

地上立体写真測量

西村 嘉四郎・松野 久也

はじめに

最近 地形測量といえば 写真測量が常識となるところまで進んでいる。ここ数年来 国土地理院から発行される5万分の1や 2.5万分の1地形図が空中写真から図化されたものであり これらの地形図を使って従来地形図に比べて非常に精度が高いことも じゅうぶんご承知のことと思う。さらに 最近の鉱床調査や道路・ダム等の建設工事用の大縮尺の地形図もほとんど空中写真によって作成されたものであることが明示されていることにお気付のことと思う。このように 写真測量はこれまでの地形測量法に一大革命をもたらしているのである。写真測量は文字通り写真を使って行なうものであって 地上の細部を余すところなく しかも厳密な同時性をもって記録するところにその優れた点がある。また大部分の作業を室内で行なうため 交通のはげしい大都会の中でも 日本アルプスのような峻しい山地でも 同じような能率・精度で測量できるのである。

この写真測量は たかだか60年間の歴史しかもっていない技術で まだまだ未開拓の分野も広く 日進月歩の段階にある。これまでに 写真測量中 空中写真測量については いろいろな書物で紹介されている。ここでは 最近とくに急速に各分野において 応用範囲がひらけつつある地上立体写真測量について紹介を試みる。

立体写真測量の原理

われわれが 物を見て立体感が得られ 遠近を知ることができるのは 約60~65mm 距たった両方の目で物を見ているからである。これは写真の場合についてもいえることである。すなわち ある一定の距離をおい

て同一地物を撮影した2枚の写真でも 同じ結果が得られるのである。このような2枚の写真を 左の目で左の写真を右の目で右の写真を見ると これら2枚の写真の撮影位置に左右の目をおいて その地物をみたときと同じ立体感が得られるのである。この場合2枚の写真を撮影したカメラ間隔は われわれの瞳孔距離(60~65mm)に比べて 非常に大きいため 肉眼で直接観察するより 立体感がはなはだしく誇張されてみえる一空中写真の場合でいうと 水平距離に対して垂直距離が何倍かに誇張される一のである。

立体写真測量は 実際の地形について その水平距離や高さ(垂直距離)を測定するかわりに 上述のような2枚の写真から合成された地表面の立体像について水平距離や高さを測定するのである。

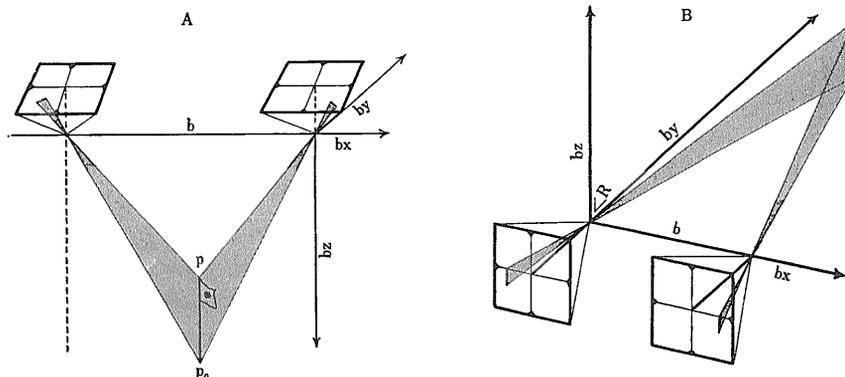
空中立体写真測量では 航空機によって 一定間隔で互いに60%の重複度をもつように撮影された連続写真を用い おのおの隣合う2枚の写真(立体対写真)から合成された立体像を測定するのである。空中写真測量ではカメラ軸を地面に対して垂直に保って撮影された垂直写真を使用するのであるが(第1図a) 地上立体写真測量では カメラ軸を水平にして適当な間隔で撮影された2枚あるいはそれ以上の連続写真が用いられる(第1図b)。空中写真(垂直写真)にしても 地上写真(水平写真)にしても 立体像が合成される点では全く同じで 後者における遠近が前者における起伏に相当する。立体写真測量が 従来の測量に比べてすぐれている点は 数えきれないが なかでも写真の記録の瞬間性もっともすぐれた点であり 測量成果の厳密な同時性が期待できることである。

