

神奈川県三浦半島江奈湾の干潟における高潮堆積物調査

北村晃寿^{1,2}・疋田詩織¹・鮫島洋美¹

Examination of storm surge deposits in the muddy intertidal zone of Ena Bay, Miura Peninsula, Kanagawa Prefecture, central Japan

AKIHISA KITAMURA^{1,2}, SHIORI HIKITA¹ and HIROMI SAMEJIMA¹

Abstract Typhoon 21 (Lan) which occurred on 23 October 2017 and Typhoon 19 (Hagibis) on 12 October 2019 caused storm surges with sea-levels 0.5 m above the mean high tide mark in Ena Bay, Miura Peninsula, Kanagawa Prefecture, Japan. We surveyed the sediments before and after the storm surges at three sites in the lower intertidal zone and examined washed-up infaunal bivalves. These results lead to the following conclusions:

(1) Both typhoons caused sandy storm surge deposits which were up to 14 cm thick and characterized by graded structure and well-developed laminations;

(2) The primary sedimentary structure of the storm surge deposits disappeared by bioturbation within two years;

(3) The composition of the washed-up infaunal bivalve assemblage is quite similar for both typhoons, except for released *Meretrix lamarcki*, which is predominantly *Macra veneriformis*, associated with *Cyclina sinensis*, and indicates > 7 cm of erosion.

Keywords: storm surge deposits, bioturbation, washed-up infaunal bivalves, recent muddy tidal flat sediment, Ena Bay

はじめに

世界のほとんどの沿岸低地は、住宅地や工業地帯として使用されている。低・中緯度のこれらの地域は、強い低気圧に伴う高潮の被害を頻繁に受けている。例えば、2013年のスーパー台風Haiyanは、衛星時代の最も強い熱帯低気圧の一つであり (Kennedy *et al.*, 2017)、フィリピンで6,000人以上の死傷者を出した (Lagmay *et al.*, 2015)。また、沈み込み帯に沿った沿岸地域は津波の危険にさらされており、2004年のスマトラ沖地震 (Mw9.1) や2011年の東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) では、地震による巨大津波で激甚災害が生じた。このような低頻

度の巨大災害の実態把握は沿岸地域の防災対策に不可欠であり、それには津波堆積物と高潮堆積物の調査が必要である。このような調査では、津波堆積物と高潮堆積物の識別は必須であり、多くの調査が行われてきた (例えば、Nanayama *et al.*, 2000; Goff *et al.*, 2004; Tuttle *et al.*, 2004; 藤原, 2007; Chagué-Goff *et al.*, 2011; Brill *et al.*, 2016; Watanabe *et al.*, 2017; Soria *et al.*, 2017)。その結果、津波堆積物と高潮堆積物は、侵食性基底面や級化構造が見られる点では共通するが、津波堆積物は浸食された土壌の塊などからなるリップアップクラストをしばしば伴うのに対して、高潮堆積物は極く稀れである点で異なる (例えば、Goff, 2020; 北村, 2020)。しかし、リップ

2021年3月31日受付 2021年6月3日受理。

Received: 31 March 2021 Accepted: 3 June 2021

¹静岡大学理学部地球科学教室, 422-8529 静岡市駿河区大谷836

²静岡大学防災総合センター, 422-8529 静岡市駿河区大谷836

¹Institute of Geosciences, Shizuoka University, 836 Ohya, Suruga-ku, Shizuoka, 422-8529 Japan

E-mail: kitamura.akihisa@shizuoka.ac.jp

²Center for Integrated Research and Education of Natural Hazards, Shizuoka University, 836 Ohya, Suruga-ku, Shizuoka, 422-8529 Japan

