

# 地形による立地区分と林分構造との 関係解析に関する基礎的研究

吉 田 茂二郎  
(森林経理学研究室)

## Basic Studies on the Relationship between Stand-structure and Site Topology made by Topography

Shigejiro YOSHIDA  
(Laboratory of Forest Management)

### 目 次

- |                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| 1. 緒論                  | (b) 単位斜面内の林分構造      |
| (1) 緒論 (研究の目的)         | (c) 林分構造と単位立地区      |
| (2) 研究小史               | (4) まとめ             |
| (3) 色々な環境因子とその広がり大きさ   | 4. 森林調査における立地区分の応用  |
| (a) 植物の物質生産的要因         | (1) 立地区分を基礎にした森林調査法 |
| (b) 林業経営から見た環境因子       | (a) 立地区分と林分構造       |
| 2. 立地区分の林業経営への応用       | (b) 立地区分を基礎にした森林調査法 |
| (1) 立地区分応用の基本的な考え方     | (c) 空中写真による林分の層化    |
| (2) 林小班内の地位級の頻度分布      | (2) 立地区分を利用した森林調査法  |
| (3) 広範な地域の林地生産力の分布     | (a) 対象林分の概況および林分の層化 |
| (a) 林地生産力とメッシュサイズ      | (b) 層化無作為抽出法        |
| (b) 林地生産力の分布様式         | (3) サンプリング結果の比較     |
| (4) まとめ                | (a) 単純無作為抽出法        |
| 3. 林分構造と立地区分の関係        | (b) 直径および樹高分布の推定結果  |
| (1) 対象地域の概況            | (4) まとめ             |
| (a) 対象地域の位置と気候         | 5. 立地的広がりとその認識間の矛盾  |
| (b) 対象地域および高隈演習林の地質・地形 | 6. 総括               |
| (2) 調査地の概況             | (1) 研究成果の要約         |
| (a) 調査地の地形・地質および林況     | (2) 問題点と今後の研究課題     |
| (b) 林分調査と地形調査          |                     |
| (c) 調査地と立地区分           | 謝 辞                 |
| (3) 林分構造と立地区分の関係       | 文 献                 |
| (a) 調査地全体の林分構造         |                     |

## 1. 緒 論

### (1) 緒論（研究の目的）

最近のコンピュータを含む、エレクトロニクス技術の進歩には、目覚ましいものがあり、各分野でのその応用がさかんに行われてきている。林業の分野でもコンピュータが導入され、森林についてのデータの維持管理、資源調査の取りまとめ、数量化を用いての地位指数の推定、保続収穫の計算さらに収穫と生長を予測するシミュレーション等にもコンピュータが用いられている。データ処理の迅速性から、今後とも広域的な流域管理や逆に狭域的な各林分単位での森林の管理に一層利用されるであろう。ただしその応用には、最終の利用目的に合ったデータの精度とその処理方法が不可欠であり、現在の段階ではかなりの部分が外的要因（機械の容量、人的労力等）でそれらは、決定されているように思われる。一方、林業経営は、対象とする森林の現況把握とその生長予測（森林の変化量把握）から成立っており、とりわけ生長の予測は将来にわたる長期計画等を樹立する上でもまた目的にあった経営を行う上でも、それらに密接に関係があり非常に大切である。この生長の予測に関する研究は、従来から数多く行われているが、それらのほとんどが樹高や直径等に代表される副欠的要因による解析であった。最近になり、生理・生態的な意味を持った数学モデルによる研究が行われ始めたが、それらの研究もそれらに用いる基礎データについての吟味が少ないように思われる。また近年、林木の生長とともに、森林の持つ諸機能に関する広域と狭域の両域におけるそれらの値および空間的広がりという意味の分布構造が非常に重要視されるようになり、それらの正確な把握が非常に重要になってきている。

したがって、本研究は、林木の生長つまり林地それ自体が持つ潜在的な生産力を基礎に 1 河川流域等の広域的な場合と一林分単位の狭域的な場合のそれぞれにおいて、それらが斉一と考えられる範囲を示し、今まで概念的にしかり理解されていなかった立地的広がりや林分構造および林地生産力との関係を明らかにする事を目的としている。

1 の緒論（研究の目的）では、この研究に関連のある従来の研究についてまとめ、かつ今回の研究の基本的な考え方を述べている。2 では、立地区分の経営への応用として、立地区分応用の基本的な考え方、林小班内における立地級の頻度分布、広範な地域の林地生産力の分布について実例をあげてその重要性を示している。3 の林分構造と立地区分の関係では、実際に対象地域を選定して、立地区分の分布様式ならびに立地区分と林分構造の関係について解析を行っている。4 の森林調査における立地区分の応用では、3 の結果を踏まえて、それを森林調査に応用する事を試みている。5 の立地的な広がりとその認識間の矛盾では、この研究成果から現行の森林に対する管理、施業の方法そして試験・調査の方法等について提案をしている。6 の総括では、この研究全体のまとめと今後の研究課題を述べている。

### (2) 研究小史

従来、林木の生長についての研究は、その主目的を生長予測とするため、当初から諸環境因子とりわけ土壌因子との関係解析例<sup>7)16)17)</sup>が多かったが、その後基本的な環境因子を用いた解析が行われるようになった。ただし、それに用いられた従属・独立因子は、単に点としての因子であり面的な広がりを持つ物ではなかった。面的な広がりを持つ研究・事業としては、昭和 24 年に開始された国有林野土壌調査、昭和 29 年に開始された適地適木調査事業<sup>9)</sup>とそれの一貫としておこなわれた森林立地区分<sup>1)6)14)</sup>が上げられる。国有林野土壌調査・適地適木調査では、比較的広域の大縮尺の土壌の分布調査を行いその分布を明らかにしており、森林立地区分では県別に森林および林木の生育にかかわ

りのある環境因子（気候因子，地形因子，地質因子，土壌因子）を用いて広域的な自然環境の区分を行っているが，ともに対象がマクロであり地域の特性を明らかにする事に重点があった。ただし，それらの中で森林立地区分の基本的な考え方である林木の生長に関して変動の大きい全集団を環境因子によって変動の小さい集団に区分するという考え方に本研究との共通点が見いだせるものの，その対象の広域性のために本研究の目的とは相容れない。

また，電子計算機の普及および解析理論の発展により，諸環境因子を多数利用して林木の生長を推定する数量化法<sup>13)21)</sup>が行われるようになった。しかし，この解析に用いられた多数の因子は，因子選択の論理的な吟味が充分でなく，また点データによる解析・推定であり普遍的な生長の推定を行っているとは言い難い。

狭域的な場合の林木の生育とその面的広がりとの関係に関する研究は，まず山田<sup>38)39)</sup>により行われた。それでは，微細地形に基づく人工林の生育状態を調べるため，各局所地形（残積土，崖錐，押出し）内に帯状の調査地を設定して調査を行い，林木の生育状態はコドラート単位に局所地形が異なってきた事によって変化する事を見いだしている。その後，竹下<sup>30)</sup>は，スギ人工林の一団地（1.6ha）につき林木の生長に対する諸因子の分析とその分布を明らかにする目的で調査・研究を行った。それにより，一般の山岳斜面は，生成輪廻を異にする斜面の集団であり，それらの斜面間には傾斜変換線（帯）が認められ，各傾斜変換帯により区画された斜面を単位斜面とした時，この斜面内では系統的に堆積様式が配列し，その変化に従って地位の変異が起こっている事が明らかにされた。これらの研究は，1林分を1つの等質集団と見るのではなく，面的な広がりを持つ異質な集団と考え，それらの中における林木の変動を取扱っており，本研究と発想を同じくするものである。

一方，計量地形学の立場から塚本<sup>37)</sup>は，谷の次数について流域地形の構成を支配する法則の相互関係を明らかにしている。その林学への応用可能性の中で，1次谷を基本の斜面単位とした時，堆積様式の分布も1次谷の谷型構造や水系を使って説明がかなりできるのではないかとしている。本研究では，0次谷あるいは弱度の1次谷内の立地級の分布様式を取扱っておりその次の段階でこの研究も密接に関連があるであろう。

### (3) 色々な環境因子とその広がり大きさ

#### (a) 植物の物質生産的要素

林木の生長等を推定する場合，現在色々な環境因子が利用されている。それらの因子には，林木の生長に対してなんらかの関係が明らかなものから，目的に対して関係が明確でないものまで含まれている。しかも，各因子には各因子特有の分布様式および分布の大きさがあり，環境因子の理論性ととも，それらは大切である。

ここでは，まず植物としての林木に対して最も密接な関係を持つ，個体レベルの生長因子（物質生産要因）についてを述べる。

物質生産因子（要因）とは，物質生産に必要不可欠な条件になるものと生産に対して何らかの影響を及ぼすものが考えられる。具体的に，ボイセン<sup>4)</sup>は次の様に物質生産要因を区分している。

- 1) 栄養物質……有機化合物・水・灰分（無機化合物）
- 2) 光
- 3) 温度

この中で栄養物質としての有機化合物は，Cを含む化合物の基礎要素であり，CO<sub>2</sub>の同化により形成される。この原料は第一に大気中の炭酸ガスであるが，自然界のCO<sub>2</sub>分圧は，ほとんど同じとみなす事ができ<sup>4)</sup>，植物にとってそれほど大きい意味を持たないとされている。

一方、水分は根系から植物体に吸収される要因であるが、それと同時に、その水分は、無機化合物を溶解した溶媒としての働きをして物質生産要因の重要な位置を占めている。この水分と林木の生長とに関して、竹下<sup>33)</sup>は、材木生長 $\alpha$  栄養分、水溶液養分量 = 養分濃度 $\times$ 水分量の図式から、林木の生長はそれを取りまく水分条件で規定されるとして、林木の生長解析を行っている。しかし、この水分は、ポイセン<sup>4)</sup>によれば、水分の供給不足は、気孔の開閉に密接に関連しており、水の供給不足により気孔が完全に閉じられ、これにより同化作用も完全に停止するとしている。このように、生産物質要因としての水分は、その他の要因が同化速度に対して最適値があるのに対し、この水分条件による気孔の開閉は、それらに対して独立に行われる。さらに、この気孔の閉じる事による同化作用の停止は、同化作用に対する寄与率の大きい樹体上部で起こるために、樹木全体としての同化速度の低下も大きいはずである<sup>27)</sup>としている。特に、気候条件の厳しい山地では、水分の不足が起こっていると想像され、この水分要因が他の要因に対して絶対的な要因として働いていると考えられる。

光は、CO<sub>2</sub>同化およびそれを通して物質生産を条件づける因子である。ただし、自然界では、自然光のはるかに弱い光強度でCO<sub>2</sub>同化が最大になっている<sup>4)</sup>とされている。特にスギに関しては、20Kluxで同化が最大となりこれは昼光の約25%にあたり、前述の事を裏付けている。また、高度による光強度の差異も、同化にとって大きい意味はない<sup>41)</sup>としている。

最後に温度は、植物の生理過程の反応速度に影響を与える要因と言われている。しかし、これも低い照度では、温度差(10°Cと20°Cで)がなく同化がほぼ等しいと言われている。一方、スギの生育期間の気温変化は、我国では10°C前後で、同化に対する影響は比較的少ないと見て良いだろう<sup>27)</sup>ともしている。ただし、この温度要因は、低温では植物を致死状態にする力を持つため植物の分布を限定する効力を持つ要因<sup>4)</sup>と考えられる。さらに、植物の生活帯(life zones)は、温度により一次的に決まる<sup>41)</sup>とされ、それが温量指数で表わされているように、温度は、物質生産要因と言うよりも植物としての林木の生死を規定する制限要因としての働きが強い。

以上のように、各種の植物の物質生産要因を考えてきたが、ほとんどの要因は、同化速度に対してある最適値を持っていても、自然界ではほぼ一定と見なす事ができる。それにくらべ気孔という外部からCO<sub>2</sub>を取入れる機能を他の要因の条件にかかわらず規制する水分要因は、植物の物質生産要因の中で最も重要な要因であると考えられる。

#### (b) 経営の面から見た環境因子

林業経営では、対象とする林分の分布状況の把握が重要である。そのうち、林木の生長という林分の絶対値の把握が大切であり、その絶対値は前述の物質生産要因が総合的に働き合う事により決定されている。したがって、従来の研究や地域森林計画等<sup>26)</sup>で地位指数を推定する場合には、各物質生産要因を間接的に表現している総合的な環境因子を用いている。ただし、それらの環境因子は、各因子により林木の生長に対する性質が非常に異っており、同次元でそれらを取扱うことに対して問題があり、次元の似かよった因子を利用すべきである。

これらに関して、竹下<sup>35)</sup>は各因子の性質から次の分類をしている。

##### (1) 分類因子

目的に対して関係は明確でないが、カテゴリー区分が明確に実行されうる分類因子(ex. 地質・基岩区分)

##### (2) 順序分類因子

目的に対するカテゴリー区分毎の序列が明らかなもの(ex. 土壌・堆積様式)

##### (3) 整数因子

関係はともかく整数値などのように等間隔の単位で計量可能な因子（ex. 標高等）

#### (4) 関数因子

関数関係または、グラフ上での曲線形が判っている因子（ex. 水分量，養分量，温度等）

これらの因子の中で、(4)の関数因子は、植物としての林木の生長に直接かかわるものであり、前節の物質生産要因である。この関数因子の中でも、自然界では前節で考察したように水分量が最も生長に関係のある因子であると考えられ、この因子条件を理論の中心にして各因子の選択をする事が重要であろう。その他の重要な関数因子としては、温度が考えられる。この因子は、厳密には、水分条件にも蒸発という面で関連があるが、それ以上に、植物自体の生存にかかわる制限因子としての、働きが強いように思われる。したがって、その広がりには林業経営の目的とする対象の広がりよりも非常に大きく、一定とみなす事ができる。

一方、林木の生長のパターンという面的広がりを持つ相対的な分布の把握も林業経営にとっては重要である。この相対的な分布も、根本的には林木の生長の度合から発生するものであるから、それらを規制する因子は関数因子に他ならない。ただし、関数因子の影響が等しいと考える広がりとその系統的な分布が問題となる。これらの条件に合致するものは、地形要因である。地形は、各環境因子と極めて密接な関係があるが、特に林業経営の場合、対象の最小単位が小班という非常に狭い範囲であるため、地形要因の中でも斜面の微地形要因と密接な関係があり、それらは、関数因子の中でも特に重要な水分因子を規制しており重要である。特に、斜面の構成単位と考えられている単位斜面と、その中に系統的に出現する順序分類因子の堆積様式<sup>31)</sup>は、相対的な林木の分布を把握する重要な因子である。また、地質・基岩等のカテゴリーの分類因子は、分布範囲が非常に広いので、直接に相対的な林木の分布様式に関係する訳ではないが、その本来持つ地質の構造的な性格により、同一と見なされる林木の生育空間内の分布の分散を根元的に規定するものと考えられる因子である。さらに、流域管理等のように広範囲にわたる特殊な林業経営の場合には、対象流域内の地形の生成機構の違いがその相対的な分布様式の違いを形作っている。つまり、対象流域は生成機構により、

(1) 山頂付近で開析作用を受けずに残っている地形

(2) 開析作用を受け新しく形成された地形

(3) (2)による風化や侵食現象により発生した土砂等が水により運ばれ再度堆積して形成された地形の3つに区分でき、各地形内では、系統的な分布様式が期待できる。ただし、これに関しても、地質・基岩等の違いによって生成される地形が異なるため、地質・基岩等の分類因子による対象地域の分類が前提である。

以上のように、狭い範囲を対象とする場合も、流域のように広い範囲を対象とする場合も、その中の相対的な分布様式を把握する因子は原則として地形因子であり、その因子は対象とする物の大きさによって変化すると考えられる。

## 2. 立地区分の林業経営への応用

### (1) 立地区分応用の基本的な考え方

統計的手法は、すべてその前提として正規分布の母集団を仮定し、その中での量的変動の様子の解析やパラメータの推定を行う手法である。林業経営では、従来から森林の現況や変化量の把握に重点が置かれており、サンプリング手法を用いてそれからの推定が行われてきた。最近、森林の持つ木材生産機能以外の機能に対する評価・管理が行われるようになり、諸機能の分布が問題になってきた。さらに、生長の予測に関しても、生長モデルの精密化により、林木の生長に関する分布状況が問題と

なっている。このような分布の把握や推定では、対象母集団の分布がその結果に非常に重大な影響を与えるため対象母集団の分布の等質性が効率的な推定の前提として要求される。

一般に、サンプリングでは、対象の母集団が明らかに異質な副母集団で構成されている場所には、当然母集団の変動が大きいと求めようとする母集団のパラメータ、あるいはそれに関連の深い補助変数を用い層化を行って、母集団をいくつかの等質集団に区分し、それらの副母集団に対してパラメータの推定を行い、それらを用いて効率的に全体のパラメータの推定をしている。このように、対象となる母集団が異質の集団の集合体である時は、母集団を等質の副母集団に区分し、それらに対して解析を進めるのが原則であると同時に有意であり、母集団の分布を把握推定する場合も同様である。

この原則は、林学を含むどの分野でも実行されている。林学とくに経営の部門では、サンプリングの例で見たように層化という形でこの原則が用いられている。たとえば、経営のための森林調査を行う場合には、まず対象林分を樹種、樹高級、樹冠疎密度級によって林相地分をする事が実行されている。ただしこれからは、経営のための森林調査の目的（全体推定）上、林分単位の層化であり同一樹種、同一林齢の林分内の林木集団は、等質であると仮定している。確かに大面積の森林調査の全体推定などでは、林分単位で等質とみなす事ができるが、母集団の分布を含めた推定では母集団の性質が非常に重要になり、林分単位で等質だとみなす事には問題がある。一方、収穫のための森林調査では、対象林分内の林木の分布（たとえば直径分布や樹高分布）を把握する必要があり、対象林分の質的性質が非常に問題となる。また、林木の生長などの解析を行う場合、特にデータの等質性も問題となる。解析に用いるデータがそれぞれ等質な母集団から得られたものであれば、普遍的な生長の法則を明らかにする事が可能であろう。しかし、解析に用いるデータが異質なものであれば、その中で生長傾向を見出す事はできるが、得られた結果は決して普遍的な生長の法則ではない。これらは周知の事であるが、実際の解析でこのような考え方で解析している例は少ない。逆に、林分の状態を正確に表わすには、データを採集するプロットが大きければ大きいほど良いという考え方が一般的である。これに関して、現在生長解析等にも用られている固定プロットについて考えてみよう。固定プロットは、本来、継続的な森林調査（C. F. I）において、全体推定およびその変化量を推定するために設定されたものであり、現在ではさらに、林分単位の生長解析を試みるために利用されており、そのデータを得るため、一定の間隔で定期的に測定されている。したがってこの固定プロットは全体推定のためには非常に有効であっても、生長という林木の質的性質から見た時、決して等質集団ではなく異質の林木集団であろうと想像される。したがって、生長解析を行う場合、プロット内の林木が異質の集団であるから各測定時のデータだけでは、上記と同じで普遍的な法則の誘導は難しいが、一般的に固定プロットのデータは時系列的なデータであり、それらは時間方向には等質集団と見なす事ができるため、それを通して生長法則が誘導される可能性もあろう。ただし、固定プロットのデータは本質的には異質集団の時系列データであり、真の意味での生長の法則の誘導は不可能であろう。このように、対象とするデータの異質・等質性は、色々の場面で非常に大切であり、それらに対して十分な注意を払わなければならないが、現実にはそれが実行されているとは言い難い。

このデータの異質・等質性は、特に経営という立場では林木の生長に対するそれである。一般に林木の生長の度合は地位や地位指数という形で表わされ、それらは林木が生育する環境により決定されている。ただし林分単位では、変化する環境要因は限られており、主に林木が生育している立地要因により林分内では相対的に生長が規定されていると考えられる。これらに関して、立地部門では斜面の微地形に対する研究<sup>30)</sup>が行われており、立地的な立場からの林地の区分がなされている。これにより区分された各領域は、立地的に同一とみなす事ができるものであり、当然その領域に成立する林

木集団は生長という点で等質であると言える。このように、立地区分を行う事により対象林分を等質集団に区分する事ができるであろう。

一方、広範な森林の機能分布等を把握する事も林業経営にとって大切である。特に、木材生産機能の分布の把握は、直接に経営と結びついており重要である。この木材生産機能の絶対値は、林木を取巻く諸要因（年降水量、露出度、起伏量、地質基岩、土壌等）により規定されている<sup>28)</sup>。この生産力分布の把握の際にも母集団の性質が問題となる。ただし、林地生産力に関連した諸要因は、密接に地形と関連があり、ほとんど地形・立地要因で読みかえる事ができる。したがって、林地生産力の相対的な分布は地形・立地区分配置により規定されていると考えられ、これらの区分によって対象母集団を等質の集団にする事ができよう。

以上のように、林業経営において地形・立地区分は前に述べた等質の母集団の原則を実行する場合の重要な手段であり、普遍的な生長法則の誘導や効率的な母集団分布の推定等を含め、あらゆる場面で立地区分の林業経営への応用がさらに行われなければならないと考える。

## (2) 林小班内の地位級の頻度分布

小班は、固定的な区画の林班に属して樹種または作業法により区画されているが、一般的には1小班1林分である事が多い。従来から、林業経営の最小単位と考えこれを等質集団とみなしているが、生長関係から考えた時これは疑わしい。なぜなら、林班は地形的に明瞭な境界線を利用して区分しているのに対し、小班は施業上の便宜さで区分されており、まったく人為的な区分であり、たとえ林齢および樹種が等しいという点で等質集団と考える事ができても、我々が目的とする林木の性質（林木の生長）について厳密には等質集団とみなす事ができるかわからないからである。

したがって、それら確かめるために、1小班（1林分）内の地位級（上層木樹高）の分布を調べてみた。対象小班は、鹿児島大学農学部高隈演習林の17林班ぬ小班である。面積2.8haのスギ人工林、測定時の林齢は55年であった。その対象小班を10m×10mのプロットに区分し、プロットごとに樹高を測定、それから上層木樹高を計算し、それをプロットの地位を表わす指標にした。それにより得られた結果をFig. 2-1の上層木平均樹高の頻度分布図に示す。Fig. 2-1から明らか

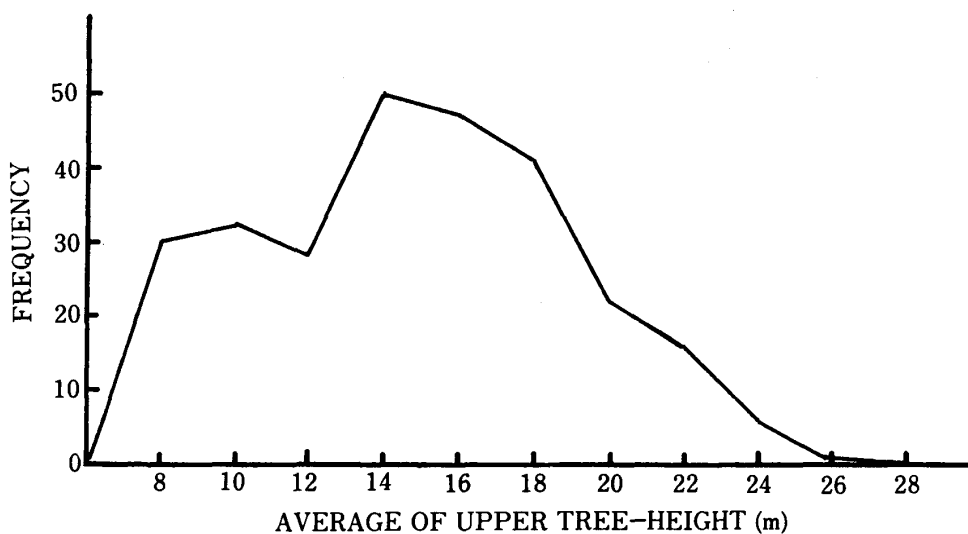


Fig. 2-1. Frequency distribution of average of the upper tree-height.

図 2-1. 上層木平均樹高の頻度分布

うに、その分布は極大値を2つ持った非常にいびつな分布であり、決して全体が等質の集団でない事がわかる。この小班の場合には、少なくとも2つ以上の等質な集団から構成されていると思われる。

一方、林班は地形的に明瞭な境界線で区画されてはいるが、それらは事業実行の場合の位置を示すのが主目的であり、それは単に視覚的に顕著な地形界区分にすぎず、我々が対象とする母集団の性質に関して意味があるか疑わしく、小班の場合と同様に地位級の分布については異質の集団であると見る事ができるであろう。

### (3) 広範な地域の林地生産力の分布

#### (a) 林地生産力とメッシュサイズ

前節で、林班および小班内の地位級の分布、特に小班内の分布について考えて来たが、ここではさらに広範な地域の林地生産力の分布の形態を考えてみる。林地生産力の分布は、面的な広がりを持つものであり、それらの情報を数的に解析するには数的なデータ管理を行う必要がある。この数的データ管理の代表的方法としてメッシュ法が上げられる。ここでも数的データの管理法としてメッシュ法を採用して解析を進める前に、林地生産力の分布推定とメッシュサイズとの関係を明らかにしておく必要がある。メッシュ法の場合、解析に使用するメッシュサイズにより推定の結果得られる分布が当然異なってくる。したがって、林地生産力の分布の把握を目的とした時、本来の分布を再現しうるメッシュサイズを、後の解析に先立って明らかにしておく。

解析に用いたのは、縮尺1/5,000の福岡県築上郡築城町森林基本図其-6と、これと同域の林地生産力分布図である。この林地生産力の分布図の一部を Fig.2-2 に示す。この分布図は、竹下ら<sup>34)</sup>

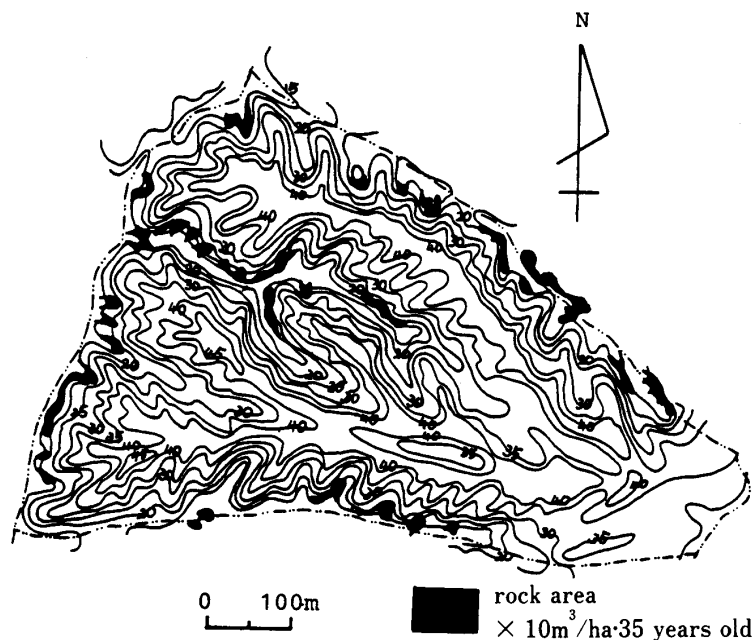


Fig. 2-2. Distribution of land productivity.

