

## 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：

その実用化に対する成果については九州大学における筆者らのほかは全くその研究例を認められない。なお、国外においては木材の理学的構造解析に関する研究例および赤外線フィルム、カラーフィルム等の特殊感光材料による病害木、虫害木の判定や生長状態の観測等が濃度計測によって実施されている報告例がアメリカ、オーストラリア等に認められるほか、蓄積推定に対する研究および成果等は他に見当たらない現状である。<sup>2) (24) (69) (88) (98)</sup>

## 第2章 空中写真濃度計測装置に関する基礎的実験

### § 2-1 空中写真濃度計測装置の機構とその基礎実験

森林空中写真の濃度計測要因に対する各種の実験および計測ならびにそれらの分析検討はすべて光学的理論にもとづく写真濃度測定装置によって行なわれる。

いま、空中写真濃度計測システム（第1章、§ 1-3参照）にもとづき、本実験研究に使用したD250-1型写真濃度測定装置（株式会社応用電気研究所製）の機構および空中写真濃度計測のための基礎実験ならびに説明を試みると次のとおりである。

#### 1. 空中写真濃度計測装置の機構

写真濃度測定装置における基本装置はホトマル安定電源部、ホトマル受光部、光電機構・操作部、直流増幅部および記録部の5ブロックよりなる。

すなわち一定電圧に保たれた光源電源によって点燈された光源ランプから照射される光を集束レンズによって集束させ、セットした空中写真（ポジフィルムまたは印画紙写真）の計測部を透過または反射計測させる。この透過光または反射光は結像レンズで可変スリット（Slit）上に写真像を拡大結像する。なお計測部は可変スリットで2/100~1mmの任意のサイズ（ただし0.02mm間隔）に調整できるようになっており、これを上部集束レンズで集束してホトマル受光部に投射する。このホトマル受光部の出力は投射光量の大きさをきわめて微細部の変化まで検出する。この出力つまり写真像の濃度のコントラストを電圧量に変換した出力はこれを直流増幅器により×10をベースとする略3倍率の増幅、すなわち×10、×30、×100、×300、×1000の5レンジにより適切な増幅を行ない記録計に連結する。これにより空中写真における写真像の濃淡（色調コントラスト）は0（白）から100（黒）の100レベルの範囲で記録紙上にその波形グラフをえがく。一方操作電源に連結された機構部はセットされた写真をX軸ならびにY軸方向に送り濃度計測の任意性が保たれる。<sup>13)a</sup>

#### 2. 空中写真濃度計測装置の基礎実験

##### 1) 空中写真濃度波形の予備実験

空中写真濃度計測装置の基礎実験に先だち写真の濃度波形がD250-1型写真濃度測定装置によってどの程度、またどのような形状をもってあらわれるか、またそのあらわれ方は実際の写真濃度計測の場合に計測因子として使用されうるかどうか等の写真濃度計測に関する基礎データをうるため下記により写真濃度波形に対する予備実験を行なった。

##### (1) 標準濃度片による予備実験

予備実験はまず濃度が白=透明(1)より黒(13)までの13レベルに区分された標準濃度片（Density step tablet, 富士フィルム社製, No. A-722, 各種透過濃度計の較正に使用するもので、日本工業規格〈JIS K 7605〉または米国標準規格〈ASA PH 2.19-1959〉に規定されている視覚拡散光濃度 Diffuse visual density を厳密に測定できるよう製作され

たもの)を用いて、その濃度の変化のレベルがどの程度の対応性をもってあらわれるかを実験した。

図2-1は標準濃度片を用いて行なった濃度レベルの計測グラフを示したものである。<sup>\*</sup>すなわち標準濃度片による濃度レベルの計測実験結果では明瞭にそのレベル差を表わしている。ただしその濃度レベル差つまり隔差は濃度レベルが漸次濃くなるにしたがって縮まる傾向を示し、濃度レベル(1)~(10)まではグラフ上において識別可能であるが、(11)以上の濃度レベルでは困難性を増してくる。この現象は肉眼による識別の結果とも一致する。なお標準濃度片において高濃度部分の識別(判読)は写真濃度計測装置におけるスリット幅および直流増幅器の倍率レンジ等の調整によりその可能性が増大することが各計測ゲージの変化・組合せによる実験の結果明らかとなった。

## (2) 色調板による予備実験

標準濃度片による以上の濃度計測実験の結果にもとづく濃度レベルの対応度をいま少し傾向的にチェックするため、実際の空中写真の濃度との対応性が強く、また写真濃度計測における濃度レベルとの対応性も大きいとみなされる色調板を用いて以下にその実験を試みた。

すなわち写真の色調濃淡を光線の反射度により白(10%)から黒(100%)までの10レベルに分解表示された色調板(日本林業技術協会製、航空写真判読スケール6枚セットの中の1枚)を用いて濃度計測実験を行なった結果、図2-2に示すとおり各濃度レベルとその計測グラフはきわめてよく対応しており、その状態は標準濃度片による場合と同じように識別される。

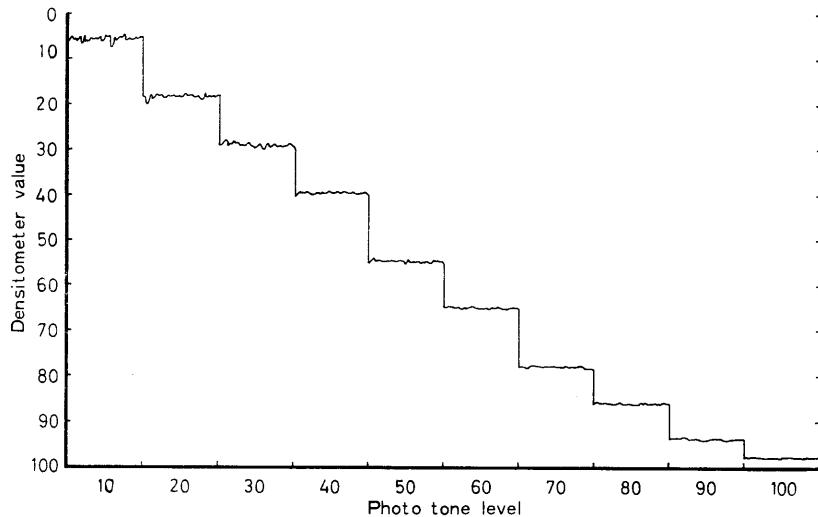


図 2-2 色調板による濃度グラフ  
Fig. 2-2 Graph of densitometer waves by photo tone scale

<sup>\*</sup> 図2-1に用いた計測ゲージは、写真濃度測定装置部分: 1-a) スリット幅 $0.08 \times 0.20\text{mm}$ , b) レンズ絞り1.4(開放), c) スキャン速度 $20\text{mm/min}$ , e) 感度切替(レンジ) $\times 1$ , f) フィルター1枚(スリガラス), 直流増幅器部分: 2-a) 感度切替(倍率レンジ) $\times 10$ , 記録計部分: 3-a) チャートスピード $60\text{mm/min}$ , b) 入力電圧レンジ $5\text{V}$ , のそれぞれによった。

ちなみにこの場合の各濃度レベルと、対応する計測濃度値の関係は繰り返し3回計測の結果表2-1に示すとおりとなり、その関係は

$$Y = b_0 + b_1 \bar{x}$$

$$= 2.3361 + 0.9298 \bar{x}$$

$$r = 0.995$$

ただし  $\bar{x}$ : 計測濃度平均値

$Y$ : 色調板濃度レベル

$b_i$ : 回帰係数

となり1次式の関係が認められた。すなわち色調板により分解表示された10レベルの濃度は、これをD250-1型写真濃度測定装置により計測させた場合1次式によりきわめてよく対応しており、空中写真の濃度計測が表現性の高い装置であるといえる。図2-3はこの関係をグラフに示したものである。

表2-1 色調板による濃度計測一覧表  
Table 2-1 Measurement of density by photo tone scale

No.	色調板レベル Photo tone level $y$	色調板計測濃度 Measurement of photo tone scale $x$			
		1	2	3	mean
1	10	6	6	7	6.3
2	20	17	19	18	18.0
3	30	28	29	29	28.7
4	40	40	40	41	40.3
5	50	54	55	55	54.7
6	60	65	64	65	64.7
7	70	77	78	78	77.7
8	80	84	84	84	84.0
9	90	94	94	94	94.0
10	100	98	98	98	98.0

