新しい図化機についての一つの試案

垣 下 精 三*

A design of a new restitution instrument

by S. Kakishita

Summary A design is described regarding a new restitution instrument. Characteristics of the instrument are as following:

- (1) non-tilting projectors of the instrument,
- (2) fixed optical system,
- (3) minimum elements of relative orientation: two swing, one X -tilt of left projector, one Y -tilt of right projector and Z -motion.

Chosen the elements of orientation as (3), only one tilt about one axis for one projector is sufficient for the relative orientation, which simplify the mechanism of the instrument. To accomplish (1), the instrument is constructed as illustrated in Fig. 3 by means of the stereo-gram. In this figure, AB is a horizontal rotation axis about which a device $ABCDEF$ is rotated. Two guid rails EF , CD are fixed to the device so that the carriage $PQTU$ be able to move along the rails. The carriage is moved by the guid rod GR which is through a sleeved pivot R fixed to the middle of the carriage. A short spindle TU attached also to the carriage, the end S of the guid rod SA move along the spindle, another end of the rod SA is through the sleeved pivot H fixed to the negative carrier by a gimbal system.

The movement S , or the tilt of the rod SA regarding to the rod RG , corresponds to a tilt of the projector. The verification is shown in Fig. 5 and formula (1)~(6).

1. はじめに

図化機や偏位修正機のような写真測量機械が従来我が国で全く作られたことが無かったわけではなく、トリプレックスやクラモチグラフをはじめとして特色のある図化機が色々作られている。ただこれらの有用な研究が屢々散発的な儘に終ってより良い機種への改良がなされなかったことは惜むべきことである。一つには外国の優秀な図化機がぞくぞくと輸入されて、このために我国の研究が押しつぶされてしまったというような事情があったのかもしれないが、今日の我国における写真測量の活躍ぶりを見ると、機械の面での上述の事情は残念なことに思われる。

こういうわけで図化機の試作は殆んど始めから出発しなければならぬであろうから、なるべく簡単な機構のものから出発するという事を考えた。

この図化機については次の諸点を考慮したつもりである。

(i) アナログ型の厳密解をとること。

厳密解にはアナログ型とデジタル型とが考えられるが、デジタル型の場合はこれに対する技術的な興味はあっても実際には費用の面で実行ができないであろう。

(ii) 機構上の難かしさをなるべく避ける。

アナログ型の厳密解図化機では相互標定のために写真乾板を傾けねばならないが、これは必然的に光学系を複雑にし且つ写真乾板の傾斜機構を可成り大きなものにする。何故ならば、光学系に関して言えば、任意に光学系を傾けてもいつでも写真像が正しくアイピースに導びかれなければならないし、傾斜機構に関して言えば、写真乾板はロッドの固定点（撮影カメラのレンズ中心に対応する点）を中心として傾斜させることが好ましいからである。

それ故、この図化機では写真乾板を水平に保ったまま、解が厳密になるように考慮した。傾きを最も簡単にするには図化機の投影機の傾きを一軸のまわりでのみ限定すればよい。これは例えば相互標定の要素として κ_1 , κ_2 , φ_2 , ω_1 , bz_2 を選ぶことによって行なえる。

* 国土地理院

「写真測量」 Vol. 7 No. 4 1968

このように標定要素を選べば左側の写真に関しては回転の要素は κ_1 と ω_1 になり右の写真に関しては κ_2 と φ_2 のみとなる。 κ についてはさほど問題はないから結局左の写真は ω だけ右の写真は φ だけ

第1図

の回転になる。このような標定要素を採用している図化機には PG2 があるがこの図化機でもこれをとった。 bx と bz については第1図に示すように描画機の箇所ですぐに解決できる。このような標定要素をとる利点は更にもう一つある。それは ω と φ の傾きが互に直角方向にあるから ω の適当な機構を考えれば φ はそれをそのまま直角に置きさえすればよいということである。

