

平成 26 年 5 月 27 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24651196

研究課題名(和文) 東北日本太平洋沖地震津波溯上流の水理堆積学的解明

研究課題名(英文) Hydro-sedimentological study on running-up currents by the 2011 Tohoku-Oki tsunami

研究代表者

箕浦 幸治 (Minoura, Koji)

東北大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：10133852

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：巨大津波が周期的に襲来した仙台平野で津波痕跡を調査・観測し、地表植生と微地形が溯上流に及ぼす水理堆積学的効果を、貞観津波と3.11津波について復元した。復元に基づく両津波の溯上過程の比較により、人為的地表変化が大規模津波の溯上流に与える水理効果が明らかとなった。震災後の2ヶ月間に得た観測結果を堆積学的に解析すると共に採取試料を古生物学的に分析し、その結果を総合的に解析し、平野面の水理特性を貞観津波と3.11津波の比較結果により明らかにした。これにより溯上の水理的条件が確定し、忠実な地形復元に基づき溯上流の数値実験を試みた。

研究成果の概要(英文)：I have studied the tsunami deposits produced by the 869 Jogan and the 2011 Tohoku-Oki earthquake tsunamis for the purpose of making clear the hydro-sedimentological effect of vegetation and micro-topography on running-up currents. Micropaleontological data were very useful for identifying the origin of sediments by the tsunamis. The results infer the laminated sand layer found at the base of the tsunami deposits to represent deposition under supercritical flow conditions. Each layer of the laminated sand shows inverse grading, and lamina sets display a stack of thin layers, which are produced by flows with high grain concentrations. The dominant occurrence of saltwater and brackish water species and the high percentage of perfect frustules indicate that the laminated sand was deposited by flows of water originating in the foreshore. The results has confirmed the hydrogeological framework of running-up currents by the 2011 Tohoku-Oki tsunami.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 自然災害科学

キーワード：海水遡上 津波堆積物 引き波 堆積作用 侵蝕作用 水理堆積学

1. 研究開始当初の背景

史料には律令時代の日本で国政を揺るがす大事件があったことが記されている。仙台湾沖で発生した869年貞観地震による津波災害である。1100年後の2011年に再び大津波が仙台北野に襲来した。2つの津波の比較により、多くが謎とされてきた大氾濫の実体を解き明かすことが可能となった。

2. 研究の目的

東北地方太平洋沖地震津波(以下3.11津波)は沿岸の各地に襲来して甚大な水被害をもたらした。地震に伴う地盤沈下が海水の湖上と滞留を促した可能性がある。福島県相馬市から青森県東通村にかけての沿岸各地を震災翌日から調査を開始し、他に類をみない多様な被災状況を観測した。3.11津波は極めて大規模・広範囲の侵蝕作用を特徴としており、特に防潮堤破壊と水田面侵蝕は著しい。防災の政策判断に際して、災害科学的情報は不可欠であり、仙台北野での津波現象の理解は重要な示唆を与える。本研究の目的は、同一起源で同一の場に湖上した津波が、全く異なる水理作用をもたらした原因を解明することにある。原因となる水理堆積学的機能が仙台北野で解明された暁には、氾濫想定域の災害対策上最も適切な指針が得られるであろう。

3. 研究の方法

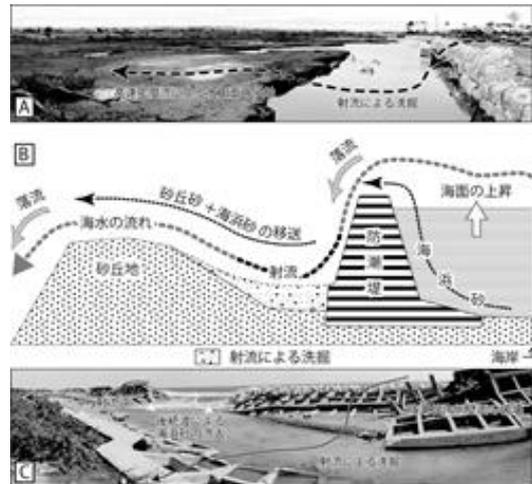
巨大津波が周期的に襲来した仙台北野で津波痕跡を調査・観測し、地表植生と微地形が湖上流に及ぼす水理堆積学的現象を、貞観津波と3.11津波について復元する。両津波の湖上過程の比較により、人為的地表改変が大規模津波の湖上流に与える水理効果を解明するのが本研究の最大の目的である。

