

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 18 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05334

研究課題名(和文) 津波堆積物の古生物学的・堆積学的・化学的アーカイブの構築

研究課題名(英文) Geological archives of paleontological, sedimentological, and geochemical analyses for tsunami deposits

研究代表者

澤井 祐紀 (Sawai, Yuki)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・上級主任研究員

研究者番号：20399504

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、主に2011年東北地方太平洋沖地震による津波堆積物に焦点をあて、古生物学的、堆積学的、地球化学的な分析を総合的に行い、そのアーカイブを構築することで過去の津波堆積物の認定に貢献することを目指した。北海道東部、仙台平野、福島県南相馬市、千葉県蓮沼沿岸などで採取された試料の分析を行った結果、各観察地点における粒径の変化、化学組成の変化、堆積物の層厚、粒径の側方変化を明らかにすることができた。さらに、津波堆積物中に含まれる珪藻および有孔虫化石の組成を調べたところ、各地点における群集変化は津波が遡上する際の侵食・再堆積の過程を表していると考えられた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to provide geological archives of paleontological, sedimentological, and geochemical analyses for modern tsunami deposits, such as tsunami deposits generated with the 2011 Tohoku earthquake. Tsunami deposits for the analyses were taken in eastern Hokkaido, Sendai plain, Minami Soma City (Fukushima Prefecture), Hasunuma coast (Chiba Prefecture). As the results of the analyses, we revealed vertical changes in grain size and geochemical components (e.g., biomarkers, and water-leachable ions) and lateral changes in grain size and thickness of the deposits. Changes in diatoms and foraminifera assemblages within tsunami deposits probably represent process of erosion, transporting, and redepositing sediments during the tsunami inundation.

研究分野：過去に発生した地震・津波を明らかにすること。化石を用いて過去の環境を復元すること。

キーワード：津波堆積物 粒度分析 地球化学分析 微化石分析

1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日に宮城県沖を震源とする超巨大地震(Mw 9.0)が発生した。この地震については、その発生直後から「想定外」という言葉が繰り返し使われ、全く予想できなかった地震であったという指摘もあった。一方で、2011年より前から、独立行政法人(現在の国立研究開発法人)産業技術総合研究所や東北大学の研究グループによって、西暦869年に東北地方で発生した巨大地震(通称、貞観地震)と津波の地質学的な研究がなされており、地質学的な時間スケールで見れば、今回の巨大地震の発生は必ずしも予想できないものではなかった事が注目された。

発生間隔が長い巨大地震・津波の中長期予測を行うためには、地質記録を利用してその履歴を調べる方法が有効である。地質記録の解析は過去数百年～数千年以上の時間規模の現象に適用でき、過去百年間程度しかない機器観測記録や最大でも千年程度の歴史記録を補うことができるためである。この利点を活かした貞観地震の規模や津波の浸水を復元した研究成果を受けて、中央防災会議の「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」では、今後想定すべき地震・津波について、「これまでの考え方を改め、古文書等の分析、津波堆積物調査、海岸地形等の調査などの科学的知見に基づき想定地震・津波を設定させ、地震学、地質学、考古学、歴史学等の統合的研究を充実させて検討していくべきである」という趣旨の提言を公表した。これにより、自治体が主体となって事業的な地質調査が実施されるようになってきた。しかしながら、津波堆積物の研究は未だ発展途中であり、地層中に残された過去の津波堆積物を認定する方法は必ずしも確立されていないという問題点があった。

2. 研究の目的

本研究の目的は「様々な津波堆積物の古生物学的、堆積学的、地球化学的分析を行い、そのアーカイブを作成すること」である。過去の巨大津波の痕跡である“津波堆積物”を地層中から認定するためには、様々な状況証拠をそろえ、帰納的にその存在を示すしかない。しかしながら、モダンアナログとなる現世の津波堆積物については、その記載が必ずしも十分に行われていない。そこで、本研究では、2011年東北地方太平洋沖地震や17世紀に北海道で発生した連動型巨大地震による津波堆積物などに焦点をあて、古生物学的、堆積学的、地球化学的な分析を総合的に行い、そのアーカイブを構築することで過去の津波堆積物の認定に貢献することを目指す。

研究期間内には、津波堆積物の堆積構造の解析および粒度分析、微化石分析、地球化学的分析等を行い、得られたデータを記載する。対象とする試料は、2011年3月11日直後に採取されて産業技術総合研究所に保管され

ている宮城県の仙台平野や千葉県九十九里海岸の津波堆積物、2011年の震災以降手つかずのまま放置されている青森県、千葉県、福島県沿岸の津波堆積物、17世紀に北海道東部で発生した連動型巨大地震による津波堆積物の3種類である。上記の現世および最近の地質年代に堆積した津波堆積物を総合的に分析することによって、津波堆積物の分析的アーカイブを構築する。