以上から 立体写真測量には 大きく分けて2つの方法があることがわかる(第1表)。

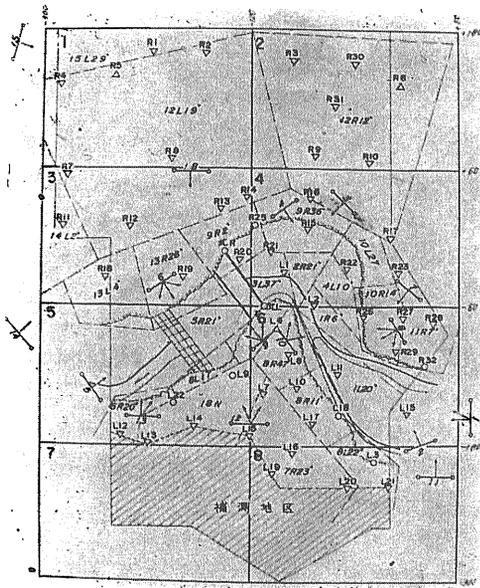
第1表 立体写真測量の分類

立体写真測量	—	空中立体写真測量
		地上立体写真測量—
	—	近距離地上立体写真測量
		遠距離地上立体写真測量

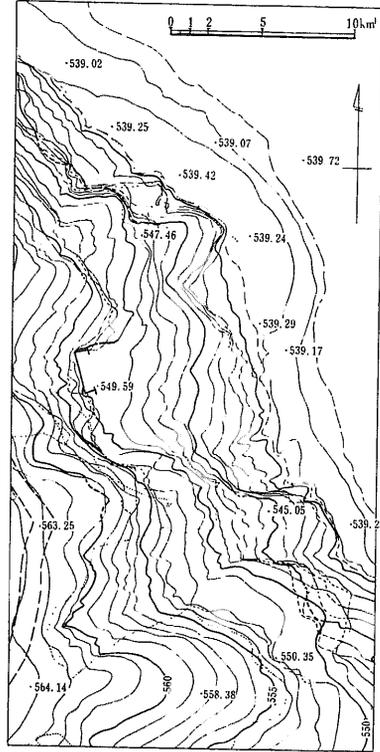
すなわち 空中立体写真測量と地上立体写真測量とである。後者は地上においてカ



第1図 旗竿PP°の立体対写真 A.垂直写真 B.地上(水平)写真
b: 撮影基線長 bx・by・bzは互いに直交する



第2図 a. 小浜ダムサイトの測量における撮影位置と基準点配置図
 △R12 河の右岸における標定点(地上基準点)
 △L 河の左岸における標定点
 ORL △の記号より2年後に(撮影と同時に)地上測量したものである

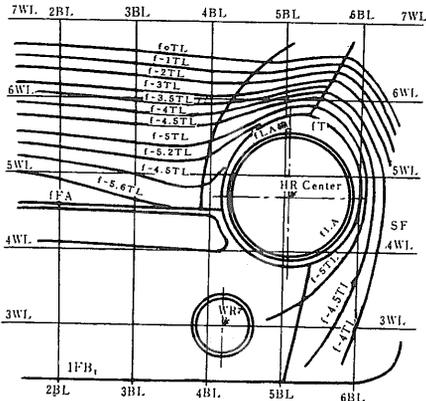


第2図 b. 小浜ダムサイトの平面図の一部 縮尺 1/200のものを1/2に縮図したものである 等高線の点線部は 真上から見えないくぼんだ部分の形を示している これは空中写真測量では不可能であり 従来の測量法においても不可能に近い(アジア航測 KKの好意による)

メラ光軸を水平に保って撮影された写真を用いることから 水平写真測量とも呼ばれている。さらに地上立体写真測量は 応用目的および使用機械のちがいによって 近距離地上立体写真測量と 遠(中～遠)距離地上立体写真測量とに分けられる。

地上立体写真測量の応用

スイスでは 空中写真測量による地形図の改測に伴って 地質図幅の再調査が必要となった際 地上立体写真測量と写真地質判読とによって アルプスの山腹斜面の垂直面に投影した地質区分図を作成し これを平面に移写して 地質図幅を改訂するという試みがなされた (Hebling 1949) また これに伴って 氷河の流れの平



第3図 自動車モデルの左側のヘッドライト部の等値線図の例 (東大生産技術研究所 大島太市氏の好意による)

