

林型の相違による航空写真像の濃度 測定と解析法の研究(予報)

中 島 巖⁽¹⁾

長 谷 川 訓 子⁽²⁾

1. ま え が き

一般地上事物の能率的な調査に航空写真の利用が大きな利点を有することは論をまたないが、特に森林調査にあつては、地形、気象、また利用施設の条件や関連などを明りように表わし経営管理の計画に、また資源量とその配置の迅速かつ正確なはあくを可能ならしめる有効な手段である。

航空写真の利用はフィルムに感光された被写体の像から、そのものの量と質を求めることへの応用である。量とはすなわち距離、高低、面積、色調、数量等として測定されるものであり、質とはこれらの測定せられた数値から分析によつて求められる被写体の内容的性質として確認されるものである。

一般測量の分野において、航空写真の利用はすでに高度の発達をとげつつあり、近代産業としての規模のもとに作業の分化とオートメーション化が進められている。一方他の応用航空写真測定の分野にあつては、その内容が質の確認を終局の目的とするものであるために、また現在の経済的効用が機械的、また近代的測定法への方途を取りうるに至つていないために、はるかに手工業的な、いわば技術者の熟練と経験に依存している分野が多く残つている。およそ近代的科学の進展については人の労力による繰返し動作は機械化せられ、経験や熟練による判定作業は科学的測定数値により置きかえられなければならない。そしてそれによつて測定の能率化と精度化への方途が期待しえられるところとなる。

航空写真による森林の調査にあつても、その効果は第1に写真条件によつて大きく影響せられるものであり、それは撮影高度、飛行速度、使用機械、処理方法、被写体の性質などにもとづく像の性格や鮮明度といったものであると同時に、一方これを測定する方法と技術によつて精度の左右せられる点が多いのが現状である。しかも、もしこの部門において、上記の経験や熟練に依存するものが密接に関与するならば、その結果には常に不安定な変動を含み、判定の基準を確定することができにくいこととなり、いわば正確さの基準を求めるのが困難となる。

元来写真像は、カラー写真を除いては白から黒に至る濃淡色調のコントラストによつて成立しているものである。そしてそれは、被写体がそれぞれ異なる反射光量と波長差をもち、それが光学系と感光材料により選択再現せられる結果である。したがつて、写真像の判定結果というものは、この濃淡コントラストの構造と量の解析によつて規定し得られるものである。従来、肉眼視神経と脳中枢の判定作用により行なわれていた像の測定を、光電子管による観測と自記記録系の操作により表現し、航空写真による林型の質的測定の方途を考究する可能性を見いだす目的をもつて、この試みを行なつた。

森林は撮影季節により、構成樹種により、またその林型の構成状態などによりそれぞれ変化した色調

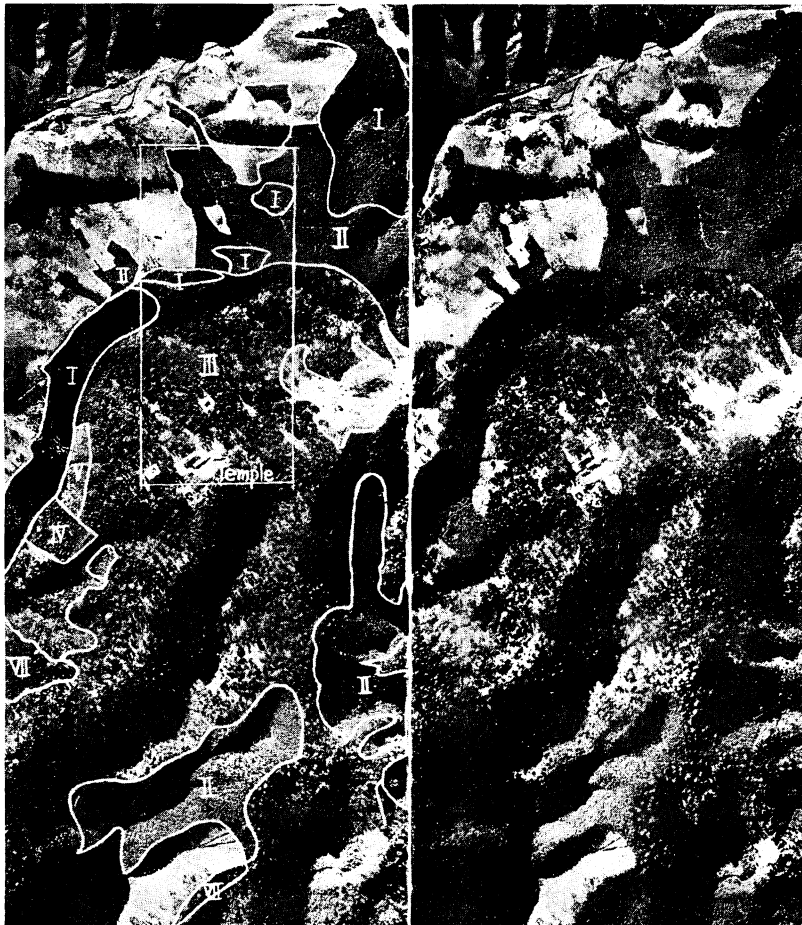
(1) (2) 経営部経済科測定研究室員

(Tone) と、感触 (Texture) を写真像上に表わす。これによる林型の判別を補助するものとしては、既往から多くの比較判読写真 (Stereogramme) が作成され、また Tone Scale が使用せられて、技術の習得と判定の個人差の補正を助けてきた。本報告に記した試みは主として林型構造の相違を、Micro-Photo-Densit-Meter による写真濃度観測によつてどの程度はあくしうるか、またこの測定方法の応用にいかなる処理方式が行ないうるかを考究するために行なつたものである。

2. 試験に使用した写真

地域…東京都南多摩郡高尾山付近、撮影カメラ…RC5 (Wild)、焦点距離…209.42mm、パングロ XX フィルム、イエローフィルター併用、飛行高度約 3,500 m、平均縮尺約 1/15,000、1954 年 12 月撮影。

現在日本において一般に森林撮影に使用せられている条件により撮影せられた写真である。測定の対象



- | | | | | | |
|-----|--------|----------------|-----|-------|-------------------|
| I | スギ人工林 | Sugi planted | V | 広人工林 | Hard wood planted |
| II | ヒノキ人工林 | Hinoki planted | VI | 広天然林 | Hard wood natural |
| III | 混交天然林 | Mix. natural | VII | マツ天然林 | Pine natural |
| IV | 混交人工林 | Mix. planted | □ | 試験対象地 | Test area |

Fig. 1 東京都下高尾山付近 Takao, Tokyo.

とした林分は高尾山薬王院本堂から北方向の天然性ブナ、モミ林(優勢木平均樹齢約 200 年)およびその延長方向北西斜面のヒノキ、スギ人工林で走査距離は写真フィルム上約 5 cm 長、3 本である (Fig. 1 参照)。

3. 観測および自記記録系

NLM-III 型 Micro-Photo-Densit-Meter (ナルミ商会 K.K. 作製) を使用した。本機の機構は下記のとおりである。

- (1) 照明面積および観測面積 (10 μ ~1 mm) \times (10 μ ~1 mm)
- (2) 測定濃度 0~1.5 E° 0~2.0 E° 0~2.5 E°
- (3) 試料移動量 180 mm, 直線
- (4) 自記記録 ペン書, 有効目盛 250 mm, Type-250
- (5) 試料移動速度 V_s 記録紙速度 V_p

