静岡県熱海市逢初川の源頭部の盛土に関する地球科学的データの追加

北村晃寿[1*, 2], 山下裕輝[3], 矢永誠人[4], 中西利典[5]

Additional geological data related to the embankment at the head of the Aizome River, Atami City, Shizuoka Prefecture, Japan.

Akihisa Kitamura[1*, 2], Yuki Yamashita[3], Makoto Yanaga[4] and Toshimichi Nakanishi[5]

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

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

[3]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
[3]Graduate School of Integrated Science and Technology, Shizuoka University, 836 Ohya, Suruga-ku, Shizuoka, 422-

8529 Japan

[4]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
[4]Center for Radioscience Education and Research, Shizuoka University, 836 Ohya, Suruga-ku, Shizuoka, 422-8529 Japan

[5]ふじのくに地球環境史ミュージアム，422-8017 静岡県静岡市駿河区大谷 5762
[5]Museum of Natural and Environmental History, Shizuoka, 5762 Ohya, Suruga-ku, Shizuoka, 422-8017 Japan

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

柱の原稿
熱海市逢初川の源頭部の盛土に関する地球科学的データの追加
北村晃寿・山下裕輝・矢永誠人・中西利典

脚注
2023 年 12 月 1 日受付　2024 年 2 月 29 日受理.
Received: 1 December 2023 Accepted: 29 February 2024

はじめに

2021年7月3日に，静岡県熱海市逢初（あいぞめ）川源頭部（標高390 m，海岸から2 km上流）にあった約56,000 m^3の盛土のうちの約55,500m^3が崩壊して発生した土石流は，死者28人，全・半壊家屋64棟の被害を出した（図1）．第一著者は共同研究者とともに，静岡県と熱海市の協力の下で，源頭部において地球科学的調査を行い，次の知見を得た．

図 1

(1)盛土には褐色土砂と黒色土砂があり，前者は熱海周辺の岩体に由来すると考えられ，後者は現世と中期完新世の沿岸性貝類（北村，2022），古生代末期―中生代の放散虫化石を含むチャート岩片（北村ほか，2022b），鮮新世末期―前期更新世の海成層由来の軟質泥岩礫（北村ほか，2022a）を産する．これらは，供給源の一部が，沿岸堆積物，中部完新統の海成層，鮮新統最上部―下部更新統の海成層で，また後背地にはチャート層が分布することを示す．

(2)放射性セシウム濃度から，盛土と土石流堆積物は，^{134}Csと^{137}Csが検出限界未満の試料（タイプI），^{137}Csは検出されるが^{134}Csは検出限界未満の試料（タイプII），^{134}Csと^{137}Csを含む試料（タイプIII）に区分できる（北村ほか，2023b）．各タイプの土砂の採取場所における堆積時期は，タイプIは1950年代以前の可能性が高く，タイプIIは1950年代から2011年3月初旬まで，タイプIIIは2011年3月中旬以降となる．土石流堆積物のほぼすべてがタイプIIなので，崩壊した黒色盛土層の大部分はタイプIIの土砂となる（北村ほか，2023b）．

以上のように，これまでの調査で，崩壊した盛土に関するデータを得たが，その後の源頭部における調査で新たなデータを得たので，ここに報告する．

試料及び分析

著者の北村と山下は，2022年9月22日に，熱海市の担当者の同行の下，源頭部の崩壊した盛土の東側斜面において，未崩落の盛土露頭の一部(地点G)を観察するとともに（図2)，崩壊地の谷底(図1dの白破線内)で貝類試料を採取した．盛土試料に関しては，以下の方法で，色調の記載，粒度分析，全有機炭素(TOC)，全窒素(TN)及び全硫黄(TS)の含有量測定，放射性セシウム濃度の測定を行った．

図 2

堆積物試料から3-8 gを分取し，60℃のオーブンで24時間乾燥後，重量を測定するとともに標準土色帖(小山・竹原，2007)を用いたマンセル表色法で色調を記載した．そして，16,000 μm (16 mm)以下の粒子について目開き32，63，90，125，180，250，355，500，710，1,000，2,000，4,000，8,000 μmのふるいで水洗し，残渣の乾燥重量を測定した．32 μm以下の粒径を5.5φとして，盛土の算術平均粒径と標準偏差を算出した．なお，北村(2022)が記載した地点B1の黒色の土砂と地点B2の褐色の土砂についても標準土色帖を用いて色調を記載した．

TOC，TN，TSの含有量測定試料については，ふるいにかけて63 μm以下の粒径の試料を得た後，メノウ乳鉢で粉末化し，ふじのくに地球環境史ミュージアム所有のCHNS分析装置(Flash 2000, Thermo Fisher Scientific社製)で測定した．

放射性セシウム濃度については，試料から46-56 gを分取し，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γ線スペクトロメトリーで，^{134}Csと^{137}Csを測定した．^{134}Csと^{137}Csの値は，2011年

3月11日の東北地方太平洋沖地震に伴う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.

崩壊地の谷底で採取した貝類試料は，貝殻を水洗し，乾燥し，写真撮影を行い，奥谷編(2000, 2017)と酒井ほか(2014)に基づき，種を同定した．7個体については^{14}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った．現時点では，二枚貝類の生息地は不明なので，ローカルリザーバーは0年とした．暦年代の補正には，MARINE20 (Heaton *et al.*, 2020)を使用し，年代の暦年較正の計算にはOxCal4.4 (Bronk Ramsey, 2021)を使用した．^{14}C年代測定と合わせて，δ^{13}Cとδ^{18}Oの測定もBeta-Analytic社に外注した．

著者の北村は2023年3月22日に，熱海市の担当者の同行の下，源頭部で盛土の除去中に現れた西側斜面の未崩落の盛土露頭の一部(地点H, I)の盛土を観察し，試料を採取した．これらの試料についても，上記の方法で粒度分析と放射性セシウム濃度の測定を行った．

本論で用いるデータは全て，本論の図表に記載した．

結果

地点ごとに結果を記す．

地点G

この露頭は，静岡県の撮影した写真で，黒みが最も強い黒色盛土の位置にあたる(図2)．黒みの強い盛土(以下では，強黒色盛土)が，黒色盛土に楔状に挟まれ，山側で尖滅する(図3)．

図3

強黒色盛土の基底面は水平面から海側に傾く斜面(傾斜角は40°)に急変し，上面は緩く海側に傾く(傾斜角は15°)．強黒色盛土の厚さは1.5 mに達する．山側には淡褐色を呈する盛土(以下では，淡褐色盛土)がブロック状に見られる．

表 2, 図 7

地点Gの強黒色盛土(試料番号22092202, 22092203)と黒色盛土(試料番号22092201, 22092204-22092207)と淡褐色盛土(試料番号22092208)の色調は，それぞれ2.5Y 3/1(黒褐色)，2.5Y 5/3(黄褐色)，2.5Y 8/3(淡黄色)である．また，地点B1の黒色の土砂と地点B2の褐色の土砂の色調は，それぞれ2.5Y 6/3(にぶい黄色)，10YR 5/6(黄褐色)である(表1，図4)．

含泥率は黒色盛土・強黒色盛土で15.6-43.8%で，淡褐色盛土は55.8%である(表1)．TOC・TSは，黒色盛土で1.6-7.9%と0.1%，強黒色盛土で4.9-5.4%と0.2-0.4%，淡褐色盛土0.5%と0.3%である(図3，表1)．^{134}Csは全試料から検出されなかったが，^{137}Csは黒色盛土の2試料(22092205, 22092207)から検出された(図3，表1)．

地点H

盛土崩壊地の谷底で，盛土の除去作業中に現れた露頭面である(図5)．盛土は黒色を呈する細粒砂からなり，含泥率は21.9%で，生木を含む(表1，図6)．乾燥試料の色調は2.5Y 5/2 (暗灰黄色)である．^{134}Csと^{137}Csは検出されなかった(表1)．