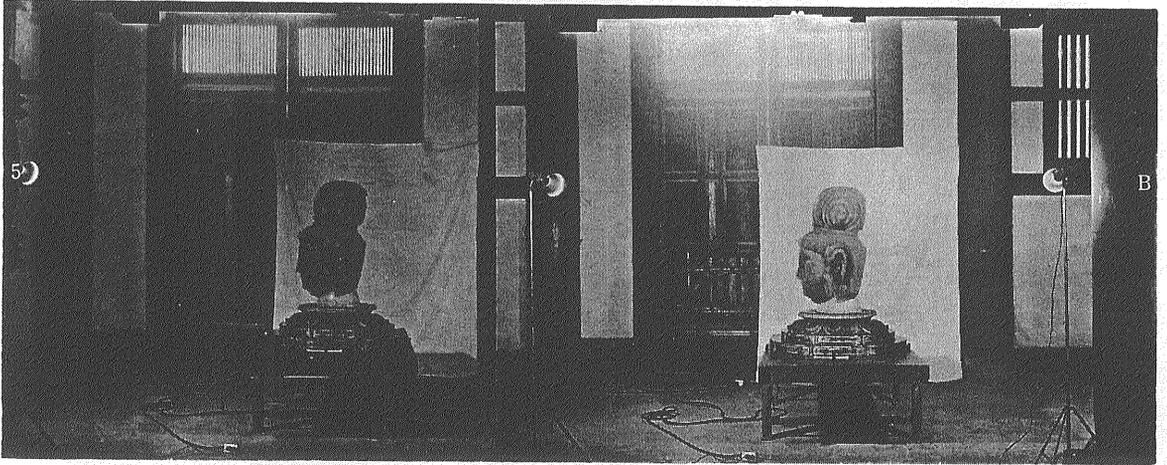
均速度の測定が行なわれている。

わが国でも 大正の中期に台湾の蕃地や山岳地帯や樺太の奥地の測量に地上立体写真測量を応用しようとして その研究が行なわれた。これらは共に遠距離地上立体写真測量に属するものである。中距離に属するものとしては 最近わが国でもいくつかの試みがあり 地すべり ダムサイト(第2図) 石切場等の大縮尺の精密測量に実用化されつつある。これらは カメラから被写体までの距離がかなり遠く 図化縮尺は 1:100~1:200位である。近距離では 被写体に近接して 自動車モデル(第3図) 水車などの工業製品 古代建造物や仏像(第4図 a b)の形態の記録や精密測定にまで応用され 図化縮尺も 1:1~1:10 位までになっている。

さらに 写真の記録の瞬間性を有力な武器として 上層気流の測定 列車の荷重による鉄橋の変形量の測定 水の流れ・波形の測定 交通事故現場の記録・測定などに欠くことのできない手段となりつつある。

地上立体写真測量

地上立体写真測量は 原理的には空中写真測量と全く同じであるが 實際上 いろいろな違いがある。なかでもっとも大きな違いは 空中写真測量では 撮影された瞬間におけるカメラの位置は 写真の相対的な関係位置および対地関係から求めるのに対して 地上立体写



第4図 a. 仏像の測定用に撮影された立体対写真 実際の測定には側面からばかりでなく 正面 背面 その他色々な角度から撮影される 右側の写真画割枠内の文字(193.29)は焦点距離 同じく右側の枠内の文字(B)は右写真 左の写真の左側枠内の文字(5)は写真番号 画割のふちの山型は指標である 指標の画割に沿ってそれぞれ反対側対応する所にもあるが 図版作成の都合上削除してある

真測量では 撮影カメラの位置および撮影方向は あらかじめ地上で正確に測定しておくことができるのである。したがって 図化 計測作業が空中写真測量に比べて 非常に簡単かつ経済的であるといえる。

空中写真測量は 平面位置の精度に対して 高さの精度が割合によくない。しかし地上立体写真測量では 高さの精度はよく また被写体までの距離が空中写真測量の場合に比べて短かいため 位置の精度も非常によい。

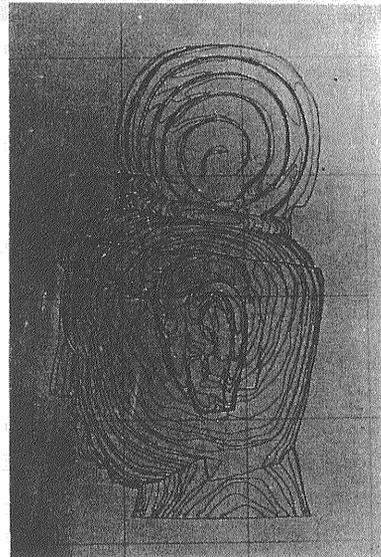
しかし 場合によって 遠近が非常に大きくなるため 近いところと遠いところの間で位置の精度にむらがあることが 一つの欠陥である。

しかし 縮尺 $1/500$ 以下の大縮尺の地形図の図化には 地上立体写真測量の方が精度の点ばかりでなく 能率の点でも決定的にすぐれている。つまり 航空機から撮影される写真の縮尺は おおよそ $1/5000$ までであって 図化倍率10倍というような図化機を用いても 図化縮尺は $1/500$ にとどまるからである。

地上立体写真測量用カメラ

近距離立体写真測量 には 三脚に水平にとりつけられた基線桿の両端に同型のカメラを2台装着し 同時にシャッターが切られるように工夫されたもの(第5～6図)が用いられる。カメラの光軸は 原則として 水平 かつ基線桿に対して直角に保って撮影される。カメラの高さは 手動ハンドルによって 基線桿の中央を垂直に支持する支柱を上下することによって調節される。

