

科学研究費補助金研究成果報告書

平成 24 年 6 月 11 日現在

機関番号：12601

研究種目：特別研究促進費

研究期間：2011 年度

課題番号：23900002

研究課題名（和文） 2011 年東北地方太平洋沖地震に関する総合調査

研究課題名（英文） Comprehensive studies for the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake

研究代表者

篠原 雅尚（SHINOHARA MASANA0）

東京大学・地震研究所・教授

研究者番号：90242172

研究成果の概要（和文）：東北地方太平洋沖地震の震源域に、平成 22 年度に、設置した自己浮上式海底地震計を回収し、本震直後の正確な余震の空間分布を明らかにし、引き続き、海底地震観測を継続し、その後の地震活動を明らかにした。海底地殻変動観測により、地震前後の海底地殻変動の時空間変化を求めた。反射法構造調査により、震源域の正確な堆積層の厚さなどを明らかにした。現地調査により、津波被害の実態を解明し、断層面上のすべりの空間分布を求めた。地震動によって被害を受けた構造物等の状況を把握し、都市防災の観点から広域的な調査を行った。

研究成果の概要（英文）：The ocean bottom seismometers deployed above the source region of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake were recovered and precise aftershock distribution was obtained. The seafloor observations were continued to clear variation of the aftershock activity. The crustal movement after the mainshock was estimated by using seafloor geodetic observations. Seismic reflection surveys revealed seismic structures above the source region. Field surveys for tsunami were carried and slip distribution on the source fault was obtained. Damage of constructions was clarified by filed surveys and widespread survey was also carried out from a view of disaster prevention of urban areas.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|------------|------|------------|
| 2011 年度 | 48,800,000 | 0 | 48,800,000 |
| 総計 | 48,800,000 | 0 | 48,800,000 |

研究分野：理工系

科研費の分科・細目：数物系科学・地球惑星科学

キーワード：東北地方太平洋沖地震・海底地震観測・海底地殻変動・マルチチャンネル反射法・強震動・津波・構造物等被害

1. 研究開始当初の背景

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震は、全世界的に見ても巨大な規模の地震である。この地震により南北約 450km 幅 200km に及ぶプレート境界面が滑り、日本の太平洋沿岸で高さ 15m を超える津波が観測され、未曾有の地震動・津波被害をもたらした。緊急解析の結果では、海溝近くで特に大きな

滑りがあったことがわかっていた。しかしそのすべり量とその空間分布にはかなりのあいまいさがあるという問題があった。このような巨大地震が観測網の充実した地域で発生したために、巨大地震の詳細な発生過程を明らかにできる可能性がある。また、この地震に伴い M7 クラスの余震が多数発生しているほか、今後も M8 クラスの大きな余震の発

生も懸念され、これらについて評価することも重要であった。また、地震発生直後は被災者の救援などが優先され、特に大きな被害を受けた岩手・宮城・福島の現地調査は困難であったが、震災の1か月後からは現地での津波の被害や影響の調査を行うことが可能となった。また、震災直後は回収不可能であった津波波形データにより、津波発生過程の解明に用いることができるようになった。このような巨大地震の発生機構を明らかにし、今後の地震防災に資することは、社会的にも強く要請されている。

2. 研究の目的

今回の巨大地震の震源域はほとんどが海底下であるため、陸上の観測網だけではその全貌は明らかにすることはできない。平成22年度特別研究推進費で海底地震観測を開始した。精度の高い震源分布を求め、震源断層の位置形状を明かし、活動の推移を把握する。また、反射法構造探査を行うことで、震源断層がどのような構造的特徴と関連しているかを解明する。さらに、海底地殻変動観測、地震波解析、津波解析により震源断層モデルを構築する。特に、震源断層付近の海底地殻変動観測により、地震時のすべり量とその空間分布に大きな制約を与える。平成22年度に引き続き、津波高さや被害の現地調査を実施する。また、沿岸・沖合で記録された津波波形のインバージョンから、津波を発生した海底地殻変動の詳細を明らかにする。現地調査により構造物、地盤などの被害状況を調査することにより、地震動による被害の発生メカニズムを解明するとともに、今後の地震動災害を防ぐための資料とする。