図 5, 6

地点I

盛土崩壊地の山側の盛土の除去作業中に現れた露頭面である(図5)．厚さ1.85 mで，最上部の0.3 mは褐色を呈し，その下位は黒色を呈する(図7a, b)．これらの盛土は中粒ないし細粒砂

からなり，含泥率は 21.1-33.7%である(表 2，図 7)．褐色盛土の乾燥試料の色調は 10YR 5/8（黄褐色)で，黒色盛土の乾燥試料の色調は 2.5Y 5/1（黄灰色)もしくは 2.5Y 5/4(黄褐色)である(表 2)．褐色盛土は ^{137}Cs を含み，黒色盛土の下部(深度 1.2-1.85 m)も ^{137}Cs を含む(表 2)．^{134}Cs は全試料から検出されなかった．

表 2，図 7

貝類試料

4 種の巻貝類，6 種の二枚貝類試料を採取した(表 3)．これらのうち，*Scapharca kagoshimensis*（サルボウガイ)，*Crassostrea* sp.（マガキ属)，*Ruditapes philippinarum*（アサリ)は，北村(2022)が未崩落の盛土と土石流堆積物から報告している．新たに記載された貝類のうち，*Corbicula* sp.は淡水産二枚貝である．日本の在来種には *Corbicula leana*（マシジミ)があるが，1980 年代に *C. fluminea*（タイワンシジミ)が人為的に持ち込まれた(増田・波部，1988)．同種の殻形態は *C. leana* に酷似するが，殻の内面の色が異なり，*C. fluminea* は白色ないし白紫色で，*C. leana* は紫色である(園原，2005；酒井ほか，2014)．本研究で採取した貝殻の内面の色は白色を呈する（図 8)．しかし，風化による退色の可能性もあるので，*Corbicula* sp.に同定した．なお，図 8 の *Corbicula* sp.の殻の内面の写真は，^{14}C 年代測定用試料の分取後に撮影したので，貝殻の一部が切断除去されている．

表 3

図 8

^{14}C 年代測定の結果，*Cerithidea rhizophorarum*（フトヘナタリ)は 8,560-8,243 cal BC（10,509-10,192 cal BP)，*Rapana venosa*（アカニシ)は 5,216-4,881 cal BC（7,165-6,830 cal BP)の年代値(2σ)を示した(表 4，図 8)．*S. kagoshimensis* と *Macoma incongrua*（ヒメシラトリ)の年代値(2σ)は，それぞれ

表 4

1706-Post AD 1950(244-Post BP 0)と 1722-Post AD 1950 (228-Post BP 0)である．3 個体の *Corbicula* sp.は，100.88 ± 0.38 pMC，103.81 ± 0.39 pMC，116.40 ± 0.43 pMC である(表 4，図 8)．pMC とは percent Modern Carbon の略で，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}C 濃度の割合であり，100 を超える値は核実験の影響を示す．よって，*Corbicula* sp.は 1950 年以後に生息していたことになる．

なお，*R. venosa* の殻の内側を埋める堆積物については，粒子組成の分析を行っており，別稿で報告する予定である．

考察

盛土の分類

北村ほか(2023b)は，泥質物の TS 濃度と放射性セシウム濃度に基づいた盛土・土石流堆積物の分類を提示した．この分類に基づくと，地点 G の盛土は，黒色盛土はタイプ I・サブタイプ B とタイプ II・サブタイプ B，強黒色盛土と淡褐色盛土はタイプ I・サブタイプ C に区分される(表 5，図 9)．ただし，強黒色盛土と淡褐色盛土は，既報の盛土(北村ほか，2022b，c，2023b)とは色相が異なるので(表 1，図 4)，それらの供給源は既報の盛土の供給源とは異なる．

図 9
表 5

盛土の内部構造

強黒色盛土の基底面は水平面から海側に傾く斜面に急変する(図 3)．静岡県(2022a)が提示した盛土の形成過程の写真には，同様の形状が写っており(図 10)，水平面は重機道である．したがって，強黒色盛土の基底面は重機道と斜面となり，上面は強

図 10

黒色盛土を盛ることによって，斜面が平坦化されたことを表す．

北村ほか(2023b)は，静岡県(2022b)が示した「上部盛り土(褐色盛土層)を下部盛り土(黒色盛土層)が覆う」とする解釈は，少なくとも一部では成立しないことを報告した．今回の調査で地点Ｉでは，黒色盛土を褐色盛土が覆う場所が確認された．この事実は，北村ほか(2023b)が報告した褐色盛土層と黒色盛土層の境界線は指交関係(互いに舌状部をはり出していること)にあることを裏付けた．

貝類

本調査では，盛土の崩壊地の谷底で 2022 年 9 月 22 日に採取した貝類試料について種同定ならびに一部の貝類の ^{14}C 年代測定を行った．盛土の崩壊地は 2021 年 7 月 3 日の発災直後から立ち入り禁止区域に指定された．そして，2021 年 7 月 5 日には中部地方整備局によって崩壊地の状況が監視カメラ映像でライブ配信された．そのため，発災後に人為的に貝類試料が持ち込まれた可能性は極めて低く，発災後の降雨によって崩れた盛土から貝類が洗い出されたと考えるのが妥当である．

北村(2022)と本研究の ^{14}C 年代測定の結果と各種の生息環境に基づくと，盛土に含まれていた貝類は 4 つの年代のグループに区分でき，年代の新しい方からグループ 1-4 とする．グループ 1 は 1950 年以降の淡水生種 *Corbicula* sp.である．グループ 2 は，西暦 1717 年以降の海生貝類 *S. kagoshimensis*, *M. incongrua*, *R. philippinarum*, *Mya arenaria oonogai*（オオノガイ)である．グループ 3 は，477-154 cal yr BC（2,426-2,103 cal yr BP）の海生貝類 *Crassostrea* sp.である．グループ 3 よ

りも 5000 年以上前の試料をグループ 4 にまとめた．その構成種は海生貝類 *C. rhizophorarum*, *R. venosa*, *Crassostrea* sp.である．

グループ 1 の構成種は淡水域に生息する *Corbicula* sp.であり，盛土に河川堆積物が含有していることを示す．これらの貝殻の酸素同位体比は-7.0～-8.3‰と軽い．陸水の平均的酸素同位体比は，海水のそれに対して 7‰ほど軽いことが知られている(Emilliani, 1955)．したがって，*Corbicula* sp.の軽い酸素同位体比は，これらの個体が淡水下に生息していたことを裏付ける(表 4)．

北村ほか(2022c)は，沿岸堆積物を含む黒色土砂は，褐色土砂よりも崩落しやすい性質を有していた可能性を指摘した．これは，沿岸では波浪や沿岸流で砕屑粒子の円磨が進むので，内部摩擦角は小さく，安息角は低角となり，また堆積物の空隙率が高くなるからである．沿岸と同様に河川でも砕屑粒子の円磨は進むので，河川堆積物の含有は黒色土砂を崩落しやすい方向に影響したと考えられる．

グループ 2 の構成種は *S. kagoshimensis*, *M. incongrua*, *R. philippinarum*, *M.arenaria oonogai* である．これらの ^{14}C 年代は西暦 1813 年以降から現在の範囲内で重複する．ただし，^{14}C 年代値には核実験の影響は出ていない．上記 4 種が重複する生息深度・底質は潮間帯の泥底である(表 3)．北村ほか(2023a)は相模湾の 7 箇所，小田原市酒匂川河口，小田原市押切，大磯町照ヶ崎海岸，茅ヶ崎市茅ヶ崎漁港，藤沢市江の島，鎌倉市由比ヶ浜，逗子市逗子海岸の海浜に打ち上がった貝類相を報告しているが，上記の 4 種が共産した地点はなかった．

グループ３の構成種は 477-154 cal yr BC（2,426-2,103 cal yr BP）の海生貝類 *Crassostrea* sp. のみで，同じ年代値の範囲を示す貝類試料は，本研究では見つからなかった．

