

資 料

令和 6 年能登半島地震に伴う隆起で生じた 海岸の離水と海成段丘

宍倉正展^{*1,a}・越後智雄^{*2}・行谷佑一^{*1}・立石 良^{*3}・後藤玲奈^{*3}・前空英明^{*4}

キーワード：令和 6 年能登半島地震，能登半島，隆起，離水，海成段丘

I. はじめに

2024 年 1 月 1 日に発生した令和 6 年能登半島地震は、能登半島北部沿岸海域に延びる海底活断層の活動に関連して発生したと推定されるマグニチュード (M) 7.6 の地殻内地震である (地震調査研究推進本部, 2024a, b)。南東傾斜の逆断層の活動で起きた地震のため、破壊域は陸地の直下におよび、激しい揺れとともに顕著な地殻変動が生じた。国土地理院 (2024a) による陸域観測技術衛星「だいち 2 号」の観測データ (原初データ JAXA 所有) の 2.5 次元解析結果によると、準上下方向の地殻変動で能登半島北部沿岸のほぼ全域で隆起が観測された (図 1)。また地震直後に撮影された空中写真に基づいて、隆起に伴う海岸の離水現象も確認されている (国土地理院, 2024b)。筆者らは地震直後から現地で海岸の離水現象を確認し、海岸の地形変化の観察や海面付近の岩礁や港湾の防潮堤壁面に固着する生物の高度の計測を行った。本稿では特に石川県輪島市門前町鹿磯^{かいそ}、同県珠洲市高屋町の堂ヶ崎東の 2 地点での観察結果を報告する。

II. 石川県輪島市門前町鹿磯の海岸隆起

本地点は国土地理院 (2024a) の解析で最も大きい隆起が観測された地域に位置する (図 1)。この周辺では石山ほか (2024) が地震から 2 日後に調査を行っており、隆起量を 3.6 m (潮位補正前の暫定値) と報告している。

本研究で地震発生から 1 週間後の 2024 年 1 月 8 日に

実施した調査では、平均海面付近で基盤岩を平滑に侵食して形成された波食棚が、地震に伴う隆起で広く離水している様子が観察された (図 2-a)。またその海側縁辺付近には崖地形によって海面と接している様子がみられた (図 2-b)。これはもともと海底にあった崖がそのまま離水したものと考えられる。そこでこれらの地形について光波測距儀 (Leica 社製 TS15) を用いて測量し、地形断面図を作成した (図 3)。その結果、離水波食棚とその前面の崖地形から構成される明瞭な階段状の地形が明らかになり、今回の地震に伴う隆起によって海成段丘が新たに生じたことがわかる。

崖の壁面には岩礁に固着する様々な生物が離水している様子が観察され、それらのうちカンザシゴカイ類や石灰藻の高度の上限は波食棚の高度とほぼ一致していた。この高度を地震前の平均海面とみなすと、地震後の平均海面との比高から隆起量が推定できる。計測時の時間海面 (14:20) からの高度は 3.60 m であった。この時刻の輪島の天文潮位は 0.24 m (T.P.: 東京湾平均海面からの高度) であり (気象庁, 2024a), 2018~2022 年の 5 年平均潮位が 0.25 m (T.P.) である (気象庁, 2024b) ことから、平均海面からの高度は 3.59 m となる。ただし測定した固着生物の分布上限は多少の凹凸があることや、潮位が受ける気圧変化の影響などが誤差として生じうるため、本地点の隆起量の推定値は約 3.6 m とする。この結果は石山ほか (2024) の暫定値と調和的である。

ところで能登半島北部沿岸には完新世に形成されたと

2024 年 3 月 15 日受付, 2024 年 3 月 19 日受理, J-STAGE 早期公開 (2024 年 5 月 11 日)

*1 国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センター 〒305-8567 つくば市東 1-1-1 中央事業所 7 群。

