

地表の変動量測定に対する地上立体写真測量の応用について

西村 嘉四郎* 松野 久也**

**On the Applicability of the Terrain Photogrammetry
to the Measurements of the Terrain Surface Movements**

By

Kashiro NISHIMURA & Kyūya MATSUNO

Abstract

Based upon the instantaneous record of photographs, we could get details of the terrain surface at desired time on the images of photographs. Using these sets of photographs, we can measure both absolute and or relative amounts of the movements of many points on the moving and changing terrain surface such as on the landslide mass, between desired time interval, photogrammetrically. And we will be able to map the details of surface terrain features resulted from movements and changes. These are considered to be important clues for analyses of the mechanism of the movements and changes.

Of course, aerial photographs and aerial photogrammetry may be applicable for the purpose, but usually we could not get enough large scale of photographs in a flying aircraft for the precise measurement and mapping, because there are limitation of minimum flying height. The authors here noticed application of the terrain photographs and terrain photogrammetry for the purpose and discussed their applicabilities and practicabilities of them based upon the results which have been gained through the experimental studies at the test site of Owakudani Landslide Area, in November 1965.

For the precise photogrammetric measurement and mapping, appropriate number of ground control points, whose accurate coordinates are given at the time when the photographs are taken, are indispensable. In this experimental study, fortunately, we could use 9 points which are appropriately spread over the landslide area. And the local coordinates of these points were given through precise ground triangulation methods in August, 1965.

In reference to these points, accuracy of the terrain photogrammetry in comparison with ground survey method were examined tentatively. As the results, the errors of maximum 6 mm and 130mm in altitude and horizontal position respectively are obtained. In addition to this, a topographic map of 1 : 250 on scale and of 0.5m contour interval was compiled using the above control points as the reference for absolute orientation of photographs. We could well express much detail of terrain surface compared with the map of the same area compiled by means of conventional ground method. The discrepancies of horizontal positioning of each contour line between overlapped portions of models are within 0.5mm on the base sheet.

It is, however, very difficult or impossible to give accurate coordinates to those many points spread over the area which moves fastly by means of ground triangulation method in a limited short time. Then, the application of analytical triangulation method in the aerial photogrammetry will be considered.

* 技術部 (応用地質部兼務)

** 応用地質部

要 旨

移動変化する地質現象の一つに地じりがある。この発生機構の解明について、災害防止の立場から、各方面で多大の努力が払われている。このために、地じりの変動量の測定、およびそれに由来する微地形の特徴を克明に表現する作図は、もつとも根本的な要素である。この変動量の測定については、地じり範囲内にいくつかの測点を設け、それらの変動量を定期的に測定している。部分部分で異なつた変動量を示す地じりの実態を把握するためには、変動する地域内に多数の測定点を設けこれらを正確に測定しなければならない。しかしながら、これには多大の労力と時間を要する。また、変動の結果生じた微地形の特徴の把握という点でまことに不充分である。

この点、写真の記録が瞬間的であることと、その撮影時点における被写体の形を再現できるという特性を利用して、一定の時間間隔において撮影した 2 組の写真を媒体として、計測・図化を行なえば、その間における平均変動量を知ることができるばかりでなく、微地形の変化を刻明に把握することが可能である。

大きな変動量は、空中写真測量によつて計測することが可能である。しかし、撮影高度に制限があつて、充分縮尺の大きな写真を得ることは不可能である。数 mm あるいは数 cm というようなわずかな変動量、およびこれにみあうような微地形の変化のパターンを把握することは困難である。

このような難点を解決するためには、地上立体写真測量が有効であることに着目し、その地じりによる変動量の計測とその結果生じた微地形の特徴の図化に対する応用の可能性について、箱根町大湧谷の火山性地じり地を実験地として、総合的に検討を加えた。この結果、地上立体写真測量では、撮影時に決定された諸要素によつて、写真が図化機に定位され、目的とする精度が許容範囲内であるときは、直ちに計測図化に移ることができる。しかし、厳密な精度が要求されるときは、あらかじめ測地座標が正確に決定された基準点によつて、対地標定を実施しなければならない。

対地標定のための基準点としては、この地域内に設定された 6 点を利用した。この 6 点については、岩崎一雄技官によつて、昭和 40 年 8 月定期観測が行なわれ、座標値が与えられている。

測定方法と精度については、実験的に撮影した 2 つのモデルについて検討を加えた。

I モデルは点 No. 4 を基準とし点 No. 2、点 No. 3 を II モデルは点 No. 8 を基準として点 No. 6、点 No. 7 につ

いて、地上精密測量の成果と比較した。

この結果高さにおいて誤差は最大 6 mm、平面最大 130 mm であつた。空中写真測量とは逆に高さの精度が優れている。

上述のモデルを用いて、縮尺 1 : 250、等高線間隔 0.5 m の地形図を作成し、地上(平板)測量による地形図と比較した結果、微地形をより忠実に表現することができることが判明した。また、モデル間の図の接合部において、等高線を重複描画した場合、図上で 0.5 mm 以内のずれにとどまり、等高線は高さを測定する点の連続したものであると考えれば、図の精度はきわめて高いものと考えられる。

写真測量の成果は基準点の精度に支配される。基準点測定方法として、地上三角測量法では、区々の方向に刻刻変動する地域内に多数の点を設定し、短時間で計測することは困難であり、変動する速度が速ければ速いほど至難、かつ、不可能に近い。しかしながら、写真の瞬間的な記録性を利用すれば、測定地域の両端の不動地域内に地上基準点を設け、この地域全体を連続重複撮影し、中間の写真基準点は空中写真三角測量に準じて、地上写真三角測量(解析法)により算出することによつて解決されるであろう。

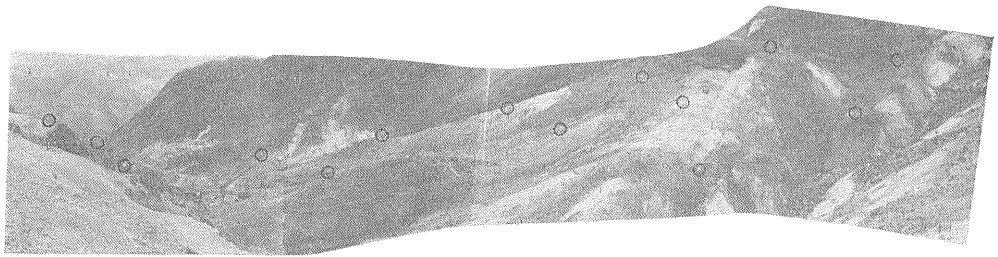
上述の地上写真三角測量は、空中写真三角測量と算出過程が若干異なるので、今後の研究課題として検討中である。

は じ め に

移動変化する地質現象の一つに地じりがあげられる。そしてこれは各所において破壊的な被害を与えている。これら発生機構の解明について、災害防止の立場から多大の努力が払われている。そのもつとも基本的な資料として、地じり地表面のできるだけ多くの点の変動量と、その変動の結果生じた微地形の特徴の把握があげられる。

地じり前と後に撮影された 2 組の空中写真から、その変動量が計測された例として、岡重文が地質ニュース No. 138 に紹介した東海道由比の地じりがある。これはアジア航測株式会社が 1959 年 4 月に撮影された写真、および 1961 年 3 月の地じりの直後に撮影された空中写真から図化された地形図を基にして計測したものである。

これをもつても解るように、写真が瞬間的な記録であるという特性を利用して、一定の時間間隔において撮影された写真を用いて、図化・計測を実施すれば、各撮影時点間における平均変化量が測定できることはいうまでもない。大きな変動量の計測については、空中写真測量が可能であつて利点も多い。しかし、撮影高度に制限があつ



第 1 図 大湧谷地り地域全景 ○印は撮影標識を付した基準点

て、充分縮尺の大きな写真を得ることができない。したがって数 mm あるいは数 cm というような、微量の変動量の計測は空中写真からは不可能である。このような難点を解決するためには、地上写真測量法が有効であることに着目し、その応用について検討を加えてきた。その実験地として神奈川県足柄下郡箱根町大湧谷の地り地域（第 1 図）を選んだ。

