

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：82110

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25630410

研究課題名(和文) 津波堆積物に含まれる「津波層」のミリ-マイクロスケール微細化学分析手法の開発

研究課題名(英文) Mili-microscale chemical analysis of tsunami deposits in Japan

## 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・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) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：過去の災害規模の推定に関する手法を確立することを目指し、青森県東部太平洋沿岸に位置する小川原湖湖底の連続柱状堆積物、宮城県仙台平野、及び静岡県沿岸における約1000から3000年前の津波堆積物を研究対象とした。本研究では植物化石等の有機物の年代測定と堆積物試料の無機化学分析を実施した。蛍光X線分析、X線分析顕微鏡、及びレーザーアブレーション-誘導結合プラズマ質量分析にて各元素の分布データを取得した。特に、ナトリウム、チタン、ストロンチウム、ルビジウム、バリウム、硫黄、ヒ素等が津波堆積物の指標として有効であることが示された。

研究成果の概要(英文)：To estimate past tsunami inundation area, we performed radiocarbon dating of plant fossils and inorganic geochemistry of tsunami deposits in lake and soil sediments from eastern Japan (Aomori, Miyagi and Shizuoka). The radiocarbon dating of the plant fossils were measured by accelerator mass spectrometry. Inorganic chemical analyses of tsunami deposit (about 1000-3000 cal BP) were carried out using X-ray fluorescence spectrometry, X-ray analytical microscope system and laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry. High sodium/titanium atomic ratios (more than 12) in tsunami deposits and enrichment arsenic just below the deposits were observed in this study. This study showed that chemical component (sodium, titanium, strontium, rubidium, barium, sulfur, arsenic) could be useful indicator for past tsunami deposits.

研究分野：地球化学

キーワード：津波堆積物 災害科学 地球化学 分析化学 土壌 東北地方

## 1. 研究開始当初の背景

湖沼や土壌等の陸成堆積物は、陸域の環境変動に関する情報を保存している (Kitagawa and van der Plicht, 1998; Watanabe et al., 2010; Nakagawa et al., 2012)。しかし、堆積物による高時間解像度での環境解析を過去の災害復元に利用した研究例は少ない。Minoura et al. (1994) は青森県下北半島の湖沼から採取した堆積物中に過去約 300 年間で 13 の津波堆積層を発見しているが、年代決定の精度が低いこと、かつ津波堆積層の判断基準・形成過程に関する情報が少なく、解析は十分に進んでいない。本研究を進めることにより、正確な過去の災害規模復元に關する手法を確立することが期待される。

## 2. 研究の目的

地震・津波等の災害が多発する日本において、適切かつ持続可能な将来計画を築くためには、過去の巨大津波による災害規模を明らかにし、将来において発生が予想される大規模災害に備えることが必要である。過去の津波堆積物を検出・分析することが重要であるが、これまでの研究において、「1. 砂層の検出は行われているが、より内陸に到達する泥質の津波層を検出することができない」「2. 時間解像度が低く、特に津波被害の回復過程が復元できない」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、津波堆積物を含む湖沼や土壌堆積物の化学組成を、蛍光 X 線分析およびレーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析を用いて測定し、高時間分解能での歴史津波の推定手法を開発する。

## 3. 研究の方法

過去の災害規模復元に関する手法を確立することを目指し、津波記録が保存されている可能性の高い青森県東部太平洋沿岸の小川原湖堆積物を研究対象とする。小川原湖から採取した人為かく乱を受けていない堆積物(湖底連続柱状コア)を半割し、片方を連続分析用とし、もう片方を 1cm 間隔での破壊分析用とする。連続分析用として、コア半割面から U-チャンネル型の器具を用いて長方形の試料を分取する。分取した試料を乾燥させ樹脂により固化・固定する。固定した試料表面を研磨し、連続分析が可能な蛍光 X 線分析およびレーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析を用いてミリ-マイクロスケールでの化学分析を行う。分析過程における、安定した強度分布を得るように適切な測定条件を調整する。加えて、基礎情報を得るために従来法による試料の年代測定および化学分析を行う。得られたデータと従来法と

の比較検討を繰り返し、濃度測定の補正手法を確立する。補正手法は、試料の主成分元素の強度で分析データをノーマライズする。試料の連続化学データを、現世の津波堆積物で作成した化学判別ダイアグラムにプロットし、過去の津波堆積物における化学組成の特徴を把握する。本研究では、湖底および土壌堆積物を用いて、これまでにない、津波堆積物の高精度分解能分析手法の確立を目指す。本手法は、高空間分解能で津波堆積物の多元素同時化学分析を試みる。