*2 株式会社環境地質 〒210-0014 川崎市川崎区貝塚 1-4-15-203。

*3 富山大学都市デザイン学部地球システム科学科 〒930-8555 富山市五福 3190。

*4 法政大学文学部地理学科 〒102-8160 東京都千代田区富士見 2-17-1。

*a Corresponding author : m.shishikura@aist.go.jp

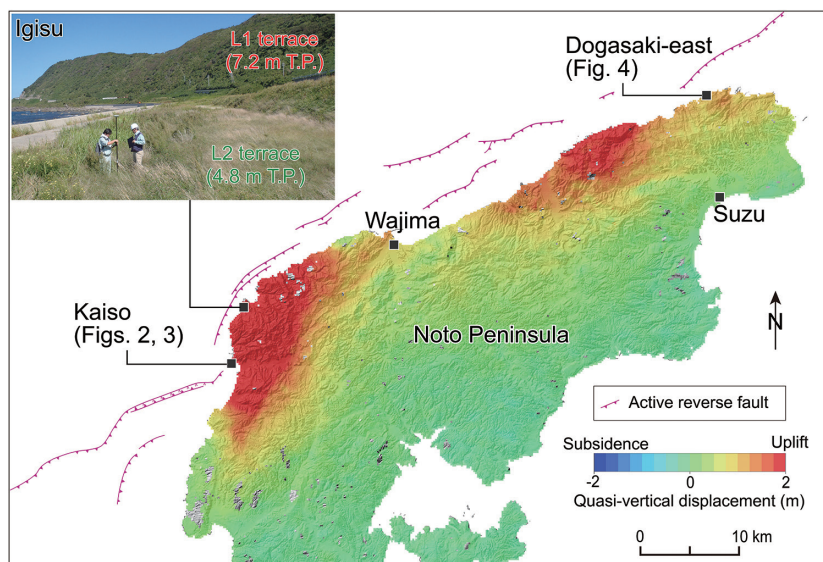


図 1 令和 6 年能登半島地震による地殻上下変動量と調査位置

地理院タイル (陰影起伏図) に国土地理院 (2024a) による「だいち 2 号」観測データ (原初データ JAXA 所有) の 2.5 次元解析による準上下方向の地殻変動量を重ねて作成。左上の写真は穴倉ほか (2020) による石川県輪島市門前町五十洲付近でみられる海成段丘 (2012 年 9 月 28 日撮影)。海域活断層は井上・岡村 (2010) に基づく。

Fig. 1 Vertical crustal deformation caused by the 2024 Noto Peninsula Earthquakes and location of survey sites. Quasi-vertical displacement based on a 2.5-dimensional analysis of GSI (2024a) using Daichi-2 observation data (raw data of JAXA) is superimposed on GSI tiles (shaded relief map). The upper left photo shows Holocene marine terraces near Igisu, Monzen-machi, Wajima City, Ishikawa Prefecture, taken Sep. 28, 2012, after Shishikura *et al.* (2020). Trace of marine active faults is based on Inoue and Okamura (2010).

考えられる 3 面の海成段丘 (L1~L3 面) が識別されている (穴倉ほか, 2020)。本地点に近い石川県輪島市門前町五十洲では, L1 面と L2 面が確認され, 2012 年の測量時でそれぞれ 7.2 m (T.P.) と 4.8 m (T.P.) に分布する (図 1)。すなわち能登半島北部では完新世において海成段丘を生じるような間欠的な隆起が少なくとも 3 回起きていたことを示している。今回の地震によって生じた海成段丘は, L4 面と呼ぶべき新たな面として認識することができる。

III. 石川県珠洲市高屋町, 堂ガ崎東の海岸隆起

本地点は, 2023 年 5 月 5 日に 2024 年 1 月 1 日の地震に先行して発生した M6.5 の地震によって隆起が認められた地域である。筆者らは 2023 年と 2024 年の 2 回の地震より前の 2022 年 10 月 9 日に, 同地点で海岸地形と固着生物遺骸の調査を実施していた。この調査で取得した生物遺骸などの高度データは, 地震性地殻変動を評価する上で参照可能な地震前のオリジナルの基準点

