研究成果報告書

研究課題名

崩壊地形が残されていない古い地すべりの発見

：段丘堆積物中に挟まれる天然ダム堆積物の

ボーリング掘削調査に基づいて

2024 年 1 月 31 日 提出

帝京科学大学教育人間科学部

植木岳雪（代表）

目次

1. はじめに

2. 調査研究地域

3. ボーリング調査
3.1 ボーリング掘削地点
3.2 ボーリング掘削の方法
3.3 ボーリングコアの記載

4. 放射性炭素（^{14}C）年代測定

5.予察的考察
5.1 NTU-TNKG-1 コアの各層の解釈
5.2 段丘分類の見直し
5.3 ^{14}C 年代値の解釈
5.4 信濃川沿いの地すべりの発生と天然ダムの形成史
5.5 段丘礫層に挟まれる細粒層の重要性

6. まとめ

謝辞

引用文献

1. はじめに

日本は湿潤変動帯に位置し，急峻な山地が多く，大雨や地震によって地すべり（崩壊や土石流を含む）が多発している．新潟県には新第三系の堆積岩・火山岩が広く分布し，日本で最も地すべりが多い都道府県である．毎年のように大雨や融雪によって，時には内陸地震によって地すべりの被害が生じており，同様の地すべりは過去にも発生していたはずである．しかし，地形の起伏が大きく，降水量が多いため，歴史時代よりも古い地すべりのほとんどは，侵食によって地形が残されていない．そのため，新潟県においては，地すべりの発生場所や，規模，頻度などを見積もって，地すべりのリスク評価を行うことは難しい．

地すべりによって移動した土砂は，しばしば川を堰き止めて天然ダムを形成する．天然ダムが決壊すると，下流部で洪水の被害が生じるリスクがある．新潟県においても，1854 年の善光寺地震や 2004 年の中越地震によって天然ダムが形成された．一方，地すべり地形が残されていない場合でも，天然ダムを埋積した堆積物を見出すことができれば，過去に地すべりが発生したことを証明できる（例えば，三重県では植木ほか，2011；徳島県では植木，2018）．

新潟県津南町は，越後山脈の北麓に位置し，信濃川が北東に向かって流れている（図 1）．そして，津南町周辺には，過去数 10 万年間に形成された信濃川の段丘が発達している．津南町西縁に分布する下位の 2 段の段丘は，それらより上位の段丘と違って厚い堆積物からなり，礫層中に層厚 5 m 程度の砂・シルト層が挟まれている（大木ほか，1994）．このような細粒層は，信濃川本流の堆積物とは考えにくい．川沿いの斜面での地すべりが信濃川が堰き止め，信濃川が天然ダムを埋積した堆積物と予想される．

本研究では，最下位の段丘上でオールコアボーリング調査を行い，段丘堆積物のコアを採取する．そして，礫層中に挟まれる細粒層の複数の層準から放射性炭素 (^{14}C) 年代を求め，地すべりの発生と天然ダムの形成された時期を特定する．

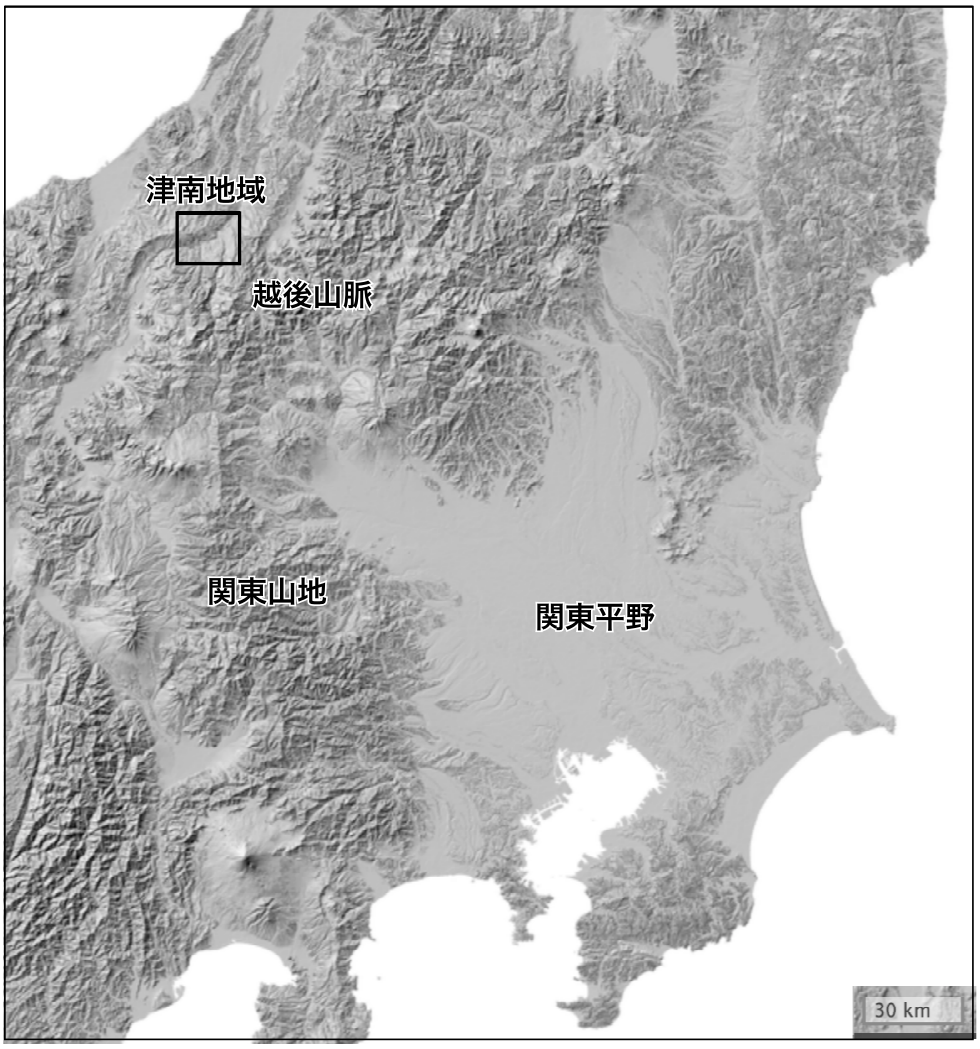


図 1　調査研究を行った津南地域の位置
陰影起伏図は地理院地図（https://maps.gsi.go.jp/）による．

2. 調査研究地域

津南町周辺の段丘は，高位から谷上面，米原 1 面，米原 2 面，卯ノ木面，朴ノ木坂面，貝坂面，正面面，大割野 1 面，大割野 2 面の 9 段に区分される（図 2，図 3：茅原，1958；信濃川段丘グループ，1968；新潟平野団体研究グループ，1972；新潟火山灰グループ，1981；島津・立石，1993；地学団体研究会新潟支部長野県北部地震調査団，2014）．貝坂面はさらに貝坂 1 面貝坂面と貝坂 2 面（渡辺，2000），正面面は正面 1 面と正面 2 面（早津・新井，1981）に細分される．段丘を覆うローム層や段丘堆積物中から広域テフラが見出されており（図 4），段丘の年代は，谷上面は 50～35 万年前（鈴木，1998；金，2004），米原 1 面は 30～20 万年前（早津・新井，1981；鈴木，1998），米原 2 面・卯ノ木面は 16～15 万年前，朴ノ木坂面は 14～13 万年前，貝坂 1 面は 10～5 万年前，貝坂 2 面は 5 万年前，正面面は 3～2 万年前，大割野 1 面は 1 万年前，大割野 2 面は完新世とされている（渡辺ほか，1999；高木ほか, 2000；渡辺, 2000；信濃川ネオテクトニクス団体研究グループ, 2003；金, 2004）．