ガリレオのペロスタッド式ステレオカメラには 焦点

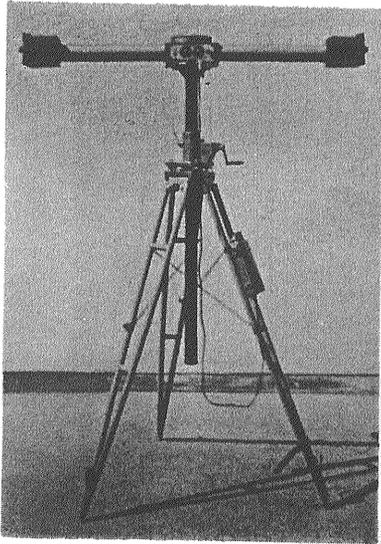


第4図 b. 仏像の等値線図 立体対写真からステレオプラニグラフA7によって10mm間隔の等値線で測定されたものである (東大生産技術研究所大島太市氏の好意による)

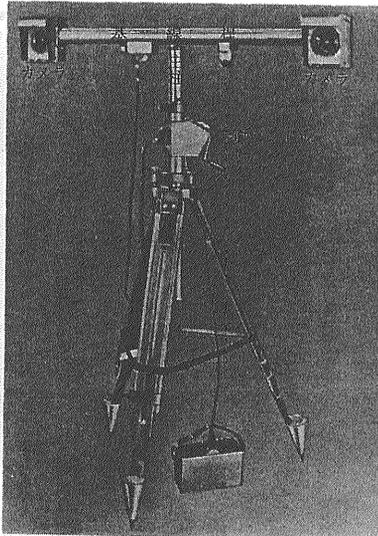
距離の異なる 5対の交換レンズを保有しているものがある。支柱上端の基線桿との接続部位において 基線桿を前後に回すことによって カメラ光軸を上下に傾むけ 垂直方向の撮影範囲を広くし また支柱の上部を真横に傾むけることによって 基線桿を垂直にし 上下の立体対写真を撮影することができるようになっている。

国産品としては 東京大学生産技術研究所において試作されたものがある。

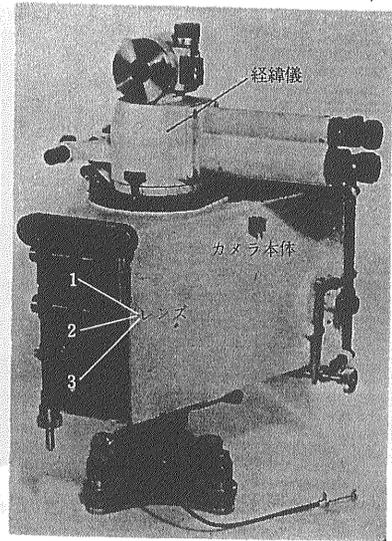
中～遠距離立体写真測量には カメラの上にトランシットがとりつけられたもの(第7～11図)が用いられる。これは カメラとトランシット (経緯儀=theodolite) とが組合わされていることから 写真経緯儀 (photo-theodolite) と呼ばれている。これらは前に述べた近距離立体写真測量用のカメラと異なり カメラ光軸を水平に旋回することができ また上下方向にとりつけられたいくつかのレンズ中 適宜に被写体の状態によってレ



第5図 ウィルド製 C120
 基線長 120cm 焦点距離 64mm f/8
 乾板サイズ 6.5×9cm
 有効画像サイズ 6×8cm



第6図 ツァイス製 SMK120
 基線長 120cm カメラ焦点距離 60mm
 レンズトポコン f/11 無収差
 乾板サイズ 9×12cm
 有効画像サイズ 8×9cm



第7図 ツァイス製 CIII
 焦点距離 190mm レンズ前面に同一レンズが
 3個 35mm間隔で垂直方向に取り付けられている
 垂直面の撮影範囲を広くするため カメラの水平
 旋回 35g 乾板サイズ 13×18cm 有効画像サ
 イズ 11×16cm 記録装置 文字盤によって各写
 真上にその番号 地点 撮影 種類を与えること
 ができる

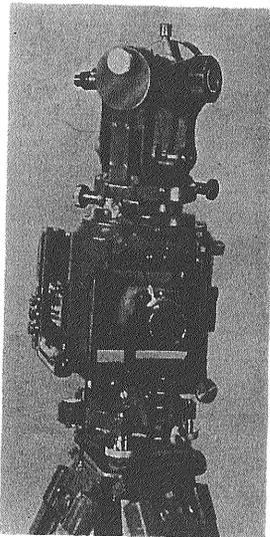
レンズを選んだり レンズを上下に移動させたり あるいは機械全体を上下に傾むけることによって 一定範囲内で左右上下方向に撮影範囲を変えることができるようになってい