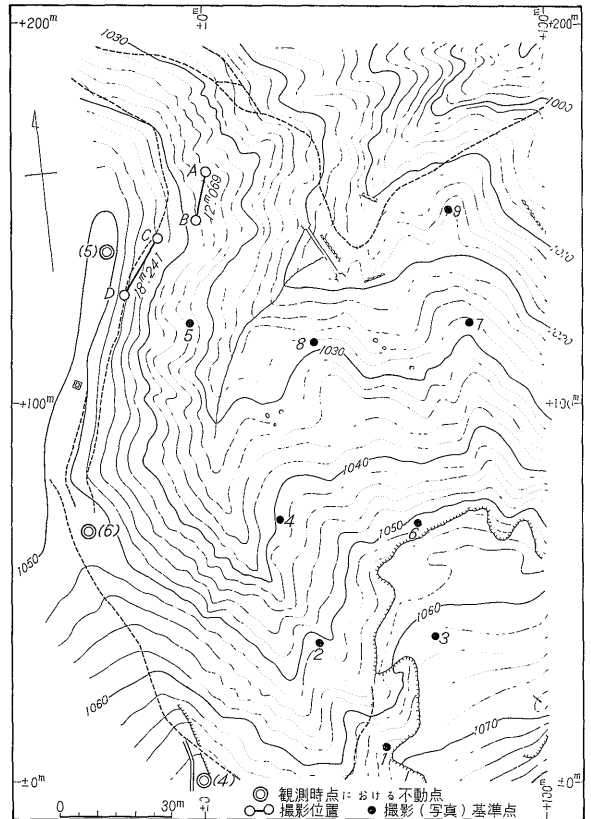
この実験を実施するに当たって、東京大学生産技術研究所第 5 部丸安研究室丸安隆和教授および同研究室の各位から助言と指導をいただいた。とくに大島太市氏からは、現地において御指導と助言をいただき、図化計測については、同研究室の鈴木芳朗・朝生防三氏の御協力を得た。また当所岩崎一雄技官からは、精密測量成果を参照させていただくほか現地作業について種々の御協力を得たことに対して謝意を表する。

実験の目的

この実験的研究は、写真経緯儀による測量用写真の撮影に関する作業基準の確立と、撮影およびこれに付随する作業について検討するとともに、この実験で撮影した写真を利用して、計測・図化を実施し、終局の精度、すなわち、地表の微小変動量の測定の可能性とについて、総合的に検討することを目的としたものである。

実験日時と実験地の概要

この第 1 回目の実験は、当初、後述する防災研究グループによる 1965 年 8 月の定期観測にあわせて実施する予定であったが、写真経緯儀の入手が遅れたことと、その輸送途上における故障とによつて、同年 11 月 25～29 日に実施した。実験地として上述の大湧谷地り地を選んだ理由の一つとして、東京から近い距離にあることがあげられる。さらに、本地地りは、火山性地りりのモデルとして、現在種々な観点から、総合的な調査研究のメ



第 2 図 撮影位置および基準点配置図

スが加えられている。なかでも変動量測定のため、観測台その他の測定用諸施設があつて、これを利用することができるほか、一定の間隔において定期観測が実施されているため、それぞれの時点における測定成果と、地上立体写真測量による成果とを比較検討が可能なことである。実験地は箱根観光コース大湧谷観光地の一部で南北に約 200 m、東西約 180 m、北傾斜の地りり地である（第 2 図）。

使用器械

この実験に使用した器材としてはワイルド社製写真経緯儀 P～30 および付属品ならびにオートグラフ A 7 が

第 1 表 使用器材明細表

写真経緯儀 P~30		
名称	個数	摘要
経緯儀	1	ウィルド T ₂ 型に同じ 水平輪角板 径 90 mm } 最少読取目盛 1 秒, 観読 0.1 秒 垂直輪角板 径 70 mm } 水準器気泡感度 20 秒 望遠鏡 内部焦点式, 倍率×28
カメラ	1	焦点距離 固定 164.67mm 絞 り 固定 1:12 シャッター レンズシャッター, セットレバー式 速度, B~1/250秒 写角 53°, 水平 46°, 垂直 30° 垂直傾斜角 +7g, ±0g, -7g, -14g, -21g, -28g にセット
付 属 品		
三脚	3	垂球付
水平規正板	3	円形水準器付
規板	3	
フィルター	4	黄, 橙, 赤, 偏光, 各 1 コ
ピントガラス	1	
パトロネ	24	
パトロネケース	2	パトロネ 12 コ収納
サブテンスバー	1	横式 2 m, 2 つ折
露 出 計		
ルナシックス露出計	1	反射光および入射光測定 受光角 9° 測定範囲 ASA 6~25,000 DIN 9~45 絞 り 1~90 時間 1/4000秒~8時間
図 化 機		
オートグラフ A7	1	東京大学生産技術研究所のものを使用
現 像 用 具		
現像タンク	1組	携帯用, ステンレス製 4コ (容積 5.5~8ℓ)
乾板掛	30	ステンレス製
温度計	1	写真用
暗室用ランプ	1	赤色
暗室用時計	1	
写 真 材 料		
乾板		100mm×150mm×1.3mm A1オーソクロマチック (ASA 20)
現像剤		ミニドール
定着剤		フジフィックス
乾板用水切液		ドライウエル
そ の 他		
暗幕	3	
測量用傘	1	
巻尺	1	
ストップウォッチ	1	

主要機械であつて、このほか、露出計、現像用具、写真材料などがある。その明細は第1表のとおりである。

基準点

写真測量では対地標定のため原則として基準点を必要とする。この実験では地上基準点として、変動量測定のためにすでに設置されたNo. 1~9 (第2図) の点に撮影標識をつけてそのまま利用した。これらの点はいずれも地入り範囲内にあつて、変動点として変動量測定の対象となつているものであり、1965年8月12~16日の間に観測した測地座標が与えられている。その座標の性格は、定期観測の時点ごとに現地の南方約1,000mにある冠ヶ岳その他の基準点から誘導して(4)点を決定し、これを現地基準点と定め、これからインバール尺による測距、ウイルド経緯儀 T₃ による観測・直接水準測量に

よつて(6)・(5)点を測定し、(4)・(5)・(6)をその時点における不動点とみなして、前方交会法でNo. 1~9の点の座標が算出されている(第2図)。No. 1~9点の変動量は昭和40年4月と同年8月における2回の測定結果によると、この4カ月間に最大 Δx 35.6mm, Δy 21.6mm, Δh -9mm, 最少 Δx 3.2mm, Δy 0mm, Δh +0mm である(第2表)。

実験の要点

選点

基準点は前述のとおり既設点を利用し、撮影位置の選定は、既成地形図(縮尺1:500)と空中写真(縮尺1:700)とを参考として、下記の条項を考慮し一応机上で決定した。

第2表 大湧谷地盤変動量表 (岩崎一雄, 1966)

