

( 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 22 年度成果の概要：

平成 22 年度においては、平成 21 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および GPS-音響測距結合方式による海底測地観測を実施した。また陸上の GPS 観測点および歪観測点の記録を調べることにより、平成 21 年度の調査で明らかにした非地震性の地殻変動時に、沿岸の体積歪計記録にも変化が現れていることを示した。また、観測された海底地殻上下動および陸上体積歪変化を用いてプレート境界における断層モデルを構築した。さらに長期の海底地震観測を目的とした海底地震計用ロガーの開発およびゆっくり地震発生機構の解明を目的とした付加体内部の応力場に関する数値シミュレーションを行った。

海底圧力計および地震計の設置・回収においては、海洋研究開発機構の学術研究船「淡青丸」を使用し、2010 年 4 月 5 日から 4 月 15 日および 11 月 10 日から 11 月 18 日の二期間で実施した。ゆっくり地震の地震動および地殻変動を観測する目的で広帯域地震計、短周期地震計および圧力計を同一地点に設置する観測を昨年度に引き続き継続して行った。3 種類の機器を組み合わせることにより、数 Hz から数日におよぶ変動を観測できるように工夫した。このような観測点は海溝軸から陸側に約 20km と 30km 離れた 2 地点に設置されている(図 1)。また、海溝軸から約 50km および 100km 陸側に離れた 2 地点では、圧力計のみを用いた観測を前年度に引き続き継続して行った。一般に海底圧力計の記録には、実際の海底地殻変動に加えて、海洋潮汐などの海洋起源の変動が含まれる。海洋潮汐等の海洋変動による見かけの海底上下変動は数センチメートルから数十センチメートルで、真の海底地殻変動の検出に際して見かけの海底上下変動を除去する必要がある。ここでは海溝軸から約 30km 以内の距離に 3 つの海底圧力計が設置されていることから、海洋潮汐等の海洋起源の圧力変動が隣り合う 2 観測点で共通であると仮定し、両者の差を調べることでそれらの影響を除去し、2 観測点間の圧力差から相対上下変動を求めた。その結果、2008 年 11 月中頃に特異な上下変動を検出した(図 2)。また、同時期に陸上のボアホールに設置された体積歪計でも膨張の変動が観測されていることが分かった(図 2)。この変動は約 7 日間継続したが、この期間に周辺の地震活動度に顕著な変化は見られず、観測された地殻変動は非地震性のものである可能性が高い。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推定した結果、観測された地殻変動は、プレート境界上の 50km × 43km の範囲で 14cm のすべり量を示す逆断層運動(地震モーメント： $9.04 \times 10^{18} \text{Nm}$ )で説明できることが分かった(図 1)。推定された資源断層は微小地震活動度が周囲に比べて相対的に低い領域に位置する。また、震源断層は津波地震と考えられている 1896 年三陸地震の震源域の南端付近に位置する。破壊を北から南にユニラテラルに 7km/day の速度で伝播させた場合に観測された地殻変動の時系列が最もよく説明される(図 2)。ゆっくり地震の終了から約一週間後に震源断層の深部延長部において M 6.1 の地震が発生した(図 1)。これは、ゆっくり地震がプレート境界型地震を誘発した可能性を示しているのかもしれない。

また、アスペリティの挙動を考慮したゆっくり滑りのモデル化に向けて、建築研究所と共同で、プレートの沈み込みと深部の固着に伴い生じる南海トラフ付加体内部の応力場の空間変化を推定した。熊野灘のアスペリティ域における固着が付加体内部の応力場に与える影響を評価した結果、地震時すべりによって、外縁隆起帯よりも海側の付加体内部に顕著な水平方向の収縮場が形成されることが分かった。これは、巨大地震時に生成された圧縮性の応力場が、現在も発生する超低周波地震の起震応力場を形成している可能性を示す。

自己浮上式海底地震計を用いた長期観測を図るため、海底地震計用の新型データロガーの開発を行った。新型ロガーは陸上観測で用いられている低消費型ロガーを基に改良したものであり、GPS ユニットと無線通信ユニットを備える。耐圧ガラスに梱包されるロガーの外部通信についてワイヤレス化を行ったことで、通信ケーブルとその貫通部分から耐圧ガラス球内への浸水の危険度が低下する。よって、本研究によりロガーの低消費電力による長期観測化に加えて、観測の信頼度の向上が期待される。

