

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2023

課題番号：18K01120

研究課題名(和文)地震性地殻変動による離水海岸地形に基づく旧汀線高度決定に関する研究

研究課題名(英文) Study on the determination of ancient shoreline altitude based on seismic crustal deformation deduced emergent shoreline topography

研究代表者

石黒 聡士 (ISHIGURO, Satoshi)

愛媛大学・法文学部・准教授

研究者番号：90547499

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、地震性地殻変動にともなう離水海岸地形に対応する旧汀線高度を、高精度に決定する地形計測手法を確立することにある。そのために、これまで与論島北部に発達するサンゴ礁地形において、リーフクレストの上面の詳細な地形を計測を試みたものの、詳細な地形モデル作成は困難であることが判明した。このため、対象地域を新潟県村上市における離水海岸地形とし、可搬型LiDARにより計測することにより、詳細な離水海岸地形を計測できる可能性を示した。ただし、可搬型LiDARにはフィールドにおける取り扱い上の困難があることも判明したため、今後は適切なデータ取得の手法を確立する必要がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地震性地殻変動にともなう離水海岸地形に対応する旧汀線高度を、高精度に決定することは、過去に生じた地震生地殻変動量を正確に計測することができることから、地震の規模及び発生間隔を高精度に推定するために役立つ。このことは、将来発生が予測される、海岸隆起を伴う地震について、その規模等を推定することに繋がり、ひいては災害の誘因たる地震の基礎資料となる。また、地形を正確かつ細密に計測する手法を確立することは、海岸隆起を伴う地殻変動のみならず、地変を伴う現象全般への展開が可能である点で、波及効果は大きい。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to establish a topographic measurement method to determine with high accuracy the former shoreline elevation corresponding to the detached coastal topography associated with seismic crustal deformation. For this purpose, we have attempted to measure the detailed topography of the upper surface of the reef crest in the coral reef topography developed in the northern part of Yoron Island, but it was found to be difficult to create a detailed topographic model. Therefore, we selected the target area as the remote coastal topography in Murakami City, Niigata Prefecture, and demonstrated the possibility of measuring detailed remote coastal topography by using portable LiDAR. However, it was also found that the portable LiDAR has some difficulties in handling in the field, so it is necessary to establish an appropriate data acquisition method in the future.

研究分野：変動地形学

キーワード：離水海岸地形 地震生地殻変動 LiDAR SfM-MVS

1. 研究開始当初の背景

沿岸部における過去の地震規模や発生間隔は、地震によって離水した海岸地形の分布や、隆起量の分布によって推定できる。隆起量は、かつて汀線の高度付近において形成されたベンチが、どれほどの高さにあるか(旧汀線高度)によって推定される。

従来、ベンチは、高潮位すれすれにおいて、潮の満ち引きに伴う乾湿の繰り返しによって、岩盤が砕屑化することによって平坦化して形成されるとされてきた。しかし、近年の研究により、地形学的に判断される旧汀線高度と、生物遺骸群集の年代測定によって得られた旧汀線高度との間に、数十センチメートルの違いがあることが指摘され(宍倉ほか, 2014)、従来の地形学的な旧汀線高度の決定根拠が根底から覆されかねない事態となっている。正確な隆起量計測のためには、地形学的に旧汀線高度を高精度に決定する必要がある。そのためには、現成のベンチと潮位との関係を正確に把握しなければならない。

現在のベンチが、どの潮位によって形成されるかを知るためには、海面上に現れた地形と、海面下の地形の両方を、シームレスに、面的かつ高細密に計測し、潮位との対応関係を検証する必要がある。これに必要な地形計測の解像度は、概ね 10cm 程度である。これほどまでに高解像度かつ面的で、しかも陸上から浅海底に至るまでを継ぎ目なく地形計測した例は、これまでにない。

2. 研究の目的

本研究は、離水海岸地形と、それから連続する浅海域の海底地形を、高解像度で計測し、潮位と形成される地形との関係を明らかにする。海域の調査は大潮の時期に実施するなどの工夫をし、陸上から浅海底に至るまで、継ぎ目のない細密地形モデルを作成する。本研究により計測・作成される細密な地形モデルと、潮位の情報をあわせることにより、どの潮位でどの地形が形成されているかを明らかにする。

