

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350419

研究課題名(和文) 2011年東北地方太平洋沖地震津波による地形変化と再生過程

研究課題名(英文) Examination of changes and recovery processes of coastal landform Japan after severe erosion by the 2011 Tohoku-oki Earthquake Tsunami, northeastern Japan

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) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：2011年東北地方太平洋沖地震は、広域的な地盤の沈降や大津波により、大きな海岸部の地形変化をもたらした。本研究は、福島県～青森県のいくつかの海岸において、津波時の侵食およびその後の地形の回復過程を、異なる時期の空中写真、衛星画像、国土地理院によって整備された2mメッシュのDEM、現地における高精度GPS測量結果を基に検討を行った。その結果、調査地域では津波時に侵食された土砂量の約5～8割程度が回復していること、その土砂は、沿岸漂砂上流側の海岸を侵食する形でもたらされていることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：The 2011 Tohoku-oki Earthquake Tsunami altered coastal landforms. Reportedly, it caused remarkable coastal erosion. To elucidate the processes of recovery from the tsunami event, the authors have monitored coastal landform changes through interpretation of sequential topography maps based on measurements by high-resolution GPS in field surveys and aerial photogrammetry. Results of this study clarify that the coastal landforms of invested area have recovered approximately 60-80% in volume compared to the volume eroded by the tsunami, and the sediments for the recovery have been supplied from upstream of coastal drift.

研究分野：自然地理学

キーワード：地形変化 津波 GPS キネマティック測量 航空写真測量

1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震津波は、甚大な人的被害をもたらすとともに、海岸部に大きな地形変化を生じさせた。近年の日本の海岸は、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、今後の津波防災においても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の海岸地形の変化については、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(たとえば田中ほか,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、主に撮影時期の異なる空中写真から形の検討であり、3次元、すなわち堆積土砂量を含めた検討は十分ではないと思われる。東北地方太平洋沖地震津波は、国土に関する種々の情報が整備されている中で生じた津波であり、これらを用いて地形変化の定量的な把握ができるものと思われる。

2. 研究の目的

このような背景に基づき、本研究では、空中写真、衛星写真による変化の復元とともに津波前、津波直後の数値標高モデル(DEM)を用いて津波時の侵食量を求め、津波後に高精度GPSを用いた測量から津波後の土砂堆積量を明らかにする。本研究は、津波時、津波後の地形変化を比較し、土砂収支に関する検討を行い、津波時およびその後の地形変化を定量的に把握するものである。

3. 研究の方法

はじめに、津波前および津波直後に撮影された空中写真により、津波時に地形変化の著しい海岸を抽出、復興工事により調査不可能な地域を除いた、青森県八戸市大須賀海岸、宮城県東松島市野蒜海岸、気仙沼市赤崎海岸、仙台市蒲生海岸、名取市井土浦海岸、福島県いわき市岩間佐糖海岸を対象地域として設定した。次に、調査地域で津波前および津波後(2011年)に国土地理院により整備されていた2mメッシュのDEMを使用しESRI社の

ArcGIS10.2, 3D Analyst を用いてTINサーフェスによる地盤高度分布図を作成し、津波前・津波直後の陸地面積および体積を算出した。その後、津波後に新たに堆積した土砂量を推定するため高精度GPS測量を実施した。GPS測量は、マゼラン社製のProMark3, ProMark120を用いたキネマティック測量により行った。現地での測量後、調査地域近隣の電子基準点から基準局を基線解析し、さらに基準局から移動局の基線解析を行って座標値を算出した。その結果をTINサーフェス、それぞれの地域における津波後の各時期の標高分布図を作成した。

地震時の地殻変動量については、津波前のTINサーフェスを該当地域の沈降量を用いて修正し津波襲来直前の海浜地形の堆積量を算出した。

また、調査開始以降、震災復興工事により現地調査ができない海岸(宮城県井土浦海岸、名取川河口左岸)については、GPS測量データの代わりに、SfMソフト(Agisoft社PhotoScan Pro)により作成したオルソ画像とDSM(Digital Surface Model)を用いて地形変化を検討した。

