

地質学と地震学における応力テンソルインバージョンの共進化：地質学の立場から Coevolution of geological and seismological stress tensor inversion

山路 敦 [1]

Atsushi Yamaji[1]

[1] 京大・理・地球惑星

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

<http://www.kueps.kyoto-u.ac.jp/~yamaji/>

応力テンソルインバージョンは地質学と地震学の両方で知られている手法だが、両分野の研究者間の相互作用が発展を促したことはあまり知られていない。本講演ではそのことを簡単に説明し、あわせて地質学側における最近の進展について紹介し、地震学との今後の協働の基礎としたい。

応力テンソルインバージョンは、Wallace-Bott hypothesis にもとづいて、多数の断層の観測から、逆問題を解くことによってそれらを動かした応力を求める方法である。これは同じ目的で今日も多用される Anderson 理論をある意味で包含し、同理論の前提が成り立たない多くの断層に適用することができる。

同理論が 1951 年上梓の本をつうじて普及したのと時を同じくして、地質学者 Wallace (1951) によって、今日いうところの Wallace-Bott hypothesis が提示された。断層は断層面に作用する剪断応力の方向にすべるという主張である。Bott (1951) は、Anderson 理論と不調和な斜めずれの地質断層が多いことを、それによって説明した。これら先駆的研究をうけて、McKenzie (1969) が地震の発震機構と応力とを結びつけた。

逆問題として応力が決まることに気づいたのはおそらく Carey and Brunier (1974) で、初めのうち数人の地質学者が方法論的探求を行ったが、フランス語でその成果が公表されたため影響範囲は限られていた。応力テンソルインバージョンを世界に紹介したのが Angelier (1979) である。Gephart and Forsyth (1984) は、それを地震学的データに応用した。

地質断層の場合、データの不均一性の問題が重要である。ある断層群が同一の応力状態で動かされたなら、それらから得られる断層スリップデータは均一、複数の応力状態の結果なら不均一という。地質断層から応力を知る主要な目的は、応力場の永年変化を同じ時間スケールの変形と比較検討することにある。この目的では応力場の変遷があった地域を対象とすることになるが、その場合、不均一データへの対処が必須となる。発震機構データでも、応力場の時間的空間的变化をきめ細かくとらえようとするならば、やはり不均一性への対処は重要であろう。不均一データ問題への対処には、大きな計算量を必要としがちである。萌芽的研究は 80 年代初期からあったものの、本格的な対処は Nemcok and Lisle (1995) によって着手され、古生代半ばの地層中の小断層群に適用された。しかしその手法は重大な問題を含むことが指摘され、代わって幾つかの手法が提案されている (e.g., Fry, 1999; Yamaji, 2000; Shan et al., 2003)。

応力テンソルインバージョンの方法論に 2000 年前後、ブレイクスルーが起こった。5次元パラメータ空間の提案 (Fry, 1999, 2001) と、インバージョンの解のあいだの距離の提案 (Orife and Lisle, 2003) である。ただし後から見ると、発震機構データから求まる複数の応力間の類似度として Michael (1987) が定義した量とこの距離は一対一対応の関係にあり、その意味で同じものであった (山路・佐藤, 本セッションのポスター)。

それらを統合して、Sato and Yamaji (2006a) はパラメータ空間を距離空間として再定義し、応力テンソルインバージョンを幾何の問題に帰着させ、統計的手法の導入を容易にした。そしてブートストラップ解の共分散を計算した。不均一データから複数の有意な応力を検出するために、Yamaji (2000) の方法ではデータのリサンプリングを行っている。その結果得られる多数の解をこの距離空間における非階層的クラスタリングにかけることにより、Otsubo et al. (2006) は不均一データから有意な応力を自動検出する方法を開発した。また、Sato and Yamaji (2006b) はある種の低食い違い度列として、可能な解の集合を定義した。それを活用して、データからこの空間への Hough 変換により不均一データへの対処が可能であることが示された (Yamaji et al., 2006)。

近年、地質学の側で蓄積されたこのような知見をもう一度地震学にフィードバックすることで、応力テンソルインバージョン法およびそれを利用した研究がいつそう進展することが期待される。