

越後平野で観測された東北地方太平洋沖地震に伴う局所的に大きな地殻変動 Local anomaly of crustal deformation associated with the 2011 Pacific coast off Tohoku earthquake in the Echigo plain

西村 卓也^{1*}, 水藤 尚¹, 小林 知勝¹, 董勤喜², 柴山 恭³

Takuya NISHIMURA^{1*}, Hisashi Suito¹, Tomokazu Kobayashi¹, DONG, Qinxi², SHIBAYAMA, Takashi³

¹ 国土地理院, ² (株)エデュサイエンス総合研究所, ³ (株)計算力学研究センター

¹Geospatial Information Authority of Japan, ²Eduscience Research Institute, ³Research Center of Computational Mechanics, Inc

国土地理院では新潟・神戸ひずみ集中帯と日本海東縁ひずみ集中帯に位置するひずみ集中帯内部の詳細地殻変動分布を明らかにするため、新潟県越後平野周辺をほぼ東西に横断する GNSS 観測点を概ね 5km の間隔で 2010 年に設置し、毎年 10-11 月に繰り返し観測を実施している。Ohzono et al. (2013) は、GEONET による東北地方太平洋沖地震 (M_w 9.0) の地殻変動から計算された歪み分布に、震源断層モデルでは説明できない地域的不均質があることを指摘した。また、Ozawa et al. (2013) は、InSAR データによる地殻変動分布から火山地域において、特に上下変動成分に顕著な地殻変動の不均質性を見だし、火山直下における低弾性率領域によって説明可能であることを示した。本講演では、計 3 回の繰り返し観測に基づく越後平野周辺の地殻変動の詳細を明らかにするとともに、弾性定数の不均質を考慮した有限要素法による地殻変動の計算を行い、観測された地殻変動の再現を試みた結果について報告する。

2011 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震に伴って、この地域でも大きな東西伸張の地殻変動が観測された。2010 年 10-11 月から 2011 年 10-11 まで地震時の伸びの主軸とほぼ等しい観測点配列方向 ($N105^\circ E$) の変位及び歪み分布を見ると、越後平野の新津丘陵の西側の基線では 6.2ppm (25km で 15.4cm) の伸びが観測されたのに対し、新津丘陵の東側の基線では 3.8ppm (16km で 6.2cm) の比較的小さな伸びが観測された。本来、新津背斜の東側の方が地震の震源断層に近いので、大きな歪みが観測されることが期待されるが、観測結果は反対となっている。越後平野周辺は、地震波構造探査や地下のボーリング等から弾性定数の小さな堆積層が極めて厚く堆積していることが知られており、新津丘陵の西側で観測された大きな伸張歪みは地下構造の不均質に起因する可能性がある。このような可能性を検証するために、Nishimura et al. (2011) の本震と最大余震の 4 枚の矩形断層を近似した矩形領域のずれと防災科学技術研究所の J-SHIS 地盤構造モデルに準拠した弾性定数の不均質を媒質に与えて、有限要素解析により、越後平野周辺の地殻変動分布の数値シミュレーションを行った。計算された東西方向の歪み分布は、越後平野中央部では周辺の地域に比べて 2 倍程度の伸張ひずみとなり、GNSS 観測点間の伸張ひずみも新津丘陵の西側の基線で 6.1ppm、東側の基線で 3.4ppm とほぼ観測値が再現された。歪み分布の不均質は、震源域近傍の地殻変動観測からは断層運動のメカニズムや滑り分布を原因とするものと媒質の不均質を原因とするものとの分離が難しいが、東北地方太平洋沖地震のようなある程度離れた場所における大きな断層運動によって、初めて明瞭に分離できたと言える。この結果は、今後東北地方太平洋沖地震以外の地殻変動のモデル化を行う際にも、媒質の不均質性を考慮することが重要であることを示すものである。

キーワード: 地殻変動, 東北地方太平洋沖地震, 有限要素法, GNSS

Keywords: Crustal deformation, the 2011 Tohoku-oki earthquake, Finite Element Model, GNSS

東北日本弧不均質粘性構造を考慮した東北沖地震の2次元余効変動解析 Viscous relaxation after the Tohoku Oki Earthquake by heterogeneous rheological structure of the NE Japan

武藤 潤^{1*}, 芝崎 文一郎², 大園 真子³, 矢部 康男⁴, 伊藤 喜宏⁴, 飯沼 卓史⁵, 松本 拓己⁶, 岡田 知己⁴

Jun Muto^{1*}, Bunichiro Shibazaki², Mako Ohzono³, Yasuo Yabe⁴, Yoshihiro Ito⁴, Takeshi Iinuma⁵, Takumi Matsumoto⁶, Tomomi Okada⁴

¹ 東北大学大学院理学研究科地学専攻, ² 建築研究所国際地震工学センター, ³ 北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター, ⁴ 東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター, ⁵ 東北大学災害科学国際研究所, ⁶ 防災科学技術研究所

¹Dept. Earth Sci., Tohoku University, ²International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Institute, ³Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science, Hokkaido University, ⁴Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Tohoku University, ⁵International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University, ⁶National Institute for Earth science and Disaster Prevention

Deployment of dense network of geodetic observations has illuminated the heterogeneous crustal deformation associated with the Mw 9.0 2011 Tohoku Oki earthquake. Ohzono et al. (2012) showed the heterogeneity of coseismic strain fields likely reflecting heterogeneity in rheological (viscoelastic) properties of the NE Japan lithosphere (Yabe et al., in prep). Moreover, viscoelastic relaxation after the earthquake that lasts longer than other mechanisms (e.g., afterslip and poro-elastic rebound) has also known to be affected by viscosity structures of the island arc-trench system such as elastic thickness variation, spatial and depth-dependent viscosity. Therefore, the viscosity structure of the NE Japan trench-arc system must be estimated in order to evaluate the viscous relaxation component accurately in the observed post-seismic deformation field. To this end, two-dimensional viscosity profiles of the northeastern (NE) Japan island arc-trench system were created using laboratory derived constitutive laws of various minerals. The calculated profiles based on temperature, pressure and water contents dependent rock rheology predict viscosities of the mantle wedge and oceanic mantle to be 10^{19} Pa s and 10^{20} Pa s, respectively. These values agree well with the recent estimate of the viscosities after the post-seismic deformation of the 2004 Sumatra earthquake (Mw 9.2). This indicates that the steady-state flow laws of rocks can be used to infer post seismic deformation field. However, our calculations reveal significant lateral variations in viscosities across the northeastern Japan arc: thick, high viscous lithosphere in the colder forearc and thin and low viscous lithosphere in the hotter volcanic front. Preliminary two-dimensional finite element modeling (FEM) on post-seismic deformation of the Tohoku Oki earthquake revealed that the incorporation of the lithosphere structures have significant effects to the stress relaxation process compared with widely used uniform layered model. In the presentation, we will furthermore examine stress relaxation process of the lithosphere from FEM modeling taking into account of temperature- and depth-dependent heterogeneous rheology.

References: [1] Muto, J. (2011) *Tectonophysics*, 503, 201-206. [2] Ohzono, M., Y. Yabe, T. Iinuma, Y. Ohta, S. Miura, K. Tachibana, T. Sato, and T. Demachi (2012) *Earth Planets Space*, 64, 1231-1238.

