

3. 研究報告

3. 1 海底自然地震観測

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) 5 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
 - 4) 平成 26 年度
 - 5) 平成 27 年度

(2) 平成 23 年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
 - 1) 観測点配置の策定および調整
 - 2) 新規に導入する広帯域海底地震計の整備
 - 3) 広帯域海底地震計・長期観測型海底地震計等の整備
 - 4) 制御震源探査装置の整備
- (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

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	橋本 信一
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

地震およ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) 5ヵ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う。さらに震源決定に必要な情報収集を行う。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、自然地震観測を行う。設置後に、震源決定に必要な情報収集を行う。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 台程度を設置する。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する。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う。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る。また、広帯域海底地震計 12 台の整備を完了する。

3) 平成 25 年度 :

前年度に設置された海底地震計を回収し、海・陸の地震データを解析して、より正確な地震活動の把握をすすめるとともに、東北地方太平洋沖地震の震源域において、長期観測型海底地震計及び広帯域海底地震計計 40 台程度を設置し、長期海底地震観測を引き続き実施する。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する。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う。

4) 平成 26 年度 :

前年度に設置された海底地震計を回収し、海・陸の地震データを解析して、より正確な地震活動の把握をすすめるとともに、東北地方太平洋沖地震の震源域において、長期観測型海底地震計及び広帯域海底地震計計 40 台程度を設置し、長期海底地震観測を引き続き実施する。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する。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う。

5) 平成 27 年度 :

前年度に設置された海底地震計を回収し、海・陸の地震データを解析して、より正確な地震活動の把握をすすめるとともに、東北地方太平洋沖地震の震源域において、長期観測型海底地震計及び広帯域海底地震計計 40 台程度を設置し、長期海底地震観測を実施する。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う。最終年度であるため、本年度に設置した海底地震計を回収し、より正確な地震活動の把握をすすめ、計画の総まとめを行う。

(2) 平成 23 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う。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。また、その結果からより精度の高いプレート境界の位置と形

状が得られている。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。さらに、巨大地震と低周波イベント等の関連性を調べ、その結果を現在南海トラフで観測されている低周波イベントと比較することにより、巨大地震と低周波イベント等の関連性の検討を行うためには、広帯域地震計を用いた海底観測を行う必要がある。本年度は、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。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・消耗品の準備を進めた。

(b) 業務の実施方法

1) 観測点配置の策定および調整

本研究テーマは、本年度から観測を新規に開始するために、これまで観測の結果を考慮し、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は、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) 新規に導入する広帯域海底地震計の整備

今回導入する広帯域海底地震計は、構成している各部をそれぞれ導入し、東京大学地震研究所にて組み立てが行われる。本年度は、広帯域海底地震計の各部が納入された。広帯域海底地震計は、広帯域地震センサー、レコーダー、音響通信制御装置、耐圧球、ラジオビーコン、フラッシュライトなどから構成されており、これらの動作試験を行った。

3) 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およ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。

4) 制御震源探査装置の整備

広帯域海底地震計・長期観測型海底地震計を設置後に、震源決定に必要な情報収集を行うために用いる制御震源探査装置の整備を実施した。

(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。この地震は北米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、これらについて評価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た (図 1)。その結果、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.*, submitted)。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 (Nakahigashi *et al.*, inpress, Yamada *et al.*, 2011) (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)。

本調査研究においては、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する。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取り、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を発生したことを考慮し (Fujii *et al.*, 2011, Maeda *et al.*, 2011)、広帯域海底地震計は海溝寄りの地点に設置することとした (図 4)。これらの観測を円滑かつ効果的な研究を実施するために、観測点配置について事前に関係機関等 (者) との調整を行った。観測海域周辺の現地関係者に全体計画の概要について説明を行うとともに、設置等の作業に関する連絡体制を構築して、作業の事前の連絡を行った。また、説明要請のあった漁業者 (千葉県) 等については事前に訪問して、観測計画について説明を行なった。

本調査研究で用いる広帯域海底地震計は、チタン合金製の直径 65cm の球型耐圧容器、マイクロコンピュータ制御のジンバルシステム (姿勢制御機構) を持つ固有周期 360 秒の広帯域 3 成分地震計、24 ビットのダイナミックレンジを持つデジタル収録式レコーダ、音響通信制御装置などから構成されている (金沢ほか、2009)。また、高精度で水圧を計測し、長周期のイベントの検出、地殻上下動変動の観測を行うために、高精度絶対水圧計も同時搭載する。本年度は、今後本調査観測で使用する広帯域海底地震計のうち、12 台について、構成要素を導入し、各部について、動作試験を行い、今後の観測のための整備を実施した。

