

# 静岡県熱海市伊豆山港沖に流出した盛土の底質と 有孔虫群集への影響調査

北村晃寿<sup>1\*,2</sup>・松野由奈<sup>1</sup>・守屋和佳<sup>3</sup>・張 天逸<sup>4</sup>・小林大翔<sup>5</sup>  
岡寄颯太<sup>6</sup>・山下裕輝<sup>6</sup>・古屋俊和<sup>7</sup>・島田帆菜<sup>7</sup>

## Investigation of the effects of spilled embankment on sediment and foraminiferal communities offshore of Izuyama Port, Atami City, Shizuoka Prefecture, Japan.

AKIHISA KITAMURA<sup>1\*,2</sup>, YUNA MATSUNO<sup>1</sup>, KAZUYOSHI MORIYA<sup>3</sup>, TENNICH CHO<sup>4</sup>,  
HIROTO KOBAYASHI<sup>5</sup>, SOTA OKAZAKI<sup>6</sup>, YUKI YAMASHITA<sup>6</sup>, TOSHIKAZU FURUYA<sup>7</sup>  
and HANNA SHIMADA<sup>7</sup>

### はじめに

2021年7月3日に、静岡県熱海市<sup>あいづめ</sup>逢初川源頭部（標高390m、海岸から2km上流）にあった約56,000m<sup>3</sup>の盛土のうち約55,500m<sup>3</sup>が崩壊して発生した土石流（以下、熱海土石流）は、逢初川を流下し、伊豆山港から相模湾に流出した（図1）。この土石流は死者28人、全・半壊家屋64棟の被害をもたらした。熱海土石流に関しては、逢初川源頭部の未崩落の盛土と逢初川沿いに分布する土石流堆積物について、第一著者と共同研究者が地球科学的研究を行っている（北村, 2022a; 北村ほか, 2022a–d, 2023a, b）。一方、伊豆山港から流出した土石流堆積物について

は、2021年7月9–11日に(株)ウインディーネットワーク（2021）がサイドスキャンソナーを用いて海底調査を実施し、海底の反射強度モザイク画像（以下では2021年画像）を作成し、電子公開している（図2）。しかし、同海域の底質のモニタリング調査は行われていない。

そこで、著者の北村と守屋ほかは、2021年画像を参考にして、伊豆山港沖に定点を設定し、2021年7月30日、2022年8月16日、2023年10月16日の計3回、海底堆積物を採取した。本研究では、これらの堆積物の粒度組成と有孔虫群集の分析を行った結果を報告する。また、(株)ウインディーネットワークに外注して、2021年と同じ航跡で（図3）、2023年9月25–29日にサイドスキャンソナー

2024年2月26日受付 2024年4月30日受理.

Received: 26 February 2024 Accepted: 30 April 2024

<sup>1</sup>静岡大学理学部地球科学教室, 422-8529 静岡県静岡市駿河区大谷836

<sup>2</sup>静岡大学防災総合センター, 422-8529 静岡県静岡市駿河区大谷836

<sup>3</sup>早稲田大学教育・総合科学学術院理学科地球科学専修, 169-8050 新宿区西早稲田1-6-1

<sup>4</sup>早稲田大学データ科学センター, 169-8050 新宿区西早稲田1-6-1

<sup>5</sup>早稲田大学大学院創造理工学研究科地球・環境資源理工学専攻, 169-8050 新宿区西早稲田1-6-1

<sup>6</sup>静岡大学大学院総合科学技術研究科, 422-8529 静岡県静岡市駿河区大谷836

<sup>7</sup>早稲田大学教育学部理学科地球科学専修, 169-8050 新宿区西早稲田1-6-1

<sup>1</sup>Institute of Geosciences, Shizuoka University, 836 Ohya, Suruga-ku, Shizuoka, 422-8529 Japan

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

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

<sup>3</sup>Department of Earth Sciences, Faculty of Education and Integrated Arts and Sciences, Waseda University, Tokyo, 169-8050, Japan

<sup>4</sup>Center for Data Science, Waseda University, 1-6-1 Nishiwaseda, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-8050, Japan

<sup>5</sup>Department of Resources and Environmental Engineering, Graduate School of Creative Science and Engineering, Waseda University, 1-6-1 Nishiwaseda, Shinjuku-ku, Tokyo 169-8050, Japan

<sup>6</sup>Graduate School of Integrated Science and Technology, Shizuoka University, 836 Ohya, Suruga-ku, Shizuoka, 422-8529 Japan

<sup>7</sup>Department of Earth Sciences, School of Education, Waseda University, 1-6-1 Nishiwaseda, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-8050, Japan

\*責任著者, Corresponding author: kitamura.akihisa@shizuoka.ac.jp

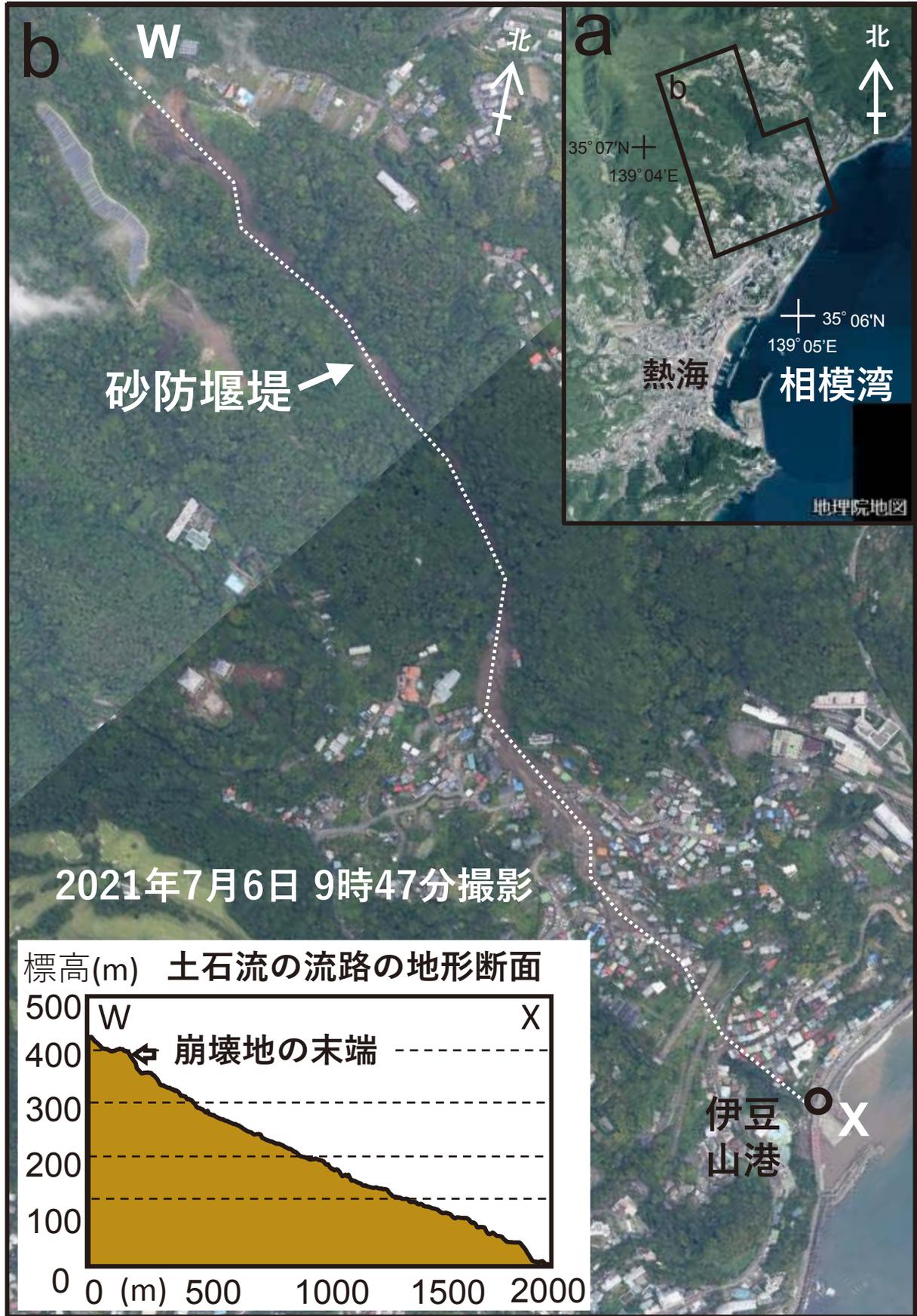
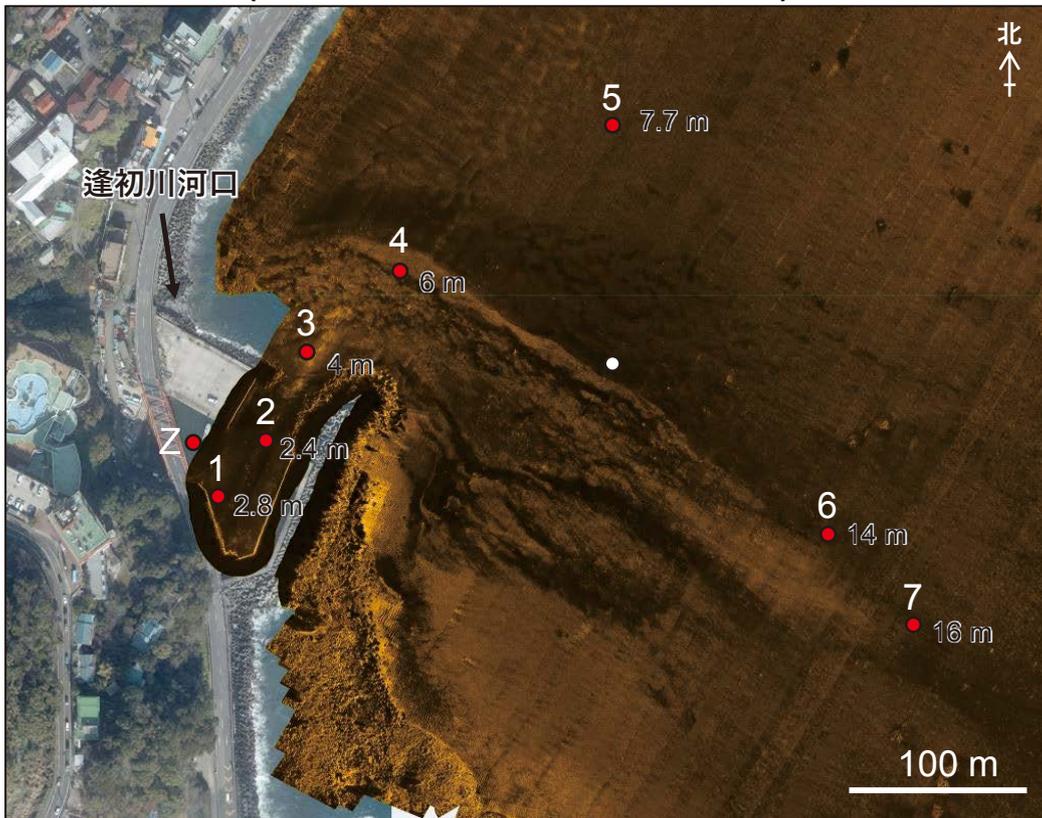