	III回 1965年4月 測定			IV回 1965年8月 測定			受 動 量						
	x (m)	y (m)	h (m)	x (m)	y (m)	h (m)	Δx (mm)	Δy (mm)	Δh (mm)	t			D (mm)
基 (4)	0.0000	0.0000	1071.436	0.0000	0.0000	1071.436	0.0	0.0	0	0	0	0	0.0
〃 (5)	+139.9092	- 24.5691	1051.375	+139.9327	- 24.5683	1051.372	23.5	0.8	- 3	359	3	1	23.5
〃 (6)	+ 65.6701	- 29.7900	1051.800	+ 65.6733	- 29.7915	1051.803	3.2	1.5	+ 3	330	38	32	3.7
標 (1)	+ 8.6838	+ 48.0875	1067.891	+ 8.7007	+ 48.0905	1067.892	16.9	3.0	+ 1	10	3	58	17.2
〃 (2)	+ 36.1307	+ 30.5692	1052.023	+ 36.1655	+ 30.5416	1052.024	34.8	21.6	+ 1	321	34	55	44.4
〃 (3)	+ 38.1172	+ 60.7676	1064.308	+ 38.1528	+ 60.7659	1064.299	35.6	1.7	- 9	357	15	58	35.6
〃 (4)	+ 68.7077	+ 19.9318	1041.091	+ 68.7225	+ 19.9321	1041.090	14.8	0.3	- 1	1	9	41	14.8
〃 (5)	+120.5642	- 3.4481	1037.112	+120.5852	- 3.4445	1037.110	21.0	3.6	- 2	9	43	39	21.3
〃 (6)	+ 67.9816	+ 56.1707	1052.072	+ 68.0155	+ 56.1707	1052.068	33.9	0.0	- 4	0	0	0	33.9
〃 (7)	+120.9119	+ 69.5773	1030.440	+120.9348	+ 69.5879	1030.436	22.9	10.6	- 4	24	50	19	25.2
〃 (8)	+115.4706	+ 29.1615	1030.967	+115.4952	+ 29.1667	1030.963	24.6	5.2	- 4	11	56	8	25.1
〃 (9)	+151.0532	+ 64.2968	1019.712	+151.0831	+ 64.3106	1019.707	29.9	13.8	- 5	24	46	31	32.9

		m			mm		mm	
基線長	(6)-(5)	II回	74.40956	III回	74.42250	IV回	74.44277	変動量
〃	(6)-(4)	〃	72.11043	〃	72.11107	〃	72.11463	II:III +12.94
増大	(4)-(5)	〃	142.03686	〃	142.05010	〃	142.07305	III:IV +20.27
備考	(4)を仮原点とし(4)から(6)の方向を不動方向として算出したもの							

第3表 撮影位置座標 (1965年11月測定)

点名	x	y	h	摘要
A	+ 160.703	+ 0.780	1036.823	bx : \overline{AB} 11.882 m
B	+ 149.247	- 1.985	1038.285	
C	+ 144.027	- 12.060	1043.807	bx : \overline{CD} 18.241 m
D	+ 128.821	- 20.945	1045.378	

- 1) 少ないモデル数で全地域を包含する
- 2) カメラをできるだけ被写体に正対させる
- 3) 写真縮尺はなるべく大きくする
- 4) 死角をさける (見降すような位置)
- 5) 被写体までの距離とカメラ位置間の距離 (基線長 bx) との比注¹⁾を 1 : 3 ~ 10 の範囲内なるべく大きくとる
- 6) 止むを得ない場合に偏角撮影を考える
- 7) カメラ位置間の比高 (by) をできるだけ少なくする

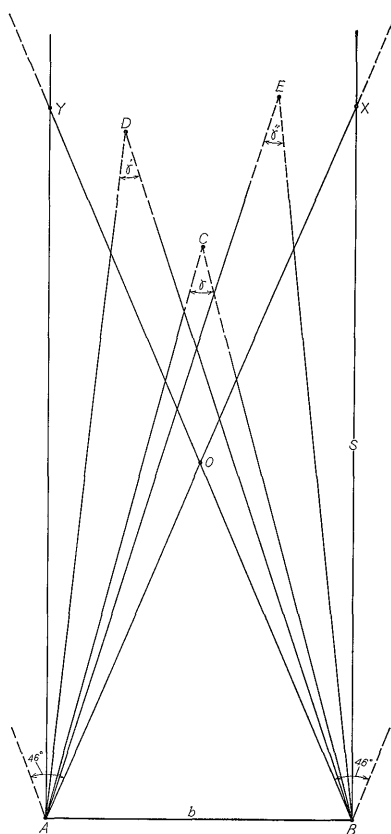
現地踏査による位置の決定

現地踏査の結果、地形的な制約があつて上述の条項を充分満足する地点を選定できなかつた。これは切り取りや盛土などによつて、ある程度補えるものであるが、実験地が国立公園内にあつて、しかも観光地の中心に位置している関係で、地形の改変に類するこのような工事は不可能なためである。しかしながら、できる限りの措置を講じて決定した位置は、A B, C D (第 2 図) であつて、その測地座標は第 3 表のとおりである。

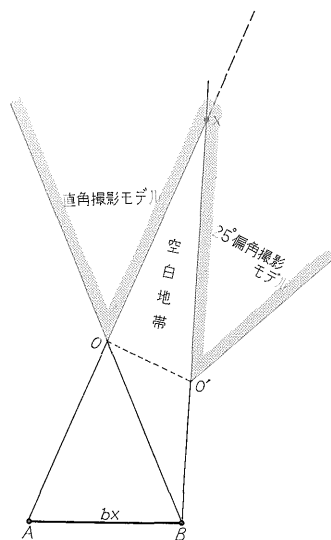
基線長の問題点

撮影位置の選び方は上述のとおりであり、基線長 (bx) は測定精度に重要な影響を及ぼすものである。立体模像の形成面は A・B を撮影点とし、写角測線のなす対頂角 O 点からはじまる (第 3 図)。すなわち、立体模像は $\cot 67^\circ \cdot \frac{b}{2}$, すなわち O 点からはじまつて、 $\cot 67^\circ \cdot b$ で X および Y 点においてそれぞれ主線と交じわる。ステレオ有効範囲はその 2 辺の夾角内である。この範囲内で計測される C, D, E が遠くなればなるほど基線 A B の両端からの夾角 $\gamma \gamma' \gamma'' \dots$ は逐次鋭角となる。写真像の縮尺も使用カメラの焦点距離 (f) とカメラから被写体までの距離 (S) との比、すなわち、 $\frac{f}{S}$ であつて、カメラ位置から遠くなるほど小となる。したがつて、測定精度は基線長一定のとき距離の自乗に比例して悪くなる。そこで基線長は状況の許す限り大きくとり、精度の向上につとめる。また均一な測定精度を求めるためには、各モデルごとにカメラ位置から測定地域ができるだけ等しい距離にあることが望ましい。

偏角撮影において、直角撮影で形成されるモデルと偏角撮影のそれとの接合部に第 4 図に示すように三角形 $O \hat{X} O'$ の部分が空白となる。測定しようとする地点がこの空白地帯に入らないようにすることが偏角撮影の要件の一つである。この空白地帯の大小は偏角度と基線長

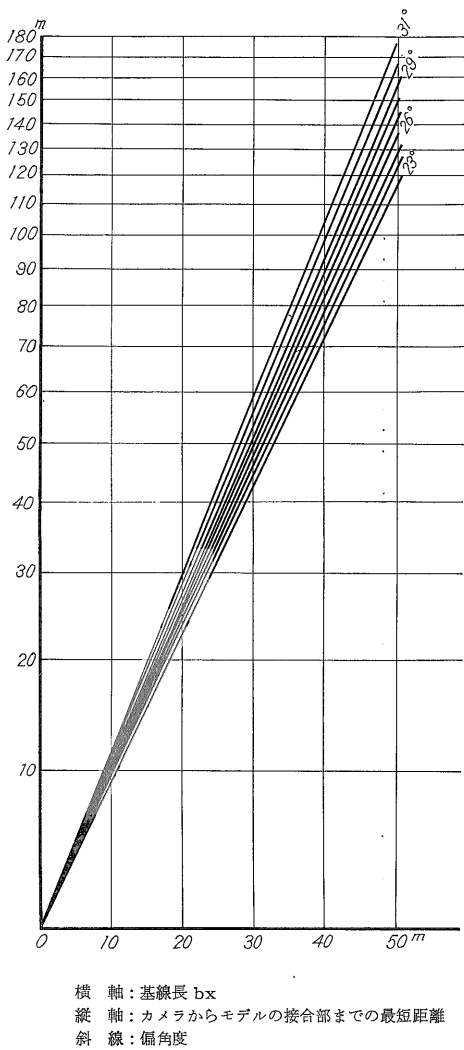


第 3 図 直角撮影モデルにおける測定点の距離と撮影点 A, B からの交会角との関係



第 4 図 直角撮影モデルと偏角撮影モデルとの接合関係

注 1) 撮影位置間 (基線長 bx) とカメラから被写体までの距離との比を距離比といい、これが大きいほど測定精度はよくなる。空中写真では広角レンズを使用した場合 1 : 1 である。



