

北海道えりも町沿岸域における津波堆積物調査 Tsunami deposits surveys on the Erimo coast of Hokkaido

中西 諒^{1) 2)}

Ryo Nakanishi^{1) 2)}

緒言

千島海溝では過去 200 年間の観測記録から、数十年間隔で M8 程度の地震が発生しており、沿岸部においては大きな津波によって被害が出ている。巨大地震と呼ばれる M9 程度の地震は数百年とより長期にわたる発生間隔を持つとされるため、こうした低頻度の地震履歴を調べるためには地質記録を用いる必要がある。地質記録の一つとして、地震に伴う津波によって沿岸陸地に運ばれた「津波堆積物」がある。北海道沿岸域では津波堆積物に基づいた古津波研究が行われており、平均して 400 年間隔で巨大地震が発生していたことが示唆されている (Sawai, 2020 など)。直近の巨大地震は 17 世紀頃に発生したとされているため、400 年以上が経過した現在、7-40%の確率でこうした地震の発生が危惧されている (地震調査研究推進本部, 2018)。17 世紀の津波堆積物は北海道東部で広く確認され、この堆積物の分布を再現する津波のシミュレーションから Mw8.8 という規模が推定されている (Ioki and Tanioka, 2016 : 図 1)。しかしながら、広尾町より西側の地域では津波堆積物の調査報告例がないため、地震規模を正確に復元するため、より網羅的な調査が必要である。

本報告では Nakanishi et al. (2022a) によって明らかにされた、えりも町百人浜における津波堆積物調査結果と、歌別・近浦における予察的な調査の結果について述べる。

調査地

百人浜地区には海岸線に沿って高さ数mの砂

丘が発達しており、その背後には 1-2m の深さまで有機質な泥炭層が分布している。海岸から 1km 程度内陸には段丘堆積物が分布しているが、河川 (または旧河川跡) 付近には内陸まで泥炭層が発達する。3つの測線に沿って簡易掘削調査を行い津波堆積物の分布について調査を行った (図 2)。



図 1 調査位置図と 17 世紀地震の断層モデル (網掛け: Ioki and Tanioka, 2016、実線: Nakanishi et al., 2022a)。

Fig. 1 Survey location map and fault model of the 17th century earthquake (shaded: Ioki and Tanioka, 2016; solid line: Nakanishi et al., 2022a).

歌別地区はコロップ川や歌別川に沿って低地が分布する。コロップ川の海側低地では河川成の堆積物が厚く堆積するが、河川が蛇行する付近では河川氾濫原堆積物の上位に泥炭層が分布する。調査地点は海岸から 570m ほど離れた地点で、河川沿いの地層観察を行った (図 2)。数値標高モデルデータ (国土地理院基盤地図情報) においては本地点の川下側に橋が存在するため、

1) 東京大学大学院新領域創成科学研究科 (〒277-8561 千葉県柏市柏の葉 5-1-5)

Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, Kashiwa, Japan

2) 東京大学大気海洋研究所 海洋底科学部門 (〒277-0882 千葉県柏市柏の葉 5-1-5)

Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, Kashiwa, Japan

連絡先 Corresponding author: Ryo Nakanishi Email: n-ryo@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

17 世紀における津波の数値計算を行う際、この高まりを取り除いた。

近浦地区ではニカンベツ川による最も低位の河岸段丘と考えられる低地（標高 10m 以下）が広がる。より高位の河岸段丘斜面手前では泥質またはやや砂質な泥炭層が分布している。海浜側が居住地区になっているため、海岸線から 370m の最下位段丘面において簡易掘削を行った（図 2）。

手法

野外調査は手動で地層の観察や採泥が可能であるハンディジオスライサーおよびピートサン

プラーを用いて実施した。現地では、堆積構造・色調・粒径などの記載を行い、写真を撮影した後、サンプリングを行った。定常堆積物である泥炭層のサンプルについては、放射性炭素年代を測定し、堆積年代を求めた。砂層のサンプルについては篩による粒度分析や珪藻微化石の観察に用いた。