図1 熱海市伊豆山地区の土石流の流路と試料採取地点。a, b: 北村ほか (2022d) を一部改変。c: 静岡県 (2021) を一部改変。画像は国土地理院 (2021) の写真番号48156と48158を使用, [https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R3\\_0701\\_heavyrain.html](https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R3_0701_heavyrain.html), 2022年3月1日引用。

### 2021年画像(2021年7月9～11日に調査)



### 2023年画像(2023年9月26日～10月3日に調査)

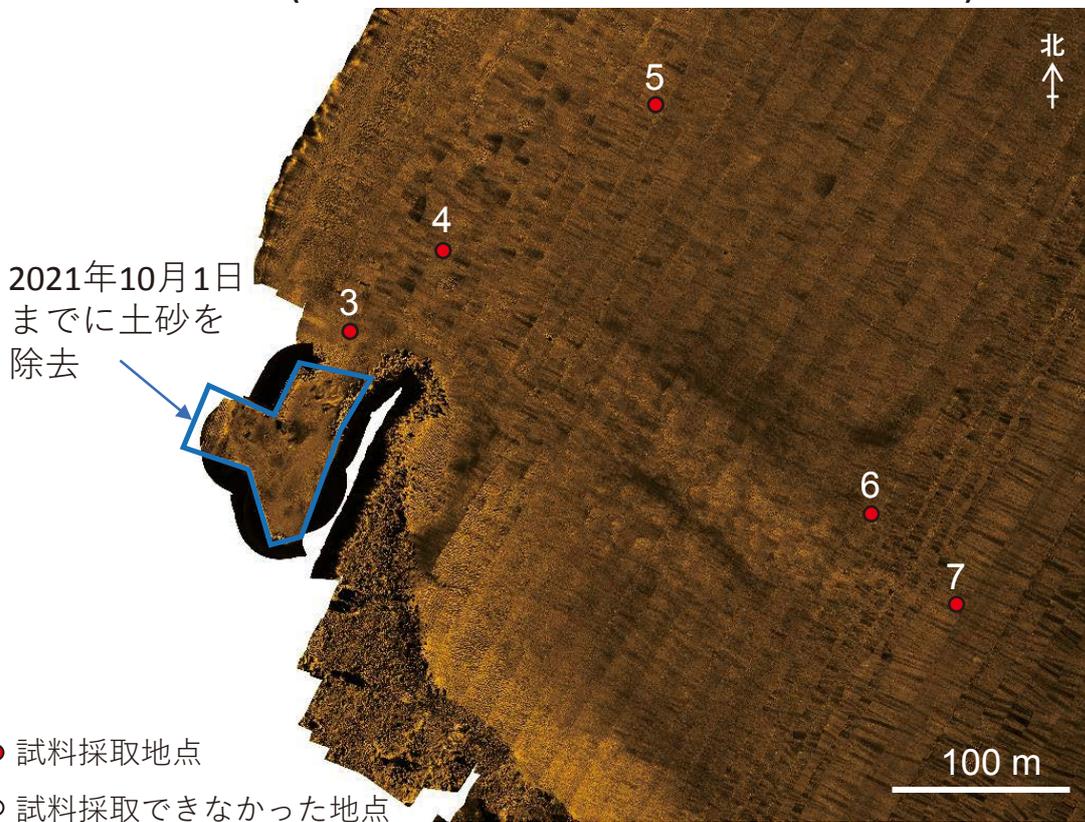


図2 海底反射強度モザイク画像と調査地点と水深。海底反射強度モザイク画像は株式会社ウィンディーネットワークが測定。

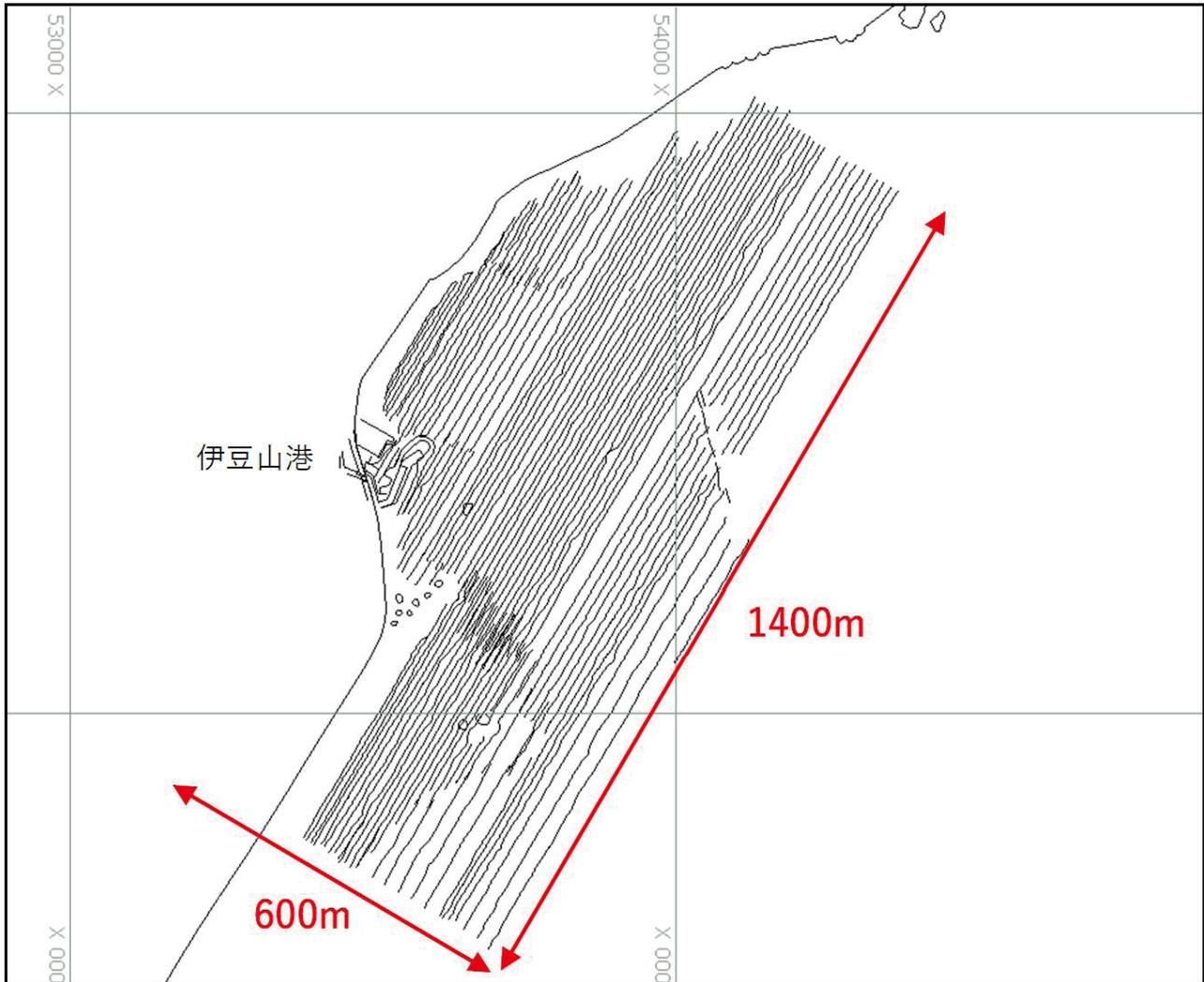


図3 航跡図. 株式会社ウィンディーネットワーク提供.

を用いて海底の反射強度モザイク画像（以下では2023年画像）を得たので、その結果も合わせて報告する。

#### 調査地域の概要

静岡県（2022）によると、伊豆山港から約230m上流の国道135号線の逢初川に土石流が到達した時刻は11時26分である。したがって、土石流の相模湾への流出はこの時刻以降だが、正確な時刻は不明である。

伊豆山港沖の海況に関する写真と新聞記事を表1と図4にまとめた。2021年7月5日に国土地理院が撮影した伊豆山港の海面には茶色の濁り水が見られる（図4a）。同年7月6日の日本経済新聞には「第3管区海上保安本部が4日撮影した伊豆山港の海面には、家屋の壁や柱だったとみられる多くの木材などが浮いていた。（中略）がれきのほか土砂で茶色く濁った海が作業を阻む。」という記事が掲載されている。同年7月23日に北村が撮影した伊豆山港の海面にも茶色の濁り水が見られる（図4b, c）（北村, 2022b）。同年10月2日の静岡新聞（2021c）には「濁りはまだ残っている」とあり、2022年6月3日の静岡新聞

（2022）には「土石流からもうすぐ1年たつが、いまだに雨が降ると泥水が港に流れてくる」という記事がある。

2021年9月2日の静岡新聞（2021b）には、国土交通省清水港湾事務所が伊豆山港沖で8月20日に調査し、港の沖合約120メートルの地点を対象に、7万2800平方メートルの調査エリアの陸側3分1程度で堆積がないことを確認したと記されている。ただし、調査した場所の地図はない。また、伊豆山港内は最大1メートル程度の堆積があると記されている。

2021年10月2日の静岡新聞（2021c）には、10月1日に伊豆山港内に堆積した1800m<sup>3</sup>の土砂が撤去されたとある。2023年1月13日の静岡新聞（2023a）には、21年8～9月に土砂を撤去したが、港内の船揚げ場付近に堆積する土砂や石を重機で取り出したと記されている。そして、2023年2月22日の静岡新聞（2023b）には、地元漁師とボランティアのダイバーが港内に残る災害廃棄物などを回収したとある。（略）まだ細かい物が残っているが、海底には砂地が戻り、カジメなどの海藻が育っていると記されている。

