

空中写真地質講座

(1)

松野久也

はじめに

空中写真が地質学の研究に利用されるようになってからすでに数10年を経過している。とくにここ20~30年間における技術的進歩は非常なもので、諸先進国では一般地質の研究にはもちろんのこと、鉱床の探査、土木地質、地下水の調査等、地質学の多くの分野に使用されて非常に大きな成果があげられている。すなわち今日では地質学研究の根本となる地質図作成のスピードアップ、その調査費および労力の軽減、精度の向上等に非常に有効であるばかりでなく、地上調査では経済的にも技術的にも不可能な空中写真独特の方法さえ生み出されるにいたっている。

このように空中写真は、クリノメーターや顕微鏡などと同様、地質学の研究に欠くことのできないものとなっている。さらに、航空カメラ、写真材料複製技術、空中写真測量機器などの諸機器の絶え間ない改良によって、空中写真による地質学の研究は、地質学の一分野〔空中写真地質学 (airphotogeology) と呼ばれる〕としての地位をいよいよ強固なものに近づいている。

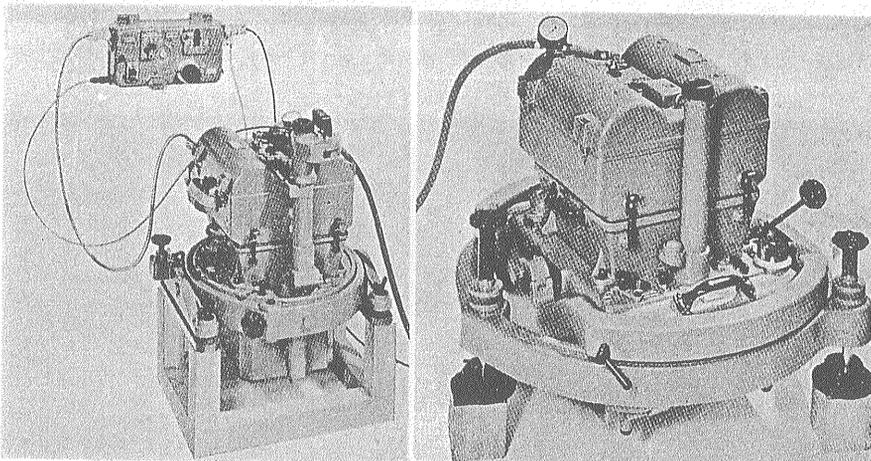
従来は、地質判読と地質図作成には、地形測量のための地表の詳細をできるだけ平均に記録するように工夫された普通写真 (パンクロ写真) のみが使用されていたが、最近では特定の地質現象を強調して捕えるために、特定

の波長の反射光線のみを選択的に記録したり、赤外線などの不可視光線による撮影も目的に応じて実施されるようにさえなっている。さらに、現状ではかなり高価な色彩写真も、この分野で実験の域を脱しつつあって、数年ならずして黑白写真にとって代るだろうとさえ言われるようになってきている。

空中写真を用いて行なわれる測定も、単に距離と高さおよびこれらから導き出される角度の測定だけではなく、densitometer による写真の階調 (tone) colorimeter による色調の相対的な差の定量的測定にまで進歩し、地質構成や地質条件によって異なる写真上の階調や色調の差を定量的に比較し、岩石分布の決定をしたりあるいは地層の対比を行なうなどの方法が確立している。

ところがふり返ってわが国の現状をみると、空中写真測量は、第2次世界大戦終了後の10数年間に、戦前大陸において習得した技術を基盤としていち早く復興し、諸先進国と肩をならべるところまで進んでいるが、空中写真地質学は非常に立遅れをとっている。すなわちわが国では、ようやく組織的な研究が緒についた段階にすぎないといっても過言ではあるまい。

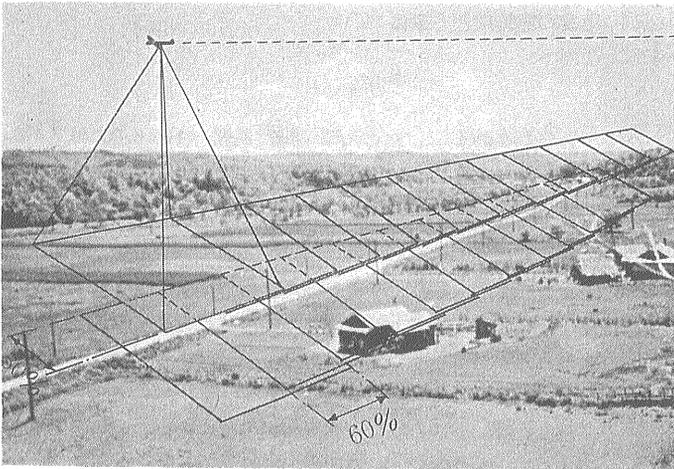
しかし、現実として測量協会を通じて販売される空中写真のうち、地質調査のために購入されるものは非常に数量にのぼっている。地質調査所だけでも、ここ15年間、空中写真を地質判読に利用しており、現在ではほと