キーワード: 余効変動, 粘性緩和, 地殻マントルレオロジー, 東北地方太平洋沖地震, 東北日本, 島弧-海溝系

Keywords: Post-seismic deformation, Viscous relaxation, Rheology of crust and mantle, Tohoku Oki Earthquake, Northeastern Japan, Arc-trench system

東北沖地震による応力場の変化と断層強度 - 内陸地震の応力載荷過程 Change in stress field by the 2011 Tohoku-Oki earthquake and fault strength-stress loading process for inland earthquake

長谷川 昭^{1*}, 吉田 圭佑¹, 岡田 知己¹

Akira Hasegawa^{1*}, Keisuke Yoshida¹, Tomomi Okada¹

¹ 東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

¹ RCPEV, Graduate School of Science, Tohoku University

2011年東北沖地震は、稠密な観測網が展開されていた沈み込み帯で発生したM9.0という超巨大地震であったが故に、地震発生機構の理解に貢献する多くの重要な研究成果が得られつつある。それには、地震の大きさと観測網の品質や稠密さから、これまで必ずしも明瞭に見えなかった現象が、誰もが納得するS/Nを持つシグナルとして検出されたことが大きい。その一つに、応力場の変化がある。Hasegawa et al. (EPSL 2012)は、震源断層直上の上盤プレート内の静的応力変化が差応力で5~15MPa以上の領域で、主応力方向の逆転がみられ、従って、これらの領域で地震前の差応力が5~15MPa以下と極めて小さかったことを明らかにした。Yoshida et al. (GRL 2012)は、内陸でも、主応力方向が有意に変化した地域があり、そこでは~1MPa程度とさらに小さいことを示唆する結果を得た。差応力がそれほど小さいとすると、従来の内陸地震の応力載荷モデルを再考する必要がある。東北沖地震の1か月後に起きたいわき付近のM7.0の正断層型地震の発生も、従来の考え方で理解することは難しく、同様に再考を強く促すものである。

メカニズム解のデータを格段に増やして行った応力場の研究(吉田・他、本大会)で、東北沖地震前の前弧域の応力場は島弧走向方向に変化し、北上山地と阿武隈山地で1軸がプレート収束方向に必ずしも向かないことが分かった。これは、地形の凹凸によりつくられる応力が支配的であることを示唆する。東北沖地震後の1軸の回転(Hasegawa et al., EPS 2011)から推定されたプレート境界の摩擦係数0.036を用いると、前弧域では偏差応力は非常に小さく、1軸が必ずしもプレート収束方向に向かないことが期待される(例えば、Wang and He, JGR 1999)。つまり、太平洋下のプレート収束によりつくられる応力は、1軸をプレート収束方向に向けるほど大きくはない。そうであれば、太平洋沿岸の前弧域でみられた東北沖地震前の応力場は説明できるし、何故いわき付近にM7.0の正断層の地震が発生したかも理解できる。

このことは、内陸地震を発生させる差応力が小さい、すなわち断層強度も小さいことを示す。断層強度がそれほど小さいとすると、強度を極端に下げるメカニズムが働いているはずであり、その原因としてはover-pressured fluidが考えられる。これらの理解に基づいて推定された、内陸地震の新たな応力載荷モデルを提案する。これが成り立つとすると、1) 深部から流体が供給される場所でのみ地震が発生する、2) 内陸地震発生過程では応力上昇より強度減少の方が重要な役割を果たしている、3) 内陸地震は、over-pressured fluidにより強度が十分に減少した断層で発生する、すなわち、準備が十分に整った断層のみが破壊する、4) 内陸地震の繰り返し間隔は、主として深部からの流体の供給レートで決まる、ということになる。

キーワード: 応力, 断層強度, 応力載荷過程, 内陸地震, 地殻流体, 東北沖地震

Keywords: Stress, fault strength, stress loading process, inland earthquake, crustal fluids, Tohoku-Oki earthquake

PS-InSAR 時系列解析による 2008 年岩手・宮城内陸地震後の粘弾性緩和と局所的余効変動の検出

Postseismic deformation following the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake deduced from PS-InSAR time series analysis

大下 佑也¹, 太田 雄策^{1*}, 大園 真子², 岡田 知己¹, 出町 知嗣¹, 立花 憲司¹, 三浦 哲³, 海野 徳仁¹

Yuya Ohshita¹, Yusaku Ohta^{1*}, Mako Ohzono², Tomomi Okada¹, Tomotsugu Demachi¹, Kenji Tachibana¹, Satoshi Miura³, Norihito Umino¹

¹ 東北大院理・地震噴火予知研究観測センター, ² 北大院理・地震火山観測研究センター, ³ 東京大学地震研究所

¹RCPEVE, Tohoku University, ²ISV, Hokkaido University, ³ERI, The University of Tokyo

2008 年岩手・宮城内陸地震は連続 GPS データによって見出された奥羽脊梁山脈ひずみ集中帯 [1] で発生した逆断層型地震である。地震後に発生した余効変動に関しては GPS を用いた比較的地震直後の解析 [2] や ALOS/PALSAR データを用いて地震後に国見山東麓および雨田森において局所的な LOS 変化が見られることを指摘した研究が存在する [3]。Ohzono et al. [4] は GPS データから長期間継続する余効変動を見出し、それが粘弾性緩和によって大局的には説明が可能であることを示した。その一方で震源域近傍では GPS 観測値と粘弾性緩和モデルによる計算値が乖離し、その原因が局所的な余効すべり、もしくは粘弾性緩和の過小評価に起因することを指摘している。そこで本研究は震源域近傍の余効変動をより時空間的に詳細に把握するために ALOS/PALSAR データに StaMPS [5] を用いた PS-InSAR 時系列解析を適用した。

PS-InSAR 時系列解析の結果、本震震源断層近傍の詳細な地殻変動のパターンを時系列的に捉えることに成功した。本研究で検出した衛星から地上までの LOS 変位は、震源断層を挟む長波長の変位パターンと、短波長の変動が重畳し、複数の要因によってそれらが生じていることを示唆する結果となった。短波長の変動は栗駒山北側の雨田森近傍および栗駒山西側の高松岳付近の 2 箇所顕著であり、その変位量の最大値は解析期間である 2008 年 7 月から 2010 年 10 月までの間で 0.22m に及んでいることが分かった。本震震源断層を境界とする長波長の LOS 変位のパターンの成因について検討を行った結果、地震後の粘弾性層の緩和過程を考えることで長波長の変動を大局的には再現可能であることが分かった。

短波長の変動 (雨田森および高松岳付近) に関しては、雨田森付近は、地震時に東に傾き下がる断層が活動した可能性が指摘されており [6,7]、その断層面で長期間に渡って地震後余効すべりが発生した可能性がある。また高松岳付近では地震波速度構造が比較的浅部まで周囲と比較して低速度であり [8]、かつ三途川カルデラの内輪に位置する [9] ことから火山活動による可能性が高いと考えられる。

[1] Miura et al., EPS, 2004. [2] Iinuma et al., GRL, 2009. [3] 高田 他. 測地学会誌, 2011. [4] Ohzono et al., EPS, 2012. [5] Hooper et al., JGR, 2007. [6] Abe et al., BSSA, in press. [7] Takada et al., EPS, 2009 [8] Okada et al., EPS, 2012. [9] 布原 他, 2008

キーワード: 内陸地震, 余効変動, InSAR

Keywords: Inland earthquake, postseismic deformation, InSAR

2011年東北地方太平洋沖地震による誘発地震活動域のイメージング Imaging the source regions of normal faulting sequences induced by the 2011 M9.0 Tohoku-Oki earthquake

加藤 愛太郎^{1*}, 五十嵐 俊博¹, 小原 一成¹, 酒井 慎一¹, 武田 哲也², 岩崎 貴哉¹

Aitaro Kato^{1*}, Toshihiro Igarashi¹, Kazushige Obara¹, Shin'ichi Sakai¹, Tetsuya Takeda², Takaya Iwasaki¹

