

共同利用実施報告書(研究実績報告書)
(一般共同研究)1. 課題番号 2014-G-18

2. 研究課題名 (和文、英文の両方をご記入ください)

和文：山形盆地断層帯周辺の地殻変動－詳細な余効変動観測と変形過程の把握－英文：Crustal deformation around the active fault along the Yamagata basin3. 研究代表者所属・氏名 山形大学・大園真子(地震研究所担当教員名) 加藤照之

4. 参加者の詳細 (研究代表者を含む。必要に応じ行を追加すること)

氏名	所属・職名	参加内容
大園真子	山形大学・講師	GPS 観測・データ解析
長谷見晶子	山形大学・教授	GPS 観測・データ解析
三浦哲	東北大学・教授	GPS 観測・データ解析
太田雄策	東北大学・准教授	GPS 観測・データ解析

5. 研究計画の概要 (申請書に記載した「研究計画」を 800 字以内でご記入ください。変更がある場合、変更内容が分かるように記載してください。)

山形盆地断層帯は、山形県村山郡大石田町から山形県上山市にかけての山形盆地西部に沿って分布している。地震調査研究推進本部によると、平均活動間隔は約 2500 年で、地震発生の可能性はやや高い (南部) - 高い (北部) に属し、発生するとマグニチュード 7.3 の地震が発生すると考えられている。この地域は、山形県で最も人口が多く、生活・経済圏の中心となっており、この活断層周辺の詳細な地殻変動を把握することは、科学・社会的に重要である。

山形大学では地震研究所、東北大学と共同で 2010 年 12 月からこの山形盆地断層帯周辺に 5 点の臨時観測点を設置して GPS 観測を行っている。これにより断層帯周辺では東北地方太平洋沖地震による地殻変動と断層周辺のひずみを詳細に捉えることができた。東北地方の余効変動は、今後も数十年にわたって続くことが予想され、また、その影響は地下の不均質構造によって地域毎に異なる特徴を持つ可能性が高い。そのため、今後もこの地域における観測を継続し、地震前の変動、地震時の変動と余効変動を比較しながら、山形盆地断層帯周辺でのひずみ蓄積過程を調べるのがこの研究の目的である。また、地震研究所では「歪集中帯の重点的調査観測・研究」や「大規模活断層システムにおける長期地殻歪み蓄積過程の解明」などのプロジェクト研究が進められている。それらの研究の対象になっていない活断層について、本研究でひずみ蓄積過程の研究を行う。

現在、3カ所の臨時観測点 (東根市、寒河江市、尾花沢市) に地震研究所の共同利用機器である GPS 観測資材 (JAVAD 社製) を設置している。これらの機器を引き続き利用させて頂き、東北大や GEONET の GNSS 観測網とともに地殻変動を連続的に観測する。

6. 研究成果の概要 (図を含めて1頁で記入してください。)

キーワード (3~5 程度) : 2011 年東北地方太平洋沖地震, 余効変動, ひずみ, GPS, 山形盆地断層帯

山形盆地断層帯周辺に 2010 年 12 月から設置している GPS 観測点 (図 1) のデータは、テレメータシステムを使って東北大学に集約されている。図 1 に示すように、断層帯周辺での詳細な地殻変動を把握するためには、国土地理院が約 25km で設置している GEONET の分布に加えて、これらの観測点の存在が空間分解能を向上させる上で重要であることが分かる。東北地方に設置された GPS 観測点のデータ点を使って、東北地方全体における 2011 年東北地方太平洋沖地震の余効変動についての議論 (平田・他, 2014 ; Iinuma et al., 2014 ; 飯沼・他, 2014 ; Ohta et al., 2014), 奥羽脊梁山脈沿いの地震後の局所的なひずみ場についての議論 (3 編の三浦・他, 2014) が行われ、学会等で報告されている (7. 研究実績参照)。本研究では、東北大学でルーチン的に解析されている、解析ソフトウェア (GIPSY-OASIS II) を用いた精密単独測位法による日座標推定値を使って、山形盆地周辺を東西に横切る 7 つの測線について、東西方向の基線長変化を求め、現在の断層周辺でのひずみについて考察した。

この地域の地震間のひずみは、先行研究から 10^{-8} /yr 程度の東西短縮が観測されており (例えば, Miura et al., 2004), 小さいながらもひずみ蓄積状態にあった。また、2011 年東北地方太平洋沖地震時には東西伸長が卓越し、加えて、堆積盆地の非弾性的な影響か、弾性変形を仮定した理論値よりも伸長過多が見られていた (Ohzono et al., 2012)。

断層を横切る基線 7 本について、地震後の西側の点に対する東側の点の東西方向の日々の変位量を図 2 に示す。地震後初期はどの基線でも高速な伸びが見られ、余効変動が顕著であることが分かる。その後、時系列の傾きは徐々に落ち着いてきている。最近 2 年間 (2013 年 4 月-2015 年 3 月) の時系列に対して直線近似を行って相対変位速度を求めたところ、1 つの基線(②)を除き、全基線で今も 1.3-6.5mm/yr の伸長が続いていることが明らかになった。1.6mm/yr の短縮が見られた測線②で使用している GEONET 点 (0556 村山) については、その挙動がローカルな変動を示している可能性が高いため、今後確認をする必要がある。

山形盆地断層帯は寒河江川を境に北部 (基線①-⑤) と南部 (基線⑥-⑦) に分かれているが、本研究の結果を見る限りでは、顕著な違いは見られなかった。今後、東西のみならず基線長変化やひずみ速度などの情報、地震後初期の変位時系列の解析などを行い、南北の違いを含む、詳細なひずみ場を明らかにしていく必要がある。

