

「令和6年能登半島地震」は長く静かに始まり、 向きや傾斜の異なる断層を次々と破壊した

2024年1月1日に発生した「令和6年能登半島地震」の地震波形データを詳細に解析し、初期破壊が10秒ほどかけて静かに成長し、その後東西約150 kmに渡って複数の断層を次々と破壊する複雑な震源過程を明らかにしました。

2024年1月1日午後4時10分ごろ、石川県能登地方でモーメントマグニチュード (Mw) 7.5の大地震「令和6年能登半島地震」(以下能登半島地震)が発生しました。最大震度7を記録し、多数の犠牲者を含む甚大な被害に至りました。能登半島とその周辺地域では、主に北東-南西方向に延びる複数の活断層の存在が知られていました。また約3年前からは、地下の流体移動と関係すると考えられる非地震性のゆっくりとした地殻変動と活発な地震活動が観測されていました。こうした活断層のネットワークや地殻活動が、大地震の破壊をどのように駆動するのかを明らかにすることは、地震発生機構や強い揺れの生成メカニズムを理解する上で重要です。

本研究では、世界中で観測された地震波形データを解析し、能登半島地震の破壊過程を推定しました。その結果、この地震は複数の破壊エピソードから成ること、特に地震の発生から10秒ほど続いた初期破壊は、地震前に観測されていた活発な地殻活動域に重なっていたことが分かりました。さらに、初期破壊後に進展した主破壊は初期破壊域を挟んで西と東に分かれ、それぞれ向きや傾斜の異なる断層を次々と破壊しながら大きく成長していった様子が明らかになりました。

本研究により、能登半島地震は向きや傾斜の異なる活断層ネットワークによって制御されていたこと、並びに本震前に震源域で観測されていた地殻活動と密接な関係があることが明らかになりました。本研究で示された複雑な破壊成長過程は、地震発生機構の理解を深め、地震による被害リスクを評価する上で重要な知見になることが期待されます。

研究代表者

筑波大学生命環境系

奥脇 亮 助教

京都大学防災研究所附属地震災害研究センター

深畑 幸俊 教授

研究の背景

能登半島では、北部の海岸沿いや沖合に複数の活断層の存在していることが知られています。過去には大きな被害をもたらした地震も発生しており、最近では 2007 年にマグニチュード (M) 6.9、2023 年に M 6.5 の地震が発生しています。この地域では、2020 年末から非地震性のゆっくりとした地殻変動及び群発地震と呼ばれる通常の本震・余震の系列とは異なる活発な地震活動が観測され、これらの変動と地下に存在する流体の移動との関係が指摘されてきました。2024 年 1 月 1 日に発生した「令和 6 年能登半島地震」(以下能登半島地震、モーメントマグニチュード (M_w) 7.5) の震源域は、こうした群発地震・地殻変動の発生領域と重なっています。このため能登半島地震は、大地震の破壊過程が地震前にみられる特異な地震活動や地殻変動とどのように関係するのかを知り、地震発生過程の理解を深める上で重要な地震です。

研究内容と成果

本研究で行った能登半島地震の解析では、世界各地の地震観測網が捉えた 32 地点の地震波形データを使用しました。本研究チームは、理論モデルに含まれる誤差に注目することで、自由度が高くかつ安定に解が求まる解析法 (Potency Density Tensor Inversion; Shimizu et al., 2020) を長年開発してきました。その方法を観測された地震波形データに適用することにより、主として逆断層型の地震メカニズムで特徴づけられる断層破壊が、複数の破壊エピソードを経て進行していたことが分かりました。

地震破壊を特徴づけているのは、地震発生直後に震源付近を 10 秒ほどかけて静かに西方向へと進行した初期破壊 (E0) です。その後、破壊はさらに西側の大きな断層へと移行し、長さ 65 km の領域を壊す破壊エピソード (E1・E2) が発生しました。E2 は E1 よりも西側に位置し、断層面の向きが南北方向に回転しています。一方で震源の東側では、E2 とほぼ同時に、長さ 50 km の断層を壊すエピソード (E3) が発生し、その後 40 秒ほどで破壊が停止しました。E3 も E1 と比べ断層面の向きが南北方向に回転しています。

本研究により、今回の能登半島地震は、10 秒ほどの長く静かな初期破壊を経て、向きや傾斜の異なる断層を次々と破壊する、極めて複雑な破壊成長過程を経ていたことが分かりました。特に震源付近における初期破壊は、この地震の発生前に観測されていた活発な地殻活動域と重なっており、地震前の応力解放過程が大地震の破壊成長過程に影響を及ぼしたことを示唆しています。

今後の展開

本研究は、大地震の複雑な破壊成長過程が地震発生に先行する地震活動や地殻変動と密接に関係することを実際の観測データに基づいて明らかにしたものです。近年、解析手法の進歩により、大地震の発生機構が複雑であることが明らかになりつつありますが、本研究成果はそうした大地震の複雑な発生機構の理解を深化させる上で重要です。また本研究で明らかとなった、向きや傾斜の異なる複数の断層を次々と破壊する過程は、地震による被害リスクを評価する上で重要な知見を与えてくれます。

