

3. 1. 1 東北地方太平洋沖地震の震源域における長期海底地震観測

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 3 ヶ年の年次実施業務の要約
 - 1) 平成 23 年度
 - 2) 平成 24 年度
 - 3) 平成 25 年度

(2) 平成 25 年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
 - 1) 観測点配置の策定及び調整
 - 2) 広帯域海底地震計・長期観測型海底地震計等の整備
- (c) 業務の成果
- (d) 結論ならびに今後の課題
- (e) 引用文献

3. 1 海底自然地震観測等

3. 1. 1 東北地方太平洋沖地震の震源域における長期海底地震観測

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 東北地方太平洋沖地震の震源域における長期海底地震観測

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人 東京大学地震研究所	教授	篠原 雅尚
国立大学法人 東京大学地震研究所	准教授	塩原 肇
国立大学法人 東京大学地震研究所	准教授	酒井 慎一
国立大学法人 東京大学地震研究所	准教授	望月 公廣
国立大学法人 東京大学地震研究所	助教	山田 知朗
国立大学法人 東京大学地震研究所	助教	一瀬 建日
国立大学法人 東京大学地震研究所	技術職員	八木 健夫
国立大学法人 東京大学地震研究所	技術職員	藤田 親亮
国立大学法人 東京大学地震研究所	技術職員	阿部 英二

(c) 業務の目的

地震及び津波発生可能性の長期評価、津波の高精度予測など海溝型地震の長期評価の高度化に資することを目的として、主に東北地方太平洋沖地震震源域を対象として、長期観測型自己浮上式海底地震計による地震観測を行う。対象域では、海底地震観測により、東北地方太平洋沖地震発生前における正確な地震活動が求められている。東北地方太平洋沖地震は、震源域及び周辺に大きな影響を及ぼしていることが考えられる。そのため地震発生後に、長期観測型自己浮上式海底地震計による地震観測を行い、地震発生後の正確な地震活動を明らかにする。また、トモグラフィー的手法により観測域下の地殻構造を推定する。広帯域海底地震計も用いることにより、低周波イベント等の特異な現象についても観測を行い、より詳細な地震活動を明らかにする。

(d) 3 ヶ年の年次実施業務の要約

1) 平成 23 年度：

東北地方太平洋沖地震震源域南部に設置する広帯域海底地震計及び長期観測型海底地震計計 40 台の整備を開始した。なお、一部の海底地震計には、高精度水圧計を搭載し、海底の上下変動を含めた、より広い帯域での観測を行った。さらに震源決定に必要な情報収集を行った。また、引き続き実施する観測に向けて、広帯域海底地震計 12 台の整備を開始したとともに、観測機材・消耗品を計画的に準備した。

2) 平成 24 年度：

東北地方太平洋沖地震の震源域南部に広帯域海底地震計及び長期観測型海底地震計計

40 台を設置し、自然地震観測を行った。設置後に、震源決定に必要な情報収集を行った。観測終了後、設置した広帯域海底地震計及び長期観測型海底地震計計 40 台を回収すると共に、観測を継続するために、新たに広帯域海底地震計及び長期観測型海底地震計計 40 台を設置した。本年度に設置した海底地震計は、約 1 年間の海底地震観測を実施した。なお、一部の海底地震計には、高精度水圧計を搭載し、海底の上下変動を含めた、より広い帯域での観測を行った。回収した海底地震計からデータを回収し、詳細な地震活動を明らかにする解析をすすめた。また、広帯域海底地震計 12 台の整備を完了し、観測に利用した。

3) 平成 25 年度 :

東北地方太平洋沖地震の震源域南部に、平成 24 年度に設置した広帯域海底地震計及び長期観測型海底地震計の回収作業を行った。4 台の長期観測型海底地震計はトラブルにより回収することが出来ず、36 台の海底地震計を回収した。回収した海底地震計からデータを回収し、詳細な地震活動を明らかにするために解析を進めた。また、本年度回収した一部の海底地震計には、高精度水圧計を搭載し、海底の上下変動を含めた、より広い帯域での観測を行った。これまでに本計画で得られた震源分布と地震波速度構造との比較や、過去に得られた地震活動との比較を行った。その結果、地震活動度や地震発生場所に時間変化が見られる事がわかった。

(2) 平成 25 年度の成果

(a) 業務の要約

本業務は、地震（津波）発生可能性の長期評価、津波の高精度予測など海溝型地震の長期評価の高度化に資することを目的とし、日本海溝・千島海溝周辺を対象に長期観測型自己浮上式海底地震計による地震観測を行った。平成16年度から平成20年度にかけて、文部科学省委託事業「東南海・南海地震等海溝型地震に関する調査研究」により、日本海溝・千島海溝周辺域に、1年間観測できる長期観測型海底地震計が設置され、海域における精度の高い震源分布が得られた。東北地方太平洋沖地震はその規模の大きさ ($M=9.0$) から、震源域はもとより、その周辺に大きな影響を及ぼしている。そのため地震発生後に、長期観測型自己浮上式海底地震計による地震観測を行い、地震発生後の正確な地震活動を明らかにすることは重要である。平成24年11月には、福島沖に海底地震計40台を設置し、長期海底地震観測を開始した。観測海域は、本研究計画において、平成24年4月から11月に観測を行った房総沖の海域に隣接する。本年度は、平成25年11月にこれら40台の海底地震計の回収作業を行い、福島沖での観測を終了した。回収した海底長期観測データの処理を行い、福島沖の領域における地震活動の正確な把握に努めた。また、これまでに本研究の2回の観測で得られた精度の高い震源分布と過去に得られた震源分布、地震波速度構造との比較などを行い、地震活動の時間変化などの把握を行った。