図 2-2. 林地生産力の分布図



Table 2-1 Rank of land productivity

表 2-1 林地生産力ランク区分表

rank	volume/ha·35 years
0	rock area
1	less than 150m <sup>3</sup> /ha
2	150~200
3	200~250
4	250~300
5	300~350
6	350~400
7	400~450
8	more than 450m <sup>3</sup> /ha

の行った林地生産力の推定に関する一連の研究の成果により推定・作図されたものである。ちなみに対象地域は、福岡県築上部築城町本床、周防灘にそそぐ城井川の上流域で、対象地域を含むこの一帯の地質（基岩）は、凝灰角れき岩である。この分布図は、林地生産力をスギ人工林 35 年時の ha 当り材積で表示しており、その値により Table 2-1 のように 1~8 ランクおよび造林不能地の 0 ランクで、計 9 ランクに区分されている。

はじめに、この分布図全域内の各林地生産力ランクの面積を測定し、面積割合を算出した。この結果を Table 2-2 と Fig.2-3 に示す。この分布に対して、推定に使用するメッシュサイズで推定さ

Table 2-2 Area rate of land productivity of the study area (%)

表 2-2 対象地域の林地生産力ランクの面積割合

rank	0	1	2	3	4	5	6
area rate	2.8	6.5	8.7	12.7	18.3	20.7	19.0
rank	7	8					
area rate	10.7	0.6					

れた分布がどのように変化するかを検討するため、一辺がそれぞれ 25m, 50m, 100m, 250m, 500m, 1km の 6 種類のメッシュを用いて調べた。ただし、メッシュデータはメッシュの交点の値を用いている。この方法であれば、当然推定される分布の分散がメッシュの増加と反比例して小さくなる事が予測される。各メッシュサイズで推定された林地生産力ランクの面積割合を Table 2-3 に、それを図示したものを Fig.2-4 に示す。予想されたようにメッシュサイズの増大と反比例して全体の分布の分散が小さくなっているのがわかる。特にメッシュサイズが 250m 以上で非常にとがり度の強い分布となっており、本来の分布からの遊離が著しい。そこで、どのメッシュサイズで推定された分布が本来の分布と等しいと言えるかを検討するために、各メッシュサイズで得られた分布についてその適合度の検定を行った。

検定には、 $\chi^2$ -検定を用いた。その結果を Table 2-4 に示す。Table 2-4 から明らかなように、メッシュサイズが 50m までであれば、本来の分布と違うとは言えないという結果を得た。しかし、このサイズが決して普遍的なものではない。単に、今回利用した林地生産力の分布図では、適正な最

大メッシュサイズが50mであるとなったという事であり、当然これは対象の林地生産力の各ランクの大きさと出現パターンにより変化すると考えられる。ただし、集約的な林業経営をする場合の林地生産力の把握には、上記の生産力分布図の精度が必要であり、さらに斜面微地形の大きさ<sup>30)40)</sup>から

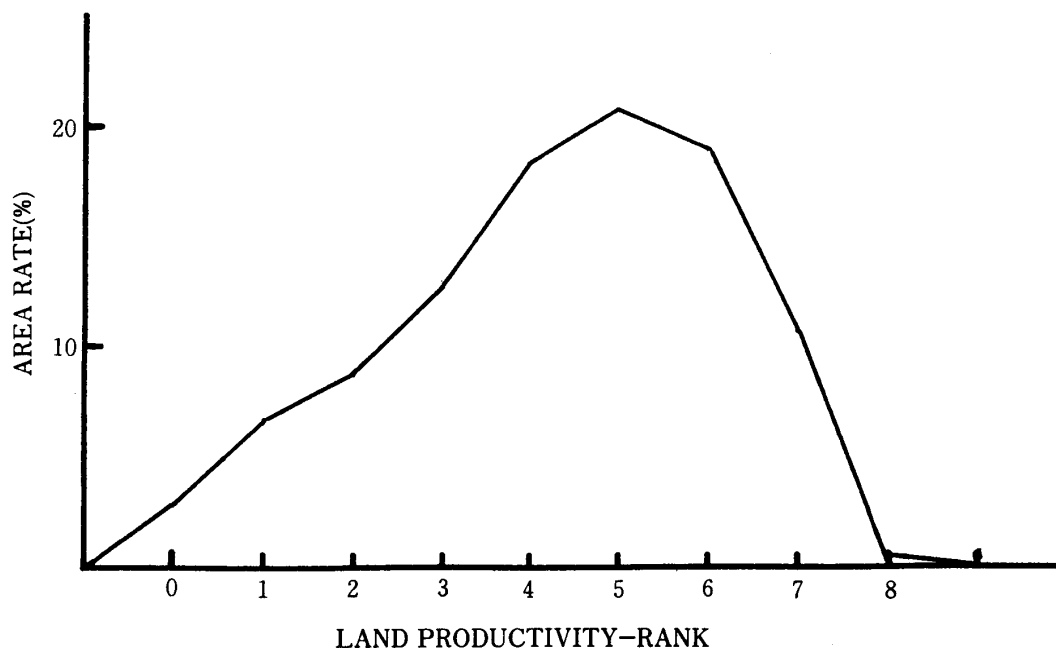


Fig. 2-3. Area rate of land productivity-rank.  
 図 2-3. 林地生産力ランクの面積割合

考えても、その最大メッシュサイズは50m程度が普遍的ではないが妥当な値であろうと考えられる。

#### (b) 林地生産力の分布様式

前節で、メッシュ法を用いて林地生産力の分布を推定する場合の最大メッシュサイズが明らかになったが、ここではさらに自然の林地生産力の分布形態について考えてみよう。

ある地域を対象として、その中の林地生産力の分布推定を目的とした時、その推定精度は、対象とする母集団の性質に左右される。特に、広域の林地生産力の分布は、その広がり大きさからすべて等質な集団ではなく、当然異質な集団の集合体であると考えられる。そこで、前出の林地生産力の分布図を用いて対象地域の等・異質性について検討を行ってみた。

対象の林地生産力ランクの面積割合は、前出 Fig.2-3 に示したような分布をしており、この分布図からは、母集団の異質性はまったく感じられない。ただし、この対象地域が、地形的境界とはまったく無縁の機械的な基本図の区域である事、地域内で部分的に非常に林地生産力ランクの分布パターンが異なっている事、全体の分布の分散が大きい事などから、偶然にこのような分布になったものであると思われる。一般的には、竹下ら<sup>34)</sup>が遠賀川流域の林地生産力の推定で示したように、地名別の地力階別林野面積割合は、そのほとんどが2つの極大値を持つ分布となっており、その対象母集団(地域)は異質の集団により構成されていると考える方が普通であろう。

そこで、これらを明らかにするために前出の林地生産力の分布図を用いて確かめる事にした。それ

Table 2-3 Area rate of land productivity on each mesh size (%)

表 2-3 メッシュサイズ別の林地生産力ランクの面積割合(%)

rank/mesh size	25m	50m	100m	250m	500m	1 km
1	8.3	3.3	0.1	—	—	—
2	10.2	11.0	5.9	—	—	—
3	12.7	15.9	18.2	10.8	7.0	8.3
4	17.2	19.7	28.8	42.8	53.5	66.7
5	22.0	24.5	28.6	44.0	39.5	25.0
6	18.9	19.3	18.4	2.4	—	—
7	10.2	6.3	—	—	—	—
8	0.5	—	—	—	—	—

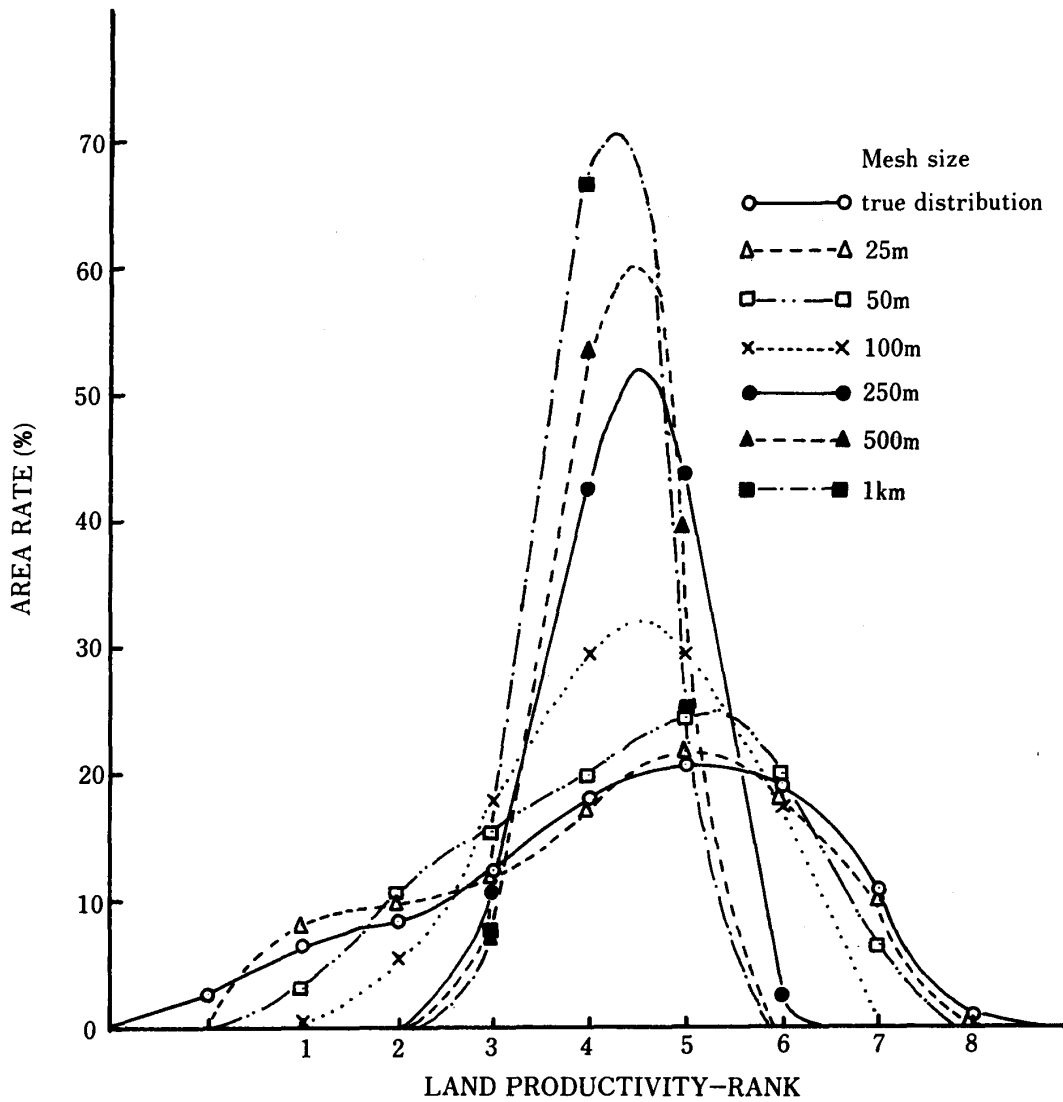


Fig. 2-4. Area rate of land productivity-rank on each mesh size.

図 2-4. メッシュサイズ別の林地生産力ランクの面積割合

Table 2-4 Fidelity test of distribution

表 2-4 分布の適合度検定

$\chi^2$ /mesh size	25m	50m	100m	250m	500m	1 km
$\chi^2$	0.6	8.3	26.1 <sup>**</sup>	97.6 <sup>**</sup>	88.6 <sup>**</sup>	157.6 <sup>**</sup>
df	7	6	5	3	2	2
$\chi^2$ (.05)	14.07	12.59	11.07	7.82	5.99	5.99
$\chi^2$ (.01)	18.48	16.81	15.09	11.34	9.21	9.21

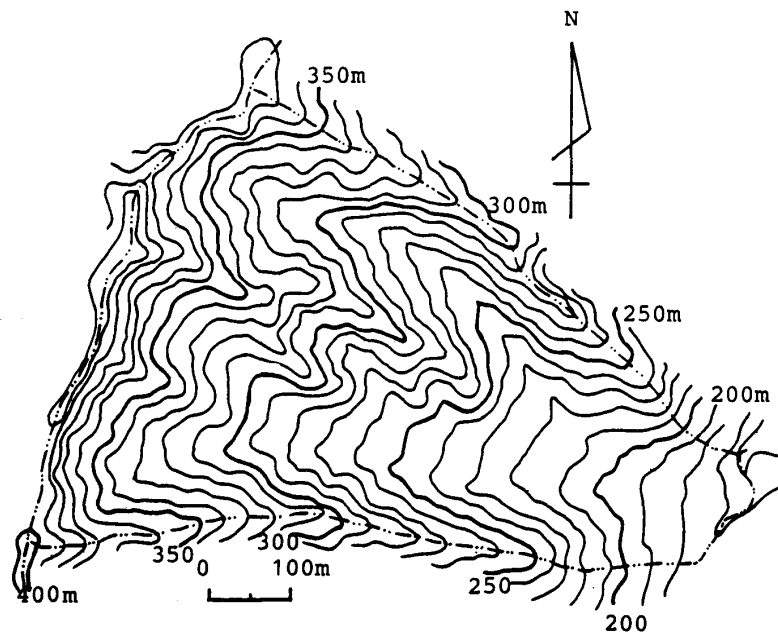


Fig. 2-5(a). Basic map of the unit area(3).

図 2-5(a). 単位 (3) の基本図

に先立ち、対象地域の分布の解析の単位として、明確な地形界（尾根）で区分できる集水域を用いた。これらを単位とすると対象流域は各单位内の生産力ランクの出現パターンによって大きく3つに区分でき、それぞれのパターンの中から代表単位として1単位ずつを選定した。選定された各单位の基本図および林地生産力の分布図を Fig.2-5(a)~7(b)に示す。また各单位の特徴を Table 2-5 に示す。

(A)のパターンは開析がかなり進んでおり、そのため地形が急峻で水系のパターンも複雑であり、したがって生産力分布図が3単位中最も複雑である。ただし、単位上部には、かなりの割合の緩斜面が存在する。(3)のパターンもかなり開析が進んでいるが、その成り立ちは(A)と対照的であり、下部に広い緩斜面を持つ。(口)は、前の2つとは非常に異なり、斜面上部では多少開析がみられるものの全体的には開析があまり進んでおらず、地形が平坦でほとんど緩斜面からなる。

以上の3パターンが生産力分布図 ( Fig.2-5(b), 2-6(b), 2-7(b) ) から、生産力別の面積割合を求めた。ただし、面積割合は正確を期すためにメッシュ法ではなく、直接面積を測定しそれから面積割合を算出した。各パターンから得られた生産力別面積割合をそれぞれ、 Fig.2-8 に示す。図から明らかなように、(A)のパターンの分布図では、極大値が2つある特異な分布を呈しており、地域

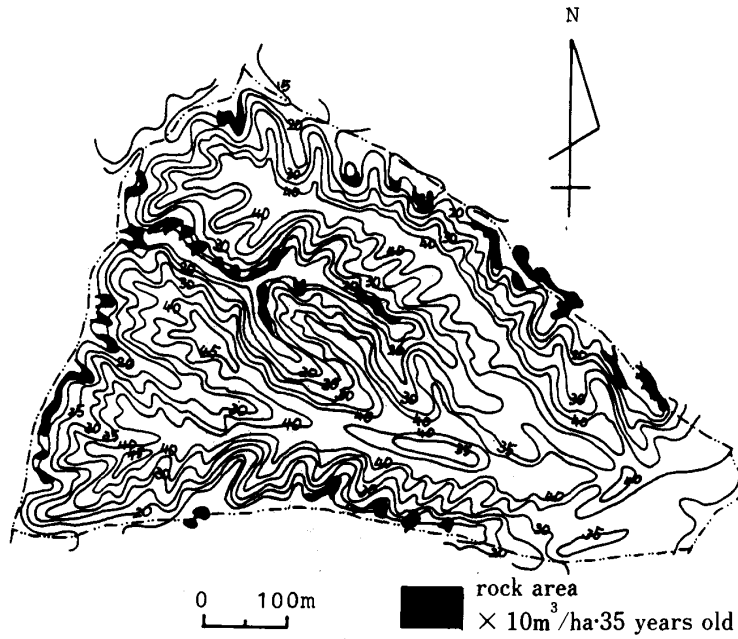


Fig. 2-5(b). Distribution of land productivity on the unit area(3).  
図 2-5(b). 単位 (3) の林地生産力分布図

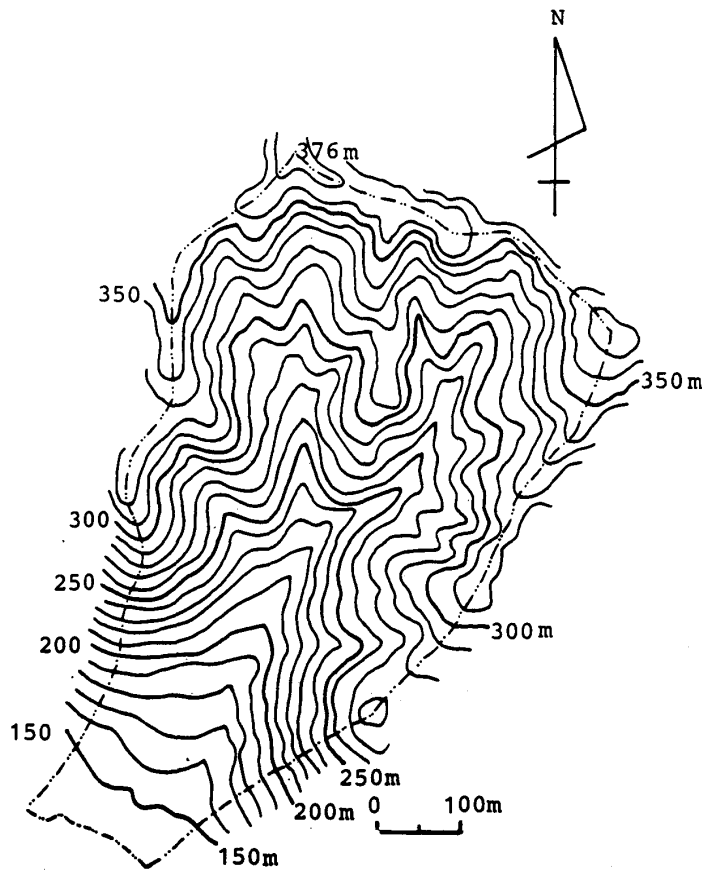


Fig. 2-6(a). Basic map of the unit area(A).  
図 2-6(a). 単位 (A) の基本図



Fig. 2-6(b). Distribution of land productivity on the unit area(A).  
 図 2-6(b). 単位 (A) の林地生産力分布図

内が性質の異なる集団で形成されていると想像できる。(3)のパターンの分布図は、極大値が一つ比較滑らかなもので等質の集団と見なす事もできる。しかし、1～3ランク部分の分布図の状態は、上に凸であり、地位の低い所で異質性が窺われる。(ロ)のパターンの分布図でも極大値が一つであるが、(3)のパターンとは逆に、生産力の高い所での異質性が窺われる。このように、パターンにより非常にその分布様式が異なっている。それとは対照的に、各パターンの代表単位に隣接する流域の生産力別面積割合は、非常に似かよった分布を示している。

このように、生産力別の面積割合はその基礎となる地形の構成状態との間に密接な関係が認められる。したがって、その構成状態を決定付ける因子を把握する事によって、対象地域を等質の集団に区分する事ができよう。これに関して、前出の3つの単位の地形の特徴と其中的生産力別面積割合の分布には次の関係が認められる。

- 1) (3)の下部にある緩斜面に、生産力ランクの高い所が集中している。
- 2) (A)の上部(分水嶺)の緩斜面に、生産力ランクの低い所が集中している。

この事から、単位を構成する斜面の性質がかなり分布と関係が深いように見える。ただし、斜面の性質といっても単に斜面の傾斜角や形といった外面的なものでなく、もっと根本的な斜面の形成時期、形成過程、構成物質および構造等の要因の違いによって生ずる性質であり(ただし、実際の斜面区分

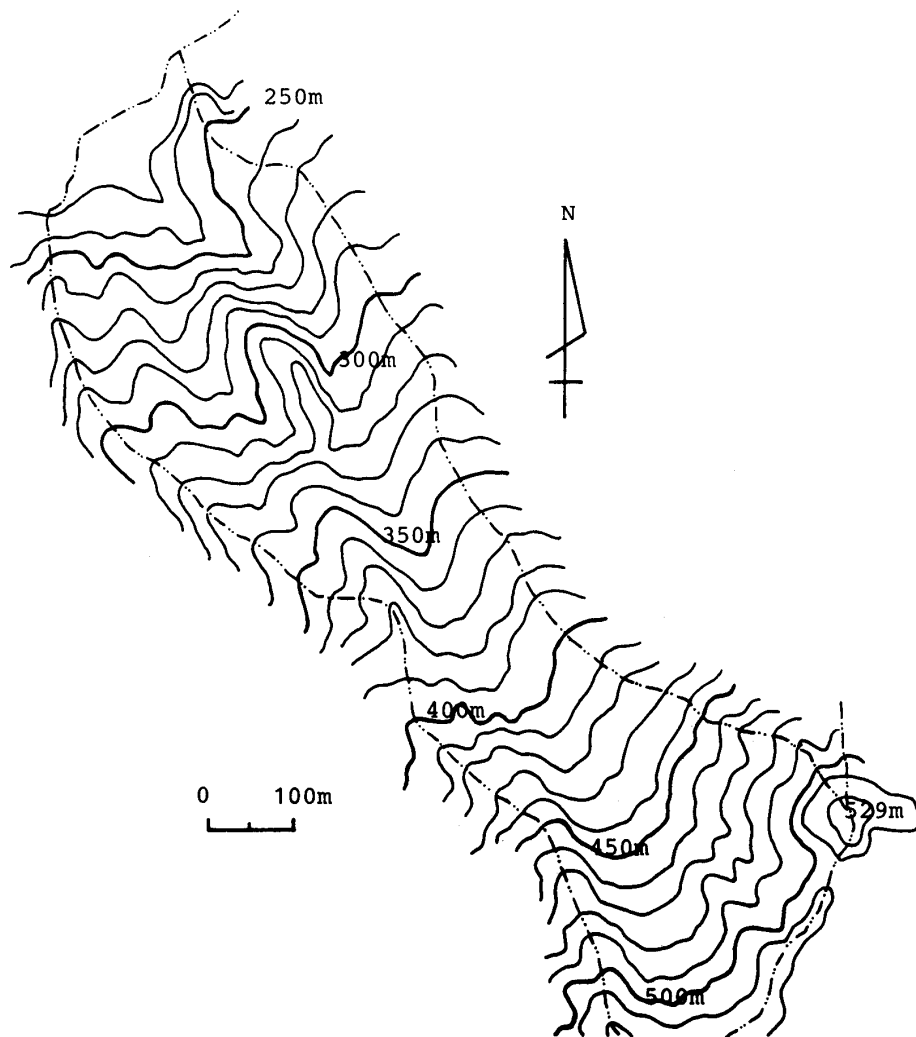


Fig. 2-7(a). Basic map of the unit area(口).

