三点法による走向傾斜角の測定

西村 嘉四郎*

On the Three Points Method in Measurement of Strike and Dip

by Kashiyo Nishimura

In this paper, the author discussed three points method in measurement of strike and dip on aerial photographs. As a result, it is emphasized that such measurement is highly depend on the balance between recognition of three points on same bedding plane and measurement procedure including calculation. And application of the streometer-type instrument with stereoscope will be enough for such measurement.

はじめに 地質構造を明らかにするためには、地層の走向と傾斜角の数量的確認が必須な要件である。これらは写真上で写真測量の原理ならびに機器を応用して測定できる。この測定は通常現地においてクリノメーターあるいはプラントン・コンパスによって測定され、時には地形図上に地質境界を正確にプロットした上で、等高線とこれとの関係から算出される。

立体対写真上で同一地層面上にある著明な3点の位置と高低差（比高）を求めて、これらの値から走向と傾斜角を求める方法について検討を加えた結果、立体鏡と視差測定桿だけによって机上で十分信頼できる値が得られることが明らかになった。しかし、この方法では若干の計算を伴うが立体図化機を利用する場合には計算過程をかなり省略することができ、かつ迅速に高い精度の値が得られる。地層の走向および傾斜角は種々の条件から考察して地層面が明らかに識別できる場合には野外における測定あるいは、地形図を利用して算出するよりはるかに高い精度であることは疑いない。野外調査において兎首地区では地質部松野久也技官、上磯地区では元鉱床部非金属課河田茂磨技官の御指導と御協力を得たここに謝意を表する。

目 的

野外調査を前提として種々の情報や資料をもとに室内において空中写真の立体観察から地質図作成に必要な要素が判定されることは広く知られているところである。立体観察において常に垂直距離が水平距離に対して3~5倍に誇張して観察され、このため僅かの起伏量も極めて容易に観察できる利点もあり、これを

考慮に入れると、低角度の傾斜角はかなり高い精度で推定できる（Ray 1960, 64 ページ）。しかし写真に傾きがある場合には付近に対照物として信頼性の高い基準面（湖水面、海面など）がない限り誤った推定が行なわれ、甚しい場合には傾斜方向が逆となるような錯覚さえ起り得る。反対に傾斜の大きな場合には推定値の感覚誤差が真の傾斜角に大きく影響する。そこで厳密な算定が必要になってくる。しかし、現在普通一般に使われている空中写真では特定の場合を除いて、地層の走向と傾斜角とについて図化機を用いないで、図解と視差々の測定値から十分信頼できる値がえられる。以下、その方法について検討する。

各種測定法の利害得失

走向および傾斜角の室内における測定方法として次が考えられる。

1. 地形図（等高線図）を利用して算出する方法
2. 立体図化機を利用する方法
3. 立体鏡と視差測定桿による方法

これら3つの方法の利害得失について比較検討すれば次のとおりである。

地形図を利用して算出する方法

写真上で判定し、あるいは現地で確認した地層境界を地形図上に正確に移写した上で、測定されるものである。しかし、地形図を介して間接的な作業段階を経るので、種々の誤差が伴うし移写そのものについても問題がある。移写作業について考えてみると、写真と地図では投影が既に異なる。すなわち、写真はレンズの中心投影であり、地図は平面投影（厳密には若干異なる）とみてよい。写真の場合には地表の地物（透明度のよい浅海は海底地形まで）悉く表現され実景に

* 地質調査所

近い。しかし、レンズに近い物体像が大きく写りまた位置は起伏による放射状偏位によって偏位し部分的に縮尺は一定でない。これに対して地図は縮尺は一定であるが表現に限度があって、目的によって作図の精度は精粗様々である。実測（地上測量）による場合の大半は細部について、間接的測距測高作図であるから施行技術者の主観が強く地形に反影し原形を忠実に表現しえない。つまり傾斜地形の作図基準となる高さについても、等高線上が正しく同じ高さの部位を示しているとは限らない。すなわち、機械を置いて測定した場所の精度は高いが、その周辺の起伏に対して無数に近い点を測定するようなことは実際上不可能であって、測定点と測定点の間は主観によって作図されるものである。

また地物も記号化しているので、その関係位置（縮尺に応じた）は必ずしも的確に表現しえない場合が多い。写真測量によって正確に作られた地形図は別として写真上で判読、識別されたデータを、いわゆる、地形図上に正確に移写することは極めて困難であるばかりでなく、確実性に乏しい。よって地形図を介して算出されるこれらの値の信頼性は低いものである。

