

岩手県山田町小谷鳥における津波堆積物の高精度年代推定

High-precision age estimation of tsunami deposits in Koyadori, Yamada Town, northeast Japan

*石村 大輔¹

*Daisuke Ishimura¹

1. 東北大学災害科学国際研究所災害理学研究部門

1. Disaster Science Division, International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

一般的に完新世の津波堆積物の年代推定は放射性炭素年代に基づいて行われる。それらに加えて、堆積物や地域によってはテフラ、過剰Pb-210法、Cs-137法、光ミネセンス法などが実施されている(澤井, 2012)。また堆積物の年代値から津波堆積物の年代を統計処理によって求めることが可能となっている(Ramsey, 2008, 2009)。一方で、測定物質の堆積過程や二次的な攪乱の影響を考慮し、測定値と真の堆積年代の関係を把握することで、適した年代値の選定や年代の評価を実施することが可能となり、自然状態の堆積物を対象とする限りそのような解釈を行う必要があると考えられる。そこで、三陸海岸の中部に位置する岩手県山田町小谷鳥の試料を対象に複数種の試料を対象に放射性炭素年代測定を実施し、真の堆積年代を示す試料を検討し、それを踏まえて津波堆積物の年代測定を実施した。また、極新期の堆積物に関しては、放射性炭素年代測定では年代制約が困難であるため、過剰²¹⁰Pbと¹³⁷Csの測定を実施した。本発表の放射性炭素年代測定結果に関する部分は、石村ほか(印刷中)で報告されている。

複数種の放射性炭素年代測定の結果、年代既知のテフラや堆積年代を示すと考えられる種子の年代と比較したところ、バルク試料の年代が真の年代と同様の年代を示し、植物片の年代は全て若い年代を示した(石村ほか, 印刷中)。そこで、Ishimura and Miyauchi (2015)で認められた津波堆積物の上下でバルク試料の年代を追加測定し、既報の年代よりも年代精度を高めた。また、これらに加え、極浅部の津波堆積物について過剰²¹⁰Pbと¹³⁷Cs測定を実施し、Ishimura and Miyauchi (2015)で明治三陸津波に対比されていた津波堆積物の層位と矛盾ない結果が得られた。本発表では、山田町小谷鳥においてIshimura and Miyauchi (2015)や石村ほか(2015)で指摘されている歴史津波の年代に関してまとめ、本地域における津波の頻度及び発生間隔について報告する。

キーワード：津波堆積物、放射性炭素年代測定、²¹⁰Pb、¹³⁷Cs、三陸海岸

Keywords: tsunami deposits, radiocarbon dating, ²¹⁰Pb, ¹³⁷Cs, Sanriku Coast

津波堆積物調査にもとづき推定された岩手県沿岸における過去4,000年間の津波イベント年代
 Historical and paleo-tsunami events based on tsunami deposits during the last 4000 years
 along the Pacific Coast of Iwate Prefecture

*高田 圭太¹、柴田 秀則²、小田島 淳²、今井 健太郎³、蝦名 裕一⁴、後藤 和久⁴、越谷 信⁵、山本 英和⁵、宍倉 正展⁶、五十嵐 厚夫¹、市原 季彦¹、木下 博久¹、池田 哲哉¹

*Keita Takada¹, Hidenori Shibata², Atsushi Odashima², Kentaro Imai³, Yuichi Ebina⁴, Kazuhisa Goto⁴, Shin Koshiya⁵, Hidekazu Yamamoto⁵, Masanobu Shishikura⁶, Atsuo Igarashi¹, Toshihiko Ichihara¹, Hirohisa Kinoshita¹, Tetsuya Ikeda¹

1.復建調査設計株式会社、2.岩手県県土整備部河川課、3.海洋研究開発機構、4.東北大学災害科学国際研究所、5.岩手大学工学部、6.産業技術総合研究所

1.Fukken Co.,Ltd., 2.River Division,Department of prefectural Land Development,Iwate Pref Govt, 3.JAMSTEC, 4.IRIDEs Tohoku University, 5.Faculty of Engineering, Iwate University, 6.Institute of Earthquake and Volcano Geology, AIIST

はじめに

岩手県では、津波新法に基づく今後の津波浸水想定にむけて、過去に岩手県沿岸を襲った津波の履歴や来襲状況を把握するための津波痕跡調査を平成25年～平成27年にかけて実施した。この中で行った津波堆積物調査および既往調査の14C年代データにもとづき、岩手県沿岸における過去4,000年間の津波イベント年代を整理した。本稿では、整理した津波イベント年代をもとに、岩手県沿岸における歴史津波や過去の巨大津波の発生時期および頻度とその広がりについて考察した。なお、本検討にあたっては、平川(2012, 2013)の調査オリジナルデータを使用させていただいた。

岩手県沿岸の歴史津波に関する考察

1611年慶長奥州(三陸)津波(以下、1611年慶長津波)に相当するイベントは、岩手県沿岸の北部(洋野・野田)、中部(田老海岸・船越湾)で認められ、対比は不明確であるが南部(広田半島)にもこれに相当する年代を示すイベントが存在する。このイベントの14C年代は、中世～近世にまたがる幅を持つため、東北地方太平洋岸に津波をもたらした可能性があると考えられる1454年享徳地震に対比される可能性もある。しかし、多くの場所で、①この期間には1つのイベントしか認められないこと、②1611年慶長津波は古文書等に記録されており大津波が岩手県沿岸を襲ったことは明確であることから、1611年慶長津波に対比される可能性が高いと推定した。