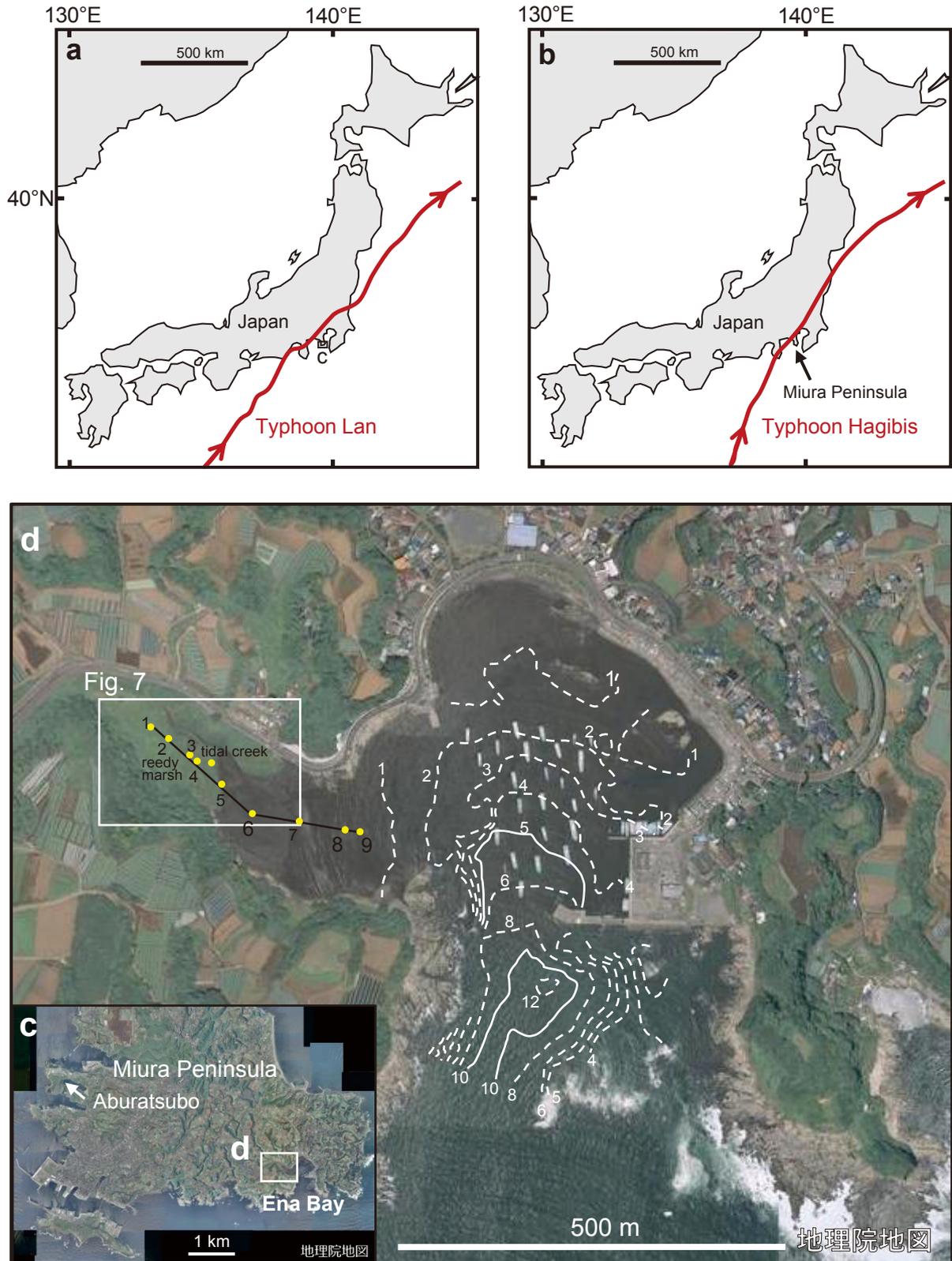


図1 位置図 (a) 2017年台風21号 (Lan) の経路 (気象庁, 2021), (b) 2019年19号 (Hagibis) の経路 (気象庁, 2021), (c) 三浦半島, (d) 江奈湾と Kitamura *et al.* (2019, 2020) の調査地点. 白線は等深線 (m) で高山ほか (2003) に基づく. (c) と (d) の地図は国土交通省国土地理院 (2021) から2021年3月24日にダウンロード (<https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>).

Fig. 1 Location maps. (a) Passage route of Typhoon 21 (Lan) in 2017 (Japan Meteorological Agency, 2021), (b) Passage route of Typhoon 19 (Hagibis) in 2019 (Japan Meteorological Agency, 2021), (c) Miura Peninsula, (d) Ena bay, with study sites by Kitamura *et al.* (2019). Isobaths in (d) are based on Takayama *et al.* (2003). (c) and (d) were downloaded with permission from the Geospatial Information Authority of Japan on 24 March 2021 (<https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>).

アップクラストの供給源がない地域もあるので、各地域の調査では、小規模な津波や高潮が発生したならば、それらによって形成されたイベント堆積物の特徴および保存ポテンシャルに関する事例を蓄積しておくことが望まれる（例えば, Szczuciński, 2020）。

神奈川県三浦半島の江奈湾は、1923年の大正関東地震や1703年の元禄地震に伴う津波が襲来しており、津波高は前者で約3mで、後者で約10mであった（Shimazaki *et al.*, 2011）。江奈湾から西北西4kmの小網代湾の干潟堆積物からは1923年の大正関東地震や1703年の元禄地震、1293年の関東地震の津波堆積物が発見されている（Shimazaki *et al.*, 2011）。したがって、江奈湾の干潟にも津波堆積物が分布する可能性があり、元禄地震以前の関東地震の履歴をより詳細に解明できると期待される。そこで、Kitamura *et al.* (2019) は、2017年7月8日に、江奈湾の9地点から表層堆積物と4地点から深さ16~20cmのコア試料を採取し、堆積相、貝類、底生有孔虫の分布

を記載した（図1）。この試料採取から約3か月後の2017年10月23日に台風21号（Lan）が通過し、高潮が発生した（図2）。そこで、Kitamura *et al.* (2020) は、台風から15日後の11月7日に調査を行い、Kitamura *et al.* (2019) と比較した結果、潮上帯から潮間帯に、層厚14cmまでの葉理と級化構造を有する砂層が形成されたことを明らかにした。

本研究では、台風21号（Lan）の高潮堆積物の保存ポテンシャルを検討するために行った2019年9月14日の調査結果を報告する。加えて、2019年10月12日の台風19号（Hagibis）に伴う高潮の発生後の同月14・26日に行った調査結果も報告する。

