

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 4 日現在

機関番号：34603

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26350409

研究課題名(和文) 海岸低地の地形環境特性と津波に対する脆弱性の研究

研究課題名(英文) Research on vulnerability of the coastal lowland against tsunami in relation to the coastal landform environment

研究代表者

海津 正倫 (UMITSU, Masatomo)

奈良大学・文学部・教授

研究者番号：50127883

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は津波による地形変化や堆積物の堆積状態の場所的特性を明確化することを目的とし、東北地方太平洋岸、スマトラ島北部およびタイ王国アンダマン海沿岸の海岸平野を対象として検討した。その結果、顕著な海岸地形の変化がみられたほか、地盤高が高い平野では、引き波が低地の低所に向けて集中して顕著な侵食作用が発生し、出入りの激しい海岸線が形成されたほか、地形の違いが津波の遡上を容易にする条件となって顕著な地形変化を引き起こした。また、10年間を経過した津波堆積物の厚さにはあまり顕著な変化が無かったものの、地表の流水が集中する部分では砂質堆積物二次堆積が顕著であったことが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：Distinct coastal change and wedge shaped coastal erosion occurred in northwestern Sumatra Island and the southern part of the Sendai Plain. Some of them are considered to be caused by the erosion of backwash flow. In the southern Sendai plain, ground elevation is higher and the backwash tsunami flow could easily concentrate to the linear lower parts in the plain. The concentrated flow caused erosion and formed wedge shaped inlets only in the southern part of the Sendai Plain. Change of tsunami deposits of the Namkhem coastal plain in southern Thailand during 2005 to 2017 was studied. Most of the area is still remaining as barren area with vegetation. Thickness of tsunami deposits in most sites is not extremely changed in these 10 years except in the place of depression where the concentration and accumulation of deposits are dominant. Color of the former top soil surface changed indistinct and facies of the tsunami deposits over the former surface also changed to obscure.

研究分野：地形学

キーワード：津波 海岸平野 海岸侵食 津波堆積物 スマトラ島沖地震 東北地方太平洋沖地震 アチェ ナムケム

1. 研究開始当初の背景

海岸低地における自然災害は海岸低地の形成を反映した地形環境条件と密接に関わっている。なかでも津波の遡上や津波による被災状況、海岸線の変化は海岸低地の地形の多様性や低地内における地域差と深く関連している。また、それらは海底地形や津波の規模とともに、それぞれの地域の地盤高や土地利用などの土地条件とも関係しており、これらの特徴を詳細に把握・検討することにより、低地の地形環境と津波の挙動や被害との関係を明確化し、海岸低地の津波に対する場所的脆弱性を明らかにすることが可能である。

筆者は、これまで日本国内のほかバングラデシュ、ベトナム、タイ、インドネシアなどの海岸平野において低地の地形を把握するとともに、自然災害に対する地形の影響について調査・研究 (Umitsu:1987, 1993, 1997, 海津:2004, umitsu *et al.*:2005, Umitsu *et al.*:2007, 海津, 2007 など) を進めてきた。

さらに、東日本大震災に伴う津波災害については、地震直後に撮影された空中写真にもとづいて把握し、陸上に遡上した津波の流動を把握し、それぞれの平野における大局的な流動の特徴について報告した (海津:2011, 2012)。これらの研究では平野に上陸したあとの津波の挙動が明らかにされたが、津波による海岸平野の地形変化の一般的特性についてまだ十分な検討がなされていないままとっている。

2. 研究の目的

本研究では、津波による海岸平野の地形変化を明らかにするとともに、低地の地形環境と津波の挙動や被害との関係を明確化し、海岸低地の津波に対する場所的脆弱性を明らかにするという観点から、海岸低地の地形や地盤高などの土地条件と陸上にお

