日本全国内陸部の地殻内応力マップと微小地震の発震機構解のデジタルデータ

内出 崇彦・椎名 高裕・今西 和俊
地質調査総合センター 活断層・火山研究部門

1. 概要

産業技術総合研究所地質調査総合センターでは、微小地震の発震機構解に基づいて、日本全国の地殻応力場を推定し、応力マップを整備してきた（今西, 2014; 今西ほか 2019, 2021）。近年、P 波初動極性の読み取りに深層学習を活用し、膨大な微小地震の発震機構解を求める手法を開発した（Uchide, 2020）。この手法により、日本列島内陸部及び沿岸海域の 20km 以浅の微小地震の発震機構解を求め、地殻応力場を推定した（Uchide *et al.*, 2022）。本資料には、Uchide *et al.* (2022)で推定した地殻応力場（図1）と発震機構解（図2）とのデータを収録している。詳細は Uchide *et al.* (2022)を参照されたい。

2. 本資料に含まれるデータ

2.1. 0.2 度メッシュ応力マップデータ

0.2 度メッシュ応力マップデータは、`data/stress_0.2deg_Japan_Uchide2022.txt` に収録されている。これは、Uchide *et al.* (2022)で行った応力インバージョンによって得られた応力分布のデータである。品質確保のため、最大水平主圧縮応力（S_{Hmax}）の方位の円周標準偏差（CSD）が 15 度以下になったメッシュの応力情報のみを収録した。

（2023 年 8 月追記）応力データを得るために実施した応力インバージョンでは、応力方位と応力比を拘束することはできているが、応力の絶対値を求めることができないことに注意を要する。等方成分は推定できないため、0 となるようにしている。

データの書式は以下の通りである:

- 第 1 列: 経度 [度]
- 第 2 列: 緯度 [度]
- 第 3 列: 常に 0.0
- 第 4 列: 常に 0.0
- 第 5 列: 最大水平主圧縮応力（S_{Hmax}）の~~規格化された~~相対的な大きさ
  - （2023 年 8 月追記）「規格化された大きさ」は誤解を招く可能性があるので、「相対的な大きさ」に置き換えた。この値は応力の絶対値を示すものではないことに注意されたい。

- 第 6 列：最大水平主圧縮応力（S_{Hmax}）の大きさの標準偏差
- 第 7 列：最大水平主圧縮応力（S_{Hmax}）の方位 [度]
  - （2023 年 8 月追記）「方位」は、北を 0 度として、時計回りに測った角度を示す。例えば、東は 90 度となる。第 11 列、第 14 列、第 17 列、第 20 列においても同様である。
- 第 8 列：最大水平主圧縮応力（S_{Hmax}）の方位の円周標準偏差（CSD) [度]
- 第 9 列：最小水平主圧縮応力（S_{Hmin}）の~~規格化された~~相対的な大きさ
  - （2023 年 8 月追記）第 5 列同様、「相対的な大きさ」に置き換えた。
- 第 10 列：最小水平主圧縮応力（S_{Hmin}）の大きさの標準偏差
- 第 11 列：最小水平主圧縮応力（S_{Hmin}）の方位 [度]
- 第 12 列：最小水平主圧縮応力（S_{Hmin}）の方位の円周標準偏差（CSD) [度]
- 第 13 列：最大主圧縮応力（σ_1）の~~規格化された~~相対的な大きさ
  - （2023 年 8 月追記）第 5 列同様、「相対的な大きさ」に置き換えた。
- 第 14 列：最大主圧縮応力（σ_1）軸の方位 [度]
- 第 15 列：最大主圧縮応力（σ_1）軸の傾き [度]
  - （2023 年 8 月追記）「傾き」は、水平を 0 度として、傾き下がる方向に測った角度を示す。例えば、鉛直下方は 90 度となる。第 18 列、第 21 列においても同様である。
- 第 16 列：中間主圧縮応力（σ_2）の~~規格化された~~相対的な大きさ
  - （2023 年 8 月追記）第 5 列同様、「相対的な大きさ」に置き換えた。
- 第 17 列：中間主圧縮応力（σ_2）軸の方位 [度]
- 第 18 列：中間主圧縮応力（σ_2）軸の傾き [度]
- 第 19 列：最小主圧縮応力（σ_3）の~~規格化された~~相対的な大きさ
  - （2023 年 8 月追記）第 5 列同様、「相対的な大きさ」に置き換えた。
- 第 20 列：最小主圧縮応力（σ_3）軸の方位 [度]
- 第 21 列：最小主圧縮応力（σ_3）軸の傾き [度]
- 第 22 列：σ_{ee}
- 第 23 列：σ_{en}
- 第 24 列：σ_{eu}
- 第 25 列：σ_{nn}
- 第 26 列：σ_{nu}
- 第 27 列：σ_{uu}
- 第 28 列：応力比 $(\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$
- 第 29 列：応力比の標準偏差
- 第 30 列：A_ϕ
  - Simpson (1997)に定義されている応力場分類の指標で、0～1 が正断層場、1～2 が横ずれ場、2～3 が逆断層場とされている。
- 第 31 列：A_ϕの標準偏差