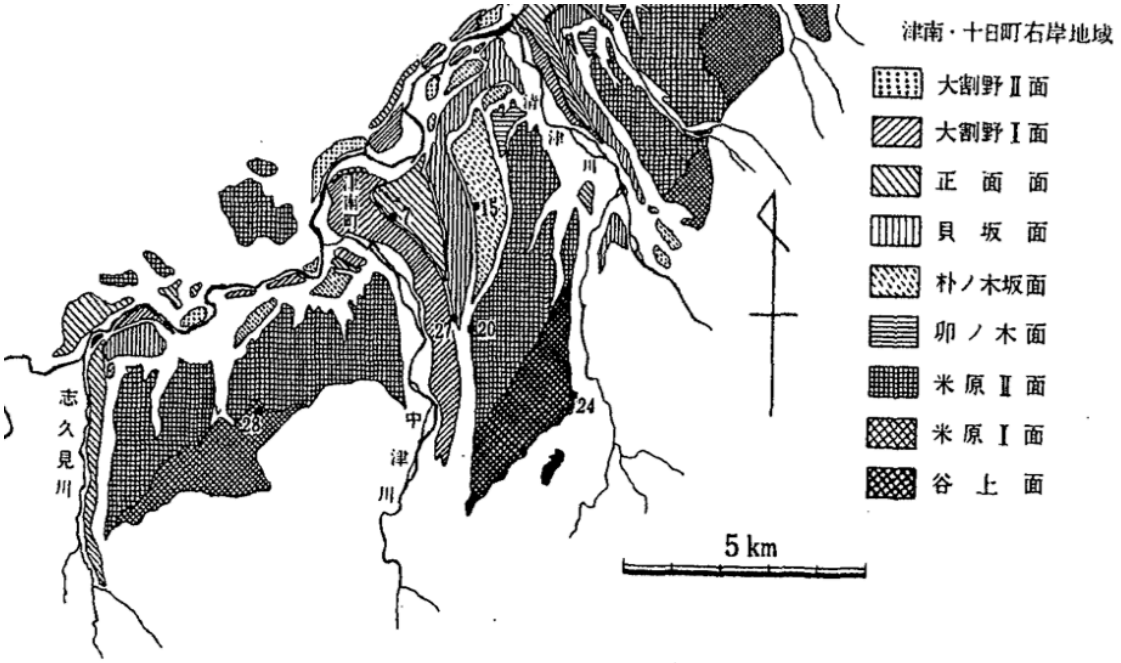


図２　津南町周辺における信濃川の段丘の分布図
新潟平野団体研究グループ（1972）による.

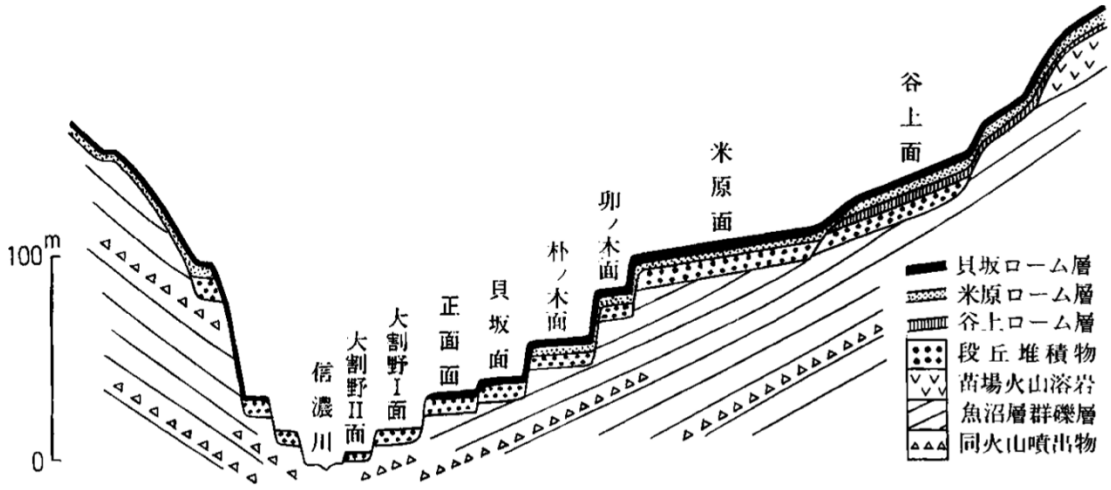


図３　津南町周辺における段丘の模式断面
信濃川段丘グループ（1968）による.

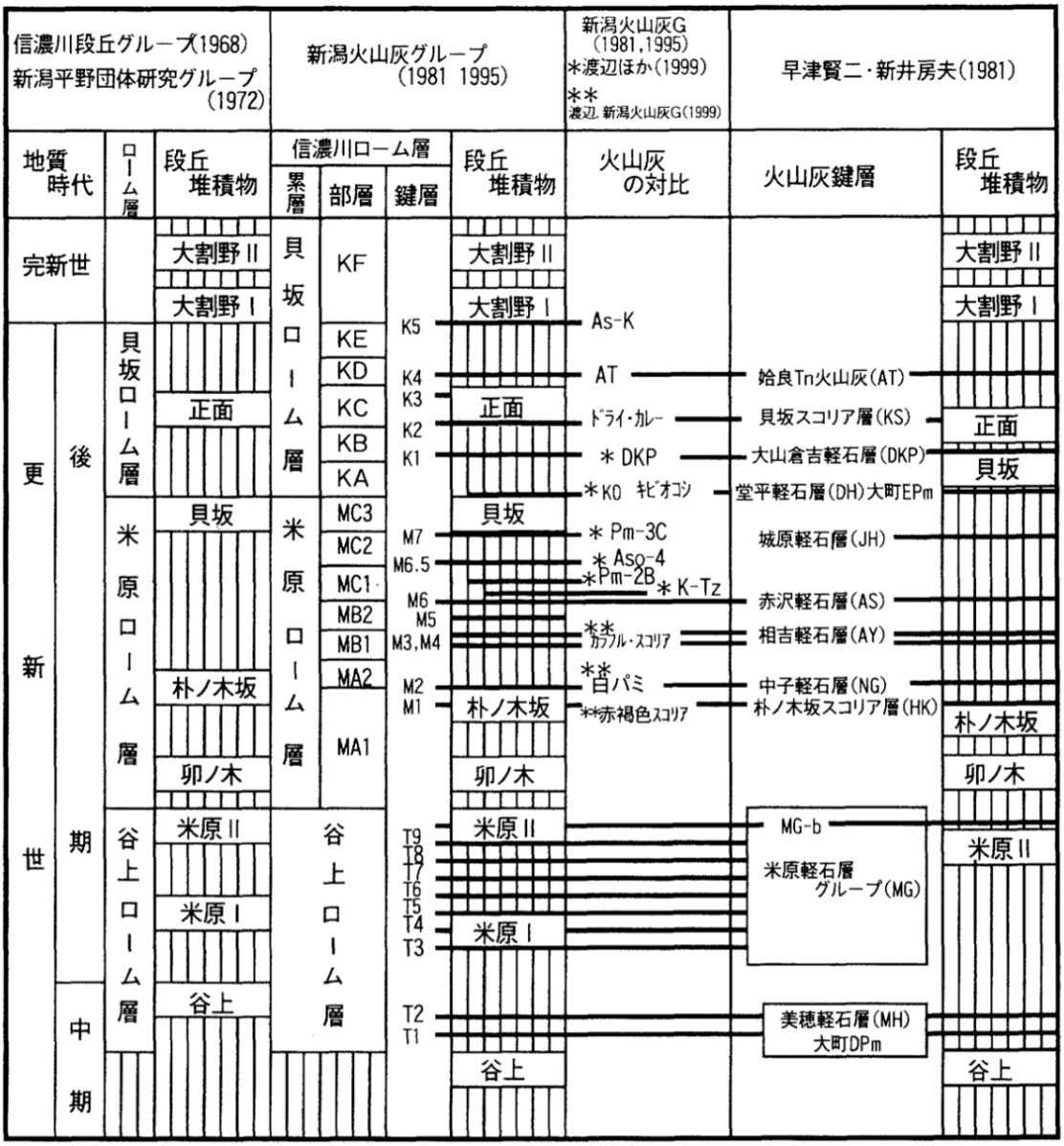


図 4　津南町周辺における段丘とテフラとの関係
渡辺（2000）による.

3. ボーリング調査

3.1　ボーリング掘削地点

ボーリング掘削は，信濃川段丘グループ（1968）による大割野 1 面上で行った（図 5）. 掘削地点は,「上郷クローブ座」(旧上郷中学校) 横の芝地 (図 2：北緯 36 度 59 分 31.74 秒, 東経 138 度 35 分 18.35 秒）である．孔口標高は 252.5 m であり，現河床からの比高は約 15 m である.

旧上郷中学校の建設に伴って, かつてボーリング調査が行われた(図 6:大木ほか, 1994). それによると，地表から 5～7 m 下には層厚数 m の砂・シルト層が認められる.