立体図化機を利用する方法

立体図化機を利用すれば高精度で、かつ迅速に作業が進められ能率的で正しい結果がえられる。しかし、立体図化機も用途に応じた各種のものがありその特徴と性能を考え目的に適応したものを選ぶべきである。これを大別すると次のとおりである。

高精度の要求には	C factar 1300~2000
あまり精度を必要としないもの	" 700~1000

精密図化機 高精度を要求するもの

1. これを利用する場合は図化機に関する知識に精通し操作に熟達した技術者以外は利用できない。仮に操作ができて機械固有の精度を望むことはできない。

2. 機能に応じた精度の基準点が必要となり、そのために高精度の基準点測量をしなければならない。ときには他の目的のためにすでに設置された、基準点あるいは公共測量その他で航空三角測量等の成果またはこれに代るべきものを利用することも考えられる。しかし、これら基準点は日本の現在の状態では限られた地域においてしか利用することができない。ことに地質調査に利用される多くは山間部でありその数は僅かなものである。新たに基準点を求めるとしても専門機関に発注しても成果をえるまでには2~3月の日時を要し、また自身でこの作業を行うとしても日時と労力、および経費の伴うことは当然である。ただしこ

の目的のみでなく地形図作成の作業と併せて同時に行なう場合は有利である。

3. 精密図化機を新たに設置しようとするときは、国産にはなく、すべて輸入に頼ることとなり、その上現今では需用が多く生産国においても、これを満たしえず発注後3カ年の歳月を要し、かつその機械を間断なく常時使用しない機関にあっては、あまりに高価で安易に購入されるものとは考えられない。

4. この機械には透明ポジが使用され、判読資料を直接記入することができない、また作業過程において簡易図化機に比して能率的でないことも難色の一つであらう。

簡易図化機

1. 専門的な技術者を必要としない。僅かの習練で操作に熟達するので、簡単に目的が達成される。

2. 標定点も機械の精度に見合う程度のものでこと足りるので、5万分の1あるいは2.5万分の1の地図に示された三角点やその他、信頼できる基準点を写真上に判定しても標定は可能である。また操作も簡単なために能率的に測定ができる。

以上のことをよく考慮して使用する図化機は目的に応じたものを選ぶべきである。いずれにしても走向および傾斜角の算定精度を最終的に左右する大きなものは、写真上での識別（この場合地層面の判定）と測定と計算の三者の精度が均衡であることに注意する必要がある。

例えば高性能の図化機を利用しても、地層面の識別判定が適切を欠くときは、いかに計算が厳密であっても最終目的において確実性に乏しいことは当然である。

立体鏡と視差測定桿による方法

識別された同一地層面上の3点を図解（射線法その他）により関係位置を求め、視差々（比高）を決定し算出するもので、図化機を利用するときより若干計算過程は多くなる。しかし、調査基地でも、研究室の片隅でも、場所を選ばず利用でき、専門的な技術もあり必要としない。しかも、次に述べるような十分信頼できる値がえられる。

走向および傾斜角の算出

観察から地層面の識別までの過程は省略して他の2点に重点をおく。

1. 判定された同一地層面の著明な点を選び朱墨で明確に印をつける。射線法によってその水平位置を求め座標を決定する。このとき地域内の方位を統一する

ため既知方位から透導する。方位は真方位を用いることが望しい。しかし、困難な場合は仮設点（線）を写真上に決めて後日現地調査の際に測定して換算してもよい、比高は視差測定桿によって三点毎に測定し全域を統一する必要はない。

2. 測定値は算定の基礎となるものであるから反復操作してその平均値を採用する。

基礎諸元から計算の過程を経て走向傾斜角を求めるものと、図解によって走向を決定し傾斜角を計算または図表によって求める方法とがある（松野久也, 1963, 30～33 ページ）。同一地層面上で測定桿によって、等視差点を求められるときは地層の走向は容易に決められる。いずれも地図の媒介なしに写真上から直接に値を求められるので累積誤差を少なくすることができる。ただし図解作業を併用するので、大きな縮尺の写真であって、かつ傾きの少ないものを利用することに留意すべきである。

鬼首地区の実例を参考までに説明すると第1図、第1表のとおりである。

第1図 位置の測定

計算の方法について

走向と傾斜角の段階にわけて計算した（第2図参照）A, B, C, 点は同一地層面に選んだ3点である。標高中位のA点と水平面上にD点（仮設）を算定しADは走向でNとなす角が方位角となる。