第 5 図 直角撮影モデルと偏角撮影モデルとの接合点算出表

の量によつて決められる。すなわち、基線長 b_x を大きくすると測定精度が向上する反面 \overline{AX} の延長上で \overline{BX} と交じわる X 点が、カメラから遠くなつて空白地帯は大きくなる。偏角度が大きくなつても同様である。これらの関係を第 5 図に示した。

前方交会の可能性について

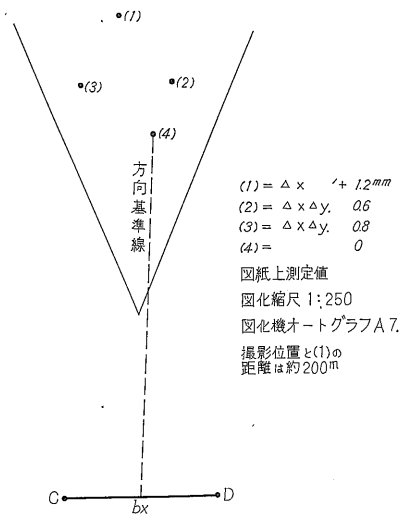
空中写真測量では航行する航空機上から撮影するため、撮影位置が不明確である。したがつて、カメラの内部定位のための要素だけが既知である。このために地上基準点を使用して、写真の位置を後方交会によつて決めてから測定作業に移るのである。これに対して地上写真測量においては、既知の点から撮影するのである (第 4 表)。したがつて、撮影基線長 (b_x)、両方のカメラの比高

(by), 垂直角・水平角 ($\omega \cdot \varphi$) などは、撮影時すでに測定されている。これを図化機に定位すれば理論的には標定が完了したことになり、基準点を必要としないで、前方交会によつて立体模像上の任意の点の空間座標が機上に得られるはずである。

これが可能であるならば、被写体全域がそれぞれ区々の方向に変動する地送り、山崩れなどの被写体に対し、同一位置から何回か撮影を行なえば、撮影時間間隔ごとに変動量は容易に計測される。しかしながら実際には人為的な誤差やカメラ・図化機などの機構上から生ずる誤差があつて、これを完全に除去できないことはわれわれの経験上よく知られたことである。

撮影点 C, D から撮影された写真のモデルについて前方交会によつて、当然発生すると考えられる誤差の量について、以下検討を試みる。

このモデルを対象に撮影時の諸元 $b_x, b_y, b_z, \omega, \varphi, \kappa$ などを図化機オートグラフ A 7 に定位し、模像上の No. 4 点と図紙に展開した No. 4 点と合せ、撮影基線上の midpoint と No. 4 点とを結ぶ線上の地物を方向基準線として図紙を固定したとき、(1), (2), (3) の点に対し測標の示す位置と図紙上の点との差は第 6 図のとおりである。



第 6 図 前方交会の精度検討要領ならびに得られた結果

この結果から次のことが考えられる。

地上測量値と比較すると、被写体(1)点までの距離 200 m, 図紙上の差 1.2 mm で、撮影距離に対して $\frac{200m}{1.2mm \times 250} \approx 1 : 667$ となり期待する精度は得られない。高さの値が詳らかでないための確な判断はできないが、測定値の差は No. 4 点から逐次放射状に増大していることから、模像が ω 方向に傾き、かつ b_x , すなわち縮

第 4 表 オートグラフ A 7 の測標の示す値と 1965 年 8 月における地上三角測量値によつて展開された図紙上の点との間の偏量

		Δx (mm)	Δy (mm)	Δh (mm)	備 考	
I	2	1	- 0.140	- 0.020	+ 0.50	1. $\Delta x, \Delta y$ は図紙上で 読取つた値であるか ら縮尺化されている ので $\times 250$ が実長と なり Δh は図化機上 に示される実高値で ある。 2. 数字は 5 回読取つた 平均値である。 3. 4 と 8 を 0 に置き換 えて、例えば No. 2 の 変動量は No. 4 = 0 $\frac{\text{mm}}{18.75} - \frac{\text{mm}}{9.612}$ $= \frac{\text{mm}}{9.138}$
		2	- 0.060	- 0.020	- 1.50	
		3	- 0.130	- 0.025	- 3.00	
		4	- 0.005	- 0.012	- 6.00	
		5	- 0.045	- 0.008	- 1.50	
		平均	- 0.075	- 0.017	- 2.30	
	実長	- 18.750	- 4.15	- 2.30		
	3	1	- 0.285	- 0.001	- 5.50	
		2	- 0.140	- 0.021	- 10.50	
		3	- 0.268	- 0.009	- 3.00	
		4	- 0.228	- 0.024	0	
		5	- 0.242	+ 0.045	- 10.5	
平均		- 0.2326	- 0.002	- 5.7		
実長	- 58.150	- 500	5.7			
4	1	+ 0.102	- 0.013	+ 1.00		
	2	+ 0.050	- 0.008	+ 2.50		
	3	+ 0.011	+ 0.007	+ 3.00		
	4	- 0.002	+ 0.002	+ 4.00		
	5	+ 0.031	+ 0.012	- 0.50		
	平均	+ 0.0384	0	+ 2.00		
実長	+ 9.612		+ 2.00			
II	6	1	+ 0.05	+ 0.105	- 5.00	
		2	- 0.120	+ 0.100	0	
		3	- 0.020	+ 0.105	- 10.00	
		4	- 0.060	+ 0.101	0	
		5	+ 0.040	+ 0.103	- 5.00	
		平均	- 0.031	+ 0.103	- 6.00	
	実長	- 7.650	+ 25.75	- 6.00		
	7	1	- 0.040	+ 0.110	0	
		2	- 0.050	+ 0.110	0	
		3	- 0.040	+ 0.110	- 0.05	
		4	- 0.040	+ 0.102	0	
		5	- 0.020	+ 0.100	0	
平均		- 0.038	+ 0.107	0.01		
実長	- 9.500	+ 26.750	- 0.01			
8	1	- 0.030	0	0		
	2	- 0.050	0	- 0.01		
	3	- 0.050	- 0.01	- 0.01		
	4	- 0.035	0	- 0.005		
	5	- 0.03	0	- 0.01		
	平均	- 0.039	- 0.002	- 0.007		
実長	- 9.75	- 500	- 0.007			

尺にも関係のあることがわかる。

この一例だけでその原因を追求することはできないが、われわれが今まで経験してきたことも考慮して考えられることは、カメラ・経緯儀・図化機・感光材料などによる偏差の組み合わせつた総合的なものが原因であろう。おもな要因として考えられるものをあげると

- 1) 経緯儀の観測も正、反、反復測定の平均値が採用されているものでない。したがって、その誤差量は不明である。
- 2) カメラ光軸に対して左右の傾き (k に該当) は未詳である。
- 3) カメラ光軸に対して上下の傾き、7 g ごとの段階運動量にも大きな疑問がある。
- 4) 3 項の傾きはレンズを中心として回転していない。
- 5) 感光材料とその処理過程において、銀粒子の流動を見逃すわけにはゆかない。
- 6) 乾板面の平滑度およびその面のカメラ画枠えの圧定に対して密着しているか確認の方法がない。

これらの欠陥を除去するため、それぞれの量を定数化して補正することも考えられる。

写真測量は目的の地域を瞬時に映像として記録し、これを媒体として計測が行なわれるものであるから、カメラ機構を中心に上述の事項が解決されるならば、前方交会による地上写真測量は完全なものになるはずである。しかしながらこれは現在のところ事実上不可能であろう。

測定精度の比較

ある時間間隔において撮影した 2 組の写真によつて測定された値の差がその間における変動量であることは上述のとおりである。この差が求められてはじめて、地上測量による変動量との比較が可能となる。しかし今回の実験による 11 月 25 日に撮影した写真だけでは、写真測

量による変動量が算出できない。そこでかなり疑問は残るが地上測量による 8 月現在の成果 (第 2 表) によつて、11 月 25 日に撮影した写真の地上標定したときに生ずる標定誤差内に 8 月から 11 月までの間の変動量が包含されていると仮定し、次の方法を試みた。