## 4. 研究成果

正確な過去の災害規模復元に関する手法を確立することを目指し、津波記録が保存されている可能性の高い青森県東部太平洋沿岸に位置する小川原湖湖底の連続柱状堆積物、および比較対象として宮城県仙台平野における約 1000 年前の歴史津波堆積物を研究対象とした。初年度は小川原湖から採取した長さ約 17cm から 42cm の連続柱状堆積物(合計 6 本、1cm 間隔に細分した約 170 試料)の化学分析を進めた。加えて、各試料の堆積年代および堆積速度を推定するために、試料中の植物残渣の放射性炭素 ( $^{14}\text{C}$ ) 年代測定を行った。分析の結果、湖内陸側では硫黄と炭素の相対比が低く(約 0.1 以下)、海側で相対的に高い値(最大約 0.8)を示した。本結果は海水の影響による硫黄供給を示していると推察され、硫黄と炭素の相対比が、津波による内陸部への海水侵入の指標として適用できる可能性が示された。また、年代測定結果にもとづいて算出した堆積速度は湖内陸側で相対的に遅く(50 年 / 1cm)、湖中央部および海側で相対的に早い堆積速度を示した(1.4 年 / 1cm)。

宮城県仙台平野における約 1000 年前の歴史津波堆積物(貞観津波堆積物)を含む連続土壌試料についても同様に化学分析および放射性炭素年代測定を行った。津波堆積物直下の泥炭層において、硫黄、ヒ素、鉄の濃集が観測された。津波後に海水由来成分が下層に移動し境界層に固定された可能性が考えられる。加えて、試料半割面から U-チャンネル型の器具を用いて分取した樹脂固定前の連続試料について蛍光 X 線による化学分析を行った。ヒ素の濃集については分割試料と同様の傾向を示し、蛍光 X 線による津波堆積物試料の高精度分解能分析が可能であることが示された。

次年度は青森県東部太平洋沿岸に位置する小川原湖から採取した湖底堆積物、および東北地方太平洋沿岸から採取した陸成堆積物(連続土壌堆積物)の放射性炭素年代測定、および有機元素分析法による炭素、窒素、硫黄分析を継続して進めた。加えて、物質移動や物質循環の過程を明らかにするため、小川原湖から採取した湖底堆積物の蛍光 X 線分析

を行い、湖底堆積物に含まれる無機成分の供給源推定を進めた。東北地方の陸成堆積物においては、海岸付近とより内陸側（海岸から2～3km程度の距離）でそれぞれ採取した試料の化学分析を実施し、化学判別ダイアグラムおよび各元素の相対比を用いて、砂層の津波堆積物のみではなく、津波により内陸まで移動した泥質津波堆積物の検出を試みた。津波堆積層のミリ-マイクロスケール微細化学分析手法の開発を進めるために、多くの異なる特徴を持った試料を用いて、分析手法の妥当性を検討する必要がある。東北地方に加え、静岡県沿岸から採取された陸成堆積物の化学分析を行い、津波堆積物の化学判別ダイアグラムの改良と化学組成・相対比による判別手法の構築を進めた。特にナトリウムとチタン濃度の相対比の変動をもとに津波堆積物の検出を進め、汎用的な手法開発に必要なデータを蓄積した。さらに湖底堆積物の試験測定用に樹脂で固化した連続試料を作製し、レーザーアブレーション-誘導結合プラズマ質量分析にて各元素の分布データを取得した。軽元素の測定は困難であったが、物質の供給源や循環過程などの情報をもつ希土類元素や他の重金属の測定が可能であることが示された。

最終年度は東北地方の太平洋沿岸（宮城県仙台市）から追加採取した連続土壌堆積物試料を用いて、植物化石等の有機物の年代測定、および分取した各堆積層の無機化学分析を実施した。植物化石は、地上から混入する植物根と推察される部分をできる限り除去した。塩酸-水酸化ナトリウムによる化学処理を行い、堆積後に2次的に付着した汚染物質（相対的に古い年代を示す）を除去した。洗浄後に加速器質量分析法（AMS: Accelerator mass spectrometry）による放射性炭素年代測定を実施した結果、土壌堆積物試料中の植物化石は前年度試料より古く、約1000年から2000年前に堆積したことが示唆された。鍵層となる主要なマーカー（火山灰層等）が存在しない、もしくは検出困難である試料についても適切な試料選別後に年代測定を実施することにより、環境解析に不可欠な年代軸の構築が可能であることが示された。

