平成25年度年次報告

課題番号：1416

（１）実施機関名：

東京大学地震研究所

（２）研究課題（または観測項目）名：

海域から陸域までの総合的調査・観測によるアスペリティの実体解明

（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

ア． アスペリテ ィの実体

（４）その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

（1） 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象

イ． 上部マントルとマグマの発生場

ウ． 広域の地殻構造と地殻流体の分布

（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

エ． スラブ内地震の発生機構

3. 新たな観測技術の開発

（1） 海底における観測技術の開発と高度化

イ． 海底地震観測技術

（５）本課題の５か年の到達目標：

本観測研究計画は

１）アスペリティの空間規模及び分布の把握

２）プレート間固着を支配する物理的過程の理解

３）プレート境界近傍で発生する地震の震源と発震機構の高精度推定

を進めることにより，アスペリティの実体を解明することが 目的である．更には，境界での滑りと固着の状態の時間的変化についても研究を行う．このために，様々な分野の観測を有機的に結合し ，研究を行う．最終的な目標であるアスペリティの実体把握のために，陸域・海域地殻変動，繰り返し 地震など を用いて，プレート 間の固着度の分布を精度良く求め，更に固着が 強い領域，弱い領域のプレート 境界付近及びこれまでに求められているアスペリティ（ 大地震震源域）の詳細な構造，地震活動，発震機構解による応力分布を求め，それらの比較検討を行う．

本観測研究計画は大きく次の５つの観測研究項目からなる．

１．大規模制御震源構造調査によるアスペリティー非アスペリティ境界域における構造不均質の解明
２．海底地震観測ネットワーク及び陸上テレメータ観測による、地震活動の解明
３．海底測地観測によるプレート固着域のマッピングと非地震性滑りの検出
４．重力及び GPS 観測によるプレート境界固着部のマッピング
５．精密地殻変動観測

（６）本課題の５か年計画の概要：

本課題の５つのテーマそれぞれについて，全年度にわたって以下の観測研究を実施する。

１．海陸プレート境界域において，大規模な制御震源地震探査を自然地震観測、海底ケーブル観測、GPS 音響測位等による地殻変動観測及び 電磁気的観測との密接な連携のもとに実施する。平成 22 年度と 25 年度に実施する。

２．構造探査域及び その周辺において，海底地震計観測網を構築し，長期にわたる地震活動の把握を行う。平成 21 年度は 、房総沖に 40 台規模の長期観測型海底地震計観測網を構築し，約 1 年間の連続海底地震観測を行う。また 、精度のよい震源決定のために 、エアガンを用いた浅部構造探査を実施する。設置した地震計は 、平成 22 年度に回収の予定である。また，日向灘沖に短期観測型海底地震計を用いた高密度観測を実施する．得られたデータにより震源決定、繰り返し 地震、低周波イベントの検出など を行い 、地殻活動の把握に努める。平成 22 年度以降も 、各年度において 、海底地震計観測網による地震活動の把握を実施する。

３．広帯域海底地震計等による繰り返し 地震観測、海底圧力計，海底傾斜計等による海底地殻変動観測を行い、アスペリティ周辺で発生する非地震性滑りを検出し，その位置を求める。平成 21 年度は 、技術開発の研究計画（ 課題番号 1431 ）と連携し 、広帯域海底地震計に 、高精度圧力計を付加し 、海底の上下変動を観測する。観測域は 、南海トラフ付近とし 、1 年程度の長期観測を開始する。平成 22 年度以降も、各年度において、２．の観測と連携しながら、海底地殻変動観測を実施する。

４．絶対・相対重力測定を 、太平洋岸５地域（ 北海道、宮城、東海、四国、九州 ）で 、年数回から２年に 1 回程度繰り返し 、重力の時空間変動を検出する。粘弾性、地球の曲率を考慮し た 、重力変動と変位のモデリング計算手法を完成させ、プレート間固着分布を得る。絶対・相対重力測定を牡鹿半島、東海地方、日向灘沿岸（ 宮崎 ）で行い 、データの蓄積を図る。平成 21 年度は 、サブダクションがもたらす変位・重力変動を、粘弾性・水平不均質な地球モデルについて計算するコード の開発に着手する。平成 22 年度は 、絶対・相対重力測定を四国（ 室戸)、東海地方、北海道の東部及び 中部の太平洋岸で行い 、データの蓄積を図り、計算コード を完成させる。平成 23 年度については 、絶対・相対重力測定を牡鹿半島、東海地方、日向灘沿岸（ 宮崎 ）で行い 、データの蓄積を図る。完成したコード を用いて 、過去の経年的な重力変動・GPS 変位データから 、宮城県沖、東海、日向灘のプレート 境界固着部のマッピングを行う。平成 24 年度については絶対・相対重力測定を四国（ 室戸)、東海地方、北海道の東部及び 中部で行い 、データの蓄積を図る。H22 年度に完成し たコード を用いて 、過去の経年的な重力変動・GPS 変位データから 、南海・東海、十勝沖・根室沖のプレート 境界固着部のマッピングを行う。平成 25 年度については 、絶対・相対重力測定を牡鹿半島、東海地方、日向灘沿岸（ 宮崎 ）で行い 、データの蓄積を図る。前年度までのすべての重力変動ならびにＧＰＳ変位データから 、プレート 固着部の時空間的な揺らぎを検出する。