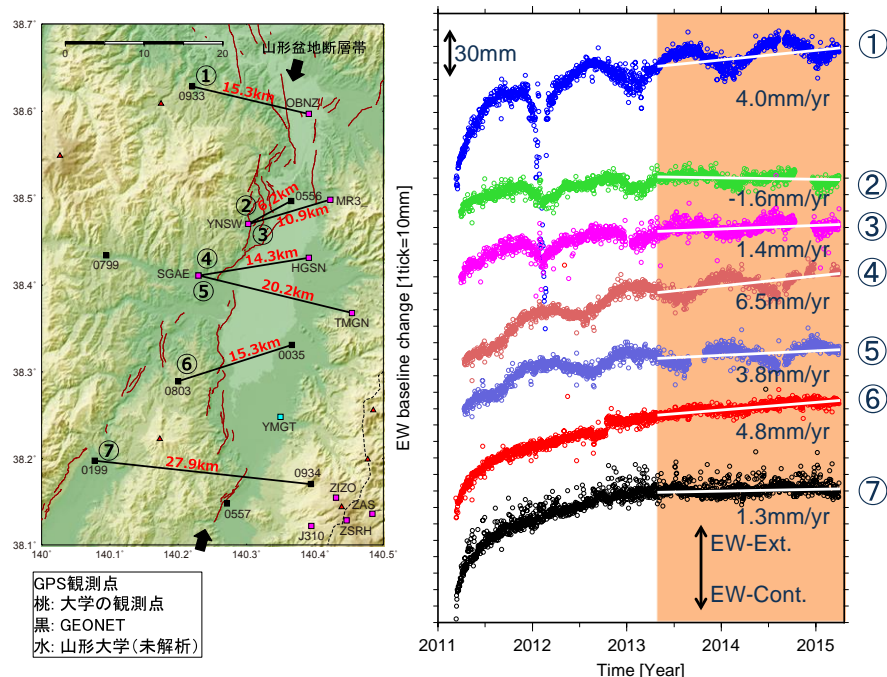


図 1. (左) 観測点分布と山形盆地断層帯を横切る測線. 赤い文字で示す数字は各基線の基線長である。
 ② 図 2. (右) 各基線の西の観測点に対する東の観測点の日々の東西方向の変位量. 見やすさのため、各基線の時系列はずらしてある。2013 年 4 月から 2015 年 3 月まで (橙で示す期間) の時系列を直線近似して求めた各基線町の変化速度を数値で示す。

7. 研究実績（論文タイトル、雑誌・学会・セミナー等の名称、謝辞への記載の有無）

- ① 平田雄一郎, 太田雄策, 大園真子, 三浦哲, キネマティック PPP 時系列解析によって得られた 2011 年東北地方太平洋沖地震の余効変動にもなう特徴的ひずみ分布, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 横浜, 2014 年 4 月, 謝辞記載無.
(<http://www2.jpgu.org/meeting/2014/session/S-SS33.html/SSS33-P10.pdf>)
- ② Iinuma, T., R. Hino, M. Kido, T. Sun, K. Wang, Y. Ohta, Y. Osada, H. Fujimoto, D. Inazu, Modelling of the Postseismic Deformation Associated with the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake Based on Terrestrial and Seafloor Geodetic Observations, AOGS 2014, Sapporo, July-August 2014, 謝辞記載無.
(<http://www.meetmatt-conf.net/aogs/aogs2014/mars2/pubViewAbs.asp?sMode=session&sId=145&submit=Browse+Abstracts>)
- ③ Iinuma, T., R. Hino, M. Kido, Y. Ohta, and S. Miura, Revisiting the Interplate Coupling Beneath Northeast Japan Before the 2011 Tohoku Earthquake (M9.0) Based on Terrestrial and Seafloor Geodetic Observations, AGU 2014 Fall Meeting, San Francisco, December 2014, 謝辞記載無.
(<https://agu.confex.com/agu/fm14/meetingapp.cgi#Paper/11995>)
- ④ 飯沼卓史, 日野亮太, 木戸元之, Sun Tianhaozhe, Wang Kelin, 太田雄策, 長田幸仁, 藤本博己, 稲津大祐, 海陸地殻変動観測に基づく 2011 年東北地方太平洋沖地震の余効変動モデル, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 横浜, 2014 年 5 月, 謝辞記載無.
(<http://www2.jpgu.org/meeting/2014/session/S-SS32.html/SSS32-06.pdf>)
- ⑤ 三浦哲, 太田雄策, 飯沼卓史, 出町知嗣, 立花憲司, 佐藤俊也, 大園真子, 東北地方太平洋沖地震後の奥羽脊梁山脈沿いの余効ひずみ異常域, 日本地震学会 2014 年度秋季大会, 新潟, 2014 年 11 月, 謝辞記載無.
- ⑥ 三浦哲, 太田雄策, 2011 年東北地方太平洋沖地震後の火山フロント沿いの余効ひずみ異常域, 日本火山学会 2014 年度秋季大会, 福岡, 2014 年 11 月, 謝辞記載無.
- ⑦ 三浦哲, 太田雄策, 飯沼卓史, 出町知嗣, 立花憲司, 佐藤俊也, 大園真子, 2011 年東北地方太平洋沖地震後の奥羽脊梁山脈沿いの余効ひずみ異常域, 日本測地学会第 122 回講演会, つくば, 2014 年 11 月, 謝辞記載無.
- ⑧ Ohta, Y., R. Hino, K. Ariyoshi, D. Inazu, K. Tachibana, T. Demachi, S. Miura, Geodetic Characteristic of the Postseismic Deformation Following the Interplate Large Earthquake in and around the Sanriku-Oki Region, Japan, Symposium on Geodesy for Earthquake and Natural Hazards (GENAH 2014), Matsushima, July 2014, 謝辞記載無.

キネマティック PPP 時系列解析によって得られた 2011 年東北地方太平洋沖地震の余効変動にともなう特徴的ひずみ分布 Characteristic strain distribution following the 2011 Tohoku earthquake based on the kinematic PPP analysis

平田 雄一郎^{1*}; 太田 雄策¹; 大園 真子²; 三浦 哲¹
HIRATA, Yuichiro^{1*}; OHTA, Yusaku¹; OHZONO, Mako²; MIURA, Satoshi¹

¹ 東北大学大学院理学研究科, ² 山形大学理学部

¹Gradual School of Science, Tohoku University, ²Faculty of Science, Yamagata University

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 (Mw9.0) に伴って東北地方を含む広い範囲で大規模な地震時変位が観測された。この地震に伴うプレート境界面でのすべりは広い範囲で数十 m 以上であり, (例えば [1]), これは, それまで上盤側プレートにかかっていた応力が急激に除荷されたことに相当する。Ohzono et al. [2] は GEONET 観測データの日座標値解析から推定される地震時ひずみ分布と, 断層モデルから推定される地震時ひずみ分布を比較することによって, 東北地方におけるひずみ不均質を見出し, それと地下不均質構造との関連性について議論を行っている。また Ozawa and Fujita [3] は, GPS 観測と In-SAR 解析から東北地方の火山周辺域における局所的な地震時変位を検出し, シミュレーション結果との比較から, それらは地下に弾性定数が小さい物質を仮定すれば説明可能であることを示した。一方で, これらの先行研究では GPS 日座標値を使用している。そのため本震直後に発生したと考えられる余効変動や余震の影響を含み, 純粋な地震時変位にもとづいた議論ではない。本研究ではキネマティック単独精密測位 (kinematic Precise Point Positioning; kPPP) 法を用いて 1 秒毎の GPS 座標値を推定することで, できるかぎり純粋な地震を抽出し, より短い時定数の地震後余効変動について議論を行う。

