

岩盤不連続面の3次元卓越方向解析に関する研究

京都大学工学部 正会員 大西有三
 京都大学大学院 学生員 ○中川誠司

1. はじめに 岩盤内に無数に存在する節理・層理・断層などの地質学的不連続面は、岩盤の力学的、水理学的挙動に大きく影響を与えるため、それらの3次元的な分布状態を把握することが重要となる。本研究では、分布特性を記述する上で最も重要なパラメータの一つである方向性をとりあげ、地質調査で得られた不連続面の方向データから、岩盤内での方向分布状態を統計的に推定し、確率分布を用いて記述するための手法を検討した。

2. 解析の手法 一般に不連続面の分布状態は、半球面上の極の分布で表される。このような、観測された不連続面の方向データを、母集団（岩盤内に存在する不連続面の集団）より抽出された標本とみなし、これをもとに母集団の従う3次元的な確率分布を推定することで、岩盤の不連続面の分布状態を定量的に記述する。卓越方向解析では、こうした分布の推定が主要部分となる。本研究では次の2点を要点として、分布の推定手法を改良した。

①半球面上の極の分布で表される不連続面の分布状態を記述する確率分布として、卓越方向周りの非等方的な分布状態を記述しうるBingham分布¹⁾を用いた。

②分布を推定するために行う極のグループ分け（クラスター化）の方法として、それぞれのデータを各クラスターに分割して配分する新しい手法を用いた。

まず①についてであるが、この確率分布は従来から用いられてきたFisher分布²⁾（半球面上等方正規分布）と比べた場合、分布状態を記述する上での自由度が大きいという利点がある。すなわち、この分布は、半球面上で帯状や、楕円状に分布するデータに対しても用いることができる。

次に②についてであるが、従来のクラスター分割の多くは、一つのデータはどれか一つのクラスターにしか属しないという考えに基づくものであった。こうした方法は、クラスター同士が十分に離れていれば問題なくデータを分割できるが、近接している場合は得られたクラスターから導かれる確率分布は偏ったものとなる。本研究におけるクラスター分割では、いったん推定した各クラスターの確率密度を各データの位置で比較し、これに比例してデータを分割・配分した上で、重み付きのデータを用いて再びそれぞれの確率分布を推定している。

解析手順の概略はFig. 1 のようになる。内容は大きく2つの部分に分けることができ、前半では分布の一樣性の検討と、従来の考え方に基づくクラスター分割が行われる。これから、Bingham分布の重ね合わせで表される不連続面の母集団分布の、第一近似を得る。後半では、上記の方法によってデータの分割、およびクラスターの決定を行い、各クラスターのBingham分布を推定する。この操作は、分布形状が収束するまで繰り返される。ただし、収束の判定にはBingham分布を平面上の2次元正規分布で近似した場合に得られる2つの標準偏差を用い、繰り返し計算によるそれらの変動が一定の規準内に収まったときに、分布形状は収束したと考えている。

