

3. 令和5年度に発生した顕著な地震に関して得られた重要な成果

能登半島の地殻変動と地震活動

能登半島では、2020年12月から顕著な地震数の増加と局所的な非定常地殻変動*が始まり、この地震活動に高い社会的関心が向けられていた。そのような中で、2023年5月5日にM6.5の地震、2024年1月1日にはM7.6の地震が発生した。本研究計画では、既存予算に加え令和5年度に新たに6つの研究課題への追加予算を配分し研究を進めた。また、多くの本研究計画参加者が科学研究費助成事業（特別研究促進費）「能登半島北東部において継続する地震活動に関する総合調査」にも参加した。2024年3月12日には地震・火山噴火予知研究協議会企画部*戦略室主催で「令和6年能登半島地震ワークショップ」を開催し、気象庁、国土地理院、産業技術総合研究所、海上保安庁海洋情報部、海洋研究開発機構、東京大学、東北大学、京都大学等の各代表機関からの報告を行って、情報共有を図った。

令和5年度までの研究により、能登半島での群発地震活動とその震源の時空間的な移動、非定常地殻変動の詳細やそれに基づく変動源の変化、及び地下構造推定によって、一連の活動を説明する地下の流体移動が関与するモデルが提案されてきた。その後の研究から、群発地震が複数の面に沿って南部から北部、深部から浅部に移動していたこと、震源移動の開始部付近に地震波反射面*が存在していたことが示され、2020年以降の群発地震活動と2023年5月5日のM6.5の地震が、流体移動とそれに誘発された非地震性変形により生じた可能性が高いことを示した。また群発活動が開始した南部の地震波速度構造からは、活動域の深部に高 V_p 、高 V_p/V_s *の領域を確認し、この原因は、古いマグマ溜まりと高圧の水の存在によるものと考えられた。広帯域地磁気地電流(MT)観測*による3次元比抵抗構造推定からは、群発活動開始域である南部から北側に至る低比抵抗領域の存在を明らかにした。群発地震活動は、この低比抵抗領域の上端に位置し、流体の移動・拡散との関連を強く示唆する。

2023年5月5日に発生したM6.5の地震については、能登半島周辺の強震波形を用いた解析により、主破壊が破壊開始点より北の浅部に進行したことが明らかとなった。この地震では逆断層*すべりが卓越し、最大すべり量は約1.0 m、平均すべり量は約0.3 mであったと推定された。このM6.5の地震の震源断層は、2022年6月19日のM5.9と同じ断層面（南東に下がる断層面）に位置し、2022年6月19日のM5.9の地震よりも浅い部分を破壊したことを示唆した（図3-1）。また、M6.5の断層破壊過程モデルを参照し、震源近傍の観測点の広帯域シミュレーションに基づく強震動生成モデルを求めた。このモデルを参照すると、震源より浅い場所に3 km四方の強震動生成域をおくことで広帯域波形の再現ができた。この位置は波形インバージョンによるすべりの大きい領域に対応することがわかった。

このようななか、2024年1月1日に海域の長大な活断層帯を震源域とするM7.6の大地震が発生した。この震源域周辺では、国土交通省の「日本海における大規模地震に関する調査検討会」や、文部科学省の「日本海地震・津波プロジェクト」で東傾斜の逆断層の存在が

想定されていた。また 2024 年 1 月 1 日の地震の 1.5 時間前からは局在化した地震活動の活発化がみられた。これらの前震活動は南東傾斜の面上構造の上で発生しており、本震を含む領域へ時間とともに広がっていた。また 1 月 1 日の地震の余震分布からは、観測点密度が高い領域で、断層面の傾斜が地表付近でやや高角になる特徴も見られた。海域に伸びた震源域での地震活動を調べるために、自己浮上式海底地震計による観測を行った。この観測により、能登半島北東沖の地震の震源の深さは、陸域観測網による推定よりも浅く推定された。また陸域でも今回震源域が拡大した能登半島西部を中心に地震の臨時観測点を設置し、より広域の構造及び精密震源決定のためのデータを蓄積している。地殻変動の観測においては、干渉 SAR を用いた解析から能登半島北岸での大きな隆起を観測した (図 3-2)。この観測結果は沿岸の海岸隆起調査の結果とよい一致を示す。海岸の現地調査により、今回の地震で隆起が認められた海岸では少なくとも 3 段の完新世海成段丘が認められ、過去にも同様の隆起イベントがあった可能性が高いことを示した。また海底地形調査は、能登半島北部における海底隆起を確認した。

