

(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および陸上の 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. 日本海溝およ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およ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、海底圧力計および 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および 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 23 年度成果の概要 :

平成 23 年度においては、平成 22 年度に引き続き、宮城沖の海溝陸側斜面において海底地震計および圧力計を用いた広帯域地殻変動観測を実施した。また、観測された海底観測記録に加えて、陸上地殻変動観測網の記録も併せて調査した。具体的には、昨年度に設置した地震計および圧力計の回収および再設置を行った。ただし、2011 年東北地方太平洋沖地震の発生後に海底地震観測点および海底圧力観測点を震源域周辺に増設した。また、地震後回収された圧力計のデータ等に基づき、海溝軸付近における地震時すべり量を推定した。また、平成 21 年度に既に報告した 2008 年のスロースリップについて、そのすべり域と 2011 年の本震のすべり域の比較を行った。さらに 2011 年の本震時にすべり量の大きかった海溝軸付近の固着域と、地震前に知られていた M 7 クラスの地震の固着域を考慮した地震発生シミュレーションを行った。

プレート境界型地震の発生に至る過程の理解および海溝軸近傍におけるゆっくり地震の理解を目的として、宮城沖で自己浮上式海底水圧計および地震計を用いた観測を 2008 年以来実施してきた。この宮城沖の海底圧力観測により、2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震 (M9.0) に伴う明瞭な海底水圧変化を観測することができた。本震発生時に観測中であった海底水圧計のうち、海溝軸から約 20km 離れた位置、TJT1 に設置された水圧計 1 台を地震後の 3 月 27 日に回収した。TJT 1 において観測された圧力記録を図 1 に示す。一般に海底における圧力記録では潮汐成分と機器のドリフトに伴う見かけの変動が卓越し数~数十センチメートル程度の変動の検出は、観測された生の記録から読み取ることは難しいが、本震発生時 (434 日) には、明瞭なステップ状の変化が観測された (図 1)。本震時に観測された水圧変化は、約 500hPa の減少で観測点の 5 m の隆起に相当する。

本研究では、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、地震に伴う水平変位の検出も行った。通常、船上からの自由落下により海底に設置される海底圧力計・海底地震計の位置は、投下点を取り囲む 3 点で音響測距法により測定される観測点距離を用いた三角測量法により決定される。地震前後の海底水圧計・地震計の位置を地震前後で、それぞれ比較することにより地震に伴う水平地殻変動を測定した。TJT1 では 2 台の地震計について、TJT 2 では水圧計と 2 台地震計の位置 (計 3 箇所) をそれぞれ求めた。TJT 1 では 2 台の地震計が、地震後に 53m, 62m 東にそれぞれ移動した。TJT 2 では 52m, 78m, および 91m 東または南東に移動した。水平変動量の測定には、20m 程度の観測誤差が含まれることに注意されたい。

海底水圧計により観測された TJT 1 の 5 m の隆起と、TJT 1, TJT 2 の海底地震計・水圧計の水平変動量を説明するプレート境界での地震時すべり量を推定した。すべり量の推定に用いた断層モデルは、JAMSTEC による人工地震探査の結果を参考にプレートの沈み込み角度を 3 °としてプレート境界を与えて震源断層とした。また海溝陸側斜面の傾斜角を考慮して自由表面を海溝軸方向に 6 °傾斜させた 2 次元半無限媒質を用いた。断層の深部を海溝軸から 80km の長さで固定して、断層のすべり量と断層上端の位置を未知数として、JT 1 および JT 2 における観測記録を満足する最適モデルを試行錯誤的に求めた。推定の結果、断層の上端が海底に到達し、すべり量が 80m の場合、観測記録と良い一致を示すことが分かった。得られたモデルから予測される上下変動量は、海底水圧計により得られた隆起量および 3 点音響測距による水平変動量とも良い一致を示す (図 2)。GSP 音響結合方式 (GPS/A) で得られた GJT 3 の水平変動量に比べて、モデルから期待される水平変動量はやや大きいものの、TJT 1 および TJT 2 における地殻変動記録は海溝軸近傍において 80m 程度のすべりが生じた可能性を示す。

2011 年の本震時のすべり量を求めた断層モデルと同様のモデルを用いて、2008 年に観測された非地震性の地殻変動データを再解析し、スロースリップ域の再推定を行った。2008 年 11 月中頃に海底圧力計で観測された上下地殻変動は、同時期に陸上のポアホールに設置された体積歪計でも観測された。この期間に周辺の地震活動度に顕著な変化は見られなかったが、地殻変動終了から約一週間後に震源断層の深部延長部において M6.1 のプレート境界型の地震が発生した。観測された海底上下変動および体積歪変化がプレート境界におけるゆっくり地震によるものと考えて、断層の位置、大きさおよびすべり量を改めて推定した結果、観測された地殻変動は、プレート境界上の 60 120km × 30km の範囲で 20 40cm のすべり量を示す逆断層運動 (地震モーメント : 2.2×10^{19} Nm: M6.8) で説明できるこ

