1	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
2	の 地 球 化 学 ・ 粒 子 組 成 分 析
3	
4	北村晃寿 <sup>1,2</sup> , 岡嵜颯太 <sup>3</sup> , 近藤 満 <sup>4</sup> , 渡邊隆広 <sup>5</sup> , 中西利典
5	<sup>6</sup> , 堀 利栄 <sup>7</sup> , 池田昌之 <sup>8</sup> , 市村康治 <sup>9</sup> , 中川友紀 <sup>8</sup> , 森 英樹 <sup>10</sup>
6	
7	Geochemical and grain composition analysis of embankment
8	and debris flow deposits in the Izusan area, Atami City,
9	Shizuoka Prefecture, central Japan.
10	
11	Akihisa Kitamura <sup>1, 2</sup> , Sota Okazaki <sup>3</sup> , Mitsuru Kondo <sup>4</sup> ,
12	Takahiro Watanabe <sup>5</sup> , Toshimichi Nakanishi <sup>6</sup> , Rie S. Hori <sup>7</sup> ,
13	Masayuki Ikeda <sup>8</sup> , Koji Ichimura <sup>9</sup> , Yuki Nakagawa <sup>8</sup> , Hideki
14	Mori <sup>10</sup>
15	
16	1静岡大学理学部地球科学教室, 422-8529 静岡県静岡市駿河区
17	大谷 836
18	<sup>1</sup> Institute of Geosciences, Shizuoka University, 836 Ohya,
19	Suruga-ku, Shizuoka, 422-8529 Japan
20	E-mail: kitamura.akihisa@shizuoka.ac.jp
21	
22	2静岡大学防災総合センター, 422-8529静岡県静岡市駿河区大
23	谷 836
24	<sup>2</sup> Center for Integrated Research and Education of Natural
25	Hazards, Shizuoka University, 836 Ohya, Suruga-ku,
26	Shizuoka, 422-8529 Japan
27	

駿河区大谷 836 29 <sup>3</sup>Graduate School of Integrated Science and Technology, 30 Shizuoka University, 836 Ohya, Suruga-ku, Shizuoka, 422-31 8529 Japan 32 33 4 静 岡 大 学 理 学 部 化 学 教 室 , 422-8529 静 岡 県 静 岡 市 駿 河 区 大 谷 34 836 35 <sup>4</sup>Department of Science, Graduate School of Integrated 36 Science and Technology, Research Institute of Green 37 Science and Technology, and College of Science, Academic 38 39 Institute, Shizuoka University, Shizuoka 422-8529, Japan 40<sup>5</sup> 国 立 研 究 開 発 法 人 日 本 原 子 力 研 究 開 発 機 構 , 509-5102 岐 阜 県 41 土岐市泉町定林寺 959-31 42<sup>5</sup>Toki Geochronology Research Laboratory, Tono Geoscience 43 44 Center, Japan Atomic Energy Agency, 959-31 Jorinji, Izumi, Toki, Gifu 509-5102, Japan 4546 <sup>6</sup> ふじのくに地球環境史ミュージアム, 422-8017 静岡県静岡市 47駿河区大谷 5762 48 49 <sup>6</sup>Museum of Natural and Environmental History, Shizuoka, 505762 Ohya, Suruga-ku, 51 Shizuoka City, Shizuoka Prefecture, 422-8017, Japan 52<sup>7</sup> 愛媛大学大学院理工学研究科, 790-8577 愛媛県松山市文京町 53 2-5 54

<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

28

55	<sup>7</sup> Department of Earth Sciences, Graduate School of Science
56	and Engineering, Ehime University, Matsuyama City 790-
57	8577, Japan
58	
59	<sup>8</sup> 東 京 大 学 大 学 院 理 学 系 研 究 科 地 球 惑 星 科 学 専 攻 , 113-0033 東
60	京都文京区本郷 7-3-1
61	$^{8}$ Department of Earth and Planetary Science, the University
62	of Tokyo, 7-3-1, Hongo Bunkyo-ku, Tokyo, 113-0033 Japan
63	
64	<sup>9</sup> 東 京 大 学 大 学 院 理 学 系 研 究 科 技 術 部 , 113-0033 東 京 都 文 京 区
65	本 郷 7-3-1
66	$^{9}$ Technical Division, School of Science, The University of
67	Tokyo, 7-3-1, Hongo Bunkyo-ku, Tokyo, 113-0033 Japan
68	
69	10 静 岡 大 学 技 術 部 教 育 支 援 系 教 育 研 究 第 二 部 門 , 422-8529 静 岡
70	県静岡市駿河区大谷 836
71	<sup>9</sup> Division of Technical Service, Shizuoka University, 836
72	Ohya, Suruga-ku, Shizuoka 422-8529, Japan
73	
74	柱の原稿
75	熱海市土砂災害の盛土と土石流堆積物の地球化学・粒子組成分
76	析
77	北村・岡嵜・近藤・渡邊・中西・堀・池田・市村・中川・森
78	
79	脚 注
80	2022 年 4 月 11 日受付 2022 年 5 月 11 日受理.
81	Received: 11 April 2022 Accepted: 11 May 2022

#### 82 はじめに

2021 年 7 月 3 日午前 10 時 30 分頃, 静岡県熱海市伊豆山地区 83 の逢初川沿いで土石流が発生し、伊豆山港に至り相模湾へ流入 84 した(図1).流下経路の家屋は破壊され,死者・行方不明者は 85 27人に及んだ.その後の調査で,逢初川の源頭部にあった盛土 86 が大量に崩落していたことが判明した(静岡県, 2021a). 国土地 87 理院(2021)は、2009年と2019年の地形測量データを比較し、同 88 期間に形成された盛土の体積量を約 56,000 m<sup>3</sup>と見積もってお 89 り, そのうちの約 55,500m<sup>3</sup>が崩落したと静岡県(2021a)は報告し 90 91 ている.

静岡県(2021b)は、源頭部の地山(試料 No. 1)、尾根部(試料 92 No. 2), 崩壊した崖面の左岸側に露出した褐色の土砂(試料 No. 93 94 3), 右岸側に露出した黒色の土砂(試料 No. 4)を採取した(図 1c). 静岡県(2021b)は, さらに逢初川河口から上流に向かっ 95 96 て, 0.8 km, 0.5 km, 国道 135 号の逢初橋付近, 逢初川河口付 近の4地点で土石流堆積物(試料 No. 5-8)を採取した(図1).そ 97 98 して,静岡県(2021b)は,これらの試料の土質試験,偏光顕微鏡 分析, 蛍光 X 線分析を行い(表 1), 構成粒子の組成に基づいた考 99  $1\,0\,0$ 察を公表したので,以下に原文のまま引用する.