¹ 東京大学地震研究所, ² 防災科学技術研究所

¹ERI University of Tokyo, ²NIED

Intense swarm-like seismicity associated with shallow normal faulting was induced in Ibaraki and Fukushima prefectures, Japan, following the 2011 Tohoku-Oki earthquake. This seismicity shows a systematic spatiotemporal evolution, but little is known of the heterogeneity in crustal structure in this region, or its influence on the evolution of the seismicity. Here we elucidate a high-resolution model of crustal structure in this region, and determine precise hypocenter locations. Hypocenters in Ibaraki Prefecture reveal a planar earthquake alignment dipping SW at about 45-degree, whereas those in Fukushima Prefecture show a more complex distribution, consisting of conjugate sets of aligned small earthquakes. On the north of the hypocenter of the largest earthquake in the sequence (the M7.0 Iwaki earthquake), we imaged a high-velocity body at shallow depths that lacks aftershock seismicity. Based on fault source models, the large-slip region of the Iwaki earthquake is situated along a zone that roughly coincides with this high-velocity body. We delineated a separate low-velocity anomaly directly beneath the hypocenter of the Iwaki earthquake, indicating crustal fluids in this region. We hypothesize that strong crust underwent structural failure due to the infiltration of crustal fluids into the seismogenic zone from deeper levels, causing the Iwaki earthquake.

山陰地方の地震帯における応力場の空間変化と3次元地震波速度構造 Spatial variation of the stress field and 3-D seismic velocity structure in the seismic belt of San-in district

岸本 信二¹, 飯尾 能久^{1*}, 片尾 浩¹, 近藤 和男¹, 澁谷 拓郎¹, 中尾 節郎¹, 坂 靖範¹, 三浦 勉¹, 米田 格¹

Shinji Kishimoto¹, Yoshihisa Iio^{1*}, Hiroshi Katao¹, Kazuo Kondo¹, Takuo Shibutani¹, Setsuro Nakao¹, Yasunori Ban¹, Tsutomu Miura¹, Itaru Yoneda¹

¹ 京都大学防災研究所

¹ Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

地震発生域における応力場の空間変化や地殻の不均質構造を知ることは、地震の発生メカニズムを理解する上で重要な鍵となり得る。本研究では、山陰地方における臨時観測点(50点)に定常観測点(27点)を加えた、計77点の地震観測網によるデータを用いた解析により、島根県東部の地震多発域を中心として、地震帯の応力場および3次元地震波速度構造と地震活動ならびに間隙流体圧との関連を調べた。

応力場はGephart and Forsyth(1984)などの標準的な応力逆解析手法を用いて推定した。推定された応力場において、ミスフィット角のRMSは全解析領域で 10° 以下という小さい値が求まった。このことは、推定された応力場が解析領域内の観測された断層のすべり方向をよく説明できていることを意味する。また、島根県東部の解析対象地域では、最適解については地震帯の中心に向かう程、 1 のazimuthが、東西方向から $30^\circ\sim 40^\circ$ 時計周りに傾くという結果が得られた。このことは、地震帯における 1 のazimuthが、中国地方広域のそれと比べて時計周りに数十度回転するという、Kawanishi et al. (2009)の報告と調和的である。

また、本研究では山陰地方地震帯の地震波速度構造を調べるため、FMTOMO(Rawlinson et al., 2006)を用いて地震波トモグラフィーを行った。手動で読み取られたP波およびS波の走時から、緯度・経度方向に 0.05° 、深さ方向に3kmという細かいグリッド間隔において地震波速度構造を推定した。解析の結果、2000年鳥取県西部地震余震域や島根県東部の、特に地震活動が活発な場所において顕著な低速度異常が推定された。この低速度領域は、解析結果がある程度分解能を持つ深さ13kmから地表まで連続的に存在しているように見える。さらに当地域の低速度域の分布と震源分布には関連性が見られ、震源分布は低速度領域と高速度領域の境界付近で発生しているように見える。地震帯では、地震波速度構造に特徴づけられる地殻浅部の不均質構造、あるいは地殻流体の存在が当地域の地震活動をコントロールしている可能性がある。

応力逆解析とトモグラフィーの結果から、本研究では地震メカニズム解における断層面のばらつきの原因が、間隙流体圧によって生じた断層強度の違いであると考え、当地域における間隙流体圧の分布を調べた。

応力逆解析から得られた結果が極めて小さいミスフィット角を示すことから、解析領域内の応力場は均質であると仮定し、さらに、断層面上に働く摩擦係数は岩石の種類によらず一定(Byerlee, 1987)であるとすれば、各断層の破壊強度の違いは間隙流体圧によると考えることが出来る。島根県東部において推定された応力場から、メカニズム解のもう一つの節面(補助面)のミスフィット角が断層面に比べて 10° 以上大きく、断層面を特定出来た地震について、せん断応力と法線応力から間隙流体圧を計算した。解析の結果、解析領域内には様々な破壊強度を示す断層が分布している可能性があることが分かった。このことは、地震波速度構造の低速度領域に特徴づけられた流体の存在が、当地域の地震の発生に関与している可能性を示唆している。

キーワード: メカニズム解, 応力場, 地震波トモグラフィー

Keywords: focal mechanism, stress field, tomography

レイリー波位相速度とレシーバー関数の同時逆解析による立川断層近傍の深部地盤構造の推定

Joint Inversion of Phase Velocity and Receiver Function for Estimation of Sedimentary Layers near the Tachikawa Fault

佐口 浩一郎^{1*}, 山中 浩明¹

Koichiro Saguchi^{1*}, Hiroaki Yamanaka¹

¹ 東京工業大学大学院総合理工学研究科

¹Tokyo Institute of Technology

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震以降、首都圏での地震活動が増加しており、今後、立川断層等による活断層による被害地震の発生が危惧されるため、首都圏では精度の高い強震動予測が必要とされる。高精度な強震動予測を実施する場合、3次元地下構造モデルが必要不可欠であるが、地震調査研究推進本部の「長周期地震動予測地図」¹⁾によりモデルが構築されつつある今日においても、観測記録に基づく確認が必要とされる。本研究では、立川断層における強震動予測のための3次元地下構造モデルの作成を目的として、立川断層帯周辺地域で微動アレイ観測を実施し、レイリー波位相速度とレシーバー関数の同時逆解析から当該地域の深部地下構造を推定することにより、立川断層帯による地盤の段差構造を含めたより詳細な3次元地下構造を明らかにするものである。

2. 微動アレイ観測によるレイリー波位相速度の推定

微動アレイ観測は立川断層を挟んで東西各4地点の計8地点により実施した。各観測点における観測は大アレイおよび小アレイをそれぞれ半径1.5~2km程度と0.4~0.5km程度の2つの円内において3成分による地震計を配置して実施した。大アレイで60分間、小アレイで30分間の微動のデータを0.005秒間隔で記録した。得られたアレイ記録の上下動成分をノイズの少ない81.92秒間のデータに区分して、それぞれに対して周波数-波数スペクトル法解析(F-K法解析)により、レイリー波の位相速度を推定した。F-K法解析の結果、7地点において周期0.5秒~5秒の間で概ね0.5km/s~2.5km/sの分散性を有する位相速度が得られた。

3. レシーバー関数の算出

立川断層帯周辺の観測点(K-NET, KiK-NETおよびSK-net)では数多くの地震記録が得られており、レシーバー関数の算出には概ね震央距離100km以内の約70地震(M_j=4.5以上)のうち各地点20~50の地震を使用した。各観測点におけるレシーバー関数算出の際には、解析区間をP波初動より約5秒間とし、レシーバー関数には1Hz~5Hzのバンドパスフィルターを施した後重合により算出した²⁾。解析で得られた全観測地点におけるPS-P時間の分布から、立川断層を挟んでPS-P時間は大きく異なっており、立川断層の東側ではPS-P時間が長いのに対し、断層の西側ではPS-P時間が短くなっていることが明らかになった。これにより断層の西側では堆積層が非常に薄く堆積しているかほとんど堆積層がないと推測される。

4. レイリー波位相速度とレシーバー関数の同時逆解析

レイリー波位相速度とレシーバー関数の同時逆解析には焼きなまし法³⁾を用いた。逆解析における評価関数はKurose and Yamanaka (2006)⁴⁾と同様とした。探索パラメータをV_p(P波速度)、V_s(S波速度)およびH(層厚)とし、探索範囲はV_pおよびV_sでは初期値±10%、Hでは初期値1~150%とした。同時逆解析により立川断層帯周辺地域における地下構造は、S波速度0.5 km/s, 0.9 km/s, 1.5 km/sおよび2.7 km/sの堆積層と3.2 km/sの地震基盤から構成される5層で構成されており、立川断層の西側と東側にそれぞれ位置する観測点における堆積層の厚さから立川断層の深部地盤における段差は概ね1.8 km程度であることが明らかになった。

謝辞

本研究は、文部科学省「立川断層帯における重点的調査観測」を受けて実施されました。また、本研究では防災科学技術研究所によるKiK-net, K-NETおよび首都圏強震動総合ネットワークによるSK-netの地震観測記録を使用させて頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 地震調査委員会(2009):「長周期地震動予測地図」2009年試作版, http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09_choshuki/choshuki2009.pdf
- 2) 小林喜久二・植竹富一・真下貢・小林啓美:深い地盤構造評価のためのPS変換波の検出方法に関する検討, 日本建築学会構造系論文集, No505,45-52,1998.3, 2008
- 3) Ingber, L.: Very fast simulated annealing, Math. Comput. Modeling, Vol.12, No.8, pp.967-973, 1989
- 4) Kurose, T., and Yamanaka, H.: Joint inversion of receiver function and surface-wave phase velocity for estimation of shear-wave velocity of sedimentary layers, Exploration Geophysics, 37, 93-101, 2006

Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS25-07

会場:302

時間:5月21日 10:30-10:45

キーワード: 立川断層, 同時逆解析, レシーバー関数, 微動アレイ探査, レイリー波位相速度

Keywords: Tachikawa fault, joint inversion, receiver function, array microtremor exploration, Rayleigh wave phase velocity

稠密地震観測データから推定された震源分布と地震波不均質構造の関係 - 長野県西部地域の場合 -

Relationship between hypocentral distributions and seismic heterogeneous structures inferred from dense array data

土井 一生^{1*}, 野田 俊太², 飯尾 能久³, 堀内 茂木⁴, 関口 涉次⁵

Issei Doi^{1*}, Shunta Noda², Yoshihisa Iio³, Shigeki Horiuchi⁴, Shoji Sekiguchi⁵

¹立命館大学理工学部, ²鉄道総合技術研究所, ³京都大学防災研究所, ⁴株式会社ホームサイスマメータ, ⁵防災科学技術研究所

¹College of Science and Technology, Ritsumeikan University, ²Railway Technical Research Institute, ³Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, ⁴Home Seismometer Corporation, ⁵National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

内陸地震がどのようなメカニズムで発生するか現在においても完全にはわかっていない。本研究では、1984年長野県西部地震(Mw 6.8)の震源域周辺における詳細な地震波速度構造を推定し、余震分布や周辺域における群発地震活動分布と比較しそれらの関係について調べた。

長野県西部地域においては、本震発生前後から現在まで継続して地震活動が活発で、マグニチュードが4以上のイベントも珍しくない(Ooida et al., 1989)。また、現在は本震断層面上だけでなく、余震域東部で群発的な地震活動が見られる。1995年から現在に至るまで、本震および群発地震震源域およびそれらの周辺において稠密な地震観測が行われている(Iio et al., 1999)。観測点はノイズを避ける固い岩盤の上に1-4 km 間隔で57点設置され、10 kHz という高サンプリングで地震波形記録が集録されている。本研究では1995年10月から2005年2月までに発生した観測点方位分布が180度以上ある地震12,291個を初期データセットとした。読み取り総数はP波で215,096個、S波で183,917個である。P波、S波の読み取り精度は非常に高く、それぞれ数ms, 数十msである。

解析は震源決定、一次元インバージョン、三次元インバージョンの三段階に分けておこなった。初期構造にはHirahara et al. (1992)で推定された1次元速度構造を用いた。グリッド間隔は震源・観測点分布やS波走時の誤差を考慮し、本震震源域および群発地震発生域近傍では水平方向1.5 km 間隔、その周辺部では水平方向3 km 間隔、深さ方向には深さ4 km 以浅で1 km 間隔、深さ4 km 以深で2 km 間隔とした。波線追跡にはPseudo Bending 法(Um and Thurber, 1987)を用いた。また、逆行列の計算にはLSQR法(Paige and Saunders, 1982)を用いた。

その結果、本震震源域および群発地震発生域の深さ2-6 km で震源、速度構造とも精度よく推定された。震源分布と V_p/V_s 比がよく対応し、比較的低い V_p/V_s 比(1.58-1.70)を示す領域に震源が多く存在し、高い V_p/V_s 比を示す領域にはほとんど震源が見られなかった。また、本震断層の上端や東端が比較的 V_p/V_s 比の高い領域に位置し、本震の震源過程やこの地域における地震活動が速度構造の不均質によって規定されていることが示唆された。

2012年北海道北部の群発地震に誘発された内陸スロースリップイベント? Slow slip event induced by earthquake swarm in inland of northern Hokkaido?

大園 真子^{1*}, 高橋 浩晃¹, 一柳 昌義¹, 東 龍介¹, 山口 照寛¹, 山田 卓司¹, 谷岡 勇市郎¹

Mako Ohzono^{1*}, Hiroaki Takahashi¹, Masayoshi Ichiyonagi¹, Ryosuke Azuma¹, Teruhiro Yamaguchi¹, Takuji Yamada¹, Yuichiro Tanioka¹

¹ 北海道大学地震火山研究観測センター

¹ ISV, Hokkaido University

北海道北部は、定常的に浅部の地震活動が活発な地域であり、M4-5クラスの地震が頻繁に発生している。また、2011年東北地方太平洋沖地震後には群発的な地震活動も活発になり、2012年7月には中川町でM4.2(深さ約4km)の地震が発生した。さらに、2013年1月にはその震源域の深部延長と思われる場所でM4.8(深さ約20km)の地震も発生している。2012年の地震活動と同期するように、国土地理院が展開するGNSS観測網GEONETの0851(幌延)では、西側の観測点(0104天塩)に対して3ヶ月で約1cmの伸びを示す異常地殻変動とみられるシグナルが確認された。一方、北海道大学では2006年から北海道北部の詳細な地殻変動場をとらえるために、天塩町から中頓別町までの東西を横断する10点の稠密GPS連続観測点を設置して観測を行っている。本研究では、これらの稠密GPS観測点のデータを解析することにより、群発地震の活動域や幌延周辺での詳細な地殻変動の検出を試みた。その結果、群発地震発生域の北西部の観測点では、0851と同様に主に東西方向への伸びが検出された。この地域はサロベツ断層帯と問寒別断層帯に挟まれた領域に相当する。一方、この地域の観測点と問寒別断層帯を挟む東側の観測点との基線長変化は短縮の傾向が見られる。以上のことから、2012年の群発地震活動に伴い、この領域では地殻の非弾性変形または地質学的構造境界を断層とする非地震性すべりが発生している可能性が考えられる。今後、他の地球物理学的データとも比較しながらそれらの可能性を検討し、異常地殻変動と群発地震活動との関係についても考えていく必要がある。

キーワード: 地殻変動, 内陸地震, スロースリップ

Keywords: crustal deformation, inland earthquake, slow slip

発震機構解を用いた兵庫県南部地震震源域周辺の応力場推定 2

Modeling stress field around the fault of the 1995 Kobe earthquake (M7.2) using focal mechanisms 2

松本 聡^{1*}, 片尾 浩², 飯尾 能久²

Satoshi Matsumoto^{1*}, Hiroshi Katao², Yoshihisa Iio²

¹九州大学地震火山センター, ²京都大学防災研究所

¹Institute of Seismology and Volcanology, Kyushu Univ., ²Disaster Prevention Research Institute, Kyoto Univ.

