

## 地震災害リスク評価のための調査研究 Research project for evaluations of the earthquake hazards in inland areas after the 2011 Tohoku earthquake

桑原保人<sup>1\*</sup>  
Yasuto Kuwahara<sup>1\*</sup>

**Abstract:** We have conducted a research project for clarifying the subsurface fault structures and paleoearthquake activity in induced earthquake focal regions due to the 2011 great Tohoku-oki earthquake. We have also gathered basic data sets, such as subsurface shallow structures in the Kanto plain and digital elevation model (DEM) data and deformation of geological strata in the relatively large region of eastern Japan to study further seismic hazard assessments for future inland earthquakes.

**Keywords:** 2011 Tohoku earthquake, triggered earthquake, aftershock, active fault, trench survey, geophysical exploration, borehole survey, airborne laser mapping

### 1. 地震災害リスク評価研究のねらい

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震（マグニチュード M9.0；以下、東北地震）が投げかけた多くの課題のひとつに、東日本の内陸各地で地震活動が活発になったことがある（例えば、Toda et al., 2011；桑原, 2012）。大きな地震の後に震源域から離れた場所で活発化する地震活動は、「広義の余震」あるいは「誘発地震」と呼ばれている（桑原, 2012）。第1図は、(a)が地震前3ヶ月、(b)が地震直後3ヶ月、(c)が最近2014年6月11日までの3ヶ月間の東日本一帯の地震活動を示す。気象庁の一元化震源で深さ30km以下、Mが0以上の地震の震央をプロットしてある。図(b)の黒丸で囲った領域は内陸で特に地震活動が活発になったと言える場所である。西方では、糸魚川-静岡構造線周辺まで活発になっている。図(c)の最近の活動を見ると、図(b)の丸で囲った多くの領域で、2011年東北地震前の活動と比較して依然として活発であることが分かる。また関東地方では深さ100km程度の地震活動も含め全体に活発になっており、これらの活動も2011年東北地震の誘発地震と言える（例えば、遠田, 2012）。

上記の誘発地震活動の中で特に注目されるものとして、第1図(b)のAで示す茨城・福島県境付近の一連の群発的な地震活動は、発生する地震の多くがほぼ東西方向に引っ張り軸をもつ正断層型の地震となっている（例えば、Imanishi et al., 2012）。これは、大局的にはほぼ東西圧縮の場にある東北地方のなかで、東西張力の地震が発生しているということ非常に珍しい地震活動であると言える。また、2011年4月11日に同領域内で発生した福島県浜通りの地震(M7.0)の時には、この領域にある活断層群の中の井戸沢断層と湯ノ岳断層沿いに

正断層成分の卓越した地表地震断層が現れた（例えば、栗田ほか, 2011, 丸山ほか, 2011, Otubo et al., 2012）。この2つの断層は、活断層研究会(1991)によれば、断層運動のセンスとしては正断層成分と横ずれ成分を含み、活動度に関してはあまり高く不明とされていた。

このように東日本一帯で2011年東北地震の影響を受け、活発で特異な地震活動と言うべき状況が生じている。このような状況は、例えば中禮(2002)が東北地方の過去の海溝型巨大地震と内陸の地震の関係で示したように、少なくともあと10年程度は続く可能性がある。また、地震後2年近く経った現在も東北沖地震の震源域のより深部では余効すべりが継続しており（国土地理院, 2012）、この余効すべりの今後の推移と内陸への影響も予断を許さない状況と言える。

産総研ではこのような状況を理解し、また今後の内陸の地震リスクを適切に評価することを目的に、次章で示すような調査とデータ整備を実施した。

### 2. 調査内容と調査地域

調査は、主に次の6つのテーマに分かれて実施した。

- 1) 茨城・福島県境付近の活断層の活動履歴や詳細な地下構造調査。
- 2) 阿武隈山地全域の低活動断層の空間分布・活動性に関するデータ整備。
- 3) 糸魚川-静岡構造線（糸静線）活断層系中部の活動履歴調査。
- 4) 関東にある、深谷・綾瀬川・立川断層などの地震による地盤変形や地震動を評価するための、反射法地震波探査、ボーリング調査、詳細地形調査。
- 5) 首都圏の地盤構造評価のための基準ボーリング調査

