

Research of an outcrop of the lower margin of the embankment at the head of the Aizome River, Atami City, Shizuoka Prefecture, central Japan.

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2023-01-27 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 北村, 晃寿, 山下, 裕輝, 矢永, 誠人, 本山, 功, 中西, 利典, 森, 英樹 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10297/00029313">http://hdl.handle.net/10297/00029313</a>

# 静岡県熱海市逢初川の源頭部の盛土下端部の露頭調査

北村晃寿<sup>1,2</sup>・山下裕輝<sup>3</sup>・矢永誠人<sup>4</sup>  
本山 功<sup>5</sup>・中西利典<sup>6</sup>・森 英樹<sup>7</sup>

## Research of an outcrop of the lower margin of the embankment at the head of the Aizome River, Atami City, Shizuoka Prefecture, central Japan.

AKIHISA KITAMURA<sup>1,2</sup>, YUKI YAMASHITA<sup>3</sup>, MAKOTO YANAGA<sup>4</sup>, ISAO MOTOYAMA<sup>5</sup>,  
TOSHIMICHI NAKANISHI<sup>6</sup> and HIDEKI MORI<sup>7</sup>

### I. はじめに

2021年7月3日に、静岡県熱海市<sup>あいぞめ</sup>逢初川の源頭部（標高約390m, 海岸から2km上流）にあった盛土の崩壊による土石流で、死者・行方不明者28人、全・半壊家屋64棟の被害が出た。源頭部の未崩落の盛土、砂防堰堤を埋積した土石流堆積物、集落到達した土石流堆積物については、第一著者が共同研究者とともに堆積学的、古生物学的調査を行い、その結果を既に公表した（北村, 2022; 北村・池田, 2021; 北村ほか, 2022a, b）。しかし、源頭部の盛土の崩壊地の谷底については、静岡県（2021a）が2021年8月2日に行った露頭調査の概略を報告しているが、堆積学的、古生物学的調査は行われていなかった。この場所には盛土の崩壊地下端部があり、その調査から崩壊の原因を解明するための情報が得られる可能性がある。

今回、2022年3月30日と5月2日に、第一著者の北村は熱海市・静岡県の担当者の同行の下、盛土の崩壊地の

谷底で、盛土下端周辺の露頭を観察したので、調査・分析結果を速報する。この露頭を木村（2021）は地点Fとしたので（図1）、本報告でもこの名称を用いる。

### II. 調査地域

地点F（北緯35度7分17.37秒、東経139度4分22.44秒）は、発災時の空中写真（静岡県, 2021b）では窪みとなっている所である（図1c）。高さ約1.8m, 幅約6mである。静岡県は2021年8月2日に、地点Fの露頭を撮影し、下位から地山（熱水変質した溶岩または火砕岩）、溪床堆積土砂（礫層）、崩土の順に重なると報告している（静岡県, 2021a）（図2a）。また、下記の報告を行っている。

（引用ここから）

「崩壊地下端付近で、溪床が洗掘されている。旧溪床堆積物の上に有孔管があるが、現在は管からの出水はない。（標高355m付近）」

（引用ここまで）

2022年6月6日受付 2022年6月16日受理.

Received: 6 June 2022 Accepted: 16 June 2022

<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> 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>4</sup> 静岡大学理学部放射科学教育研究推進センター, 422-8529 静岡市駿河区大谷836

<sup>5</sup> 山形大学理学部地球科学分野, 990-8560 山形市小白川町1-4-12

<sup>6</sup> ふじのくに地球環境史ミュージアム, 422-8017 静岡市駿河区大谷5762

<sup>7</sup> 静岡大学技術部教育研究支援系教育研究第二部門, 422-8529 静岡市駿河区大谷836

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

E-mail: kitamura.akhisa@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> Graduate School of Integrated Science and Technology, Shizuoka University, 836 Ohya, Suruga-ku, Shizuoka, 422-8529 Japan

<sup>4</sup> Center for Radioscience Education and Research, Shizuoka University, 836 Ohya, Suruga-ku, Shizuoka, 422-8529 Japan

<sup>5</sup> Faculty of Science, Yamagata University, 1-4-12 Kojirakawa, Yamagata, 990-8560 Japan

<sup>6</sup> Museum of Natural and Environmental History, Shizuoka, 5762 Ohya, Suruga-ku, Shizuoka, 422-8017 Japan

<sup>7</sup> Division of Technical Service, Shizuoka University, 836 Ohya, Suruga-ku, Shizuoka, 422-8529 Japan

地点Fの露頭に関して、木村(2021)は「F地点は、盛土前面の勾配の遷緩点にあたり、勾配はその上流側のE-F間で勾配 $22^\circ$ 、下流側のF-G間で勾配 $13^\circ$ と大幅に緩くなることが理解できる。また、図9の立体図からは、F地点は盛土に設けられた小段間の境にあたること、図10の縦断面図からは、盛土の層厚も、したがって礫層にかかる盛土の上載圧も半減することがわかる。これらのF地点を境にした盛土の変化が意味することは、土石流発生頃に想定される礫層中の地下水圧の増大で、礫層を覆う盛土が破壊されて地下水が流出しやすい箇所にあたりそ

うだということである。」と記している。

静岡県が2021年8月2日に撮影した露頭写真(図2a)と北村が2022年3月30日に観察した露頭(図2b)を比べると、露頭の浸食で有孔管の右岸(西)側に厚さ約2mの粘土層が露出した。さらに、2022年5月2日の調査では、有孔管と粘土層の間に新たな露頭が露出していた(図3)。

露頭の高さは約2mで、下位から巨礫サイズの角礫層(層厚0.7m以上)、木質物を含む含礫砂層(層厚0.1m)、中礫サイズの亜円礫層(層厚0.4m)、砂層(層厚0.8m以上)の順に重なる(図3,4)。角礫層とその下位の粘土層