とが分かった。推定された震源断層は、2011年3月9日の最大前震のすべり域、およびその後の前震活動域の浅部延長部に位置する。また、2011年の本震時に50mを超える大きなすべり量が推定されている領域の深部延長部に位置する。

本震時に大きなすべり量が推定された海溝軸近傍を固着域、また従来知られていたM7クラスのプレート境界型地震のすべり域を固着域として、低速滑りでは速度強化、高速滑り時に強い速度弱化を示す速度?状態依存の摩擦則を取り込んだ3次元準動的数値シミュレーションを実施した。その結果、数十年間隔のM7クラスのイベントと数百年間隔で発生する超巨大イベントの発生を日本海溝において再現できた。

- (8) 平成23年度の成果に関連の深いもので、平成23年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
- Ito, Y., T. Tsuji, Y. Osada, M. Kido, D. Inazu, Y. Hayashi, H. Tsushima, R. Hino, H. Fujimoto, 2011, Frontal wedge deformation near the source region of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, **38**, L00G05, doi:10.1029/2011GL048355.
- Shibazaki, B., T. Matsuzawa, A. Tsutsumi, K. Ujiie, A. Hasegawa, Y. Ito, 2011, 3D modeling of the cycle of a great Tohoku-oki earthquake, considering frictional behavior at low to high slip velocities, *Geophys. Res. Lett.*, **38**, L21305, doi:10.1029/2011GL049308.
- Tsuji, T., Y. Ito, M. Kido, Y. Osada, H. Fujimoto, J. Ashi, M. Kinoshita, and T. Matsuoka, 2011, Potential Tsunamigenic Fault of the 2011 Off-Tohoku Earthquake, *Earth Planet Space*, **63**, 831-834.
- Ito, Y., T. Tsuji, Y. Osada, M. Kido, D. Inazu, Y. Hayashi, H. Tsuhima, R. Hino, H. Fujimoto, 2011, Frontal wedge deformation near the source region of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, AGU 2011 Fall meeting, T11C-02.
- 伊藤喜宏・辻健・長田幸仁・木戸元之・稲津大祐・林豊・対馬弘晃・日野亮太・藤本博己, 2011, 震源域直上の海底圧力観測に基づく2011年東北地方太平洋沖地震に伴う海溝付近の地震時すべり, 日本地震学会2011年度秋季大会, A22-01.
- Ito, Y., Y. Osada, R. Hino, H. Fujimoto, D. Inazu, S. Miura, N. Uchida, M. Kido, T. Tsuji, J. Ashi, Y. Ohta, M. Mishina, 2011, Transient slow slip event in the Japan Trench, AOGS 2011, SE71-A006.
- Ito, Y., H. Fujimoto, R. Hino, M. Kido, Y. Ohta, Y. Osada, T. Iinuma, D. Inazu, 2011, The Mw 9.0 Tohoku-Oki earthquake and implications for global subduction zone hazards ?Seismic implication?, IODP Workshop on " Using Ocean Drilling to Unlock the Secrets of Slow Events ", Gisborne, New Zealand.
- 伊藤喜宏・長田幸仁・稲津大祐・日野亮太・対馬弘晃・太田雄策・木戸元之・藤本博己, 2011, 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, 日本地球惑星科学連合2011年大会, MIS036-P12.

(9) 平成24年度実施計画の概要：

H23年度までに海底観測および陸上観測により得られた非地震性および地震性の地殻変動の総合的理解を目指して、有限要素法を用いた変形場のシミュレーションを行う。有限要素法で用いるモデルには、人工地震探査等で得られた弾性波速度や沈み込むプレート上面の形状を取り込む。これらの有限要素モデル解析により、プレートの沈み込みに伴い発生する大地震およびスロー地震による東北日本の地殻変形を推定する。具体的には、2011年東北地方太平洋沖地震に伴う陸上および海底の地殻変動観測で得られた地表変位を再現するようなスローリップおよび地震時すべりの詳細な分布を明らかにし、アスペリティの挙動を考慮したゆっくり地震のモデル化に向けた準備を行う。次年度以降は本震発生前に発生したスローリップが本震のアスペリティへの歪蓄積過程に与えた影響を数値シミュレーションに基づき評価する。