（株）ウィンディーネットワーク（2021）の公開した2021

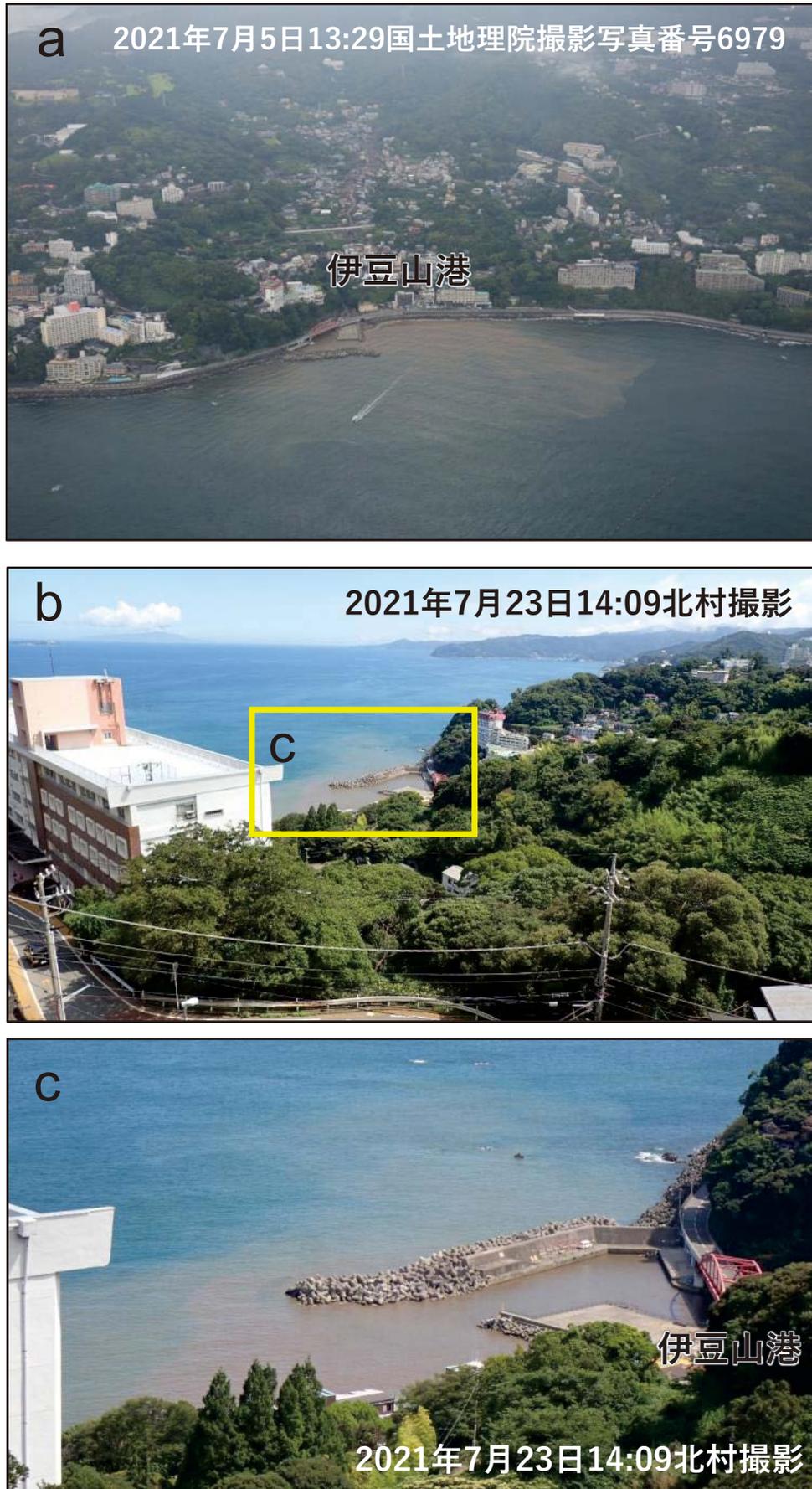


図4 熱海市伊豆山港の写真.

表1 伊豆山港の状況。

出典	記事・記載
2021/07/06 国土地理院*	伊豆山港の海面には茶色の濁り水
日本経済新聞(2021) 2021/07/06 夕刊 9p.	第3管区海上保安本部が4日撮影した伊豆山港の海面には、家屋の壁や柱だったとみられる多くの木材などが浮いていた。(中略)がれきのほか土砂で茶色く濁った海が作業を阻む。
静岡新聞(2021a) 2021/07/23 朝刊 3p.	大熱海漁協の遠藤哲也組合長は「実際に潜らないと被害の大きさは分からない」と話す。逢初川からは今も、濁水が漁場に注ぐ。
2021/07/23 北村(2022b)	伊豆山港の海面に茶色の濁り水
静岡新聞(2021b) 2021/09/02 朝刊 19p.	熱海市伊豆山地区の土石流災害で、国交省清水港湾事務所はこのほど、土砂の堆積が懸念された伊豆山港沖を最新の音響測量機器で調査した。被災から1カ月半以上経過し、大規模な堆積は見られなかったという。調査は8月20日、港の沖合約120メートルの地点を対象に、7万2800平方メートルの海域について同事務所の港湾業務艇「しもだ」を使って調査した。2019年度に県が実施した測量データと比較した結果、今回の調査エリアでは陸側3分1程度で堆積がないことを確認した。調査エリアの残りの部分は、被災前の測量データがないため、土砂堆積の有無は不明。ただ、被災から時間が経過し、海流で土砂が拡散している可能性もあるという。港内は最大1メートル程度の堆積があり、船が着けられない状況が続いている。
静岡新聞(2021c) 2021/10/02 朝刊 26p.	県は1日、熱海市伊豆山の大規模土石流で大量の土砂が流れ込んだ伊豆山港の応急復旧工事が完了し、供用停止を解除したと発表した。港内に堆積した土砂は撤去され、利用が可能になったと漁業関係者に伝えた。解除は9月30日付。同港は土石流が流れ下った逢初川の河口部に近接しており、河口近くの川が土砂で埋まったため、川から土砂があふれ出す形で港内に土砂が流入した。港内の土砂量は1800立方メートルで、陸上部分を含めると2730立方メートル。2メートルだった港内の水深は土砂が堆積して50センチまで浅くなった箇所があった。しゅんせつ船を投入して土砂を取り除き、元の水深に戻したという。撤去済みの土砂は市内の仮置き場に運搬した。県港湾整備課は「濁りはまだ残っているが、水深は確保され、船の発着に支障はない」としている。
静岡新聞(2022) 2022/6/03 朝刊 21p.	土石流からもうすぐ1年たつが、いまだに雨が降ると泥水が港に流れてくる。
静岡新聞(2023a) 2023/01/13 朝刊 26p.	県は12日、熱海市伊豆山の大規模土石流で伊豆山港に流れ込んだ土砂の撤去作業を行った。港内の船揚げ場付近に堆積する土砂や石を重機で取り出した。現場では県警機動隊員らが作業を見守り、行方不明になっている太田和子さんの手掛かりがないか確認した。土石流が流れ下った逢初川河口にある伊豆山港では21年8～9月にも撤去作業が行われた。しかし船揚げ場付近に土砂が残り、一部で十分な水深が確保できていなかった。漁船のスクルーで土砂が巻き上がりエンジンが故障する恐れもあるため、地元漁師らが県に追加の作業を要望していた。県熱海土木事務所によると、今回の撤去量は200立方メートル。事業費は900万円。土石流で損傷した船揚げ場の「滑り材」の復旧作業も1月後半から2月にかけて行う。
静岡新聞(2023b) 2023/02/22 朝刊 29p.	熱海市伊豆山の土石流災害で大量の土砂が流れ込んだ伊豆山港で21日、地元漁師とボランティアのダイバーが港内に残る災害廃棄物などを回収した。海底には折れ曲がった電柱や建物の柱などが沈んでいて土石流の爪痕が残っていた。漁師らは今後も回収作業を続け、港をよみがえらせたいとしている。都内のダイバーを含め15人が参加し、茶わんなどの食器や折り畳みいすなどを次々に回収した。土石流で流されたとみられる金属製の電柱や配管類なども引き上げた。土石流の直後から被災者の思い出の品などを港で回収してきた漁師の金子友一さんは「まだ細かい物が残っている。全部取るとなると大変な量」と話した。ただ、海底には砂地が戻り、カジメなどの海藻が育ってきているという。地元のダイバーで被災者でもある熱海マリンスポーツクラブの大久保衛代表は「だいぶ良い状態に回復してきてうれしい。今後も回収できる物は回収していきたい」と語った。地元漁師でつくる伊豆山漁業会の松本早人代表は「被災者の貴重品などが見つかったら返してあげたい。同時に、海を守る活動に力を入れていきたい」と話した。

\*[https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R3\\_0701\\_heavyrain.html#3](https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R3_0701_heavyrain.html#3)

年画像(図2)では、海底の反射強度の弱い箇所(泥など)を暗い色、反射強度が強い箇所(岩など)を明るい色で示している。そして、逢初川河口と伊豆山港から東南東方向に沖合約390mまで伸びる複数の帯が見られ、その全体の幅は最大約110mである(図2)。この帯は流出した土石流堆積物によると推定されている(ウインディーネットワーク, 2021)。

なお、伊豆山港沖における底質の粒度組成と有孔虫群

集の分析に関する先行研究はない。

### 試料及び分析方法

2021年画像を参考にして、伊豆山港内の2地点、その沖合の6地点の計8地点を設定した(表2, 図2)。地点5は、土石流堆積物が分布していない場所である。

海底堆積物の採取には(図5)、早稲田大学所有のエク

マンバージとフレガーコアラを使用した。2021年7月30日に実施した試料採取では、上記の8地点の全てでフレガーコアラでは試料を採取できなかった。また、1地点ではエクマンバージでも試料を採取できなかった。2021年画像を参考にすると、試料採取できなかったのは、堆積物が粗粒であったためと考えられる。

2021年の調査後、伊豆山港内の土砂が2021年10月1日に浚渫・除去された（静岡新聞, 2021c）。したがって、2022年8月16日と2023年10月16日には、伊豆山港沖の地点3-7の5地点で試料を採取した。

表2 調査地点.