図 2-7(a). 単位(口)の基本図

は根本的な性質を踏まえたうえで最終的には傾斜角などで区分する事になる), それらは, 林木を取巻く水分条件, 特に降雨後の水分の集積に深くかかわっている。これからの斜面の性質は, 地形の変化現象の結果形成されたも<sup>32)</sup>のであり, 異なった性質を持つ斜面の境界は, 地形の形態的不連続線として地形上に表われている<sup>19)</sup>。その形態的不連続線とは, 相対的に古い地形に崩壊・山崩れ等の塊状侵食が入る過程で, その下部に新しい斜面が形成される事になるが, その時, 古い元の斜面と新しい開析斜面の境に形成される傾斜変換線が第1の不連続線である。第2の不連続線は, 上部斜面の侵食等によって生成された岩や砂れきが水などの力により運搬・移動が行われ, それらが斜面下部で堆積して新しい緩斜面が形成されるが, その緩斜面と上部斜面との境界に形成される傾斜変換線がその不連続線である。このように, 一般的には山地の斜面はその性質から上下2本の傾斜変換線で

- 1) 相対的に古い開析以前の地形をとどめる上部傾斜変換線より上の残積系の緩斜面
- 2) 新しく形成された匍行系の斜面
- 3) 斜面下部に形成される運積系の緩斜面 (傾斜角  $20^\circ$  以下)

Table 2-5 Elements of unit area  
表 2-5 単位の特徴

items	unit area		
	(A)	(3)	(口)
effective relief (m)	82	73	65
dimension valley	4	3	3
length of stream per ha (m/ha)	163	189	—
area rate of gently surface (%)	15	20	16
area rate of non-erosion surface (%)	22	4	—
transformation zone	○	○	×

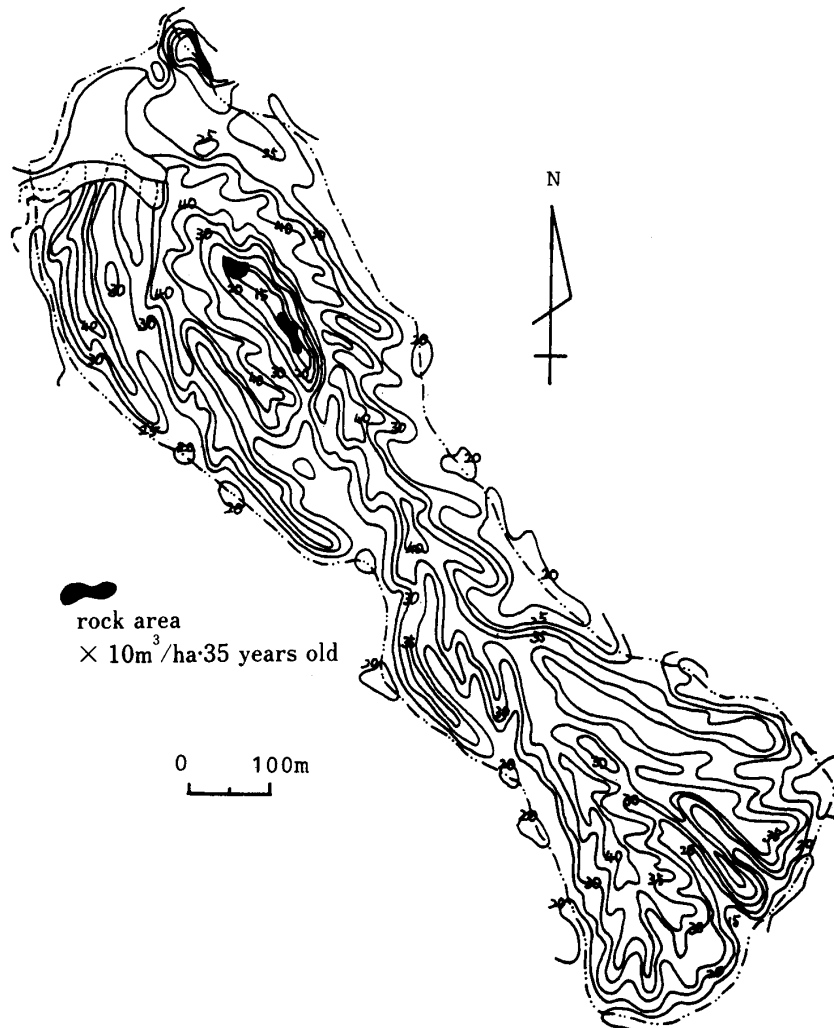


Fig. 2-7(b). Distribution of land productivity on the unit area (口).  
図 2-7(b). 単位 (口) の林地生産力分布図



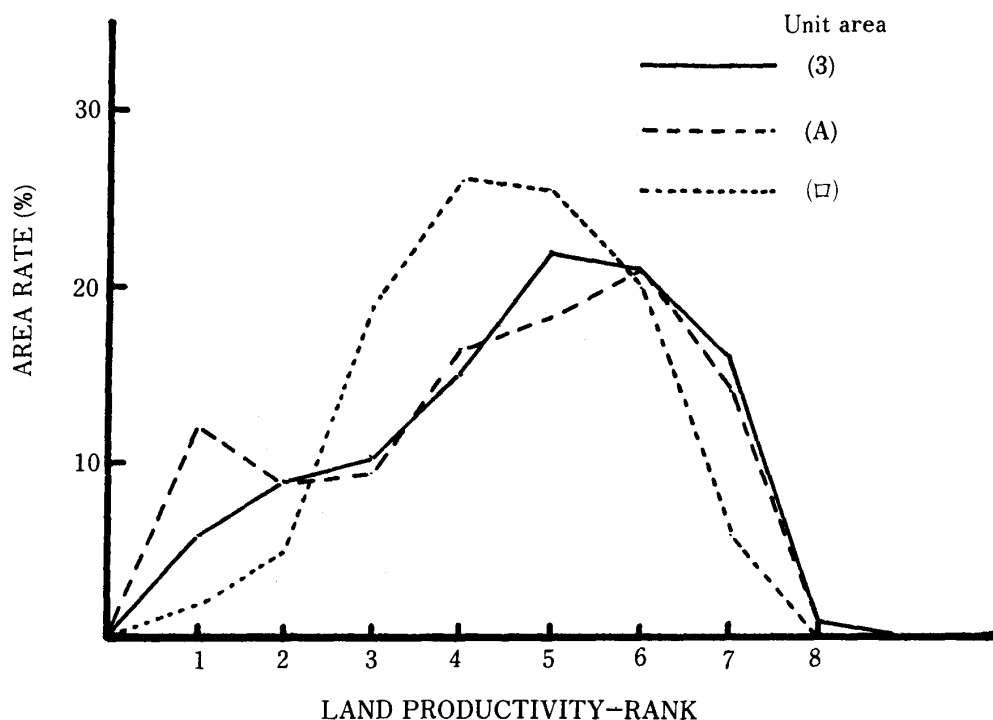


Fig. 2-8. Area rate of land productivity-rank on each unit area

図 2-8. 単位ごとの林地生産力ランクの面積割合

の少なくとも3斜面に区分できる。

原則的には、この3斜面が組合わされた形で全体の斜面が形成されていると考えられるが、対象流域の生成過程によりそれぞれの斜面の割合が異なり、結果として生産力別面積割合が決定されていると考えられる。したがって、前出の3つのパターン流域もこの原則に従って斜面が構成されていると考えられるので、各流域に対して上記の3種の斜面区分を行った。その結果を Fig.2-9(a)~(c)に示す。また各单位で区分された斜面の面積割合を Table 2-6 に示す。

各单位内の3斜面の面積割合は、かなり異なっており、特に(口)には上部の傾斜変換線が認められず、また(3)と(A)とでは残積系斜面と運積系斜面の割合が逆転している。これは、林地生産力ランク別の分布に影響を与えていると考えられるので、前出の Fig.2-8(a)~(c)を参考にし、再び対象流域の林地生産力ランク別の面積割合を各斜面に区分して算出した。その結果を Table 2-7 と Fig.2-10 に示す。

(A)の極大値を2つ持つ分布 ( Fig.2-8(b) ) は、 Fig.2-10(b)に示す3つのほぼ等質と考える分布に区分することができた。(3)の分布 ( Fig.2-8(a) ) も、問題とされていた地位の低いランクの分析が残積系の斜面で区分され、(A)同様ほぼ等質と考える3つの集団に区分する事ができた。(口)の分布は、(3)の分析とは逆に地位の高いランクの分布が運積系の斜面として区分され相異なる2つの等質集団に区分する事ができた。ただし、斜面区分でほぼ等質集団になった生産力の分布は、決して正規分布ではなく斜面の状態ではみずみの度合ととがりの度合<sup>24)</sup>が異なっている。その値を Table 2-8 に示す。残積系の斜面の分布が(A)、(3)ともに右側に裾を引く正規分布に近いのに対して、残りの分布は左右対称からすこし左側に裾を引き、中央が偏平な分布を示しており、各斜面の特色が窺われる。

以上のように、林地生産力の分布構造は流域等の明確な地形界で区分された地域を対象とするとき、

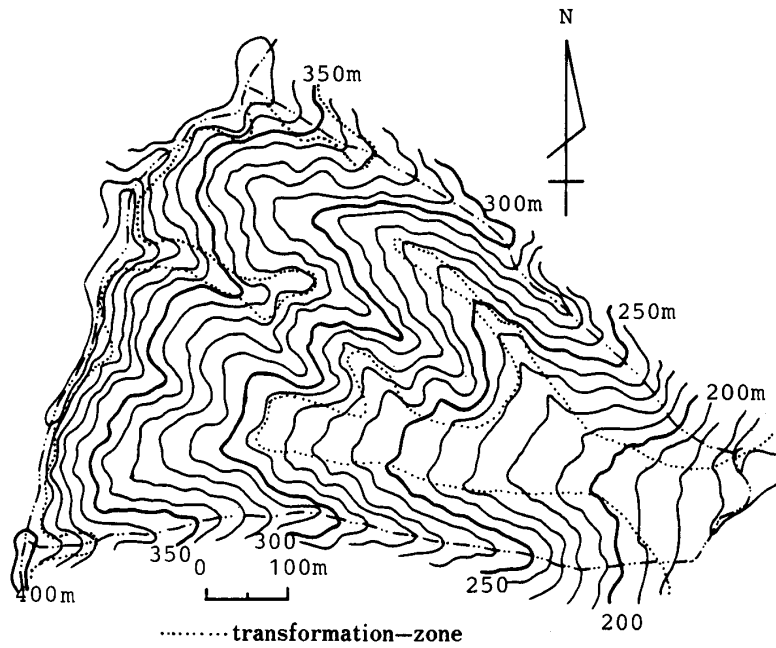


Fig. 2-9(a). Division of unit surface on the unit area(3).

図 2-9(a). 単位 (3) の斜面区分

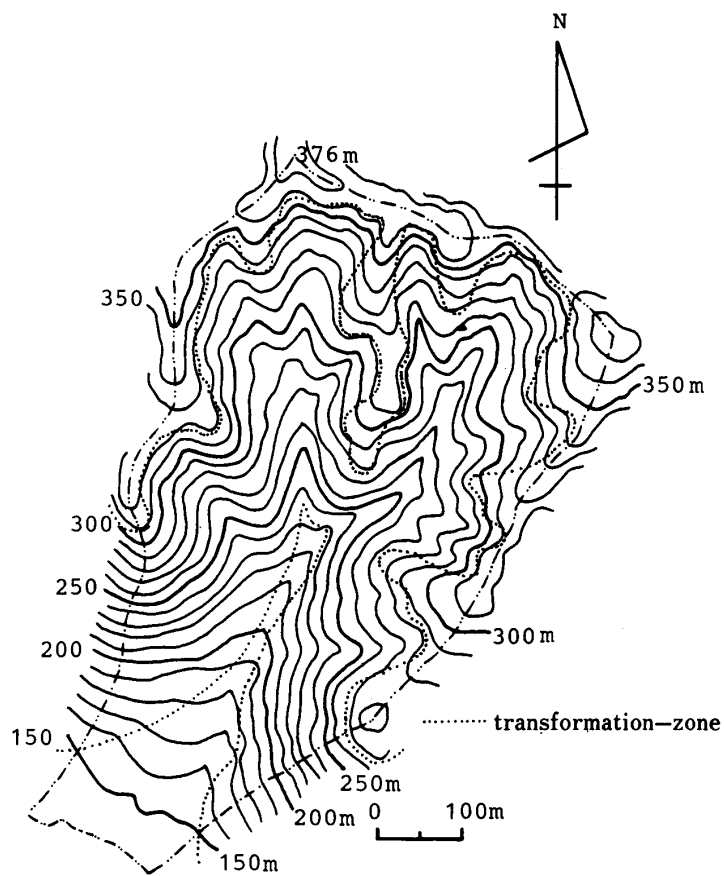


Fig. 2-9(b). Division of unit surface on the unit area(A).

図 2-9(b). 単位 (A) の斜面区分

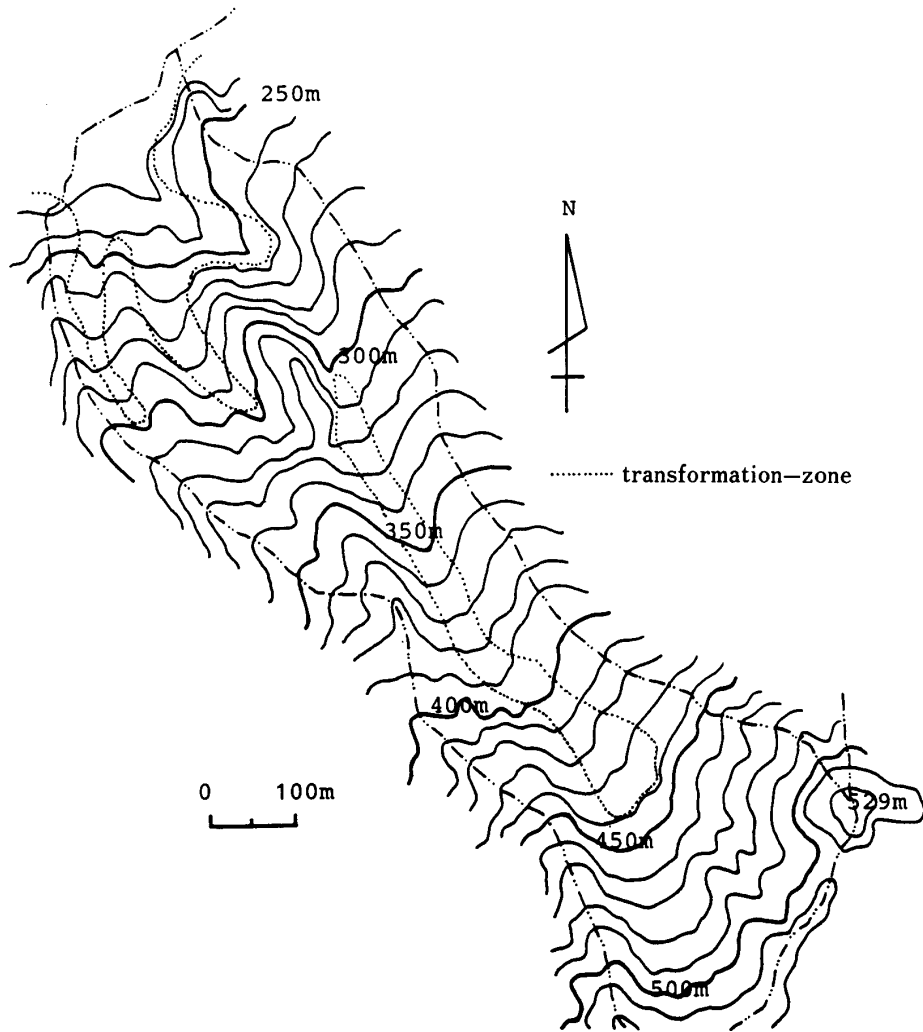


Fig. 2-9(c). Division of unit surface on the unit area(口).

図 2-9(c). 単位 (口) の斜面区分

Table 2-6 Area rate of unit slope on each unit area

表 2-6 斜面別の面積割合 (%)

unit area\slope	non-erosion surface	erosion surface	deposition surface
(3)	4	77	19
(A)	23	62	15
(口)	—	84	16

Table 2-7 Area rate of land productivity on each surface (%)  
 表 2-7 斜面別の林地生産力ランクの面積割合 (%)

unit area	rank	non-erosion surface	erosion surface	deposition surface	total
(3)	1	1.9	4.4		6.3
	2	1.4	7.4		8.8
	3	.2	10.5		10.7
	4		15.5		15.5
	5		15.9	6.0	21.9
	6		14.4	6.7	21.1
	7		6.8	8.7	15.5
	8		.2		.2
					100.0
(A)	1	10.9	1.0		11.9
	2	6.6	2.5		9.1
	3	3.3	5.5	.6	9.4
	4	2.3	12.7	1.3	16.3
	5		16.4	2.2	18.6
	6		16.4	4.5	20.9
	7		6.0	7.8	13.8
	8				
					100.0
(口)	1	1.7			1.7
	2	5.4			5.4
	3	19.2			19.2
	4	22.6	2.8		25.4
	5	18.1	4.6		22.7
	6	13.8	6.4		20.2
	7	2.7	2.7		5.4
	8				
					100.0

Table 2-8 Statistics of distribution on each surface  
 表 2-8 斜面別のひずみ (s) ととがり (k) の値

unit area	statistics	non-erosion surface	erosion surface	deposition surface
(3)	skewness	.75	-.27	-.24
	kurtosis	2.31	.81	.52
(A)	skewness	.88	-.56	-1.11
	kurtosis	2.39	.69	.22
(口)	skewness		-.04	-.15
	kurtosis		1.14	.89

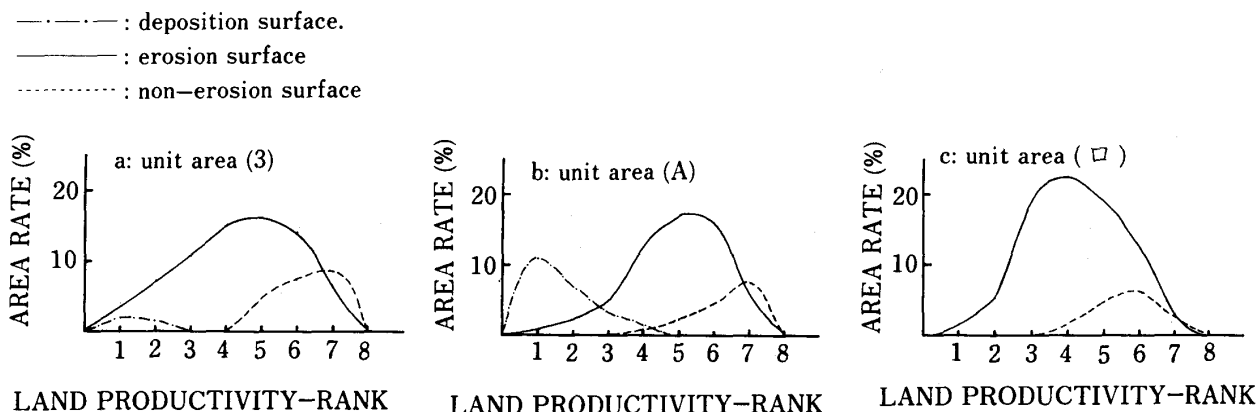


Fig. 2-10. Area rate of land productivity-rank on each unit surface.

図 2-10. 斜面別の林地生産ランクの面積割合

その地域を構成する斜面の性質で最大3つに区分する事ができ、さらに各斜面の中ではほぼ等質と見る事ができるため、対象地域全体の林地生産力の分布は、これらの斜面の構成割合によって決定されているといえる。

(4) ま と め

対象母集団の分布を推定する場合ならびに質的性質を利用して統計的な解析を行う場合、対象として取扱うデータの性質により統計的解析および推定の精度が著しく低下する事に端を発して、日常我々が取扱っている林業経営におけるデータの性質（母集団の等・異質性）について検討を行った。特に、林業経営で取扱うデータの中でも、最も大切な林木の生長から見た同齡林分の等質性と広範な地域における林生産力の分布の等質性について検討を行った。その結果、下記の事が明らかになった。

(1) 1小班を構成する同齡林分内の10m×10mのプロットを単位とする上層木平均樹高の分布は、非常にいびつな分布であり、決して等質の集団で構成されている訳ではない。( Fig.2 - 1 )

(2) 林地生産力の分布をメッシュ法（用いるデータは交点の値ではなくメッシュ内の平均値）で管理する場合の最大メッシュサイズは50m程度である。( Fig.2 - 1, Table 2 - 4 )

(3) 流域等の林地生産力の分布パターンは、その中の小流域を単位をした時、その単位の形成過程により非常に異なり、さらにそれらの単位の内部は異質な集団で構成されており、決して等質ではない。( Fig.2 - 5(b)~ 7(b))

(4) 単位内の異質性は、それを構成する斜面の形成・構造的性質で生じており、各斜面内ではほぼ林地生産力の分布は斉一である。

(5) 小流域の単位を構成する基本的な斜面とは、相対的に古い地形をとどめる上部変換線より上の残積系の緩斜面、開析により新しく形成された匍行系の斜面、上部斜面の侵食で発生した砂れきが水力等により運搬・堆積し形成された運積系の緩斜面の3斜面である。

(6) 各斜面内の林地生産力ランクの分布は、必ずしも正規分布ではなく、斜面の性質によりひずみの度合ととがりの度合がかなり異なっている。( Fig.2 - 10 )

(7) 残積系の緩斜面内での林地生産力ランクの分布は、右側にすそを引く正規分布に近い分布であるのに対して、匍行系と運積系の斜面は左右対称からすこし左側にすそを引き、中央の偏平な分布をしている。( Fig.2 - 8 )

### 3. 林分構造と立地区分の関係

#### (1) 対象地域の概況

##### (a) 対象地域の位置と気候

対象は、鹿児島大学農学部高隈演習林（鹿児島県垂水市海潟）の17林班ぬ小班である錦江湾に注ぐ佛石川流域に属し、その分水嶺に近い北西斜面に位置している。

本地域の気候については、高隈演習林で継続的に気温、降水量を測定している。それによれば、年平均気温が14.6度、年平均降水量は2646mmであり、空中湿度が非常に高く、供給面だけから見た水分条件は、林木の生育に適した気候であるといえる。参考までに、気温、降水量それぞれについて月別の値をTable 3-1に示す。なお、統計期間は1924年から1956年である。

Table 3-1 Monthly distribution of temperature in °C and precipitation in mm in Takakuma experimental forest

表3-1 月別平均気温(°C)

(1924—1943)

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Mean annual
Mean	4.3	5.2	8.5	13.4	17.6	19.9	23.9	24.1	21.6	16.7	11.9	7.7	14.6

降水量(mm)

(1924—1943, 1955—1956)

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Mean	76.2	124.0	172.3	212.5	292.6	422.0	387.8	340.2	285.5	143.0	92.4	97.5	2,646.0
Maximum	85.5	229.2	345.9	550.5	961.1	1032.5	872.8	928.5	644.4	669.0	200.9	354.5	3,680.1
Minimum	34.7	39.0	47.3	83.0	63.8	139.5	31.7	13.4	51.8	36.0	15.6	13.0	1,538.3

##### (b) 対象地域および高隈演習林の地質・地形

対象地の属する高隈演習林は、大きく3つの地層群にわけることができる<sup>10)</sup>。1つは、四万十層群、2つめは始良火山大隈軽石・降下軽石層群、最後は、古期花こう岩質の地層群である。対象地域はこの中でも最初の四万十層群に属している。また、対象地域を含めて斜面の表層には桜島火山放出物（軽石）が広く推積しており、一部には非常に厚く推積している。地形的には、高隈演習林そのものが始良カルデラの東方の内壁及びそれに連続する山頂緩斜面からなる。したがって、カルデラ内壁にあたる高隈演習林西部は、非常に地形が急峻であるが、一方同演習林東部から南東部は、前出の山頂緩斜面の緩い斜面からなる地形であり、対照的な地形を呈している。対象地域は山頂緩斜面付近に位置しており、相対的に緩頂斜からなる。

#### (2) 調査地の概況

##### (a) 調査地の地形および林況

調査地は、Fig. 3-1に示すように中央部に凹型の斜面、その周囲に山頂緩斜面を有する面積約3.0haの区域で、標高は550m～620mである。

調査当時（1981年）、調査地内には55年生のスギ人工林があり、その林分のhaあたりの材積は

約  $380\text{m}^3$  であった。対象地内の材木の生育状況には、非常な相違があり、山頂緩斜面の付近では、ほぼ植栽当時の立木本数でうっぺいしない状態であるが、凹型斜面下部では樹高が  $30\text{m}$  にも達している。

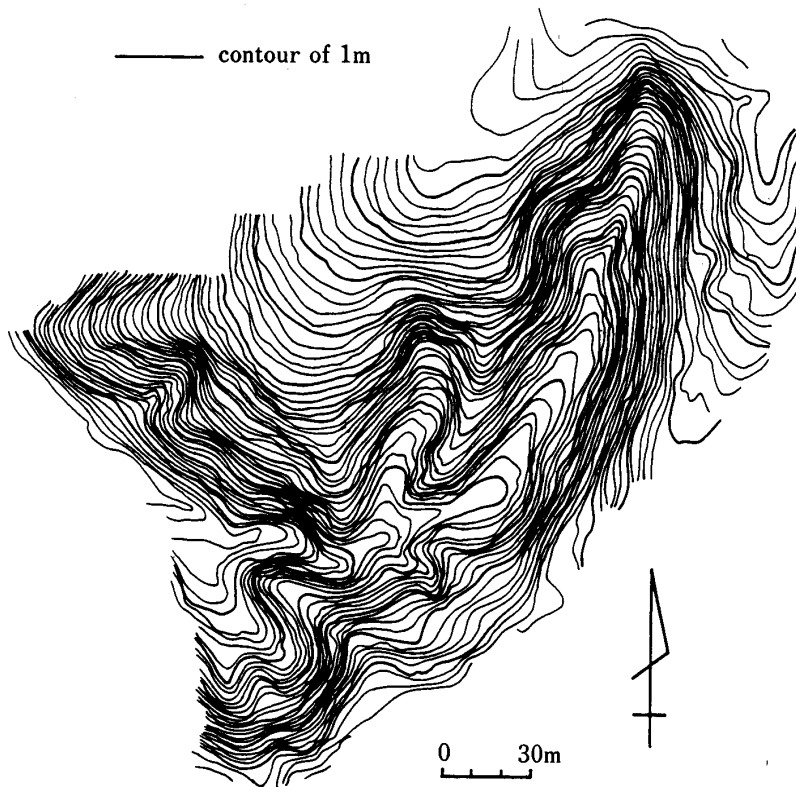


Fig. 3-1. Topographical contour map on the experimental area.

図 3-1. 調査地の地形図

#### (b) 林分調査と地形調査

林分調査は、対象地全体を  $10\text{m} \times 10\text{m}$  の方形の区画に分割し、その区画ごとに毎木調査を行った。直径は直径テープで  $0.1\text{cm}$  括約で、樹高は測桿を用いて  $0.5\text{m}$  括約で測定した。

一方、地形調査は林分調査に先立って設定した方形区画の相対標高をコンパスで測定しそれを骨格標高とし、さらに斜面縦断測量を行い、Fig. 3-1 を作成した。

#### (c) 調査地の立地区分

地形調査で得た地形図をもとに立地区分を試みた。

まず、調査地内の傾斜角の分布を求めた。傾斜角 ( $\alpha$ ) は、斜面の等高線から読みとれる高低差 ( $h$ ) と水平距離 ( $l$ ) の間で次式が成立している。

$$\alpha = \tan^{-1}(h/l)$$

したがって、この式から傾斜角を求め、その等しいところを結んで等傾斜線図を作成した (Fig. 3-2)。

調査対象地の傾斜角は  $5^\circ \sim 50^\circ$  の範囲であり、その分布は、緩い傾斜角がまだ開析の進んでいな

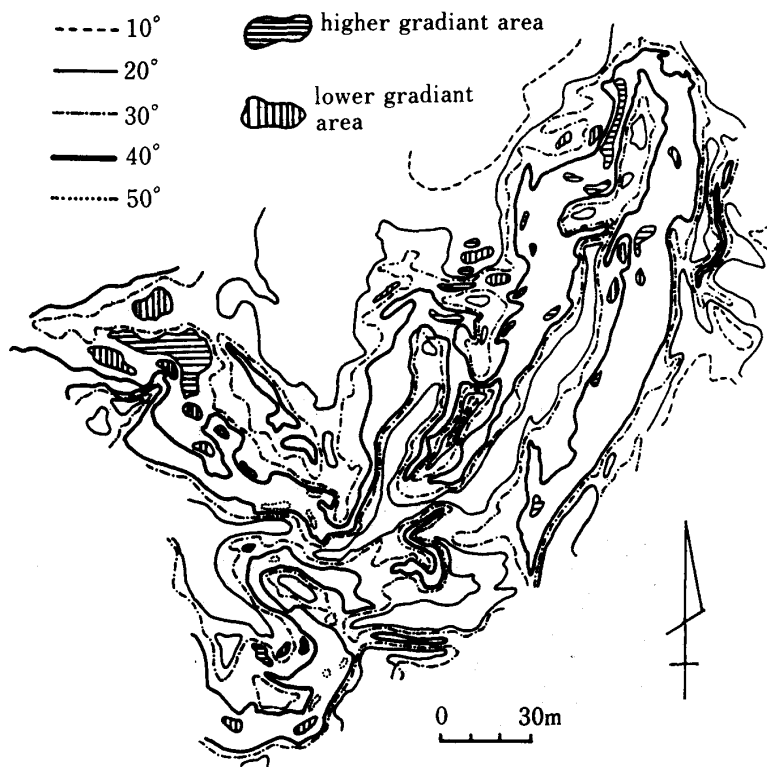


Fig. 3-2. Distribution of gradient on the experimental area.