3. 研究の方法

平成23年度特別研究促進費「2011年東北地方太平洋沖地震に関する総合調査」は、次の3つの調査課題が計画された。

(1) 海域地震・地殻変動観測調査、海底地形・地殻構造調査

海底地震観測、海底地殻変動観測調査、海底地形・地殻構造調査の3つの調査観測を行い、海域の余震観測による正確な余震の空間分布、および海底地殻変動により震源断層の位置・形状を明らかにする。また、構造調査および海底地形調査により、震源断層および津波発生域の情報を得る。

(2) 津波発生過程の解明と津波被害調査

H22年度には実施できなかった、岩手・宮城・福島県で津波の実態と被害の現地調査を実施する。また、過去に発生した津波と津波高さを比較する。

(3) 強震動発生過程と地震動被害の調査

強震計データ及び地殻変動データなどを多様な手法によって解析し、今回の断層がど

のように破壊されたのかを推定する。また、地震動によって被害を受けた構造物、地盤等の被害状況を現地調査により、詳細に把握すると共に、地震発生に伴い発生した大規模火災等の被害調査を、都市防災の観点から調査する。

4. 研究成果

(1) 本震発生後4日目から開始した余震の海底地震は、震源域を覆う6月までの観測に、引き続き、より精度の高い震源決定を行うために、本震付近と震源域南部における空間的に高密度な海底地震計による観測を行った。回収された海底地震計のデータを用いて、気象庁一元化リストをもとに、観測期間中に海底地震計観測網近傍で発生していると思われる地震に対して、P波およびS波の到着時刻を読み取り、一次元構造による震源決定を行った(図1)。その結果、余震は、震源断層と思われるプレート境界以外に、陸側プレート内にも活発な活動があることがわかった。また、本震時に大きな滑りが推定されている本震付近では、余震活動が低調で有り、特にプレート境界ではほとんど余震が発生していないことがわかった。震源決定された余震の発震機構を、初動極性により求めたところ、深さが20kmよりも深いプレート境界付近で発生している余震は、逆断層型の地震が多いが、陸側プレート内の地震は、正断層型または横ずれ型の発震機構を持つ地震が卓越することがわかった(図2)。

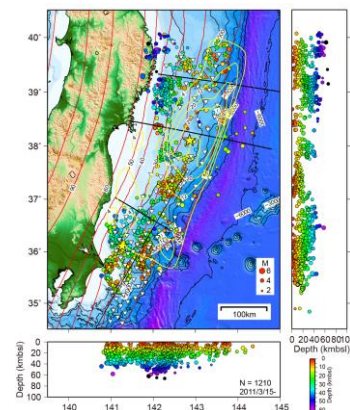


図1 海底地震計による震源決定結果。

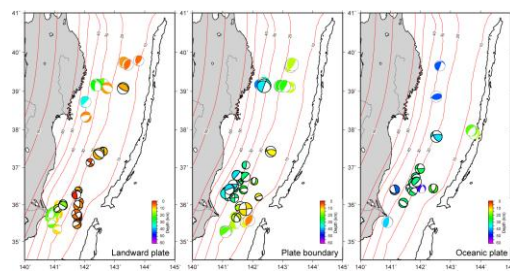


図2 海底地震観測により求められた余震の発震機構。陸側プレート内(左)、プレート境界付近(中)、海側プレート内(右)に分けて表示した。

想定宮城県沖地震震源域には海底地殻変動観測システムが展開されており、地震時変動および余効変動を検出するが可能であった。さらに、分岐断層付近の余効変動の有無を調べることとし、海底間音響測距装置2台および海底水圧計2台を、断層を挟んで設置した(図3)。宮城県沖の2点で地震前後に海底GPS観測を行い、そのうち水深約3500m、海溝軸からの距離約50kmにある観測点では31mの水平変動を観測した。他の観測と合わせると、大きな断層すべりは宮城県沖に集中しており、海溝軸に近いほど大きく、最大で数10mに達すると推定できる(Kido *et al.*, 2011)。宮城県沖には10台程度の海底圧力計が設置されていたが、その大部分は余効変動を観測するために地震後も観測を続けた。海溝軸から約20km陸側に設置してあった圧力計では地震に伴う約5mの海底隆起を捉えた。プレート境界の傾きを考慮すると、最大で80mものすべりがあったと推定された。