め 写角を広くとる必要もなく 高速度撮影を行なうこともないからである。

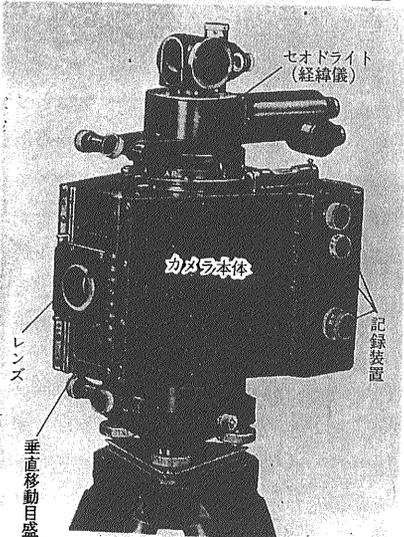
これら地上立体写真測量用カメラは 使用レンズが無収差であることに重点がおかれている。すなわち 空中写真撮影用の航空カメラと異なり 地上写真の撮影は固定点において 撮影方向を任意にとつて撮影されるた

地上立体写真の撮影と解析

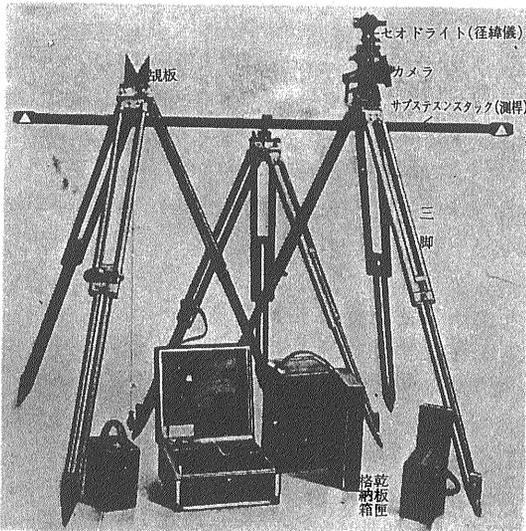
空中写真測量用の写真は カメラ光軸を鉛直にしてコース内で隣り合う写真が60%づつ重複し コース間で互いに30%の重複をもつように撮影位置に関係なく 自



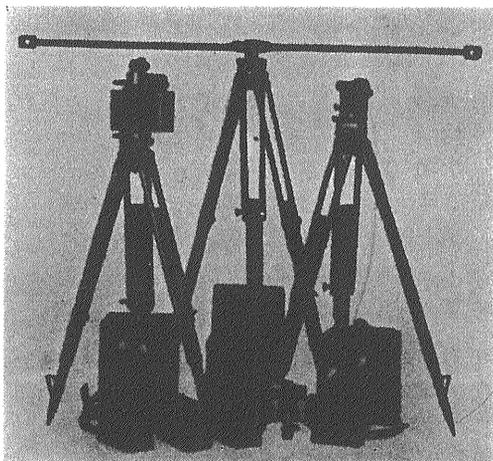
第8図 ウィルド製 ホトセオドライト P-30 焦点距離 165mm 垂直旋回上方に7g下方に7g 14g 21g 28g 水平旋回 任意に旋回でき その角度は経緯儀により1秒まで読取れる 望遠鏡倍率 23倍 乾板サイズ 10×15cm 記録装置 写真番号 L.R. 焦点距離は乾板上で像の枠外に記録される



第9図 ツァイス(イェナ)ホトセオドライト 19/1318 焦点距離 190mm レンズ口径比 1:25 レンズ垂直移動 5mm 毎に上方に35mmまで 下方に45mmまで カメラ水平旋回 左右45° 望遠鏡倍率 21倍 経緯儀読取値 1c (目測1cc:6%) 乾板サイズ 13×18cm 有効画像サイズ 11×16cm 記録装置 写真番号 L.R. 焦点距離 写真枠外に記録



第10図 ウィルド製 ホトセオドライト P-30 およびその付属品

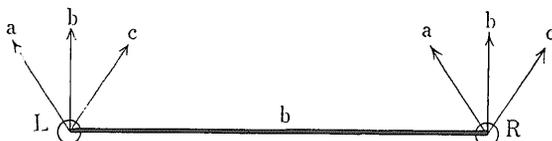


第11図 ツァイス製ホトセオドライトおよび付属品 ウィルド製 P-30とほぼ同様の付属品であるが カメラと組合わせてあるセオドライトの読取値があらいで 精密トランシット(地上測量用として)が とくに付属品として組み合わせてある

動的に撮影される。

地上立体写真測量用の写真の撮影位置は地形的にいろいろな制約を受ける。すなわち 撮影対象地域全体に死角ができないように しかも基線の数をもっとも少なくなるようにしなければならない。このためには 既成の地形図や空中写真を利用して撮影位置を検討し 現地調査によって その位置を選定する。カメラから被写体までの距離に対して基線長を大きくすると 2枚の写真間の重複度が少なくなったり あるいは全く得られなくなり 図化計測が不可能となる。基線長に対するカメラから被写体までの距離比(単に基線比という これは空中写真の場合の基線・高度比に相当する)をどれ位にとるかは 地形的条件に支配されて一概にはいえないが $1/4 \sim 1/30$ の範囲に収めなければならない。

