068
55	0		0.205	21.5	0.0378	2.258
58	13.2	0.829	0.209 0.200	22.2 22.8	0.0404 0.0423	1.231
63	1.1	0.763	0.215 0.214	23.6 23.7	0.0459 0.0461	1.808
69	4.4	0.763	0.222 0.217	24.9 25.2	0.0511 0.0521	1.035
74			0.233	25.7	0.0548	

安野1号試験地

Anno experimental plot 1.

林齢 age	間伐率 thinning rate	平均直径比 rate of mean diameters	変動係数 coefficient of variation	平均直径 mean diameter	平均断面積 mean basal area	生長率 rate of increment
13	0.5	1.126	0.275 0.276	7.1 7.1	0.0042 0.0042	8.132
18	19.7	0.702	0.275 0.225	8.4 9.0	0.0060 0.0067	7.448
22	0.6	1.078	0.235 0.236	10.2 10.2	0.0087 0.0087	2.448
27	0.3	0.741	0.251 0.250	10.8 10.8	0.0097 0.0097	4.230
32	0.7	0.756	0.257 0.256	11.9 11.9	0.0118 0.0118	2.818
38	4.3	0.695	0.280 0.273	12.8 13.0	0.0138 0.0142	3.094
47	43.5	0.793	0.311 0.222	14.5 16.8	0.0181 0.0233	2.302
54	0		0.255	18.0	0.0271	3.495
57	5.5	0.635	0.264 0.250	18.9 19.3	0.0299 0.0310	2.098
62	0.6	0.495	0.270 0.267	20.2 20.3	0.0342 0.0344	2.064
68	1.3	0.704	0.286 0.284	21.3 21.4	0.0387 0.0389	1.462
73			0.298	22.1	0.0417	

表II-1(3) 間伐による林分の変化

Table. II-1(3) Change of stand after thinnings

南沢3号試験地

Minamizawa experimental plot 3

林齢 age	間伐率 thinning rate	平均直径比 rate of mean diameters	変動係数 coefficient of variation	平均直径 mean diameter	平均断面積 mean basal area	生長率 rate of increment
19	0		0.214	16.6	0.0228	
22	26.1	0.816	0.226	17.4	0.0250	3.266
28	38.1	0.880	0.202	18.5	0.0280	4.544
33	0		0.181	20.9	0.0356	3.942
			0.184	22.4	0.0405	
36	21.4	0.873	0.196	24.4	0.0485	3.606
			0.178	25.7	0.0538	
38	1.1	0.725	0.178	26.9	0.0585	2.787
			0.181	27.6	0.0617	
43	28.7	0.896	0.179	27.7	0.0621	3.134
			0.183	29.7	0.0718	
52	3.2	1.209	0.174	31.0	0.0778	2.263
			0.187	33.9	0.0936	
60	0		0.181	33.7	0.0921	2.743
			0.193	37.1	0.1123	
63	0		0.206	37.9	0.1178	1.629
68	0		0.212	40.2	0.1324	2.475
73	1.7	0.594	0.232	40.4	0.1353	0.4411
			0.226	40.7	0.1368	
79	1.7	0.594	0.240	42.4	0.1494	1.535

牛蒡沢試験地

Gobouzawa experimental plot

林齢 age	間伐率 thinning rate	平均直径比 rate of mean diameters	変動係数 coefficient of variation	平均直径 mean diameter	平均断面積 mean basal area	生長率 rate of increment
35	28.8	0.868	0.213	26.5	0.0578	
			0.194	27.9	0.0638	3.380
38	0		0.199	29.3	0.0703	
43	0.3	0.819	0.205	31.9	0.0831	3.640
			0.205	31.9	0.0832	3.612
45	0.3	0.667	0.214	33.0	0.0892	
			0.214	33.0	0.0894	2.513
52	0.9	0.950	0.214	35.8	0.1051	
			0.213	35.8	0.1051	1.893
55	0.6	1.090	0.220	36.7	0.1111	
			0.220	36.7	0.1110	1.817
60	5.0	0.855	0.227	38.3	0.1211	
			0.226	38.6	0.1227	1.323
66	1.7	0.613	0.230	39.8	0.1309	
			0.225	40.0	0.1327	0.727
71			0.233	40.8	0.1375	

## (2) 見かけの平均断面積の生長

間伐や枯損により平均直径よりも小さな林木が除去された場合、林分の平均断面積は増大する。これをここでは見かけの生長と定義することにする。これは、間伐の強度とかその方法すなわち、どの径級の林木を間伐するかということによってその大きさが決まる。もし上層間伐をおこなった場合には、これは負の生長をすることになる。いま本数と平均直径について

間伐前の本数, 平均直径を  $n, \bar{d}$

間伐木の本数, 平均直径を  $n'', \bar{d}''$

残存木の本数, 平均直径を  $n', \bar{d}'$

とすれば

$$n' + n'' = n$$

$$n' \bar{d}' + n'' \bar{d}'' = n \bar{d}$$

という式が成立する。これから残存木の平均直径  $\bar{d}'$  は

$$\bar{d}' = \bar{d} \frac{1 - \frac{\bar{d}'' \cdot n''}{\bar{d} \cdot n}}{1 - \frac{n''}{n}} = \bar{d} \frac{1 - \Theta \cdot \Delta \rho}{1 - \Delta \rho}$$

となる。ただし  $\frac{\bar{d}''}{\bar{d}} = \Theta, \frac{n''}{n} = \Delta \rho$ 。この変形によって、新たな平均直径は本数間伐率  $\Delta \rho$  と、間伐前の平均直径と間伐木の平均直径の比  $\Theta$  で表わせる。生長試験地において行なわれた間伐の  $\Delta \rho, \Theta$  の値は表 II-1 にまとめてある。

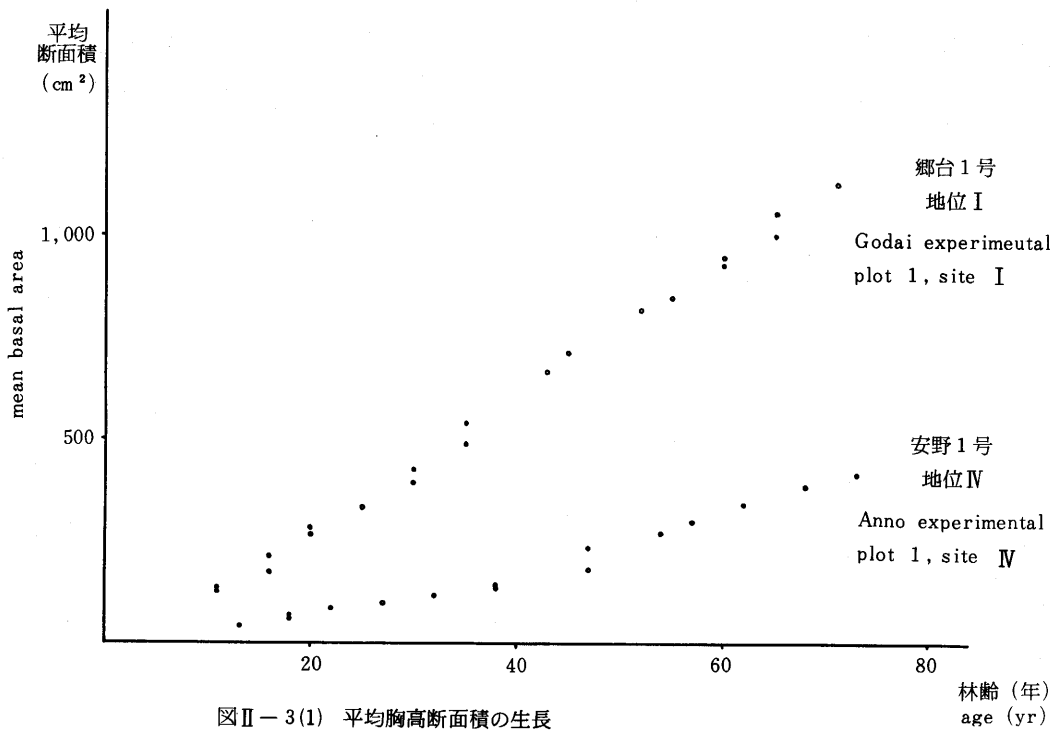
こうして求めた間伐後の平均直径から平均断面積への変換には (1) 式に示されるように、直径の変動係数の値が必要である。表 II-1 に示されている通り、この変動係数は間伐後に減少しており、一般に間伐によって直径分布の分散が減少することがわかる。

以上、純生長、見かけの生長をまとめて、林齢の推移にともなう平均断面積の生長量の変化を描いた図が図 II-3 である。この図から次のようなことがわかる。

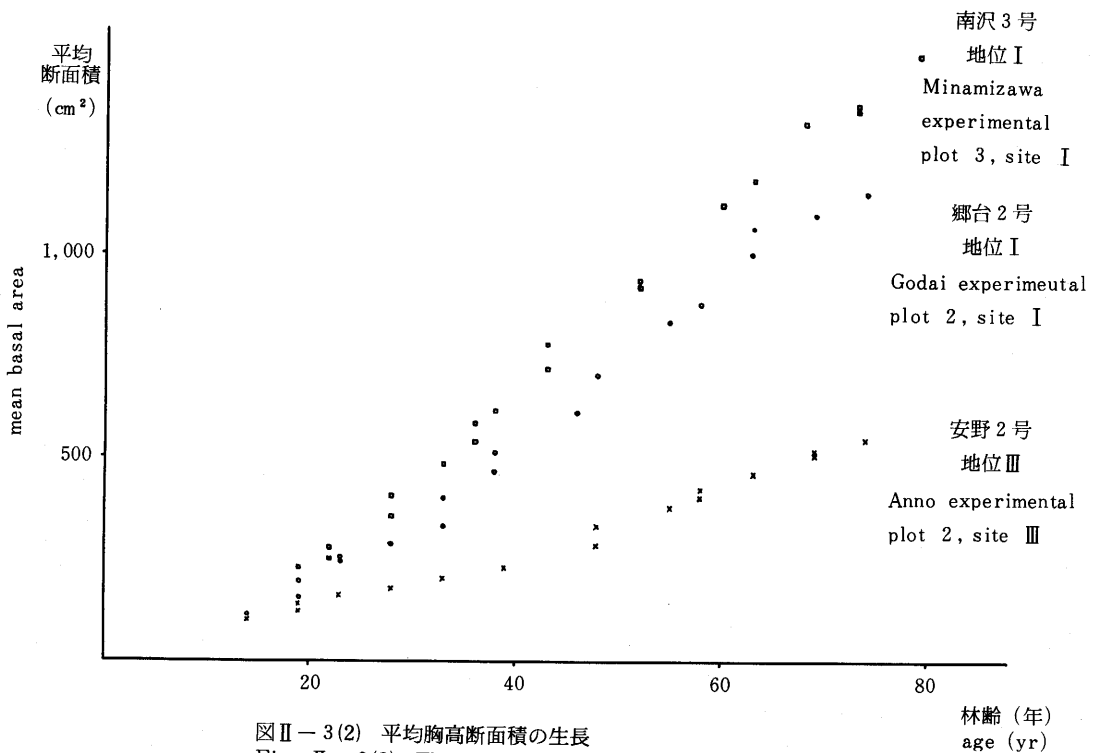
- (i) 純生長量と見かけの生長量の総和は、林齢と線型の関係にある。
- (ii) 地位の差は、この直線の傾きにあらわれている。
- (iii) 本数で30%をこえる間伐をおこなうと、その年次の見かけの生長量は大きくなり、それ以後の直線の傾きは急になる。

## 4. 立木密度と平均直径との関係

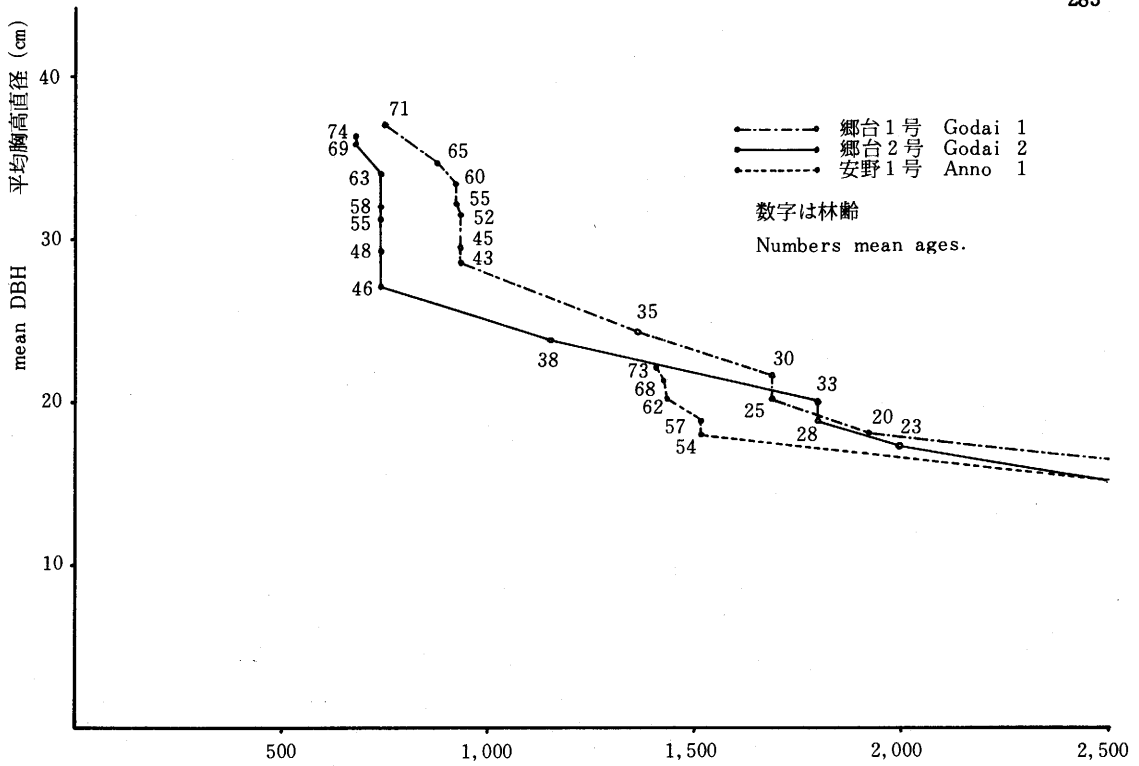
スギ人工林に限らず、一定面積の中に存在できる生物量には限界があることは広く認められている。各個体が生長することと、個体数が減少していくことは、自然のうちでは表裏一体の



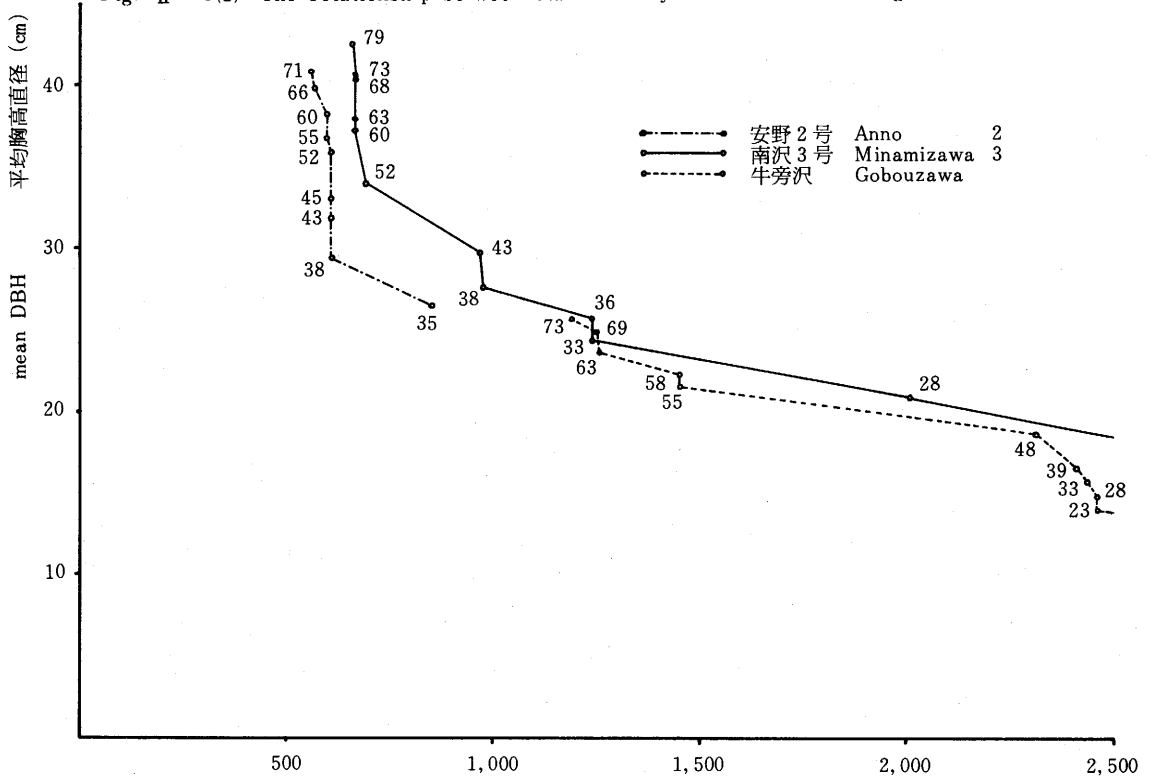
図II-3(1) 平均胸高断面積の生長  
Fig. II-3(1) The growth of basal area per tree



図II-3(2) 平均胸高断面積の生長  
Fig. II-3(2) The growth of basal area per tree



図Ⅱ-4(1) 立木密度と平均直径の関係  
Fig. II-4(1) The relationship between stand density and mean DBH at ages.

