

6-3 海底地震計を用いた令和 6 年能登半島地震の海域緊急余震観測

Urgent aftershock observation in the eastern source region of the 2024 Noto-Hanto earthquake using ocean bottom seismometers

東京大学地震研究所・北海道大学大学院理学研究院・東北大学大学院理学研究科・千葉大学大学院理学研究院・東京海洋大学学術研究院海洋資源エネルギー学部門・東海大学海洋学部・京都大学防災研究所・鹿児島大学大学院理工学研究科・海洋研究開発機構

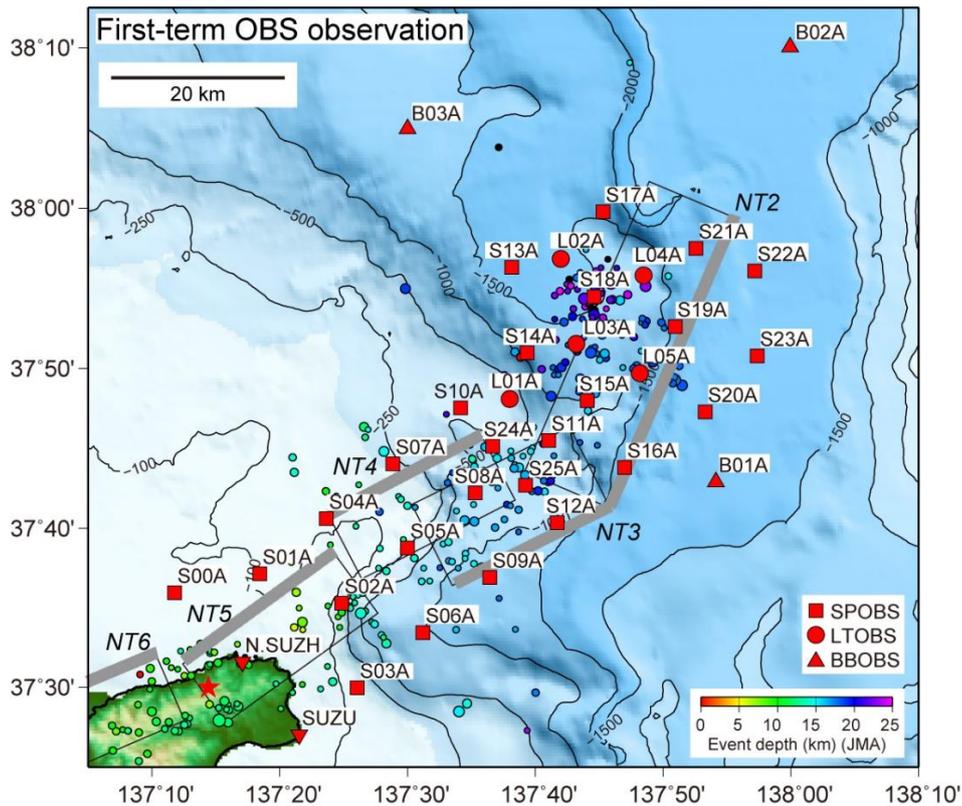
Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Faculty of Science, Hokkaido University, Graduate School of Science, Tohoku University, Graduate School of Science, Chiba University, Tokyo University of Marine Science and Technology, Undergraduate School of Marine Science and Technology, Tokai University, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Research Field in Science, Science and Engineering Area, Kagoshima University, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

令和 6 年 1 月 1 日に発生した令和 6 年能登半島地震の海域緊急余震観測を、自由落下自己浮上式海底地震計 (OBS) を用いて実施している。本観測は、科学研究費補助金特別研究促進費を受け、災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画 (第 2 次) に関する経費、および参加大学・機関の運営費交付金により実施している。海洋研究開発機構所属学術研究船「白鳳丸」による緊急調査航海 (1 月 16 日東京出港 - 1 月 23 日富山入港) により、OBS の設置を行った。1 月 18 日から設置を開始し、計 34 台の OBS が震源域に展開され、1 月 24 日に設置した全台で観測が開始された。設置した OBS の種類と台数は、主に固有周波数 4.5Hz の地震計を用いた短期観測型 OBS(SPOBS) が 26 台、固有周波数 1Hz の地震計を用いた長期観測型 OBS(LTOBS) が 5 台、広帯域地震計を搭載した広帯域 OBS(BBOBS) が 3 台である。