==== 平成 23 年度の成果 ====

「課題番号：9100」

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。この宮城沖の海底水圧観測により、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(M9.0)および3月9日に発生した「前震」(M7.3)に伴う海底水圧変化を観測することができた。

観測中の海底水圧計のうち、Site1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。Site1において観測された圧力記録を図3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するが、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3)。本震に伴い観測された水圧変化は、約500hPaの減少で5mの隆起に相当する。また、3月9日の前震に伴う水圧減少は2.1hPa(約2cm隆起)であった(図4)。

- (8)平成22年度の成果に関連の深いもので、平成22年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
伊藤喜宏・長田幸仁・稲津大祐・内田直希・日野亮太・藤本博己・鈴木秀市・対馬弘晃・東龍介・鈴木健介・古賀祥子・猪井志織・辻健・中山典子・芦寿一郎, 2010, 海底圧力・地震計を用いた日本海溝陸側斜面下のゆっくり地震の観測, 日本地球惑星科学連合2010年大会, SSS014-06.  
Ito, Y, Y. Osada, M. Kido, D. Inazu, N. Uchida, R. Hino, H. Fujimoto, S. Suzuki, H. Tsushima, R. Azuma, K. Suzuki, S. Koga, S. Ii, T. Tsuji, N. Nakayama, J. Ashi, 2010, Ocean-bottom seismic and geodetic observations of transient slow slip events in the Japan Trench, Eos Trans. AGU, 91(26), West. Pac. Geophys. Meet. Suppl., Abstract S53C-03.  
伊藤喜宏・小原一成, 2010, 沈み込み帯における超低周波地震, 日本地震学会2010年秋季大会講演予稿集, P22-10.  
伊藤喜宏・芝崎文一郎・柄谷和輝, 2010, 有限要素法を用いた南海トラフ付加体内部の応力場の推定, 日本地震学会2010年秋季大会講演予稿集, P1-09.  
鈴木秀市・伊藤喜宏・日野亮太・齋藤和男・長谷川聡・日里勝利・酒主美樹雄, 2010, 海底地震観測の作業効率化に向けた新型データロガーの開発, 日本地震学会2010年秋季大会講演予稿集, P1-35.  
伊藤喜宏, 稲津大祐, 長田幸仁, 三浦哲, 内田直希, 大園真子, 木戸元之, 太田雄策, 三品正明, 日野亮太・藤本博己・辻健・芦寿一郎, 2011, 海底観測および陸上観測で捉えた日本海溝のゆっくり地震, 日本測地学会第114回講演会要旨集, 47.  
Suzuki, S, Y. Ito, R. Hino, K. Saito, S. Hasegawa, K. Nissato, M. Sakanushi, 2010, New data logger for improving operation efficiency in ocean-bottom seismic observation, Abstract S13C-2039, presented at 2010 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 13-17 Dec.

(9)平成23年度実施計画の概要：

平成22年度から継続して、宮城沖の海溝陸側斜面において海底地震計、圧力計を用いた広帯域海底地殻変動観測を実施する。また、GPS-音響測距結合方式による海底測地観測も併せて実施し、日本海溝陸側斜面浅部における様々なスケールのゆっくり滑りの観測を行う。回収した地震計および圧力計の記録を解析することで、ゆっくり滑りに伴う地震動および地殻変動を検出する。特に海溝軸近傍の地殻変動の検出を目的とした海底音響測距による短基線長観測に向けた試験観測として、海底間音響装置を1~2km間隔で線上に設置し海底における水平地殻変動のモニタリング観測を宮城沖で実施する。また、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て、ゆっくり地震および固着域の時空間的ゆらぎがアスペリティへの歪蓄積過程に与える影響を評価するための数値シミュレーションを行う。

(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.geophys.tohoku.ac.jp

URL：http://www.aob.geophys.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.geophys.tohoku.ac.jp