(b) 業務の実施方法

1) 観測点配置の策定及び調整

本研究テーマは、海域で観測を実施するために、これまでの観測結果を考慮し、観測点配置の策定を行った。また、海底地震計の設置作業にあたって、現地関係機関（者）等と作業概要等の連絡調整を実施した。

2) 広帯域海底地震計・長期観測型海底地震計等の整備

東京大学地震研究所所有の広帯域海底地震計及び長期観測型海底地震計による観測に向けて動作確認と組み立て等の整備を東京大学地震研究所で実施した。また、音響通信制御装置、GPS 時計制御システム、海底地震観測用 GPS 測位システム等の設置作業支援装置についても動作試験等を行い総合的な整備を実施した。

(c) 業務の成果

2011年3月11日午後2時46分頃、東北地方太平洋沖で日本国内観測史上最大のM9.0の巨大地震が発生し、宮城県では震度階最大である震度7を記録したのをはじめ、北海道から関東地方にかけての広範囲で強い揺れが観測された。この地震に伴いM7以上の余震が多数発生したほか、日本の太平洋沿岸で高さ15mを超える津波が観測され、大きな地震動・津波被害が発生した。この地震は陸側のプレートとこれに沈み込む太平洋プレートとの間のプレート境界で発生した地震であり、余震域の広がりには南北約500kmにわたる。遠地実体波や津波による解析では、海溝近くで特に大きな滑りがあったと推定されている。このような巨大な地震が、沈み込む海洋プレートの浅い部分の海溝近くで発生するメカニズムは、まだ良く解明されておらず、巨大地震の詳細な発生過程を明らかにする必要がある。この地震に伴いM7クラスの余震が多数発生したほか、今後もM8クラスの大きな余震の発生も懸念され、これらについて研究することも重要である。

今回の巨大地震の震源域はほとんどが海底下であるため、陸上の観測網だけではその全貌を明らかにすることは困難である。海底地震観測によるデータと陸上観測網のデータとあわせて解析することにより余震分布を高精度で決定し、震源断層の位置、形状を明らかにする必要があり、本震直後から、自己浮上式海底地震計(OBS)を用いた緊急余震観測が実施され(図1)、本震から2ヶ月後までの正確な余震分布が得られた(図2)。その結果、宮城県沖のプレート境界で余震活動が低いこと、陸側プレート内の余震活動が活発なこと、発震機構が本震後に変化したことが明らかとなった(Shinohara *et al.*, 2012a)。特に震源域南部では、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(Yamada *et al.*, 2011, Nakahigashi *et al.*, 2012)(図3)。本震の破壊は、日本列島のプレートと太平洋プレートの境界に沿って、宮城県沖の震源から伝播した。本震直後の余震発生域の南限が、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おり、本震の破壊がこの領域で停止したことが推定される(Shinohara *et al.*, 2011)。

本研究においては、この先行研究の成果を考慮する形で、東北地方太平洋沖地震の震源域に広帯域海底地震計及び長期観測型海底地震計を設置した。地震観測網は震源域内において年次的に移動する方式をとり、観測優先度の高い領域として、破壊が停止したと考えられる震源域南部から観測を開始することとした。また、高精度の震源決定が可能なように観測点間隔は、20kmよりも短くすることとした。さらに、今回の地震では、海溝付近で大きな津波が発生したことを考慮し(Fujii *et al.*, 2011, Maeda *et al.*, 2011)、広海溝

寄りの地点にも海底地震計を設置した(図4)。また、海底地震計観測では観測点直下の構造、特に堆積層の構造が地震走時に大きな影響を与える。そこで、観測点直下の浅部構造を知る為にエアガンを制御震源に用いた反射法地震探査実験も行った。