５．ひずみ・傾斜の連続観測は横坑で 、引き続きデータの蓄積を行うと共に，これらのひずみ・傾斜データにより，スローイベントの検出しその特性を明らかにする。関東・東海など 地震研究所が地殻変動観測点を展開している地域を対象とする。ひずみ・傾斜の連続観測は横坑では 10 年以上、ボアホール観測でも 7 年以上の実績があり、10^{-9} あるいはそれ以上の高分解能のデータが蓄積されている。平成 21 年度以降も 、引き続きデータの蓄積を行うと共に 、これらのひずみ・傾斜データを現在国土地理院が展開している GEONET など のデータと共に解析することにより、スローイベントの検出し その特性を明らかにする。

（７）計画期間中（平成 21 年度～25 年度）の成果の概要：

本研究課題は，観測研究によるアスペリティの実体解明を目的としていた．2011 年東北地方太平洋沖地震の発生を受けて，観測研究項目１．２．３については，平成 23 年度から東北地方太平洋沖地震の研究に統合することとして，本課題では，平成 22 年度までに行った観測研究について継続することとした．

１．2010 年度に海陸プレ ート 境界域において，大規模な制御震源地震探査を他の観測との密接な連携のもとに実施する予定であったが ，本課題の一部である長期海底地震観測の観測時期，設置回収航海時期など との関係で，次年度に実施を延期することとなったが ，その後，2011 年東北地方太平洋沖地震が発生し ，この項目の観測研究は,「 海域観測による超巨大プレ ート 境界地震震源域の実体解明」において，実施することとした．

２．平成 21 年度に，房総沖に 40 台規模の長期観測型海底地震計観測網を構築し ，約 1 年間の連続海底地震観測を実施し た（ 図 1）．設置は，東京大学海洋研究所学術調査船「 白鳳丸」KH09-3 次航海により，2009 年 7 月に実施され ，地震研究所で開発された 1 年間連続観測可能な長期観測型海底地震計 40 台を用いた．また，精度のよい震源決定のために，エアガンを用いた浅部構造探査を設置直後に実施した．制御震源として総容量 100 リットルのエアガンを用いた．設置した海底地震計は，2010 年は，10 月に本研究計画による用船航海により，全台回収した．

さらに 2010 年 10 月に，茨城沖海域にて，1 年間の長期海域地震観測のための長期観測型海底地震計 24 台を設置し ，観測を開始し た．2011 年 2 月には,「 白鳳丸」航海により，10 台の長期観測型海底地震計を追加設置し ，観測網の拡大を行った（ 図２ ）．さらに同海域において短期観測型海底地震計および ハイド ロホン・スト リーマーを用いて，エアガンを人工震源とし た海域構造調査を実施し た．この長期海底地震観測は，海底地震計の設置間隔を，約 7km と従来の観測のほぼ 1/3 とし ，高精度な観測を実施することが特徴である．設置後に，2011 年東北地方太平洋沖地震が発生し ，本震前，本震および 本震後の記録を得ることができた．陸上地震観測網や地殻変動解析から得られた本震断層滑り量分布によると，本観測域は本震断層域の南端部に，また本震発生 30 分後に発生した最大余震震源域の東端に位置している．本震直後から最大余震，さらに最大余震後の地震活動およびその分布について，バックプ ロジェクション法によって解析を行った．その結果，本震発生直後から最大余震までよりも，最大余震後に本震南端部での活動が 活発になり，またそれらに地震は最大余震滑り域の浅部に位置する，沈み込んでいる海山の前縁部に集中して発生していることがわかった（図３）．