グループ４の構成種のうち，5,851-5,568 cal yr BC（7,800-7,517 cal yr BP)の年代値を持つ *Crassostrea* sp.については，北村(2022)はその供給源として神奈川県小田原市中村川下流域の下原層の可能性を指摘した．松島(2003)は，下原層産の海生貝類の産出時代を約 9,000 年前から 6,500 年前と推定しており，*Crassostrea* sp.と 5,216-4,881 cal BC（7,165-6,830 cal BP）の年代値を持つ *R. venosa* は生息時代の観点から矛盾しない．さらに，下原層産の貝化石の産出の記載(松島，1978，2003；遠藤ほか，1979；松島ほか，2007)の中では，*R. venosa* の産出は遠藤ほか(1979)が報告している．

これに対して，*C. rhizophorarum* の年代値は 8,560-8,243 cal BC（10,509-10,192 cal BP)であり，下原層産の海生貝類の最古年代よりも 1,000 年ほど古く，同層産の貝化石の産出の記載(松島，1978，2003；遠藤ほか，1979；松島ほか，2007)にはない．これらのことから，*C. rhizophorarum* の供給源は下原層以外の完新統の可能性がある．松島(2010)によると，東京湾沿岸の低地に分布する海成沖積層最下部の貝化石は，海抜-38～-40 m 付近から産出し，約 11,000-10,000 年前を示すという．したがって，*C. rhizophorarum* の供給源は東京湾沿岸の低地の可能性もある．*C. rhizophorarum* の供給源の特定については下原層の海生貝類の最古年代に関する調査が必要である．

まとめ

熱海市伊豆山地区の逢初川の源頭部における調査で，以下のことが明らかになった．

１．未崩落の盛土の露頭の観察から，既報の盛土とは色相が異なる２つの土砂(強黒色盛土と淡褐色盛土)の存在が明らかになった．また，盛土の内部構造に関する知見として，褐色盛土層と黒色盛土層の境界線が指交関係にあることなどが分かった．

２．崩落した盛土に含まれていたと考えられる貝類は，年代値と生息環境から，４グループに分類される．これらのうちの一つは，淡水生種 *Corbicula* sp.のみで構成され，盛土に河川堆積物が含有していたことを示す．

謝辞

熱海市市民生活部危機管理課には立ち入り禁止区域内の調査に協力いただいた．静岡大学理学部の佐藤慎一教授と匿名の査読者１名に査読いただいた．研究室の小林　出君，時田昌人君，松野由奈さん，富田遥斗君には粒度分析を協力いただいた．本研究の経費は静岡大学防災総合センターの予算を使用した．これらの方と機関に厚くお礼を申し上げる．

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 Reports*, **3**, 2554.

Bronk Ramsey, C. (2021), OxCal 4.4.4. http://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal　2022年9月9日引用．

Emilliani, C. (1955), Pleistocene temperature. *Journal of Geology*, **63**, 538-578.

遠藤邦彦・関本勝久・辻　誠一郎(1979), 大磯丘陵西南部, 中村川下流域の完新世の層序と古環境. 日本大学文理学部自然科学研究所紀要, no. **14**, 9-28.

Heaton, T. J., Köhler, P., Butzin, M., Bard, E., Reimer, R. W., Austin, W. E. N. *et al*. (2020), Marine20 - the marine radiocarbon age calibration curve (0-55,000 cal). *Radiocarbon*, **62**, 779-820.

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**, 109-117. doi:10.4116/jaqua.61.2114.

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・岡嵜颯太・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.

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・岡嵜颯太・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.

国土地理院 (2021)，https://www.gsi.go.jp/tizu-kutyu.html 2021年7月4日引用.

小山正忠・竹原秀雄編著(2007)，新版 標準土色帖，農林水産省農林水産技術会議事務局監修，日本色研事業.

増田　修・波部忠重(1988)，岡山県倉敷市にすみついたカネツケシジミ．ちりぼたん，19，39-40.

松島義章 (1978)，南関東における縄文海進に伴う貝類群集の変遷．第四紀研究，17，243-265.

松島義章 (2003)，小田原市羽根尾から産出した完新統下原層の貝化石について．神奈川県自然誌資料，no. 24，13-20.

松島義章(2010)，完新世における温暖種が示す対馬海流の脈動．第四紀研究，49，1-10.

松島義章・田口公則・樽　創(2007)，神奈川県小田原市小船における完新統下原層の露頭剥ぎ取り資料および産出した貝化石．神奈川自然史資料，28，17-20.

奥谷喬司編 (2000)，日本近海産貝類図鑑．1173 p，東海大学出版会.

奥谷喬司編 (2017)，日本近海産貝類図鑑．第二版，1382 p，東

海大学出版会.
酒井治己・高橋俊雄・古丸 明 (2014), 日本産マシジミおよび外来タイワンシジミ類のアロザイム変異と淡水シジミ類の多様性. *Venus*, **72**, 109-121.
静岡県(2021a), 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/2kennsyouiinnshiryou1-5.pdf 2022年8月15日引用.
静岡県(2022a), 第4回逢初川土石流の発生原因調査検証委員会 https://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-350/sabouka/documents/06_3syou.pdf 2022年9月9日引用.
静岡県(2022b), 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/kensetsu/ke-350/sabouka/5_aizomegawakennsyouiinnkaikaisai.Html. 2022年11月21日引用.
園原哲司(2005),相模川水系におけるタイワンシジミの侵入状況とシジミ亜科分類の変遷. *Actinia*, 16, 11-19.

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．山下裕輝：試料採取，CNS分析を担当．矢永誠人：放射性セシウム濃度の測定，論文執筆を担当．中西利典：CNS分析を担当．

図表の説明文

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(2021a) 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，2022 年 3 月 1 日引用．

図２　地点 G の写真．

図３　地点 G の露頭写真と粒度組成と TOC，TS の含有率と ^{137}Cs 濃度．

図４　１．地点 B1 の黒色の土砂，２．黒色盛土（試料番号 220922084），３・４．強黒色盛土(2 は試料番号 2209223，3 は試料番号 22092202)．５．地点 B2 の褐色の土砂，６．淡褐色盛土（試料番号 22092208）

図５　地点 I，H の写真．

図６　地点 I の露頭写真．

図７　地点 H の露頭写真と粒度組成と ^{137}Cs 濃度の層位変化．

図８　^{14}C 年代測定を行った巻貝類と二枚貝類試料．1 は試料番号 2，2 は試料番号 4，3 は試料番号 5，4 は試料番号 13，5 は試料番号 10，6 は試料番号 11，7 は試料番号 12 で，試料番号は表 3

を参照．5―7のaとbは，それぞれ殻の外面，殻の内面の写真．殻の内面の写真は，^{14}C年代測定用試料を分取後に撮影．スケールは1 cm．

図9 熱海土石流堆積物，盛土，渓流堆積物，周辺土壌の全有機炭素濃度と全硫黄濃度の散布図．北村ほか(2023b)を一部改変．

図10 盛土を盛っている時の状況(静岡県，2022a)．

表1 地点GとHの堆積物試料の粒度組成，色相，平均粒径，標準偏差，含泥率，全窒素濃度，全有機炭素濃度，全硫黄濃度，^{137}Cs，^{134}Cs濃度．ただし，地点Hの全窒素濃度，全有機炭素濃度，全硫黄濃度は未測定．地点B1とB2の試料については，乾燥状態の色相以外の測定値は，北村ほか(2022b)による．

