

## 摩擦特性に依存する小繰り返し地震の揺らぎ Perturbation of small repeating earthquake depending on frictional properties

有吉 慶介<sup>1\*</sup>, 松澤 暢<sup>2</sup>, 日野 亮太<sup>2</sup>, 長谷川 昭<sup>2</sup>, 金田 義行<sup>1</sup>  
ARIYOSHI, Keisuke<sup>1\*</sup>, MATSUZAWA, Toru<sup>2</sup>, HINO, Ryota<sup>2</sup>, HASEGAWA, Akira<sup>2</sup>, KANEDA, Yoshiyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構 地震津波・防災研究 P, <sup>2</sup> 東北大学

<sup>1</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>2</sup>RCPEV, Tohoku University

近年の観測網の発展によって、小繰り返し地震解析はプレート境界面のすべり履歴やカップリング率を推定するのに有効な手法として確立されつつある。特に、海溝型巨大地震震源域付近に対しては、陸上 GPS 観測網などでは高精度で推定することが困難であることから、モニタリングツールとして小繰り返し地震の活用が期待される。一方で、小繰り返し地震解析から推定されたすべり量は、プレートの収束速度や高精度で得られた陸上 GPS 解析結果よりも小さい値となる場合がある。その主な要因として、震源域周辺での応力場に乱れが生じるため、小繰り返し地震として認識されずに取り逃がしていることが考えられている。Ariyoshi et al. [2007 GRL] では、摩擦係数が速度-状態依存摩擦構成則の *slowness-law* に従う場合、大規模な余効すべりが通過すると深部で発生する小繰り返し地震が一時的にゆっくり地震に変化することを指摘した。しかし、有効法線応力や摩擦構成則が異なる場合、揺らぎの発生過程も多様になる可能性がある。そこで本研究では、これらが異なる場合について、数値シミュレーションを行った。

その結果、*slowness-law* では、浅い震源や高い間隙圧などで有効法線応力が低い場合、同一の摩擦特性であっても、通常はゆっくり地震が発生し、余効すべりが通過する際に通常の地震が発生することが分かった。これは、釜石沖のように震源が深い場合を想定した Ariyoshi et al. [2007 GRL] の結果とは逆である。また、この中間では、通常時に発生する地震と同じすべり速度をもつイベントが余効すべり通過時に頻発した。*slip-law* でもほぼ同様の傾向がみられるが、深さの範囲が限定的な結果となった。震源が深い場合、地震活動が巨大地震発生前後にまたいだ長期間に渡って不活発となる特徴がみられ、*slowness-law* の中間的な場合にみられたイベントが頻発する現象は、数多くのシミュレーションを行っても再現することはできなかった。このような違いは、ゆっくり地震の発生条件が繊細な *slip-law* [Rubin & Ampuero, 2007 JGR] では、ゆっくり地震が起こりにくいことから、応力擾乱に対しても繊細になったためだと考えられる。

これらの結果を観測結果と比較して考察を行うと、小繰り返し地震は沈み込みプレート境界面の深部でも浅部でも発生していることから、摩擦構成則が *slowness-law* に従うか、*slip-law* で有効法線応力が中間値かつ深さによらずほぼ一定と考えられる。その上で、東北地方太平洋沖地震直後に釜石沖で繰り返し地震が3度も起きた現象を考えると、*slip-law* から説明するのは難しい。本発表では、*slowness-law*, *slip-law* に加えて、*composite-law* [Kato and Tullis, 2001 GRL] や *PRZ-law* [Perrin et al. 1995 JMPS] など他の摩擦構成則でも数値シミュレーションを行い、どの摩擦構成則が妥当なのかを根本から議論する。これにより、東北地方太平洋沖地震をはじめとする海溝型巨大地震に伴う地殻変動量について、摩擦構成則を適用する数値シミュレーションや小繰り返し地震解析の高度化を図る。

キーワード: 非相似地震, 繰り返し地震に基づくすべり量推定, 摩擦構成則を適用した数値シミュレーション, 余効すべり, 震源深さと地殻流体の影響, プレート境界型地震

Keywords: non-similar earthquake, slip estimation by repeating earthquake analyses, numerical simulation based on friction law, postseismic slip propagation, effect of geofluid and focal depth, interplate earthquake, interplate earthquake