使用した観測点は GEONET 観測点 1208 点である。kPPP データ解析には GIPY-OASIS II を用いた。解析した結果のうち, 2011 年 3 月 11 日の本震後 1 時間分, 日座標データは 2010 年 1 月 1 日から 2012 年 10 月末までのデータのうち 2011 年 3 月 10 日から 15 日までのデータを使用した。また純粋な地震時変位は表面波の伝搬時間, 大きい余震の発生時刻, 震源時間関数等を考慮し, 本震後 600 秒の前後 100 秒の変位の平均値と地震前の座標値の差から求めた。そして 2011 年 3 月 12 日での日座標値から 10 日の日座標値を差し引いて得られる変位から, 純粋な地震時変位を除去することで純粋な地震時変位以外の変位を抽出した。さらに得られた変位場の特徴を見るために, それらの変位を入力として Shen et al. [4] の手法にもとづき面積ひずみ分布を求めた。その結果, 大局的には東日本の広範囲で地震直後から進行する余効変動による膨張ひずみが明瞭であるが, 山形県の月山周辺域で周囲よりも大きな膨張となり, 一方, 宮城・山形県境に位置する蔵王周辺域では, その大きさが本震前の kPPP データから推定したノイズレベル以下ではあるが, 収縮となるような特徴的ひずみ分布が得られた。次に, 12 日の日座標値の代わりに 15 日のものを使用して同様にひずみ分布を求めた。その結果, 月山周辺の膨張ひずみ域は拡大し, 蔵王周辺の収縮ひずみは膨張ひずみへとその極性が反転することが明らかとなった。これらの結果は先行研究である Ozawa and Fujita [2] による結果と解析期間を揃えた場合は調和的であるものの, 地震直後ではその膨張-収縮の極性が逆転しているという興味深い結果が得られた。本発表では, こうした特徴的なひずみ分布の時空間発展がどのように生じているかを, 地震波速度構造との比較を含め, より詳細な議論を行う。

[1] Iinuma et al., (JGR, 2012), [2] Ohzono et al., (EPS, 2012), [3] Ozawa and Fujita, (JGR, 2013), [4] Shen et al., (JGR, 1996)

キーワード: ひずみ分布, 東北地方太平洋沖地震, 余効変動, キネマティック PPP
Keywords: strain, 2011 Tohoku earthquake, postseismic deformation, kinematic PPP

Browse by Session - Select Session:

SE25 - Earthquake Predictability Research After the 2011 Tohoku Earthquake
 SE26 - Structures, Compositions, Dynamics and Evolution of the Earth's Interior
 SE27 - Crustal Dynamics: Toward Comprehensive Understanding of Inland Deformation
 SE28 - Earthquakes, Volcanoes and Active Tectonics in the Developing Countries of Southeast Asia
 SE30 - New Insights from the 2011 Great Tohoku Earthquake and Recent Large Earthquakes

Oral Presentations - Browse by Section and Presentation Day

Section: Day:

Poster Presentations - Browse by Section

Section:

[Browse Abstracts](#)

All Abstracts of Session SE30

 [Print this page](#)

Oral Presentations

SE30 - New Insights from the 2011 Great Tohoku Earthquake and Recent Large Earthquakes

Monday, July 28, 2014 | Crystal Hall A | 08:30-10:30

1. SE30-D1-AM1-CA-001 (SE30-A016)

Rupture Process of The 2011 Tohoku-Oki Earthquake Inferred by an Inversion Using 3D Strong-Motion and 2.5D Teleseismic Green's Tensor Waveforms

Taro OKAMOTO^{1#*}, Hiroshi TAKENAKA², Tatsuhiko HARA³, Takeshi NAKAMURA⁴, Takayuki AOKI¹

¹ Tokyo Institute of Technology, Japan, ² Okayama University, Japan, ³ Building Research Institute, Japan, ⁴ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Japan

#Corresponding author: okamoto.t.ad@m.titech.ac.jp *Presenter

The March 11, 2011 Tohoku-Oki earthquake (GCMT Mw9.1) caused devastating damages in the northeastern Japan. We analyze the "seismic" rupture process of this event by using a non-linear full-waveform inversion method. We incorporate the effect of the near-source laterally heterogeneous structure on the Green's tensor waveforms because, if it is not considered, the analysis can result in erroneous solutions [1]. Also, in order to increase the resolution we use the teleseismic and the strong motion seismograms simultaneously: the distribution of strong-motion station is one-sided and analysis with only the strong-motion records may result in reduced resolution near the trench axis [2]. For the teleseismic P-wave synthetics we use a 2.5-dimensional finite-difference method [3]. For the strong motion synthetics we use a full three-dimensional finite-difference method that incorporates topography, oceanic water layer, 3D heterogeneity and attenuation. Our simulation is accelerated by GPUs [4] of the TSUBAME GPU supercomputer in Tokyo Institute of Technology.

The "seismically" inferred slip distribution has large slips near the JMA epicenter with the maximum slip of about 32 m. The amount of slips at the areas close to the trench axis is smaller than that of the land-ward area near the JMA epicenter. These features would have important implications for the excitation mechanisms of tsunamis. In order to verify the solution we will inspect the resolution by using simulations of inversion and the effect of the choice of the Green's tensor waveforms on the solutions.

[1] Okamoto and Takenaka, *EPS*, **61**, e17-e20, 2009.

[2] Yokota et al., *GRL*, **38**, doi:10.1029/2011GL050098, 2011.

[3] Takenaka and Okamoto, in *Seismic Waves*, ed. K. Masaki, Intech, 305-326, 2012.

[4] Okamoto et al, in *GPU Solutions to Multi-scale Problems in Science and Engineering*, ed. D.A. Yuen et al., Springer, 375-389, 2013.

2. SE30-D1-AM1-CA-002 (SE30-A008)

Postdiction of Source Model and Ground Motions for the 2011 Tohoku Earthquake

Hiroe MIYAKE^{#*}, Kazuki KOKETSU

The University of Tokyo, Japan

#Corresponding author: hiroe@eri.u-tokyo.ac.jp *Presenter

There are many studies on strong ground motion validation for past earthquakes, applicability of the methodology of strong ground motion prediction, and strong ground motion prediction for forthcoming earthquakes. We here define postdiction (= prediction after the fact) as a method of ground motion prediction posterior to the earthquake based on the knowledge prior to the earthquake. We performed the postdiction of source model and ground motions for the 2011 Tohoku earthquake, and validated by observed ground motions. We assumed a fault plane with multiple regions as a single megathrust event, however, excluded the central Sanriku-oki region with aseismic information and offshore regions with tsunami earthquakes and normal faulting information. The rupture area was estimated to be around 35,000 km² with Mw 8.3 to 8.5 (Murotani et al., 2008). We set a characterized source model (Miyake et al., 2003) based on the recipe for strong ground motion prediction (Irikura and Miyake, 2011). We also incorporated with the double-corner source spectral model (Miyake and Koketsu, 2010) for plate-boundary earthquakes. In this model, size and stress drop for strong motion generation areas are respectively half and double of that for asperities. After the Tohoku earthquake, we learned different locations and sizes between asperities for long-period components and strong motion generation areas for short-period components. In this postdiction, the strong motion generation areas were forced to be inside the asperities. Based on the knowledge prior to the earthquake, the source model for the 2011 Tohoku earthquake seems to be limited to that for the 869 Jogan earthquake. However ground motion postdiction fairly matched with the observations, suggesting magnitude saturation of ground motions. Since the rupture area for the Tohoku earthquake resulted in a standard deviation of source scaling, rupture area with variability for a given magnitude may work for forthcoming megathrust source modeling.