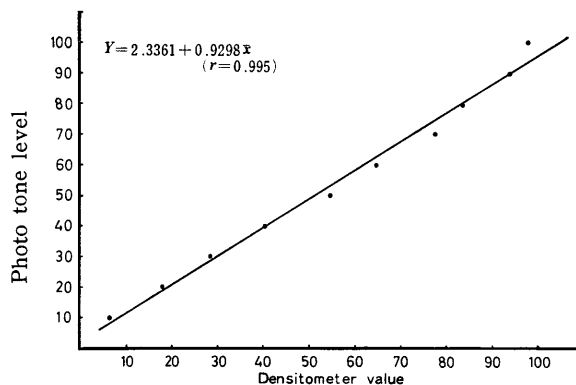


図2-3 色調板レベルと計測濃度値の回帰図  
Fig. 2-3 Relation between photo tone level and densitometer value

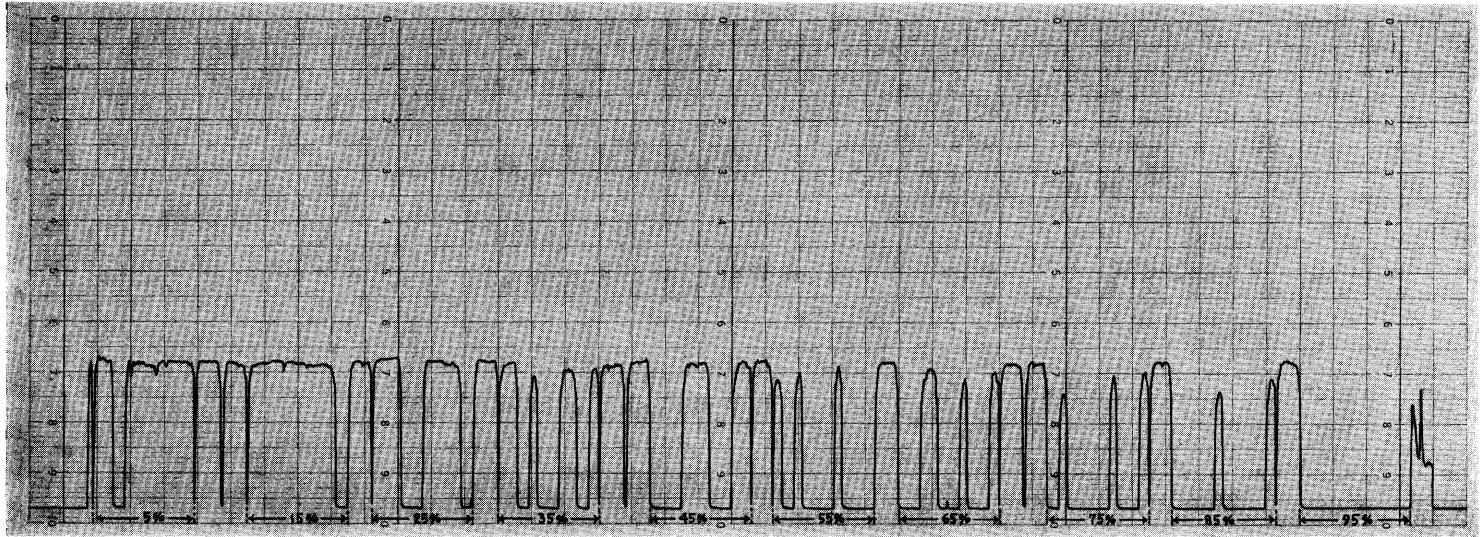


図 2-4 樹冠疎密度板濃度計測グラフ (A-No.6)

Fig. 2-4 Graph of densitometer waves on crown density scale (A-No. 6)

### (3) 樹冠疎密度板による予備実験

写真濃度波形グラフに対するいま一つの予備実験として、森林を構成する各樹冠が濃度波形としてどのような形状ないしは対応性をもってあらわれるかについて実験を試みた。

本実験には前項(2)の航空写真判読スケール6枚セットの中の樹冠疎密度板を用いた。同樹冠疎密度板は各樹冠を一定の濃度(レベル10:黒)で表示されたものである。またその密度は1cm<sup>2</sup>区画すなわち1ha面積をあらわす区画内を、1%単位の大きさをあらわす点(径1mm)のランダム配置によって5%, 15%, 25%, ..., 95%の10段階に表示されたもの3組によって構成されたものであり、本来は森林の立木密度、樹冠の地表被覆度等の比較測定を行なうための基準尺度を目的とするものであるが、本実験ではこれを森林樹冠のモデルとみなし、その形状と対応性および同樹冠疎密度(%)との比率の一致性について実験検討を試みた。

実験はD250-1型写真濃度測定装置により樹冠疎密度板の3組(上段:A, 中段:B, 下段:C)について1mm単位に区分, 都合1組10区分に対しそれぞれNo. 2, 6, 10の1組計3区分, 合計3組9区分の濃度計測を行ない, その結果を波形グラフと樹冠疎密度板の個々について比較対応させた。その結果, 個数, 比率ともにきわめてよく対応していることが確認された。

すなわち森林における樹冠の構成が写真上において明瞭に再現されている場合, そしてその樹冠を濃度計が適正にスキヤニングした場合, その濃度計測はきわめて正確に行なわれうるという確証をえた。なおその形状については樹冠疎密度板の点が一定の濃度によって表示されていることから実際の森林の場合のような樹冠本来の濃度, あるいはそのピーク点や陰影部等のような森林波形としての特長的な形状をみることはできない。

図2-4は上記樹冠疎密度板の濃度グラフをA-No. 6について送り速度を1/2に縮めて示したものである。また表2-2は濃度計測および判読にもとづく計算結果を樹冠疎密度板と対比させて示したものである。表中 $N$ は1区分内1段階における樹冠疎密度板の点の数,  $n$ は対応する濃度グラフ上の判読個数を,  $L$ は同じく1区分内1段階の全長(10mm)に対するグラフ上の長さ,  $l$ は対応する濃度波形グラフ上での点の濃度の長さの合計を, また比率 $P_n, P_l$ はそれぞれ $n/N \times 100, l/L \times 100$ によって示したものである。

### 2) 空中写真濃度計測装置各ゲージの構能にもとづく波形の実験と分析<sup>13)c</sup>

標準濃度片, 色調板および樹冠疎密度板による予備実験にもとづく以上の基礎データから, 写真濃度計測装置により各濃度因子を計測した場合, その濃度波形グラフはきわめて確度の高い対応性と濃度レベルの傾向性および形状の再現性をもって計測されることが確かめられた。したがってこれらの基礎データのうえにたって実際の空中写真により各種の濃度計測とそれにもとづく森林蓄積の推定に対する実験と研究をすすめる。

なおこれとあわせ写真濃度計測装置自体の機構つまり各ゲージの機能とそれらに関連してえがかれる波形グラフの形状や性質, 濃度レベルの変化等の関係についてもその基礎的実験と分析検討を行なう必要がある。

すなわち写真濃度の計測は空中写真の被写体である森林の各要因つまり樹種や年齢, 樹冠の形状, 大きさ等の林木構成要因に加えて写真撮影の諸条件に左右されるほか, 濃度計測装置の各ゲージの機能によっても複雑に変化する。したがって森林の濃度波形を目的に

表 2-2 樹冠疎密度板による個数および比率の濃度計測結果一覧表

Table 2-2 Measurement of number of peak's and density percentage by crown density scale