3. 研究の方法

陸上の離水海岸地形及び現成のベンチと、水深数十センチ以下の極浅海底の地形を、小型無人航空機(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)による空撮によって、また、水深数十センチメートル~数十メートルの浅海底の地形を小型の無人潜水艇による撮影によってそれぞれ撮影する(図3、図4)。そして、それぞれで得た画像を Structure from motion - Multi-View-Stereo (SfM-MVS) 解析することにより、解像度数 cm の細密な地形モデルを作成する。

一方で、研究の実施期間中に、可搬型 LiDAR の普及が急速に進んだ。後述するように、小型の無人潜水艇による画像取得が困難であることが判明したため、可搬型 LiDAR による離水海岸地形の計測を試みることにした。

4. 研究成果

計画当初は房総半島を対象地域としていたものの、与論島北東岸に発達する裾礁と、与論島の離水サンゴ礁地形と比較することで、現生サンゴの傾動を明らかにする方針に修正した。また、離水海岸地形として、新潟県村上市の岩ヶ崎海岸の地形を可搬型 LiDAR により計測した。以下では、それぞれの結果を示した上で、本研究により残された課題を整理する。

(1) 与論島北東岸に発達する裾礁の礁嶺地形の詳細マッピング

大規模なサンゴ礁の発達する南西諸島中部の与論島北東岸に発達する裾礁を対象に、干潮時に地表に出現する礁嶺地形を詳細に地図化し、その高度分布を明らかにし、与論島内の離水サンゴ礁地形と比較検討した。水中の地形計測はマルチビーム測深機など高価な機器を必要としたり、浅海の写真測量の場合には水の屈折率の補正が必要となる。さらに、波打ち際に近い礁嶺地形を水中で計測することや、波による乱反射していない写真画像を取得することは容易でない。

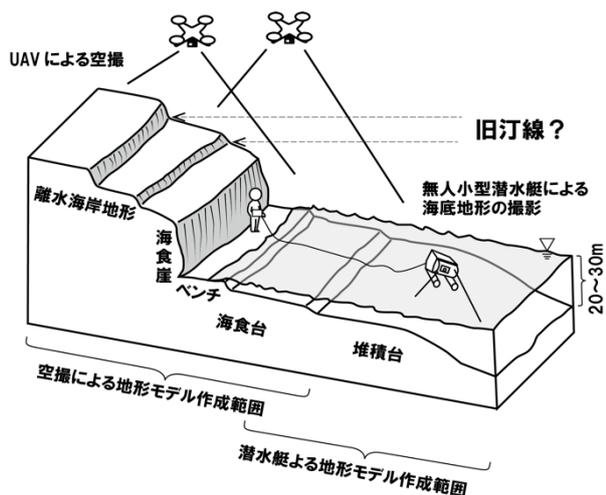


図1：陸域から海域に至るまでの細密地形計測のイメージ

そこで、本研究では、干潮時の礁嶺地形を無人航空機 (UAV) により空撮し、SfM-MVS 解析による地形モデル作成を試みた。研究対象とした礁嶺地形は、与論島の海岸からおよそ 200 m から 1 km 離れており、アクセスが容易でないうえに、礁嶺が地表に出現する大潮干潮時のわずかな時間に撮影する必要がある。したがって、本研究では、礁嶺における地上基準点 (GCP) の計測を不要とする