3. SE30-D1-AM1-CA-003 (SE30-A006)

Modelling of the Postseismic Deformation Associated with the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake Based on Terrestrial and Seafloor Geodetic Observations

Takeshi IINUMA^{1#*}, Ryota HINO¹, Motoyuki KIDO¹, Tianhaozhe SUN², Kelin WANG³, Yusaku OHTA¹, Yukihiro OSADA¹, Hirofumi FUJIMOTO¹, Daisuke INAZU⁴

¹ Tohoku University, Japan, ² University of Victoria, Canada, ³ Geological Survey of Canada, Canada, ⁴ National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan

#Corresponding author: iinuma@irides.tohoku.ac.jp *Presenter

On 11 March 2011, the M 9.0 Tohoku Earthquake occurred on the plate boundary between the subducting Pacific and overriding continental plates. Three years have passed, but terrestrial and seafloor geodetic observations on and around the Japanese Islands are still detecting postseismic deformation. Iinuma et al. (2013, IAG Scientific Assembly) reported that just considering elastic response to the interplate coupling and postseismic slip on the plate boundary is insufficient in explaining the mechanical process of the postseismic deformation. We must take into account inelastic deformation such as viscoelastic relaxation.

To tackle this problem, we estimate the displacement due to the viscoelastic relaxation by using a FEM model that includes subducting oceanic slab, viscous continental and oceanic mantle, and an elastic cold-and-stagnant mantle wedge corner. The coseismic slip model of Iinuma et al. (2012) based on terrestrial and seafloor geodetic data is used to initialize the viscoelastic relaxation process. After subtracting displacements due to large aftershocks and viscoelastic relaxation from the original displacement time series from terrestrial GPS and GPS/Acoustic ranging and vertical displacements inferred from Ocean bottom pressure gauges, we estimated the spatial and temporal evolution of the postseismic slip distribution on the plate interface by applying a time-dependent inversion method devised by Yagi and Kikuchi (2003).

The result of FEM calculation shows that westward postseismic displacements of some seafloor GPS sites are accounted for by viscoelastic relaxation process.

G11B-0482 Revisiting the Interplate Coupling Beneath Northeast Japan Before the 2011 Tohoku Earthquake (M9.0) Based on Terrestrial and Seafloor Geodetic Observations

Monday, December 15, 2014 08:00 AM - 12:20 PM
*Moscone West
Poster Hall*

Large coseismic slip along the Japan Trench during the 2011 Tohoku Earthquake (M9.0) highlighted the necessity of the re-examination of the interplate coupling on the boundary between the subducting Pacific and overriding continental plates beneath the northeastern Japanese Islands. Interplate coupling along the shallowest portion of the megathrust before the Tohoku Earthquake must have been persistent, but spatial resolution of the inversion analysis based only on terrestrial geodetic data is generally not high enough to constrain the coupling state in the far offshore area.

Meanwhile, seafloor geodetic observation has been developed and applied off the Pacific coast of Tohoku district in this decade, and the secular displacement rates before the 2011 Tohoku Earthquake are reported by Japan Coast Guard and Tohoku University. These seafloor geodetic observation data are invaluable to estimate the interplate coupling beneath the northeastern Japan, but have been difficult to be included in the inversion analyses, because the measurements contain large uncertainties and are more sparsely sampled both in temporal and spatial domains than the terrestrial observations. To overcome this difficulty, we have taken into account the correlations between the observed displacement rates at terrestrial GPS stations in the inversion analysis. We assumed that the covariance between the displacement rates at two different GPS sites depends on the distance, and configured the covariance between the different components, such as EW, NS and UD, by applying the result of raw GPS data processing.

We performed numerical test to examine the advantage of involving the covariance matrix, and concluded that the covariance between the observations should be taken into account in the inversion analysis. We applied the inversion to the actual displacement field data obtained before the 2011 Tohoku Earthquake. The results show that evident temporal change of the slip deficit had occurred after an M7.2 earthquake near off coast of Miyagi Prefecture in 2005 and continued as a slow slip event in far off Fukushima and Ibaraki Prefectures regions in 2008. However, almost full coupling was estimated along the shallowest portion of the plate interface where extremely large (> 50 m) coseismic slip occurred during the M9.0 Tohoku Earthquake.

Authors

[Takeshi Iinuma](#)

Tohoku University

[Ryota Hino](#)

Tohoku University

[Motoyuki Kido](#)

Tohoku University

[Yusaku Ohta](#)

Tohoku University

[Satoshi Miura](#)

Tohoku University

View Related Events

[Session: Plate Motion, Continental Deformation, Interseismic Strain](#)

[Accumulation II Posters](#)

[Section/Focus Group: Geodesy](#)

[Day: Monday, December 15, 2014](#)

海陸地殻変動観測に基づく2011年東北地方太平洋沖地震の余効変動モデル Modelling of the postseismic deformation of the 2011 Tohoku Earthquake based on land and seafloor geodetic observations

飯沼 卓史^{1*}; 日野 亮太¹; 木戸 元之¹; Sun Tianhaozhe²; Wang Kelin³; 太田 雄策⁴; 長田 幸仁¹; 藤本 博己¹; 稲津 大祐⁵

IINUMA, Takeshi^{1*}; HINO, Ryota¹; KIDO, Motoyuki¹; SUN, Tianhaozhe²; WANG, Kelin³; OHTA, Yusaku⁴; OSADA, Yukihito¹; FUJIMOTO, Hiromi¹; INAZU, Daisuke⁵

¹ 東北大学災害科学国際研究所, ² ヴィクトリア大学, ³ カナダ地質調査所, ⁴ 東北大学大学院理学研究科, ⁵ 防災科学技術研究所

¹International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University, ²Victoria University, ³Geological Survey of Canada,

⁴Graduate School of Science, Tohoku University, ⁵National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

