

阿蘇カルデラ西部濁川左岸において実施したトレンチ調査地点周辺の層序 Stratigraphy at and around the trench site excavated on the south side of the Nigorikawa River

白濱吉起¹・宮下由香里¹・亀高正男²・杉田匠平²・宮入陽介³・横山祐典³

Yoshiki Shirahama¹, Yukari Miyashita¹, Masao Kametaka², Shohei Sugita²,
Yosuke Miyairi³ and Yusuke Yokoyama³

¹ 活断層・火山研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Earthquake and Volcano Geology, y.shirahama@aist.go.jp)

² 株式会社ダイヤコンサルタント (Dia Consultants Co. Ltd.)

³ 東京大学大気海洋研究所 (Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo)

Abstract: Surface ruptures associated with the 2016 Kumamoto Earthquake appeared along the Futagawa-Hinagu fault zone. Their traces extended to the northeastern part of the Aso caldera. An EW-trending branch, about 2.5 km long, separated from the main trace with NE-SW trend at Tateno appeared along the southside of Nigorikawa River. Geological Survey of Japan conducted a trench investigation on the surface rupture along the branch in order to confirm that the ruptures are produced by active faulting as well as to obtain a paleoseismic history in an EW-trending graben at Sawazuno district, Minamiaso village. During the earthquake, two traces of surface ruptures appeared almost along the foot of northern and southern scarps of the graben. Serial bore hole survey conducted before the trench investigation revealed that Kusasenrigahama pumice layer (Kpfa) appeared at 7~8 m depth out of the graben, whereas the same tephra appeared at 16 m depth in the graben. The depth difference larger than scarp height in the graben indicates tectonic subsidence has continued since the deposition of Kpfa. The trench, which is 34 m long, 7 m wide and 4 m deep, was excavated across two fault traces of the graben. On the east and west walls, two strands of normal faults and deformed layers were dipping towards the center of the graben. The sediment was mainly composed of volcanic sediments that originally came from Aso Volcano. On some trench walls, a few widespread tephra, such as K-Ah, AT and Kpfa, as well as some pieces of clay pot of the Yayoi period were recognized. Most of results of ¹⁴C dating are consistent with them, and they indicated volcanic ashes constantly deposited in and around the graben. Vertical displacements along some faults and deformation of older (lower) layers were accumulated larger and more than younger (upper) layers. This cumulative displacement clearly shows that the normal faults consisting of the graben are active faults.

キーワード: 変動地形, 古地震調査, 地溝, 南阿蘇村, 2016年熊本地震, 地表地震断層, トレンチ調査, ボーリング調査

Keywords: tectonic geomorphology, paleoseismology, graben, Minamiaso village, 2016 Kumamoto earthquake, surface rupture, trench survey, boring survey

1. はじめに

布田川断層帯は阿蘇カルデラ東縁を北東端とし、宇土半島北岸にかけて伸びる総延長約 66 km の断層帯である。地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2013) は、断層帯を北から布田川区間、宇土区間、宇土半島北岸区間の 3 つに区分した。この内、布田川区間については、白川左岸露頭、田中 1 トレンチ、田中 2 トレンチにおける調査 (熊本県, 1996; 産業技術総合研究所, 2007) に基づき、最新活動が約 6900-2200 年前、それ以前の活動が約 28000~23000 年前と推定されている。しかし、これらの間に別の断層活動があったどうかは不明である。

2016 年熊本地震に伴い、布田川断層帯布田川区間を中心として布田川・日奈久断層帯に沿って地表地震断層が出現した (Lin *et al.*, 2016; Shirahama *et al.*, 2016; 熊原ほか, 2017; 鈴木ほか, 2017; 第 1A 図)。地表地震断層は従来推定されていた布田川区間の北東端を約 4 km 越え、阿蘇カルデラ内東部にまで及んだ (Tajima *et al.*, 2017 など)。阿蘇カルデラ内西部に出現した地震断層は、立野付近から北東-南西走向の右横ずれ変位を主体とするトレースと、東西走向の上下変位主体のトレースに分岐する (第 1B 図)。この内、東西走向の地震断層は濁川左岸に分布する小地溝帯に沿って、断続的にやや左ステップしながら

ら約 2.5 km 続いていた。この地溝帯が熊本地震のような断層活動によって形成された変動地形であるとすれば、地表地震断層が活断層である可能性が高い。そこで我々は、新しく阿蘇カルデラ内に現れた地表地震断層が既存の活断層の活動によって出現したのか否か、また、活断層である場合はその活動履歴を明らかにすることを目的に、熊本県阿蘇郡南阿蘇村河陽沢津野地区において古地震履歴調査を実施した。

まず、地形データ（数値標高データ）及び空中写真による地形判読、地表踏査により、トレンチ掘削地点を絞り込んだ。次に、ボーリング調査、並びに地中レーダー探査による層序及び断層変位の確認を行った上で断層が存在する可能性が最も高い地点をいくつか選定し、その内一カ所でトレンチを掘削した。掘削したトレンチは壁面整形を行い、詳細な観察に基づいて層序区分と断層変位の有無を判断した。同時に、放射性炭素年代測定用試料の採取を行い、得られた年代から地層の堆積年代を決定した。

なお本調査によって得られた活動履歴に関する知見については別途投稿予定のため、本稿では、各種調査で得られた結果の記載を中心に報告する。

2. トレンチ調査地点、掘削範囲の選定

2.1 熊本地震による地表地震断層の分布と上下変位量の分布

阿蘇郡南阿蘇村河陽沢津野地区は熊本地震で出現した地表地震断層帯の北東部に位置する（第 1A 図）。北東部のうち阿蘇カルデラ内の区間は、従来活断層が認定されておらず、地表地震断層（以下地震断層）の出現によって、はじめて活断層の存在が示唆された（鈴木ほか, 2017）。阿蘇カルデラ内の地震断層は立野付近で北東方向に伸びる右横ずれを主体とするトレースと、東方向に伸びる北落ちの上下変位と亀裂群を主体とするトレースに分岐する（第 1B 図）。このうち、右横ずれを主体とするトレースは布田川断層帯全体の走向、変位方向が一致していることや、変位量の分布形態から、従来推定されていた布田川断層帯布田川区間の延長部と見られる（Shirahama *et al.*, 2016；鈴木ほか, 2017）。一方で、東方向に伸びるトレースは濁川に並走する断続的に分布する亀裂群によって構成され、その上下変位量は最大で北落ち約 1 m を示し、幾つかの地震断層では右横ずれ変位が認められた（産業技術総合研究所, 2017）。以降ではこの地震断層トレースを濁川地震断層帯と呼ぶ。上下変位量は阿蘇東急 GC 付近を最大として東に向かって減衰し、地震断層は乙ヶ瀬集落付近で消滅する。濁川地震断層について産総研では地震直後の調査により断層の分布形態や周囲の地形的特徴から活断層を起源とする可能性を指摘していた（Shirahama *et al.*, 2016）。しかし、それらの地震断層は濁川左岸

に沿って濁川に向かって落ちる北落ちの変位を示していたことから、地すべり性の地割れの可能性があるとの指摘をうけていた。そこで、本調査では地滑りに起因する断層である可能性を念頭に置きつつ、詳細な地形・地質調査を行った。

地表踏査の結果、丘陵上に分布し南に向かって流れる小谷と無関係に地震断層が東西方向へ延びることや、地震断層の変位様式と整合する地溝が多数存在することが確認された。これらの地溝は熊本地震時と同様の変位が繰り返し生じたことによって形成された変動地形と見られ、濁川地震断層に沿う活断層の存在を支持する。また、濁川兩岸の谷壁高度を比較すると左岸側が約 20 m 高い。京大火山研究所から東側では、51±5 ka に噴出したとされる高野尾羽根溶岩（旧火山研究所溶岩、宮縁ほか, 2004；小野・渡辺, 1985）が濁川を挟んで兩岸に分布する。したがって、この高度差は、正断層によって生じた断層崖であり、濁川はその断層崖に沿って流下している可能性が高い。

地震時の変位を明確にするため、地震前後に航空レーザ測量により取得された DEM データを比較し、地震時変位量の見積もりを行った。地震前に取得されたデータとして、国土地理院の管理する 1 m メッシュの航空レーザ測量データを使用し（データファイル名：H24I0278C_阿蘇中央火口地域航空レーザ測量）、地震後のデータとして、地震直後に（株）PASCO によって取得された 0.5 m メッシュの地形データを使用した。その結果、濁川地震断層を境に、濁川とは無関係に北部が沈降した様子が認められた（第 2 図）。また、断層走向に直交方向の変位量分布は断層に向かって沈降量が増大する傾向を示した。仮に、地震断層が濁川に向かって落ちる地滑り性の変動によって生じた地割れとすれば、変動は濁川地震断層と濁川の間で留まり、その周囲には広く派生しないはずである。したがって、変位量分布図からも濁川地震断層に沿う北傾斜の正断層の存在が示される。

2.2 トレンチ候補地の選定

濁川地震断層は大きく 3 本のトレースに分けられ、北側のトレースほど東側に延長するため、大局的に杉型に雁行配列している傾向が見られる（第 1B 図）。断層の西側部分ではより変位が明瞭であるものの、人工改変が大きいことが予想されること、さらに、濁川に近く局所的な地すべり性の変位が含まれる可能性があることから候補から除外し、地震断層帯の東側部分の沢津野地区及び乙ヶ瀬地区周辺を選択した（第 3 図）。沢津野地区周辺では放牧地内に挟まれた地溝内の耕地に地震断層が延びており、比較的地形面の保存状態が良く、トレースも明瞭であった（第 3A 図）。地溝内には東西方向に並走する二本の地震断層が認められ、南側が北落ち、北側が南落ちと、

地構内部を沈降させるような変状を呈した。ここで沈降が繰り返し生じていた場合、地構内に堆積物の集積が期待されることから、候補地の一つに選定した(沢津野地点：第3B図)。地震断層は耕地のさらに東では消滅し、北側の濁川沿いにステップする。ステップした断層はほぼ乙ヶ瀬集落内の丘陵地を通るため、トレンチ調査のための用地確保が難しい。しかし、ステップした断層の西端では、地震断層が畑地を通過しており、そこに北落ちの上下変位が明瞭に確認できた。そのため、この地点をもう一つの調査候補地に選定した(乙ヶ瀬地点：第3C図)。

2.3 ボーリング調査及び地中レーダー探査結果

2.3.1 沢津野地点

沢津野地点の詳細位置と地質断面図を第4図、コア写真及び柱状図を第5～7図、地中レーダー探査結果を第8図に示す。

地溝の南側で掘削したSTN-1孔では、深度6.0mまでは褐色火山灰質シルト層を主体とし、表層～0.3m、1.4m～2.8mに厚い黒ボク土層が認められる。また、火山灰質シルト層中には鬼界アカホヤ火山灰(K-Ah)、始良Tn火山灰(AT)といった広域火山灰の他にも砂質火山灰層が多数含まれる。深度6.0mからは火山灰質砂が主体となり固結度が高まる。6.96m～7.53mには軽石質火山灰が認められる。これは阿蘇カルデラ周辺で顕著な軽石層を形成する草千里ヶ浜降下軽石(Kpfa；宮縁ほか、2004)に相当する。深度7.53mから深度7.90mにかけて上位に軽石を多数含む黒ボク土層が分布し、火山灰質砂～シルトへと漸移する。地溝の中心付近に位置するSTN-2孔の層相はほぼSTN-1孔と同様であるが、深度13.95mまで褐色ローム層を主体とし、表層～2.4m、6.7m～9.0mに厚い黒ボク土層が挟まる。Kpfaは15m～17.35mに認められ、STN-1孔と比較すると4倍以上厚く堆積する。STN-3孔は二枚目の黒ボク土層の深度が1.8m～3.5mに分布し、STN-1孔と比較するとやや厚く、深い位置に見られる。また、Kpfaは7.7m～8.05mと比較的薄く、他の孔で見られるKpfaの構成ユニットのうち白色の層準が欠落する。細かな相違は認められるものの、層相・層厚はSTN-1孔とほぼ一致する。地溝外のコア(STN-1孔及び3孔)では地下7～8mで草千里ヶ浜降下軽石層(Kpfa)が見られたのに対し、地構内(STN-2孔)では地表から約16m下で見られた。この深度の差は地形的な落差と比べると大きく、累積的な沈降が生じている可能性が高い。

地中レーダー探査では、候補地点周辺の地下4～5mまでの断面が得られた(第8図)。しかし、どの断面においても明瞭な反射面は確認できていない。ボーリングコアの結果から推察するに、地溝及び周辺の火山灰質シルト層が厚く、その中に顕著な反射面を持つ地層がないためと考えられる。

2.3.2 乙ヶ瀬地点

乙ヶ瀬地点の詳細位置と地質断面図を第9図、コアの写真と柱状図を第10図及び第11図、地中レーダー探査結果を第12図に示す。地表踏査では畑地内を東西に横切る地震断層によって北側が最大25cm低下する様子が確認された。また、耕作土に縄文～弥生時代とみられる土器が大量に含まれていることが確認された。本地点の北側には河陽F遺跡と呼ばれる縄文～弥生時代の遺構が発見されており(第3図)、本地点にも同時代の遺跡・遺構が埋没している可能性が高い(熊本県教育委員会、2003)。地震断層南側のOGS-1孔では、深度0.2mまで耕作土、0.2m～0.6mまでは褐色シルト層、深度2.6mまでは黒ボク土層と褐色シルト層の互層となり、それ以下では褐色シルトを基質とする安山岩質溶岩の角礫が見られる。角礫層は乙ヶ瀬地点の北側約100mの地点で発掘された河陽F遺跡においても認められた「濁川岩屑なだれ堆積物」と推定される(宮縁ほか、2003)。地震断層北側のOGS-2孔では深度0.2mまで耕作土、0.2m～0.7mまでは褐色火山灰質シルト層、深度3.2mまでは黒ボク土層と褐色シルト層の互層となり、それ以下では角礫層となる。OGS-2孔とOGS-1孔の層相はほぼ同一であるが、コアで見られた各地層の深度は低下側に向かって低くなる傾向があり、地下に断層による変位が及んでいると見られる。しかし、その予想される変位量は地表面とほぼ同一であり、岩屑なだれ堆積物以浅の堆積層に累積性は認められなかった。地中レーダー探査では、L-1測線とL-4測線の表層1m以浅に明瞭な反射面が見られた。それ以外では、顕著な反射面は確認できず、変形と見られる構造は確認できなかった。L-1測線の北側は地震前に人家があったことから、表層近くの反射面は旧地表面と埋土の境界である可能性がある。また、L-4測線についても道路の建設の際に東側の小丘を削り、南北の傾斜地を埋め立てているため、旧地表面である可能性がある。地震断層の出現した畑地においても平地を確保するため、東から伸びる小尾根を削り、周囲の傾斜を埋めるといった人工改変が行われたとみられる。そのため、地震断層の出現した畑地では、新しい地層が失われている可能性が高い。

2.3.3 県道149号線沿いの断層露頭

熊本地震によって崩落した県道149号線沿いの東側法面の修復工事に伴い、大規模な露頭が道路沿いに確認された(第13図)。ここでは堆積層中の黒ボク土層が、地震断層付近で撓み下がる様子が認められた。また、露頭面が尾根状地形を切断する箇所では、Kpfaが多数の小規模な正断層によって切断される様子が認められた。露頭で認められた変位は沢津野地点の位置する地溝より北側の地震断層トレースの延長線上に位置する。そのトレース上でも、沢津野地

点同様の地溝状の地形が見られることから、露頭と同様の変形が沢津野地点においても生じていることが推定される。県道 149 号線に沿って、地中レーダー探査を行った結果、L-6 測線では、深度 1 m 付近に、連続的な反射面が認められた（第 14A 図）。これらは滑らかで、ほぼ一定の深度に現れていることから、人工物の可能性がある。しかし、県道 149 号線は L-6 測線においてローム層を大きく削り込んで建設されていることから、ローム層に覆われた溶岩を反射面として検出している可能性もある。L-7 測線では深度 1.5 m に連続する顕著な反射面がやや乱れる様子が確認された（第 14B 図）。しかし、この地点では地表地震断層は確認されていない。また、この反射面が何を示しているかは不明であるため、断層の活動に伴う変形とは断定できない。

2.3.4 トレンチ掘削範囲の選定

沢津野地点におけるボーリング調査の結果、地層の対比が可能で、かつそれが示す変位が地形と調和的であることがわかった。また、地層内に多数の腐植質ローム層、広域火山灰が含まれ、年代測定が容易であることが予想された。一方で、乙ヶ瀬地点では地形改変によって最近の地層が失われており、最新イベントの認定が難しいことが予想された。また、近傍に大きな遺跡があり、耕作土に大量の遺物が含まれることから、事前の文化財調査が必要であり、掘削までに時間を要する可能性が高かった。したがって、乙ヶ瀬地点より沢津野地点の方が、活動履歴推定に適した条件が揃っており、トレンチ調査に適していると判断した。以降では沢津野地点で掘削したトレンチを「沢津野トレンチ」と呼ぶ。

掘削地点は立野地区から 2 km 東の 2~4 m の崖に挟まれた地溝内に位置する（第 15 図）。そこでは、地溝内の平坦地を利用した水田に、幅 20~30 m でほぼ並走する東西走向の二本の地表地震断層が確認された。南側のトレースは北落ち、北側のトレースは南落ちを示し、地形と調和的に中央部分が落ち込む様子が見られた。そこで、畑地を南北方向に横切る導水管を避けつつ、東西方向に伸びる地震断層トレースをなるべく壁面中央に捉えるように、長さ 34 m、幅 7 m、深さ 4 m のクランク状のトレンチを掘削した。

3. 壁面の記載

沢津野トレンチのうち観察した壁面は北側の 3 面、南側の 3 面、及びそれらをつなぐ E2 面である。W1 面は第 16 図、N 面は第 17 図、E1 面は第 18 図、E2 面は第 19 図、E3 面は第 20 図、S 面は第 21 図、W3 面は第 22 図にそれぞれの写真及びスケッチをまとめた。スケッチの凡例は第 23 図に示した。壁面には地表地震断層につながる断層と、地層の変形が明瞭に確認された。トレンチには、阿蘇火山を給源とする

火山噴出物からなる地層が主に分布しており、W1 面及び E1 面では南落ちの正断層、W3 面及び E3 面では北落ちの正断層による変形が生じる様子が明瞭に認められた。地層は複数の断層によって切られつつ、地溝の中央側に向かって撓み下がる傾向を概ね示した。トレンチ壁面には、黒色火山灰質土（黒色シルト、いわゆる黒ボク土）と褐色火山灰質土（褐色シルト、いわゆる赤ボク土）が互層をなしており、これに火山灰層が数層準挟まれる。トレンチ壁面で観察される地層は、側方への連続性がよく、複数条の断層を挟んでも容易に対比が可能であった。これらの地層を層相や連続性に基づいて、上位より耕作土（A-1 層）、埋土（A-2 層）、黒色火山灰質土（B-1 層~B-4 層）、褐色火山灰質土（C-1~C-2 層）、黒色火山灰質土（D-1 層~D-2 層）、褐色火山灰質土（E-1~E-7 層）、火山砂層（F-1 層）、軽石層（G-1~G-4 層）、黒色火山灰質土（H 層）に分類した。このうち、C-2 層は K-Ah、軽石層（G-1~G-4 層）は Kpfa に相当し、E-5 層は AT を含む。トレンチ壁面には複数の断層が認められ、主要な断層から順に番号をつけ（例；W1-F1, W1-F2, …）、分岐断層については主断層をはじめとして、枝番をつけて表記した（例；W1-F1a, W1-F1b, …）。以降の記述では、まず、トレンチ全体に分布する亀裂について述べた後、トレンチ壁面に見られた地層について詳細に記載する。次に、地震断層を横切る壁面について W1, E1, E3, W3 の順に記載し、それらをつなぐ N, S, E2 面についてまとめて記載を行った。

3.1 壁面に認められる亀裂

壁面全体には、多数の亀裂や断層が確認できる。これらをすべてスケッチ上に明示することは不可能であり、かつ煩雑になることを避けるため、変位量がほとんどないか、下部に向かって追跡できなくなるような亀裂については明示せず、地層中に含まれる礫と同様に薄い黒線で示した。ただし、E3 面の E3-7~E3-12 にかけて分布する亀裂の幅が大きく充填物の落ち込みが認識できる亀裂については特別に開口亀裂として区別した。それ以外の大きい変位を持つ亀裂については断層または小断層に区分した。

D-1 層より上位層、特に C-1 層より上位には熊本地震による変位に伴って形成されたと思われる多数の新しい亀裂が認められた。これらの亀裂は、亀裂自体が新鮮であることと充填堆積物の密度が低く、周囲の堆積物との固さの違いから過去のイベントで形成された亀裂と明確に区別される。また、C-1 層をはじめとする褐色火山灰質シルト層に形成された亀裂の場合は、亀裂が B-4 層より上位の黒ボク土によって充填され、黒い筋として認識しやすくなるため、極小さい亀裂であっても検出できる（例えば第 22B 図）。結果として、スケッチ上には C-1 層に多数の亀裂が集中するように描かれるが、B 層内にも同

程度の亀裂群は存在すると見られる。亀裂群の中には、大きく分けて二種類の亀裂が存在する。ひとつは断層の上盤側（低下側）に分布する地溝の外側に向かって傾斜する亀裂群であり、もうひとつは開口亀裂として認識された下盤側（隆起側）に分布する亀裂群である。前者は、地溝中央部の沈降に伴う圧縮性の亀裂と見られる。E1-F3断層やW1-F3断層は同様の応力によって形成されたと見られ、B-4/C-1境界を基準としたとき、約10-15 cmの比較的大きい上下変位量を示す。これら2本の断層は黒ボク土中で分散、ステップしつつ、全体として傾斜を緩めながら地表まで伸びる様子が観察された。E1-F3断層の場合はE1-9.5付近、W1-F3断層の場合はW1-10.6付近まで亀裂が断続的に伸びる。これらの地表との合流点を境に北側の地表面やA-1/A-2境界の南傾斜がやや強まっており、沈降に伴う歪が集中した結果、断層に成長したものと考えられる。一方、隆起側の開口亀裂群は撓み下がりに伴い地層が伸長された結果形成されたと見られる。主要な断層付近の浅い地層ほど明瞭で、E3-7~E3-12にかけては、D-1層まで及ぶものを含む多数の開口亀裂が分布する。これらのうちE3-7.3, 8.8, 9.9, 11.4付近の北落ちの変位に伴う開口亀裂についてはE1-OC1~E1-OC4と名付けた。

3.2 トレンチ壁面に見られる地層

A-1層（耕作土）：

褐色シルト片を含む腐植質砂~シルトからなり、トレンチ全体に露出する。締まりの緩い濃褐色を呈するシルト~砂を主体とし、褐色シルト（褐色火山灰質土）起源のPATCHないし中礫（径2 cm程度以下）~砂サイズの粒子や植物根を多く含む。層厚は30 cm程度で、下位のA-2層との境界は明瞭である。

A-2層（埋土）：

シルト片混じり砂質シルトからなり、トレンチ全体に露出する。よく締まった黒色のシルトを主体とし、褐色シルト起源の中礫（径2 cm程度以下）~砂サイズの粒子を含む。最上部の1~2 cm程度は黒色~褐色を呈し、平板状で硬い。上部はやや褐色味を帯び、中部はやや濃い黒色で、下部はやや淡い色調を呈する。層厚はトレンチの南北端で薄く、中央部へ向かって厚くなり最大約80 cm程度で、下位のB-1層との境界は不明瞭である。

B-1層（風成堆積物）：

腐植質シルトからなり、N面とS面を除くトレンチ全体に露出する。よく締まった黒色の腐植質シルトを主体とし、褐色シルト起源の中礫（径2 cm程度以下）~砂サイズの粒子を含むが、含有量はA-2層より少ない。層厚は15~20 cm程度で、下位のB-2層との境界は不明瞭である。

B-1x層（開口亀裂充填物）：

シルト片混じり腐植質シルトからなる、E3面の開

口亀裂E3-OC2を充填する堆積物である。締まりの緩い黒色の腐植質シルトを主体とし、角礫状の褐色シルト片を含む。主にB-1層からB-3層及びC-1層の混合物からなる。

B-2層（風成堆積物）：

腐植質シルトからなる。灰黒色を呈し、上下の地層より色調がやや明るい。よく締まった黒色の腐植質シルトを主体とし、褐色シルト起源の粒子を極まれに含む。層厚はトレンチ中央部で厚く、最大50 cm程度で、下位のB-3層との境界は不明瞭である。

B-3層（風成堆積物）：

腐植質シルトからなり、N面とS面を除くトレンチ全体に露出する。よく締まったやや明るい色調の黒色の腐植質シルト~砂を主体とし、褐色シルト起源の粒子は極まれにしか含まれていない。E-1面では上部に薄い火山灰層を挟む。層厚はトレンチ中央部で厚く、最大40 cm程度で、下位のB-4層との境界は不明瞭である。

B-4層（風成堆積物）：

腐植質シルトからなり、N面とS面を除くトレンチ全体に露出する。よく締まった濃い色調の黒色の腐植質シルト~砂を主体とし、褐色シルト起源の粒子をまれに含む。下部では下位層の褐色シルトを角礫~PATCH状に取り込む。層厚はトレンチ中央部で厚く、最大100 cm程度である。下位のC-1層との境界の大半は凹凸に富み明瞭であるが、一部では漸移的で不明瞭である。断層周辺では、亀裂や小断層に沿って下位層中に落ち込んでいる様子が観察される。