本報告は「巨大地震による複合的地質災害に関する調査・研究 中間報告」に平成25年度以降の調査・研究実施内容を追記したものである

\*Corresponding author

1. 活断層・地震研究センター (Active Fault and Earthquake Research Center, AIST) (現所属: 活断層・火山研究部門 (Institute of Earthquake and Volcano Geology, AIST))

と微動探査。

6) 東日本一帯の変形構造を系統的に明らかにするための基礎データとして、6-1) 詳細地形データおよび6-2) 地層の走向・傾斜データの整備。

それぞれの調査範囲と調査内容の関係を第 2 図に示す。

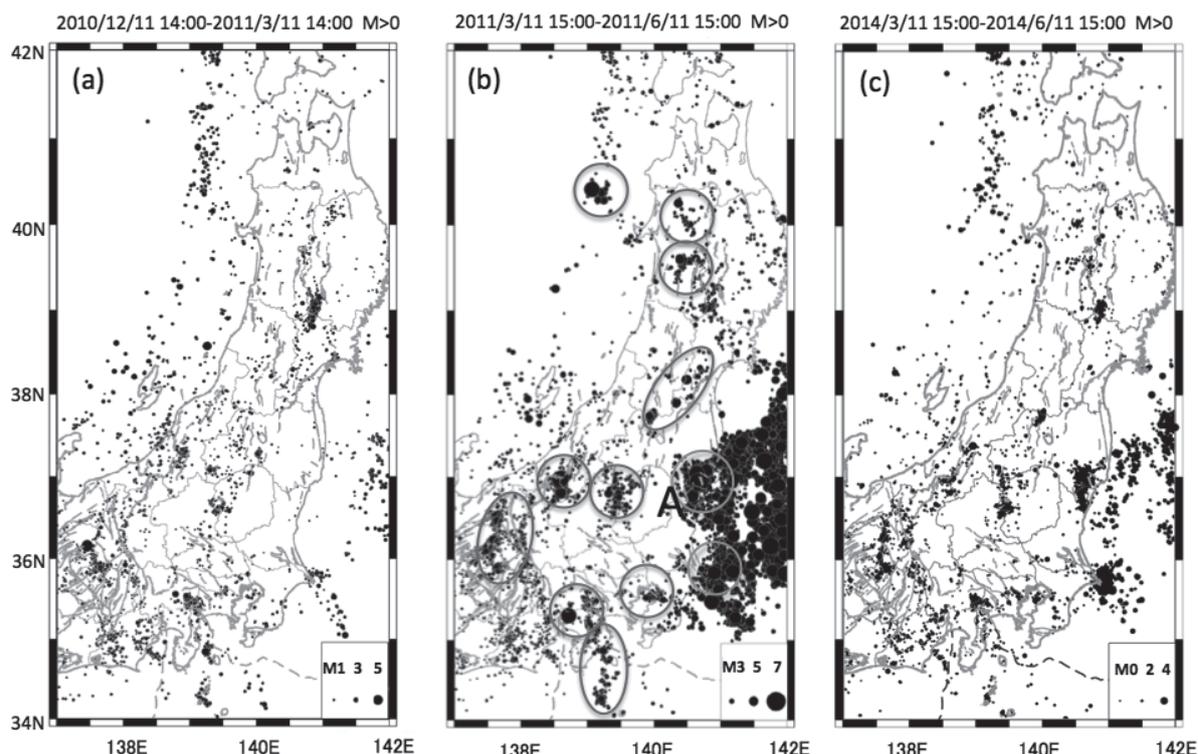
1) に関しては、井戸沢断層（塩ノ平断層）ではすでに堤・遠田(2011)や石山ほか(2011)でトレンチ調査が行われている。また湯ノ岳断層については東京電力によって、ボーリング・トレンチ調査が実施され、後期更新世以降に活動したことが認められるとされている(東京電力, 2011)。産総研ではこれらの調査とは別の地点あるいは別の断層でトレンチ調査等を実施し、同地域にある複数の断層群としての活動履歴の把握を行った。地下構造調査としては、井戸沢断層・湯ノ岳断層を両方カバーできるように反射法地震波探査、重力調査、電磁気探査を実施した。なお、「井戸沢断層」および「湯ノ岳断層」の読み方（ローマ字表記）については、これまでいくつか示されているが、本報告書では、現地での地名の読