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)に伴う余効変動は、本震発生から3年近くが経過した現在においても、陸上及び海底での地殻変動観測により、有意な大きさの変動として捉え続けられている。飯沼・他(2013, 地震学会秋季大会)は、GPS/音響測距結合方式の海底地殻変動観測及び圧力計を用いた海底水圧観測によって推定された海底地殻変動データと、陸上GPS観測により得られた変位時系列データを共に説明するためには、余効すべりやプレート間の固着の回復といった、沈み込む太平洋プレートと陸側のプレートとの境界で生じる摩擦・すべり現象に起因する弾性変形だけでなく、粘性緩和等の非弾性的な要因による変形のモデル化が不可欠であることを示した。これを踏まえ、より現実的な余効変動のモデルの構築のため、有限要素法を用いて、沈み込むスラブの形状や海洋性及び大陸性それぞれのマンツルの粘性の違いを考慮したモデルを作成し、これを用いて粘性緩和による変位を推定することとした。また、地殻変動観測により得られた変位時系列データから、有限要素モデルにより計算された粘性緩和による変位を差し引いたものが余効すべりによる変位であるとの仮定のもとに逆解析を行って、余効すべり分布の時空間発展の推定を行った。本講演では、これらの結果を紹介し、また、粘性構造の仮定の違いが余効すべり分布の推定に与える影響について議論を行う。

データおよび解析手法

GPS/音響測距結合方式の海底地殻変動観測データ、自己浮上式の海底圧力計で記録された水圧データから推定される海底上下変位データ、並びに陸上のGPS連続観測点での変位時系列データを用いる。海底水圧データについて一次的な解析を行ったところ、取得されている期間については、すべての圧力観測点に関して共通の緩和時間を持つ対数関数を用いて観測データを近似できることが分かったので、各観測点での振幅を推定し得られた対数関数を用いて圧力計揚収後の水圧データを外挿的に補完した。解析期間中に発生した地震に伴う変位については、気象庁のCMTカタログを用いて期待される変位量を計算し、測地学的観測から求められた変位時系列データからこれを差し引くことで補正を行った。

粘性緩和による変位の見積りには有限要素法を用いた。沈み込むスラブの形状、海洋性プレートと大陸性プレートそれぞれのマンツルの粘性の違い等を反映させて、また、マンツルウェッジ部分には高粘性領域を設定した。海底地殻変動データを用いて推定されたIinuma et al. (2012)の地震時すべりモデルを初期値として与えて粘性流動を駆動させることによって、粘性緩和から期待される変位時系列を作成した。

これらを観測された変位時系列から差し引いて、余効すべりによると思われる成分のみを、Yagi and Kikuchi (2003)に基づく時間依存逆解析手法を用いて解析し、余効すべりの時空間発展を推定した。

結果

有限要素法による計算の結果を見ると、西向きの変位を示していた海底観測点の動きは粘性緩和によって十分説明可能である一方、岩手県南部から茨城県北部にかけての陸上GPS観測点においては、観測された値よりも大きな東向きの変位が計算されている。そのため、今度は陸域における西向きの変位を余効すべりによって説明する必要が生じてしまっている。この変位時系列を逆解析すると正断層型のすべりが分布する領域が現れる。正断層型のすべりが推定されること自体は、水平成層構造を仮定して粘性緩和による変位を見積もった場合と同じであるが、その位置は大きく異なる。水平成層構造を仮定した場合に地震時すべりが大きかった領域内に推定されていたのに対し、不均質構造を仮定して有限要素法を用いて計算した場合には、宮城県の内合の、地震時すべりが大きかった領域よりもやや深いところに正断層型のすべりが分布する。正断層型のすべりが推定されていることは、プレート間の固着がそこで生じていると考えることができるため、その位置及びすべりレートを精度よく見積もることはプレート境界の摩擦特性を考えるに非常に重要である。ゆえに、その推定が粘性緩和の見積りに大きく依存してしまうのは避けるべき問題であり、今後、より尤もらしい粘性緩和による変位を推定するため、モデルを現実の構造に即して高度化していく必要がある。当日の講演において

東北地方太平洋沖地震後の奥羽脊梁山脈沿いの 余効ひずみ異常域

##三浦 哲・太田雄策・飯沼卓史・出町知嗣・立花憲司・佐藤俊也(東北大・院理)・大園真子(山形大・理)

Postseismic strain anomaly along Volcanic Front after the 2011 Tohoku Earthquake

#Satoshi Miura, Yusaku Ohta, Takeshi Iinuma, Tomotsugu Demachi, Kenji Tachibana, Toshiya Sato (Tohoku Univ.), and Mako Ohzono (Yamagata Univ.)

はじめに 2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)は、我が国の観測史上最大規模(M9.0)の地震であり、現在も活発な余震活動や余効地殻変動が継続している。また、震源域に最も近い火山である蔵王山では、火山性微動や超長周期地震が発生するなど火山活動の活発化傾向も報告されている。Ohzono et al. (2012)は、GPS連続観測点において観測された地震時地殻変動から、推定された断層モデルに基づく計算値を差し引いた残差変位を調査し、奥羽脊梁山地周辺において東西方向の伸張ひずみの観測値が最大で15%程度下回っていることを見出して、地殻・上部マントルの弾性・非弾性構造との関連を議論している。本報では、今後の東北地方の地殻活動を考える上で重要となる余効地殻変動、特にひずみの時空間変化について調べた結果について報告する。

データ解析 東北地方には、国土地理院によるGEONETに加えて、気象庁、防災科技研、大学等のGPS連続観測点が設置されており、稠密な観測網が構築されている。得られたデータは、GIPSY-OASIS II ver. 6.2の精密単独測位(Precise Point Positioning, PPP)法により解析を行い、各観測点の日毎の座標値を求めている。解析の際の衛星軌道・時計情報には、JPL再解析精密暦を使用し、天頂大気遅延量(Zenith Total Delay, ZTD)を推定し、各衛星の視線方向の遅延量への変換はマッピング関数を用いて重み付けを行っている。また、マッピング関数としては、GMF(Global Mapping Functions, Boehm et al., 2006a)を使用し、解析時の衛星の仰角カットオフは7°としている。

得られた各観測点の時系列には短周期ノイズが含まれるため、本研究では遮断周期90日の低域透過フィルターをかけて、任意の期間の変位場を得られるよう

にした。これらを用いて、2011年4月から2012年3月(FY11)、同年4月から2013年3月(FY12)、同年4月から2014年3月(FY13)までの3期間に分けて変位場を求め、Shen et al. (1996)の方法により、格子点上でひずみの各成分を計算した。計算に用いたDistance-decaying-constantは25kmとした。

ひずみ分布の時空間的特徴 図1に3期間毎の面積ひずみ分布を示す。全期間を通じて、北緯40度以南の太平洋沿岸及び脊梁山脈沿いの収縮ひずみが特徴的である。それぞれの時間発展を見ると、前者はFY11で最大でその後時間とともに急速に減衰している。一方後者については、同様の時間依存傾向は見られるものの、FY13ではむしろ前者より支配的であるように見えることから、減衰係数が前者よりも小さい可能性が考えられる。このような特徴から、太平洋沿岸の収縮ひずみについては、原因として震源域周辺の余効滑りや粘性応答が考えられる。一方、脊梁山脈周辺では、この領域直下の局所的な地下構造、特に粘性構造に起因する余効ひずみが進行している可能性が考えられる。

