

発令和6年能登半島地震による地表変状： 引張応力場でなぜ圧縮変形が起こるのか？

辻 智大¹⁾・山田 佑哉¹⁾
¹⁾山口大学大学院創成科学研究科

1. はじめに

2024年1月1日に発生した能登半島地震(Mw7.5, 最大震度7)では, 能登半島沖の北東-南西走向, 南東傾斜の逆断層が動き, 走向方向に約150 km破壊した¹⁾(地震調査研究推進本部地震調査委員会). この地震により, 能登半島の北西部の輪島市西部で最大約4 m, 最大約2 m西向きに変動する大きな地殻変動が認められた²⁾(国土地理院). この地震によって逆断層の上盤側の地殻が北西に伸長したが, 地表には正断層のみならず, 逆断層や横ずれ断層など様々な変位が認められた³⁾(吉見). これらの多様な変形に対する明確な解釈は与えられていない. さらに, 未だに認識されていない断層変形も多数存在し, それらの一部は既に消失した. そこで本研究では, 能登半島内に認められた変形のうち, 輪島市鳳至川沿いに形成された圧縮性の変形に着目し, その成因を考察する目的で, 地形地質調査および海岸における隆起量の測定を実施した. これらの結果をSAR²⁾(国土地理院, 2024), レーザー測量による解析結果(国際航業, 2024), 発震後の空中写真判読結果と比較した.

2. 研究方法

本研究では, 2024年1月11日に撮影された輪島市西部の空中写真⁵⁾から地表変状と推定されるものを抽出した. 2024年5月1日~5月5日の5日間に現地地形地質調査を実施した. 本調査では, 輪島市西部において地表変状を観察した. この時点では調査地域において田畑の耕作がほとんど行われていなかったため, 田畑を中心に地表変状が残っていた. また, 門前町周辺の海岸沿いで隆起量の計測を行った.

3. 能登半島の地殻変動

国土地理院の観測および現地調査によると, 能登半島北西部で最も隆起量が大きく, 大きい所では4 mを超える²⁾. 門前町周辺の海岸沿いで計測の結果, 門前町五十洲の小崎にて最大4.5 mの隆起が認められた. 隆起量はこの地点で最大であり, 海岸沿いの調査では南および東に向かって小さくなる.

また, 能登半島内における水平変位量分布は非常に不均質である. 能登半島北西部では北向き変位量は小さく, 西向き変位量および隆起量が大きい(最大約1.5 m)²⁾. Fukushima et al.⁶⁾の北向き変位変位量分布図(図1a)によると, 鳳至川を境にその北西側と南東側で変位量分布の傾向がはっきりと異なる. すなわち, 鳳至川沿いより南東側では北向き変位が卓越しているのに対し, 北西側の地域では南向きの変位が認められる(図1a). その傾向は航空レーザー計測の解析結果⁴⁾による北向き変位量分布図(図1b)においても認められる. 航空レーザー計測の解析結果⁴⁾による上下変位量分布図(図1c)を見ると, 輪島市長井町から門前町中屋にかけての鳳至川沿いに, 北東方向に複数の線状の隆起部が認められた.

4. 鳳至川沿いの地表変状

輪島市鳳至川沿いの g 地点の田んぼでは $N43^\circ E$ の軸を有する背斜状隆起が認められた。この背斜状隆起の隆起量は 20 cm，半波長は約 15 m であった。この田んぼの北東側の畔も同様に隆起しており，さらにその北東延長部の護岸擁壁が破損していた。この隆起に横ずれ変形は認められなかった。h 地点では， $N37^\circ E$ の軸を有する約 20 cm の背斜状の高まりが認められた（図 1g）。この高まりの北東側の鳳至川の護岸擁壁が崩壊し，さらに北東側の道路に変状が発生していた。i 地点では， $N52^\circ E$ の隆起軸を有し，北西側が約 20 cm 隆起する変状が認められた。これらは発災後の 2024 年 1 月 11 日に撮影された空中写真（図 1d~f）において雪の分布する範囲と溶けている領域の境界の方向と調和的である。これらの空中写真と現地地形地質調査の照合より，これらの変状が 2024 年能登半島地震によって発生したものと判断される。