左……Wild RC8
(アビオゴン)
写 角 93°
焦点距離 15cm
画 測 23cm×23cm

右……Wild RC5a
(アビオター)
写 角 62°
焦点距離 21cm
画 測 18cm×18cm

第1図 全自動航空カメラ



第 2 図 撮 影 飛 行

んどすべての野外調査に 必ずといってよいくらい これが携行され利用されている。従って その利用対象も 一般地質 鉱床 燃料 応用地質等各分野にわたりかつ調査地域も北海道から九州にわたる気候 植生 人工的条件の種々異なる各地域に及んでいる。だが これらの調査において各調査者が体得した判読技術 判読資料が統一した知識とならないで放置されたままになっているのは残念なことである。今これらの整理と統合を企図しているが ここには 今後の研究への一助としかつ その技術の普及のために地上調査によって実証されたこれら資料を例として 空中写真による地質判読と地質図作成に関する初歩について 概説を試みる次第である。

空 中 写 真

空中写真とは その名の示す通り空中からの鳥瞰写真であって 垂直写真 (vertical photograph) と斜め写真 (oblique photograph) とに分けられる。

垂直写真は 本質的にはカメラ軸を鉛直にして撮影された写真であり 斜め写真とはカメラ軸が鉛直線に対して 20度あるいはそれ以上の角度をもって撮影されたものである。現在 広く用いられている空中写真はほとんどすべて垂直写真であって 斜め写真は特別な目的に対してのみ用いられているにすぎない。従って 一般に空中写真といわれる場合は垂直写真のことであり かつ航行する航空機によって撮影されることから 航空写真とも呼ばれている。

< 撮 影 >

空中写真の撮影は 航空機の腹部のカメラハッチに取

付けられた航空カメラ (第1図) によって自動的かつ連続的に撮影される。撮影飛行は第2図に示す通り 同一コース内の隣り合う写真が互に60%づつ重なり合い 隣り合うコース間で互に30%づつ重なりをもつことを基準として行なわれる。そして各写真ごとに露光瞬間における写真の傾き時刻 飛行高度 焦点距離がフィルム番号と共に自動的に記録される。(第3図)

< 用 語 >

空中写真による地質判読 ならびにその地質図作成への応用に必要な一般的用語は第4図の通りである。

指 標 (fiducial mark) : 写真の画劃の各辺の中点を示す印

主 点 (principle point) : 写真の中心点 すなわち 相対する指標を結んだ線の交点

地面鉛直点 (ground nadir) : 露出位置 (レンズの中心) を通る鉛直線と地表面との交点 完全な垂直写真の場合は 写真上で地面鉛直点の映像と主点とは全く一致する