平成24年度は、平成24年4月に茨城・房総半島沖の海域に設置した40台の海底地震計ネットワークでの地震観測を継続し、平成24年11月4日から9日にかけて回収作業を行い全台回収された。回収された地震波形データに時刻補正等の処理を行った。さらに、同時期に地震予知計画により実施されていた長期観測型海底地震計観測(図4)で得られたデータも統合し、気象庁一元化震源リストにある地震についてWINシステム(卜部・東田, 1992)を利用してディスプレイ上で目視による検測を行った。解析対象とした地震数は1606個である。それらの地震について、Hirata and Matsu'ura (1987)により震源決定を行った。解析手順としては、震源決定後の各観測点の走時残差を観測点補正值として走時データに加え、再度震源決定するという操作を11回繰り返した。また、走時計算に用いた1次元速度構造は過去に房総半島沖で実施された構造探査実験の結果(Nakahigashi *et al.*, 2012)を基に作成した。解析の結果、震源決定計算が収束し、さらに3点以上の観測点でP波、1点以上の観測点でS波が検測されている事を満たした458個の震源を精度良く求める事が出来た(図5)。得られた震源分布を見ると、茨城・房総半島沖の領域でも海溝軸付近や海溝軸外側の浅部で地震が発生している事がわかる。また、気象庁一元化震源と震源再決定で得られた震源を比較すると(図6)、再決定後の震源位置は全体的に浅くなっている事がわかった。本研究で得られた震源分布及び2011年東北地方太平洋沖地震の余震観測で得られた震源分布(Shinohara *et al.*, 2012a, 2012b)と、房総半島沖で得られた速度構造(Nakahigashi *et al.*, 2012)を比較すると、フィリピン海プレート周辺での地震活動度に時間変化が見られた。また、本研究と東北地方太平洋沖地震発生前に実施された文部科学省委託研究「東南海・南海地震等海溝型地震に関する調査研究」で得られた、茨城沖の震源分布を比較すると、東北地方太平洋沖地震以前はプレート境界付近での地震活動は少なかったが、東北地震後はプレート境界付近で地震活動が見られるようになった事がわかった(図7)。平成24年度の観測は、平成24年4月から11月に観測を行った房総沖の海域に隣接する福島沖の海域で、平成24年8月22日から23日、11月3日から11日の2回に分け、海底地震計の設置作業を行い開始した。観測には32台の長期観測型海底地震計と8台の広帯域地震計を使用している。8台の広帯域地震計のうち4台には高精度水圧計を搭載した。観測実施にあたっては、関係機関(者)等との調整を行い、最終的に海底地形を考慮して水深が1000mより深い海域に海底地震計を設置した(図8)。また、海上保安庁へ海上作業届を提出した。

平成25年度は、平成24年に福島沖の海域に設置した40台の海底地震計ネットワークでの地震観測を継続し、平成25年10月30日から11月7日にかけて回収作業を行った。4つの観測点では回収時にトラブルが発生し、海底地震計を回収することが出来なかった。そのため回収された海底地震計は36台である。回収された地震波形データに時刻補正等の処理を行い、気象庁一元化震源リストにある地震についてWINシステム(卜部・東田, 1992)を利用してディスプレイ上で目視による検測を行った。解析対象とした地震数は998個である。それらの地震について、Hirata and Matsu'ura (1987)により震源決定を行い、精度

のよい 387 個の再決定震源を得た。得られた震源分布を見ると、東北地方太平洋沖地震時に大きな地震時滑りを起こしたと考えられる観測網中央部では地震活動度が低いこと、海溝軸周辺で地震活動が見られることがわかる(図 8)。

これまでに本研究で実施された海底地震観測データを用いた解析で得られた房総半島沖から福島沖にかけての震源分布(図 9)と、東北地方太平洋沖地震直後の余震観測で得られた震源分布(図 2)を比較すると、房総半島銚子沖では、東北地方太平洋沖地震直後は地震活動が見られていたが、本研究の解析期間ではあまり地震活動が見られないこと、福島沖では東北地方太平洋沖地震直後から本研究期間を通して地震活動度が低いことがわかった。

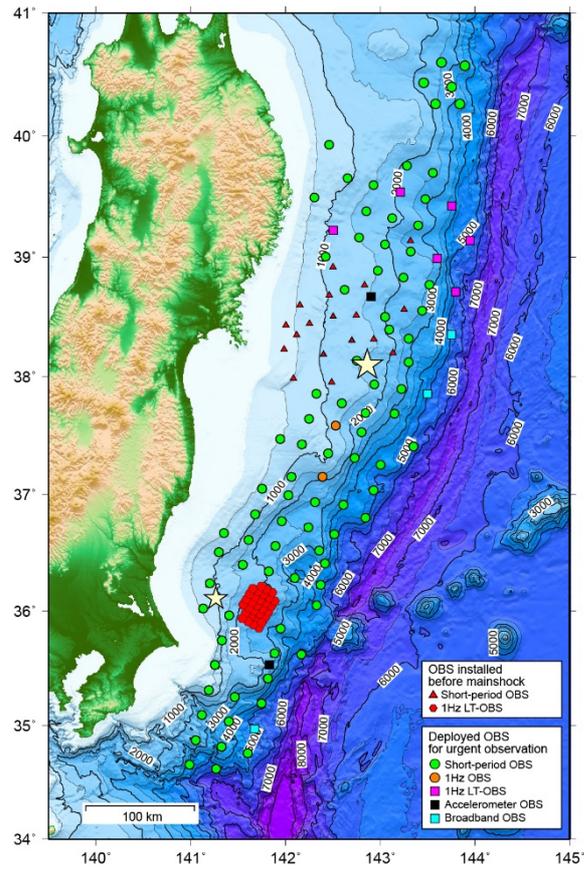


図1 東北地方太平洋沖地震の緊急海底余震観測の観測点分布。2011年4月下旬から6月中旬までの配置 (Shinohara *et al.*, 2011より引用)