表2 地点Iの堆積物試料の粒度組成，色相，^{137}Cs，^{134}Cs濃度

表3 本研究で同定された貝類の保存状態およびその生息域地理分布と生息深度・底質は奥谷編(2000，2017)と酒井ほか(2014)に基づく．

表4 貝類の^{14}C年代測定の結果．

表5 放射性セシウム濃度と全硫黄濃度に基づく土砂の分類区分．

地点	G	G	G	G	G	G	G	G	H	B1	B2
試料番号 / 等	22092201	22092202	22092203	22092204	22092205	22092206	22092207	22092208	23032201	黒色の土砂	褐色の土砂
16–8	12.5	0.0	0.0	6.7	6.8	0.0	17.4	0.0	0.0	0	0
8–4	6.7	5.1	3.6	9.4	3.7	5.8	2.6	0.0	4.7	10.6	6.7
4–2	6.8	6.2	0.8	4.6	6.8	5.0	5.4	3.2	9.1	10	7.8
2–1.5	2.6	3.2	0.9	4.0	6.1	2.5	3.3	0.8	4.0	7.5	9.4
1.5–1	3.2	3.4	1.7	3.5	3.7	3.0	3.5	1.3	3.1		
1–0.75	3.7	4.5	2.6	4.0	5.3	4.0	4.2	2.2	4.7	4.5	5.4
0.75–0.5	4.4	6.4	4.7	5.5	5.0	4.1	5.7	3.5	4.7	6.1	6.5
0.5–0.37	4.5	8.0	8.8	5.4	9.2	5.3	6.7	4.3	6.2	6.9	8.2
0.37–0.25	5.1	12.8	8.3	8.9	9.0	4.8	6.3	4.5	6.9	7.2	8.1
0.25–0.16	5.1	11.3	9.3	7.9	9.2	5.0	4.7	5.3	11.1	7.8	7.4
0.16–0.125	6.1	13.3	11.9	9.8	8.9	5.9	5.1	6.0	10.7	6.8	6.6
0.125–0.094	4.8	3.9	8.1	5.2	6.4	4.5	4.8	6.6	7.9	4.5	4.1
0.094–0.063	3.6	1.8	4.1	3.4	4.2	6.2	3.3	6.6	5.1	3.5	4.1
0.063–0.032	6.0	5.1	5.5	4.4	5.6	8.0	3.8	10.3	6.9	24.5	25.7
<0.032	24.9	15.0	29.7	17.3	10.1	35.9	23.1	45.5	15.0		
色	黒色	強黒色	強黒色	黒色	黒色	黒色	黒色	淡褐色	黒色	黒色	褐色
乾燥状態の色相	2.5Y 5/3	2.5Y 3/1	2.5Y 3/1	2.5Y 5/3	2.5Y 5/3	2.5Y 5/3	2.5Y 5/3	2.5Y 8/3	2.5Y 5/2	2.5Y 6/3	10YR 5/6
平均粒径(ϕ)	1.66	2.00	3.01	1.58	1.45	2.92	1.42	3.81	2.08	1.56	1.76
標準偏差(ϕ)	3.18	2.21	2.12	2.78	2.49	2.59	3.18	1.98	2.33	2.38	2.24
含泥率(%)	30.9	20.1	35.2	21.6	15.6	43.8	26.9	55.8	21.9	24.5	25.7
全窒素(%)	0.2	0.3	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0	ー	0.1	0.1
全有機炭素(%)	2.1	5.4	4.9	1.6	7.9	3.2	3.3	0.5	ー	2.3	1.5
全硫黄(%)	0.1	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	ー	0.1	0
Cs-137(Bq/kg乾土)（2011/03/15補正値）	ND (< 1.9)	ND (< 2.1)	ND (< 1.8)	ND (< 1.7)	2.3 ± 0.5	ND (< 1.3)	2.2 ± 0.3	ND (< 1.9)	ND (< 1.1)	1.8 ± 0.6	9.5 ± 0.8
Cs-134(Bq/kg乾土)（2011/03/15補正値）	ND (< 66)	ND (< 79)	ND (< 65)	ND (< 62)	ND (< 52)	ND (< 49)	ND (< 49)	ND (< 76)	ND (< 46)	ND (< 60)	ND (< 61)

表 1

地点	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	I-6	I-7	I-8	I-9	I-10
深度 (m)	0.00-0.05	0.20-0.25	0.40-0.45	0.60-0.65	0.80-0.85	1.00-1.05	1.20-1.25	1.40-1.45	1.60-1.65	1.80-1.85
16–8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.2
8–4	5.1	5.2	3.2	6.6	3.9	5.1	6.3	0.0	10.9	6.7
4–2	10.6	7.2	4.6	3.4	7.1	9.2	5.0	11.3	6.2	4.9
2–1.5	6.0	4.3	3.2	3.5	3.6	4.4	4.3	2.9	2.8	2.7
1.5–1	6.4	4.1	3.4	3.7	3.7	4.3	4.0	3.3	3.1	3.1
1–0.75	5.3	5.4	4.4	3.5	4.3	3.5	4.4	3.8	3.7	3.4
0.75–0.5	4.9	6.8	4.1	5.2	4.5	5.4	5.2	4.4	5.8	3.8
0.5–0.37	5.1	6.0	5.5	5.5	5.3	5.5	5.7	5.0	5.3	5.3
0.37–0.25	4.8	7.7	7.0	9.0	7.0	7.8	6.3	8.3	8.2	6.9
0.25–0.16	6.3	8.9	7.0	9.8	7.9	7.6	11.4	12.0	8.4	9.6
0.16–0.125	8.2	9.0	10.8	10.5	11.0	9.5	8.6	9.7	11.1	7.2
0.125–0.094	7.8	6.6	6.3	7.3	7.2	6.8	6.5	7.1	7.7	5.1
0.094–0.063	5.8	7.1	6.9	5.6	5.8	5.5	4.9	6.3	5.6	5.0
0.063–0.032	6.1	6.9	7.1	7.4	7.9	7.1	7.3	7.4	6.9	4.6
<0.032	17.7	14.7	26.6	19.2	20.8	18.3	20.1	18.5	14.2	16.6
色相	褐色	褐色	黒色	黒色	黒色	黒色	黒色	黒色	黒色	黒色
乾燥状態の色相	10YR 5/8	10YR 5/8	2.5Y 5/1	2.5Y 5/1	2.5Y 5/1	2.5Y 5/1	2.5Y 5/1	2.5Y 5/1	2.5Y 5/1	2.5Y 5/4
平均粒径(ϕ)	1.93	2.03	2.75	2.36	2.42	2.13	2.28	2.41	1.92	1.31
標準偏差(ϕ)	2.51	2.33	2.33	2.34	2.37	2.44	2.42	2.22	2.47	3.04
含泥率(%)	23.8	21.6	33.7	26.6	28.7	25.4	27.4	25.9	21.1	21.2
Cs-137(Bq/kg乾土)（2011/03/15補正値）	1.5 ± 0.5	2.7 ± 0.8	2.8 ± 0.6	ND (< 2.2)	ND (< 1.5)	ND (< 1.3)	1.3 ± 0.3	1.7 ± 0.5	1.6 ± 0.5	4.3 ± 0.5
Cs-134(Bq/kg乾土)（2011/03/15補正値）	ND (< 60)	ND (< 89)	ND (< 78)	ND (< 88)	ND (< 61)	ND (< 59)	ND (< 41)	ND (< 60)	ND (< 57)	ND (< 57)