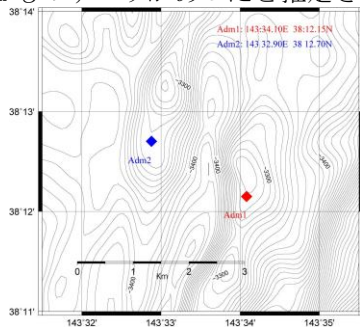


図3 日本海溝陸側の分岐断層を挟んで設置された2台の海底間音響測距装置の位置。

反射法地震探査による地殻構造調査(図4)では、明瞭な地震前後の構造変化は認められなかったが、探査が行われている測線以外にも調査を行い、空間的に高密度に断面を求め、プレート境界の形状が、海溝の西100km程度まで求められたほか、震源域浅部では、正断層の構造が発達していることが明らかとなった(図5)。

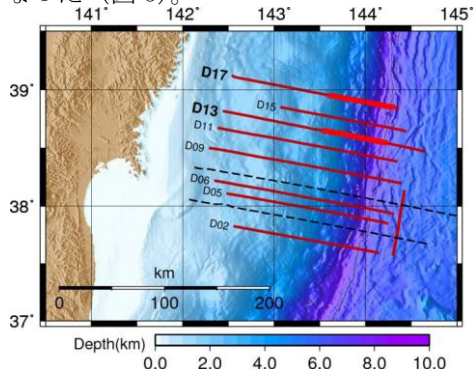


図4 平成23年度に実施した海底地形および反射法地震探査測線。

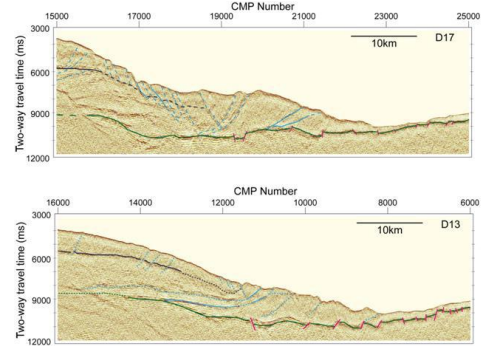


図5 測線D17(上)とD13(下)の反射断面。黒線は、日本海溝から沈み込む海洋プレートの上面(プレート境界)を示す。

(2) 2011年東北地方太平洋沖地震による津波の高さや被害は、多くの大学や機関の研究者等によって調べられ、その結果は東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループとしてまとめられた。同グループのウェブサイトには、5000点を超える調査データが公表されている(図6)。また、詳細な測定場所や測定対象などは多くの報告書に報告されている(例えば都司ほか, 2011)。

三陸海岸はリアス式海岸のため、津波の高さは局地的に大きく異なるが、明治・昭和の津波の高さが測定されたのと同じ地域で測定されたものだけを取り出して比較すると(図7)、三陸海岸北部(北緯40度以北)では2011年の津波の高さは北へ向かって小さくなり、明治・昭和津波の高さと大きくは変わらない。三陸海岸の中部(北緯38.8~40度)では、明治三陸津波と東北地方太平洋沖地震による津波の高さは最大40m近くでほぼ同程度であったが、昭和三陸津波は明らかに小さかった。一方、三陸海岸南部(北緯38.8度以南)では、今回の津波が明治や昭和の三陸津波より明らかに大きかった。茨城県・千葉県沿岸では、津波の高さは北部では8m近くあったが、南へ向かって小さくなった。

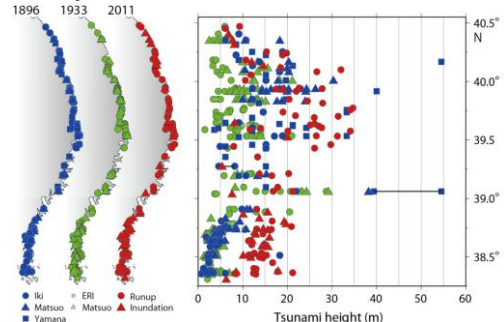


図6 三陸海岸における1896年明治三陸津波、1933年昭和三陸津波、2011年東北地方太平洋沖地震による津波高さの比較。



図7 宮古市田老漁港における津波の被害と明治・昭和の三陸津波の高さを示す表示板。

(3) 強震動、遠地地震波、地殻変動、津波データによる滑り分布には、違いが見られることと、それぞれ分解能が違う。そこで、これらのデータを説明できる滑り分布を求めた。(Yokota *et al.*, 2011)。津波のデータを説明するためには、海溝付近に大きな滑りを必要とすることがわかった。

