

2020年

6月号

IEVG ニュースレター

Vol.7 No.2

NEWS LETTER



[新人研究紹介]

Paleoseismic investigation and its implication on seismic hazard assessment

Shreya Arora (Active Fault Research Group)

Introduction

Did you feel it? Are you okay? When can the next earthquake be?

These are some, from the long list of questions people generally ask whenever an earthquake occurs. Just for the information, earthquakes are happening every time somewhere around the globe (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/>). Generally, they occur along the tectonic plate boundaries to release the accumulated seismic energy (Fig. 1). Some places are seismically more active than others for instance, Japan, California, Sumatra, India and Chile (Fig.1). The Japan Trench forms a part of Pacific Ring of Fire, which is a classic example of subduction plate boundary, and presents significant global earthquake threats. The recent 2011 Tohoku earthquake (Mw 9.1) claimed 15,641 lives and

around 300-billion-dollar worth of damage making it one of the five deadliest earthquakes of the modern era (Ammon et al., 2011; Mori et al., 2011; Kagan and Jackson, 2013). According to the reports of Shedlock and Tanner (1999), earthquakes account for 60% of the casualties as compared to the rest of the natural disasters. In the past couple of decades, the devastation caused by an earthquake has increased due to increase in population and fast urbanization making the high-rise masonry buildings vulnerable to seismic shaking. The 2010 Haiti earthquake Mw 7.0 claimed ~300,000 deaths (DesRoches et al., 2011) whereas 2016 Kaikoura earthquake Mw 7.8 claimed the life of only two people (Lo et al., 2018) illustrating the relation between the population density and natural hazard. The recent Gorkha (Mw 7.8) and Kodari (Mw 7.3) earthquakes in Nepal

Contents

- 01 新人研究紹介 Paleoseismic investigation and its implication on seismic hazard assessment Shreya Arora
- 08 プレス発表 偶然が生んだ太田川低地（静岡県西部）での東海地震による津波堆積物の発見 藤原 治
- 14 受賞報告 矢部 優研究員が 2019 年度日本地震学会論文賞を受賞
- 15 外部委員会活動報告 2020 年 4 月～5 月

were the testament of the un-awareness of the people and un-preparedness of the government towards the seismic hazard. Therefore, identification of the active faults, understanding their geometries, calculation of the slip rates, establishing past earthquake chronology, recurrence intervals and the magnitude of the expected earthquakes, are some of the important steps towards the proper seismic hazard assessment.

Scope of Paleoseismology

Paleoseismology is the study of past earthquakes, in the absence of extensive historical archives and instrumental records, it provides reliable data through which the size and date of past earthquake can be determined by identifying, measuring and dating of the displaced landforms (McCalpin, 1996). The common techniques used to study past earthquakes falls into three categories i.e., a) identification of displaced and deformed landforms through satellite (Drone and LiDAR) and aerial photo interpretation b) geophysical techniques such as GPS-RTK, Ground Penetrating Radar (GPR) and Seismic reflection survey to find and study the sub-

surface geometry of the fault and, c) trenching and dating of the individual paleoearthquake and reconstruction of past earthquake chronology. The driving force behind paleoseismology study is the need to predict and assess the severity of the future earthquake (Reiter, 1995)

Case Study from Himalaya

Growing up in northern India and experiencing multiple tremors of Himalayan earthquakes motivated me to undertake paleoseismic studies during my doctoral thesis to establish the past earthquake chronology along the active faults in Pinjore Dun, northwest Himalaya (Arora, et al., 2019). The Himalaya is one of the most seismically active mountain belt in the world and unlike Japan arc it is formed by the collision of the two continental plates i.e., Eurasian and Indian Plate (Taylor and Yin, 2009) (Fig. 2). During the past few centuries Himalaya has witnessed several moderate to great magnitude earthquakes of which the most damaging recent earthquakes are 1934 Bihar-Nepal earthquake (Mw 8.2), 1950 Assam earthquake (Mw 8.4), 1905 Kangra earthquakes (Mw 7.8), 2005 Kashmir earthquake (Mw

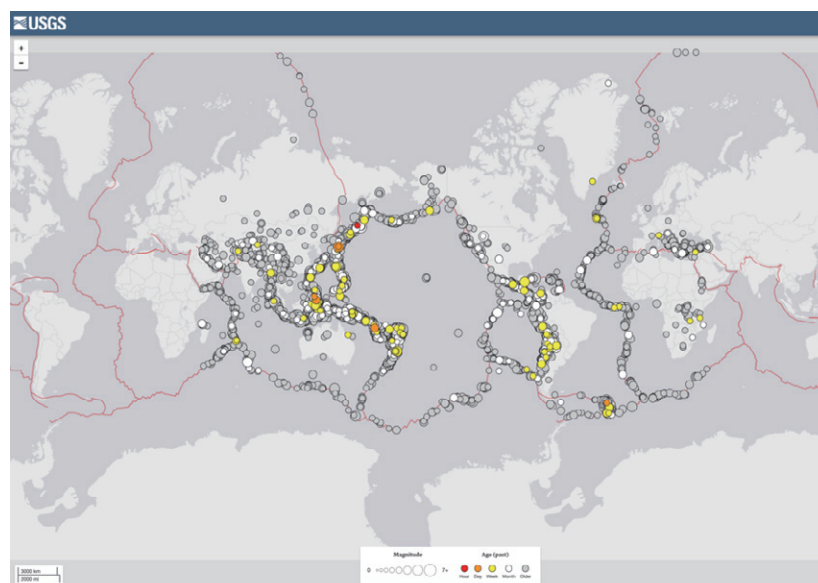


Fig. 1 Map showing the list of earthquakes around the world in just 24 hours and their concentration along the plate boundaries. The earthquake data is extracted from USGS Latest Earthquake catalogue.