設置した OBS のうち、26 台の SPOBS は、2 月下旬に実施された令和 6 年能登半島地震に伴う学術研究船「白鳳丸」緊急調査航海 (第二次) により、回収された。また、1 月に設置した LTOBS と BBOBS については、半年程度以上の連続観測が可能のため回収せずに観測を継続する共に、「白鳳丸」緊急調査航海 (第二次) により、長期観測可能な OBS25 台を追加設置し、計 32 台の海底地震観測網にて、2024 年 6 月時点において、長期の余震観測を実施している。

(東京大学地震研究所 篠原雅尚)

Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, SHINOHARA Masanao



第 1 図 「白鳳丸」による緊急調査航海により設置された OBS の位置。気象庁による令和 6 年能登半島地震の震央 (赤星)。海底観測を開始した 1 月 24 日から 2 月 5 日までに気象庁が決定したマグニチュード 2 以上の地震の震央を併せて示す。四角は「日本海地震・津波調査プロジェクト」による断層モデル (NT1 - NT6) であり、灰色太線が上端を示す。地形データは国土地理院、海上保安庁による。

Fig. 1 Positions of Ocean Bottom Seismometers (OBSs) deployed during urgent aftershock observation using the R/V Hakuho-maru with epicenter of the 2024 Noto-Hanto earthquakes located by Japan Meteorological Agency (JMA). Circles show epicenters of aftershocks with magnitudes greater than 2 from January 24th to February 5th by JMA. Rectangles indicate earthquake fault modes (NT1 - NT6) by the Japan Sea earthquake tsunami project and grey thick lines denote upper edges of the fault models. Topography data are provided by the Geospatial Information Authority of Japan and the Japan Coast Guard.

6-3 海底地震計を用いた令和 6 年能登半島地震の海域緊急余震観測 (第 2 報)

Urgent aftershock observation in the eastern source region of the 2024 Noto-Hanto earthquake using ocean bottom seismometers (Second report)

東京大学地震研究所・北海道大学大学院理学研究院・東北大学大学院理学研究科・千葉大学大学院理学研究院・東京海洋大学学術研究院海洋資源エネルギー学部門・東海大学海洋学部・京都大学防災研究所・鹿児島大学大学院理工学研究科・海洋研究開発機構

Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Faculty of Science, Hokkaido University, Graduate School of Science, Tohoku University, Graduate School of Science, Chiba University, Tokyo University of Marine Science and Technology, Undergraduate School of Marine Science and Technology, Tokai University, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Research Field in Science, Science and Engineering Area, Kagoshima University, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

令和 6 年 1 月 1 日に発生した令和 6 年能登半島地震の海域緊急余震観測を自由落下自己浮上式海底地震計 (OBS) を用いて実施している。海洋研究開発機構所属学術研究船「白鳳丸」による緊急調査航海 (1 月 16 日東京出港 - 1 月 23 日富山入港) により、OBS の設置を行った。使用した OBS の種類は、短周期地震計を用いた短期観測型 OBS(SPOBS)、長期観測型 OBS(LTOBS)、および広帯域 OBS(BBOBS) である。設置した OBS のうち、SPOBS は、学術研究船「白鳳丸」緊急調査航海 (第二次) (2 月 18 日新潟出港 - 3 月 1 日富山入港) により回収された。1 月に設置した LTOBS と BBOBS については、海底観測を継続すると共に、「白鳳丸」緊急調査航海 (第二次) により、長期観測可能な OBS を追加設置し、2024 年 6 月の時点で海底地震観測を継続中である (第 1 図)。

2 月下旬に回収された SPOBS 25 台と能登半島東部の陸上観測点 4 点のデータを用いて、余震震源決定を行った。気象庁一元化リストに基づき、観測期間内で観測網近辺に震央がある M2 以上の地震 571 個について、読み取りを行った。この領域では、OBS とエアガンを用いた構造探査¹⁾が行われており、その結果から一次元速度構造を作成し、震源決定に用いた (第 2 図)。まず、絶対走時と一次元構造を用いる震源決定プログラム²⁾により、初期震源を決定した。その際、SP 変換波、PS 変換波の到着時刻を基とした観測点補正値を導入し、観測点直下の速度不均質を補正した。その後、初期震源を用いて、Double Difference 法³⁾により再決定を行い、506 個の精度のよい震源が求められた。

震源再決定の結果、余震は能登半島沿岸では深さ 10 km 程度まで、沖合では深さ 16 km 程度まで発生していることがわかった (第 3 図)。「日本海地震・津波調査プロジェクト」による断層モデル NT2 の深部において、最も深い地震が発生している。発生時刻と位置の時系列分布からは、余震域について、時空間的にほぼ均質に余震が発生していることがわかる (第 4 図)。

