

Mitscherlich 式による森林の生長予測

文部教育 南雲秀次郎・学生 佐藤 健
Hidejiro NAGUMO and Takeshi SATO

Growth Estimation of Forest by Mitscherlich's Law

目	次
はじめに.....	37
I 生長モデル.....	39
II データおよびモデル林分と、それに対する生長式のあてはめ.....	41
1. モデル I.....	42
2. モデル II.....	42
3. モデル III.....	43
III 生長予測に必要な因子の計算.....	49
IV モデル林分における生長予測結果.....	53
V 考 察.....	58
参考文献.....	66
Summary.....	67

はじめに

生物がその生存を維持し得るためには、常に周囲の環境に適応できなくてはならない。すなわち、個体にしろ集団にしろ、その生存とは、外部から与えられた環境に関する情報を、その感覚器官で適確にとらえ、それに対して、自己の内部条件を適応させる反応の過程である。樹木についてもこのことは例外ではない。樹木は自己の葉、幹、根において、光、熱、温度、空気、水分、養分などに関する情報をとらえ、それに対応して、常に自己を変化させて、たくみに環境に反応している。それゆえ、ある場所に存在している1本の樹木、もしくはその集団である森林は、

1) それが植物体として生活を始めるとき、外部環境は、それが生活可能なものであり、またそれ以来生育に及ぼす環境の変化は、その個体もしくは集団が自己を変化させ、適応することが可能な範囲内にあったこと。

2) その個体もしくは集団は、与えられた外部諸条件とその集団および単木との相互作用によって形成された環境に関する情報をもとにして、その変化にたいし最適な反応をしてきたこと。

この2点をものがたっているといえよう。それゆえ、優良な蓄積をもつ秋田のスギ林にしても、富士山の森林限界付近にある「アオモリトドマツ」や「カラマツ」の歪曲した形にしても、いずれもそのような存在様式が、その個体もしくは、その集団にとって、与えられた環境における最適な反応の歴史のつみかさなりだといえる。ところで、森林の生長予測の方法としては、大別して次の2つがある。

i) 他の類似林分の既応の資料をもととして、間接的に予測を行なう方法。

ii) 生長錐などによって、対象とする林分の過去の生長量、もしくは生長率を知って、近い将来の予測をする方法。

i) において、一般的な方法は、収穫表にもとづいて生長の予測をする方法である。収穫表は、ある条件のもとにおける生長の期待値であると考えられ、その数値が意味をもつためには、次のような条件がみたされていなければならない。

- 1) 対象としている林分が、資料をとった林分とほぼ同一の遺伝集団に属していること。
- 2) その林分が存在している間、外部の自然環境の変化は、資料をとった林分がうけたものと、ほぼ同一の pattern のくりかえしであること、具体的には、気候の周年変化が大きな差異を示さないこと。
- 3) 人間による、生育環境にたいする干渉（下刈り、枝打、間伐など）が時間的、ならびに空間的に、ほぼ同一であること。
- 4) 森林の土壌およびその発展過程が資料をとった林分のそれと、ほぼ同一であること。

以上の条件がみたされた場合に、収穫表によって、生長の予測が可能である理由は、これらの条件が規定された場合に、森林の環境に対する反応は、unique であると考えられるからである。それゆえ、この予測の形式は、 $V=f(T, N, S, B, I, \dots)$ と表現できる。ここに、 V —材積、 T —年令、 N —集団の密度、 S —枝打、間伐、施肥など人間の森林に対する干渉、 B —土壌その他それと密接な環境条件、 I —遺伝的条件、その他気温、降水量等の諸因子

これらの諸因子を計量化して、精密に測定してゆけば、予測の精度を高めてゆくことができる。この予測の形式においては、森林が存在する以前から、任意の時点における単木および集団の生長の予測が可能であり、そのさいの推定の誤差は、現在の知識をもってすれば、ほぼ実用上支障のない程度に管理し得る¹⁾、したがって、林業経営の立場から考えると、経営に関する計画がたてやすく、実践的である。しかし予測が正確であるためには、諸因子を精密に測定しなければならず、しかも、それらの中には数量化のきわめて困難なものが多いため、正確さには極めて大きな限界がある。この種の間接的な予測方法に対し、次に直接的予測方法について考えてみる。前述のように林分は常に環境に関する情報を把握して、それにたくみに適応して、存在を継続している。そしてその結果が実際の生長なのであるから、この実際の生長の量と環境その他生長に関係する諸因子とは、同値なものと考えられる。したがって、それがほぼ安定した状態を保っている場合、さらに将来においても変化がすくなくと予想される場合、過去の生長に関係する諸因子と同値であるときみなせるところの過去から現在にいたるまでの生長の経過を用いて、将来の状態を予測することができるであろう。森林の生長に影響する変化は、2種類ある。一つは気候の周年変化のように1年を単位として周期的に変化するものであり、他は偶然おこる環境の変化であって、虫害、風害とか人間による枝打、間伐等である。ところで生長して、閉鎖した林分

1) 安藤愛次：中部山地の林地生産力に関する研究 農林出版 1962
西沢正久：土壌と結びついた林分調査法 森林立地 Vol. IV, No. 2, 1963
小林正吾：数量化による地位予測法 //

においては、外部からの環境の変化を林分全体でうけとめ、内部の個々の樹木に与える影響を小さくしようとする緩衝機能をもっている。林木の生長にもっとも大きな影響を与える土壌においても、そのような森林の環境維持機能によって、一つの安定した推移状態が保たれる。それゆえかような林分においては、規則的な周期をもつ外部環境の変化を除いたとき、巨視的な観点からみれば、外部環境はほぼ安定した状態を持続しているとみてよいであろう。したがって予測の単位として変化の周期またはその整数倍——1年とか5年とか——をとったならば、林木の過去の生長を因子として生長の予測ができるであろう。そしてこのような条件はこれまでの議論によって、正常な生長をしている閉鎖完了後の森林にはほぼあてはまる。鈴木²⁾は木曾の天然ヒノキの老令林分からの標本を用い、直径について、その生長過程を定差図上にプロットしてみた結果、それがきわめて精確に同一直線上にのるのを発見した。そしてその直線の勾配が一般に45度より小さくなることから、林木の胸高直径の生長は Mitscherlich の法則にしたがうであろうと推測した。当報告書はこのような生長法測を、いままで考えられている生長モデルのなかに位置づけ、それを森林の生長予測に用いたとき、どの程度使用にたえるかを検討し、さらに生長に関して2,3の考察を加えたものである。当研究を行なうにあたり、このような研究を奨励して下さった、嶺一三教授および終始懇篤なる御指導、御助言を賜った扇田正二教授、平田種男助教授、名大鈴木太七助教授、東大遠藤健治郎教官、資料の収集にあたりお世話になった東京大学千葉県演習林長渡辺資伸教授、糟谷由助技官に厚く謝意を表す。

I 生長モデル

従来の直接的な森林の生長予測方法において、もっぱら重要な指標とされてきたのは、過去の材積生長量とか生長率である。両者のうちでは、生長率の方がそのもつ情報の価値は高く、一般的な比較に適することのために、より多く使用されている。生長率を推定する方法としては Pressler の公式、単利公式、複利公式、Schneider の公式など古くから提案されている。近年 Essed¹⁾ が提唱した平均材積をもつ木の直径生長率を拡張して、森林の材積生長率を推定する方法が平田種男²⁾ によって提案され、定角測高法などを有機的に結びつけることによって、生長率の推定がより簡単に行なわれるようになった。生長量、生長率を用いて生長の予測をする際には、その予測を行なう期間を通じて次の条件がみたされていることを仮定している。すなわち、いま、 t 時点における材積を $x(t)$ とすると、

- 1) $dx/dt = K$ (const) 生長量一定
- 2) $1/x \cdot dx/dt = K$ (const) 生長率一定

2) 鈴木太七：森林の成長法則 長谷川孝三編「林地肥培効果に関する研究」1961

1) Essed, F. E.: Estimation of standing timber, Wageningen, Holland, 1957

2) 平田種男：定角測高法に関する研究、東京大学演習林報告 56 号 1962

1) の条件を仮定する場合には, x_0, t_0, p_0 をそれぞれ予測時点の材積, 年令, 生長率とすると

$$x = x_0 \{1 + p_0(t - t_0)\}$$

$t - t_0$ は予測期間の年数であるから

$$x = x_0(1 + np_0)$$

それゆえこの場合, 生長は単利公式にもとづくことを意味している。2) の条件を仮定する場合には,

$$x = x_0 \cdot e^{p(t-t_0)}$$

$$e^p = 1 + \frac{p}{1!} + \frac{p^2}{2!} + \dots + \frac{p^n}{n!} + \dots \quad p < 1 \text{ であるから}$$

$$x = x_0(1 + p)^n$$

したがって, 生長が複利公式であらわされることを意味している。しかし天然林や過熟の老令林では, dx/dt や $1/x dx/dt$ が一定であるという仮定はある程度容認されるとしても, 比較的若い林分においては, それらが一定であると仮定するには, 無理があると考えられる。したがって, 以上のものを包含したもっと一般的な生長予測のモデルを考えるべきであろう。一般に, ある時点の状態がわかり, その変化の方向と大きさ, およびその変化率がわかれば, そのような条件のもとで任意の時点の状態を予測することができる。現実に行なわれている予測はこのような考え方でのみ真に意味があるものといえよう。ここでわれわれは予測の方程式として, 上の条件をみたす最も単純なものを考える, すなわち

$$a \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + cx = f(t) \quad (1.1)$$

ここで $f(t)$ は, t 時点における, 生長を規定する外部環境のいわば生産力水準といったものを意味している。ほぼ安定した林分においては, 前述のように $f(t)$ は一定と考えられるから,

$$a \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + cx = d \text{ (constant)} \quad (1.2)$$

この解は, 大別すると次のようになる。

$$\text{i) } x(t) = \alpha_0 + c_1 e^{\alpha t} + c_2 e^{\beta t} \quad b^2 - 4ac > 0 \text{ のとき} \quad (1.3)$$

$$\text{ii) } x(t) = \alpha_0 + c_1 e^{\alpha t} + c_2 t e^{\alpha t} \quad b^2 - 4ac = 0 \quad // \quad (1.4)$$

$$\text{iii) } x(t) = e^{\alpha t} (c_1 \cos \beta t + c_2 \sin \beta t) \quad b^2 - 4ac < 0 \quad // \quad (1.5)$$

ここで林木の生長はたえずつまかさなってゆくものであるから, $x((n+1)t) \geq x(nt)$ ただし t は 1 単位の年数。

したがって (iii) はわれわれの生長モデルとなり得ない。さらに (ii) は特殊な場合であるから, 林木の生長法則については一般に (i) が考えられる。林木の生長法則について (i) のようなモデルを考えたことの重要な帰結は, 生長が一般に「指数型」の変化をするということである。この

ような見解の検証はそれを現実の生長現象にあてはめてみなければならぬ。しかし少なくともこの生長モデルは、前に述べた生長モデルに比べればまさっている。なぜなら、それらは (i) 式の特種な場合となるからである。すなわち生長量一定とは (i) で $a=0, c=0$ を意味し、生長率一定は $a=0, d=0$ を意味するからである。

なお、これまで林木の生長を外部より規定している生産力水準といったものを一定と考えたが、それが何年かを周期として変化する場合、 $f(t)=d \cos rt$ (ただし r は定数)。

このとき (1.1) の解でわれわれの生長モデルとなりうるものは、

$$x(t)=\alpha_0+c_1e^{\alpha t}+c_2e^{\beta t}+c_3 \sin(rt+\beta) \quad (1.6)$$

ゆえに、このときでも林木の生長は指数函数に依存している。いま $f(t)$ 一定の解、(1.3) に注目する、 t の単位を 1 年と考えると (1.3) は

$$a_1x(t+2)+a_2x(t+1)+a_3x(t)+a_4=0 \quad (1.7)$$

ここで a_i ($i=1\sim 4$) は定数とする、さらに $x(t+1)\geq x(t)$ であるから、 $x(t), x(t+1), x(t+2)$ をそれぞれ X, Y, Z 軸と考えると、その数値をプロットすれば、それは、ひとつの制限された平面上にあるはずである。 $z(t+1)\geq z(t), y(t+1)\geq y(t), z(t+1)\geq z(t)$ となり、各点を結んだ線は空間上のベクトルと考えられるが、このベクトルを $x\cdot y$ 軸上に投影した場合、それが直線になったならば、それはとりもなおさず (1.7) が成立する十分条件となる。したがって、われわれの生長モデルの検証の手段として、 $X\cdot Y$ 軸に $x(t)$ と $x(t+1)$ を対応させて、それが直線になるかどうかから始めることにする。(1.3) において、 $\alpha_0=M, c_1=-Me^{\alpha t_0}, \alpha=-k, c_2=0$ とおくと、

$$x(t)=M(1-e^{-k(t-t_0)}) \quad (1.9)$$

となる。これは、いわゆる Mitscherlich の式であり、変形すると次のようになる。

$$x(t+1)=e^{-k}x(t)+M(1-e^{-k}) \quad (1.10)$$

このように Mitscherlich 式は、指数函数による生長式の特種な場合に当たる。もしこれによって、林分の生長が近似できるとするならば、任意の時点 t における x が求められるから、それを x に関する予測値とすることができる。 x が直径であるならば、それを材積の推定に利用することは、たとえば平田の方法によって可能となる。このような生長式を用いての生長予測の有効性の基本条件は、それによって森林の生長が適確に表わせることである。そこでまず、生長式の適合性を検討することにする。

II データおよびモデル林分と、それに対する生長式のあてはめ

この研究に用いた樹種はスギであって、その樹幹解析のデータのうち 17 本は、昭和 38 年 7 月 東京大学千葉県演習林札郷作業所管内の人工林から収集したものである。これらは原則として 1 小班から 1 本を選ぶことにした。

17本は樹令に関しては9年生から52年生にわたっており、地位に関しては良好なところから悪いところまでほぼ均等にわたっている。収集にあたっては、10m×10mの方形プロットを、各小班につき1カ所適当に選び、プロット内で平均直径に近い木を選んだ。このほか、同じ千葉県演習林清澄作業所管内のスギを用いて、樹幹解析を行なった。昭和11年度、12年度、15年度の学生測樹学実習報告書から、それぞれ4本、2本、2本を用い、合わせて25本のスギの樹幹解析のデータを利用した。Table 2.1にデータの一覧表ならびに採集した林分に対するこれまで外部から与えられた干渉の歴史をしるす。前に述べたように、林分は閉鎖を完了した後は、外部の環境の変化に対してほぼ均一な安定した環境を維持しようとする一種の緩衝機能をもっている。一般的にみれば均一性は保持されているが、個々の木に注目すると、隣接木や他の植物との競争等によって生長に不規則な変動が与えられる。またこのような林分においては、枝打、間伐が行なわれており、したがってこの生長モデルを検証する手段として、現実の林分からとった単木のデータによって、生長の歴史といったものをみる場合、われわれが考えている本質的なものにたいする偶然的なもの——生育環境の偶然的な変化に対応する生長の変化——があまりに大きすぎて、少ない標本によって、法則の本質を認識することは困難である。したがって、個々のデータを単独に用いるよりも、それらを集めたものを用いることによって、単木にある著るしい生長のバラツキを相殺して、その法則性をたしかめることにする。そのためには25本のデータより3種類のモデル林分をくみだてることにした。

1. モデル I

伐採時の樹令が35年以上の木15本のうち10本を選んで、これら全体を樹令1年からそろえて構成した35年生の同令林を考えた。おのおの樹幹解析木は1年ごとに測定されているから、1年から35年までのこのモデル林の生長経過は樹高、胸高直径、材積ともわかっている。おのおの木は異なった小班から選んであるから、地位については、ほぼ平均化されているとしてもよい。さらに植栽年度が異なっているものを同一時点にあつめてあるから、年によってかわる気候の影響による各年ごとの生長の変動もやや平均化されている。しかし間伐、枝打はほぼ同じような樹令において行なわれているので、その結果生じた生長の変動は、このモデルでは除かれていない。次にTable 2.2にモデルIの構成表を示す。各数値の単位については、胸高直径 cm、樹高 m、材積 $10^{-5}m^3$ である。また $\sqrt[3]{\text{材積}}$ としてあげてある数値は、 $10^{-5}m^3$ を材積の単位に考えて、その立方根をとったものである。

2. モデル II

樹令の異なる16本の木から構成される仮想の林分である。各木は樹令の間隔が等間隔（具体的には2年）になるように選ばれてあり、20年間の生長経路がわかるように組み立てられている。具体的には生長が最初に測られる年度における各樹令は、1年から31年までの2年間隔にならんでおり、最後は20年から50年にわたっている。構成木の樹令の単純な平均をモデル林

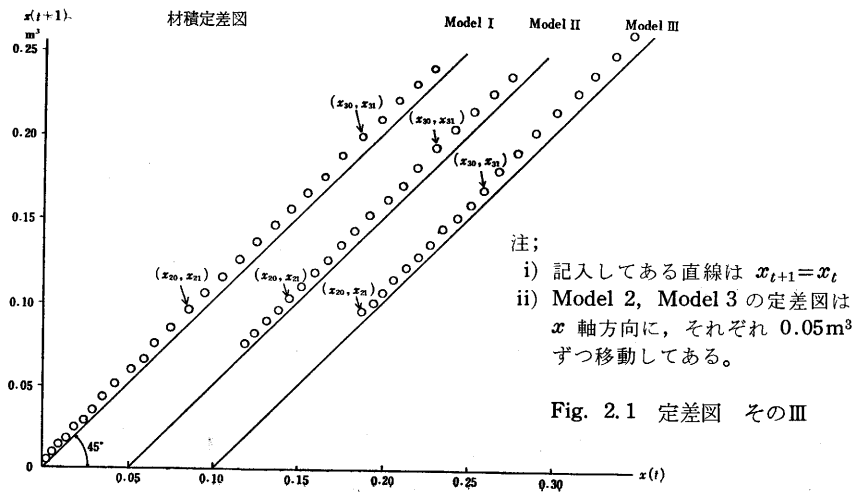
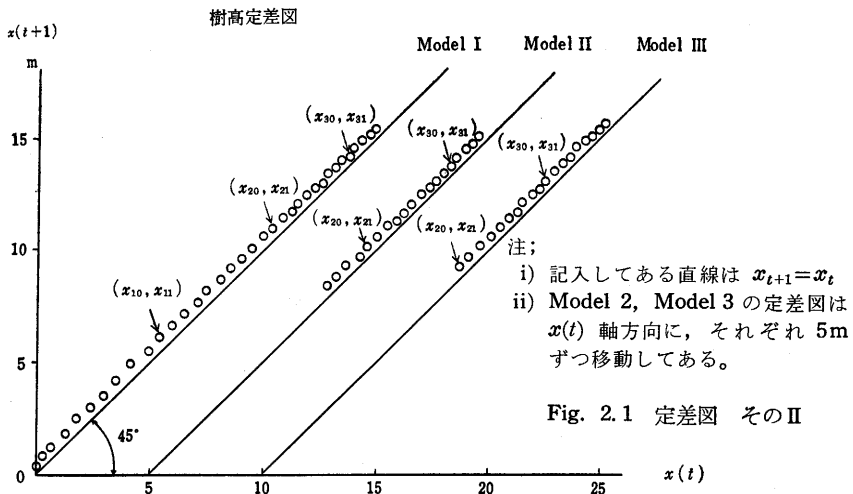
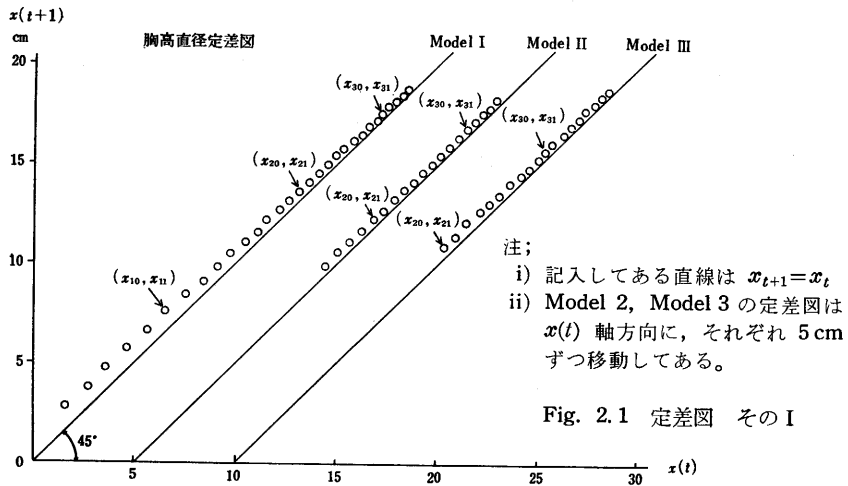
分の林令とすると、モデルⅡの林令は、樹令の高い木はそれより低い任意の樹令の木の林分構成木として使うことができる。このようなモデル林分を作成した大きな効果は、この仮想林分の測定時点における値は、個々の木で実際には違った時点における生長の結果を加えたものであるから、モデルⅠの林分と同じように、年によって違う気候条件の差による生長の違いを相殺することができること、また同じ理由によって、枝打間伐による効果も平均化されて、小さくなる。各構成木は地位の悪いところのものから良いところのものまで含んでいるから、地位の影響も平均化されていると考えられる。したがってこのモデルでは生長に影響する諸条件がほぼ平均された、いわば安定した状態を保っているとしてよいから、生長の法則性をたしかめるのに最も都合のよい林分である。Table 2.3 にその構成表を示す。

3. モデルⅢ

単個林分を集めた大林分の模型を考える点では、モデルⅢはモデルⅡと同様である。しかしモデルⅡが意識的にモデル林構成木の各樹令を等間隔にとり、モデル化する際の時点をずらしただのにたいして、モデルⅢは1963年に伐倒して得たデータで伐採時の樹令が20年以上のものの中から10本を選んで、そのままモデル林分としたものである。具体的にはモデルⅠが構成木を樹令1年からそろえたのにたいして、モデルⅢでは伐採時点をそろえたのである。したがってここでは生長に影響する諸条件が一定とはいいがたい。特に年によってちがう気候の差異に基づく生長の変化には修正はほどこされてない。このように構成することによって、このモデル林は現実の大林分からの一標本であるとみなすことができる。この林の生長経過は、1943年から1963年までの20年間にわたって知られており、林令をモデルⅡにおけると同様に定義すれば、この期間は林令20年から30年までに相当する。Table 2.4 にその構成表を示す。

前に述べたように、われわれは林木の生長モデルとして、ひとつの微分方程式を考え、その結果、林木の生長の型は指数型であること、および生長に影響する因子が一定の時間 t を周期として同じパターンのくり返しである場合には、その周期を単位とした時は、その指数の常数は変化しないことを帰納した。その場合 $X \cdot Y$ 座標を考えて、 X, Y をそれぞれ t と $t+1$ における生長として $X \cdot Y$ 座標にプロットすると、それが直線になることは指数型である十分条件となる。

モデルⅠ,Ⅱ,Ⅲの林分について、胸高直径、樹高、材積およびその立方根の各林令における平均値を定差図上にプロットしたのがFig. 2.1である。視察によると各点はいずれも顕著な直線性を示し、直線の Y 切片は正となっている。しかしモデルⅠについて細かく観察すると、 $d, h, v, \sqrt[3]{v}$ とも生長初期の点はそれを除いた点列の示す直線から下方にはずれる傾向がある。また直線の傾きについて調べてみると、 d, h の傾きは 45° よりも小さいが、材積の定差図では、どのモデル林分とも 45° より大きくなった。ただしこの場合dimensionを同じくする意味で、 $\sqrt[3]{v}$ の点列の傾きは d, h と同じ傾向を示す。以上のことは胸高直径、樹高、材積の生長が指数