101 (引用ここから)

・土の粒度構成や顕微鏡分析の結果,元素の含有割合などか
ら,源頭部から崩落し土石流となって流下し,中下流部に堆積
した土砂(試料 No.5~No.8の土砂)は,No.3源頭部崖面(左岸
側)褐色と No.4源頭部崖面(右岸側)黒色の土砂が混ざり合っ
たものであると推測される.

107 ・土石流となって流下した土砂の混合割合を, 蛍光エックス
 108 線分析で得られた Ca(カルシウム)の含有率から試算した結

図 1

表 1

果, 15%~25%の No.3源頭部崖面(左岸側)褐色の土砂と, 109

75%~85%の No.4源頭部崖面(右岸側)黒色の土砂が混ざり合 110 ったものと推測される. 111

- ・土石流となって流下した土砂の多くを占める No.4 源頭部崖 112 面(右岸側)黒色の土砂は、源頭部付近に元々存在した地山
- (No.1源頭部)の土質とは異なるため,他所から搬入された土  $1\,1\,4$ 砂(盛土)と推測される. 115
- ・これら今回の調査結果を踏まえると、源頭部から崩落し土 116 石流となって流下した土砂の大部分は、他所から搬入された土 117 砂(盛土)であったと推測される. 118
- (引用ここまで) 119

113

- これらの試料の分析は、さらに追加報告されると思われる  $1\,2\,0$ が、盛土の崩落の原因を検討するには、盛土の力学的性質に関 121 するデータの取得が不可欠であり、それには盛土の採集地の特 122 定は重要である. 崩落した盛土の土砂は土石流堆積物となって 123おり、流下時に混合しているので、土石流堆積物の分析結果か 124125 らの崩落前の盛土の復元には限界がある.そこで、盛土の採集 地に残された土砂を分析し、土石流堆積物の分析結果と合わせ 126 ることで、崩落した盛土の土砂の力学的性質の推定の確度を向 127 上できる. 128
- 第一著者の北村は、逢初川の源頭部の崩落していない盛土の 129 黒色の土砂から4個の海生二枚貝類の貝殻を採取し、また集落 130 の最上流部にある家屋の直ぐ上流側の土石流堆積物から5個の 131 海生二枚貝類の貝殻を採取した.これら貝殻の種組成,保存状 132 態、年代値から、土石流堆積物の多くを占める盛土の黒色の土 133 砂の採集地の一部は海浜で, さらに現世堆積物と中部完新統の2 134つの供給源がありうることを示した(北村, 2022). 135

これらの知見を踏まえ、さらに盛土の採集地を追究するため 136 に、北村が伊豆山地区で採取した試料について、静岡県(2021b)  $1\,3\,7$ の扱っていない砂粒子の組成分析、乾燥状態の泥粒子のX線回 138 折と CNS 元素分析を行った. また, 静岡県(2021b)の蛍光 X 線分 139 析の試料の記載には、前処理に「測定試料をφ30mm用ホルダー  $1\,4\,0$ にセットし、分析を行った」とあり、測定条件に「水分量が多 141 いため,」と記されているが、 試料の粒度組成の記述はない. そ 142こで、本論では、乾燥状態の泥粒子の蛍光 X線分析を行った. 143 これらの分析結果をここに報告し、盛土の構成粒子の性状と採 144145集地の特定に関して考察する.

146 なお、本論では、便宜的に図 1cの点線で囲まれた褐色を呈す
147 る部分の土砂を褐色の土砂と定義し、他の黒色を呈する部分を
148 黒色の土砂と定義する.

149

### 150 調査地域

151 土石流の発生源は,逢初川の源頭部(標高約 390m)に位置する
152 (図 1c).土石流は,ほぼ一定の勾配(平均勾配=11.3°)を持つ
153 経路に沿って,約2 kmにわたって流下し,相模湾に流入した
154 (図 1e).逢初川の上流域には,中期更新世の湯河原火山噴出物
155 が分布し,主に玄武岩,安山岩,デイサイトからなる(及川・石
156 塚, 2011).

157

# 158 調査地点及び分析

159 調査地点

160 第一著者の北村は、2021年7月3日と7月9日に、合計5地
161 点で土石流堆積物を観察し、それらのうち地点2と5から堆積
162 物試料を採取し、含水率を報告した(北村・池田、2021).その

後,2021年9月3日に熱海市の職員と同行の下で,逢初川の源 163 164頭部で崩落していない盛土を2か所(図 1c:地点 B1, B2)で採取 165 し、 集 落 の 最 上 流 部 に あ る 家 屋 の 直 ぐ 上 流 の 2 か 所 (図 1d: 地 点 B3, B4) で 土 石 流 堆 積 物 を 採 取 し た . ま た , 7 月 3 日 に 地 点 S1 か 166 ら, 23 日に地点 S2 から土壌を採取した(図 1b). 北村(2022) 167 168 は、北村・池田(2021)の5地点を地点A1-A5に変更し、9月3日 の4地点を地点 B1-B4 とした(図 1). なお, 地点 B4 の土石流堆 169 積物は逢初川の河道内にあり、礫だけなので、本研究では研究 170 171 対象から除外した. また, 7月3日と7月9日の調査は, 救助作 業の妨げにならないように土石流堆積物の表層部から約200 g 172の試料の採取のみを行った.また、9月3日の調査は安全確保の 173 ため、約500gの堆積物試料の採取のみを行った. 174

175 粒度分析

176 地点 A2, A5, B1-3, S1-2 で採取した堆積物試料の一部(約 20
177 g)を 60℃のオーブンで 24 時間乾燥後, 8000 µm以下の粒子につ
178 いて目開き 63, 90, 125, 180, 250, 355, 500, 710, 1000,

179 2000, 4000 μm のふるいで水洗し,残渣の乾燥重量を測定した.

