

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



MIS036-P01

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 2011年3月11日地震に対する前兆 VLF/LF 伝播異常現象 Precursory VLF/LF Propagation Anomaly for the 2011/3/11 Earthquake

早川 正士<sup>1\*</sup>

Masashi Hayakawa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 電気通信大学

<sup>1</sup> UEC

我々は国内多点（北から母子里、調布、春日井、津山、高知）にて多局の VLF/LF 送信局（JJY 局、JJI 局及び NWC、NPM 及び NLK 局）を受信する VLF/LF ネットワークを構築し、稼働している。今回の地震に対しては JJY-MSR（母子里）パスではまったく異常がないが、NLK-CHF（調布）パスでは3月5日、6日に明瞭な伝播異常が観測され、前兆と考えられる。以上について、ポスターでは詳しく述べる。

キーワード: 地震, VLF/LF 伝播

Keywords: Earthquake, VLF/LF Propagation

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



MIS036-P02

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 2011 東北地方太平洋沖地震と日本の地球磁場変化の関連性について Is there any relationship between the 2011 Tohoku mega Earthquake and the geomagnetic field variations in Japan?

湯元 清文<sup>1\*</sup>, Takla Emad Moris Henry<sup>2</sup>, 魚住 禎司<sup>1</sup>, 阿部 修司<sup>1</sup>, 池田 昭大<sup>1</sup>  
Kiyohumi Yumoto<sup>1\*</sup>, Emad Moris Henry Takla<sup>2</sup>, Teiji Uozumi<sup>1</sup>, Shuji Abe<sup>1</sup>, Akihiro Ikeda<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九州大学宙空環境研究センター, <sup>2</sup>九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻

<sup>1</sup>SERC, Kyushu Univ., <sup>2</sup>Earth&Planetary Sci. Dept., Kyushu Univ.

On 11 March 2011 at 05:46:23 UTC, a mega earthquake (EQ) with magnitude 9.0 [The 2011 Tohoku Earthquake] has occurred near the east coast of Honshu, Japan, as a result of thrust faulting on or near the subduction plate boundary between the Pacific and North American plates. Generally, anomalous geomagnetic variations observed by ground-based measurements in association with the earthquakes are generally accepted and many studies have reported precursory phenomena (a few nT's) associated with some earthquakes. Geomagnetic data from MAGDAS network, Geospatial Information Authority of Japan (GSI) and other geomagnetic observatories in Japan stations have been analyzed to examine the occurrence of any anomalous signature related to this massive earthquake.

Our results indicate an increase in the total magnetic field intensity (F) in the vicinity of the epicenter of the Tohoku EQ (38.322 N, 142.369 E), compared with other reference stations inside and outside the epicentral region. Moreover, the annual range of the daily Z-component variations tends to decrease near the epicenter. In addition, the polarization ratio of Pc3 [Z/H] at Onagawa (ONW) station (about 80 km from the epicenter) shows a decrease a few weeks before the occurrence of the Tohoku EQ.

Keywords: total magnetic field intensity(F), daily Z-component variations, polarization ratio of Pc3 [Z/H]

## 2011年東日本震災に先行した東北沖地域での相対的地震活動度の静穏化とその回復 The Relative Quiescence and its Recovery of Seismicity Preceding 2011 M9.0 Earthquake in the east off Tohoku District

松浦 律子<sup>1\*</sup>, 岩佐 幸治<sup>1</sup>

Ritsuko S. Matsu'ura<sup>1\*</sup>, Koji Iwasa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 財団法人地震予知総合研究振興会

<sup>1</sup> Earthquake Research Center, ADEP

2011年東日本震災は、1793年、1897年と南東北地方に津波被害をもたらした地震が百年発生していなかった領域を出発点として、東北地方の東沖一帯の非常に広い領域を一度に破壊した。2008年7月に、前回の地震(1897)から百年地震がない南三陸の沖合を震源候補として、東北沖の広い領域における大地震に先行する可能性のある相対的静穏化(松浦、2008年7月 ERI Workshop on Seismicity)を報告したが、本当にこの静穏化をこの地震の先行現象としていいのであろうか?我々は、ETASモデルを用いて、1885年以来のM6以上の地震カタログを使って、相対的な地震活動度の126年間の変遷を解析し、M9.0が発生するまでのデータがある限りの期間で、どの程度の静穏化がいつ見られるのかを検討した。

手法は、Ogata(1989)が、今回よりやや広い東北沖の領域で、宇津(1982)のカタログを用いて1885-1980の96年間で行ったものと同じであり、ETASモデルからの残差が、非定常ポアソン分布からどれだけ外れるか、というものである。ただし、解析領域は、垣見・他(2003)の地質的な領域区分を用いて、主観的・意図的になることを回避した。Ogata(1989)よりやや狭くなっている。地震のデータは1885-1923/7は宇津カタログ、1923/8以降は気象庁の改訂カタログ(浜田・他、2004)を用いた。

解析の結果、126年間で最大で最長の地震活動度の相対的静穏化が、2000年頃に明瞭であったことが確認された。1998年-2002年は、有意水準95%以上で地震活動度の相対的静穏化が見られ、その後地震活動度は2003年-2006年に徐々に回復し、2008年には通常のレベルに、2009-2010年はやや活発となっていた。次に有意な静穏化は、126年間では、1897年の地震前に見られる。有意な活発化は1938年塩屋埼沖の地震津波が連発した時だけであり、95%の有意水準には達しないが次に大きい活発化は、1915年、今回の前震である2011/3/9のM7.3の一回前にM7.5が発生した時になる。最大で正規分布の3以上平均値から外れる異常は126年間で、1938年の活発化と2000年前後の静穏化だけである。従って1998年-2006年の地震活動度の静穏化と回復は、2011年の地震の準備過程を反映したものと考える。また、この現象は、大きい余震前の余震活動度の静穏化とその回復(Matsu'ura, 1986)と同じである。余震の場合は、空間的にも時間的にもその検出が容易であったため、もっと小規模な地震の発生前であるが、先に発見できたのだろう。

では、大地震前の地震活動度の静穏化とその回復はどのようなメカニズムで起こるのであろうか?我々は、大地震準備過程は、周辺部の小地震断層に対して、当初強度上昇させてから強度低下させるという二段階の影響を及ぼすという作業仮説を提案したい。大地震前の準静的すべり(プレスリップ)だけでは、静穏化と回復と両方の説明は不可能である。プレスリップが起きれば、小規模ではあるが本震と同様のトレンドの応力解放を起こすはずで、周囲の小断層の強度低下によって地震活動度は逆に増加するはずである。静穏化は、むしろプレスリップ以前にも検知可能な準備段階があり、この時の周囲の小断層の強度上昇の結果と考えられる。例えば、プレスリップ前のクラック形成過程で増加・成長するクラックに空隙流体が消費されることによって、通常より近傍の空隙流体圧が低下して、相対的に強度が増せば、地震活動度は静穏化する。プレスリップ段階では、強度低下に対応して、地震活動度が回復する。プレスリップが拡大していけば、「プレスリップの余震活動」が活動度を活発化させることも可能である。

GPS観測からは、茨城・福島で2000年から、宮城でも2003年からプレート境界すべりの変化が見られている(国土地理院, 2011)が、地震活動度の相対的静穏化は、すべり変化以前に見られ、すべり変化が見え始めてからは回復し始めている。これは、上記の推定とよい一致をみせる。今回報告する地震活動度の異常は、地震発生前に十分検知可能な情報である。ひずみ変化など他の情報と照合すると、長期評価の絞り込みに生かせる可能性がある。また、作業仮説を参考にして、病理解剖的に、過去のデータから20世紀末時点での、M9.0の震源領域での状態を検出できれば、大地震の準備過程を明らかにする情報となるだろう。この巨大地震の犠牲者への鎮魂として地震学者が努力すべきテーマは多いのである。

キーワード: 2011年東日本震災, 地震活動度の相対的静穏化とその回復, 126年間のM6以上の東北沖の地震, 点過程解析の残差分析, プレスリップに先行する静穏化

Keywords: 2011 M9.0 East off Tohoku Earthquake, point process, residual analysis, precursor in seismicity before pre-slip,

quiescence and its recovery

MIS036-P04

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 東北地方太平洋沖地震 (M9.0) に先行した地震活動の長期静穏化 Long-term seismic quiescence lasting 22 years before the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake (M=9.0)

勝俣 啓<sup>1\*</sup>

Kei Katsumata<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 北大・地震火山センター

<sup>1</sup> Hokkaido University

2011年東北地方太平洋沖地震 (M=9.0) が発生する22年前から地震活動の長期静穏化が起きていたことが分かった。解析には気象庁の一元化震源カタログを用いた。1965年から2010年までに発生したM4.5以上、深さ60km以浅の地震5770個を選択し、ZMAPで解析した。格子間隔は0.05度、格子点の周囲から150個の地震を選択し、時間幅15年としてZ値を計算した。その結果、本震で最もすべり量の大きかった領域の深部側で、1989年頃から本震発生までの22年間に渡り、地震発生率が低下していたことが分かった。発生率は3.0個/年から1.5個/年に低下していた(減少率50%)。Z値は+4.9である。本研究では、20年以上継続する長期静穏化は、沈み込み帯で発生する超巨大地震(M~9)の前兆であるという仮説を提唱する。

キーワード: 地震活動静穏化, 2011年東北地方太平洋沖地震, 気象庁一元化震源カタログ, ZMAP, Z値

Keywords: seismic quiescence, the 2011 Tohoku earthquake, JMA earthquake catalog, ZMAP, Z-value

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



MIS036-P05

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 2011年東北地方太平洋沖地震の前震活動: 震源移動・潮汐応答と本震発生との関連 Foreshock activity before the 2011 Off-Pacific Tohoku earthquake: migrations and tidal responses

加藤 愛太郎<sup>1\*</sup>, 小原 一成<sup>1</sup>, 鶴岡 弘<sup>1</sup>  
Aitaro Kato<sup>1\*</sup>, Kazushige Obara<sup>1</sup>, Hiroshi Tsuruoka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup> ERI University of Tokyo

本震発生の2日前に発生した前震 M7.2 の余震活動から本震 M9.0 の動的破壊過程にいたる直前過程について発表をする。M7.2 の前震に伴う余震 250 個を用いて、matching filter technique(Shelly et al., 2007) により、前震から本震にいたる約 2.1 日間で 1450 個の地震を新たに検出し、計 1700 個の地震カタログを作成した。この地震カタログを基に、震源分布・潮汐応答の時間変化を求めた。その結果、前震域の南部では地震活動度が北部に比べて極めて活発であり、震源の移動も観察された。さらに、潮汐変化と相関の高い時間帯が存在することもわかった。これらの現象を説明可能なモデルを提唱するとともに、本震時の初期破壊過程に対応する初期フェーズについても報告する。

Keywords: Foreshock activity, migrations, tide, preslip

MIS036-P06

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 2011年東北地方太平洋沖地震前の傾斜記録 Tilt records prior to the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

廣瀬 仁<sup>1\*</sup>

Hitoshi Hirose<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所

<sup>1</sup> NIED

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は日本の観測史上最大のマグニチュード(M)9.0という超巨大地震であった。今回の地震のような沈み込み帯プレート境界型地震の前には、震源域深部延長上あるいは破壊開始点付近で「プレスリップ」と呼ばれる地震に先立つ準静的すべりが発生し、それによる地殻変動を捉えることで地震直前予知を行うという「プレスリップ仮説」が提案されている。1944年東南海地震の前に、震源域をはさんで破壊開始点と反対側の掛川付近での水準測量で生じた大きな往復較差が、プレスリップにより生じた地殻変動であると解釈されており(Mogi, 1984; Linde and Sacks)、これがプレスリップ仮説の1つの有力な根拠となっている。しかしながら、この解釈については疑問も提出されており(鷲谷, 2004)、広く受け入れられているプレスリップの疑いない観測例はないと言って良い。本研究では、防災科研 Hi-net 観測点に併設されている高感度加速度計(傾斜計; Obara et al., 2005)の地震前の記録に基づき、地震に先立つ地殻変動が捉えられているかどうかを調べた。また、傾斜変動量の目安として、Hi-net 傾斜観測網による、沈み込む太平洋プレート上面上のすべりの検知能力を評価した。

先駆的な地殻変動がどのようなタイムスケールで生じているかは不明なため、ここでは、(1)短期(数日間)および(2)中期(1か月程度)を候補とし、それぞれの可能性について検討した。データの処理は下記の通りである。まず、オリジナルの20Hzサンプリングデータを、(1)の場合は1分サンプリング、(2)の場合は1時間サンプリングにリサンプリングした。BAYTAP-G (Tamura et al., 1991)により潮汐成分を除去し、さらに(2)について、気象庁による気圧観測値をもとに気圧応答成分を推定し除去した。東北地方および関東東部の観測点で(1)および(2)の両データセットを作成し、記録を確認した。最も顕著な記録は3月9日に発生した宮城県東方はるか沖の地震(M7.3)とそれに続く余震の波動によるものである。しかしながら、この3月9日の地震および11日の本震に先立つ顕著な傾斜変動は見出されていない。

この先駆的な地殻変動が検知されていないということが、どの程度の大きさのプレート間すべりが無いということの意味するのか、言い換えれば、プレスリップがプレート境界面上で発生したと仮定し、それがどの程度の規模であれば観測することができるのか、Hi-net 傾斜観測によるプレート間すべりの検知能力を調べた。ここでは簡単のため、プレート境界のすべりを半無限弾性体中の点震源で表し(Okada, 1992)、計算される傾斜変動の大きさが、少なくとも3つの観測点で0.1 micro radian以上となるときの地震モーメントの大きさを検知能力とした。その結果、プレート間すべりの検知能力は、東北日本太平洋側の海岸線付近、すなわち本震震源域下端付近もしくは深部延長上でMw 6.2、本震の震源付近ではMw 7.3であった。この結果は、今回のM9という超巨大地震の前に、相当規模のプレスリップはなかったことを意味する。これより小さいプレスリップがあったことは否定できないが、現状の観測網ではそれを捉えることは難しい。この事実は、直ちに「プレスリップ仮説」を否定するものではないが、地殻変動観測に基づく地震直前予知は現時点では相当困難だということの意味している。

謝辞: 気象庁の気象観測データを使わせていただきました。記して感謝いたします。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 地震前地殻変動, プレスリップ, 地震予知, 防災科研 Hi-net 高感度加速度計  
Keywords: The 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Preseismic crustal deformation, preslip, earthquake prediction, NIED Hi-net high-sensitivity accelerometers

MIS036-P07

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 本震 ( Mw9.0 ) が前震 ( Mw7.3 ) の拡散的に広がる余効滑りにトリガーされた可能性

## Possibility of Mw 9.0 mainshock triggered by diffusional propagation of after-slip from Mw 7.3 foreshock

安藤 亮輔<sup>1\*</sup>

Ryosuke Ando<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所

<sup>1</sup> Geological Survey of Japan/AIST

In two days advance of the March 11, 2011 off the Pacific Coast of Tohoku, Japan, earthquake, a Mw 7.3 earthquake occurred at a location 40 km away toward northeast from the mainshock hypocenter. I investigated the spatio-temporal changes in seismicity from the Mw 7.3 foreshock, May 9 2011, 11:45, to the Mw 9.0 mainshock, May 11, 14:46 (Japan Standard Time). I found that seismic activities slowly migrated from the source area of the foreshock, which presumably reflected the propagation of after-slip. The mainshock rupture was initiated when the migration reached to the hypocentral location of the mainshock. It is also found that the migration slowed down as it expanded, where the migration distance was well fitted by a certain curve proportional to square root of duration, suggesting that the propagation was limited by diffusion with the diffusion coefficient of about 104 m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>. This value of the diffusion coefficient is of the same order of magnitude with that reported for the migration of the deep non-volcanic tremor. These results appear to be compatible with a conceptual model that strongly coupled patches are separated by decoupled stable regions on this plate-interface, however these patches were not mechanically isolated and became interactive when they broke.

キーワード: 東北地方, 日本海溝, 前震, 地震活動, トリガー, 余効滑り

Keywords: Tohoku, Japan trench, foreshock, triggering, seismicity, afterslip



MIS036-P08

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 14:15-16:15

## 3月9日 M7.3 宮城県沖地震の特異余震経過による3月11日 M9.0 東日本大地震の予測可能性 Possible Prediction of 3.11M9.0 Gigantic Earthquake Based on Anomalous Aftershocks of 3.09M7.3 Miyagiken-oki Earthquake

林野 友紀<sup>1\*</sup>

Tomoki Hayashino<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東北大学ニュートリノ科学研究センター

<sup>1</sup> RCNS, Tohoku University

(0) 3.11M9.0 大地震に先立ち、M7.3 地震が3月9日宮城県沖で発生(3.09M7.3)、それが3.11M9.0の前震であったことが、その後ほぼ公式に認定されている。しかし現在に至るも、それが前震である理由は発生領域が近いこと、3.11M9.0の直前であったことという、およそ常識的判断の域を出ない説明となっている。本発表では、3.09M7.3のあと多発する余震を直視すれば、それらが通常と明らかに異なる経過を辿っていたことを、殆んどリアルタイムで捉えることが出来、3.11M9.0 大地震を予測可能にしていたことを示す。

(1) 気象庁震度データベース(公開)は、1926年以降震度1以上を観測した地震を集約したものである。これを用いて、過去約100年間に日本列島付近で発生した $M > 7.0$  プレート境界型地震全30例(震源の深さ60km以下)を取り出した。この30例は、それが本震であると確定したものである。これらについて、本震発生から20時間以内(後述)に起こった”大”余震の数を調べてみる。ここで、”大”余震とは、 $M = M_0 - M_j$ として、 $M < 1.5$ 及び $M < 1.7$ の二つのケースを設定する。(Mo、Mjは本震と余震のマグニチュード、不等号は”=”を含むとする)すると、

$M < 1.5$ ; 0~2回(平均0.7回)       $M < 1.7$ ; 0~3回(同1.1回)

と極めて少数であることが判る。

(2) (1)の統計的性質は、余震域面積 $S(\text{km}^2)$ に関する宇津の式(1969)と清野の式(1984)を用いて、数式で表現することができる。

宇津の式;  $\log S = M_0 - 3.7 (5.5 < M_0 < 8.5)$  清野の式;  $\log S = \log N + M_j - 2.6$

ここで、NはMj以上の余震数(本震含む)である。(後者は日本地震学会誌「地震」,37,1,1984,p.89-98)

宇津のSと清野のSが等しいなら(近似的に等しいで良い)、Sを消去して次式を得る。

$$\log N = M_0 - M_j - 1.1$$

即ち、Mjより大きいマグニチュードを持つ余震数Nは、 $M = M_0 - M_j$ 、つまり本震と余震の規模差でscaleしていることになる。これは(1)においてMを指標として採用したことが妥当であったことを意味する。

因みに、 $M < 1.5$ と $< 1.7$ に対し、余震数(本震除く; N-1)はそれぞれ、1.5回、3.0回と計算され、(1)に示した30例の平均に近い。但し詳しくは、(1)の平均余震数は本震発生後20時間以内なので、上の計算値=N-1より小さい。

このように、(1)、(2)両考察(完全には独立ではない)から、”大”余震は少数であることが明らかであり、換言すれば、付随する”大”余震が少ないことが、確かにそれが本震であるという”本震性”を表していると言える。

(3) 一方、現実に推移した3.09M7.3は、その”本震性”を裏切って余震活動を行っていた。

即ち、 $M < 1.5$ は7回、 $< 1.7$ は8回である。 $M < 1.3$ でも6回に及ぶ。

ここまで、本震発生から20時間以内の回数としたのは、3月10日昼には未だM9.0は発生しておらず、3.09M7.3の余震経過を分析考察し得る時間帯であるからである。

(4) ”本震性”を大きく逸脱して”大”余震を続ける3.09M7.3に対し、3月10日、何を推測すべきであろうか?

即ち、”大”余震 excess(超過)の原因を何に求めるべきであろうか?

ここで3.09M7.3は”近々発生が想定される宮城県沖地震”域近辺で起こり、それ自体は想定されているものではないと判断されたことに留意すべきである。即ち、想定されたものは別途あとに控えている。そのような条件の下で、3.09M7.3が示す余震 excessを見た時、そのexcessが、控えている更に大きな事象を引き起こすメカニズムと関連する可能性を考えることは、それほど困難な作業ではないはずである。

(5) このようにして、30例が示す”本震性”を裏切って余震活動を行っていた3.09M7.3について、3月10日、最早、

それが本震であることを疑わねばならないのは、科学者として当然であろう。3.11M9.0は、それでもまだ1日、余裕をくれたのである。3月10日午後、科学者と言える人であれば、3.09M7.3の余震特異性を当然察知認識し、それが本震でない場合、M9を越える巨大地震が“真の本震”として発生する事態もあり得る旨を、社会に発信すべきであったろう。その発信が冷静且つ適切な形で行なわれていれば、大地震直後の津波退避初動等がもっと的確迅速に行なわれていた可能性は高く、多くの人命が救われていたに違いない。

備考) 本予稿では、気象庁震度データベースに含まれていない1923年関東地震M7.9は上記統計から除いている。これについてはポスターにて議論を行なう。

キーワード: 地震予知, 気象庁震度データベース, 余震規則性, 本震性, 特異的余震経過, 社会への発信

Keywords: Prediction of Earthquake, The Meteorological Agency Database on Earthquake, Regularity of Aftershock, Main Shock Characteristics, Anomalous Aftershocks, Warning to Society

MIS036-P09

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震に伴う海底地殻変動 Huge seafloor movements associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

石川 直史<sup>1\*</sup>, 佐藤 まりこ<sup>1</sup>, 氏原 直人<sup>1</sup>, 吉田 茂<sup>1</sup>, 望月 将志<sup>2</sup>, 浅田 昭<sup>2</sup>

Tadashi Ishikawa<sup>1\*</sup>, Mariko Sato<sup>1</sup>, Naoto Ujihara<sup>1</sup>, Shigeru Yoshida<sup>1</sup>, Masashi Mochizuki<sup>2</sup>, Akira Asada<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 海上保安庁海洋情報部, <sup>2</sup> 東京大学生産技術研究所

<sup>1</sup>JHOD, <sup>2</sup>IIS, Univ. of Tokyo

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、国土地理院 GEONET による観測によって、本震時に電子基準点「牡鹿」が東南東方向へ約 5.3 m 移動、約 1.2m 沈下するなど、非常に大きな変位が観測されている。

海上保安庁では、GPS/音響結合方式による海底地殻変動観測の技術開発及び海底基準点の展開を行っている。地震後の3月28、29日に、震源域に設置してある海底基準点の被害状況調査のための緊急観測を実施した。

震源のほぼ真上に位置する海底基準点「宮城沖1」において、東南東へ約 24m 移動、約 3m の隆起という極めて大きい地殻変動が観測されたほか、震源の西方約 40km の海底基準点「宮城沖2」では、東南東に約 15m 移動、約 0.8m の沈下、震源の南東約 120km の海底基準点「福島沖」では、東南東に約 5m 移動、約 0.9m の隆起が観測された。これらの変動量は、地震時の変位に加え、地震後の余効変動も含んだものであるが、震源域である海域は陸上よりもはるかに大きな変位があったことがわかる。

海底基準点「宮城沖1」及び「宮城沖2」の観測結果と、電子基準点「牡鹿」の観測値を比較すると、全ての観測点で東南東へ変動しており、「宮城沖1」の水平変動量は「牡鹿」の4倍以上の値を示すように、陸側から海溝側に向かい水平変動量が増加している。また、上下変動は「宮城沖2」と「宮城沖1」の間で沈降から隆起へと変化しており、地震時の断層運動による沈降域と隆起域の境界が両基準点の間に存在していることが示唆される。

海上保安庁では、4月以降も釜石沖の海域に設置してある海底基準点で調査を行ったほか、今後も余効変動が続くことが予想されることから、各海底基準点において観測を継続的に実施している。本発表では、それら最新の成果を含めて報告する予定である。

謝辞：GPS 陸上基準点の一部に国土地理院の電子基準点を使用しており、国土地理院から1秒データの提供を受けた。

キーワード: 海底地殻変動観測

Keywords: seafloor geodetic observation

MIS036-P10

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## GPS 音響観測で検出した東北地方太平洋沖地震の震源域直上での大規模変位について

## Huge crustal displacements just above the source region of the Tohoku earthquake observed by GPS/acoustic survey

木戸 元之<sup>1\*</sup>, 長田 幸仁<sup>1</sup>, 藤本 博己<sup>1</sup>, 日野 亮太<sup>1</sup>, 伊藤 喜宏<sup>1</sup>

Motoyuki Kido<sup>1\*</sup>, Yukihiro Osada<sup>1</sup>, Hiromi Fujimoto<sup>1</sup>, Ryota Hino<sup>1</sup>, Yoshihiro Ito<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 予知セ・東北大学

<sup>1</sup> RCPEV, Tohoku Univ.

The 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake brought devastating damage to Tohoku region especially due to unexperienced large tsunami. Such a large tsunami must be originated in large vertical deformation of seafloor and hence significant horizontal displacement should be accompanied. Actually the largest co-seismic displacement observed on land exceeds 5 meters in horizontal, which suggests much larger displacement on seafloor close to the source region. On April 11, just a month after the earthquake, we have conducted GPS/acoustic survey to measure the positions seafloor benchmarks, GJT3 and GJT4, installed just on the source region. GJT4 is located roughly the middle between the Tohoku shoreline and the trench axis while GJT3 is located in much more trench side. Since the survey is urgent using chartered ship and operation is limited in daytime to avoid crash with numerous driftage originated in the tsunami destruction, total ship time to assigned to GPS/acoustic survey was 4 hours at GJT3 and 3 hours at GJT4. Although our basic survey style is "stationary", keeping a surface buoy at the center of seafloor transponder array, we conducted moving survey because we have to reconfigure the exact shape of the transponder array to assess its distortion due to strong ground motion generated by the earthquake and succedent possible local landslide other than regional crustal deformation. It found that 3 out of 5 transponders in GJT4 were not responded or lost after the earthquake, while all 6 transponders were survived in GJT3. Stationary survey is no longer make sense in GJT4 because the total number of transponder is less than 3. Therefore we concentrated on a single transponder as a target and made moving survey quickly so as not to change the sound speed with a path as even as possible. Then the final horizontal accuracy in positioning reached to less than 1 m, while the vertical accuracy is limited to 2 m. The final solution of the co-seismic displacement is 15 m in horizontal (ESE) and 3.5 m in vertical (UP). For GJT3, we made 3 hours of moving survey and an hour of stationary survey. Comparing relative difference in traveltimes residual to each transponder before and after the earthquake, we can evaluate relative motion among transponders exited by strong ground motion of the earthquake at least in "line of sight" direction. Roughly 30 cm of relative motion can be detected. These small change in the relative position indicates no local landslide occurred beneath GJT3. From the stationary survey compared past survey before the earthquake, we obtained 31 m (ESE) horizontal displacement. While 5 m (UP) vertical displacement from moving survey. For GJT4, no information of relative motion can be obtained due to the lost of 3 transponders. The reason of the lost of the is questionable. GJT4 installed fairly flat seafloor. One possibility is just a lifetime of internal battery. Investigation using ROV is desired. The huge eastward displacement and uplift at GJT3 indicates large slip on the fault is extended to up-dip close to the trench.

キーワード: 海底測地, GPS 音響, 海底地殻変動, 東北太平洋沖地震

Keywords: seafloor geodesy, GPS/acoustic, crustal deformation, Tohoku earthquake

MIS036-P11

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 宮城県沖における地震・測地観測網が捉えた2011東北地方太平洋沖地震 The 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake recorded by offshore seismic/geodetic observation network

日野 亮太<sup>1\*</sup>, 伊藤 喜宏<sup>1</sup>, 鈴木 健介<sup>1</sup>, 鈴木 秀市<sup>1</sup>, 稲津 大祐<sup>1</sup>, 飯沼 卓史<sup>1</sup>, 藤本 博己<sup>1</sup>, 山田 知朗<sup>2</sup>, 篠原 雅尚<sup>2</sup>, 中東 和夫<sup>2</sup>, 金沢 敏彦<sup>2</sup>, 阿部 正雄<sup>3</sup>, 河原田 義春<sup>3</sup>, 長谷川 洋平<sup>3</sup>, 平田 賢治<sup>4</sup>, 山本 揚二郎<sup>5</sup>, 小平 秀一<sup>5</sup>, 金田 義行<sup>5</sup>  
Ryota Hino<sup>1\*</sup>, Yoshihiro Ito<sup>1</sup>, Kensuke Suzuki<sup>1</sup>, Syuichi Suzuki<sup>1</sup>, Daisuke Inazu<sup>1</sup>, Takeshi Iinuma<sup>1</sup>, Hiromi Fujimoto<sup>1</sup>, Tomoaki Yamada<sup>2</sup>, Masanao Shinohara<sup>2</sup>, Kazuo Nakahigashi<sup>2</sup>, Toshihiko Kanazawa<sup>2</sup>, Masao Abe<sup>3</sup>, Yoshiharu Kawaharada<sup>3</sup>, Yohei Hasegawa<sup>3</sup>, Kenji Hirata<sup>4</sup>, Yojiro Yamamoto<sup>5</sup>, Shuichi Kodaira<sup>5</sup>, Yoshiyuki Kaneda<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 東京大学地震研究所, <sup>3</sup> 気象庁, <sup>4</sup> 気象研究所, <sup>5</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>Tohoku University, <sup>2</sup>ERI, University of Tokyo, <sup>3</sup>Japan Meteorological Agency, <sup>4</sup>Meteorological Research Institute, <sup>5</sup>JAMSTEC

A megathrust earthquake of  $M=9.0$ , the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, occurred along the Japan Trench subduction zone to cause devastating damage to the Pacific coast of northeastern Japan. The rupture of the earthquake started at the central part of the subduction zone, where interplate earthquakes of  $M \sim 7.5$  have occurred along the subducting plate boundary repeatedly at about 40 years intervals, so-called Miyagi-Oki earthquakes. Since 2002, we have maintained a seismic and geodetic observation network in the source area of the earthquakes by repeating deployment and retrieval of ocean bottom off-line recording instruments.

The network of ocean bottom seismometers (OBSs) successfully observed detailed spatio-temporal variation of microseismicity before and after the occurrence of the M9 earthquake as well as two large ( $M > 7$ ) earthquakes occurred within the source region of the M9 event, one in 2005 and another on two days prior to the mainshock. In this paper, we will review the seismicity and stress field after the 2005 earthquake, and 3D seismic velocity structure around its rupture area and also give a preliminary result of hypocenter location of the foreshocks, mainshock, and aftershocks of the 2011 M9 earthquake. The relocated hypocenter locations will be discussed in terms of relevance to the seismic velocity structure along the plate boundary.

The ocean-bottom pressure data have also been recorded in the rupture area to detect vertical movement of the seafloor. Our bottom pressure gauges (OBPs) detected secular vertical seafloor motion due to strong interplate coupling prior to the M9 earthquake. More than 10 OBPs were in place at the occurrence of the mainshock to provide co- and postseismic seafloor motion.

キーワード: 2011 東北地方太平洋沖地震, 海底地震観測

Keywords: the 2011 off Pacific coast of Tohoku earthquake, ocean bottom seismic observation

MIS036-P12

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 2011年東北地方太平洋沖地震の震源域直上における海底圧力観測 In-situ observation of ocean-bottom pressure in the source region of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

伊藤 喜宏<sup>1\*</sup>, 長田 幸仁<sup>1</sup>, 稲津 大祐<sup>1</sup>, 日野 亮太<sup>1</sup>, 対馬 弘晃<sup>2</sup>, 太田 雄策<sup>1</sup>, 木戸 元之<sup>1</sup>, 藤本 博己<sup>1</sup>  
Yoshihiro Ito<sup>1\*</sup>, Yukihiro Osada<sup>1</sup>, Daisuke Inazu<sup>1</sup>, Ryota Hino<sup>1</sup>, Hiroaki Tsushima<sup>2</sup>, Yusaku Ohta<sup>1</sup>, Motoyuki Kido<sup>1</sup>, Hiromi Fujimoto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 気象研究所

<sup>1</sup>Tohoku University, <sup>2</sup>Metrological Research Institute

The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake of March 11, 2011 killed more than 25,000 people living near the coast off Tohoku Japan. The earthquake generated a tremendous tsunami; the tsunami height near the coast reached over 10 m. The highest impulsive crest of the tsunami was generated near the trench [Hayashi et al., 2011]. Tsunami generation by an earthquake in a subduction zone is generally modeled by water surface displacement identical to the vertical deformation of ocean bottom, especially inner trench slope near a trench due to the earthquake. Here we show an uplift of five meters near the toe of the inner slope along the Japan Trench; the uplift is caused by the M9.1 event. The pressure gauge also recorded an uplift of 20 mm accompanied with the M7.3 foreshock of March 9, 2011, which is well consistent with the calculated uplift from the model reconstructed by landward GPS data. The pressure gauge could record continuous data for a year with a logging interval of 30 s. The sensors were recovered by a pop-up system after the mainshock. After the earthquake, large disturbance appear it may be caused surrounding environmental change by ground shaking. The distinct negative offsets clearly appear the between before and after the foreshock and the mainshock. The negative pressure changes represent uplift of the observation point. The calculated pressure change reached 2 and 500 hPa (20 and 5000 mm), respectively. The pressure gauge was located near the source area of the impulsive tsunami accompanied with the mainshock. We successfully obtained the in-situ pressure change that is accompanied with the megathrust event and related to the tsunami generation.

キーワード: 海底地殻変動, 海底圧力

Keywords: seafloor geodecy, ocean bottom pressure

MIS036-P13

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## SAR 干渉解析による東北地方太平洋沖地震に関する地殻変動 Crustal deformation of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake detected by SAR interferometry

小澤 拓<sup>1\*</sup>

Taku Ozawa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所

<sup>1</sup> NIED, Japan

On 11 Mar. 2011, Mj9.0 great earthquake occurred off the Tohoku district where the Pacific plate is subducting beneath the North American plate. To investigate crustal deformation associated with this earthquake, we applied SAR interferometry technique to ALOS/PALSAR data. Now we analyzed strip-map mode data for seven ascending and three descending orbit paths, and obtained clear fringes over the land area. Fringe configuration for ascending orbit was roughly half circles, which centered the epicenter of the mainshock, meaning that large dislocation occurred there. This slant-range change is consistent with the thrusting of the plate interface.

Crustal deformations associated with inland shallow earthquakes that occurred after the Mj9.0 earthquake were also obtained. Around the epicenter occurred in the Nagano Prefecture (2011/3/12, Mj6.7), slant-range change of 10cm was obtained, indicating that the fault dips to southeast. Furthermore slant-range change by another small fault was found. In the northern area of the Ibaraki Prefecture, slant-range change due to the earthquake occurred in 2011/3/19 (Mj6.1) was found, and it indicates that the fault dips to southwest. In the eastern area of the Fukushima Prefecture, slant-range changes due to earthquakes occurred in 2011/3/23 (Mj6.0) and 2011/4/11 (Mj7.0) were found. It indicates that the fault of the 2011/3/23 earthquake dips to west. For the 2011/4/11 earthquake, the obtained interferogram shows that crustal deformation concentrated along the Yunotake Fault and the Idosawa Fault.

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 地殻変動, 合成開口レーダー, SAR 干渉法

Keywords: the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, crustal deformation, SAR, interferometry, InSAR

## 西暦 869 年貞観津波の浸水域と波源の復元

## Tsunami inundation associated with AD 869 Jogan tsunami and fault modeling

澤井 祐紀<sup>1\*</sup>, 宍倉 正展<sup>1</sup>, 行谷 佑一<sup>1</sup>

YUKI SAWAI<sup>1\*</sup>, Masanobu Shishikura<sup>1</sup>, Yuichi Namegaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所

<sup>1</sup> AIST

独立行政法人産業技術総合研究所は、2004年度～2010年度にかけて、宮城県・福島県・茨城県の海岸を対象として、西暦869年に発生した巨大津波（貞観津波）の波源を復元するための地質調査および数値シミュレーションを行ってきた。本発表は、これまで産業技術総合研究所が行った研究をレビューする。

貞観津波の地質学的証拠については、東北大学の箕浦教授らの研究グループや東北電力のグループが1990年代に報告している。我々は東北大学グループの調査結果を踏まえ、高密度なコア試料採取に基づいた地質調査と数値シミュレーションによる波源モデルの構築を試みてきた。

貞観津波とそれ以前の巨大津波の浸水履歴については、ボーリング及びジオスライサー掘削により検討した。この調査により、対象地域における地層の分布を明らかにし、仙台・石巻平野全域における貞観津波（西暦869年）の遡上距離と津波襲来当時の海岸線の位置を復元することができた。その結果、仙台・石巻平野における貞観の津波は当時の海岸線から少なくとも2～4 kmは遡上していることが分かった。常磐海岸（相馬市、南相馬市、富岡町）でも同様の調査を行ったところ、南相馬市小高区では、津波襲来当時の海岸線の位置が現在とほぼ同じであると仮定した場合、貞観津波の遡上距離は少なくとも1.5 kmと考えられた。

貞観津波を含む過去の巨大津波の再来間隔を精度良く知るために、宮城県仙台市若林区と亘理郡山元町において大型ジオスライサー試料の採取を行った。得られた試料中から津波堆積物を認定し、その津波堆積物の上下の層準から得られた大型植物化石と炭素片の放射性炭素年代測定を行った。石巻平野から南相馬市小高区にかけて見られる津波堆積物の広域対比を行うと、西暦1500年頃、貞観津波（西暦869年）、西暦430年頃、紀元前390年頃に共通して津波イベントが見られることが分かった。これらの津波の再来間隔は、おおよそ450年～800年程度の幅を持っていると推定された。

貞観の津波に伴った地殻変動の復元を行うため、南相馬市小高区において、約2500年～400年前の堆積物試料を対象に珪藻化石による古環境変遷の復元を行った。その結果、貞観津波とそのひとつ前の巨大津波に伴い、海岸が沈水していることが推定された。

貞観津波をコンピュータ上で再現するため、石巻平野、仙台平野、福島県南相馬市小高区及び同浪江町請戸における津波堆積物の分布域と14種類の断層モデル（福島県沿岸については6種類の断層モデルのみ）に基づいた津波シミュレーションによる浸水域とを比較した。海溝外側のプレート内正断層地震、海溝内側の津波地震、仙台湾内の断層による地震のモデルでは両平野の津波堆積物の分布を再現することができなかった。プレート間地震によるモデルでは、断層の長さが200 km、幅が100 km、及びすべり量が7 m以上の場合に浸水域が大きくなり、全ての地域において津波堆積物の分布域をおおよそ説明することができた。

キーワード: 貞観津波, 津波堆積物, 波源モデル, 日本海溝

Keywords: Jogan tsunami, tsunami deposit, tsunami model, Japan Trench



MIS036-P15

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## GPSを用いた地震と津波のリアルタイム監視システムの提案 Proposal of Real-time Monitoring System of Strong Earthquake Motion and Tsunami based on GPS

岩淵 哲也<sup>1\*</sup>

Tetsuya Iwabuchi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> ジーピーエスソリューションズ

<sup>1</sup> GPS Solutions

2011年東北地方太平洋沖地震は、その規模の大きさから地震計（加速度計）が飽和し、地震後迅速かつ精度良く断層メカニズムを推定することが困難な地震であった（Wright et al., 2011, to be submitted）。このような強震において地震計の補強に期待される観測システムに高周波（一般に1Hzか、より高サンプリング）のGPS(GNSS)観測がある（例えば、Miyazaki et al., 2004）。日本では、国土地理院により展開された1Hzでリアルタイムの観測を行うGPS連続観測システム（GEONET）があるが、現在の定常解析では、準リアルタイム（数時間遅れから）および事後（数日遅れから）解析が行われているのみで、GPSによりリアルタイムで地震波および地震による座標変動の大きさを監視するには至っていない。

本講演では、世界にも例をみない安定したリアルタイムデータ配信システムを持つ、GEONETの1Hz観測システムを最大限に活かした、リアルタイムGPSハイレート座標変動解析および監視システム、また、GPS観測ブイのより沖合への展開とそのリアルタイム解析システムの構築を提案する。

2011年東北地方太平洋沖地震が生じた時、RTNetソフトウェアシステム（GPS Solutions社と日立造船による共同開発）を用いたリアルタイム精密単独測位（PPP）により、複数のGEONET観測点で、実際にリアルタイムで地震波を捕らえることに成功した（[http://rtgps.com/rtnet\\_pppar\\_honshu\\_eq\\_tsunami.php](http://rtgps.com/rtnet_pppar_honshu_eq_tsunami.php)、以後、rtgps東北地方太平洋沖地震公開サイトとよぶ）。また、グローバルに展開されたGNSS観測点に基づきリアルタイムで生成された5秒間隔のGPS衛星軌道・時計データ（Veripos社、APEXプロダクト）を用いたリアルタイム解析に相当するGPS事後解析を行い、牡鹿観測点を含む東北地方を中心とした415点のGEONET観測点で地震波の伝搬を捕らえることにいち早く成功した（rtgps東北地方太平洋沖地震公開サイト参照、実際の解析データも公開している）。

この地震では、大津波が発生し、東北地方の太平洋沿岸の都市に甚大な被害をもたらした。RTNetとAPEXを利用した平塚沖GPS観測ブイデータ（東京大学生産研究所、目黒研究室から提供）のリアルタイム解析に相当する事後解析を行ったところ、このGPS観測ブイが、リアルタイムで地震および津波による海面高の変動を監視可能であることが示された。この結果は、GPS観測ブイに生データ通信システムが搭載されていれば、リアルタイム（数秒遅れ）でグローバルに津波を監視できることを示している。よって、今後、GPS観測ブイが日本においてより沖合い（例えば100-200km沖合い）に設置され、かつ観測データが得られれば、より早くかつ正確な観測に基づく津波到着時刻と津波の大きさの予報が可能であることが示唆される。

上述の結果に基づき、巨大地震に備えた(1)リアルタイムのGPS座標変動監視システム、(2)GPS観測ブイの沖合いへの展開とリアルタイムの海面変動監視システム、の構築を提案する。

(1)においてはGPS PPP解析に必要な安定した衛星軌道・時計情報を利用する必要があるが、すでに、グローバルな基準網を利用した複数のサービスがあり、地震による基準点の座標変動の影響を受けない衛星時計の生成が可能となっている。GEONETおよび日本の地殻変動の監視を目的として展開されたGPS網の多くはリアルタイムのデータ配信システムを有しているため、このようなプロダクトを用いれば、水平成分数cm、鉛直成分約10cmより良い精度でのリアルタイムかつハイレートの地震変動の監視が可能と考えられる。その情報を断層モデルの高精度化、それによる津波モデルへの予報精度向上に活かすとともに、地震後の余効変動もリアルタイムで監視する。

より高精度な監視が必要な地震においては、PPPアンビギティ決定法（Mervart et al., 2008）を用いた監視が可能である。そのためには、地震による基準点座標の変動によるバイアスを避けるために、例えば日本列島に3つの基準網を設けたリアルタイム監視システムの構築が可能である（rtgps東北地方太平洋沖地震公開サイトで試験解析結果を公開する予定）。

(2)においては、GPS観測ブイを、津波の監視だけでなく、漁業や海洋工事に有用な情報となる波浪計、また、天気予報(数値予報)に利用可能な水蒸気(可降水量)の監視(GEONET固定点では日立造船によるサービス提供中)にも利用できる複数目的のシステムとし、津波発生時だけでなく、常時活用できるシステムを目指す([http://rtgps.com/rtnet\\_pppar\\_honshu\\_eq\\_tsunami.ph](http://rtgps.com/rtnet_pppar_honshu_eq_tsunami.ph))。同様のシステムは、日本だけでなく、他の海洋に囲まれた諸国に展開され、その情報が共有されれば、有用なグローバル海洋環境監視システムとなることが期待される。

キーワード: ジーピーエス, リアルタイム, 強震, 津波, 精密単独測位, 監視

Keywords: GPS, Real-time, Earthquake, Tsunami, PPP, Monitoring

MIS036-P16

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## なぜ東北日本太平洋沿岸は沈降するのか？ Why does the northeastern Pacific coast of Japan subside?

加藤 照之<sup>1\*</sup>  
Teruyuki Kato<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所  
<sup>1</sup> Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo

北海道から東北地方の太平洋沿岸は5-10mm/yrの速度で沈降していることが測地観測から確かめられている。一方、海成段丘の発達から、少なくとも最近10万年のスケールでは0.5mm/yr程度で隆起していると考えられている。測地的なひずみ速度と地質学的なひずみ速度のギャップは水平変動についても知られている。これらのギャップを埋めるために沿岸が隆起するいくつかのメカニズムが考えられている。測地的に観測されている沈降が沈み込む海洋プレートの引きずり込みに伴うものと考えれば、最も単純には海溝付近で発生するプレート間の低角逆断層型の巨大地震に伴ってそれまでの沈降が解消されると考えればよい。しかしながら、最近の数十年に発生したM8クラスのプレート間地震では沈降が回復しなかったばかりか、むしろ沿岸では沈降した。沿岸での地震間の沈降はプレート間の固着している部分が海岸線を超えてより内陸部まで及んでいることを示唆しているから、プレート間地震による大きなすべりが海岸よりも沖合いにあると考えられている地震発生帯にとどまっている限り沈降は回復しない。実際、今回のM9地震によって海岸線は隆起せず、かえって大きな沈降を示したのである。今後大きな余効すべりが深部に伝搬することが予想され、深部での余効すべりが海岸線に隆起をもたらすものと期待される。海岸線付近の深さ40kmから深さ90kmくらいまでのプレート境界が余効変動で2.5m程度すべると、海岸線での地震時の1m程度の沈降を回復することが可能である。しかしながら、歴史的に蓄積してきた沈降を回復するにはさらに多くのすべりが必要である。仮に前の地震が869年の貞観地震であったとするとこれまでの1200年分の沈降量(6-12m)を回復するにはさらに15-30m程度の余効すべりが必要である。地震時の最大すべり量が大きなところで30-50mとされていることから考えてこれは不可能な量ではない。このような大きな余効すべりも可能性としては否定できないが、だとすると地震前の深部での固着は、推定されていたよりも大きかったと言わざるを得ない。他のいくつかの要素、例えば(1)粘弾性緩和、(2)海岸近くで発生する高角逆断層地震、などを考えればこの量は多少は緩和されると考えられる。これらの様々な要素が複合して東北太平洋岸のひずみが解消していくのであろうと考えている。同様のことは水平ひずみについても言える。上下変動、水平変動をあわせ、測地・地質間のギャップを埋めるために地震時すべり、余効すべり、粘弾性緩和、高角逆断層地震などの要素がどのように複合的に作用しているか量的な検討が必要である。

キーワード: 2011 東北地方太平洋沖地震, 地殻変動, 太平洋沿岸  
Keywords: Tohoku earthquake, Crustal movement, Pacific coast

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



MIS036-P17

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 稠密 GPS 観測に基づく 2011 年東北地方太平洋沖地震の地震時・地震後地殻変動 Detailed deformation associated with the 2011 off Pacific coast of Tohoku earthquake from a dense regional GPS network

大園 真子<sup>1</sup>, 太田 雄策<sup>2\*</sup>, 飯沼 卓史<sup>2</sup>, 三浦 哲<sup>3</sup>, 立花 憲司<sup>2</sup>, 出町 知嗣<sup>2</sup>, 佐藤 俊也<sup>2</sup>

Mako Ohzono<sup>1</sup>, Yusaku Ohta<sup>2\*</sup>, Takeshi Iinuma<sup>2</sup>, Satoshi Miura<sup>3</sup>, Kenji Tachibana<sup>2</sup>, Tomotsugu Demachi<sup>2</sup>, Toshiya Sato<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 北大・地震火山研究観測センター, <sup>2</sup> 東北大・理・予知セ, <sup>3</sup> 東大・地震研

<sup>1</sup>ISV, Hokkaido University, <sup>2</sup>RCPEV, Tohoku University, <sup>3</sup>ERI, University of Tokyo

Our original continuous GPS network, which consists of 60 sites, observed large coseismic displacement field due to the 2011 off Pacific coast of Tohoku earthquake, Japan. Two nearest GPS sites from the epicenter recorded 5.6m of horizontal displacement directing ESE, and 1.2m of subsidence from both static daily coordinate analysis and high-rate kinematic precise point positioning (PPP) analysis. This is the largest value among whole GPS sites in Japan. The high-rate kinematic PPP results clearly suggest the coseismic rupture characteristics. Static coseismic displacement field, which is estimated from our GPS network and GEONET, shows E~ESE directing horizontal displacement, and subsidence along the mainly coastline. The simple rectangular fault model on the plate interface approximately explains the data well. Our original GPS network has been revived and accumulating data after the mainshock. These data will provide us important information to understand the postseismic deformation process and the earthquake cycle process at this region.

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



MIS036-P18

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## GPS データから推定した 2011 年東北地方太平洋沖地震の地震時すべりと余効すべり

### Coseismic and postseismic slip for the 2011 Tohoku earthquake inferred from inversion of GPS data

福田 淳一<sup>1\*</sup>, 青木 陽介<sup>1</sup>, 加藤 照之<sup>1</sup>

Jun'ichi Fukuda<sup>1\*</sup>, Yosuke Aoki<sup>1</sup>, Teruyuki Kato<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>ERI, University of Tokyo

We used GPS data recorded by the continuous GPS network, GEONET, to estimate spatial distribution of coseismic slip and afterslip for the 2011 M=9.0 Tohoku earthquake. We analyzed the GPS data on March 11, 2011, using the GIPSY-OASIS software to estimate station coordinates every 300 seconds. This analysis allows us to separate coseismic displacements due to the mainshock from coseismic displacements due to large aftershocks and early postseismic deformation. The coseismic displacements due to the mainshock were inverted for spatial distribution of slip on the plate interface. Our result shows that the mainshock ruptured primarily the shallower part of the plate interface than asperities of historical M=7-8 earthquakes, where interseismic slip deficit rate was inferred to be low. The estimated maximum slip is 33.6 m and the moment magnitude from the estimated slip distribution is Mw=8.9.

We also analyzed GPS data after March 11 with the GIPSY-OASIS software to estimate daily station coordinates. The daily GPS time series show significant postseismic deformation. We inverted the data for distribution of afterslip on the plate interface. The inferred afterslip is mainly located in the deeper and southern parts of the coseismic rupture region. As of April 2, 2011, the estimated maximum afterslip is 0.9 m and the moment magnitude from the estimated slip distribution is Mw=8.2.

MIS036-P19

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## GAMIT プログラムによる GEONET・IGS 観測点の 2011 年東北地方太平洋沖地震の地震時変位

### Co-seismic displacement of 2011 Off Tohoku Earthquake (M9.0) observed by GEONET and IGS networks applying GAMIT program

島田 誠一<sup>1\*</sup>, Thomas A Herring<sup>2</sup>

Seiichi Shimada<sup>1\*</sup>, Thomas A Herring<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所, <sup>2</sup> マサチューセッツ工科大学

<sup>1</sup>NIED, <sup>2</sup>MIT

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震 ( $M_{JMA}9.0$ ) の co-seismic 変位を GEONET 及び IGS 観測網の GPS 観測データを用いて求めた。

解析ソフトウェアには GAMIT/GLOBK プログラム 10.4 (Herring et al., 2011) を用いた。座標基準点としては、東アジア・太平洋・北米地域の 15 点の IGS 観測点を用い、これらの点で与えられている ITRF2005 座標値 (Altamimi et al., 2007) を用いて、これらの観測点の座標値を強く拘束した。精密軌道暦としては、IGS 最終暦を用いた。

全国の GEONET 点及び国内の IGS 観測点のうち TSKB 及び USUD 観測点を、地域別に 39 グループに分け、毎日の各グループの観測点と IGS 座標基準点との RINEX ファイルを GAMIT プログラムで同時に解き、全グループの GAMIT 解を GLOBK プログラムを用いて結合して、毎日の GEONET 全点と TSKB 及び USUD の座標値解を得た (伊藤・他, 2009)。

地震前については、2011 年 3 月 7 日から 3 月 10 日まで (それぞれ UT) の 4 日間、各 24 時間の解析結果を GLOBK を用いて結合し、地震前の座標値を得た。地震後については、2011 年 3 月 11 日の 05:50 ~ 23:59 (UT) と 3 月 12 日 (UT) の 24 時間データをそれぞれ GAMIT プログラムで解析し、座標値解を得たあと、GLOBK を用いて結合し、地震後の座標値解を得た。最後に地震前後の座標値解を比較し、地震時変位を得た。このため、本震の 29 分後に茨城県沖で発生した最大余震 ( $M7.7$ ) 等、地震後 2 日以内に発生した余震による地震時変位が含まれている可能性がある。

解析結果を見ると、水平変動では、震源域に近い岩手県から茨城県に至る沿岸部の観測点の東～東南東方向への変位が顕著であるが、西日本でも九州に至るまで東～東北東方向への変位が見られる。北海道では西部で南南東方向への変位が顕著である。上下変動では、震源域に近い岩手県から茨城県に至る沿岸部が大きく沈降しており、その周囲に隆起域が見られる。これは、逆断層の dislocation theory から期待される地殻変動と調和的である。北海道では西部が隆起し、東部が広く沈降している。西方に震源域から離れた地域では、伊豆半島及び静岡県中部の沿岸部に沈降域が見られるほかは、広く隆起域が見られる。

キーワード: 2011 年東北地方太平洋沖地震, 地震時変位, GPS, GEONET, IGS, GAMIT プログラム

Keywords: 2011 Off Tohoku Earthquake, Co-seismic displacement, Global Positioning System, GEONET, IGS, GAMIT program

MIS036-P20

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## GEONET・IGS 観測点の2011年東北地方太平洋沖地震後30日間の余効変位 Post-seismic displacement during 30 days just after 2011 Off Tohoku Earthquake observed by GEONET and IGS networks

島田 誠一<sup>1\*</sup>

Seiichi Shimada<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所

<sup>1</sup> NIED

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震 ( $M_{JMA}9.0$ ) の発生後30日間の post-seismic 変位を GEONET 及び IGS 観測網の GPS 観測データを用いて求めた。

解析ソフトウェアには GAMIT/GLOBK プログラム 10.4 (Herring et al., 2011) を用いた。座標基準点としては、東アジア・太平洋・北米地域の15点の IGS 観測点を用い、これらの点で与えられている ITRF2005 座標値 (Altamimi et al., 2007) を用いて、これらの観測点の座標値を強く拘束した。精密軌道暦としては、地震前の観測データ解析には IGS 最終暦を、本震30日後の観測データ解析には IGS 迅速暦を用いた。

全国の GEONET 点及び国内の IGS 観測点のうち TSKB 及び USUD 観測点を、地域別に39グループに分け、毎日の各グループの観測点と IGS 座標基準点との RINEX ファイルを GAMIT プログラムで同時に解き、全グループの GAMIT 解を GLOBK プログラムを用いて結合して、毎日の GEONET 全点と TSKB 及び USUD の座標値解を得た (伊藤・他, 2009)。

地震前については、2011年3月7日から3月10日まで (それぞれ UT) の4日間、各24時間の解析結果を GLOBK を用いて結合し、地震前の座標値を得た。本震時の co-seismic な変位については、2011年3月11日の05:50~23:59(UT) と3月12日 (UT) の24時間データをそれぞれ GAMIT プログラムで解析し、座標値解を得たあと、GLOBK を用いて結合し、本震直後の観測点座標値を得た (島田・Herring, 2011)。本震30日後の座標値解は、2011年4月9日及び10日 (UT) のそれぞれ24時間データを GAMIT プログラムで解析し、座標値解を得たあと、GLOBK を用いて結合し、本震30日後の観測点座標値解を得た。最後に、本震30日後の座標値から地震時変位を除いて、地震前の座標値解と比較し、本震後30日間の余効変位を得た。このため、これらの余効変位には、本震発生2日後から30日後までに発生した余震による地震時変位が含まれている。

解析結果を見ると、水平変動では、震源域に近い岩手県から茨城県に至る沿岸部の観測点の東~東南東方向への変位が顕著である。特に、地震時の変位分布と比較して、茨城県から房総半島北部の東南東方向への変位が相対的に大きくなっている。西日本でも co-seismic な変位同様に九州に至るまで東~東北東方向への変位が見られる。北海道では東部が北西方向に変位し、反時計回りに回転して、西部では南方向へ変位している。上下変動では、震源域に近い岩手県では地震時同様に沈降が見られるが、宮城県から茨城県に至る沿岸部では余震の地震時変位の影響とも考えられる隆起が見られる観測点が多い。その周囲には、地震時の沈降域と隆起域の境界付近に大きな沈降が見られ、隆起が見られる新潟県から長野県に至る地域を除いて、地震時に隆起していた地域は沈降している。西方に震源域から離れた地域では、伊豆半島及び静岡県中部の沿岸部で沈降する観測点と隆起する観測点が入り交じっているほか、西日本の広い範囲で同様に沈降する観測点と隆起する観測点が入り交じっている。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 30日間の余効変位, GPS, GEONET, IGS

Keywords: 2011 Off Tohoku Earthquake, 30-days post-seismic displacement, Global Positioning System, GEONET, IGS

## 2011年東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動と震源断層モデル Crustal Deformation and Fault Model of The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

飛田 幹男<sup>1\*</sup>, 石原 操<sup>1</sup>, 今給黎 哲郎<sup>1</sup>, 小沢 慎三郎<sup>1</sup>, 小林 知勝<sup>1</sup>, 水藤 尚<sup>1</sup>, 鈴木 啓<sup>1</sup>, 西村 卓也<sup>1</sup>, 野口 優子<sup>1</sup>, 宮原 伐折羅<sup>1</sup>, 宗包 浩志<sup>1</sup>, 山中 雅之<sup>1</sup>, 矢来 博司<sup>1</sup>, 佐藤 まりこ<sup>2</sup>, 石川 直史<sup>2</sup>

Mikio Tobita<sup>1\*</sup>, Misao Ishihara<sup>1</sup>, Tetsuro Imakiire<sup>1</sup>, Shinzaburo Ozawa<sup>1</sup>, Tomokazu Kobayashi<sup>1</sup>, Hisashi Suito<sup>1</sup>, Akira Suzuki<sup>1</sup>, Takuya Nishimura<sup>1</sup>, Yuko Noguchi<sup>1</sup>, Basara Miyahara<sup>1</sup>, Hiroshi Munekane<sup>1</sup>, Masayuki Yamanaka<sup>1</sup>, Hiroshi Yarai<sup>1</sup>, Mariko Sato<sup>2</sup>, Tadashi Ishikawa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 国土交通省国土地理院, <sup>2</sup> 海上保安庁海洋情報部

<sup>1</sup>GSI of Japan, <sup>2</sup>Hydrogr. and Oceanogr. Dept. of Japan

### 1. はじめに

平成23年3月11日に発生した2011年東北地方太平洋沖地震は、その規模が国内観測史上最大のM9.0で、全世界の地震観測史上でも4番目の巨大地震であった。大規模な津波を伴ったことで大きな被害が生じた。

### 2. 地震時の地殻変動

GEONETによる観測では、3月11日の本震に伴い震源域に近い電子基準点「牡鹿」(宮城県)で東南東方向に約5.3mという非常に大きな水平変位が観測されるなど、北海道から九州にまでおよぶ広域で地殻変動が観測された。岩手県から茨城県にかけての太平洋沿岸では数十cm~1m余りの沈降が観測された。この地殻変動データから、地震を引き起こした断層は岩手県沖から茨城県沖まで南北400km以上におよぶ長大なものであること、断層滑りの大きさは宮城県沖で最大25m以上に達することなどが推定された。今回の地震では断層が海岸から遠いため、主な隆起域は日本海溝に近い深い海の領域にあって、太平洋沿岸部は沈降が観測された。海上保安庁海洋情報部の海底地殻変動のデータを考慮すると、震源域直上の海底の広い範囲が10m以上隆起したと想定され、これが巨大な津波の原因となったと考えられる。

### 3. 地震後の地殻変動

地震後もゆっくりとした地殻変動が観測されており、震源断層周辺での余効的な滑りが続いていると考えられる。水平変動では地震時と同じ方向の変位が見られていて、例えば電子基準点「山田」(岩手県)では、地震後1ヶ月で東南東方向に約0.4mの変動が観測されている。上下変動では、岩手県の「岩泉2」、「山田」観測点では沈降が継続している一方、宮城県の「矢本」、茨城県の「茨城鹿嶋」、千葉県の「銚子」観測点ではわずかな隆起が観測されている。余効変動から推定された滑りの領域は本震で大きくすべった領域よりやや北西側、プレート境界の深い側に広がっている。また、銚子沖にも余効滑りのやや大きい領域が推定されている。余効滑りのモーメントマグニチュードは3月中に8.3を超え、その後も増加している。

福島県浜通りなどで発生した浅い正断層型の地震については、GEONETの隙間を埋めるように、陸域観測技術衛星「だいち」の合成開口レーダー(PALSAR)の干渉画像が詳細な地殻変動を捉えた。

### 4. まとめ

東北地方太平洋沖地震は我が国の観測史上最大の地震であり、それに伴う地殻変動・余効変動も非常に大きく、また広域に及んでいることが観測された。今後も長期的に余効変動や地震に伴う変動が予想されることから、国土地理院では地殻変動の推移を監視する予定である。

謝辞: 本研究で用いたPALSARデータは、国土地理院とJAXAとの「陸域観測技術衛星を用いた地理空間情報の整備及び高度利用に関する協定書」に基づき、国土地理院がJAXAから購入し提供を受けた。

キーワード: 地殻変動, 震源断層モデル, GEONET, 海底地殻変動, 余効変動

Keywords: crustal deformation, fault model, GEONET, postseismic displacement, sea-floor crustal deformation



## GPS データに基づいて推定された地震時すべり分布から見た2011年東北地方太平洋沖地震と想定宮城県沖地震の関係 Coseismic slip distribution of the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake estimated based on GPS data

飯沼 卓史<sup>1\*</sup>, 大園 真子<sup>2</sup>, 太田 雄策<sup>1</sup>, 三浦 哲<sup>3</sup>  
Takeshi Inuma<sup>1\*</sup>, Mako Ohzono<sup>2</sup>, Yusaku Ohta<sup>1</sup>, Satoshi Miura<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 北海道大学理学研究院, <sup>3</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Tohoku Univ., <sup>2</sup>Graduate School of Sci., Hokkaido Univ., <sup>3</sup>Earthq. Res. Inst., Tokyo Univ.

2011年3月11日, 東北地方太平洋沖地震 (M9.0) が発生した。太平洋プレートの沈み込みに伴い地震活動が活発であった, 東北日本の陸側のプレートとその下に沈み込む太平洋プレートとの境界で発生した巨大地震であり, 余震分布や震源破壊過程の解析から推定される本震破壊域は, 繰り返し発生することが知られていたいくつかのM7クラスの地震の震源域を包含する (例えば, Yagi and Nishimura, 2011, <http://www.geol.tsukuba.ac.jp/yagi-y/EQ/Tohoku/index.html>; Yamanaka, 2011, <http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/sanchu/Seismo Note/2011/NGY36n.html>)。

宮城県沖においては, 約37年周期でM7.5クラスの地震, いわゆる宮城県沖地震が発生することが知られている。最近では1978年にM7.4の地震が発生し, 少なくとも三つのアスぺリティを破壊した, と考えられている (例えば, Seno et al., 1980, PEPI; Umino et al., 2006, EPS)。2005年8月16日にこのうちの少なくとも一つ (南東側) のアスぺリティを破壊する形でM7.2の地震が発生した。この2005年の地震によって破壊されなかったアスぺリティにおいては, 1978年の宮城県沖地震の発生以来, 歪が蓄積され, 次回の宮城県沖地震に向けての準備過程にあると考えられていた。

果たして, 2011年東北地方太平洋沖地震に際して, この想定宮城県沖地震のアスぺリティは破壊されたのだろうか? この点に関して知見を得るため, 陸上GPS観測点により得られた地震時変位に基づいて地震時すべり分布を推定し, 想定宮城県沖地震の震源域に破壊が及んでいるのかを確かめるべく解析を行った。

日本列島には国土地理院により運営されている全国規模のGPS連続観測網「GEONET」が展開されているが, 想定宮城県沖地震の震源域を詳細にモニタリングするには観測点の空間的密度 (20~30km間隔) が十分とはいえない。このため, 東北大学ではGEONETの観測網を補完する形で独自のGPS連続観測点を設け, データの収集を続けてきた。東北大学及びGEONETの観測点で得られたGPSデータをBernese GPS Software version 5.0 (Dach et al., 2007) を用いて解析し, 日座標値を得, 地震時変位量を各観測点について見積もった。詳細は大園・他 (2011, 本大会) を参照されたし。

得られた地震時変位を基に, プレート境界でのすべりを逆解析手法 (Matsuura et al., 2007, GJI; Inuma, 2009, 測地学会誌) を用いて推定した。求められた地震時すべり分布には以下のような特徴が見られる (1) 主破壊域は宮城県沖, プレート境界深度30kmより浅い領域に存在し, 最大すべり量は35mを超える (2) 想定宮城県沖地震の震源域にも有意水準を超える20m弱のすべりが推定された (3) 宮城県沖以外で30km以深に破壊が及んだ領域は無く, 宮城県沖においても, 低角逆断層型地震の起こらない深度 (Igarashi et al., 2001, JGR) までは破壊が及んでいない。

最大すべり量については, 海底において30mを超える水平変位がGPS音響結合方式の海底地殻変動観測から求まっていることを考えると, 過小評価されている可能性があり, 検討を要する。一方, 大きくすべった領域がプレート境界の深さ30kmよりも浅い部分にのみ存在することは, 主破壊域は上盤側が地殻になっている部分に限定されていることを示している。そのメカニズムは不詳だが, 上盤側の地殻・マントル境界が破壊の深部への進展を妨げた可能性がある。

宮城県沖地震の想定震源域のすべり量は, 期待されていた宮城県沖地震の規模 (M7.5程度) と比べると有意に大きい。1978年以来, この領域でのプレート間カップリングが100%であったとしても, 積算されるすべり遅れは高々2.6m程度 (8cm × 33年) であり, 6~8倍ものすべりが発生したことになる。このすべり遅れと地震時すべりの収支に関しては, 今後の研究により詳細を明らかにすべき課題の一つである。

プレート境界における低角逆断層型の地震が発生しなくなる領域に地震時すべりは及んでいないが, 過去のGPSデータに基づく研究から求められたプレート間の固着域は, 地震が発生しなくなる深部に及んでいる (例えば, Nishimura et al., 2004, GJI; Suwa et al., 2006, JGR)。今後このプレート境界型地震の発生域以深において余効すべりが発生し, この領域で蓄積された歪が解放されることが予想される。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 宮城県沖地震, 地震時すべり, GPS

Keywords: The 2011 Off the Pacific of Tohoku Earthquake, Miyagi-oki Earthquake, Coseismic Slip Distribution, GPS

MIS036-P23

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 測地データにより推定された3/9(M7.3)プレート境界地震および4/7(M7.1)スラブ内地震の断層モデル

### Coseismic fault models for the March 9 2011 event (M7.3) and April 7 2011 event (M7.1) based on the geodetic data

太田 雄策<sup>1\*</sup>, 大園 真子<sup>2</sup>, 飯沼 卓史<sup>1</sup>, 三浦 哲<sup>3</sup>, 日野 亮太<sup>1</sup>, 伊藤 喜宏<sup>1</sup>, 長田 幸仁<sup>1</sup>, 中島 淳一<sup>1</sup>, 稲津 大祐<sup>1</sup>, 北 佐枝子<sup>1</sup>, 出町 知嗣<sup>1</sup>, 立花 憲司<sup>1</sup>, 長谷川 昭<sup>1</sup>, 海野 徳仁<sup>1</sup>

Yusaku Ohta<sup>1\*</sup>, Mako Ohzono<sup>2</sup>, Takeshi Iinuma<sup>1</sup>, Satoshi Miura<sup>3</sup>, Ryota Hino<sup>1</sup>, Yoshihiro Ito<sup>1</sup>, Yukihiro Osada<sup>1</sup>, Junichi Nakajima<sup>1</sup>, Daisuke Inazu<sup>1</sup>, Saeko Kita<sup>1</sup>, Tomotsugu Demachi<sup>1</sup>, Kenji Tachibana<sup>1</sup>, Akira Hasegawa<sup>1</sup>, Norihito Umino<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学 地震・噴火予知研究観測センター, <sup>2</sup> 北海道大学 地震火山研究センター, <sup>3</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>RCPEVE, Tohoku University, <sup>2</sup>ISV, Hokkaido University, <sup>3</sup>ERI, The University of Tokyo

We propose coseismic fault models based on the geodetic data for the March 9 2011 earthquake (M7.3) and April 7 2011 (M7.1) one.

A large earthquake of M 7.3 occurred at the subducting Pacific plate interface on March 9, 2011, 51 hours before the M 9 huge off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. We propose a simple rectangular fault model of the March 9 event based on a dense GPS network and one OBP (Ocean Bottom Pressure gauge) site. The coseismic displacements are estimated by baseline analyses. The rectangular fault was estimated by non-linear inversion approach. The simple rectangular fault model can explain observations including the vertical displacement based on the OBP data. The amount of moment release is equivalent to Mw 7.17. The spatio-temporal aftershock distribution of the March 9 earthquake shows the clear migration to the southward of the estimated our coseismic fault plane. We suggest that the possibility of afterslip occurrence after the March 9 earthquake until the occurrence of the March 11 Mw 9 earthquake. The aftershocks may be triggered by afterslip. The afterslip generates strain concentrated in particularly edge areas of the afterslip region. It is important results for the understanding of the nucleation process of the M 9 huge off the Pacific coast of Tohoku Earthquake.

We also propose a source fault model for the 2011 April 7 earthquake (M7.1) deduced from a dense Tohoku University GPS network and GEONET data. The coseismic displacements estimated by GPS data clearly show the intraslab earthquake characteristics of not only horizontal components but also vertical ones. The rectangular fault was estimated by non-linear inversion approach. The results indicate that a simple rectangular fault model can explain the observations. The amount of moment magnitude was estimated to be Mw 7.16. The Japan Meteorological Agency hypocenter depth of the main shock is slightly deeper than the neutral plane between down-dip compression (DC) and down-dip extension (DE) stress zone of the double-planned deep seismic zone. This suggests that the depth of the neutral plane was deepened by the large slip of the 2011 M9.0 Tohoku earthquake, enabling to initiate the rupture of the thrust fault type M7.1 April 7 earthquake, although more investigations are required to confirm. The estimated fault plane has an angle of 50-60 degree from the surface of subducting Pacific plate. It is consistent with the hypothesis that intraslab earthquakes are thought to be reactivation of the preexisting hydrated weak zones made in bending process of oceanic plates at outer-rise regions.

キーワード: GPS, 前震, スラブ内地震

Keywords: GPS, fore shock, intraslab earthquake

MIS036-P24

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 高サンプリング歪計アレイで観測された2011年東北地方太平洋沖地震の歪地震動 Strain seismograms of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake recorded by high-sampling rate borehole strain

武田 直人<sup>1\*</sup>, 今西 和俊<sup>1</sup>, 北川 有<sup>1</sup>  
Naoto Takeda<sup>1\*</sup>, Kazutoshi Imanishi<sup>1</sup>, Yuichi Kitagawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 産総研 活断層・地震研究センター

<sup>1</sup> Geological Survey of Japan, AIST

2011年東北地方太平洋沖地震の際、東海、西南日本にて展開している産総研観測点に於いても広域地殻変動に伴う歪ステップ変化(板場他, 当セッション)、水位変化(北川他, 当セッション)等様々な観測記録が得られた。産総研のボアホール歪計では20~100Hzの高サンプリングレートで観測を行っており、この超巨大地震に伴う歪地震動を高いS/Nで記録することができた。ここではこの歪地震動について報告する。

Okubo et al. (2004)によると、広帯域地震計の出力がフラットな帯域では広帯域地震計による地震動とボアホール歪計による歪地震動は同等の波形を示すことが報告されている。我々は産総研観測点の近傍にある防災科研F-net 広帯域地震計記録を用い、Okubo et al. (2004)と同様の比較を行った。地震が起きた時刻を含む3月11日の14:00~16:00まで2時間分の波形およびその周波数スペクトルを比較すると、100秒以下の帯域で両者は良く似ている。

次に、紀伊半島にある産総研の歪観測点5点とF-net 観測点6点の計11点を水平アレイとみなしてセンブランス解析を行い、長周期成分の波が放射される場所の推定を試みた。ここでは歪計と広帯域地震計でほぼ同等の波形を示した100秒より短い帯域に着目した。震源域と水平アレイの位置関係から経度方向の分解能は無いと判断し、緯度方向の時空間変化を求めることにした。14:00~16:00の2時間分の波形に適用したところ、本震の断層運動に伴う地震波放射源の北から南への移動する様子に加え、規模の大きな余震の発生状況を良く再現した結果が得られた。F-net 観測点の配置密度にも依存するが、F-netの観測点のみを使った場合に比べ、歪計記録を加えることにより、地震波放射源の時空間分解能が大きく改善された。

### 参考文献

Okubo, M., Y. Asai, H. Ishi, and H. Aoki, Earth Planets Space, vol. 57, pp. 303-308, 2004.

謝辞: 防災科学技術研究所が公開している広帯域地震観測網(F-net)の連続波形データを使用させていただきました。

キーワード: 歪地震動, アレイ解析, センブランス解析

Keywords: strain seismogram, array analysis, semblance analysis

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



MIS036-P25

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 歪ステップから推定した2011年東北地方太平洋沖地震の断層モデル The fault model of the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake from the coseismic strain steps

板場 智史<sup>1\*</sup>, 松本 則夫<sup>1</sup>, 北川 有一<sup>1</sup>, 小泉 尚嗣<sup>1</sup>  
Satoshi Itaba<sup>1\*</sup>, Norio Matsumoto<sup>1</sup>, Yuichi Kitagawa<sup>1</sup>, Naoji Koizumi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>産総研 活断層・地震研究センター

<sup>1</sup>Geological Survey of Japan, AIST

2011年3月11日、東北地方太平洋沖において、Mw9.0の巨大地震が発生した。この地震による断層変位に伴い、産業技術総合研究所が東海・紀伊半島・四国に展開している歪観測網（地下水等総合観測施設）において、 $10^{-5}$  オーダーの歪地震動と  $10^{-7}$  オーダーの歪ステップが観測された。観測された歪ステップを説明する断層モデルを太平洋プレート境界面上において推定したところ、Mw8.7と推定され、GPS データや波形インバージョンによって大きなすべりが推定される場所とよく一致した。この結果は、高精度な歪観測が、地震の規模の早期把握にも有用であることを示している。

キーワード: 歪ステップ, 地殻変動, 断層モデル, マグニチュード, 2011年東北地方太平洋沖地震

Keywords: strain step, crustal movement, fault model, magnitude, The 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



MIS036-P26

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 東濃地震科学研究所 深部ボアホール応力計により観測された応力地震波形による震源時間関数と最終作用応力に関する考察

Examination concerning source time function and permanent stress by using data observed by borehole stress meter

石井 紘<sup>1\*</sup>, 浅井 康広<sup>1</sup>

Hiroshi Ishii<sup>1\*</sup>, Yasuhiro Asai<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研

<sup>1</sup> TRIES

東濃地震科学研究所では深部ボアホール応力計を開発し、連続データを蓄積している。2011年東北地方太平洋沖地震による応力地震波を深度500メートルのボアホールに設置した地殻活動総合観測装置に搭載された多成分応力計により観測することが出来た。ボアホール観測点は震源から約570キロメートル離れている。この波形を解析することにより震源時間関数と地震により作用した主応力を推定することが出来たと考えている。この方法と結果について考察した結果を報告する。

キーワード: 震源時間関数, ボアホール応力計, 2011年東北地方太平洋沖地震, 作用した主応力, 応力地震波形

Keywords: source time function, borehole stress meter, applied permanent stress, stress seismograms, M9.0 earthquake

MIS036-P27

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## TRIES 観測網 (ひずみ地震動, 地動) から見た 2011 年東北地方太平洋沖地震 The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake inferred from TRIES observation network

大久保 慎人<sup>1\*</sup>, 雑賀 敦<sup>1</sup>, 中嶋 唯貴<sup>1</sup>  
Makoto OKUBO<sup>1\*</sup>, Atsushi Saiga<sup>1</sup>, Tadayoshi Nakashima<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東濃地震科学研究所

<sup>1</sup> TRIES

2011年3月11日14時46分ごろ東北地方太平洋沖地震 ( $M_W 9.0$ ; JMA) が発生した。この地震は日本の観測史上最大の地震であった。そして地震は岩手県から千葉県まで太平洋に面する広い地域に大きな被害をもたらした。この地震により、震央から約600km離れた岐阜県東濃地域でも、最大震度4の地動加速度と最大振幅  $10^{-5}$  ひずみ (潮汐振幅の約1000倍) のひずみ地震動を観測した。本発表では、東濃地域で観測されたひずみ地震動および地動加速度から推測される、2011年東北地方太平洋沖地震の破壊過程について報告する。

岐阜県東濃地域に展開した TRIES 観測網の深部ボアホールひずみ計網 (屏風山: BYB, 研究所: TRIES, 陶史の森: TOS) で得られたひずみ地震動記録を用いて、2011年東北地方太平洋沖地震の震源破壊過程を推定した。解析には大久保 (2007) による周波数領域でのひずみ解析法を用い、水平4成分のひずみ観測記録から得られる主ひずみ方位の決定誤差が2.5度以下となる周期とその周期での最大主ひずみを観測点ごとに求めた。解析の結果からは、主ひずみ方位と振幅から求めた地殻ひずみの開放位置は宮城県沖、福島県沖、茨城県沖と徐々に南下したことが明らかになった。また、破壊はひずみ初動到達以後約180秒間にわたり継続し、総計  $M_W 8.7$  相当の地震モーメントが解放されたことも明らかになった。ひずみ地震動の解析から得られた地震モーメントは、気象庁による  $M_W 9.0$  に比べ半分程度と小さなマグニチュードが求まった。

一方、TRIES では東濃地域に最小観測点間隔約2kmで高密度に展開した約50点の高感度の過減衰型加速度計を用いて地震 (地動加速度) の観測も行っている。14時46分に発生した本震では、最大震度4相当の地動加速度が観測された。その後の余震や誘発地震を含め、地震後約1カ月で30を超える震度記録が得られた。岐阜県東濃地域での有感地震記録 (震度0以上) は年平均で15例程度であるため、1か月で約2年分の地震動が観測されたことになる。

キーワード: ひずみ地震動, 地動加速度, 震度, 震源過程

Keywords: dynamic strain, acceleration, Seismic Intensity, Source process

MIS036-P28

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 2011年東北地方太平洋沖地震による絶対弾性歪みの解放とその意義 Release of absolute elastic strain due to the 2011 Tohoku-oki earthquake and its geophysical implication

深畑 幸俊<sup>1\*</sup>, 八木 勇治<sup>2</sup>  
Yukitoshi Fukahata<sup>1\*</sup>, Yuji Yagi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大学防災研究所, <sup>2</sup> 筑波大生命環境科学  
<sup>1</sup>DPRI, Kyoto University, <sup>2</sup>University of Tsukuba

地震は歪みの解放過程であるが、通常は蓄積されたひずみの一部を解放するに過ぎない。地震波データの解析からは、応力降下量や歪みの解放量が分かるだけで、歪みや応力の絶対値は分からない。そういったことが原因で、例えば断層の摩擦強度についても論争が続いてきた。

2011年東北地方太平洋沖地震の震源過程の解析(八木・深畑, 本大会)からは、30mに達する大きな滑りに加え、異常に長い滑り時間、比較的大きな応力降下量が推定された。異常に長い滑り時間は、摩擦力の極端な弱化を示唆するものであり、比較的大きな応力降下はその示唆と調和的である。更に、地震後には、福島県周辺を初めとしてこれまで圧縮場だった地域で正断層型の地震が多発するなど、応力場に劇的な変化が生じている。これらのことから、2011年東北地方太平洋沖地震は、断層上にこれまでに蓄積された歪みをおよそ全て解放する極めて例外的な地震だったと考えられる。そして、その推測が正しいとすれば、この地震は歪みや応力の絶対レベルを推定する上で実に得難い機会を提供する。例えば、簡易な見積もりからは福島沖のプレート境界の断層強度は10MPa以下と極めて弱い断層だったことが推定された。今後数十年をかけて、応力場は元の圧縮的なものに戻っていくであろう。海域のGPSデータなどから精度良くプレート間のカップリングが推定できれば、メカニズム解の時間変化と合わせることで、応力や歪みの絶対レベルを更に精度良く見積もることができる。応力の絶対値が得られれば、島弧下部地殻の変形問題などの議論の精度も上がるのが期待される。

断層面上の摩擦力の極端な弱化には、thermal pressurizationなど何らかの非線形的な効果が働いていると考えられる。もしもそうだとすれば、初期条件のちょっとした違いにより、断層の破壊過程が大きく変わることが考えられる。津波堆積物などから示唆される大地震の周期性が大きな変動を有することは、このような考えと調和的である。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 絶対歪み, 絶対応力, 地震の周期性  
Keywords: 2011 Tohoku-oki earthquake, absolute strain, absolute stress, earthquake cycle

MIS036-P29

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 1Hz GPS でみる 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源過程 Modeling the source process of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake using the 1-Hz GPS data

加納 将行<sup>1\*</sup>, 宮崎 真一<sup>1</sup>, 横田 裕輔<sup>2</sup>  
Masayuki Kano<sup>1\*</sup>, Shin'ichi Miyazaki<sup>1</sup>, Yusuke Yokota<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大学理学研究科, <sup>2</sup> 東京大学地震研究所  
<sup>1</sup>Geophys., Kyoto Univ., <sup>2</sup>ERI, Tokyo Univ.