近年, 発震機構解を用いた応力場の推定が世界各地でなされてきた. それらの結果から応力場は空間的に一様ではなく, 不均一であることが明らかになってきた. Matsumoto et al. (201) は不均一な応力場を空間的に一様な広域応力場とモーメントテンソルで表現される媒質中の非弾性変形による応力変化によって構成されていると考え, これらを推定する手法を開発した. 本研究ではこの手法を1995年兵庫県南部地震震源域および周辺で発生した地震に適用し, この地域の応力場のモデリングを試みる.

まず, 応力場の空間変化を見出すために通常の応力テンソルインバージョンをデータに適用した. 方法は Michael and Hardebeck (2006) によるものを用いた. その結果, 水平最大圧縮軸をほぼ東西にもつ横ずれ断層応力場であることが分かった. しかしながら, 破壊の開始点周辺では逆断層場になっていることが示された. この地域では最大主圧縮応力(1)の方向はほぼ東西で安定している. 一方, 中間主応力(2)と最小主圧縮応力(3)が近い値をとり, 応力比 $(\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3) = 0.1 - 0.2$ 程度と小さい. これは断層近傍のすべりや非弾性変形によって容易に応力場が横ずれから逆断層場に変化しうることを示している. そこで Matsumoto et al. (2012) の方法を同じデータに適用した. モーメントテンソルは断層上に5 km間隔で配置し, インバージョンによって広域応力とモーメントテンソルの大きさを推定した. その結果, 断層端と断層中央部においてほかの位置よりも大きなモーメントテンソル, すなわち非弾性変形が起こっていることを示している. これらは本震の破壊開始点, 終点に対応することから, 破壊の開始, 終了に関連していると考えられる. また, これらは余震データから得られていることから, 地震後において断層上に非弾性変形が存在しており, それが応力変化を生みだしていることを示している.

キーワード: 兵庫県南部地震, 応力場, 発震機構, 非弾性変形

Keywords: Stress field, Kobe earthquake, focal mechanism, inelastic deformation

活断層の運動方向と地震学的に推定される地殻応力の比較：跡津川断層の例 Comparison between geologically determined fault slip and seismologically determined stress along the Atotsugawa Fault

重松 紀生^{1*}, 大坪 誠¹, 宮川 歩夢¹, 道家 涼介², 丹羽 正和³, 吾妻 崇¹, 今西 和俊¹

Norio Shigematsu^{1*}, Makoto Otsubo¹, Ayumu Miyakawa¹, Ryosuke Doke², Masakazu Niwa³, Takashi Azuma¹, Kazutoshi Imanishi¹

¹ 産業技術総合研究所地質調査総合センター, ² 株式会社地層科学研究所, ³ 日本原子力研究開発機構

¹Geological Survey of Japan/AIST, ²GEOSCIENCE RESEARCH LABORATORY Co., Ltd., ³Japan Atomic Energy Agency

跡津川断層において露頭で観察した活断層の運動方向と地震学的に推定した地殻応力との関係を検討した。跡津川断層は、岐阜県北部から富山県南部に位置する北東 - 南西走向の右横ずれの活断層であり、平均変位速度が2 - 3 m / 千年で国内では活動的な活断層の一つとして知られる。また、最近の観測研究により様々な知見が得られていることから研究対象断層とした。

跡津川断層に沿っては、西北西 - 東南東方向で水平に近い最大圧縮主応力軸を持つ地殻応力が、微小地震活動に基づき求められている (Imanishi et al., 2011)。これらは断層の深部と浅部で異なる応力解を示している。

断層東部の佐古、断層中部の菅沼谷、断層西部の天生、金山谷の4露頭で41条の断層スリップデータを取得した。観察した露頭は顕著な断層ガウジを伴い、現在の活動に調和的な右横ずれの他、左横ずれ、上下成分が顕著な構造が見られた。佐古露頭、菅沼谷露頭においては左横ずれの構造を右横ずれの構造が切断している。

得られた断層スリップデータと微小地震に基づく応力を比較すると、佐古、天生、金山谷の3露頭においては、主断層面におけるミスフィット角が30度以下である。一方、菅沼谷露頭については大きなミスフィット角を示す。また、断層の深部と浅部のそれぞれで求めた応力解と天生、金山谷における断層スリップデータを比較すると、断層の深部で求めた応力解に対するミスフィット角の方が小さい。

筆者らは阿寺断層においても主断層面から得られた断層スリップデータが微小地震に基づく応力解と調和的であるという結果を得ている (藤内ほか, 2011)。主断層面から得られる断層スリップデータと微小地震に基づく応力解の比較は、断層が活断層であるかどうかの判断として使える可能性がある。一方、菅沼谷における断層スリップデータが他と傾向が異なることについては、菅沼谷露頭付近の地形データを検討し、菅沼谷露頭の断層が最近の活動では動いていない、あるいは断層の屈曲などによる局所的応力などの可能性を検討する必要がある。また、天生、金山谷の結果と微小地震に基づく応力解の比較は、断層運動がより深部の応力に支配されていることを示唆している。

キーワード: 跡津川断層, 応力逆解析, 断層スリップデータ, 微小地震, 活断層

Keywords: Atotsugawa Fault, stress tensor inversion, fault slip data, microearthquakes, active fault

能登半島地震の断層への応力集中モデル

A stress concentration model for the 2007 Noto Hanto earthquake fault

飯尾 能久^{1*}, 高田 陽一郎¹, 鷲谷 威², 歪集中帯大学合同地震観測グループ¹

Yoshihisa Iio^{1*}, Youichiro Takada¹, Takeshi Sagiya², Group for the Atotsugawa Joing Observation¹

¹ 京都大学防災研究所, ² 名古屋大学環境学研究科

¹DPRI, Kyoto Univ., ²Nagoya Univ.

2007年能登半島地震の余震のメカニズム解を用いた応力逆解析により, Kato et al.(2010)は, 深さ 6-10km では逆断層的な応力場であるのに対して 0-4km では横ずれ型な応力場となることを見出した. この深さ変化は, 断層面上のすべり方向の深さ変化と調和的であり (Ozawa et al., 2008), 本震の発生前から存在していたと考えられる. 深さ変化の原因として, 北東-南西に圧縮軸を持つベンディングが提案されているが (Kato et al., 2009), この方向は最大圧縮応力の方向ではないため, その可能性は低いと思われる.

跡津川断層の FEM モデルにおいて, 下部地殻に存在する深部延長のすべりにより, 断層周辺では横ずれ型, 断層から離れるにつれて逆断層型となることを報告した. 能登半島地震の断層は跡津川断層から離れたところに位置しており, 合同観測データの解析等によっても, 周辺は基本的には逆断層的な応力場となっていると考えられる. そのため, 跡津川断層と同様に, 深部延長のすべりによって上記の特異な応力場の解釈を試みた. ここでは, Okada(1992)を用いたフォワードモデリングによりすべり量を求めた.