点 No. 2, 3, 4 を含むモデルを I, 点 No. 6, 7, 8 を含むモデルを II と呼び、I においては No. 4 を、II においては No. 8 を撮影時点における不動点を仮定し、8 月現在の地上測量成果を図紙上に展開する。これに対して 11 月撮影した写真を対地標定したとき、模像上において測標の示す No. 3, 4, 2・No. 6, 7, 8 の点と図紙上の地上測量によつて展開した該当点とは一致しない。この差が地上写真測量の誤差、オペレータ固有の観測誤差および 8 月から 11 月までの変動量と考えた。この差を第 4 表に示した。11 月 25 日における撮影ならびに上記の実験の後には得られた、地上測量による 8 ~ 11 月間の変動量は第 5 表のとおりであり、図紙上の点と模像上の点との偏位置 (第 3 表) から地上測量による変動量 (第 5 表) を差引くと地上写真測量の誤差とオペレータの観測誤差が得られる (第 6 表)。

差し当たつてこの方法が妥当であるか否かは別として、この結果から観察すると、高さの精度が平面位置の精度に較べてかなりよいことがわかる。空中写真測量では一般に平面位置の測定値に較べて、高さの精度が悪いといわれている。これが地上写真測量の特徴の一つであろう。しかし、これは同一モデル内で測定したものであつて、幾つかのモデルを接合して測定する基準点測量の場合においては上述の精度が維持できるか否かは不明である。したがって、写真三角測量 (機械法・解析法) を実施することによつて改めて検討する必要がある。これについてさらに撮影標識の形態も撮影距離に応じた大ききで、視視点が明確に写真上で判定できるものを設置しない限り、数 mm, 数 cm の計測を望むことは困難であろう。

第 5 表 地上測量による 1965 年 8 月から 11 月までの間の変動量 (岩崎一雄, 未公表)

測点	8 月 測 定 値			11 月 測 定 値			差 (変 動 量)		
	x (m)	y (m)	h (m)	x (m)	y (m)	h (m)	Δx (mm)	Δy (mm)	Δh (mm)
2	+ 36.1655	+ 30.5416	1052.024	+ 36.1349	+ 30.5579	1052.015	- 30.6	+16.3	- 9.0
3	+ 38.1528	+ 60.7659	1064.299	+ 38.0062	+ 60.8261	1064.291	-146.6	+60.2	- 8.0
4	+ 68.7225	+ 19.9321	1061.090	+ 68.6621	+ 19.8620	1041.094	- 60.4	-70.1	+ 4.0
6	+ 68.0155	+ 56.1707	1052.068	+ 68.0635	+ 56.0766	1052.055	+ 48.0	-94.1	-13.0
7	+120.9349	+ 69.5879	1030.436	+120.8847	+ 69.5921	1030.431	- 50.1	- 4.2	- 5.0
8	+115.4952	+ 29.1667	1030.963	+115.4477	+ 29.1658	1030.956	- 47.5	- 0.9	- 7.0

第6表 地上測量と地上立体写真測量との比較

区 分	Δx (mm)	Δy (mm)	Δh (mm)	区 分	Δx (mm)	Δy (mm)	Δh (mm)			
I モ デ ル	2 { 実 測	+ 29.8	- 53.8	- 5.0	6 { 実 測	+ 0.5	- 93.2	- 6.0		
		写 測	- 9.14	- 4.15		- 0.3	写 測	- 2.1	+ 25.25	- 5.67
		差	38.94	- 49.65		- 4.7	差	2.6	118.45	- 0.33
	3 { 実 測	- 86.2	- 9.9	- 4.0	7 { 実 測	- 2.5	- 3.3	+ 2.0		
		写 測	+ 48.43	- 0.5		- 3.7	写 測	- 0.25	+ 26.25	- 0.006
		差	134.73	- 9.4		- 0.3	差	- 2.25	29.55	- 2.006
	4 { 実 測	0	0	0	8 { 実 測	0	0	0		
		写 測	0	0		0	写 測	0	0	0
		差	0	0		0	差	0	0	0

実測値=点4, 点8を零位に置換えたとき点2, 3, 4の8月から11月までの相対的変動量
 写測値=点4, 点8を零位に置換えたときの点2, 3, 4の相対的変動量+誤差
 差 = 実測値を正しい変動量とすれば, 差は地上写真測量の誤差となる

今回は臨時に作った厚紙に印しをつけて地上測量用の視標に添付したものを利用した関係で, 測量値に大きなバラツキが現われている。

作 図

基準点としては1965年11月観測のものが図化時点において計算途上にあつたため, 同年8月現在の地上測量の成果をそのまま使用した。これは過去における測定結果(第2表)からわかるように, 変動量はきわめて小さくこれによつて地形図全体に及ぼす影響は少ないものと考えたからである。

- 図化縮尺 1 : 250
- 機械縮尺(オートグラフA7) 1 : 375
- 等高線間隔 0.5 m
- 図化面積 180m×200m (死角のため白地が含まれている)
- 断面直接描画 2断面
- モデル数 4

図化作業はYとZを機械上の操作で置換えるだけであつて, 空気の真測量と同様である。ただし撮影時点における既知諸元 ϵ , ω , ϕ , のほか b_x , b_y , b_z などそれぞれ機械縮尺に換算して定位する。また機械縮尺は機械の作動範囲に関係のあるもので, オートグラフA7地上写真測量の機械縮尺と歯車比の選定表によつて決定した。機械の操作については, 熟練したオペレーターがこれに当たり, 作業は円滑に手際よく進捗し, 所要時間は合計約12時間で完結した。

地形図および断面図はともに微地形を忠実に表現している。これを地上測量による既成図(第8図)と今回の地上写真測量による地形図(第7図)と比較するとその差は明確である。

各モデル間の図の接合部も平面位置で等高線および地物が0.5 mm程度の差で重複している。したがつて, 作図の精度は図全体に均一であり, 等高線は高さの等しい点の連続と考えれば高く評価されるものである。

撮 影

写真測量は, 撮影された写真映像から計測されるものであるから, きわめて厳しい要求のもとに実施される。感光材料の撰択, 露光, 現像処理と一貫した過程において, 一つの失敗は, 全行程を反復することになる。さらに, 露光のチャンスが再来しない場合もありうるので一節ごとに確認しながら慎重に作業を進めることが大切である。