180 泥粒子の分析方法

181 試料の一部(約 10 g)を 60℃のオーブンで 24 時間乾燥後,ふ
182 るいにかけて 63 µm以下の粒径のサブ試料を得た. 試料はメノ
183 ウ乳鉢で粉末化した. 粉末試料の一部を用いて,国立研究開発
184 法人日本原子力研究開発機構の携帯型蛍光 X 線分析装置(携帯型
185 XRF; Niton XL3t-950S, Thermo Fisher Scientific 社製)によ
186 り,主要元素及び微量元素の定量分析を行った.
187 また,粉末試料の一部を使って,ふじのくに地球環境史ミュ

188 ージアムの CHNS 分析装置 (Flash 2000, Thermo Fisher

189 Scientific 社製)で全有機炭素(TOC), 全窒素(TN)及び全硫黄

(TS)の含有量を測定した. さらに, 静岡大学の X 線回折(XRD)装 190 置 (MiniFlex, リガク社製)で, Cu-Kα 線 (λ=1.5406Å)を用い 191 て、 電圧 40kV, 電流 15mA, スキャン速度 10°/分の測定条件で鉱 192 物種を分析した.また、粉末化前のサブ試料を水簸分離した粘 193 土試料をガラス板に塗布, 乾燥させて, エチレングリコール処 194 理前後のそれぞれで回折パターンの測定を行った.この測定に 195 は、東京大学地球惑星科学専攻の XRD 装置(RINT-2100, リガク 196 社製)を使用し、Cu-Kα線(λ=1.5406Å)を用いて、 電圧 40kV, 197 電流 30mA, スキャン速度 2°/分の測定条件で行った. 198

199 砂粒子の分析方法

地点 A2, A5, B1-3, S1-2 の堆積物試料に含まれる 200 個以上 200 の 350-500 µm サイズの粒子の鉱物種と岩石種を同定した. 目開 201202 き 350, 500 µm のふるいで粒子を得た後,約 60℃で 24 時間乾 燥させた. また, 地点 A2, A5, B3 の土石流堆積物, B1 の盛土の 203 黒色の土砂の 500-4000 µm の粒子から, それぞれ 21 個, 24 個, 20414個,18個の堆積岩状の粒子を採取した.これらの粒子を、樹 205 206 脂に包埋後、薄片を作成し、顕微鏡で観察した.その結果、放 散虫の化石を含む灰色のチャート片と、その中に大きさ 20-40 207 208 μm の 菱 形 や 立 方 体 の 粒 子 が 多 数 含 ま れ る こ と を 見 出 し た . そ こ 209 で、この薄片を、東京大学地球惑星科学専攻のエネルギー分散 型分光器 (EDS, Thermo Fisher Scientific 社製)を搭載した走査 210 型電子顕微鏡(SEM; S-4500, 日立社製)を用いて観察した. 211

 $2\,1\,2$ 

213 結果

図 2

214 粒度組成

215 盛土と土石流堆積物は淘汰の悪い泥質砂で,泥粒子の占有率
216 は 15-26%であり,土壌は泥粒子が 41-60%を占める(図 2).

# 217 泥粒子の主要・微量元素組成

全試料で主要・微量元素の合計は100%にはならなかった(表 218 2). これは、本調査で使用した携帯型 XRF では Na の測定が困難 219 であることと、ガラスビードではなく粉末試料を測定したの 220で、有機物や水などが含まれているためである。そこで、試料 221 の比較を Ti とのモル比で行った. Ti を用いたのは, 試料間での 222 値の差が最小(0.7-0.9%)だからである. Ti との比に基づくと, 223 黒色の土砂と土石流堆積物の特徴的な元素として、主要元素で 224225 は Caと Feを、微量元素では Zn と Cuを挙げることができる(表 226 2, 図 3).

Ca/Ti比は黒色の土砂は 5.4 で、土石流堆積物は 4.5-4.6 の値 227 をとるのに対して、土壌と褐色の土砂は2.4以下である.Fe/Ti 228 229 比は、黒色の土砂と土石流堆積物は8.7-9.6の値をとり、土壌 と褐色の土砂は 10.2-11.3 の値をとる. Zn/Ti 比は黒色の土砂は 230 231 0.050で、土石流堆積物は 0.026-0.033の値をとるのに対して、 土壌と褐色の土砂は 0.009 以下である. Cu/Ti 比は黒色の土砂は 232 0.020で、土石流堆積物は 0.017-0.019の値をとるのに対して、 233 土壌と褐色の土砂は 0.012以下である (図 3b, 表 2). Ca/Ti 比と 234 235 Fe/Ti 比の散布図並びに Zn/Ti 比と Cu/Ti 比の散布図は, 黒色の 土砂と褐色の土砂のプロットを結んだ直線の上ないし近い位置 236 に土石流堆積物の泥粒子の値があることを示す(図 3a, b). 一 237 方,例えば,Si/Ti比やA1/Ti比は,土石流堆積物の値は褐色の 238 土砂とほぼ同じ値をとり、両比の散布図では、黒色の土砂と褐 239 色の土砂のプロットを結んだ直線から外れる(図 3c). 240泥粒子の TOC, TN, TS 濃度 241

242 盛土の黒色の土砂と褐色の土砂では、TOC, TN, TS 濃度は黒色
243 の土砂のほうが高い(図 4,表 3). 盛土と土壌を比較すると、地

9

表 2, 図 3,4

244 点 S1の土壌の TOC・TN 濃度は盛土より高く,TS 濃度は黒色の土
245 砂とほぼ同じであり,地点 S2の土壌の TOC,TN,TS 濃度は褐色
246 の土壌とほぼ同じである.土石流堆積物と盛土を比較すると,
247 前者の TOC,TN,TS 濃度は褐色の土砂よりも黒色の土砂の値に
248 近い.散布図では,黒色の土砂と褐色の土砂の値を結んだ直線
249 上に地点 B3の値があるが,地点 A2 と A5 の値は外れている(図
250 4c,d).

251 泥粒子の XRD 分析

盛土の黒色の土砂と褐色の土砂の回折パターンを比較する 252と、両試料とも石英、斜長石、スメクタイト、及び格子面間隔 253 値が 1.54-1.55 nm のピークを含む点では共通する(図 5, 図 2546). 石英は黒色の土砂では褐色の土砂より相対的に大きいピー 255256 クとして確認され(図 5),格子面間隔値 1.54-1.55 nmのピーク は黒色の土砂より褐色の土砂で相対的に大きいピークとして確 257 認された(図 6). 両地点の盛土の水簸分離した定方位試料では, 258カオリナイトの特徴である 0.70 nmのピークはほとんど現れず 259 260 1.00 nmのピークが現れ、エチレングリコール処理で 1.10 nm 付 近にシフトしており、10Å ハロイサイトの特徴を示す(図 6). 261 262 また, 1.54-1.55 nm のピークはエチレングリコール処理で 1.70-1.72 nm にシフトしており, スメクタイトの特徴を示す(図 263 264 6).

265 地点 S1の土壌試料の回折パターンは、石英、斜長石と格子面
266 間隔値が 0.74 nmのピークを含み、地点 S2の土壌は、石英、斜
267 長石のピークは確認されず、0.73 nm、1.01 nmのピークとブロ
268 ードなピークのみが検出された(図 5,図 6). 両地点の土壌の水
269 簸分離した定方位試料については 0.73、0.74 nmのピークがみ

270 られるが、1.40-1.50 nmの位置には地点 S1 で微小なピークが検
271 出されるだけで、地点 S2 では検出されない.