7.6) and 2015 Nepal earthquake (Mw 7.8) (Seeber and Armbruster, 1981; Ambraseys and Bilham, 2000; Kondo et al., 2008; Steven and Avouac, 2015) (Fig. 2). The recent studies suggest either two Mw 8.6 earthquakes or one Mw 9.1 earthquake is imminent in the Himalaya in near future, increasing the seismic hazard to the millions of people living in the foreland of Himalaya (Bilham, 2019; Steven and Avouac, 2015). However, the long repeat times of the large magnitude earthquakes and incompleteness of the past earthquake data along the Himalaya makes the situation ever more uncertain. The reconstruction of the past earthquakes and determination of the slip rate thus becomes an essential criterion for the assessment of seismic hazard to anticipate the probable location and timing of the next future damaging earthquakes. In the past couple of decades remarkable paleoseismological work have been carried out along the Himalayan front collectively from India, Nepal, and Bhutan (e.g., Wesnousky et al., 1999; Nakata, 1989; Malik and Nakata, 2003; Lavè et al., 2005; Malik et al., 2008, 2010, 2015, 2016; Kumar et al., 2001, 2006, 2010; Kumahara and Jayangondaperumal, 2013; Sapkota et al.,

2013; Bollinger et al., 2014, 2016; Jayangondaperumal et al., 2016; Mishra et al., 2016; Le Roux-Mallouf, et al., 2016; Hetényi et al., 2016; Rajendran et al., 2015, 2018a,b; Wesnousky et al., 2017). The aim was to determine the past earthquake chronology along the Himalayan Frontal Thrust (HFT) which is the frontal most plate boundary fault. However, despite the identification of several active hinterland faults less attention has been paid towards them as compared to the frontal thrust. Three recent devastating Himalayan earthquakes, i.e., the 2015 Gorkha earthquake (Mw 7.8), 2005 Kashmir earthquake (Mw 7.6), and 1905 Kangra earthquake (Mw 7.8), which caused huge damage to life and property, produced the surface deformation along the hinterland faults instead of the frontal thrust. This motivated me to focus my research along hinterland faults. The results from my work, suggest that there were at least two earthquakes in northwest Himalaya with penultimate event between AD 1283 and AD 1600 (Arora et al., 2019). The timing of the latest faulting events analyzed from the previous trenches along the frontal thrust are consistent with the results obtained from our

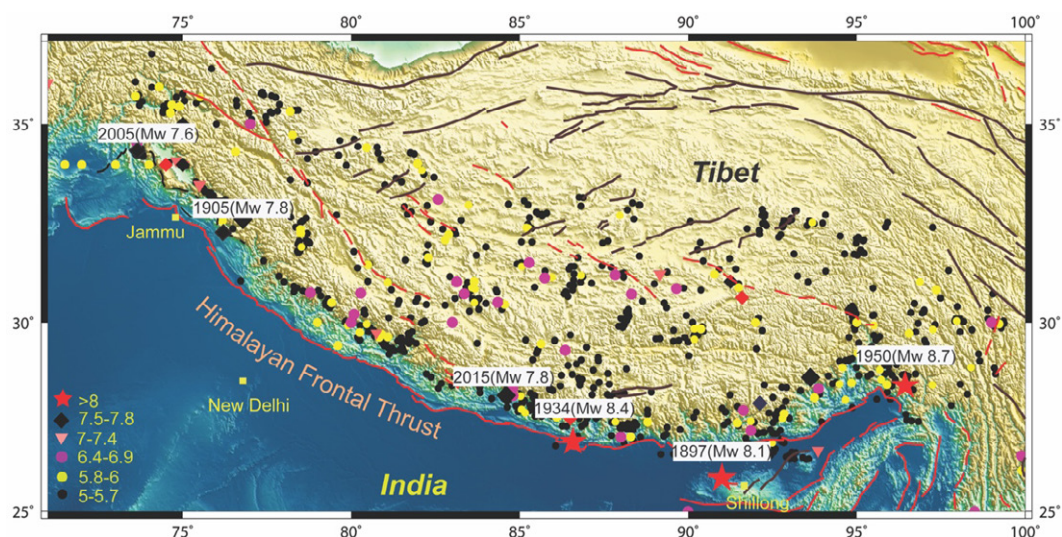


Fig. 2 Map showing the major active faults in the Himalaya and Tibet along with the list of great and large magnitude earthquakes in the Himalaya. The earthquake data is extracted from the ISC bulletin and IMD event catalog.

trench sites along the hinterland faults. On the basis of these results we suggest that either the hinterland and the frontal faults moved together during an earthquake event or hinterland faults might have reactivated first by an independent earthquake between AD 1283 and AD 1600, similar to the 1905, 2005 and 2015 earthquakes which have partially ruptured the detachment fault (Main Himalayan Thrust, MHT), and loaded the un-ruptured part of the MHT. The constant convergence between the plates during 14th-16th century and loading of the residual stress in the un-ruptured portion must have facilitated another earthquake within the time frame of 100-300 years rupturing the up-dip portion of MHT till the HFT (Arora et al., 2019). Since then no earthquake has occurred in northwest Himalaya which produced surface rupture along the frontal thrust raising the probability of next future earthquake in northwest Himalaya.

Case study from Japan

The continuous interaction between the Pacific and Eurasian plate and its seismic manifestation along the Japan Trench have provided inspiration to the

world's geologists to understand the fault behavior and earthquake mechanisms. With this motivation and previous knowledge from the mighty Himalaya, I am working in the meizoseismal zone of 1896 Rikuu earthquake (Mw 7.2) in northeast Japan (Fig. 3). The earthquake ruptured beneath the Ou Back Bone Range (OBR) and re-activated the pre-existing northern-segment of the Eastern Margin Fault Zone of Yokote Basin (EFZYB) while leaving the southern segment un-ruptured (Matsuda et al., 1980; Miura et al., 2002; Kagohara et al., 2009) (Fig. 3). Since then tremendous work has been carried along the ruptured segment of Rikuu earthquake to document the slip rates, penultimate events and recurrence intervals (Matsuda et al., 1980; Research Group for the Senya Fault, 1986; Imaizumi et al., 1997; Kagohara et al., 2009; Sato et al., 2002; Miura et al., 2002). While no associated tectonic landform, slip rates and past earthquake chronology has been established in southern un-ruptured segment of EFZYB. Therefore, I aim to use aerial phot interpretation, LiDAR dataset, seismic reflection and bore hole data to determine the slip rates along the unruptured segment of Rikuu