また、地震動による構造物等被害調査では以下のことが明らかとなった。

① 建築構造物：大きな震度を記録した強震観測点周辺の被害調査（全 35 観測点，調査建物 4000 棟余り）を行った結果、建築構造物の大きな被害は非常に少なかった。これは、1 秒以下の短周期が卓越し、建築構造物に被害を引き起こす 1-1.5 秒応答が小さい、という地震動の特性によるところが大きい。震度 7 を記録した宮城県栗原市や大きな振動被害が生じた宮城県大崎市において、揺れの実態調査を行った。

② 土木構造物：建築構造物同様、土木構造物にも大きな被害は出てない。一方、局所的に非常に大きな被害を受けたものもある。例えば、霞ヶ浦（涸沼川）堤防、鹿島臨海鉄道、ひたちなか海浜鉄道があげられる。広域にわたがる東北道と東北新幹線は、阪神淡路大震災と比較すると、被害が軽微であったことを端的に示している。特に、東北新幹線では、耐震補強が完了している構造物は比較的軽微な損傷に留まった。

③ 地盤構造物：継続時間が長い地震動を受けて地盤・地盤構造物は広域にわたり甚大な被害を受けていた。仙台市での造成宅地地盤の地震被害と、浦安市の液状化被害は、その代表である。規模の大きい余震が頻発したことも地盤構造物の被害をもたらしている。4 月 11 日に発生した浜通り地震によって、断層の出現とともに、いわき市湯元付近で土砂災害が発生している(図 10)。

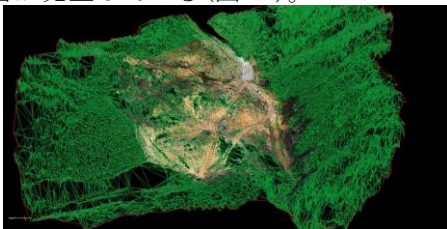


図 10 いわき市湯元付近の土砂崩壊の LIDAR 計測結果。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 40 件)

- ① Obana, K., G. Fujie, T. Takahashi, Y. Yamamoto, Y. Nakamura, S. Kodaira, N. Takahashi, Y. Kaneda, and M. Shinohara, Normal-faulting earthquakes beneath the outer slope of the Japan Trench after the 2011 Tohoku earthquake: Implications for the stress regime in the incoming Pacific plate, *Geophys. Res. Lett.*, **39**, L00G25, doi:10.1029/2011GL050399, 2012.
- ② Ohta, Y., T. Kobayashi, H. Tsushima, S. Miura, R. Hino, T. Takasu, H. Fujimoto, T. Iinuma, and K. Tachibana, T. Demachi, T. Sato, M. Ohzono, and N. Umino, Quasi real-time fault model estimation for near-field tsunami forecasting based on RTK-GPS analysis: Application to the 2011 Tohoku-Oki Earthquake (Mw 9.0), *J. Geophys. Res.*, **117**, B02311, doi:10.1029/2011JB008750, 2012.
- ③ 安田進・原田健二・石川敬祐：東北地方太平洋沖地震による千葉県の被害、*地盤工学ジャーナル*、地盤工学会，**7**, 1, 103-115, 2012.
- ④ Shimozono, T., S. Sato, A. Okayasu, Y. Tajima, M. F. Hermann, H. Liu and T. Takagawa: Propagation and inundation characteristics of the 2011 tohoku tsunami on the central sanriku coast, *Coastal Engineering Journal*, **54**, 1, 2012.
- ⑤ Suppasri, A., F. Imamura, and S. Koshimura, Tsunamiogenic Ratio of the Pacific Ocean earthquakes and a proposal for a Tsunami Index, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, **12**, 175-185, doi:10.5194/nhess-12-175-2012, 2012.
- ⑥ 風間 基樹，2011 年東北地方太平洋沖地震被害の概要と地盤工学的課題，*地盤工学ジャーナル*，**7**, 1, 1-11, doi:10.3208/jgs.7.1, 2012.
- ⑦ 新井健介，境有紀，建物被害と相関を持つ地震動強さ指標を用い構造種別や層数を考慮した地震被害推定システムの開発，*日本地震工学会論文集*，**11**, 4, 88-107, doi:10.5610/jaee.11.4_88, 2011.
- ⑧ Ito, Y., T. Tsuji, Y. Osada, M. Kido, D. Inazu, Y. Hayashi, H. Tsushima, R. Hino, and H. Fujimoto, Frontal wedge deformation near the source region of