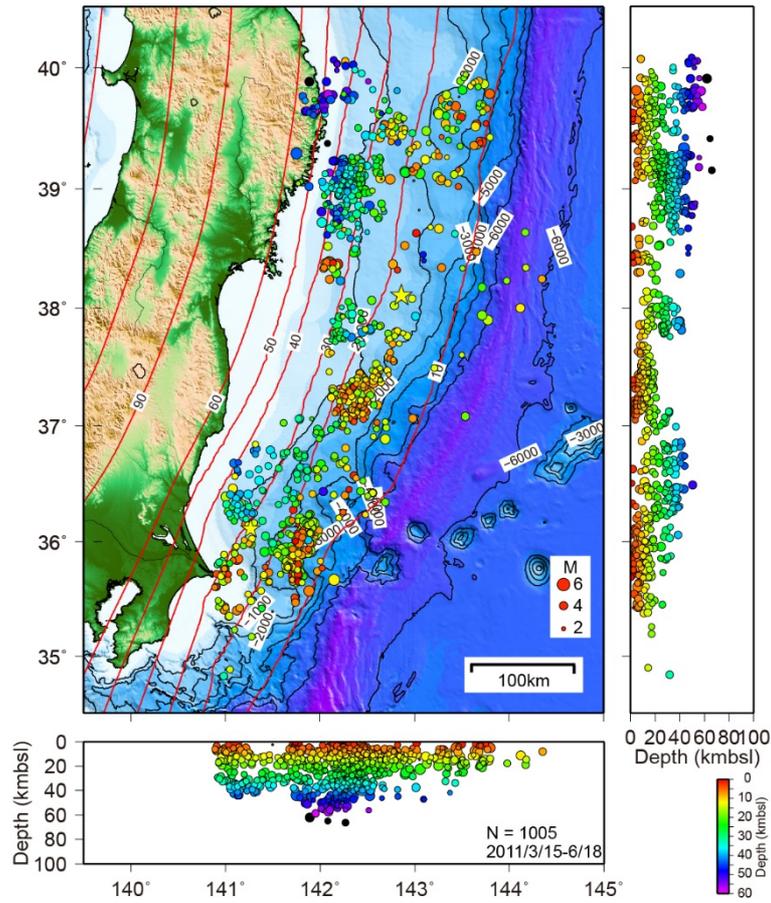


図2 海底地震観測により得られた2011年3月15日から6月18日までの余震分布。余震震源を表す丸の色と大きさは、それぞれ震源の深さとマグニチュードを表す。赤いコンターは、太平洋プレート上面の深度分布を表す (Shinohara *et al.*, 2012a より引用)

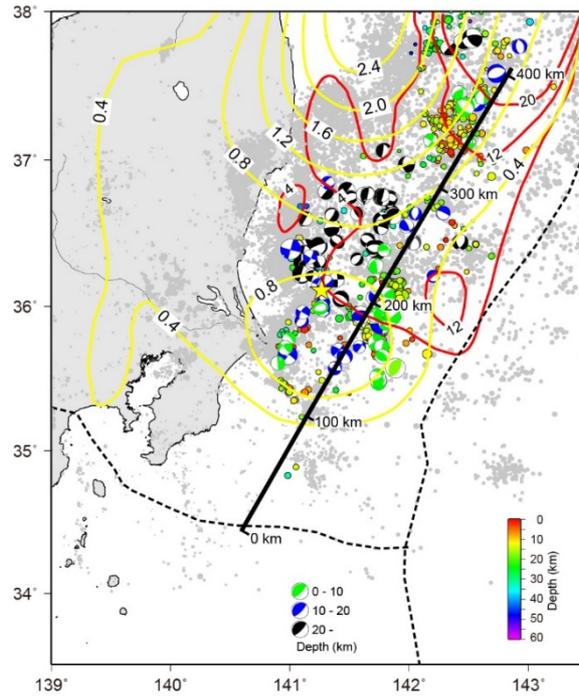


図3 震源域南部での余震位置と震源メカニズム。赤のコンターは、本震時の滑り量分布、黄色コンターは、2011年12月までの余効変動の大きさを表す。黒線は過去の構造探査測線であり、フィリピン海プレートが南から沈み込む様子がイメージングされている (Nakahigashi *et al.*, 2012 より引用)