- 第 32 列：当該メッシュの解析に使用した地震の個数

2.2. 発震機構解データ

発震機構解データは、`data/meca_Japan_Uchide2022.txt` に収録されている。これは、Uchide *et al.* (2022)で行った発震機構解推定の結果をまとめたデータである。発震機構解の推定には HASH プログラム（Hardebeck and Shearer, 2002）を使用した。品質確保のため、HASH プログラムにおける評価が A ランク・B ランク・C ランクのものを収録し、D ランクのものや P 波初動極性データ不足により発震機構解が求まらなかった地震は収録しなかった。

データの書式は以下の通りである：

- 第 1 列：経度 [度]
- 第 2 列：緯度 [度]
- 第 3 列：深さ [km]
- 第 4 列：走向 [度]
- 第 5 列：傾斜 [度]
- 第 6 列：すべり角 [度]
- 第 7 列：気象庁マグニチュード
- 第 8 列：常に 0
- 第 9 列：常に 0
  - 第 8 列と第 9 列は、Generic Mapping Tools (GMT) (Wessel and Smith, 1991; Wessel *et al.*, 2013, 2019)の psmeca モジュールの-Sa オプションで発震機構解を描画する際の便宜のために追加している。
- 第 10 列：発震機構解のランク
- 第 11 列：解析に使用した P 波初動極性データの個数
- 第 12 列：fptype
  - Shearer *et al.* (2006)によって定義された断層タイプ分類の指標で、–1 が正断層、0 が横ずれ断層、1 が逆断層になるものである。
- 第 13 列：発震日時（日本時間＝UTC+9）

2.3. 修正履歴ファイル

(2023 年 8 月追記) 0.2 度メッシュ応力マップデータの各主圧縮応力軸の方位（第 14 列、第 17 列、第 20 列）の計算方法に問題があったため、2023 年 8 月に同データを修正した。正誤表は以下のファイルに収録されている。

- 最大主圧縮軸(σ_1)の方位（第 14 列）：
  `correction/Column14_trend1_correction.csv`
- 中間主圧縮軸(σ_2)の方位（第 17 列）：
  `correction/Column17_trend2_correction.csv`

- 最小主圧縮軸(σ_3)の方位（第 20 列）:
  correction/Column20_trend3_correction.csv

これら 3 つのファイルは、以下に示す同一の書式で書かれている:

- 第 1 列: 行番号
  - 0.2 度メッシュ応力マップデータファイルにおける修正箇所の行番号を示す。第 1 行はヘッダであるので、データは第 2 行から始まることに注意。
- 第 2 列: 緯度
- 第 3 列: 経度
- 第 4 列: 修正前の主圧縮軸の方位
- 第 5 列: 修正後の主圧縮軸の方位

3. 免責

本アーカイブを使用することによって生じるいかなる損害も、国立研究開発法人産業技術総合研究所はその責を負わない。

4. 引用例

内出崇彦・椎名高裕・今西和俊 (2022) 日本全国内陸部の地殻内応力マップと微小地震の発震機構解のデジタルデータ, 地質調査総合センター研究資料集, no. 738, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 7p.

5. 修正・訂正履歴

5.1. 2023 年 8 月

- 0.2 度メッシュ応力マップデータの各主圧縮応力軸の方位（第 14 列、第 17 列、第 20 列）の一部に誤りがあったため、同データを差し替え、正誤表ファイルを追加した。
- 0.2 度メッシュ応力マップデータについて、説明を補足した。

謝辞

発震機構解の推定に当たっては、国立研究開発法人 防災科学技術研究所が運営する高感度地震観測網 Hi-net、気象庁が運営する地震観測網、産業技術総合研究所地質調査総合センターが運営する地震観測網の地震波形データと、気象庁一元化処理地震カタログを使用した。

参考文献

Hardebeck, J. L., and Shearer, P. M. (2002) A new method for determining first-motion focal mechanisms. *Bulletin of Seismological Society of America*, **92**, 2264-2276, doi:10.1785/0120010200.

今西和俊（2014）地震テクトニクス研究グループの研究紹介．GSJ 地質ニュース, 3, No.4,100-101.

今西和俊・内出崇彦・大谷真紀子・松下レイケン・中井未里（2019）関東地域の地殻内応力マップの作成．地質調査研究報告, **70**, 273-298.

今西和俊・内出崇彦・椎名高裕・松下レイケン・中井未里（2021）中国地域の地殻内応力マップの作成．地質調査研究報告, **72**, 23-40.

