

## 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

篠原 雅尚（東京大学地震研究所）

### 1. 研究の目的

平成 23 年東北地方太平洋沖地震（以下、東北地方太平洋沖地震）については、マグニチュード (M) 9.0 というこれまでに日本国内で観測された最大の地震であり、発生後も活発な余震活動や余効変動が観測されました。今後も大きな余震やそれに伴う津波が発生する可能性があることから、今回の地震の震源域に隣接する領域を含めた広い陸海域での調査観測や研究を行い、東北地方太平洋沖地震のような巨大な海溝型地震や津波の発生メカニズム等の解明を図り、防災・減災に資する情報を収集することが重要です。そこで、本研究テーマでは、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いました。対象域では、東北地方太平洋沖地震発生前に震源域全域にわたって、海底地震観測が実施されており、地震発生前における正確な地震活動が求められています。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ことから、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にしました。これらのデータは、トモグラフィー的手法による観測域下の地殻構造の研究にも有効です。また、広帯域海底地震計も利用することにより、低周波イベント等の特異な現象についても観測を行うこととしました。

### 2. 研究の実施

今回の地震の震源域では、本震直後から、自己浮上式海底地震計を用いた緊急余震観測が実施され、本震から 2 ヶ月後までの正確な余震分布が求められています。その結果、宮城県沖のプレート境界で余震活動度が低いこと、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ています (Shinohara *et al.*, 2012)。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、南から同じく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おり (Yamada *et al.*, 2011, Nakahigashi *et al.*, 2012)、本震の破壊がこの領域で停止したことが推定されています (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ました。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ました。また、高精度の震源決定が可能なように観測点間隔は、20 km よりも短くしました。さらに、今回の地震では、海溝付近が大きな津波の波源域となったことを考慮し (Fujii *et al.*, 2011, Maeda *et al.*, 2011)、できるだけ海溝寄りの地点にも海底地震計を設置することとしました。

観測については、平成 23 年度に、今回導入した広帯域海底地震計 12 台の整備を行い、さらに、東北地方太平洋沖地震震源域南部に設置する海底地震計についても、整備を行い

ました。また、海底への設置作業の実施に向けて、観測機材・消耗品の準備を進め、平成24年4月に茨城・房総半島沖に、広帯域海底地震計4台と長期観測型海底地震計36台、併せて40台を設置しました(図1左)。この海底地震観測は、平成24年11月に用船により全観測点を回収して、終了しました。さらに、平成24年11月に、福島沖の海域に8台の広帯域地震計と32台の長期観測型海底地震計を設置しました(図1右)。平成24年に設置した海底地震計は、平成25年11月に回収作業を行い、観測を終了しました。

得られた地震波形データに時刻補正等の処理を行い、同時期に他の計画により実施されていた海底地震観測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いました。その後、一次元速度構造と絶対走時を用いる震源決定(Hirata and Matsu'ura, 1987)を行いました。震源決定に際しては、地震波速度の遅い堆積層の効果を考慮しました。これらの結果に、平成23年10月から実施されていた長期海底地震観測の結果も加え、計816個の震源を精度良く求める事ができました(図2)。平成24年度の本研究で得られた震源位置と気象庁一元化震源位置を比較すると、本研究による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りました(図3)。特に、茨城県沖における震源の深さの差が大きいことがわかります。

得られた震源分布(図2)からは、茨城・房総半島沖の領域では、海溝軸付近や海溝軸外側の浅部で地震が発生していること、宮城県沖の海溝軸周辺では地震活動が見られることがわかります。また、茨城県沖では、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あまりなかったのですが、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りました。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ましたが、本研究の解析期間では地震活動度が低くなったこと、福島県沖では本震直後から本研究期間を通して地震活動度が低いことなど、活動度の時間的な変化が示唆されました。