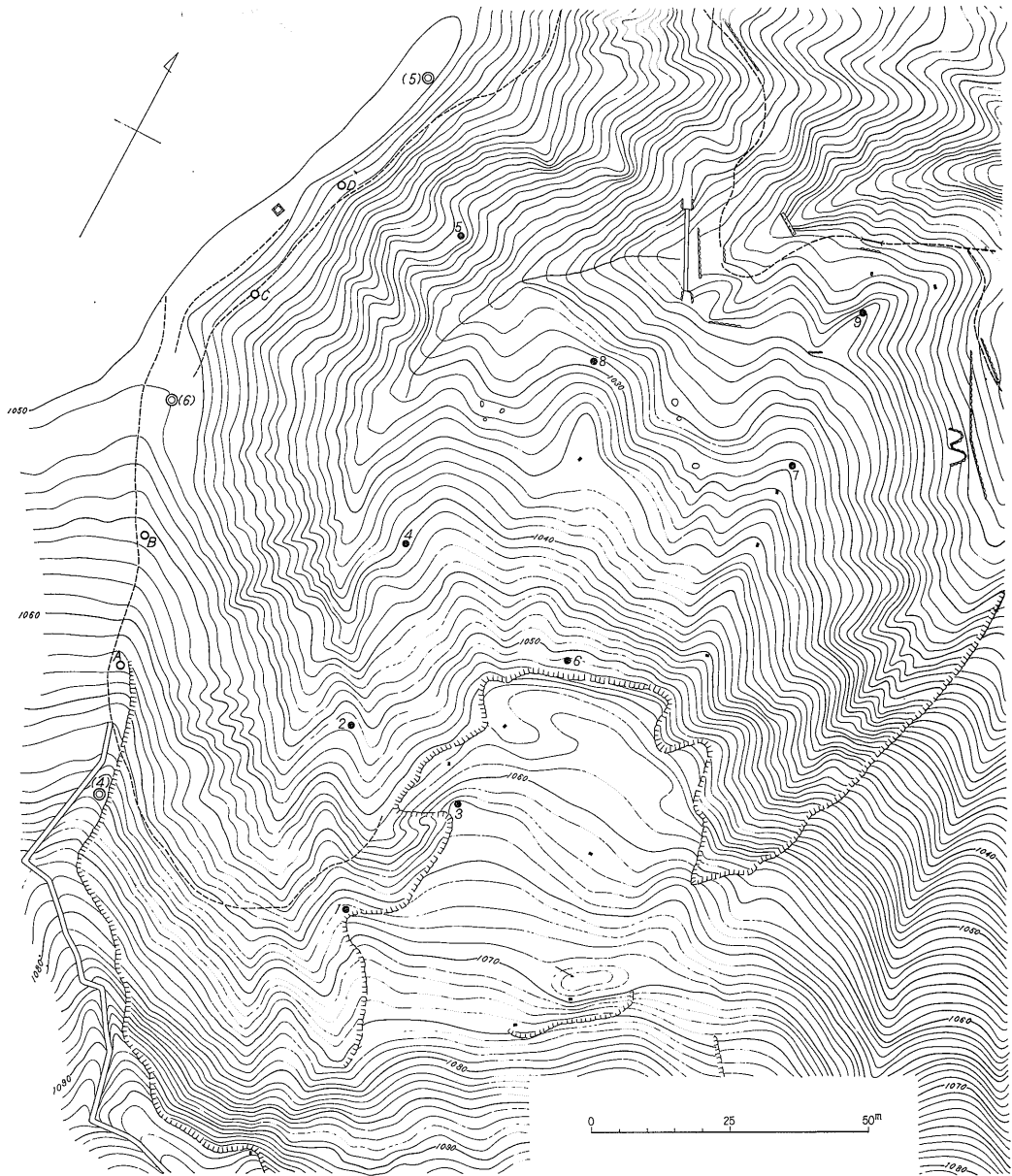
感 光 材 料

乾板はガラス面が平滑であり, 超微粒子乳剤で, かつ整色性のものが使用される。寸法は100mm×150mm×3.5 mmで切断面が滑らかであることが必要な条件である。

今回はA1乾板(フジフィルム社製), 感光度ASA 20, 超微粒子乳剤, オーソクロマチックを使用した。標準規格の寸法は欧州サイズであつて日本では現在市販さ



第 7 図 箱根大湧谷地入り地域地形図 (地上立体写真測量による)

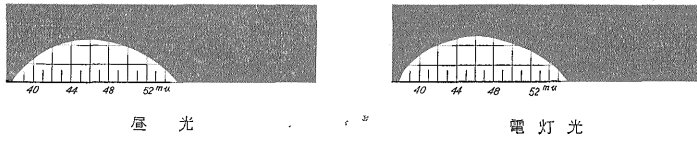


第 8 図 箱根大湧谷地之り地域地形図

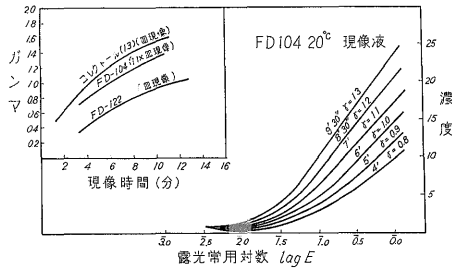
れていない。したがって止むを得ずキャビネ判を裁断して使用した。またこの乾板の厚さは 1.3 mm であり、規格の厚さ 3.5 mm に対してはるかに薄いものである。厚さに対する 2 mm の不足分は不本意であるが厚紙によって補填した。現在のところ正しい規格のものを使用するには輸入にまつほかない。これには使用数量と有効保存期限の問題が介在することとなり、これを使用する場合は保存期限の延長対策を考えなければならない。

感色性についても整色性のものが望ましいがオーソクロマチックは、550 ミリ micron より長い波長に対して感色性が弱い欠点がある (第 9 図 a)。しかし現像処理過程において赤色現像電球を使用でき、現像の進行状態を観察できる利点もある。

濃度は濃度特性曲線 (第 9 図 b) でわかるように一定露光に対して、曲線の足の部分 (誘導期—現像液に浸してから黒化が行なわれるまでの時間) が長く、階調が直



第9 図-a A1 乾板の分光感度曲線



第9 図-b A1 乾板の濃度特性曲線

線部にあることがわかる。測量用写真はやや硬調なものが要求されるので、直線部の高い方の時間を採用する。

露光 (露出) 時間

使用した露出計はルナソックス携帯用電気露出計であつて受光角9度、直射光、反射光切替えて使用できる。

受光角が他の露出計に較べてきわめて小さいので被写体上のとくに必要とする部分の測定ができる。測量用写真では解読できない部分を作らないためには、小さい受光角で被写体の輝度分布を正確に測定し、総合的に適正な露光時間を決定する必要がある。今回実験時の露光時間は付属の黄色フィルター (倍率3倍) を使用し天空光 (直射日光時以外) で1/10秒～15分が適当であつた。

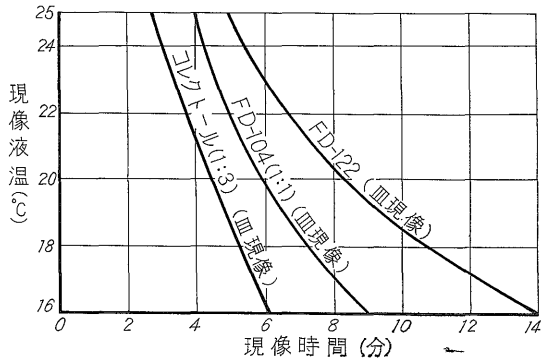
また天候が急激に変化する場合は露光直前の測定値を採用する注意が必要であらう。

撮影作業

陰影部分の細部をだしハレーションを防止するためには天空光時の撮影がもつともよい結果が得られる。

直角撮影 (撮影基線に対してカメラ光軸を直角に向けて撮影する) と 30° 偏角撮影を行ない、かつカメラの前後の傾きを、水平と -7 g で撮影した結果、第8 図の範囲をカバーすることができた。撮影操作および手順などについては「地上写真測量の実際」に改めて記述する予定である。撮影時乾板上に記録されるものはカメラ製作番号・指標^{注2)}、乾板番号にとどまる。したがつてその他の記録はすべて、撮影記録用紙 (第8表) に記入し、

注2) 焦点距離, レンズ収差, および光軸と座標軸の偏集はカメラによつて固有のものである。



第10 図 A1乾板の現像液温と現像時間との関係

後日の測定図化作業の指針とした。その様式は、われわれの作業の便を考慮して作成したものであつて、目的によつて改変されよう。

現像処理 (現像, 定着, 水洗, 乾燥)

現像 現像処理は写真を作る際の最終の関門であつて、これに失敗すると前段までの作業はすべて水泡に帰するのである。

現像は露光された乾板の潜像に化学的変化を与えて可視像を作り出す作業である。

その現像剤として、市販されているものに微粒子用として、ミニドール・マイクロファインなど既成剤のほかには処方剤として第7表があるが、充分な設備のないところで作業する関係上今回は前者を使用した。このときA1乾板の現像時間は第10図でわかるように、露光時間が適切であれば、現像液温度20°Cのとき9分前後である。今回の実験では20°Cのとき約13分を要した。一般ネ

