

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  
植物残査の  $^{14}\text{C}$  年代測定 -仙台平野・津波堆積物の年代測定-  
**AMS radiocarbon dating of plant residues from SND7 geoslicer samples: Age model of  
tsunami sediments taken from Sendai plain, northeast Japan**

渡邊隆広<sup>1\*</sup>・細田憲弘<sup>1</sup>・土屋範芳<sup>1</sup>・中村俊夫<sup>2</sup>・澤井祐紀<sup>3</sup>・駒井 武<sup>1,3</sup>・岡本 敦<sup>1</sup>・  
平野伸夫<sup>1</sup>・奈良郁子<sup>1</sup>

Takahiro WATANABE<sup>1\*</sup>, Norihiro HOSODA<sup>1</sup>, Noriyoshi TSUCHIYA<sup>1</sup>, Toshio NAKAMURA<sup>2</sup>, Yuki  
SAWAI<sup>3</sup>, Takeshi KOMAI<sup>1,3</sup>, Atsushi OKAMOTO<sup>1</sup>, Nobuo HIRANO<sup>1</sup>, Fumiko Watanabe NARA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院環境科学研究科・<sup>2</sup> 名古屋大学年代測定総合研究センター・<sup>3</sup> 産業技術総合研究所  
<sup>1</sup> Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, 6-3 Aramaki Aza Aoba, Aoba-ku, Sendai  
980-8578, Japan.

<sup>2</sup> Center for Chronological Research, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa, Nagoya 464-8602, Japan.

<sup>3</sup> National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Tsukuba Central 7, 1-1-1  
Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567 Japan.

\* *Corresponding author. E-mail: twatanabe@geo.kankyo.tohoku.ac.jp*

### Abstract

Tsunami sediments in land sediment layers are crucial and unique clues to reconstruct the past tsunami invasion area. However, identification technique of tsunami sediments is still uncertain. In particular, dating of tsunami sediments is indispensable to refer for historical disaster events. In this study, a continuous soil sediments (SND7) were taken by geoslicer (Fukkken co. ltd.) from Sendai Bay coast in northeast Japan. Plant residues were picked up from the SND7 geoslicer sample for radiocarbon dating. The radiocarbon measurements were performed by the Tandetron accelerator mass spectrometry system (Model-4130, HVEE) in Center for Chronological Research, Nagoya University. Total organic carbon content of the plant residues was 54.1 wt.% and stable carbon isotope ratios of the plant residues was -29.1 permil (vs. PDB), which consist with those of modern terrestrial C3 plants. In this study, the calibrated age of plant residues below the sandy sediments was 940-1060 cal BP (2 $\sigma$  range), and the ages were agreed well with those of the Jogan earthquake and tsunami in the Sendai plain.

*Keywords:  $^{14}\text{C}$  dating, Tsunami deposits, Jogan tsunami, soil sediments, Tohoku district*

## 1. はじめに

陸上堆積物や湖底堆積物に保存されている津波堆積物を検出し、過去の津波による浸水域を復元することにより、今後発生が予想される巨大地震に起因する津波被害規模を評価する試みが進められている (Minoura et al., 1991; 澤井ほか, 2006; Sugawara et al., 2012; Sawai et al., 2012)。津波堆積物とは、津波により運搬され堆積した礫、砂、シルト、粘土、貝殻破片、微化石等で構成された土砂と定義されるが、地層中に見つけることができる砂層は、洪水や高潮等、津波以外の自然現象でも形成される。加えて、津波堆積物は砂のみではなく粒径の小さい泥も含まれ、地層中に含まれる泥質の津波堆積物の目視による判別は極めて困難である。従って、堆積層の年代決定と津波堆積物を判別する新たな指標の開発が必要になる。特に、試料中に火山灰層等の鍵層が存在しない場合、堆積層中の有機物の放射性炭素年代測定および地球化学分析が津波堆積物の特定と堆積層の形成要因を知る重要な情報を提供する有効な方法になる。本稿では、宮城県の仙台湾沿岸から採取されたジオスライサー試料 (SND7) の放射性炭素年代測定結果について初期的な報告を行う。

