

### 3-10 海底地震観測による 2011 年東北地方太平洋沖地震の前震および本震の震源分布 Hypocenter distribution of the foreshocks and the mainshock of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake using ocean bottom seismic data

東北大学大学院理学研究科  
Graduate School of Science, Tohoku University

海洋研究開発機構  
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

東京大学地震研究所  
Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

想定「宮城県沖地震」の発生に至る過程の理解を目的として、その想定震源域周辺の海域においては、2002 年以來、自己浮上式海底地震計（2009 年からは海底水圧計を追加）を用いた繰り返し観測を実施してきた。2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震（M9.0）は日本海溝沿いの広い範囲を震源域としているが、その破壊の開始点は、3 月 9 日に発生した「前震」（M7.3）の震源とともに宮城県沖の海域にあって、観測中の海底地震計（OBS）によって前震から本震に至る地震活動を捉えることができた（第 1 図）。本稿では、海底地震観測により明らかとなった東北地方太平洋沖地震の破壊開始点近傍での地震活動の特徴について報告する。

観測中の機材のうち、OBS5 台（うち 1 台は 1 月末に観測を終了）を回収し、これらのデータと陸上観測点を併せて用いることにより、3 月 9 日の前震発生から本震発生までの気象庁一元化カタログに掲載された地震について、震源再決定を行った。再決定処理のために、OBS 観測点での験測とともに陸上観測点についても再検測を行った。震源決定の方法は、Hino et al. (2005)<sup>1)</sup>と同様に陸上観測点と海域観測点（釜石沖海底ケーブルシステムの地震計を含む）とで異なる 1 次元速度構造を用いるものであり、陸上観測網に対しては Hasegawa et al. (1978) によるモデル 2) を用い、海域については人工地震探査による前震・本震の震源域における構造モデル<sup>3)</sup>を参考にして作成した 1 次元モデルを用いた。さらに、海域観測点については堆積基盤における変換波と初動の走時差を用いた観測点補正<sup>1)</sup>を施した。再決定された震央位置は、気象庁のカタログに掲載されているものと比べて、系統的に数～十数 km 程度西側に移動する傾向にある。そこで、2002 年以來実施してきた OBS 観測のデータを用い、上記と同様の手法で震源決定を行ない、その結果が定常的な地震活動を代表するものと考えて、前震・本震の震源分布との比較を行った。

第 2 図に得られた前震および本震の震源分布を示す。活発な前震活動が見られた地域は、1980 年の M7.0 の地震の破壊域<sup>4)</sup>よりさらに海溝に近い側にある。2002 年以來の地震活動の震央分布と比較すると、前震活動は定常的な地震活動域の範囲内であるが、特に海溝側縁辺部分であることがわかる。この領域においては、定常的に M6 級の地震がしばしば発生しており、もっとも最近の活動は 2008 年 2 月に見られたほか、2005 年 8 月に宮城県沖で発生した M7.2 のプレート境界地震の、およそ 1 週間後にも M6 級の地震を 2 つ含む活動があったことが知られている<sup>1)</sup>。一方で、前震活動も定常的な地震活動も、ともに海溝軸から陸側の約 40 km の範囲ではほとんど見られない。