撮影基線長 (air base distance) : 1つの露光地点から次の露光地点までの距離

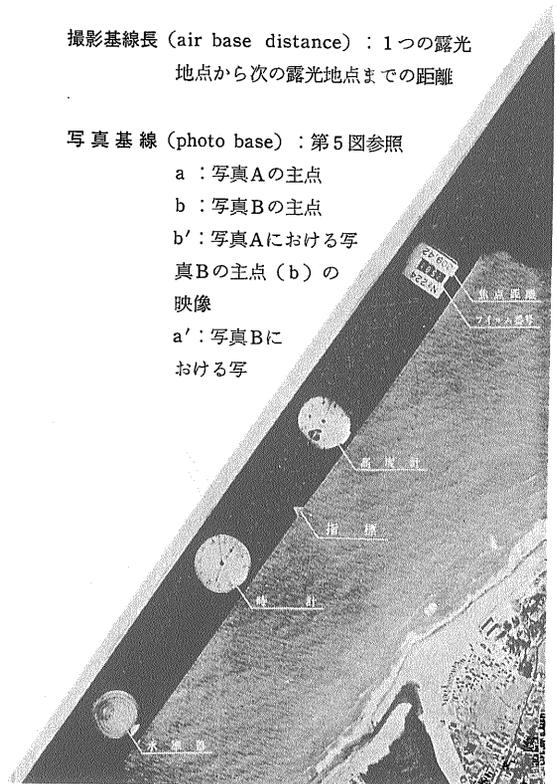
写真基線 (photo base) : 第5図参照

a : 写真Aの主点

b : 写真Bの主点

b' : 写真Aにおける写真Bの主点 (b) の映像

a' : 写真Bにおける写



第 3 図 撮 影 デ ー タ の 記 録

真Aの主点(a)の映像

このとき ab' $a'b$ はそれぞれ写真A Bの
写真基線である 両者は撮影条件が異なりまた
同一基準面に位置していないのが普通である
従ってこれらは正確に撮影基線長に対応
するものでない すなわち $ab' \neq a'b$ である

飛行高度 (flying height) : 露光時における飛行高度
海面上—絶対飛行高度
(absolute flying height)
陸地上—相対的飛行高度
(relative flying height)

焦点距離 (focal length) : 撮影レンズからフィルム面
までの距離

写 角 (angle of view) : 撮影レンズを通して入射
する光錐の頂角

〈空中写真の射影幾何学的特性〉

空中写真はいろいろな特性を備えているが まず第1
に挙げられるのが射影幾何学的特性である。この特性
を決定するのは 人間によって統制される要素であって
撮影レンズの焦点距離 写角および飛行高度によって根
本的に支配される。

縮 尺

飛行高度を $H(m)$ 焦点距離を $f(cm)$ とすると

写真の平均縮尺 S は

$$S = \frac{f}{100 \times H}$$

であらわされる。たとえば 飛行高度 $H=6,000m$
焦点距離 $f=15.2cm$ とすると

$$S = \frac{15.2}{100 \times 6,000} = \frac{1}{39,342}$$

である。すなわち 写真の縮尺は飛行高度に反比例す
る。従って 写真上の被写体の縮尺は飛行高度の値を
決めた基準面から高く離れるほど (高いものほど) 大き
くなることを示している。

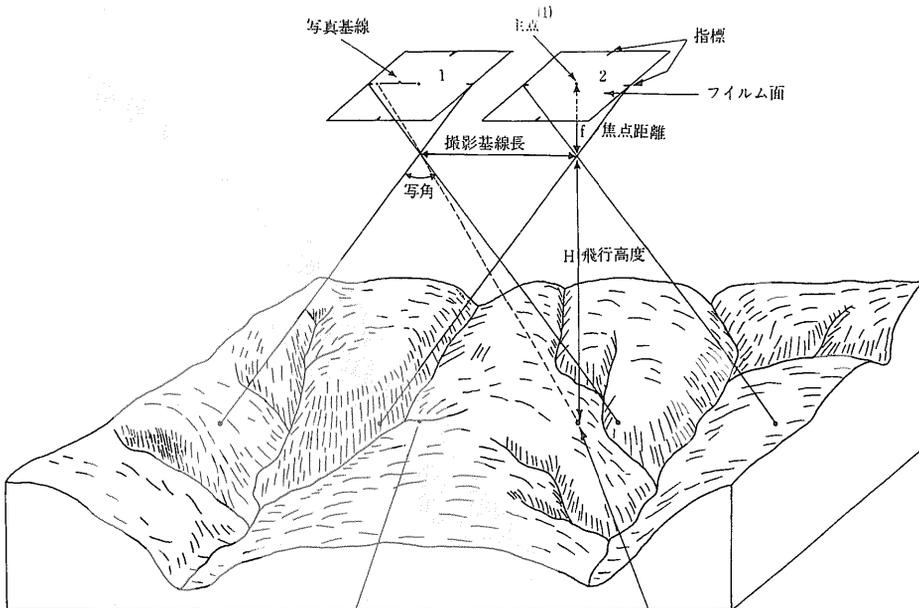
たとえば 上述の写真で標高50mの位置にある地物と
同じく500mの位置にある地物とでは それぞれの縮尺
($h50$ および $h500$) は

$$h50 = \frac{15.2}{100 \times (6,000 - 50)} = \frac{1}{39,800}$$

$$h500 = \frac{15.2}{100 \times (6,000 - 500)} = \frac{1}{36,184}$$

となり 非常な違いがある。

飛行高度と焦点距離とは撮影上ならびに判読しきわめ
て重要な要素である。焦点距離が大きくなると 写真
の縮尺が大きくなり 逆に飛行高度が大きくなると写真
の縮尺は小さくなる。従って同一高度では長焦点レン
ズを使用した場合 短焦点レンズを使用した場合に比べ
て大縮尺の写真が得られる。与えられた地域を撮影す