調査地域

調査地域の神奈川県三浦半島の江奈湾は、長さは400m、幅170mで、表面積は0.05km²である（Kitamura

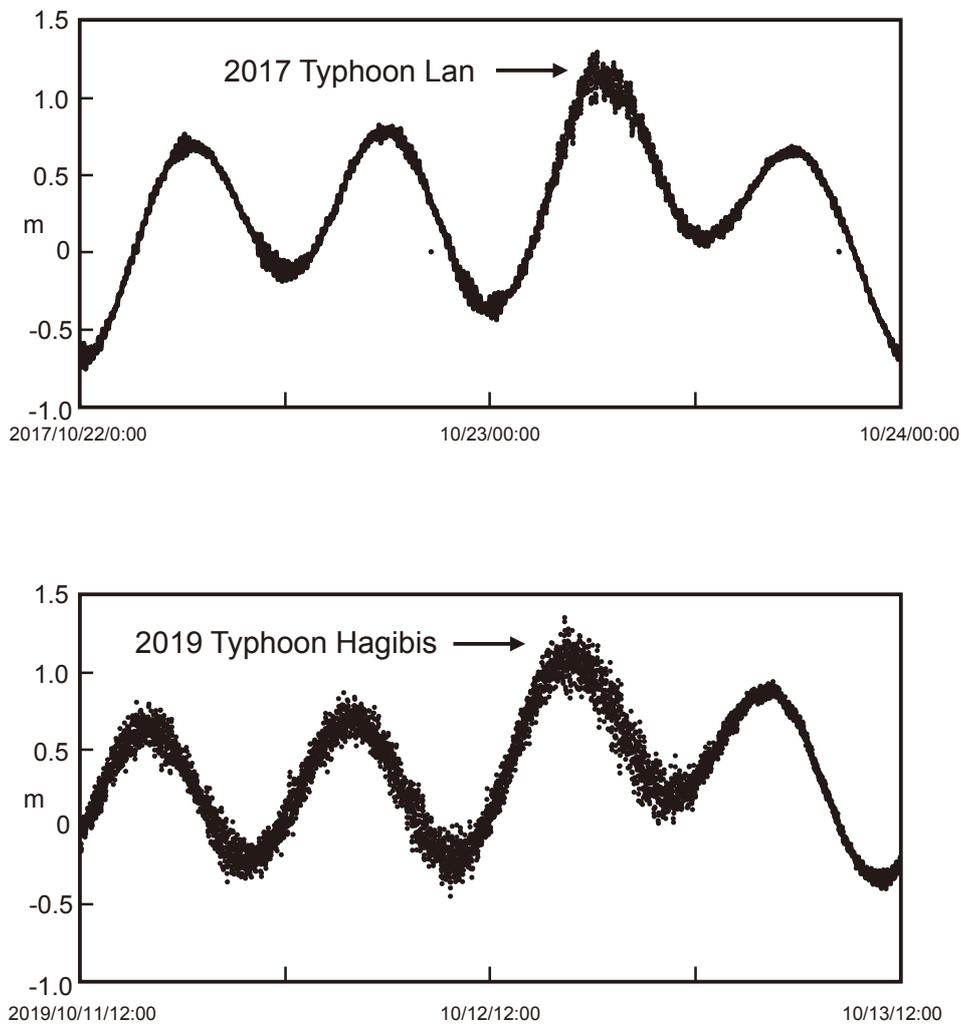


図2 油壺験潮場の海面。東京湾平均海面（TP）を基準とする（国土交通省国土地理院, 2021）。(a) 2017年台風21号（Lan）、(b) 2019年台風19号（Hagibis）。2021年3月24日にダウンロード（<http://tide.gsi.go.jp/main.php?number=1>）。

Fig. 2 Sea-level (m) changes relative to Tokyo Peil at Aburatsubo tide gauge station. (a) Typhoon 21 (Lan) in 2017, (b) Typhoon 19 (Hagibis) in 2019. Data of sea level were downloaded from the Geospatial Information Authority of Japan on 24 March 2021 (<http://tide.gsi.go.jp/main.php?number=1>).

et al., 2019) (図1). 同湾の北西4kmに位置する油壺験潮場の記録(国土交通省国土地理院, 2021)によると, 東京湾平均海面(TP)からの海面の高さは, 台風Lanと台風Hagibisでは1.2–1.3mであった(図2). これは通常の満潮時よりも0.5m高い.

調査・分析方法

Kitamura *et al.* (2019, 2020) の地点6, 8, 9で直径5cmの亚克力パイプを手で押し込んで, コア試料を採取した. 地点6は潮間帯下部で, 地点8と9は平均低潮線付近に位置する. 2019年9月14日に3地点で採取し, 10月14日に地点6で, 10月26日に地点8と9で採取した. 図3は2017年7月8日と2019年10月26日の地点6, 8, 9の写真である. いずれも干潮時で, 油壺験潮場の記録(国土交通省国土地理院, 2021)によると, 海面の高さは $-0.3 \sim -0.4\text{m}$ である. 両日での3地点の海拔はほぼ同じとみなせる.

採取したコアは研究室で半裁し, 断面を写真撮影した. 粒径, 色相を記載後, 半裁した試料の片方を整形してプラスチックケースに入れ, 軟X線写真撮影(静岡大学保有SOFTEX M-60使用, 5.8V, 4.5A, 23s)を行った(図

4, 5, 6).

内生二枚貝は, 種ごとにある程度固有の生活姿勢と深さを保って, 堆積物中に潜って生活している. したがって, 打ち上がった二枚貝から海底侵食が及んだ深さを解明できる(Kondo, 1987, 1990; Kitamura, 2020). そこで, 打ち上がった軟体部のある二枚貝について, 2019年10月14日に, 長さ42mの側線A–Bを設定し(図7b), 長さ2m, 幅2mの方形枠を連続的に設置し, 枠内で採取した. 地点cとdでも軟体部のある二枚貝を採取したが, これらの地点では調査の方形枠を設けてはいない. これらを同定後, 殻付き総湿重量(以下では, 総湿重量)を測定し, ノギスを用いて殻高, 殻長, 殻幅を測定した. また, 水に沈めて体積を測定した.

結果

1. 堆積物

本論では, 台風LanとHagibisによる高潮堆積物に関して記載する.

地点6(図4)

Kitamura *et al.* (2020) は, 2017年11月7日に採取したコア試料の表層13cmの明瞭な基底を持ち, 葉理の発達

8 July 2017 at 08:00 on Japan time, sea level was -0.31 m relative to Tokyo Peil



26 October 2019 at 10:40 on Japan time, sea level was -0.39 m relative to Tokyo Peil



図3 調査地点の写真.

Fig. 3 Photographs of study points.