2. 相互標定の機構と原理

第2図において $OP'Q'$ は撮影瞬時におけるカメラの位置である。 a から来た光線はフィルム面 $P'Q'$ 上の点 A' に像を作る。今投影機を水平に置き、これにフィルム $P'Q'$ を置くと、 a の像は A'' に位置する。但し

$$CA'' = C'A'$$

である。従って図化機の投影機を傾けて、機械のロッドがフィルム面 $P'Q'$ を貫く点 A' を顕微鏡で見るという従来の方法をとる代りに、フィルム面を水平に保ったまま A' に対応する点 A'' を見るようにしても良いわけである。このためには O 点を中心としロッドを折り、折られたロッド(第2図の点線 OA'') が A'' を通るようにして、顕微鏡をこのロッドでガイドすれば良い。光線 Oa は実際には3次元の空間に位置しているから、 Oa 及び OA'' の紙面への投影が角度 $-\varphi$ をなすようにロッドを折ればよいことになる。

これを行なうには第3図のような機構にすればよい。西瓜を切ったような形の“ブランコ” ABCD EF は AB を軸として回転する。この軸は第2図において O を通る

第2図

紙面に垂直な軸に対応する。小さな車 $PQ TU$ はブランコの2本の水平軸 EF, CD 上を滑るようになっている。この車の PQ の中点 R にはジンバルで固定された sleeved pivot が有り、その中をロッドが通っている。この車には又別の軸 TU があり、この軸にそって支点 S が動くようになっている。支点にはロッド AS の一端が固定される。sleeved pivot R を通るロッド GR は第2図における Oa に対応する。そして第3図のロッド AS は第2図の OA'' に対応している。このような機構によってブランコの傾き、車の位置に関係なく、ロッド AS と GR の平面 ACE に対する投影がなす角を一定に保つことができる。相互

第3図 相互標定の機構 (ステレオ)

標定におけるカメラの傾きは、 T
 U 軸に沿っての支点 S の移動に
対応する。

回転軸 AB の上部、軸から f
(撮影カメラの焦点距離)の距離に
ダイヤポジを水平に置き、ロッド
 SA によって光学顕微鏡をガイド
すれば良いのであるが、第3図に
示すように光学系を固定し水平な
フィルム保持台 π をガイドロッド
 SAH でガイドしてもよい。

上述の方法が確かに間違いない
ものであることを確かめるために
次のような右手系座標系を選ぶ
(第4図)。

空間に固定した座標系 : $O-XYZ$

カメラに固定した座標系: $C'-xyz$

但しこの後者の座標系の y 方向は $\vec{C'Q'}$ の方向, x
方向は C' を通って紙面に垂直な向き, Z 方向は $\vec{C'O}$
の方向である。更に又

a 点の $O-XYZ$ に関する座標 $(X, Y, Z) = X$

A' 点の $C'-xyz$ に関する座標 $(x, y, 0) = x$

とおくと, X と x との間には良く知られた次の関係
がある。

$$\left. \begin{aligned} \frac{X}{Z} &= \frac{x}{-y \sin \omega + f \cos \omega} \\ \frac{Y}{Z} &= \frac{y \cos \omega + f \sin \omega}{-y \sin \omega + f \cos \omega} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

この式は次の2つの方向余弦

$O-XYZ$ 系に関する $\overline{Oa}$ の方向余弦 (α, β, γ)

$O-xyz$ 系に関する $\overline{Oa}$ の方向余弦 $(\alpha', \beta', \gamma')$

第4図

第5図

の間に

$$(\alpha', \beta', \gamma') = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & \sin \omega \\ 0 & -\sin \omega & \cos \omega \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix} \quad (2)$$

なる関係があることから導ける。

さて第5図において $OO'QQ'SS'$ は第3図に示した
ブランコであり, その回転軸は OO' である。直線 OS
は第3図の GR に対応し, 直線 OS' は第3図の AS
に対応する。今 O を中心とし半径 $OQ=OQ'=1$ な
る球を置き, この球が直線 OS 及び OS' と交わる点
をそれぞれ P, P' とする。すると $OP=OP'=1$ であ
る。さて座標系を次のように選ぶ。 X 方向は回転軸の
方向であり, Z 軸は O から鉛直方向, Y 軸は第5図
の紙面に直角な方向である。この座標系に関する OP
及び OP' の成分, 即ち方向余弦を

$$(\alpha, \beta, \gamma)$$

$$\text{及び} \quad (\alpha', \beta', \gamma')$$

とすると第5図から

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \sin \mu \\ \beta &= \cos \mu \sin \lambda \\ \gamma &= \cos \mu \cos \lambda \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