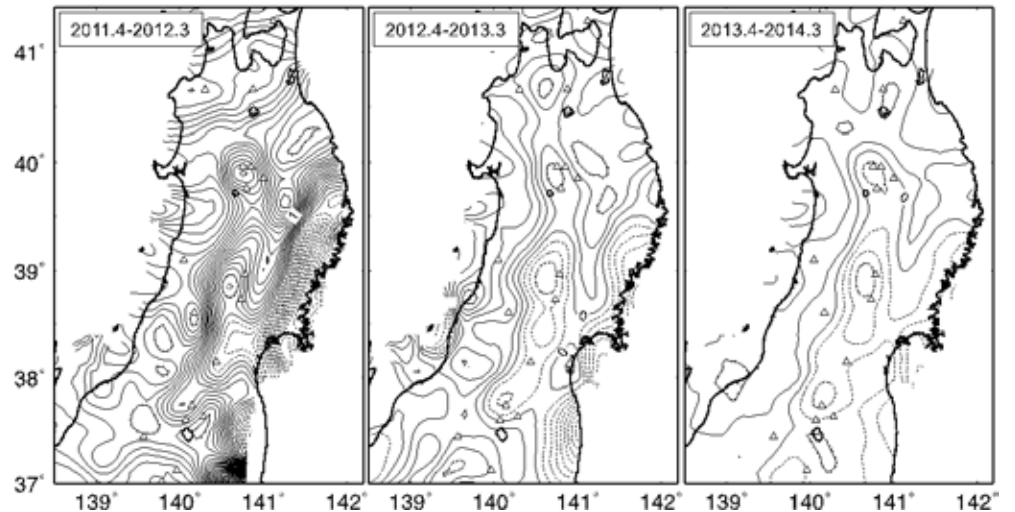


図1 東北地方太平洋沖地震後の面積ひずみ分布の時空間変化。左から2011年4月から2012年3月、同年4月から2013年3月まで、同年4月から2014年3月まで。コンターの実線は膨張を、点線は収縮を示す。コンター間隔は0.1micro-strainで、外向き、内向きのティックマークの付いているコンターはそれぞれ極大、極小域を示す。

謝辞:本研究には国土地理院、気象庁、防災科技研のGPSデータを使用させて頂きました。記して感謝いたします。

SSS32-06

会場:315

時間:5月1日 10:15-10:30

は、最新のモデルを用いた解析結果を紹介する予定である。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 余効変動, 粘性緩和, 余効すべり, GPS, 海底地殻変動

Keywords: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Postseismic deformation, Viscoelastic relaxation, Postseismic slip, GPS, Seafloor crustal deformation

2011年東北地方太平洋沖地震後の 火山フロント沿いの余効ひずみ異常域

三浦 哲・太田雄策・飯沼卓史・出町知嗣・立花憲司・佐藤俊也(東北大・院理)・大園真子(山形大・理)

Postseismic strain anomaly along Volcanic Front after the 2011 Tohoku Earthquake

Satoshi Miura, Yusaku Ohta, Takeshi Iinuma, Tomotsugu Demachi, Kenji Tachibana,
Toshiya Sato (Tohoku Univ.), and Mako Ohzono (Yamagata Univ.)

はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震は、我が国の観測史上最大規模(M9.0)の地震であり、現在も活発な余震活動や余効地殻変動が継続している。また、震源域に最も近い火山である蔵王山では、火山活動の活発化傾向も報告されている。本報では、今後の東北地方の地殻活動を考える上で重要となる余効地殻変動、特にひずみの時空間変化について調べた結果について報告する。

データ解析

東北地方には、国土地理院によるGEONETに加えて気象庁、防災科技研、大学等のGPS連続観測点が設置されており、稠密な観測網が構築されている。得られたデータは、GIPSY-OASIS IIの精密単独測位(Precise Point Positioning, PPP)法により解析を行い、各観測点の日毎の座標値を求めている。これらを用いて、2011年4月から2012年3月(FY11)、同年4月から2013年3月(FY12)、同年4月から2014年3月(FY13)までの3期間に分けて変位場を求め、Shen *et al.* (1996)の方法により、格子点上でひずみの各成分を計算した。

ひずみ分布の時空間的特徴

図1に3期間毎の面積ひずみ分布を示す。全期間を通じて、北緯40度以南の太平洋沿岸及び脊梁山脈沿いの収縮ひずみが特徴的である。これらの時間発展を見ると、前者はFY11で最大でその後時間とともに減衰している。一方後者については、同様の時間依存傾向は見られるものの、FY13ではむしろ前者より支配的であるように見えることから、減衰係数が前者よりも小さい可能性が考えられる。

太平洋沿岸の収縮ひずみについては、上記の特徴から原因として余効滑りや震源域周辺の粘性応答が考えられる。一方、脊梁山脈沿いの収縮域は、東北地方太平洋沖地震発生以前に指摘されていた東西短縮ひずみの集中域(Miura *et al.*, 2004)や、地震波速度構造や減衰構造(e.g. Nakajima *et al.*, 2001; Brenguier *et al.*, 2014; Nakajima *et al.*, 2013)に対応していること、火山フロントと地理的に対応している点を勘案すると、この領域特有の局所的な地下構造、特に粘性構造に起因する可能性が高いと考えられる。