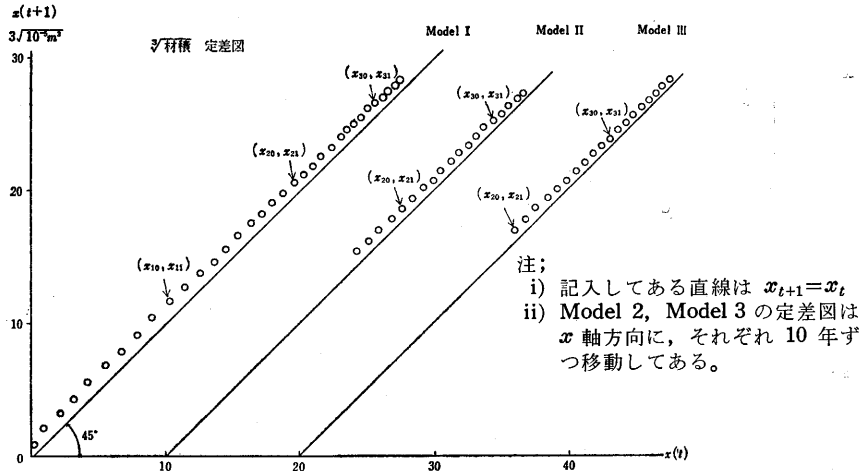


Fig. 2.1 定差図 そのIV

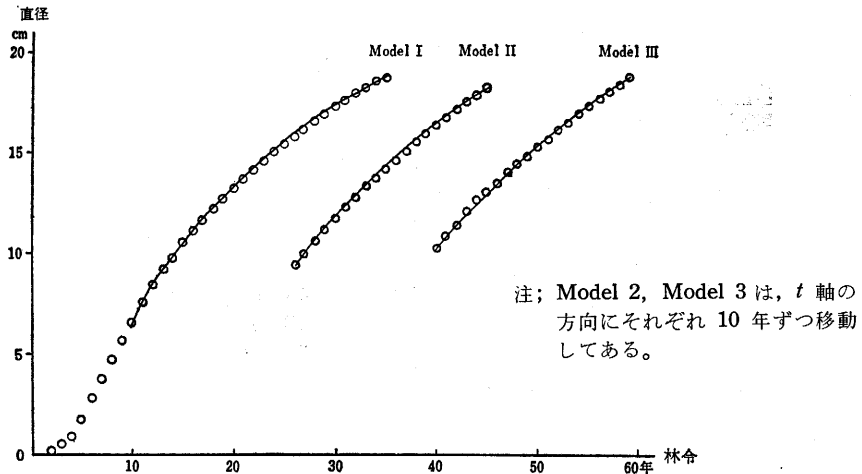


Fig. 2.2 そのI Mitscherlich 式による直径の生長曲線

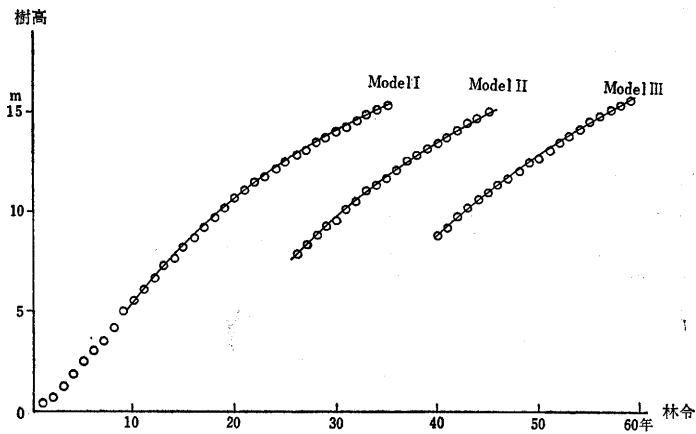


Fig. 2.2 そのII Mitscherlich 式による樹高の生長曲線

型の式で表わされること、特に胸高直径、樹高、材積の立方根はそのうちでもいわゆる Mitscherlich の式であらわされることを意味している。Mitscherlich の式は (1.9), (1.10) のように

$$x(t) = M(1 - e^{-k(t-t_0)})$$

$$x(t+1) = e^{-k}x(t) + M(1 - e^{-k})$$

ここで M は生長の最大値であり、 $t \rightarrow \infty$ のとき $x(t)$ は M に収束する。したがって $M > 0$ 、勾配 e^{-k} は 0 と 1 との間になければならない。しかしながらここで注意すべきことは、この M をもって現実の生長の最大値と考えてはならないことである。なぜならば、この生長モデルは前に述べた微分方程式から導き出されたものである。しかも、生産力水準 $f(t)$ を一定として解いた結果なのである。この式で $x(t)$ が M に近くなると予想されるとき、すなわち樹木が附加的の生長を行なえないようになったとき、その樹木またはその集団にとっての外的条件は、現在と同じであるとは考えられない。この式はあくまで、林木生育のある部分的な時間内において有効なものと考えべきである。定差図上で (x_t, x_{t+1}) の点列が一直線上にあることについては、相関の理論から次のような懸念が生ずる。すなわち林木の生長は添加的な生長であるから、 Δx を t 年度の生長量とすると

$$x(t+1) = x(t) + \Delta x \quad \Delta x \geq 0$$

一方 $n_1 n_2$ なる総要素数をもつ標本があって、両者の共通要素数が n_{12} であるときに、 $n_1 n_2$ 間の相関は

$$\rho = n_{12} / \sqrt{n_1 n_2}$$

それゆえ、このことを適用して、 $x(t)$ と $x(t+1)$ との相関を求めると

$$n_1 = x(t) \quad n_2 = x(t+1) \quad n_{12} = x(t)$$

であるから

$$\rho = x(t) / \sqrt{x(t) \cdot x(t+1)} = \sqrt{x(t)/x(t+1)}$$

ここで、 t が十分大きいとすれば、年々の生長量は、それまでの生長の総和と比較してきわめて小さく、 $x(t)/x(t+1) \geq 0.9$ と考えてもよいであろう。したがって定差図上の各点が一直線上にあるのは、ある程度当然とも考えられるのである。それゆえ胸高直径、樹高、材積などの生長曲線が指数型かどうかの検証は実際に計算して、その適合度を確かめなければならない。当研究においては胸高直径、樹高、材積の立方根などが指数型の式のうち、特に Mitscherlich 式にしたがうので、生長モデルとして上に記した三因子については Mitscherlich 式で検証することにする。各モデルについて、その定差図は一見きわめてよく直線上にのっているが、モデル I に関しては、初期の数期間は直線からははずれる場合が大きく、むしろ本質的に同一直線上にのっていないと考えるべきであろう。われわれの生長モデルでは、林木は閉鎖の完了前と後とは異なった生長を示すはずである。なぜならば、閉鎖が完成する以前においては林木は個々独立して、一つの生育環境のもとで生きている。それは閉鎖が完成した後の林分とは全く異質なものである

し、さらに外部のきわめて多様な環境の変化に支配されている。しかもかかる幼令林分においては、それにたいする緩衝機能はない。このような異なった2種類の環境のものと生長が同一直線上にないことはきわめて当然と考えられる。また初期のものだけについてみると、偶然的変動が大きくて一つの直線上からばらついていても当然である。モデル II, III において、線分の全領域にわたりよい適合度を示すのは、幼令の林木の偶然的変動の全体におよぼす影響は平均化によって無視可能になるからである。したがって Mitscherlich 式は、林の閉鎖が完了してから有効であると考えられるから、まず各標本木の閉鎖時期を推定し、Mitscherlich 式の適合度は、それ以後の数値について確めるのが適切である。閉鎖時期の推定方法は次のような考えに基づいた。両対数のグラフの X 軸 Y 軸に直径と樹高をとった場合 (d_i, h_i) の点列は直線性を示す。扇田³⁾によると、林分の閉鎖が完成すると樹高生長に比して直径生長が強くおさえられるので、直線の傾きが、閉鎖の前後で緩から急にかわる。すなわち、閉鎖によって $\Delta \log h / \Delta \log d$ の値

がそれ以前よりも大きくなるために直線が上に折れまがるのである。各木について Fig. 2.3 のようなグラフをえがいて、直線が折れまがる点をもとめ、これを閉鎖時期と考えることにする。その結果、各木についての閉鎖時期およびその時の樹高は、Table 2.5 のようになった。この結果によれば、閉鎖は樹高でいうと 5.6m、樹令でいうと 10.4 年のころに完成する。両者のうちで樹高の方がバラツキが小さいから、樹高をめやすにした方がよい。この結果をモデル I の林分に適用すると、10 年のときの樹高は

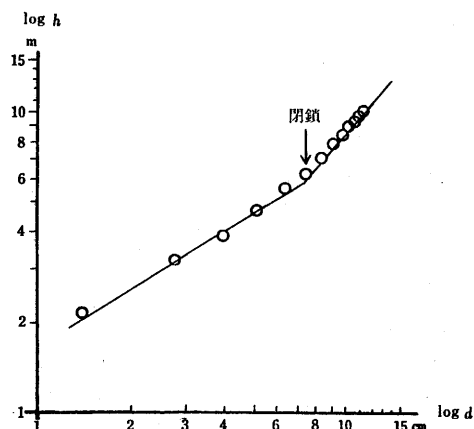


Fig. 2.3 対数尺度による樹高、直径相対生長

5.5m であるから、このとき閉鎖が完成するとみなすことにして、10 年以後のデータを用いて Mitscherlich 式の適合度をたしかめることにする。モデル II, III はすでに閉鎖が完成しているとみなして、全データを用いて Mitscherlich 式の適合度をたしかめる。Mitscherlich の式 $x(t) = M \{1 - e^{-k(t-t_0)}\}$ の定数 M, k, t_0 を決定するには、まずこれを定差図上に写像した式 $x(t+1) = e^{-k}x(t) + (1 - e^{-k})M$ を考える。ここで $x(t+1), x(t)$ は実際のデータから得られるから、最小二乗法を用いて、定数 e^{-k}, M を決定することができる、その結果は

$$e^{-k} = \frac{\left| \begin{array}{cc} \sum x_t \cdot x_{t+1} & \sum x_t \\ \sum x_{t+1} & n-1 \end{array} \right|}{\left| \begin{array}{cc} \sum x_t^2 & \sum x_t \\ \sum x_t & n-1 \end{array} \right|}} \quad M = \frac{\left| \begin{array}{cc} \sum x_t^2 & \sum x_t \cdot x_{t+1} \\ \sum x_t & n-1 \end{array} \right|}{\left| \begin{array}{cc} \sum x_t^2 & \sum x_t \\ \sum x_{t+1} & n-1 \end{array} \right| - \left| \begin{array}{cc} \sum x_t \cdot x_{t+1} & \sum x_t \\ \sum x_{t+1} & n-1 \end{array} \right|}}$$

ただし、 n はデータの個数である。しかしこの場合、 x_t と x_{t+1} とは独立でないから、最小二乗

3) 扇田教授の著者への直接の教示による

法による定数決定は、best estimation であるとは保証されていないことに注意すべきである。次に e^{kt_0} を決定するために、(2.2) 式を変形して

$$x(t) = M - M e^{-kt} \cdot e^{kt_0} \quad (2.3)$$

この式から最小二乗法を適用して e^{kt_0} を決定すると

$$e^{kt_0} = \frac{M \sum e^{-kt} - \sum e^{-kt} \cdot x_t}{M \sum e^{-2kt}} \quad \text{となり} \quad t_0 = -\frac{\log e^{kt_0}}{\log e^{-k}}$$

から求められる。この方法によって、Model I, Model II, Model III の林分について、胸高直径、樹高、 $\sqrt[3]{\text{材積}}$ に関する Mitscherlich 式の定数を求めた。(Model I においては、林令 10 年以後の数値を用いた) Table 2.6 にその結果を示す。このようにして決定された Mitscherlich 式の定数の値を用いてモデル林分の生長曲線を次の式で近似する。(単位は、直径 cm, 樹高 m, 材積の立方根 $\sqrt[3]{10^{-5} \text{m}^3}$)

(i) モデル I

胸高直径	$x(t) = 23.640 (1 - 0.9513^t - 3.4576)$
樹高	$x(t) = 21.536 (1 - 0.9629^t - 2.9122)$
$\sqrt[3]{\text{材積}}$	$x(t) = 36.843 (1 - 0.9572^t - 2.4184)$

(ii) モデル II

胸高直径	$x(t) = 29.713 (1 - 0.9701^t - 3.4803)$
樹高	$x(t) = 25.956 (1 - 0.9741^t - 2.1693)$
$\sqrt[3]{\text{材積}}$	$x(t) = 44.078 (1 - 0.9709^t - 2.4949)$

(iii) モデル III

胸高直径	$x(t) = 28.901 (1 - 0.9684^t - 6.3025)$
樹高	$x(t) = 25.273 (1 - 0.9724^t - 4.7171)$
$\sqrt[3]{\text{材積}}$	$x(t) = 44.670 (1 - 0.9714^t - 4.6071)$

以上の式を用いて、各林令における x の値を計算し、近似式の適合度をたしかめるために、近似式による値と実際の値とを比較した (Table 2.7)。Table 2.7 から近似式の誤差の最大値及び標準偏差を求めると Table 2.8 のようになる。これによるとモデル I において直径生長の適合度が比較的よくない。その誤差の分散は他の II, III のモデルに比べて有意にことなる ($S^2_{D1}/S^2_{D2} = 2.71 > 2.59 = F_{11}^{23}(0.05)$ 両側検訂)。これはモデル作成の際に述べたように間伐、枝打の影響が生長に著しくひびき、このような原因による生長の変化にたいして、平均化によってなら修正をほどこさなかったことが、他のモデルに比較して適合度の劣った原因とおもわれる。しかし最も低い適合度をもつモデル I の直径ですら、誤差の最大値が 0.20 で標準偏差が 0.13 であるから、測定の精度とくらべれば、無視できる程度の大きさである。Fig. 2.2 は Mitscherlich 式で近似して生長曲線を示している。以上の結果からモデル林分においては林分の閉鎖が完成した後、胸高直径、樹高、材積の立方根の Mitscherlich 式による近似がきわめてよいことがわかった。しかし、直径、樹高、材積の立方根が同じ精度で近似できることが本質的に常に可能

かどうか検討する必要がある。山本-Schumacher 式とされている材積式は次のように表現できる。

$$v_t = \alpha D_t^\beta H_t^\gamma$$

ここで時間 t をある範囲に限った場合、 α, β, γ は定数と考えられる。上記によって

$$D_t = M_D \{1 - \exp(-k_d(t - t_{d_0}))\}, H_t = M_h \{1 - \exp(-k_h(t_h - t_{h_0}))\}$$

と書けるから

$$v_t = \alpha M_d^\beta \cdot M_h^\gamma \{1 - \exp(-k_d(t - t_{d_0}))\}^\beta \{1 - \exp(-k_h(t_h - t_{h_0}))\}^\gamma$$

$\sqrt[\beta]{v_t} = M_d \{1 - \exp(-k_d(t - t_{d_0}))\}$ という型になるためには、 $k_d = k_h$, $t_{d_0} = t_{h_0}$, $\beta + \gamma = 3$ とならなければならない。上の計算した結果から判断すると t_0, k とも、かなりその数値は近似しているが、これが標本変動か本質的な差かは不明である。かりにこの差が標本変動だとしても、経験上 $\beta + \gamma = 2.7 \sim 2.8$ であるから、ある期間、外部環境の一時的変化がないとして、その生長に定差方程式が一次なものがあるとしても材積またはその立方根、直径、樹高がすべて Mitscherlich 式であらわされることはありえない。Mitscherlich 式が生長モデルとして適用できる際においても、それは直径、樹高または材積、またはその立方根のうちのいずれかに適用できるだけである。ただ実際にはその際に生ずるずれは、生育環境の微かな変化によってこうむる偶然的変化に比して、極めて小さいので、実用上はすべてこの生長式で近似してさしつかえないものと思われる。

III 生長予測に必要な因子の計算

予測とは、ある事象が時間に対応して変化してゆくとき、その現象の過去から現在までの変化の法則をとらえておいて、将来の一定の時点の状態を推測することである。ここで、この事象の因子となっているものも変ってゆくのであるから、予測される事象も確率として与えられるのである。われわれが生長の予測を行なう際、この要因として考えたのは生長に影響する個々の因子ではなくて、それらの総合された、いわば生産力水準といったものである。そしてそれによって生長の状態の方程式を考えたのである。いま、out put $f(t)$ の値はわからないのであるから予測の期間として、過去から近い将来までのある範囲を考えて、その間 $f(t)$ の値の変化は無視し得ると仮定して、将来を予測するのである。このことはみかたをかえれば次のように考えられる。すなわち、いままで時間を因子とする生長曲線の内挿を行なって、きわめてより近似を得たのを、こんどはこれを外挿させようとするのである。もし林分の材積が、過去の数年間にわたって知られているのならば、材積の立方根はたいていの林分においては指数型の式のうち、経験的に Mitscherlich 式であらわすことができるから、将来における材積の期待値はただちに求められる。しかし林分の材積が過去数年にわたって知られていることは、実際上ほとんど望めない。われわれが森林の調査を行なう際に、森林の過去の生長を知ることがかりのうち客観性のあるものと

例えば、生長錐片がほぼ唯一のものと考えられる。生長錐で得られるデータは、過去の直径生長である。したがって Mitscherlich 式は直径についてのみ適用できるものとされなければならない。林業経営にあって、実用上要求されるものは、直径の推定量ではなく、材積の推定量であるから、Mitscherlich 式による予測が実践性をもつためには、それによってえられる将来の林分の平均直径の期待値を用いて、将来の材積の期待値を得ることができなくてはならない。林分の平均直径から林分材積を求める方法として、ここでは、平均単木材積式により林分材積を推定する方法を用いることにする。いま人工林の同令単純林もしくは、その種の単個林分が集合した一団地の林分を考え、各単個林分は老幼、地位の上下等種々のものを含んでいてもかまわない。そのような林の全材積を V 、全本数を N とすれば

$$V \equiv N \cdot \bar{v} \quad (3.1)$$

ところで \bar{v} を、単木材積式 $v = \varphi(d, h)$ 、および林分の平均直径 \bar{d} 、平均樹高 \bar{h} を用いてあらわすと、平田¹⁾によれば

$$\bar{v} = \varphi(\bar{d}, \bar{h}) \lambda \quad (3.2)$$

λ は $\varphi(d, h)$ が一般の材積式であるかぎり、ほぼ近似的に

$$\lambda = 1 + \frac{5}{3} C_d^2 \quad (3.3)$$

ここでこの結果を導き出した前提として、統計的に導きだされた関係

$$C_g \doteq 2C_d, \quad C_d^{\beta} \doteq \beta C_d, \quad C_h^{\gamma} \doteq \gamma C_h$$

および人工林で経験的に得られる関係

$$\rho_{gh} \doteq \frac{2}{3} \quad C_d \doteq 2C_h$$

を用いる。したがって、以上の結果を用いて \bar{v} 、 \bar{d} 、 C_d の将来における一時点の期待値をそれぞれ \bar{v}_+ 、 \bar{d}_+ 、 \bar{h}_+ 、 C_{d+} とするならば

$$\bar{v}_+ = \varphi(\bar{d}_+, \bar{h}_+) \left(1 + \frac{5}{3} C_{d+}^2 \right) \quad (3.4)$$

これより v_+ を求めることができる。ここで \bar{d}_+ は、生長錐による過去のデータを用いて決定した Mitscherlich 式から求められるが、残った \bar{h}_+ 、 C_{d+} については他の方法で推定することを考えねばならない。将来における \bar{h} の期待値 \bar{h}_+ は、次のようにして推定する。実験的観察によれば、前節で定義した林では、5~10年というような短期間を考えた場合、平田²⁾によれば平均樹高と平均直径の比の値は不変であるとみなすことができる。いま将来のある時点の樹高と直径を \bar{h}' 、 \bar{d}' とすれば

$$\frac{\bar{h}}{\bar{d}} = \frac{\bar{h}'}{\bar{d}'} = k \quad (3.5)$$

したがって

$$\bar{h}_+ = k\bar{d}_+ \quad (3.6)$$

これによって \bar{h}_+ の期待値がえられる。そこで (3.5) 式の当否をたしかめるために、モデル I, II, III の各林分について \bar{h}/\bar{d} を計算したところ、Table 3.1 のような結果をえた。これをみるとモデル I のような単層単純林では、幼令期において \bar{h}/\bar{d} の値はやや変動が大きい、以後しだいに変化が少なくなり、モデル II, III のような複層林分では \bar{h}/\bar{d} はほぼ一定とみなしてさしつかえない。そこでここでは (3.5) 式の成立を認めて (3.6) 式によって \bar{h}_+ を得ることとする。なお上の事実には林の樹高曲線は決して固定したものでなく、年とともに変化するものであり、それは (3.5) 式によって認められるように、樹高曲線の上方移動の事実が内包されていることに注目すべきである。直径の変動係数 C_d は $C_d = \sigma_d/\bar{d}$ と定義されるが、 $\sigma_d = \sqrt{E(d_i - \bar{d})^2}$ であるから、生長錐によって過去の直径を測定すれば過去の σ_d を計算することができる。過去の \bar{d} と σ_d とが求められれば、過去の C_d も計算することができる。生長予測にあたっては直径に関する Mitscherlich 式を決定するために、生長錐を用いて過去の時点の直径を測定するが、同じデータから C_d についても十分な情報がえられるのである。 C_d が過去何年かにわたって知れているならば、 C_d が林令に応じてある傾向をもって変化する場合に、それを t の関数として表現することができる。経験的には C_d は若い年令の時には老令の時よりも大きい値を示すものと考えられているが、もっとはっきりした傾向を知るために、モデル I, II, III の林分について σ_d と C_d を求めたところ Table 3.2 のようになった。 σ_d を求める際にはモデル I, II, III はいずれも母集団からの抽出単位と考へて、 σ_d は $\hat{\sigma}_d = \sqrt{\sum (d_i - \bar{d})^2 / n - 1}$ から求めた。次に t に対する σ_d の変化を知るために、もとの σ_d を X - Y 座標軸にとると、Fig. 3.1 のようになった。人工の単純老令林では、経験的に老令になるにしたがって σ_d は増加するとされているが、これによれば、単純老令林の模型であるモデル I がそのような傾向を示している。モデル II, III に関しては、老令になるにしたがって減少して最後はほぼ一定となるか、もしくは幾分上昇している。モデル II, III は単個林分の集合体を考へたものであって、このような林の σ_d に関しては次のことを考へる必要がある。 σ_d のかわりに直径の変動 $S_d \equiv \sum (d_i - \bar{d})^2$ を考へることとする。このときモデル II, III のような単個林分の集合体の全変動 S_d は、

$$S_d = \sum_i \sum_j (d_{ij} - \bar{d}_{..})^2 = \sum_i \sum_j (d_{ij} - d_{i.})^2 + \sum_i N_i (\bar{d}_{i.} - \bar{d}_{..})^2 \quad (3.7)$$

とあらわすことができる。ただし i は単個林分、 j は i のなかの単木を示す。また \cdot はそれに相当する文字について加えたことを示している。ここで $\sum_i \sum_j (d_{ij} - d_{i.})^2$ は級内変動と呼ばれ、各単個林分の直径の平均値 $\bar{d}_{i.}$ からの d_{ij} の偏差の平方和である。また $\sum_i N_i (\bar{d}_{i.} - \bar{d}_{..})^2$ は級間変動とよばれ、各単個林分の平均値 $\bar{d}_{i.}$ の全体の平均値 $\bar{d}_{..}$ からの偏差の平方に、その単個林分に属する木の本数 N_i を乗じたものの和である。このことからみると、モデル II, III で求められた σ_d は級間変動に対応する σ_d であり、モデル I で求められた σ_d は級内変動に対応する σ_d であることがわかる。したがってモデル II, III の背後にある単個林分の集合体の S_d は

