原著論文

節理の統計学的処理とこれによる構造解析

No. 1. 層理面と剝離面*

山口 貴 雄

(1955年7月7日受理)

Statistical Treatment of Joints and Structural Analysis

No. 1. Bedding Plane and Cleavage Plane

Takao YAMAGUCHI

(Abstract)

The cleavage plan which is often mistaken the bedding plane must be distinguished from the latter. With such purpose the following study was made.

1. The orientation of the bedding plane and the cleavage plane should be measured statistically according to the small samples theory.

2. On a Schmidt's net, the poles of the cleavage planes distribute always along a large circle in the form of normal distribution, while those of the bedding planes do not.

3. Such a distribution of the cleavage planes is similar to that of joints. Therefore, in the same way as in the case of joints (Fig. 6), the direction and the plane of the differential movement which caused the cleavage can be found.

4. The factors in the case of schistosity plane are similar to those in the case of cleavage plane. The direction of the lineation of one green schist was found to be oblique to the direction of the differential movement of the rock deformation during dynamometamorphism.

5. The structural analysis in such a way is a very interesting and important study for sedimentation, structural geology, metamorphism, etc.

は し が き

われわれが層位学的意味をもつてクリノメーターをあてている面は、果して層位学で定義されている層理面¹⁾であろうか？ 若い時代の地層についてはこの定義が無理なく理解されるが、古い時代の地層ほど、これはおかしいと思わざるを得なくなる。古い時代の、なお一般的に言えば、いくらかの

* 層理面、剝離面は節理と一しよにするわけにはいかないが、処理のしかたがほとんど同じであるし、後に報告する「断層と節理の関係」の研究のために予備的に必要であるので、これと一応別に、はなして報告するわけである。又、統計学応用についてのげんみつつな検討は近いうちに報告する予定である。

1) 層理面あるいは層については、例えば湊正雄(地層学, 1953, 岩波書店)は単層の沈着固化の上面または下面だ(同書 pp. 133)と言い、この面は時間的間隙があつたことを意味する(同書 pp. 172)としている。とすれば、層理面は切つたようにシャープであるよりむしろ、何となくでこぼこした感じのものでなくてはならぬ。

地かく変動をうけた地層の層理面らしく見られる面は、実は本当の層理面ではなく、剝離面なのではなかろうか？ とすれば、この面はその方位分布について、節理のそれと共通した点¹⁾が見られないだろうか？ 本当の層理面の方位分布はどうか？ 又、片理面の方位分布はどうか？ この疑問を解くデータを集めるために長瀬西方の秩父盆地第三紀層と長瀬地方の結晶片岩を調べた。充分多くのデータはまだ集っていないが、わたくしの研究方法はいろいろの目的²⁾の、いろいろの研究に利用され得るものと信ずるので、あえてここに調査結果を報告する次第である。

この研究は「飛騨山地の地質学的研究」の中の1つとして「富山県黒部川中流地方の節理」とともに、文部省科学研究費の支給のもとに行われた。記して藤本治義先生ならびに関係者各位に深謝の意を表する。

第1図 皆野断層附近の層理面・剝離面・片理面の統計学的測定を行なった地点の例。

× a, b, c, d…測定点例。

F…皆野断層、この断層の露頭は黒谷駅東方約500mの、和銅見晴台の近くに見られる。走向N10°~30°W、傾斜約60°E。測定には相当の危険がともなう。又、b点至近の所にもその存在をたしかめることができるが、土砂をかぶっているために、断層そのものは見られない。