High-rate GPS data can record ground displacement as a seismometer. Previous studies demonstrated that high-rate GPS data show good agreement with strong motion waveforms for M8 class large earthquakes, e.g., the 2002 Denali Fault earthquake (Larson et al. 2003), and the 2003 Tokachi-oki earthquake (Miyazaki et al. 2004), as well as the medium-sized earthquakes, e.g., the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake (Yokota et al. 2009). Strong motion records must be integrated twice to obtain static displacement, resulting in amplifying noise. On the other hand, the high-rate GPS waveforms contain not only dynamic process but static displacement of the ground surface. Using this advantage of high-rate GPS data, GPS waveforms recorded during an earthquake were inverted to infer slip distribution (e.g., Miyazaki et al. (2004) and Yokota et al. (2009)). For example, Miyazaki et al. (2004) estimated the spatio-temporal evolution of fault slip during the rupture of the 2003 Tokachi-oki earthquake and demonstrated the ability to infer source process of earthquakes solely from high-rate GPS data. In this study, we first analyze 1-Hz GPS data in Tohoku and northern Kanto area for the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake. Then we perform a waveform inversion for the rupture process of the earthquake and finally compare theoretical GPS waveforms with observed strong motion waveforms.



## 地震波形および測地データを用いた震源インバージョンによる2011年東北地方太平洋沖地震の解析

### Source process of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake determined from seismic waveform and geodetic data

久保 久彦<sup>1\*</sup>, 箕 楽磨<sup>1</sup>

Hisahiko Kubo<sup>1\*</sup>, Yasumaro Kakehi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 神戸大学

<sup>1</sup> Kobe University

本研究では、地震波形および測地データのそれぞれを用いて震源インバージョンを行うことで、2011年東北地方太平洋沖地震の震源過程について調べた。

インバージョンで使用した震源断層面は、Miura et al. (2005) で得られたプレート境界を参考にして、異なる傾斜角を持つ3枚の平面からなるモデルを仮定した。それぞれの面の長さはすべて480kmであり、幅はそれぞれ60km, 60km, 90kmである。傾斜角度はそれぞれ9度, 11度, 23度である。インバージョンの際には、このモデルを30km × 30kmのサブフォルト計112個に分割した。また、破壊開始点は北緯38.1035度, 東経142.8610度, 深さ17.8kmにおいた。震央位置は気象庁一元化震源データから、深さは気象庁一元化震源データの震央位置でのMiura et al. (2005) によるプレート境界から定めた。メカニズム解の走向はGlobal CMT Projectで求められたCMT解から201度とした。

地震波形データは、震央距離が50度~100度のIRISの計42観測点で観測された遠地P波の上下動成分を用いた。震央距離が70度以上の観測点については、P波到着の10秒前から180秒間の波形を解析対象とした。震央距離が70度より小さい観測点では180秒の時間内に直達P波とdepth phaseだけでなく、PPも到着してしまう。したがって、震央距離50度~60度, 60度~70度の観測点では、解析時間内にPPが入らないように、解析時間幅をそれぞれ140秒と160秒と短くした。解析には観測された速度波形に10秒から100秒のバンドパスフィルターをかけ、数値積分して、0.5秒でリサンプリングをした変位波形を用いた。

遠地実体波のGreen関数の計算にはKikuchi and Kanamoriのプログラムを用いた。その際、Miura et al. (2005) を参考にした地下構造を用いた。地震波形を用いた震源インバージョンにはmultiple time window analysisを用いた。すべり角は、Global CMT Projectで求められたCMT解から85度を中心角として、±45度の範囲で可変とした。各サブフォルトの震源時間関数は8秒幅の三角関数を4秒ずらして、14個並べることで表現した。first time windowの伝搬速度は2.73 km/sとした。また、すべりの時空間分布を滑らかにするためにsmoothing constraintを与えた。smoothing constraintの重みはABICを最小とする値にした。

地震波形を用いた震源インバージョンの結果として、最大すべり量は18.1 m、震源断層面全体で解放された地震モーメントは $1.9 \times 10^{23}$  N\*mである破壊過程が求められた。Variance Reductionは79%で、観測波形と理論波形の合いは良い。Large slip areaは破壊開始点よりも浅い領域で見られた。

測地データは、国土地理院GEONETのGPS日座標値(F3解)から2011年3月10日と11日の座標値の変位差を用いた。解析には計392観測点で観測された地殻変動の東西成分と南北成分を用いた。

地殻変動のGreen関数の計算にはOkada (1992) によるプログラムを用いた。測地データを用いた震源インバージョンでのすべり角は、Global CMT Projectで求められたCMT解から85度を中心角にして、±45度の範囲で可変とした。また、すべりの空間分布を滑らかにするためにsmoothing constraintを与えた。smoothing constraintの重みはABICを最小とする値にした。

測地データを用いた震源インバージョンの結果として、最大すべり量は28.0 m、震源断層面全体で解放された地震モーメントは $2.1 \times 10^{22}$  N\*mであるモデルが求められた。地震波形を用いた震源インバージョンの結果に比べ、より滑らかなすべり分布が求められた。

謝辞 遠地実体波のGreen関数の計算にはKikuchi and Kanamori (1982) のプログラムを使用しました。地殻変動のGreen関数の計算にはOkada (1992) のプログラムを使用しました。データとして、Incorporated Research Institutions for Seismologyで観測された遠地実体波波形と国土地理院GEONETのGPS日座標値を使用しました。記してお礼申し上げます。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 震源過程, 地震波形, 測地データ

Keywords: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Source process, Seismic waveform, Geodetic data

MIS036-P31

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 遠地実体波から求めた2011年東北地方太平洋沖地震の震源過程 Rupture process of the 2011 Tohoku-oki earthquake obtained by tele-seismic body wave

八木 勇治<sup>1\*</sup>, 深畑 幸俊<sup>2</sup>  
Yuji Yagi<sup>1\*</sup>, Yukitoshi Fukahata<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学大学院生命環境科学研究科, <sup>2</sup> 京都大学防災研究所

<sup>1</sup>University of Tsukuba, <sup>2</sup>DPRI, Kyoto University

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震の震源過程を、遠地実体波を用いて求めた。一般に、我々は地球の真の速度構造を求めることはできず、また、地球を完全にモデリングすることができないため、観測波形と震源過程を結びつけるグリーン関数の真の値を求めることはできない。このようなグリーン関数の不確定性は、震源時間が長く、かつ、海溝付近で大きなすべりが発生するような地震の解析を難しくする。本研究では、グリーン関数の不確定性を考慮した波形インバージョン法 (Yagi & Fukahata, 2011, GJI) を適用して安定かつ詳細な解を求めた。ここでは、データの有する情報量を客観的に見積もるために ABIC を用いている。解析には、FDSN と GSN で観測された遠地実体波を IRIS-dmc からダウンロードして使用した。観測波形から、不明確ではあるもの少なくとも3つの波群を同定できる。これらの波群は、破壊が非対称ながらも南北方向にバイラテラルに進行していることを示すものであり、近地強震動で同定できる3つのイベントと矛盾しない。得られた震源過程モデルから、長さ約450km、幅約150kmの断層が約150秒かけて動いたことが明らかになった。海底でのすべり量は、10mを超える。また、震源付近で、約80秒わたって断層すべりが継続していることが明らかになった。すべりの継続時間は、想定宮城県沖地震の震源域では、短くなる。長いすべりが継続することによって、震源付近でのすべり量が大きくなり、約29mにも達している。このような長いすべりの継続そして、大きなすべり量は、継続的な強度の低下による応力の解放が進行したことを示唆し、同地域に蓄積された絶対歪みが解放された可能性を示唆するものである。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 震源過程, グリーン関数の不確定性

Keywords: 2011 Tohoku-oki earthquake, seismic source process, uncertainty of Green's function

MIS036-P32

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 遠地実体波解析による東北地方太平洋沖地震震源域の特徴 Source processes of the 2011 Tohoku-Taiheiyo-oki earthquake inferred from teleseismic body waves

山中 佳子<sup>1\*</sup>, 吉本昌弘<sup>1</sup>

Yoshiko Yamanaka<sup>1\*</sup>, Masahiro YOSHIMOTO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学環境学研究科

<sup>1</sup> Nagoya Univ.

IRIS-DMC から収集した広帯域地震計記録を用いプレートの形状を多少考慮して震源過程解析を行った。その結果、以下のようなことが考えられる。

\* 大きなすべりは破壊開始点より深いところ（震源より北東）と南東の海溝付近だった。海溝側のすべりが津波を大きくしたものと思われる。今回の地震は数多くのアスペリティの連動破壊であった。

\* 余震の多くは福島 - 茨城沖の陸よりの多く起こっており、今回求められた結果では余震がたくさん起こっている所での本震時のすべりはほとんどなかった。

\* 本震の2日前に M7 クラスの地震が発生したが、そこを避けるように今回の地震のすべりは北側、南側に進展した。

\* 1896 年明治三陸地震（津波地震）の震源は今回の海溝付近北側の大きなすべりのすぐそばである。明治三陸地震の震源域についてはまだよくわかっていないが、今回の震源域の一部の可能性が高く、この領域では津波地震に見られるようなゆっくりとした破壊が起こっている。

\* 今回の地震では 1968 年十勝沖地震のすぐ近くまで滑ったことがわかる。

\* 1978 年宮城沖地震のところは発生確率の高かったところだが、今回この付近で 2 - 3 m の滑りが見られることから想定宮城沖地震の震源域も滑ったと考えられる。

\* 海溝側の南側のすべりのさらに南側は日頃から地震活動が低い領域であり、そのさらに南側には沈み込んだ海山がある。

キーワード: 東北太平洋沖地震

## 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の震源過程 Source process of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

吉田 康宏<sup>1\*</sup>, 上野 寛<sup>2</sup>, 武藤 大介<sup>2</sup>, 青木 重樹<sup>1</sup>  
Yasuhiro Yoshida<sup>1\*</sup>, Hiroshi UENO<sup>2</sup>, Daisuke Muto<sup>2</sup>, Shigeki Aoki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所, <sup>2</sup> 気象庁

<sup>1</sup>MRI, <sup>2</sup>JMA

2011年東北地方太平洋沖地震の震源過程を遠地実体波および近地強震波形を用いて解析した結果について報告する。

### 1. 遠地実体波を用いた震源過程解析

広帯域地震計の遠地P波部分(上下動)を用いて本地震の破壊の時空間分布を求めた。解析は菊地・金森(2003)のプログラムを用いて行った。断層面は余震分布より480×240kmに設定し、走向・傾斜については気象庁CMT解を参考にして決定した。地震波形は変位に変換した後、0.002から1.0Hzのバンドパスフィルターをかけたものを解析に用いた。最大破壊速度は残差が最小になる1.8km/sを採用した。解析の結果、地震モーメントは $4.0 \times 10^{22}$ Nm(Mw9.0)、破壊継続時間は約160秒と求まった。破壊はおおまかに3段階に分かれており、各々破壊開始時間から20-40秒、40-90秒、100-160秒後に起きている。第2段階の破壊は破壊開始点から海溝寄りに広がっており、1番規模が大きく最大すべり量は30mに達した。また、第3段階の破壊は震源域より南に伝播したもので、福島県から茨城県沖に求まった。観測波形と理論波形の一致度は良い。

### 2. 近地強震波形を用いた震源過程解析

防災科学技術研究所のK-NETおよびKiK-net、気象庁の加速度計の波形を用いて震源過程を求めた。余震分布より断層面を設定し、断層面からの距離が100km以内にある観測点を中心に北海道、東北、関東地方にある23点を用いた。波形データは速度に変換し、0.01-0.15Hzのバンドパスフィルターをかけ、サンプリング間隔を2秒に落として解析を行った。解析はすべりの時空間分布に滑らかさを導入した線型インバージョンで行った。滑らかさはABICが最小になる値を用いた。解析の結果、地震モーメントは $3.4 \times 10^{22}$ Nm(Mw9.0)、破壊継続時間は約160秒となり、遠地P波解析とほぼ同じ結果が得られた。また、破壊は3段階に分かれており、これも遠地解析と整合的な結果である。第1段階(0-40秒)は破壊開始点より破壊が進行しており、約40秒後に海溝軸に近い部分で大きな破壊が起きて第2段階に移行し、海溝沿いから深い方向に向かい逆に破壊が伝播している。約80秒後以降は破壊が福島県から茨城県沖へと伝播して、約160秒後に破壊が停止している。

### 3. 議論と結論

遠地P波と近地強震波形を用いた解析ではほぼ整合的な結果が得られた。しかし、第3段階の南に進行した破壊については両方で位置が異なっている。これは、第2段階の破壊によって励起された地震波の振幅が大きく、第3段階から励起された波と重なってしまい位置の決定精度が落ちているためと思われる。しかしながら、第3段階の破壊が無いと関東地方の波形に見られる鋭いピークを説明することができず、南に破壊が進行しているのは間違い無いと思われる。短周期励起源[青木・他, 2011]を近地強震波形解析の結果と比較すると、本解析で得られたすべりが大きな部分の周辺で短周期が励起されていることがわかる。100秒前後には福島・茨城県沖に移動するという南北方向の破壊の挙動も概ね一致している。本地震では海溝軸に近い部分が破壊した第2段階のモーメント解放量が大きく、すべり量が30mにも達した。同じく巨大地震の2004年スマトラ沖地震(Mw9.1)、2010年チリ地震(Mw8.8)の最大すべり量は約15mとされており[USGS, 2004, 2010]、本地震はそれよりかなり大きくなっている。破壊開始点から海溝沿いにあたる領域では破壊の継続時間が約90秒と長くなったためすべり量が大きくなったと思われる。また、この領域はGPSの結果から求めたすべり量の大きな部分[国土地理院, 2011]や、津波の逆伝搬より求めた鋭いピークが出た領域[Hayashi et al., 2011]と重なる。

### 謝辞

解析には防災科研のK-NET及びKiK-net、気象庁の加速度計、IRIS DMCの広帯域地震波形記録を用いた。遠地実体波の解析には菊地・金森(2003)のプログラムを用いた。

キーワード: 震源過程, 2011 年東北地方太平洋沖地震, 遠地波形, 強震波形

Keywords: source process, the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, teleseismic seismogram, strong motion seismogram

MIS036-P34

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 2011年東北地方太平洋沖地震の震源過程 Source process of the 2011 Tohoku earthquake

横田 裕輔<sup>1\*</sup>, 纈纈 一起<sup>1</sup>

Yusuke Yokota<sup>1\*</sup>, Kazuki Koketsu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup> ERI, University of Tokyo

2011年3月11日午後2時46分頃に三陸沖で発生した東北地方太平洋沖地震 ( $M_w \sim 9.0$ ) により、甚大な被害が発生した。私たちは強震観測網をはじめとする多くの観測データを用いて震源過程の解析を実施した。本発表では、その中で遠地実体波と強震波形を用いた解析結果を報告する。

まず、遠地実体波データを用いた点震源解析 [Kikuchi and Kanamori, 1991] と W-phase インバージョン [Kanamori and Rivera, 2008] によって震源メカニズム解を推定した。この結果、この地震は太平洋プレートの沈み込み帯で発生しており、その領域は宮城県沖を中心とした広い領域で発生したことがわかった。次に強震波形データを用いた波形インバージョン [Yoshida et al., 1996] の手法を用いて、この地震の震源過程を推定した。遠地実体波解析の結果と余震分布と合わせて、走向:  $200^\circ$ 、傾斜:  $12^\circ$ 、すべり角:  $90^\circ$ 、長さ 480 km、幅 150 km の断層面を設定した。破壊開始点は、 $38.103^\circ\text{N}$ 、 $142.861^\circ\text{E}$ 、深さ 17 km とし、震源断層面は  $30\text{ km} \times 30\text{ km}$  の小断層に分割した。グリーン関数は、Koketsu [1985] の手法を用いて計算した。そのための一次元水平成層構造は JIVSM [Japan Integrated Velocity Structure Model; Koketsu et al., 2008] のモデルを使用した。

推定されたすべり分布によると総モーメント量は  $3.4 \times 10^{22}\text{ Nm}$  ( $M_w \sim 9.0$ )、最大すべり量は約 30 m と求めた。この結果から、大きなすべりは、宮城県沖の領域に集中していることが示唆された。また、すべりは南側の福島沖に進行したことも示唆された。今後、断層モデルの修正などを行うことを検討している。

謝辞: 解析には防災科学技術研究所, IRIS の観測データを使用しました。記して感謝致します。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 震源過程, 強震動

Keywords: 2011 Tohoku earthquake, source process, strong motion

MIS036-P35

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) の震源のモデル化 Source Modeling of the 2011 Tohoku-Chiho Taiheiyo-Oki Earthquake (Mw9.0)

川辺 秀憲<sup>1\*</sup>, 釜江克宏<sup>1</sup>, 上林 宏敏<sup>1</sup>

Hidenori Kawabe<sup>1\*</sup>, Katsuhiko Kamae<sup>1</sup>, Hiroto Uebayashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学 原子炉実験所

<sup>1</sup>RRI, Kyoto University

2011年3月11日14時46分、三陸沖から茨城県沖のプレート境界を震源とするマグニチュード9.0の超巨大地震が発生した。この地震では7mを超える津波が観測され、津波による甚大な被害が岩手県から茨城県に至る広域で生じた。一方、観測された加速度記録を見ると、宮城県以北の地域では特徴的な2つの波群が観測されており、福島県ではその2つの波群に加えて異なった波群も観測され、その南の茨城県では特徴的な1つの波群が観測されている。これらの観測記録は、この地震の震源過程が非常に複雑であったことを示唆している。よって、この地震の震源過程を明らかにすることは、今後の東南海・南海地震などプレート境界で発生する地震の強震動予測をする上でも非常に重要なことである。

ここでは、太平洋沿岸部の観測記録を用い、0.1~10Hzの波形を対象として、経験的グリーン関数法によるフォワードモデリングによって、強震動生成域(アスペリティ)のモデル化を行った。この地震の震源面は、沈み込む太平洋プレートの形状をもとに、気象庁の震源をとる走行195度、傾斜角13度の面と仮定して震源のモデル化を行った。経験的グリーン関数として2005年10月19日20:44に茨城県沖で発生したMj6.3の地震、及び2011年3月10日3時16分に宮城県沖で発生したMj6.4の地震の記録を用いた。本検討では、KiK-netの観測記録によって、波群の伝播や到達時刻などから破壊過程(アスペリティの位置や破壊時間)を推定した。

結果として、宮城県沖、岩手県南部沖、福島県沖、茨城県沖等の5カ所にアスペリティを配置した震源モデルを提案する。ここで提案するモデルによって、岩手県沿岸から茨城県沿岸にかけての観測点における特徴的な観測波形がほぼ再現できた。

今回のモデルでは断層面を1枚の平面として取り扱っており、プレートの潜り込み形状、特に陸側で傾斜角が大きくなることを正確に反映できていない。今後は、プレートの潜り込み形状をより正確に反映したモデルの検討及び、上記以外の地震記録を用いた定量的な検討を行っていく予定である。

### 謝辞

本研究では防災科学技術研究所によるKiK-net地震観測記録及び気象庁の震源データを使用させて頂きました。記して感謝の意を表します。また、今回の地震では防災科学技術研究所や同所職員が被災したにもかかわらず、貴重な観測データを迅速に公開して頂きましたことに心から敬意を表しますとともに、お礼申し上げます。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 強震動, 震源モデル, アスペリティ, 経験的グリーン関数

Keywords: 2011 Tohoku-Chiho Taiheiyo-Oki Earthquake, strong ground motion, source model, asperity, empirical Green's function

MIS036-P36

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 防災科研の地震観測網がとらえた東北地方太平洋沖地震の特徴 Characteristics of the 2011 Tohoku-oki earthquake revealed by the seismograph networks operated by NIED

青井 真<sup>1\*</sup>, 功刀 卓<sup>1</sup>, 鈴木 亘<sup>1</sup>, 森川 信之<sup>1</sup>, 中村 洋光<sup>1</sup>, プリード ネルソン<sup>1</sup>, 浅野 陽一<sup>1</sup>, 汐見 勝彦<sup>1</sup>, 藤原 広行<sup>1</sup>  
Shin Aoi<sup>1\*</sup>, Takashi Kunugi<sup>1</sup>, Wataru Suzuki<sup>1</sup>, Nobuyuki Morikawa<sup>1</sup>, Hiromitsu Nakamura<sup>1</sup>, Nelson Pulido<sup>1</sup>, Youichi Asano<sup>1</sup>,  
Katsuhiko Shiomi<sup>1</sup>, Hiroyuki Fujiwara<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所

<sup>1</sup> NIED

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、マグニチュード9という日本周辺で発生したものとしては有史以来最大規模のものであった。東北地方に沈み込むプレートに沿った全長400-500kmの長大な断層のずれに伴う津波、地震動、液状化などによりもたらされた被害は、死者行方不明者2万5千人以上、建物の全半壊10万棟以上(2011年4月28日現在)と甚大なものであった。今回の地震は、海域である断層直上では強震計による観測はなされていなかったものの、断層に沿う形で稠密な観測がなされた初めてのM9クラスの地震である。本発表では防災科研の運用する地震観測網により明らかになった東北地方太平洋沖地震の特徴について概観する。

北海道から九州にいたる約1200点のK-NET及びKiK-net観測点で地震動が記録され、特に岩手県から千葉県にかけての20観測点で1gを超える加速度が記録された。観測された最大の加速度はK-NET 築館(MYG004)における2933gal(3成分合成)であり震度7であった。また、余震や誘発された地震も数多く起こっており、それらの中には本震に比べ陸域に近い場所で起きた地殻やスラブ内のM7クラス地震もあり、震度6強ないし弱の揺れにより死者が出るなど大きな被害を生じている。

K-NET 築館を含め、東北地方の多くの観測点の記録には明瞭なイベントが二つ認められ、その時間間隔は地点によらず概ね40秒程度であることから、大きなすべりが断層面のほぼ同じ場所で二度起きたことが示唆される。岩手県から千葉県のK-NET・KiK-netの33観測点の強震波形を用いてマルチタイムウィンドウ線型波形インバージョン法により断層破壊過程を推定した結果、宮城県の沖合海溝寄りに大きなすべりがあり、最大すべりは33mとなった。大きな滑りを示す小断層におけるすべり時間関数には、上述した二つのイベントに対応する二つのピークが認められる。Hi-net及びF-netのデータから推定されるCMT解のうち、仮定したプレートモデルとなすKagan角が15度以下の余震の分布はインバージョンにより推定された大きなすべりの領域とは相補的な関係にある。このことは、本震時に大きくすべった領域においては、プレート境界における余震が少ないことを意味する。

今回の地震に伴い、観測データの受信・処理・公開を行っているデータセンタのあるつくば市においても震度6弱に見舞われ、直後に停電が発生したり建物への立ち入りが制限されるなど、数日にわたりセンター機能に障害が出た。また、岩手宮城両県の計5観測点においては津波で観測小屋自体が流失するなど施設が直接的な被害を受けるとともに、東北地方を中心とする多くの観測点においては通信回線断や停電などによりデータの取得が途絶したり不安定になった。大災害を伴う地震の発生時という、防災上最も地震データが重要な状況下における観測継続の困難さがあらためて明らかになった。



Keywords: 2011 Tohoku-oki earthquake, megathrust earthquake, K-NET, KiK-net, Hi-net, F-net

MIS036-P37

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 高周波地震波形から推定される2011年東北地方太平洋沖地震の震源過程 2011 Tohoku megathrust earthquake revealed by high-frequency strong ground motions

熊谷 博之<sup>1\*</sup>, プリード ネルソン<sup>1</sup>, 青井 真<sup>1</sup>, 福山 英一<sup>1</sup>  
Hiroyuki Kumagai<sup>1\*</sup>, Nelson Pulido<sup>1</sup>, Shin Aoi<sup>1</sup>, Eiichi Fukuyama<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 防災科研

<sup>1</sup> NIED

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の震源過程をKiK-net観測点の強震波形を用いて解析した。それらの観測波形は、この地震に伴って孤立したサブイベントが複数回にわたって発生したことを示している。このようなサブイベントの震源決定は、波形の立ち上がり時間を用いた手法では困難であるため、本研究ではKumagai et al. (JGR, 115, B08303, 2010)による高周波振幅を用いた震源決定手法を用いて解析を行った。この手法では、高周波の振幅を用いて、S波の等方輻射を仮定してフィティングを行い、空間のグリッドサーチにより最小残差点として震源を決定する。高周波では地震波の散乱により輻射分布が崩れ、等方的な振幅分布になると解釈されている。日本海溝から延びる断層面(走向と傾斜角をそれぞれ195°と13°と仮定)に15km毎のグリッドノードを配置し、5-10Hzの周波数帯の速度エンベロープ振幅を用いてグリッドサーチを行った。Q値は300を用いた。その結果、震源時刻から約150秒の間に、3つの主要なサブイベントがあることが分かった。最初の2つのイベントは宮城県沖の海溝付近の非常に近接した場所で発生し、3番目のイベントはそれらの南側(福島県沖)で発生したことを示した。これらの震源領域は高周波の地震波を強く輻射した領域と考えられる。KiK-netおよびK-NETの最大地動速度の分布は宮城・福島・茨城県の沿岸で強い揺れを示しており、本研究で推定された震源領域と整合的である。

## 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の短周期エンベロープを用いた振動源イメージング(暫定版) Imaging of the high-frequency energy radiation sources of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

青木 重樹<sup>1\*</sup>, 吉田 康宏<sup>1</sup>, 干場 充之<sup>1</sup>, 勝間田 明男<sup>1</sup>  
Shigeki Aoki<sup>1\*</sup>, Yasuhiro Yoshida<sup>1</sup>, Mitsuyuki Hoshiba<sup>1</sup>, Akio Katsumata<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象庁気象研究所

<sup>1</sup> Meteorological Research Institute

本講演では、Source-Scanning Algorithm (SSA 法) [Kao and Shan, 2007, GJI] を利用した、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の高周波励起源のイメージング結果を報告する。SSA 法は、震源域に三次元的に配置した格子上で、各観測点の規格化短周期エンベロープの振幅を各 S 波走時分だけ時刻を戻して足し合わせて震源域での時空間的な強度 (Brightness, br) をイメージングする手法である。青木・他 [(2010, 地震学会), (2011, 本大会)] は近地の強震記録を用いて、2003 年十勝沖地震などに本手法を適用し、大局的な破壊の時空間分布の把握に成功している。

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震は海溝型超巨大地震で、その断層は 450km × 200km 程度の広がりがある [Yoshida et al., 2011, submitted to EPS]。強度を計算する格子は、この余震域をカバーする領域に水平、鉛直方向 (深さ 4-80km) とともに 4km 間隔で配置した。また、本解析では、この地震に対応するため、青木・他 (2010) の手法に主に二つの改良を加えた。一つは、各格子から震央距離 150km (ただし観測点数が少ない場合は 300km まで順次拡大) 以内の観測点のみを利用するという距離方向の重みの導入である。もう一つは、観測点分布に生じる方位角方向の偏りを緩和するための重みの導入である。

データとしては、防災科学技術研究所の K-NET および KiK-net の東西成分の加速度記録を利用した。各データは、積分して 4-8Hz のバンドパスフィルターをかけたうえで、速度 RMS エンベロープとした。エンベロープは、宮城県以北の観測点では 2 ピーク、茨城県以南では 1 ピークが顕著に現れるという特徴を持つ。

次に結果の概略を述べる。SSA 法で大きい強度をとる格子は、高周波励起源になっている可能性が高い場所を示している。今回の結果は主たる高周波励起源は、以下に示す 3 系列以上あることを示唆している。なお、本解析は観測点分布の影響により、東西方向の分解能が低く、真の高周波励起源周辺で極大値をとるものの、東から西へ大きく移動する強度分布のゴーストが出現する傾向にある。そのため、ここでは信頼度が高い強度が極大を示す格子の時空間分布について主に紹介する。

第 1 系列: 極大値は破壊開始時刻から 38 秒後付近に牡鹿半島の北東 40km に現れる。ここから S 波が放射されたと考えると、その走時は宮城県以北の観測点のエンベロープに現れる 2 ピークの 1 番目に概ね対応し、実時間の震度の分布と比較すると、東北地方の高震度分布の広がりに概ね対応している。

第 2 系列: 強度の極大値は 2 地点あり、57 秒に破壊開始点の東 20km 付近と 74 秒に破壊開始点の西 55km に現れる。これらの S 走時は、宮城県以北の観測点のエンベロープに現れる 2 ピークの 2 番目に概ね対応している。東北地方の南部においては、この系列の影響で高震度が観測されている地点がある。

第 3 系列: 強度の極大値は 2 地点あり、105 秒に福島県南部の沖合 85km 付近と 130 秒に茨城県北部の沖合 25km に現れる。これらの S 走時は、茨城県以南の観測点のエンベロープに現れる 1 ピークに概ね対応し、関東地方の高震度分布の広がりに概ね対応している。

次にこれらの高周波励起源と、他の解析結果を比較する。Yoshida et al. (2011) がインバージョンにより求めたモーメント解放量分布と比べると、最初の 100 秒間は破壊開始点周辺に主要な破壊があり、100 秒前後には福島・茨城県沖に移動するという南北方向の破壊の挙動は概ね一致している。また、Hayashi et al. (2011, submitted to EPS) が津波記録の第一波の山から推定した強い海面上昇域は、第 2 系列の最初の極大値のほぼ直上に位置している。また、津波記録の小さな山から推定した茨城県沖のやや強い海面上昇域は、第 3 系列の極大値に囲まれるように位置している。

以上のように、本報告では、少なくとも 3 系列以上の高周波励起が、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震に包含されていることを明らかにした。これは、この地震が、高々160秒程度の間いくつかの巨大地震が連続的に発生することで、M9.0 という超巨大地震となったことを示すものかもしれない。

謝辞 本報告では、独立行政法人 防災科学技術研究所の K-NET および KiK-net のデータを利用させていただきました。記して感謝いたします。

キーワード: 2011 年東北地方太平洋沖地震, 高周波励起源, 震度分布, 震源過程解析

Keywords: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, High-frequency energy radiation sources, Distribution of the seismic intensity, Source process

## 小口径強震計アレイで観測された2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) の破壊伝播

### Direct observation of rupture propagation during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake using a small array

中原 恒<sup>1\*</sup>, 佐藤 春夫<sup>1</sup>, 西村 太志<sup>1</sup>, 藤原 広行<sup>2</sup>

Hisashi Nakahara<sup>1\*</sup>, Haruo Sato<sup>1</sup>, Takeshi Nishimura<sup>1</sup>, Hiroyuki Fujiwara<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 防災科研

<sup>1</sup>Tohoku University, <sup>2</sup>NIED

2011年3月11日にMw9.0の東北地方太平洋沖地震が発生した。最大震度7に達する強震動や高さ10mを超える大津波により、これまでに2万人を超える死者、行方不明者が報告されており、東北から関東にわたる広い範囲で構造物やインフラへの甚大な被害が生じている。

我々は、2004年4月から宮城県の牡鹿半島で口径約500メートルの強震計アレイ観測を実施しており、そのうち4観測点で今回の地震による強震動を記録した。(1)この4観測点の配置は四辺形を構成していること(2)GPSにより絶対時刻が確保されていること(3)約2.5Hz以下の周波数帯において各観測点の波形がコヒーレントである(Nakahara et al., 2006)ことから、地震波形記録のセンブル解析に基づき、入射波の方位角とスローネス(見かけ速度の逆数)の推定が可能である。観測される高周波が断層面から直接到来したと解釈すると、断層での波動の輻射位置については破壊伝播を捉えることができる(たとえばSpudich and Cranswick, 1984)。

このアレイは震央の西北西約120kmに位置するが、観測された強震動は水平動で測定限界の2gを超え、上下動でも1gを超える強烈なものであった。主要動は200s以上も継続し、記録上では顕著な2つのバーストに加えて、後に続く小さなバーストが少なくとも2つ確認される。記録が飽和していないと考えられる上下動成分を用いて、0.5-2Hzの周波数帯で、10.24s間の時間窓を2.56sずつずらしながら、センブル解析を行った。解析にあたっては、標高や観測点直下の構造を考慮した走時の静補正は行っていない。それでもS波初動部分で入射方位角は最大15度程度の誤差で推定されている。解析の結果、この地震の破壊過程には少なくとも4つのステージがあったと考えられる。最初の顕著なバースト部分では、主にアレイの東から北東にかけての方角から波動が入射していることがわかり、これは震央から北あるいは北西への破壊伝播、つまり宮城県沖での破壊を示しているものと解釈される。2つ目の顕著なバーストでは、宮城県沖から福島県沖への破壊伝播があったと解釈される。その後の小さい2つのバースト部分では、さらに茨城県沖への破壊伝播があったと考えられる。ここまでの解析では、破壊過程に関しては仮定を置いていないので、破壊伝播を直接観測できたことになる。

次に解釈のため、入射方位角の情報のみを利用して、1次元の直線断層を設定して、そこへ射影した見かけの破壊伝播速度を推定した。この手法では、特に断層の南北端で破壊伝播速度の推定がうまくいかないこともあるが、断層中央部が破壊したと考えられる約100s間は、破壊伝播速度が平均2km/s程度であることが分かった。今後、より厳密な破壊伝播速度の推定のため、波動特性を同定し、地震波速度構造を仮定して、入射方位角、スローネス、走時を利用して波動を断層面へ逆投影させる必要がある。

謝辞 伊藤徳七氏、朽木敬樹氏に観測用地を貸与していただいています。観測点の保守に当たっては、東北大学グローバルCOEプログラム「変動地球惑星学の統合教育研究拠点」から経済的援助を受けました。地震直後のデータ回収の際には、東北大学地震・噴火予知観測センターにご協力いただきました。横浜市大の木下繁夫教授には、強震観測の開始当初から多くのご教示とご支援をいただいております。解析には気象庁・文部科学省の一元化震源カタログを使用しました。最後に、今回の地震・津波により犠牲になられた方々へ心より哀悼の意を表します。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 破壊伝播, アレイ, センブル

Keywords: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, rupture propagation, array, semblance

MIS036-P40

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 震源断層モデルと理論地震波形からみた2011年東北地方太平洋沖地震 Source process and broadband waveform modeling of 2011 Tohoku earthquake using Spectral-Element Method

坪井 誠司<sup>1\*</sup>, 中村 武史<sup>1</sup>

Seiji Tsuboi<sup>1\*</sup>, Takeshi Nakamura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構

<sup>1</sup> JAMSTEC

本研究では、2011年3月11日東北地方太平洋沖地震について、遠地実体波による震源過程解析に基づいた多重震源解を用い、スペクトル要素法によって現実的な地球モデルに対する理論地震波形を計算したので報告する。震源過程解析は Nakamura et al (2010) により、IRIS 広帯域地震観測点の記録を用いて行った。得られた解は、Mw9.1、断層のサイズ: 460 km × 240 km、深さ: 24 km、破壊継続時間: 約 150 s、最大すべり量: 49.0 m である。この多重震源解を用いて、地球シミュレータによりスペクトル要素法による理論地震波形計算を行った。理論地震波形計算に用いた3次元マントルトモグラフィモデルは S20RTS である。計算は地球シミュレータの 91 ノード (726CPU) を用い、精度は周期 5 秒である。遠地の観測点では P 波の理論波形は観測を良く再現している。東北地方太平洋岸の観測点では、near field term による永久変位が見られ、東向きの変位と沈降を示している。観測された地殻変動の傾向を説明している。多重震源解は、最大すべり量 49m、および破壊速度 2km/s という特徴を持っているが、理論地震波形は観測をよく再現していることから、断層における破壊をよくモデル化していると考えられる。観測点の方位により、一部再現の悪い観測点があり構造の差を反映している可能性がある。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 震源過程, 広帯域地震計, 理論地震波形, スペクトル要素法

Keywords: 2011 Tohoku earthquake, earthquake rupture process, broadband seismograph, theoretical waveform, Spectral-Element Method

## 2011年東北地方太平洋沖地震の強震動生成のための震源モデル Source Model for Generating Strong Ground Motions during the 11 March 2011 off Tohoku, Japan Earthquake

入倉 孝次郎<sup>1\*</sup>, 倉橋 奨<sup>1</sup>  
Kojiro Irikura<sup>1\*</sup>, Susumu Kurahashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 愛知工業大学

<sup>1</sup> Aichi Institute of Technology

### 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、防災科学技術研究所のK-NETとKiK-net観測網で1000点以上の観測点で強震動が得られており、20地点で最大加速度が1000gal以上を記録し、その内地点では2933galと2019galという高加速度が得られている。この地震の震源域は、本震直後1日の余震分布やGPSによる地殻変動から、走行は北北東-南南西方向で断層長さ400km以上、傾斜は西北西方向で断層幅約200kmと推定されている。この震源域は、地震調査委員会では三陸沖中部、宮城県沖、福島県沖、茨城県沖の領域を含んでいると考えられている。本研究では、本震の強震動生成のための震源モデルの推定を試みる。

### 2. 強震動シミュレーション

震源断層の近傍域で観測された強震動は、複数のパルス状の波群からなっている。震源断層の走行に平行な測線上にならぶ強震動観測記録をみると、これらの波群は震源断層上に分布する4つの強震動生成域(SMGA 1, SMGA 2, SMGA 3, SMGA 4)から生成されたものであることがわかる。震源断層面の幾何学的形状を設定し、震源から観測点の平均S波速度を仮定すると、Back-propagation法により、震源断層面上にこれらの波群を生成した強震動生成域の震源とその発震時刻の推定が可能である。

強震動生成域は震源断層面に沿った長方形と仮定し、強震動生成域の近くで発生した小地震記録を経験的グリーン関数として、個々の強震動生成域からの強震動シミュレーションを行った。経験的グリーン関数は観測記録の精度を考慮して0.15 Hz ~ 10 Hzでバンドパスフィルターされたものが用いられた。合成された加速度波形と速度波形について、観測記録上の対応する波群の波形と比較して、強震動生成域の面積およびストレス・パラメーターの最適値を評価する。

各観測点における強震動は個々の強震動生成域からの地震動を足し合わせることで得られる。最適震源モデルは図1の左図に示され、それによる4つの観測点(IWTH27, MYGH04, FKSH17, IBRH16)における観測された速度記録(黒線)と合成波形(赤線)が図1の右図で比較される。

SMGA 1は、三陸沖南部に位置する本震の震源(気象庁により決められたもの)のすぐ西に位置している。本震の震源からSMGA 1までの破壊伝播速度は2.5 km/sと推定された。SMGA 2は、SMGA 1のさらに西に位置している。本震の震源からSMGA 2までの破壊伝播速度は1.0 km/sと遅くなっている。SMGA 3は本震の震源の南西約150 kmの福島県沖、SMGA 4はSMGA 3からさらに100 km南の茨城県沖に位置する。本震の震源からSMGA 3までの破壊速度は1.9 km/s、SMGA 4までの破壊速度は1.5 km/sと推定されている。SMGA 1は三陸沖南部、SMGA 2は宮城県沖、SMGA 3は福島県沖、SMGA 4は茨城県沖にほぼ位置している。

合成された波形は観測波形とよく一致している。震源のほぼ真東に位置する観測点MYGH04およびその北のIWTH27では、SMGA 1とSMGA 2からの2つの波群が顕著にみられる。震源の南に位置するFKSH17はSMGA 1、SMGA 2、SMGA 3、の3つの強震動観測点の影響を受け複雑な波形となっている。さらに南のIBRH16は距離が離れているため、茨城県沖のSMGA 4の影響のみとなる。

### 3. 議論

図1の左図には、比較のため、防災科学技術研究所が強震動の長周期成分(周期で8秒-50秒、周波数で0.02 Hz - 0.125 Hz)を用いて波形インバージョンにより推定したすべり分布が合わせて示されている。長周期地震動からみた破壊過程は、本震の震源の東の海溝よりの浅いところに大きなすべりを示している。本研究で推定した短周期の主な生成域は本震の震源の西の深いところに分布している。これが事実かどうかはさらなる検証が必要である。強震動観測点は本震の震源の東の内陸にしか存在しないため、震源から東に向かう破壊は観測点からみて後方に位置しており、たとえ短周期地震動が生成されても観測点にはほとんど寄与しないという問題がある。

謝辞 本研究では、防災科学技術研究所のK-netとKiK-netの強震動記録、気象庁の震源データ、F-netのモーメントテンソル解を使用させていただきました。記して感謝いたします。





MIS036-P42

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 経験的グリーン関数法による2011年東北地方太平洋沖地震の震源モデル Source modeling of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku earthquake using the empirical Green's function method

浅野 公之<sup>1\*</sup>, 岩田 知孝<sup>1</sup>

Kimiyuki Asano<sup>1\*</sup>, Tomotaka Iwata<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学防災研究所

<sup>1</sup> DPRI, Kyoto Univ.

2011年3月11日に発生した2011年東北地方太平洋沖地震による強震動は全国に稠密に展開されている強震観測網(K-NET及びKiK-net)によって広く観測され、それらの貴重な記録が防災科学技術研究所によって公開されている。これらの記録を速度記録として見ると、周期20秒以上の地震動が卓越しており、超巨大地震から生成される地震動特性を表していると考えられる。構造物に対する地震被害に関連した地震動の周期帯域として、周期0.1-10秒の地震動の生成を分析するため、東北～北関東の海岸線に沿って加速度記録、もしくは周期10秒程度より短周期の速度記録として並べると、いくつかの波群が認定できた。それらの特徴は地域によって異なっていることがわかった。宮城県及び岩手県においては、2つの主要な波群(S1及びS2)が見られ、各観測点でのそれらの時刻差は45~50秒程度であり、方位による走時差の違いが小さいことから、かなり近接した領域にそれら2つの波群の発生源があると考えられる。また、福島県南部から北関東にかけては波群1つが卓越しており、到着時刻からこの波群は宮城～岩手県で見られる2つの波群とは別のものである(S3)。本研究では、これら3つの波群がそれぞれ独立の強震動生成領域(Miyake et al., 2003)から生じていると考え、それら各強震動生成領域の破壊開始位置を波群の立ち上がりを読みとった上で、走時解析により決定した。その結果、S1とS2の破壊開始点はいずれも宮城県沖の震央の西に求められ、S3の破壊開始点は福島-茨城県境付近の海岸に近い場所に求められた。次に、経験的グリーン関数法による波形合成(対象周波数帯0.05-5Hz)を行い、3つの強震動生成領域の大きさ、ライズタイム、応力降下量を求めた。その結果、S1とS2は想定宮城沖地震の震源域に近く、お互いに近接していることがわかった。S1~S3のいずれも、遠地波形や地殻変動、津波の解析から求められている海溝軸付近の大すべり域とは違う場所であるが、強震波形のインバージョン(鈴木・他, 2011)から求められているこの付近のすべり量と強震動生成領域のすべり量の見積りはほぼ対応している。強震動生成領域の総地震モーメントはMw8.0相当である。このことから全体のすべりの中の、限定された領域から地震被害に直結する周期帯域の強震動が生成され、それが観測記録に反映されていると考えられる。つまり、海溝軸付近の大すべりは時定数の長くすべり速度の小さなすべりによって生じ、断層面のやや深部の限定された領域において、強震動に関係するすべり速度の大きな破壊が生じたと考えられる。評価誤差の検討も含め詳細な分析を進め、海溝型巨大地震の強震動予測における適切な震源モデル設定方法について検討を行う必要がある。

謝辞: 独立行政法人防災科学技術研究所の強震観測網 K-NET 及び KiK-net の強震記録を使用した。記して感謝する。

MIS036-P43

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 強震記録を用いて推定された平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の震源過程

### Rupture process of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake derived from strong-motion data

鈴木 亘<sup>1\*</sup>, 青井 真<sup>1</sup>, 関口 春子<sup>2</sup>, 功刀 卓<sup>1</sup>

Wataru Suzuki<sup>1\*</sup>, Shin Aoi<sup>1</sup>, Haruko Sekiguchi<sup>2</sup>, Takashi Kunugi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所, <sup>2</sup> 京都大学防災研究所 / 防災科学技術研究所

<sup>1</sup>NIED, <sup>2</sup>DPRI, Kyoto Univ./NIED

2011年3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震は、我が国の観測史上最大のM9.0を記録し、東北から関東地方にかけて最大震度7に達する強い揺れをもたらしたほか、東日本の太平洋沿岸に甚大な被害を引き起こした大津波をともなった。この超巨大地震の発生メカニズムの解明に向けた第一歩として、本研究では防災科学技術研究所のK-NETとKiK-netで観測された強震記録を用いて震源破壊過程の推定を行った。プレート境界面の形状を参考に走向195度、傾斜13度、余震分布の広がりを考慮して長さ510km、幅210kmの矩形断層面を設定した。青森県から千葉県にかけてのK-NET11観測点での地表記録とKiK-net22観測点での地中記録について、周波数帯域0.02-0.125Hz速度波形のS波部分240秒間を解析に用いた。これらの観測点でのグリーン関数の計算には、観測点ごとに構築した地下構造モデルを使用した。解析手法はマルチタイムウィンドウ線型波形インバージョン法に基づき、断層面を30km×30kmの小断層に分割し、各小断層のすべり履歴を6秒幅の基底関数を3秒ずらして25個並べることにより表現した。これにより各小断層は気象庁の震源位置とした破壊開始点との距離を、第一タイムウィンドウトリガリング速度で除して求める時刻から、78秒間すべることができる。

本解析より、破壊開始点から日本海溝軸に沿う断層面の浅い領域にかけての宮城県はるか沖にすべりの大きい領域が推定され、最大すべり量は33mとなった。また宮城県沖のみ、断層面の陸側の深い領域まで5m以上のすべりが推定された。推定された震源モデルの地震モーメントは $4.24 \times 10^{22}$  Nmで、モーメントマグニチュードは9.0である。破壊の時間発展過程を見ると、初めの20秒間はすべりが小さく、その後、宮城県はるか沖のすべりの大きい領域で約25秒間のすべりが生じ、更に65秒から95秒後にかけて再び宮城県はるか沖の領域で大きなすべりが生じている。モーメントレート関数にはこの2つの破壊に対応する2つの高まりが見られ、65秒から95秒のモーメント解放の方が規模が大きい。強震波形を南北に並べたペーストアップ図では、宮城県の観測点を先頭として伝播する波群が約40秒の間をにおいて2つ存在しており、この2回の破壊イベントに対応していると考えられる。また、ペーストアップ図には福島県と茨城県の県境付近の観測点を先頭として伝播する波群も見られ、このフェーズについては破壊開始後95秒から120秒後にすべりの見られる福島県沖の領域付近から生じている可能性がある。宮城県沖の破壊開始点付近から海溝軸にかけての領域ですべりが大きいという結果は、津波記録を用いた震源過程解析結果とも整合的である。この領域で2回の破壊イベントが見られるという結果は、大津波を引き起こした可能性のある浅い領域での大きなすべりの要因を理解する上で重要であろうと考えられる。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 震源過程, 強震記録

Keywords: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, Rupture process, strong-motion data

## 2011年東北地方太平洋沖地震の破壊過程 - 経験的グリーン関数を用いた波形インバージョン -

### Rupture process of the 2011 Tohoku, Japan, earthquake estimated by waveform inversion with empirical Green's functions

野津 厚<sup>1\*</sup>

Atsushi Nozu<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 港湾空港技術研究所

<sup>1</sup> Port and Airport Research Institute

経験的グリーン関数を用いた波形インバージョンにより2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)のすべりの時空間分布を推定した。

仙台などでの東北地方太平洋沖地震(本震とよぶ)の波形は大きく二つの部分からなる。そこで、代表としてMYGH12の波形から前半部分を切り出し、フーリエ振幅をそのまま保ちつつ、フーリエ位相だけを2005年12月17日宮城県東方沖の地震(M6.1)のフーリエ位相に置き換えた波形と、元の波形とを比較すると、前半部分のフーリエ位相と2005年12月17日の地震のフーリエ位相は類似していることがわかる。同様の傾向は他の比較的多くの地点で認められた。そこで、2005年12月17日の地震(地震1とよぶ)の記録を経験的グリーン関数の候補として選定した。なお、地震1はプレート境界地震と考えられる。

表層地盤の非線形挙動の影響を可能な限り避けるため、KiK-netの地中での観測記録をインバージョンのデータとして用いた。本震と地震1の記録がともに十分な精度で観測できている27地点(図に示す)を選定し、本震のEW成分の速度波形(0.1-0.5Hz)をインバージョンのターゲットとし、地震1のEW成分の速度波形(0.1-0.5Hz)をグリーン関数とした。インバージョンにはS波を含む96秒間を用いた。

インバージョンで仮定した断層面の位置を図に示す。図の は気象庁発表の震源であり、その座標は(東経142.9°, 北緯38.1°, 深さ24km)である。この点を含むように断層面を設定した。断層面の角度は、気象庁のCMT解を参考に、走向は203°, 傾斜10°とした。設定した断層面の長さは390km, 幅は270kmである。図の は2005年12月17日の地震の震央であり、その記録をグリーン関数として用いた。

インバージョンはHartzell and Heaton(1983)の方法に基づいている。390km × 270kmの断層を39 × 27の小断層に分割し、それぞれの小断層でのモーメントレート関数は、地震1のモーメントレート関数とインパルス列との合積で表されると仮定した。インパルス列は0.5秒間隔の12のインパルスからなるものとし、このインパルスの高さをインバージョンの未知数とした。破壊フロントは気象庁の震源から同心円状に速度2.6km/sで広がるものとした。基盤のS波速度は3.9km/sとした。インバージョンには非負の最小自乗解を求めるためのサブルーチン(Lawson and Hanson, 1974)を用いた。また、すべりの時空間分布を滑らかにするための拘束条件を設けた。観測波と合成波を比較する際には記録のヘッダに記載された絶対時刻の情報を用いている。

図にインバージョンの結果として得られた最終すべり量の分布を示す。この図から、非常に大きいすべりが破壊開始点よりも沖合側(海溝側)で生じていることがわかる。また、これとは別に、破壊開始点よりも陸側でも部分的にすべりの大きい部分が見受けられる。なお、ここで示すすべり量には、周期2-10秒の帯域の地震動に寄与しないゆっくりしたすべりは含まれていないため、図のすべり量分布は、周期2-10秒の帯域の地震動の生成に寄与した部分を示したものと受け止めていただきたい。図では沖合側のすべり量が大きい。強震動に対しては、陸側の部分的にすべり量の大きい部分も、距離が小さいこと、また破壊が陸側に向かうことから、大きく寄与していることが考えられる。今回のインバージョン結果によれば、少なくとも、MYGH12の波形の前半部分、MYGH03の波形の前半部分などは、破壊開始点より陸側部分の寄与によるものである。今回の地震において、MYGH12、MYGH03など広範囲で「ふた山ある」波形が観測されたが、これは、まず破壊開始点より陸側の破壊による地震波が到来し(近いのですぐ到来する)、少し間を置いて、沖合側の大きなすべりによる地震波が到来した(遠いので到来に時間がかかる)と解釈できる。なお、沖合側のすべりに関しては、津波だけに関係するようゆっくりとしたすべりではなく、強震動にも寄与するすべり速度の大きいすべりであったことが、インバージョン結果から確認できる。今回の地震で観測されたMYGH12の波形は(主破壊に対応する)PS時間が短いことが一つの特徴である。このことは、破壊開始点より陸側部分がMYGH12の波形の前半部分に寄与しているという今回のインバージョン結果を裏付けるものである。

謝辞: 本研究では(独)防災科学技術研究所のKiK-netの強震記録、F-netのCMT解、気象庁の震源データを使用しています。ここに記して謝意を表します。

キーワード: 2011 年東北地方太平洋沖地震, 破壊過程, 波形インバージョン, 経験的グリーン関数, フーリエ位相, アスペリティ

Keywords: the 2011 off the Pacific coast of Tohoku, Japan, earthquake, rupture process, waveform inversion, empirical Green's function, Fourier phase, asperity

## 強震記録を用いた経験的グリーン関数法による2011年東北地方太平洋沖地震の非線形インバージョン解析

### Nonlinear source inversion analysis for the 2011 Tohoku Mw 9.0 earthquake based on strong-motion records

芝 良昭<sup>1\*</sup>, 東 貞成<sup>1</sup>, 佐藤 浩章<sup>1</sup>, 栗山 雅之<sup>1</sup>, 野口 科子<sup>1</sup>

Yoshiaki Shiba<sup>1\*</sup>, Sadanori Higashi<sup>1</sup>, Hiroaki Sato<sup>1</sup>, Masayuki Kuriyama<sup>1</sup>, Shinako Noguchi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 電力中央研究所

<sup>1</sup> CRIEPI

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(Mw 9.0)は、メカニズム解や余震分布などから、太平洋プレートと陸域プレートの境界におけるおよそ長さ500 km × 幅200 kmの領域を震源域とすることがわかってきている。また地震発生後に速報的に公表された震源モデルは、その多くが遠地地震記録から推定されたものであるが、概ね海溝軸に近い比較的浅い領域に大きなアスペリティが共通して示されており、東北地方各地で観測された大規模な津波の波源に相当するものと考えられる。一方で国内の強震記録についてみると、これらの震源モデルのアスペリティは陸域からかなり離れているにもかかわらず、宮城県のK-NET 築館で2,700 galの最大加速度を記録するなど、既往の距離減衰式の外挿から大きく外れた大振幅の地震動が複数の地点で確認されている。このような強震動特性に対する震源特性の寄与を評価するためには、広帯域の強震記録に基づく震源過程の解析が重要となる。本稿では、短周期領域を含む広帯域の強震動評価に広く用いられる経験的グリーン関数法による震源インバージョン解析手法を2011年東北地方太平洋沖地震に適用し、その震源モデルを推定した。

経験的グリーン関数としては、本震前日の3月10日6時23分に発生したM 6.8(F-netによるMw 6.5)の前震の記録を用いた。電力中央研究所の露頭岩盤上強震観測網RK-netにおける石巻観測点の記録のフーリエスペクトルからコーナー周波数を読み取り、この前震の震源サイズを20 km × 20 kmと推定した。本震の震源断層を500 km × 200 kmと仮定し、経験的グリーン関数の震源サイズに合わせて25 × 10個の小断層に分割した。ただし海溝軸よりも東側(アウトライズ側)にかかった断層面については、すべりを強制的に0とする条件を与えている。本震の震源(破壊開始点)位置としては気象庁の暫定値を、また断層のメカニズム解はUSGSのW-phaseモーメントテンソル解をそれぞれ採用した。インバージョン解析に用いた観測データは、青森県から千葉県に掛けての12地点の防災科技研KiK-net地表観測点と3地点の当所RK-net観測点の計15地点における、水平2成分の記録である。本震と前震のそれぞれについて周期2秒から20秒のバンドパスフィルターを掛け、変位波形に変換して解析データセットとした。またS波の到達時刻から170秒間を解析対象としている。

本研究で用いた震源インバージョン手法(Shiba and Irikura, 2005)では、本震と小地震の震源すべり速度関数の差を補正するフィルター関数として箱型関数を仮定し、その振幅と継続時間、および立ち上がり時刻を未知数として焼きなまし法で探索することにより、各小断層のモーメント密度、ライズタイム、破壊時刻の分布を求めている。したがって震源インバージョン解析で一般的に用いられているマルチプルタイムウィンドウ法(Hartzell and Heaton, 1983)のように方程式を線形化することはできないが、同一の小断層で時間を置いて繰り返しすべりが生じるような解を排除することができる。解析の結果、本震断層面上ですべりの大きい領域は、破壊開始点から海溝軸側と陸域側にそれぞれ広がっていることがわかった。有意なすべりが認められる領域のサイズはおよそ150 km四方である。層モーメント量は $2.7 \times 10^{22}$  Nmで、モーメントマグニチュードとしては8.9が得られた。この結果は、遠地記録に基づく値と比較してやや小さいが、これは、解析周期帯域の上限が経験的グリーン関数の精度の問題から20秒に制約されていることが影響している可能性がある。最大すべり量は、媒質の剛性率を48 GPaと仮定して28 mが得られた。また平均的な破壊伝播速度は1.8 km/sとなった。本解析ではパラメータ探索に焼きなまし法を用いているが、乱数を生成する初期値を10通り変えて得られた震源モデルを比較したところ、総モーメント量やアスペリティの面積、最大すべり量などは比較的安定して求められたものの、アスペリティの位置については破壊開始点の周囲で若干のばらつきが見られた。今後はこうした点について、原因の解明を進めていくとともに、より短周期領域の地震記録の再現を目的としたインバージョン解析を試みる。

キーワード: 2011年東北太平洋沖地震, 震源過程, インバージョン解析, 強震動, 経験的グリーン関数

Keywords: 2011 Tohoku earthquake, source process, inversion analysis, strong motion, empirical Green's function

MIS036-P46

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 強震動の長周期成分を用いた2011年東北地方太平洋沖地震の震源過程の解析 Source Process of the 2011 Tohoku Earthquake Inferred from Waveform Inversion with Long-Period Strong-Motion Records

吉田 邦一<sup>1\*</sup>, 宮腰 研<sup>1</sup>, 入倉 孝次郎<sup>2</sup>, Petukhin Anatoly<sup>1</sup>  
Kunikazu Yoshida<sup>1\*</sup>, Ken Miyakoshi<sup>1</sup>, Kojiro Irikura<sup>2</sup>, Anatoly Petukhin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(財) 地域 地盤 環境 研究所, <sup>2</sup> 愛知工業大学

<sup>1</sup>Geo-Research Institute, <sup>2</sup>Aichi Institute of Technology

2011年東北地方太平洋沖地震の震源過程を、近地強震記録を用いて解析した。この地震では、観測された最大加速度が2gを超え、長周期～短周期の幅広い帯域の地震動が励起された。また、巨大津波が励起され、多くの犠牲を生じさせることとなった。このような震源の特徴のうち、津波などへの影響が大きい長周期側の特性を良く再現する震源モデルの構築を試みた。

解析には、北大および防災科研 F-net, KiK-net の31観測点の速度および加速度記録を用いた。観測点はできるだけ硬い地盤上に設置されているものを選んだ。加速度記録は積分により速度波形に変換、速度記録は機器特性を補正し、速度・加速度記録共に0.005-0.05 Hz (20-200秒)のバンドパスフィルターをかけた。この波形を4秒間隔のデータにリサンプリングし、P波到達時刻から約300秒間を解析に用いた。

断層面はUSGSの震源位置(38.322N, 142.369E)を破壊開始点とし、W-Phaseメカニズム解を参照して走向193°, 傾斜14°として475 km × 225 kmの断層面を設定した。速度構造モデルには1次元速度構造を仮定し、各小断層を代表する点震源からのグリーン関数を離散化波数法(Bouchon, 1981)と反射透過係数法(Kennett and Kerry, 1979)により計算した。解析対象とした周期がかなり長周期であることから、特にサイト特性等は考慮せず、全観測点で均一の速度構造モデルを用いた。

震源モデルの逆解析は、マルチタイムウィンドウ法(例えばHartzell and Heaton, 1983)を用いて、各小断層の各タイムウィンドウのモーメント解放量を求めた。断層面は、1つあたり12.5 × 12.5 kmの大きさの小断層で38 × 18に分割し、時間方向には1パルスのライズタイムを16秒として8秒おきに8つのタイムウィンドウを設定した。最小二乗法では各小断層での滑り方向の変化をdip=90°の±45°に収める拘束条件を与えた(Lawson and Hanson, 1974)。第1タイムウィンドウ伝播速度は2.2 km/sとした。

インバージョンにより得られた結果では、断層面全体での地震モーメントは $3.07 \times 10^{22}$  Nm (Mw8.9)で、最大すべり量は29 mである。波形の一致は大変良い。すべりの大きな領域は破壊開始点付近よりも浅い領域に広がっている。この領域は破壊開始点よりも若干北側に分布し、破壊開始から約60～80秒後に大きく滑っている。破壊開始からこの大すべり域までの見かけの破壊伝播速度は2.2 km/sを下回る。すべり時間関数に着目すると、すべりの大きな領域と同じ領域以外に、破壊開始点近傍の南側にもやや大きなすべり時間関数をもつ領域が認められた。

断層面を大きく北側と南側に分けた2つの領域それぞれからの波形への寄与を検討すると、破壊開始点の近傍およびその北側(宮城県, 岩手県など)に位置する観測点での波形には断層面の北側浅部の寄与が比較的大きいのに対し、破壊開始点よりも南側(福島県, 茨城県など)に位置する観測点では、断層面の南側からの波の寄与が大きく、北側の領域からの波はほとんど寄与していない。なお、破壊開始点の南側では最終すべり量はそれほど大きくないが、すべり時間関数のピークのやや大きい領域が南側の観測点で認められ、これが最大振幅を示す波群に寄与している。

現在、比較のため気象庁による震源位置を破壊開始点とし、気象庁のCMT解を元に断層面を設定した断層面による震源インバージョンを行っている。また、ここで推定した震源モデルを用いて津波波形を計算したものをペトゥヒン・他(2011, 本大会)が発表する予定である。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 長周期地震動, 強震動, 震源過程

Keywords: 2011 Tohoku earthquake, Long-period ground motion, Strong motion, Source process

MIS036-P47

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## MeSO-net データによる 2011 年東北地方太平洋沖地震震源過程の広帯域イメージング Broadband back projection images of the Pacific coast of Tohoku Earthquake revealed from MeSO-net

本多 亮<sup>1\*</sup>, 行竹 洋平<sup>1</sup>, 原田 昌武<sup>1</sup>, 伊東博<sup>1</sup>, 明田川 保<sup>1</sup>, 吉田 明夫<sup>1</sup>, 酒井 慎一<sup>2</sup>, 中川 茂樹<sup>2</sup>, 平田 直<sup>2</sup>, 小原 一成<sup>2</sup>, 木村 尚紀<sup>3</sup>

Ryou Honda<sup>1\*</sup>, Yohei Yukutake<sup>1</sup>, Masatake Harada<sup>1</sup>, Hiroshi Ito<sup>1</sup>, Tamotsu Aketagawa<sup>1</sup>, Akio Yoshida<sup>1</sup>, Shin'ichi Sakai<sup>2</sup>, Shigeki Nakagawa<sup>2</sup>, Naoshi Hirata<sup>2</sup>, Kazushige Obara<sup>2</sup>, Hisanori Kimura<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 神奈川県温泉地学研究所, <sup>2</sup> 東京大学地震研究所, <sup>3</sup> 防災科学技術研究所

<sup>1</sup>Hot Springs Research Institute, <sup>2</sup>Earthquake Research Institute, <sup>3</sup>NIED

首都直下地震防災・減災特別プロジェクトで展開している地震観測網 (MeSO-net) において観測された波形を用いて、東北地方太平洋沖地震 (M 9.0) の震源過程の解析を行った。解析は、MeSO-net のうち、つくば-藤沢測線 (TF) と入間-銚子測線 (IC) の観測波形に、0.05 - 0.5Hz のバンドパスフィルタをかけたものを使用した。解析手法はバックプロジェクション法 (例えば、Honda and Aoi, 2009 などを参考) と呼ばれるもので、加速度波形のうち、S 波を含むと考えられる 350 秒間の波形を対象とした。

断層は、気象庁による震源を破壊開始点として、長さ 600km、幅 270 km の大きさを仮定した。走向と傾斜角はそれぞれ N200E と 12° とした。拘束条件として、破壊が震源 (JMA による) から 4km/s 以下の速度で伝播するものとし、各小断層上で 80 秒間の滑りを許可した。また、関東地方の地震を使った震源決定を行い、その O-C の残差から各観測点の観測点補正値を推定した。

波形全体での地震波の放射強度の分布から、北側は三陸海岸の沖、南側は茨城県沖まで、地震波の放射域が伸びていることが分かった。また、震源付近およびそこから海溝軸に向かう領域と、福島県沖で放射強度の強い領域が見られる。また、本震後の大きな余震について、バックプロジェクション法で放射強度の分布を推定したところ、本震時にエネルギーを多く放出したと考えられる領域の外側に分布することが分かった。破壊は、初めに震源から浅いほうに向かって進み、海溝軸付近で強い放射域が見られた。また、宮城沖地震のアスペリティについては、破壊開始から 30~70 秒後あたりに地震波を出しているように見える。しかし、全体から見ると値は小さいので、完全に破壊されたかどうか、不確実性が残る。断層破壊は、最終的には茨城県の陸域方向に向かって進み、約 150 秒で終わっている。破壊の伝播速度は、平均するとおよそ 2km/s であるが、断層面の南部 (福島沖から茨城沖) に注目すると、3~4 km/s 程度で進行している。

また、10 秒のローパスフィルタをかけた波形をもちいて同様の解析をおこなったところ、震源の北東にエネルギーの放射強度の強い領域が推定できた。この位置は、三陸海岸で非常に大きな被害をもたらした、大振幅の津波の波源域と考えられる領域と一致する。また、破壊の継続時間も 30 秒程度あり、他の領域での継続時間と比較して非常に長い。10 秒以上の長周期成分はほとんど断層面北部 (震源近傍) から励起され、断層面南部からの放射強度は低い。短周期成分については、定量的な比較は難しいが、震源近傍から茨城沖まで広い領域から励起されている。

まとめると、震源付近から海溝軸付近までの断層面北部では、短周期から長周期まで広い帯域でエネルギーが励起されており、また破壊の継続時間も長い。また、破壊の伝播速度もばらつきはあるが 2km/s 程度の遅い速度が推定されている。一方南側は比較的短周期成分が強く励起されており、破壊伝播速度は 3~4 km/s 程度と通常の断層破壊に近い様式である。

以上のような結果から、断層面の北部と南部では破壊の様式が異なり、単純なアスペリティの運動ではなく、異なる破壊様式が混在する複雑な破壊過程であったことが示唆される。

キーワード: 広帯域, 震源過程, 東北地方太平洋沖地震, バックプロジェクション, MeSO-net

Keywords: Broad band image, Source process, Back projection, MeSO-net

MIS036-P48

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 北アメリカデータとバックプロジェクション解析による2011年東北地方太平洋沖地震群の特性

### Analysis of the 2011 Tohoku-oki earthquake sequence using the back-projection technique and the data from North America

石井 水晶<sup>1\*</sup>, Eric Kiser<sup>1</sup>

Miaki Ishii<sup>1\*</sup>, Eric Kiser<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ハーバード大学

<sup>1</sup> Harvard University

Mw 9.0 東北地方太平洋沖地震の滑りモデルは数々発表されているが、滑り分布にはかなりの違いが見受けられる。このような不整合は過去の巨大地震の解析でも起こっており、原因はインバージョンを安定させるために使われる仮定（例えば破壊速度）の違いによるものと考えられている。本研究は、仮定を殆ど必要としないバックプロジェクション法を用いて本震、前震、そして数々の余震の破壊過程と面積を推定した。解析精度を上げるため、アメリカのTA アレイだけでなく、その他の観測所（例えば ANSS ネットワークなど）やカナダのネットワークのデータも使用した。

本震で高周波の地震波が放出された面積は3月9日の前震とその余震で滑りが起こったと考えられる範囲とあまり重ならない事が分かった。なお、本震だけの破壊面積は余震の震源地分布が示す破壊面積の一部でしかない。しかしながら前震、本震、そして本震直後の大きな余震の数々の累積面積は余震分布と一致する。これはプレート境界の破壊が本震だけではなく前震と余震によっても次々と進んだと見られ、もし全ての滑りが一度に起こったのであれば本震が Mw 9.0 より大きかった可能性を示唆する。

このように本震だけでなく、バックプロジェクション法でデータ解析を途切れなく続けると、余震やその他の地震の検知もできる。2011年東北地方太平洋沖地震でも気象庁の震源リストに含まれていない地震が多数見つかった。これらは大きな地震の直後に良く見付き、いかに大地震直後の震源決定が通常使われている方法では難しいかが分かる。また、この結果は遠方の稠密アレイデータを用いて震源リストの改良が期待できることを示している。



MIS036-P49

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 2011年東北地方太平洋沖地震と歴史的な地震の短周期地震波発生域の比較 Short-period seismic wave radiation zones of the great 2011 Tohoku-oki earthquake and historical earthquakes

神田 克久<sup>1\*</sup>, 武村 雅之<sup>1</sup>  
Katsuhisa Kanda<sup>1\*</sup>, Masayuki Takemura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 小堀鐸二研究所

<sup>1</sup> Kobori Research Complex Inc.

2011年東北地方太平洋沖地震の本震およびM7クラスの主な余震に対して震度インバージョン解析を行い、震源断層における震度に関係した周期1秒程度以下の短周期地震波の発生域を求めた。震度データは、余震の計測震度データを用いて経験的な揺れ易さの補正を行ったものを用いた。震度インバージョンに用いる距離減衰式については余震のデータを回帰分析して求めた。得られた本震短周期地震波発生域は、宮城県沖と福島県沖の2か所に分離して現れた。既に発表されているすべり分布と比較すると、他の地域のプレート境界地震と同様に大きなすべり領域であるアスペリティの破壊の陸地寄りの終端部に短周期地震波発生域が位置していることが分かった。また、4つのM7クラスの余震の短周期地震波発生域は余震域と言われている領域の東西南北の端に位置していた。

さらに、歴史的なプレート境界地震と比べてみた。まず、1861年、1897年、1936年および1978年に発生したいわゆる宮城県沖地震の短周期地震波発生域については、本震の宮城県沖の短周期地震波発生域と一部重なり、その陸地寄りの領域に位置していた。1763年、1856年および1968年十勝沖地震や1994年三陸はるか沖地震については、3/11 15:08岩手県沖(Mw7.4)の北側に位置し、重なっていなかった。この青森県東方沖から岩手県沖の海域は約100年おきにすべっている領域で今回の地震に関係していない領域と考えられる。1938年に発生した一連の塩屋崎沖地震については、本震の宮城県沖の領域および3/11 15:15茨城県沖(Mw7.7)と重なりが多少あるが、西側と南側の空いていた領域を埋めるような位置にあることが分かった。

キーワード: 震度インバージョン, 宮城県沖地震, 1938年塩屋崎沖地震, 十勝沖地震, 歴史地震, 短周期地震波

Keywords: seismic intensity inversion, Miyagiken-oki earthquake, Shioyazaki-oki earthquake, Tokachi-oki earthquake, historical earthquake, short-period seismic wave

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



MIS036-P50

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 2011年東北地方太平洋沖地震前後の応力 Stress before and after the 2011 Mw9.0 East off Tohoku earthquake

吉田 圭佑<sup>1\*</sup>, 長谷川 昭<sup>1</sup>, 岡田 知己<sup>1</sup>, 伊藤 喜宏<sup>1</sup>, 飯沼 卓史<sup>1</sup>, 浅野 陽一<sup>2</sup>

Keisuke Yoshida<sup>1\*</sup>, Akira Hasegawa<sup>1</sup>, Tomomi Okada<sup>1</sup>, Yoshihiro Ito<sup>1</sup>, Takeshi Iinuma<sup>1</sup>, Youichi Asano<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東北大学・理・予知セ, <sup>2</sup> 独立行政法人防災科学技術研究所

<sup>1</sup>RCPEV, <sup>2</sup>NIED

Temporal change in the stress field before and after the 2011 Mw9.0 East off Tohoku earthquake was observed by stress tensor inversion analyses of earthquake focal mechanisms of events near the source region. Focal mechanism data are those estimated from moment tensor inversions of broadband seismic waveforms. The maximum principal stress axis before the earthquake has a direction toward the plate convergence, dipping oceanward at an angle of about 25-30 degree. Its dip angle significantly increased by 30-35 degree after the earthquake, and the maximum principal stress became to intersect with the plate interface at a very high angle of about 80 degree. The observed 30-35 degree rotation of the maximum principal stress axis was used to estimate the ratio of mainshock stress drop to the background deviatoric stress to be 0.9-0.95. This shows that the shear stress on the plate interface causing the Mw9.0 earthquake was mostly released by the earthquake, or the stress drop during the earthquake was nearly complete. Adopting the average stress drop obtained by GPS observation data, the deviatoric stress magnitude is estimated to be as low as 22MPa, suggesting that the plate interface is weak. The nearly complete stress drop by the earthquake caused by a high dip angle (~60 degree) of the maximum principal stress axis, which is the reason why not a small number of normal fault type aftershocks have occurred after the present earthquake, despite the predominance of thrust type earthquakes there in the pre-mainshock period.

キーワード: deviatoric stress, stress tensor inversion, focal mechanism, weak plate interface

MIS036-P51

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 断層潤滑を考慮した東北地方太平洋沖地震発生過程のモデル化 Modeling generation processes of off the Pacific coast of Tohoku earthquake by considering fault lubrication

芝崎 文一郎<sup>1\*</sup>, 松澤 孝紀<sup>2</sup>, 藤井 雄士郎<sup>1</sup>  
Bunichiro Shibazaki<sup>1\*</sup>, Takanori Matsuzawa<sup>2</sup>, Yushiro Fujii<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 建築研究所国際地震工学センター, <sup>2</sup> 防災科学技術研究所  
<sup>1</sup> IISEE, BRI, <sup>2</sup> NIED

We investigate the generation process of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake (M9) on the basis of recent experimental results for fault frictional behavior at low to high slip rates. According to the result of tsunami waveform inversion (Fujii and Satake, 2011), large slips have occurred near the trench off Miyagi and off Fukushima. The maximum slip was estimated to be over 30 m. This result indicates that significant stress drop occurred in this region. Recent experimental studies on friction indicate that fault lubrication occurs at high slip rates and results in a significant decrease in the frictional coefficient (e.g., Di Toro et al., 2011). Therefore, it is considered that fault lubrication occurred in the area with the largest slip in the case of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake.

In this study, we propose a rate- and state-dependent friction law with two-state variables that shows velocity weakening or velocity strengthening with a small critical displacement at low to intermediate slip rates, but strong velocity weakening with a large critical displacement at high slip rates. We use this friction law for quasi-dynamic 2D modeling of earthquake cycles. We consider two asperities where velocity weakening occurs at low to intermediate slip rates, in the region close to land and close to the trench considering the off-Miyagi region. Ruptures of asperities occur at intervals of several ten to one hundred years. On the other hand, large events occur at intervals of several hundred to thousand years. In the case of such an event, ruptures occur in the regions where velocity strengthening occurs at low to intermediate rates since the slip rate becomes enough high that velocity weakening occurs.

Next, we perform 3D quasi-dynamic modeling of earthquake cycles. We consider asperities off Miyagi, off Fukushima, and off Ibaraki and a large asperity close to the trench off Miyagi and off Fukushima. A relatively small rupture occurs repeatedly at the asperities off Miyagi, off Fukushima, and off-Ibaraki. When a rupture occurs at a large asperity close the trench, it grows a very large earthquake by rupturing the surrounding stable regions and some asperities. Very large earthquakes close to M9 occur at intervals of 400-800 years. Based on our numerical results, we propose the following scenario for the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake: (1) large slips occurred at the large asperity close to the trench off Miyagi and off Fukushima, (2) the rupture propagated to the region of the velocity strengthening at low to intermediate slip rates but velocity weakening at high slip rates, and (3) then several ruptures of asperities occurred off Fukushima and off Ibaraki.