３．2009 年から，技術開発の研究計画（ 課題番号 1431 ）により開発された高精度圧力計付き広帯域海底地震計を用いた海底の上下変動観測を南海トラフ紀伊水道にて開始し た．これは従来の広帯域海底地震計に，高精度水圧計を付加することにより，より広い周波数帯域での観測が 行えるようにし たものである．南海トラフ紀伊水道にて，1 年ご とに回収・再設置を繰り返し ，平成 25 年 1 月をもって観測を終了し た（ 図４ ）． 2011 年東北地方太平洋沖地震発生後の平成 23 年 3 月 28 日から 4 月 3 日にかけて四国沖（ 室戸沖）の海域で超低周波地震活動が 発生し た事が 報告されている．広帯域海底地震計で得られた平成 23 年 3 月 31 日の地震記録を見ると，短周期領域の地震記録には東北地方太平洋沖地震の余震と考えられる通常の地震波形が 見られるが ，長周期領域の地震記録には，表面波による地動の他に，超低周波地震によると考えられる低周波イベントが 数多く記録されており，断続的に低周波イベントの活動が 発生し ている事がわかった（ 図５ ）．また，東北沖での観測研究は,「 海域観測による超巨大プレート境界地震震源域の実体解明」において，実施することとした．

４．サブダ クション・ゾーン 陸側の長期的な重力変動をとらえるために，沖縄～北海道太平洋岸の６地域（ 北海道東部，えりも，三陸，東海，四国南部，日向灘 ）で，毎年 1 回程度の頻度で絶対重力測定及び 相対重力測定を繰り返し た（ 図６ ）．これに加えて，長期的スロースリップ ・イベント（ SSE ）が 半年ご とに繰り返される西表・石垣島で，重力の連日観測を行った．これらの地域の重力の経年変化には，沈み込む海洋プレ ートと陸側プレ ートの固着の度合いが反映されていることが見いだされた．たとえば，観測期間中に巨大地震も SSE も生じ ていないサブダ クション・ゾーンの場合，重力は定常的かつ単調な変化を示すことが，御前崎（東海）や厚岸（北海道東部）での観測から明らかになった

（図7）．これに対して，顕著な SSE が生じた地域では，定常的で単調な重力変化の傾向から，観測誤差（１マイクロガル程度）を超える異常な重力変化が生じることを見出した（図8）．例えば，西表島では観測開始後，２回のスロースリップ・イベント（平成２４年5-6月，平成２４年１２月末-平成２５年1月）が発生したが，二度のスロースリップ期間中とも４～８マイクロガルの重力減少が見られる．また，宮崎においても，豊後水道のスロースリップ・イベント（平成２１ 年7月－平成２２年１０月）時に，１０マイクロガル程度の重力減少を検出した．SSE が終了すると，異常重力値は解消され， 蓄積しないという特徴も認められる．これらの重力変動は，Tanaka et al. (2010) が東海地方で見出した現象と同じであり，スロースリップ時に高圧間隙水の拡散がおきている可能性を示唆する結果である．

東北地方においては，２０１１年東北地方太平洋沖地震により，絶対重力観測を毎年行っていた女川観測点が使用不能となったため，定常的な観測は中断を余儀なくされた．そのかわりに新たに，仙台・八戸・有珠の絶対重力点を基点として，福島北部～北海道南部までの約３０点で精密相対重力測定を年 1 回の頻度で繰り返した．それにより，地震後２年間の重力の余効変動を検出することができた（図9）．測定誤差を有意に超える余効変動（±２０マイクロガル）が，北海道南西部～東北地方に見出される．コサイスミックな変動としては，震源域近傍の牡鹿半島～仙台に１００マイクロガルの変化が局在していたのに対し，余効変動の振幅は，地震時変動の３０～４０%と小さくなっているものの，２０マイクロガルを超える陸上変動領域は，地震時変動のそれよりも広がっている．これは，地震断層の延長上でのアフタースリップの影響や，地球を構成する物質がもつ粘性によって，地震時に生じた変形が徐々に周囲に広がってくる効果（粘弾性変形）を見ている可能性がある．粘弾性緩和による と思われる長波長の変動が考えられたため，平成 25 年には震源域からの距離がなるべく遠い秋田・山形県等の日本海側にも観測網を拡大した．今後の時間変動を追跡すれば，アフタースリップと粘弾性緩和効果の分離が可能となり，深部の粘性構造を推定できるものと期待される．

５．当初計画策定後に担当者の異動により，本項目については，実施しないこととした．

（８）平成 25 年度の成果に関連の深いもので、平成 25 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

Fujie, G., S. Miura, S. Kodaira, Y. Kaneda, M. Shinohara, K., Mochizuki, T. Kanazawa, Y. Murai, R. Hino, T. Sato, and K. Uehira, Along-trench structural variation and seismic coupling in the northern Japan trench subduction zone, Earth Planets Space, 65(2), 75-83, doi:10.5047/eps.2012.06.003, 2013.

