

## 空中写真濃度計測による森林蓄積の推定に関する研究

長, 正道

<https://doi.org/10.15017/14806>

---

出版情報 : 九州大学農学部演習林報告. 48, pp.113-292, 1974-03. 九州大学農学部附属演習林  
バージョン :  
権利関係 :

相違に起因するものと思料される。ちなみに同一計測線における濃度波形のピークの個数は、それぞれ密着ポジフィルム：216，密着印画写真：213，2.5倍引伸印画写真：257であった。

以上の実験および実験結果にもとづく各写真の濃度波形グラフに対する分析検討の結果、反射式による濃度計測は透過式の場合と全く同じ特性をもって行なわれることが確かめられた。したがって現地調査の際の各種作業の至便性ならびに印画写真の場合の引伸率の任意性等の利点から、反射式計測装置による森林空中写真濃度の計測がその可能性とあわせ優れた計測システムであると判断する。

### 第3章 空中写真濃度計測要因に対する波形の分析

空中写真の濃度計測によって森林の蓄積推定を行なう場合、その計測要因としては①森林蓄積推定上の1要因である林木の本数、②地上調査の際の胸高直径に代る因子としての樹冠直径、③樹種別または同一樹種内における年齢(齢階)別濃度レベル、および④森林または林齢のあるラインによって切断したと想定した場合の林分側断面(Stand profiles)等が考えられる。

そしてこれらの計測因子は森林空中写真の濃度計測による波形において、①各ピークの個数が本数と、②同波形の1周期の振幅つまり波形の基部幅が写真濃度の計測部分の樹冠直径と、③同波形の上限および下限の濃度の値がその森林または樹種、林齢(齢階)等の濃度レベルと、また④同波形の側断面が林分側断面とそれぞれ対応しているものと考えられる。したがってここではそれらの各計測因子と森林または林分の本数および材積との関係、すなわち相関度および回帰関係を究明し、それによって森林蓄積の推定と結びつけようとするものである。

そこで前章(第2章)、§2-1の空中写真濃度計測装置に対する各種の基礎実験およびそれらの分析検討の成果のうえにたつて、本章では上記の各種計測因子をそれぞれ空中写真の濃度計測によって対応させ、その対応性、相関度等の分析検討を試みた。

なお空中写真の濃度計測を行なう場合はつねに濃度計測の対象となる森林(または林分)について現地調査が行なわれる。そして現地調査は濃度計測システムにもとづきその対応性を勘案してある幅、たとえば4 m, 5 m, 8 m, 10 m等のストリップ(Strip, 帯線)調査を実施する。しかし同一部分すなわち調査ストリップに対する写真濃度の計測は写真濃度計測装置の可変スリットにより任意のサイズのスリット幅が選択され、その透過または反射光量がホトマル受光部にキャッチされることにより電圧に変換され波形として濃度があらわされる。そしてそのスリット幅は第2章、§2-1における各ゲージの変化・組合わせによる濃度波形の実験と分析の項により、1) - (a) スリット幅の $x$ 方向：0.04~0.08 mm,  $y$ 方向：0.10~0.20mmが最適サイズであるという結果がえられている。ただしこの場合上記の調査ストリップの幅と相対応するスリット幅は可変スリットの $y$ 方向のサイズとなる。したがって $y$ 方向のスリット幅が調査ストリップの幅とサイズの上でどの程度対応しているかが問題となる。いま空中写真が1:20000の撮影縮尺で写されたとすると、対応する $y$ 方向のスリット幅は0.10mmの場合は現地の長さは2 m, 0.20mmで同4 mとなる。実際は撮影縮尺には若干のズレがあり、また計測の対象となる現地森林(または林分)

の標高によってその縮尺は多少変化する。しかし一応その撮影縮尺を基準とした場合、たとえばy方向のスリット幅が0.20mmにセットされたときの現地のサイズは4mであり、したがってストリップが幅8mで調査された場合はその濃度計測は現地サイズで4/8m、すなわち0.5について計測されていることになる。これは写真のヒズミその他に起因するDisplacementの問題とあわせ、現地調査においてはつねにストリップ幅に余裕をもたせ、その対応性その他の実験と分析検討を行なうという基本的考え方をとった。この基本的考え方は他の各種濃度計測システムの場合も同様である。

### § 3-1 本数と写真濃度波形のピーク数の関係<sup>13) d, 109)</sup>

以上の基本的考え方にもとづいて、林木の本数が空中写真濃度計測の場合の波形のピーク数とどの程度対応しているかについて以下に実際の森林を対象に濃度計測を行ない、対応する現地森林との対応性について分析検討を試みた。

#### 1. 模式図による予備的考察

実験に先だち実際の森林を想定して林木の樹冠の模式図をえがき、同模式図における樹冠部の上をあるスリット幅(y方向)でスキャンニングさせた場合の濃度波形グラフの形状、つまり濃度波形のあらわれ方について若干の考察を以下に試みた。

まず同じ大きさの樹冠直径を有し濃度レベルも同じ樹種の林木が1列に並んでいる場合の樹冠の模式図を図3-1(1)に示す。そしてy方向のスリット幅がその樹冠直径を完全に包括したと仮定した場合、それによってスキャンニングされる濃度波形のグラフは同図の下部に示すような形状でえがかれる。すなわち濃度波形グラフは左方より右方に向かって、まず第1番目の林木の樹冠部の濃度の明るさ、つまり透過または反射光量にしたがってその波形グラフは明るくあらわれ同樹冠の濃度レベルの最大値にいたる。ついで樹冠頂に達するにおよんで陰影部の濃度をスキャンニングしはじめ、波形グラフは下降し濃度レベルの最小値にいたる。ついで第2番目の樹冠部のスキャンニングに移り、第1番目のスキャンニングと同様の濃度計測、したがって第1番目の樹冠部の濃度波形と同様の波形グラフの形状を示す。

しかし実際の森林ではたとえそれが同一林齢の場合であっても同じ大きさの樹冠直径を有する林分であるとは限らない。すなわち大小さまざまな樹冠直径をもつ林木によって森林は構成されるのが通例である。したがってここでは樹冠直径の大きさを大小の2段階にわけてその模式図をつくり、上記と同一条件により濃度計測を行なった場合を図3-1(2)に示す。すなわちこの場合同一濃度レベルを有する樹種であっても樹冠直径が小さいためにその濃度の最大値は本来の濃度レベルの最大値に到達することなく次の林木(樹冠部)の陰影部の濃度に影響されて下降するという波形グラフの形状を呈する。つまり波形グラフは大小の2段階をもってえがかれる。

以上の二例は一応林木が規則的に1列に並んでいる場合を想定しこれをスキャンニングしたときの波形グラフの形状について示したものである。

しかし実際には各種の施業形態に影響して、またスキャンニングの方向にも原因してその林木の並び方はきわめて不規則の場合が多い。すなわち空中写真上で観察される林木の樹冠の状態は一般に図3-1(3)に示すような状態により構成される。したがってそれによりスキャンニングされた濃度波形のグラフは上記図3-1の(1)と(2)の複合体の形でえが

かれるのがつねである。

もちろんこの計測濃度波形グラフには他の要因，たとえば傾斜度や太陽光線に対する向日面，背日面，隣接木または隣接地形に起因する乱反射の影響，同一林木の樹冠内(樹冠部)における小枝，枝葉の状態等によりさらに複雑な形状を呈するが，一応その状態は図3-1(3)の模式図によって示される。したがってその本数は同図における濃度波形グラフの各ピークの個数のカウントにより，同スリット内に位置する林木の樹冠本数と対応して計測されるものと考えられる。

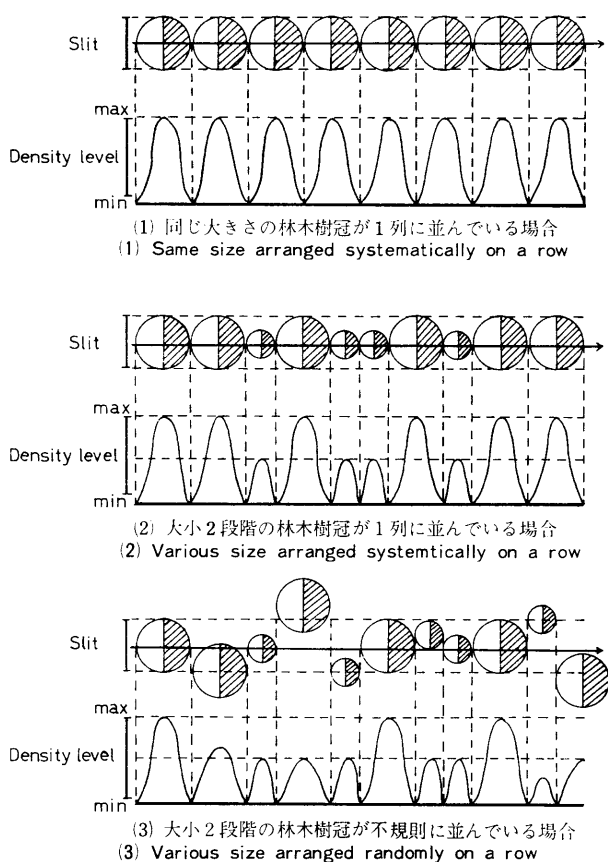


図 3-1 林木樹冠と濃度波形グラフの関係(模式図)

Fig. 3-1 Relation between densitometer waves and crown (model)

## 2. 林分による実験

模式図による前記の予備的考察の結果とその理論にもとづき，実際の森林を対象にストリップ調査を行ない，同ストリップ調査線に対する濃度計測実験の結果から，本数と写真濃度波形グラフのピーク数との関係について以下にその分析検討を試みた。

### 1) 資 料

分析検討のための資料は宮崎県えびの営林署管内黒鹿国有林68林班スギ，ヒノキ，アカ

マツおよび広葉樹の一部を対象に、1967年10月および11月、幅4.0m×長さ670m (Field strip No. 1), 同775m (No.2), 同468m (No.3) の3本のストリップ調査線を現地に設定し毎木調査を行なった。なお各測線は50m毎に測点をとってこれを区切り1プロットとした。

## 2) 写真濃度波形のピーク数の計測

現地調査による上記3本のストリップ(Field strip No.1, No.2, No.3)に対するプロット毎の毎木調査本数および対応する写真濃度計測波形グラフのピーク数を示すと表3-1のとおりである。\*)\*\*)