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 地震発生サイクル, 準動的モデル化, 断層潤滑, すべり速度・状態依存則  
Keywords: the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, Earthquake cycles, quasi-dynamic modeling, fault lubrication, rate- and state-dependent friction

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



MIS036-P52

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## Two faces of the Great Tohoku Earthquake: Shallow Dynamic Overshoot and Energetic Deep Rupture

### Two faces of the Great Tohoku Earthquake: Shallow Dynamic Overshoot and Energetic Deep Rupture

井出 哲<sup>1\*</sup>, Annemarie Baltay<sup>2</sup>, 田村 慎太郎<sup>1</sup>, Gregory C. Beroza<sup>2</sup>  
Satoshi Ide<sup>1\*</sup>, Annemarie Baltay<sup>2</sup>, Shintaro Tamura<sup>1</sup>, Gregory C. Beroza<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東大・理・地球惑星科学, <sup>2</sup>Stanford University

<sup>1</sup>Dept. EPS, Univ. Tokyo, <sup>2</sup>Stanford University

We use empirical Green's function-based finite-source imaging and energy estimates to study rupture evolution of the Mw 9.0 Great Tohoku earthquake. We find that the earthquake consists of: a small initial phase, deep rupture up to 40 s, shallow large rupture at 60-70 s, and deep rupture lasting over 100 s. The ratio of seismic energy to seismic moment is within the normal range for earthquakes, but we find that deeper parts of the rupture radiated strongly at high frequencies; whereas, shallower parts of the rupture radiated only weakly at high frequencies despite prodigious total slip. Extremely large values of shallow slip near the trench would have been responsible for the extremely large tsunami and may have been facilitated by a combination of a shallow dipping fault and a compliant hanging wall. Reversed-mechanism (normal faulting) aftershocks suggest complete dynamic overshoot to the point of failure in the opposite direction.

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, すべりモデル, ダイナミックオーバーシュート, 地震波エネルギー  
Keywords: Tohoku-Oki earthquake, slip model, dynamic overshoot, seismic energy

MIS036-P53

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 2011年東北地方太平洋沖地震はどのようにして発生し、大きくなったのか? -動的弱体化と引きずられる周り-

## How did the 2011 Tohoku Earthquake start and grow up? -Role of dynamic weakening and conditionally stable area-

三井 雄太<sup>1\*</sup>, 飯尾 能久<sup>2</sup>  
Yuta Mitsui<sup>1\*</sup>, Yoshihisa Iio<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 北大・理, <sup>2</sup> 京大・防災研

<sup>1</sup>Sci., Hokkaido Univ., <sup>2</sup>DPRI, Kyoto Univ.

The 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake broke the huge area from Miyagi-Oki to Ibaraki-Oki. Such the large-scale rupture on the plate interface was the first observation off the Pacific Coast in Japan. Why did such the giant M9-class earthquake occur? To consider its generation mechanism, we construct a preliminary model of the mechanical system of the M9-class earthquake based on geophysical observation.

We consider the generation mechanism of the 2011 Tohoku Earthquake as follows: In the restoration period of the interplate locking after the active period of M7-class earthquakes and afterslip, one M7-class earthquake off Miyagi occurred and triggered the 2011 Tohoku Earthquake as the model proposed by Matsuzawa et al. (2004). Although the rupture initiation was similar to the M7-class earthquakes around this area, certain dynamic-weakening mechanism such as thermal pressurization of pore fluid promoted the rupture propagation. In particular, extremely large slip occurred in the region on the east of the hypocenter without strong wave radiation in short period. Then the rupture propagated southward through a barrier-like region with slower slip velocity and large amount of slip, and extended to the southern part.

As a part of the above scenario, we perform a preliminary simulation using a connected spring-slider system, to present that the extremely large slip in the northern part could cause rupture propagation southward without large-scale nucleation over the whole fault. The slip behavior of the barrier-like region is well explained by the “conditionally stable” condition of frictional instability. Furthermore, we try to show that the thermal pressurization around the hypocenter could cause the extremely large slip within the northern part using a three-dimensional elastodynamic system.

キーワード: 間隙流体の熱的加圧, 条件付き安定, 地震サイクル, 巨大地震

Keywords: Thermal pressurization, Conditionally stable, Earthquake cycle, Giant earthquake

## 東日本テクトニクス過程としての東日本巨大地震 East Japan Super Earthquake as Tectonic Process in East Japan

新妻 信明<sup>1\*</sup>

Nobuaki Niitsuma<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 新妻信明

<sup>1</sup> Nobuaki Niitsuma

東日本は、脊梁山脈、北上・阿武隈低地そして北上・阿武隈山地、弘前から会津盆地に連なる山間盆地、出羽丘陵、海岸平野と日本海溝に並行する大地形からなる。海岸線から日本海溝の間には上部および下部深海平坦面が広く発達する。

地表地質調査および深海掘削は、脊梁山地と出羽丘陵が褶曲隆起した複背斜構造、山間盆地が褶曲沈降した複向斜構造により形成され、深海平坦面が東縁隆起帯によって堰き止められた前弧海盆の表面であることを明らかにした。この東日本テクトニクスは新第三紀以降進行してきた。プレートテクトニクスの登場により、日本海溝は太平洋プレートが沈み込む所であり、東日本のテクトニクスが太平洋プレートの沈み込みによって駆動されていると考えられており、東日本に太平洋プレートが沈み込んで発生した今回の東日本巨大地震 M9.0 は東日本テクトニクスの過程と言える。

変形せず剛体として地球表面を移動するプレートがどのようにして下方に屈曲して沈み込むかは、プレートの性質を知るための鍵である。日本海溝の形態は逆 S 字型をしており、千島海溝との会合部からほぼ直線的な北部、最上川河口沖を中心とする小円に沿う中部、伊豆海溝との会合部を含めた太平洋に中心を持つ小円に沿う南部に区分される。最上の小円と太平洋の小円は共に約 400km の半径を持ち、太平洋プレートの最小曲率半径との関係が示唆されている (Niitsuma, 1996)。地震波トモグラフィー (Zao, 2009) により厚さ 100km の低温で高速な太平洋プレートが半径 375km の同心円状に屈曲して沈み込む様子が明らかにされており、ほぼ同じ最小曲率半径で沈み込んでいる。

GPS 測定によって観測された東日本の地殻変動に基づき国土地理院によって算出された南北二つの断層面は、日本海溝全域に及んでいる。気象庁から公表される震源と発震機構が東日本深部の応力状態を知らせてくれる。本震域では 2月16日から M7.3 を含む多数の前震の後、3月11日に本震が発生し、40分以内に M7.4 から M7.7 の余震が発生した。前震は沈み込む太平洋プレート内から前弧海盆の地殻内まで広い深度範囲で起こり、発震機構がいずれも東西の太平洋プレート運動方向に圧縮軸をもつ逆断層型であることから、太平洋プレート上面が前弧海盆域と固着して同じ圧縮応力状態にあったことが分かる。前震の震央が 1896年明治三陸地震津波、869年貞観三陸地震津波、1677年延宝三陸地震津波と同じく日本海溝軸沿いであり、前震によって圧縮応力状態に変化が無く応力解放に到っていなかったことから、巨大地震についての警報を怠ったことが悔やまれる。

本震と同日の余震は算出断層面の北側と南端で本震と同じ発震機構で起こっており、日本海溝に沿う前弧域全域で同じ応力状態にあった。同日の日本海溝外側の太平洋プレート内で起こった M7.5 の余震は正断層型であり、本震によって太平洋プレート内の応力状態が圧縮から引張に変化している。

翌 3月12日以後の余震は、算出断層面および同心屈曲する太平洋プレート上面によって区切られる 3層構造を持つ。太平洋プレート内と算出断層上盤では正断層型余震が起こり、断層下盤では依然として太平洋プレート運動方向の逆断層型余震が起こっている。この 3層構造が明瞭なのは中部であり、算出断層の及ばない北部では沈み込まれる前弧側と太平洋プレート浅部に逆断層型余震が起こっている。南部では算出断層上盤の余震が少なく、下盤の逆断層型余震が多く、太平洋プレート内にも広く逆断層型余震が起こっており、太平洋プレートと前弧域との固着が本震によって解消されずに残り、1677年4月延宝三陸地震津波 M8.0 の後の 11月の関東沖地震津波 M8.0 発生が心配される。

余震 3層構造の断層下盤の逆断層型余震は、断層西縁の海岸線に並行して多数発生し、4月7日には宮城県沖で M7.1 があり、1896年明治三陸地震津波の後の仙台沖 M7.4 と対応する。太平洋プレートは海岸線に沿うこの地帯で同心屈曲から平面に戻るためにプレート運動の第二の関門となっている。

関門となっている東日本下のマントルが地殻に与えた圧縮応力によって中越での M6.7 と M5.9 (3月12日) および秋田で M5.0 (4月1日) の逆断層型地震を起こした。これは明治三陸地震津波の後に起こった陸羽地震 M7.2 が対応し、脊梁山地の隆起と山間盆地の沈降をもたらす。

関門頂部に形成される引張応力域では正断層が発生する。磐城で 3月19日以来最大 M7.1 (4月11日) の正断層型地震があり、明治三陸地震津波の後に起こった 1900年宮城県北部地震 M7.0 が対応し、磐城平野や北上・阿武隈低地帯を形成する。

キーワード: 東日本巨大地震, テクトニクス, 太平洋プレート, 沈み込みスラブ, 発震機構, 同心円屈曲

Keywords: East Japan Super Earthquake, Tectonics, Pacific Plate, decending slab, Focal Mechanism, concentric circluar bend

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



MIS036-P55

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 14:15-16:15

## Multi-scale dynamic rupture modelling for the 2011 Tohoku earthquake: from foreshocks to mainshock Multi-scale dynamic rupture modelling for the 2011 Tohoku earthquake: from foreshocks to mainshock

Hideo Aochi<sup>1\*</sup>, Satoshi Ide<sup>2</sup>

Hideo Aochi<sup>1\*</sup>, Satoshi Ide<sup>2</sup>

<sup>1</sup>BRGM, Orleans, France, <sup>2</sup>Graduate School of Science, Univ. Tokyo

<sup>1</sup>BRGM, Orleans, France, <sup>2</sup>Graduate School of Science, Univ. Tokyo

We present conceptual dynamic rupture models for the 2011 Tohoku earthquake based on the multi-scale heterogeneity in fracture energy. Regardless of frequently occurring M7.5 events in this area, it is crucial that a large scale fault heterogeneity corresponding to a M9 event had not been clearly recognized until this earthquake. We show that the largest heterogeneity having high fracture energy is consistent with relatively slow rupture propagation of the Tohoku earthquake. The large gap in fracture energy explains the separation of two groups of waves clearly visible in observed ground motions. Our simulations prefer a cascading rupture that begins from a medium heterogeneity and then progresses over larger scale heterogeneity. We also find that the existence of foreshocks helps the rupture to grow up during the mainshock.

キーワード: dynamic rupture, multi-scale heterogeneity, Tohoku earthquake, fracture energy

Keywords: dynamic rupture, multi-scale heterogeneity, Tohoku earthquake, fracture energy



MIS036-P56

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 2011年東北沖巨大地震が明らかにしたさまざまな巨大地震の発生過程 2011 Megathrust Earthquake that Revealed the Existence of Two Types of Great Earthquakes

小山 順二<sup>1\*</sup>, 吉澤 和範<sup>1</sup>, 蓬田 清<sup>1</sup>, 都筑 基博<sup>1</sup>

Junji Koyama<sup>1\*</sup>, Kazunori Yoshizawa<sup>1</sup>, Kiyoshi Yomogida<sup>1</sup>, Motohiro Tsuzuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学

<sup>1</sup> Hokkaido University

2011年3月11日東北関東地方をマグニチュード9の巨大地震が襲った。そして地震による被害ばかりではなく、巨大な津波災害をもたらした。我々はなぜこの地震がこのように大きく破壊領域を拡大したのか考えた。従来見逃されていたのは、東北沖地域は海溝沿いに平行に並ぶ2つの帯状の地震セグメントが存在し、最初の強力な一撃が周辺の地震セグメントを2次的に破壊したと考えた。このような巨大地震の破壊様式は、1964年アラスカ地震の際にも見出され、1960年チリ地震や2004年スマトラ地震のように、それぞれの海溝沿いに破壊が次々に伝播する巨大地震とは、異なるものであることを見出した。1960年チリ地震は海溝沿いに存在する比較的均一なアスペリティを次々と破壊し、2011年東北沖地震は、最初の一撃が周りの地震セグメントを2次的巻き込むタイプであると考えられる。従来、巨大地震はチリ型・アラスカ型地震で理解されると信じられてきたが、巨大地震の発生様式にも特徴的な個性があることが今回明らかにされた。

キーワード: 2011年東北沖巨大地震, 巨大地震の複雑な発生過程, 1964年アラスカ地震, 1960年チリ地震, 2004年スマトラ地震

Keywords: 2011 Megathrust Earthquake in Japan, Mechanism of Great Earthquakes, 1964 Alaska Earthquake, 1960 Chile Earthquake, 2004 Sumatra Earthquake

## 2011年東北地方太平洋沖地震と1964年アラスカ地震との類似性：他の超巨大地震との違い

### Some hints hidden in the 1964 Alaska earthquake for the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake

蓬田 清<sup>1\*</sup>, 吉澤 和範<sup>1</sup>, 小山 順二<sup>1</sup>, 都筑 基博<sup>1</sup>

Kiyoshi Yomogida<sup>1\*</sup>, Kazunori Yoshizawa<sup>1</sup>, Junji Koyama<sup>1</sup>, Motohiro Tsuzuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院理学研究院

<sup>1</sup> Grad Sch Science, Hokkaido University

本研究では2011年東北地方太平洋沖地震と1964年アラスカ地震との様々な類似性を指摘し、この2つの超巨大地震がこれまで標準と考えられていた1960年チリ地震や2004年スマトラ沖地震などと大きな違いがある点を、その要因も含めて考察する。後者の2つに代表される超巨大地震は、2つのプレートが圧縮場となる長大な沈み込み帯に沿って、いくつかのセグメントを海溝軸方向に沿って次々に連動させて発生した。しかし、2011年東北地方太平洋沖地震は海溝軸方向の広がりは約500kmとこれら2つに比べれば短い。海溝軸から日本列島方向に幅がより大きい。前者は通常の地震活動などで一つの単位となるセグメントが海溝軸におおまかには一列に連なった単一セグメント様式なのに対して、

今回の地震では最低2つの独立したセグメントが海溝に沿って並ぶ、二重セグメント様式となっている(小山ら)。

二重セグメント様式の今回の地震では、浅いセグメントと深いセグメントの区別がはっきりしているが、その結果として、これまで超巨大地震の典型と考えられてきた単一セグメント様式の場合とは、様々な特徴が異なっている。しかし、今回の地震のみが特異ではなく、過去の超巨大地震の例を比較すると、1964年アラスカ地震と驚くほどの共通点が認められる。

まず、断層の形状が幅広である。長周期の表面波および実体波からは、移動震源を示すdirectivityが極めて弱く、大きなすべり領域も震源近くの領域に局在している。Kanamori(1970)では震源近くの深い領域から海溝に向う移動成分も明らかに存在することが示されており、今回の地震がやはり海溝に沿っての顕著な震源移動がないことと共通している。津波や地殻変動も震源、あるいはすべりの大きい震源域の北東側だけに局所的に集中し、震源域の中央部から南西側は比較的小さいことも、今回の地震のデータと類似している。通常の地震活動も、海溝に沿っては顕著な変動は1964年前後にない。一方で、陸側のプレート境界が深い部分では多くの震源が分布しているのに対して、海溝に沿っての浅い細長い領域では、常に地震活動がほとんどない。今回の震源域でも、特に宮城沖から福島沖にかけては地震活動が極端に弱く、一方で宮城沖の深いプレート境界ではM8に近い地震も含めて常に活発な地震活動がある。つまり、両者ともに二重セグメント様式の特徴がよく表れている。最後に、すべりの大きな領域(アラスカならば北東端、東北ならば宮城沖の震源近く)の隣りのセグメントの通常の地震活動は、ともに非常に弱いプレートカップリングを示している。つまり、最大でもM7クラス程度であり、さらに沈み込むプレート内での正断層の大きな地震もいくつか発生しており、非常にカップリングの強いセグメントと対照的な場が隣接しており、単一セグメント様式の超巨大地震の発生場とは明らかに異なっている。

上に挙げたアラスカ地震の特徴は当時の観測技術・観測網の状況からして、今回の地震で明らかになりつつある二重セグメント様式としての性質が明確でないのは当然である。むしろ、直前に発生した1960年チリ地震で初めて捉えられた多くの超巨大地震としての特徴を無理矢理押し付けて解釈された側面が理解される。そして、2004年スマトラ沖地震が単一セグメント様式であることから、さらに超巨大地震とは基本的にすべて同じタイプであると受け取られるようになった。二重セグメント様式という異なったタイプの超巨大地震の理解を今回の地震が例外ではなく、1964年アラスカ地震との類似性を今後より深く理解することが、今後の超巨大地震の発生の議論にも極めて重要である。

キーワード: 超巨大地震, 二重セグメント様式, セグメントの連動, 2011年東北地方太平洋沖地震, 1964年アラスカ地震

Keywords: megathrust earthquake, double segmentation, interrelation of segments, 2011 Tohoku earthquake, 1964 Alaska earthquake

MIS036-P58

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 海洋研究開発機構の観測航海で取得されたマルチビームによる日本海溝付近の海底地形 Bathymetric feature around Japan Trench obtained by JAMSTEC multi narrow beam survey

木戸 ゆかり<sup>1\*</sup>, 富士原 敏也<sup>1</sup>, 佐々木 智之<sup>2</sup>, 木下 正高<sup>1</sup>, 小平 秀一<sup>1</sup>, 佐野 守<sup>1</sup>, 市山 祐司<sup>1</sup>, 華房 康憲<sup>1</sup>, 坪井 誠司<sup>1</sup>  
Yukari Kido<sup>1\*</sup>, Toshiya Fujiwara<sup>1</sup>, Tomoyuki Sasaki<sup>2</sup>, Masataka Kinoshita<sup>1</sup>, Shuichi Kodaira<sup>1</sup>, Mamoru Sano<sup>1</sup>, Yuji Ichiyama<sup>1</sup>,  
Yasunori Hanafusa<sup>1</sup>, Seiji Tsuboi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 東京大学大気海洋研究所

<sup>1</sup>JAMSTEC, <sup>2</sup>AORI, Univ Tokyo

1995年以降、マルチナロービームによる測深データが集まり、2008年度には、データベースサイトを立ち上げ、航海毎にデータ公開を開始した。今回の東日本地震の事後調査の基礎資料とするため、過去の機構運用の航海データの内、海底地形データをまとめたので報告する。地震前までのデータを集約し、格子点状データを作成した。データは、JAMSTECの船舶「かいいい」「かしよう」「よこすか」「なつしま」「みらい」の5隻に搭載されているSeaBeam2100, 2112シリーズ, SeaBat8160で取得されたデータを集め、各航海中に取得したXBTによる音速データを用いて補正をかけ、スパイクノイズを取り除いたものである。データのないエリアは、海上保安庁海洋情報部の「日本周辺の500mメッシュ海底地形データ」を参照した。このようなデータのコンパイル、マッピング作業により、どこの海域にどのくらいのデータ量が存在するのか明らかになり、今後の調査航海の測線計画や地震・津波イベント前後でのタイムラプス解析の可能性を探る基礎資料となる。なお、JAMSTECのウェブサイトのトップページにあるデータベースサイトから、今までの航海データ検索ができるポータルサイトや航海毎のレポートや測線情報、海底地形の生データなどの閲覧、ダウンロードが可能な航海データサイトの運用を2008年6月より行っている。

JAMSTECのデータベースサイト

<http://www.jamstec.go.jp/j/database/index.html>

航海データ検索ができるポータルサイト

<http://www.godac.jamstec.go.jp/dataportal/>

航海データサイト

<http://www.godac.jamstec.go.jp/cruisedata/j/>

キーワード: 日本海溝, 海底地形データ, 海洋研究開発機構データ検索ポータル, 海洋研究開発機構航海データベース  
Keywords: Japan Trench, Multi-narrow beam bathymetry, JAMSTEC data search portal, JAMSTEC cruise database

MIS036-P59

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 地震前の日本海溝陸側斜面の地形-震央域周辺における海底地すべり地形の分布と潜航記録-

## Submarine landslides of trench landward slopes in the Japan Trench before the earthquake

川村 喜一郎<sup>1\*</sup>, 佐々木 智之<sup>2</sup>

Kiichiro Kawamura<sup>1\*</sup>, Tomoyuki Sasaki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 公益財団法人深田地質研究所, <sup>2</sup> 海洋技術開発株式会社

<sup>1</sup>Fukada Geological Institute, <sup>2</sup>Ocean Engineering & Development Co.,Ltd.

本発表では、東日本大震災前の日本海溝陸側斜面の詳細な海底地形図と潜水艇による潜航記録について示す。

使用される海底地形データは、1998年から2007年までにJAMSTECの「かいれい」および「よこすか」搭載の音響測深装置 SeaBeam2112 を用いて取得した。その範囲は、北緯 41 °の八戸沖から北緯 37 °の福島沖までの領域で、日本海溝を挟んだ東経 143 °から東経 145 °を網羅している。深海ではアンダー、浅海ではオーバーサンプリングになってしまうため、データ間隔の走査範囲を適切に設定している。この海底地形図では、各所に、幅数十 km の円弧状にえぐられたような大規模崩壊地形が認められる。そのような斜面の崩壊で滑落したブロックの可能性のある地形の凹凸が認められる。

ここで発表する海底地形は、今後取得されるだろう地震後の海底地形や潜水調査記録を考察する上で、重要なデータセットとなるだろう。ただし、これらの地すべりの可能性ある円弧状の地形は、地質学的な時間スケールで形成されたものであろうことを念頭に置いておく必要がある。

キーワード: 海底地すべり, 潜水船, 海底地形, シービーム

Keywords: submarine landslide, submersible, bathymetric map, seabeam

## 深海調査研究船「かいいい」による東北地方太平洋沖地震の緊急調査航海(速報) Geophysical survey around the rupture zone of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake by R/V KAIREI

野 徹雄<sup>1\*</sup>, 海宝 由佳<sup>1</sup>, 高橋 成実<sup>1</sup>, 三浦 誠一<sup>1</sup>, 山下 幹也<sup>1</sup>, 中村 恭之<sup>1</sup>, 朴 進午<sup>2</sup>, 辻 健<sup>3</sup>, 尾鼻 浩一郎<sup>1</sup>, 藤江 剛<sup>1</sup>, 佐藤 壮<sup>1</sup>, 山本 揚二郎<sup>1</sup>, 富士原 敏也<sup>1</sup>, 柏瀬 憲彦<sup>1</sup>, 中東 和夫<sup>4</sup>, 篠原 雅尚<sup>4</sup>, 日野 亮太<sup>5</sup>, 小平 秀一<sup>1</sup>, 金田 義行<sup>1</sup>  
Tetsuo No<sup>1\*</sup>, Yuka Kaiho<sup>1</sup>, Narumi Takahashi<sup>1</sup>, Seiichi Miura<sup>1</sup>, Mikiya Yamashita<sup>1</sup>, Yasuyuki Nakamura<sup>1</sup>, Jin-Oh Park<sup>2</sup>, Takeshi Tsuji<sup>3</sup>, Koichiro Obana<sup>1</sup>, Gou Fujie<sup>1</sup>, Takeshi Sato<sup>1</sup>, Yojiro Yamamoto<sup>1</sup>, Toshiya Fujiwara<sup>1</sup>, Kazuhiko Kashiwase<sup>1</sup>, Kazuo Nakahigashi<sup>4</sup>, Masanao Shinohara<sup>4</sup>, Ryota Hino<sup>5</sup>, Shuichi Kodaira<sup>1</sup>, Yoshiyuki Kaneda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 東大気海洋研/海洋研究開発機構, <sup>3</sup> 京大/海洋研究開発機構, <sup>4</sup> 東大地震研, <sup>5</sup> 東北大  
<sup>1</sup>JAMSTEC, <sup>2</sup>AORI, Univ. of Tokyo/JAMSTEC, <sup>3</sup>Kyoto Univ./JAMSTEC, <sup>4</sup>ERI, Univ. of Tokyo, <sup>5</sup>Tohoku Univ.

2011年3月11日、東北地方太平洋沖地震が発生し、この超巨大地震とそれに伴う巨大津波は東北地方から関東地方に至る地域に甚大な災害を及ぼした。また、この地震は日本周辺で発生した地震としては観測史上最大のマグニチュード(M<sub>J</sub>9.0)であり、日本海溝で発生した運動型の巨大地震である点や、地震発生後の非常に活発化した余震活動および関連した地震活動などの推移から、可能な限り早く、現時点で生じている事象を正確に把握することが極めて重要である。そのため、被災地やそれに伴う活動に影響を与えない範囲で、今回の地震に関する観測・調査を速やかに実施することが必要不可欠であった。

地震発生後、文部科学省の科学研究費補助金(特別研究促進費)による「2011年東北地方太平洋沖地震に関する総合調査」が立ち上がり、その調査研究の一環として、海洋研究開発機構では、深海調査研究船「かいいい」を用いた震源域付近に関する海域での緊急調査航海を実施した。この調査航海は、2011年3月14日~31日にかけて行い、海洋研究開発機構や東京大学地震研究所などの海底地震計の設置・回収作業、東北大学の海底圧力計の回収作業、マルチチャンネル反射法地震探査を実施した。調査航海実施中は、海底地形・重力・磁力のデータを同時に取得した。

海底地震計の設置・回収作業は、今回の地震の余震域である岩手県沖から房総沖にかけての海域において、各機関の調査船・備船と連携して実施した。本航海では海洋研究開発機構の海底地震計23台の設置、東京大学地震研究所の海底地震計16台の設置と3台の回収、東北大学の海底地震計3台の設置と3台回収、及び海底圧力計3台の回収を行った。回収された海底地震計や海底圧力計については、各機関で解析が進められており、その結果の一部は発表されている(例えば東北大学, 2011)。

マルチチャンネル反射法地震探査は、各機関の解析結果から今回の地震で最もすべり量の大きいとされている宮城県沖において2測線実施した。2測線のうち1測線は、1999年に「かいいい」で実施したマルチチャンネル反射法地震探査測線(Tsuru et al., 2002)とほぼ同一の測線で行った。今回の探査測線は、1999年の実施時よりも測線長を長く実施できたため、今回の地震の震源域付近の反射法地震探査から得られる地殻構造を検討する上では、1999年の結果よりは多くの情報を入手できることも期待できる。一方、1999年当時の「かいいい」による反射法地震探査システムは、現在「かいいい」で用いているシステムとは異なるため、通常タイムラプス探査(ある時間間隔を経て同一測線で地震探査を実施し、地下構造の相違を推定する手法)としての研究には難しい点が多く、さらに今回の探査実施時は余震活動が非常に活発であったことによるイメージングへの悪影響の懸念がある。しかし、反射法地震探査の結果だけではなく、同時に取得されている海底地形データと合わせて、総合的に研究を実施することにより、1999年と今回の結果の違いを抽出できる可能性がある。例えば、初期的な解析の段階ではあるが、海溝底付近において海底地滑りを示唆するイメージや海溝より陸側では上盤側のプレートの変位を示唆する結果が得られている。なお、本探査の主なデータ取得仕様は、ショット間隔50m、エアガン容量7800cu.in.(約128リットル)、エアガン曳航深度10m、受振点間隔12.5m、ストリーマーカーケーブル曳航深度21m、ストリーマーカーケーブルのチャンネル数444、オフセット距離140~5700m、サンプリング間隔2ms、記録長18sである。

本発表では、本航海の調査概要と反射法地震探査及び海底地形調査の暫定的な解析結果を中心に報告する。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 海底地震計, 反射法地震探査, 海底地形調査, タイムラプス探査, 海底圧力計

Keywords: The 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Ocean Bottom Seismograph, Multi-channel seismic reflection survey, Bathymetric survey, Time lapse survey, Ocean bottom pressure

MIS036-P61

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 反射法地震探査と海底調査による2011年東北地方太平洋沖地震の断層システム Fault System of the 2011 Off-Tohoku Earthquake; Insight from Seismic Reflection Data and Seafloor Observations

辻 健<sup>1\*</sup>, 伊藤喜宏<sup>2</sup>, 木戸元之<sup>2</sup>, 長田幸仁<sup>2</sup>, 藤本博巳<sup>2</sup>, 芦寿一郎<sup>4</sup>, 木下正高<sup>3</sup>, 松岡俊文<sup>1</sup>

Takeshi Tsuji<sup>1\*</sup>, Yoshihiro Ito<sup>2</sup>, Motoyuki Kido<sup>2</sup>, Yukihiro Osada<sup>2</sup>, Hiromi Fujimoto<sup>2</sup>, Juichiro Ashi<sup>4</sup>, Masataka Kinoshita<sup>3</sup>, Toshifumi Matsuoka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学, <sup>2</sup> 東北大学, <sup>3</sup> 海洋研究開発機構, <sup>4</sup> 東京大学

<sup>1</sup> Kyoto University, <sup>2</sup> Tohoku University, <sup>3</sup> JAMSTEC, <sup>4</sup> University of Tokyo

Faults related to the tsunamigenic 2011 off-Tohoku earthquake (Mw 9.0) were investigated by using multi-channel seismic reflection data acquired in 1999 and submersible seafloor observations from 2008. The shallow fault geometries as well as submarine slide are important to reveal mechanisms of the huge tsunami generation. On the reflection seismic profile, we identified three predominant faults; (A) backstop reverse fault working as a boundary between seaward accreted sequence and landward consolidated sequence, (B) a branch fault constructing the seafloor slope break, and (C) vertical fault extending toward a seafloor ridge. Several imbricate thrusts are developed within the accreted sequence seaward of (A) backstop reverse fault. Between (A) the backstop reverse fault and (B) the branch fault, underplating structures are identified on the profile. Displacement along (C) the vertical fault has offset a Cretaceous sequence surface by ~800 m. The location of these faults interpreted in the seismic reflection profile is distributed around the area with largest slip and tsunami induction of the 2011 event. Cold-seep communities and a high scarp observed at these fault traces suggest current activity on these faults. We interpret the fault system in the seismic profile as a shallow extension of the seismogenic fault that may have contributed to induction of the huge tsunami.

## 東北地方太平洋沖地震と静岡県東部地震による相模湾初島沖及び北海道十勝沖における深海環境変動 Environmental fluctuation observed on deep seafloor off Tokachi in Hokkaido and off Hatsushima Island in Sagami Bay

岩瀬 良一<sup>1\*</sup>, 高橋 一郎<sup>2</sup>  
Ryoichi Iwase<sup>1\*</sup>, Ichiro Takahashi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(独) 海洋研究開発機構, <sup>2</sup>(株) マリン・ワーク・ジャパン  
<sup>1</sup>JAMSTEC, <sup>2</sup>Marine Works Japan, Ltd.

2011年3月11日14:46 JSTに発生した東北地方太平洋沖地震(M9.0)では、北海道釧路沖から高知県室戸岬沖にかけて設置されている海洋研究開発機構の各海底ケーブル型観測システムでも、搭載された水圧計により水深換算で20から80 cm程度の津波を観測している。これらの観測システムのうち、相模湾初島沖「深海底総合観測ステーション」(以下「初島沖システム」と呼ぶ)および北海道釧路・十勝沖「海底地震総合観測システム」(以下「釧路・十勝沖システム」と呼ぶ)では、地震計や水圧計の他に、CTD(電気伝導度計, 水温計, 水圧計), 流向流速計, テレビカメラ等の多種のセンサによる観測データも取得されている。なおこれらのセンサの搭載された先端観測装置の設置水深は、初島沖システムが1175m, 釧路・十勝沖システムが十勝沖2540mである。また3月15日22:31 JSTには初島沖システムに程近い場所で静岡県東部地震(M6.4)が発生した。今回はこれらの地震によりこの2つの観測システムで観測された深海環境変動について報告する。

3月11日の東北地方太平洋沖地震発生後、釧路・十勝沖システムの先端観測装置に搭載されたCTDの水圧計では、15:07頃より津波の到来を示す水圧上昇が観測され、15:12から15:18頃にかけて、水深換算にして約60cmの水圧上昇を検出した。同じ先端観測装置に搭載された電磁流向流速計(サンプリング間隔0.5秒)では、地震発生直後は南南西向きの底層流を検出していたが、この水圧上昇に同期する形で流向が徐々に北向きに変化し、15:14には真北への流れとなった。バックグラウンドの底層流を勘案すると、津波の寄与による流速の上昇は、約2 cm/sと見積もられる。水温や電気伝導度及び海中の懸濁物量の指標となるADCP(Acoustic Doppler Current Profiler, 音響多層流速計)の後方散乱強度には特に顕著な変化は見られなかった。

一方、初島沖システムでは、地震発生後の15:32頃より水圧が減少し始め、15:48頃に極小(水深換算で約80 cmの減少)となった後上昇し、16:17頃に極大(水深換算で極小値との差約160 cm)となった後減少し、16:55頃には再度15:48頃と同程度の極小となり、以後3月15日頃まで擾乱が続いた。初島沖システムには電磁流向流速計は搭載されておらず、ADCPにより1分間隔の流速並びに後方散乱強度の観測がおこなわれている。流速には特に顕著な変化は見られないが、後方散乱強度は地震発生後徐々に増加し、15:23頃に最大で13 dB程度の上昇となった。その後17:00頃には地震前のレベルに戻ったが、翌12日の01:17頃より再び上昇し、01:37前後には地震発生後を上回る18 dB程度の上昇を検出した。相模湾では地震による通信用海底ケーブルの障害がKDDIにより報告されていることから、初島沖システムから離れた場所で斜面崩壊が発生し、それにより巻き上げられた堆積物が流れてきたものと考えられる。

3月15日22:31 JSTの静岡県東部地震では、その直前の21時頃まで実施されていた東京電力(株)による計画停電のため観測の中断を余儀なくされ、ADCPや海底映像の撮影は実施できなかったが、地震計およびCTD等による観測は再開した。その結果、泥流に特徴的な0.3度程度の水温上昇が検出されており、観測ステーション近傍で泥流が発生したことが推測される。ガンマ線検出器の計測値にも上昇が見られているが、この時期は例年海面での生物発生(スプリング・ブルーム)による懸濁物増加の影響もあるため、これを考慮して調査を進めているところである。

以上をまとめると、深海環境の特徴的な変化として、東北地方太平洋沖地震では、十勝沖海底で津波による底層流の変化が検出され、初島沖海底では観測ステーションから離れた場所での斜面崩壊によると推定される懸濁物増加が検出された。静岡県東部地震では、ステーション近傍での泥流の発生が示唆される。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 静岡県東部地震, 深海環境変動, 相模湾初島沖, 北海道十勝沖, 底層流

Keywords: the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, the Eastern Shizuoka Prefecture Earthquake, deep-sea environmental fluctuation, off Hatsushima Island in Sagami Bay, off Tokachi in Hokkaido, bottom water current

MIS036-P63

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## RTK-GPS 時系列に基づく地震時変位場の準リアルタイム推定 -東北地方太平洋沖地震への応用-

### Quasi real time estimation of coseismic displacement field based on the RTK-GPS time series ? Applied to the 2011 off the

小林 竜也<sup>1\*</sup>, 太田 雄策<sup>1</sup>, 三浦 哲<sup>2</sup>, 藤本 博己<sup>1</sup>  
Tatsuya Kobayashi<sup>1\*</sup>, Yusaku Ohta<sup>1</sup>, Satoshi Miura<sup>2</sup>, Hiromi Fujimoto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大・理・予知セ, <sup>2</sup> 東大地震研

<sup>1</sup> RCPEVE, Sci., Tohoku Univ., <sup>2</sup> ERI, 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(M9.0)による津波は広範囲にわたり甚大な被害をもたらした。こうした巨大地震の規模を迅速に推定することは、津波発生予測等を含め極めて重要な課題である。小林・他(SSS030-07, 本大会)はRTK-GPSデータによる地震時永久変位量推定手法を開発し、2008年岩手・宮城内陸地震に適用した。彼らは発震時より76秒で約3cmの精度において水平成分の永久変位量推定が可能という結果を示している。本発表では、上記の手法を東北地方太平洋沖地震の地震時1Hz GPSデータに適用した結果について紹介する。

震源に最も近いGEONET観測点である牡鹿(0550)では日座標値解において5.19m(東西), -1.46m(南北), -1.16m(上下)という極めて大きな変位が得られている(大園・他, 本大会)。牡鹿観測点において記録された1Hz GPSデータに対し、豊橋A(1161)を基準局としたRTK-GPS解析を行い、その時系列から小林他の手法により地震時永久変位量の推定を試みた。その結果、発震時から2分28秒で地震時永久変位量の推定が終了し、推定された永久変位量は5.20m(東西), -1.50m(南北), -1.49m(上下)となった。水平成分に関してはわずかにRTK-GPSデータから推定された値が大きいものの、両者はおおむね良い一致を示す。東北地方太平洋沖地震では震源断層が南北に長く、大局的には北から南へ破壊が伝搬したと考えられている。その南端は日座標解析の結果から千葉県北東部と推定されているため、牡鹿観測点と同様の処理を銚子(3022)に対して行ったところ、最終的な変位量推定に要した時間は3分31秒となり、牡鹿観測点よりも1分以上長い。これは上に述べた断層面での破壊伝搬に起因するものと考えられる。しかしながらこうした破壊継続時間を勘案しても、本手法では地震発生後約4分で永久変位量の推定が震源域全体で終了し、震源断層モデルの推定を開始できることを意味する。

上述の基線解析の基準点は豊橋A(1161)であるが、これは東北地方太平洋沖地震がM9という大地震であることを考慮に入れた上での基準点選択である。しかし実運用を考える上では、あらかじめ基準局を固定した解析を行わざるを得ない。今回の地震の場合に例えば飛島(0194)を基準点にしていた場合、牡鹿観測点の推定結果は4.14m(東西), -1.08m(南北), -1.88m(上下)となった。これは基準局自身が地震の影響を受けているためであり、こうした事象をさけるためには基準局をさらに別の基準点から監視するなどの対策が考えられる。

本講演では変位推定量の時間変化や、変位推定結果を用いた断層モデルの推定結果についても議論する予定である。

本研究では、国土地理院によるGPSデータを使用しました。基線解析には東京海洋大学の高須知二氏による「RTKLIB 2.4.0」を使用させて頂きました。ここに感謝致します。



## 高感度・広帯域地震観測網による平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の前震・余震のセントロイド・モーメントテンソル解 Spatial distribution of foreshocks and aftershocks of the 2011 Tohoku earthquake and their focal mechanisms

浅野 陽一<sup>1\*</sup>, 齊藤 竜彦<sup>1</sup>, 伊藤 喜宏<sup>2</sup>, 汐見 勝彦<sup>1</sup>, 廣瀬 仁<sup>1</sup>, 松本 拓己<sup>1</sup>, 上野 友岳<sup>1</sup>, Enescu Bogdan<sup>1</sup>, 風神 朋枝<sup>1</sup>, 木村 武志<sup>1</sup>, 木村 尚紀<sup>1</sup>, 武田 哲也<sup>1</sup>, 田中 佐千子<sup>1</sup>, 松澤 孝紀<sup>1</sup>, 松林 弘智<sup>1</sup>, 三好 崇之<sup>1</sup>, 針生 義勝<sup>3</sup>, 青井 真<sup>1</sup>, 堀 貞喜<sup>1</sup>, 関口 渉次<sup>1</sup>

Youichi Asano<sup>1\*</sup>, Tatsuhiko Saito<sup>1</sup>, Yoshihiro Ito<sup>2</sup>, Katsuhiko Shiomi<sup>1</sup>, Hitoshi Hirose<sup>1</sup>, Takumi Matsumoto<sup>1</sup>, Tomotake Ueno<sup>1</sup>, Bogdan Enescu<sup>1</sup>, Tomoe Kazakami<sup>1</sup>, Takeshi Kimura<sup>1</sup>, Hisanori Kimura<sup>1</sup>, Tetsuya Takeda<sup>1</sup>, Sachiko Tanaka<sup>1</sup>, Takanori Matsuzawa<sup>1</sup>, Hirotohi Matsubayashi<sup>1</sup>, Takayuki Miyoshi<sup>1</sup>, Yoshikatsu Haryu<sup>3</sup>, Shin Aoi<sup>1</sup>, Sadaki Hori<sup>1</sup>, Shoji Sekiguchi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所, <sup>2</sup> 東北大予知セ, <sup>3</sup> 地震予知総合研究振興会

<sup>1</sup>NIED, <sup>2</sup>RCPEV, Tohoku Univ., <sup>3</sup>ADEP

セントロイド・モーメントテンソル(以下, CMT)解析は, 陸地から遠く離れた海域の浅い場所を震源とする地震についても比較的安定したセントロイド位置の推定が可能である。我々は, 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(以下, 本震)の前後に発生した地震のCMT解析を行い, その分布を調べた。

本解析では, 防災科学技術研究所広帯域地震観測網(F-net)の広帯域速度計, および高感度地震観測網(Hi-net)に併設された高感度加速度計の記録を使用し, Hi-netの自動処理システムによって検出された地震のうち, 2011年3月9日から4月26日の期間(ただし, 3月11日20時から15日11時を除く)に発生した振幅マグニチュードが4.0以上の地震を解析した。ここでは, 原記録に対して機器特性の補正と積分による変位波形を行った後に, 通過帯域0.02 - 0.05 Hzのバンドパスフィルターに通し, さらに1 Hzサンプリングにデシメーションした記録を解析に用いた。CMT解の推定には, Ito et al. (2006)による最適解の探索法を用いた。解析時間窓は, 解析対象とする地震の規模に応じて震源時から120から300秒間とした。また, グリーン関数は, F-netによるMT解ルーチン解析と同様の地震波速度, 減衰, および密度構造を仮定し, 波数積分法によって合成した。

解析の結果, 558個の地震について, 使用観測点数20点以上, かつ残差減少率(variance reduction)70%以上の解を得ることができた。そのうち, 本震発生前の地震(以下, 前震)は40個, 発生後の地震(以下, 余震)は518個である。これらの地震が本震と同様のプレート境界型かどうかを識別するために, CMT解に対応する最適ダブルカップル解と走向195度, 傾斜角13度, すべり角90度のダブルカップル解との最小回転角(Kagan角)を調べて, 35度以下の地震をプレート境界型と分類した。前震については約6割にあたる25個がプレート境界型であったのに対して, 余震については約3割の167個と少なく, 正断層型を含むさまざまなタイプの余震が発生していることが分かった。空間分布を詳細に見ると, プレート境界型の余震は, 津波初期波高が高く本震時のすべりが大きかったと考えられる領域を避けて, その縁辺部で発生している。この特徴は, 本震時のすべりがその縁辺部にもたらす応力集中によって, プレート境界型余震が発生している可能性を示唆する。一方, 主に海溝軸近傍および陸側プレート内では正断層型の余震が, また, 沈み込む太平洋スラブ内では逆断層型の余震が発生している。これらは, 本震の発生にともなう伸張域および圧縮域にそれぞれ対応することから, 定性的には本震発生に伴う応力変化によってひきおこされたものと解釈可能である。

キーワード: 前震, 余震, セントロイド・モーメントテンソル, 発震機構解

Keywords: foreshock, aftershock, centroid moment tensor, focal mechanism

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



MIS036-P65

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 遠地 P 波の高周波震動継続時間と変位振幅による東北地方太平洋沖地震のマグニチュード

### Magnitude of the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake from HFER duration and displacement amplitudes

原辰彦<sup>1\*</sup>

Tatsuhiko Hara<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 建築研究所 国際地震工学センター

<sup>1</sup> IISEE, BRI

We determined magnitude of the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake using durations of high frequency energy radiation (HFER) and the maximum displacement amplitudes of tele-seismic P waves. The estimated HFER duration and magnitude are 170.5 s, and 8.96, respectively. Compared to the December 26, 2004 Sumatra earthquake (Mw 9.0), the HFER duration of this event is shorter, while the displacement amplitude is larger. We discuss the relation between HFER duration and displacement amplitude for other large shallow earthquakes in the presentation. The azimuthal dependence of HFER durations indicates the rupture propagation in the southwest direction. We measured time differences between P-wave arrivals and the times at which absolute amplitudes of high bandpass filtered P-waves became the largest. Most of the time differences normalized by the centroid time shift are in the range between 50 and 80 per cent, which is consistent with the frequency distribution that we obtained for large shallow earthquakes previously.

キーワード: 高周波エネルギー放射, マグニチュード

Keywords: high frequency energy radiation, magnitude

## 緊急地震速報と観測された震度の特徴 Earthquake Early Warning and Observed Seismic Intensity

干場 充之<sup>1</sup>, 岩切 一宏<sup>1\*</sup>, 山田 安之<sup>2</sup>, 林元 直樹<sup>1</sup>, 下山 利浩<sup>2</sup>

Mitsuyuki Hoshiba<sup>1</sup>, Kazuhiro Iwakiri<sup>1\*</sup>, Yasuyuki Yamada<sup>2</sup>, Naoki Hayashimoto<sup>1</sup>, Toshihiro Shimoyama<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所, <sup>2</sup> 気象庁

<sup>1</sup>Meteorological Research Institute, <sup>2</sup>Japan Meteorological Agency

平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) は、東北から関東地方に強震動をもたらした。この強震動の直前に、気象庁は緊急地震速報 (警報) を東北地方に発表し、この警報は TV, ラジオ, 携帯電話エリアメールサービス等により放送された。また、1996 年に計測震度が導入されてから、2 回目となる震度 7 が栗原市にて観測された (1 回目は、2004 年の新潟県中越地震時の川口町) のをはじめ、東北～関東地方の広い範囲で震度 6 強や 6 弱を観測した。ここでは、この緊急地震速報、および観測された震度の特徴について述べる。

現在の気象庁の緊急地震速報の運用では、“予報”と“警報”の 2 つの種類がある。“予報”では、震度 3 以上 (または、M 3.5 以上) と予測された場合に発表され、特に震度 4 以上が予測された場合にはその地域名も記される。“予報”は、時間の経過に伴い更新され、1 つの地震に対して数回から十数回発表される (東北地方太平洋沖地震では第 1 5 報まで)。一方、“警報”は、“予報”のうち、震度 5 弱以上が予測された場合に、震度 4 以上を予測した地域に警告して発表するもので、TV, ラジオ, 携帯電話エリアメールサービス等により広く周知される。“警報”の発表は、原則 1 回のみであるが、震度 3 以下と予測されていた地域が新たに震度 5 弱以上との予測になった場合には、その地域も追加される (警報の更新)。ただし、この警報の更新は、地震検知から「60 秒以内のものに対して行う」との運用を行っている。これは、2008 年 5 月 8 日の茨城県沖 M5.8 の際のように、随分遅れて“警報”を発表することを制限するためである。

東北地方太平洋沖地震では、14 時 46 分 40.2 秒に OURI (石巻大川) にて P 波を検知し、その 5.4 秒後に予報第 1 報を発表している。ただし、推定した M は 4.3 である。これは、今回の地震の最初の数秒間の振幅がきわめて小さいからである。8.6 秒後 (予報第 4 報) で M 7.2 と推定し、これに伴い、最大震度 5 弱と予測した。この予報第 4 報は、“警報”として発表された。この時間は、いずれの地点においても S 波の到着よりも早く、また、震度 5 弱以上が最初に観測されるよりも約 15 秒前である。その後、116.8 秒後の予報第 15 報まで発表を繰り返している。その予報第 15 報では、M8.1 と推定している。この M はモーメントマグニチュードの 9.0 と比較すれば小さいものの、最大振幅から推定する M としてはほぼ上限に近い値である。実際、気象庁が最大振幅から求めた M は 8.4 である。

今回の地震の震度分布は、広い範囲で強い震動を観測している。栗原市 (震央距離 175 km) で震度 7 を観測したのをはじめ、東北から関東地方の広い範囲で震度 6 強から 6 弱を観測している (おおよそ、400 × 100)。これは、Mw8.0 の 2003 年十勝沖地震の震度分布と比べてもかなり広い。また、今回の地震では、継続時間が長いのも特徴である。東北地方では加速度記録には 2 つの山があり、関東地方では (震源からの S 相よりも) かなり遅れた後続相により最大加速度が記録されている。関東地方においては、震度 1 相当から震度 5 弱相当になるまでにおよそ 80 秒以上かかっている。また、関東や東北地方で震度 4 以上の継続時間は、120~190 秒程度である。また、本震のスペクトルを見ると、高周波 (10Hz 以上) がかなり大きく、このような高周波の波が励起されたのも特徴である。

緊急地震速報の予報第 12 - 15 報において、東京は震度 4 と予測している。これは、実際に観測された震度 5 強に比べて、過小評価である。この過小評価は、おそらく、震源域の広がりや十分に考慮に入れられなかったためであろう。なお、第 14 報において茨城県北部でも震度 5 弱と予測したものの、警報は更新されなかった。これは、第 14 報が 105 秒後と (警報の更新条件である) 60 秒よりも遅かったためである。

本震後、緊急地震速報は必ずしも適切に発表されなかった。最初の数時間は、本震の大きなコーダ部分の影響や、停電と断線等によるデータの欠落により、また、数日~数週間、広い地域にわたって地震がほぼ同時に発生することも多かったためである。本震後、3 月 29 日までの 19 日間に、震度 5 弱以上を観測する地震が 22 回発生したがこのうち“警報”を発表できたのは 15 回である。また、同期間に 45 回の“警報”を発表しているが、このうち 11 回については最大震度 2 以下のイベントであった。

謝辞: 防災科研の K-NET, KiK-net の波形データを使用した。

キーワード: 東方地方太平洋沖地震, 緊急地震速報, 震度

Keywords: The 2011 off the Pacific coast Tohoku earthquake, Earthquake Early Warning, Seismic Intensity

MIS036-P67

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 経験則からのずれ はじめの数秒と強震動: $c$ , Pd, スペクトル, 簡易震源域推定方法

Deviation from empirical relations - Initial several seconds and strong ground motion:  $\tau_c$ , Pd, and spectrum -

干場 充之<sup>1\*</sup>, 岩切 一宏<sup>1</sup>

Mitsuyuki Hoshihara<sup>1\*</sup>, Kazuhiro Iwakiri<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所

<sup>1</sup> Meteorological Research Institute

はじめに: 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) は, 東北から関東地方に強震動をもたらした。しかし, この地震波形の最初の数秒間は振幅がとても小さいという特徴がある。また, スペクトルを見ると, 高周波 (10Hz 以上) がかなり大きく, この様な高周波の波が励起されたのも特徴である。Earthquake Early Warning の分野では, 地震波の最初の数秒の振幅や周期情報から, 最終的な M や PGV を予測するための経験則が提案されてきているが, 今回の地震では, それらのいくつかの経験則から外れる傾向がある。

最初の数秒の振幅: 本震と前震 (Mw:7.3, 6.0, 5.9 の 3 つ) について, 震源に近い観測点 4 点 (震央距離 121-164km) で得られた上下動の加速度 (Pa), 速度 (Pv), 変位 (Pd) の P 波着信以降の最大振幅について調べた (3, 4, 5, 10, 20, および 30 秒間の 6 つを対象)。本震の最初の 3, 4, 5 秒間は Pa, Pv, Pd とともに, M7.3 の地震ばかりでなく M6 クラスの前震の場合よりも小さい。最初の数秒からは, 巨大地震になることは示唆されないようである。なお, 本震の振幅が, M7.3 の前震よりも大きくなるのは, Pa でおおよそ 20 秒後, Pd で 30 秒後である。

Pd - PGV 関係: Wu and Kanamori (2008) によると, 最初の 3 秒の Pd と PGV (最終的な地動最大速度) とは相関があり, Earthquake Early Warning で利用することを提案している。しかし, 前述のように, 今回の本震の最初の数秒間の Pd は極めて小さく, よって, それらから最終的な PGV を予測することはできなかったと思われる。

c-M 関係: 地震動の周期特性を利用し M を早期に推定しようという研究がなされている。変位振幅の自乗和と速度振幅の自乗和の比から, 変位スペクトルの重みを加味した平均周期 ( $c$ ) を求める研究が行われており, そこでは, 大きな地震になるほど地震動の卓越周期が長くなること, を利用している。Earthquake Early Warning の分野では, P 波の着信後の最初の数秒間の  $c$  から最終的な M を求めることができる, との説がある一方, その反論もある。今回の地震で  $c$  を求めてみると, 最初の 10 秒までは, M7.3 の前震ばかりでなく M6 クラスの前震とも大きな違いがない。よって, 最初の数秒の  $c$  から巨大地震になることを予測することは, 難しかったと言えよう。なお, 20, 30 秒では, M6 クラスの前震よりも大きくなるが, M7.3 の前震よりも小さい。前述のように, Pa や Pd からは, M7.3 よりも大きな地震であることが, 20~30 秒後に分かるが,  $c$  では分からない。今回の本震では,  $c$  から M を求めると, かなり過小評価している。

地震動のスペクトル: 今回の本震のスペクトルを震源に近い観測点で見ると, 10Hz 上の高周波がかなり大きく, アンチエイリアジングフィルターの周波数までフラットであり, 明瞭な  $f_{max}$  が見られない。本震の M7.3 の前震に対するスペクトル比を見てみると, 10Hz 以上で右肩上がり (低周波の比よりも高周波数の比の方が大きい) の傾向を示す。M9.0 の本震のほうが M7.3 の前震よりも高周波が卓越している。この高周波は最初の 10 秒では見られないので, 10 秒以降に強く励起されたものである。この高周波の強い励起が「大きな地震になるほど地震動の卓越周期が長くなる」ということに反し,  $c$  からの M の推定を過小評価に結び付けたものと思われる。なお, この強い高周波の波形は, 震源に近い観測点ばかりでなく, 東北地方南部から関東地方北部の太平洋側で広く見られる。

簡易震源域推定方法: 入倉・他 (2010) によると「上下動で 150cm/s/s 以上のところが震源域におおよそ対応」, また, 山田 (2010) によると「 $f=4.36\log Pa+5.69\log Hv-19.97$ ,  $f>0$  で震源域近傍 10 km 以内 (Pa は cm/s/s, Hv は水平動の最大速度, cm/s)」を提案した。今回の本震に, これらの指標をあてはめてみると, 東北地方や関東地方のかなり内陸にまで該当している。

さいごに: 今回の地震では, 最初の数秒から巨大地震であることを予測することは難しかったと思われる。よって, Earthquake Early Warning では, 時間経過とともに更新していくことが必須であろう。また, 経験則からはずれた場合にも, 対応できるようにしておく robustness が大切であろう。

謝辞: 解析には, 防災科研 K-NET, KiK-net の波形, 気象庁の波形, 一元化震源を用いました。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 緊急地震速報, 経験則,  $\tau_c$ , Pd-PGV, 最初の数秒

Keywords: The 2011 off the Pacific coast Tohoku Earthquake, Earthquake Early Warning, empirical relations,  $\tau_c$ , Pd-PGV, Initial several seconds

## 2011年東北地方太平洋沖地震による地震の静的・動的トリガリング Static and dynamic earthquake triggering associated with the 2011 Tohoku earthquake

Enescu Bogdan<sup>1\*</sup>, 浅野 陽一<sup>1</sup>, 遠田 晋次<sup>2</sup>, Peng Zhigang<sup>3</sup>, 青井 真<sup>1</sup>, 鈴木 亘<sup>1</sup>, 松澤 孝紀<sup>1</sup>, 小原 一成<sup>4</sup>, 田中 佐千子<sup>1</sup>, 汐見 勝彦<sup>1</sup>, 武田 哲也<sup>1</sup>, 木村 武志<sup>1</sup>

Bogdan Enescu<sup>1\*</sup>, Youichi Asano<sup>1</sup>, Shinji Toda<sup>2</sup>, Zhigang Peng<sup>3</sup>, Shin Aoi<sup>1</sup>, Wataru Suzuki<sup>1</sup>, Takanori Matsuzawa<sup>1</sup>, Kazushige Obara<sup>4</sup>, Sachiko Tanaka<sup>1</sup>, Katsuhiko Shiomi<sup>1</sup>, Tetsuya Takeda<sup>1</sup>, Takeshi Kimura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所, <sup>2</sup> 京都大学 防災研究所, <sup>3</sup> ジョージア工科大学, <sup>4</sup> 東京大学 地震研究所

<sup>1</sup>NIED, <sup>2</sup>DPRI, Kyoto University, <sup>3</sup>Georgia Institute of Technology, <sup>4</sup>ERI, University of Tokyo

The 2011 Tohoku earthquake (M9.0) was followed by large aftershocks and seismicity activation at locations up to several hundred kilometers away from the mainshock. Our present study is divided into two parts. In the first part we analyze the effect of static stress changes due to the 2011 Tohoku event on the occurrence of relatively large aftershocks, using their CMT focal mechanism solutions. In the second part, we investigate the possible role of both dynamic and static stress transfer mechanisms on the occurrence of remote seismicity.

a) Static stress changes resolved on the nodal planes of large aftershocks.

We used the Tohoku slip distribution of Suzuki et al. (2011) and the CMT focal mechanism solutions of aftershocks determined by Asano et al. (2011). The aftershocks ( $M \geq 3.8$ ) are located in an area of slightly larger extent compared to the fault plane of the mainshock and the depth ranges between 0 and 60 km. We divide the focal mechanisms into two groups: consistent (i.e., thrust faulting) and non-consistent (mainly normal faulting) with the mainshock focal mechanism, based on the rotation angle defined by Kagan (1991). We resolve the Coulomb static stress changes on both aftershock nodal planes and select the nodal plane with the largest stress change as the likely fault plane. We show that 71% and 78% of earthquakes from the two groups, respectively, occur at locations of increased stress. To test the statistical significance of this result, we have selected 1800 F-net focal mechanisms for earthquakes occurred in the same region as the analyzed aftershocks, before the occurrence of the Tohoku earthquake (2003.01.01 - 2011.03.11). The percentage of earthquakes that occur at locations of increased stress is about 46%. Several other slip models for the Tohoku mainshock produce similar results. This indicates a high correlation between the occurrence of the aftershocks and the co-seismic static stress changes.

b) Triggering of remote seismic activity.

The 2011 Tohoku earthquake was followed by an unprecedented increase of seismicity at remote locations (i.e., at distances up to several hundred kilometers away from the mainshock). Examination of Hi-net waveform data and the JMA earthquake catalog reveals triggered local events in southern Kyushu, close to the Ibusuki volcanic field, at about 1000 km from the southwestern edge of the Tohoku fault. The onset of increased seismic activity correlates very well with the arrival of the surface waves. We detect local, high-frequency tremor-like signal (i.e. not clearly defined P- and S-arrivals) correlated with the arrival of the mainshock surface waves at several Hi-net seismic stations in Shikoku region, at distances of about 700 km from the SW edge of the Tohoku fault. We also detect a rather clear correlation between the arrival of the surface waves and the seismicity increase close to Yakedake volcano, in Hida Mountains, at about 300 km from the fault edge. A cluster of seismicity close to the Hakone geothermal area and in the northwestern part of the Miyakejima volcano could be explained by both static (Coulomb stress changes of about 0.2-0.3 Bar) or dynamic stress changes. The 15th March 2011, M6.4 Shizuoka Prefecture earthquake occurred in an area of static stress change of about 0.4 Bar. In contrast, there was no clear activation of seismicity on the nearby Tokai subduction zone, where the static stress changes resolved on the plate interface show values of less than 0.1 Bar. The passage of surface waves from the Tohoku mainshock appears to be responsible for the activation of seismicity in some volcanic and geothermal areas, however it is more difficult to detect or confirm such a correlation at other locations.

Keywords: 2011 Tohoku earthquake, stress triggering, seismicity activation, aftershocks, focal mechanisms

## P波初動部の振幅成長に関するマグニチュード依存性 Characteristics of initial P-wave of extremely large earthquakes

野田 俊太<sup>1\*</sup>, 山本 俊六<sup>1</sup>, 岩田 直泰<sup>1</sup>, 是永 将宏<sup>1</sup>  
Shunta Noda<sup>1\*</sup>, Shunroku Yamamoto<sup>1</sup>, Naoyasu Iwata<sup>1</sup>, Masahiro Korenaga<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 鉄道総合技術研究所

<sup>1</sup> Railway Technical Research Institute

### 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(M9.0)では、気象庁の緊急地震速報は地震発生から約27秒後に第1報を発表し、十分な即時性を発揮したと考えられる。しかしながら、第1報のMは4.3で、その後情報は更新され続けたものの、最終値であるM8.1と推定したのは地震発生から約2分07秒後の第14報であった。このシステムは単独あるいは複数観測点のデータで震央もしくは震源の位置を即座に決定した後、振幅の値から逐次的にマグニチュードを推定するため、原理的に今回のような巨大地震の最終的なマグニチュードの推定には時間が必要であると考えられる。

上記は最大振幅の値のみからMを推定する方法を扱ったケースであるが、一方でWu and Kanamori(2005)はP波初動部分の卓越周波数からMを推定する方法を提案している。また、Umeda(1990)やIio(1999)などはP波の立ち上がり形状とMの関係について議論しており、規模の大きな地震かどうかを早期に判断することについては、最大振幅以外の情報の利用も含めた検討が必要と考えられる。

そこで本研究では、P波初動部の振幅成長のM依存性と早期警報での活用に関する検討を行なった。

### 2. データと解析方法

本研究で使用したデータは、K-NETおよびKiK-net(地表)の地震波形記録である。Mの大きな地震も含めたP波の立ち上がり形状の比較を行なうため、太平洋プレートの沈み込み帯で発生する地震のうち、次の二つの条件を満たすM5.8から9.0までの19イベントを抽出した。一つはF-netによるCMT解がほぼ逆断層型であること、二つは各イベントの震源距離がそれぞれ $150\text{km} \pm 10\%$ 、 $200\text{km} \pm 10\%$ となる各グループについて、最低5観測点以上の記録でP波到達時刻の手動読み取りが可能であることである。

これらの各グループのデータについて、上下動成分の絶対値をP波の手動読み取り時刻で揃えてスタッキングし、それぞれのデータ数で除した。

### 3. 結果

上記の解析の結果、M6前後から7程度までのイベントについては、P波到達から少なくとも2~3秒間は振幅成長の様子が明瞭な違いは認められなかった。しかしながら、M8(2003年十勝沖地震)およびM9(2011年東北地方太平洋沖地震)のイベントについては、M6前後から7程度までのそれと比較して、P波到達から5~6秒の間、緩やかに立ち上がる傾向が見られた。数種類のバンドパスフィルターをかけて同様の解析を行なったところ、高周波数側から1Hz程度までの帯域では同様の傾向が認められるものの、それより低周波になると違いがほぼ認められなくなる。また、これらの傾向は、震源距離が $150 \pm 10\%$ 、 $200\text{km} \pm 10\%$ の両グループの結果で共通して確認できる。

### 4. 議論

放射特性の影響を確認するため、各データについてF-netによるCMT解を用いてP波の放射特性の係数 $R_p$ を計算したところ、M8およびM9の記録について、その絶対値が他と比較して有意に小さくなるという傾向は見られなかった。以上より、高周波数の帯域におけるM8およびM9のイベントの特徴が、放射特性の違いによる影響を受けたものではないことが分かる。

現時点でM8クラス以上の記録が限られているため、上記の現象がある地震固有のものか、あるいはM8クラス以上で一般的に認められるかは判断できない。ただし、M7程度以下の地震では認められない現象であるため、P波到達後5~6秒までの振幅成長の形状から今回のような大規模地震の発生を判断できる可能性がある。また、振幅成長を利用する際、単独観測点のデータのみからは精度の高い推定は困難であるものの、複数観測点のデータから平均的な成長の状況を抽出することにより、これまでと比較して極めて早い時間に判断することが可能と考えられる。

### 5. 謝辞

本研究では、防災科学技術研究所のK-NETおよびKiK-netの波形記録、F-netによるCMT解を使用させていただき

ました．記して感謝いたします．

キーワード: P 波, 振幅成長, 立ち上がり, マグニチュード依存性, 緊急地震速報  
Keywords: P wave, initial phase, initial rupture, Earthquake Early Warning, EEW



## KiK-net 強震波形を用いた東北地方太平洋沖地震による地殻変動の算定 Estimation of crustal deformation due to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

平井 敬<sup>1\*</sup>, 福和 伸夫<sup>1</sup>, 護 雅史<sup>1</sup>

Takashi Hirai<sup>1\*</sup>, Nobuo Fukuwa<sup>1</sup>, Masafumi Mori<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科

<sup>1</sup> Environmental Studies, Nagoya University

### 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、我が国における観測史上最大のマグニチュード9.0という巨大な海溝型地震であった。この地震によって生じた各地の地殻変動がGPS観測網GEONETの解析等を通じて明らかになってきている。一方で、強震計で記録された加速度波形を積分して得られる変位波形からも、地殻変動を算定することが可能である。GPSによる静的な観測と比較して精度の面でやや劣るものの、GPS観測網を補間するものとして利用できる可能性がある。本研究では、防災科学技術研究所が展開する強震観測網KiK-netで収録された東北地方太平洋沖地震の加速度波形をもとに、各観測点における地殻変動を算定した。

### 2. 計算方法

KiK-netでは基盤と地表にそれぞれ強震計が設置されているが、本研究では比較のために両方の強震記録からそれぞれ地殻変動を算定した。変位波形の算出には、加速度記録を基線補正した上で、記録開始より150s間を線形加速度法により直接積分した。ただし、観測記録によっては記録途中で基線が変化したと思われるものがあり、その場合は基線変化を補正してから積分を行った。

### 3. 結果と考察

図1に、特に大きな地殻変動が観測された地域である福島県・宮城県・岩手県のKiK-net観測点について、基盤の加速度記録から算定された地殻変動の水平成分・上下成分を示す。この結果は、全体の傾向としては国土地理院のGEONETによる観測値[1]とほぼ整合している。基盤と地表の各加速度記録から算定した地殻変動を比較すると、基盤波によるものの方がより安定的な結果となった。このことから、基盤の記録には表層地盤による増幅効果があまり寄与しておらず、地表よりも純粋に地殻の変形を捉えられていることが分かる。また、KiK-net田尻(MYGH06)などいくつかの点について、近傍のGPS観測点におけるハイレートGPS解析[2]による変位波形と比較したところ、一致した傾向を示した(図2)。

### 4. 参考資料

[1] 国土地理院, 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動について,

[http://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi\\_tohoku.html](http://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi_tohoku.html) (2011年4月27日参照).

[2] 京都大学防災研究所地震予知研究センター, ハイレートGPS解析による地震時変位,

[http://www.rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp/events/110311tohoku/gps\\_1s/index.html](http://www.rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp/events/110311tohoku/gps_1s/index.html) (2011年4月27日参照).

### 謝辞

本研究にあたり、防災科学技術研究所の強震観測網KiK-netのデータを使用させていただきました。記して感謝申し上げます。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 地殻変動, 永久変位, 強震記録

Keywords: the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, crustal deformation, permanent displacement, strong motion seismogram

MIS036-P71

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 2011年東北地方太平洋沖地震とその前震・余震・誘発地震による東京の地震動の応答継続時間スペクトル

### Response Duration Time Spectra of Ground Motions in Tokyo during The 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

石井 透<sup>1\*</sup>

Toru Ishii<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 清水建設技術研究所

<sup>1</sup> Shimizu Corporation

東北地方太平洋沖地震 (2011.3.11 14:46, Mw 9.0) は日本観測史上最大の地震で、東京でも揺れの継続時間が非常に長く、超高層建物の室内被害、耐震性の低い構造物や部材の塑性化、地盤の非線形化や液状化等が生じた。前震や余震の他、本震に伴う広域地震活動活発化の中で誘発されたと考えられる地震も頻発している。そこで本研究では、各地震による東京の地震動の応答スペクトルと応答継続時間スペクトルを求め、その特性を検討した。

東京・越中島の清水建設(株)技術研究所の地中40mの工学的基盤で観測された東北地方太平洋沖地震とその前震・余震・関連地震の地震動加速度三成分記録を検討に用いた。記録に混在する複数の余震を可能な限り分離し、ノイズが多すぎず十分なデータ長の確保された複数地震の記録を選び出し、周波数フィルタにより周期0.1秒未満のノイズを除去した上で、周期  $T = 0.1 \sim 20$  [s] の帯域で速度応答スペクトル  $S_v$  [cm/s] と速度応答継続時間スペクトル  $TS_v$  [s] (減衰定数  $h = 0.05$ , パラメータ  $p_1 = 0.03$ ,  $p_2 = 0.95$ ) を求めた。

本震の震源断層面は岩手県沖から茨城県沖に至る広大な領域に及ぶ。 $S_v$  は周期2秒以上の長周期帯域では水平成分で20~50 cm/sに達し、 $TS_v$  は周期3秒以上では200秒間(約3分間強)を超え、周期10秒ではEW成分で600秒間(10分間)を超えた。1923年関東地震(1923.9.1, M7.9)による東京の周期2秒以上の地震動の既検討結果と比較すると、 $S_v$  は断層面の近い関東地震が1.5倍程度であるが、 $TS_v$  は周期約7秒以下では同等、周期約7秒以上では断層面の広い本震が大きく上回った。

本震の震源の近くで2日前に発生した前震の  $S_v$  は約2 cm/s以下だが、 $TS_v$  は長周期ほど増大して本震に匹敵する。本震断層面の南端付近にあって東京に相対的に近く本稿作成時点では最大級の余震の  $S_v$  は本震に次ぐ大きさとなり、 $TS_v$  は本震と同等だが周期約7秒以上のEW成分では本震が上回る。共に茨城県沖にあって近接する二つの余震は、地震規模も検討結果も同等で、 $TS_v$  は周期約2秒以上ではほぼ一定となり、既報の結果と同様の地域性を示す。

本震に伴う広域地震活動活発化の中で誘発されたと考えられる地震のうち、長野・新潟県境付近の地震の  $S_v$  は周期約5~7秒付近に特徴的なピークを有す。また、富士山直下の地震の  $S_v$  は周期約5秒弱に、 $TS_v$  は周期10秒以上に、ピークを有す。既報でも、東京の南西方向の地震の場合、震源が西側ほど  $TS_v$  のピークが長周期となる傾向が見られ、深い地下構造とそこでの地震波伝播特性を反映している可能性がある。

キーワード: 巨大地震, 東北, 東京首都圏, 地震動, 継続時間, 応答

Keywords: huge earthquake, Tohoku, Tokyo metropolitan area, earthquake ground motion, duration time, response

## 2011年東北地方太平洋沖地震とその余震における仙台市内の強震動特性 Strong-motion characteristics in Sendai during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and its aftershocks

大野 晋<sup>1\*</sup>, 源栄 正人<sup>1</sup>  
Susumu Ohno<sup>1\*</sup>, Masato Motosaka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学災害制御研究センター

<sup>1</sup> DCRC, Tohoku University

### 1. はじめに

著者らは、仙台市内の公共施設において、2004年から小型強震計を中心とした強震観測を実施している（大野ほか、日本建築学会大会学術講演梗概集、2004）。2011/3/11に起こった東北地方太平洋沖地震（M9.0）及びその余震での観測状況と記録から読み取れる仙台市内の強震動特性の概要を報告する。

### 2. 強震観測

仙台市内の既存強震観測網として仙台高密度強震観測網（仙台アレー）と東北工業大学によるSmall-Titanがある。著者らによる観測網はこれらの既存観測網を空間的に補間するように設置されたもので、普及型強震計ETNAと簡易小型強震計QDRを設置している。また、78年宮城県沖地震と同一観測地点での強震記録を得るために仙台市中心部の住友生命ビルにもSSA-1を設置していた。耐震改修などで撤去中のものをのぞき、19地点で観測を行っていたが、本震で13地点のみ記録が得られた。欠測の主な理由は、本震後の長期間の停電時に小型強震計（QDR）のメモリが初期化されたためのものである。なお観測点のうち東六郷小学校は浸水域にあったが、本震の記録はメモリに残っていた。

### 3. 強震動特性

東北地方太平洋沖地震の仙台市内の観測記録に見られる主な特徴は下記の通りである。

- ・仙台市中心部の住友生命ビルで強震動の継続時間及びスペクトルを比較した。継続時間は、1978年宮城県沖地震が高々30秒程度であったのと比べて2011年は3分程度と顕著に長い。応答スペクトルでは、周期による違いはあるが、周期0.02-10秒平均値で本震は1978年宮城県沖地震を1.3倍ほど上回っている。また、2005年宮城県沖地震や2008年岩手宮城内陸地震よりも倍以上大きな振幅である。

- ・本震（3/11, M9.0）の最大加速度の範囲は300Gal-800Gal程度で、最大値は840Gal（将監中央小学校）、最大速度の範囲は30cm/s-80cm/s程度で、最大値は86cm/s（松森小学校）であった。

- ・余震（4/7, M7.1）の最大加速度の範囲は170Gal-750Gal程度で、最大値は767Gal（松森小学校）、最大速度の範囲は15cm/s-75cm/s程度で、最大値は76cm/s（松森小学校）であった。

- ・上記の最大値を生じた地域は仙台市北部である。仙台市中心部と比べると、仙台市北部では特に周期1秒よりも短周期側の振幅が大きい。一方仙台市南部では周期1秒弱と周期3秒付近で振幅が大きい。速度波形でも、仙台市北部と比較して南部では継続時間の長い長周期成分が確認できる。これらの場所による相違の傾向は前震、余震及び過去の地震でも概ね共通している。

- ・仙台市南部の周期3秒のピークはどの地震でも概ね共通して現れるが、周期1秒弱のピークには明瞭な振幅依存性が見られ、大振幅による表層地盤の非線形応答の影響が確認できた。

今後他機関の記録も加えてより詳細な検討を行うとともに、強震動特性と建物被害との関連も調査する予定である。

謝辞 記録回収の際は大成建設山本優博士にご助言いただきました。山形大学三辻和弥准教授、東北大学柴山明寛助教にも記録回収にご協力いただきました。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 強震記録, 仙台市

Keywords: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Strong-motion record, Sendai

## 東北地方太平洋沖地震の記録を用いた横浜市域の堆積層構造の推定 Estimation of velocity discontinuities in sediment of Yokohama for the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku earthquake

高岸 万紀子<sup>1\*</sup>, 木下 繁夫<sup>1</sup>  
Makiko Takagishi<sup>1\*</sup>, Shigeo Kinoshita<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 横浜市立大学

<sup>1</sup> Yokohama City University

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(Mw=9.0)で、横浜市の高密度強震計ネットワークにより市内の62観測点で強震記録が得られた。これらの強震記録に対して非定常波線分解法を適用して、横浜市域における堆積層基盤系の構造推定を試みた。気象庁によると本心は3つの大きな断層破壊から構成されており、横浜市域を強震した破壊は茨城県沖で発生した時系列的に3番目のものである。この破壊によるS波の継続時間は長いため、S波を構成するそれぞれの相の波線を追跡する従来の解析では位相の識別が困難である。そこで、今回の解析では従来の方法から離れて統計的な解析の検討を試みた。解析手順は以下に示すとおりである。

まず、解析対象区間を20秒間の幅で複数の区間に分けた。各観測点で得られた加速度記録を積分することにより速度記録として、この速度記録を主軸変換によりtransverse方向へ伝播する波を求めこれをSH波として取り扱った。次に、このSH波を用いて各区間において瞬時パワーの推定を行った。瞬時パワーは経過時間 $t$ と深さ方向への伝播時間、すなわち深さ時間 $\tau$ による $(t, \tau)$ マップによる2次元表示である。最後に推定された各区間における瞬時パワーを、深さ時間 $\tau$ ごとに経過時間 $t$ 方向に積分することにより、深さ時間 $\tau$ の関数とする局所瞬時パワーを求めた。これらを各区間内の瞬時パワーの経過時間 $t$ と深さ時間 $\tau$ による全積分で得られたパワーを用いて正規化した。これにより、深さ時間 $\tau$ を関数とする局所瞬時パワーの平均を推定した。地表からそれぞれの速度不連続境界までの深さ時間 $\tau$ は、平均局所瞬時パワーの最大値から読み取ることが可能となる。

従来の解析では複数の強震記録の解析により堆積層の構造を推定していたが、本方法の適用により1地震の強震記録のみから堆積層の構造を推定することが可能となり、解析が格段と容易になる。

キーワード: 非定常波線分解法, 東北地方太平洋沖地震, 横浜市高密度強震計ネットワーク, 堆積層構造, 瞬時パワー

Keywords: nonstationary ray decomposition, The 2011 off the Pacific Coast of Tohoku earthquake, Yokohama array, sedimentary layer, instantaneous power

MIS036-P74

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 大阪平野における 2011 年東北地方太平洋沖地震の長周期地震動特性 Characteristics of Long-Period Ground Motions in Osaka Basin by the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

赤澤 隆士<sup>1\*</sup>

Takashi Akazawa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 地盤研究財団

<sup>1</sup>G.R.I.

関西地震観測研究協議会（関震協）は、関西一円において、独自観測点 20 地点、管理点 5 地点の合計 25 地点で速度型強震計による地震観測を行っている。2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分に発生した 2011 年東北地方太平洋沖地震では、関震協の全ての観測点で記録が得られた。このうち、観測された最も大きい気象庁震度階は、盾津観測点と阿倍野観測点、大阪市大観測点における震度 3 であった。これらの観測点は、大阪平野内に位置している。本検討では、2011 年東北地方太平洋沖地震時に関震協で得られた記録を利用して、同地震で観測された大阪平野における長周期地震動の特性を検証した。

まず、時刻歴波形を対象に検証した。醍醐観測点や猪名川木津観測点などの岩盤観測点における水平 2 成分の合成波の最大値は、3~4cm/s 程度と必ずしも小さい値ではない。しかし、この最大振幅は、人が揺れとして認識するには困難な、周期 30~40 秒程度の非常に長周期な波により観測されたものである。事実、著者は、地震当時は猪名川木津観測点にいたが、全く揺れを感じることはなかった。一方、大阪平野内の観測点における同最大値は、岩盤観測点より 2~3 倍程度大きい。特に大きい最大値を観測した観測点は、東大阪市に位置する森河内観測点と盾津観測点の約 9cm/s である。大阪平野内の観測点の時刻歴波形を岩盤観測点の波形に重ねると、前者は後者の振動を軸として、数秒程度の比較的短い周期でさらに振動していることが明らかとなった。この振動は、大阪平野固有のサイト特性を特徴付けていると解釈できる。次に、応答スペクトルを対象に検証した。岩盤観測点では、特徴的な卓越は確認できなかった。一方、大阪平野内の観測点では、いずれの観測点も水平成分は周期 5~6 秒が、上下成分は周期 3 秒前後が卓越する結果となった。この卓越周期は長周期地震動が卓越した地震として注目された 2004 年 9 月 5 日 23 時 57 分に発生した紀伊半島南東沖の本震時に確認された同周期と合致しており、この周期帯の卓越は大阪平野の長周期地震動特性を特徴付けることが改めて確認された。

謝辞 本研究では、関西地震観測研究協議会による観測記録を使用しました。記して感謝いたします。

キーワード: 2011 年東北地方太平洋沖地震, 長周期地震動, 大阪平野

Keywords: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Long-Period Ground Motion, Osaka Basin

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



MIS036-P75

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 2011年東北地方太平洋沖地震が残した3つの宇宙測地学的信号; 地殻変動、重力変化、極移動

Three space geodetic signals left by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

松尾 功二<sup>1\*</sup>, 小林 裕太<sup>1</sup>, 日置 幸介<sup>1</sup>

Koji Matsuo<sup>1\*</sup>, Yuta Kobayashi<sup>1</sup>, Kosuke Heki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学理学院自然史科学専攻

<sup>1</sup> Dept. Natural His. Sci., Hokkaido Univ.

