

空中写真地質講座

(17)

松野久也

等高線図 (Contour map)

前回まで2回にわたって 基図としての平面図の作り方について述べた。しかし これらからは地形の起伏を判断することができない。地形の起伏を正しくしかも数量的に表現するもっともすぐれた方法は 等高線による方法であって 精度の高い地形図では地形の表現に皆この方法によっている。等高線は文字どおり一定の高度間隔で地表面の「等しい高さの所を示す線」であってこれによって地表面の各所の高さがわかり また等高線の水平間隔から地表面の傾斜がわかるのである。

等高線を描くには 地表の多くの点の平面位置と高さを測定し これらを図上にプロットした上で 同じ高さの点を求めて結んで行けばよい。そしてこのような点の数が多ければ多いほど 正確な等高線を描くことができるのである。しかし 非常に縮尺の大きな特別な目的の地形図は別として 上述のような点を無数に多くとることは時間的にも また経費および労力のうえからも不可能なことである。したがって 特別な目的のための非常に縮尺の大きな地形図は別として 地形測量では現地の地形をよく見きわめたいうで 等高線を描くための要点だけを選んで それらの位置および高さを測定しあとの細部はスケッチによって補うのである。この方法で描かれた地形図では 実際に器械を置いて測量した点付近の精度は高いが これらの点の中間の部分の精度は悪く 精度にむらのあることは否定できない。

写真測量法では 視差 (絶対視差) の等しい点は すべて同じ高さにあるという原理を応用して 等高線が描かれるのである。すなわち 垂直立体対写真から得られるモデル上で 等しい視差の点を連続的に追跡し これを連続的に描けるような器械を用いて等高線を描くのである。したがって 精度にむらのない等高線を描くことができる。このような器械には 非常に簡単で専門的知識を必要としないものから 非常に高度の知識と熟練とを必要とするものまで きわめて多種・多様である。また それぞれ 精度 描図速度 機構の複雑さ 価格の点でも著しいひらきがある。

これらの器械のうち もっとも簡単なものでも 条件さえよく かつ各立体モデル中に何点かの標高基準点があれば正しい等高線を描くことができる。非常に高性

能の立体図化機を用いると 数モデル毎に1点宛標高基準点があればよい。一般的にいて 性能のよい器械程少ない標高基準点で精度の高い等高線を描くことができる。以下 簡単な等高線の描き方について 比較的詳しく述べ 最後に現在地形測量に用いられている立体図化機中比較的簡単なものについて述べることにする。

立体鏡によるスケッチ

これは 地表のすでに高さのわかっている点を参照しながら 立体鏡下で写真を立体視しながら等高線をスケッチして行く方法であり 野外で高い所の上って実際に地形をみながらスケッチして行く方法に似ている。もちろん 既知点の高さは アネロイド気圧計 ハンドレベル 平板 トランシットその他によって実際に地上で測定される。さらに これらの点を基準として 視差測定桿による測定 放射状偏位の量 (射線法で求められた正しい平面位置と映像点とのずれ) からの計算によって 補助点の高さを求めることができる。これら基準となる高さのわかった点を写真上に全部プロットした後 写真を立体鏡下で観察しながら写真上に直接あるいは写真のうえにかぶせた透写シート上に等高線を描いて行く。この場合 上述の写真上にプロットされた高さのわかっている点の間に機械的に等高線を挿入して行くこともあるが 普通には立体モデル上で同じ高さにあると思われる点を正確に追跡して行く。この方法は野外におけるスケッチするのと同じように熟練の度合いによって精度も非常に違ってくる。熟練するとわずかな点の高さのわかっているだけで 精度の高い等高線を描くことができる。こうして ばらばらにモデル毎に等高線が描かれた写真あるいは透写シートができあがったら これらを目的に応じて適当な方法 (本講座(14)~(15)参照) で一枚の図面に編集する。補正平面図に等高線を描く場合には等高線もその偏位を修正しなければならない。

等高線の精度は 高さのわかっている点の数 作業者の熟練の度合い さらに撮影高度と撮影基線長に対する地形の起伏量によって決まる。したがって立体鏡下で等高線をスケッチするこの方法は 起伏量の小さい町に適用することはきわめて困難であり 逆に地形が急になるほど容易となる。またこの方法で等高線を描く場合とくに影響するのは 高さの違いによって縮尺が違うこ