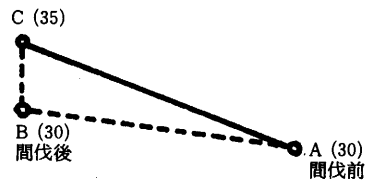


図Ⅱ-4(2) 立木密度と平均直径の関係  
Fig. II-4(2) The relationship between stand density and mean DBH at ages.

関係にあるといえよう。この林木の個体数の減少を単に自然の推移にまかせず、人間の意識的な行為としておこなう点に育成的林業の特徴がある。こうした個体数の制御によって、最も望ましい森林を仕立てることが森林施業の目標であり、この意味で間伐は森林施業の中で最も重要な行為である。

そこで、いま生長試験地について、立木密度と平均直径との関係を見てみよう。これは図II-4(1)(2)である。ここでは簡単のため2つに分けた。図中の各点は、間伐直前の立木密度と平均直径を表わしている。実際は図II-4ではA→Cと直接結んでおいた。

図II-4からわかる通り、平均直径の生長とともに立木密度は減少する。これらのあいだにはひとつの曲線回帰が存在するものと考えられる。ここで注目すべき点は、地位の異なる6ヶ所の試験地のデータが、すべての林齢にわたって、この曲線の近傍に集中しているということである。このことは、「樹種、品種を同じくする閉鎖した林分では、平均直径が等しく立木密度が完全な場合、立木本数は地位や林齢に関係なくほとんど一定である」という通常 Wimmenauer の法則と呼ばれているものが、この試験地においても成り立っていることを示している。



図II-5 立木密度と平均直径の関係模式図  
Fig. II-5 The relationship between stand density and mean DBH



表II-2(1) 千葉演習林スギ林試験地標準木樹高

Tab. II-2(1) Change of heights of sample trees

郷台1号試験地・標準木樹高 Godai experimental plot 1.

測定年 date of measurement	郷台1号試験地・標準木樹高 Godai experimental plot 1.											
	1916. 5	1921. 5	1925. 6	1930. 6	1935. 6	1940. 7	1948	1950. 8	1957. 10	1960. 10	1965. 12	1970. 12
林 age (yr)	令											
No. 4	8.42	10.36	12.17	13.69	14.75	15.49		18.10	19.67	21.94	19.22	m
9	9.24	11.42	11.78	13.76	14.67	14.92		16.17	19.67	23.16	19.47	23.08
14	8.73	10.30	11.27	12.49	13.39	14.83		16.81	20.67	22.09	17.09	24.45
35	10.09	12.16	13.15	15.26	16.30	17.37		19.55	22.44	21.92	21.07	21.95
63	10.21	12.36	13.11	15.80	16.77	17.35		20.50	22.11	22.56	23.48	23.86
85	10.06	11.99	13.20	14.95	16.72	17.82		20.38	21.76	21.58	22.63	26.35
136	10.67	13.37	14.85	16.28	17.42	18.29		19.43	22.12	22.57	22.54	29.74
176	11.06	13.54	14.17	16.28	17.23	17.88		20.01	21.59	21.93	21.31	24.80
240	11.88	14.14	15.16	18.35	20.01	21.02		25.18	27.82	28.07	28.86	22.86
												30.02

竹内・長谷川「千葉演習林における林分生長資料」

郷台2号試験地・標準木樹高 Godai experimental plot 2.

測定年 date of measurement	郷台2号試験地・標準木樹高 Godai experimental plot 2.											
	1916. 5	1921. 5	1925. 6	1930. 6	1935. 6	1940. 7	1948. 3	1950. 8	1957. 11	1960. 11	1965. 12	1971. 1
林 age (yr)	令											
No. 1	8.94	11.37	12.01	12.63	13.33	38	46	48	55	58	63	m
4	11.45	13.43	14.67	17.48	19.34	間伐	23.70	24.90	27.64	29.33	28.22	m
13	11.76	13.12	14.70	17.16	17.00	17.35	20.00	20.13	23.45	26.77	23.46	30.02
27	10.24	12.37	13.17	14.03	14.12	間伐						24.94
44	9.76	12.36	12.86	14.04	18.60	間伐	20.12	22.44	23.52	23.60	24.34	25.53
48	11.60	14.31	14.82	17.44		19.12						

竹内・長谷川「千葉演習林における林分生長資料」

表II-2(2)

安野1号試験地・標準木樹高 Anno experimental plot 1.

測定年	月	令	1916. 5	1921. 5	1925. 6	1930. 6	1935. 6	1941. 1	1950. 5	1957. 11	1960. 12	1965. 12	1971. 1
林			13	18	22	27	32	38	47	54	57	62	68
	ス	ギ	5.33	6.36	7.54	9.66	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
20			5.00	5.76	6.05	7.27	8.25		14.14	16.94	18.78	19.66	19.66
50			5.15	6.50	6.41	7.67	7.59		10.72	12.98	14.36	14.02	16.56
73			5.70	8.40	8.25	8.78	10.72		10.95	13.66	15.41	14.11	15.25
100			5.45	7.81	7.50	8.63	8.51	10.01	13.50	15.75	16.00	16.55	18.30
112			5.54	7.63	7.41	8.56	9.06		11.45	13.03	13.68	10.29	14.45
138			3.39	5.91	5.72	6.38	6.98		12.51	14.67	15.30	15.62	18.35
139			5.76	7.05	8.19	9.68	10.03		9.63	11.02	11.34	11.96	13.50
156			5.64	7.05	7.31	8.31	8.67		15.03	18.06	16.30	16.33	17.76
174			5.64	7.34	7.81	9.64	10.03		11.17	11.68	11.99	13.98	13.22
179									14.60	16.31	15.61	16.15	18.58

竹内・長谷川「千葉演習林における林分生長資料」

安野2号試験地・標準木樹高 Anno experimental plot 2.

測定年	月	令	1916. 5	1921. 5	1925. 6	1930. 6	1935. 6	1941. 1	1950. 5	1957. 11	1960. 12	1965. 12	1971. 1
林			14	19	23	28	33	39	48	55	58	63	69
No	1	ス	7.67	8.66	9.72	11.28	11.23	m	m	m	m	m	m
14			9.06	9.79	10.50	11.56			15.55	17.50	18.17	間伐	間伐
25			7.39	8.70	9.22	11.04	10.05		間伐	間伐	15.73	間伐	間伐
44			7.97	8.61	9.28	9.86	11.36		14.89	14.64	20.19	間伐	間伐
51			8.94	9.20	9.16	10.75	11.36		15.36	18.41	20.19	間伐	間伐
77			8.45	9.68	10.40	11.47	12.50		間伐	間伐	20.39	20.31	21.56
83			8.79	10.30	10.14	11.75	11.00		16.49	19.11	20.39	24.64	24.64
100			7.30	8.54	8.28	10.36	12.99	13.64	16.07	16.53	24.64	24.64	16.84
102			7.73	8.94	9.41	11.62	12.99	14.05					
108			7.82	9.03	10.98	11.27							

竹内・長谷川「千葉演習林における林分生長資料」

表II-2(3)

南沢3号試験地・標準木樹高 Minamizawa experimental plot 3.

測 定 年 月 令	1916. 3	1919. 3	1921. 3	1925.	1930. 3	1933. 11	1935. 6	1940. 8	1949. 11	1945. 10	1960. 12	1965. 11	1970. 12
林 令	19	2222	24	28	33	36	38	43	52	60	63	68	73
No. 8	14.20	15.17	15.54	17.21	17.00	21.07	18.27	22.65	cm	不明	cm	cm	cm
14	11.33	12.41	14.06	14.24	間伐	16.61	16.45	17.29	間伐				
23	12.69	12.92	14.06	13.85	17.09	間伐							
29	10.99	12.88	間伐	17.88	19.34	20.47	20.19	21.96	22.32	25.29	25.90	27.32	29.06
31	15.63	15.17	17.32	17.70	17.69	21.12	18.63	23.71	22.05	28.61	29.92	33.00	31.33
45	13.24	15.36	15.31	17.00	14.78	19.19	18.51	20.04	18.97	24.04	24.81	25.45	26.91
54	12.29	12.57	13.07	16.00	間伐	14.70							
72	11.64	12.02	12.57	14.70									
87	14.68	14.97	間伐	16.88	19.36	19.33	19.63	21.28	23.20	25.02	26.01	25.99	31.60
86	13.16	14.57	14.87	16.88									
98	12.48	11.92	12.50	14.54	間伐								
137	13.63	12.47	14.01	15.54	15.12	18.28	17.64	18.84	19.15	21.15	22.96	22.43	21.77
154	14.12	14.83	15.57	18.09	18.26	20.05	20.39	21.24		25.48	24.81	25.41	31.40
188	12.40	12.94	13.91	16.48	18.08	19.40	19.06	20.13	間伐				
193	11.61	12.04	13.17	15.39	16.78	17.26	10.01	19.21	19.62	23.07	25.18	24.14	25.23
201	11.91	12.49	13.19	15.15	16.59	17.92	17.15	18.35	間伐				
205	11.76	12.54	13.82	14.00	15.69	16.24	16.46	16.91	間伐				
214	13.21	14.41	15.03	17.45	20.04	20.24	20.79	23.26	23.97	27.05	27.74	31.28	29.43
227	11.09	11.36	間伐	17.21			間伐						
233	11.27	12.14	12.76	17.21		17.30							

竹内・長谷川「千葉演習林における林分生長資料」



## 5 主林木の樹高生長

表II-2は竹内・長谷川の「千葉演習林における林分生長資料」から全調査期間を通じて測定が継続されている資料を抜粋したものである。

試験地において選ばれた測定対象木は一応標準木とされている。しかしその選定の基準は不明である。それらは材積計算のために樹高曲線を描くという目的で選定されたものであり、時間的推移にともなう林分の変化を追跡する目的はなかったと竹内らは指摘している。また、測定結果については、測定の変動は大きく、測定精度には不安が残るとも述べている<sup>(35)</sup>。

## III 生長モデル

### 1 生長モデルの考え方

前章において千葉演習林スギ生長試験地の林分生長経過の輪郭を描くことができた。特に間伐と直径生長との関係では、間伐後断面積生長率が回復すること、平均断面積の生長は林齢と直線関係にあり、間伐後にその勾配がやや急になること、間伐がWimmenauerの法則を満たしながら行なわれてきたことなどがわかった。こうした知見をもとに、ここでスギ林分の生長モデルを考えることにしよう。

ここで必要なモデルは、時間の経過に対応する林分の連続的な生長を記述するモデルと、間伐による瞬間的な変化を表現するモデルに大別される。前者の中心をなすものとして、まず断面積生長に関し、(3)を提起する。

$$P_g = a \exp(-ct) + b \frac{d(\rho) - \bar{d}}{d(\rho)} \quad (3)$$

この式は林齢、立木密度、平均直径によって5年間の断面積の年平均生長率を求める式である。これは二つの項から成り立っている。第一項の $a \exp(-ct)$ は地位と林齢によって決定される生長率を表わし、指数曲線を描いて単調に減少する。定数 $c$ の値が大きいほどその減少速度は早い。第二項の $d(\rho) - \bar{d}$ は、立木密度 $\rho$ によって一意的に定まる平均直径 $d(\rho)$ と、現実の林分の平均直径との隔りを表わし、この値が大きいほど生長率への付加分が大きくなる。これを $d(\rho)$ で除しているのは、等しい $d(\rho) - \bar{d}$ の隔りに対しても密度の相違によってその影響の度合が異なることを考慮したためである。この項の特徴は、間伐の強度と方法によって生ずる効果を生長率に反映させることができる点である。このことを図で説明しよう(図III-1)。いま、間伐予定の林分がA点の状態であったとする。これが間伐されて $B_1$ 、 $B_2$ のいずれの状態に移るかは、間伐木の平均直径の大小で定まる。同一本数でも、より小さい林木を多く伐った $B_1$ の状態の方が、より多くの大きい林木が残ることになり、その結果生長率は $B_2$ よりも小さくなる。また $B_1$ と $B_2$ の状態の相違は、間伐本数の違いによるものである。強度の

間伐をおこなったB<sub>3</sub>の方が、大きな生長率が望めることは図より明らかである。このように、間伐の種類や間伐本数の違いが、d(ρ)曲線からの隔りの差となって現われ、生長過程にある林分の生長の大きが上述の式によって計算できる。

以上のように、林分が間伐されない場合には(3)によって5年後を逐次推定することが可能である。

林分が間伐される場合は、胸高断面積合計のみならず、胸高直径の平均や分散などあらゆる量に変化するため、これらを推定するモデルが必要となる。それらについては次節以降で述べる。

2 モデルのあてはめ

(1) 密度—平均直径線

図II-4によれば、d(ρ)とρの間にはd(ρ) ∝ ρ<sup>-b</sup>なる式が成立するように見える。そこで、d(ρ) = aρ<sup>-b</sup>としてパラメーターを決定した結果

$$d(\rho) = 1630.64\rho^{-0.5923} \tag{4}$$

となった。この曲線相関に関しては相関係数はr = 0.947である。このことは、上式のような想定が適切であることを裏づけている。この(4)を整理すれば

$$\frac{\pi}{4} d(\rho)^2 \cdot \rho^{1.2} = \frac{\pi}{4} a^2 = \text{const.}$$

となる。ここでGをha当り胸高断面積合計とすれば

$$-d(\rho)^2 \cdot (1 + Ca^2) \rho \doteq G$$

であるから

$$G \propto \rho^{-0.2}$$

となる。もし林分の立木密度と平均胸高直径が、上のような関係を満たしながら推移するものとすれば、胸高断面積合計はかなりゆるやかに生長してゆくことがわかる。これは図II-2でも明らかである。いま、一例として立木密度ρが2000本/haの場合を基準として比較すると、1000本/haでは15%、また500本/haで32%増加するにすぎない。

以上の通り、bの値が0.5以上であれば立木密度が減少しても、林分胸高断面積合計は増大するが、これが今回の0.5923のように0.5よりもわずかに大きい程度では、胸高断面積合計の

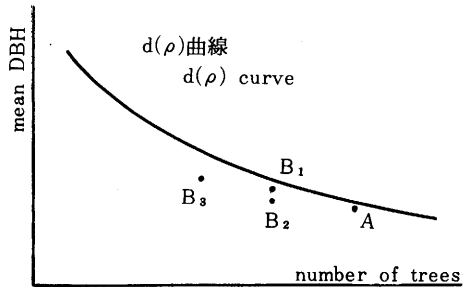


図 III-1 d(ρ) 曲線からの隔り  
Fig III-1 Fluctuation from the d(ρ) curve

飛躍的な生長は期待できないことがわかる。ここで計算した曲線(4)は、立木密度が400本から3000本にわたる範囲で、立木密度と平均胸高直径の間に成立している。

## (2) 生長式における定数の決定

次に生長率を求める式(3)の定数 $a$ ,  $b$ ,  $c$ を地位別に求めることにしよう。この計算は逐次近似の方法をとるが、その手順は次の1~6の通りである。

- 1 まず地位が等しいとみなせる試験地における20年生, 40年生, 60年生等の断面積生長率に関して,  $P_{40}/P_{20}$ ,  $P_{60}/P_{20}$ を計算し, その結果から $c$ のおおよその値を想定する。
- 2 生長試験地の資料から,  $P_g$ ,  $\exp(-ct)$ ,  $(d(\rho) - \bar{d})/d(\rho)$ は既知の数値として与えられているから, 20年生以上の $T_1$ について試験地ごとに, 測定回数の数だけ

$$a \cdot \exp(-cT_1) + b(d(\rho) - \bar{d})/d(\rho) = P_g$$

なる $a$ ,  $b$ を未知数とする方程式群ができる。これは $ab$ 平面上の直線群を意味している。

- 3 そこで, この直線群の交点の中心と想定される位置の $a$ ,  $b$ の値をよみとり, その試験地についての仮の値とする。
- 4 得られた $a$ ,  $b$ ,  $c$ を(3)に代入し, 試験地と全く同じ立木密度, 林齢等の値を与えて生長率をもとめ, これを現実の生長率と比較する。
- 5 その結果, 生長率の減少していく速度が早すぎるような場合には $c$ の値を幾分小さくして2の段階へ戻る。逆に, これがおそすぎるような場合には $c$ の値を若干大きくして2の段階へ戻る。適当であると判断された場合は次の6へ進む。
- 6 20年生以上の純生長の生長率に関し, (5)の値を, 現実の生長率および5の段階で得られた生長率について計算し, 両者がおおむね一致することを確認する。

$$\gamma = \pi(1 + t \cdot P_g) \quad (5)$$

次に $a$ ,  $b$ ,  $c$ の値を決定する手順を, 郷台1号試験地を例にとりて説明しよう。手順に従って1~5について逐次計算をおこなった結果 $c = 0.026$ となった。この時次の方程式群ができる。

### 林齢

$$20 \quad 0.5945a + 0.06597b = 3.4761$$

$$25 \quad 0.5220a - 0.000807b = 3.6128$$

$$30 \quad 0.4584a - 0.007586b = 2.8175$$

$$35 \quad 0.4025a + 0.09768b = 2.9251$$

$$43 \quad 0.3269a \quad \quad \quad = 3.3584$$

$$45 \quad 0.3104a - 0.03158b = 2.1443$$

$$52 \quad 0.2587a - 0.1000b = 1.0249$$

$$55 \quad 0.2393a - 0.1108b = 1.9548$$

$$60 \quad 0.2101a - 0.1411b = 1.1647$$

このa, bに関する方程式群をab平面上に描くと図III-2のようになる。この図よりa, bの値をよみとって a = 6.60, b = 2.0となった。このa, bを(3)に代入し、生長率をもとめたのが表III-1である。これによると、生長率の減少の速度もγの値も現実の結果とほぼ一致していると判断できる。

他の地位上の生長試験地についても、同じcの値によって、全く同様の計算をおこなった結果表III-2のような値を得た。同じcの値に対し、aがより大きくなるということはその林分の方がすべての

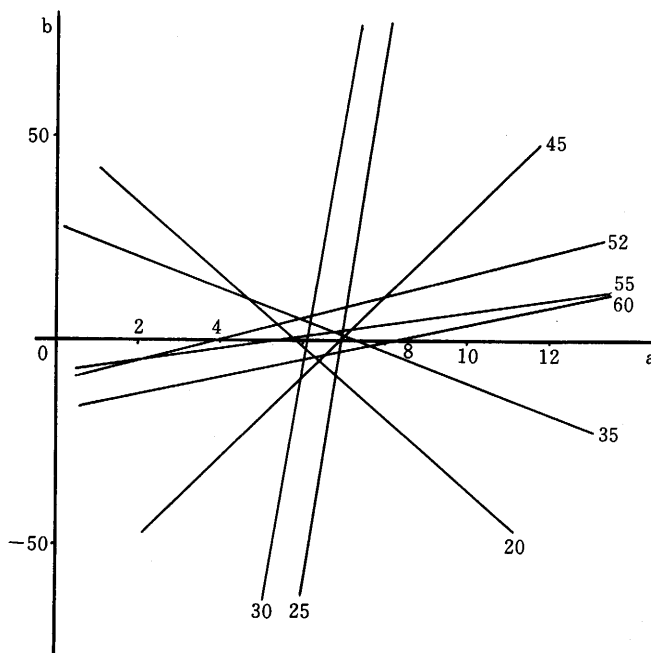


図 III-2 郷台1号試験地a, bの近似解  
Fig III-2 Approximate values of a and b on data from Godai experimental plot 1.

