

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月18日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01210

研究課題名(和文) 航空写真から作成した数値標高モデルのGIS解析に基づく津波後の海浜地形変化の解明

研究課題名(英文) Examination of changes and recovery processes of coastal landform after the 2011 Tohoku-oki Earthquake Tsunami using DEMs, DSMS by SfM multiview stereo Photogrammetry

研究代表者

小岩 直人 (Koiwa, Naoto)

弘前大学・教育学部・教授

研究者番号：70296002

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)：本研究では、2011年東北地方太平洋沖地震津波によって大きく変化した海浜地形を対象として、既存の航空写真や小型無人飛行機(ドローン)を使用して撮影した航空写真の写真測量を行うことによって作成した標高データ、海底の地形に関するデータを用いて、地理情報システム(GIS)を援用し、津波による侵食、その後の修復過程を定量的に検討した。その結果、津波時に侵食された砂浜は、体積的には津波前とほぼ同程度に回復していること、海浜地形の修復は、初期において平面形態が回復し、その後高度を増し、体積的にも回復する傾向があることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在の日本は、山間部のダム建設や海岸の護岸侵食防止工事等により、沿岸漂砂の量が減少している現状にある。このような状況において、津波が海岸地形にどのようなインパクトを与えるのかを明らかにすることは重要な課題である。本研究結果により、少なくとも調査地域では、人為の影響が大きい現在においても、津波時に破壊された砂浜は、津波前とほぼ同様の地形に数年間で回復することが示され、津波前の平衡状態が、津波後も変化していないことが明らかになった。津波以降の陸上の地形地形形成には、海底の地形が大きく関与していることから、本研究の結果は、海岸の保全においてこの点を考慮する必要性があることを指摘するものである。

研究成果の概要(英文)：Topographic changes along the Gamo coast and the Idoura coast (Miyagi Prefecture) and the Osuka coast (Aomori Prefecture) in the Northeast Japan following the Tohoku-oki tsunami in 2011 were investigated, using digital DEMs (digital elevation models), DSMS (digital surface models) produced SfM (structure-from-motion) multi-view stereo photogrammetry. Results of this study clarify that the coastal landforms of investigated are have almost recovered in volume compared to the volume eroded by tsunami for several years after the tsunami event. Recovery of the coastal landforms shows that eroded landforms were restored in planar forms in the early stage, and these height was increased in the next stage, as result of these changes lead to the recovery of the coast in volume

研究分野：自然地理学

キーワード：津波 小型無人飛行機 数値表層モデル 地形変化 海岸

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2011年東北地方太平洋沖地震津波は、高度経済成長をとげた日本が初めて経験した巨大津波であった。高度経済成長期以降における日本は、山間部のダム建設や海岸の護岸侵食防止工事等により、沿岸漂砂の量が減少し、砂浜海岸において海岸侵食を引き起こしている(たとえば小池, 1996)。このような人為の影響が大きな海岸環境において、津波時にどのくらいの土砂が侵食され、それがどの程度回復しているのかを検討することは重要な課題であると思われる。東北地方太平洋沖地震津波後における海浜地形の変化は、おもに海岸工学の分野において検討が進められ、多くの知見がみだされている(たとえば Tanaka et al., 2012, 三戸部ほか, 2013)。しかしながら、これらの変化過程に関する議論は、撮影時期の異なる航空写真による平面形からの検討が行われており、三次元、すなわち侵食・堆積土砂量を含めた検討は十分ではなかった。また、震災復興の海岸工事等により、海岸部の立ち入りが制限されたり、大規模な地形改変が多くの海岸で行われたりして、津波後の地形変化に関するモニタリングを行うことが困難になってきた。このような現状の中、研究代表者・分担者は、画像処理を基本とした三次元形状の復元技術である SfM (Structure from Motion) を、航空写真に応用して DSM を作成、津波後の海浜地形の変化を検討することができることを示してきた。さらに、近年、小型 UAV (無人航空機) を用いて撮影することにより、短時間で高精度の空間データを取得することが可能であることが示されつつあった。