表 2

源頭部　本研究

種名	試料番号	殻の左右	保存状態	年代値	地理分布	生息深度・底質	北村ほか(2023a)の分布データ	グループ
Turbo cornutus サザエ	1	巻貝	殻軸のみ	—	北海道南部～九州	潮間帯下部～水深20 m	—	
Cerithidea rhizophorarum フトヘナタリ	2	巻貝	破片	8,560 - 8,243 cal yr BC	東京湾以南	内湾の潮間帯，アシ原の泥上	—	4
Glossaulax didyma ツメタガイ	3	巻貝	良好	—	北海道南部以南	潮間帯～水深50 mの細砂底	—	
Rapana venosa アカニシ	4	巻貝	良好	5,216 - 4,881 cal yr BC	北海道南部～台湾	水深30 m以浅の砂泥底	—	4
Scapharca kagoshimensis サルボウガイ	5	左殻	非常に良好	1,706 - Post AD 1950	東京湾～有明海	潮間帯上部～水深20 mの砂泥底	鎌倉市由比ヶ浜	2
	6	左殻	一部破損	—				
Crassostrea sp. マガキ属	7	右殻	良好	—	—	—	—	
	8	右殻	良好	—				
	9	破片	良好	—				
Corbicula sp. シジミ属	10	左殻	良好 殻皮あり	1980年以降	河川		—	1
	11	左殻	一部破損					
	12	左殻	良好					
Macoma incongrua ヒメシラトリ	13	左殻	良好	1,722 - Post AD 1950	北海道～九州	潮間帯～水深50 mの泥底	茅ヶ崎市茅ヶ崎漁港	2
	14	左殻	良好	—				
	15	左殻	良好	—				
	16	左殻	一部破損	—				
Ruditapes philippinarum アサリ	17	左殻	良好	—	北海道～九州	潮間帯中部～水深10 mの砂礫泥底	藤沢市江の島逗子市逗子海岸	
	18	左殻	前端破損	—				
Phacosoma japonicum カガミガイ	19	右殻	大部分破損	—	北海道南西部～九州	潮間帯下部～水深60 mの細砂底	藤沢市江の島	

未崩落盛土(地点B1) 北村(2022)

Crassostrea sp. マガキ属	1	不明	良好	477 - 154 cal yr BC	—	—	—	3
Mactra veneriformis シオフキ	2	左殻	良好 殻皮あり	—	宮城県以南，四国，九州	沿岸の潮間帯下部～水深20 mの砂泥	逗子市逗子海岸	
Ruditapes philippinarum アサリ	3	右殻	良好，一部破損	1,795 - Post AD 1,950	北海道～九州	潮間帯中部～水深10 mの砂礫泥底	藤沢市江の島逗子市逗子海岸	2
Phacosoma sp. カガミガイ属	4	不明	破片	—	—	—	—	

土石流堆積物(地点B3) 北村(2022)

Scapharca kagoshimensis サルボウガイ	5	右殻	一部破損，摩滅	1,717 - Post AD 1,950	東京湾～有明海	潮間帯上部～水深20 mの砂泥底	鎌倉市由比ヶ浜	2
	6	左殻	一部破損，摩滅	—				
Scapharca sp. サルボウガイ属	7	不明	破片，摩滅	—	—	—	—	
Crassostrea sp. マガキ属	8	不明	破片，摩滅	5,851 - 5,568 cal yr BC	—	—	—	4
Mya arenaria oonogai オオノガイ	9	左殻	破片，摩滅	1,813 - Post AD 1,950	北海道～九州	潮間帯の砂泥底		2

450

表3

試料番号	種名	$\delta^{13}C$ (‰)	$\delta^{18}O$ (‰)	Conventional ^{14}C age (yr BP)	Calibrated age (2σ) (cal yr) (95.4%)	Calibrated age (2σ) (cal yr BP) (95.4%)	Lab Number Beta
2	*Cerithidea rhizophorarum* フトヘナタリ	-5.00	-5.54	9,630 ± 30	8,560 - 8,243 cal BC	10,509 - 10,192 cal BP	655809
4	*Rapana venosa* アカニシ	0.40	-1.83	6,700 ± 30	5,216 - 4,881 cal BC	7,165 - 6,830 cal BP	655807
5	*Scapharca kagoshimensis* サルボウガイ	-0.38	-1.86	650 ± 30	1706 - Post AD 1950	244 - Post BP 0	655808
13	*Macoma incongrua* ヒメシラトリ	2.95	-1.18	620 ± 30	1722 - Post AD 1950	228 - Post BP 0	655812
10	*Corbicula* sp. シジミ属	-7.99	-6.94	100.88 ± 0.38 pMC	核実験の影響あり(西暦1950年以降)		655813
11	*Corbicula* sp. シジミ属	-6.07	-8.26	103.81 ± 0.39 pMC	核実験の影響あり(西暦1950年以降)		655810
12	*Corbicula* sp. シジミ属	-6.83	-7.32	116.40 ± 0.43 pMC	核実験の影響あり(西暦1950年以降)		655811

表4

Cs濃度 / 全硫黄濃度		タイプ I	タイプ II	タイプ III
		^{134}Csと^{137}Csが検出限界未満	^{134}Csは検出限界未満で, ^{137}Csは検出	^{134}Csと^{137}Csがともに検出
サブタイプ A	0.06%未満	No. 1の2試料, No. 4の1試料	地点B2(褐色の土砂), No. 1の1試料, No. 5の1試料	
サブタイプ B	0.06–0.2%	No. 1の1試料, No. 3の13試料, No. 4の9試料, 地点F(黒色の土砂)の1試料, 砂防堰堤の土石流堆積物の2試料, **地点G(黒色盛土)の3試料**	No. 3の3試料, No. 4の2試料, No. 5の4試料, 地点B1(黒色の土砂), 地点B3(土石流堆積物), 地点F(盛り土)の1試料, 砂防堰堤の土石流堆積物の8試料, **地点G(黒色盛土)の2試料**	No. 4の2試料, No. 5の1試料
サブタイプ C	0.2-0.4%	No. 1の1試料, No. 3の14試料, No. 4の15試料, **地点G(強黒色盛土),** **地点G(淡褐色盛土)**	No. 4の1試料, No. 5の3試料, 地点E(黒色の土砂), 地点A5(土石流堆積物)	
サブタイプ D	0.4-2.4%	No. 3の11試料, No. 4の9試料	No. 4の1試料	

表5

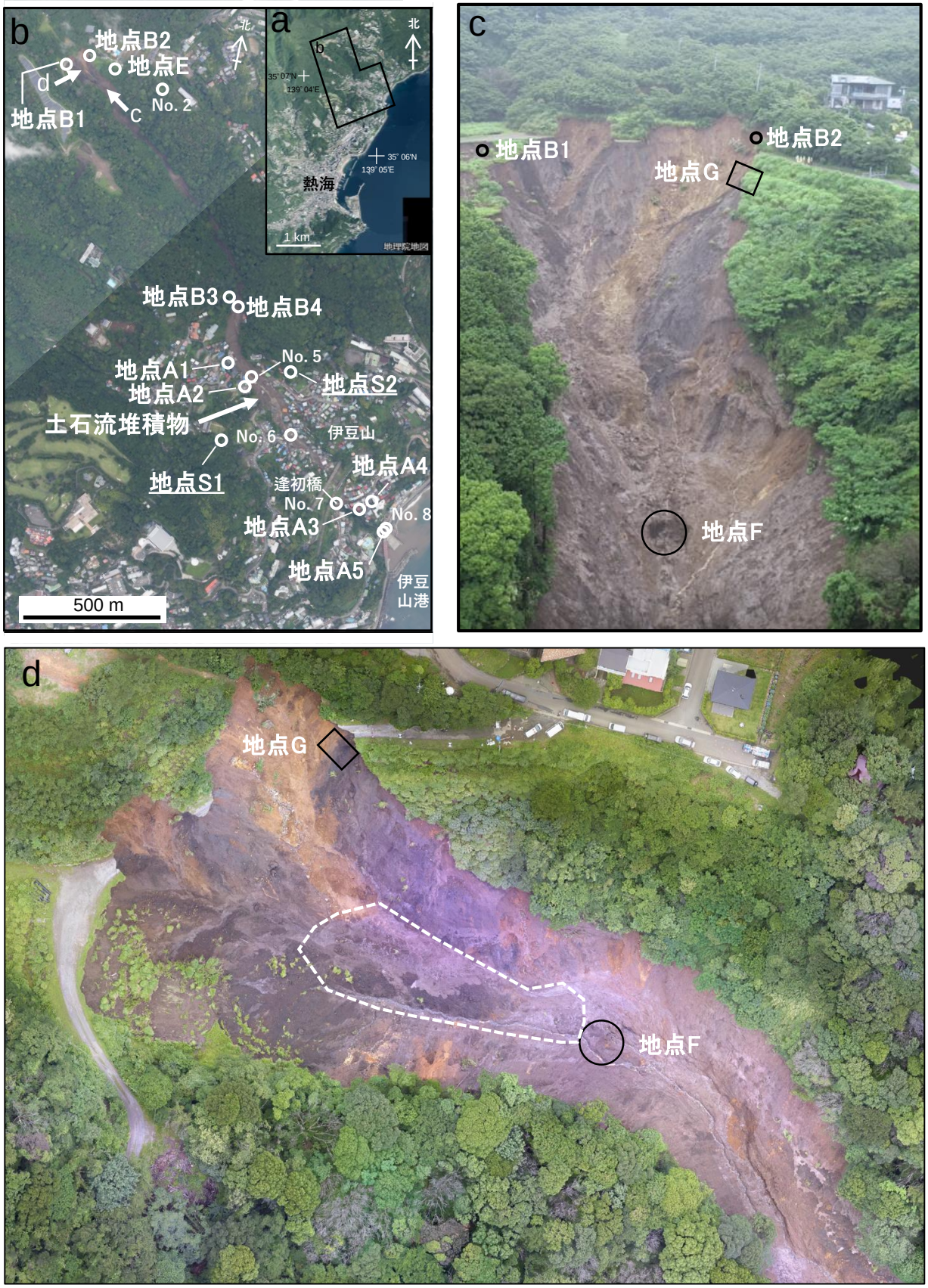
b
地点B2
地点E
d
No. 2
地点B1
c
北
a
b
35° 07'N
139° 04'E
35° 06'N
139° 05'E
熱海
1 km
地理院地図
地点B3
地点B4
地点A1
No. 5
地点A2
地点S2
土石流堆積物
No. 6
伊豆山
地点S1
地点A4
逢初橋
No. 7
No. 8
地点A3
地点A5
伊豆山港
500 m
c
地点B1
地点B2
地点G
地点F
d
地点G
地点F

