

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)

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

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、現在海底地震観測を継続中である(図1)。

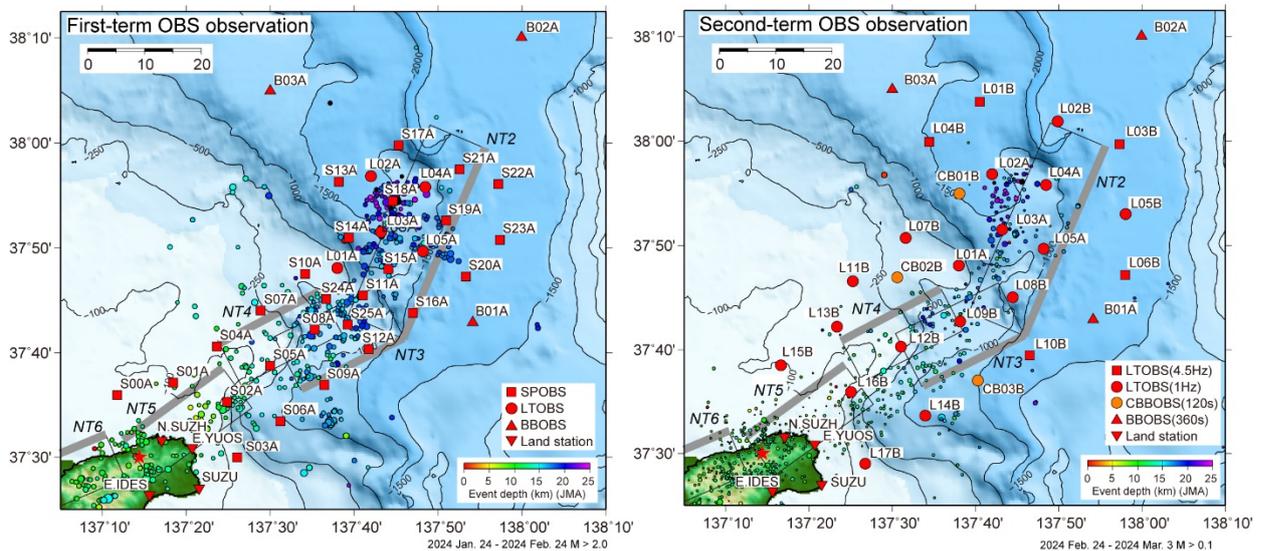


図1:「白鳳丸」による緊急調査航海により設置されたOBSの位置。2024年1月24日から2月22日までの第1期観測網(左)と、2024年2月22日以降の第2期観測網(右)。それぞれ、気象庁が決定した地震の震央を併せて示す。四角は「日本海地震・津波調査プロジェクト」による断層モデル(NT2・NT6)であり、灰色太線が上端を示す。地形データは国土地理院、海上保安庁による。

2月下旬に回収されたSPOBS25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が行われており(Nakahigashi et al., 2012)、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(図2)。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(Hirata and Matsu'ura, 1987)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(Waldhauser and Ellsworth, 2000)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。

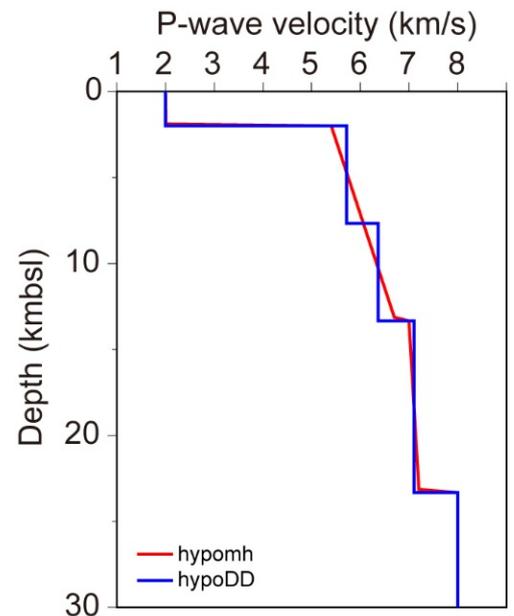


図2:震源決定に用いた速度構造

震源決定の結果、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(図 3)。「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(図 4)。

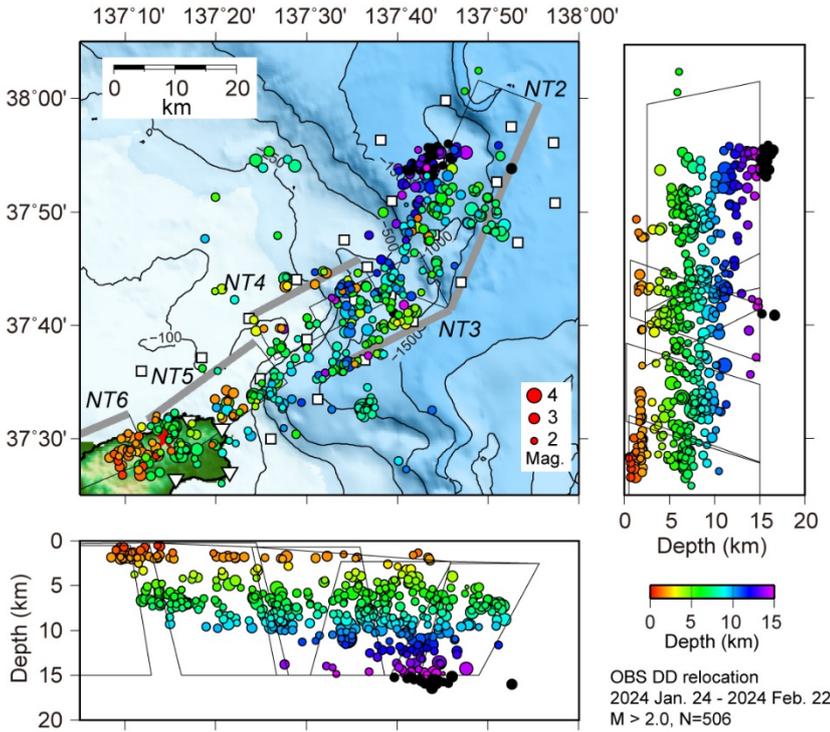


図 3: DD 法による余震分布。丸が余震の震源位置、色は震源の深さを表す。大きさはマグニチュードを表す。断層モデル NT2 深部で余震が発生している。

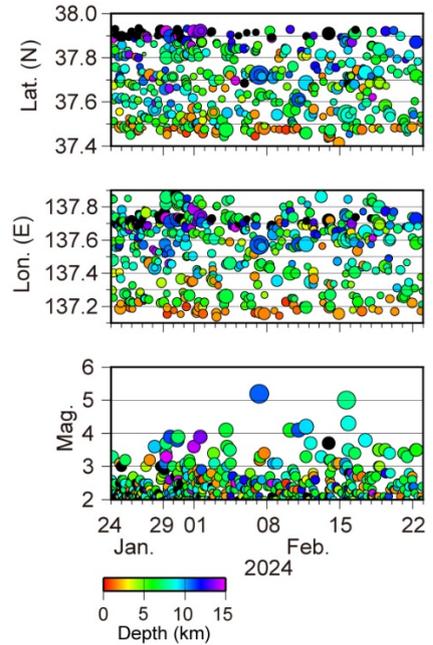


図 4: 余震発生の時系列分布。上:緯度、中:経度、下:マグニチュード

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(図 5)。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の比較を行った(図 6)。

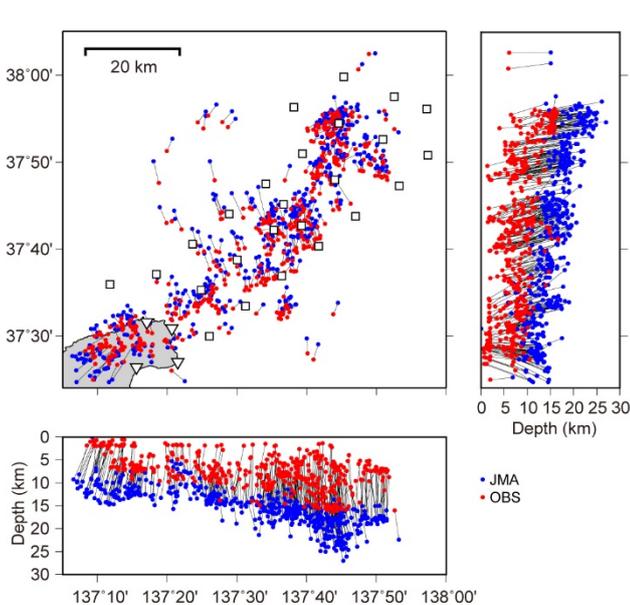


図 5: 気象庁一元化震源と OBS を用いた震源再決定による震源位置の比較。赤丸は OBS による再決定震源、青丸は気象庁一元化震源を示し、対応する震源を結んでいる。