表3-1 プロット実本数と波形グラフ本数の関係

Table 3-1 Relation between number of densitometer waves and number of tree in each plot

| Field strip No. | Plot No. | プロット本数                  | 波形グラフ本数                  |
|-----------------|----------|-------------------------|--------------------------|
|                 |          | Number of tree<br>$n_1$ | Number of waves<br>$n_2$ |
| 1               | 1        | 19                      | 8                        |
|                 | 2        | 19                      | 10                       |
|                 | 3        | 16                      | 11                       |
|                 | 4        | 19                      | 12                       |
|                 | 5        | 11                      | 9                        |
|                 | 6        | 9                       | 7                        |
|                 | 7        | 13                      | 7                        |
|                 | 8        | 11                      | 7                        |
|                 | 9        | 11                      | 9                        |
|                 | 10       | 10                      | 10                       |
|                 | 11       | 7                       | 7                        |
|                 | 12       | 9                       | 10                       |
|                 | 13       | 8                       | 9                        |
|                 | 14       | 3                       | 4                        |
| 2               | 1        | 15                      | 11                       |
|                 | 2        | 15                      | 13                       |
|                 | 3        | 14                      | 13                       |
|                 | 4        | 14                      | 10                       |
|                 | 5        | 20                      | 13                       |
|                 | 6        | 16                      | 10                       |
|                 | 7        | 28                      | 12                       |
|                 | 8        | 18                      | 12                       |
|                 | 9        | 22                      | 11                       |
|                 | 10       | 27                      | 11                       |
|                 | 11       | 27                      | 11                       |
|                 | 12       | 24                      | 10                       |
|                 | 13       | 22                      | 11                       |
|                 | 14       | 15                      | 12                       |
|                 | 15       | 11                      | 11                       |
|                 | 16       | 9                       | 4                        |
| 3               | 1        | 8                       | 10                       |
|                 | 2        | 10                      | 9                        |
|                 | 3        | 14                      | 12                       |
|                 | 4        | 21                      | 11                       |
|                 | 5        | 11                      | 12                       |
|                 | 6        | 14                      | 8                        |
|                 | 7        | 18                      | 8                        |
|                 | 8        | 17                      | 9                        |
|                 | 9        | 19                      | 7                        |
|                 | 10       | 7                       | 3                        |

\*) 空中写真は霧島山, 山-456, C9-No.6, 1966年5月25日林野庁撮影, 撮影高度4978m, 同縮尺1:19675, 普通角写真 ( $f=209.16\text{mm}$ ) の密着ポジフィルムを使用。

\*\*\*) 濃度計測ゲージは1)-(a)0.08×0.20mm, (b)1.4, (c)5mm/min, (e)×1, (f)2, 2)-(a)×30, 3)-(a)120mm/min, (b)10Vによる。

## 3) 波形ピーク数と実本数の回帰による検討

表3-1において、毎木調査によるプロット内立木本数  $n_1$  を  $y$ , 対応する写真濃度波形グラフのピーク数  $n_2$  を  $x$  とすればその回帰式および相関係数  $r$  は全体こみによる場合

$$Y = 2.7439 + 1.2793 x$$

$$r = 0.525$$

となる。

すなわち相関係数  $r$  は必ずしも高い値とはいえない。これは濃度計測波形グラフのピーク数を肉眼で読みとっており、その読みとりが必ずしもピークの変動の細部まで確実にカウントされたとは限らないこと、スキャンニングされたスリット幅と現地林分とがどの程度の対応度を有しているか不明瞭であること等があげられる。しかし相関係数  $r$  の値は0.525がえられていることから、波形ピーク数は実際の本数とある程度あらかわしているとみなされよう。

なお Field strip の個々についてこれをみればたとえば Field strip No. 2 の場合には  $r = 0.638$  とやや高い値を示している。したがって林分の構成状態によっては高精度の回帰式の成立も可能とみなされる。

図3-2は Field strip No. 1, No. 2, No. 3 をこみにした全体での回帰図をグラフに示したものである。

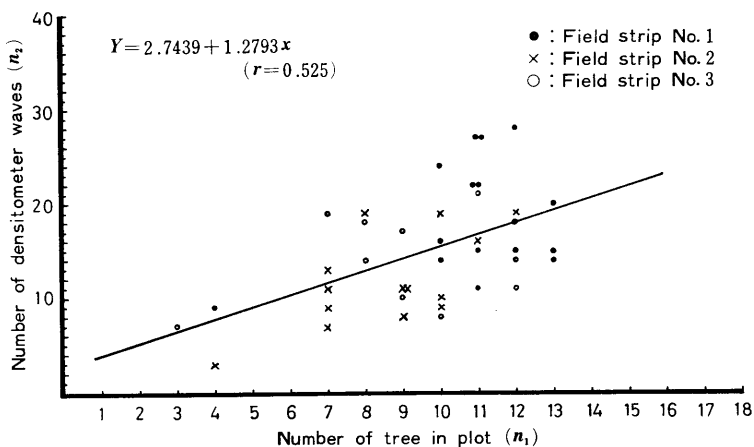


図3-2 プロット実本数 ( $n_1$ ) と波形グラフ本数 ( $n_2$ ) の回帰図

Fig. 3-2 Relation between number of densitometer waves and number of tree in plot

### § 3—2 樹冠直径と写真濃度波形の基部幅の関係

地上調査の場合の測定因子の一つである胸高直径は空中写真による場合は樹冠直径の計測によって代えられる。したがって空中写真の濃度計測においては波形グラフの1周期の振幅すなわち波形の基部幅が写真濃度においてスキャンニングされた部分の樹冠直径と対応するものとみなされる(図3-1(1), (2)参照)。ただし林木の並列の状態によっては必ずしもその樹冠直径を確実にスキャンニングしているとは限らないため、濃度波形グラフの基部幅がそのまま個々の林木の樹冠直径と対応してえがかれているとはいえない(図3-

1 (3) 参照)。

いま樹冠直径を実際に写真濃度で計測した場合、その濃度波形基部幅とどの程度対応するかについてを樹冠直径測定板その他の模型実験によりチェックし、これにもとづいて実際の森林を対象にその対応度について以下のごとく分析検討を試みた。

### 1. 樹冠直径測定板による検討

1: 10000 スケールにおいて 1 m (実長 0.1mm) から 0.5m (実長 0.05mm) 間隔で 30m (同 3.0mm) までの 61 段階に並列された点 (Dot) によってなる樹冠直径測定板 (日林協製航空写真判読スケール 6 枚セット中の 1 枚で、本来はこれを空中写真上の樹冠や地物等に重ね合わせるか併列させてその直径を測定するもの) を用いた。すなわち各点を一応大きさが変化する樹冠直径とみたと、その中心部をスキャンニングさせた。この場合計測装置のゲージの変化によりその形状や濃度レベルは変化するが、1)-(c) スキャン速度および 3)-(a) チャートスピードの両ゲージが一定の場合には波形グラフの基部幅は変わらないので、それぞれ 1)-(c) 20mm/min, 3)-(a) 240mm/min により濃度計測を行ない、樹冠直径測定板の各点の直径と対応させた。ただしその検討にあたっては直径を 2 段階毎、すなわち 1, 2, 3, …, 30m の都合 30 点について行なった (表 3-2 参照)。

表 3-2 樹冠直径測定板の濃度計測による波形基部幅  
Table 3-2 Width of densitometer waves on crown diameter scale

| 樹冠直径測定板<br>Crown diameter scale |                  | 計測濃度波形基部幅<br>Width of<br>densitometer waves | 樹冠直径測定板<br>Crown diameter scale |                  | 計測濃度波形基部幅<br>Width of<br>densitometer waves |
|---------------------------------|------------------|---|---------------------------------|------------------|---|
| 直径サイズ<br>Size                   | 実長<br>Real scale |   | 直径サイズ<br>Size                   | 実長<br>Real scale |   |
| m                               | mm               | cm  | m                               | mm               | cm  |
| 1                               | 0.1              | 0.3   | 16                              | 1.6              | 2.2   |
| 2                               | 0.2              | 0.4   | 17                              | 1.7              | 2.4   |
| 3                               | 0.3              | 0.4   | 18                              | 1.8              | 2.4   |
| 4                               | 0.4              | 0.5   | 19                              | 1.9              | 2.5   |
| 5                               | 0.5              | 0.6   | 20                              | 2.0              | 2.6   |
| 6                               | 0.6              | 0.7   | 21                              | 2.1              | 2.5   |
| 7                               | 0.7              | 0.9   | 22                              | 2.2              | 2.7   |
| 8                               | 0.8              | 1.2   | 23                              | 2.3              | 2.8   |
| 9                               | 0.9              | 1.1   | 24                              | 2.4              | 3.0   |
| 10                              | 1.0              | 1.2   | 25                              | 2.5              | 3.3   |
| 11                              | 1.1              | 1.4   | 26                              | 2.6              | 3.3   |
| 12                              | 1.2              | 1.6   | 27                              | 2.7              | 3.4   |
| 13                              | 1.3              | 1.7   | 28                              | 2.8              | 3.5   |
| 14                              | 1.4              | 2.0   | 29                              | 2.9              | 3.6   |
| 15                              | 1.5              | 2.1   | 30                              | 3.0              | 3.7   |

これより濃度計測波形グラフの基部幅を独立変数  $x$ 、対応する樹冠直径測定板の直径を従属変数  $y$  として 1 次による回帰式および相関係数  $r$  を求めると

$$Y = -0.6309 + 8.0655 x$$

$$r = 0.995$$

をえ、きわめて高い精度つまり相関度により点の直径 (樹冠直径に相当) と濃度波形グラフ

の基部幅とは対応していることが確められた。図3-3はこの関係をグラフに示したものである。

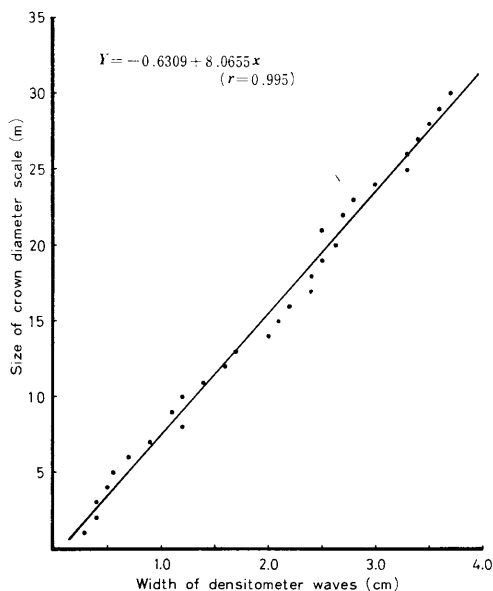


図 3-3 樹冠直径(測定板サイズ)と計測濃度波形基部幅の回帰図

Fig. 3-3 Relation between size of crown diameter scale and width of densitometer waves

## 2. 樹冠模型による検討<sup>114) a, b, 115)</sup>

林木の樹冠の形状は一般に円錐体、楕円体、放物線体、半円体等が考えられる。これらの樹冠の形状をゴム粘土(緑色)および石膏(白色)の2種類により、直径(樹冠の基部直径)と高さ(樹冠全体の高さ)の組合わせにより直径は2 cmより8 cmまでを1 cm 間隔、都合7段階、高さは1 cmより14cmまでを24段階に区切り、各組合わせにより406個の模型をつくった。これはその形状、高さ、大きさ等と波形グラフの関係、配列、傾斜、太陽光線に対する方向等と濃度レベルの関係の基礎実験に使用したものであるが、ここでは直径と波形基部幅すなわち波形グラフによる判読直径との関係に限定してその結果を述べるにとどめる。

いま円錐体、楕円体、放物線体、半円体の4種類の樹冠模型(石膏)について、樹冠の基部直径により大、中、小または大、小に区分(ただし円錐体および放物線体は高さにより区分)し、1967年12月13日晴天日の12時05分から13時29分間の太陽光線のもとでキャノンカメラ(焦点距離  $f = 50\text{mm}$ , 露出時間  $t = 1/250$ , 絞り  $F = 11$ )により写真撮影を行ない、ネガフィルムによって濃度計測を試みた結果を表3-3に示す。すなわち模型のサイズ(大、中、小等)別に数個の模型の直径の平均値をとりこれを  $y$  とし、対応する濃度波形グラフの基部幅(判読直径)を  $x$  として示したものである。