図 3-2. 調査地の傾斜角の分布

い北部の斜面大部に分布し、一方急な傾斜角は比較的新しい開析斜面にその分布が認められるが、その変化の様式から対象地域の斜面は、複合的な斜面であると判断できる。斜面が複合的な場合、その斜面の縦断面に垂直的な凹凸が見られるので、その分布を求めた。凹凸の程度は、曲率半径（ $R$ ）を指標にしてあらわした。その曲率半径（ $R$ ）は、次式から求めた。

$$R = l/2 \times \sin((\alpha - \beta)/2) \times \cos((\alpha + \beta)/2)$$

ここで $\alpha$ 、 $\beta$ は一本の流線上の2点A、Bを考えた時、A、Bそれぞれの地点での傾斜角であり、 $l$ はAB間の水平投影距離である。

これらから求められた調査地の垂直的な断面方向の凹凸の分布図を Fig. 3-3 に示す。

ここで曲率半径の区分は以下の通りである。

- (1) 著しい凸斜面：曲率半径が正で 25m 以下
- (2) 凸斜面：曲率半径が正で 25m ~ 100m
- (3) 直線斜面：曲率半径が 100m 以上
- (4) 凹斜面：曲率半径が負で - 25m ~ - 100m
- (5) 著しい凹斜面：曲率半径が負で - 25m 以上

調査地内の凸凹斜面の分布は、凹が 15%、凸が 30%、直線斜面が 55% で、全体としては直線斜面的要素が強かった。この斜面の垂直方向の凹凸は、前述したように複合斜面に見られるもので、特に著しい凸形斜面は凸形変換線（帯）<sup>30)</sup>といわれ、斜面の生成年代または方向が異なる斜面が接する時生ずるものとされ、斜面区分の目安となる。そこでこの著しい凸形斜面をもとに単位斜面の区分を行



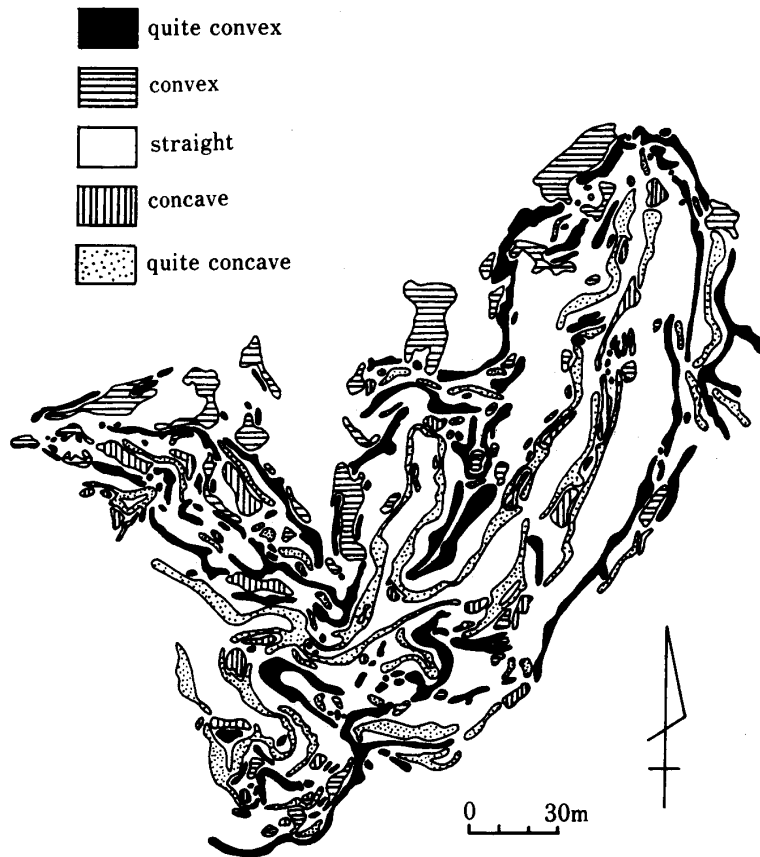


Fig. 3-3. Distribution of types of slope in longitudinal section.

図 3-3 斜面垂直方向における凹凸の分布

い、それを Fig. 3-4 に示した。全体で 35 の単位斜面に区分することができた。東部の斜面が 2～3 回の開析で斜面が形成されているのに比べて西南部の斜面は 3～4 回の開析で斜面が形成されより複雑な様相を呈している。

各単位斜面内では、それに属する斜面の成立時期が同じであると考えられるが、その内部構造つまり堆積様式は、異なっているというのが前提であるとされている。したがって単位斜面内の堆積区分を行うことにし、それに先立ち、全体の堆積区分を再度現地調査を行い実施した。その結果、次の堆積様式が出現した。

- (1) 残積土：土壌が移動堆積したのでなく、元の母材の位置において土壌生成が行われ、そこに止まって堆積しているもの。(調査地の尾根部の凸形斜面に多く分布)
- (2) 尾根性緩：過去は堆積斜面であったが、現在は、その斜面下部に開析が加わり、残積土的様相を呈している傾斜角が  $25^\circ$  以下の緩斜面。(調査地東部の直線—凸形斜面に分布)
- (3) 谷性緩：過去は、押出しであったと想像される場所であるが、その後斜面下部に開析が起こり、押出的要素が減少しているもの。(調査地南部の尾根部付近の凹形—直線斜面に分布)
- (4) 残積性匍行土：土壌物質の他からの供給が期待される残積性の強い匍行土、傾斜変換線の下部に

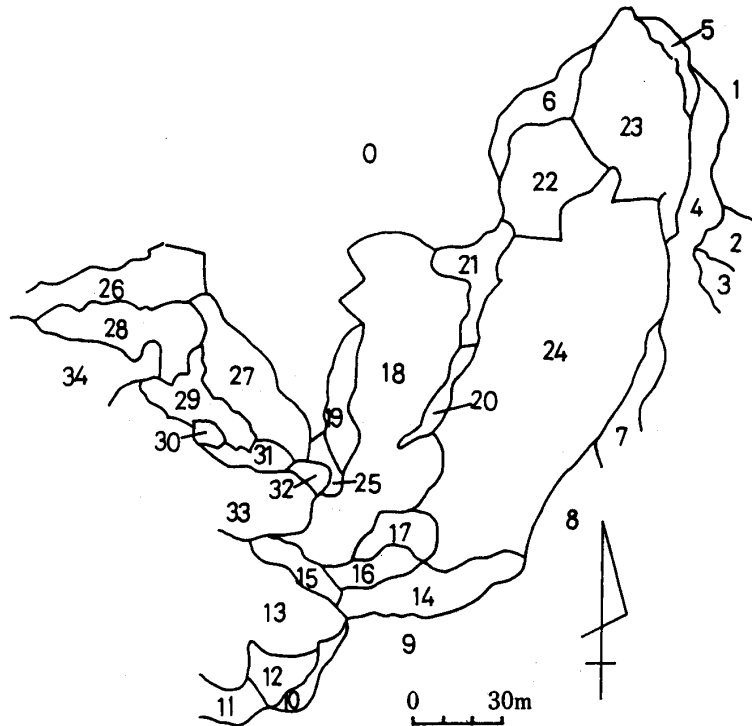


Fig. 3-4. Division of unit slope.

図 3-4. 単位斜面の区分

多く分布する。(残積土およびその性格の強い緩傾斜匍行土に接して分布)

- (5) 急峻匍行土：土壌物質の供給と流出がほぼ平衡状態にあるもの。ただし、その傾斜角が40度以上と急峻である。(北部の直線—凹形斜面に分布)
- (6) 匍行土：物質の供給と流出が平衡状態にあるもの。(調査地内の直線—凹形斜面にかなり広く分布)
- (7) 崩積性匍行土：本来、崩積土であるが、それが匍行土化をしているもので、匍行土的要素の強いもの。(調査地内の分布は少ない)
- (8) 匍行性崩積土：本来、崩積土であり、現在は匍行土化しているが、依然として崩積土的要素の強いもの。(崩積性匍行土同様、この調査地での分布は少ない)
- (9) 崩積土：上部からの土壌の供給により出来た堆積土。(調査地内でもかなりの範囲にわたり分布する)
- (10) 押し出し：水等の媒体により運ばれ、再堆積した堆積土。(調査地中央の各部に、かなり広い範囲で分布する)

以上の堆積様式の分布を Fig. 3-5, さらに単位斜面区分と合わせて図示したものが Fig. 3-6 である。Fig. 3-6 での堆積様式の不完全なパターンや堆積様式の乱れは、すべて単位斜面の接合部に集中していることがわかる。しかし Fig. 3-6 のように単位斜面の中に堆積様式を見ると、系統的に表われており<sup>30)</sup>、逆にこの堆積様式により単位斜面を細分することができ、この区分された区域が立地的には最小の単位である。この最小の単位は単位立地区であり、全体は126の単位立地

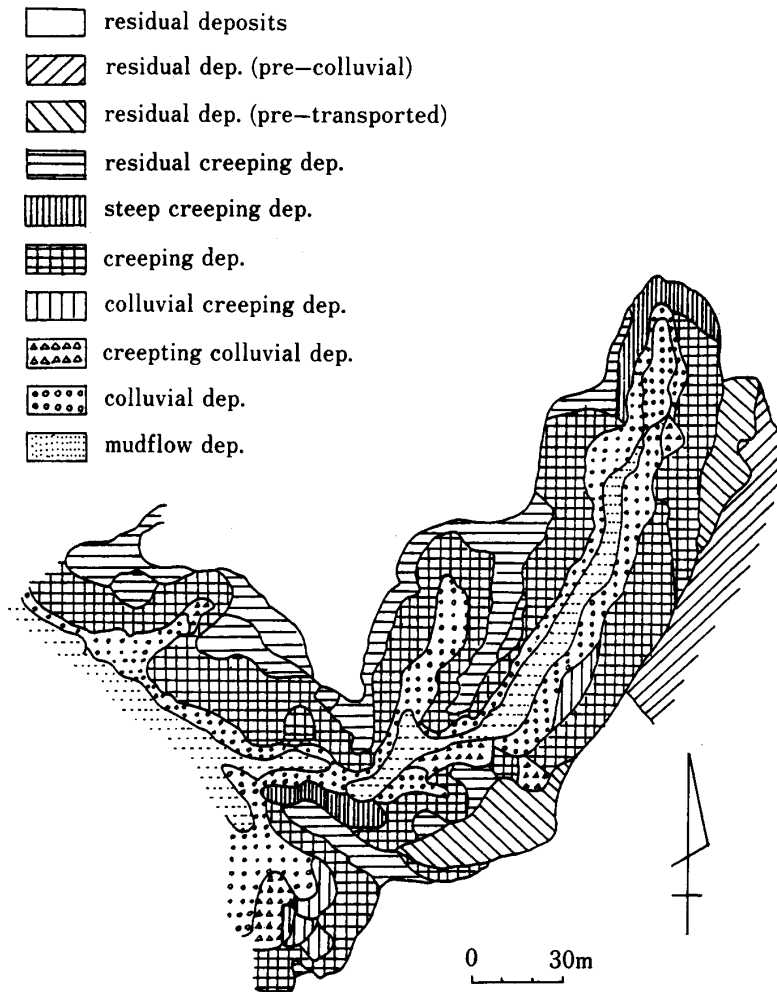


Fig. 3-5. Division of types of deposits  
 図 3-5. 堆積様式の区分

区に区分された。各单位立地区の要素を Table 3-2 に示す。

(3) 林分構造と立地区分の関係

(a) 調査地全体の林分構造

前述の林分調査によって得られた全体の林分の直径階別本数と樹高階別本数をそれぞれ Fig. 3-7 と Fig. 3-8 に示す。両図からわかるように、直径分布は極大値が一つで正規分布より集中度が高く、分布幅が狭い分布を示しているが、樹高分布は、10m と 14m で極大値を持つ分布である。これは、樹高が持つ密度の影響をあまり受けずに、その林木の位置する立地条件に対応して生育する性質から見て、明らかに調査地は異なる立地条件の領域により構成されていると考えられる。

(b) 単位斜面内の林分構造

調査地の斜面は、前出 ( Fig. 3-5 ) のように、その斜面の生成過程から 35 の単位斜面に分割する出が出来た。竹下<sup>31)</sup>は、この単位斜面、正確には傾斜変換線 (帯) が立地に非常に大きな影響がある事を指摘している。したがって、ここでも、傾斜変換線により樹高の変化ひいては林分構造の変化が起こっていると考えられる。そこで、調査地内で傾斜変換線を含む 4 ブロックを設定し、その

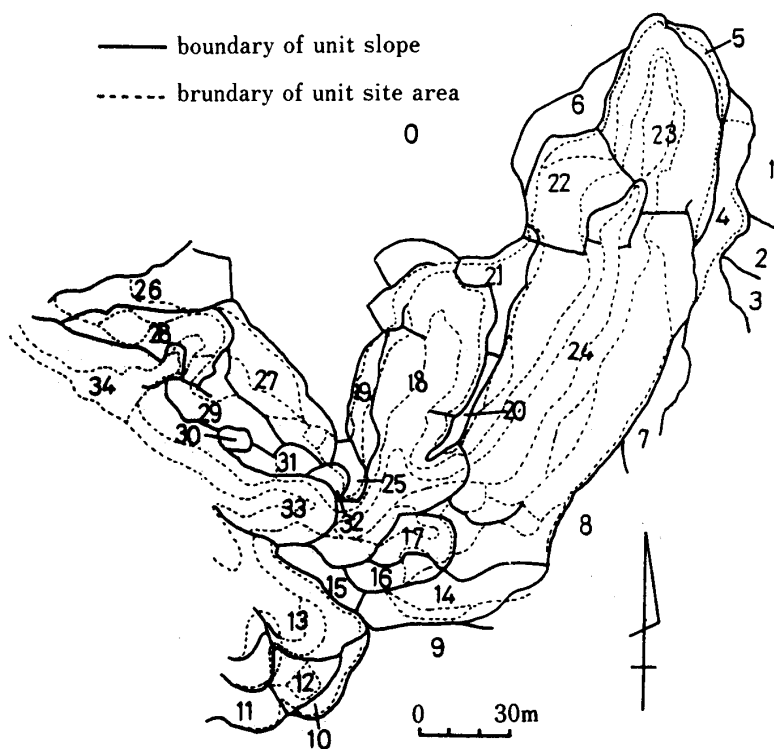


Fig. 3-6. Division of unit site area.

図 3-6. 単位立地区の区分

Table 3-2 Elements of the unit site area

表 3-2 単位立地区の要素一覧表

unit slope No.	unit site area No.	deposit	gradient (degree)	mean upper-tree height (m)	area (m <sup>2</sup> )
0	82	(A)残積	17	12.0	—
	53	〃	18	11.0	—
1	98	(D)尾緩	13	15.5	—
2	99	〃	11	15.5	—
3	100	〃	9	16.5	—
4	101	〃	8	17.0	—
	102	(E)谷緩	18	16.8	500
	103	(A)残積	24	13.5	81
5	107	(B)残匍	43	15.0	99
	104	(A)残積	15	14.0	80
6	90	〃	27	12.0	474
7	109	(D)尾緩	27	15.5	—
8	110	(A)残積	11	14.0	—
9	1	〃	18	15.0	—
10	6	(C)匍行	38	17.0	128
	5	(A)残積	27	13.0	40
11	4	(C)匍行	38	22.0	—
	3	〃	40	17.0	7
	2	(A)残積	24	13.0	8

unit slope No.	unit site area No.	deposit	gradiant (degree)	mean upper-tree height (m)	area (m <sup>2</sup> )
12	9	(H)崩匍	39	—	77
	10	〃	22	25.0	67
	11	〃	21	23.0	39
	8	(C)匍行	40	21.0	118
	7	(B)残匍	38	14.5	10
13	20	(J)押出	8	26.0	—
	12	(H)崩匍	34	27.0	—
	14	〃	34	24.5	62
	17	〃	34	25.5	163
	18	〃	34	—	25
	19	〃	40	—	23
	16	(C)匍行	39	23.5	433
	15	(B)残匍	34	19.5	52
	14	80	(E)谷緩	15	20.0
14	81	(C)匍行	34	19.0	97
	79	(B)残匍	30	17.5	137
	72	〃	22	21.0	246
15	72	〃	22	21.0	246
16	77	(C)匍行	40	19.5	138
	76	(B)残匍	28	21.5	73
17	73	(I)崩積	18	22.0	56
	74	(C)匍行	34	22.5	255
	75	(B)残匍	29	16.0	20
18	67	(J)押出	11	23.3	294
	69	(I)崩積	28	23.5	94
	66	〃	17	19.5	761
	68	(G)匍崩	34	22.5	120
	70	(F)急匍	43	22.5	173
	65	(C)匍行	40	18.0	156
	64	〃	38	17.2	558
	59	〃	42	15.5	427
	86	(B)残匍	34	16.0	10
	62	〃	34	11.5	148
	63	〃	34	11.5	85
	61	〃	24	10.0	90
	60	(A)残積	24	10.5	216
19	58	(C)匍行	34	13.0	82
	57	(B)残匍	34	11.0	226
	56	(A)残積	28	9.5	43
20	85	(B)残匍	15	15.0	173
21	84	(B)残匍	24	11.5	411
	83	(A)残積	27	11.0	55
22	94	(I)崩積	24	17.5	174
	93—1	(C)匍行	45	16.0	544
	92	(B)残匍	38	13.5	123

unit slope No.	unit site area No.	deposit	gradient (degree)	mean upper-tree height (m)	area (m <sup>2</sup> )	
23	91	(A)残積	34	10.5	130	
	125	(I)崩積	23	20.0	294	
	121	〃	40	18.0	60	
	119	〃	43	17.3	290	
	120	(G)崩	43	18.0	85	
	118	(C)匍行	40	19.2	525	
	126	〃	45	17.5	201	
	108	(E)谷緩	34	16.0	69	
	127	(F)急匍	48	14.0	186	
	105	(B)残匍	34	12.5	81	
	106	〃	37	11.5	107	
	24	97	(J)押出	8	22.1	839
		123	(I)崩積	34	21.8	799
96		〃	34	20.0	373	
95		〃	34	19.3	150	
124		(G)崩	24	22.0	167	
122		(H)崩匍	34	21.0	171	
115		(G)崩	34	17.0	85	
114		(B)残匍	21	19.0	112	
113		(E)谷緩	21	17.5	404	
116		(C)匍行	45	17.2	1313	
117		〃	43	15.3	423	
93		〃	43	16.0	707	
88		〃	34	15.0	113	
87		(B)残匍	34	14.0	33	
111		(A)残積	34	—	17	
112		〃	34	13.5	52	
89		〃	37	12.0	77	
25	55	(C)匍行	34	16.0	41	
	54	(B)残匍	27	13.5	99	
26	36	(C)匍行	37	14.5	—	
	37	(B)残匍	29	16.0	268	
	38	(A)残積	22	14.5	—	
27	48	(C)匍行	34	12.5	146	
	47	(B)残匍	34	14.5	189	
	51	〃	34	12.3	348	
	49	〃	34	11.5	50	
	50	〃	38	11.5	32	
	52	(A)残積	39	12.0	156	
28	32	(G)崩	39	16.5	49	
	34	(C)匍行	42	17.5	24	
	29	〃	39	17.5	101	
	31	〃	40	16.5	158	
	33	〃	48	16.0	159	

unit slope No.	unit site area No.	deposit	gradient (degree)	mean upper-tree height (m)	area (m <sup>2</sup> )
	39	(B)残匍	34	15.0	118
	30	〃	34	14.0	146
	35	〃	42	13.5	79
29	41	(C)匍行	39	15.5	364
	40	(B)残匍	41	14.0	123
30	42	(C)匍行	38	16.0	66
31	43	〃	39	18.0	97
	44	〃	38	17.0	83
32	45	〃	45	15.0	81
	46	(B)残匍	34	14.5	17
33	21—1	(J)押出	8	25.5	—
	23	(I)崩積	34	21.8	605
	28	(C)匍行	41	19.8	370
	24	〃	48	17.5	70
	71	(F)急匍	48	17.5	93
34	22	(I)崩積	24	21.6	475
	26	(G)匍崩	34	17.0	17
	25	(C)匍行	41	19.3	376
	27	〃	41	16.5	26

- |                                     |                                   |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| (A) residual deposits               | (B) residual creeping dep.        |
| (C) creeping dep.                   | (D) residual dep. (pre-colluvial) |
| (E) residual dep. (pre-transported) | (F) steep creeping dep.           |
| (G) creeping colluvial dep.         | (H) colluvial creeping dep.       |
| (I) colluvial dep.                  | (J) mudflow dep.                  |

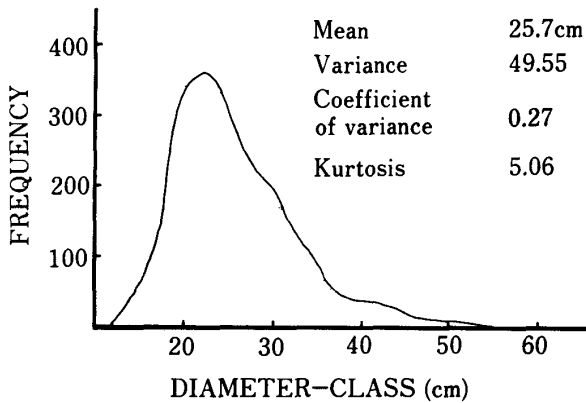


Fig. 3-7. Diameter distribution

図 3-7. 直径分布

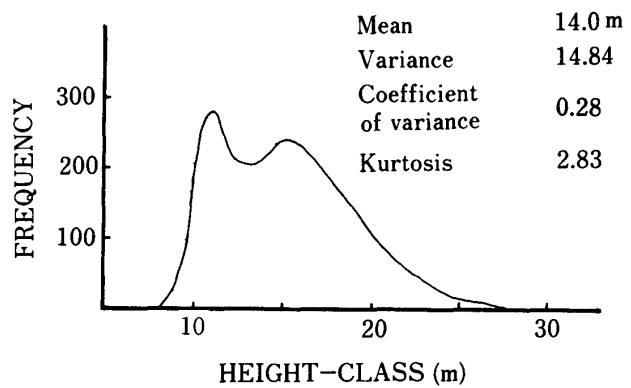


Fig. 3-8. Height distribution

図 3-8. 樹高分布

ブロックの中での樹高変化を調べた。各ブロックの要素を Table 3-3 に示す。また、各ブロックの直径と樹高の分布の関係を Fig. 3-9(1)~(4)に示す。

図の(1)と(2)から隣接した斜面でありながら、傾斜変換線で区分された単位斜面内の樹高は、直径が大きくなると多少大きくなる傾向が見られるが、その値はほぼ等しく他の単位斜面内の樹高の分布と

Table 3-3 Elements of the stand on each unit slope and unit site area  
表 3-3 単位斜面・単位立地区別の林分要素

block	unit site area No.	unit slope No.	deposits	D/H	kurtosis
(1)	53	1	(A)	2.22	3.09
	54	25	(B)	1.92	2.17
(2)	1	9	(A)	2.16	2.09
	79	14	(B)	1.89	3.08
	72	15	(B)	1.49	1.86
(3)	57	19	(B)	2.08	2.19
	59	18	(C)	1.80	2.20
	66	18	(D)	1.60	2.29
(4)	82	1	(A)	2.25	3.53
	84	21	(B)	2.04	3.24
	93	24	(C)	1.66	2.10
	96	24	(D)	1.57	2.69
	97	24	(E)	1.80	3.77

(A) residual dep.  
(D) colluvial dep.

(B) residual creeping dep.  
(E) mudflow dep.

(C) creeping dep.