図1

2022年9月22日北村撮影

黒色
盛土

静岡県撮影
https://gic-shizuoka.s3.ap-northeast-1.amazonaws.com/2021/20210703ATAMI/DJI_0004.MOV

図2

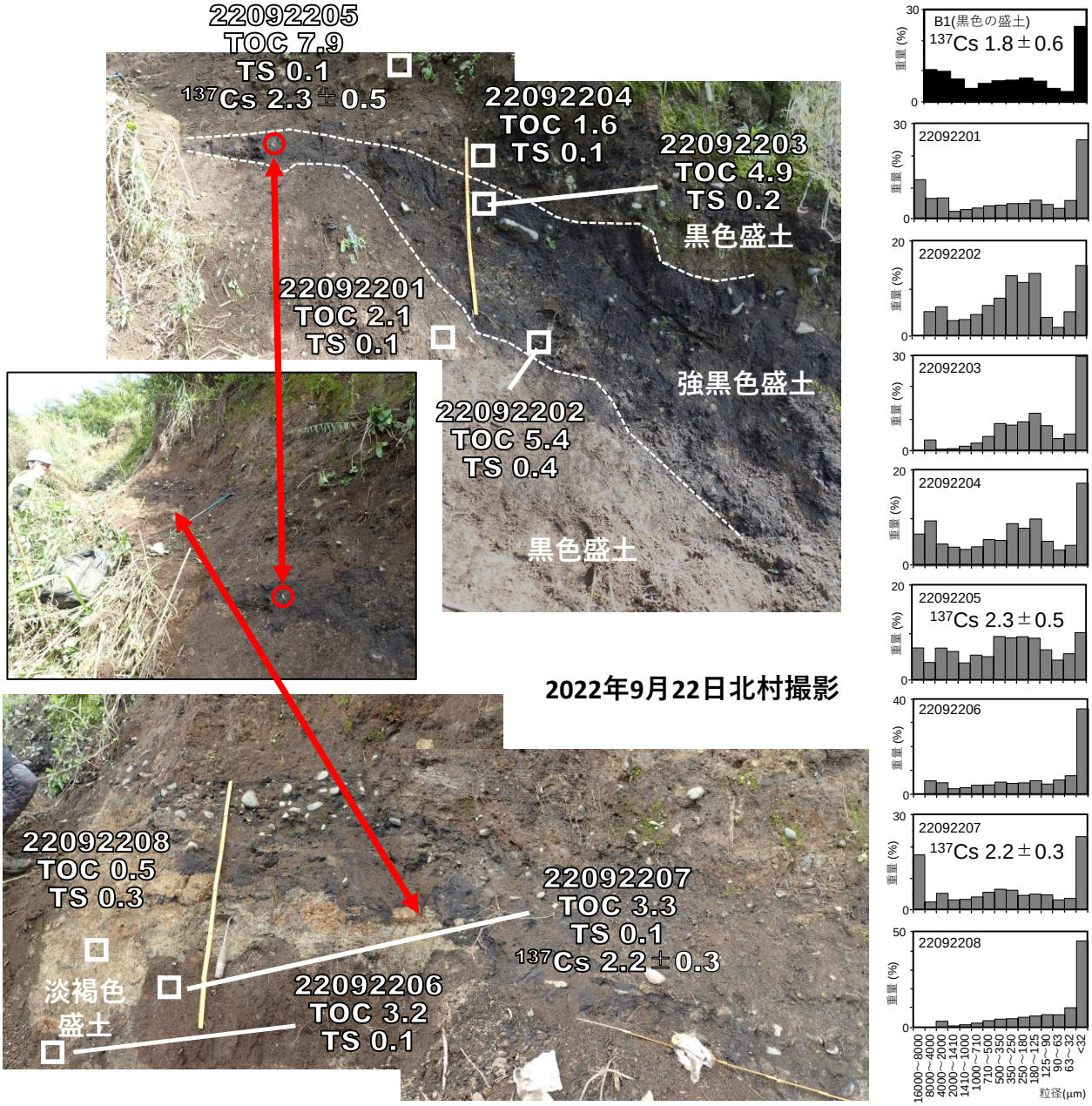
22092205
TOC 7.9
TS 0.1
137Cs 2.3±0.5
22092204
TOC 1.6
TS 0.1
22092203
TOC 4.9
TS 0.2
黒色盛土
22092201
TOC 2.1
TS 0.1
22092202
TOC 5.4
TS 0.4
強黒色盛土
黒色盛土
2022年9月22日北村撮影
22092208
TOC 0.5
TS 0.3
淡褐色
盛土
22092207
TOC 3.3
TS 0.1
137Cs 2.2±0.3
22092206
TOC 3.2
TS 0.1
B1(黒色の盛土)
137Cs 1.8±0.6
22092201
22092202
22092203
22092204
22092205
137Cs 2.3±0.5
22092206
22092207
137Cs 2.2±0.3
22092208
重量 (%)
16000～8000
8000～4000
4000～2000
2000～1410
1410～1000
1000～710
710～500
500～350
350～250
250～180
180～125
125～90
90～63
63～32
<32
粒径(μm)