272 地点 A2, A5, B3 の土石流堆積物の回折パターンは,石英,斜
273 長石,格子面間隔値が 1.00-1.01, 1.53-1.54 nm のピークを含
274 み,石英のピークが相対的に大きい点では黒色の土砂と同じ傾
275 向にある(図 5,図 6).これらの土石流堆積物の水簸分離した定
276 方位試料については,0.70 nm のピークはほとんど現れず 1.00
277 nm のピークが現れ,エチレングリコール処理で 1.10 nm 付近に
278 シフトするため,10Å ハロイサイトの特徴を示す(図 6).

279 地点 B2の盛土・褐色の土砂,地点 B3,A5の土石流堆積物の
280 回折パターンには 0.90 nm 付近にピークが確認され,このピー
281 クは輝石やパイロフィライトの特徴である.後述の通り,0.35282 0.50 nm サイズの粒子の顕微鏡観察結果からは輝石が確認されて
283 いるが,パイロフィライトの可能性も否定できないため,両者
284 は本論では区別しない.この 0.90 nm のピークは黒色の土砂に
285 は確認されず,褐色の土砂には確認される(図 5).

#### 286 砂粒子の粒子組成

287 盛土,土石流堆積物と土壌試料の中で優占する粒子は褐色で
288 非晶質かつ不均質な物質からなり,内部に細かく不規則な割れ
289 目を持ち,しばしば細粒の鉱物粒子を含む.また,薄片作成時
290 に粒子の一部が脱落することもあり,これは粒子が脆弱なこと
291 を示唆する.これらの特徴から,我々は粒子を土壌の団粒と同
292 定した.団粒は,土壌中の有機物と鉱物粒子が結合したもの

293 で, 内部には大小さまざまの孔隙が形成される(和穎, 2016).

294 盛土と土石流堆積物は岩片を多く含む(表 4).

295 鉱物粒子では石英,斜長石,輝石を多く含み,これら3つの296 鉱物粒子の量比を図7の三角ダイヤグラムにまとめた.盛土の

297 黒色の土砂と褐色の土砂を比較すると、石英と斜長石粒子の占
298 有率は黒色の土砂のほうが高く、輝石粒子は褐色の土砂のほう
299 が高い.盛土と土壌を比較すると、盛土のほうが石英、斜長石
300 粒子の占有率は高い.土石流堆積物は、石英、斜長石、輝石粒
301 子を含み、三角ダイヤグラムでは、黒色の土砂、褐色の土砂、
302 土壌よりも中央に分布する(図 7).

地点 B1 の盛土・黒色の土砂,地点 B3 と地点 A5 の土石流堆積 303 物から 350-500 um サイズのチャート岩片を発見し(図 8-a-f, j, 304 305 k), 地点 A2 の土石流堆積物から長径約 3500 µm の灰色チャート 岩片を1個発見した(図 8-g).地点 B1のチャート試料1から, 306 Williriedellacea 上科に属する放散虫化石が確認できる(図 8-307 a, b). 断面構造では胸部殻室(thorax)が腹部殻室(abdomen)に 308 309 埋没している特徴的な構造を示す団子型断面であることから, 本化石は、白亜紀型の放散虫化石個体である可能性がある 310 (O'Dogherty et al., 2009). また, チャート試料 2 からは, 釣 311

312 鐘状の断面を示す多節塔状 Nassellaria 目に属する放散虫化石
313 が確認されると共に、スポンジ状の Spumellaria の放散虫殻断
314 面も確認できる(図 8-c, d). チャート試料 3 については、放散
315 虫化石である透明のスポットは見られるが、同定は困難である
316 (図 8-e). 地点 B3 のチャートには、やや変形した球状

317 Spumellaria が多数含有されているのが確認できるが,種名等の
318 同定はできない(図 8-f).

319 地点 A2 の土石流堆積物中の灰色チャート片には,放散虫化石
320 に加えて,20-40 μ m の菱形や立方体の粒子が多数含まれ,濃灰
321 色と淡灰色の帯状模様が観察された(図 8-g,h).菱形粒子は開
322 放ニコルで無色を示し,直交ニコルで高次の干渉色を示し,非常
323 に高い複屈折を持つ(図 8-h, i). SEM-EDS 分析により,菱形粒

図 7, 表 4

325 の形状,光学的特徴,化学組成から,菱形粒子はドロマイトと
326 推定される.立方体の粒子は黒色で不透明で,それらの中に
327 は,風化した外観と高い鉄分を持つものがあり,ゲーサイトと
328 思われる鉄分を多く含む結晶の沈殿物も見られた(図 9-c, d).
329 地点 A5 の土石流堆積物中の褐色チャートに含まれる内部骨格
330 構造を持つ保存状態の良い球状の放散虫化石(図 8-j, k)は,
331 Entactinaria? gen. et sp. indet.と推定される.
332

子は Ca と Mg を多く含むことが確認された(図 9-a, b). これら

333 考察

324

図 8,9

- 334 本論の試料は土石流堆積物の表層部分のみを採取したもの
   335 で,測定値が土石流堆積物を代表しない可能性があることに考
   336 慮して,以下の考察を行う.
- 337 土石流堆積物の供給源としての盛土とその組成

338 本研究では盛土の黒色の土砂からチャート岩片を発見した.
339 調査地域周辺にはチャート岩体は分布しないので,黒色の土砂
340 は他地域からもたらされたことは確実である.一方,石英・斜
341 長石・輝石の量比や XRD 分析などの結果から,褐色の土砂は地
342 点 S1の土壌に類似する性質を持つものの,粘土鉱物の組成は地
343 点 S1と S2のいずれの土壌とも異なっていることが分かった(図
344 10).

- 345 上述の通り,静岡県(2021b)は、Ca含有率から土石流堆積物中
  346 の黒色の土砂と褐色の土砂の混合比を 75-85%,15-25%と算出
  347 した.これは、土石流堆積物は黒色の土砂と褐色の土砂の二成
  348 分の混合物であることを前提とする.
- 349 本論の測定の結果, 泥粒子の Ca/Ti 比, Fe/Ti 比, Cu/Ti 比,
   350 Zn/Ti 比については, 土石流堆積物の泥粒子の値は黒色の土砂と

351 褐色の土砂の混合で説明でき、さらに黒色の土砂に近い値をと
352 ることが明らかとなった(図 3、図 4).しかし、例えば、Si/Ti
353 比と A1/Ti 比に関しては、土石流堆積物の値を黒色の土砂と褐
354 色の土砂の混合では説明できず、また褐色の土砂に近い値をと
355 る(図 3c).一方、泥粒子の TOC、TN、TS 濃度については、黒色
356 の土砂と褐色の土砂のプロットを結んだ直線上に地点 B3 の値は
357 あるが、地点 A2 と A5 の値は外れている(図 4).