## 東北地方太平洋沖地震に関する海底地殻変動観測と今後の展開 Current status and future plan of seafloor geodetic observation for 2011 Tohoku-oki earthquake

木戸 元之<sup>1\*</sup>, 長田 幸仁<sup>1</sup>, 飯沼 卓史<sup>1</sup>, 藤本 博己<sup>1</sup>

KIDO, Motoyuki<sup>1\*</sup>, OSADA, Yukihito<sup>1</sup>, IINUMA, Takeshi<sup>1</sup>, FUJIMOTO, Hiromi<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>1</sup>RCPEV, Tohoku University

We have detected considerably large coseismic displacement associated with the 2011 Tohoku-Oki earthquake through GPS/acoustic geodetic surveys. Taken them together with those observed by Japan Coast Guard and wide-spread array of seafloor pressure gauges, the data definitely contribute to elucidate the coseismic slip distribution of the earthquake based on numerical inversion analysis, the result of which we did not expect with our knowledge before the earthquake, but is supported by many other observations after the earthquake. The unexpected feature is not only in the coseismic slip distribution but also in postseismic deformation. GSI has been monitoring the postseismic deformation using GEONET and reported reasonable slip distribution that compensates the coseismic slip of the main shock mainly in the western (and hence deeper) adjacent area. However, our repeated observations after the earthquake indicate complexity in the postseismic slip, including further slip even at the main coseismic slip area near the trench. In addition, the deformation seems to still continue with a considerable rate.

To elucidate the complexity, Tohoku University and Nagoya University plan to drastically extend the seafloor geodetic survey sites along the Japan Trench by this summer under the accelerated project promoted and funded by MEXT. The total number of survey sites being planned is about 20, to be distributed mainly on deeper seafloor near the trench, in where the deformation cannot be inferred from onshore GPS network. The most of the survey sites consist of four transponders while some important sites consist of six transponders, which can effectively correct the effect of undesired spatial variation in sound speed in ocean. The new transponders are designed against long ranging over 10 km distant at depth and are compatible with both the systems of the university groups and Japan Coast Guard.

The other key of the project is the introduction of an autonomous moving buoy, which can navigate itself along programmed path or remotely operated on demand away from a research vessel. The utilization of this extra buoy will lead surveys to be more efficient or precise taken with an existing towing buoy simultaneously. The power for electronics and propulsion will be supplied by diesel oil lasting for at least two days per fuel. The autonomous buoy is an all-in-one system and the overall length is 3 m at most, which can be dealt with any researcher on any vessel. This promotes new research groups to begin their own GPS/acoustic survey. Systematic result of displacements in postseismic deformation will be obtained after the second time of survey to be conducted by the end of the fiscal year of 2012.

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 海底地殻変動, 余効変動, 海底GPS観測

Keywords: 2011 Tohoku-Oki earthquake, seafloor crustal deformation, postseismic deformation, seafloor geodesy

## 平成 23 年 ( 2011 年 ) 東北地方太平洋沖地震の余効変動とその発生メカニズム Postseismic deformation following the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake and its mechanism

水藤 尚<sup>1\*</sup>, 小沢 慎三郎<sup>1</sup>, 西村 卓也<sup>1</sup>, 飛田 幹男<sup>1</sup>

SUITO, Hisashi<sup>1\*</sup>, OZAWA, Shinzaburo<sup>1</sup>, NISHIMURA, Takuya<sup>1</sup>, TOBITA, Mikio<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国土交通省国土地理院

<sup>1</sup> GSI of Japan

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴い GEONET によって広範囲に地殻変動が観測された。引き続き大規模な余効変動が観測されている。GEONET によって観測されている余効変動の水平変動は、東北地方から関東地方の太平洋岸での東向きの変位が顕著で、本震発生後 10 カ月余りで岩手県中部太平洋岸において最大 90cm に達している。地震時とほぼ同じ方向であるが、空間分布を詳細に見ると地震時と異なった特徴がある。太平洋側の変位は地震時には宮城県で大きかったのに対して、余効変動では岩手県北部から千葉県北部までそれほど差が見られない。また日本海側でも最大 50cm という大きな変動量が観測されている。上下変動に関しても複雑な空間分布が観測されている。地震時には太平洋沿岸のほぼ全域で沈降が観測されたが、地震後には岩手県沿岸を除いて隆起が観測されている。一方、太平洋沿岸と内陸を比較してみると、宮城県の太平洋側で隆起が広がっているが、そのすぐ西側の内陸では沈降が広がっている。それに対して、福島県から茨城県にかけては太平洋側、内陸ともに隆起が広がっている。また青森県でも内陸にかけて隆起が観測されている。よって、上下変動に関しては、地震時と余効変動で全く異なる分布を示している。

