

(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：

海域観測による超巨大プレート境界地震震源域の実体解明

(3) 最も関連の深い建議の項目：

5. 超巨大地震に関する当面実施すべき観測研究の推進

(1) 超巨大地震とそれに起因する現象の解明のための観測研究

イ．超巨大地震の発生とその前後の過程の解明

(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

ア．アスペリティの実体

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：

平成 23 年東北地方太平洋沖地震は、従来考えられていたアスペリティの空間的広がりを遙かに超えた震源域を持っている。また、超巨大地震発生により、プレート境界域および、その周辺において、地震発生前から応力状態が大きく変化し、地殻活動に変化が生じたことが推定される。超巨大地震の発生様式を考える上において、従来考えられていたアスペリティの広がりを超える震源域の実体を明らかにすることは、震源過程の解明のために、また、発生後の地殻活動を明らかにすることは、地震発生サイクルと関連して、重要である。

本観測研究計画は、海底観測を軸とした

1．震源域における構造不均質の解明のための大規模制御震源構造調査

2．正確な地殻活動把握のための長期繰り返し海底地震観測とデータ解析

3．プレート境界における滑り特性解明のための海底超広帯域地震データの解析

を実施することにより、超巨大地震の震源域の実体解明、更には超巨大地震の発生機構解明に貢献することを目指す。また、これまでに実施されてきた「アスペリティの実体解明」により蓄積されたデー

タ・結果と比較・検討を行うことにより、地殻活動の時空間変化に着目し、超巨大地震発生域におけるカップリングの回復過程を推定を試みる。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

1. 震源域における構造不均質の解明のための大規模制御震源構造調査(平成25年度実施)

今回の地震震源域において、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との密接な連携のもとに実施する。地震発生後における構造、特に不均質性、流体の分布特性と地震発生様式及び地震断層面における滑り分布との関連性を明らかにするとともに、測線位置をこれまでの構造探査と一致させることにより、地震発生以前の構造との比較を行い、地震前後の構造の差異の検出、震源域の空間広がり及びプレート間固着の特性抽出を目指す。制御震源構造探査は、全国の大学・機関と連携し、大容量エアガン・火薬と海底地震計30台程度を用いる。なお、この観測研究は、拠点としての地震研究所の機能を最大限に活かして、全国の大学・機関の研究者との共同研究として実施する。実施対象地域は、震源域内でこれまでの測線が存在する宮城沖、福島沖、茨城沖などから選定する。

2. 正確な地殻活動把握のための長期繰り返し海底地震観測(平成24,25年度実施)

今回の地震震源域直上である海底において、長期観測型海底地震計による地震観測を行い、地震発生後の時間経過による地殻活動の時空間変化の実体を明らかにする。本震発生以前の2004年から5か年にわたって、今回の震源域では、長期観測型海底地震計を用いた海底地震観測が行われており、詳細な震源分布が得られている。さらに、震源域直上では、発生直後から多数の海底地震計を空間的に高密度に展開し、詳細な余震分布が得られている。本課題では、平成23年度に設置された長期観測型海底地震計を回収し、解析を行うと共に、この観測に引き続き、1年間連続観測可能な長期観測型海底地震計を震源域直上に設置し、詳細な震源分布を求める。これらの結果から、超巨大地震発生前後の地震活動の差異、及び地震発生後の地震活動の時空間変化を明らかにすることにより、超巨大地震発生域におけるカップリングの回復過程を推定する。

3. プレート境界における滑り特性解明のための海底超広帯域観測(平成24,25年度実施)

本課題は、これまでの余震観測や調査観測で得られた、地震帯域から測地帯域までの超広帯域地震データを解析し、プレート境界におけるゆっくり滑りや低周波イベント等の特異な現象を含めた、より詳細な地殻活動を明らかにする。これらの結果を、1.の大規模構造調査、2.の海底地震観測の結果と比較・検討することにより、プレート間固着の特性抽出を試みる。

【現建議で行っている課題研究計画の変更点】

本観測研究計画は「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(課題番号:1416)」の計画の一部を変更し、本観測研究課題に移行するものである。このため「アスペリティの実体解明」で計画していた