まず, 深さ 10km 以深の地殻内に鉛直な断層を仮定する. これは, Kato et al.(2010) が本震の震源付近に推定しているものと同様の走向を持つものである. 逆断層的な応力場の下でも, この断層は横ずれを起こし, その直上に横ずれ型の応力集中を引き起こす. 10km 以浅には本震断層と同様に傾斜 63° の断層を仮定した. 長さ 22km 幅 11km であるが浅部・深部の 2 つに分割している. 上記の鉛直な断層のすべりによる応力集中により, この断層の深部でも横ずれ的なすべりを起こすものと推定される.

Kato et al.(2010) では, 深さ 10km 以深で水平面内応力の大きさがほぼ同じであることも報告している. そこで, 以下のような方針で各断層のすべり量を決定した. 遠方応力場として, 鉛直応力は ρgh , 最小圧縮応力は鉛直応力と同じ, 最大圧縮応力は摩擦係数 $\mu=0.4$ と静水圧を仮定して最小圧縮応力から計算した. ただし, 深さ 10km 以深では鉛直応力との差は一定であるとした. 深さ 10km 以深で水平面内の差応力がほぼゼロとなるように鉛直断層のすべりを決定し, 浅部では観測結果に合うようなすべり分布を試行錯誤的にサーチした. 3つの断層のすべりを深部から 50m, 30m, 10m とすることにより, 断層近傍においては, 深さ 8km では逆断層的なのに対して, 深さ 2km では横ずれ型の応力場を再現することが出来た.

跡津川断層においては, 下部地殻内の低速度・低比抵抗異常域は大規模なものであり, 深部延長だけでなくその両端部を含めて Weak Zone(変形集中帯)となっている (Nakajima et al., 2008; Yoshimura et al., 2009). さらに, Weak Zone は跡津川断層を超えて走向方向に連続しており, 大きな歪み速度で特長付けられる歪み集中帯 (Sagiya et al. 2000) を形作っていると考えられる. 一方, 能登半島地震の断層においては, 下部地殻内の低速度・低比抵抗異常域から推定される Weak Zone は今回の震源域を超えて続いていないようであり (Kato et al., 2010; Yoshimura et al., 2008), また, 断層の位置は歪み集中帯の外側となっている. そのため, 想定している時間スケールにおいて Weak Zone 以外の領域が弾性的に振る舞うと仮定すると, 一度静的な釣り合い状態が達成されると Weak Zone ではそれ以上の変形は起こらず, 周辺の歪み速度も小さくなる. ブロック運動的な変形は起こらないので, 応力場には過去からのすべりの履歴が反映され, 鉛直断層とその直上の傾斜した断層のトータルのすべりによる応力場が見られると考えられる.

キーワード: 内陸地震, 下部地殻, 応力集中過程, 歪み集中帯, Weak Zone

Keywords: intraplate earthquake, lower crust, stress accumulation process, Niigata-Kobe tectonic zone, Weak Zone

脆性断層岩中の流体を介した元素移動の規則性とメタソマティズムによる究極の脆性断層岩

Systematics of element migration via fluids in cataclasites and ultimate cataclasites by metasomatism

竹下 徹^{1*}, 渡部悠登¹, 金子由実¹, 藤本光一郎², 重松紀生³

Toru Takeshita^{1*}, Watanabe, Yuto¹, Kaneko, Yumi¹, Fujimoto, Koichiro², Shigematsu, Norio³

¹ 北海道大学, ² 東京学芸大学, ³ 産業技術総合研究所

¹Hokkaido University, ²Tokyo Gakugei University, ³AIST

我々は三重県飯高町で中央構造線を貫通して掘削されたボーリングコアを用い、脆性断層岩（カタクレサイト）中の物質移動を解析する研究を進めている。本掘削孔は約 474 m で中央構造線を貫いているが、上盤側の最下部は厚さ 20 m の領家帯に属するトーナライト起源のウルトラマイロナイトで主として構成されている。本ウルトラマイロナイトは様々な程度にカタクレサイト化を重複して被っており、我々は割れ目密度を指標としたカタクレサイト化の程度に基づき、本脆性断層岩を比較的未変形な岩石、弱カタクレサイト化岩、中カタクレサイト化岩、強カタクレサイト化岩に区分した。その後、すべての試料（全 22 試料）について XRF 全岩化学分析を行った結果、カタクレサイト化の進展とともに全岩化学組成は大きく変化していることが明らかとなった。そこで、Al を不動元素と仮定し、未変形岩 vs 弱カタクレサイト化岩、弱カタクレサイト化岩 vs 中・強カタクレサイト化岩の組み合わせでアイソコン図を作成した所、以下のことが明らかとなった。（1）未変形岩から弱カタクレサイト化岩にかけて質量は約 30% 増加する。また、Si, Na, K が増加する一方、Ca, Fe, Mg が減少する。（2）弱カタクレサイト化岩から中・強カタクレサイト化岩にかけて質量は減少し、最終的に強カタクレサイト化岩では約 25% の質量減少が認められる。また、Ca, Mg, Fe が増加する一方、Si, Na, K が減少する。つまり、未変形岩から弱カタクレサイト化岩にかけての元素移動と逆センスの元素移動を示す。さらに、元素移動は鉱物の増減を生じる結果となるので、偏光顕微鏡下でポイントカウンティングにより鉱物のモード組成を測定した。その結果、弱カタクレサイト化岩中で石英脈の形成、斜長石のセリサイト化、中・強カタクレサイト化岩中では、方解石脈の形成および緑泥石の沈殿が生じており、これらが元素移動と対応していることが明らかとなった。つまり、強カタクレサイト化岩は方解石や緑泥石に著しく富む究極の脆性断層岩となる。これらの質量変化と元素移動・鉱物の増減は、未変形岩から弱カタクレサイト化岩にかけて破壊による体積増加（ダイラタンシー）が生じ、そこにシリカに富む流体が侵入し石英の沈殿が生じた一方、弱カタクレサイト化岩から中・強カタクレサイト化岩にかけては、流体に溶解した石英分が強圧縮によって絞り出されていったことによって説明出来る。しかし、同様に流体に溶けていると思われる Ca, Mg, Fe が何故弱カタクレサイト化岩では鉱物として沈殿せず、中・強カタクレサイト化岩で方解石や緑泥石として沈殿するかは良くわかっていない。Ca メタソマティズムについては、トーナライトだけでなく、苦鉄質岩や超苦鉄質岩でも顕著に生じており、変形に伴う場合とそうでない場合がある。今後、Ca, Mg, Fe の元素移動の過程・機構についての総合的な研究が必要である。

キーワード: 元素移動, メタソマティズム, カタクレサイト, 破壊による体積変化, 溶解と沈殿, アイソコン図

Keywords: element migration, metasomatism, cataclasis, volume change due to fracturing, dissolution and precipitation, isocon diagram

稠密 GPS データによる山形盆地断層帯周辺および東北地方中央部における 2011 年東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動場 Crustal deformation before and after the Tohoku-oki earthquake in the central part of the Tohoku district by GPS data

福田 秀樹¹, 太田 雄策^{2*}, 島田 誠一³, 長谷見 晶子¹, 立花 憲司², 出町 知嗣², 三浦 哲⁴, 加藤 照之⁴

Hideki Fukuda¹, Yusaku Ohta^{2*}, Seiichi Shimada³, Akiko Hasemi¹, Kenji Tachibana², Tomotsugu Demachi², Satoshi Miura⁴, Teruyuki Kato⁴

¹ 山形大学理工学研究科, ² 東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター, ³ 防災科学技術研究所, ⁴ 東京大学地震研究所

¹ Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University, ² Graduate School of Science, Tohoku University, ³ National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ⁴ Earthquake Research Institute, University of Tokyo