気象庁一元化震源との比較では、OBS による震源は 10 km ほど浅く求まっていることがわかる (第 5 図)。また、「日本海地震・津波調査プロジェクト」による断層モデル (NT2 - NT5) と余震発生位置の対応を考察するために、断層モデルと再決定された余震震源位置の比較を行った (第 6 図)。

震源再決定された地震について、各観測点の P 波初動極性から、グリッドサーチ法⁴⁾を用いて発震機構解を求めた (第 7 図)。各観測点への射出角と方位角は、DD 法³⁾で求められた値を用いた。また、発震機構解の決定には、P 波初動極性のデータがある震央距離 30 km 以内の観測点が 12 点

以上ある地震を対象とし、156 個の決定精度がよい発震機構解が求められた。発震機構解を分類⁵⁾した結果、逆断層型の余震が発生していると共に、横ずれ型の地震も数多く発生していることが推察される (第 8 図)。

(東京大学地震研究所 篠原雅尚)

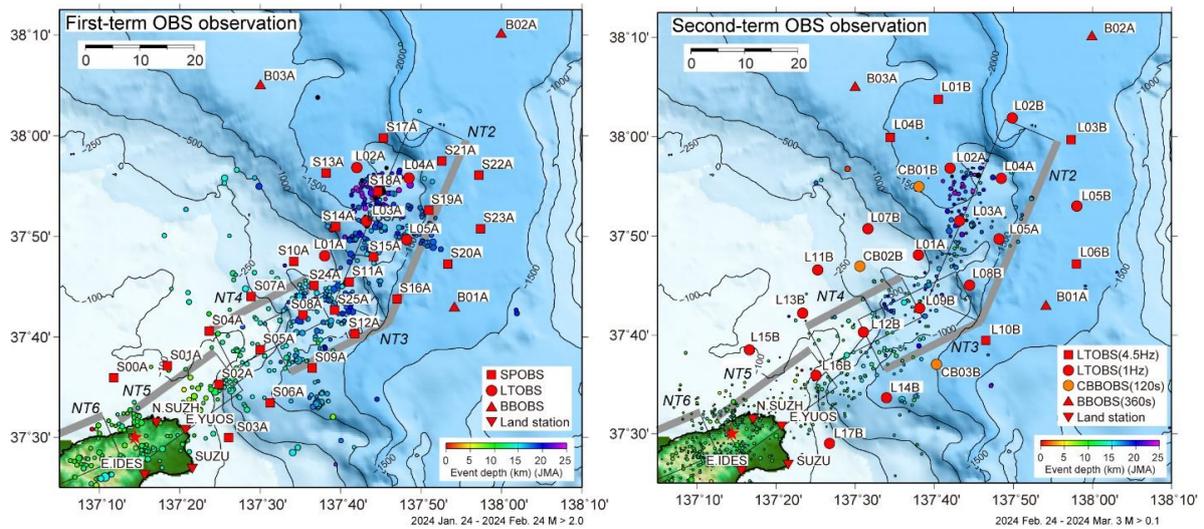
Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, SHINOHARA Masanao

謝辞

本観測は、科学研究費補助金特別研究促進費を受け、災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画 (第 2 次) に関する経費、および参加大学・機関の運営費交付金により実施している。