地点	北緯	東経	水深(m)
0	35度06分35.69秒	139度05分11.33秒	0.16
1	35度06分34.79秒	139度05分12.68秒	2.8
2	35度06分35.95秒	139度05分13.35秒	2.4
3	35度06分38.04秒	139度05分16.62秒	4
4	35度06分39.13秒	139度05分17.10秒	6
5	35度06分41.80秒	139度05分21.80秒	7.7
6	35度06分34.35秒	139度05分26.45秒	14
7	35度06分32.74秒	139度05分28.32秒	16



図5 地点2, 4の写真.



図6 地点Zの写真と堆積物.

エクマンバージで採取した堆積物の厚さは、場所によって異なり、5~10cmの厚さであった。この調査は小型漁船を備船し実施したが、その船上作業の制約のため、採取した堆積物を一まとめの試料として回収した。なお、回収作業時の観察では、すべての採取地点で、上下方向の堆積物の変化は見られなかった。

2021年7月30日の調査時に、伊豆山港の船揚げ場（地点Z）で層厚40cmの堆積物を観察するとともに、垂直方向に32個の試料を採取した（図6）。全層厚は40cmなので、試料の平均層厚は1.25cmとなる。

海底堆積物の試料は、分析まで冷凍した。そして、解凍した堆積物試料を分割・分取し乾燥した。その後、重量を測定し、8000 $\mu\text{m}$ 以下の粒子について目開き32, 63, 90, 125, 180, 250, 355, 500, 710, 1000, 1500, 2000, 4000 $\mu\text{m}$ の篩で水洗し、残渣の乾燥重量を測定した。そして、32 $\mu\text{m}$ 以下の粒径を5.5 $\phi$ として、平均粒径、標準偏差、含泥率を算出した。

地点Zの堆積物については、上記と同じ方法で粒度分

析し、平均粒径、標準偏差、含泥率を算出した。

海底堆積物については、堆積物試料を分割・分取し、目開き63 $\mu\text{m}$ の篩で水洗し、残渣を乾燥後に、実体顕微鏡の下で、有孔虫を抽出した。種同定・生息環境を調べ、試料1g当たりの個体密度を算出した。種同定は、小杉ほ

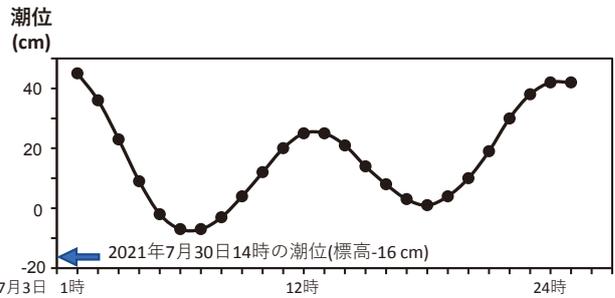


図7 神奈川県小田原市早川地先の潮汐。気象庁の潮位データ (<https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/genbo/genbo.php>) から作成。2023年2月20日引用。

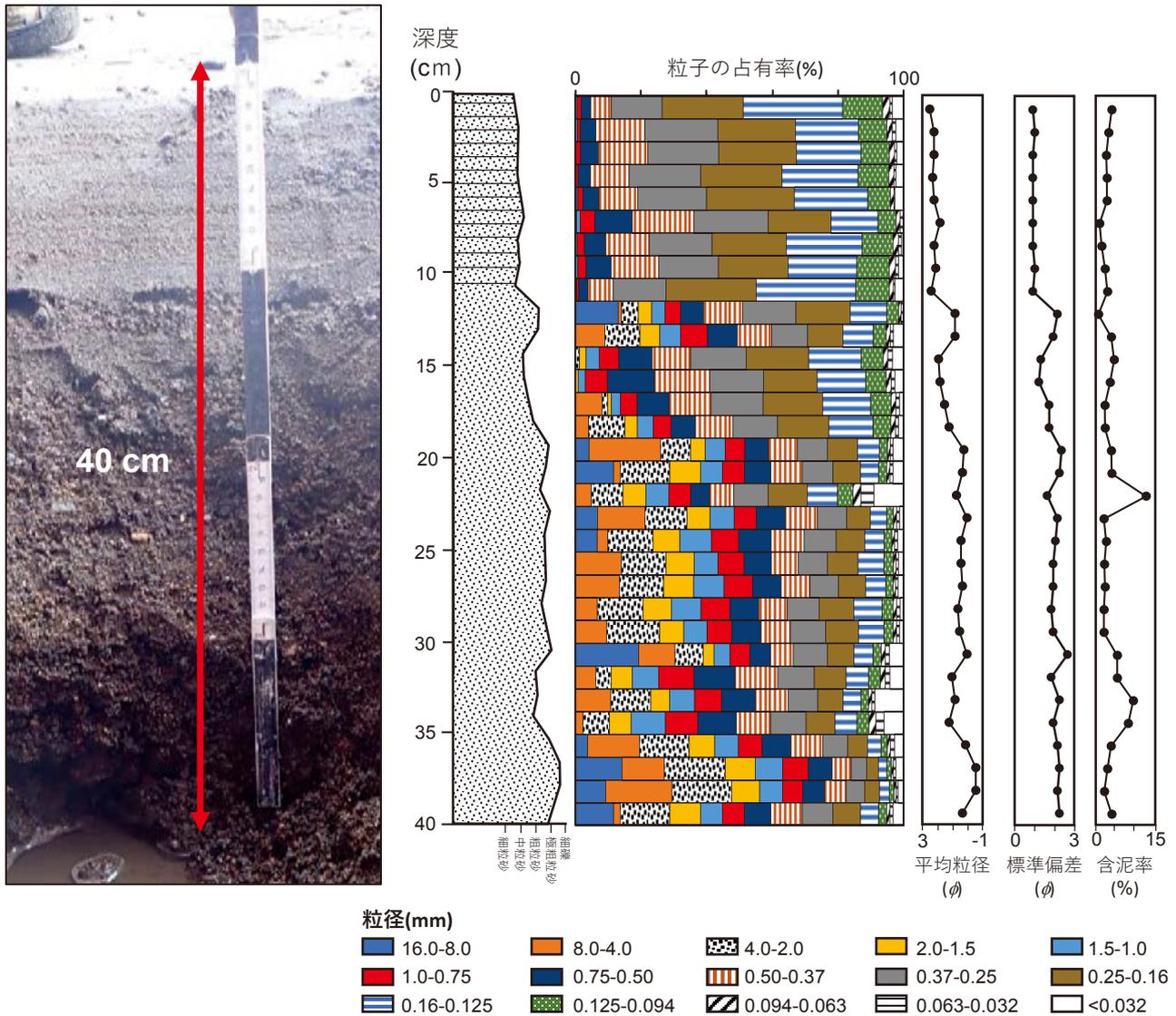


図8 地点Zの堆積物の写真、柱状図、粒度組成。

表3 地点Zの堆積物の粒度組成。

試料深度(cm) 粒径(mm)	試料深度(cm)									試料深度(cm)																						
	0-1.25	1.25-2.5	2.5-3.75	3.75-5.0	5.0-6.25	6.25-7.5	7.5-8.75	8.75-10.0	10.0-11.25	11.25-12.5	12.5-13.75	13.75-15.0	15.0-16.25	16.25-17.5	17.5-18.75	18.75-20.0	20.0-21.25	21.25-22.5	22.5-23.75	23.75-25.0	25.0-26.25	26.25-27.5	27.5-28.75	28.75-30.0	30.0-31.25	31.25-32.5	32.5-33.75	33.75-35.0	35.0-36.25	36.25-37.5	37.5-38.75	38.75-40.0
16-8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.3	0.0	0.0	0.0	3.8	14.2	9.3	11.7	
8-4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	9.0	0.0	0.0	8.2	4.1	21.7	2.0	4.9	14.4	3.2	14.1	13.5	6.7	9.5	11.0	6.2	10.8	2.3	15.8	12.9	20.1	2.0
4-2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	10.7	1.3	0.2	1.7	11.0	9.2	15.1	9.6	12.8	13.7	13.5	13.4	13.9	16.2	8.6	4.7	12.2	8.1	15.0	18.5	18.1	15.1
2-1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.1	0.2	0.0	4.1	6.0	2.0	0.7	1.1	3.8	4.5	9.3	7.0	7.0	8.2	8.6	9.1	8.6	7.3	3.3	6.5	5.7	6.6	7.8	9.1	8.5	9.3
1.5-1	0.6	0.7	0.2	0.1	0.5	1.1	0.5	0.6	0.4	4.0	6.3	4.0	2.2	2.7	4.9	6.0	6.7	7.0	7.3	9.5	7.3	9.2	9.1	7.0	4.9	8.0	7.6	10.5	7.2	8.4	7.0	6.7
1-0.75	1.2	0.9	1.3	0.8	1.5	4.5	2.2	2.5	0.7	4.8	8.2	6.0	6.7	5.1	5.4	6.0	6.6	6.6	6.7	8.3	7.9	8.7	8.8	7.6	6.1	10.7	8.2	9.8	7.2	7.7	6.2	6.6
0.75-0.5	2.9	4.7	5.5	3.7	4.9	11.4	6.4	7.6	2.8	7.0	9.1	10.1	14.3	9.7	7.4	7.2	8.1	5.7	8.8	9.9	8.3	8.7	8.7	8.8	6.2	12.5	10.2	11.8	8.7	7.3	6.6	8.1
0.5-0.37	6.3	14.9	15.1	11.8	11.8	18.7	13.3	14.4	7.7	11.9	10.4	11.8	16.8	12.7	11.4	9.6	9.6	7.4	9.8	10.0	8.2	8.7	8.7	9.0	6.9	13.0	10.0	10.4	9.7	5.8	6.5	9.6
0.37-0.25	15.4	22.1	21.5	21.8	21.0	22.6	19.1	18.2	16.0	16.2	10.9	16.8	16.3	15.8	13.6	9.2	9.3	10.4	8.9	9.7	8.8	8.7	9.7	10.4	11.1	9.0	10.8	7.6	4.6	5.6	9.3	
0.25-0.16	24.7	23.6	23.6	24.7	26.7	19.1	22.5	21.1	27.4	16.5	10.7	19.1	16.3	18.0	15.6	9.2	8.4	11.9	7.2	8.7	9.4	8.2	10.5	10.0	8.1	9.7	7.7	8.8	6.0	3.6	4.6	8.4
0.16-0.125	30.2	19.2	19.6	23.1	22.4	14.3	23.0	20.9	30.2	11.1	9.3	15.9	14.8	14.6	13.5	6.7	5.5	9.2	4.9	5.9	7.9	6.1	8.6	7.7	5.8	6.9	5.4	6.7	4.1	2.6	3.0	5.5
0.125-0.094	12.2	8.6	8.6	9.4	6.9	5.5	9.4	9.8	10.2	3.7	3.9	6.8	6.2	6.2	5.4	2.4	2.4	4.7	2.1	2.3	2.9	2.3	3.3	2.8	2.5	3.5	2.3	3.6	1.9	1.4	1.4	2.4
0.094-0.063	2.2	1.7	1.6	1.5	1.0	1.2	1.7	1.9	1.3	0.7	1.2	1.4	1.5	1.4	1.4	0.8	0.9	4.0	1.0	0.8	0.8	0.7	1.1	1.0	1.2	1.5	1.0	2.2	1.0	0.6	0.6	1.0
0.063-0.032	0.8	1.0	0.7	0.6	0.3	1.0	1.0	1.0	0.5	0.6	1.0	1.4	1.1	1.2	1.0	0.9	0.9	4.0	1.0	0.7	0.8	1.1	1.0	1.3	1.4	1.0	2.5	1.2	0.7	0.6	0.9	
<0.032	3.5	2.5	2.2	2.5	2.8	0.2	0.7	1.6	2.7	0.3	3.2	3.5	2.8	1.3	1.6	3.3	3.4	9.1	1.3	1.9	1.7	1.8	1.2	1.3	4.4	4.3	8.8	6.0	2.9	2.5	1.8	3.4
平均粒径( $\phi$ )	2.5	2.2	2.2	2.3	2.2	1.8	2.2	2.1	2.4	0.8	0.8	1.9	1.8	1.5	1.2	0.2	0.3	0.7	0.0	0.4	0.4	0.3	0.6	0.5	0.0	1.0	0.8	1.2	0.1	-0.6	-0.6	0.3
標準偏差( $\phi$ )	0.9	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	0.9	2.1	1.9	1.3	1.2	1.7	1.7	2.3	2.2	1.6	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	1.9	2.6	1.8	2.2	1.9	2.1	2.2	2.1	2.2
含泥率(%)	4.3	3.5	2.9	3.1	3.1	1.2	1.7	2.6	3.2	0.9	4.2	4.9	3.9	2.5	2.6	4.3	4.3	13.1	2.3	2.9	2.4	2.6	2.3	2.3	5.7	5.7	9.8	8.5	4.1	3.2	2.4	4.3