3.11津波が襲来した翌日から仙台北野を中心に調査を開始した。三陸のリアス海岸を除いて、最終的に、千葉県犬吠埼から青森県東通村にかけての太平洋沿岸域を広範囲に調査した。初年度にあたる平成24年度には、震災後に得た観測結果を堆積学的に解析すると共に採取試料を分析し、併せて復旧が及んでいない地域(松川浦など)で試料を採取した。得られた津波湖上の堆積学的観察と公表された多くの動画から湖上の水理現象を予察的に解釈したところ、強力な侵蝕力を伴った津波湖上であった事実が明らかとなった。湖上流は至る所で水田基底を侵蝕し、大規模に洗われた場所では貞観津波の堆積層が露出し、1100年の時を隔てて襲来した2つの津波の痕跡を同一条件で観察記載することができた。復旧と復興に向けた努力により被災地では津波痕跡がほぼ消失しており、測線を設けて観測した結果と採取した堆積物試料は、両津波復元に向けての得難い物証となっている。3.11津波湖上の水理堆積現象を明らかにする試みと併せて、3.11津波の強

力な侵蝕作用で露出した貞観津波堆積物を観察し、両津波の層相的比較を行うための堆積学的情報を得る。

4. 研究成果

津波の規模と水理量が同等であるにも拘らず、貞観と3.11の津波で堆積物量に大きな差がある。この事実は、流れの堆積学的解釈に関わる問題を提起している。基本的には物質の供給量が集積量を決定する。従って、貞観の津波は湖上過程で大量の砂を取り込んだと考えられる。珪藻種組成からみて取り込まれたのは陸成砂で、堆積物としては氾濫原起源である。こうした平野の埋積物が大量に搬出される事象に対しては、流れによる氾濫原の洗掘が最も解釈し易い。一般的には、射流による侵蝕作用として理解するのが妥当であろう。貞観時代の仙台北野の古地形を復元した試みによると、当時の海岸に近接して、これに並列するように長大な砂丘列が発達していた。津波襲来時にこの地形的高まりが障壁となって海側で水位が上昇し、砂丘の頂面を洪溢した海水が落流して射流が発生したと考えられる(図1)。現在の海岸部では人為的な地表固定が進んでおり、射流による洗掘の場は大



きく制限されている(図2および図3)。  
 図1 A: 越流に伴う射流の発生と地表侵蝕。路肩からの落流により陸側の水田が大きく洗掘されている。流れは水田面を侵蝕して稲株をはぎ取り、水田基底が露出した。洗われた泥は流れに取り込まれて内陸側に移送された。仙台市若林区荒浜。  
 B: 防潮堤を超えた海水流の自由落下による射流の発生とこれによる後浜の洗掘を説明する模式図。  
 C: 洗掘による防潮堤内壁の破壊と水路様地形の出現。岩沼市二ノ倉。3.11津波の第1波襲来により防潮堤海側で水面が急激に上昇し、その頂面を洪溢した海水はこうした底面部に向かって激しく落流した。これにより射流が発生し、遊歩道や緑地帯およびそれらの周辺が大規模に洗掘された。結果として防潮堤の基底が失われ、陸側側面が大規模に破壊された。

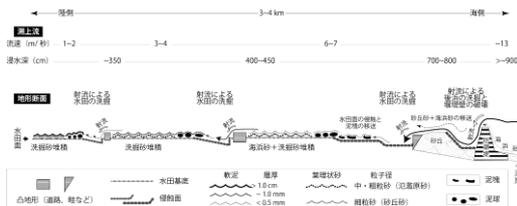


図2 3.11 津波収束後の観測結果に基づく地表侵蝕と物質の運搬および堆積の模式的説明。潮上流の流速は、空撮映像と現地測量に基づき推定した。流速は浸水深の減少と調和的に陸側に減衰する。一般に1m/秒以下の流速で出現する葉理状砂（西北西-東南東配列で海岸にほぼ直行）は、潮上が収束する過程で形成されたと推察される。3.11 津波の潮上域では、流れに直行する道路の下流側（内陸側）において、道路に沿うように耕作地が大規模に洗掘された。