## 2. 試料と分析法

2013年3月、宮城県仙台市若林区 (38°13'27"N, 140°58'11"E) において土壌堆積物試料 (SND7) を復建調査設計製のジオスライサー装置を用いて採取した (Table 1 および Figure 1)。得られた土壌堆積物中から年代測定用の植物残査試料を採取した (試料深度 70-71 cm, Figure 1, Figure 2)。年代測定用試料の前処理については Nakamura et al., (2004) および Watanabe et al. (2010a; 2010b) に従った。付着した土壌粒子を除去するために、土壌堆積物中から回収した植物残査をガラス製試験管内に移し、超純水を加えた後に上澄みが透明になるまで超音波洗浄を繰り返し行った。1M-HCl および 1M-NaOH による洗浄処理後 (AAA 処理後)、試料を燃焼させ、真空ラインを用いて二酸化炭素の精製を行った。次にグラファイト調製作業を行い、 $^{14}\text{C}$  測定用のターゲットを作成した。放射性炭素年代測定は名古屋大学タンデトロン加速器質量分析計 (HVVEE, Model-4130) を用いて行われた。得られた  $^{14}\text{C}$  年代を IntCal09 (Reimer et al., 2009) により暦年代に校正した。また、1cm 幅に細分した土壌試料の湿重量および乾燥重量を電子天秤で測定し含水率を算出した。試料の乾燥には、凍結乾燥機 (東京理科器械製, FDU-1200) を用いた。乾燥時間は約 24 時間であり、含水率の単位は重量パーセント (wt.%) で示した。

## 3. 結果と考察

SND7 試料の表層 20cm 付近までは耕作土が認められ、試料深度 51cm までは泥炭層、深度 51-69 cm 層には砂層、69 cm から 100 cm 付近までは泥炭層、および約 100 cm 以深には砂層が認められた (Figure 1)。SND7 試料の年代測定結果および含水率測定結果を Table 1 および Figure 1 に示す。SND7 試料の深度 51 cm 以浅の泥炭層では、含水率は 31.1wt.% から 52.2wt.% 間で変動し平均値は

41.5wt.%であった。一方、深度 51-69 cm の砂層では、含水率は 15.6wt.%まで急激に減少した。深度 69 cm から 100 cm 付近までの泥炭層では、含水率は最大 83.3%まで増加した。また、下部砂層における含水率は 18.2wt.%まで減少した。砂層上部、および下部における泥炭層との境界において、含水率は極めて明瞭な増減傾向を示した (Figure 1)。従って、含水率の変動は砂層を示す簡便・迅速なパラメーターとして使用可能であることがわかった。堆積物の含水率は試料の密度や粒径を反映することが報告されており (Watanabe et al., 2003), 本研究においても含水率分布は SND7 の試料全体を通して岩相 (砂層, 泥炭層の分布) と良く一致していた。今後、粒度分析を進める必要があるが、含水率分布の把握は、初期的な堆積層の対比やイベント層の検出において有効であることが示された。