これより回帰式および相関係数  $r$  は

$$Y = 0.0954 + 2.1123 x$$

$$r = 0.999$$



表 3-3 各種樹冠模型のサイズ, 実測平均直径および濃度波形基部幅の関係  
 Table 3-3 Relation between width of densitometer waves, average diameter and size in each crown model

| 模 型<br>Model         |                            | 実測平均直径<br>Average diameter | 濃度波形基部幅<br>(判読直径)<br>Width of densitometer waves |
|----------------------|----------------------------|----------------------------|--|
| 種 類<br>Variety       | サ イ ズ<br>Size              | y                          | x  |
| 円 錐 体<br>Cone        | 大(H=12.69cm)<br>Large      | 7.47                       | 3.38   |
|                      | 中(H=8.20cm)<br>Middle      | 7.14                       | 3.34   |
|                      | 小(H=6.31cm)<br>Small       | 7.38                       | 3.46   |
| 楕 円 体<br>Ellipse     | 大<br>Large                 | 7.90                       | 3.74   |
|                      | 中<br>Middle                | 5.89                       | 2.72   |
|                      | 小<br>Small                 | 2.79                       | 1.31   |
| 放 物 線 体<br>Parabola  | 大(H=14.79cm)<br>Large      | 7.57                       | 3.53   |
|                      | 小(H=7.31cm)<br>Small       | 7.48                       | 3.54   |
| 半 円 体<br>Half sphere | 大 <sub>1</sub><br>Large-1  | 7.96                       | 3.71   |
|                      | 大 <sub>2</sub><br>Large-2  | 6.72                       | 3.20   |
|                      | 中 <sub>1</sub><br>Middle-1 | 5.70                       | 2.62   |
|                      | 中 <sub>2</sub><br>Middle-2 | 4.62                       | 2.12   |
|                      | 小 <sub>1</sub><br>Small-1  | 3.67                       | 1.72   |
|                      | 小 <sub>2</sub><br>Small-2  | 2.82                       | 1.27   |

となりきわめて高い相関がえられた。また回帰係数の分散分析の結果でも高度の有意差を示した。

この結果から樹冠模型による直径と対応する濃度波形グラフの基部幅との関係は直線性をもってきわめてよく対応していることが認められる。図 3-4 は上記の回帰関係をグラフに示したものである。

ちなみに上記の実験と同時に直径(設計直径)8 cm(サイズ大)の各樹冠模型に対し、太陽光線に対する方向を平行方向と直角方向の2方向にわけ、それぞれ連続並列と間断並列(1つとばし)について写真撮影を行ない、ネガフィルムによる濃度計測(5回繰り返し)にもとづく濃度波形グラフの基部幅の測定値に対する分散分析を試みた。その結果平行方向、直角方向ともに間断並列の場合有意差がみられたが、連続並列では有意差は示していない。なお間断並列の場合の有意差については樹冠模型の実測値について検討の結果、その直径範囲が7.28~8.13 cmとわずかながら製作時における差異があり、したがってこれに起因

して生じた有意差であることが判明した。また他の模型(楕円体大, 中, 小, 半円体大<sub>1</sub>, 中<sub>1</sub>, 小<sub>1</sub>等)についても同様の実験を試みたところ, サイズの大, 中, 小に起因し連続並列, 間断並列ともに著しく有意にあらわれ, その  $F$  の値はとくに平行方向に大きくあらわれた。

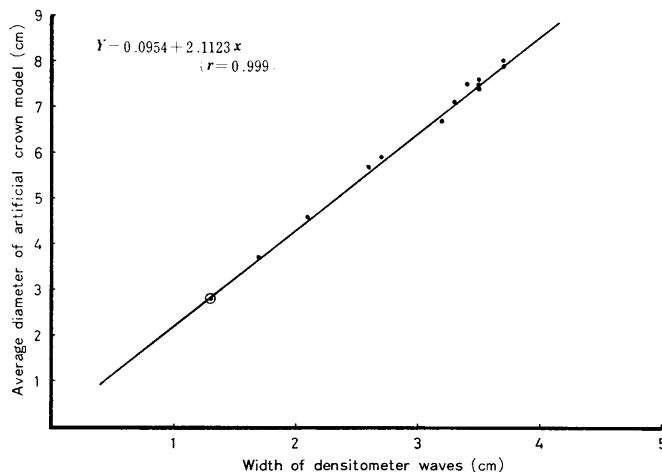


図 3-4 樹冠模型の実測平均直径と濃度波形基部幅の回帰図

Fig. 3-4 Relation between average diameter of artificial crown model and width of densitometer waves

以上の結果から濃度計測による波形グラフの基部幅すなわち判読直径は樹冠模型の直径ときわめてよく対応しており, とくに間断並列で太陽光線に対し平行方向の場合が正確に対応していることが確かめられた。

表 3-4 は太陽光線に対する方向および連続, 間断の並べ方による各模型の濃度波形基部幅の測定値を, また表 3-5 は表 3-4 にもとづく分散分析の結果を示したものである。

### § 3-3 樹種と写真濃度波形の関係<sup>13) b, d, e</sup>

森林の濃度は被写体の形状や大きさ等のほか各樹種における白から黒にいたる色調の変化つまりコントラストが大きな要因となってあらわれる。したがって被写体の形状や大きさ等に関連して行なった本数, 樹冠直径に対する前 2 節の濃度波形グラフの分析検討とあわせ, 空中写真濃度の計測において各濃度レベル, あるいは濃度波形の形状はスギ, ヒノキ, マツ等の樹種に対しどのような関係をもってあらわれるかについて以下に若干の分析検討を試みた。

なお樹種に対する本実験は森林(樹種)を被写体として撮影された実際の空中写真を用いて行なった。

#### 1. 樹種と写真濃度レベル

樹種が写真濃度レベルとどのような関係を有するかについての分析検討を, 九州における主要樹種であるスギ, ヒノキ, マツ, 広葉樹の 4 樹種について, まずスギ, 広葉樹, マツの各樹種と濃度レベルの関係を, ついでスギ, ヒノキ, マツにおける幼, 壮齡林(スギについては老齡林を加えた)を対象に以下のとおり試みた。

表 3-4 太陽光線に対する方向別並列方法別各種樹冠模型の濃度波形基部幅測定結果一覧  
 Table 3-4 Relation of width of densitometer waves crown model based on derrection, and allocation at sun-light

| 太陽光線に対する方向<br>Derrection of sun-light | 並列方法<br>Allocation    | 樹冠模型の種類(サイズ)<br>Variety of crown model (size) | 濃度波形グラフ基部幅(判読直径)<br>Width of densitometer waves |      |      |      |      |
|---------------------------------------|-----------------------|---|---|------|------|------|------|
|                                       |                       |   | 1   | 2    | 3    | 4    | 5    |
| 1. 平行方向<br>Parallel                   | 1. 連続並列<br>Continuous | 円錐体 (大)<br>Cone (Large)                       | 3.30  | 3.35 | 3.30 | 3.25 | 3.30 |
|                                       |                       | 楕円体 (大)<br>Ellipse (L)                        | 3.55  | 3.50 | 3.55 | 3.60 | 3.60 |
|                                       |                       | 放物線体 (大)<br>Parabola (L)                      | 3.45  | 3.80 | 2.95 | 3.30 | 3.60 |
|                                       |                       | 半円体 (大)<br>Half sphere (L-1)                  | 3.40  | 3.55 | 3.45 | 3.65 | 3.50 |
|                                       | 2. 間断並列<br>Discrete   | 円錐体 (大)<br>Cone (L)                           | 2.90  | 3.00 | 3.00 | 2.95 | 3.20 |
|                                       |                       | 楕円体 (大)<br>Ellipse (L)                        | 4.00  | 3.70 | 3.50 | 3.45 | 3.35 |
|                                       |                       | 放物線体 (大)<br>Parabola (L)                      | 3.75  | 3.40 | 2.85 | 2.85 | 3.00 |
|                                       |                       | 半円体 (大)<br>Half sphere (L-1)                  | 3.75  | 3.35 | 3.55 | 3.55 | 3.70 |
| 2. 直角方向<br>Right angle                | 1. 連続並列<br>Continuous | 円錐体 (大)<br>Cone (L)                           | 3.55  | 4.05 | 3.50 | 3.75 | 3.60 |
|                                       |                       | 楕円体 (大)<br>Ellipse (L)                        | 3.90  | 3.75 | 3.95 | 3.95 | 3.80 |
|                                       |                       | 放物線体 (大)<br>Parabola (L)                      | 4.30  | 3.75 | 3.70 | 3.70 | 4.00 |
|                                       |                       | 半円体 (大)<br>Half sphere (L-1)                  | 4.00  | 3.80 | 3.95 | 4.05 | 4.15 |
|                                       | 2. 間断並列<br>Discrete   | 円錐体 (大)<br>Cone (L)                           | 3.30  | 3.60 | 3.60 | 3.75 | 3.50 |
|                                       |                       | 楕円体 (大)<br>Ellipse (L)                        | 3.80  | 3.90 | 4.20 | 3.85 | 4.05 |
|                                       |                       | 放物線体 (大)<br>Parabola (L)                      | 3.80  | 3.65 | 3.55 | 3.40 | 3.95 |
|                                       |                       | 半円体 (大)<br>Half sphere (L-1)                  | 3.55  | 3.80 | 4.00 | 3.95 | 3.90 |

表 3-5 太陽光線に対する方向別並列方法別による濃度波形基部幅測定値の分散分析結果表  
 Table 3-5 Analysis of variance of width of densitometer waves of crown model based on derrection and allocation at sun-light

| 太陽光線に対する方向<br>Derrection of sun-light | 並列方法<br>Allocation    | 分散分析の結果<br>Result |
|---------------------------------------|-----------------------|-------------------|
| 1. 平行方向<br>Parallel                   | 1. 連続並列<br>Continuous | not sig.          |
|                                       | 2. 間断並列<br>Discrete   | highly sig.       |
| 2. 直角方向<br>Right angle                | 1. 連続並列<br>Continuous | not sig.          |
|                                       | 2. 間断並列<br>Discrete   | sig.              |

## 1) スギ, 広葉樹, マツの濃度レベル

## (1) 資 料

スギ, 広葉樹, マツの各樹種と写真濃度レベルとの関係に対する分析検討のための資料は宮崎県えびの営林署管内黒鹿国有林 67林班た小班(スギ), 同 71-い(カシ類を主としその他を若干含む広葉樹)および同68-ほ(マツ)を対象とした。

同国有林は標高約 650m, その標高差±50m 以内のほぼ平地林(N方向に対し緩傾斜)を呈しており, 起伏, 峯筋, 谷筋等の隣接地形の影響による乱反射, 太陽光線の方角に対する相違等はほとんど認められないほぼ同一条件の森林状態である。同森林の各樹種の林分状態は概略次のとおりである。

| 樹 種 | 年 齢 | 面 積    | 蓄積 (ha当り) |
|-----|-----|--------|-----------|
| ス   | ギ   | 51     | 19.78     |
| 広   | 葉 樹 | 85     | 72.81     |
| マ   | ツ   | 59     | 15.14     |
|     |     | 50~175 |           |