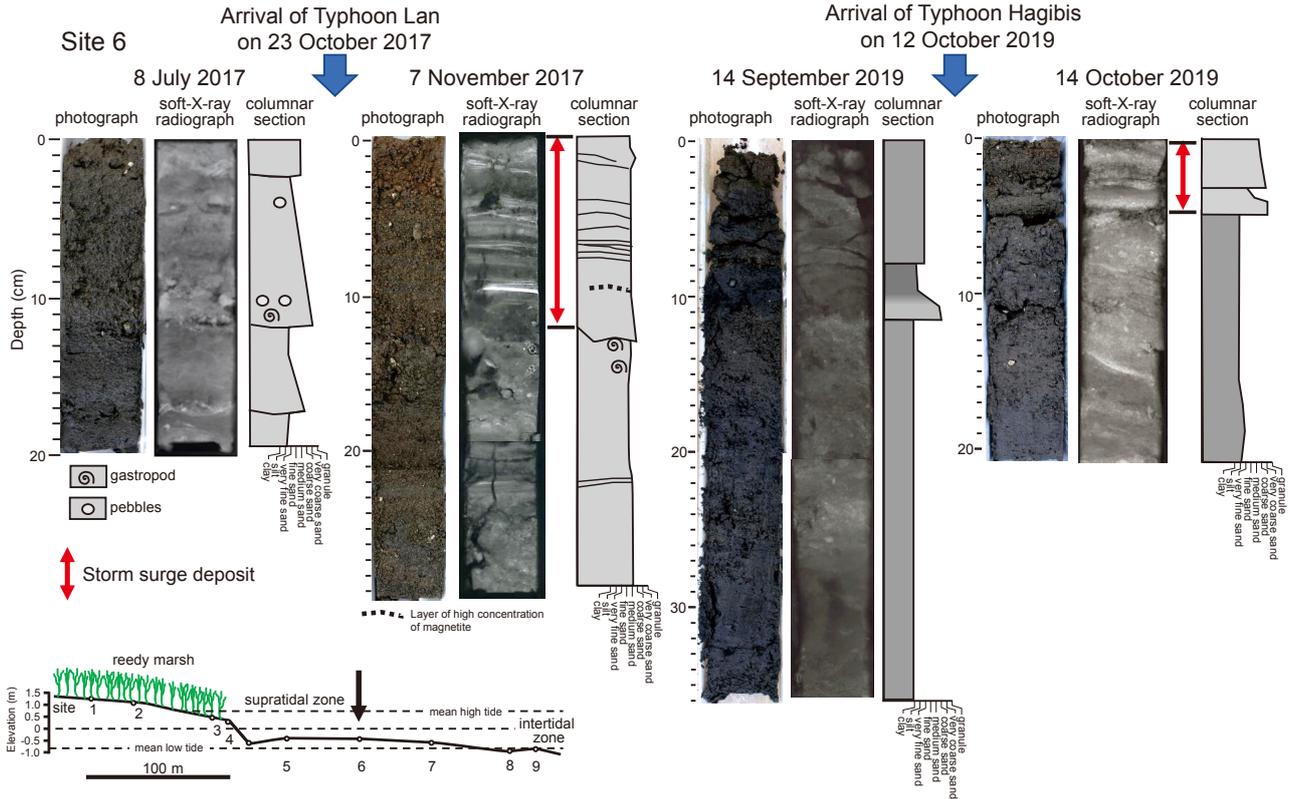


図4 地点6の4つの異なる採取日のコア堆積物。赤矢印は高潮堆積物。

Fig. 4 Sedimentary cores at site 6 on four different collection dates. Red arrows show storm surge deposits.

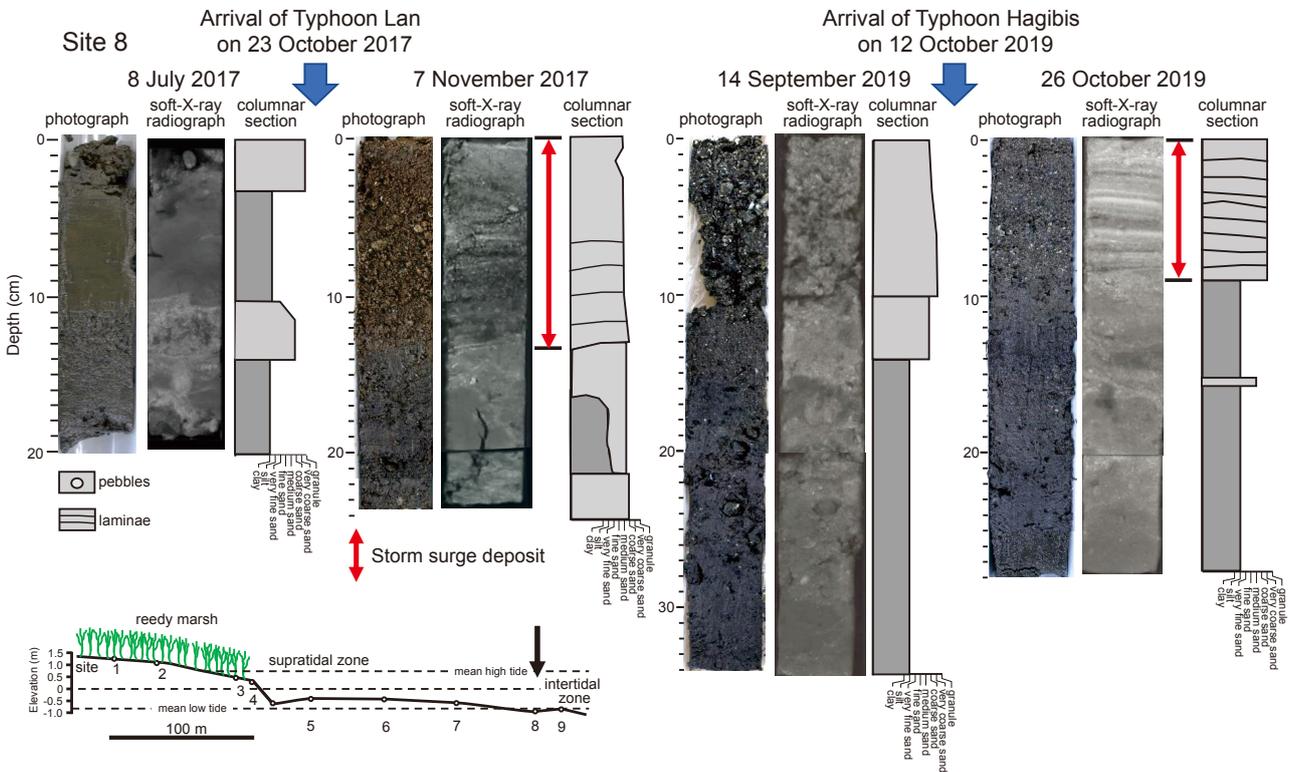


図5 地点8の4つの異なる採取日のコア堆積物。赤矢印は高潮堆積物。

Fig. 5 Sedimentary cores at site 8 on four different collection dates. Red arrows show storm surge deposits.

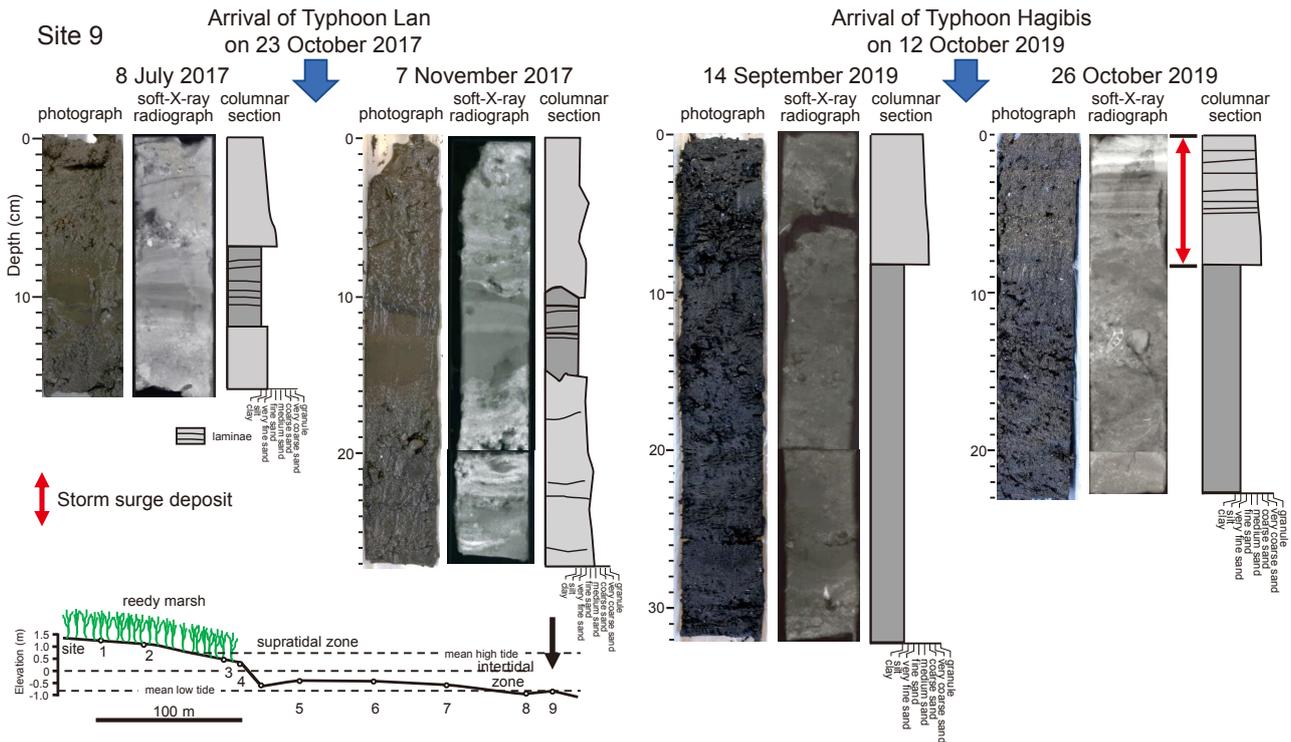


図6 地点9の4つの異なる採取日のコア堆積物。赤矢印は高潮堆積物。

Fig. 6 Sedimentary cores at site 9 on four different collection dates. Red arrow shows storm surge deposit.

した中粒砂層を台風Lanの時に形成された高潮堆積物と解釈した。2019年9月14日の堆積物試料には、深さ11cmに級化構造を示す部分があるが、葉理は見られなかった。一方、2019年10月14日の堆積物試料には、層厚約2cmの級化成層の発達した2層の累重が観察された。

地点8 (図5)

Kitamura *et al.* (2020) は、2017年11月7日に採取したコア試料からは表層14cmの明瞭な基底を持ち、葉理の発達した細～中粒砂層を台風Lanの時に形成された高潮堆積物と解釈した。2019年9月14日の堆積物試料には、深さ0～13cmに級化構造を持つ砂層が2層累重するが、葉理は見られなかった。一方、2019年10月26日の堆積物試料には、層厚約9cmの葉理の発達した粗粒砂層が観察された。

地点9 (図6)

Kitamura *et al.* (2020) は、2017年11月7日に採取したコア試料からは高潮堆積物を見出していない。2019年9月14日の堆積物試料には、深さ0～8cmに級化構造を持つ砂層があるが、葉理は見られなかった。一方、2019年10月26日の堆積物試料には、層厚約8cmの葉理が発達し級化構造を示す中～細粒砂層が観察された。

2. 打ち上がった貝 (図7, 表1)

Kitamura *et al.* (2020) では、2017年11月7日に打ち上がった二枚貝 *Macra veneriformis* (シオフキ), *Macoma tokyoensis* (ゴイサギ), *Cyclina sinensis* (オキシジミ), *Saxidomus purpurata* (ウチムラサキ) を見つけ (図7a), *M. veneriformis* は6個体で、他の種はいずれも1個体で

あった。今回の調査では、*M. veneriformis* と *C. sinensis* が採取されたが、*Meretrix lamarckii* (チョウセンハマグリ) と *Mya arenaria* (オオノガイ) が見られた。*M. lamarckii* は13個体である。側線A-B上では、海側に *M. veneriformis* が分布し、内陸側に *M. lamarckii* が分布する傾向が見られる。*M. veneriformis*, *C. sinensis*, *M. lamarckii* については湿重量/体積 (g/ml) を算出したところ、*M. veneriformis* は0.5～1.2g/ml, *C. sinensis* は1.4～1.9g/ml, *M. lamarckii* は1.3～1.6g/mlであった。*M. arenaria* は両端が開いているので体積を測定しなかった。

考察

台風Hagibis通過後に採取した3地点の試料は、厚さ5～9cmの級化構造を持つ葉理の発達した砂層が観察された。これらの特徴は台風Lan後に観察された高潮堆積物と共通するので、高潮堆積物と解釈できる。2回の高潮の再現性から、江奈湾では、平均高潮線より0.5m高い高潮時に潮間帯下部で厚さ14cmまでの高潮堆積物が形成されることが明らかになった。一方、2019年9月14日に採取した試料では地点6と8では葉理は消えていた。2017年7月8日と2019年10月26日で調査地点の地形に変化はないので、葉理の消滅の原因は生物攪拌によると考えられる。このことは、厚さ14cmまでの高潮堆積物の初生堆積構造は2年以内に消失したことを示唆する。なお、地点6では2枚の級化成層の累重が見られるが、このような多重の級化成層は、スーパー台風Haiyanの高潮堆積物からも報告されている (Brill *et al.*, 2016)。

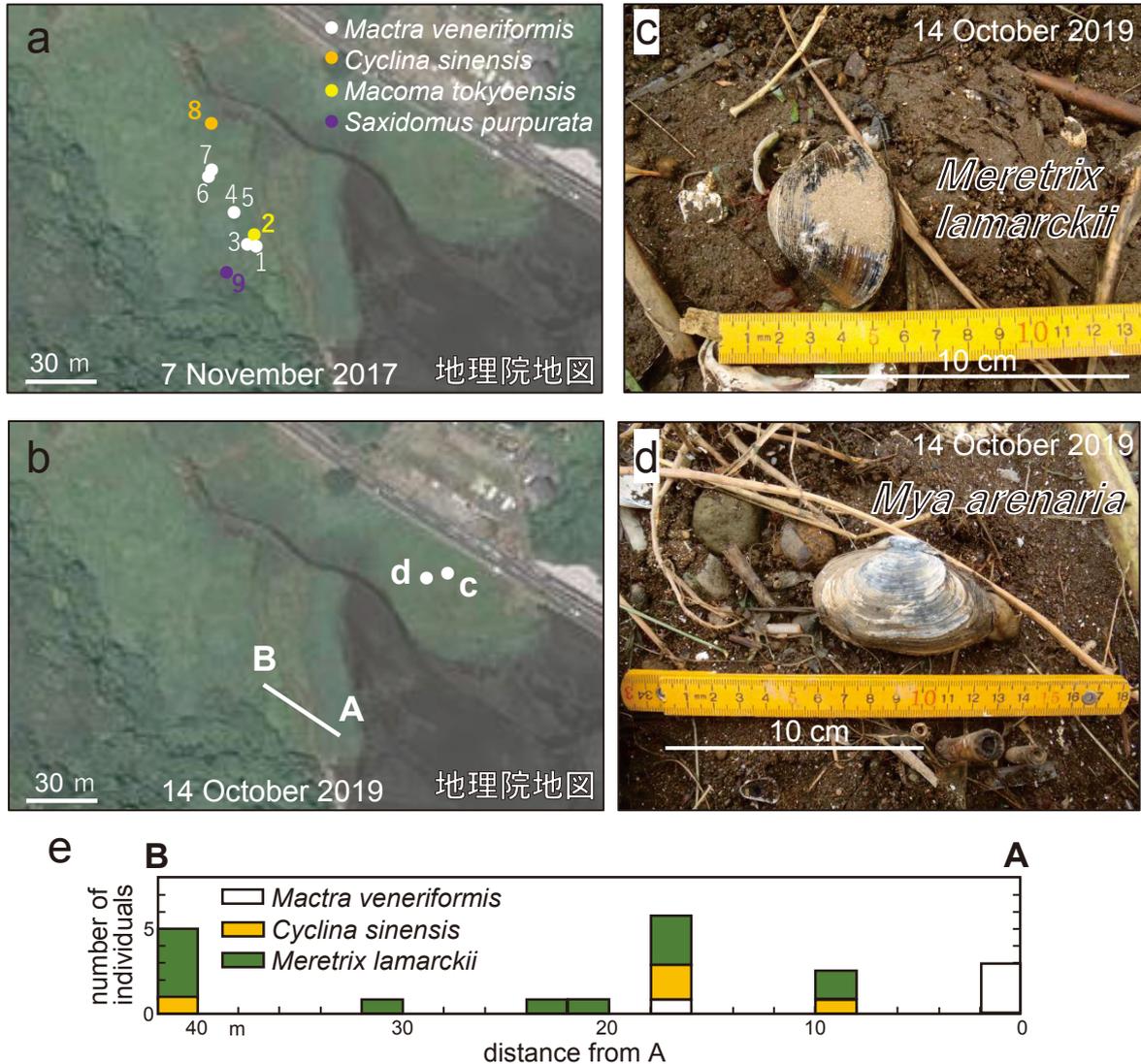


図7 打ち上がった内生二枚貝. (a) Kitamura *et al.* (2020) に基づく2017年台風21号 (Lan) の高潮で打ち上がった内生二枚貝の位置, (b) 本研究の調査地, (c) 側線A-B上のAから40–42mの *Meretrix lamarckii* (チョウセンハマグリ), (d) 地点dに打ち上がった *Mya arenaria* (オオノガイ), (e) 側線A-B上の打ち上がった二枚貝の分布. (a) と (b) の地図は国土交通省国土地理院 (2021) から2021年3月24日に引用 (<https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>).

Fig. 7 Washed-up bivalves. (a) Locations of washed-up bivalves during Typhoon 21 (Lan) in 2017, based on Kitamura *et al.* (2020), (b) Locations of study areas of this study, (c) Occurrence of *Meretrix lamarckii* located 40–42 m from point A on line A–B, (d) Occurrence of *Mya arenaria* at site d. Maps in (a) and (b) were downloaded with permission from the Geospatial Information Authority of Japan on 24 March 2021 (<https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>).

高潮で打ち上がった二枚貝の種組成に関しては, *M. lamarckii*の産出頻度に大きな相違があり, 台風Lanの高潮では打ち上がらなかったのに対して, 台風Hagibisでは, *M. veneriformis*よりも多く, 13個体に達する. Kitamura *et al.* (2020) は, 内生二枚貝の洗い出し深度に基づき, 台風Lanの高潮による堆積物の浸食深度を7cmより深いとした. *M. lamarckii*の洗い出し深度については研究事例がないが, 同属の *Meretrix petechialis*では洗い出し深度は殻長の1.1倍である (Kondo, 1987). この値を採用すると, 13個体のうち6個体の *M. lamarckii*の洗い出し深度は7cm以下と算出される (表1). よって, *M. lamarckii*の産出頻度の相違は, 2つの台風時の高潮による堆積物

の浸食深度の相違では説明できない. 地元住民に問い合わせたところ, 江奈湾では, しばしば *M. lamarckii*を放流しているというので, 台風LanからHagibisまでの間に放流されたものと考えられる.

側線A-B上で *M. veneriformis* と *M. lamarckii*の分布パターンに相違があるが, その原因の検討には両種の海水中で挙動が重要となり, まず貝の密度差に注目するのが適当である. なぜならば, 同サイズの貝殻で比べると, *M. veneriformis*の貝殻の厚さは *M. lamarckii*よりも薄いからである. 我々の知る限り, 両種の密度のデータがない. そこで, 本研究では総湿重量/体積を求め, 貝の密度の代替とすることを試みた.