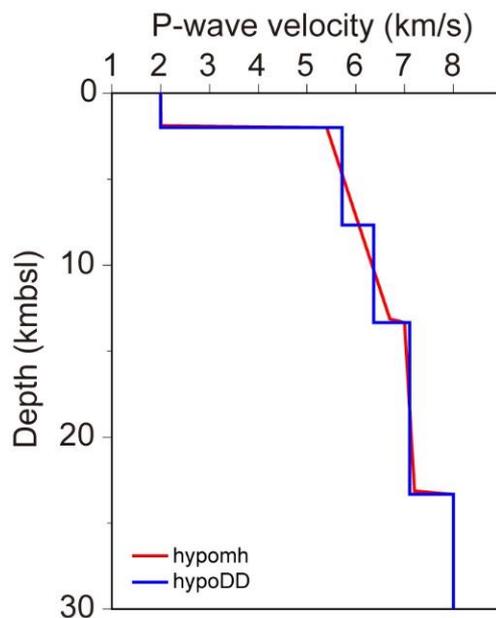
参考文献

- 1) Nakahigashi, K., M. Shinohara, E. Kurashimo, T. Yamada, A. Kato, T. Takanami, K. Uehira, Y. Ito, T. Iidaka, T. Igarashi, H. Sato, K. Obana, Y. Kaneda, N. Hirata, T. Iwasaki, T. Kanazawa (2012), *Tectonophysics*, **562-563**, 34-47, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.06.052>, Seismic structure of the source region of the 2007 Chuetsu-oki earthquake revealed by offshore-onshore seismic survey: asperity zone of intraplate earthquake delimited by crustal inhomogeneity
- 2) Hirata N, Matsu' ura M (1987), *Phys Earth Planet Inter*, **47**,50-61, [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(87\)90066-5](https://doi.org/10.1016/0031-9201(87)90066-5), Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using nonlinear inversion technique
- 3) Waldhauser F, Ellsworth W-L (2000), *Bull Seismol Soc Am*, **90**,1353-1368, <https://doi.org/10.1785/0120000006>, A double-difference earthquake location algorithm: method and application to the northern Hayward fault
- 4) Reasenber P-A, Oppenheimer D (1985), Open-File Report 85-739, US Department of the Interior, US Geological Survey, <https://doi.org/10.3133/ofr85739>, FPFIT, FPLOT and FPPAGE: Fortran computer programs for calculating and displaying earthquake fault-plane solutions
- 5) Frohlich C (2001), *Geophys J Int*, **144**, 300-308. <https://doi.org/10.1046/j.1365-246x.2001.00341.x>, Display and quantitative assessment of distributions of earthquake focal mechanisms



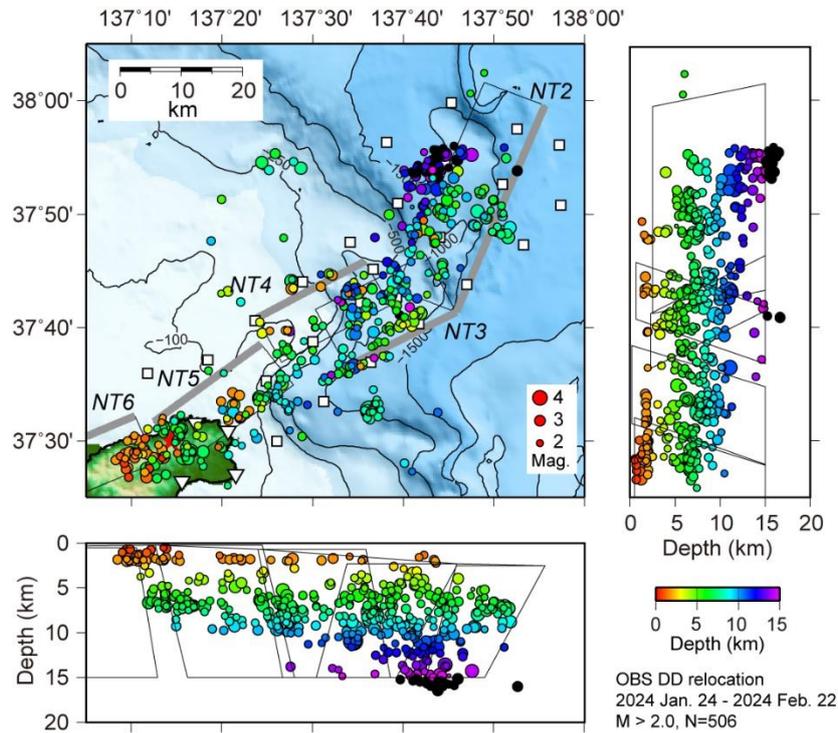
第 1 図 「白鳳丸」による緊急調査航海により設置された OBS の位置。2024 年 1 月 24 日から 2 月 22 日までの第 1 期観測網 (左) と、2024 年 2 月 22 日以降の第 2 期観測網 (右)。それぞれ、気象庁が決定した地震の震央を併せて示す。四角は「日本海地震・津波調査プロジェクト」による断層モデル (NT2 - NT6) であり、灰色太線が上端を示す。地形データは国土地理院、海上保安庁による。

Fig. 1 Positions of Ocean Bottom Seismometers deployed during urgent aftershock observation using the R/V Hakuho-maru with epicenter of the 2024 Noto-Hanto earthquakes located by Japan Meteorological Agency (JMA). The first observation from January 24th to February 22nd (left) and the second observation from February 22nd (right) are shown. Circles show epicenters of aftershocks by JMA. Rectangles indicate earthquake fault modes (NT2 - NT6) by the Japan Sea earthquake tsunami project and grey thick lines denote upper edges of the fault models. Topography data are provided by the Geospatial Information Authority of Japan and the Japan Coast Guard.