AMSにより年代値が得られた堆積層において、ナトリウム、チタン、ストロンチウム、ルビジウム、バリウム、硫黄、ヒ素等の無機化学分析を実施し、津波堆積物の検出を試みた。元素組成の比較により、特に砂質の津波堆積物においてナトリウムとチタンの相対比が顕著なマーカーであることを確認した。津波堆積物直下に検出されたヒ素や硫黄の濃縮層については、鉄の分布とおおよそ一致することから、堆積後の環境変化（還元環境への変化）により下層へ移動し、泥炭層中でアルセノパイライト等の硫化物として存在していることが示唆された。本研究により、複数地点かつ異なる年代の津波堆積物の化学的特性について十分な知見を得ることが

できた。

#### <引用文献>

- Kitagawa and van der Plicht, *Science* 279, 1187-1190 (1998).  
Minoura et al., *Sedimentary Geology* 89, 25-31 (1994).  
Nakagawa et al., *Quaternary Science Reviews* 36, 164-176 (2012)  
Watanabe et al., *Radiocarbon* 52, 1435-1442 (2010)

#### 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)

S. Yamasaki, A. Taketa, T. Watanabe, K. Tagami, S. Uchida, H. Takada, Y. Maejima, N. Kihou, N. Tsuchiya, Bromine and iodine in Japanese soils determined with polarizing energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry. *Soil Science and Plant Nutrition*, 61, 751-760, 2015. DOI: 10.1080/00380768.2015.1054773. 査読有り

渡邊隆広, 細田憲弘, 土屋範芳, 中村俊夫, 岡本 敦, 平野伸夫, 奈良郁子, 東北大学歴史津波調査グループ. 宮城県沿岸（岩沼市・名取市）における歴史津波堆積物の放射性炭素年代測定. 第17回AMSシンポジウム報告集, 121-124, 2015. 査読無し

渡邊隆広, 細田憲弘, 土屋範芳, 中村俊夫, 平野伸夫, 岡本 敦, 奈良郁子, 東北大学歴史津波調査グループ. 仙台平野における歴史津波堆積物の放射性炭素年代測定 -連続土壌堆積物試料HSシリーズの堆積年代（予察的分析）-. *地学雑誌* 123, 904-922, 2014. DOI: doi:10.5026/jgeography.123.904. 査読有り

渡邊隆広, 土屋範芳, 山崎慎一, 山田亮一, 平野伸夫, 岡本 敦, 奈良郁子, 東北地方津波堆積物研究グループ. 東北地方太平洋沖地震により発生した津波堆積物中のヒ素および重金属の海水溶出試験. *地学雑誌* 123, 835-853, 2014. DOI: 10.5026/jgeography.123.835. 査読有り  
奈良郁子, 渡邊隆広, 掛川 武, 山崎慎一, 井上千弘, 土屋範芳, 東北地方太平洋沖地震による岩手、宮城、福島県沿岸域における津波堆積物の供給源 TOC/TN 比および硫黄安定同位体(<sup>34</sup>S)を指標として. *地学雑誌* 123, 871-882, 2014. DOI: 10.5026/jgeography.123.871. 査読有り

山田亮一, 土屋範芳, 渡邊隆広, 三陸海岸ならびに仙台平野における東北沖地震に起因した津波堆積物中のヒ素ならびに重金属類の起源. 地学雑誌 123, 854-870, 2014. DOI: 10.5026/jgeography.123.854. 査読有り

桑谷 立, 中村謙吾, 渡邊隆広, 小川泰正, 駒井 武, 主成分分析を用いた次元圧縮に基づく東北地方太平洋沖地震による津波堆積物の地球化学的特性評価. 地学雑誌 123, 923-935, 2014. DOI: 10.5026/jgeography.123.923. 査読有り

T. Kuwatani, K. Nagata, M. Okada, T. Watanabe, Y. Ogawa, T. Komai, N. Tsuchiya, Machine-learning techniques for geochemical discrimination of 2011 Tohoku tsunami deposits. Scientific Reports, 4:7077, 2014. DOI: 10.1038/srep07077. 査読有り

土屋範芳, 山崎慎一, 渡邊隆広, 津波堆積物の海水溶出試験とヒ素の分析. ぶんせき 特集:東日本大震災後の環境変化の評価と分析技術の進展(化学物質)No.10, 578-581, 2014. 査読無し