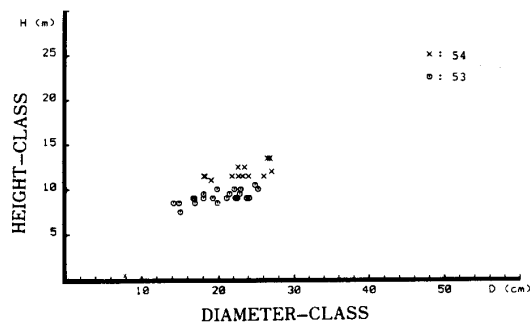


Fig. 3-9(1). Relation between diameter and tree-height  
図 3-9(1) 直径と樹高の関係

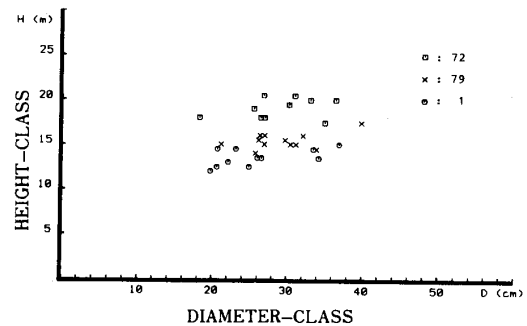


Fig. 3-9(2).  
図 3-9(2)

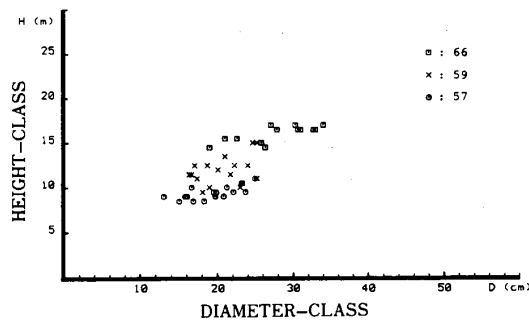


Fig. 3-9(3).  
図 3-9(3)

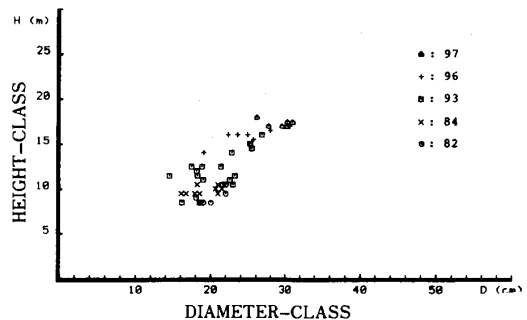


Fig. 3-9(4).  
図 3-9(4)



比較すると、明らかに異なっていることがわかる。また、図の(3), (4)にも同様の傾向が見られるが、さらに単位斜面内での堆積様式によっても傾斜変換線と同様の働きがあることがわかる。つまり、樹高は第一に傾斜変換線を境にその単位斜面ごとに樹高の分布が異なり、第二に同一の単位斜面の中でも、その中に系統的に出現している堆積様式によっても樹高の分布が異なっているといえる。したがって、林木の生長という面から見た立地条件が同一（完全に等しいということではなく、均質という意味）と見なせるのは単位斜面ではなく、その斜面内に系統的に分布する堆積様式で区分される区域（単位立地区）である。Table 3-4 に単位斜面ごとの林分構造を示す。各単位斜面の中では、林分構造が系統的に変化しているのがわかる。

Table 3-4 Stand-structure on each unit slope  
表 3-4 単位斜面ごとの林分構造

unit slope No.	unit site area No.	mean diameter (range) cm	mean height (range) m	coefficient of variance of diameter	coefficient of variance of tree-height
0	53	20.2 (28.5-14.0)	9.1 (11.0- 7.0)	.1541	.0830
	82	21.4 (31.0-12.1)	9.5 (12.0- 8.0)	.1641	.0778
1	98	25.8 (36.8-17.4)	13.4 (15.5-11.5)	.2016	.0895
2	99	29.3 (48.7-21.8)	13.8 (15.5-12.0)	.2076	.0723
3	100	28.3 (40.4-15.5)	14.3 (16.5-12.5)	.2243	.0837
4	103	24.3 (30.5-17.0)	12.9 (13.5-12.0)	.2189	.0488
	101	27.4 (41.8-17.4)	13.6 (17.0-11.0)	.2079	.1068
	102	26.5 (39.4-16.1)	14.8 (18.0-12.0)	.2198	.0912
5	104	23.9 (29.2-18.3)	11.8 (14.0-10.5)	.1681	.1023
	107	23.6 (36.2-17.3)	12.0 (15.0-10.5)	.2313	.1136
6	90	20.6 (27.2-14.3)	9.0 (12.0- 7.0)	.1435	.1083
7	109	26.6 (33.4-20.8)	13.4 (15.5-11.5)	.1686	.0906
8	110	28.5 (38.1-18.0)	11.4 (14.0-10.0)	.2042	.0832
9	1	27.9 (44.1-14.7)	12.9 (15.0-10.0)	.2365	.1052
10	5	23.6 (27.8-19.3)	12.4 (13.0-12.0)	.1527	.0387
	6	28.8 (37.8-23.0)	15.1 (17.0-13.5)	.1716	.0678
11	2	24.8 (28.8-20.9)	12.5 (13.0-12.0)	.2248	.0566
	3	23.5 (25.6-20.3)	15.7 (17.0-14.5)	.1192	.0803
	4	28.8 (36.7-16.9)	18.3 (22.0-14.5)	.1703	.1324

unit slope No.	unit site area No.	mean diameter cm (range)	mean height m (range)	coefficient of variance of diameter	coefficient of variance of tree-height
12	7	24.3 (30.7-19.1)	13.2 (14.5-11.5)	.2425	.1160
	8	33.6 (55.5-23.3)	18.6 (21.0-16.5)	.3165	.0899
	11	38.3 (46.3-31.9)	22.9 (23.0-22.5)	.1742	.0109
	10	41.9 (51.0-30.1)	23.2 (25.0-21.5)	.2557	.0758
13	20	40.3 (61.6-31.8)	23.6 (26.0-21.5)	.2087	.0563
	12	42.4 (50.2-27.2)	24.9 (27.0-22.0)	.1616	.0649
	14	38.6 (45.8-25.0)	23.3 (24.5-22.0)	.2277	.0494
	17	34.9 (48.5-25.8)	23.1 (26.0-21.0)	.1947	.0716
	16	32.3 (49.2-19.9)	20.9 (24.0-18.0)	.2263	.0905
	15	28.3 (34.3-21.8)	17.7 (19.5-16.0)	.1193	.0696
	80	35.5 (49.7-24.0)	17.8 (20.0-16.0)	.1905	.0782
14	81	36.4 (45.2-25.3)	18.0 (19.0-16.5)	.1791	.0532
	79	29.1 (39.8-21.1)	15.4 (17.5-14.0)	.1655	.0584
	72	28.1 (36.4-18.1)	18.9 (21.0-17.0)	.1618	.0620
15	77	29.1 (40.6-21.8)	18.3 (19.5-16.0)	.1750	.0535
	76	29.3 (38.0-22.7)	19.7 (21.5-18.0)	.1501	.0636
16	73	32.5 (38.9-27.8)	21.5 (22.0-21.0)	.1760	.0233
	74	31.5 (51.4-22.0)	20.4 (22.5-17.5)	.2333	.0820
	75	22.6 (26.0-19.2)	15.5 (16.0-15.0)	.2128	.0456
17	67	37.0 (42.0-26.3)	21.1 (23.5-18.5)	.1339	.0769
	69	34.5 (48.8-26.7)	21.9 (23.5-20.0)	.2298	.0580
	66	27.0 (37.6-17.5)	16.8 (20.0-14.0)	.1682	.0843
	70	31.1 (36.0-26.2)	21.4 (22.5-20.0)	.1288	.0519
	68	32.1 (42.0-25.5)	19.0 (22.5-17.5)	.1974	.1053
	65	25.3 (34.8-16.3)	15.7 (18.0-14.0)	.2014	.0753
	64	22.5 (26.5-19.0)	14.2 (15.5-13.5)	.1409	.0589

unit slope No.	unit site area No.	mean diameter cm (range)	mean height m (range)	coefficient of variance of diameter	coefficient of variance of tree-height
	59	22.3 (34.0-16.3)	12.4 (15.5- 9.5)	.1723	.1327
	86	29.0 (31.0-26.6)	15.5 (16.0-15.0)	.0766	.0323
	62	21.1 (25.6-17.5)	10.5 (11.5- 9.0)	.1094	.0735
	60	22.1 (28.6-18.0)	9.6 (10.5- 9.0)	.1314	.0579
	63	20.4 (26.0-16.9)	10.5 (11.5- 9.5)	.1446	.0738
	61	17.9 (25.2-14.2)	9.0 (10.0- 8.0)	.1684	.0837
19	58	21.8 (26.9-17.8)	11.4 (13.0- 9.0)	.1444	.1230
	57	19.1 (25.0-13.0)	9.2 (11.0- 8.0)	.1613	.0907
	56	19.4 (23.6-15.5)	9.0 ( 9.5- 8.5)	.1620	.0393
20	85	22.5 (28.5-17.5)	13.5 (14.5-12.5)	.1277	.0534
21	84	21.0 (26.4-15.0)	10.3 (11.5- 8.5)	.1245	.0611
	83	19.6 (22.5-16.8)	9.4 (11.0- 8.5)	.0878	.0897
22	94	30.8 (37.6-24.4)	15.8 (18.0-14.5)	.1274	.0686
	93—1	23.0 (35.6-16.1)	12.3 (16.0- 9.5)	.1545	.1562
	92	22.1 (27.2-18.2)	10.9 (13.5- 9.0)	.1096	.1478
	91	21.3 (23.8-17.7)	9.6 (10.5- 9.0)	.1120	.0610
23	125	29.9 (51.2-16.5)	17.6 (20.0-15.0)	.2282	.0825
	121	21.3 (28.4-16.3)	16.8 (18.0-15.5)	.2246	.0614
	119	25.9 (31.5-20.2)	15.6 (17.5-13.5)	.1482	.0744
	120	27.5 (33.9-18.3)	16.9 (18.0-16.0)	.1763	.0479
	118	27.3 (41.6-16.2)	15.7 (20.0-12.0)	.2191	.1243
	126	24.3 (33.4-16.9)	13.4 (18.0-10.5)	.1922	.1243
	108	26.7 (37.5-19.2)	14.6 (16.0-13.0)	.2337	.0873
	127	25.8 (32.0-21.5)	12.3 (14.0-11.0)	.1294	.0819
	105	19.6 (24.2-14.4)	10.0 (12.5- 8.0)	.1788	.1346
	106	21.5 (28.1-16.3)	16.8 (18.0-15.5)	.2246	.0614

unit slope No.	unit site area No.	mean diameter cm (range)	mean height m (range)	coefficient of variance of diameter	coefficient of variance of tree-height
24	97	34.7 (48.1-22.6)	19.3 (24.5-17.0)	.2034	.0965
	123	37.0 (52.2-22.4)	19.4 (25.5-16.0)	.2467	.1371
	95	28.3 (36.7-20.1)	16.8 (20.0-15.0)	.1728	.1038
	96	25.1 (36.5-17.2)	16.0 (20.0-13.0)	.1797	.0976
	124	36.3 (48.0-28.3)	20.9 (22.0-20.0)	.2636	.0409
	122	43.1 (46.0-41.0)	20.0 (22.0-18.5)	.0602	.0901
	115	37.7 (40.8-34.6)	15.8 (17.0-14.5)	.1163	.1122
	114	30.5 (36.8-23.6)	17.8 (19.0-17.0)	.1500	.0388
	113	31.2 (53.7-18.5)	14.4 (18.0-10.5)	.2790	.1559
	116	32.3 (45.4-20.5)	15.5 (21.0-12.5)	.2458	.1403
	117	22.9 (33.9-14.8)	12.5 (16.0-10.5)	.1994	.1125
	93	21.4 (30.6-13.5)	12.9 (16.0- 8.5)	.1646	.1415
	88	20.6 (24.2-16.1)	12.3 (14.5-10.0)	.1204	.0861
	87	21.8 (26.6-18.5)	13.2 (13.2-12.5)	.1951	.0580
	112	29.6 (33.8-22.6)	12.5 (13.5-11.5)	.1738	.0653
	89	19.8 (27.1-16.5)	10.0 (12.0- 8.5)	.1539	.1090
	25	55	27.3 (33.1-20.5)	15.0 (16.0-13.5)	.1793
54		23.0 (27.1-18.0)	12.0 (13.5-11.0)	.1371	.0671
26	38	25.7 (33.8-18.5)	12.7 (15.0-11.0)	.1578	.0822
	37	26.7 (37.0-17.0)	14.8 (16.5-13.5)	.2100	.0718
	36	19.4 (20.9-16.7)	13.9 (14.5-13.5)	.0995	.0345
27	48	20.5 (28.7-13.3)	11.0 (12.5- 9.0)	.2385	.1088
	47	21.7 (27.8-15.4)	11.2 (14.5- 8.0)	.1712	.1724
	51	20.1 (30.0-13.6)	10.2 (12.5- 8.5)	.1933	.1071
	49	20.7 (25.6-16.0)	10.7 (11.5-10.0)	.1902	.0455
	50	26.0 (27.8-13.3)	11.0 (12.5- 9.0)	.0945	.0259

unit slope No.	unit site area No.	mean diameter cm (range)	mean height m (range)	coefficient of variance of diameter	coefficient of variance of tree-height
28	52	21.5 (34.0-14.2)	9.7 (12.0- 8.5)	.2696	.1176
	32	26.1 (30.2-22.8)	14.8 (16.5-13.5)	.1448	.1030
	34	27.3 (35.5-21.2)	16.1 (17.5-15.5)	.2187	.0587
	29	30.0 (39.6-21.5)	15.1 (17.5-14.0)	.1739	.0725
	31	26.2 (34.2-22.0)	14.7 (16.5-13.0)	.1279	.0622
	33	24.0 (31.4-20.0)	13.6 (16.0-12.0)	.1779	.1113
	39	24.8 (34.9-20.3)	13.3 (15.0-12.0)	.1737	.0568
	30	24.4 (28.7-18.2)	13.3 (14.0-12.5)	.1511	.0426
	35	22.7 (29.2-18.4)	12.2 (13.5-11.0)	.1634	.0779
29	41	23.7 (33.3-15.1)	13.4 (15.5-10.0)	.1999	.1050
	40	23.1 (27.7-18.8)	12.6 (14.0-11.0)	.1364	.0840
30	42	25.4 (30.0-17.0)	15.4 (16.0-14.5)	.1962	.0423
31	43	28.3 (37.5-21.2)	16.1 (18.0-14.5)	.2201	.0773
	44	31.8 (38.2-27.0)	15.1 (17.0-13.5)	.1332	.0970
32	46	27.3 (28.6-26.0)	13.8 (14.5-13.0)	.0673	.0771
	45	20.7 (26.1-16.2)	13.4 (15.0-11.5)	.1947	.1166
33	21—1	41.7 (53.8-29.5)	21.5 (25.5-18.5)	.177	.0810
	23	36.4 (49.9-20.5)	19.5 (23.0-16.5)	.1853	.0850
	28	28.4 (42.0-20.2)	17.1 (20.5-14.5)	.1743	.0865
	24	25.8 (33.3-15.3)	16.3 (17.5-15.0)	.2839	.0739
34	71	32.1 (38.5-27.9)	17.3 (17.5-17.0)	.1747	.0167
	22	30.7 (49.8-20.9)	18.8 (22.0-16.5)	.1981	.0710
	27	34.8 (37.6-32.0)	16.5 (16.5-16.5)	.1138	.0000
	25	27.9 (39.9-17.7)	17.2 (20.0-15.0)	.1715	.0666
	26	29.3 (38.2-24.4)	16.3 (17.0-15.5)	.2647	.0468

## (c) 林分構造と単位立地区

これまでの分析で単位立地区が林木の生長に関して、ほぼ斉一と考える最小単位である事が明らかになった。ところで、環境条件が一定の場合、その中で競争を行い生育すれば、その分布は正規分布になると言う事が知られている。したがって、地位が斉一と考えられる単位立地区の中の樹高の分布は、正規分布であると想像される。これを確かめるため、各単位立地区ごとに分布の形を表わす統計量で、とがりの測度であるとがり<sup>24)</sup>  $a_4$ (kurtosis)を尺度として分析を試みた。ちなみに、 $a_4$ は、

Table 3-5 Kurtosis of the tree-height distribution on each unit site area  
表 3-5 単位立地区内の樹高分布のとがりの値

unit slope No.	unit site area No.	kurtosis	unit slope No.	unit site area No.	kurtosis
0	53	3.09	20	85	1.55
	82	3.53		84	3.24
	60	1.77		94	1.95
1	98	2.03	22	93-1	1.80
	99	2.18		92	1.44
2	100	2.01	23	125	1.73
3		2.10		119	1.89
4	101	2.52	24	118	2.11
	102	2.60		126	3.62
5	107	3.66	24	127	1.72
6	90	1.83		97	3.77
7	109	4.16	25	96	2.69
8	110	2.09		114	1.84
9	1	2.08	26	113	1.84
10	6	1.95		117	3.36
11	4	1.39	27	93	2.10
	13	1.78		88	2.78
14	15	1.75	28	89	1.70
	16	3.08		54	2.17
15	72	1.86	29	37	1.43
	16	2.76		48	1.44
17	77	1.75	30	47	1.65
	18	1.60		51	2.39
18	66	2.29	31	52	2.10
	59	2.20		31	2.69
19	64	1.96	33	39	2.97
	65	2.01		41	2.63
19	63	1.36	34	42	2.35
	62	1.88		43	1.30
19	61	1.46	34	21-1	3.41
	58	1.43		23	2.04
19	57	2.19	34	28	2.31
				22	2.82
				25	2.62

正規分布では 3, とがったピークが高く, 両側に長くすそのを引く分布ほど  $a_4 > 3$  となり, 中央が扁平で両側のすその短い分布は  $a_4 < 3$  となる。各単位立地区の  $a_4$  の計算結果を Table 3-5 に示す。

Table 3-5 の単位立地区の  $a_4$  の値は, 一部に 3 あるいは, それ以上のものも存在するが, 全体としては, かなりのものが 3 よりも小さく, 平均では 2.6 となった。つまり, 単位立地区の樹高の分布型は正規分布ではなく, 中央が扁平で両側のすその短い分布をしているものが多いと言え, この事は前に述べた事に反する。したがって, これが林木の密度が低いためか, または, 本来正規分布にな

Table 3-6 Stand-structure of the appended data

表 3-6 追加データの林分要素

plot No.	mean diameter (cm)	mean tree-height (m)	coefficient of variance of diameter	coefficient of variance of tree-height	kurtosis
1	14.4	15.4	0.1540	0.0668	1.8
2	9.7	10.0	0.2330	0.1455	5.6
3	12.9	16.6	0.1819	0.1035	4.3
4	10.9	10.9	0.1593	0.1167	4.3
5	13.3	16.2	0.1987	0.0922	1.7
6	12.4	13.3	0.1651	0.1214	2.3
7	12.8	13.6	0.1874	0.0986	3.6
8	12.4	12.3	0.2282	0.1721	4.4
9	12.9	11.7	0.2549	0.1503	5.4
10	13.2	14.6	0.2043	0.0942	4.0
11	19.5	15.7	0.2075	0.0990	5.3
12	35.3	29.1	0.2639	0.1085	2.8
13	25.0	23.3	0.1633	0.0896	2.6
14	32.3	26.0	0.1948	0.1130	5.4
15	21.8	15.4	0.1705	0.0572	3.2
16	33.7	25.0	0.0939	0.0502	2.6
17	29.9	20.7	0.1536	0.1081	3.5
18	23.6	15.9	0.2982	0.1164	2.7
19	29.6	21.5	0.1512	0.0857	1.8
20	22.7	16.8	0.1831	0.1103	3.2
21	24.5	15.9	0.1663	0.1017	1.8
22	25.8	25.3	0.0500	0.0323	4.9
23	48.1	33.3	0.2703	0.1336	1.6
24	35.3	26.6	0.0813	0.0433	1.7
25	27.7	29.6	0.1167	0.0543	8.2
26	26.8	22.1	0.1285	0.0629	2.3
27	25.3	24.1	0.1392	0.0420	6.1
28	24.1	17.0	0.1473	0.0746	2.3
29	16.3	9.1	0.2023	0.1396	2.0
30	14.9	11.4	0.2378	0.1563	2.1
31	12.2	9.9	0.3463	0.2269	2.0
32	19.2	16.8	0.1120	0.0424	3.1

1~10 : Yabe experimental forests' data

11~32 : Oguni · Takeo regions' data

りえないのか明らかにするために、他のデータを加え検討した。加えたデータは、福岡県矢部郡に設定されている福岡県林試矢部試験林内で採取されたものおよび大分県日田、小国地方で採取されたものであり、それらは、すべてうっぺい～過うっぺい状態の林分から得られたものである。そのデータの林分要素を Table 3-6 に示す。

分析に際し、密度の尺度が問題となる。一般には、密度の尺度として、(上層木)平均樹高に対する幹間距離の割合で表わす相対幹距<sup>20)</sup> ( $S_r$ ) が用いられている。しかし、この尺度はその仮定から、対象とする林分の生育過程を考慮しておらず、同一林分内では、測定時の生育密度を正確に表わす事ができるが、生育過程を異にした林分の場合には、正確にその生育状態を表わす事が難しいと思われる。本来、林木の生育密度は、各林木の生育空間としての樹冠の競争状態として表わされるべきものである。この樹冠の競争過程の集積と考えるのは、直径であり、それと地位の指標である樹高を用いた  $D/H$  が、現在にいたるまでの競争過程を表わす尺度であると考えられる。直径分布は、非常に林木間の競争による影響を受けるが、樹高分布も、上層木は別にして、それ以下の林木では、競争により分布型が規定されるのではないかと考えられる。

以上により、 $D/H$  を密度の尺度として、Table 3-6 のデータを図示したのが Fig. 3-10 である。

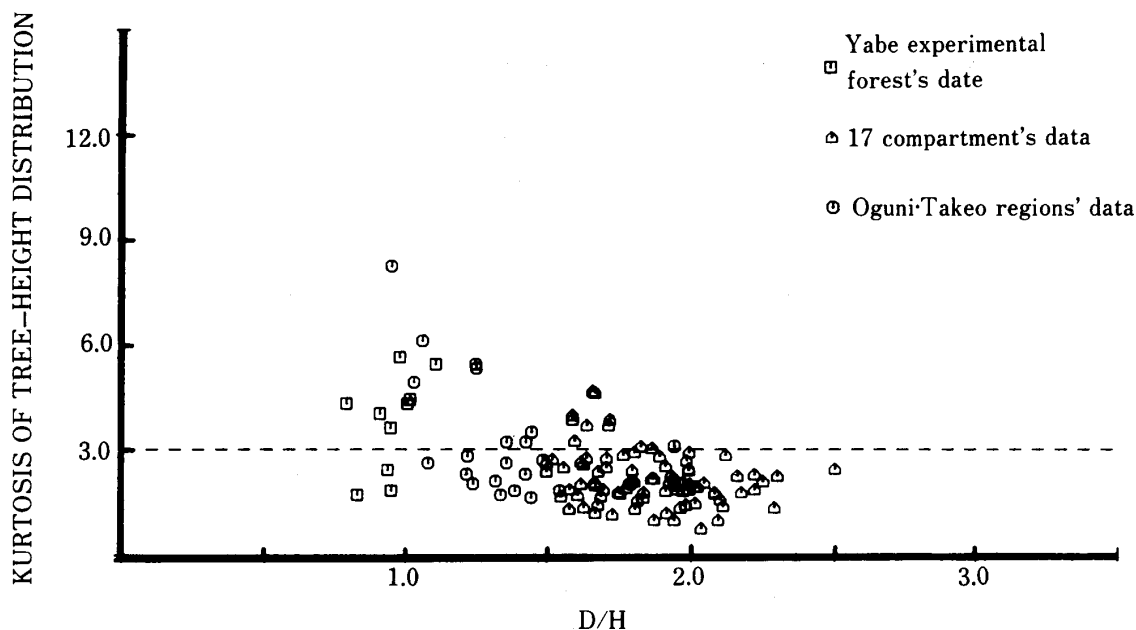


Fig. 3-10. Relation between kurtosis and  $D/H$ .

図 3-10  $D/H$  と樹高分布のとりがりの関係

図から明らかなように、生育過程が過うっぺい状態の林分 ( $D/H < 1$ ) では、 $a_4$  は、3 より大きい傾向が見られ、普通のうっぺい状態 (うっぺい率80%以上:  $1 < D/H < 1.5$ ) では3かまたはそれより小さい傾向が見られる。

つまり、単位立地区内の樹高分布は、正規分布に限るものではなく、むしろその生育過程の密度によるものと考えられる。したがって、調査地の各単位立地区の樹高分布が正規分布を示さなかったのは、競争密度が低かったためだと考えられる。逆に、密度の低い林分の樹高分布が、中央が偏平で裾の短い分布を示すという事から、本来の単位立地区内の地位は、単位立地区内の直径と樹高との関係のみ



Table 3-7 Range and coefficient of variance of tree-height on each deposits

表 3-7 堆積様式の樹高分布の幅と変動係数

deposits	unit site area No.	range (m)	coefficient of variance of tree-height	
残積土(A)	90	7~11 4	. 1083	
	82	8~12 4	. 0778	
	60	9~10 1	. 0579	
	53	7~11 4	. 0830	
	52	8~12 4	. 1176	
	110	10~14 4	. 0832	
	1	10~15 5	. 1052	
残積性匍行土(B)	72	17~21 4	. 0620	
	51	8~12 4	. 1077	
	47	8~13 5	. 1724	
	92	9~13 4	. 1478	
	84	8~11 3	. 0611	
	85	12~14 2	. 0534	
	57	8~11 3	. 0907	
	37	13~16 3	. 0718	
	127	11~14 3	. 1136	
	126	10~15 5	. 1243	
尾根性緩援匍行土(D)	98	12~15 3	. 0895	
	99	12~15 3	. 0723	
	100	12~16 4	. 0837	
	101	12~17 5	. 1068	
谷性緩斜匍行土(E)	80	15~20 5	. 0782	
	102	11~18 7	. 0912	
崩積性匍行土(F)	17	21~26 5	. 0716	
匍行土(G)	16	18~24 6	. 0905	
	74	17~22 5	. 0820	
	116	12~21 9	. 1403	
	117	10~16 6	. 1125	
	93-1	9~16 7	. 1415	
	93	8~16 8	. 1562	
	64	10~17 7	. 1406	
	59	9~15 6	. 1327	
	41	10~15 5	. 1050	
	28	14~20 6	. 0845	
	25	15~20 5	. 0666	
	118	12~20 8	. 1371	
	崩積土(H)	23	16~23 7	. 0850
		22	16~22 7	. 0710
66		14~20 6	. 0843	
96		13~20 7	. 0976	
125		15~20 5	. 0825	
押出し(I)	21-1	18~25 7	. 0810	
	97	17~24 7	. 0965	

(A) residual deposits

(C) steep creeping dep.

(E) residual dep. (pre-transported)

(G) creeping dep.

(I) mudflow dep.

(B) residual creeping dep.

(D) residual dep. (pre-colluvial)

(F) colluvial creeping dep.

(H) colluvial dep.

たように完全に齊一なものではなく、数mの幅を持つものと考えられる。その幅は、樹高の性質から見て、各立地区そのものが持つ分散と考えられ、それは堆積様式により決まるのではないかと考えられる。つまり、上流からの供給がなく母材が直接土壌化する残積系の所と、上流からの供給と下流への流亡との関係により形成されているその他の堆積様式とでは、前者の堆積様式のほうがより均質であると考えられて、したがって単位立地区が本来持つ立地条件の分散が小さいのではないかとと思われる。Table 3-7に、単位立地区の堆積様式別の樹高分布幅と樹高の変動係数を示す。

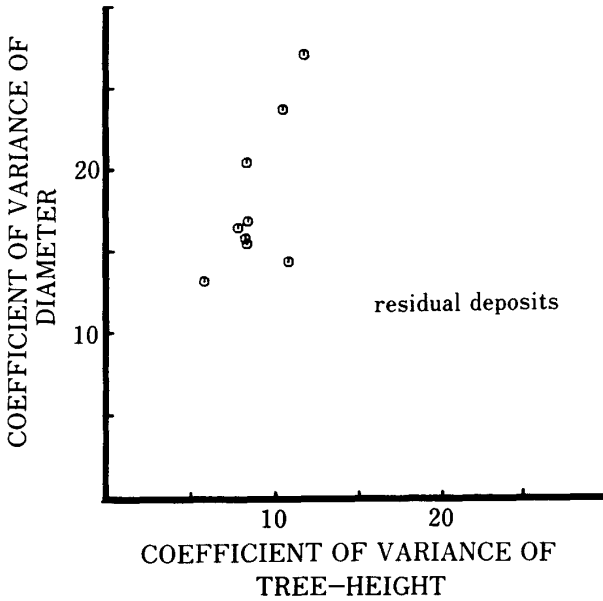


Fig. 3-11(1)

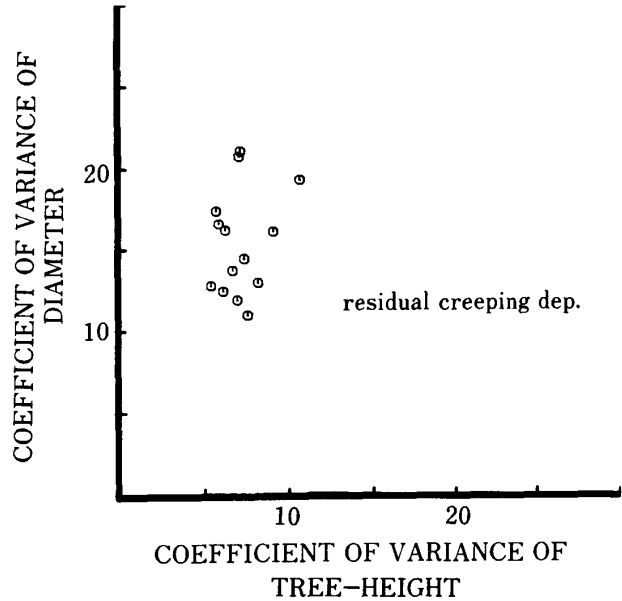


Fig. 3-11(2).