2. 研究の目的

上記の背景のもと、本研究の目的は、2011年東北地方太平洋沖地震津波によって大きく変化した海浜地形を対象に、既存の航空写真から作成した数値表層モデル(DSM)、UAVで撮影した垂直写真を用いて作成した DSM を用いて GIS (地理情報システム) を援用し、津波による侵食、その後、どのように修復したのかを定量的に検討し、津波による地形変化と修復プロセスを明らかにするものである。

3. 研究の方法

2011年東北地方太平洋沖地震津波時に生じた砂浜における地形変化、その後の再生過程を明らかにするため、宮城県蒲生海岸・井戸浦海岸、青森県大須賀海岸を調査対象として、津波イベント以降に撮影された航空写真、小型 UAV (無人航空機) で新たに撮影した航空写真、および国土地理院により整備された 2m メッシュ DEM を用いて Agisoft 社製の PhotoScan Professional Edition により DSM を作成、それらと津波前・津波直後の DSM を地理情報システム (GIS: ArcGIS を使用) により重ね合わせを行うことにより、その変化過程を定量的に把握する。なお、既存、および小型 UAV で撮影した航空写真を用いて写真測量を行うため、それぞれの調査地域において、マゼラン社製の ProMark3、および Ashtech 社製の ProMark120 を用いて GCP を取得した。また、データを入手できた蒲生海岸、井戸浦海岸では、沖合の海底も含む地形についても定量的に把握する。

4. 研究成果

(1) 蒲生干潟周辺

蒲生干潟周辺では、陸上および海底地形を結合した DEM を作成した。使用したデータは、陸域は 2m メッシュ DEM (2005年10月) と、マゼラン社製の ProMark3 を用いた GNSS 測量データ (後処理キネマティック法, 2013年5月)、海域は 1 万分の 1 海図 (仙台塩釜港仙台, 2004年3月および 2013年11月発行) の等深線および測点データである。さらに海陸同時に取得された航空レーザー測量データ (2011年6月) を使用した。これらのデータを用いて ArcGIS の 3D Analyst により、津波前と津波後 (2011年6月, 2013年) の 5m メッシュの DEM を作成した。

蒲生干潟周辺では、津波前後の DEM を用いて作成した 3D モデルの差分分析から、河口砂州の侵食や再形成が生じた場所と、標高-4m 以浅の海底で標高の変化が大きいことが明らかとなった (図 1)。津波後 (2013年) の調査地域全体の体積は津波前の約 90% であり、その減少量の内訳として、陸地が約 9.7 万 m³ であるのに対して、潟湖底および海底は約 47.1 万 m³ と約 5 倍の値であった。これらの事実から、本地域では津波による海底地形の侵食が激しく、河口砂州の回復は津波により海底に運ばれた土砂よりも主に沿岸漂砂に依存していると推定される。

(2) 井土浦海岸

井土浦海岸では、陸域と海域を分けて地形変化を検討した。陸域で使用したデータは、2m メッシュ DEM (2005年10月および 2011年5月) と、国土地理院が 2013年9月および 2015年7月に撮影した縮尺 1 万分の 1 航空写真を用いて作成した約 0.4m メッシュの DSM である。DSM の作成に際して必要な GCP の位置情報は Ashtech 社製の ProMark120 を用いた GNSS 測量 (後処理キネマティック法) で取得し、復興工事のために立入禁止区域にあっていた地点は経緯度を地理院地図、標高を 2011年5月の DEM よりそれぞれ取得した。

井土浦海岸では、2011年東北地方太平洋沖地震津波により河口砂州は分断され、一部残存した場所でも砂州の上部 (標高 2m 以上) が消失した。分断された河口砂州はその後沿岸方向に連続し、初期の段階では幅を広げ、次に高度を増すという回復過程を示した (図 2)。浅海底で 1m 以上の高度変化を示したのは水深約 12m 以浅であり、佐藤ほか (1966) が示した仙台湾における波による地形変化の限界水深と一致する (図 3)。津波の影響で浅海底は一時平滑海岸の