渡邊隆広, 細田憲弘, 土屋範芳, 中村俊夫, 澤井祐紀, 駒井 武, 岡本 敦, 平野伸夫, 奈良郁子. 加速器質量分析法によるSND7 ジオスライサー試料から採取した植物残渣の14C年代測定 -仙台平野・津波堆積物の年代測定-. 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書 (XXV), pp149-155, 2014. 査読無し

[学会発表](計 23 件)

細田憲弘, 渡邊隆広, 桑谷立, 土屋範芳. 地球化学データを用いた仙台平野における歴史津波堆積物の統計的判別方法に関する研究. 一般社団法人 資源・素材学会平成 28(2016)年度 春季大会, 2016 年 3 月 28 日~30 日, 東京大学本郷キャンパス (東京都・文京区). (口頭発表)

土屋範芳, 細田憲弘, 渡邊隆広. 2011 年東日本大震災の津波堆積物中の重金属類の起源. 日本地質学会第 122 年学術大会, 2015 年 9 月 11 日~13 日, 信州大学(長野県・長野市). (口頭発表)

T. Watanabe, N. Hosoda, N. Tsuchiya, S. Yamasaki, F.W. Nara, T. Nakamura, Tohoku University Tsunami Research Group. Sodium-Titanium ratios in tsunami deposits from the Sendai plain, the Pacific coast of northeastern Japan. 25th Goldschmidt International Conference 2015, August 16-21, 2015. Prague (Czech). (ポスター発表)

N. Hosoda, T. Watanabe, T. Nakamura, N. Tsuchiya. Geochemical approaches to

discrimination of the historical tsunami deposits in Tohoku district, northeastern Japan. International Union for Quaternary Research XIX Congress 2015, July 26-August 2, 2015. 名古屋国際会議場(愛知県・名古屋市). (ポスター発表)

T. Watanabe, N. Hosoda, N. Tsuchiya, S. Yamasaki, F.W. Nara, T. Nakamura, Tohoku University Tsunami Sediment Research Group, Geochronology and geochemistry of tsunami deposits in Tohoku, northeastern Japan. 12th International Workshop on Water Dynamics, March 9-12, 2015. 仙台国際センター(宮城県・仙台市)(口頭発表)

N. Hosoda, T. Watanabe, N. Tsuchiya, Geochemical analysis for discrimination of the historical tsunami deposits in Tohoku district, northeastern Japan. 12th International Workshop on Water Dynamics, March 9-12, 2015. 仙台国際センター(宮城県・仙台市). (ポスター発表)

渡邊隆広, 細田憲弘, 土屋範芳, 山崎慎一, 奈良郁子, 中村俊夫, 東北大学歴史津波調査グループ. 津波堆積物の年代測定と地球化学. 第 17 回 AMS シンポジウム, 2015 年 3 月 2 日~3 日, 筑波大学(茨城県・つくば市). (口頭発表)

細田憲弘, 渡邊隆広, 中村俊夫, 土屋範芳. 仙台平野の歴史津波堆積物の年代測定と地球化学的判別手法の開発. 日本地質学会第 121 年学術大会, 2014 年 9 月 13 日~15 日, 鹿児島大学(鹿児島県・鹿児島市). (口頭発表)

渡邊隆広, 土屋範芳, 山崎慎一, 細田憲弘, 澤井祐紀, 駒井 武, 中村俊夫, 奈良郁子, 東北大学津波堆積物調査グループ. 無機化学組成にもとづく歴史津波堆積物の供給源推定. 日本第四紀学会 2014 年大会, 2014 年 9 月 6 日~8 日, 東京大学柏キャンパス(千葉県・柏市). (ポスター発表)

渡邊隆広, 細田憲弘, 土屋範芳, 中村俊夫, 山崎慎一, 奈良郁子. 連続土壌堆積物中の津波イベント層の C-14 年代測定と津波堆積物の地球化学分析. 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 2014 年 4 月 28 日~5 月 2 日, パシフィコ横浜(神奈川県・横浜市). (招待講演)

細田憲弘, 渡邊隆広, 土屋範芳, 山崎慎一, 中村俊夫, 奈良郁子, 岡本 敦, 平野伸夫. 仙台平野における歴史津波堆積物の化学組成と地球化学的判別方法の提案. 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 2014 年 4 月 28 日~5 月 2 日, パシフィコ横浜(神奈川県・横浜市). (ポスター発表)