C-1層（風成堆積物）：

火山灰質シルトからなり、N面とS面を除くトレンチ全体に露出しているが、北側トレンチでは断層下盤側（北側）には分布していない。よく締まった茶褐色から明褐色の火山灰質シルト~砂を主体とし、細~中礫状の黒色シルト片やスコリア粒子、火山砂の角礫を極わずかに伴う。明褐色の火山灰質シルトのPATCH（径5 cm~最大40 cm程度）を大まかに3層準、灰色の火山ガラス質細粒砂の薄層ないしレンズを大まかに2層準挟む（第24B図）。E-3面（E3-1, H4付近）及びW-3面（W3-1, H3.9付近）には、再堆積と考えられる橙色軽石を含む腐植質シルトをレンズ状に挟む。E3面、W3面及びW1面の下部には淡橙色火山灰質シルト（C-2層;K-Ah火山灰）をPATCH~角礫状に挟む。K-Ah層準から25~30 cm程度上位に、径2 mm程度以下の白色の軽石粒子が極まれに散在しており、阿蘇中央火口丘第一軽石（ACP1）と考えられる。このほか、長さ10 cm以下の棒状で角の丸い黒色シルトが含まれているが、これらは地層の傾斜と無関係に水平に分布すること、縦方向に連結する可能性があることから、堆積後に形成された生痕（おそらくアリなどの生物の巣穴）と考えられる（第24C図）。層厚はトレンチ中央部で厚く、最大150 cm以上である。下位のD1層との境界は漸移

的で不明瞭である。

C-1x 層 (イベント堆積物) :

腐植混じり火山灰質シルトからなり、W3 面の断層周辺にのみ分布する。主に C-1 層をなす褐色シルトを主体とし、腐植質シルトを混在する。淡橙色火山灰質シルト (C-2 層; K-Ah 火山灰) の砂～中礫サイズの粒子を含む (第 24D 図)。D-1 層を覆い、C-1z 層に覆われる。後述する ^{14}C 年代測定の結果、K-Ah より上位から採取された試料が、降灰時期 (約 7300 年前) より古い年代値を示した。また、腐植シルトの含有量は断層近傍で高く、地溝の中央部に向かって減少する傾向が見られた。

C-1z 層 (開口亀裂充填物) :

腐植質シルト片及びシルト片混じり腐植質シルトからなり、W3 面の断層周辺に、断層活動によってできた開口部を充填するように分布する (第 24F 図)。角礫状の黒色腐植質シルト片及び褐色シルト片と、やや締まりの緩い腐植質シルトの基質からなり、礫の含有量が層準によって変化する。D-1 層、C-1 層、C-1x 層を覆い、B-3 層に覆われる。

C-2 層 (K-Ah ; 風成堆積物) :

火山灰質砂質シルトからなり、W1 面、W3 面、及び E3 面の C-1 層下部に不連続に挟まれて分布する。淡橙色を呈し、火山ガラスを多量に含む。W3 面の断層上盤側 (北側) では、C1 層下部に 10 cm 程度以下のパッチ状に挟まれ、不連続ながら層を形成している。断層下盤側 (南側) の C1 層中、及び断層周辺の C-1x 層中にも散在する。さらに、南側トレンチの底盤及び E3 面増堀部の C-1 層中にも観察された。このほか、W1 面の C-1 層下部にもわずかに分布が認められる。

D-1 層 (風成堆積物) :

腐植質シルトからなり、北側トレンチの断層上盤側 (南側)、及び南側トレンチに分布する。よく締まった黒色を呈する腐植質シルト～砂からなり、細～大礫状の褐色シルト片を含む。上部及び下部が淡黒色で、中央に濃い黒色部が分布するが、境界は不明瞭で漸移的である。W3 面から S 面にかけては、角礫状の火山灰質シルト片を含む D-2 層が挟まれる。断層に向かって傾斜が急になり、断層周辺では褐色シルト (C-1x 層や E-2x 層) に取り込まれる。W3 面の W3-9～W3-11 付近では C-1x 層及び E-1 層を巻き込んで Z 字状の分布を示しており、D-1 層中の堆積構造は不明瞭ではあるが、横臥褶曲状の構造を形成していると解釈した (第 22B 図)。層厚は最大で 90 cm 程度である。下位の E 層との境界の大半は凹凸に富み明瞭であるが、一部では漸移的で不明瞭である。また、亀裂や小断層に沿って下位層中に落ち込んでいる様子が観察される。

D-1x 層 (イベント堆積物) :

シルト片混じり腐植質シルトからなり、E1 面の断層周辺に分布する。やや締まりの緩い濃褐色のやや

腐植質なシルト～砂を基質とし、径 4 cm 程度以下の角礫状の褐色シルト片が散在する。褐色シルトと黒色腐植質シルトの混在物と考えられる。E-2 層及び E-2x 層を覆い、B-4 層に覆われる。

D-2 層 (風成堆積物) :

シルト片～砂混じり腐植質シルト。南側トレンチの W1 面から N 面にかけて、断層下盤側 (南側) に分布する。灰黄褐色を呈し、よく締まった黒色腐植質シルトを主体とし、角礫状～砂状の褐色シルト片を含む。礫は亜角礫状で径は最大 7 cm 程度である。層厚は 20 cm 程度で、D-1 層に挟まれて分布し、上下の境界はともに不明瞭。

E-1 層 (風成堆積物) :

砂質シルト。南側トレンチの断層下盤側 (南側) に分布し、北側トレンチには露出していない。角礫状に破碎されており、硬く固結した礫部と、よく締まった茶褐色の砂質シルト～砂を主体とし、まれに黒色シルトを礫状に含む基質部からなる。層厚は 50 cm 程度で、下位の E-2 層との境界は凹凸に富み、不明瞭で漸移的である。

E-2 層 (風成堆積物) :

シルト質で、トレンチ全体の主に断層下盤側に分布する。よく締まったやや明るめの茶褐色のシルト～砂を主体とし、径 2 cm 以下の黒色シルト片をまれに含む。全体として割れ目がすくないが、W-1 面の断層上盤側や、W3 面の断層近傍では角礫状に破碎される。層厚は北側トレンチでは 80 cm 以上、南側トレンチでは 60 cm 程度で、下位の E-3 層との境界は漸移的で不明瞭である。

E-2x 層 (風成堆積物) :

角礫状シルト～角礫状砂質シルトからなり、E1 面の断層上盤側 (南側) に分布する。径 10 cm 程度以下の褐色シルトからなり、やや締まりの緩いシルト～細礫サイズの褐色シルトの基質を伴う。腐植質シルト (D-1 層) を不定形に取り込んでいる。主に E-1 層及び E-2 層構成物からなると考えられるが、E-3 層以下も混在している可能性がある。著しく破碎されており、E-1 層と E-2 層の境界が判別できないため E-2 x 層として一括した。

E-3 層 (風成堆積物) :

主に砂質シルト～砂からなり、トレンチ全体の主に断層下盤側に分布する。茶褐色で、E-2 層よりも細粒砂の割合が多い。やや硬く固結しており、角礫状に破碎される。北側トレンチでは層厚が 100 cm 程度、南側トレンチでは 60 cm 程度で、下位層との境界は比較的明瞭である。

E-4a 層 (風成堆積物) :

腐植質シルトからなり、北側トレンチの断層下盤側 (北側) に分布する。非常によく締まった濃褐色のやや腐植質なシルト～砂を主体とし、細砂の割合が多い。層厚は 20 cm 程度で、下位の E-4b 層との境界は比較的明瞭である。

E-4b 層（風成堆積物）：

よく締まった粘土質シルトからなり、北側トレンチの主に断層下盤側（北側）に分布する。褐色を呈し、粘り気がある。層厚は 30 cm 程度で、下位の E-4c 層との境界は凹凸に富み、不明瞭である。

E-4d 層（風成堆積物）：

腐植質シルトからなり、南側トレンチの断層下盤側（南側）に分布する。濃褐色のやや腐植質なシルトを主体とする。層厚は 20 cm 程度で、下位層との境界は不明瞭である。北側トレンチの E 層との対比が困難であるため、E-4d 層として分けて示した。

E-5 層（風成堆積物）：

よく締まった火山灰質中粒砂～シルトからなり、トレンチ全体の主に断層下盤側に分布する。W3 面では E-6 層中にレンズ状に含まれている。淡黄褐色を呈し、AT と見られる火山ガラスや斜長石結晶を含む。火山ガラスは部分的に濃集する。層厚は 30 cm 程度で、下位の E-6 層との境界は凹凸に富み、比較的明瞭である。

E-6 層（風成堆積物）：

腐食質シルトからなり、トレンチ全体の主に断層下盤側に分布する。濃褐色～黒褐色を呈するよく締まった腐植質なシルト～粘土を主体とし、砂サイズの粒子を伴う。橙色の軽石粒子がまれに散在する。まだら状の紋様が見られ、粘り気がある。層厚は 50 cm 程度で、下位の E-7 層及び F-1 層との境界は漸移的で不明瞭である。W1 面、W3 面及び E1 面では、小断層に沿って F-1 層中に落ち込む様子が観察される。

E-7 層（風成堆積物）：

火山灰質砂～シルトからなり、トレンチ全体の主に断層下盤側に、やや不連続に分布する。よく締まった淡黄褐色の火山灰質なシルト混じりの中～細粒砂を主体とし、粘土を含み、やや粘り気がある。橙色の軽石粒子がまれに散在する。層厚は 20～40 cm 程度で、下位の F-1 層との境界は凹凸に富み、比較的明瞭である。小断層に沿って F-1 層中に落ち込む様子が観察される。落ち込みの部分には上位の E-6 層や E-7 層が混在している可能性がある。

F-1 層（風成堆積物）：

軽石混じり細～中粒火山灰質砂からなり、トレンチ全体の主に断層下盤側に分布する。灰褐色を呈し、上方細粒化するとともに、上方へ向かってシルト～粘土分が増加する。橙色の軽石粒子や黒色の角閃石結晶が散在する。固結しており硬く、割れ目が発達している。層厚は北側トレンチでは 50 cm 程度、南側トレンチでは 80 cm 程度で、下位の G-1 層との境界は漸移的で不明瞭である。

G-1 層（Kpfa 最上部；風成堆積物）：

軽石混じり火山灰質砂～シルトからなり、北側トレンチの断層下盤側（北側）、及び南側トレンチ下盤側（南側）に分布する。よく締まった褐灰色の火山

灰質砂～シルトを基質とし、径 2 cm 以下の橙色の軽石粒子を多く含む。F-1 層よりもシルトを多く含む。層厚は北側トレンチでは 10 cm 程度で、下位の G-2 層との境界は細かい凹凸に富み、明瞭である。

G-2 層（Kpfa 上部；風成堆積物）：

粗粒軽石からなり、北側トレンチの断層下盤側（北側）、及び南側トレンチ下盤側（南側）に分布する。よく締まった橙色を呈する径 2 cm 程度以下の粗粒な軽石を主体とし、まれに褐灰色の砂～シルトを伴う。層厚は北側トレンチでは 40 cm 程度で、下位の G-3 層との境界は細かい凹凸に富み、明瞭である。

G-3 層（Kpfa 中部；風成堆積物）：

よく締まった軽石混じり火山灰質砂～シルトからなり、北側トレンチの断層下盤側（北側）、及び南側トレンチ下盤側（南側）に分布する。褐灰色を呈し、径 2 cm 程度以下の橙色の軽石粒子を散在する、または不定形の軽石集合体を団塊状に含む。層厚は北側トレンチでは 30 cm 程度で、下位の G-4 層との境界は漸移的であるが明瞭である。

G-4 層（Kpfa 下部；風成堆積物）：

よく締まった細粒～中粒軽石からなり、北側トレンチの断層下盤側（北側）、及び南側トレンチ下盤側（南側）に分布する。橙色～褐灰色を呈し、上方細粒化がみられる。層厚は北側トレンチでは 30 cm 程度で、下位の H-1 層との境界は細かい凹凸に富むが、明瞭である。

H-1 層（風成堆積物）：

軽石混じり腐食質細粒砂～シルトからなり、北側トレンチの断層下盤側（北側）に分布する。よく締まった濃い黒色の腐植質なシルト～砂を主体とし、径 0.5 cm 以下（最大 2 cm）の軽石粒子を多量に含む。下部には安山岩の細礫が含まれる。層厚は 40 cm 以上である。

3.3 W1 面の記載

W1 壁面の底面付近では、W1-4～6 の区間に 2 条、W1-8 付近に 1 条の主要な断層が認められた（第 16B 図）。これらの断層を W1-F1～W1-F3 断層と呼ぶ。W1-F1 断層と W1-F2 断層は上方に向かって多数分岐しており、上盤側の地層を著しく変形させる。W1-F1 断層は W1-4.8 付近から W1-1 に向かって伸び、南落ちの断層崖を形成した地表地震断層へとつながる。断層による上下変位は地表面で約 50 cm、E-5 層や D-1 層を基準とすると約 100 cm であった。このうち W1-F1 断層は H1 付近からほぼ垂直に W1-F1b 断層が分岐する。変位量は数 cm～5 cm と小さいものの地表面まで切断する。W1-F1 断層の上盤側には破碎された角礫状シルト層（E-2x 層）が認められる。E-2x 層は、E-1 層及び E-2 層が W1-F1 断層からの分岐断層（W1-F1f～F1k）や W1-F2 断層によって著しく破碎された地層と見られ、両者の区別は難しい。E-2x 層には変位に伴って生じたクラックに沿って

D-1層の黒ボク土が充填され、D-1層との地層境界は著しく乱されている。W1-F2断層はW1-5.2付近から、南に伸びる北落ちのW1-F2c断層とほぼ垂直に伸びる南落ちのW1-F2a断層に分岐する。二つの分岐断層の間は著しく破碎されている様子が認められ、南落ちの変形に伴いE-2x層がくさび状に落ち込んだものと見られる。W1-F1断層の下盤側（北側）では、E-2層より上位の自然の堆積層は水田の拡幅により失われ、その分布形状は不明である。E-2層から下位の層準には、小断層（W1-F8～F13）により切られつつ、南へやや撓み下がる地層の分布が確認できる。これらの小断層は、主にほぼ水平なW1-HF断層から分岐する北傾斜かつ北落の正断層群で構成され、G-2層からE-4b層までを切断・変形させる。小断層によってブロック状に切断された地層は、反時計回りに回転し、地溝中央部に倒れ込むような覆瓦構造を呈する。W1-F3断層はC-1層を切断する逆断層で、その変位量はA-4/C-1境界で上下に約10cmである。断層は断続的な亀裂としてW1-10.7付近の地表まで追跡できるが、黒ボク土中で分散し、変位量は漸減する。W1-F1断層とW1-F3断層の間の地表は断層崖からW1-10にかけて緩やかに傾斜し、同様に地層も南への傾動を示す。B-2/B-3境界はほぼ地形と同程度に傾斜するが、B-4/C-1境界は明らかにそれより大きく、D-1層はそれよりさらに大きく傾斜する。これは沈降による変形が累積した結果とみられる。C-1層はW1-F1断層とW1-F3断層の間で傾斜しつつ、多数の亀裂が分布する。その亀裂はB-4層によって充填されており、過去の活動に関連して形成された亀裂と見られる。W1面の変形は全体としてはW1-F1断層を主断層とする南落ちの正断層の活動に起因しており、W1-F2断層及びW1-F3断層は主断層から派生した分岐断層と推定される。

3.4 E1面の記載

E1面で認められる主要な断層は南落ちの変位を伴うE1-F1～F3断層である（第18B図）。このうちE1-F1断層の断層沿いの変位が最も大きく、主断層と見られる。断層はほぼ垂直に立ち上がり、H3.5付近で分岐し、地表付近で更に分岐・発散しつつ二本の地表地震断層につながる。E1-F1断層を境に地層は大きく異なっており、低下側では下部に赤ボク土層（C-1層）、上部に黒ボク土層（A層群及びB層群）が厚く分布する。これらのB-4層以浅の地層はE1-F1断層北側にも連続するが、それより下部の地層は連続せず、E-2層以下を不整合に覆う。断層に沿って、E-2x層とD-1層が著しく南に傾斜しており、低下側への引きずり込みによると考えられる。E1-F1断層を挟んだB-3層以浅の地層境界が示す上下変位量は、北に分岐した断層で約15cm、南に断層で約15cmの計30cmであった。また、断層沿いのB-3層上面以浅における地層境界を基準とした変位量は

地表面の変形量と同程度であった。一方、C-1層堆積以前の変位量は地層の対比が出来ないため、不明である。E1-F2断層はクラックとして追跡できるが、その変位量は殆ど無いか小さい。H3.0付近でE1-F1からの分岐断層と交差するが、そこから上は上方に向かって殲滅する。E1-F3断層はE1-8付近からやや南に傾斜して伸びる逆断層でC-1層の上面を10cmほど変位させる。黒ボク土中の断層は分岐しつつ殲滅していくものの、地表面付近まで亀裂が追跡できる。断層より低下側に厚く堆積するC-1層中にはパッチ状の火山灰濃集層や灰色の火山ガラス濃集層が断続的に分布する（第24B図）。それらの分布からおおまかな堆積構造が認められ、低下側をより厚く埋めるように地溝が埋積されていた様子が推定される。こうした堆積構造はE1面ほど明瞭ではないものの、E3面、W1面、及びW3面においても確認できる。E1-F1断層を挟んで北側の地層は多数の小断層、亀裂による破碎が顕著である。E-1層から上位は水田の拡幅により失われているが、E-2層から下位は成層構造を保ったまま、やや南に傾動した分布を示す。E-4a層からG-2層には、ほぼ水平なE1-HF断層から派生した北傾斜の小規模な正断層群が発達する（第24E図）。W1面同様、地層には覆瓦構造が見られ、沈降に伴って地層が引き伸ばされ地溝中央部に向かって倒れ込むような動きが生じた結果形成されたと推定される。

3.5 E3面の記載

E3面では、他の壁面と比べて断層をはさんだ地層の連続性がよく、断層沿いの累積変位が明瞭に確認できる（第20B図）。B層は南側に向かって撓み上がりつつ薄くなり、E3-12付近で褐色ローム層に接する形で殲滅する。上位のA層群はそれを覆う形でさらに南側へと広がる。B-4層はE3-9付近で褐色ローム層と接しており、その地点を境にB層とC-1層の地層境界の状態が変化する。北側ではB-4/C-1境界が漸移的でC-1層が整合的に覆われているのに対し、南側では明瞭で、B-3層がC-1層を不整合に覆う。この境界層の側方変化はW1面及びW3面でも同様に認められる。先述したようにE3面にはE3-6～E3-11間に開口亀裂（E3-OC1～4）が顕著に発達する。対して、E3-6付近にほぼ垂直に伸びるE3-F1断層及びE3-F2断層は、上部では逆断層的な形状を示す。E3面には多数の断層が認められるが、その中で主要な断層はE3-F1～F3の3本と見られる。E3-F1断層はE3-7.5付近からほぼ垂直に立ち上がり、H3.0付近で分岐する。南側に分岐したE3-F1b断層はE3-OC1へとつながり、北側に分岐したE3-F1a断層は上部では逆断層的に地層を変位させる。E3-F2断層はE3-6.5付近からほぼ垂直に立ち上がり、分岐収斂を繰り返しつつ、H1.5付近でE3-F1断層と交差する。E3-F2断層に沿う変位量は黒ボク土層中では数cm程

度で、B-4/C-1境界で約15 cmである。一方C-1/D-1境界の変位量は約100 cmと変位の累積が認められる。これらのE3-F1及びE3-F2断層を境にC-1層やD-1層の層厚が著しく変化の様子が認められる。C-1層及びD-1層は南側ではE3-F1断層まではほぼ一定の厚みを持って上に凸に撓み下がる傾向を示す。しかし、これらの地層はE3-F1断層を境に約2倍に厚みを増し、E3-F2断層を境にさらに厚みを増す。こうした形状から、C-1層及びD-1層の堆積中にE3-F1断層及びE3-F2断層が活動していたことが示唆される。E3-F3断層は増掘りによってトレンチ最下部でよりはっきりと認められ、Kpfaを明瞭に切断し、それより上位の地層の撓み変形を形成したと見られる。この断層はE層中で複雑に分岐し、上方への追跡は難しいが、その延長部は撓み変形のはじまる場所(E3-11.5付近)に位置するE3-OC4に当たることから、変位はE3-F2断層からE3-W11までの間に分散したものと考えられる。E3-F3断層の下盤側(隆起側)は、小断層により著しく破碎されており、やや北側に向かって上に凸に撓み下がるものの、断層の上盤側(低下側)と比較するとその程度は断層推定位置を境に大きく変化する。したがって、E3-F3断層は地下に想定される主断層の延長線に当たっており、E3-F1断層との間のくさび状の領域において、断層沿いに生じた変位の大半が集中しているものと考えられる。E3-F3断層を境に下盤側(南側)では、開口亀裂や南傾斜の小規模な正断層が多数見られ、亀裂や小断層によって生じた凹地を上位層が充填の様子が認められる。E3-11~14付近ではE層群が南側に落ち込み、その落ち込みを充填する形でD-1層が厚く堆積している。また、F-1層に生じたクラックをE-6層やE-7層が充填の様子が認められる。

3.6 W3面の記載

W3面における全体的な地層の分布としてはE1面、W1面と同様で、上盤側(北側)に厚い黒ボク土層(A層群及びB層群)と赤ボク土層(C-1層)が分布する(第22B図)。比較的連続性がよく、全体として北に傾斜する分布が認められる。W3面では断層を境にE-1層より上位の地層が断層の両側で対比できる。E1面やW1面と比較すると断層近傍の変形帯の幅が広く、かつ複雑な変状を呈する。断層はW3-F1~F3といった北落ちの正断層が主であるが、地表近くではW3-F1断層に収斂し、地表地震断層へとつながる。断層を境に大きく地層が異なること、変位量が大きいことから、W3-F1断層が主断層と見られる。この断層はH3.0より下部では複雑に分岐収斂し、幅約10 cmの断層破碎帯を形成する。破碎帯には薄く切断されたD-1層が挟まれる。W3-F1断層の上盤側に分布するC-1層中には多数の亀裂が認められる。また、W3-F1断層上のW3-8.3、W3-9、W3-9.5、W3-10付近からほぼ垂直に北落ちの上下変位を伴う

小断層が分岐する。このうち、W3-F1b及びW3-F1cは、A層中で徐々に変位量が減少するものの、耕作土下面を変形させる。これらの小断層によりB層は北に向かって階段状に低下する。その変位量はA-2/B-1境界とB-3/C-1z境界でほぼ等しく、この間大きなイベントがなかったことが推定される。W3-F1c断層とW1-F2断層によってC-1層の分布が途切れており、その間には角礫状の褐色火山灰質シルト及び腐植質シルトから構成される堆積物(C-1z層)が認められる(第24F図)。この堆積物はW1-F1a、F1b、F1c及びF1d断層によって切断される。W3-F1e断層沿いのB-4/C-1境界の示す上下変位量は、C-1/C-1x境界と比較して小さく、変位の累積が認められる。W3-F1e断層はB-3層中で殲滅し、B-4/C-1境界で認められる上下変位はB-2/B-3境界より上位には見られない。W3-F1断層の南側に分布するW3-F2断層及びW3-F3断層は主にD-1層より下位の地層を変位させており、W3-F2断層とW3-F1断層の間でD-1層より下位の地層が大きく沈降の様子が認められる。W3-F2断層はG-2層より下位を切断しないが、W3-F3断層はKpfaを明瞭に切断する。W3-F3a断層はW3-F3b断層とW3-F2断層にステップし、変位を分散させているものと考えられ、両断層の間に位置するW3-F4断層はW3-F2断層と合わせて負の花弁構造を形成する。W3-F2断層とW3-F1断層の間でD-1層は地層中にC-1層下部相当と見られる地層(C-1x)を内包する。また、W3-11付近ではE-1層が貫入し、上位のD-1層に食い込んでいる。D-1層内部の堆積構造は不明瞭であるが、W3-11~W3-9付近でE-1層及びC-1x層を巻き込んでZ字状に褶曲している可能性がある。この変形はW3-F1a断層の南側においてK-Ah(C-2層)を含むC-1層によって不整合に覆われる。C-1層下部のK-Ah層(C-2層)はW3-F1断層を境に上下に約150 cm食い違う。熊本地震による地表の上下変位量は約30 cmであったため、変位の累積が明らかに認められる。W3-F2断層より南側では南落ちの小断層や亀裂群が発達する。E-1層に発達するこうした亀裂に沿ってD-1層が落ち込む。また、北側トレンチ同様、E-4層より下部には南傾斜の正断層性の変位を示す小断層が分布し、地溝中央部へ倒れ込む覆瓦構造を形成する。

3.7 N面、S面及びE2面の記載

N面、S面、及びE2面では、その両端で接する壁面と同様の地層がほぼ水平に分布する。N面及びS面ではE-4a層より下位に東方向に傾斜する小断層が見られ、N面ではW1及びE1面から連続する水平な断層(N-HF)が認められる。こうした分布からは、トレンチ下盤側に分布する小断層群が、トレンチの北側では左ステップする北東落ちの正断層群、南側では右ステップする南東落ちの正断層群であることが示唆される。したがって、沈降部はやや西向きの

成分を持つことが示唆される。水田東側で見られた擁壁の変形は、断層を挟んだ南北の隆起側に対し、地震時に沈降部が西に移動したことを示した。これは、小断層群の示唆する沈降部の西向きの動きとも調和する。

E2面ではC-1層の上部からA-1層までが厚く堆積している様子が認められる。ほぼ水平であるが、B-3層より上位はやや東に傾斜し、B-4/C-1境界はE2-2.5付近に向かって撓み下がる。すべてのトレンチ壁面のB-4/C-1境界の深度を比較するとE2-2.5付近を最深部として南北方向だけではなく、東方向の撓み下がりが認められる。これは水田内に認められた熊本地震による沈降量がE2-2~3付近において最大であったことと一致しており、過去にも断層の活動に伴い、同様の変位量分布を持つ地表地震断層が生じていた可能性が高い。

