

令和 2 年 5 月 3 日現在

機関番号：22604

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18532

研究課題名（和文）高密度掘削試料の総合的解析による津波堆積物の地層対比手法の確立

研究課題名（英文）Establishment for accurate correlation of tsunami deposit layer, based on dense core sample and comprehensive analysis

研究代表者

石村 大輔（Ishimura, Daisuke）

首都大学東京・都市環境科学研究科・助教

研究者番号：00736225

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、津波堆積物の地層対比手法に関する指標のうち、津波堆積物の層位、地質学的特徴、高精度な年代、古環境情報について検討してきた。用いた試料は、東北地方太平洋岸に分布する湿地堆積物中の津波堆積物である。その結果、津波堆積物そのものは多くの情報を保持しており、適切に抽出することで、新たな津波堆積物研究につながる可能性があることがわかった。また、地層の側方対比には、主観的なものが内在しており、それらと客観的指標を合わせることでより確実度や信頼度の高い対比につながる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

津波堆積物研究は、地震メカニズムの解明や津波ハザード評価にとって非常に重要な役割を担う。2004年スマトラ島沖地震、2011年東北地方太平洋沖地震以降、世界各地で津波堆積物研究が進められ、新たなことがわかってきている。一方、津波堆積物個々の確実性や信頼度といった議論も必要であり、それらの情報をどのようにまとめ、評価し、地震・津波ハザードリスク評価につなげていくかが課題である。そこで、本研究では、ある地域内に分布する津波堆積物の認定、側方対比、それらの数をより確実にするために、複数の指標を用いて検討し、より適切かつ効率的な津波堆積物研究方法の確立を目指した。

研究成果の概要（英文）：This study investigated the stratigraphy of tsunami deposits, geological features, high-precision ages, and paleoenvironmental information for establishment of better spatial correlation of tsunami deposits. The samples we used were tsunami deposits interbedded within marsh sediments on the Pacific coast of the Tohoku region. As a result, the tsunami deposit itself holds a lot of information, and extracting them properly leads to new tsunami deposit research. Researcher's sediment correlation generally inhere subjective interpretation, therefore the combination of them with objective indicators provides more reliable correlations.

研究分野：変動地形学・第四紀地質学

キーワード：津波堆積物 三陸海岸 側方対比 放射性炭素年代測定 円磨度

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

2004年スマトラ島沖地震や2011年東北地方太平洋沖地震を契機に注目されている低頻度の海溝型地震・津波のメカニズム解明やリスク評価には、歴史記録よりも古い時代に遡ることが可能な津波堆積物研究が必要不可欠である。地層中における津波堆積物の認定については、様々なアプローチによって検討され、その体系化が進んでいる。一方、津波堆積物研究には掘削調査が一般的に行われるが、掘削地点間の津波堆積物の地層対比には不確実な部分がある。しかし、地層対比に有効な指標やデータ密度に応じた津波堆積物の地層対比の問題に着目した研究は少なく、それらに関する議論や体系化は進んでいない。このような津波堆積物の空間分布の不確実さは、津波イベントの認定数に直結し、最終的には津波リスク評価の不確実さにつながる。

申請者は、2012年以降東北地方太平洋岸(三陸海岸)にて継続的に地形・地質調査を行ってきた。その中でトレンチ調査を実施し、津波堆積物に基づき約4000年前以降の津波履歴を明らかにした(Ishimura and Miyauchi, 2015, PEPS)。同時に、トレンチから離れた地点にて掘削調査を実施したが、トレンチから数10m離れただけで、トレンチで認められる津波堆積物との正確な地層対比ができず、堆積物の深度と特徴のみに基づく地層対比の困難さに直面した。そこで、トレンチ調査に匹敵する高密度群列掘削調査を2014年度に実施し、高密度掘削であれば高い確実度で地層対比(空間分布の把握)が可能であることがわかった(石村ほか, 2015, 活断層研究)。

理想的にはトレンチ調査などの面的な情報が津波堆積物の空間分布把握に適しているが、費用や用地確保の面から掘削調査(点の情報)に頼る部分は大きい。したがって、津波堆積物情報が低頻度の海溝型地震・津波のメカニズム解明やリスク評価に利用されることを鑑みると、点の情報に基づく津波堆積物の空間分布推定に関する問題は看過できない。そこで、本研究では、津波堆積物調査で得られる分析情報(指標)のばらつきを検証するとともに、少ない掘削試料から効率的に津波堆積物の空間分布を推定するための指標・手法の確立を目指した。