- the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, **38** (L00G05), doi:10.1029/2011GL048355, 2011.
- ⑨ Yokota, Y., K. Koketsu, Y. Fujii, K. Satake, S. Sakai, M. Shinohara, and T. Kanazawa, Joint inversion of strong motion, teleseismic, geodetic, and tsunami datasets for the rupture process of the 2011 Tohoku earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, **38**, L00G21, doi:10.1029/2011GL050098, 2011.
- ⑩ Maeda, T., T. Furumura, S. Sakai, and M. Shinohara, Significant tsunami observed at the ocean-bottom pressure gauges at 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, *Earth Planets Space*, **63**, 803-808, 2011.
- ⑪ 都司嘉宣・佐竹健治・石辺岳男・楠本聡・原田智也・西山昭仁・金幸隆・上野俊洋・室谷智子・大木聖子・杉本めぐみ・泊次郎・Mohammad Heidarzadeh・綿田辰吾・今井健太郎・Byung Ho Choi・Sung Bum Yoon・Jae Seok Bae・Kyeong Ok Kim・Hyun Woo Kim, 2011年東北地方太平洋沖地震の津波高調査, *地震研究所彙報*, **86**, 29-279, 2011.
- ⑫ 源栄正人, 東日本大震災の経験と今後の学校教育に向けて, *安全教育学研究*, **11**, 1, 3-6, 2011.

[学会発表] (計 80 件)

- ① Shinohara M., Aftershock activity of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake from ocean bottom seismometer network observation, 2011 AGU Fall Meeting, 2011年12月9日, モスコーンセンター (サンフランシスコ・米国)
- ② 村井芳夫, 海底地震観測からわかった東北地方太平洋沖地震の余震分布と応力変化, 北海道大学地震火山研究観測センター2011年度シンポジウム, 2012年3月20日, 北海道大学 (北海道)
- ③ 日野亮太, 海底圧力観測で捉えられた2011年東北地方太平洋沖地震とその前震による地殻変動, 日本地震学会2011年度秋季大会, 2011年10月12-14日, 静岡県コンベンションアーツセンター (静岡県)
- ④ Kido, M., Trench-normal variation in coseismic displacement of the 2011 Tohoku-oki earthquake detected through GPS/acoustic surveys, 2011 AGU Fall Meeting, 2011年12月5-9日, モスコーンセンター (サンフランシスコ・米国)
- ⑤ Kodaira, S., Tohoku-oki earthquake: Results from rapid response geophysical surveys, 2011 AGU Fall Meeting, 2011年12月5-9日, モスコー

- ンセンター (サンフランシスコ・米国)
- ⑥ Satake, K., Unforecasted earthquake and forgotten tsunamis: Lessons from 2011 Tohoku event, 2011 AGU Fall Meeting, 2011年12月5-9日, モスコーンセンター (サンフランシスコ・米国)
- ⑦ 佐藤慎司, 東北地方太平洋沖地震津波の被害と今後の津波防災, 第15回海岸シンポジウム — 東北地方太平洋沖地震津波の記録と教訓, 2011年11月30日, 砂防会館別館 (東京)
- ⑧ Imamura, F., Damage due to the 2011 Tohoku earthquake tsunami and its lessons for future mitigation, The International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East, 2012年3月3日, 建築会館 (東京都)
- ⑨ Kazama, M., The 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake? After two months, 14th Asia Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 2012年5月24日, 香港ポリテク大学 (香港・中国)
- ⑩ 境有紀, 2011年東北地方太平洋沖地震で発生した地震動と建物被害(その2) 大きな1-2秒応答が観測された強震記録の分析と実際の建物被害をより正確に推定する地震動強さ指標, 日本地震工学会大会, 2011年11月10-12日, 国立オリンピック記念青少年総合センター (東京都)
- ⑪ Yasuda, S., Several features of liquefaction-induced damage to houses and buried lifelines during the 2011 Great East Japan earthquake, The International Symposium on Engineering Lessons Learned from the Giant Earthquake, 2012年3月3-4日, 建築会館 (東京都)
- ⑫ Motosaka, M., Overview of 2011 Tohoku Earthquake and Structural Damage, 43rd Structures Congress, ASCE, 2012年3月30日, AONビルディング (シカゴ、米国)

[図書] (計 2 件)

- ① 古村孝志・他, NHK出版, 東日本大震災を解き明かす, 2011, 126.