年代測定に使用した植物残査試料の全有機炭素含有量は 54.1 wt.%であった。セルロースの炭素含有量はおよそ 50 wt.%であり、本研究で使用した植物残査試料の炭素含有量とよく一致することから、試料を構成する有機物の大部分はセルロース等の化合物であると推察される。堆積後の試料に二次的に付着し、年代測定結果に影響を与える土壌由来有機物 (相対的に放射性炭素濃度が低いケースが多い, Watanabe et al., 2010a) の炭素含有量は一般的におおよそ 10 wt.%以下であり、これら土壌由来有機物が植物残査試料に混入している割合は極めて低いと考えられる。植物残査試料の安定炭素同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$ ) は、 $-29.1\text{‰}$ であった (加速器質量分析法により得られたデータ)。本研究で得られたジオスライサー試料 SND7 試料中の植物残査試料の安定炭素同位体比は陸上 C3 植物が持つ安定炭素同位体比の範囲にあり (おおよそ  $-20\text{‰}$ から  $-32\text{‰}$ , Schwarz and Redman, 1987; Watanabe et al., 2010a), 少なくとも水生植物である可能性は低い。従って、本研究では年代値の解釈において海水・淡水リザーバー効果等を考慮する必要はないと考えられる。SND7 試料中の砂層直下から得られた植物残査の年代値は 940-1060 cal BP であり、僅かに古い値ではあるが、平安時代前期に発生したとされる貞観地震・津波の年代 (AD869, ~1080 cal BP) にほぼ一致した。今後は十和田 a 火山灰層 (AD915) との対比や、年代測定データの蓄積を進め、津波堆積層の同定方法の改善を進めていく予定である。

Table 1.

Total organic carbon, conventional  $^{14}\text{C}$  ages and calibrated age of plant residues in the SND7 continuous soil sediment ( $38^{\circ}13'27''\text{N}$ ,  $140^{\circ}58'11''\text{E}$ ) from Sendai bay coast, northeast Japan.

Soil depth (cm)	Total organic carbon (wt. %)	Conventional $^{14}\text{C}$ age (BP $\pm$ 2 $\sigma$ )	Calibrated age <sup>a</sup> (cal BP, 2 $\sigma$ range)	Lab code
70-71	54.1	1101 $\pm$ 56	940-1060	20641

<sup>a</sup> Conventional  $^{14}\text{C}$  age was converted to calendar years by using the INTCAL09 data set (Reimer et al., 2009).