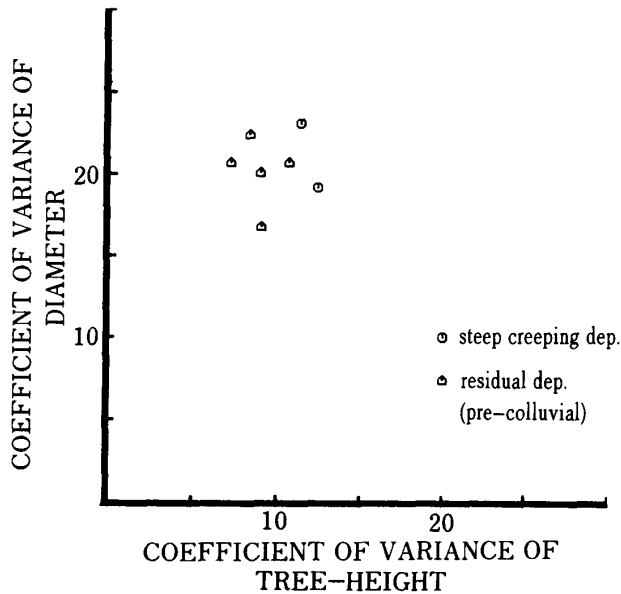


Fig. 3-11(3).

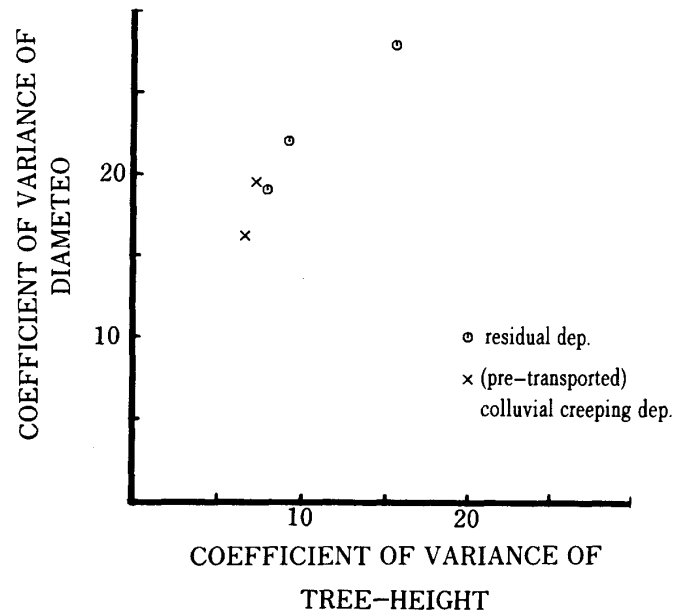


Fig. 3-11(4).

Fig. 3-11. Relation between both coefficients of variance of diameter and tree-height on each deposit.

図 3-11. 堆積様式別の直径の変動係数と樹高の変動係数の関係

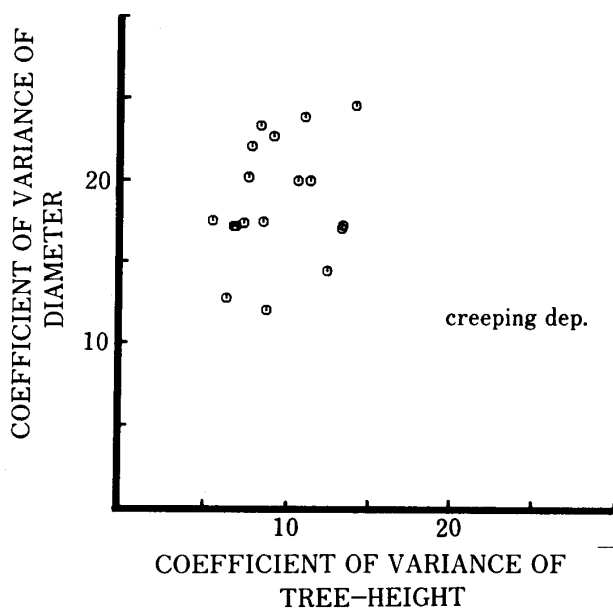


Fig. 3-11(5).

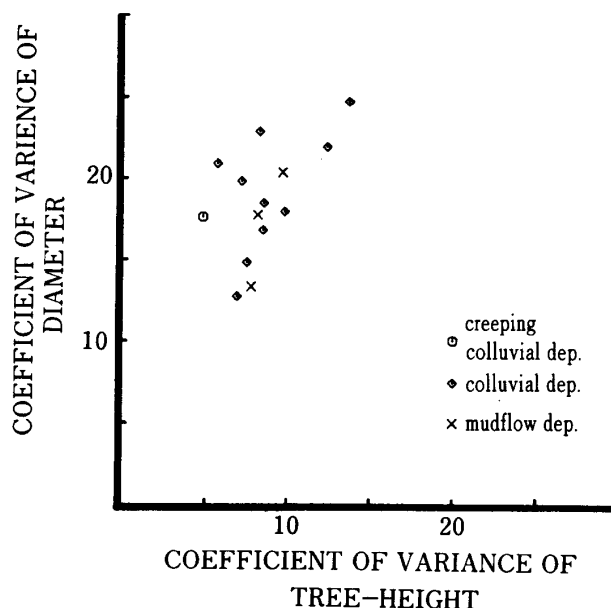


Fig. 3-11(6).

表から明らかなように、樹高の分布幅は残積系の堆積様式ほど小さいが、その変動係数はどの堆積様式にも多少のばらつきが認められるものの平均的には同じような値を示している。したがって直径や樹高の変動係数等で表わされる相対的な林分構造には、差がないのではないかとと思われる。そこで、各单位立地区ごとの直径の変動係数と樹高の変動係数の関係を調べてみた。その関係を堆積様式に図示したのが Fig. 3 - 11(1)~(6)である。

斜面変動の激しい匍行系の堆積様式では、その関係があまり明瞭ではないが、残積土や押し出し等の堆積様式では樹高の変動係数に対する直径の変動係数の割合がほぼ等しい。したがって、これを確かめるために樹高の変動係数に対する直径の変動係数の比が堆積様式間で違いがあるかを分散分析したが、Table 3 - 8 に示すように違いがあるとはいえないという結果を得た。

このことは、単位立地区内の直径と樹高の絶対値にかかわりなく、そのばらつき度合の関係つまり直径と樹高の関係が同じであることを意味している。したがって、単位立地区は林木の生長に関して最も重要な単位であり、さらにそれらを含めた立地的な広がりも林木の生長等を考える場合には、非常に重要であろう。

(4) まとめ

単位立地区と林分構造の関係では、次のことが明らかになった。

- (1) 林木の生長に関して、単位立地区がほぼ斉一と考える最小単位である。
- (2) 単位立地区は、その単位立地区の属する単位斜面の上では、堆積様式にもとづき系統的に配列している ( Fig. 3 - 6 )。
- (3) 単位立地区内の樹高分布は、その領域の生育密度により決定され、その分布は常に正規分布であるとは限らない ( Fig. 3 - 10 )。
- (4) 単位立地区内の地位には多少のばらつきがあり、それはその単位立地区が持つ堆積様式によりほぼ決定されている ( Table 3 - 7 )。
- (5) 各单位立地区内の直径の変動係数の樹高の変動係数に対する割合は、どの堆積様式においてもほぼ一定である ( Table 3 - 8 , Fig. 3 - 11 )。

Table 3-8 Analysis of variance about ratio of the coefficient of variance of diameter to the coefficient of variance of tree-height

表 3-8 堆積様式の樹高の変動係数に対する直径の変動係数の比の分析

deposits	average of ratio	variance	coefficient of variance	number of plot
(A)残積土	2.05	.0980	.15	9
(B)残積性匍行土	2.12	.6079	.36	18
(C)尾根性緩	2.32	.1571	.17	5
(D)谷性緩	2.21	.0898	.13	3
(E)匍行土	1.94	.5785	.39	21
(F)崩積土	2.27	.3587	.26	10
(G)押し出し	2.01	.0384	.09	3

(A) residual deposits	(B) residual creeping dep.
(C) residual dep. (pre-colluvial)	(D) residual dep. (pre-transported)
(E) creeping dep.	(F) colluvial dep.
(G) mudflow dep.	

	df	S	V	F
Total	68	29.9129		
between	6	1.1831	.1972	.4256
within	62	28.7298	.4634	

F(6, 62 : 0.05) = 2.249      F(6, 62 : 0.01) = 3.108

#### 4. 森林調査における立地区分の応用

##### (1) 立地区分を基礎とした森林調査法

###### (a) 立地区分と林分構造

2および3の分析で、広域な場合の林地生産力の分布様式および、狭域的な場合の斜面上における林木の生育様式がかなり明らかになった。ここでは、これらの分布・生育様式を利用した森林調査法について考えてみる事にする。

まず、考えるに先立って今まで明らかになった事の中から、森林調査法に関わると思われる林地生産力と林木の生長についての分布様式を次にまとめておく。

(1) 対象が広域な場合、尾根等で区分される集水域を一単位とみなした時、林地生産力の分布様式は、単位を構成する斜面の形成過程のちがいで生ずる3斜面（山頂の緩斜面・匍行面・運積面）の分布様式で、その違いが生ずる。

(2) 各斜面内の林地生産力の分布はほぼ等質であり、その分布は前述の斜面の種類により異なるが、同種の斜面では同じような分布形を示す。

(3) 対象が狭域的な場合は広域的な場合と同様に、対象地域を構成する斜面によって林木の生育状態が規定されている。

(4) ただし、その単位となる斜面は斜面の形成時期の違いによって形成される単位斜面と呼ばれる斜面である。

(5) 単位斜面の中の林木の生長は斉一ではなく、単位斜面の形成時およびその後の侵食・堆積作用によって形成された斜面の堆積様式の違いで大きく異なる。

(6) 単位斜面の中の堆積様式で区分される単位立地区内の林木の生長はほぼ斉一である。

(7) 堆積様式は、斜面の上部から下部に向ってほぼ系統的に配列している。

これらの事は、対象とする母集団が決して等質ではなく、異質の集団つまり層の集まりである確率が高い事を示している。したがって調査法としては、単純無作為法によるよりは、層化を用いた方法を取る方が望ましいといえよう。ただし、層化という概念は母集団がヘテロな場合、ホモな副母集団に区分するという事である。したがって、実際の森林調査では、主に空中写真を用いて林型・樹高級・樹冠疎密度級等で林相を区分するという事を行っているが、それは単一林分は等質であるという考え方に基づいている。しかし、上のまとめから明らかなように、単位斜面や堆積様式ごとに生長の違いがはっきりと認められるため、詳細な調査を要する事業のための調査ならびに、より正確な経営のための調査には、単一林分内の層化が行われなければならない。ただし、層化の基準は、従来の樹高級や樹冠疎密度級等の林木の諸性質では、単一林分なので層化しがたいため、林木の生長に根本的に関わっている立地の平面空間的な区分が、それに代わって用いられるべきである。

#### (b) 立地区分を基礎にした森林調査法

前項では、層化に立地区分を用いて森林調査を行う事を述べたが、現地で単一林分の調査を行う場合には、前記の斜面の構造と林木の生長の関係から多段抽出法が最も良いと思われる。特にその中でも3段階抽出法（3-stage sampling）が斜面の生成構造と一致しており最も良い。3段階抽出法は、2段階抽出法（2-stage sampling）の拡張である。その2段階抽出法とは、母集団をそれぞれM個の要素（element）を持つN個の単位（unit）に分け、そのN個の単位の中から、まずn個の単位を抽出し、その各単位の中からさらにそれぞれm個の要素を抽出し、その要素全体を測定して得られた値から全体を推定する方法である。3段階抽出法は、2段階抽出法が最終段階に抽出された要素全体を測定するのに対して、さらに要素内での抽出を行う方法である。実際的には、Table 4-1のような対応で3段階抽出法を行うのが良いであろう。

Table 4-1 Three-stages sampling in the unit stand

表 4-1 単一林分内の調査における3段階抽出法

	first step	second step	third step
population stand	primary unit unit slope	subunit unit site area	subsubunit plot on the unit site area

ただし、この調査法を実施する場合、まず対象林分内の立地区分を行う必要があるが、これはかなり困難であり、一般的ではないように思われる。これに代わって考えられる調査法は、対象が広域的な場合に考えた山頂の緩斜面・匍行面・運積面の斜面区分を利用した方法である。すなわち、対象が狭域的であっても相対的に古い斜面に数回にわたる侵食が入り、その結果新しい斜面が形成されており、その構成単位である単位斜面は、その性格により区分する事ができるからである。これらの区分は、林木の生長について非常に良く林分を層化する事が前章で明らかになっている。その例として3で用いた林分の斜面の性質による層別の樹高および直径の分布を Fig.4-1(a), (b)に示す。Fig.4-1(b)から明らかなように、特に樹高の分布は、この層化により非常に良く区分されている。直径も樹高ほどはないにしろ、ほぼ同様な傾向を示している。したがって、これらの層を利用した層化無作為抽出法による調査法が最も効果的なものであると思われる。

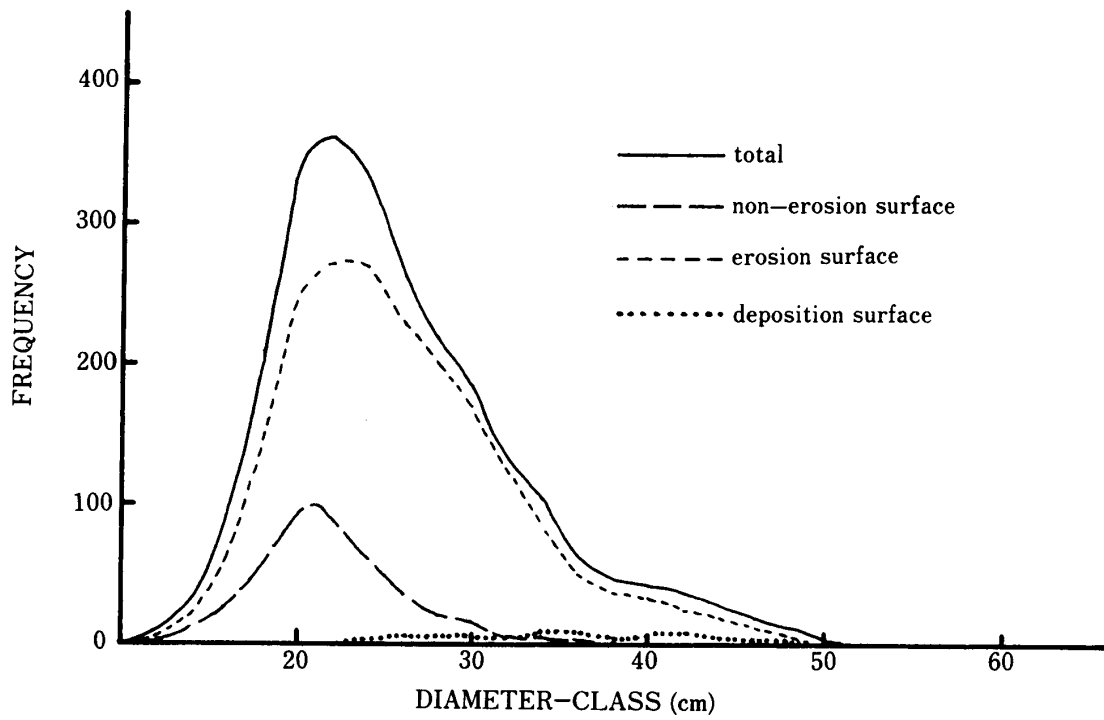


Fig. 4-1(a). Diameter distribution on each surface.

図 4-1(a) 斜面別の直径分布

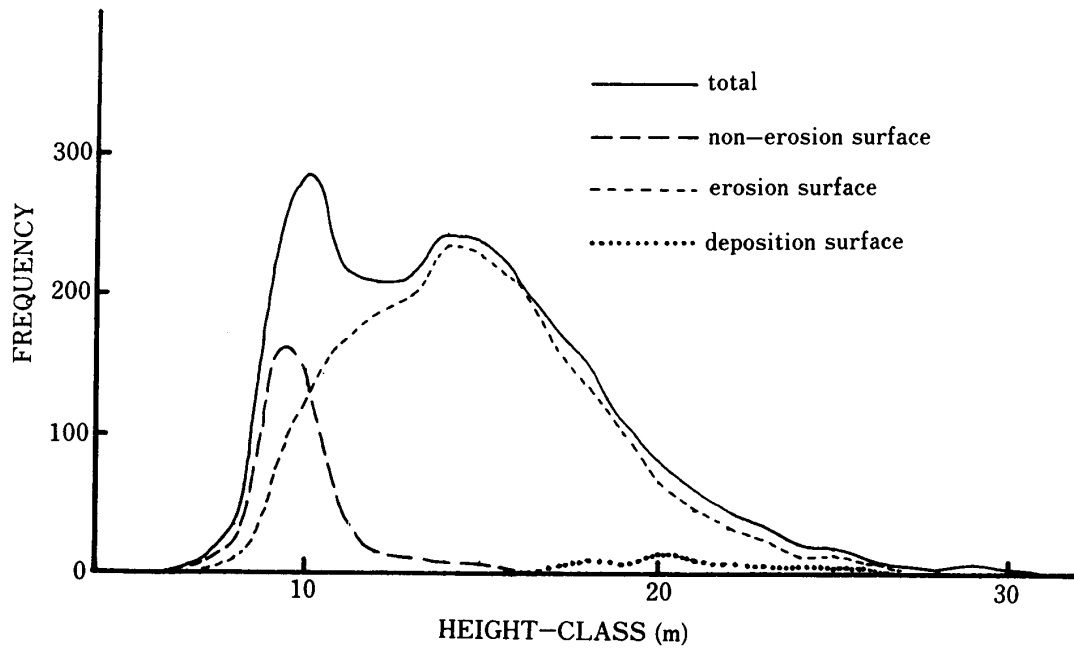


Fig. 4-1(b). Height distribution on each surface.

図 4-1(b) 斜面別の樹高分布

## (c) 空中写真による林分の層化

前述したように、単一林分の調査では、立地区分による層を利用した層化無作為法が良いとしたが、実際の調査ではまずそれらの層化を行わなければならない。ただし、この層化も現地で行う事は林分の面的把握となり、特に対象が広い場合は困難であると考えられる。ところが、この層化、正確には各斜面の区分は、従来の林相区分と同様に空中写真を用いて実行可能である。これらの斜面は、その形成過程が異なる斜面であり、2および3で述べたように、各斜面間には必ず地形的不連続線（傾斜変換線）が地形界として存在する。たとえば、斜面で崩壊が発生すると、崩壊頭部には傾斜の変換点が形成される。周囲でも同じように崩壊が繰返し発生すれば、崩壊の頻発する斜面とその上部斜面との間には、傾斜変換線が形成される<sup>19)</sup>という具合である。したがって斜面の層化とは、これらの傾斜変換線を空中写真上で決定する事に他ならない。

一方、空中写真は、現在、日本の全森林に対して撮影が行われている<sup>25)</sup>ため、容易に入手する事ができ、非常に利用度の高い情報と言える。また、基本図も、空中写真の撮影に伴ない全国的に整備されており、空中写真同様斜面の層化に応用できよう。

実際の区分は、空中写真を立体視し、対象林分の上部斜面から下部へその斜面傾斜に注意しながら追ってゆく。すると、不連続的に急傾斜に変わる点または線が見られる。これが、山頂の緩斜面と匍行面の堺の傾斜変換線である。さらに、斜面下部にゆくと逆に急斜面から緩斜面に変わる点または線が見られる。これは、匍行面と運積面の堺の傾斜変換線である。この変換線をもって、斜面区分とする。ただし、匍行面でさらに傾斜変換線が認められるならば、前斜面区分にこだわらず斜面区分する事が望ましい。

これらの区分は、従来の樹高級や樹冠疎密度級による区分のように数値を用いた客観的な区分ではなく主観的な区分になりやすいが、斜面の傾斜角は当然の事、面的な広がりには留意し、さらに樹冠級や疎密度級を補助的に利用すればこれらの斜面を正確に区分できよう。

## (2) 立地区分を利用した森林調査法

## (a) 対象林分の概況および林分の層化

対象林分は、3で解析に用いた林分と同じスギ55年生の林分である。前述のように、この林分の位置する斜面は、山頂緩斜面およびそれが開析されてできた斜面および開析の段階で発生した土砂が運搬・再堆積した運積面に大まかに区分する事ができる。詳細な区分図は、3のFig.3-6に示す通りであり、現地詳細調査では35の単位斜面に区分する事ができたが、その林分に対して空中写真を用いて林分の層化を行った。層化に用いた空中写真の仕様はTable 4-2に示す通りである。その内、実際に利用したのは、コース番号6番、写真番号3、4の2倍伸し（約縮尺1:5,000）の空中写真であった。

Table 4-2 Detail of photograph used for the stratification

表 4-2 層化に用いた空中写真の仕様

area number of photograph planning	鹿大演-55 鹿児島大学	area of photograph camera	高 隈 RMKA21/23
working-company	日 林 協	focal length	208.29mm
date	1980.9.30	scale of photograph	1:10000

前述の層化の方法に従って、林分の層化を実施した。その結果の各斜面の面積割合を Table 4-3 に示す。

山頂緩斜面と匍行面の間の傾斜変換線は容易に見つける事ができたが、匍行面と運積面の間の傾斜変換線は、運積面の面積割合が小さく、また変換線そのものの判定もかなり困難であった為に、運積面の面積の推定が過大推定になっている。

Table 4-3 Area rate of the surface (%)  
表 4-3 層化された斜面の面積割合 (%)

item	non-erosion surface	erosion surface	deposition surface
estimation from photograph	13	78	9
ground survey	12.5	80.9	6.6

(b) 層化無作為抽出法

空中写真により、対象林分を3層に区分する事ができた。したがって、次に、各層内で無作為にプロットを抽出する事にする。全林分から15個のプロットを抽出した。各層への標本の割当ては、比例割当てを用いた。その各層への割当ては、Table 4-4 に示す通りであった。

ただし、運積面の割合が小さく運積面への標本の比例割当てが1個となった。しかし、それでは層内の分散の計算が不可能なので、以後はこの運積面も匍行面に入れて考える事にした。したがって、

Table 4-4 Proportional allocation  
表 4-4 比例割当て

stratum	$N_h/N = W_h$	$n_h = W_h \cdot n$
non-erosion surface	.13	2
erosion surface	.78	12
deposition surface	.09	1
Total	1.00	$n = 15$

$N$ : total number of plots       $N_h$ : number of plots on each stratum  
 $W_h$ : Weight of stratum       $n$ : total number of sampled plots  
 $n_h$ : number of sampled plots from each stratum

最終的にはこの比例割当てに従って、各層内で無作為にプロットを抽出した。抽出したプロットの大きさは、10m × 10m の矩形プロットである。実際の各層内でのプロット抽出は、3で述べた全林分の立木位置図中で行った。抽出されたプロットの林分要素を Table 4-5 に示す。これらの値を用いて、全体の林分要素を推定した。その結果を Table 4-6 に示す。ha 当り本数および ha 当り材積の推定値の分散は、各層別に次式を用いて計算した。

$$s^2 = \frac{1}{m-1} \left( \sum_{i=1}^m x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{m} \right) \quad (1)$$

ただし  $m$ : 標本点数



Table 4-5 Stand-structure of the sampled plots

表 4-5 抽出されたプロットの林分構造

stratum	No	n	$\bar{d}$ (cm)	$\bar{h}$ (m)	V(m <sup>3</sup> )	CV(d)	CV(h)
non-erosion surface	1	12	19.8	8.2	1.5	.1483	.0913
	2	15	20.5	9.8	2.4	.1171	.0520
erosion surface	3	10	24.8	13.0	3.3	.2515	.1586
	4	9	29.9	17.2	5.2	.1729	.0713
	5	13	22.2	10.9	2.7	.1268	.1156
	6	9	25.2	13.2	3.1	.2643	.1236
	7	12	25.3	15.6	4.6	.1421	.0679
	8	2	36.1	17.8	1.7	.1717	.0986
	9	12	27.8	17.2	6.0	.1356	.0970
	10	9	23.3	13.9	2.7	.2099	.0885
	11	2	35.2	15.3	1.4	.1607	.1148
	12	9	30.2	18.0	5.5	.1791	.0586
deposition surface	13	8	28.3	14.7	3.5	.1792	.0480
	14	5	41.8	24.5	7.2	.1556	.0365
	15	4	31.9	20.3	3.1	.2213	.1260

n : number of stems                       $\bar{d}$  : mean diameter  
 $\bar{h}$  : mean height                              V : volume  
 CV(d) : coefficient of variance of diameter  
 CV(h) :    of height

Table 4-6 Estimated values

表 4-6 推定値

item	mean diameter $\bar{d}$ (cm)	mean height $\bar{h}$ (m)	total number of stems N	total volume V(m <sup>3</sup> )
stratified sampling	26.0	14.3	2510	1037
diameter measurement	25.7	14.0	2536	1028

一方、平均直径および平均樹高の分散は、比の分散の公式<sup>15)18)</sup>を用いて算出した。その分散は、次式で与えられる。

$$s_z^2 = \frac{1}{(m-1)\bar{X}^2} \left\{ \sum_{i=1}^m Y_i^2 + f^2 \sum_{i=1}^m X_i^2 - 2f \sum_{i=1}^m X_i Y_i \right\} \quad (2)$$