及び

$$\left. \begin{aligned} \alpha' &= \sin \mu' = \sin \mu \\ \beta' &= \cos \mu \sin (\lambda + \omega) \\ \gamma' &= \cos \mu \cos (\lambda + \omega) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

を得る。(4) 式に (3) を代入すると

$$\left. \begin{aligned} \alpha' &= \alpha \\ \beta' &= \beta \cos \omega + \gamma \sin \omega \\ \gamma' &= \gamma \cos \omega - \beta \sin \omega \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

となる。この式は (2) 式と全く同じである。

φ に関する機構は第3図の機構を ω に対して直角

第 6 図

に用いればよい。

κ に関しては問題はない。乾板に対して垂直な軸のまわりに回転しさえすればよい。 bx と bx は第 1 図に示すように描画機の部分で解決できる。

撮影カメラの焦点距離が $f=15\text{ cm}$ から $f=21\text{ cm}$ 迄の範囲程度の場合なら第 3 図の f を変えることによって、この機構で十分にやれる。但し光学系の部分に多少可動部分が出来るが、これは例えば第 6 図のような構造をとることによって簡単に解決できる。同図で Q は機械に固定されている。 P はスピンドル R によって上下できる。レンズ系 A は P に固定されていて、 Q に固定されたレンズ系 B に平行光線を送る。写真乾板は P 上に置かれている。

最近の撮影は技術が非常に向上して、傾きが 1 度を越すものは殆んど無くなった。従って第 3 図のプランコで $\angle CAE$ のなす角は 2 度もあれば殆んど間に合う筈であるが、安全を取って 6 度とすると

$$\overline{CE} = \overline{AC} \times 6 \text{ 度}$$

となる。 $\overline{AC}$ を $10\text{ cm} \sim 15\text{ cm}$ とすると第 3 図の S の可動範囲は $1\text{ cm} \sim 1.5\text{ cm}$ でよい。

第 7 図

この機構で一つの難点とも言えるものはモデル縮尺を写真より小さくできないことである。第 7 図においてプランコの長さを l とし、土地の起伏が飛行高度の 30% 以内とすると第 7 図の L は最大 $0.3 \times L$ でよい。従って L は

$$L \leq \frac{l}{0.7}$$

でよい。 $l=10\text{ cm}$ とすると $L \approx 15\text{ cm}$ であるから、広角カメラを使用するときはモデル縮尺はほぼ写真縮尺と等しくなる。 $l=15\text{ cm}$ とすると $L \approx 22\text{ cm}$ となりモデル縮尺は写真縮尺のほぼ 1.5 倍になる。実際には第 7 図のように理想的には行かないで、 $l=10\text{ cm}$ と取るとき、モデル縮尺を写真縮尺と等しくすれば測定可能な起伏は飛行高度の 20%~25% 程度となるであろう。

第 7 図 J の可動範囲、従ってモデル縮尺の変化範囲は写真縮尺と地図縮尺とに関係する。モデル縮尺から地図縮尺への変換が連続的に行なえない場合は、なるべくモデル縮尺と写真縮尺の比を大きく変えられるようにした方がよい。しかしこのためには第 7 図の J の可動範囲を大きくしなければならないので、どうしても構造が大がかりなものになる。そしてこれはこの図化機に対する初めの出発点に反する。モデル縮尺から地図縮尺へ変換するための各種の gear ratio を在来の図化機が用いている程度の数にすれば、この図化機の場合写真とモデルの縮尺比は 1:1 から 1:1.5 の程度に変えられればよいと思う。従って第 7 図で $l=10\text{ cm}$ とするとき、広角カメラに対しては $L=22\text{ cm}$ 程度でよい。この場合普通角カメラに対しては、写真とモデルの縮尺比は 0.7:1 から 1:1 の範囲で変る。

3. 対地標定

写真乾板が自由に動く車の上ののせられているので、なるべくこれを水平に保つことが望ましい。従って対地標定は第 7 図のように描画機 J をガイドする機構 MN を傾けることによって行なうのが良いかもしれない。この場合、力に多少の不均衡が生じる可能性もあるがこれは問題ないと思う。又実際このような方法を採用している機械もある。しかしながら要求される精度によっては第 7 図の MN を水平に保って、全体の機械を傾斜させることも可能だと思う。第 3 図において、ロッド SH によってガイドされる乾板保持器 π は軽合金によって作ることによって軽くすることができる。今、ロッドは内径 1 吋・肉厚 2 耗程度の鋼鉄製チューブで作られたものとし、第 3 図の A を固定して H 端をフリーにした状態の曲げを考える。実際にはこうはなっていないが order estimation としては充分で

あろう。 H に加わる力は乾板保持器の重さに機械の傾きの $\sin \theta$ をかけたものであるから、乾板保持器の重さを 500 g 程度と仮定すると H に水平に加わる力は機械の傾きが 6 度として約 50 g 重である。 $\overline{AH}$ の長さを 20 cm とし、チューブの伸びの弾性率を 10^{12} dyne/cm² と仮定すると、乾板保持器の重みによるチューブのたわみは 3 ミクロン程度となる。実際には 6 度も傾くことはないし、広角カメラを用いるなら $\overline{AH} \approx 15$ cm であるから、たわみは 1 ミクロン以下となる。但し A を支点とするモーメントが加わるから工作上のガタがあるとそこに誤差がしわよせされる心

配はある。

4. 結 論

この機械では余計な負荷がかからないようになるべく全体を軽く作ることが好ましいと思う。特に写真保持器、ブランコ及びブランコに乗る車は軽く作らなければならない。ロッドも亦、中空のチューブを用いてなるべく軽くする工夫が必要と思われる。しかしこのことはそれ程難かしいことではないから問題はなからう。その他についてはそれ程むづかしい点はない。

文 献 紹 介

赤外線での汚濁のマッピング

Mapping Pollution with Infrared by Van Lopic, J.R., Pressman, A.E. & Ludlum, R.L. Photogrammetric Engineering, Vol. 34, no. 6, pp.561, 3 figs, 1968.

温度汚濁および水理学的研究における 8~14 ミクロンの波長域の赤外線映像の効果が、テキサス州、ガルベス湾の空中調査から得られたデータによって述べられている。この範囲の赤外線映像によって、放出される水が、周囲の水塊と温度差があれば、その放出される水の位置と、その結果生ずる水塊表面の温度分布のパターンが描写できる。

絶対温度 0°K 以上の物体は、その表面温度の 4 乗とその物質固有の放射率に比例した電磁波を放射している。そして、その全放射エネルギーは、熱力学的温度と放射率の関数であり、ステファン・ボルツマンの式で示される。地球表面の大部分の物質の放射率は 0.7~0.98 である。

地球表面の平均温度は、約 300°K であり、この温度における最大放射は 9.6 ミクロンのところにある。また、全放射エネルギーの約 80% が 3~25 ミクロンの波長域で放射される。さらに、もっとも重要な赤外線の伝播の窓は 8~14 ミクロンの範囲である。

審真フィルムの感光剤は 0.9 ミクロンより長い波長に感じないので 8~14 ミクロンの赤外線映像を得るためには、この波長域の放射を、フィルム露光する前に

可視光線に変えなければならない。相対的な温度測定には、赤外線放射計が用いられるが、目標物の位置とその周囲との温度差を識別することを目的とする場合には、赤外線放射計では不適当であって、映像が好適である。この場合、温度の測定は、検知素子に発生した電気信号の振幅をオシロスコープに表示し、これを写真に撮り、基準温度の間の振幅から測定する。

本論文には 3 つの映像例があるが、第 1 図は、ガルベス湾から湾内に流入する自然の流水によって形成された表面の温度パターンを示したものである。流入水の分布の細部が完全に映像に記録されている。またオシロスコープの記録から、流入水の水温は湾内のそれより 1.5°C 低いことがわかる。

第 2 図には、テキサス市の工業地帯から西湾に流入する温度の高い排水のパターンが示されている。運河から流入する排水は、卓越風および沿岸流に影響されて、湾岸に沿って拡散している。オシロスコープのトレースから、この排水の温度は約 10~14°C である。水の放射率は 0.98 であるから、大気の状態に対する適当な補正を行なうことによって、等温度曲線を描くことができる。

第 3 図は、アナフアック付近のトリニティ川の三角州付近の星像である。デルタの縁をとりまく水中のある種のパターンは、懸濁する堆積物の量に比例するものと思われる。この現象は、8~14 ミクロンの赤外線映像が三角州作用および堆積学の研究に応用するために、さらに吟味を必要とすることを示している。

(図は略す)

(松野久也)