津波計算コード「JAGURS」(Baba et al., 2015) を用いた津波伝播計算は Nakanishi et al. (2022a) と同様の方法で、歌別・近浦地区（5m メッシュ）について追加実施した（図 2）。

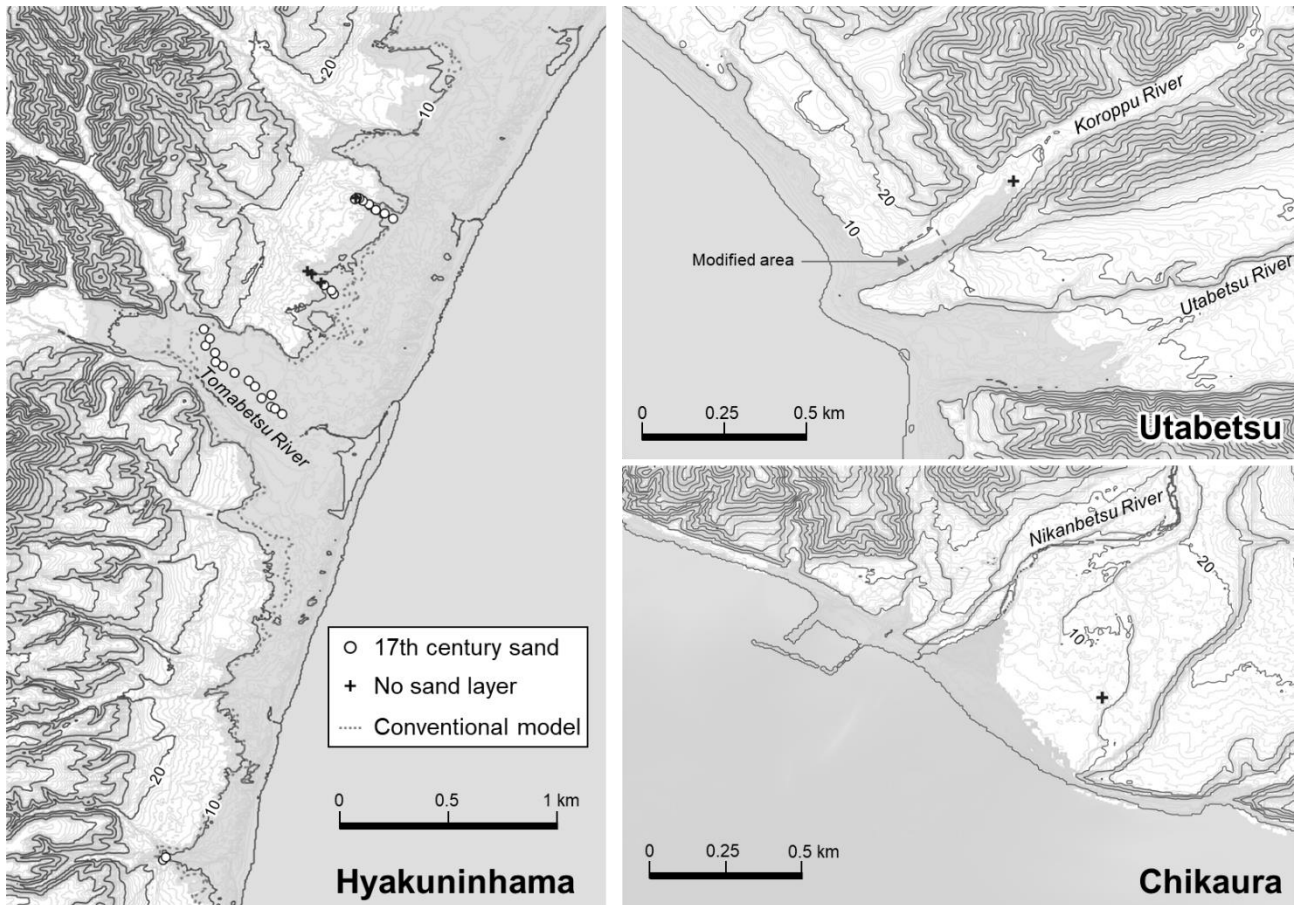


図 2 調査地域の詳細地図と計算された津波浸水範囲。標高モデルは国土地理院基盤標高モデルデータを基に作成。○と+はそれぞれ 17 世紀津波堆積物の確認された調査地点と確認されなかった調査地点を示している。網掛けは本断層モデル (Nakanishi et al., 2022a) を用いた津波数値計算による津波浸水範囲を示している。破線は従来モデル (Ioki and Tanioka, 2016) による浸水範囲を示す。

Fig. 2 Detailed map of the study area and the simulated tsunami inundation area. The elevation model is based on GSI base elevation model data. ○ and + indicate survey sites where 17th century tsunami deposits were identified and where no sand layers were identified, respectively. The shaded areas indicate the tsunami