疎密度 Crown density	組 Class	区分 No. Division	個数 Number of peak's			長さ Length		
			$N$	$n$	$P_n$	$L$	$l$	$P_l$
5%	A	2	0	0	—	6.1	0.0	0.0
		6	1	1	100.0	6.1	0.7	11.5
		10	1	1	100.0	6.6	0.8	12.1
	B	2	0	0	—	6.1	0.0	0.0
		6	0	0	—	6.6	0.0	0.0
		10	0	0	—	6.0	0.0	0.0
	C	2	1	1	100.0	6.1	0.7	11.5
		6	0	0	—	6.0	0.0	0.0
		10	0	0	—	6.2	0.0	0.0
15%	A	2	3	3	100.0	6.0	2.1	35.0
		6	1	1	100.0	6.5	0.7	10.8
		10	2	2	100.0	6.0	1.2	20.0
	B	2	1	1	100.0	6.0	0.6	10.0
		6	2	2	100.0	6.2	1.3	21.0
		10	0	0	—	6.0	0.0	0.0
	C	2	1	1	100.0	6.1	0.6	9.8
		6	4	4	100.0	6.4	2.7	42.2
		10	2	2	100.0	6.6	1.5	22.7
25%	A	2	4	4	100.0	6.1	2.5	41.0
		6	3	3	100.0	6.5	2.1	32.3
		10	2	2	100.0	6.0	1.3	21.7
	B	2	2	2	100.0	6.3	1.3	20.6
		6	2	2	100.0	6.2	1.3	21.0
		10	1	1	100.0	6.0	0.6	10.0
	C	2	4	4	100.0	6.1	2.7	44.3
		6	1	1	100.0	6.7	0.8	11.9
		10	4	4	100.0	6.3	2.5	39.7
35%	A	2	4	4	100.0	6.1	2.5	41.0
		6	4	4	100.0	6.1	2.5	41.0
		10	3	3	100.0	6.1	2.0	32.8
	B	2	8	8	100.0	6.7	5.3	79.1
		6	2	2	100.0	6.0	1.2	20.0
		10	1	1	100.0	6.2	0.6	9.7
	C	2	5	5	100.0	6.0	3.2	53.3
		6	4	4	100.0	6.0	2.3	38.3
		10	5	5	100.0	6.1	3.1	50.8

疎密度 Crown density	組 Class	区分 No. Division	個 数 Number of peak's			長 び Length		
			$N$	$n$	$P_n$	$L$	$l$	$P_l$
45%	A	2	5	5	100.0	6.2	3.4	54.8
		6	5	5	100.0	6.1	3.2	52.5
		10	7	7	100.0	6.1	4.4	72.1
	B	2	5	5	100.0	6.1	3.3	54.1
		6	5	5	100.0	6.1	3.2	52.5
		10	3	3	100.0	6.7	2.2	32.8
	C	2	6	6	100.0	6.1	3.9	63.9
		6	3	3	100.0	6.1	1.8	29.5
		10	6	6	100.0	6.1	3.6	59.0
55%	A	2	5	5	100.0	6.5	3.3	50.8
		6	7	7	100.0	6.1	4.5	73.8
		10	6	6	100.0	6.1	4.0	65.6
	B	2	7	7	100.0	6.1	4.5	73.8
		6	5	5	100.0	6.1	3.1	50.8
		10	5	5	100.0	6.1	3.1	50.8
	C	2	5	5	100.0	6.6	3.4	51.5
		6	5	5	100.0	6.1	3.2	52.5
		10	6	6	100.0	6.0	3.7	61.7
65%	A	2	7	7	100.0	6.4	4.7	73.4
		6	6	6	100.0	6.0	3.8	63.3
		10	8	8	100.0	6.1	5.2	85.8
	B	2	7	7	100.0	6.1	4.4	72.1
		6	7	7	100.0	6.1	4.2	68.9
		10	8	8	100.0	6.1	4.9	80.3
	C	2	7	7	100.0	6.6	4.7	71.2
		6	6	6	100.0	6.2	3.8	61.3
		10	7	7	100.0	6.1	4.5	73.8
75%	A	2	7	7	100.0	6.1	4.4	72.1
		6	7	7	100.0	6.1	4.4	72.1
		10	7	7	100.0	6.6	4.7	71.2
	B	2	6	6	100.0	6.1	3.8	62.3
		6	8	8	100.0	6.2	5.1	82.3
		10	7	7	100.0	6.1	4.5	73.8
	C	2	8	8	100.0	6.1	4.9	80.3
		6	5	5	100.0	6.5	3.6	55.4
		10	7	7	100.0	6.6	4.8	72.7



疎密度 Crown densiyt	組 Class	区分 No. Division	個 Number of peak's			長 Length さ		
			<i>N</i>	<i>n</i>	<i>P<sub>n</sub></i>	<i>L</i>	<i>l</i>	<i>P<sub>l</sub></i>
85%	A	2	6	6	100.0	6.0	3.6	60.0
		6	8	8	100.0	6.0	4.9	81.7
		10	6	6	100.0	6.5	4.2	64.6
	B	2	6	6	100.0	6.1	3.7	60.7
		6	8	8	100.0	6.4	5.3	82.8
		10	7	7	100.0	6.0	4.2	70.0
	C	2	7	7	100.0	6.1	4.5	73.8
		6	9	9	100.0	6.7	6.1	91.0
		10	8	8	100.0	6.8	5.4	79.4
95%	A	2	10	10	100.0	6.1	6.1	100.0
		6	10	10	100.0	6.1	6.1	100.0
		10	9	9	100.0	6.1	5.3	86.9
	B	2	9	9	100.0	6.1	5.5	90.2
		6	8	8	100.0	6.7	5.4	80.6
		10	9	9	100.0	6.1	5.6	91.8
	C	2	8	8	100.0	6.1	4.9	80.3
		6	9	9	100.0	6.0	5.4	90.0
		10	10	10	100.0	6.0	6.0	100.0

応じて計測を行なう場合は各ゲージの最適の組合わせが必要となってくる。

写真濃度計測装置は大別して (i) 写真濃度測定装置 (本体) 部分, (ii) 直流増幅器部分, (iii) 記録計部分, の3部分により構成されるので, 実験はこれらの3部分について相互に関連性をもたせて行なった。ちなみに各部分の機構については § 2-1 の1においてその概略をのべているのでこれを参照しつつ, 以下にまず各部分について説明し, ついで関連性を有するゲージ間相互の変化・組合わせによる濃度波形グラフの分析検討をスギ林分のデータにより試みる。

(1) 各部分の機能の概略とゲージの種類

(i) 写真濃度測定装置 (本体) 部分

写真濃度測定装置 (本体) 部分は光電機構部と光電操作部を主体とし, これに光源電源およびホトマル安定電源と接続するホトマル受光部が併設して構成され, 関連する各ゲージには次のものがそれぞれの機能のもとに組合わされている。

(a) スリット: 写真濃度計測における透過または反射光量調節および計測部分選定のゲージで  $x$  (横) 方向,  $y$  (縦) 方向にそれぞれ 0.02mm 単位により 0.02~1.2mm 間の任意のサイズに調節できる可変スリットである。

(b) レンズ絞り: 1.4 (開放), 2, 2.3, 4, 5.6, 8, 11, 16 の8段階の絞りを有する。ここでは資料 (ポジフィルムその他) を通過して光電管に入る光量の調節を行なう。

(c) スキャン速度: 資料 (ポジフィルム等) の  $x$  方向への計測送り速度で, 3, 5, 10, 20, 250, 500, 1000mm/min の7段階の送り速度の選択が可能。

(d) スキャン間隔：(c)の $x$ 方向スキャン速度に対する $y$ 方向の測定幅（間隔）の選択を目的とするもので、0.2, 0.5, 1.0, 2.0mmの4段階を有する。

(e) 感度切替レンジ：以上の(a)～(d)を経て透過光量の調節、濃度の計測ならびにスキャンが行なわれ、ホトマル受光部によりその光量が受光された時点で本体によりその感度を $\times 1$ ,  $\times 0.1$ ,  $\times 0.01$ の3段階に切替を行なうレンジ。

(f) フィルター：光源電源から送られる光源ランプの照度を規正するためのもので、主としてスリガラスを使用。

#### (ii) 直流増幅器部分

以上により濃度計測部分の選定、透過光量の調節等の各ゲージの選択を経てホトマル受光部により電圧として計測された写真の濃度は、これを計測の目的、濃度レベルの状態等により直流増幅器による感度切替（倍率）レンジで下記のゲージにもとづき適当な倍率に増幅される。

(a) 感度切替レンジ： $\times 10$ をベースとする略3倍率の増幅すなわち $\times 10$ ,  $\times 30$ ,  $\times 100$ ,  $\times 300$ ,  $\times 1000$ の5段階によりレンジの選択、切替が可能。

#### (iii) 記録計部分

写真濃度測定装置（本体）を経て直流増幅器で増幅された写真濃度は、ここで記録計により次のゲージにもとづき記録紙上に記録される。

(a) チャートスピード：横( $x$ )方向に10, 15, 30, 60, 120, 240, 480mm/min および75, 150, 300mm/hrの10段階のチャートスピードにより記録される。

(b) 入力電圧レンジ (Input voltage range)：記録される濃度波形グラフは通例10Vフルスケールでえがかせるよう、1, 5, 10, 50, 100, 250, 500, 0.5, 0.1, 0.05, 0.01Vの11レンジの中より選択、切替が可能。