か (1991), Kitazato *et al.* (2000), Takata *et al.* (2019) に基づく。なお、今回の調査では、有孔虫の生体・遺骸の区別は行っていない。

本論で用いるデータは全て、本論の図表に記載した。

### 有孔虫群集について

有孔虫は様々な化学組成と形態の殻をもった単細胞性の真核生物である。内湾汽水域から深海まで、極域から熱帯までの海洋環境に生息し、底生生活（底生有孔虫）と浮遊生活（浮遊性有孔虫）を送るものがある（北里, 2010）。中・高緯度の沿岸に生息する底生有孔虫の多くは、石灰質の殻を持ち、大きさは1mm以下である。そして、沿岸堆積物から任意に200個体を集めるとその中に30～50種類を識別することが出来る。少量の堆積物からも多くの個体を抽出でき、かつ種の多様性も高いため、底生有孔虫の群集解析から、自然や人間活動による環境変動を調べる際に最もよく使われる生物の一つである（たとえば、小杉ほか, 1991; Tsujimoto *et al.*, 2006a, b; Kitamura *et al.*, 2019）。

### 結果

地点ごとに結果を記す。

#### 地点Z

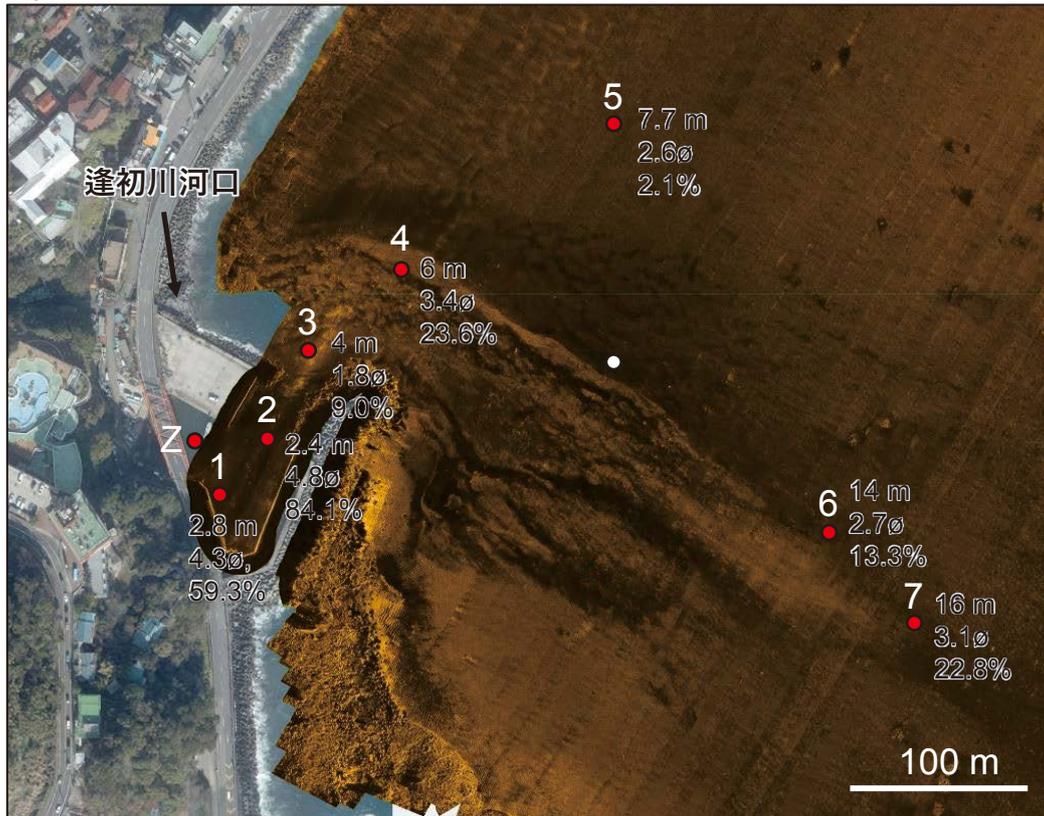
図7は、土石流が発生した2021年7月3日の潮位で、11-12時の潮位は標高25cmである。試料を採取した2021年7月30日14時の潮位は標高-16cmである。堆積物の基底は海水が滲出している（図8）、試料採取地点の高度は標高-16cmとみなした。

堆積物の層相は上下で2分され、下部（深度40-11.25cm）は塊状粗粒砂からなり、上部（深度11.25-0cm）は平行葉理を持ち、分級の良い細粒砂からなる（表3, 図8）。堆積物は全体的に正級化し、下部も正級化するが、上部では粒度組成はほとんど変化しない。

#### 地点1

採取日は2021年7月30日のみである。堆積物は砂質泥で、平均粒径は4.3 $\phi$ 、標準偏差は1.1 $\phi$ 、含泥率は59.3%である（表4, 図9）。有孔虫は *Bolivina* spp., *Quinqueloculina* spp., *Cassidulina* sp. が産出し、全有孔虫の個体密度は15.1/gである（表5）。

a)2021年調査



b)2023年調査

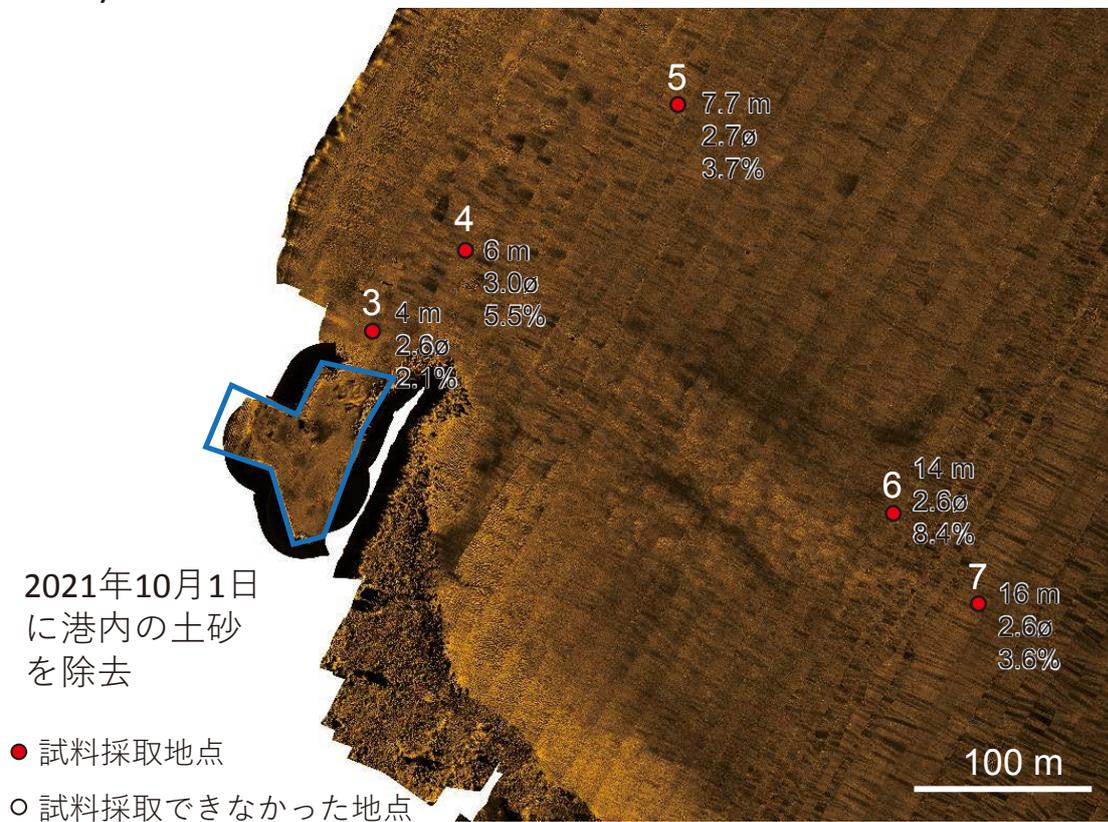


図9 2021年と2023年の海底反射強度モザイク画像と表層堆積物の粒度組成。

地点2

採取日は2021年7月30日のみである。堆積物は砂質泥で、平均粒径は4.8φ、標準偏差は0.9φ、含泥率は84.1%である(表4, 図9)。有孔虫は *Quinqueloculina* spp. が産出し、全有孔虫の個体密度は0.5/gである(表5)。

地点3

2021年7月30日の試料は中粒砂で、平均粒径は1.8φ、標準偏差は1.7φ、含泥率は9.0%である(表4, 図9-11)。

有孔虫は *Cibicides lobatulus*, *Glabratella patelliformis* が産出し、全有孔虫の個体密度は2.1/gである(表5)。

2022年8月16日の試料は淘汰の悪い泥質細粒砂で、平均粒径は2.2φ、標準偏差は2.3φ、含泥率は23.3%である(表4)。有孔虫は *Ammonia* spp., *Cibicides* cf. *refulgens*, *Elphidium crispum*, *Planoglabratella opercularis*, *Pararotalia nipponica* が産出し、全有孔虫の個体密度は9.0/gである(表5)。

2023年10月16日の試料は淘汰の良い細粒砂で、平

表4 伊豆山港沖の表層堆積物の粒度組成.

