

応力テンソルインバージョンのための一様計算メッシュの開発

Development of uniform computational mesh for stress tensor inversion

佐藤 活志[1]; 山路 敦[2]

Katsushi Sato[1]; Atsushi Yamaji[2]

[1] 東大・理・地惑; [2] 京大・理・地球惑星

[1] Earth and Planetary Sci., Univ. of Tokyo; [2] Div. Earth Planet. Sci., Kyoto Univ.

応力インバージョン法は、断層変位データに対して最適な応力テンソルをフィッティングする手法である。その原理は Wallace-Bott 仮説 (Wallace, 1951; Bott, 1959) であり、断層の変位方向は断層面にはたらく剪断応力と平行であると仮定される。最も普及している手法のひとつである Angelier 法 (Angelier, 1979) では、各断層に対して計算される剪断応力と観察される変位方向とのミスフィット角の合計を最小化することで、4つの独立成分からなる規格化応力テンソルが決定される。4成分とは3つの主応力軸の方位と応力比(3つの主応力絶対値の比)である。このとき様々な応力テンソルを試すために用いられる規格化テンソルの集合、すなわちサーチメッシュは、計算の効率や得られる最適解に影響を及ぼす可能性がある。小断層解析だけでなく、例えば震源メカニズムを用いた地震時の応力場推定においても、その決定精度や効率を高めるために一様なメッシュが役立つものと期待される。本研究では Angelier 法の発展型である多重逆解法 (Yamaji, 2000) を例に、従来のメッシュが引き起こす最適解の偏向を示し、この問題を解決するために新しいメッシュを開発した。この一様計算メッシュによって複数の応力を分離する際の分解能が著しく向上した。

多重逆解法は複数の規格化応力テンソルを分離して求めることができ、複雑な応力場変遷の解明に有用なツールである。その基本原理は、データセットから様々に取り出された多数の部分集合に対してそれぞれ最適解を求め、それらがつくるクラスタを認定するというものである。複数のクラスタが現れれば、複数の応力テンソルが分離できる。しかしながら、これまで応力比に関して分解能が低く、検出される最適解が軸性応力に偏ってしまうことが問題となってきた。このことは人工断層データの解析によって確認できる。応力比のみが異なる2つの応力に起因する断層群を同数ずつ混合して解析すると、軸性応力が三軸応力に比べて強いクラスタとして現れた。この原因は最適解のサーチに用いられた従来のメッシュの非一様性にあると考えられる。このメッシュではまず応力比を等間隔に分割し、それぞれの応力比に対して同数の主軸の方位を与えている (Yamaji, 2000)。しかし、軸性応力の方位が一つの軸で特徴付けられるのに対し、三軸応力はもう一つの軸の方位も指定する必要があるため、後者の方が自由度は大きく多数の方位が用意されるべきである。したがって従来のメッシュは軸性応力を相対的に多く含み、その付近でメッシュが細かくなっていると言える。

これを是正する一様なメッシュは以下のように作成された。スリップセンスの情報を無視するならば、応力インバージョンは6次元 σ -space において、f-pole ベクトル群 (小断層データに相当) に直交する σ ベクトル (応力テンソルに相当) を決定するという幾何学問題に置き換えることができる (Fry, 1999)。そこで、 σ -space において一様に分布する方向ベクトル群から、規格化テンソルの一様メッシュが生成できると予測される。ところで、2つの規格化応力テンソルの違いは差テンソルの八面体剪断応力 (stress difference; Orife and Lisle, 2003) によってよく表現されることが分かっているので、一様メッシュではこの尺度に基づいて等間隔に応力テンソルを生成することが求められる。以上を考慮し σ -space の定義を一部変更することで、2点間の距離が stress difference と等価であるような空間を考案した。この空間で単位超球面上に一様分布させた点群を元に、規格化テンソルの一様メッシュを作成した。

新しいメッシュを用いて前述の人工データを再解析すると、軸性応力と三軸応力がほぼ等しい濃度のクラスタとして検出された。応力テンソルのクラスタの濃度と、その応力で活動した断層数に相関があるものと思われる。一様メッシュの用途は応力解析に限らず、規格化テンソルで表すことのできるその他の物理量のインバージョンに用いても有効であろう。