

## 2011年東北地方太平洋沖地震前後の主要活断層帯周辺における地震活動度変化とその解釈

### Change in seismicity rate around major active faults due to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

石辺 岳男<sup>1\*</sup>, 島崎 邦彦<sup>1</sup>, 佐竹 健治<sup>1</sup>, 鶴岡 弘<sup>1</sup>

ISHIBE, Takeo<sup>1\*</sup>, SHIMAZAKI, Kunihiko<sup>1</sup>, SATAKE, Kenji<sup>1</sup>, TSURUOKA, Hiroshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup> Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(気象庁マグニチュード9.0)の前後で、東北地方や中部日本に分布する主要活断層帯の周辺において、明瞭な地震活動度の変化が観測されている。中部日本など震源域から離れた活断層帯における地震活動度変化は、本震による正の静的クーロン応力変化(以下 CFF と略記する)で概ね説明することができる。一方で、東北地方の逆断層帯などにおける活発化は、活断層帯の断層パラメータ(走向、傾斜、すべり角)で計算された CFF では説明が困難である。東北地方において本震後に活発化した領域では、従来の逆断層型とは異なる、正断層型や横ずれ型のメカニズム解をもつ地震が多く発生しており、その分布は本震前の震源と相補的である。このことは、地殻内の応力分布がもともと空間的に強い不均質性を有していた可能性を示唆する。

大地震の発生頻度は一様ではなく、プレート間(巨)大地震の前後に集中して発生する傾向にある(Shimazaki, 1978)。例えば、1896年の明治三陸地震の発生から2ヵ月半後には、陸羽地震(M7.2)が秋田県と岩手県の県境にある真昼山地の直下で発生し、大きな被害を及ぼした。陸羽地震の震源域では、明治三陸地震後に活発な群発的活動があったことが報告されており(Imamura, 1913)、活断層帯周辺における3月11日の地震前後での地震活動度変化を調査することは、活断層帯で発生する大地震への影響や地殻の応力状態を評価するうえで重要である。

そこで本研究では、地震調査研究推進本部によって選定されている主要活断層帯の周辺における地震活動度変化を調査し、その断層パラメータで計算された CFF との整合性を議論した。具体的には、それぞれの活断層帯から5 km以内に本震前1年間、本震後8ヵ月間に発生したM1.0以上の地震を抽出し、累積頻度曲線、M-Tダイアグラム、ならびに震源分布を図化した。震源カタログは確定震源が公開されている期間(2011年2月末まで)は気象庁一元化震源を、以降(2011年3月から)は暫定震源を用いた。本震による活断層帯における CFF は、GPSと海底地殻変動から推定された余効変動を含めたモデルから推定された値(地震調査委員会, 2011)を用いた。

地震発生率が10倍以上増加したのは、境峠・神谷断層帯主部、北伊豆断層帯、真昼山地東縁断層帯、長町 利府線断層帯、横手盆地東縁断層帯北部、牛伏寺断層、十日町断層帯西部、六日町断層帯南部、長井盆地西縁断層帯、高田平野東縁断層帯、猪之鼻断層帯である。

このうち、境峠・神谷断層帯主部、北伊豆断層帯、牛伏寺断層帯では、断層のごく近傍において地震活動の明瞭な活発化が認められ、また東北地方太平洋沖地震による CFF の増加と調和的である。一方、真昼山地東縁断層帯、横手盆地東縁断層帯北部、猪之鼻断層帯における地震活動の活発化は、その活断層帯の断層パラメータ(走向、傾斜、すべり角)を仮定した CFF では説明が困難である。特に真昼山地東縁断層帯と横手盆地東縁断層帯北部は、CFF が大きな負値であるにもかかわらず活発化している。活発化した領域は、本震前の逆断層型の地震が活発であった領域とは異なり、またそのメカニズムもほとんどが横ずれ型である。このことは、地殻内の応力分布が空間的に不均質で、もともと横ずれ場であった領域が選択的に活発化しているものとして解釈することができる。なお、会津盆地東縁断層帯や2008年岩手・宮城内陸地震(M7.2)の余震域のように、本震後に余震活動が収束あるいは静穏化した領域も見られ、これらの静穏化は CFF の減少と調和的である。

他の活発化した断層帯は、見かけの活発化であり、断層の地震活動が活発化したのではない。長町 利府線断層帯、長井盆地西縁断層帯は、周辺で活発化したクラスターの活動を含むことによる。十日町断層帯西部、高田平野東縁断層帯、六日町断層帯南部では、いずれも付近で発生した3月12日の長野・新潟県境の地震(M6.7)に伴う余震の影響とみられる。

動的 CFF による地震活動度の活発化も報告されており、また流体の移動による間隙圧変化やその他の要因も考えられる。デクラスタリング処理や震源分布の精査に基づく、より定量的な議論が今後の課題である。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 地震活動度変化, 主要活断層帯, 静的クーロン応力変化

Keywords: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Change in seismicity, major late Quaternary active faults, static changes in the Coulomb Failure Function

## 東北沖地震によって誘発された群発地震活動の拡張 ETAS モデルによる解析 The modified ETAS analysis on earthquake swarms induced by the Tohoku earthquake

熊澤 貴雄<sup>1\*</sup>, 尾形 良彦<sup>1</sup>

KUMAZAWA, Takao<sup>1\*</sup>, OGATA, Yosihiko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 統計数理研究所

<sup>1</sup>The Institute of Statistical Mathematics

The ETAS model provides a good estimate of earthquake intensity when the underlying mechanism is uniform, or stationary. Any diversions of it from the data hence imply seismicity anomalies involved temporally into the focal region. Activation and quiescence caused by stress changes from outside are one of such anomalies. Relatively long-lasting changes can be treated by the ETAS model with one or a few change-points; in which framework all or part of ETAS parameters are estimated separately and independently across those change-points. This method, however, has troubles when changes occur gradually over time or kicks in for a short period of time, or appears repeatedly. For such cases, alongside the change-point framework, we consider the following more flexible form of misfit functions  $q(t)$ 's which estimate the misfits of the ETAS model from data.