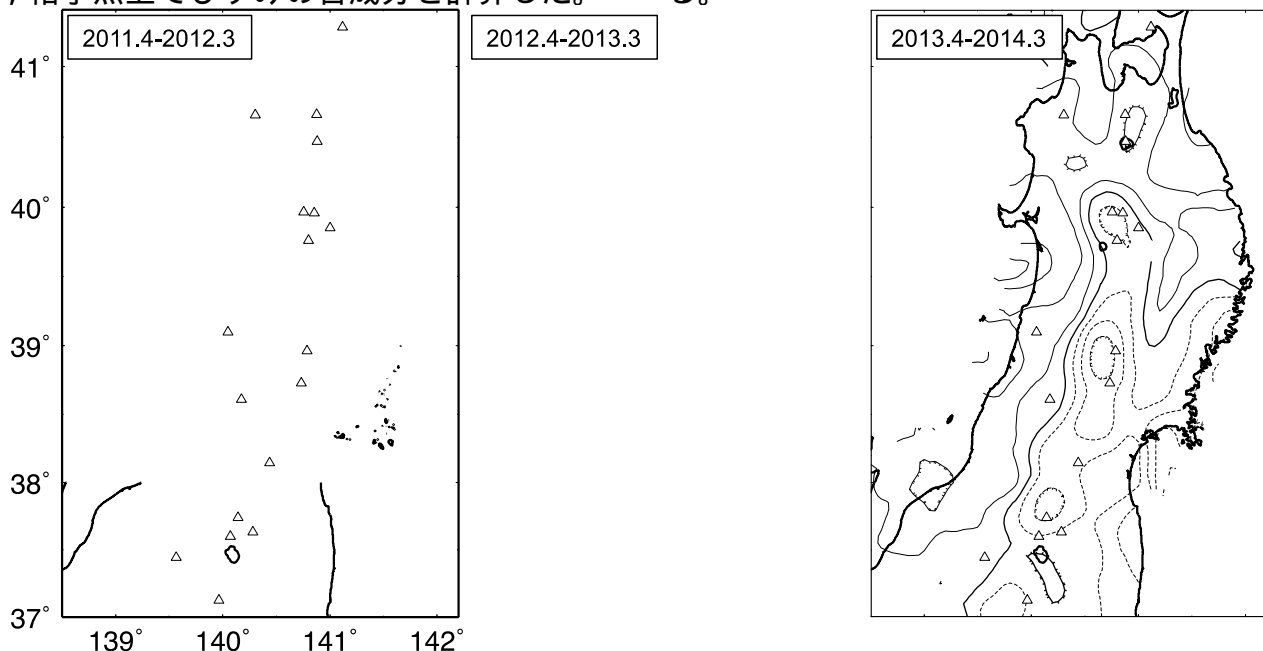


図1. 東北地方太平洋沖地震後の面積ひずみ分布の時間変化. 左から2011年4月から2012年3月, 同年4月から2013年3月まで, 同年4月から2014年3月まで. コンターの実線は膨張を, 点線は収縮を示す. コンター間隔は0.1micro-strainで, 外向き, 内向きのティックマークの付いているコンターはそれぞれ極大, 極小域を示す.

謝辞: 本研究には国土地理院, 気象庁, 防災科技研のGPSデータを使用させて頂きました. 記して感謝いたします.

**Postseismic strain anomaly along Ou Backbone Range
after the 2011 Tohoku Earthquake**

#三浦 哲¹・太田雄策¹・飯沼卓史¹・出町知嗣¹・立花憲司¹・佐藤俊也¹・大園真子²

1: 東北大学理学研究科; 2: 山形大学理学部

Satoshi Miura¹, Yusaku Ohta¹, Takeshi Inuma¹, Tomotsugu Demachi¹,

Kenji Tachibana¹, Toshiya Sato¹, and Mako Ohzono²

1: Graduate School of Science, Tohoku University; 2: Faculty of Science, Yamagata University

はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)は、我が国の観測史上最大規模(M9.0)の地震であり、現在も活発な余震活動や余効地殻変動が継続している。また、震源域に最も近い火山である蔵王山では、火山性微動や超長周期地震が発生するなど火山活動の活発化傾向も報告されている。Ohzono et al. (2012)は、GPS連続観測点において観測された地震時地殻変動から、推定された断層モデルに基づく計算値を差し引いた残差変位を調査し、奥羽脊梁山地周辺において東西方向の伸張ひずみの観測値が最大で15%程度下回っていることを見出して、地殻・上部マントルの弾性・非弾性構造との関連を議論している。本報では、今後の東北地方の地殻活動を考える上で重要となる余効地殻変動、特にひずみの時空間変化について調べた結果について報告する。

データ解析

東北地方には、国土地理院によるGEONETに加えて、気象庁、防災科技研、大学等のGPS連続観測点が設置されており、稠密な観測網が構築されている。得られたデータは、GIPSY-OASIS II ver. 6.2の精密単独測位(Precise Point Positioning, PPP)法により解析を行い、各観測点の日毎の座標値を求めている。解析の際の衛星軌道・時計情報には、JPL再解析精密暦を使用し、天頂大気遅延量(Zenith Total Delay, ZTD)を推定し、各衛星の視線方向の遅延量への変換はマッピング関数を用いて重み付けを行っている。また、マッピング関数としては、GMF(Global Mapping Functions, Boehm *et al.*, 2006a)を使用し、解析時の衛星の仰角カットオフは7°としている。

得られた各観測点の時系列には短周期ノイズが含まれるため、本研究では遮断周期90日の低域透過フィルター(LPF)をかけてエイリアシングを防止し、任意の期間の変位場を得られるようにした。これらを用いて、2011年4月から2012年3月(FY11)、同年4月から2013年3月(FY12)、同年4月から2014年3月(FY13)までの3期間に分けて変位場を求め、Shen *et al.* (1996)の方法により、格子点上でひずみの各成分を計算した。計算に用いたDistance-decaying-constantは25kmとした。

ひずみ分布の時空間的特徴

得られたFY13の主ひずみの分布には以下のような地域的な特徴が認められる。北緯39.7度以北では北西-南東方向の伸張、北東-南西方向の短縮が卓越し、ひずみ量は脊梁山脈周辺で極大で太平洋沿岸では小さくなっている。北緯39.5度以南の三陸沿岸域は、西北西-東南東方向の短縮ひずみが特徴的である。また、北緯38度から39.5度の範囲の脊梁山脈周辺では南北方向の短縮ひずみが顕著であ

る。北緯39.5度以南の日本海沿岸では概ね東西方向の伸張ひずみが特徴的である。なお、阿武隈山地周辺では、ひずみ量そのものが小さい傾向が見られる。

図1に3期間毎の面積ひずみ分布を示す。全期間を通じて、北緯40度以南の太平洋沿岸及び脊梁山脈沿いの収縮ひずみが特徴的である。それぞれの時間発展を見ると、前者はFY11で最大でその後時間とともに急速に減衰している。一方後者については、同様の時間依存傾向は見られるものの、FY13ではむしろ前者より支配的であるように見えることから、減衰係数が前者よりも小さい可能性が考えられる。このような特徴から、太平洋沿岸の収縮ひずみについては、原因として震源域周辺の余効滑りや粘性応答が考えられる。

一方、脊梁山脈周辺では、東北地方太平洋沖地震発生以前のGPS観測データに基づいて計算されたひずみ場において、特に東西方向の短縮ひずみが集中しているという報告がなされている(Miura et al., 2004)。Nakajima et al. (2001)の地震波トモグラフィーの結果によると、マントルウエッジ内には顕著な低速度域が見出され、それは沈み込むスラブが深部で脱水することにより形成されたメルトの上昇流であると解釈されている。この上昇流は、脊梁山脈直下のモホ面付近に滞留した後、さらに地殻を經由し地表付近まで達して火山活動の原因となっていると同時に、このような構造不均質によって東西短縮ひずみの集中も生じていると解釈されている。当該地域では、地震波速度構造の時間変化(Brenguier et al., 2014)や地震波の減衰構造(e.g. Nakajima et al., 2001; Nakajima et al., 2013)についても報告されており、火山フロントと地理的に対応している点を勘案すると、この領域特有の局所的な地下構造、特に粘性構造に起因する可能性が高いと考えられる。