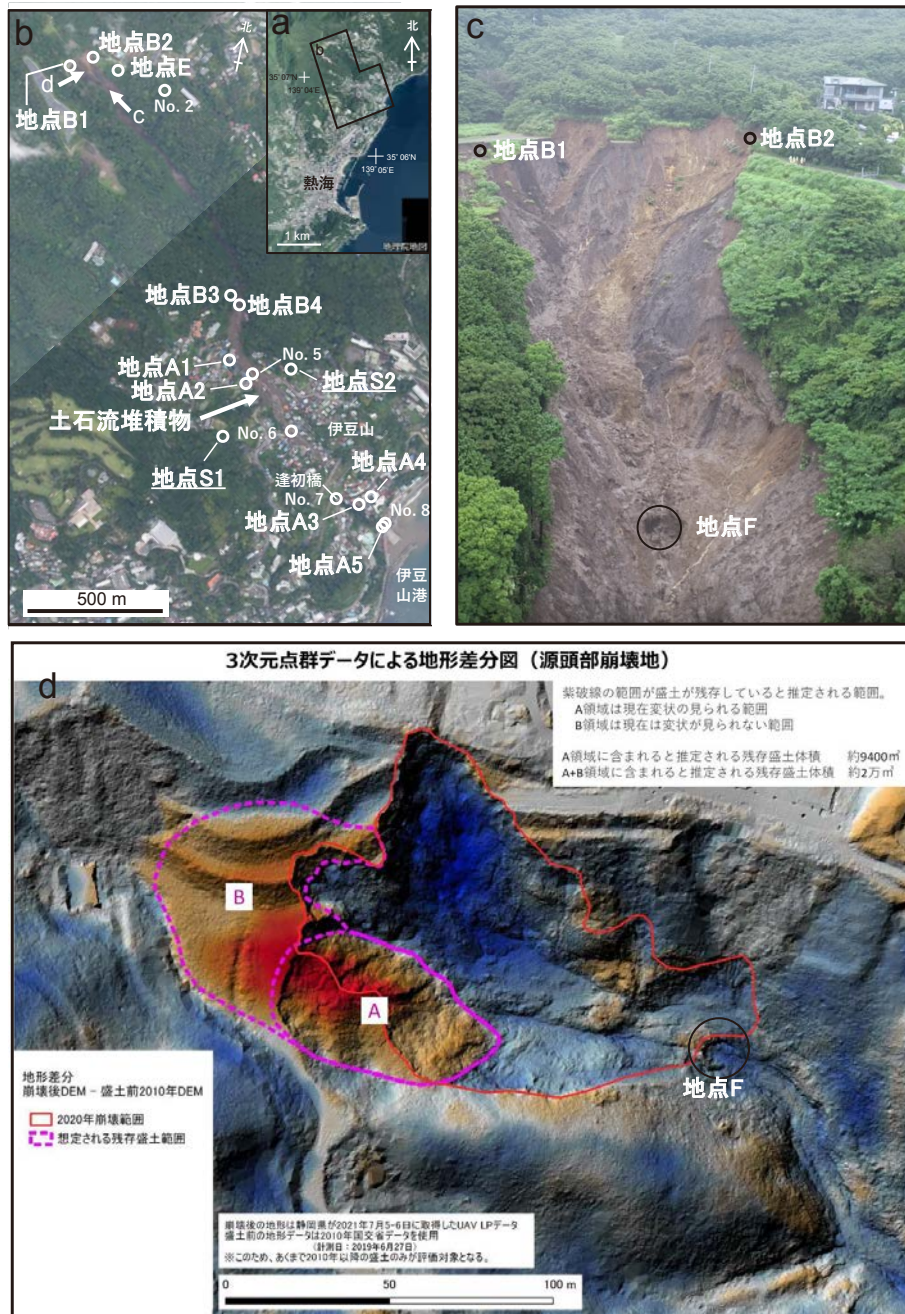


図1 熱海市伊豆山地区の土石流の流路と試料採取地点。北村ほか(2022a)を一部改変。a-c: 土石流の流路と試料採取地点。aの画像は国土地理院(2021a)とbの画像は国土地理院(2021b)を使用。cの画像は静岡県(2021a)を使用。dは静岡県(2021b)から引用。No. 1-8は静岡県(2021c)の試料採取地点。



の境界は崩土で覆われており、境界面を観察できなかった。今回の調査では、角礫層、含礫砂層、亜円礫層から堆積物試料を採取した。なお、粘土層については、千木良ほか（2022）が報告している。

### III. 分析方法

採取した試料は、60°Cで24時間乾燥後、重量を測定した。試料のうちの一部（約100g）について乾燥重量を測定した後、8,000 $\mu\text{m}$ （8mm）以下の粒子について目開

き32, 63, 90, 125, 180, 250, 355, 500, 710, 1,000, 2,000, 4,000 $\mu\text{m}$ のふるいで水洗し、ふるいに残った粒子の乾燥重量を測定した。これらの測定値と水洗前の乾燥重量から32 $\mu\text{m}$ より小さい粒子の重量を算出した。

また、試料のうち、約40gをU8容器に封入し、静岡大学理学部放射科学教育研究推進センターの所有する高純度ゲルマニウム半導体検出器（SEIKO EG&G社GMX25P4-70およびMCA-7a）を用いた $\gamma$ 線スペクトロメトリーにより、 $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ を定量した。 $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ の値は、2011年3月11日の東北日本太平洋沖地震に伴う

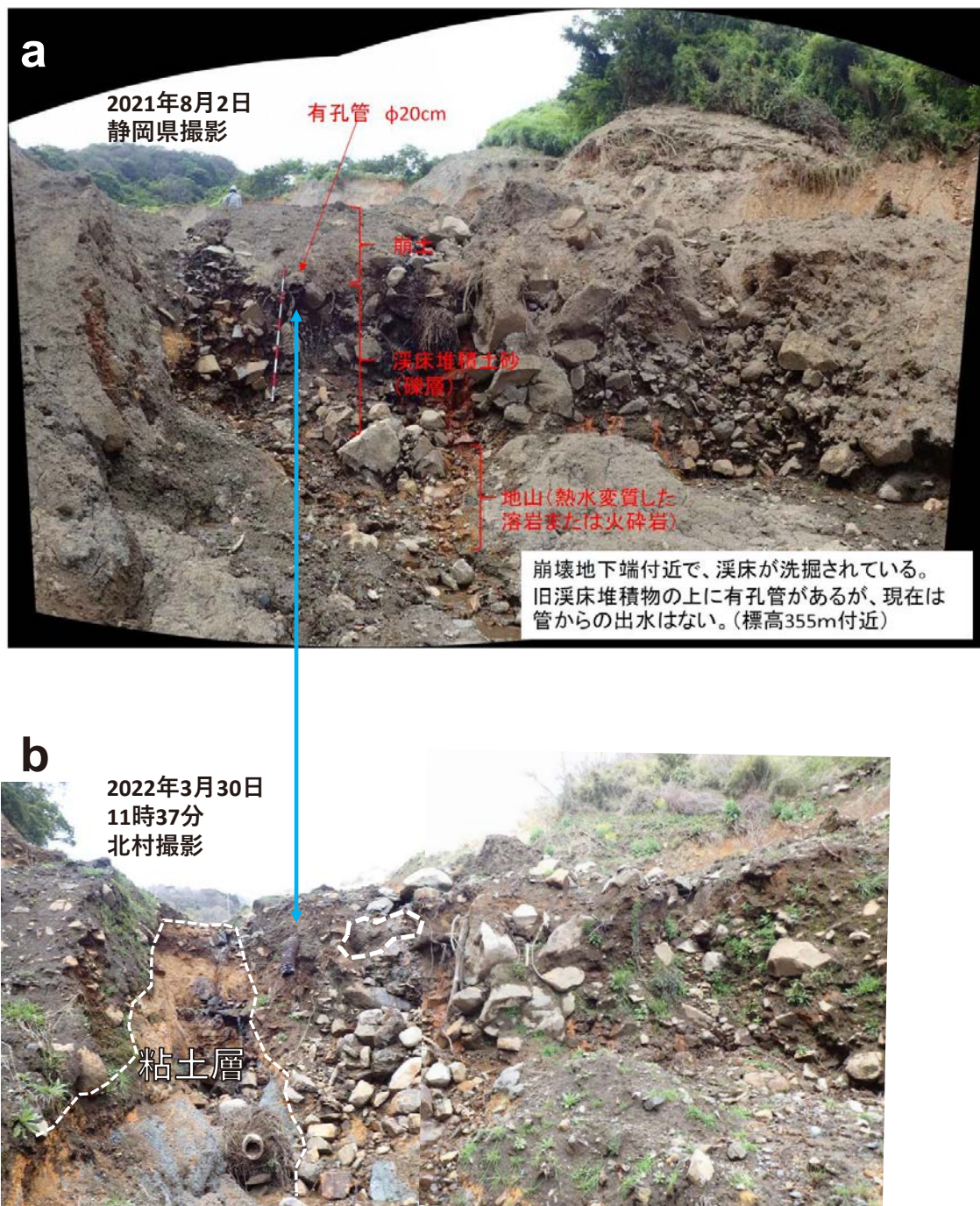


図2 地点Fの写真。aは静岡県（2021b）が2021年8月2日に撮影。bは北村が2022年3月30日に撮影。



巨大津波による福島第一原子力発電所の事故で大気中に放射性セシウムが放出されたとされる2011年3月15日 (Adachi *et al.*, 2013) を基準に減衰補正を行った。

試料の一部をふるいにかけて63 $\mu$ m以下の粒径のサブ試料を得て、メノウ乳鉢で粉末化した。この粉末試料を、ふじのくに地球環境史ミュージアムのCHNS分析装置 (Flash 2000, Thermo Fisher Scientific社製) で全有機炭素 (TOC)、全窒素 (TN) および全硫黄 (TS) の含有量を分析した。さらに、各試料について、ふるいで0.35–0.50mmの粒子を抽出し、約60°Cで24時間乾燥さ

せ、エポキシ系樹脂に包埋し、薄片を作成し、500個の粒子の組成を顕微鏡で同定した。

礫に関しては長軸1cm以上のものについて、重量、長軸、中軸、短軸を測定するとともに、円磨度印象図 (Krumbein, 1941) に基づき円磨度を記載した。また、肉眼観察を行なうとともに、試料3の一部の礫については薄片を作成し、観察した。