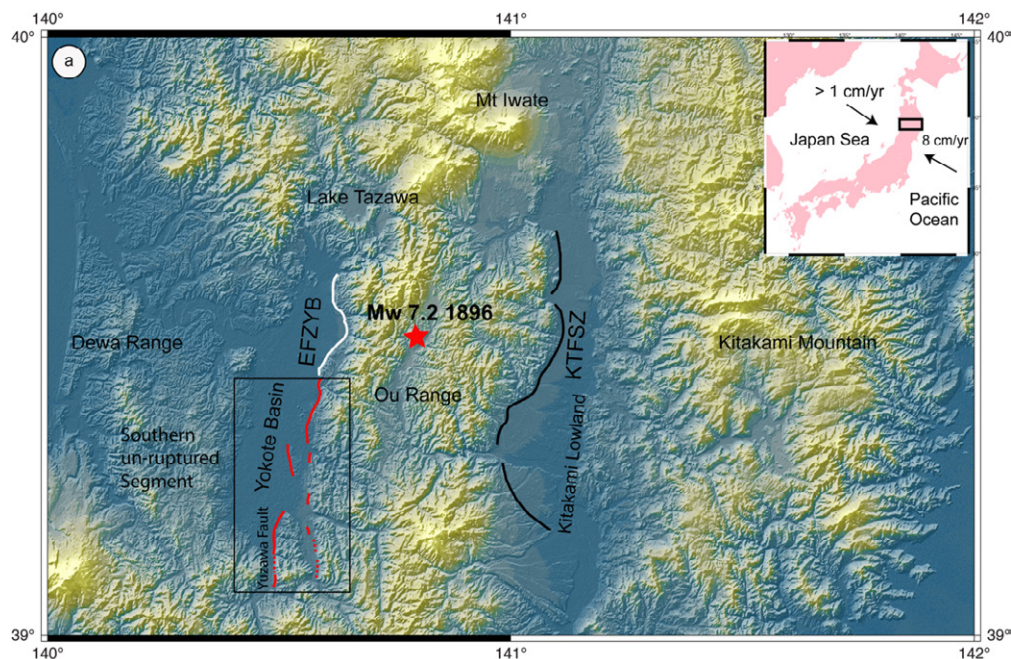


Fig. 3. The shaded relief map of Tohoku region showing the trace of fault lines and the epicenter of Rikuu earthquake (Mw 7.2) beneath the Ou Backbone Ranges. The white color indicates the ruptured segment of EFZYB whereas red color indicates the un-ruptured south segment of the EFZYB.

earthquake and determine the past earthquake chronology and recurrence intervals through trench investigation. The preliminary work from the Yokote Basin suggests 2.7 m/kyr slip rate along the south segment of the Yuzawa Fault (unpublished).

List of References

- Ambraseys, N., and Bilham, R. 2000. A note on the Kangra earthquake of 4 April 1905. *Curr.Sci.* 79, 46–50.
- Ammon, C. J., T. Lay, H. Kanamori, and M. Cleveland. 2011. A rupture model of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, *Earth Planets Space*, 63, 693–696, doi:10.5047/eps.2011.05.015.
- Arora, S., Malik, J. N., Sahoo, S., 2019. Paleoseismic evidence of a major earthquake event(s) along the hinterland faults: Pinjore Garden Fault (PGF) and Jhajra Fault (JF) in northwest Himalaya, India. *Tectonophysics* 757, 108–122.
- Bilham, R., 2019. Himalayan Earthquakes: A Review of Historical Seismicity and Early 21st Century Slip Potential. London: Geological Society of London, 483.
- Bollinger, L., Sapkota, S. N., Tapponnier, P., Klinger, Y., Rizza, M., Van Der Woerd, J., Tiwari, D. R., Pandey, R., Bitri, A., Bes de Berc, S., 2014. Estimating the return times of great Himalayan earthquakes in eastern Nepal: evidence from the Patu and Bardibas strands of the Main Frontal Thrust. *J Geophys Res* 119:7123–7163.
- Bollinger, L., Tapponnier, P., Sapkota, S., Klinger, Y., 2016. Slip deficit in central Nepal: omen for a repeat of the 1344 AD earthquake? *Earth, Planets Space*, 680 (12).
- DesRoches R., Comerio M., Eberhard M., Moony W., Rix G.J. 2011. Overview of the 2010 Haiti earthquake. *Earthquake Spectra* 2011; 27 (S1): S1–S21.
- Hetényi, G., Roux-Mallouf, R., Berthet, T., Cattin, R., Cauzzi, C., Phuntsho, K., Grolimund, R., 2016. Joint approach combining damage and paleoseismology observations constrains the 1714 A.D. Bhutan earthquake at magnitude 8 ± 0.5 , *Geophys. Res. Lett.*, 43, 10,695–10,702.
- Imaizumi, T., Sato, H., Ikeda, Y., Ishimaru, T., Sakai, R., Yoneda, S., Kubota, Y., 1997. Slip rate of the Senya fault, northeast Japan. Programme and Abstracts of Japan Association for Quaternary Research 27, 84–85 (in Japanese).
- Jayangondaperumal, R., Kumahara, Y., Thankur, V.C., Kumar, A., Srivastava, P., Shubhanshu, D., Jeevivek, V., Dubey, A.K., 2016. Great earthquake surface rupture along backthrust of the Janauri anticline, NW Himalaya *J Asian Earth Sci* Volume 133, 1 January 2017, Pages 89-101.
- Kagan, Y. Y., and D. D. Jackson. 2013. Tohoku earthquake: A surprise? *Bull. Seismol. Soc. Am.* 103, 1181–1194.
- Kagohara, K., Ishiyama, T., Imaizumi, T., Miyauchi, T., Sato, H., Matsuta, N., Miwa, A., Ikawa T. 2009. Subsurface geometry and structural evolution of the eastern margin fault zone of the Yokote basin based on seismic reflection data, northeast Japan *Tectonophysics*, 470 (2009), pp. 319-328
- Kondo H, Nakata T, Akhtar S.,S., Wesnousky S.,G., Sugito N., Kaneda H., Tsutsumi H., Khan A.,H., Khattak W., Kausar A.B., 2008. Long recurrence interval of faulting beyond the 2005 Kashmir earthquake around the northwestern margin of the Indo- Asian collision zone. *Geology*, 36 (9): 731–734. doi:10.1130/G25028A.1
- Kumahara, Y., Jayangondaperumal, R., 2013. Paleoseismic evidence of a surface rupture along the northwestern Himalayan Frontal Thrust (HFT). *Geomorphology* 180: 47-56.
- Kumar, S., Wesnousky, S. G., Jayangondaperumal, R., Nakata, T., Kumahara, Y., Singh, V., 2010. Paleoseismological evidence of surface faulting