## (2) 写真濃度レベルの計測

図 3-5 (1), (2), (3) は現地林分に対応する空中写真<sup>\*</sup>の濃度計測<sup>\*\*</sup>にもとづく波形グラフをスギ, 広葉樹, マツの各樹種について部分的に示したものである。なお同図において x 軸はスキャンニングの距離を, y 軸は濃度レベルをあらわす。また表 3-6 は図 3-5 (1), (2), (3) の濃度波形グラフにもとづいて上下のピークごとに一連番号を付し各樹種について記録紙上の目盛を読みとって表示したものである。

## (3) 樹種別濃度の分散分析

以上のスギ, 広葉樹, マツ各樹種別計測写真濃度レベルにもとづく有意差検定のための分散分析を試みると次のとおりである。

すなわち表 3-6 より

全 体:

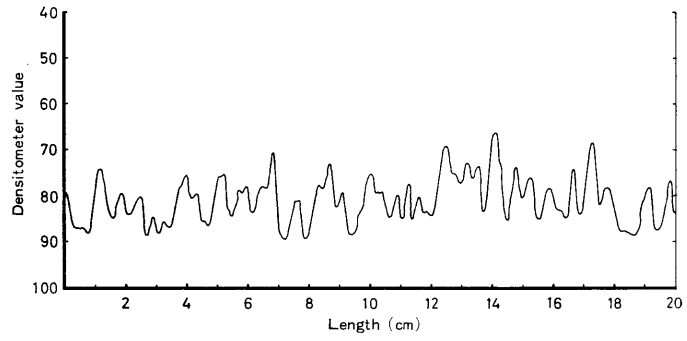
$$\begin{aligned} \text{Total SS} &= \sum^{333} (x^2) - CT \\ &= 1914637.25 - 1884768.04 = 29869.21 \end{aligned}$$

樹種間:

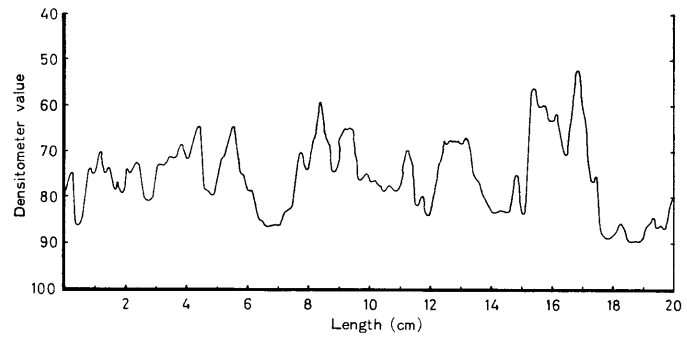
$$\begin{aligned} \text{Treat. SS} &= \frac{\sum^3 (\sum^{111} x)^2}{111} - CT \\ &= \frac{(9095.0)^2 + (8442.5)^2 + (7515.0)^2}{111} - 1884768.04 \\ &= 11358.59 \end{aligned}$$

<sup>\*</sup> 空中写真は霧島山, 山-456, C9-No.6, 1966年5月25日林野庁撮影, 撮影高度 4978m, 同縮尺 1:19675, 普通角写真 (f=209.16mm) の密着ポジフィルムを使用。

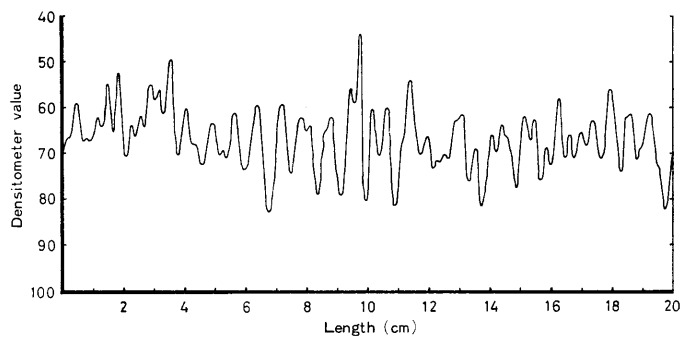
<sup>\*\*</sup> 濃度計測ゲージは 1)-(a)0.04×0.20mm, (b)1.4, (c)20mm/min, (e)×1, (f) 2, 2)-(a)×10, 3)-(a)480mm/min, (b)1V によった。



(1) スギ  
(1) *Cryptomeria*



(2) 広葉樹  
(2) *Broadleaved*



(3) マツ  
(3) *Pinus*

図 3-5 樹種別計測濃度波形グラフ

Fig. 3-5 Graph of densitometer waves in different species

表3-6 樹種別濃度測定(読みとり)結果一覧表  
 Table 3-6 Measurement of level of densitometer waves in each species

| No. | スギ<br><i>Cryptomeria</i> | 広葉樹<br>Broadleaved | マツ<br><i>Pinus</i> | No.   | スギ<br><i>Cryptomeria</i> | 広葉樹<br>Broadleaved | マツ<br><i>Pinus</i> |
|-----|--------------------------|--------------------|--------------------|-------|--------------------------|--------------------|--------------------|
| 1   | 87.0                     | 75.0               | 70.0               | 57    | 79.0                     | 68.0               | 70.0               |
| 2   | 80.0                     | 86.0               | 67.0               | 58    | 77.5                     | 67.0               | 71.5               |
| 3   | 80.0                     | 74.0               | 59.0               | 59    | 84.0                     | 75.5               | 63.0               |
| 4   | 90.0                     | 75.0               | 67.0               | 60    | 78.0                     | 80.0               | 63.0               |
| 5   | 86.0                     | 70.0               | 67.0               | 61    | 78.5                     | 83.0               | 62.0               |
| 6   | 90.0                     | 75.0               | 67.5               | 62    | 70.5                     | 83.0               | 76.5               |
| 7   | 81.0                     | 74.0               | 62.0               | 63    | 89.5                     | 83.0               | 69.0               |
| 8   | 90.0                     | 78.0               | 64.5               | 64    | 81.0                     | 74.5               | 82.0               |
| 9   | 85.5                     | 77.0               | 55.0               | 65    | 90.0                     | 83.0               | 66.0               |
| 10  | 89.0                     | 79.5               | 66.0               | 66    | 78.0                     | 56.0               | 70.0               |
| 11  | 84.0                     | 74.0               | 52.5               | 67    | 79.0                     | 60.0               | 64.0               |
| 12  | 91.0                     | 75.0               | 71.0               | 68    | 73.0                     | 60.0               | 66.0               |
| 13  | 78.0                     | 73.0               | 64.0               | 69    | 83.0                     | 63.0               | 78.0               |
| 14  | 86.0                     | 81.0               | 67.0               | 70    | 79.0                     | 63.0               | 63.0               |
| 15  | 85.0                     | 73.0               | 62.0               | 71    | 88.5                     | 67.0               | 67.5               |
| 16  | 90.0                     | 71.5               | 65.0               | 72    | 75.0                     | 71.0               | 63.0               |
| 17  | 91.0                     | 72.0               | 55.0               | 73    | 79.0                     | 52.0               | 76.5               |
| 18  | 92.0                     | 68.5               | 59.0               | 74    | 79.0                     | 76.0               | 69.0               |
| 19  | 80.0                     | 72.0               | 56.0               | 75    | 85.0                     | 75.0               | 73.0               |
| 20  | 72.0                     | 64.5               | 62.0               | 76    | 79.0                     | 87.0               | 58.0               |
| 21  | 89.0                     | 79.0               | 50.0               | 77    | 85.0                     | 88.0               | 71.5               |
| 22  | 82.0                     | 80.0               | 71.0               | 78    | 77.0                     | 88.0               | 66.0               |
| 23  | 77.0                     | 71.5               | 60.5               | 79    | 85.0                     | 85.5               | 71.5               |
| 24  | 84.5                     | 65.0               | 68.0               | 80    | 80.0                     | 89.5               | 66.0               |
| 25  | 82.5                     | 75.0               | 73.0               | 81    | 84.0                     | 89.5               | 68.5               |
| 26  | 88.0                     | 78.5               | 63.5               | 82    | 83.5                     | 89.5               | 63.0               |
| 27  | 82.5                     | 78.5               | 70.5               | 83    | 85.0                     | 86.0               | 71.0               |
| 28  | 85.0                     | 85.0               | 69.5               | 84    | 69.0                     | 84.0               | 56.5               |
| 29  | 80.0                     | 81.0               | 71.5               | 85    | 75.0                     | 87.0               | 74.0               |
| 30  | 89.0                     | 81.0               | 61.0               | 86    | 77.0                     | 86.0               | 62.0               |
| 31  | 79.0                     | 81.0               | 74.0               | 87    | 72.5                     | 87.0               | 62.0               |
| 32  | 80.0                     | 83.0               | 60.0               | 88    | 76.0                     | 80.0               | 71.5               |
| 33  | 77.0                     | 70.0               | 83.0               | 89    | 73.5                     | 74.0               | 69.0               |
| 34  | 79.0                     | 74.0               | 59.0               | 90    | 84.0                     | 68.0               | 62.0               |
| 35  | 85.5                     | 60.0               | 74.5               | 91    | 66.0                     | 69.0               | 73.0               |
| 36  | 79.5                     | 75.0               | 62.5               | 92    | 86.0                     | 69.5               | 82.0               |
| 37  | 87.0                     | 67.0               | 65.5               | 93    | 73.5                     | 87.0               | 68.5               |
| 38  | 88.0                     | 65.0               | 64.0               | 94    | 81.0                     | 89.0               | 70.5               |
| 39  | 74.0                     | 65.0               | 79.0               | 95    | 76.0                     | 89.0               | 68.0               |
| 40  | 85.0                     | 76.0               | 65.0               | 96    | 85.5                     | 90.0               | 76.0               |
| 41  | 79.0                     | 75.0               | 62.0               | 97    | 78.5                     | 90.0               | 69.0               |
| 42  | 84.0                     | 76.0               | 79.0               | 98    | 83.0                     | 90.0               | 84.5               |
| 43  | 80.0                     | 76.0               | 56.0               | 99    | 85.0                     | 72.0               | 77.5               |
| 44  | 89.0                     | 78.0               | 60.0               | 100   | 74.0                     | 79.0               | 76.0               |
| 45  | 84.5                     | 77.0               | 44.0               | 101   | 84.0                     | 80.0               | 77.0               |
| 46  | 89.0                     | 78.5               | 80.0               | 102   | 69.0                     | 76.0               | 72.0               |
| 47  | 85.5                     | 78.0               | 60.5               | 103   | 82.0                     | 84.5               | 82.0               |
| 48  | 87.0                     | 69.0               | 71.0               | 104   | 78.0                     | 87.0               | 60.0               |
| 49  | 75.5                     | 82.0               | 60.0               | 105   | 88.0                     | 87.0               | 77.0               |
| 50  | 81.0                     | 79.0               | 81.5               | 106   | 88.0                     | 87.0               | 80.0               |
| 51  | 80.0                     | 84.0               | 55.0               | 107   | 88.5                     | 83.0               | 67.0               |
| 52  | 86.0                     | 72.5               | 70.0               | 108   | 89.0                     | 80.5               | 78.0               |
| 53  | 86.5                     | 67.0               | 66.0               | 109   | 78.0                     | 56.0               | 65.0               |
| 54  | 76.0                     | 68.0               | 73.0               | 110   | 88.0                     | 57.0               | 65.0               |
| 55  | 76.0                     | 68.0               | 72.0               | 111   | 77.0                     | 56.5               | 75.5               |
| 56  | 85.0                     | 68.0               | 72.0               | Total | 9095.0                   | 8442.5             | 7515.0             |