図3

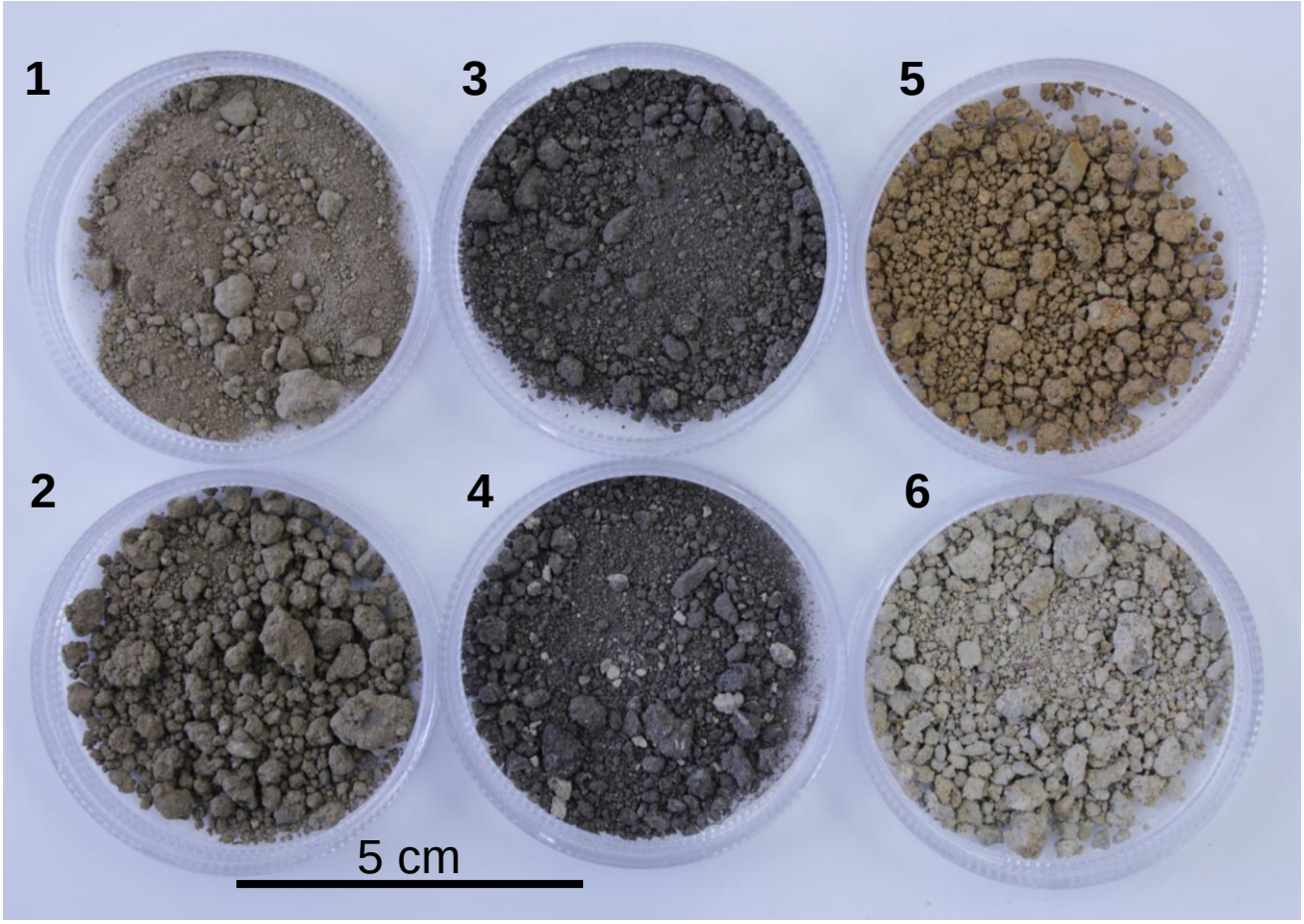

図4

撤去前の未崩落の盛土

撤去中の未崩落の盛土

図5

図6

a
b
2.9t移動式クレーン
KOMATSU
PC
200i
SHINI
intellige
MACHINE CONTR

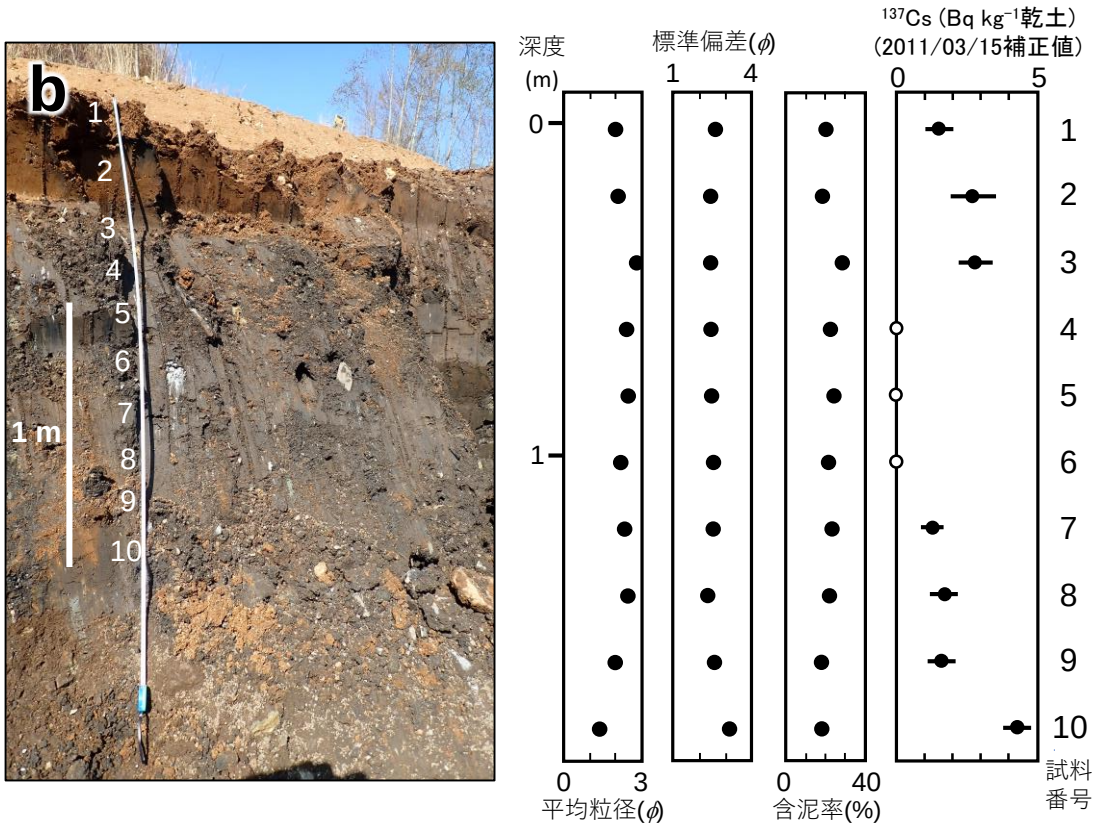
b
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
1 m
深度
(m)
0
1
標準偏差(ϕ)
1
4
137Cs (Bq kg−1乾土)
(2011/03/15補正値)
0
5
0
3
平均粒径(ϕ)
0
40
含泥率(%)
試料
番号