AD線上にB点と直交する点をE点とし、B点からA点の面まで垂線を下しその交点をB'点とする。このときBEとB'B'のなす角が地層の傾斜角である。

（附表に演算Ⅰの実例を末尾に示す）

計算値と実測値との比較

計算値と現地においてクリノメーターによって測定

第1表 使用写真
M. 1066, 7.8.9vv 2倍伸 S±20,000

地点	座標	視差	視差々	比高	摘要
I	1 $\begin{matrix} x \\ y \end{matrix}$	226.72m 97.35	29.64	0.1	2. A
	2 $\begin{matrix} x \\ y \end{matrix}$	97.04 0	31.42	1.88	39.1 B
	3 $\begin{matrix} x \\ y \end{matrix}$	0 10,000	29.54	0	0 C
II	1 $\begin{matrix} x \\ y \end{matrix}$	266.24 0	29.52	0.22	0.04
	2 $\begin{matrix} x \\ y \end{matrix}$	35.36 41.60	32.18	2.68	56.00
	3 $\begin{matrix} x \\ y \end{matrix}$	0 234.36	29.50	0	0

した値とを比較すると第2～3表のとおり。

上記の比較表について2者の値は一致していない。しかし、平均すると近い値になる。その原因について次のことが考えられる。

1. 観察時の地層面の判定識別の誤り
2. 図解による作業中の誤差
3. 計算過程の誤差
4. 実測値の誤り

4者の中で地層面の判定識別は大きく影響するもので、専門技術者の能力熟練の程度に左右される。また写真の鮮明度、撮影の季節、表層被覆等種々の条件に支配されるもので、写真地質学的立場から十分検討すべきものである。この地域の場合は写真地質学的に十分検討して確信をもって判定し、かつ現地調査でも確かめられたものである。位置および比高測定にも反復測定し平均値を採用した。使用した写真は米軍および日林協撮影の二倍伸写真であり、優れたものとはいえないまでも密着よりは有利である。視差測定桿による比高測定では写真の傾きも大きく影響することが考えられるが三点が僅かに100m～500mの範囲内に位置しているのでその影響は無視できる程度のものである。さらに計算過程の誤りは検算によって除去できる。以上の測定から地層面の算出におよぼす誤差は過大なものとは考えられない。

写真上で選んだ3点の位置は現地において種々の条件によって同一部位を実測できなかった。

現地での測定はクリノメーターによったが僅か12cm×6cmの外形に磁針を内蔵した簡単なものであり、測定そのものにも疑問が起きる。一見平坦にみえる地層面も、局所的に必ずしも平坦ではない。

$$\frac{B-C}{S} = \tan \alpha$$

$$(A-C) \cot \alpha = D \dots S'$$

$$S' \text{ により } D \text{ の座標を求める}$$

$$A, D \text{ の逆座で走向を知る}$$

$$(S-S') \sin \Delta \alpha = S'''$$

$$S''' \sin \Delta \alpha = S''$$

$$\frac{(A-B)}{S''} = \tan \theta \dots \text{傾斜角}$$

第 2 図

している。したがって極所の僅かな面から測定した後者よりは信頼性のあるものと考えられる。

むすび 露頭が非常によくても地層面に著しい起伏があつては走向傾斜の測定はできない。すなわち、露出している三点は平坦な同一地層面上あると考える場合に三点法は成立している。上記の方法は主として写真を利用する面から検討したのであるが、これに匹敵する測定値は測地学的方法で地上測量を通じても得られる。

しかし、後者はいかなる機械を駆使しようとも現地を跳査しなければ成果は得られない。これに伴う労力と経費および必要とする日時は大きいものである。

以上述べてきたような簡便

算定値と実測値との間に大きな値の相違がない限り前者は地層面の僅かの起伏には関係のない平均値を現

な方法でも比較的容易に走向および傾斜角の測定が可能であり、さらにまた地上の測定では得られない精度

第 2 表 鬼首地区

地 点	算 定 値		地 層 名	実 測 値		備 考
	走 向	傾 斜		走 向	傾 斜	
I	N 0°40' E	26°31'53" E	鬼首層凝灰岩質砂岩および礫岩	N 7° W	27° E	I の測定地点付近を断層が東西に走っている
II	N 42°25'48" W	24°7'20' E	〃	N 20° W N 40° W N 40° W	40° E 20° E 20° E	