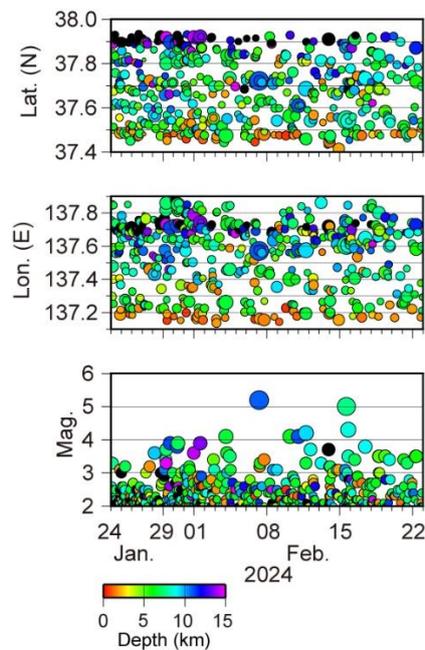
第 2 図 震源決定に用いた速度構造。

Fig. 2 Velocity structures for hypocenter locations.



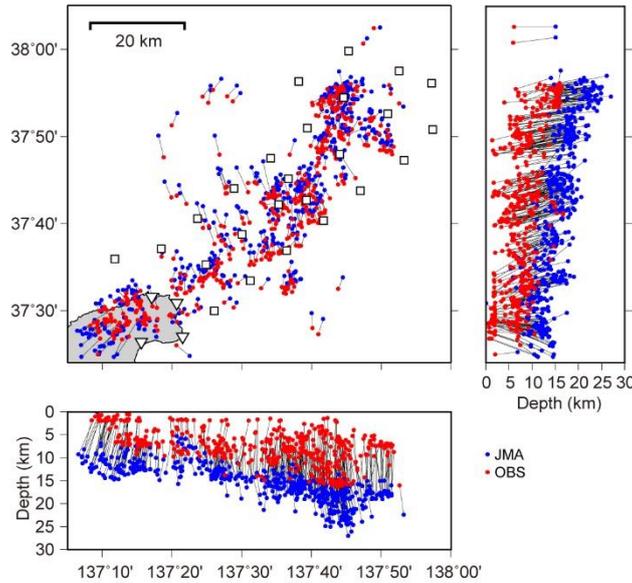
第 3 図 DD 法³⁾による余震分布. 丸が余震の震源位置. 色は震源の深さを表す. 大きさはマグニチュードを表す. 断層モデル NT2 深部で余震が発生している.

Fig. 3 Hypocenter distribution by Double Difference Method³⁾. Circle indicate hypocenter of aftershocks, and color shows depth of events. Size of circle means magnitude of aftershocks. There were aftershocks in deep region of the fault model of NT2.



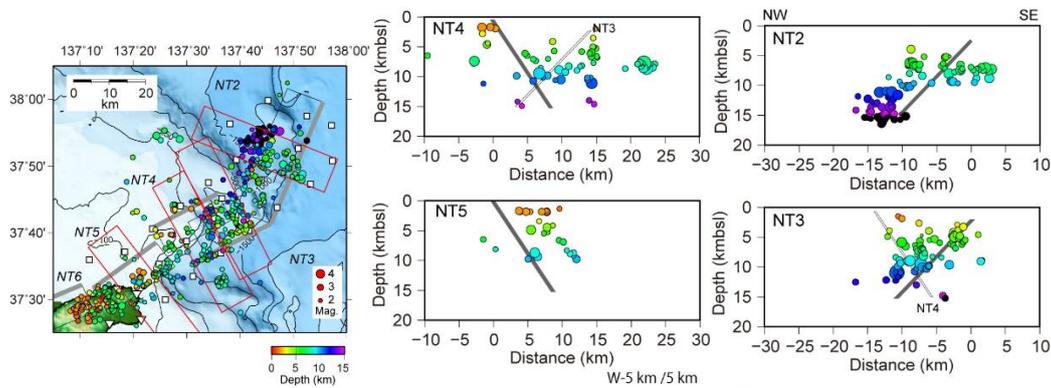
第 4 図 余震発生の時系列分布. 上: 緯度、中: 経度、下: マグニチュード

Fig. 4 Time series for occurrence of aftershocks. Upper: latitude, Middle: longitude, Lower: magnitude.



