

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01287

研究課題名(和文)内陸湖に特有の地質の分析による沿岸浅水域地すべりの発生環境の解明

研究課題名(英文)Geological landslide hazard analyses for lacustrine coastal and shallow area

研究代表者

山崎 新太郎 (Yamasaki, Shintaro)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号：40584602

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：沿岸および浅水域で発生する地すべりの発生メカニズムを解明するため、地形が保存されている内陸湖や浅海域を対象に最近の音響地質・地形分析装置および小型ROVによって、その分析を行った。本研究期間では、水底地すべりの地形が発見された北海道屈斜路湖・福島県猪苗代湖・宮城県蔵王御釜火口湖、そして海底地すべりの可能性が当所疑われた長崎県横島の事例を対象とした。特に猪苗代湖では精密な音響地質構造を取得し、その発生メカニズムの解明に繋がる堆積物の鉛直方向への擾乱構造を多数発見した。そのほかの水域でも地すべりや沿岸域の地形変化に繋がる地形特徴・地質構造的な特徴を発見した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

十分に解明されていない沿岸および浅水域で発生する地すべりの発生メカニズムを解明するため、地形が保存されている内陸湖や浅海域を対象にその地質・地形条件の分析を行った。特に本研究で得られた地すべりの発生地質条件を示す資料は、沿岸部や浅海域でどの場所が地震などによって崩壊しやすいかを評価するための基礎的なデータである。さらに、沿岸域の地すべりと火山活動や人間活動の関係についても成果が得られ、今後防災・自然災害の研究者が考慮すべき新しい視点を提示した。

研究成果の概要(英文)：To elucidate landsliding mechanism in coastal and shallow area, I analyzed the preserved remnant of landslides in inland lake and shallow sea area by using up-to-date acoustic technology and small remotely operated vehicles. Lake Kussharo, Lake Inawashiro, the crater lake in Zao volcano, Yokoshima area in Nagasaki were investigated. In particular, I acquired precise acoustic geological profiles, cutting across a large subaquatic landslide, and I found the structure indicating large area liquefaction at the bottom sediment. Then I found topographic and geological features relating to ground surface deformation at other sites in coastal and shallow area.

研究分野：応用地質学

キーワード：海底地すべり 液状化 沿岸域 浅水域 音響調査 水中ドローン 地質構造 湖

1. 研究開始当初の背景

沿岸浅水域で発生する地すべりは、多大な被害を発生させる可能性がある危険な現象である。1999年トルコ・コジャエリ地震においてはその発生によって沿岸域で多数の人命と共に海岸が消失した(國生, 2009など)他, 昨年(2018年)のインドネシア・スラウェシ島地震でも沿岸域で地すべりが発生し, それによって津波までも発生した可能性が指摘されている(BBC News, Online版 2018.12.11など)。一方で, このような現象は希でもあり, さらに科学調査の困難さ故に, その発生環境やメカニズムについて不明なところが多い。一方で事例は少ないものの, 歴史記録や地形として残されているものがある。特に内陸湖の水底には侵食を免れて地形や地質構造が保存されているものがある。これらを研究すれば沿岸・浅水域で発生する地すべりのメカニズムに迫れると思われる。これが本研究の背景である。

2. 研究の目的

筆者は, 沿岸浅水域で発生した地すべりの発生環境を地質学的に明らかにするために, 水深100mより浅い水域で利用可能な音響調査装置類を利用して, 特に近年コアダータが整備されつつある内陸湖をモデルとして調査を進めることとした。さらには沿岸海域で地すべりの発生が疑われる場所一事例も本研究の目的に合致するために調査を行った。

3. 研究の方法

本研究では筆者らが開発してきたシングルビームソナーによる水底地形図の作成, 3.5 kHz サブボトムプロファイラによる精密音響地質構造の調査, サイドスキャンソナーおよびシングルビームソナーの信号を用いた水底表層の地質調査, さらには近年実用化された小型ROV, UAVによる上空からの浅水域のオルソ画像の作成, 水底表層コアリングを実施し本研究期間では3箇所に亘って総合的に水底地すべり地形を調査した。

