原 著 論 文

節理の統計学的処理とこれによる構造解析

No. 2. 剝離面 (小仏層の例)

山 口 貴 雄

(1956年2月7日受理)

Statistical Treatment of Joints and Structural Analysis

No. 2. Cleavage Plane

Takao YAMAGUCHI

(Abstract)

The orientations of joints and cleavages were measured successively along a straight line suitable for sampling and the poles of these planes were plotted on a Wulff's net. By means of this method, the Kobotoke series in the western district of Tokyo was studied. The results obtained are as follows.

1. Many sets of pole can be regressed to small circles and some sets to great circles on a Wulff's net.

2. The regression to a small circle indicates that the planes were developed on some parallel similar cones produced by torsion. The center of the small circle indicates the orientation of axis of these cones and, therefore, of axis of the torsion. The radius ν indicates that the top angle of the cone is $2(90^\circ - \nu)$.

3. The larger the top angle is, the more intense the compression parallel to the axis of the torsion is.

4. Many sets of joint and cleavage in the Kobotoke series were produced probably by torsion under considerably intense compression.

5. The very point [where the axis of torsion passes can be obtained from the relation between the measuring line and the distribution of the poles. This is very useful for structural analysis in a detail scale.

6. Similar studies on groups of faults, veins and dykes would be interesting.

結 言

剝離面が節理と同じように構造地質学的に役立ちそうであることは前に報告した (山口, 1955c)。わたくしは関東平野西縁の地質構造を研究するために小仏層の節理と剝離を調べている途上, それら

の面(構造面とよぶことにする)の極がウルフ網上で小円に回帰するばあいを数多く見つけた。面の極が大円に回帰するばあいの解釈については前に報告した(前出)ようにかんたんであるが、極が小円に回帰するばあいは、これとちがつて、多少複雑である。本論では回帰小円をもつ面群について記すものである。

本研究は文部省自然科学研究助成金支給のもとに行われた。記して関係各位に深謝の意を表す。又東大久野教授と同大岩石学関係の方々、文部省統計数理研究所の松下嘉米男氏、都立一商高校の田原七之助氏、その他の方々、都立立川高校金子史郎氏からは多くの御批判、御教示、御協力をいただいた。記して深謝の意を表す。

I. 剝離面・節理面の方位分布

A. 測定個所と測定方法

本論にあげた例の測定個所は第1図に示したようにいずれも高尾山近辺にある。各測点個所において、まず面のサンプリングがうまく行くように適当に巻尺をひつぱつて固定し、この測定線に交わる

第1図 剝離面、節理面の方位分布の測定個所

×…測定個所, A…浅川駅, T…高尾山, 実線…主要道路, L_1 - L_2 …小仏層(西側)と第三紀層(東側)の境界線。

すべてのときには主な面について、位置と方位を記帳し面の極をウルフ網にプロットした。シュミット網を使わず、ウルフ網を使つたのは、小円が円としてあらわれ、解析に便利だからである。

B. 測定結果

測定結果を第2図に示した。各測定個所の地質状況と面の極分布状況を説明すれば次のとおりになる。

a, b, c. 第2図中の a, b, c は一つづきの露頭で、断層はみとめられない。岩石は硬砂岩・粘板岩である。aの面は従来の常識でいえば節理らしい面であり、bとcの面は粘板岩状剝離である。各々のはんいに発達している面は見たところまとまつていて、しかもそのはんいによつて何となく様子がちがうので、測定単元をわけたのである。aにおいては、面の極は、大体、小円 R に回帰しており、若干のものは大円 G に回帰しているものと見当づけられる。bにおける面の極は2の小円 R_1 , R_2 に回帰しているものと見当づけられる。cにおける