(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

電話 : 022-795-3895

FAX : 022-264-3292

e-mail : yito@aob.gp.tohoku.ac.jp

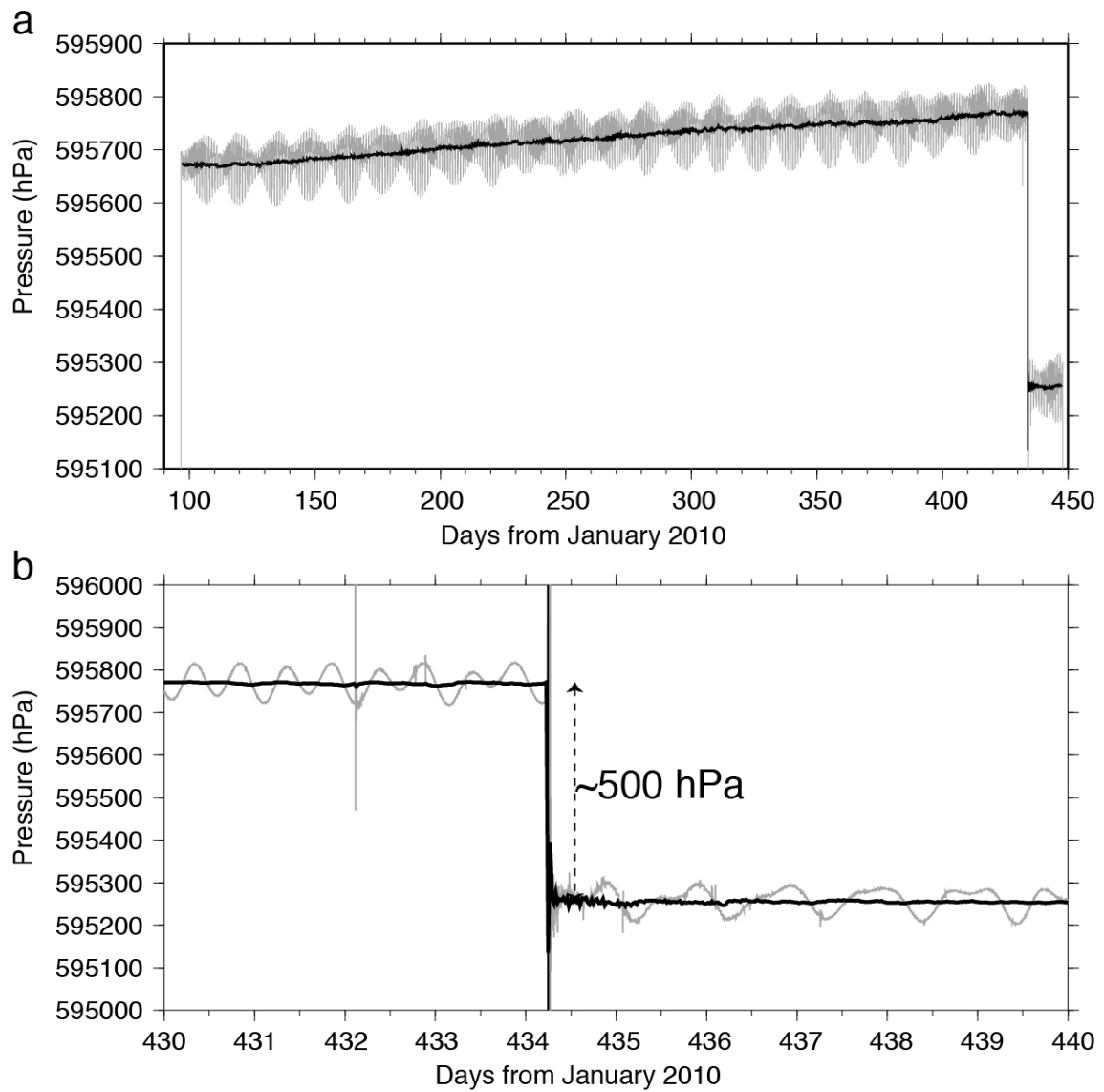


図1 . 海溝軸から約 20km 陸側の海底水圧計 (TJT1) で観測された海底水圧記録 .
 灰色線は観測された生の記録 , 黒線は観測された生の記録から海洋潮汐成分を取り除いた記録を世界標準時で示す (a) 観測開始から観測終了までの約 350 日間の圧力記録 . (b) 3 月 7 日から 17 日までの圧力記録 . 2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震の地殻変動による 500hPa の圧力減少が記録されている .