2021 年夏から開始した陸域の GNSS 臨時観測、国土地理院の GEONET 及びソフトバンクの GNSS 観測点のデータによる地殻変動場は、2023 年 5 月の M6.5 の地震から 2024 年 1 月 1 日の地震までの間に、それ以前の陸上を中心とする放射状のパターンから、海域に存在する M6.5 の震源域を中心とするパターンに変化していたことを明らかにした。また 1 月 1 日には、空間密度の高い地震時変位分布を得て、地震時すべり分布の推定などを行った。1 秒サンプリングの GNSS データや珠洲市での光ケーブルを利用した超高感度地殻変動観測も前震や本震に対応した地殻変動を捉え、今後震源過程の推定に大きな制約を与えることができる可能性がある。GNSS 観測による余効変動は能登半島の南東部で大きく、余効すべりで説明できる変位場よりも影響が広範囲に及ぶことから、粘弾性緩和の寄与も考える必要がある。また、群発地震が発生した時期から行っていた重力観測では、1 月 1 日の地震に伴って珠洲市から輪島市にかけての複数点で、地殻変動量から期待されるものよりも大きな重力減少を捉えた。このことは地震時、あるいはその前に震源域に水が流れ込んだことを示している可能性がある。津波データ及び GNSS データを用いた 1 月 1 日の地震時すべり分布推定では、能登半島沖の南東傾斜の断層で 2~4 m のすべりが推定されたのに対し、佐渡沖の北傾斜の断層ではほとんどすべりが見られなかった。地震時すべり分布についてはこのほか、遠地寒体波、強震動波形や GNSS データを用いた解析が行われており、主に 2 つの大すべり域が存在することがわかった。また 1 月 1 日の地震に対応する断層形状と応力場に基づく動的破壊シミュレーションにおいても 2 つの大すべり域が予測され、地震発生前のすべり域推定の高精度化に向けた進展があった。被災地では、被災文化遺産レスキューも重要な課題となっている。能登半島では e-コミマップを活用した文化遺産防災マップの作成と被災の可能性のある文化財の迅速な同定も進めた。