Tanaka, Y., Y. Imanishi, S. Okubo, K. Nawa, Y. Tamura, T. Miyaji, H. Ikeda, S. Okamura, T. Miyazaki, M. Nakamura, Gravity changes observed during the long-term slow slip events along the Ryukyu Trench in May 2012 and December 2012, 2013 American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco (USA), Dec. 9-13 (poster presented on Dec. 12), 2013.

田中愛幸・岡村盛司・宮崎隆幸・風間卓仁・名和一成・今西祐一・大久保修平・中村衛, ２０１２年５月と１２月の琉球弧の長期的スロースリップに伴う絶対重力変化, 日本地球惑星科学連合 2013 年度連合大会, 幕張市, May 19-24, 2013.

国土地理院・東京大学地震研究所, 2013, 御前崎における絶対重力変化, 地震予知連絡会会報, 90, 295.

国土地理院・東京大学地震研究所, 2013, 御前崎における絶対重力変化, 地震予知連絡会会報, 89, 220

Nakahigashi, K., M. Shinohara, T. Yamada, K. Uehira, K. Mochizuki, and T. Kanazawa, Seismic structure of the extended continental crust in the Yamato Basin, Japan Sea, from ocean bottom seismometer survey, J. Asian Earth Sci., 67-68, 199-206, 2013

Yamamoto Y, K Obana, S. Kodaira, R. Hino, amd M. Shinohara, Structural heterogeneities around the megathrust zone of the 2011 Tohoku earthquake from tomographic inversion of onshore and offshore seismic observations, J. Geophys. Res., 2014, in press

Akuhara, T., K. Mochizuki, K. Nakahigashi, T. Yamada, M. Shinohara, S. Sakai, T. Kanazawa, K. Uehira, H. Shimizu, Segmentation of Vp/Vs ratio and low frequency earthquake distribution around the fault boundary of the Tonankai and Nankai earthquakes, Geophys. Res. Lett., 40, 1306-1310, doi: 10.1002/grl.50223, 2013.