面の極は、数が少ないのではつきりはしないが、小円 R と大円 G に分れて回帰すると見られる。

d, e. 第2図中の d, e も一つづきの露頭であるが、eのはんいでは全く系統のちがう面が存在しているので、プロットは別々にした。一般に小仏層の面は、測定線が2~5mをこえると、別の系統のものになるようである。dにおける面の極は、近接した2の大円 G_1 , G_2 に回帰すると見当づけられる。eにおける面は1小円 R と1大円 G に分れて回帰すると見当づけられる。岩石は主として粘板岩で、dとeの間に断層はない。

f. 岩石は主として粘板岩で、この剝離面には $\angle$ 直交する、いわゆる *laterat joint* が発達している。この2種類の面の極を1つの図にプロットした。前者は1小円 R に、後者は1大円 G に回帰すると見当づけられる。

g. 岩石は千枚岩である。測定したのは主な面だけである。面の極は、近接して単純集中かも知れ

第2図 各測定個所における剝離面・節理面の方位分布
 ●…面の極。番号は測定線上の順番。
 ○…測定線の方位。Pはその始発点、Qはその終点。
 いずれの極群も、F検定とt検定によつて回帰小円あるいは回帰大円の存在がたしかめられた。

ないが、一応、小円に回帰すると考える。

h. 岩石は千枚岩で、測定したのは主な面についてである。面の極は小円に回帰すると見当づけられる。

小仏層の剝離面の中には単純集中のものも多くあるが、本論では実測結果は記さない。

II. 統計的解析及び解釈

A. 回帰小円の検定

面の極がある小円上の分布に帰してよいかどうか、即ち、回帰小円をもつと考えてよいかどうか、を判定するには、げんみつにならば、回帰小円の理論式をたてて最小2乗法により常数を決定し、更にあてはまりの良さを検定しなければならない。しかしこの方法はひじように手数がかゝり、實際上適当しないので、他の便宜上の方法を採用した。まず、見た目で回帰小円を見当づける。この見当づけはわりにうまくいくが、要するに、第4図のようにして求めた v について、 $\bar{v}=0$ になるように、且つ、 S_v が最小になるように、見当づけるのである。次に、第3図のようにして、回帰小円の真の中心 C と半径 ν を求める。

次に、 u, v を第4図のように求め、この u と v をF検定にかける。この検定により、 u と v が同一の正規分布の母集団からの標本であるか、ないかが判定される。そうでないと判定されれば、この回帰小円の存在を考えてよいことにする。次に、回帰のよさを v についてのt検定にかける。ただし、t検定の式、 $t = \bar{x}\sqrt{n-1}/S$ において、 $\bar{x}=\nu$ 、 $S=S_v$ とする。この検定で、 ν の存在が充分に意味があると判定されれば、回帰小円の回帰の程度は

充分に高いとする。この2種の検定で、見当づけた回帰小円の存在価値の有無を判定する。経験によれば、見た目で回帰小円が存在しそうだと考えられるばあいは、大いそれがうらがきされる。但しこの方法には、各 u の値について、 v は同一の正規分布をするという仮定が入っているが、測定数を充分大にすれば、この仮定は成立するようである。

B. 回帰小円をもつ面群の発達様式

この項には回帰小円をもつ面群の基本的な解釈を記す。今ここに、頂角が等しく、 $(90^\circ - \nu) \times 2$ で

第3図 回帰小円の真の中心 C と半径 ν° の求め方

回帰小円の見かけの中心を C' 、半径を l cm ウルフ網の中心を O 、 $OC' = h$ cm、 $OC = \mu^\circ$ 、ウルフ網の半径を L cm とすれば、

$$\tan \frac{\mu + \nu}{2} = \frac{h + l}{L}, \quad \tan \frac{\mu - \nu}{2} = \frac{h - l}{L}$$

より μ, ν を求めることができる。

第5図 単位構造円錐群の解析

立画面は測定線 PQ と円錐の軸 CO とに平行で、平面はこれと直交する。単位構造円錐群は、 Q をとおるものを代表として示した。

第4図 u, v の定め方

任意の極 X_i についての u, v を u_i, v_i とする。 $u=0$ の位置はてきとうにもうける。

第6図 単位構造円錐群よりの測定面の方位分布

$P, C, U, \varphi, \lambda, \phi, \nu$ は第5図中のそれらにあたる。 PQ に交わる円錐面の極は小円 C の一部 AB 上に、矢印の方向に順次にならぶ。 $\widehat{CU}$ は 90° で、大円 CU は第5図中の立画面で U をとおる、 CU に直交する大円が平面にあたる。