現在もとめられた $\sum(d_i - \bar{d})^2$ の上に級内変動 (= 単個林分内の変動) を加えて得られることになるから、一見ここで求められたものより大きいと考えられるが、実際には上の 2 種類のもののウェイトをつけられた平均なので両者の値の間にあると考えられる。したがってここでは Table 3.2 に示されている σ_d の値を用いてモデル林分の変動係数についての考察を進めることにする。

次に林令に関する C_d の変化を知るために、 t と C_d を $X \cdot Y$ 軸上にプロットしてみると、Fig. 3.2 のようになつた。これによるとモデル I, II, III とも C_d の t に関する変化はほぼ同様の経過を示す。すなわちモデル I のように t が増加するとともに σ_d も増加する場合でも、またモデル II, III のように t が増加するにつれて C_d が減少する場合でも、 C_d は t の増加につれて減少していき、 t が十分大きいときほぼ一定となる。Fig. 3.2 の点の並び方からして C_d を t の関数としてあらわすとき、モデル I, II, III とも同一の型の指数関数をあてはめることができそうに思われる。そこで $C_d(t)$ を $x(t)$ とおきかえて C_d の時間に関する式を次のように表わすことにする。

$$x(t) = a \cdot e^{-kt} + b \quad (3.8)$$

ここで b は $t \rightarrow \infty$ のときの値であり C_d は t が大きくなるにつれて b に近づくことになる。

(3.8) 式を変形して

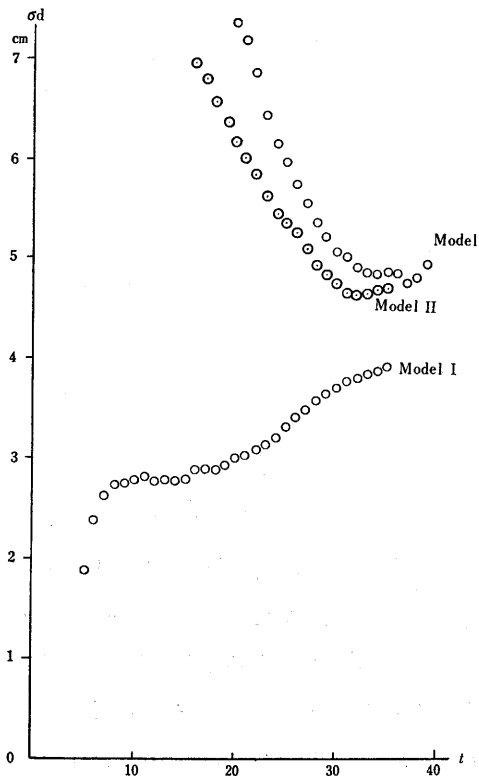


Fig. 3.1 直径標準偏差の林令に対する変化

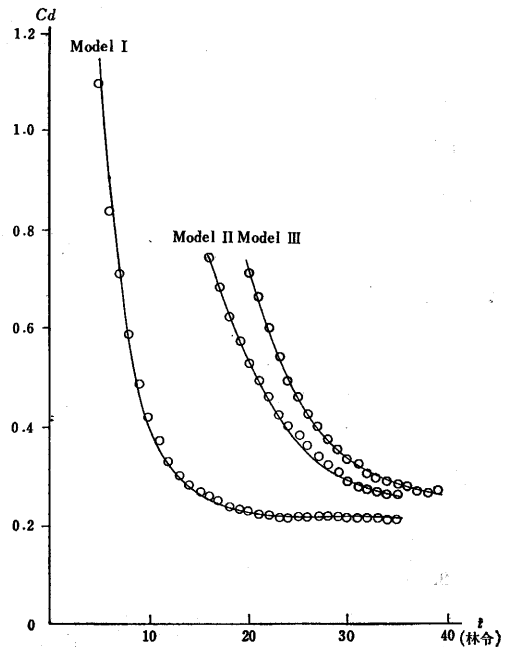


Fig. 3.2 直径変動係数の林令に対する変化

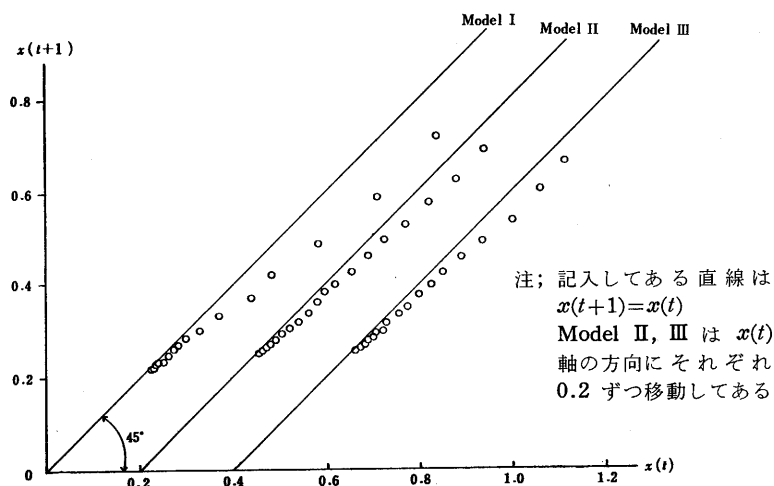


Fig. 3.3 モデル林分の直径変動係数定差図

$$x(t+1) = e^{-k} \cdot x(t) + b(1 - e^{-k}) \quad (3.9)$$

となって $x(t)$ と $x(t+1)$ を $X \cdot Y$ 座標軸にプロットした定差図を考えると、定差図上の点は一直線上に並ぶことになる。モデル I, II, III の直径の変動係数について定差図をつくると Fig. 3.3 のようになり、点列は顕著な直線性を示した。そこで (3.8) 式を用いて変動係数を推定することにする。まず (3.8) を定差図上に写像した (3.9) 式に最小二乗法を適用すると、 e^{-k} および b は Table 3.3 によって求められる。この結果 C_a と t との関係式は次のようになる。

$$\text{モデル I} \quad C_a = 3.9612 \times (0.7400)^t + 0.2157$$

$$\text{モデル II} \quad C_a = 4.0625 \times (0.8808)^t + 0.2057$$

$$\text{モデル III} \quad C_a = 9.4567 \times (0.8619)^t + 0.2287$$

各林令における C_a の値を上式の式によって計算したのが Table 3.4 である。(3.8) 式のグラフは Fig. 3.2 にかきいれてある。次に Table 3.4 および Table 3.5 を用いて (3.8) 式の誤差について調べたところ Table 3.5 のようになった。

誤差の標準偏差はモデル I, II, III とも有効数字の3桁目に関係する程度であるから、(4.8) 式はこの場合 C_a と t との関係式として適当であるといえる。そこでこの式を用いて C_{a+} を求めることにする。すなわち過去の C_a を用いて C_a と t との関係式 (3.8) の定数をきめ、将来のある時点 t における C_a を計算して、これを C_{a+} とすればよいわけである。

IV モデル林分における生長予測結果

これまで述べてきた方法によって、 \bar{d}_+ , \bar{h}_+ , C_{a+} を推定したならば、将来の平均単木材積 v_+ は

$$\bar{v}_+ = \varphi(\bar{d}_+, \bar{h}_+) \left(1 + \frac{5}{3} C_a^2 \right)$$

として求めることができるが、対象とする林の将来における全材積の期待値 V_+ を得るためには、平均単木材積に林分の全本数 N を乗じなければならない。はじめに各モデル林分について予測を行なう時点の林令および予測時点の林令を Table 4.1 のようにきめる。予測は5年後および10年後について行なうものとする。予測にあたっては林令の他に次の諸要素に関する数値が与えられている。

- i) 現在および過去の各時点の直径
- ii) 現在の平均樹高
- iii) 現在の林分総本数

i) の項目に関してはモデル I では11年間、林令にして10年から20年、モデル II では10年間で林令16年から25年、モデル III では10年間で林令20年から29年にわたって与えられている。細部にわたつての数値は Table 2.2, 2.3, 2.4 に記されているが、それらを要約したものが Table 4.2 である、また平均樹高および本数に関するデータは Table 4.3 である。

Table 4.2 の \bar{d} に関する数値を用いて各モデル林分について \bar{d} の Mitscherlich 式

$$x(t) = M(1 - e^{-k(t-t_0)})$$

の各定数を求めた結果は次のようになった。

$$\text{モデル I} \quad x(t) = 19.018 (1 - 0.9271^{t-4.3292})$$

$$\text{モデル II} \quad x(t) = 24.342 (1 - 0.9578^{t-4.6887})$$

$$\text{モデル III} \quad x(t) = 22.561 (1 - 0.9491^{t-8.3341})$$

以上の式を用いて、各林分について5年後、10年後における平均直径の期待値は次のとおりである。

$$\text{モデル I} \quad \bar{d}_{+5} = 15.04 \quad \bar{d}_{+10} = 16.29$$

$$\text{モデル II} \quad \bar{d}_{+5} = 16.17 \quad \bar{d}_{+10} = 17.76$$

$$\text{モデル III} \quad \bar{d}_{+5} = 16.66 \quad \bar{d}_{+10} = 18.02$$

次に樹高の予測であるが、現在の \bar{d} および \bar{h} から k の値を計算しその結果と前に求めた d_+ の値を用いて $\bar{h}_+ = \bar{d}_+ \cdot k$ によって行なう。

$$\text{モデル I} \quad k = \frac{\bar{h}_{20}}{\bar{d}_{20}} = \frac{10.6}{13.2} = 0.803$$

$$\text{モデル II} \quad k = \frac{\bar{h}_{25}}{\bar{d}_{25}} = \frac{11.7}{14.2} = 0.824$$

$$\text{モデル III} \quad k = \frac{\bar{h}_{29}}{\bar{d}_{29}} = \frac{12.4}{14.9} = 0.832$$

それゆえ \bar{h}_+ は

$$\text{モデル I} \quad \bar{h}_{+5} = 12.08 \quad \bar{h}_{+10} = 13.08$$

$$\text{モデル II} \quad \bar{h}_{+5}=13.32 \quad \bar{h}_{+10}=14.63$$

$$\text{モデル III} \quad \bar{h}_{+5}=13.86 \quad \bar{h}_{+10}=14.99$$

C_{d+} の予測は Table 4.2 の数値を用いて, C_d と t との関係式

$$C_d(t)=a \cdot e^{-kt}+b \quad (5.3)$$

の各定数を求めると次のようになった。

$$\text{モデル I} \quad C_d(t)=3.7038 \times 0.7484^t + 0.2171$$

$$\text{モデル II} \quad C_d(t)=4.0237 \times 0.8813^t + 0.2062$$

$$\text{モデル III} \quad C_d(t)=7.1754 \times 0.8774^t + 0.1869$$

この結果 5 年および 10 年後における各 C_{d+} は

$$\text{モデル I} \quad C_{d+5}=0.220 \quad C_{d+10}=0.218$$

$$\text{モデル II} \quad C_{d+5}=0.297 \quad C_{d+10}=0.255$$

$$\text{モデル III} \quad C_{d+5}=0.271 \quad C_{d+10}=0.231$$

このようにして得た d_+ , h_+ , C_{d+} の値と単木材積式 $v=\varphi(\bar{d}, \bar{h})$ を用いて材積 \bar{v}_+ の予測を行なうのであるが, 単木材積式 $v=\varphi(d, h)$ は 1959 年春永³⁾ が東大千葉県演習林のスギ 100 本を用いて決定した 5 つの材積式のうち, 最も精度の高かった高田による材積式⁴⁾ を使用する。春永によって決定された高田式は次のとおりである。

$$v=\varphi(d, h)=\frac{d^2 h}{20189.482+187.474d}$$

この式を用いて \bar{v}_+ を次のようにして求める。

$$v_+=\varphi(\bar{d}_+, \bar{h}_+)\left(1+\frac{5}{3}C_{d+^2}\right)=\frac{\bar{d}_+^2 \bar{h}_+}{20189.482+187.474\bar{d}_+}\left(1+\frac{5}{3}C_{d+^2}\right)$$

$$\text{モデル I} \quad \bar{v}_{+5}=0.12834 \quad \bar{v}_{+10}=0.16116$$

$$\text{モデル II} \quad \bar{v}_{+5}=0.17203 \quad \bar{v}_{+10}=0.21746$$

$$\text{モデル III} \quad \bar{v}_{+5}=0.18521 \quad \bar{v}_{+10}=0.22490$$

このようにして求められた \bar{v}_+ と現在の本数 N とを用いて $V_+=N \cdot \bar{v}_+$ より将来の全林の材積期待値 V_+ を計算する。この結果は

$$\text{モデル I} \quad V_{+5}=N \cdot \bar{v}_{+5}=10 \times 0.12834=1.28340$$

$$V_{+10}=N \cdot \bar{v}_{+10}=10 \times 0.16116=1.61160$$

$$\text{モデル II} \quad V_{+5}=N \cdot \bar{v}_{+5}=16 \times 0.17203=2.75248$$

$$V_{+10}=N \cdot \bar{v}_{+10}=16 \times 0.21746=3.47936$$

3) 春永剛型: 単木材積式に関する研究 (学生卒業論文)

4) 高田和彦: 異なった単木材積式による林分材積式の精度について (日林誌 40.8)

同上 材積表の適合度の検定について

$$\text{モデル III} \quad V_{+5} = N \cdot \bar{v}_{+5} = 10 \times 0.18521 = 1.85210$$

$$V_{+10} = N \cdot \bar{v}_{+10} = 10 \times 0.22490 = 2.24900$$

最後にこうして求めた予測値と Table 4.2, 4.3 から求めた \bar{v} , V の直値とを比較対照すると Table 4.4, 4.5 のようになる。

次に誤差について考えてみると、このようにある時点の \bar{d} , \bar{h} , C_d , k を予測して材積を推定する際に考えられる誤差としては、このような諸因子を推定する誤差の他に用いた材積式の誤差が考えられる。われわれは材積式として高田式を用いたのであるが、これは諸因子が正しく推定される場合にはきわめてよく真の材積と近似することは Table 4.5 の C/A をみても明らかである。それゆえ、この材積式による誤差を考えない場合各因子推定の際の誤差が材積推定におよぼす影響を調べることにする。(4.1) から

$$\Delta v = \frac{\partial v}{\partial d} \cdot \Delta d + \frac{\partial v}{\partial h} \cdot \Delta h + \frac{\partial v}{\partial C_d} \cdot \Delta C_d \quad (4.2)$$

したがって、

$$\left| \frac{\Delta v}{v} \right| \leq \left| \frac{\frac{\partial \varphi}{\partial d}(\bar{d}, \bar{h})}{\varphi(\bar{d}, \bar{h})} \right| |\Delta d| + \left| \frac{\frac{\partial \varphi}{\partial h}(\bar{d}, \bar{h})}{\rho(\bar{d}, \bar{h})} \right| |\Delta h| + \left| \frac{10C_d}{3+5C_d^2} \right| |\Delta C_d|$$

これに高田式 $v = \varphi(d, h) = \frac{d^2 h}{a + bd}$ を代入すると

$$\therefore \left| \frac{\Delta v}{v} \right| \leq \left| \frac{h}{a+bd} \right| |\Delta d| + 2 \left| \frac{a}{a+bd} \right| \cdot \left| \frac{\Delta d}{d} \right| + \left| \frac{\Delta k}{k} \right| \left| \frac{\Delta d}{d} \right| + \left| \frac{10C_d}{3+5C_d^2} \right| |\Delta C_d| \quad (4.3)$$

材積推定の際の誤差に関係するもののうち、材積式を用いる際の誤差を除けば、直径、直径変動係数、樹高と直径の比 k が問題になるが、その材積推定に寄与する度合は異なる。なぜならば(4.3)式のように、因子の推定誤差にはそれぞれ係数がついて、いわば係数が重みとなって材積推定の誤差になるからである。一例としてモデル I の 5 年および 10 年後の推定の際についてこれを計算してみると次のようになる。

$$\left| \frac{\Delta v}{v} \right| = \begin{bmatrix} 0.1932 \\ 0.7610 \end{bmatrix} |\Delta d| + \begin{bmatrix} 1.245 \\ 1.245 \end{bmatrix} |\Delta k| + \begin{bmatrix} 0.08118 \\ 0.08146 \end{bmatrix} |\Delta C_d|$$

ここで上の行は 5 年、下の行は 10 年後を推定した際の数値である。実際の材積推定の誤差は上述のようにこれら係数との積であるが、それらのいわば期待値といったものは全くその大きさに相異がある。いま、各因子の誤差を推定するのであるが、推定される時点に到達するまで生産力水準に変化がないとしても、このような時系列を取扱いかい、かつそれが実際のデータの外側における推定を行なう場合、その期待される標準偏差は $S\sqrt{\alpha + \beta t^2}$ 、(S ; データによる標準偏差, t ;

データの中心時点から推定時点までの時間, α, β ; 定数) となるのであるが, ここでは全体のデータから標準偏差を推定すると概略次のようになる。

$$S_d=0.128 \quad S_k=0.0062 \quad S_{C_d}=0.01$$

したがってこのような材積式を用いたとき, 各因子の誤差に寄与する値は \bar{d}, h, C_d の順序でそれぞれ 0.01638, 0.0077, 0.00081 となり, 材積推定の誤差の大きさは平均直径推定の誤差によってほぼ規定されてしまうことがわかる。

Table 4.4 のように予測された材積はいずれのモデル林分においても真値によりもかなり過小であるが, このことから Mitscherlich 式による生長予測の精度が低いことを結論づけることはできない。この過小であることは直径推定が過小であることに原因するのであるが, これは偶然によるものではなく, モデル林分においては間伐による本数の減少が考慮されていない点にあると考える。間伐についての研究によると, 間伐でその強度がある範囲内にある場合, 林全体からえられる幹材積の総和は, 間伐実行のいかんにかかわらずほぼ同じであるという説がある。もちろんこのような議論は間伐の効果が時間のずれをもって始まることから, 当然その効果が積み重なってある量に達するような時間を経過して後についてであり, さらにその場所も間伐が真に要求されるごとき土地生産力がある水準以上であることを前提としているが, そのような場合には間伐によって単木あたりの生長量は増大するが, 全体の立木本数は減少するから両者が相殺されて林分全体についての生長の増減はほとんどなくなるということである。上の議論がなりたつと, Mitscherlich 式による林分の生長予測は意味をもってくる。すなわち, 実際は生産力水準に変化がおり, 残存している林分の生長状態は変化するが, 間伐が行なわれなかったならば, 変化しないとすると次の式がなりたつ。

$$N\bar{v}_+ = \Delta v + N'\bar{v}_+' \quad (4.4)$$

N ; 間伐前本数, N' ; 間伐後本数

\bar{v}_+ ; 将来のある時点において間伐が行なわれないうちに期待される平均単木材積

\bar{v}_+' ; 将来の時点において間伐が行なわれた際, 期待される平均単木材積

Mitscherlich 式によれば, これまでの結果によって \bar{v}_+ はきわめて精確に予測されるはずである。われわれのモデル林分を構成している個々の木は, 実際の林分から採取されたものであり, 東大千葉県演習林の人工林においては林令 20 年から 50 年にかけては Table 2.1 のようにほぼ適格に間伐が実行されているのが通例であるから, 間伐の際に残された木であって, その生長は間伐が行なわれないうちに期待されるよりも大きな生長をしている。しかるにこの予測の方法は, モデル林の予測を行なう時点までの情報のみによって予測を行ない, その検証の対象としてモデル林の予測された時点の数値を用いたのである。われわれのモデル林では, 本数減少という修正はされてない。すなわち (4.4) 式において予測値として $N\bar{v}_+$ をとり検証の値として $N\bar{v}_+'$ を用いたのである。もとよりわれわれのモデル林においては, 予測時点まえにも間伐は行なわれ

ているのであるから、多少は間伐による修正がなされていると思われる。特にモデル II, III においてはすべての時点で間伐が行なわれていると考えられる。それゆえ間伐の効果も利用され得る情報となっているが、それでも十分な修正はきかず、その結果 5 年後 10 年後において実測値とのずれが生じてきたものと思われる。かりにモデル I において間伐についての情報が与えられなかったとすると、そのずれは (4.4) から

$$N\bar{v}_+' - N\bar{v}_+ = N\bar{v}_+' - \{\Delta v + N'\bar{v}'\} = \Delta N \cdot \bar{v}_+' - \Delta v = \frac{\Delta N}{N} \cdot \frac{N}{N'} N'\bar{v}_+' - \frac{\Delta v}{V} \cdot V$$

いま V を予測時点の林分材積としているが、ここで V_+ を間伐が適正に行なわれたうえでの予測される時点の材積とし、 P_0 を材積間伐率、 P_N を本数間伐率とすると、上で計算された推定の材積のモデルの真の材積との偏差の割合 B は

$$B = \frac{P_N}{1 - P_N} - P_0 \frac{V}{V_+} \quad \text{となる。}$$

V/V_+ をほぼ 1 に等しいとすると

$$B = P_N + P_N^2 + P_N^3 + \dots - P_0$$

演習林においては間伐の割合はその属する令級によって異なるが、いま仮に本数にして 15%、材積にして 8% とすると

$$B = 0.176 - 0.08 = 0.096$$

となる。

V 考 察

ある事象を予測する場合、その予測が精密であることを要求されればされるほど、用いる予測の式にはその事象に関連する細かい因子までが含まれていなくてはならない。そして、予測式自身はこれらの因子の変化にきわめて敏感に対応しなければならないのである。われわれが Mitscherlich 式を生長予測に適用した理由はこの曲線がきわめて精密に実際の生長に近似し得ることが検証されたからである。この生長式においては、生長に関係する時間を除いたすべての因子の総合として生産力水準を考え、これと同値なものとして実際の生長を対置させ、予測期間をある範囲内に限定した場合、予測時点から 5 年とか 10 年とか比較的短い過去の生産力水準は、その後の生産力水準とその値に大きな差はみられないと仮定して、過去の生長を予測式の因子としたのである。近似の良好さから考えてこの式は正に上で規定した性質をもっている。したがって、ある期間後を予測するとき、その時利用した過去の生産力水準がそのまま予測の期間だけ継続したならば、きわめて精確な予測ができるはずである。しかしながら、現実にはこのような仮定は常には望めない。予測の期間が長くなるにつれて真の生産力水準との差の分布の密度はひろがってゆく。それ故予測値と真値との差は一般に大きくなるのである。われわれは予測値の検証

に際して、時間の経過によって変ってゆく生産力水準の偶然的変化を小さくするため、現実の資料からモデル林分を作成したのである。しかしながらこの際でも、真値とのずれは期待されるものより大きかった。現実の林分からの単木についての予測はこのいわば理想化されたものにくらべて、生産力水準の偶然的変化を修正できないためきわめて大きな偏差をもち得る。Table 5.1 はこの事実を表わしている。したがって結論としていいうことは、この生長式が極めて精密なものであり、さらに予測が予測開始時点までの過去の情報のみによって規定されるという理由によって、条件が変わることがほぼ必然的である林木の生長に関して、ある程度長い期間後（例えば5年以上）を予測する方法としては不適切であり、このような目的のためには、他のもうひとつの予測形式が用いられねばならない。

さてわれわれは林木の生長を精密に表現し得る生長式を得たのである。それは生長条件が同一の水準を保っている限り時間の函数としてきまった定数をもった指数曲線を適用できることを知ったのである。それゆえ、この曲線と実際の生長をプロットした線との間にずれが生じたならば、それは生産力水準が変化したのであり、このずれは生産力水準変化の計測値となるはずである。ところで指数曲線上の点は、定差図上直線となる。生長を定差図上で追跡する際問題となるのはその勾配である。またこれと同値なものとして点列をみてもよい。勾配が1より小さいとき点列の幅は序々に小さくなってゆき、勾配が1のとき、幅は変わらず、1より大きいとき点列はひろがってゆく。すなわち勾配 θ が $\cong 1$ の値をとることによって、時間とともに連年生長量が小さくなったり、変らなかつたり、大きくなったりするのである (Fig. 5.1)。