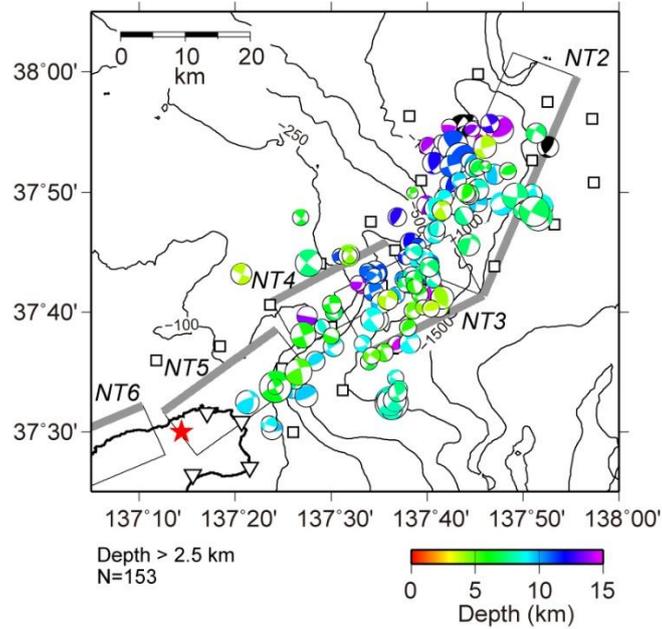
第 5 図 気象庁一元化震源と OBS を用いた震源再決定による震源位置の比較。赤丸は OBS による再決定震源、青丸は気象庁一元化震源を示し、対応する震源を結んでいる。

Fig. 5 Comparison between hypocenters located by the OBS network and those by JMA. Red and blue circles show hypocenters by the OBS network and those by JMA, respectively. Corresponding hypocenters are connected by black thin line.



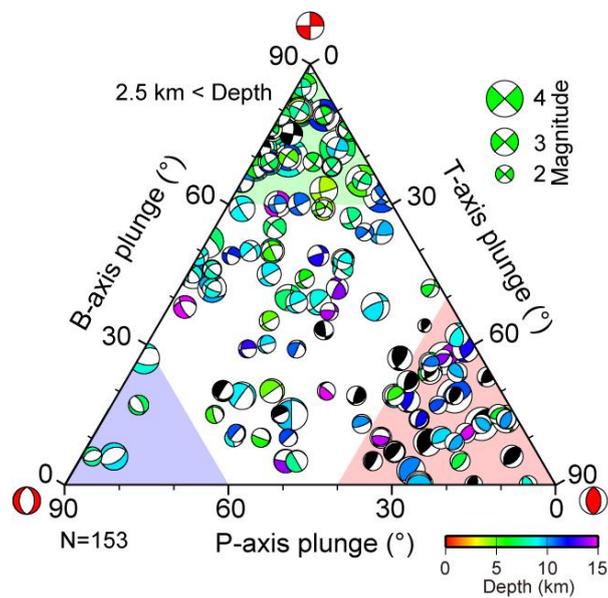
第 6 図 「日本海地震・津波調査プロジェクト」による断層モデルと OBS による再決定震源との比較。NT2 から NT5 の 4 つの断層モデルについて、断層中央を通る断層走向に直交した断面に、両側 5 km の震源を投影した。

Fig. 6 Comparison of hypocenters located by the OBS network with the fault models obtained by the Japan Sea earthquake tsunami project. Aftershocks whose distance is less than 5 km to the profile which pass through center of the fault model and is perpendicular to the fault model are selected.



第 7 図 OBS を用いた震源再決定による発震機構解。震源の深さが 2.5 km よりも深い発震機構解を示す。発震機構解の色は震源の深さ、大きさはマグニチュードを示す。

Fig. 7 Focal solutions determined by the OBS network data. Events whose depth is deeper than 2.5 km are shown. Color and size of focal solutions indicate focal depth and magnitude of the event, respectively.



第 8 図 発震機構による地震の分類。震源の深さが 2.5km よりも深い発震機構解を対象としている。青、赤、緑の領域がそれぞれ正断層型、逆断層型、横ずれ断層型であることを示す³⁾。発震機構解の色は震源の深さを示す。

Fig. 8 Classification of aftershocks by focal solution. Events with depths greater than 2.5 km were classified. Events in blue, red, green regions correspond to normal fault type, reverse fault type, strike slip fault type, respectively³⁾. Color and size of focal solution indicate focal depth and magnitude of the event, respectively.