誤差:

$$\begin{aligned} \text{Error SS} &= \text{Total SS} - \text{Treat. SS} \\ &= 29869.21 - 11358.59 = 18510.62 \end{aligned}$$

ただし

$$\begin{aligned} CT &= \frac{(T)^2}{333} \\ &= \frac{(25052.5)^2}{333} = 1884768.04 \end{aligned}$$

これよりその分散分析は表3-7に示すとおりである。

表 3-7 樹種別濃度の分散分析  
Table 3-7 Analysis of variance

| Source  | SS       | DF  | MS       | F        |
|---------|----------|-----|----------|----------|
| Species | 11358.59 | 2   | 5679.295 | 101.25** |
| Error   | 18510.62 | 330 | 56.093   |          |
| Total   | 29869.21 | 332 |          |          |

表3-7の分散分析の結果からスギ、広葉樹およびマツの各樹種の空中写真濃度レベルの間にはきわめて高度の有意差を示す。すなわち本実験による場合、空中写真の濃度レベルはスギ、広葉樹、マツの各樹種による特長を顕著にあらわしているといえる。

また表3-6より写真濃度の計測平均値はそれぞれスギ81.94、広葉樹76.06、マツ67.70となった。ちなみに各平均値の有意差検定のためのt-検定を試みると

標準偏差:

$$\begin{aligned} SD &= \sqrt{MS(\text{error})} \\ &= \sqrt{56.09279} = 7.489512 \end{aligned}$$

樹種の平均の標準誤差:

$$\begin{aligned} SE_{(\text{treat.m.})} &= \frac{SD}{\sqrt{N}} \\ &= \frac{7.489512}{\sqrt{111}} = 0.710873 \end{aligned}$$

2つの平均の差の標準誤差:

$$\begin{aligned} SE_{(\text{diff. two m.})} &= \sqrt{2} \times \frac{SD}{\sqrt{N}} \\ &= 1.4142136 \times 0.710873 = 1.005326 \end{aligned}$$

よりスギ、広葉樹、マツの3樹種における平均値の差のt-検定による有意差検定は

5%では:

$$t \times \sqrt{2} \times \frac{SD}{\sqrt{N}}$$

$$= 1.96 \times 1.0053 = 1.97$$

1%では:

$$t \times \sqrt{2} \times \frac{SD}{\sqrt{N}}$$

$$= 2.58 \times 1.0053 = 2.59$$

となる。一方樹種毎の濃度平均値の差を比較すると

|     |     |         |   |   |      |
|-----|-----|---------|---|---|------|
| スギ  | 平均値 | = 81.94 | } | 差 | 5.88 |
| 広葉樹 | "   | = 76.06 |   |   |      |
| マツ  | "   | = 67.70 |   |   |      |
|     |     |         |   | " | 8.36 |

すなわち 差 5.88 および 8.36 は 5% の場合 1.97, 1% で 2.59 に比べて大きいからスギ, 広葉樹, マツの各樹種間には濃度レベルに明らかな有意性, つまり樹種による濃度レベルの相違が認められる。<sup>63)</sup>

## 2) スギ, ヒノキ, マツにおける幼, 壮齡林別写真濃度レベル

前項 1) のスギ, 広葉樹, マツの濃度レベルの実験について本項では林齡を幼, 壮齡林にわけた場合の樹種別, 林齡別濃度レベルの分析検討をスギ, ヒノキ, マツの各主要樹種を対象に試みた。なおスギについては老齡林を加えた。

### (1) 資 料

分析検討のための資料はスギ: 九州大学粕屋演習林新建団地内林分, ヒノキ・マツ: 宮崎県えびの営林署管内飯盛山周辺林分, のそれぞれを対象とした。各樹種および林齡, 蓄積等の林分状態の概略は次のとおりである。<sup>\*</sup>

| 樹 種 | 齡 階 |                           |     |                           |     |                           |
|-----|-----|---------------------------|-----|---------------------------|-----|---------------------------|
|     | 幼   |                           | 壮   |                           | 老   |                           |
|     | 林 齡 | 材 積                       | 林 齡 | 材 積                       | 林 齡 | 材 積                       |
| スギ  | 12  | m <sup>3</sup> /ha<br>(-) | 43  | m <sup>3</sup> /ha<br>217 | 94  | m <sup>3</sup> /ha<br>527 |
| ヒノキ | 14  | (-)                       | 45  | 250                       | —   | —                         |
| マツ  | 12  | (-)                       | 38  | 198                       | —   | —                         |

### (2) 写真濃度レベルの計測

空中写真濃度の計測は九州大学粕屋演習林新建団地スギ林分(写真 No.184), 宮崎県えびの営林署管内ヒノキ, マツ林分(写真C9-No.5)ともに脚注の各ゲージ<sup>\*\*</sup>)によって行な

<sup>\*</sup> 現地対応の空中写真は①スギ(九州大学粕屋演習林新建団地林分): 1963年10月8日九州大学演習林撮影, No.184, 撮影高度2020m, 同縮尺1:10000, 広角写真( $f=152.67\text{mm}$ ), ②ヒノキ, マツ(宮崎県えびの営林署管内飯盛山周辺林分): 霧島山, 山-456, C9-No.5, 1966年5月25日林野庁撮影, 撮影高度4978m, 同縮尺1:19675, 普通角写真( $f=209.16\text{mm}$ )の各密着ポジフィルムを使用。

<sup>\*\*</sup> 濃度計測ゲージは1)-(a)0.08×0.20mm, (b)1.4, (c)5mm/min, (e)×1, (f)2, 2)-(a)×30(写真No.184) および×10(写真No.C9-No.5), 3)-(a)120mm/min, (b)0.5Vによった。



った。

図3-6は同ゲージによって計測された樹種(スギ: (1), ヒノキ: (2), マツ: (3)) 別, 年齢(幼: (a), 壮: (b) および老: (c)) 別写真濃度波形グラフをそれぞれ部分的に示したものである。

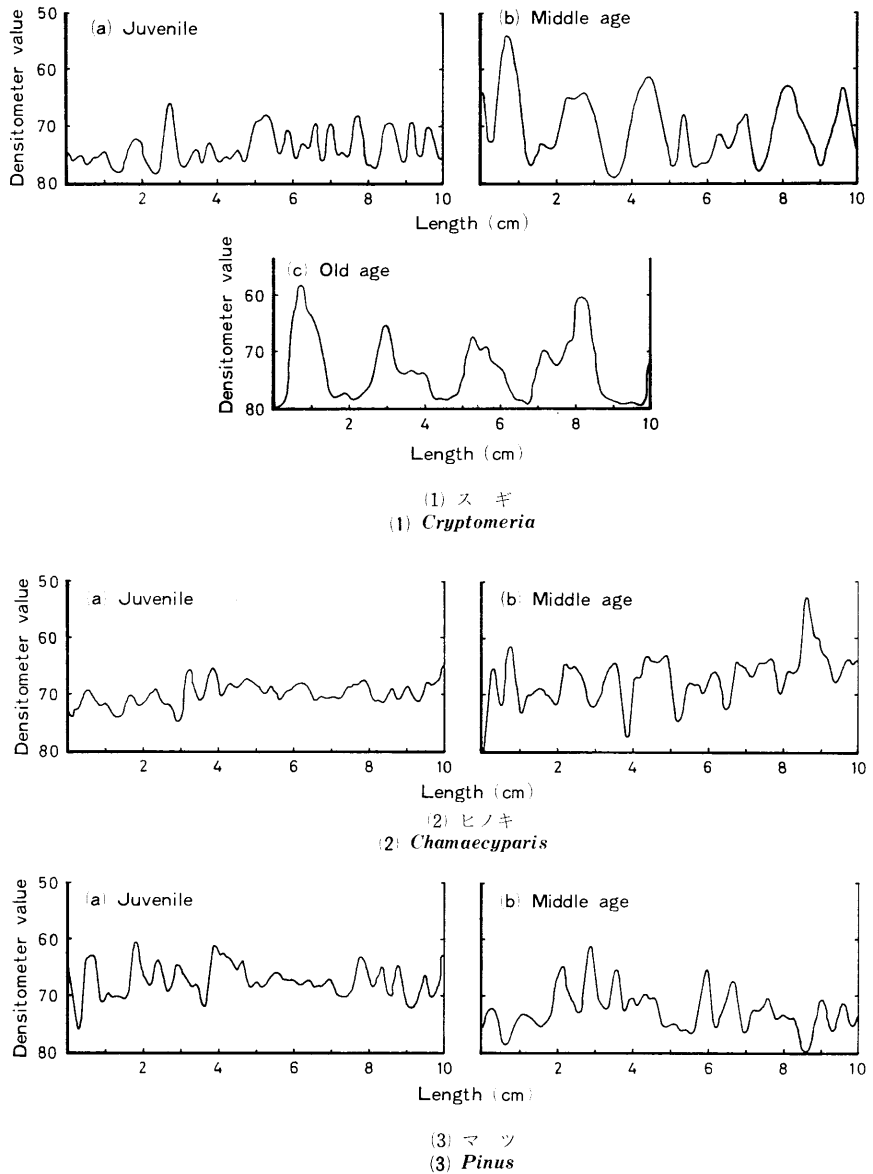


図 3-6 樹種別年齢(年齢階)別空中写真濃度波形グラフ

Fig. 3-6 Graph of densitometer waves in different age classes

(3) 実験結果の分析

以上の実験結果から樹種、年齢のそれぞれに対する分析を主としてその形状観察にもとづいて試みると次のとおりとなる。

すなわち空中写真の濃度波形グラフから樹種別、年齢(齡階)別平均濃度および同濃度の上下のばらつきの度合を計測し表示すると表3-8((1):平均濃度,(2):濃度のばらつきの状態)のとおりとなる。

表3-8 樹種別年齢(齡階)別濃度計測結果一覧

Table 3-8 Measurement of level of densitometer waves to species and age

(1) 平均濃度

(1) Average of level of density

| 樹種<br>Species               | 幼<br>Juvenile | 壮<br>Middle age | 老<br>Old age |
|-----------------------------|---------------|-----------------|--------------|
| スギ<br><i>Cryptomeria</i>    | 73            | 72              | 73           |
| ヒノキ<br><i>Chamaecyparis</i> | 71            | 69              | —            |
| マツ<br><i>Pinus</i>          | 68            | 73              | —            |