採取年	2021			2022			2023			2021			2022			2023					
地点	1			2			3			4			5			6			7		
深度(m) 粒径(mm)	2.8			2.4			4			6			7.7			14			16		
16-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8-4	0.2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
4-2	0.1	0	3.6	8.3	0.1	0	0	0	0.1	0.2	0	0	0.1	0.1	0	1.3	0.2	0	1.3	0.2	0
2-1.5	0.1	0	5.0	4.4	0.2	0	0.1	0.1	0	0.4	0	0	0.5	0.6	0	1.6	0	0	1.6	0	0
1.5-1	0.2	0	7.3	3.2	0.1	0.4	0.1	0.1	0.2	0.6	0.1	0.1	0.7	0.9	0	2.2	0.1	0	2.2	0.1	0
1-0.75	0.3	0.1	8.8	4.2	0.3	0.7	0.3	0.3	0.2	1.6	0.1	0.3	1.4	1.7	0.2	5.6	0.3	0.2	5.6	0.3	0
0.75-0.5	0.3	0.2	9.6	4.4	1.1	1.3	0.7	0.7	0.7	4.3	0.5	1.0	2.2	2.7	0.7	13.2	0.8	0.7	13.2	0.8	0
0.5-0.37	0.7	0.8	10.0	6.3	3.1	2.7	2.1	2.1	2.9	10.1	2.3	5.5	5.4	6.5	3.5	24.9	3.0	3.5	24.9	3.0	0
0.37-0.25	1.0	0.8	8.0	8.1	8.4	3.7	5.7	5.6	10.0	16.5	9.4	15.5	12.0	14.5	11.3	22.3	10.7	11.3	22.3	10.7	0
0.25-0.16	2.5	1.0	8.1	13.3	30.7	5.7	14.8	14.6	28.5	26.5	31.5	31.0	28.2	34.2	25.8	16.1	32.2	25.8	16.1	32.2	0
0.16-0.125	4.2	1.3	10.0	11.6	42.7	11.0	32.1	31.6	35.8	27.2	33.2	22.5	29.2	9.2	23.1	7.3	33.8	23.1	7.3	33.8	0
0.125-0.094	8.8	3.2	12.2	5.6	9.8	23.8	31.0	30.5	17.0	8.7	13.1	7.5	12.6	15.2	8.4	1.8	11.5	8.4	1.8	11.5	0
0.094-0.063	22.4	8.5	8.2	4.2	1.4	27.0	9.1	8.9	2.5	2.1	6.1	3.2	5.0	6.0	4.1	0.7	3.8	4.1	0.7	3.8	0
0.063-0.032	31.2	32.9	5.3	4.8	0.5	18.8	2.2	2.2	0.6	0.5	1.8	7.5	1.5	1.9	7.9	0.7	1.2	7.9	0.7	1.2	0
<0.032	28.1	51.2	3.7	18.5	1.6	4.8	1.8	3.3	1.5	1.4	1.9	5.8	1.1	6.5	14.9	2.4	2.4	14.9	2.4	2.4	0
平均粒径(φ)	4.3	4.8	1.8	2.2	2.6	3.4	2.9	3.0	2.6	2.3	2.7	2.7	2.5	2.6	3.1	1.6	2.6	3.1	1.6	2.6	0
標準偏差(φ)	1.1	0.9	1.7	2.3	0.7	1.0	0.7	0.8	0.7	0.9	0.7	1.1	0.9	1.2	1.3	1.1	0.8	1.3	1.1	0.8	0
含泥率(%)	59.3	84.1	9.0	23.3	2.1	23.6	4.0	5.5	2.1	1.9	3.7	13.3	2.6	8.4	22.8	3.1	3.6	22.8	3.1	3.6	0

表5 伊豆山港沖の表層堆積物中の底生有孔虫群集.

地点	1	2	3	4	5	6	7	3	4	5	6	7	3	4	5	6	7
<i>Ammonia</i> spp.								6	2	1	2	1					2
<i>Bolivina</i> spp.	3																
<i>Cibicides lobatulus</i>			1	1								3	1		1	2	
<i>Cibicides</i> cf. <i>refulgens</i>					10	9	8	3	2	14	2	2	4	1	3	4	4
<i>Elphidium crispum</i>					9	4	4	1		4		3	7	2	1	6	1
<i>Elphidium jenseni</i>						1					1			2	1	2	
<i>Glabratella patelliformis</i>			1			2	1		2	3		1	1	2		2	2
<i>Planoglabratella opercularis</i>					9	7	17	1	18	17	15	2	5	11	8	11	6
<i>Planoglabratella nakamurai</i>					2												
<i>Hanzawaia nipponica</i>				2					1	1							
<i>Quinqueloculina</i> spp.	10	2		4	14	3	6		22	10	3	3	9	16	7	15	2
<i>Pararotalia nipponica</i>					3	4	2	1			1			3	1	2	
<i>Rosalina</i> spp.										2							
<i>Cassidulina</i> sp.	1																
<i>Nonionella stella</i>											1						
unidentified	16		1	4	3	2			3	2	1		2	4	2	3	2
Planktonic foraminifera		1	1		1												1
全有孔虫の数	30	3	4	11	51	32	44	8	49	55	25	14	29	41	22	45	24
抽出した試料の重量(g)	1.99	5.85	1.94	0.75	0.69	0.73	1.07	0.89	0.38	0.89	0.34	0.63	0.36	0.36	0.34	0.91	0.34
1g当たりの全有孔虫数	15.1	0.5	2.1	14.7	73.9	43.8	41.1	9.0	128.9	61.8	73.5	22.2	80.6	113.9	64.7	49.5	70.6

