

新潟大学災害・復興科学研究所
共同研究報告書

地中レーダーを用いた佐渡島・能登半島における海成段丘の旧汀線高度の推定と長期的地殻変動

研究代表者氏名 塚本 すみ子^{1), 2)}

研究分担者氏名 Jan Igel¹⁾

研究分担者氏名 Luca Malatesta³⁾

研究分担者氏名 片岡 香子⁴⁾

1) LIAG Institute for Applied Geophysics 2) Department of Geosciences, University of Tübingen

3) Helmholtz Centre for Geosciences 4) 新潟大学災害・復興科学研究所

研究要旨

海成段丘は、過去の高海面期に海岸で侵食されたプラットフォームが地震性地殻変動により離水した階段状の地形である。2024 年 1 月に発生した能登半島地震は、甚大な地盤災害をもたらし、半島の広範囲が隆起した。本報告では、佐渡島と能登半島において、海成段丘に記録された第四紀の地殻変動の傾向と海底活断層との関係と、地中レーダーを用いた海成段丘の地下構造の探査結果について述べる。

A. 研究目的

佐渡島・能登半島には数多くの海成段丘が発達し（太田、1964, 太田・平川、1979）海成段丘の地形学的研究には理想的なフィールドである。マラテストと塚本は両地域を対象として、海成段丘が形成される（あるいは形成されない）要因を検討するため、ドイツ German Science Foundation (DFG) にプロジェクト、Tectonic and wave control on the generation and preservation of marine terraces (Temari)を申請し、採択された。その後、2024 年 1 月 1 日に能登半島沖の海底断層を震源とした、Mw7.5 の能登半島地震が発生し、半島は広範囲にわたり最大約 4.4m 隆起した(Fukushima et al., 2024)。本研究は Temari プロジェクトのサブプロジェクトとして、能登半島地震の発生により新たに必要となった研究項目を遂行するためのものである。

能登半島地震では、多くの海岸で潮間帯に形成されていたプラットフォームが離水して海岸線の拡大が見られた。海成段丘は一般的に、海岸の侵食プラットフォームが地震性地殻変動により離水して形成されると考えられているが、実際に潮間帯のプラットフォームと海成段丘を

構成する侵食面の形態を比較した研究は少ない。また、海成段丘は離水後に風成堆積物や崖錐等に覆われるため、形成当時の侵食面高度（旧汀線高度）の推定が困難なこともある。地中レーダーを海成段丘に適用した数少ない事例である木村ほか（2015）では、下北半島の最終間氷期（約 12 万年前、酸素同位体ステージ (Marine isotope stage: MIS)5e）の段丘上で探査を行い、段丘礫層と基盤岩境界の高度と、一般的に旧汀線高度として用いられる段丘面の内縁高度には数メートルの差があることを指摘した。このような差異は、海成段丘の高度を用いて過去の隆起速度を求める際の誤差となる。本研究は研究対象地域である佐渡島・能登半島の海成段丘面上で地中レーダーを用いた調査を行い、侵食面の高度と形態を推定することを目的とする。

能登半島地震では、半島の北沿岸の海底活断層が震源となって地殻変動が生じ、奥能登の北岸および西岸で顕著な隆起が観測された。第四紀に海成段丘を形成した過去の地震性地殻変動が今回の地震と同様に海底活断層の活動に起因していたかを検討することは、長期的地殻変動の理解のため重要である。そこで、時代の異なる段丘から得られる隆起速度の地域差を明ら

かにすることも本研究の目的とする。

B. 研究方法

地中レーダー探査は新潟大学災害・復興科学研究
所現有の Sensor & Software 社製 pulseEKKO PRO
(100 MHz アンテナ) を用いて、2024 年 11 月に佐渡
島の尖閣湾周辺および万畳敷周辺の海成段丘上で行
った。調査地域の段丘面はそれぞれ、小池・町田
(2001)によれば MIS5a (約 8 万年前)、MIS5e(約 12
万年前)に対比される。前年にコンクリート舗装された道
路上で行った予備調査では、アンテナと地表面の多重
反射により、地下構造による反射は確認できなかった。
このため、今回の探査は草地や作物を収穫後の耕地を
選んで行った。地中電磁波速度の計算には common
mid point(CMP)法を用いた。

能登半島の第四紀の隆起速度を計算するため、小
池・町田(2001)を参照し、過去の間氷期 (MIS5-29)
に対比された海成段丘の旧汀線高度がわかる数多くの
地点において、段丘を形成したと考えられる、高海面期
の相対的海水準とその年代(Bintanja et al., 2005)を用
いて平均の隆起速度を計算した。MIS5-13 に対比され
る佐渡島の海成段丘についても同様に隆起速度の推
定を行った。

C. 研究結果

CMP 法による地中電磁波速度解析の結果、尖閣
湾周辺では 1 つの反射波が観測され、0.06-0.08 m/ns
の電磁波速度が得られた。一方、万畳敷では空気によ
る反射のみしか観測できず、地下構造からの反射波は
見られなかった。尖閣湾付近の 2 本の側線の解析結果
を図 1 に示す。海食崖に近い側線 29 では深さ約 1-2
m に反射が見られ、より内陸側の側線 34 では弱いなが
らも深度 2-4 m に反射が認められた。当初の計画では
地中レーダーを用いて現在は堆積物に埋没した、基盤岩
の侵食面の内縁高度を求める予定であったが、探査を
行った段丘上では内縁部の探査に適した側線が認めら
れなかった。

図 2 は能登半島における段丘の高度、時代の異なる
段丘面から求められた平均隆起速度を地図上に示した
ものである。これを MIS ステージ別および、海底活断層か
らの距離と隆起速度の関係をプロットしたのが図 3 で
ある。MIS9 (約 32 万年前) 以前の海成段丘から計算
した隆起速度は比較的一様で、0.2-0.4mm/年である
のに対し、MIS7 (24 万年前)、MIS5 (8-12 万年前)

の段丘から求められた隆起速度には顕著な地域差が認
められた(約 0.6-0.1 mm/年)。また、MIS7、5 の隆起速
度は海底断層に近い能登半島北岸で高く、南東方向
に減少する。この傾向は、Fukushima et al. (2024)で報
告された能登半島地震の隆起の傾向と一致する。

D. 考察

尖閣湾周辺の地中レーダー探査地域は、最も年代の
若い海成段丘 (MIS5a) 上で段丘面上の被覆層が
薄いことが予想される。地中レーダーで観察された深さ 1-4
m の反射面 (図 1) は、基盤岩の侵食面と、堆積物
の境界を示している可能性が高い。一方、万畳敷では
すべての側線が水田上であり、土壌の含水量の高さや
粘土鉱物の影響で地下構造の反射が妨げられたと考
えられる。佐渡島、能登半島ともに、水田が海成段丘
上に多く分布することを考えると、基盤岩の侵食面の高
度や形態をより多くの段丘面で把握するためには、水分
による吸収が反射の妨げとなる地中レーダーよりも、分解
能は落ちるが電気抵抗トモグラフィーの方が適していると
考えられる。

海成段丘から計算された能登半島の隆起速度は、
MIS9 以前の段丘では半島全体でほぼ均一であり(図
3a) 傾動は認められないが、MIS7 以降の段丘では海
底断層からの距離が近いほど隆起速度が大きい傾向が
見られた (図 3b)。このことは、能登半島地震を起こ
した海底活断層の活動開始時期が MIS9 と 7 の間 (32
万年から 24 万年前の間) であることを示唆する。佐渡
島でも、能登半島と同様に MIS7 以降の段丘で南東側
への傾動がみられる。このため、佐渡島でも能登と同様
に海底活断層の活動が隆起の原因となっている可能性
がある。

E. 結論

佐渡島では海成段丘の広い範囲で水田が分布し、
道路もコンクリートで舗装されていたため、地中レーダーに
よる海成段丘上の探査は困難であった。

佐渡島・能登半島ともに MIS9 以前の段丘がほぼ水
平に隆起しているのに対し、MIS5、7 の海成段丘は南
東方向への傾動していることが確認できた。佐渡島では
能登半島のような海底活断層は確認されていないが、
両地域の海成段丘から得られる隆起パターンの類似性
を考えると佐渡島でも海底活断層に起因する地震に警
戒する必要があるのではないだろうか。

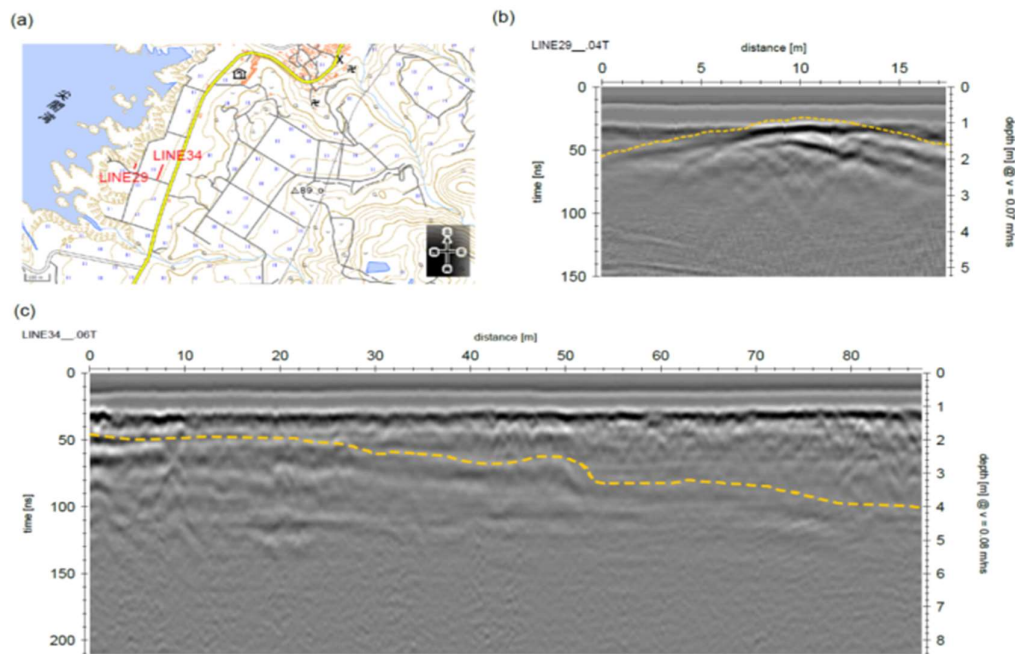


図 1：佐渡島尖閣湾における地中レーダー探査の結果。(a) 側線の位置、および (b)側線 29および (c)側線 34 における地中レーダー探査断面。黄色の破線が反射面で、基盤岩と堆積物の境界を示すと考えられる。

