

経 営	4 6
測 定	1 2

U.S.A. に お け る 森 林 調 査

— Forestry Hand book より 抜 粋 —

昭 和 3 1 年 1 1 月

農 林 省 林 業 試 験 場 経 営 部

分類番号	Z 651
著者記号	42
巻	(現) 3巻
登録番号	24022
受入年月日	34.12.18



まえがき

本書は Arthur B Meyer の編集にかゝる *Forestry Hand book* の中、第1章 Forest Measurement の一頁 Measurement of Forests および 第19章 Aerial Photography を翻訳したものである。

特に Aerial Photography では 航空写真全貌について 簡潔にして解り易くまとめあり航空写真の使用と便利は手引となると思われる。

尚翻訳にあたっては読者未熟のため幾多の誤訳等もあるものと思われるが、この点 大方の御諒承を請うものである。

本書の翻訳にあたっては種々御指導をたまはつた大友室長始め研究室の諸兄に厚く感謝する。

昭和31年11月

測定研究室 栗屋仁志

目次

森林測定	
土地測量	5
地位	5
標本調査法	5
標本の種類	5
標本の設計	9
森林調査の抽出誤差	12
抽出誤差の計算法	12
必要な調査歩合の推定	16
調査誤差の解釈	17
航空写真	21
林業における航空写真の用途	21
航空写真の入手方法と取扱い方	22
現在ある写真についての知識	22
写真文の記入	22
現場での写真の保護	23
写真の保管法	23
どの様にして写真の番号はつけてあるか	23
写真についての説明	23
写真の一般的な型	23
カメラの焦点距離	24
縮尺	25
撮影季節	26
感光乳剤の種類	26
印画紙	27
事業用証書の写本	27
実体現	29
写真の準備	29
実体鏡の使用方法	30
実体的観察を行ない易くするためのヒント	31

肉眼実体現の方法	31
航空写真測量	32
幾何学的関係	32
縮尺	35
面積	37
傾斜	37
樹高	39
樹冠直径	42
林分直径	42
航空写真による地図の作成	43
一般的原理	43
図解的解法	43
細部の平面図作成	44
地形の細部測量	45
地上点を写真上に定める方法	45
航空写真による林分の分類	46
一般的原理	46
樹種および林相の判読	47
地位区分	51
航空写真調査と地上調査の組合せ	54
一般的原理	54
図化による面積の決定	54
写真上のサンプリングによる面積の決定	55
現地照合による航空写真面積推定値の修正	58
地上における材積サンプリングに必要なプロット数	60
現地プロット設定のための写真の利用	61
材積計算	62
航空写真による直接材積推定法	62
一般的原理	62
ステリオグラム法	63

航空写真材積表	63
換算表	64
現地プロットによる写真材積推定値の修正	64

森林測定 *Measurement of Forests*

土地測量 *Land measurement*

土地測量についてはノ7章をみなさい。

地位 *Site quality*

地位についての説明は 6章をみなさい。

標本調査法 *Sampling methods*

標本の種類 *Types of Samples*

1. 無作為標本 *random sample* とは 母集団における項目、或は個体が 均等かつ独立な機会で標本に含まれる様な方法で選ばれた標本である。
2. 代表的標本 *representative sample* とは 母集団に存在する主要な変化全てを 代表している標本である。
3. 層化標本 *Stratified sample* とは 不均質な母集団内の均質な単位から抽出された、2組以上の無作為標本から成っている 確率的標本である。
4. 固定標準地 *Permanent sample plot* は 繰返し測定法、即ち普通、10年以上の期間にわたって継続して生育経過を調査する、小面積の代表的林地である。密生した森林の研究 では、1平方チェーン位のこともあるが、一般に、固定標準地は 1/2 エーカーより小さくてはいけない 1 エーカーが適当である。

簡易さ、正確さの点では、円形標準地より矩形標準地の方がよい。細長い標準地は観測の際因子の変動が激しいため制めることは出来ない。

処理効果を調べる時には 固定標準地の組毎に 1ヶ以上の無処理(対照)標準地を設ける必要がある。試験に要する標準地数は3 以上で これは調査されるものの変動の程度で

変る。標準地としての林地は 調査される状態の平均に基

るだけ近いものを選ばねばならない。

固定標準地の境界は 測竿、コンパス 或はトランシットで測り 直線の測定にはスチールテープを使う。誤差は $1/300$ より大きくてはならない。

林木には普通 金属製の符で番号をつけ 大抵 標準地内の林木位置図が保たれる。

5. 対照標準地 *Control plot* は処理標準地の反応を比較する基準又は標準とするため 無処理 或は乱されていない林地内に設けた 標準地であり、無処理林分の生長経過の研究には必要なり。

6. 周縁林地 *Surround* は 標準地を望ましい状態に保つため、標準地と同じ処理のほどこされた、固定標準に隣接した周縁部の林地である。

7. *Raunkiaer plot* は標準地の内部を細分するため 金属環で区割された 直径が $1/10 m$ の林地である、植生の標本調査では 一定の間隔毎に この環を落して行く

8. トランセクト *Transect sample plot* は一様な大きさの区画を重ねたもの(通常 隣接している)である。各区画は夫々 完全な記録がえられる一つの単位である。一時的なものもあるが 普通は 恒定的なものである。区画は 矩形のことも円形のこともあるけども、不規則な形であつてはならない。

標本の位置の決定は 通常 $10, 20$ フィート或はそれ以上の間隔で、機械的になされる。

一区画の標準的な大きさは、一平方フィートで 普通 標準地当り 10 区画以下のことはない。標準地は 測竿とハンドコンパスを使つて等高線と交叉する方向に設けられ、区画の四隅の標柱として 測竿の長さの端毎に施をうつ

57表 円形標準地の大きさ

標準地の面積 (エーカー)	半 径		
	呎	フィート	メートル
$1/160$	9.31	0.141	0.564
$1/40$	18.62	0.282	1.13
$1/10$	37.24	0.564	2.26
$1/5$	52.66	0.798	3.19
$1/4$	58.88	0.892	3.57
$1/2$	83.26	1.262	5.05
1	117.75	1.784	7.14

58表 正方形標準地の大きさ

標準地の面積	辺 長		
	呎	フィート	メートル
$1/160$	16.5	0.25	1.0
$1/40$	33.0	0.5	2.0
$1/10$	66.0	1.0	4.0
$1/5$	93.34	1.414	5.66
$1/4$	104.35	1.581	6.32
$1/2$	147.57	2.236	8.94
1	208.71	3.162	12.65

9. ライプロット *Sine plot* は 林地上に規則的な間隔で設

けた 平行なコンパスラインに沿って規則的な間隔で配置されている 矩形畝は円形の 一様な大きさの標準地である。

10. $\frac{1}{4}$ エーカー三角形標準地 *Triangular one-quarter-acre plot* はかなり上手に利用されている。この面積の等辺三角形は、矩形や円形標準地の場合より少い誤差で迅速に設置できる。誤差が生ずるのは 基線に垂直な高さを決める時だけであり、頂点を決める時の誤差が どちらかの側で 6.5 呎位であつても 面積では僅か 0.04% の差が生ずるに過ぎない。側線の長さは 152.58 呎、高さは 137.34 呎である。

57 表 矩形標準地(断続的帯線)の
大きさ。

標準地の面積 (エーカー)	長さ (4エイン)	巾 (4エイン)
$\frac{1}{20}$	2.0	0.25
$\frac{1}{10}$	2.0	0.5
$\frac{1}{5}$	2.0	1.0
$\frac{1}{5}$	4.0	0.5
$\frac{1}{4}$	2.5	1.0
$\frac{1}{4}$	5.0	0.5
$\frac{1}{2}$	5.0	1.0

標準地を設けるときには 正確に側線の長さのある、リールに巻きつけた綿線銅線が使われる。側線の半分の長さは赤色の布、高さはオレンジ色の布を銅線にまきつけて 印がしてある。

標準地の始まる調査線の地点に到着したら、杭を打ち 先行測鎖者は 後に吊まつている測鎖者の手元に赤色フランネルが来るまで、銅線に沿って前進する。先行測鎖者はここに杭を打

ち、基線の端に達するまで前進を続け、この点に別の杭を打つ。次いで 中心点の奥に立ち 後の測鎖者の手元にオレンジ色のフランネルが来るまで 基線に直角な方向に進み その点に三角形の頂点としての杭を打つ。標準地の一方の杭から他方の杭を直線している記帳者は、輪尺測定者が標準地から外れない様に指示する。林が非常に密生してあれば 角度の示してある杭向に張つたコードは、標準地の輪郭を示している。

11. 帯線標準地 *Sample strip* は 調査において抽出単位として使われる細長い帯線である。帯線標準地の巾は普通 $\frac{1}{4}$ ~ 24 エインが使われている。

12. 副次的標準地即ちクオドラート *Subplot or quadrat* は更新樹や 余り数が多いため標準地全体については記帳が難しい植物を記録するため標準地内に設けられた小区画である。クオドラートは 一平方呎或は 1 ミリエーカー (一般に正方形は一辺の長さが 10 リングである) のことが多い。

標本の設計 *LAYOUT of Samples*

基本的方法 *Standard procedure*

1. ラインプロット *Line plot* は 通例 調査線やコンパスライン上に規則的な間隔で配置されている。標準地の大きさ、線間隔、標準地間隔は 要求される調査密度によつて違ふ。円形標準地は、その直径に等しい距離以上に、中心間隔を始めて配置することは出来ない。 $\frac{1}{4}$ エーカー標準地では 隣りの円に略々接する $\frac{3}{2}$ 4 エイン間隔の設定が一般に使われ、中心間隔は 5 4 エイン或は 10 4 エインが普通である。経方向の測定と云ふより、立木のベルト、林相、或は林分とかを切ることによつて、代表的な標本を求めるため、調査線は流線、その他の

地移に直角方向に設けねばならない。

林相区別をするために航空写真を利用すれば、標準地の位置は写真上で任意に選べ、コンパスと測鏡を使って、その位置が地上に定められる(60表参照)このやり方で、もしも単一の分類として抽出されたものが程よく均質なものであれば、同じ精度で抽出は少く済む。その上、あらゆる状態を補え、その地域のあらゆる部分が、均等かつ粗立な機会で表われる様な方法で、標準地は林地上に配置されねばならない。ある特定の林分の状態が全林地で起るのと同じ割合で、標準調査でも表われなければならない。

2. 円形ラインプロット *Circular line plot* を設定する場合、中心は杭または剥皮した木で示される。コンパスラインの方向並びにそれに直角方向の半径が測定され、標準地の境界即ち円周はこの4つの点で示される。標準地の林木を記載する際、境界上の木や境界の外にあるのか内にあるのか不確かな木は中心から測ってみる必要がある。携帯用巻尺で急入に行えば、この半径測定は臂の折れる作業である。小型の携帯用望遠鏡と紙製のスタジアムを用いて、スタジアム測量をすれば正確な結果が得られる。

3. 矩形ラインプロット *Rectangular line plot* では普通、調査線を測るのに使った鎖を、標準地の中心線、或は一辺として利用する。巾は一端に吊具の付いている携帯用テープで決める。携帯用テープの吊具を調査線の走っている側の木の枝にさしこみ、テープを調査テープの処まで並に張ることにより標準地の中心線から、境界線上の木までの距離が測られる。

4. 帯線標準地 *Sample strip* はある林相の標本として、或は表示された時の標本の長さとしての、帯線の長さを測るため、

調査用テープを使って、矩形標準地と同じ方法で設置される。同じ林相が相当距離続いておれば、帯線上の距離は、その距離を5又は10チェーンに変えてもよい。

5. 許容出来る抽出誤差を得るのに必要な抽出密度については後で述べる。色々な抽出密度に対する一般に使われている標本の配置が60表に示してある。

6. 標準地の面積測定の変差は、標準地の周囲を決める時の不正確さから生じたものである。矩形標準地の長さ、巾や円形標準地の半径は慎重に何度も測ってみるべきである。誤差の起る確率は、面積が大きくなり、下植生が表はれるにつれて増す。標準地の境界線上の木は、木の中に境界線の内側にある場合だけ入れる様にする。

60表 色々な抽出密度に対して一般に使われている標本の間隔 (チェーン)

標準地調査							
$\frac{1}{8}$ エーカ標準地	$\frac{1}{4}$ エーカ標準地	$\frac{1}{2}$ エーカ標準地	1エーカ標準地	$\frac{1}{8}$ エーカ標準地	$\frac{1}{4}$ エーカ標準地	$\frac{1}{2}$ エーカ標準地	1エーカ標準地
標準地	調査線	標準地	調査線	標準地	調査線	標準地	調査線
間隔	間隔	間隔	間隔	間隔	間隔	間隔	間隔
10% 調査							
4	5	5	5	5	10	10	10
5% 調査							
4	10	5	10	5	20	10	20
5	8						
2.5% 調査							
5	16	5	20	10	20	10	40
8	10					20	20
1% 調査							
5	40	5	50	10	50	20	50
10	20	10	25	20	25	20	40
						30	33