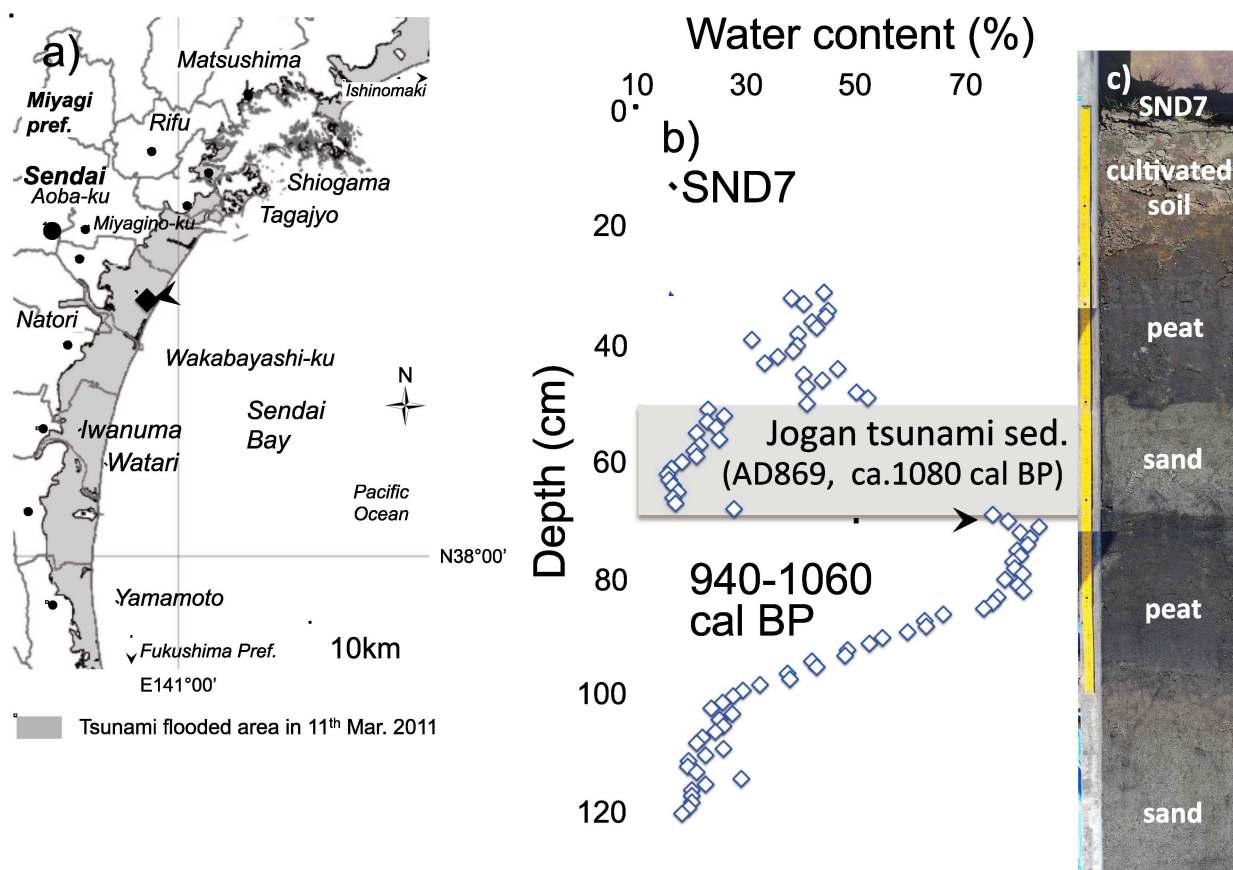


Figure 1. a) Sampling location of SND7 from Sendai plain in northeast Japan. b) Depth profile of water contents and c) photograph of SND7 geoslicer sample. Gray area denotes the layer with Jogan tsunami sediments (AD869, ca. 1080 cal BP). Bold arrow denotes sampling depth of the plant residues, and a calibrated age of the plant residues was 940-1060 cal BP ( $2\sigma$  range).



Figure 2. Photograph of plant residues in SND7 geoslicer sample (70-71 cm in soil depth) from the Sendai bay coast, northeast Japan. Radiocarbon dating of plant residues from the SND7 geoslicer samples was performed. After sonication with pure  $H_2O$  to remove adhering contaminants (sediment particles), the samples were treated with 1.2 M HCl and 1.2 M NaOH (AAA treatment, Nakamura et al., 2003; Watanabe et al., 2010a; 2010b).

#### 4. 結論

本研究では、得られた連続土壌堆積物を 1cm 間隔で分割し、各試料の含水率測定を行い、砂層との対比を進めた。加えて、津波で形成されたと推察される砂層の堆積年代を推定するために、土壌試料中から採取した植物残査の放射性炭素年代測定を行い、得られた年代値の妥当性を評価した。砂層直下から採取した植物残査の較正年代範囲 (940-1060 cal B) は貞観地震・津波の発生日代とほぼ一致した。

#### 謝辞

調査地の地権者さんには、地質調査の許可を快くいただきました。復建調査設計株式会社の皆さんにはジオスライサーの調査を実行していただきました。名古屋大学年代測定総合研究センターのスタッフの皆様には、 $^{14}\text{C}$  年代測定用の試料調製についてご協力いただきました。本研究の一部は、JST/RISTEX 研究開発成果実装支援プログラム「津波堆積物の地球化学的判別による沿岸地域のリスク評価と社会的影響の予測」(実装責任者 土屋範芳)、および JSPS 科研費 (挑戦的萌芽研究 No.25630410 研究代表者 渡邊隆広) の助成を受け行われました。堆積物試料の採取は、独立行政法人産業技術総合研究所の予算 (23 年度 3 次補正予算; 複合地質リスク評価-地震災害リスク) を使用しました。