皆野断層の東側は結晶片岩、西側は第三紀層である。

に、この値を適当に変換して、 x_i, y_i とする (第2図)。これを第1表のように整理する。

I. 各種の面の方位分布

A. 調査した所と研究方法の方針

節理の方位分布についての研究のために調査した所は、長瀬荒川流域、富山県黒部川中流地方であるが、層理面・剝離面・片理面の方位分布についての研究のために調査した所は、長瀬地方の結晶片岩とその西に分布する秩父盆地第三紀層との境にある皆野断層にそつた、せまい部分である (第1図)。層理面・剝離面・片理面・節理の方位分布の扱いは、統計学でいう小標本論 (推計学的) の方法で統一した。層理面・剝離面・片理面の方位分布が節理のそれとちがうことは、前者の方の変域が後者のそれよりはるかに小さい点であつて、このために、節理の統計学的処理³⁾と多少ちがつた方法をとらなくてはならない。この主な点は、面の方位をすぐにシュミット網にプロットしては、せまい範囲に密集してしまつて処理ができないので、面の極の95%信頼限界をシュミット網上に表す前に、PINCUS⁴⁾が利用した、走向一傾斜直角座標を利用して処理しなければならないことである。

B. 層理面・剝離面・片理面の方位分布の統計学的処理
例として、緑色片岩 (第1図中のa) をとる。

(1) 帯状分布の検定

片理面の極の方位分布がシュミット網上で1つの大円 (まれには小円) にそつて帯状分布をしているかどうかは、片理面の走向・傾斜の値の間に回帰直線があるかどうかの検定で行う。

この両方の値を直角座標にプロットし、次に計算の便利のため

- 1) これについては、わたくしの、節理の統計学的処理 (地質雑, 61, 716, pp. 227) を参照されたい。又、この方面の研究については将来本誌上に報告する予定である。
- 2) 堆積学上の諸問題の研究, 結晶片岩に関する諸問題の研究, キースラーガーその他の鉱床の調査等に役立つと考える。
- 3) 2) と同じ。
- 4) PINCUS, H. J. (1951): Statistical methods applied to the study of rock fractures. *Bull. Geol. Soc. Am.* Vol. 62, pp. 81.

第 1 表

i	走 向	傾 斜	x_i	y_i
1	N58°W	62°NE	11	6
2	60	64	12	7
3	58	68	11	9
4	48	60	6	5
5	40	62	2	6
6	54	65	9	8
7	38	54	1	2

第 2 図 走向・傾斜の統計学的処理
(例, 測定地点 a)

この x_i, y_i について相関係数 r を計算する。

公 式

$$r = \frac{\sum \{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})\}}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}}, \quad \text{但し} \quad \begin{aligned} \bar{x} &= \sum x_i / n \\ \bar{y} &= \sum y_i / n \end{aligned}$$

計算値

$$r = 0.77$$

相関度はこの r の値を FISHER の表¹⁾にてらしあわせて判定される。充分に相関々係ありとみなされるのは、95%以上の信頼度をもつばあい、今の例は表では $n=5$ のばあいであるから、 $r \geq 0.7545$ であればよいわけで、計算値はこの条件にかなっている。

(2) 片理面の極の分布大円を求めること(近似的方法)。

次に、第2図上で、 x_i, y_i の回帰直線を求める。

公 式

$$y = \bar{y} + b(x - \bar{x}), \quad \text{但し} \quad b = \frac{\sum \{y_i(x_i - \bar{x})\}}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2}}$$

計算値

$$y = 0.37x + 3.3$$

これを第2図上にひく。次に、この回帰直線上の適当な2点(P, Q)を走向、傾斜の値にして、シュミット網上にプロットし、この2点をとる大円を求める。この大円を求める方法は、図式に求めるのはP, Qが接近しているから不正確になるから、次のように計算で求めることにする(第3図参照)。

公 式

$$\tan x = \frac{k \cdot \sin \alpha - \sin \beta}{k \cdot \cos \alpha - \cos \beta}, \quad \text{但し} \quad k = \frac{\sin a}{\sin b}$$

計算値

$$x = 80.5^\circ$$

(球面三角法より求めた……証明は略す。)

この際、測定値の中心 M (x - y 座標では $\bar{x}, \bar{y}$) もシュミット網上にプロットしておく。

(3) 正規分布の検定

第2図中のプロット点が正規分布をするかどうかは、第2図のように x', y' 軸をとり、標準偏差 $S_{x'}$, $S_{y'}$ を求め、

公 式

$$S_{x'} = \sqrt{\frac{\sum x'^2}{n-1}}, \quad S_{y'} = \sqrt{\frac{\sum y'^2}{n-1}}$$

計算値

$$S_{x'} = 24, \quad S_{y'} = 6.4$$

次に、測定数 n , 標準偏差 s , 正規分布であるときの変域 c の

第 3 図 接近した2点を通る大円の求め方

1) FISHER, R. A. (1950): 遠藤健児他邦訳, 研究者の為の統計的方法, 荘文社, pp. 209.