869年貞観津波に相当するイベントは、岩手県沿岸の北部(洋野・野田)、中部(田老海岸・船越湾・越喜来)、南部(広田半島)で認められ、岩手県沿岸全域に対比される。このうち、野田低地および広田半島では、イベント層の直上に十和田a火山灰(To-a: AD915年)や白頭山苦小牧火山灰(B-Tm: 10世紀)が分布しており、仙台平野などにおける貞観津波の堆積物と共通する層位にあることが確認された。

岩手県沿岸で広く対比されるイベントに関する考察

北部～中部では、AD1611年、AD869年、2～3世紀頃、2.3ka、2.8ka、3.3ka、3.8kaのイベントが広く対比される。一方で、中部～南部で広く対比されるのは、AD1611年、AD869年、(2～3世紀頃)、2.5ka、3.0ka、3.5kaのイベントである。これらのイベント年代の間隔はいずれも500～750年程度であるが、北部～中部と中部～南部とでは、2,000年前～4,000年前のイベント年代にずれがみられる。船越湾付近では、南北双方のイベントが重複しており、イベントの広がり境界部となっている可能性がある。

このように広く同時性が見られるイベントのほかに、対比される範囲が限定的あるいは周辺地域とは対比されないイベントが存在する。これらが、津波による浸水が局所的であったことを意味するならば、ひとまわり規模が小さい津波や岩手県の沖合以外に波源がある津波(例えば三陸沖北部や千島海溝沖)、または地震以外のローカルな要因(海底地すべりなど)によるものであることを示す可能性がある。

なお、4,000年前より以前のイベントは、年代値のばらつきが大きく、個々のイベントの対比は不明である。

隣県で報告されているイベントとの関係

歴史津波との対応をみると、9～10世紀頃のイベントは、北海道～福島県北部沿岸のすべての地域で認められ

る。これは、東北地方沿岸では869年貞観津波と考えられているものである。また、中世～近世（17世紀頃）のイベントも北海道～宮城県沿岸にかけて広く認められる。これは、北海道沿岸では17世紀の津波とされているものであり、岩手県沿岸や宮城県（仙台平野）では、1611年慶長津波に対応するものと考えられる。

青森県沿岸のデータが限られているため、北海道沿岸と東北太平洋岸（岩手県沿岸）のイベントを直接対応付けることはできないが、過去4,000年間には500～700年程度の間隔でほぼ同年代に対比されるイベントが存在する。

本検討で示したイベント年代の対比にはまだまだ議論の余地がある。千島海溝～日本海溝沿いで発生する巨大地震の解明には、各機関が行っている調査・観測を踏まえた広域的な検討が必要である。

キーワード：津波堆積物、イベント年代対比、歴史津波、貞観津波、慶長奥州（三陸）津波、岩手県

Keywords: tsunami deposit, geochronology, historical tsunami, Jogan tsunami, Keicho Oushu (Sanriku) tsunami, Iwate Prefecture

広田湾に分布する津波堆積物の粒子特性

Grain characteristic of Tsunami deposit in Hirota bay

*横山 由香¹、坂本 泉¹、金子 剛史¹、八木 雅俊¹、井上 智仁¹、根元 謙次¹、藤巻 三樹雄²、笠谷 貴史³、藤原 義弘³

*Yuka Yokoyama¹, Izumi Sakamoto¹, Masafumi Kaneko¹, Masatoshi Yagi¹, TOMOHITO INOUE¹, Kenji Nemoto¹, Mikio Fujimaki², Takafumi Kasaya³, Yoshihiro Fujiwara³

1.東海大学海洋学部、2.沿岸海洋調査(株)、3.海洋研究開発機構

1.Tokai University, 2.COR, 3.JAMSTEC

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震により、東北地方は大きな被害を受けた。特に太平洋沿岸地域では、それに伴い発生した津波により、壊滅的な状況となった。

津波時には、その発生に伴いイベント堆積物が広範囲にわたって堆積することが知られている。陸域では、過去の津波によるイベント堆積物(津波堆積物)を特定し、その規模や発生間隔を特定する研究が進んでいる。しかし、海域では津波起源堆積物を含むイベント堆積物に関する調査は少なく、沿岸域では特に限られている。そのため、海域におけるイベント起源堆積物の特徴などは明らかになっていない。本発表では、陸前高田市広田湾で採取した柱状試料(バイブレーションコアラー)の岩相記載・粒度分析および高分解能音波探査記録から、湾内における津波起源堆積物の岩相および粒子特徴・分布を明らかにすることを目的とした。

柱状試料は2012年から2015年にかけて水深約8~30 mで採取した。試料は岩相記載・軟X線観察およびレーザー回折散乱法による粒度分析(Malvern社製 Mastersizer3000)を行った。湾内堆積物は横山ほか(2014)により、上位から砂質堆積物で構成されるユニット1(以下、U1)および泥質~砂泥質堆積物で構成されるユニット2(以下、U2)に大きく区分され、U1が2011年津波起源堆積物およびU2が湾内通常時堆積物と推定されている。