み方や、黒澤ほか(2012)、堤・遠田(2012)での表記を参考に、それぞれ「いとざわだんそう (Itozawa fault)」および「ゆのだけだんそう (Yunodake fault)」としている。

2) では、井戸沢断層・湯ノ岳断層が従来の知見では発生の可能性が殆ど考慮されていなかった前弧域での正断層活動であることから、阿武隈山地周辺に分布する活構造・リニアメント・断層破碎帯の空間分布・活動性に関する基本的データを取得することを目標とした。

3) では、2011年6月30日に糸静線中部の牛伏寺断層近傍で、誘発地震の一つと見られるM5.5の地震が発生した。ここでは、この付近の活断層系で地震が発生した場合の範囲で地震が起こるのかを検討するために、過去の地震の活動時期と変位量を復元することを目的とした、トレンチ・ボーリング調査や詳細地形調査等の古地震学的調査を実施した。

4) では、深谷・綾瀬川断層等での反射法地震波探査・ボーリング調査・土質試験、また立川断層を含む同地域での詳細地形データ整備を行う。これにより、深谷・綾



第 1 図 2011 年東北地方太平洋沖前後と現在の内陸部の地震の震央分布。(a)地震前 3 ヶ月、(b)地震直後 3 ヶ月、(c)最近 (2014 年 6 月 11 日まで) の 3 ヶ月。気象庁の一元化震源データで深さ 30km 以浅、M が 0 以上の地震の震央をプロットしてある。活断層および県境も表示されている。

Fig.1 Epicenter distributions for showing seismic activities before, after the 2011 Tohoku-oki earthquake and present days, (a) 3 month before, (b) 3 months after, and (c) recent 3 months until June 11, 2014. Focal depths are less than 30 km. Earthquake magnitudes are larger than zero.

瀬川断層帯のセグメント境界付近の地下構造の解明, 地震動予測に必要な地下深部の断層形状の推定, また地震が発生した場合のライフライン等被害予測に役立てるため, 地表付近の地盤変形の評価を行いたいと考えている。

5)は, 首都圏の既存の土質ボーリング調査データを, 強震動予測のために必要な地盤データとして活用するために, 千葉県北部において基準ボーリング調査および微動測定を行なった。

6)は, 東北地方に分布する断層の地下形状や活動性を推定するための基礎的なデータの整備を目的としている。

### 3. 主な結果

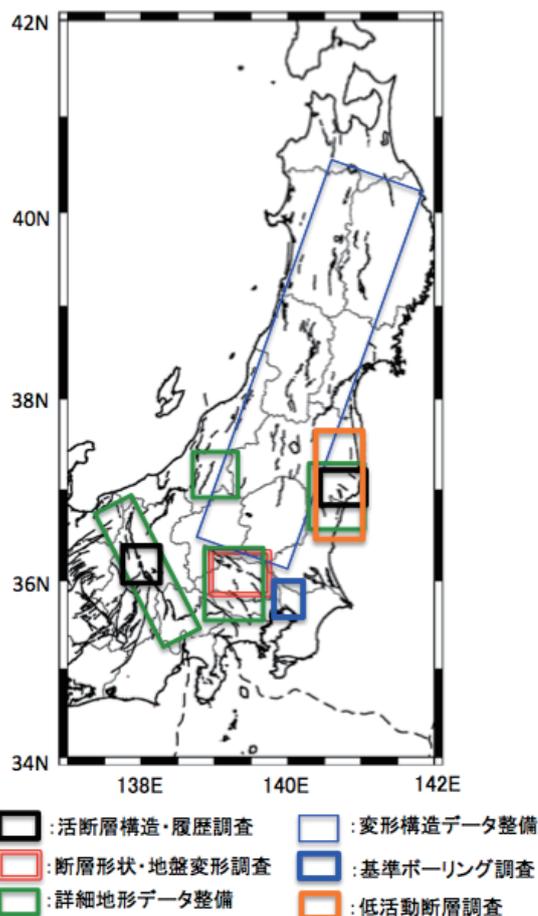
現段階では, それぞれのテーマで基本的なデータセットの取得は終了した状況である。詳細はそれぞれの報告に譲り, ここでは主な成果をまとめておく。