- along the northeastern Himalayan front, India: timing, size, and spatial extent of great earthquakes. *J Geophys Res* 115: B12422, doi: 10.1029/2009JB006789.
- Kumar, S., Wesnousky, S.G., Rockwell, T.K., Briggs, R.W., Thakur, V.C., Jayangondaperumal, R., 2006. Paleoseismic evidence of great surface rupture earthquakes along the Indian Himalaya. *J Geophys Res* 111: B03304. doi:10.1029/2004JB003309.
- Kumar, S., Wesnousky, W. G., Rockwell, T. K., Ragona, D., Thakur, V. C., Seitz, G. G., 2001. Earthquake recurrence and rupture dynamics of Himalayan Frontal Thrust, India. *Science*, 294: 2328–2331.
- Lavé, J., Yule, D., Sapkota, S., Basant, K., Madden, C., Attal, M., Pandey, R., 2005. Evidence for a Great Medieval Earthquake (1100 A.D.) in the Central Himalayas, Nepal. *Science*, 307: 1302–1305.
- Le Roux-Mallouf, R., Ferry, M., Ritz, J. F., Berthet, T., Cattin, R., Drukpa, D., 2016. First paleoseismic evidence for great surface-rupturing earthquakes in the Bhutan Himalayas, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 121.
- Lo, Y.-C., Zhao, L., Xu, X. W., Chen, J., and Hung, S.-H. 2018. The 13 November 2016 Kaikoura, New Zealand earthquake: rupture process and seismotectonic implications. *Earth Planet. Phys.*, 2(2), 139–149. Australia, November 18–20
- Malik, J. N., Nakata, T., 2003. Active faults and related Late Quaternary deformation along the northwestern Himalayan Frontal Zone, India. *Annals of Geophys* 46 (5): 917–936.
- Malik, J. N., Nakata, T., Philip, G., Suresh, N., Viridi, N. S., 2008. Active fault and paleoseismic investigation: evidence of historic earthquake along Chandigarh Fault in the frontal Himalayan zone, NW India. *J Himalayan Geology* 29 (2): 109–117.
- Malik, J. N., Sahoo, A. K., Shah, A. A., Shinde, D. P., Juyal, N., Singhvi, A. K., 2010. Paleoseismic evidence from trench investigation along Hajipur fault, Himalayan frontal thrust, NW Himalaya: Implication of the faulting pattern on landscape evolution and seismic hazard. *J Struct Geol* 32: 350–361.
- Malik, J. N., Sahoo, S., Satuluri, S., Okumura, K., 2015. Active Fault and Paleoseismic Studies in Kangra Valley: Evidence of Surface Rupture of a Great Himalayan 1905 Kangra Earthquake (Mw 7.8), Northwest Himalaya, India. *Bull Seismol Soc Am* 105, No. 5: 2325–2342.
- Malik, J.N., Naik, S.P., Sahoo, S., Okumura, K., Mohanty, A., 2016. Paleoseismic evidence of the 1505 CE(?) and 1803 CE earthquake from the foothill zone of the Kumaon Himalaya along the Himalayan frontal thrust (HFT), India. *Tectonophysics Volumes* 714–715, 13 September 2017, Pages 133–145.
- Matsuda, T., Yamazaki, H., Nakata, T., Imaizumi, T., 1980. The surface faults associated with the Rikuu earthquake of 1896. *Bulletin of the Earthquake Research Institute University of Tokyo* 55, 795–855 (in Japanese with English abstract).
- McCalpin, J. P., 1996. *Paleoseismology*, Academic, New York.
- Mishra, R., Singh, I., Pandey, A., Rao, P. S., Sahoo, H. K., Jayangondaperumal, R., 2016. Paleoseismic evidence of a giant medieval earthquake in the eastern Himalaya. *Geophys Res Lett* 43, doi: 10.1002/2016GL068739.
- Miura, S., T. Sato, K. Tachibana, Y. Satake, and A. Hasegawa, Strain accumulation in and around Ou Backbone Range, northeastern Japan as observed by a dense GPS network, *Earth Planets Space*, 54, 1071–1076, 2002
- Mori, N., Takahashi, T., Yasuda, T., Yanagisawa, H. 2011. Survey of 2011 Tohoku earthquake tsunami inundation and run-up, *Geophys. Res. Lett.* 38, L00G14.
- Nakata, T., 1989. Active faults of the Himalaya of India and Nepal. *Geol Soc Am Bull*, Special Paper 232: 243–264.