表1 打ち上がった内生二枚貝のデータ。1は殻付き総湿重量, 2は洗い出し深度で, (潜入深度+殻長) / 殻長で表示し, Kitamura (2020) に基づく。*は両端が開いているので体積は測定できなかった。

Table 1 List of washed-up bivalves. 1: Total wet weight (=sum of shell weight and soft tissue wet weight). 2: Coefficients of relative maximum burrowing depth (=ratio of burrowing depth and shell length to shell length) based on Kitamura *et al.* (2020). *Since the shell of *Mya arenaria* gapes slightly at each end, the volume could not be measured.

Line A-B										
No	position (m) from point A	Species	total wet weight ¹ (g)	Shell height (cm)	Shell length (cm)	Shell width (cm)	Coefficients of relative maximum burrowing depth ²	reworking depth (cm)	vol (ml)	(total wet weight) / vol
1	0-2	<i>Mactra veneriformis</i>	4.51	2.53	2.84	0.87	2.0	5.7	4.5	1.0
2	0-2	<i>Mactra veneriformis</i>	6.48	2.87	3.38	1.01	2.0	6.8	8.0	0.8
3	0-2	<i>Mactra veneriformis</i>	9.16	2.94	3.27	1.06	2.0	6.6	7.5	1.2
4	8-10	<i>Cyclina sinensis</i>	67.09	5.87	5.79	1.98	2.8	16.2	35.0	1.9
5	8-10	<i>Meretrix lamarckii</i>	17.29	3.43	4.09	1.09	2.0	8.2	11.0	1.6
6	8-10	<i>Meretrix lamarckii</i>	78.63	5.61	6.55	1.79	1.1	7.2	50.0	1.6
7	16-18	<i>Mactra veneriformis</i>	1.88	2.18	2.60	0.70	2.0	5.2	3.5	0.5
8	16-18	<i>Cyclina sinensis</i>	15.58	3.73	3.80	1.08	2.8	10.6	10.0	1.6
9	16-18	<i>Cyclina sinensis</i>	17.25	4.22	4.21	1.29	2.8	11.8	10.5	1.6
10	16-18	<i>Meretrix lamarckii</i>	69.48	5.52	6.67	1.74	1.1	7.3	47.0	1.5
11	16-18	<i>Meretrix lamarckii</i>	90.37	5.99	7.26	2.08	1.1	8.0	70.0	1.3
12	16-18	<i>Meretrix lamarckii</i>	50.14	4.94	5.66	1.39	1.1	6.2	33.0	1.5
13	20-22	<i>Meretrix lamarckii</i>	64.39	5.26	6.16	1.77	1.1	6.8	45.0	1.4
14	22-24	<i>Meretrix lamarckii</i>	51.59	5.12	5.99	1.47	1.1	6.6	37.0	1.4
15	30-32	<i>Meretrix lamarckii</i>	38.49	4.41	5.09	1.64	1.1	5.6	28.0	1.4
16	40-42	<i>Meretrix lamarckii</i>	44.43	4.86	5.82	1.51	1.1	6.4	32.0	1.4
17	40-42	<i>Meretrix lamarckii</i>	74.54	5.52	6.55	1.97	1.1	7.2	56.0	1.3
18	40-42	<i>Meretrix lamarckii</i>	85.65	5.90	6.96	1.75	1.1	7.7	68.0	1.3
19	40-42	<i>Meretrix lamarckii</i>	83.13	6.04	6.86	1.62	1.1	7.5	57.0	1.5
20	40-42	<i>Cyclina sinensis</i>	68.67	5.78	5.73	1.75	2.8	16.0	50.0	1.4

Other sites										
No	Site	Species	wet weight ¹ (g)	Shell height (cm)	Shell length (cm)	Shell width (cm)	Coefficients of relative maximum burrowing depth ²	reworking depth (cm)	vol (ml)	(total wet weight) / vol
21	c	<i>Meretrix lamarckii</i>	57.65	5.24	6.23	1.67	1.1	6.8	44.0	1.3
22	d	<i>Mya arenaria</i>	50.63	4.35	7.11	1.51	4.0	28.4	*	

上記の通り, 総湿重量/体積は *M. veneriformis* で0.5~1.2g/mlで, *M. lamarckii* で1.3~1.6g/mlである。海水の密度は1.02~1.03g/mlなので, 貝の密度はそれより大きい値をとらないと沈降しない。一方, *M. veneriformis* の一部の個体の密度は海水より小さい値であり, これは殻内の空間を満たしていた海水が殻外に出たことを示唆し, 全試料で同様のことが起きている可能性を示唆する。そこで, 本研究では, 個体差はあるが, 総湿重量/体積の中の最大値を密度の代替と仮定することとした。そうすると, *M. veneriformis* は1.2g/mlで, *M. lamarckii* は1.6g/mlとなり, 前者のほうが密度は小さいので, 高潮の減衰時の波浪に運搬され, 海側に戻されたのかもしれない。

台風Hagibis時の浸食量に関しては, 深潜没性の *M. arenaria* が打ち上がったので, 浸食深度は28cmを超える場所もあったことになる。

まとめ

2017年10月23日の台風21号(Lan)と2019年10月12日の台風19号(Hagibis)に伴う高潮は, 神奈川県三浦半島の江奈湾で, 平均高潮線より0.5m高い海面をもたらした。これらの高潮の前後で潮間帯下部の3地点で堆積物を調査するとともに, 打ち上がった内生二枚貝の調査を行った。その結果, 次のことが分かった。

1. 台風Lanでは厚さ14cmまで, 台風Hagibisでは厚さ5~9cmまでの高潮堆積物一級化構造を持ち, 葉理の発達した砂層一が形成された。
2. 台風Lanによる高潮堆積物の初生堆積構造は2年以内に消滅した。
3. 両台風で打ち上がった内生二枚貝の種組成は, *M. lamarckii* を除けば, *M. veneriformis* を主体とし, *C. sinensis* を随伴する点で共通し, 堆積物の浸食量は7cm以上と推定される。
4. 深潜没性の *M. arenaria* が打ち上がっていることか