4. 研究成果

本報告では主な研究成果を4つに亘って紹介する。

4-1 北海道・屈斜路湖における調査結果

屈斜路湖南部に長さ約1kmの明瞭な滑落崖と移動体からなる地すべり地形が発見されていた。この地すべり地形は, 音響地質調査によっても埋没はほとんど認められない。1938年に屈斜路湖南部付近で地震(M6.1)が発生し, その直後に1m程度の湖水面の急上昇や濁水が発生しておりそれとも関連が疑われている。

本研究期間において, 筆者はこの地形を精密に調査した。サブボトムプロファイラを用いた音響地層探査では水深50mより深い地すべりの滑落崖を構成する斜面において水底直下に強い反射面があることが判明した(図-1)。これは移動体の下方まで連続し, 地すべりを発生させたすべり層と考えられる層準である。さらに, 小型ROVにより水深50-80mの地すべり地形上を徹底的に調査し, 複数の水などを噴出して形成したと考えられる凹凸を発見した(図-2)。その他, コアリングを行い, 水底下1.5m程度までのサンプリングを実施したがこのコアに関しては本報告書の執筆辞典では分析中である。

4-2 福島県・猪苗代湖における調査結果

猪苗代湖では, その沿岸に地すべりの地形であることを示す馬蹄形滑落崖と, それから伸びた舌状地形が沿岸から湖心に伸びるように複数認められていた。この状況は猪苗代湖が前述のような大規模地すべりを発生させやすい特異な条件を備えていることを示唆していた。

筆者は, 2015年以降3.5 kHz サブボトムプロファイラによる音響地質構造探査を実施した(図-3)。その結果, 猪苗代湖南部にある一つの地すべり地形は最大厚さ25m, 長さ2.8kmを超える巨大水底地すべりであることが判明した。さらに興味深いのはこの水底地すべりにおいては地すべり移動体の底層からもたらされた流体が鉛直方向に移動し, 音響的に無構造化したと思われる変形構造が多数認められた。2012年に福島大学が猪苗代湖湖心部で湖成堆積物を貫通して採取した約28m長のコア(INW2012コア, 詳しい記載はKataoka and Nagahashi, 2019にある)によれば, コア掘削地点では水底下24.4m以下に砂層, 水底下26.6m以下に猪苗代湖形成