3. 研究の方法

研究のために得られた津波堆積物は、諸分析を行う前に肉眼による堆積物の観察、はぎ取り標本の作製、デジタルカラー写真および軟X線写真の撮影を行う。また、可能であればX線Computed Tomography (CT) 写真を撮影する。

画像データを取得した後、粒度分析、微化石分析、化学的分析を行うため、堆積物試料を1cm間隔に分割する。粒度分析用の試料は、泥粒子を除去した後、塩酸および過酸化水素水を用いて貝殻片や有機物を除去した。前処理後の試料は、画像式粒度分布測定装置(レッチェ社製カムサイザー)を用いて、中央粒径値、淘汰度、歪度を計測した。粒度分布の統計値算出は、Folk and Ward (1957)のlogarithmic graphical methodに従った。

微化石分析用の試料は、珪藻を観察するために次亜塩素酸ナトリウム溶液で処理し、有孔虫を観察するために水洗による篩い分けを行った。珪藻類の観察は光学顕微鏡下で行い、有孔虫類の観察は双眼実態顕微鏡下で行った。

化学分析(水溶性イオン)の試料は、乾燥後に均一化し、ICP-MSによる陽イオン測定およびイオンクロマトグラフィーによる陰イオン測定を行った。また、津波堆積物に含まれる ^9Be をICP-MSにて、および ^{10}Be を加速器質量分析器にて測定した。

4. 研究成果

津波堆積物の古生物学的・堆積学的・化学的アーカイブを構築するため、2011年東北地方太平洋沖地震による津波堆積物を観察・分析した。研究作業に用いた試料は、青森県三沢市・おいらせ町、宮城県仙台平野、福島県新地町・南相馬市、千葉県山武市で採取されたものを使用した。また、過去に堆積した津波堆積物として、日本で最も有名な北海道東部における17世紀の津波堆積物についても分析作業を行った。このうち、仙台平野と福島県新地町の津波堆積物は、震災後の復興・復旧作業の過程で失われているため、産業技術総合研究所が震災直後に採取したものを使用した。これら以外の試料については、現地に赴いて試料の採取を行った。以下にその概要を報告する。

【北海道浜中町】

北海道東部の浜中町霧多布湿原では、17世紀に発生した連動型地震の津波堆積物をタ

ーゲットにして、ハンディージオスライサーによる掘削調査を行った。その結果、17世紀とそれより古い津波堆積物を採取することができた。得られた試料は、はぎ取り標本を作製して肉眼による堆積構造の観察をする。とともに、CT写真撮影によって堆積構造の有無を確認した。その結果、津波堆積物の内部に明瞭な葉理が発達する様子や(多重?)級化構造を確認することができた。

CT写真を撮影した後、試料を分割・均一化して懸濁液を作成し、ICP発光分光分析による陽イオン測定およびイオンクロマトグラフィーによる陰イオン測定を行った。この結果、津波堆積物中およびその上下の地層における水溶性イオンの分布を知ることができた。特に、津波堆積物の上下の地層において、 Na^+ が増加傾向にあること、13世紀に形成されたとみられるの津波堆積物の下位において Mn^{2+} 、 Sr^{2+} などが増加傾向であることが特徴的であった。このような変化は、津波堆積物の上位と下位で環境が異なっていることを示しており、津波堆積物の認定のためには、堆積当時および堆積後の環境変化を考慮しつつ、津波堆積物の分析・認定を行う必要があることを意味している。

本地域における調査の過程で、17世紀の津波堆積物だけでなく、その一つ前の津波イベント(13世紀)を示す堆積物も観察することができた。この津波堆積物の分布に関するデータは、今後の波源モデルの構築に貢献できる可能性がある。

【青森県三沢市・おいらせ町】

青森県三沢市天ヶ森周辺において、2011年東北地方太平洋沖地震による津波堆積物試料を観察した。また、三沢市砂森および淋代、おいらせ町二川目周辺では、震災直後に津波堆積物を観察した場所(Tanigawa et al., 2018)において、再度同様の調査を行い、津波堆積物の経年変化を検討した。その結果、一部の地点では、津波堆積物の層厚が変化していることが明らかになった。

【宮城県仙台平野】

仙台平野では、海岸線に直交する7本の測線を設け、合計107地点において堆積物の観察が行われている。このうち、33地点で分析用の試料を採取され、産業技術総合研究所において保管されている。本研究では、現地得られたデータの整理を行うとともに、採取した試料を利用して実験室内にて粒度分析を実施した。