We here adopt two forms of misfit functions. Both of them are to be estimated as the best modifications of the ETAS model to data, evaluated at each occurrence time of event. Because of this large parameterized nature, we use the Bayesian smoothing method to estimate them. The first misfit function modifies the overall reference ETAS intensity itself;

$$\lambda'(t) = \lambda(t) * q(t). \quad (\text{model1})$$

Any large diversions of  $q(t)$  from unity reveals misfit of the ETAS model and hence suggests anomalies in seismicity. The second misfit function re-estimate the background component of the ETAS intensity:  $\mu$ , which is originally constant, as a time-varying function  $\mu(t)$  in the form

$$\mu'(t) = \mu * q(t), \quad (\text{model2})$$

so that the estimated function let us follow the change in the background seismicity which is most susceptible to certain causes among the ETAS parameters. We check the characteristics of these functions with simulated data first, then applied them to some of inland earthquake clusters triggered by the Tohoku Earthquake as well as the data sets with swarm events, to which the normal ETAS model poorly fits. The data sets include earthquakes on Nagano-Niigata prefecture boundary (M6.7), eastern Shizuoka (M6.4), Fukushima Hamadori (M7.0) and swarm events in north-west of Lake Inawashiro.

キーワード: 東北沖地震, ETAS モデル, 群発地震, ベイズ平滑化, ミスフィット

Keywords: Tohoku earthquake, ETAS model, swarm, Bayesian smoothing, misfit

## 高密度地震観測に基づく誘発地震活動域の地震波速度構造～茨城県北部・福島県南東部～

### Normal-faulting seismic sequences in Ibaraki and Fukushima Prefectures triggered by the Mw9.0 Tohoku-oki Earthquake

加藤 愛太郎<sup>1\*</sup>, 五十嵐 俊博<sup>1</sup>, 酒井 慎一<sup>1</sup>, 小原 一成<sup>1</sup>, 武田 哲也<sup>2</sup>, 飯高 隆<sup>1</sup>, 岩崎 貴哉<sup>1</sup>, 東北地方太平洋沖地震合同観測グループ<sup>1</sup>

KATO, Aitaro<sup>1\*</sup>, IGARASHI, Toshihiro<sup>1</sup>, SAKAI, Shin'ichi<sup>1</sup>, OBARA, Kazushige<sup>1</sup>, TAKEDA, Tetsuya<sup>2</sup>, IIDAKA, Takashi<sup>1</sup>, IWASAKI, Takaya<sup>1</sup>, Group for the aftershock observations of the 2011 Tohoku-oki Earthquake<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 防災科学技術研究所

<sup>1</sup>ERI University of Tokyo, <sup>2</sup>National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

The 2011 M9.0 Tohoku-Oki Earthquake triggered widespread seismicity throughout the Japanese island arc including Hokkaido and Kyushu regions. In particular, a significant increase in the shallow seismicity was observed in the minutes following the main-shock along the Pacific coast of NE Japan, notably the northern part of Ibaraki Prefecture and the southern part of Fukushima Prefecture. The most striking feature of the induced seismicity is that the focal mechanisms reveal normal faulting with a T-axis orientated in a roughly E-W direction. Several large magnitude events including the maximum 7.0 earthquake have occurred during the sequence. It is very important to understand why such intensive earthquake swarm activity associated with large magnitude events was triggered therein.

We have, therefore, conducted a series of temporary seismic observations through a dense deployment of about 60 portable stations after outbreak of the intensive seismic swarm. We manually picked P- and S-wave arrival times of earthquakes using waveforms retrieved from the dense seismic network. We determined high-resolution three dimensional velocity structures applying the double-difference tomography method [Zhang and Thurber, 2003] to the datasets.

At the northern part of the Ibaraki prefecture, depth-sections of hypocenters show an earthquake alignment dipping westwards at 40 to 50-degree at depths shallower than 10 km. On the other hand, hypocenters at the south-east part of the Fukushima prefecture show diffused pattern, consisting of many small seismic clusters. Most of hypocenters appear to be located along velocity boundaries between high- and low- velocity bodies. Note that a low velocity body is clearly imaged beneath the hypocenter of the largest M7.0 event (2011/04/11) in this seismic sequence.

Keywords: triggered seismicity, velocity structure, earthquake

## 臨時余震観測に基づく阿武隈南部の正断層型誘発地震の特徴

## Characters of induced earthquakes with normal faulting in southern Abukuma based on a temporal aftershock observation

青柳 恭平<sup>1\*</sup>, 上田 圭一<sup>1</sup>

AOYAGI, Yasuhira<sup>1\*</sup>, UETA, Keiichi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 電力中央研究所

<sup>1</sup> CRIEPI

阿武隈南部では東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) に伴って誘発地震が活発化し、本震の1ヶ月後に起きた福島県浜通りの地震 (M7.0) では、正断層型の明瞭な地表地震断層が生じた。本研究では、一連の誘発地震活動の特徴を明らかにするために、阿武隈南部地域で約2ヵ月間の稠密余震観測を行い、トモグラフィ解析により、地下の速度構造とそれに基づく震源分布を求めた。この結果、誘発地震は主に低速度域で発生していることが明らかになった。高速度域は変成岩類、低速度域は花崗岩に対応しており、誘発地震は地質構造に規制されて発生していると考えられる。また、地表地震断層が生じた井戸沢断層の両側で地震活動度の違いが明瞭に見られた。その境界には深部に連続する西傾斜の地震活動があり、井戸沢断層の震源断層と思われる。断層に直交する断面での傾斜は、深さ10km付近までは鉛直に近く、深さ10~18kmで60°Wである。一方、湯ノ岳断層の西側では、南西側に約35度で傾斜する地震活動が見られる。両者は地下で収斂している可能性が高い。誘発地震のメカニズム解は正断層型が卓越するが、T軸(引張軸)方位は一定していない。このため、中間圧縮主応力 $\sigma_2$ は最小圧縮主応力 $\sigma_3$ とほぼ同じ大きさで、水平に向くことが示唆される。対象地域では単純な東西引張場とはなっておらず、地域毎に変化する $\sigma_3$ 軸の方位に直交するような既存の弱面で地震が誘発されたと考えられる。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 誘発地震, 正断層, 余震観測, 地殻構造