### 2. 研究の目的

本研究では、(1)津波堆積物の層位(深度, 順番), (2)地質学的特徴(層厚, 堆積構造, 構成物, 粒度), (3)高精度な年代(放射性炭素( $^{14}\text{C}$ )年代測定・火山灰), (4)古環境情報(地球化学的特徴), に基づき、以下の項目を検討する。

- ・地点間における各指標のばらつきの検討(地層対比の不確実性の評価)
- ・津波堆積物対比に有効な指標と効率的な対比方法の検討(津波堆積物の地層対比手法の確立)

同時に、高精度な津波堆積物の年代情報を取得できるため、東北地方太平洋岸の津波履歴情報の高度化にも寄与する。

### 3. 研究の方法

使用する試料は、東北地方太平洋岸に分布する湿地堆積物中の津波堆積物である。具体的には、宮城県南三陸町、岩手県山田町、野田村、青森県むつ市、の試料を用いた。分析に関しては、津波堆積物構成物に関する分析(円磨度分析、粒度分析)、年代に関する分析(放射性炭素年代測定、テフラ分析)、地球化学的分析(高精度XRF分析)を実施した。岩手県小谷島の試料に関してはすべての分析を、他地域のものに関しては一部の分析を実施した。

### 4. 研究成果

#### (1)宮城県南三陸町

大沼と呼ばれるかつての湿地で掘削された試料を用いて、粒度と円磨度に着目した津波堆積物認定と高精度な年代推定に基づく津波履歴の解明を行なった。調査地点では、湿地堆積物中に給源の異なる2種類の粗粒な堆積物が分布する。それらは現在の海岸に分布する砂と礫に対応し、砂は大沼の排水路である南岸に分布する。一方、円磨の進んだ粘板岩礫は大沼の背面の丘陵部を超えた北岸に分布する。これらのことから、2つの異なるタイプの津波堆積物は、それぞれの津波の大きさを反映していると考えられる。ちなみに2011年津波の際には、北側の丘陵を超えた津波が大沼に浸水している。年代測定とテフラ分析の結果から、6000年前から700年前の間に、6層の津波堆積物(3層が礫主体、3層が砂主体)が認定された。

また、この地点でさらに重要なことは仙台平野や石巻平野で見出されている869年貞観津波堆積物(例えば, Sawai et al., 2012)に相当する層準に津波堆積物が認められないことである。一方、大沼より北に位置する後述の岩手県山田町やそれ以外の三陸海岸中～北部では、869年貞観津波堆積物に対比される津波堆積物が見出されている(例えば, 高田ほか, 2016)。これは、仙台・石巻平野を襲った869年貞観津波と異なる津波が地質学的には同時代に三陸海岸沿岸で発生した可能性を示唆する。ただし、三陸海岸南部(宮城県側)での津波堆積物に関する情報は少ないため、今後の調査・議論が必要であると考えられる。

#### (2)岩手県山田町

船越半島の小谷鳥にて掘削された試料を用いて分析を進めた。本地点では、低地内を中心に、ピット調査、トレンチ調査、ボーリング調査、ハンディジオスライサー調査、ロングジオスライサー調査、と深度や観察できる範囲が異なる種々の調査をすでに行なっている。本研究では、主に深度4-5mの連続試料であるロングジオスライサー試料に対して、円磨度分析、放射性炭素年

代測定、高精度 XRF 分析、を実施した。それ以外の掘削試料に関しては、円磨度分析と放射性炭素年代測定を実施した。その結果、6000 年前以降に 14 層の津波堆積物（2011 年津波堆積物含む）が認められ、その再来間隔は  $400 \pm 200$  年であった。このような情報を得るに当たって、各指標を検討した結果、以下のことがわかった。

肉眼観察での地層解釈は、円磨度分布や高精度 XRF 分析で得られた地球化学的指標を踏まえたものと相違なかった。これはすでに数年にわたる小谷鳥での津波堆積物調査の経験があることによる可能性があるが、これらの客観的指標を導入することで、経験の有無にかかわらずより高い信頼度を持って示すことが可能になると考えられる。また地層の側方対比について、津波堆積物については円磨度分布を、それ以外の堆積物については地球科学的指標を用いて対比を試みた。結果、円磨度分布は、1 層の分布に着目するよりも、円磨度分布のシーケンシャルな変化を利用することで、対比候補を絞り込むことが可能になる。その上で、放射性炭素年代測定を行うことで効率的な対比とその年代による確認が可能になる。地球化学的指標は、同様の環境で同様の堆積物が分布する環境では、肉眼観察による対比をサポートする良い指標になる。一方、侵食・堆積の大きな部分や同時異相が存在する場合は、誤った対比につながる。