（9）実施機関の参加者氏名または部署等名：

１．篠原雅尚・金沢敏彦・望月公廣・山田知朗

２．篠原雅尚・金沢敏彦・篠原雅尚・望月公廣・山田知朗

３．篠原雅尚・塩原肇・金沢敏彦・篠原雅尚・望月公廣・山田知朗

４．大久保修平・加藤照之・孫文科

５．佐野修

他機関との共同研究の有無：有

１．北海道大学（村井芳夫）、東北大学（日野亮太・伊藤喜宏）、九州大学（植平賢司）、鹿児島大学（八木原寛）、千葉大学（佐藤利典）

２．北海道大学（村井芳夫）、東北大学（日野亮太・伊藤喜宏）、九州大学（植平賢司）、鹿児島大学（八木原寛）、千葉大学（佐藤利典）

３．北海道大学（村井芳夫）、東北大学（日野亮太・伊藤喜宏）、九州大学（植平賢司）、鹿児島大学（八木原寛）、千葉大学（佐藤利典）

（10）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：東京大学地震研究所　地震予知研究推進センター

電話：03-5841-5712

e-mail：yotik@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/index-j.html

（11）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：篠原雅尚

所属：東京大学地震研究所　地震地殻変動観測センター

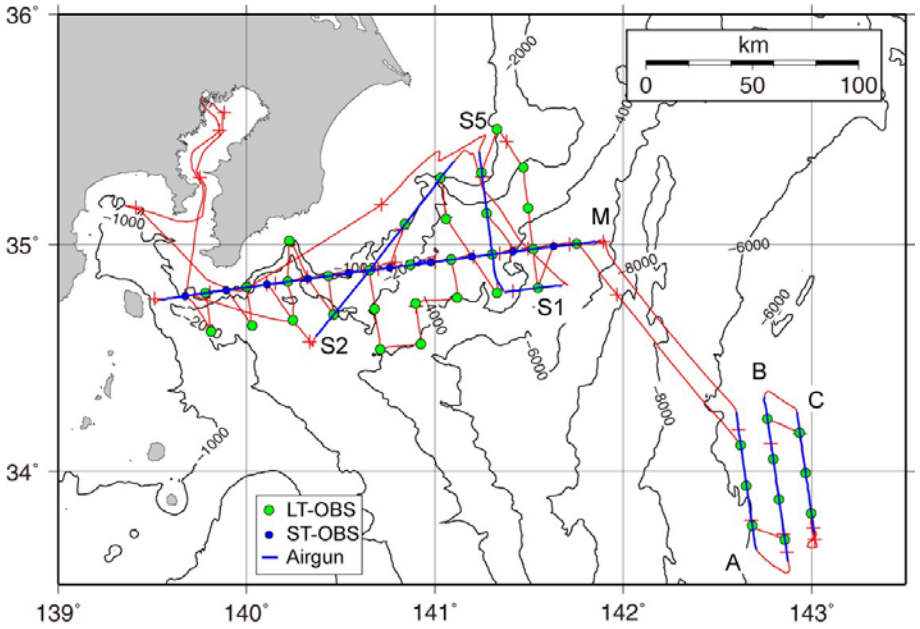


図 1

房総沖に展開した 40 台の長期観測型海底地震計の設置位置．浅部構造探査のための 10 台の短期海底地震計の位置とエアガン発震測線の位置も併せて示す．長期観測型海底地震計は，2010 年に回収された．

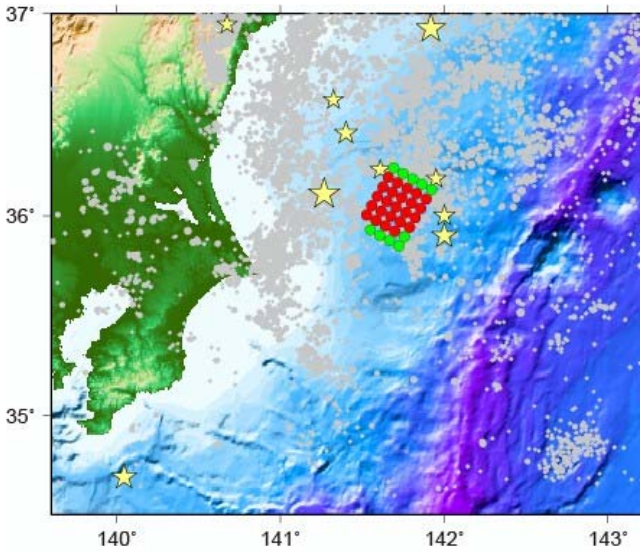


図２

2010 年に茨城沖に設置し た 34 台の長期観測型海底地震計の設置位置．茨城沖に設置された長期観測型海底地震計は，2011 年に回収された．星は，1923 年以降の M7 よりも大きい地震の震央，点は 2010 年 1 年間に発生し た M1.5 より大きい地震の震央を示す．

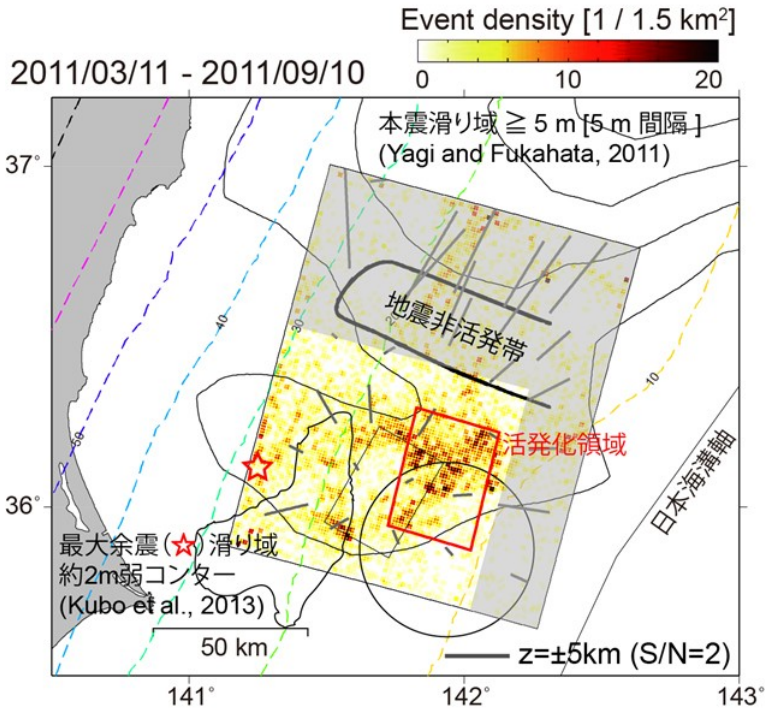


図３

茨城沖における東北地方太平洋沖地震発生後の地震活動度．図中のカラーイメージは，1.5 km 四方の小領域における地震発生個数を表し たもの．カラーの点線は沈み込む太平洋プレ ート 上面の震度を表す．黒実線によるコンターは，陸上観測点によって決められた滑り域を示し ，北側が本震の，西側が最大余震のものを示す．黒丸が沈み込んだ海山の領域を示し ，赤枠で囲った領域で最大余震後に地震が 活発化し た．灰色の実線は震央の決定精度の程度を表したもの．