[研究背景・目的] 山形盆地断層帯は山形盆地西縁を南北に走り活動区間が寒河江市付近を境に南北に分かれる(遠田・他, 活断層研究, 2008)。鹿目(2012)は2010年-2011年3月に断層帯北部に新設した連続 GPS 観測点データ及び東北大学観測点, 国土地理院電子基準点(GEONET)データを使用し東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動場の空間分布を求め, 地震時の主ひずみは東西方向に 1.5×10^{-5} 伸長, 南北方向に 5×10^{-6} 短縮している事を明らかにした。Ohzono et al. (EPS, in press) はより広域の GPS データを用い東北地方太平洋沖地震時の階段関数的な応力擾乱に対する地殻応答の不均質を推定した。その結果脊梁山地ひずみ集中帯で観測された地殻変形は地震による応力解放に対して理論的に期待される地殻変形に比べ有意に小さい事を示し, それらが下部地殻構造に起因する事を示唆した。本論文では GPS データに基づき山形盆地断層帯を含む東北地方中央部の東北地方太平洋沖地震発生以前から地震後のひずみ分布の時空間変化を把握し, 同断層帯で周辺域と異なるひずみ分布の特徴がみられるか, 断層帯南部北部にひずみ分布の違いがみられるか, 余効変動の中に地形や地下構造を反映する特徴がみられるか検証する事を目的とする。

[GPS データ解析方法] 解析に使用した観測点は GEONET 観測点 54 点, 山形大学の観測点 4 点, 東北大学の観測点 11 点の計 69 点である。解析期間は 2008 年 1 月-2012 年 12 月である。観測解析ソフトウェアは GAMIT/GLOBK ver.10.4 (Herring et al., 2011) を使用した。解析の際には ITRF2005 に準拠した座標値を 1 日毎に各観測点で推定した。

[結果・議論]

東北地方太平洋沖地震以前のひずみ分布をとらえるため, 2008 年 7 月 1 日から 2011 年 3 月 1 日までの期間について年周変化, 半年周変化を考慮して各観測点での変位速度を計算した。さらに, それらの変位速度場を入力として Shen et al. (1996) の方法を利用しひずみ分布を求めた。その結果プレートの沈み込みによって主ひずみでは全体的に東西短縮が顕著であった。山形盆地断層帯を含む山形県南部は主ひずみで北東-南西方向の短縮であり, これは山形盆地南部で発生する微小地震の圧縮軸の方向(古澤他, 地震, 2008)と一致する。断層帯にわずかなひずみの集中が確認されたが, 断層帯南部, 北部のひずみ分布の差はみられない。

次に東北地方太平洋沖地震に伴う地震時ひずみ分布を, 基準期間 2011 年 3 月 3 日~2011 年 3 月 9 日, 比較期間 2011 年 4 月 18 日~2011 年 4 月 20 日として求めた。その結果山形盆地断層帯では主ひずみで 1.5×10^{-5} の東西伸長ひずみが生じていることが確認できた。

さらに東北地方太平洋沖地震後のひずみ分布を求めた。その結果, 東北地方太平洋沖地震の余効すべりに伴って大局的には背弧域において面積ひずみで膨張場が卓越する結果となった。前弧域では太平洋側の海岸線沿いが収縮場, 脊梁山地東側では膨張場になっていることが分かった。一方, 脊梁山地に沿った領域では主ひずみで東西伸長が周辺より小さくなり, 面積ひずみで見ると収縮の領域となっていた。得られたひずみ場が余効すべりでどの程度説明できるかを確認するために, 国土地理院によるプレート境界面での余効すべり分布図を矩形断層一枚で近似してひずみ分布を計算し, 得られたひずみ分布と比較した。その結果, 脊梁山地に沿った面積ひずみでの収縮領域以外は余効すべりによって説明可能であることが分かった。余効すべりでは説明ができない脊梁山地沿いの収縮領域は, Ohzono et al. (EPS, in press) による地震時のひずみ分布においても周囲に比べて膨張量が少ない領域であり, この地域の弾性定数が高い可能性が考えられる。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 地殻変動, GPS, 山形盆地断層帯

Keywords: Tohoku-oki earthquake, Crustal deformation, GPS, Yamagata-bonchi fault zone

長野県北部地震の地殻変動と栄・津南 - 松之山地域の地震テクトニクス Crustal movement of the Nagano-ken Hokubu earthquake and seismotectonics of the Sakae-Tsunan-Matsunoyama district

伊藤 優花^{1*}, 竹内 章²
Yuka Ito^{1*}, Akira Takeuchi²

¹ 富山大学大学院 理工学教育部, ² 富山大学大学院 理工学研究部
¹Grad. Sch. Sci. Eng., Univ. Toyama, ²Grad. Res. Sci. Eng., Univ. Toyama

2011年3月12日3時59分頃、長野 - 新潟県境で深さ8kmを震源とする、M6.7の長野県北部地震が発生した。防災科学技術研究所F-netによる震源メカニズム解は3月12日の本震は逆断層型の地震であり、中越地震や中越沖地震と同様であった。国土地理院による震源域周辺のGPS電子基準点の解析結果によれば、同地震により[松之山]は北東へ39.3cm、[長野栄]は北に4.2cmの水平移動が観測された。これは、NW-SE圧縮の広域テクトニック応力場から期待されるNE-SW走向の逆断層が活動したのでは説明がつかない方向への大きな変位であった。

本震時の電子基準点の変位を詳細に明らかにするため、まずGEONETのGPSデータを解析した。1秒ごとの時系列解析より、長野県北部地震本震時の変位は、本震発生の約4秒間に生じており、永久変位は[松之山]では北向き成分が35.6cm、東向き成分に20.2cm、[長野栄]では北向き成分7.7cm、東西成分0cmであった。[松之山]ではさらに10秒間の弾性的振動が見られた。

防災科学技術研究所(2011)と中埜ほか(2012)による断層モデルを使用して、本震時に地表に生じる変位計算を行った。その結果、[松之山]が上盤に載るような、NE-SW走向で東傾斜の逆断層が活動した場合、本震時と同じ変動パターンをとることが示された。しかし、断層運動だけで本震時の変位量を再現することは難しいことも判明した。

このことは、本震時の変位量を増幅するような地盤の局所的な挙動を示唆する。ひとつの可能性として、松之山地域を特徴づけるドーム(短軸背斜)構造において高速の非弾性~塑性変形による不均等な隆起沈降(すなわち傾動)が起きたとする仮説を立て、[松之山]と[長野栄]での変位をうまく再現でき、地質構造の形成も説明できる、震源断層の2次元モデルを検討した。結果、このドーム構造の発達を、今回の震源断層による被覆層の変形(断層関連褶曲)により説明する仮説は肯定できた。研究対象地域の震源域はひずみ集中帯(Sagiya et al., 2000)に含まれるうえに、北部フォッサマグナ東縁と中央隆起帯西縁の交差する特異点である。このことが今回の長野県北部地震の本質的な原因と言えそうである。

また、震源断層の余効変動を検証するため、本震時以降の64日間についてGPS解析を行った。この期間は東北地震の余効変動が広域的に影響していることから、広域傾向を除去して当該震源域のみの変動とした結果、本震後の「松之山」は北東へ、「長野栄」は東へと変位していた。この変動は、本震と同じ断層が本震後にも活動した余効変動と解釈できるが、同時に「長野栄」の南側で活動したと考えられる横ずれ断層の寄与も指摘できる。

キーワード: 長野県北部地震, ひずみ集中帯, 北部フォッサマグナ, 電子基準点, 断層, ドーム

Keywords: Nagano-ken Hokubu earthquake, Niigata-Kobe Tectonic zone, Northern Fossa Magna, GEONET, faults, dome

2011年3月12日長野県北部の地震に見られる余震分布とCMT解の矛盾, および, この地震が正断層の地震である可能性について

The March 12, 2011, Northern Nagano Prefecture earthquake - a normal fault event?

