

寄 書

応力テンソルインバージョン法 により推定された2003年 十勝沖地震震源域付近の 太平洋プレート内部の 主応力パターン

北海道大学大学院理学研究科附属地震火山研究
観測センター*

勝 俣 啓

Stress Pattern within the Pacific Plate around the
Focal Area of the 2003 Tokachi-oki Earthquake
Revealed by a Stress Tensor Inversion Method

Kei KATSUMATA

Institute of Seismology and Volcanology,
Hokkaido University, Sapporo
060-0810, Japan

(Received February 16, 2004;

Accepted June 15, 2004)

§1. はじめに

2003年9月26日にM8.0の十勝沖地震が発生した。Yamanaka and Kikuchi (2003)によると、震源メカニズム解は低角逆断層タイプであり、沈み込む太平洋プレートと陸側のプレートとの間に発生した典型的なプレート境界型巨大地震であった。本論文では、応力テンソルインバージョン法により太平洋プレート内部の主応力軸の空間パターンを推定した。さらに有限要素法を用いて最も良く応力パターンを説明するような力学モデルを構築し、2003年十勝沖地震の震源域付近のプレート内部がどのような応力状態にあるのか議論する。

§2. データと解析

1999年7月から2001年6月まで2年間に渡り実施された北海道日高衝突帯大学合同臨時地震観測のデータ(勝俣・他, 2002)を使用した。千島海溝軸に直交し、2003年十勝沖地震の震源域を通るような側線を設定し、この側線に沿った断面での応力分布を推定した

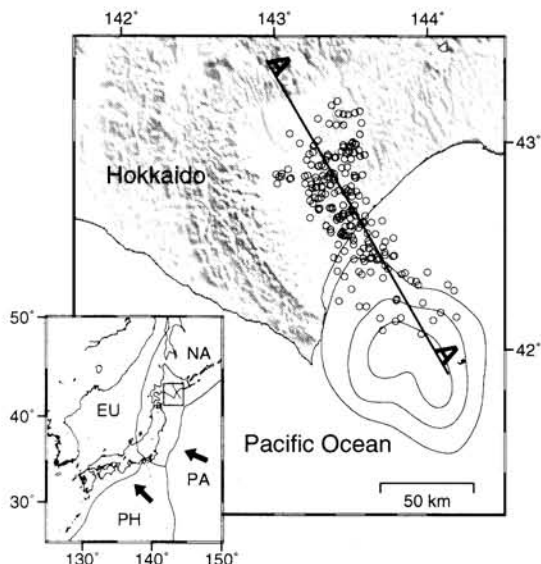


Fig. 1. Earthquakes used for a stress tensor inversion analysis. Line A-A' is perpendicular to the Kurile trench axis and goes through the focal area of the 2003 Tokachi-Oki earthquake that slip distribution is shown in contour with an interval of 1 m revealed by Yamanaka and Kikuchi (2003). Inset shows the area of the study area and the plate configuration. PA: Pacific plate, PH: Philippine Sea plate, EU: Eurasian plate, and NA: North American plate.

(Fig. 1). 使用した地震は、207個、震源の深さは50~135 km, M1.9~5.1である。Katsumata *et al.* (2003)の等深度線を参照して、太平洋プレート境界付近よりも下側の地震を選択した。以下に述べる応力テンソルインバージョン法では、周囲の応力場が既存の断層面上にせん断応力を及ぼし、そのせん断応力が最大になる方向にすべりが発生すると仮定している。低角逆断層型のプレート間すべりと考えられる地震もこの仮定を満たしていると考えられるので、本研究では低角逆断層型の地震を除外することはしなかった。

地震波形の解析から得られる震源メカニズム解のP軸とT軸は、一般に起震応力場の主応力軸と一致しない。したがってP軸・T軸を単にプロットする方法では応力軸の空間分布は推定できない。本研究では、Horiuchi *et al.* (1995)が開発した応力テンソルインバージョン法を解析に使用した。この方法ではP波初動の押し引きをデータとして用いて、最大主応力(σ_1)軸、中間主応力(σ_2)軸および最小主応力(σ_3)軸の方向、3つの主応力の相対的大きさ $R = (\sigma_1 - \sigma_2) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ を推定する。これら未知パラメータを総称して、応力パラメータと呼ぶこ