とであって 写真像に対して正確に等高線が描かれたとしてもそれぞれの等高線が正しい平面位置を示すものとは限らない。したがって平面位置について高い精度を要求するときには これを補正しなければならない。

簡単な等高線描画機

視差測定桿 (鉛筆ホルダー付)

等高線を描く器具のもっとも簡単なものとしては視差測定桿の中央に鉛筆ホルダーをつけただけのものがある(第135図)。本講座地質ニュース No.107—(11)~No.108—(12)で述べたように 立体対写真上で一定の視差を示す映像点はすべて同じ高さにある。したがって 立体モデル上の同じ高さの点を求めるには視差測定桿の目盛を一定の所にセットし 立体鏡下で一点に融合してみえる測標を立体モデルの表面に浮上ったりめり込んだりしないように正確に接着させて移動させて行けばよい。このとき桿の中央の鉛筆が等高線を描き出すのである。視差測定桿の目盛を一定の高さの所にセットするには既知点を参照して視差差と比高との関係を示す式から計算する。(本講座(11)参照)

ステレオ コンパラグラフ (Stereo comparagraph)

アブラムス コンター ファインダー (Abrams comtour finder)

これらは第84図に示すとおり 立体鏡と視差測定桿とを一つに結合したものであって 原理的には上述の鉛筆ホルダー付視差測定桿と全く同じである。これらの機械は何れも描画機に連結して 視差の等しい点をたどって行けば 等高線が描かれるようになっている。

等高線を描く場合の高さの精度は 点の高さを測定する場合の精度に比べて劣ることは避けられない。すなわち 同じ視差の点を連続して追跡する場合には点の高さの測定の場合ほど 一点一点にも注意を払うことがで

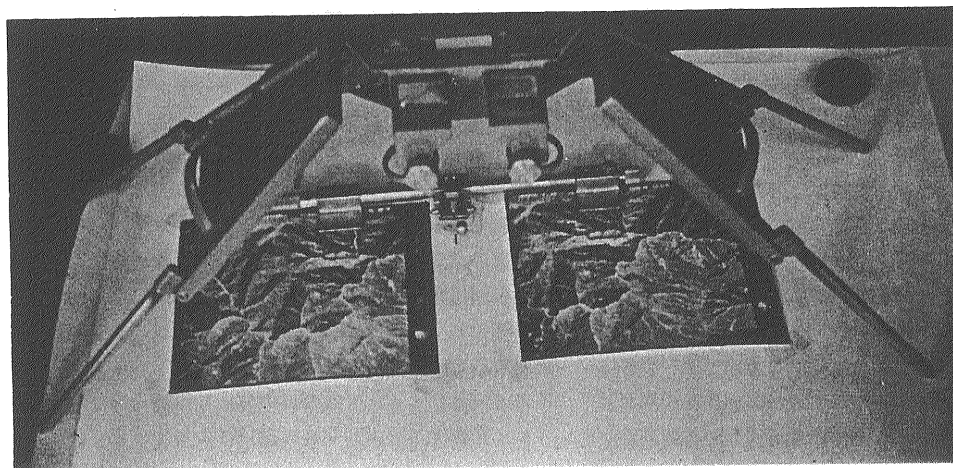
きないし 写真の映像も影のあるところもあり 草や樹木におおわれた所もあるなど一様ではない。実際のところ これらの器具では 等高線間隔は撮影高度の $1/250$ くらいが限度であろう。等高線を描く場合 写真の傾きが大きく影響を与え わずかな傾きでも 等高線の位置は水平的に大ききずれを生ずる。このような場合 じゅうぶんな基準点をとって補正するか 偏歪修正を施した写真を使うなどの措置を講じなければならない。

立体鏡格子 (Stereoscopic grid)

