

能登半島の群発地震に伴う地殻変動（続報）

Crustal deformation associated with the earthquake swarm in Noto Peninsula (Continued)○西村卓也・平松良浩⁽¹⁾・太田雄策⁽²⁾○Takuya NISHIMURA, Yoshihiro HIRAMATSU⁽¹⁾, and Yusaku OHTA⁽¹⁾⁽¹⁾金沢大学理工研究域, ⁽²⁾東北大学大学院理学研究科⁽¹⁾ College of Science and Engineering, Kanazawa University⁽²⁾ Graduate school of Science, Tohoku University

An extensive seismic swarm as well as anomalous transient deformation started in December 2020 at the northern tip of the Noto Peninsula, central Japan, which is a non-volcanic/geothermal area far from the major plate boundaries. We present crustal deformation clarified from a combined analysis of multiple GNSS networks, seismicity, and their interpretation. The swarm activity started with several episodic earthquake bursts in the first several months and turned to be a continuous activity. The focal depth ranges mostly between 10-20 km. We analyzed data at 30 continuous GNSS stations operated by SoftBank Corp., the Geospatial Information Authority of Japan, and universities within ~50 km from the epicentral region of earthquake swarms. Total displacement pattern for two years from the start of the earthquake swarm shows horizontal inflation and uplift up to 70 mm around the source of the earthquake swarm. The observed displacement for the first three months is explained by a deep deflating spherical source and a shallow inflating one with volumetric changes of $-2.9 \times 10^7 \text{ m}^3$ and $+2.9 \times 10^7 \text{ m}^3$ at depths of 25 km and 15 km, respectively. We interpret that these volumetric changes represent upwelling crustal fluid which further triggers slow slip events and the seismic swarm below and in a seismogenic depth, respectively.

1. はじめに

能登半島の石川県珠洲市の地殻内では、2018年頃から地震回数が増加傾向にあり、2020年12月からは活発な地震活動が2023年1月現在まで継続している（地震調査委員会、2023）。2022年6月19日にはM5.4の地震が発生し、最大震度6弱を記録した。地震活動の活発化とともに、周辺の国土地理院の電子基準点において、震源域から遠ざかる向きの地殻変動が観測されている（国土地理院、2023）が、有意な変動を示す観測点は3点のみであり、地殻変動の全体像は十分明らかにはなっていない。京大防災研と金沢大学では地震活動の活発化を受けて、群発地震震源域近傍に臨時GNSS観測点を設置し、観測を行なっている。また、ソフトバンク株式会社（以下、ソフトバンク）では、全国3,300点を超える独自のGNSS観測網を設置、稼働させており、これらのGNSS観測網で得られたデータを統合解析することによって、地殻変動の全体像が把握できることが期待される。本研究では、GNSSデータの統合解析によって得られた地殻変動の特徴とその変動源モデルの推定結果について報告し、高精度な再決定震源を用いて群発地震と地

殻変動源の関係について考察を行う。

2. データ解析手法及び観測された地殻変動

本研究では、各機関からRINEXデータの提供を受けて、GipsyX Ver 1.4 (Bertiger et al., 2020)の精密単独測位法を用いてITRF2014準拠の日座標値を計算し、地殻変動の解析を行った。解析に用いた観測点数は、ソフトバンク15点、国土地理院GEONET11点、大学6点である。群発地震発生以前のデータが十分あるGEONET観測点データに対しては、群発地震前の日座標値に対して、定常変動や東北沖地震の余効変動、季節変動成分を関数フィティングによって除去し、非定常地殻変動を抽出した。また、ソフトバンクと大学の観測点に対しては、GEONET観測点での群発地震前2年間の速度をOkazaki et al. (2021)の方法で各観測点位置での速度に補間して差し引くことにより、非定常地殻変動を抽出した（図1）。非定常地殻変動は、群発地震の震源域を中心として放射状に広がっており、震源域周辺では顕著な隆起も観測され、約2年間の最大隆起量は7cmに達している。非定常地殻変動の時間変化はそれほど顕著ではないが、活動開始当初(2020年11月30日から2021年1月上旬)