表III-1 生長率の比較

Tab. III-1 Comparison of the estimated increment percent with the observed value

林 齢 age	現実の生長率 observed	計算による成長率 estimated
20	3.476	4.056
25	3.613	3.444
30	2.818	3.010
35	2.925	2.852
43	3.358	2.158
45	2.144	1.986
52	1.025	1.507
55	1.955	1.358
60	1.165	1.104
γ	2.867	2.788



表III-2 定数の値

Tab. III-2 The value of coefficients evaluated at each site-1-experimental plot

試験地 experimental plot	a	b
郷台1号	6.60	2.0
南沢3号	8.35	5.0
牛蒡沢	6.95	3.5

林齢にわたって生長率が高いということを意味し、試験地の地位上のなかにもその生長に差があることがわかる。またa, b間に正の相関があることも推測できる。このような事情を考慮した上で、本研究では各定数の値を $a = 6.3$ ,  $b = 3.3$ ,  $c = 0.026$ と定めた。

地位中(III)および中の下(IV)に分類される試験地は一ヶ所しか存在しないが、上述の1~6の段階の計算をおこなって表III-3の結果を得た。ここでカッコを施した数値は、実際に資料が存在しないため、推定したものである。

表III-3 定数の値

Tab. III-3 The value of coefficients for each site.

site	a	b	c
地位I	6.3	3.3	0.026
II	(5.2)	(2.65)	(0.023)
III	4.4	2.0	0.020
IV	4.0	1.5	0.0175
V	(3.6)	(1.0)	(0.015)

### (3) 間伐モデル

前述のように、この生長モデルでは間伐の効果がくみこまれている。すなわち、間伐によって立木密度が減少すると、そのことが後の林分の生長に影響を与えるようになっている。ところで、間伐は実施すべき林齢や、強度などによってその効果が大きく変化する。こうした相違をどのように数量的にとらえるかがこの生長モデルにおいて重要な問題である。そこで間伐の内容を、次のような因子に分けて考えることにした。

- (i) 間伐の強度。全林木に対する副林木の本数百分率で表示する。
- (ii) 間伐をおこなう対象が、下層木か上層木か、あるいは全林木であるか。この内容を表現する手段として、全林木の平均直径に対する副林木の平均直径の比を用いる。
- (iii) 副林木の径級分布の分散の大小。

表III-4 平均直径比

Tab. III-4 The ratio of  $\bar{d}'$  to  $\bar{d}$  under various thinning grades

		間伐率 (%) thinning ratio										
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
回数	1	0.55	0.59	0.63	0.67	0.71	0.75	0.79	0.83	0.85	0.87	0.88
number of	2	0.65	0.67	0.70	0.74	0.77	0.81	0.84	0.86	0.87	0.89	0.90
thinnings	3	0.70	0.74	0.77	0.79	0.82	0.85	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92
	4	0.75	0.80	0.82	0.84	0.86	0.88	0.90	0.91	0.92	0.93	0.93
	5	0.80	0.81	0.83	0.85	0.86	0.88	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94
	6回目以上	0.85	0.86	0.87	0.88	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96

生長試験地における間伐についてこうした資料は表II-1にまとめてある。

(i)の間伐率の問題については、前述の生長モデルに組み込んであるので、間伐をおこなう林齢と本数に関して、あらかじめ指定すればよい。

(ii)の平均直径比について、表II-1を分析した結果、以下のような傾向が認められた。まず、間伐率が大きいほど平均直径比は大きく、間伐率が同程度ならば、その回数が多いほど平均直径比が大きくなる。また平均直径比の値は、大きくてもせいぜい0.9程度である。これらの事実は地位の差に無関係に、全般的にみとめられることである。そこで、試験地の資料を参考にし、平均直径比の値を、間伐率と間伐回数によって表III-4のように定めた。この表の値は、試験地で実際におこなわれた間伐の結果とほぼ合致している。このことから、千葉演習林でスギ人工林の間伐をおこなう場合、平均直径比の値を直接念頭におかなくとも、実際の施業では経験的に同様の結果が達成されていることがわかる。間伐をおこなう際の平均直径比の値は、同じスギ林分でも、地方により、また経営主体の施業目的によっても異なるであろう。しかしひとつの経営体の中では、この千葉演習林の場合のような明確な傾向と水準を保っていることは、十分予想できることである。それはつまりこの値が間伐の方法を表すひとつの指標となりうることを示している。こうして表III-4を定めておけば、予定した間伐が何回目のものであるか、また間伐の強度をどの程度にするかによって副林木の平均直径比がきまってくる。

(iii)に関しては本モデルは直接にその値を指定してはいない。しかしこれは、次のような順序に従って一意的に定まってくる。

- 1 主副林木全体に関して、期末の平均胸高直径、平均胸高断面積、本数は既知である。 $\bar{d}$ と $\bar{g}$ はあらかじめ与えられた分散によって関係づけられている。
- 2 上述の林分を間伐する場合、間伐本数と間伐平均胸高直径が表III-4によって決まるから、残存木の平均胸高直径が定まる。
- 3 残存木の分散 $V'$ については次のような実験式を考えた。まずこの分散は、間伐前の分散

$V$ と間伐率 $\Delta\rho$ 、平均直径比 $\Theta$ によって概略がきめられるはずである。これまでの経験から、その値は間伐率が大きいほど、また、平均直径比が小さいほど相対的に小さくなる。そこで、これらの事実を前提とし、試験地の資料をあてはめた結果、モデルとして

$$V' = V(1 - \Delta\rho^2) \Theta^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

となることが適当であることがわかった。図III-3は生長試験地の資料(6)の計算によった場合の変動係数に変換したため、その変化の度合は若干緩やかになっているが、この結果からも上の想定がおおむね妥当であることがわかる。 $V$ が得られれば、残存木胸高断面面積合計が計算でき、これと全林木胸高断面面積合計との差が間伐木胸高断面面積合計である。間伐木の平均胸高直径がすでに定まっているから、その分散も得られる。

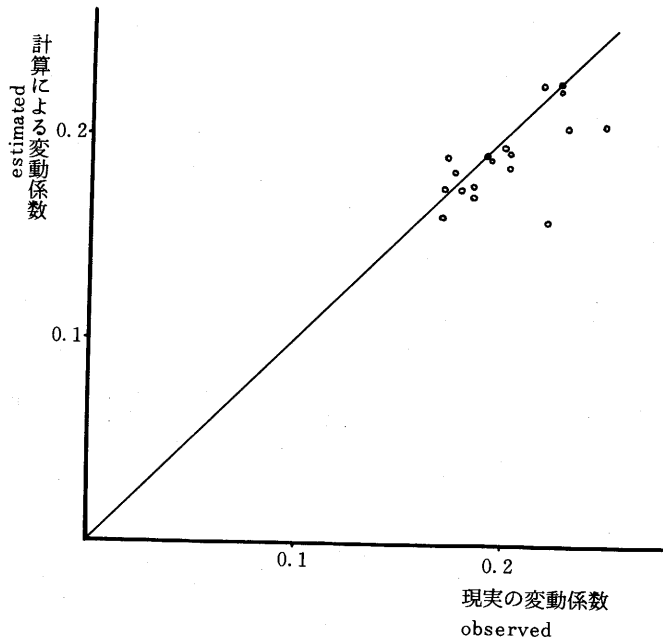


図 III-3 変動係数の比較

Fig III-3 Comparison of coefficient of variation of D. B. H. between estimated and observed

#### (4) 分散モデル

前項では間伐による林分の直径分散の減少について考えた。現実の林分では、他方で、期間内の純生長にともなって分散が増加する。そこで、ここではこの問題に関して考えることにする。

直径の分散の一般的性質としては、これまでの分析によって、

- 1 立木本数が減少しなければ、その分散は単調に増加する。
- 2 弱度の間伐を頻繁におこなった方が分散は小さい。

という2点が認められている。また現実におこなわれる間伐は、高齢になるにつれて、その実施する期間の間隔は長くなる。このような事実に基づいて、次のようなモデルを考えた。

まず、等間隔で間伐がおこなわれる場合の分散の上限を定めておく。間伐間隔を5年、10年、15年、20年、25年以上の場合の5通りとし、地位ごとに図III-4のように与える。林齢20年生

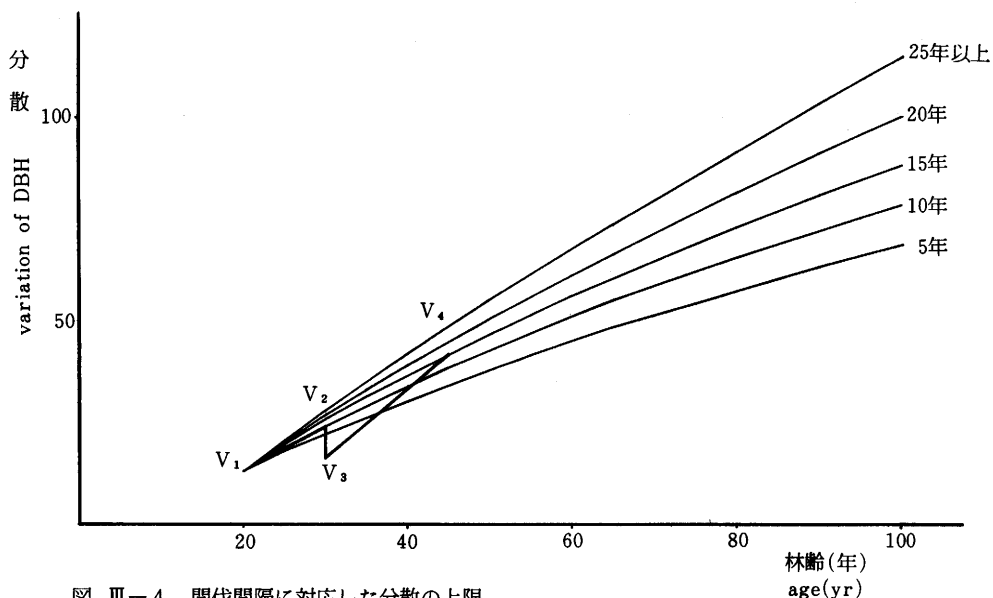


図 Ⅲ-4 間伐間隔に対応した分散の上限

FigⅢ-4 The upper limit value of variation corresponding to the interval of thinning

では、間伐間隔に無関係に、分散は  $V_1$  と固定しておく。いま、次の間伐を30年生で実施するものとすれば、この場合の分散は10年間隔に描かれている曲線にそって増加し、30年で  $V_2$  となる。しかしこの時点で間伐されるから(6)により  $V_3$  へ減少する。次の間伐が45年でおこなわれるとすれば、その時まで  $V_4$  になる。 $V_4$  は間隔間隔が15年の曲線上にある数値である。35年、40年の林分の分散は  $V_3$ 、 $V_4$  から線型で近似して、それぞれ1:2、2:1に内分する値とする。ここで再び間伐されるので  $V_4$  よりも小さくなる。このように、最初の間伐以後は、その間伐実施の間隔に従って、その曲線を上限として増加、減少をくり返すようにする。上では説明のために分散の上限を曲線で図示したが、後述の収穫表調製システムでは生長試験地の資料に基づいて、5年ごとに数値で与えてある。

分散の値は、地位や林齢が同じでも、実施する森林施業や地形の相違等によってかなりの差を生じうる。しかし、林分の平均的な生長を表現することを目的とする収穫表としては、現実の微妙な相違まで考慮を払う必要はないものと考えられる。

#### (5) 初期条件の設定

以上で林分の胸高断面積の生長を記述する生長モデルの説明が終わった。このモデルはその時期まで継続してきた林分の状態を次の初期条件として与えて、生長予測をくり返すものである。したがって、収穫表の開始林齢である20年生の初期条件と、地位に応じた適当な間伐実施の林齢、立木本数を与えることによって、胸高断面積に関する情報が得られる。20年生の初期

表 III-5 初期条件  
Tab. III-5 Initial conditions

site	mean DBH 平均直径 (cm)	number of trees 立木密度 (本/ha)
地位I	16.2	2,000
II	14.0	2,150
III	12.4	2,300
VI	10.8	2,500
V	9.2	2,500

条件は、図II-4と試験地の平均胸高直径に基づいて、表III-5のように与えた。また間伐は、千葉演習林で実際におこなわれているものをそのままあてはめた。

### 3 直径分布のあてはめ

これまで長年にわたって、林木の直径分布に確率密度関数をあてはめようとする研究がおこなわれてきた。その結果、現在ワイブル、シャリエ、正規、対数正規、ガンマ、ベータなどの諸関数が直径分布を記述する関数として提案されている。現実の林分の直径分布は過去の施業等のさまざまな影響をうけて極めて多様な形をしている。このような多様な直径分布に対しては、これを記述するのに普遍的に望ましい関数というものは存在しえないと筆者らは考える。そこで、収穫表調製の研究をする筆者らの立場としては、直径分布は単に自然に決定されてくるだけのものではない。それは現実の林分の変化の過程で、逆に望ましい形をとるように施業によって規定してゆくべきものであると考えた。こうした観点から、筆者らは、これまでの諸研究によって、人工林の多様な直径分布に対して比較的よい適合性をもつとされ、また、その断面積の分布に対しても同じ関数を適用して論理的矛盾を生じないワイブル分布によって直径分布を記述することとした<sup>(15)</sup>。

ワイブル分布は

$$f(y) = \frac{m}{\alpha} (y - \gamma)^{m-1} \exp \left\{ -\frac{(y - \gamma)^m}{\alpha} \right\} \quad (7)$$

で与えられる。この式は3つのパラメーター $m$ 、 $\alpha$ 、 $\gamma$ をもつ。これらはそれぞれ関数の曲線の形、尺度、位置にかかわっている。形のパラメーター $m$ は曲線の右偏性や左偏性を決定する。そしてその値が3.6となるとき偏りのない分布となる。また尺度のパラメーター $\alpha$ は分布のひろがりに関係する。位置のパラメーター $\gamma$ は分布の下限を定めるものである。

人工林の場合、その最小直径は個々の林木の自然の推移の結果定まるものではなく、間伐などの施業によって決まってくるものと考えられる。したがって、最小直径 $\gamma$ をあらかじめ所与

のものとして与えることができるこのワイブル分布は、林木の直径分布を記述するモデルとして望ましい特徴をもっている。

この関数のあてはめに際しては、立木本数、胸高断面積合計、平均直径などの情報が必要である。これは逆にいえば、あてはめの結果得られた直径分布の式もその前提となった資料と矛盾しないことを意味している。パラメーターの決定は、ここでは次のような方法でおこなった<sup>(23, 24)</sup>。

まず  $y - \gamma = x$  と  $\gamma$  だけ平行移動させると

$$g(x) = \frac{m}{\alpha} x^{m-1} \exp\left(-\frac{x^m}{\alpha}\right) \quad (8)$$

となる。これは原点を通る関数である。この分布の平均値  $E(x)$ 、分散  $V(x)$ 、変動係数  $CV_x$  は次のように表わすことができる。

$$E(x) = \alpha^{\frac{1}{m}} \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) \quad (9)$$

$$V(x) = \alpha^{\frac{2}{m}} \left\{ \Gamma\left(1 + \frac{2}{m}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{m}\right) \right\} \quad (10)$$

$$CV_x = \sqrt{V(x)} / E(x) \quad (11)$$

(9)および(10)をそれぞれ代入して

$$CV_x^2 = \frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{m}\right)}{\Gamma^2\left(1 + \frac{1}{m}\right)} - 1 \quad (12)$$

平行移動の前後で分散は変化しないから、平行移動する前の変動係数  $CV$  は

$$CV_y = \frac{\sqrt{V(x)}}{d} = \frac{\sqrt{V(x)}}{E(x) + \gamma} \quad (13)$$

となる。ここで、 $\sqrt{V(x)}$  を(11)を用いて書きなおせば

$$CV_y = \frac{CV_x E(x)}{E(x) + \gamma} = CV_x \left(1 - \frac{\gamma}{d}\right)$$

$$\therefore CV_x = \frac{CV_y}{1 - \frac{\gamma}{d}} \quad (14)$$

となる。平均直径  $\bar{d}$ 、変動係数  $CV_y$  は既知のものとして与えられている。そこで最少直径  $\gamma$  の値を定めておけば、(14)によって、 $\gamma$  だけ平行移動したときの変動係数  $CV_x$  をもとめることができる。すると(12)によって形のパラメーター  $m$  が定まる。 $m$  の値は平行移動をしても変わらない。なお(12)を利用する場合  $\Gamma\left(1 + \frac{2}{m}\right) / \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{m}\right)$  の値は、必要な  $m$  の範囲に対しあらかじめ計算し、表などにしておくことが必要である。次に(15)の

$$\bar{d} = E(x) + \gamma = \alpha \frac{1}{m} \Gamma \left(1 + \frac{1}{m}\right) + \gamma \quad (15)$$

により  $\alpha$  の値が得られる。ここで  $m$ ,  $\alpha$ ,  $\gamma$  の値がすべて決定されたことになる。あとはその関数を用いて径級ごとの本数を計算すればよい。

## (2) 直径分布の最小値の決定

前述のように、林分の最小直径は、仕立て本数、間伐方法など実践的な施業の方針によってきまるものである。しかしそれは恣意的に与えるものではなく、長年の施業の結果生じた林分の状態を考慮しつつ決定されるものである。そこで、ここでもモデルをつくり、資料に基づいてその決定を行なうこととした。

人工林における林分の最小直径の値は、地位、林齢、立木密度によって影響をうけるはずである。そこでこの関係式を次のように想定した。

$$\gamma_i = a_i T^b \varphi^c \quad i=1, 2, \dots, 5 \quad (16)$$

ただし  $T$  : 林齢,  $\varphi$  : 立木密度

この式で  $a_i$  は地位ごとに別個に決定することが望ましい。しかしここでは資料不足のため次のような手順によって地位別の値を決定することとした。まず最も高い地位の値を  $a_1$  とし、これを基準として、 $a_2 = 0.95a_1$ ,  $a_3 = 0.85a_1$ ,  $a_4 = 0.75a_1$ ,  $a_5 = 0.70a_1$  と想定した。 $a_1$ ,  $b$ ,  $c$  については資料に基づいて

$$a_1 = 1390 \quad b = 0.25 \quad c = -0.85$$

と決定した。この値を用いて地位 1 等について (16) を図化すれば図 III-5 のようになる。図中の

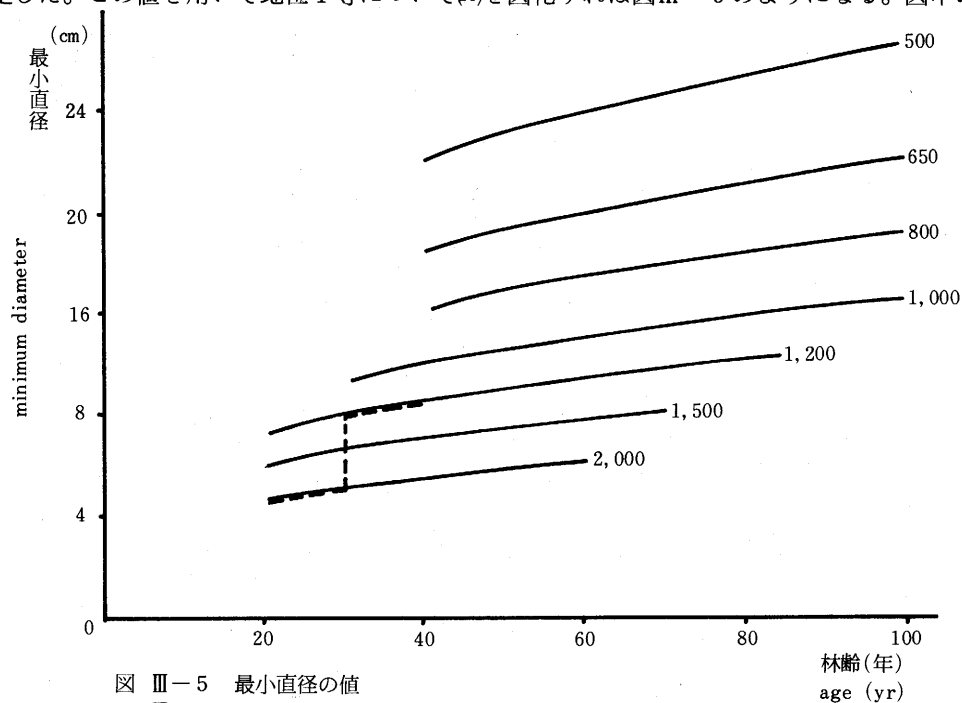


図 III-5 最小直径の値

Fig III-5 The value of minimum diameter estimated

点線は林齢30年で2000本/haから1200本/haまで間伐したとき、最小直径は5.1 cmから7.9 cmに変化することを示している。またそれから間伐されなければ、40年生で最小直径木は8.4 cmまで生長することがわかる。

### (3) 副林木の直径分布の決定

副林木の本数、平均直径、胸高断面積合計は表III-6から得られる。この副林木についても、本来は人為的に定めうるものではある。しかしここでは現実の結果に基づいて客観的にこの直径分布を決定するため、ワイブル分布をあてはめることとした。

通常の間伐は下層間伐であるので、このあてはめにも、最小直径は主副林木の場合と一致させることにした。このように共通の $\gamma$ を用いると、(14)で副林木の $CV_x$ が大きくなる傾向が生ずる。このことは副林木の直径分布の左偏性が、主副林木の場合よりも強くなることを意味している。その結果、副林木の径級別本数は最小直径附近で主副林木のそれより若干多くなるという矛盾が生ずる可能性がある。しかし実際に資料をあてはめて計算した結果、かりにこのような矛盾が生ずる場合でも、それは本数で10本以内、全立木本数に対する割合にして1%以下であり大局的には問題がないことがわかった。この場合、収穫表調製システムでは、超過した部分はひとつ上の径級に配分することとしている。

表III-6(1) 断面積に関する生長予測 地位 I

Tab. III-6(1) The prediction of growth concerning the mean DBH and basal area (site I)

林 齢 age (yr)	本 数 number of trees	間伐率(%) 平均直径比 thinning rate	変動係数 coefficient of variation	平均直径 mean DBH	平均断面積 basal area mean	断面積合計 total basal area
20	2000		0.23	16.20	216.57	43.31
25	2000		0.25	17.66	260.67	52.13
30	2000	0.37	0.29	18.92	304.53	60.91
	1260	0.83	0.23	20.81	358.24	45.14
35	1260		0.27	22.22	417.07	52.55
40	1260	0.35	0.30	23.50	474.43	59.78
	819	0.86	0.26	25.27	534.42	43.77
45	819		0.25	26.99	609.16	49.89
50	819		0.25	28.53	680.52	55.73
55	819		0.25	29.88	746.55	61.14
60	819	0.32	0.26	31.03	806.05	66.02
	557	0.86	0.22	33.07	900.32	50.15
65	557		0.22	34.49	980.84	54.63
70	557		0.23	35.73	1054.72	58.75
75	557		0.23	36.80	1121.11	62.45
80	557	0.17	0.24	37.71	1179.74	65.71
	460	0.84	0.22	38.98	1249.20	57.46
85	460		0.22	40.03	1318.24	60.64
90	460		0.22	40.94	1379.47	63.46
95	460		0.22	41.71	1432.98	65.92
100	460		0.22	42.35	1479.07	68.04



表III-6(2) 断面積に関する生長予測 地位III

Tab. III-6(2) The prediction of growth concerning the mean DBH and basal area (site III)

林 齢 age	本 数 number of trees	間 伐 率 thinning rate	変 動 係 数 coefficient of variation	平 均 直 径 mean DBH	平均断面積 mean basal area	断面積合計 total basal area
20	2300		0.18	12.40	124.69	28.68
25	2300		0.22	13.34	146.21	33.63
30	2300	0.34	0.27	14.15	168.63	38.78
	1518	0.83	0.22	15.38	195.05	29.61
35	1518		0.25	16.37	223.91	33.99
40	1518		0.28	17.32	253.41	38.47
45	1518	0.35	0.29	18.22	283.18	42.99
	987	0.86	0.24	19.59	319.63	31.55
50	987		0.25	20.70	357.25	35.26
55	987		0.25	21.75	394.83	38.97
60	987		0.25	22.73	431.83	42.62
65	987	0.25	0.26	23.64	467.89	46.18
	740	0.85	0.23	24.83	508.93	37.66
70	740		0.23	25.82	551.44	40.81
75	740		0.24	26.74	592.69	43.86
80	740		0.24	27.59	632.28	46.79
85	740	0.16	0.24	28.38	670.04	49.58
	620	0.84	0.22	29.26	705.68	43.75
90	620		0.24	29.99	747.43	46.34
95	620		0.26	30.66	787.27	48.81
100	620		0.27	31.28	825.02	51.15

分布のあてはめの方法からもわかる通り、ワイブル分布を用いる場合には、最小直径  $\gamma$  によって形や尺度のパラメーターが変化する。このため  $\gamma$  の値が分布の適合性を左右する重要なポイントとなる。図III-6において、副林木の最小直径は  $\gamma_0$  であるが、 $\gamma_0$  と  $\gamma_1$  の間で副林木

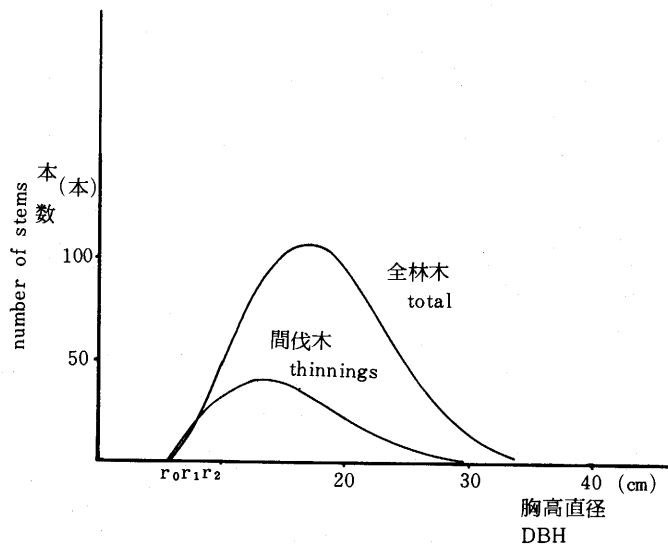
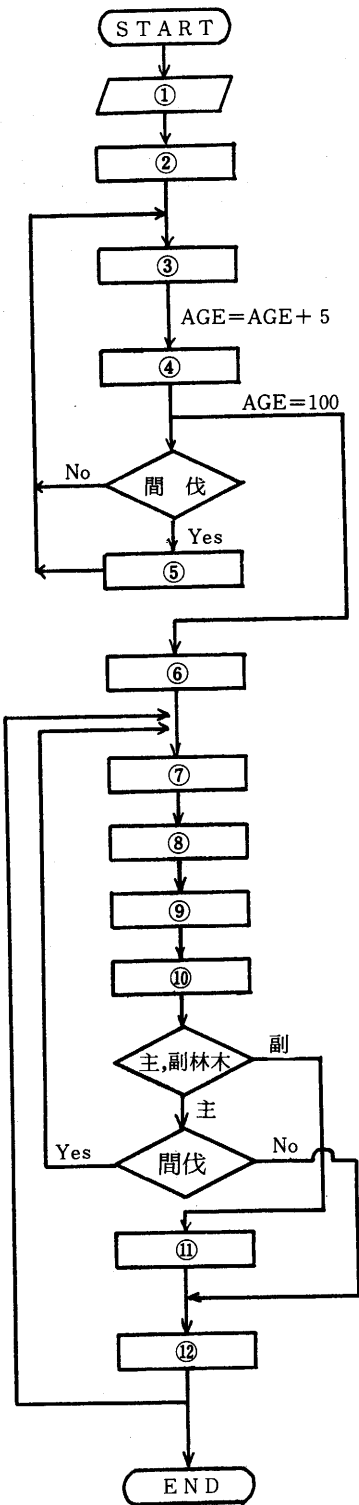


図 III-6 ワイブル分布による直径分布のあてはめ (地位III, 45年生)  
Fig III-6 Fitting of the weibull function to diameter distributions (total and thinnings only)



- ① データ入力
- ② 期首の  $\bar{g}$ ,  $G$ ,  $Var. \bar{d}$
- ③ 生長率
- ④ 期末の  $\bar{g}$ ,  $G$ ,  $Var. \bar{d}$
- ⑤ 残存木の  $\bar{d}$ ,  $\bar{g}$ ,  $G$ ,  $Var. \rho$
- ⑥  $G$ ,  $\bar{d}$  の生長予測表の出力

- ⑦ 直径分布が必要な林齢の  $P$ ,  $\bar{d}$ ,  $\bar{g}$ ,  $G$ ,  $Var$
- ⑧ 最小直径
- ⑨ ワイブル分布のパラメーター
- ⑩ 径級別本数
- ⑪ 主副林木  $\geq$  副林木
- ⑫ 分布の出力

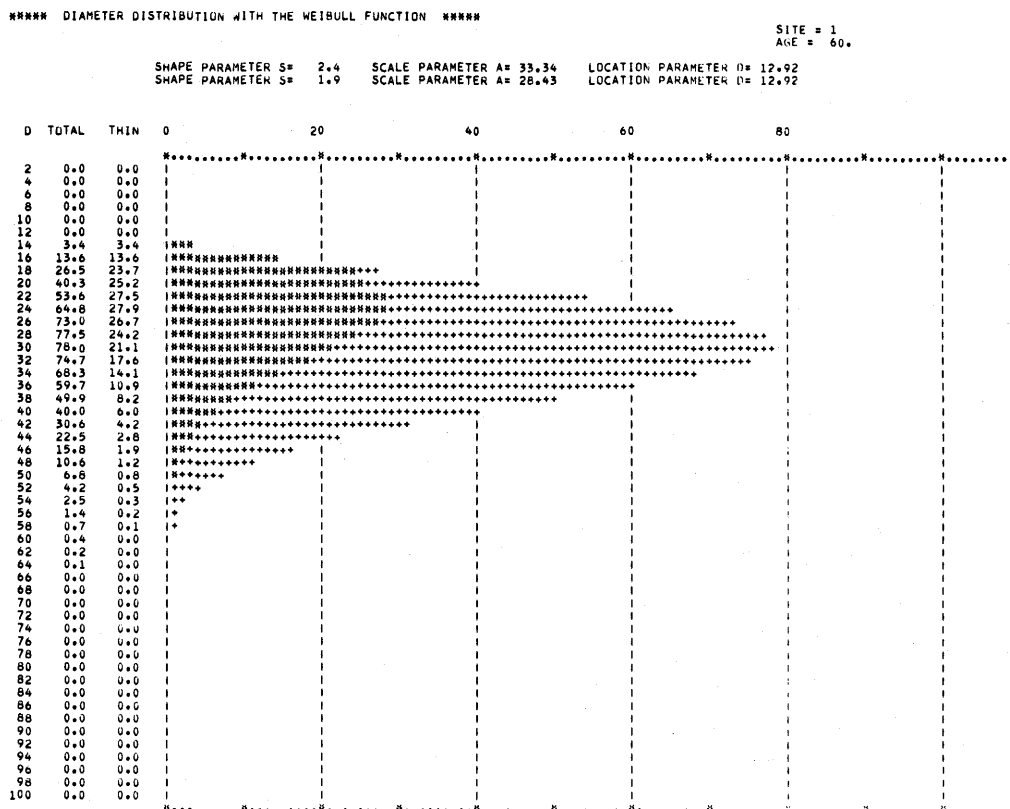
図 III-7 フローチャート  
 Fig III-7 The flow chart of calculating diameter distributions

本数が上まわることが生ずるため、前述の操作をおこなって副林木をとり除いたとき、残存木の最小直径は $\gamma_2$ となる。もしこの $\gamma_2$ を制約条件として以後の林齢の直径分布の最小値を定める場合、その誤差が加わって、何回かの間伐の後には $\gamma$ に関して大きな誤差が生じる可能性がある。この点を考慮して、本システムでは間伐によって上昇した最小直径 $\gamma_2$ に無関係に、その後の最小直径を与えることとした。

以上のような方法で全林木にワイブル分布をあてはめた結果、いずれの地位も、形のパラメーターには林齢とともに漸減の傾向がみられ、木梨らの結果<sup>(15)</sup>とよく一致している。これは最小直径の与え方がおおむね妥当であったことを示している。

#### 4 樹高の生長曲線の決定

樹高生長は一般に地位に依存し、林分の立木密度には影響をうけないといわれている。こうした特徴により近年では一定の林齢における平均樹高で地位を表示する方法が採用されている。



図III—8 直径分布の出力の一例

Fig. III—8 An example of diameter distribution.