図7

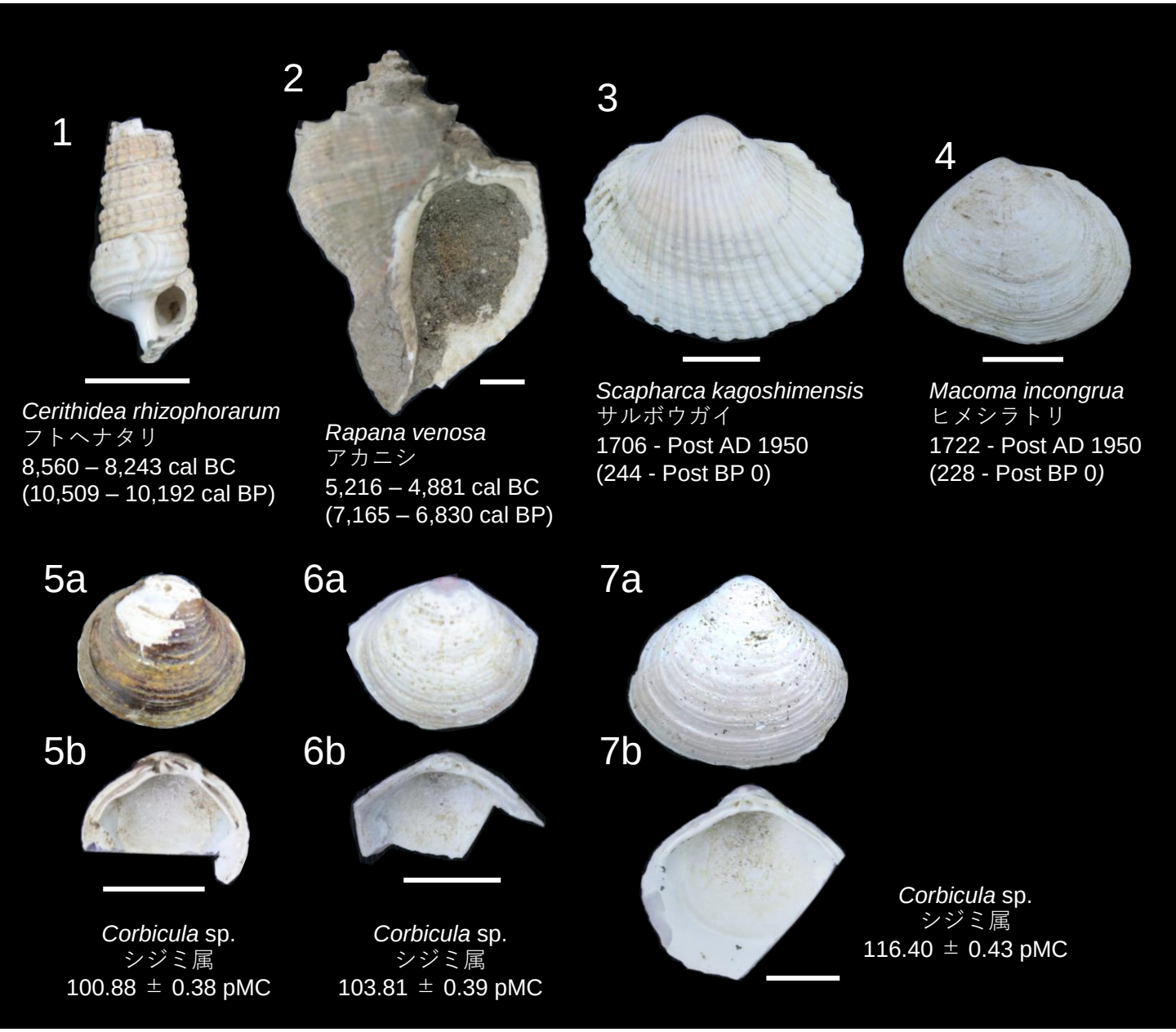
1
2
3
4
Cerithidea rhizophorarum
フトヘナタリ
8,560 – 8,243 cal BC
(10,509 – 10,192 cal BP)
Rapana venosa
アカニシ
5,216 – 4,881 cal BC
(7,165 – 6,830 cal BP)
Scapharca kagoshimensis
サルボウガイ
1706 - Post AD 1950
(244 - Post BP 0)
Macoma incongrua
ヒメシラトリ
1722 - Post AD 1950
(228 - Post BP 0)
5a
5b
6a
6b
7a
7b
Corbicula sp.
シジミ属
100.88 ± 0.38 pMC
Corbicula sp.
シジミ属
103.81 ± 0.39 pMC
Corbicula sp.
シジミ属
116.40 ± 0.43 pMC

図8

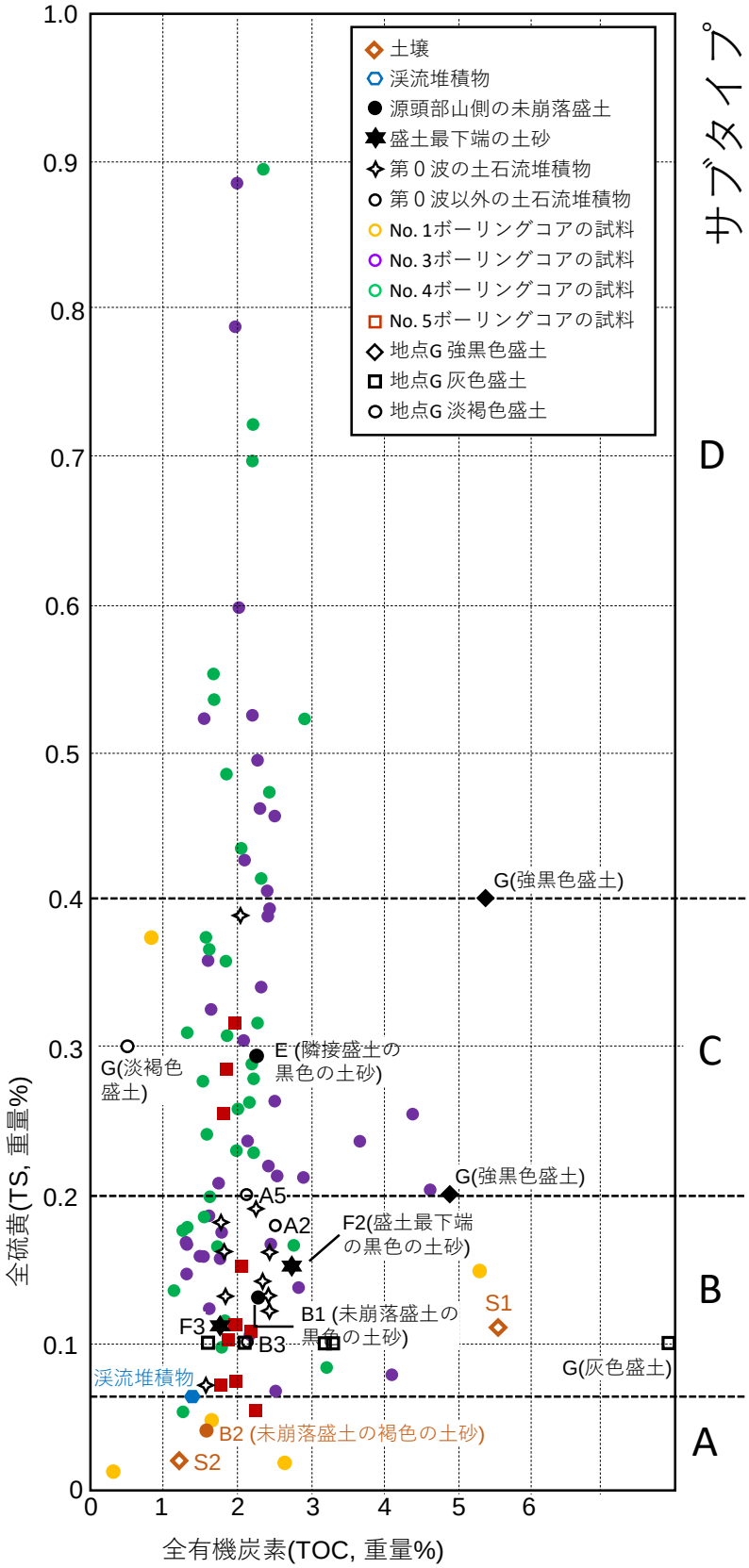
土壌
渓流堆積物
源頭部山側の未崩落盛土
盛土最下端の土砂
第 0 波の土石流堆積物
第 0 波以外の土石流堆積物
No. 1ボーリングコアの試料
No. 3ボーリングコアの試料
No. 4ボーリングコアの試料
No. 5ボーリングコアの試料
地点G 強黒色盛土
地点G 灰色盛土
地点G 淡褐色盛土
サブタイプ
D
C
B
A
G(強黒色盛土)
G(強黒色盛土)
G(淡褐色盛土)
E (隣接盛土の黒色の土砂)
A5
A2
F2(盛土最下端の黒色の土砂)
S1
F3
B1 (未崩落盛土の黒色の土砂)
B3
G(灰色盛土)
渓流堆積物
B2 (未崩落盛土の褐色の土砂)
S2
全硫黄(TS, 重量%)
全有機炭素(TOC, 重量%)
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0
0
1
2
3
4
5
6

図9

2010.8.31 報告書に添付（A106）

図10