Keywords: The 2011 Tohoku-Oki earthquake, Induced earthquake, Normal fault, Aftershock observation, Crustal structure

## 富士川河口断層帯の総延長と最近千年間の活動性 Fault length and the past millennium activity of the Fujigawa-kako Fault Zone

林 愛明<sup>1\*</sup>, 飯田健太<sup>2</sup>, ラオ ガン<sup>3</sup>, ヤン ビン<sup>3</sup>  
LIN, Aiming<sup>1\*</sup>, IIDA Kenta<sup>2</sup>, RAO Gang<sup>3</sup>, YANG Bing<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 静岡大学大学院, 防災総合センター, <sup>2</sup> 静岡大学理学部地球科学科, <sup>3</sup> 静岡大学大学院

<sup>1</sup> Graduate School of Science and Technology, Shizuoka Univ., Japan, <sup>2</sup> Institute of Geosciences, Faculty of Science, Shizuoka Univ., Japan, <sup>3</sup> Graduate School of Science and Technology, Shizuoka Univ., Japan

富士川河口断層帯はフィリピン海プレートとユーラシアプレートとの境界部である駿河トラフの陸上延長部に位置する日本最大級の逆断層である。地震調査研究推進本部(2010)は、この断層帯の長さは26kmで、断層の最新活動は13世紀後以降18世紀前半までで、おおむねで150年から300年に一度の割合(ケースa)と6世紀以降から9世紀以前で1300年から1600年ごと(ケースb)に大規模(M8)の地震が起きる可能性があるとして推定している。しかし、これらの推定は直接的な断層活動の根拠がほとんどなく、ボーリング掘削やトレンチ調査で確認された地層の分布深度の違いや局部の地層変形などの間接的な証拠によるものであるため、信頼性の低いものと考えられている。

我々の研究室のこれまでの調査結果により、本断層帯の推定長さは35kmであることとその最新活動は1500年前以降であることが示された(田中ほか, 2003a,b, 2004)。本研究では、これまでの研究の一環として、富士川河口断層帯の中部-北部の調査・断層最新活動性の再評価を行った。その結果、この断層帯は富士川河口から富士山北西麓の大室山にかけて総延長36kmに達すること、貞観噴火(紀元864年)の富士山溶岩(青木ヶ原溶岩)を含む新期富士山溶岩と溶岩流面の上に発達したガリー(gully)の堆積物が断層によって2-4m変位されていることが明らかになった。また、トレンチ調査と炭素放射線年代測定および火山灰の分析により、千年前後の地層の変位を確認することができた。これらの最近の調査結果から、富士川河口断層帯は貞観噴火(紀元864年)以降に活動したことが示されている。歴史地震記録と合わせて、この断層帯の最新活動と過去千年間に東海地域で発生した3つの大地震: 紀元1096年永長地震, 1707宝永地震, または1854年安政東海地震との関連性についての検討を進めている。本講演では、断層帯北部地域で新たに発見した活断層の変動地形・野外調査・トレンチ・年代測定と火山灰分析の結果を持ち合わせて、富士川河口断層帯の総延長と最新断層活動を報告する予定である。

本断層帯北部地域で新たに発見した活断層の詳細分布については、本セッションのポスター(飯田ほか)の発表をご参照ください。

### 参考文献

- 1) 田中秀人・林 愛明・丸山 正(2003a), 富士川河口断層帯芝川断層の完新世における活動性. 構造地質研究会・春の例会, 静岡, 2003年3月15-16日。
- 2) 田中秀人・林 愛明・丸山 正(2003b), 富士川河口断層帯芝川断層の完新世における活動性. 2003年地球惑星合同学会, 東京, 2003年5月。
- 3) 田中秀人・林 愛明・丸山 正: 富士川河口断層帯芝川断層の完新世における活動性. 2004年1月, 北淡活断層シンポジウム2004, 兵庫県北淡町。
- 4) 地震調査研究推進本部(2010), 富士川河口断層帯の評価(一部改訂)。54ページ。

キーワード: 富士川河口断層帯, 東海地震, 貞観噴火溶岩, 永長地震, 安政東海地震, 宝永地震

Keywords: Fujigawa-kako Fault Zone, Tokai Earthquake, Jogan lava, Eichou Earthquake, Ansei-Tokai Earthquake, Hoei Earthquake

## プレート境界型巨大地震に誘発される内陸活断層地震

### Active fault earthquakes triggered by mega thrust earthquakes on plate boundaries

吾妻 崇<sup>1\*</sup>, 松多 信尚<sup>2</sup>

AZUMA, Takashi<sup>1\*</sup>, MATSUTA, Nobuhisa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>産総研 活断層・地震研究センター, <sup>2</sup>名古屋大学 地震火山研究センター

<sup>1</sup>Active Fault and Earthquake Research Center, AIST, <sup>2</sup>Earthquake and Volcano Research Center, Nagoya University