本来、地位は林地ごとに連続的に変化してゆくものである。したがって、こうした連続的に変化する地位を表示する手段としてはこの樹高地位は望ましいものである。しかし、森林施業を規定する目的で収穫表を調製する場合にはこうした漸変する地位をいくつかの数值に相対化して分類する従来の表示法の方が都合よい。そこで筆者らは地位を5種類に区分することに決定した。

通常、地位区分の方法には図上に林齢ごとの樹高をプロットし徒手で曲線を描く方法とこれに何らかの数式を想定して曲線を決定する方法とがある。ここでは、まず試験地の資料のうち適当であると考えられるものと、林野庁・林業試験場の収穫表調製資料の中の関東周辺のスギ林の資料を図上にプロットし、その変化を検討して5本の樹高の生長曲線を描いた。その結果は図III-9の通りである。この曲線に対しては、それが樹高の生長曲線として妥当であるというなんらかの客観的な保証が必要である。

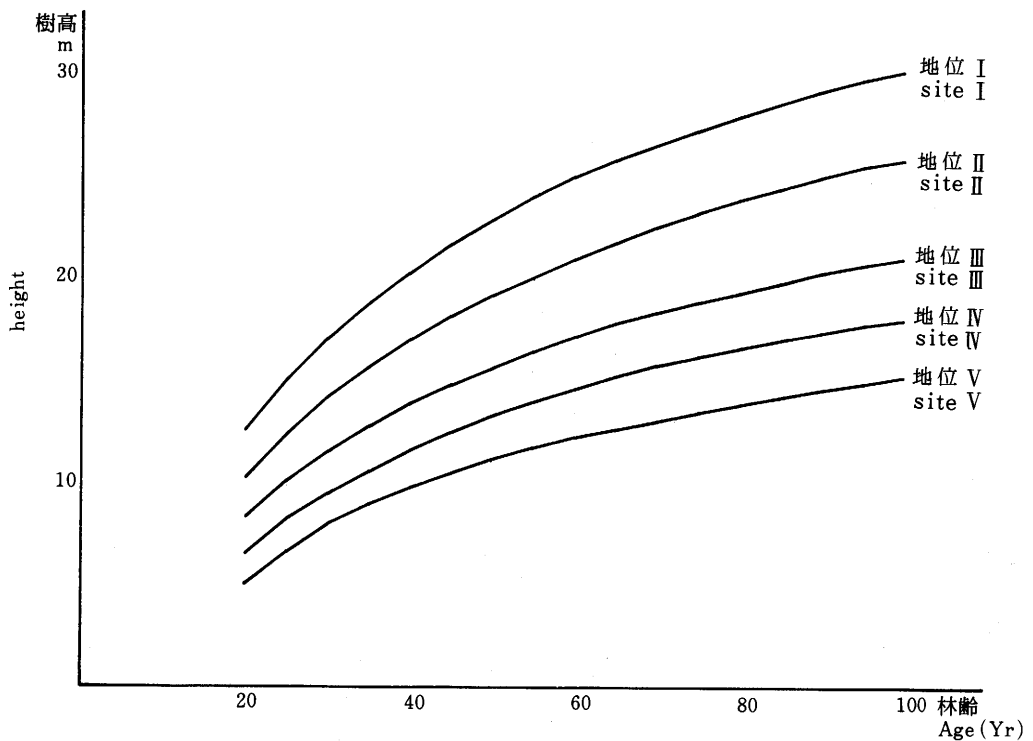


図 III-9 樹高生長曲線  
Fig III-9 Height growth curve

表III-7(1) 樹高生長曲線のミッチェルリッヒ式によるあてはめ (地位I)

Tab. III-7(1) Fitting of the Mitscherlich equation to mean height growth (site I)

林 齢(年) age (yr)	資 料(m) observed	計算値(m) estimated	偏 差(m) error	偏差率(%) error percent
20	12.49	12.77	0.27	2.19
25	15.05	14.94	-0.11	-0.71
30	17.01	16.89	-0.13	-0.74
35	18.79	18.63	-0.16	-0.83
40	20.29	20.19	-0.10	-0.49
45	21.66	21.59	-0.07	-0.31
50	22.88	22.84	-0.03	-0.14
55	23.94	23.97	0.03	0.11
60	24.89	24.98	0.08	0.33
65	25.76	25.88	0.12	0.47
70	26.54	26.69	0.15	0.55
75	27.26	27.41	0.15	0.53
80	27.95	28.06	0.11	0.39
85	28.60	28.64	0.03	0.12
90	29.22	29.16	-0.06	-0.21
95	29.76	29.63	-0.13	-0.45
100	30.20	30.05	-0.15	-0.51

表III-7(2) 樹高生長曲線のミッチェルリッヒ式によるあてはめ (地位III)

Tab. III-7(2) Fitting of the Mitscherlich equation to mean height growth (site III)

材 齢(年) age (yr)	資 料(m) observed	計算値(m) estimated	偏 差(m) error	偏差率(%) error percent
20	8.33	8.50	0.17	2.03
25	10.09	10.04	-0.05	-0.46
30	11.52	11.42	-0.09	-0.80
35	12.80	12.67	-0.13	-1.05
40	13.85	13.78	-0.07	-0.51
45	14.81	14.78	-0.02	-0.14
50	15.65	15.68	0.03	0.18
55	16.44	16.49	0.05	0.28
60	17.17	17.22	0.05	0.27
65	17.82	17.87	0.05	0.29
70	18.39	18.45	0.06	0.32
75	18.91	18.98	0.07	0.34
80	19.39	19.45	0.06	0.28
85	19.84	19.87	0.03	0.13
90	20.26	20.25	-0.02	-0.07
95	20.65	20.59	-0.06	-0.30
100	21.00	20.90	-0.10	-0.49

表III-7(3) 樹高生長曲線のミッチェルリッヒ式によるあてはめ (地位V)

Tab. III-7(3) Fitting of the Mitscherlich equation to mean height growth(site V)

林 齡(年) age (yr)	資 料(m) observed	計算値(m) estimated	偏 差(m) error	偏差率(%) error percent
20	5.54	5.64	0.10	1.79
25	6.68	6.82	0.14	2.11
30	8.03	7.88	-0.15	-1.82
35	8.98	8.83	-0.15	-1.69
40	9.81	9.68	-0.12	-1.26
45	10.52	10.45	-0.08	-0.74
50	11.15	11.13	-0.02	-0.20
55	11.71	11.74	0.03	0.26
60	12.21	12.29	0.08	0.66
65	12.67	12.78	0.11	0.90
70	13.11	13.22	0.12	0.88
75	13.52	13.62	0.10	0.76
80	13.90	13.97	0.07	0.52
85	14.26	14.29	0.02	0.17
90	14.60	14.57	-0.03	-0.18
95	14.91	14.83	-0.09	-0.57
100	15.20	15.05	-0.15	-0.97

前述のように樹高生長は直径生長に比較してあまり立木密度の影響をうけない。したがって、林内での正常な生長をしている林木の平均樹高は樹種および地位によって定まった生長経過をたどるように思われる。筆者らの一人はスギの樹高生長曲線としてミッチェルリッヒ曲線をあてはめよい結果をえている<sup>(19)</sup>。また栗屋も同様の報告している<sup>(2)</sup>。そこで上述の曲線にミッチェルリッヒ曲線をあてはめることとした。これは

$$h(t) = M(1 - Le^{-kt})$$

と表現できる。ここでMはその樹高のとりうる極限值でその林地の地位の指標となる。Lはその曲線が時間軸と交わる点に関する。Lが大きいほど曲線の始まる時点がおくれる。また、kはその曲線の形を定めるパラメーターである。Kが大きいほど初期における曲線の傾きは大きくなる。

このあてはめの結果の一部は表III-7の通りである。これによるとその適合の度合はきわめてよい。最大の乖離を示す地位IIにおいても林齢20年における偏差率が2.89%であり、他の多くは1%以下である。

この5本の曲線に対するパラメーターの値は表III-8の通りである。この結果によると、K、Lはほぼ一定で地位間に大きな差はない。したがって上の曲線の相違は大部分がMによるもの

表III-8 地位別のパラメーター値

Tab. III-8 Coefficient M, L and K of Mitscherlich equation.

地位 site	M	L	K
I	33.65	0.9628	0.02196
II	29.36	0.9675	0.02053
III	23.58	0.9843	0.02155
IV	20.18	1.047	0.02249
V	17.04	1.038	0.02197

である。そこでこの点を検証するため、K, Lの値を5本の曲線の平均値としてそれぞれ0.0217, 1.00としこれを地位IIの曲線にあてはめた。この結果は表III-9の通りである。その誤差は、

表III-9 L, Kを固定してミッチェルリッヒ曲線あてはめた結果(地位II)

Tab. III-9 Fitting of the Mitscherlich equation to mean height growth with the fixed value of L and K.

M=29.36 L=1.0 K=0.0217

林 齢(年)	資 料(m)	計算値(m)	偏 差(m)	偏差率(%)
20	10.24	10.34	0.10	1.0
30	14.27	14.05	-0.22	1.6
40	17.01	17.03	0.02	0.0
50	19.17	19.44	0.27	1.4
60	20.96	21.37	0.38	1.8
70	22.52	22.93	0.41	1.8
80	23.69	24.19	0.50	2.1
90	25.01	25.19	0.18	0.7
100	25.80	26.00	0.20	0.8

系統的な偏差ではあるがその値の最大のもので約50cmである。この事実は、千葉演習林のスギ林の樹高生長曲線としてはミッチェルリッヒ式によってよく記述でき、しかも、パラメーターL, Kを固定しておいてよいことを意味する。もし、特定の壮齡林のある林齡に対してその主林木の平均樹高が与えられれば、上の公式によってMを算出することができる。したがって、上の公式は連続的な地位を表示する場合でも有効である。

#### IV 相対幹曲線と相対樹高曲線の決定

径級別に素材収穫量を決定するためには、径級ごとの樹幹の細り表が必要である。この調製については次の順序で行なうこととした。

まず、相対幹曲線を決定する。これを現実の大きさに復元するためには、胸高直径と樹高の情報が必要であるが、前者については既に直径分布が決定されている。また、樹高曲線については、林齢によって変化する相対樹高曲線を決定し、前章で定めた樹高生長曲線の結果を用いて、現実の大きさに復元することとした。この相対幹曲線および相対樹高曲線については、筆者らは既にその成果を報告している<sup>(20, 34)</sup>。そこでここでは、この結果の概略を述べることにする。

### 1 相対幹曲線とその曲線式の決定

相対幹曲線は、幹長を1とし、梢端を原点にとり、その90%の位置にある直径 $d_{0.9}$ を1にして画いた曲線である。この曲線はディメンジョンを含まないため、多くの樹幹形を検討するのに適している。筆者らは、まず、千葉演習林のスギの林分から採取した樹幹解析木の資料にもとづいて、幹形の変動を調べた。この場合、幹形の変動を記述する手段としては、樹高の50%の位置の直径をその90%の位置の直径で割った値 $\eta_{0.5}$ の変化を用いることとした。これはプロードンや梶原らの研究によって、この $\eta_{0.5}$ と正形数との間には大きな相関が存在することがわかっているからである。分析の結果、千葉演習林のスギの幹形に関して次のようなことがわかった。

1) 幹形は林齢が高くなるにつれて徐々に完満になる。しかし、40年生以上になるとその形は変化しない。

2) 地位が高いほどその幹形は完満である。しかし、その変化は、林齢の場合の方が大きい。

以上の分析結果から、相対幹曲線を林齢40年以下と40年以上の二種類とすることに決定した。幹曲線方程式としては吉田式を選んだ。これは大隅の研究によって、幹曲線に対しては吉田式の適合が良いことがわかっていること、また、これとクンツェ式との適合度を検討した結果、前者がすぐれていることがわかったからである。この結果、相対幹曲線は次のようになった。ここで、 $d$ と $h$ は相対化された値である。

$$\text{林齢40年末満} \quad \frac{d}{2} = 1.340h - 1.787h^2 + 1.017h^3$$

$$\text{林齢40年以上} \quad \frac{d}{2} = 1.114h - 1.180h^2 + 0.6218h^3$$

この相対幹曲線の有効性を調べるため、この式と山本—シューマッカー式によって、それぞれ材積表を調製してその適合度を比較した。その結果、本式による方法の適合度が良いことがわかった。

### 2 相対樹高曲線

これまで樹高曲線を表わす関数としてはきわめて多くのものが利用されてきている。これらのほとんどの関数は、経験的にあてはめの容易さと、実用上の便利さから使用されてきたものである。こうしたさまざまな関数を利用することは、単に林分材積査定の一手段として個々の林分の直径—樹高関係を定めることを目的とする場合には、何らの支障も生じない。しかし、



収穫表調製のために、地位林齢を異にする多くの林分に対して樹高曲線を決定しようとする場合には、多くの問題が生じる。そこでここでは、直径—樹高の関係を相対化することによって、その形を大きさと分離することにより、より客観性の高い樹高曲線を見出そうと考えた。

直径—樹高関係を相対化する場合、相対幹曲線の際には無かった問題が生ずる。それはその基準のとり方についてである。林分内では最大直径を持つ林木が最大樹高を持つとは限らないし、他の特定の基準から樹木を選択することにも、客観性を持ちえないからである。そこで一つの考え方として、平均直径と平均樹高をそれぞれの基準とする方法がある。しかし、後述するように、この問題に関してはどのような基準を設定しても良く、任意の基準によっても、結果が変わらないことがわかった。

一般に直径と樹高の関係は林齢が高くなるにつれてうすれてくる。一見よくととのっている一斉林においてもその樹高曲線を描くと、点が曲線の上下に大きくばらついていることがわかる。梶原は樹高曲線式を研究した結果、どのような関数を選んでもその曲線の適合度は変わらないと結論している<sup>(10)</sup>。こうした樹高のバラツキの大きさは、相対化によっても本質的には変わらない。そこで相対樹高曲線式として、実際の資料に対して適合度の最も高いものを選ぶという方式はとりにくい。そこでわれわれはつぎのように考えることとした。

樹高曲線は、直径分布と樹高分布との間を結ぶもので、この二つの分布は相互に関連している。直径分布と樹高曲線の関数がきまれば、樹高分布は必然的に決まってしまうからである。われわれは既に直径分布にワイブル分布を想定している。樹高分布にもこのワイブル分布をあてはめることは有効である。すると、理論的には、この二つの分布を結ぶ樹高曲線式としては、 $H = a + bD^c$  という形に決めれば矛盾が生じない。そこでわれわれは、この式をもって樹高曲線モデルにした。

この関数は、決定すべきパラメーターが三つある。aは $D = 0$ における相対樹高、bは樹高の高さを決めるパラメーター、cはその形を決めるパラメーターである。aが存在することは、y軸の切片を自由にとりうることを意味し、これは、 $a = 0$ と固定するよりも、はるかに適合度が良いはずである。しかし、実際に資料によって検討した結果、aの存在は適合の度合には、ほとんど影響を与えないことがわかった<sup>(32)</sup>。そこで、ここでは、胸高直径と胸高以上の樹高についての相対化を考えることにして、aを消去することとした。さて、次にbの問題がある。この値は、 $D = 1$ のときの相対高であり、相対化の基準のとり方のみによって決まるものである。しかし、資料に適用して計算によって得られた式を改めてbで除すことによって、この式は(1, 1)を通る曲線となる。このことによって、この曲線はより単純化できることになる。したがって、結局この計算で本質的に必要なものはcの値のみであることがわかる。

ところで、問題がいまだに一つ残っている。それは、この曲線から実際の樹高曲線へ復元する場合の問題である。これは、樹高生長曲線によって決定された林分樹高を、直径分布のどの

部分に対応させるかという問題である。いま、相対樹高曲線式を  $H = D^c$  としよう。すると、

$$\bar{H} \doteq \bar{D}^c \left(1 + \frac{c(c-1)}{2} C_d^2\right) \doteq D_{\bar{H}}^c$$

となる。これは  $D_{\bar{H}} = \bar{D} \left(1 + \frac{c(c-1)}{2} C_d^2\right)^{\frac{1}{c}}$  であることを意味している。すなわち、あらかじめ曲線を決定する際、平均直径の位置を確定しておき、これに上述のように  $\bar{D}$  に定数を掛けることによって、平均樹高の対応する位置を決定することができる。

### 3 相対樹高曲線式の決定

まず、相対樹高曲線式のパラメーターが、どのような傾向を持つかを見るため、資料のよくととのっている「天城地方すぎ林分収穫表調製説明書」の胸高直径対樹高の相関表を利用した。あてはめの結果は図IV-1のとおりである。この図から一般に林齢が高くなると  $c$  の値が小さ

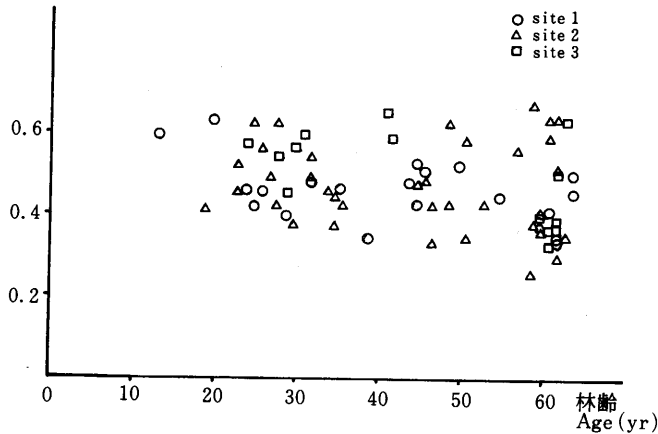


図 IV-1 相対樹高曲線  $H=a+bD^c$  のパラメータ  $C$  の値 (白石, 1981)

Fig IV-1 Change of parameter  $C$  in  $H=a+bD^c$  (Shiraishi, 1981)

くなるのがわかる。このことは表IV-1の分散分析でも確認されている。また、 $c$  の値が地位によって差のないことも確認された。

$c$  が林齢の上昇につれて小さくなるということは、樹高曲線は高齢になるにつれて、その傾きがゆるやかになりながら上方に遷移してゆくことを意味している。林齢が等しければ、地位が異なっても、相対樹高曲線の形に差が生じない。このことは、樹高曲線は主として樹高と胸高直径の相対関係によって決められることを意味しているものと考えられる。

以上の結果を踏まえ、千葉演習林の資料を基として、その相対樹高曲線の  $c$  の値を

$$c = 0.6534 - 8.34 \times 10^{-4}t$$

ただし、 $t$  は林齢 (年)

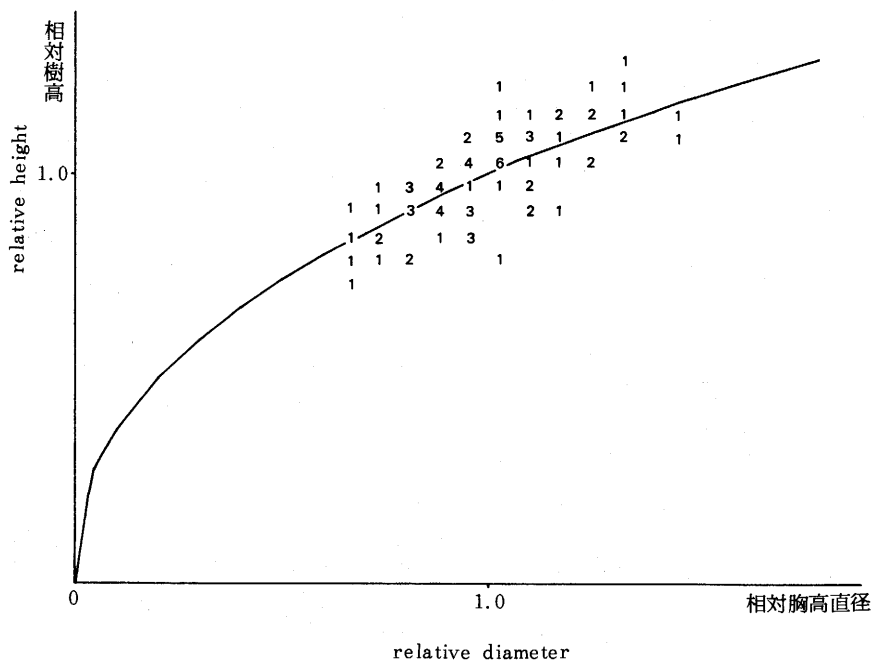
と決定した。この結果に基づいて作成した相対樹高曲線は図IV-2のとおりである。

表IV-1 回帰分析

Tab. IV-1 The regression analysis of relative height-diameter curve with respect to parameter C under various sites and ages.