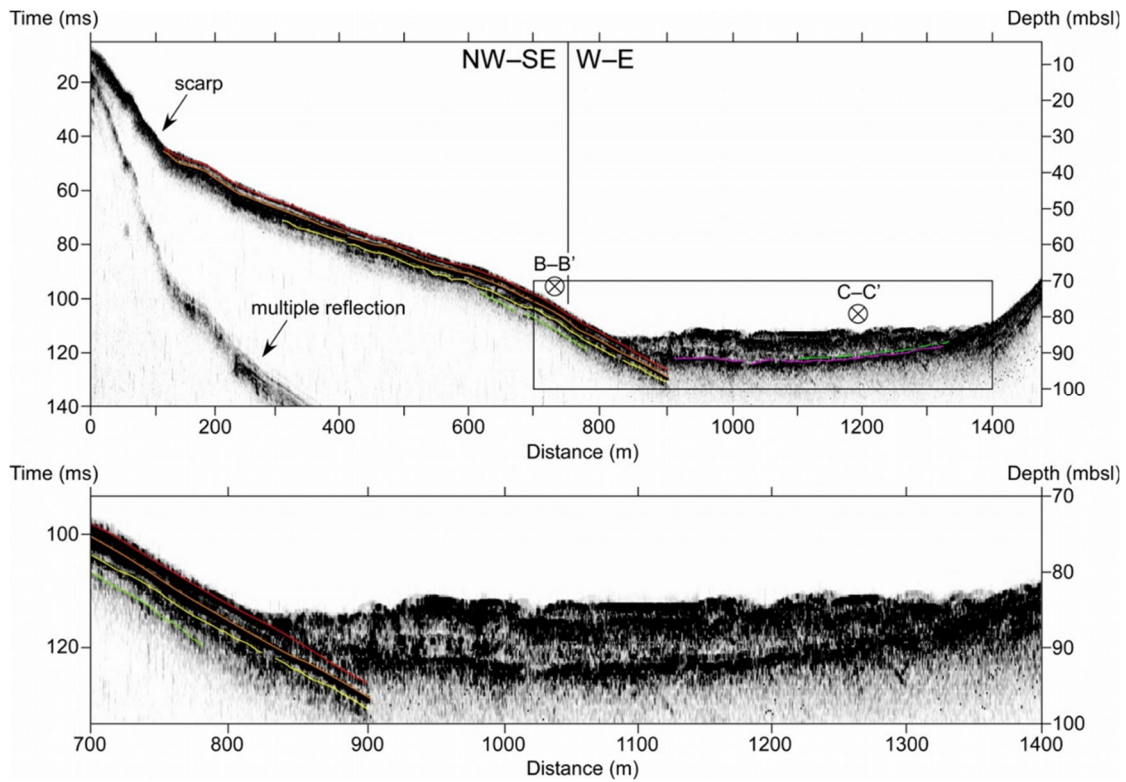


図-1 屈斜路湖における水底地すべり地形の音響地質断面図の例

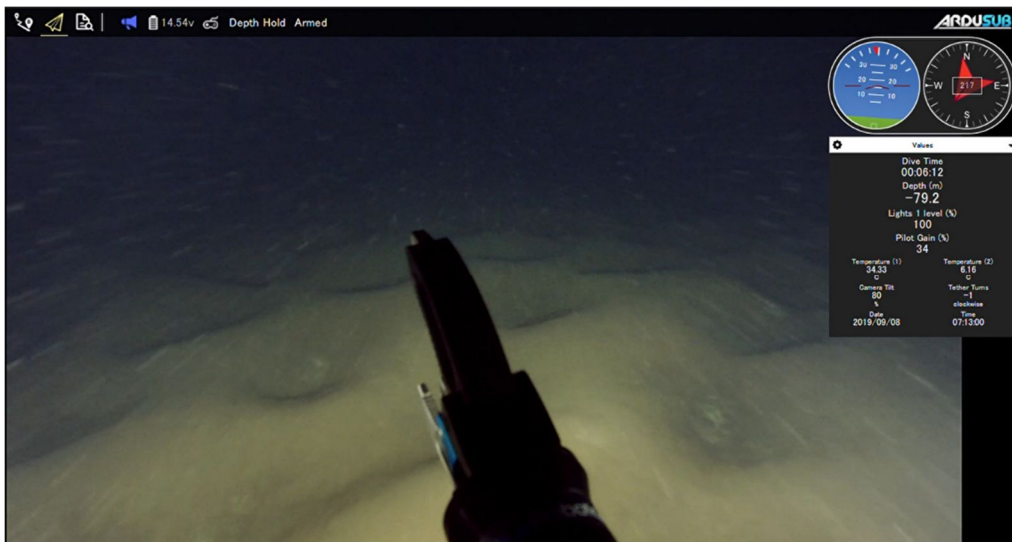


図-2 屈斜路湖水底下 79 m における水底地すべり地形表面の凹凸地形

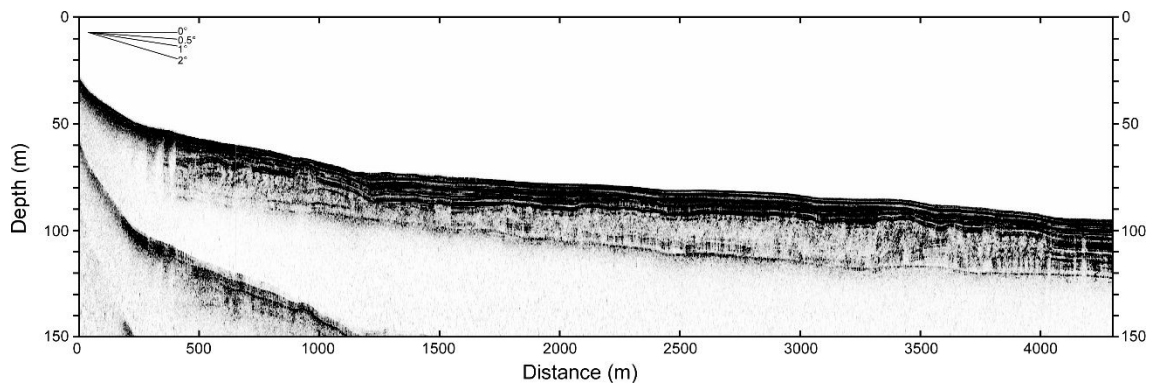
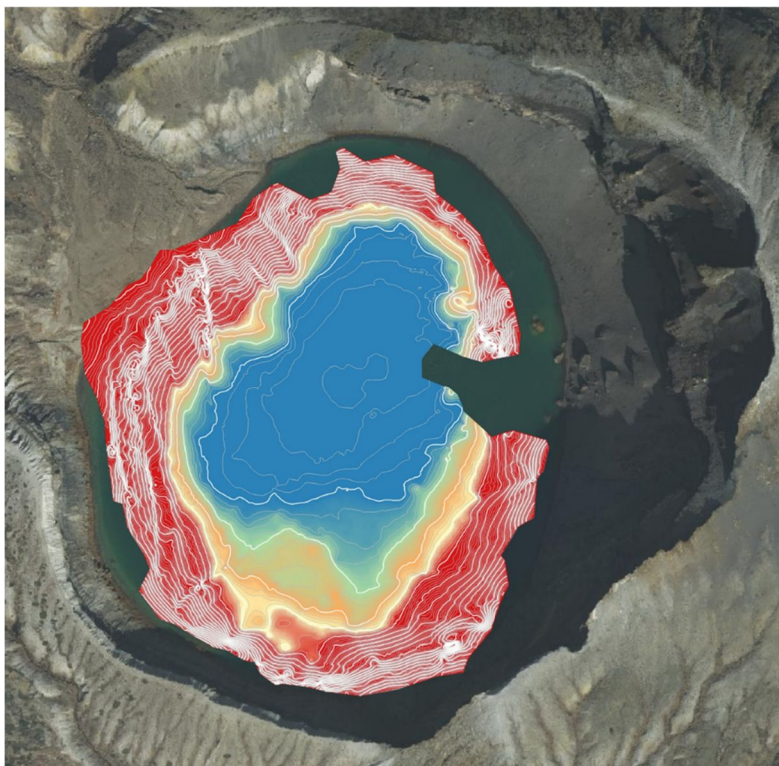


図-3 猪苗代湖水底で発見された巨大水底地すべりを含む音響地層断面

以前の砂礫層があることが判明している．このコアと調査で得られた音響地質構造を対比すると流体はこれらの砂層や砂礫層から供給されたものと考えられる．おそらく、地すべり発生時に

その上にあった約 14 m のシルト質の湖成堆積物は続成作用の結果、ある程度強度をもっており、地すべり時には間隙水圧を閉じ込めていた。その結果、砂層や砂礫層では液状化が生じ大規模な地すべりを生じたものと考えられる。