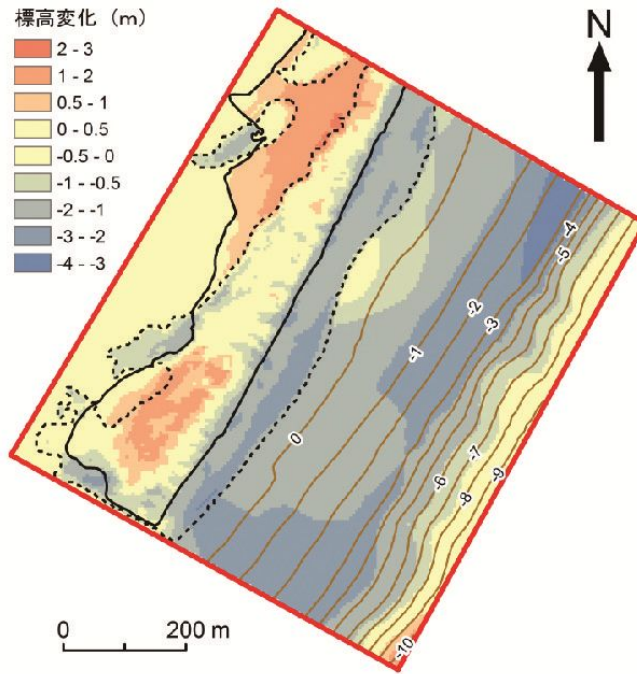


図1 宮城県蒲生干潟周辺の津波前と津波後(2013年)の標高変化
 実線は2013年, 破線は2005年の水涯線. 等高線(m)は2003年.