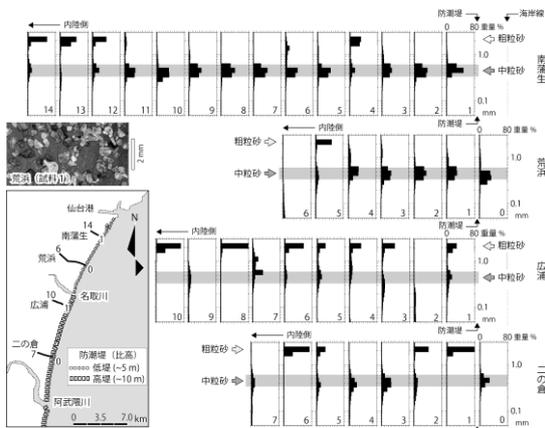


図3 3.11 津波堆積層の粒度分析結果。阿武隈川から仙台港に至る海岸線に直行するように5条の測線を設け、これに沿って地形起伏を求め、堆積相観察と試料採取を行った。荒浜と二の倉では海岸を基点とし、広浦と南蒲生では防潮堤より内側で起点を設けてある。何れの試料も明瞭な2最頻値分布を有している。左中央の映像は、荒浜試料1の実体顕微鏡写真。粒度分布図の下の数字は測線上での試料番号。海側から陸側への粒子組成の変化をみると、津波の砂は中粒砂を主として粗粒砂が混合し、粗粒砂組成は場所により大きく卓越する。中粒砂は海岸付近で海浜砂より構成されるが、粗粒砂が海浜に認められない事実より判断して、潮上過程で地表下河川堆積物が侵蝕され、易動的な中粒砂の分別作用による残渣として粗粒砂が堆積したと推測される。海浜砂は、潮上による侵蝕で取り込んだ中粒砂により、急速に希釈されていったであろう。

一方、自然状態が維持された貞観当時の砂丘地周辺は、非常に侵蝕され易い状況にあったであろう。この地表条件の違いが物質供給量の差となって現れ、貞観津波の場合では、大量の陸成砂の洗掘と移送により津波堆積物層の発達が進められたと解釈される。

土壌中の花粉や根跡により、貞観時代の仙台平野では、森林の発達が自然堤防や砂

丘地に集中し、氾濫原野の乾地や湿地は低木や草本類の植生に被覆されていたと推察される。自然の原野では植生被覆の欠如は稀であり、潮上する流れによる地表面の削剥は制限される（3.11 津波が襲来した下北半島の自然海岸では、再堆積現象が認められなかった）。貞観津波堆積層に顕著な泥の堆積がみられないのはこの理由による。

3.11 津波の潮上流は大量の泥成分を含み、見た目が泥流に近い流れも映像で目撃された。もし育稲の時期に津波が発生したとすれば、大きく様相の異なる氾濫となったであろう。起源や規模を同じくしても、地表条件により大きく変容するのが津波である。

### 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10件）

- ① Iijima, Y., Goto, K., Minoura, K., Komatsu, G., Imamura, F., Hydrodynamics of impact-induced tsunami over the Martian ocean. Planetary and Space Science, 査読有, vol. 95, 2014, 33-44  
DOI: 10.1016/j.pss.2013.09.014
- ② 箕浦幸治, 2011津波による侵蝕・運搬・堆積. ペドロジスト, 査読有, vol. 58, 2014, 印刷中  
<http://pedology.ac.affrc.go.jp/>
- ③ Minoura, K., Hirano, S., and Yamada, T., Identification and possible recurrence of an oversized tsunami on the Pacific coast of northern Japan. Natural Hazards, 査読有, vol. 68, 2013, 631-643  
DOI: 10.1007/s11069-013-0640-z
- ④ Sugawara, D., Imamura, F., Goto, K., Matsumoto, H., and Minoura, K., The 2011 Tohoku-Oki Earthquake Tsunami: Similarities and Differences to the 869 Jogan Tsunami on the Sendai Plain. Pure Applied Geophysics, 査読有, vol. 170, 2013, 831-843  
DOI: 10.1007/s00024-012-0460-1
- ⑤ 箕浦幸治, 古地震の復元. 応用地質, 査読有, vol. 53, 2013, 313-319  
<http://www.jseg.or.jp/03-publication/magazine.html>
- ⑥ Sugawara, D., Goto, K., Imamura, F., Matsumoto, H., and Minoura, K., Assessing the magnitude of the 869 Jogan tsunami using sedimentary deposits: Prediction and consequence of the 2011 Tohoku-oki tsunami. Sedimentary Geology, 査読有, vol. 282, 2012, 14-26  
DOI: 10.1016/j.sedgeo.2012.08.001
- ⑦ Papadopoulos, G., Minoura, K., Imamura, F., Kuran, U., Yalciner, A., Fokaefs,