試料2から産出した2個の木質物 (以下では、木質物1と木質物2とする) の<sup>14</sup>C年代測定をBeta-Analytic社に依頼し、加速器質量分析法により行なった。年代の暦年較

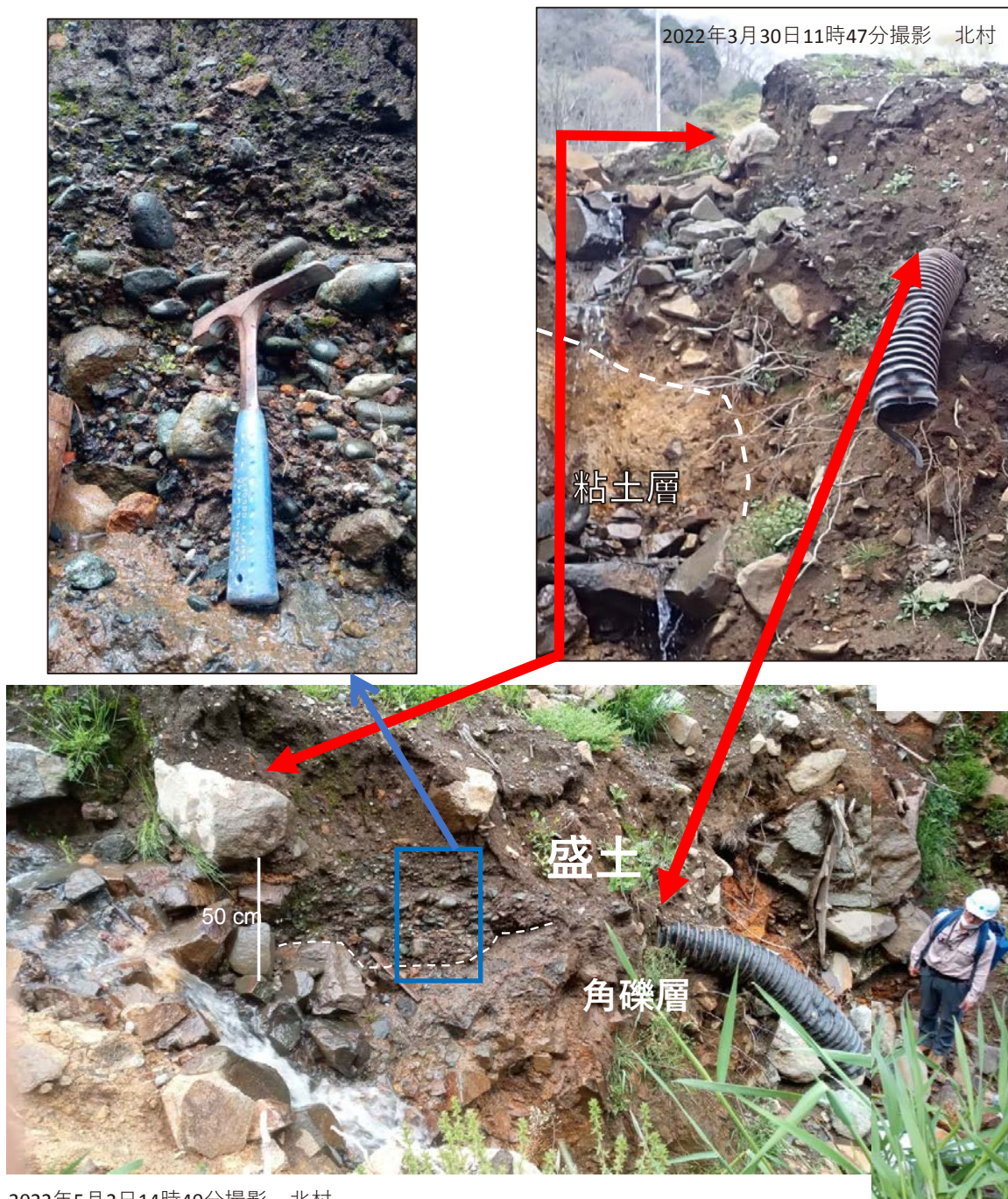


図3 地点Fの調査露頭の写真。



正はINTCAL20 (Reimer *et al.*, 2020) をデータセットとして、OxCal4.4を使用して計算した。木質物1と木質物2の写真を図4に示す。保存状態は極めて良く、長さは木質物1が約18cmで、木質物2が約11cmである。

IV. 結果

粒度組成に関しては、3試料ともに淘汰が悪い(図4)。放射性セシウム濃度については、試料1と2では<sup>137</sup>Csが $1.2 \pm 0.4\text{Bq/kg}$ 乾土と $1.3 \pm 0.4\text{Bq/kg}$ 乾土で、<sup>134</sup>Csは検出

限界未満である(表1)。試料3は<sup>137</sup>Csと<sup>134</sup>Csはともに検出限界未満である。

TOC・TN・TS含有量は、試料1は1.32%、0.15%、0.06%、試料2は2.83%、0.23%、0.16%、試料3は1.80%、0.14%、0.12%である(表1)。

0.35–0.50mmの粒子については、試料1と2ともに凝集物と岩片が卓越する。石英、斜長石、輝石粒子の占有率は、試料1は0%、0.2%、1.0%で、試料2は0.6%、1.4%、1.0%で、試料3は4.2%、6.0%、4.2%である(図4, 表1)。試料3からは、放散虫化石 *Amphisphaera?* sp. を含む泥