の標高 (T.P.) データである。したがってその再測量により正確な隆起量が推定できる。

そこでまず 2023 年の地震発生から 8 日後の 2023 年 5 月 13 日に現地調査を行った (穴倉・越後, 2023)。本地点は 2022 年の観察時点で, もともと平均海面から数十 cm 程度の高度に離水波食棚が分布し, その周囲の崖に生物の固着が認められた。2023 年の地震に伴う隆起では, これらが全体的に持ち上がり, 海面から 0.2~0.3 m 程度の範囲で離水したとみられる石灰藻の白化現象が見られた (図 4-a)。一方で浅海底や波食棚が潮間帯以上の高さに広範囲で出現するような離水現象は認められなかった。2022 年の調査時の基準点を VRS-RTK (Virtual Reference Station-Real Time Kinematic; Leica 社製 GS07) による GNSS 測量で標高を再測定したところ, 0.24 m の高度変化が認められた。この結果は国土地理院 (2023) による陸域観測技術衛星「だいち 2 号」の観測データ (原初データ JAXA 所有) の 2.5 次元解析結果と調和的で, 最も大きい隆起 (約 0.20 m) が認



図 2 令和 6 年能登半島地震に伴う隆起で生じた海成段丘の様子 (石川県輪島市門前町鹿磯, 2024 年 1 月 8 日撮影)
a : 離水した波食棚の様子. b : 段丘崖の様子 (穴倉ほか (2024) の写真 3 を使用). 海底にあった崖が離水し, そのまま段丘崖となった.

Fig. 2 Marine terraces caused by uplift associated with the 2024 Noto Peninsula Earthquakes (Kaiso, Monzen-machi, Wajima City, Ishikawa Prefecture, Japan, taken Jan. 8, 2024)
a : Emerged wave-cut-bench. b : Terrace scarp (using Photo 3 in Shishikura *et al.*, 2024).
Terrace scarp was originally formed in a submarine environment and just emerged during the earthquake.

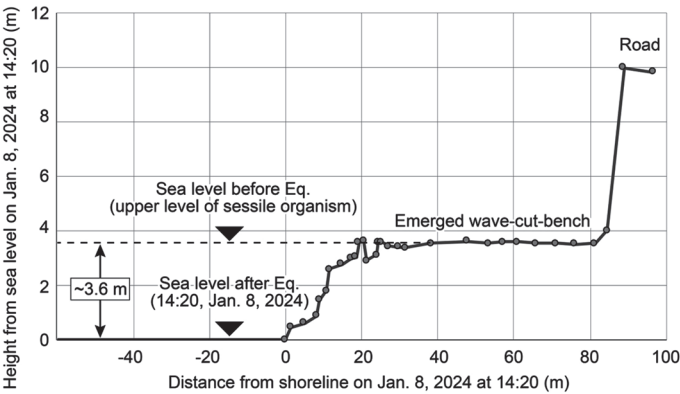


図 3 令和 6 年能登半島地震に伴う隆起で生じた海成段丘の実測地形断面 (石川県輪島市門前町鹿磯)
図 2 の地点で計測 (穴倉ほか (2024) に基づく).

Fig. 3 Measured topographic profile of marine terrace generated by uplift associated with the 2024 Noto Peninsula Earthquakes (Kaiso, Monzen-machi, Wajima City, Ishikawa Prefecture, Japan)
Measured at the location shown in Fig. 2 (based on Shishikura *et al.*, 2024).



図 4 2 回の地震に伴う隆起の様子 (石川県珠洲市高屋町, 堂ガ崎東)

a : 2023 年 5 月 5 日の地震 (M6.5) に伴う隆起による海岸の離水の様子 (2023 年 5 月 13 日 15 : 45 撮影). b : 2024 年 1 月 1 日の地震 (M7.6) に伴う隆起による海岸の離水の様子 (同地点で 2024 年 3 月 1 日 15 : 40 撮影).

Fig. 4 Trace of coseismic uplifts associated with two earthquakes (Dogasaki-east, Takaya-machi, Suzu City, Ishikawa Prefecture, Japan)

a : Coastal emergence due to uplift associated with the May 5, 2023 earthquake (M6.5) (taken May 13, 2023, at 15 : 45). b : Coastal emergence due to uplift associated with the the Jan. 1, 2024 earthquake (M7.6) (taken at the same location on March 1, 2024, at 15 : 40).