行	自由度		x <sup>2</sup>	Σxy	Σy <sup>2</sup>	回帰係数	回帰からの偏差			
							平方和	平均平方		
1	地位	1	19	4887	-10.25	0.1143	-0.0021	18	0.0928	
2		2	35	7318	-2.19	0.3919	-0.0003	34	0.3912	
3		3	14	3437	-14.37	0.1768	-0.0042	13	0.1167	
4	地位内							65	0.6002	0.0092
5	地位(傾き)間の差							2	0.0363	0.0182
6	共通	68	15642	-26.81	0.6830	-0.0017	67	0.6370	0.0095	
7	地位(高さ)間の差							2	0.0135	0.0068
8	全体	70	15942	-28.41	0.6906	-0.0018	69	0.6400	0.0093	
9	回帰による減少							1	0.0506	0.0506
	傾き	F = 0.0182 / 0.0092 = 1.98			F <sub>65</sub> <sup>2</sup> (0.05) = 3.14					
	高さ	F = 0.0068 / 0.0095 = 0.72			F <sub>67</sub> <sup>2</sup> (0.05) = 3.14					
	回帰	F = 0.0506 / 0.0093 = 5.44**			F <sub>69</sub> (0.05) = 3.98					

(1981, 白石)



図IV-2 相対樹高曲線(標本82本と相対樹高曲線) 注) 数字は本数を表わす  
 Fig. IV-2 relative diameter-height curve digits on the graph mean number of trees

## V 収穫表の調製

### I 収穫表調製システムの考え方

ここで前章までに述べた各種のモデルに基づいて収穫表を調製する段階に達した。序論で述べたように、ここで調製する収穫表は、あらかじめ明確な経営目標をもって施業ができるように、径級別素材収穫量が表示されているものでなければならない。こうした収穫表を調製するためには、まず樹幹から素材を採材する仕方についても規定しておく必要がある。以下に述べる内容の一部は、すでに発表してあるが、ここで改めて説明を加えることにする。<sup>(21)</sup>

いわゆる木取りの方法には、現在さまざまな仕方がある。現実には、運材手段が確保されている場合には、一本の樹幹から最も市場価格の高い素材をできるだけ多く採取しようとする傾向がある。しかし、この問題は複雑な内容を持っている。普通、樹幹は、枝、節、大きさなどの形状が多様であり、木取りの仕方によって素材の品質も異なってくる。また、素材の大きさについても、農林規格によって細かい規定がある。このように木取りは現実には個々の樹幹によってさまざま変化するので、最も望ましい採材法をあらかじめ規定することは不可能である。そこで筆者らの収穫表調製システムでは、その木取りが収穫表調製者の意志にそって任意にできるようにしておくことが望ましいと考えた。そこで、ここでは一例として、このシステムで次の三種の採材方法によって利用材積表を計算した。

(i) 単純採材法 まずすべての樹幹から4メートル材を逐次採材してゆく。4メートル材が採取できなくなった場合、残された部分から3メートル材を採取する。

(ii) 利用材積最大の採材法 現在の検尺方法は、農林規格によって規定されている。したがって、幹材積が一定の場合でも、その採材方法によって利用材積は変化しうる。そこで、ここでは整数線型計画法を用いて、径級ごとの樹幹に利用材積最大の採材方法を適用する。

(iii) 金員収穫最大の採材法(最適採材法) 市場における素材価格は、常に利用材積に比例するとは限らない。しかし、あらかじめ径級別、材長別に素材価格が与えられている場合には、一つの樹幹からえられる金員収穫が最大となるような採材方法が存在するはずである。この価格は一般に素材の品等によって大きく変化するはずである。しかし、ここでは品等は考慮せず、すべて一般材として、ii)の場合と同様に整数線型計画法によって最適採材法を決定する。なお、素材の中では元玉の価格は他と比較して大きな差があるので、このシステムの中では、元玉の素材量が別個に出力されるようにしてある。ここで整数線型計画法による採材のプログラムに関しては、角谷の開発したものを参考とした<sup>(4)</sup>

## 2 収穫表の調製手順

コンピュータを利用して行なう収穫表の調製手順は図V-1に示すとおりである。直径分布の決定に到るまでの手順はすでに説明されているので、ここではそれぞれの間伐方法が定まり、地位別に林齢ごとの直径分布がすでに確定していることを前提として、それ以降の手順を簡単に述べることとする。

まず必要な情報として、樹高生長曲線、相対樹高曲線、相対幹曲線、樹皮厚率などのデータが入力される。樹皮厚率に関しては、資料を分析した結果、梢端部を除き、樹幹全体に対して2.3%と固定してもよいことがわかっている。以上のデータが入力されると、まず地位、林齢に応じた平均樹高を決定する。次に林齢に対応した相対樹高曲線にその結果を適用して樹高曲線が確定する。この結果に相対幹曲線を適用すると、直径階ごとの細り表が完成する。

この細り表を利用して、まず幹材積を計算する。つづいて、上述の採材方法にもとづいて素材量を計算する。以上の計算が終了した後、その結果を印刷する。

## 3 収穫表の分析

### (1) 従来 of 収穫表との比較

この収穫表調製システムでは、あらかじめ設定した施業条件に対応して齢級別の幹材積や利用材積を確定することができる。ここでは、これまで千葉演習林で実施されてきた施業条件にもとづいた収

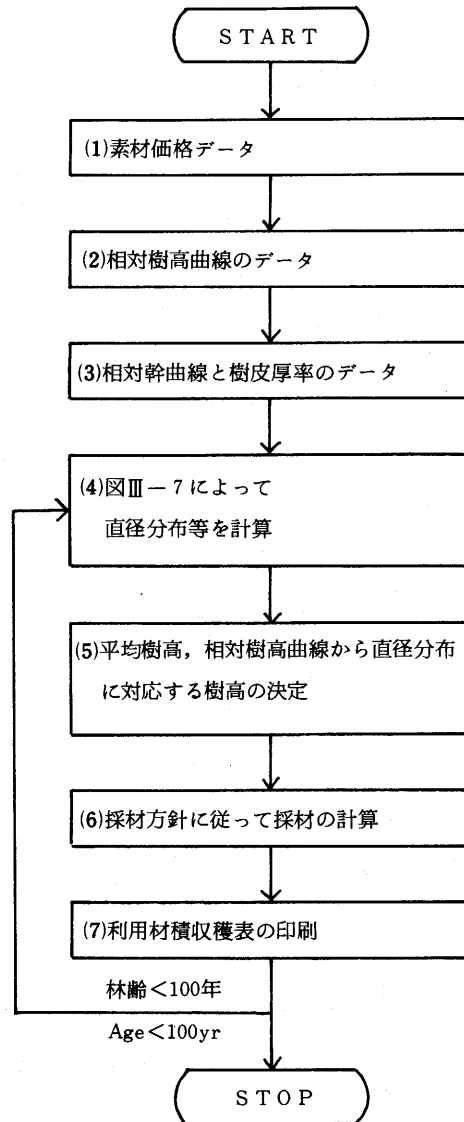


図 V-1 利用材積収穫表調製システムのフローチャート  
Fig V-1 The flow chart of constructing the yield table by logs

表 V-1(1) 千葉演習林スギ林収穫表

Table V-1(1) The Yield Table for Sugi Stand in Tokyo University Forest in Chiba

地位 (SITE) = 1

年	立木本数	平均直径 MEAN DIAM (cm)	林分胸高断面積 BASAL AREA ( $m^2$ )	平均樹高 MEAN HEIGHT (m)	幹材積 STEM WOOD ( $m^3$ )	間伐材積 THINNINGS ( $m^3$ )	累積材積 ACCUM. VOL. ( $m^3$ )	平均生長量 MEAN INCREMENT ( $m^3$ )
20	2,000	16.2	43.3	12.5	284.4		281.4	14.1
25	2,000	17.7	52.1	15.0	406.1		406.1	16.2
30	2,000	18.9	60.9	17.0	533.7		533.7	17.8
	1,260	20.6	45.1		407.9	125.8		
35	1,260	22.2	52.6	18.8	498.6		624.4	17.8
40	1,260	23.5	59.8	20.3	611.2		737.0	18.4
	819	25.3	43.8		455.7	155.5		
45	819	27.0	49.9	21.7	528.3		809.5	18.0
50	819	28.5	55.7	22.9	618.1		899.3	18.0
55	819	29.9	61.1	23.9	702.8		984.0	17.9
60	819	31.0	66.0	24.9	787.1		1,068.3	17.8
	557	33.1	50.1		612.1	175.0		
65	557	34.5	54.6	25.8	656.1		1,112.4	17.1
70	557	35.7	58.7	26.5	731.8		1,188.1	17.0
75	557	36.8	62.4	27.3	799.4		1,255.6	16.7
80	557	37.7	65.7	27.9	851.2		1,307.5	16.3
	460	39.0	57.5		751.8	99.5		
85	460	40.0	60.6	28.6	802.1		1,357.8	16.0
90	460	40.9	63.5	29.2	853.4		1,409.1	15.7
95	460	41.7	65.9	29.8	894.0		1,449.7	15.3
100	460	42.4	68.0	30.2	946.6		1,502.3	15.0

表V-1(2) 千葉演習林スギ林収獲表

Table V-1(2) The Yield Table for Sugi Stand in Tokyo University Forest in Chiba

地位 (SITE) = 2

年	立木本数	平均直径	林分胸高断面積	平均樹高	幹材積	間伐材積	累積材積	平均生長量
AGE	STEM NUMBER	MEAN DIAM (cm)	BASAL AREA (m <sup>2</sup> )	MEAN HEIGHT (m)	STEM WOOD (m <sup>3</sup> )	THINNINGS (m <sup>3</sup> )	ACCUM. VOL. (m <sup>3</sup> )	MEAN INCREMENT (m <sup>3</sup> )
20	2,150	14.0	34.5	10.2	191.2		191.2	9.6
25	2,150	15.1	41.0	12.4	278.0		278.0	11.1
30	2,150	16.1	47.7	14.3	361.9		361.9	12.1
	1,355	17.7	35.3		274.0	87.9		
35	1,355	18.7	40.9	15.7	339.2		427.1	12.2
40	1,355	19.7	46.6	17.0	430.0		517.9	12.9
	894	21.1	34.2		321.0	108.9		
45	894	22.7	38.9	18.2	358.7		555.5	12.3
50	894	24.1	43.6	19.2	416.2		613.1	12.3
55	894	25.4	48.2	20.1	479.9		676.8	12.3
60	894	26.6	52.6	21.0	536.0		732.9	12.2
	644	28.0	41.5		428.7	107.3		
65	644	29.3	45.4	21.8	473.0		777.1	12.0
70	644	30.3	49.1	22.5	527.3		831.5	11.9
75	644	31.5	52.5	23.2	578.6		882.7	11.8
80	644	32.4	55.7	23.7	627.1		931.2	11.6
	542	33.3	49.4		563.6	63.5		
85	542	34.3	52.4	24.5	604.6		972.3	11.4
90	542	35.2	55.2	25.0	649.8		1,017.5	11.3
95	542	36.0	57.7	25.5	684.0		1,051.7	11.1
100	542	36.7	60.0	25.8	727.0		1,094.6	10.9

表V-1(3) 千葉演習林スギ林収穫表

Table V-1(3) The Yield Table for Sugi Stand in Tokyo University Forest in Chiba

地位 (SITE) = 3

年 AGE	立木数 STEM NUMBER	平均直径 MEAN DIAM (cm)	林分胸高断面積 BASAL AREA (㎡)	平均樹高 MEAN HEIGHT (m)	幹材積 STEM WOOD (㎡)	間伐材積 THINNINGS (㎡)	累積材積 ACCUM. VOL. (㎡)	平均生長量 MEAN INCREMENT (㎡)
20	2,300	12.4	28.7	8.3	135.2		135.2	6.8
25	2,300	13.3	33.6	10.1	185.4		185.4	7.4
30	2,300	14.1	38.8	11.5	247.7		247.7	8.3
35	1,518	15.4	29.6		194.3	53.4		
40	1,518	16.4	34.0	12.8	229.6		283.0	8.1
45	1,518	17.3	38.5	13.9	283.8		337.2	8.4
50	987	18.2	43.0	14.8	337.5		390.8	8.7
55	987	19.6	31.5		253.0	84.5		
60	987	20.7	35.3	15.7	287.0		424.8	8.5
65	987	21.7	39.0	16.4	326.6		464.5	8.4
70	987	22.7	42.6	17.2	369.9		507.7	8.5
75	987	23.6	46.2	17.8	413.1		550.9	8.5
80	740	24.8	37.7		341.8	71.3		
85	740	25.8	40.8	18.4	372.0		581.1	8.3
90	740	26.7	43.9	18.9	409.5		618.6	8.2
95	740	27.6	46.8	19.4	445.8		654.9	8.2
100	620	28.4	49.6	19.8	482.5		691.6	8.1
	620	29.3	43.8		430.6	51.8		
	620	30.0	46.3	20.3	460.1		721.0	8.0
	620	30.7	48.8	20.7	490.4		751.3	7.9
	620	31.3	51.2	21.0	526.5		787.4	7.9



表 V-1(4) 千葉演習林スギ林収穫表

Table V-1(4) The Yield Table for Sugi Stand in Tokyo University Forest in Chiba

地位 (SITE) = 4

年 AGE	立木本数 STEM NUMBER	平均直径 MEAN DIAM (cm)	林分胸高断面積 BASAL AREA ( $\text{m}^2$ )	平均樹高 MEAN HEIGHT (m)	幹材積 STEM WOOD ( $\text{m}^3$ )	間伐材積 THINNINGS ( $\text{m}^3$ )	累積材積 ACCUM. VOL. ( $\text{m}^3$ )	平均生長量 MEAN INCREMENT ( $\text{m}^3$ )
20	2,500	10.8	23.8	6.6	94.9		94.9	4.7
25	2,500	11.6	27.7	8.2	130.3		130.3	5.2
30	2,500	12.4	31.8	9.5	169.2		169.2	5.6
35	2,500	13.1	36.1	10.6	210.3		210.3	6.0
40	1,500	14.4	25.6		152.9	57.4		
45	1,500	15.3	29.0	11.6	182.9		240.4	6.0
50	1,500	16.1	32.5	12.5	218.1		275.6	6.1
55	1,500	17.0	36.0	13.3	254.9		312.3	6.2
60	1,500	17.8	39.5	14.0	298.8		356.2	6.5
65	1,080	18.5	43.1	14.7	337.8		395.2	6.6
70	1,080	19.7	34.4		275.8	62.0		
75	1,080	20.5	37.5	15.2	298.4		417.9	6.4
80	1,080	21.2	40.5	15.8	326.9		446.4	6.4
85	1,080	22.0	43.4	16.2	359.5		478.9	6.4
90	1,080	22.6	46.2	16.7	392.3		511.7	6.4
95	1,080	23.3	49.0	17.0	423.1		542.6	6.4
100	743	24.7	37.5		328.8	94.3		
90	743	25.4	39.8	17.4	346.5		560.3	6.2
95	743	26.1	42.1	17.7	374.9		588.7	6.2
100	743	26.7	44.3	18.0	399.6		613.4	6.1

表V-1(5) 千葉演習林スギ林収穫表

Table V-1(5) The Yield Table for Sugi Stand in Tokyo University Forest in Chiba 地位 (SITE) = 5

年	立木本数	平均直径 MEAN DIAM (cm)	林分胸高断面積 BASAL AREA (m <sup>2</sup> )	平均樹高 MEAN HEIGHT (m)	幹材積 STEM WOOD (m <sup>3</sup> )	間伐材積 THINNINGS (m <sup>3</sup> )	累算材積 ACCUM. VOL. (m <sup>3</sup> )	平均生長量 MEAN INCREMENT (m)
20	2,500	9.2	17.1	5.5	61.3		61.3	3.1
25	2,500	9.8	19.7	6.7	79.9		79.9	3.2
30	2,500	10.5	22.5	8.0	104.8		104.8	3.5
35	2,500	11.0	25.5	9.0	133.5		133.5	3.8
40	1,675	11.9	19.6		105.2	28.3		
40	1,675	12.6	22.1	9.8	124.3		152.6	3.8
45	1,675	13.3	24.7	10.5	146.3		174.6	3.9
50	1,675	14.0	27.4	11.2	169.3		197.6	4.0
55	1,675	14.7	30.1	11.7	192.8		221.0	4.0
60	1,675	15.3	32.9	12.2	218.0		246.3	4.1
65	1,156	16.5	25.6		173.2	44.8		
65	1,156	17.1	28.0	12.7	188.5		261.5	4.0
70	1,156	17.8	30.3	13.1	214.7		287.8	4.1
75	1,156	18.5	32.6	13.5	235.8		308.9	4.1
80	1,156	19.1	35.0	13.9	258.4		331.5	4.1
85	1,156	19.7	37.3	14.3	277.7		350.8	4.1
85	885	20.6	30.9		232.9	44.8		
90	885	21.2	32.9	14.6	248.2		366.1	4.1
95	885	21.7	34.8	14.9	267.8		385.7	4.1
100	885	22.2	36.8	15.2	292.2		410.1	4.1