- 358 これらの元素組成における異質性は,黒色の土砂と褐色の土
  359 砂の成分の不均質性を示唆する.したがって,本論では,採取
  360 した黒色の土砂と褐色の土砂の成分を使って,土石流堆積物中
  361 の混合比を算出することは行わないこととした.
- 362 盛土と土石流堆積物中のチャートによる採集地の推定
- 363 地点 B1 の盛土・黒色の土砂中のチャート試料 1 の放散虫化石 Williriedellacea 上科は、大きさの異なる団子が重なった球形 364殻を特徴的に持つ放散虫グループであり,ジュラ紀前期後半か 365 ら出現する(例えば, De Wever et al., 2001). よって、チャー 366 367 ト試料1の堆積年代はジュラ紀前期後半以降と判断できる。チ ャート試料2の多節塔状 Nassellaria は三畳紀に出現し、頭部 368 369 に丸みを帯びた Nassellaria は白亜紀の Dictyomitra 属によく 370 見られる特徴だが、表面装飾情報のない断面のみでは明確な同 定はできない.これらの放散虫化石の含有から,チャート試料 371 2の堆積年代は三畳紀以降と判断できる. 地点 A5の土石流堆積 372 物中の褐色チャートの Entactinaria?は古生代に出現し、現世の 373 海にも生息する(例えば, Kozur and Mostler, 1982; Nakamura 374 et al., 2020; Suzuki et al., 2021). 375
- 376 地点 A2 の土石流堆積物中の灰色チャート片は、放散虫化石に
   377 加えて、ドロマイトの結晶と、ゲーサイトと推定される結晶を

多く含む.日本の放散虫チャートの産地には、秋吉帯、四万十 378 379 带, 秩父帯, 美濃·丹波·足尾帯, 北上·大島帯, 神居古潭帯 がある(図 11)(Isozaki *et al.*, 2010; Wallis *et al.*, 2020). 380 これらのうちで、海山性の砕屑性ドロマイトを含むチャート 381 が報告されているのは秋吉帯、美濃・丹波・足尾帯、秩父帯で 382 あり(Hattori, 1984; Sano, 1984, 1988; 佐野・小嶋, 2000; 383 中島・佐野, 2005; 松岡, 2019 など), ペルム系から三畳系に見 384 られるが、ペルム系/三畳系境界付近の砥石層に特徴的に産す 385 386 ることが報告されている(Kakuwa, 1996; 八尾 · 桑原, 1997; Muto *et al.*, 2020). ペルム系/三畳系境界付近の灰色チャー 387 トは、一般的に、還元状態で形成された黄鉄鉱を含み(中尾・磯 388 崎, 1994), 黄鉄鉱はゲーサイトなどの他の鉄鉱物に変質する 389 390 ことがある(例えば, Soliman and Goresy, 2012). 黄鉄鉱の結 晶は立方晶系であり, 立方体や正八面体をなす. これらのこと 391 から,地点 A2の灰色チャート片のゲーサイトと推定される結晶 392 は、黄鉄鉱が変質した可能性が高い、灰色チャート片の帯状模 393 394 様については、ペルム系/三畳系境界付近の灰色チャートにも 同様の葉理構造が見られ、酸素に乏しい底層水環境下での生物 395 396 撹拌の欠如による初期堆積構造が保存されたものと考えられて いる(例えば, Isozaki, 1997; Kakuwa, 2008). 以上の含有物と 397 葉理構造から,地点A2の灰色チャート片は,秋吉帯,美濃・丹 図 10, 11 398 波・足尾帯、秩父帯のペルム系/三畳系境界付近から供給され 399  $4\,0\,0$ たと推定される. 土石流堆積物及び盛土のチャート片が全て同一起源という仮 401

402 定に立つと、ペルム系/三畳系境界付近とそれ以降のジュラ

403 紀, ないし前期白亜紀まで及ぶ時代のチャートが報告されてい

404 るのは秩父帯だけである(Wallis et al., 2020). 秩父帯は関東

405 地方では関東山地に分布するので(図 11),盛土の黒色の土砂の
406 一部の採集地は,関東山地の秩父帯の下流域である可能性があ
407 る.また,チャート片を含有することから,土石流堆積物は盛
408 土の黒色の土砂を含むと考えるのは自然であることから,チャ
409 ート岩片は黒色の土砂の有効なトレーサー物質となるであろ
410 う.

なお、木村(2021)は、盛土は三層構造で、2009年6月期前の 411 盛土層,褐色の土砂,黒色の土砂の順に重なり,2021年7月3 412 日の崩落崖は、褐色の土砂、黒色の土砂の境界付近にあたると 413 した.この解釈が正しいのならば、黒色の土砂は褐色の土砂よ 414 りも崩落しやすい性質を有していた可能性があり、これが崩落 415 の原因の一つになりうる.そうすると,熱海周辺の盛土では, 416 417 黒色の土砂からなる盛土は崩落の危険性が相対的に高いことに なる.このような危険性の高い盛土の検出に、本論で得た知見 418 一黒色の土砂のトレーサー物質としてのチャート岩片の有用性 419 一は非常に役立つ. 420

- 421
- 422 まとめ

423 本研究では盛土の黒色の土砂と褐色の土砂,土石流堆積物,
424 土壌について,粒度組成,泥粒子の主要・微量元素分析,鉱物
425 組成,砂粒子の鉱物種・岩石種の同定,チャート岩片中の放散
426 虫化石等の分析を行った.その結果,以下の知見を得た.

427 1. 盛土の黒色の土砂は他所から搬入されたものである.

428 2.本論で採取した黒色の土砂と褐色の土砂の二成分混合で
429 は、土石流堆積物の泥粒子の成分を説明できないことが分かっ
430 た.

431 3. 黒色の土砂と土石流堆積物からチャート岩片を発見し,

432 含有する放散虫化石とドロマイト粒子から、ペルム系/三畳系
433 境界付近とそれ以降のジュラ紀、ないし前期白亜紀まで及ぶ時
434 代のチャート層に由来する岩片であることが判明した.