- Rajendran, C. P., John, B., Anandasabari, K., Sanwal, J., Rajendran, K., Kumar, P., and Chopra, S., 2018a. On the paleoseismic evidence of the 1803 earthquake rupture (or lack of it) along the frontal thrust of the Kumaun Himalaya. *Tectonophysics*, 722C, 227–23
- Rajendran, C. P., John, B., Rajendran, K., 2015. Medieval pulse of great earthquakes in the central Himalaya: Viewing past activities on the frontal thrust. *J Geophys Res* 120(3): 1623–1641.
- Rajendran, C. P., Sanwal, J., John, B., Anandasabari, K., Rajendran, K., Kumar, P., Jaiswal, M., Chopra, S., 2018b. Footprints of an elusive mid-14th century earthquake in the central Himalaya: Consilience of evidence from Nepal and India. *Geological Journal*, 1–18
- Reiter, L. 1995. Paleoseismology — A user's perspective. In *Perspectives in Paleoseismology* (L. Serva, and D. B. Slemmons, Eds.), Assoc. Eng. Geol. Spec. Publ. vol. 6, pp. 3–6.
- Research Group for the Senya Fault, 1986. Holocene activities and near-surface features of the Senya fault, Akita prefecture, Japan -Excavation study at Komori, Senhata-cho-. *Bulletin of the Earthquake Research Institute University of Tokyo* 61, 339–402 (in Japanese with English abstract).
- Sapkota, S. N., Bollinger, L., Klinger, Y., Tapponnier, P., Gaudemer, Y., Tiwari, D., 2013. Primary surface ruptures of the great Himalayan earthquakes in 1934 and 1255, *Nat. Geosci.* 6: pp 71–76.
- Sato, H., Hirata, N., Iwasaki, T., Matsubara, M., Ikawa, T., 2002. Deep seismic reflection profiling across the Ou backbone Range, northern Honshu Island, Japan. *Tectonophysics* 355, 41–52.
- Seeber, L., and Armbruster, J. G., 1981. Great detachment earthquakes along the Himalayan arc and the long term forecasts, in *Earthquake Prediction: An International Review*, Maurice Ewing Set., vol. 4, edited by Simpson, D. W. and Richards, P. G., pp. 259–279, AGU, Washington, D.C.
- Shedlock, K., Tanner, J.G., 1999. Seismic Hazard map of the Western Hemisphere. *Ann. Geophys.* 42 (6), 1199–1214.
- Stevens, V. L., Avouac, J. P., 2015. Interseismic coupling on the main Himalayan thrust. *Geophysical Research Letters*, 42, 5828–5837.
- Taylor, M. & Yin, A., 2009. Active structures of the Himalayan-Tibetan orogen and their relationships to earthquake distribution, contemporary strain field, and Cenozoic volcanism. *Geosphere*; 5 (3): 199–214. doi: <https://doi.org/10.1130/GES00217.1>
- Wesnousky, S. G., Kumahara, Y., Chamlagain, D., Pierce, I. K., Karki, A., Gautam, D., 2017. Geological observations on large earthquakes along the Himalayan frontal fault near Kathmandu, Nepal *Earth and Planetary Science Letters*, 457, 366–375.
- Wesnousky, S. G., Kumar, S., Mohindra, R., Thakur, V. C., 1999. Uplift and Convergence along the Himalayan Frontal Thrust. *Tectonics*, 18(6): 967–976.

プレス発表



偶然が生んだ太田川低地（静岡県西部）での東海地震による津波堆積物の発見

藤原 治（副研究部門長 兼 地震災害予測研究グループ長）

私たちは最近、静岡県西部の太田川低地（図1）で発見した津波堆積物に関する論文を *Quaternary Science Reviews* 誌に発表しました¹⁾。この研究によって、これまで歴史記録からは未確認であった7世紀末と9世紀末にも東海地震が発生していたことが分かりました。また、歴史記録との照合から、9世紀末の東海地震は887年の南海地震（仁和地震）と同じ日に起きていたことも明らかになりました。東海地震と南海地震が同時発生した例は1707年宝永地震が知られていますが、同じような巨大地震が887年にも起きていたのです。論文の解説は産総研HPで公開していますのでご興味のある方はご覧ください。（https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2019/pr20191119/pr20191119.html）

ここでは、この論文ができるまでの裏話を書きたいと思います。どんな論文にも裏話はあるものですが、この論文は私の経験の中でも特別で、幾つもの偶然が重なっていました。どれか一つ欠けてもこの研究は世に出なかったし、大げさですが恐らく未来永劫、7世紀と9世紀の東海地震による津波堆積物を証明することはできなかつただろうと思っています。

調査の始まりは、2011年9月20日に静岡県立磐田南高等学校の青島 晃先生から送られてきたメールでした。それは「太田川低地で河川工事に伴って大きな露頭が現れており、植物遺体を含む泥層の間に厚さ約50cmの砂礫層がある。海に棲む貝

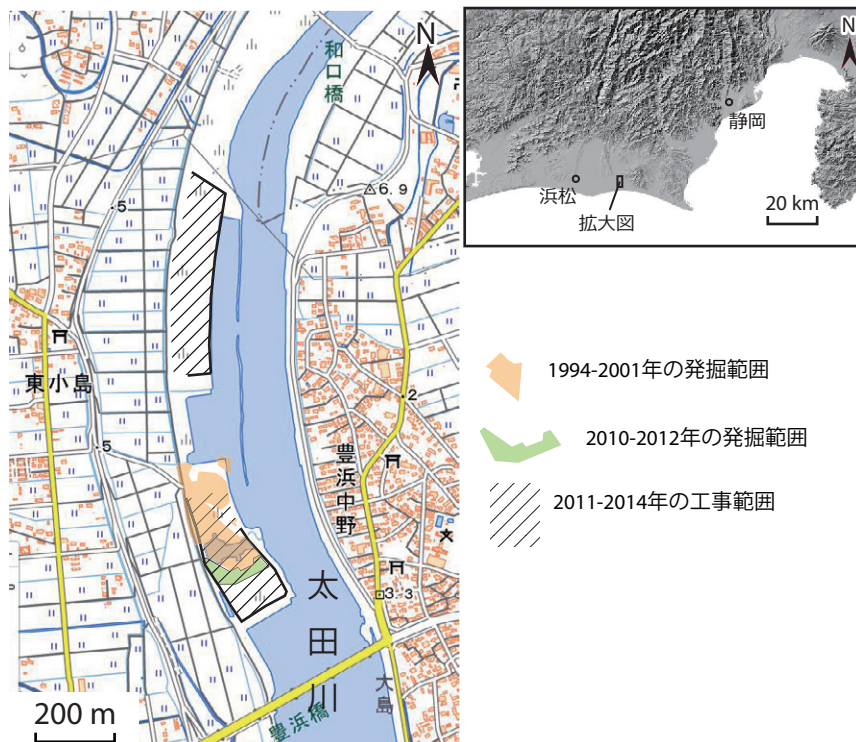


図1 調査位置図。背景の陰影図、地形図は地理院地図（電子国土 Web；<https://maps.gsi.go.jp>）を使用。

の化石を含んでいる。太田川の砂と違って雲母を含んでおり、遠州灘の海浜砂に類似している。水平方向に 50 m くらい連続しており内陸側に向かって薄くなっている。津波堆積物ではないか。」というものでした。添付された露頭の写真と柱状図を見る限り、津波堆積物の可能性は非常に高いと思われました。また「この露頭は 10 月には河川工事に伴い撤去される可能性がある」とも書かれていました。静岡大学理学部地球科学科（静岡大学防災総合センター）の北村晃寿教授にも連絡済みとのことでした。これは行ってみない訳にはいきません。