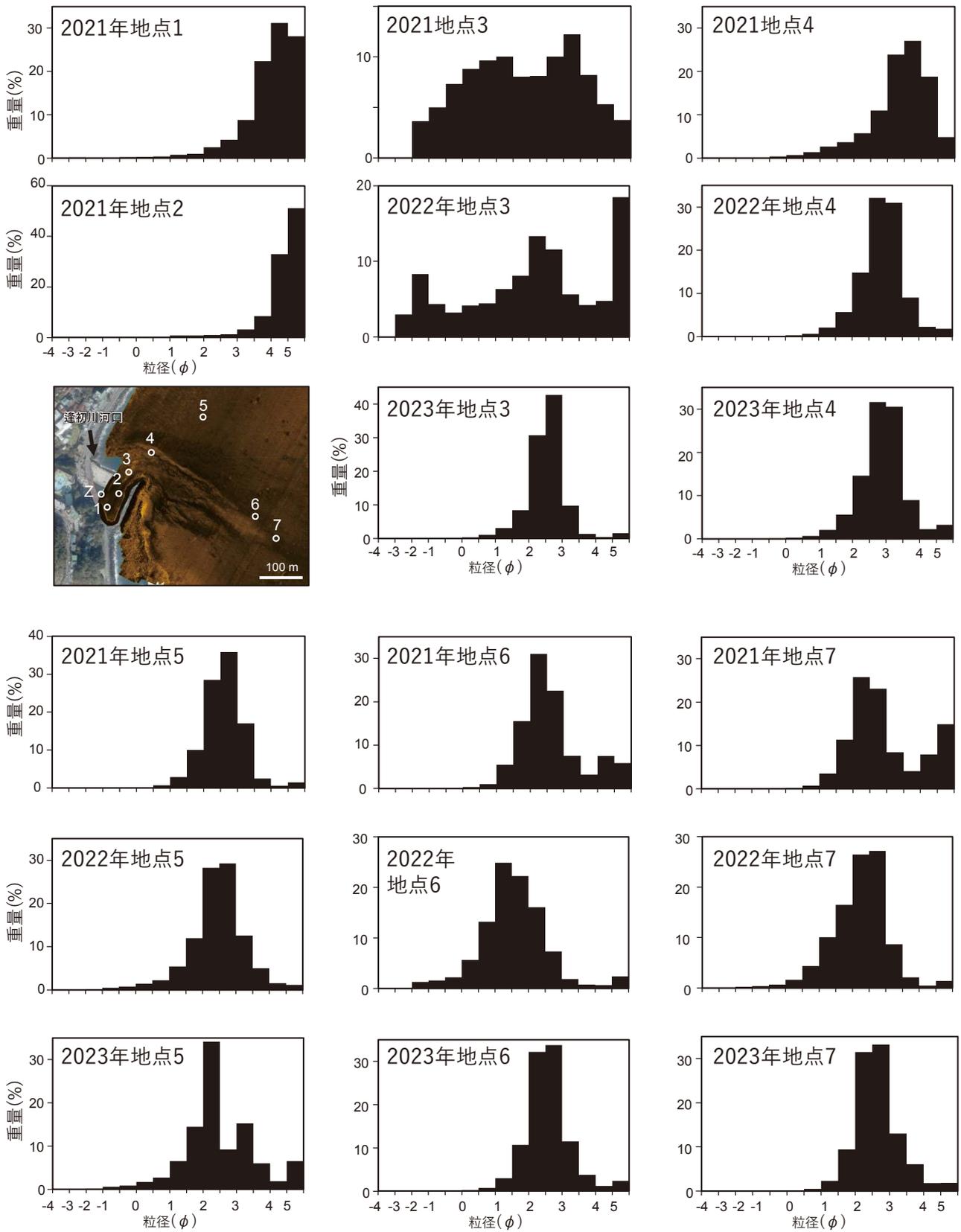


図10 伊豆山港沖の表層堆積物の粒度組成のヒストグラム。

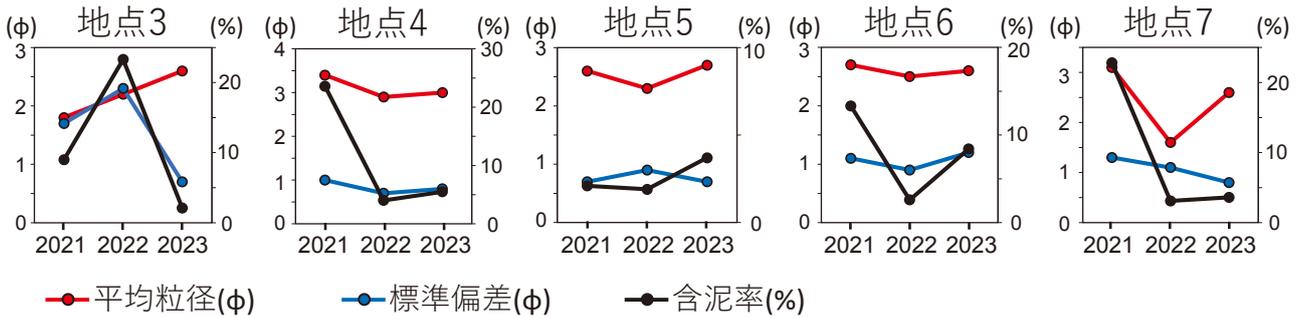


図11 伊豆山港沖の表層堆積物の粒度組成の時系列変化. 各グラフの第1縦軸(左側)のスケールは平均粒径と標準偏差で、第1縦軸(右側)のスケールは含泥率である。

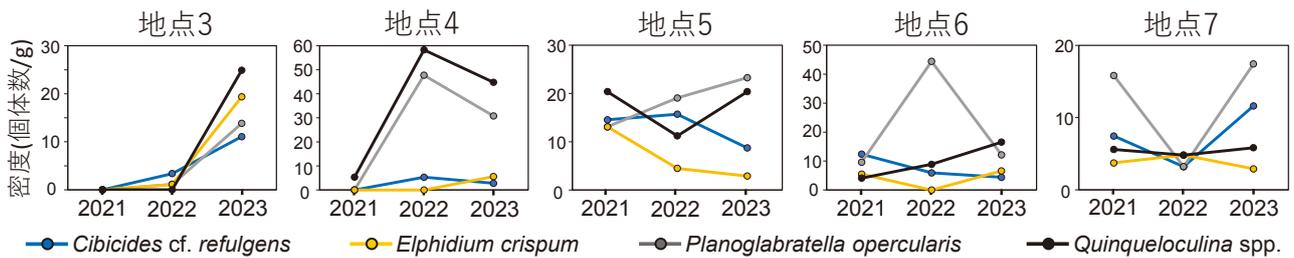


図12 伊豆山港沖の表層堆積物中の底生有孔虫の主要種の時系列変化。

均粒径は2.6φ、標準偏差は0.7φ、含泥率は2.1%である(表4, 図9)。有孔虫は *Quinqueloculina* spp., *E. crispum*, *P. opercularis*, *C. cf. refulgens* が優占し, *C. lobatulus*, *G. patelliformis*などを随伴し, 全有孔虫の個体密度は80.6/gである(表5)。

地点4

2021年7月30日の試料は泥質極細粒砂で、平均粒径は3.4φ、標準偏差は1.0φ、含泥率は23.6%である(表4, 図9)。有孔虫は *C. lobatulus*, *Hanzawaia nipponica*, *Quinqueloculina* spp. が産出し, 全有孔虫の個体密度は14.7/gである(表5)。

2022年8月16日の試料は淘汰の良い細粒砂で、平均粒径は2.9φ、標準偏差は0.7φ、含泥率は4.0%である(表4)。有孔虫は *Quinqueloculina* spp. と *P. opercularis* が優占し, *Ammonia* spp., *C. cf. refulgens*, *G. patelliformis*, *H. nipponica*などを随伴し, 全有孔虫の個体密度は128.9/gである(表5)。

2023年10月16日の試料は淘汰の良い極細粒砂で、平均粒径は3.0φ、標準偏差は0.8φ、含泥率は5.5%である(表4, 図9)。有孔虫は *Quinqueloculina* spp. と *P. opercularis* が優占し, *P. nipponica*, *E. crispum*, *E. jenseni*, *G. patelliformis*などを随伴し, 全有孔虫の個体密度は113.9/gである(表5)。

地点5

2021年7月30日の試料は淘汰の良い細粒砂で、平均粒径は2.6φ、標準偏差は0.7φ、含泥率は2.1%である(表4, 図9)。有孔虫は *Quinqueloculina* spp., *C. cf. refulgens*, *E. crispum*, *P. opercularis* が優占し, *P. nipponica*, *P. nakamurai*などを随伴し, 全有孔虫の個体密度は73.9/g

である(表5)。

2022年8月16日の試料も淘汰の良い細粒砂で、平均粒径は2.3φ、標準偏差は0.9φ、含泥率は1.9%である(表4)。有孔虫は *P. opercularis*, *C. cf. refulgens*, *Quinqueloculina* spp. が優占し, *E. crispum*, *G. patelliformis*などを随伴し, 全有孔虫の個体密度は61.8/gである(表5)。

2023年10月16日の試料も淘汰の良い細粒砂で、平均粒径は2.7φ、標準偏差は0.7φ、含泥率は3.7%である(表4, 図9)。有孔虫は *P. opercularis*, *Quinqueloculina* spp. が優占し, *C. lobatulus*などを随伴し, 全有孔虫の個体密度は64.7/gである(表5)。

地点6

2021年7月30日の試料は細粒砂で、平均粒径は2.7φ、標準偏差は1.1φ、含泥率は13.3%である(表4, 図9)。有孔虫は *C. cf. refulgens* と *P. opercularis* が優占し, *P. nipponica*, *E. crispum*, *Quinqueloculina* spp.などを随伴し, 全有孔虫の個体密度は43.8/gである(表5)。

2022年8月16日の試料は淘汰の良い細粒砂で、平均粒径は2.5φ、標準偏差は0.9φ、含泥率は2.6%である(表4)。有孔虫は *P. opercularis* が優占し, *Quinqueloculina* spp., *C. cf. refulgens*などを随伴し, 全有孔虫の個体密度は73.5/gである(表5)。

2023年10月16日の試料は細粒砂で、平均粒径は2.6φ、標準偏差は1.2φ、含泥率は8.4%である(表4, 図9)。有孔虫は *Quinqueloculina* spp. と *P. opercularis* が優占し, *E. crispum*, *Cibicides* cf. *refulgens*などを随伴し, 全有孔虫の個体密度は49.5/gである(表5)。

地点7

2021年7月30日の試料は泥質極細粒砂で、平均粒径

は $3.1\phi$ 、標準偏差は $1.3\phi$ 、含泥率は22.8%である(表4, 図9)。有孔虫は*P. opercularis*が優占し、*C. cf. refulgens*, *Ammonia* spp., *Quinqueloculina* spp., *E. crispum*などを随伴し、全有孔虫の個体密度は41.1/gである(表5)。

2022年8月16日の試料は中粒砂で、平均粒径は $1.6\phi$ 、標準偏差は $1.1\phi$ 、含泥率は3.1%である(表4)。有孔虫の種組成は*C. lobatulus*, *C. cf. refulgens*, *E. crispum*, *G. patelliformis*, *P. opercularis*, *Quinqueloculina* spp.が見られ、全有孔虫の個体密度は22.2/gである(表5)。

2023年10月16日の試料は、淘汰の良い細粒砂で、平均粒径は $2.6\phi$ 、標準偏差は $0.8\phi$ 、含泥率は3.6%である(表4, 図9)。有孔虫の種組成は*P. opercularis*と*C. cf. refulgens*が優占し、*Ammonia* spp., *E. jenseni*, *G. patelliformis*, *Quinqueloculina* spp., *P. nipponica*などを随伴し、全有孔虫の個体密度は70.6/gである(表5)。

なお、全地点・全期間において有孔虫の殻の保存状態には相違は見られない。

#### 海底の反射強度モザイク画像

2021年画像と2023年画像を比較すると、前者に見られた逢初川河口と伊豆山港から東南東方向に沖合約390mまで伸びる複数の帯は、後者では識別できなくなっている(図9)。

#### 考察

##### 地点Zの堆積物

地点Zの堆積物は塊状粗粒砂層とその上位の平行葉理を持つ細粒砂層からなる(図8)。この堆積相は、混濁流堆積物に見られるパウマ・シーケンス(Bouma, 1962)の区分のTa部とTb部の特徴に類似する。Ta部は無葉理で級化を示し、その堆積過程は高密度混濁流あるいは砂質土石流によると解釈され、Tb部は平行葉理を持ち、その堆積過程は低密度混濁流によると解釈されている(Lowe, 1982; Shanmugan, 1997)。したがって、熱海土石流は海中に流入して、すぐに土石流から混濁流に変わったと推定される。そして、地点Zの堆積物が1層の級化成層からなることは、伊豆山港から海中へ流出した土石流は1回であることを示す。

##### 表層堆積物

今回の調査地点で、伊豆山港内の地点1と2の表層堆積物は泥(含泥率59.3–84.1%)であり(図9, 10)、他地点は細粒～極細粒砂である。この分布は、土石流が流入した2021年7月3日以降7月23日まで港内の海水が濁っていたこととも符合する(図4)。2021年画像では、伊豆山港内は沖合に比べて暗い色である(図2)、本研究によって、底質のデータと2021年画像の比較が可能となり、暗



図13 主要4種の底生有孔虫の光学顕微鏡写真。1a-b: *Cibicides* cf. *refulgens*, 2: *Elphidium* *crispum*, 3a-c: *Planoglabratella* *opercularis*, 4: *Quinqueloculina* spp. の1個体。スケールは100 $\mu$ m。

い色が泥であることが裏付けられた。また、熱海土石流が運搬した泥質物は、逢初川河口の延長線上に分布していることが示された(図9)。さらに2021年画像と2023年画像の比較から、暗い色の領域が明瞭ではなくなっていることが分かる。