2011年東北地方太平洋沖地震がもたらした地殻変動および地震動は、内陸活断層の地震発生に対しても影響を与えている。長野県・新潟県境付近の地震(M6.7)、静岡県東部の地震(M6.4)、福島県浜通りの地震(M7.0)などは、3月11日の本震に誘発された地震と考えられている。とくに、福島県浜通りの地震は、既知の活断層が活動して最大変位量が2mに及ぶ正断層の地表地震断層が出現しただけでなく、通常の応力場では動きにくいと考えられる活断層が周辺で大地震が発生した際の一時的・地域的な応力状態の変化によって活動する可能性があることを知らしめた点で注目される。国の地震活動評価においては、牛伏寺断層、立川断層、三浦半島活断層群などの活断層における地震発生確率が、東北地方太平洋沖地震によって高まったことが指摘された。巨大海溝型地震の前後に内陸活断層の活動性が高かったことは過去にも経験的には知られていたが、両者の関係について地球科学的な観点から明らかにしていくことが今後の課題として重要である。今回の一連の地震活動に関する調査研究成果のほか、過去の地震記録に基づく事例や海外における同様な事例についても検討する。

キーワード: 活断層, 誘発地震, プレート境界地震

Keywords: active fault, triggered earthquake, plate boundary earthquake

## 2 時期の高解像度 DEM を用いた数値地形画像解析により抽出した、平成 23 年 (2011 年) 福島浜通りの地震による地表変動 Estimation of ground movement by the 2011 Earthquake in Hamadori, Fukushima Prefecture on April 11, from the Geomorphic

向山 栄<sup>1\*</sup>  
MUKOYAMA, Sakae<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 国際航業株式会社  
<sup>1</sup> Kokusai Kogyo Co., Ltd.

筆者は先行研究において、2 時期の高解像度 DEM を用いて、画像マッチングの手法を応用し、大変形を伴わない地表面の 1m オーダーの変動を面的、定量的に、かつ容易に把握する新しい手法を開発し (特許第 4545219 号登録)、平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震時に地表断層が出現した地域の地表面変位量を精度良く計測できることを示した。本研究では、同じ手法を平成 23 年 4 月 11 日の福島県浜通りの地震 (M7.0) で地表地震断層が出現した領域に適用し、地表面の変位の抽出を試みた。

使用した地形データは、2006 年 2 月 ~ 2007 年 1 月および 2011 年 4 月の地震後の航空レーザ測量による 2 時期の 2mDEM である。画像解析に用いる数値地形画像には、格子点における傾斜角度を白黒濃淡で表した傾斜度図を用い、画像マッチングには、MATLAB で記述された MPIV を 3 次元解析に使用できるように改良したソフトウェアを用いた。数値地形画像マッチングで抽出できる変位量は、グリッドサイズの 1/10 程度以上であり、2mDEM を用いた場合の分解能は、約 20cm となる。

調査地域全体としては、井戸沢断層西側セグメントの西側が相対的に低下する変状が認められる。井戸沢断層西側セグメントの北部では、明瞭な西側低下の地表地震断層が認められるが、地震によって生じた低崖の一部は、移動するマスーブメントと境界を共有している可能性がある。西側セグメントの中部においては、地表地震断層直近における水平方向の変位は小さい (20 程度以下)。また、西側セグメントと東側セグメントとの間の地表面の変位は小領域ごとに異なっているが、相対的に南方に移動し、地震断層を挟んで右横ずれの成分を持つ漸移的な変位が認められた。この領域の地表には顕著な変状が認められていないが、微小な変状の分布は、表層の変位方向や変位量の急変する、相対的に変形量の大きい領域と一致しているかもしれない。

キーワード: 活断層, DEM  
Keywords: active fault, DEM

## 2011年4月11日福島県浜通りの地震で出現した地震断層の特徴と活動履歴 Characteristics and paleoseismic history of the surface rupture of the April 11, 2011 earthquake at Iwaki City

堤 浩之<sup>1\*</sup>, 遠田晋次<sup>2</sup>, 安田大剛<sup>1</sup>, 杉戸信彦<sup>3</sup>, 小俣雅志<sup>4</sup>, 郡谷順英<sup>4</sup>, 森 良樹<sup>4</sup>, 杉山達哉<sup>1</sup>, 早瀬亮介<sup>5</sup>  
TSUTSUMI, Hiroyuki<sup>1\*</sup>, Shinji Toda<sup>2</sup>, Hirotake Yasuda<sup>1</sup>, Nobuhiko Sugito<sup>3</sup>, Masashi Omata<sup>4</sup>, Yorihide Kooriya<sup>4</sup>, Yoshiki Mori<sup>4</sup>, Tatsuya Sugiyama<sup>1</sup>, Ryousuke Hayase<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科地球物理学教室, <sup>2</sup> 京都大学防災研究所, <sup>3</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科, <sup>4</sup> 株式会社クレアリア, <sup>5</sup> 株式会社加速器分析研究所

<sup>1</sup>Department of Geophysics, Kyoto University, <sup>2</sup>Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, <sup>3</sup>Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, <sup>4</sup>Crearia Inc., <sup>5</sup>Institute of Accelerator Analysis Ltd.

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)では,長さ約500kmで幅約200kmのプレート境界が破壊した。この地震は東北日本の応力状態を大きく変え,いくつかの地域で誘発地殻内地震が多発している。福島県南東部のいわき市周辺も,3月の地震後に正断層型の地殻内地震活動が活発になった地域である。4月11日には,いわき市直下でMw6.6の正断層型の地震(福島県浜通りの地震)が発生し,既存の活断層図で確実度IIあるいは推定活断層とされていた湯ノ岳断層や井戸沢断層に沿って明瞭な地震断層が現れた。我々の研究グループでは,この地震に伴って出現した地震断層を詳細にマッピングし,さらに井戸沢断層に沿って出現した地震断層のトレンチ掘削調査を行ったので,その結果を報告する。