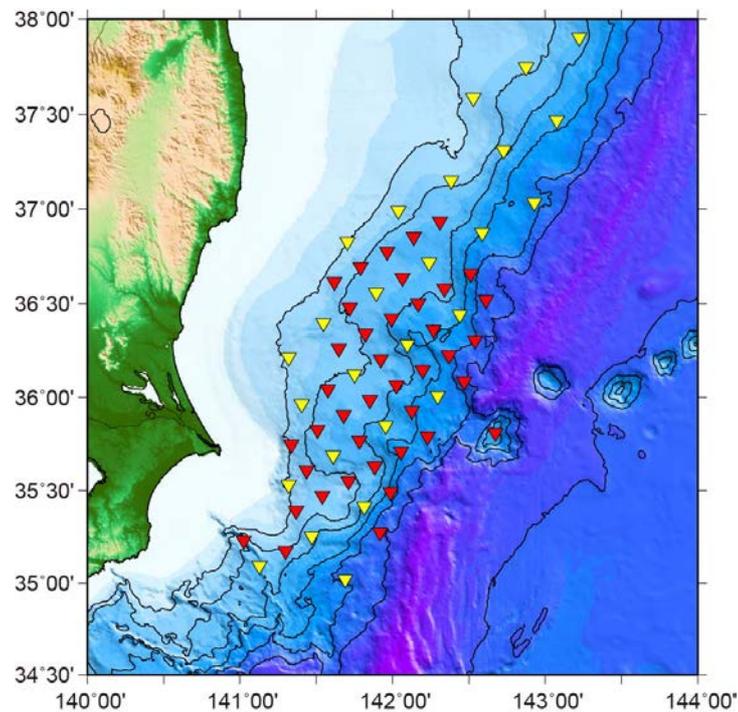


図4 平成23年度に本調査研究と地震予知計画で実施した震源域南部の海底地震観測の観測点配置。赤三角は本調査研究、黄色三角は地震予知計画により設置された長期観測型海底地震計をそれぞれ示す。