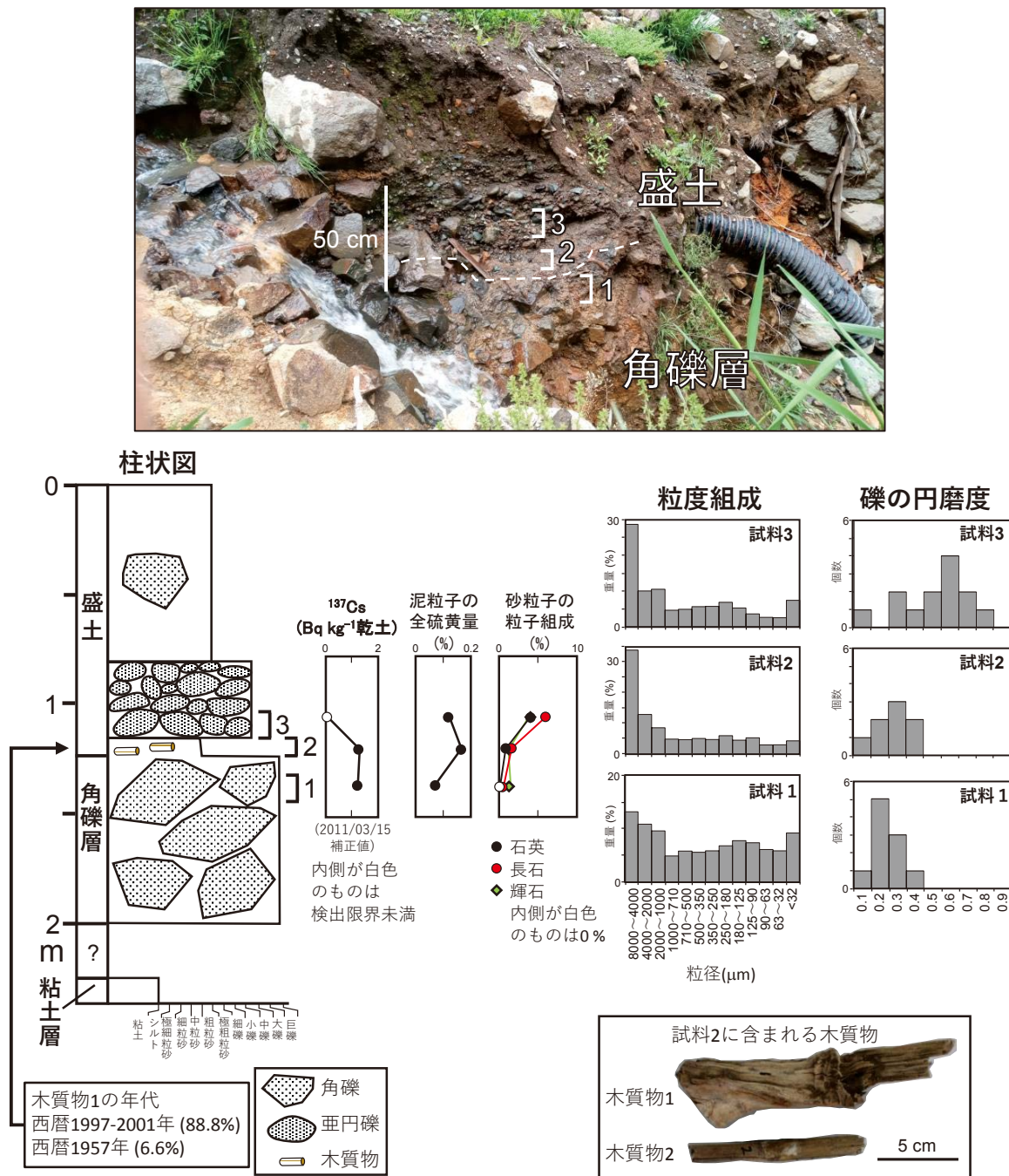


図4 地点Fの調査露頭の柱状図と<sup>137</sup>Cs濃度、泥粒子の全硫黄量、0.35–0.50mmの粒子中の石英・斜長石・輝石の占有率、粒度組成、礫の円磨度。円磨度は人工物を除く。<sup>14</sup>C年代値は、木質物1の年代である。この年代は木質物2よりも若い。

表1 各試料の堆積物の放射性セシウム濃度, 泥質物の全有機炭素・全窒素, 全硫黄濃度, 0.35–0.50mmの粒子組成, \*は北村ほか(2022a), \*\*は北村ほか(2022b), \*\*\*は本論文, 放射性セシウム濃度のNDは検出限界未満, カッコ内は検出限界値.

	Cs-137 (Bq/kg乾土) (2011/03/15補正值)	Cs-134 (Bq/kg乾土) (2011/03/15補正值)	全有機 炭素(%)	全窒素 (%)	全硫黄 (%)	団粒 (%)	岩片 (%)	石英 (%)	斜長石 (%)	輝石 (%)	その他・ 不明(%)
地点B1 盛土・黒色の土砂*	1.8 ± 0.6	ND (< 60)	2.27	0.14	0.13	28.1	40.0	14.8	9.5	3.5	4.1
地点B2 盛土・褐色の土砂*	9.5 ± 0.8	ND (< 61)	1.54	0.10	0.04	55.6	15.2	2.8	6.7	13.2	6.5
地点B3 土石流堆積物*	4.8 ± 0.7	ND (< 59)	2.09	0.13	0.10	46.8	26.6	8.7	8.6	5.2	4.1
地点A2 土石流堆積物*			2.48	0.20	0.18	61.8	18.8	3.4	5.8	3.4	7.0
地点A5 土石流堆積物*	4.8 ± 1.1	ND (< 101)	2.12	0.17	0.20	67.1	13.0	5.5	5.3	5.3	3.2
地点S1 土壌*			5.50	0.29	0.11	62.6	1.9	1.9	4.2	15.4	14.0
地点S2 土壌*			1.20	0.14	0.02	74.1	5.3	0.0	0.2	14.9	5.5
地点F 試料1***	1.2 ± 0.4	ND (< 31)	1.32	0.15	0.06	86.6	12.0	0.0	0.2	1.0	0.2
地点F 試料2***	1.3 ± 0.4	ND (< 42)	2.83	0.23	0.16	86.4	8.6	0.6	1.4	1.0	2.0
地点F 試料3***	ND (< 1.0)	ND (< 31)	1.80	0.14	0.12	49.4	33.8	4.2	6.0	4.2	1.8

砂防堰堤埋積土のコア** 深度(m)	Cs-137(Bq/kg乾土) (2011/03/15補正值)	Cs-134(Bq/kg乾土) (2011/03/15補正值)	全有機 炭素(%)	全窒素 (%)	全硫黄 (%)	団粒 (%)	岩片 (%)	石英 (%)	斜長石 (%)	輝石 (%)	その他・ 不明(%)
0.00-0.05	ND (< 1.6)	ND (< 73)	1.74	0.08	0.18	47.0	21.4	5.6	4.6	3.8	3.6
0.35-0.40	5.9 ± 0.7	ND (< 50)	2.31	0.12	0.14	56.0	22.8	2.4	1.8	2.0	2.2
0.90-0.95	ND (< 1.8)	ND (< 59)	1.81	0.09	0.13	70.8	17.0	2.6	4.4	4.4	0.8
1.00-1.05	3.7 ± 0.7	ND (< 59)	1.80	0.08	0.16	67.6	18.6	4.6	3.4	3.2	2.6
1.20-1.25	6.6 ± 0.9	ND (< 75)	2.39	0.13	0.13	61.0	15.2	2.6	1.6	2.0	3.8
2.95-3.00	6.7 ± 0.8	ND (< 60)	2.22	0.11	0.19	75.0	13.8	3.0	3.4	2.6	2.2
3.00-3.05	7.5 ± 0.9	ND (< 73)	2.41	0.16	0.16	64.8	19.0	3.6	4.8	3.0	4.8
3.63-3.67	4.3 ± 1.2	ND (< 112)	2.01	0.10	0.39	46.8	28.6	7.8	5.8	5.8	5.2
3.67-3.70	7.7 ± 0.9	ND (< 101)	2.40	0.17	0.12	50.2	16.6	2.2	2.8	4.2	2.8
3.70-3.74	7.5 ± 0.8	ND (< 68)	1.55	0.11	0.07	52.8	9.8	3.2	4.0	2.4	1.6
3.74-3.78	2.6 ± 0.3	ND (< 31)	1.34	0.10	0.05	80.4	7.6	0.0	1.0	0.4	2.8
3.78-3.82	51.8 ± 0.8	52.3 ± 14.7	3.33	0.23	0.04	86.2	4.8	1.6	2.6	2.0	2.8
3.85-3.88	184.5 ± 1.7	179.5 ± 19.6	3.82	0.26	0.03	80.6	7.6	2.0	2.0	2.0	5.8
3.95-4.00	ND (< 2.7)	ND (< 83)	1.15	0.05	0.01	92.8	1.6	0.0	0.6	2.4	2.6
4.80-4.85	ND (< 3.3)	ND (< 103)	1.40	0.07	0.01	93.0	2.6	0.0	1.4	1.0	2.0
4.95-5.00	ND (< 4.2)	ND (< 126)	1.09	0.07	0.01	74.4	3.8	0.0	0.2	0.4	1.2
5.00-5.05	3.5 ± 1.0	ND (< 93)	0.92	0.05	0.00	71.0	25.6	1.0	0.0	1.0	1.4
5.50-5.55	ND (< 2.9)	ND (< 92)	0.58	0.02	0.01	66.4	25.8	0.4	0.8	4.6	0.8
5.95-6.00	ND (< 3.1)	ND (< 99)	0.97	0.04	0.01	83.6	13.6	0.8	0.2	0.6	1.2
6.50-6.55	ND (< 3.2)	ND (< 96)	0.84	0.03	0.02	93.6	5.4	0.4	0.2	0.0	0.4
7.00-7.05	ND (< 3.6)	ND (< 130)	0.73	0.03	0.01	73.2	21.6	0.8	0.8	3.2	0.4
7.55-7.60	ND (< 4.0)	ND (< 125)	0.68	0.03	0.00	76.4	17.0	0.8	1.6	3.0	1.2
8.00-8.05	ND (< 2.9)	ND (< 80)	0.37	0.00	0.00	73.4	23.8	0.4	0.4	0.2	1.8
8.67-8.74	ND (< 3.2)	ND (< 99)	0.32	0.00	0.00	44.0	52.6	0.6	0.4	2.2	0.2
10.50-10.55	ND (< 2.3)	ND (< 81)	0.08	0.00	0.00	52.2	29.6	0.0	0.0	0.2	0.0
11.50-11.55	ND (< 1.8)	ND (< 62)	0.07	0.00	0.00	62.4	35.8	0.8	0.8	0.2	0.0

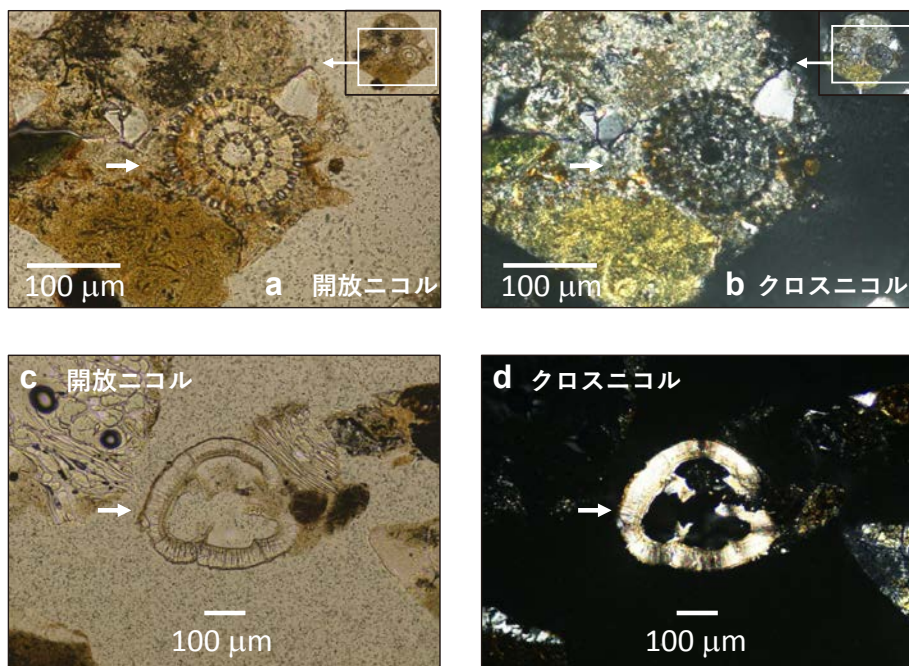


図5 試料3の微化石の薄片写真, *Amphisphaera?* sp.の可能性のある放射虫化石を含む泥岩岩片(a, b), 有孔虫化石(c, d), 矢印が微化石.

岩岩片が見つかった(図5a, b). また, 試料3からは種同定はできないが, 1個体の有孔虫殻が見つかった(図5c, d). これらの放散虫と有孔虫はともに海洋性の微化石である.

各試料の礫の写真を図6に示した. 試料1の礫の円磨度は0.1から0.4で, 最頻値は0.2であり(表2, 図4), 苦鉄質岩からなり, 人工物は含まれない. 試料2は, コンクリートの付着した礫が3個あり(礫番号2-3, 4, 5), それらを除く礫の円磨度は0.1から0.4で, 最頻値は0.3である(表3, 図4). 1個の礫(礫番号2-7)の礫種は未判

別だが, それ以外は苦鉄質岩である. 試料3は, 1個のコンクリート(礫番号3-3), 2個のコンクリートの付着した礫(礫番号3-8, 13), 1個の瓦の破片(礫番号3-14)を含む. それらを除く礫の円磨度は0.1から0.8で, 最頻値は0.6である(表2, 図4). 1個の礫(礫番号3-15)は苦鉄質岩である.

薄片観察の結果, 礫番号3-1は, 緑泥石が見られ(図7a, b), 変質岩である. 礫番号3-5と3-11は円磨した粒子を多数含むことから, 砂岩である(図7c, d, i, j). 礫番号3-6と3-9は円磨した砂粒子と基質が見られるので砂質泥

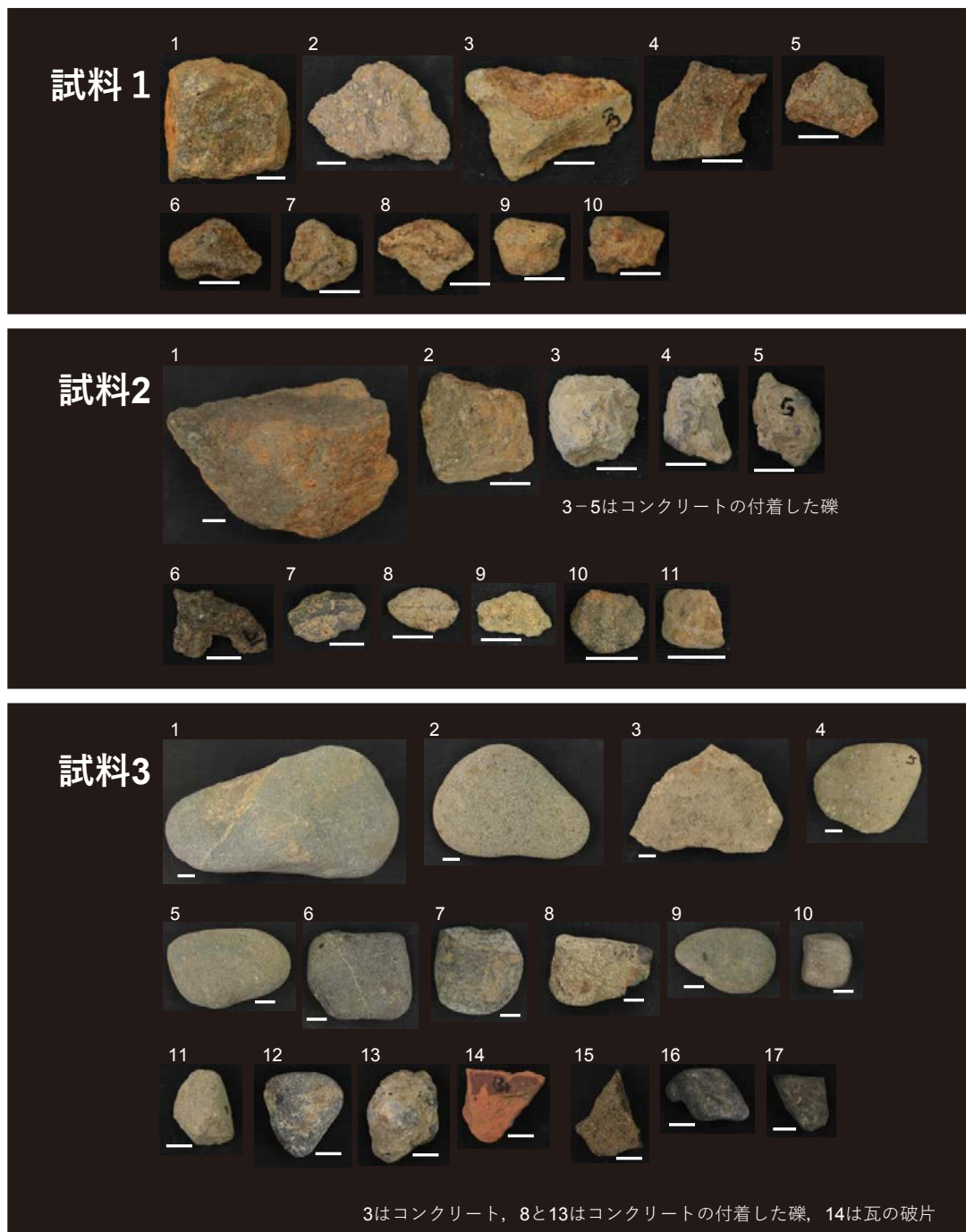


図6 礫の写真. スケールバーは1cm.



表2 礫の重量, 大きさ, 円磨度, 礫種.