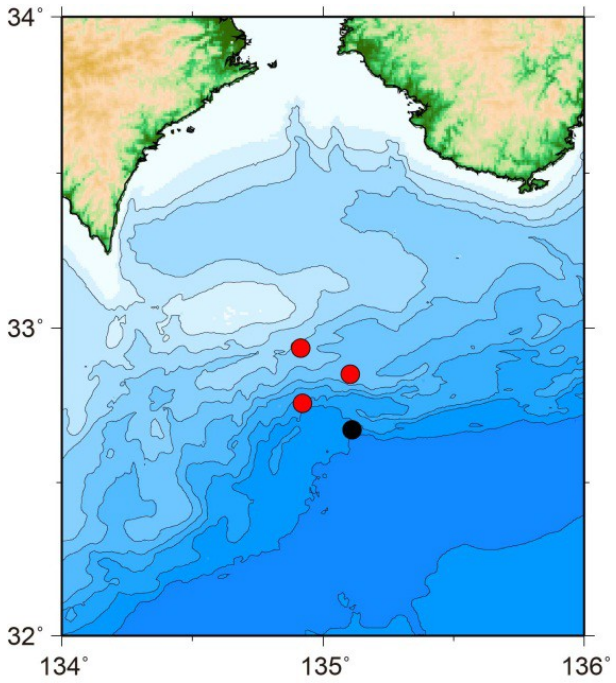
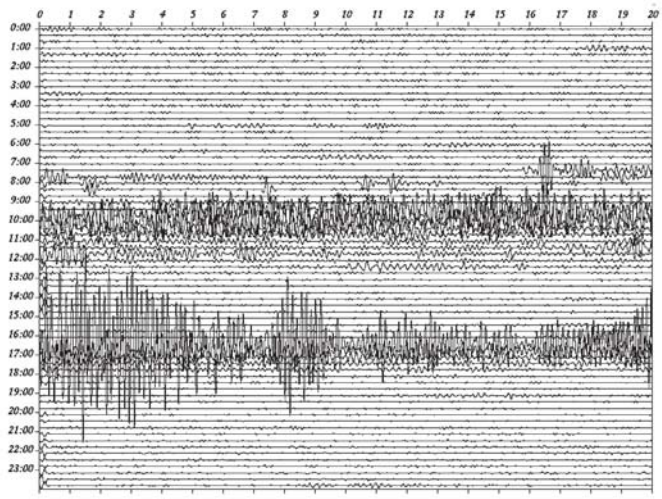


図 4

平成 24 年度に実施した東南海・南海地域での海底地震計観測の観測点位置



.

図５

広帯域海底地震計の長周期記録．平成２３年３月３１日の１日分の記録．１０～１００秒のバンドパスフィルターを施してある．特に，５時から１２時にかけて断続的に低周波イベントが記録されているのがわかる．

