

氏 名	さ とう かつ し 佐 藤 活 志
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 3143 号
学位授与の日付	平 成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理 学 研 究 科 地 球 惑 星 科 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Reformulation and Improvement of the Stress Tensor Inversion by the Introduction of Deviatoric Stress Space (偏差応力空間の導入による応力逆解析法の再定式化と改良)
論文調査委員	(主 査) 助教授 山 路 敦 教 授 嶋 本 利 彦 教 授 田 上 高 広

論 文 内 容 の 要 旨

断層の観察から断層を動かした応力を推定する方法は、地質学と地震学の両方で広く行われている。応力逆解法とよばれるインバージョンの解法である。地質学では露頭で断層群を観察し、地質学的過去の地殻応力を推定しているし、地震学では地震波の観測から震源における応力を決定している。地殻応力は永年変化を示すと考えられているために、ひとつの地域でも地質学的観測では、断層群から複数の応力を検出することが期待されている。そうした求めに応ずるための方法論的探求が、10年ほど前から盛んに行われるようになった。

申請者はその問題に最終的解答を与えるべく、まずインバージョンの解の集合を表すパラメータ空間として、5次元ユークリッド空間の単位球面が有用であること、そしてこの5次元空間が、塑性力学で使われている偏差応力空間に一致することを見いだした。この空間を使って、インバージョンは次のように再定式化された。

- (1) 1条分の断層データは、この単位球面上の長さ 180° の大円と1対1対応する。
- (2) 1つの地震の発震機構データは、そのような円弧2本がその中央で直角に交差する、単位球面上の十文字型図形と1対1対応する。
- (3) インバージョンの最適解は、データに対応した円弧群の交点で表される。ノイズを含むデータでは円弧達は1点で交わらないので、円弧の分布密度の高い領域として表される。したがって、この密度をインバージョンの目的関数と同一視できる。
- (4) 複数の応力を記録したデータは、そのような領域が複数現れる。
- (5) したがって分布密度のピークを検出することにより、インバージョンの解が、必要なら複数決定できる。これら5項目は、インバージョンの前提である Wallace-Bott 仮説から演繹される。
- (6) 球面上の2点間の角距離が、それら2点に対応する応力の違いの尺度として使えることが、数値実験で示された。すなわち、様々な方向の断層がそれらの応力で動かされる場合、スリップ方向の違いの期待値が、その角距離に一致していた。

こうした性質を持つパラメータ空間を利用して、申請者はインバージョンの解の集合を表す効率的な計算グリッドを開発した。

さらに本研究では、不完全なデータを利用する方法を見いだした。通常の応力逆解法では、断層面の方向とスリップ方向が必要なデータだが、スリップの方向はわかるが向きが不明な場合や、正断層か逆断層かはわかるが、スリップの方向がわからない場合といったように、欠損のあるデータもパラメータ空間で対応する図形を定義することができ、それらを解の制約に貢献させることを可能にした。

さらに本研究では、パラメータ空間における密度分布に対して混合確率分布を当てはめ、MDL 情報量基準を利用することにより、複数の応力を自動検出する方法を開発した。

申請者はさらに、千葉県の外房地域で地質調査を行い、みずから断層データを収集し、みずから開発した方法が有効であることを実地に示している。

論文審査の結果の要旨

応力逆解法は、断層群の地質学的観察や、群発地震の地震学的観測から、断層を動かした応力を推定する数値解法である。これは1970年代半ばに提案されたのだが、計算機的能力が向上したことにより、90年代半ばから方法論的探求が活発化している。そうした研究で、2000年前後に重要な進展が2つあった。解を表現するために有利なパラメータ空間が提唱されたことと、解として得られる応力の間に非類似度が定義されたことである。申請者はそれらを統合して新たにパラメータ空間を構築したが、それが偏差応力空間という、塑性力学で使われてきた空間と一致することを見いだした。

この空間はいくつもの有用な性質を持ち、それらを活用して、申請者は応力逆解法を再定式化し、効率と精度を著しく引き上げた。そしてそれに止まらず、欠損のあるデータを利用可能にし、複数の解を自動検出する方法の開発まで進めることができた。これらの成果は、応力逆解法の方法論的研究を行っている地質学者達そして地震学者達を驚嘆させるものであった。

このように、申請論文はこの分野における画期的研究であると、高く評価できる。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。