2011年3月11日に東北地方太平洋沖にて起きたM9クラスの大地震は東日本を中心に壊滅的な被害をもたらした。これは有史以来日本で起きた地震の中で最も大きいものであり、世界的に見ても5番目の規模となるものであった。地震は地下の断層運動、すなわち地球の表層・内部構造の突発的変形の結果である。そのため、そのような過程は3つの宇宙測地学的信号を残す。すなわち、地殻変動、重力変化、そして極移動である。本研究では、日本のGPS稠密観測網(GEONET)によって捉えられた地表変位データを基に、本地震の断層パラメータを導き出し、球対称層状地球モデルの下で、どれほどの地殻変動、重力変化、極の移動が生じたか数値実験解析を行う。さらに、データの公開が間に合えば、重力衛星GRACEが観測した重力変化やVLBI等で計測されたY励起極の移動を用いて、比較検討を行う予定である。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 宇宙測地学, 地殻変動, 重力変化, 極移動

Keywords: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Space geodesy, Crustal deformation, Gravity change, Polar motion

MIS036-P76

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## GPS 全電子数観測により捉えられた東北地方太平洋沖地震後の電離圏変動 Ionospheric disturbances detected by GPS total electron content observation after the 2011 Tohoku earthquake

津川 卓也<sup>1\*</sup>, 齊藤 昭則<sup>2</sup>, 大塚 雄一<sup>3</sup>, 西岡 未知<sup>3</sup>, 丸山 隆<sup>1</sup>, 加藤 久雄<sup>1</sup>, 長妻 努<sup>1</sup>, 村田 健史<sup>1</sup>

Takuya Tsugawa<sup>1\*</sup>, Akinori Saito<sup>2</sup>, Yuichi Otsuka<sup>3</sup>, Michi Nishioka<sup>3</sup>, Takashi Maruyama<sup>1</sup>, Hisao Kato<sup>1</sup>, Tsutomu Nagatsuma<sup>1</sup>, Ken T. Murata<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 情報通信研究機構, <sup>2</sup> 京都大学理学研究科地球物理学教室, <sup>3</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所

<sup>1</sup>NICT, <sup>2</sup>SPEL, Kyoto University, <sup>3</sup>STEL, Nagoya University

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震に伴う電離圏擾乱現象の発生と時間発展について、高解像度 GPS 全電子数 (TEC) 観測を用いて初めて詳細に明らかにした。最初の TEC 変動は、震央付近、地震から約7分後の05:54UT、0.5-1 TECU 程度のインパルスな TEC 増大後、05:56UT から急激な TEC 減少 (背景に対して20%) が見られた。この TEC 減少は30 - 1時間程度続き、徐々に定常レベルに戻っていった。この TEC 減少領域の中心は USGS 発表の震央からは170km 南東にずれており、電離圏擾乱の中心を「ionospheric epicenter」と名付けた。06:00UT に、北西-南東方向に伸びた波面を持ち、南西方向に伝搬する TEC 増大領域が見られた。これとほぼ同時の06:00-06:15UT、大規模 (波長500km 以上) な円状の TEC 変動が ionospheric epicenter を中心に、放射状に伝搬した。この大規模な移動性電離圏擾乱は、負の変動が最初の2つピークを持ち、伝搬速度は1つ目が3,457 m/s、2つ目が783 m/s であった。大規模移動性電離圏擾乱が伝搬後の06:15UT以降、波長200-300 km 程度の中規模同心円状波動が現れた。速度は138-423 m/s で、時間と共に遅い波が観測されていた。また、これらの波動現象とは別に、震源付近では、06:00 UT の TEC 減少と共に、約4分周期の短周期変動が見られた。この短周期振動は3時間以上続いていた。本発表では、これらの電離圏擾乱の全体像を報告すると共に、主として同心円状の構造を持つ移動性電離圏擾乱について議論を行う。

\* 図は、2011年3月11日05:50UT から07:25UTにおける TEC 変動成分 (10分ハイパスフィルター) の2次元マップを示す。(a-d)、(d-f)、(f-h)の時間間隔は、それぞれ5、10、30分である。星印は震央を、クロス印は ionospheric epicenter を表す。灰色の円はクロス印を中心とする同心円を表す。

キーワード: 電離圏, 地震, 津波, GPS, 全電子数, 日本

Keywords: Ionosphere, Earthquake, Tsunami, GPS, TEC, Japan



MIS036-P77

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 2011年東北地方太平洋沖地震震源上空で観測されたプラズマ減少と音波共鳴 Acoustic resonance and plasma depletion detected above the epicenter of the 2011 Tohoku earthquake

齊藤 昭則<sup>1\*</sup>, 津川 卓也<sup>2</sup>, 大塚 雄一<sup>3</sup>, 西岡 未知<sup>3</sup>, 家森 俊彦<sup>4</sup>, 松村 充<sup>1</sup>, 齋藤 享<sup>5</sup>, 陳 佳宏<sup>1</sup>, 五井 紫<sup>1</sup>  
Akinori Saito<sup>1\*</sup>, Takuya Tsugawa<sup>2</sup>, Yuichi Otsuka<sup>3</sup>, Michi Nishioka<sup>3</sup>, Toshihiko Iyemori<sup>4</sup>, Mitsuru Matsumura<sup>1</sup>, Susumu Saito<sup>5</sup>, Chia Hung Chen<sup>1</sup>, Yukari Goi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 情報通信研究機構, <sup>3</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>4</sup> 京都大学地磁気世界資料解析センター, <sup>5</sup> 電子航法研究所

<sup>1</sup>Kyoto University, Dept. Geophysics, <sup>2</sup>National Institute of Information and Co, <sup>3</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, <sup>4</sup>DACGSM, Kyoto University, <sup>5</sup>Electronic Navigation Research Institute

Two-dimensional structures of the ionospheric variations generated by the acoustic resonance, and plasma depletion were firstly observed above the epicenter after the M9.0 Tohoku earthquake on March 11, 2011. A short period oscillation of total electron content was observed by a GPS receiver array after the earthquake for four hours in the vicinity of the epicenter. The frequency of the dominant mode of the oscillation was 4.5mHz, 222 seconds of period, while there were minor oscillations whose frequency were 3.7mHz and 5.3mHz. These periods are consistent with the periods of the acoustic resonance between the ground surface and the lower thermosphere, predicted by a numerical model. The amplitude of the TEC oscillation showed gradual change of the amplitude. This would be generated by the beat of two modes of the resonance. The two-dimensional distributions of TEC variations generated by this resonance showed wave frontal structures that stretched from northwest to southeast, and traveled to the southwest direction. Besides the oscillation, plasma depletion was observed above the epicenter after the earthquake. The earliest variation was observed about seven minutes after the earthquake. The amplitude of the depletion was several TEC unit, and continued for longer than 60 minutes. The area of this depletion was centered the epicenter but larger than that of the resonant oscillation. The ionospheric variations above the epicenter after the earthquake will be presented.

Keywords: Ionosphere, GPS, TEC, Acoustic wave, Atmospheric gravity wave, Earthquake

MIS036-P78

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 2011年東北地方太平洋沖地震の後に観測された電離圏全電子数擾乱と数値シミュレーションで再現された中性大気波動との比較 Comparison between ionospheric TEC perturbations observed after the earthquake and simulated atmospheric oscillations

松村 充<sup>1\*</sup>, 齊藤 昭則<sup>1</sup>, 津川 卓也<sup>2</sup>, 品川 裕之<sup>2</sup>, 家森 俊彦<sup>1</sup>, 大塚 雄一<sup>3</sup>, 西岡 未知<sup>3</sup>, 陳 佳宏<sup>1</sup>

Mitsuru Matsumura<sup>1\*</sup>, Akinori Saito<sup>1</sup>, Takuya Tsugawa<sup>2</sup>, Hiroyuki Shinagawa<sup>2</sup>, Toshihiko Iyemori<sup>1</sup>, Yuichi Otsuka<sup>3</sup>, Michi Nishioka<sup>3</sup>, Chia Hung Chen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 情報通信研究機構, <sup>3</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所

<sup>1</sup> Graduate School of Science, Kyoto Univ., <sup>2</sup> NICT, <sup>3</sup> STEL, Nagoya University

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震の後に電離圏高度で全電子数(TEC)の波状構造が観測された。それを再現するために2次元および3次元の非静力学圧縮性中性大気モデルを用いて数値計算を行った。波源として地表(海面)に瞬間的に(短時間)鉛直速度を入力した。計算の結果得られた高度300kmにおける大気振動は、観測されたTECの振動とかなりよく一致した。波源に近い領域では位相速度が速く、4mHz前後の高周波が卓越した。入力から20-60分後には3つの周波数が卓越した。3つのなかでは4.4mHzの振幅が最も大きく、後の2つの周波数はそれぞれ3.6、5.4mHzだった。これらの振動モードは地表と熱圏下部の間の音波共鳴モードに対応する。これらのモードとともに0.7mHz(25分)の波束が見られ、その波束は卓越する振動モードによるうなりと考えられる。波源から遠い領域では、低周波が卓越した。水平位相速度は220-450m/sで、水平波長は200-600kmであった。波長の長い波ほど水平方向の位相速度が大きく、この特徴は内部重力波の特徴と一致する。観測されたTECの振動と計算された中性大気の変動がよく一致することから、この地震のTECの振動は主に中性大気の運動によるものだと考えられる。また、シミュレーションで設定する波源の水平方向の範囲と音波が通過する領域との対応関係を利用して、音波が観測される領域から実際の波源と思われる海面の隆起の範囲を推定できる可能性が示唆された。

キーワード: 音波, 重力波, 全電子数, 地震

Keywords: acoustic wave, gravity wave, TEC, earthquake

MIS036-P79

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 2011年東北地方太平洋沖地震後に SuperDARN 北海道-陸別 HF レーダーにより観測された 伝搬性電離圏擾乱 Ionosphere disturbances observed by the Hokkaido HF radar after the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

西谷 望<sup>1\*</sup>, 小川 忠彦<sup>2</sup>, 大塚 雄一<sup>1</sup>, 細川 敬祐<sup>3</sup>, 堀 智昭<sup>1</sup>

Nozomu Nishitani<sup>1\*</sup>, Tadahiko Ogawa<sup>2</sup>, Yuichi Otsuka<sup>1</sup>, Keisuke Hosokawa<sup>3</sup>, Tomoaki Hori<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>2</sup> 情報通信研究機構, <sup>3</sup> 電気通信大学

<sup>1</sup>STEL, Nagoya Univ., <sup>2</sup>NICT, <sup>3</sup>UEC

2011年東北地方太平洋沖地震発生後に SuperDARN 北海道-陸別 HF レーダー (北緯 43.5 度、統計 143.6 度) で観測された電離圏擾乱について報告する。上記レーダーは北海道北方からオホーツク海北端にかけて幅広い領域の上空電離圏領域の変動を常時観測しており、水平二次元方向における擾乱の変動をモニターすることが可能である。地震発生後の 14 分後からレーダーでは周期が数分、伝搬速度が約 3.5-4.5km/s の伝搬する変動を観測した。この変動は地震に伴う地上表面波の伝搬及び、鉛直方向の音波の伝搬により解釈できる。詳細については講演にて報告する。

キーワード: SuperDARN, 北海道-陸別 HF レーダー, 2011 年東北地方太平洋沖地震, 電離圏擾乱, レーリー波, 音波

Keywords: SuperDARN, Hokkaido HF radar, 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, ionospheric disturbance, Rayleigh waves, acoustic waves

MIS036-P80

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 14:15-16:15

## 気象庁父島地磁気観測点で捉えられた2011年東北日本太平洋沖地震による津波電磁気シグナル Magnetic signals from 2011 Tohoku earthquake tsunami observed at Chichijima magnetic station of JMA

浜野 洋三<sup>1\*</sup>, 笠谷 貴史<sup>1</sup>, 市原 寛<sup>1</sup>, 館畑 秀衛<sup>2</sup>

Yozo Hamano<sup>1\*</sup>, Takafumi Kasaya<sup>1</sup>, Hiroshi Ichihara<sup>1</sup>, Hidee Tatehata<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 気象庁

<sup>1</sup>IFREE, JAMSTEC, <sup>2</sup>JMA

Magnetic fields generated by tsunami from 2011 Tohoku earthquake are observed at the magnetic station on Chichijima, 1200 km south of the epicenter. Vertical component of the magnetic field show a periodic signal with periods of about 20 minutes, lasting more than several hours. The signal starts at 6:55 UTC and the amplitude of the first wave is 1.5 nT. Sea level change recorded at the tide station on Chichijima indicates that the arrival time of the tsunami was 7:15 UTC and the amplitude of the first wave is about 1m. The sea level change is also periodic. The 20 minutes delay of the first arrival of tsunami compared to the magnetic signal can be attributed to shallow water depths around Chichijima, whereas the magnetic change reflects water flows in a wide area around the island. By using the formula by Tyler (2005), the ratio of the magnetic change to the sea level change indicates that the average water depth responsible for the magnetic field is about 1500 m.

Although the dynamo effect of ocean flow is well known and the effects by tidal flow have been frequently observed, observation of the tsunami-induced magnetic field had to be waited until very recently. Seafloor measurement of the induced magnetic field from 2006 and 2007 Kuril island earthquakes were first recorded by the seafloor electro-magnetic observatory (SFEMS) located at North-West Pacific (Toh et al., 2011), and the seafloor geophysical network in the French-Polynesia observed the magnetic fields generated by tsunami from 2010 Chilean earthquake (Hamano et. al, 2011). As for land measurement, magnetic signal from the above Chilean tsunami was detected by the magnetic observatory on Easter island (Manoj and Maus, 2011). Accumulation of these data sets of tsunami-induced magnetic field is very important not only for understanding electromagnetic induction effect of tsunami, but also for monitoring the tsunami propagation and for designing next-generation tsunami-warning systems.

### Acknowledgement

The geomagnetic data used in this study are provided by Kakioka magnetic observatory of Japan Meteorological Agency, which operate the magnetic station on Chichijima. Sea level data is measured by the tide station on Chichijima operated by Japan Meteorological Agency.

### References

Tyler, R.H. ,A simple formula for estimating the magnetic fields generated by tsunami flow, *Geophys. Res. Lett.*,32, L09608, doi:10.1126/2005GL022429, 2005

Toh, H., K. Satake, Y. Hamano, T. Fujii, T. Goto, Tsunami signals from the 2006 and 2007 Kuril earthquakes detected at a seafloor geomagnetic observatory, *J. Geophys Res.*, 116, B02104, doi:10.1029/2010JB007873, 2011.

Hamano, Y., H. Sugioka, T. Kasaya, K. Baba, N. Tada, H. Shiobara, A. Ito, T. Isse, and D. Suetsugu, 2010 Chile earthquake tsunami observed by the seafloor geophysical observational network in the French Polynesia, *EGU Abstract. Vol. 13, EGU2011-5227*, 2011

Manoj, C. and S. Mauss, Observation of magnetic fields generated by tsunamis, *EOS*, vol 92, no.2, 13-14, 2011.

キーワード: 津波, 地磁気観測所, 海洋ダイナモ効果, 磁場変動, 父島

Keywords: tsunami, magnetic observatory, oceanic dynamo effect, geomagnetic variation, Chichijima

MIS036-P81

会場: コンベンションホール

時間: 5月27日 14:15-16:15

## 2011年東北地方太平洋沖地震の地震動に伴う地下水位変化 Co-seismic Groundwater level changes associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

浅井 康広<sup>1\*</sup>, 石井 紘<sup>1</sup>  
Yasuhiro Asai<sup>1\*</sup>, Hiroshi Ishii<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東濃地震科学研究所

<sup>1</sup> TRIES, ADEP

2011年3月11日に発生した平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(M9.0; 気象庁)の地震動に伴う地下水位変化が、岐阜県東濃地域(震央距離約560km; 計測深度2~3)にある戸狩観測点TGR350孔、正馬様観測点SBS110孔および賤洞観測点(SN-1号孔・SN-3号孔)において観測された。

4月30日10:00現在での、3月11日14:00(地震前)を基準とした各観測点の水位変化量(暫定値; 潮汐変化・気圧応答を含む)は、TGR350孔では地震前から4月19日5:00で最大14.147mの上昇後、徐々に低下。SBS110孔は4月26日22:00に最大4.196mの低下、SN-1号孔は3月20日13:00(215時間後)で最大1.414m低下後、徐々に上昇、SN-3号孔では3月11日19:00(5時間後)で最大0.557m低下後に緩やかに上昇している。

講演では、観測された地震動に伴う地下水位変化記録の紹介を行う。

キーワード: 地震動に伴う地下水位変化

Keywords: Co-seismic groundwater level changes

MIS036-P82

会場: コンベンションホール

時間: 5月27日 14:15-16:15

## 東北地方太平洋沖地震 (M9.0) に伴う地下水変化 Groundwater changes associated with the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (M9.0)

北川 有一<sup>1\*</sup>, 小泉 尚嗣<sup>1</sup>  
Yuichi Kitagawa<sup>1\*</sup>, Naoji Koizumi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 産総研活断層・地震研究センター

<sup>1</sup> AFERC, GSJ, AIST

2011年3月11日、東北地方太平洋沖で巨大地震 (M<sub>w</sub>9.0) が発生した。産業技術総合研究所活断層・地震研究センターが東海・近畿・四国に展開している観測網の多数の観測井において、この地震に伴う地下水位・水圧・自噴量変化が観測された。変化の多くは減少であり、地震の断層変位による静的な体積歪変化と矛盾しない。他方、変化の一部は上昇で、静的な体積歪変化と矛盾する。これらの上昇の変化はダイナミックな歪変化によって生じた可能性がある。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 地下水位, 地下水圧, 湧水量, 体積歪変化

Keywords: the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku earthquake, groundwater level, groundwater pressure, discharge rate, volumetric strain

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



MIS036-P83

会場: コンベンションホール

時間: 5月27日 14:15-16:15

## 東北地方太平洋沖地震に伴う山陰地方の温泉水の変動について Coseismic hot spring water changes of the 2011 Tohoku earthquake at the observation stations in San-in district

桑野 祐一<sup>1\*</sup>, 野口 竜也<sup>1</sup>, 香川敬生<sup>1</sup>, 西田良平<sup>2</sup>, 渡辺邦彦<sup>3</sup>, 小泉尚嗣<sup>4</sup>

Yuichi Kuwano<sup>1\*</sup>, Tatsuya Noguchi<sup>1</sup>, Kagawa Takao<sup>1</sup>, Nishida Ryohei<sup>2</sup>, Watanabe Kunihiko<sup>3</sup>, Koizumi Naoji<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 鳥取大学, <sup>2</sup> 放送大学, <sup>3</sup> 地震情報研究会, <sup>4</sup> 産業技術総合研究所

<sup>1</sup>Tottori University, <sup>2</sup>The Open University of Japan, <sup>3</sup>Seminar for Earthquake Information, <sup>4</sup>AIST

2000年鳥取県西部地震後の2002年より山陰地方では15地点の温泉水の水温(0.01 精度)・水位観測を実施しており、2008年12月より8点で水温・水位観測を継続している。そのうち数地点においてM6以上の地震後に変化がみられている。今回の東北地方太平洋沖地震では、地震後2日以内に、急激な水温の上昇が、岩井温泉(約1.86℃)、奥津温泉(約0.23℃)、湯谷温泉(約0.18℃)、吉岡温泉(約0.28℃)で、急激な水温の低下が鷺の湯温泉(約0.23℃)でみられた。その後、岩井温泉、鷺の湯温泉、湯谷温泉では水温が上昇する傾向がみられ、吉岡温泉では水温が低下する傾向がみられる。急激な水温変化後から4/28までに、岩井温泉では+0.47℃、鷺の湯温泉では+1.07℃、湯谷温泉では+0.51℃、吉岡温泉では-0.79℃の温度変化があり、奥津温泉では変化がなかった。また、岩井温泉の水温については地震発生3日前に、低下から上昇のトレンドに変化していることがわかった。

キーワード: 温泉, 水温変化, 山陰地域, 東北地方太平洋沖地震

Keywords: hot spring, temperature changes, San-in district, the 2011 Tohoku earthquake

MIS036-P84

会場: コンベンションホール

時間: 5月27日 14:15-16:15

## 東北地方太平洋沖地震に伴う温泉湧出異常と余震分布・地質構造

### Discharge changes of geothermal wells related to the geologic structure and shocks of the 2011 large earthquake

川辺 孝幸<sup>1\*</sup>, 中野啓二<sup>2</sup>

Takayuki Kawabe<sup>1\*</sup>, Keiji Nakano<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 山形大学地域教育文化学部, <sup>2</sup>Terra-Fluid Systems

<sup>1</sup>Yamagata University, <sup>2</sup>Terra-Fluid Systems

2011年3月11日14時46分に発生した平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震とそれによって発生した津波によって、多数の死者を含む甚大な被害が、東北地方～関東地方の太平洋沿岸地域を中心に発生した。

この地震によって、山形県や福島県南部～茨城県北部における複数の温泉において、水位の低下や湧出量の低下が報告されている。また、湧出量の低下した温泉の中では、その後徐々に水位は回復しつつあるものの、湯温が低下しているものもある。

このような地震にともなう温泉湧出量の変化は、1995年兵庫県南部地震の際や、2004年新潟県中越地震の際にも知られている。

1995年兵庫県南部地震では、六甲山地東縁の西宮市仁川百合野台から仁川を挟んで北側の宝塚市仁川高丸町において、大阪層群に不整合に覆われた基盤の花崗岩類中に発達している古い断層群で見られたもので、通常はほとんど地下水が湧出していなかった断層面から、多量の地下水が流出し、神戸市水道局上ヶ原浄水場の北東側斜面が崩壊して、34名が犠牲になった(川辺, 1996)。六甲山地の伸びの方向を示す古い断層の割れ目系では、地震の変異によってその開口幅が狭まったために、割れ目系を充填していた地下水が押し出されて湧水が突出したと考えられる。

2004年新潟県中越地震の場合には、震源断層下盤側近傍の温泉群で異常が認められているが、湧出量が増大したものと減少したのものがある。全て先第三系堆積岩類と花崗岩中の割れ目系から採取しているものである。GPS基準点の変異データ(国土地理院, 2004)で示される中越沖地震に伴う二次応力との関係からは、二次応力の最大圧縮応力に対してほぼ直交する走行を持つ割れ目系では水位上昇が見られ、最大圧縮応力に対して平行する走行の割れ目系で水位の低下が起こり、最大圧縮応力に対して斜交する走行の割れ目系のものでは湧出量の変化が見られなかったと結論される。

このように、地震時の割れ目系に伴う温泉の湧出量の変化は、地震発生時の地殻表層部の変形に伴う二次的応力の変化が、温泉を貯留する割れ目系の開口する方向に働くか、あるいは逆に閉じる方向に働くかによって、もたらされるということができる。

今回の地震では、東北地方南部の地上部では4mを超す南東方向への伸張が起こっている(国土地理院, 2011)。

山形県、福島県南部から茨城県北部の湯量の低下した温泉は、このような地殻表層部の伸張に伴って、温泉貯留部となっている割れ目系が開口したために、割れ目を充填していた地下水の水位が低下することによって生じたと考えられる。また、その後地下水位が回復しつつあるものの湯温が低下しているものについては、地表部からの浅層地下水が低下した水位を埋めるかたちで流入している状況を示していると考えられる。また、2004年新潟県中越沖地震の例では、余震ごとに水位の回復が認められる例もあり、今後、泉質を含めて、水位と湯温の調査を継続的にこなしていく必要がある。

キーワード: 温泉, 湧出異常, 劣化系, 応力変化

Keywords: discharge changes, geothermal well, fracture system, stress change



## 最大瞬間風速からの地震予知(6) - 2011年東北地方太平洋沖地震 - Earthquake prediction from peak gust(6)-The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake-

猿渡 隆夫<sup>1\*</sup>

Takao Saruwatari<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> なし

<sup>1</sup> none

### 1. 経緯

地震学は「マントル対流によってプレートに蓄積された歪のエネルギーが、ある限界を超えたときエネルギーを解放して地震が発生する」との仮説に基づいている。地震予知が出来ないのはこの仮説に問題があると考え原点に戻って研究した。

台風通過後、地震発生が多いことから震源地の風速・風向に着目した。

震源地近傍の最大瞬間風速が、数ヶ月から数年ぶりの最大瞬間風速の記録であることが分かった。さらにその風向が、逆断層では圧力軸に、正断層では引張軸に、横ずれ断層では圧力軸あるいは引張軸に一致することが分かった。これは、風向と力の方向が一致することであり、マントル対流ではなく風力が地震の原因であることを示している。そして、タイムラグを利用して地震予知が可能である。

しかし震源地の予測の範囲が広すぎるので、もっと狭い場所に特定することが必要である。そこで風のエネルギーについて検討した結果、風が地殻に影響を与えるためには下降気流が必要であることが分かった。気象学では下降気流は台風から温帯低気圧に変わるときや低気圧の発達期にドライスロットとして顕著にみられるものであり、最大瞬間風速にも関係している。

ドライスロットから震源地を衛星画像上で特定できるのではないかと考え、2000年以降の大地震の原因と考えられる大低気圧について衛星画像を解析した結果、震源地を特定できることが分かった。

1) 発生する場所は、数ヶ月から数年ぶりの最大瞬間風速が記録された場所が震源地の可能性が高い。

M 6.5以上の大地震の震源地はドライスロットの先端

2) 地震の大きさは、最大瞬間風速がある閾値以上の強風域と相関する。

3) 発生時期: 1週間~7ヶ月後(平均3ヶ月後)

解析例: 2004年9月5日東海道沖地震(M 7.4)に該当の天気図と衛星画像

[http://www.weathermap.co.jp/kishojin/diary\\_detail.php?date=2004-08-30](http://www.weathermap.co.jp/kishojin/diary_detail.php?date=2004-08-30)

<http://weather.is.kochi-u.ac.jp/sat/gms.fareast/2004/08/30/fe.04083015.jpg>

(連合大会、地震学会にて発表済み)

### 2. 2011年東北地方太平洋沖地震の予知

上に述べたように、台風から温帯低気圧に変わるときと低気圧が発達するときに着目している。それは10月31日と12月3日の低気圧が該当する。その天気図等から東北はるか沖で大地震が予想されたが、はるか沖ということで詳しく解析していなかった。地震後詳しく解析した。(ここでは12月3日の低気圧の解析を記す)

1) 2011年3月9日11:45 三陸沖地震(M 7.2 P:西北西-東南東 逆断層)

12月4日の天気図と衛星画像

<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/data/hibiten/2010/201012.pdf>

<http://weather.is.kochi-u.ac.jp/sat/gms.fareast/2010/12/04/fe.10120402.jpg>

ドライスロット先端は震央を示す。西北西の風向がメカニズム解のP軸と一致する。

2) 2011年3月11日14:46 2011年東北地方太平洋沖地震(M 9.0 P:西北西 東南東 逆断層)

12月3日の衛星画像

<http://weather.is.kochi-u.ac.jp/sat/gms.fareast/2010/12/03/fe.10120315.jpg>

Fig.1

衛星画像のドライスロットが13時から15時に顕著に見られる。ドライスロットの先端の幅が震源域の長さとも一致する。他は1)と同じである。

キーワード: 最大瞬間風速, 地震予知, ドライスロット, 下降気流, 衛星画像  
Keywords: peak gust, earthquake prediction, dry slot, downdraft, satellite image

MIS036-P86

会場: コンベンションホール

時間: 5月27日 14:15-16:15

## 福島県全域と福島第一原子力発電所周辺の地下水流動評価 - 産総研の全国地質・地下水DBを用いた自然状態での地下水流動解析 - Groundwater flow evaluation in the whole Fukushima Prefecture and around the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant

丸井 敦尚<sup>1\*</sup>, 伊藤 成輝<sup>1</sup>, 越谷 賢<sup>1</sup>, 小原 直樹<sup>1</sup>  
Atsunao Marui<sup>1\*</sup>, Narimitsu Ito<sup>1</sup>, Masaru Koshigai<sup>1</sup>, Naoki Kohara<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所

<sup>1</sup> AIST, GSJ

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震に伴う災害復旧に貢献し、現地調査の際の基礎資料とするため、地質・地下水に関する産総研の全国データベースを用いて、福島県全域と福島第一原発周辺を対象とした広域・詳細の三次元地質モデルをそれぞれ構築し、飽和・定常条件下で地下水流動解析を実施した。地質・地下水に関する産総研のデータベースには、日本全国基底面深度データ集(越谷ほか、投稿中)があり、第四系4層(H, Q3, Q2, Q1)と新第三系3層(N3, N2, N1)の各深度を、12000本以上のボーリングデータから地球統計学を用いて全国で与えている。

広域モデルは、第四系と第三系の二層で区分された。透水係数は、常磐炭田沖での既往の地下水流動解析結果(内部資料)から、第四系の水平方向を $10^{-4}$ [m/s]、鉛直方向を $10^{-6}$ [m/s]、第三系を $10^{-6}$ [m/s]で等方とした。境界条件は、モデル全周の水頭を標高で固定し、表層全域に一定の涵養量を与えた。涵養量は、上述した産総研のデータベースのうち日本列島の海底地下水湧出量分布(伊藤・丸井, 2010)から、福島県の代表的な一級河川である阿武隈川流域の1993~2002年における涵養量の平均値833[mm/yr]を与えた。解析で得られた地下水流向は、Fig. 1のとおりであり、福島第一原発の半径30km圏の地下水は、北側よりも西側および南側から圏外に流出することが分かる。これらの地下水が人口密集地である郡山市やいわき市に向かうと、両市の生活用水に影響を与える可能性がある。心配な地域では、表層汚染による影響が小さな深井戸を整備し、水供給システムを強化するとより高い安心が得られる。

詳細モデルは、福島第一原発を中心に半径10kmの範囲とし、第四系と第三系を三層に分割した。透水係数は、既往検討(東北農政局計画部, 1979)に基づき、第四系を $10^{-5}$ 、第三系上部を $10^{-8}$ 、下部を $10^{-7}$ [m/s]で等方とした。境界条件は、河川、池、沼の水頭を標高で、海域の水頭を0mで固定した。その結果、福島第一原発周辺では、5m程度の厚さを有する第四系が最上位に分布し、0.01m/d程度の流速で海域に流出すると示された。その下位には、透水性の低い第三系上部が厚さ20m程度分布し、流速は0.00001m/d程度である。さらにその下位には、200m厚の第三系下部が分布し、0.0001m/d程度の流速を有する。主要な原子力施設は第四系に立地しており、汚染物質は第四系の比較的早い地下水流によって海域に流下すると考えられる。よって、汚染物質がその下位にある透水性の低い第三系上部を通過することは考えにくい。

### 参考文献

伊藤成輝・丸井敦尚(2010): 日本列島における海底地下水湧出量の分布. 日本水文科学会誌, 40(1), 1-18.

越谷賢・丸井敦尚・伊藤成輝・吉澤拓也: 日本列島における三次元水文地質モデルの構築と地下水賦存量の試算. 地下水学会誌, 投稿中.

東北農政局計画部(1979): 原町地区地盤沈下調査報告書.

キーワード: 福島第一原発, 放射能対策, 表層汚染, 外向き流, 生活用水, 深井戸

Keywords: Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, radiation protection, pollution of surface soil, outward flow, domestic water, deep well

MIS036-P87

会場: コンベンションホール

時間: 5月27日 14:15-16:15

## 三陸沖で発生した甚大被害地震の太陰暦発生日の近接 - 地球潮汐の影響 - Proximity of the lunar days for the devastating earthquakes in the off-Sanriku region: the effects of earth tides

末 芳樹<sup>1\*</sup>  
Yoshiki Sue<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 所属なし

<sup>1</sup> No institution affiliation

月と太陽により生み出される地球潮汐が地震発生に影響を及ぼすことが知られている。即ち、地球潮汐による断層あるいはプレート境界での応力の変化が、滑りを助けるように働く時に有意な地震発生の増大がある(例えば、Tanaka et al., 2004)。他方、この時の月・太陽および地球に関しては、そのような変化をもたらす特定の位置関係の存在となる。この位置関係は、“月と太陽との視黄経の差(0-360度)”により判定しうるが、より直感的な指標として誤差は大きくなるものの太陰暦(旧暦)の日にち(1-29または30日)、あるいは新月・上弦・満月・下弦の特定位置との日にちの差でも良い。

さて三陸地方の沖合いは大きな地震が度々発生する領域であり、近年でも1896年明治三陸地震(M8.5)や、1933年昭和三陸地震(M8.1)の発生があるが、この領域や隣接する宮城県沖で地球潮汐に依存する特有の発生パターンの存在が報告されている(末, 2007; 末, 2008)。2011年3月11日14:46(JST)、この領域でM9.0の地震が発生し甚大な被害をもたらした。そこで、最近の主要な被害地震と今回の地震の発生日を比べた。尚、2日前に震源域近傍でM7.3の地震が発生しており、前震の可能性があるので検証に加えた。また、M7以上の大きい余震は本震当日の3個以外は発生せず、ほぼひと月後の4月7日にM7.4の地震が近くで発生したので、これも検証に加えた。以下にこれらを纏める。

年月日	名称	M	黄経差 (度)	太陰暦 (日)	犠牲者 (概略人数)
1896/6/15	明治三陸	8.5	50	5	2.2万
1933/3/3	昭和三陸	8.1	71	8	3千
2011/3/9	三陸沖	7.3	46	5	-
2011/3/11	本震	9.0	70	7	2.6万
2011/4/7	宮城県沖	7.4	44	5	-

(本震: 2011年東北地方太平洋沖地震)

3月9日および11日の地震は、それぞれ1896年(M8.5)および1933年(M8.1)の地震と月の位相が大変近いことがわかる。また、4月7日の地震も、1896年(M8.5)やひと月前の3月9日の地震とほぼ同じ状態であることがわかる。これらの月の位相には黄経差が凡そ40-70度に集中が見られ、三陸沖の地震に黄経差20-80度に発生の集団があるとの報告(末, 2008)と調和的である。また発生月であるが、この領域での上記以外の発生事例(末, 2008)を加味すると3-7月に大きな地震の発生が有意に多いように思われる。これは地球潮汐力での太陽の寄与分と考えられるが今後の検証を要する。

以上に示すように大きな地震は特定方向の地球潮汐の影響を受けており、従ってその発生日は特定の黄経差に対応し、これは太陰暦ではほぼ同じ日にちとなる。即ち、大きな地震は領域毎に昔より同じ日にち(太陰暦)で発生を繰り返している。さらに発生月にも有意な偏りがあるかも知れない。物理学者・寺田寅彦の「自然」は過去の習慣に忠実である。(津浪と人間、1933)との見識と通ずる処があると思われる。この理解は、防災あるいは減災に役立つと考える。

### 参考文献

末 芳樹, 三陸沖中部で発生した地震に於ける月の位相, JPGU S145-P004, 2008.

末 芳樹, 869年貞観地震(M8.3)の陰暦26日での発生について, SSJ P2-056, 2007.

S. Tanaka, M. Ohtake, and H. Sato, Tidal triggering of earthquakes in Japan related to the regional tectonic stress, Earth Planets Space, Vol.56, No.5, pp.511-515, 2004.

キーワード: 地震, 地球潮汐, 三陸  
Keywords: earthquake, earth tides, Sanriku

MIS036-P88

会場: コンベンションホール

時間: 5月27日 14:15-16:15

## 東北地方太平洋沖地震によって誘起されたと考えられる全磁力毎分値の変動 Anomalous variations of geomagnetic intensity possibly induced by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

源 泰拓<sup>1\*</sup>, 山崎伸行<sup>1</sup>, 三島稔明<sup>1</sup>

Yasuhiro Minamoto<sup>1\*</sup>, Nobuyuki Yamazaki<sup>1</sup>, Toshiaki MISHIMA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象庁地磁気観測所

<sup>1</sup> Kakioka Magnetic Observatory, JMA

東北地方太平洋沖地震によって誘起されたと考えられる全磁力毎分値の変動が、地磁気観測所が展開する観測網で得られた。震央から約700kmの女満別(MMB)を基準とした地点差の変動を見ると、気象庁発表の震央から210kmのいわき(IWK)では、14時39分から15時01分にかけて7.2nT減少し、15時14分にかけて6.4nT増加した。気象庁が発表した発生時刻14時46分ごろであるから、IWKの変化は地震に先行している。一方、震央から約300kmの北浦(KTR)、柿岡(KAK)では14時52分から55分にかけて各々2.9nT、2.2nTの減少が記録され、ともに15時までには元の水準に戻っているが、IWKに見られるような地震の発生に先行する減少は見られない。震央から約450kmの八ヶ岳(YAT)では14時53分から55分にかけて1.1nTの減少が認められた。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 地磁気, 全磁力

Keywords: 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, geomagnetic, total intensity

## 海底地震計ネットワークによる2011年東北地方太平洋沖地震の Urgent aftershock observation of the 2011 Tohoku earthquake using ocean bottom seismometer network

篠原 雅尚<sup>1\*</sup>, 山田 知朗<sup>1</sup>, 中東 和夫<sup>1</sup>, 酒井 慎一<sup>1</sup>, 望月 公廣<sup>1</sup>, 植平 賢司<sup>2</sup>, 伊藤 喜宏<sup>3</sup>, 東 龍介<sup>4</sup>, 海宝 由佳<sup>5</sup>, 野 徹雄<sup>5</sup>, 塩原 肇<sup>1</sup>, 日野 亮太<sup>3</sup>, 村井 芳夫<sup>4</sup>, 八木原 寛<sup>6</sup>, 佐藤 利典<sup>7</sup>, 町田 祐弥<sup>1</sup>, 真保 敬<sup>1</sup>, 一瀬 建日<sup>1</sup>, 宮町 宏樹<sup>6</sup>, 尾鼻 浩一郎<sup>5</sup>, 高橋 成実<sup>5</sup>, 小平 秀一<sup>5</sup>, 金田 義行<sup>5</sup>, 平田 賢治<sup>8</sup>, 吉川 澄夫<sup>8</sup>, 小原 一成<sup>1</sup>, 岩崎 貴哉<sup>1</sup>, 平田 直<sup>1</sup>  
Masanao Shinohara<sup>1\*</sup>, Tomoaki Yamada<sup>1</sup>, Kazuo Nakahigashi<sup>1</sup>, Shin'ichi Sakai<sup>1</sup>, Kimihiro Mochizuki<sup>1</sup>, Kenji Uehira<sup>2</sup>, Yoshihiro Ito<sup>3</sup>, Ryosuke Azuma<sup>4</sup>, Yuka Kaiho<sup>5</sup>, Tetsuo No<sup>5</sup>, Hajime Shiobara<sup>1</sup>, Ryota Hino<sup>3</sup>, Yoshio Murai<sup>4</sup>, Hiroshi Yakiwara<sup>6</sup>, Toshinori Sato<sup>7</sup>, Yuya Machida<sup>1</sup>, Takashi Shinbo<sup>1</sup>, Takehi Isse<sup>1</sup>, Hiroki Miyamachi<sup>6</sup>, Koichiro Obana<sup>5</sup>, Narumi Takahashi<sup>5</sup>, Shuichi Kodaira<sup>5</sup>, Yoshiyuki Kaneda<sup>5</sup>, Kenji Hirata<sup>8</sup>, Sumio Yoshikawa<sup>8</sup>, Kazushige Obara<sup>1</sup>, Takaya Iwasaki<sup>1</sup>, Naoshi Hirata<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 九州大学地震火山観測研究センター, <sup>3</sup> 東北大学大学院理学研究科, <sup>4</sup> 北海道大学地震火山研究センター, <sup>5</sup> 海洋研究開発機構, <sup>6</sup> 鹿児島大学理学部, <sup>7</sup> 千葉大学大学院理学研究科, <sup>8</sup> 気象庁気象研究所

<sup>1</sup>ERI., Univ. Tokyo, <sup>2</sup>ISV, Kyushu Univ., <sup>3</sup>Sci., Tohoku Univ., <sup>4</sup>ISV, Hokkaido Univ., <sup>5</sup>JAMSTEC, <sup>6</sup>Sci., Kagoshima Univ., <sup>7</sup>Sci., Chiba Univ., <sup>8</sup>MRI, JMA

平成23年東北地方太平洋沖地震が、3月11日に発生した。この超巨大地震の発生を考える上において、正確な余震分布は重要な情報である。また、破壊領域の研究に、有益な制約を加える。そこで、今回の地震の余震分布を正確に求めるために、本震発生後4日目から、計73台の海底地震計の震源域への設置を開始した。これにより、本震発生以前から震源域で観測を行っていた海底地震計と併せて、総計121点での海底地震観測を実施した。この緊急観測のために設置した海底地震計は、約1ヶ月の観測期間後、順次回収を開始している。観測域は、陸上観測網から活発な地震活動が求められていた、ほぼ500km x 200kmの領域とし、海底地震計の設置間隔は約25kmである。この観測網により震源域ほぼ全域をカバーすることができた。デジタル収録式海底地震計には、いくつかの種類を用いた。もっとも数が多いものは、固有周波数4.5Hzの3成分地震計センサーを搭載したガラス球を耐圧容器としたものである。この海底地震計の観測期間は、1-3ヶ月である。いくつかの海底地震計は、固有周期1秒の地震計センサーを用いている。このタイプの海底地震計は、耐圧容器にガラス球またはチタン球を用いている。さらに、地震計センサーに広帯域地震計センサーや加速尾計を用いた海底地震計も使用した。チタン球を耐圧容器に使った海底地震計は、観測期間はほぼ1年まで可能である。地震計センサーからの信号は16または24ビットの分解能でA/D変換され、ハードディスクなどに記録される。時刻制御には高精度水晶発振子を用いた。使用した全ての海底地震計は、音響切り離し方式の自己浮上型である。海底での海底地震計の位置は、GPSによる観測船位置および音響測距による。

震源域南部において、本震発生以前から34台の長期観測型海底地震計が設置されていた。このうち、3台の海底地震計を3月30日に回収し、余震の深さ分布を求めた。3月12日から19日までの99個の余震の震源決定を行った結果、余震は深さ5-30kmで発生していること、太平洋プレートと日本列島のプレートの境界で多く発生していることがわかった。また、余震は、陸側プレートの6.2-km/s層および、太平洋プレートの地殻内でも発生している。太平洋プレートのマントル内には、余震は発生していなかった。この領域で2008年に行われた制御震源構造探査実験の結果からは、南から沈み込むフィリピン海プレートが、日本列島の下に沈み込む太平洋プレートと接触していることが推定されている。今回求めた余震発生領域の南限は、この2つの海洋プレートが接している領域に対応する。本震とそれに伴う一連の破壊伝播は、2つの海洋プレートが接している領域で停止したことが推定される。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 余震, 沈み込み, 海底地震計

Keywords: The 2011 Tohoku earthquake, aftershock, subduction, ocean bottom seismometer



MIS036-P90

会場: コンベンションホール

時間: 5月27日 14:15-16:15

## 東北地方太平洋沖地震と関連する地震活動

### The M9.0 earthquake off the east coast of Honshu, Japan and related seismicity

石川 有三<sup>1\*</sup>

Yuzo Ishikawa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>産総研 活断層・地震研究センター

<sup>1</sup>GSJ, AIST

3月11日に起きた表記地震は、Mw9.0と超巨大地震であったため、広域に応力変化を伴い、それによって通常の余震活動のほかに多くの地震を誘発した。ここではそれらを分類し、それぞれの特徴を明らかにする。

まず、1番目は本震の震源断層面とその付近の通常の余震活動である。多くは本震と似たスラスト型の断層面解を示すが、正断層型も見られる。

2番目として北隣のプレート境界面でも多くの余震を伴った。ここでは、Mw7.4の地震が3月11日15:08に起きた。ただ、ここは1994年三陸はるか沖 Mw7.7地震の余震域であり、これ以上の大きな地震は起きる可能性は低いと思われる。しかし、さらに北側のプレート境界面では未破壊域があり、注意する必要がある。

3番目は、余震域の南隣である。3月11日15:15に現在の所の最大余震である Mw7.8が茨城県沖で起きた。しかし、房総半島東方沖や銚子付近でも中規模の地震が起きており、フィリピン海プレートと東北日本マイクロプレートの間、フィリピン海プレートと太平洋プレートの間での地震は今後も続くと思われる。

4番目は日本海溝付近とその太平洋側で起きている地震で、太平洋プレート内の海溝外縁部隆起帯での正断層地震である。Mw7.6の地震が3月11日15:26に起きた。この型の地震では津波を引き起こす可能性が高く、また、この付近では南側に大地震の履歴が知られておらず、未破壊域が存在する可能性があり、注意する必要がある。

5番目は、東北日本の下へ滑り込んだ太平洋プレート内の地震で、Mw7.2の地震が4月7日23:32に起きた。この部分の地震は、震源の深さがやや深く大きな津波は起きないが、陸に近いので震動は大きい。この型のM7級地震は宮城県沿岸部でしか発生しておらず、他の地域で発生する可能性は残っている。

6番目は、東北日本マイクロプレートの中の活動である。4月11に福島県浜通りで起きた Mw7.0の地震は正断層であったが、茨城県北部でも M6クラスの地震が起きている。これ以外にも山形・宮城県境やいくつかの地域で地震活動が高まっており、注意が必要である。また逆に岩手県南西部のように地震活動が低下した場所もある。

7番目は、日本海東縁部の活動である。3月12日に起きた長野県北部の M6.7地震は、震源断層が新潟県南部にも達している。ここは、新潟県南部に地震の未破壊域があると指摘されていた場所であった。日本海東縁にはまだ地震の未破壊域として指摘されている新潟県中部や山形・秋田沖などがあり(石川,2002など)、今後の活動に注意する必要がある。

8番目は、関東地方の下へ滑り込んだフィリピン海プレートとその下にある太平洋プレートが衝突している茨城県南西部付近の下の地震は、もともと地震活動が高い場所であったが、本震後この場所でも地震活動が高くなっている。

9番目は、伊豆諸島から伊豆半島にかけての火山付近でフィリピン海プレートの地殻内地震が急増している。また、この北端部で静岡県東部の M6.4地震が3月15日に起きている。

10番目は、北海道南部の東北日本マイクロプレートと北米プレートの境界地域で、この地域でも本震後に地震活動が急増している。

11番目は、フォッサマグナ以西のアムールプレート内の地殻内地震であるが、この中では、北アルプス地域など地震活動が急増したところもあれば、和歌山市周辺のように活動が低下した所もある。しかし、地震活動の変化は、九州地方でも見られ、今回の地震が日本列島広域に応力変化をもたらしたことを示している。

キーワード: 地震活動, 誘発地震, 東北地方太平洋沖地震, 余震

Keywords: seismicity, induced earthquake, NE Japan earthquake, Off the east coast of Honshu, aftershock

MIS036-P91

会場: コンベンションホール

時間: 5月27日 14:15-16:15

## 「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」～地震活動の特徴と津波に関する報告～ The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake; seismicity and tsunami

速水 絵里圭<sup>1\*</sup>, 中田 健嗣<sup>1</sup>, 尾崎 友亮<sup>1</sup>, 碓井 勇二<sup>1</sup>, 山内 崇彦<sup>1</sup>  
Erika Hayami<sup>1\*</sup>, Kenji Nakata<sup>1</sup>, Tomoaki Ozaki<sup>1</sup>, Yuji Usui<sup>1</sup>, Takahiko Yamauchi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象庁

<sup>1</sup> Japan Meteorological Agency

2011年3月11日14時46分に三陸沖の深さ24kmでMw9.0の地震(「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」)が発生し、宮城県栗原市で最大震度7を観測するなど、北海道から九州地方にかけての広い範囲で震度6弱～1を観測した。この地震により津波が発生し、福島県の相馬で高さ9.3m以上の津波を観測するなど、東北地方の太平洋沿岸を中心に、日本各地で津波を観測した。この地震及び津波により、東北地方の太平洋側を中心に、甚大な被害が生じた。本発表では、この地震及び周辺での地震活動の特徴、気象庁の発表した津波警報・注意報、観測された津波の高さについて報告する。

### 1. 地震活動について

これまで、「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」の震源周辺では、2011年2月16日にMj5.5の地震が発生するなど、しばしばM5.0を超える地震が発生していた。また、2003年10月31日にはMj6.8の地震が発生するなど、Mj6.5を超える地震も時々発生していた。今回の地震の2日前の3月9日にもMj7.3、1日前の3月10日にもMj6.8の地震が発生している。

「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」の発生後、周辺では非常に活発な地震活動が発生している。「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」及びその前に発生した3月9日のMj7.3の地震、3月10日のMj6.8の地震の発震機構は、いずれも西北西-東南東方向に圧力軸を持つ低角逆断層型で、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した地震であるが、3月11日以降、「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」の震源域内だけでなく、海溝軸の外側(例: 3月11日15時25分に三陸沖で発生したMw7.5の地震)や陸のプレートの地殻内(例: 4月11日17時16分に福島県浜通りで発生したMj7.0の地震)でも活発な地震活動が発生している。また、気象庁が余震域としている範囲(震源域及びその少し外側の領域)で発生している地震には、本震と同じ低角逆断層型のものだけでなく、正断層型の地震が数多く見られる。

### 2. 津波について

今回の地震で、気象庁は地震発生から3分後の14時49分に、岩手県、宮城県、福島県に対して津波警報(大津波)を発表したほか、太平洋沿岸の広い範囲に津波警報・注意報を発表した。15時14分には、GPS波浪計による沖合の観測値(国土交通省港湾局よりデータを受領)をもとに、警報の切り上げを行った。この切り上げを含め、津波の観測状況を踏まえつつ、計7回の津波警報・注意報の切り上げを行い、翌12日03時20分には全津波予報区に津波警報・注意報を発表するに至った。その後徐々に解除を行い、13日17時58分までに全ての警報・注意報を解除した。

気象庁では他機関のものも含め、国内183ヶ所の津波観測施設で津波の値を監視しているが、今回の地震発生に伴う停電及び津波観測施設自体の流失等の影響で、リアルタイムのデータが得られなかった観測点もあった。後に回収できたデータも分析したところ、福島県の相馬で9.3m以上、岩手県の宮古で8.5m以上、大船渡で8.0m以上、宮城県の石巻市鮎川で7.6m以上など、震源域に近い東北地方の太平洋沿岸を中心に、津波観測施設で観測された津波としては、これまでで最も高い値が観測されていた。この地震による津波は海外でも観測されている。

キーワード: 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震, 発震機構, 津波, 津波警報

Keywords: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, mechanism, tsunami, tsunami warning

MIS036-P92

会場: コンベンションホール

時間: 5月27日 14:15-16:15

## 2011年東北地方太平洋沖地震の大きな余震を予測する試み Forecast test for major aftershocks of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake

山科 健一郎<sup>1\*</sup>

Ken'ichiro Yamashina<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup> Earthquake Research Institute

2011年3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震について、大きな余震の発生を事前に予測する試みを11日の夜から開始した。予測は、4月下旬の時点までに15回提出し、そのうちの9回は、予測された大きさの余震が予測された期間に発生した。

今回の予測では、直前に起きた10個の余震のマグニチュードMに注目する(山科, 2008年地震学会英文要旨)。ここで、参照する余震の下限Mminは、本震とのMの差や、ほぼ漏れなく速報される余震の大きさの下限を考慮して、5.3を目安とした。このとき、参照した10個の余震の平均のMが「Mmin + 0.4」かそれより小さいとき、参照した10個の余震の中で一番大きなMをMmaxと置いて、「Mmax + 0.6 (± 0.5)の余震が起こる」という注意報を提出する。注意報を継続する期間は、10個の余震が起きた期間(10番目の余震と最初の余震の時間差)をTと置いて、その2.2倍とした(以前の試みでは2倍の期間としたが、Tは平均して9個の余震が起こる期間であることを考慮して変更)。

3月11日の夜、上記の方法による予測が今回の活動経過でもある程度当てはまることが確かめられたので、22時00分の時点で、「11日24時頃までにM 7.0 ± 0.5の可能性(想定確率20-30%)」という予測を作成した。この期間に想定された大きさの余震は発生しなかったのが、期限に少し遅れて、12日00時13分頃に該当する大きさのM 6.6?の余震が起きている。以後、同様の形式の予測を繰り返したが、「11日06時頃までにM 6.7 ± 0.5の可能性が増大(50%)」とした4月3日17時00分の11番目の予測は、4月7日23時32分頃のM 7.1の発生に先立っていた。誤報もあるものの、3回に2回程度は想定された大きな余震が起きている。

予測は、Mmin以上の余震が起こる度に生じる可能性がある。しかし、想定されるMの範囲や注意期間が重なる場合も多く、今回の試みでは、そのような重複を省いて作業が進められた。もっとも、活動の進行に対して予測の作成は遅れがちになり、作業中に大きな余震が起きてしまうこともあった。

なお、予測は2008年岩手宮城内陸地震の際に作成された簡単な経験則に基づいているが、注意期間をTよりも長くその2~2.2倍にとることによって、よく知られている大森宇津公式やグーテンベルクリヒターの式の特徴がある程度反映されている。予測の確度に限界はあるが、活動の見通しを得る上で、参考になるのではないと思われる。

キーワード: 東北地方太平洋沖, 余震, 予報, 注意報, 大森宇津公式, グーテンベルクリヒターの式

Keywords: Off the Pacific coast of Tohoku, aftershock, forecast, alarm, Omori-Utsu law, Gutenberg-Richter law

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



MIS036-P93

会場: コンベンションホール

時間: 5月27日 14:15-16:15

## 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震によって活発化した東日本の地震活動 Seismic activities of eastern Japan increased by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

増田 与志郎<sup>1\*</sup>

Yoshiro Masuda<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 気象庁

<sup>1</sup> Japan Meteorological Agency

2011年3月11日に「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)」が発生した。東日本では、この地震の発生直後から、余震域から離れた領域でも地震活動が活発化し、静岡県東部、長野県・新潟県付近、秋田県内陸部等では最大震度5弱以上を観測する地震活動が見られた。また、火山フロント周辺の領域でも地震活動の活発化が見られた。

大地震の発生に伴って、震源域から離れた領域で地震活動が誘発される現象はこれまでに多く報告されており、地震波の到着による動的な応力変化や本震の断層運動による静的な応力変化が原因と考えられている。学会のポスターでは、本震直後に活発化した東日本の地震活動と「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」による応力変化との関連性について報告する。

キーワード: 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震, 地震活動, クーロン破壊関数, 応力変化

Keywords: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Seismic activity, Coulomb Failure Function, Stress changes

## 2011年東北地方太平洋沖地震後に誘発された内陸地震 Inland earthquakes induced after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

武田 哲也<sup>1\*</sup>, 木村 尚紀<sup>1</sup>

Tetsuya Takeda<sup>1\*</sup>, Hisanori Kimura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人防災科学技術研究所

<sup>1</sup> NIED

2011年3月11日14時46分頃に発生した2011年東北地方太平洋沖地震は、マグニチュードがMw9.0である超巨大地震であり、地震発生直後から、震源域から離れた内陸でも地震を誘発した。内陸地震の発生場所は広範囲にわたり、マグニチュードが6を超えたものだけでも、3月12日長野県・新潟県県境付近、3月15日静岡県東部、3月19日茨城県北部、3月23日・4月11日・4月12日福島県東部が挙げられる。そこで今回の発表では、誘発された個々の地震活動についての特徴について紹介する。

3月12日3時59分頃に長野県北部を震源とする $M_{JMA}6.7$  (以下の気象庁マグニチュードはすべて暫定値)の地震が発生し、最大震度6強の揺れが観測された。周辺域近傍で観測していたオフライン地震観測点のデータ解析から、本震の震源の深さは約8kmであった。余震分布は、本震を中心として北北東-南南西方向に約17kmの広がりを持ち、深さ4~10kmに集中する。余震域の北東側と南西側では分布の特徴に違いがあり、北東側の余震域では、余震が南東傾斜の面状に分布するが、南西側ではその特徴は明瞭ではない。このことから北東側と南西側では断層面の傾斜が異なる可能性がある。USGSによる発震機構解は北西-南東圧縮の逆断層型を示し、北東側の南東傾斜の余震分布とは調和的である。

3月15日22時31分頃に静岡県東部を震源とする $M_{JMA}6.4$ の地震が発生し、最大震度6強の揺れが観測された。Hi-netによるこの地震の震源の深さは約15kmで、初動解は横ずれ成分を持つ北北西-南南東圧縮の逆断層型であり、CMT解はほぼ横ずれ断層型を示す。余震分布は、北北東-南南西方向に広がりを持ち、その範囲は水平方向に約5km、深さ方向に約6kmであり、東南東に向かって深くなる急勾配の面状に並び、こうした余震分布は、初動解やCMT解と調和的であり、今回の地震が北北東-南南西走向の断層に沿って発生したと考えられる。

3月19日18時56分頃に茨城県北部を震源とする $M_{JMA}6.1$ の地震が発生し、最大震度5強の揺れが観測された。この地震の震源の深さは約5kmであり、モーメントテンソル解は、北東-南西伸長の正断層型を示す。

3月23日に茨城県北部から北北東に30km離れた福島県東部で7時12分に $M_{JMA}6.0$ 、7時13分に $M_{JMA}5.8$ 、7時34分に $M_{JMA}5.5$ 、7時36分に $M_{JMA}5.8$ の地震が発生し、最大震度5強の揺れが観測された。地震の震源の深さはいずれも8km以下である。それぞれのモーメントテンソル解は、伸長軸が西北西-東南東から西南西-東北東方向の間で違いを有するが、いずれも正断層型を示す。

4月11日17時16分頃に福島県東部を震源とする $M_{JMA}7.0$ の地震が発生し、最大震度6弱の揺れが観測された。この地震の震源の深さは約7kmであり、モーメントテンソル解は北東-南西伸長の正断層型を示す。先述の茨城県北部と福島県東部の2つの領域の間では地震がほとんど発生していなかったが、この地震はこの間を埋める領域で発生した。さらに、12日14時7分頃には $M6.3_{JMA}$ の地震が発生し、震度6弱の揺れが観測された。これ以外の地震が主に正断層型に発震機構解が推定されているのに対し、この地震は横ずれ成分を含む逆断層型を示す。地震の震源の深さも、これ以外の地震がほぼすべて10kmより浅いのにに対して、約15kmとやや深めに推定された。

この茨城県北部から福島県東部にかけての領域では、東北地方太平洋沖地震の発生以前はほとんど活動がなく、地震直後から地震活動が活発化し、地震発生域の広がりや、60km程度に及んでいる。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 誘発地震, 内陸地震

Keywords: the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, induced earthquake, inland earthquake

## 中部日本における2011年東北地方太平洋沖地震前後での地震活動の変化と地震発生率変化に関連する応力・ひずみ変化 Seismicity and stress/strain changes in central Japan after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

永井 悟<sup>1\*</sup>, 小澤 和浩<sup>1</sup>, 伊藤 武男<sup>1</sup>, 田所 敬一<sup>1</sup>  
Satoru Nagai<sup>1\*</sup>, Kazuhiro Ozawa<sup>1</sup>, Takeo Ito<sup>1</sup>, Keiichi Tadokoro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学 地震火山・防災研究センター

<sup>1</sup>RSVD, Nagoya Univ

2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)が2011年3月11日14時46分に発生した(以下、2011年東北地震)。日本及び世界各地で2011年東北地震に伴う地震活動や微動の活発化が観測・報告されている。本研究では、中部日本における地域毎の地震発生率の変化とその要因である応力・ひずみ変化を地震発生率の変化から見積もる。また、他の解析から得られた応力・ひずみ変化と比較する。

地震活動は応力(ひずみ)変化に敏感であると考えられ、Dieterich[1994]により速度及び状態依存摩擦構成則から応力ステップ変化直後と地震発生率の増減、及び、その時間変化とを関係付けることが出来るとされている。また、Dieterich et al. [2000]は地震発生率変化から応力変化を推定することができると示した。この理論を適用することで、2011年東北地震発生前後に着目し、中部日本における応力・ひずみの時間変化を推定し、地震活動と応力・ひずみ変化との関係性についての理解を深めることを目的とする。

地震カタログデータは気象庁一元化地震カタログ(以下、JMAカタログ)から抽出した。JMAカタログにおける検出下限マグニチュードは1.0前後であると考えられるが、地域毎の不均質を考慮し、本研究ではマグニチュード1.5以上の地殻内で発生したと考えられる地震(深さ30km以浅)を解析対象とした。解析には、地震発生率とその変化、統計的に評価するために、ソフトウェアZMAP[Wiemer, 2001]を利用し、Z値、b値、及び、それらに関連するパラメーターを推定した。出来る限り多くの2011年東北地震以後の地震が使用するため、最新のデータに更新しつつの解析をしているが、現状の解析結果について簡単に紹介する。

中部日本における地震活動は、広域的でかつ長期的なZ値の解析によると、2011年東北地震以後は有意に活発化している事を示唆する。しかしながら、解析に十分な地震発生数のある領域で、小領域における短期的でZ値は少ないながらも負の値、すなわち、静穏化を示唆する。飛騨地方に着目すると、ほぼ南北に並ぶ地震活動は活発化され、地震活動域の拡大がみられる。(同様の地震域拡大は他の地域でも観測されている。)また、b値は2011年東北地震の前後で有意な変化は見られない。地震発生率は、M4以上の地震が発生している周辺領域を除いた場合、直前10日に比べ、2011年東北地震直後の10時間は約100倍の変化である。これは、Dieterich[1994]による関係式における $A = 0.01\text{MPa}$ を仮定すると、応力ステップ変化は約0.06MPaに相当する。また、分布がほぼ東西に近い、東北地震の直前の2月27日に発生したM4.9地震とそれに伴う地震活動は若干の増加は見られるが、有意な変化とは言い難い。このことから、飛騨地方の地震活動にDieterich[1994]の理論を適応するには、最適であると考えられる。解析における問題点として、直前の地震活動の評価及び地震発生率の推定方法、規模の大きな地震の発生とそれに伴う余震活動による影響などがあり、これらをどのように任意性がなく考慮するかで現在検討中である。

本講演では、中部日本における地震活動及び地震発生率、地震発生率から推定される応力・ひずみ、また、GPS観測データから推定されるひずみ、それぞれを2011年東北地震前後の変化に着目して議論する。また、関連する解析結果についても紹介する。

謝辞: 気象庁FTPサーバを経由して入手可能な、気象庁一元化地震カタログデータを使用しました。また、解析にはソフトウェアZMAPを使用しました。

キーワード: 地震活動, 地震発生率, 応力・ひずみ変化, Z値, b値

Keywords: seismicity, seismicity rate change, stress/strain change, z-value, b-value

## 東北太平洋沈み込み帯のb値の時空間変化 Spatial and temporal variation of b-value off northeastern Japan

弘瀬 冬樹<sup>1\*</sup>, 前田 憲二<sup>1</sup>  
Fuyuki Hirose<sup>1\*</sup>, Kenji Maeda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所

<sup>1</sup> Meteorological Research Institute

### 1. はじめに

弘瀬・他 (2002, 地震; 2006, 連合大会) では, 東北日本太平洋下の b 値の空間分布を推定し, Yamanaka and Kikuchi (2004, JGR) により推定されたアスペリティは高 b 値域を避けるように分布していることを報告した。また, アスペリティ近傍で地震前に b 値が低下することも報告した。今回, 地震データの期間を延長し b 値の空間分解能を上げ, Mw9.0 の地震のすべり分布と比較した。また, 今回の地震直前に前震活動域で b 値の時間変化がみられた。それらの結果について報告する。

### 2. データ・解析手法

#### 空間分布

1990 年から 2011 年 2 月までの期間に決定された気象庁一元化震源 (M 3.0, 深さ 90 km 以浅, ただし, 2010 年 12 月以降は暫定震源) のうち, 太平洋プレート境界付近および二重深発地震面の上面で発生している地震を抽出した。震源の抽出には, 地震検索・地震活動解析プログラム REASA (明田川・他, 2007, 験震時報) を用いた。

b 値の推定には Wiemer (1996, D 論) による解析ツール ZMAP を用いた。0.05 度グリッドを配置し, 各グリッドから最寄りの 200 個の地震を取り出し, そのグリッドでの下限マグニチュード  $M_c$  を Wiemer and Wyss (2000, BSSA) の手法で推定した。 $M_c$  以上の地震を用いて, 最尤法 (宇津, 1965, 北大) で b 値を推定した。ただし,  $M_c$  以上の地震が 50 個未満の場合は b 値を推定しないこととした。

#### 時間変化

1990 年から 2011 年 4 月 20 日までの期間に決定された気象庁一元化震源 (M 2.0, 深さ 90 km 以浅, ただし, 2010 年 12 月以降は暫定震源) を用いた。b 値の時間変化の推定には, 地震検索・地震活動解析プログラム REASA (明田川・他, 2007, 験震時報) を用いた。300 個のイベントを b 値の計算単位とし, 50 イベント毎にシフトさせて b 値の時間変化をみた。ただし, 本震が発生した 2011 年 3 月 11 日で期間を 2 つに分けて解析を行った。計算単位における  $M_c$  は Wiemer and Wyss (2000, BSSA) の手法で推定し,  $M_c$  以上のイベントに対して最尤法 (宇津, 1965, 北大) で b 値を推定した。 $M_c$  は概ね 2.0-2.1 と推定された。

### 3. 結果・議論

使用したデータが異なるものの, 弘瀬・他 (2002, 地震; 2006, 連合大会) の結果同様,

- 1) 太平洋下浅部では, b 値は海溝側で小さく陸側で大きい。
- 2) 高 b 値域は, プレート境界上のアスペリティを避けるように分布している。
- 3) 本震前に b 値が小さく, 本震後顕著に大きくなる。

岩石実験 (Scholz, 1968, BSSA) からは, 応力が高いと b 値は小さく, 応力が低いと b 値は大きくなることが知られており, 低 b 値域はアスペリティ近傍で応力が高いことを反映していると考えられている。そのため, 低 b 値域は未知のアスペリティの存在も示している可能性がある。

本震直前に b 値が小さくなった主な原因は約 1ヶ月前から活発化した前震活動である。今回の本震の北東約 50 km では, 本震の約 1ヶ月前から M5.5 の地震を最大とする地震活動が 2 週間続いた。そして本震の 2 日前 (2011 年 3 月 9 日 11 時 45 分) には M7.3, 1 日前 (2011 年 3 月 10 日 6 時 23 分) には M6.8 の地震が発生し, その活動域は M9.0 の震源の北側に隣接するように広がった。なお, この地域では本震前に前震活動が顕著であることが指摘されている (Maeda, 1996, BSSA)。1981 年 1 月 19 日 3 時 17 分に M7.0 の地震が発生したが, その 8 時間半前 (1 月 18 日 18 時 43 分) から M6.1 を最大とする前震活動があった。しかしながら, この当時の地震の検知能力が低いため, この活動の b 値を推定することはできなかった。

Keywords: The 2011 off the Pacific Coast Tohoku Earthquake, b value, Spatial and temporal variation, Subduction zone, Asperity, Stress



MIS036-P97

会場: コンベンションホール

時間: 5月27日 14:15-16:15

## 2011年東北地方太平洋沖地震後の東北地方内陸の地震活動 Shallow inland earthquakes in NE Japan possibly triggered by the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

岡田 知己<sup>1\*</sup>, 吉田 圭佑<sup>1</sup>, 植木 貞人<sup>1</sup>, 中島 淳一<sup>1</sup>, 内田 直希<sup>1</sup>, 松澤 暢<sup>1</sup>, 海野 徳仁<sup>1</sup>, 長谷川 昭<sup>1</sup>, 2011年東北地方太平洋沖地震合同観測グループ<sup>2</sup>

Tomomi Okada<sup>1\*</sup>, Keisuke Yoshida<sup>1</sup>, Sadato Ueki<sup>1</sup>, Junichi Nakajima<sup>1</sup>, Naoki Uchida<sup>1</sup>, Toru Matsuzawa<sup>1</sup>, Norihito Umino<sup>1</sup>, Akira Hasegawa<sup>1</sup>, Group for the aftershock observations of the 2011 Tohoku Earthquake<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東北大・理・予知セ, <sup>2</sup> 合同観測グループ

<sup>1</sup> RCPEV, Grad. Sch. of Sci., Tohoku Univ., <sup>2</sup> Group for the aftershock observations

After the occurrence of the 2011 Mw 9.0 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, not only aftershocks near the source fault along the plate boundary, but also many shallow earthquakes occurred at several locations in the overriding plate. It is important to understand the cause of this distinctive seismicity change. We precisely relocated earthquake hypocenters for several earthquake sequences that occurred just after the Tohoku earthquake by the double-difference method. The obtained hypocenter distributions were used to discriminate the fault plane from the auxiliary plane of the focal mechanisms for those earthquake sequences. Some of them in the central part of NE Japan are the strike-slip type with steeply (dip angle > 60 degrees) dipping fault planes and NE-SW oriented P-axes. Then, we calculated coulomb stress change on those fault planes caused by the 2011 Mw9 earthquake. In all cases, the estimated coulomb stress changes at the plausible fault planes for those post-mainshock sequences are positive. The positive coulomb stress change is mainly due to the reduction of normal stress on the steeply dipping fault plane of the earthquake sequences which are located to the west of the large reverse-fault source area of the 2011 Mw9 earthquake. The present observations suggest the static stress transfer possibly triggered those post-mainshock earthquake sequences.

We also find that the post-events tend to be distributed above the edge of the seismic low-velocity zone in the lower crust. This suggests that inhomogeneous structure of viscoelastic structure and fluid distribution in the lower crust are spatially related with the spatial distribution of the post- events.