3.8 沢津野トレンチにおける堆積環境の変遷

本トレンチで見られる堆積物の殆どは阿蘇火山を給源とする火山噴出物及び風成の二次堆積物である。掘削地点は現在も活発に活動する阿蘇火山群から数kmの圏内に位置することから、火山噴出物が常に供給されることで、厚いローム層が形成されたと見られる。C-1上面の一部や断層近傍を除けば、顕著な不整合は見られず、Kpfa以降一貫して堆積場であったようである。トレンチ壁面では地震断層につながる複数の断層が認められ、多数のイベントに伴って堆積したとみられる再堆積物や累積変位が確認できた。したがって、地表地震断層やトレンチ壁面で認められた断層は、過去に繰り返し活動した活断層を起源とすることは明らかである。イベントに伴い地溝内部が沈降すると、地形的落差が大きくなることが予想される。堆積直後の火山灰は植生により固定されるまでの間、風や降雨に伴う表層流によって移動しやすく、多くの事例が報告されている（例えばTeramoto *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2014; Jones *et al.*, 2017など）。火山灰は、降下時には地形を均一の厚さで覆うと考えられるが、その後風や表層流によって運ばれると、凹地である地溝内部に集積することが予想される。その結果、地溝内部において周囲と比べて厚い火山灰の堆積層が形成されたと考えられる。

C-1層の上部では根の痕跡や多数の炭化物が確認されるが、それより上位のB層中には同様の構造は認められない。W1面のB-4/C-1境界には土器片が出土しているため、伐採や焼き畑による人為的な堆積環境の変化が影響している可能性がある。トレンチ南北端付近のE-2層上面及びC-1層上面の不整合の一部は、現代の圃場整備に伴う人口改変によるものである。一方、B-3/C-1境界のうちE3-9~11に見られる不整合の要因としては断層の活動や人工的な裸地化によって生じた風食などが考えられる。ただし、E3面におけるC-1層の厚さがほぼ変わらないことか

らその侵食量は小さいと考えられる。

4. 推定される各地層の年代

トレンチ壁面とボーリングコアから得られた放射性炭素年代を表2に示す。測定は一部の炭化物を除き、主に採取した試料中の全有機及び無機炭素を対象に行なった。前処理及び加速器による同位体測定などの各種分析は東京大学大気海洋研究所（Atmosphere and Ocean Research Institute: 以下AORIと表記）に、ボーリングコア試料の分析は（株）地球科学研究所（Geo Science Laboratory: 以下GSLと表記）を通してベータアナリティック社に依頼した。得られた年代値は、OxCal v4.3 (Bronk Ramsey, 2009)を使用し、校正曲線にINTCAL13 (Reimer *et al.*, 2013)を参照して、暦年校正を行った。以下では、暦年校正値 ($\pm 1\sigma$ 以下の範囲)を基本表記とし、括弧内に校正前の年代値 (Conventional Radiocarbon Age)を併記した。

堆積物の年代測定の結果、B-2層からは1058~985 cal yBP (1126 \pm 21 yBP)、B-3層からは912 cal yBPから1335 cal yBPの範囲、B-4層からは1518~1390 cal yBP (1541 \pm 25 yBP)、1811~1722 cal yBP (1824 \pm 21 yBP)の年代値が得られた。

B-4/C-1境界層からは土器が出土し、熊本県教育委員会の亀田氏によると弥生時代の土器と鑑定された（第24図G及びH）。沢津野トレンチの北側500mには河陽F遺跡と呼ばれる縄文~弥生時代の遺跡が出土しており、同時代の遺物と考えられる。また、土器周辺のC-1層からは1865 cal yBP~2307 cal yBP、土器近くの炭質物からは2763~2743 cal yBPの年代値が得られた。ほかにも、B-4/C-1境界付近では約2000年前の年代が得られており、土器の鑑定結果と矛盾しない。C-1層からは、系統的な連続採取を行っており、2005 cal yBPから6094 cal yBPまでの連続的な年代が得られた。C-1層の間にはACP1起源とみられる軽石粒が含まれ、C-1層下面付近には7300年前に降下したと推定されるK-Ahが含まれる。それらの降下年代と放射性炭素年代は整合的な結果を示した。C-1x層からは8456-8404 cal yBP (7655 \pm 22 yBP)と6796-6726 cal yBP (5939 \pm 27 yBP)、C-1z層からは3056~2954 cal yBP (2871 \pm 27 yBP)の年代値が得られた。D-1層は8400 cal yBPから12760 cal yBP (10870 \pm 36 yBP)の範囲の年代値が得られた。それより下位の年代指標となる堆積物として、AT、Kpfaといった広域火山灰が認められた。

地表付近のB-2層とB-3層中の年代を除き、概ね下層ほど古い年代が得られており、層序関係と年代測定値は矛盾しない。また、複数の広域火山灰との堆積関係も矛盾せず、信頼性の高い年代測定結果と言える。B-2層とB-3層の年代の逆転は極めて早い堆積速度あるいはB-2層への古い堆積物の混入が考

えられる。また、C-1層中の炭化物の年代と堆積物が示す年代の差異は再堆積した炭化物を計測したものと考えられる。したがって、上記の年代測定結果から、各層準の堆積年代は、B-2層が900年前以降、B-3層が1300年前から900年前、B-4層が1800年前から1400年前、C-1層が8500年前から1900年前、D-1層が15000年前から8400年前と推定される。

土壌中の全炭素を対象に測定したにもかかわらず、ほとんど矛盾しない結果が得られたことは、本地点における堆積物が再堆積や生物擾乱をほとんど受けていないことを示唆する。これは、本地点における堆積物がおもに風成堆積物によって構成されているためと考えられる。湿潤で植生が発達する地域における風成堆積物は降下した後、植物が生育すると効率的にトラップされ、風による侵食を受けづらい。また、本地点は地形的にも丘陵上の地溝内に位置しており、それを侵食する河川が存在しない。そのため、本地点では常に堆積環境におかれ、地層が乱されることがなかったと考えられる。したがって、地層が乱されるプロセスは断層活動に伴う変形のみが想定され、断層の活動を記録する理想的環境下に置かれていたと言えるだろう。

5. 地質断面

トレンチ掘削前に行われたボーリングの他、地層の分布をより詳細に明らかにするため、トレンチ底面からハンドオーガーによる掘削を4本行った。ハンドオーガーでの掘削は、下盤側で2本、上盤側で2本実施した。掘削の結果、地溝全体の地質断面が明らかとなった(第25図)。トレンチ周辺に分布する地層のうちB-1層、B-4/C-1境界、K-Ah、D-1層、AT、Kpfaが連続性の良い対比の容易な鍵層として追跡できる。それらの分布は地溝外では地形なりに火山噴出物が堆積している一方で、地溝内では地層が中軸に向かって大きく撓み下がり、外側よりも厚く堆積している様子が明瞭に認められた。地質断面から以下のことが読み取れる。

まず、STN-3孔と北側トレンチのE-2層以下の地層がほぼ同じ標高に位置することから、断層を挟んだ北側ではほぼ地形なりに堆積しており大きな変形が生じていないことがわかる。地溝の外側ほど地層の変形や層厚の変化は小さくなっており、地溝外では火山噴出物が地形を均一な厚さで覆っている様子が認められる。また、トレンチ北側では古い地層が直接耕作土に覆われることから、水田の拡幅に伴い、崖が後退したようである。地層の分布と断層の傾斜から推定すると、かつての断層崖は高さ4mほどあったことが推定される。南側トレンチの隆起側でも北側同様にほぼ水平に地層が堆積する。しかし、上位の地層ほど、撓み下がり始める地点が南に寄る傾向が見られる。断層による地層の撓み下がり下位の

地層には見られない。これは、かつての断層崖は、地溝のより内側に存在していたことを示唆する。断層の活動が繰り返されるに従い、徐々に外側へ断層崖が移動し、変形帯が南へと広がったものと考えられる。本トレンチの断層に挟まれた沈降部では、D-1層までの分布が確認され、地溝の中軸に向かって撓み下がる様子が明瞭に見られる。こうした傾向はさらに深部まで継続しているものと推定される。

次に、STN-2孔における各地層ユニットの厚さはSTN-1孔やSTN-3孔の1.5~2.0倍を示した。また、STN-1孔やSTN-3孔における堆積速度を見積もると、約0.23 mm/yrでほぼ一定であった。STN-3孔における堆積速度は約0.43 mm/yrと見積もられ、その速度は長期的にはほぼ一定に保たれていたことがわかった。地溝内部では地溝の外と比較して約2倍の堆積速度が維持されていたと考えられる。沢津野地点のそれぞれのコアの示す層相がほぼ同一で、コア間での対比が容易であることは、同じ風成堆積物が地溝内では2倍の速度で堆積していたことを意味する。これは地溝内では風成堆積物が集積しやすいためと考えられる。仮に、本地点で沈降が生じていない、もしくは、平均の堆積速度が沈降速度を上回っていると仮定すると、埋積が進行するにつれ、崖の比高が小さくなるとともに、集積しにくくなるはずである。その場合、上位の地層ほど地溝内の堆積速度は小さくなり、地溝外の堆積速度に近づくことが予想される。しかし、本トレンチを掘削した地溝内では堆積速度が長期的にはほぼ一定の値で維持されている。これは、平均的な沈降速度が風成堆積物の堆積速度を上回り、長期に渡ってほぼ一定の比高を持つ崖地形が維持されてきたことを意味する。従って、本トレンチの位置する地溝では、少なくとも3万年前以降から現在にかけて、熊本地震と同じような沈降イベントが繰り返されて来たと考えられる。

6. まとめ

平成28年熊本地震に伴い阿蘇カルデラ内に出現した地震断層の中で、立野地区から東西方向に伸びる正断層群を対象に地表踏査、GPRによる地下構造探査、ボーリング調査、およびトレンチ調査を実施した。トレンチにおける堆積物の詳細な観察と年代測定の結果、地表地震断層につながる断層が複数存在することが明らかとなった。それらの断層による地層の変位量には累積性が認められ、イベントに関連する堆積物が複数認められた。また、本地点が常に堆積場に置かれており、過去のイベントを記録するに理想的な環境下にあったことがわかった。本調査によって、既存の活断層ないし地溝に沿って地震断層が生じ、少なくともKpfa堆積以降繰り返し断層運動が生じていたことを地質学的に確認した。

謝辞 熊本県教育庁教育総務局文化課，南阿蘇村教育委員会，南阿蘇村役場復興推進課のご担当者各位には様々な便宜を図っていただきました。熊本県教育庁教育総務局文化課のご担当者には土器片の鑑定を行って頂きました。南阿蘇村河陽乙ヶ瀬地区並びに沢津野地区のボーリング並びにトレンチ掘削地点の土地所有者様には調査の趣旨をご理解頂き，ご尽力頂きました。地中レーダー探査は（株）ダイヤモンドコンサルタントの藤田 淳氏，小泉和広氏，樋上広篤氏が実施し，トレンチ調査では同じく，松浦一樹氏，齋藤 勝氏，小峰佑介氏にお世話になりました。地震後の航空レーザー測量データは（株）PASCOとの共同研究を通してご貸与頂きました。産業技術総合研究所の近藤久雄氏と岡村行信氏には，本稿の改善にあたり有益な助言を頂きました。以上の方々に対し，ここに記して感謝いたします。なお本調査は文部科学省並びに九州大学からの委託業務「平成 28 年熊本地震を踏まえた総合的な活断層調査」の一環として実施したものです。

文 献

- Bronk Ramsey, C. (2009) Bayesian Analysis of Radiocarbon Dates, *Radiocarbon*, 51 (1), 337–360.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2013) 布田川断層帯・日奈久断層帯の評価（一部改訂），地震調査委員会，66p.
- Jones, R., Thomas, R. E., Peakall, J., Manville, V. (2017) Rainfall-runoff properties of tephra: Simulated effects of grain-size and antecedent rainfall, *Geomorphology*, 282, 39–51.
- 熊原康博・岡田真介・楳原京子・金田平太郎・後藤秀昭・堤 浩之 (2017) 1 : 25,000 都市圏活断層図「熊本（改訂版）」，国土地理院技術資料，D・1-No.868.
- 熊本県 (1996) 布田川断層・立田山断層に関する調査成果報告書，293p.
- 熊本県教育委員会 (2003)，河陽 F 遺跡，国土交通省立野ダム建設事業における沢津野土捨場進入路建設に伴う埋蔵文化財発掘調査，熊本県文化財調査報告書第 209 集
- Lin, A., Satsukawa, T., Wang, M., Mohammadi Asl, Z., Fueta, R., Nakajima, F. (2016) Coseismic rupturing stopped by Aso volcano during the 2016 Mw 7.1 Kumamoto earthquake, Japan, *Science*, 354 (6314), 869–874.
- Liu, E. J., Cashman, K. V., Beckett, F. M., Witham, C. S., Leadbetter, S. J., Hort, M. C., Guðmundsson, S. (2014) Ash mists and brown snow: Remobilization of volcanic ash from recent Icelandic eruptions, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119 (15), 9463–9480.
- Miyabuchi, Y. (2009) A 90,000-year tephrostratigraphic framework of Aso Volcano, Japan, *Sedimentary Geology*, 220, 169–189.
- 宮縁育夫・渡辺一徳・岡本真也 (2003) 阿蘇中央火口丘群西側斜面で発見された岩屑堆積物とそれらの ^{14}C 年代，*火山*, 48 (2), 229–234.
- 宮縁育夫・増田直朗・渡辺一徳 (2004) 阿蘇火山において立野溶岩を流出した噴火サイクルの特徴と年代，*第四紀研究*, 43 (5), 353–358.
- 小野晃司・渡辺一徳 (1985) 阿蘇火山地質図，地質調査所。
- 産業技術総合研究所 (2007) 布田川・日奈久断層帯の活動性及び活動履歴調査。「基盤的調査観測対象断層帯の追加・補完調査」成果報告書 No. H18-7, https://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/tsuika_hokan/h18_futagawa_hinagu.pdf, 35p.
- 産業技術総合研究所 (2017) 平成 28 年熊本地震を踏まえた総合的な活断層調査 平成 28 年度 成果報告書，「3.1 活断層の活動区間を正確に把握するための詳細位置・形状等の調査及び断層活動履歴や平均変位速度の解明のための調査観測」https://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/kumamoto_sogochousa/h28/h28kumamoto_sogochousa_3_1.pdf, 181p.
- Reimer, P. J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Ramsey, C. B., Buck, C. E., Cheng, H., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hafliðason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T. J., Hoffmann, D. L., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kaiser, K. F., Kromer, B., Manning, S. W., Niu, M., Reimer, R. W., Richards, D. A., Scott, E. M., Southon, J. R., Staff, R. A., Turney, C. S. M., van der Plicht, J. (2013) IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years cal BP, *Radiocarbon*, 55 (4), 1869–1887.
- Shirahama, Y., Yoshimi, M., Awata, Y., Maruyama, T., Azuma, T., Miyashita, Y., Mori, H., Imanishi, K., Takeda, N., Ochi, T., Otsubo, M., Asahina, D., Miyakawa, A. (2016) Characteristics of the surface ruptures associated with the 2016 Kumamoto earthquake sequence, central Kyushu, Japan, *Earth, Planets and Space*, 68 (1), 1–12.
- 鈴木康弘・石村大輔・熊木洋太・熊原康博・千田 昇・中田 高・中埜貴元 (2017) 1 : 25,000 都市圏活断層図「阿蘇」，国土地理院技術資料，D・1-No.868.
- Tajima, Y., Hasenaka, T., Torii, M. (2017) Effects of the 2016 Kumamoto earthquakes on the Aso volcanic edifice, *Earth, Planets and Space*, 69 (1), 63.

Teramoto, Y., Shimokawa, E., Jitousono, T. (2006) Effects of volcanic ash on the runoff process in Sakurajima volcano, Proceedings of INTERPRAEVENT 2006, Sept. 26, Nigata, Japan, 303-310.

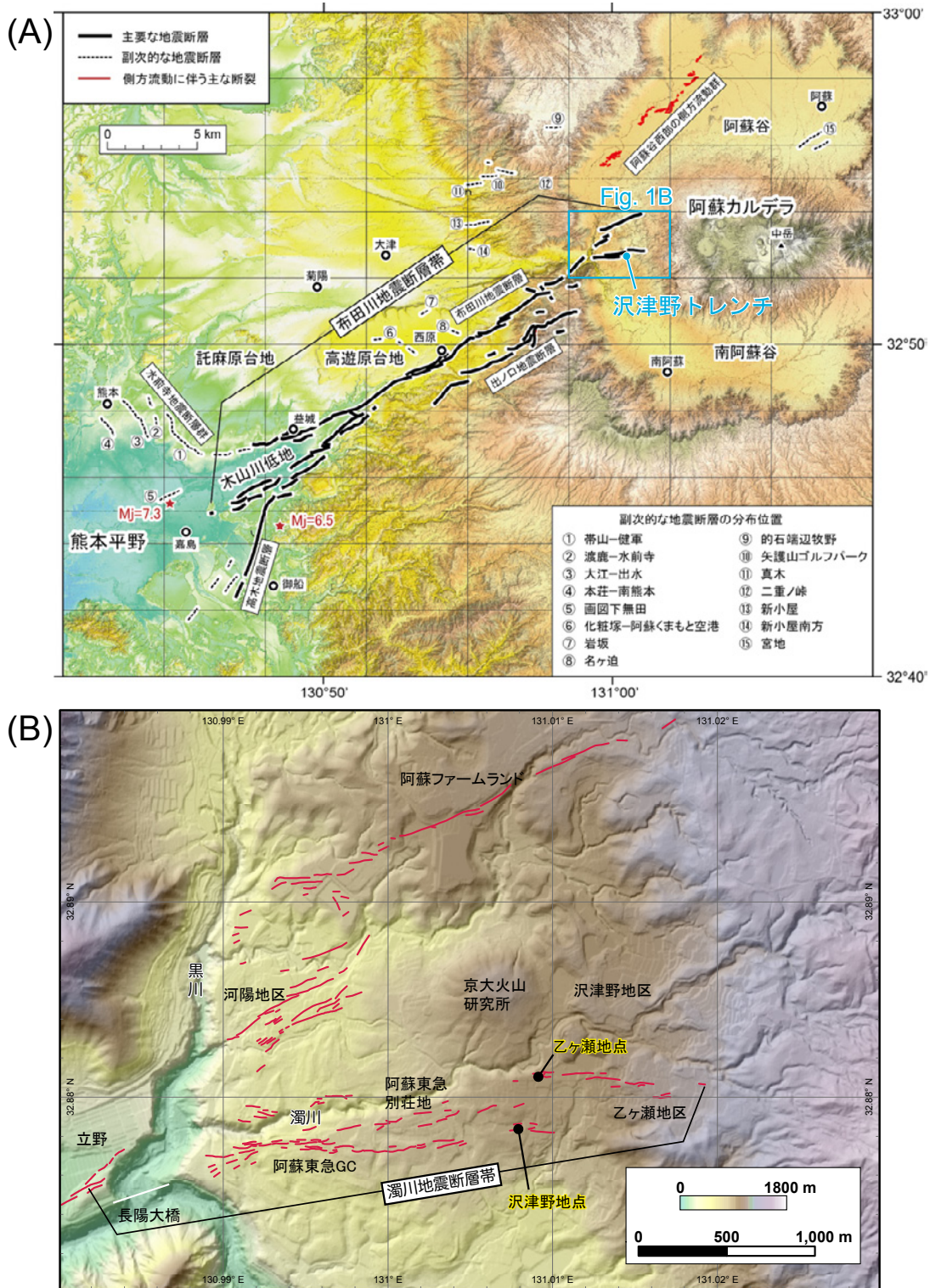
(受付 : 2018 年 7 月 31 日, 受理 : 2018 年 9 月 25 日)

第 1 表. 沢津野トレンチにおける放射性炭素年代測定結果

Table 1. Result of ^{14}C dating of samples collected from boreholes and in the trench at the Sawazuno site.

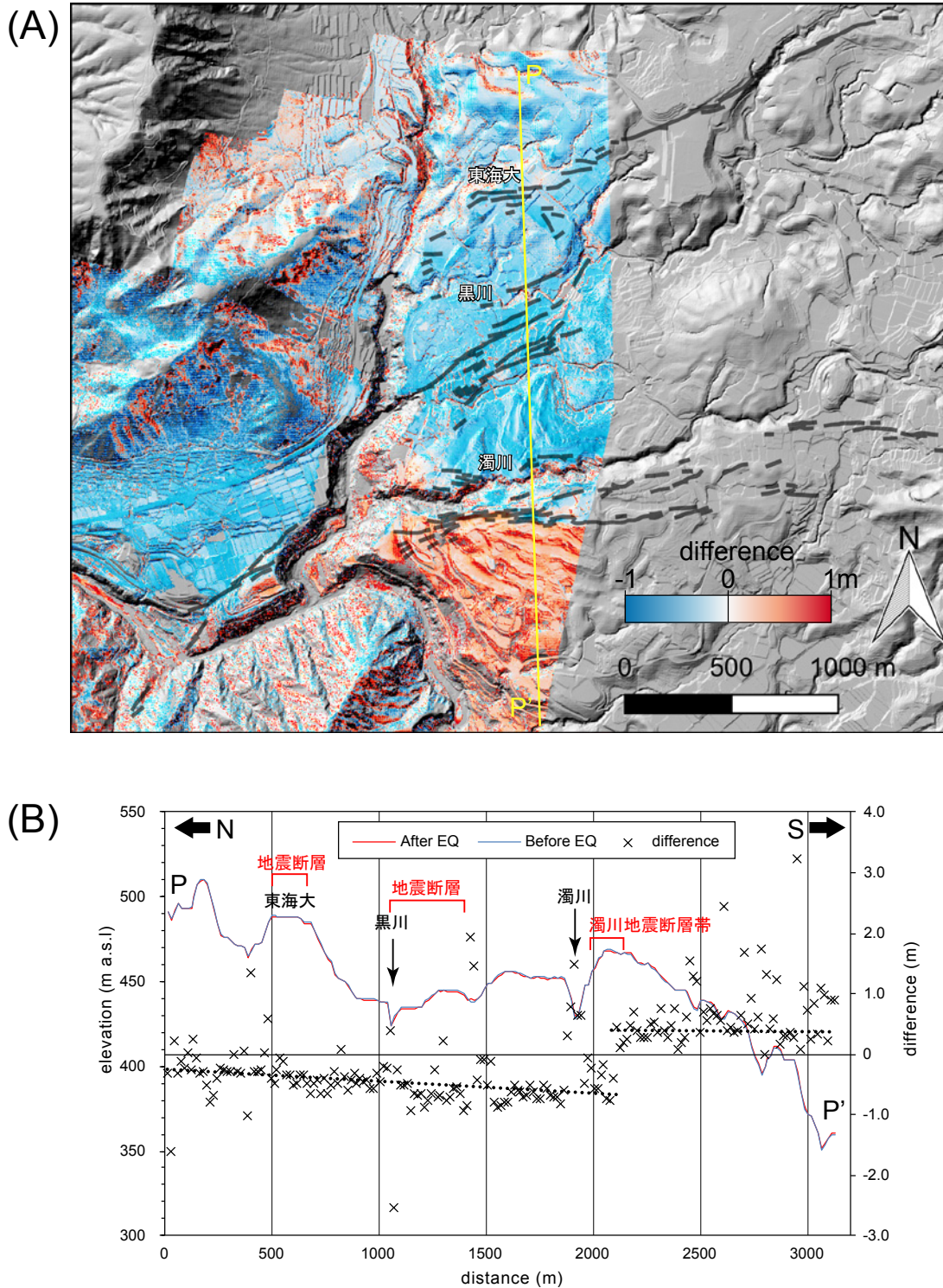
Sample ID	Unit	Material	Code No.	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Conventional ^{14}C age (yBP)	Calibrated age (cal yBP; $\pm 1\sigma$)
STN-2-2.03	STN-2, B	organic sediment	Beta-478810	-15.2	1161 \pm 18	1173 – 1008
STN-2-6.95	STN-2, D-1	organic sediment	Beta-478811	-23.4	8506 \pm 28	9529 – 9495
STN-2-8.96	STN-2, D-1	organic sediment	Beta-478812	-18.9	12749 \pm 38	15257 – 15126
STD-T-C01	W3, B-3	organic sediment	YAUT-035231	-28	1223 \pm 24	1226 – 1084
STD-T-C02	W3, C-1z	sediment	YAUT-035232	-28.3	2871 \pm 27	3056 – 2954
STD-T-C03	W3, D-1	organic sediment	YAUT-035233	-35	10539 \pm 43	12569 – 12425
STD-T-C05	W1, B-4	organic sediment	YAUT-035236	-30.1	2158 \pm 40	2303 – 2067
STD-T-C06-1	W1, C-1	sediment	YAUT-035237	-32.6	2091 \pm 26	2112 – 2005
STD-T-C06-2	W1, C-1	charcoal	YAUT-035238	-37.3	2627 \pm 28	2763 – 2743
STD-T-C07	W3, B-4	organic sediment	YAUT-035239	-23.9	1541 \pm 25	1518 – 1390
#204	W3, C-1	sediment	YAUT-037302	-17.1	4593 \pm 24	5434 – 5300
#206	W3, D-1	organic sediment	YAUT-037303	-23.2	8430 \pm 29	9487 – 9442
#217	W3, D-1	organic sediment	YAUT-037304	-18.6	9198 \pm 31	10398 – 10275
#228	W3, C-1	sediment	YAUT-037305	-18	2212 \pm 22	2307 – 2158
#230	W3, C-1	sediment	YAUT-037306	-20.5	5114 \pm 24	5914 – 5768
#231	W3, C-1x	sediment	YAUT-037309	-23.9	7655 \pm 28	8456 – 8404
#232	W3, B-2	organic sediment	YAUT-037311	-18.6	1126 \pm 21	1058 – 985
#234	W3, B-3	organic sediment	YAUT-037312	-17.7	1054 \pm 22	965 – 934
#237	W3, C-1	sediment	YAUT-037313	-20.1	1936 \pm 21	1923 – 1865
#238	W3, C-1	sediment	YAUT-037315	-19.4	2620 \pm 22	2757 – 2744
#241	W3, C-1	sediment	YAUT-037316	-19.6	3740 \pm 23	4148 – 4011
#243	W3, C-1	sediment	YAUT-037317	-22.2	4930 \pm 25	5661 – 5606
#245	W1, B-3	organic sediment	YAUT-037318	-16.8	1029 \pm 20	955 – 930
#255	E1, B-3	organic sediment	YAUT-037319	-20.1	1424 \pm 21	1335 – 1303
#256	E1, D-1x	sediment	YAUT-037323	-24.4	5245 \pm 26	6094 – 5936
#259	E1, B-4	organic sediment	YAUT-037324	-18.8	1824 \pm 21	1811 – 1722
#261	E1, B-3	organic sediment	YAUT-037325	-21.1	997 \pm 20	952 – 912
#265	E1, C-1	sediment	YAUT-037326	-27.1	2733 \pm 22	2847 – 2790
#285	E3, D-1	organic sediment	YAUT-037328	-24.9	7640 \pm 30	8447 – 8400
#286	E3, D-1	organic sediment	YAUT-037329	-22.2	10870 \pm 36	12760 – 12709
#288	W3, C-1x	organic sediment	YAUT-037331	-21.6	5939 \pm 27	6796 – 6726