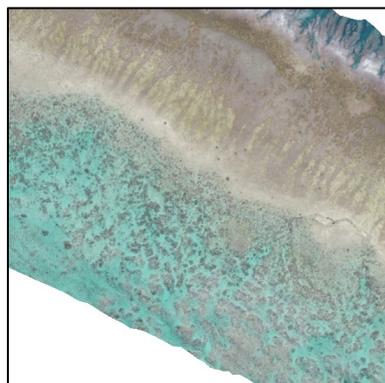


図2 裾礁のオルソ画像

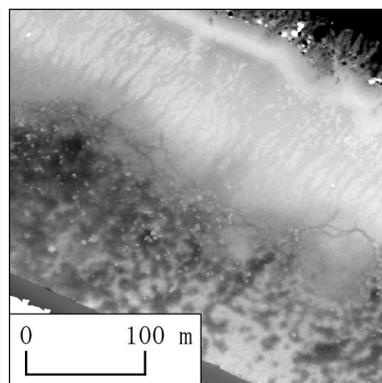


図3 裾礁の DSM

るために、UAV 本体に RTK-GNSS 受信機を搭載した DJI 社製の Phantom 4 RTK を使用し、海岸から離陸して自動航行で撮影した。その結果、大潮の干潮時には、与論東北東岸の礁嶺地形は、少なくとも長さ 4.5 km にわたって離水すること、礁嶺の高度分布は均一でなく、そのうち中央よりやや北西で高度が高く両側に向かって高度を減じることが解った。さらに、その傾動の傾向は与論島内の離水サンゴ礁に見られる傾動の傾向と調和的であることがわかった。

空撮写真の解析の結果、解像度 2.8 cm のオルソ画像 (図 2) 及び解像度 5.6 cm の数値表層モデル (DSM) が作成された (図 3)。オルソ画像からは藻類の分布を明瞭に読み取ることができるほか、DSM により精密な地形の計測が可能となった。この成果は、2020 年度日本地理学会春季学術大会において発表した。

(2) 新潟県村上市岩ヶ崎海岸における離水地形計測

近年急速に普及した可搬型 LiDAR は、フィールドにおいて地形を数 cm オーダーで極めて精緻に計測できるポテンシャルがある。離水海岸地形として新潟県村上市の岩ヶ崎海岸を対象に、2022 年 9 月に可搬型 LiDAR により離水ベンチを計測した。使用した機材は LIVOX 社製の AVIA であり、カタログ上、本体の重量は 498 g、最大測定距離は 450 m、距離精度は 2 cm とされる。駆動のためのリチウムイオンモバイルバッテリーと、制御のためにノートパソコンが必要であるものの、一人による計測が可能である。計測結果を図 4 および図 5 に示す。計測に要した時間は、およそ 20 分程度であった。

図 4 からは離水海岸地形を面的に計測できていることが確認できる。また、図 5 には同時期に形成されたと考えられる平坦面を確認できる。

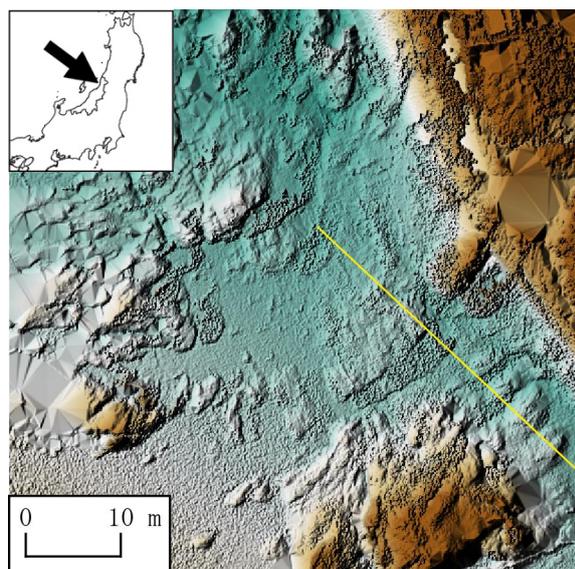


図4 離水海岸地形の陰影起伏図

(3) 本研究課題の実施により残された課題

本研究課題の実施期間中には、新型コロナウイルス感染症の感染が拡大した。これにより予定していた現地調査の多くが実施不可能となり、当初の予定を大幅に変更せざるを得なくなった。不可抗力が発生したとはいえ、当初目的を満足できる結果とは言い難く、パンデミック下におけるフィールド調査を伴う調査研究の困難さを痛感した。さらに、無人潜水艇の利用に困難があったために、その代替手段として水面に浮上するタイプの半潜水艇の導入を試みたものの、動揺が激しく水底の撮影が困難であることも判明した。このように、研究を遂行する上での困難が多岐にわたり、計画通りの研究遂行が困難な状況があった。