これに先立つ 7 月 10 日に、日本第四紀学会が 2011 年東北地方太平洋沖地震を受けて防災関連の緊急シンポジウムを開催し、私はそこで津波堆積物に関する講演をしました。青島さんとはそこで短時間ですがお会いしていました。これが一つ目の偶然です。青島さんは静岡と言う土地柄もあって、専門である地学の知識を生かして以前から東海地震のことなどを調べておられて、このシンポジウムにも参加されていました。また、青島さんは静岡大学で行われている防災講習を通じて北村さんと知り合いました。二つ目の偶然は、工事露頭の“津波堆積物”が目にとまったことです。太田川の工事露頭で変わった砂層に最初に気がついたのは、青島さんが指導する磐田南高校の地学部で活動中の生徒さんでした。普段から部活動で海岸などの堆積物を研究されていたので「地層を見る目ができていた」、そして「津波堆積物」というキーワードを恐らく知っていたのでしょう。そもそも、南海トラフに面したこの場所で、2011 年東北沖地震と重なるこの時期に工事をしていたと言うのも何かの因縁に思えます。

9 月 20 日のメールの直後から、北村さん、青島さん、藤原で調査日程や安全管理などを含む調査の分担を相談しました。工事は太田川の洪水水位を下げるために、河川の幅を拡張するものでした。工事現場は崩れやすい泥質の地層が露出しており、多くの重機や土砂を運び出す大型ダンプカーがひっきりなしに動いています。私たちの調査では、工事で

現れた地層に取りついて、地層の堆積構造の解説、化石・鉱物の分析や放射性炭素年代測定などの試料を採取する必要があります。それにはどうしても工事現場に入って露頭の一部を人力で削ったり、接着材を使って「剥ぎ取り試料」を作らねばなりません。安全を最優先しつつ、工事日程に影響を与えることなく調査を終わらないといけません。安全管理計画の作成は工事を所管していた静岡県袋井土木事務所と相談しつつ青島さんが中心に行いました。「調査の前に工程や人員リストを土木事務所に連絡する」、「現場管理をしている工事業者が指定する場所以外には立ち入らない」、「業者がいない休日には調査をしない」ことを大原則に、細かなことを決めました。また、考古遺物が見つかった場合は、静岡県埋蔵文化財センターに連絡することになりました。静岡県庁（静岡県危機管理部および河川改訂課）、県内のメディアへの第一報は北村さんから入れました。津波堆積物の研究は産総研（藤原）が主に行いますが、低地の環境変化など露頭から得られる情報については、関係者それぞれの得意分野に応じて分担して研究することになりました。

調査した中で一番厚く津波堆積物が残っていた露頭の調査が実施できたことは 3 番目の偶然のおかげです。私たちの本格的な調査は 9 月末からでしたが、当初の工事予定ではその時期にはこの露頭は消滅しているはずでした。ところが 9 月 21 日に静岡県西部を直撃した台風 15 号のために工事現場が冠水して、この露頭の撤去工事が延期になったのでした。9 月 26 日の夕方近く、浜松への出張の帰り道に青島さんと工事現場近くのコンビニで待ち合わせ、工事現場を下見に行きました。工事で現れた露頭（大きな長方形の穴で造船所のドックかオリンピックプールのように見えた）は思ったより広く、また深いものでした（図 2）。プールの床や壁に露出した地層は主に粘土層で、雨の影響もありとてもぬかるんでいました。泥水に浸かっていた露頭は表面に粘土が覆って見えにくくなっていましたが、津波堆積物と思われる厚い砂層が露頭の下部に水平に連続しているのが土手の上からも見えました。



図2 工事現場の様子。ほぼ水平な層理が見える。4層の津波堆積物が確認された。7世紀末と1498年の厚い津波堆積物は黒っぽい線として見える。887年と1096年の津波堆積物は薄いので、この写真では見えない。右手が海側。2011年9月30日撮影。露頭の高さは約4.5m。

青島さんから発見時の状況を説明してもらい、土手の斜面を伝って厚い砂層のところまで下りて、少しだけ露頭を削ってみました。青島さんからの9月20日のメールにあった情報以外に、この砂層は上方へ細粒化し、上部は粘土層と砂の互層になると言った、これまで見てきた津波堆積物によく似た特徴がありました。また、この厚い砂層の上面から30cmほど上位に、もう一枚、層厚5cm程度で石英の目立つ砂層があることも分かりました（後にこれは887年仁和地震による津波堆積物と判明しました）。この日は現地の工事事務所を訪ね、そこにおられた袋井土木事務所の担当者と工事の業者さんに今後の調査の了解をいただきました。「プール」の上端の標高は約3m、底は約マイナス2mと言うこともこの時に聞きました。そうこうするうちに、9月28日には中央防災会議の「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」から、『今後、地震・津波の想定を行うに当たっては、「あらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大な地震・津波を検討していくべきである』』と言う報告が出されました。地震・津波防災の研究にとって、津波堆積物の重要性がさらに高まることになりました。