2023年5月5日能登半島北東部の地震M6.5の強震記録を用いたすべり分布モデル

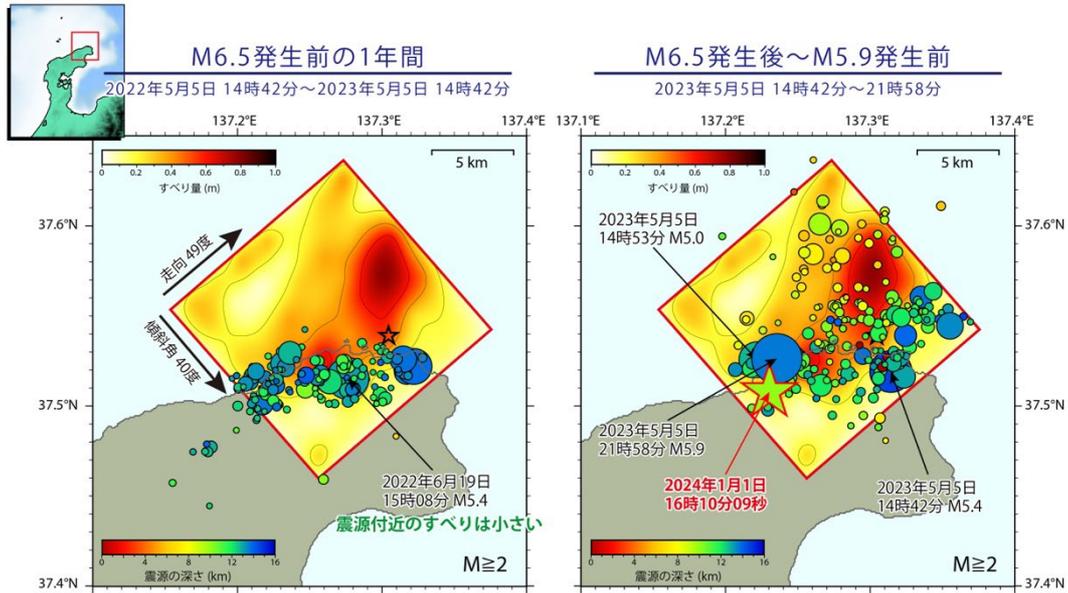


図 3-1 2023 年 5 月 5 日能登半島北東部の地震 M6.5 のすべり分布モデル（南東方向に傾斜した矩形内のカラーコンター）。左は 2023 年 5 月 5 日に発生した M6.5 の地震より前 1 年間の震源分布を丸で示す（丸の大きさはマグニチュードに対応し、M2.0 以上を示す。また、丸の中の色は深さに対応している）。M6.5 の地震の主破壊（コンターの赤色が濃い部分）は破壊開始点（星）より北の浅部に進行した。この地震以前の群発地震活動は、深さ 10～14 km で発生していた。右は M6.5 の地震発生後から同日に発生した M5.9 の地震発生前まで約 7 時間の震源分布を丸で示す。M5.9 の地震は M6.5 の地震と同じ面上の、約 5 km 下で発生した。

2024年1月1日能登半島で発生した地震(M7.6)の地表変位

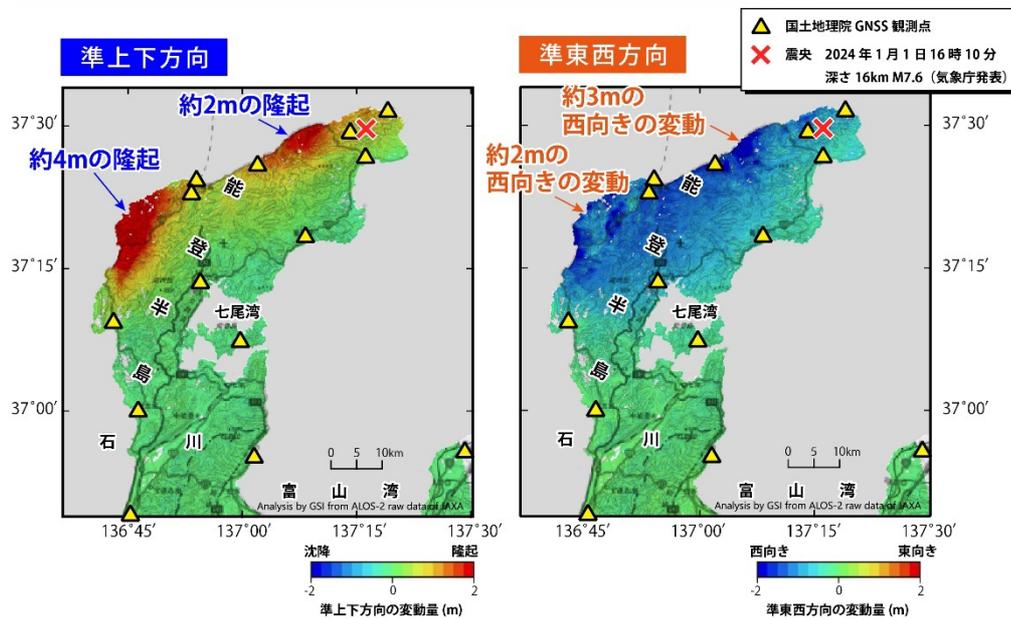


図 3-2 2024 年 1 月 1 日能登半島で発生した地震 (M7.6) の地表変位。干渉 SAR の 2.5 次元解析により求められており, 左は準上下方向, 右は準東西方向の成分を示す。能登半島北部の広い範囲で隆起が検出され, その値は輪島市西部では約 4 m となった。