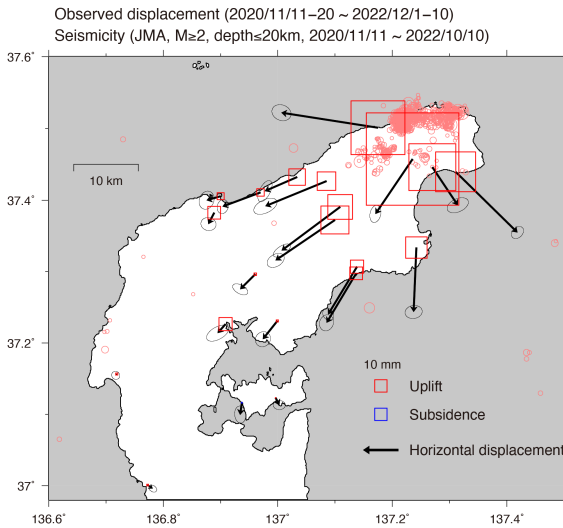


図1 GNSSの統合解析による約2年間(2020年11月11-20日から2022年12月1-10日まで)の地殻変動。

に変動速度が急加速し、その後はほぼ一定速度で続くような傾向が見られる。

3. 変動源モデルの推定

2020年11月から2022年6月の最大地震(M5.1)までの期間を地殻変動のパターンや震源分布の拡大時期を考慮して3つの期間に分割し、変位3成分をデータとして、地殻変動源のパラメータをMatsu' ura and Hasegawa(1987)の非線形インバージョンにより推定した。2020年11月上旬から2022年3月上旬までの期間は、震源分布が北側へ拡大する以前の南側のクラスターに集中している期間であり、水平変動のパターンは震源のクラスターから放射状に遠ざかるパターンが見られる(図2)。このような変動は球状圧力源で説明可能であり、地下深部からの流体の上昇により等方的な体積膨張があったことを示唆する。上昇した流

体は、地震波低速度域(Nakajima, 2022)から示唆される深さ25kmから地殻中部まで体積変化なく上昇した、すなわち、水平位置が同じで深部の球状収縮源と浅部の球状膨張源で同体積の変化があったと仮定する。そして、移動体積量と浅部膨張源の深さを推定すると、それぞれ $2.9 \times 10^7 \text{m}^3$ と及び15.3kmと推定された。また、2021年3月から2022年6月までの2つの期間は、震源が西側と北及び北東側のクラスターに拡大した期間となるが、地殻変動は南側クラスターとそれ以外のクラスターをつなぐ地震非発生領域における逆断層すべりと開口が同一の断層で同時に発生する Shear Tensile source で説明される。この変動源と地震活動の推移は、深さ15kmまで上昇してきた流体が南を除く各方位に断層深部沿いに拡散し、断層強度を低下させて地震発生域の下限より深部でスロースリップを誘発し、浅部では群発地震を誘発したと解釈できる。

謝辞：本研究で使用したソフトバンク独自基準点の後処理解析用 RINEX データは、ソフトバンク株式会社・ALES 株式会社より東北大学大学院理学研究科が提供頂いたものを使用しました。国土地理院の電子基準点 RINEX データ、気象庁一元化震源データを使用しました。京都大学及び金沢大学のGNSS 観測点の設置にあたり、珠洲市教育委員会、珠洲市企画財政課、珠洲市産業振興課、珠洲市総務課、能登町教育委員会及び奥能登国際芸術祭実行委員会にお世話になりました。本研究はJSPS 科研費 JP22K19949 の助成を受けたものです。ここに記してこれらの機関に感謝いたします。

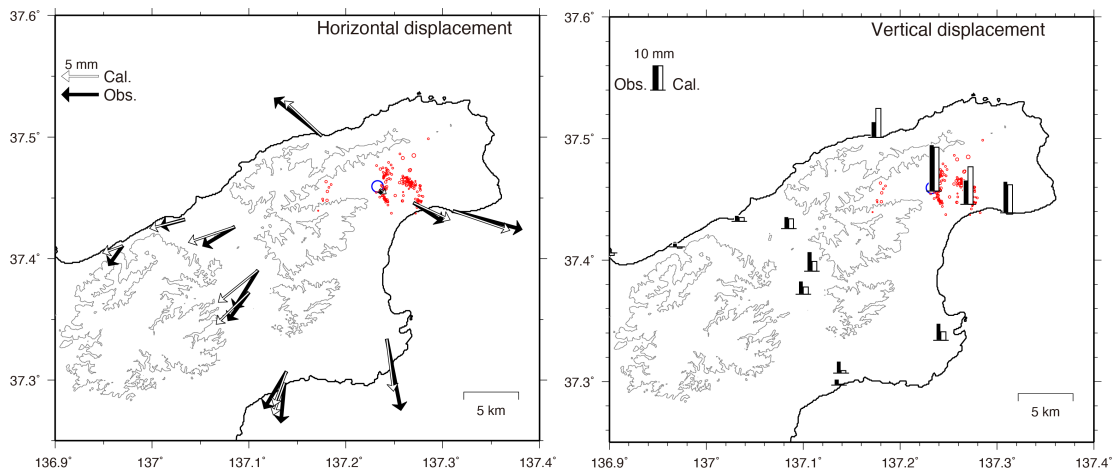


図2 2020年11月1-10日から2021年3月1-10日までのGNSS観測点での変動量と力源モデル。青丸は、水平位置が同じ深部及び浅部の球状圧力源の推定位置を示す。赤点は、2020年11月1日から2021年3月10日までのM1.2以上の再決定震源。