撮影は こうして決定された点において 直角撮影が望ましいが 状況に応じて偏角撮影や収斂撮影によって撮影対象地域全体を写真に収めるようにする(第12図)。



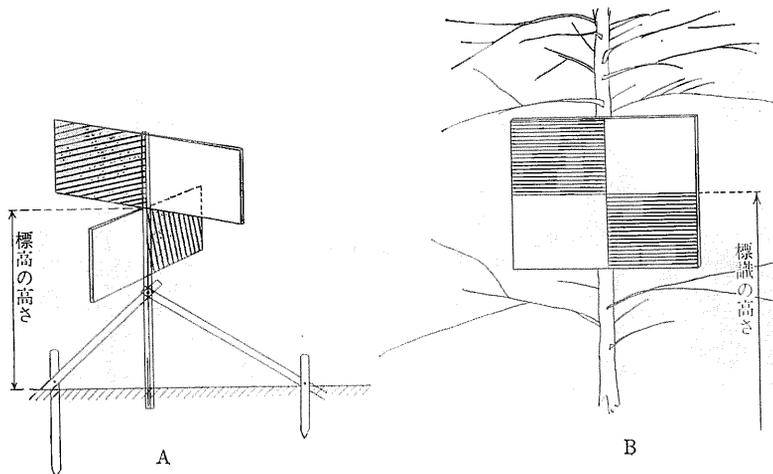
第12図 撮影方向による分類 b: 基線長 L: 左の写真の撮影点 R: 右の写真の撮影点 矢印: 撮影方向 直角撮影: L-bとR-bの対写真 偏角撮影: L-aとR-aあるいはL-cとR-cの組合せ 収斂撮影: L-c・R-aの組み合わせ

2枚の対写真相互の間に 濃度の差を生じないように光線の方向に注意し 野外撮影では直射光線による陰影をなくすため 曇天時 払暁あるいは薄暮に撮影する。また 2枚の写真の撮影時刻に著しいひらきを生ずるときには 天候の変化による露光時間に注意しなければならない。晴天の場合には 時間の経過に従って 陰影が移動するため 見かけの視差を生ずるのでできる限り同時撮影を行なうように心がける必要がある。

使用陽画乾板(乾板をそのまま図化機にかけられる)は 整色性微粒子のものが望ましい。現在使用されているものは製作者社が依頼を受けて作る特殊なもので多くはASA 6である。撮影に当っては カメラに内蔵されている文字盤によってその写真番号 撮影地点 種類等乾板に記録されるものの外 撮影位置の名称 水平偏角 傾斜角 露光時間などを記録しておく。

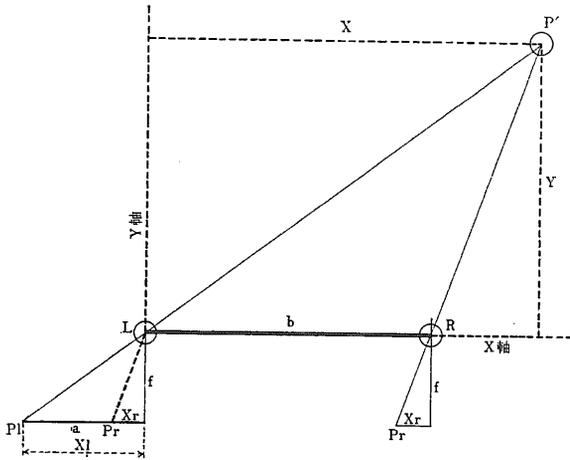
撮影位置(撮影点) 標定点(基準点)は あらかじめあるいは撮影後に 三角測量を行なって正確な位置を決定しておく。基線長は場合によっては上部のトランシットと付属のサブテンススタッフを使ってスタジヤ測量により方向と長さを同時に測定する。標定点には撮影の際 写距離の $1/500 \sim 1/5000$ の大きさの撮影標識(第13図)を設ける。

