

静的歪変化を用いた地震規模即時推定

Rapid estimation of moment magnitude of large earthquake from static strain changes

板場智史(産業技術総合研究所)

Satoshi Itaba (Geological Survey of Japan, AIST)

1. はじめに

地震発生後数分以内に発表される震源速報は近地の地震記録を用いており、一般的にM8クラス以上の地震では飽和してしまうため、マグニチュードを過小評価してしまう。実際、2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)において本震直後に気象庁から発表されたマグニチュードは7.9であった。これらの問題を解決するための有効な手段の一つが、測地的な観測をもとに断層モデルを推定する手法である。例えばOhta et al. (2012)は、RTK-GPSデータを用いて東北地方太平洋沖地震本震発生後約4分でMw8.7を推定できたことを示している。ここでは、産総研が東海・紀伊半島・四国に展開しているボアホール歪計で観測された静的歪変化を用いたMwの即時推定手法を紹介する。なお、ここで紹介する結果は、Itaba (2018)を基にしている。詳細は同論文を参照されたい。

2. ボアホール歪観測網

産総研では、2006年より東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測施設整備を行い(Itaba et al., 2010)、2019年現在16点の整備を完了した。それぞれの観測点では震度の異なる3本の井戸を掘削し、歪・傾斜・地下水位・地下水温・地震の観測を行っているほか、一部観測点ではGNSS観測も行っている。歪について、12観測点で石井式ボアホール歪計(Ishii et al., 2002)が、4観測点でGTSMのボアホール歪計が埋設・設置されている。ここでは、石井式ボアホール歪計のデータを用いることとし、他の時期に整備した1観測点を加えた13観測点のデータを用いる。全ての観測点で、水平4成分(45° 毎)と鉛直1成分の観測を行っており、20Hz(一部は50Hz)でサンプリングしている。

3. 解析手法

2. で示したボアホール歪計のデータのうち、水平4成分のデータを用いる。まず1分値にリサンプリング(平均値)し、地震前一定時間のデータからデトレンド(一次直線)し、地震後の値から地震直前の値の差を観測値とする。観測値は、潮汐成分の理論値と観測値を用いて求めたキャリブレーション行列(Matsumoto et al., 2011)を用いてキャリブレーションする。キャリブレーション後、主歪を求める。

ところで、同一平面内の独立した3方向の歪観測値があれば、主歪を求めることが出来るが、産総研のボアホール歪計は上述のとおり水平4成分を有しているため、4種類の主歪を計算することが出来る。水平4成分の歪センサーは、約25cm間隔で縦方向に連結された構造となっている。そのため、センサー周辺でのローカルな現象、例えば地震の揺れによって間隙水圧変化が起こった場合、4種類の主歪はばらつくと考えられる。一方、センサーから十分に離れたところに変動源がある場合、センサーの位置の違いは無視できるため、4種

類の主歪は整合すると考えられる。この特性を利用して、4種類の主歪が整合しない観測点については、解析対象外とする処理を行う。図1に、2011年3月11日14:46(JST)に発生した東北地方太平洋沖地震の本震時の例を示す。この処理の後に、Okada(1992)を用いてグリッドサーチにより緊急地震速報の震源位置を内部に含むような断層モデルを推定する。

