

(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变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ー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氣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、アスペリティー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) 平成 24 年度成果の概要:

1. 日本海溝陸側斜面下では、東北地方太平洋沖地震発生前に多くの地殻構造探査実験が行われている。そこで、東北地方太平洋沖地震の余震分布をそれらの観測の結果と比較した。宮城県沖では、2006年に、今回の本震付近を横切る構造探査が行われており、詳細なプレート境界の位置などが求められている。その構造断面に今回の余震を重ねたものを図1に示す。本震付近では、余震活動は低調であるが、その数少ない余震のほとんどは、陸側プレート内で発生しており、震源断層であるプレート境界で、発生している余震はほとんどない。沈み込む海洋プレートは、深さ 25km 付近で沈み込み角が大きくなるが、余震域の端がこの折れ曲がり点と一致している。

福島県沖から千葉県房総半島沖の震源域南部では、海溝軸に平行な測線による構造探査が行われており、詳細な構造が求められている。この構造断面に、測線からの水平距離が 10km 以内の余震を投影した(図1)。この領域では、日本列島の陸側プレートと太平洋プレートの境界は、深さ 20km 程度に存在する。さらに、南部では、日本列島の下に沈み込む太平洋プレートに、南から日本列島の下に沈み込むフィリピン海プレートが接触していることが推定されている。プレート境界付近の余震発生域の南限は、本震時の他のデータから推定されている震源域南限と一致しており、本震時の破壊がこのあたりで停止したことが推定されている。一方、この破壊停止した位置は、茨城県沖の太平洋プレートとフィリピン海プレートが接触している領域に一致している。

2. 平成 22 年度に、茨城沖海域に、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 34 台を 10 月に設置し、観測を行った。設置時には、短期観測型海底地震計を追加設置し、エアガンによる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、高精度な震源分布を求めることが特徴である。この高密度観測網で観測中に 2011 年東北地方太平洋沖地震が発生し、本震及びその余震が観測された。設置された長期観測型海底地震計は、平成 23 年 10 月までに 31 台が回収された。

2011 年東北地方太平洋沖地震において、破壊開始点や初期の破壊伝播過程を求めるために、この観測網のデータは有効である。また、本震前後での地震活動の時空間変化を高い解像度で明らかにできる。まず、本震前から茨城沖に設置されていた 31 台の OBS アレイデータに対し、back-projection 法を適用することで、本震の初期破壊領域の推定を試みている。最初に、海域構造探査と日本列島下のトモグラフィー結果をもとに、東北沖の三次元速度構造モデルを構築した。この際、P 波速度は水平 10km、鉛直 5km のグリッドに与えた。得られた速度構造モデルを基に観測点までの理論走時を計算し、余震観測により得られた精度の良い余震データを参照することで、これを改良した。その後、アレイに到来する見かけスローネスベクトルの解像度を確認するため、アレイレスポンス関数を計算し、適切なフィルターを選択した。最後にセンブランス解析を行うことで、本震の初期破壊領域の推定を行っている。

3. 平成 21 年度から、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。平成 24 年度は、平成 23 年度に引き続き、沈み込む海山の存在が指摘されている紀伊水道沖の海域で、2 台の高精度水圧計搭載型広帯域地震計と 2 台の長期観測型海底地震計を用いた観測を継続し、平成 25 年 1 月に回収し、観測を終了した(図2)。回収した地震計・圧力計データは現在解析中である。また、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分かった(図3)。今後水圧計の記録との比較など、更に解析を

進めていく予定である。

4. サブダクション・ゾーン陸側の長期的な重力変動を捉えるために、沖縄～北海道太平洋岸の8地域（北海道道東部、えりも、北海道南部、三陸、東海、日向、琉球）で、絶対重力測定を行った（図4）。これに加えて、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20点で精密相対重力測定を実施した。これらの絶対および相対重力点は、前年度もしくは前々年度の計画に基づく観測によって、地震前の重力値が既知であるので、東北地方太平洋沖地震による余効変動量を求めることができた（図5）。測定誤差を有意に超える余効変動（ $\pm 20 \sim 40$ マイクロガル）が、北海道南西部～東北地方に見出される。コサイスマ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）が見えている可能性がある。2つの効果を分離するには、まだデータ不足であるが、今後の時間変動を追跡すれば、その分離も可能となるであろう。

琉球弧の西表島で約半年ごとに発生するスロースリップに、地殻内流体がどのように関与しているかを調べるために、絶対重力連続観測を継続した。観測開始後、2回のスロースリップ・イベント（2012年5-6月、2012年12月末-2013年1月）が発生したが、二度のスロースリップ期間中とも約4マイクロガルの減少が見られる（図6）。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起きている可能性が示唆される。

(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）：

Azuma, R., Y. Murai, K. Katsumata, Y. Nishimura, T. Yamada, K. Mochizuki, and M. Shinohara, Was the 1952 Tokachi-oki earthquake ($M_w = 8.1$) a typical underthrust earthquake?: Plate interface reflectivity measurement by an airgun-ocean bottom seismometer experiment in the Kuril Trench, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 13, Q08015, 9 PP., doi:10.1029/2012GC004135, 2012.

古賀祥子・伊藤喜宏・日野亮太・篠原雅尚・海野徳仁、日本海溝周辺における太平洋プレート内の地震発生機構、*地震* 2、64, 75-90, 2012.

国土地理院・東京大学地震研究所、御前崎における絶対重力変化、196回地震予知連絡会、2012.

国土地理院・東京大学地震研究所、御前崎における絶対重力変化、197回地震予知連絡会、2012.

国土地理院・東京大学地震研究所、御前崎における絶対重力変化、198回地震予知連絡会、2013.

Nakahigashi, K., M. Shinohara, K. Mochizuki, T. Yamada, R. Hino, T. Sato, K. Uehira, Y. Ito, Y. Murai, and T. Kanazawa, P-wave velocity structure in the southernmost source region of the 2011 Tohoku earthquakes, off the Boso Peninsula deduced by an ocean bottom seismographic survey, *Earth Planets Space*, 64, 1149-1156, 2012.

Obana, K., G. Fujie, T. Takahashi, Y. Yamamoto, Y. Nakamura, S. Kodaira, N. Takahashi, Y. Kaneda, and M. Shinohara, Normal-faulting earthquakes beneath the outer slope of the Japan Trench after the 2011 Tohoku earthquake: Implications for the stress regime in the incoming Pacific plate, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L00G25, doi:10.1029/2011GL050399, 2012.

大久保修平、2012、ナノで見た日本列島の重力変化—東北地方太平洋沖地震の影響、*地震ジャーナル*, 54, 24-25.

大久保修平・張新林・田中愛幸・今西祐一・植木貞人・大島弘光・前川徳光、2012、2011年東北地方太平洋沖地震で生じた地上重力の余効変動、*日本測地学会第118回講演会要旨集*, 43-44.

Shinohara, M., Y. Machida, T. Yamada, K. Nakahigashi, T. Shinbo, K. Mochizuki, Y. Murai, R. Hino, Y. Ito, T. Sato, H. Shiobara, K. Uehira, H. Yakiwara, K. Obana, N. Takahashi, S. Kodaira, K. Hirata, H. Tsushima, and T. Iwasaki, Precise aftershock distribution of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku

- earthquake revealed by ocean bottom seismometer network, Earth Planets Space, 64, 1137-1148, 2012.
- Sugioka, H., T. Okamoto, T. Nakamura, Y. Ishihara, A. Ito, K. Obana, M. Kinoshita, K. Nakahigashi, M. Shinohara and Y. Fukao, Tsunamigenic potential of the shallow subduction plate boundary inferred from slow seismic slip, Nature Geoscience, doi: 10.1038/NGEO1466, 2012.
- Suzuki, K., R. Hino, Y. Ito, Y. Yamamoto, S. Suzuki, H. Fujimoto, M. Shinohara, M. Abe, Y. Kawaharada, Y. Hasegawa, and Y. Kaneda, Seismicity near the hypocenter of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake deduced by using ocean bottom seismographic data, Earth Planets Space, 64, 1125-1135, 2012.
- 田中愛幸・岡村盛司・宮崎隆幸・名和一成・今西祐一・大久保修平・中村衛, 長期的スロースリップの発生時に観測された絶対重力変化, 日本測地学会第118回講演会要旨集, 31-32.
- 田中愛幸・今西祐一・大久保修平・名和一成・田村良明・宮地竹史・池田博・岡村盛司・宮崎隆幸・中村衛, 2012年5月の琉球弧の長期的スロースリップとその前後に観測された重力変化, 日本地震学会2012年秋季講演会予稿集, 200.