← 第4図 垂直写真の幾何学的図形

1) 主点は完全に垂直写真の場合
写真上の鉛直点と一致する

写真1の地面鉛直点

写真2の地面鉛直点

る場合 長焦点レンズを使用すると 短焦点のものに比べて写真の枚数が多くなる。(写真縮尺に対するこれらの諸元は第1表のとおりである)

引伸しあるいは縮小写真では 縮尺の算定に有効な f の値は 引伸しあるいは縮小率に比例して変化することに注意しなければならない。すなわち 引伸し(あるいは縮小) 写真の縮尺を求めるためには その引伸し(あるいは縮小) 率を密着写真の f 値に乘じなければならない。たとえば $f=15.2\text{cm}$ のレンズで撮影された写真が2倍に引伸ばされた場合 引伸し写真の縮尺を求めるための有効焦点距離を (f_e) とすると

$$f_e = 2 \times f = 2 \times 15.2 = 30.4\text{cm}$$

となるのである。

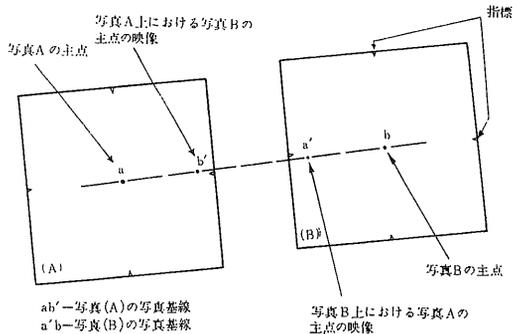
放射状偏位 (radial displacement)

放射状偏位は起伏偏位 (relief displacement) とも呼ばれる。第6図に示す通り 直立したポール (A B) は写真上に A' B' として記録されるのである。すなわち B' の直上にあるべきポールの尖端 A' は主点と反対方向に偏位して写真上に記録されるのである。この偏位量 Δd は A B 两点間の比高 h および主点からの距離 r に比例し 飛行高度 H に反比例する。この関係は次の式であらわされる。

$$\Delta d = \frac{rh}{H}$$

この特性を利用して 高さの異なる2点間の比高を測定することができる。すなわち 一对の写真上における任意の2点間の航路~撮影基線~に平行な 偏位量の差 すなわち 視差差 (parallax difference) の測定値から 両者の比高を簡単な計算によって 導き出すことができる。