V_s , V_p は切換えにより下表のごとく変化する。

	①	②	③
	$V_{P1}=140\text{mm}/\text{MIN}$	$V_P=\frac{1}{3}V_{P1}$	$V_P=\frac{1}{9}V_{P1}$
①	$V_S=\frac{1.0}{10}V_{P1}$	$V_S=\frac{1.0}{10} V_{P2}=\frac{1}{30}V_{P1}$	$V_S=\frac{1.0}{10} V_{P3}=\frac{1}{90}V_{P1}$
②	$\frac{1.0}{20}$ //	$\frac{1.0}{20}$ // = $\frac{1}{60}$ //	$\frac{1.0}{20}$ // = $\frac{1}{180}$ //
③	$\frac{1.0}{40}$ //	$\frac{1.0}{40}$ // = $\frac{1}{120}$ //	$\frac{1.0}{40}$ // = $\frac{1}{360}$ //
④	$\frac{1.0}{80}$ //	$\frac{1.0}{80}$ // = $\frac{1}{240}$ //	$\frac{1.0}{80}$ // = $\frac{1}{720}$ //
⑤	$\frac{1.0}{160}$ //	$\frac{1.0}{160}$ // = $\frac{1}{480}$ //	$\frac{1.0}{160}$ // = $\frac{1}{1440}$ //

4. 観測方法

撮影原フィルムにより林型変化の多い方向を選定し、

- (1) 照射, 観測面積の変化による濃度記録の相違を検討するため, 1/100 mm², 1/50 mm², 1/10 mm² の 3 種について同一位置の走査を行なった。
- (2) 試料移動速度の変化による濃度記録倍率およびそれともなう観測記録形の相違を検討するために $\times 10$, $\times 20$, $\times 50$, $\times 80$ の 4 種につき走査を行なった。

5. 記録方式

写真濃度の測定は照射光量の強さを I とし, 設置したフィルムを透過した光量の強さを I_x とすると, $I_x/I=e^{-KA}$ で表わされる (K は吸光係数) (HURTER および DRIFIELD (1876) の定義)。

したがって, 濃度 D は, $\log I_0/I_x$ として測定され, $I/I_0=O$, $I_x/I=T$ として T を透光度, O を遮光度の % であらわせば,

$$D=\log_{10}O=-\log_{10}T$$

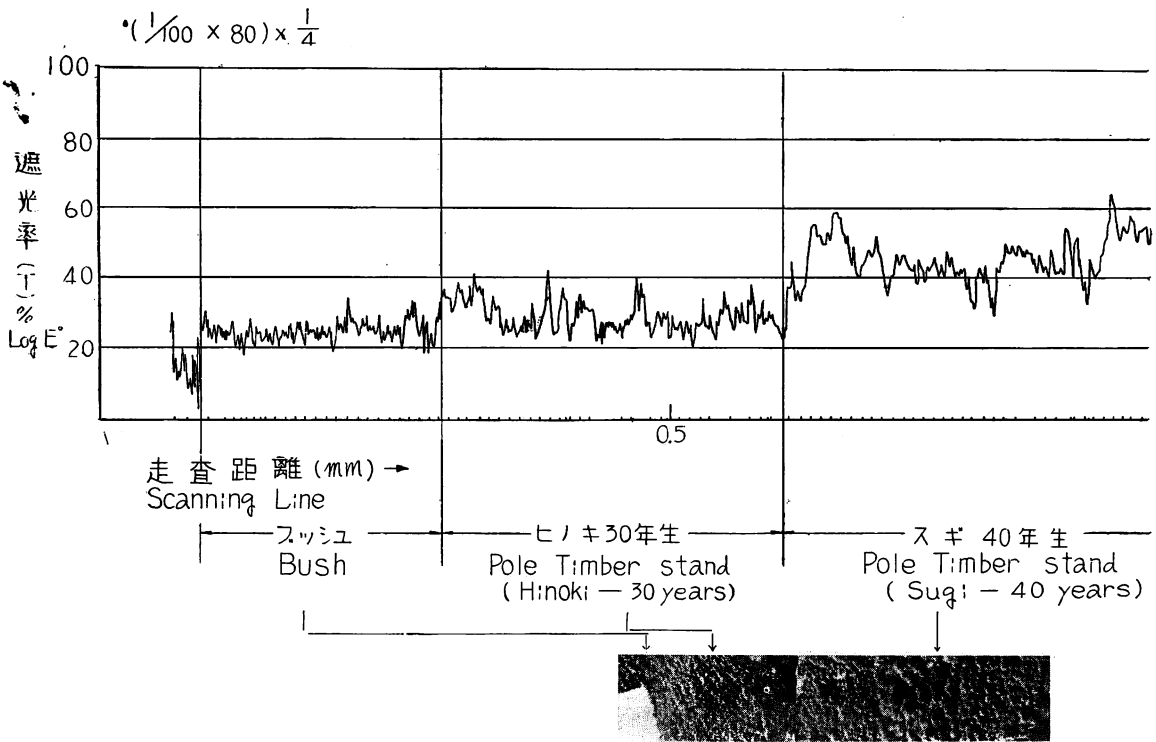
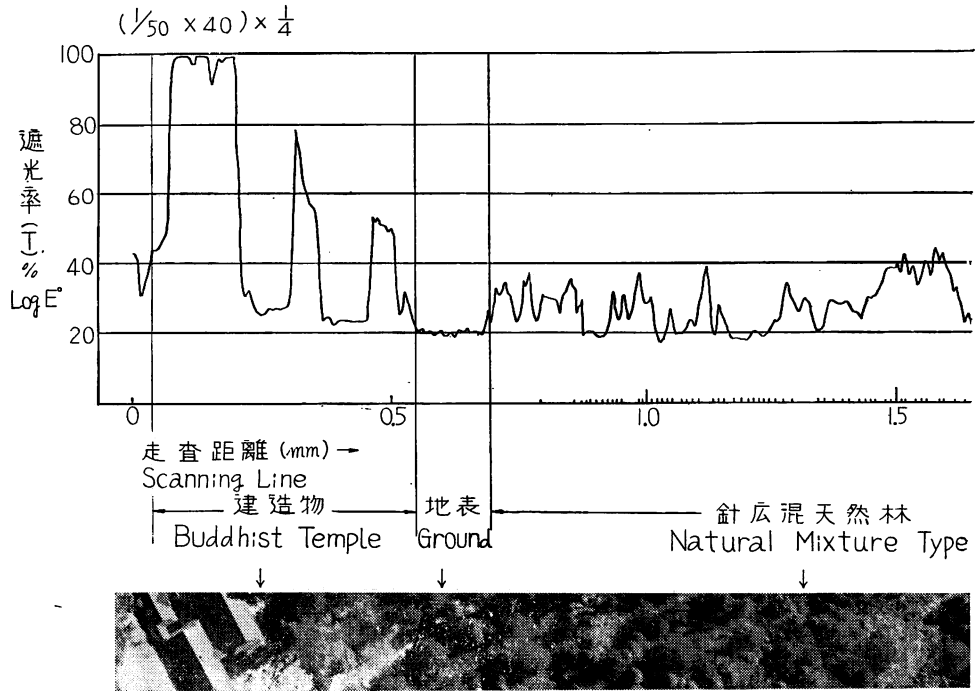
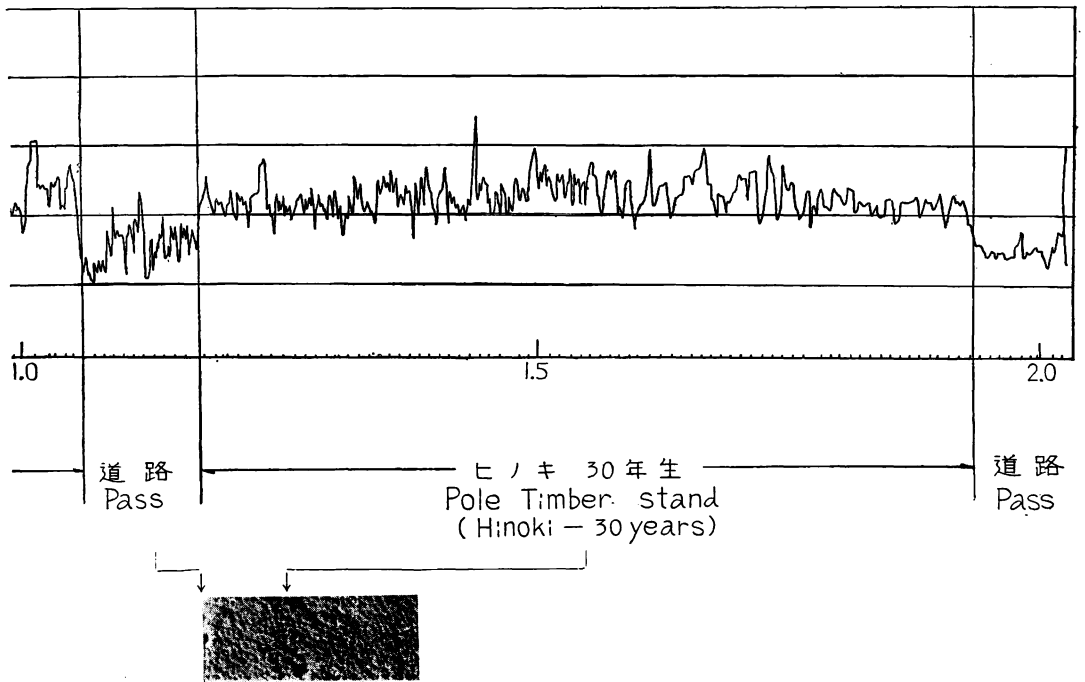
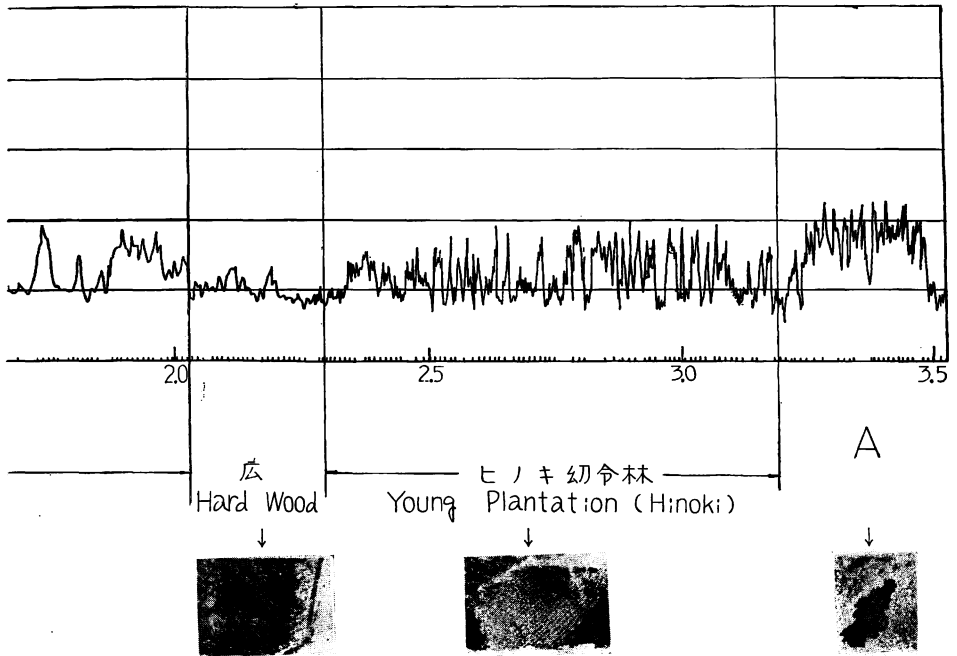