4月の地震に伴って,並走する湯ノ岳断層と井戸沢断層に沿って共に長さ約15kmの明瞭な地震断層が現れた。断層変位は西側低下の上下変位が卓越し,最大上下変位量は湯ノ岳断層で約80cm,井戸沢断層で約2.2mである。湯ノ岳断層に沿っては系統的な左横ずれ変位が観察されるが,その量は上下変位の1/5以下である。両断層に沿って出現した地震断層の断層面は,高角度で西-南西傾斜している。井戸沢断層は西落ちの低断層崖で特徴付けられ,また湯ノ岳断層は南西側に地形の低所が位置する。よって4月11日の地震では,これらの高角西傾斜正断層が,3月11日の地震によりもたらされた東西伸張の応力場のもとで再活動したと考えられる。

井戸沢断層の活動履歴を明らかにするために,いわき市田人町黒田字掛橋の別当川南岸で,地震断層を横切るトレンチ掘削調査を行った。長さ約15m,幅約7m,深さ約3.5mのトレンチを掘削したところ,別当川が運んできた段丘礫層とそれを覆う細粒層(一部腐植質),およびそれらを変位させる高角度西傾斜の正断層が露出した。地層の堆積・変形構造に基づき,4月の地震を含む2回の断層活動の痕跡を見いだした。堆積物に含まれる有機質試料の年代測定を行ったところ,2011年の地震のひとつ前の断層活動の時期は,13000-16500年前であることが明らかとなった。すなわち,2011年の地震に匹敵する津波を伴ったと考えられる869年の貞観地震時には,井戸沢断層は活動しなかった。福島県南東部には,湯ノ岳断層や井戸沢断層と同様の北西走向の正断層が数条分布しているが,これらの活動履歴は不明である。今後,これらの断層群を対象としたトレンチ掘削調査を進める必要がある。

キーワード: 福島県浜通りの地震, 誘発地震, 正断層, 地震断層, トレンチ掘削調査

Keywords: Fukushima-ken Hamadoori earthquake, triggered earthquake, normal faults, surface rupture, trenching



## 東北地方太平洋沖地震によって活動が誘発された断層の調査 Investigation of fault activity was induced by Tohoku district Pacific offing earthquake

丸山 美智子<sup>1\*</sup>, 黒澤英樹<sup>1</sup>, 草野高志<sup>2</sup>, 葛木建大<sup>3</sup>, 内田淳一<sup>4</sup>, 道口陽子<sup>4</sup>, 堤英明<sup>4</sup>

MARUYAMA, Michiko<sup>1\*</sup>, KUROSAWA Hideki<sup>1</sup>, KUSANO Takashi<sup>2</sup>, KATSURAGI Kenta<sup>3</sup>, UCHIDA Junichi<sup>4</sup>, MICHIGUCHI Yoko<sup>4</sup>, TSUTSUMI Hideaki<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 応用地質株式会社, <sup>2</sup> 株式会社蒜山地質年代学研究所, <sup>3</sup> ナチュラルコンサルタント株式会社, <sup>4</sup> 独立行政法人 原子力安全基盤機構

<sup>1</sup>OYO CORPORATION, <sup>2</sup>Hiruzen Institute for Geology, <sup>3</sup>Natural Consultant, <sup>4</sup>JNES

福島県浜通りの地震(2011年4月11日, M7.0)により, 福島県いわき市に地表地震断層が出現した。地表地震断層は, 震源域を中心にほぼ北西-南東方向に1条と南北方向に1条確認されている。

北西-南東方向の地表地震断層は, その北西部の約9kmの区間は, いわき市常磐藤原町から遠野町入遠野にわたり活断層である湯ノ岳断層(活断層研究会, 1991; 中田・今泉編, 2002)に一致あるいは並行に, その南東部の約6kmの区間は, 活断層の記載はないものの既存の地質断層である湯ノ岳断層および藤原断層(須貝ほか, 1957; 加納ほか, 1973)に沿って確認されている。一方のほぼ南北に出現した地表地震断層は, その南部の約6kmの区間は, 田人町黒田斉道から田人町旅人にわたり活断層である井戸沢断層(活断層研究会, 1991; 中田・今泉編, 2002)沿い, 北部の約8kmの区間は, いわき市田人町石住から田人町黒田斉道にわたり活断層の記載は無いものの, 加納ほか(1973)の向斜軸に沿って確認された。

これらの地表地震断層の変位センスは, 正断層型と言われており, このような井戸沢断層などの過去の「正断層としての」活動履歴は, 日本海溝沿いの巨大地震のレコーダーとして機能している可能性がある。そこで, 本調査では, 井戸沢断層および湯ノ岳断層の特徴, 活動履歴の調査を実施し, 内陸活断層と巨大地震の活動の関連性についての検討を行うための情報を収集した。以下, 調査内容とその概要をし, 発表当日では, それらのうちいくつかの詳細を報告する。

### 【井戸沢断層】

掛橋地点: ピット掘削調査, ボーリング調査

低下側で細粒の堆積物が厚く, 基盤岩が深いことを確認した。

塩ノ平地点: ボーリング調査

低下側で堆積物が厚く, 基盤岩が深いことを確認した。

石住地点: ピット調査

低下側で堆積物が厚く, 礫層中に不整合を確認した。

### 【湯ノ岳断層】

常磐藤原地点: トレンチ調査, 露頭観察

トレンチ壁面観察及び水路復旧工事法面観察から, 低下側(支流の上流側)に細粒堆積物が厚いことを確認した。

### 謝辞

福島県浜通りの地震において発生した地表地震断層周辺では, 家屋の倒壊や農林地の地盤災害など, 深刻な被害が生じた。地震発生から半年以上経過してもなお, 地震被害の大きさから現地の災害復旧作業が進まない中, トレンチ掘削地点の土地所有者様には調査の趣旨をご理解くださり, 多大なご協力をいただきました。また, 露頭調査では水路工事の担当者・関係者, 水田の調査には地元の方々やいわき市農地課に多大なご協力をいただきました。以上の方々に厚くお礼を申し上げます。