ところでわれわれが積極的に行なう生産力水準変更の手段としては施肥と間伐が考えられよう。単木について考えると施肥したり、ある範囲内での強度で間伐を実行すれば生育条件がよくなったのであるから、それが行なわれなかった場合に期待される生長よりも、より大きな生長をするはずである。これを定差図上にプロットした場合、その効果は、それまで直線上にあった点列からの上側へのみだれとしてとらえることができる。鈴木¹⁾はこの事実に注目して肥培効果を判定した。鈴木の研究によると、施肥を行なってそれが効果を示しはじめると、それは定差図上で点列のふくらみとして表われてくる (Fig. 5.2), そしてそのふくらみは、ある時間後再びもとの線上に復帰する。このことはいままでの考え方から次のように分析できる。施肥を行なった場合、それが適切であれば生産力水準は上昇する。しかしその効果はある時間持続した後失なわれてもとの水準にもどる。したがって生長の点列は肥効のあるあいだ、それまでと違ったとびかたをするが、持続効果が終了したときもとの点列にもどる。ただその位置は施肥が行なわれなかったときに到達するのにかかる時間よりも早い。そしてその間に獲得された時間の短縮はそのまま継続する。Fig. 5.3 において t_1 で肥効が現われて t_2 で終了した場合、 $t_2 - t_1$ の時間の短縮がなされたことになる。もちろん実際の生長現象を観察した場合、このように明瞭に現われることは

きわめてまれである。なぜならば現実にはこのようなものをみだす偶然的変動（生産力水準の偶然的変化による）が加わるからである。次に間伐による単木の生長の変化を考える。間伐が実際に行なわれるような森林は次のような条件がみたされている。すなわち、土地の生産力がある水準以上であって間伐実行による林分の破壊も早く回復できること、次に林自身ある令級以上に達し、林木集団と環境との相互の反応が円滑に行なわれるためにはその構成している個々の樹木の間である程度以上自由な生長を制限させなくてはならないような状態にあるもの、このように規

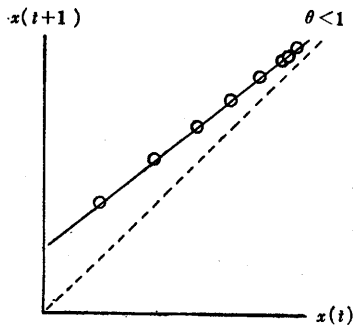


Fig. 5.1 そのI
注；点線は $x(t+1)=x(t)$

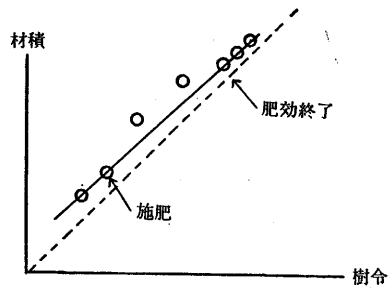


Fig. 5.2

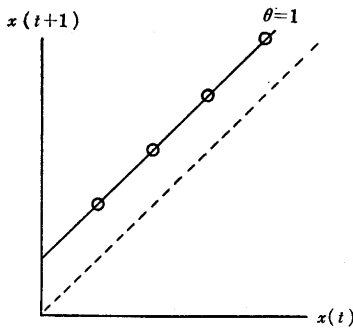


Fig. 5.1 そのII
注；点線は $x(t+1)=x(t)$

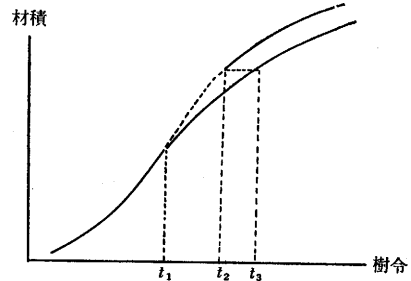


Fig. 5.3

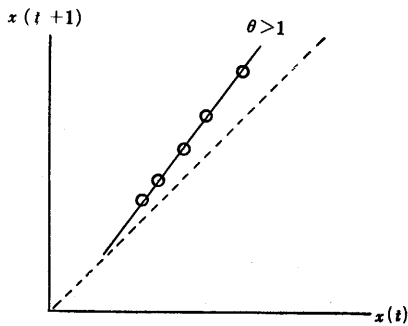


Fig. 5.1 そのIII
注；点線は $x(t+1)=x(t)$

定した林分における間伐の効果も、林地の生産力の違いや間伐率の違いによって異なり、林木の生長現象もいろいろ違ってくるのは当然であるが、採取した林木における間伐の効果調べるために、標本木から一つのモデル林を作成した。標本木は過去に人間によったり、自然力によっていろいろな干渉が加えられてきている。それらの歴史は精確ではないが Table 2.1 に各林分ごとに記録されている。林分に対する干渉は除伐、枝打、間伐、林分の一部の伐採、台風による被害、雨水の害等であるが、これらの干渉のうち標本は比較的正常的な林分から得たのであるから、除伐、枝打、間伐以外林分に与えた影響は比較的小さいものと推察し、標本のうちで間伐が実行

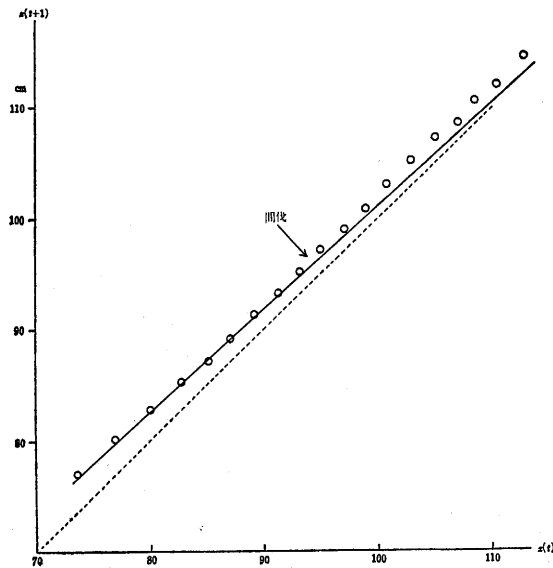


Fig. 5.3 間伐の効果 その I
Table 5.2 の胸高直径の合計の定差図

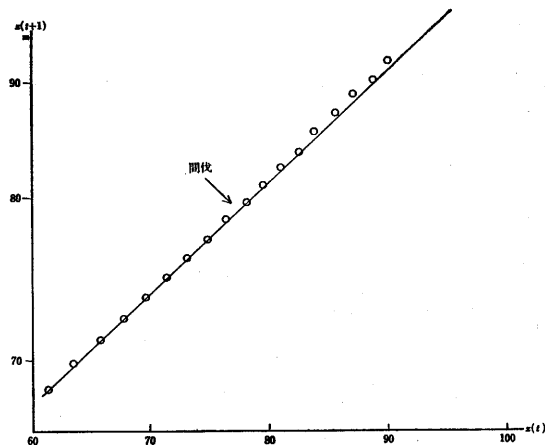


Fig. 5.3 間伐の効果 その II
Table 5.2 の樹高の合計の定差図

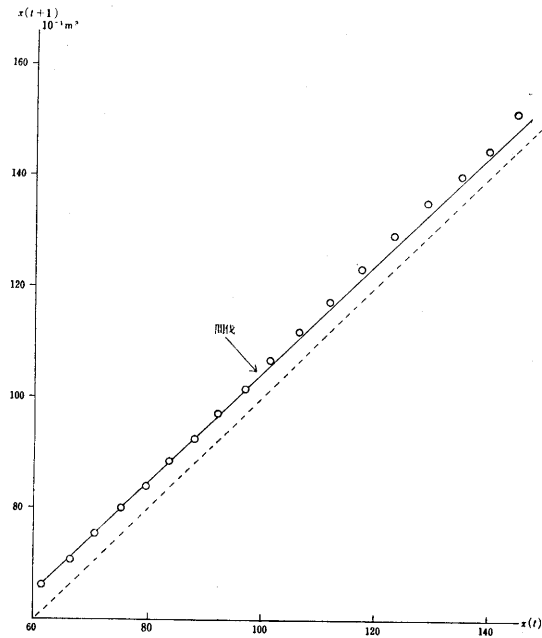


Fig. 5.3 間伐の効果 そのⅢ
Table 5.2 の材積の合計の定差図

された前後にそれ以外外部から林分に加えられた生長に影響する干渉が小さいもの6本を選び、おのおの間伐が行なわれた時点であわせて作ったモデル林分が Table 5.2 であって、前後おのおの9年の生長がわかるようになっている。間伐した結果あらわれる効果は林令、間伐の強度、林地の生産力等によって変化すると考えられるから、このモデルによって間伐の効果のすべてを解明することはできないが、モデル林分の構成木が同一の地方品種でありほぼ同一の施業をうけているとはいえ、場所および林令に関して異なった林分から得たものであるから、間伐の一般的傾向は推察できる。このモデル林分の定差図をみると、間伐した前後で定差直線の勾配が異なり、間伐後の方が高いように見える。そこでモデル林分の間伐の効果进行分析したのが Table 5.3 である。これによると樹高、胸高直径において定差直線の勾配に有意な差がみとめられる。しかし材積においてはその差はみとめられない。しかし間伐の効果はみとめられている。樹高、胸高直径にみとめられた勾配の差が材積においてみとめられないのは一見矛盾しているようだが、われわれは前二者における数値のバラツキに比して、後者のバラツキが大きいことが材積における定差直線の勾配の差が検出できない原因であろうと解釈する。

さてわれわれは上述のようにして組みたてたモデル林分において間伐の効果を確認、それは定差図においてその勾配をかえるような性質のものであるという結論に達した。モデル林分の構成木はすべて実際の林分において間伐が行なわれた時残された木であるから、この結論は一見間伐が行なわれた後の林分に関してのもののように見えるが、これは本数の減少という因子を捨象し

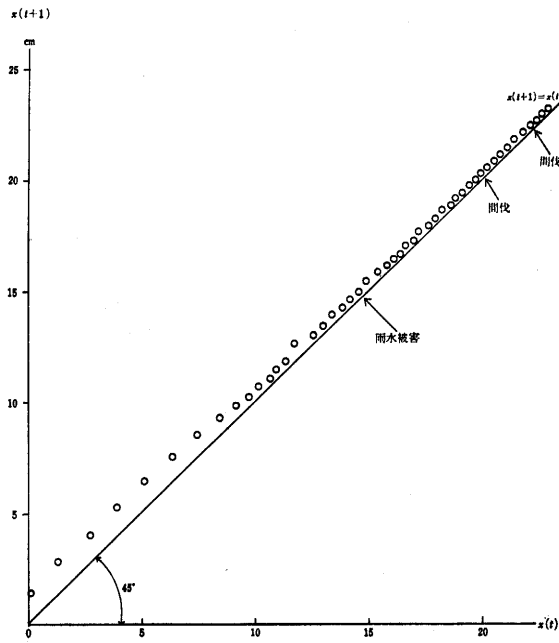


Fig. 5.4 人工林定差図 そのI
18 林班 a_2 小班 胸高直径

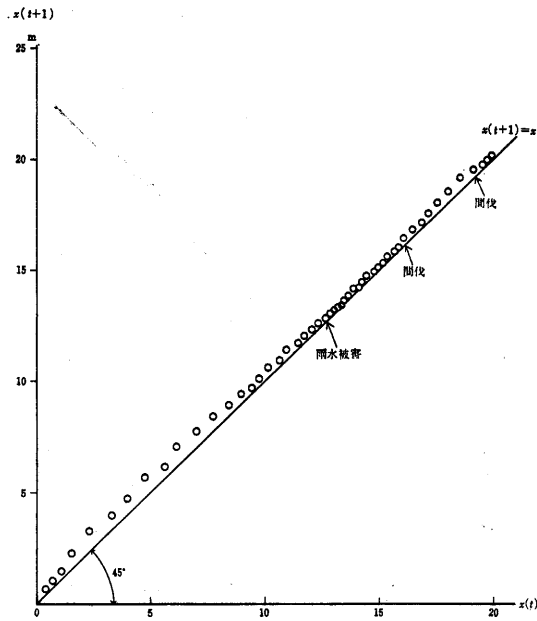


Fig. 5.4 人工林定差図 そのII
18 林班 a_2 小班 樹高

たものであって、あくまで単木についての結論である。以上のことから次のようなことが予想されよう。すなわち間伐による効果はそれが適切な場所で適切に行なわれるとしたら、それは残された個々の木にとって生産力水準の上昇をもたらす。そしてその生産力水準は、間伐実行前とは

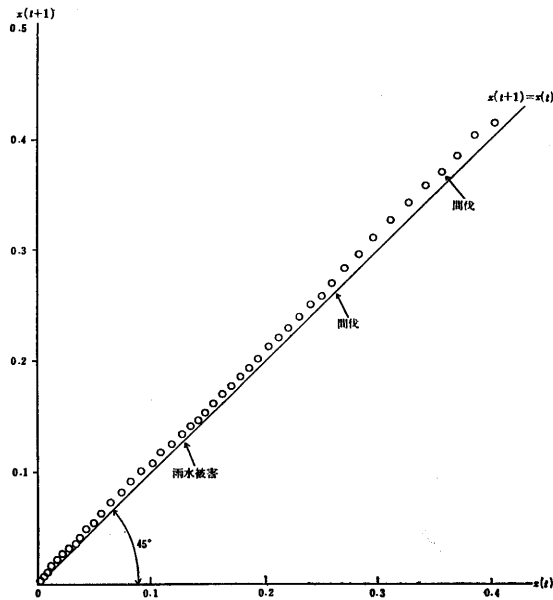


Fig. 5.4 人工林定差図 そのIII
18 林班 a_2 小班 材積

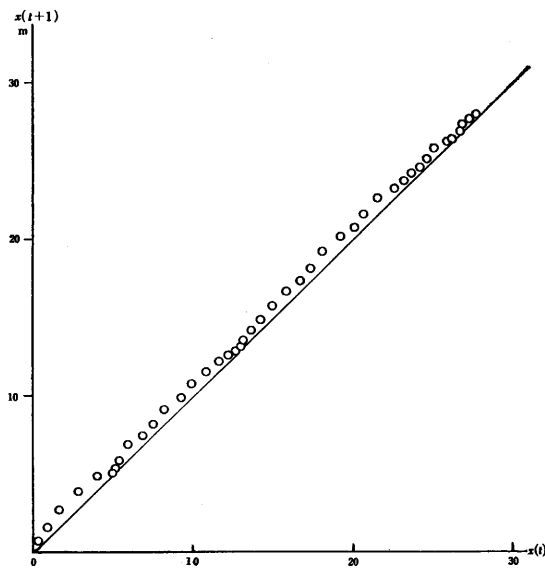


Fig. 5.5 胸高直径 そのI
富士山コメツガ 胸高直径

違ったより高い水準を保つかまたはその効果は非常に長く 10 年以上に及ぶかのいずれかである。ここでわれわれはその効果は前者のようなものであろうと推察する。単木の占有する空間の拡大によってつくられた林分の環境は、間伐前とは質的に異っていると思うからである。

林木の歴史はその場所の環境に対する適応の歴史である。それは年輪の中にはっきりと記されている。環境の変化から周年変化を除けば、残るのは生産力水準の変化である。これには偶然的

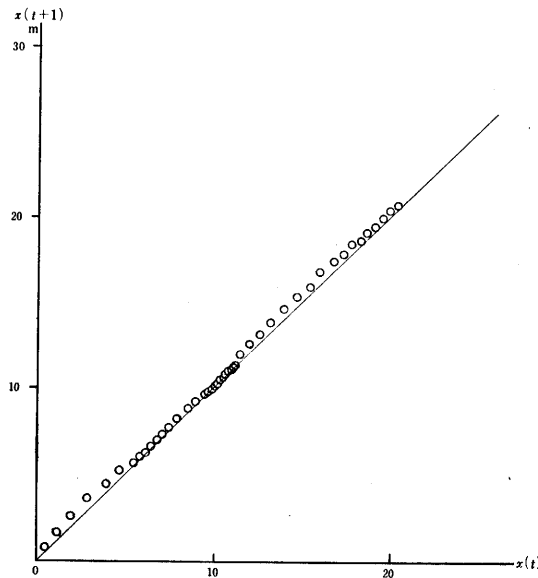


Fig. 5.5 天然林定差図 そのII
富士山コメツガ 樹高

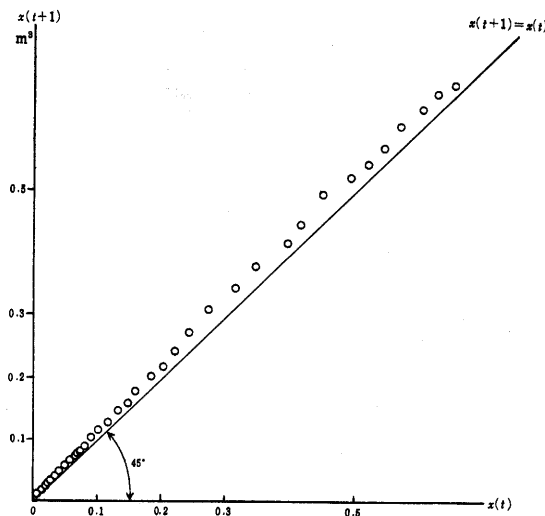


Fig. 5.5 天然林定差図 そのIII
富士山コメツガ 材積

な変化をするが、しかしまたもとにもどるような変化と前に間伐型と規定したごとき変化の二種類があって、現実の林分においてはこの二つの変化がおきているのである。われわれの予測が成功するためには、間伐型の変化がないことが必須の条件であった。またそれに失敗したのは現実の林分においては実際にこの種の変化がおきているためであった。

最後に現実の林分の定差図を示すことにする。ここにある天然林の定差図も人工林の定差図も特別なものではなく、現実中存在する標準的な標本である (Fig. 5. 4, 5. 5)。この図で明らかのように、現実の林分ではモデル林分とは違ってたえず二種の生産力水準の変化がおきている。しかしここで注目されることは、人工林と天然林とはその定差図に極めて違った特徴がみいだされることである。天然林においては、ある時間において生産力水準に変化がおこるが、ひとつの変化がおこってから次の変化がおこる間は比較的均一性が保たれる。それゆえ、その間では生長が極めて規則的に行なわれている。これに反して、人工林ではその傾向がはっきりしない。点列の間かくが極めてひろいことも定差図上で特徴がはっきりつかめない理由のひとつであろうが、人工林においては、つねに人間による干渉 (施業) が加えられていることに大きな原因がある。

参 考 文 献

- 1) 鈴木太七: 林木の成長法則 (長谷川孝三編「林地肥培効果の評価に関する研究」) 1961
- 2) 平田種男: 定角測定法に関する研究 (東大演習林報告第 56 号) 1962
- 3) 八木誠政・小泉清明: 函数生物学 (裳華房) 1929
- 4) 春永剛聖: 単木材積式に関する二, 三の研究 (卒業論文) 1959
- 5) 平田種男: 単木材積表の利用 (日林誌 Vol. 41 No. 6) 1959
- 6) 西沢正久: 森林測定法 (地球出版社) 1959
- 7) 嶺 一三: 測樹 (朝倉書店) 1951
- 8) 木梨謙吉: 推計学を基とした測樹学 (朝倉書店) 1954
- 9) 増山元三郎: 実験公式の求め方 (竹内書店) 1962
- 10) 東京大学林学科: 測樹学実習成績 (資料) 1936, 1937, 1940
- 11) スネディカー・畑村他訳: 統計的方法 (岩波書店) 1962
- 12) ウイナー・池原訳: 人間機械論 (ミスズ書房) 1954
- 13) Russel, E. W.: Soil condition and plant growth, 1959

Summary

Various formulas for the expression of the growth of the volume, height and diameter of the tree, have been designed empirically.

In 1962, Dr. Suzuki succeeded in expressing the growth of trees very accurately by Mitscherlich's curve empirically.

From this fact, the authors show a Model of tree growth as follows:

$$a \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + b \frac{dx(t)}{dt} + cx(t) = f(t)$$

where a, b, c : constant

$x(t)$: the growth of trees at a time (t)

$f(t)$: productivity at a time (t)

when $f(t) = \text{constant}$, the solution are

$$(i) \quad x(t) = \alpha_0 + c_1 e^{at} + c_2 e^{\beta t} \quad b^2 - 4ac > 0$$

$$(ii) \quad x(t) = \alpha_0 + c_1 e^{at} + c_2 t e^{at} \quad b^2 - 4ac = 0$$

$$(iii) \quad x(t) = e^{at} (c_1 \cos \beta t + c_2 \sin \beta t) \quad b^2 - 4ac < 0$$

Here " $x(t)$ " is the expression of tree growth, therefore solution (iii) is not our Model and solution (ii) is in very rare case, thus our model can be written as follows:

$$x(t) = \alpha_0 + c_1 e^{at} + c_2 e^{\beta t}$$

From this solution, we can conclude that the tree grows exponentially.

Now the condition of " $f(t) = \text{const}$ " is realistic in a closed forest,

$$\text{at } \alpha_0 = M, \quad c_1 = -M e^{a t_0} \quad \alpha = -k \quad c_2 = 0$$

$$x(t) = M (1 - e^{-k(t-t_0)})$$

this is the Mitscherlich's formula, and it is Dr. Suzuki's model.

On the prediction of the future tree growth by this formula, it gives us very good estimation in case of short period such as 5 years or so, but not so good in case of long period, because even in closed forest, productivity changes gradually.