参考図

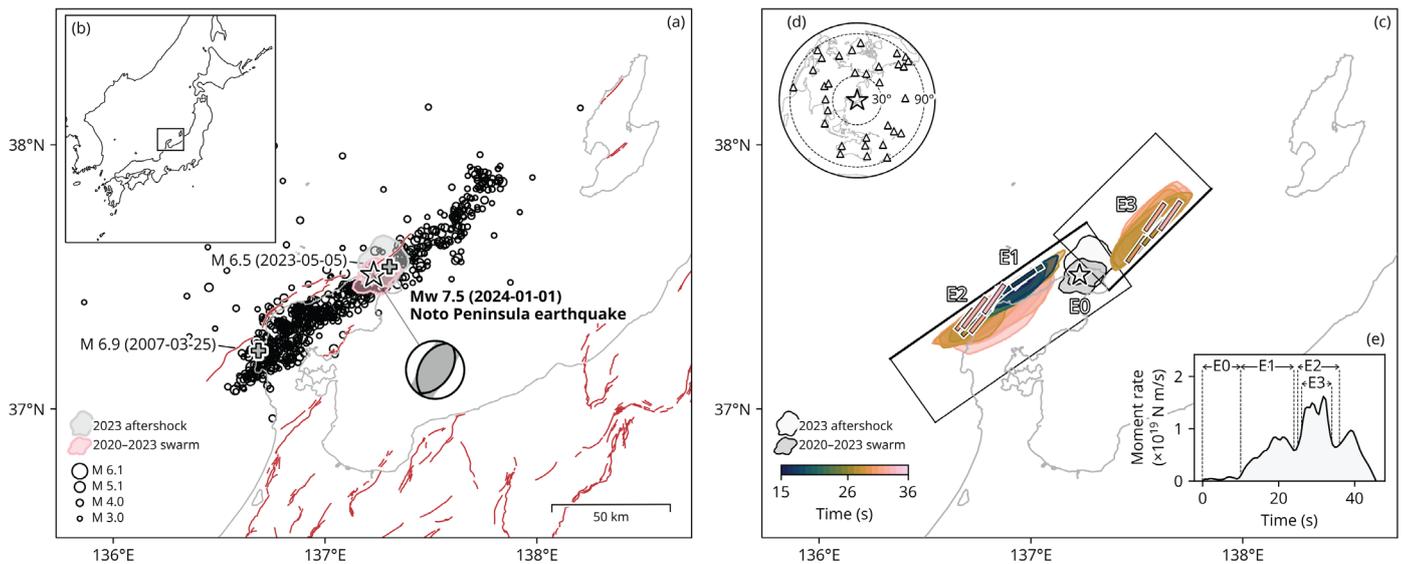


図 本研究の研究対象地域と能登半島地震の破壊過程の概略

世界各地の地震観測網 (図 d) が捉えた令和 6 年能登半島地震の地震波形データを使い、断層すべりと断層形状の時空間分布を同時に推定した。左の図(a)に、気象庁が決定した能登半島地震の余震 (○印) と最近の主な地震の震源 (+印) を示す。色付きの領域は 2020~2023 年に観測された群発地震域 (2020-2023 swarm) と 2023 年 5 月に発生した M 6.5 能登半島地震の余震域 (2023 aftershock) である。活断層を赤い線で示している。星印は、本研究で用いた能登半島地震の震源位置である。震源の南東に表示されている震源球は本研究で得られたモーメントテンソル解で、逆断層型のメカニズムを示す。右の図(c)に、本研究で得られた断層すべりの時空間分布の概略を示す。地震発生後の時間で色分けした領域は、この地震で大きな断層すべりが求めた領域を示す。このとき、同時に推定された断層の向きを色付きの線で示している。震源での破壊の開始後、まず 10 秒ほどかけて西へと破壊が進展した (E0)。その後、西側に位置する断層を破壊していく (E1・E2)。E1 と E2 では断層の向きが明瞭に異なる。また、東側では E2 とほぼ同時に大きな断層の破壊が生じた (E3)。図(e)は本研究で推定されたモーメントレート関数を示しており、本地震のエネルギー解放履歴に相当する。長く静かな初期破壊 (E0) の後、E1~E3 の大きな破壊エピソードへと成長する様子が分かる。

参考文献

Shimizu, K., Yagi, Y., Okuwaki, R., & Fukahata, Y. (2020). Development of an inversion method to extract information on fault geometry from teleseismic data. *Geophysical Journal International*, 220(2), 1055-1065. <https://doi.org/10.1093/gji/ggz496>

研究資金

本研究は、科研費による研究プロジェクト (19K04030、22K03751、24H01020) の一環として実施されました。

掲載論文

【題名】 A Multiplex Rupture Sequence under Complex Fault Network due to Preceding Earthquake Swarms during the 2024 Mw 7.5 Noto Peninsula, Japan, Earthquake. (2024 年 Mw 7.5 能登半島地震における複雑な断層ネットワークと前駆的群発地震によって制御される複合的な破壊成長過程)

【著者名】 R. Okuwaki, Y. Yagi, A. Murakami, and Y. Fukahata

【掲載誌】 *Geophysical Research Letters*

【掲載日】 2024 年 6 月 8 日

【DOI】 10.1029/2024GL109224