## 試料1

礫番号	重量 (g)	長軸 (cm)	中軸 (cm)	短軸 (cm)	円磨度	礫種
1-1	69.8	4.2	4.2	2.9	0.2	苦鉄質岩
1-2	16.4	4.7	3.3	1.3	0.1	苦鉄質岩
1-3	10.5	3.5	2.7	1.4	0.2	苦鉄質岩
1-4	4.0	2.5	2.2	0.7	0.2	苦鉄質岩
1-5	4.3	2.0	1.5	1.2	0.3	苦鉄質岩
1-6	4.6	2.3	1.5	1.4	0.2	苦鉄質岩
1-7	3.0	1.7	1.6	1.0	0.3	苦鉄質岩
1-8	1.7	1.8	1.6	0.7	0.2	苦鉄質岩
1-9	3.6	1.7	1.4	1.1	0.4	苦鉄質岩
1-10	1.9	1.7	1.4	0.7	0.3	苦鉄質岩

## 試料2

礫番号	重量 (g)	長軸 (cm)	中軸 (cm)	短軸 (cm)	円磨度	礫種
2-1	379.5	96.2	6.0	6.0	0.2	苦鉄質岩
2-2	16.6	25.4	26.0	19.0	0.3	苦鉄質岩
2-3	9.7	2.3	2.0	1.6		コンクリート付着
2-4	6.3	2.0	1.7	1.3		コンクリート付着
2-5	3.9	2.3	1.3	1.3		コンクリート付着
2-6	3.5	2.7	2.0	1.0	0.1	苦鉄質岩
2-7	2.3	1.9	1.3	0.7	0.2	検討中
2-8	1.2	1.8	1.1	0.6	0.4	苦鉄質岩
2-9	0.8	2.0	1.2	0.4	0.3	苦鉄質岩
2-10	0.9	1.5	1.3	0.4	0.4	苦鉄質岩
2-11	1.0	1.0	0.9	0.7	0.3	苦鉄質岩

## 試料3

礫番号	重量 (g)	長軸 (cm)	中軸 (cm)	短軸 (cm)	円磨度	礫種
3-1	415.0	10.9	5.5	5.5	0.5	変質岩 (緑色岩)
3-2	218.0	9.3	6.8	2.8	0.8	検討中
3-3	184.0	8.9	6.6	2.5		コンクリート
3-4	94.2	6.0	4.8	2.2	0.6	検討中
3-5	80.5	6.0	3.7	2.3	0.7	砂岩
3-6	63.1	5.1	4.2	1.7	0.6	砂質泥岩
3-7	73.2	4.1	3.6	2.8	0.4	検討中
3-8	44.2	4.5	3.2	2.3		コンクリート付着
3-9	35.6	4.8	3.1	1.7	0.6	砂質泥岩
3-10	18.9	2.4	2.1	1.8	0.6	検討中
3-11	12.0	2.9	2.2	1.9	0.3	砂岩
3-12	17.8	3.2	3.0	1.5	0.7	検討中
3-13	19.2	3.5	2.7	2.1		コンクリート付着
3-14	13.8	3.1	2.5	1.7		瓦
3-15	12.8	3.1	2.1	1.8	0.1	苦鉄質岩
3-16	10.1	3.3	2.1	1.3	0.5	検討中
3-17	7.7	2.3	2.0	1.3	0.3	検討中

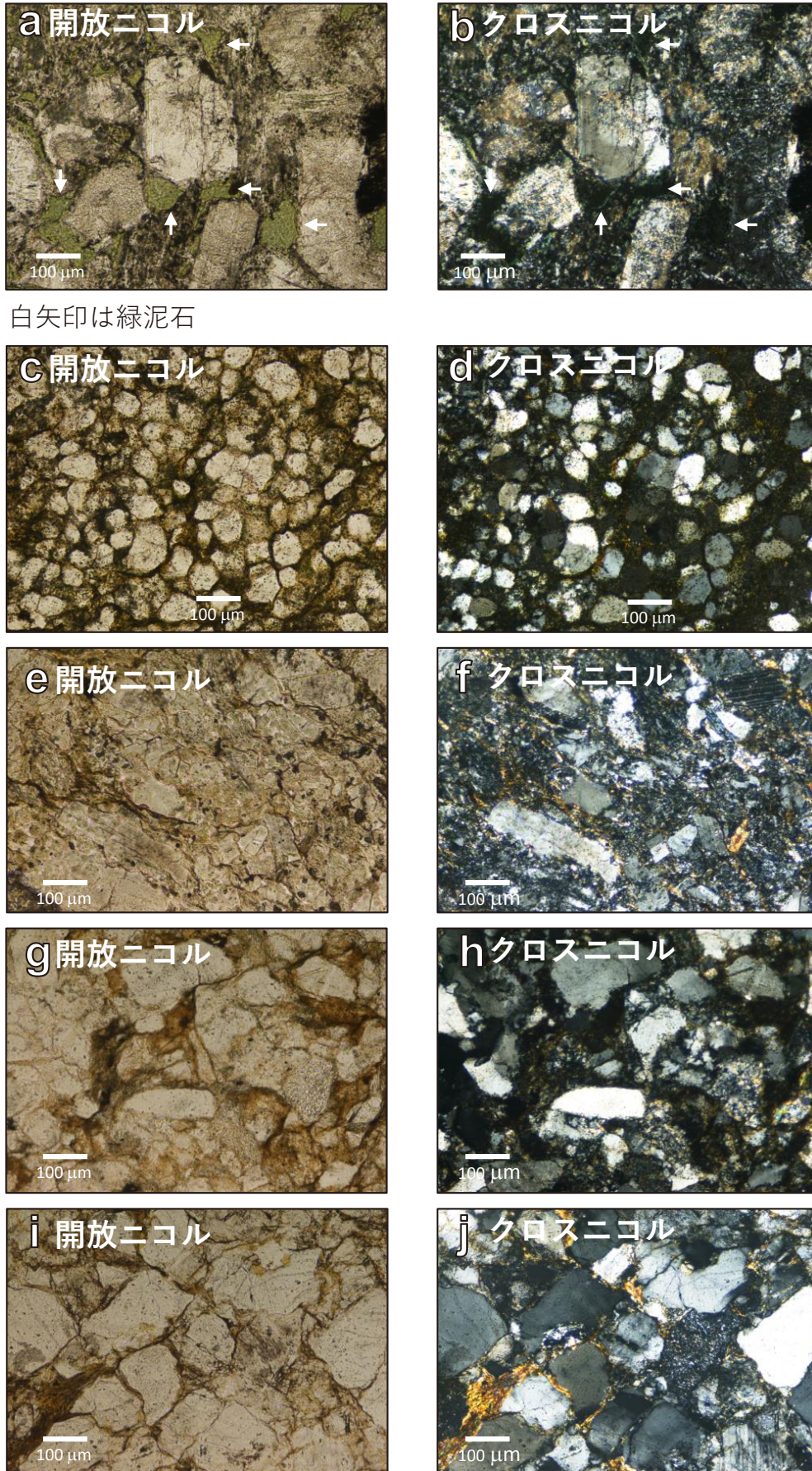


図7 試料3の礫の薄片写真. a, bは礫番号3-1, c, dは礫番号3-5, e, fは礫番号3-6, g, hは礫番号3-9, i, jは礫番号3-11.



表3  $^{14}\text{C}$ 年代測定の結果.

	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	percent modern carbon (pMC)	暦年代 (2 $\sigma$ ) (cal yr) (95.4%)	ラボナンバー
木質物1	-30.1	109.38 $\pm$ 0.41	西暦1997-2001年 (88.8%) 西暦1957年 (6.6%)	Beta-627896
木質物2	-26.7	116.98 $\pm$ 0.44	西暦1987-1989年 (90%) 西暦1957-1958年 (5.4%)	Beta-627897

岩である (図7e-h). したがって, 角礫層と含礫砂層は円磨度の低い苦鉄質岩からなる点で共通し, 亜円礫層は円磨度と礫種とともに下位層の礫とは異なる.