東北地方太平洋沖地震の震源域南部に設置する東京大学地震研究所が保有する広帯域海底地震計及び長期観測型海底地震計計 40 台を東京大学地震研究所において、動作試験、組み立てを実施した (図 5-8)。長期観測型海底地震計は、チタン合金製の耐圧容器、マイクロコンピュータ制御のジンバルシステムを持つ固有周期 1 秒の速度型地震計、24 ビットのダイナミックレンジを持つデジタル収録式レコーダ、音響通信制御装置などから構成されている (金沢ほか、2009)。また、電源には 1 年間の観測のために大容量のリチウム電

池を組み合わせて使用する。これら組電池の製作も、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 測位システム等の船上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。海底地震計の観測データは、海底地震計内のハードディスクに収録される。

精度のよい震源決定を行うために、海底地震計の設置後に、引き続きエアガン制御震源およびシングルチャンネル・ハイドロホンストリーマを用いた地震波反射法構造調査を行う。このエアガン震源の発振は、地震観測のために設置された海底地震計でも観測され、屈折法構造調査のために用いられる予定である。そこで、観測に向けて、制御震源であるエアガン及びシングルチャンネル・ハイドロホンストリーマの整備を実施した。また、データを記録する探鉱器は、ハイドロフォンストリーマからの信号を DDS テープに SEG-Y フォーマットで記録する。この記録装置についても整備を行った。

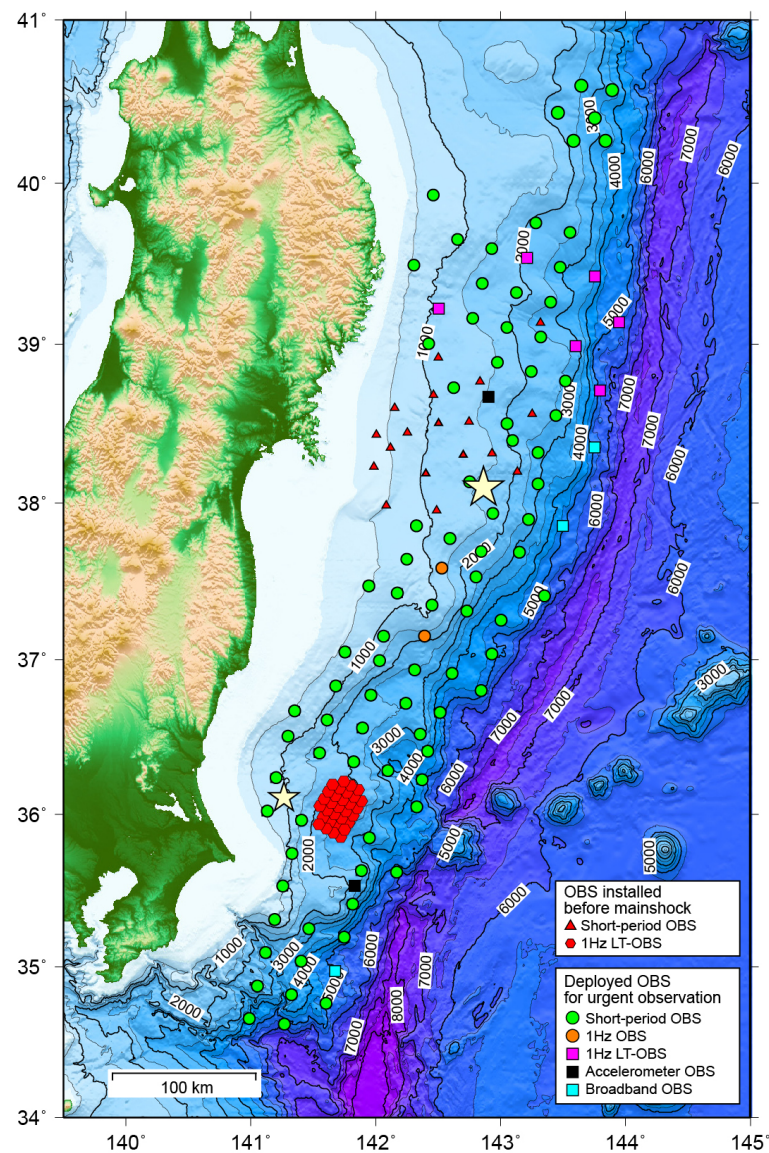


図1. 東北地方太平洋沖地震の緊急海底余震観測の観測点分布。2011年4月下旬から6月中旬までの配置 (Shinohara *et al.*, 2011より引用)