#### 引用文献

- Minoura, K. and Nakaya, S. (1991): Traces of tsunami preserved in inter-tidal lacustrine and marsh deposits: some examples from northeastern Japan. *Journal of Geology*, 99, 265–287.
- Nakamura, T., Niu, E., Oda, H., Ikeda, A., Minami, M., Ohta, T. and Oda, T. (2004): High precision  $^{14}\text{C}$  measurements with the HVEE Tandem AMS system at Nagoya University. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 223–224, 124–129.
- Reimer, P.J. et al (2009): IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 51, 1111–1150.
- 澤井祐紀・岡村行信・宍倉正展・松浦旅人・Than Tin Aung・小松原純子・藤井雄士郎(2006): 仙台平野の堆積物に記録された歴史時代の巨大津波 -1611 年慶長津波と 869 年貞観津波の浸水域-. *地質ニュース*, 624, 36-41.
- Sawai, Y., Namegaya, Y., Okamura, Y., Satake, K. and Shishikura, M. (2012): Challenges of anticipating the 2011 Tohoku earthquake and tsunami using coastal geology. *Geophysical Research Letters*, 39, L21309.
- Schwarz, A.G. and Redman, R.E. (1987): C4 grasses from the boreal forest region of northwestern Canada. *Canadian Journal of Botany*, 66, 2424-2430.
- 菅原大助・今村文彦・松本秀明・後藤和久・箕浦幸治(2011): 地質学的データを用いた西暦 869 年

貞観地震津波の復元について. 自然災害科学, 29, 501-516.

Sugawara, D., Goto, K., Imamura, F., Matsumoto, H. and Minoura, K. (2012): Assessing the magnitude of the 869 Jogan tsunami using sedimentary deposits: Prediction and consequence of the 2011 Tohoku-oki tsunami. *Sedimentary Geology*, 282, 14–26.

土屋範芳・井上千弘・山田亮一・山崎慎一・平野伸夫・岡本 敦・小川泰正・渡邊隆広・奈良郁子・渡邊則昭・東北地方津波堆積物研究グループ(2012): 東北地方太平洋沖地震による岩手, 宮城, 福島県沿岸域の津波堆積物のヒ素に関するリスク評価. *地質学雑誌*, 118, 419-430.

Watanabe, T., Naraoka, H., Nishimura, M., Kinoshita, M., Kawai, T. (2003): High-resolution organic carbon, nitrogen and sulfur distributions of the Lake Baikal sediment over the past 250. *Geochemical Journal*, 37, 493–502.

Watanabe, T., Matsunaka, T., Nakamura, T., Nishimura, M., Izutsu, Y., Minami, M., Nara, F.W., Kakegawa, T., Wang, J. and Zhu, L. (2010): Last glacial–Holocene geochronology of sediment cores from a high-altitude Tibetan lake based on AMS  $^{14}\text{C}$  dating of plant fossils: Implications for paleoenvironmental reconstructions. *Chemical Geology*, 277, 21–29.

Watanabe, T., Matsunaka, T., Nakamura, T., Nishimura, M., Sakai, T., Lin, X., Horiuchi, K., Nara, F.W., Kakegawa, T. and Zhu, L. (2010):  $^{14}\text{C}$  dating of Holocene soils from an island in Lake Pumoyum Co (southeastern Tibetan plateau). *Radiocarbon*, 52, 1443–1448.

## 要旨

過去の津波堆積物を検出し, 津波による浸水域を復元するため, 仙台平野(宮城県仙台市若林区)から復建調査設計製ジオスライサーを用いて長さ約 2m の連続土壌堆積物試料 SND7 を採取した。ジオスライサー試料中に泥炭層に挟まれた砂層が認められ, 貞観津波による堆積層(AD869, ~1080 cal BP)であると考えられるが, 砂層の成因を正しく解明するためには, 本試料中の砂層の年代を明らかにする必要がある。従って, 本研究では砂層直下から採取したの植物残査の放射性炭素年代測定を行い, ジオスライサー試料中の砂層の年代決定を試みた。放射性炭素年代測定は名古屋大学年代測定総合研究センターのタンデム加速質量分析装置を用いた。本研究で得られた植物残査試料の較正年代範囲は 940-1060 cal BP であり, 直上の砂層は貞観津波により形成された堆積層であることが強く示唆された。