桑谷 立, 永田賢二, 岡田真人, 渡邊隆広, 小川泰正, 駒井 武, 土屋範芳. 機械

学習を用いた津波堆積物の地球化学的判別. 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 2014 年 4 月 28 日 ~ 5 月 2 日, パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市). (口頭発表)

T. Watanabe, N. Hosoda, N. Tsuchiya, T. Nakamura, S. Yamasaki, R. Yamada, F.W. Nara, T. Komai, Inorganic geochemistry and  $^{14}\text{C}$  age dating of past tsunami deposits from Tohoku area, northeast Japan. 11th International Workshop on WATER DYNAMICS, Deep Carbon Cycle, March 12-14, 2014. 仙台国際センター(宮城県・仙台市). (口頭発表)

T. Kuwatani, K. Nagata, M. Okada, I. Watanabe, Y. Ogawa, N. Tsuchiya. Machine learning techniques for geochemical discrimination of 2011 Tohoku tsunami deposits. 11th International Workshop on WATER DYNAMICS, Deep Carbon Cycle, March 12-14, 2014. 仙台国際センター(宮城県・仙台市). (口頭発表)

渡邊隆広. 津波堆積物の重金属分析. プラズマ分光分析研究会第 90 回講演会 - 震災による重金属・放射性セシウム汚染評価とプラズマ技術の新展開-, 2014 年 3 月 7 日, 東北大学(宮城県・仙台市). (口頭発表)

渡邊隆広, 細田憲弘, 土屋範芳, 中村俊夫, 平野伸夫, 奈良郁子, 東北大学歴史津波調査グループ. 津波堆積物の放射性炭素年代測定と地球化学分析. 第 16 回 AMS シンポジウム, 2014 年 3 月 19 日 ~ 20 日, 東京大学本郷キャンパス(東京都・文京区). (口頭発表)

渡邊隆広, 細田憲弘, 土屋範芳, 中村俊夫. 仙台平野から採取した歴史津波堆積物の放射性炭素年代測定. 2013 年度名古屋大学年代測定総合研究センターシンポジウム, 2014 年 1 月 28 日 ~ 29 日, 名古屋大学(愛知県・名古屋市). (口頭発表)

T. Kuwatani, K. Nagata, M. Okada, I. Watanabe, Y. Ogawa, N. Tsuchiya. Exhaustive Search of Elemental Combinations for Geochemical Discrimination of Tsunami deposits. 2013 AGU fall meeting, Dec. 9-13, 2013. San Francisco (USA). (ポスター発表)

永島 郁, 瀬戸浩二, 渡邊隆広, 奈良郁子, 安田喜憲, 山田和芳, 米延仁志. 青森県小川原湖湖底堆積物に記録された堆積環境の変化. 日本地質学会第 120 年学術大会, 2013 年 9 月 14 日 ~ 16 日, 東北大学(宮城県・仙台市). (口頭発表)

渡邊隆広, 土屋範芳, 井上千弘, 北村晃寿, 駒井 武, 山崎慎一, 山田亮一, 平野伸夫, 岡本 敦, 細田憲弘, 奈良郁子. 仙台平野・静岡平野における津波堆積物の汚染評価と化学判別. 日本鉱物科学会 2013 年年会, 2013 年 9 月 11 日 ~ 13 日, 筑波大

学(茨城県・つくば市). (口頭発表)

⑳ 渡邊隆広. 東北地方太平洋沖地震・津波後における土壌のヒ素・重金属・放射性物質汚染評価. 筑波大学セミナー「放射性物質の環境動態研究と福島原発事故起源の放射性物質の移行」. 2013 年 9 月 3 日, 筑波大学(茨城県・つくば市). (口頭発表)

㉑ T. Watanabe, N. Tsuchiya, C. Inoue, A. Kitamura, T. Komai, S. Yamasaki, R. Yamada, N. Hirano, A. Okamoto, F.W. Nara, Tohoku Tsunami Sediment Research Group, Geochemical discrimination of tsunami sediments in Tohoku and Shizuoka area, Japan. 2013 Goldschmidt Conference, August 25-30, 2013. Florence (Italy). (口頭発表)

㉒ 山崎慎一, 渡邊隆広, 岡本 敦, 平野伸夫, 山田亮一, 布原啓史, 土屋範芳. 東北地方太平洋沖地震による津波堆積物の微量元素含量. 日本土壌肥料学会 東北支部会, 2013 年 7 月 8 日 ~ 9 日, 福島大学(福島県・郡山市). (口頭発表)

## 6. 研究組織

### (1) 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  
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