2節1)の茨城・福島県境付近の活断層調査については, 井戸沢断層では活動時期は明らかにされなかったものの, 過去の活動の変位量は今回のものより有為小さかったこと, 湯ノ岳断層では過去の活動時期を示唆するデータが得られた。また地下構造については, 地震, 電磁, 重力探査それぞれで深度数百mから, 場合によっては数kmまでの詳細な地下構造を明らかにしており, 複数の断層のそれぞれの活動の変遷を示している可能性を示し, 興味深い。

2)では既存資料の整理や新たな調査を実施し, 阿武隈山地周辺に分布する活構造・リニアメント・断層破砕帯の空間分布・活動性に関する基本的データを取りまとめた。

3)の糸静線中部の活動履歴調査では, 岡谷断層トレンチによって過去7200年間で4回の地震イベントが認定された。その結果は約1200年前の地震の大きさについて, 従来考えられてきたものとは異なるものであることを示し, さらに古い活動についてもより詳細な活動様式を明らかにするデータを得ることができた。

4)では首都圏に伸びる深谷・綾瀬川断層について, 5測線, 総延長35km弱の地震反射法を実施した。その結果, 従来不明であった, 両断層のセグメント境界付近の構造を明らかにし, また南東側への延伸の可能性は低いことを示した。さらに深谷断層系および元荒川断層帯近傍で深さ約150mの4本の土質ボーリングを実施し, 地質観察, PS検層, 物性試験を実施した。これらから地盤変形評価および地震動評価を目的とし, 断層の変位量および変位形態の推定に必要な堆積層鍵層の深度分布および断層被覆層の物性値を得ることができた。またこの地域の地盤増幅特性を把握するため, 1カ所では孔底と地表部で地



第2図 今回のプロジェクトでの調査内容と調査範囲の関係

Fig. 2 Map showing survey areas.

震計を設置し, 地震観測を継続している。

5)では, 深度50~120m, 合計7カ所で基準ボーリングを掘削し, 基礎的な地質層序データや物性層序データを整備した。またボーリング地点近傍で微動探査を実施し, S波速度構造を提示するとともに, 層相の地域的差異に対応した地盤振動特性を明らかにした。

6)については, 主に国交省の所有する航空レーザー測量データの収集及び必要な地域でのデータ取得を行い, 比較的広い地域での2mDEMデータの整備を行なった。そしてこれらのデータを, ウェブベースで管理・取得できるアーカイブシステムを構築した。また, 秋田県総合地質図幅等の産業技術総合研究所(旧地質調査所含む)以外の主体が整備した地質図の地層走向・傾斜データのデジタル化を行った。

以上, 補正予算で当初予定されていた調査研究項目の

基本的作業は終了した。今後は、茨城・福島県境付近の活断層、糸静線や関東の活断層調査に関しては、これまでに得られたデータも含め、総合的に解釈し成果を公表していく必要がある。また、今回整備したより広域的で基盤的なデータについては、他機関も含め広く地震調査研究に活用されたい。

## 謝辞

震源データは気象庁の一元化震源によりました。作図は産総研活断層データベース ([https://gbank.gsj.jp/activefault/index\\_gmap.html](https://gbank.gsj.jp/activefault/index_gmap.html)) の可視化システムを用いました。