*Oxcal v4.3 Bronk Ramsky (2009); IntCal 13 atmospheric curve (Reimer et al., 2013)



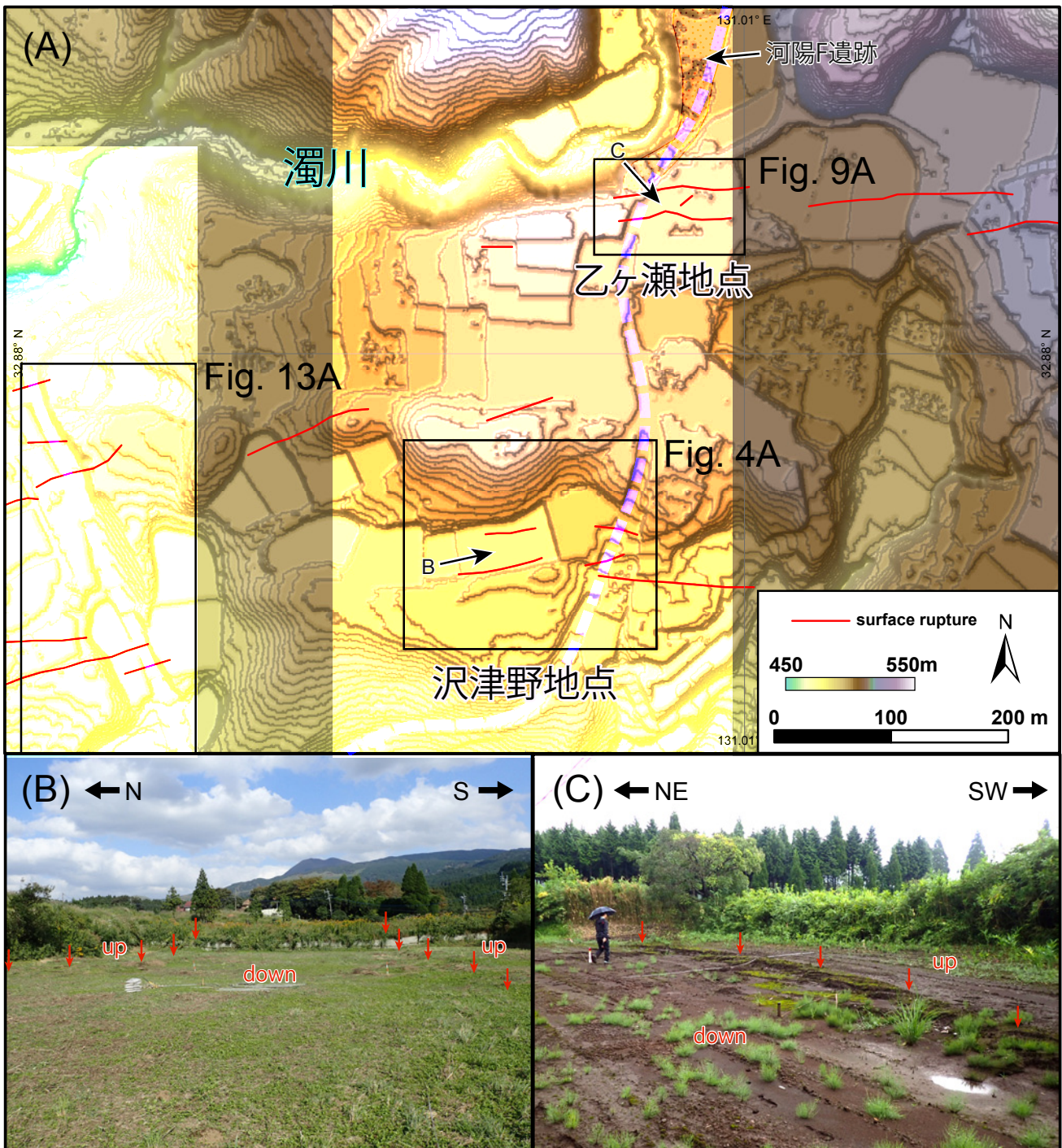
第 1 図. 平成 28 年熊本地震に伴う地表地震断層の分布. (A) 平成 28 年熊本地震に伴い布田川・日奈久断層帯周辺に生じた地表地震断層の分布. 図 A は「平成 28 年熊本地震を踏まえた総合的な活断層調査 平成 28 年度成果報告書」から引用した (産業技術総合研究所, 2017). (B) 阿蘇カルデラ内南阿蘇村周辺の地表地震断層の分布. 国土地理院が管理する 1 m メッシュ DEM を基に作成.

Fig. 1. Topographic map showing locations of surface ruptures produced by the 2016 Kumamoto earthquake. (A) Topographic map showing locations of surface ruptures produced by the 2016 Kumamoto earthquake along the Futagawa-Hinagu fault zone. Basemap is after National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (2017). (B) Topographic map showing locations of surface ruptures appeared in the eastern part of Aso caldera. The 1-m DEM managed by Geospatial Information Authority of Japan (GSI) was used.

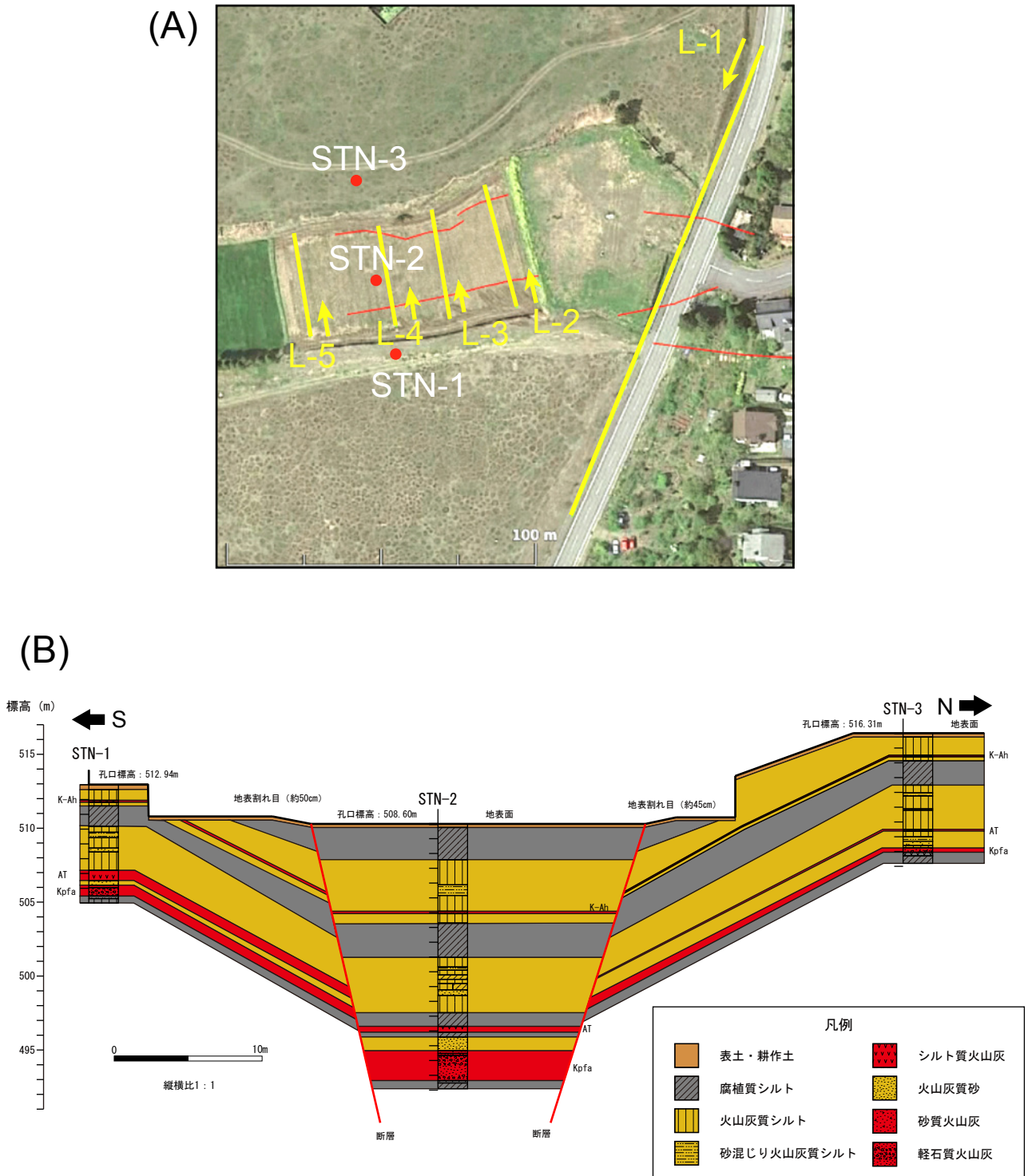


第2図. 熊本地震前後の地表変位量分布. (A) 航空レーザーにより取得された地震前と地震後の地形データの差分から得られた地表変位量分布. 地震前として, 国土地理院の管理する1 mメッシュの地形データ, 地震後として, (株)PASCOによって取得された0.5mメッシュの地形データを使用した. 黒線は地表地震断層線を示す. (B) 測線PP'に沿った地震前(赤線)と地震後(青線)の地形断面と変位量分布(クロスドット). 点線は変位量分布の傾向を示す.

Fig. 2. Surface displacement due to the 2016 Kumamoto earthquake. (A) Distribution of surface displacement (+: uplift, -: subsidence) at the southwestern part of Aso caldera derived from the height/elevation difference between LiDAR DEM measured before and after the earthquake. The LiDAR DEM managed by GSI (before) and measured by PASCO Co. Ltd. (after) were used. (B) Cross sections of LiDAR DEM (red and blue lines; left axis) and distribution of difference (x symbol; right axis) along the PP' line. Black dotted lines show general trend lines of the high differences.



第3図. 沢津野地点及び乙ヶ瀬地点周辺の地形概要. (A) 沢津野地点及び乙ヶ瀬地点周辺の地形概要. 等高線は1m間隔. (B) 沢津野地点の写真, 赤矢印は地表地震断層の位置を示す. (C) 乙ヶ瀬地点の写真.
 Fig. 3. Location map of the Sawazuno site and the Otogase site. (A) Topographic map around the Sawazuno site and the Otogase site. Contour lines are 1 m intervals. The 1-m DEM managed by GSI was used. (B) A photograph showing the Sawazuno site in a small graven. Red arrows indicate traces of surface ruptures. View to the east. (C) A photograph showing the Otogase site. Red arrows indicate a trace of surface rupture. View to the southeast.



第4図. 沢津野地点のボーリング孔位置図, 地中レーダー探索測線, 及び地質断面図. (A) ボーリング掘削位置 (赤丸) 及び地中レーダー探索測線 (黄線). 赤線は地表地震断層の位置を示す. 写真は Google Earth から引用 (2018年3月28日参照). (B) ボーリングコアの観察結果から推定された地質断面図.

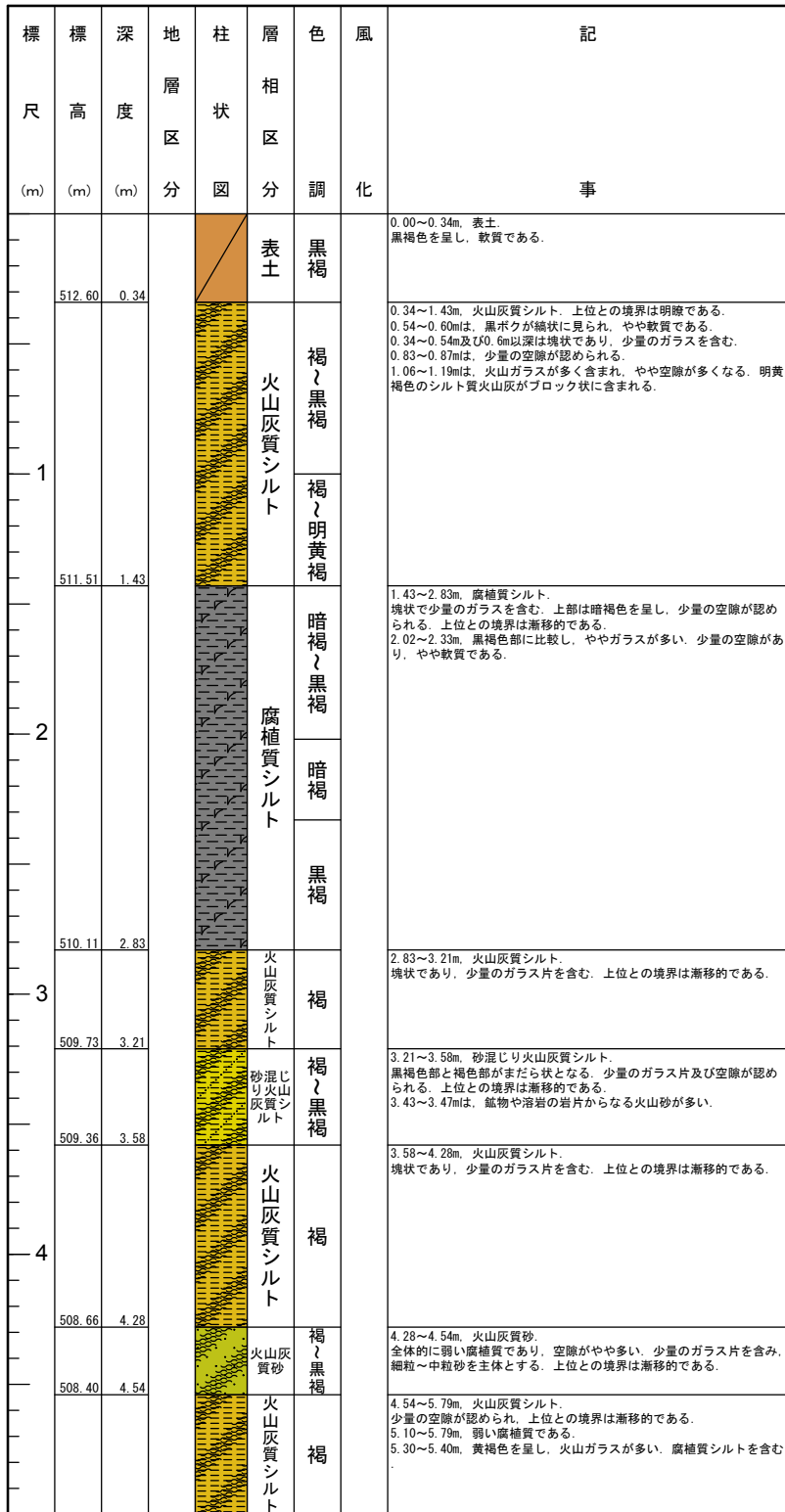
Fig. 4. Location map of boreholes and GPR lines at the Sawazuno site, and geological cross section along the line of boreholes. (A) An aerial image taken from Google Earth (reference date; Mar 28th, 2018) showing locations of boreholes (red circles) and GPR lines (yellow lines). Red lines show traces of surface ruptures. (B) A geological cross section based on borehole observations.

(A) STN-1 写真



第5図. 沢津野地区のSTN-1孔ボーリングコア写真及び柱状図. (A) STN-1孔ボーリングコア写真(深度0~9m).
Fig. 5. Photograph of boring core and columnar section of core STN-1 at the Sawazuno site. (A) Photograph of boring core of core STN-1 (0~9 m depth).

(B) STN-1 柱状図 (0~5m)



第5図. 続き. (B) STN-1 孔ボーリングコア柱状図 (0~5 m).

Fig. 5. Continued. (B) Columnar section and geologic description of core STN-1 (0~5 m depth).

(B) STN-1 柱状図 (5~8m)

標尺	標高 (m)	深度 (m)	地層区分	柱状図	層相区分	色調	風化	記 事				
6	507.15	5.79			火山灰質シルト	褐 暗褐 黒褐						
	506.46	6.48							シルト質火山灰	明黄褐 ~ 黒褐	暗褐 ~ 黄褐	5.79~6.48m, シルト質火山灰。 やや風化した細粒軽石がブロック状に含まれる。基質は、褐色部と黒褐色部がまだら状に分布し、鉱物片が多く混じる。上位との境界は不明瞭である。
	506.15	6.79										5.75~5.95mには、軽石を切る見かけ正断層センスの小断層がある。見かけの変位量は、2cm程度である。
	505.98	6.96							砂質火山灰	黒褐 ~ 黄褐 黄褐	6.48~6.79m, 砂質火山灰。 1mm以下の細粒な軽石を主体とする。黒褐色部は粗粒砂を主体とし、不定形をなす。下部は1~2mmの岩片を含み、弱く級化する。上位との境界は漸移的である。	
7	505.41	7.53			軽石質火山灰	黄橙		6.79~6.96m, シルト質火山灰。 1mm以下の細粒軽石及びシルトを主体とし、最大1cm程度の軽石や岩片を含む。上位との境界は漸移的である。				
	505.24	7.70						6.96~7.53m, 軽石質火山灰。 風化し、やや粘土化した軽石及び岩片を含む。軽石は互いに密着している。上位との境界は漸移的である。				
	504.94	8.00						7.11~7.18mは、周囲より細粒であり、シルト質である。岩片は溶岩片を主体とし、弱い逆級化が認められる。				
								7.53~7.70m, シルト質火山灰、褐色の軽石及び岩片を主体とする。基質はシルトからなる。上位との境界は明瞭であり、上部ほど黒色が強い。				
					火山灰質シルト	暗褐 ~ 黒褐	7.70~8.00m, 火山灰質シルト。弱い腐植質なシルトからなる。風化した軽石が点在し、上位との境界は漸移的である。					

第5図. 続き. (B) STN-1 孔ボーリングコア柱状図 (5~8 m).

Fig. 5. Continued. (B) Columnar section and geologic description of core STN-1 (5~8 m depth).

(A) STN-2 写真 (0~9m)



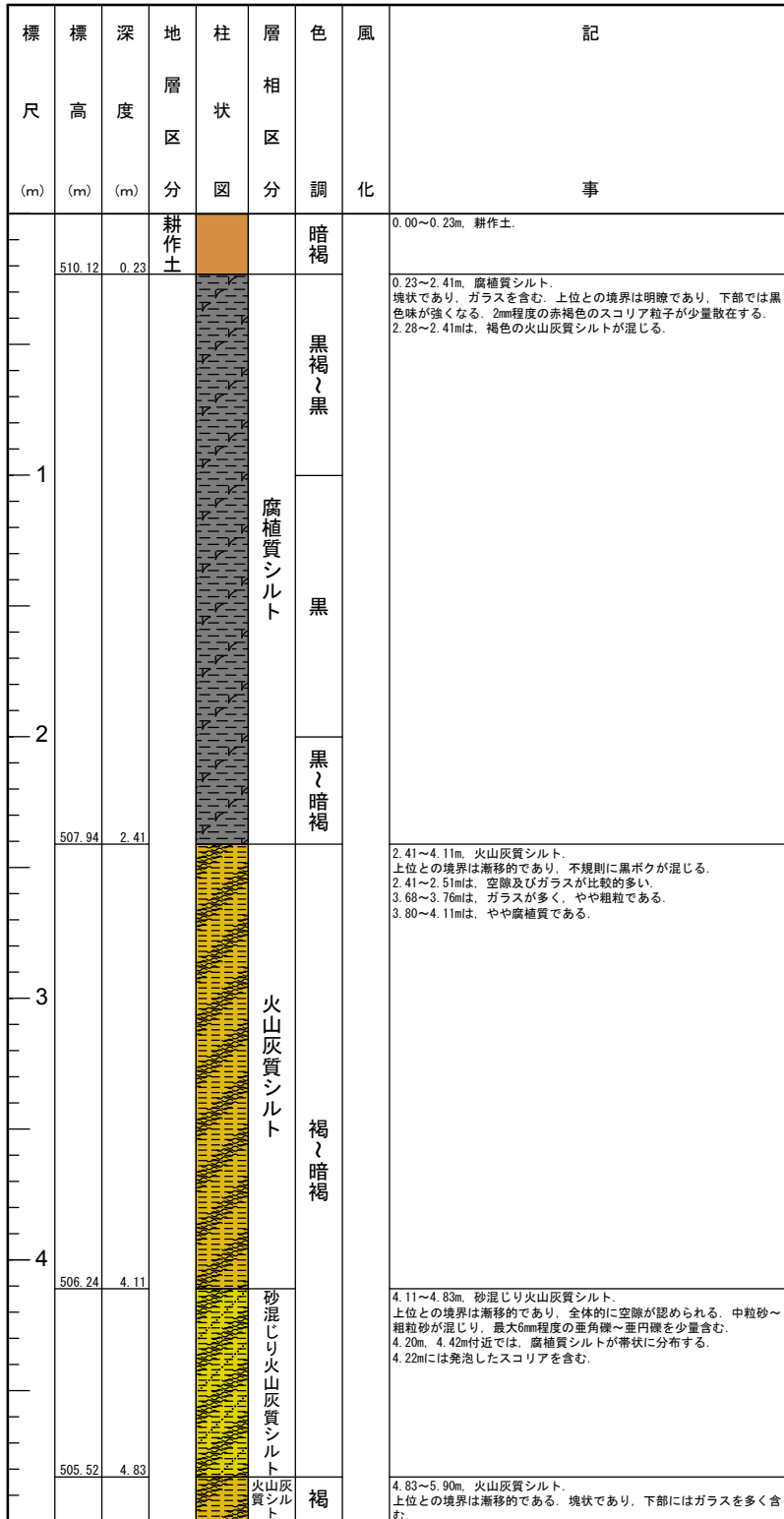
第6図. 沢津野地区の STN-2 孔ボーリングコア写真及び柱状図. (A) STN-2 孔ボーリングコア写真 (0~9 m).
Fig. 6. Photograph of boring core and columnar section of core STN-2 at the Sawazuno site. (A) Photograph of core STN-2 (0~9 m depth).

(A) STN-2 写真 (9~18m)



第6図. 続き. (A) STN-2 孔ボーリングコア写真 (9~18 m).
Fig. 6. Continued. (A) Photograph of core STN-2 (9~18 m depth).

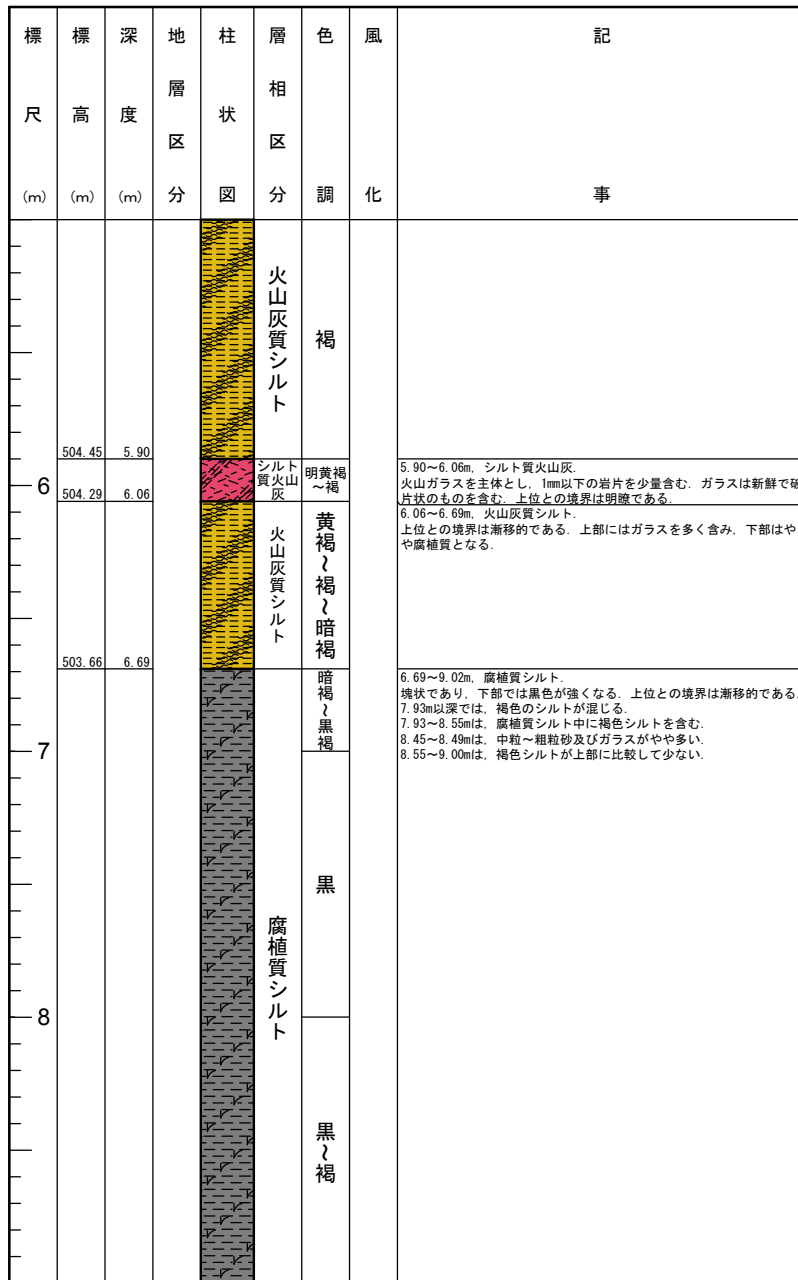
(B) STN-2 柱状図 (0~5m)



第6図. 続き. (B) STN-2 孔ボーリングコア柱状図 (0~5 m).