- 435 4. チャート岩片は盛土の黒色の土砂の有効なトレーサー物
  436 質となる可能性があり、さらに黒色の土砂の採集地の特定に重
  437 要な鍵となる.
- 438
- 439 謝辞 立ち入り禁止区域内の調査には熱海市市民生活部危機管理
  440 課に協力いただいた.静岡大学の石橋秀巳博士には薄片観察に
  441 関して助言をいただいた.静岡大学理学部の佐藤慎一教授と
  442 Julien Legrand博士による査読コメントによって、本稿は改善
  443 された.これらの方に感謝申し上げる.本研究の経費は静岡大
  444 学防災総合センターの予算を使用した.
- $4\,4\,5$
- 446

#### 引用文献

- 447 地理院地図(2021), <u>https://www.gsi.go.jp/tizu-kutyu.html</u>
  448 2021年7月4日引用.
- 449 DeWever, P., Dumitrica, P., Caulet, J. P., Nigrini, C.
- 450 & Caridoit, M. (2001), Radiolarians in the sedimentary
- 451 record. 533p, Gordon and Breach Science Publishers.
- 452 Hattori, I. (1984), Alternating clastic limestone and red
  453 chert as olistolith in the Mino terrane, central Japan.
  454 Journal of Geological Society of Japan, 90, 43-54.
- 455 Isozaki, Y. (1997), Permo-Triassic boundary superanoxia
- 456 and stratified superocean: records from lost deep sea.
  457 Science, 276, 235-238.
- 458 Isozaki, Y., Aoki, K., Nakama, T. & Yanai, S. (2010), New

459 insight into a subduction-related orogen: a reappraisal

460 of the geotectonic framework and evolution of the

461 Japanese islands. *Gondwana Research*, **18**, 82-105.

462 Kakuwa, Y. (1996), Permian-Triassic mass extinction event
463 recorded in bedded chert sequence in southwest Japan.

464 Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 121,
465 35-51.

466 Kakuwa, Y. (2008), Evaluation of palaeo-oxygenation of

467 the ocean bottom across the Permian-Triassic boundary.

468 Global and Planetary Change, **63**, 40-56.

469 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
470 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

472 10.4116/jaqua.61.2114.

- 473 北村晃寿・池田昌之(2021), 2021年7月3日に静岡県熱海市伊
  474 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
  475 告,48,63-71.
- 476 木村克己(2021), 熱海市の逢初川土石流災害の地形・地質的背
  477 景. 深田地質研究所年報, No. 22, 185-202.
- 478 国土地理院(2021),崩壊地等分布図及び土砂堆積範囲図(7月6
  479 日第3報公開)
- 480 https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R3\_0701\_heavyrain.html#4
  481 2021 年 7 月 8 日 に ダ ウ ン ロ ー ド
- 482 Kozur, H. & Mostler, H. (1982), Entactinaria subordo

483 Nov., a new radiolarian suborder. Geologisch-

- 484 Paläontologische Mitteilungen Innsbruck, 11(1), 399-414.
- 485 松岡喜久次(2019),関東山地,秩父帯北帯の砕屑性炭酸塩岩の

486 層序・岩相と堆積環境. 地球科学, **73**, 5-14.

487 Muto, S., Takahashi, S., Yamakita, S. & Onoue, T. (2020),

Scarcity of chert in upper Lower Triassic Panthalassic

489 deep-sea successions of Japan records elevated clastic

- 490 inputs rather than depressed biogenic silica burial
- 491 flux following the end-Permian extinction. *Global and*492 *Planetary Change*, 103330.
- 493 中島浩一・佐野弘好(2005),秋吉帯石炭系海綿骨針チャート中
  494 の砕屑性石灰岩.日本地質学会第 112 年学術大会講演要旨,
  495 78.
- 496 Nakamura, Y., Sandin, M. M., Suzuki, N., Tuji, A. &
- 497 Fabrice, N. (2020), Phylogenetic Revision of the Order
  498 Entactinaria Paleozoic Relict Radiolaria (Rhizaria,
- 499 SAR). *Protist*, **171**, 125712.

- 500 https://doi.org/10.1016/j.protis.2019.125712
- 501 中尾京子・磯崎行雄(1994),美濃帯犬山地域の遠洋性チャート
- 502 中に記録された P/T境界深海 anoxia からの回復過程. 地質学
  503 雑誌, 100, 505-508.
- 504 O'Dogherty, L., Carter, E. S., Dumitrica, P., Gorican,
- 505 S., De Wever, P., Bandini, A. N., Baumgartner, P. &
  506 Matsuoka, A. (2009), Catalogue of Mesozoic radiolarian
  507 genera. Part 2: Jurassic-Cretaceous. *Geodiversitas*, 31,
  508 271-356.
- 509 及川輝樹・石塚 治(2011),熱海地域の地質.地域地質研究報
  510 告(5万分の1地質図幅).産総研地質調査総合センター,61
  511 p.
- 512 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2021), 地質図

- 513 Navi. https://gbank.gsj.jp/geonavi/#disclaimer 2021 年
  514 10月6日引用.
- 515 Sano, H. (1984), Displaced dolomites in radiolarian
- 516 cherts of the Chichibu Belt on Shikoku Island, Southwest
- 517 Japan. Sedimentary Geology, 137, 20-23.
- 518 Sano, H. (1988), Permian oceanic-rocks of Mino terrane,
- 519 central Japan. Part I. chert facies. Journal of
- 520 Geological Society of Japan, 94, 697-709.
- 521 佐野弘好・小嶋 智 (2000),美濃-丹波-足尾テレーンの石炭~ 522 ジュラ系海洋性岩石.地質学論集 55,123-144.
- 523 静岡県(2021a), 難波副知事記者会見 令和3年7月8日
- 524 https://www.youtube.com/watch?v=ihq8hpwGA0w 2021 年 7 月 9 525 日引用.
- 526 静岡県(2021b), 熱海市伊豆山地区土石流土質調査結果(速報)
- 527 http://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-350/sabouka/
- 528 documents/doshitucyousakekka.pdf 2021 年 9 月 9 日 引 用.
- 529 Soliman, M. F. & Goresy, A. E. I. (2012), Framboidal and
- 530 idiomorphic pyrite in the upper Maastrichtian
- 531 sedimentary rocks at Gabal Oweina, Nile Valley, Egypt:
- 532 Formation processes, oxidation products and genetic
- 533 implications to the origin of framboidal pyrite.
- 534 Geochimica et Cosmochimica Acta, **90**, 195-220.
- 535 Suzuki, N., O' Dogherty, L., Caulet, J-P. & Dumitrica, P.
- 536 (2021), A new integrated morpho- and molecular
- 537 systematic classification of Cenozoic radiolarians
- 538 (Class Polycystinea) suprageneric taxonomy. O' Dogherty,

539 L. (ed.) Catalog of Cenozoic radiolarians.

540 *Geodiversitas*, **43** (15), 405-573.

