

( 1 ) 実施機関名：

東北大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

ゆっくり滑りの発生機構とアスペリティとの相互作用の解明

( 3 ) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

( 2 ) 地震・火山噴火に至る準備過程

( 2-1 ) 地震準備過程

イ. 非地震性滑りの時空間変化とアスペリティの相互作用

( 4 ) その他関連する建議の項目：

( 5 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

「流体の移動」と「断層のゆっくりとした変位」を明確に示した観測例はこれまでにない。本研究では五カ年の到達目標として、(1)「流体が関与した断層運動によるゆっくり滑りの発生」を観測に基づき検証し、ゆっくり滑りのモデル化を目指す。特に、海溝陸側斜面において海底広帯域地震観測、海底圧力観測、GPS-音響測距結合方式による海底測地観測によりゆっくり滑りを検出する、またゆっくり滑りに伴う、ゆう水量の変化を観測することを目指す。また、(2) 海底地殻変動観測、小繰り返し地震活動及び陸上の GPS 観測網で得られた観測データに基づき、ゆっくり滑りの時空間分布を高精度で推定する手法を確立する。さらに、(3) 観測に基づいたシミュレーションにより、アスペリティの挙動も考慮したゆっくり滑りのモデル化を図る。

( 6 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

1. 日本海溝及び南海トラフの海底地震・測地総合観測(平成 21 年-平成 25 年)

平成 21 年から平成 25 年にかけて、東北日本の日本海溝及び西南日本の南海トラフの陸側斜面下においてゆっくり滑りを観測するための海底地震・測地総合観測網を構築する。地震計としては短周期地震計と広帯域地震計の両方を用いる。また、海底圧力計及び GPS-音響測距結合方式による海底地殻変動観測を地震計と併せて用いることにより広帯域の総合観測を実施する。海底地震計(広帯域、短周期)と海底圧力計による観測を複数年間、同一地点で実施する目的で、これらの機器を海底ベンチマークの上に潜水艇を用いて設置する。さらに、海底ゆう水量計を冷ゆう水地点に設置して、ゆっくり滑りに伴う間隙流水の時間変化を観測する。

2. ゆっくり滑りによる小繰り返し地震活動のゆらぎ(平成 21 年-平成 25 年)

東北日本で小繰り返し地震クラスターの活動と周囲のゆっくり滑りの時空間分布を陸上の地震観測及び GPS 観測網を用いて詳細に調べる。特に、ゆっくり滑りの時空間変化と小繰り返し地震活動のゆらぎに着目し、アスペリティ周囲のゆっくり滑りがアスペリティに及ぼす影響を評価する。

3. 数値シミュレーションによるゆっくり滑りのモデル化(平成 24 年-平成 25 年)

平成 21 年から平成 23 年までに観測された様々なデータに基づき、観測されたゆっくり滑りを数値シミュレーションによりモデル化を行う。ここでは、特に本研究の海底ゆう水量観測の時間変動を考慮したゆっくり滑り過程のシミュレーションを実施し、ゆっくり滑りと間隙流体の関係をモデル化する。

( 7 ) 平成 24 年度成果の概要 :

平成 24 年度においては, 2011 年東北地方太平洋沖地震前に発生していたスロースリップの解析を行い, ゆっくり地震の滑り域を推定し巨大地震の地震時滑り域との比較を行った. また, 関連して地震時滑りによる応力擾乱と余震の発生に関する考察, 更には簡易音響測距法による海底設置機器の位置推定法の高精度化を行った.

プレート境界型地震の発生に至るひずみ蓄積過程と海溝軸近傍におけるゆっくり地震の関係の理解を目的として, 宮城沖で自己浮上式海底圧力計及び地震計を用いた観測を 2008 年以来実施してきた. 我々は海底圧力観測網と陸上地殻変動観測網の記録を精査することで, 2008 年 11 月と 2011 年 1 月にスロースリップが発生していたことを確認した. それぞれ 3 週間及び 6 週間程度継続する M6.8 と M7.0 の大きさのスロースリップであった. 2008 年のスロースリップについては平成 23 年度成果報告書に述べた. ここでは 2011 年のスロースリップについて述べる.