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

篠原 雅尚 (SHINOHARA MASANAO)
東京大学・地震研究所・教授
研究者番号: 90242172

(2) 研究分担者

藤本 博己 (FUJIMOTO HIROMI)
東北大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号: 50107455
金田 義行 (KANEDA YOSHIYUKI)
海洋開発研究機構・地震津波・防災研究プロジェクト・プロジェクトリーダー
研究者番号: 50359171
小平 秀一 (KODAIRA SYUICHI)
海洋研究開発機構・地球内部ダイナミクス領域・チームリーダー
研究者番号: 80250421
平田 賢治 (HIRATA KENJI)
気象庁・気象研究所・主任研究官
研究者番号: 20359128
村井 芳夫 (MURAI YOSHIO)
北海道大学・大学院理学研究員・准教授
研究者番号: 40301931
植平 賢司 (UEHIRA KENJI)
九州大学・大学院理学研究院・助教
研究者番号: 80304723
八木原 寛 (YAKIWARA HIROSHI)
鹿児島大学・理学部・助教
研究者番号: 60295235
佐竹 健治 (SATAKE KENJI)
東京大学・地震研究所・教授
研究者番号: 20178685
谷岡 勇市郎 (TANIOKA YUICHIRO)
北海道大学・大学院理学研究院・教授
研究者番号: 40354526
今村 文彦 (IMAMURA FUMIHIKO)
東北大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 40213243
高橋 智幸 (TAKAHASHI TOMOYUKI)
関西大学・社会安全学部・教授
研究者番号: 40261599
瀧 一 起 (KOKETSU KAZUKI)
東京大学・地震研究所・教授
研究者番号: 90134634
堀 宗朗 (HORI MUNEO)
東京大学・地震研究所・教授
研究者番号: 00219205
安田 進 (YASUDA SUSUMU)
東京電機大学・理工学部・教授
研究者番号: 90192385
源 栄 正人 (MOTOSAKA MASATO)
東北大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 90281708

小長井 一男 (KONAGAI KAZUO)
東京大学・生産技術研究所・教授
研究者番号: 50126471
佐藤 慎司 (SATO SHINJI)
東京大学・工学研究科・教授
研究者番号: 90170753
風間 基樹 (KAZAMA MOTOKI)
東北大学・工学研究科・教授
研究者番号: 20261597
境 有紀 (SAKAI YUKI)
筑波大学・工学研究科・教授
研究者番号: 10235129

(3) 連携研究者

日野 亮太 (HINO RYOTA)
東北大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号: 10740214
佐藤 利典 (SATO TOSHINORI)
千葉大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号: 70222015
塩原 肇 (SHIOBARA HAJIME)
東京大学・地震研究所・准教授
研究者番号: 60211950
石山 達也 (ISHIYAMA TATSUYA)
東京大学・地震研究所・助教
研究者番号: 90356452
岡村 眞 (OKAMURA MAKOTO)
高知大学・教育研究部・教授
研究者番号: 10112385
都司 嘉宣 (TSUJI YOSHINOBU)
東京大学・地震研究所・准教授
研究者番号: 30183479
中原 恒 (NAKAHARA HISASHI)
東北大学・理学研究科・助教
研究者番号: 20302078
本多 亮 (HONDA RYO)
神奈川県温泉地学研究所・技師
研究者番号: 80416081
浅野 公之 (ASANO KIMIYUKI)
京都大学・防災研究所・助教
研究者番号: 80452324
高橋 良和 (TAKAHASHI YOSHIKAZU)
京都大学・防災研究所・准教授
研究者番号: 10283623
後藤 浩之 (GOTO HIROYUKI)
京都大学・防災研究所・助教
研究者番号: 70452323
盛川 仁 (MORIKAWA HITOSHI)
東京工業大学・大学院総合理工学研究科・准教授
研究者番号: 60273463