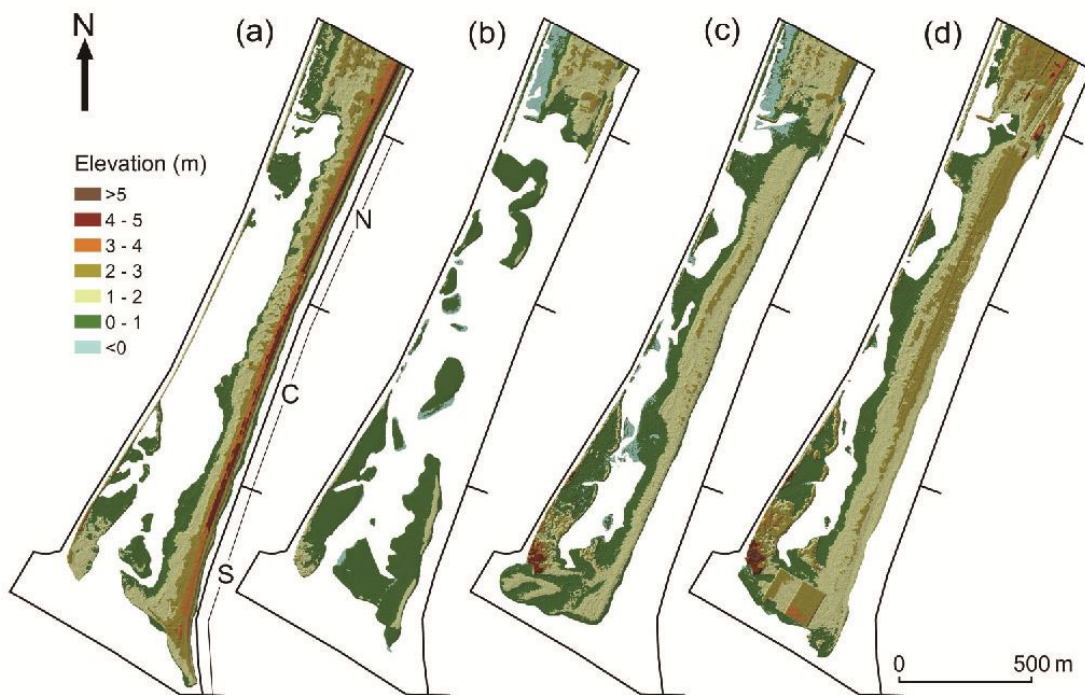


図2 宮城県井土浦海岸の陸域の高度段彩図

(a) 2005年10月, (b) 2011年3月, (c) 2013年9月, (d) 2015年7月

N: 河口砂州北部, C: 河口砂州中央部, S: 河口砂州南部

断面形になり, その後は津波前の棚状海岸の断面形に戻りつつある. 河口砂州が消失した場所では, 津波前の陸側に新たに砂州が形成され, その後に幅を広げたのに対し, 砂州が比較的広く残存した場所では, 砂州が陸側に後退した後に幅を広げた. 津波の侵食に伴う河口砂州の体積の減少率は面積よりも高く, 面積は約2年半後に, 体積は約4年4ヶ月後にはそれぞれ津波前の値に戻った. このような河口砂州の地形量変化は津波による河口砂州の侵食とその後の回復過程で説明される. 津波前後の陸上と海底の体積変化が津波による流動で生じたと仮定すると, 津波により浅海底へと運ばれて堆積した土砂の量は, 陸上で失われた土砂量の87.7%であった. その後2年半までの河口砂州の回復量と浅海底の損失量とから, この期間は浅海底を侵食した土砂の30.9%が岸沖方向に移動して河口砂州の回復に寄与したことが示唆された.

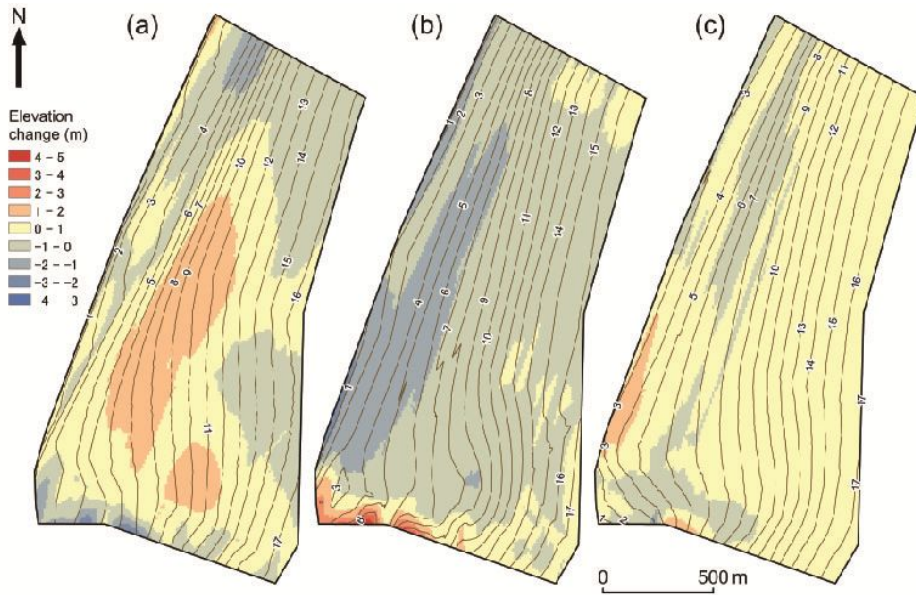


図3 宮城県井土浦海岸の海域の標高変化

(a) 2002-2011年, (b) 2011年-2013年, (c) 2013年-2015年
 等深線 (m) は, (a) 2002年3月, (b) 2011年4月, (c) 2013年8月.