A., and Takahashi, T., Geological evidence of tsunamis and earthquakes at the Eastern Hellenic Arc: correlation with historical seismicity in the eastern Mediterranean Sea. *Research in Geophysics*, 査読有, 2012, vol. 2, 90-99

DOI: 10.4081/rg.2012.e12

- ⑧ 根本直樹, 箕浦幸治, 射流による人工浜堤の破壊—青森県東岸における東北地方太平洋沖地震による津波の例. *地球科学*, 査読有, 2012, vol. 66, 209-210  
<http://www.chidanken.jp/ES/chikyu.html>
- ⑨ 後藤和久・箕浦幸治, 2011年東北地方太平洋沖地震津波の反省に立った津波堆積学の今後のあり方. *堆積学研究*, 査読有, 2012, vol. 71, 105-117  
<http://sediment.jp/05shuppan/j0071-2.html>
- ⑩ Sugawara, D., Goto, K., Imamura, F., Matsumoto, H., and Minoura, K., Assessing the magnitude of the 869 Jogan tsunami using sedimentary deposits: Prediction and consequence of the 2011 Tohoku-oki tsunami. *Sedimentary Geology*, 査読有, vol. 282, 2012, 14-26  
DOI: 10.1016/j.sedgeo.2012.08.001

[学会発表] (計 11 件)

- ① 山野井徹, 門叶冬樹, 加藤和浩, 今野 進, 箕浦幸治, 山形県庄内砂丘に挟まれる事件層と砂丘の形成. 日本地質学会東北支部講演会, 2014年3月1日, 山形.
- ② 箕浦幸治, 3.11津波による侵蝕・運搬・堆積. 日本ペドロロジー学会, 2013年10月25日, 仙台.
- ③ 飯嶋耕崇, 箕浦幸治, 平野信一, 山田 努, 南相馬市小高地区における津波堆積物調査. 日本地質学会, 2013年9月16日, 仙台.
- ④ 平野信一, 山田 努, 箕浦幸治, 東北地方太平洋沖地震津波による地形・植生変化と地形条件による影響. 日本地質学会, 2013年9月16日, 仙台.
- ⑤ 箕浦幸治, 古地震の復元. 日本自然災害学会. 2012年6月20日. 弘前.
- ⑥ Minoura, K., Hydraulics of sediment erosion and reworking by surging currents. 日本地球惑星合同学会, 2012年5月20日, 千葉.
- ⑦ 箕浦幸治, 3.11津波災害の教訓-被災から防災へ. 応用地質学会, 2012年5月18日, 仙台.

[図書] (計 3 件)

- ① 菅原大助, 今村文彦, 松本秀明, 後藤和久, 箕浦幸治, 貞観津波と東日本大震災の津波, 東日本大震災を分析する 2--震災と人間・まち・記録--. 2013, 179-188,

明石書店, 東京.

- ② 箕浦幸治, 菅原大助, 津波災害史観. 吉野博・日野正輝 (編) 今を生きる--東日本大震災から明日へ, 復興と再生への提言-- 5. 自然と科学, 2013, 3-18, 東北大学出版会, 仙台.
- ③ 箕浦幸治, 津波災害-歴史への衝撃, 東北大学病理学教室同窓会会報, 東北大学医学部, 2012, 3-20

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

箕浦 幸治 (MINOURA, KOJI)  
東北大学・大学院理学研究科・教授  
研究者番号: 10133852

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号:

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: