

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K01151

研究課題名（和文）日本海東縁変動帯沿岸の海岸隆起プロセスと地震・津波履歴に関する統合的研究

研究課題名（英文）Integrated study on the history of earthquake and tsunami, and the process of coastal uplift along the active tectonic zone of the eastern margin of the Japan Sea

研究代表者

宍倉 正展 (Shishkura, Masanobu)

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・研究グループ長

研究者番号：00357188

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：日本海東縁変動帯にあたる山形県、新潟県、石川県（能登半島）、北海道南西部（奥尻島）の各沿岸において、おもに過去の地震による地盤の変動（隆起・沈降）を記録した痕跡を調査した。その結果、各地域とも完新世に形成されたと考えられる海成段丘の分布を確認した。一方で山形県、能登半島で検出した過去千年以内の隆起は数10 cm程度で、奥尻島では1993年北海道南西沖地震で逆に沈降しており、地震から30年経っても回復はしていないことを確認した。2024年能登半島地震で大きく隆起して海成段丘が形成されたことから、各地域とも将来大きく隆起する地震が想定される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、日本海東縁変動帯沿岸での過去の地震による隆起や沈降の状況と長期的な変動を示す海成段丘の分布との関係を解明する上での貴重なデータを取得した。特に能登半島において2022年に海岸の測量調査を実施していたことで、翌2023年5月のM6.5の地震、そして2024年1月のM7.6の地震における地盤の隆起を正確に捉えることができたことは非常に大きな成果といえる。これは地震性地殻変動と断層活動の様式を解明する上での学術的な意義だけでなく、地震災害において隆起による社会的影響を評価するうえでも重要であり、社会的な意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：Traces of crustal movement (uplift and subsidence) mainly caused by past earthquakes were investigated along the eastern tectonic margin of the Sea of Japan in Yamagata, Niigata, and Ishikawa prefectures (Noto Peninsula) and south-west Hokkaido (Okushiri Island). As a result, the distribution of Holocene marine terraces was confirmed in each area. The uplifted terraces on the coast of Yamagata Prefecture and the Noto Peninsula were recorded only a few 10 cm uplift in the past millennium, while those in Okushiri Island subsided during the 1993 Hokkaido Nansei-oki Earthquake, and have not recovered even 30 years after the earthquake. Because the marine terrace was newly formed during the 2024 Noto Peninsula earthquake due to a few meter uplift, future earthquakes with large uplift are anticipated in each region.

研究分野：古地震学、活断層

キーワード：日本海東縁 地震 隆起 海成段丘

1. 研究開始当初の背景

2011年東北地方太平洋沖地震の発生以来、おもに太平洋側の海溝沿いで起こる地震・津波とその対策が注目されてきた。例えば南海トラフ地震は今後30年以内の発生確率が70~80%と高く、過去の地震・津波履歴についても津波堆積物などの地質痕跡に関する調査が広く行われ、多くの知見が集積されている。一方、日本海沿岸でも調査は行われているが、地震・津波履歴に関する情報は質、量ともに十分とは言えず、より詳細な調査が求められていた。特に日本海東縁変動帯では、1964年新潟地震(M7.5)、1983年日本海中部地震(M7.7)、1993年北海道南西沖地震(M7.8)、2007年能登半島地震(M6.9)、2007年中越沖地震(M6.8)といった地震によって沿岸域では大きな被害があり、将来起こり得る地震の想定に向けた地震・津波履歴情報の収集は急務と言える状況であった。一方、学術的な観点で見ると、これら近年に起きた地震に伴う地殻上下変動は、沿岸の地形(おもに海成段丘)の存在から期待される隆起量と比較して明らかに小さく、場合によってはむしろ沈降しているケースもある。このため長期的にみた地形の形成プロセスにおいて、近年の地震による変動がどの程度寄与するのかは不明であった。そこで本研究では日本海東縁変動帯の沿岸で地震・津波履歴と隆起プロセスの解明に向けた調査を計画した。

2. 研究の目的

本研究は日本海東縁変動帯に位置する北陸地方から東北地方、北海道までの日本海沿岸地域において、海岸の地形・地質や生物遺骸に記録されたオフ・フォールトの古地震情報を収集し、それらの分布と年代から地震履歴を明確にすることで、隆起プロセスを明らかにすることを目的とする。そして沿岸海域活断層の評価に資するデータを提供していき、国や自治体の地震・津波想定に貢献し、防災・減災対策に寄与することを目指す。

3. 研究の方法

本研究ではまず沿岸の地形を調べ、過去の地震による地盤の隆起で離水した波食地形や海成段丘を確認する。次にそこに固着する石灰質生物遺骸群集を検出し、カンザシゴカイ類などの潮間帯にのみ生息する種を抽出してVRS-RTKなどを用いて高度を測定する。また一部を採取して放射性炭素(^{14}C)年代測定を実施し、離水年代を明らかにする。また過去の津波浸水の痕跡となる堆積物についても検出を試み、必要に応じて ^{14}C 年代測定を実施する。これらのデータから地震・津波を解明するとともに、地形を作る隆起プロセスについても明らかにするため、過去の地震による隆起だけでなく、近年に起きた地震に伴う地殻変動とその余効変動の推移に関するデータも取得して、統合的に考察する。

調査地域は1964年新潟地震で沈降を伴った新潟県と山形県の境界付近にあたる朝日山地西縁の沿岸地域、1802年佐渡小木地震で隆起した佐渡島、2007年能登半島地震で隆起した能登半島北部沿岸、1993年北海道南西沖地震で沈降した奥尻島を対象とした(図1)。なお当初は粟島や飛島も調査対象に設定していたが、コロナ禍において島民以外の者の入島が厳しく制限されていたため、断念した。

4. 研究成果

(1) 新潟県と山形県の境界付近にあたる朝日山地西縁の沿岸地域では、伊倉・太田(2003)や小松原・宮地(2011)による離水海岸地形の報告があり、本研究においてもそれらの分布を確認した。山形県鶴岡市加茂周辺では平均海面上0.8~3.2 mに離水波食棚が0.4~1.5 mの比高で複数レベルに分布している。また平均海面上0.5~0.8 mに離水したカキの群集(おもにケガキ *Saccostrea kegaki* からなる)を確認した。 ^{14}C 年代は群集上部で14~15世紀、下部で17世紀以降を示す。これらの結果は0.4~1.5 m程度の隆起が間欠的に生じてきた可能性を示している。一方で完新世に形成されたと推定される低位段丘は標高8 m以下に2面あり、数mの比高をもって形成されていることから、仮に1回の地震性隆起で1面が形成されたとすると、規模の大きい隆起が想定され、加茂での観察結果とは隆起の量と頻度が一致しない。

一方、津波堆積物について検出できる場所(掘削候補場所)を現地で探したが、人口変更の影響で掘削に適した場所が無く、本地域では津波堆積物調査は実施できなかった。

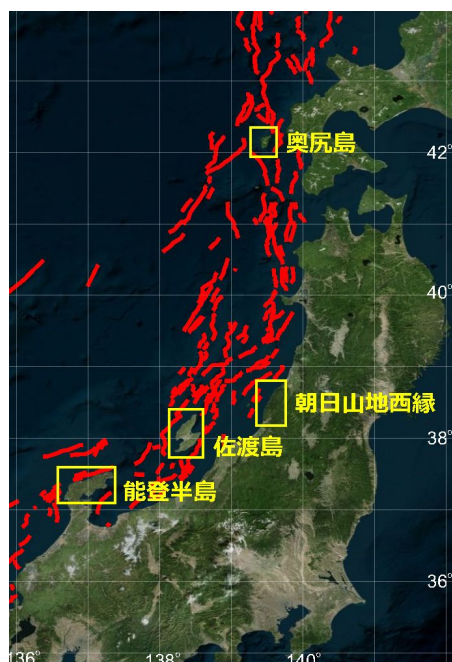


図1 日本海東縁変動帯における調査範囲。JAMSTEC 海域断層分布図を使用。

(2) 佐渡島では、沿岸全域に完新世海成段丘の分布が 田村(1979)によって報告されている。本研究ではまずそれらを確認するとともに、南部の小木半島周辺において1802年佐渡小木地震による隆起痕跡を観察した。この地震では最大2 m程度の隆起を伴ったことが 太田ほか(1976)によって報告されているが、隆起の範囲は小木半島に限られている。現地での調査により、このとき離水したと考えられる生物遺骸群集が確認できた。一方、そのほかの地域では完新世海成段丘を形成した地震は不明で、本研究における調査でも新たな年代データは得られなかった。また北部で津波石の可能性のある漂礫を発見した。比較的最近に移動したものと思われるが、まだ1点のみのデータであり、詳しい年代も含めて今後明らかにしていく必要がある。

(3) 能登半島北部沿岸では、Shishikura et al. (2009)や 宍倉ほか(2020)によってすでに隆起生物遺骸や低位段丘の報告が行われていた。これまでの知見では、過去千年以内に限定してみると、能登半島北部では数百年間隔でM7未満の地震が起こり、数10 cmずつ隆起しているように見えている。一方で低位段丘が3面に区分され、数千年スケールではもっと大きな隆起が起きていなければ海成段丘の分布が説明できない。そのような状況の中、2020年終わりごろから半島北東部で群発地震活動が始まり、GNSS観測ではcmオーダーの隆起が生じていることが報告された(京都大学防災研究所ほか、2023)。そこでこのような変動が長期的な隆起プロセスにおいてどの程度寄与するのかを探るため、宍倉ほか(2020)で報告した隆起痕跡の再調査を2022年10月に行った。その結果、この時点では顕著な変動は検出できなかった。しかし2023年5月5日に半島北東部を震源とするM6.5の地震が発生し、顕著な海岸の隆起が生じた。前年に詳細な測量調査を実施していたため、地震直後に現地でも同じ地点を再測量することで正確な隆起量を見積もることに成功した。このときの最大隆起量は珠洲市高屋町堂ヶ崎東の0.24 mであった(図2)。そして2024年1月1日にM7.6の地震が発生し、さらに大きく隆起した。このときも同様に2022年10月の調査地点を再測量することで、堂ヶ崎東では1.48 mの隆起を見積もることができた。

(4) 奥尻島では、三好ほか(1985)により完新世海成段丘の分布が報告され、中位段丘や高位段丘も良好に発達することから長期的な隆起傾向は明らかであった。しかし奥尻島の西沖を震源とする1993年北海道南西沖地震では、島はむしろ沈降し、海成段丘の存在との矛盾を生じた。島の長期的な変動プロセスの中で、地震時の沈降はどのように寄与するのかを考えるうえで、地震後の余効変動の推移を把握する必要がある。宮内ほか(1994)は地震の直後に島を取り囲むように地殻変動観測のための基準点を設けている。そこで本研究では、その基準点について、地震から30年後の2023年7月に再測量を実施し、沈降した島の余効変動の状況を調べた。その結果、数cmオーダーの変動は認められるものの、地震時の沈降分はほとんどがそのまま残されていることが明らかになった。

(5) このように朝日山地西縁沿岸や能登半島沿岸では数10 cm程度の隆起を伴う相対的に規模の小さい地震が頻繁に起きる一方で、大きい隆起を示唆する低位段丘の存在との矛盾があった。

また奥尻島では長期的に隆起しているのに、直近の地震で沈降しているという矛盾があった。これらの疑問は2024年能登半島地震が起きたことである程度答えが得られたように見える。すなわち過去千年以内の時間スケールの中で起きている地震では、小さい隆起が頻発したり、逆に沈降したりしているが、数千年スケールでは、大きな隆起を伴う地震が起きて低位段丘が形成されているということである。したがって朝日山地西縁沿岸、佐渡島、奥尻島はいずれも将来、海成段丘をつくるような大きな隆起を伴う地震が起こり得ることを指摘できる。本研究の成果は、これらの地域の地震ハザード評価のための基礎的な資料として非常に価値のあるものとなったと言える。



図2 能登半島北東部堂ヶ島東における2023年および2024年能登半島地震に伴う隆起で変化した海岸の様子。 宍倉ほか(2024)に基づく。

<引用文献>

- 伊倉 久美子、太田 陽子、朝日山地西縁の完新世海成段丘と地殻変動、地学雑誌、122 巻、2003、394-405
- 小松原 琢、宮地 良典、弥彦山地西海岸および葡萄山地西海岸の完新世離水地形、海陸シームレス地質情報集、新潟沿岸域、数値地質図 S-2、2011
- 田村 明子、佐渡島の完新世段丘と地殻変動、地理学評論、52 巻、1979、339-355
- 太田 陽子、松田 時彦、長沼 和雄、佐渡小木地震(1802 年)による土地隆起量の分布とその意義、地震第 2 輯、29 巻、1976、55-70
- Shishikura, M., Echigo, T. and Namegaya, Y., 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, Vol. 36, L02307, doi:10.1029/2008GL036252, 2009
- 穴倉 正展、越後 智雄、行谷 佑一、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 号、2020、33-49
- 京都大学防災研究所、金沢大学理工研究域、東北大学大学院理学研究科、能登半島の地殻変動(2022 年 11 月)地震予知連絡会会報、第 109 巻 2023、335-342
- 三好 眞澄、太田 陽子、澤 祥、今泉 俊文、鹿島 薫、北海道奥尻島の完新世海成段丘、地理学評論、58 巻、1985、596-608
- 宮内 崇裕、伊藤 谷生、穴倉 正展、荒井 良佑、1993 年北海道南西沖地震と奥尻島の第四紀地殻変動、科研費 A「平成 5 年北海道南西沖地震・津波とその被害に関する調査研究」、1994、21-26
- 穴倉 正展、越後 智雄、行谷 佑一、立石 良、後藤 玲奈、前杵 英明、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、第四紀研究、63 巻、2024、169-174

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 穴倉 正展、越後 智雄、行谷 佑一、立石 良、後藤 玲奈、前空 英明	4. 巻 advpub
2. 論文標題 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	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 第四紀研究	6. 最初と最後の頁 169 - 174
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4116/jaqua.63.2408	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 穴倉正展・越後智雄・行谷佑一・前空英明・立石 良・澤田 渚
2. 発表標題 海岸の生物遺骸等からみた2023年能登半島北東部の地震（M6.5）に伴う地殻上下変動
3. 学会等名 日本地震学会2023年秋季大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
研究 分 担 者	前空 英明 (Maemoku Hideaki) (50222287)	法政大学・文学部・教授 (32675)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------