(9) 平成25年度実施計画の概要:

北海道～東海～四国の太平洋岸での絶対重力測定を繰り返し、長期的変動を見出す。また、東北地方太平洋沖地震後の余効重力変動を追跡するための、絶対重力観測を前年度と同様に繰り返す。さらに、西表島・石垣島での絶対重力連続観測を継続し、スロースリップに伴う重力変動の実例を蓄積する。

(10) 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)

(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>

(12) 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

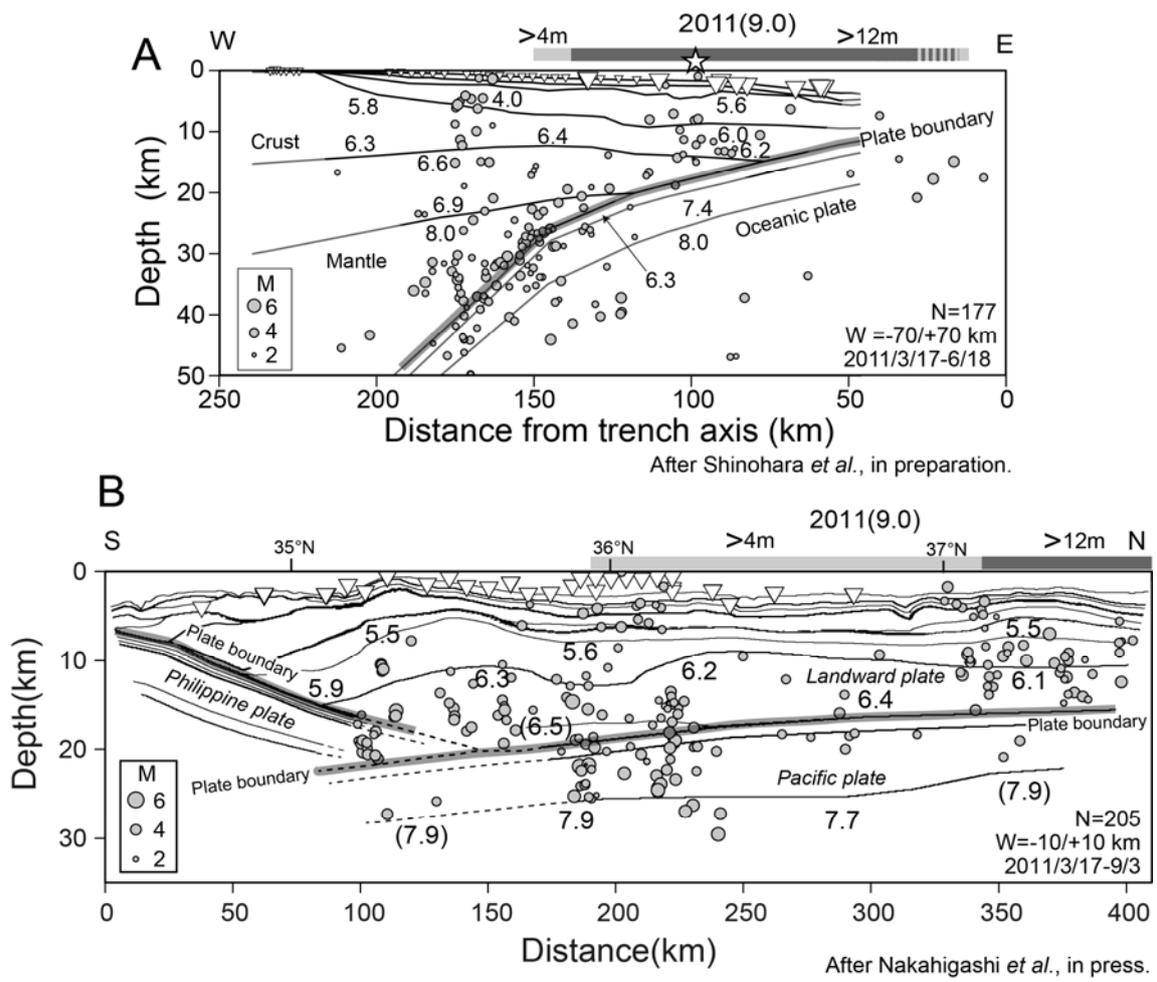


図 1

過去の速度構造探査実験による速度構造断面と余震位置との比較。細線は速度境界、灰色太線はプレート境界を示す。A：宮城県沖の海溝に直交する測線、B：福島県沖から千葉県房総半島沖にいたる海溝に平行な測線。