これらの観測された余効変動から、その発生メカニズムがプレート境界面上のすべり ( 余効すべり ) によるものと考え、そのすべり分布の推定結果は地震時に比べるとその深部延長で発生している。そして、余効すべりのピークは岩手県南部沿岸付近の深さ 40 km 付近で最大 300cm 弱に達し、千葉県銚子沖にも 100cm に達するピークがあるのが特徴である。推定されたモーメントは  $9.15 \times 10^{21}$  Nm でモーメントマグニチュード 8.57 に相当し、地震時のモーメント量の 18.3% である。

GEONET によって観測されている最新の余効変動の時空間分布の詳細及び余効すべりの推定結果を報告するとともに、現在の余効すべりの推定の際には考慮されていない粘弾性緩和及び間隙弾性緩和による変動がどの程度であるかについても報告する。

キーワード: 2011 年東北地方太平洋沖地震, 余効変動, 余効すべり, 粘弾性緩和, 間隙弾性緩和

Keywords: 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, postseismic deformation, afterslip, viscoelastic relaxation, poroelastic rebound

## 2011年東北沖地震における余効すべりの時空間分布 Spatio-temporal distribution of afterslip due to the 2011 Tohoku-Oki earthquake from MCMC inversion

鈴木 翔太<sup>1\*</sup>, 伊藤 武男<sup>1</sup>, 兵藤 守<sup>2</sup>, 里 嘉千茂<sup>3</sup>, 野口 拓美<sup>4</sup>

SUZUKI, Syota<sup>1\*</sup>, ITO, Takeo<sup>1</sup>, HYODO, Mamoru<sup>2</sup>, SATO, Kachishige<sup>3</sup>, NOGUCHI, Takumi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学大学院環境学研究科, <sup>2</sup>海洋研究開発機構地球内部ダイナミクス領域, <sup>3</sup>東京学芸大学教育学部自然科学系, <sup>4</sup>フルード工業(株)

<sup>1</sup>Nagoya University, <sup>2</sup>JAMSTEC, <sup>3</sup>Tokyo Gakugei University, <sup>4</sup>Fluid Engineering Co., Ltd.

2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)が発生した。東北沖においてM7から8の海溝型地震は繰り返し発生しているが、M9クラスの地震は繰り返し間隔がきわめて長いため情報が少なく、また世界的にも超巨大地震に関する情報は乏しい。一方で、日本列島には高密度なGPS観測網(GEONET)が展開されており、詳細な地殻変動の様子が観測されている。GEONETは東北沖地震発生後に大きな東向きの地殻変動を観測し、この地殻変動は主に余効すべりに起因すると解釈することができる。したがってGEONETによって観測された余効変動を解析することにより、余効すべりの時空間分布を知ることができる。また、地震を理解するためには、プレート境界の応力状態や摩擦特性を理解することが必要不可欠である。応力状態や摩擦特性は地震の余効すべりを解析することで得ることができ(Hsu *et al.*, 2006)。さらに余震活動との関連性や今後の地震活動の予測を行うための基本的な情報となる。したがって、本研究では東北沖地震後の余効すべりの時空間分布を求めた。

解析にはGEONETで観測され、国土地理院によって解析されたF3解を用いる。観測された地殻変動時系列データには、定常的なトレンド、年周変化、地震時のステップ、および地震後の余効変動が含まれている。そのため、それぞれ一次関数、三角関数、ヘビサイドステップ関数、対数関数を用いてモデル化を行う。考慮する地震は、気象庁地震カタログのM7以上のもので、地震時のステップの変化量が定常時の標準偏差よりも大きいものを使う。モデル化した式を解くために、線形な部分は最小二乗法を用い、非線形な部分はColeman *et al.* (1996)による方法でそれぞれのモデルパラメータを決定した。このようにして東北沖地震の余効変動のデータを取り出し、余効すべりを求める。