ける津波の流れとの関係を把握・検討し、津波による地形変化や堆積物の堆積状態の場所的特性を明確化することを目的としている。この目的のため、本研究では東北地方太平洋岸の海岸平野において津波の流動と地形変化について検討すると共に、2004年スマトラ島沖地震に伴って著しい津波に襲われたスマトラ島北部の海岸平野について海岸地形の変化を明らかにするとともに、タイ王国アンダマン海沿岸のNamKhem海岸平野を対象地域として2005年の調査結果との比較を行い、約10年間の地域環境や津波堆積物の変化について検討した。

3. 研究の方法

本研究では津波被害を受けた海岸平野を対象に津波被災直後に撮影された空中写真判読にもとづいて津波の挙動を把握するとともに、5mDEM等の詳しい標高データや空中写真判読にもとづいて地形変化について検討したほか、高解像度衛星画像や全世界デジタル3D地形データ等にもとづいてスマトラ島北部の海岸平野における2004年スマトラ島沖地震前後の地形変化を明らかにした。また、スマトラ島沖地震から10年経過したタイ王国アンダマン海沿岸のナムケム平野において掘削調査をおこない、地形と津波堆積物の変化を検討した。

4. 研究成果

仙台平野南部や陸前高田平野においては津波の襲来に伴って著しい海岸線の侵食が発生したが、前者においては海岸線からの距離が短いにもかかわらず海岸平野の地盤高が高いため、引き波(戻り流れ)が低地の低所に向けて集中し、小河川の河口付近などにおいて顕著な侵食作用が発生し、出入りの激しい海岸線を形成したことが明らかになった(図1)。

同様の事例は、タイ王国のナムケム・カオ

ラック平野やインドネシアのスマトラ島北西部の海岸低地でも見られ、三角州のおよびその前面の干潟的な性格を持つスマトラ島北端部のアチェ海岸平野西部や仙台平野中部から

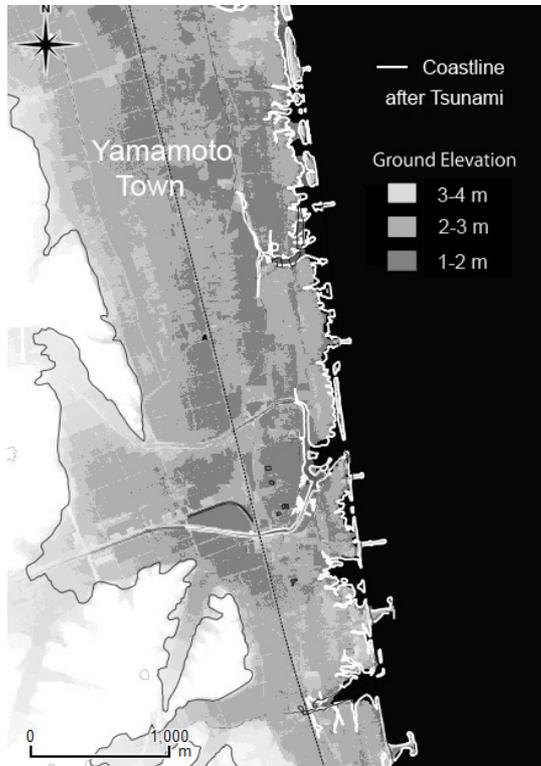


図1 楔形に著しく侵食された仙台平野南部の海岸線と地盤高(Umitsu, 2016)

北部にかけての低平な地域における海岸線の変化とは顕著な違いを見せている。

一方、陸前高田平野では海岸部に存在する砂州の背後にラグーン起源の低地や水域が存在していて、砂州の低所やそれらのラグーン起源の地形が津波の遡上を容易にする条件となって顕著な地形変化が引き起こされた。図2は陸前高田市臨海部における2011年3月の津波被災前後の海岸線を1916(大正5)年発行の地形図上に示したものである。この平野では図3に示すように津波被災後の海岸線は大きく変化し、海岸に沿って発達していた顕著な砂州は西部の一部などを除いてほとんど消失してしまっている。背景の大正5年発行の5万分の1地形図および津波被災前の基盤地図データの海岸線に示すように、以前の海岸部で浜堤の背後に古川沼とよばれる湖沼と堤間低湿地が存在しており、