inundation areas based on the numerical tsunami simulation using the fault model (Nakanishi et al., 2022a). The dashed line shows the inundation area based on the conventional model (Ioki and Tanioka, 2016).

野外調査と砂層の分析結果

百人浜

基本的な層序は泥炭層と砂層の互層からなり、海側の地点では10層の砂層（上位からS1–S10層）が確認された（図3）。泥炭層中には3枚の火山灰層が確認され、それぞれ西暦1663年降灰の有珠b火山灰（Us-b）、西暦946年降灰の白頭山苦小牧火山灰（B-Tm）、紀元前400年頃に降灰した樽前山c2火山灰（Ta-c2）と同定されている（Nakanishi et al., 2020a）。

S1–S10 砂層は海浜砂と類似した粒度組成を示し、砂層中にはわずかであるが海生種の珪藻を含んでいた。泥炭層と砂層は境界がはっきりしており、浸食や突発的な堆積を示唆する。砂層は内陸へ向かうに従い、薄い層へと変化し、

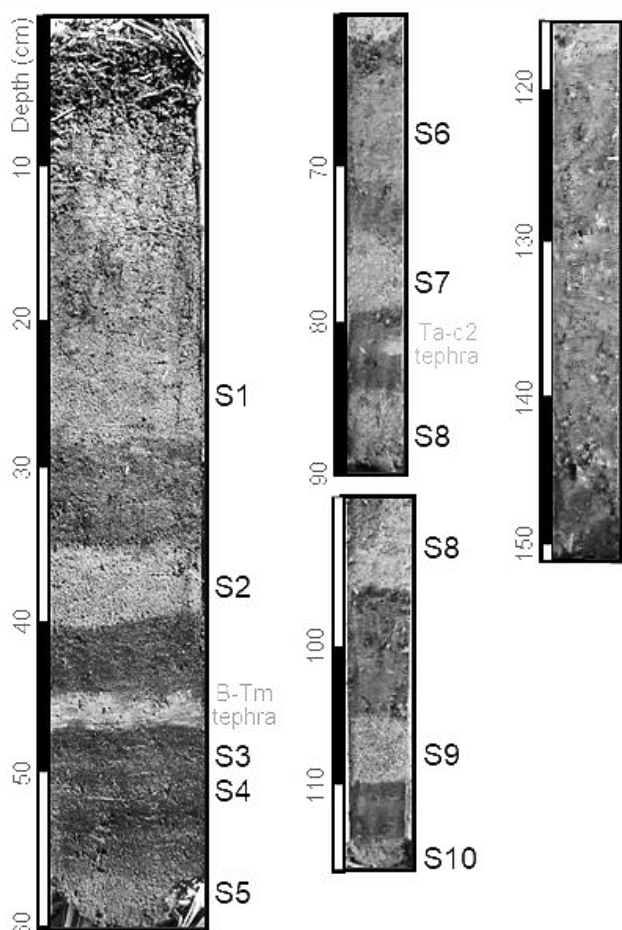


図3 百人浜地区におけるジオスライサーで得られたコア写真。

Fig. 3 Photographs of cores obtained by geoslicer in the Hyakuninhamma area.