U1は柱状試料および地層探査記録から水深約40 mまで認められ、約7~80 cmの厚さで分布している。水深(南北)方向への変化を湾西部・東部と比較すると、両者とも沿岸域から水深約16-25 mに向かって厚くなり、その後沖合に向かって薄層化する傾向が見られた。湾東部では、湾西部と比較して沖合へ向かって急激に薄層化する傾向が確認される。

粒度分析および岩相特徴からU1は複数回の級化構造を基にしたサブユニットへの区分が考えられ、湾西部では下位から砂質堆積物のU1a・1bおよび泥質堆積物の1cの3つのサブユニットに区分される。湾東部では、級化構造は認められるが、湾西部と比較し不明瞭であり、逆級化部および細かな粒度変化を伴う傾向が見られる。これらの特徴は、湾東部でも小友浦前面域にのみ認められ、湾奥部高田松原前面域と小友浦からの堆積物フローの会合による影響の可能性が推察される。

粒度分析結果から、中央粒径値と淘汰度の相関を求めた。また、比較のため周辺海岸に分布する砂の値も用い、それらとの関係も検討した。相関図からどの試料においてもU1とU2の分布範囲が大きく異なる特徴が見られた。U1は海岸砂およびU2の間に分布し、両者に起源を持つことが推定される。また、沿岸域の試料(13HV3, 11 m)ではU1基底部は高田松原海岸の砂と一致することが特定された。湾西部13HV8(水深約13 m)から、U1aおよびU1bは、淘汰度は同範囲に分布するが、粒度が順に細粒になる傾向が見られた。またU1cはU2領域内に分布し、その起源がU2にあることが推察される。湾東部15HV5(水深約24 m)では岩相からU2下位に砂層の狭在が認められ、これらは相関図においてU1の領域に分布し、明らかにU2と異なることから過去のイベント堆積物の可能性が考えられる。岩相・粒度分析および相関組み合わせ(中央粒径値vs淘汰度)により、湾内の津波堆積物の供給源・起源およびその流動をより詳細に推定することができると考えられる。

キーワード：津波堆積物、三陸海岸

Keywords: Tsunami deposit, Sanriku coast

磁気ファブリックから復元した3・11津波の挙動

Behavior of the 2011 Tohoku-oki tsunami using magnetic fabric

*高清水 康博¹、羽鳥 祐香¹、卜部 厚志¹、加瀬 善洋²、林 圭一²*Yasuhiro Takashimizu¹, Yuka Hatori¹, Atsushi Urabe¹, Yoshihiro Kase², Keiichi Hayashi²

1.新潟大学、2.北海道立総合研究機構地質研究所

1.Niigata University, 2.Geological Survey of Hokkaido, Hokkaido Research Organization

磁気ファブリックの特徴から3・11津波の挙動を推定した。最初に、磁気ファブリックの有効性を検証するために、水路実験で現地（後述の小高地区）において採取した3・11津波堆積物を用いて平滑床を作成し、水路の流向と磁気ファブリックが一致することを確認した。その上で、南相馬市小高地区において野外調査を行い、3・11津波堆積物の層相記載および磁気ファブリック解析用のキューブ試料を採取した。層相の特徴と磁気ファブリック解析の結果、3つのユニットに区分することができた。すなわち、ユニット1は遡上流から堆積したマッドクラストをよく含む中粒砂層、ユニット2は戻り流れからの堆積した平行葉理の発達した中粒砂層、そしてユニット3は津波終息時または津波後に滞水域で沈積した有機質シルト層であった。

キーワード：磁気ファブリック、津波堆積物、帯磁率異方性、3・11津波

Keywords: magnetic fabric, tsunami deposits, anisotropy of magnetic susceptibility, the 2011 Tohoku-oki tsunami

静岡県志太平野の津波堆積物

Tsunami deposits in Holocene sediments on Shita Plain, Shizuoka, central Japan

*北村 晃寿¹*Akihisa Kitamura¹

1. 静岡大学理学部地球科学教室

1. Institute of Geosciences, Faculty of Science, Shizuoka University

中央防災会議は、2012年に南海トラフで起こる最大クラスの巨大な地震・津波(レベル2の地震・津波)の予測を公表した。その結果、従来に比べて、想定される被害規模が大きくなった沿岸市町では、住民に不安を与えている。こうした状況を踏まえて、北村ほか(2015)は、志太平野の9箇所ボーリング掘削し、津波堆積物の調査を行ったが検出されず、レベル2の津波の痕跡は見つからなかったが、資料の一部は、大井川の洪水の影響を受けている可能性があり、津波堆積物の検出には適切ではないことが判明した。そこで、今回、瀬戸川の自然堤防で、大井川の影響を受けていない志太平野北部の平地(標高2~3.5 m)の4地点でボーリング掘削を行い、津波堆積物の調査を実施した。

その結果、以下の知見を得た。

1. 津波堆積物と推定されるイベント層が少なくとも二層発見された。
2. 上位のイベント層は、西暦1025年以降なので、西暦1498年の明応津波の津波堆積物の可能性がある。
3. 下位のイベント層は、西暦780年から西暦1025年の間に堆積したことから、西暦887年に南海トラフで発生した仁和地震の津波堆積物である可能性が高い。この地震の発生時に志太平野北部では海岸の急速な後退が起きたと推定され、その原因は海底地滑りによる海岸地形の変化の可能性がある。

キーワード：志太平野、完新世、津波堆積物

Keywords: Shita plain, Holocene, tsunami deposits

富山・石川地域の海岸平野に記録されたイベント堆積物

Event deposits recorded in the coastal plain in Toyama and Ishikawa area

*ト部 厚志¹、清水 康博²、片岡 香子¹、仁科 健二³、川上 源太郎³、平川 一臣、酒井 英男⁴*Atsushi Urabe¹, Yasuhiro Takashimizu², Kyoko Kataoka¹, Kenji Nishina³, Gentaro Kawakami³, Kazuomi Hirakawa, Hideo Sakai⁴

1.新潟大学災害・復興科学研究所、2.新潟大学人文社会・教育科学系、3.北海道立総合研究機構地質研究所、4.富山大学理学部地球科学科

1.Research Institute for Natural Hazards and Disaster Recovery, Niigata University, 2.Mathematical and Natural Sciences, Institute of Humanities, Social Sciences and Education, Niigata University, 3.Geological Survey of Hokkaido, 4.Department of Earth Sciences, Faculty of Science, University of Toyama

日本海における震源断層や津波波源モデルの構築や防災の基礎資料を得ることを目的とした「日本海地震・津波調査プロジェクト」では、2014年度は能登半島北部から富山湾沿岸地域において津波堆積物調査を目的として、海岸付近の低位段丘の堆積物調査や海岸低地・旧潟湖での沖積層のオールコアボーリング調査を実施した。ここでは、これらの試料から、複数層準において津波起源である可能性の高いイベント堆積物が認定できた。

(1) 海岸付近の堆積物調査

輪島市舳倉島や能登半島北部から東部において、海岸付近の標高6m以下の低位段丘状の地形を構成する堆積物の調査を行った。舳倉島北岸、珠洲市鰐崎と能登町赤崎では、海岸付近の段丘状の地形を構成する砂質シルト堆積物から、複数層準の海浜起源の円礫を多く含む粗粒砂層が認められた。これら堆積物の年代は、1800年ごろ、9~11世紀と1800~2000年前を示す。

(2) ボーリング調査

ボーリング調査は、簡易ボーリング(SCSC)やロータリーボーリング機器を用いてオールコアで行い、珠洲、氷見・十二町潟、射水・旧放生津潟、射水・足洗潟、魚津・釈迦堂、黒部・生地で行った。各地点のコア試料は、全体の層相の記載を行い堆積環境の推定、年代分析を行った。また、層相(粒度、淘汰、浸食関係の有無等)の特徴からイベント堆積物を認定し、イベント年代の推定を行った。富山湾沿岸の各地点の堆積環境は、全体として、約12,000年前には泥質な浅い内湾(含む塩水湿地)であり、約9,000年前に砂質な内湾となり、約8,000年前に初期のバリアーの形成、約7,000年前以降バリアーの前進により現位置での潟湖が形成されている。

イベント堆積物は、潟湖の堆積環境を中心に複数層準を認定することができた。珠洲地域を含めて富山湾沿岸の各地点に共通するイベント堆積物は、①約7,900-7,800年前、②約5,000-4,800年前、③約2,500-2,000年前、④約800-700年前の4層準である。浜堤の標高や海岸からの距離の検討から、これらのイベント堆積物は津波による可能性が高い。

キーワード：富山・石川地域、津波堆積物

Keywords: toyama and ishikawa area, Tsunami sediment

陸上堆積物コアを用いた別府湾海底活断層型地震発生年代の高精度復元

Using onshore sediment cores to reconstruct the ages of oceanic intraplate earthquakes in Beppu Bay

*山田 昌樹¹、藤野 滋弘²、千葉 崇²、Chagué-Goff Catherine^{3,4}*Masaki Yamada¹, Shigehiro Fujino², Takashi Chiba², Catherine Chagué-Goff^{3,4}

1.筑波大学大学院生命環境科学研究科、2.筑波大学生命環境系、3.School of Biological, Earth and Environmental Sciences, UNSW Australia、4.Australian Nuclear Science and Technology Organisation
1.Graduate School of Life and Environmental Science, University of Tsukuba, 2.Faculty of Life and Environmental Science, University of Tsukuba, 3.School of Biological, Earth and Environmental Sciences, UNSW Australia, 4.Australian Nuclear Science and Technology Organisation

別府湾海底活断層の最新活動である1596年の慶長豊後地震では、別府湾沿岸地域に5-8 m程度の津波があったことが歴史記録から知られている(羽鳥, 1985)。また、別府湾海域で行われた音波探査とピストンコアリング調査では、断層を挟んだ両側の堆積物層厚の違いから、鬼界アカホヤ火山灰層の堆積以降に5回の断層運動が存在した可能性が示されている(例えば、島崎ほか, 2000; 大分県, 2002; 地震調査研究推進本部, 2005)。しかしながら、過去に発生した断層運動の詳細な発生年代やそれらが津波を伴ったか否かは明らかにされていない。本研究では、先史時代に別府湾で発生したプレート内地震と津波の発生年代をより高精度に復元することを目的として、別府湾南岸に面する沿岸湿地において古津波堆積物調査を行った。得られた堆積物コアに対しては、堆積相の観察に加えて、粒度分析や珪藻分析、ITRAXコアスキャナーを用いた化学分析から古津波堆積物層を認定し、その上位、下位の層準に含まれる種子や葉片の放射性炭素年代測定を行った。

海岸線から約170 mの地点で採取された堆積物コアの深度2.0-7.8 mは、主に有機質泥層で構成されており、その上部(深度215-217 cm)では、2760-2860 cal. yr BP、下部(深度779-780 cm)では、7670-7790 cal. yr BPという放射性炭素年代値が得られた。約5000年間に形成された有機質泥層中の深度430-433 cmと530-650 cmに認められた火山灰層は、含有する火山ガラスの屈折率から、それぞれ九重山を起源とする段原スコリア(DS)と鬼界カルデラの噴火に伴う鬼界アカホヤ火山灰(K-Ah)と同定された。約5700前に降下したと考えられる段原スコリア層の上位には、層厚1 cm程度の砂層が2枚(深度257.8-258.6 cm, 315.0-316.0 cm)確認され、砂層直下の泥層から得られた年代値はそれぞれ3330-3450 cal. yr BPと4400-4530 cal. yr BPであった。また、段原スコリア層と鬼界アカホヤ火山灰の間に約6500年前の砂層(深度502.5-503.0 cm)、鬼界アカホヤ火山灰層直下には層厚4 cm程度の粗粒砂層が認められた。これらの砂層は、上下の有機質泥層と明瞭な地層境界で区切られており、突発的に堆積したイベント堆積物である可能性が高い。また、上下の有機質泥層と比べて帯磁率やチタン、鉄の値が高く、ケイ素、カリウム、カルシウム、バナジウム、クロム、ストロンチウム、バリウムなどの元素が多く検出された。さらに、海生底生種である*Rhaphoneis* sp.などの珪藻が砂層中においてのみ出現した。これらのことは、砂層を構成する粒子が異なる堆積環境から運搬されたもので、かつそれが海浜や海底である可能性を示唆している。

本研究で採取した堆積物コア試料には、鬼界アカホヤ火山灰層の上位に少なくとも約3300-3450年前、約4400-4530年前、約6500年前に形成された古津波堆積物の可能性が高い砂層が保存されていた。別府湾沖で掘削されたコア試料から推定された海底活断層の過去の活動時期は、1596年慶長豊後地震に加えて、1700-2200年前、3600-4600年前、5300-6000年前、5800-7300年前である(地震調査研究推進本部, 2005)。本研究の堆積物コアにおける有機質泥層が約2800年前までしか保存されていないことを考慮すると、古津波堆積物層の枚数は、地震調査研究推進本部(2005)で示されている断層運動の回数と矛盾していない。しかしながら、活断層の推定活動時期と古津波堆積物の年代は必ずしも一致しておらず、今後慎重に検討する必要がある。

キーワード：津波堆積物、海底活断層、別府湾、放射性炭素年代測定、珪藻、地球化学

Keywords: Tsunami deposit, Submarine active fault, Beppu Bay, Radiocarbon dating, Diatom, Geochemistry

九州薩摩半島南西岸域のイベント堆積物調査

Exploring Coastal Wetlands of the southern Kyushu (Japan) with Consideration of their Preservation Potential for Tsunami Deposits

*原口 強¹、吉永 佑一²、内村 公大³、福田 穰⁴*Tsuyoshi Haraguchi¹, Yuichi Yoshinaga², Kimihiro UCHIMURA³, Jou Fukuda⁴

1.大阪市立大学大学院理学研究科、2.株式会社防災地質研究所、3.西日本技術開発株式会社、4.九州電力株式会社

1.Department of Geosciences, Graduate School of Science, Osaka City University, 2.Disaster Prevention Geo-Research institute, 3.West Japan Engineering Consultants, Inc., 4.Kyushu Electric Power Co., Inc.

東シナ海に面した南九州・薩摩半島西岸から南岸域において、過去の巨大津波来襲の可能性の解明を目的とした堆積物調査を実施している。

調査地域は約130 kmに及ぶ海岸線を有し、地形的な特徴から5つに区分できる。阿久根から串木野に至る南北約40kmの岩石海岸主体の北部地域、市来から南さつま市に至る南北約30kmの砂浜海岸地域、野間半島を中心とする約20kmの岩石海岸主体の南西部地域、枕崎から指宿に至る東西約40kmの火山山地および台地が広がる南部地域、唯一の島嶼で約25kmに延びる岩石海岸主体の甑島地域である。

機械ボーリングは、合計11地区、14地点、浜堤背後の湿地を中心に選定した。すべての地点で過去6000年間をカバーする地層を確認した。その中で、甑島の中山地点で、泥炭層中に扁平な粘板岩の海浜小礫の薄層を複数枚確認した。中山地点は南東に開いた湾奥の浜堤背後の標高3.3mの湿地で、厚さ約13m弱の堆積層を確認している。湿地を限る浜堤および前面海浜は主に扁平な海浜礫から構成されている。13mの堆積層の下位は海成で、地表から9m以浅からが泥炭となる。泥炭の堆積開始時期が約4000年前で、内湾環境から浜堤が発達したのち湾口が閉じ陸化して湿地環境に変化したと見られる。上述の越波イベントは湿地環境下の2500年～3500年前に集中している。越波イベントの卓越する時期が、湾口の締め切り・陸化する時期と近い。すなわち、浜堤の発達初期で高さが現在よりも低い時期で、越波の影響を受けやすかった可能性がある。一方、東シナ海を隔てた対岸の羽島地点およびほかの9地区でも越波イベントは確認できない。このことは中山地区の越波イベントが局所的な現象である可能性を示している。とはいえ、津波堆積物が保存される条件は現地の地形・地質条件によって異なることが東日本大津波でも確認されている。

以上のことから、当該地域沿岸部に巨大津波が襲来した可能性は低いと考えられるものの、越波イベント堆積物の形成プロセスを慎重に検討していくことが必要である。

謝辞：本研究のX線CT画像撮影は電力中央研究所のご協力により所有機材を使用させていただいた。

キーワード：南九州、津波堆積物

Keywords: southern Kyushu, Tsunami Deposits

Modeling of grain size distribution of tsunami sand deposits in V-shaped valley of Numanohama during the 2011 Tohoku tsunami

*Aditya Gusman¹, Kenji Satake¹, Tomoko GOTO², Tomoyuki Takahashi³

1.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2.Graduate School of Frontier Science, The University of Tokyo, 3.Faculty of Safety Science, Kansai University

We propose a numerical method of tsunami sediment transportation that can simulate grain size distribution of deposited sand. In the numerical model, the sediment transportation is computed in the suspended load layer and bed load layer (Takahashi et al., 2000; Gusman et al., 2012, EPS). We introduce two sub layers in the bed load layer, which are the active layer and the parent layer. These sub layers contain grain size distribution information. The coefficients for the suspended transport (α) and bed load transport (β) for grain sizes of 0.166, 0.267, and 0.394 mm are obtained by a hydraulic experiment conducted by Takahashi et al. (2011, Coastal Engineering). In this study, the coefficients for grain sizes outside the above range (0.166 - 0.394 mm) are extrapolated and for those within the range are interpolated. We simulated sediment transportation of multiple grain sizes ranged from 0.063 (4 phi) to 5.657 mm (-2.5 phi) with an interval of 0.5 phi.

We apply the model to simulate the sedimentation process during the 2011 Tohoku earthquake in Numanohama, Iwate prefecture, Japan. Samples of tsunami sediment deposits in Numanohama coast have been collected after the 2011 Tohoku earthquake (Goto et al., 2015, Marine Geology). The grain size distributions at 15 sample points along a 500 m transect from the beach are used to validate the tsunami sediment transport model.

For the tsunami source model, we use the one estimated by Satake et al. (2013, BSSA). This source model can well reproduce the observed tsunami run-ups that are ranged from 16 -34 m along the steep valley in Numanohama. For the sediment source, the parent layer (sediment source) is unlimited anywhere in the modeling domain and the grain size distribution of the parent layer is assumed to be the same as that found at the beach. The 200 m long and 50 m wide beach in Numanohama is dominated by rounded sand particles with d_{50} (the grain size at which the sample are 50% finer than) of 1 mm and located in front of coastal marsh.

The shapes of the simulated grain size distributions at many sample points located within 300 m from the shoreline are similar to the observations with the difference between observation and simulation peak of grain size of less than 1 phi (Goto et al., 2015, Marine Geology). The thicknesses of the observed sand deposits are also compared with the simulated ones. The simulated sand thickness distribution is consistent with the observation. The model is also capable of showing the sediment transport process of how the grain size distribution of the sand deposit changes over time. This kind of simulation result may be compared with the observed vertical change of grain size distribution.

Keywords: Simulation of grain size distribution of tsunami sand deposits, Tsunami sediment transportation process, The 2011 Tohoku tsunami sand deposits, Spatial distribution of deposit thickness, Suspended load and bed load transports, Coastal morphology change

Applications of ITRAX XRF core scanning and PCA in palaeotsunami research

*Catherine Chague-Goff^{1,2,3}, Patricia Gadd², Daisuke Sugawara⁴, James Goff¹, Kazuhisa Goto⁵, Takeshi Komai⁶

1.School of Biological, Earth and Environmental Sciences, UNSW Australia, Sydney, Australia, 2.Australian Nuclear Science and Technology Organisation, Lucas Heights, Australia, 3.JSPS Fellow, Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, Japan, 4.Museum of Natural and Environmental History, Shizuoka, Japan, 5.IRiDeS, Tohoku University, Sendai, Japan, 6.Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, Japan

Following the devastating 2011 Tohoku-oki tsunami in Japan, much research has been carried out to identify its precursors and any other events that have impacted the country. While it is important to gain a better understanding of recurrence intervals, identifying the limit of inundation of these events is crucial in order to be able to estimate their magnitude and thereby improve hazard mitigation measures for the future. However, researchers generally rely on the presence of anomalous coarse layers (mostly sand) to identify tsunami deposits. Estimating the limit of inundation beyond the extent of the sand has proven more difficult and can be very time consuming with commonly used methods, such as grain size and microfossil analyses and/or even conventional geochemical techniques.