Fig. 6. Continued. (B) Columnar section and geologic description of core STN-2 (0~5 m depth).

(B) STN-2 柱状図 (5~9m)



第6図. 続き. (B) STN-2 孔ボーリングコア柱状図 (5~9 m).

Fig. 6. Continued. (B) Columnar section and geologic description of core STN-2 (5~9 m depth).

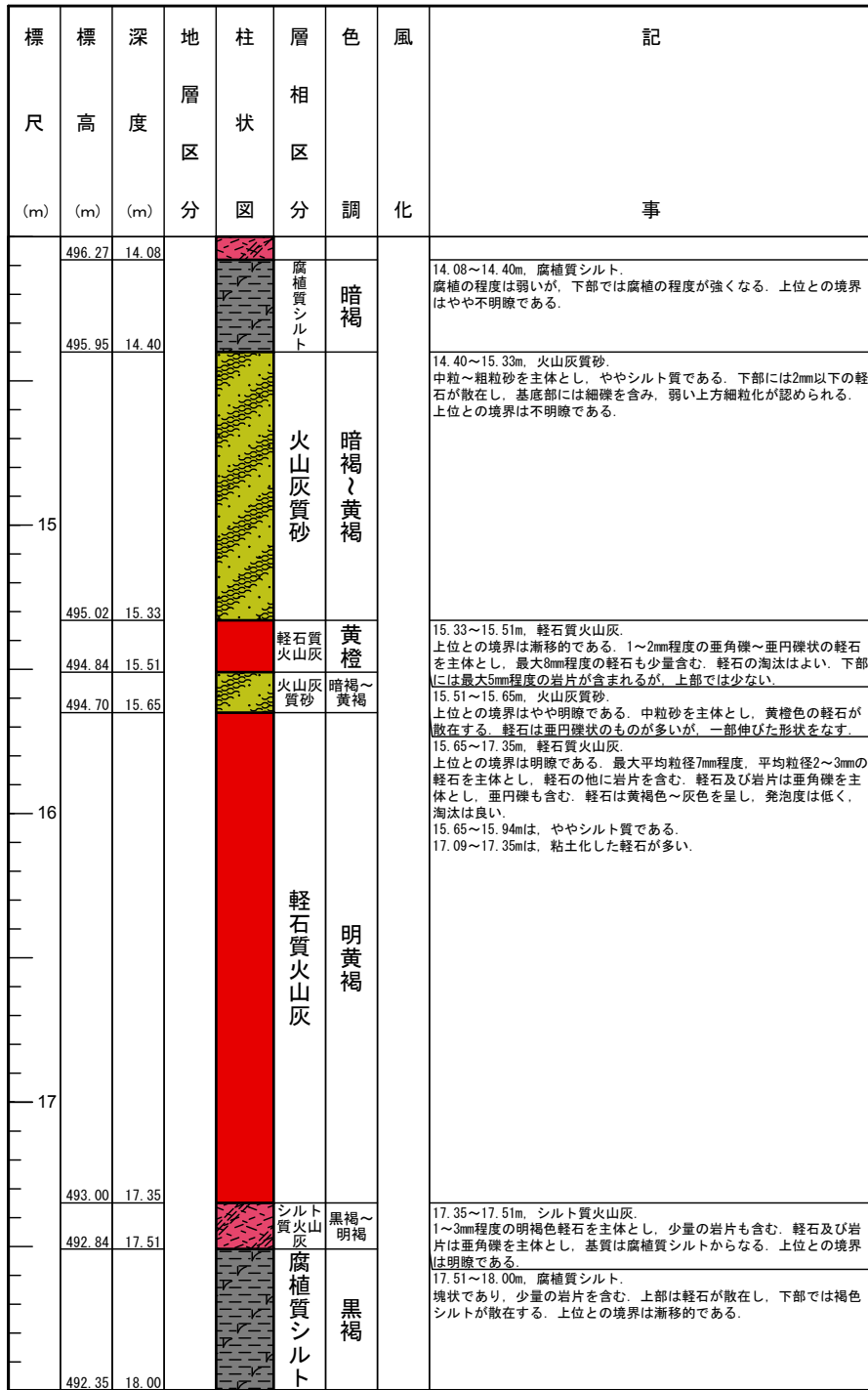
(B) STN-2 柱状図 (9~15m)

標尺 (m)	標高 (m)	深度 (m)	地層区分	柱状図	層相区分	色調	風化	記 事
10	501.33	9.02			火山灰質シルト	褐		9.02~9.66m, 火山灰質シルト。少量のガラスを含み、上位との境界は漸移的である。9.34m以深では、やや腐植質である。
	500.69	9.66			砂混じり火山灰質シルト	暗褐		9.66~9.88m, 砂混じり火山灰質シルト。上位との境界は漸移的であり、やや腐植質である。中粒砂~粗粒砂サイズの岩片及び鉱物片が混じる。
	500.47	9.88			火山灰質シルト	褐~暗褐		9.88~10.20m, 火山灰質シルト。上位との境界は漸移的であり、少量のガラスを含む。10.10~10.20mは、腐植質である。
	500.15	10.20			腐植質シルト	暗褐		10.20~10.50m, 腐植質シルト。褐色のシルトがまだら状に分布する。上位との境界は漸移的である。
11	499.85	10.50			火山灰質シルト	褐~暗褐		10.50~10.78m, 火山灰質シルト。少量のガラスを含み、やや腐植質である。上位との境界はやや漸移的である。
	499.57	10.78			火山シルト(腐植質)			10.78~11.21m, 火山灰質シルト(腐植質シルト)。火山灰質シルトと腐植質シルトが断層で接する。断層面には1mm程度の軟質な暗褐色カウツが狭く存在する。上位との境界は漸移的である。
	499.14	11.21			火山灰質砂			11.21~11.59m, 火山灰質砂。細粒~中粒砂を主体とする。上位との境界は不明瞭である。上部10cmは軟質だが、下部はやや硬質である。11.55m付近には、黒ボク及び軽石を含む。
	498.76	11.59			火山灰質シルト			褐
497.59	12.76	腐植質シルト	暗褐	12.76~13.68m, 腐植質シルト。1cm以下の褐色シルトが混在して分布し、腐植の程度は弱い。上位との境界は漸移的である。12.83~12.90mは、亀裂が多い。				
13	496.67			13.68			シルト質火山灰	明黄褐~暗褐

第 6 図. 続き. (B) STN-2 孔ボーリングコア柱状図 (9~14 m).

Fig. 6. Continued. (B) Columnar section and geologic description of core STN-2 (9~14 m depth).

(B) STN-2 柱状図 (14~18m)



第6図. 続き. (B) STN-2 孔ボーリングコア柱状図 (14~18 m).

Fig. 6. Continued. (B) Columnar section and geologic description of core STN-2 (14~18 m depth).

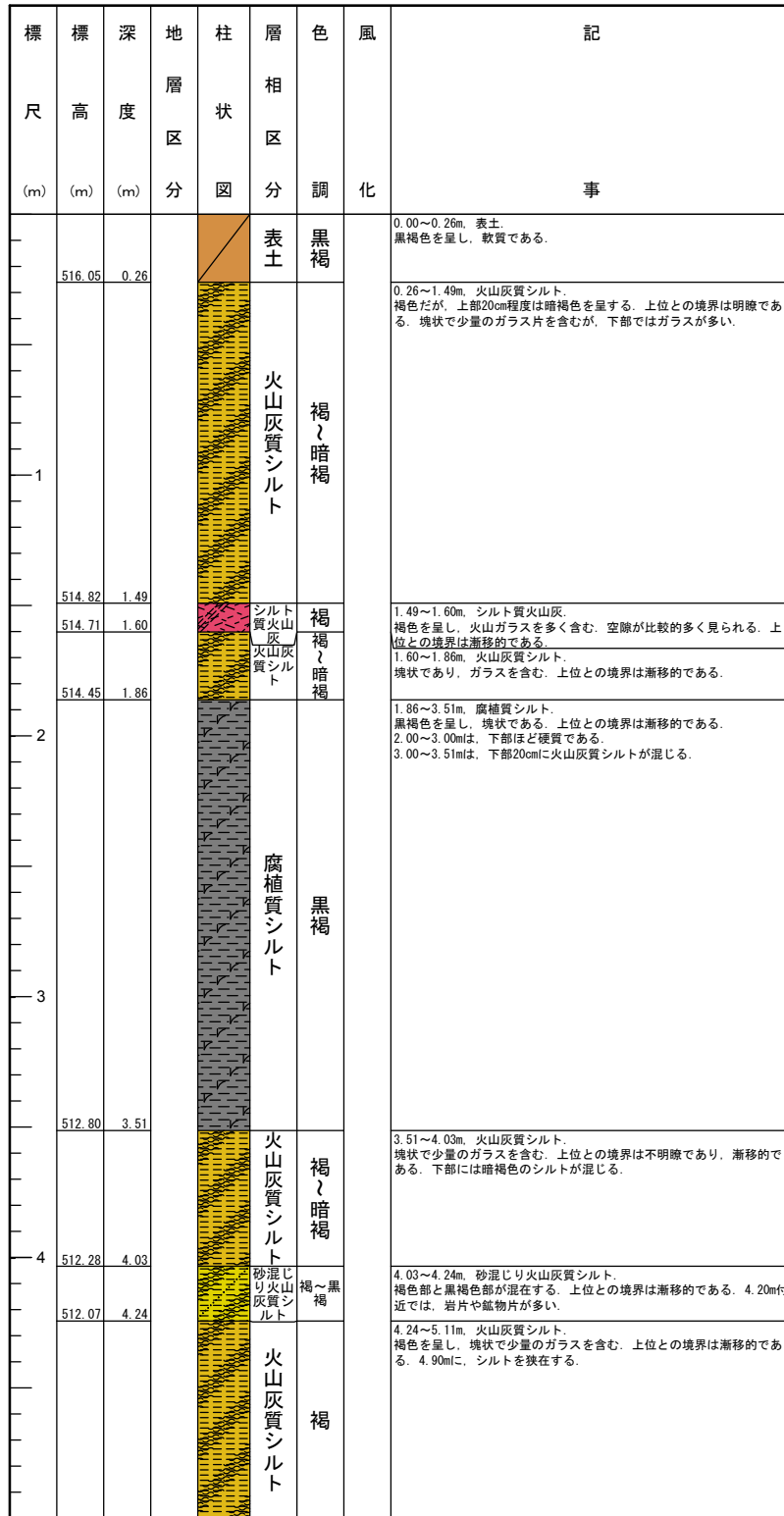
(A) STN-3 写真



第7図. 沢津野地区のSTN-3孔ボーリングコア写真及び柱状図. (A) STN-3孔のボーリングコア写真.

Fig. 7. Photograph of boring core and columnar section of core STN-3 at the Sawazuno site. (A) Photograph of core STN-3 (0~9 m depth).

(B) STN-3 柱状図 (0~5m)



第7図. 沢津野地区の STN-3 孔ボーリングコア写真及び柱状図. (B) STN-3 孔ボーリングコア柱状図 (0~5 m).

Fig. 7. Continued. (B) Columnar section and geologic description of core STN-3 (0~5 m depth).

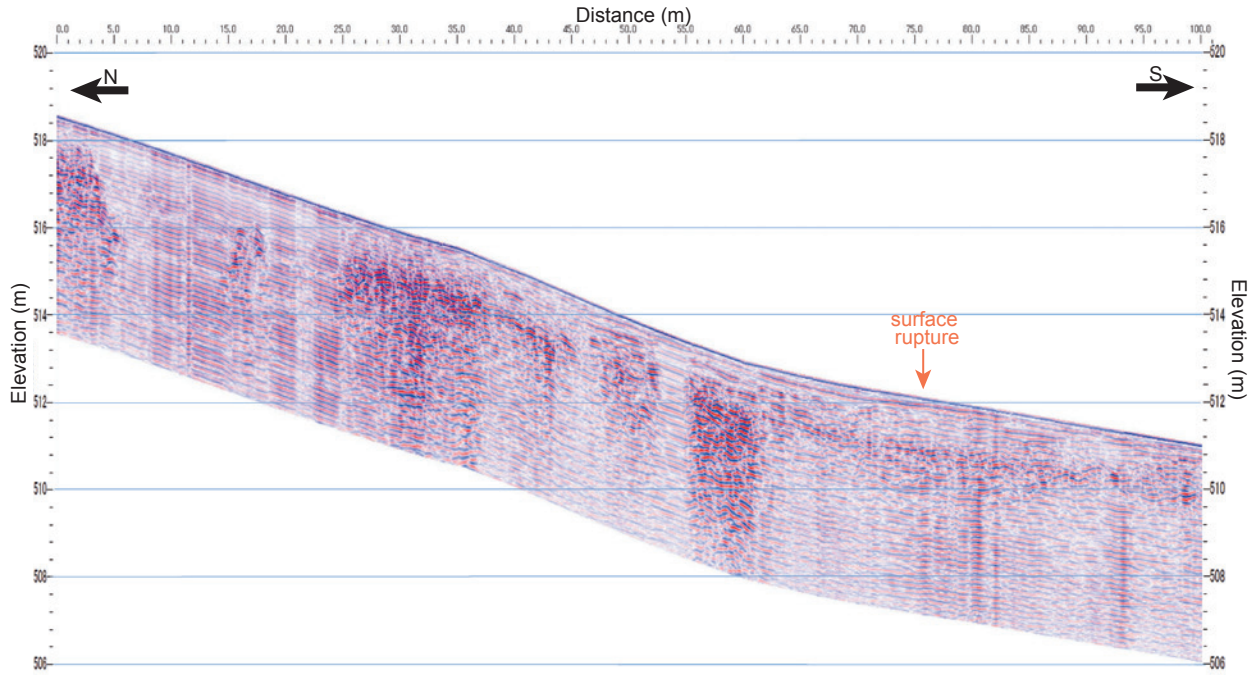
(B) STN-3 柱状図 (5~9m)

標尺	標高 (m)	深度 (m)	地層区分	柱状図	層相区分	色調	風化	記
6	511.20	5.11			火山灰質シルト	褐		5.11~5.21m. 火山灰質砂。細粒砂を主体とする。やや腐植質で少量のシルト分を含む。上位との境界は漸移的である。 5.21~6.50m. 火山灰質シルト。褐色のシルト中に黄褐色のシルトがブロック状に含まれる。少量のガラスを含み。上位との境界は漸移的である。 6.03~6.50mは、やや腐植質である。 6.10m付近は、ガラスを多く含み、黄褐色シルトがブロック状に含まれる。この黄褐色シルトは、AT火山灰の二次堆積の可能性あり。
	511.10	5.21			火山灰質砂	褐		
	509.81	6.50			シルト質火山灰	黄褐		
	509.69	6.62			火山灰質シルト	暗褐		
	509.31	7.00			砂混じり火山灰質シルト	暗褐		
	509.01	7.30			砂質火山灰	黄褐		
	508.72	7.59			火山灰質シルト	黄褐		
	508.56	7.75			軽石質火山灰	黄褐		
	508.26	8.05			シルト質火山灰	黒褐		
	508.02	8.29			腐植質シルト	暗褐		
7	509.81	6.50						6.50~6.62m. シルト質火山灰。ガラスを多く含む火山灰層からなる。上位との境界はやや不明瞭である。小断面が認められ、下部には鉱物粒子を多く含む。 6.62~7.00m. 火山灰質シルト。全体的にやや腐植質である。下部に少量の軽石を含む。
	509.31	7.00						7.00~7.30m. 砂混じり火山灰質シルト。細粒な砂質シルトであり、岩片や鉱物片が混じる。風化した軽石を少量含む。
8	509.01	7.30						7.30~7.59m. 砂質火山灰。粗粒~中粒砂サイズの岩片や鉱物片を主体とし、細粒な軽石も含む。上方細粒化が認められ、上位との境界は漸移的である。
	508.72	7.59						7.59~7.75m. 火山灰質シルト。上位との境界は不明瞭である。下部は風化した軽石と粗粒砂サイズの岩片が混じる。 7.75~8.05m. 軽石質火山灰。風化した軽石を主体とする。 7.86~8.05mは、シルトが主体であり、軽石が混じる。粗粒砂~細粒サイズの岩片を少量含む。
8	508.26	8.05						8.05~8.29m. シルト質火山灰。上位との境界は不明瞭である。最大1.5cm程度の軽石を含み、基底部は黒褐色のシルトからなる。下部ほど軽石の含有量は減少する。
	508.02	8.29						8.29~8.80m. 腐植質シルト。上位との境界は漸移的である。 8.48~8.58mは、細粒砂を主体とする。 8.69~8.80mには、細粒な軽石がブロック状に含まれる。
	507.51	8.80						

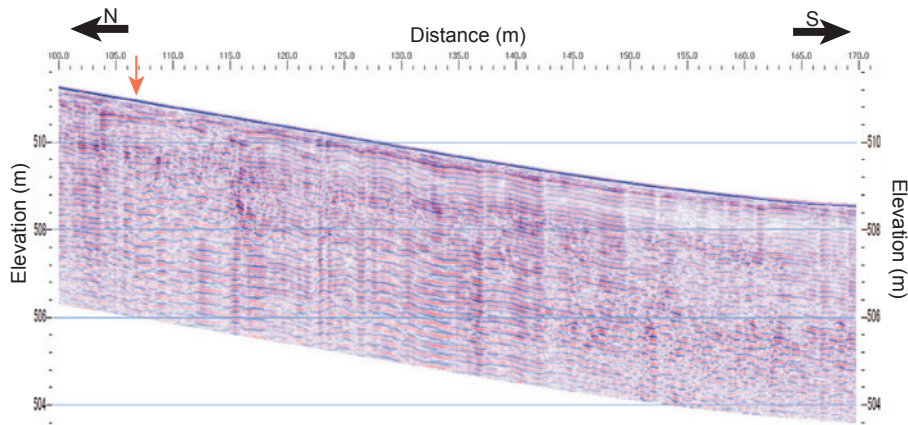
第7図. 沢津野地区の STN-3 孔ボーリングコア写真及び柱状図. (B) STN-3 孔ボーリングコア柱状図つづき (5~8 m).

Fig. 7. Continued. (B) Columnar section and geologic description of core STN-3 (5~8 m depth).

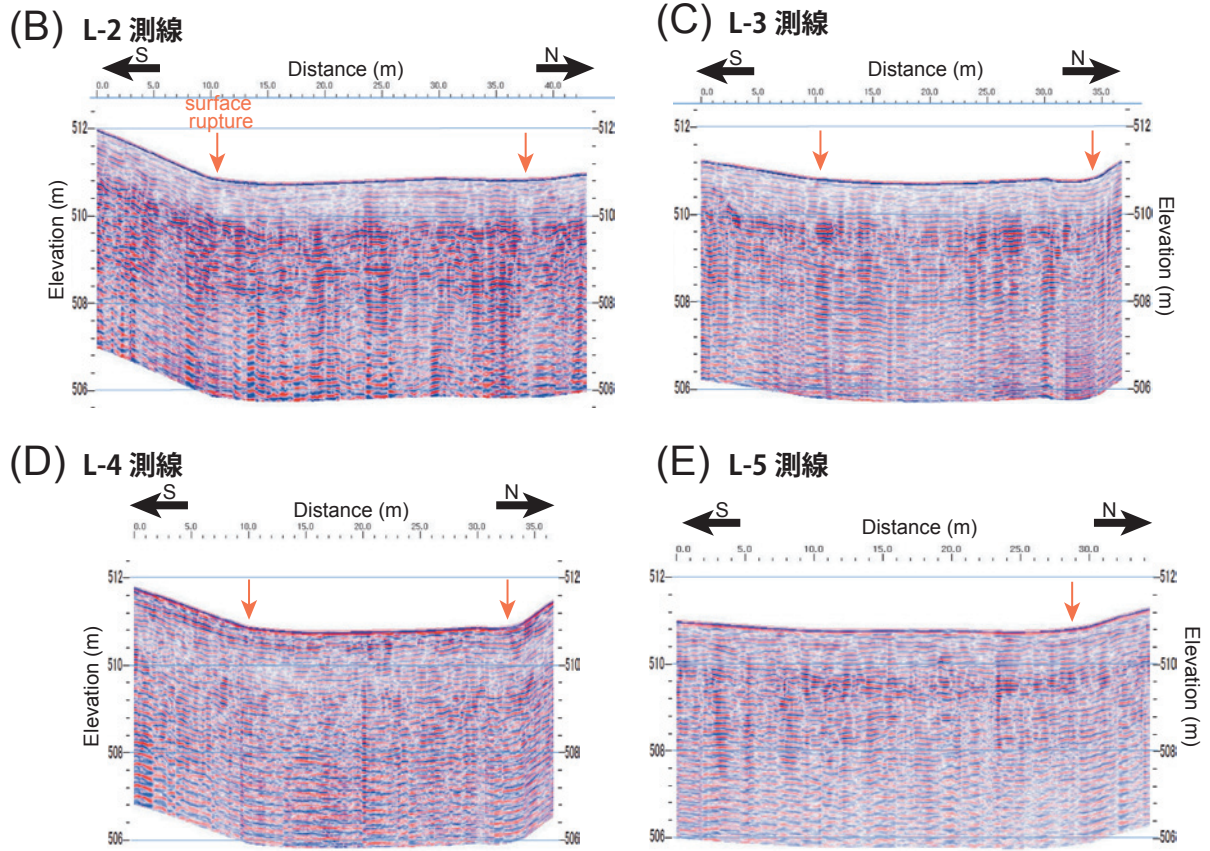
(A) L-1 測線北側



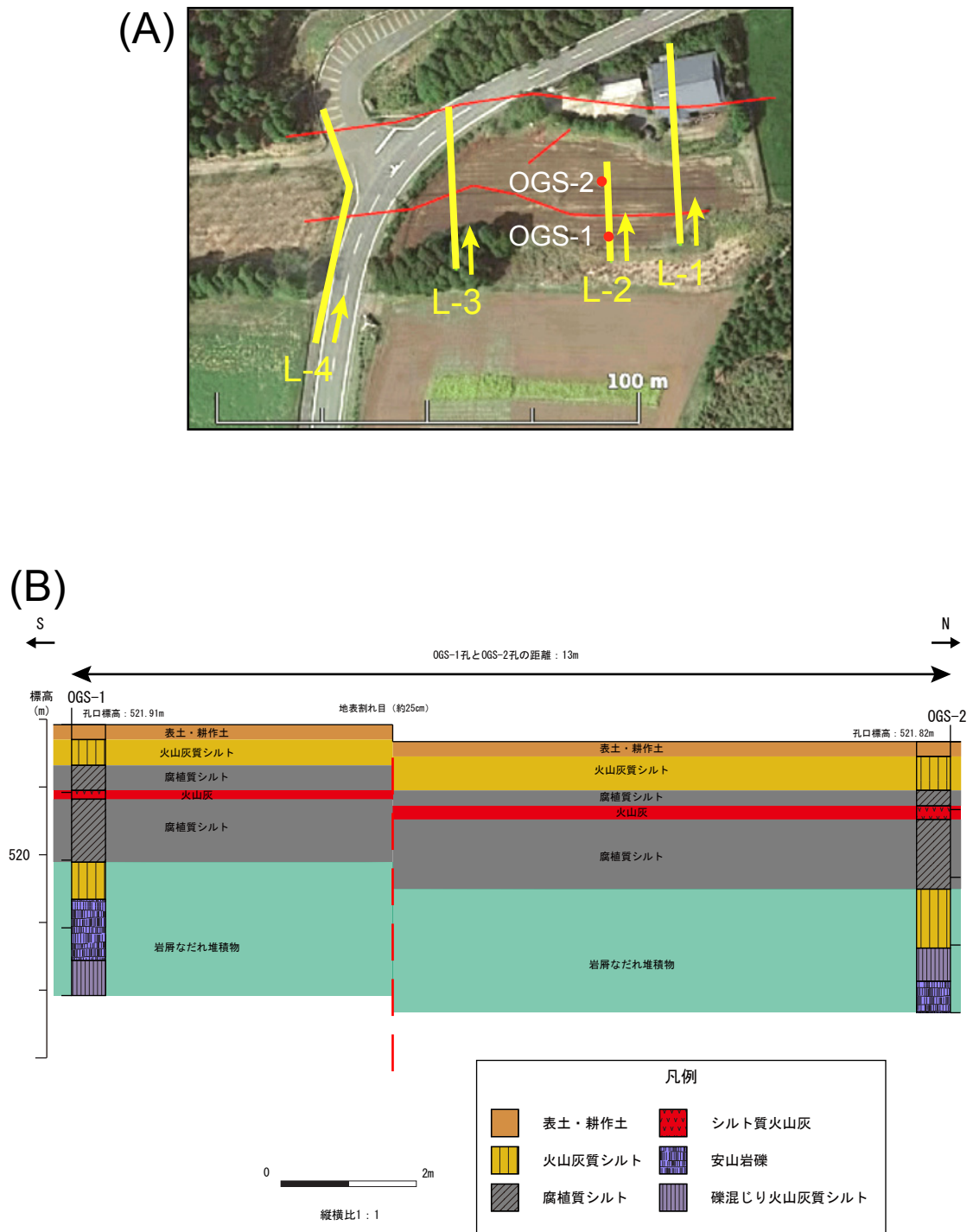
L-1 測線南側



第 8 図. 沢津野地区の地中レーダー探査断面. (A) L-1 測線. 赤矢印は地表地震断層の位置を示す.
Fig. 8. GPR profiles at the Sawazuno site. (A) Line L-1. Red arrows indicate locations of surface ruptures.



第 8 図. 続き. (B) L-2 測線. 赤矢印は地表地震断層の位置を示す. (C) L-3 測線. (D) L-4 測線. (E) L-5 測線.
Fig. 8. Continued. GPR profiles at the Sawazuno site. Red arrows indicate locations of surface ruptures. (B) Line L-2. (C) Line L-3. (D) Line L-4. (E) Line L-5.