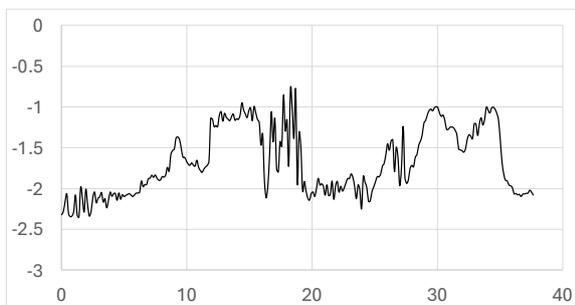


図5 離水海岸の地形断面図。位置は図4の黄色線。縦軸は相対値 (m)。

一方で、地形計測手法の技術的進歩は目覚ましく、計画当初はまだ普及していなかった、あるいは高価であった可搬型 LiDAR が、多くの研究者が利用できる価格帯で入手できるようになり、一般的になってきた。さらに、GNSS 測位システムの機器にもバリエーションが増え、準頂点衛星システム「みちびき」の本格運用に対応した測位機器も増えてきている。本研究課題においても、最新の地形計測技術の動向を注視し、その都度導入することにより、例えば無人潜水艇による写真撮影が困難であった対象を可搬型 LiDAR で計測するなど、補完しつつ遂行することができた。

参考文献

宍倉正展・行谷佑一・小野尚哉・神田広信, 2014, 房総半島南部見物海岸における精密地形測量と14C年代測定, 活断層・古地震研究報告, 14, 1-38.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 4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 石黒 聡士, 川瀬 久美子	4. 巻 75
2. 論文標題 平成30年7月豪雨による愛媛県における浸水と斜面崩壊発生とその地形的条件	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 地理科学	6. 最初と最後の頁 41-49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20630/chirikagaku.75.3_127	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 -
1. 著者名 川瀬 久美子, 石黒 聡士	4. 巻 26
2. 論文標題 2018年西日本豪雨による肱川下流域の浸水被害と流域減災の課題	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 愛媛の地理	6. 最初と最後の頁 31-39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -
1. 著者名 叶井 和樹, 山根 達郎, 石黒 聡士, 全 邦釘	4. 巻 1
2. 論文標題 Semantic Segmentationを用いた斜面崩壊領域の自動検出	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AI・データサイエンス論文集	6. 最初と最後の頁 421-428
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/jsceiii.1.J1_421	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 -
1. 著者名 石黒聡士	4. 巻 45
2. 論文標題 変動地形学における地形調査手法	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 愛媛大学法文学部論集	6. 最初と最後の頁 59-73
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 石黒聡士	4. 巻 46
2. 論文標題 瓶ヶ森山頂付近における植生調査のための精密地形計測	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 愛媛大学法文学部論集	6. 最初と最後の頁 75-87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 石黒 聡士、後藤 秀昭	4. 巻 2020s
2. 論文標題 与論島北東沖の礁嶺地形の高精細な地図化と地殻変動の検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本地理学会発表要旨集	6. 最初と最後の頁 236 ~
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14866/ajg.2020s.0_236	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 叶井 和樹、山根 達郎、石黒 聡士、全 邦釘	4. 巻 1
2. 論文標題 Semantic Segmentationを用いた斜面崩壊領域の自動検出	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AI・データサイエンス論文集	6. 最初と最後の頁 421 ~ 428
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/jsceiii.1.J1_421	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2件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 石黒聡士・後藤秀昭
2. 発表標題 与論島北東沖の礁嶺地形の高精細な地図化と地殻変動の検討
3. 学会等名 日本地理学会2020年春季学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石黒聡士
2. 発表標題 活断層変位地形を測る
3. 学会等名 愛媛地理学会
4. 発表年 2018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

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