1. 大規模制御震源構造調査によるアスペリティ-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

については、新たな観測は実施せずに、平成23年度までに得られているデータの解析を引き続き実施し、目標の達成を行う。また、

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

については、これまでの予定通りに実施する予定である。

(7) 計画期間中(平成21年度~25年度)の成果の概要：

1. 平成23年東北地方太平洋沖地震では、本震近くの海溝よりの地域で特に大きな滑りがあったと推定されており、

震源北端域にあたる北緯 39 °では、地震活動度が大きく変化することが知られていた。2001 年 8 月に行った白鳳丸航海では、この海域にて海溝軸に平行な約 100 km の長さで約 5 km 間隔に引かれた 7 本の測線上で、海底地震計とエアガン人工震源を用いた構造調査を行った。また 2002 年 10 月には、その南側の東北沖地震震源周辺域にあたる領域で構造調査を行った。これらの調査の結果、地震活動度が大きい領域においてプレート境界の反射強度が小さく、それとは逆に地震活動度が低い領域では反射強度が低いことを確認した。反射強度から、地震波速度の非常に遅い物質により固着強度が低いために地震が起こらないことが示唆された。

東北地方太平洋沖地震の震源域は、この北緯 39 °周辺まで達していると考えられ、地震時の断層運動とプレート境界における低速度物質の分布との関係を知ることは、断層運動のメカニズムを理解する上で非常に重要である。プレート境界地震波反射強度分布に関して、地震発生の前後で比較することによって、断層運動とプレート境界物質の関係を理解する上で重要である。そこで、平成 25 年 9 月 4 日から 10 月 3 日にかけて行われた学術調査船白鳳丸 KH13-5 次航海では、プレート境界反射強度分布の比較を目的とした、2001、2002 年に行った構造調査と同じ測線で調査を実施した(図 1)。海底地震計の設置は、構造探査および群列観測用に、計 44 台の短期観測型海底地震計を設置し、制御震源には、容量 25 リットルのエアガン 4 台をもちいた。さらに、48 チャンネルストリーマを曳航し、反射法地震探査も行った。発震は 100m 間隔、エアガン深度 10m、ストリーマ深度 10m を基本とした。残念ながら、荒天による時間の制約から、すべての測線における探査を実施できず、次年度に補完の探査実験を実施することとした。

2. 本震発生時には、震源域の一部に、50 台程度の海底地震計が設置されており、定常的な海底地震観測を実施中であった。これらの地震計に加えて、本震発生後 4 日目から、計 72 台の海底地震計の震源域への設置を行った。これにより、本震発生以前からの海底地震計と併せて、120 点を超える海底地震観測網が完成し、観測を開始した(図 2)。設置した海底地震計の一部は、ほぼ 1 か月間の観測を行った後、順次回収した。回収地点には、新規の海底地震計を再設置し、観測を継続すると共に、観測網を広げるために、新たな観測点を設けた。この海底地震計の大部分は、約 1 か月間の観測後、6 月に回収をされた(図 2)。観測域は、陸上観測網から活発な地震活動が求められている、ほぼ 500 km × 200 km の領域とし、海底地震計の設置間隔は約 25 km である。この観測網により震源域ほぼ全域をカバーすることができた。その後、より精度の高い余震分布を求めるために、空間的な密度を高くした海底地震計観測網を、本震付近である宮城県沖と、本震震源域の南部である茨城県沖・千葉県沖に 6 月に展開して、9 月まで観測を行った(図 2)。平成 23 年 9 月から平成 24 年 10 月までは、40 台の長期観測型海底地震計を余震域全域にわたって展開し、余震の長期観測を実施した(図 3)。また、平成 24 年 4 月からは、震源域南部に長期観測型海底地震計 40 台を追加設置し、高密度な観測を実施した。追加設置した長期観測型海底地震計 40 台は、11 月に回収した(図 3)。さらに、平成 24 年 8 月及び 11 月に、福島県沖、及び宮城県南部沖に 40 台の長期観測型海底地震計を設置し、平成 25 年 11 月に回収した(図 3)。さらに、平成 25 年 10 月には、宮城県北部沖から岩手県沖の震源域北部に、30 台の長期観測型海底地震計を設置し、引き続き長期観測を実施中である。