Fig. 2 濃 度 観

A example of density measurements by



測 記 録

NLM-III Micro-Photo-Densit-Meter.

でその値を測定することができる。写真フィルムの試験や銀粒子量と感光能力の検討にあつては、この絶体測定を行なう必要があるが、この試験においては各樹種、林分構造の相違による観測記録の構成を比較することを目的としたので、測定値は比較値を求めることとし、写真フィルムの画割外周の不感光部分を 100 とし、対象地域内の最大濃度部を 5 として記録針を設置した。後者は裸地内でハレーションを生じている転石で印画上ではきわめて白く、フィルム上では黒点となつて現われている。したがつて、濃度はほぼこの $T=5\%$ から $T=100\%$ の間に振動する走査線となつて表わされた。

観測記録例を Fig. 2 に示す。図において X 軸に走査距離が現われ、X 方向に濃度が T (遍光率) により表わされている。すなわち、T が少ないほどフィルムの感光量は大きく、フィルム濃度が高いので印画上で白く現われるもの、T が大になるに従い印画上で黒く表現されるものである。

6. 観測記録の検討

6-1. 照射面積と倍率について

同一樹群 (Fig. 2 の A 点) を 4 種の組合せにより観測した例を Fig. 3 に示す。

$1/100\text{ mm}^2 \times 80$ 、と $1/50\text{ mm}^2 \times 40$ にあつては、ともに銀粒子の粒状性濃度に分解せられた高周波振動が加えられるが、観測数値読み取りに際して、これを平滑化すれば良好な結果が得られる。ただし、前者は後者に比し約 2 倍の走査時間を必要とする。

$1/50\text{ mm}^2 \times 20$ と $1/50\text{ mm}^2 \times 40$ との比較において、前者は振動が走査方向に圧縮せられ、振幅は同様であるので読み取りに困難な点がある。

$1/10\text{ mm}^2 \times 10$ は粒状性周波は吸収せられて肉眼観察による被写物の濃度分布に似た形状に近づくが、照射面積が大であるために、濃度が平滑化されるために感度は低下する。ただし、走査速度は最も速くしうる。

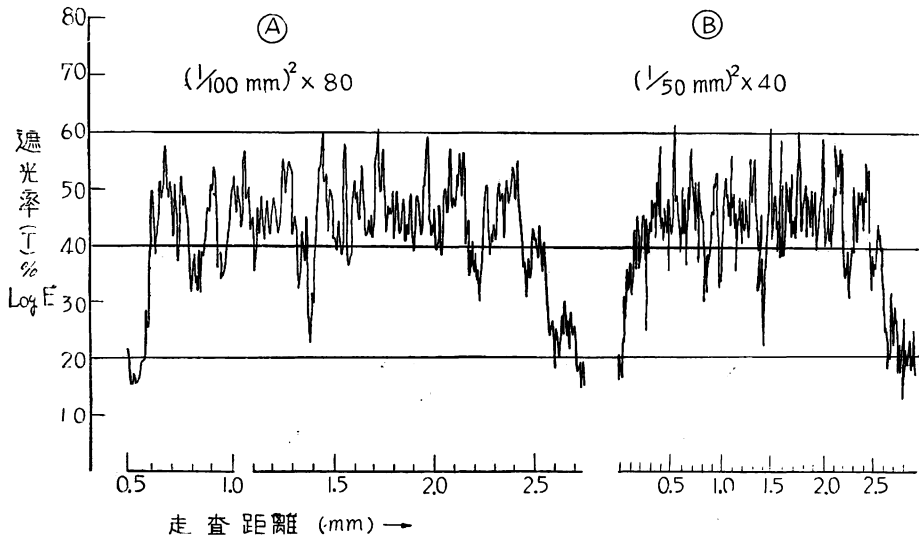


Fig. 3 照射面積、倍率変化による濃度曲線の相違 (裸地内に孤立した樹群)
The variation of density curves by the different scanning and magnification of a solitary tree groups in bare

この試験においては、濃度測定を行なう資料として、 $1/100\text{mm}^2 \times 80$ および $1/50\text{mm}^2 \times 40$ の2方法の記録について検討を進めた。