本震の波形記録の解析によれば、初動の立ち上がりの後約 3 秒間にわたって比較的小さな振幅が

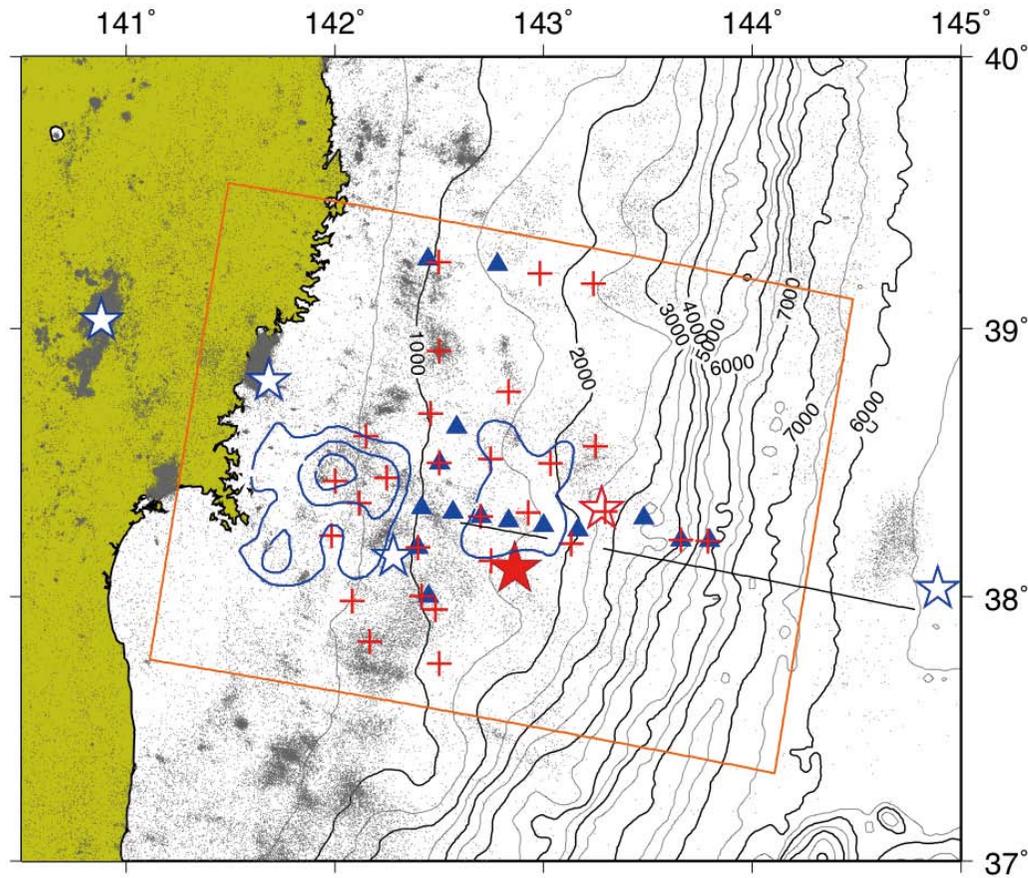
継続した後に大振幅の震動が始まっていることが指摘されている<sup>5)</sup>。こうした波形の特徴はOBSの記録でも認められるが、P波初動到達直後の小振幅部分(初期位相)の継続時間が陸上観測点に比べて短く、大振幅を放射した主破壊の開始点が、初期位相の破壊開始点と異なることが示唆される。そこで、大振幅部分の立ち上がりとP波初動の到達時刻差から、相対震源決定法により主破壊の開始点の震央を決めると、「震源」に比べておよそ5.2 km 東側にあり(第2図)、破壊の開始から主破壊に至るまでに要した時間はおよそ3.3秒であったことがわかった。

前震と本震の震源深さ分布を、人工地震探査によるこの海域の2次元P波速度構造モデル<sup>3)</sup>と比較すると(第3図)、前震のほとんどは沈み込む太平洋プレートの海洋性地殻と島弧地殻とが接している領域で起こっているのに対して、比較的西側に位置する本震の震源付近では、プレート境界の上盤側が島弧地殻から前弧マントルに移り変わっている。さらに、ここではプレート境界面の傾斜角度も大きく変化することから、プレート境界面の幾何学的形状やその周囲の構造が急変する地点から、東北地方太平洋沖地震の破壊が開始している可能性が示唆される。

(日野亮太・篠原雅尚・金田義行)