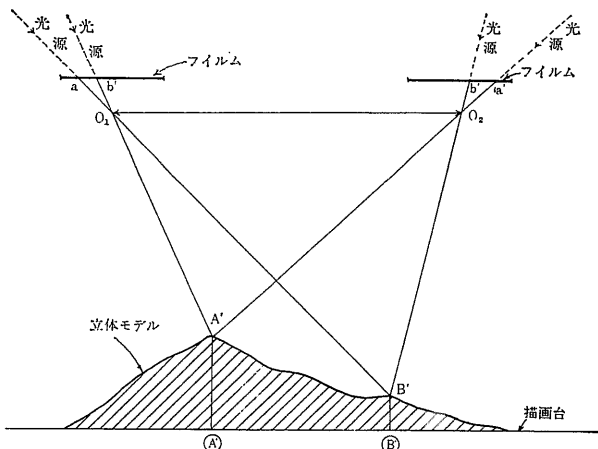
一名「空飛ぶじゅうたん」と呼ばれる立体鏡格子については すでに本講座(地質ニュース No. 110)で述べたとおりであり これを用いて等高線を描くことができる。英国のバール アンド ストラウド 地形立体鏡 (Barr and Stroud topographic stereoscope) も原理において全く同じである。すなわち 立体モデル中の一定の高さの所に立体格子をセットし 格子の線が立体モデルの表面と交わる所を結んで行くことによって等高線を描くことができるのである。

立体図化機 (Stereo plotter)

精密立体図化機は 高さの測定や等高線の描画だけではなく 写真のいろいろな映像の偏位や高さによる縮尺の差 あるいは写真像の歪みなどを補正して 各点を正しい平面位置にプロットでき 写真測量にとって根本的な機械である。これらの精密立体図化機は ほとんどすべてポロ (Porro)・コッペ (Koppe) の原理によっている。ポロ・コッペの原理とは 19世紀の終わりごろイタリアのポロとドイツのコッペとが全く別々に発見した原理である。すなわち 光学系的一方から入って他方からでて行く光線と それと全く逆の方向から入って反対方向に出て行く光線とは その光学系の収差その他光学的性質にかかわらず全く同じ経路をたどるというので



第135図
鉛筆ホルダー
付視差測定

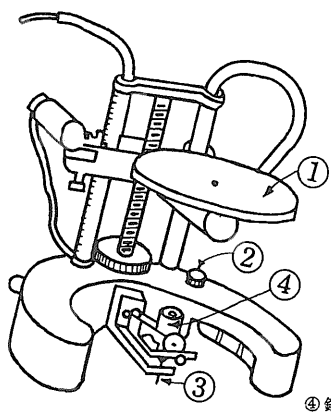


第136図 立体図化機の原理

描画器の測標を投影された立体モデル上のA'B'...等を求めようとする点に接着させると測標の真下にとりつけられた鉛筆が描画台上にA'B'...点の正しい平面位置⊙⊙を示し描画台が測標板までの高さはその標高を示す

ある。極端なことをいえば どんな収差のあるレンズで撮影した写真でも 現像した陽画を撮影したときに用いたレンズまたはこれと全く同じ性質のレンズを通して投影すれば レンズから出る光は 入った時の光路を正しく逆に進むのである。第136図に示すように60%の重複をもつように撮影された2枚の写真を撮影されたときと全く同じ関係位置（両方の写真の距離は縮尺に応じて縮少する）において 撮影のとき使用したのと全く同じ光学的性質のレンズを通して投影すると 地上の点ABから出た2本の光線に対して 二枚の写真上のa bならびに a' b' の映像点から出た光線は入ってきた経路と全く同じ経路をとって AB点の縮尺化された位置をA' B' 点として空間的に再現する。

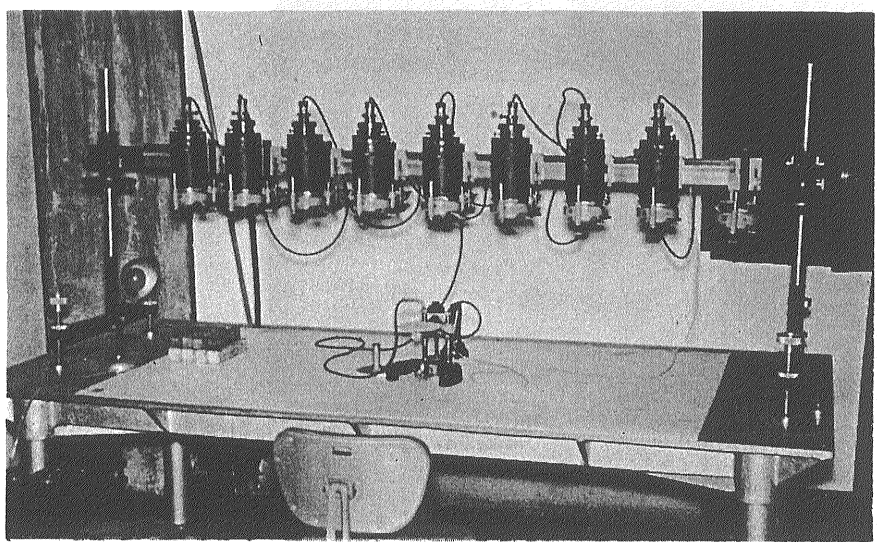
要するに 写体写真による写真測量法は2つの撮影点に対応する縮尺化された O_1 O_2 点から出る光線 O_1A'