図５　ボーリング掘削地点とその周辺の段丘
基図は地理院地図（https://maps.gsi.go.jp/）による．

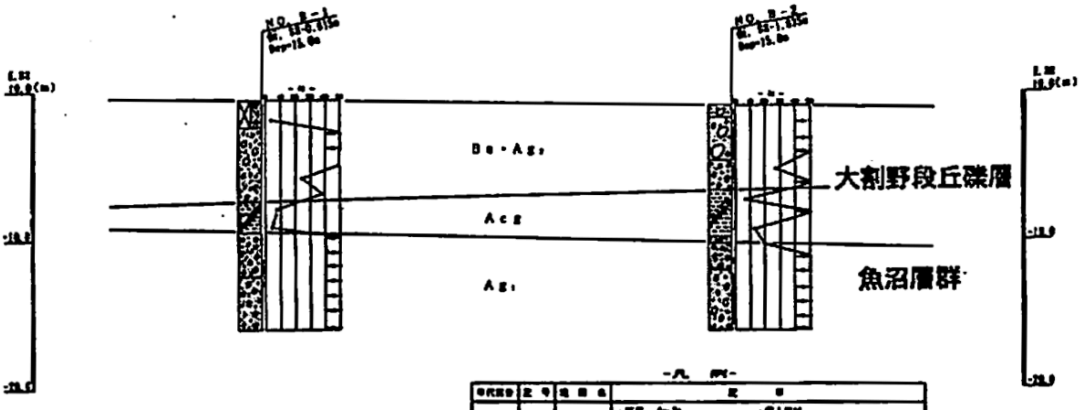


図６　今回の掘削地点付近のボーリング柱状図
大木（1994）による．

3.2　ボーリング掘削の方法

2022 年 10 月に，城東地質株式会社に依頼して，オールコアボーリング掘削を行った（図 7）．クローラタイプのバイブロドリル（ECO-3V，ワイビーエム社）を用いて掘削し，コアパック式サンプラーを用いて径 86 mm のコアを 1 m ずつ採取した．孔壁の保護のため，深度 14 m までケーシングパイプを挿入し，全長 15 m のコアを採取した．本研究で採取されたコアを NTU-TNKG-1 コアと呼ぶ．

図 7　ボーリング掘削の様子

3.3　ボーリングコアの記載

NTU-TNKG-1 コアの柱状図を図 8 に示す．また，コア全体の写真を図 9 に，^{14}C 年代測定を行った木片を含む層準の近接写真を図 10 に示す．コアは上位から人工堆積物，上部礫層，シルト・砂層，下部礫層に区分される．以下に各層を記載する．

人工堆積物は深度 0～1.67 m で見られる．深度 0～0.54 m は細粒～中粒砂からなり，一部は腐植質で根茎を含む．また，少量の角礫が含まれる．深度 0.54～1.37 m はコンクリート片とモルタル粉からなり，一部には中粒砂が混じる．深度 1.37～1.57 m は中礫サイズの円礫を含む中粒砂からなる．深度 1.57～1.67 m はモルタル粉と中粒砂からなる．

上部礫層は深度 1.67～6.50 m で見られ，中礫～巨礫サイズの亜円礫からなる．全体に塊状で淘汰が悪く，マトリクスは中粒～粗粒砂で礫支持である．深度 2.55～2.60 m は細粒砂層，深度 3,22～3.36 m は粗粒砂層をはさむ．

シルト・砂層は深度 6.50～10.00 m で見られる．全体に塊状で淘汰が悪い．深度 6.50～

7.81 m は中礫サイズの亜円礫を含む暗色のシルト～細粒砂からなり，上方細粒化する．深度 7.81～9.15 m は中礫サイズの亜円礫を含む暗色のシルト～砂質シルトからなり，上方粗粒化する．腐植や木片を多く含む．深度 8.30 m 付近には炭化木片が散在する．深度 8.32 m には，長さ 3 cm の木片があり，表面は炭化していたが，中は未炭化であった（図 5）．深度 9.15～9.50 m は緻密で褐色のシルトからなる．深度 9.50～ 10.00 m は中粒～細粒砂からなり，上方細粒化している．腐植を含み，一部には平行葉理が認められる．

下部礫層は深度 10.00～15.00 m で見られ，中礫～巨礫サイズの亜円礫からなる．全体に塊状で淘汰が悪く，マトリクスは中粒～粗粒砂で礫支持である．深度 10.40～10.60 m は細粒砂，深度 11.05～11.15 m はシルト～中粒砂，深度 12,50～12.75 m は粗粒砂を多く含む．