Shearer, P. M., Prieto, G. A., and Hauksson, E. (2006) Comprehensive analysis of earthquake source spectra in Southern California. *Journal of Geophysical Research*, **111**, B06303, doi:10.1029/2005JB003979.

Simpson, R. W. (1997) Quantifying Anderson's fault types. *Journal of Geophysical Research*, **102**, 17909-17919, doi:10.1029/97JB01274.

Uchide, T., Shiina, T., and Imanishi, K. (2022) Stress map of Japan: Detailed nationwide crustal stress field inferred from focal mechanism solutions of numerous microearthquakes. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*. doi:10.1029/2022JB024036.

Uchide, T. (2020) Focal mechanisms of small earthquakes beneath the Japanese islands based on first-motion polarities picked using deep learning. *Geophysical Journal International*, **223**, 1658-1671, doi:10.1093/gji/ggaa401.

Wessel, P., and Smith, W. H. F. (1991) Free software helps map and display data. *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, **72**, 441.

Wessel, P., Smith, W. H. F., Scharroo, R., Luis, J., and Wobbe, F. (2013) Generic Mapping Tools: Improved Version Released. *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, **94**, 409-410, doi:10.1002/2013EO450001.

Wessel, P., Luis, J. F., Uieda, L., Scharroo, R., Wobbe, F., Smith, W. H. F., and Tian, D. (2019) The Generic Mapping Tools Version 6. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **20**, 5556-5564, doi:10.1029/2019GC008515.