回収された海底地震計のデータにより、余震の震源決定を行った。なお、解析対象とした地震は、観測期間内に、気象庁が陸上観測網のデータを用いて、震源決定した地震のうち、海底地震計観測網近傍で発生していると思われる地震である。その結果、2011 年 3 月 12 日から 9 月 3 日までの期間に、深さ方向の誤差が 3km 以下、水平方向の誤差が 5 km 以内の余震を、1210 個求めることができた(図 4)。海底地震計観測網で再決定された余震と、気象庁が陸上観測網から求めた震源位置の差異を図 5 に示す。

海底地震計観測網で求められた余震分布は、プレート境界以外にも、陸側プレート内にも活発な活動がある。深さが 25km 程度よりも深いプレート境界付近で発生している余震は、逆断層型の地震が多いが、陸側プレート内の地震は、正断層型または横ずれ型の発震機構を持つ地震が卓越する。また、本震時に大きな滑りが推定されている本震付近では、余震活動が低調である。

今回の余震分布を過去の構造探査実験結果と比較した。宮城県沖の本震付近では、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。福島県沖から千葉県房総半島沖の震源域南部では、太平洋プレートに、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おり、この領域では余震が少なく、本震時の破壊がこの付近で停止したことが推定される。

3. 平成 23 年東北地方太平洋沖地震の余震観測では、従来の広帯域海底地震計に絶対水圧計を付加した海底地震計 (BBOBS+APG) を余震観測として、震源域に設置した。このうち本震発生直後に設置した 2 台において、7 月 10 日に、M7 の地震が BBOBS+APG から震央距離約 20 km と約 40km で発生した。これらは 2011 年 10 月に回収し、観測データが得られた。圧力計の記録では、地震発生時刻の 09 時 57 分に圧力変化を開始し、両振幅で 300 hPa を超える圧力変動があった。その後は約+23 hPa と約+4 hPa の静的圧力変化が見られた。解析の結果、静的な圧力変化は、それぞれ 18.5 cm と 4 cm の海底の沈降に相当する。これらは、M7 の地震から推定される海底上下変動と調和的である。

(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) :

Shinohara, M., Recent progress in ocean bottom seismic observation, University of Tokyo Forum, 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., DOI: 10.1002/2013JB010582, 2014.

Obana, K., S. Kodaira, M. Shinohara, R. Hino, K. Uehira, H. Shiobara, K. Nakahigashi, T. Yamada, H. Sugioka, A. Ito, Y. Nakamura, S. Miura, T. No, and N. Takahashi, Aftershocks near the updip end of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, Earth Planet. Sci. Lett., 382, 111-116, 2013.

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

1 . 大規模制御震源構造調査

篠原雅尚・塩原肇・望月公廣・山田知朗・一瀬建日

2 . 海底地震観測

篠原雅尚・塩原肇・望月公廣・山田知朗・一瀬建日

3 . 海底超広帯域観測

篠原雅尚・塩原肇・望月公廣・山田知朗・一瀬建日

他機関との共同研究の有無 : 有

1 . 大規模制御震源構造調査

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 . 海底地震観測

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 . 海底超広帯域観測

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

電話 : 03-5841-5712

e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL :

(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

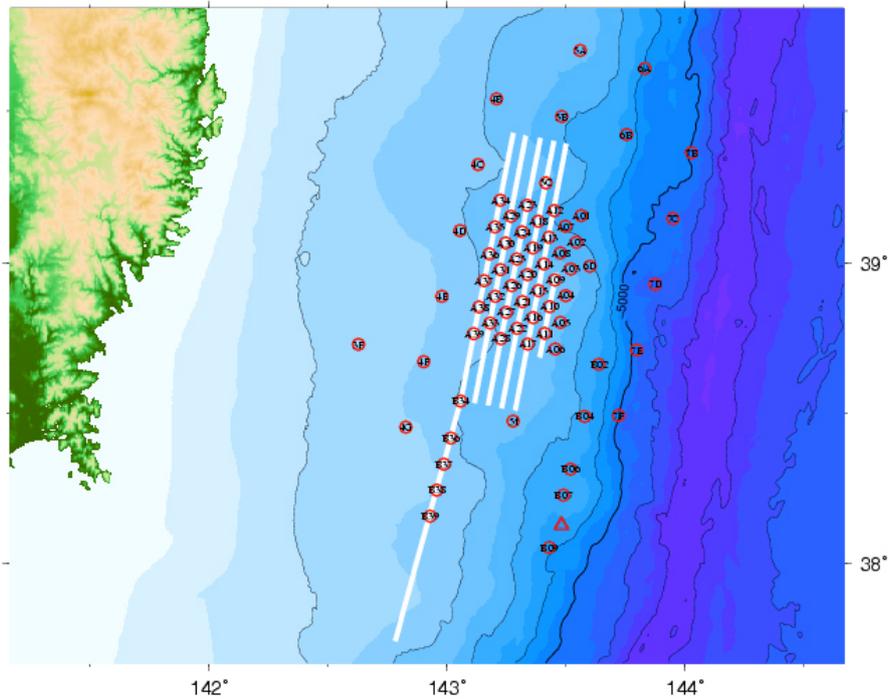


図 1

平成 25 年に設置した海底地震計の位置（赤丸）と，構造探査計画測線位置（白線）．天候不良のために，全測線上の発震ができなかったため，次年度に補完の探査実験を実施する．

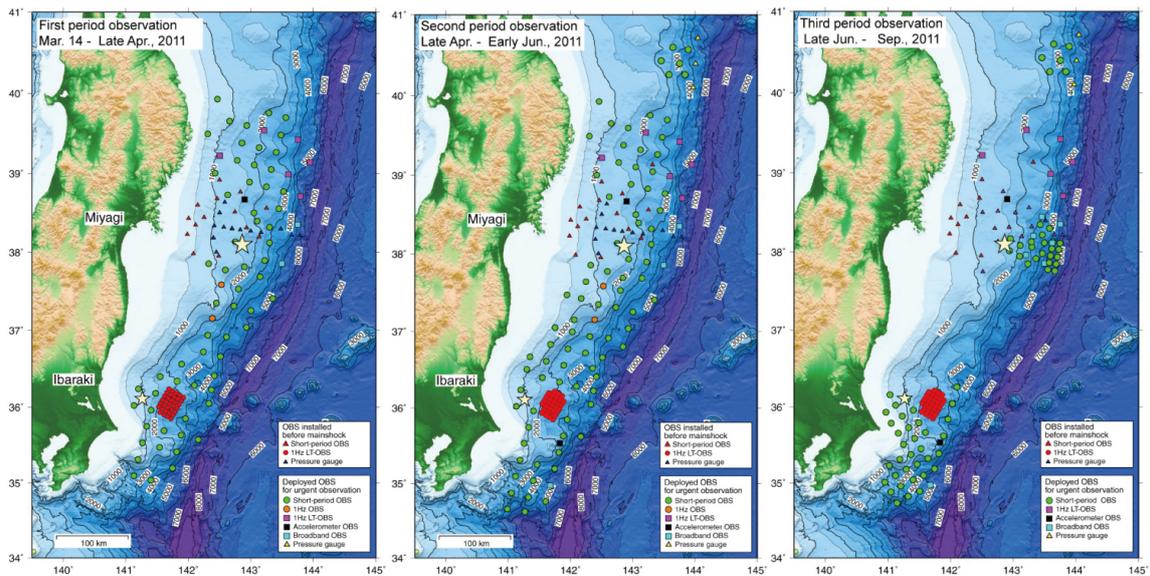


図 2

余震観測のために設置した海底地震計の配置．丸，四角および三角が海底地震計の位置を示す．左：本震直後から 4 月下旬，中央：4 月下旬から 6 月中旬，右：6 月中旬から 9 月．

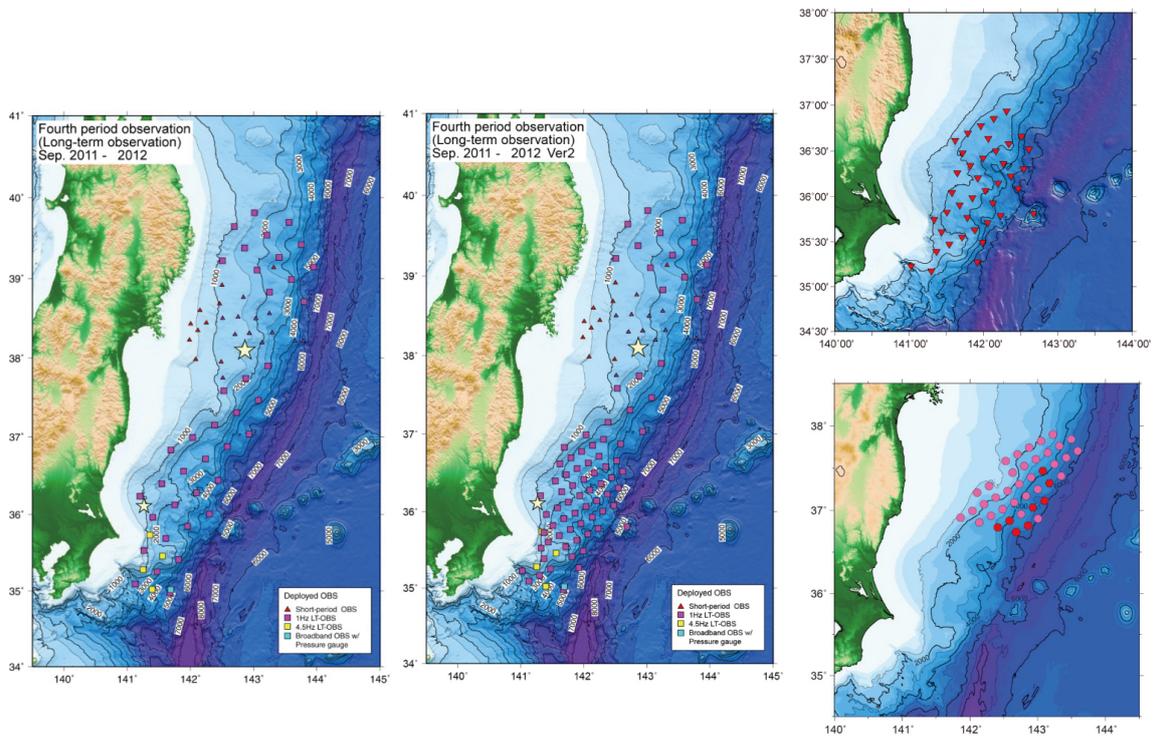


図 3

余震観測のために設置した海底地震計の配置．丸，四角および三角が海底地震計の位置を示す．左：2011年9月から2012年4月，中央：2012年4月から10月，右上：2012年10月から2012年11月，右下：2012年11月から2013年11月