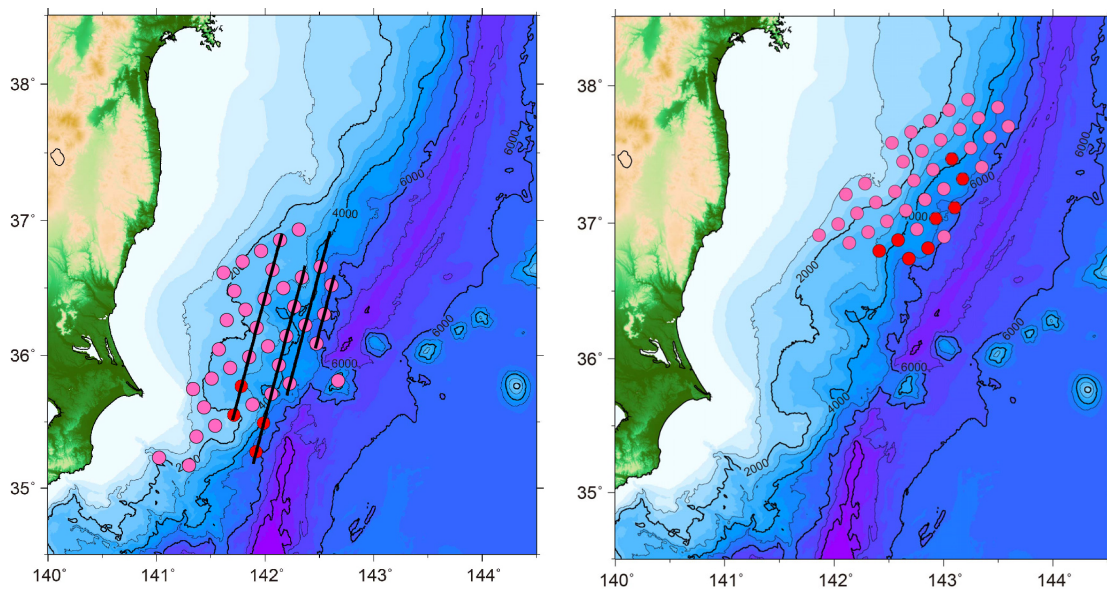


図 1 . 本調査研究で設置した海底地震計の位置

左図が平成 24 年 4 月に開始した観測における海底地震計の設置位置、右図が平成 24 年 11 月に開始した観測の海底地震計の設置位置です。赤丸が広帯域海底地震計、ピンク色の丸が長期観測型海底地震計の位置、左図の黒線は、観測時に実施した構造探査測線を示します。