余効すべりを求めるために本研究では、マルコフ連鎖モンテカルロ法(MCMC)に基づいた手法を採用した。従来、よく使われている最小二乗法を用いたインバージョン解析では一つの解を求めるのに対して、MCMC法は事後確率分布として解を求める。インバージョン解析に内在する劣決定問題はそれぞれの解の相関として現れ、事後確率分布に内在される。すべり分布を求めるために観測方程式 $d = Gm$ を使う。ここで $d$ は観測された余効変動データ、 $G$ は断層面上の小断層のすべりと地表面の観測点の変動量を関係づけるグリーン関数である。本研究では、有限要素法による3次元不均質構造を考慮したグリーン関数を用いた。そして、グリーン関数の大きさに基づく重み付きスムージングパラメータも使用する。また、 $m$ はプレート境界を小さい領域に区切った小断層の滑り量(走向・傾斜方向)である。この観測方程式を解くためのサンプリング方法はメトロポリス・ヘイスティング法を使用する、また、MCMC法は計算が膨大であるため、GPUを用いることで計算の速度を上げている。このようにして東北沖地震の余効すべりを求めた。

解析した結果から、余効すべりは深さ約25から35km、幅約400kmの領域に帯状に分布することが分かった。すべり量のピークは、福島沖に7ヶ月後の時点で約3mのすべりが見られた。この場所は福島県沖地震(1938年)の発生した場所と空間的に一致する。また、時間変化を見ると、はじめは福島沖の部分のすべりが大きい、時間が経つにつれ岩手県沖へすべりの領域が広がり、北の方へすべりが広がっていることが分かった。地震時のすべり分布(Simons *et al.*, 2011)と比較するとより地震時のすべりよりも深部で余効すべりが進展している。プレート境界深部では大きなすべりがある結果になったが、今回は考慮していない粘弾性についての部分を反映している可能性がある。残差の空間分布は地震間に観測された歪集中帯の場所と空間的に一致しているため、両者には何かの関係があることが示唆される。

キーワード: 東北沖地震, 余効すべり, マルコフ連鎖モンテカルロ法, 有限要素法を用いたグリーン関数

Keywords: Tohoku-Oki earthquake, afterslip, Malcov chain Monte Carlo method, Green function using FEM

## Hi-netで観測された2011年東北地方太平洋沖地震による土岐アクロス信号の変化 Temporal changes of Toki ACROSS signal induced by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

國友 孝洋<sup>1\*</sup>

KUNITOMO, Takahiro<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 國友孝洋

<sup>1</sup>Takahiro Kunitomo

中部地域の弾性波アクロスの常時送信は、岐阜県土岐市（原子力機構）、静岡県森町（気象研究所）、愛知県豊橋市（名古屋大学）において実施されている。2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震の前後は、豊橋送信所では送信装置の故障で送信が停止していたものの、土岐および森町の両送信所では連続送信が継続されていた。2011年の連合大会では、気象研究所により近傍のHi-net観測点で得られた森町送信所からの信号に走時変化があったことが速報されている〔吉田・他（2011）〕。本報告では、Hi-netで観測された土岐送信所からの弾性波アクロス信号の地震後の変化について報告する。

土岐送信所では、2007年3月から搬送波周波数13.005Hz、変調周期50秒、平均発生力5.5tonfのFM送信を行っている。スペクトルで見ると10.245-19.445Hzの帯域に0.02Hz間隔で461本のラインスペクトルが楕円に並ぶ“周波数コム”信号となっている。帯域内でのスペクトル振幅の平均値は約2700Nである。送信装置の偏心錘は、回転軸が鉛直であり、2時間毎に回転方向を反転させている。異なる回転方向に対応する観測データを後に線形結合することで、直交2方向の直線加振に対する伝達関数を取得することができる。

土岐送信所から最も近く（11.3km）、S/N比の高いデータが得られているHi-net八百津（N.YOTH）観測点を例に報告する。まず、1日毎のデータをスタッキングし、視線方向R、接線方向Tの加振に対する視線方向r、接線方向t、鉛直方向zの観測成分を計算し、6成分のテンソル伝達関数およびグリーン関数を求めた。次に、1年間（2008年度）のデータをスタッキングして得られたテンソル伝達関数およびグリーン関数（以下、基準波形）との比較において、一日毎の時間変化を調べた。結果は以下の通り。