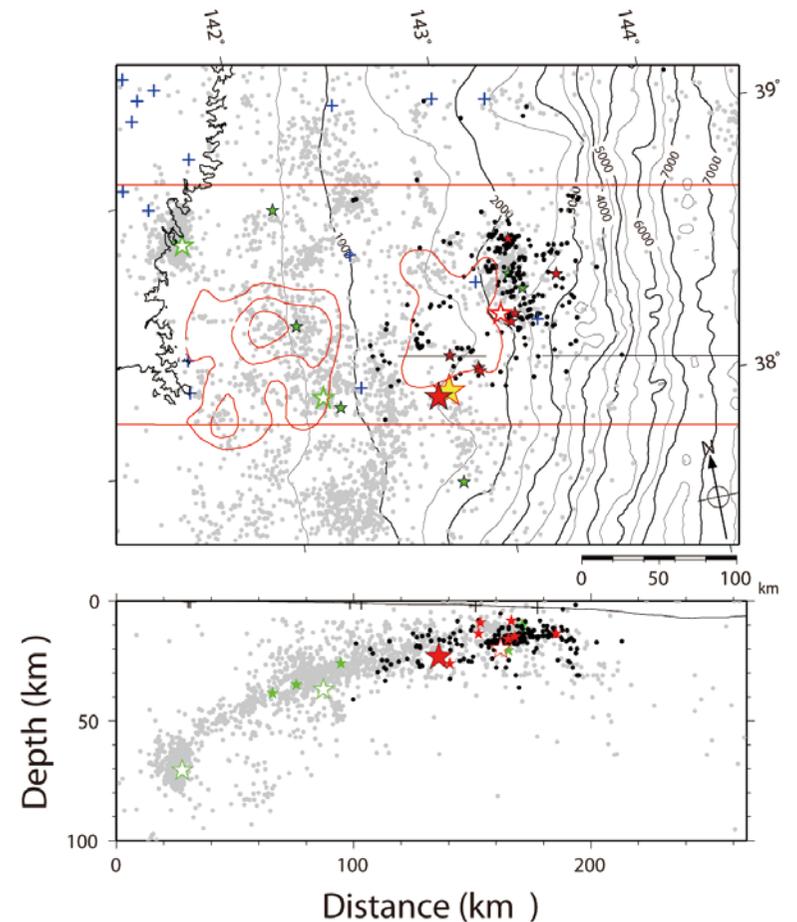
#### 参 考 文 献

- 1) Hino, R., Y. Yamamoto, A. Kuwano, M. Nishino, T. Kanazawa, T. Yamada, K. Nakahigashi, K. Mochizuki, M. Shinohara, K. Minato, G. Aoki, N. Okawara, M. Tanaka, M. Abe, E. Araki, S. Kodaira, G. Fujie, Y. Kaneda, Hypocenter distribution of the main- and aftershocks of the 2005 Off Miyagi Prefecture Earthquake located by ocean bottom seismographic data, *Earth, Planets and Space*, 58, 1543-1548, 2006.
- 2) Hasegawa, A., N. Umino, and A. Takagi, Double-planed structure of the deep seismic zone in the northeastern Japan Arc, *Tectonophysics*, 47, 43-58, 1978.
- 3) Ito, A., G. Fujie, S. Miura, S. Kodaira, Y. Kaneda, and R. Hino, Bending of the subducting ocean plate and its implication for rupture propagation of large interplate earthquakes off Miyagi, Japan, in the Japan Trench subduction zone, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L05310, doi:10.1029/2004GL0223027, 2005.
- 4) Yamanaka, Y., and M. Kikuchi, Asperity map along the subduction zone in northeastern Japan inferred from regional seismic data, *J. Geophys. Res.*, 109, B07307, doi:10.1029/2003JB002683, 2004.
- 5) Ide S., A. Baltay, and G. C. Beroza, Shallow Dynamic Overshoot and Energetic Deep Rupture in the 2011 Mw 9.0 Tohoku-Oki Earthquake, *Science*, 332, 1426-1429, DOI: 10.1126/science.1207020, 2011.