ただし  $X_i$  : 標本点当りの本数推定値

$Y_i$  : (標本点当りの推定値) × (標本点当りの本数推定値)

$f$  : 全体の平均値

したがってこの公式を用いて層別に分散を求め、求められた分散と各層の割合とから次式で層化無作為抽出による全体の平均値の標準誤差 ( $s_{\bar{x}_{st}}$ ) を求めた。

$$s_{gst} = \sqrt{\frac{\sum_{h=1}^L W_h^2 \cdot s_h^2}{n_h} - \frac{\sum_{h=1}^L W_h \cdot s_h^2}{N}} \quad (3)$$

ただし L : 層の数  
 $W_h$  : 各層の割合  
 $s_h^2$  : 各層の分散  
 $n_h$  : 各層の抽出プロット数  
 N : 全体のプロット数

以上から、各推定値の 95 % の信頼区間と標本の抽出誤差率を求めた。その結果を Table 4-7 に示す。

Table 4-7 95% confidence intervals and their sampling errors (%)

表 4-7 95%信頼区間と標本抽出誤差率 (%)

item	mean diameter $\bar{d}$ (cm)	mean height $\bar{h}$ (m)	total number of stems N	total volume V(m <sup>3</sup> )
diameter measurement	25.7	14.0	2536	1028
stratified sampling	26.0	14.3	2510	1037
sampling error	±1.00	±1.11	±550	±253
	3.8	7.8	21.9	24.4

### (3) サンプリング結果の比較

#### (a) 単純無作為抽出法

前節で、層化無作為抽出法を用いて対象林分の林分構造を推定してかなり良い結果を得た。この節では、層化無作為抽出法と比較する意味で、同じ林分に対して単純無作為抽出法を用いて林分構造の推定を行った。単純無作為抽出法と層化無作為抽出法の推定の分散はコクラン<sup>5)</sup>によれば、もし層化が効率良く行われれば、層化のために単純無作為抽出法によって推定された値の分散より、つねに小さい分散が得られるとしている。前節で行った層化は、林木の生長の源である林地の立地条件による層化で非常に効率が良いと考えられるため、単純無作為抽出に比べて良い精度が得られるのではないかと考えられる。

したがって、前出の林分に対して、単純無作為抽出法を用いて各林分要素の推定を行った。プロットの抽出は、林分全体から無作為に層化無作為抽出法と同様の 10m × 10m の矩形プロット 15 個を抽出した。抽出されたプロットの林分要素を Table 4-8 に示す。なお、プロットの一部は、層化抽出法で抽出したプロットを利用した。Table 4-8 に示したプロットごとの測定値を用いて対象林分全体の平均直径、平均樹高、ha 当り本数、ha 当り材積と各値の標本抽出誤差率を求めた。

ただし、層化無作為抽出法の場合と同様に、平均直径および平均樹高の推定値の分散は、前節の(2)の公式を用いて計算を行った。また、ha 当り本数および ha 当り材積については、前節の(1)の公式を用いてそれぞれ計算を行った。その結果を Table 4-9 に示す。Table 4-7 と Table 4-9 から明らかのように、単純無作為抽出法、層化無作為抽出法の両推定値とも真値を含んでいるが、予想されたように、層化無作為抽出法の標本抽出誤差率が単純無作為抽出法のそれに比べてかなり小さくなり、

Table 4-8 Stand-structure of the sampled plots

表 4-8 抽出されたプロットの林分構造

No \ item	n	$\bar{d}$ (cm)	$\bar{h}$ (m)	V(m <sup>3</sup> )	CV(d)	CV(h)
1	13	22.3	12.4	3.2	.1931	.0855
2	12	20.9	9.6	2.0	.1709	.0738
3	10	24.8	13.0	3.3	.2515	.1586
4	9	29.9	17.2	5.2	.1729	.0713
5	13	22.2	10.9	2.7	.1268	.1156
6	9	25.2	13.2	3.1	.2643	.1236
7	12	25.3	15.6	4.6	.1421	.0679
8	2	36.1	17.8	1.7	.1717	.0986
9	12	27.8	17.2	6.0	.1356	.0970
10	9	23.3	13.9	2.7	.2099	.0885
11	2	35.2	15.3	1.4	.1607	.1148
12	9	30.2	18.0	5.5	.1791	.0586
13	8	28.3	14.7	3.5	.1792	.0480
14	5	41.8	24.5	7.2	.1556	.0365
15	3	36.0	19.0	2.8	.2460	.1307

n : number of stems                       $\bar{d}$  : mean diameter  
 $\bar{h}$  : mean height                              V : volume  
 CV(d) : coefficient of variance of diameter  
 CV(h) :    of height

Table 4-9 95% confidence intervals and sampling errors (%)

表 4-9 95%信頼区間と標本抽出誤差率 (%)

item	mean diameter $\bar{d}$ (cm)	mean height $\bar{h}$ (m)	total number of stems N	total volume V(m <sup>3</sup> )
diameter measurement	25.7	14.0	2536	1028
simple random sampling	26.4	14.6	2458	1054
sampling error	±2.55	±1.93	±613	±269
	9.7	13.2	24.9	25.5

推定精度が良くなっているのがわかる。これは、主に層化が効率的に行われた結果であると考えられ、林分調査、特に同一林分内での調査では、立地を基礎とする林分の層化を行う事で容易に推定の精度を上げ得ると考えられる。

(b) 直径および樹高分布の推定結果

これまでの実験例で、平均直径、平均樹高、ha 当り本数および ha 当り材積について、それぞれ単純無作為抽出法と斜面の立地条件を層化の基準とした層化無作為抽出法で推定された値の比較を行い、両方とも良い推定値を与えるが、層化無作為抽出法の方が良い推定精度を与える事がわかった。しかし我々は、平均値とともに、対象とする林分要素の分布まで必要である場合が多い。特に、事業のための調査では、直径や樹高の平均値に加えてそれらの分布が要求される場合が多い。したがって

Table 4-10 Parameters of Weibull distribution on each plot

表 4-10 プロットごとのワイブル分布のパラメータ

(a) stratified random sampling

No.	diameter			tree-height		
	a	b	c	a	b	c
1	13	7.6676	2.45	6.5	1.9177	2.40
2	17	3.8770	1.50	8.5	1.4609	2.75
3	13	13.3153	2.00	7.5	6.1681	2.90
4	23	7.5245	1.35	15.5	1.8652	1.40
5	17	5.8601	1.90	8.5	2.7081	2.00
6	17	8.8041	1.25	10.5	3.0261	1.70
7	19	7.0843	1.80	13.5	2.3710	2.10
8	29	7.4603	1.15	15.5	2.4903	1.30
9	19	9.9177	2.50	14.5	4.1737	2.40
10	15	9.3194	1.75	11.5	3.8075	3.00
11	29	6.4255	1.10	13.5	3.1313	1.65
12	23	7.8517	1.35	15.5	2.8163	2.55
13	21	8.0510	1.45	13.5	1.3474	1.75
14	35	6.9332	1.05	23.5	2.2561	2.40
15	23	9.5557	1.25	17.5	2.9018	1.10

(b) simple random sampling

No.	diameter			tree-height		
	a	b	c	a	b	c
1	13	10.4977	2.30	10.5	3.2476	3.00
2	15	6.6126	1.70	7.5	2.3429	3.25
3	13	13.3153	2.00	7.5	6.1681	2.90
4	23	7.5245	1.35	15.5	1.8652	1.40
5	17	5.8601	1.90	8.5	2.7081	2.00
6	17	8.8041	1.25	10.5	3.0261	1.70
7	19	7.0843	1.80	13.5	2.3710	2.10
8	29	7.4603	1.15	15.5	2.4903	1.30
9	19	9.9177	2.50	14.5	4.1737	2.40
10	15	9.3194	1.75	11.5	3.8075	3.00
11	29	6.4255	1.10	13.5	3.1313	1.65
12	23	7.8517	1.35	15.5	2.8163	2.55
13	21	8.0510	1.45	13.5	1.3474	1.75
14	35	6.9332	1.05	23.5	2.2561	2.40
15	27	9.0000	1.00	16.5	2.500	1.00

ここでは、前出の調査法で得られたデータを基に直径と樹高それぞれの分布の推定を行ってみた。その分布の推定方法は、まず前出の両抽出法で抽出されたプロットごとに、直径（樹高）の変動係数と直径（樹高）の最小値からワイブル分布を用いて、直径（樹高）階級本数を推定した<sup>22)</sup>。その各プロットの変動係数、最小直径（樹高）*a*、ワイブル分布のパラメータの*b*と*c*をTable 4-10に示す。これらのパラメータを基に、各プロットごとに階級別の本数を推定し、単純無作為抽出法の場合は各階級別に平均をし、直径（樹高）の階級別の頻度分布を求めた。一方、層化無作為抽出法の場合は、層ごとに階級別の頻度分布をまず求め、それらに層の重み付けを行い、最終的に全体の階級別の頻度分布を求めた。それにより得られた結果をTable 4-11に示す。また、これを図示したものがFig.4-3である。

Table 4-11 Result of the distribution-estimation

表 4-11 分布の推定結果

(a) diameter				(b) tree-height			
class (cm)	simple random sampling	stratified random sampling	diameter measurement	class (m)	simple random sampling	stratified random sampling	diameter measurement
14	10	12	34	7	0	41	3
16	72	58	97	8	15	105	33
18	184	235	208	9	128	180	210
20	300	353	344	10	232	300	285
22	397	409	360	11	275	234	218
24	386	381	330	12	296	214	207
26	291	280	263	13	253	181	211
28	217	197	223	14	246	217	246
30	161	152	189	15	188	184	236
32	113	108	131	16	191	193	211
34	76	77	106	17	207	190	169
36	75	75	61	18	165	174	148
38	53	53	44	19	98	107	106
40	37	37	42	20	42	49	78
42	26	26	35	21	15	20	59
44	18	18	22	22	6	10	43
46	13	13	16	23	15	18	33
48	9	9	10	24	39	41	15
50	6	6	6	25	33	35	15
52	4	4	7	26	12	13	6
54	3	3	3	27	2	3	3
56	3	2	1	28	0	1	0
58	1	1	2	29	0	0	1
60	1	1	0				
62	1	0	1				
64	1	0	0				
68	0	0	1				
Total	2458	2510	2536	Total	2458	2510	2536

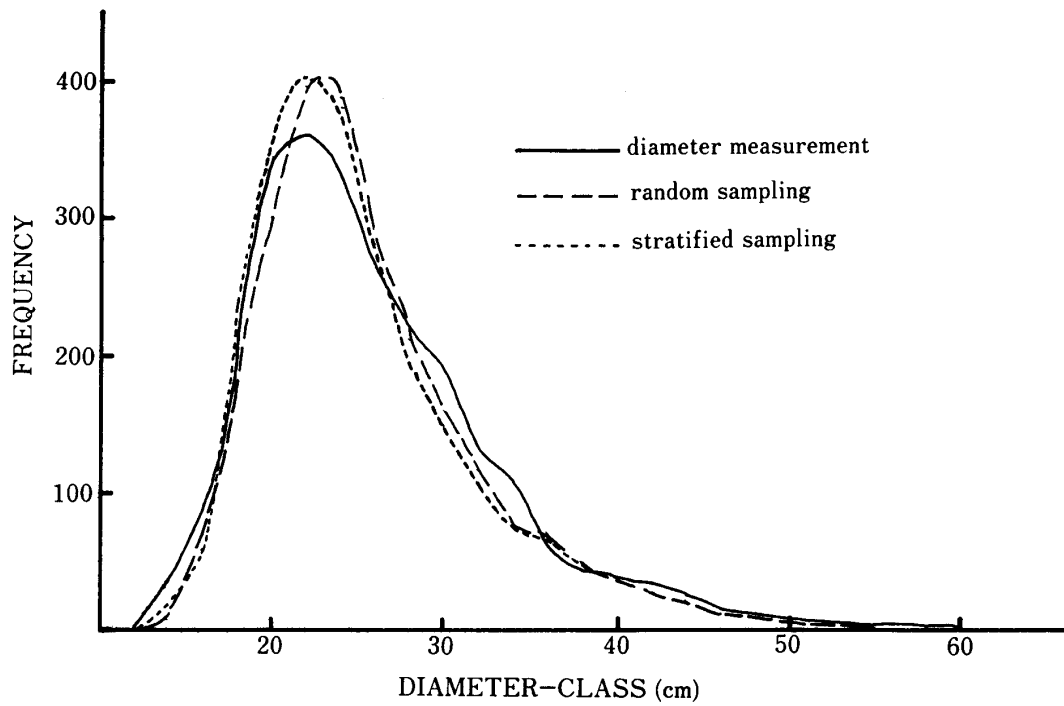


Fig. 4-2. Estimated diameter distribution.

図 4-2 直径分布の推定

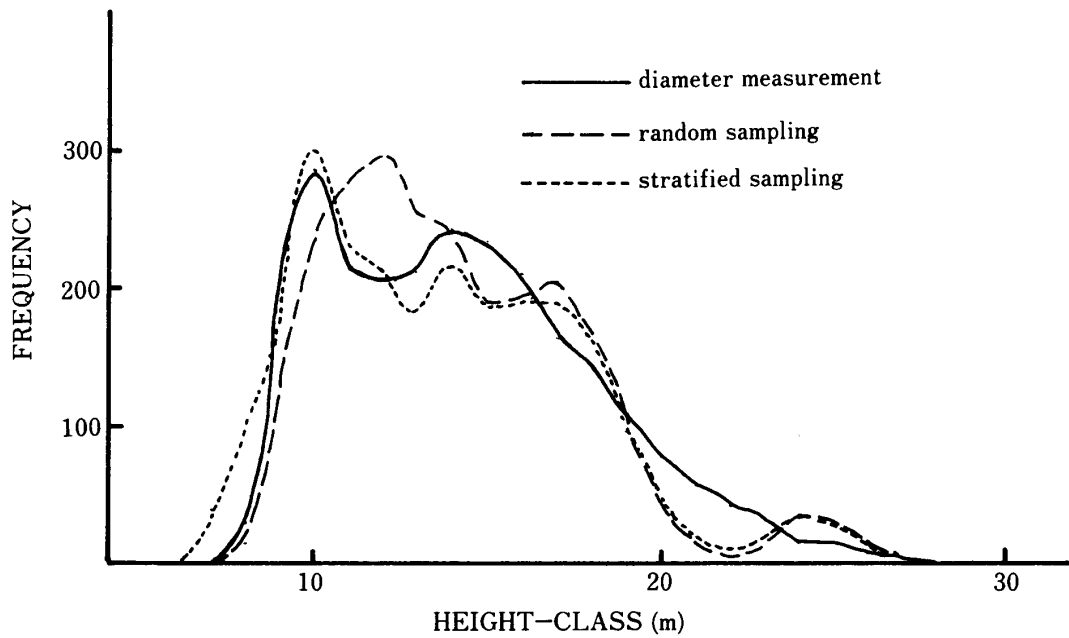


Fig. 4-3. Estimated height distribution.

図 4-3 樹高分布の推定

Fig.4 - 2 から明らかなように、直径分布の推定は、単純無作為抽出法、層化無作為抽出法ともかなり良く推定されている。これを確かめるため、ノンパラメトリック検定の中の Kolmogorov-Smirnov の分布の適合度の検定<sup>24)</sup>をそれぞれの分布について行った。その結果を、Table 4 - 12(a) に示す。

Table 4-12 Kolmogorov-Smirnov test  
表 4-12 Kolmogorov-Smirnov の検定

(a) diameter

sampling	$D_n$	$D_n(\alpha)$
random sampling	.039	.271
stratified sampling	.043	

$D_n$ : Maximum (true distribution function-estimated distribution function)

(b) tree-height

sampling	$D_n$	$D_n(\alpha)$
random sampling	.056	.265
stratified sampling	.051	

Table 4 - 12(a)から明らかなように、ともに本来の分布と違うとはいえないという結果を得た。ただし、層化抽出法による推定の方が分布の極大値が本来の分布に、わずかではあるが近く、良い推定をしているように思われる。したがって推定された分布の適合度を確かめるために、情報量規準 AIC<sup>2)</sup>を用いて調べた。ここで、情報量規準 AIC とは、現実に観測されるデータを用いて統計的モデルの悪さを評価するために赤池が導入した統計量であり、それは次式で表わされる。

$$AIC = N \cdot \ln(s_k^2) + 2(k + 1)$$

ただし N : 観測値の数  $s_k^2$  : 残差 2 乗平均 k : パラメータの数

これにより評価したいものの AIC を計算し、それらの中で AIC が小さい方が良いモデルとみなされる。

したがって、単純無作為抽出法と層化無作為抽出法それぞれで推定された直径分布について AIC を求めた。その値を Table 4 - 13(a)に示す。

残差 2 乗平均は、層化無作為法で推定された分布の方が小さかったが、パラメータの数まで考慮する AIC では、単純無作為抽出法によって推定された分布の方がわずかではあるが良い結果を与えているという結論を得た。これは、生育時に直径の変動係数が大きいため、層化しても前出の Fig.4 - 1 から明らかなように各層の分布がかなり重複しており、層化の効果が小さかったためであると思われる。

一方、樹高の分布は対象林分の立地条件を反映して、本来の分布が 2 つの極大値をもつ分布であった。これに対する両抽出法による推定結果は、Fig.4 - 3 から明らかなように、かなり異なった結果になっている。これらの推定された分布の適合度を検定するために、直径の時と同様に、Kolmogorov-Smirnov の検定をそれぞれに対して行った。その結果は、Table 4 - 12(b)に示す通り、両抽出法によって推定された分布とも本来の分布と違うとはいえないという結果を得た。しかし、Fig.4 -

Table 4-13 AIC test  
表 4-13 AIC による検定

(a) diameter			
sampling	residual	$2(k+1)$	AIC
random sampling	602.9	2	123.6
stratified sampling	5560.9	6	126.3

k : number of parameters

(b) tree-height			
sampling	residual	$2(k+1)$	AIC
random sampling	1657.1	2	150.3
stratified sampling	937.3	6	142.9

3から明らかのように、本来の分布の極大値を2つ持つ分布の形には、層化抽出法で推定された分布の形の方が近似しているように思われる。したがって、直径の場合と同様に、情報量規準 AIC を計算して分布の適合を調べた。Table 4-13(b)から明らかのように、層化抽出法による推定のほうが良い適合度を示しているという結果になった。

以上のように、対象林分の直径分布と樹高分布の推定を単純無作為抽出法と層化無作為抽出法で行ってみたが、統計的にはともに本来の分布と違うとはいえないという結論になった。直径の分布については、残差2乗平均の分析では層化無作為抽出法の方が良い推定をしているという結果になり、AICの分析からはわずかながら単純無作為法の方が良い推定をしているという相反する結果になった。一方、複雑な樹高の分布に対しては、層化無作為法による推定の方が良い推定をしているという結果が得られた。

#### (4) まとめ

この4では、3までで明らかになった広域な場合の林地生産力の分布様式および狭域な場合の斜面上における林木の生育状態の分布様式を踏まえて、それらを利用した調査法を考えてみた。

実験に用いたのは、3で用いた林分と同じ林分である。それらに対して行った実験の結果、次の事が明らかになった。

(1) 単純同齡林分を対象とする場合、最も効果的だと考えられる調査法は、その林分が成立している斜面の構造を考慮した、1次標本が単位斜面、2次標本が単位斜面内の堆積様式で区分される単位立地区そして3次標本が単位立地区内に設定されたプロットで構成される3段抽出法である。

(Table 4-1)

(2) 3段抽出法は、現地での立地区分が容易でないため、それに代えて斜面の構造を基に空中写真上で林分の層化(斜面の立地区分)を行う層化無作為抽出が良い。

(3) 実際に単純無作為抽出法と層化無作為抽出法を用いて対象林分の林分構造の推定を行ったところ、両推定法とも良い推定値を与えたが、標本抽出誤差率がいずれの推定値でも層化抽出法の方が小さかった。(Table 4-7, Table 4-9)

(4) さらに、直径と樹高それぞれの階級別頻度分布を単純無作為抽出および層化無作為抽出により推定し、両推定法から得られた分布に対し、残差2乗平均および情報量規準 AIC を用いて適合度



合の分析を行った結果、直径の分布の推定に関しては、どちらとも言えないが、樹高の分布の推定では、明らかに層化無作為抽出による精度の方が良かった。

## 5. 立地的な広がりとその認識間の矛盾

今までの森林立地、特に斜面の性質・構造に関する研究および今回の斜面の構造と林分構造の関係に関する研究で、かなり具体的に地形による立地区分と林分構造の関係が明らかになったと思う。その関係は3で明らかになったように、すべてが立地的な広がりに対応した形で存在していると言う事である。したがって、調査や統計的解析を行う場合は、その目的とするものの性質に適した立地的広がりを考慮して実行されなければならない。しかし、この点に関しては、従来から注意がほとんど払われておらず、したがって現在林学の色々な分野で矛盾や不合理的な点が多く見られる。したがって、ここではそれらの事に触れながら、再度立地的な広がりを認識する事の重要性について考えてみる事にする。

まず、経営の分野では、調査時に設定しているプロットの大きさの事がまず問題としてあげられる。従来から、サンプリング<sup>20)</sup>では、標本となるプロットの大きさを決めるには、プロットの大きさが分散にどのように影響を与えるかを知る必要があり、一般に小さいプロットは、いつも大きいプロットよりも変動が大きいと考えられている。また、分散そのものに対しては、大きなプロットは林木が密生しているところや疎開地の影響が平均化されるから分散が小さくなる傾向にあり、斉一な似かよった林木を持つ母集団ではプロットの大きさが変わっても分散にはあまり影響がないと考えられている。したがってプロットサイズの決定には、プロットサイズの平均に対する標準誤差率とプロット調査費または時間が考慮されている。ただし、現実的には、人工林でプロットの大きさが0.1ha～0.15ha以下では変動係数が急激に増大し、それ以上ではほぼ一定の大きさを示すとされ、プロット内に入る立木本数から林齢に合わせて0.02ha～0.1haの大きさのプロットの方が良いと考えられている。このような考え方は、林木の現存量や平均値を把握するという意味においては、正しいであろう。ただし、林木の構造的性質については、先に述べたようにそれらに応じた立地的広がりがあり、同一林分内でも斜面の構造により非常に大きな相違が見られる事から、求められるプロットの大きさは、林分の性質に適した大きさであるべきである。ちなみに、今回の解析では、林木の性質が同じと考えられる領域は単位立地区は、最も広い面積で0.13haであり、そのほとんどが0.01ha～0.025haに集中し、平均では、わずか0.02haであった。また、単位立地区の集合体である単位斜面でも平均0.08haであった。ただし、この大きさは、斜面がぞくする地質条件により多少異なると思われるが、形状は別にしても大きいプロットが必ずしもすべての場合に良いとは言えない事は明らかである。特に、林分内の林木の構造的性質を把握する場合には、充分プロットの大きさを考えるべきである。

一方、林分の推移を計測するために、多数の固定プロットが設定されているが、それらのデータは、本来、全体推定を行うためのものであり、またプロット内の林木の相互作用により生まれた林分の構造的変化、つまり林分の生長法則を把握するために近年利用されているが、生長法則の解明にそのデータの利用をする場合、当然その前提として対象母集団は等質でなければならない。林分が等質であるとした上で継続的に観察を行えば、その中で林木の生育・競争過程が明らかになり、その結果生長法則の解明が可能になるであろう。しかし、現在の固定プロットは、3で述べたように、今までの経過から立地的な広がりに対する配慮がなかったため、そのほとんどが異質の林木集団と考えられ、それ自体の一時の測定では、まったく意味を持たず、継続的に測定されたデータにより一応の生長関係式は求める事ができるが、データの基となる林分が異質の林分集団であるためそれに関係式にすぎ

ない。したがって、現存する固定プロットのデータについては、現地で立地区分を行い、等質と考えられる林木小集団に細分し、それらの中での解析を行う事でより正確な生長解析が期待でき、さらに固定プロットの価値を増す事ができると考える。

それに関して、一時的なプロットは林分構造や林分の現況を把握するには有効であるが、決して生長モデル等のデータには利用できないと考えられている。逆に、固定プロットのデータだけが生長モデルの構築を可能にし、さらにその情度を検定する事ができると考えられている。しかしこれは、固定プロットが以前からそうであったように、一時的なプロットも単に林齢および樹種の面では林分として等質であっても、林木の生長等に関しては異質であったために、各プロット相互の関係が不明瞭となり、その結果、生長解析には不適だとされていたと考えられる。したがって、林木の生長に関して等質である範囲で、プロットを設定すれば、それらに対して指標となる変数たとえば、林齢や上層木平均樹高や立木本数で各一時的プロットの絶対的位置付けが可能となり、生長モデル等のデータとしても十分利用できるであろう。この方法であれば、非常に多くのデータが採集可能であり、生長モデルによる解析の急速な進歩が期待される。

次に考えられる不合理な点は、育種とりわけ品種試験の検定に関わる事であろう。一般に、品種試験は、ある土地条件における各品種間の量的あるいは質的な相違を判定するものである。したがって、その条件に適合した品種の選択の基準が量的か質的かで評価法が異なるであろうが、特に各品種が量的基準で評価される時に問題があるように思われる。一般に、量的基準に用いられるものは直径や樹高であるが、それらの分析には実験計画法の中でも色々な誤差が非常に多く存在し、正しく評価することが難しい分析であり、特に誤差の中でも地形に由来する場所的な変動が非常に大きい<sup>3)23)</sup>。したがって、それらの地形要因の影響を除くために、ブロックと品種の2要因で分散分析を行っている場合が多い。量的分析、特に樹高による分析であれば、各品種の位置する場所が少なくとも地力が同じでなければ、比較対照できないはずである。特に、樹高が最も鋭敏に地位を反映するものであるため、比較対照する林木間の地位の等質性が非常に重要であろう。ただし、従来はその区分が不可能であるため、ブロックを設けてその中では地位が同じと見なし、地形要因による影響を除去して品種間の検定を行ってきた。しかし、この方法でも厳密に言えばブロック内の地位も等質ではなく異質なものであり、ブロックを設定して実験計画を行っても満足ゆく結果が得られるか疑わしい。したがって、最近では他の検定方法も考えられている。その検定法とは、境界法<sup>29)</sup>(BOUNDARY COMPARISONS ANALYSIS)と呼んだらよいであろうか、検定したい品種が品種別にブロック状に植栽されている時、ブロック全体を平均して比較するものではなく、各品種が接している境界に添った(正確には1列内側)林木の樹高を各境界について比較し、品種間の差を検定するものである。この方法を用いてブロックと品種を要因とした分散分析で検出できなかった品種間差を検出している。この方法は、隣接する品種の林木を用いて検定するため、必然的に比較する林木の地位が等しくなり、その結果、このような強力な検出力を持ったものと考えられる。このように、林地での品種の検定には、検定する品種がすべて同じ地位を示す場所にある事が非常に大切である事がわかるであろう。特に日本の場合、本研究で見たように、斜面上での地位の変動が非常に大きい所では、一層そのような区分が必要とされよう。しかも、林木の生長が同じだと見なすことのできる単位立地区の区分は、今回の研究で示したように非常に容易ではないが可能であるので、今存在する試験林については、林内の立地区分を行い、その中で生育する品種間の比較を行う事となろう。また、これから作られる試験林については、あらかじめ斜面の構造を調査した上で、その構造に対応した植栽方法を取るのが望ましいと考えられる。ただし、このような試験林の場合、単位立地区の大きさから見て、一度にたくさ