第9図. 乙ヶ瀬地点のボーリング孔位置図, 地中レーダー探査測線, 及び地質断面図. (A) ボーリング掘削位置 (赤丸) 及び地中レーダー探査測線 (黄線). 赤線は地震断層の位置を示す. 写真は Google Earth から引用 (2018年3月28日参照). (B) ボーリングコアの観察結果から推定された地質断面図.

Fig. 4. Location map of boreholes and GPR lines at the Otagase site, and geological cross section along the line of boreholes. (A) The aerial image taken from Google Earth (reference date; Mar 28th, 2018) showing locations of boreholes (red circles) and GPR lines (yellow lines). Red lines indicate traces of surface ruptures. (B) A geological cross section based on borehole observations.

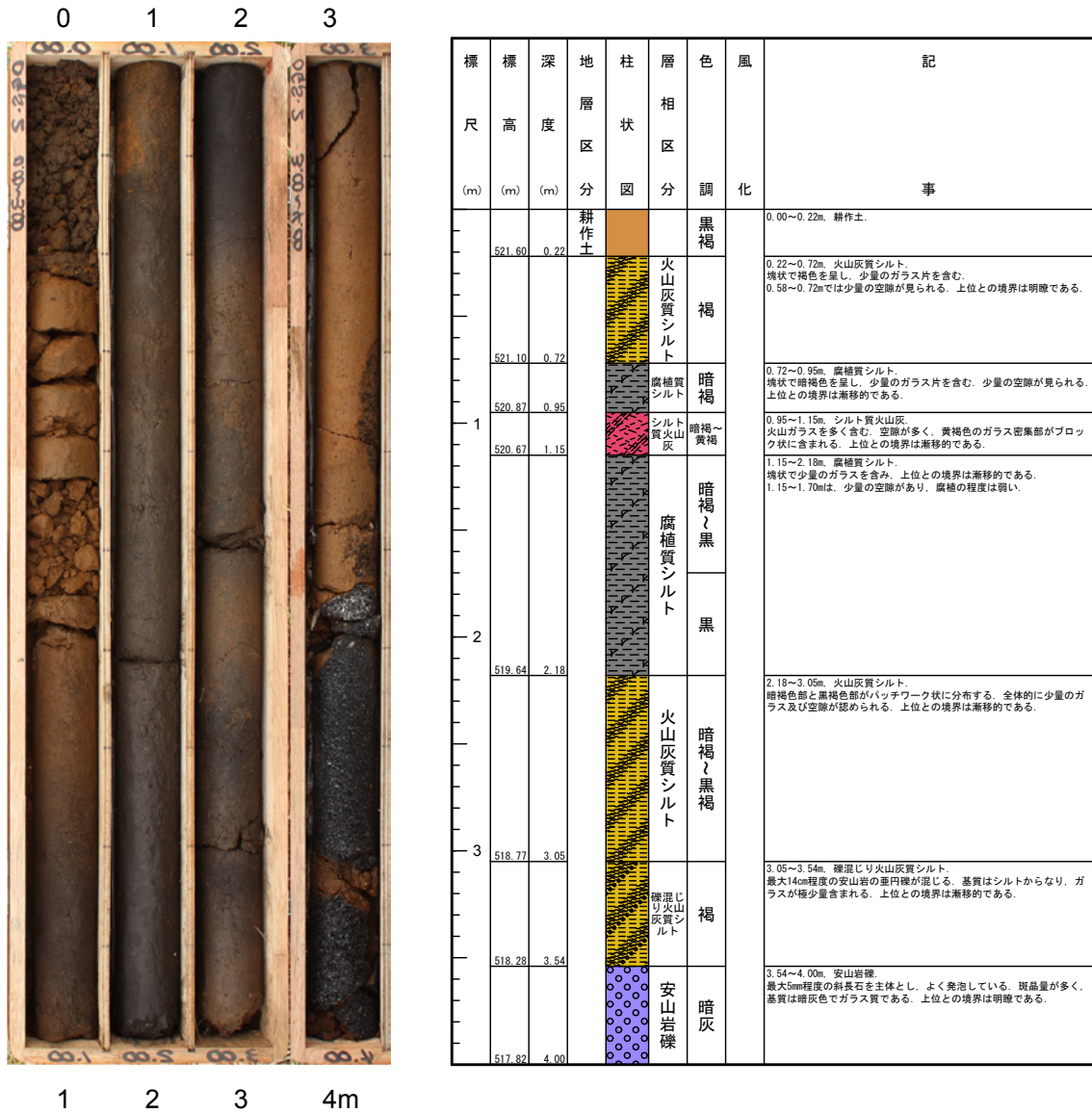
(A) OGS-1



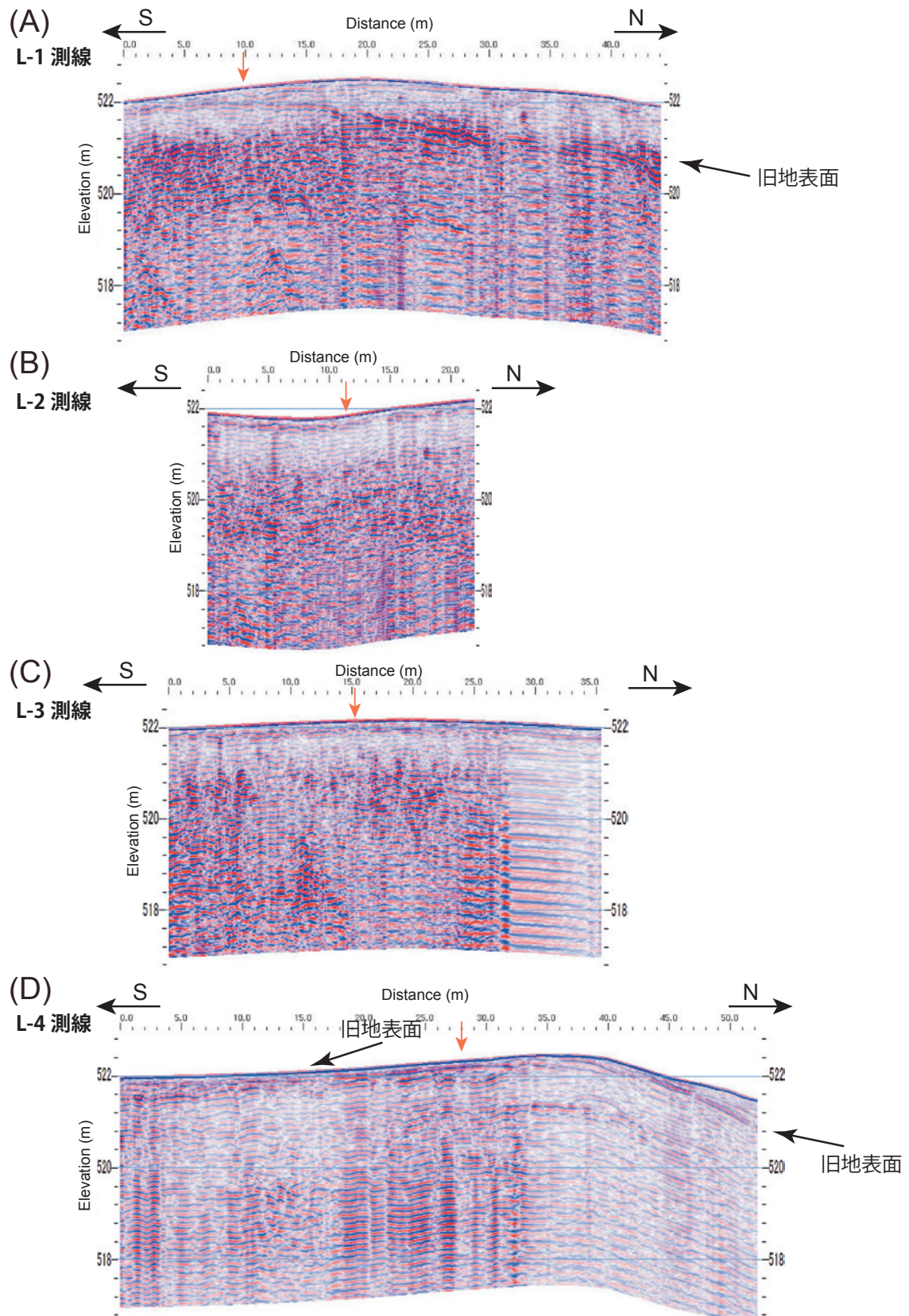
標尺	標高 (m)	深度 (m)	地層区分	柱状図	層相区分	色調	風化	記
	521.69	0.22	耕作土			黒褐		0.00~0.22m. 耕作土. 上部15cmは軟質であり、下部7cmは締まっている。
	521.31	0.60		火山灰質シルト		褐		0.22~0.60m. 火山灰質シルト。 褐色を呈し、細粒の岩片と少量のガラスを含む。耕作土との境界は不明瞭。含水率が高く、全体的に少量の空隙がある。
	520.94	0.97		腐植質シルト		暗褐		0.60~0.97m. 腐植質シルト。 暗褐色を呈し、少量のガラス片を含む。上位層との境界は漸移的である。含水率が高く、全体的に少量の空隙がある。上位の火山灰質シルトと比較し、より粘土質である。
1	520.81	1.10		シルト質火山灰		暗褐~黄褐		0.97~1.10m. シルト質火山灰。 ガラスを多く含む。黄褐色のシルト質火山灰がブロック状に分布する。基質はガラスを多く含む腐植質シルトである。空隙が多く、上位との境界は漸移的である。
	519.88	2.03		腐植質シルト		黒褐		1.10~2.03m. 腐植質シルト。 暗褐色を呈し、少量のガラスを含む。塊状で、少量の空隙がある。上位との境界は漸移的である。
2	519.33	2.58		火山灰質シルト		暗褐と黒褐		1.52~2.03m. 黒色を呈する。塊状であり、少量のガラスを含む。 2.03~2.58m. 火山灰質シルト。 暗褐色部と黒褐色部がパッチワーク状に分布する。少量のガラスを含み、空隙が目立つ。上位との境界は漸移的である。
3	518.43	3.48		安山岩礫		暗灰		2.58~3.48m. 安山岩礫。 最大6mm程度の斜長石を主体とする溶岩の礫。礫含量は20~30%であり、石基は暗灰色でガラス質である。硬質であり、発泡痕が目立つ。
	517.91	4.00		礫混じり火山灰質シルト		褐と暗褐		3.48~4.00m. 礫混じり火山灰質シルト。 褐色部と暗褐色部がまだら状に分布する。ガラス及び最大7cm程度の溶岩の礫を少量含む。礫は安山岩であり、歪角礫主体である。

第10図. 乙ヶ瀬地区のボーリングコア写真及び柱状図。(A) OGS-1孔の写真。(B) OGS-1孔ボーリングコア柱状図。
Fig. 10. Photograph of boring core and columnar section of core OGS-1 at the Otogase site. (A) Photograph of core OGS-1 (0~4 m depth). (B) Columnar section and geologic description of core OGS-1 (0~4 m depth).

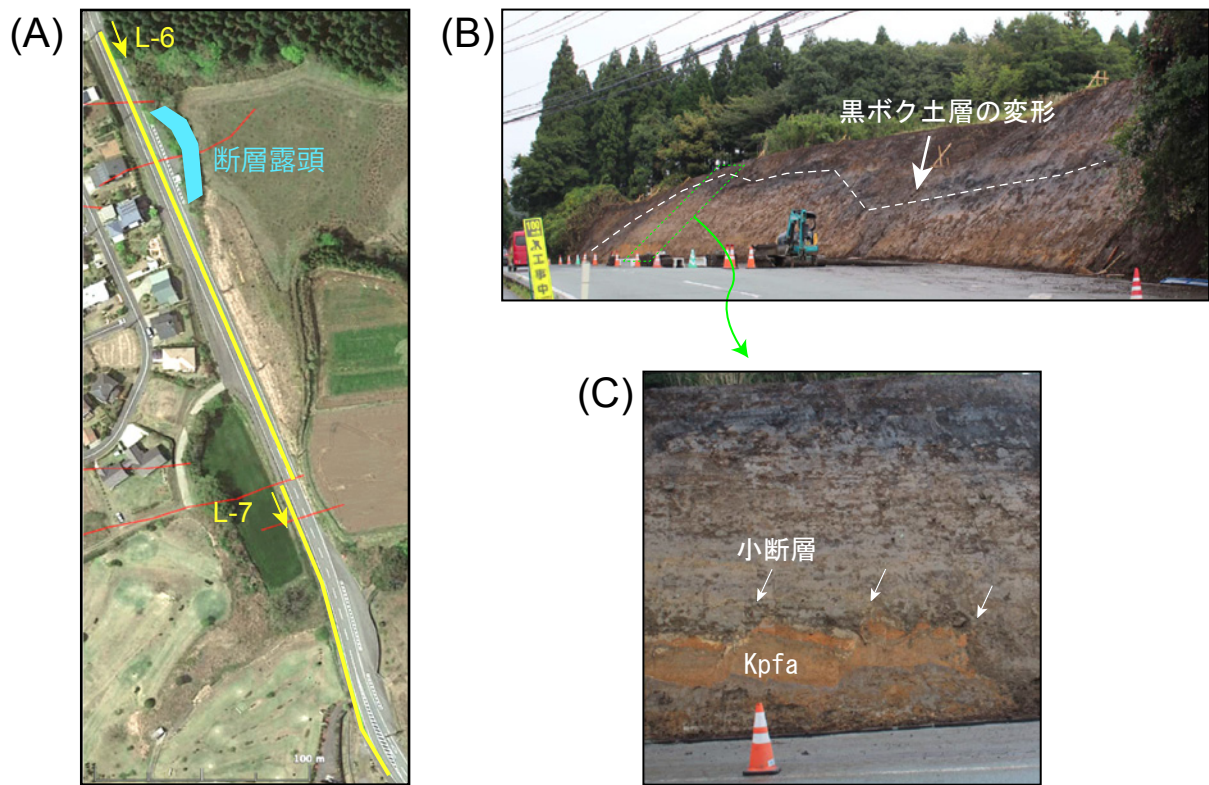
(B) OGS-2



第 11 図. 乙ヶ瀬地区のボーリングコア写真及び柱状図. (A) OGS-2 孔の写真. (B) OGS-2 孔ボーリングコア柱状図.
 Fig. 11. Photograph of boring core and columnar section of core OGS-2 at the Otogase site. (A) Photographs of core OGS-2 (0~4 m depth). (B) Columnar section and geologic description of core OGS-2 (0~4 m depth).

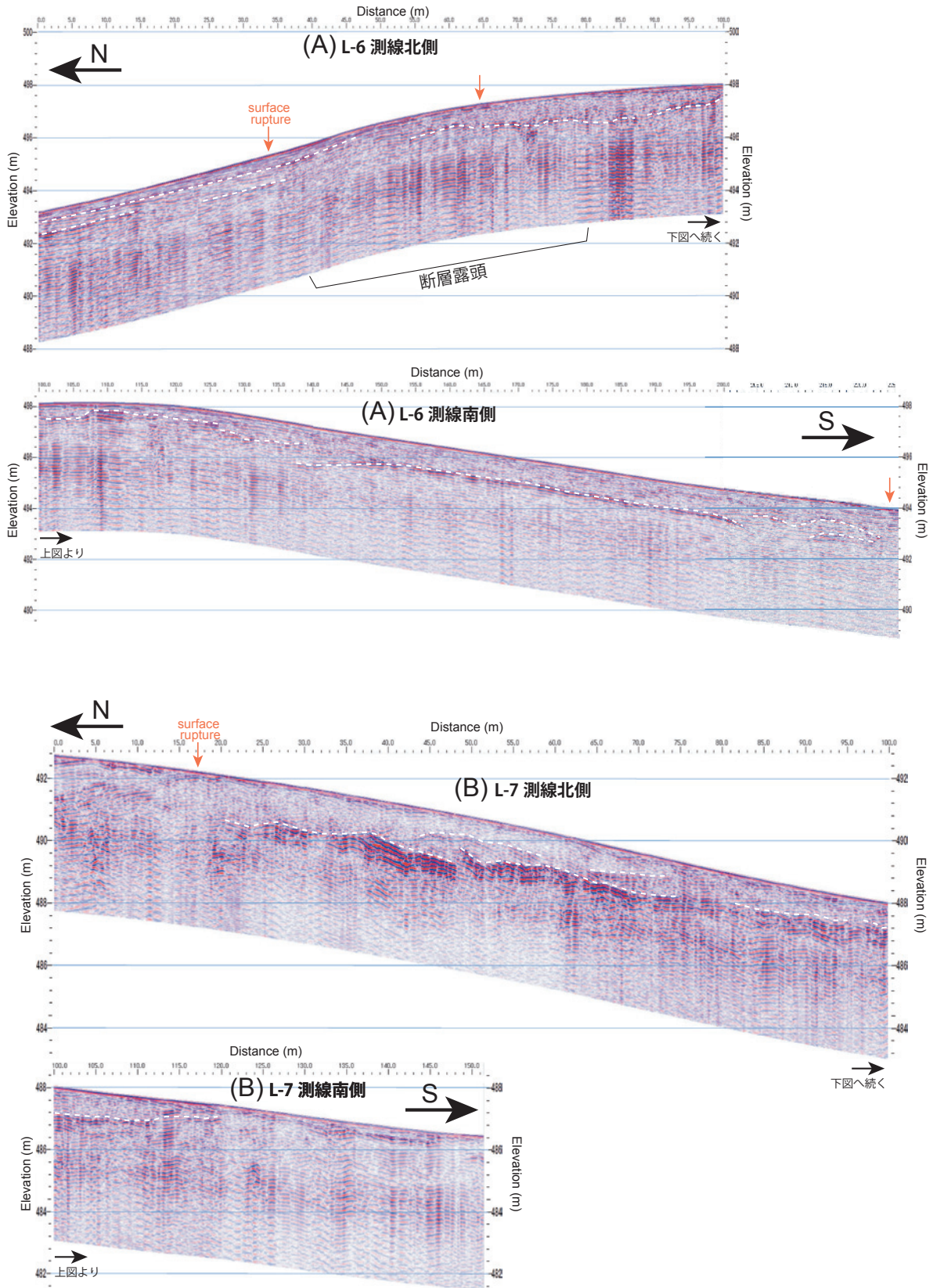


第 12 図. 乙ヶ瀬地区の地中レーダー探査断面. (A) L-1 測線, (B) L-2 測線, (C) L-3 測線, (D) L-4 測線.
 Fig. 12. GPR profiles at the Otogase site. Red arrows indicate locations of surface ruptures. (A) Line L-1. (B) Line L-2.
 (C) Line L-3. (D) Line L-4.



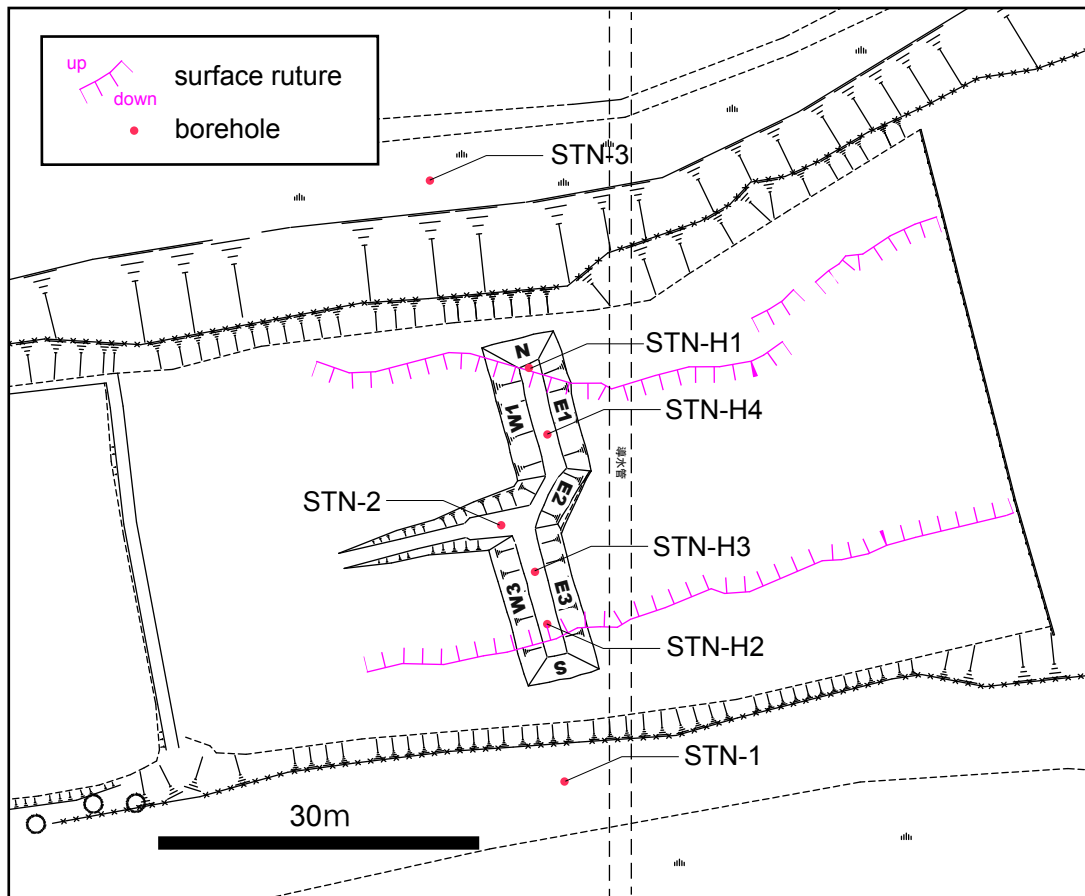
第 13 図. 地中レーダー探査測線位置及び露頭写真. (A) 国道 149 号線沿いの断層露頭位置と L-6, L-7 地中レーダー探査測線 (黄線). 赤線は地表地震断層の位置を示す. 写真は Google Earth から引用 (2018 年 3 月 28 日参照). (B) 道路工事によって露出した露頭の様子. 2017 年 10 月 18 日 (株) ダイヤコンサルタント杉田氏撮影. (C) 草千里ヶ浜降下軽石層 (Kpfa) を切断する正断層性の小断層群.

Fig. 13. Location map of an outcrop and GPR lines besides of the outcrop crossing surface ruptures. (A) Location map of an outcrop and GPR lines along the Kumamoto Prefectural Road 149. Base map taken from an aerial image of Google Earth (reference date; Mar 28th, 2018). See figure 3 for the location. Red lines indicate the traces of the surface ruptures. (B) A photograph of the outcrop exposed by repairing the retaining wall collapsed by the earthquake. A deformed black humic soil layer is visible (white dashed line). (C) North dipping small normal faults cutting the layer of Kpfa unit at the bottom of the outcrop.



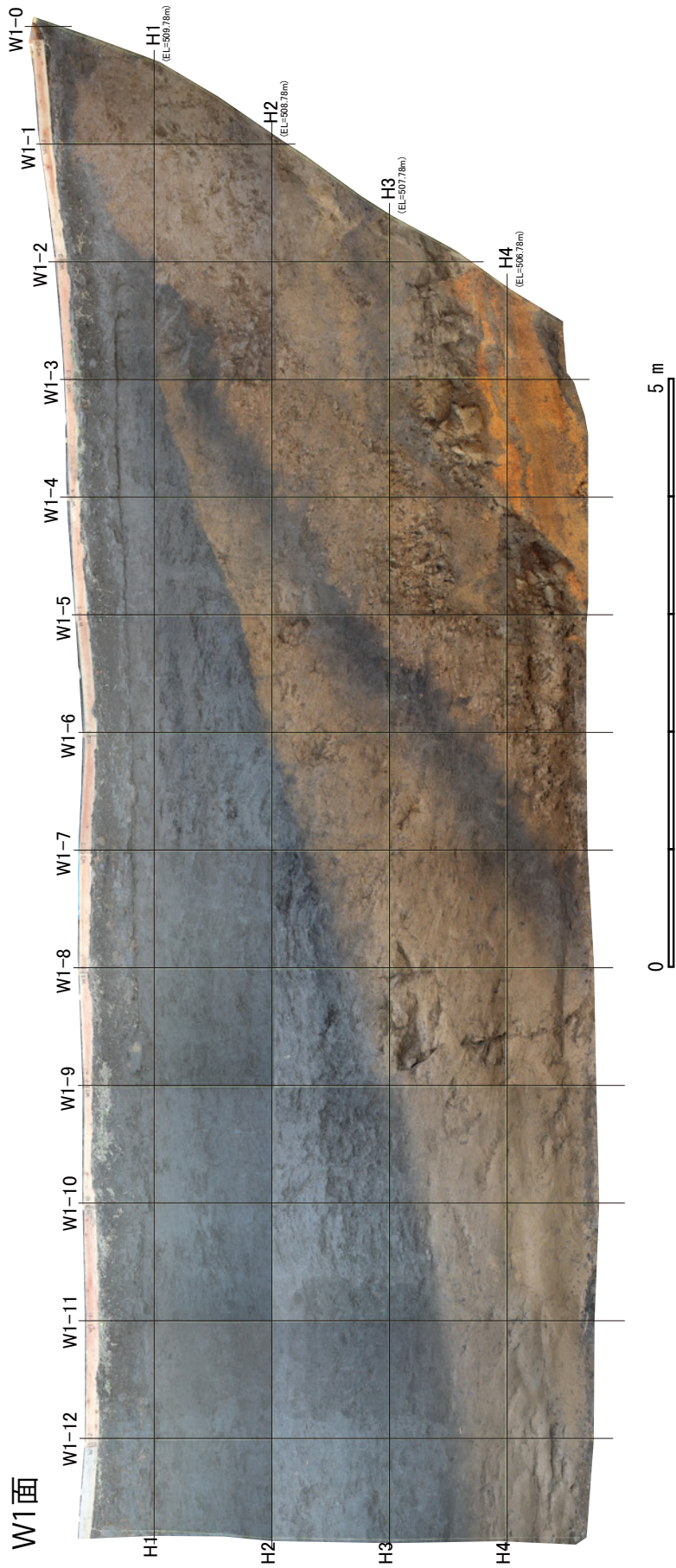
第 14 図. 県道 149 号線沿いの地中レーダー探査断面. (A) L-6 測線. (B) L-7 測線. 赤矢印は地表地震断層の位置, 白点線は顕著な反射面を示す.