工事現場の水が引くのを待って、第一回目の本格的な調査を9月30日（金）と10月1日（土）に行いました。産総研、静岡大、磐田南高校の関係

者に加え、当時九州大学大学院の佐藤善輝さん（現産総研）、新潟大（現駒澤大）の小野映介さんも参加しました。佐藤さん、小野さんとは2006年ころから太田川低地の地形や古地震・津波の調査を一緒に行っていました。この研究は、津波が起きた時の海岸線の位置を推定する（遡上距離を復元する）のにも役立ちました。この時は露頭全体の観察と柱状図の作成、地層の剥ぎ取り、測量、分析試料の採取を行いました。この時の調査で、津波堆積物らしき砂層は合計4枚あることが分かりました。南海トラフでも2011年東北沖地震のような巨大な地震・津波が起こるのではないかとする社会の不安を反映して、テレビ局など複数のメディアの取材があり、現場はものものしい雰囲気でした。

10月14日には、より広範囲での津波堆積物の調査を行うために、工事現場の500mほど下流で行われていた元島遺跡の発掘現場を視察に行きました。この遺跡は河川改修に先立ち1990年代から発掘が行われ、弥生時代後期以降の遺構や遺物、中世の湊跡などが見つかっていました。発掘はこの時が最終年度で、2010-2011年度に発掘が行われた120m×60mほどの範囲が残っていました（図3）。排水ポンプが止まるとこの遺跡は水没します。また、2012年以降には遺跡自体が工事で消える運命にあったので、ぎりぎりまで津波堆積物の調査が間に合いました。

発掘区画では、氾濫原の粘土層を2 m ほど掘り下げたところに、弥生時代後期の方形周溝墓などが見えていました。私の興味は遺構ではなく、発掘区画の周りの法面の方でした。よく見ると、氾濫原で堆積した灰色や暗灰色の粘土層に、葉理の発達した砂層が一枚挟まっていることに気が付きました（図3）。この砂層は遺跡全体にほぼ水平に（おそらく発掘区画の外まで）広がっているように見えました。発掘を行っている静岡県埋蔵文化財センターの方とお話しして、遺跡の発掘が完了した後に詳しく調

査させてもらうことにしました（この砂層は後に年代測定によって1096年永長地震による津波堆積物であることが明らかになりました）。

2011年11月10日と11日に、発掘調査の最終工程として遺跡の一部を重機で深く掘り下げる作業が行われました（図4）。遺跡発掘現場での調査には通常は幾つかの手続きが必要ですが、今回は発掘調査終了後に工事で撤去されるため、自由に地層を削ったりサンプルを採取できる幸運に恵まれました。遺跡の発掘をされている方々といろいろ



図3 元島遺跡で見られる1096年永長津波の堆積物。リップル葉理の発達する砂層からなる。発掘現場の法面に沿って連続する。法面の曲がり角にあるスケールは1 m。右手には弥生時代後期の方形周溝墓などが分布している。2011年10月14日撮影。



図4 元島遺跡の土層断面で見られる1096年永長津波の堆積物。横方向の線は遺跡調査のために引かれたもの。右手のスケールは1 m。2011年11月10日撮影。

とお話をして、研究対象の違いによって全く異なった地層の見方や解釈があることに改めて驚きました。遺跡発掘では遺物を含まない地層は無視されてしまうことが多いですが、津波堆積物の研究ではむしろその地層の方が重要であったりします。あと、発掘では地層を上から順番に剥がしていくので、地層の区分は上から順に1層、2層と名前を付けることが通常ですが、私のような地層の研究者は地層が堆積した順に下から1層、2層と命名することが多いといった違いにも気づかされました。

この後、私たちの調査がどうなったか、短く振り返ってみましょう。川岸は複数の工事区間に分けられていて、一つの区間は上流一下流方向の長さが150-200 m程度、川と陸方向の幅が60 mほどでした。法面の高さは4-4.5 mあります。偶然と言うか、都合が良いことに、太田川が海岸とほぼ直交して流れているので、工事区画では海一陸方向と海岸に平行な断面の両方を観察できます。掘削が始まると、重機で工事区画の縁の部分を残して内側を掘りぬき、空のプールを作ります(図1)。そのあとで川に面した縁の一部を切り崩して水を引き入れます。工事は最初に調査した区画から順次上流の区画へと進んだので、津波堆積物を下流から上流へと追跡できました。一つの区画の作業には数か月かかり、新しい区画の掘削が始まるまでには休工期間もあります。青島さんには地元の利を生かして掘削工事の様子を見張っておいてもらい、露頭が見ごろになる時を見計らって産総研から袋井土木事務所に調査許可書を申請し、現場へ出向くことを繰り返しました。

2013年になると、元島遺跡があった場所でも河川の拡張工事が始まりました。砂層からなる浜堤とそれを覆う氾濫原の地層が観察でき、氾濫原堆積物からは上流の工事現場で観察された津波堆積物に対応すると考えられる砂層が3層確認できました。こうして、私たちの調査は2014年の夏まで続けました。この途中で、2012年4月には島根大学の入月俊明教授の研究室の学生さんが調査に参加し、卒業研究として工事露頭から採取した地層の元素分析と環境復元を行うことになりました。磐田南高校

の地学部の活動としての露頭の研究も継続して行われました(後に太田川の津波堆積物の研究は、日本学生科学賞(環境大臣賞)などを受賞しました)。北村さんを含む静岡大学のメンバーとは、工事現場での調査結果をもとに太田川低地の環境変化に関する共著論文を2015年に発表しました²⁾。

最終的に海側から陸側へ約1 kmにわたり地層断面をほぼ連続して観察できました。露頭には河川流路の痕跡である砂層も幾つも見られ、津波堆積物との区別が課題となりました。見つけた砂層が津波堆積物だと確信できた最大の理由は、大露頭の観察によって海側から陸へ向かって次第に薄く細粒になりながら続いており、津波が内陸奥深くまで遡上したことを確認できたことです。また、工事区画では海一陸方向と海岸に平行な両方の露頭があるので、地層の3次元構造が分かります。河川は低地に「樋」のような窪みを作っているため、流れと直交する断面ではU字型に近い形をしています。斜めに切った断面では横に広がったU字型や水平な板状に見えたりと形を変えます。津波堆積物は露頭との交差する向きによらず、どこでもほぼ水平な板状に広がっていることから、河川堆積物と区別できました(図3, 5)。普段の津波堆積物調査では、ボーリングコア試料や人力で掘った小さなピットしかないの比べて、今回は非常に恵まれた調査でした。

