

令和 2 年 5 月 28 日現在

機関番号：82110

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06989

研究課題名(和文) 化学形態解析による津波堆積物の高精度同定手法の確立

研究課題名(英文) Chemical form analysis and Geochemical approach to identify past tsunami sediments

研究代表者

渡邊 隆広 (Watanabe, Takahiro)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・核燃料・バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター・研究職

研究者番号：40436994

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)：本研究により津波堆積物の年代測定および同定手法の確立に必要な基礎データとなる化学分析を実施した結果、堆積物試料の化学的特徴を支配する要因として、酸化還元環境の影響、ケイ酸塩鉱物の影響、海水由来成分の影響等が重要であることが示唆された。また、形成過程の異なる津波堆積物砂層と浜堤堆積物砂層の区別ができる可能性が示唆された。本研究により津波堆積物の高精度での年代測定手法、津波堆積物の同定手法の改良、および化学的特徴について十分な知見を得ることができた。今後はさらに広範囲及び異なる時代に形成された津波堆積物について本手法の適用性を評価していくことが重要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地層中に残された津波堆積物を用いた過去の津波浸水域の推定についてこれまでに多くの報告例がある。加えて、2011年の東北地方太平洋沖地震・津波の発生以降、津波堆積物研究の重要性がさらに高まっている。しかし、陸域の堆積物はかく乱されるケースが多く、かつ堆積環境が不安定であるため、津波堆積物の普遍的な認定手法は確立されていない。本研究により津波堆積物の高精度での年代測定手法、津波堆積物の同定手法の改良、および化学的特徴について十分な知見を得ることができた。本研究を進めることで、過去の津波災害規模の復元手法を確立するための重要なデータを提供することができたと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Identification of past tsunami deposits is important for risk assessment in subduction zone earthquakes. Geochemical analysis is used to estimate the source of the event deposit, changes in environments, and biological activities. To clarify the geochemical features, studies on the geochemical analysis of tsunami deposits was tested in this study. Results of principal components analysis for geochemical data from the past tsunami sediments indicate that redox condition, grain size and source of the deposits could affect the geochemical features. In addition, the tsunami deposits clearly discriminate from beach ridge sandy sediments using the principal components analysis in this study. For the accurate determination of the source of the past tsunami deposits, the geochemical analysis of in the deposits from other areas should be accumulated in future works.

研究分野：自然環境科学、自然災害科学 s

キーワード：津波堆積物 年代測定 化学判別

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

地層中に残された津波堆積物を用いた浸水域の推定についてこれまでに多くの報告例がある (Sawai et al., 2004; Sugawara et al., 2011; Chagué-Goff et al., 2017)。加えて、2011年の東北地方太平洋沖地震・津波の発生以降、津波堆積物研究の重要性がさらに高まっている (土屋ほか, 2012; Kuwatani et al., 2014; 渡邊ほか, 2014)。しかし、陸域の堆積物はかく乱されるケースが多く、かつ堆積環境が不安定であるため、津波堆積物の普遍的な認定手法は未だ確立されていない。本研究を進めることにより、より精度の高い過去の災害規模復元に関する手法を確立することが期待される。津波堆積物の地球化学的な評価手法については国内外での検討が進められているが、未だ十分なデータの蓄積に至っていない。津波堆積物の評価を進める上で、各地域から採取された津波堆積物の地球化学的な特徴を把握することが重要であると考えられる。

### 2. 研究の目的

過去に繰り返し発生した歴史津波の規模を明らかにすることにより、将来起こりうる大規模な津波災害の防災、減災につなげることができると期待される。被害規模を復元するためには、地層中から津波堆積物を検出し分布範囲を把握する必要がある。しかし、津波堆積物を検出する際に、「1. 津波堆積物の形成年代の決定」および「2. 津波以外の要因によるイベント層との区別」の2つの解決すべき問題があり、新たな分析・解析手法が求められている。本研究では、上記2点の問題を解決し、科学的なデータにもとづいた津波イベント層の同定手法を開発する。年代決定と化学分析に加え、津波堆積物中の化学成分の形態解析による新たな津波堆積物の判別手法開発を検討する。

### 3. 研究の方法

津波堆積物の化学分析については、迅速かつ大量の試料を処理する必要がある。しかし、陸域の堆積物はかく乱されるケースが多く、かつ堆積環境が不安定であるため、堆積物の組成は単純ではない。広範囲において適用できる汎用的な化学分析手法および解析手法は未だ確立されていない。本研究では、走査型エックス線分析顕微鏡、蛍光エックス線分析装置、誘導結合プラズマ質量分析装置等を用いて、津波イベント層の検出に必要な津波堆積物の化学分析の手法および得られたデータの解析手法について検討した。本研究では津波堆積物の化学分析手法を検討するため、東北地方太平洋沿岸から採取した約1000年前～2000年前の堆積層等を主に使用した。プラスチック製容器を用いて堆積層から深度方向に長さ10cm、幅1cm、高さ1cm程度の試料 (U-channel 試料) を分取した。分取したU-channel 試料をエポキシ樹脂で固化し成型した。試料の分析面を研磨し、走査型エックス線分析顕微鏡 (HORIBA 製 XGT-5000, Scanning X-ray Analytical Microscope) 等で化学分析を実施した。XGT ではエックス線ビーム径は100 $\mu$ m、エックス線管電圧は30kVに設定し、アルミニウム、ケイ素、カリウム、カルシウム、鉄、チタン等の主成分元素についてX線強度を測定した。また、得られた各元素の強度データについて、堆積層中の水平及び鉛直分布の評価、主成分分析およびクラスター分析等の統計解析等を実施した。

