

6-4 海底地震計を用いた令和 6 年能登半島地震の海域余震観測

Monitoring of aftershock activity in the eastern source region of the 2024 Noto-Hanto earthquake using long-term 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

2024 年 1 月 1 日に発生した令和 6 年能登半島地震の海域余震観測を自由落下自己浮上式海底地震計 (OBS) を用いて実施した。最初の OBS 設置には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 KH-JE01 (令和 6 年 1 月 16 日東京出港 - 1 月 23 日富山入港) を利用し、OBS 34 台での観測を開始した (第一期観測)。使用した OBS の種類は固有周波数 4.5Hz の地震計を用いた短周期型 OBS(SPOBS) が 26 台、固有周波数 1 Hz 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。SPOBS は学術研究船「白鳳丸」緊急調査航海 (第二次) KH-24JE02C (令和 6 年 2 月 18 日新潟出港 - 3 月 1 日富山入港) により回収した。LTOBS と BBOBS については海底観測を継続する共に「白鳳丸」緊急調査航海 (第二次) により、新たに SPOBS 5 台、LTOBS 12 台および小型広帯域地震計 (CBBOBS) 3 台を追加設置した (第二期観測)。さらに 2024 年 6 月に学術研究船「白鳳丸」KH-24-JE03 航海 (令和 6 年 6 月 15 日下関出港 - 22 日八戸入港) により SPOBS 5 台の回収と主に構造探査のために SPOBS 60 台の設置 (第三期観測)、同年 9 月に用船により SPOBS と BBOBS の回収および SPOBS20 台の再設置 (第四期観測) を行った。2025 年 1 月学術研究船「白鳳丸」KH-25-JE01 航海 (令和 7 年 1 月 8 日北九州出港 - 19 日新潟入港) により LTOBS, CBBOBS, SPOBS を回収し、海域余震観測を終了した (第 1 図)。

すでに解析を行った第一期観測の SPOBS 25 台¹⁾に加え、複数の観測期間を通じて連続記録を取得した BBOBS 3 台 (第一期~第三期)、CBBOBS 3 台 (第二期~第四期)、LTOBS 17 台 (内 5 台が第一期~第四期、12 台が第二期~第四期) と同一観測点で全期間を通じて繰り返し観測を実施した SPOBS 20 台を用いて観測期間全体の震源決定を行った。まず、気象庁一元化リストに基づき観測期間内で観測網近傍に震央がある $M_{jma} \geq 2$ 以上の地震について PhaseNet²⁾ を用いて自動検測を行った。解析手法と用いた速度構造は第一期観測データの解析を行った Shinohara et al.¹⁾ と同一である。まず、構造探査の結果³⁾をもとに作成した一次元速度構造と、震源決定プログラム HYPOMH⁴⁾ により震源決定を行った。その際、各観測点の P および S 波の走時残差の平均値を用いて観測点補正值とする震源決定を 5 回繰り返して 1618 個の震源を求めた。次にこの結果を利用して Double Difference 法⁵⁾ により再決定を行い 1490 個の震源を求めた (第 2 図および第 3 図)。気象庁一元化リストからは大局的には余震数が時間ともに減少している。発生位置については震源再決定の結果、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、「日

本海地震・津波調査プロジェクト」による断層モデル NT2 の深部において深い地震が発生している点は第一期 OBS 観測の解析結果¹⁾と調和的である。2024 年 7 月 1 日の $M_{jma}4.1$ とその周辺の地震に代表されるように周囲に較べてやや深部で発生している地震活動が認められる。

(東京大学地震研究所 山田知朗・篠原雅尚)