6-2. 林型別濃度観測記録の比較

林型別の濃度記録の比較を行なうために下記の4種の林型を選んだ。

- A. ヒノキ幼齢林 (5年生)
- B. ヒノキ人工林 (30年生)
- C. スギ人工林 (40年生, 間伐1回実施)
- D. 針・広混交天然林 (優勢木平均年齢200)

このおのおの林型の観測読み取りを行なった記録部分を Fig. 4~7 に示す。

これらの観測記録は観察によつてもそれぞれ明らかな相違を示し、写真色調上の特性ならびに林分構造の変化を表わしている。

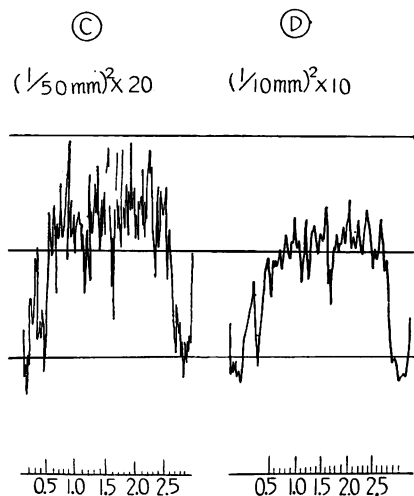
すなわち、それらの主要な点は下記のごとくである。

A. ヒノキ幼齢林 (Fig. 4)

地表が透視せられ、個々の植栽木が濃度高くあらわれ、また地上に投ずる影は淡いので記録は鋭い突起を林立させたものとなる。立木本数が多いので記録の振幅はきわめて大きい。平均濃度が少ないので、焼付印画上の色調は明るく濃度の高い点をその内に配列せしめることを表わしている。

B. ヒノキ人工林 (30年生) (Fig. 5)

地表が樹冠により被覆せられるため、観測濃度は樹冠層からの反射光による感光量をあらわす。概して濃度差の平均せられた振動を示し、個々の立木の区別を判定しうる樹冠ごとの投ずる影の濃度と、各樹冠内の濃度との差は少なく、記録上部による立木別区分の判定は困難な場合が多いが、樹頂日照面の最淡部分が記録上に最も低い位置に規則的にあらわれ、これを指摘することができる。これはこの林分構造にあつては印画上の感触 (Texture) はち密で、滑らかな様相を呈することを示している。これはこの林分構造において比較的円頂ではあるが、尖端の突出した樹冠型をもち、また樹冠の対地被覆度のきわめて高いことに帰因している。なお、平均濃度は幼齢林にくらべてはるかに高い。



散在樹群による例)

power by the examples
ground.

C. スギ人工林 (40年生間伐1回実施) (Fig. 6)

ヒノキ林型に比べて平均濃度高く、個々の立木は濃度が斉一であること、および淡部が深く切り込むことにより明らかに指摘しうる。また個々の樹冠内における記録の振動も不規則、かつ立木ごとの変化も大きい。一般に樹冠内の振幅は大きく、これはこの林分にあつてはスギが前記ヒノキ林分に比べて粗な樹冠構造をもち、また樹冠直径、樹冠長ともに大きいことをあらわす。焼付印画上の感触は粗で個々の樹冠は明りように認めることができ、また濃度の高いことを示している。

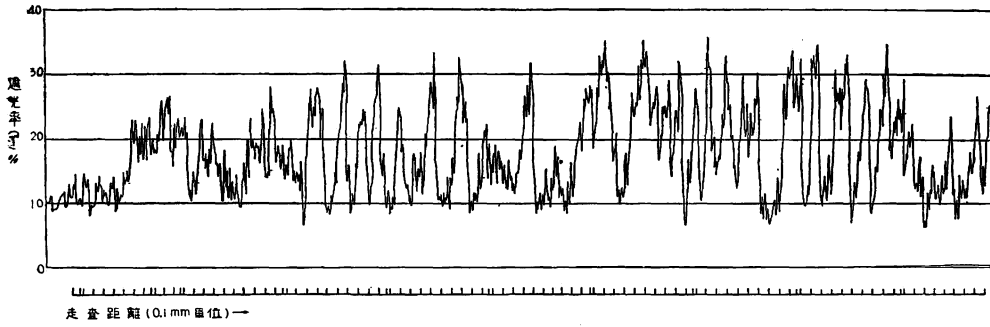


Fig. 4 ヒノキ幼齢林 (5年生) 濃度曲線 Hinoki young plantation (5 years).

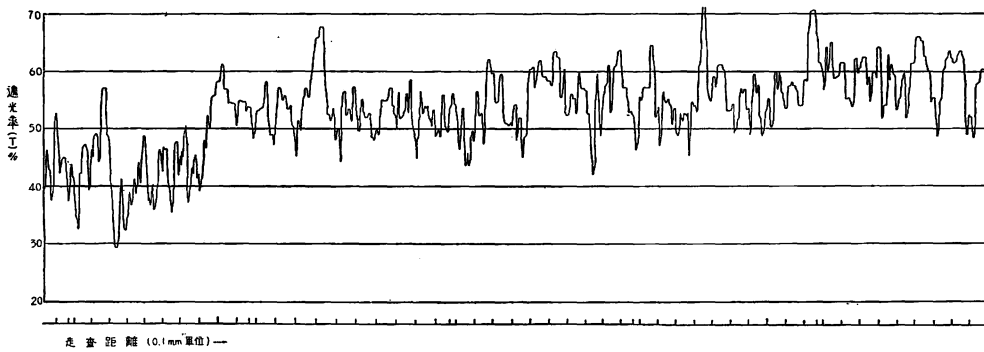


Fig. 5 ヒノキ 30年生人工林濃度曲線 Hinoki pole timber stand (30 years, planted).

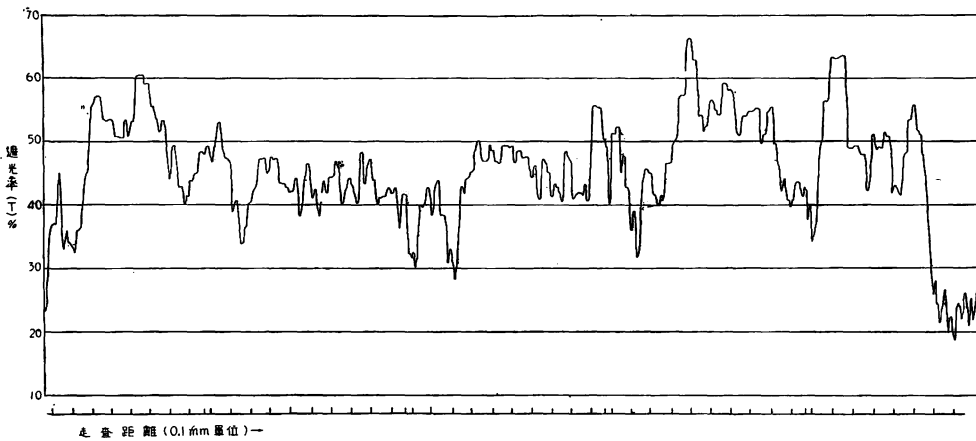


Fig. 6 スギ 40年生人工林 Sugi pole timber stand (40 years, planted).

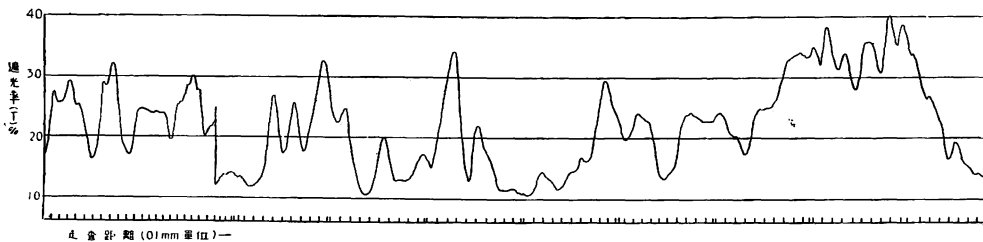


Fig. 7 モミ, ツガ, プナ天然林 Natural mixture stand (old).