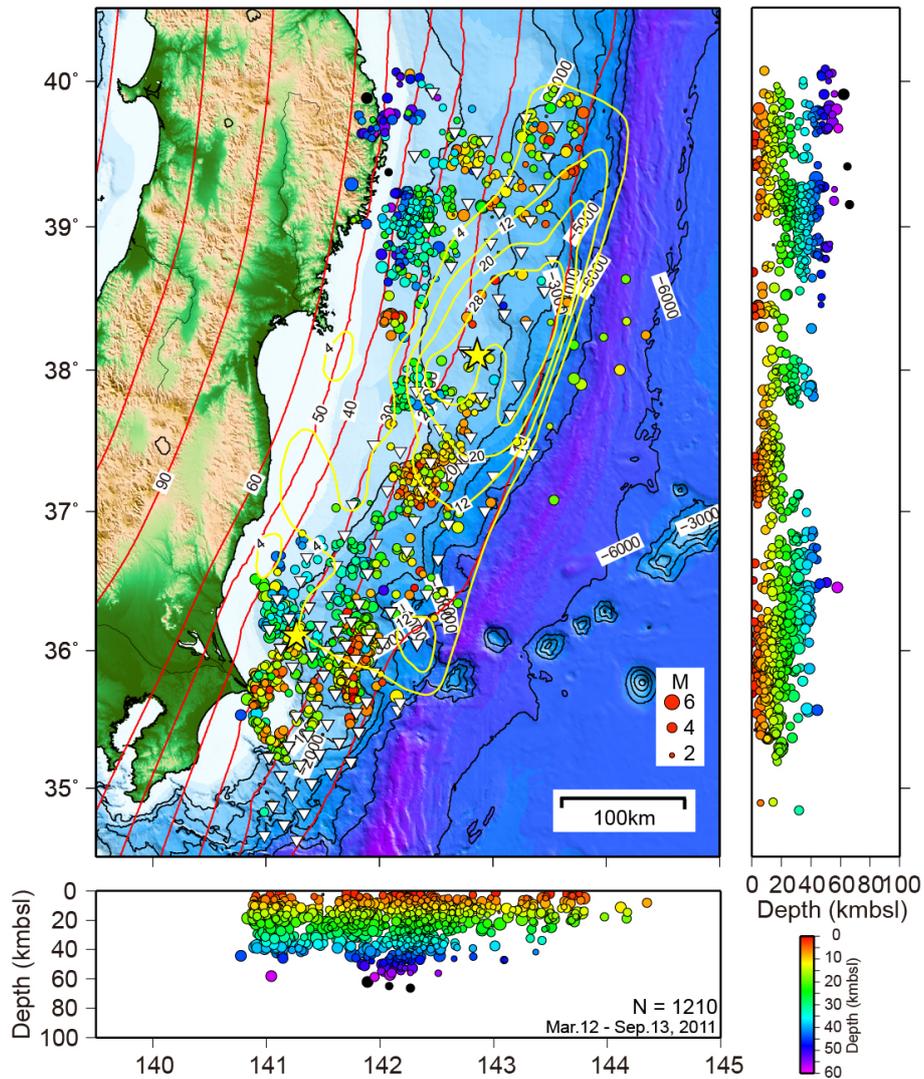


図 4

海底地震計で再決定した東北地方太平洋沖地震の余震分布．決定精度のよい余震だけを表示してあるので，空間的には部分的であることに注意．黄色太線は，本震時の滑り量分布を表す．また，赤線は，プレート境界の等深度線を表す．