北側の測線では海岸線から500–600m（標高10m）のところで砂層として確認できなくなる。こうした特徴からこれらの砂層は砂浜から海水とともに運ばれたものであると考えられる。S1–S10 砂層の分布はこれまでに知られている台風による高潮・高波で運ばれる砂の分布では説明ができないほど内陸まで届いていることから、砂層は津波によって運ばれた津波堆積物であると解釈された。

最も下位の砂層の堆積年代は3900年前であることから（図4）、少なくとも過去4000年間に10回は津波が内陸まで到達したことを示している。最も上位の砂層は1663年の火山灰層の下位に分布することから、17世紀頃に堆積した津波堆積物である。

歌別

海岸線から570m（標高8.3m）において、泥炭層中にUs-bおよびB-Tm火山灰を確認した（図4）。B-Tm層の5cmほど下位では砂がちな泥炭層へと変化する。17世紀から10世紀にあたる泥炭層中にはS1やS2といった砂層は確認されなかった。

近浦

海岸線から370m（標高5.3m）において、泥炭層中にB-TmおよびTa-c2と考えられる火山灰層を確認した（図4）。B-Tm層の10cmほど下位には砂がちな泥炭層が挟在していたが、明瞭な堆積構造などは見られず、その成因は不明である。B-Tm層上位には泥質な堆積物のみ観察され、10世紀以降の砂層は確認されなかった。

津波伝播計算結果

17世紀津波堆積物について、北海道東部で広く確認されている津波堆積物と同じ波源に起因するか確かめるため、震源断層モデルを用いた津波伝播計算によって、その分布の再現を試みた（図2）。Ioki and Tanioka (2016)が提唱し

た根室市から大樹町の津波堆積物の分布を再現したモデル（以後、従来モデル[Mw 8.8]）を用いて、百人浜地区において計算を行った結果、計算された浸水範囲は観察された津波堆積物の分布に到達しなかった（図2）。そのため、断層幅を狭く設定した断層モデル（Mw 8.8）で再現を試み、断層幅が70 kmの場合に百人浜の津波堆積物分布を網羅する浸水範囲が得られた。このモデルは従来モデルが対象としている道東地域の波高に大きな影響を与えない程度の修正である。そのため、従来モデルと同規模の断層モデルによって、百人浜地区の17世紀津波堆積物の分布を説明が可能である。

歌別・近浦地区においても、本モデルの浸水範囲が野外調査結果と整合的であるかを確認した。本モデルによって計算された浸水範囲は両地域において、砂層が確認できなかった調査地点まで到達していないことがわかる（図2）。歌別地区については最大遡上高が8mと、海溝からの距離が同程度である百人浜（最大遡上高12m）と比べて浸水範囲が狭かった。これはえりも岬

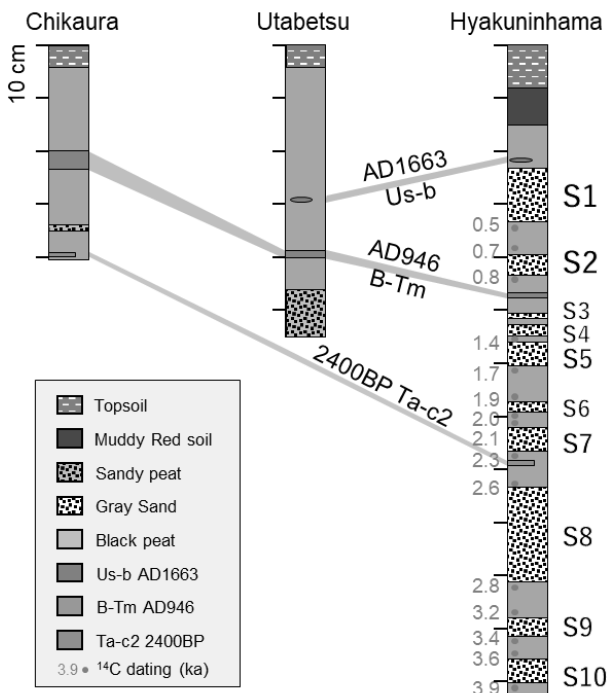


図4 各調査地における代表柱状図。
Fig. 4 Representative columnar sections at each study site.

を回り込む際に波が減衰したためと考えられる。コロップ川に沿って調査地点手前まで遡上しているが、河川を氾濫して上流側の観察地点には到達していない。近浦地区では最大遡上高が5mであったが、遡上距離が100-200m程度であったため、古津波規模を検証するためには、より海側地点での調査が必要である。

津波堆積物の堆積年代

えりも町百人浜地区における津波堆積物の堆積年代を泥炭層の放射性炭素年代測定によって推定した（図5）。日高沿岸域や十勝浦幌町では

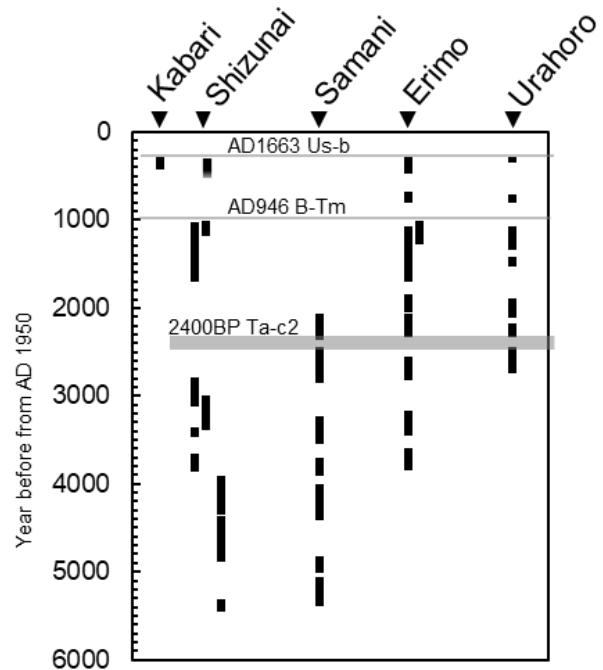


図5 津波堆積物堆積年代の周辺地域との比較。示された年代は放射性炭素年代測定結果を暦年較正し、1950年を起点とした年数で示している。比較対象として賀張（高清水ほか, 2017）、静内（Nakanishi et al., 2022b）、様似（Nakanishi et al., 2020b）、浦幌（Ishizawa et al., 2017）における津波堆積物の堆積年代の報告データを用いている。

Fig. 5 Comparing the depositional age of the tsunami deposits with the surrounding area. The ages shown are based on radiocarbon dating results calibrated to calendar years, with 1950 as the base year. Reported data on the age of tsunami deposits in Kahari (Takashimizu et al., 2017), Shizunai (Nakanishi et al., 2022b), Samani (Nakanishi et al., 2020b), and Urahoro (Ishizawa et al., 2017) are shown for

過去 6000 年間の津波堆積物の堆積年代が報告されている（高清水ほか, 2017; Ishizawa et al., 2017; Nakanishi et al., 2020b; Nakanishi et al., 2022b）。

本地域の津波堆積物堆積年代は浦幌町で報告されているもの（Ishizawa et al., 2017）と非常に高い一致率を示すことから、十勝地域と共通した津波履歴を持つと考えられる。日高地方様似～静内地域の砂層堆積年代とは一部異なるものの、多くの砂層で一致することから、えりもと共通した津波が日高沿岸中部まで到達していたことを示唆している。

最後に

えりも町東西沿岸域の津波堆積物調査を行った。百人浜地区においては 17 世紀のものを含む 10 層の津波堆積物と考えられる砂層を確認した。17 世紀の津波堆積物は津波数値計算によって、根室から十勝地域の堆積物データを基に構築された従来モデルと同規模の断層モデルによって再現が可能であった。過去 4000 年間の砂層堆積年代は多くが十勝～日高中部地域の砂層と類似した年代を示すことから、平均して 400 年の間隔で、北海道太平洋沿岸数百 km にわたって高い津波が襲っていたと考えられる。えりも町においては津波堆積物の分布を基にして、過去に最大 12m と広く内陸まで津波が到達していたことがわかった。こうした分布は津波浸水ハザードマップの想定浸水範囲より狭い範囲である。しかしながら、津波浸水ハザードは起こりえる最大規模を“想定した津波”であるのに対して、本結果は“実際に発生した津波”である点であることに留意が必要である。

一方で、津波堆積物から古津波を復元する上での課題も多く存在する。津波堆積物については、砂の薄層が津波によって運ばれたものかを証明することが難しいため、ストームや洪水といった他の要因の可能性をよく精査する必要がある。

ある。また、砂層の分布は津波の浸水と一致せず、砂層の分布より内陸まで浸水範囲が伸びていたことが 2011 年東北沖地震の事例で明らかになっている（Abe et al., 2012）。堆積物の年代測定に用いている放射性炭素年代測定は技術の向上によって精度が上がっているものの、100 年以上の誤差が含まれるため、厳密に各地域の津波痕跡が同じ古津波でもたらされたことを証明することは難しい。そのため、ごく短い期間で発生した 2 つの津波を区別することは困難を極め、年代対比にも不確実さが伴う。津波数値計算から古津波を復元する際の問題としては、現在の地形データが古津波発生時の地形と必ずしも一致しないことが挙げられる。古地形は人間活動による建設・埋め立てはもちろんのこと、より長期間では海や河川による沿岸景観の変化や海水準変動など、自然現象による変化を伴う。こうした地形変化によって数値計算に大小の誤差が生じる（菅原, 2019; Nakanishi and Ashi, 2022）。断層モデルについても、現在の千島海溝モデルは矩形という大きな単純化がされているが、実際の断層破壊はより複雑である。このように断層モデルは大まかな規模を復元することを目的としているため、計算された浸水範囲には誤差が含まれており、実際の浸水範囲は大きくも小さくもなりえることを念頭に置く必要がある。

以上のように、津波堆積物は多くの要因から古津波の復元に不確実性を含むが、歴史記録以前の津波を復元する数少ない痕跡である。津波堆積物の分布は少なくとも古津波が浸水した範囲を示し、その情報が多いほど、より現実に近い津波像に近づくはずである。今後えりも町を含む広い地域で調査が行われ、北海道を襲う最大規模の地震の実態解明が望まれる。

謝辞

本調査はえりも町役場の石川慎也氏ほか企画

課の方々に協力を頂き実施することができました。地域住民の方には調査に対する理解を頂き、許可を頂きました。野外調査にあたっては東京大学大気海洋研究所の大熊祐一氏、古知武氏に同行・協力いただいた。本研究は JSPS 科研費 JP 20J21239 (代表者：中西諒) の助成を受けたものです。