2011 年東北地方太平洋沖地震の発生前の 2011 年 1 月下旬から, 直上に設置された海底水圧計及び陸上沿岸部の体積ひずみ計で非地震性の地殻変動が観測された( 図 1 ). これらの地殻変動は, 沿岸部の GPS 観測点では観測されなかった. 地殻変動が観測された期間の前半の 1 月下旬から 2 月上旬には, 周辺の地震活動度に顕著な変化は見られなかったが, 2 月中旬頃よりマグニチュード 5 程度の地震が海底圧力観測網内で発生した. 観測された地殻変動記録からスロースリップ域を推定した. プレート境界での滑りを仮定して解析を行った結果, 100km × 35km の広がり度で 40cm の滑り量を示す逆断層滑り( 地震モーメント:  $3.6 \times 10^{19}$  Nm: M7.0 )で観測記録が説明できた. スロースリップの地震モーメントは, 2008 年に観測されたスロースリップの 2 倍である. 2011 年のスロースリップは少なくとも 3 月 9 日の最大前震直前まで継続していた可能性が海底圧力計記録から分かった. 特にスロースリップの断層の上端部は, 2 月下旬から 3 月 9 日の発生直前にかけて, 海溝軸の方向に拡大していた可能性が高い.

2011 年のスロースリップ域は 3 月 9 日の最大前震の滑り域とその浅部延長部に位置する( 図 2 ). スロースリップ域は本震の地震時滑り域( 30m 以上 )の中に含まれる. 本震時には 50m を超える巨大滑り域が海溝軸近傍で推定された. スロースリップ域は特に 50m を超える滑り域の深部延長部に位置する. 2008 年と 2011 年の 2 つのスロースリップ域はおおよそ発生域が同じで, 規模は 2011 年のほうがやや大きい. また, 両方のスロースリップは, その後のプレート境界型地震( M5.8 と M7.3 )を誘発した可能性が高い. 2008 年と 2011 年のスロースリップの最大の違いは, 2008 年のスロースリップはプレート境界型地震の誘発前にほぼ滑りが停止していたのに対して, 2011 年のスロースリップは発生直前まで滑りが継続していた点である. 更には, プレート境界型地震発生直前の 1 - 2 日間でスロースリップが海溝軸近傍で加速していた可能性が高い. スロースリップと海溝軸近傍での巨大な地震時滑りの関係を調べるためには, 今後摩擦構成則を用いた数値計算によるさらなる解析が必要である.

平成 24 年度においては, 2011 年東北地方太平洋沖地震の地震時滑りに伴う震源域周囲の応力擾乱と余震域との比較を行った. 具体的には, 2 次元有限要素法を用いて震源域周囲, 特に上盤側と下盤側の応力擾乱を求め, 直上に設置された海底地震計で求めた余震分布との比較を行った. 2 次元有限要素法では, 過去に震源域近傍で行われた屈折法探査や陸上地震波トモグラフィーによる地震波速度構造を参考にメッシュデータを作成して計算を行った. 計算の結果, 差応力の特に大きな領域は, 巨大滑り域の直上の上盤側地殻内部, 海溝軸付近の沈み込むプレート内部及び地震時滑り域下端部のプレート内部に分布することが分かった. 特に海溝軸直下のプレート内部の差応力の大きな領域と海底地震計で推定されたプレート内地震の分布域はよく対応する. すなわち, 海溝軸近傍のプレート内地震は本震の地震時滑りに伴う応力擾乱で説明できる.

平成 24 年度において, 海底地震計や海底圧力計等の海底設置機器の位置推定精度向上に向けた機器開発及び試験観測を行った. 具体的には, 二周波の GPS 受信機を用いた PPP 解析を用いて船上の音響トランスデューサーの位置を従来よりも高い精度で求めた. 平成 23 年度には, 地震前と地震後の地震計・水圧計の水平位置を比較することで, 本震による水平変位の検出を行った. 海底機器の位置は, 通常船舶用の GPS 受信機による位置情報を用いながら, 最低 3 点において船上トランスデューサーと

海底機器間の距離を音響測距することで求めることができる。H23 年度には地震発生前後で、海溝軸近傍に設置した海底機器の測量を行い、海溝軸から約 20km と約 30km 離れた地点がそれぞれ 84m と 74m 程度海溝軸方向に移動していたことを示した。ただし、この水平変動量の測定には、主に船舶の位置情報の誤差に伴う 20m 程度の観測誤差が含まれていた。本年度の研究では、海底機器の絶対位置精度は約 7 m 程度、近接して設置された機器の相対精度は 1 m 以内となり、手法の改良により測定精度の向上に成功した。

- ( 8 )平成 24 年度の成果に関連の深いもので、平成 24 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
伊藤喜宏・日野亮太・木戸元之・藤本博己・長田幸仁・稲津大祐・三浦哲・太田雄策・内田直希・辻健・芦寿一郎・三品 正明, 2012, 2011 年東北地方太平洋沖地震発生前のスロースリップイベント, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, SCG63-01.  
Ito, Y., R. Hino, M. Kido, H. Fujimoto, Y. Osada, D. Inazu, Y. Ohta, T. Inuma, M. Ohzono, M. Mishina, S. Miura, K. Suzuki, T. Tsuji, J. Ashi, 2012, Episodic slow slip events in the Japan subduction zone before the 2011 Tohoku-Oki earthquake, AGU 2012 Fall meeting, T21F-01.  
Ito, Y. R. Hino, M. Kido, H. Fujimoto, Y. Osada, D. Inazu, Y. Ohta, T. Inuma, M. Ohzono, S. Miura, M. Mishina, K. Suzuki, T. Tsuji, J. Ashi, 2013, Episodic slow slip events in the Japan subduction zone before the 2011 Tohoku-Oki earthquake, Tectonophysics, in press.  
伊藤喜宏・芝崎文一郎・柄谷和輝・日野亮太・中島淳一, 2012, 有限要素法に基づく 2011 年東北地方太平洋沖地震による地殻内変形, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, SSS39-06.  
鈴木秀市・伊藤喜宏・木戸元之・太田雄策・長田幸仁・日野亮太・藤本博己, 2012, 音響トランスポンダを用いた音響測距による海底ベンチマークの位置決定精度について, 日本地学会第 118 回講演会, P-1.  
Suzuki, S., Y. Ito, M. Kido, Y. Ohta, Y. Osada, R. Hino, H. Fujimoto, 2012, Accuracy of acoustic positioning of seafloor benchmarks by a generic acoustic transducer pair, AGU 2012 Fall meeting, T13F-2696.

( 9 )平成 25 年度実施計画の概要：

H24 年度までに海底・陸上観測から求めた非地震性及び地震性の地殻変動の総合的理解を目指して、プレートの沈み込みに伴い発生するスロー地震と大地震のモデル化を行う。具体的には、2011 年東北地方太平洋沖地震前に発生したスロースリップから巨大地震に至る過程を速度・状態依存摩擦構成則に基づくシミュレーションで再現し、スロースリップの発生がその後のアスペリティの挙動に与える影響を評価する。

( 10 )実施機関の参加者氏名または部署等名：

伊藤喜宏・日野亮太・岡田知己・太田雄策・松澤 暢・海野徳仁・他 5 名程度(大学院生含)  
他機関との共同研究の有無：有  
芦 寿一郎(東京大学大学院新領域創成科学研究科)

( 11 )公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター  
電話：022-225-1950  
e-mail：zisin-yoti@aob.gp.tohoku.ac.jp  
URL：http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/

( 12 )この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：伊藤喜宏  
所属：東北大学大学院理学研究科