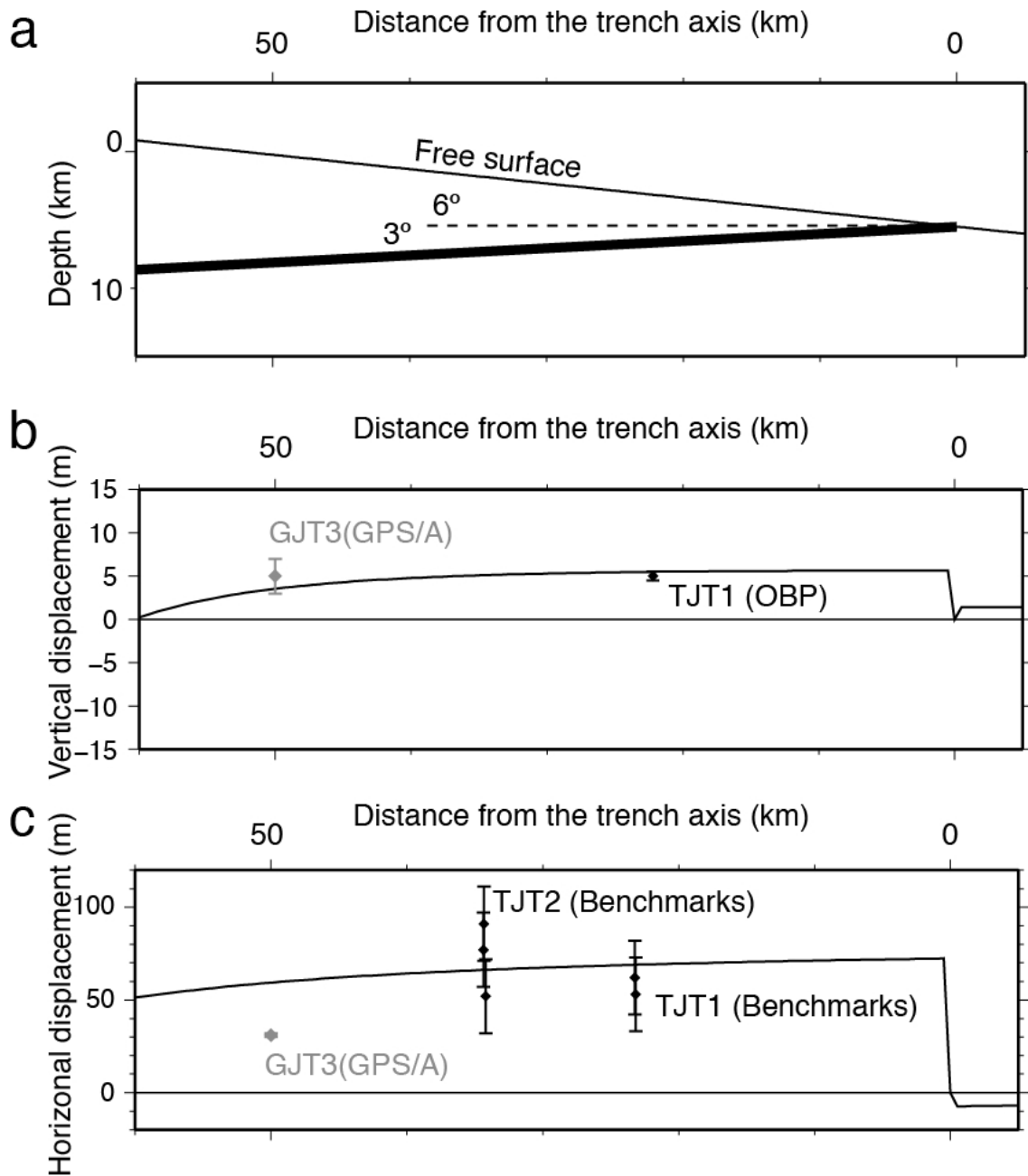


図2. すべり量推定に用いた断層モデルと観測値の比較.

(a) すべり量推定に用いた半無限媒質中の食い違いモデル. 自由表面(細線)は海溝陸側斜面の傾斜角を考慮して 6° 水平面から傾けた. プレート境界(太線)は構造探査の結果を参考に陸側に 3° 傾斜する. (b) および (c) モデルからの予測値と観測値の比較. 圧力計(OBP)および三角測量法(Benchmarks)により得られた地震時鉛直変位 (b) および水平変位 (c) と観測値から推定された最適モデルからの予測値(黒線)併せて示す. 推定された最適モデルは, 断層上端が海溝軸(地表)に到達し, すべり量が 80m の場合であった. 灰色で示した観測値は GPS 音響結合方式で推定された地震時変位を示す.