### (2) 各ゲージの変化・組合わせによる濃度波形の実験と分析

前項(1)においてこれを目的機能別に大別すると①光量調節関係ゲージ（スリット幅、レンズ絞り、フィルター）、②倍率レンジ関係ゲージ（本体感度切替レンジ、直流増幅器感度切替レンジ、記録計入力レンジ）、③スキャン速度に関連するゲージ（本体スキャン速度、記録計チャートスピード）等にわけられる。本体(d)のスキャン間隔のゲージは濃度波形グラフそのものには直接には関係しない。

したがってこれらの各ゲージを森林空中写真の濃度計測を対象に、関連ゲージの切替え（変化）とその組合わせにより濃度計測の実験を表2-3により行ない、それによってえがかれた濃度波形グラフについてフルスケールに入るよう観察と分析検討を試みた。

なお表2-3の写真濃度計測実験に使用した資料は宮崎県小林市・農林省宮崎種畜牧場内防風林スギ35年生林、平均胸高直径31cm、樹高15m、樹冠直径3.5m、材積0.522m<sup>3</sup>、左右1m間隔による2列並び、全長286m、221本を対象に空中写真：山-456, C9- No.16, 1966年5月23日林野庁撮影、撮影縮尺1:20000、普通角写真による密着ポジフィルムによったものである。

表2-3にもとづく以上の濃度計測実験の結果、森林濃度波形グラフの判読測定では1) - (a)スリット幅は $x$ : 0.04~0.08mm,  $y$ : 0.10~0.20mmが最適、1) - (b)は1.4（開放）、以下(c): 5または10mm/min, (e):  $\times 1$ , (f) 2~1枚, 2) - (a):  $\times 30$ または

表2-3 濃度計測ゲージの変化・組合せ一覧

Table 2-3 Combination of photo densitometer gauges

ゲージ Gauges	実 験																		
	Test																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1)-(a): $x$	0.08	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	0.08	〃	0.04	〃	〃	〃	〃	〃	〃
: $y$	0.20	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	0.20	0.16	〃	〃	〃	0.04	〃	〃	〃
(b)	1.4	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	1.4	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
(c)	10	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	5	5	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
(d)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(e)	1	〃	〃	〃	〃	〃	0.1	〃	〃	1	1	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
(f)	2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	0	1
2)-(a)	10	30	〃	〃	〃	10	100	300	1000	30	30	〃	〃	100	〃	〃	300	30	10
3)-(a)	240	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	120	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
(b)	0.5	〃	1	5	0.1	〃	〃	〃	〃	0.5	0.5	〃	〃	〃	0.1	〃	0.05	0.1	〃

×10, 3)-(a): 120 または 240mm/min, (b): 0.5 を中心に 0.1 または 1 V, という結果がその形状観察の結果からえられた。ただしこれは35年生スギ林を対象とした結果にもとづくものであり, 場所や樹種, あるいは空中写真撮影の条件等により若干の変動を生じることには留意すべきであるが, 多くの林分の実験結果からみてもこのゲージの基準はほぼ妥当と認められる。図2-5は上記の濃度計測実験において, その最適組合せの一例として実験-11の波形グラフを示したものである。ここでいう最適組合せゲージとは形状判読, 樹種識別, 波形グラフの計測上から, 他と比較してもっとも適当と思われるゲージの組合せであって, 1)-(a) 0.08×0.20mm, (b) 1.4, (c) 5 mm/min, (e)×1, (f) 2枚, 2)-(a)×30, 3)-(a) 120mm/min, (b) 0.5Vの各ゲージによったものであり, これを各濃度計測の基準とした。また微細部樹冠の濃度波形の形状観察のため, スリット幅を0.04×0.04mmにし, かつフィルターを除去して光量を調節した場合の実験-19 および 1)-(e)の感度切替レンジを0.1すなわち1/10に下げた場合の実験-7をそれぞれ同一部分に対比させて部分的に示した。すなわち実験-19の結果ではあまりにも鋭敏に反応してかえって計測上不便である。また実験-7では逆に濃度の反応が弱くその特長があらわれていない。したがって波形の形状観察および計測の面からも上記実験-11がゲージの基準としてもっとも適切であると認められる。

なおスリットの $x$ 方向の幅は小さくしすぎると単一樹冠上の微細な濃度変化にも微小波形をえがいていわゆるノイズがふえ, ついには波数が本数と対応しなくなる。反対に大きくしすぎると濃淡部が平均されて消去し樹種の判別が難しくなり, ついには計測が不可能になる。濃度記録曲線でいえばその半波長以下, つまり写真上の平均樹冠直径の1/2以下1/4以上であることを要する。このスリット幅はかなり大きくなるが, その範囲での移動平均値を求めることになるため $x$ 方向の寸法つまりピーク間隔はきわめて精密に求められる。

これに対して $y$ 方向のスリット幅は小さくしすぎると樹冠の走査線が通った部分の寸法を示して樹冠直径が求められないし, ノイズが多くなる。大きくしすぎると数本の樹木が

同時に含まれて計測の目的を達しえなくなる。平均的な樹冠直径よりやや小さめにとるのが好結果をうる。したがって  $x$  方向に比較すれば大体2倍ないし4倍程度の値となる。

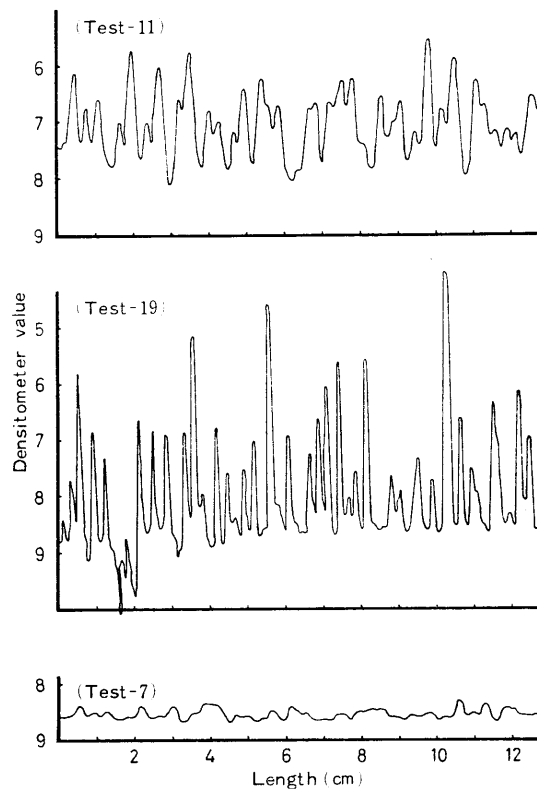


図 2-5 関連ゲージの変化・組合せによる濃度波形グラフの一例 (スギ林)  
 Fig.2-5 Graph of densitometer waves by combination of photo densitometer gauges (*Cryptomeria*)

以上の結果から、写真濃度計測の場合極く微量の光量の変化によりその波形グラフは大きく変化するため各計測ゲージに対する一定の基準を設定することが必要である。また濃度計測を対象とする森林の場所や樹種、年齢、密度、地形の状態、さらに空中写真の撮影時期、時間、天候、カメラの種類、感光材料等の諸条件により濃度波形は複雑に変化するため、濃度の値そのものをある一定の基準のもとに、たとえば標準濃度片の使用による濃度レベルの設定等の方法が将来検討するべきであると考え。ただし現時点では、その基本的要因の一つとして濃度計測はつねにその明(100)~暗(0)を10Vフルスケールの中で各ゲージの変化・組合せを行なうことが可能であることから、この原則は厳守するべきであると考え。

なお以上の濃度計測実験は(株)応用電気研究所により開発され1966年製作されたD250-1型写真濃度測定装置によったもの(ただし記録計のみは理研電子(株)によるSP-J1型を併設)であるが、同装置は温度と湿度、とくに温度に対しきわめて鋭敏に影響する。した

がって同装置により濃度計測実験を行なう場合は恒温恒湿を必要とする。ちなみに室温+10°Cによりドリフト(Drift)のテストを試みたところ、1)-(e)の本体感度切替レンジを×1に固定し、2)-(a)の直流増幅器感度切替レンジを×10, ×30, ..., ×1000の各レンジに変化させ、そのドリフト現象をチェックした結果は入電後8時間を経過してもなお×100, ×300, ×1000の3レンジでは著しいドリフト現象を呈し、×10, ×30の場合もわずかながらドリフトが認められ、ほとんどその安定性をみるにいたらなかった。また室温+15°Cの場合も5時間経過後でほとんど同様の現象を呈した。これに対し室温+20°Cの場合には略1時間で安定がえられた。したがって上記の計器による写真濃度計測を行なう場合は+20~25°Cの恒温および60%の恒湿によることが必要と認められる。またホトマル安定電源の電源および光源、直流増幅器の電源および増幅器の各スイッチの接続による安定時間も最低1時間を必要とする。

## § 2-2 空中写真濃度の自動計測化に対する基礎実験

森林空中写真に対する各種の濃度計測を前節(§ 2-1)の写真濃度計測装置によって行なう場合、その対象となる森林面積の広域性あるいは各種現地調査資料の量や種類、質等のデータがきわめて大量となるため、それに伴う写真濃度の実験計測および分析検討のためのデータ処理その他の計算も必然的に膨大化する。したがって対応する濃度波形の計測を前装置のままに行なうことは時間的にもまた労力的にもきわめて大きなエネルギーを必要とする。とくに各種のデータに対する分析情報の自動処理化、なかんずくリアルタイム(実時間)システム化を志向する場合、その最小限の条件として写真濃度計測の自動化を図ることは不可避であると考えられる。

このような視点にたつて森林蓄積推定のための空中写真濃度計測システムにもとづき計測要因に対する自動計測化について各種の検討を行なった結果、写真濃度計測装置と直結でき、濃度計測要因を満足させ、かつ自動計測化の機能が果せるものとしてユニバーサルカウンター、A-Dコンバーター、ならびにデジタルタイマー、デジタルレコーダーを選んだ。

以下にその機能および写真濃度計測装置との組み合わせにもとづき自動計測化のための予備実験ならびに分析検討の結果を述べる。

### 1. ユニバーサルカウンターおよびA-Dコンバーターの組み合わせ<sup>36)53) d.58)</sup>

#### 1) ユニバーサルカウンターの機構

写真濃度計測装置との組み合わせを目的として設置したユニバーサルカウンター(Universal counter, タケダ理研工業(株)製, TR-5745型)の規格、性能等の機構は概略次のとおりである。

すなわち本計測器は周波数、時間間隔、周期、周波数比、時間比の各計測および高速積算計数が可能とされている。本実験研究に対しては周波数計測および高速積算計数の利用を目的とする。

周波数とは単位時間毎にくりかえされる振動数、すなわち直流電流における1サイクルを1周波数としその計測を水晶発振器によって行ない、通常1/secの間、規則的にくりかえされたものがHz(ヘルツ)であらわされる。そしてその測定範囲は本計測器では10Hz~

2.2MHz, 測定精度 $\pm \frac{1}{f \cdot G}$   $\pm$ 基準時間精度 (ただし  $f$ : 測定周波数,  $G$ : 計測時間), つまり  $10^{-6}$  オーダーの誤差となっている。これにより 写真濃度計測装置の 光源電源によって走査観測された森林空中写真の像の光量は各ゲージにもとづいて指示された電圧に変換され, 本ユニバーサルカウンターによりその周波数が自動計測される。

また高速積算計数は, 本計測器の Function を Scan にチェンジすることにより 各計測信号が Input され, 10進計数回路にもとづく計数容量0~9999, 周波数範囲 10Hz~2.2 MHz, カウンターのダブルパルス分解能  $0.5\mu s$  の性能などの 高速性を有する。なお ゲートの開閉は計測条件に応じて手動により任意に行なわれるが, デジタルタイマーとの組合わせによりデジタルタイマーに設定されたタイムユニットと直結して自動開閉化が可能となる。さらに A-D コンバーターとの組合わせによりデジタル積分器としての性能も併せ有する。また各桁 4 ラインの BCD 出力 (Binary Coded Decimal-1-2-4-8 コード出力, すなわちデジタルレコーダー用出力) が付設されているためデジタルレコーダーとの組合わせも可能である。

## 2) A-D コンバーターの機構

本実験研究における A-D コンバーター (Analogue-Digital converter, タケダ理研工業 (株) 製, TR-42C14 型) の主たる使用目的は, 写真濃度計測装置により計測された 森林空中写真の濃度波形のアナログ量をデジタル量化することにある。すなわち本計測器により 0 V から 1 V までの (+) および (-) の直流電圧を自動的に極性を切り替えて, その電圧値に正確に比例した周波数に変換される。これと前項のユニバーサルカウンターとの組合わせにより直流電圧のデジタル計測つまり入力信号 (入力電圧) が本計測器に内蔵された積分器により積分値として計測される。

なおその測定範囲はフルスケール $\pm 1 V$ に対して出力周波数 10000Hz, 入力インピーダンス  $1 M\Omega$ , ただし 入力アッテネーターの 作動によりフルスケール入力が 1, 10, 100, 1000/V, つまり 0~1, 0~10, 0~100, 0~1000/V の直流入力電圧の測定が可能となる。測定精度 $\pm 0.1\%$ 以内または $\pm 1$ カウント以内 (いずれもフルスケールの場合), その最高分解能  $1 mV$ , 直流入力電圧の過負荷 160 % (16 KHz) までは 精度を保持, 応答所要タイム 0 (即時)~ $10^{-3}sec/V$  等の性能を有する。

## 3) ユニバーサルカウンター, A-D コンバーターの組合わせによる空中写真濃度の計測

### (1) ユニバーサルカウンターによる濃度周波数および濃度波周期の計測<sup>13)f</sup>

#### (i) 周波数および周期計測の概念

周波数および周期計測についてその概要を述べると次のとおりである。すなわち写真濃度計測装置にセットされたポジフィルムまたは印画写真の林木樹冠像の濃度がホトマル受光部によって電圧に変換され入力信号 (被測定信号) として周波数計測装置であるユニバーサルカウンターに入る。ユニバーサルカウンターはタイムベーススイッチによる基準時間信号の作動によりその間だけ主ゲートが開く。一方入力信号はユニバーサルカウンターの中で周波数トリガ, つまりトリガパルス化する。そして基準時間信号と対応してゲートが開いている間, そのトリガパルスの量 (数) が自動計測される。これが周波数である。図 2-6 (1) はこの状態を説明的に示したものである。

また周期は、その入力信号の1サイクル間つまり周期トリガの間だけ内部基準時間（パルス）の主ゲートが開き、その間ゲートを通してパルスをユニバーサルカウンターが自動計測する。この状態を説明的に示したのが図2-6(2)である。

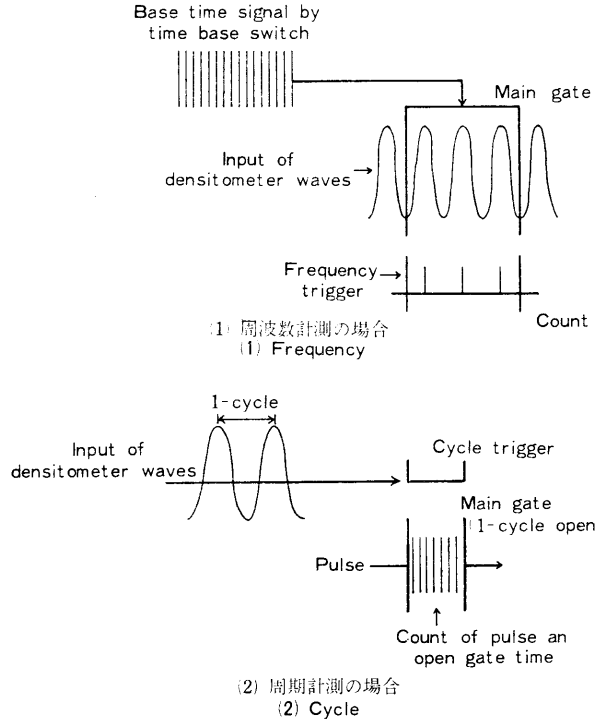


図 2-6 周波数および周期計測の概念

Fig. 2-6 Explanation of frequency and cycle

いま、空中写真における林木樹冠本数と濃度周波数および濃度波周期の関係を対応させて模式図に示すと図2-7のとおりである。同図中④は林木樹冠の状態を、⑤はその濃度波形すなわち入力信号（被測定信号）を示したものである。これより1タイムユニットにおける周波数トリガ、つまり濃度周波数  $N_i$  は⑤のごとく自動計測される。そして周波数  $N_i$  と周期  $C_i$  は逆数関係 ( $C_i = \frac{1}{N_i}$ ) を有する。

なお同図では樹種、年齢等は同じで樹冠直径のみが変化するものと仮定した。換言すれば密度（本数）のみが変化し、その濃度のレベルは同一であるとしたものである。

(ii) 周波数および周期の計測

前項(i)の概念にもとづけば、その周波数は写真濃度波形のピーク数と対応することになる。

いま、宮崎県えびの営林署管内黒鹿国有林68林班のスギ、ヒノキ、アカマツ、広葉樹（一部）を対象に、1967年10月および11月現地調査を行なった幅4.0m×長さ670m(Field strip- No.1), 同775m (No.2), 同468m (No.3)の3本のストリップについて周波数計

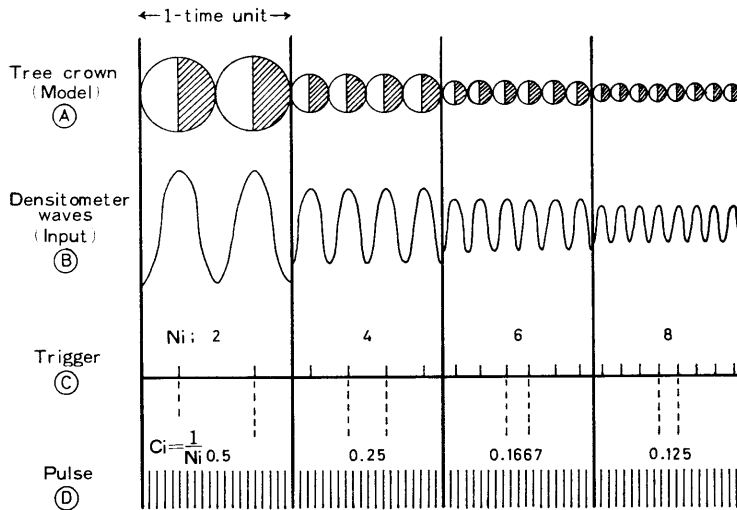


図 2-7 林木樹冠本数と濃度周波数および濃度波周期の関係 (模式図)

Fig. 2-7 Relation between frequency & cycle and number of crown

測と対応する濃度波形の関係について分析を行なった結果は次のとおりである。なお各ストリップは 50m 毎に測点を取りこれを最小単位 (プロット) とした。

すなわち上記の現地調査ストリップ測線 3 本にもとづき、各測線を密着ポジフィルム上に指針・セットし、写真濃度計測装置とユニバーサルカウンターを組合わせて写真濃度の周波数の計測および対応する波形グラフのピーク数を示すと表 2-4 のとおりである。

表 2-4 プロット別濃度周波数と波形グラフピーク数の関係

Table 2-4 Relation between frequency measure and number of peak's of densitometer waves in each plot

Field Strip No.	Plot No.	濃度周波数計測	波形グラフ	Field Strip No.	Plot No.	濃度周波数計測	波形グラフ
		Frequency	ピーク数			Frequency	ピーク数
		$n_1$	$n_2$			$n_1$	$n_2$
1	1	7	8	3	1	8	10
	2	9	10		2	10	9
	3	12	11		3	12	12
	4	14	12		4	11	11
	5	7	9		5	10	11
	6	6	7		6	11	11
	7	4	7		7	12	10
	8	6	7		8	13	11
	9	5	9		9	14	12
	10	10	10				
	11	7	7				
	12	10	10				
	13	9	9				
	14	3	4				
2	1	14	11	6	6	8	
	2	13	13	7	7	8	
	3	15	13	8	6	9	
	4	9	10	9	4	7	
	5	13	13				



表2-4において周波数計測 ( $n_1$ ) を独立変数  $x$ , 対応する濃度波形ピーク数 ( $n_2$ ) を従属変数  $y$  とすれば, その回帰式は

$$Y = b_0 + b_1 \cdot x$$

となる。

これより各ストリップ毎ならびに全体について回帰係数と相関係数  $r$  の計算結果を示すと表2-5のとおりとなる。またその回帰図を全体について示すと図2-8のとおりである。

表2-5 ストリップ別回帰係数および相関係数 ( $r$ ) の計算結果一覧  
Table 2-5 Regression coefficient and correlation coefficient ( $r$ ) in each strip

Field strip No.	回 帰 係 数 Regression coefficient		$r$
	$b_0$	$b_1$	
1	3.881	0.602	0.895
2	9.769	0.160	0.418
3	5.407	0.473	0.912
General	5.320	0.508	0.786

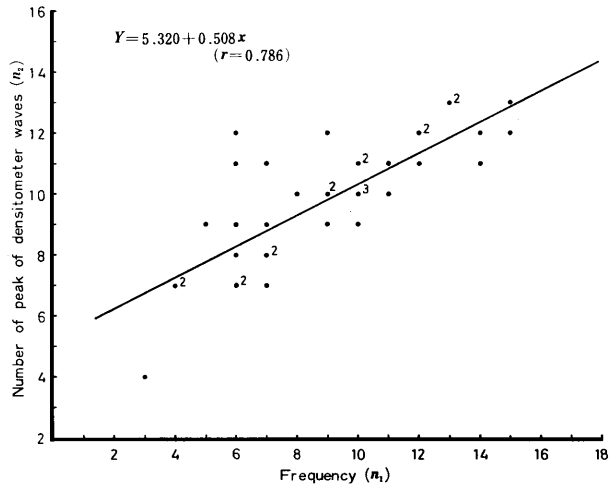


図 2-8 濃度周波数 ( $n_1$ ) と波形グラフピーク数 ( $n_2$ ) の回帰図

Fig. 2-8 Relation between number of density peak's and frequency

すなわち Field strip 3本の各々についてみれば Field strip No.2の  $r = 0.418$  で低い相関を示すが, No.1, No.3はきわめて高い相関となる。そして全体でも  $r = 0.786$  と高い相関を示し, 周波数計測は波形グラフの本数ときわめてよく対応していると認められる。なお図2-8において二,三のプロットの計測値が大きくはずれているがこれはユニバーサルカウンターの計測精度がきわめて高くごく微細部の周波変動をもカウントするためその性能を若干調整したこと, および現地林木の構成要因, とくに一部広葉樹林を含むことによるものと思料される。

なお濃度波周期は濃度周波数と逆数関係にあることから, とくにその計測を行なわなく

でも計算上から算出される。またその計測要因は樹冠直径またはその基部幅との対応が考えられるため、第4章の中で直接材積との対応を行なうことにしここでは省略した。

(2) ユニバーサルカウンター、A-Dコンバーターによる濃度波形側断面積の計測<sup>13) g.53) d</sup>

空中写真に写された森林の林木樹冠はその頂部がもっとも明るく裾部にいたるにつれ次第に暗くなっていく。そしてその明るさの度合つまり絶対濃度は樹種によって異なり、さらに年齢(齢階)によってもその相違を示す。また太陽光線の方向による陰影がこれに加わる。この状態を写真濃度計測装置によって計測すると、その濃度波形の形状は他の濃度要因、たとえば本数や樹冠直径の大きさ等の要因とともにグラフ上にきわめて精確な対応性をもってえがきだす。そしてこの形状はいわゆる森林における林分側断面(Stand profile)の状態と全く同じようなあらわれ方を呈する。

この相似性に着目して、A-Dコンバーターとの組み合わせにもとづく森林の濃度波形側断面積を計測し、対応するプロットまたはストリップ材積との相関関係その他の対応度について各種の分析検討を試みた。

以上の材積との分析検討に先だち、ユニバーサルカウンターおよびA-Dコンバーターとの組み合わせによる濃度波形側断面積の計測に対し、模型図ならびに実際の森林濃度波形グラフにより基礎実験を試みた結果はいずれも波形側断面積を正確に計測し、きわめて好成績をえた。したがって上記の両計測装置の組み合わせにもとづく森林空中写真濃度波形側断面積の計測に対する適用化が確かめられた。

なお濃度波形側断面積の計測はユニバーサルカウンター、A-Dコンバーターおよび記録計の各計測装置のレンジの交互作用にもとづき、その波形側断面積  $S$  (cm<sup>2</sup>) は

$$S = \frac{X \cdot Z}{40 \cdot Y} 10^{-4} \cdot C$$

ただし  $X$ : A-Dコンバーターの入力アッテネーターレンジ(V)

$Y$ : 記録計の入力電圧レンジ(V)

$Z$ : 記録計のチャートスピード(mm)

$C$ : ユニバーサルカウンターのカウント数

により計算される。

森林空中写真濃度波形側断面積と材積との対応その他の分析検討については、第4章、§4-3においてその詳細を述べる。

2. デジタルタイマーおよびデジタルレコーダーの組み合わせ<sup>36) 57) c.58)</sup>

以上の各計測装置にもとづき、森林空中写真濃度計測による蓄積推定、なかんづくその濃度の自動計測化を図る場合、蓄積ともっとも相関が高くかつ自動計測化と結びつく計測要因として考えられるものに濃度の周波数、波形側断面積等がある。これらの計測要因は前項の計測装置(ユニバーサルカウンター、A-Dコンバーター)ではその計測値はいちいち肉眼によって読み取らなければならない。そのため実際の計測作業は現地調査ストリップに対応するプロットのユニットを写真上で時間間隔つまりタイムユニットに換算し、ユニバーサルカウンターにもとづく周波数またはA-Dコンバーターと組み合わせ・連動されたユニバーサルカウンターの波形側断面積計数標示値を読み取るという計測方法によってきた。したがってこれに起因する誤差のため、現地調査資料との対応性もその安定性を欠き、また写真濃度計測要員に複数を必要とするため、その精度ならびに能率の面で一つの障害とな

ってきた。

これらの点に対し種々の検討を試みた結果、タイムユニットの設定をデジタルタイマーにより、またユニバーサルカウンターの計数標示管の数値読み取りをデジタルレコーダーにより自動的にプリントさせ、かつ両装置をユニバーサルカウンターおよびA-Dコンバーターと組み合わせることによって濃度計測の自動化を図った。

以下にその機能の概略と両装置にもとづく写真濃度計測の自動化システムの概要を述べる。

### 1) デジタルタイマーの機能

デジタルタイマー (Digital timer, タケダ理研工業(株)製, TR-7401 型)の機能の概略は次のとおりである。

すなわちその出力信号はスキヤナのスキヤン開始周期およびスキヤンステップをきめる正極性のプログラムパルス信号を発生するもので、パルス信号の振幅  $15Vp$ , 立上り時間  $5\mu s$  以下, パルス幅  $0.1ms$ , 出力インピーダンス約  $2.2K\Omega$  等の性能を有し, スキヤンステップ速度  $0.2, 1, 10/sec, 1, 10/min$ , および SYS (システム速度) の6種類の時間信号を内蔵する。

なお既設のスキヤン開始周期は  $1, 10/sec, 1, 10/min, 1/hr$  であったが, 空中写真の縮尺および各種の現地調査資料および実験データにもとづくストリップまたはプロットのタイムユニットとの対応上,  $1, 10, 20, 30, 40/sec$  の各周期(時間信号)に改造し実用の便をはかった。

### 2) デジタルレコーダーの機能

デジタルレコーダー (Digital recorder, タケダ理研工業(株)製, TR-6196 型)の機能は概略次のとおりである。

すなわちデジタルレコーダーはデジタルタイマーおよびユニバーサルカウンターと直結し, その時間周期(時間信号)に正確に同調し, 対応するユニバーサルカウンターの計数結果をベーシック桁数12桁(小数点1桁自動割込方式)まで即時に印字記録するもので, 印字指令信号の振幅  $10Vp$ , パルス幅  $200\mu s$  の正極性パルス, 入力信号インピーダンス  $60K\Omega$  以下, 出力信号インピーダンス  $3.3K\Omega$  等の性能を有し, また  $2$  桁/sec ( $50/60Hz$ )の印字速度を有する。

以上の使用目的ならびに機能(性能)を有するデジタルタイマーおよびデジタルレコーダ

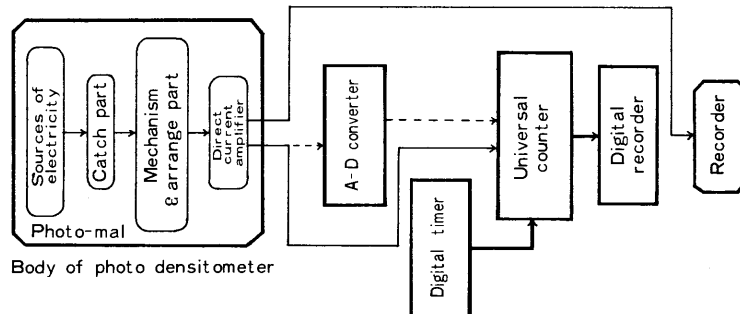


図 2-9 写真濃度計測全装置のブロックダイアグラム  
Fig. 2-9 Block diagram of photo densitometer

一の写真濃度計測装置への組合わせにより、森林空中写真濃度の計測はきわめて高能率化し、その自動計測化はほぼ達成されたとみなされうる。

いま上記のデジタルタイマーおよびデジタルレコーダーの組合わせにもとづく写真濃度計測全装置のブロックダイアグラムを示すと図2-9のとおりとなる。

### 3) デジタルタイマー、デジタルレコーダーの組合わせにもとづく写真濃度の自動計測化システムの概要

森林蓄積推定に対する従来の計測はその殆どが長さ(距離)または面積を尺度とし、それにもとづく各種の計測とその推定が行なわれてきた。

空中写真濃度計測による場合も最終的には単位面積当たりまたは対象面積に対する目的要因(本数、材積等)の推定に帰結するが、その計測過程ではデジタルタイマーおよびデジタルレコーダーの組合わせ、とくにデジタルタイマーの導入により、長さに代って時間単位つまりタイムユニットがその尺度となる。したがって現地森林調査におけるすべての計測はつねに時間との対応を考慮に入れることが必要となってくる。この点が写真濃度の自動計測化にともなう計測システムの大きな相違である。

ちなみにデジタルタイマーの組合わせにもとづく写真濃度計測システムの概略を図2-10に示す。

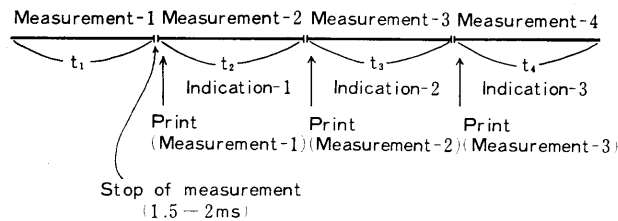


図2-10 デジタルタイマーおよびデジタルレコーの組合わせにもとづく  
写真濃度計測システムの概略

Fig. 2-10 Photo densitometer system combined with digital timer and digital recorder

すなわち図2-10において計測①, ②, ③, …はデジタルタイマーのスキャン開始周期つまり時間信号 ( $t_i$ ) 1, 10, 20, 30, 40 sec が写真スケールまたは現地調査資料の内容その他により任意に選択される。それによってその時間信号の出力(発信)の間、目的の濃度計測④が濃度計測全装置によって自動的に行なわれる。そしてその時間信号の出力が終了すると一旦計測が中止され、改めて時間信号の出力により次の時間信号内に対する濃度計測②が行なわれる。ここで一旦計測が中止される間、すなわち計測間断時間は1.5~2ms (1.5/1000~2/1000 sec), つまり0.0015~0.002秒というきわめて微少時間に過ぎず、それにもとづく誤差(計測もれ)は全く問題にならない。一方計測①が終り計測間断時間のあと計測②に移った瞬間ユニバーサルカウンターと直結されたデジタルレコーダーにより2桁/secの印字速度によりラインプリンター印刷が行なわれる。印字を終ったデータつまりユニバーサルカウンターの計数標示管の計測値は計測②の実行中はそのまま標示管に標示される。以上の繰り返しによりセットされた資料の濃度計測および計測値の印字(記録)は全く自動的に行なわれる。なお従来の肉眼による計測値の読み取り方式と本方式との対比を試みた結果はわずかながらの数値のズレを有するが、全体的にはきわめてよく対応した。

もっともそのズレは読み取りによる下2～1桁の切り捨てによるものと考えられる。

### § 2-3 反射式計測装置による空中写真濃度計測の基礎実験<sup>18)</sup>b

以上の写真濃度計測装置ならびにこれに組合わせたユニバーサルカウンター、A-Dコンバーターおよびデジタルタイマー、デジタルレコーダーによる、写真濃度計測に対する各種の基礎実験およびそれにもとづく森林蓄積推定のための分析検討はこれをすべて密着ポジフィルムの使用による透過式計測システムによって行なってきた。

しかしポジフィルムの場合、写真像の肉眼観察、取り扱い、引伸しサイズ(写真スケール)等に対し多くの制約が伴うため、現地森林調査の際の写真との対比その他の作業はすべて2.0倍ないし2.5倍引伸印画写真により行ない、これをポジフィルムに移写して濃度の計測を行なってきた。

これらの不便を解消するため既設の写真濃度計測装置に新たに反射式計測装置の増設・改造を行なった。そして透過式にもとづく密着ポジフィルムおよびこれに対応する密着印画写真、同2.5倍引伸写真による反射式のそれぞれについて写真濃度波形の計測を行ない、その対応性および2.5倍引伸しに伴う濃度波形状、とくに粒子のあれその他のノイズのあらわれ方等に対する実験結果の比較対応、ならびに反射式による濃度計測の可能性について以下にその検討を試みた。

#### 1. 反射式計測装置の機構

反射式計測装置は既設の透過式計測装置の場合と基本的には全く同じ機構を有する。ただ光源電源の入力が端子により途中から分岐され、その反射光源ランプ(タングステンランプ、10V-4A)が左上部に設定されている。したがってセットされた資料(印画写真)に対し左上部45°の角度より光源が照射され、その反射光量が結像レンズ、可変スリット、集束レンズ等を経てホトマル受光部にキャッチされる。また反射式の増設に伴い透過式、反射式の各光源の切り替えスイッチが追加され、両者の切り替えが自在に行なえるように改造された。

なお現在の写真濃度計測装置((株)応用電気研究所製、PPA-250型)はこの反射光源がはじめから設定されている。

#### 2. 反射式計測装置による空中写真濃度の計測と森林波形の関係

##### 1) 資 料

密着ポジフィルムによる森林空中写真濃度の透過式計測および対応する印画写真濃度の反射式計測の比較対応のための資料は宮崎県えびの営林署管内67, 68林班内の広葉樹、林道、裸地を部分的に含むズギ幼・壮齡林をその対象とした。\*)

##### 2) 実 験

森林空中写真の濃度計測実験は、上記の資料をもとに写真濃度計測装置により、密着ポジフィルム、密着印画写真および2.5倍引伸印画写真のそれぞれに対し表2-6の各ゲージによって行なった。

##### 3) 実験結果の検討

前項の空中写真濃度計測実験によりえがかれた濃度波形グラフを密着ポジフィルム、密

\*) 空中写真は1966年5月25日林野庁撮影、霧島山、山-456、C9-No.6、撮影高度5000m、同縮尺1:20000、普通角写真( $f=209.16\text{mm}$ )を用いた。

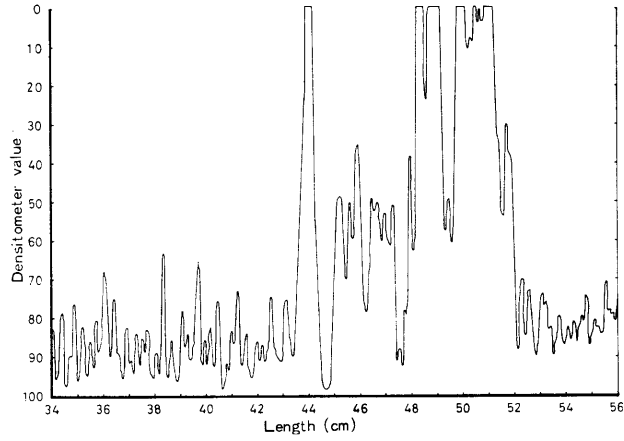
表2-6 写真種別濃度計測ゲージ一覧  
Table 2-6 Densitometer gauges in photograph types

計測ゲージ Gauge	写真の種類 Type	密着ポジフィルム Positive film (print)	密着印画写真 Photographic paper (print)	2.5倍引伸印画写真 Photographic paper (×2.5)
1) 写真濃度計測装置 Photo densitometer				
(a) スリット幅 (x×y) Width slit		0.08×0.20mm	0.08×0.20mm	0.08×0.20mm
(b) レンズ絞り Lenz iris		1.4	4	4
(c) 資料送り速度 Data carriage speed		10mm/min	10mm/min	10mm/min
(e) 感度切替レンジ Sensitivity range		×1	×1	×1
(f) フィルター Number of filter		1	0	0
2) 直流増幅器 Direct current amplifier				
(a) 感度切替(倍率レンジ) Sensitivity range		×30	×10	×10
3) 記録計 Recorder				
(a) 記録紙送り速度 Chart speed		120mm/min	120mm/min	60mm/min
(b) 入力電圧レンジ Input voltage range		10V	10V	10V

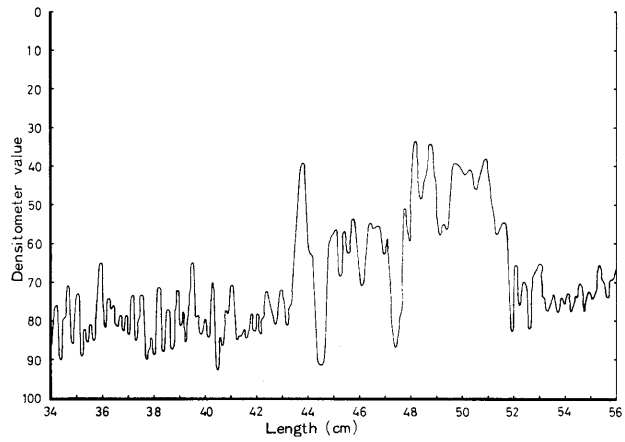
着印画写真および2.5倍引伸印画写真別に示すと図2-11(1),(2),(3)のとおりである。なお同図は各写真における同一個所を対比させて部分的に示したものであり、はじめの部分がスギ壮齡林(56年)、ついで林道、広葉樹林、裸地、スギ幼齡林(15年)である。

これより森林空中写真上にあられる濃度要因つまりスギ壮齡林、同幼齡林、広葉樹林、林道、裸地等は、各写真における計測濃度波形グラフにおいてきわめて特性的にあらわれている。すなわち各濃度の値(濃度レベル)、濃度波形のピークのあらわれ方、樹種の特長としての濃度波形の形状等のいずれの場合も、従来の計測システム(ポジフィルムによる透過式濃度計測)の濃度波形グラフに対し密着および2.5倍引伸の両印画写真による反射式計測濃度波形グラフはよく対応しているといえる。また印画写真においてとくに2.5倍引伸による粒子のあれその他に起因するノイズも前記の実験計測ゲージによる場合全く認められない。ただし密着ポジフィルムの場合、林道、裸地等の明るい部分はフィルム面ではほとんど透明に感じられ、したがって写真濃度計測装置の光源ランプから照射される透過光量は印画写真の場合の反射光量に比しかなりの強さでホトマル受光部にキャッチされるため、その濃度レベルは低い値(明るい波形)を示す。しかしこれは等濃度レベルを設定することにより解決されうる問題と考える。

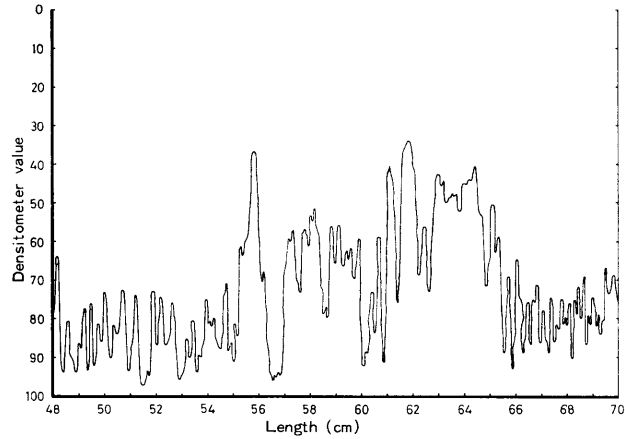
なお印画写真の場合、密着と2.5倍引伸の濃度計測が同一のスリット幅で行なわれており、したがってその計測面積は現地森林と対応させた場合若干のズレを有することになる。しかしその計測濃度波形グラフの特性は全く同一とみなしうる。また両印画写真において濃度の平均的レベルにわずかながらの相違が認められるが、これは写真の現像処理条件の



(1) Positive film (print) by permeance system



(2) Photographic paper (print) by reflection system



(3) Photographic paper (×2.5) by reflection system

図 2-11 空中写真濃度波形グラフ  
Fig. 2-11 Graph of photo densitometer waves

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(齡階)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(齡階)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って、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)