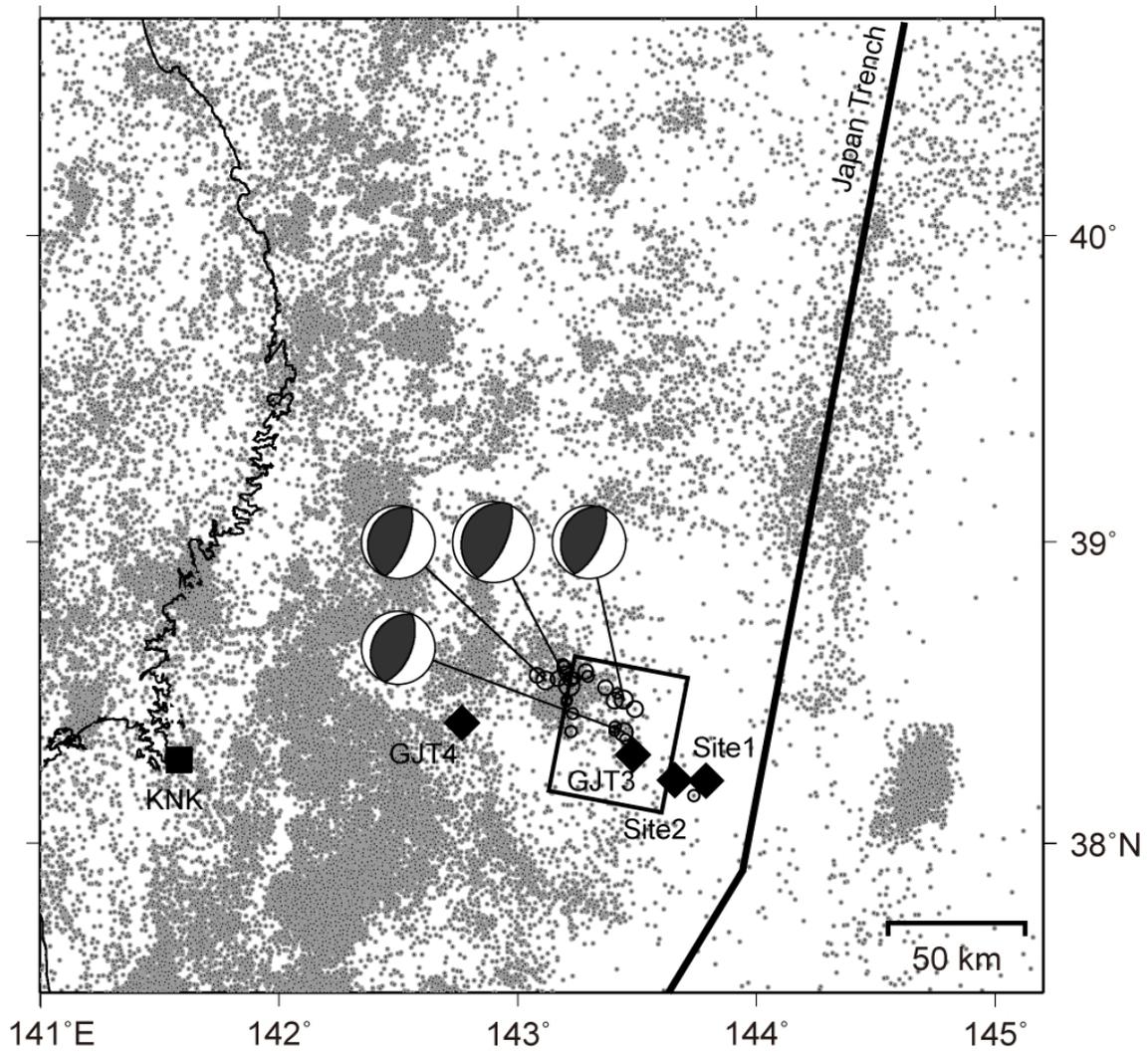


図1 . 海底地殻変動観測点（菱形），体積歪観測点（四角）および推定された断層モデルの分布図．  
 観測対象領域周辺の地震活動として気象庁一元化震源による震央を灰色の点で示す．海底および陸上で観測された地殻変動後1ヶ月以内に海底観測点周辺で発生した地震の震央を丸で示す．特に M5.5 を超える4つの地震については防災科学技術研究所 F - net により得られたモーメントテンソル解を併せて示す．