第137図
余色立体
図化機の
描画器の
構造
①測標板
②測標の光
量調節ツ
マミ
③描画鉛筆
④錘(鉛筆をおさえる)

O_2A' および O_1B' O_2B' の交会点として A B 两点に対応する A' B' 点の位置を決める空間交会法であって結局は $\triangle O_1O_2A'$ および $\triangle O_1O_2B'$ によって A' B' 点を求めることになり 原理は三角測量や平板測量での交会法と同じである。ただ地上測量では 角度を水平角と垂直角とに分け 平面位置と高さを別々に求めているが 立体図化機では空間の三角形によって平面位置と高さを同時に求めることができる。

さて第136図のように O_1A' O_2A' および O_1B' O_2B' 等を再現する方法としては 器械的投影法と光学的投影法 ならびにその中間である光学—機械的方法などがある。これらの図化機は一般に高性能なものであり 専門の地形測量機関や このような部門を付置している機関でなければ容易に利用することができないであろう。しかし 米国の地質調査所などでは 地質技術者がこれらを駆使して 走向 傾斜の測定 地層の厚さの測定 地質図ならびに地質断面図の作成 構造等高線図や等層厚線図の作成に実際に利用して大いに効果をあげている。ここではこれら高級図化機の中でも地質学の研究に利用



第138図
マルチプレックス

される比較的扱いやすい性能の低い図化器（2級図化機）ならびに印画紙写真を利用する3級図化機について簡単に述べることにする。その前に 図化機の精度による分類方法について述べておくことにする。すなわち 立体図化機は精度について1級 2級 3級というように分けられるのが普通である。これらのうち 地質学の研究に応用される立体図化機は 2級ならびに3級図化機が主であろう。

1級図化機というのは もっとも精密で 密着乾板を用い 空中三角測量や断面測量などもできる万能図化機で 垂直写真だけでなく斜写真や地上を立体写真にも使用でき ステレオプラニグラフ (Steroplanigraph) C8やオートグラフ (Autograph) A7などで代表される。

2級図化機というのは やはり密着乾板を用いるか 空中三角測量には使うことができず もっぱら図化に使われる機械である。使用写真は 傾きが数度以内のものに限られる。この図化機の代表的なものとして アメリカのケルシュプロッター (Kelsh plotter) スイスのステレオプロッター (Stereo plotter) A8 があげられる。また 国産のものもようやく市場に出つつある。

3級図化機は主として小縮尺の地形図作成用に用いられるものであって 精度は1級図化機や2級図化機に比べるとずっと劣る。これら3級図化機の多くは 印画紙写真を用いるものが主である。われわれが地質判読に用いる写真のほとんどが 印画紙写真であること またこれらの図化機は低廉かつ操作が容易なことから 地質計測上その使用範囲はかなり広いものと考えられる。この種の機械としては ツアイスのステレオトップ (Stereotop) サントニのステレオマイクロメーター

(Stereomicrometer) などが代表的なものである。

ケルシュプロッター (Kelsh plotter)