められた地域と一致している。

その後 2024 年 1 月 1 日の M7.6 の地震発生を受けて、2024 年 3 月 1 日に同地点で再調査を行った。2024 年の地震では 2023 年の地震時をはるかに上回る大きな隆起によって広範囲で浅海底の離水が認められた (図 4-b)。改めて 2022 年の調査時の基準点の標高を同じ方法で再測定したところ、2023 年 5 月 13 日の計測時と比較して 1.48 m の高度変化が認められた。これが本地点の 2024 年能登半島地震による 2024 年 3 月 1 日時点の隆起量と推定される。また 2022 年 10 月 9 日の計測時と比較すると、2 回分の地震のトータルで 1.72 m の隆起が累積したとみなすことができる。

IV. まとめと課題

2024 年 1 月 1 日の令和 6 年能登半島地震に伴う隆起によって能登半島北部沿岸一帯で海岸の離水現象が生じ、石川県輪島市門前町鹿磯では約 3.6 m の隆起によって新たな海成段丘が形成された。もともと 3 面の完新世海成段丘が分布しているところに、4 つめの段丘面が加わった形である。また石川県珠洲市高屋町の堂ガ崎東では 2023 年 5 月 5 日の M6.5 の地震で 0.24 m 隆起したが波食棚の離水はなかった。一方で 2024 年の地震では 1.48 m 隆起し、広い範囲の浅海底の離水が認められた。

能登半島では 2007 年にも半島西部で M6.9 の地震が

あり、最大で 0.5 m 程度の隆起が認められたが、海成段丘は形成されていない (Shishikura *et al.*, 2009). このように能登半島では、マグニチュード 7 未満の地震による比較的小さい隆起では、海成段丘を形成するような広範囲の離水は生じないが、2024 年能登半島地震のようなマグニチュード 7 後半に達する規模の地震で大きく隆起することによって海成段丘が形成されることが確認された。海成段丘の形成はもともとの海岸地形の条件によっても制約されるが、これらの観察事実からみて、穴倉ほか (2020) で報告した L1~L3 面も 2024 年能登半島地震と同程度の規模の地震で形成された可能性が高い。しかし段丘面の分布は地域によってばらつきがあり、高度も変化しているため、過去の 1 回 1 回のイベントが必ずしも同じ破壊域とすべり分布を持った地震とは限らない。例えば鹿磯地点を含む半島北西部には L3 面がほとんど認められず、L3 面形成時には同地点周辺が大きく隆起しなかった可能性も考えられる。したがって今後は沿岸各地で段丘面ごとの年代を解明し、改めて分布と高度を明確にすることが重要である。

謝辞 株式会社環境地質の清水勇介氏には 2023 年 5 月 13 日の現地調査において協力いただきました。東京大学地震研究所の石山達也氏、富山大学の安江健一氏には 2024 年能登半島地震直後の調査において事前に情報を提供いただきました。東京都立大学の鈴木毅彦氏、専修大学の荻谷愛彦氏、東京大学大気海洋研究所の横山祐典氏には本稿を投稿するきっかけをいただきました。感謝申し上げます。本研究の一部は JSPS 科研費 JP20K01151 および JP23K17482 の助成を受けたものです。

引用文献

井上卓彦・岡村行信 (2010) 能登半島北部周辺 20 万分の 1 海域地質図及び説明書。海陸シームレス地質情報集, 「能登半島北部沿岸域」, 数値地質図 S-1, 地質調査総合センター, https://www.gsj.jp/data/coastal-geology/GSJ_DGM_S1_2010_01_b_sim.pdf, 2024 年 3 月 10 日閲覧。
石山達也・廣内大助・松多信尚・立石 良・安江健一 (2024) 令和 6

年能登半島地震 (M7.6) で生じた海岸隆起【速報その 3】. <https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/news/20465/>, 2024 年 3 月 12 日閲覧。