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



MIS036-P98

会場: コンベンションホール

時間: 5月27日 14:15-16:15

## 2011年東北地方太平洋沖地震後の地震活動の変化? 東北地方北部?

### Change in seismic activity in the northern part of Tohoku district after the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

小菅 正裕<sup>1\*</sup>

Masahiro Kosuga<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 弘前大学理工学研究科

<sup>1</sup> Fac. Sci. Tech., Hirosaki University

我々は、東北地方北部の地震観測点の波形データの手動検測値を基に、2011年東北地方太平洋沖地震後の同地域の地震活動の変化を調査した。内陸地域においては、特に秋田県において顕著に活動度が上昇したが、東北地方太平洋沖地震前に地震活動が活発であった地域においては活動が静穏化した。静穏化が顕著な領域は、下北半島地域、岩木山北東部、岩手県北部の一戸周辺、岩手・秋田県境の脊梁山地付近などである。一方、活動が活発になったのは、北秋田市付近、田沢湖の南、及び大仙市北東部で、これまでに目立った地震活動が見られなかった地域である。これらの地域で発生した地震の震源メカニズム解は横ずれ型で、十和田湖の東において発生した地震のメカニズム解は正断層型であった。これらのメカニズム解は、東北地方太平洋沖地震前に地震活動が活発であった地域において卓越していたメカニズム解（東西圧縮の逆断層型）とは明瞭に異なる。従って、東北地方太平洋沖地震後の内陸の応力場は、東西圧縮の逆断層型に対しては不調和なものとなり、これまでの活動が見られなかった地域における横ずれ型または正断層型の地震の発生を促進するようなものとなったことが考えられる。

#### 謝辞

震源決定には東北大学、北海道大学、気象庁、独立行政法人防災科学技術研究所、青森県の地震観測点の波形データを使用させていただきました。関係諸機関に厚くお礼申し上げます。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 震源分布, 余震活動, 震源メカニズム, 応力変化

Keywords: 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, hypocenter distribution, aftershock activity, focal mechanisms, stress change

MIS036-P99

会場: コンベンションホール

時間: 5月27日 14:15-16:15

## 東北地方太平洋沖地震発生後の飛騨山脈脊梁部の地震活動の活発化 Increase of seismic activity along the Hida mountain range after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake

大見 士朗<sup>1\*</sup>, 和田 博夫<sup>1</sup>, 高田 陽一郎<sup>1</sup>, 濱田 勇輝<sup>1</sup>  
Shiro Ohmi<sup>1\*</sup>, Hiroo Wada<sup>1</sup>, Youichiro Takada<sup>1</sup>, Yuki Hamada<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学防災研究所  
<sup>1</sup> DPRI, Kyoto University

東北地方太平洋沖地震の発生後、乗鞍岳から白馬岳に至る、飛騨山脈の脊梁部で地震活動の活発化が認められる。飛騨山脈では、3月11日14:46(JST)の東北の地震の本震発生から10分前後の間に、富山県東部と飛騨地方の双方でM4.5を超える地震が発生し、その後地震活動が活発化した。ここではそのうち、焼岳近傍の地震活動について述べる。

焼岳周辺では、14:57(JST)頃に山頂の北約3kmに震央を持つM4.8の地震が発生した。震源は極く浅く求められ、震央近傍では、震度4程度以上の揺れがあったものと考えられる。発震機構は、当地域の広域応力場である、北西～南東圧縮による逆断層型に求められた。

このM4.8の地震の直後より、焼岳から乗鞍岳にいたる地域の地震活動が活発化した。活動域は当初、主として、焼岳北方3km程度の新穂高温泉地区を中心とするものと、焼岳と乗鞍岳の中間付近を活動域とするものの2つが認められたが、後者は3月20日ごろまでにほぼ鎮静化し、焼岳北方の活動が継続した。この活動は、3月21日に再びM4.8の地震を記録するなど、消長を繰り返しながら次第に鎮静化しており、4月30日現在では、ほぼ活動開始前のレベルにまで落ちついてきている。震源域は、焼岳北方約3km付近を中心とする直径5km程度の地域に限定されており、時間とともに震源域が移動する等の現象は4月末時点では認められていない。

これらの地震の震源は非常に浅いものが多く、海拔0mよりも浅く震源が決まるイベントも多かった。そのためもあってか、震央直上の奥飛騨温泉郷新穂高温泉地区では、M2.5以上の地震の場合には現地有感になる傾向が強いように見受けられ、逆に、活動の中心から5km程度離れている、当地域の気象庁震度観測点の防災科研 K-NET のGIF004観測点(奥飛騨温泉郷栃尾)では、有感地震としては記録されないという現象が頻発した。

焼岳近傍は、深部低周波地震の活動が見られる地域であり、これまで浅部で地震活動が発生した場合には、引き続いて深部の活動が活発化するという事例が多かった。しかしながら、今回は、4月末現在、深部低周波地震活動は認められておらず、これまでの活動とは若干様相が異なっている。なお、今回の活動のM2.5程度以上の地震の発震機構の時間変化を概観したが、発震機構の著しい時間変化や、応力場の局所的な擾乱等は認められず、マグマの移動等に関する地震ではないように見受けられる。

謝辞：震源決定に際しては、大学、防災科研、気象庁の観測点のほか、国交省神通川水系砂防事務所が焼岳近傍に展開する地震観測網のデータも利用させていただいている。記して感謝申し上げます。

## 東北地方太平洋沖地震により誘発された箱根火山の地震活動 Seismicity activity in Hakone volcano remotely triggered by the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

行竹 洋平<sup>1\*</sup>, 本多 亮<sup>1</sup>, 原田 昌武<sup>1</sup>, 明田川保<sup>1</sup>, 伊東博<sup>1</sup>, 吉田 明夫<sup>1</sup>

Yohei Yukutake<sup>1\*</sup>, Ryou Honda<sup>1</sup>, Masatake Harada<sup>1</sup>, Tamotsu Aketagawa<sup>1</sup>, Hiroshi Ito<sup>1</sup>, Akio Yoshida<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 神奈川県温泉地学研究所

<sup>1</sup> Hot Springs Research Institute, Kanagawa

### 1. はじめに

東北地方太平洋沖地震 (Mjma=9.0) (以下、本震) の発生直後から、箱根火山において地震活動が活発化した。温泉地学研究所 (以下、温地研) の観測網により、2011年3月11日15時から4月2日12時までの間で、1600個以上の地震が検知された。本震発生から22分後にM4.8の最大地震が、箱根カルデラ南部の深さ5 kmのところで発生した。また、箱根カルデラ内を震源とする有感地震は計68回に及んだ。

我々は、本震と箱根火山で発生した地震活動との関係を明らかにするため、地震活動の詳細な震源分布および時間変化を調べ、さらに地震波形記録に基づいて、本震から励起された表面波の通過時に、ルーチン処理では検知できなかった地震が発生したかどうかを調べた。本発表では、それらの結果について報告する。

### 2. 本震発生後の箱根の地震活動

温地研の通常処理による震源カタログ (以下、温地研カタログ) では、本震発生後の最初のイベントは約17分後であり、4月2日12時までの間に、約1680イベントの地震の震源位置が決定されている。3月20日、22日および31日にバースト的な地震活動の増加があったが、活動は全体的には時間の経過とともに徐々に低下した。

我々は、Double-Difference法 (Waldhauser and Ellsworth, 2000) を用いて、温地研カタログの震源位置の再決定を行った。再決定された震央位置は、南北方向に帯状に分布し、かつ小さいクラスターに分かれて分布する特徴が見られた。これらの特徴は、過去に箱根カルデラ内で発生した地震活動の特徴 (Yukutake et al. 2010) と似ている。また、本震後の一連の地震活動は、これまで箱根カルデラ内で地震活動が高かった場所で起きている。一方、カルデラ外の南側の丹那断層下でも地震活動が見られたが、この領域は1995年以降で見て、地震活動があまり活発ではなかった場所である。

### 3. 本震の表面波通過に伴う地震活動

我々は、本震の表面波やコーダ波に隠れたローカルイベントの検出を試みた。この解析には、箱根カルデラ内の駒ヶ岳観測点のボアホール型高感度速度計および箱根カルデラの北約40kmに位置する都留菅野F-net観測点の連続波形記録を用いた。その結果、本震のLove波とRayleigh波の到達している間に少なくとも4つのバースト的な地震が発生していることが分かった。これらの地震はS-P時間が1秒以下であるので、箱根カルデラ内で発生したと考えられる。

Hill et al. (1993) の手法を用いて、本震の表面波によって励起された動的応力変化量を求めたところ、箱根カルデラ周辺では0.6MPaの大きさに達することが分かった。一方、国土地理院 (2011) による本震の震源モデルを基に推定した箱根カルデラ域での静的応力変化は、最大で0.04MPaであった。動的応力変化の方が、静的応力変化と比較して約1オーダー大きいこと、本震の表面波の到達と同期して地震がトリガーされていることから、箱根カルデラ内で最初に発生したイベントは、動的応力変化により誘発されたと推定される。ただし、地震活動は本震後すぐには終息せず、約1ヶ月間かけてゆっくり減少する傾向が見られたことから、一連の地震活動の発生には動的応力変化に加えて、静的応力変化やその他の要因も関係していたことが示唆される。

キーワード: 誘発地震, 箱根火山

Keywords: triggered earthquake, Hakone volcano

MIS036-P101

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 2011年東北地方太平洋沖地震に伴う火山活動の変化

### The volcanic activity change associated with the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku earthquake

棚田 俊收<sup>1\*</sup>, 上田 英樹<sup>1</sup>, 河野 裕希<sup>1</sup>, 藤田 英輔<sup>1</sup>, 小園 誠史<sup>1</sup>, 長井 雅史<sup>1</sup>, 武田 哲也<sup>1</sup>, 松澤 孝紀<sup>1</sup>, 浅野 陽一<sup>1</sup>, 木村 尚紀<sup>1</sup>, 實淵 哲也<sup>1</sup>, 小澤 拓<sup>1</sup>, 鶴川 元雄<sup>1</sup>

Toshikazu Tanada<sup>1\*</sup>, Hideki Ueda<sup>1</sup>, Yuhki Kohno<sup>1</sup>, Eisuke Fujita<sup>1</sup>, Tomofumi Kozono<sup>1</sup>, Masashi NAGAI<sup>1</sup>, Tetsuya Takeda<sup>1</sup>, Takanori Matsuzawa<sup>1</sup>, Youichi Asano<sup>1</sup>, Hisanori Kimura<sup>1</sup>, Tetsuya Jitsufuchi<sup>1</sup>, Taku Ozawa<sup>1</sup>, Motoo Ukawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 防災科研

<sup>1</sup> NIED

2011年東北地方太平洋沖地震の発生に伴い、約100ある活火山のほぼ20%にあたる火山で地震活動が高くなった。現在のところ噴火に至った事例は無いが、東北地方太平洋沖地震の余震、内陸部に発生する誘発地震と併せて、火山活動についても今後注視していく必要がある。

特に、2011年3月15日22時31分静岡県東部でマグニチュード6.4(気象庁)の地震は、東北地方太平洋沖地震によって誘発された地震のひとつと考えられているが、その発生場所が富士山南麓直下だったため、火山活動への影響も懸念された。防災科研は90年代から火山観測網を展開し、定常的に震源決定をおこなっている。その結果によると、本震は富士山南麓の深さ約10kmで発生した。余震域は北北東-南南西方向に延び、長さは約10km、その深さはおよそ4~10kmでほぼ垂直に分布している。余震は4月15日現在も引き続き起こっているが、発生数は低下傾向にある。余震の地震波形は高周波タイプであり、火山性の低周波地震や微動は観測されていない。

1996年8月から2011年3月10日までの震源分布と比較すると、余震域は北側に隣接する深部低周波地震の発生域内には及んでおらず、また、M6.4の震源域に相当する領域では、2008年頃より地震発生率が急増していることが分かった。

富士山麓に展開されている防災科研の火山観測用傾斜計とGPSデータには、M6.4の地震に伴うコサイスマックな変動が見られた。これらのデータに国土地理院GEONETデータをあわせた解析から断層モデルを推定した。暫定解であるが、断層の大きさは6km\*6kmで、右横ずれタイプであった。防災科研広帯域地震観測網F-netおよびHi-netの記録波形解析によるセントロイドモーメントテンソル(CMT)解は、北北西-南南東圧縮のほぼ横ずれ断層であり、暫定断層モデルとも良く一致している。

本ポスターでは、富士山以外にも、防災科研の火山観測網が整備されている伊豆大島、三宅島、那須山、硫黄島、さらには2009年から整備してきた基盤的火山観測施設がある有珠山、岩手山、浅間山、阿蘇山、霧島山を、また焼岳については、火山近傍にあるHi-net観測点を用いて活動状況について報告する。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 火山, 地震活動, 富士山

Keywords: the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku earthquake, volcano, seismic activity, Fuji volcano

MIS036-P102

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 2011年3月15日静岡県東部で発生した地震(Mjma6.4)による富士山マグマ溜まりへの影響評価

### Disturbance on magma system of Mount Fuji by the induced earthquake Mjma6.4 at eastern Shizuoka prefecture

藤田 英輔<sup>1\*</sup>, 小園 誠史<sup>1</sup>, 上田 英樹<sup>1</sup>, 小澤 拓<sup>1</sup>, 吉岡 祥一<sup>2</sup>, 戸田則雄<sup>3</sup>, 菊池愛子<sup>3</sup>, 井田 喜明<sup>3</sup>

Eisuke Fujita<sup>1\*</sup>, Tomofumi Kozono<sup>1</sup>, Hideki Ueda<sup>1</sup>, Taku Ozawa<sup>1</sup>, Shoichi Yoshioka<sup>2</sup>, Norio TODA<sup>3</sup>, Aiko KIKUCHI<sup>3</sup>, Yoshiaki Ida<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所, <sup>2</sup> 神戸大学都市安全研究センター, <sup>3</sup> アドバンスソフト株式会社

<sup>1</sup>NIED, <sup>2</sup>Kobe University, <sup>3</sup>Advance Soft Corporation

2011年3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震により誘発されたと考えられる、2011年3月15日22時31分に静岡県東部で発生した地震(MJMA6.4)により、富士山地下のマグマたまりや周辺での応力変化を数値シミュレーションにより定量的に評価した。これは地震による富士山噴火誘発の可能性評価を行うことを目的とするものである。

静岡県東部の地震は地殻変動データ(GPS・傾斜計)の解析により、富士山山頂の南側約7~12kmにあるほぼ鉛直な断層において、東側(上盤)が、西側(下盤)に対し、北北東方向に約86cm移動したものと推定されている。富士山のマグマたまりの大きさや位置は、地震波トモグラフィー(Nakamichi et al., 2007)や深部低周波地震の分布から、富士山の地下約15km~25kmたりと推定されている。また、深さ7~17km付近にも流体の存在を示唆する低速度層が見つかっているが、マグマではなく水や揮発性ガスのたまりの可能性が考えられている。今回はこれらをもとに富士山のマグマたまりを単純な球形で仮定し、先に示した断層運動によりどの程度の応力がかかったかを有限要素法により計算した。なお、このシミュレーションでは富士山の地形による効果も評価し、周辺には無限境界条件を適用している。

深さ15kmを中心とした半径3kmの球状のマグマたまりを仮定した。断層運動により、マグマたまり周辺に圧縮と膨張の領域が存在するが、マグマたまりの頂上から西側にかけて圧縮場となっており、東側に膨張場が存在する。また、マグマたまりでは周辺より柔らかい物性を設定しているために、低い応力となっている。これらの応力変化によりマグマが“絞り出され”、噴火に至るかどうかは、マグマそのものの状態に依存すると考えられる。深さを15kmと仮定していることと、マグマたまり全体に膨張センスの応力が働いているわけではないため、マグマの減圧発泡が促進される可能性は短期的には低いものと推測される。

キーワード: 東北太平洋沖地震, 富士山, 応力場変化, マグマ溜まり, 有限要素法, 無限境界

Keywords: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, Mount Fuji, Stress change, magma reservoir, FEM, infinite boundary

MIS036-P103

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 茨城県北部から福島県浜通りにおける地震活動 - 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震によって誘発された地震活動 - The Earthquakes around Northern part of Ibaraki Prefecture and Coastal Area of Fukushima Prefecture

武藤 大介<sup>1\*</sup>, 上野 寛<sup>1</sup>, 溜淵 功史<sup>1</sup>, 迫田 浩司<sup>1</sup>, 碓井 勇二<sup>1</sup>, 山内 崇彦<sup>1</sup>

Daisuke Muto<sup>1\*</sup>, Hiroshi UENO<sup>1</sup>, Koji Tamaribuchi<sup>1</sup>, Koji SAKODA<sup>1</sup>, Yuji USUI<sup>1</sup>, Takahiko YAMAUCHI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象庁

<sup>1</sup>JMA

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の発生直後から、茨城県北部から福島県浜通りにおける地域で地震活動が活発化した。3月19日にM6.1の地震、3月23日にM6.0とM5.8の地震、4月11日にM7.0の地震、4月12日にM6.4の地震が発生した。また、M3.0以上の地震は700回以上に達しており(4月21日現在)、1か月以上にわたり活発な地震活動が継続している。

これらの地震活動について、DD法によりその震源分布を詳細に決定するとともに、主な地震のCMT解析を行った。また、上述の5つの地震について、独立行政法人防災科学技術研究所のK-NETおよびKiK-netの強震波形を用いて震源過程解析を行った。これらの結果から、以下の点が明らかになった:

1) 震源は複数の面に分離される。とくに4月11日のM7.0の地震の余震域と4月12日のM6.4の地震の余震域は、震源が上下2層に分布している。

2) 一般に東日本地域の内陸地殻内では逆断層型の地震が多いが、本地震活動中の主要な地震の発震機構の多くは、概ね南北方向に走向を持つ正断層型であった。ただし4月12日のM6.4の地震はCMT解及び震源過程解析によると、逆断層成分を持つ横ずれ断層型であった。

3) 本地震活動中の主要な地震のすべり分布は、活動領域を徐々に埋めている。一方、4月12日のM6.4の地震のすべりは、4月11日の地震ですべりが生じた領域の下方にある地震面のうち北半分の領域で発生したが、南側の領域にはすべりが及んでおらず、歪が蓄積している可能性がある。

また、本地震活動の発生している領域は、井戸沢断層の位置と符合する。本研究の結果から、想定される井戸沢断層との関係について議論する。また、正断層型の地震が多く発生している中で、4月12日に逆断層成分を含む横ずれ断層型の地震が発生した理由についても検討する。

キーワード: 震源過程, DD法, 井戸沢断層, 2011年東北地方太平洋沖地震, 余震活動

Keywords: source process, Double Difference Method, the Idosawa Fault, the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, aftershocks activity

## 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：断層条線と測量結果の比較 Surface earthquake fault due to the earthquake in the Fukushima prefecture on 11th of April, 2011

重松 紀生<sup>1\*</sup>, 吾妻 崇<sup>1</sup>, 丸山 正<sup>1</sup>, 斎藤 英二<sup>1</sup>, 大坪 誠<sup>1</sup>, 谷口 薫<sup>1</sup>, 吉見 雅行<sup>1</sup>, 今西 和俊<sup>1</sup>, 高橋 美紀<sup>1</sup>, 安藤 亮輔<sup>1</sup>, 藤本 光一郎<sup>2</sup>, 大谷 具幸<sup>3</sup>

Norio Shigematsu<sup>1\*</sup>, Takashi Azuma<sup>1</sup>, Tadashi Maruyama<sup>1</sup>, Eiji Saito<sup>1</sup>, Makoto Otsubo<sup>1</sup>, Kaoru Taniguchi<sup>1</sup>, Masayuki Yoshimi<sup>1</sup>, Kazutoshi Imanishi<sup>1</sup>, Miki Takahashi<sup>1</sup>, Ryosuke Ando<sup>1</sup>, Koichiro Fujimoto<sup>2</sup>, Tomoyuki Ohtani<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所, <sup>2</sup> 東京学芸大学, <sup>3</sup> 岐阜大学

<sup>1</sup>Geological Survey of Japan, AIST, <sup>2</sup>Tokyou Gakugei University, <sup>3</sup>Gifu University

本研究では、2011年4月11日 17:16:12.0 に福島県浜通り (36° 56.7'N, 140° 40.3'E) で発生したマグニチュード7.0の地震に伴い、福島県いわき市田人町から同遠野町綱木にかけ、長さ約11kmの地震断層が地表に現れたことから(たとえば、石山ほか2011)、この地表地震断層について総変位量の計測と同時に条線も計測することで、地震時の複雑な断層運動に関する情報取得を試みる。地震断層の総変位は、測量などで計測できる一方、実際の地震時の断層運動の軌跡は、断層面上に条線として記録されるからである。

### (1) 条線の測定結果と測量結果の比較

別当川沿いの林道 (36° 58.4'N, 140° 41.9'E) での断層面の姿勢は N15W78W であり、変位量は測量から上下 1.72 m, 右横ずれ 0.19 m, 水平 0.36m である。断層面上には上部と下部で姿勢が異なる「逆くの字」の条線が明瞭に発達し、上部では南に 77° の沈下角, 下部では北に 70° の沈下角を持つ。この「逆くの字」の条線の姿勢を考慮すると、測量結果と断層面上の条線の姿勢は調和的である。他の地点においても、測量結果と断層面上の条線の姿勢はおおむね調和的である。ただし、測量で求めた横ずれ量と、条線から推定される横ずれ量が不調和な場所があり、今後の検討が必要である。

### (2) 不均質なすべり

今回地表にあらわれた地震断層の変位量は場所により大きく異なる。露頭で観察される条線は南沈下であることが多いが、北沈下の場所が部分的に見られる。また前述のとおり、「逆くの字」の形状の条線が観察されることもある。以上のことは、断層全体での変位量の違いだけではなく、今回の地震の断層運動方向が時間・空間的に変化した可能性を示唆している。

### (3) 条線の重複

今回地表にあらわれた地震断層の断層面上には、今回の地震による明瞭な条線がつく一方、この条線に切られる条線が複数認められる。これらの形成時期の解明は今後の課題だが、粘土質のガウジ帯内部に発達することから第四紀の活動である可能性もあり、過去の地震ごとに断層の運動方向が異なっている可能性を示唆している。

キーワード: 福島県浜通り, 地震断層, 総変位量, 断層条線

Keywords: the Hamadori district of the Fukushima prefecture, earthquake fault, total displacement, fault striae



## 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とそのテクトニックな背景 Tectonic setting of coseismic surface rupture associated with the 2011 Iwaki earthquake (M7.0)

石山 達也<sup>1\*</sup>, 佐藤 比呂志<sup>1</sup>, 杉戸 信彦<sup>2</sup>, 越後 智雄<sup>3</sup>, 伊藤 谷生<sup>4</sup>, 加藤 直子<sup>1</sup>, 今泉 俊文<sup>5</sup>

Tatsuya Ishiyama<sup>1\*</sup>, Hiroshi Sato<sup>1</sup>, Nobuhiko Sugito<sup>2</sup>, Tomoo Echigo<sup>3</sup>, Tanio Ito<sup>4</sup>, Naoko Kato<sup>1</sup>, Toshifumi Imaizumi<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 名古屋大学地震火山・防災研究センター, <sup>3</sup> 財団法人地域地盤環境研究所, <sup>4</sup> 帝京平成大学, <sup>5</sup> 東北大学理学研究科

<sup>1</sup>ERI, University of Tokyo, <sup>2</sup>Nagoya University, <sup>3</sup>Geo-Research Institute, <sup>4</sup>Teikyo Heisei University, <sup>5</sup>Department of Science, Tohoku University

2011年4月11日17時16分頃に福島県浜通りの深さ約5kmでマグニチュード(M)7.0(暫定)の地震が発生した(気象庁, 2011)。震源域は、いわき市西部の阿武隈山地であり、阿武隈変成岩類と白亜系の花崗岩類・閃緑岩類が分布し、不整合で前弧堆積物である第三系の堆積物が分布する(久保ほか, 2007)。先第三系の主要な構造方向は、NNW-SSE方向であり、新第三系の分布を限る断層として、井戸沢断層が記載された(須貝ほか, 1957; 三井, 1972; 鈴木ほか, 2005)。活断層研究会(1991)は、変動地形的な検討によって、主に三条のトレースから構成されるものとして井戸沢断層を記載した、全体としてのトレースの長さは約20kmとなる。南部に位置する断層のみ、町北部と異なり東側低下となる。中田・今泉編(2002)は主として二条のトレースからなる断層を記載しており、主として西側低下の断層とされる。また、活断層研究会(1991)の最南部の断層については活断層とは判断していない。この地震に伴う地表地震断層について、地震発生翌日の12日から15日にかけて現地調査を行った。その結果、いわき市遠野町綱木から同田人(たびと)町旅人(たびうど)にかけての約11kmの区間で、今回の地震に伴って出現した地表地震断層を見いだした(図1)。変動崖の走向は一般にN10°W前後を示し、上下変位量は西側低下で約0.8-2.3m、横ずれ変位量が0.3-0.5mである。断層露頭や地表変状の特徴から、これらは震源断層である正断層の上方延長で形成されたと考えられる。今回確認した断層の分布と走向から判断して、地表地震断層は特に鮫川以北で右雁行を呈すると考えられる。活断層研究会(1991)は、先第三系(阿武隈変成岩類および白亜系の花崗岩類・閃緑岩類)の主要な構造方向であるNNW方向に延び、新第三系の分布を限る井戸沢断層(渡辺・佐藤, 1935)を含む複数の断層について一括して「井戸沢断層」を定義している。一方、今回の地震断層に沿って分布する断層は、御斎所変成岩類を原岩とする断層ガウジおよびカタクレサイトを伴うほぼ垂直な断層面を有し、井戸沢断層とは明らかに別個の構造である。したがって、ここでは活断層研究会(1991)の「井戸沢断層」のうち最も西側に位置する正断層を、今回最大の上下変位量が観察されたいわき市田人町塩ノ平を模式地として「塩ノ平断層」と仮称する。塩ノ平断層は今回地表地震断層が出現した範囲よりも南に延びる(久保ほか, 2007)。従って、今回の地震に伴う地表地震断層は、塩ノ平断層の一部に沿って出現したことになる。余震分布は中田・今泉編(2002)の井戸沢断層の西方に多く発生しており、南端はほぼこの断層の断層線の西方延長と一致するが、北方には断層線北端からさらに数kmの領域まで分布している。この地震の発震機構は西南西-東北東方向に張力軸を持つ正断層型で、地殻内の浅い地震である。通例、この地域は地震活動の低調な地域であり、正断層型の震源メカニズムを持つ地震活動は、東北太平洋沖地震発生後に活発化した。東北地方に分布する活断層は、そのほとんどが逆断層型であり、正断層型の大規模な地表地震断層が東北地方で見いだされたのは今回が初めてである。これはM9のきわめて規模の大きなメガスラストの運動に伴って、上盤側で特異な伸張性の応力状態になったものと理解される。

## 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とその変位量分布(速報)

### Preliminary report on slip distribution of surface rupture associated with the 2011 Iwaki earthquake

杉戸 信彦<sup>1\*</sup>, 石山達也<sup>2</sup>, 越後智雄<sup>3</sup>, 佐藤比呂志<sup>2</sup>, 加藤直子<sup>2</sup>, 今泉俊文<sup>4</sup>

Nobuhiko Sugito<sup>1\*</sup>, Tatsuya Ishiyama<sup>2</sup>, Tomoo Echigo<sup>3</sup>, Hiroshi Sato<sup>2</sup>, Naoko Kato<sup>2</sup>, Toshifumi Imaizumi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>名古屋大, <sup>2</sup>東京大, <sup>3</sup>地域地盤環境研究所, <sup>4</sup>東北大

<sup>1</sup>Nagoya Univ., <sup>2</sup>Tokyo Univ., <sup>3</sup>Geo-Research Institute, <sup>4</sup>Tohoku Univ.

2011年4月11日に発生した福島県浜通りの地震(気象庁, 2011)に伴っては, 正断層運動に起因すると考えられる西落ちの地表地震断層が塩ノ平断層沿いの約11 kmの区間に出現した(石山ほか, 本大会)。本発表では現地踏査結果(ハンディGPS・トータルステーションを用いた地形測量を含む)に基づいて, 上記約11 km区間中, いわき市遠野町入遠野綱木, 遠野町大平植木田の南西方, 田人町石住才鉢の東方, 田人町黒田斉道~黒田塩ノ平, 田人町黒田助右工門沢, および田人町黒田掛橋~田人町旅人上平石において確認された地表地震断層の位置と変位量の概要を報告する(1)綱木においては, 南流する清道川とその両岸の水田等を北北西走向に横切る西落ちの低崖地形が約500 mにわたって連続して出現した。ほぼ鉛直の断層面がそのまま西向きの崖面となっているところが多く, 主に幅数mにわたる撓曲崖として出現した区間もある。低崖地形の頂部には開口亀裂も多く認められる。こうした低崖地形の基部や開口亀裂はともに右雁行配列を示している。清道川左岸の水田における上下変位量は60-70 cmであり, 20-30 cmの左横ずれを伴う。水路のオフセットからは約6 cmの水平伸張も確認された。綱木から約1 km北北西方, 東流する清道川の左岸の林道においても40-50 cmの西落ち変位が発生し, 河床からこの林道までの約30 mにわたって低崖地形が北北西走向に連続して出現した。この林道より北方については, 概査を行ったものの明瞭な地表地震断層は確認されなかった。合成開口レーダーの解析結果(国土地理院, 2011)に基づく地表地震断層はさらに約3 km程度連続する可能性も考えられ, 今後詳しく踏査する必要がある。一方, 綱木の南方延長にあたる植木田南西方においては南北走向を示す西落ちの低崖地形が出現し, 道路を3回, 清道川を5回横切っている。崖高は0.9-1.2 mである。この地表地震断層はさらに南方の才鉢東方に至るものと推定される。才鉢東方における崖高は約1.3 mである(2)斉道~塩ノ平においては, 斉道集落東端付近~塩ノ平と御所山西方~塩ノ平の計2条, 北北西走向を示す西落ちの低崖地形が並走して出現し, 両者は南端部で合流し鞍部と小河川を横切った。全長は約800 mにわたる。前者は水田等を連続的に変位させている。後者も連続性がよく, 北半においては山地斜面を横切り, 南半では集落を横切って水田等に変位を与えている。上下変位量は最大で約2.3 mを示し(本発表における最大値), 数10 cmの左横ずれ変位も認められる。低崖地形の頂部に形成された開口亀裂は右雁行配列を示す。南方の助右工門沢においても約150 mにわたって1.0-1.2 mの崖高を示す北北西走向で西落ちの低崖地形が出現した(3)掛橋~上平石においては, 西落ちを示す北北西走向の低崖地形が1.5 km余ほぼ連続して出現した。確認されたトレースの北端は別当川付近であり, その右岸における崖高は約1.1 mであった。ここでは35 cm程度の右横ずれも計測された。この地点から南方へと連続し, 田人中学校体育館, 同プールを西落ちに変位させた地表地震断層は, 水田地域に入るといったん2条の低崖地形として認められるようになる。両者の崖高の和は80 cm内外であり, 20 cm前後の右横ずれも認められる。低崖地形は幅数~10数mの撓曲帯として認められることが多く, 地点によっては断層面がそのまま崖面となっている。低崖地形の頂部には左雁行配列する開口亀裂が発達することが多い。この低崖地形はさらに, 掛橋~上平石を結ぶ南北の道路を浅い角度で横切った後, 道路東の民家の下等を通り, 山地斜面(未確認)を経て上平石集落の北東端に至る。この間, 崖高は徐々に低下し, 南端部の荷路夫川左岸においては約20 cmとなる。この地点の対岸にも同程度の変位が生じた可能性が遠望された。しかし, さらに南方については, 概査を行ったものの地表地震断層は確認されなかった。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 福島県浜通りの地震, 地表地震断層, 変位量分布, 活断層, 正断層

Keywords: off the Pacific coast of Tohoku earthquake, Fukushima Hamadori earthquake, surface rupture, slip distribution, active fault, normal fault

MIS036-P107

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 2011年4月11日福島県浜通りの地震に伴う湯ノ岳断層の地表変位ベクトル Surface slip vectors along the Yonotake fault during the April 11, 2011 earthquake of Mj 7.0 at eastern Fukushima

栗田 泰夫<sup>1\*</sup>, 楮原 京子<sup>1</sup>, 杉山 雄一<sup>1</sup>, 吉岡 敏和<sup>1</sup>, 吾妻 崇<sup>1</sup>, 安藤 亮輔<sup>1</sup>, 丸山 正<sup>1</sup>

Yasuo Awata<sup>1\*</sup>, Kyoko Kagohara<sup>1</sup>, Yuichi Sugiyama<sup>1</sup>, Toshikazu Yoshioka<sup>1</sup>, Takashi Azuma<sup>1</sup>, Ryosuke Ando<sup>1</sup>, Tadashi Maruyama<sup>1</sup>

<sup>1</sup>産総研 活断層・地震研究センター

<sup>1</sup>Geological Survey of Japan, AIST

2011年4月11日福島県浜通りの地震(Mj 7.0, Mw 6.8)に伴って、既知の活断層である井戸沢断層と湯ノ岳断層に沿って顕著な正断層型の地震断層が出現した。このうち、湯ノ岳断層に沿ってあらわれた地震断層について、地表変位ベクトルの詳しい計測を行うとともに、その末端部について詳しい調査を行った。

地震断層は、N55W走向で長さ15.6kmの正断層型の地震断層であり、北西端はいわき市遠野町入遠野白鳥付近(37°39.94'N, 140°40.59'E)から、また南東端は常磐白鳥町付近(36°59.16'N, 140°49.91'E)まで延びている。断層は、概ね直線的であるが、北西部はN65W走向でやや湾曲し、また南東部では末端から約3km付近にN60Eの走向で長さ約800mのギャップが認められ、ギャップの両側付近には主断層から屈曲あるいは分岐して北東側に約300-800m延びる2条の副断層を伴っている。

変位のベクトルは、断層主部の10-14kmでは概ね一様で、約40-60cmで南西下がりの鉛直成分と、約30-50cmでS30-45W方向の水平成分をもち、約30-60°南西に傾斜する。南東部では末端の800m区間で変位量が急減し、北西部では末端の約2-5km区間で変位量が漸減する。南東部のギャップでは2条の副断層で挟まれた下盤側の地域が15-30cm程度相対的に沈下している。

キーワード: 2011年4月11日福島県浜通りの地震, 地震断層, 湯ノ岳断層, 変位量分布, スリップベクトル

Keywords: east Fukushima earthquake of April 11, 2011, surface rupture, Yunotake fault, slip distribution, slip vector

MIS036-P108

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 2011年東北地方太平洋沖地震の発生後に活発化した正断層地震の発生原因 A generation mechanism of normal-faulting earthquakes in northeast Japan, activated after the 2011 Tohoku earthquake

今西 和俊<sup>1\*</sup>, 安藤 亮輔<sup>1</sup>, 桑原 保人<sup>1</sup>  
Kazutoshi Imanishi<sup>1\*</sup>, Ryosuke Ando<sup>1</sup>, Yasuto Kuwahara<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所

<sup>1</sup> National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

After the occurrence of the 2011 Mw 9.0 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, shallow normal-faulting earthquake sequence occurred near the Pacific coast at the Ibaraki-Fukushima prefectural border. We investigated why normal-faulting earthquakes were activated in northeast (NE) Japan, which is characterized by E-W compression. Focal mechanisms of microearthquakes that occurred before the 2011 Tohoku earthquake have been determined from P-wave polarity data as well as body wave amplitudes. We found that earthquakes occurring in the studied area are characterized by normal faulting, strike-slip faulting and a mixture of both the two components. A stress tensor inversion reveals that the pre-shock stress field in the area shows a normal-faulting stress regime in contrast to an overall reverse-faulting regime in NE Japan. We then computed stress changes due to the mainshock, in which calculations were made in an elastic half-space by assuming a shear modulus of 32 GPa and a Poisson's ratio of 0.25. The stress changes produced normal faulting stress fields with E-W extension over a wide region including the target area. We estimated that the E-W extensional stress with a few MPa was added to the target area. These results suggest that the 2011 Tohoku earthquake could trigger the normal-faulting earthquake sequence in combination with the estimated pre-shock normal-faulting stress regime. In other words, the stress changes alone could not trigger this sequence if this area was in the ambient reverse fault regime, because the horizontal compressional stress could be comparable to 100 MPa simply assuming Byerlee's friction law under the lithostatic pressure. We also explore why the normal-faulting stress field can exist at a specific area at convergent plate boundary.

**Acknowledgements.** We are grateful to JMA for earthquake catalogue. Seismograph stations used in this study include permanent stations operated by NIED (Hi-net), JMA, and Tohoku University.

**キーワード:** 2011年東北地方太平洋沖地震, 正断層, 誘発

**Keywords:** 2011 Tohoku earthquake, normal-faulting earthquake, induced earthquake

MIS036-P109

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 東北地方太平洋沖地震により生じた内陸地殻のひずみ不均質 Strain inhomogeneity of the crust induced by the great earthquake east off NE Japan

矢部 康男<sup>1\*</sup>, 大園 真子<sup>2</sup>, 飯沼 卓史<sup>1</sup>, 太田 雄策<sup>1</sup>

Yasuo Yabe<sup>1\*</sup>, Mako Ohzono<sup>2</sup>, Takeshi Iinuma<sup>1</sup>, Yusaku Ohta<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学, <sup>2</sup> 北海道大学

<sup>1</sup>Tohoku University, <sup>2</sup>Hokkaido University

We evaluated inhomogeneity of crustal strain in NE Japan associated with a step-wise stress change induced by the great earthquake of M9.0 east off NE Japan. The earthquake ruptured the plate interface of as long as about 500km, from off Iwate to off Ibaraki. The observed eastward coseismic displacements of GPS stations were relatively uniform in the central NE Japan. This suggests that the induced stress change in this area should be uniform. The inhomogeneity of crustal strain, therefore, should reflect inhomogeneity of rheological characteristic of the crust.

The observed deformation was dominated by E-W extension. Crustal deformation predicted from a source model consisting of two rectangle faults was subtracted from the observed crustal deformation to depict deformation anomaly. It was found that the E-W extension in the Ou-backbone range was smaller than the predicted extension. This evidence strongly supports a hypothesis that viscosity of the lower crust beneath the Ou-backbone range is low.

キーワード: ひずみ集中帯, 不均質構造

Keywords: strain concentration zone, structural inhomogeneity

## 2011年東北地方太平洋沖地震による応力場の変化 Alteration of stress field due to the occurrence of the 2011 Off the Pacific coast of Tohoku earthquake (Mw9.0)

平塚 晋也<sup>1\*</sup>, 佐藤 魂夫<sup>1</sup>  
Shinya Hiratsuka<sup>1\*</sup>, Tamao Sato<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 弘前大学理工学研究科  
<sup>1</sup> Hirosaki University

A giant earthquake of Mw 9.0 took place off the Pacific coast of Tohoku on March 11, 2011. It caused a large tsunami of 10-20 m and wrought devastation in northeast coastal Japan. An interplate earthquake of Mw 7.5-8.0 had been anticipated off the Pacific coast of Miyagi in the near future, and yet an earthquake as large as Mw 9.0 had not been regarded as impending. Since this earthquake is so huge that the stress field in and around the source region has been disturbed immensely. In this paper, we look at the change in stress field brought about by this earthquake through the change in the Coulomb Failure Function (dCFF), and discuss its effect on aftershocks and future earthquake probabilities in the surrounding region.

The geometry of the fault is based on the configuration of upper plate interface of the subducted Pacific plate determined by Takeuchi et al. (2008). The coseismic slip distribution is given with reference to that estimated by the Geospatial Information Authority of Japan (GSI). The top of fault is placed at a depth of 6.5 km along the axis of the Japan Trench. The attitude of each fault segment is fitted to the local strike and dip of the plate interface. Along the dip direction, the segments are divided by their depths down to 50 km at a depth interval of 10 km. The slip amplitudes are more than 20 m over the segments off the Pacific coast of Miyagi. Given a rigidity of 40 GPa, this fault model constitutes a Mw 8.9 earthquake. The horizontal displacements calculated for the fault model agree with the ones observed at the GPS sites of GEONET operated by GSI. A good agreement between the observed and calculated displacements provides a rationale for using the fault model to evaluate the stress change due to the earthquake. The source code developed by Okada (1992) is used to calculate the displacements and strains, assuming a half-space medium with a Poisson's ratio equal to 0.25. The internal friction coefficient is assumed to be 0.4. Here we restrict the target area to northeastern Japan. Based on the general feature of focal mechanisms in northeastern Japan and the focal mechanisms of aftershocks determined by the F-net of NIED, we selected several types of target earthquakes.

The results suggest that the increased activity of normal-fault earthquake after the main shock is explained by a large positive dCFF of 1-5 MPa prevailing over a vast area in and around the source region. The areas adjacent to the northern and southern borders of the source region where another large interplate earthquakes might occur are occupied by a positive dCFF of 0.1-1.0 MPa. The dCFF for the reverse faults in the shallow crust suggests that the future probability of reverse fault earthquake will be decreased in the land area of Tohoku, with notes that the Rikuu earthquake occurred soon after the 1896 Meiji Sanriku earthquake that may have transferred a similar stress change to the land area.

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 巨大地震, クーロン破壊関数, 沈み込み帯, 誘発地震活動, プレート境界型地震  
Keywords: Off the Pacific coast of Tohoku earthquake (Mw9.0), giant earthquake, Coulomb Failure Function, subduction zone, induced seismicity, interplate earthquakes

## 2011年東北地方太平洋沖地震による首都圏における地震活動変化 Change in seismicity beneath the Tokyo metropolitan area 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>  
Takeo Ishibe<sup>1\*</sup>, Kunihiko Shimazaki<sup>1</sup>, Kenji Satake<sup>1</sup>, Hiroshi Tsuruoka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>ERI, Univ. of Tokyo

過去に発生した、30000個余りの地震のメカニズム解を受け手側の断層メカニズム解として静的クーロン応力変化(CFF)を計算し、2011年東北地方太平洋沖地震によって首都圏においてどのような地震活動変化が期待されるか調査した。CFFが0.1bar以上増加した地震数は約17000個であった。一方、0.1bar以上減少した地震数は約7000個であった。

CFFが増加した地震の割合が多かった領域は、30kmより浅い地震に対しては伊豆を含む静岡県東部と神奈川県西部(箱根)であった。深さ30~100kmの地震に対しては茨城県南西部と東京湾から銚子に至る領域であった。実際に、これらの領域では本震後に地震活動が活発化している。このことは、本研究が第一近似的に本震後の地震活動を良く予測していることを示している。

本手法は過去に発生したメカニズムと同様の地震が、本震後に発生するという仮定に基づいている。したがって、過去の地震のメカニズム解が決定されていない領域、あるいは過去の地震と異なるメカニズム解の地震が発生した領域に対しては適用の範囲外である。例えば、本震後に茨城県北部から福島県南部にかけて浅発地震が活発化した。この領域で過去に発生した地震のメカニズム解データはほとんどなかった。活発化した領域では正断層型の地震が卓越しており、これらを受け手側の断層メカニズム解として計算したCFFは顕著に正である。したがって、これらの地震も本震による応力変化によって誘発された地震活動であると解釈できる。本手法による地震活動変化の予測精度向上には整備された観測網に基づいた微小地震のメカニズム解データの蓄積が必須である。

これまで、応力変化の指標として、仮定した受け手側の断層メカニズムにおいて計算されたCFFが用いられてきた。しかしながら、この手法は様々な型の地震が混在する複雑な応力場において、大きな誤差を生じる(例えば、Toda, 2008; Ishibe et al., 2011)。そこで、本研究では過去に発生した地震のメカニズム解を受け手側の断層メカニズム解としてCFFを計算することで、この不確定性を軽減した。過去の地震のメカニズム解として防災科学技術研究所において決定された関東・東海地震観測網定常処理による初動メカニズム解(1979年7月1日~2003年7月1日)を用いた。また、本震時のすべり分布としてGPS連続観測に基づいて推定された国土地理院のモデル(小沢慎三郎博士提供)を、本震前後の地震活動変化の議論には気象庁による暫定震源カタログをそれぞれ用いた。

2011年東北地方太平洋沖地震は大規模の余震を伴い、また顕著な余効すべりも観測されている。また地震波形・津波波形などに基づいた様々な震源モデルが提案されている。余震や余効すべりの寄与による効果やモデル依存性については今後、検討する必要がある。

### 謝辞

本研究においては、国土地理院地殻変動室小沢慎三郎博士にご提供いただいた2011年東北地方太平洋沖地震の震源断層モデルを使用させて頂いた。また、気象庁暫定震源カタログならびに、防災科学技術研究所が決定した初動メカニズム解を使用させて頂いた。CFFの計算にはOkada(1992)のプログラムを使用させて頂いた。ここに記して感謝申し上げます。なお、本研究は科学技術振興費「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト 首都圏周辺でのプレート構造調査、震源断層モデル等の構築等」における「過去地震の類型化と長期評価の高度化に関する調査研究」の一環として実施された。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 静的クーロン応力変化, 首都圏, 地震活動

Keywords: the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku earthquake, the static change of the Coulomb Failure Function (dCFF), Tokyo Metropolitan Area, seismicity

MIS036-P112

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## InSAR 解析による誘発された内陸地殻変動の検出

## InSAR analysis on inland crustal activities induced by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake

高田 陽一郎<sup>1\*</sup>, 福島洋<sup>1</sup>, 橋本学<sup>1</sup>

Youichiro Takada<sup>1\*</sup>, Yo Fukushima<sup>1</sup>, Manabu Hashimoto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京大・防災研

<sup>1</sup> DPRI, Kyoto Univ.

We detected local crustal deformations induced by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake on March 11 (Mw9.0) by interferometric synthetic aperture radar (InSAR) analysis. We used ALOS/PALSAR images acquired before and after the earthquake and processed with the GAMMA software suite. We used the digital elevation models of the Geospatial Information Authority of Japan and hole-filled SRTM to remove topographic fringes.

First of all, we created interferograms in which large wavelength phase changes are dominant by far. To detect local signals, next, we determined coefficients of the bi-quadratic function, which well represents the large wavelength phase change, and subtract the modeled phase change from observed phase change. With this procedure, we succeeded in detecting many local signals induced by this large earthquake.

Some of the detected local signals clearly correspond to large and shallow inland earthquakes: an earthquake at northern Nagano pref. on March 12 (M6.7) and April 12 (M5.8), at eastern Shizuoka pref. on March 15 (M6.4), etc. Among all, we detected large phase changes due to large normal fault earthquakes along the Pacific coast in the northern Ibaraki and the southern Fukushima prefectures. In this region, the local fringes match the local topographic expression (active faults, steep slopes, rivers, etc.) implying that the normal fault motions have been accumulating over geologic time scale. Seemingly, reported earthquake hypocenters and mechanisms in this region cannot explain the detected phase changes.

Local crustal deformations are likely to be induced in and around the volcanic and/or geothermal area. We found signals in Mt. Fuji, Mt. Azuma, near the Naruko caldera, Nikko area, etc. However, we should be careful of atmospheric phase delay because the amplitude of the detected signals is not large.

### Acknowledgements:

PALSAR Level1.0 data belongs to the Japan Aerospace and Exploration Agency (JAXA), and the Ministry of Economy, Trade, and Industry (METI). The original images were provided by JAXA through the Earthquake Working Group.

キーワード: 合成開口レーダー, 誘発, 局所的地殻変動

Keywords: InSAR, Triggering, Local crustal deformation



## 第四紀の地形・地質に記録された長期的な地殻変動と2011年東北地方太平洋沖地震による地殻変動の関係

### Comparison of the long-term crustal movement deduced from the Quaternary landforms with co-seismic crustal movement of t

鈴木 毅彦<sup>1\*</sup>, 小荒井 衛<sup>2</sup>, 笠原 天生<sup>1</sup>, 河合 貴之<sup>1</sup>

Takehiko Suzuki<sup>1\*</sup>, Mamoru Koarai<sup>2</sup>, Amao KASAHARA<sup>1</sup>, Takayuki Kawai<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 首都大・地理環境, <sup>2</sup> 国土地理院

<sup>1</sup>Tokyo Metropolitan Univ., <sup>2</sup>GSI

相対的高海面期に形成された海成段丘の高度, 特に旧汀線高度に基づき数千年から数十万年間の平均的な地殻変動を復元できることはよく知られている。東北地方太平洋の海岸部にもところにより海成段丘の発達が見られる。これらから宮城県南部から福島県浜通り, 茨城県北東部にかけての常磐海岸の長期間な地殻変動を復元し, それと2011年東北地方太平洋沖地震による地殻変動の関係を考察することは, 当該地域周辺における長期的な地震活動の予測だけでなく, 地形発達過程の説明にも繋がる。本講演では, 相対的高海面期に形成された海成段丘の高度と2011年東北地方太平洋沖地震による上下変動, さらに過去100年間以上に蓄積された水準点測量による測地記録を比較検討する。あわせて常磐海岸周辺に分布する活断層の運動様式も含めて考察する。

#### MIS 5.5 海成段丘の高度変化

MIS 5.5 (12.5 万年前) の最終間氷期最盛期に形成された海成段丘は, 福島県相馬市の浜通りから茨城県北東部にかけて連続的に発達する。浜通りでは小浜面, 茨城県北東部で田尻浜 I 面とよばれ, 南方へは関東平野に広く発達する那珂台地面・東茨城台地面に連続する(鈴木, 1989; Suzuki, 1989)。これら段丘はいずれもテフラに基づき編年され, 同時代に形成された海成段丘であることが確かめられている。それらの旧汀線高度は, 南相馬市付近で約 30 m, 夜ノ森付近では約 50 m, さらに南方の福島第二原発の近くでは約 65m と南相馬市付近の倍の高度となる。このような高度から南部での平均的な隆起速度は 0.5 mm/年 (MIS 5.5 の古海面高度を 5 m として推定), 北部では 0.2 mm/年との推定がなされている (Suzuki, 1989)。より南方のいわき市周辺は海成段丘の発達が悪く, 詳細は不明であるが, 北茨城市付近では旧汀線高度は約 72 m (0.8 mm/年) と高く, 日立市付近で 60 m, 水戸市西方で 50 m と高度を減じる。上記の高度変化には活断層などによる顕著な高度変化は認められず, 全体として緩やかな高度変化を示す。

#### 水準点測量データ

岩沼?いわき?水戸区間, いわき?郡山区間の各路線で 1877 年以降, おもに国土地理院により実施された水準点測量データを整理した。今回取り扱った水準点測量データでは, 区間内での相対的な上下変動の変化はわかるが, 絶対的な上下変動を知ることは難しい。そこで相馬駿潮所 (国土地理院) における 1974?2011 年の年平均潮位観測データを利用し, 岩沼?いわき?水戸区間において, 1978?2002 年を 3 期間に分割して 7-9 年期間毎の上下変動を復元した。それによれば 1978/79-85 年期間以外, いわき周辺を除き, ほぼ沈降傾向ないしはほぼ変化なしの状態にあることがわかる。また, 浜通りで北側沈降, いわき以南ではやや南下がり傾向が認められる。1978/79-85 年期間は全体的に隆起傾向にある。1978 年宮城県沖地震と関連があるのかもしれない。

#### 議論

海成段丘の存在から, 南相馬市付近から南側の常磐海岸は長期的には隆起傾向 (0.2-0.8 mm/年) にあることは確実である。一方で, 今回の 2011 年東北地方太平洋沖地震本震時の上下変動は沈降傾向であり, 国土地理院による本震 (M9.0) に伴う地殻変動等変動量線図 (上下変動量) (<http://www.gsi.go.jp/common/000059956.pdf>) によれば, 福島県浜通り?茨城県北東部にかけて 30-50 cm の沈降が認められる。この変動は, 国土地理院による震源断層モデル (<http://www.gsi.go.jp/common/000060438.pdf>) から計算される上下変動ともあう。また, 相馬駿潮所では, 1984/85-1994 年期間で -13.4 mm/y, 1994-2002 年期間で -2.9 mm/y の年平均沈降速度が得られた。すなわち短い観測期間ではあるが, 過去約 25 年間の通常時 (非地震性) の地殻変動や東北地方太平洋沖地震タイプの地震性地殻変動では, 海成段丘から復元される長期間の地殻変動を説明することができない。ただし, 本震時と逆様式の余効変動があれば説明可能かもしれない。常磐海岸の長期的な隆起傾向を説明するためには, 通常時 (非地震性) の隆起や, 2011 年東北地方太平洋沖地震とは異なるタイプの地震性地殻変動の存在が必要である。常磐海岸周辺域に存在する双葉断層帯や今回活動したとされる井戸沢断層・湯ノ岳断層の活動ではうまく説明できそうにない。一方, 通常時 (非地震性) の水準点測量データは相対

的にはいわき周辺が隆起傾向になることを示し、旧汀線高度の変化と調和的である。これらの変動様式は阿武隈高地がドーム状に隆起すると考えればうまく説明できるかもしれない。しかし、阿武隈高地のドーム状隆起がどのようなタイミングで進むのかは不明である。現段階で説明できないことが多いが、上記問題は当該地域周辺における長期的な地震活動の予測だけでなく、地形発達過程の説明にも繋がるので、今後の検討課題である。

キーワード: 海成段丘, 酸素同位体ステージ 5.5, 阿武隈高地, 2011 年東北地方太平洋沖地震, 水準測量  
Keywords: Marine terrace, MIS5.5, Abukuma Highlands, 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Geodetic data

MIS036-P114

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 沖合津波観測点からの津波逆伝播で推定した2011年東北地方太平洋沖地震の津波波源域

### Tsunami source area of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake by back-propagation from offshore stations

林 豊<sup>1\*</sup>, 対馬 弘晃<sup>1</sup>, 平田 賢治<sup>1</sup>, 木村 一洋<sup>1</sup>, 前田 憲二<sup>1</sup>

Yutaka Hayashi<sup>1\*</sup>, Hiroaki Tsushima<sup>1</sup>, Kenji Hirata<sup>1</sup>, Kazuhiro Kimura<sup>1</sup>, Kenji Maeda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所

<sup>1</sup> Meteorological Research Institute

日本の有史以来最大となる Mw9.0 (気象庁による) の2011年東北地方太平洋沖地震が3月11日に発生した。日本海溝に沿った沈み込み帯のプレート境界面上にはいくつかの系列の繰り返し地震が知られている。本発表では、東北地方およびその周辺地域の太平洋沖に設置されている種々の沖合津波観測施設 (海象計、GPS 波浪計、ケーブル式海底水圧計、DART 式ブイ) で捉えられた津波の到達時刻を使って、この巨大地震による津波波源域を決定するとともに、波源域がどの系列の繰り返し地震の領域を含むかを述べる。

7基のGPSブイと釜石沖のケーブル式海底水圧計TM-1,2の観測データが津波あるいは地震動によって伝送されなくなったが、これら欠測となった観測施設の多くは、津波の到達を検知することに成功している。おそらくは観測停止の原因となった陸上施設の被災前だからだろう。津波逆伝播の解析に当たっては、波源形成時刻の差を考慮に入れるため、震央距離150kmにつき1分遅れると仮定した補正を津波走時に与えた。

得られた津波波源域は、幅約  $2 \times 10^{**}2$ km、長さ約  $5.5 \times 10^{**}2$ kmの領域であり、この波源域には、以下の繰り返し地震発生域 (名称は地震調査委員会による) を含んでいる。なお、[カッコ内]には、各領域の繰り返し地震のうち最新の活動の発生年とマグニチュードを示した。三陸沖北部 [1968, M7.9]、三陸沖中部 [不明]、三陸沖南部海溝寄り [1897, M7.7]、宮城県沖 [1978, M7.4]、福島県沖 [1938, M7.5, M7.3, M7.4]、茨城県沖 [2008, M7.0]。さらに、三陸沖北部から房総沖の海溝寄り、過去に津波地震が発生している領域 [e.g. 1896 Mt8.2] の中央部分も、2011年東北地方太平洋沖地震の津波波源域に含まれている。しかし、三陸沖北部の半分、房総沖の海溝寄り、過去に津波地震が発生した領域 (フィリピン海プレートとの境界ではない) [1677 Mt8.0] は、波源域に含まれていない。

謝辞 本研究には、以下の沖合津波観測施設への津波到達時刻を用いて求めた。国土交通省港湾局 (海象計およびGPSブイ)、海洋研究開発機構 (ケーブル式海底水圧計KPG-1,2)、東京大学地震研究所 (ケーブル式海底水圧計TM-1,2)、気象庁 (ケーブル式海底水圧計Boso-2,3)、米国大気海洋庁 (DART式ブイDART21413, 21418)、ロシア極東水文研究所 (DART式ブイDART21401)。

キーワード: GPS 波浪計, ケーブル式海底水圧計, DART ブイ, 津波走時, 津波波源域, 連動型地震

Keywords: RTK-GPS buoy, cabled ocean bottom pressure gage, DART buoy, tsunami travel time, tsunami source area, multi-segment earthquake

MIS036-P115

会場: コンベンションホール

時間: 5月27日 14:15-16:15

## 2011年東北地方太平洋沖地震津波に対する近地津波予測手法の適用 Experimental tsunami forecasting of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake from offshore tsunami data

対馬 弘晃<sup>1\*</sup>, 平田 賢治<sup>1</sup>, 林 豊<sup>1</sup>, 谷岡 勇市郎<sup>2</sup>, 木村 一洋<sup>1</sup>, 酒井 慎一<sup>3</sup>, 篠原 雅尚<sup>3</sup>, 金沢 敏彦<sup>3</sup>, 日野 亮太<sup>4</sup>, 前田 憲二<sup>1</sup>  
Hiroaki Tsushima<sup>1\*</sup>, Kenji Hirata<sup>1</sup>, Yutaka Hayashi<sup>1</sup>, Yuichiro Tanioka<sup>2</sup>, Kazuhiro Kimura<sup>1</sup>, Shin'ichi Sakai<sup>3</sup>, Masanao Shinohara<sup>3</sup>,  
Toshihiko Kanazawa<sup>3</sup>, Ryota Hino<sup>4</sup>, Kenji Maeda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所, <sup>2</sup> 北海道大学大学院理学研究科, <sup>3</sup> 東京大学地震研究所, <sup>4</sup> 東北大・理・予知セ

<sup>1</sup>Meteorological Research Institute, <sup>2</sup>Hokkaido University, <sup>3</sup>ERI, University of Tokyo, <sup>4</sup>RCPEV, Tohoku University

本講演では、2011年東北地方太平洋沖地震に伴う巨大津波に対して、沖合津波波形の逆解析に基づく近地津波予測手法を適用した結果を報告する。2011年3月11日、岩手県沖から茨城県沖にかけての日本海溝沿いで発生した巨大地震により、大規模な津波が励起され、東北地方から関東地方の太平洋沿岸の広い地域に甚大な被害をもたらした。この津波は、日本周辺の沖合に設置されたケーブル式海底水圧計（例えば、Kanazawa and Hasegawa, 1997）、GPS 波浪計（例えば、Kato et al., 2005）および DART システム（例えば、Titov et al., 2005）により明瞭に捉えられた。なかでも、北海道から東北地方にかけて設置された海底水圧計や GPS 波浪計の多くでは、震源域に近い沿岸検潮所での水位上昇が 1 m に達する 10 分以上前に、1 m 以上の津波を観測した。本研究では、こうした早期津波検知に有効な沖合津波波形データに、Tsushima et al. (2009) により開発された近地津波予測手法 tsunami Forecasting based on Inversion for initial sea-Surface Height (tFISH) を適用し、M9 クラスの地震津波に対して tFISH が有効に機能しうるかを調べた。

近地津波予測手法 tFISH では、沖合津波波形データを用いた逆解析により津波波源である初期波高分布を推定し、その波高分布とグリーン関数を用いた波形合成により沿岸での津波波形を予測する。一連の計算は 1 分以内で完了するため、最新の沖合津波データを即座に津波予測値に反映させることができる。ここでは、釜石沖と釧路沖の海底水圧計（それぞれ、東京大学地震研究所、海洋研究開発機構）と、東北地方太平洋側に設置された GPS 波浪計（国土交通省）の計 9 点の沖合津波観測点の記録を用いた。地震発生後 20 分を想定して tFISH を適用した。この時点では、東京大学地震研究所・東北大学による釜石沖のケーブル式海底水圧計 TM1 および TM2 において 5 m におよぶ水位変化が捉えられている。予測計算の結果、波源域に近い岩手県の宮古、釜石、大船渡の検潮所で 6-14 m の波高の津波第一波が予測された。検潮所が被災したため定量的な評価はできないが、巨大な津波が沿岸に迫っていることは予測できている。また、これらの検潮所で実際の津波に伴う水位上昇が 1 m を超え始めたのは地震発生後 25 分以降であるため、5 分以上の時間的猶予をもって、こうした予測結果を得ることができる。この結果は、tFISH が M9 クラスの地震津波の予測に貢献しうることを示す。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 即時津波予測, 海底水圧計, GPS 波浪計

Keywords: the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, real-time tsunami forecasting, ocean bottom pressure gauge, GPS buoy

MIS036-P116

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 2011年東北地方太平洋沖地震の津波波源 Tsunami source of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku, Japan earthquake

藤井 雄士郎<sup>1\*</sup>, 佐竹 健治<sup>2</sup>, 酒井 慎一<sup>2</sup>, 篠原 雅尚<sup>2</sup>, 金沢 敏彦<sup>2</sup>

Yushiro Fujii<sup>1\*</sup>, Kenji Satake<sup>2</sup>, Shin'ichi Sakai<sup>2</sup>, Masanao Shinohara<sup>2</sup>, Toshihiko Kanazawa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 建築研究所 国際地震工学センター, <sup>2</sup> 東京大学 地震研究所

<sup>1</sup>IISEE, Building Research Institute, <sup>2</sup>ERI, University of Tokyo

津波波形インバージョンにより, 2011年東北地方太平洋沖地震の津波波源を推定した。その結果, 大きな津波波源は海溝軸付近にあり, 三陸沖と宮城沖の深いプレート間タイプの断層もすべったことが分かった。海底津波計と沖合のGPS波浪計では, 最初海面が徐々に2 m程度上昇した後, さらに3-5 mの大振幅の津波が記録されている。これら沖合の記録計の他に検潮所と海象計を加えた合計33ヶ所の観測記録から推定したすべり分布では, 30 m以上の大きなすべりが海溝軸付近に位置している。この浅い領域のすべりは, 1896年の三陸津波地震と似ているが, よりすべり量が大きく, 観測津波波形に見られる大振幅のピークに寄与している。さらに, 三陸沖と宮城沖の震央付近にある10 m以上のプレート間すべりは, すでに提案されている869年の貞観地震の断層モデルに類似している。このすべりは, 観測津波波形の最初の緩やかな水位上昇に寄与しており, おそらく仙台・石巻平野の広範囲で津波が浸水した要因であると考えられる。その他のプレート間すべりは福島沖で約4 m, 茨城沖で2 m以下であった。推定された地震モーメントは,  $3.2 \times 10^{22}$  Nm ( $M_w = 8.9$ )である。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 津波波源, 津波波形インバージョン, 海底津波計, GPS波浪計, 検潮所

Keywords: 2011 Tohoku earthquake, Tsunami source, Tsunami waveform inversion, Ocean bottom sensor, GPS buoy, Tide gauge

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



MIS036-P117

会場: コンベンションホール

時間: 5月27日 14:15-16:15

## 津波波源の生成時に励起されたインフラサウンド・シグナル Infrasound signals excited by uplift and subsidence of ocean surface during the tsunami genesis in 11 March event

新井 伸夫<sup>1\*</sup>, 村山貴彦<sup>1</sup>, 岩國真紀子<sup>1</sup>, 野上麻美<sup>1</sup>  
Nobuo Arai<sup>1\*</sup>, Takahiko Murayama<sup>1</sup>, Makiko Iwakuni<sup>1</sup>, Mami Nogami<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 日本気象協会

<sup>1</sup> Japan Weather Association

Observed infrasound records at IMS (International Monitoring System for CTBT verification regime) stations in East Asia relating to the disastrous tsunamigenic earthquake occurred at Mar. 11, 2011 in Japan have been analyzed. Long period acoustic signals which might be excited by the uplifting and subsiding ocean surface during the tsunami genesis were detected in the records observed at IS30 (Japan), IS34 (Mongolia) and IS45 (Russia). The on-set time of these signals coincided with the time predicted based on the distance between the tsunami source region and each station, and the shape of these signals also coincided with the water level changes of the tsunami source estimated by the fault model of the event. IS34 and IS45 are located in the direction along the fault width, and IS30 is located in the direction along the fault length. Infrasound signals observed at both IS34 and IS45 have relatively shorter wave-lengths than the signal at IS30. It also coincided with the geographical relation between the tsunami source and stations.

キーワード: インフラサウンド, 津波波源, 国際監視観測網

Keywords: Infrasound, Tsunami source, International Monitoring System

MIS036-P118

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 津波の逆伝播から推定される2011年東北地方太平洋沖地震の津波波源 Tsunami source of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake estimated from tsunami back propagation

上野 俊洋<sup>1\*</sup>, 佐竹 健治<sup>1</sup>, 酒井 慎一<sup>1</sup>, 篠原 雅尚<sup>1</sup>, 金沢 敏彦<sup>1</sup>  
Toshihiro Ueno<sup>1\*</sup>, Kenji Satake<sup>1</sup>, Shin'ichi Sakai<sup>1</sup>, Masanao Shinohara<sup>1</sup>, Toshihiko Kanazawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup> Earthquake Research Institute

津波逆伝播の手法を用いて2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)の津波波源を調べた。その結果、波源は海溝軸に沿って南北に約400km、東は海溝付近まで広がっていることが分かった。また海底津波計やGPS波浪計で見られた大きな振幅(1618mの水深において約5m)をもつ短周期(約10分)の津波の波源は、宮城県沖の海溝付近の領域と推定された。

2011年東北地方太平洋沖地震によって発生した津波は東北・関東の太平洋沿岸に甚大な被害をもたらした。釜石沖の海底津波計(東大)、GPS波浪計(国土交通省港湾局)で非常に特異な津波波形が観測された。数十分程度の比較的長い周期の押し波が襲来した後に、周期が10分前後という非常に短周期で、水深1618mの深海においても約5mの大きな振幅をもつ特徴的な波が見られた。本研究では、これらの海底津波計・GPS波浪計に加えて、JAMSTECやNOAAの海底水圧計や、気象庁や海上保安庁、国土地理院の検潮所に記録された津波波形から、逆伝播の手法を用いて津波波源の推定を行った。津波逆伝播とは、ある時刻から地震発生時まで観測点からの波面を遡る手法である。震源を取り囲む方位の計40点で記録された波形を用いた。

まず津波の初動からの逆伝播から、津波波源の広がり の推定を行った。それによると波源は、南北に約400kmの長さで海溝付近まで広がっていることが分かった。ただし波源の北端付近では、逆伝播の波面が非常に複雑なパターンを示していたことから、北端付近の波源の広がりにはさらに詳細な検討が必要と思われる。

次に短周期の特徴的な波の波源を推定するために、この波の立ち上がり と終わりの時刻からそれぞれ逆伝播を行った。その結果この短周期の津波波源は、宮城県沖合の海溝軸付近に位置することが分かった。その領域での津波の位相速度(約200m/s)と、波の立ち上がりから終わりまでの時間(5分)から、特徴的な津波の波源の水平スケールは約60kmと推定された。

キーワード: 津波, 2011年東北地方太平洋沖地震, 逆伝播

Keywords: tsunami, the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, back propagation

MIS036-P119

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 2011年 Mw9.0 東北地方太平洋沖地震による津波の遡上高の分布と地震断層すべりとの関係 Run-up height distribution of tsunami caused by the 2011 Mw 9.0 Off Pacific Coast of Tohoku earthquake and its seismic i

林 愛明<sup>1\*</sup>, 饒 剛<sup>1</sup>, 生田領野<sup>2</sup>  
Aiming Lin<sup>1\*</sup>, Gang Rao<sup>1</sup>, Ryoya Ikuta<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 静岡大学創造科学技術大学院, <sup>2</sup> 静岡大学理学部地球科学科

<sup>1</sup>Graduate School, Shizuoka University, <sup>2</sup>Faculty of Science, Shizuoka University

On 11 March 2011, at 02:46:23 PM local time 2011, a moment magnitude 9.0 earthquake (called 2011 Off Pacific Coast of Tohoku Earthquake) occurred in the off shore of the northeast Japan, resulting in extensive damage throughout east-northeast Japan, including more than 14,100 deaths and 13,500 missing and ~5,000 injured.

The epicenter is located on the off shore near the plate boundary between the Pacific plate and the North American plate, 130 km east of Sendai City, Miyagi Prefecture, northeast Japan. Seismic inversion analyses reveal that a maximum thrust slip of >20 m occurred on a 500-km-long fault plane (USGS, 2011; Yagi and Nishimura, 2011). Such large thrusting slip along the plate boundary between the Pacific plate and the North American plate resulted in an enormous tsunami that caused great damage along the north-south striking coast parallel to the plate boundary.

It is reported that the tsunami-induced inundation areas are distributed in a wide corridor along the coast with the tsunami wave height of >35 m, resulting in serious secondary damage after the main shock, however, the tsunami run-up height distribution and its relations with coseismic slips remain unclear. In the present study, we report the analytical results of tsunami run-up height using high-resolution remote sensing imagery data, including ALOS and Google images and aerial photographs, acquired before and after the 2011 earthquake and digital elevation data, and calculated coseismic slips on the fault plane. Based on the analytical results, we conducted fieldworks in the early April to validate the interpretations and compared the run-up heights with the GPS observations and calculated seismic slips on the fault plane.

Analytical results and field investigations reveal that the run-up heights are up to >20-30m in Ishinomaki-Miyako areas and decreases south- and northward gradually. The distribution pattern of run-up heights is consistent with that of ground displacements indicated by GPS observations and calculated coseismic slips on the fault plane along the plate boundary. The findings indicate that the run-up height is closely related to the coseismic slip on the source fault along the plate boundary between the Pacific plate and the North American plate.

We thank JAXA for providing the ALOS imagery data and Geospatial Information Authority of Japan for providing the aerial photographs and 25,000 topographical maps and digital elevation data timely. This work was supported by the Center for Synthesis Disaster Prevention, Shizuoka University and a Science Project (Project no. 23253002 for A. Lin) of the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology of Japan.

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 津波, 遡上高, 断層すべり, プレート境界, ALOS 画像

Keywords: Off Pacific Coast of Tohoku earthquake, tsunami, run-up height, seismic slip, plate boundary, ALOS image



MIS036-P120

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 東北地方太平洋沖地震に伴う津波の高解像度浸水域・遡上高調査 High resolution survey results for the inundation limit and height of the 2011 Tohoku earthquake tsunami

阿部郁男<sup>9</sup>, 阿部 朋弥<sup>10</sup>, 新井 和乃<sup>7</sup>, 藤間功司<sup>3</sup>, 藤野 滋弘<sup>8</sup>, 郷右近英臣<sup>1</sup>, 後藤 和久<sup>2</sup>, 原田 賢治<sup>6</sup>, 原口 強<sup>5</sup>, 今井 健太郎<sup>1</sup>, 今村文彦<sup>1</sup>, 越村 俊一<sup>1</sup>, 村嶋陽一<sup>11</sup>, 成瀬 元<sup>7</sup>, 門廻充侍<sup>4</sup>, 嶋原 良典<sup>3</sup>, 菅原 大助<sup>1</sup>, 高橋 智幸<sup>4\*</sup>, 津高亮太<sup>3</sup>, 山下 翔大<sup>7</sup>

Ikuo Abe<sup>9</sup>, Tomoya Abe<sup>10</sup>, Kazuno Arai<sup>7</sup>, Koji Fujima<sup>3</sup>, Shigehiro Fujino<sup>8</sup>, Hideomi Gokon<sup>1</sup>, Kazuhisa Goto<sup>2</sup>, Kenji Harada<sup>6</sup>, Tsuyoshi Haraguchi<sup>5</sup>, Kentaro Imai<sup>1</sup>, Fumihiko Imamura<sup>1</sup>, Shunichi Koshimura<sup>1</sup>, Yoichi Murashima<sup>11</sup>, Hajime Naruse<sup>7</sup>, Shuji Seto<sup>4</sup>, Yoshinori Shigihara<sup>3</sup>, Daisuke Sugawara<sup>1</sup>, Tomoyuki Takahashi<sup>4\*</sup>, Ryota Tsudaka<sup>3</sup>, Shota Yamashita<sup>7</sup>

<sup>1</sup> 東北大学, <sup>2</sup> 千葉工業大学, <sup>3</sup> 防衛大学校, <sup>4</sup> 関西大学, <sup>5</sup> 大阪市立大学, <sup>6</sup> 静岡大学, <sup>7</sup> 千葉大学, <sup>8</sup> 筑波大学, <sup>9</sup> 富士常葉大学, <sup>10</sup> 名古屋大学, <sup>11</sup> 国際航業株式会社

<sup>1</sup>Tohoku University, <sup>2</sup>Chiba Institute of Technology, <sup>3</sup>National Defense Academy of Japan, <sup>4</sup>Kansai University, <sup>5</sup>Osaka City University, <sup>6</sup>Shizuoka University, <sup>7</sup>Chiba University, <sup>8</sup>University of Tsukuba, <sup>9</sup>Fuji Tokoha University, <sup>10</sup>Nagoya University, <sup>11</sup>Kokusai Kogyo Holdings Co., LTD.

An earthquake of magnitude 9.0 occurred off the Pacific coast of Tohoku, Japan, on March 11, 2011. The tsunami devastated the northeast coasts of the Tohoku district and the maximum run-up height was measured nearly 39 m at Sanriku area. The remarkable feature of this tsunami was the range of inundation areas. In fact, on the Sendai plain, the tsunami inundated more than 5 km inland. Emergency field surveys were conducted by many Japanese groups in the devastated area and they measured the inundation depths or building damages near the shore. Satellite and aerial photographs were studied by multiple societies, universities and companies, and inundation limit was estimated from such photographs immediately after the tsunami. We also measured the inundation limit of the northeast coast of the Tohoku district by the analysis of the ALOS AVNIR2 image that was taken on 14th March.

In order to validate the results of the satellite image analysis and to confirm the maximum inundation limit in the wide area, we organized a research group and conducted high-resolution surveys of the inundation limit and height in the few-centimeter accuracy by using GPS measurement system (Promark3) in Miyagi, Iwate, and Aomori prefectures. The horizontal measurement interval is ranging from approx. 500 m to few kilometers and we measured nearly 300 sites until the end of April.

We preliminarily confirmed that the inundation limit estimated from the satellite image is well consistent with the field measurement results at most places, although there are some exceptions that might have not been interpreted from the satellite images. We still continue our survey to cover whole devastated area before the tsunami watermarks were removed or washed away in the rainy season.

This research is funded by Tohoku University. The survey team member is listed in an alphabetical order.

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震津波, 現地調査, 津波浸水域, GPS 測位

Keywords: The 2011 Tohoku tsunami, Field survey, Tsunami inundation extent, GPS measurement

MIS036-P121

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 東北地方太平洋沖地震による津波についての広域現地調査 北海道から岩手県の太平洋岸

### Preliminary result of field survey on the 2011 Tohoku earthquake tsunami along the Pacific coast of Hokkaido

西村 裕一<sup>1\*</sup>, 中村有吾<sup>1</sup>, 伊尾木圭衣<sup>1</sup>, プルナ プトラ<sup>1</sup>, アディティア グスマン<sup>1</sup>  
Yuichi Nishimura<sup>1\*</sup>, Yugo Nakamura<sup>1</sup>, Ioki Kei<sup>1</sup>, Purna Putra<sup>1</sup>, Aditya Gusman<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学

<sup>1</sup>Hokkaido University

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震により発生した津波は、東北地方のみならず日本各地に広がり大きな被害をもたらした。津波の高さや遡上範囲は、全国の研究機関等の研究者らにより結成された東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループにより効率的に行われている。我々は、このグループの活動の一環として北海道から岩手県にかけての太平洋岸で調査を実施した。北海道の調査は、津波注意報が解除された3月14日の朝から、また東北地方の調査は3月27日から実施した。調査は北海道43カ所、東北地方36カ所で行った。津波の浸水高や遡上高、遡上範囲は、港や集落では建物に残されたウォーターマーク、自然海岸では木々の枝折れや枝上に残された浮遊物、地表の侵食範囲や浮遊物帯を根拠にして求め、できるだけ複数の根拠から津波の陸上での挙動を理解することに努めた。その結果、北海道の太平洋岸では根室から函館の広い範囲に渡って2-4mであったこと、津波は襟裳岬周辺で特に大きく、場所によっては5-6mに達していたことがわかった。また東北地方では、青森県の三沢海岸で5-10m、宮古市周辺では30mを越える場所もあった。津波の高さは、防波堤で囲まれた港の内部に比べると、外洋に面した自然海岸では約1.5倍程度であることも確認された。三陸海岸特有の深い谷地形では、20-30mの津波が谷の両側斜面と底部を侵食し、場所によっては1km以上奥まで侵入していた。三沢海岸や三陸海岸では、津波の挙動と津波による地表侵食や堆積物の特徴との関係にも着目して調査を行った。

キーワード: 東北津波, 津波痕跡, 津波堆積物, 遡上高, 浸水高

Keywords: Tohoku tsunami, tsunami evidence, tsunami deposit, runup height, flow height

MIS036-P122

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 仙台・石巻平野における 869 年貞観地震と 2011 年東北地方太平洋沖地震の津波浸水域の比較

### Comparison of tsunami inundation limit between the 869 Jogan earthquake and the 2011 Tohoku earthquake

穴倉 正展<sup>1\*</sup>, 澤井 祐紀<sup>1</sup>, 行谷 佑一<sup>1</sup>, 谷川 晃一朗<sup>1</sup>

Masanobu Shishikura<sup>1\*</sup>, YUKI SAWAI<sup>1</sup>, Yuichi Namegaya<sup>1</sup>, Koichiro Tanigawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>産総研 活断層・地震研究センター

<sup>1</sup>Active Fault Earthq. Res. Ctr., AIST/GSJ

2011 年東北地方太平洋沖地震の津波によって内陸奥まで運ばれた砂質堆積物の到達限界と実際の津波浸水域との違いを現地調査によって確認し, 869 年貞観地震の浸水域と砂質堆積物同士で比較した結果, 大まかに見て両者の浸水規模は同程度だったと考えられる。

869 年貞観地震は平安時代の歴史書である日本三代実録に記録された津波を伴う巨大地震である。津波堆積物調査に基づけば, 仙台平野や石巻平野では当時の海岸線から少なくとも 3-4 km 内陸まで, 福島県南相馬市などでは 1 km 以上内陸まで浸水したことが明らかになっており, その浸水域を説明する断層モデルも検討している(澤井ほか, 本大会緊急セッション参照)。貞観地震はその浸水規模から, 2011 年東北地方太平洋沖地震との類似性が指摘されるが, これまで推定されていた断層が宮城県沖から福島県沖にかけて長さ 200 km, 幅 100 km, でモーメントマグニチュード 8.4 であることから, 一見すると, 2011 年の地震の方が規模が大きいように見受けられる。ただし, 貞観の断層モデルはあくまでも津波堆積物が発見された地域のみを対象にして計算しており, 地層の痕跡が未発見の三陸海岸や茨城県沿岸での津波浸水を考慮に入れていないため, 今後の調査の結果次第で断層モデルがさらに南北に延び, 2011 年の地震と同規模になる可能性がある。また津波浸水域の推定においても, 地層として明瞭に確認できる砂質堆積物の分布範囲で判断しており, 実際の津波の水は砂質堆積物の到達する限界よりもさらに内陸へ浸水していくと考えられることから, 従来推定されている貞観地震の津波浸水域はミニマムのものであることに留意する必要がある。

筆者らは以上のことを踏まえ, 2011 年地震の津波における砂質堆積物の内陸への到達限界と水の到達限界の違いを明確にし, さらに貞観地震の津波堆積物(砂質堆積物)の到達限界との比較を行うため, 仙台平野および石巻平野においてこれまで津波堆積物調査を行ってきた測線沿いで津波後の調査を行った。その結果 2011 年地震の津波において, 砂質堆積物の内陸への到達限界は海岸線から約 2.2~3.2 km に及んでいるが, 実際の津波の水はそこからさらに約 1.2~1.9 km 内陸まで達していたことを確認した。

貞観地震の砂質堆積物の分布と比較すると, 仙台市や石巻市, 亘理町などの測線で貞観の方が 0.9~1.7 km 程度, より内陸まで分布している。貞観地震当時の海岸線は現在よりも 1.0~1.5 km 程度内陸に位置していたことを考慮すると, 両者の砂質堆積物の到達限界はほぼ同程度ということになる。しかし場所により同じ仙台市の測線でも 2011 年の津波の方が内陸まで到達しているケースがあったり, 2011 年の津波で浸水高が非常に大きい地域でも人工構造物の影響で砂質堆積物がまったく分布していない地域などもあったりしており, 貞観と 2011 年とは同一条件で比較することは難しい。したがって大まかに見て両者は同規模だが, 現時点で厳密な比較の議論はできない。

しかしながら今回の津波による砂質堆積物と水の到達限界の違いから見て, 貞観の津波における砂質堆積物の分布限界から水はさらに 1~2 km 程度内陸まで浸水していた可能性を強く示唆しており, 従来の推定浸水域よりも実際は規模が大きかった可能性が非常に高い。今後, 砂質堆積物と水との到達限界に関するデータをさらに多くの地点で取得し, 定量的な議論を重ねることで, 将来, 津波堆積物の調査から過去の津波のより正確な浸水規模の復元に役立てることができらるだろう。

キーワード: 2011 年東北地方太平洋沖地震, 869 年貞観地震, 津波堆積物, 津波浸水域, 仙台平野, 石巻平野

Keywords: 2011 off-Tohoku earthquake, 869 Jogan earthquake, tsunami deposit, tsunami inundation area, Sendai Plain, Ishinomaki Plain

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



MIS036-P123

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 2011年東北地方太平洋沖地震津波に伴った津波堆積物 -仙台平野南部, 日上市, 鹿嶋市, 蓮沼海岸における観察例- Tsunami deposits associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake -examples from Miyagi and Chiba-

谷川 晃一郎<sup>1</sup>, 澤井 祐紀<sup>1\*</sup>, 宍倉 正展<sup>1</sup>, 行谷 佑一<sup>1</sup>, 木村 治夫<sup>1</sup>, 楢原 京子<sup>1</sup>, 宮下 由香里<sup>1</sup>, 藤井 雄士郎<sup>2</sup>, 藤原 治<sup>1</sup>  
Koichiro Tanigawa<sup>1</sup>, YUKI SAWAI<sup>1\*</sup>, Masanobu Shishikura<sup>1</sup>, Yuichi Namegaya<sup>1</sup>, Haruo Kimura<sup>1</sup>, Kyoko Kagohara<sup>1</sup>, Yukari Miyashita<sup>1</sup>, Yushiro Fujii<sup>2</sup>, Osamu Fujiwara<sup>1</sup>

<sup>1</sup>産総研 活断層・地震研究センター, <sup>2</sup>建築研究所 国際地震工学センター

<sup>1</sup>AIST, GSJ, <sup>2</sup>Building Research Institute

仙台平野南部, 茨城県日上市および鹿嶋市, 千葉県九十九里浜において, 2011年東北地方太平洋沖地震の津波に伴った津波堆積物の観察を行った。

仙台平野南部では, 山元町の磯浜地域と牛橋河の周辺において測線を設け, 測線沿いで堆積物の層厚, 堆積構造などを観察した。その結果, 海側から陸側に向かって薄層化していくことが確認された。

茨城県日上市では水田に堆積した砂層を観察したところ, その堆積構造や分布状態から判断して, 川沿いに分布する堆積物は海水の遡上に伴って堆積したことが推定された。茨城県鹿嶋市や千葉県蓮沼地域では, 海の近くのアスファルトに堆積した津波堆積物の堆積構造や層厚を観察した。その結果, 山元町と同様に, 海側から陸側に向かって薄層化していくことや堆積当時の流向を表すリップルマークが確認された。

これらの津波堆積物のうち, 日上市, 鹿嶋市, 蓮沼地域において採取された試料について珪藻化石を検討したところ, 淡水生や海水生珪藻が混じっている混合群集が確認された。

キーワード: 津波堆積物, 2011年東北地方太平洋沖地震, 仙台平野, 茨城, 千葉

Keywords: Tsunami deposit, 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, Sendai Plain, Ibaraki, Chiba

## 2011年東北地方太平洋沖地震による北海道太平洋岸津波の緊急調査結果 Urgent survey of the tsunami of "The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake" on the Pacific coast of Hokkaido

小澤 聡<sup>1\*</sup>, 岡崎 紀俊<sup>1</sup>, 仁科 健二<sup>1</sup>, 川上 源太郎<sup>1</sup>, 大津 直<sup>1</sup>, 鈴木 隆広<sup>1</sup>, 田村 慎<sup>1</sup>, 森野 祐助<sup>1</sup>, 柴田 智郎<sup>1</sup>, 廣瀬 亘<sup>1</sup>, 高橋 良<sup>1</sup>, 石丸 聡<sup>1</sup>, 垣原 康之<sup>1</sup>, 荻野 激<sup>1</sup>, 八幡 正弘<sup>1</sup>, 田近 淳<sup>1</sup>

Satoshi Ozawa<sup>1\*</sup>, Noritoshi Okazaki<sup>1</sup>, Kenji Nishina<sup>1</sup>, Gentaro Kawakami<sup>1</sup>, Sunao Ohtsu<sup>1</sup>, Takahiro Suzuki<sup>1</sup>, Makoto Tamura<sup>1</sup>, Yusuke Morino<sup>1</sup>, Tomo Shibata<sup>1</sup>, Wataru Hirose<sup>1</sup>, Ryo Takahashi<sup>1</sup>, Satoshi Ishimaru<sup>1</sup>, Yasuyuki Kakiyama<sup>1</sup>, Tagiru Ogino<sup>1</sup>, Masahiro Yahata<sup>1</sup>, Jun Tajika<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道立総合研究機構地質研究所

<sup>1</sup> Geological Survey of Hokkaido

2011年3月11日に発生した「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」では、気象庁によれば、宮城県栗原市で震度7、宮城県、栃木県、茨城県、福島県にまたがる広い範囲で震度6強の強い揺れを観測。北海道では太平洋側の広い地域で最大で震度4の揺れを観測した。この地震による津波は、震源域に近い東北地方から関東地方の太平洋岸で大災害を引き起こし、更に北海道沿岸の各地においても、北海道庁(2011年4月14日まとめ)によれば、人的被害[死者1名、軽傷3名]、住宅被害[床上浸水(294棟)・床下浸水(435棟)]、水産被害[漁港・漁湾海岸・漁場(148件)]、水産関連施設(318件)、漁船(768件)・養殖施設(16組合)]などの被害を発生させた。

地質研究所では、地震発生後直ちに津波調査本部を設置。北海道大学地震火山研究観測センター及び札幌管区気象台と連携して、北海道の太平洋沿岸の港湾や河川、砂浜に残った津波の痕跡高(標高値)の測量及び津波堆積物の観察などを目的とする緊急調査を実施した。第1次調査は道南、道央、道東に分けて3班(3/14~3/16:7名)の現地調査を実施。その後、補足及び対象・地域を絞った第2次調査1班(3/17~3/18:2名)及び第3次調査2班(3/23~3/24:2名、3/23~3/26:2名)を実施した。

痕跡高の測量には、主にGPS測量を行い、ハンドレベルでGPS測量地点から痕跡までの差高を測量した。また一部の地点では、測定時の潮位など標高値が分かる目印からハンドレベルで痕跡高を測量した。さらに気象庁の潮位観測情報から津波最大波到達時の潮位を求めて、浸水高(潮位面からの津波の高さ)を算出した。

調査結果から浸水高は、測量地点周辺の沿岸地形の影響などによると思われるばらつきがあるものの、おおよその傾向としては、襟裳岬周辺から白糠町付近までが最も高くなり3m~5m程度(最高は、釧路市音別町キナシベツ海岸の5.7m)、その西側(函館市~内浦湾岸~苫小牧市~浦河町)では1m~3m程度、その東側(釧路市~根室市)では1m~4m程度で東に向かって低くなる、という傾向が認められる。

なお当所では、調査結果をGISデータとして取りまとめ、3/23からWebGISサイト(<http://webgis.gsh.hro.or.jp/tsunami/>)でインターネット情報発信を行っているので、ご参照ください。

キーワード: 津波浸水高, 津波堆積物, 2011年東北地方太平洋沖地震, 北海道

Keywords: tsunami height, tsunami sediments, The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Hokkaido

## 2011年東北地方太平洋沖地震による津波の特徴的 maximum 水位分布 Characteristic maximum heights observed in the 2011 Tohoku Earthquake Tsunami

阿部 邦昭<sup>1\*</sup>

Kuniaki Abe<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 日本歯科大学新潟短大

<sup>1</sup> Junior College at Niigata, NDU

序論) 2011年3月11日14時46分に牡鹿半島東南東沖で発生した東北地方太平洋沖地震(M:9.0)によって発生した津波は北海道から千葉県の太平洋沿岸部までの広い範囲で陸上に遡上し2万を越す死者・行方不明者を出している。これについて3月19日から4月10日までの間に3回に分けて痕跡調査を実施して、青森県三沢港から福島県相馬港にかけての沿岸部の最大水位分布を求めたので報告する。水位は全て東京湾平均水位を基準とする値で表示する。

方法) 水位は海に近づける海岸で出来るだけ山を背景とした所を選んで津波の痕跡を探し、レベルとスケールを使って測定時の海面からの高さとして測定した。手が届かない位置にある痕跡高については迎角に対して3角法を使って高さを求めた。測定後予測潮位曲線をもとに潮位の補正をして東京湾平均水位からの高さに換算した。その時基準として使用した曲線は八戸、宮古、大船渡、鮎川の中で最も観測点に近い検潮所の予測潮位曲線である。

結果) 測定点は総数56点(田老湾のみ周辺の3点を含む)で、測定結果を棒グラフにして図1に示す。これによると最大水位は青森県南部から宮古市周辺にかけて増加した後、岩手県南部に掛けて減少し、宮城県北部でやや回復した後、牡鹿半島を過ぎると減少するというパターンを示す。最大値は宮古の北13kmにある重津部の34.6m、最小値は三沢漁港の5.3m、平均値は14.6mである。ばらついている高さの値で突出して高い所は外海に面しているか、田老湾のように奥行き短い湾(短周期湾)に属している。なかでも20mを越す高さの場所は野田港を除けば全て崖の中で狭いV字谷構造をしていることが、海拔20mの等高線を描いてみる事で確かめられる。このことは突出した高さは狭い谷間に押し寄せた津波が遡上して左右から集積し高くなった事を示している。これは今回の津波に限ったことではなく過去の津波でも起こっていて、1896年三陸津波の綾里湾の38.2m、1993年北海道南西沖地震津波の奥尻島藻内の30.6m等がこの関係を満たしている。注目すべき事は陸上の地形からだけで指摘出来る事で外海に近い事を除けば局地的に表れる事に対応している。これは局地的な地形に応答するような短周期成分を津波が含んでいた事を示す。

次に、外海から見ると奥にある周期の長い湾の湾奥の水位であるが、湾の入り口で外海に面する海岸の数少ないデータと比べると、ほとんど減衰する事なく同じ高い水位で観測されている。このことは1933年の三陸津波が長い湾で減衰し、湾奥に高い水位をもたらさなかった事と対照的である。このことは長い周期成分が津波に含まれていないと説明出来ない。短い周期成分だけだと屈折効果が効いて湾口に集積するからである。実際、岩手県南部沖で観測されたGPS波浪計の津波波形を見ると押し波第1波と第2波の間隔は34分になっている。これが長周期成分のもとになっていると考えられる。ちなみに波源域の幅を200kmで半波長とし、平均水深を3000mとすれば周期は39分になって、観測された34分を近似的に説明出来る。この長い周期成分は長い湾の水位を高くした他に、平坦な海岸部での海岸から長い距離(福島県新地町では約2km)の浸水を可能にした原因の一つでもある。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 津波, 痕跡調査, V字谷, 湾

Keywords: the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, tsunami, field survey, V shaped valley, bay

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



MIS036-P126

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## Multiscale Tsunami Simulation of Tohoku Earthquake Multiscale Tsunami Simulation of Tohoku Earthquake

David Yuen<sup>1\*</sup>

David Yuen<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>University of Minnesota

<sup>1</sup>University of Minnesota

Multi-scale Tsunami Simulation of Tohoku Earthquake

David L. George, USGS, Vancouver, Washington, U.S.A.