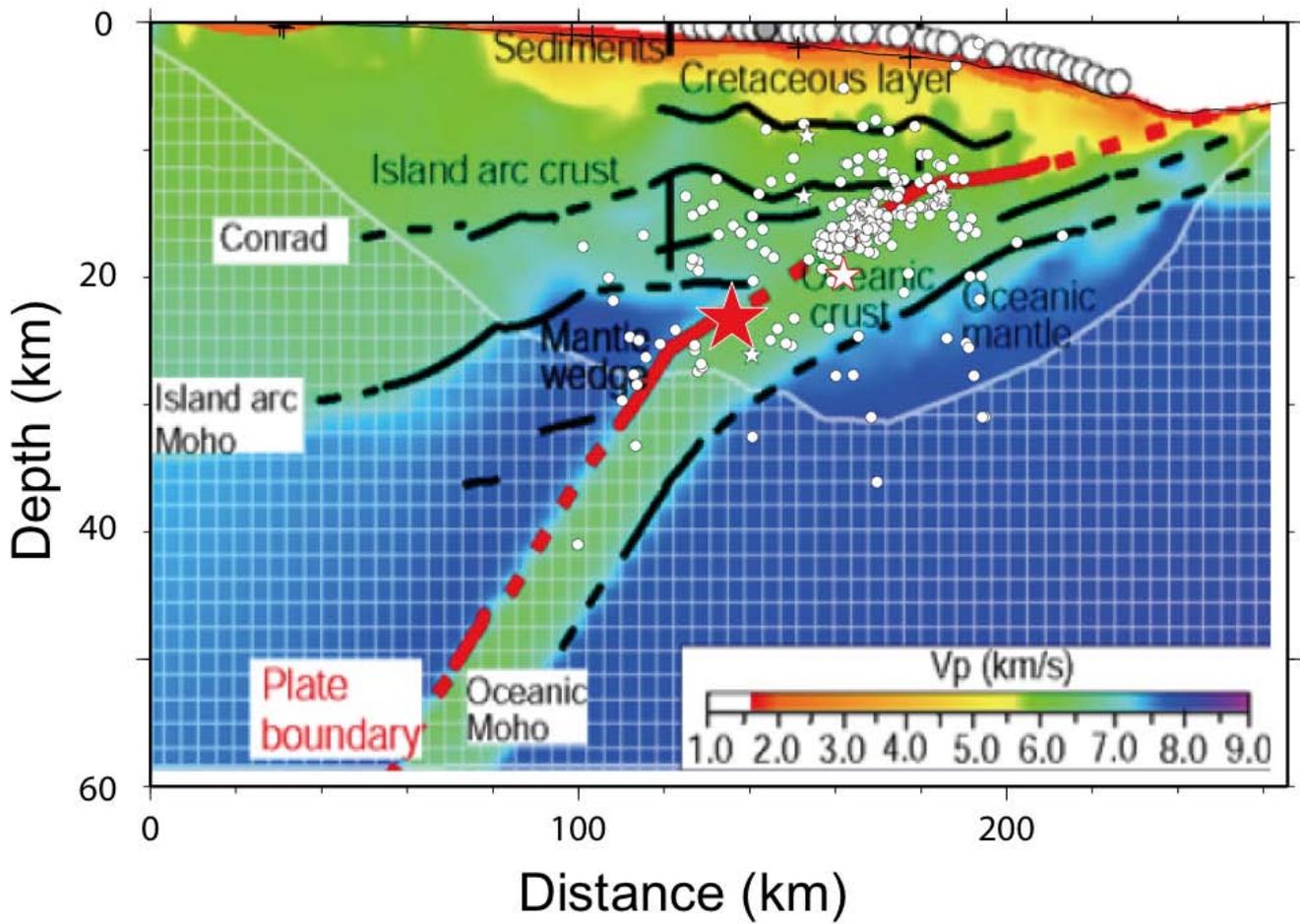
第1図 2011年東北地方太平洋沖地震が発生した時点で稼働していた海底観測点の分布。赤十字印が海底地震計、青三角印は海底圧力計。白抜き赤と赤星印は、それぞれ3月9日の最大前震(M7.3)と本震の震央。白抜き青星印は2003~2010の期間に発生したM7以上の地震、小さな点は2003年1月1日から本震発生直前までの震央。震央はいずれも、気象庁一元化処理による。

Fig. 1 Distribution of ocean bottom instruments in the Miyagi-Oki region. Red crosses and blue triangles are ocean bottom seismographs and ocean bottom pressure gauges. Open and solid red stars are epicenters of the largest foreshock (M7.3) and the mainshock. Small dots are epicenters during the period from January 2003 until the occurrence of the mainshock. Open blue stars are epicenters of the earthquakes with  $M \geq 7$  in the period. All the epicenters are from the JMA catalogue.



第2図 海底地震計のデータを用いて再決定された震源分布。赤の大きな星印が2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の震源。黄色星は本震の主破壊の開始点。赤色白抜き星印が同3月9日に発生した最大前震。黒丸と小赤星印は、それ以外の前震であり、小赤星印はM6級の前震を表す。灰色丸と緑星印は、2003年~2009年に発生した地震の震源を再決定したもので、白抜き緑星印はM7級、小緑星印はM6級の地震を表す。

Fig. 2 Hypocenter distribution relocated by adding OBS data. Large solid red star and red open star are the hypocenters of the mainshock and the largest foreshock (M 7.3, on March 9). Solid circles are foreshocks from March 9 to March 11. M6-class foreshocks are shown by small red stars. Grey dots are the hypocenter distribution for the period from 2003 to 2009, also relocated by using OBS data. Solid and open green stars are M6- and M7-class earthquakes in 2003-2009. Yellow star in the map view is the initiation point of the major rupture.



第3図 震源分布とP波速度構造3)の比較. 赤星印が本震, 白抜き星印は最大前震の震源, 白丸はその他の前震.

Fig. 3 Hypocenter distribution of the mainshock (M9.0, Mar. 11) and its foreshocks plotted onto the 2D  $V_p$  structure model3). Solid and open red stars are the mainshock and the largest foreshock and open circles are other foreshocks.