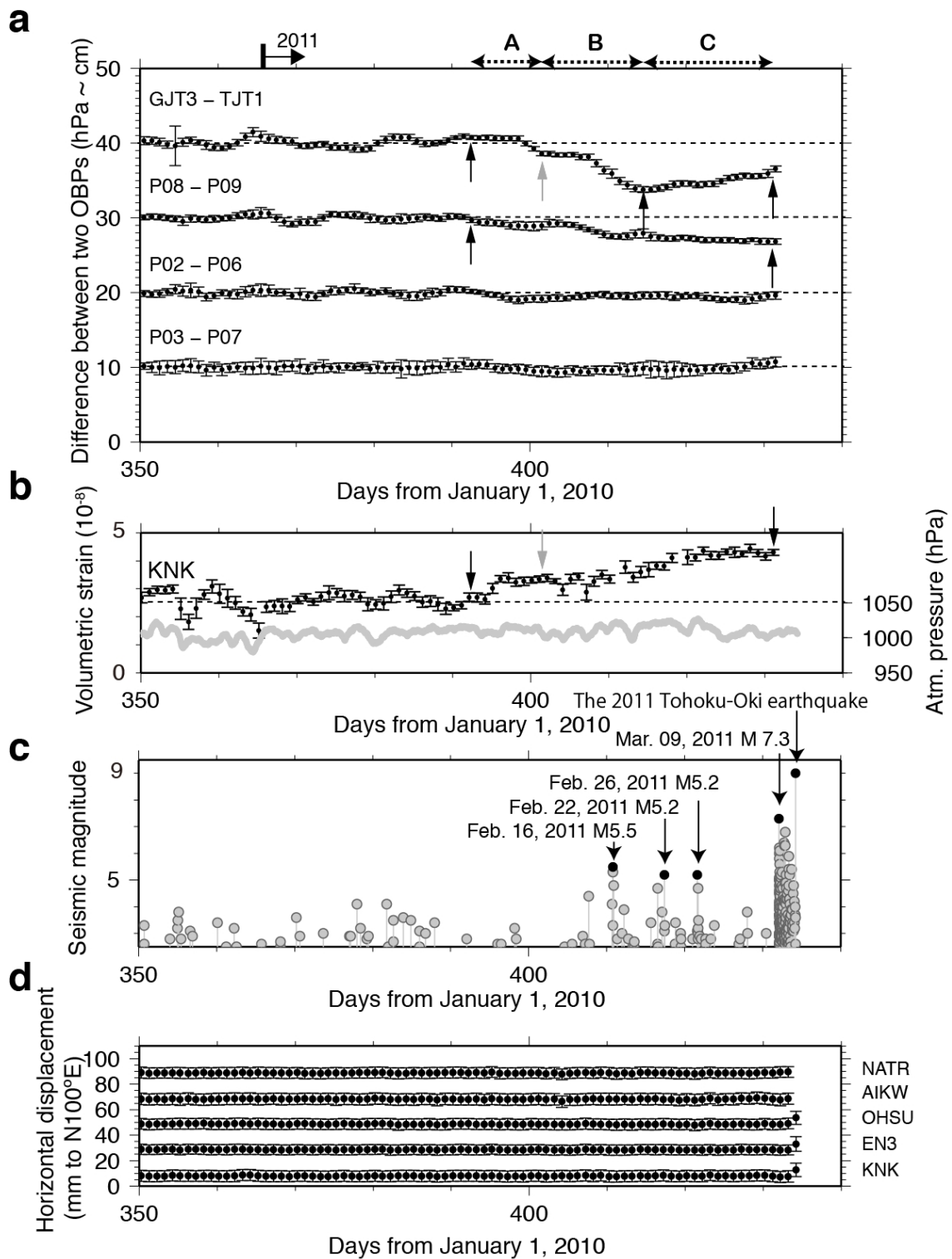


図1 . 2011年のスロースリップを示す観測記録 .

(a) 宮城沖に設置された海底水圧計記録. ここでは隣接する2つの海底圧力計の差の時系列を示した. A:スロースリップ前期, B:スロースリップ中期, C:スロースリップ後期 (b) 金華山の体積ひずみ計記録と同一地点の気圧記録. (c)M-Tダイアグラム. 2月16日以降のM5を超える地震については特に黒丸で示した. (d) 宮城沖沿岸観測点のGPS時系列記録. GEO-NETの950154を基準点として海溝軸にほぼ直交する方位(N100度E)の基線長変化を示した.