1) 1日スタッキングして得られた波形と基準波形との差分波形をプロットして変化の大局を調べた。差分波形は、2011年3月11日を境にP波の後続波およびS波とS波の後続波の波形が変化したことを明瞭に示している。その変化は月日とともに減少しているが2011年12月の時点でも地震前の状態には戻っていない。地震を境に岐阜県東濃地域で非常に大きな地下水位・水圧変化があったことが報告されており〔例えば、浅井・石井（2011）〕。また、アクロス信号の変化が後続波で顕著なことから、地下水の変動に伴って地下の比較的浅部の散乱構造が変化したのではないかと考えている。

2) 最大振幅波（rRおよびzRはP波、それ以外はS波）を含む1秒間について基準波形とのクロススペクトルから走時差を計算した。走時は、3月11日を境にS波を含む部分で約2msec遅くなり、その後徐々に回復しているものの、12月末時点でも元の状態には戻っていない。この走時変化が、地下浅部の変化のみを反映したものなのか、地殻の大局的な速度変化を含むものなのか現時点では明らかではない。S/N比が低く精度が悪いが、今後、より遠くの観測点のデータを詳細に調査する予定である。

（謝辞）防災科研のHi-netのデータを使わせて頂きました。また、原子力機構東濃地科学センターの方々には、土岐送信所の稼働にご尽力を頂きました。記して感謝致します。

キーワード: 走時変化, 地殻変動

Keywords: travel time change, crustal movement

## 2011年東北地震に伴う津波荷重変形のGEONETによる検出 Detection of tsunami-induced deformation caused by the 2011 Tohoku earthquake using on-land GPS network

三井 雄太<sup>1\*</sup>, 日置 幸介<sup>1</sup>  
MITSUI, Yuta<sup>1\*</sup>, HEKI, Kosuke<sup>1</sup>

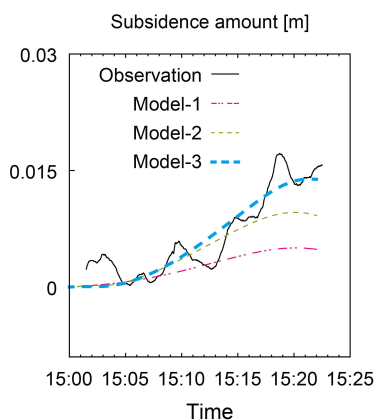
<sup>1</sup> 北大理

<sup>1</sup>Sci., Hokkaido Univ.

The 2011 Tohoku earthquake on March 11 caused massive tsunami. We first detect a land-deformation signal due to the tsunami using on-land GPS network. We focus on GPS stations along the Sanriku coast, and stack the GPS data at seven coastal stations and seven landward stations respectively. The data show that relative subsidence at the coastal stations to the landward stations had occurred on the order of 1 cm until almost 30 minutes after the Tohoku earthquake. We check whether the subsidence signal corresponds to simulated land deformation based on a tsunami simulation model, and confirm the tsunami hypothesis for the subsidence. We find that a popular elastic model with a stratified velocity structure (Gutenberg-Bullen earth model) for the Green's function leads to underestimation of the subsidence amount about 1/2-1/3. Effect of compliant materials near the surface may be important to estimate tsunami-induced land deformation.

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 津波, 荷重変形, 観測とシミュレーションの比較

Keywords: The 2011 Tohoku earthquake, tsunami, load deformation, comparison between observation and simulation



## 超伝導重力計が記録した2011年東北地方太平洋沖地震による重力変化 Gravity changes due to the 2011 Tohoku earthquake recorded by superconducting gravimeters

今西 祐一<sup>1\*</sup>, 田村 良明<sup>2</sup>

IMANISHI, Yuichi<sup>1\*</sup>, TAMURA, Yoshiaki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 国立天文台

<sup>1</sup>ERI, The University of Tokyo, <sup>2</sup>NAOJ

2011年東北地方太平洋沖地震は、日本列島の広い範囲で大規模な地殻変動と余効変動を引き起こした。これにともなって、地表における重力も、地震発生時に変化しただけでなく、地震後に長期的な変化を示すことが考えられる。それに加えて、地殻およびマントルの粘弾性的な性質による永年的な変化が観測される可能性もある。