地震調査研究推進本部 (2024a) 令和 6 年能登半島地震の評価. 52p, https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2024/20240101_noto_3.pdf, 2024 年 3 月 10 日閲覧。

地震調査研究推進本部 (2024b) 2024 年 2 月の地震活動の評価. 62p, https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2024/2024_02.pdf, 2024 年 3 月 12 日閲覧。

気象庁 (2024a) 潮位表. <https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/suisan/index.php>, 2024 年 3 月 12 日閲覧。

気象庁 (2024b) 潮位表掲載地点一覧表 (2024 年). <https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/suisan/station.php>, 2024 年 3 月 12 日閲覧。

国土地理院 (2023) 「だいち 2 号」観測データの干渉解析による石川県能登地方の地震 (2023 年 5 月 5 日) に伴う地殻変動 (2023 年 5 月 8 日 発表). https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/20230505_noto.html, 2024 年 3 月 10 日閲覧。

国土地理院 (2024a) 「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 年 3 月 10 日閲覧。

国土地理院 (2024b) 「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海岸線の変化 (2024 年 1 月 11 日更新). https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/20240101noto_pwr.html, 2024 年 3 月 10 日閲覧。

穴倉正展・越後智雄 (2023) 令和 5 年 (2023 年) 5 月 5 日に石川県能登地方で発生した地震の関連情報. <https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/noto2023/index.html>, 2024 年 3 月 10 日閲覧。

Shishikura, M., Echigo, T. and Namegaya, Y. (2009) Evidence for coseismic and aseismic uplift in the last 1000 years in the focal area of a shallow thrust earthquake on the Noto Peninsula, west-central Japan. *Geophysical Research Letters*, 36, L02307. <http://dx.doi.org/10.1029/2008GL036252>.

穴倉正展・越後智雄・行谷佑一 (2020) 能登半島北部沿岸の低位段丘および離水生物遺骸群集の高度分布からみた海域活断層の活動性. *活断層研究*, 53, 33-49.

穴倉正展・行谷佑一・越後智雄 (2024) 令和 6 年 (2024 年) 能登半島地震の関連情報, 第四報 2024 年能登半島地震の緊急調査報告 (海岸の隆起調査). <https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/noto2024/noto2024-04.html>, 2024 年 3 月 10 日閲覧。

(著者の貢献)

穴倉正展: 2022 年 10 月, 2023 年 5 月, 2024 年 1 月および 3 月の現地調査, データの整理, とりまとめ, 全体的な原稿執筆を担当。
越後智雄: 2022 年 10 月, 2023 年 5 月, 2024 年 1 月および 3 月の現地調査, データの整理を担当。
行谷佑一: 2022 年 10 月, 2024 年 1 月の現地調査, データの整理を担当。
立石 良: 2024 年 3 月の現地調査, データの整理を担当。
後藤玲奈: 2024 年 3 月の現地調査, データの整理を担当。
前李英明: 2022 年 10 月の現地調査, データの整理を担当。

Coastal emergence and formation of marine terrace associated with coseismic uplift during the 2024 Noto Peninsula Earthquakes

Masanobu Shishikura^{*1, a}, Tomoo Echigo^{*2}, Yuichi Namegaya^{*1},
Ryo Tateishi^{*3}, Rena Goto^{*3}, and Hideaki Maemoku^{*4}

Keywords : The 2024 Noto Peninsula Earthquakes, Noto Peninsula, uplift, emergence, marine terrace

*1 Geological Survey of Japan/AIST. Site C7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, 305-8567, Japan.

*2 Kankyo Chishitsu Co. Ltd. 1-4-15-203 Kaizuka, Kawasaki-ku, Kawasaki 210-0014, Japan.

*3 Department of Earth System Science, School of Sustainable Design, University of Toyama. 3190 Gofuku, Toyama, 930-8555, Japan.

*4 Department of Geography, Faculty of Letters, Hosei University. 2-17-1 Fujimi, Chiyoda-ku, Tokyo 102-8160, Japan.

*a Corresponding author : m.shishikura@aist.go.jp