文献

- Abe, T., Goto, K., Sugawara, D. (2012): Relationship between the maximum extent of tsunami sand and the inundation limit of the 2011 Tohoku-oki tsunami on the Sendai Plain, Japan. *Sedimentary Geology*, 282: 142–150.
- Baba, T., Takahashi, N., Kaneda, Y., Ando, K., Matsuoka, D., Kato, T. (2015): Parallel Implementation of Dispersive Tsunami Wave Modeling with a Nesting Algorithm for the 2011 Tohoku Tsunami. *Pure Appl. Geophys.*, 172: 3455–3472.
- Ioki, K., Tanioka, Y. (2016): Re-estimated fault model of the 17th century great earthquake off Hokkaido using tsunami deposit data. *Earth and Planetary Science Letters*, 433: 133–138.
- Ishizawa, T., Goto, K., Yokoyama, Y., Miyairi, Y., Sawada, C., Nishimura, Y., Sugawara, D. (2017): Sequential radiocarbon measurement of bulk peat for high-precision dating of tsunami deposits. *Quaternary Geochronology*, 41: 202–210.
- 地震調査研究推進本部 (2018) : 千島海溝沿いの地震活動の長期評価 (第三版).
- Nakanishi, R., Ashi, J., Okamura, S. (2020a): A dataset for distribution and characteristics of Holocene pyroclastic fall deposits along the Pacific coasts in western Hokkaido, Japan. *Data in Brief*, 33: 106565.
- Nakanishi, R., Okamura, S., Yokoyama, Y., Miyairi, Y., Sagayama, T., Ashi, J. (2020b): Holocene tsunami, storm, and relative sea level records obtained from the southern Hidaka coast, Hokkaido, Japan. *Quaternary Science Reviews*, 250: 106678.
- Nakanishi, R., Ashi, J., Miyairi, Y., Yokoyama, Y. (2022a): Spatial Extent of Mid-to Late-Holocene Sedimentary Record of Tsunamis Along the Southern Kuril Trench, Hokkaido, Japan. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 23: e2022GC010334.
- Nakanishi, R., Ashi, J., Miyairi, Y., Yokoyama, Y. (2022b): Holocene coastal evolution, past tsunamis, and extreme wave event reconstructions using sediment cores obtained from the central coast of Hidaka, Hokkaido, Japan. *Marine Geology*, 443: 106663. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2021.106663>
- Nakanishi, R., Ashi, J. (2022): Sediment Transport Modeling Based on Geological Data for Holocene Coastal Evolution: Wave Source Estimation of Sandy Layers on the Coast of Hidaka, Hokkaido, Japan. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 127: e2022JF006721.
- Sawai, Y. (2020): Subduction zone paleoseismology along the Pacific coast of northeast Japan — progress and remaining problems. *Earth-Science Reviews*, 208: 103261.
- 菅原大助 (2019) : 津波土砂移動数値解析の不確実性と地形復元について. *第四紀研究*, 58: 187–194.
- 高清水康博, 仁科健二, 川上源太郎, 佐藤善輝, 岡村聡, 中西諒, 田村慎, 廣瀬亘, 高橋良, 石丸聡 (2017) : 北海道日高海岸北部から確認された 17 世紀の津波堆積物. *第四紀研究*, 56: 1–9.

Abstract

A tsunami sediment survey was conducted in the east and west coastal areas of Erimo Town. In the Hyakuninhama area, the 10 sand layers were identified as potential tsunami deposits, including one in the 17th century. The distribution of 17th century tsunami deposits can be reproduced by numerical tsunami simulations using the modified fault model of the same scale as the conventional model, which was constructed based on sand layer distributions from the Nemuro to Tokachi regions. Since many of the sand depositional ages over the past 4000 years are similar to those of the Tokachi to central Hidaka regions, it is considered that high tsunamis struck several hundred kilometers along the Pacific coast of Hokkaido at the recurrence intervals of ~400 years on average. In Erimo Town, based on the distribution of tsunami deposits, it was found that tsunamis had run up to a maximum elevation of 12 m. Although reconstruction of paleo-tsunami is highly uncertain, the distribution of tsunami deposits indicates "the minimum area that was actually inundated by a tsunami," and thus provides basic information for tsunami disaster management in the future.