- 541 和穎朗太(2016),陸域最大の炭素・窒素プールを制御する土壌
  542 微生物と土壌団粒構造.土と微生物,70,3-9.
- 543 Wallis, S.R., Yamaoka, K., Mori. H., Ishiwatari, A.,
- 544 Miyazaki, K. & Ueda, H. (2020), The basement geology of
- 545 Japan from A to Z. *Island Arc*, **29**, e12339,
- 546 doi:10.1111/iar.12339
- 547 八尾 昭·桑原希世子(1997), P/T境界を通じての放散虫群集の
  548 変遷(その4).第104年学術大会日本地質学会学術大会講演要
  549 旨, 78.
- $5\,5\,0$
- 551 著者貢献
- 北村晃寿:試料採取,粒度組成,砂粒子の鉱物種・岩石種の同 552定, 全体総括, 論文執筆を担当. 岡嵜颯太: 泥粒子の CNS 分析 553 を担当.近藤 満:鉱物組成分析を担当.渡邊隆広:泥粒子の 554555 主要・微量元素分析と論文執筆を担当. 中西利典: 泥粒子の CNS 分析を担当. 堀 利栄: 放散虫化石の同定と論文執筆を担当. 556 557 池田昌之:チャート中の微粒子の分析と論文執筆を担当.市村 康治:鉱物組成の分析と論文執筆を担当. 中川友紀:鉱物組成 558 の分析を担当.森 英樹:薄片作成を担当. 559

560

561 図表の説明文

562

563 図1 熱海市伊豆山地区の土石流の流路と試料採取地点と地
564 質.北村(2022)を一部改変.a-d:土石流の流路と試料採取
565 地点.e:地質図.No.1-8は静岡県(2021b)の試料採取地点.画
566 像は地理院地図(2021)を使用.地質図は及川・石塚(2011)の地
567 質図と産業技術総合研究所地質調査総合センター(2021)の地質
568 図 Naviに基づいて作成.

569

570 図2 各試料の粒度組成.

571

572 図 3 各試料の泥粒子の主要元素・微量元素組成. (a)Ca/Ti比
573 -Fe/Ti比の散布図. (b)Zn/Ti比-Cu/Ti比の散布図. (c)A1/Ti
574 比-Si/Ti比の散布図.

575

576 図 4 各試料の泥粒子の全有機炭素量,全窒素量,全硫黄量の関
577 係.(a)全窒素量-全有機炭素量の散布図.(b)全硫黄量-全
578 有機炭素量の散布図.

579

580 図 5 各試料の泥粒子の X 線回折パターン. K: カオリン, Q: 石
581 英, P1: 斜長石, S: スメクタイト, Py: パイロフィライト, H:
582 ハロイサイト.

583

584 図6 各試料の泥粒子のエチレングリコール処理前後のX線回折
585 パターン.EGと記されているグラフがエチレングリコール処理
586 後である.

587

588 図 7 0.35-0.50 mm サイズの石英,斜長石,輝石の量比を示す
589 三角ダイヤグラム.

590

591 図 8 放散虫を含むチャート岩片の写真.iは直交ニコルでの顕
592 微鏡写真であり,他は開放ニコルでの顕微鏡写真.bの矢印は
593 Williriedellacea 上科に属する放散虫化石.dの矢印1は多節
594 塔状 Nassellaria 目放散虫類化石,矢印2は頭部に丸みを帯び
595 た Nassellaria,矢印3は Spumellaria.fの矢印は

596 Spumellaria. hとiの赤矢印は菱形を呈するドロマイト結晶
597 で、白矢印は立方体を呈する不透明粒子.

598

599 図 9 地点 A2 の土石流堆積物から産した 0.50-4.00 mm サイズの
600 灰色チャートの SEM-EDS 分析の結果. a と b は菱形粒子の結果
601 で, c と d は立方体粒子の結果.

602

603 図 10 各試料の Ca/Ti比, TOC・TN・TS 濃度, 粘土鉱物組成,
604 石英・斜長石・輝石の量比, チャート岩片の有無の比較.

605

606 図 11 日本の地質区分.但し,琉球列島を除く. Wallis *et*607 *al.* (2020)を改変.

608

609 表 1 静岡県(2021b)と本研究の分析項目.

610

611 表 2 各 試 料 の 泥 粒 子 の 主 要 ・ 微 量 元 素 組 成 の 測 定 結 果.

 $6\,1\,2$ 

613 表 3 各 試 料 の 泥 粒 子 の TOC, TN, TS 濃 度 の 測 定 結 果.

614

615 表 4 各 試 料 の 0.35-0.50 mm の 粒 子 の 組 成.

617 Geochemical and grain composition analysis of embankment and
618 debris flow deposits in the Izusan area, Atami City, Shizuoka
619 Prefecture, central Japan.

620

621 Akihisa Kitamura <sup>1, 2</sup>, Sota Okazaki<sup>3</sup>, Mitsuru Kondo<sup>4</sup>, Takahiro
622 Watanabe<sup>5</sup>, Toshimichi Nakanishi<sup>6</sup>, Rie S. Hori<sup>7</sup>, Masayuki Ikeda<sup>8</sup>,
623 Koji Ichimura<sup>9</sup>, Yuki Nakagawa<sup>8</sup>, Hideki Mori<sup>10</sup>

624

625 Abstract

626 On July 3 2021, a debris flow caused by a landslide from an embankment occurred along the Aizome River in the Izusan area of 627 Atami City, Shizuoka Prefecture, central Japan, and destroyed 628 629 numerous houses and flowed into Sagami Bay. In this study, two samples of embankment, three debris flow deposits and two soil 630 631 samples from around the Aizome River valley were analyzed for 632 grain size, and geochemistry and grain compositions for each mud 633 and sand particles. The most important result was the discovery of 634 radiolarian chert in black embankment sediments and debris flow 635 deposits. These chert fragments are useful as tracer material for 636 black embankment sediments. Furthermore, the radiolarian chert was found to have been deposited near the Permian/Triassic boundary 637 and later into the Jurassic and Early Cretaceous. This is an 638 639 important finding for identifying the source of black embankment 640 sediments.