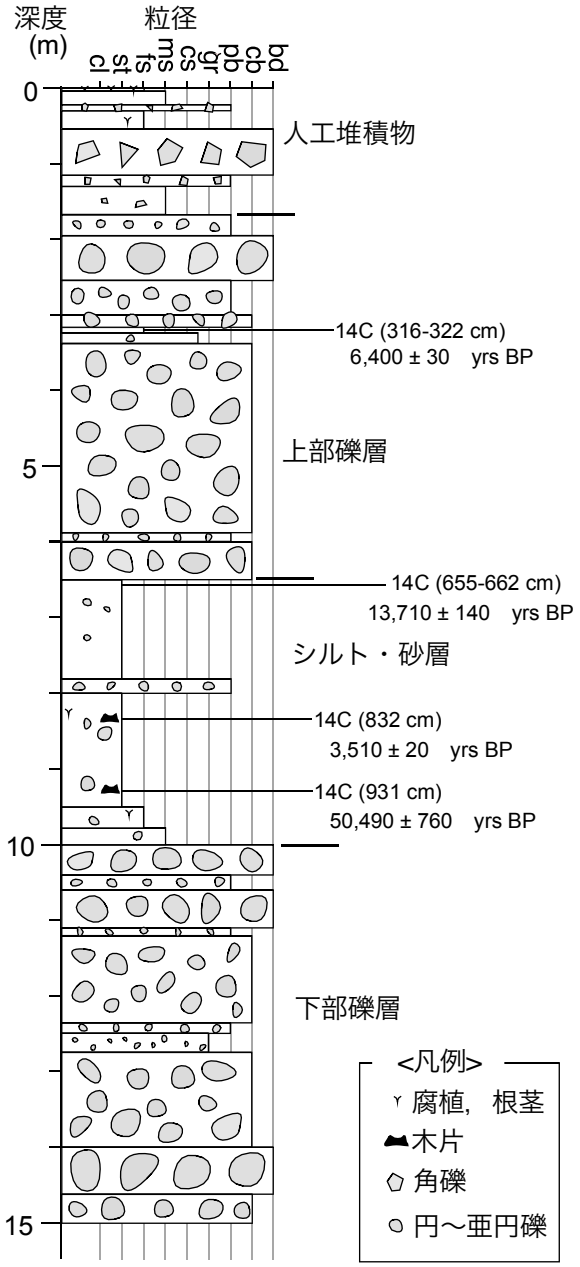


図 8　NTU-TNKG-1 コアの柱状図

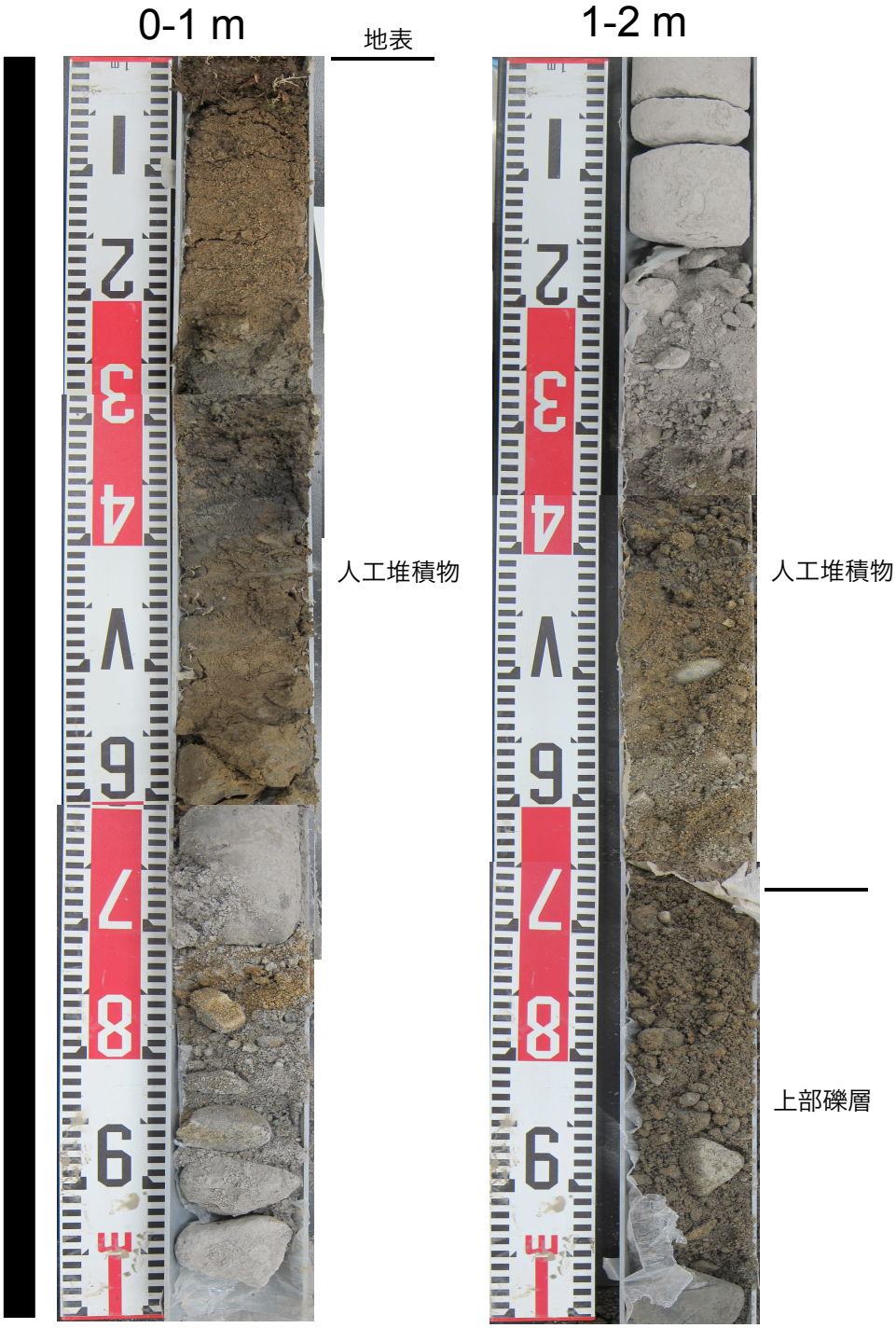


図 9　コア全体の写真（0～2 m）

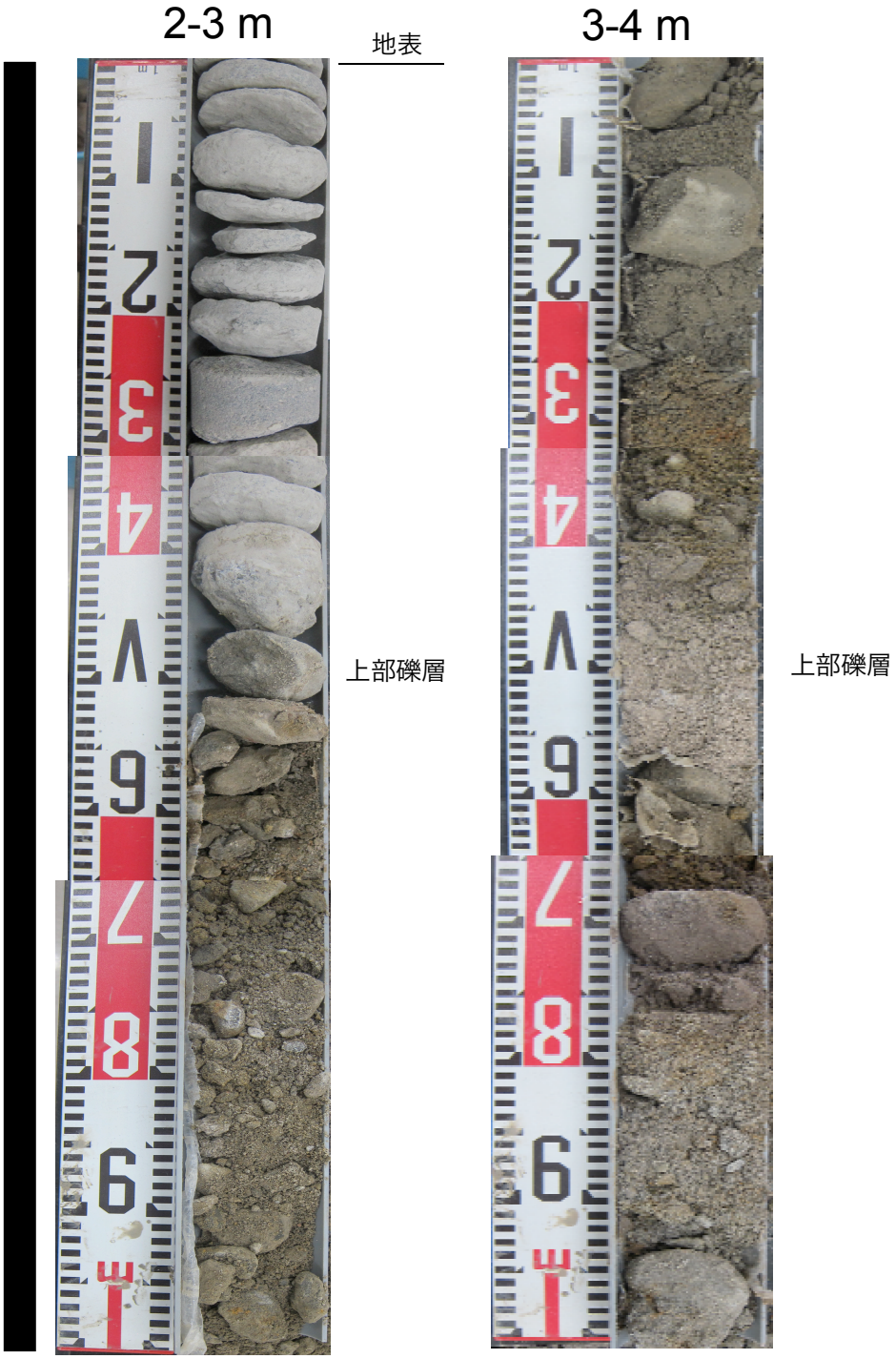


図 9　コア全体の写真（2～4 m）

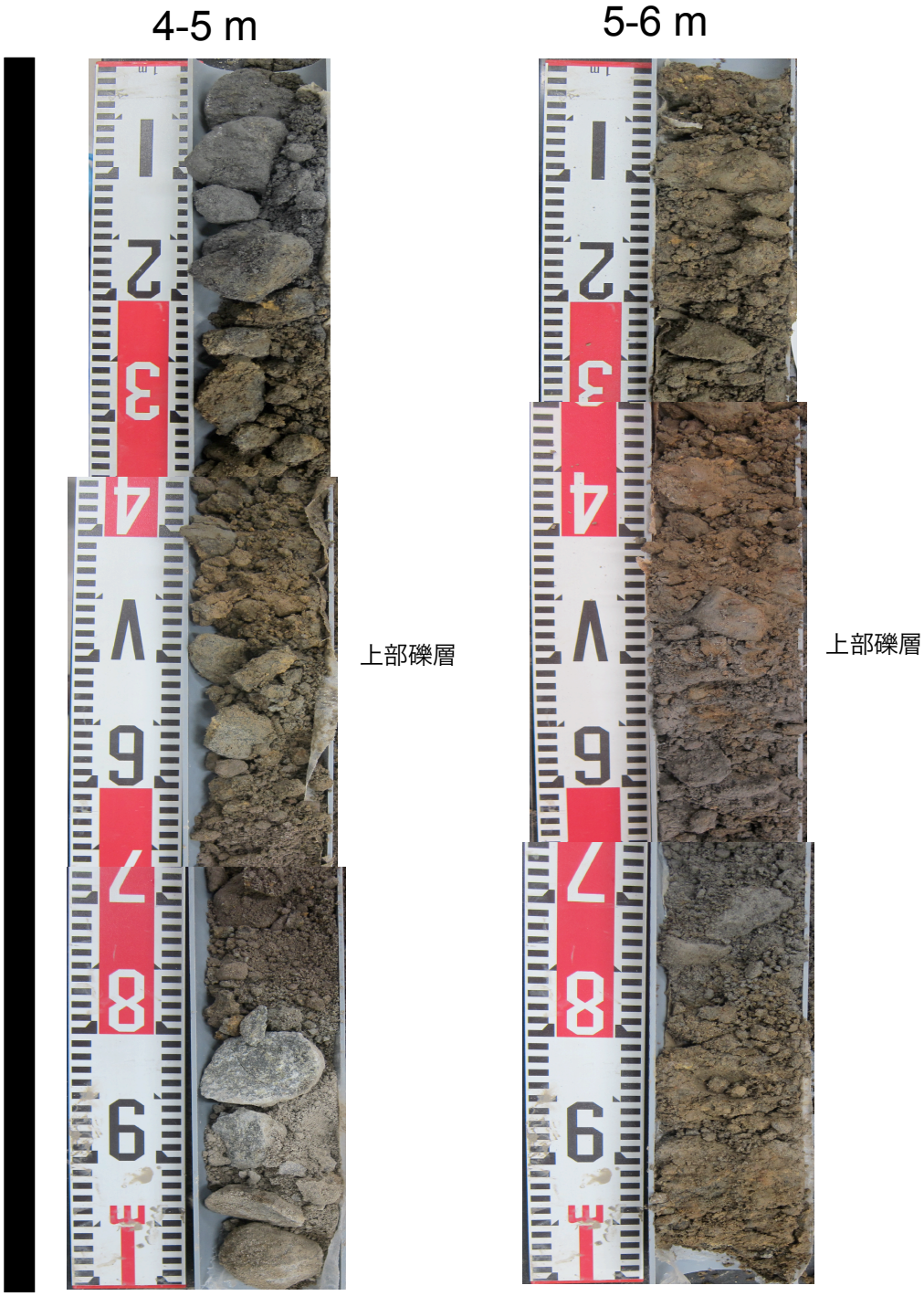


図 9　コア全体の写真（4～6 m）

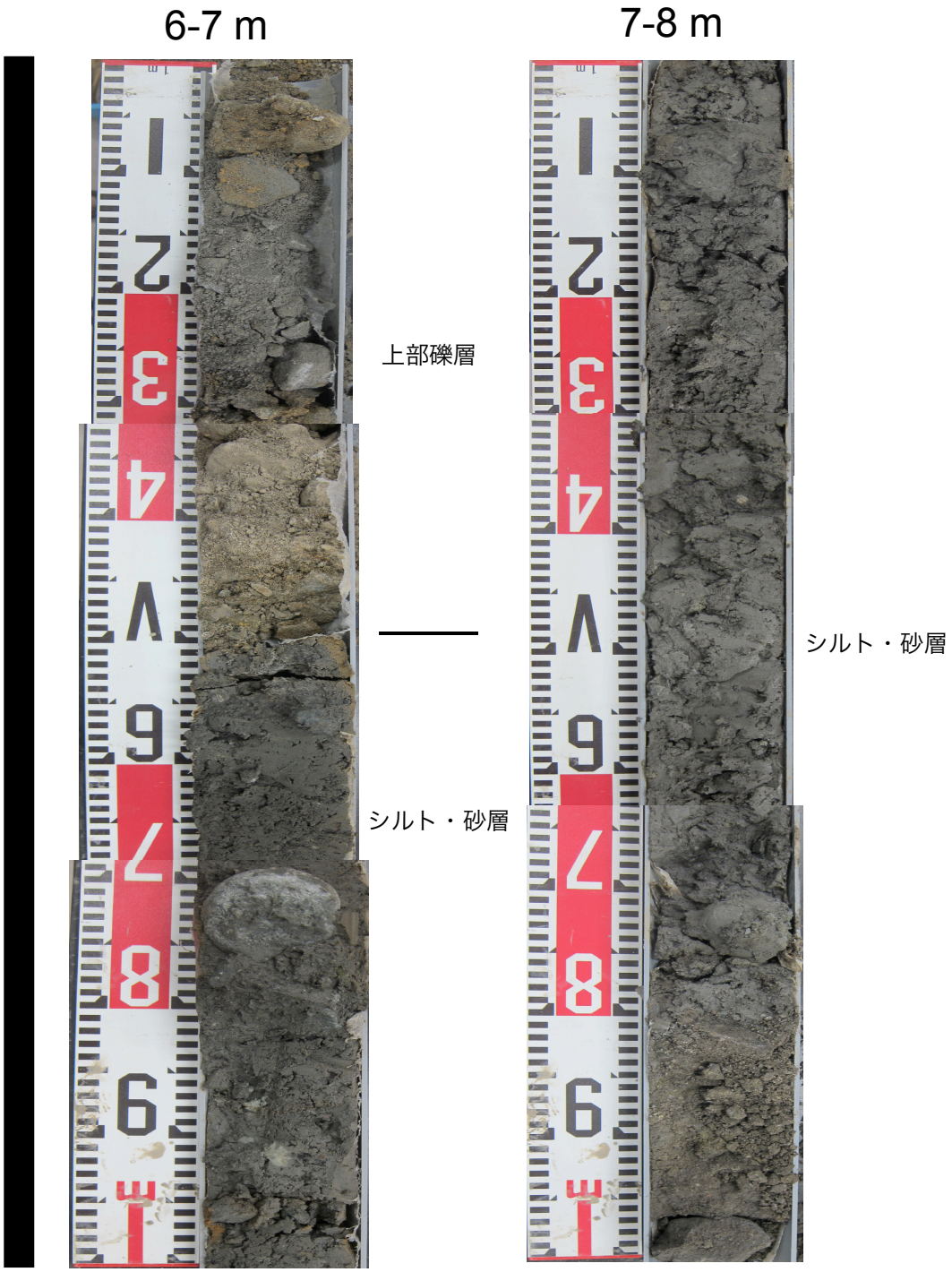


図 9　コア全体の写真（6～8 m）

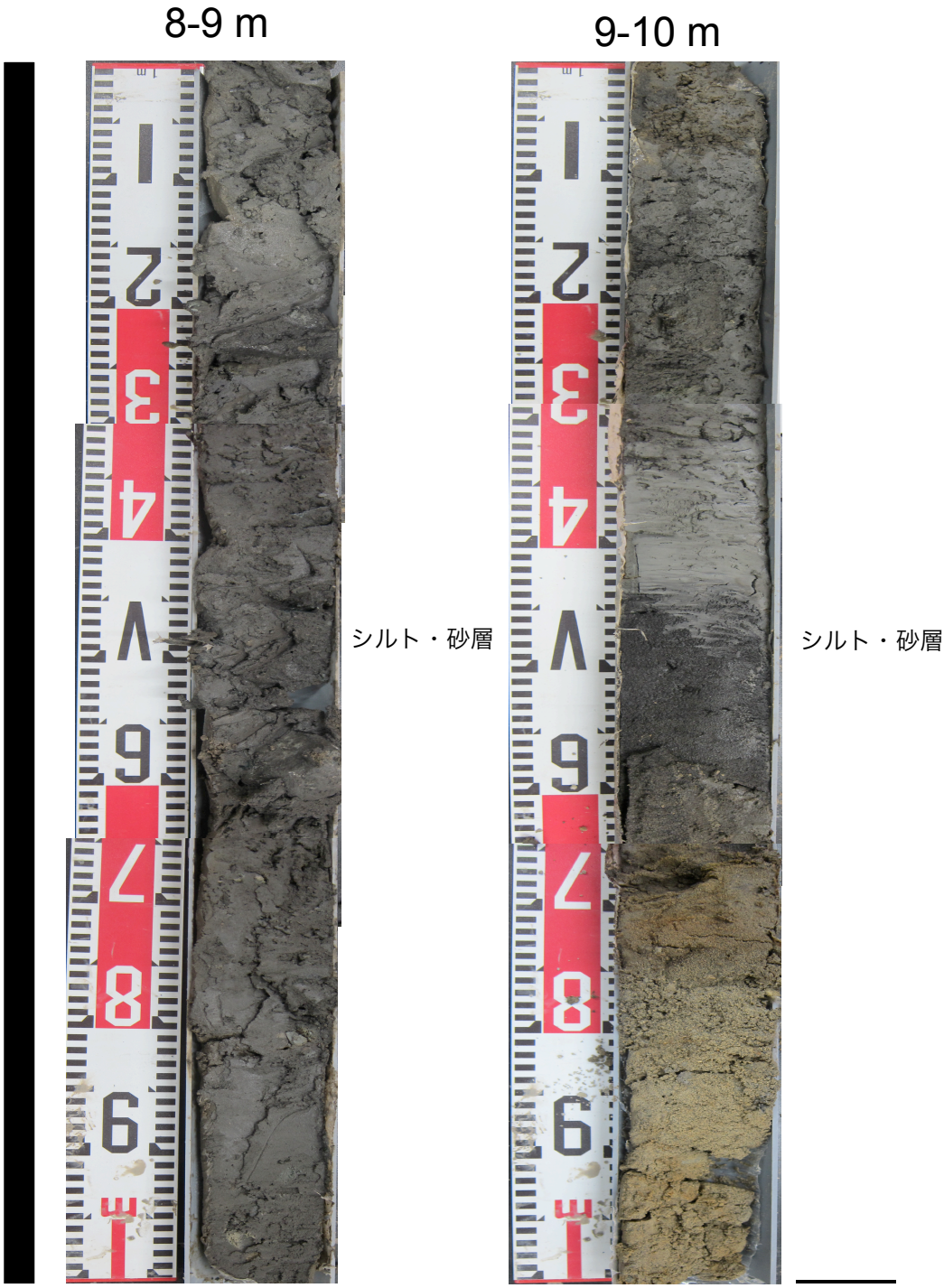


図 9　コア全体の写真（8～10 m）

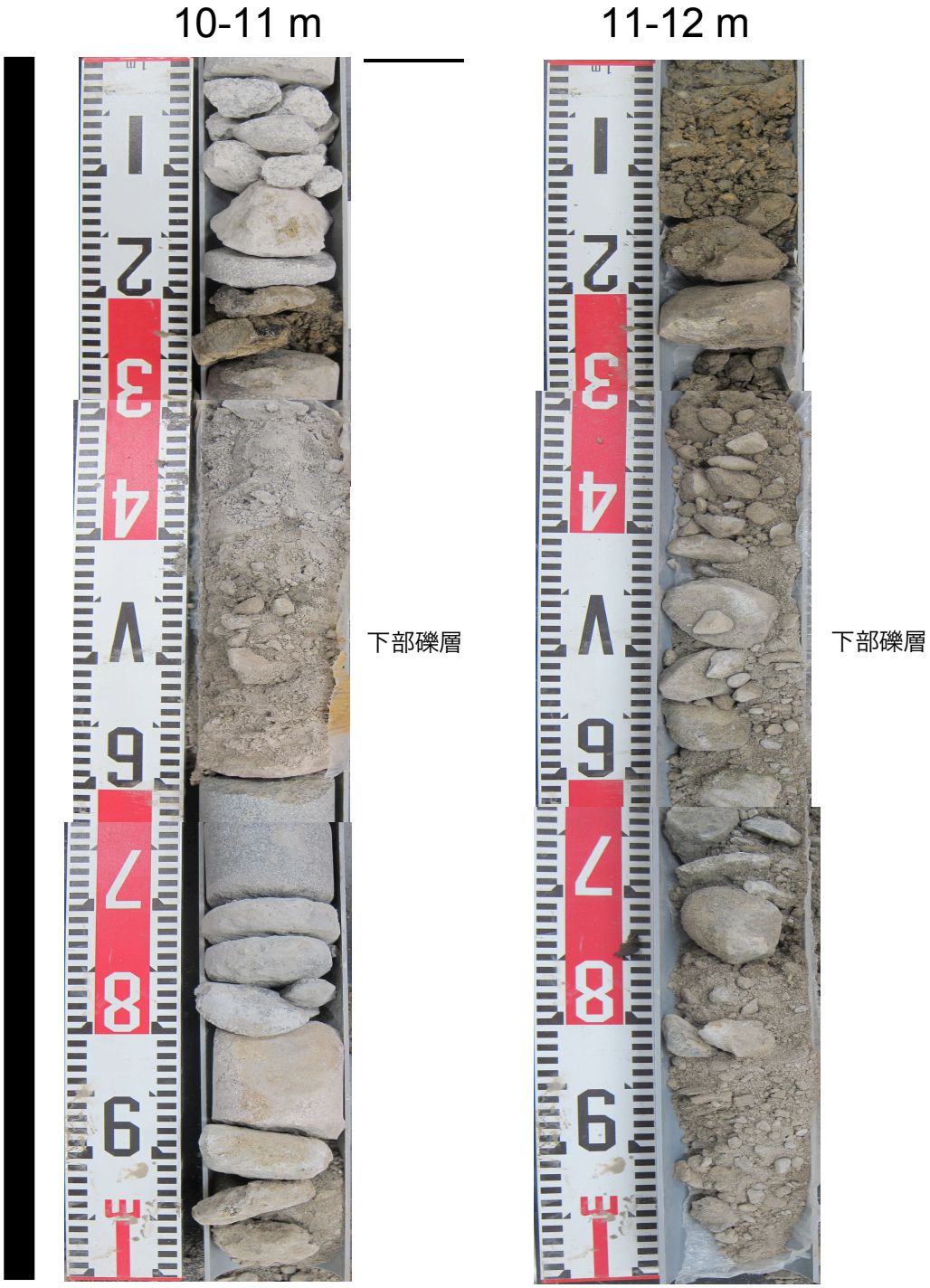


図 9　コア全体の写真（10～12 m）

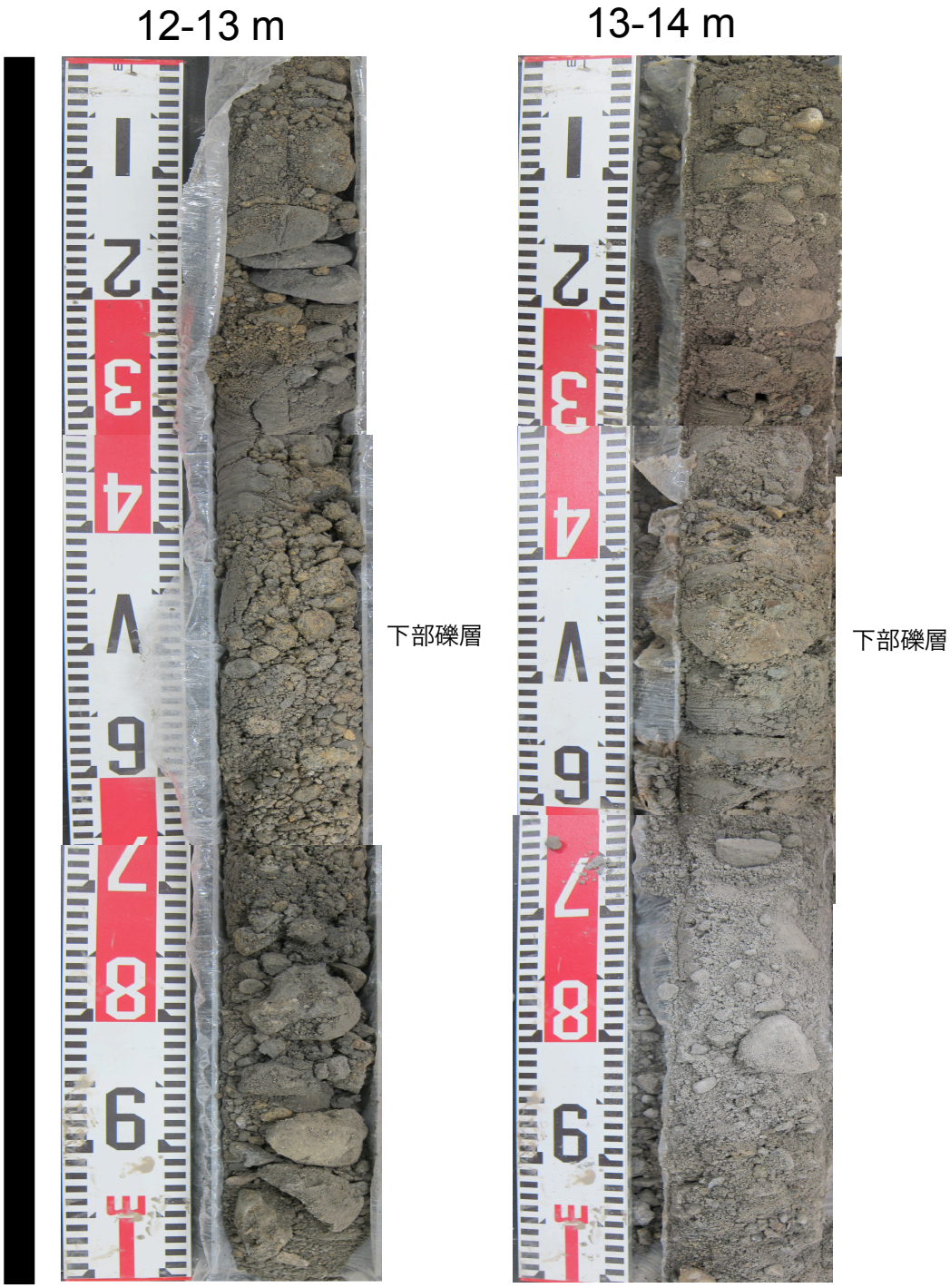
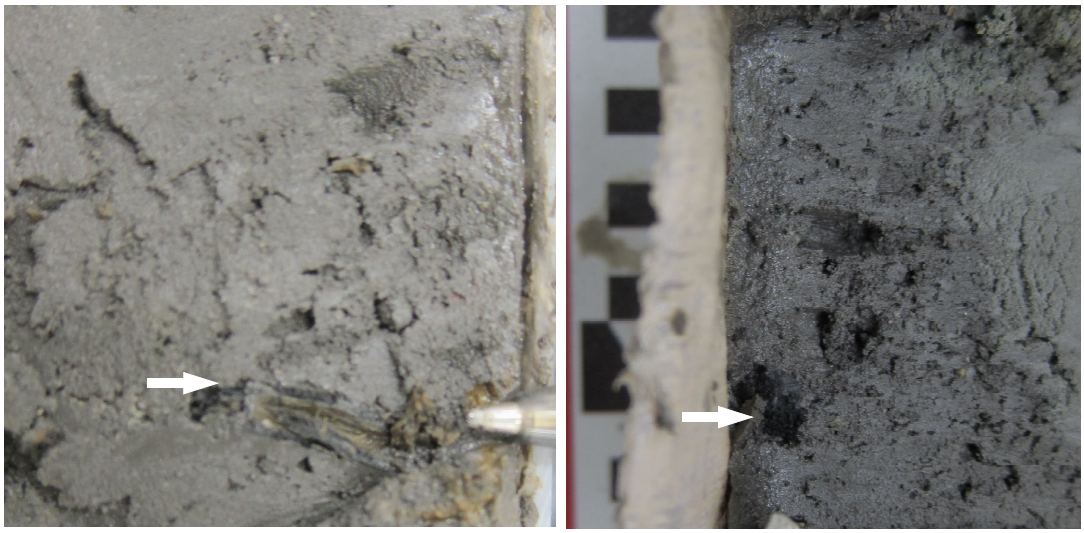


図 9　コア全体の写真（12～14 m）

14-15 m

下部礫層

図 9　コア全体の写真（14～15 m）



深度8.32 mの木片　　深度9.31 mの木片

図 10　^{14}C 年代測定を行った木片を含む層準の写真

4. 放射性炭素（^{14}C）年代測定