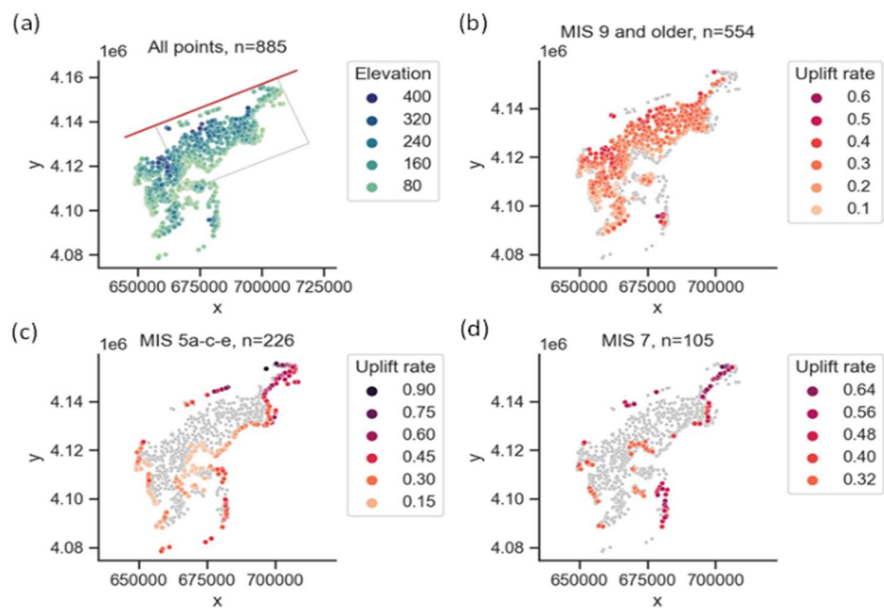


図 2：(a)能登半島における海成段丘の高度分布と時代の異なる段丘面から計算した隆起速度。
(b)MIS9（32 万年前）とそれ以前、(c) MIS5(8-12 万年前)、(d) MIS 7（2 4 万年前）。

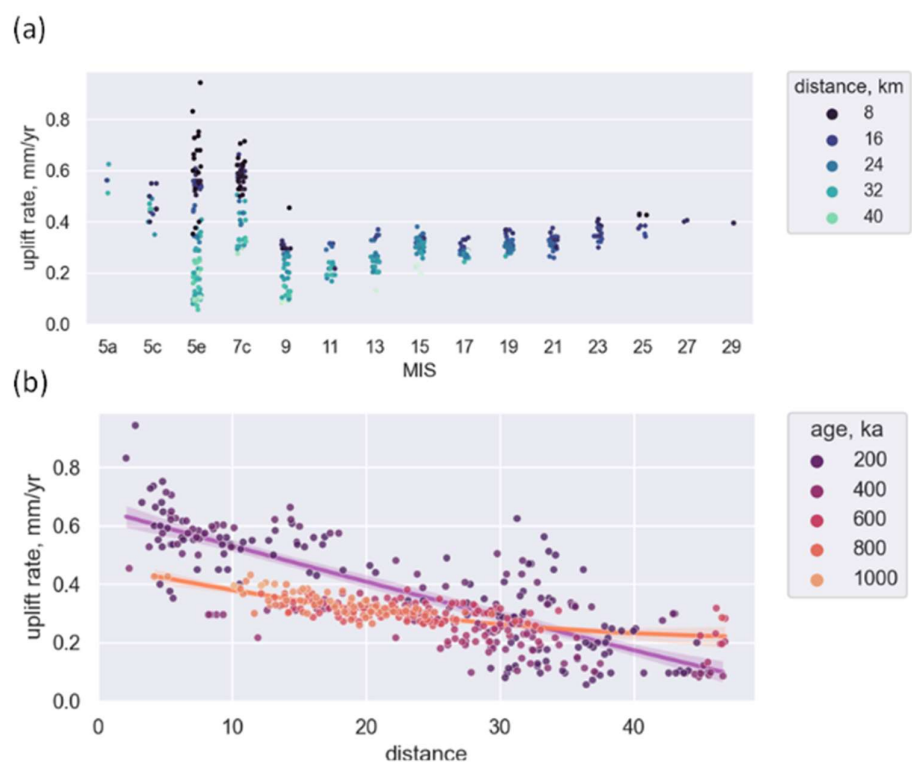


図 3 : (a)能登半島の海成段丘における MIS ステージごとの隆起速度の分布。(b) 海底断層からの距離と隆起速度の関係。