大きな露頭で沢山の年代測定試料を採取できたことも幸運でした。露頭には沢山の植物片などが含まれていますが、そこから摩耗が少ない小枝など地層の堆積した年代を示すと考えられる試料を選別して採取しました。最終的に約50個の試料について放射性炭素年代測定を行いました。また、津波堆積物に含まれていた土器の破片も地層の年代推定に利用しました。工事現場で広く追跡できた4枚の砂層は、7世紀末、9世紀末(887年仁和地震)、1096年永長地震、1498年明応地震による津波堆積物であることが分かりました。

この長期にわたる調査が無事に完了できたのは、静岡県では東海地震についてのアウトリーチが進んでおり、人々の地震や津波への関心が高かったことが背景にあります。さらに、2011年3月の東北

地方太平洋沖地震の直後で、巨大地震と津波への関心が特に高まっている時期でもありました。地元自治体や工事業者さんの防災への意識も特に高く、我々の調査への関心が高いことは現地での打ち合わせや、調査のことをメディアなどで知って見学に来られた方々とのお話しを通じてよく分かりました。

2014 年末にはほぼデータが出そろいましたが、私が 2015 年、2017 年、2019 年に異動したために、執筆が中断しました。共著者や調査にご協力頂いた方々には長らくお待たせして申し訳ないことでした。この途中で、多数の放射性炭素年代から津波堆積物が堆積した正確な年代を統計的に導き出すために、年代測定と解析の専門家である秋田大のステイブン・オブラクタ教授（当時は准教授）に共著者に加わってもらいました。彼は英語と日本語のバイリンガルなので、英語の原稿作成が加速しました。論文は 2019 年のゴールデンウィーク頃にやっと投稿し、2019 年 10 月 13 日に受理されました。初めて露頭を見てからちょうど 8 年が経っていました。

なお、太田川低地での東海地震津波堆積物の発見については、静岡新聞社から 2020 年 3 月に出版された書籍³⁾に藤原がコラムとして市民向けに解説を執筆しました。

謝辞：静岡県袋井土木事務所と静岡県埋蔵文化財センターからは現地調査の許可だけでなく、地図、測量結果、空中写真を提供していただきました。工事の業者さんには管理計画の作成、調査時の交通整理、立ち入り区域を制限するトラロープ張り、露頭への測量杭の設置など、忙しい中大変なご協力をいただきました。様々な手続きをスムーズに進めて頂き、研究者が次々と依頼する我儘も聞いていただきました。改めてお礼申し上げます。

- 1) Fujiwara, O., Aoshima, A., Irizuki, T., Ono, E., Obrochta, S.P., Sampei, Y., Sato, Y. and Takahashi, A. (2020) Tsunami deposits refine great earthquake rupture extent and recurrence over the past 1300 years along the Nankai and Tokai fault segments of the Nankai Trough, Japan. *Quaternary Science Reviews*, 227.
- 2) 藤原 治・北村晃寿・佐藤善輝・青島 晃・小野映介・小林小夏・小倉一輝・谷川晃一朗（2015）静岡県西部の太田川低地で見られる弥生時代中・後期の相対的海水準上昇。第四紀研究, 54, 11-20.
- 3) 岩田孝仁・北村晃寿・小山真人編（2020）静岡の大規模自然災害の科学，静岡新聞社，255p.



図 5 工事露頭の様子。砂質の津波堆積物が黒い線に見える。直角に曲がった工事露頭で、3 次元的な広がりが見える。露頭下部は泥水を被ったために汚れている。海側を俯瞰した写真。2012 年 4 月 14 日撮影。

外部委員会等 活動報告 (2020年4月～5月)

2020 年 4 月 8 日

南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会、地震防災対策強化地域判定会（松本（則）出席 / 書面開催）各機関の最近 1 ヶ月の観測データを持ち寄り、南海トラフ沿いの地震に関する地殻活動モニタリングの評価検討を行った。

2020 年 4 月 9 日

第 343 回地震調査委員会（宮下出席 / 書面開催）3 月の地震活動について審議した。評価文は下記にて公表。

2020 年 4 月 17 日

第 30 回（令和 2 年度第 1 回）地震・火山噴火予知研究協議会（田中出席 / Web 会議）

2020 年 4 月 28 日

東京都環境影響評価審議会総会（宮越出席 / テレビ会議）

2020 年 5 月 12 日

南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会、地震防災対策強化地域判定会（松本（則）出席 / Web 会議）各機関の最近 1 ヶ月の観測データを持ち寄り、南海トラフ沿いの地震に関する地殻活動モニタリングの評価検討を行った。

2020 年 5 月 14 日

第 344 回地震調査委員会（宮下出席 / Web 会議）4 月の地震活動について審議した。評価文は下記にて公表。

2020 年 5 月 19 日

日本地球掘削科学コンソーシアム 2020 年度定例総会（藤原出席 / TV 会議）
2019 年度活動報告、2020 年度活動方針、予算案などを可決した。また、役員の任期満了に伴い実施された選挙の結果を受け、2020～2021 年度の体制が決定した。

2020 年 5 月 21 日

科学技術・学術審議会測地学分科会 火山研究推進委員会（第 1 回）（田中出席 / Web 会議）
測地事業計画に関する事項を調査審議

2020 年 5 月 22 日

第 227 回地震予知連絡会（丸山出席 / Web 会議）
地殻活動モニタリングに関する検討

2020 年 5 月 28 日

東京都環境影響評価審議会総会（宮越出席 / テレビ会議）

2020 年 5 月 29 日

地震調査委員会長期評価部会（岡村、宍倉出席 / Web 会議）
日本海南西部の海域活断層評価について、ほか

IEVG ニュースレター Vol.7 No.2（通巻 38 号）

2020 年 6 月 発行

発行・編集 国立研究開発法人 産業技術総合研究所
活断層・火山研究部門
編集担当 黒坂朗子

問い合わせ 〒 305-8567 茨城県つくば市東 1-1-1 中央第 7
Tel: 029-861-3691 Fax: 029-861-3803
URL <https://unit.aist.go.jp/ievg/index.html>