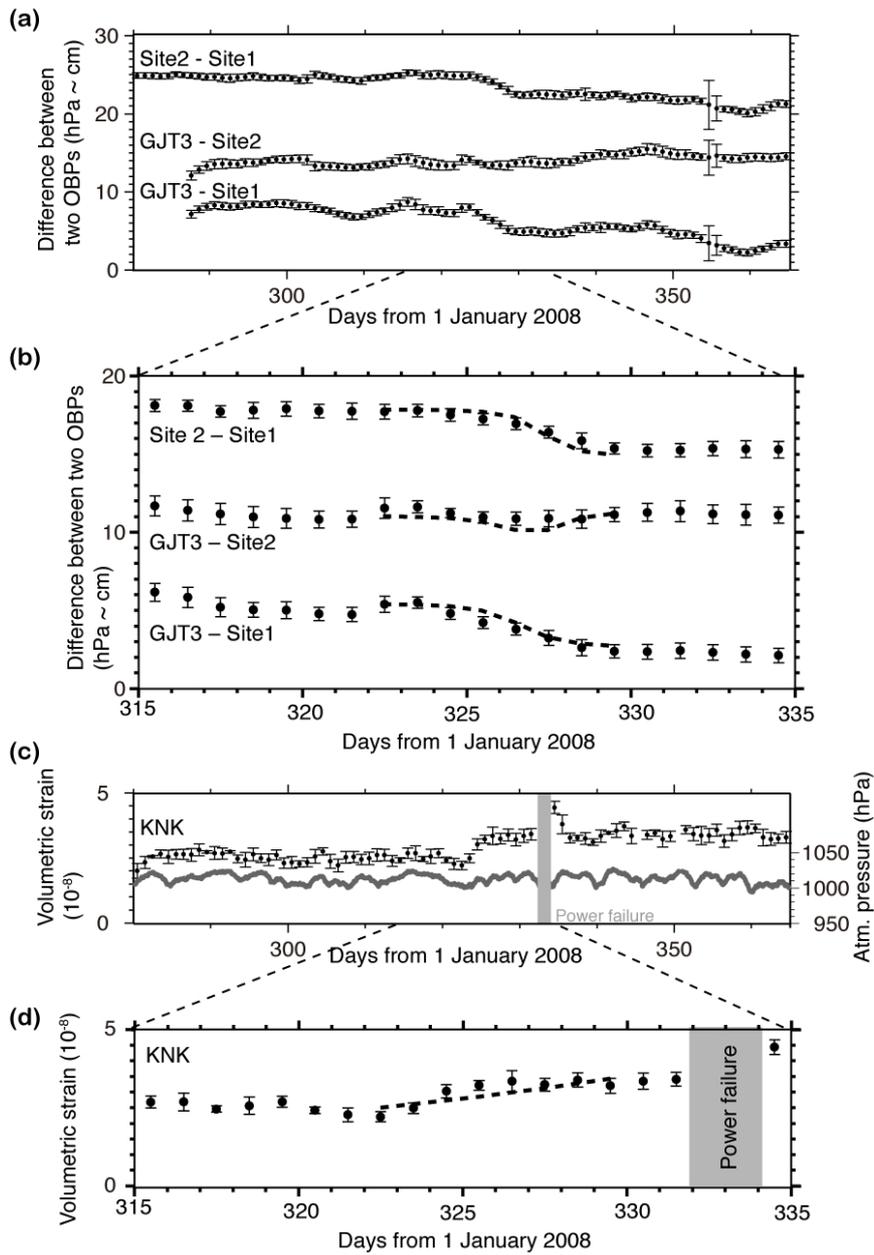


図2 . 2 観測点間の相対水深変化 [(a) と (b)] と体積歪変化 [(c) と (d)] .