2021年画像によると、地点5は熱海土石流の影響を受けていない地点である(図2)。同地点での3回の定期調査の結果、平均粒径の範囲変化は2.3~2.7φで、標準偏差の範囲変化は0.7~0.9φ、含泥率の範囲変化は1.9~3.7%であり(図9-11)、特に含泥率は、他地点に比べて安定している(図11)。したがって、2021~2023年の調査期間では、2021年7月3日の土石流の流入以外には、調査地点全体の表層堆積物を大きく変えるイベントは起きていないと考えてよいだろう。これを踏まえて、以下では、2021年の調査のみの地点1, 2と地点5以外の4地点の時系列変化について考察する。

地点3, 4, 6, 7の粒径分布の時系列変化で変化幅が大きいのは、含泥率の変化である。地点4, 6, 7では2021年から2023年で、それぞれ23.6%から5.5%, 13.3%から8.4%, 22.8%から3.6%まで減少している(図11)。これは2021年画像と2023年画像の比較から得られた暗い色の領域が不明瞭になったことと調和している(図9)。つまり、地点4, 6, 7では泥質物が再移動し、除去されたと結論付けられる。

地点3では、含泥率が2021年から2022年に9.0%から23.3%に増加し、その後の2023年には2.1%まで減少している(図11)。2022年に増加した原因は不明ではあるが、2021年から2023年の2年間では、地点4, 6, 7と同様に泥質物は再移動し、除去されたといえる。これらのことから、熱海土石流でもたらされた泥質物は、2023年10月16日までは、再移動し、除去されており、底質の状態は土石流の流入前の状態に回復したと考えられる。

### 底生有孔虫

底生有孔虫は未同定種を除くと15種が識別でき、主要種は*C. cf. refulgens*, *E. crispum*, *P. opercularis*, *Quinqueloculina* spp.である(表5, 図12, 13)。これらは潮間帯付近の藻類に付着して生息している(北里, 1986; 小杉ほか, 1991)。2023年2月22日に発行された静岡新聞には、地元漁師の談話として「海底には砂地が戻り、カジメなどの海藻が育ってきている」と記されている。したがって、伊豆山港沖の海底環境の記述と主要種の生息場所は符合している。

上記の通り、地点5は熱海土石流の影響を受けていない地点である。この地点での主要種の個体密度の時系列変化には、同一の傾向は見い出せない(図12)。同様に地点4, 6, 7でも4種間に同一の傾向は見い出せない。同一の傾向が見い出せないのは有孔虫の個体数が少ないことによるかもしれないが、個体密度の時系列変化に土石流の影響を見出すことはできない(図12)。

一方、地点3では全種が2021年には見られなかったが、2022年にはわずかに産し、そして2023年には1g当たり11~25個体/gに大幅に増加している(図12)。2022年と2023年では含泥率は23.3%から2.1%に減少する。した

がって、有孔虫の個体密度の増加の原因の一つとして、2021年7月3日の土石流とその後の泥質物の流入が減少したこと、海底から泥質物が除去されることが考えられる。また、地点3における2022年の増加の程度が低いことは、泥質物の供給による希釈と海藻の回復の遅れによると思われる。

### まとめ

2021年7月3日に土石流が流入した伊豆山港沖において、流入直後から2年間にわたって、約1年間隔で定点で堆積物を採取し、港内でも堆積物を採取した。これらの試料について粒度分析と底生有孔虫の群集解析を行った。また、2023年10月に海底の反射強度モザイク画像を取得した。その結果、以下の知見を得た。

1. 伊豆山港に流入した土石流は1回だけであり、流入後、混濁流に変化した。

2. 伊豆山港沖の底質は、2023年10月までには土石流の流入前の状態に回復したと推定される。

### 謝辞

調査には伊豆山漁港の金子友一さんと下田海上保安部に協力いただいた。粒度分析については、研究室の小林出君、時田昌人君、富田遥斗君に協力いただいた。京都大学の成瀬元博士には議論いただいた。本研究の経費は静岡大学防災総合センターと未来社会デザイン機構の予算を使用した。鳥根大学の辻本彰博士と静岡大学の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。これらの方と機関に厚く御礼申し上げます。

### 引用文献

- Bouma, A. H. (1962), *Sedimentology of some flysch deposits: A graphic approach to facies interpretation*. Elsevier, 168p.
- 北村晃寿 (2022a), 静岡県熱海市伊豆山地区の土砂災害現場の盛土の崩壊斜面と土石流堆積物から見つかった海生二枚貝の貝殻. 第四紀研究, **61**, 109-117.
- 北村晃寿 (2022b), 2021年7月3日に静岡県熱海市伊豆山地区で発生した土砂災害の写真資料. 静岡大学地球科学研究報告, **49**, 105-137.
- 北村晃寿・亀尾浩司・本山 功・守屋和佳・齊藤 毅・渡辺真人・森 英樹 (2022a), 静岡県熱海市伊豆山地区の土砂災害現場の盛土に含まれる軟質泥岩礫. 第四紀研究, **61**, 143-155.
- 北村晃寿・岡崎颯太・近藤 満・渡邊隆広・中西利典・堀 利栄・池田昌之・市村康治・中川友紀・森英樹 (2022b), 静岡県熱海市伊豆山地区の土砂災害現場の盛土と土石流堆積物の地球化学・粒子組成分析. 静岡大学地球科学研究報告, **49**, 73-86.
- 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**, 106256
- 北村晃寿・山下裕輝・森 英樹 (2023a), 相模湾の7か所の海浜における打ち上げ二枚貝類と海浜堆積物粒子組成の調査—2021年7月3日に静岡県熱海市伊豆山地区で発生した土砂災害の発生原因解明の基礎資料として—. 静岡大学地球科学研究報告, **50**, 155–163.
- 北村晃寿・山下裕輝・矢永誠人・中西利典・森 英樹 (2022c), 静岡県熱海市逢初川源頭部の東側地点の盛土に関する調査速報. 静岡大学地球科学研究報告, **49**, 97–104.
- 北村晃寿・矢永誠人・岡崎颯太・片桐 悟・中西利典・森 英樹 (2022d), 静岡県熱海市逢初川の砂防堰堤の埋積土の放射性セシウム濃度と粒子組成の層位変化—2021年7月3日の土石流堆積物の識別—. 静岡大学地球科学研究報告, **49**, 87–96.
- 北村晃寿・矢永誠人・山下裕輝・中西利典 (2023b), 静岡県熱海市逢初川の源頭部の黒色盛土層の放射性セシウム濃度と粒子組成の層位変化. 静岡大学地球科学研究報告, **50**, 39–63.
- 北里 洋 (1986), 岩礁地底生有孔虫類の生態. 的場展望・加藤道雄編. 新生代底生有孔虫の研究, 1–12.
- 北里 洋 (2010) 有孔虫. 古生物学事典第2版, 576p. 朝倉書店.
- Kitazato, H., Tsuchiya, M. and Takahara, K. (2000), Recognition of breeding populations in foraminifera: an example using the genus *Glabratella*. *Paleontological Research*, **4**, 1–15.
- 国土地理院 (2021), [https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R3\\_0701\\_heavyrain.html](https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R3_0701_heavyrain.html) 2021年7月4日引用.
- 小杉正人・片岡久子・長谷川四郎 (1991), 内湾域における有孔虫の環境指標種群の設定とその古環境復元への適応. 化石, **50**, 37–55.
- Lowe, D. R. (1982), Sediment gravity flows, II. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. *Journal of Sedimentary Research*, **52**, 279–297.
- 日本経済新聞 (2021), がれき散乱、海の捜索難航 熱海土石流「視界悪い」. 夕刊, 9p. 2021年7月6日.
- Shanmugan, G. (1997), The Bouma sequence and the turbidite mind. *Earth Science Review*, **42**, 201–229.
- 静岡県 (2021), 第2回逢初川土石流の発生原因調査検証委員会 <http://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-350/sabouka/documents/2kennsyouiinnshiryoku1-5.pdf> 2022年8月15日引用.
- 静岡県 (2022), 第5回逢初川土石流の発生原因調査検証委員会 配布資料 (3, 4, 7). <https://www.pref.shizuoka.jp/bosaikinkyu/saigai/atamidosh/aizomegawasaigai/1047027/1043591.html> 2024年4月29日引用.
- 静岡新聞 (2021a), 海底に土砂大量堆積 熱海土石流 沖合350メートル 漁業への影響懸念. 朝刊, 3p. 2021年7月23日.
- 静岡新聞 (2021b), 土砂堆積見られず 伊豆山港沖を国交省調査 熱海土石流. 朝刊, 19p. 2021年9月2日.
- 静岡新聞 (2021c), 伊豆山港の復旧完了 港内の土砂撤去, 利用可能に一熱海土石流. 朝刊, 26p. 2021年10月2日.
- 静岡新聞 (2022), 伊豆山港, アワビ漁復活へ海藻移植 県水技研と地元漁業者. 朝刊, 21p. 2022年6月3日.
- 静岡新聞 (2023a), 熱海土石流=伊豆山港土砂 県が撤去 県警, 不明者手掛かり捜索. 朝刊, 26p. 2023年1月13日.
- 静岡新聞 (2023b), 熱海土石流=伊豆山港に沈む災害廃棄物 地元漁師とダイバー回収. 朝刊, 29p. 2023年2月22日.
- Takata, H., Nomura, R., Sampei, Y., Tanaka, S. and Khimf, F. (2019), Dispersal potential of neritic benthic foraminifera in the coastal areas of the Japanese Islands and its application to paleoenvironmental studies. *Coastal and Shelf Science*, **227**, 1–13.
- Tsujimoto, A., Nomura, R., Yasuhara, M., Yamazaki, H. and Yoshikawa, S. (2006a), Benthic foraminiferal assemblages in Osaka Bay, southwestern Japan: faunal changes over the last 50 years. *Paleontological Research*, **10**, 141–161.
- Tsujimoto, A., Nomura, R., Yasuhara, M., Yamazaki, H. and Yoshikawa, S. (2006b), Impact of eutrophication on shallow marine benthic foraminifera over the last 150 years in Osaka Bay, Japan. *Marine Micropaleontology*, **60**, 258–268.
- ウィンディーネットワーク (2021), 熱海市伊豆山港周辺海域 土砂災害後の海底反射強度モザイク画像公開. <https://www.3d-survey.jp/dl/izusan/> 2021年7月20日引用.

#### 著者貢献

北村晃寿：試料採取, 種同定, 全体総括, 論文執筆を担当. 松野由奈：種同定, 粒度分析, 守屋和佳：試料採取計画・実施. 張 天逸, 小林大翔, 岡崎颯太, 山下裕輝, 古屋俊和, 島田帆菜：試料採取補助.