641

642 Keywords: Atami, debris flow deposit, embankment, major and
643 minor elements, mineral compositions, chert, provenance







図2











図7









# 図10



図11

	静岡県(2021b)	本研究
偏光顕微鏡観察による粒子組成	粒径0.0625mm以 下の粒子を分析対 象とする	粒径0.35-0.50 mmの粒子を分析 対象とする
蛍光X線分析(定性分析)による 主要元素・微量元素濃度の分析	∮30mm用ホル ダーに入れた堆積 物試料で水分を含 む.	乾燥させた粒径 0.0625mm以下の 堆積物
X線回折による鉱物同定		乾燥させた粒径 0.0625mm以下の 堆積物
CNS元素分析による全有機炭素 量,全窒素量,全硫黄量の含有 量の分析	_	乾燥させた粒径 0.0625mm以下の 堆積物

	Si	Ti	AI	Fe	Mn	Mg	Ca	Ν	K	Ρ	S	CI
地点B1 盛土・黒色の土砂	17.8	0.8	4.7	8.1	0.1	0.4	3.6	n.a.	0.6	0.1	<0.2	<0.1
地点 <b>B2</b> 盛土・褐色の土砂	17.4	0.7	4.9	9.2	0.1	0.4	1.4	n.a.	0.3	0.1	<0.2	<0.1
地点B3 土石流堆積物	18.4	0.7	4.7	7.8	0.1	0.5	2.7	n.a.	0.5	0.1	<0.2	<0.1
地点A2 土石流堆積物	22.4	0.9	6.5	9.7	0.1	0.8	3.5	n.a.	0.7	0.1	<0.2	<0.1
地点A5 土石流堆積物	21.0	0.8	5.7	8.9	0.1	0.5	3.0	n.a.	0.6	0.1	<0.2	<0.1
地点S1 土壤	13.8	0.9	5.1	10.8	0.1	<0.3	0.1	n.a.	0.3	0.0	<0.2	<0.1
地点S2 土壌	17.2	0.7	5.7	8.3	0.4	0.4	0.5	n.a.	0.5	0.0	<0.2	<0.1
	Cu	Zn	As	V	Rb	Sr	Zr	Pb	Th	U	-	
地点B1 盛土・黒色の土砂	217	547	<20	336	35	188	136	52	<20	<20	-	
地点 <b>B2</b> 盛土・褐色の土砂	110	65	<20	398	20	244	83	<20	<20	<20		
地点B3 土石流堆積物	158	251	<20	330	29	209	128	31	<20	<20		
地点A2 土石流堆積物	232	371	<20	307	37	249	129	53	<20	<20		
地点A5 土石流堆積物	207	357	<20	314	35	229	123	44	<20	<20		
地点S1 土壤	144	54	<20	433	20	37	99	<20	<20	<20		

n.a.:未分析

地点S2 土壤

上段の濃度の単位は重量%,下段は**mg/kg**.

53

83

<20

123

15

136

125

<20

<20

<20

		Si/Ti	Al/Ti	Fe/Ti	Mn/Ti	Mg/Ti	Ca/Ti	K/Ti	P/Ti
地点 <b>B1</b>	盛土・黒色の土砂	37.9	10.4	8.7	0.1	1.0	5.4	0.9	0.2
地点 <b>B2</b>	盛土・褐色の土砂	42.4	12.4	11.3	0.1	1.1	2.4	0.5	0.2
地点B	3 土石流堆積物	44.8	11.9	9.6	0.1	1.4	4.6	0.9	0.2
地点A	2 土石流堆積物	42.4	12.8	9.2	0.1	1.8	4.6	1.0	0.2
地点A	5 土石流堆積物	44.7	12.6	9.5	0.1	1.2	4.5	0.9	0.2
地	也点S1 土壤	26.1	10.1	10.3	0.1	n.d.	0.1	0.4	n.d.
地	也点S2 土壤	41.9	14.4	10.2	0.5	1.1	0.9	0.9	n.d.

		Cu/Ti	Zn/Ti	V/Ti	Rb/Ti	Sr/Ti	Zr/Ti	Pb/Ti
地点B1	盛土・黒色の土砂	0.020	0.050	0.039	0.002	0.013	0.009	0.002
地点 <b>B2</b>	盛土・褐色の土砂	0.012	0.007	0.053	0.002	0.019	0.006	n.d.
地点B	<b>3</b> 土石流堆積物	0.017	0.026	0.044	0.002	0.016	0.010	0.001
地点A	2 土石流堆積物	0.019	0.030	0.032	0.002	0.015	0.008	0.001
地点A	5 土石流堆積物	0.019	0.033	0.037	0.002	0.016	0.008	0.001
地	点S1 土壤	0.012	0.004	0.045	0.001	0.002	0.006	n.d.
地	点S2 土壤	0.006	0.009	0.017	0.001	0.011	0.009	n.d.

n.d.: 検出下限値未満

上・下段ともにモル比

	全有機炭素	全窒素	全硫黄
地点B1 盛土・黒色の土砂	2.27	0.14	0.13
地点B2 盛土・褐色の土砂	1.54	0.10	0.04
地点B3 土石流堆積物	2.09	0.13	0.10
地点A2 土石流堆積物	2.48	0.20	0.18
地点A5 土石流堆積物	2.12	0.17	0.20
地点 <b>S1</b> 土壤	5.50	0.29	0.11
地点S2 土壌	1.20	0.14	0.02
) 連広の光体ル手目の			

濃度の単位は重量%

表 3

	石英	斜長石	輝石	岩片	凝集物	その他・ 不明	計
地点 <b>B1</b> 盛土・黒色の土砂	67 (14.8%)	43 (9.5%)	16 (3.5%)	181 (40.0%)	127 (28.1%)	18 (4.1%)	452
地点 <b>B2</b> 盛土・褐色の土砂	10 (2.8%)	24 (6.7%)	47 (13.2%)	54 (15.2%)	198 (55.6%)	23 (6.5%)	356
地点 <b>B3</b> 土石流堆積物	47 (8.7%)	46 (8.6%)	28 (5.2%)	143 (26.6%)	252 (46.8%)	22 (4.1%)	538
地点A2 土石流堆積物	14 (3.4%)	24 (5.8%)	14 (3.4%)	78 (18.8%)	257 (61.8%)	29 (7.0%)	416
地点A5 土石流堆積物	24 (5.5%)	23 (5.3%)	23 (5.3%)	57 (13.0%)	297 (67.1%)	14 (3.2%)	438
地点S1 土壤	4 (1.9%)	9 (4.2%)	33 (15.4%)	4 (1.9%)	134 (62.6%)	30 (14.0%)	214
地点S2 土壌	0 (0%)	1 (0.2%)	65 (14.9%)	23 (5.3%)	323 (74.1%)	24 (5.5%)	436