古川沼の東端部およびさらに東に延びる水路の東端部は浜堤の低所として湾に続いていた。津波の襲来によってこの部分や古川沼の西部にあたる浜堤の部分などで著しい侵食が起こり、高田松原がほとんど消失したことがわかる。ただ、これらの水路や古川沼の北岸では著しい侵食は認められず、大正時代に水路沿いの湿地だった極めて低い土地もほぼそのまま残存している。

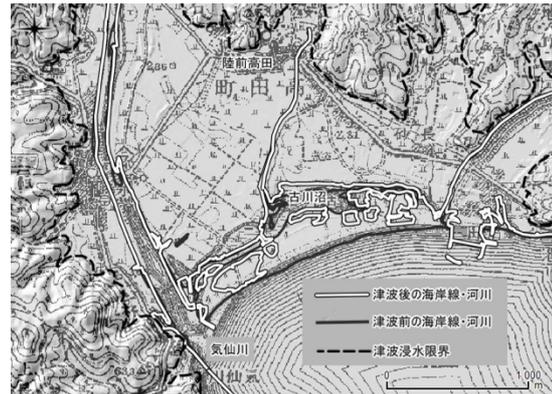


図2 陸前高田平野の2011年津波前後の海岸線変化と津波浸水域(津波被災後の海岸線:国土地理院が2011年3月13日に撮影した空中写真を使用。津波浸水域:日本地理学会津波被災マップにもとづく。ベースマップは1916(大正5)年発行の5万分の1地形図「盛」「気仙沼」、旧海岸線および陰影図は基盤地図データを用いて作図した。)

このような、海岸侵食は各地で見られ、とくに海岸線や海岸州の地形が顕著に変化した例は東日本大震災の被災地である岩手県三陸海岸の低地や仙台平野南部など多くの場所で認められたほか、インド洋大津波の顕著な被害を受けたインドネシア共和国のスマトラ島北西部の海岸地域では海岸地形の変化が著しく、津波襲来後に海岸の状態が一変した所も多い。

2004年のインド洋大津波によって大きな被害を受けたスマトラ島北西部について、津波の浸水域および海岸平野の地形変化を高解像度衛星画像およびALOS全世界デジタル3D地形データにもとづいて検討した結果、津波の襲来した地域においては著しい海岸線の変化が起こった場所が存在することが明らかになり、そのような変化は海岸低地の地形と遡上する

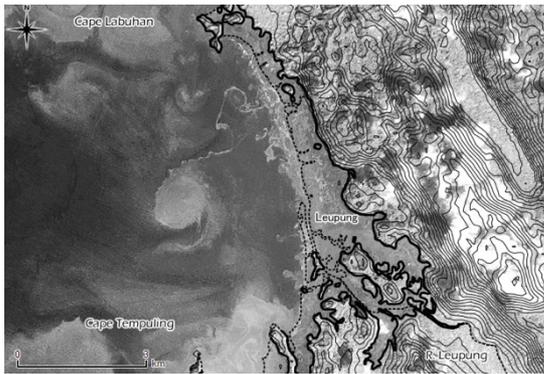


図3 スマトラ島北西海岸Leupung低地における津波浸水域と海岸線の変化（背景の衛星画像は地震発生後約4時間のSPOT2画像。（Includes material from CNES2005, Distribution Spot Image S.A., France, all rights reserved）実線は津波浸水域，点線は津波後の海岸線。

津波の流動との関係が大きく効いていることが明らかになった。

図3はスマトラ島北西海岸 Leupung 低地における津波浸水域と海岸線の変化であるが，図に示すように津波は低地の全域を覆い，津波襲来後の海岸線は顕著に後退している。また，図4

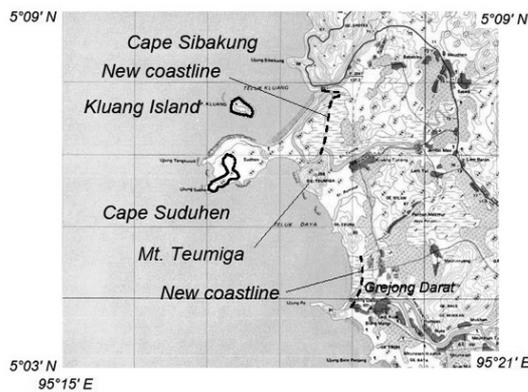


図4 津波以前の地形を示すスマトラ島北西部 Cape Sudhen 付近の5万分の1地形図 (Umitsu, 2015)