* 〒060-0810 札幌市北区北10条西8丁目

とにする。対象領域内に水平方向 $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ 度、深さ方向 10 km ごとに格子点を設定する。各格子点を中心に $\pm 0.2^\circ$ および ± 10 km の範囲の地震を選択し、応力テンソルインバージョンを行い、得られた応力パラメータはその格子点における値であるとする。

§ 3. 主応力軸の空間パターン

Fig. 1 に示す側線に沿って、19 個の格子点において応力パラメータを決定することができた。使用した地震の個数は、20 個以下の格子点が 6 点、20~30 個が 7 点、30 個以上が 6 点であった。Fig. 2 に深さ断面を示す。本研究では、応力パラメータの内、 σ_1 軸と σ_3 軸の方

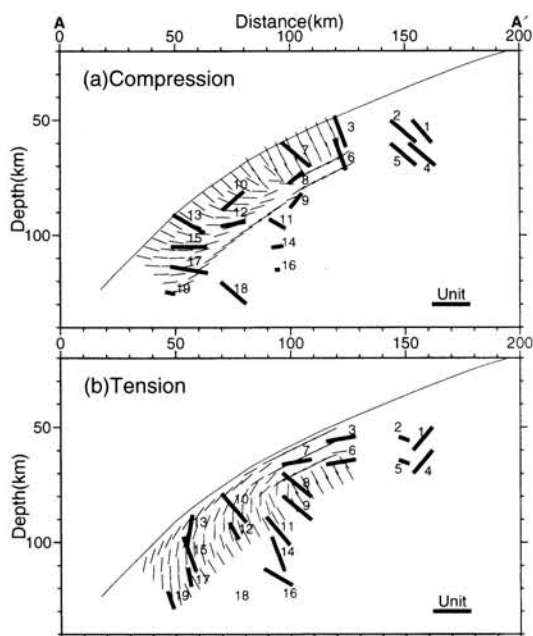


Fig. 2. Spatial change in direction of axes of the principal stresses. (a) The maximum principal stress (σ_1) and (b) the minimum principal stress (σ_3) projected on vertical section along A-A'. Bold lines show axes inverted from the P-wave polarity data. The length of the bold lines indicates the angle between the A-A' section and the principal stresses. As the bold lines become shorter, the principal stresses become more perpendicular to the A-A' section. The "Unit" line is the case of parallel to the A-A' section. The numbers labeled to the bold lines are grid numbers. Note that the length of the line at No. 18 in (b) is equal to zero since the axis is perpendicular to the A-A' section. Thin lines show axes calculated from a mechanical model in Fig. 3.

向のみに着目し、 σ_2 軸や R に関しては議論しない。 σ_1 軸は太平洋プレートの上面付近ではほぼプレート境界に垂直 (No. 3, 7, 13), プレート上面から離れた所ではプレート境界にはほぼ平行 (No. 8, 9, 10, 12) である。 σ_3 軸は深さ 60 km 付近ではほぼ水平 (No. 3, 6, 7), プレートに沿って深くなるにつれて軸の向きが時計回りに回転し、ほぼ垂直になる (No. 13, 15, 17)。個々の軸の方向はかなり大きな推定誤差を含んでいる可能性があるが、空間的に系統的なパターンを示しているのて、各軸のパターンは有意な情報であると考えられる。

§ 4. 力学モデル

太平洋プレート内部の主応力軸の方向は、主に定むるプレートの down-dip 方向の断面内で系統的なパターンを示すことが明らかとなった。この応力パターンを説明するような力学モデルを構築したい。ここでは太平洋プレートを均質な弾性体であると仮定し、2次元有限要素法を用いて応力分布を計算した。計算された分布と観測された分布が合致するような最適モデルを探した。

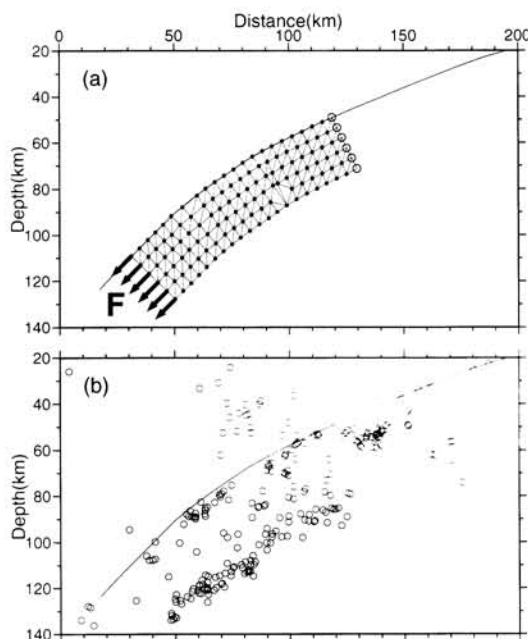


Fig. 3. A mechanical model to explain the observation. (a) Grids and elements for a finite element method. Open circles show fixed points, and F and arrows show applied forces. (b) Distribution of hypocenters. Thin lines in (a) and (b) show the upper surface of the deep seismic zone within the Pacific plate after Katsumata *et al.* (2003).