Table 2.1 令級別手入調書 (小班別)

令級	年度	月	手 入 状 況
I			17e 昭和 30 年植栽 なし
			16b 昭和 31 年植栽 なし
II			26e ₂ 昭和 18 年植栽 手入不足により蔓の害多く枯損あり昭和 32 年頃ヒノキの枝打をした程度
			27c ₃ 昭和 26 年植栽
	37	1	スギ枝打 1,250 本
	37	2	枝打スギ 228 本ヒノキ 196 本
			16j ₁ 昭和 21 年植栽
	31	10	サンプスギ 0.17 ha を刈払, 除伐手入
			37 10 サンプスギ 246 本枝打
			37 11 サンプスギ 35 本枝打
III			29e ₂ 昭和 17 年植栽
	35	2	スギ除伐 80 本枝打 371 本
			26h 昭和 11 年植栽
	25	12	生長試験地新設, 間伐, 測定, 枝打
	25	12	枝打スギ 204 本
	27	2	スギ 14 本 9.44m ³ 払下
	28	10	スギ, ヒノキ 0.82 ha 除伐
	29	9	昭和 12 年植栽地 0.82 ha の内 0.65 ha 除伐
	31	5	スギ除伐 36 本枝打 364 本ヒノキ除伐 11 本枝打 243 本
			14d 昭和 6 年植栽
	20	1	スギ 4,800 本枝打
	30	12	スギ 3 本 0.06m ³ ザツ 8 本 0.47m ³ 払下
31	10	スギ 964 本 16.73m ³ ヒノキ 183 本 3.47m ³ マツ 169 本 8.03m ³ 払下 モミ 17 本 0.17m ³ ツガ 2 本 0.02m ³ カシ 1,657 本 14.22m ³ ザツ 3,483 本 45.81m ³	
31	1	枝打 681 本	
31	2	スギ 205 本マツ 6 本枝打	

令級	年度	月	手 入 状 況	
IV			17e 大正 15 年植栽	
	10	4	雪害手入不起こし除伐 1,167 本	
	12	1~2	スギ, ヒノキ枝打 1,521 本	
	23	1	四郎治沢林道沿枝打スギ 55 本ヒノキ 30 本除伐スギ 25 本ヒノキ 20 本	
	23	2	スギ 27 本ヒノキ 95 本枝打ヒノキ 25 本除伐	
	23	3	スギ 595 本ヒノキ 738 本枝打, スギ 133 本ヒノキ 135 本除伐	
	26	3	スギ 117 本除伐	
	26	12	雪害木除伐スギ 628 本ヒノキ 4 本	
	27	12	枝打スギヒノキ 600 本	
	28	10	スギ 622 本 32.05m ³ 払下	
	31	5	カシ 68 本 1.07m ³ ザツ 122 本 3.50m ³ 払下	
	31	10	カシ 479 本 8.68m ³ ザツ 524 本 18.46m ³ 払下	
	31	2	ヒノキ 10 本 0.37m ³ 払下	
	32	8	スギ 4 本 0.56m ³ ヒノキ 44 本 6.55m ³ 払下	
				32e 大正 15 年植栽
	22	3	大正 15 年一昭和 3 年植栽 5.93 ha の内 0.40 ha の手入除伐及び枝打 枝打スギ 1,078 本ヒノキ 510 本除伐スギ 289 本ヒノキ 180 本	
	23	3	枝打スギ 179 本ヒノキ 22 本除伐スギ 153 本ヒノキ 35 本	
	26	3	スギ雪害木伐採 41 本	
	26	3	濁川歩道雪害木伐採 100 本 (b, e)	
	26	4	スギ雪害木除伐 122 本	
	27	11	スミ沢橋材料としてスギ 180 本 30.57m ³ 間伐自用処分スギ 119 本 4.22m ³ 払下	
	30	3	スギ 414 本 23.75m ³ ヒノキ 618 本 32.57m ³ マツ 49 本 14.52m ³ カシ 2,540 本 22.02m ³ ザツ 3,515 本 54.56m ³ 払下	
				32b 大正 15 年植栽
	10	1	除伐スギ, ヒノキ 418 本枝打スギ 3,700 本ヒノキ 890 本	
	10	2	雪害手入木起こし除伐 232 本	
	14	11	枝打スギ 1,976 本ヒノキ 121 本除伐 78 本	
	22	3	枝打スギ 1,024 本マツ 15 本除伐 172 本マツ 68 本	
	23	3	枝打 218 本除伐 139 本	
	24	2	間伐スギ 20 本 0.93m ³	
	25	9	間伐 81 本	
	26	4	スギ雪害木除伐 134 本	
	26	11	雪害木除伐スギヒノキ 563 本	
26	11	雪害木除伐スギヒノキ 1,942 本		

令級	年度	月	手 入 状 況
	27	11	スギ 372 本 19.70m ³ 払下
	30	3	スギ 933 本 55.53m ³ ヒノキ 240 本 14.00m ³ マツ 53 本 13.73m ³ カシ 2,071 本 25.55m ³ ザツ 3,873 本 73.51m ³ 払下
	32	8	スギ 39 本 4.62m ³ ヒノキ 11 本 1.10m ³ マツ 12 本 0.56m ³ 払下
	34	3	スギ 215.80m ³ マツ 34.14m ³ 払下
V			25d 大正 10 年植栽
	10	9~10	成長良好なところ枝打 0.5 ha 除伐
	16	11	除伐スギ 83 本ヒノキ 175 本枝打スギ 530 本ヒノキ 456 本
	29	3	間伐スギ 79 本 1.92m ³ ヒノキ 133 本 6.24m ³ マツ 29 本 7.42m ³ モミ 8 本 3.37m ³ 払下
	30	9	スギ 14 本 0.21m ³ ヒノキ 3 本 0.04m ³ カシ 3 本 0.04m ³ ザツ 3 本 0.08m ³ 払下
	30	10	間伐スギ 1 本 0.04m ³ ヒノキ 36 本 2.46m ³ 払下
	30	11	カシ 45 本 6.81m ³ ザツ 757 本 17.41m ³ 払下
	32	2	主林木枝打 345 本 (0.90 ha)
	33	9	台風第 22 号によりヒノキ 10 本被害
	34	7	スギ 0.25m ³ 払下
			26b 大正 7 年植栽
	10	11~1	雨水 8 カ所スギ 1,114 本ヒノキ 17 本
	10	2	木起こし 215 本除伐 91 本
	11	3	枝打スギ 1,680 本ヒノキ 3,000 本
	11	3	間伐第 1 回 2,520 本
	11	10	雨水被害木伐採 880 本歩道沿
	27	10	スギ 1,301 本 93.50m ³ ヒノキ 279 本 17.49m ³ 払下
	27	10	スギ 801 本 66.68m ³ ヒノキ 279 本 1,800m ³ 払下
	29	12	枝打 60 本 0.25 ha (スギ, ヒノキ)
	29	1	スギ枝打 60 本
	29	2	間伐ヒノキ 60 本
	30	10	カシ 5 本 0.08m ³ ザツ 948 本 10.22m ³ 払下
	32	12	スギ 76.12m ³ ヒノキ 36.83m ³ マツ 1.24m ³ 払下
			30c 大正 3~5 年植栽
	10	11~12	枝打及び除伐スギ 11,170 本ヒノキ 1,876 本
	10	12	間伐スギ, ヒノキ 1,762 本
	16	1	枝打スギ 842 本ヒノキ 1,900 本
	22	3	12.11 ha の内 0.10 ha 間伐
	29	2	10.11 ha の内ヒノキ 150 本枝打 (0.10 ha)

令級	年度	月	手 入 状 況
	30	8	スギ 62 本 4.56m ³ ヒノキ 20 本 2.09m ³ 払下
	30	2	スギ 1,952 本 147.55m ³ ヒノキ 1,174 本 81.03m ³ マツ 182 本 65.61m ³ モミ 5 本 7.25m ³ ツガ 2 本 4.59m ³ カシ 1,770 本 19.57m ³ ザツ 2,446 本 48.36m ³ 払下
	31	8	スギ 28 本 2.30m ³ ヒノキ 10 本 0.68m ³ マツ 1 本 0.30m ³ 払下
	31	9	スギ 9 本 2.09m ³ ヒノキ 9 本 1.55m ³ 払下
	34	11	スギ 38.84m ³ ヒノキ 7.22m ³ マツ 3.42m ³ 払下
	34	11	スギ 0.03m ³ ヒノキ 0.27m ³ 払下
	35	7	カシ 4.69m ³ ザツ 2.95m ³ 払下
	35	7	スギ 0.06m ³ ヒノキ 1.27m ³ マツ 2.03m ³ 払下
VI			18a₂ 明治 45~大正 2 年植栽
	10	1	雨水被害スギ 92 本ヒノキ 2 本
	11	6	雨水被害木伐採 150 本 1.63m ³
	27	10	スギ 225 本 15.44m ³ ヒノキ 165 本 18.06m ³ 払下
	32	10	カシ 167 本 3.88m ³ ザツ 582 本 8.42m ³ 払下
	34	7	スギ 3.63m ³ ヒノキ 3.91m ³ マツ 0.75m ³ 払下
			18d 明治 45 年植栽
	10	2~3	枝打 1,711+2,257 本
	13	9	台風被害スギ 145 本ヒノキ 30 本
	27	6	間伐スギ 776 本 53.10m ³ ヒノキ 364 本 29.31m ³ 払下
	27	7	スギ 1,557 本 104.77m ³ ヒノキ 1,960 本 192.08m ³ 払下
	32	10	カシ 717 本 21.52m ³ ザツ 3,451 本 72.16m ³ 払下
	33	11	スギ 1,208 本 100.13m ³ ヒノキ 1,220 本 133.43m ³ マツ 16 本 5.22m ³ モミ 165 本 23.34m ³ ツガ 59 本 2.75m ³ 払下
			28d 明治 38~40 年植栽
	10	1	雨水被害スギ 740 本ヒノキ 69 本
	10	8~9	雨水被害伐採 1,005 本
	12	1	スギヒノキ枝打 1,730 本
	13	9	台風被害スギ 70 本
	14	5	スギ被害木払下 135 本 19.35m ³
	15	11~2	試験地内間伐 41 本枝打 70 本
	28	1	スギ 3,144 本 496.32m ³ ヒノキ 1,818 本 223.67m ³ 払下
	28	2	スギ, ヒノキ植栽地 19.42 ha 内 0.40 ha 枝打 240 本
	28	2	ヒノキ 676 本枝打
	28	3	ヒノキ 300 本枝打
	35	9	スギ 4.67m ³ ヒノキ 11.69m ³ 払下

Table 2.1 データ一覧表

番号	No. 1			No. 2			No. 3			No. 4		
	42 (大見山)			42 (大見山)			42 (大見山)			42 (大見山)		
所属小班	1936 (昭 11)			1936 (昭 11)			1936 (昭 11)			1936 (昭 11)		
伐採時	1936 (昭 11)			1936 (昭 11)			1936 (昭 11)			1936 (昭 11)		
年令	<i>d</i>	<i>h</i>	<i>v</i>	<i>d</i>	<i>h</i>	<i>v</i>	<i>d</i>	<i>h</i>	<i>v</i>	<i>d</i>	<i>h</i>	<i>v</i>
1年	—	0.6	0	—	0.6	0	—	0.1	0	—	0.2	0
2	0.2	1.8	2	—	1.1	2	—	0.2	0	—	0.6	1
3	0.5	2.4	14	0.2	1.7	6	—	0.8	1	—	1.0	4
4	1.0	3.2	36	0.6	2.2	22	0.2	1.6	8	0.4	1.6	16
5	1.6	4.0	92	1.2	2.8	52	0.9	2.3	45	1.0	2.1	46
6	2.2	4.6	212	2.4	3.3	150	1.7	2.9	90	2.2	2.8	100
7	3.4	5.3	527	3.0	3.7	236	2.6	3.5	144	3.1	3.4	194
8	4.4	5.8	925	4.2	4.6	401	3.6	4.4	279	3.8	4.0	328
9	5.3	6.3	1380	5.2	5.3	606	5.0	4.5	512	4.6	4.5	462
10	6.6	6.8	2014	6.4	5.9	997	5.9	5.1	746	5.4	5.1	672
11	7.8	7.3	2889	7.6	6.4	1465	6.6	5.6	1190	6.2	5.5	1022
12	8.6	7.9	3811	8.8	6.9	2010	7.2	6.2	1442	6.9	5.9	1254
13	9.6	8.4	4708	9.6	7.3	2571	8.0	6.8	1896	7.3	6.3	1442
14	10.4	8.8	5624	10.4	7.6	3208	8.7	7.3	2393	8.0	6.7	1826
15	11.0	9.3	6554	11.1	8.0	3898	9.2	7.8	2868	8.6	7.1	2298
16	11.6	9.8	7358	12.0	8.4	5089	9.6	8.2	3334	9.0	7.6	2740
17	12.1	10.3	8413	12.8	8.8	5962	10.0	8.6	3892	9.7	8.0	3233
18	12.6	10.8	9396	13.6	9.2	7008	10.6	9.1	4687	10.3	8.3	3657
19	13.3	11.4	10687	14.4	9.8	8374	11.1	9.5	5446	10.7	8.6	4236
20	13.7	11.7	11467	15.0	10.3	9677	11.9	9.9	6416	11.2	9.0	4824
21	14.4	12.1	13350	15.9	10.8	11299	12.4	10.3	6957	11.7	9.3	5574
22	15.2	12.6	15111	16.7	11.2	12989	13.0	10.8	8341	12.4	9.7	6401
23	15.7	12.9	16822	17.5	11.8	14852	13.6	11.2	9122	13.1	10.1	7470
24	16.3	13.3	18554	18.3	12.3	16774	14.2	11.9	9753	14.0	10.5	8759
25	16.9	13.6	20215	19.0	12.8	18980	14.9	12.8	11366	14.8	11.0	10113
26	17.5	14.1	22559	19.8	13.2	20960	15.4	13.4	12648	15.6	11.7	11607
27	18.2	14.6	24652	20.4	13.8	23060	16.0	14.0	14245	16.3	12.4	12931
28	18.8	15.1	26698	20.9	14.4	24816	16.5	14.2	15550	17.0	13.3	14510
29	19.4	15.8	29087	21.4	15.0	26364	17.0	14.6	17044	17.8	14.0	16416
30	20.0	16.2	31119	21.8	15.5	29120	17.6	15.0	18888	18.5	14.6	18354
31	20.6	16.6	33798	22.4	15.9	31688	18.1	15.4	19960	19.0	15.0	19941
32	21.2	17.1	36434	22.8	16.2	33686	18.5	15.8	21684	19.6	15.4	21807
33	21.6	17.6	38463	23.2	16.6	35999	19.0	16.3	23383	20.2	15.6	23954
34	22.0	18.0	41061	23.5	17.0	37864	19.5	16.7	25135	20.7	15.9	26518
35	22.6	18.4	44155	23.9	17.4	39857	19.9	17.0	26991			
36	23.0	18.8	47019									
37												
38												
39												
40												

注; 各数値は樹幹解析によって得たもので、

d は胸高 (1.3m) 直径で単位は cm;

h は樹高で単位は m;

v は材積で単位は $10^{-6}m^3$ である。

番 号	No. 21			No. 22			No. 23			No. 24		
所属小班	16j ₁			27c ₃			17e			16b		
伐採時	1963 (昭 38)			1963 (昭 38)			1963 (昭 38)			1963 (昭 38)		
年 令	d	h	v	d	h	v	d	h	v	d	h	v
1 年	—	0.3	0	—	0.6	1	—	0.4	1	—	0.2	0
2	—	0.8	4	—	0.9	5	—	0.8	6	—	0.8	1
3	0.4	1.5	18	0.4	1.7	17	0.2	1.4	21	0.2	1.4	10
4	2.1	2.2	141	0.8	2.3	28	1.2	2.0	64	1.2	2.5	56
5	4.2	3.1	391	2.0	3.7	106	2.4	3.3	199	2.2	2.9	139
6	5.4	3.6	652	3.6	4.5	289	4.0	4.0	436	3.7	3.6	339
7	7.0	4.5	1096	4.8	6.2	601	5.8	4.8	825	5.6	4.5	708
8	8.6	5.6	1864	6.0	7.6	982	7.2	5.4	1320	7.0	5.5	1212
9	10.0	6.4	2641	7.1	9.3	1623	7.8	6.4	1674	7.8	6.0	1609
10	11.0	7.5	3520	8.2	9.7	2463						
11	11.6	8.1	4302	9.3	10.1	3688						
12	12.4	9.0	5322	10.3	10.5	4966						
13	13.0	9.6	6171	11.0	10.8	5667						
14	13.6	9.8	7147									
15	14.0	10.3	7810									
16	14.4	10.7	8713									
17	14.6	11.1	9163									
18												
19												
20												

番 号	No. 25		
所属小班	16b		
伐採時	1963 (昭 38)		
年 令	d	h	v
1 年	—	0.1	0
2	—	0.3	0
3	—	0.6	1
4	—	1.0	4
5	0.2	1.4	15
6	1.2	2.8	58
7	2.4	3.4	157
8	3.7	3.9	348
9	4.5	4.4	516
10			

Table 2.2 林分 Model 1 構成表

胸高直径

单位: cm

林 令			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
番 号	小班名	植栽年											
No. 2	42(大見山)	1902	—	—	0.2	0.6	1.2	2.4	3.0	4.2	5.2	6.4	7.6
No. 5	45k	1894	—	—	—	—	0.2	1.2	2.5	4.6	6.2	7.6	8.7
No. 8	38(女滝)	1903	—	0.3	0.9	2.2	4.4	6.8	7.2	8.0	9.4	10.6	11.8
No. 9	18a ₂	1912	—	—	—	0.2	1.4	2.8	4.0	5.2	6.4	7.5	8.5
No. 10	18d	1913	—	0.6	1.4	2.2	3.8	4.7	5.6	6.8	7.7	8.8	9.4
No. 11	30c	1916	—	—	1.0	2.8	4.7	6.4	8.4	9.4	10.0	10.4	11.2
No. 12	26b	1918	—	—	—	—	—	—	0.2	0.9	2.2	3.6	5.1
No. 13	25d	1924	—	—	—	—	0.6	2.0	2.6	3.0	3.0	4.0	4.6
No. 15	32e	1925	—	—	—	0.2	0.7	1.3	1.9	2.6	3.5	4.2	5.0
No. 16	17e	1926	—	—	—	—	—	0.7	1.4	2.0	2.6	3.2	4.0
計				0.9	3.5	8.2	17.0	28.3	36.8	46.7	56.8	66.3	75.9
平 均				0.1	0.4	0.8	1.7	2.8	3.7	4.7	5.7	6.6	7.6

林令 小班名	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
42	8.8	9.6	10.4	11.1	12.0	12.8	13.6	14.4	15.0	15.9	16.7	17.5
45k	9.6	10.6	11.6	12.6	13.2	13.6	13.9	14.4	14.8	15.1	15.5	15.9
38	12.6	13.4	14.0	14.8	15.5	16.1	16.6	17.2	17.7	18.2	18.6	19.0
18a ₂	9.2	9.8	10.2	10.7	11.0	11.4	11.8	12.6	13.0	13.4	13.9	14.2
18d	10.0	10.4	11.0	11.5	12.1	12.6	13.4	14.0	14.8	15.2	15.7	16.3
30c	11.8	12.4	12.9	13.5	14.1	14.8	15.2	15.6	16.0	16.2	16.6	16.8
26b	6.4	7.3	8.2	8.8	9.4	10.0	10.6	11.2	11.8	12.4	13.0	13.7
25d	5.2	5.6	6.1	6.6	6.9	7.4	7.8	8.1	8.3	8.6	8.8	9.1
32e	6.0	7.0	7.5	8.3	9.0	9.6	10.4	10.8	11.2	11.8	12.2	12.6
17e	4.6	5.3	6.0	6.7	7.3	8.0	8.5	9.0	9.4	9.8	10.3	10.6
計	84.2	91.4	97.9	104.6	110.5	116.3	121.8	127.3	132.0	136.6	141.3	145.7
平 均	8.4	9.1	9.8	10.5	11.1	11.6	12.2	12.7	13.2	13.7	14.1	14.6

林令 小班名	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
42	18.3	19.0	19.8	20.4	20.9	21.4	21.8	22.4	22.8	23.2	23.5	23.9
45k	16.3	16.7	17.1	17.4	17.8	18.2	18.4	18.8	19.0	19.2	19.4	19.6
38	19.4	19.8	20.1	20.5	20.9	21.4	21.9	22.2	22.5	22.8	23.1	23.6
18a ₂	14.6	14.9	15.4	15.8	16.1	16.4	16.6	17.0	17.2	17.6	17.9	18.2
18d	16.8	17.4	17.8	18.3	18.9	19.4	20.0	20.4	20.8	21.1	21.6	22.0
30c	17.2	17.5	17.8	18.0	18.1	18.4	18.5	18.8	19.0	19.3	19.5	19.6
26b	14.4	15.0	15.4	16.0	16.4	16.8	17.2	17.6	18.0	18.4	18.8	19.0
25d	9.4	9.6	9.9	10.2	10.4	10.8	11.0	11.2	11.4	11.6	11.9	12.2
32e	13.0	13.2	13.5	13.8	14.0	14.3	14.6	15.1	15.4	15.7	16.1	16.4
17e	11.0	11.2	11.4	11.6	11.8	12.0	12.4	12.7	13.0	13.2	13.4	13.0
計	150.4	154.3	158.2	162.0	165.3	169.1	172.4	176.2	179.1	182.1	185.2	188.1
平 均	15.0	15.4	15.8	16.2	16.5	16.9	17.2	17.6	17.9	18.2	18.5	18.8

樹 高

單位: m

林 令			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
番 号	小班名	植栽年											
No. 2	42(大見山)	1992	0.6	1.1	1.7	2.2	2.8	3.3	3.7	4.6	5.3	5.9	6.4
No. 5	45k	1894	0.1	0.3	0.5	0.9	1.6	2.4	3.4	3.8	4.6	5.5	6.4
No. 8	38(女滝)	1903	0.8	1.7	2.2	3.5	3.8	4.2	4.8	6.6	7.6	8.1	8.6
No. 9	18a ₂	1912	0.3	0.6	1.0	1.4	2.2	3.2	3.9	4.7	5.6	6.1	7.0
No. 10	18d	1913	0.2	1.6	2.2	2.7	3.7	4.2	4.7	5.5	6.5	7.5	8.0
No. 11	30c	1916	0.2	0.7	2.2	3.8	4.4	5.5	5.9	6.3	7.0	7.6	8.1
No. 12	26b	1918	0.1	0.2	0.3	0.4	0.7	0.9	1.5	2.3	3.5	3.7	4.3
No. 13	25d	1924	0.1	0.4	0.9	1.2	1.6	2.5	2.8	3.1	3.4	3.7	3.9
No. 15	32e	1925	0.3	0.5	0.9	1.4	1.8	2.1	2.5	2.9	3.5	4.0	4.6
No. 16	17e	1926	0.1	0.3	0.6	0.9	1.0	1.7	2.2	2.6	3.0	3.4	3.7
計			2.8	7.4	12.5	18.4	23.6	30.0	35.4	42.4	50.0	55.5	61.0
平 均			0.3	0.7	1.2	1.8	2.4	3.0	3.5	4.2	5.0	5.5	6.1

林令		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
小班名													
42		6.9	7.3	7.6	8.0	8.4	8.8	9.2	9.8	10.3	10.8	11.2	11.8
45k		7.4	7.7	8.6	9.4	9.7	10.2	10.6	11.2	11.6	11.8	12.3	12.8
38		9.0	9.5	9.7	10.2	10.8	11.4	11.9	12.5	13.2	13.7	14.2	14.6
18a ₂		7.7	8.4	8.9	9.4	9.7	10.1	10.6	10.9	11.4	11.7	12.0	12.3
18d		8.7	9.5	10.1	10.8	11.5	12.3	12.8	13.4	13.9	14.4	14.9	15.2
30c		8.7	9.1	9.5	9.8	10.4	11.0	11.4	11.6	11.9	12.2	12.5	12.7
26b		5.0	5.5	6.0	6.5	7.1	7.6	8.1	8.5	8.8	9.2	9.6	10.0
25d		4.2	4.4	4.7	4.9	5.1	5.4	5.5	5.8	6.1	6.3	6.5	6.6
32e		5.3	5.8	6.4	7.0	7.6	8.3	9.1	9.6	10.3	10.9	11.5	11.7
17e		4.1	4.6	5.1	5.6	6.4	7.3	7.5	8.0	8.4	8.8	9.3	9.6
計		67.0	71.8	76.6	81.6	86.7	92.4	96.7	101.3	105.9	109.8	114.0	117.3
平 均		6.7	7.2	7.7	8.2	8.7	9.2	9.7	10.1	10.6	11.0	11.4	11.7

林令		24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
小班名													
42		12.3	12.8	13.2	13.8	14.4	15.0	15.5	15.9	16.2	16.6	17.0	17.4
45k		13.4	14.0	14.4	14.8	15.4	15.8	16.1	16.3	16.6	16.8	17.2	17.4
38		15.0	15.4	15.6	15.9	16.2	16.4	16.8	17.2	17.9	18.3	18.4	18.5
18a ₂		12.6	12.8	13.0	13.2	13.3	13.4	13.6	13.8	14.1	14.2	14.4	14.7
18d		15.5	15.7	16.1	16.3	16.6	17.1	17.5	17.7	18.2	18.4	18.7	19.0
30c		13.0	13.3	13.6	13.8	14.2	14.3	14.6	14.8	15.1	15.4	15.5	15.7
26b		10.7	11.0	11.4	11.8	12.3	12.7	13.3	13.6	14.0	14.3	14.6	14.8
25d		6.8	7.0	7.1	7.3	7.5	7.7	7.9	8.1	8.4	8.5	8.6	8.7
32e		12.0	12.3	12.5	12.7	12.9	13.0	13.3	13.4	13.6	13.8	14.0	14.2
17e		10.0	10.3	10.6	10.7	10.9	11.1	11.3	11.6	12.0	12.4	12.5	12.6
計		121.3	124.6	127.5	130.3	133.7	136.5	139.9	142.4	145.9	148.7	150.9	153.0
平 均		12.1	12.5	12.8	13.0	13.4	13.7	14.0	14.2	14.6	14.9	15.1	15.3