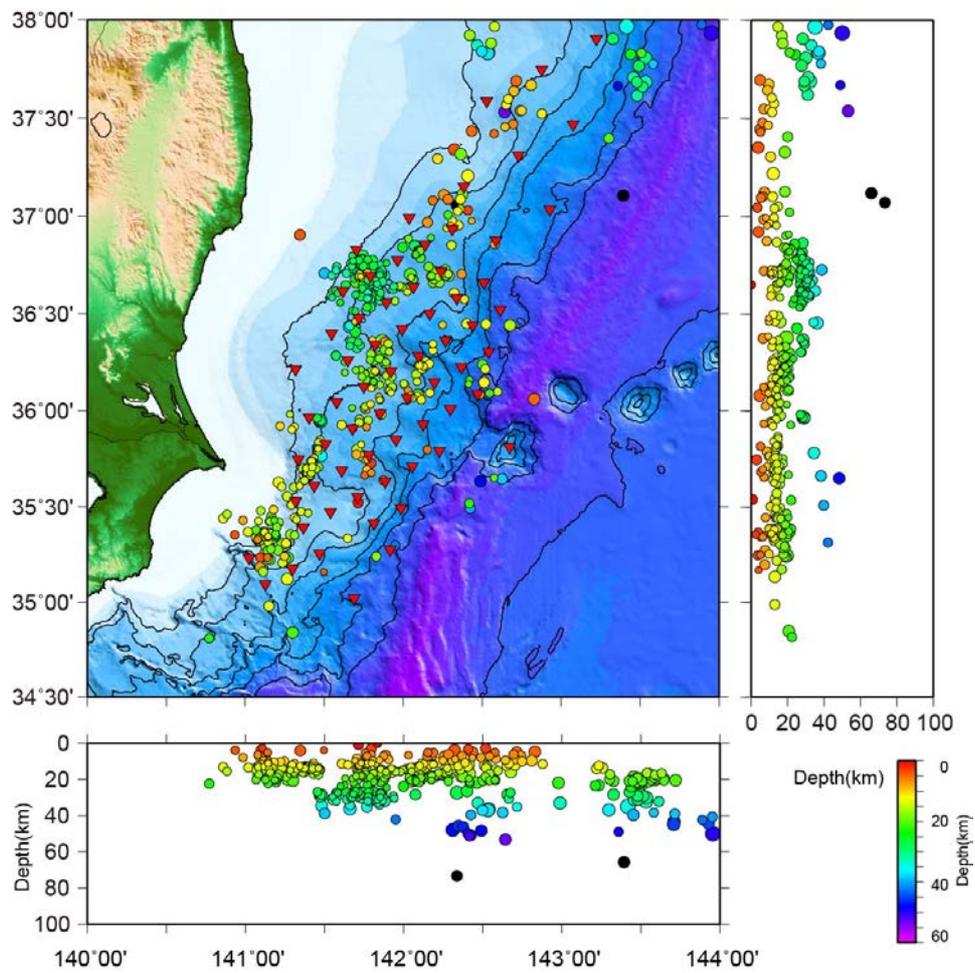


図5 平成23年度に実施した海底地震観測データを用いた震源再決定後の震源分布。赤三角は解析に使用した海底地震計の位置を示す。

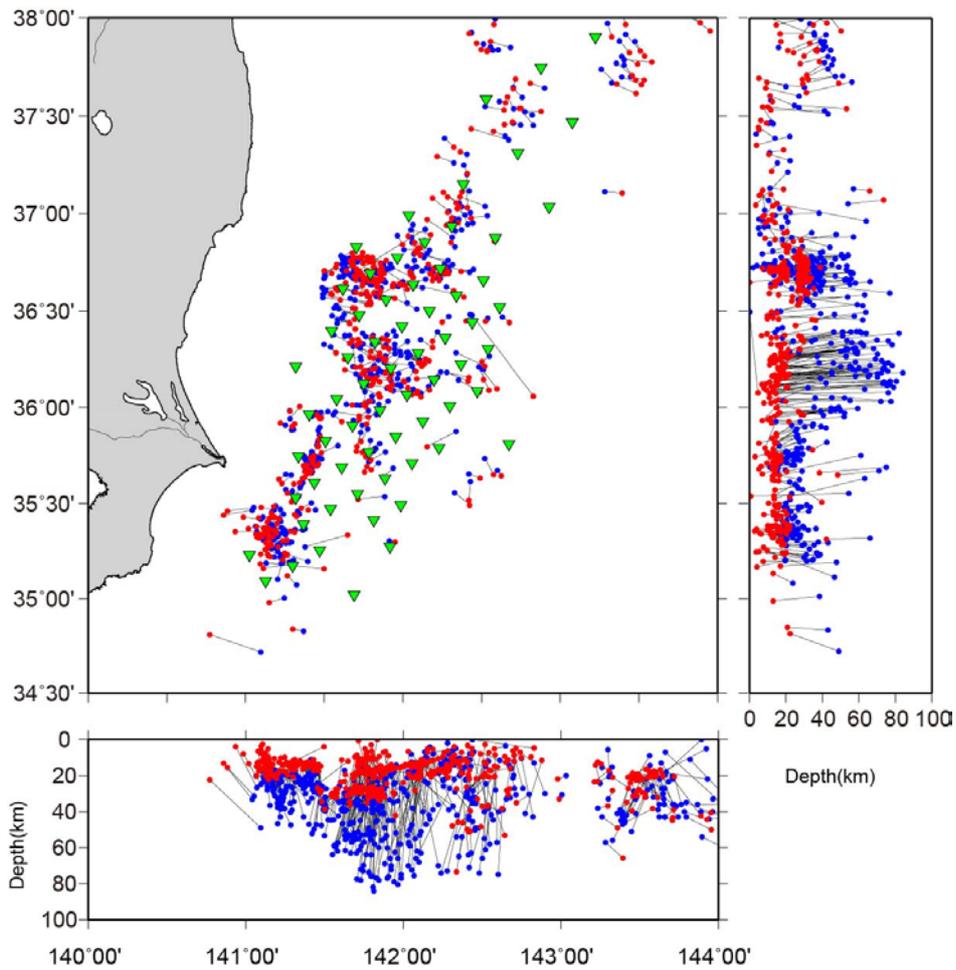


図6 気象庁一元化震源と再決定後の震源との比較。青丸は気象庁一元化震源、赤丸は再決定後の震源をそれぞれ示す。

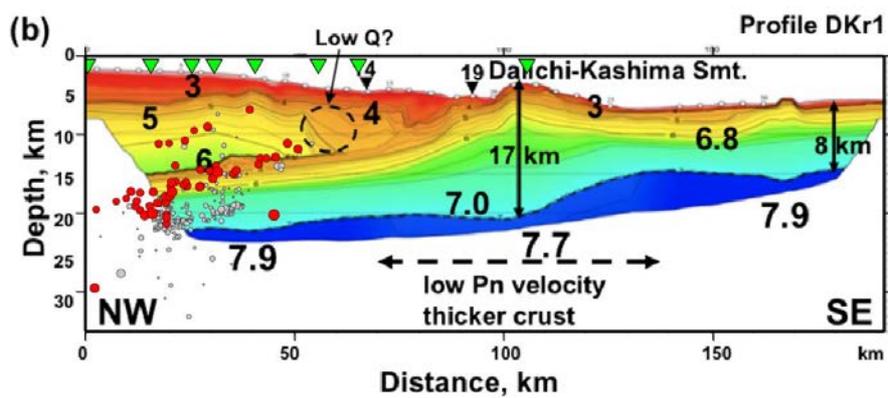


図7 茨城沖で得られた地震波速度構造 (Nishizawa *et al.*, 2009) と余震分布の比較。赤丸は本研究で得られた震源分布。灰色丸は東北地震発生前の震源分布。