David A. Yuen, and Erik O.D. Sevre,

Dept. of Geology and Geophysics, University of Minnesota, Minneapolis, MN 55455-0219, U.S.A.

Shigenori Maruyama, Dept. of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, 153, Tokyo, Japan

Y. Yanai and Atshushi Utsunomiya, Japan Geocommunications Co. Ltd, Shinjuku, Tokyo, Japan

The recent M 9.0 Tohoku earthquake has dealt northeast Japan a great blow and the resultant tsunami waves have caused great destruction and loss of lives. We have employed state-of-the-art numerical methods to study the tsunami run-up problem by means of a high-resolution finite volume method with special focus on the inundation problem. The Riemann solver under the auspices of the GEOCLAW package is applied to the nonlinear shallow-water equations that works robustly with fine-scale seafloor bathymetry and dry states associated with the land and the buildings. Very high-resolution bottom seafloor topography near the Japanese coast, less than 100 meters, was employed in this study.

We have employed the adaptive mesh refinement (AMR) method to study this multi-scale phenomenon of tsunami waves interacting with the coast. Grid sizes vary greatly by more than two-orders in magnitude allowing for multi-resolution capability. We are particularly interested in the waves coming toward the nuclear plant at Fukushima and to study the maximum height of the waves leaping over the building structures along the coast. The influences of high-resolution bathymetry on amplifying the run-up waves will be emphasized.

キーワード: tsunami, riemann solver, run-up waves, adaptive mesh refinement

Keywords: tsunami, riemann solver, run-up waves, adaptive mesh refinement

MIS036-P127

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 仙台平野若林区の沿岸低地を遡上した津波の堆積物の特徴 Characteristics of the recent onshore tsunami deposits in coastal lowland, Wakabayashi-ku, Sendai plain, eastern Japan

高清水 康博<sup>1\*</sup>, 卜部 厚志<sup>1</sup>, 鈴木幸治<sup>1</sup>  
Yasuhiro Takashimizu<sup>1\*</sup>, Atsushi Urabe<sup>1</sup>, Koji Suzuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 新潟大学

<sup>1</sup> Niigata University

仙台市若林区において、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震により発生した津波による堆積物の記載を行った。その結果、以下のことが分かったので速報する。

1. もっとも海側の砂丘付近は侵食域である。
2. 砂丘の内陸側に砂丘や海浜等から運搬された堆積物が認められた。
3. 津波堆積物は、海側で厚く、かつ粗い。一方、陸側では薄く、細粒である。
4. 多くの津波堆積物には平行葉理が観察された。斜交葉理は最上部に稀にみられる。
5. 海側の津波堆積物は、侵食力のある流れで、基底部にマッドクラストをよく含む。
6. 津波流の停滞や津波後の静穏な水域があったことを示すマッドドレープがよく見られた。
7. 戻り流れからの堆積物はまれである。

キーワード: 津波堆積物, 仙台, 平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震

Keywords: tsunami deposits, Sendai, The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake



MIS036-P128

会場: コンベンションホール

時間: 5月27日 14:15-16:15

## 仙台市周辺における津波の浸水高, 流速, 堆積物に関する予備調査 Preliminary results for the inundation heights, current velocities, and deposits of the 2011 Tohoku tsunami

後藤 和久<sup>1\*</sup>, キャサリン ゴフ<sup>2</sup>, ジェームズ ゴフ<sup>2</sup>, ブルース ジャフェ<sup>3</sup>, ウィトウルド スツシンスキー<sup>4</sup>, 藤野 滋弘<sup>5</sup>, 菅原 大助<sup>6</sup>, 西村 裕一<sup>7</sup>, ブルース リッチモンド<sup>3</sup>, ロブ ウィッター<sup>8</sup>, デヴィッド タップイン<sup>9</sup>, エコ ユリアント<sup>10</sup>  
Kazuhisa Goto<sup>1\*</sup>, Catherine Chague-Goff<sup>2</sup>, James Goff<sup>2</sup>, Bruce Jaffe<sup>3</sup>, Witold Szczucinski<sup>4</sup>, Shigehiro Fujino<sup>5</sup>, Daisuke Sugawara<sup>6</sup>,  
Yuichi Nishimura<sup>7</sup>, Bruce Richmond<sup>3</sup>, Rob Witter<sup>8</sup>, David Tappin<sup>9</sup>, Eko Yulianto<sup>10</sup>

<sup>1</sup> 千葉工業大学, <sup>2</sup> ニューサウスウェールズ大学, <sup>3</sup> 米国地質調査所, <sup>4</sup> アダムミツキエヴィチ大学, <sup>5</sup> 筑波大学, <sup>6</sup> 東北大学,  
<sup>7</sup> 北海道大学, <sup>8</sup> ドガミ海岸調査局, <sup>9</sup> 英国地質調査所, <sup>10</sup> インドネシア科学研究所

<sup>1</sup>Chiba Institute of Technology, <sup>2</sup>University of New South Wales, <sup>3</sup>US Geological Survey, <sup>4</sup>Adam Mickiewicz University,  
<sup>5</sup>University of Tsukuba, <sup>6</sup>Tohoku University, <sup>7</sup>Hokkaido University, <sup>8</sup>DOGAMI Coastal Field Office, <sup>9</sup>British Geological Survey,  
<sup>10</sup>Indonesian Institute of Science

The 11 March 2011 MW 9.0 Tohoku megathrust earthquake off the coast of Japan was one of the largest events in the history of Japan. The huge tsunami inundated a large area on the northeast coast of Japan, and resulted in widespread devastation. Remarkable feature of the Tohoku region is the abundance of available historical and geological records for the past earthquakes and tsunamis. Based on the 1200 years historical records and 2800 years geological records, tsunami disaster mitigation countermeasures were prepared to the Pacific coasts of the Tohoku region. Hence, the Tohoku region is one of the best prepared regions against the tsunami in the world. This event is a very important opportunity to test the validity of a previous methodology for the tsunami risk assessment using the historical and geological records. In addition, there are many video footages for the 2011 event and hence the sedimentation process can be linked to the flow characteristics (e.g., inundation height and current velocity) of the tsunami. In order to study the inundation heights, current velocities, and their relationships to the erosion and sedimentation by the tsunami, we organized an international team of scientists and undertook a post-tsunami survey in May 2011 that focused on the area close to the Sendai megacity and the Sendai airport near the Natori to Iwanuma cities.

The field observation was conducted along transects established on a grid extending few kilometers inland near the north of Sendai airport. We conducted high resolution sampling at each pit to study the vertical and horizontal variation of the grain size for understanding the sedimentary process and for performing the inversion modeling. Geochemical analyses are also performed for the environmental assessments. We also studied the paleo-tsunami deposits such as the 869 Jogan tsunami in order to compare the sedimentary characteristics to the 2011 tsunami deposits. We also used video footages at the Natori city and at the Sendai Airport and estimated the current velocity of the tsunami. Our preliminary analysis revealed that the wave front of the run-up wave of the tsunami was moved about 3 m/s on land, whereas it was about 6.5 m/s in the Natori River.

In our presentation, tsunami inundation heights and current velocity will be linked to the sedimentary process of the tsunami deposits by using the forward and inversion modeling results.

## 仙台平野における2011年東北地方太平洋沖地震津波の浸水域：貞観地震津波との比較

### Inundation area by the 2011 Tohoku earthquake tsunami in Sendai plain: comparison to the 869 Jogan earthquake tsunami

菅原 大助<sup>1\*</sup>, 今村 文彦<sup>1</sup>, 後藤 和久<sup>2</sup>, 松本 秀明<sup>3</sup>, 箕浦 幸治<sup>4</sup>

Daisuke Sugawara<sup>1\*</sup>, Fumihiko Imamura<sup>1</sup>, Kazuhisa Goto<sup>2</sup>, Hideaki Matsumoto<sup>3</sup>, Koji Minoura<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院工学研究科, <sup>2</sup> 千葉工業大学 惑星探査研究センター, <sup>3</sup> 東北学院大学教養学部地域構想学科, <sup>4</sup> 東北大学大学院理学研究科地学専攻

<sup>1</sup>Tohoku University, <sup>2</sup>Chiba Institute of Technology, <sup>3</sup>Tohoku Gakuin University, <sup>4</sup>Tohoku University

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震とその後の津波は東日本全域に大きな影響を及ぼし、特に岩手・宮城・福島各県では甚大な津波被害をもたらした。地震の規模はM9.0と推定され(USGS)、日本国内では観測史上最大、世界でも史上4番目の規模の地震となった。津波遡上の高さは、三陸沿岸で最大40mに達し、仙台平野以南の沿岸でも海岸付近の津波の高さが10m以上であったと推定されている(東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ)。また、標高の低い平野部では地震による地盤沈降も重なり、海岸から数kmまで津波の浸水が及んでいる(国土地理院)。

仙台市での津波の高さは、若林区荒浜の海岸付近で約10mである(東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ)。また、東北大学による津波後の調査では、海岸から2kmの内陸部での浸水高は2.8m前後であった。仙台東部道路の盛り土により津波の浸入が遮られた箇所もあったが、道路開口部や高架橋部分では、内陸側への遡上が起こっている。東北大学では、津波後に現地調査を行い、高架橋部分の陸側に位置し、海岸から5km以上離れた若林区霞の目付近まで浸水の痕跡を特定した。この結果は、国土地理院による衛星画像・航空写真の判読による浸水範囲ともほぼ一致している。従って、東部道路が無い場合、今回の津波による浸水範囲は、仙台平野全域で5km程度まで達したと推測される。

今回と同様に、東北地方に大津波をもたらした歴史上の地震の1つとして、869年貞観地震が知られている(渡邊, 2001)。貞観津波による堆積物は、仙台湾北部の石巻平野から福島県北部にかけての沿岸地域に分布している(例えば、Minoura & Nakaya, 1991; 菅原ほか, 2001; 澤井ほか, 2007; 穴倉ほか, 2007)。貞観津波による堆積物は、仙台平野では現在よりも約1km内陸側にある当時の海岸線から、最大3kmまで分布する(菅原ほか, 2010)。菅原(2011)では、津波堆積物の分布とその堆積学的特徴を考慮して貞観津波の特性を推定し、数値シミュレーションで貞観津波の浸水域を復元している。断層長さ200km、幅85km、滑り量6.1m(M8.35)を仮定した場合の浸水域は、当時の海岸線から約3.5kmとなり、津波堆積物の分布と特徴に一致する結果となる。貞観津波の津波高は、海岸線付近で約7m、海岸から約2kmの内陸部で2.5mであったと推定される。

仙台平野での調査結果に基づいて比較を行うと、2011年の津波による浸水域(浸水距離)は貞観津波よりも2km程度大きく、海岸での津波高は3m程度、内陸部の浸水高も数10cm上回っていると考えられる。

1. 渡邊偉夫: 伝承から地震・津波の実態をどこまで解明できるか? 貞観十一年(869年)の地震・津波を例として?, 歴史地震, Vol. 17, pp.130-146, 2001.

2. Minoura, K. and S. Nakaya: Traces of tsunami preserved in inter-tidal lacustrine and marsh deposits: Some examples from northeast Japan, Journal of Geology, Vol. 99, No. 2, pp.265-287, 1991.

3. 菅原大助・箕浦幸治・今村文彦: 西暦869年貞観津波による堆積作用とその数値復元, 津波工学研究報告, Vol. 18, pp.1-10, 2001.

4. 澤井祐紀・穴倉正展・岡村行信・高田圭太・松浦旅人・AUNG Than Tin・小松原純子・藤井雄士郎・藤原 治・佐竹健治・鎌滝孝信・佐藤伸枝: ハンディジオスライサーを用いた宮城県仙台平野(仙台市・名取市・岩沼市・巨野町・山元町)における古津波痕跡調査, 活断層・古地震研究報告, Vol. 7, pp.47-80, 2007.

5. 穴倉正展・澤井祐紀・岡村行信・小松原純子・AUNG Than Tin・石山達也・藤原 治・藤野滋弘: 石巻平野における津波堆積物の分布と年代, 活断層・古地震研究報告, Vol. 7, pp.31-46, 2007.

6. 菅原大助・今村文彦・松本秀明・後藤和久・箕浦幸治: 過去の津波像の定量的復元 貞観津波の痕跡調査と古地形の推定について, 津波工学研究報告, Vol. 27, pp.103-132, 2010.

7. 菅原大助・今村文彦・松本秀明・後藤和久・箕浦幸治: 地質学的データを用いた西暦869年貞観地震津波の復元について, 自然災害科学 29(4), 501-516, 2011.

キーワード: 浸水域, 貞観津波, 津波堆積物

Keywords: Inundation area, Jogan tsunami, tsunami deposit

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



MIS036-P130

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 2011年東北地方太平洋沖地震津波による津波高さおよび浸水域の現地調査 - 茨城県から千葉県沿岸の例 -

Field surveys of tsunami heights and inundation area in Ibaraki and Chiba, generated with the 2011 Tohoku earthquake

行谷 佑一<sup>1\*</sup>, 宍倉 正展<sup>1</sup>, 澤井 祐紀<sup>1</sup>, 藤原 治<sup>1</sup>, 楮原 京子<sup>1</sup>, 木村 治夫<sup>1</sup>, 小松原 純子<sup>2</sup>, 宮下 由香里<sup>1</sup>, 藤井 雄士郎<sup>3</sup>, 奥田 泰雄<sup>4</sup>, 谷川 晃一郎<sup>1</sup>

Yuichi Namegaya<sup>1\*</sup>, Masanobu Shishikura<sup>1</sup>, Yuki Sawai<sup>1</sup>, Osamu Fujiwara<sup>1</sup>, Kyoko Kagohara<sup>1</sup>, Haruo Kimura<sup>1</sup>, Junko Komatsubara<sup>2</sup>, Yukari Miyashita<sup>1</sup>, Yushiro Fujii<sup>3</sup>, Yasuo Okuda<sup>4</sup>, Koichiro Tanigawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>産総研活断層・地震研究センター, <sup>2</sup>産総研地質情報研究部門, <sup>3</sup>建築研究所国際地震工学センター, <sup>4</sup>建築研究所構造研究グループ

<sup>1</sup>AFERC, GSJ, AIST, <sup>2</sup>IGG, GSJ, AIST, <sup>3</sup>IISEE, BRI, <sup>4</sup>DSE, BRI

われわれは2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震津波の直後に茨城県および千葉県の太平洋沿岸を訪れ、津波高さや津波浸水範囲の緊急調査を行った。本発表ではその調査結果を紹介する。

調査日程は2011年3月12日、13日、14日、27日、4月3日、および6日の延べ6日間である。調査地点は茨城県高萩市から神栖市、および千葉県旭市から一宮町の沿岸部である。調査では、まず壁に残された津波の浸水線や地面に残されたデブリなど、津波の高さが判明する証拠を探した。地元の方の復旧作業にご迷惑をかけないよう配慮して聞き取り調査も行い、どこまで津波の水位が上昇したかなどを伺った。つぎに、それらの証拠を基に津波の浸水深（壁に残された浸水線など、地面より上に津波痕跡がある場合の海面からの高さ）や遡上高（波先の海面からの高さ）、あるいは浸水深（地面より上に津波痕跡がある場合のその地面からの高さ）をオートレベルやトータルステーションなどの器材により測定した。この他、特に千葉県九十九里浜沿岸では重点的に津波がどの程度内陸まで浸水したかについて調査を行った。具体的には、最内陸のデブリの位置や聞き取り調査などの内容を基に波先と思われる位置をGPS受信機により測定した。

津波高さ調査についての結果を簡単に述べると、茨城県沿岸ではひたちなか市で3.3~3.6mの浸水深（2011年3月14日17:20の海面上）、大洗町で4.4~4.8mの浸水深（同15:29の海面上）、神栖市で標高7.5m以上の浸水深を測定するなどした。千葉県では九十九里町で3.8mの浸水深（2011年3月13日15:18の海面上）や、山武市では海岸線に最も近い浜堤のすぐ陸側で3.5m以上の浸水深を測定するなどした。

九十九里浜における浸水域調査の結果を簡単に述べると、おおむね海岸から数百m内陸の所まで浸水したが、水路の近くなどでは1.5km程度内陸まで浸水した所もあった。ただし九十九里町片貝以南については、海岸に平行に走る九十九里有料道路が一種の堤防の役割を担った可能性があり、それを越えて浸水した所はほとんどなかった。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 津波高さ, 津波浸水域, 現地調査, 茨城県, 千葉県

Keywords: the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, tsunami height, tsunami inundation area, field survey, Ibaraki prefecture, Chiba prefecture

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



MIS036-P131

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 長周期震源モデルを用いた2011年東北地方太平洋沖地震の津波シミュレーション Tsunami simulation for the 2011 Tohoku earthquake using long-period source model

Petukhin Anatoly<sup>1\*</sup>, 吉田 邦一<sup>1</sup>, 宮腰 研<sup>1</sup>, 入倉 孝次郎<sup>2</sup>  
Anatoly Petukhin<sup>1\*</sup>, Kunikazu Yoshida<sup>1</sup>, Ken Miyakoshi<sup>1</sup>, Kojiro Irikura<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(財) 地域地盤環境研究所, <sup>2</sup> 愛知工業大学

<sup>1</sup>Geo-Research Institute, <sup>2</sup>Aichi Institute of Technology

なし

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 津波シミュレーション, 長周期地震動, 震源モデル

Keywords: 2011 Tohoku earthquake, tsunami simulation, long-period ground motion, earthquake source model

## 津波はリアス式海岸で増幅したのか? - 現地調査による湾内津波の挙動 - The tsunami wave was amplified at bays in the ria-coast? ?amplification of tsunami in the bay?

中村 衛<sup>1\*</sup>, 吉岡 祥一<sup>2</sup>, 平川 一臣<sup>3</sup>, 西川 由香<sup>4</sup>

Mamoru Nakamura<sup>1\*</sup>, Shoichi Yoshioka<sup>2</sup>, Kazuomi Hirakawa<sup>3</sup>, Yuka Nishikawa<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 琉球大学理学部, <sup>2</sup> 神戸大学都市安全研究センター, <sup>3</sup> 北海道大学・大学院地球環境科学研究所, <sup>4</sup> 国立台湾大学生命科学院  
<sup>1</sup> Faculty Science, University Ryukyus, <sup>2</sup> RCUSS, Kobe University, <sup>3</sup> Hokkaido University, <sup>4</sup> National Taiwan University

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(M9.0)により、長い湾の湾奥に位置する大船渡、陸前高田や気仙沼でも津波波高が高く多大な被害が生じた。しかし1896年明治三陸津波・1933年昭和三陸津波といった近地津波に対して、固有周期の長い湾での波高比(湾奥での波高/湾口での波高)は0.3~0.5となっており、長い湾では湾口より湾奥に進むにつれて波高が減少していくはずである。いっぽう、東北地方太平洋沖地震は近地津波でありながら波源域が非常に広い特徴を持つ津波であり、過去の津波と異なる津波挙動が予想外の津波被害を生み出した可能性がある。過去にないタイプの津波に対してリアス式海岸での津波波高がどのように増幅したのか明らかにするため、現地調査を実施した。

調査は、岩手県南部から宮城県北部にかけての湾で2011年4月20日から23日にかけておこなった。調査した湾は吉浜湾(12分)、越喜来湾(10分)、大船渡湾(46分)、広田湾(52分)、気仙沼湾(52分)である。括弧内の数字はAbe(2005)によって測定された湾の固有周期である。湾口から湾内の各地点で、遡上の影響が小さく津波波高を反映していると考えられる急斜面で浸水高さの測定をおこなった。

調査から、固有周期の短い湾(吉浜湾、越喜来湾)では、湾口で約12mであった波高が湾奥に進むにつれて約15~20mと増大し、湾毎の波高比は1.5~2.0倍であった。これは過去の近地津波、遠地津波(1960年チリ津波)の時の波高比(1~3倍)とほぼ等しい。いっぽう、固有周期の長い湾(大船渡湾、広田湾、気仙沼湾)では湾口での波高11~13mが湾奥でも波高10~16mであり、湾毎の波高比は約1倍であった。これは固有周期の長い湾での波高比が近地津波に対して0.3~0.5倍、遠地津波に対して2~3倍であったことと比較して明らかに異なる傾向を示している。このように固有周期の短い湾では過去の近地・遠地津波と同じ傾向が得られた一方で、固有周期の長い湾では過去の近地・遠地津波の傾向とは異なる結果が得られた。

このような結果となった原因として、東北地方太平洋沖地震の波源域が広く、津波の周期が約40分と長周期(釜石沖GPS波浪計より)であるという遠地津波の特徴を持ちながら、第1波が極めて大きい(釜石沖GPS波浪計より、第1波:6.5m、第2波以降:2m以下)という近地津波の性質を持つという両方の性質を含んでいたために湾奥での増幅がほぼ1となったと考えられる。また、明治三陸津波や昭和三陸津波の波源域が調査地域の東ないし北東側であるのに対し、東北地方太平洋沖地震の津波の波源域が東ないし南東側であり、固有周期の長い湾の方向と一致している。津波が湾に直接入射しやすいことも、波高比が減少しなかった原因の一つかもしれない。

キーワード: 津波, 東北地方太平洋沖地震

Keywords: tsunami, 2011 Tohoku Earthquake

## 2011年東北地方太平洋沖地震による津波堆積物が示すベッドフォーム Preliminary report on the bedforms of the tsunami deposits from the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

藤原 治<sup>1\*</sup>, 澤井 祐紀<sup>1</sup>, 宍倉 正展<sup>1</sup>, 行谷 佑一<sup>1</sup>, 木村 治夫<sup>1</sup>, 楮原 京子<sup>1</sup>

Osamu Fujiwara<sup>1\*</sup>, YUKI SAWAI<sup>1</sup>, Masanobu Shishikura<sup>1</sup>, Yuichi Namegaya<sup>1</sup>, Haruo Kimura<sup>1</sup>, Kyoko Kagohara<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 活断層・地震研究センター

<sup>1</sup> Geological Survey of Japan, AIST

はじめに:

東北地方太平洋沖地震の直後に行った津波遡上高などの緊急調査の際に、千葉県九十九里浜(蓮沼と片貝漁港)で様々なベッドフォームを持つ津波堆積物が観察されたので報告する。津波堆積物についての堆積学的な記載は未だ不十分であり、台風や洪水の堆積物との差異も未解明な部分が多いので、津波によって何処にどのような特徴を持った堆積物が形成されるかを記録しておくことは、古津波の痕跡を地層中から探す際にも必ずや役立つだろう。津波堆積物の初生堆積構造は、復旧作業や気象現象によって急速に失われるため、津波直後の新鮮な状態を保った堆積物の観察データは貴重である。

調査地域と津波:

蓮沼海岸では津波は標高4-5m前後、幅200m程度の砂丘や砂堤を一部で乗り越え、主にその鞍部から市街へ溢れ出した。水の抵抗が小さい舗装された道路や側溝に沿っては特に内陸奥深くまで遡上し、最大で約1km内陸(標高約1.8m)まで達した。片貝漁港では港の最奥部の岸壁から空き地や道路へ溢れ出した津波による堆積物を観察した。ここでの津波の高さは2011年3月12日15時18分の海面から3.77mであった。

蓮沼海岸の津波堆積物:

砂浜や海岸砂丘の前では浸食が卓越し、津波堆積物は部分的に分布してはいるが砂丘の陸側に比べて一般に薄い。津波堆積物は砂丘の裏側から内陸へ向かって大局的には層厚と粒径を減じつつ分布している。海岸に直交する「柴山はにわ道」沿いでは、津波堆積物は海岸から約600mまでは大半が砂丘や海浜と同じ良く淘汰された細粒砂からなるが、それより内陸では砂粒子の代わりに泥分が多くなり、遡上限界近くでは植物片などのデブリの集積帯となる。

観察した範囲では津波堆積物の層厚は一般に数cm程度と薄く、海岸寄りの最も厚い場所でも15程度であった。平らな道路では津波によって一様に砂が堆積しているので、津波堆積物の面的な広がりや道路の凹凸などによるベッドフォームの変化を観察できた。代表的なベッドフォームは一定方向に水が流れることで形成された種々のリップルであり、波長は長くても10程度である。リップルが示す流向は海岸から内陸へ約500mまでは遡上流であることが多いが、それより内陸では戻り流れの痕跡が卓越していた。リップルの表面には流れが収まった時に浮遊物が沈殿したマッドレイプが見られる。

歩道には道路へ降りるスロープが時折設けられているが、歩道上のリップルが示す流向は陸側と海側の両方からスロープへ集まって行っている。これは歩道に溢れた水が道路へと排水された様子を示している。この低まりの内側では蜂の巣状のInterference ripplesがよく発達しており、複数方向の流れがぶつかり合う複雑な水流が発生していたことがわかる。

津波から3週間後にも防砂林内で津波堆積物を観察したが、海岸に比べて雨や風の影響が比較的少ないにもかかわらず、リップルなど堆積物表面の構造はかなり不明瞭になりつつあった。

片貝漁港の津波堆積物:

ここでもカレントリップルが発達した細粒砂層からなる津波堆積物が一面に分布しており、層厚は8-12程度である。津波堆積物の表面に残るカレントリップルは、岸壁から南側の空き地を通して、相対的に低い南東側の道路へ向う流れを示しており、恐らく戻り流れの跡と思われる。津波堆積物は非常に柔らかく人が乗ると足首まで沈むほどである。断面を見ると、層厚数の細粒砂層と黒色の粘土の薄層(マッドレイプ)が互層をなすのが観察された。津波堆積物の内部には少なくとも4枚の砂層と3枚のマッドレイプが見られ、津波が何度も押し寄せたことを示している。

まとめ:

今回の観察範囲では、津波堆積物を特徴づけるベッドフォームは主として各種のリップルであり、堆積場の諸条件によって形や大きさにバリエーションがある。地層で見られる津波堆積物は、こうしたリップルの一部分であることが多いと思われる。どのようなベッドフォームのどの部分を見ているのかをイメージしながら調査することで、津波堆積物を認識することが容易になってくる。また、条件がそろえば、砂層とマッドレイプの互層が形成され、津波の遡上回数を(最小値ではあるが)推定することもできるだろう。また、風雨の影響が少ない環境でも津波堆積物の持つ情報が急速に失われるので、津波直後の調査による基礎データの重要性が改めて認識された。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 津波, 津波堆積物, 九十九里  
Keywords: 2011 Tohoku Earthquake, Tsunami, Tsunami deposit, Kujukuri



MIS036-P134

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 東北地方太平洋沖地震津波に伴う陸上斜面の侵食・堆積作用の特徴 Characteristics of surface erosion and sedimentation by the 2011 Tohoku Tsunami

中村 有吾<sup>1\*</sup>, 西村 裕一<sup>1</sup>

Yugo Nakamura<sup>1\*</sup>, Yuichi Nishimura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学地震火山研究観測センター

<sup>1</sup> ISV, Hokkaido University

東北地方太平洋沖地震津波によって形成した津波堆積物の分布および層相と地形の関係を野外において調査した。調査範囲は、青森県三沢海岸、および岩手県久慈市から大槌町で、なるべく自然の状態に近い海岸で調査した。津波による浸水距離と堆積物の厚さは、場所によって異なる。津波の高さは最大で標高 30m を超え、浸水距離も 1km を超える。なだらかな地形上では、津波堆積物は連続的に分布する。その層厚は 20cm 程度だが、海岸付近に砂丘や砂浜があると、より厚くなる。津波堆積物は、侵食域の背後で厚く堆積し、侵食域から離れると薄くなる。遡上限界付近では、砂粒子が地表に点在する。海岸付近に侵食されやすい地形がないと、津波堆積物は薄く、分布はパッチ状になる。津波堆積物は主として砂よりなり、海岸からの距離に応じて細粒化する。津波の波高と、堆積物の厚さ・粒径の間には、顕著な関係は見られなかった。

キーワード: 津波堆積物, 地形, 侵食, 東北地方太平洋沖地震津波

Keywords: Tsunami deposit, Landform, Erosion, the 2011 Tohoku Tsunami

MIS036-P135

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 陸域観測技術衛星・ALOS (だいち) による, 2011年東日本大震災に対する観測結果

### ALOS Observation Results of the 2011 Magnitude-9.0 Earthquake off the Pacific coast of Tohoku-Kanto District, Japan

宮城 洋介<sup>1\*</sup>, 高橋 陪夫<sup>1</sup>, 島田 政信<sup>1</sup>

Yosuke Miyagi<sup>1\*</sup>, Masuo Takahashi<sup>1</sup>, Masanobu Shimada<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 宇宙航空研究開発機構

<sup>1</sup> Japan Aerospace Exploration Agency

2011年3月11日14時46分頃(日本時間, 以下同じ), 東北地方の太平洋沖(北緯38.32°, 東経142.37°, 深さ32km)を震源とする, 国内観測史上最大となるマグニチュード9.0の地震が発生した(地震の規模・位置については米国地質調査所(USGS)による発表を参照)。宮城県栗原市で震度7, 岩手県から茨城県にかけての広い範囲で震度6強が観測されるなど, 極めて強い揺れが広範囲に渡って観測された。この地震に伴って発生した津波は, 震源に近い東北地方の太平洋側では最大で10メートル以上の高さには達したと見られ, 東北から関東地方の沿岸地域に甚大な被害を与えた。その後も海域・内陸問わず地震が頻発し, 各地で大きな揺れと被害が報告されている。宇宙航空研究開発機構(JAXA)は, 2011年3月11日の大地震以降, 陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)に搭載されている3つのセンサ(PALSAR, AVNIR-2, PRISM)による現地観測を継続して実施してきた。二つの光学センサ(AVNIR-2, PRISM)により得られた地震前後の画像を比較することにより, 特に津波による被害地域(浸水域)を検出した。光学センサを使った被害地域の観測は地震後も繰り返し行われ, 地震後の湛水域の変化をモニタリングした。またPALSARの強度画像を利用したモニタリングからも湛水域が検出された。次に, 地震前後のPALSARデータを用いた差分干渉解析(DInSAR解析)より, 3月11日の東北地方太平洋沖地震(M9.0)に伴う非常に広範囲に渡る大規模な地殻変動が検出された。大きい所では, 干渉画像内の相対的な値ではあるが, 青森県津軽半島先端に対して宮城県牡鹿半島先端で4m以上の衛星視線方向の地殻変動(アセンディング軌道からの観測のため, 東方向の水平変位もしくは沈降を含むと考えられる)が得られた。また, これら広域の地殻変動パターンとは明らかに異なる局所的な地殻変動パターンがいくつか確認され, 本震後に発生した内陸浅部に震源を持つ地震(例えば, 3月19日茨城県北部地震や4月11日福島県浜通り地震)に伴った地殻変動を検出したものと思われる。本発表では, これら東日本大震災に対するALOSの観測結果を報告する。なお, 本発表で使用されている画像を含むALOSによる観測結果は, JAXAのEORC/ALOSホームページで紹介されている(一部英語版もあり)。

<http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/index.j.htm>

キーワード: だいち, 東日本大震災, 東北地方太平洋沖地震, 津波, 地殻変動, リモートセンシング

Keywords: ALOS, Earthquake, Tsunami, Crustal Deformation, Remote Sensing

MIS036-P136

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## マルチプラットフォーム衛星画像とシミュレーションによる東日本大震災の被災状況把握

### Earthquake damage tracking using multi platform satellite images and simulation analysis of eastern Japan

鎌形 哲稔<sup>1\*</sup>, 赤松 幸生<sup>1</sup>, 村嶋 陽一<sup>1</sup>, 向山 栄<sup>1</sup>

Noritoshi Kamagata<sup>1\*</sup>, Yukio Akamatsu<sup>1</sup>, Yoichi Murashima<sup>1</sup>, Sakae Mukoyama<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国際航業株式会社

<sup>1</sup> KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

2011年3月11日14時46分、三陸沖(北緯38.0度, 東経142.9度), 深さ約24kmを震源とするマグニチュード9.0という非常に大きな地震が東日本を襲い, 未曾有の被害をもたらした。この地震により発生した大津波は, 青森県から千葉県の約700kmに及ぶ太平洋岸を襲った。

今回の大震災は被災地域が超広域であるため, 航空機による撮影は時間を要する。加えて, 福島第一原発の影響で, 現時点でも飛行制限区域があり, 撮影できない地域もある。これに対し衛星による観測は, 広域を一度に観測できる上, 飛行制限の影響を受けない。したがって, 今回の超広域におよぶ激甚な震災の全容を迅速に把握するには, 衛星リモートセンシングの技術が不可欠である。震災発生後, 多くの地球観測衛星によって被災地域が観測されたが, 衛星やセンサの特長を十分に考慮した上で, 震災後の経過時間, 調査対象とする被害や範囲に適した衛星リソースを組み合わせる必要がある。

また, リモートセンシングの技術では, 震災発生時の津波の状況などをリアルタイムかつ時系列で把握することは非常に困難であり, 家屋の流出は無いが浸水被害を受けた場所等を把握することは難しい。加えて, 詳細な被災状況の把握に必要な高空間分解能光学衛星画像は, 天候の関係で観測が遅れる地域も多い。一方, シミュレーションは, 被災状況を撮影した衛星画像や航空写真が無い段階でも, 被災範囲の推定, 津波の到達経緯, 津波の高さや浸水深などを把握することが可能である。したがって, より確度の高い情報を早期に把握, 提供するためには, 津波の遡上シミュレーションによる浸水範囲の推定と衛星画像による解析結果の組み合わせることが有用であると考えられる。

そこで, マルチプラットフォーム衛星の光学画像とSAR画像による被災状況の把握とシミュレーションによる被災範囲の推定を実施し, これらを組み合わせることで, より確度の高い被災情報を準リアルタイムで収集・解析した。その結果, 被害の全容と詳細を迅速かつ正確に把握し, 関係機関への適時な情報提供が可能となった。今後も空間情報技術を活用した継続的な情報の収集・提供を行ない, 被災地の復興の一助となるよう努めたいと考えている。

キーワード: マルチプラットフォーム衛星画像, シミュレーション解析, 震災の被災状況把握, 光学画像, SAR画像

Keywords: Multi platform satellite images, Simulation analysis, Earthquake damage tracking, Optical imagery, SAR imagery

MIS036-P137

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## TerraSAR-Xによる仙台平野湛水域モニタリング TerraSAR-X based monitoring over Sendai plain inundated by the tsunami

柴山 卓史<sup>1\*</sup>, 吉川和男<sup>1</sup>, 岡島裕樹<sup>1</sup>, 加藤勝<sup>1</sup>  
Takashi Shibayama<sup>1\*</sup>, Kazuo Yoshikawa<sup>1</sup>, Yuki Okajima<sup>1</sup>, Katsu Kato<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 株式会社パスコ

<sup>1</sup>PASCO CORPORATION

The massive tsunami caused by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake that occurred at 14:46 on March 11, 2011 brought the great damage in the Pacific coastal area between Aomori and Chiba.

The tsunami reached at from the shore the range of approximately 6 kilometers on the plains of Soma city, Fukushima from Matsushima of Miyagi in particular, and a wide area was flooded. Because the area consists of low flat topography, the flooded situation had been continued.

It was urgent issues to carry out efficient and effective drainage measures, and therefore it was necessary to monitor the change of the inundation range continuously to push forward the restoration of the stricken area.

Earth observing satellite is suitable for regional monitoring. Above all, the synthetic aperture radar (SAR) can observe the surface of the earth regularly because its microwave penetrates a cloud regardless of the night and day and the expectation of SAR for the practical use in disaster prevention has been rising recently.

Imageries acquired by TerraSAR-X were utilized for the monitoring of the flooded area. TerraSAR-X is a synthetic aperture radar satellite developed and operated under Public-Private Partnership (PPP) of German aerospace center (DLR) and EADS Astrium affiliated with European aerospace company EADS.

A SAR image consists of backscattering intensity of the specified microwave. The backscattering intensity depends on the land cover/use and the topography. For example, in the city area where the building crowds, strong backscattering is often provided by multiple scattering. On the other hand, the backscattering becomes relatively weak on the smooth road or surface of the water because specular scattering excels on such smooth surface.

The monitoring utilizing TerraSAR-X was implemented from March 13, 2011 just after the earthquake to April 4. In addition, the image of October 21, 2010 before the disaster was referred.

A comparison of the image acquired on March 13, 2011 just after the earthquake with the image of October 21, 2010 before the disaster clearly showed the inundation caused by the tsunami in a wide area.

Image acquisition was carried out continuously for the Sendai plain. 18 times of acquisition were carried out from March 13 until the morning of April 4. In other words, the acquisitions were carried out at the frequency once in approximately 1.3 days. During this period, a total area of approximately 120,000 square kilometers at the coast between Hokkaido and Chiba including Sendai plain was captured.

In addition, the extraction analysis of the flooding range and the exhibition in the web site from images was completed in about less than 24 hours because time required for the data acquisition is shortened to perform down-link in a domestic receiving station.

It is difficult to determine flooding area where dense and strong scatterers exist, such as in a city area, but it is thought that an advantage of the satellite-borne SAR was shown as means to grasp the inundation damage over the wide area immediately.

キーワード: 地球観測衛星, 合成開口レーダ, TerraSAR-X, 湛水範囲, 後方散乱強度

Keywords: earth observation satellite, synthetic aperture radar, TerraSAR-X, inundation area, backscattering intensity

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



MIS036-P138

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 宮城県南三陸町における2011年3月の津波被災地の低空空撮 Low altitude aerial photographs of March 2011 tsunami damaged areas in Minamisanriku Town, Miyagi Prefecture, Japan

井上 公<sup>1\*</sup>, 今井弘<sup>1</sup>, 田口仁<sup>1</sup>

Hiroshi Inoue<sup>1\*</sup>, Hiroshi Imai<sup>1</sup>, Hitoshi Taguchi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 防災科研

<sup>1</sup> NIED

防災科学技術研究所が実施する東日本大震災協働情報プラットフォーム(ALL311)による地理・地図空間情報の集約ならびに震災記録アーカイブの一環として、宮城県南三陸町の津波被災地において低高度からの空撮を実施した。目的は災害の全容の記録、建築構造物・インフラの被害原因究明、津波遡上痕跡の記録、および被災地復旧・復興支援のための資料提供である。

我々の低空空撮は高さ100m程度以下の低高度から対象物を撮影するため、通常の航空写真(居住地で高度300m以上、非居住地で150m以上)よりも対象に近づいて詳細な画像を得ることができる。また地上からの写真と異なり対象地域・対象物の全体を把握することができる。低空空撮にはラジコンヘリコプター、フルハイビジョン動画と毎秒1枚の静止画を連続撮影できる防水魚眼カメラ、GPSロガー、方位磁石(映込)を用いた。またあわせて車載カメラ(高さ4m)と竿カメラ(高さ10m)による撮影も試みた。

撮影場所は宮城県南三陸町全域の津波被災地で、撮影は震災1カ月後の2011年4月12日から数回にわけて実施した。街全体が津波にさらわれた志津川地区、半壊した中層鉄骨造建物(図1)、歌津地区の国道バイパス(図2)、10mを超す津波が乗り越えた鉄道の盛土など、通常見る映像とは異なった視点からの多くの画像が得られた。撮影は1秒~10秒間隔で連続して行うため、1日で数千~1万枚の静止画が得られる。位置情報(図3)付きの画像は防災科学技術研究所が開発して被災地支援に活用されたeコママップやグーグルアースで参照する。一般家屋の写真も多く含まれるため住民のプライバシーを考慮して公開する。

今後南三陸町の北に隣接する気仙沼市など、他の地域でも低空空撮を実施する計画だが、被災地全体は広大で一組織だけで遂行することはできない。低空空撮はラジコンの他にも凧や気球などの簡便な方法もあるため、手順を標準化してより多くの人手によって迅速に災害記録を収集・記録することが求められる。

MIS036-P139

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 東北地方太平洋沖地震による福島県南部から茨城県の沿岸災害の現地調査 A field survey of coastal disaster in South Fukushima and Ibaraki by the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

下川 信也<sup>1\*</sup>, 飯塚 聡<sup>1</sup>, 村上 智一<sup>1</sup>, 納口 恭明<sup>1</sup>, 栢原 孝浩<sup>1</sup>, 酒井 直樹<sup>1</sup>  
Shinya Shimokawa<sup>1\*</sup>, Satoshi Iizuka<sup>1</sup>, Tomokazu Murakami<sup>1</sup>, Yasuaki Nohguchi<sup>1</sup>, Takahiro Kayahara<sup>1</sup>, Naoki Sakai<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所

<sup>1</sup> NIED

東北地方太平洋沖地震による福島県南部から茨城県の沿岸災害の現地調査を実施した。主に津波と液状化による被害に焦点を当てて、4月1日に茨城県潮来市からひたちなか市まで北上、4月8日に福島県いわき市四倉町から茨城高萩市まで南下しながら、調査を行った。

津波による被害が大きかったのは、福島県では、四倉漁港、薄磯地区、小名浜港、茨城県では、那珂湊港、大洗港、京知釜海水浴場、鹿島港（順に北から南）、などであった。津波最大波高は、福島県沿岸で5-10m程度、茨城県沿岸で3-8m程度であった。

調査対象地域で最も津波被害が大きかったのは、福島県薄磯地区で、防潮堤の破堤により、壊滅的な被害を受けた。しかし、その近隣の富神岬では、津波被害は小さく、津波の方向や地形などの地域的な特性が被害の大小を分けたと考えられる。そのほかの被害が大きかった地域の近隣の地域でも同様の傾向が見られた場所があった。

液状化被害の最も大きかったのは、茨城県鹿島港で、調査対象地域内では最も南部に位置するため津波最大波高は小さい方であったと推定されるが、液状化により壊滅的な被害を受けている場所もあった。一方、茨城県大洗港より北では、液状化被害は小さく、地盤の固さなどの地域的な特性が被害の大小を分けたと考えられる。

発表では、4月14日から15日に行った岩手県沿岸部の現地調査の概要についても報告する予定である。

キーワード: 東北地方太平洋岸地震, 津波, 液状化, 現地調査, 福島県, 茨城県

Keywords: the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Tsunami, Liquefaction, Field survey, Fukushima, Ibaraki

MIS036-P140

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 東北地方太平洋沖地震に伴う仙台・石巻平野の津波の流動と土地条件 Tsunami flow on the Sendai and Ishinomaki plains in relation to their geo-environment

海津 正倫<sup>1\*</sup>, 北村恭兵<sup>1</sup>, 杉本昌宏<sup>1</sup>, 田村賢哉<sup>1</sup>

Masatomo Umitsu<sup>1\*</sup>, Kyouhei KITAMURA<sup>1</sup>, Masahiro SUGIMOTO<sup>1</sup>, Kenya TAMURA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 奈良大学

<sup>1</sup>Nara University

本報告では、被災直後の空中写真にもとづいて仙台平野と石巻平野の津波痕跡を把握し、津波の流動を検討した。

仙台平野南部では平野の奥行きが浅く、相対的に地表面の勾配が大きいため、遡上した津波は遡上限界に達したあと、折り返す形でまっすぐに海の方に向けて戻ったと考えられる。これに対して、仙台平野の中部・北部では、平野の地表勾配が緩く、内陸に向けて遡上した津波の流れは折り返してまっすぐに海に戻るのではなく、地表の低い部分を選ぶような形で戻り流れをなしたと考えられる。また、その際に、押し波（遡上波）によって堆積したものをよけて流れた所もあり、内陸に向けた流れの証拠が残された所もある。

一方、石巻平野では海岸に向けてまっすぐに戻る流れはほとんど見られない。

平野西部では、内陸から海に向けて戻る流れがかなりはっきりと見られるが、それらは東～東南東方向に流れており、海岸に対しては斜めに戻る形となっている。さらに、東側の平野中央部にかけての地域では、仙台平野と違って平野の奥でも東西方向、すなわち、遡上限界線に沿うように流れたことが示されている。また、旧北上川の河口付近でも北側（内陸側）への流れが残っているものの、海へと向かう流れはほとんど見られない。これらのことは、内陸へ向けての押し波（遡上流）の流れが極めて強かったのに対し、引き波（戻り流れ）は北上川を通じて海に戻ったのか陸上には強い流れを作らなかったように考えられる。

キーワード: 津波流動, 仙台平野, 石巻平野, 地形, 地形環境

Keywords: Tsunami flow, Sendai Plain, Ishinomaki Plain, Landforms, Geoenvironment

MIS036-P141

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 東北地方太平洋沖地震に伴う三陸海岸南部～仙台平野の津波の浸水域，浸水高，溯上高

### Tsunami inundation, inundation height, and run-up elevation between southern part of the Sanriku and the Sendai Plain

石黒 聡士<sup>1\*</sup>, 堀 和明<sup>1</sup>, 海津 正倫<sup>2</sup>, 松多 信尚<sup>1</sup>, 杉戸 信彦<sup>1</sup>, 宮城 豊彦<sup>3</sup>, 田村 賢哉<sup>2</sup>

Satoshi Ishiguro<sup>1\*</sup>, Kazuaki Hori<sup>1</sup>, Masatomo Umitsu<sup>2</sup>, Nobuhisa Matsuta<sup>1</sup>, Nobuhiko Sugito<sup>1</sup>, Toyohiko Miyagi<sup>3</sup>, Kenya Tamura<sup>2</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学, <sup>2</sup>奈良大学, <sup>3</sup>東北学院大学

<sup>1</sup>Nagoya University, <sup>2</sup>Nara University, <sup>3</sup>Tohoku Gakuin University

東北地方太平洋沖地震で発生した巨大な津波は、東北から関東地方の太平洋沿岸に大規模な浸水をもたらした。今回の津波は広域に被害を及ぼしたため、地震直後から、衛星画像解析や空中写真判読にもとづいて浸水分布図などが作成・公表されている。また、現地調査にもとづき海岸線付近の津波の高さが報告され、その結果がウェブ上に掲載されている。われわれは、日本地理学会災害対応本部津波被災マップ作成チームが航空写真判読により作成した津波被災マップを基図として、三陸海岸南部から仙台平野で現地調査をおこない、浸水域や浸水高、溯上高について検討したので、その結果を報告する。

現地調査は2011年4月22日から24日にかけて、低平な海岸平野が発達する仙台平野と石巻平野およびリアス式海岸で特徴づけられる三陸海岸南部の女川町でおこなった。現地では海岸線に直交する方向に測線を設け、津波の痕跡を確認して、浸水高を求めた。なお、石巻平野では旧北上川右岸の河口付近に位置する日和山の南側でとくに被害が大きかったため、この山の周囲に沿って同様の調査をおこなった。また、津波被災マップに示された浸水限界を現地での観察や聞き取りにより確認した。

仙台平野の荒浜周辺は、海岸線から約4km内陸まで浸水した。現地で確認した溯上限界は津波被災マップのそれと比較的よく合っていた。荒浜から仙台東部道路にかけての浸水高をみると、海岸線付近で10m前後、その背後で5-6m程度となっている。溯上限界手前の仙台東部道路付近では浸水高が4mに減少し、浸水深も1m以下になっている。

石巻平野の石巻港西側では、海岸線から2.3km程度内陸を走る仙石線付近まで浸水した。海岸線近くにおける浸水高は7m程度となっており、その背後には3m前後の浸水高となった地域が広がる。日和山周辺においては、とくに被害の大きかった日和山南方で7mを超える浸水高もみられた。その一方で、浸水高が内陸に向かうにつれて減少していく傾向が認められた。

女川町は東側が海に面しており、3つの谷底平野に広がる集落の大部分が、今回の津波により壊滅的な被害を受けた。被災マップによれば、浸水範囲と壊滅的な被害を受けた集落の分布がほぼ一致している。浸水高は海岸線付近で15mを超えていた。ここから内陸に広がる谷底平野、さらに谷の最奥部にいたるまで、15-18m程度の浸水高を維持していたため、一部では高台であっても浸水を受けた。

電子化された津波被災マップは、溯上限界をポリゴンで表現しているため、女川のように両側が急な傾斜となっている谷底平野においては、溯上高の推定の際に大きな誤差を生じる可能性がある。今後、現地調査で得られたデータと比較して、その精度を検証していく予定である。

キーワード: 津波, 浸水, 溯上高, GPS, GIS

Keywords: Tsunami, Inundation, Run-up height, GPS, GIS



## 東北地方太平洋沖地震に伴う三陸海岸沿いの津波の遡上域およびその高さ Flooded area and run-up height of tsunami triggered by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

熊原 康博<sup>1\*</sup>, 渡辺 満久<sup>2</sup>, 中田 高<sup>3</sup>, 小岩 直人<sup>4</sup>

Yasuhiro Kumahara<sup>1\*</sup>, Mitsuhiro Watanabe<sup>2</sup>, Takashi Nakata<sup>3</sup>, Naoto Koiwa<sup>4</sup>

<sup>1</sup>群馬大学, <sup>2</sup>東洋大学, <sup>3</sup>広島大学名誉教授, <sup>4</sup>弘前大学

<sup>1</sup>Gunma University, <sup>2</sup>Toyo University, <sup>3</sup>Professor Emeritus, Hiroshima University, <sup>4</sup>Hirosaki University

東北地方太平洋沖地震に伴う三陸海岸沿いの津波の遡上域およびその高さ

### はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(Mw=9.0)に伴う津波の遡上域及びその高さを明らかにするため、4月2日から6日に三陸海岸のいくつかの地点において予察的な現地調査を行った。現地調査に先立ち、発表者らを含む日本地理学会災害対応本部津波被災マップ作成チームでは、国土地理院が地震発生後に撮影した空中写真の実体視による判読から、津波の遡上域をマッピングしている。現地調査にあつては、写真判読によって比較的津波遡上高度が高いところと認定した地点を中心に実施した。

### 方法

津波の遡上域の認定は、集落では津波をみていた住民への聞き取りを行い、集落がないところでは、津波により運ばれたとみられる浮きや発泡スチロールなどや林床の落葉の剥離の上限を指標に行った。測量はレーザー距離計(インパルス)を用いて行った。基準となる標高は海面からの高さとし、干満に伴う潮位変化の補正をおこなった。

### 結果

宮古市田老町松月は、東に開口した入り江で、海岸線付近の谷幅は約240mに対し、湾から300m内陸では幅約120mとなり谷幅が急激に狭まるとともに、谷の平面形状も湾曲している。津波の高さは、海岸付近で22m超、谷幅が狭まる地点で高さ30m以上となり急に高くなる。そこから20数mまで高度を下げ、上流側へ徐々に遡上高が高くなる。海岸から約1.23kmの地点では約30mの高度に到達する。

田老町の北にある漁港では、津波の遡上高が軒並み30mを超える。乙部野では34.7m、重津部では27.5m、小堀内では37.3mであった。その北の水沢の漁港では24m程度となる。

北向きに山田湾に面する山田町大浦では津波の遡上高は10m程度であった。しかし、大浦の南にある外海に開いた湾に面した小谷鳥では約27mに達し、集落の被害も甚大であった。大浦の東、白崎北の谷では、海岸から約450m内陸まで津波が遡上する。ここでは、海岸部の津波高度は約23mであるが、すぐに30m以上にまで上昇し、谷の奥までほぼ同じ高度を保つ。

### おわりに

津波の遡上高は、比較的近接しているにもかかわらず湾ごとに異なることが明らかになった。さらに、津波遡上の縦断面形からは、津波遡上の様式に差異があることも明らかになった。松月では、遡上高が一時的に高くなる地点は、湾から続く陸上部の谷が急に狭まる地点に一致し、さらに内陸側に向かっても遡上高度が増す傾向が認められる。逆に、白崎北の谷など小さな谷の場合には、内陸側へ遡上高度は増しておらず、ほぼ同じ高さで最奥部に到達している。さらに、小堀内漁港では、海岸部の谷が蛇行する形状のために津波の到達範囲が狭く、局所的に大きくなった可能性がある。

これらの差異は、湾の向き、海底地形や陸上部の起伏・形状など、いくつかの要因が影響していると考えられ、発表では具体的な指標をもとに遡上高や遡上様式の差異の原因を検討する。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 津波, 遡上高, 空中写真, 三陸海岸

Keywords: Off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Tsunami, Run-up height, airphoto, Sanriku coast

## 東北地方太平洋沖地震に伴う津波遡上高分布の検討-DEMによる解析- Estimation for tsunami height of 11 March 2011 along the Japan trench, based on the analysis of digital elevation model

後藤 秀昭<sup>1\*</sup>, 杉戸 信彦<sup>2</sup>, 海津 正倫<sup>3</sup>, 中田 高<sup>1</sup>, 災害対策本部津波対策マップ作成チーム<sup>4</sup>  
Hideaki Goto<sup>1\*</sup>, Nobuhiko Sugito<sup>2</sup>, Masatomo Umitsu<sup>3</sup>, Takashi Nakata<sup>1</sup>, Tsunami Damage Mapping Team<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 広島大学, <sup>2</sup> 名古屋大学, <sup>3</sup> 奈良大学, <sup>4</sup> 日本地理学会

<sup>1</sup>Hiroshima University, <sup>2</sup>Nagoya University, <sup>3</sup>Nara University, <sup>4</sup>The Association of Japanese Geographer

### 1. はじめに

日本地理学会災害対応本部津波被災マップ作成チームでは、東北日本太平洋岸を襲った津波による被害の全容を詳細かつ迅速に把握するため、地震後に撮影された空中写真(国土地理院がwebサイトで公開)を実体視により判読し、津波の遡上範囲および家屋の流出等の甚大な被害を受けた地域を縮尺1/25,000の地形図に記した。また、この地図をGISに取り込み、地理情報にした後、電子国土Webシステムおよびeコママップで閲覧できるように整備した。作成チームで整備した地理情報から津波遡上の特徴を概観するとともに、既存の地理情報を重ねて津波来襲地域の特徴を速報で紹介する。

### 2. 津波遡上域と遡上高

津波遡上域は東北太平洋沿岸に広域的に認められる。遡上域の面積を合計すると387.2<sup>2</sup>になり、東京都23区の面積の約60%に匹敵する。津波遡上域の面積を遡上域毎に集計すると、1<sup>2</sup>以下の場所が約9割と圧倒的に多い。遡上域毎に分布図で表示すると、石巻以南の平野部で遡上域が広い場所が多い一方、三陸海岸では陸前高田や釜石などの遡上域の広い場所とともに多数の小さな遡上地が認められる。

津波遡上の内陸への限界線付近の標高値からポリゴン毎に平均を求めて集計した。遡上高の平均は10.6mで、頻度分布で見ると9.0-9.5mが最も多く、これの前後で同程度に減少する傾向を示す。平均しても20mを越える場所が10箇所以上、認められる。

遡上高の地域差を地図で確認すると、数十kmオーダーでは仙台、石巻の平野部で小さく、三陸海岸で大きい。数百mオーダーでも地域差は大きく、特に三陸海岸で顕著である。

### 3. 家屋の多くが流される被害を受けた範囲の標高

津波被災マップ作成チームでは、家屋の多くが流される被害を受けた範囲を認識し、地図化した。この範囲は、大量の海水の流入により家屋が流されてなくなったか、基礎しか残されていないなど、甚大な被害を受けた場所を示している。この地域の面積は合計42.1<sup>2</sup>であり、遡上面積の約11%に達する。

被害を受けた地域の標高を基盤地図情報10mメッシュ(標高)で集計すると、平均標高は5.8mとなり、2<sup>2</sup>5mの場所が多い。一方、平均標高が10mを越える場所は、甚大な被害を受けた全660箇所(ポリゴン)のうち約10%に及ぶ。

### 4. 福島県浜通り南部の遡上高

福島県浜通り南部については、東京電力の原子力発電所の事故により、現地での調査が困難であり、本研究による検討は貴重な情報を提供するものと考えられる。ただし、この地域は、実体視可能な空中写真が撮影されておらず、浜通り北部より北の地域とは異なる方法で遡上域を認定せざるを得なかった。

本研究では、webサイトで公開されている津波来襲直後の複数の衛星画像を単写真で判読し、ステレオ画像の判読の経験を踏まえ、砂や構造物の破片等の漂流物の有無を主な基準として、遡上域を認定した。次に、国土地理院が所有している航空レーザー測量によって取得された2m間隔のDEMを利用して、津波限界線付近の標高値を読み取り、津波の遡上高の分布を推定した。なお、このDEMは海岸から約1kmの範囲に限られているうえ、一部の地域は整備されていない。遡上高の推定は、DEMの整備範囲のみとした。

予察的な検討では、南相馬市小高区で15m、浪江町で8m、双葉町で10m、大熊町で15<sup>2</sup>20m、富岡町で12m、楢葉町で14m、広野町で15m、いわき市久ノ浜で13m、四倉町で4mの最大遡上高が計測され、南北で顕著な差は認められない。また、浜通り北部とも大きな差は認められない。この地域はいずれの場所も、段丘や丘陵が直接海と接し、出入りに乏しい海岸線をなしており、ほぼ同様の地形環境にある。したがって、沿岸部での津波の波高は南北で大きく異なる可能性がある。

キーワード: 津波, DEM, 2011年東北地方太平洋沖地震, 空中写真

Keywords: Tsunami, DEM, 11 March 2011 Tohoku earthquake, aerial photograph

## 東北地方太平洋沖地震に伴う津波被災 2 万 5 千分の 1 マップ (多賀城一旭) Maps of the Area hit by the Tsunami of 11 March 2011, Northeast Japan - Southern area between Tagajo and Asahi

松多 信尚<sup>1\*</sup>, 後藤 秀昭<sup>2</sup>, 堀 和明<sup>1</sup>, 鈴木 康弘<sup>1</sup>, 廣内 大助<sup>3</sup>, 海津 正倫<sup>4</sup>, 田村賢哉<sup>4</sup>, 杉戸 信彦<sup>1</sup>, 地理学会災害対応本部  
津波被災マップ作成チーム<sup>5</sup>

Nobuhisa Matsuta<sup>1\*</sup>, Hideaki Goto<sup>2</sup>, Kazuaki Hori<sup>1</sup>, Yasuhiro Suzuki<sup>1</sup>, Daisuke Hirouchi<sup>3</sup>, Masatomo Umitsu<sup>4</sup>, Kenya Tamura<sup>4</sup>,  
Nobuhiko Sugito<sup>1</sup>, Tsunami Damage Mapping Team, Association of Japanese Geographers<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学, <sup>2</sup> 広島大学, <sup>3</sup> 信州大学, <sup>4</sup> 奈良大学, <sup>5</sup> なし

<sup>1</sup> Nagoya University, <sup>2</sup> Hiroshima University, <sup>3</sup> Shinshu University, <sup>4</sup> Nara University, <sup>5</sup> None

東北地方太平洋沖地震に伴って発生した巨大な津波は、東北から関東地方の太平洋沿岸に甚大な被害をもたらした。日本地理学会災害対応本部は津波被害を検討する作業チームを立ち上げ、航空写真判読にもとづき縮尺 2 万 5 千分の 1 の津波被災分布図 (63 図幅後に約 100 図幅) を作成し、3 月 29 日にインターネットを通じて発表した。分布図作成の目的は、被災範囲をできるだけ迅速に把握し、救援活動や復興計画の策定に資するデータを提供すること、および、津波遡上の概要を連続的に明らかにして現地調査のベースマップを提供するとともに、被害分布の地域性を明らかにして、原因解明調査に資するデータを提供することである。また、津波遡上高分布の概要を迅速に把握するため、津波被災分布図と 10mDEM を用いて、津波遡上高分布図を作成した。

判読には、国土地理院が地震後 (3 月 12 日, 13 日, 19 日, 27 日, 4 月 1 日, 5 日) に撮影・公開した約 3,000 枚 (当初 2,200 枚) の航空写真を用いた。これを実体視判読 (3D で観察) して被害の詳細を把握した。作業にあたっては、複数の判読者が判読結果をクロスチェックして最終案を確定し、電子化作業をおこなった。図示した情報は、津波浸水範囲および家屋流出等の甚大な被災地域である。なお、航空写真が撮影されていない福島県の一部地域については Google Earth 上の単画像を判読した。津波遡上高分布については、電子化した津波浸水限界線にバッファをかけて 10mDEM の標高データを拾った。限界線の外側を拾うと崖にかかる場合があるため、線の内側のみの標高データを用いた。また、ノイズ除去のために 30 地点 (約 300m) の移動平均を取って図化した。溯上高分布図の作成範囲は、青森県種市から福島県南相馬市付近にかけてである。本発表では、宮城県多賀城市から千葉県旭市までの津波被災マップの特徴を地形と関連づけながら報告する。

仙台平野では七北田川や名取川、阿武隈川沿いに自然堤防が分布し、さらに海岸線に沿うように 3 列の浜堤列が発達する (松本, 1977)。平野の幅が小さくなる阿武隈川以南では、浜堤間の間隔も小さい。津波は海岸線から数 km 程度溯上しており、一番内陸に位置する浜堤列あるいはその直前にまで達している。とくに一番海側に位置する浜堤に立地していた集落は壊滅的な被害を受けている。溯上限界付近では、水田上に分布していた稲わらが水田の角にはき寄せられていることが多い。また、阿武隈川右岸では、集落が堤防に守られていたことに加え、微高地 (自然堤防) に立地していたことで浸水を免れている例もあった。

浜通り海岸には、阿武隈山地から太平洋に流入する河川に沿うように、丘陵や河成段丘、沖積低地が東西方向に分布し、海成段丘もみられる (鈴木, 2005)。この地域では、丘陵や段丘を開析して形成された沖積低地や谷底低地が、津波による大規模な浸水を受けている。茨城県沿岸は、仙台平野や浜通り海岸に比べると浸水範囲が小さい。

溯上高について比較的長波長の変動をみると、仙台平野から原町にかけての溯上高は、三陸海岸に比べて小さい傾向がある。また、幅数 km の海岸平野が広がる仙台平野では溯上高が 5m 以下と小さいのに対し、丘陵・段丘を開析した沖積低地や谷底低地が分布する浜通り海岸では、溯上高が 10m 以上に達した地点も目立った。したがって、地形の特徴と溯上高との関係などを詳細に明らかにしていく必要があるだろう。

航空写真の整理や電子化等の作業には名古屋大・奈良大の学生にご協力をいただいた。被災マップは以下のサイトで公開されている。

<http://danso.env.nagoya-u.ac.jp/20110311/index.html>

キーワード: 津波, 浸水域, 空中写真, 海岸平野, 地形, 地理

Keywords: Tsunami, Inundation area, Aerial photograph, Coastal plain, Topography, Geography

MIS036-P145

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 東北地方太平洋沖地震に伴う津波被災2万5千分の1マップ(青森県階上町~宮城県塩竈市)

Maps of the Area hit by the Tsunami of 11 March 2011, Northeast Japan - Northern area between Hashikami and Shiogama -

鈴木 康弘<sup>1\*</sup>, 渡辺 満久<sup>2</sup>, 中田 高<sup>3</sup>, 後藤 秀昭<sup>3</sup>, 海津 正倫<sup>4</sup>, 地理学会災害対策本部津波被災マップ作成チーム<sup>1</sup>  
Yasuhiro Suzuki<sup>1\*</sup>, Mitsuhiro Watanabe<sup>2</sup>, Takashi Nakata<sup>3</sup>, Hideaki Goto<sup>3</sup>, Masatomo Umitsu<sup>4</sup>, Tsunami Damage Mapping Team, Association of Japanese Geographers<sup>1</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学, <sup>2</sup>東洋大学, <sup>3</sup>広島大学, <sup>4</sup>奈良大学

<sup>1</sup>Nagoya Univ., <sup>2</sup>Toyo Univ., <sup>3</sup>Hiroshima Univ., <sup>4</sup>Nara Univ.

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震により、広域的な津波被害が生じたことを受け、日本地理学会災害対応本部は津波被害を検討する作業チームを立ち上げた。航空写真判読に基づいて、縮尺2万5千分の1の津波被害分布図(63図幅)を作成し、3月29日にインターネットを通じて発表した([http://www.ajg.or.jp/disaster/201103\\_Tohoku-eq.html](http://www.ajg.or.jp/disaster/201103_Tohoku-eq.html); 英語ページもあり)。

被災マップ作成の目的は、被災範囲をできるだけ迅速に把握し、救援活動や復興計画の策定に資するデータを提供すること、および、津波遡上の概要を連続的に明らかにして現地調査のベースマップを提供するとともに、被害分布の地域性を明らかにして、原因解明調査に資するデータを提供することである。

判読に用いた航空写真は、国土地理院が地震直後(3月12~19日)に撮影し、その後に公開した約2,200枚の航空写真であり、これを実体視判読して被害の詳細を把握した。範囲は青森県階上町から福島県南相馬市までとし、図示する情報は、家屋流出等の甚大な被災地域(青)と、津波浸水限界(赤)とした(図1, 図2)。本発表ではこのうち北部地域(青森県階上町~宮城県塩竈市)について報告する。

上述の被災マップは、迅速な公開を図るために、手書き作業図の画像情報であったが、その後、様々な分析に用いることができるようにするため、GIS情報化を行い、4月8日付けで、国土地理院「電子国土Webシステム」ならびに防災科学技術研究所「eコミマップ」上で公開した。

電子国土Webは国土地理院が運営するシステムで、これを利用することで比較的容易に津波被災マップを2万5千分の1相当の地形図上に示すことができる。一方、eコミマップは防災科学技術研究所が運営しており、地震前後の航空写真との重ね合わせが容易に行えるためビジュアル機能に優れている。また、閲覧者が自由にその他の情報と重ね合わせることができる利用者参加型システムでもある。その際、GISファイルそのものを提供しなくても良い方式を取っており、データ管理がしやすい。ただし、閲覧の際に2万5千分の1よりも大縮尺の地図も表示されるため、津波被災マップの精度を超える危険性がある。このため被災マップの縮尺に拡大率制限を行い、表示画面の拡大率が制限値を超えると、被災マップが表示されないように工夫した。

なお、判読限界に関しても注意書きを明示する必要があり、「現地調査で確認したものではないため、今後の精査によって改訂されることがある。とくに、平野部や市街地など、空中写真のみでは判断が困難な場合がある」と記した。

現状の被災マップはあくまで2万5千分の1レベルであり、位置精度に限界がある。このため精度を超えた利用を避けるため、GISデータそのものは一般提供していない。精度上の制約に十分配慮することを条件に、研究もしくは災害関連業務に限り、提供依頼の申請を受け付けることとし、すでに、復興計画立案、情報通信等の復旧事業、人文地理学調査等からの要請を受け付けている。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 津波, 地理

Keywords: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Tsunami, Geography

## 仙台市荒浜地区における2011年東北地方太平洋沖地震津波による地形変化・液状化及び被害に関する予備調査結果

### Preliminary results for the topographic change by the 2011 Tohoku tsunami at the Arahama area in Sendai City

阿部 朋弥<sup>1\*</sup>, 後藤 和久<sup>2</sup>, 原口 強<sup>3</sup>, 菅原 大助<sup>4</sup>, 藤野 滋弘<sup>5</sup>

Tomoya Abe<sup>1\*</sup>, Kazuhisa Goto<sup>2</sup>, Tsuyoshi Haraguchi<sup>3</sup>, Daisuke Sugawara<sup>4</sup>, Shigehiro Fujino<sup>5</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学, <sup>2</sup>千葉工業大学, <sup>3</sup>大阪市立大学, <sup>4</sup>東北大学, <sup>5</sup>筑波大学

<sup>1</sup>Nagoya University, <sup>2</sup>Chiba Institute of Technology, <sup>3</sup>Osaka City University, <sup>4</sup>Tohoku University, <sup>5</sup>University of Tsukuba

A Great Tohoku Earthquake(Mw9.0)occurred on 11th March, 2011 (hereinafter the 2011 Tohoku Earthquake). The earthquake triggered huge tsunami, and the tsunami damaged to the wide range of the coastal areas in the northeast Japan. The Sendai City was also damaged by the tsunami and the earthquake, and at least 859 people died or were missing, and 3190 houses were fully destroyed according to the report of the Miyagi Prefecture on 28th April.

We conducted field survey to explore a topographic change by the tsunami flow and ground subsidence before and after the 2011 Tohoku Earthquake, and to explore the effect of liquefaction.

We set 4 km long transect until the inundation limit perpendicular to the coastline at Arahama area in the Sendai City, one of the most severely damaged area by the tsunami in the city, on the early April. Sampling of the tsunami deposits were performed every 100 m along the transect. We also studied damages and inundation heights of the Tsunami, and conducted kinematic GPS measurement by using Promark3 in order to study the topographic change before and after this earthquake. In addition to the field survey, we analyzed several satellite images, aerial photographs, and topographic maps to estimate the large scale topographic change by the tsunami as well as the seismic subsidence in the area, and distribution of liquefaction. Moreover, we compared topographic data before (5 m DEM, provided by The Geospatial Information Authority of Japan: GSI) and after the 2011 Tohoku Earthquake.

High-resolution topographic profiles before and after the 2011 Tohoku Earthquake revealed approximately 30-40 cm subsidence in this area. The result is consistent with the shifting of the electric reference points.

Field survey results show different grain size and thickness of the tsunami deposit at each pit with distance from the coastline. In the beach area (0-150 m from the coastline), tsunami impact is minor and, in fact, even the offshore breakwater had not been damaged. Moreover, beach sands seem to have not been moved significantly. On the other hand, in the coastal forests behind the onshore wave breaker (150-700 m from the coastline), most of the trees were devastated landward by the run-up wave. The thickness of the tsunami deposit is less than 12 cm, and mostly it is less than 3 cm. Moreover, its grain size is medium to coarse sand. Current ripples are usually observed on top of the deposits. In the rice field (700-4000 m from the coastline), there are many traces of the liquefactions and sand boil is frequently observed. Clay to very coarse sand layers with less than 27 cm in thickness were deposited on the rice paddy. However, these sand layers were locally deposited and we interpreted that sources of the sands are probably the beach/sea or liquefaction. Maximum extents of the sandy tsunami deposits and the tsunami inundation are approximately 3500 m and 4000 m, respectively.

Our observations of the various images and topographic maps revealed that most of the telegraph-poles and coastal trees located in about 150-700 m from the coastline were broken landward by the run-up flow. The backwash flow was concentrated in an old channel near the beach and eroded this channel. As a result of this erosion, the coastline was cut immediately after the tsunami, but it has been recovered quickly at least until 24th March.