帯線調査

帯線の巾	調査歩合に対する帯線間の距離(チェーン)					
	30%	20%	10%	5%	2½%	1%
¼			25	5	10	25
½		25	5	10	20	50
1	33	5	10	20	40	
1½	5	25	15			
2	66	10	20			

注 ; 距離はチェーン単位で 調査線又は標準地の中心間を計算したものである。

森林調査の抽出誤差 The Sampling Error of a forest cruise

森林の部分的調査は 抽出単位間の材積の変動と調査歩合で左右される。抽出誤差の影響を受ける。抽出単位間の変動は 数値的には変動係数 *Coefficient of variation* ($S\%$) として扱われる。これは平均材積に対する百分率で表わした抽出単位の大さきで変るから、変動係数は エーカー当り材積の百分率で表わした エーカー *one acre* の林地で測られた観測材積間の標準偏差(重みノの観測値)であるとはつきり定義しておく必要がある。この様に定義した変動係数は 調査される林分或は林班の均質性に従つて、約10%から60%以上まで変化している。調査歩合

the intensity of a cruise は百分率即ち森林の総面積に対する、実際に測られた標準地或は帯線の面積の百分率として表わされる。調査歩合を増すことにより 抽出誤差を 必要とするある基準にまで減すことが出来る。

抽出誤差の計算法 *Calculation of sample error* 変動係数を求めるには

$$S(\%) = \frac{S}{\bar{X}} \cdot 100$$

S は重みノの観測値であつて 次式で計算する。

$$S^2 = \frac{\sum w(X - \bar{X})^2}{N - 1}$$

エーカー当り平均材積の百分率標準偏差は

$$S\bar{X}(\%) = \frac{S\%}{\sqrt{\sum w}}$$

調査歩合が約5%以上であれば、有限母集団に対する修正項 $\sqrt{1 - (\text{調査歩合})}$ を算術平均の標準偏差に通用すべきである。上記の方程式で使われている記号は

X = 抽出単位のエーカー当りの材積

w = エーカー単位の 抽出単位的面積

この面積は抽出単位のエーカー当り材積の重みとして使われる ($\sum w$ = 標準地又は帯線の面積合計)

wX = 抽出単位の材積

$\bar{X}$ = 標本の重み付き算術平均、これは測定された抽出単位のエーカー当りの総平均材積と同じものである。

$$(\bar{X} = \sum wX / \sum w)$$

N = 抽出単位数、これは帯線或は調査線の数である。

調査における抽出誤差の計算が6ノ表に示してある。この例では、一単位として調査された54エーカーの単一地塊のラインプロット調査について詳しく計算してある。

6ノ表 ラインプロット調査の変動係数と標準誤差の計算

面積 45 エーカー 調査歩合 25.2 %

線上の標 エーカー 標準地

線番号	線上の標 標準地番号	標準地面積 W	当材積 X	材積 WX	(X-X̄)	W(X-X̄)	W(X-X̄) ²
		(エーカー)	(M.bd.ft)	(M.bd.ft)			
1	3	0.6	0.4	0.24	-0.80	-0.48	0.384
2	8	1.6	1.7	2.72	0.50	0.80	0.400
3	7	1.4	0.6	0.84	-0.60	-0.84	0.504
4	7	1.4	1.0	1.40	-0.20	-0.28	0.056
5	15	3.0	1.4	4.20	0.20	0.60	0.120
6	10	2.0	0.6	1.20	-0.60	-1.20	0.720
7	9	1.8	2.4	4.32	1.20	2.16	2.592
8	5	1.0	0.8	0.80	-0.40	-0.40	0.160
9	4	0.8	0.8	0.64	-0.40	-0.32	0.128
		13.6		16.36		-3.52	5.064
						3.56	

$$\bar{X} = \frac{\sum WX}{\sum W} = \frac{16.36}{13.6} = 1.20 \quad (\bar{X} = \text{エーカー 当り材積})$$

$$s^2 = \frac{\sum W(X - \bar{X})^2}{N - 1} = \frac{5.064}{9 - 1} = 0.633 \quad (N = \text{抽出単位数} \\ \text{: 折線或はライ} \\ \text{ンの数})$$

$$s = \sqrt{0.633} = \pm 0.80 \quad (s = \text{重みノの観測値の標準} \\ \text{誤差})$$

$$s(\%) = \frac{s}{\bar{X}} = 100 = \frac{0.80}{1.20} \cdot 100 = 67\% \quad (s(\%) = \text{変動係数})$$

$$(s\bar{X})^2 = \frac{s^2}{\sum W} = \frac{0.633}{13.6} = 0.0465$$

$$(s\bar{X})^2 (\text{修正済}) = (s\bar{X})^2 (1 - \text{調査歩合})$$

$$= 0.0465 (1 - \frac{13.6}{54.0}) = 0.0348$$

$$s\bar{X} (\text{修正済}) = \sqrt{0.0348} = \pm 0.19$$

(sX(修正済)) = 有限母集団修正をし
た算術平均の標準誤
差)

$$\text{エーカー 当り材積} = 1.20 \pm 0.19 \text{ M. bd. ft}$$

$$\text{総材積} = 54 (1.20 \pm 0.19)$$

$$= 64.8 \pm 10.3 \text{ M. bd. ft}$$

* 折線による調査の時には、Wはエーカー単位の折線の面積に等しい、観測値が全て等しい重みであればWは常数となり 計算は幾分簡単になる。しかし重みノの観測値の正確な変動係数の値を求めるためには 上の形を憶えておくことをおすすめする。

広大な地域が ブロック、林班、林相に区画され、各単位が別々に調査されるなら 抽出誤差も亦 単位毎に別々に計算をしなければならぬ。一森林の各区画の材積およびその抽出誤差が分れば、その森林の総材積の抽出誤差は 各区画の抽出誤差の平方の和の平方根に等しい。 例えは

林班	面積 (エーカー)	総材積合 (M. bd. ft)	総材積の標準誤差 (M. bd. ft)
1	400	2,200	± 110
2	500	2,800	± 130
3	420	3,000	± 150
4	600	1,200	± 60
5	380	1,800	± 100
計	2,300	11,000	$\pm \sqrt{110^2 + 130^2 + 150^2 + 60^2 + 100^2}$ 11,000 ± 255

$$\text{エーカー 当り平均材積} = \frac{1}{2300} (11,000 \pm 255) \\ = 4.78 \pm 0.11 \text{ M. bd. ft}$$

これ以上、相対的に均質な林分、林相、令級大きさ級に区分されない地域に適用される調査法は 変動係数 したがって調査における抽出誤差が出来るだけ小さなものでなければならぬ。層化された場合には、調査線は主な層に対して 多少なりとも 直角な方向に設ける必要がある。このことは丘陵地帯では 等高線に直角に設けることを意味している。各調査線又は帯線に すべての層は

その出現度数に略比例した割合で表われ、各調査線のエーカー当りの平均値間の変動は最小となるであらう。初めに決めた層化のやり方で かなり変化している個々の標準地材積から調査の誤差を計算すれば、抽出誤差は相当拡大視されることになる。調査線当りの標準地数や帯線の長さが違つておれば 6ノ表で説明した抽出誤差の計算に使われた重み付き観測値、重み付平均をどうしても使わなければならない。

必要な調査歩合の推定 *Estimation of required cruising intensity*

一般的な森林状態を基とした 調査の変動係数の推定が行なわれた 明らかに、一様な密度の均質な林分では 抽出単位間の変動は小さいであらう。大型木が散在している疎開林分では 変動は大きいであらう。外の因子が一定であれば 変動係数は エーカー当りの材積の少ない林分では大きく 多い林分では小さい。変動係数は抽出単位、形、大きさ、適用される調査設計の型によつても変る。ある林相で作業するに当つては、予め調査のありうる精度の評価が出来る前に、何回かの試験的調査で変動係数を決めておく必要がある。

例として ペンシルバニア州の高地産カシ林の約300エーカーの地域に適用された 11/4 チエンの帯線では 変動係数は8 ~ 25%の間にあり 平均して15% であることが分つた。この様な実際的な情報を利用出来れば 次の式を使つて 与え

られた抽出密度に対する調査の精度を予め推定出来る。

$$s_x(\%) = \frac{s(\%)}{\sqrt{2w}}$$

有限母集団に対する修正項を考えれば

$$s_x(\%) = \frac{s(\%)}{\sqrt{2w}} \sqrt{1 - (\text{調査歩合})}$$

与えられた変動係数に対して エーカー当り算出材積百分率標準誤差は 標準地帯は帯線の面積に支配されていることはこの公式から明らかである。必要な調査歩合は、調査される森林の大きさで非常に違ふと思われる。色々な大きさの地域、変動係数15, 30, 60%の調査での色々な百分率標準誤差に対する必要な調査歩合(調査率)が62表に示してある。この表を正しく利用するため 脚註がつけてある。

調査誤差の解釈 *Interpretation of cruising error*

誤差限界 *Limit of error*

無作為又は 主な層に対して直角に設けられた 調査線又は帯線では 抽出誤差は 正規分布をしているものと思われ、調査の実際の誤差は平均して3回の中2回は 算出標準誤差より小さい。実際の抽出誤差が標準誤差の2又は2.5倍より大きくなる確率は夫々0.05と0.01 であり、この様な標準誤差の乗数をその調査で期待される誤差限界と考えるのが普通である。標準誤差の計算が比較的少数の観測値に基づいているものであれば、ある確率水準の標準誤差はも分布を使つて より正確に求められる。誤差限界を求めるため標準誤差に掛けるもの値は 自由度 *degree of freedom* で変る。自由度は 普通のラインプロット法や帯線調査では 無作為に選ばれた線又は帯線の数から1を引いたものに等しい。確率0.05, 0.01に相当する色々な自由度のもの表が63表に示してある。

63表 確率 0.05, 0.01 と色々な自由度に対する t の値

自由度	確率 0.05	確率 0.01
4	2.8	4.6
6	2.4	3.7
8	2.3	3.4
10	2.2	3.2
15	2.1	2.9
20	2.1	2.8
30	2.0	2.8
∞	2.0	2.6

61表で計算した調査の例では、調査標の数は9に等しく、自由度は8である。0.05の確率を越えると思われる誤差限界は

$$SE = 0.19 \cdot 2.3 = 0.44 \text{ Mbd ft}$$

誤差の上限と下限をつけたエーカー当りの算出材積は、1.20 ± 0.44 Mbd ft に等しい。

許容しうる誤差限界をうるに要する調査歩合を決めるための62表を使う時には相当する百分率標準誤差を求めるためスは 2/2 (或は適当な他の値) と、この誤差を割る必要がある。

無作為調査と対比的な系統的調査とは、前者或は調査標は等間隔で配置されている。

この様な調査の精度は、恐らく同じ抽出密度の無作為調査の精度に較べて幾分高い。この結果、系統的調査の標準誤差が無作為調査の標にして計算された時には、普通の様に解釈は出来ない。

62表の脚註に示してある様に、系統的調査の精度が幾分高いことを考慮して、与えられた標準誤差に相当する誤差限界を計算する時には、幾分小さい係数を (ス/2 或は3の代りにス) を使う。

森林を比較的均質なブロックに分割し、各抽出単位が確実に主な層を横切る様な調査設計を適用すれば、系統的調査の抽出単位は無作為調査と同じ分布をなし、普通の様に解釈できる。

これに反して、系統的調査の精度を推定する場合、この用心をしなかった時、例えば材積が不均質な分布をしている林地に、等間隔に配置した個々の標準地から、標準誤差を計算する時には、重大な誤差が生ずる。地上或は航空写真上で予め分割された均質なブロック又は林分内に標準地が設置されている場合に個々の標準地間の変動から調査の誤差の計算値は決定出来るに過ぎない。

62表 色々な大きさの森林又は地域において一定の推定材積の標準誤差を得るに要する調査歩合

材積の百分率表で表わした許容標準誤差

地域又は森林の大きさ (エーカー)	1%	2%	4%	6%	8%	10%	12%
i) 必要な調査歩合変動係数 15%*							
50			220	111	66	43	30
100		360	123	59	34	22	15
200		184	66	30	17	11	8
500	310	101	27	12	07	04	03
1000	184	53	14	06	04	02	02
2000	101	27	07	03	02	01	01
5000	43	11	03	01	01	004	003
10000	22	06	01	01	004	002	002

ii) 変動係数 30%

50			529	333	220	153	111
100			360	200	123	83	59
200			529	220	111	66	43
500			310	101	48	27	18
1000	474	184	53	24	14	09	06
2000	310	101	27	12	07	04	03
5000	153	43	11	05	03	02	01
10000	83	22	056	02	01	01	01

iii) 変動係数 60%

50				52.9	41.9	33.3
100			50.0	36.0	26.5	20.0
200		52.9	33.3	22.0	15.3	11.1
500		31.0	16.7	10.1	6.7	4.8
1000	47.4	18.4	9.1	5.3	3.5	2.4
2000	64.3	31.0	10.1	4.8	2.7	1.8
5000	41.9	15.3	4.3	2.0	1.1	0.7
10000	26.5	8.3	2.2	1.0	0.6	0.4

