

2020年12月に始まった能登半島の群発地震と地殻変動
 Earthquake Swarm and Crustal Deformation started in December 2020 in Noto Peninsula

○西村卓也・西川友章・佐藤大祐・平松良浩⁽¹⁾・澤田明宏⁽¹⁾
 ○Takuya NISHIMURA, Tomoaki NISHIKAWA, Daisuke SATO,
 Yoshihiro HIRAMATSU⁽¹⁾, and Akihiro SAWADA⁽¹⁾
⁽¹⁾金沢大学理工研究域

⁽¹⁾ College of Science and Engineering, Kanazawa University

An extensive seismic swarm 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. The swarm activity started with several episodic earthquake bursts in the first several months and turned to be a continuous activity. The number of $M \geq 1$ earthquakes has been ~ 130 per week since July 2021. Focal mechanisms of large earthquakes including the largest one suggest reverse faulting with a compressional axis of NW-SE. The focal depth ranges between 10-18 km. Transient displacements are observed at three permanent GNSS stations. The annual observed displacement from December 2020 suggests inflation with up to 12 mm of horizontal displacement and 30 mm of uplift. We installed four new GNSS stations near the epicentral area in September 2021 and found rapid extensional deformation around the epicentral area. Assuming a spherical inflation (Mogi) source, we estimated an annual volumetric increase of $\sim 2.5 \times 10^7 \text{ m}^3$ at a depth of ~ 12 km. We speculate the volumetric increase is caused by upwelling deep fluid.

1. はじめに

能登半島の先端部（珠洲市）では、2018年頃から地震が徐々に増加し、2020年12月からさらに活発化し、昨年夏頃からは有感地震も頻発している。能登半島全体で見ると、1993年の能登半島沖地震（M6.6）や2007年の能登半島地震（M6.9）といった地殻内大地震が過去に発生しているが、群発地震が現在発生している地域では、以前はほとんど地震活動が見られなかった。地震活動と同期して、能登半島先端部のGNSS観測点において、それまでと傾向の異なる地殻変動が観測されるようになり、2022年1月現在まで続いている。地殻変動を伴うような活発な地震活動が、能登半島のような非火山地域で発生することは極めて珍しい現象である。本発表では、能登半島での地震活動と地殻変動の概要と地殻変動源モデルに基づく地震活動の解釈について述べる。

2. 地震活動の特徴

活動開始以降の地震活動分布（図1）を見ると、4つのクラスターが認められ、活動の開始時期や活発化・静穏化の時期が異なる。クラスターAは、2020年12月頃、4つのクラスターで最初に活動

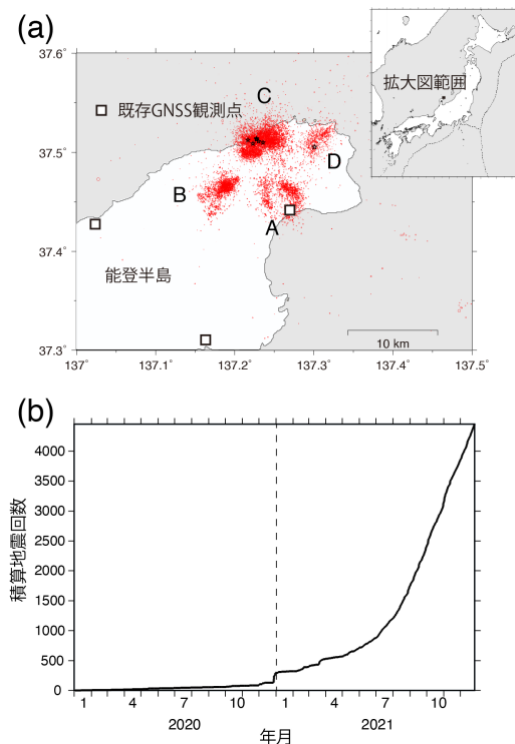


図1 能登半島の地震活動。(a) 2020年以降の地震（M1.3以上、深さ20km以下）の震央分布（赤点）。A、B、C、Dは地震活動のクラスターを表す。(b) M1.3以上の地震の累積回数。

が活発化した。他のクラスターに比べて深さが14-18kmと明らかに深く、時々バースト的に活発化する特徴がある。クラスターBは、2021年2月頃から活発化し、8-10月にはやや低調となったが、11月以降は再び活発化した。現在最も活発なクラスターはCとDであり、M4以上の地震は全て、この2つのクラスターで発生している。クラスターCでは、クラスターBと同じ2021年2月頃から地震が発生していたが、同年5月頃から急速に活発化し、10月以降はほぼ一定の頻度で活動が継続している。クラスターDでは、2021年6月頃から活動が始まって、その後ほぼ一定の頻度での活動が継続し、9月16日には最大地震(M5.1)が発生した。クラスターB、C、Dの震源の深さは10-15kmであるが、各クラスターの活動開始以降、震源域が浅部へと拡大する傾向が認められる。2021年9月以降は、全てのクラスターを合わせたM1以上の地震数が1週間あたり130回程度であり、地震活動が高い状態で継続している。