第7図 測定線・単位構造円錐群及び測定面の極の分布間の関係様式

aは測定線 PQ と単位構造円錐群の位置関係で、bは、ウルフ網上の、測定面の極の分布（太線）とその向性（矢印）を示したもの。ただし、bのウルフ網の中心の示す方向は、aの立画面で上向（傾斜してもよい）としてあらわれるとする。bの様式からaの様式を決定することができる。

あるいくつかの円錐（これを構造円錐ということにする）が、軸を共有して、ちょうど三角ばうしがかさなっているように、存在しているばあい（これを単位構造円錐群と名づける）を考える。これに任意の線分を交わせ、これらの交点における円錐面の方位を順次に測定して行つたとする。このばあいの方位分布は、第5図のように、線分 PQ と、測定の終点 Q をとおる円錐 C について解析すればみちびき出すことができる。第5図において、 P 点で交わる円錐面の方位は R における円錐面の方位に等しく、一般に PQ 上の任意の点 M における円錐面の方位は M_0 におけるそれに等しい。従つて PQ にそつて測定した円錐面の方位は RQ 上の各点における円錐面の方位に等しい。従つて、第6図のように、面の極はウルフ網上では半径 ρ の小円上に、一定のすう向性をもつて並ぶ。線分 PQ の方位、極の始発点、第5図にしたがつて、第6図のように示され、又、極の分布はんいは F, F' の片方だけに存在することがわかる。線分 PQ と円錐 C との関係は第7図のように4通りあり、極の分布のすう向性、小円、 P の関係にはウルフ網上でそれぞれ一定の様式がある。従つて、実測の結果である、第7図 b より $\varphi, \phi, \lambda, \nu$ を読みとり、線分と円錐の関係を定めれば、第7図 a を描き出して、 PQ と円錐 C の実際の関係と寸法を求めることができる。

C. 面の極のうちわけ

実測の面の極は、Bで記した単位構造円錐群1つだけでなく、軸は平行だが、共有していない他の

第8図 測定面の、測定線上の位置 l と u との関係（例 h ）

明かに、1, 4, 5, 6, 7, 9, 10の系列（これをかりに主系列とよぶ）と、2, 3, 8の系列に分けられる。他の例にも同じようなことが見られる（本論では記さない）。

第 11 図 主系列面群の解析の第 2 段階 (例 h)

第 10 図で求めた値をもとにし、又、第 7 図を参照して、測定線 PQ と単位構造円錐群 CO との関係、第 5 図の方式に従ってあらわす。まず、平画面において、 $P''Q'' (=PQ \cdot \sin \phi)$ をひき、 λ と ϕ を利用して O'' を求める。次に立画面における $P'Q'$ と円錐 $C'O'$ を求める。立画面において、 $P'Q'$ と円錐の投影線が平行になっているのは偶然である。

第 12 図 単位構造円錐群の軸のおおる位置の求め方 (例 h)

第 11 図で求めた円錐 CO を、第 10 図中のような傾斜にするため、投影図全体を U_1U_2 (第 10 図) だけ回転しなければならない。そのために、第 11 図中の P, Q, C, O だけをうつしとり、立画面上で、 Q' (便宜上) を中心に回転して、 P_q', C_q', O_q' を求め、次に平画面を求める。そうすれば、 PQ 上、 P の下方 20 cm の点より、水平に、 $N23^\circ E$ の方向に、25 cm へだてた点を単位構造円錐群の軸がおおることがわかる。軸の方向は、第 10 図から、 $N63^\circ E$ 、おとし 16° であることがわかる。(この回転投影の操作はかんたんなばあいには 2 段階にわかれる。 h のばあいがかんたんなのは、大円 CP がウルフ網の中心をとおっているからである)。

円錐状のすべり面が生ずる変形は **torsion** である。材料力学方面の実験 (例えば **NADAI**) によれば、よじりによつて円錐状のすべり面の生ずるのが見られるというし、又、白墨をよじりわると、やはり円錐状のわれめが生ずる。この際、円錐の軸は **torsion** の軸と一致する。円錐の頂角の大きさは、軸の方向の **compression** の大きさを示すもののようである。即ち、この **compression** が大きければ頂角も大きくなり、円錐はひらいてくる。