4 - 3 宮城県・蔵王火山御釜火口湖の調査結果



蔵王火山の御釜火口湖では 2014 年に部分的な濁り水が発生し、活発な火山活動が切迫していると疑われる事態が生じた。筆者はこの濁り水が地すべりによるものの可能性があると考えてシングルビームソナーおよびサイドスキャンソナーによる調査を行った。結果として、濁り水の発生した周辺には地すべり地形は確認できなかったが、水底下に湖底の剥離と移動に伴う長さ約 100 m の地すべり地形があることが南部にあることが明らかになった。この地すべりは舌状の地形を形成していることが判明した。濁り水の解明も含めて地すべりを発生させた要因の研究が本報告書の執筆時点でも続いている。

図-4 蔵王火山御釜火口湖において作成した等深線図（等深線間隔 1 m、図の上が北を示している。等深線図作成領域の南北の最大幅は 413 m、）

4 - 4 長崎県・横島周辺海域の調査結果

横島は、東西に長さそれぞれ約 160 m、50 m の 2 つの小島からなるが、20 世紀初頭には 1 つの島であり、そして、その地下には炭鉱が開発され、建物が林立し、約 700 人が居住していたことが記録されている（香焼町，1991）。しかし、炭鉱の閉山後、徐々に陸部が失われ国土地理院の保有する空中写真を判読する限りでは、1960 年代のはじめには 2 つの部分が残って島の西大部分が消失した。横島は半世紀もかけて徐々に島が消失していったものであり、その消失の原因については 2 つの考えがあった。一つは、島の広い範囲が岩盤すべりによって海底に没したとの考え、もう一つは、漸次的な地下坑道の崩壊によって海水準以下の高さまで陥没したとの考えである。しかし、それらの議論を収束させる周辺海域の海底地形に関するデータが乏しく、その議論に決着がつけられずにいた。

筆者は、NHK 長崎放送局より水中のダイビング映像の提供を受け、それらを分析すると共に、2 日間横島周辺海域において浅海域に適応可能なサイドスキャンソナーによる海底面のイメージング、水底地形図の作成、UAV による上空からの観察とオルソ画像の作成、小型 ROV による海底観察、そして陸地部分の地質調査を行った。そして調査結果を基礎として横島の消失についてその原因を分析した。

以下に調査結果の要点をまとめると、1) 横島の海底地形は、横島東端からその西方の岩礁「裸瀬」より西方まで東西に伸びる山脈状の地形をしていた。その山脈の幅は概ね 300-600 m、比高差は概ね 30-40 m であった。2) 横島とその周辺の地質は、節理の発達する礫岩・砂岩・シルト岩であり、それらの層理面は東西走向で北に最大 25 度傾斜した地質構造を持っていた。3) 地上および海底下には、多数の開口亀裂と最大幅が 10 m に達する陥没帯が確認できた。この開口亀裂や陥没帯の走向は東西に伸びるものが多いものの、それと斜行するものも多かった。4) かつての堤防と考えられる遺構が海底に確認でき、さらに、巨角礫がほとんど無い旧地表面と考えられる海底面が確認できた。5) 旧地表面は島が消失した横島西部領域において、8 度から 12 度北に傾斜し、現在では水深 5 ~ 10 m にあった。6) 前述の旧地表面の縁辺が小規模に崩壊したと考えられる領域があったが、島の大部分を消失させる大規模な岩盤すべりの地形は確認できなかった。また、崩壊と考えられる領域は旧地形面の南側に広く分布していた。

以上の調査結果は、横島の大部分は岩盤すべりによって消失したのではなく、地下坑道の大規

模な崩壊で陥没が発生し、広範囲に亘って陸地が沈下したことを示す。観察できた堆積層は東西走向・北傾斜であり、石炭層も地下ではその姿勢であることが推定できる。そのため、石炭層に沿って坑道を掘削したとすると、北に傾斜した空洞が横島の地下に形成されることになる。その精度は不明であるが、三菱鉱業セメント株式会社（1989）によると島が消失した横島西側領域は炭鉱の開発範囲と一致しており、北傾斜の空洞が陥没した結果、ほぼ水平であった地表面が北に傾斜しながら徐々に水没したと考えられる。また海底面が北側に回転しながら陥没することで南側に引っ張りの力が加わり、旧地表面の南側では岩盤崩壊が発生したと考えられる。