間の既知の関係¹⁾にてらしあわせて行う。

方 法

$h \times s \cdots \cdots$ 但し, $h = \frac{s}{c} \cdots \cdots$ が実際の変域とどのぐ
らい一致するか。

計算値

実際の変域

$$h \times S_{x'} = 22 \times 2.7 = 59 \cdots \cdots 61$$

$$h \times S_{y'} = 6.4 \times 2.7 = 17 \cdots \cdots 16$$

今の例のばあ
い, 両者は事実
上よく一致して
いるとみなして
よい, 従つてプ
ロット点は事実
上正規分布をす
ると検定する。

第4図 面の極の母中心の95%
信頼限界 (例: 測定地点a)

(4) 母中心
の95% 信頼限
界(Δ)の算出。

正規分布すると検定されれば, Δは次のよう
に計算される²⁾。

公式	計算値
$\Delta = s \times w,$	$\Delta_{x'} = 22 \times 0.93 \div 20$
但し $w = t_{0.05} / \sqrt{n}$	$\Delta_{y'} = 6.4 \times 0.93 \div 6.0$

この $\Delta_{x'}$, $\Delta_{y'}$ を x' 軸, y' 軸上にプロット
し (L, N), この点を走向, 傾斜の値に読み,
これを第3図上にうつす。結局, 片理面の極の
分布の母中心の95% 信頼限界は第4図のよう
な出来上りとして示されることになる。

C. 実 測 結 果

上のように測定, 処理した結果の代表例を,
次の通り統計学的処理の例, a. 以下, 並記する
(第5図)。

a. 緑色片岩 長瀬地方の結晶片岩は片理面
の傾斜が一般にゆるいのであるが, 皆野断層附
近では比較的急であり, 時には小褶曲などに
よつてもめている。片理面の方位を測定したの
は小褶曲や節理などによつて乱されていない小

第5図 測定地点b, c, dにおける剥離面・
層理面の統計学的処理

(1) 走向・傾斜の統計学的処理について,

	b	c	c*	d
相関係数 r	0.675	0.958	0.864	0.528
r の最低値. $P=0.05$	0.6664	0.9500	0.8783	0.6319
有意水準 $P=0.02$	0.7498	0.9800	0.9343	0.7155

95%以上の相関
々係のある, なし あり あり なし なし**

* 剥離面のすぐ下にある成層面らしい面(図中のb)も
加えたばあい, 加えないばあい, cとくらべると
相関々係はおちる。

** 有意水準 $P=0.1$ の r の最低値 0.5494 に近いが
これより小さい。

(2) 右側のシュミット網上には面の極の母中心の95%
信頼限界が示されている。

- 1) 標本(測定)をとつた母集団が正規分布をするときの h と n との関係は第2表に示すようなものである(鍋島信太郎他(1952): 数理統計学初歩, 池田書店, 参照)。
- 2) w の値は t 分布表 (FISHER の書…前出… pp. 156) をもととして計算し, 表にして, h と並べておくと便利である(第2表)。

第2表

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
h (約)	1.6	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.3	3.4	3.5
w (約)	2.2	1.6	1.2	1.05	0.93	0.84	0.77	0.72	0.67	0.64	0.61	0.58	0.56