### 4. 研究成果

津波堆積物の年代測定および同定手法の確立に必要な基礎データとなる化学分析を実施した。初年度は、仙台平野等において採取された土壌堆積物から、津波イベント層を含む試料を選別し分取した。プラスチック製のU-channel 容器により概ね1cm幅で採取した試料を長さ10cm程度で切断し、樹脂により固化した後に表面を研磨した。各種化学測定の分析条件を検討するため、研磨後の一部の試料をテストサンプルとして使用した。X線分析顕微鏡により試料表面のカルシウム、鉄等の主要元素やチタン等の化学データを取得した。また、宮崎平野において採取されたボーリングコアについても適切な試料を選別し分取した。半割したボーリングコア試料を切断し、樹脂により固化した後にX線分析顕微鏡により、上記と同様に試料表面の化学データを取得した。加えて、レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析により微量元素の測定を実施するため試料を適切に成形した。得られた測定結果は、別途実施した蛍光X線分析による化学組成データとよく一致しており問題なくデータの蓄積が可能であることが示された。初年度に得られた結果は津波堆積物の化学判別に使用する微量元素のノーマライズに必要なデータとなる。堆積物試料の組成により化学成分は希釈等の影響を受ける。従って碎屑物由来となるチタン等によるノーマライズが有効となる。また、X線分析顕微鏡等による化学成分のマッピングにより各元素の濃縮箇所の把握が可能になり、化学成分の形態解析に重要となるデータを得ることができた。

次年度は、津波堆積物の年代測定および同定手法の確立に必要な基礎データとなる化学分析を継続して実施した。放射性炭素年代測定に加え、化学分析に基づく火山灰試料の同定、セシウム-137及び鉛-210による年代測定を実施した。複数の手法の組み合わせにより津波堆積物を含む堆積層の年代推定を試みた。陸成堆積物の年代測定は、堆積後のかく乱や二次堆積等の影響を受けやすい為、複数の年代測定手法の組み合わせが有効になる。また、仙台平野及び宮崎平野から採取された堆積物試料について化学分析を実施した。初年度にテストサンプルを用いて検討

した樹脂による試料固化手法を適用し、次年度はX線分析顕微鏡による硫黄、マンガン、ヒ素等の連続分析を継続して実施した。X線分析顕微鏡により、試料表面の化学成分の明確なマッピング画像を取得することができた。得られたマッピング画像を数値化し、主成分分析等のデータ処理を進めた。主成分分析等の統計解析により、津波堆積物とそれ以外の堆積層の化学的な特徴を把握し、化学形態解析につなげる試みを進めた。加えて、レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析により微量元素の測定を実施するため試料成形作業を継続して進めた。さらに、効率的に分析を進めるため、津波堆積物を含む堆積層の試験測定を実施した。これらの試験測定の結果についても、別途実施した蛍光X線分析による化学組成データ及びX線分析顕微鏡による測定結果ともよく一致しており、本手法により問題なくデータの蓄積が可能であることが示された。

最終年度において、津波堆積物の化学成分分析を継続し、これまでに得られた各元素の濃度データについて主成分分析およびクラスター分析等の統計解析を実施した。解析の結果、形成過程の異なる津波堆積物砂層と浜堤堆積物砂層の区別ができる可能性が示唆された。地層中に含まれる化学成分の鉛直分布や水平分布の把握に加え、これらの統計解析を組み合わせることで、津波堆積物の詳細な化学的特徴、供給源、および堆積後の化学組成の変化など、過去の津波堆積物の判別に必要となる新たな情報が得られることが分かった。本研究で実施した化学分析および主成分分析等により得られた結果を評価し、堆積物試料の化学的特徴を支配する要因について考察を進め、酸化還元環境の影響、ケイ酸塩鉱物の影響（微量元素が希釈される）、海水由来成分の影響等が、堆積物試料の化学的特徴を支配する要因として重要であることが示唆された。特にナトリウムやストロンチウムなどの海水由来成分の影響を適正に評価することが過去の津波堆積物を検出する上で重要となると考えられる。これらの研究成果についてはとりまとめ、学会および査読付き原著論文として公表した（Watanabe et al., 2020）。本研究において、海水由来と推察されるナトリウムに加え、マグネシウム、カルシウム、ストロンチウム、バリウム等についても津波堆積物の評価に有効であることが示唆された。特に、ストロンチウムは堆積層中でナトリウムと同様の分布を示し、蛍光エックス線分析においても問題なくデータが得られることから、ストロンチウムとチタンの相対比を活用することで、簡易かつ迅速なデータ取得・解析が可能であることが示された。