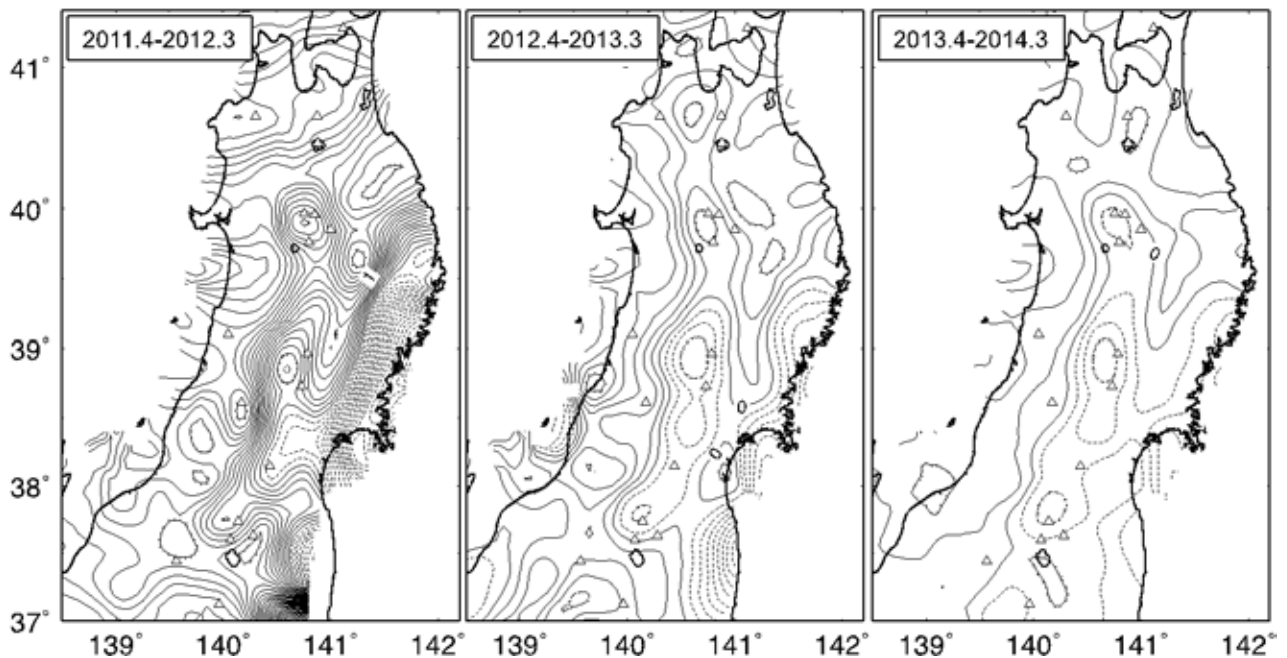


図1. 東北地方太平洋沖地震後の面積ひずみ分布の時間変化。左から2011年4月から2012年3月、同年4月から2013年3月まで、同年4月から2014年3月まで。コンターの実線は膨張を、点線は収縮を示す。コンター間隔は0.1micro-strainで、外向き、内向きのティックマークの付いているコンターはそれぞれ極大、極小域を示す。

謝辞: 本研究には国土地理院、気象庁、防災科技研のGPSデータを使用させて頂きました。記して感謝いたします。

Geodetic characteristic of the postseismic deformation following the interplate large earthquake in and around the Sanriku-Oki region, Japan

Yusaku OHTA¹, Ryota HINO², Keisuke ARIYOSHI³, Daisuke INAZU⁴, Kenji TACHIBANA¹, Tomotsugu DEMACHI¹, and Satoshi MIURA¹

¹ Graduate School of Science Tohoku University, Sendai, Japan, ohta@aob.gp.tohoku.ac.jp

²International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University, Japan

³Japan Agency for Marine Earth Science and Technology, Japan

⁴ National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan

On March 9, 2011 at 2:45 (UTC), an M7.3 interplate earthquake (hereafter foreshock) occurred ~45 km northeast of the epicenter of the M9.0 2011 Tohoku earthquake. This foreshock preceded the 2011 Tohoku earthquake by 51 hours. Ohta et al., (2012, GRL) estimated co- and postseismic afterslip distribution based on a dense GPS network and ocean bottom pressure gauge sites. They found the afterslip distribution was mainly concentrated in the up-dip extension of the coseismic slip. The coseismic slip and afterslip distribution of the foreshock were also located in the slip deficit region (between 20-40m slip) of the coseismic slip of the M9.0 mainshock. The slip amount for the afterslip is roughly consistent with that determined by repeating earthquake analysis carried out in a previous study (Kato et al., 2012, Science). The estimated moment release for the afterslip reached magnitude 6.8, even within a short time period of 51 hours. They also pointed out that a volumetric strainmeter time series suggests that this event advanced with a rapid decay time constant (4.8 h) compared with other typical large earthquakes. The decay time constant of the afterslip may reflect the frictional property of the plate interface, especially effective normal stress controlled by fluid.

For more detailed spatio- and temporal afterslip distribution, we use the re-analyzed OBP time series by Hino et al. (MGR, 2013). We divide re-analyzed OBP time series into two time periods. First time period is between just after the foreshock and the largest aftershock (M6.5) of the foreshock. Second one is between just after the largest aftershock of the foreshock and the just before the M9 mainshock. Based on these time period, we estimate the afterslip distribution in the plate interface. Estimated afterslip distribution mainly concentrate the southward of the coseismic slip distribution in the first time period. In contrast, the afterslip distribution locate the up-dip extension of the co- and postseismic slip distribution in the second time period. This result suggests that the afterslip of the foreshock reached to the M9 mainshock epicenter in the early stage of the postseismic.

Furthermore, for verification of the short decay time constant of the foreshock, we investigated the postseismic deformation characteristic following the 1989 and 1992 Sanriku-Oki earthquakes (M7.1 and M6.9), 2003 and 2005 Miyagi-Oki earthquakes (M6.8 and M7.2), and 2008 Fukushima-Oki earthquake (M6.9). We used four components extensometer at Miyako (39.59N, 141.98E) on the Sanriku coast for 1989 and 1992 event. For 2003, 2005 and 2008 events, we used volumetric strainmeter at

Kinka-zan (38.27N, 141.58E) and Enoshima (38.27N, 141.60E). To extract the characteristics of the postseismic deformation, we fitted the logarithmic function. The estimated decay time constants for each earthquake had almost similar range (1-15 h) with the foreshock of the 2011 Tohoku earthquake (4.8h), but relatively small compared with the typical interplate earthquakes. The comparison of decay time constant with other typical large interplate earthquakes is slightly difficult because of difference in the observation sensors such as GPS and strainmeter. However, the extracted short decay time constant suggested that the foreshock of the 2011 Tohoku earthquake is not anomalous compared with other events in this region.