ら、台風Hagibisでは浸食深度が28cmを超える場所もあった。

謝辞

静岡大学理学部の佐藤慎一博士とJulien Legrand博士による査読コメントによって、本稿は改善された。これらの関係機関の関係者に厚く感謝申し上げる。

引用文献

- Brill D., May S. M., Engel M., Reyes M., Pint A., Opitz S., Dierick M., Gonzalo L. A., Esser S. & Brückner H. (2016), Typhoon Haiyan's sedimentary record in coastal environments of the Philippines and its palaeotempestological implications. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **16**, 2799–2822.
- Chagué-Goff C., Schneider J-L., Goff J. R., Dominey-Howes D. & Strotz L. (2011), Expanding the proxy toolkit to help identify past events: lessons from the 2004 Indian Ocean Tsunami and the 2009 South Pacific Tsunami. *Earth-Science Reviews*, **107**, 107–122.
- 藤原 治 (2007), 地震津波堆積物：最近20年間のおもな発展と残された課題。第四紀研究, **46**, 451–462.
- Goff J. (2020), CHAPTER 5. Tsunami databases, In: Engel M., Pilarczyk J., May S. M. & Garrett E. (eds.), *Geological Records of Tsunamis and Other Extreme Waves*. Elsevier, Amsterdam, 75–93.
- Goff J., McFadgen B. G. & Chagué-Goff C. (2004), Sedimentary differences between the 2002 Easter storm and the 15th-century Okoropunga tsunami, southeastern North Island, New Zealand. *Marine Geology*, **204**, 235–250.
- Kennedy A. B., Mori N., Yasuda T., Shimozono T., Tomiczek T., Donahue A., Shimura T. & Imai Y. (2017), Extreme block and boulder transport along a cliffed coastline (calicoan island, Philippines) during super typhoon Haiyan. *Marine Geology*, **383**, 65–77.
- 気象庁 (2021), 過去の台風資料。
<https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/index.html>, 2021年3月26日引用。
- 北村晃寿 (2020), 東北地方太平洋沖地震・貞観地震による津波堆積物。静岡の大規模自然災害の科学 (岩田孝仁・北村晃寿・小山真人編), 静岡新聞社, 静岡, 18–33.
- Kitamura A. (2020), CHAPTER 15. The application of molluscs for Investigating tsunami deposits. In: Engel M., Pilarczyk J., May S. M. & Garrett E. (eds.), *Geological Records of Tsunamis and Other Extreme Waves*. Elsevier, Amsterdam, 323–342.
- Kitamura A., Yamamoto Y., Harada K. & Toyofuku T. (2020), Identifying storm surge deposits in the muddy intertidal zone of Ena Bay, central Japan. *Marine Geology*, **426**, 106228. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106228>
- Kitamura A., Yamamoto Y., Yamada K., Kubo A., Toyofuku T. & Nakagawa Y. (2019), Combined analysis of sulfur and carbon contents, and foraminifer as paleoenvironmental indicators in tidal flat sediments on Miura Peninsula, Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **226**, 1–16.
- 国土交通省国土地理院 (2021), 1. 油壺験潮場 (http://tide.gsi.go.jp/main.php?number=01&t1=&t2=_month&t3=_def&t4=&d t=_all&tt=&ap=true&tm=0&yr=2019&mn=9&dy=20&td=false&tds=0&tmu=all&tmt=all&e=0&base=0), 2021年3月24日引用。
- Kondo Y. (1987), Burrowing depth of infaunal bivalves - Observation of living species and its relation to shell morphology. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series*, **148**, 306–323.
- Kondo Y. (1990), Preserved life orientations of soft-bottom infaunal bivalves: documentation of some Quaternary forms from Chiba, Japan. *Natural history research*, **1**, 31–42.
- Lagmay A. M. F., Agaton R. P., Bahala M. A. C., Briones J. B. L. T., Cabacaba K. M. C., Caro C. V. C., Dasallas L. L., Gonzalo L. A. L., Ladiero C. N., Lapidez J. P., Mungcal M. T. F., Puno J. V. R., Ramos M. M. A. C., Santiago J., Suarez J. K. & Tablazon J. P. (2015), Devastating storm surges of typhoon Haiyan. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, **11**, 1–12.
- Nanayama F., Shigeno K., Satake K., Shimokawa K., Koitabashi S., Miyasaka S. & Ishii M. (2000), Sedimentary differences between the 1993 Hokkaido-Nansei-Oki tsunami and the 1959 Miyakojima typhoon at Taisei. Southwestern Hokkaido, northern Japan. *Sedimentary Geology*, **135**, 255–264.
- Shimazaki K., Kim H. Y., Chiba T. & Satake K. (2011), Geological evidence of recurrent great Kanto earthquakes at the Miura Peninsula, Japan. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **116**, B12408.
- Soria J. L. A., Switzer A. D., Pilarczyk J. E., Siringan F. P., Khan N. S. & Fritz H. M. (2017), Typhoon Haiyan overwash sediments from Leyte Gulf coastlines show local spatial variations with hybrid storm and tsunami signatures. *Sedimentary Geology*, **358**, 121–138.
- Szczuciński W. (2020), CHAPTER 21. Post-depositional changes to tsunami deposits and their preservation potential. In: Engel M., Pilarczyk J., May S. M. & Garrett E. (eds.), *Geological Records of Tsunamis and Other Extreme Waves*. Elsevier, Amsterdam,

- 443–469.
- 高山百合子・上野成三・勝井秀博・林 文慶・山本克則・田中昌宏 (2003), 江奈湾の藻場分布データに基づいたアマモのHSIモデル. 海岸工学論文集, **50**, 1136–1140.
- Tuttle M. P., Ruffman A., Anderson T. & Jeter H. (2004), Distinguishing tsunami from storm deposits in eastern North America: The 1929 Grand Banks tsunami versus the 1991 Halloween storm. *Seismological Research Letters*, **75**, 117–131.
- Watanabe M., Bricker J. D., Goto K. & Imamura F. (2017), Factors responsible for the limited inland extent of sand deposits on Leyte Island during 2013 Typhoon Haiyan. *Journal Geophysical Research, Oceans*, **122**, 2795–2812.