材 積

單位: $10^{-3}m^3$

林 令			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
番 号	小班名	植栽年											
No. 2	42(大見山)	1902	0	2	6	22	52	150	236	401	606	997	1465
No. 5	45k	1894	0	0	2	6	26	56	172	474	896	1476	2046
No. 8	38(女滝)	1903	1	12	50	148	257	784	1148	1523	2214	3080	4156
No. 9	18a ₂	1912	1	3	12	33	88	204	381	658	1038	1593	2125
No. 10	18d	1913	0	5	27	122	325	513	740	1137	1631	2416	2979
No. 11	30c	1916	0	5	71	218	487	964	1800	2431	3079	3668	4533
No. 12	26b	1918	0	0	0	1	3	10	28	47	141	319	615
No. 13	25d	1924	0	1	9	20	49	106	164	218	297	373	483
No. 15	32e	1925	0	1	3	12	31	69	91	152	262	383	554
No. 16	17e	1926	0	0	2	7	16	36	62	95	151	222	346
計			2	29	182	589	1334	2892	4822	7136	10315	14527	19302
平 均			2	3	18	59	133	289	482	714	1032	1453	1930

林令		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
小班名													
42	2010	2571	3208	3898	5089	5962	7008	8374	9677	11299	12989	14852	
45k	2746	3663	4816	6032	6904	7618	8386	9403	10280	11108	12298	13134	
38	5242	6187	7362	8777	10854	12223	13394	14573	16362	17804	19407	20788	
18a ₂	2751	3334	3776	4195	4922	5483	6272	7275	8139	9147	10111	10815	
18d	3689	4392	5389	6220	7390	8651	9739	11181	12826	14249	15523	17208	
30c	5382	6194	6871	7773	8709	9763	10676	11558	12550	13239	14123	14746	
26b	997	1380	1802	2170	2635	3103	3701	4313	5010	5678	6550	7525	
25d	617	722	864	1035	1164	1381	1561	1733	1888	2081	2278	2463	
32e	866	1213	1492	1995	2626	3220	4126	4770	5681	6469	7277	8053	
17e	469	695	957	1280	1599	2108	2498	3000	3488	4022	4677	5172	
計	24769	30351	36537	43375	51892	59512	67361	76180	85901	95096	105233	114756	
平 均	2477	3035	3654	4338	5189	5951	6736	7618	8590	9510	10523	11476	

林令		24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
小班名													
42	16774	18980	20960	23060	24816	26364	29120	31688	33686	35999	37864	39857	
45k	14382	15682	16812	17950	19272	20838	21880	22928	23976	25165	26014	27096	
38	22320	23616	24854	26464	27862	29126	30936	32164	33335	34480	35749	37325	
18a ₂	11809	12623	13422	14126	14717	15421	16228	16991	17757	18603	19434	20343	
18d	19061	20729	22166	23942	25690	27576	29794	31205	33017	34456	36417	38055	
30c	15746	16495	17373	18071	18720	19539	20205	20924	21621	22637	23417	23930	
26b	8664	9776	10608	11688	12875	13983	15303	16767	17823	19018	20220	21033	
25d	2701	2923	3162	3414	3618	3929	4195	4532	4821	5113	5489	5895	
32e	8779	9307	10024	15485	10934	11512	12211	13083	13757	14492	15264	16139	
17e	5614	5963	6481	6829	7183	7669	8145	8679	9159	9595	10018	10461	
計	125850	136094	145862	156029	165687	175957	188017	198961	208952	219558	229886	240134	
平 均	12585	13609	14586	15603	16569	17596	18802	19896	20895	21956	22989	24013	

材積

単位: $\sqrt[3]{10^{-5}m^3}$

林 令			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
番 号	小班名	植栽年											
No. 2	42(大見山)	1902	0	1.0	1.8	2.8	3.7	5.3	6.2	7.4	8.5	10.0	11.4
No. 5	45k	1894	0	0	1.3	1.8	3.0	3.8	5.6	7.8	9.6	11.4	12.7
No. 8	38(女滝)	1903	1.0	2.3	3.7	5.3	6.4	9.2	10.5	11.5	13.0	14.6	16.1
No. 9	18a ₂	1912	1.0	1.4	2.3	3.2	4.4	5.9	7.2	8.7	10.1	11.7	12.9
No. 10	18d	1913	0	1.7	3.0	5.0	6.9	8.0	9.0	10.4	11.8	13.4	14.4
No. 11	30c	1916	0	1.7	4.1	6.0	7.9	9.9	12.2	13.4	14.5	15.4	16.5
No. 12	26b	1918	0	9	0	1.0	1.4	2.2	3.0	3.6	5.2	6.8	8.5
No. 13	25d	1924	0	1.0	2.1	2.7	3.7	4.7	5.5	6.0	6.7	7.2	7.8
No. 15	32e	1925	0	1.0	1.4	2.3	3.1	4.1	4.5	5.3	6.4	7.3	8.2
No. 16	17e	1926	0	0	1.2	1.9	2.5	3.3	4.0	4.6	5.3	6.1	7..
計			2.0	10.4	20.9	32.0	43.0	56.4	67.7	78.7	91.1	103.9	115.5
平 均			0.2	1.0	2.1	3.2	4.3	5.6	6.8	7.9	9.1	10.4	11.6

林令	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
小班名												
42	12.6	13.7	14.8	15.7	17.2	18.1	19.1	20.3	21.3	22.4	23.5	24.6
45k	14.0	15.4	16.9	18.2	19.0	19.7	20.3	21.1	21.7	22.3	23.1	23.6
38	17.4	18.4	19.5	20.6	22.1	23.0	23.7	24.4	25.4	26.1	26.9	27.5
18a ₂	14.0	14.9	15.6	16.1	17.0	17.6	18.4	19.4	20.1	20.9	21.6	22.1
18d	15.5	16.4	17.5	18.4	19.5	20.5	21.4	22.3	23.4	24.2	24.9	25.8
30c	17.5	18.4	19.0	19.8	20.6	21.4	22.0	22.6	23.2	23.7	24.2	24.5
26b	10.0	11.1	12.2	12.9	13.8	14.6	15.5	16.3	17.1	17.8	18.7	19.6
25d	8.5	9.0	9.5	10.1	10.5	11.1	11.6	12.0	12.4	12.8	13.2	13.5
32e	9.5	10.7	11.4	12.6	13.8	14.8	16.0	16.8	17.8	18.6	19.4	20.0
17e	7.8	8.9	9.9	10.9	11.7	12.8	13.6	14.4	15.2	15.9	16.7	17.3
計	126.8	136.9	146.3	155.3	165.2	173.6	181.6	189.6	197.6	204.7	212.2	218.5
平 均	12.7	13.7	14.6	15.5	16.5	17.4	18.2	19.0	19.8	20.5	21.2	21.8

林令	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
小班名												
42	25.6	26.7	27.6	28.5	29.2	29.8	30.8	31.6	32.3	33.0	33.6	34.2
45k	24.3	25.1	25.6	26.2	26.8	27.5	28.0	28.4	28.8	29.3	29.6	30.0
38	28.2	28.7	29.2	29.8	30.3	30.8	31.4	31.8	32.2	32.6	32.9	33.4
18a ₂	22.8	23.3	23.8	24.2	24.5	24.9	25.3	25.7	26.1	26.5	26.8	27.3
18d	26.7	27.4	28.1	28.8	29.5	30.2	30.9	31.5	32.1	32.5	33.2	33.6
30c	25.1	25.5	25.9	26.2	26.6	26.9	27.2	27.6	27.8	28.2	28.6	28.8
26b	20.5	21.4	22.0	22.7	23.4	24.1	24.8	25.6	26.1	26.7	27.2	27.6
25d	13.9	14.3	14.7	15.1	15.4	15.8	16.1	16.5	16.9	17.2	17.6	18.1
32e	20.6	21.0	21.6	21.9	22.2	22.6	23.0	23.6	24.0	24.4	24.8	25.3
17e	17.8	18.1	18.6	19.0	19.3	19.7	20.1	20.6	20.9	21.2	21.6	21.9
計	225.5	231.5	237.1	242.4	247.2	252.3	257.6	262.9	267.2	271.6	275.9	280.2
平 均	22.6	23.2	23.7	24.2	24.7	25.2	25.8	26.3	26.7	27.2	27.6	28.0

Table 2.3 林分

胸 高 直 径

林		令		16	17	18	19	20	21	22	23
番 号	小班名	MODEL 化初年度 の樹令	MODEL化 された期間								
No. 10	18d	31	1943~1962	20.4	20.8	21.1	21.6	22.0	22.3	22.7	23.0
No. 9	18a ₂	29	1940~1959	16.4	16.6	17.0	17.2	17.6	17.9	18.2	18.6
No. 11	30c	27	1942~1961	18.0	18.1	18.4	18.6	18.8	19.0	19.3	19.5
No. 5	45k	25	1918~1937	16.7	17.1	17.4	17.8	18.2	18.4	18.8	19.0
No. 12	26b	23	1940~1959	13.7	14.4	15.0	15.4	16.0	16.4	16.8	17.2
No. 13	25d	21	1944~1963	8.6	8.8	9.1	9.4	9.6	9.9	10.2	10.4
No. 14	32b	19	1942~1961	12.6	13.1	13.6	14.0	14.3	14.6	15.0	15.4
No. 7	38(女滝)	17	1917~1936	11.8	12.0	12.2	12.8	12.6	12.9	13.1	13.2
No. 15	32e	15	1939~1958	8.3	9.0	9.6	10.4	10.8	11.2	11.8	12.2
No. 8	38(女滝)	13	1915~1934	13.4	14.0	14.8	15.5	16.1	16.6	17.2	17.7
No. 16	17e	11	1936~1955	4.0	4.6	5.3	6.0	6.7	7.3	8.0	8.5
No. 2	42(大見山)	9	1910~1929	5.2	6.4	7.6	8.8	9.6	10.4	11.1	12.0
No. 17	14d	7	1938~1957	0.4	1.0	1.8	2.5	3.6	4.1	4.8	5.6
No. 18	26h	5	1943~1962	0.4	1.6	3.0	4.7	5.9	6.6	7.4	8.3
No. 19	29e	3	1944~1963	0.6	1.8	3.4	4.8	6.1	7.4	8.6	10.0
No. 20	26e ₂	1	1943~1962	—	—	—	—	0.4	1.0	1.8	2.8
合		計		150.5	159.3	169.3	179.1	188.3	196.0	204.8	213.4
平		均		9.4	10.0	10.6	11.2	11.8	12.3	12.8	13.3

樹 高

林		令		16	17	18	19	20	21	22	23
番 号	小班名	MODEL 化初年度 の樹令	MODEL化 された期間								
No. 10	18d	31	1943~1962	17.7	18.0	18.4	18.7	19.0	19.3	19.5	19.7
No. 9	18a ₂	29	1940~1959	13.4	13.6	13.8	14.1	14.2	14.4	14.7	14.9
No. 11	30c	27	1942~1961	13.8	14.2	14.3	14.6	14.8	15.1	15.4	15.5
No. 5	45k	25	1918~1937	14.0	14.4	14.8	15.4	15.8	16.1	16.3	16.6
No. 12	26b	23	1940~1959	10.0	10.7	11.0	11.4	11.8	12.3	12.7	13.3
No. 13	25d	21	1944~1963	6.3	6.5	6.6	6.8	7.0	7.1	7.3	7.5
No. 14	32b	19	1942~1961	10.2	10.7	11.0	11.5	11.7	12.1	12.4	12.8
No. 7	38(女滝)	17	1917~1936	9.8	10.2	10.4	10.6	11.0	11.3	11.4	11.8
No. 15	32e	15	1939~1958	7.0	7.6	8.3	9.1	9.6	10.3	10.9	11.5
No. 8	38(女滝)	13	1915~1934	9.5	9.7	10.2	10.8	11.4	11.9	12.5	13.2
No. 16	17e	11	1936~1955	3.7	4.1	4.6	5.1	5.6	6.4	7.3	7.5
No. 2	42(大見山)	9	1910~1929	5.3	5.9	6.4	6.9	7.3	7.6	8.0	8.4
No. 17	14d	7	1938~1957	1.6	2.2	2.9	3.5	4.0	4.7	5.1	5.6
No. 18	26h	5	1943~1962	1.6	2.4	3.4	4.5	5.5	6.2	6.9	7.6
No. 19	29e	3	1944~1963	1.7	2.6	3.5	4.1	4.9	5.6	6.4	7.5
No. 20	26e ₂	1	1943~1962	0.3	0.6	0.9	1.3	1.6	1.9	2.5	3.1
合		計		125.9	133.4	140.5	148.4	155.2	162.3	169.3	176.5
平		均		7.9	8.3	8.8	9.3	9.7	10.1	10.6	11.0

Model 2 構成表

単位: cm

24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
23.2	23.6	23.8	24.2	24.5	24.8	25.2	25.6	25.8	26.2	26.4	26.8
18.8	19.1	19.4	19.7	19.9	20.2	20.5	20.8	21.1	21.4	21.8	22.1
19.6	19.8	20.6	20.1	20.2	20.4	20.6	20.7	21.0	21.4	21.8	22.2
19.2	19.4	19.6	19.9	20.1	20.4	20.7	20.9	21.2	21.5	21.8	22.2
17.6	18.0	18.4	18.8	19.0	19.3	19.6	19.8	20.2	20.6	20.8	21.2
10.8	11.0	11.2	11.4	11.6	11.9	12.2	12.5	12.8	13.0	13.2	13.4
15.6	15.8	16.0	16.2	16.4	16.7	16.9	17.2	17.4	17.6	18.0	18.2
13.4	13.6	13.7	13.8	16.4	14.1	14.2	14.4	14.5	14.6	14.7	14.8
12.6	13.0	13.2	13.5	13.8	14.0	14.3	14.6	15.1	15.4	15.7	16.1
18.2	18.6	19.0	19.4	19.8	20.1	20.5	20.9	21.4	21.9	22.2	22.5
9.0	9.4	9.8	10.3	10.6	11.0	11.2	11.4	11.6	11.8	12.0	12.4
12.8	13.6	14.4	15.0	15.9	16.7	17.5	18.3	19.0	19.8	20.4	20.9
6.2	6.4	7.3	7.9	8.3	8.6	8.9	9.2	9.4	9.6	9.8	10.1
9.2	10.1	11.1	12.4	13.4	14.5	15.3	16.3	17.2	18.0	18.8	19.6
11.2	12.3	13.2	14.1	14.8	15.6	16.2	17.0	17.4	17.8	18.1	18.4
3.3	3.8	4.3	5.0	6.1	7.0	8.2	9.4	10.2	11.2	11.6	12.2
220.7	227.5	235.0	241.7	248.4	255.3	262.0	269.0	275.3	281.8	287.1	293.1
13.8	14.2	14.7	15.1	15.5	16.0	16.4	16.8	17.2	17.6	17.9	18.3

単位: m

24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
19.9	20.2	20.4	20.8	21.1	21.4	21.7	22.0	22.4	22.6	22.7	22.9
15.1	15.3	15.6	15.8	16.0	16.4	16.8	17.1	17.5	18.0	18.5	19.1
15.7	15.8	15.9	16.0	16.2	16.3	16.6	16.8	17.0	17.2	17.4	17.6
16.8	17.2	17.4	17.6	17.8	18.0	18.4	18.6	18.8	19.0	19.2	19.4
13.6	14.0	14.3	14.6	14.8	15.0	15.2	15.4	15.5	15.6	15.8	15.9
7.7	7.9	8.1	8.4	8.5	8.6	8.7	8.9	9.2	9.4	9.5	9.7
13.0	13.2	13.5	13.8	14.0	14.3	14.6	14.8	15.0	15.3	15.4	15.5
12.0	12.2	12.3	12.5	12.6	12.8	13.0	13.2	13.4	13.5	13.7	13.9
11.7	14.2	12.3	12.5	12.7	12.9	13.0	13.3	13.4	13.6	13.8	14.0
13.7	8.4	14.6	15.0	15.4	15.6	15.9	16.2	16.4	16.8	17.2	17.9
8.0	9.2	8.8	9.3	9.6	10.0	10.3	10.6	10.7	10.9	11.1	11.3
8.8	6.6	9.8	10.3	10.8	11.2	11.8	12.3	12.8	13.2	13.8	14.4
5.9	6.6	7.4	7.6	8.0	8.4	8.6	9.0	9.4	9.9	10.2	10.5
8.2	8.7	9.7	10.6	11.4	11.6	12.1	12.6	13.5	14.4	14.7	15.3
8.1	9.0	9.9	10.7	11.6	12.3	13.0	13.7	14.0	14.5	15.0	15.5
3.4	3.6	3.9	4.4	4.7	5.0	5.5	5.8	6.6	7.4	7.7	7.9
181.6	187.5	193.9	199.9	205.2	209.8	215.2	220.3	225.6	231.3	235.7	240.8
11.3	11.7	12.1	12.5	12.8	13.1	13.4	13.7	14.1	14.4	14.7	15.0

積材

林令				16	17	18	19	20	21	22	23
番号	小班名	MODEL 化初年度 の樹令	MODEL化 された期間								
No. 10	18d	31	1943~1962	31205	33017	34456	36417	38055	39448	41136	42760
No. 9	18a ₂	29	1940~1959	15421	16228	16991	17757	18603	19434	20343	21286
No. 11	30c	27	1942~1961	18071	18720	19539	20205	20924	21621	22637	23417
No. 5	45k	25	1918~1937	15682	16812	17950	19272	20838	21880	22928	23976
No. 12	26b	23	1940~1959	7525	8664	9776	10608	11688	12875	13983	15303
No. 13	25d	21	1944~1963	2081	2278	2463	2701	2923	3162	3414	3618
No. 14	32b	19	1942~1961	7185	7941	8705	9467	10189	11027	11616	12530
No. 7	38(女滝)	17	1917~1936	5053	5570	5911	6328	6790	7237	7604	7936
No. 15	32e	15	1939~1958	1995	2626	3220	4126	4770	5681	6469	7277
No. 8	38(女滝)	13	1915~1934	6187	7362	8777	10854	12223	13394	14573	16362
No. 16	17e	11	1936~1955	346	469	695	957	1280	1599	2108	2498
No. 2	42(大見山)	9	1910~1929	606	997	1465	2010	2571	3208	3898	5089
No. 17	14d	7	1938~1957	26	46	78	146	298	423	616	836
No. 18	26h	5	1943~1962	14	67	201	511	918	1336	1796	2467
No. 19	29e	3	1944~1963	29	92	266	516	891	1420	2125	3115
No. 20	26e ₂	1	1943~1962	0	1	2	5	8	14	77	178
合 計				111426	120890	130495	141880	152969	163759	175368	188648
平 均				6964	7556	8156	8868	9561	10235	10960	11790

材積

林令				16	17	18	19	20	21	22	23
番号	小班名	MODEL 化初年度 の樹令	MODEL化 された期間								
No. 10	18d	31	1943~1962	31.5	32.1	32.5	33.2	33.6	34.0	34.5	34.9
No. 9	18a ₂	29	1940~1949	24.9	25.3	25.7	26.1	26.5	26.8	27.3	27.7
No. 11	30c	27	1942~1961	26.2	26.6	26.9	27.2	27.6	27.8	28.2	28.6
No. 5	45k	25	1918~1937	25.0	25.6	26.2	26.8	27.5	28.0	28.4	28.8
No. 12	26b	23	1940~1959	19.6	20.5	21.4	22.0	22.7	23.4	24.1	24.8
No. 13	25d	31	1944~1963	12.8	13.2	13.5	13.9	14.3	14.7	15.1	15.4
No. 14	32b	19	1942~1961	19.3	20.0	20.6	21.2	21.7	22.3	22.7	23.2
No. 7	38(女滝)	17	1917~1936	17.2	17.7	18.1	18.5	18.9	19.3	19.7	20.0
No. 15	32e	15	1939~1958	12.6	13.8	14.8	16.0	16.8	17.8	18.6	19.4
No. 8	38(女滝)	13	1915~1934	18.4	19.5	20.6	22.1	23.0	23.7	24.4	25.4
No. 16	17e	11	1936~1955	7.0	7.8	8.9	9.9	10.9	11.7	12.8	13.6
No. 2	42(大見山)	9	1910~1929	8.5	10.0	11.4	12.6	13.7	14.8	15.7	17.2
No. 17	14d	7	1938~1957	3.0	3.6	4.3	5.3	6.7	7.5	8.5	9.4
No. 18	26h	5	1943~1962	2.4	4.1	5.9	8.0	9.7	11.0	12.2	13.5
No. 19	29e	3	1944~1963	3.1	4.5	6.4	8.0	9.6	11.2	12.9	14.6
No. 20	26e ₂	1	1943~1962	0	1.0	1.2	1.7	2.0	2.4	4.3	5.6
合 計				231.5	245.3	258.4	272.5	285.2	296.4	309.4	322.1
平 均				14.5	15.3	16.1	17.0	17.8	18.5	19.3	20.1

单位: $10^{-5}m^3$

24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
44208	45709	47468	49601	51852	54040	56318	58808	60199	62269	63748	65500
22128	23032	23994	25016	25872	27032	28334	29639	31107	32728	34238	35742
23930	24660	25255	25830	26383	27001	27955	28697	29956	31411	32758	33870
25165	26014	27096	28065	29145	30209	31621	32759	33862	35192	36786	38458
16767	17823	19018	20220	21033	22007	23049	24074	25154	26452	27636	28750
3929	4195	4532	4821	5113	5489	5895	6283	6658	7109	7446	7765
13134	13751	14374	15129	15843	16551	17216	17982	18794	19660	20663	21510
8214	8540	8876	9171	9429	9756	10076	10345	10696	10938	11284	11614
8053	8779	9307	10024	10485	10934	11512	12211	13083	13757	14492	15264
17804	19407	20788	22320	23616	24854	26464	27862	29126	30936	32164	33335
3000	3488	4022	4677	5172	5614	5963	6481	6829	7183	7669	8145
5962	7008	8374	9677	11299	12989	14852	16774	18980	20960	23060	24816
1068	1334	1657	2029	2349	2633	2899	3234	3571	3858	4156	4472
3272	4112	5313	6866	8413	10150	11876	14053	16212	18498	20476	22800
4220	5512	7052	8577	10145	11963	13935	15864	17486	18615	20206	21174
239	315	412	582	881	1165	1640	2287	2858	3745	4308	4953
201093	213679	227540	242605	257030	272387	289605	307353	324571	343311	361110	378168
12568	13355	14221	15136	16064	17024	18100	19210	20286	21457	22569	23636