第 3 表 北海道南上磯地区

I	N 28°16' W	21° 32' W	八雲層 板状頁岩 粗粒砂岩	N 20° W N 20° W N 50° W N 40° W	15° W 15° W 30° E	
II	N 3°50' E	34° 23' E	〃	N 18° E N 10° E	40° E 20° E	
III	N 16°33' W	36° 50' W	〃	N 8° W N 21° W	40° W 30° W	
IV	N 32°46' E	32° 22' E	黒松内層 砂岩泥岩	N 40°35' E	35° E	
V	N 32° 9' W	26° E	黒松内層 泥岩	軟質泥岩で水分多く、崩壊のため測定不能		

と作業が能率的である。また調査終了後においても意義あるときは、写真と反射立体鏡および視差測定桿さえあれば、再検討は室内において容易にできる利点をもっている。さらに高精能立体図化機まで行かなくとも簡易立体図化機の使用は精度および作業の能率上見逃せない。しかし、1 モデル上で多くの測定を行なう場合には有効であるが、僅かに 1~2 の測定しか行な

うことができないような場合、却って手数ばかりかかって甚だ非能率的である。

文 献

- 1) Ray R.G. (1960) Aerial photographs in Geologic Interpretation and mapping Geol. Surv. Prof. Paper. No. 373. 230 p.
- 2) 松野久也 (1963) 空中写真地質講座 (12) 地質ニュース No. 108, pp. 30~33.

付表

演算 I の実例

$$\begin{array}{lll} x_2 = 79^m04 & y_2 = 0^m & \log \Delta y = 2.01703 \\ x_3 = 0 & y_3 = 104.00 & \log \Delta x = 1.89785 \\ \Delta x = 79.04 & \Delta y = 104.00 & \log \tan \theta = 0.11918 \\ & & 52^\circ 45' 53'' \\ & & 3 \sim 2 \text{ 方位角 } a = 307^\circ 45' 53'' \\ \\ \log \Delta x = 1.89785 & \log (z_3 - z_2) = 1.59218 & \\ \log \cos \theta = 9.78211 & \log S = -2.11574 & C(3) \text{ 偽傾斜} = 16^\circ 40' 33'' \\ \log S = 2.11574 & \log \tan \alpha = 9.47644 & \\ 130^m45 & & \\ \\ \log (z_1 - z_3) = 0.30103 & \log \cos a = 9.78183 & \log \sin \theta = 9.90091 \\ \log \cos \alpha = 0.52355 & \log S' = 0.82458 & \sin S' = 0.82458 \\ \log S' = 0.82458 & \log \Delta x = 0.60641 & \log \Delta y = 0.72549 \\ 6^m68 & x = + 4^m04 & y = -5^m314 \\ & D(4) \text{ 座標 } x = 4^m04 & y = 98^m686 \\ \\ x_1 = 226^m72 & y_1 = 97^m35 & \log \Delta y = 0.12710 \quad \theta = 0^\circ 20' 40'' \\ x_4 = 4.04 & y_4 = 98.69 & \log \Delta x = 2.34763 \quad \text{走向 } N 0^\circ 20' 40'' E \\ \Delta x = 222.66 & \Delta y = 1.34 & \log \tan \theta = 7.779.47 \\ \\ a = 307^\circ 14' 7'' & S = 130^m45 & \log S''' = 2.09261 \\ a' = 20.40 & S' = 6.68 & \log \sin \Delta a = 9.77837 \\ \Delta a = 306^\circ 53' 27'' & S''' = 123.77 & \log S'' = 1.87098 \\ \\ \log z_2 - z_1 = 1.56937 & \text{傾斜角 } \theta = 26^\circ 31' 53'' & \\ \log S'' = 1.87098 & & \\ \log \tan \theta = 9.69837 & & N 0^\circ 20' 40'' E \quad 26^\circ 31' 53'' E \end{array}$$

- 注 1. 演算は計算機のない場合を考えて対数を使用した。真数を用いても勿論よいので手馴れたものを利用すべきである。
2. 図解で走向を決定し傾斜角測定に図表を用いる場合は藤田和夫著、地質図の書き方と読み方 174 p 見かけの傾斜 (共点図表) 利用すると便利である。

正 誤 表

(3 巻 4 号)

中 村 貢 治

ページ	行	正	誤
表紙	8	能率比 $\Delta H / \sqrt{A}$	能率化 $\Delta H \sqrt{A}$
目次	7	"	
13	枠内 1 列 8 枠内 2 列 9 枠内 3 列 8-10	23 日から 30 日まで 差は 30 cm であった。 毎朝毎夕……あふれ、	23 日から日まで 差はであった。 毎朝毎夕道路は車と人であふれ、毎期毎夕……
23	第 3 図 第 4 図	逆 逆	