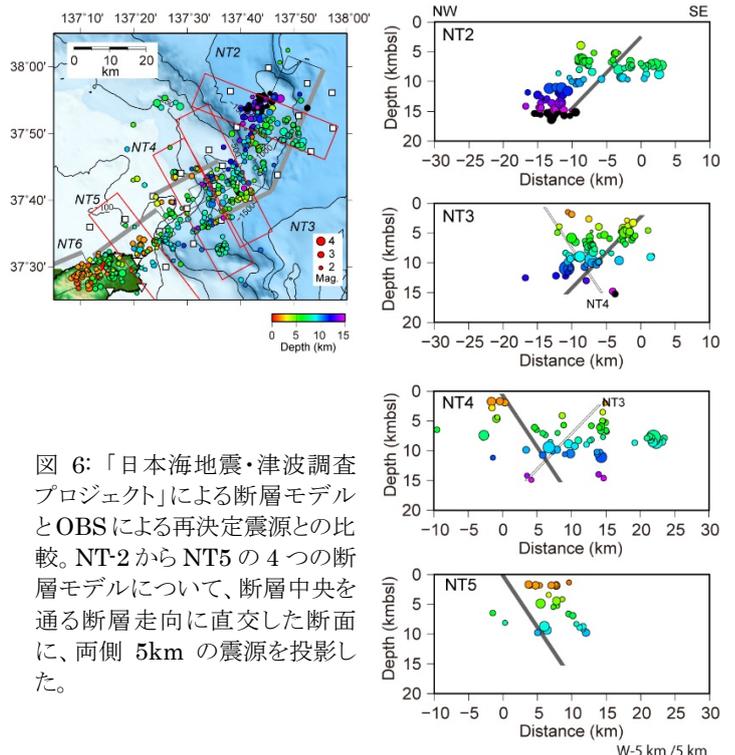


図 6: 「日本海地震・津波調査プロジェクト」による断層モデルと OBS による再決定震源との比較。NT-2 から NT5 の 4 つの断層モデルについて、断層中央を通る断層走向に直交した断面に、両側 5km の震源を投影した。

震源決定された地震について、各観測点の P 波初動極性から、グリッドサーチ法を用いて(Reasenber and Oppenheimer, 1985)発震機構解を求めた(図 7)。各観測点への射出角と方位角は、DD 法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。Frohlich (2001)に基づき発震機構解を分類した結果、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(図 8)。

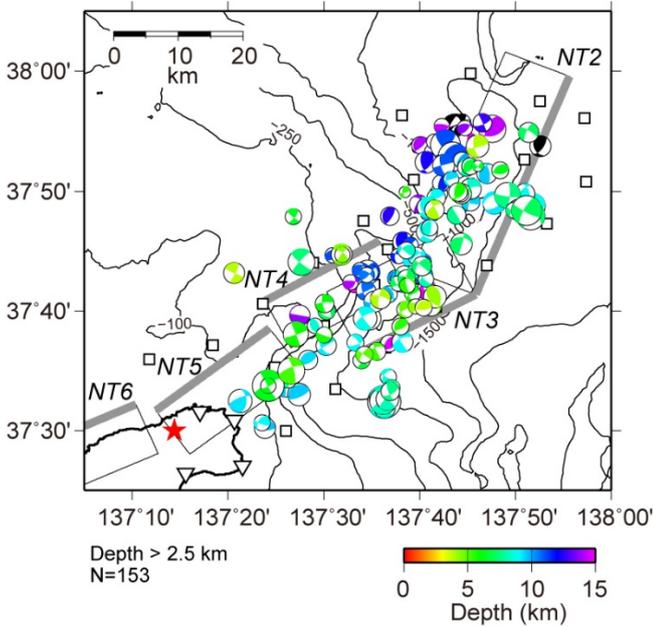


図 7: OBS を用いた震源再決定による発震機構解。震源の深さが 2.5km よりも深い発震機構解を示す。発震機構解の色は震源の深さ、大きさはマグニチュードを示す。

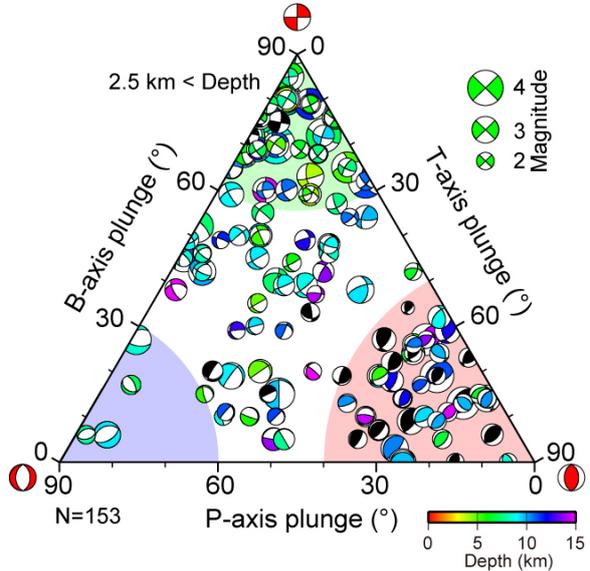


図 8: Frohlich (2001)に基づく発震機構による分類。震源の深さが 2.5km よりも深い発震機構解を対象としている。青、赤、緑の領域がそれぞれ正断層型、逆断層型、横ずれ断層型であることを示す。発震機構解の色は震源の深さを示す。

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。