(2) 濃度のばらつき

(2) Range of level of density

| 樹種<br>Species               | 幼<br>Juvenile | 壮<br>Middle age | 老<br>Old age |
|-----------------------------|---------------|-----------------|--------------|
| スギ<br><i>Cryptomeria</i>    | 66 ~ 79       | 54 ~ 78         | 57 ~ 80      |
| ヒノキ<br><i>Chamaecyparis</i> | 65 ~ 75       | 54 ~ 78         | —            |
| マツ<br><i>Pinus</i>          | 60 ~ 76       | 61 ~ 80         | —            |

これより同一樹種内では齡階別平均濃度は本実験結果からは必ずしもその特性は認められず、スギ、ヒノキ、マツの各樹種ともほぼ同様であるのに対し、樹種間では明らかにその差異を示す。その濃度はマツが一番低い値つまり明るくあらわれ、ついでヒノキ、スギの順で高い値(暗い濃度)を示しており、それぞれその平均値間には明らかな有意性が認められる。また濃度のばらつきの状態は各樹種とも壮・老齡林では幼齡林に比べて大きく、幼齡林ではマツのばらつきが一番大きく、ついでヒノキ、スギの順となり、一般に平均濃度が増加するにつれ濃度のばらつきの度合いは減少する傾向が見受けられる。

## 2. 樹種と写真濃度波形の形状

前項の分析検討の結果から写真濃度レベルと樹種との間には明らかな有意性つまり相違が認められる。したがって空中写真の濃度計測による写真濃度レベルから一応樹種の判読(計測)が可能であることが確かめられた。

しかし実際には各樹種間には写真濃度波形グラフの上ではいま一つの要因として形状のちがいが認められる。したがって以下に写真濃度の計測にもとづく波形グラフの形状と樹種の関係についてその分析検討を試みた。

## 1) 資 料

波形グラフの形状に対する分析検討のための資料は前項 1) における 1) スギ, 広葉樹, マツの濃度レベルの場合と同じ樹種 および 濃度計測にもとづく波形グラフ(図 3-5 (1), (2), (3))を用いた。

## 2) 波形の形状に対する分析検討

いま図 3-5 (1), (2), (3)において 空中写真濃度の波形グラフの形状が明るくあらわれているピークを対象に, その形状を単峰すなわち 1つのピークによって 1つの波形を形成するもの, 複峰つまり 2つのピークによって 1つの波形を形成するもの, 以下 3つのピークによって 1波形を形成する 3峰, および 4つおよび 4つ以上のピークによって 1波形を形成する多峰の 4種類に波形の形状をわけ, スギ, 広葉樹, マツの各樹種ごとにその回数つまり頻度分布を計測すると表 3-9 に示すとおりである。

これより  $\chi^2$ -検定のための計算として観測値 (Observed) を  $O$ , 期待値 (Expected) を  $E$  とし, まず各樹種ごと波形(ピーク数)をスギ ( $S$ )=39, 広葉樹 ( $L$ )=27, マツ ( $M$ )=46, 全体 ( $T$ )=112 を樹種ごとに分類して単峰 ( $N$ )=60, 複峰 ( $P$ )=36, 3 峰 ( $Q$ )=12, 多峰 ( $R$ )=4 を表 3-9 のごとくうる。

表 3-9 観測値 (Observed) の計算結果一覧

Table 3-9 Calculation of observation

| Type of densitometer waves       | 単 峰<br>Simple<br>( $N$ ) | 複 峰<br>Double<br>( $P$ ) | 3 峰<br>Triple<br>( $Q$ ) | 多 峰<br>Multiple<br>( $R$ ) | 計<br>Total |
|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|------------|
| スギ ( $S$ )<br><i>Cryptomeria</i> | 25                       | 12                       | 2                        | 0                          | 39         |
| 広葉樹 ( $L$ )<br>Broadleaved       | 5                        | 9                        | 9                        | 4                          | 27         |
| マツ ( $M$ )<br><i>Pinus</i>       | 30                       | 15                       | 1                        | 0                          | 46         |
| Total                            | 60                       | 36                       | 12                       | 4                          | 112        |

これより  $E$  は縦列と横列の積の項を  $T(=112)$  で除したものの, すなわち

[スギ]

$$\text{単 峰: } NS/T = 60 \times 39/112 = 20.9$$

$$\text{複 峰: } PS/T = 36 \times 39/112 = 12.5$$

$$\text{3 峰: } QS/T = 12 \times 39/112 = 4.2$$

$$\text{多 峰: } RS/T = 4 \times 39/112 = 1.4$$

[広葉樹]

$$\text{単 峰: } NL/T = 60 \times 27/112 = 14.5$$

$$\text{複 峰: } PL/T = 36 \times 27/112 = 8.7$$

$$\text{3 峰: } QL/T = 12 \times 27/112 = 2.9$$

$$\text{多 峰: } RL/T = 4 \times 27/112 = 1.0$$

[マツ]

$$\text{単 峰: } NM/T = 60 \times 46/112 = 24.6$$

複 峰： $PM/T = 36 \times 46/112 = 14.8$

3 峰： $QM/T = 12 \times 46/112 = 4.9$

多 峰： $RM/T = 4 \times 46/112 = 1.6$

をうる。表3-10はこれを一覧表として示したものである。

表3-10 期待値 (Expected) の計算結果一覧

Table 3-10 Calculation of expected value

|          | <i>N</i> | <i>P</i> | <i>Q</i> | <i>R</i> |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| <i>S</i> | 20.9     | 12.5     | 4.2      | 1.4      |
| <i>L</i> | 14.5     | 8.7      | 2.9      | 1.0      |
| <i>M</i> | 24.6     | 14.8     | 4.9      | 1.6      |

これより  $\chi^2$  は次式

$$\chi^2 = \sum \frac{(O-E)^2}{E}$$

から

$$\begin{aligned} \chi^2 &= \frac{(25-20.9)^2}{20.9} + \frac{(12-12.5)^2}{12.5} + \frac{(2-4.2)^2}{4.2} + \dots \\ &\quad + \frac{(0-1.6)^2}{1.6} \\ &= 0.8043 + 0.0200 + 1.1524 + \dots + 1.6000 \\ &= 37.3343 \end{aligned}$$

となる。

いま自由度 $(4-1) \times (3-1) = 6$ における  $\chi_{0.05}^2 = 12.592$ ,  $\chi_{0.01}^2 = 16.812$  に対し、この場合の  $\chi^2 = 37.3343$  であるからきわめて高度の有意差を示す。

すなわち単峰、複峰、3峰および多峰等の波形グラフの形状の分類においてもスギ、広葉樹、マツの各樹種間には顕著な差異が認められ、その形状はそれぞれスギは単峰および複峰よりなる複合体、広葉樹は複峰と3峰を主体とし部分的に単峰を含むが全体的には多峰型、マツは主として単峰よりなりわずかに複峰を含む単峰型の各形状を呈する。ちなみに前項1の2)におけるスギ、ヒノキ、マツ各樹種の幼齢林の場合はスギは単峰、ヒノキは軽度の複峰、マツは単峰(部分的に2~3峰)となり、またスギ老齢林では複峰(2~3峰)、ヒノキ壯齢林は2~3峰の各形状が認められた。

### §3-4 本数、樹種、林齢等と写真濃度波形の関係<sup>13)</sup>

空中写真の濃度計測を写真濃度測定装置によって行なった場合、本章における以上の実験結果から本数、樹冠直径および樹種等の各要因と写真濃度波形グラフの濃度レベルおよび形状とがよく対応していることが一応確かめられた。

すなわち本数は濃度波形のピーク数と、樹冠直径は濃度波形の基部幅と、また樹種は濃度レベルおよび単峰、複峰、3峰、多峰等の各形状とそれぞれ密接な関係を有する。

本節では以上の関係について条件のちがう他の林分においても同じような結果がえられるかどうかの分析検討を試みたものである。分析検討の方法は前と同じであるが、地形的

条件の均一な平坦林分をえらび、新たに広葉樹林分を加えたものについて行なった。

## 1. 資料および写真濃度の計測

### 1) 資 料

資料は空中写真が傾斜度、起伏度その他の地形に起因して生じる太陽光線の方向の差異、乱反射等の影響を受けていないほぼ平地林で写真との対応が明確なことを考慮して、宮崎県小林市・農林省宮崎種畜牧場内防風林、同小林営林署管内小林苗畑事業所苗圃防風林、えびの営林署管内黒鹿国有林、九州大学宮崎演習林のそれぞれから次のとおりスギ、ヒノキ、マツ、広葉樹の各樹種をえらび、1967年10月および1968年3月、ストリップ調査によりそれぞれ現地調査を行なったものである。

| No. | 樹 種   | 林 齢              | 測 線 長            | 本 数 | 場 所         |
|-----|-------|------------------|------------------|-----|-------------|
| 1   | ス ギ   | 15 (幼)           | 130 <sup>m</sup> | 43  | 小林(署)苗畑事業所  |
| 2   | 〃     | 35 (壮)           | 286              | 106 | 宮崎種畜牧場      |
| 3   | ヒ ノ キ | 14 (幼)           | 113              | 67  | えびの(署)黒鹿国有林 |
| 4   | 〃     | 35 (壮)           | 100              | 47  | 小林(署)苗畑事業所  |
| 5   | マ ツ   | 12 (幼)           | 137              | 48  | えびの(署)黒鹿国有林 |
| 6   | 〃     | 38 (壮)           | 162              | 35  |             |
| 7   | 広 葉 樹 | 70<br>30~120 (壮) | 304              | 95  | 九州大学宮崎演習林   |

### 2) 写真濃度の計測

上記の現地林分に対応する空中写真およびその濃度計測ゲージはそれぞれ脚注\*)\*\*)に示すとおりである。

これより写真濃度計測波形グラフの上下の各ピークごとに一連番号を付し、樹種別、年齢(齡階)別の各濃度値を読みとり一覧表として示すと表3-11のとおりである。

表3-11 樹種別年齢(齡階)別濃度測定(読みとり)結果一覧

Table 3-11 Measurement of level of densitometer waves to each species and age

| No. | ス ギ<br><i>Cryptomeria</i> |              | ヒ ノ キ<br><i>Chamaecyparis</i> |              | マ ツ<br><i>Pinus</i> |              | 広 葉 樹<br>Broadleaved |
|-----|---------------------------|--------------|-------------------------------|--------------|---------------------|--------------|----------------------|
|     | 幼<br>Juvenile             | 壮<br>Old age | 幼<br>Juvenil                  | 壮<br>Old age | 幼<br>Juvenile       | 壮<br>Old age | 壮<br>Old age         |
| 1   | 67                        | 84           | 69                            | 91           | 57                  | 68           | 73                   |
| 2   | 85                        | 69           | 78                            | 88           | 74                  | 68           | 74                   |
| 3   | 83                        | 82           | 78                            | 62           | 76                  | 72           | 52                   |
| 4   | 84                        | 78           | 66                            | 63           | 52                  | 71           | 87                   |
| 5   | 64                        | 88           | 65                            | 89           | 72                  | 72           | 73                   |
| 6   | 79                        | 88           | 78                            | 90           | 78                  | 65           | 73                   |
| 7   | 84                        | 88           | 78                            | 63           | 47                  | 75           | 87                   |