D. 針・広混交天然林 (Fig. 7)

上記の一斉林にくらべて全く異なつた観測記録を示す。個々の立木は大きく、落葉期であるためにブナその他広葉樹は樹冠を通して地表が透視せられる部分が多く、平坦な頂部を有する突起塊状に現われるが、モミその他針葉樹は鋭い突起を示す。ただし、その頂端部は濃度の低位置に指摘することはできず、ただ濃色の点としてのみ振動することとなる。これは印画上にあつて一般に淡色のうちに不規則な黒点を散在せしめることをあらわす。

6-3. 各林型の観測記録の読み取り値による比較

観測記録を数値により比較するために、各林型について 120 個の T 数値の読み取りを行なつた。読み取り週期 (4t) は記録紙目盛の単位によるものである。その結果にもとづき上記 4 林型の比較を行なつた結果を下の Table 1 に示す。

Table 1.

n = 120	B ヒノキ人工林 Hinoki pole timber	C スギ人工林 Sugi pole timber	A ヒノキ幼齡林 Hinoki young	D 天然林ブナ・モミ Natural mix.
平均濃度 Average density (\bar{X})	41.5267	46.9758	18.3608	19.6242
分散 s_x^2	52.2137	47.0521	41.2720	32.8553
標準偏差 s_x	7.2259	6.8595	6.4243	5.7320
変動係数 $\frac{s_x}{\bar{x}} \times 100(\%)$	17.4	14.6	35.0	29.2
標準誤差 S_x	0.6596	0.6262	0.5865	0.5233
95%信頼度での標準誤差 $t_{0.05} S_x$ ($t_{0.05} = 1.98$)	1.3088	1.2425	1.1637	1.0383
誤差率 $\left(\frac{t_{0.05} S_x}{\bar{x}} \times 100\right) \%$	3.15	2.64	6.34	5.29
平均値の差の検定 $t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{S_{x_1}^2 + S_{x_2}^2}}$	t = 5.99 > 1.98 **		t = 1.61 < 1.98	

また読み取り値は Table 2~5 に示す。

前項の観察結果は Table 1 によつて明らかに数値化された。すなわち、T によりあらわされた写真濃度においてその平均値は、ヒノキ幼齡林において最も少なく、針・広天然林はそれより約 1.3% 高いだけであり、これのみによる有意差は少ないが、成林せるヒノキ、スギ林型にあつてはこれと比べると、前者は約 23%、後者は約 28% 濃度が高い。そしてスギ、ヒノキの間においても約 5% の平均濃度の差を認めうる。そして同時にこの間には有意差が認められる。5% の濃度差は熟練した肉眼によれば差別の判定をつけうるものではあるが、明確といえない分野に含まれてくる。一方濃度の変動を見るとヒノキとスギの成林においては、それぞれ約 17% および 15% であるが、地表の透視せられる幼齡林と混交天然林にあつては約 35% と 29% の大きな値を示し、同一林分内の濃淡振幅の大きいことを示し、またこの両者の差も明らかである。なお、成林と幼齡林、天然林との間には明らかな相違があるので、これの有意差の検

Table 2. Hinoki young plantation.

(A) ヒノキ幼齡林 $\Delta t=Y$

No.	Y	No.	Y	No.	Y
1	24.5	41	39.0	81	42.2
2	32.8	42	45.9	82	40.5
3	35.0	43	45.7	83	44.0
4	32.2	44	43.5	84	41.9
5	34.5	45	38.0	85	42.0
6	33.8	46	40.3	86	50.9
7	23.5	47	47.0	87	51.9
8	34.5	48	50.5	88	49.0
9	32.5	49	55.7	89	48.1
10	37.5	50	53.5	90	53.5
11	34.1	51	42.5	91	45.5
12	47.0	52	39.5	92	42.2
13	31.2	53	40.5	93	45.2
14	19.2	54	42.5	94	50.0
15	26.5	55	46.0	95	47.0
16	27.2	56	39.5	96	41.0
17	31.1	57	42.0	97	47.0
18	32.1	58	41.0	98	41.5
19	37.5	59	40.0	99	49.5
20	26.5	60	45.0	100	50.0
21	28.2	61	46.0	101	53.8
22	32.5	62	43.9	102	47.0
23	32.2	63	46.2	103	43.0
24	31.0	64	45.9	104	37.0
25	35.0	65	48.5	105	47.0
26	40.0	66	34.6	106	47.0
27	31.5	67	43.5	107	48.0
28	33.2	68	43.9	108	37.0
29	31.5	69	43.2	109	44.7
30	42.2	70	38.5	110	41.0
31	45.6	71	39.5	111	38.7
32	48.1	72	46.2	112	42.6
33	46.8	73	41.6	113	35.3
34	44.5	74	41.2	114	43.5
35	40.4	75	33.4	115	56.5
36	44.7	76	40.5	116	50.7
37	43.7	77	42.6	117	49.0
38	38.5	78	50.0	118	51.0
39	43.2	79	49.5	119	49.5
40	48.1	80	44.5	120	43.1

Table 3. Hinoki pole timber stand.

(B) ヒノキ人工林 $\Delta t=Y$

No.	Y	No.	Y	No.	Y
1	13.0	14	19.7	27	14.5
2	12.0	15	20.0	28	13.8
3	10.5	16	24.0	29	21.0
4	12.0	17	18.1	30	19.2
5	11.5	18	22.3	31	24.0
6	12.4	19	23.4	32	18.8
7	10.5	20	10.4	33	18.5
8	13.0	21	14.5	34	19.0
9	11.5	22	17.5	35	17.0
10	15.3	23	16.0	36	13.3
11	19.1	24	16.2	37	11.5
12	20.5	25	14.7	38	22.0
13	18.0	26	15.5	39	25.0

(Table 3. つづき)

No.	Y	No.	Y	No.	Y
40	21.0	67	18.1	94	17.6
41	9.5	68	16.0	95	29.5
42	14.8	69	14.4	96	7.5
43	24.0	70	15.0	97	22.0
44	13.6	71	25.0	98	13.0
45	12.0	72	31.6	99	28.5
46	22.0	73	8.5	100	19.7
47	14.5	74	10.0	101	18.9
48	23.0	75	9.5	102	33.0
49	18.0	76	14.2	103	20.2
50	10.0	77	12.5	104	19.0
51	10.0	78	11.0	105	20.5
52	23.4	79	18.0	106	22.0
53	12.9	80	20.5	107	18.0
54	17.6	81	21.5	108	11.7
55	18.0	82	23.6	109	8.6
56	20.0	83	32.0	110	9.0
57	24.7	84	30.1	111	25.2
58	11.0	85	18.4	112	33.6
59	11.0	86	11.5	113	24.6
60	17.3	87	15.0	114	10.3
61	32.5	88	24.6	115	27.5
62	24.1	89	30.5	116	30.0
63	8.9	90	30.4	117	14.5
64	17.9	91	25.6	118	11.5
65	20.3	92	20.7	119	25.6
66	15.8	93	29.3	120	27.3

Table 4. Sugi pole timber stand.