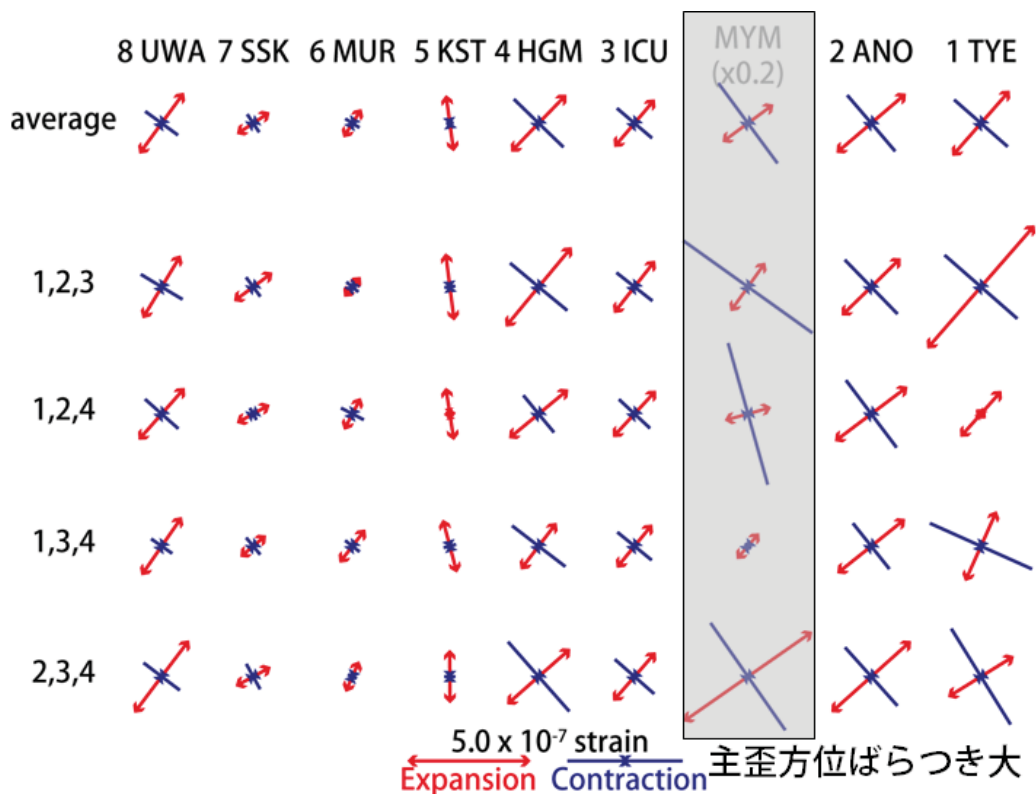


図1 東北地方太平洋沖地震の本震時に観測された静的歪変化から計算される4種類の主歪およびそれらの平均値。MYMについては主歪方位のばらつきが大きいため、解析から除外される。

4. 解析結果

東北地方太平洋沖地震の本震および、本震の29分後に茨城県沖で発生した最大余震について、断層モデルの推定を行った。ここでは、断層面をプレート境界面(Nakajima and Hasegawa 2006; Nakajima et al. 2009; Kita et al. 2010)に固定し、すべり方向はプレート沈み込み方向と平行(N115°E) (Wei and Seno 1998),とした。推定結果を図2および3に示す。いずれも本震直後に発表された震源情報(速報)よりも、遠地地震記録から求められたMw(JMA, 2018)に近い値が得られた。同様に、2016年に発生した規模の大きい内陸地震3例についても規模の推定を試みた。ここでは、断層の長さ・幅・すべり量のみの推定を行った。これらの結果を表1に示す。これらについても、震源情報(速報)よりも遠地地震記録から求められたMwに近い値が得られた。これらの結果は、静的歪変化から地震規模を即時推定する手法が有効であることを示している。