株式会社加速機分析研究所に依頼して，段丘堆積物のバルク試料と天然ダム堆積物中の木片を AMS ^{14}C 年代測定に供した. 堆積物のバルク試料に対しては, 試料を超音波洗浄し, ふるいにかけて根等の混入物を除去した．そして 1 mol/L（1 M）の塩酸による酸処理によって不純物を除去した．木片に対しては，1 M の塩酸と 0.001～1 M まで徐々に濃度を上げた水酸化ナトリウム水溶液を用いた酸ーアルカリー酸処理によって不純物を除去した．年代値は Libby の半減期 5,568 年を用いて算出し、δ^{13}C 値により同位体分別効果の補正を行った．OxCal4.4 較正プログラム（Bronk Ramsey，2009）と IntCal20 較正曲線（Reimer et al.，2020）を用いて暦年較正を行った.

^{14}C 年代測定の結果を表 1 に示す．NTU-TNKG-1 コアの深度 3.16～3.22 m の粗粒砂のバルク試料からは，6,400±30 yr BP の ^{14}C 年代と 5,468～5,445 cal BC（確率 18.3 %），5,381～5,322 cal BC（50.0 %）の暦年較正年代（1 σ）が得られた．深度 6.55～6.62 m のシルトのバルク試料からは，13,710±40 yr BP の ^{14}C 年代と 14,734～14,539 cal BC（確率 68.3 %）の暦年較正年代が得られた．深度 8.32 m の炭化木片からは 3,510±20 yr BP の ^{14}C 年代と 1,886～1,872 cal BC（確率 11.1 %），1,847～1,774 cal BC（57.1 %）の暦年較正年代が得られた．深度 9.31 m の炭化木片からは，50,490±760 yr BP の ^{14}C 年代と 52,652 cal BC 以前（確率 12.8 %）と 51,967～50,584 cal BC（確率 11.1 %）の暦年較正年代が得られた.