* 変動係数はここではエーカー当りの百分率で表われ、エーカーで測られた観測材積の標準誤差であると定義されている。極めて一様で正帯な密度の林分では変動係数は15%以下であり、目でみてわかる様な林分層化の影響を出来るだけ除く様な効果的な調査計画が適用される。30%は普通の状態の森林調査に相当する。60%という値は材積が散ばっている不規則な林分の特長である。変動係数の実際の値の推定は試験的調査で決めるのが最もよい。

この表の値は、厳密には抽出単位が独立かつ無作為に選ばれた場合に適用出来るに過ぎない。系統的調査の精度は一般に同じ調査歩合の無作為調査よりも高い。このことを考慮に入れて与えられた標準誤差に相当する誤差限界を計算する時には幾分小さい乗数(2/3, 3の代りに2)を使う。

航空写真 Aerial Photography

林業における航空写真の用途

Uses of Aerial Photographs in Forestry

U.Sとカナダ南部地方の大部分は航空写真で撮影されている。航空写真の利点と同様、その限界を十分知ったとき、これを上手に使えば、林業技術者は迅速かつ正確にいろいろな種類の有用な情報を求めることが出来る。

航空写真は地図ではないが、これを説明する簡単な方法によって、地上測量に要する時間の何分の一が、距離、方位、面積をそれから求めることが出来る。

林業技術者が、自分の仕事にとって価値のある情報を航空写真から求める能力は、写真の品質や採用した方法の節約度だけではない。その土地の状態について、彼がどの程度熟知しているかということに、関係がある。

大略の境界とあるとき、他の地類と区別した森林地域を知りたいのであれば、一枚の拡大写真から、その情報を求めることが出来る。

この様な写真は土壤保全局やUS、農林省の他の部課の現地事務所に保管してある。彼はこの林分写真上で、用材林と新炭林、或は広葉樹林と針葉樹林とを大別することさえ出来る。

充分考慮を払った計画に従って撮影した1組の単にこれに関連した単一の写真(或は数枚)の航空写真から、実地調査その他の特殊な装置を使つて、林業技術者はさらに詳細な情報を手に入れることが出来る。この情報は地形の確定 *topographic features*, "盲点" *blind spots* (一連の火災機から直接見えな場所) の決定から樹種別林分材積の推定にまでおよんでいる。

時には、虫害や疫病の初期の発生を認めることが出来、焼失地帯を記録し、放牧条件を評価し、改良すべき位置を定め、森林、牧野

リクリエーション用地を区分する等、林業における問題のあらゆる方面におよんでいる。

航空写真の入手方法と取扱い方

Obtaining and Handling Aerial Photographs

現在ある写真についての知識

Information Concerning existing photographs.

前述以外の適切な情報を一誌に記載されている U.S. の写真標定図が、一定の期間毎にワシントンにある U.S. の地理調査所の Map Information Office から発行されている。政府機関が撮影した写真のプリントは、関係機関に註向しなければならぬ。

農林省の写真は、山林局、土壤保全所、生産、市場管理局(前の A.A.A.) の契約した仕事も含んでいる。A.M.A. のプリントは東部諸州(南ダコタ州、ネブラスカ州、オクラホマ州、テキサス州を含む)では、ワシントンの農林省 A.M.A. の航空写真技術部の東部統括所に註向し、西部諸州(北ダコタ州、カンサス州を含む)では Utah の Salt Lake 市にある同機関西部統括所に註向する必要がある。個人的な写真は航空測量会社に註向する。そのリストについては、ワシントンにあるアメリカ写真協会が発行している Photogrammetric Engineering を見なさい。

写真の記入 Marking Photographs

永久的なマークは India インキあるいはその他の不脱インキでつけるのが良い。現場では、このインキは、Ink-O-Graph 尖筆型万年筆に入れておけばよい。一時的なマークは光沢面用の脂質の巨鉛筆を使うのが一番良い。ベンゼン又はアセトンの標記普通の有機質溶剤につけた、ワタ製スポンジでマークは消すことが

出来る。鉛筆の圧力で写真に凹の出来ないように注意する。水溶性のボスターインキも使える。

現場での写真の保護 Protecting photographs in the field

戦争余剰物資又は自家製のマップケースを使う必要がある。下側は粘着性で、上側は柔い鉛筆で書き易い標に、平滑な表面をしている。セルローブアセテート板で、一枚一枚の写真を保護する。これは工貝、製図器商から購入出来る。

写真の保管法 Storing Photographs

よじれを防ぐため、写真は平にしておかねばならない。オリジナルボックス、或はヤスリ仕上の引越の中に一杯につめこんでおく。

どの様にして写真の番号はつけてあるか

How photographs are numbered

各写真には、撮影の日付、企画を示す記号、番号がつけられている。撮影の時刻は普通、最初と最後の写真についてある。コースが東西に走っておれば、記号その他は何時でも西の端に示しており、南北に走っておれば北の端に示してある。写真の番号が二つあれば、最初の番号は普通、左番号であり、後の番号は竊取の番号である。

写真についての説明 Photograph Specification

写真の一般的な型 Common types of photographs

垂直写真 Vertical

カメラ軸は垂直か、又はこれに近い。したがって写真は地図に非対称に似ており、僅かな修正をするだけを使ってもよい。森林作業では、一般にこの型の写真が使われている。

斜写真 Oblique

カメラの光軸は、垂直方向に対してある角度をなしている。水平線を示している斜写真は、高度斜写真、*high oblique*、水平線を示していないものは低高度斜写真 *low oblique* といわれる。斜写真には、同一条件で垂直写真より広い地域が含まれるが、地図の作製や測定をするには、より多くの修正が必要である。高地は背後のものを隠蔽しがちである。

三次元カメラによる写真 Tri Camera Photography

一台は垂直に、別の一台は飛行軸に対して左に、最後の一台は右に傾けて取り付けられた。三台のカメラが、この型の写真に使われている。三つの写真の間の幾何学的関係は、その傾に対して、簡単に修正される。

三次元写真は主に、標高の高い地帯の調査に使われるが、東部カナダでは、冬の森林撮影に盛んに使われている。

モザイク写真 mosaics

何枚かの写真を一つ集めて、地図の代りに使われる。この型の写真の精度は、集め方よく調整してあるか、否か）地形の概況、原写真の種類に関係がある。

カメラの焦点距離 Focal length of Camera.

短焦点距離 *short focal length* (広角レンズ即ち6吋メトリオンレンズ) は低い高度から、広範囲地域を撮ることが出来る。立体的効果は誇張されるが、写真上の起伏のため、像の変位は著す。この型のカメラは、平坦地の森林写真を撮るのに最も良い。

中焦点距離 *medium focal length* (標準は8.5吋) は、林業用縮尺として、広く普及している写真に、最も良いものである。

長焦点距離 *long focal length* (Telephoto レンズ) は立体的効果も、像の変位も最少である。山の多い地方や大縮尺の写真を撮るのに最もよい。

縮尺 Scale

縮尺は飛行高度と焦点距離とから決定される。写真の何処でも一定というわけではなく、標高やカメラの傾きによって変る。縮尺は普通、分数 *representative fraction* (RF) の形で示してある。縮尺を12で割れば、縮尺1吋当りの尺数が求まる。

例 1:15,840 の RF は縮尺の1吋が1320呎に等しい、即ち1吋当り20チェーンで1哩は4吋に相当する。

小縮尺 Small scales

森林判別用として実用的に、最小の縮尺は1:20,000から、1:25,000である。森林省の写真の大部分はこの縮尺であり、これは割に費用がかからない。大抵はな森林区画をするのには役立つが、詳細な森林についての情報を求める場合には使えない。

普通縮尺 Medium scales

林業で一番広く使われている縮尺は1:15,000と1:15,840である。これはコストの点からも適当であり、かなり多くの森林についての情報が得られる。

大縮尺 Large scale

森林判別用として最速の縮尺は1:8,000 ~ 1:12,000であるが、大抵の事業にとって、これは費用が高すぎる。

撮影季節 *Season of photography*

撮影に適切な時期は多くの場合、その地方の気候的周期に支配される。晴天の割合は、航空写真の費用の中、極めて重要な項目である。

冬季写真 *Winter photography* は土木、製図用、或は地上に点を設定するには最もよく、しかも、この時期には落葉樹の影響をうけない。しかし雪が余り深いと細部（特に湖泊、河川、湿地の自然状態）が隠されてしまう。コントラストが強過ぎるから、良質の写真にはむかない。太陽の高さが低いため、長い影の中に細部が隠れてしまうから、山の多い地帯では、一般によくない。（北側斜面が全部影になることも多い）。

夏季写真 *Summer photography* は森林を分類するのに最適である。落葉樹には葉が茂り、鮮明な識別出来る様を作り出しているに違いない。

春季および落葉季写真（*Spring and fall photography*）トラストの点では優れているが、焚火が多く危険である。

感光乳剤の種類 *Type of emulsion*

詳しく鮮明な樹木映像の得られる良質の写真を作るのが第一の目標である。コントラストの程度は次に重要なものである。

全彩色写真 *Panchromatic photography*

これは冬季および落葉季の写真として最良のものであり、夏季には良質な写真が得られる。一般に、広葉樹や針葉樹の純林のある地域では、これがよく用いられる。ネガティブの露出を過剰にすることにより、全彩色写真の最良の色調コントラストが得られ、それと同時に印画紙の露出不足が補われる。

赤外写真 *Infrared*

これは、広葉樹と針葉樹とを分類する必要がある混交林地帯の夏季写真に主に使われる感光乳剤である。良質の写真が得られるけれど、撮影やプリントが上手におこなわれないと、写真のコントラストが強過ぎて、全彩色写真より解像力は劣る。

赤色フィルターまたは、コントラストは最も強くなるが、マイナスマル（黄色）フィルターを使えば弱くなる。

天然色写真 *Color*

天然色写真は、やはり費用がかさみ、白黒写真より解像力は劣る点がある。しかし害虫のため枯死した木の落葉の様な特殊な目的には価値がある。

印画紙 *Printing paper*

光沢質の印画紙は内装用として最もよく、半光沢の印画紙は外装用として最良のものである。ダブル、ウェイト印画紙はシングル、ウェイト印画紙に較べて、大きさの減化が少なく、もちが一つよい。

灰色と黒色の最大の色調コントラストを出すために、印画紙のコントラストをネガティブの露出に慎重にマッチさせねばならない。一方細部の解がなく、なっている処では、真黒、真白にならない様に注意する。

事業明細書の見本 *Sample specification*

個人的な契約協議の際、重要な点は明細書に網羅しておくべきである。一般に認められている契約の様式は *Manual of photogrammetry* を参照されたい。

契約に当っては次の様な項目を決める必要がある。

1. 撮影される場所、俯瞰地図に示す。
2. 調査の機密性、契約会社の許可のある時を除いて、調査でえられた情報をもちしてはならない。
3. 写真原稿の所有権、写真を保管貯蔵する場所とは無関係に、これは購入会社の所有に属する。購入会社の許可なしに複製を販賣してはいけない。
4. 損害賠償の責任、測量会社は自社の従業員および機材の安全と負担について、全責任をおっている。
5. 縮尺、基準縮尺は定められた基準高度で計算する。許容し得る変差は5%である。
6. 重複、これは飛行コースに沿って55%から65%、平均60%である。隣接コースとの重複は15%から45%、平均30%である。
7. コースが断絶している時には、新しい写真の最初の2枚を、前の写真の最後の2枚と重複させる。
8. 傾、平均して2%以下であって、5%を越えてはならない。射線三角測量に写真を使う時、障害となつてはいけない。
9. クレーグ *Craig* (写真列のコースからのずれ) は写真巾の10%を越えてはいけない。
10. カメラ、レンズの種類、型式、番号、これは詳細に記載する。
11. フィルムとフィルターの組合せ、詳しく記載する。
12. 写真の品質、提出させた見本と同じものでなければならぬ。どの写真にも汚れや雲の翳があつてはならない。
13. 撮影の季節、詳しく記載する。写真の完成、引渡の希望期日を示しておく。
14. 飛行日誌 写真購入者に手渡す必要がある。撮影コース毎に日付、時刻を示しておく。
15. 納品、普通納入されるものは、密着写真2組と指標モザイク写真 *index mosaic* 一組である。買手が重大な欠かんのあるプリントを啓示することにより費用を節約したいと考える場合、モ

ザイク写真を作るのに決り)を除いて、どちらのプリントにも重大な欠かんと恐れがあつてはいけない。

この外に欲しいものがあれば詳しく記載しておく。

16. 射線プロットとモザイク写真、要求があれば、唯々対地調整をしたか(即ち測量データ) どの様な調整点を使ったかを記述する。買手は正確に位置を定めたいと考えている火曜橋の様な点をリストしておく、満足のゆく射線プロットやモザイクが調整されるためには、良好な対地調整は極めて大切である。
17. 事務的取り決め、価格、納入予定、支払追加されたものの費用(余分のプリント等) 契約取消の規定

実体視 *Stereoscopy*

実体視とは、対象を立体的に観察する技術である。写真光学で行なわれている様に、左右のカメラの位置を撮された一つの対象の写真像を、左右の眼で同時に観ること、起る面認識によって生ずるものである。観測者の両眼が、はつきりと像を観ることのできる様に無い限り、写真を立体的に研究することはできない。写真の標定が適切であれば、立体的研究により、眼が疲れる様なことはない。実体鏡を使って、視差その他を測定する時には、標定を慎重にすることが特に大切である。

立体的に観察せざる二枚の重複した写真を実体対 *stereo pair* と呼ぶ。航空写真の場合には一本のコースに沿って次々のカメラの位置で撮影された、二枚毎の垂直写真から、実体対は成っている。

写真の準備 *Preparation of the photographs*

実体視を行うため写真を準備するには、次の方法を使う。

1. 写真毎に主点をマークする。これは相対する基準標識 *fiducial marks* を結んだ対角線の交点を定められる。基準標識には色々な

術があり、普通写真の四隅の中央に示してある。

主眼は一時的には鉛筆で定め、永久的には尖端を切ったペンを
使つてインデアインフを引くかこむ。

ス、写真毎に隣りの写真の原点到相当する位置を移写する。これを
共轭主眼 *conjugate principal point* と呼ぶ。主眼がはつ
り識別出来ぬ地形的特長や施設（河と道路の交又点等）と一致す
ることは殆んどないから、隣接写真上の共轭主眼としての位置は
両方のプリントについて慎重に吟味してみる必要がある。

四、写真毎に、主眼と共轭主眼とを結ぶ直線を引く、これを主眼基
線 *flight line* と呼ぶ。

五、重複部分の対応する写真像（地形、構造物、植生等）が大体重
り合い、二つの主眼基線が一直線になる様に写真を置く。

六、写真上の點が観測者の手前にある様に写真を置く。写真を回転
させると影が一層観測者に近くなる様な場合には、 180° を限
度として写真を回転させればよい、そうしなければそのまゝにし
ておく。

実体鏡の使用法 *Use of the stereoscope*

レンズ実体鏡を使うには一ノ図に示してある携帯形のものは、
レンズ間隔を眼の間隔に大体合せる。対応する写真像の距離が、大
体 $2\frac{1}{4}$ 吋になるまで、左側の写真は左に、右側の写真は右の方に
引き寄せてゆく。この時主眼基線は完全に一直線になっている様に
注意する。鏡実体鏡では、この分離の距離はかなり大きい、その正
確な距離は特定の装置の設計によつて違つてゐる。

両方の写真に共通な主眼基線が実体鏡レンズ或は鏡の中心を通る
仮定の線に平行になる様に、写真上に実体鏡を据える。実体鏡を通
して観れば二つの像は一つに融合する。そうでなければ、一つの像
となるまで、二枚の写真の距離を変れてやる。レンズ実体鏡の二つ
のレンズの距離は、左右の眼が、夫々のレンズの中心にある様にし

ておく。写真を並置する時には、二つの主眼基線がいつでも、一直
線になつており、実体鏡の軸がこの線に平行である様に氣をつける。

二つの写真に共通な地域をレンズ実体鏡で観察するには、重複地
域の右半分を観察する時には、左側の写真を上にもつてくる必要が
あらう。逆も同様である。重複部の中央附近を、このどちらかの標
定のまゝと観測するには、上側になった写真の端を持ち上げて、こ
の部分が隠れるまで整揚して行く。（ノ四）、鏡実体鏡では、この
様なことは起らないが、この器械で観察される実体像の大きさは、
レンズ実体鏡のものに較べて小さい。この欠点を補うため、附屬双
眼鏡が、鏡実体鏡に使われる時もある。

実体的観察を行い易くするためのヒント

Hints to aid stereoscopic vision

1. 別々の白紙に書いた、二つの眼像を実体視する。レンズ実体鏡
で最良の間隔は $1\frac{1}{2}$ ~ $2\frac{1}{2}$ 吋の間にあることが確かめられるそ
であらう。この間隔を写真の時を使う。
2. 写真上で、家屋、樹木、孤立樹の様なはっきりした対象を実体
視する。これが実体視される様な位置に写真を置けば、写真の幾
り部分も立体的にみえる。
3. 眼が隣の写真をみない様に、二枚の写真の間に厚紙の仕切りを
置く。
4. 視力の弱い人のためには、像の明るさを増し、若い人に対して
は暗くする。
5. 遠影をみるため眼鏡をつけておれば、実体鏡を使つてゐる間、
それをかけておく。

肉眼的実体視の手法 *Naked eye stereoscopic vision*

実際には、特に現場では、実体鏡は使はれない。写真の標定は、

実体鏡を使う時と同じであるが、像の分離距離は1吋位から始まる、遠くのものをみつけながら、眼から12吋の処に写真を持って来る、銀線に平行に振ったため、厚紙の仕切り(或は別の写真)を使うのが一つの便法である。

航空写真測量 *Measuring Aerial Photographs*

幾何学的関係 *Geometry*

写真は地図ではない。(1) 地物の起伏、(2) カメラの傾斜、(3) レンズやカメラの誤差(4) フィルムや印画紙の大きさの収縮のため、写真像はそれぞれの真の地図上の位置からズレている。最も大切な幾何学的関係が本図に示してある。

主点 *Principal point*

主点(本図のA, B)は基準標識を結んだ対角線の交点として求められる。これはカメラの光軸と画面との交点である。

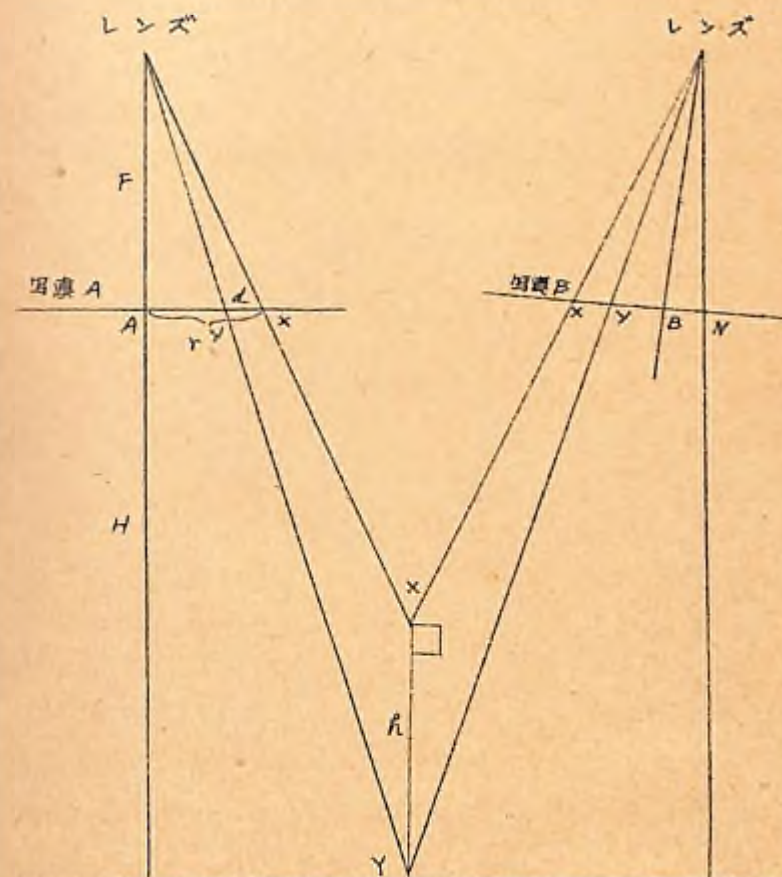
鉛直点 *Nadir*

鉛直点(N)はレンズの中心を通って地面に立てた垂線と画面との交点である。厳密に垂直な写真(写真A)では、原点と鉛直点とは一致する。所謂垂直写真は、幾らかの傾きを持っている(写真B)鉛直点と主点との隔りは、傾きの測定である。しかし、鉛直点を決めるには時間がかかるから、普通は、写真は厳密に垂直であり、測定値は全て原点から測定出来ると仮定する。傾きが、2°~3°以下であれば、この様に仮定しても、重大な誤差は起らない。これについては、後を説明する。

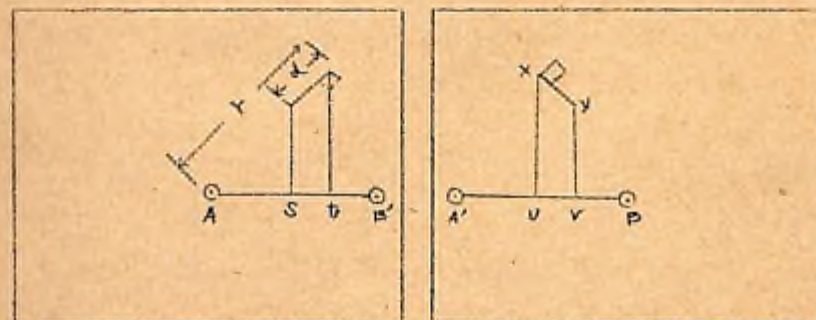
共轭主点 *Conjugate principal points*

隣接写真と60%の重複があれば、主点基準に於いて、写真B上に写真Aの主点を複写することが出来る。これは共轭主点(本図のA', B')として知られている。

断面 図



平面 図

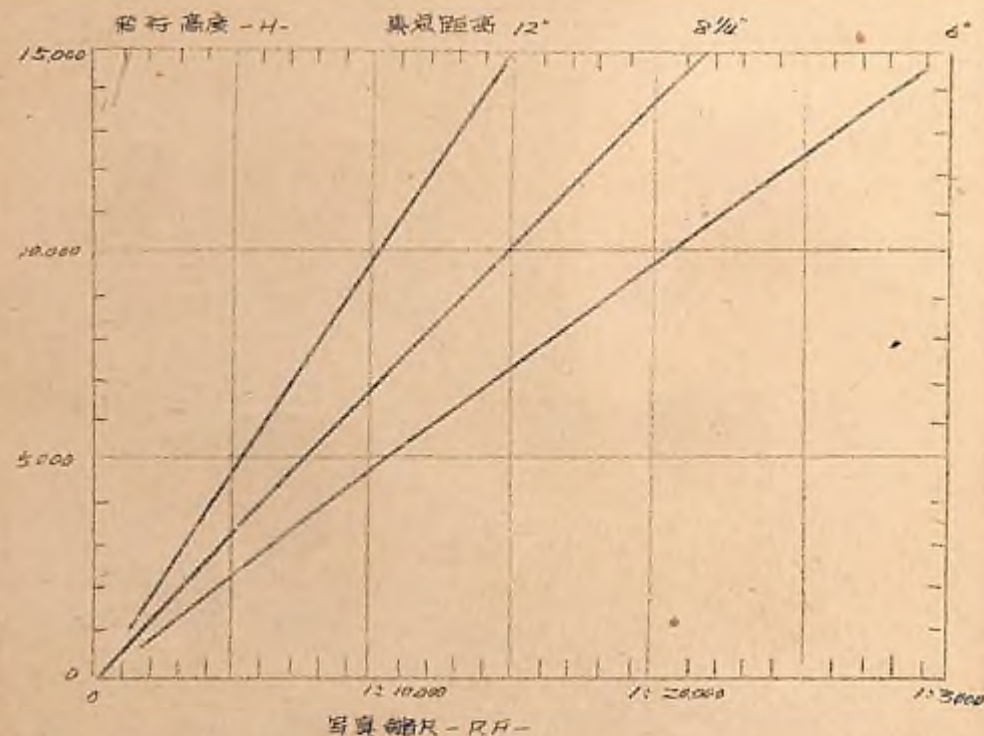


本図 実体対の幾何学的関係

主点基線 *Flight line*

主点基線は、重複写真の主点と共軌主点とを結んで、重複地画の上を次められる。

偏移 *Displacement*



34 標準的焦点距離での縮尺 (RF) と飛行高度との関係

高さのある地物は全て (例えば24の旗竿) 偏移のため鉛直点から外側に向って傾斜している。竿の頂 (X) は基部 (Y) の真上にあるにもかかわらず、写真の中心から離れた機に見える。一般にどの様な高さの高地も、その真の地図上の位置より、主点 (もつと正確には鉛直点) から離れて表われる。一方凹地は、その真の地図上の位置より中心に近い方に表われる。この偏移が、二枚の重複

写真を実体鏡で見た時に、実体像の得られる原因である。

これは、誤差の主因となるから、航空写真から地図を作る際には取除かねばならない。

航空写真では旗竿や大樹の様な地物の頂部と基部がはっきり見える場合には、一枚の写真上でその偏移を測ることにより、高さを決めることができる。

$$h = \frac{dH}{r}$$

h : 地物の高さ、即ち24のX、Y間の距離

d : 写真に写った地物の偏移量 (Xy)

H : 地物の基部から測った航空機の高さ

r : 地物の頂部から写真の中心までの半径

(XA 或は XB、写真によって違う)

一枚の写真上で偏移した映像の頂部と基部をはっきりと観ることは難しいから、実際には、この公式の適用は制約を受ける。

視差 *Parallax*

普通、標高或は地物の高さを求めるには二枚の重複写真に写っている同じ地物の二つの映像の偏移組合せが使われる。これは視差差と呼ばれる。写真の中心から測った与えられた点の主点基線に平行な偏移組合せが絶対視差 *absolute parallax* (P) である。旗竿 (24) の基部の絶対視差は SA と VB の距離の和である。旗竿の頂部の絶対視差は TA と UB の和である。傾きがなければ、海表面から同じ高さにある地物は全て、絶対視差は同じである。

二つの絶対視差の差を視差差 (dP) *Parallax difference* と呼ぶ。旗竿の頂部と基部の視差差は TA、UB の和から、SA、VB の和を引いたものである。簡単にすれば、ST と UV の和である。

あらゆる地物の高さは視差公式 *parallax formula* から求められることができる。この式は樹高測定や地形図作製の基礎となるものである。

縮尺 Scale

垂直写真では、縮尺の基本公式は

$$RF = f / H \quad (f: \text{焦点距離}) / H \quad (H: \text{基準面からの距離高度})$$

f, H は同じ単位で測らねばならない。焦点距離は普通 $8\frac{1}{4}$, 12 吋 ($0.5, 0.6875, 10$ 呎) である。

この公式は3図にグラフで示してある。

H は地面の高さであるから、垂直写真は地面の高さによつて縮尺が違っている。したがつて写真は特定の地面高、或は基準面に対して特定の縮尺を持っているに過ぎない。地上における距離が分つておれば、縮尺は次式で計算出来る。

$$RF = (\text{二点間の写真上の距離}) / (\text{同じ二点間の地上距離})$$

どちらの測定値も同じ単位でなければならぬ。(呎又は吋)。
建築用地図が利用出来るは、写真縮尺は次式で計算出来る。

$$RF = \frac{\text{写真上の距離}}{\text{地図上の距離}} \times \text{地図のRF}$$

例: 二点間の写真上の距離が3.6吋、地図上の距離1.2吋、地図の縮尺、1:62,500 であれば

RF は

$$RF = \frac{3.6}{1.2} \times \frac{1}{62,500} = \frac{1}{29,167} \quad \text{即ち } 1:29,167$$

起伏の多い地方では次の方法を使う。

1. 基本地図と写真上に正確に定められる二点を送り、写真の傾きによる影響を最少にするため、主点から、略等距離で、対象的な位置にある様に送り。

2. 上記の公式から縮尺を計算する(地上距離は既知とする)

例: 写真上の距離4.0吋、地上距離5,000呎、即ち60,000吋とすれば

$$RF = 4 / 60,000 \quad \text{即ち } 1:15,000$$

3. この二点の既知の平均高から、公式 $RF = \frac{f}{H}$ を使って、この

基準面からの高さ H を求める。

例: 二点の海面からの高さは、夫々450, 呎、500呎である。平均海面高は500呎である。

焦点距離を $8\frac{1}{4}$ 吋 (0.6875 呎) とすれば

$$\frac{1}{15,000} = \frac{0.6875}{H}$$

飛行高度は500呎の基準面から10,312呎、海面から10,812呎である。

4. 任意の基準面に対する縮尺を計算する。

上例で地上高1,187呎に対しては、

$$RF = \frac{0.6875}{10,812 - 1,187} = \frac{0.6875}{9,625} = \frac{1}{14,000}$$

面積 Area

点格子板が所定の精度を得るに必要な点密度 dot density をもつておれば、面積はサンプリングで正確かつ低い費用で測定される。フォーメータトランセクトによる測定器も使われる。

面積は地図で、最も正確に測定出来る。航空写真を直接使えば、写真縮尺が変化しているため、高地に対しては過大、低地に対しては過少の面積を与えることになる。起り得る誤差を充分に理解して、これを考慮に入れてない限り、起伏の多い地方では、写真上と直接面積を測定してはいけぬ。修正モザイク写真は、平面図の調製に使われる方法と同じやり方で作製されており、面積を決めるのに使える。

傾斜 Slope

高さの分つてゐる地物による推定 Estimated by reference to object of known height

現場の経験から、大体90呎の平均樹高をもっている成熟優勢木を、大抵の場合、写真判読者は写真上で識別出来る。その場所を実体視している時、垂直方向の勘指として、この木を使えば、AはBより、この樹の約3倍位高いと推定する。A、B間の地上距離が、15000呎であれば、傾斜は18°であることが示される。

傾斜の分っている斜面による推定 *Estimated by reference to slope of known steepness*

海抜高が分っているか、それを求めることの出来る二点を抽き出す。双方の写真上で、この二点を直線で結ぶ。実体視により、この線の見掛けの傾斜を推定しようとする。A、B間の見掛けの傾斜と比較出来る。前者の傾斜は計算出来るから後者は比較により推定出来る。

立体模型の上におくか、実体視するときには、10, 20, 30% の傾斜をしている三本の線の示してある傾斜視差標を使う。標は透明質のものに印刷してあるから、実際の地面の傾斜は三つの既知の傾斜と同時に比較することができ、地面の傾斜の程度が推定出来る。

写真による傾斜の正確な測定法 *Accurate photograph measurement of slope*

傾斜を正確に測るには次の様にする。

1. 実地視を慎重に標定する。写真が動くのを防ぐため、鉄線はテープで留める。
 2. 呎単位で二点間の距離を計算する。
 3. 斜面の頂上と基部の絶対視差を測る。
- エンシニヤールールを使って、一枚の写真上の映像点からもう一枚の写真上の同じ映像点までの距離を0.01呎単位で測るのが、最も簡単な方法である。大抵の主点間の距離からこの値を引けば、直接

絶対視差を求める。

実体視を使つても、使わなくても、視差標或は視差棒を使えば、より正確な測定値を求めることが出来る。

4. 視差公式を使つて、二点間の高さの差を計算する。

5. 二点間の水平距離で、この高さの差を割り、100倍すれば、傾斜の百分率を求める。

樹高 *Tree heights*

単一偏移法 *Single displacement method*

この方法は一枚の写真を使うことが出来るが、この木が、大縮尺の垂直写真の間接部にある場合に限られる。木の梢頭と基部がはっきりと見えなければならぬ。この方法は垂直写真の値に限られるが、傾斜角が鉛直線の位置がわかっておれば、大縮尺の斜写真にも使える。

測影法 *Shadow length measurement*

影の長さを測ることは易しいが、多くの変数が結果に影響するから、精度は低い。撮影時における太陽の仰角がわかっていなければならぬ。これは、緯度、撮影の時刻、日付けから計算する。

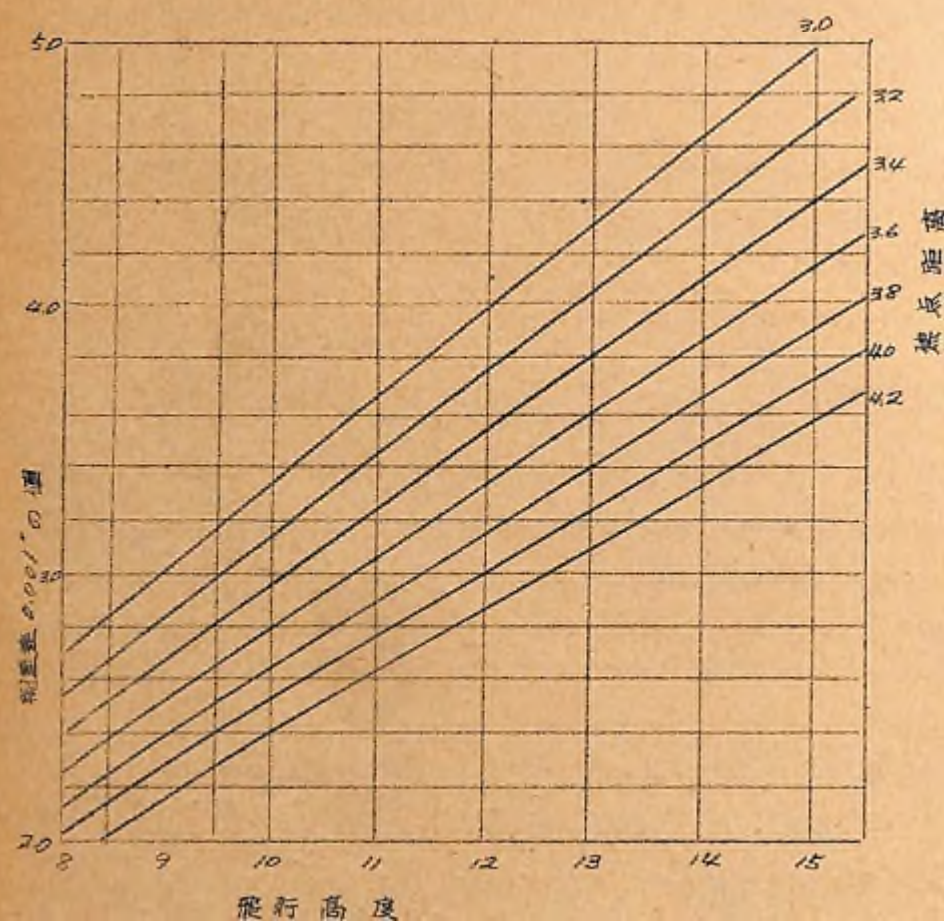
視差法 *parallax method*

これは最も満足のゆく方法であるが、かなりの訓練と実地経験を必要とする。これは視差式から求められる。

$$h = \frac{H \times dP}{P + dP}$$

地物の高さ(h)、地物の基部からの飛行高度(H)は呎単位、絶対視差(P)と視差差(dP)は呎単位である。この公式のグラ

つによる解が4図に示してある。



4図 視差式の図形的解

基線長法 Base length

基線長く実体対を成す二枚の写真上の主点と共軛主点間の平均距離—ス図における AB' と $A'B$ との平均—が絶対視差の代りに使われることが多い。しかし樹木の基部の地面高が、主点の地面高と数百呎以上も違っている時には、次の様な一般的方法を使う。

1. 共通の主点基線が一直線となり、映像が実体視できる距離、は

なれている様に、実体対を傾直に標定する。

2. 0.01 吋単位で二つの主点間の距離を測る。

3. 二枚の写真上で、樹木の基部或はその近くにある対象する画像間の距離を測る。

4. 樹木の基部の絶対視差を求めるため、2) から 3) を引く。

5. 視差差を求めるには、視差楔、或はその他の浮標装置で測る。二三の方法が利用されている。実体鏡を使わないで、そのまゝ物指として、視差楔や視差棒を使う方法が一番簡単であるが、精度は劣る。

まあ上記の 2) ~ 4) までの技法で、樹木の基部の絶対視差を測り、次に梢頭の絶対視差を求めるために、このやり方を繰返す。この読み之差が ΔP である。実体鏡のちとで、視差楔を使うのが最良の方法である。実体鏡を通して傾き、地平面と、その高に相当する処で離れている。一本に結合した点線を観察する。

点が二つの標に分離している。梢頭と同じ高さの点と地平面における点との間の点数の差を数えれば、直ぐに視差差が求まる。

6. 公式或は4図から樹高を求める。

例 飛行高度は 13,400 呎、地面は水平、基線長くこの場合には、樹木の基部の絶対視差に等しい。) は 3.50 吋である。視差差は 0.015 吋である。図によれば ΔP の 0.01 吋は 3.8 呎の樹高に相当するから、この樹高は 57 呎である。

公式を使えば

$$h = \frac{13,400 \times 0.015}{3.50 + 0.015} = 57.2 \text{ 呎}$$

写真が大縮尺のものであり、樹像が鮮明で地面と梢頭とがはっきり見えるならば、視差法により、5~10 呎の範囲で樹高が求められる。この条件にかなった木だけを測り、この測定値を同じ実体像の中にある。他の樹高の目測の基礎として使えば、最良の結果がえ

られる。

樹冠直径 Crown Diameters

樹冠直径は測微尺付の測定器を使って、拡大鏡(例えばレンズ実体鏡)のちきで直接測られる。測微標(0.001 吋までの小さな隔を測ることが出来る。透明板上に書かれた二本の又線)や板状標(樹冠の大きさと比較するため、色々な大きさの点を書いてある)が普通使われている。吋単位で測った写真測定値を呎単位の樹冠巾に換算するには、写真縮尺(尺/吋)の分母をノズで割り、これを測定直径に掛ける。

林分密度 Stand Density

樹冠測定法 Crown Counts

樹冠測定法は、個々の樹冠が実体像ではっきりと区別出来る林分に限り使える。1/5 エーカーの面積又はこれと同じ円内の樹冠数をかぞえる。起伏の多い地方の写真縮尺の改定は考慮しなくてよい。

るっぺい度法 Crown closure

これは、航空写真による林分密度の測定に一番多く使われている。普通、10%単位で、目測により推定する。有用な写真判読補助装置として色々な形の疎密度測定尺がある。

航空写真による地図の作成

Map Making from Aerial Photographs

一般の原理 General Principles

写真は地図ではない。地形の起伏、傾、その他の要因により映像は偏移している。その上、一枚の写真に写っている面積は比較的狭いから、地図を作成するには、多数の写真を集めねばならない。地図の作成は二段階からなっている。(1) 照査線網の作成—これは普通写真三角測量で行なわれる。これによつて色々な写真を一つの体系に集めることが出来る。(2) 写真から照査線網に細部を移写する。

放射線法 Radial line triangulation

厳密に垂直な写真では、像の偏移は直接に主点から外側か、内側の方向に起つてくる。

即ち、写真上の実の真の位置は主点から像を通つて引いた放射線に沿つて存在している。三角測量に使われる方法によく似た放射線法を使えば、この放射線の交点から照査線網、さらに完全な地図さえ調製することが可能である。この原理の簡単な応用は現場で使うのに便利である。

一コースの写真的集成 Assembling a series (strip) of photographs

一コースの写真的集成は次の様に行う。

1. コースの写真全部の主点と共軌主点とを定める。両端の写真には共軌主点は1ヶであるが、他の写真には2ヶの共軌主点がある。
2. 主点と共軌主点を結んで主点を結んで主点基線を引く。
3. 版面の平のなものの上に一枚の写真を固定する。
4. 共通の主点が見合う様に、重ね写真を重ね合せ、固定する。
5. コース全体が固定されるまで、この手順を繰返す。この結果

主奥の標高で計算された、略平均の縮尺に集成された一本の写真の帯が出来上がるであらう。

実地対による図解 *mapping by resection from a stereo pair*

農用地、伐林地、その他一組の重複部分に含まれている地域については、一組の実地対による射線法は次の様に行える。

1. 主奥直線が完全に一直線となり、二つの共観奥 (A' , B') 間の距離が、両写真の主奥と共観主奥間の距離 (AB' と $A'B'$ の平均) に等しくなる様に両写真を固定する。

2. 大切にしたい トレーシングペーパーをその上に重ねる。

3. 写真Aに対して、主奥から、地図で必要な地域の角や境界線を通って射線を引き。

4. 写真B上の対応する像について、この過程を繰返す。

5. 対応する線の交点が、その奥の地図上の位置を与える。この様にして定めた、二つの奥を結んで行けば細部が描写される。

この結果得られた地図は、写真の偏移による誤差を受けておらず、その縮尺は、主奥で計算した写真の平均縮尺の3倍となるだらう。(4Bは AB' と AB の平均の3倍であるから) この縮尺は二つの写真の間隔を度えることには変えうるが、上述の手法は、写真縮尺の2倍以上の地図を作る場合に適切であるに過ぎない。

細部の平面図複製 *Planimetric detail*

細部は概略の基本図、或は位置の分つている奥細に写真から移写しはければならない。

これは、地上測量か、航空写真による射線法で調製される。

一枚のプリントによる移写法は、費用がかゝらず、迅速かつ作業が簡単であるが、使われる写真の偏移による誤差が全部地図の中に入ってしまう。しかし誤差は、射線照査網 *radial line control network* により局限されたものになる。普通、二つの型の装置が使われている。(1) 透視写真法が使われる以外は、カメラ式引延器と同じである反射装置 (2) 半分が透視になつていられる鏡を

利用している スケッチメーターやレクトプロラグラフの様なカメラレシダ装置

実地図化装置は比較的費用がかさめ、操作も難しい。しかし像の偏移による誤差の大部分又は全部が除去され、起伏の多い地方の図化にはこれがすゝめられる。簡単な型式のものとしては (1) *Keil platter* の様な機械的射線プロット装置や (2) *Multiscope* の様な実地カメラレシダ装置が含まれる。

器械がなければ (1) ライトテーブルで移写するか、(2) スケッチ (3) パントグラフ (4) 図解射線法で説明した、二次交点法の写真上の細部は移写出来る。

地形の細部測量 *Topographic detail*

標準写真光学テキストによれば、正確な方法では、1~20呎の間隔で等高線を描くことが出来る。地貌図 *form line* 或は50~100呎間の等高線で大略の地貌をスケッチするには次の様にする。

1. レンズ、実地鏡で調べるため、写真を標定して固定する。
2. トレーシングペーパー又は移写板を右側の写真上に重ねる
3. 実際の奥の点で、トレーシングペーパー上に既知の標高を記入する。
4. 実地の観察により、地貌線を描写する。

写真の傾は、実地鏡全体を傾斜させていることを心に留めておく。湖岸や鐵々かに曲つていける河川は、実地鏡の見掛けの傾斜とは無関係に実際に水平であるか、或はそれに近いことを腹に入れて、これを吟味する。

地上奥を写真上に定める方法 *locating Ground Points on the Photograph*

写真で地図を調製する場合、所有地の境界、小池、小建築物、その他写真上で識別出来ない特徴の正確な地図上の位置をしめしただけことが出来る。例えば、林班の角が密生林林にあれば、その角を定める時、判読者が現場に写真を携行しておつてさえも、写真上で、

その正確な位置を決めることは不可能である。

しかし、普通には、林班角の略々近くに写真ではつきりと認めうる点が存在する。判読者は現場で林班角を定める一方、この写真上で識別しうる点を正確にマークし、角からの方位、距離を決める。内容において、この識別しうる点の地図上の位置を標準的な写真光学手法でプロットし、林班角や必要な点の真の地図上の位置を現場でもとめた方位、距離を使って見出す。

航空写真による 林分の分類 *Stand Classification from Aerial Photographs*

一般的原理 *general Principles*

林相、大きさ級、疎密度級、地位級による林分の分類は、林相図の作成や森林調査に航空写真を利用する場合基礎となるものである。

森林写真判読者は、その地方の森林状態を熟知している、林業技術者でなければならぬ。

幾度も、彼の写真判読結果を、現地で照合してみることが望ましい。ステレオグラムと記号の森林状態を實體観出来る様に貼付したもの、やその他の補助手段は役に立つが、専門的な訓練や現場の経験によって代ることは出来ないだろう。

林分の分類は、実体鏡、出来れば拡大鏡付のもの（レンズ実体鏡、又は鏡実体鏡に双眼鏡を取り付けたもの）で行なうべきである。

航空写真でなす林分の分類は地方の森林状態と手元にある写真の性質によって決めるべきである。要求される程度が、写真判読者の能力を越えたものであれば、その結果生ずる分類の誤差は、写真の価値を損なってしまう。これに反して分類の程度が余り漠然としたものであれば、正確な航空写真で行えることを、高価な現地調査で行うことが必要となるために、費用は増す。品質の悪い小縮尺の写真では、林地と非林地とを区分するのがせい一杯である。比較的にくわしい区分では、三つの大まかな林相（針葉樹林、広葉樹林、

混交林）と三つの大まかな大きさ級（用材林、小丸太林、薪林）が識別される。

中庸の縮尺と品質の写真では、林相、樹高級、疎密度級に、林地を区分できる。定義および範囲は、地方の森林状態と要求度によって違う。簡単な図化における、題目に対する記号の規足は、出来れば、仕事中に適宜に依る代りに、前もって、簡単な記号を作っておく。写真による細かな区分は、品質の大縮尺写真に譲られる。大抵の林相、樹高級、疎密度級は識別出来る。材種は、実体鏡で評価出来ない。幾多の因子の影響をうけているから、写真判読のためには、材種によるよりも樹高や密度による林分の分類の方が良い。

しかし大部分の林業技術者は、実際の立地から、材種級を写真による区分の基とした方が良いと考えている。

区分を始める前に、識別される森林の最小面積を決めておかねばならぬ。色々な林木が含まれている地方の詳細な調査では、林分或は林相単位に対してノイエカー、小さなものではノイエカーを使う必要がある。林木が大量にわたって一様な場所では、ノイエカー以上の最小面積を使つてもよい。全ての森林級について面積統計量が比較出来る様に計画毎に基準となる最小面積を使う。林分が実際に境界が定められておらうと、適宜に図化されおらうと、後述する写真によるサンプリングで単に区別されるだけであろうと、これを適用することが出来る。

写真によるサンプリングでは、重要でない林分に落ちた点の標本は、その点の近くの主要林分の内容に準じて区分される。もし識別出来る最小面積がノイエカーで、ノイエカーの大きさの用材林地にあるノイエカーの標本と点とが落ちた場合、この点は用材林として区分する。

樹種および林相の判読 *Species and Type Identification*

十分な晴天の復原の写真を実体観すれば、大部分の樹種、林相は分類できる。しかし、航空写真では、その他、2,3の分類を行うことが出来る。

あらゆる条件で満足ゆく樹種、林相分類の唯一の鍵をひきだすことは出来ない。特定の写真の証に適用されるその地方についての知識に、分類は基づいておらねばならない。

写真判読の知識は、鍵の例(後述)とステオグラム(既知林相の実体写真が貼付してあるもの)から得られる。

次に示す Chascl と Karsten の本発表の研究からの引用文は、良いガイドとなる。

林相分類のための鍵の例

I. 高地砂変土壌(一般に平坦か砂丘状)

A. カシ-樹冠の明るさは非常に明るく、かなり硬く、一般に梢頂部は円形や波状をしている。疎開地に生育し叢林となつて居ることが多い。影は非常に暗い。乾地に生育している。落葉性のカシは舌苔の様にみえる。

B. トネリコ-樹冠は非常に明るく、外観は不定であり、繁茂した景観は斑状にみえる。短期間とはいえども、固定されてはいる。かすんでみえることが多い。

C. ジャフバイン-樹冠は非常に暗く、一般に尖状である。暗い陰影をもつものに較べれば中庸である。一般に斑状又は散生している。疎開地に生育しているものを除いて樹冠は円形。樹冠直径に較べて、樹高はかなり高い。

II. 高地肥沃土壌(一般に丘状で排水は良い)

A. 北方系広葉樹-個々の樹冠は明るくものから中庸の色調のものまで変つており大面積では、まだら模様をしている。樹冠は大きく、はつきりしており、規則的な凡みをもつており、斑状或は舌苔状の外観をしている。疎開地のものは陰影

は非常に暗い)は極めて規則的である。樹冠は広く、樹高は適当である。

写真判読依頼にヒリかゝる前に、慎重に観測を行い、この様な鍵を細心に準備しておけば、幾多の微細な差異が判明し、これによつて正確な判読が行える。後で表はされたこれらの観測値は現地で実体観を使つて調べられる。

分類に使う基準 *Criteria used in identification*
樹種、林相区分の基本前基準を林業技術者に役立つ順序に並べれば、

背景に関する情報、地文学、色調、感融、形状、大きさ、ラフ申度、陰影である。

背景に関する情報 *Background information*

一組の写真で、樹種、林相の区分を始める際、写真の性格を念頭において、まず第1にその地域や森林の一般的外観を観察する。写真の形、縮尺、縮尺の変化、カメラの焦点距離、月、日、撮影時刻のほし、読み付けのための欠失、高度の変化を知つておらねばならない。覆の中で、実体像を地とでみられるイメージと結び付ける。こうすれば全てのものが測れる様になり、これによつて多くのものを吟味することができる。

地文学 *Physiography*

実体観を使えば、地形や流域は比較的簡単に分類出来、誤差に対する要求度、高山限界に基づいて、樹種林相区分の手堅な基準となる。

色調 *Tone*

色調は大抵の写真の組で変つており

一枚のプリントで変化していることさえある。これは、陰の部分や陰影から実体的に区別される。樹冠の明るい部分の暗さの程度と関係がある。例外はあるが、砂地および草肥は明るく灰色、広

広葉樹は一般に普通の灰色、針葉樹は暗灰色さらに黒色に与る傾向がある。光線的大部分がカメラに何つて反射しているから、望遠写真の南、南東、南西側は太陽から照らされている個に較べていくらか暗い。上部林冠を構成し、大きな平滑な葉を持つ木や密生した木々林分では大部分の光線を反射するから、色調は明るい。

質感 Texture

樹冠の質感は樹種、大きさ、疎密度によつて非常に変化している。整一な同令林におけるマツやトネリコの様に梢頭の小さな樹種では、細粒状の様な質感をしている。正常蓄積の北方系広葉樹は、大きな円頭形の樹冠をもっており、林分は異令林構成となつていゝから、それのある質感をしている。

形状 Shape

樹冠が余り小さくないか、孤立してゐる場合には大部分の成熟木の樹冠の形は有効な比率となる。裸地に投ずる影の形もそれに立つ。大きく広がった梢頭の木は、巨大な広がった枝のあることを示す。

京都産ホウソウパインは規則的な枝の輪を示し、トウヒ、ミミは正確に左右対称の輪、立体的に左右対称形をしている北方系ホウソウパインは、二つの同心円としてみえることが多い。

大きさ Size

大きさは、樹高と樹冠直径を含んでゐる。樹種によつてはその位置が、平均的林冠面の上にあるか下にあるかによつて識別される。樹高対樹冠の比も示されることが多い。

うっ閉度 Crown closure

樹冠の疎密度は、色調、質感、大きさ、陰影に影響する。極圧

に対する、個々の樹種の反響力は、これらを識別出来る特性を与える。時には、個々の木の樹冠の密度に特長の、あることもある。薄手の葉の樹木は、実体像ではその樹冠から透つた様に見える、その外観は早期に落葉するものを連想させる。

陰影 Shadow

樹冠がこんもりしてゐる程、陰影の部分は大きく黒ずんでゐる。陰影は色調や質感と関係のある重要な因子である。

地位区分 Site Classification

航空写真によつて地位を分類出来る程度はまちまちである。地位が、地形的位置と密接な関係のある地方を、老令木がやはり優勢を保つてゐる地域では、写真からかなりの情報を求めることが出来る。伐跡地や、起伏の少ない土地では、航空写真による地位区分は、かなり巾を以て限定される。

一般的方法 general approach

基本的には、地位は、土壌、地形、地方的気候の反映したものである。したがつて、最初に、これらの因子についで利用出来る全てのデータを集め、地位の指標となるこれらの因子間の関係を調べる。ことが望ましい。地位の指標となる因子が、常に写真とで区別出来るかどうかを知るために現場で実体視して写真を調べる。この方法は各地位級の代表的な場所に限定される。特に相対的な地形的位置と植生の外観とを観察する。

Drainage

山と谷が交互に繰り返れる典型的な林地では、降水量や排水量に關する因子は、斜面上の位置と関連して規則正しく配列した地位を依りだす傾向がある。故郷では地下水面 water table

は土壌表面と一致するか 或はその上にある傾向がある 土壌は深く、細くなり、植物の生育に不可欠の鉱物質に富み蒸気になるが排水や通気の悪いことが多い。巖嶺沿では、地下水面は低く、土壌は深く 肥渾ではない。山頂部は 山麓より極端な気候的変化をうけることが多い。北東面は 南、西面の斜面に較べて 湿気も多い。

航空写真による地位区分は 基本前には次の項目から成つてゐることが多い。山頂、斜面上部、斜面中央部、斜面下部、平地。実体像で対象物の見掛けの高さが誇張されることは この分類の助けになる。この一般の規則に対して 多くの地方的例外がある。例えば 凍結した地方の低地に 乾いた砂質の浸蝕面が存在すること等である。

植生の外観 *Appearance of Vegetation*

植生特に老令株相が優勢を占めてゐる 植生の外観は 地位分類の有用なガイドである。普通 優勢木が成熟期に達する樹高は地位に正比例してゐる。実体観によつて相対的樹高を判断すれば充分である。

指標的樹種 *Indicator species*

場合によつては ある地位にだけ生育する傾向があり、さらに写真で識別できる 指標的樹種が存在する。与えられた樹種については 地位の低い所では悪い所より 樹高が高くなるという理由から 別のガイドとしては樹冠直径対樹高の比がある。最低の地位は 航空写真上も 極めて簡単にみいだされることが多い。低い地位を示す因多としては用材広度の低いこと、全林木広度の低いこと、樹高の低いこと、優勢木がえが形は円頭形となり葉はまばらになつてゐること、瘠弱な土壌を示す岩石の露出、悪い地位に特有な樹種の出現等である。

訓練の補助手段

価値のある訓練の補助手段としては次の様なものがある。写真とで識別し得る特徴をまず各地位毎に系統的にセットし図形に使われるのと同じ内容の写真上に各地位のうつつてゐる実体対(ステレオグラム)を重ねることである。

内業における図化 *Office mapping*

地位図を内業で図化する時には 直接写真上に その境界を記入する。鍵、ステレオグラム、時々行う現地照合の結果と関連させた実体的研究に その判断は基かいてゐる。

最終的な現地照合 *Final field checking*

写真による地位区分の精度を決定するには 無作為に選んだスポットで照合してみることが必要である。必要とされる地位区分の程度が写真判読によつてえられるものを越えており、現地で最終的な細分をしなければならぬことが多い。

航空写真調査と地上調査の組合せ

Combining Aerial Survey and Ground Survey

一般的原则 General principles

航空写真調査と地上調査とを関連させるには次の様に行う

1. 航空写真上で林分をクラスに分類する
2. 航空写真から採った林分地図或は写真上で直接サンプリングをすることにより 各クラスの面積を決定する。これらの林分の写真による分類は 無作為に現地調査することにより 確かめられ、次に航空写真による推定値を適当に調整する。
3. 上記の情報を基にして 各クラスにおいて、地上でとらぬはならないプロット数を計算する。
4. 現地プロットを設ける地帯は無作為法で航空写真上に定められる。
5. 航空写真による分類で認められた 各クラスのエーカー当り平均面積を決めるため標準的な方法で、この現地プロットを測定する。

図化による面積の決定 Area Determination by mapping

起伏の多い地形のあらゆる場合や、森林地図が必要とされる特殊な場合には 森林クラスの面積は次の様にして決めるのが一番良い。

1. 森林クラスの境界が記入されている写真を望み出す。これは実体写真のどちらか一方の写真である。
2. 選ばれた写真全部について 目立つた場所或は中心の場所をマークし、重複写真に共通な箇所を使って一方の写真に対応す

る線を描く。矩形に近いものが選ばれた写真全部について描かれる。これは細部を重複させずに目的とする地域を一方の写真から他に図化するための道具となる。

3. 予備的な写真判読に必要な実体的研究のため 隣接写真全部を使って 選ばれた写真上で、全ての森林クラスを分類し、記号をつけ、その境界を記入する。

4. 調査で要求される全ての細部を求めろるのに必要だから、写真上の情報に注意しながら現地でも写真判読結果を照合する。この照合は出来る限り写真判読者自身が行うべきである。このため、その後の作業は一層正確になる。

5. 現地標識、道路、河川、その他写真、地図の双方に共通な地形的特徴等の調整用の地物を利用して 森林クラスのデータを写真から地図に転写する (境界および記号)

6. 各森林クラスの面積を計算する。

写真上のサンプリングによる面積の決定

Area Determination by Photograph Sampling

(1) 森林地図が必要でない。(2) 調査単位の実体的な面積が分つてくる。(3) 写真縮尺による面積推定値の偏りが若干程、地形がなだらかなのである。場合には 写真上のサンプリングは 面積統計量を求めるには 正しい方法である。そのやり方は次の通りである。

1. 調査単位内に落ちる 標本の item (英) の最小数を予め公式で決める。

$$N = \frac{P(1-P)t^2}{AE^2}$$

P: 森林クラス又は特定のクラスの面積割合の推定値

AE : 小数で示した許容誤差

ϕ : 推定値に対する信頼度で変る 常数

例 : 調査しようとするものが 用材林の面積であるとしよう
このクラスの面積百分率の適当な推定値は 25% である。許容誤差 0.005 でこのクラスの面積割合を決定したい。さらにこれは 20 回に 19 回の割合で出現する必要があるとすれば $\phi = 1.9$

$$N = \frac{0.25 (1.00 - 0.25) (1.96)^2}{(0.005)^2} = 28,812$$

割合 P の最良推定を使つて 他の森林クラスについてこの計算を繰返す。使用すべき点の数はどのクラスに対しても非常に大きなものになる。

2. 指標写真或はモザイクで面積サンプリングを行うのであれば
その上に重ねた時 少なくとも必要な数だけは調査単位内に落ちる様に 適当な間隔で配置した点列のある透明板を作る。一般にサンプリングが全面積という様な単純な item を対象としたものでない限り 実地視する時には 一枚一枚の写真を使う方が好ましい。又その必要がある。中心部が調査単位の境界域に落ちる大略の写真数は 指標写真或モザイクから決定される。

3. 適当な点の配列(系統或はランダム)を選び、透明板の上にテンプレートの形に印し付けをする。必要な点の総数を 調査すべき写真的数で割れば テンプレート上に定めるべき点の数が示される。この数を整数に丸める。テンプレートは写真の大きさより幾分大きくする。しかし点列は 大体 $4\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2}$ 吋の矩形の範囲で テンプレートを中心部に集める様にする。この様な点列(写真の有効面積の平均より小さい)を 点列の長軸が主軸線に垂直になる様に写真上に置いた時隣接した重複写真を使う場合 重複が最大であつても同じ写真上の細節を 二重にサンプリングする様なことは起らない。

例 調査単位の一標本について 総計 28,800 の点が必要で

あり、実地視の際 中心部に調査単位のある写真は 大体 1/100 と仮定する。したがつて 一枚の写真当り $28,800 / 1,100$ 即ち 26.2 点が必要である。まるめれば 一枚当り 27 点が必要である。各線が 1/2 間隔の 9 点からなつて 1 時間隔の三本の線に 規則的に点を配列させることが出来る。

4. 点格子枚を逆に写真上に重ねる。どの写真についても 同じ方法を標定するため 基準線画の位置をテンプレートの上にマークしておき、これを標定に使う

5. 面積が推定したいとか、判読されている森林クラスや土地クラスの 写真上の部分に落ちた 点数を記憶する

6. 或るクラスとの ものとして記憶された点の総数と、その調査対象に落ちる点の総計との比に 100 を掛ければ、そのクラスの土地の百分率が求まる。

例 調査地全体に落ちる 最終的な点の総計は 29,400 であつた。(若干の点は 境界が両方にまたがつて いる写真上の対象物の境界の外に落ちるから 1/100 枚の写真全部に 27 点を割り当てたとしても 計算された数と期待数とは同じものではない)

航空写真とで 29,400 点又はプロットを調査した結果 6520 プロットが用材林、18400 プロットが小丸太林 4400 プロットがその他の林分に落ち 全体の面積 (A) は 835,400 エーカーであるとする。

写真で分類された各クラスの面積は

$$\text{用材林} : 835,400 \left(\frac{6,520}{29,400} \right) = 185,459 \text{ エーカー}$$

$$\text{小丸太林} : 835,400 \left(\frac{18,400}{29,400} \right) = 523,796 \text{ エーカー}$$

$$\text{その他} : 835,400 \left(\frac{4,400}{29,400} \right) = 126,145 \text{ エーカー}$$

この決定値が正確なものであるとすれば抽出誤差は次式から計

算出来る。

$$E = \sqrt{\frac{P(1-P)}{N}}$$

用材クラスでは 誤差は

$$E = \sqrt{\frac{(0.222)(1-0.222)}{29,400}} = \sqrt{0.000,005875} = 0.00242$$

即ち $P(0.222)$ の 1/1% である。

現地照合による航空写真面積推定値の修正

Adjustments of Photograph Area Estimation following Ground Checks

踏査の場合を以て 写真プロットの何%かは 現地で照合してみなければならぬ。これは各クラスのエーカー当りの平均材積が自動的に 現地プロットから決定される場所を要するが、面積推定だけが必要であれば 余分な操作が含まれることになる。

通常、写真判読結果を修正するため 凡番目毎(100 番目或はその倍数)の誤を現地で照合する。各クラス毎に最小限 20, 30 出来ればそれ以上の誤を照合する必要がある。この現地照合は写真による面積推定値を修正する基礎となるものである。

僅かなプロットが現地で照合され、変更されるものの多いことが分れば 修正された面積は、はるかに大きな抽出誤差を持つことになるだろう。

次の例は 修正面積、およびその誤差の計算法を示す。

例 前の第2の例で 用材林クラスで50プロット、小丸太林クラスで100プロット、その他のクラスで40プロットが現地で照合されたと仮定する。現地照合の結果 用材林プロットの

90%(50中45)、小丸太林のプロットの20%(100の中20)その他のクラスのプロットの10%(40の中4)が用材林であることが示されたとする。用材林面積推定値を修正する必要のあることをこのデータは示している。これを行うやり方を次に示す。

写真による分類	写真プロット数 N_i	割合 P_i	プロット数		用材林の割合	
			現地プロット n_i	用材林 n_{si}	P_{si}	$P_i P_{si}$
用材林	50	0.222	45	45	0.90	0.1998
小丸太林	100	0.627	20	20	0.20	0.1254
その他	40	0.151	4	4	0.10	0.0151
計	29,400	1.000				0.3403

用材林の修正された面積割合($\sum P_{si}$)は0.3403で次式から求められる。

$$\sum P_{si} = \sum P_i P_{si} \quad (\sum \text{は和を意味する})$$

用材林の面積は

$$A_s = A \sum P_i P_{si} = (835,400)(0.3403) = 284,287$$

修正面積の誤差は次の方程式で求められる。

$$E_{AS} = A \sqrt{\sum \frac{P_i^2 P_{si} (1-P_{si})}{n_i} + \frac{\sum P_i P_{si} - (\sum P_i P_{si})^2}{N}}$$

誤差の計算を次に示す。

写真による分類	P_i	P_{si}	n_i	$\frac{P_i^2 P_{si} (1-P_{si})}{n_i}$	$P_i P_{si}$	$P_i P_{si}^2$
用材林	0.222	0.9	50	0.000,088711	0.1998	0.179,82
小丸太林	0.627	0.2	100	0.000,629,006	0.1254	0.025,08
その他	0.151	0.1	40	0.000,051,302	0.0151	0.001,51
計	1.000			0.000,769,019	0.3403	0.206,41

$$E_{AS} = (835,400) \sqrt{0,000,769,019 + \frac{(0,20641 - (0,3403))^2}{29,400}}$$

$$= (835,400) \sqrt{0,000,769,019 + 0,000,003,082}$$

$$= 23213$$

これは修正面積の0.2%である。

地上における材積サンプリングに必要なプロット数

Number of Plots Need for Ground Volume Sampling

森林調査に航空写真を利用すれば、安い費用で各森林クラスの面積を計算することが出来るだけでなく、必要の精度をうるために要するプロット数を減すことが出来る様に各クラスに地上プロットを割当することも出来る。この層化法を使えば、必要とされる精度を落とすにプロット数を $1/2 \sim 1/3$ に減すことが出来る。写真判読で数多くのクラスが識別される時は、必要な地上プロット数を計算するためには、大略のエーカー当り平均材積でこれらのクラスを定めると便利である。用材林クラスは、大、中、小の蓄積級に定められた。層毎に取り得るプロット数が、固定されたものでなく、抽出誤差が分つておれば、

$$N = \frac{(CV)^2}{(AE)^2}$$

N : プロット数

CV : 変動係数(平均プロット材積の百分率で表わした、

クラス内プロット材

積の標準偏差), AE : 許容誤差, これも百分率で表してある。

例

蓄積大の用材林では、推定平均材積はエーカー当り 30 M. b. d. ft. プロット材積の推定値の標準偏差は、に M. b. d. ft. で CV は 40% となつた。許容誤差を 2% とすれば、この林相に必要な標本数は $4C^2/E^2$ 即ち 400 である。抽出誤差はあらゆる原因による調査誤差の総計より ずっと小さなものでなければならぬ。

全クラスの総材積の誤差が分れば、標本の大きさは最速割当法で決定出来る。(面積が地図で決定されている時の数値については 23 章を参照) 非常に大きな標本を使つて、面積が写真サンプリングで決められる場合には、面積推定値は、実用的には誤差がないと仮定されることが多い。

現地プロット設定のための写真の利用 Using the Photograph to Locate Ground Plots

各クラスに要する現地プロット数が決まれば、写真を利用してこれらのプロットを現地に設置することが出来る。クラス毎に写真又林分地図とでこのクラスに入る点数に対する現地プロットの割合を計算する。

16,600 の写真プロットが、蓄積大の用材林クラスに入れば、415 の現地プロットがこの林相に対して必要であり、40 番目毎の英を現地に移し、現地プロットの中点としてこれを使う。これらのプロットが基本図で定められている時には目で判断するか、プロットング表でその位置を求め、ピンで個々の写真に移写する。

この写真を現地に携帯し、地上で必要なスポットをみつけるのに使う。写真或は地図上に表わされているプロットの近くにある境界線は、プロットの現地での位置を決めるのに使う。したがって

境界線との他の聯合点から長い測線をいくのにはむしろ作業は早くなる。

材積計算 Volume computation

写真で分類されたクラスの総材積は、そのクラスの面積とエーカー当り平均材積との積である。あるクラス—例えば用材林クラスの材積が必要であつて、修正面積が使われるならば、エーカー当り修正平均材積を使うべきである。用材林クラスの修正平均材積は次の様に計算する。元は現地調査の結果、用材林クラスであることの分つた写真プロットの平均材積である。

写真によるクラス或は層	P	Psi	元	P ₂ Psi 元
用材林	0.222	0.9	30 M	5.9740 M
小丸太林	0.627	0.2	5 M	0.6270 M
その他	0.151	0.1	1 M	0.0151 M
計				6.6361 M

修正平均材積を計算する際には、平均値は P₂ Psi を重み付けしてある。

用材林地の総材積は

$$T_s = (284,287)(6.6361 M) = 1,886,557 M$$

航空写真による直接材積推定法 Direct Volume Estimation From Aerial Photographs

一般原理 General principles

エーカー当りの総材積（欠点のあるものを除いた真材積とは異なる）は直接航空写真から推定できる。何々の推定値は正確ではない。

同じ用材林クラスに対するいくつかの推定値の平均を概査、或はそのクラスで設けるべき現地プロット数の決定に使える位に、その誤差は平均化される傾向がある。次に説明する3つの一般的方法には、ステレオグラム法、航空写真材積表法、標準材積表を利用するための換算表が含まれていて、出来る限り、航空写真による材分材積の推定値は現地プロットで適合すべきである。

ステレオグラム法 Stereogram method

この方法は、材分の立体像と同じ様、材分のステレオグラムとを目測で比較することに基きをおいていて、そのやり方は次の通りである。

1. 航空写真上ではっきりと定めうる場所を地とに、色々な大きさの材分内に標本プロットを設ける。
2. このプロットが中央部にある様に写真の一部（普通100平方）を切り取つて、立体像するため、プロットデータと一緒にカード或は厚紙に貼付する。
3. プロット材積の分つていて色々なステレオグラムと比較することによつて、色々な材分のエーカー当り材積は推定される。ステレオグラムと未知材分に対して同一内容の写真を使わねばならない。

航空写真材積表 Aerial Volume Tables

これはエーカー或は畝木単位で、地とで求められた畝木又は材分測定値から調製される。色々な樹高級、うつり度級に対するエーカー当り材積を、航空写真材分材積表 Stand aerial volume table は與える。平均樹冠直径が変量として使われることもある。樹高とエーカー当り断面積に基づく材分材積表は、設計時には高い精度のものが得られるが、これには、うつり

度で断面積を推定する必要があり、これ以外の変量は写真上では識別出来ない。

航空写真単木材積表 *Tree aerial volume table* は普通、色々樹高および樹冠直径級に対する単木当り材積を與える。写真上でエーカー当りの樹数数を数えることは難しいから、一般にこれは林分材積表より劣る。現行の航空写真材積表が最良に示してある。

換算表 *Conversion Tables*

換算表は、樹冠直径、或は樹冠直径と樹高との組合せに対する単木の *d*, *b*, *v* の推定値を与える。したがって航空写真と普通の材積表が使える。統計的には不完全なものであるが (*d*, *b*, *v* は最初は従属変量として取扱われ、次に独立変量として取扱われる。) 単木当りの大略その材積推定値を与えるものとして満足の行くことが多い。東部および南部では概略算として、樹冠直径が30呎以下であれば、吋単位の *d*, *b*, *v* は呎単位の樹冠の3/4に等しいとしている。Pacific Northwest では吋単位の *d*, *b*, *v* は呎単位の樹冠直径に等しいと仮定されている。

現地プロットによる写真材積推定値の修正 *Adjustment of Photographic Volume Estimates by Field Plots*

現地プロットで写真材積推定値を修正する方法は次の通りである。

1. 写真上に設けられた多数のプロットについてプロット材積を推定する。

2. 調査するべき集団において、毎目毎の写真プロットをマ

ークする (全体で数ダースのマークされたプロットが得られれば十分である)。

3. このマークされたプロットについて、写真材積推定値と現地材積測定値とを求める。

4. 現地データから、マークされたプロットの平均材積 ($\bar{Y}_s$) を計算する。

5. 同じマークされたプロットの写真上で推定された平均材積 ($\bar{Y}_p$) を計算する。

6. マークされた標準地のデータだけを使って、方眼紙上に、個々の現地プロット材積を対応する写真プロット材積に対して点画する。

7. この図から回帰線をひき、図或は計算で傾斜、即ち回帰係数 *b* を決める。

8. 次の公式 (F. A. Johnson, U. S. Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Exp Sta, 1950 の米総表の摘要から得られたもの) 或は *x* 軸の $\bar{x}_L$ の値からの回帰線まで垂直によみ、その点から水平に *y* 軸上の $\bar{Y}_a$ の値を読みとることによつて、修正平均材積 ($\bar{Y}_a$) を計算する。

$$\bar{Y}_a = \bar{Y}_s + b (\bar{x}_L - \bar{x}_s)$$

例

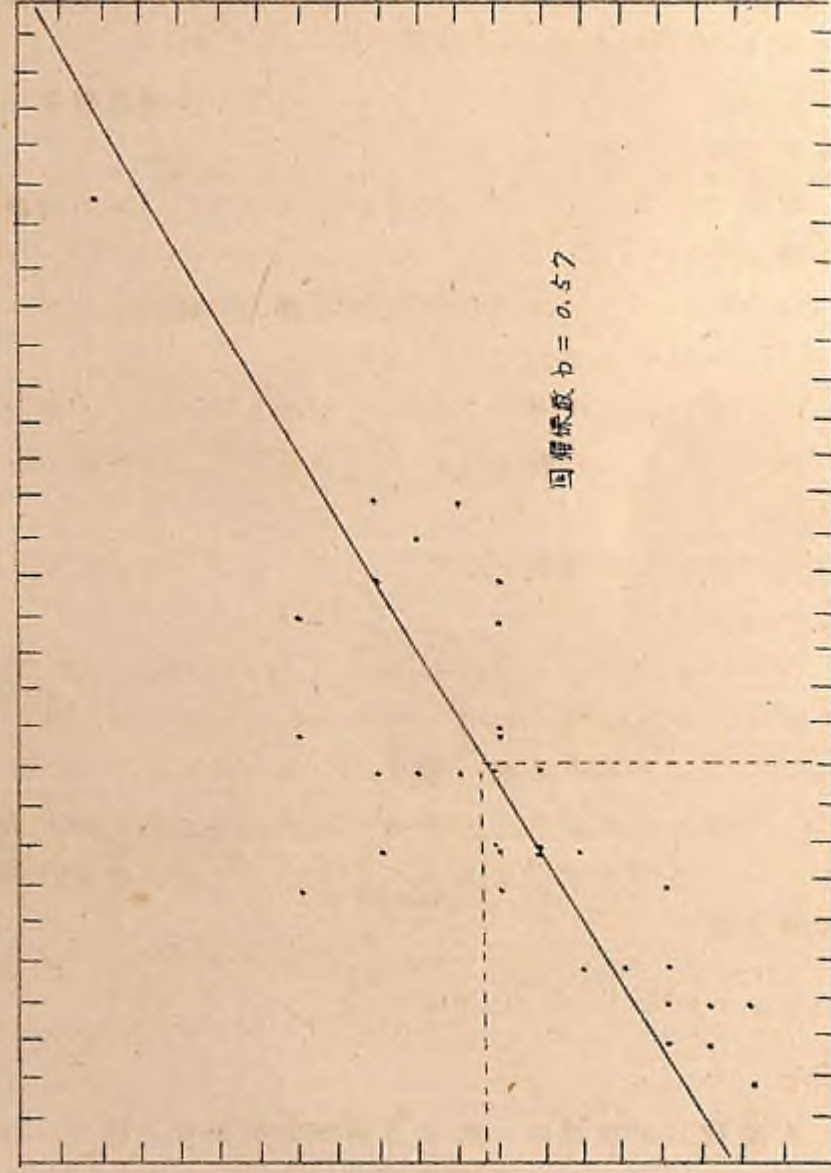
大蓄積の用材林で、航空写真林分材積表を使って調査が行われた。340ヶの写真材積プロットがとられ、10番目毎のプロット (全体で34) をマークし、現地で測定した。プロット全体の写真より平均材積推定値は粗材積でエーカー当り 10.2 Mcuft ($\bar{x}_L$) であつた。マークされたプロットについて、写真による推定材積は、粗材積でエーカー当り 9.41 Mcuft ($\bar{x}_s$) であつた。これと同じマークされたプロットの平均現地

現地を測定したプロット材積 - 算材積で M.C.U.F.T. エーガー

材積は、算材積でエーガー当り 7.9 M.cuft ($\bar{Y}_s$) であつた。同様係数 b のマークされたプロットに対する 算材

第6図 現地プロットによる写真算材積推定値の修正

現地プロットによる写真算材積推定値の修正



写真算材積推定値 - 相材積で M.C.U.F.T. エーガー当り

積での現地材積材積材積での写真材積の図に示してある) 0.57 であつた。用材林標本の算材積での 修正されたエーガー当り平均材積は

$$\bar{Y}_a = 7.9 + 0.57 (10.2 - 9.41) = 8.35 \text{ M.cuft}$$

図による計算では $\bar{X}_L$ 10.2 から 回帰線まで垂直に読み その交点から水平に $\bar{Y}_a$ の値 8.3 を読みとる。