Fig. 14. GPR profiles along the Kumamoto Prefectural Road 149. (A) Line L-6. Red arrows indicate locations of surface ruptures. White dashed lines show reflective band. (B) Line L-7.

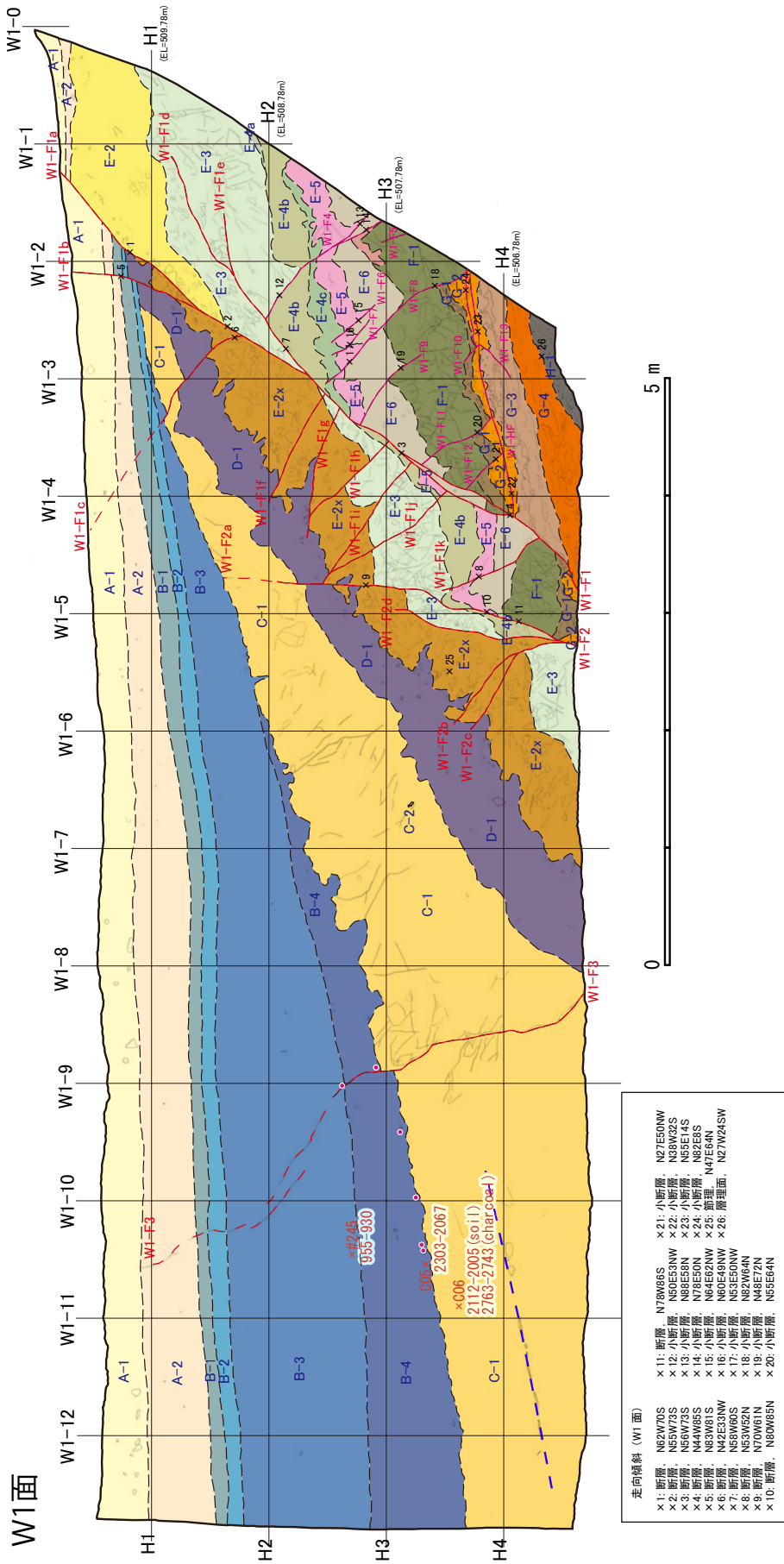


第 15 図. トレンチ掘削地点周辺の測量平面図. トレンチ掘削前に実施したボーリング位置 (STN1~3), 掘削後にハンドコーラーによって掘削したボーリング位置 (STN-H1~H4), トレンチ掘削範囲を示す. 点線は推定される導水管の位置.

Fig. 15. Survey map showing locations of boreholes and a trench site at the Sawazuno site. This map shows locations of three boreholes conducted before trench survey (STN1~3), four boreholes using hand corer (STN-H1~H4), and trench site. N-S trending black dashed line shows a estimated trace of a conduit pipe.

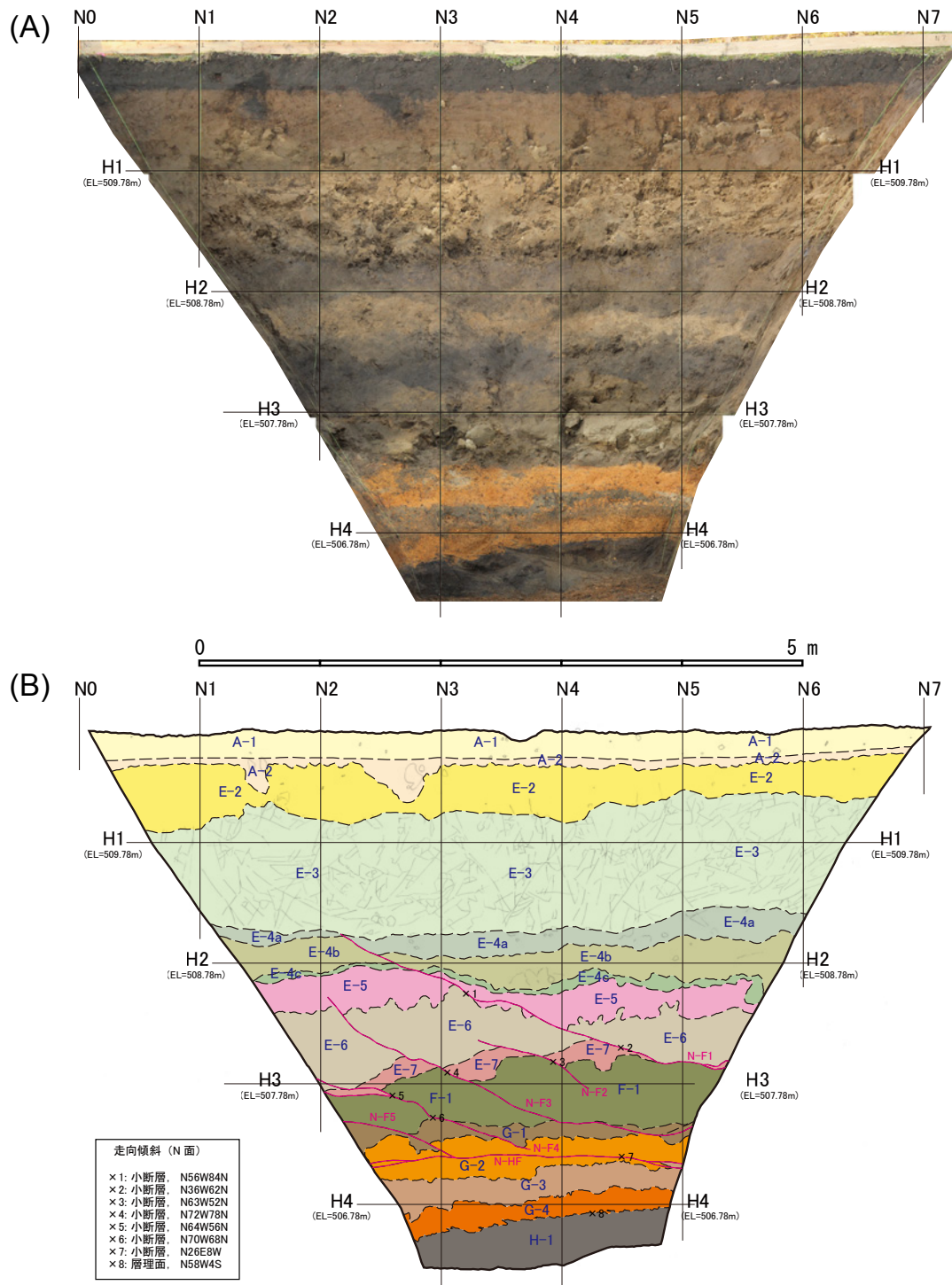


第16図. W1面の写真及びビスケット. (A) 写真.
Fig. 16. Photomosaic and log of the west wall in the northern part of the trench (W1 face) at the Sawazuno site (A) Photomosaic of the W1 face.



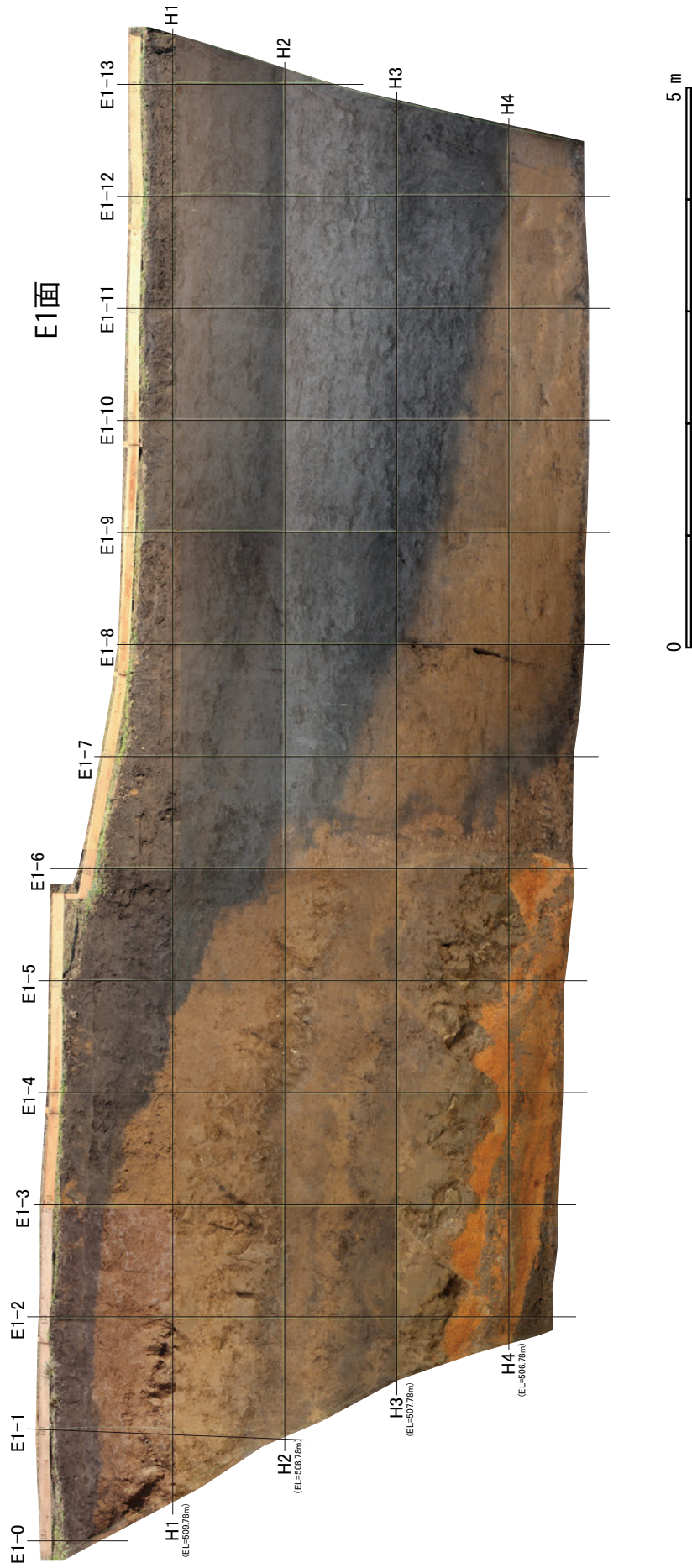
第16図. 続き. (B) スケッチ. 凡例は第23図を参照.

Fig. 16. Continued. (B) Log of the W1 face. See figure 23 for legend.

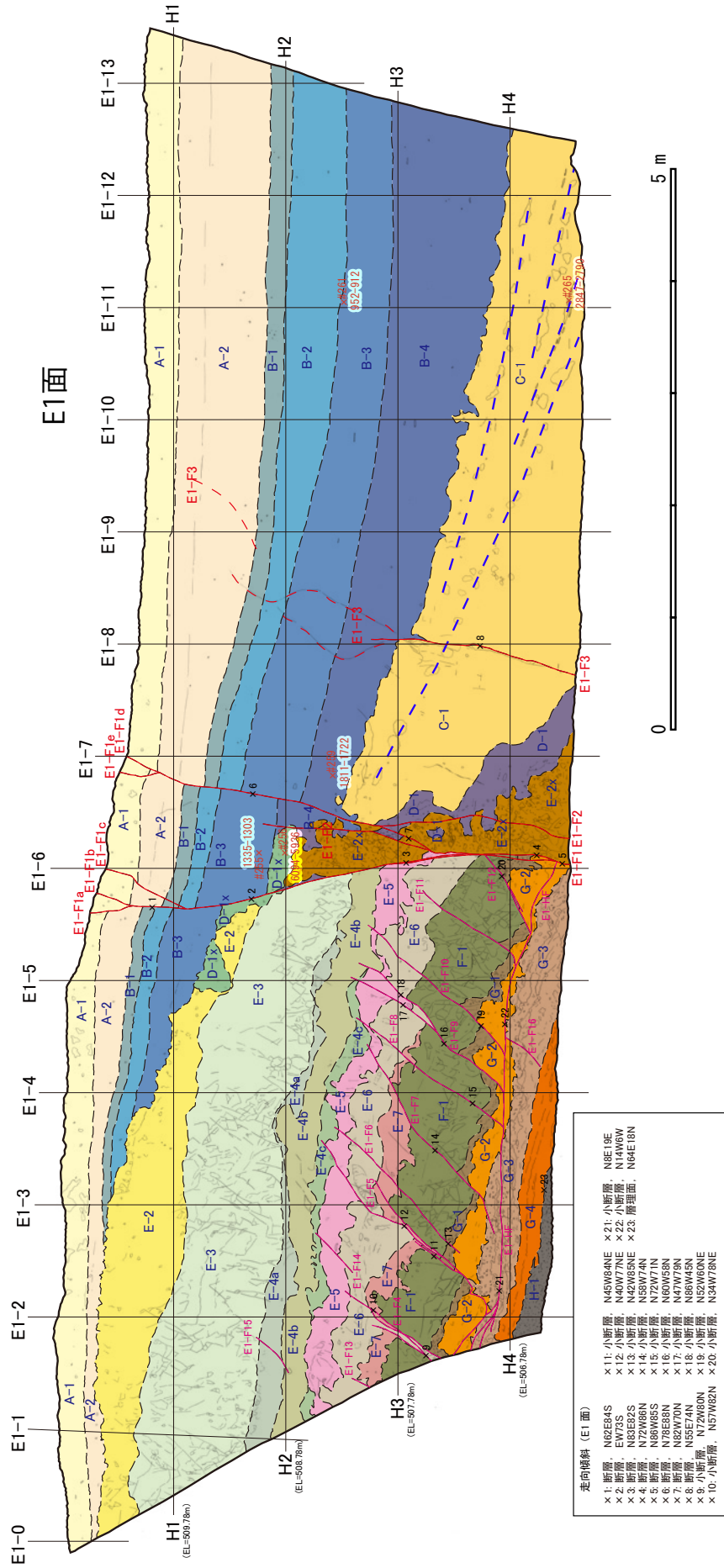


第 17 図. N 面の写真及びスケッチ. (A) 写真. (B) スケッチ. 凡例は第 23 図を参照.

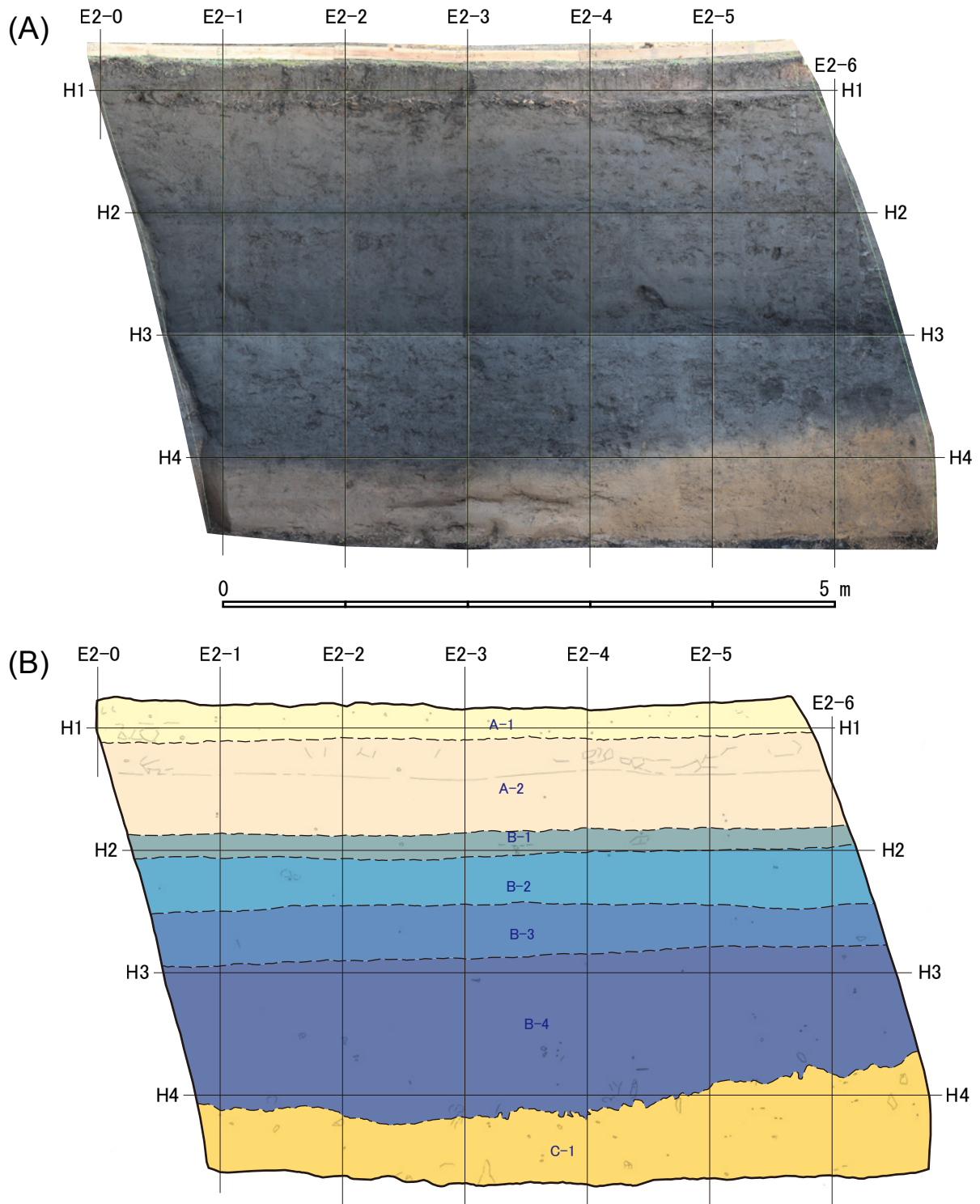
Fig. 17. Photomosaic and log of the north wall of the trench (N face) at the Sawazuno site. (A) Photomosaic of the N face. (B) Log of the N face. See figure 23 for legend.



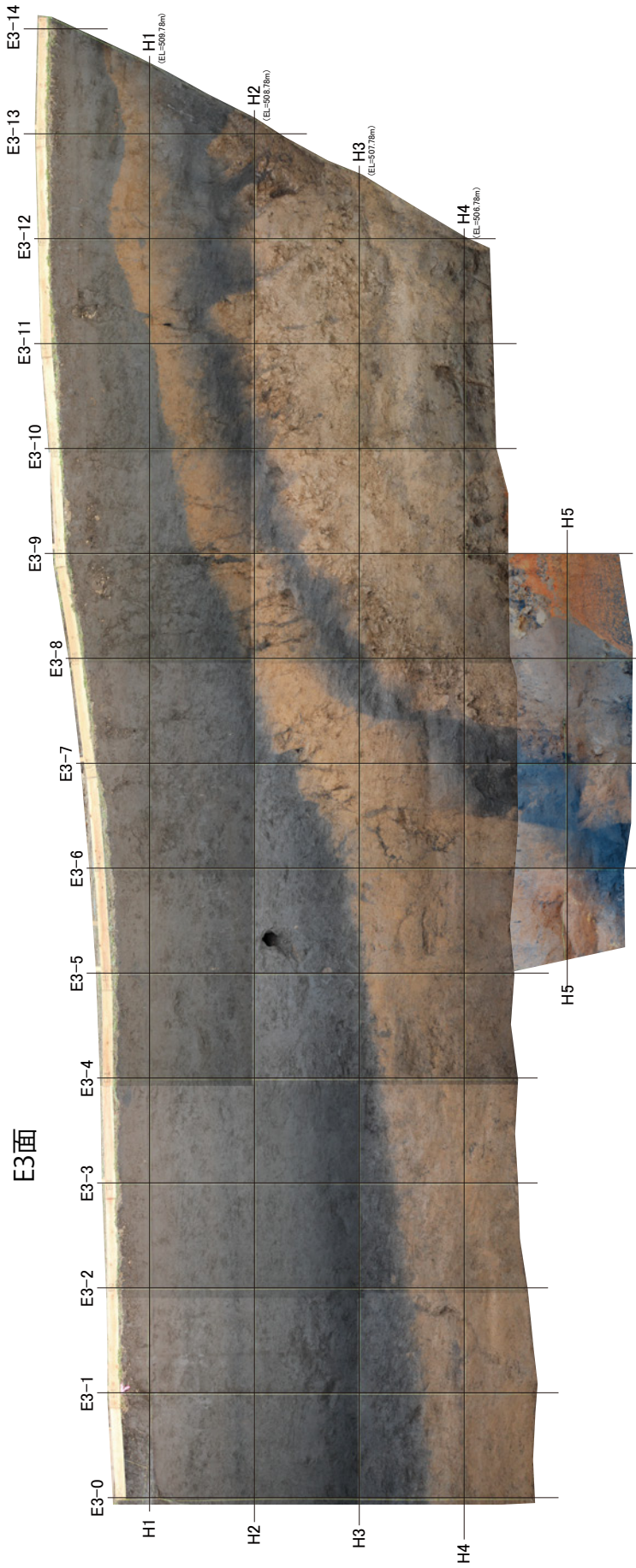
第18図. E1面の写真及びびスケッチ. (A) 写真.
Fig. 18. Photomosaic and log of the east wall in the northern part of the trench (E1 face) at the Sawazuno site. (A) Photomosaic of the E1 face.



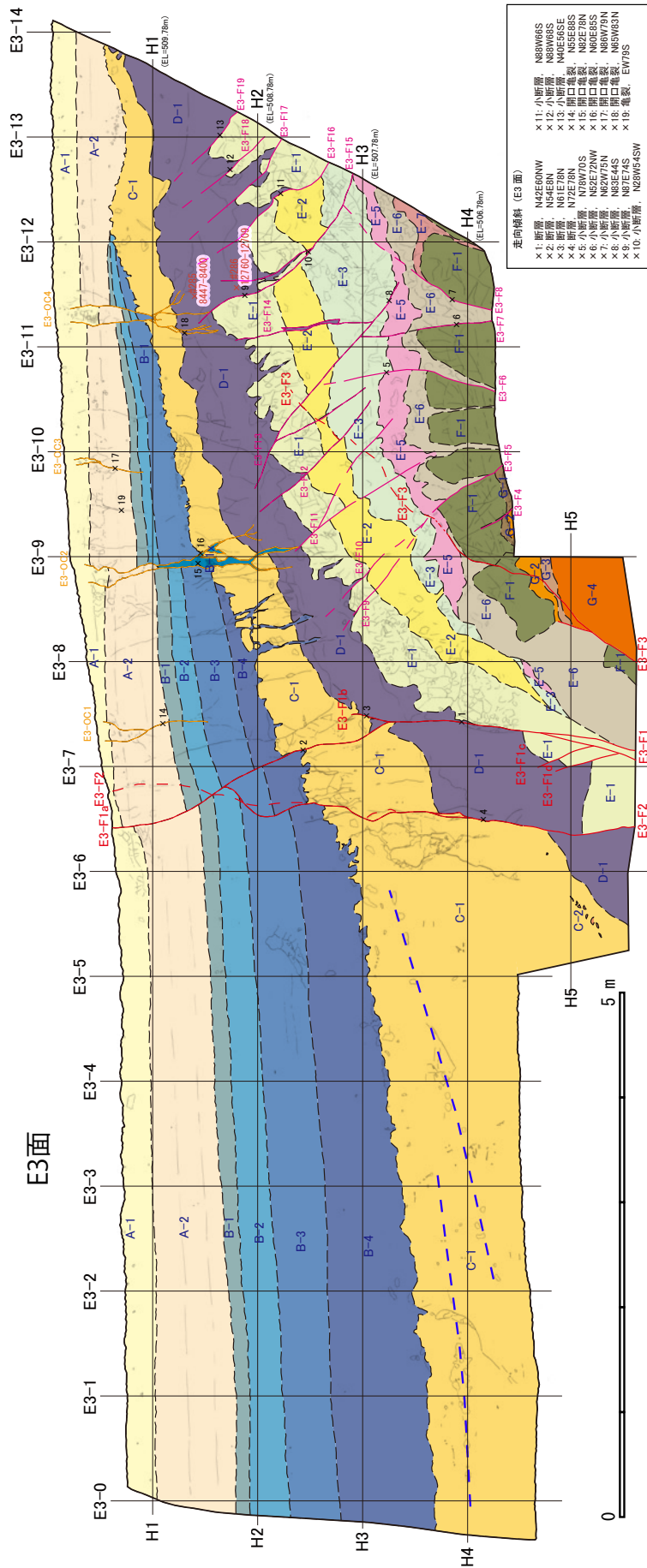
第18図. 続き, (B) スケッチ. (B) 凡例は第23図を参照.
Fig. 18. Continued. (B) Sketch. (B) See figure 23 for legend.



