

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^{1*}, 島崎 邦彦¹, 佐竹 健治¹, 鶴岡 弘¹

ISHIBE, Takeo^{1*}, SHIMAZAKI, Kunihiko¹, SATAKE, Kenji¹, TSURUOKA, Hiroshi¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ 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^{1*}, 尾形 良彦¹

KUMAZAWA, Takao^{1*}, OGATA, Yosihiko¹

¹ 統計数理研究所

¹The 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: μ , 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^{1*}, 五十嵐 俊博¹, 酒井 慎一¹, 小原 一成¹, 武田 哲也², 飯高 隆¹, 岩崎 貴哉¹, 東北地方太平洋沖地震合同観測グループ¹

KATO, Aitaro^{1*}, IGARASHI, Toshihiro¹, SAKAI, Shin'ichi¹, OBARA, Kazushige¹, TAKEDA, Tetsuya², IIDAKA, Takashi¹, IWASAKI, Takaya¹, Group for the aftershock observations of the 2011 Tohoku-oki Earthquake¹

¹ 東京大学地震研究所, ² 防災科学技術研究所

¹ERI University of Tokyo, ²National 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^{1*}, 上田 圭一¹

AOYAGI, Yasuhira^{1*}, UETA, Keiichi¹

¹ 電力中央研究所

¹ 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 σ_2 は最小圧縮主応力 σ_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 σ_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^{1*}, 飯田健太², ラオ ガン³, ヤン ビン³
LIN, Aiming^{1*}, IIDA Kenta², RAO Gang³, YANG Bing³

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

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