\*) 空中写真は①スギ幼(No.1), 同壮(No.2), ヒノキ壮(No.4)は霧島山, 山-456, C9-No.16, 1966年5月25日, 同C10-No.18, 1966年5月17日, ヒノキ幼(No.3), マツ幼(No.5), 同壮(No.6)は同山-456, C9-No.6, 1966年5月25日いずれも林野庁撮影, 撮影高度5000m, 同縮尺1:20000, 普通角写真( $f=209.16\text{mm}$ )を, また②広葉樹(壯齡林, 19林班内, No.7)は1964年10月10日九州大学演習林撮影, C1-No.4543, 撮影高度4450m, 同縮尺1:15000, 普通角写真( $f=209.27\text{mm}$ ), の各密着ポジフィルムを用いた。

\*\*) 濃度計測ゲージは1)-(a)0.08×0.20mm, (b)1.4, (c)5mm/min, (e)×1, (f)2, 2)-(a)×10, 3)-(a)120mm/min, (b)1Vによった。

|       |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| 8     | 68   | 89   | 75   | 61   | 61   | 65   | 77   |
| 9     | 73   | 78   | 64   | 90   | 68   | 71   | 77   |
| 10    | 59   | 88   | 67   | 91   | 77   | 71   | 71   |
| 11    | 84   | 77   | 74   | 76   | 54   | 69   | 70   |
| 12    | 86   | 79   | 80   | 75   | 79   | 70   | 84   |
| 13    | 67   | 79   | 78   | 90   | 76   | 64   | 60   |
| 14    | 83   | 85   | 63   | 91   | 70   | 76   | 78   |
| 15    | 82   | 79   | 64   | 61   | 53   | 62   | 78   |
| 16    | 66   | 85   | 67   | 62   | 51   | 71   | 78   |
| 17    | 84   | 77   | 66   | 73   | 78   | 70   | 84   |
| 18    | 69   | 85   | 80   | 80   | 76   | 77   | 80   |
| 19    | 79   | 40   | 79   | 90   | 60   | 64   | 76   |
| 20    | 83   | 84   | 78   | 67   | 53   | 79   | 85   |
| 21    | 63   | 83   | 66   | 66   | 77   | 73   | 87   |
| 22    | 73   | 85   | 68   | 86   | 78   | 78   | 87   |
| 23    | 65   | 69   | 69   | 88   | 52   | 64   | 87   |
| 24    | 85   | 75   | 71   | 72   | 41   | 72   | 83   |
| 25    | 78   | 77   | 79   | 68   | 76   | 65   | 56   |
| 26    | 85   | 72   | 80   | 67   | 56   | 69   | 57   |
| 27    | 83   | 76   | 79   | 80   | 52   | 66   | 56   |
| 28    | 68   | 73   | 71   | 90   | 78   | 82   | 74   |
| 29    | 79   | 84   | 67   | 90   | 74   | 81   | 68   |
| 30    | 75   | 66   | 66   | 68   | 56   | 77   | 69   |
| 31    | 84   | 86   | 65   | 69   | 78   | 72   | 70   |
| 32    | 67   | 73   | 64   | 89   | 54   | 82   | 87   |
| 33    | 81   | 81   | 77   | 88   | 77   | 60   | 89   |
| 34    | 64   | 76   | 66   | 66   | 74   | 77   | 89   |
| 35    | 60   | 85   | 57   | 90   | 57   | 80   | 90   |
| 36    | 83   | 78   | 56   | 67   | 52   | 67   | 90   |
| 37    | 79   | 83   | 64   | 89   | 78   | 78   | 90   |
| 38    | 85   | 85   | 79   | 68   | 75   | 65   | 72   |
| 39    | 66   | 74   | 80   | 90   | 53   | 65   | 79   |
| 40    | 82   | 73   | 75   | 85   | 74   | 76   | 60   |
| 41    | 79   | 83   | 71   | 84   | 61   | 71   | 63   |
| 42    | 84   | 79   | 69   | 63   | 52   | 68   | 63   |
| 43    | 68   | 88   | 68   | 64   | 79   | 76   | 67   |
| 44    | 73   | 75   | 67   | 90   | 76   | 69   | 71   |
| 45    | 59   | 87   | 80   | 82   | 53   | 85   | 52   |
| 46    | 66   | 88   | 79   | 66   | 58   | 78   | 76   |
| 47    | 84   | 74   | 69   | 65   | 69   | 76   | 75   |
| 48    | 69   | 85   | 67   | 81   | 78   | 66   | 87   |
| 49    | 79   | 79   | 80   | 90   | 57   | 78   | 88   |
| 50    | 83   | 84   | 68   | 66   | 77   | 63   | 88   |
| 51    | 85   | 80   | 79   | 71   | 71   | 68   | 86   |
| 52    | 83   | 89   | 64   | 87   | 60   | 63   | 89   |
| 53    | 68   | 84   | 63   | 63   | 52   | 77   | 89   |
| 54    | 79   | 89   | 79   | 91   | 47   | 69   | 89   |
| 55    | 75   | 85   | 76   | 90   | 76   | 73   | 86   |
| 56    | 83   | 87   | 59   | 66   | 63   | 58   | 84   |
| 57    | 79   | 75   | 60   | 67   | 52   | 72   | 87   |
| 58    | 85   | 81   | 80   | 85   | 76   | 66   | 86   |
| 59    | 66   | 80   | 78   | 89   | 78   | 72   | 87   |
| 60    | 82   | 86   | 79   | 64   | 55   | 66   | 80   |
| 61    | 83   | 86   | 67   | 90   | 69   | 69   | 60   |
| 62    | 67   | 76   | 66   | 91   | 78   | 63   | 56   |
| 63    | 65   | 76   | 80   | 67   | 54   | 71   | 83   |
| Total | 4778 | 5092 | 4494 | 4901 | 4115 | 4466 | 4849 |
| Mean  | 75.8 | 80.8 | 71.3 | 78.0 | 65.3 | 70.9 | 77.0 |

## 2. 実験結果の分析検討

### 1) 密度と判読本数(ピーク数)の関係

現地森林における実測線すなわちストリップ内の立木本数を一応密度とみため、同ストリップと対応させて空中写真の濃度を計測させてえがかせた濃度波形のピークの個数をカ

ウントし、一応これを判読本数として実本数(立木本数)との対応度の比較検討を試みた。表3-12は樹種別、年齢(齢階)別実本数  $y$  に対する判読本数  $x$  およびその比率を一覧表として示したものである。

表3-12 樹種別年齢(齢階)別実本数に対する判読本数およびその比率  
Table 3-12 Relation between number of peak's and number of tree plot in each species and age, and the percentage

| No. | 樹種(齢階)<br>Species (Age class)             | 実本数<br>Number of tree<br>Y | 判読本数<br>Number of peak's<br>X | 比率<br>Percentage<br>% |
|-----|---|----------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| 1   | スギ(幼)<br><i>Cryptomeria</i> (Juvenile)    | 43                         | 40                            | 93.0                  |
| 2   | "(壮)<br>(Old age)                         | 106                        | 94                            | 88.7                  |
| 3   | ヒノキ(幼)<br><i>Chamaecyparis</i> (Juvenile) | 64                         | 51                            | 79.7                  |
| 4   | "(壮)<br>(Old age)                         | 47                         | 36                            | 76.6                  |
| 5   | マツ(幼)<br><i>Pinus</i> (Juvenile)          | 48                         | 39                            | 81.3                  |
| 6   | "(壮)<br>(Old age)                         | 35                         | 30                            | 85.7                  |
| 7   | 広葉樹(壮)<br>Broadleaved (Old age)           | 91                         | 58                            | 63.7                  |
| 全   | Total                                     | 434                        | 348                           | 80.2                  |

表3-12より、実本数  $y$  に対し判読本数  $x$  の比率は広葉樹壮の63.7%よりスギ幼の93.0%、全体で80.2%の(-)の傾向を示す。これは濃度計測による場合、庇蔭木あるいは隣接木等は単木として1本で濃度計測されること、濃度計測ゲージのスリット幅の関係からとくにY方向に並ぶ木は1つの波形グラフとなること、細かなピークの変化に対し記録針が精確に追従できないこと等の原因によるものと考えられる。このことは実本数の増大にもなって一定の規則性をもって大きくあらわれていることからもうかがい知られる。

いま、実本数  $y$  と対応する判読本数  $x$  の相関係数  $r$  を求めてみると

$$r = \frac{N\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[N\sum x^2 - (\sum x)^2][N\sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

より

$$\begin{aligned} r &= \frac{7 \times 24840 - 348 \times 434}{\sqrt{[7 \times 20118 - (348)^2] \times [7 \times 31200 - (434)^2]}} \\ &= 0.938628 \end{aligned}$$

すなわち  $r = 0.939$  となりきわめて高い相関を示す。

したがって表3-12にもとづき  $y$  と  $x$  の回帰のための最小二乗法計算組織解を表3-13により行なった。

表 3-13 実本数  $x$  と判読本数  $y$  の回帰計算組織解

Table 3-13 Solution system of regression to number of tree and number of peak's

|            | 1 | $x$       | $y$       | $1+x+y$   |
|------------|---|-----------|-----------|-----------|
| 1          | 7 | 348       | 434       | 789       |
| $x$        |   | 20118     | 24840     | 45306     |
| $y$        |   |           | 31200     | 56474     |
| 49.7142857 |   | 2817.4286 | 3264.0000 | 6081.4286 |
| 62         |   |           | 4292.0000 | 7556.0000 |
| 1.15850318 |   |           | 510.6456  | 510.6456  |

これより

$$Y = 4.4058 + 1.1585 x$$

をえた。その分散分析は表 3-14 に示すとおりである。

表 3-14 実本数  $y$  と判読本数  $x$  の回帰の分散分析

Table 3-14 Analysis of variance of regression to number of tree and number of peak's

| Source      | SS         | DF | MS         | F        |
|-------------|------------|----|------------|----------|
| Const.      | 26908.0000 | 1  | 26908.0000 | 263.47** |
| Reg. on $x$ | 3781.3544  | 1  | 3781.3544  | 37.03**  |
| Error       | 510.6456   | 5  | 102.1291   |          |
| Total       | 31200.0000 | 7  |            |          |

すなわち回帰式は 1 次式で Const.,  $x$  の項ともに高度の有意差を示した。これにより実本数  $x$  と判読本数つまり写真濃度波形のピーク数  $y$  との関係は 1 次式によりきわめて高相関であることが確かめられた。なお本実験結果は前節 (§ 3-1) において試みた本数と波

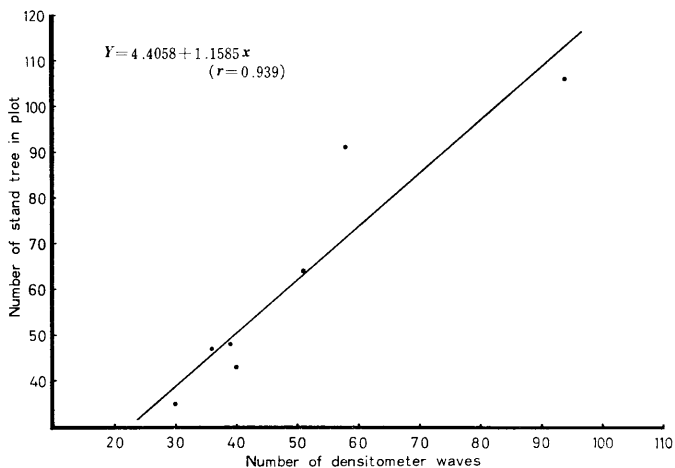
図 3-7 実本数  $y$  と判読本数  $x$  の回帰図

Fig. 3-7 Relation between number of stand tree in plot and number of densitometer waves