单位: $\sqrt[3]{10^{-5}m^3}$

24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
35.3	35.7	36.2	36.7	37.3	37.8	38.3	38.9	39.2	39.6	39.9	40.3
28.0	28.4	28.8	29.2	29.6	30.0	30.5	30.9	31.5	31.9	32.4	32.9
28.0	29.1	29.3	29.5	29.8	30.0	30.4	30.6	31.0	31.5	31.9	32.3
29.3	29.6	30.0	30.4	30.8	31.1	31.6	32.0	32.4	32.8	33.3	33.8
25.6	26.1	26.7	27.2	27.6	28.0	28.5	28.9	29.3	29.8	30.2	30.6
15.8	16.1	16.5	16.9	17.2	17.6	18.1	18.5	18.8	19.2	19.5	19.8
23.6	24.0	24.3	24.7	25.1	25.5	25.8	26.2	26.6	27.0	27.4	27.8
20.2	20.4	20.7	20.9	21.1	21.4	21.6	21.8	22.0	22.2	22.4	22.6
20.0	20.6	21.0	21.6	21.9	22.2	22.6	23.0	23.6	24.0	24.4	24.8
26.1	26.9	27.5	28.2	28.7	29.2	29.8	30.3	30.8	31.4	31.8	32.2
14.4	15.2	15.9	16.7	17.3	17.8	18.1	18.6	19.0	19.3	19.7	20.1
18.1	19.1	20.3	21.3	22.4	23.5	24.6	25.6	26.7	27.6	28.5	29.2
10.2	11.0	11.8	12.7	13.3	13.8	14.3	14.8	15.3	15.7	16.1	16.5
14.8	16.0	17.4	19.0	20.3	21.7	22.8	24.1	25.3	26.4	27.4	28.4
16.2	17.7	19.2	20.5	21.6	22.9	24.1	25.1	26.0	26.5	27.2	27.7
6.2	6.8	7.4	8.3	9.6	10.5	11.8	13.2	14.2	15.5	16.3	17.0
331.8	342.7	353.0	363.8	373.6	383.0	392.9	402.5	411.7	420.4	428.4	436.0
20.7	21.4	22.0	22.7	23.3	23.9	24.6	25.2	25.7	26.3	26.8	27.2

Table 2.4 林分

胸 高 直 径

年 度		1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	
番 号	小班名	1962年 の樹令	林令 20	21	22	23	24	25	26	27	28
No. 9	18a ₂	51	17.2	17.6	17.9	18.2	18.6	18.8	19.1	19.4	19.7
No. 10	18d	50	20.4	20.8	21.1	21.6	22.0	22.3	22.7	23.0	23.2
No. 11	30c	47	18.1	18.4	18.6	18.8	19.0	19.3	19.5	19.6	19.8
No. 12	26b	45	15.4	16.0	16.4	16.8	17.2	17.6	18.0	18.4	18.8
No. 13	25d	39	8.3	8.6	8.8	9.1	9.4	9.6	9.9	10.2	10.4
No. 15	32e	38	10.8	11.2	11.8	12.2	12.6	13.0	13.2	13.5	13.8
No. 16	17e	37	8.5	9.0	9.4	9.8	10.3	10.6	11.0	11.2	11.4
No. 17	14d	31	4.1	4.8	5.6	6.2	6.8	7.3	7.9	8.3	8.6
No. 18	26h	24	0.4	1.6	3.0	4.7	5.9	6.6	7.4	8.3	9.2
No. 19	29e	21	—	0.6	1.8	3.4	4.8	6.1	7.4	8.6	10.0
合 計			103.2	108.6	114.4	120.8	126.6	131.2	136.1	140.5	144.9
平 均			10.3	10.9	11.4	12.1	12.7	13.1	13.6	14.1	14.5

樹 高

年 度		1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	
番 号	小班名	1962年 の樹令	林令 20	21	22	23	24	25	26	27	28
No. 9	18a ₂	51	14.1	14.2	14.4	14.7	14.9	15.1	15.3	15.6	15.8
No. 10	18d	50	17.7	18.0	18.4	18.7	19.0	19.3	19.5	19.7	19.9
No. 11	30c	47	14.2	14.3	14.6	14.8	15.1	15.4	15.5	15.7	15.8
No. 12	26b	45	11.4	11.8	12.3	12.7	13.3	13.6	14.0	14.3	14.6
No. 13	25d	39	6.1	6.3	6.5	6.6	6.8	7.0	7.1	7.3	7.5
No. 15	32e	38	9.6	10.3	10.9	11.5	11.7	12.0	12.3	12.5	12.7
No. 16	17e	37	7.5	8.0	8.4	8.8	9.3	9.6	10.0	10.3	10.6
No. 17	14d	31	4.7	5.1	5.6	5.9	6.6	7.4	7.6	8.0	8.0
No. 18	26h	24	1.6	2.4	3.4	4.5	5.5	6.2	6.9	7.6	8.0
No. 19	29e	21	1.0	1.7	2.6	3.5	4.1	4.9	5.6	6.4	7.5
合 計			87.9	92.1	97.1	101.7	106.3	110.5	113.8	117.4	121.0
平 均			8.8	9.2	9.7	10.2	10.6	11.0	11.4	11.7	12.1

Model 3 構成表

单位: cm

1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962
29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
19.9	20.2	20.5	20.8	21.1	21.4	21.8	22.1	22.4	22.6	22.9
23.6	23.8	24.2	24.5	24.8	25.2	25.6	25.8	26.2	26.4	26.8
20.0	20.1	20.2	20.4	20.6	20.7	21.0	21.4	21.8	22.2	22.5
19.0	19.3	19.6	19.8	20.2	20.6	20.8	21.2	21.4	21.8	22.1
10.8	11.0	11.2	11.4	11.6	11.9	12.2	12.5	12.8	13.0	13.2
14.0	14.3	14.6	15.1	15.4	15.7	16.1	16.4	16.8	17.0	17.4
11.6	11.8	12.0	12.4	12.7	13.0	13.2	13.4	13.6	13.8	14.0
8.9	9.2	9.4	9.6	9.8	10.1	10.2	10.6	10.8	11.0	11.2
10.1	11.1	12.4	13.4	14.5	15.3	16.3	17.2	18.0	18.8	19.6
11.2	12.3	13.2	14.1	14.8	15.6	16.2	17.0	17.4	17.8	18.1
149.1	153.1	157.3	161.5	165.5	169.5	173.4	177.6	181.2	184.4	187.8
14.9	15.3	15.7	16.2	16.6	17.0	17.3	17.8	18.1	18.4	18.8

单位: m

1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962
29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
16.0	16.4	16.8	17.1	17.5	18.0	18.5	19.1	19.5	19.7	19.9
20.2	20.4	20.8	21.1	21.4	21.7	22.0	22.4	22.6	22.7	22.9
15.9	16.0	16.2	16.3	16.6	16.8	17.0	17.2	17.4	17.6	17.8
14.8	15.0	15.2	15.4	15.5	15.6	15.8	15.9	16.0	16.2	16.3
7.7	7.9	8.1	8.4	8.5	8.6	8.7	8.9	9.2	9.4	9.5
12.9	13.0	13.3	13.4	13.6	13.8	14.0	14.2	14.4	14.7	14.9
10.7	10.9	11.1	11.3	11.6	12.0	12.4	12.5	12.6	12.7	12.8
8.6	9.0	9.4	9.9	10.2	10.5	10.7	10.9	11.1	11.2	11.4
8.7	9.7	10.6	11.4	11.6	12.1	12.6	13.5	14.4	14.7	15.3
8.1	9.0	9.9	10.7	11.6	12.3	13.0	13.7	14.0	14.5	15.0
123.6	127.3	131.4	135.0	138.1	141.4	144.7	148.3	151.2	153.4	155.8
12.4	12.7	13.1	13.5	13.8	14.1	14.5	14.8	15.1	15.3	15.6

材 積

年 度			1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951
番 号	小班名	1962年 の樹令	20	21	22	23	24	25	26	27	28
No. 9	18a ₂	51	17757	18603	19434	20343	21286	22128	23032	23994	25016
No. 10	18d	50	31205	33017	34456	36417	38055	39448	41136	42760	44208
No. 11	30c	47	18720	19539	20205	20924	21621	22637	23417	23930	24660
No. 12	26b	45	10608	11688	12875	13983	15303	16767	17823	19018	20220
No. 13	25d	39	1888	2081	2278	2463	2701	2923	3162	3414	3618
No. 15	32e	38	4770	5681	6469	7277	8053	8779	9307	10024	10485
No. 16	17e	37	2498	3000	3488	4022	4677	5172	5614	5963	6481
No. 17	14d	31	423	616	836	1068	1334	1657	2029	2349	2633
No. 18	26h	24	14	67	201	511	918	1336	1796	2467	3272
No. 19	29e	21	6	29	92	266	516	891	1420	2125	3115
合 計			87889	94321	100334	107274	114464	121738	128736	135044	143708
平 均			8789	9432	10033	10727	11446	12174	12874	13504	14371

材 積

年 度			1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951
番 号	小班名	1962年 の樹令	20	21	22	23	24	25	26	27	28
No. 9	18a ₂	51	26.1	26.5	26.8	27.3	27.7	28.0	28.4	28.8	29.2
No. 10	18d	50	31.5	32.1	32.5	33.2	33.6	34.0	34.5	34.9	35.3
No. 11	30c	47	26.6	26.9	27.2	27.6	27.8	28.2	28.6	28.8	29.1
No. 12	26b	45	22.0	22.7	23.4	24.1	24.8	25.6	26.1	26.7	27.2
No. 13	25d	39	12.4	12.8	13.2	13.5	13.9	14.3	14.7	15.1	15.4
No. 15	32e	38	16.8	17.8	18.6	19.4	20.0	20.6	21.0	21.6	21.9
No. 16	17e	37	13.6	14.4	15.2	15.9	16.7	17.3	17.8	18.1	18.6
No. 17	14d	31	7.5	8.5	9.4	10.2	11.0	11.8	12.7	13.3	13.8
No. 18	26h	24	2.4	4.1	5.9	8.0	9.7	11.0	12.2	13.5	14.8
No. 19	29e	21	1.8	3.1	4.5	6.4	8.0	9.6	11.2	12.9	14.6
合 計			160.7	168.9	176.7	185.6	193.2	200.4	207.2	213.7	219.8
平 均			16.1	16.9	17.7	18.6	19.3	20.0	20.7	21.4	22.0

单位: $10^{-5}m^3$

1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962
29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
25872	27032	28334	29639	31107	32728	34238	35742	37056	38540	40348
45709	47468	49601	51852	54040	56318	58808	60199	62269	63748	65500
25255	25830	26383	27001	27955	28697	29956	31411	32758	33870	35150
21033	22007	23049	24074	25154	26452	27636	28750	29790	31098	32290
3929	4195	4532	4821	5113	5489	5895	6283	6658	7109	7446
10934	11512	11211	13083	13757	14492	15264	16139	16918	17718	18685
6829	7183	7669	8145	8679	9159	9595	10018	10461	10841	11220
2899	3234	3571	3858	4156	4472	4749	5150	5543	5896	6251
4112	5313	6866	8413	10150	11876	14053	16212	18498	20476	22800
4220	5512	7052	8577	10145	11963	13935	15864	17486	18615	20206
150792	159286	168268	179463	190256	201646	215129	225768	237437	247911	259896
15079	15929	16827	17946	19026	20165	21513	22577	23744	24791	25990

单位: $\sqrt[3]{10^{-5}m^3}$

1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962
29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
29.6	30.0	30.5	30.9	31.5	31.9	32.4	32.9	33.3	33.8	34.3
35.7	36.2	36.7	37.3	37.8	38.3	38.9	39.2	39.6	39.9	40.3
29.3	29.5	29.8	30.0	30.4	30.6	31.0	31.5	31.9	32.3	32.7
27.6	28.0	28.5	28.9	29.3	29.8	30.2	30.6	31.0	31.4	31.8
15.8	16.1	16.5	16.9	17.2	17.6	18.1	18.5	18.8	19.2	19.5
22.2	22.6	23.0	23.6	24.0	24.4	24.8	25.3	25.7	26.1	26.5
19.0	19.3	19.7	20.1	20.6	20.9	21.2	21.6	21.9	22.1	22.4
14.3	14.8	15.3	15.7	16.1	16.5	16.8	17.3	17.7	18.1	18.4
16.0	17.4	19.0	20.3	21.7	22.8	24.1	25.3	26.4	27.4	28.4
16.2	17.7	19.2	20.5	21.6	22.9	24.1	25.1	26.0	26.5	27.2
225.7	231.6	238.2	244.2	250.2	255.7	261.6	267.3	272.3	276.8	281.5
22.6	23.2	23.8	24.4	25.0	25.6	26.2	26.7	27.2	27.7	28.2

Table 2.5 閉鎖時期およびその樹高

番号	小班名	閉鎖完成 の樹高	閉鎖完成 の樹令	番号	小班名	閉鎖完成 の樹高	閉鎖完成 の樹令
No. 1	42(大見山)	7.3 m	10 年	No. 13	25d	5.8 m	19 年
No. 2	"	4.6	8	No. 14	32b	4.9	9
No. 3	"	5.3	10	No. 15	32e	6.4	14
No. 4	"	6.3	12	No. 16	17e	4.6	13
No. 5	45k	4.6	9	No. 17	14d	5.1	13
No. 6	"	5.1	11	No. 18	26h	5.5	9
No. 7	38(女滝)	4.8	8	No. 19	29e	4.9	7
No. 8	"	4.8	7	No. 20	26e ₂	6.6	17
No. 9	18a ₂	5.6	9	No. 21	16j ₁	5.6	8
No. 10	18d	5.5	8	No. 22	27c ₃	6.2	8
No. 11	30c	7.0	9	No. 23	17e	6.4	9
No. 12	26b	6.5	15	No. 24	16b	4.5	7

閉鎖時樹高の平均: 5.58m

 $\sigma_h=0.831\text{m}$

CV=0.149

閉鎖の樹令の平均: 10.4 年

 $\sigma_t=3.25\text{年}$

CV=0.313

Table 2.6 Mitscherlich 式の定数計算表

	Model 1			Model 2			Model 3		
	\bar{d}	\bar{h}	$\sqrt[3]{\bar{v}}$	\bar{d}	\bar{h}	$\sqrt[3]{\bar{v}}$	\bar{d}	\bar{h}	$\sqrt[3]{\bar{v}}$
n	26	26	26	20	20	20	20	20	20
$\sum x_t$	340.5	274.1	510.1	266.6	219.5	401.2	280.0	234.0	425.1
$\sum x_{t+1}$	352.7	283.9	527.7	275.5	226.6	413.9	288.5	240.8	437.2
$\sum x_t^2$	4937.47	3210.93	11062.61	3867.06	2616.89	8738.60	4240.08	2956.38	9744.63
$\sum x_t \cdot x_{t+1}$	5089.03								
① e^{-k}	0.9513	0.9629	0.9572	0.9701	0.9741	0.9709	0.9684	0.9724	0.9714
② M	23.640	21.536	36.843	29.713	25.956	44.078	28.901	25.273	44.670
$\sum e^{-kt}$	9.0615	11.5572	10.2471	9.3661	10.3584	9.5532	7.8872	8.8707	8.6176
$\sum e^{-2kt}$	3.5890	5.5438	4.4644	4.5198	5.4871	4.6947	3.2165	4.0365	3.8166
$\sum e^{-kt} \cdot x_t$	113.3851	119.1038	194.6920	129.0422	118.0908	198.3231	114.1314	107.7677	190.0772
③ e^{kt_0}	1.1884	1.0871	1.1116	1.1114	1.0586	1.0765	1.2244	1.1412	1.1430
④ t_0	3.4576	2.9122	2.4184	3.4803	2.1693	2.4949	6.3025	4.7171	4.6071

Table 2.7 Mitscherlich 式に基づく計算値とデータとの比較

Model 1

林令	胸高直径 (cm)			樹高 (m)			材積					
	データ	計算値	誤差	誤差 ²	データ	計算値	誤差	誤差 ²	データ	計算値	誤差	誤差 ²
10年	6.6	6.59	-0.01	0.0001	5.5	5.49	-0.01	0.0001	10.4	10.40	0.00	0.0000
11	7.6	7.42	-0.18	0.0324	6.1	6.09	-0.01	0.0001	11.6	11.53	-0.07	0.0049
12	8.4	8.21	-0.19	0.0361	6.7	6.66	-0.04	0.0016	12.7	12.62	-0.08	0.0064
13	9.1	8.96	-0.14	0.0196	7.2	7.21	+0.01	0.0001	13.7	13.65	-0.05	0.0025
14	9.8	9.67	-0.13	0.0169	7.7	7.75	+0.05	0.0025	14.6	14.65	+0.05	0.0025
15	10.5	10.35	-0.15	0.0225	8.2	8.26	+0.06	0.0036	15.5	15.60	+0.10	0.0100
16	11.1	11.00	-0.10	0.0100	8.7	8.75	+0.05	0.0025	16.5	16.51	+0.01	0.0001
17	11.6	11.62	+0.02	0.0004	9.2	9.23	+0.03	0.0009	17.4	17.38	-0.02	0.0004
18	12.2	12.20	0.00	0.0000	9.7	9.68	-0.02	0.0004	18.2	18.21	+0.01	0.0001
19	12.7	12.76	+0.06	0.0036	10.1	10.12	+0.02	0.0004	19.0	19.09	+0.09	0.0081
20	13.2	13.29	+0.09	0.0081	10.6	10.54	-0.06	0.0036	19.8	19.77	-0.02	0.0004
21	13.7	13.79	+0.09	0.0081	11.0	10.95	-0.05	0.0025	20.5	20.50	0.00	0.0000
22	14.1	14.27	+0.17	0.0289	11.4	11.35	-0.05	0.0025	21.2	21.20	0.00	0.0000
23	14.6	14.73	+0.13	0.0169	11.7	11.72	+0.02	0.0004	21.8	21.87	+0.07	0.0049
24	15.0	15.16	+0.16	0.0256	12.1	12.09	-0.01	0.0001	22.6	22.51	-0.09	0.0081
25	15.5	15.57	+0.07	0.0049	12.5	12.44	-0.06	0.0036	23.2	23.12	-0.08	0.0064
26	15.8	15.97	+0.17	0.0289	12.8	12.78	-0.02	0.0004	23.7	23.71	+0.01	0.0001
27	16.2	16.34	+0.14	0.0196	13.0	13.10	+0.10	0.0100	24.2	24.27	+0.07	0.0049
28	16.5	16.70	+0.20	0.0400	13.4	13.41	+0.01	0.0001	24.7	24.81	+0.11	0.0121
29	16.9	17.03	+0.13	0.0169	13.7	13.71	+0.01	0.0001	25.2	25.33	+0.13	0.0169
30	17.2	17.36	+0.16	0.0256	14.0	14.00	0.00	0.0000	25.8	25.82	+0.02	0.0004
31	17.6	17.66	+0.06	0.0036	14.2	14.28	+0.08	0.0064	26.3	26.29	-0.01	0.0001
32	17.9	17.95	+0.05	0.0025	14.6	14.55	-0.05	0.0025	26.7	26.74	+0.04	0.0016
33	18.2	18.23	+0.03	0.0009	14.9	14.81	-0.09	0.0081	27.2	27.18	-0.02	0.0004
34	18.5	18.49	-0.01	0.0001	15.1	15.06	-0.04	0.0016	27.6	27.59	-0.01	0.0001
35	18.8	18.74	-0.06	0.0036	15.3	15.30	0.00	0.0000	28.0	27.99	-0.01	0.0001
			合計	0.3758			合計	0.0541			合計	0.0915

$$\sigma^2 = 0.0915 / 23 = 0.003978$$

$$\sigma = \sqrt{0.003978} = 0.063$$

$$\sigma^2 = 0.0541 / 23 = 0.002352$$

$$\sigma = \sqrt{0.002352} = 0.048$$

$$\sigma^2 = 0.03758 / 23 = 0.016339$$

$$\sigma = \sqrt{0.016339} = 0.12$$

誤差の標準偏差

Model 2

林令	胸高直径 (cm)			樹高 (m)			材積						
	データ	計算値	誤差	(誤差) ²	データ	計算値	誤差	(誤差) ²	データ	計算値	誤差	(誤差) ²	
16年	9.4	9.40	0.00	0.0000	7.9	7.90	0.00	0.0000	14.5	14.50	0.00	0.0000	
17	10.0	10.00	0.00	0.0000	8.3	8.37	+0.07	0.0049	15.3	15.36	+0.06	0.0036	
18	10.6	10.59	-0.01	0.0001	8.8	8.83	+0.03	0.0009	16.1	16.20	+0.10	0.0100	
19	11.2	11.16	-0.04	0.0016	9.3	9.27	-0.03	0.0009	17.0	17.01	+0.01	0.0001	
20	11.8	11.72	-0.08	0.0064	9.7	9.70	0.00	0.0000	17.8	17.79	-0.01	0.0001	
21	12.3	12.25	-0.05	0.0025	10.1	10.12	+0.02	0.0004	18.5	18.57	+0.07	0.0049	
22	12.8	12.78	-0.02	0.0004	10.6	10.53	-0.07	0.0049	19.3	19.31	+0.01	0.0001	
23	13.3	12.28	-0.02	0.0004	11.0	10.93	-0.07	0.0049	20.1	20.02	-0.08	0.0064	
24	13.8	13.77	-0.03	0.0009	11.3	11.32	+0.02	0.0004	20.7	20.73	+0.03	0.0009	
25	14.2	14.25	+0.05	0.0025	11.7	11.70	0.00	0.0000	21.4	21.40	0.00	0.0000	
26	14.7	14.71	+0.01	0.0001	12.1	12.07	-0.03	0.0009	22.0	22.07	-0.03	0.0009	
27	15.1	15.16	+0.06	0.0036	12.5	12.43	-0.07	0.0049	22.7	22.70	0.00	0.0000	
28	15.5	15.60	+0.05	0.0025	12.8	12.78	-0.02	0.0004	23.3	23.33	+0.03	0.0009	
29	16.0	16.02	+0.02	0.0004	13.1	13.12	+0.02	0.0004	23.9	23.93	+0.03	0.0009	
30	16.4	16.43	+0.03	0.0009	13.4	13.45	+0.05	0.0025	24.6	24.52	-0.08	0.0064	
31	16.8	16.82	+0.02	0.0004	13.7	13.78	+0.08	0.0064	25.2	25.09	-0.11	0.0121	
32	17.2	17.21	+0.01	0.0001	14.1	14.09	-0.01	0.0001	25.7	25.64	-0.06	0.0036	
33	17.6	17.58	-0.02	0.0004	14.4	14.40	0.00	0.0000	26.3	26.17	-0.13	0.0169	
34	17.9	17.95	+0.05	0.0025	14.7	14.70	0.00	0.0000	26.8	26.70	-0.10	0.0100	
35	18.3	18.30	0.00	0.0000	15.0	15.00	0.00	0.0000	27.2	27.20	0.00	0.0000	
			合計	0.0257			合計	0.0329			合計	0.0778	
誤差の標準偏差				$\sigma^2=0.0257/17=0.001512$	$\sigma^2=0.0327/17=0.001935$				$\sigma^2=0.0778/17=0.004577$				
				$\sigma=\sqrt{0.001512}=0.039$					$\sigma=\sqrt{0.004577}=0.068$				