野津 厚^{1*}

Atsushi Nozu^{1*}

¹ 港湾空港技術研究所

¹ Port and Airport Research Institute

東北地方太平洋沖地震の翌日に起こった長野県北部の地震 (M6.7) は栄村などに深刻な被害をもたらした地震である。この地震について、本震直後 24 時間の余震分布は北東傾斜の断層面を示唆する。しかし、防災科学技術研究所の F-net および気象庁の CMT 解は、余震分布と異なり、北西傾斜または南東傾斜の断層面を示唆している。この矛盾の解決方法について検討を行った。その結果として、この地震が正断層の地震である可能性が示唆された。

まず、本震直後 24 時間の余震分布を見ると、図のように、南西側の余震が浅く、北東側の余震が深い傾向にある。この図から、震源断層は北東側に傾斜する断層であると考えられる。N29E - S29W 方向の鉛直面に対して本震直後 24 時間の余震分布を投影してみると、北東側に傾斜する面上に余震が分布していることが明瞭に読みとれる。傾斜角はほぼ 45° である。一般に大地震の余震分布は断層面の位置、走向、傾斜を決める上で最も有力な情報としてこれまで扱われてきており、例えば 1994 年ノースリッジ地震の場合なども、近傍で 1971 年に発生したサンフェルナンド地震とは逆向きの南傾斜の逆断層と判断される決め手となったのは余震分布である。余震分布だけから傾斜の向きを決めることが難しい地震もあるが、本稿の対象地震については、過去に周辺地域で発生した 2004 年新潟県中越地震 (Kato et al., 2005, GRL) や 2007 年新潟県中越沖地震 (Kato et al., 2008, EPS) と比較しても、余震分布から読みとれる断層面は明瞭であり、この分布から北東傾斜と判断することにはほとんど議論の余地はない。

しかしながら、F-net および気象庁の CMT 解は、余震分布と異なり、北西傾斜または南東傾斜の断層面を示唆している。これが P 波の押し引きの分布であれば初期破壊を表している可能性があるので主破壊とメカニズムが異なっても良いが、CMT 解は主破壊に対応すると考えられるので、CMT 解による断層面 (北西傾斜または南東傾斜) と余震分布から求まる北東傾斜が矛盾することは看過できない問題である。

そこで、両者の矛盾が解決できないか考えてみた。すなわち、走向と傾斜は余震分布から決まるものを用い、すべり角だけをパラメトリックに変化させ、SH 波と SV 波のラディエーションパターン係数の変化を調べたところ、すべり角をマイナス 120° とした場合には、遠方でのラディエーションパターンは「北西傾斜または南東傾斜の逆断層」と類似したものとなることがわかった。つまり、余震分布から決まる北東傾斜の断層面を前提としても、CMT 解を決めるものになっている遠方でのラディエーションパターンは説明できると言える。これが、現時点では両者の矛盾を説明する最も上手い方法である。

ところで、上記の場合、北東傾斜の断層面と「負のすべり角」を組み合わせる必要がある。負のすべり角とはすなわち正断層である。

この地震が正断層の地震であると考え、都合が良いことが他にもある。まず、今回の地震の際、震源直上の二つの観測点 (栄村役場および K-NET 津南) では、いずれも P 波初動は「引き」となっている。もちろん、先に述べたように P 波初動が主破壊に対応しない可能性は残るが、傍証としては重要である。さらに、この地震は、東北地方太平洋沖地震に誘発された地震である可能性がある (Okada et al., 2011, EPS)。仮にこの地震が誘発地震であるとすれば、東北地方太平洋沖地震によって当該地域に新たに加わった応力場が北東 - 南西方向の引張場であることを踏まえると、この地震が正断層の地震と考えた方が自然である。

謝辞: K-NET および SK-net の強震記録を利用しました。記して謝意を表します。

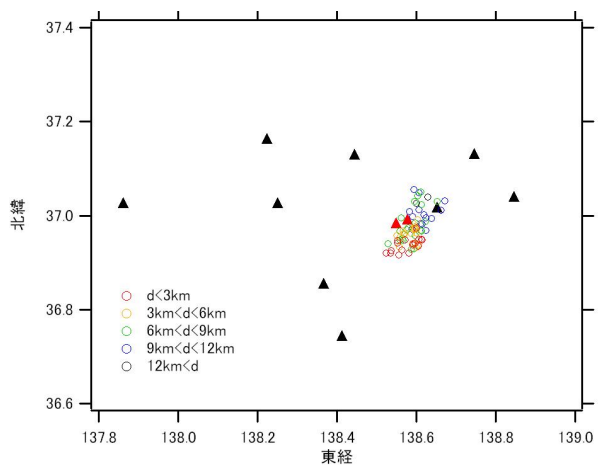
キーワード: 2011 年長野県北部の地震, 余震分布, CMT 解, 正断層, ラディエーションパターン, 誘発地震

Keywords: the 2011 Northern Nagano Prefecture earthquake, aftershock distribution, CMT solution, normal fault, radiation pattern, triggered earthquake

SSS25-P03

会場:コンベンションホール

時間:5月21日 18:15-19:30



方解石双晶応力計を用いた領家帯起源の断層岩の応力の推定

A stress estimation using calcite twin piezometer of fault rock derived from the Ryoke belt along MTL, SW Japan

田中 伸明^{1*}, 藤本 光一郎¹, 重松 紀生²

Nobuaki Tanaka^{1*}, Koichiro Fujimoto¹, Norio Shigematsu²

¹ 東京学芸大学, ² 産業技術総合研究所

¹Tokyo Gakugei University, ²AIST

断層深部にかかる応力の見積もりは重要な問題であるものの、その結論については未だに意見の一致が得られていない。本報告では、方解石結晶内の変形双晶に基づき中央構造線に沿った断層岩の経験した差応力を見積もった。

本報告が対象としている断層岩は、産総研の東南海・南海地震予測のための松阪飯高観測点(掘削長 600m)から回収された。坑井は掘削深度 473.9m で MTL を貫通し、上盤に領家帯の花崗岩類、下盤に三波川帯の変成岩が分布する。領家帯の花崗岩類はマイロナイト化を含めた断層活動を受けており、脆性領域では 4 種の応力場の変遷を経験した(重松ほか, 2010)。また、X 線回折(XRD)および薄片観察により、領家帯起源の断層岩の中には方解石脈の豊富な箇所(深度)が多数存在することが確認されている(田中ほか, 2012)。

従来、方解石結晶内の変形双晶の密度を用いた応力計は方解石のみからなる岩石に限り適用されてきた。しかし、Sakaguchi et al. (2011) は方解石粒子を含む砂岩について、三軸圧縮試験機による載荷圧と試験後に計測された双晶密度との間に高い相関があることを確認し、 $D = 6.0729 \times 10^{-3} \cdot d^{1.7543}$ という関係式を得た。ここで、 D は双晶密度(双晶面数/mm)、 d は差応力(MPa)である。

計測を行なった掘削深度 353.4 m の試料では、方解石結晶の双晶密度は 118.7(標準偏差 87.8)/mm(計測数 63)であった。これを上記の関係式に代入すると、差応力の値として 155MPa $d = 456$ MPa が導出された。

キーワード: 方解石, 双晶, 応力, 領家帯, 中央構造線, 断層岩

Keywords: calcite, twin, stress, Ryoke belt, Median Tectonic Line, fault rock