$^{14}\text{C}$ 年代値については, 木質物1は109.38  $\pm$  0.41pMCで, 木質物2は116.98  $\pm$  0.44pMCである (表3). pMC (percent Modern Carbonの略) は大気圏内核実験以前の1950年を標準とした現代炭素に対する試料炭素の $^{14}\text{C}$ 濃度の割合であり, 100を超える値は核実験の影響による. 暦年代換算 (2標準偏差95.4%) では, 木質物1は西暦1997-2001年 (88.8%), 西暦1957年 (6.6%) であり, 木質物2は西暦1987-1989年 (90%), 西暦1957-1958年 (5.4%) である (表3). 試料2の堆積年代は, 木質物1の年代より若い.

## V. 考察

静岡県 (2021a) は, 地点Fの礫層を溪床堆積土砂と報告している. 本研究でも, 巨礫サイズの角礫層は人工物を含まないし, 北村 (2022) と北村ほか (2022a, b) が報告した他所から搬入された物質 (海生貝類の貝殻, チャー

ト岩片, 含化石泥岩岩片) も検出されなかった. これらのことは, 静岡県 (2021a) の解釈を支持する. なお, 角礫層の堆積物から $^{137}\text{Cs}$ が検出されたので, 1950年以降から盛土の形成以前の堆積物である.

含礫砂層の堆積年代は, 堆積物の $^{137}\text{Cs}$ 濃度と木質物の $^{14}\text{C}$ 年代値に核実験の影響が出ているので, 1950年以降である. そして, 人工物を含むので, 盛土と解釈するのが妥当である. この含礫砂層を覆う亜円礫層は放散虫化石を含む泥岩岩片と有孔虫を含むので, 他所から搬入された盛土である.

図8と9に既報 (北村ほか, 2022a) の盛土の褐色の土砂, 黒色の土砂, 土石流堆積物, 土壌と本研究の測定値をプロットした. 図8のTOCとTSの散布図では, 角礫層 (図中のF1) は褐色の土砂に近い値を示し, 含礫砂層 (図中のF2) と亜円礫層 (図中のF3) は黒色の土砂, 土石流堆積物 (地点A2とB3) に近い値を示す (図8). 砂粒子の石英, 斜長石, 輝石の比率に関しては, 角礫層 (図中のF1) は土壌に類似し, 含礫砂層 (図中のF2) と亜円礫層 (図中のF3) は, 盛土の黒色の土砂よりも土石流堆積物に近い値を示す (図9).

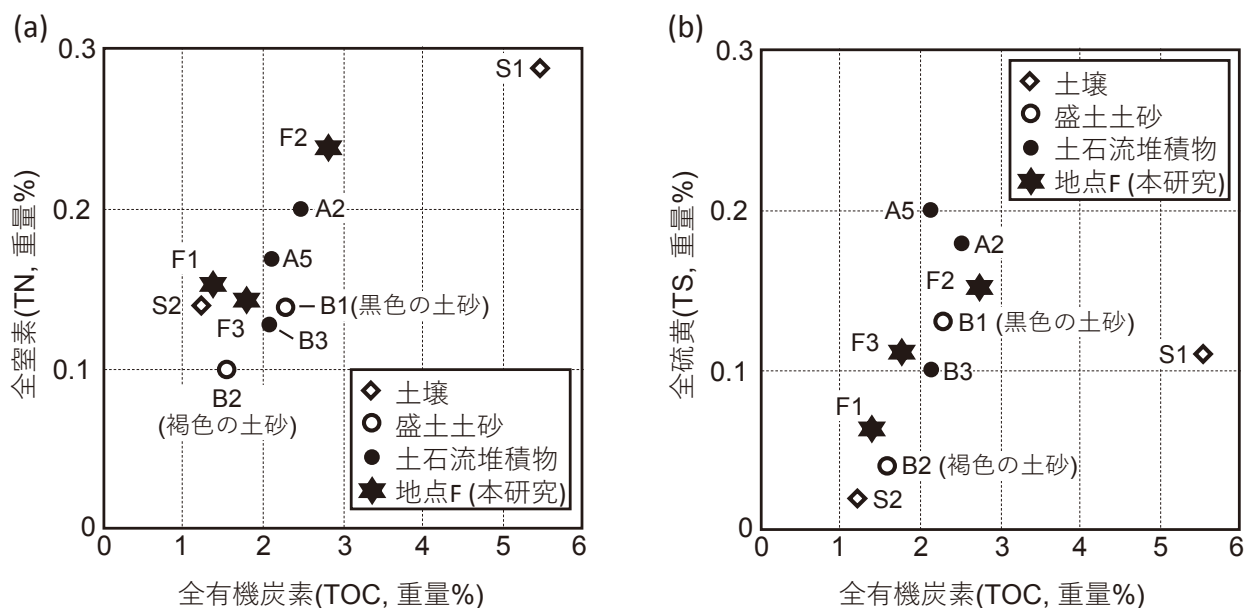


図8 各試料の泥粒子の全有機炭素量, 全窒素量, 全硫黄量の関係. a: 全窒素量-全有機炭素量の散布図. b: 全硫黄量-全有機炭素量の散布図. F1-3は本研究の測定値で, 他の測定値は北村ほか (2022a) に基づく.

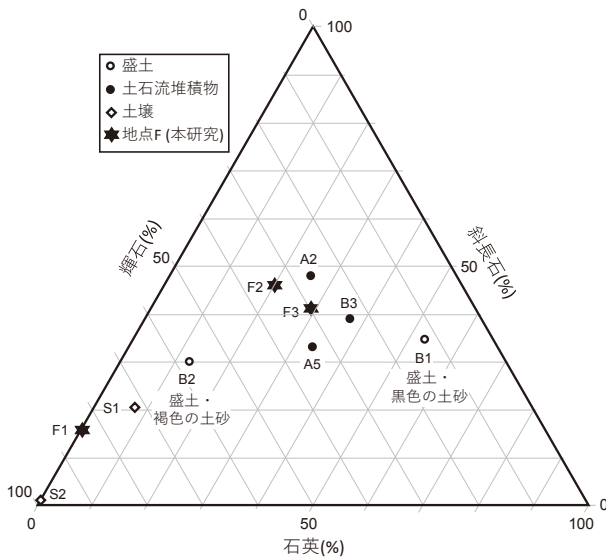


図9 0.35–0.50mmサイズの石英，斜長石，輝石の量比を示す三角ダイアグラム。F1–3は本研究の測定値で，1–3は試料1–3に対応する。他の測定値は北村ほか（2022a）に基づく。

木村（2021）は，静岡県公表した盛土の状況の写真をとて，逢初川崩壊箇所付近の縦断面図（木村（2021）の図10）を作成し，盛土は三層構造で，2009年6月期前の盛土層，褐色の土砂，黒色の土砂の順に重なるが，地点Fでは黒色盛土層が2009年6月期前の盛土層を直接覆うとしている。本稿の調査結果は，この解釈を支持し，含礫砂層（層厚0.1m）は2009年6月期前の盛土層に対応し，亜円礫層（層厚0.4m）は黒色盛土層に対応すると考えられる。

今回の盛土崩落に関して，黒色盛土層の最下部の亜円礫層は次の3点が注目される。第一に，亜円礫層は放散虫化石を含む泥岩岩片を産し，地点Fから約300m下流の砂防堰堤の埋積土の深度3.74–3.70mからも海綿骨針を含む化石泥岩岩片が発見されていることである（北村ほか，2022b）。これは，盛土の崩落の早い時期の土石流に亜円礫層由来の堆積物が含まれていた可能性を示唆する。第二に，亜円礫層では礫と礫の間にある空間を砂質堆積物が充填しているが，その含泥率は10%程度しかないことである（図4）。これは，砂質堆積物の透水性が高い可能性を示唆する。第三に，亜円礫層が有孔虫を含むことである。これは，同層の供給源の一部は沿岸堆積物であることを示し，したがって崩落しやすい性質を有していた可能性が十分ある（北村ほか，2022c）。以上の3点から，地点Fにあった黒色盛土層の最下部の亜円礫層は，第0波（北村ほか（2022b）が定義した砂防堰堤内の土石流堆積物を運搬した土石流）の土石流の起点であった可能性がある。