キーワード: 井戸沢断層, 湯ノ岳断層, 地表地震断層

Keywords: Idosawa Fault, Yunodake Fault, Surface earthquake fault

## 2011 M 7.0 いわき地震断層:井戸沢・湯の岳断層に発達する剪断帯と断層岩, 地震テクトニクスの意義

### Shear zones and fault rocks developed along the coseismic normal fault zones of the 2011 M 7.0 Fukushima earthquake

林 愛明<sup>1\*</sup>, 遠田晋次<sup>2</sup>, ラオ ガン<sup>3</sup>, 土橋 悟<sup>3</sup>, ヤン ビン<sup>3</sup>  
LIN, Aiming<sup>1\*</sup>, Toda Shinji<sup>2</sup>, Rao Gang<sup>3</sup>, Tsuchihashi Satoru<sup>3</sup>, Yan Bing<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 静岡大学大学院/理学部, <sup>2</sup> 京都大学防災研究所, <sup>3</sup> 静岡大学大学院

<sup>1</sup> Graduate School of Science and Technology/Faculty of Science, Shizuoka Univ., Japan, <sup>2</sup> Disaster Prevention Research Institute, Kyoto Univ., Japan, <sup>3</sup> Graduate School of Science and Technology, Shizuoka Univ., Japan

The 2011 Mw 9.0 Tohoku (Japan) earthquake generated a violent tsunami and unexpected high tsunami wave that caused great substantial damage and more than 23,500 fatalities along the east-northeast coast of Honshu Island of Japan. Seismic inversion results reveal a maximum thrust slip of up to ~50 m on a 500-km-long fault plane (e.g., Yagi and Nishimura, 2011; Ide et al., 2011). Following this huge earthquake, several large earthquakes of  $M \geq 7$  occurred in the east-northeastern Honshu Island, which are considered to have been triggered by the drastic change of crustal stress caused by the Mw 9.0 earthquake in the east-northeastern Japan. The 2011 M 7.0 (Mw 6.6) Fukushima earthquake occurred on April 11 in Iwaki City, ~250 km southwest of the epicenter of 2011 Tohoku earthquake, is considered to be one of such post-seismic events. Field investigations and InSAR data reveal that the Fukushima earthquake produced two sub-parallel ~15-km-long surface rupture zones with a normal slip sense along the pre-mapped faults: the Itozawa and Yunodake faults striking NNW-SSE and NW-SE, respectively (Tsutsumi et al., 2011).

In this study, to better understand the nature of seismogenic faults, we focused on the internal deformation structures of coseismic shear zones and on fault rocks within the Itozawa and Yunodake faults that triggered the 2011 M 7.0 Fukushima earthquake, and discuss the seismotectonic implications. Field investigations and structural analyses of the coseismic Itozawa and Yunodake fault zones and fault rocks show that i) the main coseismic shear zones consist of a fault core that includes a narrow fault gouge zone of <10 cm in width (generally 1-2 cm) and a fault breccia zone of < 50 cm in width, and a damage zone of ~5-50 m in width that is composed of cataclastic rocks including fractures and subsidiary faults; ii) the foliations developed in the fault core zone indicate a dominantly normal fault slip sense, consistent with that indicated by the coseismic surface rupture; and iii) veinlet cataclastic rocks composed of unconsolidated fault gouges and fine-grained materials are developed within the fault shear zones as simple veins and complex networks. These structural characteristics of the coseismic fault shear zones and cataclastic rocks indicate that the locations of coseismic slip zones associated with the 2011 Fukushima earthquake were controlled by pre-existing shear zones of the Itozawa and Yunodake faults that have repeatedly moved as normal faults of seismogenic source since the formation of cataclastic rocks.

キーワード: 2011Mw 9.0 東北日本地震, 2011M7.0 いわき地震, 地表地震断層, 井戸沢断層, 湯の岳断層, 断層岩・断層剪断帯  
Keywords: 2011 Mw 9.0 Tohoku (Japan) earthquake, 2011 M7.0 Fukushima earthquake, coseismic surface rupture, Itozawa fault, Yunodake fault, fault shear zone and fault rocks

## いわき市周辺の広帯域 MT 観測 Wideband magnetotelluric survey over Iwaki region

小川 康雄<sup>1\*</sup>, 上嶋 誠<sup>2</sup>, 市来 雅啓<sup>3</sup>

OGAWA, Yasuo<sup>1\*</sup>, UYESHIMA, Makoto<sup>2</sup>, ICHIKI, Masahiro<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学火山流体研究センター, <sup>2</sup> 東京大学地震研究所, <sup>3</sup> 東北大学大学院理学研究科

<sup>1</sup>Volcanic Fluid Research Center Tokyo Institute of Technology, <sup>2</sup>ERI, Univ. Tokyo, <sup>3</sup>Tohoku Univ.

Magnetotelluric measurements were carried out around Iwaki area where high seismicity with normal fault mechanism has been observed after the 2011 Magnitude 9.0 Tohoku-Oki Earthquake. We made 24 magnetotelluric measurements over the area in order to reveal the three-dimensional distribution of fluids which may be responsible for the high seismicity. In this presentation, we will show the preliminary results of the survey.