第 7 表-a 微 粒 子 現 像 液 処 方

処 方 名	現像液 1000 cc 中に溶解する薬品の g 数							原 液 使 用 標 準 現 像 時 間 20°C (分)
	メー トル	無水亜硫 酸ナトリ ウム	ハイドロ キノ ン	無水炭 酸ナト リウム	硼砂	臭化カ リウム	そ の 他	
D-76 (E. K.)	2	100	5	—	2	—	—	10~17
D-76 d (E. K.)	2	100	5	—	8	—	硼 酸 8	12~17
Agfa-12	8	125	—	5.75	—	2.5	—	8~12
Agfa-14	4.5	85	—	1	—	0.5	—	9~18
Agfa-15	8	125	—	12	—	1.5	—	3~5
AnSCO-17	1.5	80	3	—	3	0.5	—	{ 皿 8~12 タンク 10~20
AnSCO-17M	1.5	80	3	—	—	0.5	メタ硼酸ナトリウム 2	10~15
ND-2 (DuPont)	2.5	75	3	—	5	—	—	7~11
FD-21 (フ ジ)	3	90	2	—	5	0.5	—	8~12
FD-122 (フ ジ)	2.5	100	2.5	—	—	0.5	ナボックス 2	{ 皿 7~10 タンク 9~12
SD-3 (小西六)	2	60	6	—	1	—	重炭酸ナトリウム 3	8~10
SD-20 (小西六)	1.5	100	3	—	—	0.5	コニグレイン 2	{ 皿 6~9 タンク 6~10
OD-100 (オ 社)	2.5	100	5	—	3	—	硼 酸 2	{ 皿 8~10 タンク 13~15
PQ (ID-11近似)	—	100	6	—	2	1	硼 酸 1 フェニドン 0.2	7~11

第 7 表-b 特 別 微 粒 子 現 像 液

処 方 名	現像液 1000cc 中に溶解する薬品の g 数						原 液 使 用 標 準 現 像 時 間 20°C (分)	
	メー トル	パラミン (*印は 塩基)	グリシン	無水亜硫 酸ナトリ ウム	臭 化 カリウ ム	そ の 他		
DK-20 (E. K.)	5	—	—	100	0.5	コダック チオシアン化ナトリウム	2 1	タンク 15
D-25 (E. K.)	7.5	—	—	100	—	酸性亜硫酸ナトリウム	15	タンク 35 18 (25°C)
NC-3 (DuPont)	—	10*	2	90	—	—	—	15~30
FD-121 (フ ジ)	7	—	—	100	—	異性重亜硫酸カリウム	0.5	{ 皿 11~15 タンク 15~18
Sease III	—	10*	6	90	—	—	—	15~30
Micros III	5	10	—	60	1	磷酸(三)ナトリウム	3.5	6~8
Schwarz	2.5	—	—	25	—	ハイドロキノ ン 重炭酸ナトリウム チオ硫酸ナトリウム	1.25 15 0.5	10~15

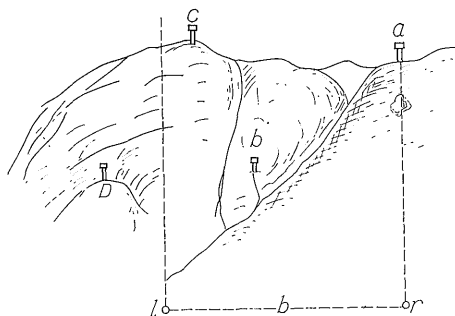
第8表-a 地上写真撮影記録様式例-I

撮影場所	箱根大湧谷	月 日	1965. 7. 15	天 候	曇	カメラNo.	P~30 280	焦点距離 f	162
乾板 No.	34	時 刻	AM h PM 4.30	撮影方向	直角 } 右25° 偏角 } 左	傾斜角	± 0 g	露光量	1/10
基線長 b	m 34.854	b 間比高 HL-HR	m 1.35	機 械 高	m 1.245	パトロネ No.	34	撮 影 者	影 上

記 事

乾板圧定不良のため再撮影を要す

撮影点からみた被写体の見取図



第8表-b 地上写真撮影記録様式例-II

撮影位置	乾板番号	カメラNo.	焦点距離 mm	機 械 高 m	偏 角	撮影時間 h m	露光時間	基線長bx m	備 考
栃尾 最上段右	0.25	280	165.02	110.854	直 角	P M 5.30	1/5	30.455	傾斜-7 g 圧定良
〃 左	0.30	〃	〃	125.004	〃	P M 5.55	1/2	〃	〃

が用の場合より若干濃度が高い硬調仕上げの方が、結果的にはよいように思われる。露光不足はこの段階において補足することが可能である。しかし、過度のものに対して、過度の時間延長や現像液温で調整することは、現像カブリを誘発して、不鮮明なものとなり、使用不能なものとなるので、注意を要する。

この作業は現地において速やかに実施することが原則であつて、もし失敗した場合は直ちに再撮影を容易にするためである。

現像用具 現像処理を容易にするため(第11図)に示すようなタンクとハンガーを試作して使用した。これは携帯に便利であつて、現像浴中に軟化した乾板の膜面を損傷しないこと、薬液が均等に循環させることができ、現像むらを作らないことを主眼として作成された。現像浴用、停止浴用、定着浴用、水洗用の4個を1組とし、大形のタンクに逐次小形のものを挿入して、1個分の容積となる。1個の容積は5.5~8ℓである。またハンガーが30個あつて、これに各1枚の乾板を挿入して1個のタンク内に20個を吊して、手動によりハンガーをタンクの上縁に沿つて動かし薬液を攪拌する。現像途上においてハンガーを引き上げ黒化、濃度の進行状態の観察が容易にできる。

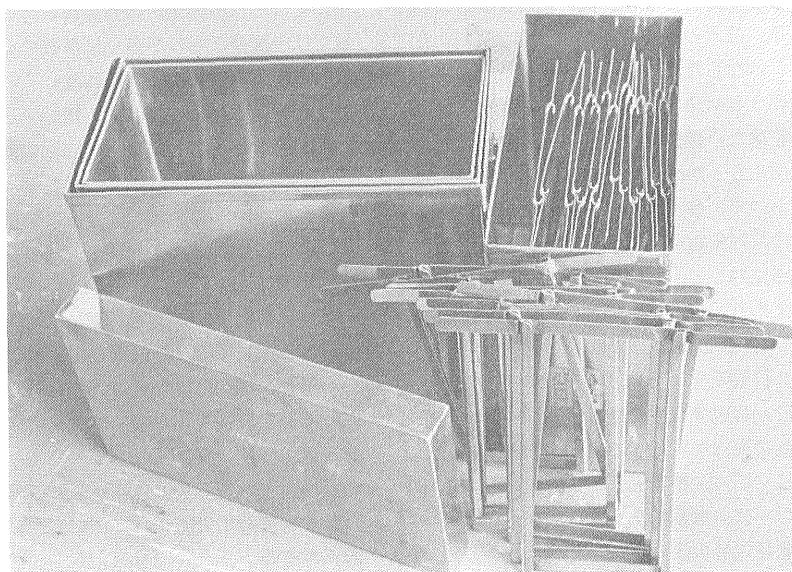
停止 停止液は水に酢酸1.5%を溶融するものと、これにクロム明パンを添加して、乾板の軟化した膜面を引きしめる硬膜性のものとあり、後者は市販されている。

この使用目的は現像の進行を停止させることと、乾板に付着した現像液が定着液に混入することを防ぐ^{注3)}ためにある。この作業は薬剤を使用せず水洗によつて代行することもある。今回はこの方法で充分目的を達成した。

定着 現像されずに感光膜中に残つた未露光のハロゲン銀をチオ硫酸ソーダ(通称ハイボ)溶液によつて溶解する。これが定着の原理である。現像液、停止液中で軟化した乾板面の感光膜を硬くひきしめるために、明パンを定着液に加えて定着と同時に硬くひきしめる硬膜定着剤が市販されている。このほかに各種の処方剤がある。今回は携帯に便利な缶入の酸性硬膜定着剤フジフィックスを使用した。定着時間は液温20°Cで20分で完了した。定着完了の判定は定着開始から感光膜の基底に塗布されている黄色のハレーション防止膜の黄色が消失するまで時間の2倍を目途とすればよい。定着液は1回に8~10ℓの定着溶液を作る場合が多い。このとき定着乾板数30~50枚程度であるから、使用後の定着液は経済上保存することになる。定着液は肉眼でみて褐色に着色したものや、ハイテスターの遊標目盛が5~8の間にならないものは使用しない方が安全である。