表 1　^{14}C 年代測定の結果

深度 (m)	測定物質	δ^{13}C (‰)	^{14}C年代 (1σ, ^{14}C yr BP)	暦年較正年代 (1σ, cal BC)	測定番号
3.16-3.22	細粒砂	-22.83±0.30	6,400±30	5,468-5,445 (18.3 %) 5,381-5.322 (50.0 %)	IAAA-221080
6.55-6.62	シルト	-25.96±0.23	13,710±40	14,734-14,539 (68.3 %)	IAAA-221003
8.32	木片	-29.82±0.20	3,510±20	1,886-1,871 (11.1 %) 1,847-1,774 (57.1 %)	IAAA-221004
9.31	木片	-28.18±0.29	50,490±760	>52,652 (12.8 %) 51,967-50,584 (55.5 %)	IAAA-221005

5. 予察的考察

5.1　NTU-TNKG-1 コアの各層の解釈

NTU-TNKG-1 コアの深度 0～1.67 m は人工堆積物である．深度 0～0.54 m は砂からなり，腐植質な層準があることから，畑土壌である．深度 0.54～1.67 m はコンクリート片やモルタル粉を含むことから，中学校を建設するときの盛土である．

深度 1.67～6.50 m の上部礫層は大きな亜円礫からなる．これは天然ダムが埋積された後に，信濃川によってもたらされた本流性の礫層である．