直角撮影 これはもっとも原則的な撮影方法である。あらかじめ決定された撮影基線(b 以下単に基線



第13図 撮影標識
標識の大きさは 写真上に確実に記録されるように 撮影点から被写体までの距離の $1/500 \sim 1/5000$ のものが用いられる

A)のように造標したり B)のように立木にとりつけたりする
また 近距離にある被写体では 被写体そのものを利用したり これにペンキで直接標識をほどこす



第14図 直角撮影写真の図解

というの両端(LおよびR点)にカメラを置いてカメラ光軸を水平に保ちあるいは上下に傾むけたとき基線に対して直角方向に向けて撮影する。光軸が水平な場合にあっては乾板(写真)指標線は各々垂直と水平になっている。このとき(第14図)左側の撮影点(L)を原点とし垂直方向にZ軸をもつ空間直角座標点を考えてみるとX軸には撮影基線方向をY軸にはL点でのカメラ軸を選ぶとすると任意点P'の空間座標値は次式より求めることができる。

$$y = \frac{b \cdot f}{x_l - x_r} = \frac{b \cdot f}{a} \quad x = y \cdot \frac{x_l}{f} \quad z = \frac{z_l}{f}$$

任意点P'の座標は基線長・焦点距離ネガの座標値の函数として決定できる。

以上は直角水平写真の場合であるが当然俯仰角が加わりかつまた偏角撮影・収斂撮影を行なったときは計算が複雑となる。

図化・計測

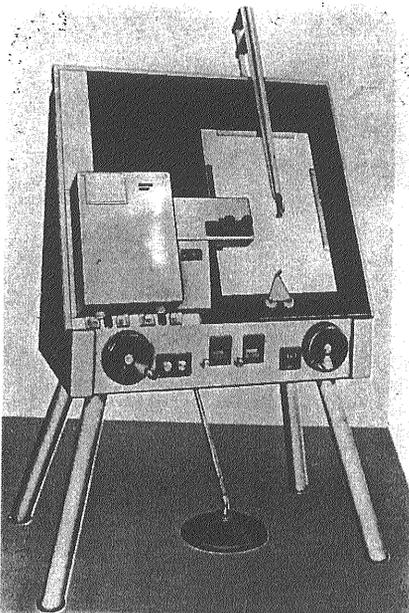
前にも述べたように地上立体写真測量は空中写真測量で垂直写真を垂直投影図化機で投影するのに対して水平写真を同じ図化機で投影する。したがって垂直方向が水平に置換えられるだけであって原理的には後者と全く同じである。ただ座標軸中YとZとを置換えて考えればよい。

写真測量の発達の当初は別として立体図化機による自動図化・計測が発達した今日上に述べたような計算による方法は実際の作業にはほとんど使われていない。

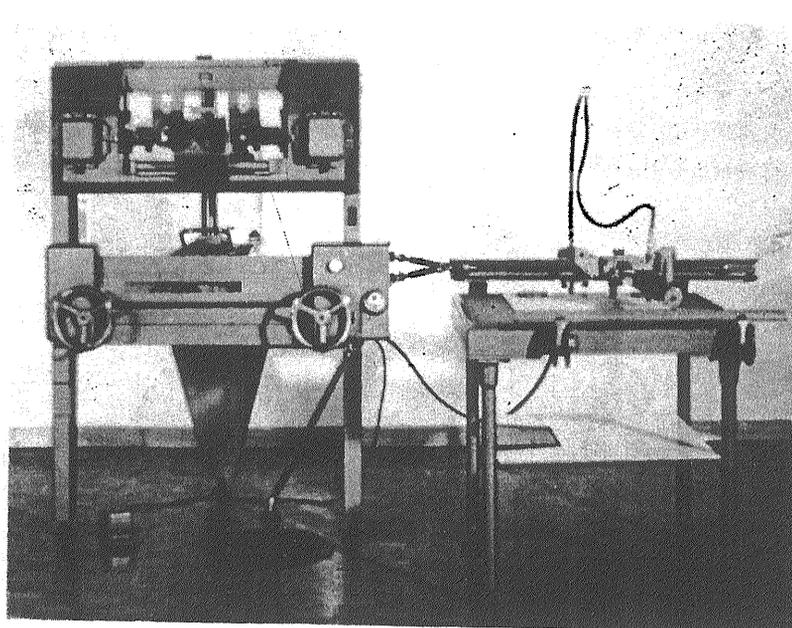
立体図化機は自動的に解析する機構をもっているので撮影された写真の諸元がその作動範囲(第2表)内に収まるものであれば自動的に図化計測を行なうことができる。

第2表 立体図化機の作動範囲の1例(オートグラフA7)

横転	$\omega' = \omega'' = 70 \sim 100$ (カメラ垂直軸で100g)
縦転	$\phi' = 70 \sim 100$ $\phi'' = 94 \sim 130$
基線成分	$b_x = +280 \sim -280$ mm
	$b_{y'} = b_{y''} = +50 \sim -50$ mm
移動台の動き	$b_{z'} = b_{z''} = +27 \sim -27$ mm
	$x = +280 \sim -280$ mm
	$y = +350 \sim -420$ mm
誘導機の傾き	$z = -140 \sim -490$ mm
	x方向 カメラ垂直軸 = ± 50 g
	y " " = ± 50 g