Fig. 3 に計算に使用した要素の形状と最適な力学モデルを示す。プレート上面から厚さ 25 km の部分が弾性変形すると仮定し、この部分に格子点を配置した。それ以外のマントルでは塑性変形が卓越していると仮定してモデルには含めなかった。弾性変形している部分の上面の形状は地震分布 (Fig. 3(b)) と合うように設定した。Fig. 3(a) の白丸で示す 6 カ所を固定した。これは浅部のプレート境界が固着していることを想定している。そしてプレートの下端を down-dip 方向に引き下げような力を加え、プレートを下方に bending させた。計算された σ_1 軸と σ_3 軸の分布を Fig. 2 に細線で示した。観測されたパターンの特徴がよく再現されていることが分かる。弾性変形している領域をプレート上面から 25 km の範囲と仮定したが、この範囲をより広くすると観測されたパターンと合わなくなる。

§5. おわりに

2003 年十勝沖地震の震源域を横断し、千島海溝軸に直交するような側線を設定し、沈み込んだ太平洋プレート内部の応力パターンを推定した。そのパターンは unbending では説明できない。プレート上面から厚さ 25 km くらいの範囲が弾性的に bending していると考えたと観測された応力パターンをうまく説明できる。例えば、bending の原因として slab pull を考えると、この結果は、海溝型の巨大地震が発生する前は、down-dip extension 型のやや深発地震がスラブ内で発生しやすくなる (Astiz and Kanamori, 1986) という結果と調和的である。

ただし、bending を引き起こす力源が何であるかは本研究の結果からだけでは結論できない。本研究では slab pull のみを考えたが、ridge push や basal drag も考慮する必要がある。さらに佃・三浦 (2002) のようにスラブを横方向に押す力も存在するかもしれない。また、より現実的には、プレート境界が北海道から東北へ曲がる場所であるので、3 次元モデルを考えるべきであろう

し、プレートの粘性も考慮するべきであろう。

謝 辞

防災科学技術研究所の堀内茂木氏の応力テンソルインバージョン法のプログラムを使用した。図の作成には GMT [Wessel and Smith (1991)] を用いた。編集担当委員の青木 元氏と 2 名の匿名の査読者からのコメントは大変有益であった。感謝の意を表します。

文 献

- Astiz, L. and H. Kanamori, 1986, Interplate coupling and temporal variation of mechanisms of intermediate-depth earthquakes in Chile, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **76**, 1614–1622.
- Horiuchi, S., Rocco, G. and Hasegawa, A., 1995, Discrimination of fault planes from auxiliary planes based on simultaneous determination of stress tensor and a large number of fault plane solutions, *J. Geophys. Res.*, **100**, 8327–8338.
- 勝俣 啓・和田直人・笠原 稔・他 61 名, 2002, 大学合同臨時地震観測によって決定された島弧-島弧型日高衝突帯付近の震源分布と震源メカニズム解, *東京大学地震研究所彙報*, **77**, 199–223.
- Katsumata, K., N. Wada and M. Kasahara, 2003, Newly imaged shape of the deep seismic zone within the subducting Pacific plate beneath the Hokkaido corner, Japan-Kurile arc-arc junction, *J. Geophys. Res.*, **108**(B12), 2565, doi: 10.1029/2002JB002175.
- 佃 為成・三浦勝美, 2002, 2001 年芸予地震とプレートの曲げモーメント, *地震*, **55**, 91–96.
- Wessel, P. and Smith, W. H. F., 1991, Free software helps map and display data, *Eos Trans. Am. Geophys. Union*, **72**, 445–446.
- Yamanaka, Y. and M. Kikuchi, 2003, Source processes of the recurrent Tokachi-oki earthquake on September 26, 2003, inferred from teleseismic body waves, *Earth, Planets and Space*, **55**(10), e17–e20.