それぞれ1日間の平均と標準偏差を示す．圧力計および体積歪計については機器のドリフトに伴う見かけの変動を取り除いて示す．(c)については同一地点で観測された気圧変化(灰色の線)を併せて示す．(a)と(c)に示す期間について地殻変動が観測されている期間を拡大して(b)と(d)にそれぞれ示す．推定した断層モデルから予測される圧力差変化および体積歪変化を破線で示す．

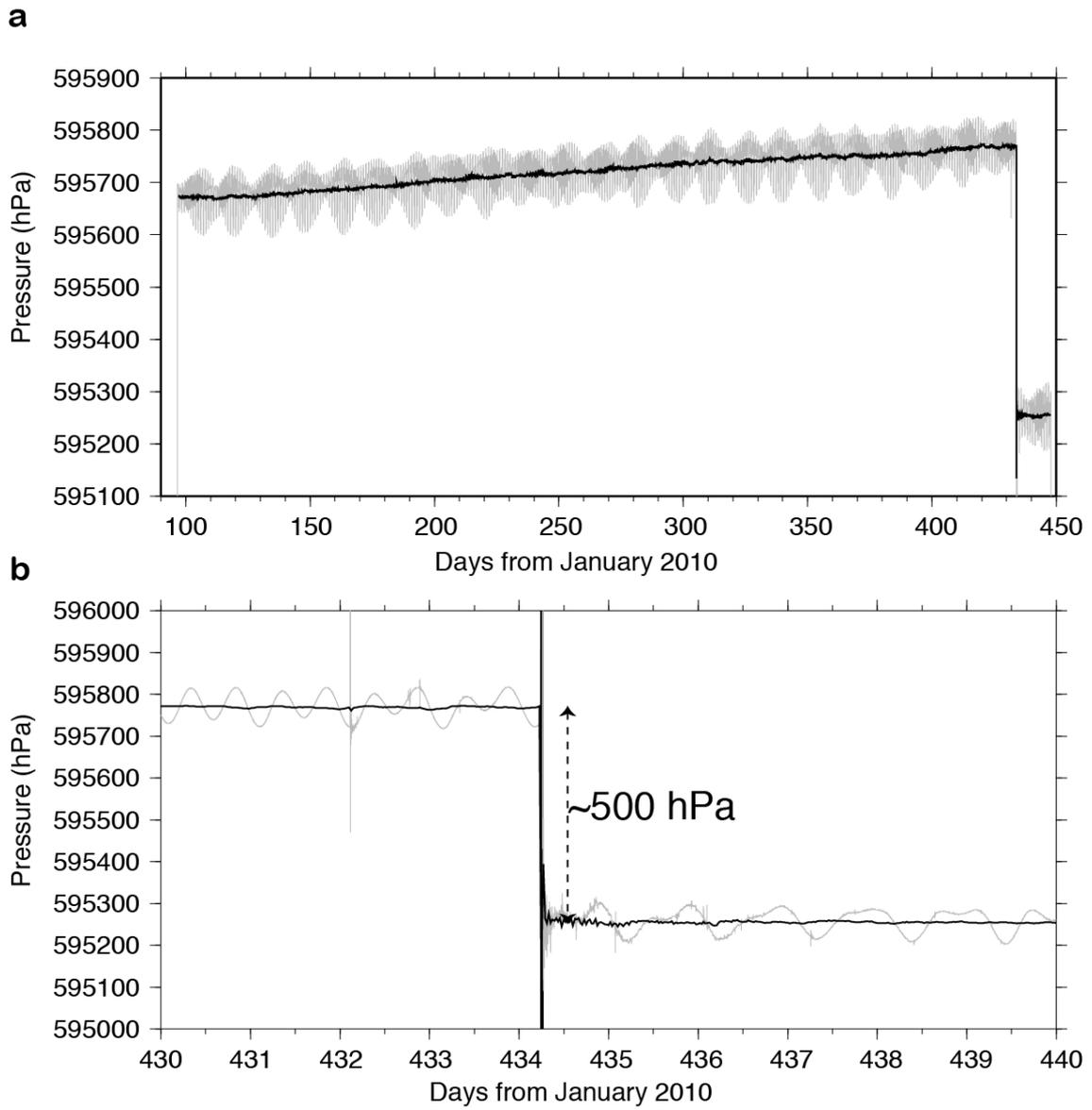


図3 . Site 1 の海底水圧計記録

a. 2010年4月から2011年3月末 . b. 2011年3月7日から2011年3月16日 . 観測機関元の観測波形記録 (灰色) では潮汐成分が卓越する . 黒線は元記録から潮汐成分を取り除いたものを示す . 時間は UT で示した .