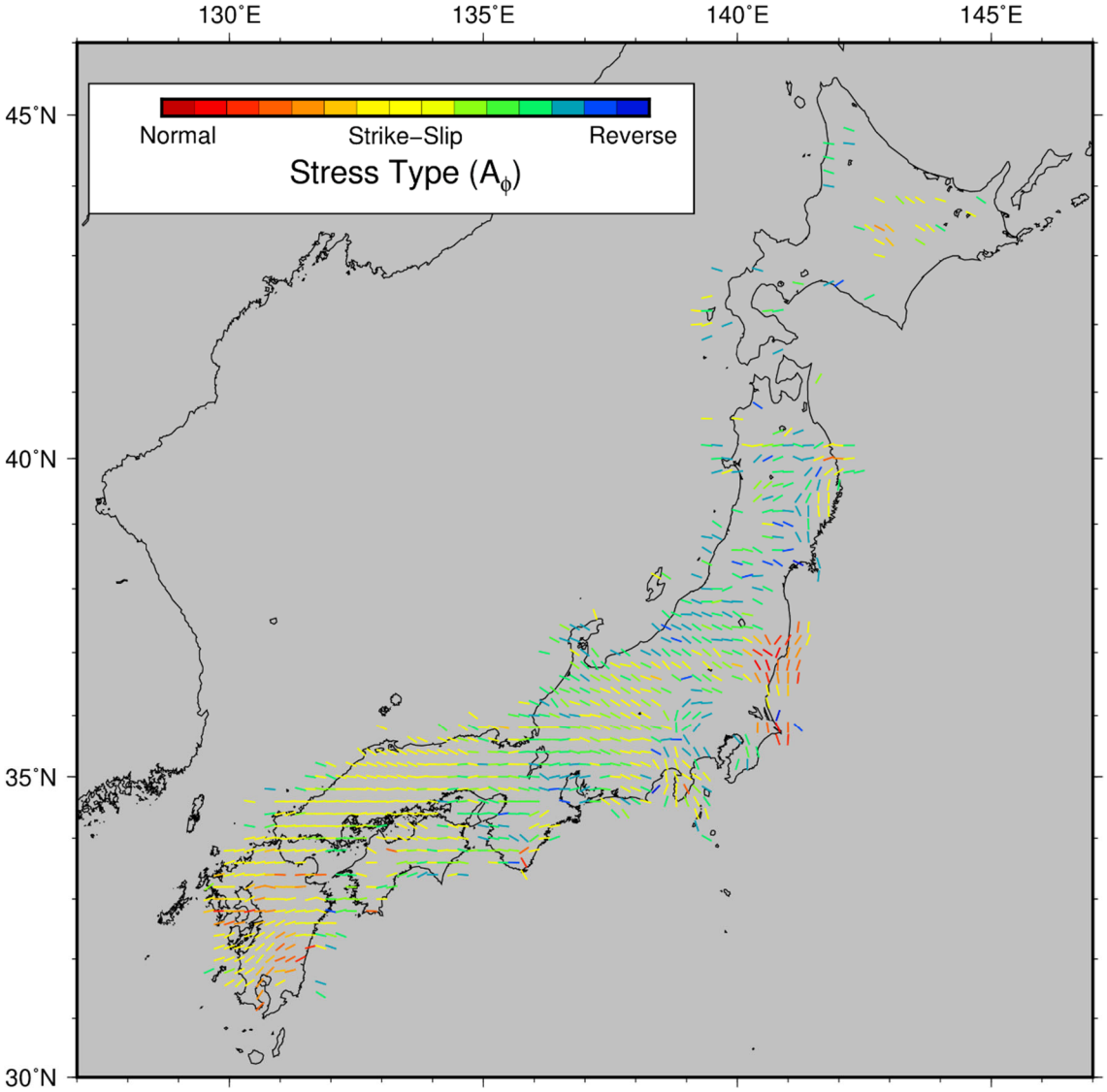

図1　0.2 度メッシュの応力マップ（水平主圧縮軸方位（棒の向き）と応力タイプ（色））

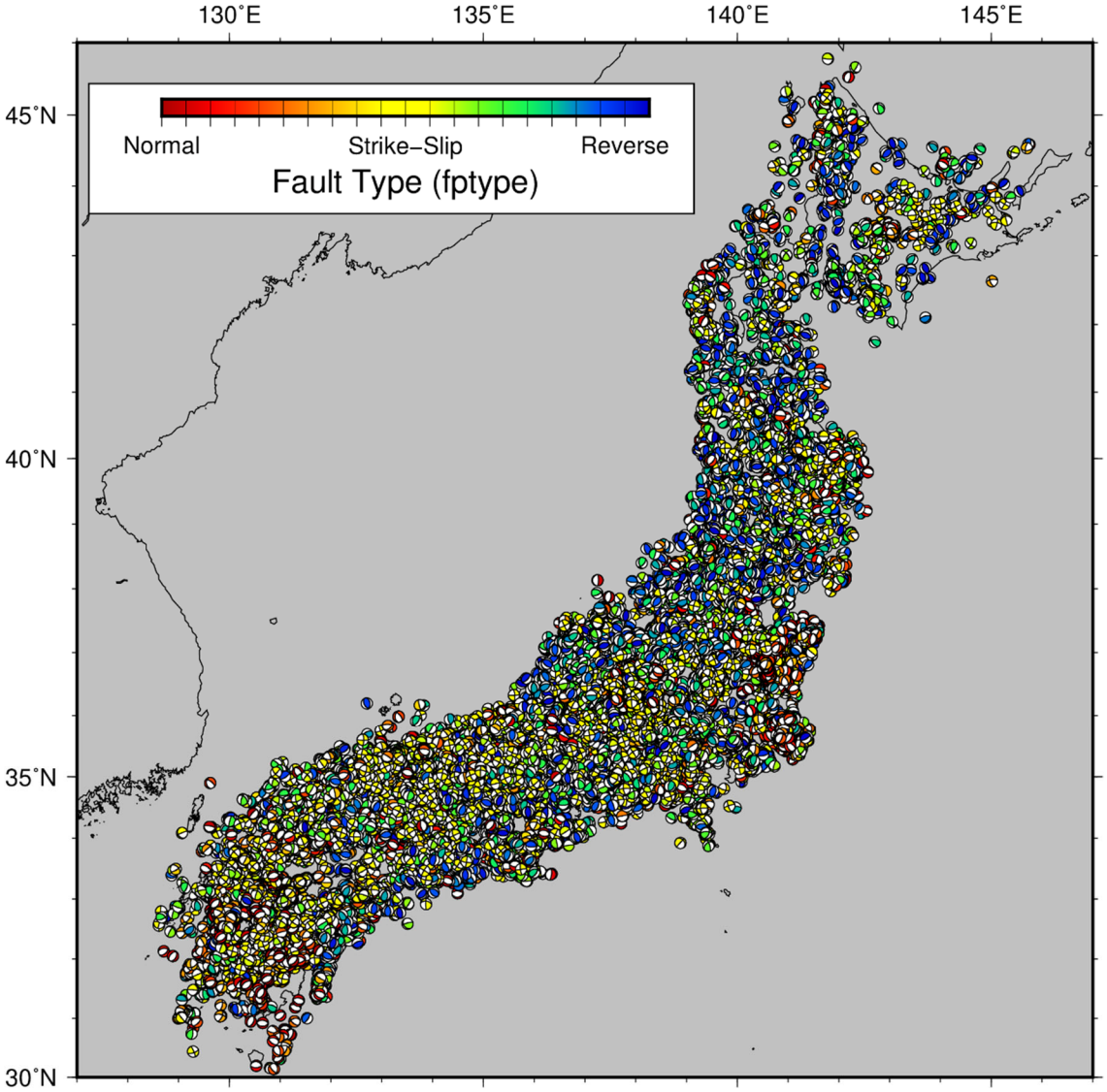
130˚E
135˚E
140˚E
145˚E
45˚N
40˚N
35˚N
30˚N
Normal
Strike−Slip
Reverse
Fault Type (fptype)

図2　発震機構解データ