キーワード: いわき, 地震活動, 比抵抗, 流体, 断層

Keywords: Iwaki, seismicity, resistivity, fluid, fault

## 福島県・山形県県境付近における2011年3月からの地震活動 Seismic Activity around the Border of Fukushima and Yamagata Prefectures

速水 絵里圭<sup>1\*</sup>, 大竹 和生<sup>1</sup>, 宮岡 一樹<sup>1</sup>, 武田 清史<sup>1</sup>, 島津 勝也<sup>1</sup>, 藤原 政志<sup>1</sup>

HAYAMI, Erika<sup>1\*</sup>, OHTAKE, Kazuo<sup>1</sup>, MIYAOKA, Kazuki<sup>1</sup>, Kiyoshi TAKEDA<sup>1</sup>, Katsuya SHIMAZU<sup>1</sup>, Masashi FUJIWARA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象庁

<sup>1</sup>JMA

### 1. 地震活動の概要

2011年3月18日から、福島県と山形県の県境付近(喜多方市、北塩原村、米沢市の境界付近)の深さ5~10km程度で、まとまった地震活動が見られている。活動は8月上旬頃までに徐々に北東及び南西へ広がり、中央、西、北東、南西の4つのクラスタを形成した。2011年12月末現在、このうち主に中央、北東、南西のクラスタで活動が続いている。

活動は全体として、2011年4月末頃まで非常に活発であった。その後はやや低下して継続しており、2011年12月末までにM2.0以上の地震が1700個以上発生した。この活動でこれまでに発生した最大の地震は、2011年5月7日13時34分に西のクラスタで発生したM4.6の地震である。この地震の発生後、このクラスタでは特に地震活動が低下した。

### 2. 発震機構

この付近で知られている主要活断層帯としては、長井盆地西縁断層帯(この地震活動の北東)、会津盆地東縁断層帯(この地震活動の南)、会津盆地西縁断層帯(この地震活動の南西)が挙げられる。地震調査研究推進本部によると、いずれも南北方向に伸びる断層帯で、長井盆地西縁断層帯と会津盆地西縁断層帯は断層の西側が、会津盆地東縁断層帯は断層の東側が相対的に隆起する逆断層と推定されている。

この活動で発生している地震の規模は比較的小さく、発震機構が決まっていない地震が多数だが、気象庁は2011年12月末までに24個の発震機構解を決定している。そのほとんどは逆断層型で、圧力軸は東西方向から北西-南東方向となっており、周辺の活断層帯と調和的である。

### 3. b値

この地震活動について、M2.0以上の地震150個ずつを用いて活動の初めから100イベントごとにb値を求めて時間変化を調べたところ、活動が全体として非常に活発であった2011年4月末頃まではb値が1.5~1.6程度と高く、その後は1.0~1.3程度と低くなっていた。

### 4. 気象庁の対応

この地震活動は浅いところで発生しており、比較的規模が小さい地震でも震央周辺では揺れを感じている。本発表では、この地震活動に関連した気象庁の地元への対応についても述べる。

## 2011年長野県北部地震被害集中域の地下構造研究への地中レーダの適用 Application of GPR to a near-surface structure study for damaged zones of the 2011 Naganoken-Hokubu earthquake

宮田 隆夫<sup>1\*</sup>, 大塚 勉<sup>2</sup>, 吉岡祥一<sup>1</sup>  
MIYATA, Takao<sup>1\*</sup>, Tsutomu Otsuka<sup>2</sup>, Shoichi Yoshioka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 神戸大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 信州大学全学教育機構

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Kobe University, <sup>2</sup>School of General Education, Shinshu University

【はじめに】東日本太平洋沖地震 (Mw9.0) の誘発地震の一つとみなされる長野県北部地震 (M6.7) が 2011 年 3 月 12 日に発生した。この震源域には、青倉断層、宮野原断層等の活断層が分布する (池田ほか, 2002)。長野県北部地震によって、山間部における大規模な崩壊や耕地・道路の被害が発生したほか、多数の家屋に被害が出ている。とくに栄村における家屋の全半壊の被害は 202 件あり、そのうち最も被害の集中した地域は青倉地域 (39 件) で、次いで森地域 (32 件) であった (大塚ほか, 2012)。また、地震直後の調査で、長野県下水内郡栄村宮野原地域に地表変状の存在が報告されている (松多ほか, 2011)。そこで、家屋被害の大きかった同村青倉・森地域と地表変状の見られる宮野原地域において、浅部地下構造を明らかにするために、地中レーダ探査を 2008 年の 8 月に行った。

【地質概説】森地域では、森宮之原駅の南側に隣接する部分において家屋の被害がとくに顕著であり、また泥水の噴出も駅南西側に隣接する部分で発生した。森地域の集落は段丘上に発達しているが、駅付近は地形的に小規模な凹地を形成している。駅北西側の谷の沢水が、鉄道路線に平行な人工の流路を通して東南東に流下している。駅付近の凹地と河川の流路が人工ものでなければ、山向きに傾斜した不自然な地形である。一方、青倉地域の集落は段丘上に発達している。北東-南西方向の旧国道に沿って並んだ家屋の被害がとくに顕著であった。一方、栄村に隣接する新潟県中魚沼郡津南町上郷大井平地域では、南側が低い撓曲崖 (池田ほか, 2002) が知られている。この撓曲崖を南北に横切る道路にラプチャーがいくつも現れた。

【解析方法】地中レーダ解析は、SIR-3000 システム (GSSI 社) と周波数 100MHz のアンテナ 2 台を使用して調査し、得られたデータを解析ソフト (RADAN6) で下記のような処理を行い、反射シグナルのパターンの変化から、浅部地下構造を推定する方法である。測定はレンジを 100ns (ナノ秒) および 150ns にして行った。処理はまず水平方向のスケール補正を行い、次いで高周波のシステムノイズと低周波のノイズを除去するためのハイパスフィルター処理及びローパスフィルター処理をし、必要に応じてマイグレーション処理を行った。さらに、ワイドアングル測定の結果にもとづいて、電磁波の伝播速度と往復時間から深度情報を得て、往復時間で表された時間断面を深度断面に直した。地中レーダ探査は、森地域で 4 測線 (MRI-1, 2, 3, 4) を、青倉で 3 測線 (ARA-1, 2, 3), 宮野原で 2 測線 (MRA-1, 2) 行った。