は Cape Sudhen 付近の地形変化を示す5万分の1地形図で，陸繋島であった Cape Sudhen は津波襲来時に陸繋砂州の部分が消失し，陸繋島の部分が小さな島として残るのみとなってしまった (Umitsu, 2015)。

なお，インド洋大津波を受けたインドネシア共和国のスマトラ島北西部海岸及び北端部のバンダアチェなどでは，一部地域では地盤沈下による水域の拡大も見られ，2011年の東北地方太平洋沖地震の際にも東松島市野蒜地区などをはじめとして，多くの地域で地盤沈下のために海岸域が水没した。

ところで，2004年12月に発生したスマトラ島沖地震によって発生した津波は，震源に近いスマトラ島北西部のみならずインド洋沿岸地域各地の海岸低地を覆い，顕著な津波堆積物が堆積した。このような津波堆積物が堆積後どのように変化するかについては従来あまり検討されておらず，過去の津波堆積物の検討にあたっては，地震直後に堆積した津波堆積物がその後どのような変化をしたのかを把握することが望まれる。本研究では，津波堆積物や堆積場の地形が時間を経てどのように変化するかを検討するために，7mもの津波が襲来し，顕著な津波堆積物が堆積したタイ南部のナムケム平野においてインド洋大津波の発生からほぼ10年が経過した2015年および2017年に現地調査を行い，2005年3月に海津が行った現地調査の結果との比較に基づいて10年間の津波堆積物や堆積場の地形などの変化を検討した。

対象地域における低地部の土地利用や地形は内陸側の地点においてリゾート施設や油ヤシ園が新たに造成された以外はほとんどの場所が荒地として残されており，地形的にもスズ採掘でできた盛土の部分で一部において人為的な変化が見られたのみである。これに対して，植生は大きく変化しており，2005年時点では点在する樹木のほかに低い草本が生えるのみであったが，2015年には多くの場所が背丈の高い草本などに覆われてしまっていた。そのため，多くの地点で目印の樹木などを確認することが困難であったほか，GPSによる位置確認でも正確なポイントを押さえることも困難であった。

そのような状況のもとにほぼ同一地点においておこなった掘削調査では，多くの場所で，10年間の津波堆積物の厚さにはあまり顕著な変化がなかったが，地表の流水が集中する凹地の部分では10cm程度の層厚を持つオリジナルの津波堆積物を覆って，50cm以上の厚さをもつ砂層が堆積していて，地表の流水が



図5 2004年のスマトラ島沖地震による津波襲来後のIKONOS画像に示した。2005年3月時点(赤)の津波堆積物の厚さと2015年(青)、2017年(期)に調査をおこなった地点の津波堆積物の厚さ

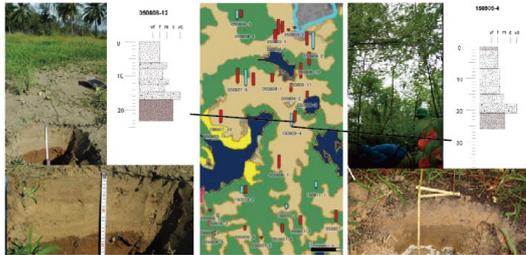


図6 ほぼ同一地点における2005年3月(左)および2015年9月(右)の掘削調査による津波堆積物の断面と柱状図

集中する凹地の部分では津波堆積物の2次的な移動によって砂層が厚く堆積していることが確認できた。なお、津波堆積物の厚さに全体として大きな変化が見られなかった点については、熱帯域の旺盛な植生の回復によって、土壌の流亡が抑制されたことによると推定される。