このようなM9クラスの地震が発生したときに、震源に比較的近い地域で3台の超伝導重力計(水沢・松代・神岡)が稼働していたというのは、今回が初めてのケースである。これらの重力計は本震およびその後の余震などで激しく乱されたものの、ほぼ連続した記録が得られている。地震発生後のデータが蓄積されるにしたがい、長期的な変化の様相が明らかになると期待される。重力記録の長周期成分には、気圧や地下水などの影響が重畳しているため、現在慎重に解析をすすめている。

キーワード: 超伝導重力計, 2011年東北地方太平洋沖地震

Keywords: superconducting gravimeter, 2011 Tohoku earthquake

## 2011年東北地方太平洋沖地震による誘発地震の震源分布と地質構造から推定される誘発地震の発生メカニズム Mechanism of induced earthquakes of the 2011 Off Pacific coast of Tohoku Earthquake according to aftershocks activity

川辺 孝幸<sup>1\*</sup>, 中野啓二<sup>2</sup>

KAWABE, Takayuki<sup>1\*</sup>, NAKANNO Keiji<sup>2</sup>

<sup>1</sup>山形大学地域教育文化学部, <sup>2</sup>TeFS

<sup>1</sup>Faculty of Education, Art and Science, Yamagata University, <sup>2</sup>Terra-Fluid Systems

2011年3月11日14時46分頃に発生したMj9.0の平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後、秋田県田沢湖西方、山形県月山南麓、山形-福島県境、長野県北東部、長野県松本盆地中央部、茨城県北部～福島県南部など、豊北日本の内陸部の各地で誘発地震が発生している。

筆者のうち川辺は、1995年兵庫県南部地震以前の同地域での微小地震活動と本震以降の地震活動、2007年新潟県中越沖地震や2008年岩手-宮城内陸地震の地震活動などの検討をおこない、大規模地震の発生に地殻上部への流体の押し上げが大きく関わっていることを明らかにしてきた。

誘発地震とその余震群の震源の時空分布を調べると、秋田県田沢湖西方、山形-福島県境、長野県松本盆地中央部などでは、地震群は、基本的には地質断層の位置に調和的な起こっていることが多いが、半径数km～10kmの円形もしくは楕円形の分布範囲に集中して起こっているが、地質断層の伸びの方向とは無関係であり、複数の方向の断層の、楕円もしくは円形の範囲内に入る一部分のみが地震群によってフォーカスされている、という特徴を持っている。また、多くの誘発地震とその余震群では、個々の発震機構はそのローカルな応力を反映しているものが多い。しかし、余震群は、断層の走向方向には配列せず、前述のように、断層の伸びの方向とは異なる方向で余震が起こっている。

茨城県北部～福島県南部の地域では、棚倉破砕帯に平行方向とそれに直交する方向に正断層型の余震分布がブロックをつくるように起こっているが、これらは地質断層と調和的であり、実際に、北西部では、正断層型の地表地震断層が起こっている。ここでは、上部地殻のブロックがあたかも地すべりのように東に動いているように見える。

以上のような誘発地震群を時系列に見ると、初期に、円筒上の震源分布が見えるものが多い。このことは、誘発地震群の発生に、流体が関与していることが示唆される。2011年東北地方太平洋沖地震の本震によって、日本列島が東西方向に伸張した結果による応力低下によって、発生した流体が関与した、と推定される。

キーワード: 誘発地震, メカニズム, 震源分布, 地質構造, 応力低下, 流体の押し上げ

Keywords: induced earthquake, mechanism, hypocentral distribution, geologic structure, reduced stress, uplifting by fluid



## 東北地方太平洋沖地震震源域における海底地形変状の解析 Geomorphologic analysis of the co-seismic deformation of the seabed in the tsunami source area of the Tohoku Earthquake

鮑 巴達拉胡<sup>1\*</sup>, 竹内 章<sup>2</sup>

BAO, Badalahu<sup>1\*</sup>, Akira Takeuchi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 富山大学大学院理工学教育部, <sup>2</sup> 富山大学大学院理工学研究部

<sup>1</sup>Graduate School of Science and Engineer, University of Toyama, <sup>2</sup>Faculty of Science, University of Toyama

### 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、日本海溝付近で発生した巨大な断層運動が原因である。これに伴い三陸沖の海底地形が変化し、巨大津波が発生した。本報告では、地震前後の海底地形図と断面図を作成し、判読・比較することで、巨大地震と海底地形の対応関係を議論する。