Here we present the results of a study, where we used an ITRAX XRF core scanner, a rapid and non-destructive technique, which provides continuous high resolution elemental profiles, magnetic susceptibility, as well as an optical and a radiographic image. Sedimentary sequences collected along a shore-perpendicular transect on the Sendai Plain, include the 869 AD Jogan sandy tsunami deposit within paddy field soil, which is overlain by the Towada-a tephra, as well as possible older tsunami and flood deposits in the lower part of the cores. Further inland, the Jogan deposit becomes discontinuous and is replaced by mud, as also reported for the 2011 Tohoku-oki tsunami deposit on the Sendai Plain. The X-radiographic image allows the identification of thin mud units within the paddy field soil, which were not clearly visible to the naked eye. Analysis with the ITRAX core scanner reveals subtle geochemical differences between the mud unit attributed to the Jogan tsunami, the paddy soil and other mud units. ITRAX data were also processed by principal component analysis (PCA), allowing the distinction of various units and their possible origin, despite the semi-quantitative nature of the elemental data. In this study we could distinguish the marine-sourced units from their terrestrial counterparts, based on their geochemical characteristics.

This study shows that high resolution geochemistry using core scanners can provide a means to identify the limit of inundation of palaeotsunamis beyond the extent of the visible sand deposits, even when units are not clearly visible to the naked eye. These data can be used to draw more accurate palaeotsunami inundation maps, thereby improving hazard management measures for the future.

Keywords: tsunami, geochemistry, ITRAX XRF core scanning, PCA, mud, inundation limit

津波によって発生する混濁流と堆積物移動についての水路実験(予報)

A preliminary report on a flume experiment of Tsunami-generated turbidity currents and sediment transport

*横川 美和¹、中島 孝彰¹、坂田 祐樹¹、山本 大貴²、増田 富士雄²、泉 典洋³

*Miwa Yokokawa¹, Takaaki Nakajima¹, Yuki Sakata¹, Taiki Yamamoto², Fujio Masuda², Norihiro Izumi³

1.大阪工業大学情報科学部、2.同志社大学、3.北海道大学

1.Osaka Institute of Technology, 2.Doshisha University, 3.Hokkaido University

2011年東北地方太平洋沖地震で発生した津波によって、海底では混濁流が発生した(Arai et al., 2013)。地震・津波発生後に、海底の圧力計や地震計に「混濁流」が記録されており、また東北地方の沿岸~沖合いの広い範囲にわたって新しい混濁流の堆積物が海底から採取されている。津波の作用により沿岸の土砂が巻き上げられ、混濁流が発生したのである。これらの混濁流は、大量の堆積物を深海へ運び込む。したがって、津波に伴う堆積物輸送や生態系への影響を考える上でこれらの混濁流の働きを評価することが重要である。しかし、これまでこうした津波による混濁流についての実験的研究はあまり行われていない(たとえば、仁井谷ほか, 2013)。ここでは、実験水路で津波によって発生した混濁流とその堆積物輸送に関する実験の予報を報告する。

実験は大阪工業大学に設置の長さ7.2m、深さ1.2m、幅0.3 mの水路を用いて行った。熊野灘(比較的急勾配)と十勝沖(比較的緩勾配)の地形を参考にして作った2つの地形モデルを用いた。縦横比は1:100とした。地形モデルは土台を極粗粒砂-細礫で造り、その上を極細粒砂-細粒砂で約5 cmの厚さで覆った。“津波”は仁井谷ほか(2013)と同様にして沖合いに設置したアクリル板を倒すことにより発生させた。それぞれの地形モデルに対して10回の津波を作用させた。

実験の結果、いずれの地形モデルでも混濁流が発生した。汀線での巻き上げ量は比較的急傾斜の“熊野灘モデル”の方が大きく、結果的に発生した混濁流の速度も大きく、堆積物輸送量も多かった。しかし、10回の実験の後に海底面に残ったベッドフォームは、“熊野灘モデル”の方が波の影響が卓越していた。

引用文献

Arai et al., 2013, Tsunami-generated turbidity current of the 2011 Tohoku-Oki earthquake: *Geology*, G34777.1.

仁井谷覚, 増田富士雄, 成瀬元, 2013, 津波が発生させる重力流. 堆積学研究, Vol.72, No.2, 109-113.

キーワード：津波、混濁流、堆積物輸送、水路実験

Keywords: Tsunami, Turbidity currents, Sediment transport, Flume experiment

津波堆積物の水理実験 -可能性と課題-

The potential and challenge of laboratory experiments on tsunami deposits

*吉井 匠¹、松山 昌史¹、田中 姿郎¹

*Takumi Yoshii¹, Masafumi Matsuyama¹, Shiro Tanaka¹

1. (一財) 電力中央研究所

1. Central Research Institute of Electric Power Industry

これまでの津波堆積物研究の大多数は現地調査によるものである。特に、津波堆積物の発見が主たる目的である研究段階においては、現地調査で明らかにされた古津波堆積物は、過去の巨大津波を示す上で信頼性の高い証拠となる。その点では津波堆積物研究において現地調査は最も基礎的且つ重要な研究手法である。