## 文献

- 栗田泰夫・楳原京子・杉山雄一・吉岡敏和・吾妻 崇・安藤亮輔・丸山 正 (2011) 2011 年 4 月 11 日福島県浜通りの地震に伴う湯ノ岳・藤原断層の地表変位ベクトル。地震予知連絡会会報, **86**, 170-171.
- 中禮正明 (2002) 東北日本における火山噴火および内陸地震 ( $M \geq 6.2$ ) と三陸沖の巨大地震 ( $M8$  クラス) との時間的関連性について。地学雑誌, **111**, 175-184.
- Imanishi, K., R. Ando, and Y. Kuwahara (2012) Unusual shallow normal-faulting earthquake sequence in compressional northeast Japan activated after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake. *Geophys. Res. Lett.*, **39**, L09306. doi:10.1029/2012GL051491
- 石山達也・杉戸信彦・越後智雄・佐藤比呂志 (2011) 2011 年 4 月 11 日の福島県浜通りの地震に伴う地表地震断層のトレンチ掘削調査 (速報)。 [http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103\\_tohoku/fukushimahamadoori/#fukushima3](http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103_tohoku/fukushimahamadoori/#fukushima3) (2014 年 10 月 8 日確認)
- 活断層研究会 (1991) 新編日本の活断層—分布図と資料一。東京大学出版会, 437p.
- 国土地理院 (2012) 東北地方の地殻変動。地震予知連絡会会報, **88**, 104-142.
- 桑原保人 (2012) 2011 年東北地方太平洋沖地震で誘発された内陸地震活動の現状と地震災害リスク評価のための調査研究プロジェクトの紹介。地質ニュース, **1**, 172-175.
- 黒澤英樹・楳原京子・三輪敦志・佐藤ふみ・今泉俊文・宮内崇裕・橋本修一・中島秀敏・白澤道生・内田淳一 (2012) 2011 年 4 月 11 日福島県浜通りの地震に伴う地表地震断層—いわき市田人町塩ノ平における露頭観察とボーリング調査 (速報) —。活断層研究, **36**, 23-30.
- 丸山 正・斎藤英二・吾妻 崇・谷口 薫・吉見雅行・林田拓己 (2011) 2011 年 4 月 11 日福島県浜通りの地震に伴い井戸沢断層に沿って出現した地震断層の緊急現地調査報告。 <https://unit.aist.go.jp/actfault-eq/Tohoku/report/dosawa/> (2014 年 10 月 8 日確認)
- Nishimura, T., H. Munekane, and H. Yarai (2011) The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and its aftershocks observed by GEONET. *Earth Planets Space*, **63**, 631-636.
- Okada, T., K. Yoshida S. Ueki J. Nakajima N. Uchida T. Matsuzawa N. Umino A. Hasegawa and Group for the aftershock observations of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (2011) Shallow inland earthquakes in NE Japan possibly triggered by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. *Earth Planets Space*, **63**, 749-754.
- Otsubo, M., N. Shigematsu, M. Takahashi, T. Azuma, K. Imanishi, R. Ando (2011) Slickenlines on fault scarps caused by an earthquake in Iwaki-city (Fukushima Prefecture, Japan) on 11 April 2011. 地質学雑誌, **118**, pp.III-IV.
- Toda, S., R. S. Stein, and J. Lin (2011) Widespread seismicity excitation throughout central Japan following the 2011  $M=9.0$  Tohoku earthquake and its interpretation by Coulomb stress transfer. *Geophys. Res. Lett.*, **38**, L00G03. doi:10.1029/2011GL047834
- 遠田晋次 (2012) 東北地方太平洋沖地震による首都直下への応力伝播と誘発地震活動の減衰モデル。地震予知連絡会報, **88**, 509-512.
- 東京電力 (2011) 湯ノ岳断層に関する追加調査結果の報告。82p. [http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu11\\_j/images/111227b.pdf](http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu11_j/images/111227b.pdf) (2014 年 10 月 8 日確認)
- 堤 浩之・遠田晋次 (2012) 2011 年 4 月 11 日に発生した福島県浜通りの地震の地震断層と活動履歴。地質学雑誌, **118**, 559-570.