### 使用データ

・地震前のデータ：海上保安庁とJAMSTECが取得した測深データを一元的に統合した水深値のデータ。  
・地震後のデータ：よこすかYK11-E06航海(2011/7/11~7/28)により得られた東北沖の測深データと、白鳳丸KH11-7航海(2011/7/16~8/4)により得られた宮城県沖の測深データ。水圧計による水深値とは10m程度のオフセットが認められた。

地震前のデータは膨大なデータを平均化したものである。一方、地震後は単一航海の生データであり、単純には比較できない。断面での地形変化は、比較的変動が少ない海溝海側斜面の特徴的な地形(アウトライズ)を重ね合わせて、人為的なオフセットが無視できる状態で検討した。

### 結果と考察

使用データ範囲の全域で海底地形の判読を行った結果、地震前は平坦であった海溝底で顕著に隆起している箇所が見られた。海溝底の中央(143°59.5'E)に位置するこの高まりは、陸側が緩く海側が急傾斜の非対称をなし、ほぼ南北に連なっており、38°02'~38°05'Nまで、およそ5.5km伸びていた。

この地形判読結果とすべり量分布モデルとの対応関係について調べたところ、地震時に生じた非対称海嶺状地形は、Iinuma et al. (2011)によるすべり量分布モデルで地震時の変位が大きいとされる領域(143°57'~144°03'E, 38°00'~38°07'N)に収まっている。

高まりを横断する西北西-東南東断面図において、高まりの西側では、海溝底から陸側斜面基部は見かけ上およそ50m隆起した。急斜面の麓から海溝海側斜面基部にかけてほとんど変化が見られない。このことから、非対称の高まりは、プレート境界面自体が逆断層センスのすべりを生じたことで、海溝底の堆積層に変形(デタッチメント褶曲)が生じたことが考えられる。

また、地震前に見られた海溝陸側斜面の断層崖が、地震後には消えている。これは、プレート境界から付加体内に分岐した断層が逆断層運動をしたため、上盤側の海溝陸側斜面は隆起したと解釈した。この隆起が巨大津波の原因と考えられる。

海溝陸側斜面では新たな地すべり滑落崖と断層崖が見られた。ブロック構造を成す断層崖に沿って数多くの小規模な地すべり地形が形成されており、最近出来た地形であることがわかる。その直下には、土砂が堆積して形成した階段状のベンチ地形が見られる。

### まとめ

地震時の、デコルマ面と分岐断層のすべりによる海底地形の変化により、海溝陸側斜面の付加体と海溝底陸寄りが、海側と上方に移動したことが推定できた。今回明らかになった海溝底に現れた断層は、巨大津波の波形のうち短波長の鋭いピークが現れた原因の一つである可能性がある。これらの大きな地形変動が明らかになったことにより、種々提案されているすべり量分布モデルの可否判定における基準のひとつを提供できたといえる。

キーワード: 東北沖太平洋地震, 海底地形変動, 地形調査, KH11-07 航海, 海溝陸側斜面地すべり, 海底断層

Keywords: Off Tohoku Earthquake, Geomorphological Change, Morphological survey, The KH11-07 Cruise, Japan Trench, Seafloor Faults

# Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

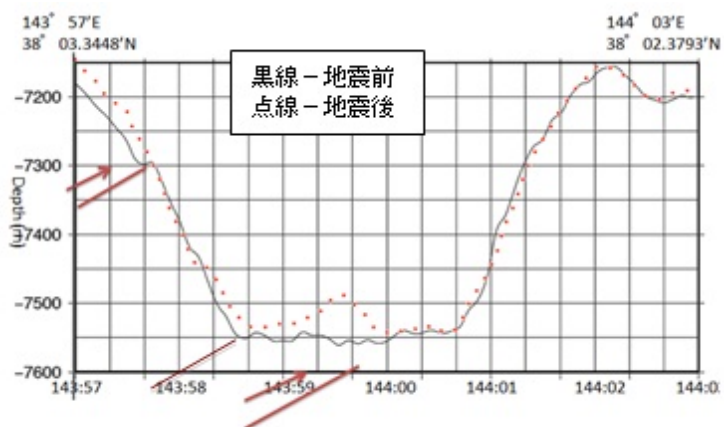
©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SCG74-P09