一方、津波堆積物の解釈が主たる目的である場合、津波諸元、海岸地形、底質材料、および堆積物形成後の再移動など多数の要因が津波堆積物形成に寄与しているため、現地調査で得られた津波堆積物を解釈することは大変困難である。特に、現世の津波を対象とした場合においても、津波堆積物を形成するほどの巨大津波では、沿岸地域の被災により津波諸元を推測する十分な情報が得られないこともある。そのため、津波諸元と津波堆積物の特徴を対比することは容易ではない。

水理実験は水理条件、底質材料を制御できるという点で津波堆積物と水理量の関係を対比させることが容易であり、津波堆積物の堆積学的特徴を解釈する上で重要な手法となる可能性がある。実験結果から現地の津波堆積物を類推するには、実験による津波堆積物（もしくは地形変化）の再現性検証が必要である。

本発表では、電力中央研究所にて行われた津波堆積物の大規模水理実験をとりあげ、水理実験による津波堆積物の生成過程と実現象の再現性について紹介し、津波堆積物研究における水理実験の可能性および課題について整理する。その上で、今後、現地観測、水理実験、数値計算が相乗効果を上げるために、それぞれの研究手法で取り組むべき課題について議論する。

キーワード：津波堆積物、水理実験、sedimentary structure

Keywords: Tsunami deposit, laboratory experiment, sedimentary structure

数値解析を用いた津波堆積物研究の現状と今後

Numerical modeling of tsunami deposits: recent advances and future research

*菅原 大助¹、Jaffe Bruce²、Gelfenbaum Guy²、La Selle SeanPaul²、後藤 和久³*Daisuke Sugawara¹, Bruce Jaffe², Guy Gelfenbaum², SeanPaul La Selle², Kazuhisa Goto³

1.ふじのくに地球環境史ミュージアム、2.米国地質調査所、3.東北大学

1.Museum of Natural and Environmental History, Shizuoka, 2.US Geological Survey, 3.Tohoku University

本発表では、土砂移動考慮した津波の数値解析について、最近の研究をレビューするとともに、今後の展望について議論する。

災害科学における津波堆積物研究の意義は、古津波の履歴解明・規模情報の推定にある。津波の数値解析は、1990年代より津波堆積物研究を構成する要素の一つとなり、津波イベントの認定、浸水域・波源域の推定など、地質記録の解釈を裏付ける手段として用いられてきた。土砂移動と連成された津波数値解析の手法は、2011年の東北地方太平洋沖地震の津波の前後、更にはリアルタイムに取得された多くのデータが基盤となり、追波湾 [1]、広田湾 [2]、仙台平野 [3]などを事例として改良と検証が進められており、波源モデルや地形データ、堆積物の供給源・粒径などの解析条件が整っている場合、津波による海岸地形の変化パターン、海底での侵食・堆積量、および陸上津波堆積物の層厚の分布傾向を良好に再現できることが示されている。津波土砂移動シミュレーションは、巨大津波に対する事前・事後の対策・対応の計画、津波堆積物を用いた浸水域・波源域の推定手法の改良、古津波堆積物の探索における最適な調査地域の検討などに有用であろう。津波堆積物データが不足している場合、あるいは古地形などの解析条件に不確実性がある場合、津波土砂移動シミュレーションを用いて浸水域や波源域を絞り込むことは難しくなる。この問題に対するアイデアの一つとして、ハイブリッド・モデリング [4][5]がある。津波の水理量（例えば流速や摩擦速度）を、堆積物データの逆解析によって直接推定し、順解析を用いた浸水域・波源域の推定時の境界条件として与えるのである。順解析は同時に、逆解析モデルの適用条件を評価するためにも用いられる。このアイデアの実現には、取り扱う物理過程やパラメータの共有化など多くの課題があるが、限られた数のデータで津波の規模情報を推定するための有望な方法の一つと思われる。

海岸地形・地層の形成における津波堆積作用の役割や、津波堆積物形成のプロセスも、津波堆積物研究の重要な対象である。津波堆積物中のユニット構造、ラミナ、粒度の水平・鉛直方向の変化を形成するプロセスについて、数値解析を用いた検討例は極めて少なく、実際に観察された堆積構造との対比には至っていない [6][7]。数値モデルによって津波堆積物の内部構造を解像できるようになれば、侵食・堆積量といった最終的な状態の比較だけでなく、堆積物形成プロセスの再現性まで議論できるようになると思われる。そのような数値モデル（地層シミュレータ）と、津波を含む様々な営力の数値モデルを組み合わせることで、それぞれのイベント堆積作用の理解と地層記録の解釈に更なる進歩がもたらされると考えられる。

[1] 今井ら, 2015, 土木学会論文集B2 71, I_247_I-252.

[2] 山下ら, 2015, 土木学会論文集B2 71, I_499_I-504.

[3] Sugawara et al., 2014a, Marine Geology 358, 18-37.

[4] Jaffe et al., 2012, Sedimentary Geology 282, 90-109.

[5] Sugawara et al., 2014b, Marine Geology 352, 295-320.

[6] Apotsos et al., 2011, Journal of Geophysical Research 116, F01006.

[7] Li et al., 2012, Natural Hazards 64, 1549-1574.

キーワード：津波、土砂移動モデル、シミュレーション、堆積物、海岸地形

Keywords: tsunami, sediment transport model, simulation, deposit, coastal geomorphology