4. 研究成果

以下、おもな調査地域の研究結果を述べる。

(1) 野蒜海岸

野蒜海岸における津波の浸水高は5-8mとほぼ一定であるが、南部と北部では津波時の侵食、およびその後の堆積傾向は異なっている。南部では、防潮堤の強度が小さいこと、および海浜背後に存在する水域の存在により、津波が進入しやすくなり、その結果、海浜部は激しく侵食され、海岸線も後退している。一方、北部では、小さな筋状の谷が刻まれるものの、海岸線の大きな後退はみられない。調査地域全体(鳴瀬川河口部右岸側)の津波時の侵食土砂量は約88,000m³、2014年までの津波後の新たな土砂堆積量は約67,000m³

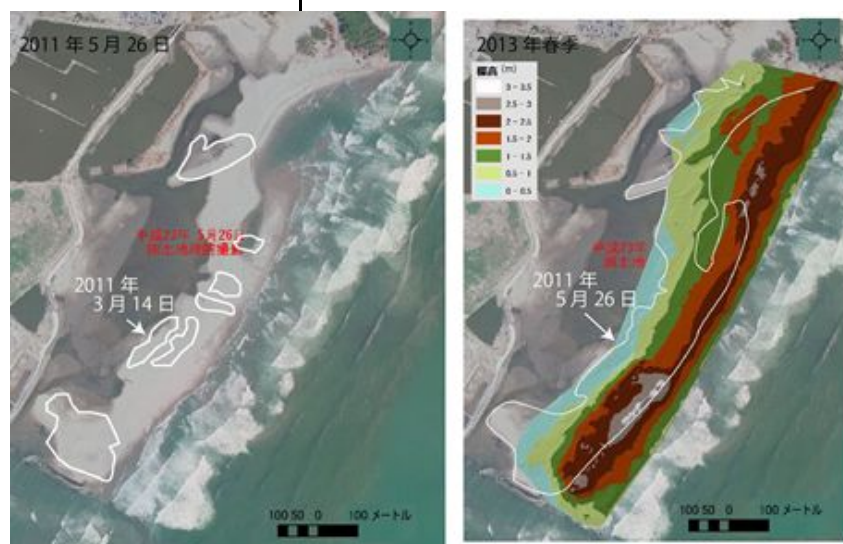


図1 七北田川河口左岸における津波直後からの地形変化
左: 2011年5月26日, 右: 2013年春季. 航空写真は国土地理院撮影のものを使用

と算出され、津波時に消失した土砂の約 8 割程度が回復していると推定される。侵食が激しかった南部では、津波後、比較的短時間に平滑な海岸となり、また、堆積土砂量は大きくなっている。一方、津波時の大きな変化が生じなかった北部では、津波後には海岸が幅 50m 以上も後退している。これらのことから、南部において激しく侵食された海岸は、津波後の北部の海岸侵食による土砂により、修復されていると推定される。

(2) 蒲生海岸

七北田川の河口部左岸に位置する蒲生海岸では、津波により蒲生干潟前面の砂州のほぼ全域が消失した。津波時の侵食量は約 270,000m³と算出される。図 1 には、2011 年 5 月 26 日撮影（国土地理院）の航空写真に、津波直後の砂州の分布（2011 年 3 月 14 日撮影写真から判読）を示している。この地域では、津波時に大きく侵食されているものの砂州が島状に残存している。津波後、比較的短時間で、島状に残った地形を繋ぐように新たな砂州が形成されている。とくに北部では湾曲した平面形の砂嘴が形成されている。その後、2011 年 5 月 26 日時点で形成されていた砂州の海側に、新たな砂の高まり（標高 3m 前後）が付加され、砂州の成長が行われていることがわかる。この砂州は、新たに形成された 5 月にみられる砂州地形の影響を受けて直線状に海側に成長している。現地では海側の高まりを越波するウォッシュオーバーの堆積物が顕著にみられ、新たな地形形成において重要な役割を果たしていると判断される。津波後に新たに形成された砂州の土砂量は、約 150,000 m³と算出され、津波時に侵食された約 6 割の土砂の堆積となっている。