一方、津波堆積物の円磨度分布に注目したところ、その分布パターンは津波の規模に関わらず一定であることがわかった。具体的には、津波の浸水距離が既知である 3 層の津波堆積物の海岸礫と河川礫の混合比を各試料の海岸線からの距離を浸水距離で規格化し、プロットした。その結果、浸水距離の 40% で、河川礫の割合が内陸へ向かって急増する傾向が得られた。この関係を利用することで過去の津波の浸水距離の推定や制約が可能になる。当然ながら、このような関係は小谷鳥特有のものであり、地質や地形により変化すると考えられるが、今までこのような関係は報告されておらず、三陸海岸のようにすぐ背後に山が迫っている狭い臨海低地や津波堆積物が粗粒な堆積物から構成される場所では、このようなアプローチは有効であると考えられる。

### (3)岩手県野田村

野田村では、すでに高田ほか（2016）で報告されている復興工事に伴う露頭に現れた津波堆積物を使用した。礫が含まれる 3 層の津波堆積物を対象に円磨度分析を行なった。残念ながら、対象とした津波堆積物を運搬した津波の浸水距離に関する情報がなく、2011 年津波堆積物が工事により除去されていたため、小谷鳥のような検討はできなかった。ただし、いずれの堆積物も海岸礫とそれ以外を給源とする礫の混合となっており、小谷鳥と同様の結果が得られた。また、同じ場所で採取したにも関わらず、ある地点での津波堆積物に含まれる海岸礫の割合には、津波堆積物毎に系統的な大小関係が見出された。これは津波の規模の違いを反映していると考えられる。海岸線からの距離との関係について、調査範囲では、線形的に内陸へ向かって海岸起源の礫の割合が減少しており、小谷鳥の傾向とは異なる可能性が高い。ただし、調査範囲が浸水域の範囲を十分にカバーしていないため、浸水域全体でどのような傾向を示すかまでを把握するには至らなかった。

このように試料や条件に不足があったが、津波堆積物の礫の円磨度分布を使用することで、定量的に海岸礫とそれ以外の礫の混合比を示すことができること、また津波の規模の大小を議論できること、を示すことができた。加えて、浸水域内での円磨度分布は地質や地形によるという可能性を示すことができた。今後、円磨度分析に適した場所や条件を検討した上で、津波堆積物調査を行うことで、過去の津波の規模を推定することが可能になると考えられる。

### (4)青森県むつ市

むつ市では、海岸に露出する湿地堆積物と土壌に挟在する砂質堆積物を使用した。現段階では、海岸の露頭試料のみであるため津波堆積物であるかそれ以外の高波によって運搬された堆積物であるかの識別はできていない。これら海岸に露出する露頭では 6000 年前以降の堆積物が保存されている。砂質堆積物であるため、ここでは画像による粒度分析装置を使用して、砂粒子の粒度分析を行った。比較のため、海岸に分布する砂と砂丘を構成する砂を採取し、同様の分析を行った。粒度分析の結果、地層中の砂質堆積物の多くが海岸の砂粒子で構成され、少ない割合であるが砂丘を構成する砂粒子も含まれることが明らかとなった。これらのことから海岸露頭中に含まれる砂質堆積物は海岸を給源とすることから通常よりも低頻度の高波イベントにより形成されたと考えられる。今後はより内陸での分布を明らかにすることで、津波か否かを議論できると考えられる。

### (5)まとめ

本研究では、岩手県小谷鳥を中心に、東北地方太平洋岸の津波堆積物を対象に分析を行った。小谷鳥の総合的な分析からは、一見自明に見える事柄を実際の試料を用いて検討することで、地層の解釈、津波堆積物の認定、側方対比を行う際に主観的な解釈が無意識的に内在していることがわかった。そのような解釈に適切な客観的指標を導入することで、その信頼度や確実度が増すことを示すことができた。

また、津波堆積物そのものの客観的情報の抽出を試みた結果、津波堆積物そのものは多くの情報を保持しており、適切に抽出することで、未だ知られていない津波の挙動との関係性を明らかにできる可能性がある。さらには、このような情報を蓄積していくことで、新たな津波堆積物研究につながる可能性もあり、今後の津波堆積物研究に活用されることが期待される。