0 100 200 m

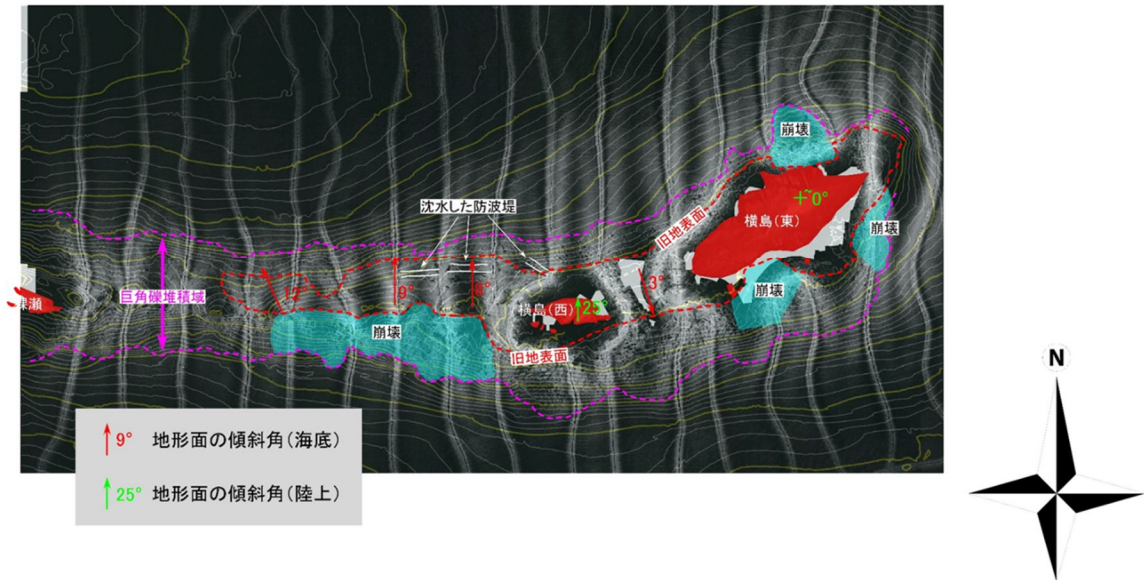


図-5 横島の等深線図とサイドスキャン画像の重ね合わせ、およびその解釈（等深線間隔 1 m）

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 0件）

1. 著者名 Yamasaki Shintaro, Kamai Toshitaka, Watanabe Tatsuya	4. 巻 287
2. 論文標題 Geological and seafloor investigations of the cause of partial submergence of Yokoshima Island, Nagasaki, Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Engineering Geology	6. 最初と最後の頁 106108 ~ 106108
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.enggeo.2021.106108	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山崎 新太郎
2. 発表標題 沿岸域・浅水域で発生する地すべりの発生場
3. 学会等名 日本地すべり学会関西支部シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山崎新太郎
2. 発表標題 地すべりの研究における「観る」技術の進歩
3. 学会等名 平成30年度(公社)日本地すべり学会北海道支部および北海道地すべり学会総会・設立40周年記念講演・シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山崎新太郎
2. 発表標題 音響技術を用いた小水域・浅水域の地形・地質調査
3. 学会等名 日本地質学会第125年学術大会（2018札幌）（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山崎新太郎
2. 発表標題 福島県・猪苗代湖湖底下の大規模地すべり構造と流体移動痕跡
3. 学会等名 京都大学防災研究所研究発表講演会
4. 発表年 2022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	山下 聡 (Yamashita Satoshi) (00174673)	北見工業大学・工学部・教授 (10106)	

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
---------	---------