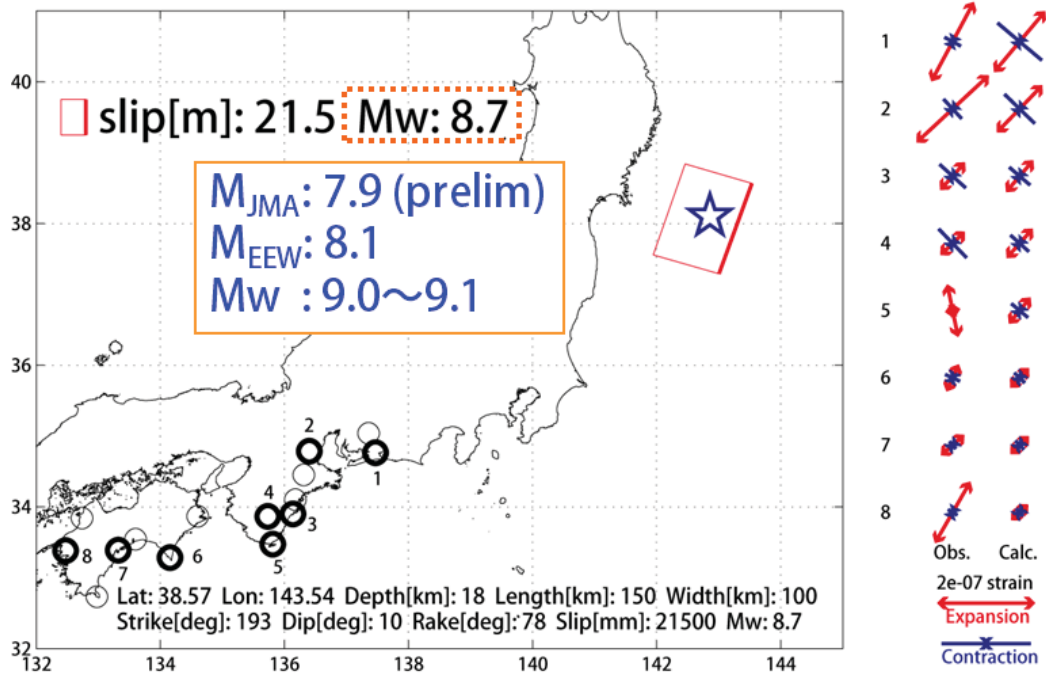


図2 (左) 東北地方太平洋沖地震本震の断層モデル推定結果。MJMA: 気象庁マグニチュード、MEEW: 緊急地震速報のマグニチュード。(右) それぞれの観測点における主歪の観測値および推定断層モデルから期待される計算値。

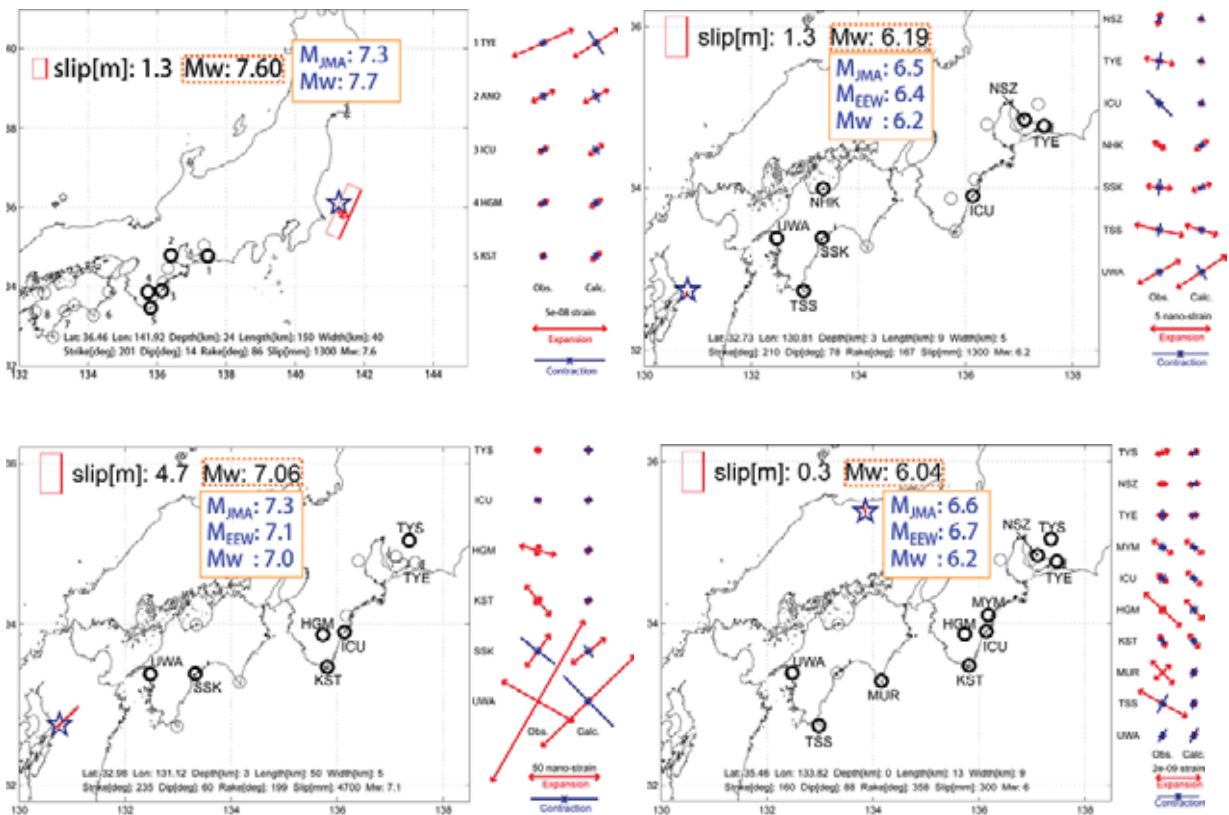


図3 (左上) 東北地方太平洋沖地震の最大余震の断層モデル推定結果。(右上) 2016年熊本地震前震の地震規模推定結果。(左下) 2016年熊本地震本震の地震規模推定結果。(右下) 2016年鳥取県中部の地震の地震規模推定結果。