部分である。片理面の間隔は 0.5~1.0 cm である。

b. 第三紀砂質頁岩 皆野断層から 2~5 m はなれた部分で、ふつうならば層理面として見てよいような面の方位を測定した。より砂質の部分の面は比較的にはつきりしているが、その間にあるより粘土質の部分はこの面にはほぼ平行な割目とこれにはほぼ直角の割目によつてボロボロになっている。より砂質の部分にも直交節理が発達しているが、この節理については別に報告する。この層理面らしく見られる面は、時にはより砂質の部分にもこまかく発達して岩石をボロボロにしているから、この面は後天的な剝離面であると考えたい。測定はボロボロでない部分で、節理にはかまわずに行われた。

c. 第三紀砂質粘板岩 比較的に厚い (20~100cm), より砂質の単層の間にはさまれた、粘板岩質の剝離面を、1枚1枚はいでその剝離面の方位を測つた。その面の間隔は 3~5 mm であつた。測つた部分は節理によつて乱されていない。節理については別に報告する。

d. 第三紀礫質砂岩 径約 3 cm までの小礫を多く含む砂岩に、表面がでこぼこの、見るからに層理面らしい (剝離面は一般に平滑である) 面が 20~50 cm 間隔で発達している。測定したのはこの面である。節理はほとんど発達していない。

II. 解 釈

片理面と剝離面らしい面の方位分布は層理面らしい面のそれとは第5図に見られるように、前者が節理のそれと同じような、シュミット網上で大円にそう正規分布を示すのに、後者にはそういうことがない、という点でちがっている。前者のこのような分布を構造解析的に、わたくしは第6図のように解釈した¹⁾。この解釈法は断層附近に発達する節理を解釈するばあいにはじょうにぐあいよく役に立つ (断層と節理の関係については別に報告する)。片理面と剝離面の方位分布は節理のそれと本質的に同じであるから、節理のばあいと同じように、第6図を応用して解釈してよいであろう (第7図)。

層理面らしい面の方位分布は正規分布より離散的である。これは、この面が節理・剝離面・片理面のように同時に、統一的な作用のもとにできたものでないことを示す。これに反し、節理・剝離面・片理面の方位が正規分布をするということは、これらが、同時の、統一的な作用 (第6図における差動運動) のもとにできたもので、偏差の素因に、差動運動の速度及び量、圧縮作用の強弱、岩石のかたさ及び力学的異方性等、数多くのものがあることを示している²⁾。

次に各例について解釈事項を記す。

a. 緑色片岩……片理面の性質

第6図 節理面・剝離面・片理面の方位分布とその解釈
D…差動方向, P…圧縮作用の方向, g…平均すべり面=差動面, G…すべり面の極の母中心の 95% 信頼限界。

$PD=90^\circ$, $\angle D=90^\circ$. このようにして, Gがわかれば D, g が求められる。

第7図 測定地点 a, b, c における差動面及び差動方向.
D…差動方向,
L…直線片理の方向。

- 1) この解釈法は、黒部川及び長瀬地方で約 100 の測定点において節理の方位分布を研究した結果、有用であると結論したもので、詳しくは別に報告する予定である。要旨は 1955 年度の日本地質学会総会に報告した。
- 2) 偏差の素因が多いほど、測定値の分布は正規分布に近づく。松下嘉米男 (1953): 統計数理の基礎理論, 朝倉書店, pp. 66.

片理面の方位分布からみると、差動方向はふつう直線片理に直交すると考えられているが、この緑色片岩のばあいのように両者が直交しないことも案外多いのではなかろうか、と考えられる。

b. 第三紀の砂質頁岩……断層と剝離面との関係

この地点は皆野断層にひじように近接しているので、剝離面や節理は、この断層運動の性質を反映しているものと考えられる。断層そのものの露頭はないので、その傾斜等はわからないが、まわりの状況から推して、剝離面が、断層の走向・傾斜・差動方向を示すものではないかと推察する。剝離面の方位分布から推察した断層の方位は、走向N5°W・傾斜45°E・おとし15°Nであつた。又、剝離面とはゞ直交する節理は剝離面の方位分布をひどくは乱していないようである。