深度 6.50～10.00 m のシルト・砂層は，全体に塊状で淘汰が悪く，植物遺体を多く含む．これは静水域に堆積したものであり，天然ダムを埋積した細粒層である．

深度 10.00～15.00 m の下部礫層は大きな亜円礫からなる．これは信濃川によってもたらされた本流性の礫層である．大割野 1 面より下位にあることから，もともと大割野 2 面を構成する堆積物と考えられる．なお未固結であることから，基盤の魚沼層群ではない．

5.2　段丘区分の見直し

今回の調査地点は，従来の研究では大割野 1 面上に位置する．それは，正面面の直下にある段丘だからである．しかし，NTU-TNKG-1 コアの深度 10 m 以下の下部礫層が大割野 2 面を構成する堆積物である．また，それより上位のシルト・砂層と上部礫層は，それぞれ天然ダムを埋積した堆積物とそれを覆う本流性の堆積物であり，天然ダムの形成によって，本来より河床が上昇して堆積したものである．それらの堆積物は短い時間で堆積し，もとの河床に戻るために離水したと考えられるので，調査地点が位置する段丘は大割野 2 面となる．現河床との比高が同程度だとしても，津南町の他地域の大割野 1 面よりも新しい段丘である．

5.3　^{14}C 年代値の解釈

ボーリング調査地点のある大割野 1 面は，ローム層に覆われず，完新世の年代とされている（渡辺，2000）．NTU-TNKG-1 コアの深度 6.50～10.00 m のシルト・砂層からは，3 点の ^{14}C 年代値が得られたが，大きく異なっている．深度 6.55～6.62 m の ^{14}C 年代値