Model 3

林令	胸高直径 (cm)				樹高 (m)				材積			
	データ	計算値	誤差	(誤差) ²	データ	計算値	誤差	(誤差) ²	データ	計算値	誤差	(誤差) ²
	20年	10.3	10.29	-0.01	0.0001	8.8	8.80	0.00	0.0000	16.1	16.09	-0.01
21	10.9	10.88	-0.02	0.0004	9.2	9.25	+0.05	0.0025	16.9	16.91	+0.01	0.0001
22	11.4	11.44	+0.04	0.0016	9.7	9.69	-0.01	0.0001	17.7	17.70	0.00	0.0000
23	12.1	12.00	-0.10	0.0121	10.2	10.12	-0.08	0.0064	18.6	18.47	-0.13	0.0169
24	12.7	12.53	-0.17	0.0289	10.6	10.54	-0.06	0.0036	19.3	19.22	-0.08	0.0064
25	13.1	13.05	-0.05	0.0025	11.0	10.95	-0.05	0.0025	20.0	19.95	-0.05	0.0025
26	13.6	13.55	-0.05	0.0025	11.4	11.35	-0.05	0.0025	20.7	20.65	-0.05	0.0025
27	14.1	14.03	-0.07	0.0049	11.7	11.73	+0.03	0.0009	21.4	21.34	-0.06	0.0036
28	14.5	14.51	+0.01	0.0001	12.1	12.10	0.00	0.0000	22.0	22.01	+0.01	0.0001
29	14.9	14.96	+0.06	0.0036	12.4	12.47	+0.07	0.0049	22.6	22.66	+0.06	0.0036
30	15.3	15.40	+0.10	0.0100	12.1	12.82	+0.12	0.0121	23.2	23.29	+0.09	0.0081
31	15.7	15.83	+0.13	0.0169	13.1	13.16	+0.06	0.0036	23.8	23.90	+0.10	0.0100
32	16.2	16.24	+0.04	0.0016	13.5	13.50	0.00	0.0000	24.4	24.49	+0.09	0.0081
33	16.6	16.64	+0.04	0.0016	13.8	13.83	+0.03	0.0009	25.0	25.07	+0.07	0.0049
34	17.0	17.03	+0.03	0.0009	14.1	14.14	+0.04	0.0016	25.6	25.63	+0.03	0.0009
35	17.3	17.40	+0.10	0.0100	14.5	14.45	-0.05	0.0025	26.2	26.18	-0.02	0.0004
36	17.8	17.77	-0.03	0.0009	14.8	14.75	-0.06	0.0025	26.7	26.70	0.00	0.0000
37	18.1	18.12	+0.02	0.0004	15.1	15.04	-0.06	0.0036	27.2	27.22	+0.02	0.0004
38	18.4	18.46	+0.06	0.0036	15.3	15.32	+0.02	0.0004	27.7	27.72	+0.02	0.0004
39	18.8	18.80	0.00	0.0000	15.6	15.57	-0.03	0.0009	28.2	28.20	0.00	0.0000
			合計	0.1026			合計	0.0515			合計	0.0690
誤差の標準偏差	$\sigma^2=0.1026/17=0.006035$ $\sigma=\sqrt{0.006035}=0.078$				$\sigma^2=0.0515/17=0.003029$ $\sigma=\sqrt{0.003029}=0.055$				$\sigma^2=0.0690/17=0.004059$ $\sigma=\sqrt{0.004059}=0.064$			

Table 2.8 近似式の適合度

	モデル	誤差の最大値 (絶対値)	標準偏差
胸高直径	モデル I	0.20 cm	0.128 cm
	モデル II	0.08 cm	0.039 cm
	モデル III	0.17 cm	0.078 cm
樹高	モデル I	0.10 m	0.048 m
	モデル II	0.08 m	0.044 m
	モデル III	0.12 m	0.055 m
材積	モデル I	0.13 $\sqrt[3]{10^{-6}m^3}$	0.063 $\sqrt[3]{10^{-6}m^3}$
	モデル II	0.11 $\sqrt[3]{10^{-6}m^3}$	0.068 $\sqrt[3]{10^{-6}m^3}$
	モデル III	0.10 $\sqrt[3]{10^{-6}m^3}$	0.064 $\sqrt[3]{10^{-6}m^3}$

Table 3.1 平均樹高と平均直径との比の値 (\bar{h}/\bar{d})

林令	Model 1	Model 2	Model 3	林令	Model 1	Model 2	Model 3
11 年	0.804			26 年	0.806	0.825	0.836
12	0.796			27	0.804	0.827	0.836
13	0.786			28	0.809	0.826	0.835
14	0.782			29	0.807	0.822	0.829
15	0.780			30	0.811	0.821	0.831
16	0.785			31	0.808	0.819	0.835
17	0.794	0.837		32	0.815	0.819	0.836
18	0.794	0.830		33	0.817	0.821	0.834
19	0.796	0.829		34	0.815	0.821	0.834
20	0.802	0.824		35	0.813	0.822	0.835
21	0.804	0.828	0.848	36			0.834
22	0.807	0.827	0.849	37			0.834
23	0.805	0.827	0.842	38			0.832
24	0.807	0.823	0.840	39			0.830
25	0.808	0.824	0.842				

Table 3.2 モデル林分の σ_d および C_d 一覧表

林 令	σ_d cm			C_d		
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 1	Model 2	Model 3
5 年	1.86			1.094		
6	2.37			0.838		
7	2.62			0.712		
8	2.73			0.585		
9	2.75			0.484		
10	2.79			0.421		
11	2.81			0.370		
12	2.76			0.328		
13	2.76			0.302		
14	2.76			0.282		
15	2.80			0.268		
16	2.87	6.95		0.260	0.739	
17	2.87	6.78		0.247	0.681	
18	2.86	6.57		0.235	0.621	
19	2.92	6.37		0.229	0.569	
20	3.00	6.18	7.35	0.227	0.525	0.712
21	3.02	6.01	7.18	0.221	0.491	0.661
22	3.08	5.84	6.84	0.218	0.456	0.598
23	3.13	5.61	6.45	0.215	0.420	0.534
24	3.20	5.44	6.16	0.213	0.395	0.487
25	3.32	5.37	5.96	0.214	0.378	0.454
26	3.40	5.26	5.75	0.215	0.358	0.423
27	3.47	5.09	5.55	0.214	0.337	0.395
28	3.57	4.93	5.37	0.216	0.318	0.371
29	3.64	4.83	5.22	0.215	0.303	0.350
30	3.69	4.74	5.07	0.214	0.289	0.331
31	3.75	4.65	5.01	0.213	0.277	0.319
32	3.79	4.63	4.89	0.212	0.269	0.303
33	3.83	4.65	4.85	0.210	0.264	0.293
34	3.85	4.68	4.82	0.208	0.261	0.284
35	3.91	4.70	4.85	0.208	0.257	0.280
36			4.82			0.271
37			4.76			0.263
38			4.81			0.261
39			4.95			0.264

Table 3.3 $x(t) = a \cdot e^{-kt} + b$ 式の定数計算表

	Model 1	Model 2	Model 3
n	31	20	20
$\sum x_t$	9.880	7.952	7.590
$\sum x_{t+1}$	8.994	7.470	7.142
$\sum x_t^2$	4.576716	3.725170	3.383772
$\sum x_t \cdot x_{t+1}$	3.941009	3.476106	3.156227
e^{-k}	0.7400	0.8808	0.8619
b	0.2157	0.2057	0.2287
$\sum e^{-ks}$	0.85338	1.01412	0.35172
$\sum e^{-2kt}$	0.10885	0.07635	0.01015
$\sum e^{-kt} \cdot x_t$	0.61525	0.51878	0.17642
a	3.9612	4.0625	9.4567

Table 3.4 $x(t) = a \cdot e^{-kt} + b$ 式より求めた C_d の値

林 令	Model 1	Model 2	Model 3	林 令	Model 1	Model 2	Model 3
5 年	1.095			23 年	0.220	0.425	0.539
6	0.866			24	0.219	0.399	0.496
7	0.679			25	0.218	0.376	0.459
8	0.572			26	0.217	0.356	0.427
9	0.479			27	0.217	0.338	0.400
10	0.411			28	0.217	0.322	0.376
11	0.360			29	0.216	0.308	0.356
12	0.323			30	0.216	0.296	0.338
13	0.295			31	0.216	0.285	0.323
14	0.274			32	0.216	0.276	0.310
15	0.259			33	0.216	0.267	0.299
16	0.248	0.739		34	0.216	0.260	0.289
17	0.239	0.675		35	0.216	0.254	0.281
18	0.233	0.619		36			0.274
19	0.229	0.570		37			0.267
20	0.225	0.527	0.713	38			0.262
21	0.223	0.488	0.646	39			0.257
22	0.221	0.455	0.588	40			

Table 3.5 C_d 計算値の誤差

Model		誤差の絶対値の最大	標準偏差
Model I		0.033	0.0100
Model II		0.008	0.0043
Model III		0.015	0.0069

Table 4.1

	予測を行なう時点の林令	予測時点の林令	
		5年後	10年後
Model I	20年	25年	30年
Model II	25年	30年	35年
Model III	29年	34年	39年

Table 4.3 \bar{h} および N の数値

	Model 1	Model 2	Model 3
t	20年	25年	30年
\bar{h}	10.6 m	11.7 m	12.4 m
N	10本	16本	10本

Table 4.2 予測に用いる \bar{d} および C_d の数値

Model 1			Model 2			Model 3		
林令	\bar{d}	C_d	林令	\bar{d}	C_d	林令	\bar{d}	C_d
10年	6.6cm	0.421	16年	9.4cm	0.739	20年	10.3cm	0.712
11	7.6	0.370	17	10.0	0.681	21	10.9	0.661
12	8.4	0.328	18	10.6	0.621	22	11.4	0.598
13	9.1	0.302	19	11.2	0.569	23	12.1	0.534
14	9.8	0.282	20	11.8	0.525	24	12.7	0.487
15	10.5	0.268	21	12.3	0.491	25	13.1	0.454
16	11.1	0.260	22	12.8	0.456	26	13.6	0.423
17	11.6	0.247	23	13.3	0.421	27	14.1	0.395
18	12.2	0.235	24	13.8	0.395	28	14.5	0.371
19	12.7	0.229	25	14.2	0.378	29	14.9	0.350
20	13.2	0.227						

Table 4.4

	\bar{v}			V		
	A. 真値	B. 予測値	C. 高田式に真の \bar{d}, \bar{h} を代入した値	D. 真値	E. 予測値	
Model 1	5年後 10年後	0.13609 0.18802	0.12834 0.16116	0.13833 0.19108	1.3609 1.8802	1.2834 1.6116
Model 2	5年後 10年後	0.18100 0.23636	0.17203 0.21746	0.17664 0.23735	2.8961 3.7817	2.7525 3.4794
Model 3	5年後 10年後	0.20165 0.25990	0.18521 0.22490	0.19722 0.25876	2.0165 2.5990	1.8521 2.2490

Table 4.5 真値に対する割合

		B/A (E/D)	C/A
Model 1	5年後 10年後	0.943 0.857	1.017 1.016
Model 2	5年後 10年後	0.950 0.920	0.976 1.004
Model 3	5年後 10年後	0.919 0.865	0.978 0.995

注; C/A の値をみると, 高田式による林分材積の推定は, モデル林分では良好な結果を与える。

Table 5.1 単木について 10 年から 20 年までの生長経過を用いて、
生長予測を行なった際の推定値と実測値

材積										
林班名	樹令	10 年	15 年	20 年	25 年	30 年	35 年	40 年	45 年	50 年
	18a ²	実推	11.7 11.67	16.1 16.38	20.1 20.06	23.3 22.95	25.3 25.20	27.3 26.97	29.2 28.35	31.5 29.43
18d	実推	13.4 13.48	18.4 18.57	23.4 23.59	27.4 28.50	30.9 33.29	33.6 37.99	35.7 42.57	38.3 47.07	40.3 51.50
30c	実推	15.4 15.64	19.8 20.12	23.2 23.32	25.5 25.61	27.2 27.25	28.8 28.42	30.0 29.26	31.9 29.86	— 30.29
26b	実推	6.8 6.78	12.9 13.15	17.1 17.03	21.4 19.40	24.8 20.84	27.6 21.72	29.8 22.25	31.8 22.58	— 22.78
25d	実推	7.2 7.20	10.1 10.09	12.4 12.40	14.3 14.24	16.1 15.71	18.1 16.88	19.8 17.82	— 18.56	— 19.16
32b	実推	10.9 10.77	15.8 15.69	20.0 19.92	22.7 23.56	24.7 26.69	26.6 29.39	28.6 31.32	— 33.72	— 35.44
32e	実推	7.3 7.28	12.6 12.69	17.8 17.80	21.0 22.62	23.0 27.19	25.3 31.49	— 35.55	— 39.40	— 43.04
17e	実推	6.1 6.11	10.9 10.83	15.2 15.20	18.1 19.24	20.1 22.99	21.9 26.45	— 29.67	— 32.64	— 35.39
14d	実推	5.3 5.33	10.2 10.36	13.8 13.80	16.1 16.14	18.1 17.75	— 18.84	— 19.58	— 20.09	— 20.44
26h	実推	110. 10.99	17.4 17.42	24.1 24.04	29.0 30.86	— 37.88	— 45.13	— 52.59	— 60.24	— 68.15
29e	実推	14.6 14.61	21.6 21.77	26.5 26.53	— 29.69	— 31.80	— 33.20	— 34.14	— 34.77	— 35.18
26e ₂	実推	6.8 6.81	11.8 11.75	17.0 16.87	— 21.81	— 26.92	— 31.86	— 36.97	— 41.40	— 47.02

DBH

18a ₂	実推	7.5 7.47	10.7 10.79	13.0 12.93	14.9 14.31	16.6 15.20	18.6 15.77	19.7 16.14	21.1 16.38	22.6 16.53
18d	実推	8.8 8.80	10.5 11.52	14.8 14.80	17.4 18.75	20.0 23.52	22.0 29.26	23.6 36.19	25.2 44.54	26.8 54.61
30c	実推	10.4 10.40	13.5 13.61	16.0 16.00	17.5 17.77	18.6 19.09	19.6 20.08	20.4 20.81	21.8 21.35	— 21.76
26b	実推	5.1 5.10	9.4 9.59	12.4 12.35	15.4 14.04	17.6 15.10	19.3 15.74	20.8 16.14	22.5 16.39	— 16.54
25d	実推	4.0 4.00	6.6 6.59	8.3 8.30	9.6 9.44	11.0 10.18	12.2 10.69	13.4 11.01	— 11.23	— 11.37
32b	実推	6.9 6.89	10.3 10.27	13.1 13.10	15.0 15.46	16.2 17.42	17.4 19.07	18.8 20.45	— 21.60	— 22.56

注；予測するための数値として樹令 10 年から 20 年までを用いた（太字の部分），「実」という項は実際の値，「推」というのは推測の値

樹令		10年	15年	20年	25年	30年	35年	40年	45年	50年
32e	実推	4.2	8.3	11.2	13.2	14.6	16.4	—	—	—
		4.19	8.34	11.34	13.19	14.56	15.50	16.16	16.61	16.93
17e	実推	3.2	6.7	9.4	11.2	12.4	13.6	—	—	—
		3.26	6.74	9.44	11.53	13.15	14.41	15.14	16.13	16.72
14d	実推	2.5	6.2	8.6	9.8	11.0	—	—	—	—
		2.49	6.25	8.59	10.04	10.94	11.50	11.85	12.06	12.20
26h	実推	6.6	11.1	16.3	20.1	—	—	—	—	—
		6.54	12.17	16.25	21.68	27.50	33.78	40.53	47.80	55.63
29e	実推	10.0	14.8	17.8	—	—	—	—	—	—
		10.00	14.90	17.80	19.52	20.54	21.14	21.49	21.70	21.83
26e ₂	実推	3.8	8.2	12.2	—	—	—	—	—	—
		3.76	8.15	12.19	15.92	19.36	22.52	25.43	28.11	30.59

H

18a ₂	実推	6.1	9.4	11.4	12.8	13.6	14.7	15.8	17.5	19.7
		6.13	9.43	11.37	12.51	13.18	13.57	13.81	13.94	14.02
18d	実推	7.5	10.8	13.9	15.7	17.5	19.0	20.2	21.7	22.9
		7.58	10.89	13.97	16.81	19.45	21.90	23.49	26.26	28.20
30c	実推	7.6	9.8	11.9	13.3	14.6	15.7	16.3	17.4	—
		7.59	10.03	11.89	13.32	14.41	15.25	15.89	16.39	16.76
26b	実推	3.7	6.5	8.8	11.0	13.3	14.8	15.6	16.3	—
		3.70	6.60	8.80	10.48	11.76	12.73	13.47	14.03	14.46
25d	実推	3.7	4.9	6.1	7.0	7.9	8.7	9.7	—	—
		3.69	4.88	6.09	7.34	8.63	9.96	11.33	12.73	14.18
32b	実推	5.5	8.4	10.7	12.4	13.8	15.0	16.2	—	—
		5.49	8.47	10.69	12.33	13.58	14.47	15.15	15.65	16.03
32e	実推	4.0	7.0	10.3	12.3	13.3	14.2	—	—	—
		3.99	7.06	10.30	13.74	17.39	21.24	25.32	29.65	34.23
17e	実推	3.4	5.6	8.4	10.3	11.3	12.6	—	—	—
		3.37	5.81	8.34	10.98	13.72	16.58	19.54	22.64	25.86
14d	実推	3.5	5.9	8.4	10.2	11.2	—	—	—	—
		3.48	6.16	8.37	10.19	11.69	12.92	13.93	14.76	15.45
26h	実推	6.2	9.7	12.6	15.8	—	—	—	—	—
		5.83	9.93	12.22	13.50	14.21	14.61	14.83	14.95	15.02
29e	実推	7.5	11.6	14.5	—	—	—	—	—	—
		7.50	11.47	14.52	16.86	18.66	20.04	21.10	21.91	22.54
26e ₂	実推	3.6	5.5	7.9	—	—	—	—	—	—
		3.51	5.61	7.79	10.03	12.34	14.72	17.18	19.70	22.31

Table 5.2 間伐の効果調べ

胸高直径 (cm)

採取林分	林小班	間伐実行年	1	2	3	4	5	6	7	8
25	d	31年	8.8	9.1	9.4	9.6	9.9	10.2	10.4	10.8
32	b	26年	12.2	12.6	13.1	13.6	14.0	14.3	14.6	15.0
32	e	30年	11.8	12.2	12.6	13.0	13.2	13.5	13.8	14.0
18	d	40年	20.4	20.8	21.1	21.6	22.0	22.3	22.7	23.0
30	c	32年	16.8	17.2	17.5	17.8	18.0	18.1	18.4	18.6
26	b	19年	3.6	5.1	6.4	7.3	8.2	8.8	9.4	10.0
合計			73.6	77.0	80.1	82.9	85.3	87.2	89.3	91.4

樹高 (m)

25	d	31年	6.5	6.6	6.8	7.0	7.1	7.3	7.5	7.7
32	b	26年	9.9	10.2	10.7	11.0	11.5	11.7	12.1	12.4
32	e	30年	10.9	11.5	11.7	12.0	12.0	12.5	12.7	12.9
18	d	40年	17.7	18.0	18.4	18.7	19.0	19.3	19.5	19.7
30	c	32年	12.7	13.0	13.3	13.6	13.8	14.2	14.3	14.6
26	b	19年	3.7	4.3	5.0	5.5	6.0	6.5	7.1	7.6
合計			61.4	63.6	65.9	67.8	69.7	71.5	73.2	74.9

材積 ($10^{-5}m^3$)

25	d	31年	2278	2463	2701	2923	3162	3414	3618	3929
32	b	26年	6331	7185	7941	8705	9467	10189	11027	11661
32	e	30年	6469	7277	8053	8779	9307	10024	10485	10934
18	d	40年	31205	33017	34456	36417	38055	39448	41136	42760
30	c	32年	14746	15734	16495	17373	18071	18720	19539	20205
26	b	19年	319	615	997	1380	1802	2170	2635	3103
合計			61348	66291	70643	75577	79864	83965	88440	92592

るために作ったモデル林分

9	(間伐) 10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
11.0	11.2	11.4	11.6	11.9	12.2	12.5	12.8	13.0	13.2	13.4
15.4	15.6	15.8	16.0	16.2	16.4	16.7	16.9	17.2	17.4	17.6
14.3	14.6	15.1	15.4	15.7	16.1	16.4	16.8	17.0	17.4	17.6
23.2	23.6	23.8	24.2	24.5	24.8	25.2	25.6	25.8	26.2	26.4
18.8	19.0	19.3	19.5	19.6	19.8	20.0	20.1	20.2	20.4	20.6
10.6	11.2	11.8	12.4	13.0	13.7	14.4	15.0	15.4	16.0	16.4
93.3	95.2	97.2	99.1	100.9	103.0	105.2	107.2	108.6	110.6	112.0

7.9	8.1	8.4	8.5	8.6	8.7	8.9	9.2	9.4	9.5	9.7
12.8	13.0	13.2	13.5	13.8	14.0	14.3	14.6	14.8	15.0	15.3
13.0	13.3	13.4	13.6	13.8	14.0	14.2	14.4	14.7	14.9	15.2
19.9	20.2	20.4	20.8	21.1	21.4	21.7	22.0	22.4	22.6	22.7
14.8	15.1	15.4	15.5	15.7	15.8	15.9	16.0	16.2	16.3	16.6
8.1	8.5	8.8	9.2	9.6	10.0	10.7	11.0	11.4	11.8	12.3
76.5	78.2	79.6	81.1	82.6	83.9	85.7	87.2	88.9	90.1	91.8

4195	4532	4821	5113	5489	5895	6283	6658	7109	7446	7765
12530	13134	13751	14374	15129	15843	16551	17216	17982	18794	19660
11512	12211	13083	13757	14492	15264	16139	16918	17718	18685	19484
44208	45709	47468	49601	51852	54040	56318	58808	60199	62269	63748
20924	21621	22637	23417	23930	24660	25255	25830	26383	27001	27955
3701	4313	5010	5678	6550	7525	8664	9776	10608	11688	12875
97070	101520	106770	111940	117442	123227	129210	135206	139999	145883	151487

Table 5.3 間伐による効果の分析 (共分散分析)

胸 高 直 径

要 因	自由度	Σx^2	Σxy	Σy^2	回帰係数	回帰からの偏差		
						自由度	$\frac{\Sigma y^2 - (\Sigma xy)^2 / \Sigma x^2}{(\Sigma xy)^2 / \Sigma x^2}$	平均平方
間伐前	8	352.98	324.57	298.74	0.9195	7	0.29	0.05714
間伐後	8	225.70	219.77	214.50	0.9737	7	0.51	
回帰係数						14	0.80	
共通の						1	0.40	
修正平均						15	1.20	
全 体	16	578.68	544.34	513.24	0.9317	15	1.20	0.40*
修正平均						1	0.42	
全 体	17	2126.22	2047.36	1973.04	0.9629	16	1.62	

樹 高

要 因	自由度	Σx^2	Σxy	Σy^2	回帰係数	回帰からの偏差		
						自由度	$\frac{\Sigma y^2 - (\Sigma xy)^2 / \Sigma x^2}{(\Sigma xy)^2 / \Sigma x^2}$	平均平方
間伐前	8	212.05	203.05	194.50	0.9576	7	0.07	0.02571
間伐後	8	137.54	138.75	140.26	1.0087	7	0.29	
回帰係数						14	0.36	
共通の						1	0.22	
修正平均						15	0.58	
全 体	16	349.59	341.80	334.76	0.9771	15	0.58	0.22*
修正平均						1	0.02	
全 体	17	1329.36	1297.95	1267.88	0.9764	16	0.60	

材 積

要 因	自由度	Σx^2	Σxy	Σy^2	回帰係数	回帰からの偏差		
						自由度	$\frac{\Sigma y^2 - (\Sigma xy)^2 / \Sigma x^2}{(\Sigma xy)^2 / \Sigma x^2}$	平均平方
間伐前	8	1,177,897,504	1,164,278,830	1,151,383,985	0.9884	7	566,372	132,189
間伐後	8	1,876,260,833	1,888,630,413	1,902,365,814	1.0066	7	1,284,272	
回帰係数						14	1,850,644	
共通の						1	238,495	
修正平均						15	2,089,139	
全 体	16	3,054,158,337	3,052,909,243	3,053,749,799	0.9996	15	2,089,139	139,276
修正平均						1	1,432,756	1,432,756**
全 体	17	11,740,085,886	11,954,004,107	12,175,342,064	1.0182	16	3,521,895	