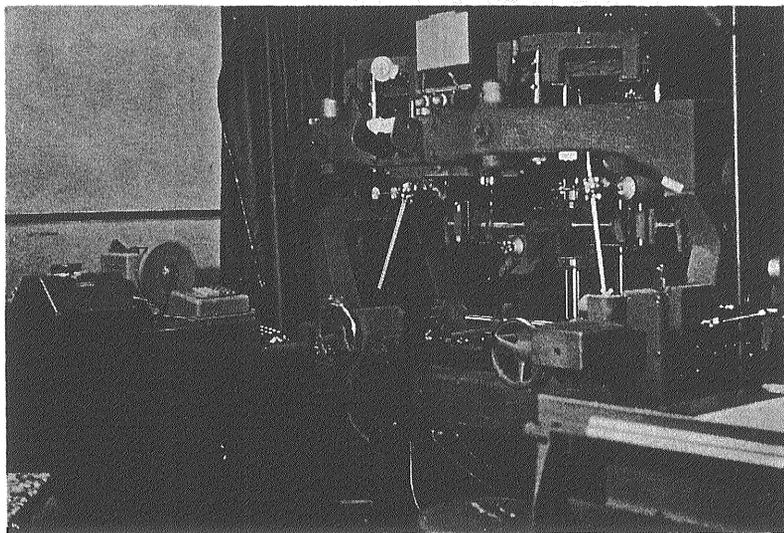


第15図 ツァイス製図化機 テラグラフステレオカメラで撮影された写真を簡単な操作によって図化測定する図化機である



第16図 ウィルド製 オートグラフA40

C12で撮影された写真の専用の図化機である機械的投影方式で取扱いが容易なため未経験者でも2~3週間の訓練日数で処理方法や機械内容が修得できる



第17図 オートグラフA7および記録装置

ウィルド製万能図化機で 右側にあるのは この機械に直結する電磁式記録装置であり 測定データテープにパンチされる このパンチされたデータはアジア航測株式会社に開発された電子計算機にかけられる (アジア航測株式会社の好意による)

図化・計測作業については すでに刊行されている多くの写真測量の書籍 教科書に譲ることにして ここでは 地上立体写真測量に用いられる図化機を紹介するだけにとどめておく。

近距離地上立体写真測量用としては それぞれ専用の図化機がある。 すなわち ツアイスのテラグラフ (第15図) ウィルドのオートグラフA40 (第16図) などである。 これらは未経験者でも2~3週の講習により一応修得できる。 精密図化機としては ステレオプラニグラフC8 同じくC5 オートグラフA7 (第17図) などがあ り これらは使用範囲のきわめて広い万能1級図化機である。

おわりに

以上 きわめて簡単に地上立体写真測量についての概要を紹介したが 地すべり 崖くずれ 河川の側刻などの測定 露頭の記録など地質学の分野でも 今後応用範囲が多分にあるものと考えられる。 本項を執筆するに当って 図・写真などの資料を提供し 掲載を快諾された東京大学生産技術研究所大島太市氏 アジア航空測量株式会社 シーベルヘグナー エンド コンパニーリミテッドに対して厚くお礼申上げる。

(筆者は測量課・応用地質部)



地学と切手

阿蘇国立公園

堀内恵彦

大カルデラ内の活火山として世界的に有名な 阿蘇と九重火山群およびその北に連なり 別府市背後に位置する由布・鶴見岳までの 熊本・大分両県にまたがる730.87kmの地域が本公園区域です。 阿蘇山は 周囲80kmに及ぶ外輪山に囲まれた陥没火口原の中に 噴煙が天に沖する豪壮な中岳を主峰とする阿蘇五岳が山容をそそえ 火口原中の阿蘇谷・南郷谷はなごやかな田園風景を展開しています。

外輪山の外側は広大な裾野となり その西北部の菊地水源と深森林野は すぐれた水景として豪快な阿蘇の景観中に特異な



部分を占めています。

九重火山群は久住山を中心とする一大高原地帯で 西南の原野は阿蘇外輪山に連なる雄大な景観です。

由布・鶴見の両岳は典型的

なトロイデ火山で 別府湾の背景をなしています。 ここから九重地区飯田高原に連なるひも状の地区は 道路公園の性格の部分で変化ある景観を楽しむことができます。 この公園は各所に各種の温泉が湧出し 九州観光の中心的存在となっており九州を訪ずれる観光客は必ずといってよいほど足をはこぶ地域です。 公園指定は昭和9年12月4日。

切手は第一次が2銭(久住山) 4銭(中岳) 10銭(中岳の火口) 20銭(中央火口丘群)の4種で 昭和14年8月15日 第二次は5円(阿蘇五岳の噴火口) 10円(城山からの阿蘇五岳)の2種が 今年6月15日に発行されました。