Keywords: the 2011 Tohoku Earthquake and the tsunami, topographic change, liquefaction, tsunami deposit

## 津波浸水域把握に向けた土壌化学分析の展望と課題 ~ 2011年東北地方太平洋沖地震 津波堆積物との比較 ~ Application of chemical analysis to measurement of tsunami inundated area

吉井 匠<sup>1\*</sup>, 松山 昌史<sup>1</sup>, 今村 正裕<sup>1</sup>, 佐々木 俊法<sup>1</sup>, 越村 俊一<sup>2</sup>, 松岡 昌志<sup>3</sup>, エリック マス<sup>4</sup>, セザル ヒメネス<sup>5</sup>  
Takumi Yoshii<sup>1\*</sup>, Masafumi Matsuyama<sup>1</sup>, Masahiro Imamura<sup>1</sup>, Toshinori Sasaki<sup>1</sup>, Shunichi Koshimura<sup>2</sup>, Masashi Matsuoka<sup>3</sup>,  
Erick Mas<sup>4</sup>, Cesar Jimenez<sup>5</sup>

<sup>1</sup>(財)電力中央研究所, <sup>2</sup>東北大学 災害制御研究センター, <sup>3</sup>産業技術総合研究所, <sup>4</sup>東北大学, <sup>5</sup>国立サンマルコス大学  
<sup>1</sup>CRIEPI, <sup>2</sup>Tohoku University, <sup>3</sup>AIST, <sup>4</sup>Tohoku University, <sup>5</sup>Universidad Nacional Mayor de San Marcos

日本の沿岸域は、歴史時代以降、幾度となく地震津波（以下、津波）による被害に遭ってきた。津波の原因となる規模の地震は、その発生が準周期的であると考えられていることから、他の自然災害に比べると、被災状況を調査することは学術的な知識を深めるためだけでなく、将来に発生しうる災害に備えるために極めて重要である。津波による被害予測のためには、浸水高あるいは遡上高の把握が最も重要である。また、シミュレーションによる津波波源を決定する際にも必要不可欠な要素である。しかし、現況の遡上高の調査は、浸水限界付近に残されている堆積物や漂着物などの物理的痕跡を基にしているため、それらが残されていない場所では、正確な遡上高が把握されているとは言い難い。また、物理的痕跡は時間と共に失われるため、津波発生直後に現地調査を行う必要がある。しかし、被災地においては救出救援活動が最重要であるため、復旧段階に入るまで調査を行うことはできない。津波の物理的痕跡が見られない場合には、住民への聞き込み調査も併用されるが、被災時には多くの住民が避難行動をとっているため、十分正確な証言が得られないこともある。

本研究では、津波浸水域の客観的かつ高精度な調査方法の一つとして、浸水域土壌中の化学特性に着目した浸水土壌の検出を試み、その有効性を検証するために、2010年チリ津波（2010年2月27日発生）の浸水域周辺土壌を対象とした分析を行った。2010年チリ津波発生時に甚大な被害が報告されている Talcahuano とその周辺において、18地点から計46サンプルを採取し、分析に供した。なお、試料の採取は津波発生後、約50日後に行い、その間の降水量は4mm程度である。これらの全試料について、水溶液を対象とした電気伝導度（Eutech Instruments社製導電率計TDScan20）およびイオンクロマトグラフィー（Metrohm社製IC881）による主要イオン濃度の計測をおこなった。電気伝導度は、現地での簡易分析と室内分析を行った。簡易分析では、湿重量約3gの試料に脱イオン水約30mlを加え、約1分間攪拌した懸濁液を計測した。室内分析では、60℃で24時間以上乾燥させた試料3.0gに脱イオン水30mlを加え、30分間攪拌した懸濁液について、フィルター（0.45μm）でろ過した溶液について計測した。イオン濃度の計測は、上記溶液中の各イオン（Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, NH<sup>4+</sup>, NO<sup>3-</sup>, SO<sup>4</sup><sup>2-</sup>）の濃度を計測後、検量線法により定量した。

主要イオン濃度の計測の結果、浸水域内の試料は、各イオン（Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, SO<sup>4</sup><sup>2-</sup>）濃度が高く、浸水域外の試料とは有意な差があった。上記イオンの塩化物イオン比について、浸水域内外の各試料と海水とを比較した結果、浸水域内の試料は、海水と類似したイオン比であった。一方、浸水域外の試料は海水とは有意に差がみられた。以上から、浸水域内の試料における各イオンが、津波による浸水によって供給されたと考えうる。さらに、同様な塩化物イオン比の解析で、津波堆積物試料と堆積物を伴わない浸水域内の試料との間に有意な差は見られなかった。

計測された水溶性イオンの濃度を用いて、津波浸水域の判別分析を行った結果、Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, SO<sup>4</sup><sup>2-</sup>、および電気伝導度を用いた場合に90%以上の高い判別率の中率が得られた。土壌および海水中のイオンの含有量を考慮すると、Br<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>が津波浸水域の判別に適していると考えられた。さらに、これらの水溶性イオンを用いて、物理的痕跡の乏しかった地点の土壌について、浸水域内外の判定を行った。一部の地点では、津波来襲時に避難していた住民から、不確かではあるが、およそその浸水範囲についての証言が得られていた。しかし、分析結果から考えられる浸水域は、証言とは異なる結果となった。このように、物理的痕跡や、信頼できる証言が得られない場合に、土壌の化学的な分析を実施する事で、津波浸水域調査の信頼性を向上させることが可能であると考えられる。

なお、発表時には2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震に伴って発生した津波の浸水域内で取得した土壌についての分析結果も併せて紹介し、本手法の適用性と課題についても論じる予定である。

キーワード: 津波, 土壌, 水溶性イオン, 浸水域, 津波堆積物

Keywords: tsunami, soil, water-soluble ion, inundated area, tsunami deposits

MIS036-P148

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 2011年東北地方太平洋沖地震による道路斜面および河川堤防の地質災害の分布と特徴

### Distribution and properties of geo-hazards along road-slope and river levee by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku

佐々木 靖人<sup>1\*</sup>, 浅井健一<sup>1</sup>, 品川俊介<sup>1</sup>, 日外勝仁<sup>1</sup>, 安元和己<sup>1</sup>, 林浩幸<sup>1</sup>

Yasuhito Sasaki<sup>1\*</sup>, Ken-ichi Asai<sup>1</sup>, Shunsuke Shinagawa<sup>1</sup>, Katsuhito Agui<sup>1</sup>, Kazumi Yasumoto<sup>1</sup>, Hiroyuki Hayashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (独) 土木研究所

<sup>1</sup>Public Works Research Institute

2011年東北地方太平洋沖地震で発生した道路災害や河川堤防の被害の分布を道路・河川管理者の情報から抽出してGISにプロットし、産業技術総合研究所のシームレス地質図に重ね合わせるとともに、一部の災害について現地調査を行った。

広域的に見ると震度分布は基盤が古い時代(主に硬岩)の地域に比べ新第三紀以降の軟岩地域で概ね1ランク高いが、道路や河川の被災分布も同様に軟岩地域が多い。とくに被害は震度6強以上の地域で頻発し、宮城の一部(築館周辺など)や福島の一部(白河周辺など)で道路や河川の地盤災害が密集する。

道路斜面災害については、今回の本震では岩手・宮城内陸地震に比べ少ないものの、高さ15m以上の大規模な谷埋め盛土の土砂崩壊(国道4号伏拝)や、もともと緩み岩盤斜面と思われる微地形を持つ地域の一部での大規模な岩盤崩壊(国道45号石巻北方)などが発生し、4月30日現在も不通ない片側交互通行となっている。また、福島県いわき市で4月11日に発生した余震では、井戸沢断層(西側)や湯ノ岳断層周辺で地表地震断層が発生したが、地表地震断層の近傍では地すべりや岩盤崩壊が発生している。とりわけ県道の一部で人的被害を伴う大規模な道路土砂災害が発生したが、この地域は地すべり地形が認められる箇所の末端で発生したものである。

いっぽう、河川堤防の被災箇所は基礎地盤に起因する箇所と堤体の地盤に起因する箇所が認められるが、大規模に被災した箇所の多くは旧河道沿いなど微地形から判別できる基礎地盤に起因するものが多い。

以上より、大規模な被害が認められる箇所は、地形的にも脆弱性を示す特徴が認められることが多いので、地形等の特徴から大規模な地質災害が推定される箇所については、今後、戦略的かつ優先的に詳細調査を行っていくことが必要と考えられる。

キーワード: 地震, 道路斜面, 河川堤防, 斜面崩壊, 地すべり, 液状化

Keywords: earthquake, road slope, river levee, slope failure, landslide, liquefaction

MIS036-P149

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 仙台周辺における地形改変地の被害 - 1978年宮城県沖地震と比較して - Structural Damages on Artificially Modified Hills around Sendai Caused by Earthquakes in 1978 and 2011

村山 良之<sup>1\*</sup>, 平野信一<sup>2</sup>, 八木浩司<sup>1</sup>, 千葉則行<sup>3</sup>, 柴山明寛<sup>2</sup>

Yoshiyuki Murayama<sup>1\*</sup>, Shin-ichi Hirano<sup>2</sup>, Hiroshi Yagi<sup>1</sup>, Noriyuki Chiba<sup>3</sup>, Akihiro Shibayama<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 山形大学, <sup>2</sup> 東北大学, <sup>3</sup> 東北工業大学

<sup>1</sup> Yamagata University, <sup>2</sup> Tohoku University, <sup>3</sup> Tohoku Institute of Technology

近世以降の日本の都市は平地(低地や台地)に展開してきた。しかし高度経済成長期以降の爆発的都市化の時期以降、丘陵地等にも都市域が拡大した。なかでも仙台都市圏では住宅地が丘陵地に広く展開する。仙台駅から半径20km圏域で見ると、人口集中地域(DID, 実質的都市域, 2005年国勢調査)のうち約33%は丘陵地に位置する(村山・梅山, 2010)。1978年宮城県沖地震の際、仙台都市圏の丘陵地に造成された住宅地では特徴的な被害が発生した(村山, 1980ほか)。すなわち、切土部で被害が少ないのに対して、盛土部や切盛境界部では地盤破壊に伴う被害が多い。これ以降、同様の被害が日本の地震災害のたびに認められることになった。

2011年東北地方太平洋沖地震によって、仙台都市圏の丘陵地に展開する住宅地は再び被災した。応急調査からこれまでのところ以下のことが明らかになった。

1) 過去の事例と同様に、切土部で被害が小さい/少ないのに対して、盛土部や切盛境界部で被害が大きい/多い。同じ開発地内の近くの住宅間でも地盤の違いに伴う被災程度差はきわめて大きく、これも過去の事例と同様である。

2) 谷埋め盛土や腹付け盛土の地すべりの変動や切盛境界部での不同沈下によって住宅がひどく被災した事例が認められる。このような事例は、1970年頃以前の古い造成の住宅地に多い傾向が明瞭である。ただし、1990年代造成の新しい住宅地で被災した事例もある(高野原)。

3) 開発の古い造成地間にも被災程度の差が認められる。地形改変の度合いが小さいすなわち盛土部分が浅い(薄い)造成地の方が、被災程度が高い傾向が認められる。ただし、厚い谷埋め盛土末端部で被災した場所もある(松が丘, 南光台6丁目等)。

4) 被災写真の比較や聞き取りによると、切盛境界部等で1978年と2011年の両年とも被災した場所が数多く認められる。全国の既存被災場所での対策が必要であることを示す。しかも、2011年の方が地盤変状の程度がひどく、住宅等の被害も大きいものが多い。地震動の違いの他に、33年間に盛土が劣化した可能性が考えられる。

5) 新しいRC造の擁壁(宅地境界の小規模な擁壁)は、ブロック積みや練り玉石積み擁壁に比べて被害が少ない。むしろ、地盤変状をかなりの程度食い止めたこと、周囲の状況から判断できる事例も多い。

6) 1978年には、地盤変状によって住宅の基礎がひどく破壊された事例が多かったが、新しい住宅は、とくに基礎が堅牢になったため、ある程度の地盤変状が生じても構造的被害を免れた事例が多い。ただし地盤変状が大きい場合は住宅全体が傾斜する等の被害は免れない。

キーワード: 2011 東北地方太平洋沖地震, 1978 宮城県沖地震, 地形改変, 地盤被害, 建物被害

Keywords: The 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, The 1978 Miyagi-ken Oki Earthquake, artificially modified land, ground damage, building damage



MIS036-P150

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 仙台市の丘陵地における地すべり性地表変動の状況について Landslide surface deformation of hilly area in Sendai City, Japan

佐藤 浩<sup>1\*</sup>, 中埜 貴元<sup>1</sup>

Hiroshi, P. Sato<sup>1\*</sup>, Takayuki Nakano<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国土地理院

<sup>1</sup>GSI of Japan

2011年東北地方太平洋地震により、仙台市の丘陵地で地すべり性の地表変動が生じ、住宅地に被害を与えた。そのうち、1978年宮城県沖地震と今回の地震で被害が生じた緑ヶ丘地区(約1.2km<sup>2</sup>)に焦点を当てて地表変動(例えば、路面のアスファルトの開口や短縮)の有無を現地で調査し、その地点を図に示した。現地調査による地点数は合計149になった。そのうち、地表変動があったのは77地点、無かったのは72地点だった。次に、1951年と2000年現在の5mメッシュ数値地形モデルから盛土・切土の分布域をマッピングして149の調査地点と重ね合わせた。その結果、変動が無かった地点の盛土厚の平均は0.8m(標準偏差5.4m)であったのに対し、変動があった地点の盛土厚の平均は6.7m(標準偏差4.7m)であり、変動が無かった場所よりもあった地点のほうが盛土厚が厚い傾向のあることが判った。また、側辺と底辺の長さ地震動を加味した盛土の挙動の予測を試みたので、その結果を報告する。

なお、数値地形モデルの提供は東北学院大学宮城教授のご厚意による。

キーワード: 地すべり, 住宅地, 被害, 盛土, 切土, 地震

Keywords: landslide, residential district, damage, earth filling, cut earth, earthquake

## 福島県中通り中央部における第四系と地震被害との関係について Relationship between Quaternary system and damage from earthquake in center of Fukushima

小林 達也<sup>1\*</sup>

Tatsuya Kobayashi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院新領域創成科学研究科

<sup>1</sup>The University of Tokyo

2011年3月11日、三陸沖を震源とするM9.0の「東北地方太平洋沖地震」が発生した。この地震では三陸・宮城の沿岸地域での津波被害が目撃される一方で、福島県内では、内陸部に位置する郡山市・須賀川市・鏡石町・矢吹町で、地震による建築物や道路の損壊が多く認められた。

この地域の被災状況について国土技術政策総合研究所・建築研究所(2011)、中村(2011)、齊藤(2011)、高田(2011)が筆者より先行して調査したが、地形との因果関係には至っていない。

そこで筆者は、被害の実態の把握と被害を生じさせた地形学的要因をつかむため、現地調査と空中写真による分析をおこなった。その結果、建築物の老朽化に加え、地震被害を大きくさせた要因として地形との関係が明らかとなった。

まず、地震被害が多く見られた地域は、最終間氷期に存在していたとされる「古郡山湖」の範囲と重なり、顕著な被害の発生した地域は、この郡山湖成層が露出する台地面であることが明らかとなった(第1図)。

次に、郡山湖成層が露出する台地面でも特に被害が集中して発生した地域は、旧河道上や池沼の周辺あるいは池沼跡であることが明らかとなった。

古郡山湖は小池(1965)が、湖沼ないし沼沢性堆積物によって構成される郡山台地について、本宮市から矢吹町にかけて存在していたことを復原した。

今回の地震では、この古郡山湖の範囲と地震被害の大小の分布が非常によく一致していることが認められた。それは、郡山湖成層が最上位面となっている須賀川市・鏡石町・矢吹町で被害が広範囲に渡って発生したことから分かる。郡山市の場合は、郡山研究グループ(1962)によって記載された、西の内段丘面や湖成層を覆う大槻扇状地といった礫層での被害は少なく、湖成層が露出している台地面東部で局地的に顕著な被害が認められた。

他方、古郡山湖を囲む東部の阿武隈高地や西部の奥羽山脈、白河石英安山岩質熔凝灰岩の火砕流で構成される白河市での被害はほとんど認められない。特に、古郡山湖の東岸に当たる郡山市緑ヶ丘ニュータウン、須賀川市大東地区、玉川村須釜地区での顕著な被害は認められない。また、東北道と磐越道を結ぶあぶくま高原道路では、古郡山湖の範囲内に当たる矢吹IC~玉川IC間では、橋梁部の抜け上がりなど路面が凹凸している。しかし阿武隈高地内の玉川IC~小野IC間にかけての被害はほとんどない。そのため、東の湖岸線を境として東西で被害に差があることが認められた。

続いて、古郡山湖の分布域の中でも被害の大きかった須賀川市・鏡石町・矢吹町での被災した建築物の土地条件について、現地調査や空中写真から分析したところ、須賀川市街地では主に旧河道、鏡石・矢吹両町街地では主に池沼周辺あるいは池沼跡であることが判明した。被害に遭った建築物の多くは築30年以上のコンクリート構造物や築40~50年以上の家屋であり、老朽化も原因である。ただし、築2~3年の建築物であっても、沼に向かって地盤が陥没し、コンクリートのベタ基礎ごと地面からはがれてしまった例も認められた。また、谷津を盛土造成した道路においても、各地で陥没の被害が認められた。

また、JR鏡石駅周辺では、液状化現象が発生した。この要因は、低湿地で池沼が多い地域であったことが原因である。

なお、一般的に軟弱地盤とされる沖積低地では、水量の多い阿武隈川流域であっても、沖積層の厚さが薄く、また、直下に礫層があるため、湖成層かつ低湿地の台地面と比較すると大きな被害は認められなかった。

これらより、福島県中通り中央部の第四系と地震被害との関係について、(1)古郡山湖の範囲と重なる。(2)更新統の湖成層でも特に旧河道上や池沼周辺など低湿地の場所で集中的に被害が発生した。(3)完新統では、沖積層は薄く、直下に礫層があるため、被害は少ない。(4)、他方、古郡山湖を囲む阿武隈高地、奥羽山脈、白河市での被害は少なかったことが明らかとなった。

〔参考文献〕

郡山研究グループ(1962)「郡山盆地北部の第四系および地形 郡山盆地の第四紀地史の研究(その1)」『地球科学』58, p.11-17.

小池一宏(1965)「阿武隈川中流域の地形(短報)」『地理学評論』38-8, p.519-525.

中村晋(2011)「福島県内における被災状況調査速報(2) 須賀川市内における被災状況調査」.

齊藤正人(2011)「東北地方太平洋沖地震被害報告(速報その2) 福島県須賀川市・郡山市」.

国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所(2011)「平成23年東北地方太平洋沖地震による建築物被害第1次調査 那須町、矢板市、須賀川市などにおける木造を中心とした建築物被害(速報)」  
高田明典(2011)「福島県中通り地方の地震による被害の状況報告 須賀川市・鏡石町を中心に」.

キーワード: 古郡山湖, 郡山湖成層, 低湿地, 旧河道, 池沼, 建築物の老朽化

Keywords: Lake Old Koriyama, Koriyama lacustrine sediment, slough, old river channel, pond, decrepit building

MIS036-P152

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 東日本大震災による茨城県の被害状況

### The damage caused by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake in Ibaraki Prefecture

元木 理寿<sup>1\*</sup>, 石塚 耕治<sup>1</sup>

Masatoshi Motoki<sup>1\*</sup>, Koji Ishizuka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 常磐大学

<sup>1</sup>Tokiwa University

気象庁では、「3月11日14時46分頃に三陸沖を震源とするマグニチュード9.0の巨大地震が発生し、宮城県栗原市で震度7、宮城県、福島県、茨城県、栃木県で震度6強など広い範囲で強い揺れを観測した。また、太平洋沿岸を中心に高い津波を観測し、特に東北地方から関東地方の太平洋沿岸では大きな被害があった」と報じた。

この巨大地震は、津波・液状化そして原子力発電所の事故など東日本を中心にわが国に甚大な被害をもたらした。特に、東北三県は大きな被害に見舞われ、大きく報道された。メディアでの報道は多くなかったが茨城県も同様の被害を被った。これらによる災害は、これからの生活を考える上で、多くの教訓を残すものと思われる。

本研究では、東日本大震災は茨城県に何をもちたか、をテーマに 何が・何処で起こったか、市町村の被害に関する情報を収集整理し概括的に全体像を明らかにする。この全体像を基に特定の市町村を対象に踏査等により被害実態を詳細に分析しその原因を明らかにする。これらを基に今後の基盤整備やまちづくりのあり方を検討する。

そこでまず、今回はこの震災により茨城県ではどのような被害が生じたのか、その全体像を概括的に明らかにし報告する。

Keywords: off the pacific coast of tohoku earthquake, Ibaraki Prefecture, damage, tsunami, earthquake disaster

MIS036-P153

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 茨城県神栖市における津波および液状化現象による構造物被害状況の検証 Observation of the damages of buildings and ground surfaces caused by the tsunami and liquefaction in Kamisu city, Ibara

小山 拓志<sup>1\*</sup>

Takushi Koyama<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 明治大学大学院

<sup>1</sup> Graduate Student, Meiji Univ.

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震によって、茨城県南東部に位置する鹿嶋市および神栖市では、製鉄や化学産業が集積する鹿島灘沿岸地域および港湾周辺地域において、津波による構造物の破損、地表の陥没・亀裂、コンテナの散在といった被害が生じた。また、神栖市の一部地域では液状化現象が発生し、構造物の傾斜や沈下、地表の陥没・亀裂・波状変形、マンホールの抜け上がり、噴砂、上下水道管の破損、線路の断線・歪みなど、甚大な被害が生じた。さらに、液状化現象によって鹿嶋市鰐川地区の鰐川浄水場と市の配水場を結ぶ水道送水管や、市内の下水道管が損傷したことで、長らく神栖市内の一部地域において断水（計画断水も含む）や公共下水道の使用不能が続いた。

一般的に液状化現象の発生要素は（1）ゆるい砂地盤（2）高い地下水位（3）地震による振動（外力）であると言われている。特に、地盤構成物質と地下水位は、地形および近現代の土地利用変化と密接に関係している。神栖市における液状化被害分布と近現代の土地利用変化を旧版地形図や迅速測図を用いて照査した結果、液状化現象による被害は、湿地や沼沢地を整地・造成し耕地化・宅地化した地区に集中している傾向が認められた。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 液状化現象, 津波, 構造物被害, 神栖市, 茨城県

Keywords: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, liquefaction, tsunami, damages of buildings and ground surfaces, Kamisu city, Ibaraki Prefecture

MIS036-P154

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## Google Earth を使ったつくば市および土浦市周辺地域における建物被害の分布 Distribution of housing damage around Tsukuba and Tsuchiura cities using Google Earth images

岡田 真介<sup>1\*</sup>, 坂田 健太郎<sup>2</sup>, 中村 洋介<sup>1</sup>, 小松原 純子<sup>1</sup>, 納谷 友規<sup>1</sup>, 田辺 晋<sup>2</sup>, 長森 英明<sup>2</sup>, 中澤 努<sup>2</sup>, 小松原 琢<sup>1</sup>, 水野 清秀<sup>1</sup>

Shinsuke Okada<sup>1\*</sup>, Kentaro Sakata<sup>2</sup>, Yosuke Nakamura<sup>1</sup>, Junko Komatsubara<sup>1</sup>, Tomonori Naya<sup>1</sup>, Susumu Tanabe<sup>2</sup>, Hideaki Nagamori<sup>2</sup>, Tsutomu Nakazawa<sup>2</sup>, Taku Komatsubara<sup>1</sup>, Kiyohide Mizuno<sup>1</sup>

<sup>1</sup>産総研 地質情報研究部門, <sup>2</sup>産総研 地質標本館

<sup>1</sup>GSJ, AIST (Geology and Geoinformation), <sup>2</sup>GSJ, AIST (Geological Museum)

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震によって、土浦市・つくば市では震度6弱を記録した。建物の被害分布と地質・地盤の関係について明らかにするために、両市の一部地域に限定して、建物被害や地盤変状を踏査した。その結果、以下のことが明らかになってきた(詳しくは、中村洋介ほか、本学術大会予稿を参照されたい)。1) 従来、地震動に強いとされていた段丘面上の被害分布が、地震動に弱いとされている沖積低地の被害分布と比較し同程度の被害が認められる地域があった。2) 同じ桜川段丘面上でも、地域により被害分布に大きな差がある(土浦市飯田-つくば市中根; つくば市小田)。これらの結果を踏まえて、本研究では、より広範囲の被害分布を調査し、両市およびその周辺地域における地震動に対する地質の特性を一般的化する必要があった。

本研究では、本震以降に更新された Google Earth 画像(本研究では2011年3月29日の画像を使用)で判別できる屋根瓦の損壊・落下(ブルーシート等で判別)に着目し、その分布を地質図\*と重ね合わせ、被害分布と地質・地盤との比較検討を行った。現地調査の結果から、屋根瓦の損壊・落下を受けている建物は、外壁の損傷もしくは塀・灯籠の倒壊を同時に受けていることも多く、建物被害を代表しているものと考えられる。また、Google Earth 画像を用いることにより、広範囲にわたる地域を同時刻に、かつ均質に評価することができた。

Google Earth 画像を用いた調査の結果、まず、現地踏査を実施した地域の建物被害分布と比較し、Google Earth 画像の判読で得られた屋根瓦の被害分布が実際の建物被害の分布をほぼ再現できていると判断した。また、土浦駅、荒川沖駅、および牛久駅周辺で被害が集中している。さらに、つくば市北条、つくば市今鹿島-百家、及びつくば市谷田部周辺でも被害が多いことが明らかになった。これらの被害が集中している地域は、沖積低地だけでなく段丘上にも散在しており、建物被害の程度には、地表地質や地形以外の要因が大きく影響している可能性がある。今後は、段丘下に埋もれている古い地質時代の谷地形や、先新第三系の基盤上面深度など、地下地質との対応を比較し、検討を行っていく予定である。

\*宇野沢昭・磯部一洋・遠藤秀典・田口雄作・永井 茂・石井武政・相原輝雄・岡 重文(1988), 2万5千分の1筑波学園都市及び周辺地域の環境地質図説明書, 特殊地質図(23-2), 地質調査所, 139p.

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, Google Earth 画像, 瓦屋根の被害, つくば市, 土浦市

Keywords: 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Google Earth image, damage of roofing tiles, Tsukuba City, Tsuchiura City

## つくば市・土浦市周辺の地震被害状況調査(速報)

### Flash report of the housing and ground damage around Tsukuba and Tsuchiura cities due to the 2011 Off the Pacific Coast

中村 洋介<sup>1\*</sup>, 坂田 健太郎<sup>2</sup>, 岡田 真介<sup>1</sup>, 船引 彩子<sup>3</sup>, 澤田 結基<sup>4</sup>, 小松原 純子<sup>1</sup>, 納谷 友規<sup>1</sup>, 田辺 晋<sup>2</sup>, 長森 英明<sup>2</sup>, 中澤 努<sup>2</sup>, 小松原 琢<sup>1</sup>, 水野 清秀<sup>1</sup>

Yosuke Nakamura<sup>1\*</sup>, Kentaro Sakata<sup>2</sup>, Shinsuke Okada<sup>1</sup>, Ayako Funabiki<sup>3</sup>, Yuki Sawada<sup>4</sup>, Junko Komatsubara<sup>1</sup>, Tomonori Naya<sup>1</sup>, Susumu Tanabe<sup>2</sup>, Hideaki Nagamori<sup>2</sup>, Tsutomu Nakazawa<sup>2</sup>, Taku Komatsubara<sup>1</sup>, Kiyohide Mizuno<sup>1</sup>

<sup>1</sup>産総研 地質情報研究部門, <sup>2</sup>産総研 地質標本館, <sup>3</sup>日本大学理工学部, <sup>4</sup>福山市立大学都市経営学部

<sup>1</sup>GSI, AIST (Geology and Geoinformation), <sup>2</sup>GSI, AIST (Geological Museum), <sup>3</sup>Nihon University, <sup>4</sup>Fukuyama City University

#### 1. はじめに

3月11日の東北地方太平洋沖地震の発生を受けて、つくば市および土浦市周辺における建物被害や地盤液状化などの状況と地質の関係を明らかにすることを目的に、現地踏査によって被害状況を確認した。両市における震度は気象庁の観測により6弱と報じられているが、実際には地点によって被害のばらつきがあると考えられる。したがって、地質と地震動の関係を明らかにするためには、建物の被害や地変の状況が有力な手がかりとなる。

#### 2. 調査方法

現地調査では、(1)瓦屋根の損傷、(2)建物の外壁の損傷、(3)塀や灯籠の倒壊、(4)噴砂、(5)地盤沈下・亀裂、(6)そのほかの変状(がけ崩れなど)に着目して徒歩で踏査し、それらが認められた地点を住宅地図上に記載するとともに個々の被害状況をカルテに記録した。なお、調査結果はGIS上で地質図\*に重ね合わせて検討した。

#### 3. 調査結果

土浦市の中心市街周辺を調査した結果、土浦市の中心市街地(沖積低地の自然堤防堆積物の上に形成されている)からその北方の同市真鍋地区(沖積低地の後背湿地堆積物および自然堤防堆積物の分布域にあたる)では外見上被害を受けている建物が密集していることが判明した。一方で、その西方の桜川段丘堆積物(主に3万年前ごろに堆積した砂礫で造られている低位段丘)上の集落では被害を受けている建物が少ない。また、土浦港周辺の埋立地では建物の被害は比較的少ないものの、噴砂が一部地区で密集して認められた。

つくば市今鹿島から同市鬼ヶ窪にかけての地域では、常総台地(中位段丘:約10万年前に河川の下流部で堆積した砂や泥が分布している)でも被害を受けた建物が密集している場所が認められた。この傾向は土浦市中心市街北方の中位段丘でも同様であり、必ずしも段丘堆積物の上で地震被害が小さいとは言えないことを物語っている。

#### 4. 調査結果の解釈について

今回の調査では、従来地震に強いと言われてきた台地(段丘)の中でも地震に弱いとされている低地(沖積層の分布地域)と大差のない揺れが生じた可能性が高い地区があることが判明した。特に、段丘の中でも砂礫で造られた桜川段丘(低位段丘)上では被害が比較的小さく、砂や泥で造られた常総台地(中位段丘)上では沖積層の分布地域と同程度に被害が生じていることが明らかになった。また、地震に弱いとされてきた埋立地でも土浦港周辺のように今回の調査範囲では周辺と比較して特に大きな被害は認められないこと(ただし、港の北側では局所的に噴砂が集中する地域があった)など、興味深い事実が確認された。

今後は、より広い範囲を調査するとともに台地の下の埋もれている古い地質時代の谷地形や埋立に使われた母材なども検討し、地震による揺れと地質の関係について研究を続けていく予定である。

\*宇野沢昭・磯部一洋・遠藤秀典・田口雄作・永井 茂・石井武政・相原輝雄・岡 重文(1988)

2万5千分の1筑波学園都市及び周辺地域の環境地質図説明書・特殊地質図(23-2)地質調査所, 139 p.

キーワード: 東北太平洋沖地震, つくば市, 土浦市, 屋根瓦の損傷, 噴砂

Keywords: 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Tsukuba City, Tsuchiura City, damage of roofing tiles, sand boils

## 東北地方太平洋沖地震による関東盆地中央部の液状化現象 Some cases of liquefaction in the central Kanto plain caused by the 2011 Off Pacific Coast of Tohoku earthquake

瀬戸 真之<sup>1\*</sup>, 田村俊和<sup>2</sup>, 町田尚久<sup>3</sup>  
Masayuki Seto<sup>1\*</sup>, Toshikazu Tamura<sup>2</sup>, Takahisa Machida<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 埼玉大学地圏科学研究センター, <sup>2</sup> 立正大学, <sup>3</sup> 立正大学大学院・研  
<sup>1</sup>Saitama University, <sup>2</sup>Rissho University, <sup>3</sup>Graduate student of Rissho University

### 1. 調査地の位置

2011年4月4日に渡良瀬遊水池(栃木県)および埼玉県久喜市南栗橋地区における液状化の調査を行ったので報告する。渡良瀬遊水池および南栗橋地区は関東盆地中央部に位置し、利根川の中流部にあたる。

### 2. 渡良瀬遊水池

渡良瀬遊水池は水が入っているハート型をした谷中湖と第1調節池, 第2調節池, 第3調節池から構成される。今回液状化した場所は第1調節池の北端に作られた運動公園の中である(図2)。液状化は運動公園北側の野球グラウンド, サッカーグラウンドを中心に発生した。調査時点ではグラウンド内については, 地表面の亀裂とその周囲に若干の噴砂が残っている状況であった。亀裂の幅は3~5cm, 深さは20~40cmである。グラウンド脇の側溝には大量の噴砂が流れ込んでいた。また, 公園内の道路では舗装の継ぎ目から砂が噴出した痕跡があった。芝生になっている部分でも噴砂の跡が認められた。同じ範囲に, 地表面にある種の舗装が施されたテニスコートが含まれるが, ここでは亀裂や噴砂など液状化の痕跡は認められなかった。

### 3. 埼玉県南栗橋地区

埼玉県南栗橋地区は東武鉄道日光線南栗橋駅周辺に開発された住宅地である(図7)。駅の開業は1986年8月なので, この少し前から造成されたものと思われる。造成前の地形は, フランス式地形図, 米軍撮影の空中写真(1947)や平井(1983)の地形分類図からみると, 旧河道および湿地である。この地区は埋没段丘の上ではなく, つまり最低海水準時の谷筋を埋めた部分で, 完新世には氾濫原・低湿地であり続けたところではないかと推定される。

1923年の関東地震では, 今回液状化した造成地から南に約500mの中川右岸で地割れが出来(門倉, 1925), 1931年の西埼玉地震では近くの北葛飾郡桜田村で噴砂の記録が残っている(埼玉県熊谷測候所1932)。今回は, 住宅地南西部の運動グラウンド付近とその北の分譲されていない粗造成地を中心に液状化が発生し, 木造家屋の不等沈下のほか上下水道が深刻な被害を受け, 調査時点では本格復旧に至っていなかった。

### 4. おわりに

関東平野中央部は, 諸河川が集中するので, 旧河道, 湿地, 自然堤防, さらに河畔砂丘が広く分布しており, 今回のような大きな地震では液状化の被害を免れ得ない地域である。今回の震災では, 東京湾岸埋立地での事例と異なりまだあまり報告されていないが, この程度の現象が発生したことは記録にとどめ, 今後の土地利用を考える際の参考にしてよいと考えられる。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 関東盆地, 液状化現象

Keywords: 2011 Off Pacific Coast of Tohoku earthquake, Kanto plain, liquefaction



MIS036-P157

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 利根川流域における液状化被害 Liquefaction damage in the Tone river basin

長谷川 信介<sup>1\*</sup>, 藤原 広行<sup>1</sup>, 前田 宜浩<sup>1</sup>, 東 宏樹<sup>1</sup>, 岩城 麻子<sup>1</sup>, 河合 伸一<sup>1</sup>, はお 憲生<sup>1</sup>, 森川 信之<sup>1</sup>, 先名 重樹<sup>1</sup>  
Nobusuke Hasegawa<sup>1\*</sup>, Hiroyuki Fujiwara<sup>1</sup>, Takahiro Maeda<sup>1</sup>, Hiroki Azuma<sup>1</sup>, Asako Iwaki<sup>1</sup>, Shinichi Kawai<sup>1</sup>, Ken Xiansheng Hao<sup>1</sup>, Nobuyuki Morikawa<sup>1</sup>, Shigeki Senna<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所

<sup>1</sup>NIED

東北地方太平洋沖地震では、利根川流域においても多数の液状化現象が発生し、一部地域においては、ライフラインの寸断、住宅基礎の破壊や不同沈下など、甚大な被害が発生した。報道などで取り上げられる液状化被害は極一部であり、利根川流域における液状化被害の全体像をとらえることを目的として現地踏査を実施した。

調査対象地域は、茨城県内の神栖市、鹿嶋市、潮来市、行方市、龍ヶ崎市、河内町、利根町、取手市、つくばみらい市、守谷市、常総市、下妻市、八千代町、筑西市、坂東市、境町、五霞町、古河市、結城市、千葉県内の銚子市、東庄町、香取市、神崎町、成田市、栄町、印西市、我孫子市、柏市の計 28 市町である。調査は平成 23 年 4 月 7 日、8 日の 2 日間で実施した。各市町の役場で液状化被害に関する情報を収集したのち、現地において写真撮影、噴砂の試料採取、住民へのヒアリングを実施した。

利根川流域を 3 つの地域に区分し、各地域における液状化の特徴をまとめると以下の通りである。

(1) 太平洋岸地域(神栖市、鹿嶋市、銚子市)

砂利採取場の埋め戻し、沼の埋め戻しなどの人工地盤のほかに、自然地盤である砂丘においても激しい液状化が見られた。

(2) 利根川下流域(潮来市、行方市、東庄町、香取市、神崎町、河内町、利根町)

激しい液状化が見られたのは、ほとんどが池や河川を埋め立てた人工地盤であった。谷底低地、後背湿地などの自然地盤でも液状化が発生していた可能性もあるが、役場に報告は上がっていなかった。

(3) 利根川中流域(上記を除く市町)

激しい液状化が見られたのは、ほとんどが池や河川を埋め立てた人工地盤であった。また、自然地盤(微地形区分で、自然堤防、谷底低地、砂州・砂礫洲、後背湿地)でも液状化が見られた。ただ、これら液状化が見られた地域のほとんどは、旧土地利用が水田で、かつ、幅の狭い谷部あるいは谷の出口部分といった集水地形に位置する地域であった。

また、住民へのヒアリングでは、3月11日 14:46の本震時より、15:15の余震時に激しい噴砂がみられたという証言が得られた。このことは、短い間隔で強い地震が発生したことが液状化被害を助長させた可能性を示唆している。

キーワード: 利根川流域, 液状化被害, 現地踏査

Keywords: the Tone river basin, liquefaction damage, field investigation

MIS036-P158

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 東北地方太平洋沖地震における利根川流域の液状化調査に基づく解析結果 Analytical result based on liquidizing investigation of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

先名 重樹<sup>1\*</sup>, 藤原 広行<sup>1</sup>  
Shigeki Senna<sup>1\*</sup>, Hiroyuki Fujiwara<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (独) 防災科学技術研究所

<sup>1</sup> NIED

### 1. はじめに

東北地方太平洋沖地震では、関東地方においても多数の液状化による地盤災害が発生した。液状化による地盤災害は古くから知られていたが、今回の地震では、液状化により甚大な地盤災害が生じることを再認識させられたと言える。今後、南関東の地震や南海トラフの地震など、将来の地震においても今回と同様に液状化が発生するものと考えられるため、今回の地震による広域で発生した液状化地域の特定と検証が不可欠である。本研究では、主に茨城県および千葉県利根川流域で発生した液状化地域を調査し、既往の地盤モデルや地震波形等において液状化を検討するための各種解析を実施し、現状の解析結果の問題点と手法についての考えをまとめた。

### 2. 調査・解析概要

千葉県及び茨城県の主に利根川流域被の概略調査を、平成23年3月26日(土)~3月27日(日)に実施し、その調査に基づき、平成23年4月6日~4月7日に詳細な現地調査を実施した。詳細調査の実施の概要と対象範囲は、長谷川・他(本大会報告)を参照されたい。解析については、既往の地盤モデルを用い、道路橋示法書(2002)FL法・岩崎らによるPL法(1980)・吉田・他(2007)タイプ(海溝型)Cw値(地震動特性による補正值変化)と松岡・他(2010)等にて、液状化を起こした地域と比較した。また、液状化発生地域にある地震観測点の地震記録の地震動特性(継続時間・非線形特性・サイクリックモビリティ)の確認を行い、今回の液状化の特性を検討した。

### 3. 解析結果

既往の手法による液状化の解析では、今回の震災における液状化の地域と比較すると、十分に整合的とはいえない結果となった。その理由として、今回液状化したほとんどの場所を古地図等の旧地形図にて確認すると、旧河道・沼地・池等であった場所を人工改変した土地であり、地盤を面的にモデル化するための基礎情報として用いている微地形区分に対応させた場合、旧河道・自然堤防・谷底低地・後背湿地・ローム台地といった、ほとんどの微地形区分に存在する為に分解が悪くなったと考えられる。また、地盤モデルの液状化判定に利用する土質試験情報・水位情報について、収集されたデータが少ないため、局部的に発生した液状化を十分にとらえきれていなかったとも考えられる。また、本震災の液状化では、水位が低い砂丘上でも広範囲で発生しており、今回の地震動特有の長時間の揺れが関係しているものと考えられる。

### 4. まとめ

今回の震災において発生した液状化は、広範囲で発生していることや、海岸付近の液状化をしやすい地形の場所では、津波のため、液状化の痕跡がわからない等、液状化地域を全て調査・解釈することは難しい。しかしながら出来る限りの情報を収集し、今回の情報を精査することで、今後の発生するであろう震災に備えることが急務であると考えられる。

キーワード: 液状化, 非線形, 強震動, 地盤モデル, 微地形区分

Keywords: Liquidizing, Nonlinear, Strong Ground Motion, Structure Model, Geomorphologic Condition

MIS036-P159

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 平成 23 年東北地方太平洋沖地震における利根川周辺の液状化調査 Investigation of the liquefaction along Tone river after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

篠原 秀明<sup>1\*</sup>, 大田俊一郎<sup>1</sup>, 甲斐田康弘<sup>1</sup>, 眞鍋俊平<sup>1</sup>, 藤原広行<sup>2</sup>, 先名重樹<sup>2</sup>, 長谷川信介<sup>2</sup>, 稲垣賢亮<sup>1</sup>, 吾妻瞬一<sup>1</sup>  
Hideaki Shinohara<sup>1\*</sup>, Syunichirou Ohta<sup>1</sup>, Yasuhiro Kaida<sup>1</sup>, Syunpei Manabe<sup>1</sup>, Hiroyuki Fujiwara<sup>2</sup>, Shigeki Senna<sup>2</sup>, Nobusuke  
Hasegawa<sup>2</sup>, Yoshiaki Inagaki<sup>1</sup>, Shunichi Azuma<sup>1</sup>

<sup>1</sup>応用地質(株), <sup>2</sup>(独)防災科学技術研究所

<sup>1</sup>OYO Corp., <sup>2</sup>NIED

平成 23 年 3 月 11 に発生した平成 23 年東北地方太平洋沖地震における利根川周辺の液状化被害について調査した。調査期間は平成 23 年 3 月 30 日から 31 日の 2 日間とした。調査範囲は、千葉県銚子市の利根川河口より埼玉県久喜市の利根川橋までの利根川周辺地域とした。調査方法は、右岸側と左岸側の 2 班に分かれ、利根川沿いの道路を河口より上流に向かって車で走行し、場合によって徒歩にて目視により、噴砂や建物及び電柱等の傾き状況を確認した。

今回確認できた液状化発生地点を図に示す(黒い部分)。左岸側では神栖市矢田部付近より稲敷市余津谷付近までがほぼ連続的に液状化が発生していた。利根川から離れるが潮来市日ノ出町では町全体で液状化が発生していた。右岸側では液状化発生地点が点在しており、香取市小見川及び佐原、神崎町神崎本宿及び松崎、栄町生板鍋子新田から中谷にかけて、我孫子市都、久喜市南栗橋などで液状化が発生していた。液状化によって、噴砂、電柱や建物の傾斜、道路の波打ち、マンホールの浮き上がりなどが見られた。

今回の液状化発生地点と治水地形分類図の重ね合わせると、旧河道や湿地等を埋め立てた所で液状化が多く発生していた。さらに、ボーリング柱状図を見ると、地下 10m 以浅の深さに N 値が 10 前後の砂が分布しているものが多かった。

MIS036-P160

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 東北地方太平洋沖地震による利根川下流低地における液状化被害分布と明治期以降の土地利用変化との関係 旧版地形図に基づく検討 Correlation of the distribution of liquefied sites in the Tone River lowland and land use change since the Meiji era

青山 雅史<sup>1\*</sup>, 小山 拓志<sup>2</sup>

Masafumi Aoyama<sup>1\*</sup>, Takushi Koyama<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 財団法人日本地図センター連携研究員, <sup>2</sup> 明治大学大学院文学研究科地理学専攻

<sup>1</sup>Japan Map Center, <sup>2</sup>Graduate school, Meiji University

利根川下流低地の茨城県取手市藤代から千葉県香取市佐原にかけて現地踏査を行なった結果、東北地方太平洋沖地震によって生じたと思われる液状化被害を多数確認した。液状化被害の発生地点における明治期以降の土地利用変化（土地履歴）について、明治初期～中期に簡便な測量により作成された地図である迅速測図と、明治後期以降に測量・作成された旧版地形図を用いて検討した。

千葉県我孫子市布佐地区では、戸建家屋を主とした建物や構造物の沈下・傾斜、水道管や道路の損壊、電柱の沈下・傾斜などの顕著な液状化被害が生じた領域が複数あった。それらは、明治14年測量の2万分1迅速測図から昭和33年資料修正の2万5千分1旧版地形図の間に刊行された地形図において池沼として表記されていた領域とほぼ一致する。千葉県佐原地区では、利根川現河道と国道356号線との間の領域において、建物や構造物の沈下・傾斜、水道管や道路の損壊、電柱の沈下・傾斜、小規模河川（十間川、小野川）河床における多量の噴砂の堆積などの顕著な液状化被害が生じた。この領域は、明治18年測量の2万分1迅速測図と明治39年測量の5万分1旧版地形図において、利根川流路沿いの水部（池沼）として示されていた領域とほぼ一致する。また、明治後期測量の5万分1旧版地形図では利根川本流の河道として示されているが、それ以降の河川改修により本流から分離し、陸域となった取手市藤代から香取市佐原にかけて分布する利根川・小貝川旧河道部においても、水田上の噴砂、戸建家屋の沈下・傾斜、電柱の傾斜、道路や堤防の亀裂など、多数の液状化被害が生じていたことを確認した。現・旧河道沿いに分布する自然堤防、後背湿地などにおいても、ブロック塀・神社鳥居・墓石の倒壊、電柱の傾斜、道路の損傷等の液状化被害を確認した。

このように、東北地方太平洋沖地震による利根川下流低地における液状化被害は、旧河道、河川沿いに分布する洪水起源の池沼（落堀）の埋立（干拓）地、埋め戻された運河など、過去（特に明治期以降）に水部が陸域へと変化した領域において多く発生したようである。

キーワード: 液状化被害, 土地利用変化（土地履歴）, 旧版地形図, 利根川下流低地, 東北地方太平洋沖地震

Keywords: Liquefaction damage, Land use change, Old edition map, Tone River lowland, The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

MIS036-P161

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 東北地方太平洋沖地震によって東京都江東区の埋立地で発生した液状化の分布 Distribution of liquefied sites on reclaimed lands in Tokyo during the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

井上 耕一郎<sup>1\*</sup>  
Koichiro Inoue<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> なし

<sup>1</sup> none

2011年3月11日に三陸沖を震源とするマグニチュード9.0の巨大地震が発生し、それにともない東日本の沿岸部や平野部の各地で液状化が発生した。東京湾岸の液状化については、千葉県浦安市をはじめとする被害状況がマスコミに大きく取り上げられ、一般にも知られるところとなった。しかし、浦安市以外にも東京湾岸では液状化の発生が各地で確認されており、被害が軽微であった箇所も含め、その全容把握は将来の大地震に対する防災対策上重要である。

本発表では、液状化が発生しやすい場所の一つとされる沿岸部の埋立地を対象とし、震度5強の揺れが観測された東京都江東区の埋立地において液状化の分布・状況を調査した結果を報告する。あわせて東京都が公表している液状化想定域と実際の液状化発生箇所について比較・評価を行った。

調査は、江東区の埋立地のうち20世紀以降に造成された豊洲、東雲、有明、塩浜、枝川、潮見、辰巳、新木場(一丁目)、夢の島の各地域において、地震発生翌日の3月12日から3月19日の期間に実施した。本調査では、噴砂、地下埋設物や建物の浮き上がりなどが確認された箇所を液状化発生地点と認定し、計198か所で液状化を確認した。

液状化による被害が著しかったのは新木場一丁目、辰巳一丁目であった。新木場一丁目ではJR京葉線高架橋と区道に挟まれた製材業者等の倉庫が並ぶ東西約1kmの区画において、噴砂や建物の浮き上がりが広範に観察された。辰巳一丁目は都営住宅、区立小・中学校の敷地が多くを占める街区であるが、液状化の発生箇所は辰巳水門に近い南部の区画に集中しており、同じ造りの建物が並ぶ団地の中でも北部と南部とで被害の現れ方に大きな差が見られた。調査対象範囲では、枝川、潮見、夢の島を除くその他の地域でも液状化が確認されたが、その多くは、公園、低層の建物と歩道の境界部、高層のビル・マンション敷地のオープンスペースなど、比較的新しい時期に開発・建設が行われ、なおかつ地盤改良が十分に施されていないと思われる箇所で見られた。液状化の発生のしやすさは埋立地の造成時期によって異なるとも言われるが、調査対象地域では必ずしもその傾向は見られなかった。なお、3月14日には江東区のウェブサイトにて液状化が発生した町名が公表されたが、本調査では掲載された地域以外でも液状化が確認されている。

液状化想定域については東京都土木技術支援・人材センターから「東京の液状化予測図」が公表されている。そこでは液状化が発生する可能性によって「発生しやすい地域」「発生が少ない地域」「ほとんど発生しない地域」の三つに分類されている。この「東京の液状化予測図」上に本調査で確認された液状化発生地点をプロットし、実際に液状化が確認された地点が予測図ではどのように予想されていたかを検証した。その結果、今回確認された液状化発生地点のうち「発生しやすい地域」に該当するものが約5%、「発生が少ない地域」に該当するものが約68%、「ほとんど発生しない地域」に該当するものが約27%であり、今回の液状化発生箇所と「予測図」で想定された場所とに大きな違いが見られることがわかった。

なお、「東京の液状化予測図」は「東京低地の液状化予測図」(1987年)と「東京港埋立地盤の液状化予測」(東京都港湾局1991年)を合本したものであり、公表されてから既に20年以上が経過している。その間、現在までに当該地域では開発が急速に進み、土地利用の状況が公表当時とは大きく変化している。来たる将来の大地震への対策からも、今回の大地震によって発生した液状化の分布や現況の土地利用をふまえた液状化予測図の改訂が望まれる。

## 東日本大震災東京湾臨海部埋立地における液状化現象 Soil Liquefaction caused by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake at Tokyo Bay reclaimed land

長尾(青木) 朋子<sup>1\*</sup>  
Tomoko Nagao<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東京女学館

<sup>1</sup>Tokyo Jogakkan Schools for Women

東日本大震災では、液状化現象が東北地方から関東地方まで最大規模の広範囲にわたって発生した。関東地方では、内陸をはじめ、太平洋沿岸において液状化現象が各地でみられているが、東京湾埋立地では、神奈川、東京、千葉に至り液状化現象の被害が多く確認された。現段階で確認できた東京湾沿岸で液状化した面積は40平方km以上と過去最大規模である。特に液状化被害の大きい浦安市を中心に報告する。

千葉県浦安市は古くは漁師町で、現在の市面積約7割が昭和40～50年代に埋め立てられている。今回の地震によって、浦安市1455ヘクタールで液状化が発生した。埋立記録を確認すると、昭和43年以降に造成された埋立地で液状化現象が起きている。液状化現象による主な被害は、復旧工事のために近隣の船橋市に一時移転をする県立浦安南高校をはじめ、各小中高等学校の周囲の地盤沈下約70cm～1m、大型スーパー周囲の地盤沈下最大約70cm、ホテルやマンションなど大型建造物の周囲が地盤沈下により30cm～1m段差がみられる。戸建住宅や交番など比較的重量の軽い建造物や塀は倒壊や傾斜がみられ、市の調査では470戸が全半壊した。道路は埋立全地域で路面や舗道の隆起や陥没が起こり、波状の変形、路面両端がさがり中央だけが盛り上がった状態で車両通行が困難な路面も多い。バス停支柱や電話box、電柱の傾斜や倒壊、マンホールが最大1.5m以上、平均して約1mの浮き上がりが見られた。都市ガスや上下水道などのライフラインが使用できなくなり、最大約3万7000世帯断水、1万3000世帯下水道不通、8600世帯ガス供給停止が続いた。浮き上がったマンホール内部を確認すると、地中の配水管の損壊に加え、液状化によってずれた配管から噴砂が流入している。1週間後に再度掘削すると流入した噴砂が固結化し、工事中の作業員から復旧が更に困難な原因となっている旨を伺った。

液状化による噴砂現象は、聞き取りによると噴き上げ高約1.5mの目撃証言が多く、建造物や柱、樹木に痕跡がみられた。路面には平均層厚30cm噴砂が堆積し、乗用車が砂に埋もれている。舗道や路面などには多数の開口亀裂が見られる。噴砂は、亀裂や建物、舗装や電柱などの境界に集中して噴き出した。噴砂丘は最大直径2.5m、傾斜のなだらかな噴砂丘が多くみられた。噴砂丘の断面を観察すると、粒度の粗い土と細かい土による幾重にも重なった縞模様が見られ、間欠泉のように吹いた可能性が高い。噴砂は粘性が低いシルトか砂質である。地盤沈下量は、建物の際で大きく、壁から遠ざかると減少する傾向が強い。浦安では明確な陸海側の差異は見られなかった。今回の被害状況から、液状化した土壌が低い方に流れる側方流動が起きたと推察できる。

同じ東京都東京湾岸埋立地でも、各地区で液状化被害には大きな差異が見られた。江東区東雲、豊洲、辰巳、潮見、中央区晴海では、江戸川区臨海、港区港南、お台場でも、液状化現象による噴砂や地盤沈下による家屋損壊など被害が確認されているが、報道もほとんどされず、浦安のような一面の惨状が見られるわけではないため、同じ区内でも知らない人が多い。生ゴミそのものは液状化しにくいまでも、地盤は揺れやすく圧縮されることが予想されていたが、生ゴミ埋め立て地として知られる江東区「夢の島」では今回は液状化を含め、地震被害はほとんど見られなかった。それに対し、夢の島の海側の埋立地である江東区新木場、東京メトロ東西線に至る陸側埋立地の江東区新砂では、液状化被害による噴砂30cm堆積、マンホールの浮き上がりや、圧縮、亀裂も多数確認され、同じ埋立地でも、明らかな被害の差異に考えさせられる。

今回の液状化現象が、震源から離れた地域を含む広範囲に及んだ要因は、揺れの強さより(浦安市震度5強)、揺れた時間の長さが一因とみられる。住宅地での被害が顕著であったことも今回の特徴であろう。「締め固め」と呼ばれる工法などで液状化対策の地盤改良を施した工業用地や東京ディズニーリゾート、幕張メッセに対し、住宅地は建設コストを抑えるために対策を行わないケースが多いことが被害拡大の一因であろう。多くの大型建造物では、歩道との境に最大約1m段差ができた。大型建造物は硬い層に支持杭で支えているため大幅な沈下を起こさないが、周囲の地盤に処置することはなく、境界部でライフラインが切断される。

被災者生活再建支援法は、家屋の破損や傾きを被害基準として、全壊・半壊と判定する。しかし、千葉県香取市では3500戸が液状化による垂直沈下が多く見られるが、現行法では対象外になる可能性が高い。液状化危険度マップで対象外とされた地区でも、被害がみられている。各自治体が作成するマップの精度も含めて、対策を再検討する必要がある。

キーワード: 東日本大震災, 東京湾, 液状化現象

Keywords: the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Tokyo Bay, soil liquefaction

## 巨大地震による人工地盤の変状-2011年東北地方太平洋沖地震による千葉市海浜幕張および浦安市の各臨海地域における地盤災害- Ground Damage on Man-made Land caused by Mega Earthquake -Characteristics of Ground Disaster due to the Quake-

樋口 茂生<sup>1\*</sup>, 東将士<sup>2</sup>, 稲田晃<sup>3</sup>, 伊藤彰秀<sup>4</sup>, 岩本広志<sup>5</sup>, 上加世田聡<sup>6</sup>, 川崎健一<sup>7</sup>, 末永和幸<sup>8</sup>

Shigeo Higuchi<sup>1\*</sup>, Masashi HIGASHI<sup>2</sup>, Akira INADA<sup>3</sup>, Akihide ITO<sup>4</sup>, Hiroshi IWAMOTO<sup>5</sup>, Satoshi KAMIKASEDA<sup>6</sup>, Kenichi KAWASAKI<sup>7</sup>, Kazuyuki SUENAGA<sup>8</sup>

<sup>1</sup> 早稲田大学 (履), <sup>2</sup> 石油資源開発, <sup>3</sup>, <sup>4</sup> 千葉北高校, <sup>5</sup> 関東天然瓦斯開発 (株), <sup>6</sup> NTC コンサルタント (株), <sup>7</sup> 船橋東高校, <sup>8</sup> (株) 地球システム科学

<sup>1</sup> Waseda Univ., <sup>2</sup> JAPEX, <sup>3</sup>, <sup>4</sup> Chiba-kita Hi., <sup>5</sup> Kanto Natural Gas Development Co., Ltd., <sup>6</sup> NTC Consultants Co., Ltd., <sup>7</sup> Funabashi-higashi Hi., <sup>8</sup> Earth System Science Co., Ltd.

### はじめに

本調査の目的は、人工地盤が巨大地震の地震動によってどのように地盤変状を発生させたかを明らかにすることにある。しかし、研究にあたっては、この地震のソースおよびサイト特性がいかなる条件であったかに留意する必要がある。つまり、地震の規模が M=9.0 (気象庁) と巨大であり、広い断面: 510km × 210km が推定されている (防災科研, 2011)。一方、サイト側には遠地震として、長周期成分に富み、非常に長い 10 分を超える継続時間を有する地震動がもたらされた (防災科研, 2011)。これらの条件下で、人工地盤がどう応答したかが問題である。

### 調査地域

- (1) 千葉市美浜区の JR 京葉線の海側で、花見川と浜田川に挟まれた地区。
- (2) 浦安市堀江・富士見・東野地区。
- (3) 浦安市の JR 京葉線の海側で、日の出、明海、高洲地区。

### 調査結果 ( (1)(2)(3) は各調査地区を示す )

(1) 主に噴砂等の液状化現象および「現象の見られない場所」の分布を踏査した。この地区では緩傾斜地で 2 か所の地盤変状が見られた。どちらも標高 6m ~ 6.4m 程の高まりと、隣接する相対的に低い道路等 (標高 3.4m ~ 3.6m) が、数 100m の距離で接している場所で起こった。現象的には、低地部における大量の噴砂やマンホールの抜け上がり (70cm 以上)、街路樹の傾斜、歩道縁石のはみ出し、歩道ブロックの迫り上がりなどが 100m 以上の範囲で生じた。そして、公園広場の高まりの中腹では延長 100m を超えるオープン性断層とその下がった側に連続的に噴砂が生じた。落差は、約 20cm および約 40cm である。標高差がせいぜい 3m くらいの斜面で生じた特徴ある現象で側方変化を伴っている。

(2) 浦安市堀江・富士見地区の在来地盤 (沖積層地盤) では地盤変状は見られなかった。しかし、1962 (昭和 37) 年の漁業権放棄以降の埋立地である東野地区では変状が多く見られ、対照的な分布を示す。

(3) この地区は、1971 (昭和 46) 年の漁業権全面放棄以降の埋立地である。(2) 地区のような単純な分布とは異なり、多少複雑な分布を示す。ここでは、地盤変状を高精度で記載 (ある意味変状現象のサンプリングに相当) するために樋口ほか (2011) に準じてマンホールに着目し、1 個、1 個のマンホール周辺の変状を記載した。その結果、全体の約 300 個近いマンホールのうち、約 40% で抜け上がりなし、盛り上がりが見られ、それぞれの計測結果および周辺変状が記録された。

### まとめにかえて (問題点)

巨大地震によって引き起こされた地盤変状という意味で、これまでに無かった規模の変状が見られた。(1) の事例は、個々の現象ばかりでなく全体的な繋がりをもって理解し、今後解析をすすめる必要性を示している。また、この地区には、後述する地盤改良によって変状がみられない範囲が認められた。(2) は比較的単純な現れ方をした場合である。(3) については、地盤自体がまったく人工的なものであり、その埋め立てに使われた海底土とサンドポンプによる施工のランダム性が変状にも反映していると推定される。また、埋め立て後に、実施された地盤改良などの対策 (Kamura, 2000) は、敷地あるいはディベロPPER単位であり、さらに複雑さを増している。調査方法については、マンホールに着目した方法が、ある程度 (地盤変状を狭い間隔でサンプリングし、定量化を助ける意味で) 有効であった。例えば、抜け上がりだけでなく、盛り上がりにも注意した結果、周りの噴砂現象と調和的な記載が得られた。今後、調査、計測、記載、分析方法についてもより一層の工夫が必要であると同時に、今回の人工地盤災害に対する教訓を生かした科学・社会両面



における広域的，基本的な対応が求められる．

文献

防災科学技術研究所（2011）

[http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/TohokuTaiheiyo\\_20110311/nied\\_kyoshin1j.pdf](http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/TohokuTaiheiyo_20110311/nied_kyoshin1j.pdf)

樋口茂生・松本俊幸・中山俊雄（2011）2004年新潟県中越地震による上越新幹線脱線区間周辺における地盤変状の特徴と脱線に関わる地質学的背景．地球科学，65，97-109（印刷中）．

Kamura, K（2000）Geo-environmental study on man-made lands in urbanized areas. Doctor Thesis (Osaka City Univ.).

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 地盤災害, 液状化, 埋立地, 千葉市, 浦安市

Keywords: the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Ground Disaster, Liquefaction, Reclaimed land, Chiba city, Urayasu city

## 房総半島でみられた2011年東北地方太平洋沖地震およびその余震による液状化-流動化現象-東京湾岸埋立地・浦安地区- Distribution of Geological Disaster by Liquefaction-Fluidization Phenomena on Boso peninsula -Urayasu area-

香川 淳<sup>1\*</sup>, 風岡 修<sup>1</sup>, 古野 邦雄<sup>1</sup>, 楠田 隆<sup>1</sup>, 酒井 豊<sup>1</sup>, 吉田 剛<sup>1</sup>, 加藤 晶子<sup>1</sup>, 山本 真理<sup>1</sup>

Atsushi Kagawa<sup>1\*</sup>, Osamu Kazaoka<sup>1</sup>, Kunio Furuno<sup>1</sup>, Takashi Kusuda<sup>1</sup>, Yutaka Sakai<sup>1</sup>, Takeshi Yoshida<sup>1</sup>, Akiko Kato<sup>1</sup>, Mari Yamamoto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 千葉県地質環境研究室

<sup>1</sup>R.I. Environmental Geology, Chiba

はじめに：千葉県地質環境研究室では、2011年東北地方太平洋沖地震が発生した3月11日以降、房総半島における地質環境被害について調査を継続している。ここでは東京湾岸埋立地・浦安地区における液状化-流動化現象について報告する。千葉県浦安市周辺は江戸川河口部の三角州を中心とする低地帯であったが、1960年代以降サンドポンプ工法による埋め立てが進み、第1期・第2期の造成を経て現在ではその3/4を埋立地が占めている。地質的にも完新統いわゆる「沖積層」の砂泥が20m以上の厚さで分布し、深度50mを超える「沖積の谷」が複数認められている。このため沖積層の地層収縮による地盤沈下が顕著に認められる地域でもある。

噴砂：浦安地区で発生した液状化-流動化現象では、大量の地下水を伴う噴砂が発生した点が特徴となっている。噴砂の粒径は細粒砂を主とする、サンドポンプで運搬された埋立材であるが、中粒砂や貝殻混じりの噴砂も少なからず観察された。噴砂は道路の継ぎ目、建造物の基礎、電柱や植栽の根、更地の亀裂等あらゆる構造物と地表の接する部分から噴出し噴砂丘を形成した。また噴砂の撤去後も、残った細粒の泥質分が強風に舞い上がり砂塵嵐を発生させている。

地層収縮-抜け上がり：液状化によって生じた地層収縮と噴砂の流失により地盤沈下が発生し、基礎を有する構造物には相対的な「抜け上がり」現象が認められた。これにより建物の損傷は軽微でもライフラインが破損し被害は甚大となった。液状化の顕著な地域では、50cmを超える抜け上がりを生じた建屋も認められ新たにスロープや階段が必要となった。橋脚の抜け上がりによって生じた段差のため通行が困難となる道路もあった。

不等沈下：液状化の発生している地域の多くで戸建て住宅や電柱の沈下や傾きが発生した。調査地では街路間に2戸ずつ戸建てを配列する住宅地が多く見られるが、建屋背面から大量の噴砂を生じつつ沈下したため、背中合わせに沈下・傾斜する例が数多く認められた。

埋設物の浮上：マンホールや浄化槽、地下タンクといった地下埋設物の浮上が数多く認められた。マンホールの浮上は道路面を变形させ通行の障害となったが、仮補修後も变形は継続しており再補修が必要な地点も多い。耐震性をうたった貯水槽も大きく破壊され、震災に役立たなかった。

段差を伴う変形：落差40cmほどの段差を伴う地表の断裂が、日の出地区から明海地区まで北東から南西方向におよそ1kmにわたって認められた。断裂の上盤側（海側）は液状化被害が軽微で変形も小さいが、下盤側（内陸側）は噴砂・抜け上がりといった液状化現象が著しい。おそらく地盤改良等の構造的な差が顕在化したものと推測される。

側方変位と陥没：車道と宅地や商工業地に挟まれた歩道が大きく破壊され、車道側に押し出されている例が顕著に認められる。車道より強度に劣り、各種用地より低位にある歩道に応力のしわ寄せが集中している。また一部の護岸は海側に押し出され、陸側では開口亀裂と陥没を生じ、海側では多量の噴砂を生じている。1995年兵庫県南部地震の際はこの現象が港湾施設で顕著に見られたが、浦安地区には突堤や棧橋がないこともあり被害は限定的である。

「抜け上がり」量実測調査：液状化深度・基礎杭の種類や深度によって「抜け上がり」量は異なるが、液状化に伴う地盤沈下量の目安になると考えられることから実測調査を実施した。その結果、液状化の著しい地域では「抜け上がり」量も大きく、調和的な結果となった。一方、首都高速道路より内陸側では「抜け上がり」量・液状化程度ともに軽微であり、さらに自然地層からなる旧市街ではほとんど液状化-流動化現象は認められなかった。

まとめ：今回の調査により、浦安地区で大規模な液状化-流動化現象が発生したことが認められた。しかし、埋立地において均一に液状化が生じたわけではなく、地域差が大きいことも確認された。液状化が特に顕著だったのは、新浦安駅から明海にかけてのシンボルロード沿い、高洲の北端と中央・南端部、今川の旧護岸および境川沿い、富岡の境川沿いと西端部、弁天の中央部、舞浜周辺、千鳥の中南部等であった。一方、埋立地にもかかわらず海楽、東野、美浜、富岡の中央部、日の出・明海・港の西部等では液状化による被害は軽微だった。なお、今回の調査地域では倒壊したり激しく損傷した戸建て住宅が認められなかったが、これも液状化現象の特徴といえる。今後、地盤改良工法や建築構造の効果等を確認しつつ、液状化程度の差の原因についてボーリング調査や物理探査、地震観測等によって地質との関連を明らかにしていく必要がある。

キーワード: 液状化-流動化現象, 房総半島, 埋立地, 地盤沈下  
Keywords: Liquefaction - Fluidization, reclaimed land, land subsidence

## 房総半島でみられた2011年東北地方太平洋沖地震およびその余震による液状化 - 流動化現象 - 房総半島の概要と東京湾岸埋立地北部

### Distribution of Geological Disaster by Liquefaction-Fluidization on Boso peninsula and northern Tokyo bay reclaimed land

風岡 修<sup>1\*</sup>, 古野邦雄<sup>1</sup>, 香川 淳<sup>1</sup>, 楠田 隆<sup>1</sup>, 酒井 豊<sup>1</sup>, 吉田 剛<sup>1</sup>, 加藤晶子<sup>1</sup>, 山本真理<sup>1</sup>, 高梨祐司<sup>2</sup>, 楡井 久<sup>3</sup>  
Osamu Kazaoka<sup>1\*</sup>, FURUNO Kunio<sup>1</sup>, KAGAWA Atsushi<sup>1</sup>, KUSUDA Takashi<sup>1</sup>, SAKAI Yutaka<sup>1</sup>, YOSHIDA Takeshi<sup>1</sup>, KATO Akiko<sup>1</sup>, YAMAMOTO Mari<sup>1</sup>, TAKANASHI Yuji<sup>2</sup>, NIREI Hisashi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 千葉県環境研究センター地質環境研究室, <sup>2</sup> 千葉県環境研究センター, <sup>3</sup> IUGS-GEM 常任理事

<sup>1</sup> Res. Inst. Env. Geol. Chiba, <sup>2</sup> Chiba Pref. Env. Res. Center, <sup>3</sup> officer of IUGS-GEM

房総半島全域の液状化 - 流動化現象の概要と、東京湾岸埋立地の千葉市美浜区磯辺～新港を中心に同現象の特徴とその分布を述べる。東京湾岸地域、九十九里地域、利根川下流地域、下総台地では、地質環境が異なる。共同発表者の発表も参考にさせていただきたい。[房総半島全域に共通すること]: 人工地層(埋立層・盛土層など)分布域を中心に、液状化 - 流動化現象による被害がみられる。半島北部を中心に広範囲に液状化 - 流動化現象がみられる。今回の地震での揺れが北部で強かったことが原因と推定される。液状化 - 流動化現象が起こったところでは、1987年千葉県東方沖地震時と比べその規模・被害程度はるかに大きく、数十 cm もの地盤の沈下や家屋・電柱などの浅層基礎構造物の傾き・沈み込みやライフラインの寸断が多数みられる。噴砂には、亀裂から・直線状に並ぶ・単独・巨大噴砂孔を伴う大規模の形態が認められる。液状化 - 流動化被害は場所により程度の差がみられる。これは、人工地層・沖積層内の地層の種類とその三次元分布、地下水位の違いなどが影響する可能性が高い。液状化対策が施されたところではほとんど被害がみられない。[東京湾岸埋立地千葉市美浜区磯辺～幸町の特徴]: 埋立地全域で液状化 - 流動化被害が起こっているわけではなく、海岸線に直交～やや斜交する幅数百 m の帯状に被害が集中し、これは沖積層の厚さと調和的な部分がある。中磯辺公園でみられるように、人工地層の砂層主体部分では、液状化 - 流動化現象がみられ、泥層主体部分ではほとんど同現象はみられない(風岡ほか, 2000; 2003)。今回みられる数十 m オーダーの被害程度の違いは、このような人工地層の構成の違いや地盤改良が考えられる。細粒砂～粗粒シルト主体の多量の噴砂により、これらが地下水とともに下水や側溝に流れ込み流路の詰まりを生じさせた。築山では道路面より比高約 2m 以下で噴砂がみられ、道路面より比高 2m まで地下水位が高まったと考えられる。構造物の縁や角・電柱の脇からの噴砂が多い。道路は車道の変形は小さいが、脇の歩道の変形が著しい。著しい液状化 - 流動化現象のあったところでは、強い揺れや家具の倒壊はなかったとの証言を得られた。阪神大震災の際液状化 - 流動化した埋立地でも同様な証言があり、液状化 - 流動化による S 波の減衰効果の可能性もある(楡井ほか, 1996)。[今後の課題]: 災害に強い街づくりにむけて、人工地層内の液状化 - 流動化状況を検討するため以下の調査が必要となる。地表面の変形を現地で調べ被害程度を把握する。液状化 - 流動化被害の程度が一連に変化する部分で、ボーリング調査などから沖積層や人工地層における地層の種類やその積重なり・側方変化などの地質構造、液状化 - 流動化部分を明らかにし、地震動の増幅などの震動特性や透水層の地下水流動を把握する必要がある。[今後の復旧・復興に向けて]: 液状化 - 流動化対策: ライフラインが埋設され緊急車両が通る主要道路の液状化 - 流動化被害予防対策がまず重要であろう。一方、これら対策には、ドレーン工法が適すると考えられる。セメント固化などのような難透水性の地盤改良は、地下水流動障害により上流域での地下水位の上昇と液状化の助長につながりうる。地下水流動を考慮した対策が重要である(楡井, 2003)。一方、被害対策は土地の利用形態、被害状況、潜在的な地質環境を考慮し、液状化による地震動の減衰効果も活用し、利用形態の変更も視野に入れ、対象地に合わせた多様な方法を考える必要がある。地下水の重要性: 防災井戸は新設だけでなく、維持管理のため日常的な利用と地下水位・地下水質のモニターが重要である。地盤の沈下: 過去の地震の液状化 - 流動化被害調査では、地震直後に大きく沈下しその後数カ月かけて数 cm～数十 cm の沈下が進んだ例が多い。測量ポイントを設け、定期的に測量を行い、変動の終息をみきわめ本格復旧するとよい。災害教育: 自然災害を取り扱う分野は、理科の地学分野である。その中において、地震時に地質災害が生じている人工地層・沖積層・新生代層といった地層や地下水に関することや、地盤の沈下・斜面崩壊・地質汚染などの地質災害とその予防・修復や地質環境(大地)の持続的な利用を取り扱う必要がある。[引用文献]: 風岡修ほか, 2000, 第 10 回環境地質学シンポジウム論文集, 33-38. 風岡修, 2003, アーバンクボタ, 40, 11-13. 楡井久, 2003, アーバンクボタ, 40 号, 56-57. 楡井久ほか, 1996, 京都大学都市耐震センター研究報告, 別冊第 18 号, 127-146.

キーワード: 液状化 - 流動化, 房総半島, 人工地層, 環境地質学, 東京湾岸埋立地

Keywords: Liquefaction-Fluidization, Boso peninsula, Artificial formation, Environmental Geology, Tokyo bay reclaimed land

## 房総半島でみられた2011年東北地方太平洋沖地震およびその余震による液状化・流動化現象 - 利根川下流低地を中心として - Distribution of Geological Disaster by Liquefaction-Fluidization Phenomena on Boso peninsula at The 2011 off the Pacific

古野 邦雄<sup>1\*</sup>, 風岡 修<sup>1</sup>, 香川 淳<sup>1</sup>, 楠田 隆<sup>1</sup>, 酒井 豊<sup>1</sup>, 吉田 剛<sup>1</sup>, 加藤晶子<sup>1</sup>, 山本真理<sup>1</sup>, 高梨祐司<sup>1</sup>  
Kunio Furuno<sup>1\*</sup>, Osamu KAZAOKA<sup>1</sup>, Atsushi KAGAWA<sup>1</sup>, Takashi Kusuda<sup>1</sup>, Yutaka SAKAI<sup>1</sup>, Takeshi YOSHIDA<sup>1</sup>, Akiko KATO<sup>1</sup>, Mari YAMAMOTO<sup>1</sup>, Yuji TAKANASHI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 古野邦雄

<sup>1</sup> Kunio FURUNO

2011年東北地方太平洋沖地震およびその余震は、房総半島においても各地で液状化・流動化現象を引き起こした。本稿では、利根川下流低地を中心として、その分布と特徴を述べる。利根川下流低地の全体の特徴は以下のようなものである。

1 千葉県東方沖地震と同様に旧河道を中心とした過去の水位域を埋め立てたところで液状化・流動化被害がみられる。しかし、千葉県東方沖地震時に比べてその被害範囲・程度は大きく、地盤の大きな沈下を伴う場合が多い。

2 埋立地でも液状化・流動化の程度が異なることがある。これは埋立層・沖積層の厚さや構成する地層の種類などが考えられる。

3 旧河道よりも広い範囲で液状化・流動化現象がみられる。

以下に各地域別に述べる。

1 野田市

1 a 台町: 田の畔沿いに噴出している。噴砂は北西-南東方向伸びるようである。

1 b 納谷: 水田に細長く孔の列が数条見られる。噴砂列の方向は、旧地形図からは、旧池の分布と符合するようである。

2 我孫子市

2 a 荒木: 台地と低地の境界部で低地側にある住宅団地で噴砂が見られた。台地との境界部において屋根瓦被害が見られる。U字溝の上部が狭くなる現象が見られたことから、台地側から低地側への表層部分の移動(動き)がある。塀の倒壊・不同沈下や噴砂が見られた。

2 b 久寺家地先(中川): 旧地形図「取手」によれば、この地域は蛇行した湿地として記載されている。その東側ほぼ2/3の区域で数条の噴砂が確認された。地元の方の話では「もともとはナカガワであったが埋立てた後に畑にした。」とのことであった。このナカガワ沿いは全体の埋立地の中では標高が高い。

2 c 岡発戸: 旧利根川を水田化したところでは、旧河道に平行な亀裂が何列も走り、噴砂を生じている。

2 d 布佐: 千葉県東方沖地震時にはこの付近は液状化していない。住宅地の液状化の被害は非常に大きい。地域は限定されている。液状化被害は利根川の堤防から住宅地まで連続して分布している。液状化地域とそうでない地域の境界は明瞭である。

3 印西市: 利根川の堤防沿いでは、木下東において堤防の損傷や家屋の屋根瓦の損傷が見られる。

4 栄町生板鍋子新田(まないたなべこしんでん)~中谷

旧利根川河道であった生板鍋子新田において、直径数十mもの巨大な噴砂が多数みられ、電柱の傾動・沈降、地盤の沈下、亀裂、地波などが水田内を中心にみられる。また、中谷付近の利根川の堤防沿いでは、堤防の損傷がみられ付近の家屋の瓦屋根の損傷がみられる。

5 成田市(旧大栄町)大栄中学校

東方沖地震では液状化・流動化の被害があったが、今回はみられなかった。

6 神崎町(6 a 小松飛地・6 b 大貫飛地)

旧河川(利根川)を埋め立てられ水田となっていた部分で、千葉県東方沖地震の際には広く噴砂が見られた。今回も、噴砂が広い範囲で見られた。旧河道の内側は沈下しており、その周囲とは段差が生じている。旧河道の流行方向に延びる平行な亀裂が多数走り、その亀裂から砂が噴出し列となっている。旧河道内の北側の小水路の長軸方向に、川底の隆起が見られ、噴砂によるものと思われる。

7 香取市

7 a 谷中鉾泉

地元の方の話では「かつてきれしょ(切れ所)と言う沼があり、鰻などが取れた場所であり、干拓事業で埋め立てられた場所」である。この場所で、農道の陥没・農道両側の水田と水路に噴砂が見られ、電柱が傾いた。

7 b 石納

明治時代に河川改修が行われた、開削により河川の蛇行を解消し、戦後食糧増産のために川跡が埋め立てられた地域である。東方沖地震の時に、液状化 - 流動化による噴砂が見られ、今回は、前回噴砂の見られなかった隣接地域でも噴砂が見られた。

7 c 香取市横利根閘門（運河）

標高の比較的高い駐車場付近においても噴砂が見られた。横利根水門の北西側北の護岸及び南側の護岸の河川側への滑りが見られた。横利根閘門南西側法面に亀裂があった。

7 d 香取市佐原口（市役所、十間川周辺）

液状化 - 流動化の規模が大きい。家屋や電柱等構造物の沈み込みと傾き、ビルの抜け上がり波打ちなど道路の変形、小河川（十間川）への護岸のはらみ出しと河床の盛り上がりが見られた。一方、最北西端の住宅街で液状化 - 流動化がみられない区域があった。

7 e 香取市扇島

噴砂と傾いた電柱、波打ちなどの道路の変形が認められた。

7 f 香取市八筋川

噴砂、路面の変形がみられ、また、瓦屋根の損傷した家屋が多くみられた。

7 g 筈島（こうがいじま）

長さ 500m 以上の噴砂列上やその延長上で被害がみられる。噴砂とともに出てきたと考えられる油膜が認められた。噴砂列は、地元の方の話から、耕地区画整理の際に埋めた水路跡から発生したものと推測された。

キーワード: 液状化 - 流動化現象, 噴砂, 1987 千葉県東方沖地震, 2011 年東北地方太平洋沖地震

Keywords: Liquefaction-Fluidization Phenomena, sand volcano, the 1987 East Off Chiba Prefecture Earthquake, the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

## 房総半島でみられた2011年東北地方太平洋沖地震およびその余震による液状化 - 流動化現象 九十九里平野を中心として Distribution of Geological Disaster by Liquefaction-Fluidization on Boso peninsula at The Earthquake - Kujukuri plain

楠田 隆<sup>1\*</sup>, 風岡修<sup>1</sup>, 香川淳<sup>1</sup>, 古野邦雄<sup>1</sup>, 酒井豊<sup>1</sup>, 吉田剛<sup>1</sup>, 加藤晶子<sup>1</sup>, 山本真理<sup>1</sup>, 高梨祐司<sup>2</sup>

Takashi Kusuda<sup>1\*</sup>, Osamu KAZAOKA<sup>1</sup>, Atsushi KAGAWA<sup>1</sup>, Kunio FURUNO<sup>1</sup>, Yutaka SAKAI<sup>1</sup>, Takeshi YOSHIDA<sup>1</sup>, Akiko KATO<sup>1</sup>, Mari YAMAMOTO<sup>1</sup>, Yuji TAKANASHI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 千葉県地質環境研究室, <sup>2</sup> 千葉県環境研究センター

<sup>1</sup>Re. Insti. Envir. Geol. Chiba, <sup>2</sup>Envir.Re. Lab. Chiba

### 概要:

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による地質環境に関する被害状況の調査を行った。特にここでは、九十九里平野の液状化・流動化被害の特徴について報告する。各地区の概要は次の通り。なお、以下の文中では1987年の千葉県東方沖の地震を「東方沖地震」と言う。

#### 1. 旭市

##### 1 a 旭市前野(旧飯岡町前野)

国道沿いの前野付近で噴砂、道路の沈下がみられる。ここは、東方沖地震時にも噴砂がみられた所である。八畝田・篠堆では、噴砂、電柱・ブロック塀・家屋の傾動・沈下、地波、地盤の沈下、亀裂が多数みられた。

##### 1 b 三川西部

三川西部の県道210号線沿い八畝田の南隣では、噴砂、電柱・ブロック塀・家屋の傾き・沈み込み、地波、地盤の沈下、亀裂、陥没が多数みられた。他の地域に比べて、噴砂は少ないものの、地表面の変形が大きい。一方、住民によれば砂鉄採取跡地で被害があるとのことである。

##### 1 c 旭市篠堆(旧飯岡町篠堆)

東方沖地震では一部で小規模な噴砂があった程度であるが、今回の地震では広範囲に液状化・流動化による様々な被害がみられる。篠堆の南北に延びる2車線道路では、1m程度の段差を伴う地波が、また、噴砂、ブロック塀の変形、家屋等の構造物・電柱の傾き・沈み込みもみられる。同様な被害は、周辺の住宅地にも広くみられ、百軒以上の家屋やブロック塀に傾き・沈み込みが、亀裂・陥没も一部でみられる。標高は比較的高いため噴砂量は少ない。しかし、構造物や地表面の変形は大きい。住民によれば砂鉄採取跡地で被害があるとのことである。

##### 1 d 旭市野中

水田上の盛土層が、大きな亀裂を伴い側方流動し水田方向に滑っている。亀裂内には噴砂が見られる。基礎杭のある建物は大きく抜け上がる。

#### 2. 匝瑳市吉崎浜

東方沖地震時には小さな噴砂があった程度であるが、今回の地震では地表の大きな変形を伴い大量の噴砂があった。斜面では亀裂を伴う陥没・沈下がみられる。周辺住民によれば砂鉄採取跡地とのことである。

#### 3. 多古町山崎

東総広域農道の多古町山崎地内の多古町大堀から南下する道と交差する橋付近では、2005年4月11日の千葉県北部の地震の際に抜け上がりがみられたが、今回の地震でも10cm程度の抜け上がりが見られた。

#### 4. 山武市

##### 4 a 蓮沼平(はすぬまひら)(旧蓮沼村平)および蓮沼口川下

蓮沼平では東方沖地震の際に小規模な噴砂がみられた。複数の住民より「地震で揺れている最中に電柱の脇から泥水が噴出し、電柱が傾き沈んでいった。その後津波が来た。」との証言を得たが、支柱や電柱に残っている津波の浸水による水面跡は、傾いた電柱でも水平についていることから理解できる。蓮沼口川下の県道30号線よりも北西側の水田内では東方沖地震の際に小規模な噴砂がみられたが、今回はみられない。

##### 4 b 小松(旧成東町小松)

東方沖地震時にはこの付近で小規模な噴砂がみられている。最も海岸よりの道である産業道路において電柱が傾きながら沈み込んでいる。一方ここでは地表から1.8mの高さまで津波により浸水している。木戸川の護岸の一部は損傷を受けているが、原因が津波なのか液状化・流動化なのかはわからない。

##### 4 c 山武市白幡納屋(旧成東町白幡納屋)

一か所ではあるが、浄化槽の設置部分において、浄化槽は浮き上がり、電柱は傾きながら沈み込んだ。



5. 東金市・山武市・横芝光町・九十九里町・大網白里町・白子町・長生村・一宮町・いすみ市・茂原市・長南町

東方沖地震の際に被害が大きかった東金市や海岸部を除く旧成東町では、今回は液状化 - 流動化現象はみられない。旧成東町の海岸部も含めて、これより北側は液状化 - 流動化現象が部分的にみられる。なお、その被害は東方沖地震の時よりも範囲は広く、程度はかなり深刻である。場所によって地震動による構造物の揺れ被害と液状化 - 流動化の被害、さらに津波の被害が次々に襲ったところもある。一方、九十九里町・大網白里町・白子町・長生村・一宮町・いすみ市・茂原市・長南町では、東方沖地震の際に強くゆれ、砂鉄採取跡地や河口部の砂丘内陸側斜面で、液状化 - 流動化現象が起こったが、今回はみられていない。

まとめ .