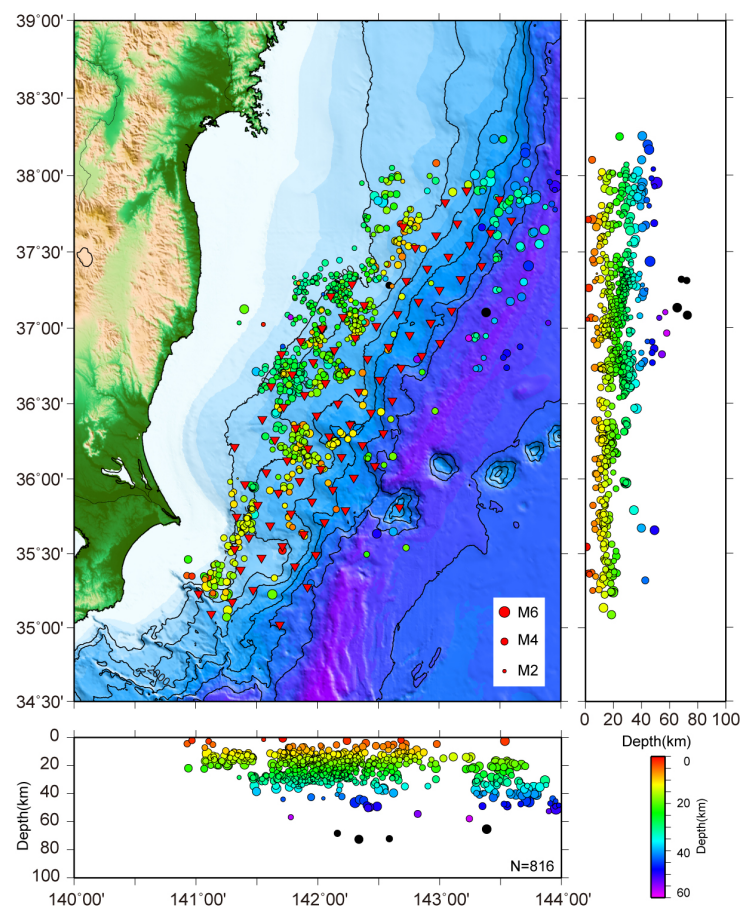


図2. 本研究で得られた海底地震観測データを用いた震源再決定後の震源分布  
赤三角は解析に使用した海底地震計の位置を示します。

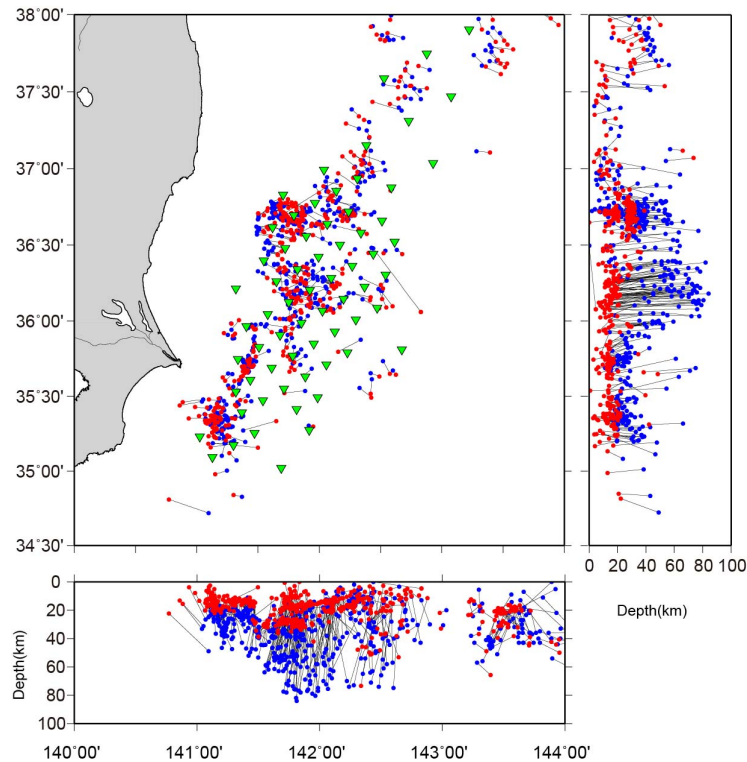


図3. 第1回観測における気象庁一元化震源と再決定後の震源との比較

青丸は気象庁一元化震源、赤丸は海底地震計データによる再決定後の震源をそれぞれ示します。緑色の逆三角は、海底地震計の設置位置を示します。

### 3. 今後の課題

東北地方太平洋沖地震の規模はM9.0であり、その震源域は岩手県沖から房総半島沖までの広範囲にわたっています。本研究において、観測できた領域は、震源域南部に限られており、北部に関しては観測できませんでした。観測を実施した震源域南部では、余震活動の時間的な変化が推定されています。時間に伴う地震活動変化は、本震でずれた断層が地震前の状態に遷移する過程を反映している可能性が高いと考えられます。この情報は、今後起こりうる大きな余震の発生、さらには、巨大地震そのものの発生を考える上において、重要な情報と考えられます。この観点からは、今後も震源域における海底地震観測を実施し、精度のよい震源分布を継続的に求めることが非常に重要です。このような認識に基づいて、我々は本調査観測の終了後も、規模を縮小しつつも、長期の海底地震観測を継続しています。現在、日本海溝海底地震津波観測網（通称：S-net）の構築が進んでおり、近い将来には、震源域においてリアルタイム連続観測が実施されます。この観測網には、このような観点からも大きな期待を寄せています。ただし、S-netの観測点間隔は、本研究が実施した海底地震観測の観測点間隔より長く、震源の位置精度という観点では、S-net稼働後の早い時期に、自己浮上式海底地震計を併用した空間的な高密度観測を実施し、S-netで決定される震源分布の評価を行うことが必要と考えています。さらに、S-netと自己浮上式海底地震計を併用することにより、空間的に非常に高密度な観測網を展開することが可能ですから、今後も地

震活動の正確な推移を明らかにするために、定期的にこのような併用観測を実施することも、地震発生を考える上に置いて、有益な情報が得られると考えられます。

本調査観測では、広帯域海底地震計や精密水圧計を含めた観測を実施しましたが、低周波イベント等の特異な現象についての詳細な把握を進めるためには、さらに多くの広帯域地震観測点が必要です。そのためには、自己浮上式広帯域海底地震計を主とした観測網を構築することも重要です。また、東北地方太平洋沖地震では、海溝付近の超深海の海底下におけるプレート境界で大きな滑りがあり、それが大きな津波の原因になったことが推定されています。しかしながら、現在用いている自己浮上式海底地震計の性能制限から、水深 6,000 m よりも深い領域での観測が実施できていません。実用的な超深海型海底地震計を開発し、海溝付近まで、高密度な観測網を展開できるようにすることも重要です。一方、水深が 1,000 m より浅い領域については、社会的な要因により、やはり、観測網の展開ができませんでした。日本列島上には世界的に見て、類を見ない高密度地震観測網がありますから、それに接続して、海陸一体となった観測を実施するためにも、浅海域での海底地震観測技術の開発が期待されます。これらにより、幅広い周波数帯域において、沿岸域から海溝域までの広い空間領域での観測を実施することが、今回の地震の実体解明、今後の巨大地震発生解明を進めるために、必要不可欠であると考えられます。これらの観測のための技術開発も引き続き継続していく必要があります。

## 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.
- 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.
- 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*, **64**, 1137-1148 2012.
- ト部卓・東田進也, win -微小地震観測網波形験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.