

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。

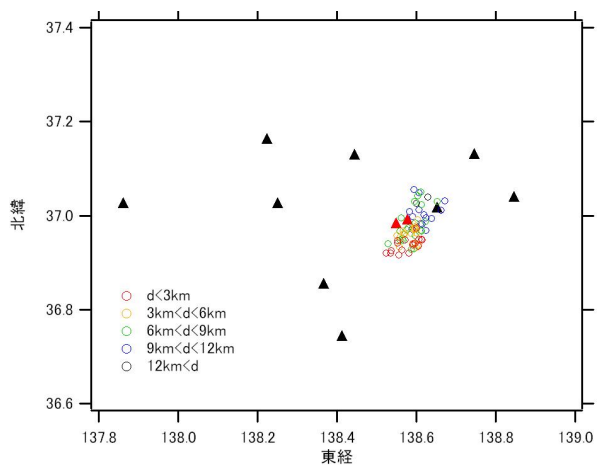
キーワード: 2011 年長野県北部の地震, 余震分布, CMT 解, 正断層, ラディエーションパターン, 誘発地震

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