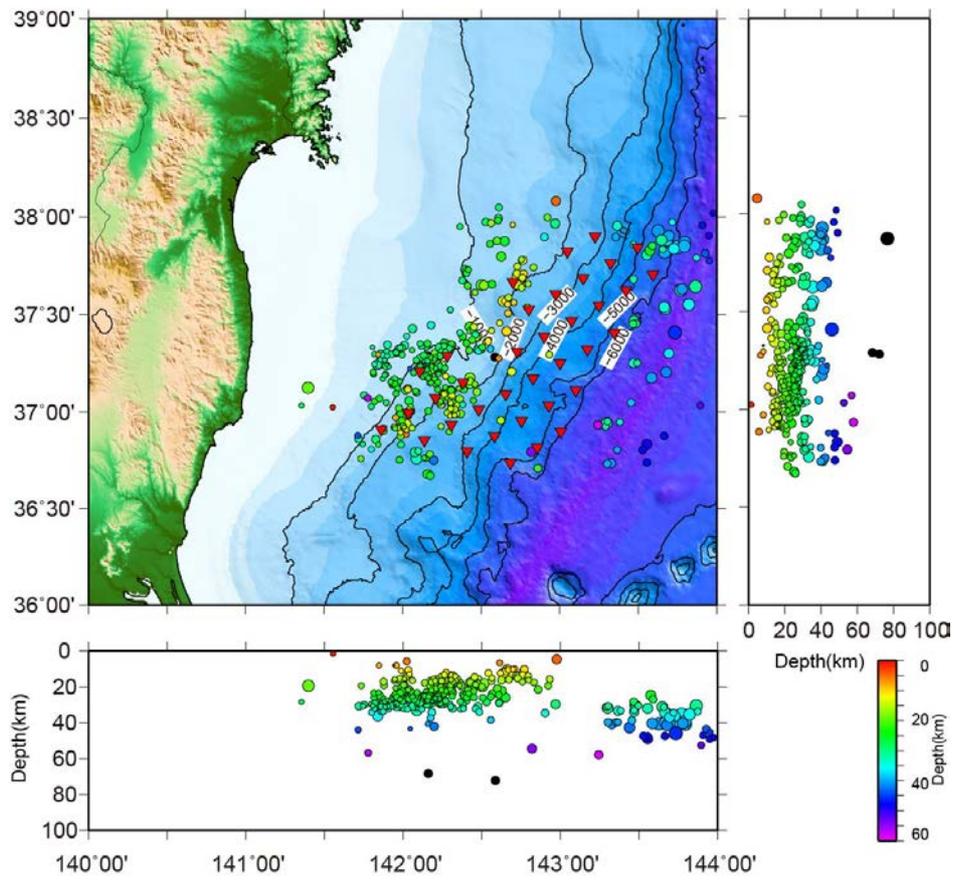


図8 平成24年度に実施した長期海底地震観測で得られたデータを用いた震源再決定後の震源分布。赤三角は解析に使用した海底地震計の位置を示す。

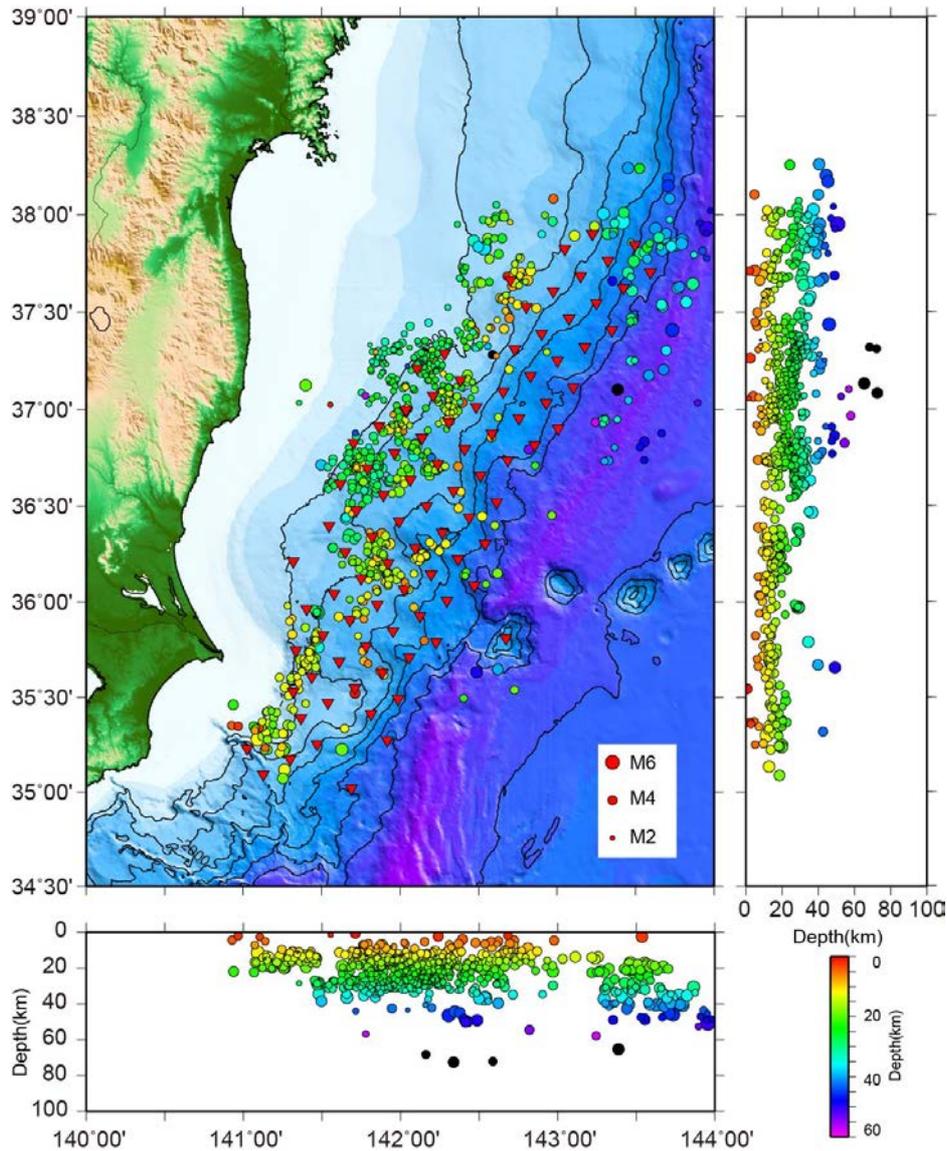


図9 本研究で得られた海底地震観測データを用いた震源再決定後の震源分布。赤三角は解析に使用した海底地震計の位置を示す。

(d) 結論ならびに今後の課題

平成25年度は、平成24年に福島沖の海域に設置した40台の海底地震計ネットワークでの地震観測を継続し、平成25年10月30日から11月7日にかけて回収作業を行った。4台の海底地震計はトラブルにより回収することが出来ず、36台の海底地震計を回収した。これまでに本研究で実施された2回の海底地震観測データと予知事業計画で実施された海底地震観測で得られたデータを統合処理した解析により、房総半島沖から福島沖にかけての震源分布を得た。得られた震源分布から海溝軸付近や海溝軸外側の浅部で地震が発生している事や、2011年東北地方太平洋沖地震前は見られなかった、茨城沖のプレート境界付近で地震活動が東北地震後に見られるようになるなど、本研究領域で地震活動度や地震発生場所に時間変化が見られる事がわかった。今後さらに低周波イベント等の特異な現象についても把握を進め、より詳

細な地震活動を明らかにする必要がある。

(e) 引用文献

- Fujii, Y., K. Satake, S. Sakai, M. Shinohara, and T. Kanazawa, Tsunami source of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku, Japan Earthquake, *Earth Planets Space*, **63**, 815-820, 2011.
- Hirata, N. and M. Matsu'ura, Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using nonlinear inversion technique, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **47**, 50-61, 1987.
- Maeda, T., T. Furumura, S. Sakai, and M. Shinohara, Significant tsunami observed at the ocean-bottom pressure gauges at 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, *Earth Planets Space*, **63**, 803-808, 2011.
- Nakahigashi, K., M. Shinohara, K. Mochizuki, T. Yamada, R. Hino, T. Sato, K. Uehira, Y. Murai, Y. Ito, and T. Kanazawa, P-wave velocity structure in the southernmost source region of the 2011 Tohoku earthquake, off Boso Peninsula deduced by an ocean bottom seismographic survey, *Earth Planets Space*, **64**, 1149-1156, 2012.