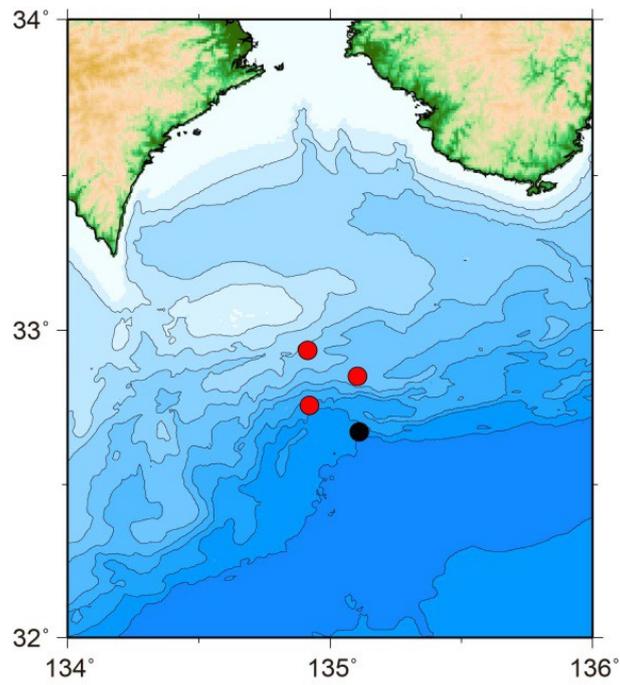


図2
平成24年度に実施した東南海・南海地域での海底地震計観測の観測点位置。

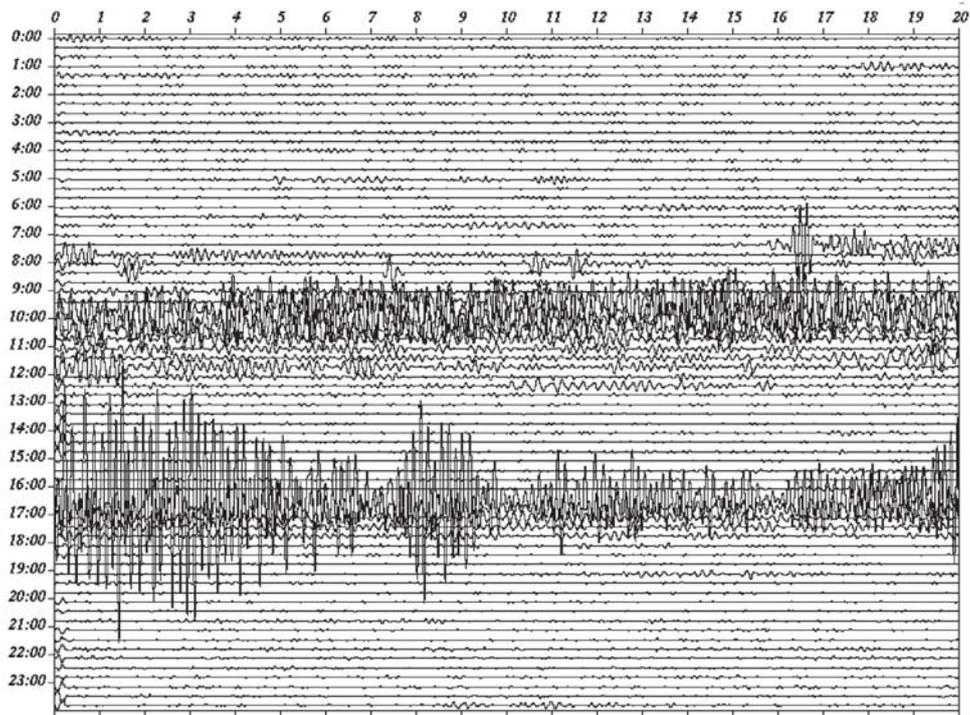


図3
広帯域海底地震計の長周期記録。平成23年3月31日の1日分の記録。10~100秒のバンドパスフィルターを施してある。特に、5時から12時にかけて断続的に低周波イベントが記録されているのがわかる。