穫表を示すことにする。

表V-1(1)~(5)は従来の形式で表示したスギ林分収穫表である。このうち地位Vにあたる林地は、現在、薪炭林施業の行なわれているところで、これに対応するスギ林分はほとんど存在していない。表の中で、一つの林齢に対して二段にわたって数値が表示されているのは、上段が間伐前、また下段は間伐後の林分の状態を意味している。

この表によると、平均生長量の値はきわめてゆるやかな変化をしていることがわかる。いま、その変化が最も激しい地位Iにおいてのことは見ると、それが最大に達する林齢40年の値の95%以内に入る林齢は30から60年までの長期におよんでいる。こうした傾向は他の地位にも同様に見られる。いま他の地位について平均生長量最大の値の95%以内にある時期を見ると、地位IIが40年から55年、IIIが40年から70年、VIが55年から85年、そして地位Vでは50年から100年までとなっている。この結果をみると、千葉演習林のスギ林は従来から考えられていた以上に高齢に到るまで、森林の生長が衰えないことがわかる。

千葉演習林ではこれまでに2回にわたってスギ林分収穫表が調製されている。一つは明治29年(1890年)に本多静六氏によって、他の一つは大正8年(1919年)に吉田正男・松川恭佐両氏によって調製されたものである。ここでは後者の収穫表を旧表とし、本収穫表を新表として簡単に比較することにしよう。

新・旧収穫表を比べると、胸高直径および樹高生長に関しては、旧表の上、中、下がそれぞれ新表のI、II、IIIにほぼ一致していることがわかる。しかし、旧表では各林分に法正生長を想定しているため、立木度は高く、胸高断面積合計について比較すると、旧表の下が新表のIの値にほぼ対応している。蓄積に関しては、適用した材積表が不明のため、正確な比較は不可能であるが、本表のIと旧表の下がほぼ同じ値を示している。

次に、旧表の立木密度と平均直径との関係を見ると、それぞれ地位上で748本43.0cm、地位中で1020本33.3cm、地位下で1459本24.8cmとなっている。これを本論で想定した「密度のみによって決まる間伐が要求される平均直径 $d(\rho)$ 」でみるとその基準は、立木本数748本で32.4cm、1020本で26.9cm、1459本で21.8cmとなっている。これらの数値を比較すると、旧表の立木密度と平均直径の関係は、この $d(\rho)$ 曲線のかなり上側に位置しており、この結果から判断すると上述のような高密度の林分を維持することは、現実にはほとんど不可能であるように思われる。この点に、これまで旧収穫表の主林木幹材積が過大であると言われている原因があるものと思われる。

以上、新旧収穫表を比較した結果から、二表の間で地位の基準に差があることは否定できないが、新旧の間では収穫表に対する考え方自体にも大きな差異があるように思われる。すなわち、旧表では法正生長をしている森林の状態を想定し、間伐をその状態から過剰部分を取り去ることと考えているのに対し、新表では、標準的な生長をしている林分に対して通常の施業を

表V-2 利用材積収獲表の一例(地位I, 林齡40年)

Table V-2 An example of a yield table by logs (SITE I, Age 40)

..... MOTO-DAMA .....					
VOLUME =	178.329 M <sup>3</sup> /HA	PRICE = ¥	7521115./HA	NUMBER OF LOGS =	1259 HON
L = 3.0 M D = ~13 CM	VOLUME = 6.865 M <sup>3</sup> /HA	PRICE = ¥	259004./HA	NUMBER OF LOGS =	166 HON
	U = 8CM 19 HON, D = 10CM 46 HON, D = 13CM 101 HON, D =				
D = 14~28 CM	VOLUME = 82.085 M <sup>3</sup> /HA	PRICE = ¥	3359354./HA	NUMBER OF LOGS =	633 HON
	U = 14CM 122 HON, D = 16CM 134 HON, D = 20CM 131 HON, D = 24CM 101 HON, D = 26CM 82 HON,				
	U = 28CM 63 HON, D =				
D = 30 CM ~	VOLUME = 1.733 M <sup>3</sup> /HA	PRICE = ¥	72084./HA	NUMBER OF LOGS =	4 HON
	U = 30CM 4 HON, D =				
L = 4.0 M D = ~13 CM	VOLUME = 3.644 M <sup>3</sup> /HA	PRICE = ¥	118021./HA	NUMBER OF LOGS =	76 HON
	U = 8CM 1 HON, D = 11CM 75 HON, D =				
D = 14~28 CM	VOLUME = 51.221 M <sup>3</sup> /HA	PRICE = ¥	2194905./HA	NUMBER OF LOGS =	302 HON
	U = 18CM 137 HON, D = 20CM 119 HON, D = 28CM 46 HON, D =				
D = 30 CM ~	VOLUME = 32.781 M <sup>3</sup> /HA	PRICE = ¥	1517748./HA	NUMBER OF LOGS =	78 HON
	U = 30CM 32 HON, D = 32CM 21 HON, D = 34CM 13 HON, D = 36CM 8 HON, D = 38CM 2 HON,				
	U = 40CM 1 HON, D = 42CM 1 HON, D =				
..... MOTO-DAMA IGAI .....					
VOLUME =	373.187 M <sup>3</sup> /HA	PRICE = ¥	15130330./HA	NUMBER OF LOGS =	5134 HON
L = 2.0 M D = ~13 CM	VOLUME = 1.043 M <sup>3</sup> /HA	PRICE = ¥	18468./HA	NUMBER OF LOGS =	263 HON
	U = 5CM 28 HON, D = 6CM 233 HON, D = 8CM 2 HON, D =				
L = 3.0 M D = ~13 CM	VOLUME = 32.435 M <sup>3</sup> /HA	PRICE = ¥	1157362./HA	NUMBER OF LOGS =	1105 HON
	U = 5CM 138 HON, D = 6CM 236 HON, D = 7CM 1 HON, D = 9CM 305 HON, D = 11CM 8 HON,				
	U = 12CM 1 HON, D = 13CM 416 HON, D =				
D = 14~28 CM	VOLUME = 123.252 M <sup>3</sup> /HA	PRICE = ¥	5061252./HA	NUMBER OF LOGS =	1629 HON
	U = 14CM 726 HON, D = 16CM 578 HON, D = 18CM 256 HON, D = 22CM 32 HON, D = 24CM 33 HON,				
	U = 28CM 4 HON, D =				
D = 30 CM ~	VOLUME = 6.545 M <sup>3</sup> /HA	PRICE = ¥	272264./HA	NUMBER OF LOGS =	23 HON
	U = 30CM 14 HON, D = 32CM 9 HON, D =				
L = 4.0 M D = ~13 CM	VOLUME = 39.528 M <sup>3</sup> /HA	PRICE = ¥	1267033./HA	NUMBER OF LOGS =	1182 HON
	U = 5CM 75 HON, D = 6CM 19 HON, U = 7CM 122 HON, D = 8CM 266 HON, D = 9CM 75 HON,				
	D = 10CM 402 HON, D = 11CM 223 HON, D =				
D = 14~28 CM	VOLUME = 162.683 M <sup>3</sup> /HA	PRICE = ¥	7034375./HA	NUMBER OF LOGS =	916 HON
	U = 18CM 346 HON, D = 20CM 178 HON, D = 22CM 157 HON, D = 24CM 149 HON, D = 26CM 54 HON,				
	U = 28CM 32 HON, D =				
D = 30 CM ~	VOLUME = 6.902 M <sup>3</sup> /HA	PRICE = ¥	319578./HA	NUMBER OF LOGS =	16 HON
	U = 30CM 6 HON, D = 32CM 1 HON, D = 34CM 7 HON, D = 36CM 1 HON, D = 38CM 1 HON,				
..... TOTAL .....					
VOLUME =	551.516 M <sup>3</sup> /HA	PRICE = ¥	22651424./HA	NUMBER OF LOGS =	6393 HON
L = 2.0 M D = ~13 CM	VOLUME = 1.043 M <sup>3</sup> /HA	PRICE = ¥	18468./HA	NUMBER OF LOGS =	263 HON
	U = 5CM 28 HON, D = 6CM 233 HON, D = 8CM 2 HON, D =				
L = 3.0 M D = ~13 CM	VOLUME = 39.300 M <sup>3</sup> /HA	PRICE = ¥	1416367./HA	NUMBER OF LOGS =	1271 HON
	U = 5CM 138 HON, D = 6CM 236 HON, D = 7CM 1 HON, D = 8CM 19 HON, D = 9CM 305 HON,				
	D = 10CM 46 HON, D = 11CM 8 HON, D = 12CM 1 HON, D = 13CM 517 HON, D =				
D = 14~28 CM	VOLUME = 205.337 M <sup>3</sup> /HA	PRICE = ¥	8420606./HA	NUMBER OF LOGS =	2262 HON
	U = 14CM 848 HON, D = 16CM 712 HON, D = 18CM 256 HON, D = 20CM 131 HON, D = 22CM 32 HON,				
	D = 24CM 134 HON, D = 26CM 82 HON, D = 28CM 67 HON, D =				
D = 30 CM ~	VOLUME = 8.278 M <sup>3</sup> /HA	PRICE = ¥	344348./HA	NUMBER OF LOGS =	27 HON
	U = 30CM 14 HON, D = 32CM 9 HON, D = 36CM 4 HON, D =				
L = 4.0 M D = ~13 CM	VOLUME = 43.172 M <sup>3</sup> /HA	PRICE = ¥	1385054./HA	NUMBER OF LOGS =	1258 HON
	U = 5CM 75 HON, D = 6CM 20 HON, D = 7CM 122 HON, D = 8CM 266 HON, D = 9CM 75 HON,				
	D = 10CM 402 HON, D = 11CM 298 HON, D =				
D = 14~28 CM	VOLUME = 213.904 M <sup>3</sup> /HA	PRICE = ¥	9229280./HA	NUMBER OF LOGS =	1218 HON
	U = 18CM 483 HON, D = 20CM 297 HON, D = 22CM 157 HON, D = 24CM 149 HON, D = 26CM 54 HON,				
	D = 28CM 78 HON, D =				
D = 30 CM ~	VOLUME = 39.683 M <sup>3</sup> /HA	PRICE = ¥	1837326./HA	NUMBER OF LOGS =	94 HON
	U = 30CM 38 HON, D = 32CM 22 HON, D = 34CM 20 HON, D = 36CM 9 HON, D = 38CM 3 HON,				
	U = 40CM 1 HON, D = 42CM 1 HON, D =				

行なっていくことを前提とし、実際的な立木密度を維持しながら、てきぎ利用間伐を実施してゆくという考え方をしている。この考え方の相違が、蓄積を増加させるのか、あるいは間伐収穫をある程度あげてゆくのかという差となって現われているものと思われる。

## (2) 利用材積収穫表とその分析

本収穫表調製システムでは、任意の林齢における主副林木から、任意の採材方法によって得られる径級別、材長別の素材量を計算することができる。ここでは、一例として、地位Ⅰ、林齢40年において金員収穫最多の採材方法によって主伐した際の利用材積収穫表を示すこととする(表V-2)。

この表では、まず最初の行にヘクタール当りの利用材積とその評価額および素材数量がそれぞれ立方メートル、円、本を単位として表示されている。次の行からは、材長別の素材量に関して、その値がこれと同じ順序で表示されている。なお、以上の表示内容に関して、現実には木材価格の相違から、元玉と元玉以外に分けた情報が必要である。前述のように、本システムでは全林木についてだけでなく、こうした種類別の表示ができるようになっている。

ところで、素材量やその評価額が採材の方法によってどのように変化するかという問題は重要である。関屋らは、「構造材生産林の伐期齢の決定には、単なる幹材積によるものではなく、その利用材積をその基礎として定めるべきである」と述べている<sup>32)</sup>。そこでここでは、林齢40年と60年の場合について上述の三種の採材方法による場合の素材数量の変化について調べてみた(表V-3)。

表V-3 採材方法のちがいによる収穫量の変化

Table V-3 Change of yields under different cutting strategy

採材方法	40年		60年		60年/40年	
	利用材積 m <sup>3</sup> /ha	金員収穫 万円/ha	利用材積 m <sup>3</sup> /ha	金員収穫 万円/ha	利用材積	金員収穫
(i)単純採材	518.945 (86.5)	2,098 (92.6)	708.096 (88.7)	3,054 (95.9)	1.36	1.46
(ii)利用材積最大	599.869 (100.0)	1,729 (76.3)	797.748 (100.0)	2,071 (65.0)	1.33	1.20
(iii)最適採材	555.516 (92.0)	2,265 (100.0)	745.470 (93.4)	3,185 (100.0)	1.35	1.41

注) ( )内は最大の数値を100としたもの

この表は森林評価の場合、採材方法の選択がきわめて重要な問題であることを示唆している。まず利用材積に関してみると、(ii)の利用材積最大の採材方法に比較して、(i)単純採材、(iii)最適採材では、それぞれ11~13%、7~8%ほど小さい値となっている。次に、金員収穫に関して

みると、(iii)の最適採材の場合に比較して、(ii)利用材積最大、(i)単純採材の場合はそれぞれ、24～35%、4～7%ほど少なくなっている。以上のように、長年月にわたる施業の成果とも言うべき主伐時の素材の数量やその評価額は採材の方法によって大きく変化することがわかる。

次に主伐を40年と60年に行なった場合の差異について見てみよう。幹材積については、40年に比較して60年は約28%ほど大きくなっている。しかし、利用材積では、上述の三種の採材方法とも約35%ほど大きく、金員収穫に関しては、(i)単純採材で約46%、(ii)利用材積最大で約20%、(iii)最適採材で約41%と、その生長の度合は幹材積のそれと比較して、はるかに大きくなっている。関屋らは、主林木、総収穫のいずれも各地位を通じて、利用材積の平均生長量最大期は幹材積のそれより5～15年おくらせて出現すると述べている<sup>32)</sup>。こうした傾向は、本研究においても認められるところである。表V-3は林分の平均生長量をそれぞれ幹材積および丸太材積で測った場合、その値が平均生長量最大の時の値の95%以内に入る期間を表示したものである。この表によると、丸太材積で測った場合には、その時期がおくれるばかりでなく、その期間の範囲もひろがっていることが認められる。こうした結果は伐期の決定の際には利用材積に関して十分考慮をはらう必要性のあることを暗示するものである。

## 5 結 論

品質管理において「管理図法」の創始者として著名なシュワートは、「正確度と精度に関しては、応用科学は純粋科学より厳密である」と述べている<sup>33)</sup>。近代産業の特徴である「大量生産」は互換性の導入が契機となって始まったがこの互換性は、あらかじめ許容された誤差の範囲内で部品が生産されることによるのみ可能となったのである。

こうした精度に関する考え方は、われわれの研究においても同じようにあてはまる。生長モデルの研究において、森林のある側面に関して一つの法則が存在することを研究する場合、検討しようとするモデルとその資料との適合の度合に関してはつねに大局的な立場からなされなければならない。たとえば、資料を対数変換した結果を図に表示した場合、それがほぼ曲線上に並んでいるとみとめられるときにはそれは森林の一つの法則の検証として役立つ。しかし、収穫表調製のように応用科学の立場ではこうした態度は許されない。そこではモデルと資

表V-4 平均生長量最大の値の95%以内に入る期間

Table V-4 The time period in which the the value of the mean volume increments takes over 95% from that of maximum value

地 位 SITE	幹材積の場合 (年) Ages in case of stand volume (Yr)	丸太材積の場合 (年) Ages in case of scalling by logs (Yr)
1	30～60	35～75
2	40～55	40～80
3	30～70	45～(100*)
4	55～85	55～(100*)
5	45～(100*)	60～(100*)

注) (100\*)は100年以上  
(100\*) means over 100 years

料との絶対的な誤差の大きさのみがつねに問題とされるからである。たとえ平均的な意味で資料とよく適合するモデルであっても、現実の値とこのモデルによる値との差が実用上許容される範囲より外に出るものがある場合には、それはモデルとして直接役立つ。逆に、使用目的から考えて許容限度内の誤差で近似できるモデルに関してはどのようなモデルであってもよく、使いやすさのみがその選択の基準となる。これまで樹高曲線式や単木材積式として多くのモデルが提案されてきたのもこうした理由からである。

筆者らの利用材積収穫表調製の考え方は、1978年ニュージーランドにおいてグルディングらがラジャータ松を対象として研究した収穫表と基本的に相違がない<sup>9)</sup>。勿論、調製に到る過程で使用した生長モデル等に関しては異なっている。

筆者らの研究した収穫表調製システムでは、その調製過程においてモデルの“独走”をおそれる意味で可能な限り資料との対応をこころがけた。しかし、目的とする収穫表の内容の複雑さのため、モデルの組合せの過程で若干恣意的と考えられるような仮定も導入せざるをえなかった。こうした仮定がどの程度現実を反映しているかを検証する手段は調製した収穫表と現実の施業林との適合の度合を調べることである。この検証は今後の課題である。

本研究の目的は、林業技術者が容易かつ迅速に森林施業の指針となる収穫表を調製できるようなシステムをつくることであつた。したがって、本研究で作成したシステムを他地域において利用しようとする場合には、単に必要なすべての資料が整った段階で利用できるばかりでなく、資料が不十分な場合にも、その一部を補完して収穫表が調製できることが望ましい。こうした問題に関しては筆者らは、スギ林の固有の生長様式を反映している樹高生長曲線式、相対幹曲線式、相対樹高曲線式に関してはある程度はそのまま利用可能であると考えている。