<引用文献>

- Ishimura, D., and Miyauchi, T., 2015, Historical and paleo-tsunami deposits during the last 4000 years and their correlations with historical tsunami events in Koyadori on the Sanriku Coast, northeastern Japan, *Progress in Earth and Planetary Science*, 2, 16, doi: 10.1186/s40645-015-0047-4.
- 石村大輔・市原季彦・阪田知洋・大畑雅彦・高田裕哉 (2015) 高密度群列ハンディジオスライサー調査による津波堆積物の連続性と地層対比: 岩手県山田町小谷鳥を例として, *活断層研究*, 43, 53-60.
- Sawai, Y., Namegaya, Y., and Okamura, Y., 2012, Challenges of anticipating the 2011 Tohoku earthquake and tsunami using coastal geology, *Geophysical Research Letters*, 39, L21309, doi:10.1029/2012GL053692.
- 高田圭太・宍倉正展・今井健太郎・蝦名裕一・後藤和久・越谷 信・山本英和・五十嵐厚夫・市原季彦・木下博久・池田哲哉・岩手県県土整備部河川課, 2016, 岩手県沿岸における津波堆積物の分布とその年代, *活断層・古地震研究報告*, 16, 1-52.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Ishimura Daisuke	4. 巻 4
2. 論文標題 Re-examination of the age of historical and paleo-tsunami deposits at Koyadori on the Sanriku Coast, Northeast Japan	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Geoscience Letters	6. 最初と最後の頁 11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40562-017-0077-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Ishimura Daisuke, Miyauchi Takahiro	4. 巻 386
2. 論文標題 Holocene environmental changes and paleo-tsunami history in Onuma on the southern part of the Sanriku Coast, northeast Japan	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Marine Geology	6. 最初と最後の頁 126 ~ 139
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.margeo.2017.01.011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 石村大輔	4. 巻 58
2. 論文標題 三陸海岸における2011年東北地方太平洋沖地震後の古津波堆積物研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第四紀研究	6. 最初と最後の頁 175-186
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4116/jaqua.58.175	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ishimura, D., Yamada, K.	4. 巻 9
2. 論文標題 Palaeo-tsunami inundation distances deduced from roundness of gravel particles in tsunami deposits	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 10251
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-019-46584-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 石村大輔	4. 巻 51
2. 論文標題 宮城県南三陸町大沼で見出された津波堆積物の年代の再検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 活断層研究	6. 最初と最後の頁 53-59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11462/afrr.2019.51_53	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ishimura, D., Hiramane, R.	4. 巻 35
2. 論文標題 Proximal-distal fall deposit correlation of VEI 5 tephra (Towada Chuseri) from Towada volcano, northeast Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Quaternary Science	6. 最初と最後の頁 334-348
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jqs.3161	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 石村大輔
2. 発表標題 三陸海岸に分布する869年貞観津波に対比されるイベント堆積物の特徴
3. 学会等名 日本地震学会2018年度秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石村大輔・山田圭太郎
2. 発表標題 礫粒子の画像解析に基づく津波堆積物の給源と運搬過程
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daisuke Ishimura
2. 発表標題 Historical and paleo-tsunami deposits on the Sanriku Coast, northeast Japan
3. 学会等名 the 8th International INQUA Meeting on Paleoseismology, Active Tectonics and Archeoseismology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Daisuke Ishimura
2. 発表標題 Progress of historical and paleo-tsunami deposit research on the Sanriku Coast after the 2011 Tohoku tsunami
3. 学会等名 French-Japanese Week on Disaster Risk Reduction, French-Japanese workshop on the "Sedimentary signature of tsunamis" (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石村大輔
2. 発表標題 三陸海岸における津波堆積物研究
3. 学会等名 日本第四紀学会2017年大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ishimura, D. and Yamada, K.
2. 発表標題 Lateral correlation of tsunami deposits since ca 6000 cal BP at Koyadori, Yamada Town, Iwate Prefecture, based on sedimentary facies, geochemical signature, gravel roundness, and radiocarbon dating
3. 学会等名 Hokudan 2020 International Symposium on Active Faulting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石村大輔・山田圭太郎
2. 発表標題 イベント堆積物中の礫の形態に着目した給源と運搬過程の推定：岩手県山田町小谷鳥の津波堆積物を例として
3. 学会等名 2020年日本地理学会春季学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石村大輔・平峰玲緒奈
2. 発表標題 十和田-中掇 (To-Cu) テフラの詳細対比とその分布
3. 学会等名 2019年日本地理学会春季学術大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	後藤 和久  (Goto Kazuhisa)  (10376543)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・教授   (12601)	
連携研究者	佐藤 善輝  (Sato Yoshiki)  (60751071)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・研究員   (82626)	