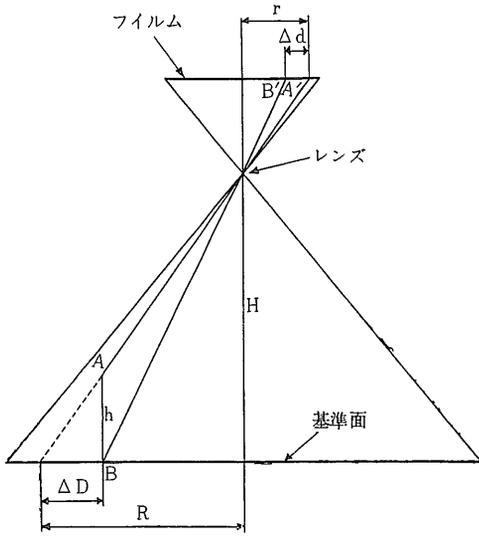
一般的にいて15cmの焦点距離のレンズを広角(写角



第5図

写真縮尺	カメラ 焦点距離 (cm)	飛行高度 (m)	撮影基 線 (km)	コース 間 隔 (km)	一辺の実 距離 (km)	撮影面積 (km ²)	ステレオ 有効面積 (km ²)
1: 5,000	11.5	575	0.36	0.63	0.90	0.81	0.23
	21	1,050	0.36	0.63	0.90	0.81	0.23
	15	750	0.46	0.81	1.15	1.32	0.37
1: 6,000	11.5	690	0.43	0.76	1.08	1.17	0.33
	21	1,260	0.43	0.76	1.08	1.17	0.33
	15	900	0.55	0.97	1.38	1.90	0.53
1: 7,000	11.5	805	0.50	0.88	1.26	1.59	0.44
	21	1,470	0.50	0.88	1.26	1.59	0.44
	15	1,050	0.64	1.13	1.61	2.59	0.72
1: 8,000	11.5	920	0.58	1.01	1.44	2.07	0.59
	21	1,680	0.58	1.01	1.44	2.07	0.59
	15	1,200	0.74	1.29	1.84	3.39	0.95
1: 9,000	11.5	1,035	0.65	1.13	1.62	2.62	0.73
	21	1,890	0.65	1.13	1.62	2.62	0.73
	15	1,350	0.83	1.45	2.07	4.28	1.20
1: 10,000	11.5	1,150	0.72	1.26	1.80	3.24	0.91
	21	2,100	0.72	1.26	1.80	3.24	0.91
	15	1,500	0.92	1.61	2.30	5.29	1.48
1: 11,000	11.5	1,265	0.79	1.39	1.98	3.92	1.10
	21	2,310	0.79	1.39	1.98	3.92	1.10
	15	1,650	1.01	1.77	2.53	6.40	1.79
1: 12,000	11.5	1,380	0.86	1.51	2.16	4.67	1.30
	21	2,520	0.86	1.51	2.16	4.67	1.30
	15	1,800	1.10	1.93	2.76	7.62	2.12
1: 13,000	11.5	1,495	0.94	1.64	2.34	5.48	1.54
	21	2,730	0.94	1.64	2.34	5.48	1.54
	15	1,950	1.20	2.09	2.99	8.94	2.51
1: 14,000	11.5	1,610	1.01	1.76	2.52	6.35	1.78
	21	2,940	1.01	1.76	2.52	6.35	1.78
	15	2,100	1.29	2.25	3.22	10.37	2.90
1: 15,000	11.5	1,725	1.08	1.89	2.70	7.29	2.04
	21	3,150	1.08	1.89	2.70	7.29	2.04
	15	2,250	1.38	2.42	3.45	11.90	3.34
1: 16,000	11.5	1,840	1.15	2.02	2.88	8.29	2.32
	21	3,360	1.15	2.02	2.88	8.29	2.32
	15	2,400	1.47	2.58	3.68	13.54	3.79
1: 17,000	11.5	1,955	1.22	2.14	3.06	9.36	2.61
	21	3,570	1.22	2.14	3.06	9.36	2.61
	15	2,550	1.56	2.74	3.91	15.29	4.27
1: 18,000	11.5	2,070	1.30	2.27	3.24	10.50	2.95
	21	3,780	1.30	2.27	3.24	10.50	2.95
	15	2,700	1.66	2.90	4.14	17.14	4.81
1: 19,000	11.5	2,185	1.37	2.39	3.42	11.70	3.27
	21	3,990	1.37	2.39	3.42	11.70	3.27
	15	2,850	1.75	3.06	4.37	19.10	5.36
1: 20,000	11.5	2,300	1.44	2.52	3.60	12.96	3.63
	21	4,200	1.44	2.52	3.60	12.96	3.63
	15	3,000	1.84	3.22	4.60	21.16	5.92
1: 21,000	11.5	2,415	1.51	2.65	3.78	14.29	4.00
	21	4,410	1.51	2.65	3.78	14.29	4.00
	15	3,150	1.93	3.38	4.83	23.33	6.52
1: 22,000	11.5	2,530	1.58	2.77	3.96	15.68	4.38
	21	4,620	1.58	2.77	3.96	15.68	4.38
	15	3,300	2.02	3.54	5.06	25.60	7.15
1: 23,000	11.5	2,645	1.66	2.90	4.14	17.14	4.81
	21	4,830	1.66	2.90	4.14	17.14	4.81
	15	3,450	2.12	3.70	5.29	27.98	7.84
1: 24,000	11.5	2,760	1.73	3.02	4.32	18.66	5.22
	21	5,040	1.73	3.02	4.32	18.66	5.22
	15	3,600	2.21	3.86	5.52	30.47	8.53
1: 25,000	11.5	2,875	1.80	3.15	4.50	20.25	5.67
	21	5,250	1.80	3.15	4.50	20.25	5.67
	15	3,750	2.30	4.03	5.75	33.06	9.27
1: 26,000	11.5	2,990	1.87	3.28	4.68	21.90	6.13
	21	5,460	1.87	3.28	4.68	21.90	6.13
	15	3,900	2.39	4.19	5.98	35.76	10.01
1: 27,000	11.5	3,105	1.94	3.40	4.86	23.62	6.60
	21	5,670	1.94	3.40	4.86	23.62	6.60
	15	4,050	2.48	4.35	6.21	38.56	10.8
1: 28,000	11.5	3,220	2.02	3.53	5.04	25.40	7.13
	21	5,880	2.02	3.53	5.04	25.40	7.13
	15	4,200	2.58	4.51	6.44	41.47	11.64
1: 29,000	11.5	3,335	2.09	3.65	5.22	27.25	7.63
	21	6,090	2.09	3.65	5.22	27.25	7.63
	15	4,350	2.67	4.67	6.67	44.49	12.47
1: 30,000	11.5	3,450	2.16	3.78	5.40	29.16	8.16
	21	6,300	2.16	3.78	5.40	29.16	8.16
	15	4,500	2.76	4.83	6.90	47.61	13.33