## 謝辞

熱海市と静岡県の関係者には，立ち入り禁止区域内の調査にご協力いただいた。静岡大学理学部の石橋秀巳博士には礫の薄片観察にご協力いただいた。東京大学

院理学系研究科の池田昌之博士と静岡大学理学部のJulien Legrand博士には本稿の査読を行っていただいた。これらの皆さんに感謝申し上げる。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。

## 引用文献

- Adachi, K., Kajino, M., Zaizen, Y. & Igarashi, Y. (2013), Emission of spherical cesium-bearing particles from an early stage of the Fukushima nuclear accident. *Scientific Report*, **3**, 2554.
- 千木良雅弘・北村晃寿・木村克己・市村康治（2022），熱海市逢初川盛土崩壊の地質的原因について。静岡大学地球科学研究報告，**49**。
- 木村克己（2021），熱海市の逢初川土石流災害の地形・地質的背景。深田地質研究所年報，No. **22**，185–202。
- 北村晃寿（2022），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**（印刷中），doi:10.4116/jaqua.61.2114。
- 北村晃寿・池田昌之（2021），2021年7月3日に静岡県熱海市伊豆山地区で発生した土石流の速報。静岡大学地球科学研究報告，**48**，63–71。
- 北村晃寿・岡寄颯太・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（2022a），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。
- 北村晃寿・矢永誠人・岡寄颯太・片桐 悟・中西利典・森 英樹（2022b），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**，87–95。
- 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**，97–103。
- 国土地理院（2021a），<https://maps.gsi.go.jp/#14/35.128368/139.078674/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1g1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1&d=m> 2022年4月24日引用。
- 国土地理院（2021b），[https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R3\\_0701\\_heavyrain.html#3](https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R3_0701_heavyrain.html#3) 2022年4月24日引用。
- Krumbein, W. C. (1941), Measurement and geologic significance of shape and roundness of sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology*, **11**, 64–72.
- Reimer, P.J., Austin, W. E. N., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P., Bronk Ramsey, C. et al. (2020), The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*, **62**(4), 725–757.



静岡県 (2021a), 第1回逢初川土石流の発生原因調査検証委員会配布資料 (1~17). 2021年9月7日開催 <http://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-350/sabouka/r3hasseigenninncyouusakennsyouiinnkai.html> 2022年4月24日引用.

静岡県 (2021b), 2021年7月3日静岡県熱海市土砂災害動画, ドローン撮影動画1. <https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/20210703-atami-movie> 2022年4月24日引用.

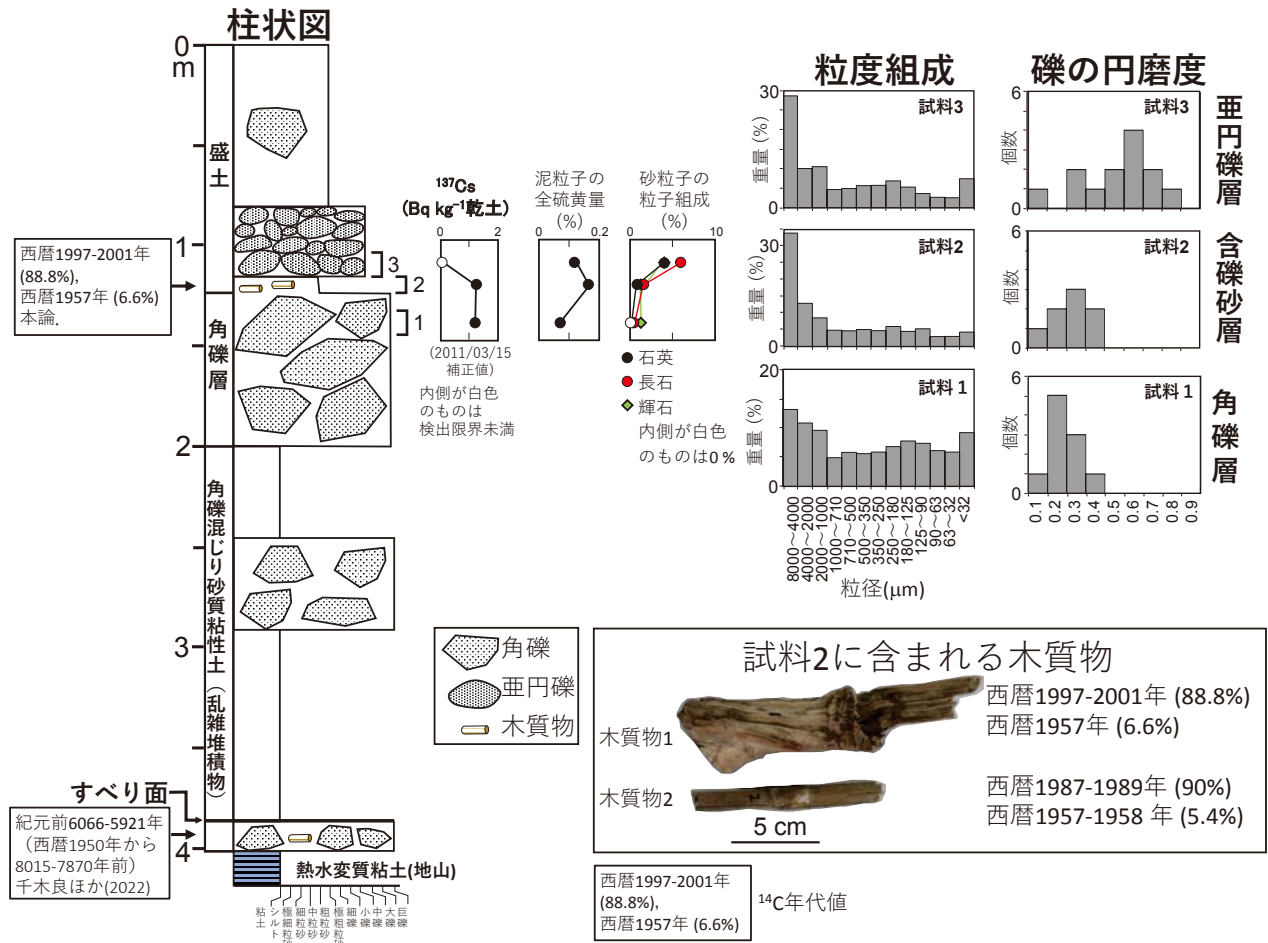
静岡県 (2021c), 熱海市伊豆山地区土石流土質調査結果(速報) <http://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-350/sabouka/documents/doshitucyouyousekka.pdf> 2021年9月9日引用.

著者貢献

北村晃寿: 試料採取, 砂粒子の鉱物種・岩石種の同定, 礫種の同定, 全体総括, 論文執筆を担当. 山下裕輝: 泥粒子のCNS分析と礫種の同定を担当. 矢永誠人: 放射性セシウム濃度の測定, 論文執筆を担当. 本山 功: 放散虫化石の同定, 中西利典: 泥粒子のCNS分析を担当. 森英樹: 薄片作成を担当.

補遺

以下の記載と図を追記する. 本論と千木良ほか (2022) を再度比較したところ, 本論で記載した地点Fの露頭の下位約2mも露出していることが分かった. 岩体・堆積物は, 下位から, 地山の熱水変質粘土, 最大層厚10cmで膨縮・尖滅する砂礫層, 角礫混じり砂質粘性土 (乱雑堆積物; 層厚2.0m), 巨礫サイズの角礫層 (層厚0.7m), 木質物を含む含礫砂層 (層厚0.1m), 中礫サイズの亜円礫層 (層厚0.4m), 砂層 (層厚0.8m以上) の順に重なる (補遺図1). 膨縮・尖滅する砂礫層の上面はすべり面である (千木良ほか, 2022).



補遺図1 地点Fの調査露頭の柱状図と<sup>137</sup>Cs濃度, 泥粒子の全硫黄量, 0.35-0.50mmの粒子中の石英・斜長石・輝石の占有率, 粒度組成, 礫の円磨度. 円磨度は人工物を除く.