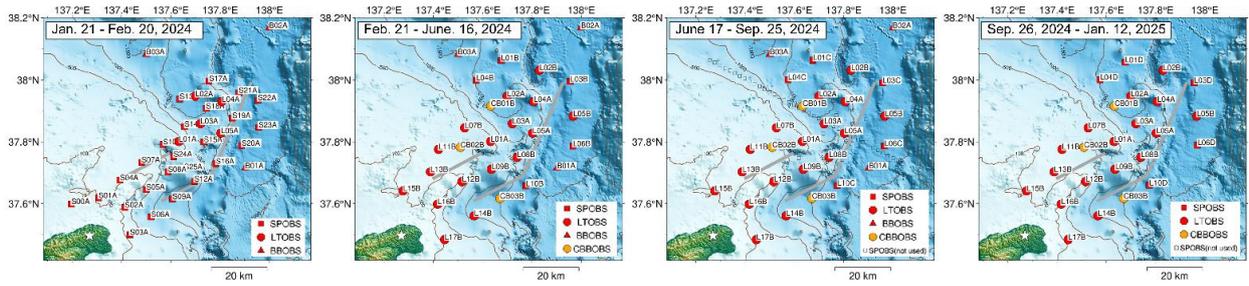
Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, YAMADA Tomoaki, SHINOHARA Masanao

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た。

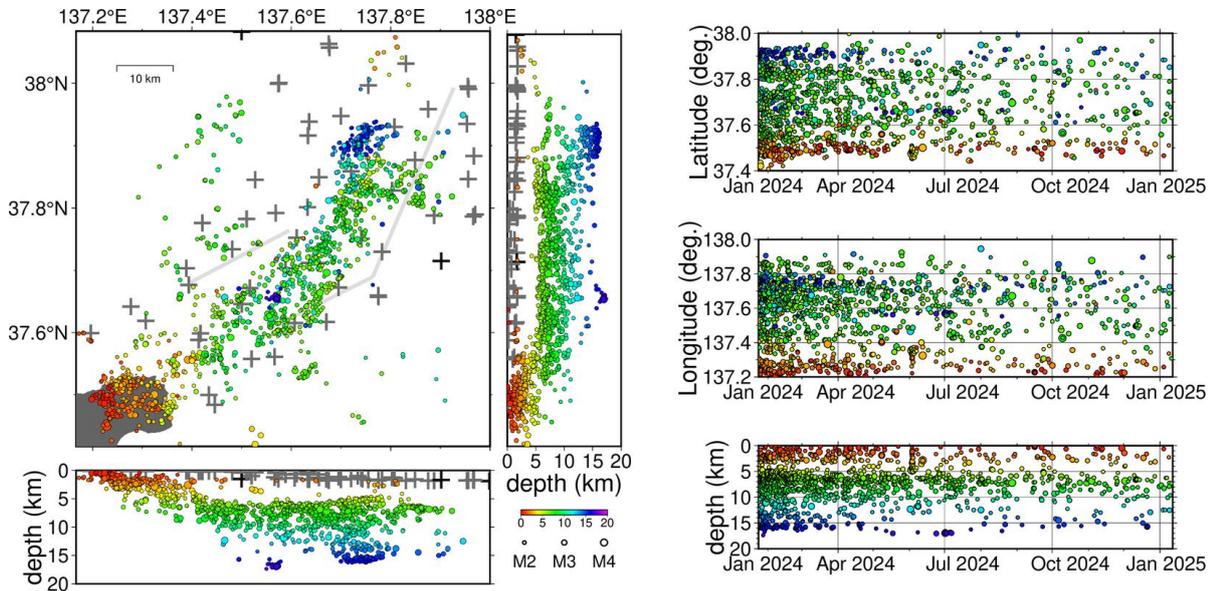
参考文献

- 1) Shinohara, M., R. Hino, T. Takahashi, K. Obana, S. Kodaira, R. Azuma, T. Yamada, T. Akuhara, Y. Yamashita, E. Kurashimo, Y. Murai, T. Isse, K. Nakahigashi, H. Baba, Y. Ohta, Y. Ito, H. Yakiwara, Y. Nakatani, G. Fujie, T. Sato, H. Shiobara, K. Mochizuki, S. Sakai, and Hakuho-maru KH-24-JE01 and KH-24-JE02C shipboard science parties (2025), *Earth Planets Space* **77**, 43. <https://doi.org/10.1186/s40623-025-02171-3>, Precise aftershock activity in the marine source region of the 2024 Noto-Hanto earthquake by rapid response observation using ocean bottom seismometers.
- 2) Zhu, W., G. C. Beroza (2019), *Geophys. J. Int.*, **216**, 1, 261–273. <https://doi.org/10.1093/gji/ggy423>, PhaseNet: a deep-neural-network-based seismic arrival-time picking method.
- 3) 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.
- 4) Hirata N, M. Matsu'ura (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.
- 5) Waldhauser F, W-L Ellsworth (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.