5. まとめ

ボアホール歪計により大地震時に観測された静的歪変化から、プレート境界型地震2例、内陸地震3例の地震規模を即時推定可能であることを示した。4種類の主歪を用いた選別を行うことによって、地震の揺れによるローカルな現象による変動を適切に取り除くことが可能であることを示した。

謝辞:本研究の一部はJSPS科研費 JP15H03713の助成を受けて実施しました。気象庁の一元化震源カタログ、緊急地震速報を使用させていただきました。

引用文献

- Ishii H, Yamaguchi T, Matsumoto S, Hirata Y, Nakao S (2002) Development of multi-component borehole instrument for earthquake prediction study: Some observed examples of precursory and co-seismic phenomena relating to earthquake swarms and application of the instrument for rock mechanics. In: Ogasawara H, Yanagidani T, Ando M (eds) Seismogenic process monitoring. A.A. Balkema Publishers, Avereest, pp 365-377
- Itaba S, Koizumi N, Matsumoto N, Ohtani R (2010) Continuous observation of groundwater and crustal deformation for forecasting Tonankai and Nankai earthquakes in Japan. *Pure Appl Geophys* 167:1105-1114. <https://doi.org/10.1007/s00024-010-0095-z>
- Itaba S (2018) Rapid estimation of the moment magnitude of the 2011 Tohoku-Oki earthquake (Mw 9.0) from static strain changes. *Earth, Planets and Space* 70:124. <https://doi.org/10.1186/s40623-018-0894-5>
- Japan Meteorological Agency Website (2018) The Seismological Bulletin of Japan. https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/index_e.html. Accessed 09 July 2018
- Kita S, Okada T, Hasegawa A, Nakajima J, Matsuzawa T (2010) Anomalous deepening of a seismic belt in the upper-plane of the double seismic zone in the Pacific slab beneath the Hokkaido corner: possible evidence for thermal shielding caused by subducted forearc crust materials. *Earth Planet Sci Lett* 290:415-426
- Matsumoto N, Kamigaichi O, Kitagawa Y, Itaba S, Koizumi N (2011) Tidal calibration of borehole strainmeter using green's functions at the deployment depth. EGU General Assembly 2011. *Geophysical Research Abstracts* 13: EGU2011-1866-1
- Nakajima J, Hasegawa A (2006) Anomalous low-velocity zone and linear alignment of seismicity along it in the subducted Pacific slab beneath Kanto, Japan: reactivation of subducted fracture zone? *Geophys Res Lett* 33:L16309. <https://doi.org/10.1029/2006GL026773>
- Nakajima J, Hirose F, Hasegawa A (2009) Seismotectonics beneath the Tokyo metropolitan area, Japan: effect of slab-slab contact and overlap on seismicity. *J Geophys Res* 114:B08309. <https://doi.org/10.1029/2008JB006101>
- Ohta Y, Kobayashi T, Tsushima H, Miura S, Hino R, Takasu T, Fujimoto H, Inuma T, Tachibana K, Demachi T, Sato T, Ohzono M, Umino N (2012) Quasi realtime fault model estimation for near-field tsunami forecasting based on RTK-GPS analysis: application to the 2011 Tohoku-Oki earthquake (Mw 9.0). *J Geophys Res* 117:B02311. <https://doi.org/10.1029/2011JB008750>
- Okada Y (1992) Internal deformation due to shear and tensile faults in a halfspace. *Bull Seismol Soc Am* 82:1018-1040
- Wei D, Seno T (1998) Determination of the Amurian plate motion in mantle dynamics and plate interactions in East Asia. *Geodynam. Series* ed. by M.Flower et al., vol 27, pp 337-346