水洗 感光膜や支持体中から銀画像を犯す薬剤を除去する必要がある。とくにハイボは銀画像を黄色あるいは褐色に変色させる。これらの薬剤を画像中から流失させ

注3) 現像液が定着液に混入すると、定着液が汚れて定着能力を低下させ、かつ乾板上の像が汚染される。さらに現像液の飛沫が定着後の乾板に付着すると、その部分が褐色に変色する危険がある。



第11図 現像タンクおよび乾板掛け

るために水洗を行なう。定着が完了した乾板をハンガーに挿入したまま水洗用タンクに吊して、流水洗して約30～40分でこれを完了する。

溜水洗の場合は、ハイポテスターで、定着液の存在が検出されなくなるまで水を交換する。この方法は長時間に亘るので実用性に乏しい。また、施設の完備した場所では、タンクの流水を攪拌することによつて、薬品の完全流失を促進し水洗時間を短縮するように工夫する。

乾燥 アルコールなどの薬品を使用する速乾法がある。これはわれわれのような経験の少ないものには危険性を伴うので、自然乾燥が無難である。水洗完了した乾板は軟質のスポンジなどにより膜面の水を切り、乾板かけにかけて、清浄な通風のよい場所で自然乾燥する。冬期間で約12～20時間を要する。

膜面にしばしば水滴溜ができ乾燥むらを生じ、このとき部分的に凝縮歪ができる。これを防止するため、水切り剤（ドライウエル）の2%溶液に約30分浸して乾燥すると水滴溜ができない。

以上撮影から現像処理過程において、鮮明な解像能のよい測量用写真を作る行程について述べたが、現像処理に関する基礎的知識はもちろん必要であるが、実技に習熟することが大切である。したがって、経験を無視することはできない。

おわりに

この実験は、地じりのような移動変化する地表の地質現象の変動量の測定、ならびに変動の結果生じた微地形

の特徴の精密な作図方法に対する地上立体写真測量の応用と実用性について、検討を加えたものである。

その結果、一応の精度の限界および作業手順の概要を把握することができた。

空中写真測量では、対地標定のために、地上基準点を欠くことができない。しかしながら、地上立体写真測量では、既知点にカメラを固定し撮影が行なわれ、図化機に写真を定位するすべての要素は、撮影時すでに決定されている。このために前方交会によつて図化・計測が理論的に可能なはずである。しかしながら図化機に写真を定位するために必要な要素の測定に、当然誤差を伴うことは明らかであり、一モデル内において、1点を基準として、相対的な位置を検討してみただけでも、撮影距離に対して、1:667とその量の意外に大きいことが判明した。すなわち、経緯儀による測定誤差のほか、カメラの左右の傾き、カメラ光軸に対しカメラの7gごとの段階運動にも大きな疑問がある。さらにカメラの傾きは、レンズを中心として回転していない点が指摘できる。その他、使用乾板面の平滑度あるいは、撮影時点において乾板面が果して完全にカメラ画枠に圧定されているかについても確認の手段がない。そのうえ現像処理過程における銀粒子の流動も当然考えられる。

これら誤差の原因となるそれぞれの量を定数化して、補正する手段を考えなければならない。これらの補正はカメラの改良その他の措置を講ずることによつて、ある程度可能であろうが、事実上不可能と考えられる。したがって地上立体写真測量においても対地標定のため、必

要な基準点を欠くことはできない。高い精度を要求すればするほど、正確に位置の決定された基準点が適当に配置されていなければならない。

刻々と移動変化する対象物に上述のような基準点を設け、それぞれの正確な座標値を測定することは、高い精度の測量機器を使用し、かつ熟練した技術者によつて達成されるものであつて、多くの時間とぼう大な労力を必要とする。ことに、対象物が早い速度で移動変化している場合、多数の点に対して、同時に正確な位置決定は到底不可能なことである。

このために、写真三角測量(解析法)の応用が考えられる。すなわち、移動変化する地域の両側の不動地域に不動基準点を設け、移動変化する地域内に一モデル当たり3~4点の写真基準点を設置する。このとき、両側の不動基準点だけについて、精密測量による統一した座標値を求め、これらを含め移動変化する地域全体を重複撮影し、写真三角測量(解析法)によつて写真基準点の座標値を算出する方法である。

この方法は航空写真測量における、解析三角測量に準じたものであるが、計算過程に若干の差があつて今後の研究課題の一つである。

この方向にそつて、昭和41年3月と12月に防災研究グループの定期観測に時期を併せて、撮影した写真から検討を加えている。

今回は防災研究グループの精密三角測量成果を基準点として利用して、オートグラフA7を使用して、計測および図化を実施したのであるが、実測値と写測量値とを比較した場合、実測値を正しいものと仮定したとき、平面位置において $\pm 4 \sim 65\text{mm}$ 、高さにおいて $\pm 1 \sim 52\text{mm}$ の誤差が認められ、10 cm 単位程度の変移動量の測定には充分実用性がある。

これに写真解析三角測量が併用できれば、不動基準点はもちろん写真基準点を含めて、一モデル内に、20点までの測点を同時に測定することができるので、その効果は充分期待できる。

地形の表現については、第8図と第7図を比較してわかるとおり、後者の写真測量による地形図では、微地形の細部まで忠実に表現されている。またモデル間の図の接合部も図紙上で0.5 mm以内の差で等高線が合致していることから、精度の均一なことがわかる。さらに図化・計測の精度を向上させ、かつ作業の能率をはかるためには撮影標識は一定の寸法のものを作り、基準点あるいは被測定点に設置する必要がある。また、現場の作業、とくに現像作業を容易、かつ能率的にするため、自動車にセットされた暗室装置を作ることが望ましい。

大規模な写真測量では、各部門ごとに専門技術者によ

つてそれぞれの作業が担当される。しかし、地上写真測量では小規模なものが多く、多数の専門の技術者を動員することは、経済的に許されない。したがつて止むを得ず少数人員ですべての作業を処理することになるので、これに従事する者は全般の作業に習熟することが望ましい。

現在の空中写真測量では撮影に要する経費が全体の経費に対して比較的大きく、小地域の測量になるほどその比率は大きくなる。

これに対して、地上写真測量は比較的小地域の変動量計測・作図において、最初に撮影に必要な施設(被測量点の造標、撮影位置の撮影台等)を設けるだけで、容易になん回も反復撮影が可能であり、また空中写真撮影ほど天候の支配を受けることも少なく、撮影経費も低廉である。地上写真測量は迅速性および経済的な点から、その精度を充分に考慮すれば広い応用範囲が期待できるものと考えられる。

参考文献

- 大島太市(1956): 地上写真測量による構造物のひずみ量(変型)の測定, 測量, vol. 6, no. 5, p. 28~30, 5 pls., 3 figs.
- 木本氏房(1957): 航空写真測量, 日本林業技術協会, 411 p.
- 丸安隆和・大島太市(1957): 地上写真測量を利用した岩石掘削量の測定, 測量, vol. 8, no. 5, p. 9~15, 3 pls., 1 tab., 8 figs.
- 尾崎幸男(1959): 写真測量, 森北書房, 192 p.
- 北野芳徳(1964): サブテンス・パーを用いる距離の測定について, 測量, vol. 14, no. 1, p. 25~27, 2 tab., 4 figs.
- 丸安隆和・外7名(1964): 航空写真による吉野川流域の地汙り調査, 測量, vol. 14, no. 6, p. 8~13, 13 tab., 2 figs.
- 大島太市(1965): 地汙写真測量の原理と応用(謄写), 83 p., 51 figs.
- 宮本五郎(1965): 写真感光材料と取扱法, 共立出版株式会社, 290 p.
- 保積英次・村山 勇(1965): 写真処理技術, 共立出版株式会社, 290 p.
- 岡 重文(1966): 地汙り地形の写真判読, 地質ニュース, no. 138, p. 18~30, 2 tab., 34 figs.
- 岩崎一雄(1966): 大湧谷における地表変動量の精密測定について, 火山性地汙りに対する運動機構の研究, p. 17~44, 51 figs.