3. 地殻変動の特徴と力源モデル

群発地震活動域周辺に設置された国土地理院GEONET (GNSS) 観測点では、2020年の12月にそれまでと傾向の異なる変化が観測され、現在まで変化が継続している。GNSS観測点の日座標値から、活動が活発化する以前の2017年11月~2020年10月までの1次トレンド、年周、半年周成分を差し引くことによって得られた非定常地殻変動の分布を図2に示す。水平変動(図2上の黒矢印)は、群発地震活動域から40km程度離れた観測点まで有意な変位が認められ、上下変動(図2下の黒棒グラフ)は、震源域近傍の珠洲観測点で約3cmの隆起が認められる。

震源域から放射状に遠ざかる水平変位が見られることから、球状圧力源(Mogi, 1958)を仮定して、そのパラメータを推定した。その結果、群発地震のクラスターDの北部の深さ 12.4 ± 1.5 kmで、体積変化量 2.5 ± 0.5 m³の膨張源が推定された(図2)。GEONET観測点だけでは、力源の形状を絞り込むことができないため、著者らは2021年9月6-7日に震源域近傍の4か所に臨時GNSS観測点を設置した。その結果、震源域近傍でも放射状の水平変動と隆起が確認された。

震源域の拡大や地殻変動の力源モデルから、地

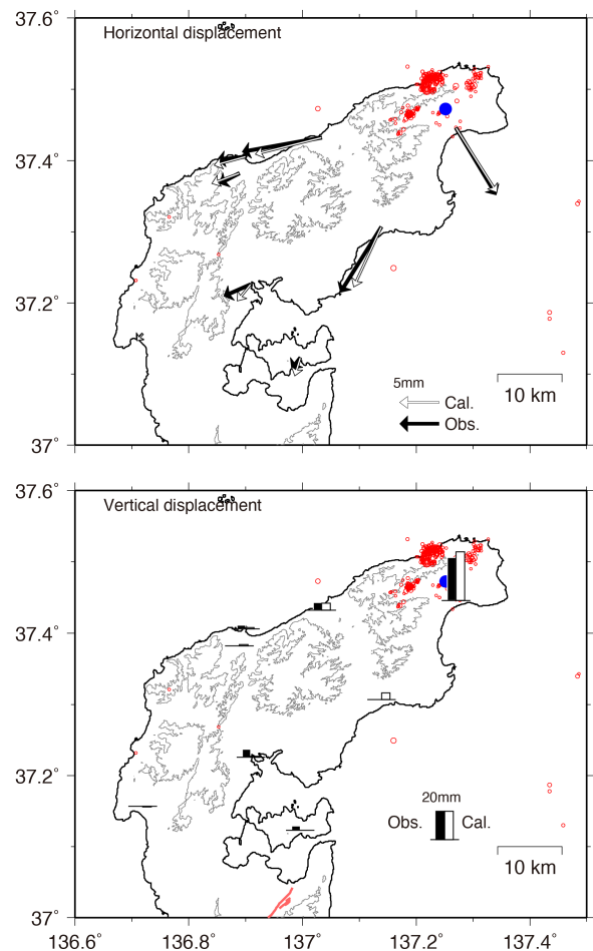


図2 GNSS観測点における地殻変動分布から推定した球状圧力源モデル。観測変位は、2021年12月1-11日から2022年12月1-11日までの累積変動を表す。青丸が推定された球状圧力源の位置。

下深部からの流体が何らかの理由で、深さ約12kmまで上昇・蓄積し、その応力変化と間隙流体の拡散によって、周囲での地震活動を活発化させていると考えられる。ただし、この地域の調和的な北西-南東方向に圧縮軸を持つ逆断層すべりでも、大局的な変動パターンは説明できるため、流体の拡散による断層強度の低下によって、非地震性すべりが生じている可能性も否定できない。さらなる観測の強化が望まれる。

謝辞：本研究では、国土地理院のGNSSデータ、気象庁一元化震源データを利用しました。臨時GNSS観測点の設置にあたり、珠洲市教育委員会、珠洲市役所企画財政課及び能登町教育委員会にお世話になりました。