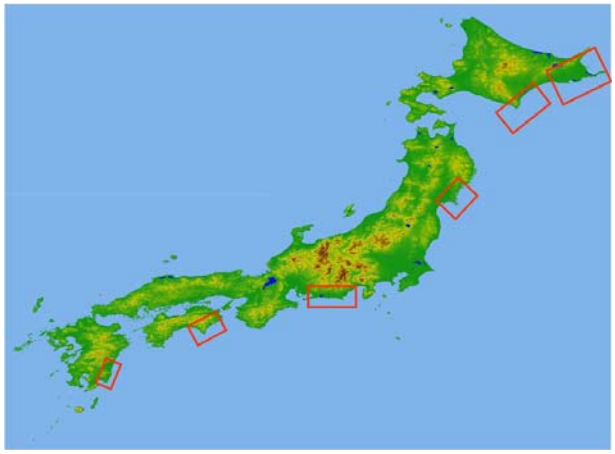


図６
サブダ クションゾーン陸側での絶対重力観測地域

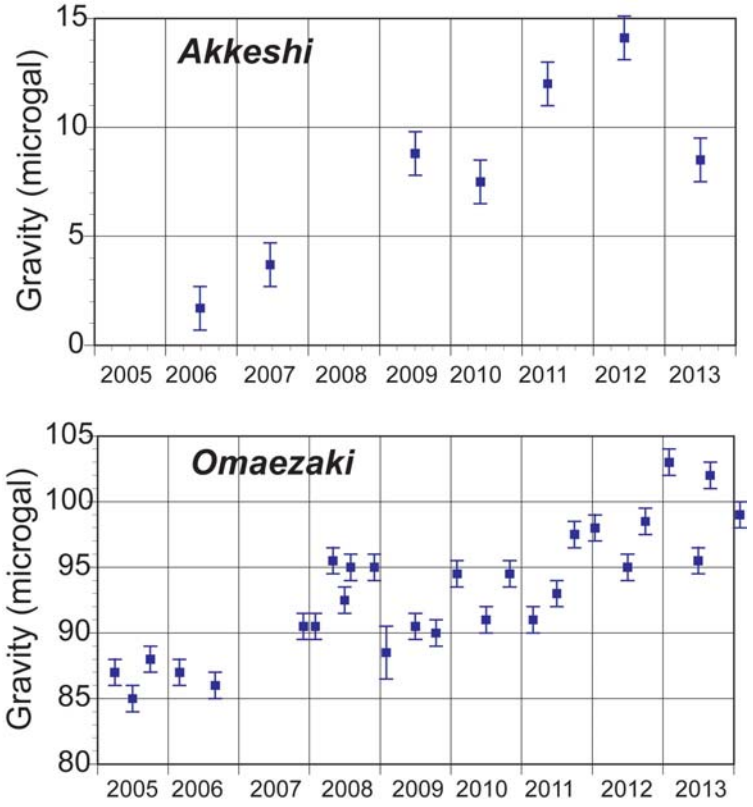


図７
スロースリップ も巨大地震も発生し ない時期の，サブダ クション・陸側の重力変動．概ね，定常的かつ単調な重力変化がみられる．(上 ）北海道東部太平洋岸・厚岸町の重力変化．　（ 下 ）東海地方太平洋岸・御前崎の重力変化（国土地理院との共同観測）．