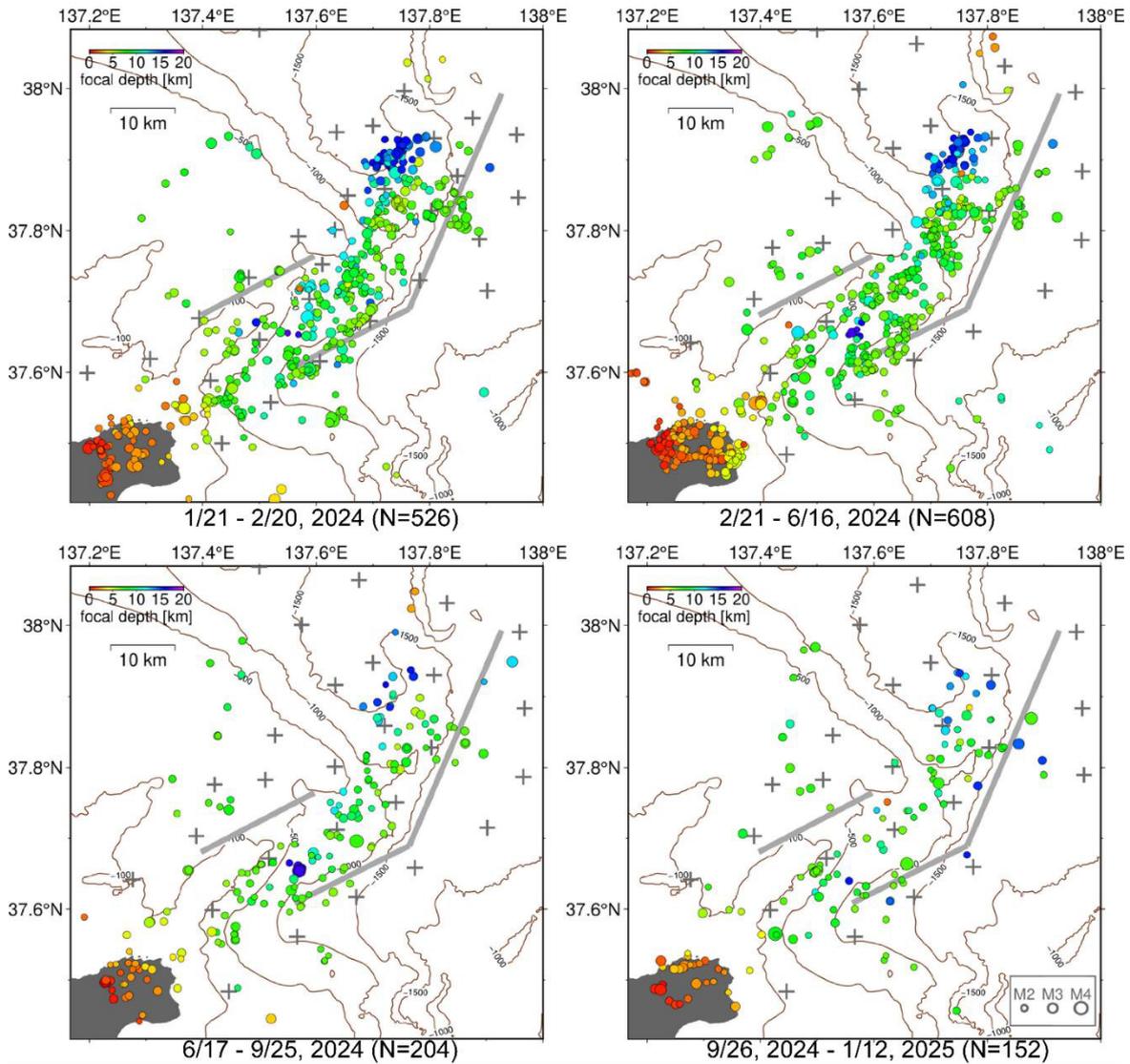
第 1 図 海域余震観測の海底地震計設置位置. 2024 年 1 月 21 日から 2 月 20 日までの第 1 期観測網, 2 月 21 日から 6 月 16 日までの第 2 期観測網, 6 月 17 日から 9 月 25 日までの第 3 期観測網, および 9 月 26 日から 2025 年 1 月 12 日までの第 4 期観測網の 4 回の観測を行った. 設置したすべての OBS のうち, 本解析に使用した OBS を色つきで示す. 図中の赤四角, 赤丸, オレンジ丸, 赤三角はそれぞれ, 短周期型 OBS (SPOBS), 長期観測型 OBS (LTOBS), 小型広帯域 OBS (CBBOBS), 広帯域 OBS (BBOBS) をあらわす. 白星印は気象庁による 2024 年 1 月 1 日の震央 ($M_{jma} 7.6$). 灰色太線は「日本海地震・津波調査プロジェクト」による断層モデル (NT2 - NT4) の上端を示す. 地形は Shuttle Radar Topography Mission (SRTM1S) による.