c. 第三紀砂質粘板岩……剝離面と層理面との関係

粘板岩的剝離面だけをとると、その方位分布に直線的相関々係が十分に強く認められるが、そのすぐ下の層理面らしい面（この下はより砂質である）を加えると、この相関々係はずつと低くなる。このことは、剝離面とはげんみつには別々に考えるべきであることを示している。両者があらく見ればほぼ平行であることは、剝離面が、先天的な不連続面にえいきょうをうけた差動運動によつてできたものであり、差動運動は岩石の力学的異方性に大いにえいきょうをうけるものだ、ということを示していると考えられる。

d. 第三紀礫岩質砂岩……層理面の性質

より礫質の層とそうでない層が層理面らしい面で境している。この面の方位分布は、走向が正規分布、傾斜が正規分布より離散的な分布、という状況である。これは堆積が走向については或る方向に統一的で、傾斜については比較的統一的でない条件下に行われたことを示している。このことは堆積学上なかなか意味深い要素を含んでいる。方位分布には直線的相関々係は充分に強いとはみとめられない。

結 語

実測の数は少いけれども、層理面・剝離面・片理面については、将来の研究の足がかりとして、次のことを注意すべきであることがわかつた。

1. われわれがふつうに層理面と見ている面は剝離面であることが多いから、両者は大ていほぼ平行ではあるが、げんみつには区別すべきである。
2. 剝離面は、節理と同じように、岩石変形運動によつて統一的に発生したものであるから、その方位分布より変形運動の差動面と差動方向を推定することができる。
3. 層理面の方位分布は剝離面のそれとはちがつた性質のもので、これから堆積学上なにか意味のあるデータが得られる可能性がある。
4. 片理面の方位分布は剝離面のそれと似ている。差動方向は直線片理の方向と斜行していることがあるのではないか。
5. 以上のような見方で構造解析を行うことは、1つの新しく面白い方法である。

主な引用文献（脚註にあげたものをふくむ）

A. 層理面、片理面についてのもの。

1. 湊 正雄 (1953): 地層学, 岩波書店.

-
- 1) 湊正雄の単層の方向性, 井尻正二による褶曲の自己原因性, について何かデータが得られるのではないか.

2. 井尻正二 (1950): 堆積学の根本問題, 科学, 20.
 3. CORRENS, C. W. (1949) 他: Entstehung der Gesteine. *J. Springer.*
 4. RAMBERG, H. (1952): The origin of metamorphic and metasomatic rocks. *Univ. Chicago. Press.*
 5. SANDER, B. (1930): Gefügekunde der Gesteine. *J. Springer.*
- B. 統計学についてのもの.
1. 鍋島信太郎および横地清 (1952): 数理統計学初歩, 池田書店.
 2. 松下嘉米男 (1953): 統計数理の基礎理論, 朝倉書店.
 3. FISHER, R. A. (1950), 遠藤健児および鍋谷清訳: 研究者の為の統計的方法, 荘文社.
 4. 同: 実験計画法, 同.
- 上の中, 1. は実技上, 2. は理論上, 3. は数表上, 4. は反省上に役立った.
- C. 節理の統計学的処理についての主なもの.
1. PIA, N. (1924): Über einen neuen Versuch zur Anwendung statistischer Methoden in den Tektonik. *Geol. R. sch. Bd. 5.* pp. 123~143.
 2. PINCUS, H. J. (1951): Statistical methods applied to the study of rock fractures. *Bull. Geol. Soc. Am. Vol. 62.* pp. 81~130.
 3. 山口貴雄 (1955) a: 節理の統計学的処理. 本誌, Vol. 61, pp. 227.
 4. " b: 節理の統計学的処理とこれによる構造解析. 日本地質学会, 第 62 年々会講演, No. 718.
- D. 長瀬地方および秩父盆地第三紀層についてのもの.
1. 渡辺景隆・新井重三・林 唯一 (1950): 秩父盆地第三紀層の地質学的研究, 秩父科学博物館報告, 1.
 2. 井尻正二・小川賢之輔・高沢松逸 (1950): 秩父盆地の第三系, 国立科学博物館研究報告, 28.
 3. 山田 純 (1947): 東京教育大学卒論の地質図, 手記.
 4. 藤本治義 (1951): 日本地方地質誌, 関東地方. 朝倉書店.
-