

小断層による古応力測定：共役断層法・逆解法・多重逆解法の分解能

Resolution of classic inverse method and multiple inverse method applied to conjugate faults

山路 敦 [1]

Atsushi Yamaji [1]

[1] 京大・理・地球惑星

[1] Div. Earth Planet. Sci., Kyoto Univ.

http://terra.kueps.kyoto-u.ac.jp/2_Members/yamaji/

小断層による地殻応力測定について3つの方法を検討した。共役断層法・従来の逆解法・多重逆解法である。宮崎層群のなかで共役関係にあることが確実な小断層にそれらを適用した結果、多重逆解法では4つの解がえられた。3つは同小断層群を同じ方向にスリップさせるので逆解法では区別できない、同等に妥当な解である。4番目の解はそれらと独立である。従来の逆解法では、それらのうちの1つと似た、ただ1つの解しかえられなかった。多重逆解法は、妥当な解を複数示すことができるという意味で、従来の逆解法よりも分解能があがっているといえる。

【小断層解析の3方法】

地殻応力はテクトニクスの制約条件として使うことができるが、地質学的過去のそれは、変位量数メートル以下の断層を露頭で多数観察することにより推定することができる。いわゆる小断層解析である。これまでわが国で広くおこなわれていたのはAnderson理論を基礎とする共役断層法というべき方法であって、共役破壊したと推定される断層群から応力主軸の方向を求めていたわけである。変形は一般に3次元的だが、共役関係にある断層群だけが動くなれば、それらを含む岩体は平面歪みしかおこさない。つまり共役断層法は平面歪みを暗黙に前提していたという意味で、今となっては受け入れがたい方法である。

それに対して断層とテクトニクスに関するBott (1959)以来の研究の系譜では、既存断裂が断層として使われることを許容するので、3次元歪みが可能になる。3次元歪みを許容する小断層解析法として、Angelier (1979)に始まる逆解法がある。これは強力な方法で、いまや世界中で使われているのだが、観察した断層群が複数の応力状態を記録している場合、それらの応力を分離する能力は低い。この問題を解決するために、Yamaji (1999a)は逆解法を発展させて、多重逆解法(multiple inverse method)を開発した。

【フィールドデータへの適用】

共役関係にあることが、断層面の方向・性状から確実な断層群について、共役断層法・逆解法・多重逆解法を適用し、解としてえられる応力を調べた。使ったのは宮崎層群下部を切る変位量数cm以下の24条の逆断層で、すべて1露頭で観察された逆断層である。同じ露頭には他にも小断層が見られたが、24条には断層面にslickenfiber lineationをもつ方解石が析出している。そのような断層は宮崎層群としては例外的で、24条が一時期にできたことが推定される。その上lineationは共役断層から推定される変位方向とおおむね平行であり、それらが共役断層であることを強く示唆する。共役断層法がしめす応力場は、NE-SW方向の水平圧縮という解である。Angelierの逆解法でも残差のヒストグラムによって複数の応力を分離できることがある。しかしこのデータセットに適用すると、ただ一つの解、すなわち水平・NNE-SSW方向のaxial compressionであった。多重逆解法によると、4つの解が得られた。(A)水平・ENE-WSW方向のaxial compression, (B)鉛直axial extension, (C)水平・ENE-WSW方向の三軸応力 ($\Phi = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3) = 0.5$), (D)水平・NNE-SSW方向の三軸応力 ($\Phi = 0.7$) である。

【共役断層に適用した逆解法の解】

逆解法は、仮定した応力から求めた断層の変位方向と、露頭で観察したそれとの残差を最小にすることにより応力を推定する。ところが共役断層の断層変位をおこす応力状態は、かならず3つ存在するのである。つまり $\Phi = 0.5$ の三軸応力、それと主軸を共有するaxial compressionとaxial extensionである。それら3つをassociated solutionsと呼ぶことにする。多重逆解法によって得られた解(A), (B), (C)は、互いにassociated solutionである。つまりそれら3つの解は、同等にもっともらしい解なのである。解(C)はそれらと独立である。解(A)に近い応力が、逆解法では得られたにすぎない。従来の逆解法では、多重逆解法がだした4つの解のうち1つが得られるにすぎないわけである。解(C)は $\Phi = 0.5$ なので平面歪みをおこしうる。そのために、共役断層法で推定した応力と解(C)は大略一致する。

ただし従来の逆解法でも、データセットによっては複数の応力を分離することができる。房総半島の更新統国本層を切る小断層では、従来の逆解法は $\Phi = 0.5$ の三軸応力とそのassociated solutionであるaxial compressionという2つの応力状態を分離した(三野・山路, 1999)。多重逆解法ではもう一つのassociated solutionも、解として得られるのだが(Yamaji, 1999b)。