G. 小仏層の構造面の発生様式

小仏層に発達している剝離面は、高尾山附近に関する限り、回帰小円をもつか、単純集中のものが多い。常識的に節理と見られるものでも、回帰小円をもつものがある。いわゆる **lateral joint** は回帰大円をもつものらしい。回帰小円の半径は一般に約 20° 以内で、構造面円錐の頂角は 160° 以上である。従つて、小仏層の剝離面は相当大的な **compression** 下の **torsion** によつて生じたものと考えられる。又、**torsion** の軸は分散して存在しているから、剝離面は劃一的に生じたものではなく、部

分的なものと考えなくてはならない。しかし、分散している多くの *torsion* はある統一的な作用に帰することができるかもしれないが、この問題については後に報告する。

結 語

節理・剝離の方位分布は、1 測定個所において、都合よくサンプリングができるように適当な測定直線をもうけ、これと交る面の方位を順次に測定し、その極をウルフ網上にプロットして調べた。この方法により、東京都西部の小仏層の節理・剝離を調べて次の結果を得た。

1. 回帰小円をもつ面群が多く見つかった。
2. この極の回帰小円は、面が円錐面上にならんでおり、頂角の等しい円錐が軸を平行にして存在していることを示す。この円錐は、この軸を軸とする *torsion* の産物である。
3. 円錐の頂角が大きい程、*torsion* の軸の方向の *compression* が大きいことを示す。
4. このようなことから、小仏層の節理・剝離の多くのものは、相当に大きい *compression* の下に、*torsion* によつて生じたものと考えられる。
5. *Torsion* の軸がとおる位置は、測定線と極分布との関係から、こまかく求められる。これは、こまかい構造解析に役立つ。
6. この方法に従つて、断層群・脈群等を調べるとおもしろいと思う。

参 考 文 献

A. 節理・剝離に関するもの

- 1) BECKER, G. F. (1896): Schistosity and slaty cleavage. *J. Geol.*, Bd. 4.
- 2) CLOOS, H. (1936): Einführung in die Geologie.
- 3) ESKOLA, P. (1939): Entstehung der Gesteine. *J. Springer*.
- 4) 金子 史朗 (1955a): 東京都五日市第三系の地質構造, 本誌, Vol. 61, p. 471.
- 5) ——— (1955b): 相模湖周辺の断層, 節理と地形, 地理学評論, Vol. 28, p. 473.
- 6) NADAI, A. (1931): Plasticity, McGraw-Hill.
- 7) PIA, N. (1924): Über einen neuen Versuch zur Anwendung statistischer methoden in den Tektonik. *Geol. R. sch.*, Bd. 5, p. 123.
- 8) PINCUS, H. J. (1951): Statistical methods applied to the study of rock fractures. *Bull. Geol. Soc. Am.*, Vol. 62, p. 81.
- 9) SANDER, B. (1930): Gefügekunde der Gesteine. *J. Springer*.
- 10) STOKES, B. (1935): Structural Geology. *McMillan*.
- 11) 山口 貴雄 (1955a): 節理の統計学的処理, 本誌, Vol. 61, p. 227.
- 12) ——— (1955b): 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回年会講演, p.361.
- 13) ——— (1955c): 同題, No. 1 層理面と剝理面, 本誌, Vol. 61, p.559
- 14) ——— (1955d): 黒部川中流及び白馬岳附近の節理の構造 地質学的研究, 飛騨山地の地質研究概報 (1952~1954).

B. 統計学的処理に関するもの

- 1) FISHER, R. A. (1950a), 遠藤健児他訳 (1953): 研究者のための統計的方法, 荘文社.
- 2) ——— (1950b), ——— (1953): 実験計画法, 荘文社.
- 3) 増山元三郎 (1952): 統計学の話, 朝日新聞社.
- 4) 松下嘉米男 (1953): 統計数理の基礎理論, 朝倉書店.
- 5) ——— (1954a): 社会現象の統計数理, 朝倉書店.
- 6) ——— (1954b): 統計数値表の使い方, 朝倉書店.
- 7) 水野 担 (1954): サンプリング調査法, 朝倉書店.
- 8) 成実 清松 (1953): 統計解析の理論, 朝倉書店.
- 9) 鍋島信太郎 (1952): 数理統計学初歩, 池田書店.
- 10) 佐藤良一郎 (1954): 数理統計学概説, 培風館.
- 11) 渡辺孫一郎 (1926): 確率論, 文政社.