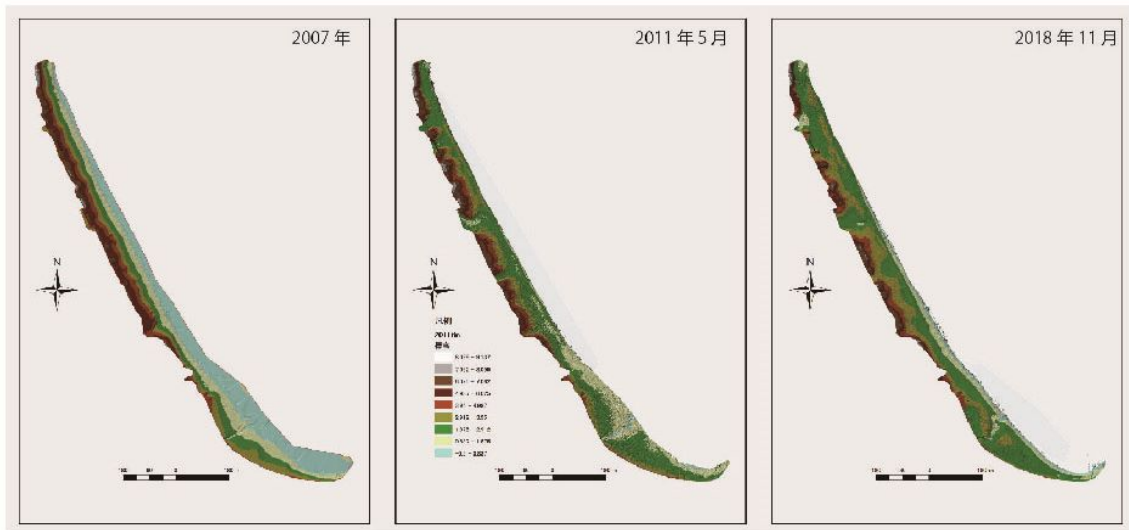


図4 青森県大須賀海岸の高度段彩図

2007年については国土地理院「海岸における3D電子地図」で整備された2mメッシュDEMを使用した.

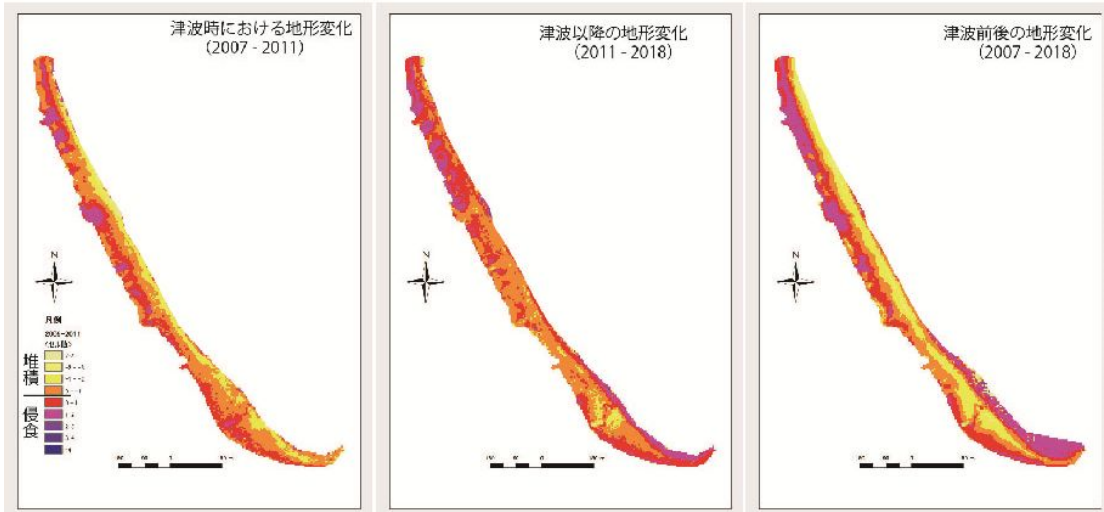


図5 青森県大須賀海岸の各時期における標高の差分

(3) 八戸市大須賀海岸

大須賀海岸では、国土地理院の2mメッシュDEM(2007年)、航空写真(2011年撮影)から作成したDSM、小型UAVによる航空写真(2018年撮影)から作成したDSMを用いて、標高分布図を作成した(図4)。