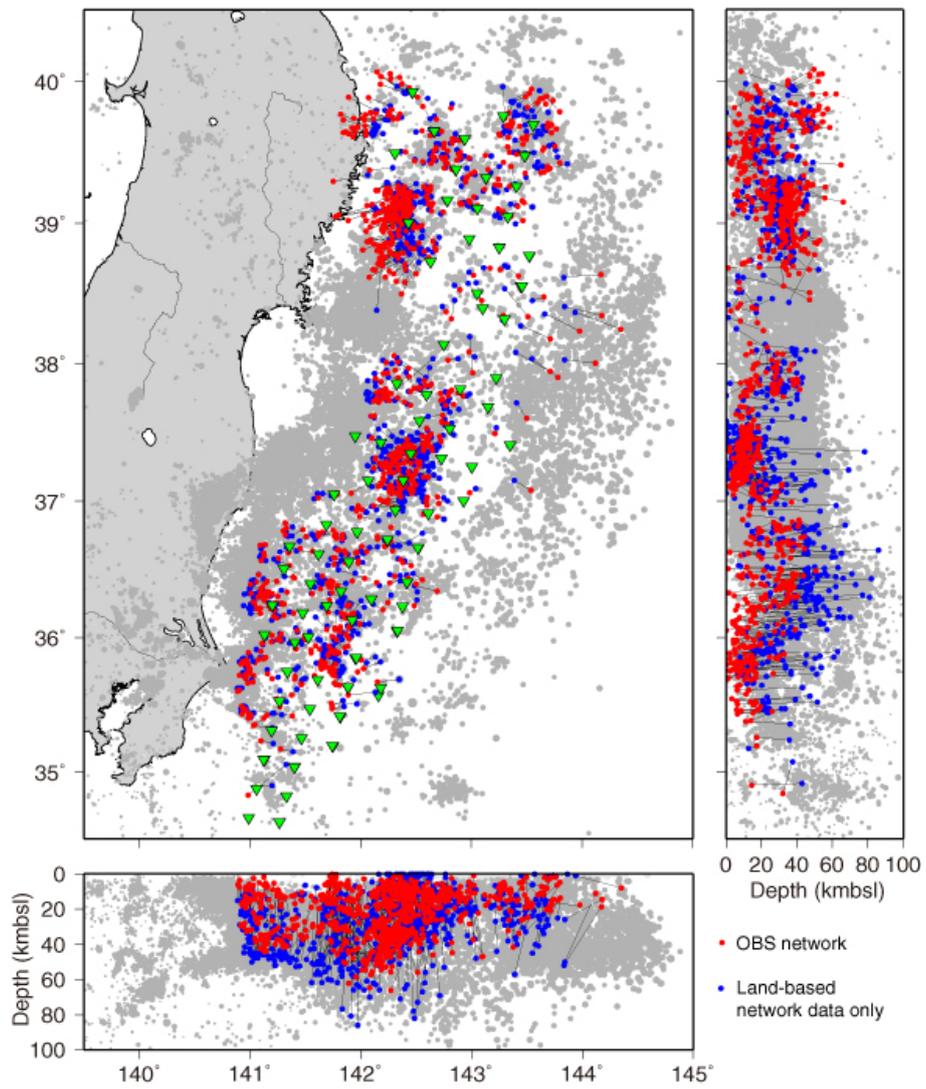


図5

海底地震計で再決定した余震位置（赤丸）と，気象庁が陸上観測網から決定した対応する余震位置（青丸）の比較．一般に，海底地震計で再決定した余震は浅くなる．特に，福島県沖から茨城県沖にかけては，差異が大きい．

531 [2011/07/10] Temp. / Press.

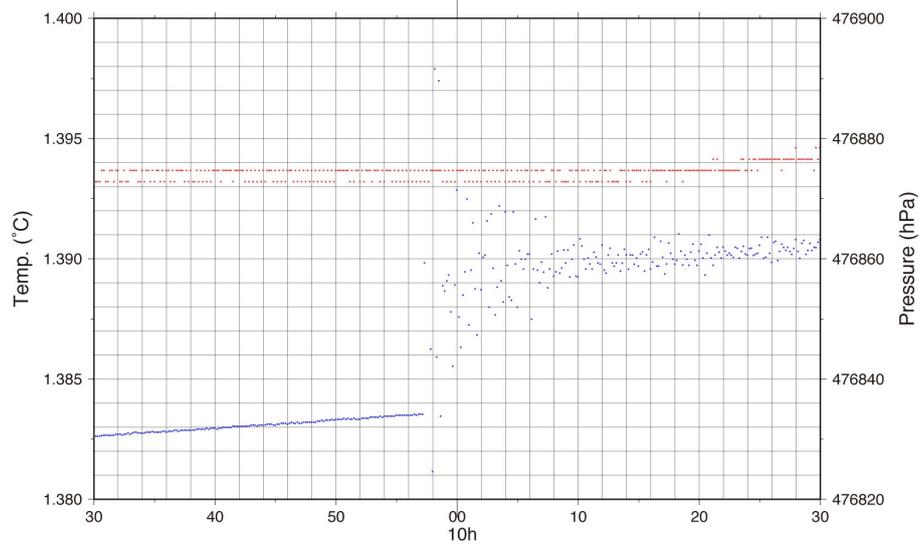


図 6

BBOBS+AGP で記録された M7 の余震発生時前後での圧力 (青) と温度 (赤) データ . 10 秒サンプルで FIR フィルターなどはかけていない . 約+20hPa のステップ的圧力変化が見られ , 約 18cm 沈降したことを示す .