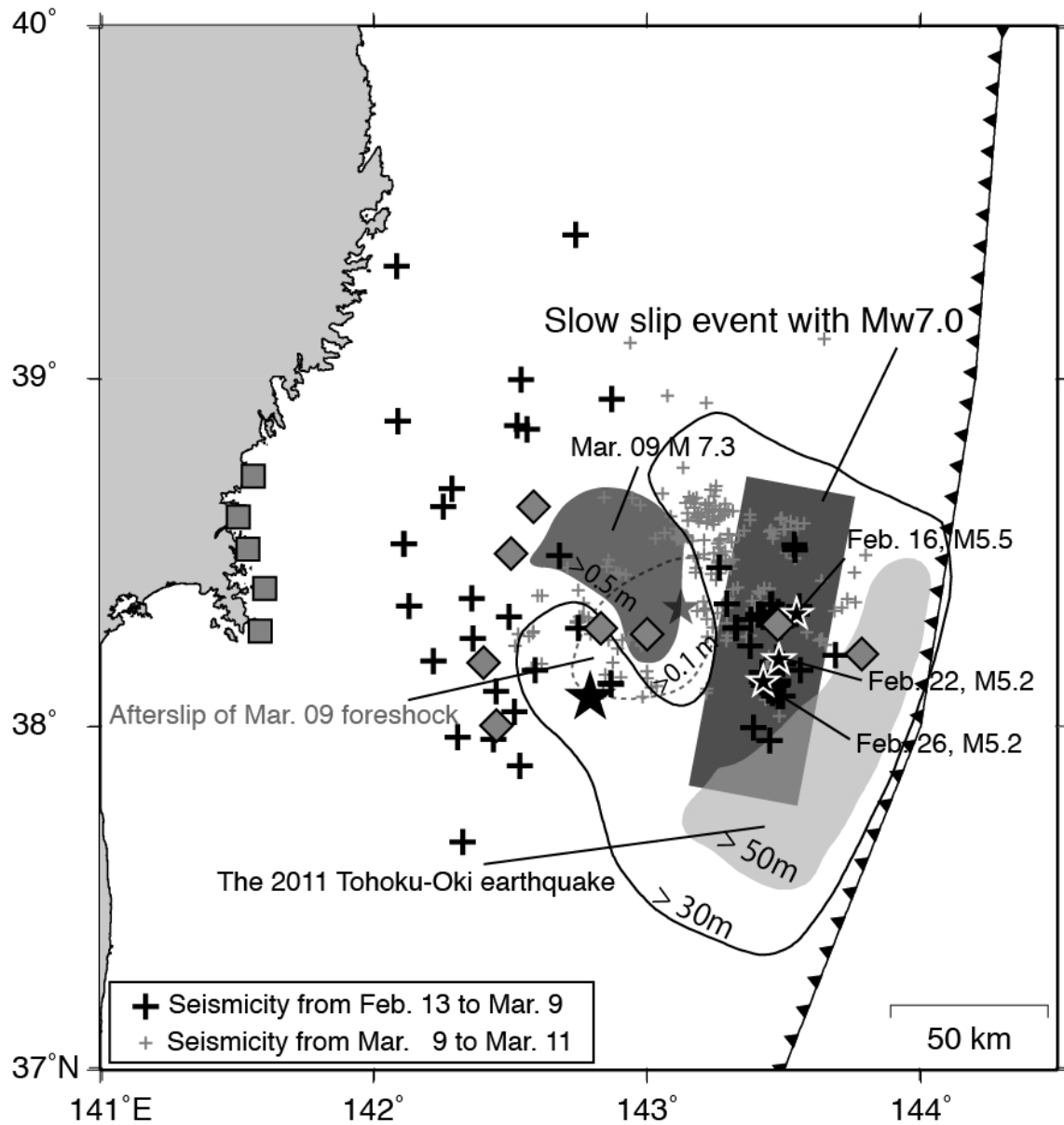


図2 . 2011 年のスロースリップ.

2011 年東北地方太平洋沖地震の地震時滑り域，最大前震の地震時滑り及び余効滑り域の比較．海底地震計で得られた本震前の地震活動 [Suzuki et al., 2012] も併せて示す．本震の地震時滑りと最大前震はそれぞれ，Iinuma et al., (2012) と Ohta et al., (2012) による．