【結果】(1) 青倉地域では、北西-南東方向にとった測線 (ARA-1 と 3) の地中レーダ画像において、それぞれ反射パターンの不連続が認められる。(2) 森地域では、JR 森宮之原駅の南西側に反射強度の弱い、おそらく含水率が高い層が存在していることが明らかになった。また、(3) 宮野原地域の地震性ラプチャーが現れた崖を横切る測線の地中レーダ画像には、反射パターンの明瞭な不連続が認められる。

【まとめ】(a) 長野県北部地震によって、家屋の被害が大きかった青倉地域と森地域には、含水率が高い層が存在していることが明らかになった。森地域には少なくとも森宮之原駅の南西側に小規模な凹地状の地形に沿って分布する軟弱層の存在が考えられる。この軟弱層は、森宮之原駅北西から段丘上に流出し、南東方向の千曲川に向けて流下する沢の流路を埋積する堆積物である可能性が高い。森地区における家屋の被害や液状化現象による泥水の噴出は、軟弱層の分布予想域に集中している。(b) 青倉地域では、旧国道を含む北東-南西方向の領域に軟弱層の存在が予想される。この軟弱層の分布予想域に被害が集中しているようにみえる。その軟弱層の成因は明らかでないが、北東-南西方向の明瞭な物性境界が存在することから、その境界に伏在断層が存在する可能性がある。(c) 宮野原地域の反射パターンの不連続は、池田ほか編 (2002) の宮野原断層に相当すると考えられる。以上のように、地震性地表変状や被害集中域の浅部地下構造の把握に地中レーダは有効であることがわかった。

【文献】[1] 大塚 勉・宮田隆夫・吉岡祥一, 2012, 長野県北部地震による栄村の被害と地盤条件に関する地中レーダを用いた調査・長野県北部地震災害調査報告書, 信州大学山岳科学総合研究所, 8p.; [2] 松多信尚・杉戸信彦・廣内大助, 2011, 2011 年 3 月 12 日長野県・新潟県県境付近の地震に伴う地表変形 (速報). 名古屋大学地震火山・防災研究センター, 2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震 (M.9.0) の特集ページ (2011 年, 4 月 28 日更新) <http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/INFO/tohoku20110311/chiyou.110317.pdf>; [3] 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志編, 2002, 第四紀アトラス, 東京大学出版会, 254p.

キーワード: 長野県北部地震, 地中レーダ探査, 撓曲崖, 宮野原断層

Keywords: Naganoken-Hokubu earthquake, ground-penetrating radar (GPR), flexure scarp, Miyanohara fault

## 富士川河口断層帯北部根原地域の活断層の新発見とその最新活動

### Distribution and activity of active faults in the northern segment of the Fujikawa-kako fault zone, central Japan

飯田 健太<sup>1\*</sup>, 林愛明<sup>2</sup>, ラオガン<sup>3</sup>, ヤンビン<sup>3</sup>  
IIDA, Kenta<sup>1\*</sup>, Aiming Lin<sup>2</sup>, RAO Gang<sup>3</sup>, YANG Bing<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 静岡大学理学部地球科学科, <sup>2</sup> 静岡大学大学院, 防災総合センター, <sup>3</sup> 静岡大学大学院

<sup>1</sup>Institute of Geosciences, Faculty of Science, Shizuoka Univ., Japan, <sup>2</sup>Center for Integrated Research and Education of Natural Hazards, Shizuoka Univ., Japan, <sup>3</sup>Graduate School of Science and Technology, Shizuoka Univ., Japan

富士川河口断層帯は静岡県富士市の富士川河口から南北に延びている活断層帯であり、駿河トラフの陸上延長部のプレート境界と考えられている。そのため、この断層帯は駿河トラフ・南海トラフ沿いでの海溝型地震、いわゆる東海・東南海・南海という3連動地震の想定震源域に含まれている。これまでの研究は、ボーリング調査などの間接的な情報により断層を認定しているものがほとんどであり、断層または断層の変形構造を直接確認した研究は少ない。また、先行研究のほとんどは中部・南部セグメントを中心に行われており、本研究の調査地域である北部・根原セグメントについては活断層の存在が確認されていなかった。

本研究では、空中写真の判読に加えて、1:25,000地形図と10mメッシュのDEMデータを用いて、立体画像の解析により、活断層の判読を行った。比較するため、中部・南部セグメントにおいても、立体画像による変動地形の解析を行った。これらの判読の結果に基づいて変動地形と断層の野外調査を行った。その結果、中部・南部セグメントにおいてこれまで確認されていなかった新たな活断層の存在が明らかになった。北部・根原セグメントにおいても富士火山の旧期溶岩流面(11,000-8,000 y. a)に、東ないし南東側へ傾斜している比高数十mの連続した崖が、新期溶岩流面(2,200yr. B.P)にも南東側へ傾斜している比高数mの連続的な低崖が確認された。これらの崖は、溶岩の流下方向とは逆方向に傾斜しており、溶岩皺を横切っている。また、南部セグメントおよび北部根原セグメントにおいては崖沿いに断層露頭が確認された。以上のことから、これらの連続的な低崖・高崖は活断層の累積変位によって形成されたと考えられる。連続した崖は、これまで富士川河口断層帯の北限とされていた位置(芝川周辺)よりも、北へさらに約10km延びていることを確認することが出来た。従って、富士川河口断層帯の全長は約36km以上である可能性が高いと考えられる。そして、旧期溶岩流にみられる崖の比高は最大で約70mであることから根原セグメントにおいて、富士川河口断層帯の平均鉛直変位速度は最大で約7mm/yrに達し、最新活動時期は古くとも新期溶岩流の流下以後、つまり2200年前以降であると考えられる。最新活動性と過去千年間に東海地域で発生した歴史大地震との関係については、林ほかの発表で議論される予定である。

キーワード: 富士川河口断層帯, 活断層, 地形解析

Keywords: Fujikawa-kako fault zone, active fault, terrain analysis