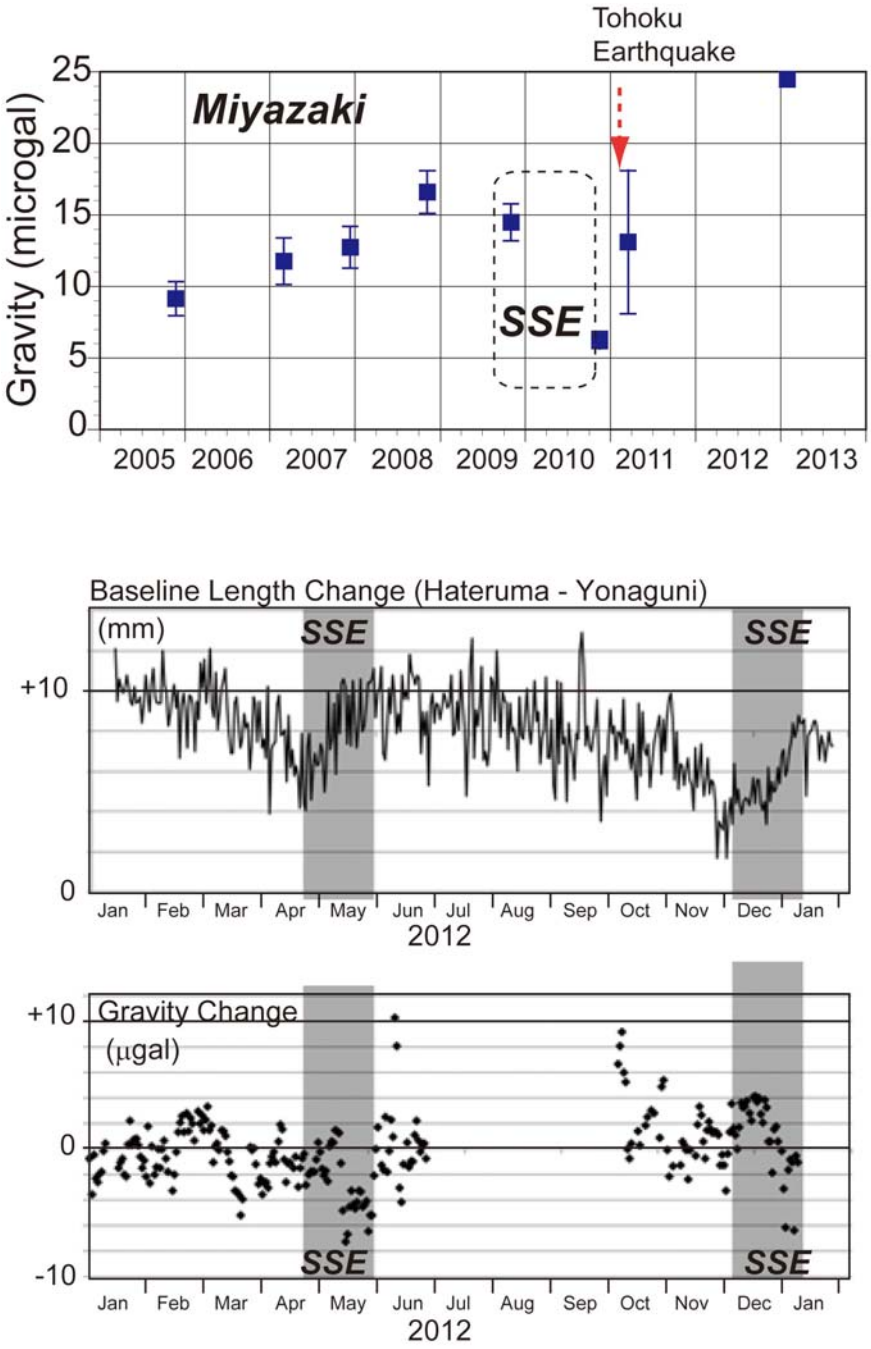


図８
長期的スロースリップ・イベント（ SSE) が発生する時期の，サブダ クション・陸側の重力変動．SSE の期間には，定常的な重力から大きく逸脱した重力値が観測された．(上 ）日向灘・宮崎市の重力変化．　（ 中・下 ）南西諸島・西表島の地殻変動と重力変化.

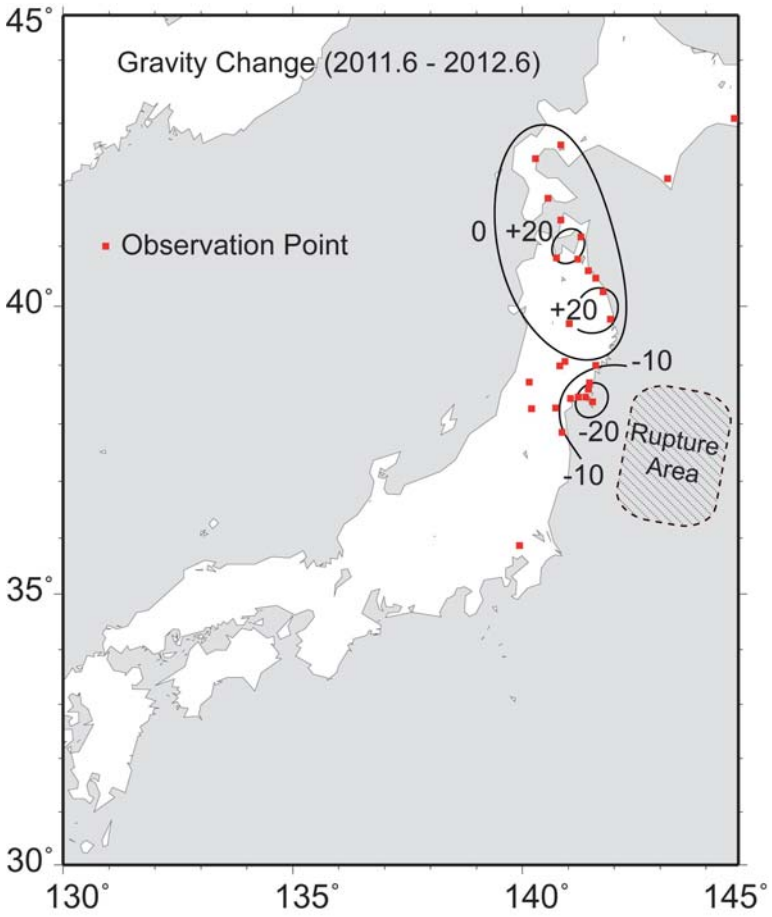


図９
東北地方太平洋沖地震にともなう重力の余効変動．単位はマイクロガル．