堆積物の観察の結果、津波堆積物は海岸線から約4km以内の範囲に分布しており、層厚は最大65cmであった。また、砂が主体であるが、時として礫や貝殻片、植物片、泥岩偽礫も含まれる。全体としてみると、津波堆積物は内陸に向かって層厚が指数関数的に減少するとともに平均粒径が小さくなり、含泥率が増加する明瞭な傾向がみられる。しかしながら、測線ごとにとみると、このような傾向は不明瞭になることが明らかになった。

得られた試料の有孔虫分析を行った結果、*Ammonia parkinsoniana*、*Buccella frigida*、*Cibicides lobatulus*、*Ammonia tepida*、*Elphidium clavatum*が優占し、これらが群集全体の40%を占めることが明らかになった。

【福島県新地町】

福島県新地町の8地点において、2011年東北地方太平洋沖地震が発生した直後に津波堆積物の観察と採取が実施されている。本研究では、この調査地点を確認し、VRS-GPSによる測量によって地形断面を作成した。また、採取試料を利用して、実験室内にて粒度分析を実施した。

観察の結果、津波堆積物は海岸線から約1.5km以内の範囲に分布しており、砂が主体であることが分かった。また、層厚は最大22cmである。新地町の津波堆積物は、内陸に向かってやや層厚が減少するとともに、含泥率が若干増加する傾向がみられるが、平均粒径はほとんど変化しないことが明らかになった。当地域は、は仙台平野の南端付近であることから、先述の宮城県仙台平野における津波堆積物調査結果と併せて検討した。その結果、宮城県仙台平野の結果と同様に、全体としてみると層厚や平均粒径、含泥率に明瞭な傾向がみられることが明らかとなった。

【福島県南相馬市】

福島県南相馬市においては、小高区周辺で2011年の津波堆積物の分布を確認するとともに測量作業を行った。当地域の8地点で得られた試料について肉眼観察と粒度分析を行った結果、その多くに級化構造がみられるなど、地点ごとの粒度組成の垂直変化を明らかにすることができた。

津波堆積物中に含まれる ^9Be をICP-MSにて、 ^{10}Be を加速器質量分析器にて測定し、 $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ 比の鉛直プロファイルを求めた。その結果、 ^9Be 、 ^{10}Be 、 $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ 比は同様の変動パターンを示し、 $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ 比の変化は主に ^{10}Be 濃度に依存していることが明らかとなった。また異なる2地点において津波堆積物中の $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ 比の鉛直プロファイルは同様であった。さらに、津波堆積物とその下位の土壌で値が異なることが明らかとなった。これらの結果は、2011年の津波堆積物に特有の特徴を示している可能性があり、津波堆積物が形成される侵食・再堆積の過程を表している可能性がある。

【千葉県山武市】

2011年東北地方太平洋沖地震の直後における観察結果では、山武市蓮沼海岸周辺での浸水距離は1kmに達している。しかしながら、比較的厚い(層厚10cm以上)の津波堆積物は、海岸線から350m程度の場所に限られている。震災直後、産業技術総合研究所では、この地域における津波堆積物の分布を詳細に検討するため、海岸線に直交する方向に3つの測線を設け、合計29地点において津波

堆積物の採取を行った。本研究では、これらの既存試料の分析を行うとともに、採取地点を訪れ、堆積物を再観察した。

3 測線沿いにおける津波堆積物の層厚変化を確認したところ、海岸付近において最大 35 cm に達していることがわかった。各地点における堆積物の粒度分析を行った結果、津波堆積物がおおむね細粒砂から中粒砂からなり、淘汰が良いことを示していた。

粒度分布、堆積構造の垂直方向の変化、およびその空間的な広がりから判断し、本研究では津波堆積物をいくつかの堆積ユニットに分類した。この堆積ユニットは、粒度や堆積構造の特徴から 2~4 つに区分された。調査地周辺では最大 4 回程度の津波の遡上が観察されており、各ユニットは遡上イベントに対応して形成された可能性が示唆される。ただし、堆積ユニットの数が測線ごとに異なる(測線 A; UA-1~UA-4, 測線 B; UB-1~UB-2, 測線 C; UC-1~UC-3) 点については、標高、植生、地形、津波の主な進入経路である遊歩道からの距離など、様々な要因によって生じたものであると考えられた。

測線 A について珪藻化石群集の分析を行った。地点 A10 においては、堆積ユニット UA-1 で淡水生珪藻種 *Pinnularia borealis*, *Hantzschia amphioxys* などが特徴的に見られた。これは、津波が遡上する際に陸上の表層土壌を取り込んだものであると考えられる。堆積ユニット UA-2 では、一時的に珪藻化石がほとんど見られなくなる。堆積ユニット UA-3 では、UA-1 と同じ淡水生珪藻種が観察されるが、同時に海水生 *Thalassiosira* spp. の破片も見られる。堆積ユニット UA-4 では、再び淡水生珪藻種 *Hantzschia amphioxys* が優占的に見られるようになることが確認された。また、当地域で得られた任意の試料について有孔虫分析を行ったところ、*Pararotalia nipponica* と *Buccella frigida* に加え、浮遊性の分類群が多産した。これらの産出頻度は、群集全体の 30% に達した。