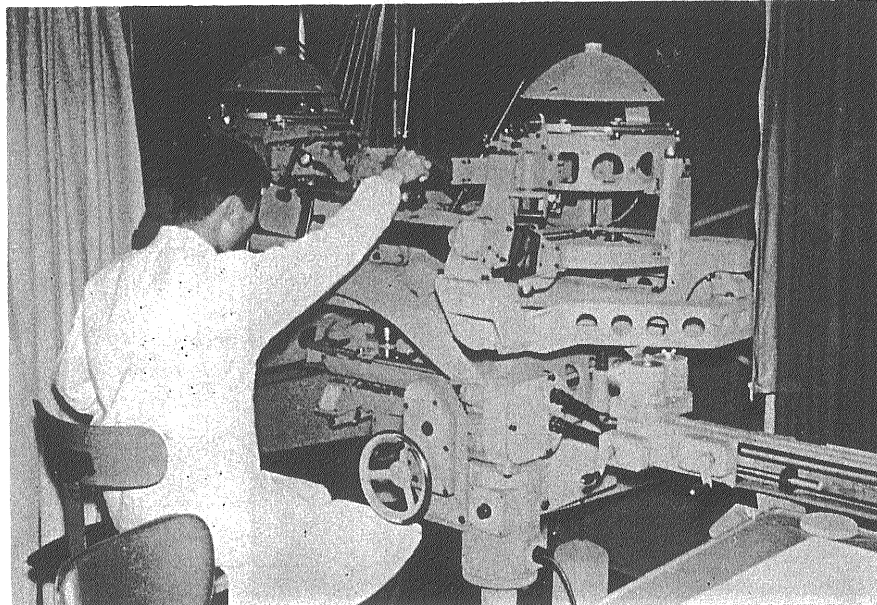
ケルシュプロッター (第101図) は米国地質調査所において開発された光学的投影法による余色立体図化機であって 右の写真を青で 左の写真を赤で投影し 右の目に青 左の目に赤のメガネをかけて両方の投影機からの交点にできた余色立体モデルを観察する。そして 構画器 (第137図) の測標板を上下させると その中央の測標に高さが与えられるようになっている。したがって 測標を一定の高さにおいて これを立体モデルの表面に接着させて手で動かして行くと その真下にある鉛筆が等高線を描き出して行くのである。すでに本講座13の二重(多重)投影図化機のところで述べたように 左右両方の投影機に挿入した写真の相互の関係ならびにこれらを描画機の測標までの高さを縮尺に応じて正しく標定すると現地の地形の縮尺化された相似形の像が再現されることは今さら説明するまでもない。

この図化機は 23 cm×23 cm の密着ガラス乾板を用い最近では4灯懸3モデルの図化ができるのがあり 描画倍率は写真縮尺の5倍である。これとよく似た図化機にはイタリアのニストリ ホトマップパーIV型があり 共に断面描画機 傾動描画機 (第102図) 図等の付属品があつて 地質断面図の作成 地層の傾斜の測定等地質計測ができるまた 国産の国際プロッターも同じような構造の機械である。

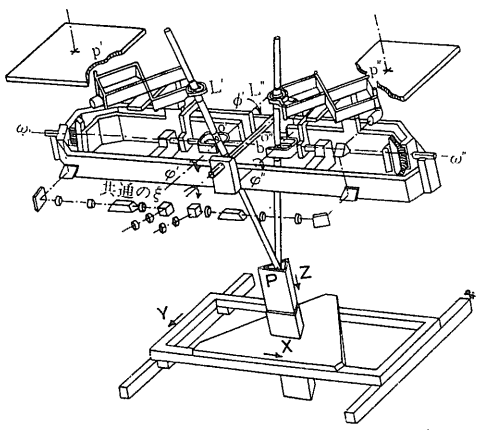
マルチプレックス (Mutiplex)

マルチプレックス (第137図) は ケルシュプロッターと

構造・原理共にほとんど変わらないが 縮尺乾板 (6cm×6cm) を使用するようになっている。したがって投影器が小型となるため 長い懸架装置の上に数個(最大9個)の投影器をかけ 8モデル



第139図
ステレオプロッター
A 8



第140図 ステレオプロッター A-8 の機構
 P-P'': 顕微鏡 (焦点面に測標がある)
 L-L'': ガイドロッド
 P: ガイドロッドの交点 (立体映像点 P'P'' の空間位置 XYZ を示す)
 b: 写真基線 O'O'': ガイドロッドの支点

一度に図化できると言う利点がある。とくに 全投影器の相互標定が終わった後に一度に絶体(地対)標定を行なうことができるため 全体に対して数個の地上基準点があればよいという利点がある。ただし縮少乾板の縮少率が約 $1/4$ となるため 図化倍率は写真縮尺の約 $2\frac{1}{2}$ 倍にすぎないうえ 縮少乾板のプリント複製さらに投影の際の拡大のために 写真像の細部が失なわれるという欠点がある。

ステレオプロッター (Stereo plotter) A 8

この機械(第140図)は 光学的投影法によるケルシュプロッターやマルチプレックスとは違って 第136図 O_1A' O_2A' O_1B' O_2B' 等を再現するために2本の金属桿(ガイドロッド)を使い これを2本の光線と同じ空間的

位置において その交点として A' B' 点の位置を求める方法をとっている 投影方法はいわゆる機械的投影法によるものであってその構造も前2者に比べて非常に複雑である(第140図)。この機械的投影法による図化機は暗室内で余色立体像を観察する図化機に比べて識別精度が非常によいと言う利点がある。この図化機の 観察光学系は写真原板を6~8.5倍の能力があり 図化倍率は撮影原縮尺の8~16倍である。

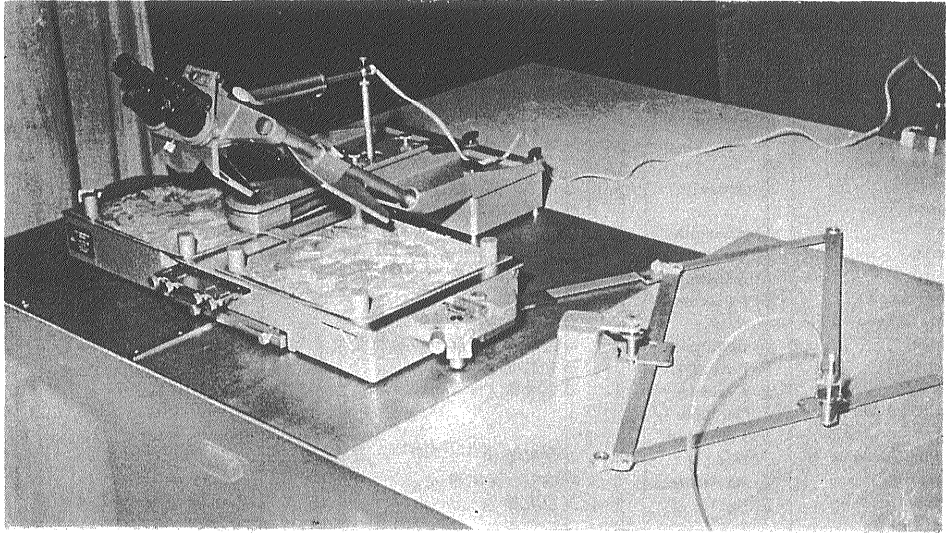
ステレオトップ (Stereotop)

ステレオトップ(第141図)は 上述のような高性能の図化機とは全く異った構造で 印画紙(無伸縮のもの)写真を使用し 鏡式立体鏡で観察しながら図化する機械である。高さの測定は 視差差を測定して求める。この際 立体モデルの4隅に4点の基準点を取り これら4点での視差が標高から計算した値に合うように4個のネジで調整し 平面位置もこれら4点での位置が合うように調整しながら図化する。これらの計算および調整は自動調整装置によって自動的に行なわれる。(おわり)

おわりに

昨年6月以来 17回にわたりました本講座も これをもつて一応終ることになります。本来 全体を脱稿した上でと考えておりましたが 編集者からの強いご要望によって 途中で掲載に踏切った次第です。したがって 仕事の都合で原稿が間に合わなくて休載した月も両三度ありましたし 追立てられて 内容の支離滅裂 あるいは重複等もあり読者の皆様に大へんご迷惑をおかけしたと存じます。さらに 筆者の力の足りないところや 用語の不統一など ふりかえってみると不備な点が多々あります。これらの点は将来稿をあらためる機会に訂正・補充いたしたいと考えております。永い間ご支援大へんありがとうございました。最後に 写真測量に関しては 技術部の西村嘉四郎技官に 図版の作成については企画課の正井義郎技官に それぞれご協力を得ましたことを銘記して 厚く感謝の意を表する次第です。

(筆者は地質部)



第141図 ステレオトップ