航空レーザー測量⁴⁾および解析によると，鳳至川の現地で見られた背斜状隆起は，航空レーザー測量の上下変位分布図で認められる全長数 km に及ぶ線状の隆起と位置および方向が一致する。上下変位分布図で認められる直線状の隆起は $N40\sim 50^\circ E$ の軸を有し，左雁行配列する背斜状隆起とみなされる。

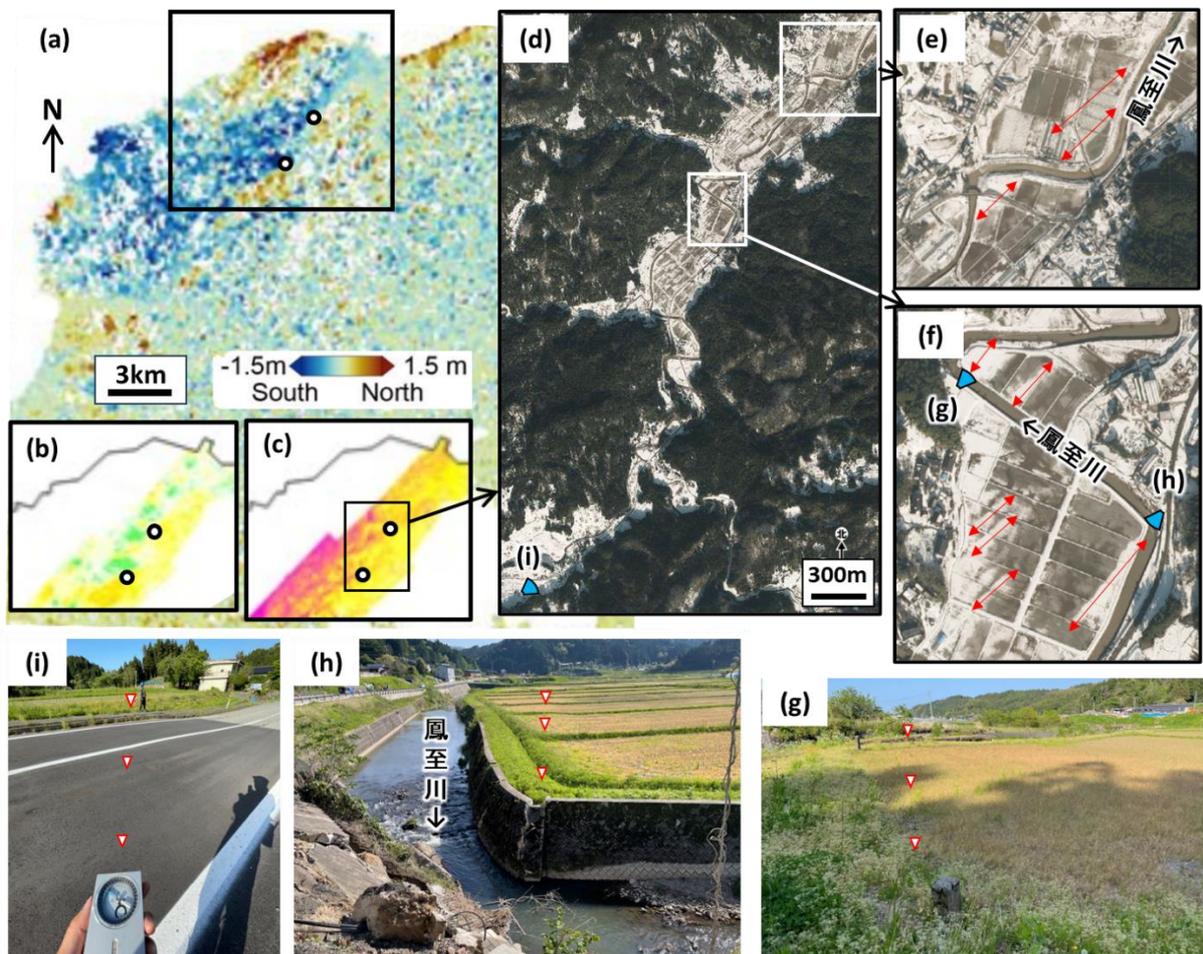


図1 鳳至川沿いの地表変状。(a) 北向きの変動分布図⁶⁾。(b, c) 北向きおよび上下変位分布図⁴⁾。a~c 中の黒丸は f と i の位置を示す。(d~f) 発災後の空中写真⁵⁾。写真南西から北東に鳳至川が流れている。赤色の両矢印は圧縮性隆起の軸を表す。水色の印は写真 g~i の撮影方向を示す。(g~i) 圧縮性隆起の写真。赤色枠の三角形は圧縮性隆起の位置を示す。