地球化学的分析は、2011 年に採取された試料に加え、2014 年に採取したのものに対しても行った。2011 年に採取された試料に対して無機元素分析を行った結果、津波堆積物層では低濃度であった陽・陰イオンが、津波堆積物直下の土壌層では高濃度であった。このことは、海水由来の化学成分が砂層を浸透し、下位の土壌層に集積したことを示唆する。一方、津波から約 3 年半後に同地点で採取された試料では土壌層においても低い濃度を示した。これは、降水などにより化学成分が希釈されたことを示している。これらの試料については、バイオマーカー分析も行ったが津波堆積物および下位の土壌層からは海洋生物起源のバイオマーカーは検出されなかった。

以上に示したように、過去の津波堆積物の認定に資するモダンアナログとして、主に 2011 年東北地方太平洋沖地震の津波堆積物

を分析・記載した。将来的には、本研究成果を参考にして、地層中の津波堆積物の認定が高い信頼性で行われていくことが期待される。

引用文献

Koichiro Tanigawa, Yuki Sawai, Yuichi Namegaya, Diatom assemblages within tsunami deposit from the 2011 Tohoku-oki earthquake along the Misawa coast, Aomori Prefecture, northern Japan, *Marine Geology*, 396 巻、2018、6 15

5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計 2 件)

Dan Matsumoto, Yuki Sawai, Koichiro Tanigawa, Osamu Fujiwara, Yuichi Namegaya, Masanobu Shishikura, Kyoko Kagohara, Haruo Kimura, Tsunami deposit associated with the 2011 Tohoku-oki tsunami in the Hasunuma site of the Kujukuri coastal plain, Japan, *Island Arc*, 査読有、25 巻、2016、369 385 DOI:1.01111/iar.12161

Tetsuya Shinozaki, Yuki Sawai, Junko Hara, Minoru Ikehara, Dan Matsumoto, Koichiro Tanigawa, Geochemical characteristics of deposits from the 2011 Tohoku-oki tsunami at Hasunuma, Kujukuri coastal plain, Island Arc, 査読有、25 巻、2016、350 368 DOI:1.01111/iar.12159

(学会発表)(計 3 件)

篠崎鉄哉、澤井祐紀、原淳子、池原実、松本弾、谷川晃一郎、2011 年東北沖津波が残した地球化学的痕跡とその時間変化：千葉県山武市蓮沼の例、日本地質学会、2015 年 9 月 13 日、信州大学(長野市)

澤井祐紀、松本弾、谷川晃一郎、藤原治、行谷佑一、穴倉正展、楮原京子、木村治夫、千葉県蓮沼海岸で観察された 2011 年東北地方太平洋沖地震の津波堆積物、日本第四紀学会、2016 年 9 月 17 日、千葉大学(千葉市)

Atsunori Nakamura, Yuki Sawai, Junko Hara, Dan Matsumoto, Hiroyuki Matsuzaki, Tetsuya Shinozaki, Koichiro Tanigawa, Using meteoric Be-10 to identify sources of tsunami deposits, AGU Fall Meeting 2017, 13 Dec. 2017, USA(San Francisco)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

澤井 祐紀 (SAWAI, Yuki)

産業技術総合研究所・活断層・火山研究部
門・上級主任研究員
研究者番号：20399504

(2)研究分担者

谷川 晃一郎 (TANIGAWA, Koichiro)
産業技術総合研究所・活断層・火山研究部
門・主任研究員
研究者番号：30613541

松本 弾 (MATSUMOTO, Dan)
産業技術総合研究所・活断層・火山研究部
門・研究員
研究者番号：80709551

(3)研究協力者

行谷 佑一 (NAMEGAYA, Yuichi)
産業技術総合研究所・活断層・火山研究部
門・主任研究員

伊尾木 圭衣 (IOKI, Kei)
産業技術総合研究所・活断層・火山研究部
門・研究員

中村 淳路 (NAKAMURA, Atsunori)
産業技術総合研究所・地質情報研究部門・
研究員

篠崎 鉄哉 (SHINOZAKI, Tetsuya)
筑波大学・アイソトープ環境動態研究セン
ター・特任助教

Jessica Pilarczyk (Jessica Pilarczyk)
南ミシシッピ大学・助教