(C) スギ択伐林 $\Delta t = Y$

No.	Y	No.	Y	No.	Y
1	41.5	28	42.0	55	42.5
2	52.5	29	47.1	56	39.5
3	57.0	30	46.0	57	41.0
4	54.0	31	47.6	58	37.5
5	53.4	32	44.3	59	31.5
6	50.7	33	43.2	60	37.0
7	50.6	34	42.0	61	43.0
8	53.5	35	41.0	62	45.2
9	53.1	36	44.0	63	50.1
10	60.5	37	43.0	64	47.0
11	59.1	38	40.0	65	48.7
12	55.5	39	43.9	66	46.9
13	53.0	40	44.4	67	49.4
14	53.3	41	46.8	68	49.1
15	44.1	42	40.0	69	47.5
16	47.0	43	44.3	70	47.6
17	43.0	44	41.0	71	46.5
18	41.5	45	47.5	72	46.1
19	45.0	46	47.0	73	45.0
20	48.4	47	44.0	74	45.1
21	49.3	48	41.1	75	43.2
22	49.0	49	42.8	76	42.0
23	51.0	50	42.8	77	48.5
24	47.5	51	37.0	78	42.0
25	39.5	52	38.0	79	41.8
26	35.0	53	32.5	80	43.2
27	37.5	54	40.0	81	52.0

(Table 4. つづき)

No.	Y	No.	Y	No.	Y
82	55.5	95	57.2	108	51.0
83	50.4	96	66.0	109	55.3
84	46.0	97	63.0	110	48.0
85	52.2	98	54.0	111	43.0
86	47.9	99	52.2	112	40.2
87	38.0	100	56.2	113	43.5
88	34.5	101	54.3	114	41.2
89	44.0	102	58.5	115	37.7
90	45.0	103	58.0	116	36.7
91	41.7	104	51.0	117	51.0
92	41.5	105	54.0	118	57.5
93	46.6	106	54.9	119	63.1
94	50.2	107	55.1	120	63.3

Table 5. Natural mixture stand.

(D) 天然林ブナ・モミ $\Delta t=Y$

No.	Y	No.	Y	No.	Y
1	13.0	41	15.0	81	11.4
2	14.0	42	23.5	82	11.4
3	19.9	43	24.5	83	10.9
4	16.9	44	17.3	84	10.4
5	21.5	45	21.0	85	11.5
6	27.0	46	25.0	86	14.0
7	25.8	47	18.5	87	13.5
8	28.0	48	19.5	88	12.9
9	28.2	49	25.0	89	11.5
10	25.4	50	31.0	90	12.5
11	22.0	51	31.5	91	14.3
12	17.0	52	24.5	92	14.8
13	18.0	53	22.4	93	16.9
14	25.0	54	24.8	94	16.3
15	28.6	55	20.0	95	20.0
16	32.2	56	14.0	96	26.0
17	24.5	57	10.7	97	29.5
18	18.1	58	10.9	98	25.5
19	18.0	59	13.5	99	23.0
20	24.0	60	18.5	100	19.9
21	24.7	61	18.0	101	20.5
22	24.2	62	13.5	102	24.0
23	24.2	63	13.0	103	23.5
24	24.0	64	12.9	104	22.5
25	23.0	65	13.9	105	17.5
26	20.0	66	16.0	106	13.5
27	25.3	67	17.2	107	14.0
28	27.0	68	15.5	108	15.0
29	29.5	69	19.0	109	20.0
30	27.7	70	25.0	110	23.8
31	22.0	71	31.0	111	24.0
32	21.5	72	34.1	112	13.4
33	18.5	73	22.5	113	22.9
34	13.5	74	14.0	114	22.8
35	14.0	75	18.0	115	23.9
36	14.0	76	21.7	116	24.7
37	13.5	77	18.0	117	21.1
38	12.2	78	16.0	118	20.4
39	12.0	79	12.0	119	18.5
40	13.0	80	11.4	120	18.0

定は省略した。

従来 Tone Scale または光学楔（Optical wedge）によつて比較し、色調差を判定することを行なつた方法は、この測定法によつて数値化することができる結果となつた。

6-4. Power Spectrum による解析

航空写真像は被写体を忠実に再現しているものではないとしても、それは明らかに豊富な情報である。したがつて、これを定量的に取り扱い、その内容を測定するには基準が定められなければならぬのは「まえがき」においても記述したところである。ここで情報の量とそれに影響をおよぼす要素を分析する情報理論の体系を導入することが可能、また必要となる。このとき被写体は送信通報であり、写真像は粒状構造や撮影器材、撮影条件などの付加音を加味した受信通報となり、この像の構造を測定し評価する上にこの理論を応用することができる。

写真像はこれを分解すれば鮮明度の規準となる解像力、すなわち結像系と特定の濃度変化を生ぜしめる濃度分布強度の2者となる。前者は濃度変化を再現する正弦波の空間周波数によつてあらわされ、その率を示す曲線はレスポンス函数（r.f.）といわれる。この函数（r.f.）は点像の強度分布 $r(x, y)$ あるいは線像の強度分布 $\bar{r}(x)$ からのフーリエ変換

$$R(\nu, \omega) = \iint_{-\infty}^{\infty} r(x, y) \exp\{-2\pi i(\nu x + \omega y)\} dx dy \dots\dots\dots (1)$$

$$R(\nu) = \int_{-\infty}^{\infty} \bar{r}(x) \exp\{-2\pi i\nu x\} dx$$

によつて求めることができる。ただし、 ν, ω はそれぞれ x および y 方向の空間周波数である。

$$\bar{r}(x) = \int_{-\infty}^{\infty} r(x, y) dy \dots\dots\dots (2)$$

同様にして濃度曲線を生ぜしめる複雑な波形は、フーリエ解析により成分の正弦波に分解することができ、そして前記の二次的反射光の強度分布波形もいろいろな周波数の空間的な正弦波の集合と考えられる。そのうちで、(r.f.) はその結像系がそれぞれの成分をどれだけの割合で伝えているかを示すものである。

(r.f.) の測定にはいろいろな形があるが、今この試験において取り扱うものはむしろこの二次的な周波数に帰因するもの、いいかえれば粒状度もいわれる部分が多い。すなわち、写真材料は現像銀粒子の密度、大きさを利用して、反射光によりいろいろの濃度を作っているものであり、そのために透過率の不規則な変化が生じるのである。電気通信において雑音やいろいろの波動を生ぜしめているものと同様である。そしてこの波動を取り扱う時には、これを構成している周波数成分を分析しなければならない。

周波数成分を表現するには一般に成分の自乗値であらわしたものをを用いて、これを Power Spectrum という。透過率 T の分布函数 $a(x, y)$ からこれを求めるには、前記のフーリエ解析を拡張した一般調和解析が用いられる。これは Power ではなく Wiener の Spectrum, または Noise Spectrum と呼ばれるものと等しい。

フーリエ解析により周波成分を求めるには(1)式でよいが、二次的な周波数に帰因するもののような積分結果が無限大となる場合には、 $a(x, y)$ からまず自己相関函数 (Autocorrelation function) が次式により求められる。

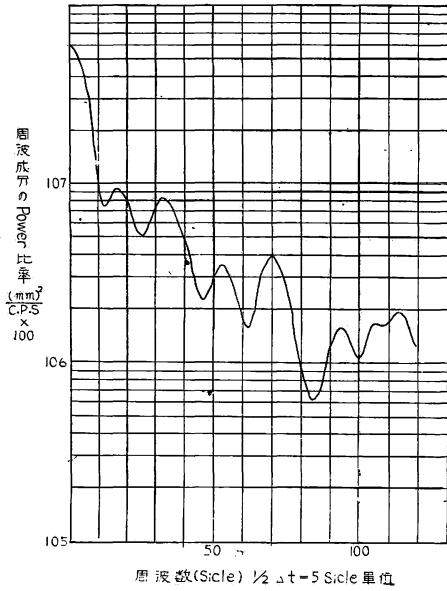


Fig. 8 ①ヒノキ幼齡林
Power Spectrum of Hinoki
young plantation.

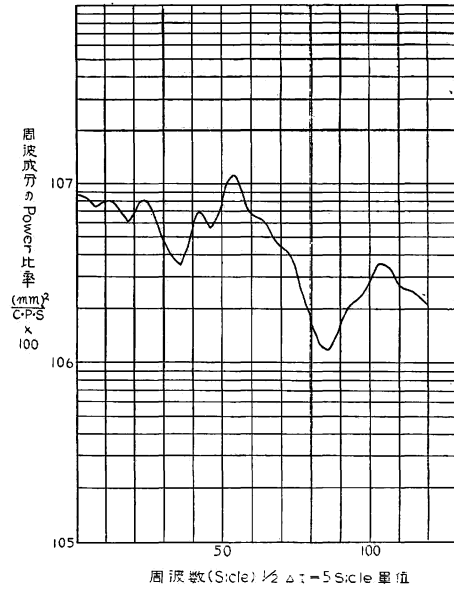


Fig. 9 ③ヒノキ人工林
Power Spectrum of Hinoki pole
timber stand.

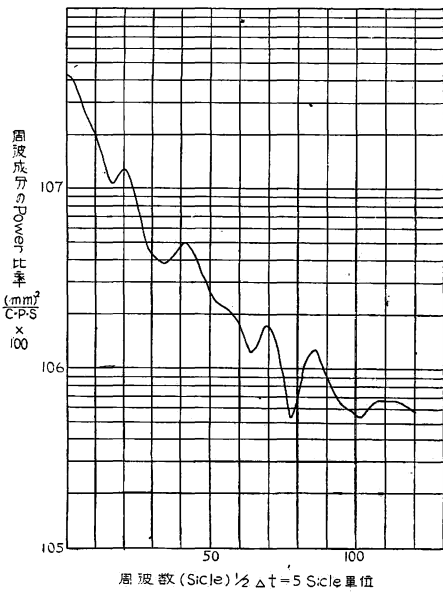


Fig. 10 スギ択伐林
Power Spectrum of Sugi pole
timber stand.

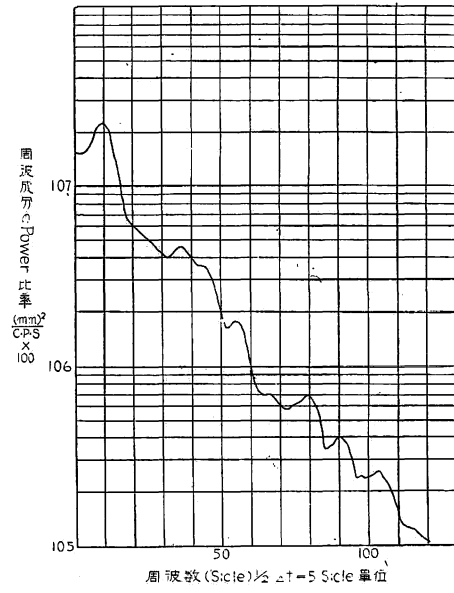


Fig. 11 プナ, モミ天然林
Power Spectrum of Natural
mixture stand.

$$\phi(S, \tau) = \lim_{x, y \rightarrow \infty} \frac{1}{4XY} \int_{-X}^X \int_{-Y}^Y a(x, y) a(x+s, y+\tau) dx dy \dots\dots\dots (3)$$

$$\omega(\nu, \omega) = \iint_{-\infty}^{\infty} \phi(s, \tau) \exp\{2\pi i(is + \omega\tau)\} ds d\tau \dots\dots\dots (4)$$

すなわち、自己相関数の逆フーリエ変換によつて、Wiener の Spectrum $\omega(\nu, \omega)$ をうる。

これは Micro-Photo-Densit-Meter による資料から、この自己相関数を測定するのがひとつの法であり、前記 r.f. で表わされる周波数特性と、この $\omega(\nu, \omega)$ の周波成分は共通の解析表現をもつことが知られる。

実際にあつては $\omega(\nu, \omega)$ 、または $\phi(s, \tau)$ を考える場合に、その粒状性には写真を観察する肉眼視覚を考慮に入れねばならない。すなわち、肉眼は網膜上に分布する視細胞により像を感じるものであり、一種の低域フィルターと考えられる。したがつて、Wiener の Spectrum のうち、眼を通らぬ高周波成分はなんら観察に関与してこない。ゆえに資料測定にあつては unnecessary 周波数を除外する必要が生じる。これをこの試験にあつては $1/2\Delta t$ 以上のものとして除外しており、 Δt ごとの測定値を計算したこととなる。観測資料は前項におけるものと同様であり、その計算結果にもとづく前記 4 林型の Spectrum を Fig. 8 ~11 に示す。

図の X 軸は周波数（単位 $1/2\Delta t \dots 5$ Cycle）を Y 軸に、そのおのおのの周波成分のエネルギー比率（わかりやすくこれも Power と呼ぶ）を示したものである。

この図に見られるように、それぞれの林型は異なつた周波構造をもっている。

すなわち、ヒノキ幼齡林は最低周波数の Power は最も少ないが、高周波との差はそれほど大きくなく、観測値の高周波 Power は各林型中最も高い。そして $1/2\Delta t=55$ 付近に最高の Power の山を、また、 $1/2\Delta t=85$ 付近に最低の谷を示している。

ヒノキ、スギ成林型においてはきわめて共通した構成が見られ、ともに最低周波の Power は高く、漸次周波数がふえるにつれて減少するが、ヒノキ林型はスギに比べ最高周波域の Power は高い。そして幼齡林型に見られた $1/2\Delta t=55$ 付近の山は認めがたいが、 $1/2\Delta t=85$ 付近の谷は変わることなくあらわれ、スギ林型にあつてこの谷は $1/2\Delta t=78$ 付近に出現する。

ブナ、モミ混交天然林は他の林型にくらべ $1/2\Delta t=10$ 付近に最高の Power の山をもち、一様に減衰する Spectrum となる。また高周波部の Power は各林型中最も低く、その間の特性は認めがたい。

7. あ と が き

写真濃度の Micro-Photo-Densit-Meter による観測は理、工、光学の各分野においてすでに行なわれているところであるが、航空写真応用にあつては米国において地質、土壤の判読にその研究例を見ることができ、まだ森林判読に応用した例はない。しかし、地表の大半を被覆する森林像の解析にきわめて有効であると思われる、観察による比較、また数値による検討も現段階にあつては従来の肉眼観察を記録化し、数値化する可能性を明らかにしたにとどまり、また単一の試験例であるのでこれが普遍的な林型の特性を示すものであるかを断定するにいたらないが、これは今後の繰り返す試験によつて期待しえられる成果である。

特に Power Spectrum 解析の方法は森林測定 of 完全な自動化へと進みうる方途であり、次の段階にあ

つては被写体のスペクトルを考慮に入れねばならぬかもしれない。

この研究にあたっては Micro-Photo-Densit-Meter, N.L.M-III 型の試用をナルミ商会 K.K. のご好意により、また観測実施に日本総合コンサルタント K.K. 設計部長大木士行氏のご協力を得た。なお Power Spectrum 設計と電子計算機によるその解析は、文部省統計数理研究所赤池弘次技官のご協力によつたものであり感謝の意をあらわす。

文 献

- 1) FELLGETT, P.: J. Opt. Soc. Amr. 46, 707, (1956)
- 2) 樋渡・山口: テレビジョン 11, 355, (1957)
- 3) LINDBERG, P.: Opt. Act. 1. 80, (1954)
- 4) 菊池真一他: 科学写真便覧 上, 中, (1959)
- 5) 統計数理研究所: 系列現象解析法, (1959)
- 6) LUEDER, D.R.: Aerial Photographic Interpretation. (1959)
- 7) SCHWIDEFSKY: Guadriss der Photogrammetric. (1960)
- 8) ———: Kontrast übertragungs Funktionen zur Bewertung der Bildgüte in der Photogrammetrie. (1960)
- 9) YOST, E.F.: Resolution and Sinewave Response as Measures of Photo Optical Quantity. Photog. Eng., Vol. XXVI, No. 3, (1960)
- 10) CALHOUN, J. M. and KELLER, L. E.: A Method for Studing Possible Local Distortion in Aerial Films. Photog. Eng., Vol. XXVI, No. 4, (1960)
- 11) RAY, Richard G. and FISCHER, A.: Quantitative Photography—A Geologic Research Tool. Photog. Eng., Vol. XXVI, No. 1, (1960)

A Study on the Photo Density Measurements of Some Forest Types.

Iwao NAKAJIMA and Kuniko HASEGAWA

(Résumé)

1. Preface

The application of air photos means the methods of getting the information of the terrain qualitatively and quantitatively from photographed images. The quantitative characters can be measured in the case of distance, height, area, tone, numbers etc., but the qualitative characters are mostly deduced and confirmed from the analyzed results of quantitative data of photo images.

In the field of general surveying, the use of air-photos has been highly developed and mechanized, but in other fields of applied photography, there still remain the manual trade ways which depend on the experience or the skill of the operators of them, because the ultimate purpose of them in this field is the confirmation of qualitative characters of photographed materials. In this respect the economical condition of them has not been sufficient for the mechanization and modernization in such work up to the present time. However, the repetition work of human labour must be mechanized, and the judgement of experienced naked eyes must be replaced with scientific data in the development of the

science. Then we can expect far more efficient and more accurate information from air photos in future.

The results of air photo use for forestry purposes are influenced by the condition of photography, and also they are always dominated by the methods and techniques of measurements already in use. So when the aboved-mentioned personal judgement is closely applied in their results, they always contain unstable variances, thus making the correct standard of their confirmations difficulty. The monochrome photo images consist of the contrast of photo tones from white to black. So the results of interpretation can be defined by analysing the construction of tone density of the images. The photo images of the forest show varied tone contrast according to the seasons, species, stand types or used material etc. photographed.

In this report the author described a test of photo density measurement of some different forest types of Japan for finding out any possibility of using this method on forest type interpretation in future, and also how to analyze these results.

2. Air photograph (Fig. 1)

Area—Takao, Tokyo.	CameraRC 5 (Wild)
f.....209.42 mm.	Film.....Panchromatic XX
HAbout 3,500 m.	Photo scale ...1/15,000

3. Record system

N.L.M.—III Micro photo density meter (Narumi K.K. Tokyo).

4. Operation

- A. The scanning unit area test was tried on 3 kinds.
1/100 mm², 1/50 mm², 1/10 mm².
- B. The magnification test of records was tried on 4 kinds.
×10, ×20, ×50, ×80.

5. Recording

Photo density (D) was expressed by $\log I/I_x$.

I=illuminate light volume.

I_x=light volume passed through the test film.

When $I_x/I=T$, T shows the percentage of passed-through light volume and $D=-\log_{10}T$. For comparison of the result of each forest type density records, the recording pen was set as follows:

100%, in not exposed part of the film, and 5% in highlight and brightened white stone on the bare ground on the film. The density record was expressed as the vibrating curves between 5% to 100% on the recording paper (Type 250) (Fig. 2).

6. Recording result

6—1. Scanning area and magnification.

An example of test on the same tree groups is shown in Fig. 3 with 4 kinds of combinations.

The records of 1/100 mm²×80 and 1/50 mm²×40 show good results. But the former takes two times longer in operation, and 1/50 mm²×20 presents some difficulty in reading the data in value because vibrations are compressed in X direction. The records of 1/10 mm²×10 have a lower and smoother curve, so less accuracy in reading, but make possible the

doing of speedy work. In the following research, the records of $1/100 \text{ mm}^2 \times 80$ and $1/50 \text{ mm}^2 \times 40$ were used.

6—2. Comparison between the forest types.

The following 4 forest types were compared in this test.

- A. Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* SIEB. et ZUCC.) young plantation stand, 5 years old.
- B. Hinoki pole timber stand, artificial 30 years old.
- C. Sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON) pole timber stand artificial, 40 years old.
- D. Natural mixture (*Fagus*, *Abies*, *Tsuga*, etc.) stand dominant tree ages are about 200~300 years old.

These examples of recording are shown in Fig. 4~7. Each one of which expresses the characters of each forest type photo images in good condition.

A. Hinoki young plantation (Fig. 4).

Ground surface was visible and each planted tree shows as high density spots, so the record shows the sharp and homonized projections according to their tree numbers in this stand. But the average of T was low.

B. Hinoki pole timber stand (Fig. 5).

The records show the T of the light volume which reflected from the tree crown covering the ground and express the comparatively homogeneous vibrations. Each tree can be identified by regular lower T valleys of the highlight points of each tree top in the lower part of the paper, but they are invisible from the upper part of it. This means that the photo images of this stand have a smooth texture and also stand trees have round crown with push-out tops. Average T is far higher than that of a young plantation stand.

C. Sugi pole timber stand (Fig. 6).

The average of T is higher than that of Hinoki. Each tree can be identified by deep cuts of light parts and a similar density group. The records of each crown are irregular; also they varied largely among each other. This means the rough and larger crown composition on Sugi. Photo images have a rough texture and higher tone density than Hinoki.

D. Natural mixture stand (Fig. 7).

Here quite different figure of T records have appeared than in the other forest types. The large hard woods had no leaves in that season, so the ground surface was visible in many parts of that area. The sharp coniferous records pushed out as the dark peaks among the recording, but they did not show the light valleys because they have no sharp top.

6—3. Comparison between forest types by the values of T.

By the reading of values of recording T, data amounting to 120 items was obtained on each forest type records. The cycles (Δt) of reading value have used the united length of recording paper (Type 250).

The result of comparison by these values is shown in Table 1. The data values are shown in Table 2~5. The result of Chapter 6—2 was expressed in Table 1, as the analysis comparison. For instance, the average T of Hinoki young plantation is the lowest among them, and that of natural mixture stands is only 1.3% higher than that. But it is quite different with pole timber stands. Between the pole timber stands of Hinoki and Sugi,

there are 5% differentiation of average T and they have significant differences. The variance of T among each type shows an apparent difference between each other.

6-4. Analysis by power spectrum.

The photo images give evidently valuable information of the photographed materials even though they do not present them with highest fidelity. So we can apply the information theory for analyzing them when we change the image construction into the value data.

The record of photo density can be analyzed into the combination of sine curves of their elements by using the Fourier analysis. For expressing the elements of sine curve cycles, the power spectrum has been used in general, and these elements are calculated from the distribution function of T. That corresponds with the so-called Wiener spectrum or noise spectrum in electric information theory.

These results are shown in Fig. 8~11. On these diagrams the different forest types express the different cycles composition of each. For instance, Hinoki young plantation has least power in lowest cycle part, but highest in high cycle part. The differentiation of min. and max. power are smallest among the tested 4 forest types, and also has a highest peak at $1/2 \Delta t=55$ and a deepest valley at $1/2 \Delta t=85$.

Both pole timber stands Hinoki and Sugi have similar cycle composition. They have the high power in lowest cycle, which gradually decreases into high cycle part.

The highest power in Hinoki is larger than in Sugi's, and also has a valley at $1/2 \Delta t=85$. In the case of Sugi, this valley appeared at $1/2 \Delta t=78$.

The natural mixture forest has a highest power at $1/2 \Delta t=10$ which uniformly decrease their power according to the cycle increase.

7. Discussion

The density measurement of air photos for forestry purpose must have useful efficiency for photo interpretation method in future. In this test, the comparison and analysis of density records have only shown the possibility of this usage by changing the image construction into the value data of density. This is the field which has depended on the human naked eye experience in general.

This is only one result of a pre-test of coming research to be conducted by my laboratory hereafter. The method of power spectrum analysis by using the electric computer has convincingly shown the possibility of the automatic measurement method of the forest from air photos.