ここでは、津波時には、後浜の背後に分布する砂丘を越えて津波が進入、押し波、および引き波により砂丘を分断するような激しい地形変化が生じている。津波後2ヶ月以内に南部の海岸線が前進しており、その後、前浜～後浜において顕著な堆積がみられるとともに、分断された砂丘の侵食が著しくなっている。これは、分断された谷は、その後に新たな風成砂が堆積することにより修復されることはなく、その谷壁を中心に砂丘の解体が進行したことによるものである。結果として、津波襲来前と比較して、砂丘での侵食が著しく生じたこと、砂丘前面の後浜での堆積、南部での海岸線の前進がもたらされたことを指摘することができる。砂浜の体積は津波前(2007年)には47.3万 m^3 、津波時(津波後2ヵ月後)に53.5万 m^3 、2018年に51.2万 m^3 となっており、砂浜の体積には、調査期間を通して大きな変化が生じていない。津波後の写真では砂丘を含めた砂浜が大きく侵食されていることがわかることから、津波時に侵食された砂浜は、津波の2ヵ月後には体積的にはすでに回復していたと推定される。津波前、津波直後、津波後(約7年)には砂浜の面積は大きな変化が認められず、堆積がやや増加傾向にあることから、津波後にはとくに後浜において高さを増したことを示すものと考えられる。津波前を含む約10年間の地形変化傾向は、津波時に大きく侵食された砂丘の残存部がその後徐々に侵食されるのに対して、後浜の広い範囲で顕著な堆積がみられることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計4件)

佐々木篤史・小岩直人・小瑶史朗 小教科専門・教科教育・教育実践の協働による中学校社会科の授業開発 防災を題材として .クロスロード(弘前大学教育学部紀要),23巻,2019年,pp.13-24.(査読無)

Koiwa N., Takahashi M., Sugisawa S., Ito A., Matsumoto H., Tanavud C., Goto K., Barrier spit recovery following the 2004 Indian Ocean tsunami at Pakarang Cape, southwest Thailand. *Geomorphology*, 306, 2018, pp.314-324.(査読有)

伊藤晶文・小岩直人・松本秀明,宮城県井土浦海岸における2011年東北地方太平洋沖地震津波後の地形変化:DEM,SfM-MVSによるDSMおよび深淺測量データを用いた検討.地形,39,2018.p137-147.(査読有)

Baba S., Ohtaka A., Koiwa N., Takahashi, M., Nichanapit, T., Vegetational changes in the coral-gravelly barrier spit appearing after the 2004 Indian Ocean Tsunami at Pakarang Cape, southwestern Thailand, related to topographical changes. *Tropics*, 25, 2016, pp.91-100.(査読有)

[学会発表](計6件)

小岩直人・高橋未央・佐々木篤史・池原朔哉 西津軽の小中学校における防災教室の実践と応用.日本地理学会春季学術大会 2019年,東京.

横山 袈起・小岩 直人・高橋 未央・片岡 俊一・菊池 元良・小野 田幸,UAVを用いた海食崖の秋季～冬季における地形変化-青森県屏風山砂丘地帯の事例-.東北地理学会.2018年,仙台.

伊藤晶文・小岩直人,陸上および海底地形を結合したDEMを用いた2011年東北地方太平洋沖地震津波後の海浜地形変化の解析 宮城県蒲生干潟周辺を事例に .日本地理学会,2018年,東京.

小岩直人・高橋未央・柴 正俊・片岡俊一・菊池元良・横山袈紀,青森県屏風山砂丘地帯南部におけるMIS5e以降の海面変動を記録する地形・堆積物.日本第四紀学会.2017年,福岡.

伊藤晶文・小岩直人,DEMおよびSfM処理によるDSMを用いた2011年東北地方太平洋沖地震津波後の海浜地形変化の検討 宮城県気仙沼市赤崎海岸の事例 .東北地理学会,2016年,仙台.

伊藤晶文・小岩直人・松本秀明,2011年東北地方太平洋沖地震津波後における宮城県井土浦海岸の地形変化 DEM,SfM-MVSによるDSMおよび深淺測量データを用いた検討 .日本地形学連合,2016年,東京.

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名:伊藤晶文

ローマ字氏名:Ito Akifumi

所属研究機関名:山形大学

部局名:人文社会科学部

職名:准教授

研究者番号：40381149