- Nishizawa, A., K. Kaneda, N. Watanabe, and M. Oikawa, Seismic structure of the subducting seamounts on the trench axis: Erimo Seamount and Daiichi-Kashima Seamount, northern and southern ends of the Japan Trench, *Earth Planets Space*, **61**, e5-e8, 2009.
- 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 2012a.
- 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, T. Iwasaki, Precise aftershock distribution of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake revealed by ocean bottom seismic network, 2012 AGU fall meeting, San Francisco, 2012b.
- Shinohara, M., T. Yamada, K. Nakahigashi, S. Sakai, K. Mochizuki, K. Uehira, Y. Ito, R. Azuma, Y. Kaiho, T. No, H. Shiobara, R. Hino, Y. Murai, H. Yakiwara, T. Sato, Y. Machida, T. Shinbo, T. Isse, H. Miyamachi, K. Obana, N. Takahashi, S. Kodaira, Y. Kaneda, K. Hirata, S. Yoshikawa, K. Obara, T. Iwasaki, and N. Hirata, Aftershock observation of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake by using ocean bottom seismometer network, *Earth Planets Space*, **63**, 835-840, 2011.
- ト部卓・東田進也、win-微小地震観測網波形観測支援のためのワークステーション・プログラム（強化版）、地震学会講演予稿集、1、C22-P18, 1992.

Yamada, T., K. Nakahigashi, A. Kuwano, K. Mochizuki, S. Sakai, M. Shinohara, R. Hino., Y. Murai, T. Takanami, and T. Kanazawa, Spatial distribution of earthquakes off the east coast of Kanto region along the Japan Trench deduced from ocean bottom seismographic observations and its relations with aftershock sequence of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, *Earth Planets Space*, **63**, 841-845, 2011.