Fig. 1 Positions of Ocean Bottom Seismometers (OBSs) deployed during long-term aftershock observation with epicenter of the 2024 Noto-Hanto earthquakes located by Japan Meteorological Agency (JMA). The station distributions for the first observation from January 21st 2024 to February 20th, the second observation from February 21st to June 16th, the third observation from June 17th to September 25th and the fourth observation from September 26th to January 12th 2025 are shown separately. Red squares, red circles, orange circles and red triangles show positions of Short-period OBSs, long-term OBSs, compact broadband OBSs and broadband OBSs, respectively. Grey thick lines indicate upper edges of earthquake fault modes (NT2 - NT6) by the Japan Sea earthquake tsunami project. Topography data are provided by the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM1S).



第 2 図 DD 法による震源分布. 左: 海底地震観測解析期間中の震源分布図 (2024 年 1 月 21 日 ~ 2025 年 1 月 12 日). 右: 時空間分布図. 図中の丸の色は震源の深さ, 大きさはマグニチュード, 十字は観測点位置を表す. 図中の灰色太線は「日本海地震・津波調査プロジェクト」による断層モデル (NT2 - NT4) の上端を示す.

Fig. 2 Hypocenter distribution by Double Difference Method. Left: Hypocenter distribution during the analysis period for OBS data (2024 January 21st - 2025 January 12th). Right: Spatiotemporal distribution. Color of circles shows depth of events. Size of circle means magnitude of aftershocks. Crosses indicate positions of OBSs used for the hypocenter determination in all periods. Grey thick lines indicate upper edges of earthquake fault modes (NT2 - NT4) by the Japan Sea earthquake tsunami project.



第 3 図 観測期間別の震源分布. 震央 (図中の丸) の色は震源の深さ, 大きさはマグニチュードを表す. 左上は第 1 期観測 (2024 年 1 月 21 日 ~ 2 月 20 日), 右上は第 2 期観測 (2024 年 2 月 21 日 ~ 6 月 16 日), 左下は第 3 期観測 (2024 年 6 月 17 日 ~ 9 月 25 日), 右下は第 4 期観測 (2024 年 9 月 26 日 ~ 2025 年 1 月 12 日) 期間中の震源分布図中の十字は各期間中の観測点位置, 灰色太線は「日本海地震・津波調査プロジェクト」による断層モデル (NT2 - NT4) の上端を示す.

Fig. 3 Epicenter distribution for each observation period. Circles indicate epicenters of aftershocks, and color shows depth of events. Size of circle means magnitude of aftershocks. The epicenter distributions for the first observation from January 21st 2024 to February 20th, the second observation from February 21st to June 16th, the third observation from June 17th to September 25th and the fourth observation from September 26th to January 12th 2025 are shown separately. Crosses for each distribution denote positions of OBSs. Grey thick lines indicate upper edges of earthquake fault modes (NT2 - NT4) by the Japan Sea earthquake tsunami project.