しかし本研究の基本的態度は、モデルは資料の不足している場合にこれを補完するために利用するということである。より現実に合致した精度の高い収穫表を調製するためには、可能な限り資料を収集し、これをモデルに適用してその適合の度合を確かめつつ、このシステムを利用することが望ましい。

現代はコンピューターの時代だといわれている。今後ますます広い分野でコンピューターの使用が浸透してゆくであろう。林業の分野においても、今後は地域森林計画から個別の森林施業計画の策定に到るまで大型コンピューターを駆使することになるであろう。この場合、より適切な計画をつくるためには精度が高くかつ柔軟性に富む収穫表の存在が不可欠である。筆者らは収穫表調製システムの作成はこうした計画システムづくりの一環であると考えている。

## 要 旨

東京大学千葉演習林スギ林生長試験地の資料に基づき、電算機を用いてスギ林収穫表を調製するシステムを研究した。この収穫表調製システムでは、さまざまな間伐方法のもとで林分から得られる幹材積と利用材積が計算できる。このシステムによる収穫表の調製手順は次の通りである。

1. 林分の平均直径、その分散、立木密度を組み合わせて林分胸高断面積の生長を記述するモデルを確定する。
2. 上で確定した林分胸高断面積のもとで、林分の直径分布を決定する。この直径分布の関数としては、ワイブル分布を利用する。
3. 林分平均樹高の生長曲線を決定する。この曲線式としてはミッチェルリッヒ式を利用する。
4. 樹幹の相対幹曲線式を決定する。この曲線式としては三次の多項式で、いわゆる吉田式と呼ばれる関数を用いる。

5. 樹高一直径関係を相対化した相対樹高曲線式を決定する。いま、任意の樹幹の胸高直径、樹高を  $d, h$  とし、林分の平均胸高直径、平均樹高をそれぞれ  $\bar{d}, \bar{h}$  とすれば、この式は  $h-1.3/\bar{h}-1.3 = a \left( \frac{d}{\bar{d}} \right)^{b-ct}$  となる。ただし  $a, b, c$  はパラメーター、 $t$  は時間である。

これらの式を組み合わせると次のようにして収穫表を調製することができる。まず、地位、林齢、間伐方法に応じた直径分布を決定し、林分平均樹高を求め、この平均樹高を相対樹高曲線に適用して、実際の大きさをもつ樹高曲線を復元する。この曲線に基づいて、相対幹曲線を利用して径級ごとの細り表をつくる。この細り表によって径級ごとの幹材積および利用材積を計算し、これを全径級にわたって加え合せて収穫表が確定する。

以上の手法によって東京大学千葉演習林スギ林収穫表を調製した。利用材積の計算は三種類の木取り法によっておこなった。計算の結果、幹材積で測った平均生長量最大の時期より利用材積で測った平均生長量最大の時期の方が5年から15年程度おそいこと、また、利用材積による金員収穫は木取り法によって大きな差があらわれることがわかった。



## 参考文献

- 1) ANUCHIN, N. P. : Forest Mensuration. Translated by Israel Program for Scientific Translations, 453pp, Jerusalem, 1970
- 2) 粟屋仁志・神戸喜久：収穫予想表の作成(9), 林分材積表の作成, 32回日林関東支論：79-80, 1980
- 3) BAILEY, R. L. : Individual Tree Growth Derived from Diameter Distribution Models. Forest Sci., 26 : 626-632, 1980
- 4) CURTIS, R. O. : Height-diameter and Height-diameter-age equations for Second-growth Douglas-Fir. For. Sci., 13 : 365-375, 1967
- 5) FRIES, J. & MATERN, B. : On the use of multivariate methods for the construction of tree taper curves. Proceedings of 27th IUFRO Sect. 25, Stockholm, Sweden. Paper No. 9, 1-33, 1965
- 6) GOULDING, C. J. & SHIRLEY, J. W. : A method to predict the yield of log assortments for long term planning. N. Z. For. Serv., Forest Research Inst., Mensuration for Management Planning of Exotic Forest Plantations, FRI Symposium No. 20, 301-315, 1979
- 7) HAFLEY, W. L. & SCHREUDER, H. T. : Statistical distributions for fitting diameter and height data in even-aged stands. Can. J. For. Res., 7 : 481-487, 1977
- 8) 早尾丑磨編：日本主要樹種林分収穫表, 494pp. 林業経済研究所, 東京, 1961
- 9) HOZUMI, K., SHINOZAKI, K. & TADAKI, K. : Studies on the frequency distribution of the weight of individual tree in a forest stand (I) A new approach toward the analysis of the distribution function and the  $-3/2$  power distribution. Jap. J. Ecol. 18 : 10-20, 1968
- 10) 梶原幹弘：樹高曲線の誤差に関する実験的考察, 京都府大農演習林報告10 : 1-14, 1966
- 11) 梶原幹弘：スギ同齢林における相対幹曲線の変動について, 日林誌54 : 340-345, 1972
- 12) 梶原幹弘：林分相対幹曲線による林分細り表の作成方法, 日林誌55 : 379-387, 1973
- 13) 梶原幹弘：相対幹曲線による林分の全幹材積ならびに利用材積の推定について：日林誌56 : 356-360, 1974
- 14) 角谷誠之助：立木評定方式の統一手法に関する基礎研究, 昭和49年度林野庁長期委託研修報告書(15), 153pp, 1975
- 15) 木梨謙吉・西沢正久・柿原道喜・長正道：林分シミュレーションに対する生長モデルの研究(X), 88回日林論, 107-108, 1977
- 16) LAHTINEN, A. & LAASASENAHO, J. : On the construction of taper curves by using spline functions. Commun. Inst. For. Fenn. 95(8) : 1-63, 1979
- 17) LIU, C. J. : Log Volume Estimation with Spline Approximation. Forest Sci., 26 : 361-369, 1980
- 18) LOETSCH, F., ZÖHRER, F. & HALLER, K. E. : Forest Inventory Vol. II, 469pp. BLV Verlag. mbH, München, 1973
- 19) 南雲秀次郎・佐藤健：Mitscherlich 式による森林の生長予測, 東大農演習林報告第61号, 37-102, 1965
- 20) 南雲秀次郎・田中万里子：相対幹曲線式を用いた材積表の調製, 日林誌63, 278-286, 1981
- 21) 南雲秀次郎・田中万里子：利用材積収穫表の調製：92回日林論 : 83-84, 1981
- 22) 嶺一三：収穫表に関する基礎的研究と信州地方カラマツ林収穫表の調製, 収穫表調製業務研究資料第12号, 林野庁, 201pp, 1955
- 23) 西沢正久・木梨謙吉・柿原道喜・長正道：林分シミュレーションに対する生長モデルの研究(III), 87回日林

論, 87~88, 1976

- 24) 西沢正久・木梨謙吉・柿原道喜・長正道：林分シミュレーションに対する生長モデルの研究(IX), 88回日林論, 105~106, 1977
- 25) 大隅真一：スギ林の収穫表及びスギ林の生長, 「スギの研究」からp387~p424, 養賢堂, 東京, 1955
- 26) 大隅真一：幹形に関する研究(1)相対幹形について, 日林誌41: 471~479, 1959
- 27) 大隅真一・北村昌美・菅原聡・大内幸雄・梶原幹弘・今永正明：森林計測学, 415pp. 養賢堂, 東京, 1971
- 28) 大隅真一：相対材積の概念とその生長, 京都府大学術報告農学26: 74~87, 1974
- 29) RRODAN, M. : Holzmesslehre, 644pp., J. D. Sauerländers Verlag, Frankfurt, 1965,
- 30) ROSENBLUETH, ・黒田洋一郎訳：脳と心, 143pp. みすず書房, 東京, 1976
- 31) SCHREUDER, H. T. , HAFLEY, W. L. & BENNETT, F. A. : Yield prediction for unthinned Natural slash pine stands. For. Sci., 25: 25-30, 1979
- 32) 関屋雄偉・吉永智信：利用材積収穫表にもとづく伐期齢の研究(Ⅲ)九州におけるスギとヒノキの同齡単純林の場合について, 80回日林論, 66~67, 1969
- 33) SHEWHART, W. A. : Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control., 坂元平八監訳：品質管理の基礎概念, 岩波書店, 東京, 1960
- 34) 白石則彦：相対化した樹高曲線の形の比較, 92回日林論 : 81~82, 1981
- 35) 竹内公男・長谷川茂：千葉演習林における林分生長資料, 演習林19号, 69~175, 東京大学農学部附属演習林, 1975
- 36) 東京営林局：天城地方すぎ林分収穫表調製説明書, 収穫表調製業務研究資料第17号, 林野庁, 154pp, 1956
- 37) 東京営林局：茨城地方すぎ林分収穫表調製説明書, 収穫表調製業務研究資料第23号, 林野庁, 171pp, 1959
- 38) 吉田正男：植栽林の林木構成状態に関する統計的研究(第一報), 東大演習林報告6: 1~60, 1929
- 39) 吉田正男：植栽林の林木構成状態に関する統計的研究(第二報), 東大演習林報告10: 1~70, 1930
- 40) 吉田正男・相川茂宣：植栽林の林木構成状態に関する統計的研究(第三報), 東大演習林報告29: 50~92, 1940
- 41) 吉田正男・相川茂宣：植栽林の林木構成状態に関する統計的研究(第四報), 東大演習林報告30: 23~68, 1942
- 42) 吉田正男・平田種男：植栽林の林木構成状態に関する統計的研究(V), 東大演習林報告46: 115~143, 1954
- 43) 吉田正男・平田種男：植栽林の林木構成状態に関する統計的研究(VI), 東大演習林報告48: 43~64, 1955
- 44) 吉田正男・平田種男：植栽林の林木構成状態に関する統計的研究(VII), 東大演習林報告52: 1~14, 1956

(1981年5月30日受理)

## Summary

A computerized system TUSYCS constructing an empirical yield table for sugi even-aged stands was developed on the basis of data from the permanent experimental plots in the Tokyo University Forest in Chiba Prefecture.

Using the basic stand variables of age, mean height growth expressed by the so-called Mitscherlich equation, number of stems, basal-area per hectare, taper curve, and relative height-diameter curve, the system predicts the stand diameter distribution, the volume, followed by the assortment of logs produced by a specific log cross-cutting strategy.

The method employed in the construction of TUSYCS is:

(1) The growth function for stand basal-area is determined, this is given in more detail later in this section.

(2) Stem-diameter distribution linked to the stand basal-area is determined by the Weibull function (Fig. III-8).

(3) The growth function predicting mean tree height is determined by the use of the so-called Mitscherlich equation (Fig. III-9).

(4) Taper curve is determined using the function of polynomials up to the third power. This is the so-called Yoshida formula.

(5) The relationship between stem height and diameter at breast height (DBH) is determined by the relative height-diameter curve which is represented by

$$\left( \frac{d}{\bar{d}}, \frac{h-1.3}{\bar{h}-1.3} \right)$$

where  $h$  and  $d$  are height and DBH respectively of any given stem in a stand, and  $\bar{h}$  and  $\bar{d}$  are mean height and mean DBH respectively, in a stand. Stoffel's formula, chosen as the function of the relative height-diameter curve, is

$$\frac{h-1.3}{\bar{h}-1.3} = a \left( \frac{d}{\bar{d}} \right)^{b-ct}$$

where  $a$ ,  $b$ , and  $c$  are positive coefficients, and  $t$  is the stand age.

The procedure for constructing a yield table by these formulas is to first obtain the diameter distribution and mean tree height corresponding to an age class and site index; then with this mean height, the relative height-diameter curve is converted to actual dimensions. Next, with the diameter distribution, height-diameter curve, and taper curve obtained, a stand table covering all age classes is constructed. By summing individual tree volume which is calculated based on a taper curve, the standing timber volume and the number of logs of various sizes obtained from a single stem are determined. The final step is to sum up these stem volumes and numbers of logs, classified by small-end diameter and length, for all diameter classes.

TUSYCS is made up of two phases, the first of which predicts the stem-diameter distribution of a stand for each age class, and the second predicts the stand volume and the assortments

of logs produced by a specific log cross-cutting strategy at a given age. The two phases are described separately.

#### Phase 1

Figure III-7 is the flow chart of Phase 1:

(1) The input of data which specifies the initial state of a stand in terms of age  $t$ , number of trees  $\rho$ , mean breast-height diameter  $\bar{d}$ , and site. The choice of the time and the method of thinning is left to the user.

(2) The computation of stand basal-area  $G$  and the variance of diameter  $\text{Var}(d)$  at the initial time of the yield table. When no thinning is assumed,  $\text{Var}(d)$  is specified in advance.

(3) The prediction of the growth rate of the basal-area  $P_g$  which is calculated, based upon the function

$$P_g = a \exp(-ct) + b \frac{d(\rho) - \bar{d}}{d(\rho)}$$

where  $d(\rho)$  is the standard mean-diameter which depends only on the number of trees  $\rho$ , and is fixed before hand. While  $\bar{d}$  is the mean-diameter of a stand at a given age and for a given site.  $a$ ,  $b$ , and  $c$  are constants. The first term of this equation decreases with increased age, and the second term changes with mean diameters, reflecting the effect of thinning.

(4) The computation of  $G$ ,  $\text{Var}(d)$ , and  $\bar{d}$  at the end of the period by the equation for  $P_g$ .

(5) The computation of  $\bar{d}'$ ,  $\text{Var}(d')$ ,  $\rho'$ , and  $G'$ , here, the primes denote the values of  $\bar{d}$ ,  $\text{Var}(d)$ ,  $\rho$ , and  $G$  after thinning.  $\text{Var}(d')$  and  $\bar{d}'$  can be computed by the equations

$$\bar{d}' = \bar{d} \frac{1 - \theta \cdot \Delta \rho}{1 - \Delta \rho}$$

and

$$\text{Var}(d') = \text{Var}(d) (1 - \Delta \rho^2) \cdot \theta^{0.5}$$

where  $\theta$  is the ratio of the mean diameter of the thinned trees  $\bar{d}'$  to  $\bar{d}$ , and  $\Delta \rho$  is the thinning ratio.

(6) The output of stand basal-area and mean diameter for every age class.

(7) To set  $\rho$ ,  $\bar{d}$ ,  $G$ , and  $\text{Var}(d)$  at the given age for the purpose of computing the diameter distribution.

(8) The decision on the minimum diameter  $\gamma$  which is used as the location parameter of the Weibull function

$$y = \frac{s}{a} (x - \gamma)^{s-1} \exp \left[ -\frac{(x - \gamma)^s}{a} \right] \quad x > \gamma, \text{ otherwise } 0,$$

where  $s$  is a shape parameter,  $a$  is a scale parameter, and the value  $\gamma$  is given by the equation

$$\gamma = 1390 t^{0.25} \cdot \rho^{-0.85}$$

(9) The determination of the other parameters,  $a$  and  $s$ , of the Weibull function can be made by  $\bar{d}$  and  $G$ .

(10) The prediction of diameter distribution at a given age by the Weibull distribution (Fig. III-8).

(11) The computation of the diameter distribution of the thinned stems which also are represented by the Weibull function.

(12) The output of the diameter distribution at the given age.

#### Phase 2

Figure V-1 is the flow chart of Phase 2:

(1) To set the price of logs which is the marketable value determined by the lumber market.

(2) To establish the growth function of the mean height of the stand. For example,

$$h(t) = \begin{array}{ll} 33.65 [1 - 0.9628 \exp(-0.02196t)] & \text{site 1} \\ 23.58 [1 - 0.9843 \exp(-0.02155t)] & \text{site 3} \\ 17.04 [1 - 1.038 \exp(-0.02197t)] & \text{site 5} \end{array}$$

(3) To establish the relative height-diameter curve (Fig. IV-2)

$$h_* = a d_*^{0.6534 - 0.000834t}$$

$$h_* = \text{relative height} \frac{h - 1.3}{h - 1.3}, \quad d_* = \frac{d}{d}$$

while  $a$  is a constant, it is irrelevant to the computation being discussed.

(4) To establish the taper equation and the ratio of bark thickness to the diameter outside the bark.

(5) To establish the diameter distribution which is computed in Phase 1.

(6) To establish the mean height of stand  $\bar{h}$  which is computed by the equation shown in (2) above.

(7) The computation of the yield by logs and timber volume. On the cross-cutting algorithm, this program contains three cutting strategy which are fitted to the Japanese Agricultural Standards (JAS). The first one is the standard cutting-system which permits the stem to be cross-cut into logs on the principle assigned before hand, taking into account the stem length and its DBH. In the second pattern, every stem is cross-cut so that the maximum volume of the logs, based on the JAS log rule, may be realized. The third pattern aims at obtaining the maximum monetary yield from the stand. First, the cutting pattern is determined; then with this pattern, a stem of each diameter class is assumed to be cross-cut into logs which are grouped by small-end diameter and length. These are matched to all diameter-distribution and taper curves, and timber volume of the stand is computed.

(8) The output of the yield table by logs and timber volume. An example of this output is displayed as Table V-1 and Table V-2.

The basic concept of this system is the same as that of the method which was developed by G. J. Goulding and J. W. Shirley to predict the yield of log assortments. However, the system presented here differs from their model in the derivation of the basic-growth model, diameter-

height curve, and the determination of individual stem volume.

The computerized system for constructing a local yield-table for an artificial sugi stand has been developed on the basis of data from the permanent experimental plots in the Tokyo University Forest in Chiba Prefecture. This study is concerned with the determination of cutting age. In Japan, many arguments have been had on the cutting age which now is generally assumed to be the 35th to 50th years. These ages were based mainly on the maximum mean stem-increment. However, it may be unsuitable to decide the cutting age on the basis of the maximum mean stem-increment because this investigation on the yield table shows that the age of the maximum mean volume-increment based on timber volume comes approximately five to fifteen years sooner than that scaled by the JAS log rule.

This research has just begun, and therefore, it should be noted that for the application of this system to other regions, careful consideration is necessary.