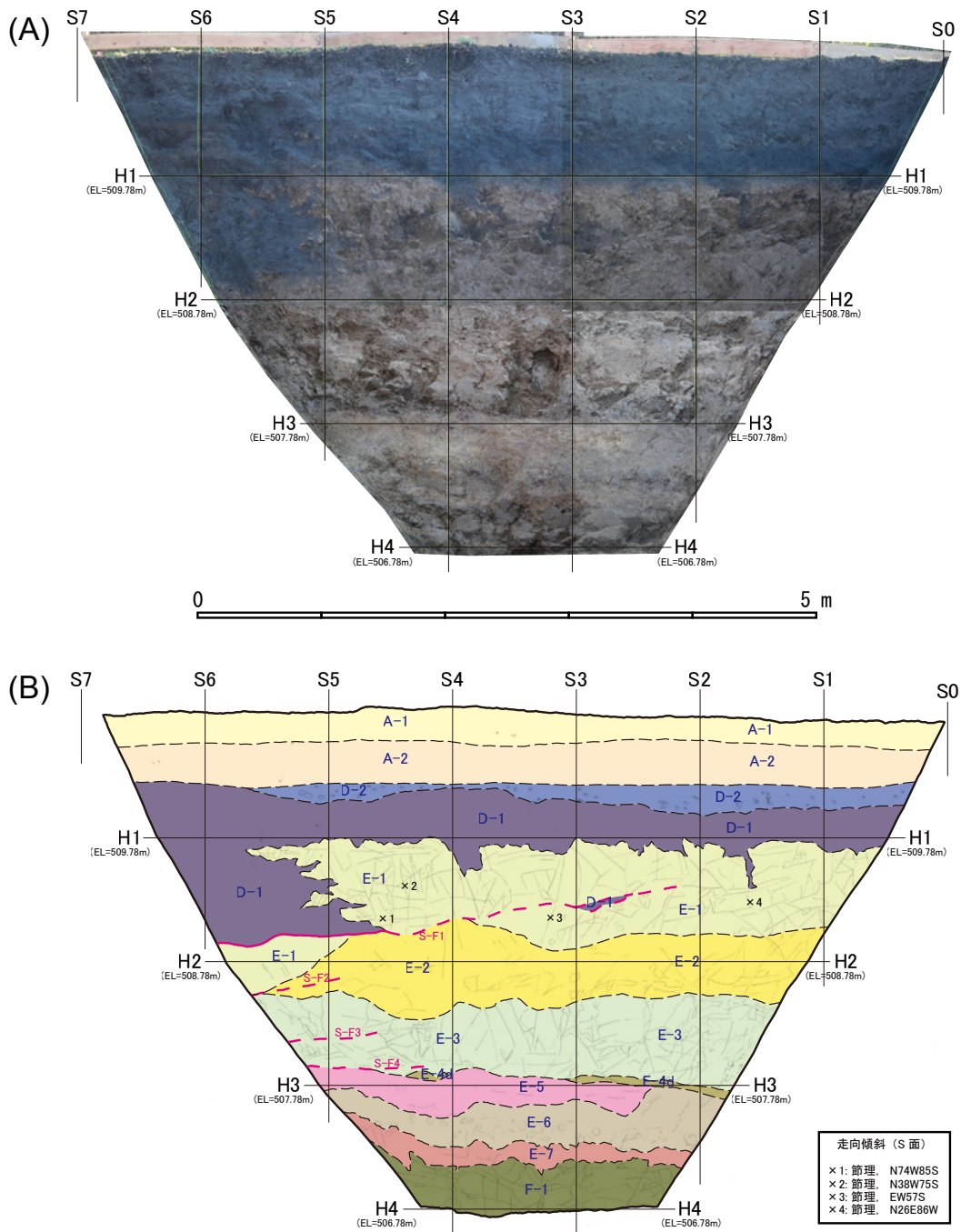
第 19 図. E2 面の写真及びスケッチ. (A) 写真. (B) スケッチ. 凡例は第 23 図を参照.
Fig. 19. Photomosaic and log of the east wall in the middle of the trench (E2 face) at the Sawazuno site.
(A) Photomosaic of the E2 face. (B) Log of the E2 face. See figure 23 for legend.



第20図. E3面の写真及びスケッチ. (A) 写真.
Fig. 20. Photomosaic and log of the east wall in the southern part of the trench (E3 face) at the Sawazuno site (A) Photomosaic of the E3 face.

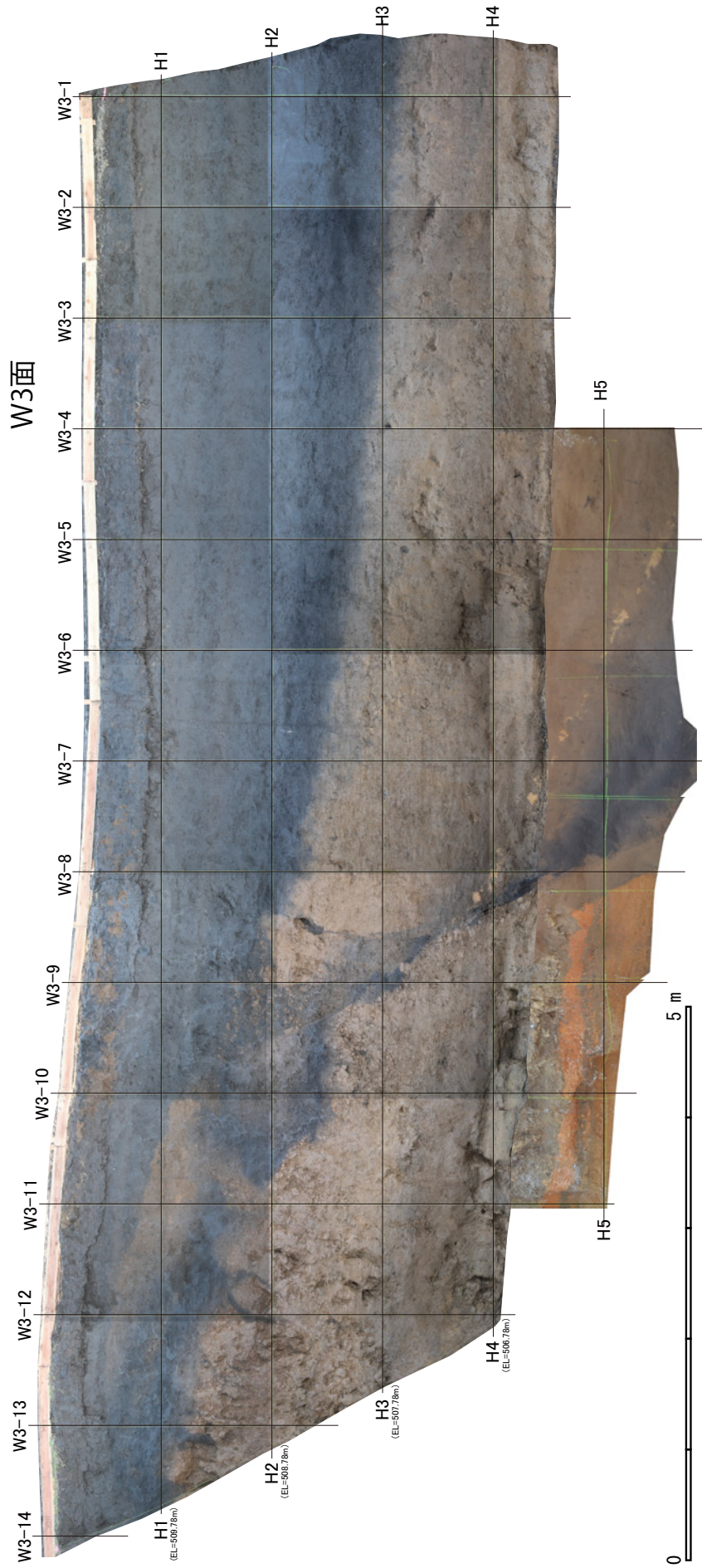


第20図. 続き. (B) スケッチ. 凡例は第23図を参照.
Fig. 20. Continued. (B) Sketch. See figure 23 for legend.

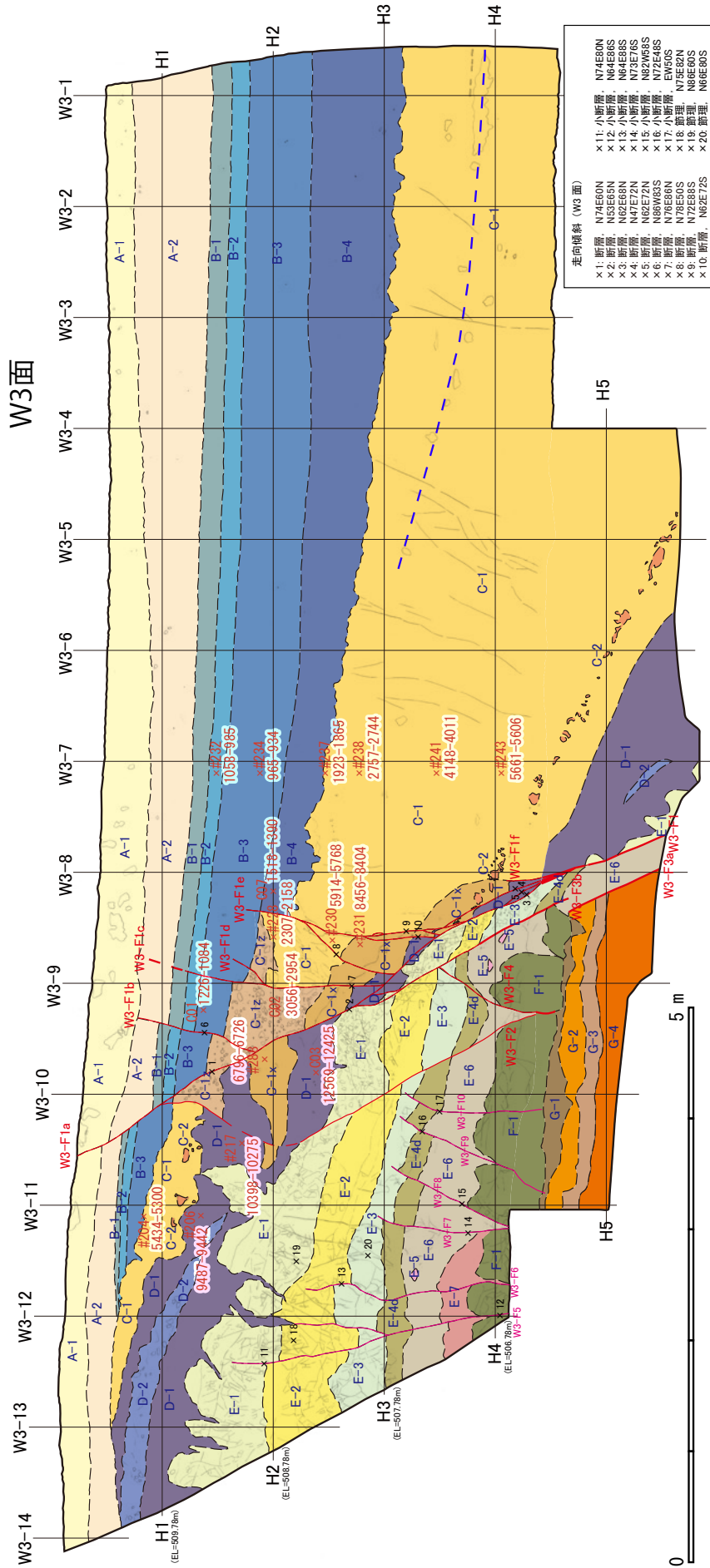


第21図. S面の写真及びスケッチ. (A) 写真. (B) スケッチ. 凡例は第23図を参照.

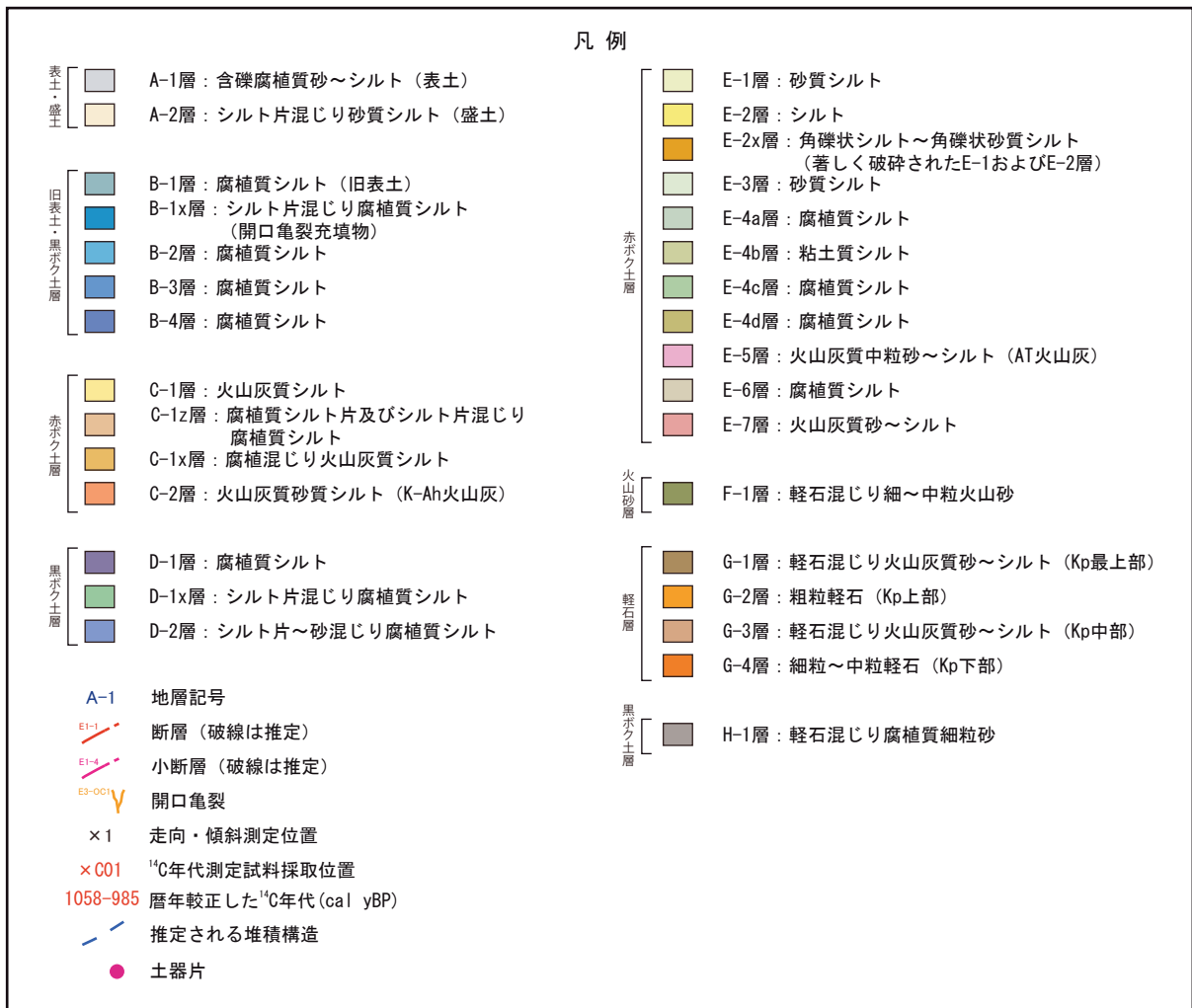
Fig. 21. Photomosaic and log of the south wall of the trench (S face) at the Sawazuno site. (A) Photomosaic of the S face. (B) Log of the S face. See figure 23 for legend.



第22図. W3面の写真及びスケッチ. (A) 写真.
Fig. 22. Photomosaic and log of the west wall in the southern part of the trench (W3 face) at the Sawazuno site. (A) Photomosaic of the W3 face.

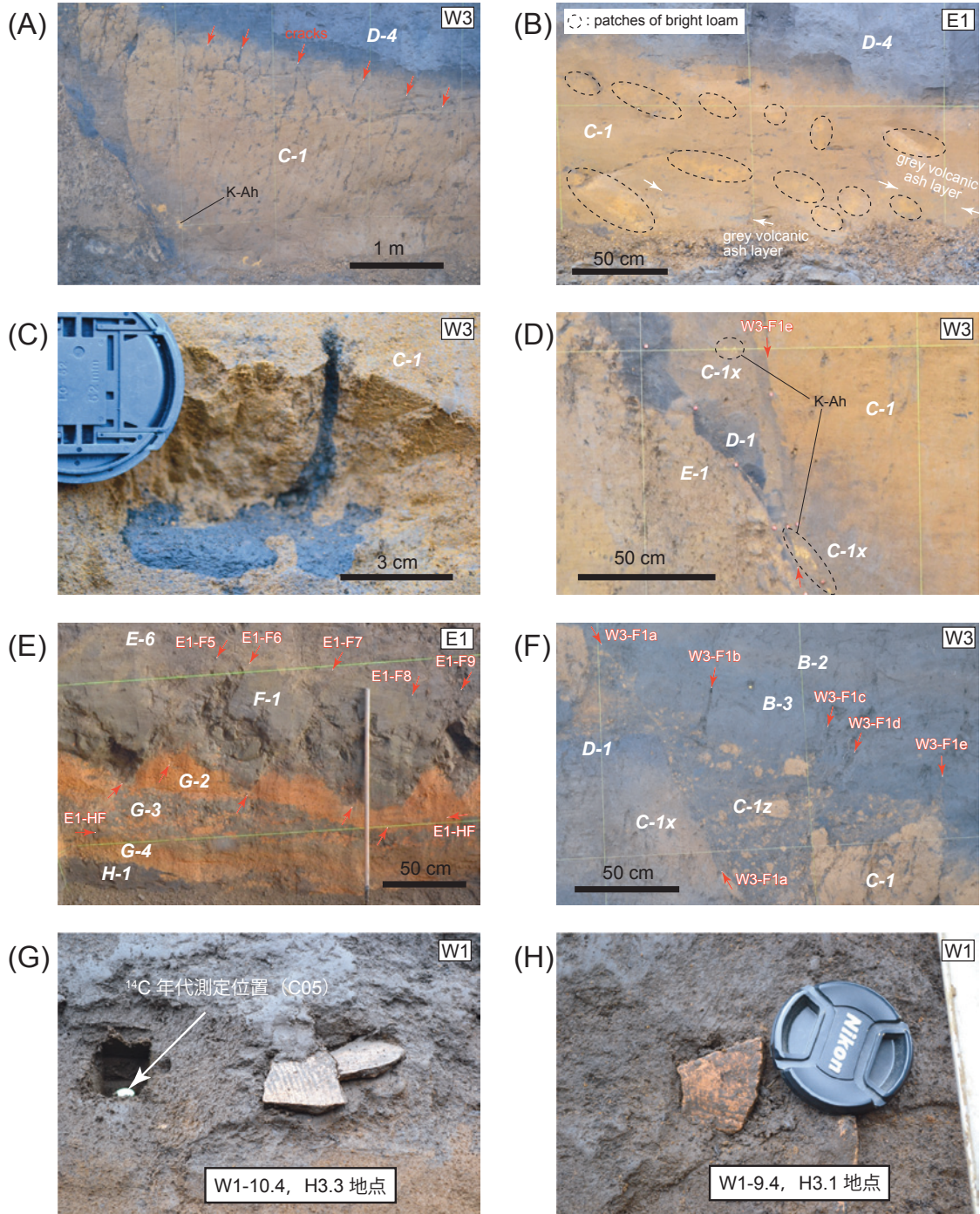


第22図. 続き. (B) スケッチ. 凡例は第23図を参照.
Fig. 22. Continued. (B) Log of the W3 face. See figure 23 for legend.



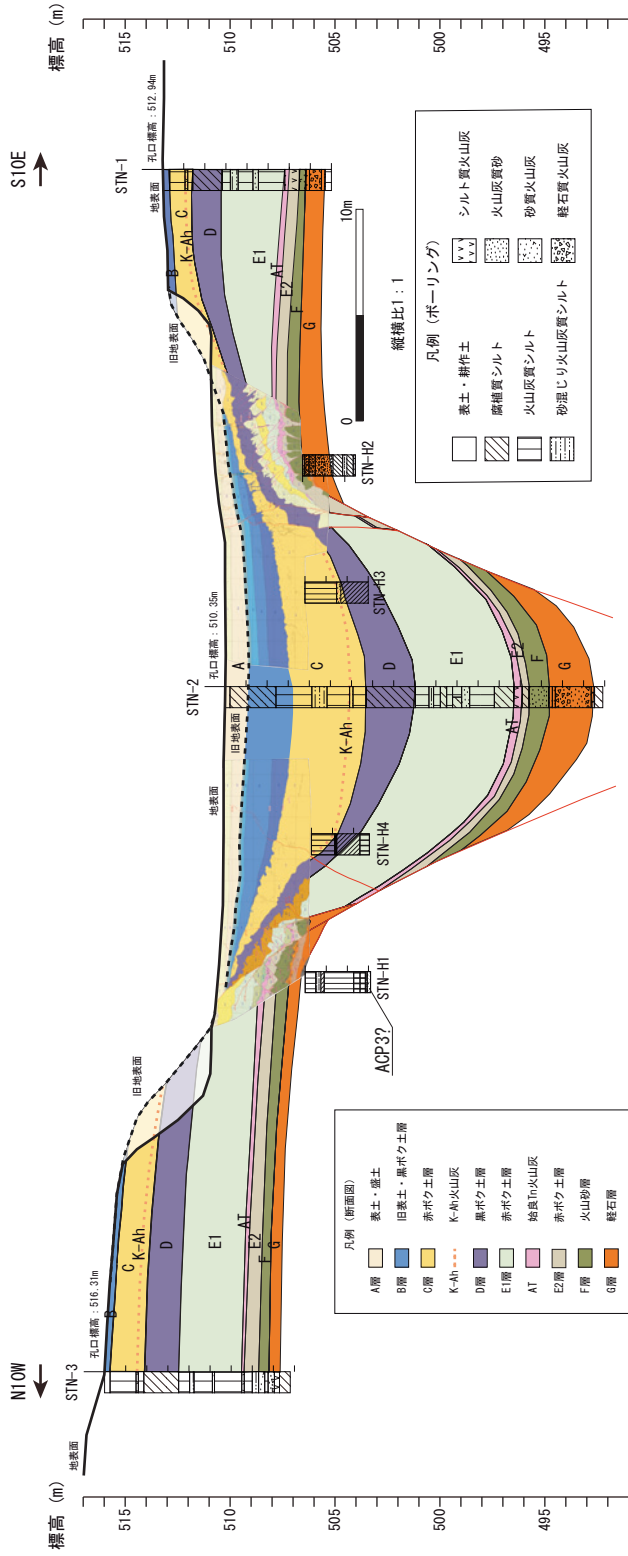
第 23 図. スケッチの凡例.

Fig. 23. Legend for logs of the trench at Sawazuno site.



第 24 図. 沢津野トレンチの拡大写真。(A) W3 面 W3-5~W3-8 付近の C-1 層中に見られる多数の亀裂 (赤矢印)。白字で主な地層名を示す。(B) E1 面 E1-10~13 付近の C-1 層中に分布する火山灰濃集層 (黒点線) と火山ガラス (白矢印)。(C) W3 面の C-1 層中に多数見られるアリの巣の痕跡。(D) W3 面 W3-F1e 分岐断層を挟んだ K-Ah の分布。どちらも C-1x 層中に含まれる。(E) E1 面 E1-2~E1-5 付近の小正断層群 (赤矢印)。水平な E1-HF から北傾斜で北落ちの断層群が多数分岐する。(F) W3 面の C-1z 層の様子。褐色シルト片と黒色シルト片からなる亀裂充填堆積物。多数の断層 (W1-F1a~e) によって切断される。(G) W1 面 W1-10.4 付近の B-4/C-1 境界から出土した土器の写真。左のピンは放射性炭素年代測定用試料採取位置。(H) W1 面 W1-9.4 付近の B-4/C-1 境界から出土した土器の写真。レンズキャップの直径は約 5 cm。

Fig. 24. Close-up photographs of the trench walls at the Sawazuno site. (A) Cracks in layer C-1 at W3-5~W3-8 on W3 face (red arrows). (B) Accumulation patches of volcanic ash (bright yellow patches surrounded by black dashed lines) in layer C-1 at E1-10~E1-13 on the E1 face. White arrows indicate locations of grey volcanic ash layers. (C) A fossil nest hole of ant mainly observed in the layer C-1. (D) K-Ah in the layer C-1x displaced along the W1-F1e branch fault. (E) Small north-dipping normal faults (red arrows) at E1-2~E1-5. They branch from a horizontal detachment fault (E1-HF) in the layer of G-group. (F) Crack fill sediment (referred to as C-1z) composed of brown silt and dark brown silt pieces. It was cut by the W1-F1a fault as well as some branching faults (W2-F1b~W3-F1e). (G) Pieces of pottery at the boundary between layers B-4 and C-1 near W1-10.4. White pin shows a sampling point referred to as C05 for ^{14}C dating. (H) Pieces of pottery at the boundary between layers B-4 and C-1 near W1-9.4. The lens cap is about 5 cm in diameter.



第25図. 沢津野地点の地溝を横切る地質断面図. ボーリングコアとトレンチから推定. ボーリングコアの配列と平行して直線状に並ぶW1面とE3面のスケッチを投影した.

Fig. 25. Geological cross-section across the graben at the Sawazuno site. A geological cross section based on columnar sections of boreholes and logs of trench walls. W1 and E3 face are projected because they are linearly arranged along the row of boreholes.