他の重金属含有量については、それぞれの地域ごとの変動が大きく、特定の地域および同一時期のイベント堆積物の同定においては有効な手段となりうるが、広範囲での津波堆積物評価への適用については供給源の詳細な検討など注意が必要である。それぞれ地域ごとで津波堆積物および他のイベント堆積物、さらに後背地や集水域から採取した地質試料の微量元素を含む化学組成データを蓄積しデータベース化を進めることが、津波堆積物を正確に評価する為に重要であると考えられる。これらの詳細な評価をしたうえで津波堆積物のナトリウム/チタン比やストロンチウム/チタン比の水平・鉛直分布、統計解析手法を広範囲に拡大していくことが必要である。また、東北地方で詳細な検討を実施した本手法を応用し、中部地方太平洋沿岸域での津波堆積物評価への適用を試みた。その結果、地球化学的解析手法である各化学成分の水平・鉛直分布、2次元プロット、三角ダイアグラム等を用いた評価により、津波堆積物の地球化学的な特徴を把握することができた。さらに、ナトリウム/チタン比、ストロンチウム/チタン比、主成分分析およびクラスター分析等の統計解析についても東北地方太平洋沿岸と同様に適用できることが示唆された。また、重金属等の微量元素の分布についても評価を進め、本地域に特有の地球化学的特徴を抽出することができた。地球化学的解析手法を複数地域へ応用することで、適用範囲の拡大を検討することができると期待される。

本研究で検討した多元素の化学成分による津波堆積物の判別手法は、特に目視では見つけることが困難である泥質の津波堆積物の検出に有効な手段となりうる。さらに、蛍光X線による化学分析については、実験室での分析のみではなく、携帯型の蛍光X線分析装置などによる現地での迅速な情報取得や解析等につなぐことが期待される。今後はより明確に区別するため、多地点から採取したデータの蓄積が重要になると考えられる。また、走査型X線分析顕微鏡等による化学成分のマッピングにより各元素の濃縮箇所の把握が可能になり、堆積環境の変化についても検討が可能になった。特に、堆積後の酸化還元環境の変化や地下水の影響を受けると考えられる元素を用いてイベント堆積物の評価を検討する際に重要な情報になると考えられる。本研究により津波堆積物の高精度での年代測定手法、津波堆積物の同定手法の改良、および化学的特徴について十分な知見を得ることができた。今後はさらに広範囲および異なる時代に形成された津波堆積物について本手法の適用性を検討・評価していくことが重要である。

#### < 引用文献 >

- Chagué-Goff et al., *Earth Science Review* 165, 203-244 (2017)  
Kuwatani et al., *Scientific Reports* 4, 7077 (2014)  
Sawai et al., *Geophysical Research Letters* 39, L21309 (2012)  
Sugawara et al., *Sedimentary Geology* 282, 110-123 (2012)  
土屋ほか, *地質学雑誌* 118, 419-430 (2012)  
渡邊ほか, *地学雑誌* 123, 904-922 (2014)  
Watanabe et al., *Applied Geochemistry*, in press (2020).  
<https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2020.104644>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Takahiro Watanabe, Noriyoshi Tsuchiya, Shin-ichi Yamasaki, Yuki Sawai, Norihiro Hosoda, Fumiko W. Nara, Toshio Nakamura, Takeshi Komai	4. 巻 -
2. 論文標題 A geochemical approach for identifying marine incursions: Implications for tsunami geology on the Pacific coast of northeast Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Geochemistry	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2020.104644">https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2020.104644</a>	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4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 渡邊隆広, 奈良郁子, 植木忠正, 土屋範芳
2. 発表標題 津波堆積物の化学分析 -X線分析顕微鏡による高空間分解能測定-
3. 学会等名 日本陸水学会 第84回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奈良郁子, 松中哲也, 山崎慎一, 土屋範芳, 渡邊隆広, 山田和芳, 安田喜憲
2. 発表標題 高精度年代測定に基づく小川原湖の汽水化時期の推定
3. 学会等名 日本陸水学会 第84回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奈良郁子, 松中哲也, 渡邊隆広, 山田和芳, 安田喜憲
2. 発表標題 青森県・小川原湖堆積年代と白頭山噴火年代との比較
3. 学会等名 第21回AMSシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡邊隆広、奈良郁子
2. 発表標題 湖沼堆積物および津波堆積物の放射性炭素年代測定
3. 学会等名 第20回AMSシンポジウム
4. 発表年 2017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
--	---------------------------	-----------------------	----