第1表 写真縮尺に対する諸元表



第 6 図

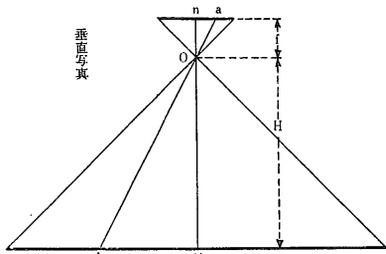
90° を標準) と称し これより長い焦点距離のレンズを普通角 (f 21cm 写角 60°) 短い焦点距離のレンズを超広角 (f 11.5cm 写角110°~120°) 短焦点レンズと称する。

一定の縮尺と画割を保つためには 長焦点レンズを使用する場合 短焦点レンズを使用する場合に比べて より高い飛行高度で撮影しなければならない。(第1表)

このような条件のもとでは 長焦点レンズを用いた場合には 広角を用いた場合に比べて同一点の映像の放射状偏位量は小さくなる。

代りに ある特定の比高をもつ地物の放射状偏位量および視差差は 一定の焦点距離のレンズを使用する場合 飛行高度を増すと小さくなり 逆に高度を減少すると大きくなる。

ただし ここで注意しなければならないことは 広角(短焦点)レンズで撮影された写真の周縁部における映像の歪曲は 狭角(長焦点)レンズで撮影された写真のそれ



$$\text{写真縮尺 } S = \frac{n \cdot o}{A \cdot O} = \frac{n \cdot o}{N \cdot O} = \frac{f}{H}$$

a の縮尺と n の縮尺とは同一値である いいかえれば「レンズ」の主軸が地表面に垂直に向けられ しかも土地が平坦である場合には S は写真全部の縮尺である

第 7 図 A

より大きく とくに起伏の大きい地域の写真判読には好ましくないということである。

その他の特性

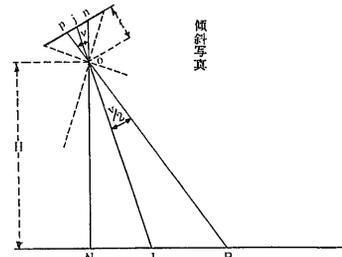
以上 空中写真に根本的な射影幾何学的特性について述べたが これらのほかに近代の技術をもってしても克服できない欠陥に属する特性がある。一言にしていえば 厳密な垂直写真が得られるのはきわめて偶然でしかないという事実 すなわち 気象条件による航空機の動揺に基因するものであって

1. 回 転 (dh)
2. 横 傾 斜 (W)
3. 縦 傾 斜 (Y)
4. 横 移 動 (by)
5. 縦 移 動 (bx)
6. 高低移動 (bz)

の6つの成分に分けられる。精密図化を行なうためには これらの標定諸元を厳密に調整しなければならない。しかし 地質判読ならびにこれに伴う簡易測定を行なうには 少なくとも横傾斜および縦傾斜 さらにこれらが組合わさって 何れかの方へ傾斜 (tilt) し 同一写真内で部分的に縮尺の違いがあり (第7図) 高低移動によって隣り合う写真間で同様縮尺の差があることに注意しなければならない。

最近の航空技術では写真の傾斜は多くの場合2度以内であり 高低移動もきわめて小さいが これが著しい場合は測定に致命的な障害となる。(つづく)

(筆者は地質部)



撮影点の直下の N に相当する n 像の縮尺は $f/H \cos \alpha$ となり 写真の中央 P の縮尺は $f/H \sec \alpha$ となる

$$\frac{f}{H \cos \alpha} > \frac{f}{H} > \frac{f}{H \sec \alpha} \quad \text{従って } S_n < S < S_p$$

写真面上の各像はその縮尺を異にし f/H に等しい縮尺をもつ像は $\angle pon$ の二等分線が写真に交る点 j である

注) 地表に起伏がある場合は 相対的飛行高度の差を考慮しなければならないことは前述のとおりである

第 7 図 B