5. 引張応力場でなぜ圧縮性的変形が発生したのか？

鳳至川沿いでは、それぞれが $N40\sim 50^\circ E$ の背斜軸を有し、全体として $N35^\circ E$ に続く雁行背斜褶曲群を成している。この変状が発生した鳳至川を境に、南東側と北西側とで地殻変動に差異が認められた。すなわち、鳳至川の北西側（能登半島の北西部）では北向きの変位量が小さく、西向きの変位量が大きい（最大約 1.5 m）²⁾。また、半島の北西端に向かうほど隆起量が大きくなる傾向が認められた²⁾。これに対し、鳳至川の南東側には顕著な傾動は認められず、北西方向への変位量が大きく（最大 0.9 m）、鳳至川の北西側に対する南東側の相対的な北進が認められた。このように、地殻変動は連続的ではなく、鳳至川沿いに変形の集中が認められることから、本論では鳳至川を境とする北西側と南東側のブロックとして扱う。鳳至川より北西側のブロックに対して南東側のブロックが相対的に北進することで、地表に圧縮性の隆起が生じたと解釈される（第2図）。

また、雁行背斜褶曲群をなした理由としては、鳳至川の北西側のブロックでは北向き変位量は小さく西向き変位が大きかったことにより、ブロックの境界に左横ずれせん断応力が発生し、左雁行背斜褶曲群が発生したと解釈される。なお、谷中低地は軟弱地盤であることから、せん断変形が集中した可能性がある。

令和6年能登半島地震で輪島市鳳至川沿いに発生した左雁行状の背斜状隆起は、北側ブロックの西進と隆起（北西ほど隆起する傾動）および南東側ブロックの北西進が組み合わさることによって形成された圧縮性隆起（pressure ridge）であると解釈される。

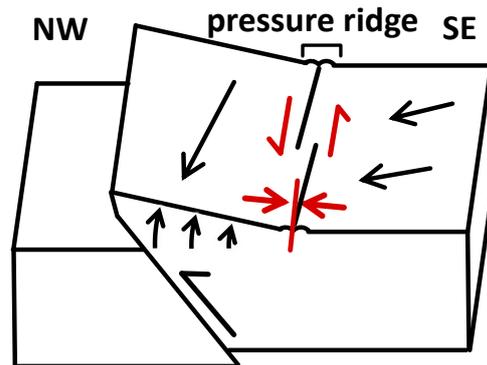


図2 圧縮性隆起形成の解釈図

6. 謝辞

本調査に際して、山口大学地域レジリエンス研究センターおよび自然災害研究協議会の支援を頂いた。ゲストハウスきちに宿泊し、調査を円滑に進めることができた。ここに記して感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会: 令和6年能登半島地震の評価(令和6年2月9日公表), 地震調査研究推進本部 Web ページ, https://www.jishin.go.jp/main/oshirase/20240101_noto.html, 2024 (2024年4月9日閲覧)
- 2) 国土地理院: 「だいち2号」観測データの解析による令和6年能登半島地震に伴う地殻変動(2024年1月19日更新) https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/20240101noto_insar.html, 2024 (2024年4月9日閲覧).
- 3) 吉見雅行, 丸山 正: 第九報 2024年能登半島地震の緊急調査報告(陸域に出現した地表変形の現地調査), <https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/noto2024/noto2024-09.html>, 2024 (2024年4月9日閲覧)
- 4) 国際航業株式会社: 航空レーザー計測成果を用いた数値地形解析結果【速報】(能登地域:西部), <https://www.kkc.co.jp/disaster/2024/01/%E4%BB%A4%E5%92%8C%EF%BC%96%E5%B9%B4%E8%83%BD%E7%99%BB%E5%8D%8A%E5%B3%B6%E5%9C%B0%E9%9C%87/> 2024 (2024年4月9日閲覧)

- 5) 国土地理院: 地理院タイル一覧ページ, <https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>, (2024年4月9日閲覧)
- 6) Fukushima, Yu et al.: Landscape changes caused by the 2024 Noto Peninsula earthquake in Japan, Science Advances, 10, eadp9193