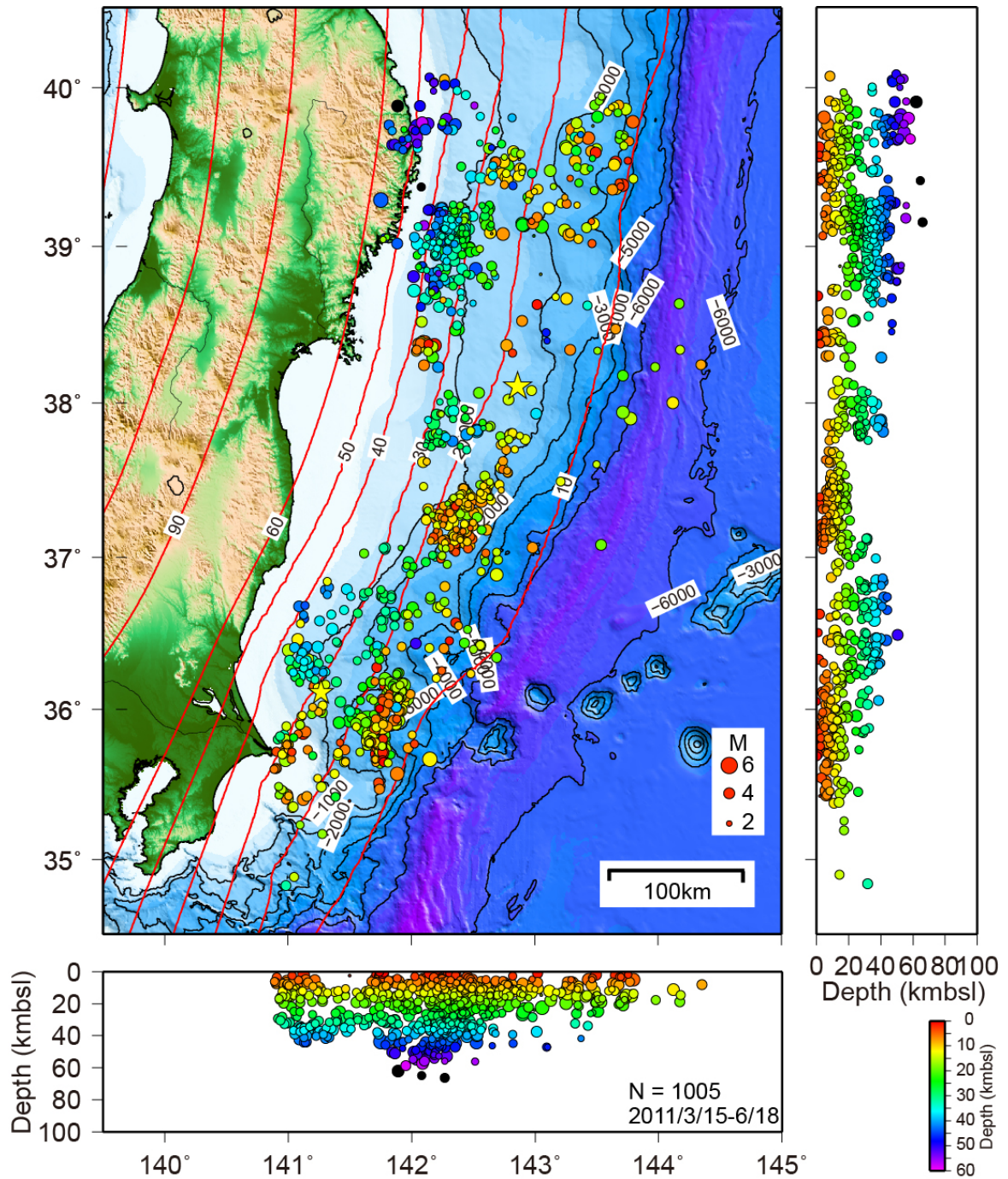


図2. 海底地震観測により得られた2011年3月15日から6月18日までの余震分布。余震震源を表す丸の色と大きさは、それぞれ震源の深さとマグニチュードを表す。赤いコンターは、太平洋プレート上面の深度分布を表す (Shinohara *et al.*, submitted より引用)。