1. 九十九里平野では、北部を中心に東方沖地震で液状化 - 流動化したところを含み、より広くより著しい被害となっている。被害程度は場所によって異なる。これは、軟らかい砂層の厚さの違いなどの影響が考えられる。なお、多くの住民から砂鉄採取跡地で液状化 - 流動化被害が起きているとの証言があった。

2. 九十九里平野中部では、木戸川河口付近の山武市小松～蓮沼平では、東方沖地震よりも深刻な液状化 - 流動化被害がみられる。沖積層の厚さや構成する地層の種類の影響が考えられる。

3. 東金市以南では、東方沖地震で液状化 - 流動化被害が砂鉄採取跡地でみられたが、今回はみられなかった。

キーワード: 液状化 - 流動化現象, 九十九里平野, 噴砂, 砂鉄採取跡地, 1987 千葉県東方沖地震

Keywords: Liquefaction-Fluidization Phenomena, Kujukuri plain, sand volcano, sand dune was dug for iron sand, the 1987 East Off Chiba Prefecture Earthquake

## 房総半島でみられた2011年東北地方太平洋沖地震およびその余震による液状化 - 流動化現象 - 東京湾岸北東部の埋立地について - Liquefaction-Fluidization Phenomena in northern east coast of Tokyo bay at The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earth

吉田 剛<sup>1\*</sup>, 風岡 修<sup>1</sup>, 楠田 隆<sup>1</sup>, 香川 淳<sup>1</sup>, 古野邦雄<sup>1</sup>, 酒井 豊<sup>1</sup>, 加藤晶子<sup>1</sup>, 山本真理<sup>1</sup>, 高梨祐司<sup>1</sup>  
Takeshi Yoshida<sup>1\*</sup>, Osamu Kazaoka<sup>1</sup>, Takashi Kusuda<sup>1</sup>, Atsushi Kagawa<sup>1</sup>, Kunio Furuno<sup>1</sup>, Yutaka Sakai<sup>1</sup>, Akiko Kato<sup>1</sup>, Mari Yamamoto<sup>1</sup>, Yuji Takanashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 千葉県環境研究センター地質環境研究室

<sup>1</sup> Research Institute of Environmental Geol

千葉県では2011年東北地方太平洋沖地震およびその余震によって津波や液状化 - 流動化現象による被害があった。液状化 - 流動化現象においては、東京湾岸地域や利根川下流域、そして、九十九里地域で大きな被害が認められた。

本報告では、東京湾岸埋立地の中でも北東部にあたる習志野市秋津から千葉市美浜区打瀬までの液状化 - 流動化現象の分布状況や被害状況を報告する。

習志野市袖ヶ浦：この地域は噴砂の量も多く、道路の変形や電柱の傾倒が認められる。水路上に作られた公園（袖ヶ浦東隣公園）では、深さ20~30センチメートル、長さ数十メートルの亀裂が水路延長方向に伸びている。

習志野市香澄：この地域も噴砂の量が多く、道路の変形や電柱の傾倒が認められる。戸建住宅も傾いている。香澄は袖ヶ浦の南部（海側）にあたり、噴砂の多い地域として袖ヶ浦から香澄へと連続して分布している。

習志野市秋津：噴砂は認められるが、袖ヶ浦や香澄と比較すると噴砂の量は大変少ない。

習志野市茜浜：3丁目は東京湾に張り出した埋立地である。噴砂の量も非常に多く、道路の変形も激しい。西部にある菊田川の左岸は護岸が崩れている。

習志野市芝園（海浜霊園）：北部では噴砂は少ない。南部は噴砂の量が非常に多く、霊園の通路などの低い地域には流動化した砂に満たされている。また、深さ70cmほどの陥没孔に噴砂とともに埋もれている墓もある。

習志野市谷津干潟：谷津干潟は四方を埋立地に囲まれた自然の干潟である。埋立地ではない谷津干潟には噴砂は認められない。谷津干潟と京葉道の間にある団地にはわずかに噴砂があるが、非常に少ない。また、谷津干潟の東部にある津田沼高校においてもわずかに噴砂があるがその規模は大変小さい。

千葉市美浜区幕張西：北西部は噴砂が認められるが、量は少ない。北東部や南部は噴砂もやや多くみられる。

千葉市花見川区幕張町：幕張町の中でも国道14号線より南側の地域は、噴砂がわずかに認められるものの噴砂の量や噴砂の箇所は非常に少ない。

千葉市美浜区海浜幕張駅周辺：若葉1丁目・2丁目から海浜幕張駅周辺を経て幕張の浜に至る幅の広い帯で噴砂の量の多い分布域がある。構造物の抜け上がりが20センチメートル程度認められる。

千葉市美浜区打瀬：この地域の大部分では噴砂や噴水は認められなかった。一部、花見川沿いの地域のみには噴砂および道路・歩道の変形があった。この大部分の噴砂や噴水が認められなかった地域では、地震後一カ月半に再調査をおこなったところ、マンションなどの構造物に3cm弱程度の抜け上がりが認められた。噴砂等がなくとも地盤沈下していることがわかる。この地域は液状化防止対策が行われている可能性がある。

千葉市美浜区幕張海浜公園：打瀬の西方に位置する幕張海浜公園の北部では亀裂や噴砂が多く認められる。公園内にある山の中腹からも噴砂が認められる。この噴砂のでる中腹の高さは、海浜幕張駅の高さより約2メートル高い。また、南部の人工の砂浜一帯には噴砂が連続的に認められ、一部には陥没も認められた。

キーワード: 液状化 - 流動化, 地盤沈下, 噴砂, 道路の変形, 電柱の傾倒

Keywords: Liquefaction-Fluidization, land subsidence, sand volcano, warp in road, lean of utility poles

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



MIS036-P169

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震による神奈川県央域での被害状況 (速報)

### Preliminary report on damage to Central Kanagawa, Japan caused by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

根本 泰雄<sup>1\*</sup>, 河尻 清和<sup>2</sup>, 相原 延光<sup>3</sup>, 藤本節男<sup>4</sup>, 篠原憲一<sup>5</sup>, 柏木巳喜子<sup>5</sup>, ひらつか防災まちづくりの会<sup>5</sup>

Hiroo Nemoto<sup>1\*</sup>, Kiyokazu Kawajiri<sup>2</sup>, Nobumitsu Aihara<sup>3</sup>, Setsuo Fujimoto<sup>4</sup>, Kenichi Shinohara<sup>5</sup>, Mikiko Kashiwagi<sup>5</sup>, HIRATSUKA-BOUSAI-MACHIDUKURI-NO-KAI<sup>5</sup>

<sup>1</sup>桜美林大学自然科学系, <sup>2</sup>相模原市立博物館, <sup>3</sup>神奈川県立新羽高等学校, <sup>4</sup>秦野市くずはの家, <sup>5</sup>ひらつか防災まちづくりの会  
<sup>1</sup>J.F.Oberlin University, <sup>2</sup>Sagamihara City Museum, <sup>3</sup>Nippa Upper Secondary School, <sup>4</sup>Hadano City Kuzuhanoie, <sup>5</sup>HIRATSUKA-BOUSAI-MACHIDUKURI-NO-KAI

本発表の目的は、神奈川県央域にて平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震により引き起こされた被害の原因に関する速報を行うことである。神奈川県は東京都の南西に隣接し、人口は約 900 万人、約 2,415.85 平方キロメートルの面積を有する県である。県内の地形は、沖積低地、台地、丘陵地、丹沢山地に代表される山地から構成されている。

今回の地震では、神奈川県央域までの震央距離は約 400km であり、神奈川県央域から震源断層面までの最短距離は約 150km であった。県内では、今回の地震により震度 2 から震度 5 強の揺れが観測され、死傷者も生じており、死者が 4 名、負傷者は約 130 名であった。液状化現象などによる、家屋、建屋、橋、道路、農業用施設などの被害も報告されており、神奈川県央部だけでも、こうした構造物の被害が 200 以上報告されている。しかしながら、家屋等の被害は神奈川県央部にて均一的に生じている訳ではなく、被害が生じている地域は非常に局所的であった。

なぜ局所的な地域で被害が生じたのか、その原因を明らかにすることは、今後強い揺れに襲われた時の対策を講じる上で重要である。そこで、本講演では、今回の地震により神奈川県央域にて局所的な地域で被害が生じた原因を地質条件や地盤条件と結び付けて考察し、あわせて、その理由を明らかにするために残されている研究課題について報告する。

キーワード: 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震, 神奈川県, 県央, 被害, 地形, 都市地盤

Keywords: the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Kanagawa Prefecture, Central Kanagawa Prefecture, damage, topography, urban geosciences

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



MIS036-P170

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 平成 23 年 ( 2011 年 ) 東北地方太平洋沖地震による神奈川県北部での被害状況 ( 速報 )

### Preliminary report on damage to the northern Kanagawa, Japan, by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

河尻 清和<sup>1\*</sup>, 根本 泰雄<sup>2</sup>, 相原 延光<sup>3</sup>, 藤本 節男<sup>4</sup>, 相模原地質研究会<sup>5</sup>

Kiyokazu Kawajiri<sup>1\*</sup>, Hiroo Nemoto<sup>2</sup>, Nobumitsu Aihara<sup>3</sup>, Setsuo Fujimoto<sup>4</sup>, Sagamihara Geology Research Group<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 相模原市立博物館, <sup>2</sup> 桜美林大学自然科学系, <sup>3</sup> 神奈川県立新羽高等学校, <sup>4</sup> 秦野市くずはの家, <sup>5</sup> 相模原地質研究会

<sup>1</sup>Sagamihara City Museum, <sup>2</sup>J.F.Oberlin University, <sup>3</sup>Nippa Upper Secondary School, <sup>4</sup>Hadano City Kuzuhanoie, <sup>5</sup>Sagamihara Geology Research Group

本発表の目的は、神奈川県北部にて平成 23 年 ( 2011 年 ) 東北地方太平洋沖地震により引き起こされた被害の原因に関する速報を行うことである。神奈川県は東京都の南西に隣接し、人口は約 900 万人、約 2,415.85 平方キロメートルの面積を有する県である。県北部の地形は、沖積低地、台地、丹沢山地に代表される山地から構成されている。

今回の地震では、神奈川県北部では震度 4 および 5 弱が観測され、屋根瓦の落下、壁の亀裂、水道管の破損、ブロック塀の倒壊などの被害が発生した。

本発表では、被害調査に基づく、本地震による神奈川県北部での被害状況、特に地形・地質と被害との関係を報告する。

キーワード: 平成 23 年 ( 2011 年 ) 東北地方太平洋沖地震, 神奈川県北部, 被害, 地形, 地質

Keywords: the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, the northern part of Kanagawa, damage, topography, geology

MIS036-P171

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震を受けての神奈川県内高校生の意識調査(速報) High school student recognition report on the 2011 of pacific coast of Tohoku earthquake(prompt report)

相原 延光<sup>1\*</sup>

Nobumitsu Aihara<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 相原延光, <sup>2</sup> 藤本節男, <sup>3</sup> 篠原憲一, <sup>4</sup> ひらつか防災まちづくりの会

<sup>1</sup>Nobumitsu Aihara, <sup>2</sup> Setsuo Fujimoto, <sup>3</sup> Kenichi Shinohara, <sup>4</sup> HIRATSUKABOUSAI-MACHIDUKURI-NO-KAI

### 1. はじめに

本発表では東北地方太平洋沖地震を受けての神奈川県内の高校生の意識調査の速報を行う。3月11日14時46分の発災時、多くの高校は学年末テスト後の放課後であり、自宅、外出中または部活動中であった。自宅への交通手段が無いために帰宅困難者となったものもいる。この地震は長周期震動と地盤・津波災害にとどまるだけでなく「学校教育で自然災害の社会への影響を考える」良い機会になっていると思う。

平成24年度からはじまる新高等学校学習指導要領では地学に限らず、地理、家庭科、保健体育科などで防災教育の展開が考えられている。災害を学ぶ上で大切なのは、外力(自然災害の大きさ)と社会の防災力の関係である。外力が社会の防災力より大きいと災害になる。防災力を高めるには被害を最小限にするための知識と工夫が必要である。防災を考えるときに必要な知識である「立地条件」についての高校生の認識の実態・問題点を明らかにすることが理科における防災教育の指導改善のために極めて重要であると考え。

### 2. 防災まちあるき

発表では県中央部の平塚市(神奈川県中央を流れる、相模川流域の沖積平野を中心とし、その北西部の伊勢原台地、西部は大磯丘陵から構成)の被害の調査とその原因について考察する。平塚市では谷底平野の軟弱地盤での液状化現象などによる、家屋、建屋、道路、農業用施設などの局所的被害が出ている。なぜ局所的な地域で被害が生じたのか、その原因を明らかにすることは、今後強い揺れに襲われた時の対策を講じる上で重要である。地域(まち)の立地条件(建物本来の強さや余地)からどんな被害が起きるかを想定し、地域住民と協力して災害を減らす方策を考える「防災の目で見たまちあるき」の取り組みを紹介する。

### 3. 調査方法

#### (1) 調査対象と実施方法

調査では、全日制高校生徒を対象とした。2011年4月中旬以降現在も実施中である。

#### (2) 質問項目

アンケート調査では、居住環境に関する意識など次のa~kの項目について質問を用意した。

- a. 回答者情報(出身中学校、学年)
- b. 居住環境の知識(海の近く、川の近く、丘の上、谷あい)
- c. 地盤の知識(岩盤の露出している固い地盤、火山灰層などのやや固い地盤、湿地帯の緩い地盤かどうか)
- d. 広域避難場所(名称、歩行移動距離)
- e. 家族との話し合いの有無
- f. 要介護者の認識
- g. 避難訓練のかけこたば
- h. 初動の揺れの感じかた
- i. 初動の行動
- j. その後の行動
- k. 地震から学んだこと

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 神奈川県, 意識調査, 地盤災害, 防災教育, 防災まちあるき

Keywords: the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Kanagawa Prefecture, recognition report, ground disaster, education for disaster prevention, map making community disaster walking

## いかにして巨大津波から避難したか? ~陸前高田市におけるインタビュー調査からの考察(序報)~ How to evacuate from huge tsunami. Preliminary report based on eyewitnesses in Rikuzen-Takata

林 能成<sup>1\*</sup>, 水木 千春<sup>2</sup>, 安藤 雅孝<sup>3</sup>, 石田 瑞穂<sup>4</sup>, 吉岡 祥一<sup>5</sup>  
Yoshinari Hayashi<sup>1\*</sup>, Chiharu Mizuki<sup>2</sup>, Masataka Ando<sup>3</sup>, Mizuho Ishida<sup>4</sup>, Shoichi Yoshioka<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 関西大学社会安全学部, <sup>2</sup> 北海道大学環境科学院, <sup>3</sup> 中央研究院地球科学研究所, <sup>4</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構, <sup>5</sup> 神戸大学都市安全研究センター

<sup>1</sup> Faculty of Safety Science, Kansai Univ., <sup>2</sup> Graduate School of Environmental Science, <sup>3</sup> Institute of Earth Sciences, Academia Si, <sup>4</sup> Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>5</sup> Research Center for Urban Safety and Security

東北地方太平洋沖地震では死者1万4575人、行方不明者1万1324人(警察庁調べ、2011年4月28日現在)という極めて大きな人的被害が発生した。強い揺れは、震度7が宮城県栗原市で観測されたのを筆頭に、震度6強が宮城、福島、茨城、栃木の4県28市で観測されるなど極めて広い範囲に及んでいる。人的被害も北海道から神奈川県まで広がっているが、死者・行方不明者の99.7%以上は宮城、岩手、福島の3県に集中している。これは津波による犠牲者が圧倒的多数を占めているためである。岩手県大槌町、同陸前高田市、宮城県女川町などでは、市町の全人口の1割以上が犠牲になっている。新聞やテレビの報道などで、津波襲来のビデオ映像や、被災者の体験談が伝えられつつあるが、地震時の行動や被害状況、地震が起こる前までにとられていた準備、そして津波が来るまでの避難行動などについては断片的な情報に留まる例が少なくない。本研究では系統的なインタビュー調査により場所と時間を可能な限り明らかにしたうえで、個々の人間の避難実態を明らかにすることを目的とした。

インタビュー調査の手法はインド洋大津波の避難者などでこれまでに進めてきた地震発生からのできごとを順をおって聞いていく手法(例えば、林(2010))を用いた。現地調査は地震発生から1カ月が過ぎた2011年4月20日から23日にかけて岩手県陸前高田市を中心に実施した。体験談の聞き取りは避難所において運営者に趣旨を説明して許可をとった上で行い、避難者の中から話をしてもよいと申し出てくださいました方に対して行った。

回答者の全員が家具が転倒するほどの強い揺れを経験しているが、その後の避難に支障がでるほどの家屋被害が出た方は見られなかった。地震による顕著な家屋被害が近所で見られたという回答者もいなかった。また、ほとんどの回答者は居住地の避難場所についての認識もあり、時間的な差はあるが、その場所への避難行動をとっていた。しかし、その場所は今回の津波においては必ずしも十分な安全性をもっていなかったため、多くの避難者が避難場所で犠牲になってしまっている。今回、体験談をお聞かせいただいた、生き残ることができた人の多くは、津波襲来状況を目撃できたり、あるいは防災無線の放送内容から津波の規模の大きさを想像できた人々であった。

今回の震災の被災者は極めて多く、その一人一人が固有の避難経験をしていると考えられる。そのため、このような聞き取り調査からわかることは極めて限定的な体験にならざるをえない。一方で、一般的な避難行動をモデルに設計された質問紙調査では、その避難実態を知ることは難しい。今後、調査を進めて、避難行動の多様性を明らかにするとともに、その一般性についても考察を深める研究へと発展させる予定である。

キーワード: 津波, 東北地方太平洋沖地震, 避難, 指定避難所, ハザードマップ, 被害想定

Keywords: Tsunami, The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, evacuation, evacuation point, Hazard map, Damage estimation of tsunami

MIS036-P173

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 北海道日高・十勝沿岸域における東日本大震災発生時の住民の避難行動 A study of evacuation activities of the residents in Hidaka and Tokachi Coast on the Great East Japan Earthquake-Tsunami

水木 千春<sup>1\*</sup>, 平川一臣<sup>1</sup>, 渡辺 梯二<sup>1</sup>  
Chiharu Mizuki<sup>1\*</sup>, Kazuomi Hirakawa<sup>1</sup>, Teiji Watanabe<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学環境科学院

<sup>1</sup> Hokkaido University

3. 11 東北地方・太平洋沖津波は北海道太平洋沿岸にも到達し、大津波警報が発令されて住民は緊急避難を求められた。津波は日高から十勝の港湾内で 3-3.5m 程度であったが、人為的な地形改変および海岸護岸施工などに影響されて 6-9m の高さまで局所的に遡上した。これらの事実は、北海道の沿岸域は間一髪で広範な津波被害を免れたことを示している。

このような状況において北海道太平洋沿岸の住民はどのような避難行動をとったであろうか？住民への直接アンケート聞き取り調査（7自治体の8集落から259人）によって得られた当日の避難行動および避難意識について報告する。要点は以下の通りである。

1. 3. 11 津波の際に住民各自の避難行動を決めた理由、指針  
避難した：大多数は大津波警報発令とテレビでの東北の津波実況映像視聴から判断  
避難せず：多くは過去の十勝沖地震などの経験が基準
2. それぞれの行政指定の避難標識・避難経路・避難施設の適切性  
大部分において不適切
3. 津波に対する集落（居住地）の地形的土地条件への住民の理解  
ほとんど理解していない
4. 行政主導の津波ハザードマップの有効性と問題点  
認知度がきわめて低い

キーワード: アンケート, 津波避難行動, 日高・十勝沿岸域

Keywords: Questionnaire, Evacuation Activities, Hidaka- Tokachi Coast

## 余震・誘発地震のもたらす強震モニタの非専門家への広がり 動画クラウドサービスを用いた強震サーバの負荷分散を通じて Kyoshin monitor spreads to the people through Aftershocks and Induced earthquakes

東 宏樹<sup>1\*</sup>, 青井 真<sup>1</sup>, 功刀 卓<sup>1</sup>, 中村 洋光<sup>1</sup>, 早川 俊彦<sup>2</sup>, 藤原 広行<sup>1</sup>

Hiroki Azuma<sup>1\*</sup>, Shin Aoi<sup>1</sup>, Takashi Kunugi<sup>1</sup>, Hiromitsu Nakamura<sup>1</sup>, Toshihiko Hayakawa<sup>2</sup>, Hiroyuki Fujiwara<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人 防災科学技術研究所, <sup>2</sup> 三菱スペース・ソフトウェア株式会社

<sup>1</sup>NIED, <sup>2</sup>Mitsubishi Space Software Co., Ltd.

### 1. 概要

防災科学技術研究所(以下、防災科研)では、強震観測網の Web を通じて、強震計で観測された加速度やリアルタイム震度などの強震動指標をリアルタイムに配信する「強震モニタ」(CGI による提供:以下、CGI)を 2008 年 8 月より公開し運営してきたが、本年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震以降頻発する地震を常時モニタリングする閲覧者数の増加に伴ってサーバやネットワーク回線へのアクセスが集中し、新規ユーザは慢性的に接続不可能な状態に陥った。この問題の解決策として 4 月 14 日 19 時より Ustream にて強震モニタのリアルタイム配信を開始した(Ustream による提供:以下、UST)結果、相当量の視聴者を得、副次的な波及効果や将来的可能性のある知見が認められた。

### 2. 仮説と手法

強震モニタ(CGI)は専門家が見るものとして設計されていた。これに対して強震モニタ(UST)は大量の非専門家アクセスに対処するための回避策として有効であると考えられた。これは、下記の事前仮説に基づく。

・ライブ配信実績のあるクラウド動画サービスはリアルタイムの多人数同時アクセスに対して安定しており、1 ユーザとして無料あるいは非常に安価に配信を開始できる。

・防災科研のスループットを考慮した場合、CGIに必要なのは視聴者数 N 人分のダウンロードアクセスであるのに対し、1 本のアップロードを USTREAM に行うだけで N 人の視聴を可能にし、防災科研の回線トラフィックの大幅な削減になる。

・USTREAM は既存のスマートフォン(Android, iOS プラットフォーム対応)アプリケーションに連動して配信でき、地震発生に伴いリアルタイムに確認したい強震モニタのニーズと合致する。

さらに、これら仮説による実効性を強化するため、下記のような工夫を行った。

・強震モニタ(UST)の情報更新周期を強震モニタ(CGI)より短くする(5秒→2秒)ことで、配信遅延が少ないながらも接続が不安定な CGI サーバよりも配信遅延が多いながらも比較的接続が安定した UST を視聴するようにユーザを誘導する。

・Twitter や Facebook 等のソーシャルストリームを開設することにより、メンテナンス等のアナウンス利便性向上と配信情報の広告波及を狙う。

### 3. 結果

非常に多くのネットユーザに視聴された。4 月 30 日現在で常時 4,000 人程度、ユニークユーザ数 127 万人超、Ustream 国内ランキング 1 位、世界ランキング 2 位の配信番組となっている。

ネット上の匿名の発言を抽出したものであり、十分に科学的であるとはいえないものも含まれるが、多く見られた視聴者の反応の一部を下記に記す。

#### (1) 地震酔いや地震不安への対抗策

「地震酔い」とは揺れていないのに揺れていると感じる心理的症状で、強震モニタで「揺れていない」ことを確認して安心する。逆に「地震不安」はすぐにでもまた巨大地震が来るのではないかと身構える強迫的な心理状態であり、揺れをいち早く見て取って逃げるために常時監視する。

#### (2) 緊急地震速報の誤報対策

緊急地震速報は推定値であり、頻発する余震の影響で誤報等が多く発生しているのに対して、強震モニタは強震計により計測された値が解釈なしで生で与えられているという信頼性があることに加え、地震波が面的に広がる様子が視覚的に捉えられるという安心感がある。

また、配信による送り手側の効果効能も見られた。

#### (1) 経費の削減

必要な機材は、標準的なデスクトップパソコン二台と\$200 程度のソフトウェア(Ustream Producer Pro)のみであり、



既存の運用メンバーで対応可能な程度の作業量で設定が可能であったため、低コストで情報提供を実現できた。

#### (2) 知名度の向上

強震モニタ (CGI) は従来には 500 人程度のアクセス処理能力しか持っていなかったが今回 UST で 10,000 人以上の同時視聴アクセスを集めることに成功した。

#### 4. 結論

従来、多くの研究機関や自治体等が情報配信を行う際には、情報インフラに過度のセキュリティ・ネットワーク規制をかける傾向にあるが、本例はそのような過剰保護を脱して約 20 倍のアクセスの提供を可能にしたという意味で画期的な事例であるといえる。人的リスクを完全排除できない旧来型情報セキュリティに余剰コストを払うユーザ（国民）の不便・不満は非常に大きく、明確なデメリットが存在する事例以外は相互運用型のクラウドサービスに移行することで大きなコストを掛けることなく多くのアクセスに対応可能になる。強震モニタが社会インフラとして多くのユーザに受け入れられるためには、より堅牢な（落ちない）サービスを提供する必要があり、より強力なクラウドサービスと連携し、低遅延・高安定な状態を模索する必要がある。

キーワード: 強震モニタ, 余震, 誘発地震, 防災教育, クラウドサービス, アクセス分散

Keywords: KYOSHIN-Monitor, Aftershock, Induced Earthquakes, Bosai-Education, Cloud service, access distribution

## 高校生の地震および地震研究に関する認識 (速報) High school students' recognition on earthquake and earthquake research(prompt report)

川村 教一<sup>1\*</sup>, 内記 昭彦<sup>2</sup>, 相原 延光<sup>3</sup>  
Norihiro Kawamura<sup>1\*</sup>, Akihiko Naiki<sup>2</sup>, Nobumitsu Aihara<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 秋田大学, <sup>2</sup> 東京都立三田高等学校, <sup>3</sup> 神奈川県立新羽高等学校

<sup>1</sup>Akita Univ., <sup>2</sup>Mita High School, <sup>3</sup>Nippa High School

### 1. はじめに

平成 24 年度から改訂された高校学習指導要領による理科の授業が始まる。高校での地震教育を充実させるとき、まず現教育課程で学んだ高校生の地震・津波に関する認識の実態を明らかにすることが、理科における指導改善のために極めて重要であると考えられる。高校生を対象とした地震・津波についての意識調査報告として、北海道釧路地方で実施した例がある(釧路地方気象台, 2004)。この調査では、地震・津波に関する知識獲得の意欲を持った高校生が多いことを明らかにした。しかし、この調査は一地方を対象としたもので、また調査項目は地震や津波の科学的な認識については含めていない。

そこで川村ほか(2010)では、2010年チリ地震津波を例として、高校生対象のアンケート調査を全国規模で実施し、遠地津波や波高の変化、海岸地形による影響、津波防災に関する基礎知識などの理解、遠地津波に対する警戒は地学履修者が未履修者と比べ高いとは言えないことを明らかにした。大半の生徒は津波について中学校までに学ぶべきだ、また高校で学ぶとしたら津波防災対策が重要だと考えていることも判明した。本研究では、全国の高校生の地震・津波に関する基礎知識・理解および地震・津波学習、地震・津波研究やそれに関する科学コミュニケーションに対する意識についての実態調査を、東北地方太平洋沖地震・津波を例として行っている。大会会場では、その集計結果の一部を紹介する。

### 2. 調査方法

#### (1) 調査対象と実施方法

調査では、北海道、東北、関東、東海、近畿、四国、九州の各ブロックにつき1~20校の全日制・定時制高校計63校から協力を得ることができた。調査は2011年4月中旬以降現在も実施中である。実施校の教員を通じて生徒に調査票を配布・回収している。

#### (2) 質問項目

アンケート調査では、地震・津波に関する基礎知識や理解の実態、地震・津波の学習の必要性、地震研究に関する意識など次のa~gの項目について質問を用意した。

a 回答者情報(居住都道府県名, 学年, 履修科目, 地震・防災の学習歴), b 地震に関する知識の情報源, c 地震発生や津波発生・伝播・遡上に関する理解, d 地盤の液状化現象の理解, e 地震・地震災害の学習や学習項目に対する意識, f 研究者による解説に対する評価, g 地震・津波研究に対する意識

キーワード: 地震, 近地津波, 概念, 高校生, アンケート調査, 東北地方太平洋沖地震

## 校庭で生じた噴砂丘の断面はぎ取り標本とその教材化

## Surface peels of the cross section of sand cones formed soil liquefaction and use as a teaching material

笠間 友博<sup>1\*</sup>, 石浜 佐栄子<sup>1</sup>, 新井田 秀一<sup>1</sup>

Tomohiro Kasama<sup>1\*</sup>, Saeko Ishihama<sup>1</sup>, Shuichi NIIDA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 神奈川県立生命の星・地球博物館

<sup>1</sup> Kanagawa prefectural museum

東日本太平洋沖地震では、東京湾岸の埋立地、千葉県浦安市をはじめ多くの場所で、地盤の液状化による被害が報告された。液状化被害は学校施設でも見られた。特に学校での児童生徒の避難場所となっている校庭（グラウンド）の液状化は、そこに避難した児童生徒を巻き込むかたちとなってしまった。本発表の調査を行った学校（千葉市美浜区内小学校）でも、避難児童のいる校庭で、余震による液状化でさらに泥水が噴出し、最終的には校庭はすべて泥水に覆われてしまった。学校職員は、今後現在の校庭は避難場所として使用できないと述べていた。著者らは3月30日に当該小学校及び美浜区学校施設課の許可を受けて学校内の液状化の状況を調べ、はぎ取り標本を4月1日に作製した。ほとんどの噴砂丘は割れ目噴火のスコリア丘のように、地面の亀裂に沿って分布していた。噴砂丘断面のはぎ取りは、亀裂に直交する断面で、元のグラウンド面も少し掘り下げて断面を出し、家庭用のスプレー式接着剤（コニシ社 G17 および Z2）を断面に噴きつけ、布を当てて乾燥後、はぎ取った。噴砂丘は中央部が凹んだ円錐形で、中央部に“カルデラ”状の陥没地形がしばしば見られる。噴砂丘の大きさは、割れ目に直角な方向で幅（直径）数 10 cm ~ 2 m 程度、高さは数 cm ~ 20 cm 程度、中央の溝状ないし火口状の凹地形の幅（直径）は数 cm ~ 30 cm 程度であった。これらは石賀ほか（2001）の鳥取県西部地震のものとは比べると小規模である。

噴砂丘の表面は極細粒砂～シルトで覆われ、表面にはマッドクラックが観察される場所もある。断面では、貝殻片混じりの中粒～細粒砂がつくった噴砂丘の上を、より細粒の極細粒砂～シルトが覆うというユニットが見られ、2回またはそれ以上繰り返すことが多いことから複数回の噴出イベントの存在が示唆される。こまかな成層がしばしば見られ、貝殻片も平行に配列するなど、流れによる構造が保存されている。噴砂は、グラウンドの盛土を数 mm ~ 1 cm 程度の幅で貫いて上昇しており、噴出道の中には、最後に噴出した極細粒砂～シルトが残っていることが多いが、貝殻混じりの極粗粒砂など非常に粗い粒が、中央部にまるで火道角礫のように存在することもある。また、噴出道の左右で噴砂の厚さが異なり、地面の上下変位を示す証拠が残されているものもあった。

はぎ取り標本の一部は、はぎ取りを行った小学校に寄贈した。著者らは本年9月に、当該学校ではぎ取り標本を教材として、6年生理科地震の授業を行う。噴砂丘の形成は児童によって目撃されており、地震と土地の変化を物語る教材である。また、その形状や形成過程は火山とも似ている。授業では児童の反応を確認しながら、噴砂丘の教材としての活用法を探っていく。これについては別途報告する。

キーワード: はぎとり標本, 噴砂丘, 教材

Keywords: surface peel, boiling sand cone, teaching material

## 2011年東北地方太平洋沖地震の津波による茨城県大洗サンビーチの堆積作用 Sedimentation in Oarai Sun-beach attacked by the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake 2011

牧野 泰彦<sup>1\*</sup>

Yasuhiko Makino<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 茨城大学教育学部

<sup>1</sup> Faculty of Education, Ibaraki Univ.

今回の大地震によって、茨城県沿岸域も津波に襲われ、大洗海岸の大洗港では4.2mに達するほどの浸水深になった。共同通信による津波襲来直後の空中写真によると、市街に浸水にした後でも、大洗港や沿岸域で大きな渦がいくつも発生し、水位が高かったことがわかる。一般に、津波の波長は長く、周期も数十分に達することもある。津波は沿岸域に強大な流れとして到達し、高水位の状態がしばらく続き(長い時には10?20分程度か)、海水は直ぐには引かない。それに引き続いておこる引き波も強い流れとなる。

大洗港から南へ連続する茨城県沿岸域は、現在、侵食状況にある。海浜砂の流失を防ぐために、海岸から沖合方向にヘッドランドと呼ばれる長さ100-200mほどの突堤が500mほどの間隔で作られている。その先端周囲は花崗岩巨礫(長径1m前後)が取り囲んでいる。

しかし、大洗港南側に隣接する大洗サンビーチだけは堆積作用が進み、本来の海岸線よりも400m余り前進している。その原因は、大洗港をフェリーの発着場にするために、沖合に防波堤を設置して碎屑物の堆積を防止しようとしたことにある。南北方向の大洗海岸では、南に向かう冷たい海流や北東風による沿岸流によって、北から南へ碎屑物が運搬されている。大洗サンビーチは、大洗港の沖合防波堤によって南下する流れの陰に当り、その影響によって反流域が生じたために、碎屑物が堆積していると考えられる。この浜では波に洗われていたはずのヘッドランドが完全に埋積されていて、現在の波打ち際はその先端よりも100m海側にある。

大洗サンビーチは平坦な砂浜で、幅約1km、波打ち際まで400mほどあるために、岸近くには駐車場(鉄柱にネットを張った境界線内を砂利で固め、一部アスファルト舗装)やビーチバレーコートなどが作られており、砂浜性の草が砂浜を被っている場所もある。わが国の海浜は、堤防などの構築物が設置されて砂浜が狭い場合が多く、このように広い砂浜は珍しい。大洗サンビーチは人工的な構築物がわずかしかないために、津波による流れの痕跡が記録されたのであろう。

今回の津波が大洗サンビーチに入ってきた方向は、N-NNEへ向かう流れであったと、以下のような痕跡から判断できる。ヘッドランド先端にあった花崗岩巨礫が陸側の砂浜に集積しており、その集積帯の延長方向、ヘッドランドの舗装に使われている敷石(縦・横30cm、厚さ10cm、重さ約20kg)が多数剥がされ、その集積帯の延長方向やインプリケーションの方向、駐車場境界を示す鉄柱(直径5cm)が曲げられている方向、駐車場地域を固めている砂利やアスファルトに形成された侵食凹地の方向、ビーチバレーコートのネット支柱が傾く方向。以上のように、海浜に入ってきた津波は、強大な力をもった乱流であることがわかる。

その後続く引き波の方向は、NE-Eへ向かう流れで、大量の海浜砂を海へ運搬した。最も大きな痕跡は、津波以前平坦であった砂浜に侵食地形として形成された細長い凹地、ヘッドランドの舗装の剥がされた敷石がヘッドランド周囲のコンクリート上に残した移動痕および敷石のインプリケーションの方向、ビーチバレーコートのネット支柱が傾く方向。このように引き波は層流によって砂浜上にあった碎屑物や人工物を海方向へ運搬したと推測される。大洗港寄りの砂浜は以前から草で被われており、津波後もほとんど埋積されていない。以上の事実から、大洗サンビーチではこの津波によって碎屑物の堆積がほとんどなく、侵食作用が圧倒的に優勢であったと判断できる。

今回の津波が海岸に襲来する状況は、報道写真やテレビなどの映像で見ると、波高が数mにもおよぶ“大きな壁”となり、時速115km(32m/s)の強大な流れで海岸を襲い、人家を破壊し、車や船を内陸へ運搬した。また、引き波は、破壊されたさまざまな物を海へ運び去った。このような状況から推測すると、大洗サンビーチに残された流れの痕跡は、規模こそ異なるが符合している。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 津波堆積作用, 大洗サンビーチ, 茨城県

Keywords: the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, tsunami sedimentation, Oarai Sun-beach, Ibaraki Prefecture

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



MIS036-P178

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 2011年東日本大震災に伴う原子力発電所事故により放出された放射性核種とその拡散に関する総合的研究 comprehensive study of the distribution of radioactive materials released from the Fukushima Daiichi nuclear power plant

海老原 充<sup>1\*</sup>

Mitsuru Ebihara<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 首都大学東京大学院理工学研究科

<sup>1</sup>Grad. Sch. Sci. Eng., Tokyo Met. Univ.

2011年3月11日に発生したM9.0の大地震は津波の被害とともに、関東北部から東北の太平洋岸を中心に甚大な被害をもたらした。この直接的災害に加えて、この東日本大震災のもう一つの大きな被害が東京電力福島第一原子力発電所の事故によってひきおこされた。原子力発電所が機能を失い、原子炉施設から放射性核種が周辺地域に飛散し、その後の気象条件に応じて周辺に拡散している。その結果として生じた農産物をはじめとする食料と飲料水についての放射性物質の汚染は一般住民にとって最大の関心事であり、農耕地土壌への汚染は農業生産者にとって深刻な問題を投げかけている。こうした不安を少しでも解消し、また、放射性物質による環境汚染の影響を少しでも客観的に予測することは喫緊の課題と言える。

この課題に速やかに、かつ効率的に取り組むべく、地球惑星科学連合に所属する地球化学、大気化学の専門家、および放射化学の研究者が連携して本研究を立案した。この研究では、大気、降水、土壌、地下水のサンプリングを系統的に、かつ広範囲に行い、精密な放射化学分析を実施することにより、正確で客観的な情報を取得し、関係機関や国民に提供する。また得られたデータから出来るだけ多くの科学的知見を抽出し、広く社会に公開する。具体的には、原子力発電所から環境中に放出された放射性物質を時間的、空間的に追跡し、環境に放出された放射性核種の種類と量について全体像を把握するとともに、環境中への放射性核種の輸送・拡散・沈着・蓄積の諸過程を詳細に既述する。さらに、その結果をもとに、放射線の環境への影響を科学的に評価し、今後の原子力利用の安全性を高めていくための議論にも波及できるものと考えている。

MIS036-P179

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## GM 計数管によるいわき市および常磐高速沿いの放射線量測定結果 Radiological measurements in Iwaki City and along Joban Express highway by Geiger counter

小田 啓邦<sup>1\*</sup>, 宮城 磯治<sup>1</sup>, 後藤英之<sup>2</sup>  
Hirokuni Oda<sup>1\*</sup>, Isoji MIYAGI<sup>1</sup>, Goto Hideyuki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所地質情報研究部門, <sup>2</sup> 少林寺拳法茨城つくば道院

<sup>1</sup>Institute of Geol. Geoinfo., AIST, <sup>2</sup>Tsukuba Branch, Shorinji Kempo

我々は4月17日に常磐高速道沿線のSA/PAおよびいわき市においてGM計数管を用いて空間線量率測定を行ったので報告を行う。3月15日の東日本大震災にともなう地震・津波による被害によって、福島第一原発から複数回にわたって放射性物質の放出が行われた。放出された放射性物質は、これまでの文部科学省等による分析結果から、原子炉燃料棒の中で生成された放射性核種のうち比較的揮発性の高いヨウ素-131, セシウム-134, セシウム-137, テルル-132, ストロンチウム89, ストロンチウム90などが想定される。本調査において使用した分析機器は、S.E. International Inc. 社製の Inspector+ Handheld Digital Radiation Alert Detector であるが、アルファ線, ベータ線, γ線の全てをとらえることができる。なお、本測定装置はセシウム137で最適な空間線量率の測定値(マイクロシーベルト/時)が出るように調整されている。調査は地面直上での測定, 地面直上で2cm厚の本(紙)を挟んでベータ線を遮断した状態での測定, 腰の高さ(地面から1m)における測定の3つを基本として行った。また、参考データとして常磐高速道路走行中の車中での空間線量率についてもモニターした。特筆すべきは、湯ノ岳PAの自動販売機後ろの雨水が落ちるであろう部分における測定で、今回の一連の測定で最も大きな測定値を示した。ここでの測定は、地面直上で48マイクロシーベルト/時, 2cmの本を挟んだ状態で0.8マイクロシーベルト/時であった。同じPAにおける他の場所における測定では、地面直上で16-18マイクロシーベルト/時であった。このことは、雨水によって集められた放射性物質が濃集していることを示している。また、本を挟むと極端に値が小さくなるのは、崩壊を伴わないベータ壊変核種が多いことを示唆すると考えられる。

キーワード: GM 計数管, いわき市, 常磐高速, 空間線量率, 放射線計測, ベータ壊変

Keywords: Geiger counter, Iwaki City, Joban Express Highway, Radiation dose rate, Radiological Measurement, Beta disintegration

## 放射能汚染土壌表面付近の放射線量の現場計測

### On site measurement of radiation dose around the radiation-contaminated surface soil

丸茂 克美<sup>1\*</sup>, 細川好則<sup>2</sup>, 和田信彦<sup>3</sup>, 糸永眞吾<sup>4</sup>, 成沢 昇<sup>5</sup>, 石山直樹<sup>6</sup>, 小野雅弘<sup>7</sup>, 熱田真一<sup>4</sup>, 川上 俊介<sup>8</sup>

Katsumi Marumo<sup>1\*</sup>, Yoshinori Hosokawa<sup>2</sup>, Nobuhiko Wada<sup>3</sup>, Shingo Itonaga<sup>4</sup>, Noboru Narisawa<sup>5</sup>, Naoki Ishiyama<sup>6</sup>, Masahiro Ono<sup>7</sup>, Shin-ichi Atsuta<sup>4</sup>, Shunsuke Kawashima<sup>8</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所地質情報研究部門, <sup>2</sup> 株式会社エックスレイ プレシジョン, <sup>3</sup> 合同会社地水環境コンサル, <sup>4</sup> 大成基礎設計株式会社, <sup>5</sup> 日本ガス機器検査協会, <sup>6</sup> 日本環境株式会社, <sup>7</sup> 住鉱資源開発株式会社, <sup>8</sup> 株式会社アースアプレイザル

<sup>1</sup>AIST, <sup>2</sup>X-ray Precision Inc., <sup>3</sup>Environmental Consultant of Geology & Gr, <sup>4</sup>Taiseikisosekai Co.,Ltd., <sup>5</sup>Japan Gas Appliances Inspection Associat, <sup>6</sup>Nihon Environmental Services Co.,Ltd., <sup>7</sup>Sumiko Resources Exploration & Developme, <sup>8</sup>Earth-Appraisal Co., Ltd.

平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災によって発生した大津波により、東京電力福島第一原子力発電所（以下では原発と略す）は壊滅的な被害を受け、その後の原発の 2 号炉格納容器破壊や 4 号炉使用済み燃料プール火災にともなう放射能大量放出があり、大気中にヨウ素 131 やセシウム 137 などの放射性物質が大気や海洋に拡散してしまった。

我々は 3 月 26 日と 4 月 2 日に茨城県と福島県の土壌表面付近の放射線量調査を実施した。この調査の目的は、土壌表面付近の放射線量を現場で計測するための様々な測定器（ガイガーミュラーカウンター、ヨウ化セシウムシンチレーションカウンター、電離箱式サーベイメーターやガンマ線スペクトルメーター）を活用し、個々の測定器の特性（どのような放射線を計測しているか）を理解するとともに、どのような手法で土壌表面付近の放射線量を測定すべきかを現場で検討し、さらに 私たちが定点観測地点とした場所での土壌表面付近の放射線量が 3 月 26 日と 4 月 2 日とでどの程度異なっているか、また 私たちが定点観測地点とした場所や、福島県飯館村の土壌表面付近の放射線量を調べることににより、福島原発からの距離と、土壌表面付近の放射線量との関係を明らかにすることである。

私たちが定点観測地点としている常盤高速道路のサービスエリアの土壌表面付近からの放射線量は 3 月 26 日の測定値に比べて 4 月 2 日の測定値は減少していることが確認された。例えば原発から 98km 離れた日立中央パーキングエリアの 3 月 26 日の土壌表面付近の放射線量は電離箱式サーベイメーターでは 5.3 マイクロシーベルト/時、ヨウ化セシウムシンチレーションカウンターでは 1.7 マイクロシーベルト/時であったものの、4 月 2 日の土壌表面付近の放射線量は電離箱式サーベイメーターでは 2.7 マイクロシーベルト/時、ヨウ化セシウムシンチレーションカウンターでは 0.8 マイクロシーベルト/時でいずれも半減している。

原発から 49km 離れた湯の岳パーキングエリアの 3 月 26 日の土壌表面付近の放射線量は電離箱式サーベイメーターでは 40.4 マイクロシーベルト/時、ヨウ化セシウムシンチレーションカウンターでは 7.8 マイクロシーベルト/時であったものの、4 月 2 日の土壌表面付近の放射線量は電離箱式サーベイメーターでは 22.2 マイクロシーベルト/時、ヨウ化セシウムシンチレーションカウンターでは 3.6 マイクロシーベルト/時でいずれも半減している。こうした減少は電離箱式サーベイメーターで計測されるベータ線、ガンマ線と、ヨウ化セシウムシンチレーションカウンターで計測されるガンマ線の多くが、半減期が 8.04 日のヨウ素 131 であることに起因するためであると考えられる。ガンマ線スペクトルメーターによる現場でのスペクトル解析でもヨウ素 131 に起因するガンマ線が検出されている。

ヨウ化セシウムシンチレーションカウンターは 0.1MeV 以上のエネルギーのガンマ線を計測できるため、空気中や土壌表面付近のヨウ素 131 から発生する 0.364MeV のガンマ線や、セシウム 137 から発生する 0.66MeV のガンマ線などの測定が可能である。しかし、ヨウ素 131 やセシウム 137 から発生するベータ線はシンチレーションカウンターの窓材によって吸収されてしまうため、測定できない。一方、電離箱式サーベイメーターはこれらのベータ線、ガンマ線、それに散乱ガンマ線の放射線量を現場で把握することが可能であるため、ヨウ化セシウムシンチレーションカウンターより高い測定線量となる。

福島県飯館村の白石小学校校庭の 4 月 2 日の土壌表面付近の放射線量は、電離箱式サーベイメーターでは 93.4 マイクロシーベルト/時であることが判明した。3 月 15 日の原発の 2 号炉格納容器破壊や 4 号炉使用済み燃料プール火災にともない、放射能雲は風と共に北西に移動し、その日のうちに飯館村にまで達したことになる。放射能雲の中の放射性物質はやがて雨とともに耕作地や森林に沈積し、しばらくの間は放射線を周囲にまき散らすことになる可能性がある。

キーワード: 福島第一原子力発電所, ガイガーミュラーカウンター, ヨウ化セシウムシンチレーションカウンター, 電離箱式サーベイメーター, ガンマ線スペクトルメーター, 放射能汚染土壌

Keywords: Fukushima No.1 nuclear Power Plant, Geiger-Muller counter, Cesium iodide scintillation counter, ionization chamber

type survey meter, gamma-ray spectrometer, radiation-contaminated surface soil



MIS036-P181

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## グリッド調査にもとづく福島県放射線レベルマップ The distribution map of radiation levels by grid survey in Fukushima prefecture

廣瀬 孝太郎<sup>1\*</sup>, 福島大学放射線計測チーム<sup>1</sup>

Kotaro Hirose<sup>1\*</sup>, Fukushima University Radioisotope Distribution Research Team<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 福島大学共生システム理工学研究科

<sup>1</sup>Fukushima University

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震では、地震とそれに続く津波が東京電力福島第一原子力発電所に大きなダメージを与え、いまなお広範囲にわたる放射線の影響が懸念されている。今後の放射性物質の動態やそれにもなう放射線強度の変化を予想するうえで、できるだけ早い段階で放射能汚染の実態を明らかにする必要がある。そこで本研究では、地表付近での放射線量率の詳細な分布を明らかにする目的で、野外における線量率の計測を行った。計測は、2 km のグリッドを基準に、原発から 20 km から 概ね 70 km の範囲内の 372 地点において行った。アスファルトの道路隅、地表から 1 m の高さに検出器を配置して行った。調査は 3 月 25-31 日の間に行ない、福島市での減衰曲線を元に、3 月 30 日の値となるよう補正した。

原発から北西方向の約 20-30km に、30  $\mu$  Sv/h を超える線量の高い領域が分布する。この分布は、SPEEDI によるシミュレーションや USDOE の航空機による観測と整合性を有する。また、阿武隈山地と奥羽山脈の間に位置する郡山から福島にも、2-4  $\mu$  Sv/h と比較的線量が高い領域が分布する。この傾向は上記のシミュレーションやリモートセンシングからは読み取ることができない。これら二つの領域は、福島市およびその近辺において連続性を有するようにもみえるが、福島市の東側にはこれらよりも低い線量の領域が存在している。このような線量率の分布が、どの放出イベントによってどのような経路でそれぞれもたらされたかについては、いくつかの可能性が示唆される。

以上の調査から、対象地域の放射線量率を面データとして把握することが可能となった。また得られた放射線量分布図は、放射性物質の放出イベントと運搬経路・降水量のモデル検証だけでなく、今後のヒトや生物への放射線の影響や、この地域の農業や畜産業にとって重要な土壌への影響、環境中の放射性核種の移行を調査する際の基礎的なデータとなりうる。さらに、それらを基にした放射線対策に関する政策決定にも大きな影響を与えるであろう。

<福島大学放射線計測チーム> 浅田隆志, 生田博将, 金澤 等, 河津賢澄, 木村克彦, 廣瀬孝太郎, 小山純正, 黒沢高秀, 長橋良隆, 難波健二, 入野野修, 大山 大, 酒井元気, 柴崎直明, 篠田伸夫, 田井昌子, 高貝慶隆, 高橋隆行, 高瀬つぎ子, 田中 明, 塘 忠顕, 渡邊 明, 山口克彦 (ローマ字表記アルファベット順)

キーワード: 放射線量率, 平面分布, グリッド調査, 福島第一原発, 東北地方太平洋沖地震

Keywords: radiation level, distribution map, grid survey, Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, the Tohoku - Pacific earthquake

MIS036-P182

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 福島原発事故後に測定された農地土壌中の放射性セシウム濃度の広域分布 Regional map of radioactive Cs in the agricultural soils affected by the accident of Fukushima nuclear power plant

鶴田 治雄<sup>1\*</sup>, 佐藤陽祐<sup>1</sup>, 橋本真喜子<sup>1</sup>, 中島映至<sup>1</sup>  
Haruo Tsuruta<sup>1\*</sup>, Yousuke Sato<sup>1</sup>, Makiko Hashimoto<sup>1</sup>, Teruyuki Nakajima<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大気海洋研究所

<sup>1</sup> AORI, The University of Tokyo

福島第1原子力発電所の事故で大気中に放出された放射性物質の、人体、作物、土壌、河川水や地下水への影響を定量的に把握するためには、地表面への沈着量を広域に推定する必要がある。現段階ではそれを目的とした調査はまだ実施されていないが、10県が農林水産省と連携して緊急に、農地土壌中の放射性物質濃度の測定を実施した。調査地域は、宮城県、山形県、福島県、茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、神奈川県、新潟県であり、農地は主に水田でその他に畑と果樹園の表層土壌(深さ0-15cm)を2011年3月末頃から4月初めにかけて採取し、放射性セシウム(Cs)を農業環境技術研究所などが分析し、採取地点と放射性Cs濃度(Bq kg(dry soil)-1)が各県のHPに公表された。そこで、それらのデータを用いて、放射性Cs濃度の広域分布図を作成したので、その結果の概要を報告する。とくに濃度の高い地域は福島県相双地域で、多くの地点で1.5-29.0 kBq kg(dry soil)-1だった。また、福島県中通りでも濃度が高く、県北側から県南側に次第に濃度が低くなったが、地点によっては1.0-5.0 kBq kg(dry soil)-1と高かった。さらにその南西側の栃木県北部でも、0.7-1.8 kBq kg(dry soil)-1と高濃度の地域が存在した。福島県北西部の会津地域は、0.1-2.0 kBq kg(dry soil)-1と非常に濃度巾が大きく、地形による複雑な影響と推測される。なお、福島県より北側の宮城県南部では0.7 kBq kg(dry soil)-1前後と高かった。一方、茨城県南部でも0.5 kBq kg(dry soil)-1と、周囲よりやや高い地点が存在した。また、約240km西南西方向の群馬県西部では0.5 kBq kg(dry soil)-1付近とやや高い地点が存在した。さらに250km南西方向の神奈川県中部でも、0.2 kBq kg(dry soil)-1と周囲よりもやや高い地点が存在した。なお、山形県や新潟県では、0.03 kBq kg(dry soil)-1以下と非常に低かった。このように、地域によって濃度が大きく異なった原因は、下層風系や降水量の影響を大きく受けたためと推測された。なお今回の調査は農地だけであり、今後は森林地域や積雪地域などを含めた広域における沈着量の総合調査が望まれる。

キーワード: 福島原子力発電所事故, 農地土壌, 放射性セシウム, 広域分布

Keywords: accident of Fukushima nuclear power plant, agricultural soil, Cesium radioisotope, regional distribution

MIS036-P183

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 津波被害を受けたインドタミルナドゥ州ナガッパティナム地区の水田農地におけるレジリアンスの向上と脆弱性の低下 Building Resilience and Reducing Vulnerability to Tsunami Affected Paddy Fields in Nagapattinam District, India

久米 崇<sup>1\*</sup>, 梅津千恵子<sup>1</sup>, K. パラニサミ<sup>2</sup>  
Takashi Kume<sup>1\*</sup>, Chieko Umetsu<sup>1</sup>, K.Palanisami<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 総合地球環境学研究所, <sup>2</sup> 国際水管理研究所  
<sup>1</sup>RIHN, <sup>2</sup>IWMI

2004年インド洋スマトラ島沖地震によって発生した巨大津波は、インド洋周辺国の沿岸部に多大な被害を与えた。インドタミルナドゥ州ナガッパティナム地区は其中で、最も被害が大きかった地区である。ナガッパティナム地区は、広大な稲作地帯であるが、海水による湛水と海成堆積物により水田農業が壊滅的なダメージを受けた。沿岸部は津波のような自然災害に対して敏感である。したがって、被害を最小に食い止めて回復を早くするためには、レジリアンスを高めることと脆弱性を低くすることが必要となる。本研究では、ナガッパティナム地区におけるレジリアンスと脆弱性について議論するために、水田農地の土壌、地下水、そして植生における塩性化被害とその回復について調査を行った。土壌の塩分濃度は、津波直後に急激に上昇したが、その約1年後にはほぼ津波前の濃度までに低下した。地下水の塩分濃度は、少なくとも津波の1年半後には元の濃度に低下していた。MODIS NDVI データを解析した結果、植生は津波の約1年後にはほぼ回復していた。津波によって壊滅的な被害を受けた沿岸部水田がこのように早い回復をした主な理由は次の3点である。まず高塩分濃度の海成堆積物の除去、次にモンスーンによる大量の降雨による塩分の溶脱、最後に透水性の高い砂地土壌である。特に、塩分がモンスーン降雨によって透水性の高い土壌を通じて速やかに海に排出されたことが、本地区の水田における塩性化からの回復を支えたといえよう。これを、回復時間で定義される工学的レジリアンスとして評価すると約1年から1年半である。被害規模から考えると本地区のレジリアンスは高いといって差し支えないだろう。一方、防災堤防などが設置されていないことから、常に津波に対するセンシティブティが高く、曝露状態が高い本地区の脆弱性は高いといえる。モンスーンによって大量の降雨がもたらされる洪水常襲地帯である本地区では、洪水が津波によってもたらされた塩性化を解消したといえよう。したがって、津波に対する今後の防災計画にはモンスーン、砂質土壌、土地利用といった本地区における水文レジームの主たる構成要素を十分に考慮し、脆弱性を低くする方策を考えることが重要である。

キーワード: インド洋津波, 水田, レジリアンス, 脆弱性, 塩性化

Keywords: Indian Ocean Tsunami, Paddy Fields, Resilience, Vulnerability, Salinization

## スペクトルインバージョンに基づく2011年東北地方太平洋沖地震の余震・前震・他の短周期レベル

### Short-period spectral levels for aftershocks and foreshocks of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake

佐藤 智美<sup>1\*</sup>

Toshimi Satoh<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 清水建設

<sup>1</sup> Shimizu Corporation

2011年東北地方太平洋沖地震の前後には、規模の大きな前震、余震が多数発生し、多くの強震記録が得られている。本研究では、これらの記録を用いて、断層モデルに基づく強震動予測のために重要なパラメータである短周期レベル(加速度震源スペクトルが一定となるレベル)を推定した。そして、海溝型地震については、既往の地震の短周期レベルも含めて、地域性及びプレート境界地震とスラブ内地震の違いについて検討した。地殻内地震については、福島県浜通りで発生した正断層地震の短周期レベルを推定し、逆断層と横ずれ断層の短周期レベルとの違いについて検討した。

本研究で短周期レベルを推定した海溝型地震は、筆者ら(佐藤,2004;片岡・他;Satoh,2006)が検討対象としていない2003年10月~2011年3月28日までの三陸沖から茨城県沖のMJ6.4以上、深さ60km以下の10個のプレート境界地震(MJ6.4~7.7)と、2011年4月7日の宮城県沖のスラブ内地震(MJ7.1, F-net震源深さ68km)である。地殻内地震は、福島県浜通りで発生した7つの正断層(MJ4.7~7.0)と1つの横ずれ断層(MJ5.0)の地震である。海溝型地震に対しては、佐藤・巽(2002)がスペクトルインバージョンに基づき東日本の海溝型地震の記録を用いて推定しているQ値と経験的地盤増幅率を用いて、加速度震源スペクトルを算出し、短周期レベルを推定した。この際用いた強震記録は、火山フロント前弧側のK-NET, KiK-net観測点(地表)で観測された水平2成分とも200cm/s以下の水平成分である。原則、震源距離150km以下の記録とし、150km以下の記録がほとんどない地震では180km以下とした。なお、震源距離は気象庁の震央位置とF-netの震源深さをを用いて計算した。地殻内地震については、スペクトルインバージョンに基づき、短周期レベルを推定した。この際用いた強震記録は、火山フロント前弧側のK-NET, KiK-net観測点(地中)で観測された水平2成分とも200cm/s以下の水平成分である。FKSH19(都路)での地中に対する地表のスペクトル比から、S波の1次元波動理論に基づきS波速度、減衰定数を推定し、これに基づくS波速度3.06km/sから地表までの1次元理論地盤増幅率を拘束条件とした。スペクトルインバージョンで推定された伝播経路のQ値は周波数 $f=1\sim 5\text{Hz}$ でほぼ $70f_{\text{sub}}^{0.9}/_{\text{sub}}$ で表現でき、佐藤(2010)が横ずれ断層の地震と同様の解析を行った際の $Q=80_{\text{sub}}f_{\text{sub}}^{0.98}/_{\text{sub}}$ と近い結果であった。

図には、本研究で推定した短周期レベルAとF-netの地震モーメント $M_0$ の関係を、既往の研究結果とともに示す。上段が海溝型地震、下段が地殻内地震である。海溝型地震をみると、2011年4月7日の宮城県沖のスラブ内地震のA( $1.49e+27\text{dyne}\cdot\text{cm/s/s}$ )は、2003年5月26日のスラブ内地震(MJ7.1)より大きい。本研究で対象とした $M_w7$ 以上のプレート境界地震をみると、2011年3月9日の宮城県沖の地震(MJ7.3)のA( $5.97e+26\text{dyne}\cdot\text{cm/s/s}$ )は、2005年8月16日の宮城県沖の地震(MJ7.1)よりやや小さいものの、1978年宮城県沖地震(MJ7.4)とほぼ同じスケール上にあり、東日本のプレート境界地震のAの経験式(佐藤,2010)の平均+標準偏差程度と大きい。これに対して、2011年3月11日15時8分の岩手県沖の地震(MJ7.4)、2011年3月11日15時15分の茨城県沖の地震(MJ7.7)のAは、それぞれ、 $3.35e+26\text{dyne}\cdot\text{cm/s/s}$ 、 $6.19e+26\text{dyne}\cdot\text{cm/s/s}$ と、東日本のプレート境界地震のAの経験式(佐藤,2010)の平均と平均-標準偏差の間にある。地殻内地震をみると、MJ7.0の正断層の地震のAは $7.34e+25\text{dyne}\cdot\text{cm/s/s}$ であり、佐藤(2010)の横ずれ断層の経験式の平均値とほぼ同じである。佐藤(2010)の横ずれ断層、逆断層の経験式の範囲内の他の2つの正断層の地震のAは佐藤(2010)の横ずれ断層の経験式の平均値より小さい。正断層の短周期レベルあるいは応力降下量が横ずれ断層より小さい傾向は、佐藤(2003)と同様であり、NGAなどの距離減衰式とも整合する。

今後、本震の短周期レベルを同様の手法及び経験的グリーン関数法により求める予定である。

謝辞:本研究は、科学研究費補助金基盤研究(A)21241044による研究成果である。本研究では、防災科学技術研究所のK-NET, KiK-net強震記録、地盤構造、F-netのメカニズム解、気象庁の震源情報、Hi-netの震源情報を用いました。記して感謝致します。

キーワード: 短周期レベル, 2011 年東北地方太平洋沖地震, 余震, 前震, プレート境界地震, 正断層

Keywords: hort-period spectral level, the 2011 off the pacific coast of Tohoku earthquake, aftershock, foreshock, subduction-zone earthquake, normal-faulting crustal earthquake

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



MIS036-P185

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 東北地方太平洋地震による千葉県山武市の津波状況(速報) Tsunami situation of Chiba Prefecture Sanmu City due to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake.

畠山 正恒<sup>1\*</sup>, 小俣 珠乃<sup>2</sup>, 小尾 靖<sup>3</sup>, 能見 郁永<sup>4</sup>, 宮嶋 敏<sup>5</sup>, 相原延光<sup>6</sup>, 山賀 進<sup>7</sup>

Masatsune Hatakeyama<sup>1\*</sup>, Tamano Omata<sup>2</sup>, Yasushi Obi<sup>3</sup>, Fuminaga Noumi<sup>4</sup>, Satoshi Miyajima<sup>5</sup>, Nobumitsu Aihara<sup>6</sup>, Susumu Yamaga<sup>7</sup>

<sup>1</sup> 聖光学院中学高等学校, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構, <sup>3</sup> 神奈川県立相模原青陵高等学校, <sup>4</sup> さいたま市立大宮南中学校, <sup>5</sup> 埼玉県立深谷第一高等学校, <sup>6</sup> 神奈川県立新羽高等学校, <sup>7</sup> 麻布中学高等学校

<sup>1</sup>Seiko gakuin secondary school, <sup>2</sup>Jamstec, <sup>3</sup>Sagamihara Seiryō upper secondary school, <sup>4</sup>Saitama Omiyaminami lower secondary sch., <sup>5</sup>Fukuyadaichi upper secondary sch., <sup>6</sup>Nippa upper secondary school, <sup>7</sup>Azabu secondary school

東北地方太平洋地震による千葉県山武市の津波について報告する。

山武市は九十九里海岸の一角をなし蓮沼海岸などの主要海水浴場を持つ市である。

今回の津波により死者1名全壊家屋35戸の被害を受けている。

津波は河川や水路を遡り、越水により家屋破壊や浸水の被害をもたらしている。

海岸地域の浸水の実態とその到達地点の確認方法について報告する。

キーワード: 2011年東北地方太平洋地震, 千葉県, 山武市, 津波, 津波到達地点, 被害

Keywords: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, Chiba prefecture, Sammu city, Tsunami, Tsunami attainment point, damage

MIS036-P186

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 14:15-16:15

## 長野県北部地震によって引き起こされた雪面滑走型岩盤崩壊の末端構造 Structure of the rock failure toe slid on the snow surface induced by the Northern Nagano Prefecture Earthquake

永田 秀尚<sup>1\*</sup>

Hidehisa Nagata<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 有限会社風水土

<sup>1</sup> Fu Sui Do co. Ltd.

2011年3月12日に発生した長野県北部地震(M 6.6)によって、長野県・新潟県の県境付近を中心に斜面崩壊や雪崩が発生した。それらのうち、新潟県津南町辰ノ口で発生した岩盤崩壊移動体の末端構造についての調査結果を示す。この崩壊は積雪地で発生するランドスライドとして注意を要する、長い流送距離をもつものである。

岩盤崩壊は烏帽子形山山頂西側の尾根直下で発生した。発生域の調査はまだ十分ではないが、空中写真から判断して、幅約100m、体積は $1\sim 2 \times 10^4 \text{m}^3$ 程度と推定される。崩壊堆積物は下流に向かって約700m移動し、舟繋川とその右岸を走る国道353号を埋没した。見かけの摩擦角はこの規模の崩壊としては小さな $20^\circ$ となり、移動体の流動性が高かったことが示される。

国道に沿う末端部の断面を観察すると、ほとんどの区間で、下位から現地性の積雪、全層雪崩による雪塊、岩屑という層序が確認される。全層雪崩による雪塊は積雪縞を持たず、角礫状に破碎され、氷化が進んでいる。わずかに耕土とみられる砂質土・粘性土を含む。岩屑は、より下位・外側で風化泥岩、上位・内側で砂岩が卓越している。

このような観察結果は積雪と崩壊岩塊が単純に混合されて移動体を形成したのではないことを示している。岩盤崩壊に先行して地表付近の土壌や植生を巻き込んだ全層雪崩が発生し、岩盤崩壊の移動体はその雪面上を滑走したものと推定される。移動体の高い流動性はこのような機構によって説明できるだろう。

キーワード: 岩盤崩壊, 雪崩, 2011年長野県北部地震, 津南町

Keywords: rock failure, snow avalanche, Northern Nagano Prefecture Earthquake, Tsunan Town

## 2011年東北地方太平洋沖地震の直前に起こった電離圏全電子数の正の異常 Ionospheric electron enhancement immediately before the 2011 NE Japan earthquake

日置 幸介<sup>1\*</sup>

Kosuke Heki<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 北大院理自然史科学

<sup>1</sup> Natural History Sci., Hokkaido Univ.

電磁気的な地震前兆は多く知られているが、それらの多くは特定の観測点における特殊な観測によるものであり、普遍性や追試容易性に欠けていた。2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)に際し、地震約40分前から震源域上空の電離圏で最大一割近くに達する全電子数(TEC)の正の異常が観測された。これは我が国に多数展開された全地球測位システム(GPS)のキャリア位相差の時系列から得られたもので、データの入手と解析はともに簡単で追試が容易である。同様の前兆変化は2010年2月のチリ地震、2004年12月のスマトラ地震、および1994年北海道東方沖地震においても見出されており、巨大地震に普遍的なものである可能性が高い。将来の地震直前予知の実用化に向けた新手法として有望と思われる。

GPS連続観測網GEONETの生データは国土地理院からftpで入手、L1/L2の位相差をTEC時系列に変換した。図1左に、全国各地のGPS局で15番衛星を通して見たTECの地震前後の変化を示す。それらは下に凸な曲線を描くが、衛星仰角の変化によって電離圏を視線が貫く厚さが変化することによる見かけの変化が大きい。地震の約十分後に、地震による地面および海面の上下運動が励起した大気中の音波が電離圏高度に到達する。それと同時に大気基本モードである周期約4.5分の振動が始まり場所によっては数時間継続する。これは地震時電離圏変動(CID)と呼ばれる既知現象である(Heki and Ping, EPSL 2005)。

今回注目するのは、地震の約40分前に始まって地震波が電離圏に到達するまで継続するTECの正異常である。異常分は地上局と衛星を結ぶ視線ベクトルが電離圏の最大電子密度高度(約300km)を貫く点(その地上投影点をSIPと呼ぶ)が震源上空にあるGPS点で大きく(鉛直TECで2TECU程度)、震源から離れるに従って小さくなる。また震源から十分に離れた電離圏では逆にTECの負異常が見られる。なおTEC異常はCIDによる電離圏大気の振動が治まった後に元にもどっている。

このような地震直前のTEC変化に関して、地震に伴う異常部分(UT5.2-6.0)を除いて推定したモデル(図1左のなめらかな曲線、鉛直TECを時間の三次式でモデル化)からの差を鉛直TECの異常に換算して地図上にプロットした(図1右)。これは排気中の水蒸気による電子の枯渇を利用した北朝鮮のミサイル航跡の解析(Ozeki and Heki, JGR 2010)と同じ手法である。地震直前の時点で明瞭な正のTEC異常が震源近傍上空に分布している。なお同様の図は26/27番衛星を用いても描くことができる。図の詳細は英文要旨を参照されたい。

この現象の普遍性を調べるため、同様の規模の海溝型地震として2010年二月に発生したチリ地震(Mw8.8)前後のTEC変化を調べた。チリとアルゼンチンにはかなりの数のGPS連続観測局が存在するが、ウェブで公開されているアルゼンチンの生データを中心に東北と同様の解析を行った。これらのGPS局から17番衛星を通じて震源上空の電離圏を見た時のTEC時系列を見ると、正のTEC異常が今回と同じく地震の約40分前に始まり、CID発生まで継続していることがわかった。異常の大きさは東北地方太平洋沖地震の半分程度であった。同様のTEC正異常は2004年12月のスマトラ・アンダマン地震(Mw9.2)でも見られ、地震前1時間半に亘って鉛直TECで3TECUを超える大きな正異常が見られた(PHKT局、衛星20)。その他これまでGEONETで明瞭なCIDが見いだされたいくつかの地震について、地震直前のTEC異常を調べた。その結果1994年北海道東方沖地震(Mw8.3)、2006年千島地震(Mw8.2)では小さな正異常が見いだされたが、2003年十勝沖地震(Mw8.0)、2004年紀伊半島沖地震前震(Mw6.9)では(地震に伴うCIDは明瞭であるが)地震前のTEC正異常は確認できなかった。これらから、本現象はM9に近い巨大地震に特有なものであることがわかる。

電磁気的な地震前兆の多くは地震の準備課程において地表近傍に現れた正常電エアロゾルで説明できることが知られている。また正電荷の起源として、圧縮された火成岩から発生し拡散してきた正孔や、地殻から放出されたラドンやアルファ崩壊等が考えられている。地震前のTEC正異常の物理メカニズムは現時点で明確ではないが、地表近くに濃集した正電荷が作る静電場によって電離圏F層の電子が磁力線に沿って下降したことが原因である可能性が高い。



キーワード: 電離圏全電子数, GPS, 2011 東北地方太平洋沖地震, 前兆, 2010 チリ地震, 2004 スマトラ地震  
Keywords: TEC, GPS, 2011 Tohoku Earthquake, precursor, 2010 Maule Earthquake, 2004 Sumatra Earthquake

## 2011年東北地方太平洋沖地震および1933年三陸地震の震源再決定と主要地震の断層面推定

### Relocation and fault planes of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku and 1933 Sanriku earthquakes

古川 信雄<sup>1\*</sup>

Nobuo Hurukawa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 建築研究所

<sup>1</sup> Building Research Institute

#### 1. 2011年東北地方太平洋沖地震の震源再決定と主要地震の断層面推定

海域で発生した地震の深さを精度良く求めることは難しく、余震分布から主要地震の断層面を特定できない場合がある。そこで、東北地方太平洋沖地震(本震)とそれに伴った前震と余震の震源を、改良連携震源決定法(古川・井元、1990)を用いて精度よく決定し、主要4地震( $M_w \approx 7.0$ )の断層面を特定した。用いたデータは、USGSが地震直後から公開している、全世界の地震観測点におけるP波の到着時刻である。本震の前後1週間以内(世界標準時で3月4日から18日まで)に、北緯 $35.0^\circ \sim 41.0^\circ$ 、東経 $140.0^\circ \sim 146.0^\circ$ の範囲で発生した地震を解析した。走時残差2秒以内の読取値のみ用いた。その結果、363観測点を用いて459地震の震源を決定した。その内、420地震の震源を精度よく決定した。

USGS震源では、深さが一様であり、空間依存性は示さない。一方、再決定震源では、震源の深さが西北西方向に向かって徐々に深くなっており、本地震が本当に北米プレートと太平洋プレートの境界面で発生した低角逆断層型地震であることが確認できた。同様に、本震の2日前(3月9日)に宮城県沖で発生した最大前震( $M_w 7.5$ )と、本震の29分後(日本時間15時15分)に茨城県沖で発生した最大余震( $M_w 7.9$ )の断層面もプレート境界面であることを確認した。

一方、本震の39分後(日本時間15時25分)に三陸沖の日本海溝の東側で発生した2番目に大きな余震( $M_w 7.6$ )は本震等とは全く震源メカニズムが異なる正断層型地震であった。USGS震源では深さ精度が悪くて断層面はわからないが、再決定震源から西側に45度の傾きで傾斜する節面が断層面であり、破壊が断層深部から始まったことが分かった。また、この断層よりも東側では地震は全く発生していない。この地震は、本震により太平洋プレートが北米プレートの下に沈み込み、そのために日本海溝下の太平洋プレート上部に生じた東西張力により生じた。応力解放だけを見れば、断層面はどちらの節面であってもよいが、プレート沈み込みを考えれば、断層面の西側が落ちるこの節面が断層面でなければならない。今回の解析結果はこの考え方を支持する。

#### 2. 1933年三陸地震の震源再決定と断層面推定

2011年東北地方太平洋沖地震震央域の北東では、1896年にプレート境界の低角逆断層地震( $M 8.2$ )が、1933年にアウターライズ正断層型地震( $M 8.4$ )が発生している。地震波読取値が公開されている後者について、本震と余震の震源を改良連携震源決定法により再決定した。その結果、本震と余震は西傾斜の面上に分布し、断層面は西に約30度の傾きで傾斜していることが分かった。この面の傾斜角はKanamori(1971, 1972)が求めた45度よりも低角で、Abe(1978)が津波計算から求めた30度に一致する。この断層面も2011年正断層型地震同様、プレート沈み込みに整合的である。

1933年三陸地震震源域東半分の南側に2011年3月11日15時25分の正断層型地震の震源域は位置する。そのため、本震近傍で1933年三陸地震同様のアウターライズ正断層型地震が起こるとすれば、北緯37度以南である。

#### (参考文献)

Abe, Ku., 1978, JPE, 26, 381-396.

古川信雄、井元政二郎、1990、地震、43、413-429.

Kanamori, H., 1971, PEPI, 4, 289-300.

Kanamori, H., 1972, PEPI, 6, 346-359.

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 1933年三陸地震, 震源再決定, 断層面, 連携震源決定法

Keywords: off the Pacific Coast of Tohoku earthquake, 1933 Sanriku earthquake, relocation, fault plane, joint hypocenter determination