形グラフのピーク数との関係に対する実験結果の場合の相関係数  $r=0.525$  に比しかなり高い精度となっている。このことは樹種によりまた林分によりかなりのちがいはあるが、実本数と判読本数との間には1次式により回帰関係が成立することを示すものといえよう。図3-7は上記の関係を回帰図として示したものである。

## 2) 樹種別, 年齢(幼, 壮)別濃度レベルの関係

スギ, ヒノキ, マツ, 広葉樹の各樹種別ならびに幼, 壮齡林別(ただし広葉樹は壯齡林のみ)の波形濃度レベルの関係, すなわち樹種別, 年齢別の相違の度合いの検討を前記表3-11の濃度計測データにもとづき分散分析により試みた。

分散分析はまず樹種別, 幼, 壮こみによる全体について

$$\begin{aligned} \text{Total SS} &= \sum^{63 \times 7} (x^2) - CT \\ &= 2469671 - 2423952.4376 = 45718.5624 \\ \text{Treat. SS} &= \frac{\sum_7 (\sum_{63} x)^2}{63} - CT \\ &= \frac{(4778)^2 + (5092)^2 + (4494)^2 + \dots + (4849)^2}{63} - 2423952.4376 \\ &= \frac{153364767}{63} - 2423952.4376 = 10408.9434 \\ \text{Error SS} &= \text{Total SS} - \text{Treat. SS} \\ &= 45718.5624 - 10408.9434 = 35309.6190 \end{aligned}$$

ただし

$$CT = \frac{(T)^2}{63 \times 7} = \frac{(32695)^2}{441} = 2423952.4376$$

これより有意差検定のための分散分析は表3-15(1)に示すとおりである。

すなわち分散分析の結果から樹種ならびに年齢(幼, 壮)間, つまり Treat. にはきわめて高度の有意差を示し, 空中写真の濃度レベルにより樹種および年齢間には顕著な特性があることが認められた。

同様にして壯齡林のみによる場合は

$$\begin{aligned} \text{Total SS} &= \sum^{63 \times 4} (x^2) - CT \\ &= 1502752 - 1479360.5714 = 23391.4286 \\ \text{Treat. SS} &= \frac{\sum_4 (\sum_{63} x)^2}{63} - CT \\ &= \frac{(5092)^2 + (4901)^2 + (4466)^2 + (4849)^2}{63} - 1479360.5714 \\ &= \frac{93406222}{63} - 1479360.5714 = 3277.8730 \\ \text{Error SS} &= \text{Total SS} - \text{Treat. SS} \\ &= 23391.4286 - 3277.8730 = 20113.5556 \end{aligned}$$

ただし

$$CT = \frac{(T)^2}{63 \times 4} = \frac{(19308)^2}{252} = 1479360.5714$$

よりその分散分析は表 3-15(2)に示すとおりとなる。

また幼齡林のみによる場合は

$$\begin{aligned} \text{Total SS} &= \sum^{63 \times 3} (x^2) - CT \\ &= 967099 - 948210.4180 = 18888.5820 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Treat. SS} &= \frac{\sum^3 (\sum^{63} x)^2}{63} - CT \\ &= \frac{(4778)^2 + (4494)^2 + (4115)^2}{63} - 948210.4180 \\ &= \frac{59958545}{63} - 948210.4180 = 3512.5185 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Error SS} &= \text{Total SS} - \text{Treat. SS} \\ &= 18888.5820 - 3512.5185 = 15376.0635 \end{aligned}$$

ただし

$$CT = \frac{(T)^2}{63 \times 3} = \frac{(13387)^2}{189} = 948210.4180$$

より表 3-15(3)の分散分析の結果をえた。

すなわち幼，壯齡林のそれぞれについて行なった分散分析の結果はいずれも高度の有意差を示し，樹種別，年齢(齡階)別計測濃度レベルにも明らかにその差異があることが確かめられた。

### 3) 樹種と濃度波形の形状の関係

森林空中写真ポジフィルムの濃度の透過計測による各樹種別，年齢(幼，壯齡林)別波形

表 3-15 樹種別年齢(齡階)別濃度レベルの分散分析

Table 3-15 Analysis of variance of level of densitometer waves in each species and age

(1) 全 体

(1) General

| Source | SS       | DF  | MS      | F       |
|--------|----------|-----|---------|---------|
| Treat. | 10408.94 | 6   | 1734.82 | 21.32** |
| Error  | 35309.62 | 434 | 81.36   |         |
| Total  | 45718.56 | 440 |         |         |

(2) 壯 齡 林

(2) Old age

| Source | SS       | DF  | MS      | F       |
|--------|----------|-----|---------|---------|
| Treat. | 3277.87  | 3   | 1092.62 | 13.47** |
| Error  | 20113.56 | 248 | 81.10   |         |
| Total  | 23391.43 | 251 |         |         |

(3) 幼 齡 林  
(3) Juvenile

| Source | SS       | DF  | MS      | F       |
|--------|----------|-----|---------|---------|
| Treat. | 3512.52  | 2   | 1750.26 | 21.24** |
| Error  | 15376.06 | 186 | 82.67   |         |
| Total  | 18888.58 | 188 |         |         |

グラフは前項2)の濃度レベルの関係とともにその形状においても顕著な特長が認められる。いまその形状を濃度波形グラフのピークを対象に単峰、複峰、3峰および多峰の4種類にわけ、単位距離(記録紙上10cm)に対する濃度波形のピークの個数をカウントした結果は表3-16に示すとおりである。

表3-16 樹種別濃度波形状の頻度表  
Table 3-16 Frequency of densitometer waves type in each species

|  | 単峰<br>Simple<br>N | 複峰<br>Double<br>P | 3峰<br>Triple<br>Q | 多峰<br>Multiple<br>R |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| スギ S (幼)<br><i>Cryptomeaia</i> (Juvenile)    | 12                | 5                 | 0                 | 0                   |
| " (壮)<br>(Old age)                           | 17                | 5                 | 1                 | 0                   |
| ヒノキ H (幼)<br><i>Chamaecyparis</i> (Juvenile) | 9                 | 6                 | 1                 | 0                   |
| " (壮)<br>(Old age)                           | 5                 | 6                 | 1                 | 1                   |
| マツ M (幼)<br><i>Pinus</i> (Juvenile)          | 8                 | 7                 | 2                 | 0                   |
| " (壮)<br>(Old age)                           | 11                | 7                 | 1                 | 0                   |
| 広葉樹 L (壮)<br>Broadleaved (Old age)           | 3                 | 4                 | 3                 | 1                   |

表3-16において各ピーク個数を幼、壮こみによるスギ、ヒノキ、マツ、広葉樹のそれぞれをスギ S、ヒノキ H、マツ M、広葉樹 Lとし、また単峰 N、複峰 P、3峰 Q、多峰 Rとして標示し、これを観測値 Oとして表3-17に示し、対応する $\chi^2$ -検定のための期待値 Eを前項§3-3の2の方法にもとづいて求めると表3-18のとおりとなる(ただし広葉樹は壮齡林のみによるためこれを2倍して他の樹種との均衡を図った)。

表3-17 樹種別形状別観測値 (Observed) の計算結果一覧  
Table 3-17 Calculation of observaton in each species and type

|       | N  | P  | Q  | R | Total |
|-------|----|----|----|---|-------|
| S     | 29 | 10 | 1  | 0 | 40    |
| H     | 14 | 12 | 2  | 1 | 29    |
| M     | 19 | 14 | 3  | 0 | 36    |
| L     | 6  | 8  | 6  | 2 | 22    |
| Total | 68 | 44 | 12 | 3 | 127   |

表 3-18 樹種別形状別期待値 (Expected) の計算結果一覧  
 Table 3-18 Calculation of expected value in each species and type

|          | <i>N</i> | <i>P</i> | <i>Q</i> | <i>R</i> | Total |
|----------|----------|----------|----------|----------|-------|
| <i>S</i> | 21.4     | 13.9     | 3.8      | 0.9      | 40.0  |
| <i>H</i> | 15.5     | 10.0     | 2.7      | 0.7      | 28.9  |
| <i>M</i> | 19.3     | 12.5     | 3.4      | 0.9      | 36.1  |
| <i>L</i> | 11.8     | 7.6      | 2.1      | 0.5      | 22.0  |
| Total    | 68.0     | 44.0     | 12.0     | 3.0      | 127.0 |

これより  $\chi^2$  を計算すると

$$\begin{aligned}\chi^2 &= \frac{(29 - 21.4)^2}{21.4} + \frac{(10 - 13.9)^2}{13.9} + \frac{(1 - 3.8)^2}{3.8} + \dots \\ &\quad + \frac{(2 - 0.5)^2}{0.5} \\ &= 2.6990 + 1.0942 + 2.0632 + \dots + 4.5000 \\ &= 23.3583\end{aligned}$$

をうる。

いま自由度  $(4-1) \times (4-1) = 9$  における  $\chi_{0.05}^2 = 16.919$ ,  $\chi_{0.01}^2 = 21.666$  に対し、この場合の  $\chi^2 = 23.3583$  はきわめて高度の有意差を示している。すなわちスギ、ヒノキ、マツ、広葉樹の各樹種における波形グラフの形状においても各樹種間に顕著な特長が認められた。

以上の実験および各分析検討の結果から、空中写真濃度波形のピーク数が本数と、各濃度レベルが樹種および幼、壮齢林等の年齢(年齢)と、また単峰、複峰、3峰、多峰等の各形状が樹種ときわめてよく対応していることが確かめられた。なおこれらの結果は前各節 (§ 3-1, § 3-2, § 3-3) の実験および分析検討の結果とも一致している。したがって森林空中写真濃度計測による各種の判読測定、とくに蓄積推定と結びつける場合きわめて有意な計測要因として期待されるものとする。

#### 第4章 空中写真濃度計測による森林蓄積推定のための回帰式の検討

空中写真濃度計測各装置に対する基礎的実験(第2章)、ならびに空中写真濃度計測要因に対する各種濃度波形の分析検討(第3章)等の以上の成果にもとづき、本章では空中写真濃度計測による森林蓄積の推定に対する基本方式および濃度計測実験結果による分析検討と実際の蓄積推定を試みた。なお蓄積推定は多くの写真濃度計測要因のうち、材積との結びつき、すなわち相関度をもっとも高い計測要因を選び写真濃度波形基部幅、濃度波周期および波形側断面積等をその対象として用いた。また次章(第5章)における大面積森林の蓄積推定との結びつき、とくにその応用化を目的として若干の検討をあわせ試みた。

なおこれらの実験および分析検討に先だちその基礎データとなる現地調査資料、すなわち現地調査林分と空中写真との対比のもとにとられる各種の現地実測線(ストリップ)が実際にどの程度の対応度を有するかは、それをもとにして行なう各種の分析検討、とくに材