(3) 大須賀海岸

大須賀海岸においては、浸水高 6～9m の津波が襲来し、設定した調査範囲（海岸部北端

～約 500m）では約 60,000m³の土砂が侵食されている。本地域の特徴は、野蒜海岸、蒲生海岸、後述の井戸浦海岸と比較して、海浜の変化は大きくはないものの、侵食によって前浜背後の砂丘が分断するように複数の凹地が形成されている。2015 年 10 月には、津波時に侵食された土砂量とほぼ同じ量の砂が堆積している。この時には砂丘に形成された凹地は依然として存在していることから、津波後土砂は前浜周辺に堆積していると判断される。また、砂丘に形成された凹地では、津波後に層厚約 1m の新たな砂の堆積がみられる。これは、凹地に接する砂丘の縁が侵食されたこと、前浜～後浜において風で侵食された砂が風の収束しやすい凹地に堆積したことによるものと考えられる。このように、大須賀海岸では、形態的には完全に修復されていないものの、津波で侵食された土砂と同程度の砂の堆積が進行したことが明らかとなった。

(4) 井戸浦海岸

名取川河口部左岸の井戸浦海岸では、復興工事により、高精度 GPS による現地調査が不可能であったため、航空写真を用いた SfM ソフトを利用した DSM を作成し検討を行った。津波前後（2005 年 10 月、2008 年 5 月、2011 年 3 月および 5 月、2013 年 1 月および 9 月）のオルソ画像は、国土地理院作成の画像（2005 年 10 月、2011 年 5 月）を除いて、縮尺 1/10,000 の空中写真画像（2013 年 9 月は解像度約 1200 dpi、それ以外は 400 dpi）と GCP（22 地点）を用いて作成した。また、国土地理院作成の 2m メッシュ DEM（2005 年 10 月、2011 年 5 月）と SfM ソフトによって作成した 0.4m メッシュ相当の DSM（2013 年 9 月）とを用いて、ArcGIS の 3D Analyst により TIN サーフェスを作成し、各時期の陸地面積および体積を算出するとともに、海岸線にほぼ直

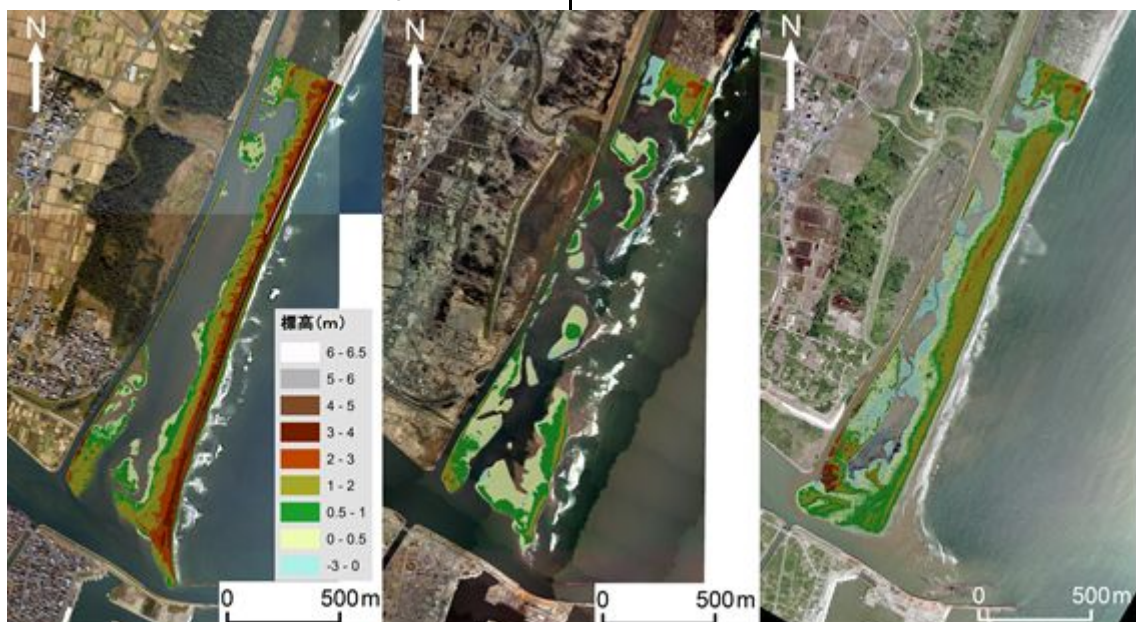


図 2 宮城県井戸浦海岸における津波前後の標高分布図

交する地形断面図を作成した。今回作成したオルソ画像および DSM の誤差（水平位置、標高）は、国土地理院作成のオルソ画像および DEM とほぼ同じであった。GCP のうち 21 地点は高精度 GPS 測量により、立入禁止地区の 1 地点は DEM および地理院地図により、それぞれ位置情報を取得した。津波直後の閉上の沈降量（26 cm）が DEM および DSM の誤差より小さいために、各時期の地形量を比較する際に地殻変動量は無視した。