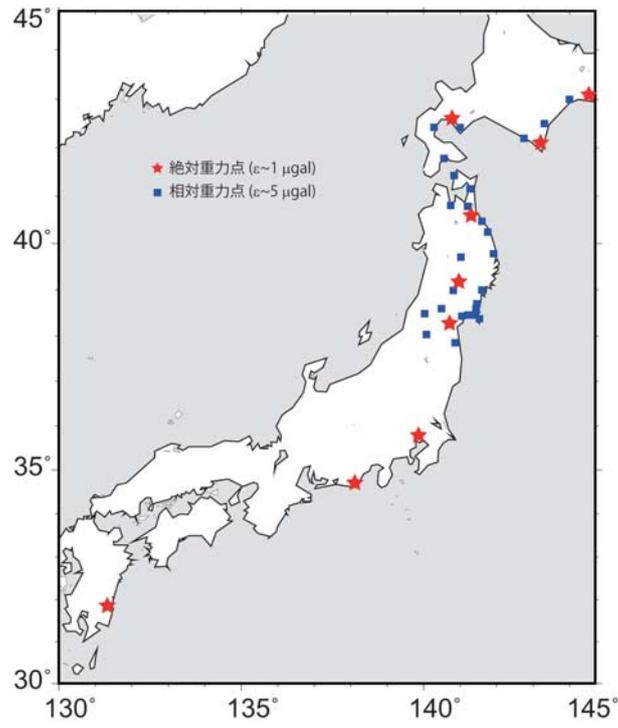


図4
ハイブリッド重力測定点分布。

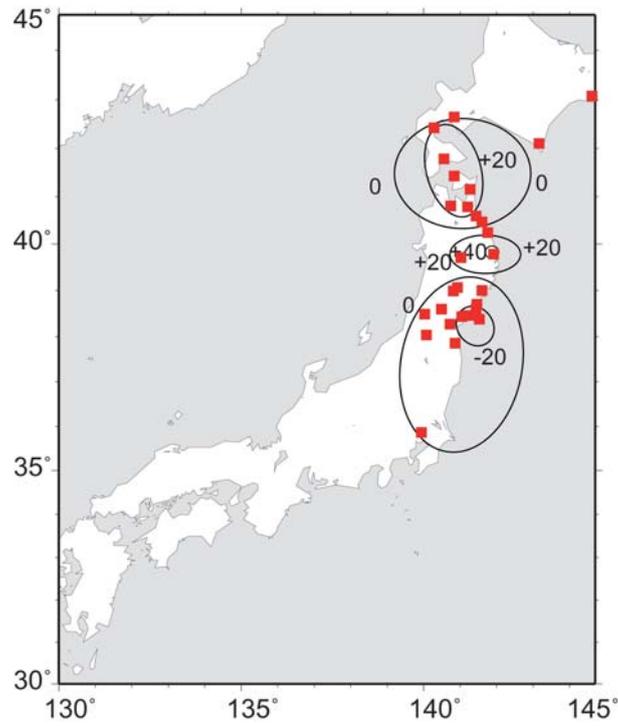


図5
東北地方太平洋沖地震の余効的重力変化（2011年6月～2012年7月）。単位はマイクロガル。

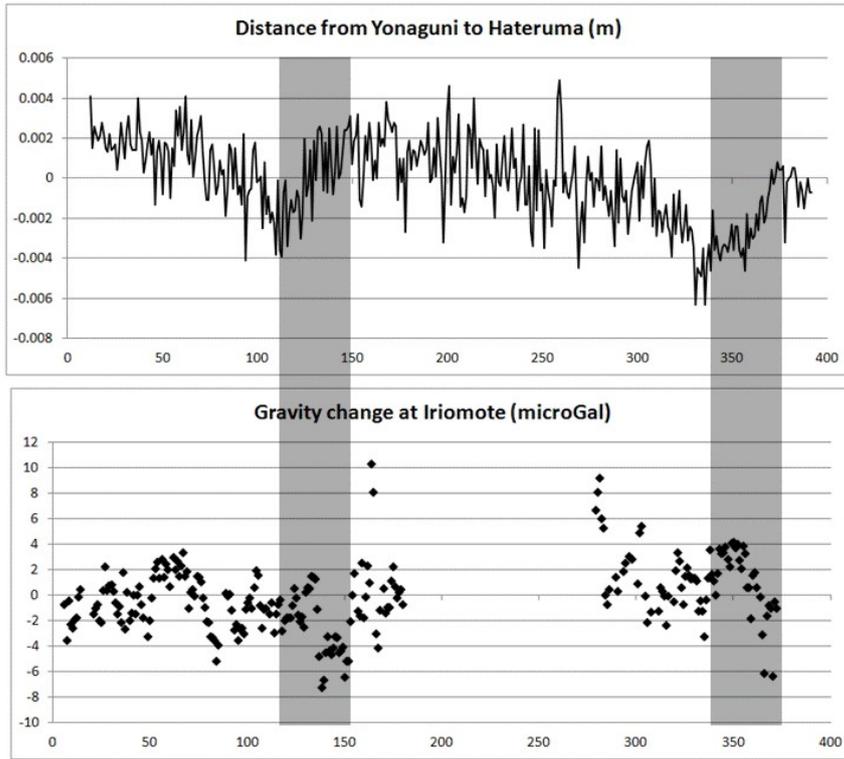


図6

琉球弧スロースリップと重力変化の対応。 上段：与那国島～波照間島の GPS 斜距離変化。下段：西表島における絶対重力変化。グレーのハッチは、スロースリップの生じた時期を示す。