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 17:15-18:30



## 東日本大地震と固体流動説によるその仕組み

## The Great Eastern Japan Earthquake 2011 and Its Mechanisms According to the Theory of Solid State Lithologic Flow

間遠 伸一郎<sup>1\*</sup>

MADO, Shinichiro<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 間遠総合学術研究所

<sup>1</sup>Mado Research Office of Sciences and Arts

### 1. はじめに

2011年3月11日に日本の東北・関東地方を襲った東日本大地震は、マグニチュード9.0という未曾有の大地震でしたが、様々な点で従来の地震理論を揺るがす興味深い地震でもありました。特に、固体流動説による地殻変動の理解が理論的解明の鍵と見られますので、本論ではその点を論じます。

### 2. 巨大地震のメカニズムの問題

巨大地震のメカニズムについての従来の定説は、プレートテクトニクスとマンテル対流説に基づいています。しかしながら、固体流動説によっても巨大地震のメカニズムについての別の説明が可能です。

表面上、同じ現象が、固体流動説によってもマンテル対流説によっても説明されるように思えるかもしれませんが、何の力が地殻変動を引き起こすのかが、両理論の主要な違いです。

### 3. 従来の定説

従来の定説では、日本列島で起こる典型的な大地震の説明は、プレートテクトニクスとマンテル対流説に基づいて行われます。この理論は、地球の地殻の下のマンテルと呼ばれる岩石の厚い層の中で、地球内部の熱エネルギーによって岩石の対流が起こり、その対流の力で地殻を含むプレートが引きずられて動くことを主張します。日本列島の東側には日本海溝がありますが、日本海溝の東側の海底の岩盤が太平洋プレートであり、太平洋プレートの下から日本海溝の下に向かってマンテル対流の流れがあり、その力によって太平洋プレートを日本列島の下に引きずり込んでいくとされます。そのため、日本列島は、沈み込む太平洋プレートの動きに引きずられて少しずつ沈降して行きます。しかし、日本列島を含む大陸側のプレートは比重が小さいため、浮力が働き、ある程度沈降した後に、突然隆起します。この突然の隆起の際に大地震と津波が発生するというのです。しかしながら、東日本大地震の際に観測されたのは、海岸の隆起ではなく、沈降でした。この現象は、定説を疑うに十分です。

### 4. 固体流動説による大地震のメカニズム

図によって説明します。

A) 重力の作用は氷河のように固体の岩石を高所から低所へと流動させます。  
B) 日本海溝はとりわけ低くなっているため、岩石の固体流動はそこに流れ込みます。それゆえ、流れの先端は海溝にあります。

C) 流れの先端部分が太平洋の海底の岩盤にぶつかってその上に乗り上げます。

D) 乗り上げた流れの先端部分の重みで太平洋の海底の岩盤が押し下げられます。

E) 海底の岩盤が地下深くに押し込まれて行きます。

働く力の因果連鎖は次のようになります：

A → B → C → D → E。

働く力は重力だけです。熱によるマンテル対流は全く想定されていません。

大地震と津波が起こるのは、Cの動きが大変急激な現象となるためです。

現象は繰り返される流れなので、因果連鎖とは反対に、

E → D → C → B → A

のように、逆の順序で起こります。

### 5. 固体流動説による理解

今回の大地震では、定説とは異なり、牡鹿半島で観測された、東の方向の5.3mの動きと、1.2mの沈下をワンセットとして理解する説明が可能です。すなわち、この現象は、固体流動による日本列島の動きを実証しており、高所から低所へと流れる岩石の固体流動が、水平方向に5.3m流れる間に垂直方向に1.2m下降したのだと考えることができるのです(図のA)。この説明では、岩石の固体流動によって、日本列島全体が流動したのだと解釈されます。固体流動説によるこの説明は、氷河の流れと同様に岩石の流れを考えており、今回の現象の特徴が無理なく説明されます。

また、牡鹿半島の鋭く突き出した形状は、今回のような大地震が今まで度重なったことで形成されたと推察されます。

キーワード: 地殻変動, 地震, 東日本大地震, 津波, 岩石の固体流動, 地球の重力

Keywords: Diastrophism, Earthquake, The Great Eastern Japan Earthquake 2011, Tsunami, Solid State Lithologic Flow, Gravity

固体流動説にもとづく大地震と津波の仕組み