一方、堆積物の層相及び土壌の変化について

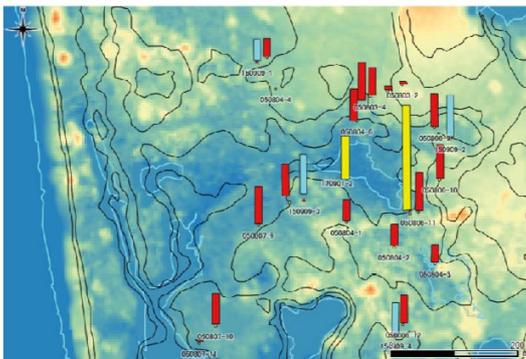


図7 土地の起伏と津波堆積物の厚さの関係。等高線は2万分の1空中写真から作成した相対的な高さを示すもので、2m間隔。背景の起伏は解像度2mの全世界デジタル3D地形データにもとづく。図中の黄色の棒グラフがちょうど谷地形の部分にあたっていることがわかる。

ては、図6に示すように2005年当時は津波堆積物の堆積構造・層相変化が明瞭に認めら

れたが、2015および2017年時点では堆積層の層相が不明瞭な状態に変化している地点が多く見られた。また、津波襲来以前の表土は津波堆積物に覆われて埋没土壌となったが、2005年時点では表土が濃い暗褐色であったものが2015年には褐色あるいは薄い暗褐色となり、津波堆積物との境界が不鮮明となっている地点も多くみられた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

① 海津正倫(2016)わが国における地形分類図の展開と課題. 奈良大地理, 22, 1-9.

② Umitsu, M. (2015) Coastal landforms and 2004 Indian Ocean Tsunami inundation along the coast of northwestern Aceh province, Indonesia. 奈良大地理, 21, 11-18.

③ 海津正倫 (2015)「沖積・海岸平野の地形と自然災害」科学, 2015年11月号, 1042-1045.

[学会発表] (計6件)

① 海津正倫・阿部朋弥・Naruekamon Janjirawuttikul (2018) タイ王国ナムケム平野におけるスマトラ島沖地震津波堆積物の約10年後における変化. 日本地球惑星科学連合2018年大会. 幕張メッセ.

② 阿部朋弥・海津正倫・Naruekamon Janjirawuttikul (2018) タイ南西部沿岸における2004年インド洋大津波による津波堆積物の保存可能性. 日本堆積学会, 秋田大学.

③ 海津正倫 (2016) 2004年スマトラ島沖地震で津波に覆われたタイ王国ナムケム平野の10年後における地形と堆積物の変化. 日本地形学連合秋季学術大会, 明治大学.

④ Umitsu, M. (2015) Tsunami inundation and coastal change in the coastal plains of the northwestern Sumatra Island, Indonesia and the Sendai and Ishinomaki coastal plains, Japan. International Conference of

INQUA (International Union for Quaternary Research), Nagoya, Japan.

⑤ 海津正倫 (2014) 沖積低地の過去を知る－沖積低地と自然環境変化に関する一連の研究の背景－. 日本第四紀学会特別講演, 名古屋大学.

⑥ 海津正倫 (2014) スマトラ島北部および東北地方太平洋岸の海岸平野における津波と地形との関係. 日本地形学連合秋季学術大会, 奈良大学.

〔図書〕 (計 3 件)

① 海津正倫 (2016) 「海岸平野の微地形と自然災害」 藤本潔・宮城豊彦・西条潔・竹内祐希子編著『微地形学』. (分担執筆), 古今書院, 208-222.

② Umitsu, M. (2016) Tsunami Flow and Geo-Environment of the Pacific Coastal Region of Tohoku. In Karan, P.P. ed. *Japan After 3/11*. (分担執筆) University Press of Kentucky, 104-120.

③ 海津正倫 (2014) アチェを襲った津波. 高橋 誠・木股文昭・田中重好編著(2014)『スマトラ地震による津波災害と復興』(分担執筆). 古今書院, 55-62.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

海津 正倫 (UMITSU, Masatomo)

奈良大学・文学部・教授

研究者番号 : 50127883