んの品種を比較し得ない事になる。したがって、その代替法として、1つの基準品種（性格のある程度わかっている在来品種等）との数列ごとの交互植えによる試験林が考えられる。この方法によれば、その品種を基準に、同単位立地区内の品種と比較する事ができ、他の単位立地区との比較は、基準品種を媒介にして可能であろう。

さらに、このような検定法は、単位立地区の地位がある程度判明しているから、それらの相対的な立地条件に対して、各品種がどのくらいの適応性を持つか検定可能であり、この性質は実際に林木を造林した場合、ある品種は全体的に生長が良いが、ある品種では限られた場所では生長が良いが、条件が少し悪くなるとそれ以上に生長の悪い事もあるという結果を生み、これらの品種の地位に対する適応性を判定基準としたこの検定が有効であると考えられる。このように、林木の生長を主に検定の対象とする品種試験地であればこそ、その立地条件の把握が必要であり、それには立地区分の考え方がさらに導入されなければならないと考える。

最後に、施業対象地の範囲の決定およびそれらの中で実行される施業の問題を考えてみる。この問題は、広域的な場合の立地的広がりにかかわりがある。つまり、一般には森林の公益的機能を維持するための林地または施業が困難な所として制限林地や除地に指定しその対象から除外したが、それ以外はほぼ対象として取扱ってきた。この事は、2の広域的な林地生産力の分析でみたように、一般林地でも生長の面で非常に異なった地位を含んでいるため、非常に経営の面から見て不利となる部分が存在する事を示している。特に、最近のように、効率的な林業経営が要求されている時期に、経営的に不利となる（伐採までの期間を考慮に入れると不利になる）地域は、施業の対象から除外するか、または施業の方法を区別する必要があるのではないかと思われる。これらの林分の区分には、2の広域的な林地生産力の推定のところで述べたように、斜面の構造的性質を用いるのが良いと思われる。林地生産力自体は、同じ2で述べたように、色々な要因の相互作用により決定されるので、必ずしも斜面の区分と完全に一致するものではないが、2で見たようにほぼそれらの区分に林地生産力が対応しているので、一つの目安になると考えられる。一方、施業の方法についての立地的広がりには、極端な例であるかもしれないが、屋久島を一つのモデル地域として考えてみる。この島は、今話題になっているように、その原生林の取扱いが問題となっている。ただし原生林と言われているが、そのほとんどは、300年前に単木択伐が行われ、その空間を利用した天然更新によって再生した二次林である。それに加え、自然的には斜面に自然的に発生する崩壊により開空間が形成され、その空間を利用してスギの天然更新が行われ、現在の林相を形成している<sup>8)11)</sup>。したがって、現在は山頂・山腹の緩斜面および運積面の緩斜面には、非常に古い通称ヤクスギと呼ばれるスギを含んだスギ林分が存在し、開析面は人為的伐採と自然的な斜面崩壊によって天然更新した300～400年程度を最高とするスギ林分、そして海岸近くの前岳の運積面は若いスギ人工林という林分の構成になっている。このように、非常に林分が各斜面の構造的性質に対応した形で自然にかつ人為的に造られて均衡を保っている。そのような立地的な区分ごとの自然法則を考慮した施業が今後とも森林に対して行われなければならないと考える。

以上のように、森林における立地的広がりへの認識は、非常に狭域的な林木の生長に関する事から、広域的な施業対象の目安や施業の方法にまで応用可能であり、これらを応用することにより一層効率的な分析や経営が可能となると確信する。

## 6. 総 括

### (1) 研究成果の要約

本研究は林業経営の中で最も基本的かつ重要な要因である林木の生長ならびに林地生産力について、重要な要因でありながらそれらの値や特にそれらの変動の様式についての認識が少ないと感じられたため、まず地形による立地区分を行い、その立地的広がりや林分構造ならびに林地生産力の分布様式との関係を解明し、さらにそれを基準に調査や生長を取扱う諸分析に利用する事によって、よりの確かな推定・分析が行える事を明らかにする事を目的として、まず広域な場合の斜面の区分と林地生産力の分布様式との関係の解明を行い、次に対象が狭域な場合（同一林分内等）の単位立地区と林木の生長の分布様式との関係の解明を行った。

まず1-(2)では、この研究に関連がありまた基礎になった研究についてまとめ、山田によりまず微細地形に基づく人工林生育状態として、各局所地形で林木の生育状態が非常に変化する事が明らかにされた事、その後竹下らにより斜面の微細地形、土壌、林木の生長に関する研究により一般の山岳斜面の構成様式が明らかになり、それに従って地位の変異が起こっている事が明らかにされた事を述べている。1-(3)では、林木の生長や林地生産力の分布様式を取扱うための前提として、それらの分布を作り出す環境要因の中の植物の物質生産的立場に立った要因の種類およびその働きについて述べ、とりわけ水分の光合成への独立的な要因としての働きを明らかにした。さらに、それを発展させ、経営の面から見た環境因子に言及し、上述の水分条件を反映する因子の中の順序分類因子である土壌・堆積様式が重要な因子である事、また、流域管理等の広範にわたる場合には、対象流域を構成している構成様式の異なった3つの地形が分布様式を決める因子である事を示し、原則的には地形因子がその因子として働きうる事を明らかにした。

2-(1)では1の結論を基に、本研究の基本的な考え方として質的性質の統計解析や母集団の分布を推定する場合を事例にあげ、対象とする母集団の等・異質性を問題にし、対象母集団が異質の集団であれば等質集団にする事によって当然効果的な色々の分析が可能である事を指摘し、その等質集団への区分は、地形・立地区分により実行される事を述べている。2-(2)では、2-(1)で述べた考え方を検証する意味で、実例として1小班を取上げ、その小班内の上層木平均樹高の分布を調べたが、結果は極大値を2つ持った非常にいびつな分布が得られ（Fig.2-1）、本研究の考え方が狭域な場合には妥当である事が明らかになった。2-(3)では、2-(2)に続きさらに広域的な場合の考え方を検証するにあたり、林地生産力に関する情報を数的に取扱う場合に問題となるメッシュサイズとその推定精度について一辺が25m、50m、100m、250m、500m、そして1kmの各サイズで1/5,000で描かれた林地生産力分布図を用いて検討した結果、Fig.2-4およびTable 2-4に示すように50mのメッシュサイズまでは、本来の分布を再現する事が確かめられた。さらにこれを利用し、広域な場合の林地生産力の分布様式を明らかにするために、前出の林地生産力の分布図を用いて分析を行った。その中で、林地生産力の分布パターンは、Fig.2-5(b)~7(b)に示すように同一地域内でも、場所によってそれが非常に異なる事が確かめられた。ただし流域全体としては、Fig.2-3に示すように母集団の異質性がまったく感じられなかったが、竹下らの研究結果から、一流域を対象とした広域な場合も、対象母集団は、異質の集団の集まりである事が明らかになっていたので、これを参考に同一地域内の場所による林地生産力の分布の違いに関する分析を行った。分布の違いによって3つのパターンに区分でき、それらの林地生産力ランクの面積割合（Fig.2-8）に示すように、各パターンとも異質の集団と考えられ、さらに、パターンごとにまったく異なった分布をしている事がわかった。したがって等質集団に区分する方法として、このパターンの各地域を構成している斜面を形成過程の違いによる性質によって立地区分する事を試みた。その斜面とは、1つが、相対的に古い上部傾斜変換線より上の残積系の緩斜面、2つ目が、開析によって新しく形成された匍行系の斜面、

そして最後が斜面下部に形成される運積系の緩斜面である。これらの斜面を基準に、立地区分を行うと、Fig.2-10に示すように、どのパターンも各斜面内では林地生産力が等質となり、また各斜面の分布形は、パターンの違いに拘わらず、そのひずみととがりの統計量からほぼ等しい事がわかり、広域的な場合の林地生産力の分布も、上記の3斜面による立地区分で等質の集団に区分できる事が明らかになった。

3では、以上の分析で明らかになった異質な母集団の実例として、面積2.8ha、55年生のスギ人工林の1小班を取り上げ、林分構造と立地区分の関係を明らかにした。まず、対象林分の立地区分を竹下らが行った方法に従って行った。それにより対象斜面は、斜面が開析の段階で生ずる凸型の傾斜変換線を基準に35の単位斜面(Fig.3-6)に立地区分され、さらに堆積様式区分の調査結果(Fig.3-5)を加えて、最終的には126個の単位立地区に区分する事ができた(Fig.3-6)。この結果、対象林分はまず単位斜面で区分でき、その単位斜面内は、堆積様式で区分される単位立地区に細分され、それらは系統的に配列している事が確認された。続いて3-(3)では、まず傾斜変換線の存在や堆積様式の区分でどのように林分構造が異なっているかを見たが、Fig.3-9(1)~(4)から、竹下が指摘したように、傾斜変換線および堆積様式が林分構造(特に樹高の分布)に非常に強い影響を与えている事を確認し、さらに、林木の生長面で立地条件が多少の幅はあるが斉一と見なせるのは、単位立地区である事もわかった。しかも、斜面の構造が系統的であるのに対応して、それらに位置する林木の林分構造も同様な傾向を示しているのが明らかになった。その上、単位立地区内の林分構造、特に単位立地区内の樹高の分布について分布の統計量のとがり( $a_4$ )を用いて分析を行った結果、地位が斉一と考えられる単位立地区の中の樹高の分布は、正規分布に限るものではなく、むしろそれは林木の生育過程の密度により変化し、過うっぺいでは、正規分布よりも集中度の強い分布、普通のうっぺい状態では、正規分布かまたはそれよりも中央が扁平で両側のすその短い分布をする事が明らかになった。最後に、単位立地区内の相対的な林分構造として直径と樹高の変動係数について分析を行ったが、どの堆積様式にかかわらず各単位立地区内の樹高の変動係数に対する直径のその割合は、Fig.3-11(1)~(6)、Table 3-8に示すようにほぼ等しい事が明らかになった。

4-(1)では、2および3の分析で、広域的な場合の林地生産力の分布様式および狭域的な場合の斜面上の林木構造の様式がかなり明らかになったので、それらを利用した狭域的な場合の森林調査法を試行した。今までで明らかになった、斜面の立地的構造からは、Table 4-1に示すようなつまり1次標本の単位が単位斜面、2次標本の要素が単位立地区、3次標本の副要素が単位立地区内のプロットから成る3段階抽出法(3-stage sampling)が理想的であると考えられたが、実行上困難が予想された。したがって、広域的な場合の立地区分で用いた斜面の構造的性質による区分を応用し、林木が成立する斜面を山頂山腹の緩斜面・匍行面・運積面を層化の基準として層化無作為抽出法を提案した。その方法は、まず空中写真上で対象林分を斜面上の傾斜変換線を基に前出の3斜面に層化し、層化した層内の現地で無作為に地上調査を行うものであり、この調査法を利用して、3で用いた林分をモデルにして林分構造の推定ならびに各値の標本抽出誤差率の計算を行った。一方、この調査法と比較をするために同じ林分に対して単純無作為法を適用し、同様に林分構造の推定を行った。その結果は、Table 4-7とTable 4-9に示すように、立地区分を利用した層化無作為抽出法が、どの値に対しても精度が良かった。さらに、直径の分布および樹高の分布を単純無作為法と層化単純無作為法から前出のデータを利用して推定した。推定は、両抽出法で抽出された各プロットにそれぞれワイブル分布をあてはめ、プロットごとの直径階別本数および樹高階別本数を求め、単純無作為法は、階級ごとの単純平均、層化無作為法は、層の重みを付け平均してそれぞれ階級別の本数を求めた。結

果は、両推定法から推定された直径、樹高分布とも本来の分布と違うとは言えないという事になった。したがって、さらに分布の適合の度合を検定するために、残差2乗平均と情報量基準 AIC を用いて調べたところ、直径の分布についてはどちらとも言えないという結果になったが、複雑な樹高の分布に対しては、層化無作為法による推定の方が非常に良い推定をしているという結果を得た。このように、立地区分を層化の基準に用いた森林調査法は、十分に満足の行く推定値を与え、立地区分が有効な層化の基準である事が明らかになった。

5では、立地的広がりがある林学の色々な分野であまり理解されず現在に至っているため、いくつかの事例を上げ問題点を指摘し、立地的広がりがある有効利用を提案した。1つは、経営の部門の問題で調査時に設定するプロットの大きさに関するものであった。一般に、平均値を求めるサンプリングでは、時間や費用を考慮しなければ、大きいプロットほど良い推定値をあたえるため、林木の質的性質を調査する場合でも、大きいプロットの方が良いとする考え方が強いが、それは立地的に斉一と考える大きさよりもかなり大きく、それでは生長という林木の性質について考えた時、プロットが異質の集団で構成される事になり、それらを十分に把握する事ができない事を指摘した。さらに生長法則の解明に用いる固定プロットの設定の方法について触れ、現存する物については、立地区分をして生長法則の解析に用い、これから設定されるものについては、立地単位区をその領域とする事を提案した。また、一時的なプロットも、立地区分に従って設定すれば、固定プロット同様十分に生長法則の解析に可能性がある事を示した。次に、品種試験林における検定の問題に触れ、林木の生長をその主な選択基準とする以上、その分析には少なくとも条件つまり地位が等しいと考えられる領域内での品種間の比較が行われる事が原則である事を指摘し、立地区分を利用した分析の方法および斜面の立地的構造に合ったより有効な試験法を提案した。最後に、広域的な場合の立地的広がりへの応用として、経営的に不利とならない施業対象範囲の決定に、林地生産力との関わりから広域的な立地区分、すなわち斜面の構造的性質の区分を応用する事、ならびに、森林に対する施業の基準として、現在立地的に異なった斜面でそれぞれ進行している自然の法則を利用する事を屋久島をモデルに提案した。

## (2) 問題点と今後の研究課題

立地的広がりがある林木の生長ならびに林地生産力の関係解析の中で、この研究を通して各性質が斉一（等質）と考えるのはどのような範囲か、またそれがどのような立地的広がりに対応しているのか明らかになった。これらの事、特に同一林分内でのこれらの関係は、対象が非常に小さくなりすぎる事も考えられるが、各領域間の格差には非常に大きいものがあり、求めようとする対象によっては、それらをまとめて等質と考える事は林木の本来の姿を見失う恐れがある。この事は統計的分析・解析における母集団の等質性の原則と深く関わり、その原則の保守は絶対に実行する事が必要であり、この点に関してこの研究の成果が基礎となる事を望みたい。特に、林分の生長予測が従来の直径や樹高だけのモデルから生理・生態的意味を持つモデルへ移行し林分に対するより精密な測定が行われようとする現在、その重要性は大きいと考えられる。ただし、その重要性が大きいと言うものの、今回の研究はあくまでも等質の林木集団の範囲を示し、データを取る場合の基礎を与えたのみであり、それ以上の物では決してない。その意味では、この研究は一般の原則を林木を対象にして、追認しただけにすぎないかもしれない。また、我々の窮極の目的は生長の予測であるが、それに関しては、何一つこの研究では触れていない。しかし、1事例の結果ではあるが立地的に等質と考えられる範囲内での林分構造、特に直径と樹高の変動係数に関する関係が相対的には同一林分内では、どのような立地条件であってもほぼ等しいと言う今回得られた結果は、今回の研究の基本的な考え方から明らかになったものであり、今後の生長予測に関する研究にもこの考え方は、大きな手掛かりとなる。

今回の研究の考え方を基礎に、現存するデータの再検討ならびにこの考え方に従った新しいデータの追加・解析により、今後は等質集団内でのその他の要因の構造様式、各等質集団間の位置付け、ならびに時間の経過による等質集団内の変化を基に、生長の予測に関する研究を進めてゆくつもりである。

## 謝 辞

本研究を進めるに当っては、元九州大学農学部西沢正久教授から全文にわたっての御指導を頂き、同大学竹下敬司教授から立地面に関して御教示を頂いた。また、同大学関屋雄偉助教授には御鞭達を、鹿児島大学農学部辻本克己名誉教授には本研究の着手に際して九州大学への内地研修の快い許可ならびに御鞭達を頂いた。ここに記して、深く感謝の意を表します。また本文を取纏めるに当って、種々御便宜を頂いた鹿児島大学農学部今永正明教授、同大学林学科の諸先生方、多大な御助力を得た中島容子嬢ならびに、現地調査に当たり御協力を頂いた林業試験場北海道支場清水晃氏および経理学教室専攻の学生の諸氏に対して深く謝意を表します。

## 文 献

- 1) 安藤愛次：山梨県における森林立地区分のあゆみ。森林立地，8(2)，20 - 23，1967
- 2) 赤池弘次：情報量規準A I Cとは何か。数理科学，153，1976
- 3) 明石考輝・草葉敏郎・原 雅継：林分内各個体の測定値からのマクロな立地効果を除去する方法。日林誌，53(12)，1971
- 4) ボイセン イェンセン：植物の物質生産。東海大学出版会，1982
- 5) COCHRAN：Sampling Techniques. JOHN WILEY & SONS, INC., 1960
- 6) 古池末之：関西地域における自然条件に基づく森林立地区分の発刊に当って。森林立地，23(1)，35 - 38，1981
- 7) 橋本与良：林木の生長と土壌条件についての研究の動向。森林立地，2(1)，41 - 45，1960
- 8) ——：屋久島天然林の保全的経営論。研究ジャーナル，6(3)，1983
- 9) 伊藤忠夫：適地適木調査結果の全県とりまとめの構想。森林立地，11(1)，25 - 30，1979
- 10) 鹿児島地学調査研究会：鹿児島県地質図。内外地図株式会社，1967
- 11) 柿本 司：屋久島の研究。鹿屋営林署，1952
- 12) 川村一水：農林土壌学。養賢堂，1952
- 13) 小林正吾：数量化による地位予測法。森林立地，6(2)，1963
- 14) ——：林地生産力に関する若干の私見。森林立地，8(1)，16 - 21，1966
- 15) LINDLEY, D.V：確率統計入門。培風館，1968
- 16) 真下育久・橋本与良・宮川 清：スギ・ヒノキの成長と土壌条件。林土調報，9，1958
- 17) ——：森林土壌の理学的性質とスギ・ヒノキの成長に関する研究。林土調報，11，1960
- 18) 中村英俊：プロットレスサンプリングとプロットサンプリングの比較。鹿大卒論，1982
- 19) 日本写真測量学会編：空中写真の判読と利用。鹿島出版，1980
- 20) 西沢正久：森林測定。農林出版，1972
- 21) ——・真下育久・川端幸蔵：数量化による地位指数の推定。林試研報，176，1965
- 22) ——：林分シミュレーションに対する生長モデルの研究(3)。日林論，87，1976
- 23) 大庭喜八郎・岩下礼治・坂本和子：スギ精英樹次代検定林の立地修正の試み。日林九支論，28，

1975

- 24) 応用統計ハンドブック編集委員会編：応用統計ハンドブック．養賢堂，1978
- 25) 林野庁：空中写真撮影一覧表．日林協，1983
- 26) 林野庁計画課監修：森林計画業務必携．日本林業調査会，1981
- 27) 坂口勝美（監修）：スギのすべて．全林協，1983
- 28) 林野庁：白川流域管理計画調査報告書．1980
- 29) SWINDEL, B.F. & A.E. SOUILLANCE : Measuring Treatment Effects Through Comparisons Along Plot Boundaries. *Forest Sci.*, 26(4), 1980
- 30) 竹下敬司・中島康博・長浜三千治・樋口真一：微細地形及び土壌とスギ（品種）の成長に関する森林立地学的研究(1)．福岡県林試時報，12，1960
- 31) ————・—————：斜面の微細地形とその森林土壌の立地性について若干の考察．森林立地，3(1)，1－9，1961
- 32) 竹下敬司：山地の地形形成とその林業的意義．福岡県林試時報，17，1964
- 33) ————・福島敏彦・萩原幸弘・斉城 巧：林地生産力(林分材積)に関する立地解析とその分布推定．福岡県林試時報，18，1966
- 34) ————・—————・高木潤治：福岡県遠賀川流域の林地生産力．福岡県林試時報，19，1967
- 35) ————：森林立地とモデル．林業統計研究会誌，1，22－25，1976
- 36) ————・高木潤治：暖帯林の水保全環境に関する土壌及び地形的研究．福岡県林試時報，26，1977
- 37) 塚本良則：流域地形がもつ法則性とその林業技術への応用の可能性について．森林立地，16(1)，1974
- 38) 山田昌一：宝川森林治水試験報告．東京営林局，1943
- 39) ————：微細地形に関する森林立地学的研究．林野共済会，1955
- 40) 吉田茂二郎：林分構造と地形との関係解析に関する研究．鹿大演報，12，1984
- 41) 依田恭二：森林の生態学．築地書館，1971

### Summary

In the forest management, it has been granted that informations about the tree-growth and the land-productivity are the basic and indispensable ones.

On the other hand, the recognition about their distribution-patterns has been left dubious.

The purposes of this study are to clarify, firstly, the relationships between the topographical structure and the stand-structure, and, secondly, those between the topographical structure and the distribution of the land-productivity, and, thirdly, to apply them to the forest management. The author analyzes firstly the relation between the division of the slope and the distribution-pattern of the land-productivity on the broad area, and secondly the relation between the division of the unit site area and the distribution-pattern of the tree-growth on the narrow area of the even-aged stand.

In the chapter 1 - (2), the author describes about the studies carried out in the field, in relation with the author's studying project. Yamada showed in his study that the tree-growth condition of



the artificial forest varies according to the topographical condition, and after his study Takeshita showed the topographical structure on the general mountaineous slope with the aid of the study carried out about the topographical elements of the slope, the soil and the tree-growth.

In the chapter 1 - (3), the plant-production elements which are related with the tree-growth and the land-productivity are described, with the affirmation that the water-relation is the most important one and that the soil and the deposits are also quite important for the forest-management. The water-relation is noted to have had a close relationship with topographical conditions.

In the chapter 2, the author describes about the basic concept of his study, the conception that the quality of the population is important not only in the statistical analysis but in the estimation of the population. As is generally known, in the forest-land the population is almost heterogeneous, so it becomes necessary that we should divide the population into homogeneous sub-population. The author shows that the division of the topography is the best way to do that.

In the chapter 2 - (2), an example of the distribution of the mean upper-tree-height in the sub-compartment is shown, with the following result obtained, that is, the population of the narrow area is not homogeneous(Fig.2 - 1).

In the chapter 2 - (3), the question of which mesh size should be good for the treatment of land-productivity information in the broad area, is asked, and the following is shown that if the mesh size is less than 50m the estimated distribution is the same as the original one(Fig.2 - 4 and Table 2 - 4). From this result the distribution-pattern of the land-productivity on the broad area is analyzed, and with the following fact ascertained that the pattern is different from each other at the sub-area even on the same area, and the distribution is not heterogeneous as shown in Fig.2 - 5(b), 2 - 6(b) and 2 - 7(b)). In this area, there are three patterns and the area rate of the land productivity rank of the each area is different from each other(Fig.2 - 8). The division-method of the each area by the three basic surfaces composing the area is, non-erosion surface, erosion surface and deposition surface, is shown in Fig.2 - 10(a) - (c). In that division, the distribution of the land-productivity on the respective surface of the three areas changes from the heterogeneous to the homogeneous (Fig.2 - 10(a) - (c)).

In the chapter 3, the relationship between the stand-structure and the topographical structure is analyzed. The experimental forest is an artificial forest of Sugi(*Cryptomeria japonica*); it is 55 years old and about 2.8 ha in area.

The experimental slope is divided into 35 unit slopes by the transformation-zone(quite convex slope) which was formed in the slope-forming-process(Fig.3 - 4). By the division of the unit slope(Fig.3 - 4) as well as by the deposits of the experimental slope(Fig.3 - 5), the experimental slope is to be divided into 126 unit site areas(Fig.3 - 6).

From the above mentioned facts, the fact is to be recognized that the structure of the experimental slope is divided into the unit slopes, and the respective unit slope is divided into the unit site areas by the deposits and then those are located systematically in the unit slope.

In the chapter 3 - (3), the relationship between the stand-structure and the topographical structure of the experimental forest is analyzed. The author recognizes that the unit-site-area is the area having almost the same site and that in the unit-site-area the ratio of the coefficient of

variance of the diameter to the coefficient of variance of the tree-height is the same(Fig.3 - 11 and Table 3 - 8).

In the chapter 4 - (1), using these facts obtained in the chapter 2 and 3, the forest-inventory methods are tried. The author recommends as the best method "the three stage sampling" as shown in Table 4 - 1, as this method is based on the topographical structure of the slope. With the consideration of the inevitable difficulty in the division of the slope on the ground-survey the author recommends the other method, that is, "a stratified sampling method with aerial-photographs". In this method the photograph is firstly used for the stratification of the surface on the slope and the ground-survey is carried out on the respective surface, secondly. The estimation of the stand-structure of the stand used in the chapter 3 is made by this stratified sampling-method and by the simple random-sampling(Table 4 - 7 and Table 4 - 9). The stratified sampling gives good results through all the estimations. The estimations of the distribution of diameter and tree-height are performed. In the estimation of the distribution of the diameter both the methods give the same precise results(Fig.4 - 2, Table 4 - 12 and 4 - 13). In the estimation of the distribution of the tree-height the stratified sampling-method gives the more precise estimation(Fig.4 - 3 and Table 4 - 13). The forest-inventory method is based on the topographical structure is the effective one, and the fact the topographical division is an effective basis for the stratification comes to be recognized.

In the chapter 5, the author points out some problems having relation with the topographical concepts in the forestry, and suggests an effective application of the topographical concepts. The first is the problem about the plot-size established in the forest inventory. The second is the one about the permanent plot established on the analyses of the tree-growth. Third is the one about the experimental forest of the tree races. And the last one is the problem about the decision of the most economical management-area.