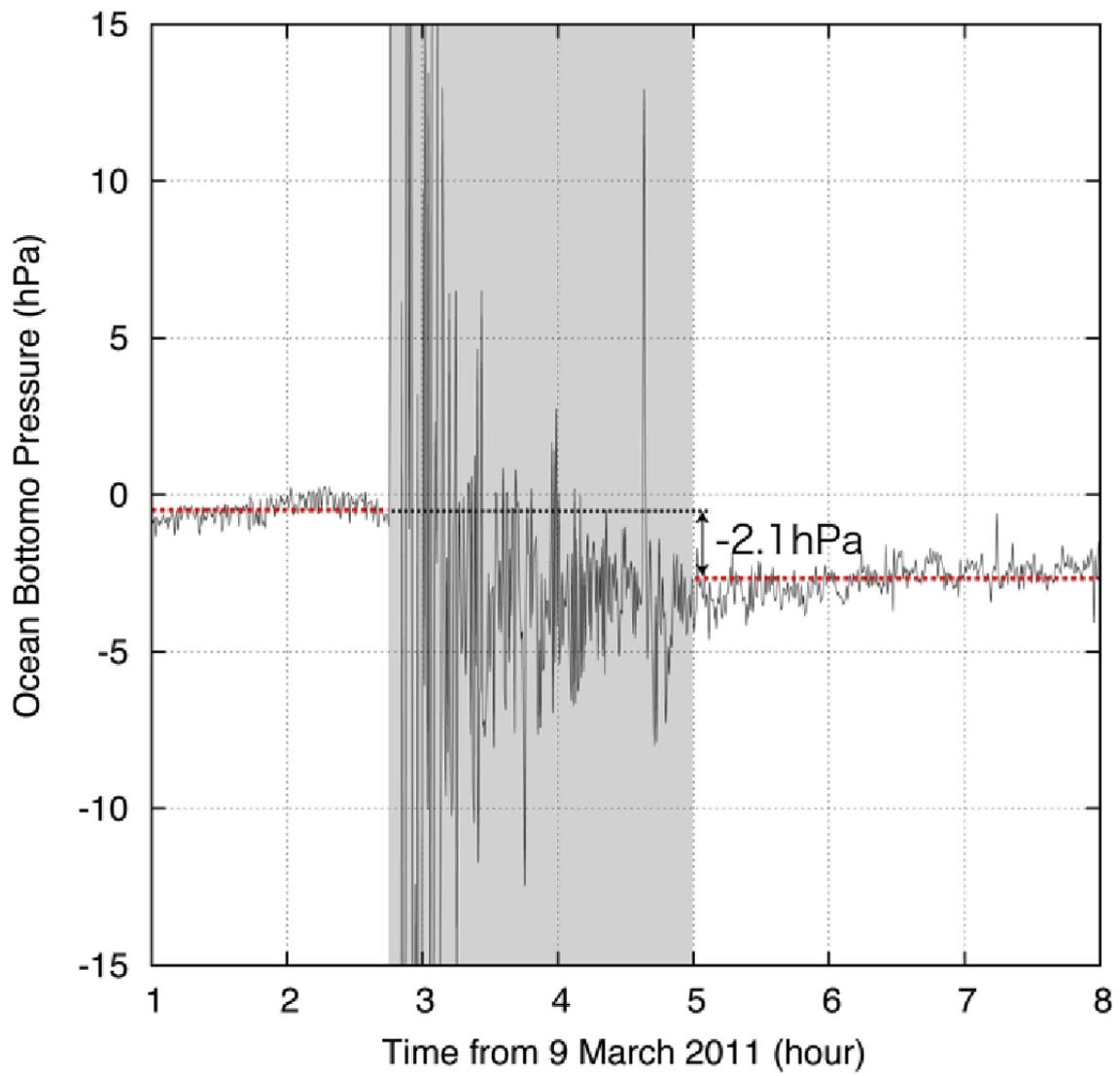


図4．前震に伴う海底圧力変化

2011年3月9日に発生した前震(M7.3)に伴うSite1の海底圧力変化を示す．約2cmの隆起が観測された．