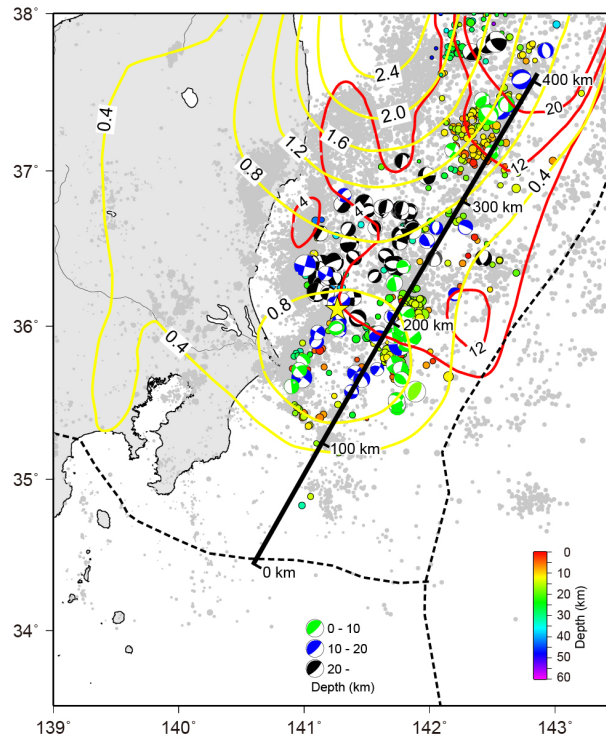


図3. 震源域南部での余震位置と震源メカニズム。赤のコンターは、本震時の滑り量分布、黄色コンターは、2011年12月までの余効変動の大きさを表す。黒線は過去の構造探査測線であり、フィリピン海プレートが南から沈み込む様子がイメージされている (Nakahigashi *et al.*, in press より引用)。

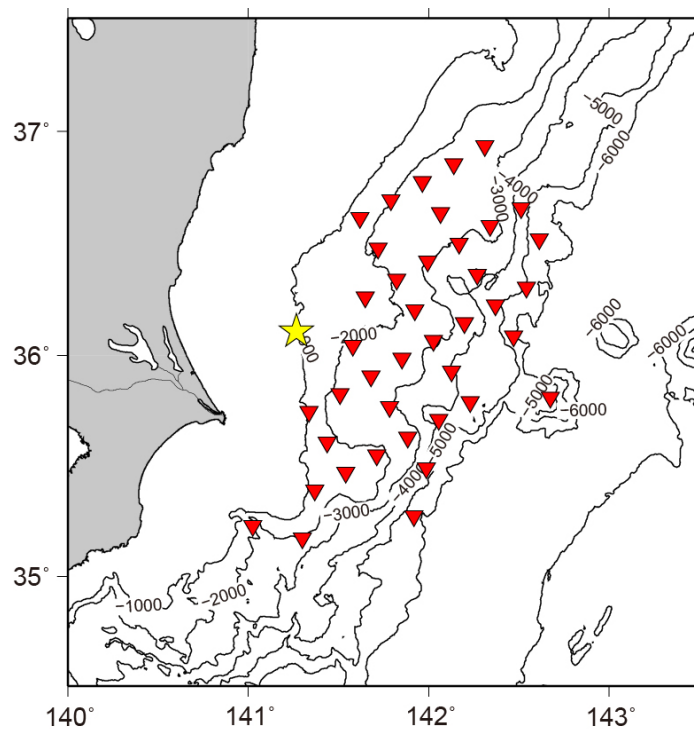


図4. 本調査研究で実施する震源域南部の海底地震観測の観測点配置予定。星は最大余震の震央を表す。震源域南部に高密度で展開することを予定している。



図 5. 整備の完了した広帯域海底地震計



図 6. 組立整備中の広帯域海底地震計。高精度絶対水圧計が付加される。



図 7. 整備の完了した長期観測型海底地震計



図 8. 音響通信装置の整備の様子。

(d) 結論ならびに今後の課題

平成23年度実施を予定した業務は、滞りなく実施することができ、観測に向けた整備などが完了した。なお、今後の課題としては、以下のことがあげられる。

1) 精密な余震分布

今後は、海底地震計を予定観測域に設置する必要がある、設置の速やかな実施が期待される。また、地震観測の解析は海底地震計の回収を待たなければならない。回収後は、すぐに観測記録を計算機により処理し、個々の地震について詳細な解析を行う。ここでは、屈

折法・反射法構造調査で得られた浅部の地殻構造を用いて、3次元構造を導入した精度の高い震源決定を行う。これにより、実際に余震がどこで起こっているのかを詳細に検討することができるかと期待される。

2) 低周波イベント等の解析

今回の観測は、広帯域地震計を積極的に利用し、さらには、精密絶対水圧計による、より低周波のイベントの観測を試みるのが特徴である。これらの解析も、観測終了を待たなければならぬが、回収後に行う計算機処理についても、準備を行う。

3) 地震波屈折法、反射法によるごく浅部の地殻構造調査

海底地震計を予定観測域に設置後に、屈折法・反射法調査を実施する予定である。屈折法解析は海底地震計の回収を待たなければならないが、シングルチャンネル・ハイドロホンストリーマを用いた、エアガン制御震源による反射法調査の解析は、設置航海終了後に可能である。そこで、観測期間中に反射法調査の解析を行う。さらに、海底地震計回収後には、速やかに屈折法解析を実施し、海底地震計で観測された地震について、精度の高い震源決定を行えるよう、浅部地殻構造を詳細に求める。

(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.

金沢敏彦・篠原雅尚・塩原肇, 海底地震観測の最近の進展 — 海底地震観測システムと海底における自然地震観測の進展について —, *地震* **2**, **61**, S55-S68, 2009.

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*, in press.

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. Hirat, 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*, submitted.

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.

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.