（13,710±40 yr BP）は，シルトのバルク試料からのものであるため，古い炭素を含んでおり，年代値が古くなったと判断される．深度 9.31 m の ^{14}C 年代値（50,490±760 yr BP）は，^{14}C 年代測定の限界付近のものであり，懐疑的である．このような古い年代値が得られたのは，木片が基盤岩の魚沼層群や古い段丘堆積物からもたらされたものであると考えられる．一方，深度 8.32 m の ^{14}C 年代値（3,510±20 yr BP）は，中心部が未炭化の新鮮な木片から得られたものである．年代値は大割野 2 面の年代とも整合的であり，最も信頼性が高い．したがって，天然ダムを埋積した細粒層の年代は，約 3,500 年前の中期完新世と判断する．

NTU-TNKG-1 コアの段丘堆積物上部からは，1 点の ^{14}C 年代値が得られた．深度 3.16～3.22 m の ^{14}C 年代値（6,430±30 yr BP）は，シルト・砂層の年代値と逆転している．それは砂のバルク試料からのものであるため，古い炭素を含んでおり，年代値が古くなったと判断される．

5.4　信濃川沿いの地すべりの発生と天然ダムの形成史

今回の調査地点から上流には，現在河床と 15 m 程度の比高を持つ段丘が連続する．この段丘は細粒堆積物から構成され，調査地点から約 10 km 上流にある縄文時代早期～後期のひんご遺跡も細粒堆積物に覆われている（長野県埋蔵文化財センター，2018）．今回の調査地点付近には，信濃川左岸の羽倉に大規模な地すべり地が認められる．吉越ほか（2014）は移動体に含まれる木片の ^{14}C 年代に基づいて，約 6,000 年前の地すべりによって信濃川がせき止められて，天然ダムが形成されたとした．しかし，この地すべり地の末端は段丘よりも高所にあり，初生的にはより古い時期に発生したことが明らかである．したがって，今回の調査地点から上流にかけて天然ダムが形成されたのは，約 6,000 年前とするよりも，NTU-TNKG-1 コアのシルト・砂層の年代である約 3,500 年前とした方が整合的である．

一方，今回の調査地点の 4 km 下流には古い地すべり地が認められ，より高所に貝坂面に相当する段丘が上流に向かって連続している．吉越ほか（2014）は，この段丘が細粒堆積物から構成されることを明らかにし，細粒堆積物を覆うローム層とテフラに基づいて，約 5 万年前の地すべりによって信濃川がせき止められて，天然ダムが形成されたとした．もしそうだとすると，調査地点付近では天然ダムを伴う地すべりは 5 万年間に 2 回生じたことになる．このように，信濃川に沿っては，数万年間隔で大規模な地すべりが発生している．

5.5　段丘礫層に挟まれる細粒層の重要性

大きな河川の中・上流部では，一般に現河床が礫で覆われ，段丘も礫層から構成されている．それにも関わらず，段丘の下で層厚数 m 以上の細粒層が礫層に挟まれている場合には，細粒層は定常の水流で堆積したものではなく，突発的な地すべりに伴う天然ダム堆積物の可能性が高い．そのような細粒層には植物遺体が多く含まれることから，^{14}C 年代測定によって細粒層の年代を求めることが可能である．そうすれば，天然ダムを形成した地すべりの発生時期を特定することができる．侵食によって地形が残されていない地すべりを復元するためには，段丘礫層に挟まれる細粒層を見出すことが重要である．

近年，公共工事に伴う地質地盤情報がさまざまなスケールで公開されている（国レベルでは「Kunijiban」　https://www.kunijiban.pwri.go.jp/jp/；新潟県と長野県は非公開）．地すべりの地形や堆積物が見られない地域であっても，既存のボーリング柱状図から段丘礫層に

挟まれる細粒層を見出し，ボーリング調査を行うことによって，地すべりの履歴を復元することができる．今後，段丘礫層に挟まれる細粒層に注目すべきである．

例えば，Kunijiban を用いると，地点 1 では，今回の天然ダム堆積物に対応する段丘礫層に挟まれる細粒層が認められる（図 11）．また，上流の地点 2 では，より古い天然ダム堆積物である細粒層が認められる．

6. まとめ

新潟県津南町において，完新世の段丘上で長さ 15 m のオールコアボーリング調査を行い，礫層に挟まれる層厚 3.5 m のシルト・砂層を見出した．その細粒層は天然ダム堆積物であり，その中の植物遺体の ^{14}C 年代から，約 3,500 年前に天然ダムが形成されたことがわかった．信濃川に沿っては，数万年間隔で天然ダムを伴う地すべりが発生していると考えられる．

地形が残されていない地すべりを復元するためには，段丘礫層に挟まれる細粒層を見出すことが重要である．従来そのような細粒層には注意が払われてこなかったが，今後天然ダム堆積物として改めて見直す必要がある．ただし，細粒層にはさまざまな時代の植物遺体が混在していることから，^{14}C 年代値から編年する際には慎重さが求められる．今回の調査地点から上流側には，ボーリングコアで見出された細粒層と同じものからなる段丘が連続している．今後，それらの段丘上でボーリング調査を行い，細粒層の記載と編年を行って，天然ダムの埋積過程を明らかにしたい．地すべりに関するこのような基礎的研究を今後も進めたいと思う．

謝辞

本研究は，国土地理協会による 2022 年度研究助成を受けて行われたものである．苗場山麓ジオパーク事務局の方には，ボーリング調査の連絡調整や掘削許可に関して便宜を図っていただいた．また，城東地質株式会社の技術者には，掘削に際して大変お世話になった．以上の方々に感謝申し上げる．

引用文献

地学団体研究会新潟支部長野県北部地震調査団（2014）被害は地盤が規制した　―長野県北部地震―．地団研専報，60，115-130.

早津賢二・新井房夫（1981）信濃川中流域におけるテフラ層と段丘形成年代．地質学雑誌，87，791-805.

茅原一也（1958）新潟県十日町―津南附近の地形及び地質　―特に“相吉”火山灰層について―．妻有郷-新潟県中魚沼郡学術調査報告書，119-135.

金　幸隆（1999）魚沼丘陵の隆起過程と六日町断層の活動累積．活断層研究，24，63-75.

長野県埋蔵文化財センター（2018）ひんご遺跡．長野県埋蔵文化財センター発掘調査報告書，118，147p.

新潟平野団体研究グループ（1972）十日町盆地の河岸段丘．地質学論集，7，267-283.
新潟火山灰グループ（1981）新潟県下のローム層について　そのⅠ —信濃川ローム層について—．地球科学，35，294-311.
大木靖衛・佐藤　修・青木　滋・鈴木幸治・山崎　崇・渡部直喜（1994）1992 年津南地震 M4.5 調査報告．新潟大学災害研究所年報，16，2-36.
島津光夫・立石雅昭（1993）苗場山地域の地質．地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅），地質調査所，90p.
信濃川段丘グループ（1968）新潟県津南地域の第四系　—新潟潟県の第四系　そのⅨ．新潟大学教育学部高田分校研究紀要，13，175-204.
信濃川ネオテクトニクス団体研究グループ（2003）信濃川中流域における第四紀末期の河成段丘面編年．地球科学，57，95-110.
鈴木毅彦（1998）マウンテンパーク津南 カガン．第 7 回第四紀学会テフラ研究委員会野外集会北部フォッサマグナ野外巡検案内書，53-54.
高木俊男・柳田　誠・藤原　治・小澤昭男（2000）河岸段丘から推定した河床高度変化の歴史．地学雑誌，109，366-382.
植木岳雪・永田秀尚・小嶋　智・沼本晋也・飯島文男（2011）紀伊半島中部，宮川上流域における山体崩壊の発生時期と発生頻度　—せき止め湖堆積物を用いて—．日本第四紀学会講演要旨集，41，44-45.
植木岳雪（2018）徳島県南部，海部川支流のせき止め湖堆積物．日本地球惑星科学連合大会予稿集（DVD），HDS11-09.
渡辺秀男（2000）新潟県十日町盆地の津南段丘群の形成について．地球科学，54，310-327.
渡辺秀男・卜部厚志・荒川勝利（1999）新潟県津南町地域の貝坂段丘堆積物中の広域火山灰．地球科学，53，420-433.
吉越正勝・久保田喜裕・地学団体研究会新潟支部長野県北部地震調査団（2014）関田山脈南麓における巨大崩壊とせき止め堆積物．地団研専報，60，131-142.