津波直後には、砂州が分断されて島状になり、津波前と比べて陸地の面積は約 6 割、体積は約 4 分の 1 となった。中央部の砂州はほぼ消失したものの、北部および南部には比較的多く残存した。その後 2 ヶ月間で、残存した砂州は外洋側が侵食され、南北方向にやや伸びるように変形し、津波から 1 年 10 ヶ月後までには再び連続した砂州が形成された。津波から約 2 年半後には、陸地面積は津波前とほぼ同じになったものの、DSM 使用のためにやや過大となる体積は津波前の 5 割強に過ぎず、津波前の高さまで砂州が成長しなかった（図 2）。津波後の砂州の地形変化には地域差がみられ、北部および中央部は砂州の形成や拡大に伴って海岸線が前進する一方、南部は砂州の顕著な成長はみられず、海岸線が後退した。地域差が生じた要因として、供給土砂が北向きの沿岸流により運ばれるために、北部および中央部に付加されやすいこと、調査地のすぐ南に位置する閉上港の堤防に沿岸流が阻まれるために、南部は側方からの土砂供給が無いことが考えられた。

(5)まとめと今後の課題

東北地方太平洋沖地震津波によって大きく海浜地形の変化が生じたのは、縄文海進以降に砂州、およびその背後のラグーンが形成され、その後ラグーンが埋積され平野となった地域が多い。これらの地形は、今回、検討を行った地域では、津波時に侵食された土砂量の約 5~8 割程度の土砂が新たに堆積していることが明らかとなった。これらの地形の修復には、周囲の地形の侵食により供給された土砂が大きく関わっているようである。一方、宮城県北部~岩手県北部のリアス海岸における海浜地形が大規模に侵食された場所では、回復がほとんど行われていない場所も数多く存在する。おそらく、三陸リアス海岸では、津波により侵食された土砂は、限界水深よりも深い海底まで運搬された可能性が高いこと、周囲に新たな土砂を供給する場所が乏しいことが、地形の回復が遅れている要因の一つであると考えられる。

また、上述(4)で示したように、津波後の地形変化を検討するには、高解像度の複数年次の空中写真を用いた写真測量が有効であることが判明した。今後、GPS で調査ができなかった多くの地域において、写真測量による検討を行い、津波後の地形変化をより詳細に明らかにする予定である。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Koiwa et al., Examination of relation with tsunami behavior reconstructed from on-site sequence photographs, topography, and sedimentary deposits from the 2011 Tohoku-oki tsunami on the Kamikita Plain, Japan. *Marine Geology*, 358, 2014. p107-119.

〔学会発表〕(計 5 件)

小岩直人・葛西未央・伊藤晶文・松本秀明, 津波によって侵食された海浜地形の修復過程 - 2011 年東北地方太平洋沖地震津波による宮城県中部沿岸での事例 - . 日本地理学会, 2013 年, 福島.

小岩直人・武田 開・葛西未央・伊藤晶文・松本秀明, 宮城県野蒜海岸における 2011 年東北地方太平洋沖地震津波後の地形変化の定量的把握の試み. 日本地理学会, 2015 年, 東京.

伊藤晶文・小岩直人・武田 開: 宮城県井土浦周における 2011 年東北地方太平洋沖地震津波後の地形変化 DEM および SfM 処理による DSM を用いた検討 . 東北地理学会, 2015 年, 上越

武田 開・小岩直人・葛西未央, 青森県八戸市大須賀海岸における東北地方太平洋沖地震津波後の海浜地形変化, 東北地理学会, 2015 年, 上越.

Koiwa, N., et al., Recovery and formation processes of barrier spit eroded by the 2004 Indian Ocean Tsunami at Pakarang Cape, southwestern Thailand. XIX INQUA Congress, 2015, Nagoya.

〔図書〕(計 1 件)

小岩直人・高橋未央・杉澤修平・伊藤晶文, 微地形分布から考察する津波で消滅した砂嘴の再生過程 タイ南西部パカラン岬の事例 . 藤本潔ほか編「微地形学」古今書院, 239-250. 2016 年

6. 研究組織

(1)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

(2)研究分担者

伊藤 晶文 (ITO AKIFUMI)

山形大学・人文学部・准教授

研究者番号：40381149