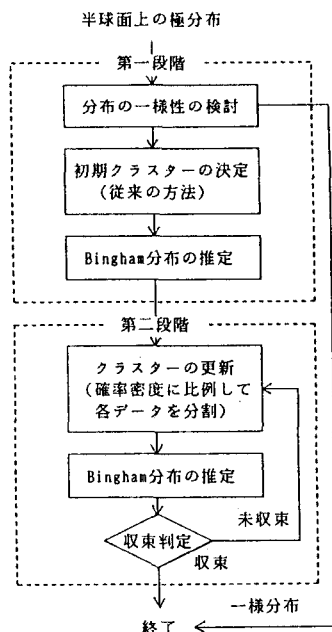


Fig. 1 卓越方向解析のフローチャート

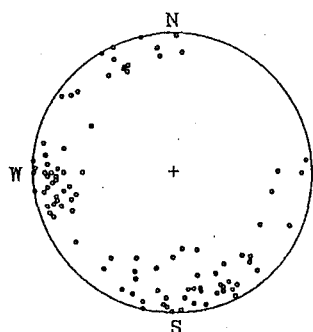


Fig. 2 極の等角投影図

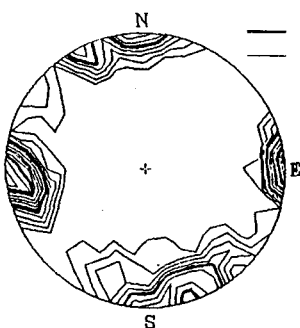


Fig. 3 極の等密度コンター図

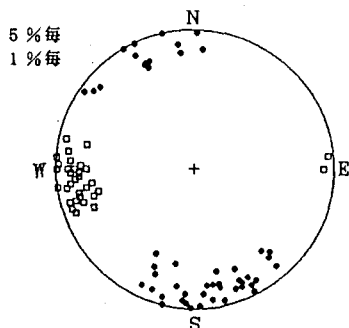


Fig. 4 第一段階のクラスター分割

3. 解析例 ここでは、井島（広島東方の瀬戸内海の小島）の花崗岩水平露頭面で得られた節理面の方角データを用いて、本解析の適用例を示す。Fig. 2 はこの101個の節理面の極の等角投影図であり、Fig. 3 はそのコンター図である。

このデータに対して第一段階のクラスター分割を行うと、Fig. 4 のようになる。これらのクラスターについて推定されるBingham分布は集中性がかなり大きい。これには、クラスター周辺のデータが登録されない（全体の約14%）こともあるが、一方のクラスターに属するデータが他方のクラスターの分布の推定に全く影響しないことも大きな原因である。

次に、第二段階のクラスター分割を行う。この例では繰り返し5回で収束条件（便宜上、標準偏差の変動が1%以下になることとしている）を満たした。Fig. 5 は推定された分布のコンターを極のコンターと同レベルに規準化して描いたものである。元の分布が良好に表されていることがわかる。また、クラスター毎の確率分布で、その内部に68%、95%の確率で極を含む区間を極の存在に関する信頼区間として示すとFig. 6 のようになる。この信頼区間の境界線は等確率密度線であり、従来のFisher分布では円として投影される。しかし、図に示すようにBingham分布を用いた場合、これは複雑に歪んだ形状となり、元の分布状態をより忠実に記述している。

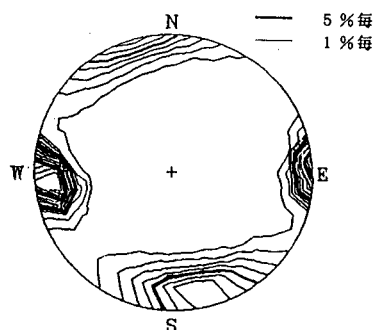


Fig. 5 等確率密度コンター図

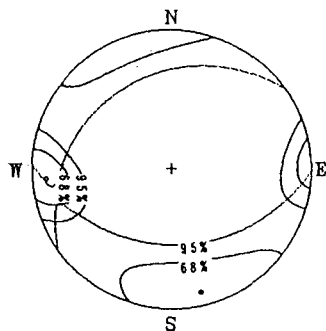


Fig. 6 極分布の信頼区間

4. 結論・今後の課題 本研究の結果、以下のことが確認された。

- (1) 非等方的な不連続面の極分布を表す確率分布として、Bingham分布は有効な手段である。
- (2) 新しいクラスター分割法は、クラスター同士が近接した場合でも、データの分割を適切に行いうる。

本研究では岩盤の不連続面の方向性のみが検討され、トレース長、開口幅などその他の属性は考慮されていないので、今後はこうした点も含めて研究を進めていくつもりである。また、方向データを取得する際に生じるサンプリング偏差の補正も行っていないので、この点についても考慮するつもりである。

<参考文献>

- 1) Bingham, C. : Distribution on the sphere and on the projective plane, Ph. D. dissertation, Yale University, 1964.
- 2) Fisher, R. A. : Dispersion on a Sphere, Proc. Royal Society in London., 1953.