

反射法地震探査, 群列ボーリングおよびトレンチ調査に基づく佐賀平野北縁断層帯の浅部形状および第四紀後期の活動性

Shallow subsurface geometry and late Quaternary faulting of the Saga-heiyo-hokuen fault zone (northern marginal fault zone of the Saga Plain), central Kyushu, as revealed by seismic reflection profiling, densely spaced boreholes and trenching

丸山 正¹・齋藤 勝²・末廣匡基³

Tadashi Maruyama¹, Masaru Saito² and Masaki Suehiro³

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

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

³ 株式会社阪神コンサルタント (Hanshin Consultants Co., Ltd.)

Abstract: We carried out the geological and geophysical investigations to unravel the geometry and activity of the Saga-heiyo-hokuen fault zone (SHHFZ), located on the northern margin of the Saga Plain, central Kyushu. The E-W trending SHHFZ is recently recognized as a 38-km-long active normal fault zone consisting of multiple fault strands, including emergent faults with geomorphic expression and concealed faults underneath the plain, based on tectonic geomorphology and subsurface information. Although this fault zone is regarded as the source for generating large earthquake ($\approx M 7.5$) from its total length, precise location, structural style, slip rate and recency of faulting are poorly known. Our P-wave seismic reflection profiling designed to cross most of the fault strands in the central part of the fault zone clearly represents the seismic section up to 1 km in depth, which allows for locating and characterizing the faults. We identify multiple moderately south-dipping normal faults that are defined by a progressive deformation of the south side down warping of seismic reflectors. Some ambiguous subsidiary north-dipping normal faults are also recognized. There is no prominent topographic expression on the surface projection of the main south-dipping faults identified from the seismic section, suggesting that the blind normal faults exist although its recent activity is unclear. Meanwhile, our seismic profiling does not provide evidence of concealed active fault that is proximity to population center of Saga City, which has been inferred solely from steep gradient of the Bouguer gravity anomaly. Densely spaced and continuously cored boreholes across the south-facing scarp on the Jobaru fault, a geomorphologically most distinct fault strand of the SHHFZ, enable us to constrain the dip angle of the fault at shallow depth to be about 70° to the south with south-side-downthrown, implying that the fault has a normal slip component. About 10 m vertical offset of the ca. 90-85 ka Aso-4 pyroclastic flow deposit yields the late Quaternary average vertical slip rate at ca. 0.1 m/ky for the Jobaru fault. A paleoseismic trenching across the Jobaru fault yields evidence suggestive of at least two surface deforming events with ca. 1 m of vertical offset per event since 39,730 cal yBP.

キーワード: 佐賀平野北縁断層帯, 活断層, 反射法地震探査, 群列ボーリング, トレンチ, 佐賀平野, 九州

Keywords: Saga-heiyo-hokuen fault zone (northern marginal fault zone of the Saga Plain), active fault, seismic profiling, densely spaced boreholes, paleoseismic trenching, Saga Plain, Kyushu

1. はじめに

佐賀平野北縁断層帯は、佐賀県おぎ小城市小城市町から、佐賀市かみさき市を経て、神埼郡吉野ヶ里町まで脊振山地南縁に沿って、全体としてはほぼ東西に延びる断層帯である (地震調査研究推進本部地震調査委員

会 (以下, 地震調査委員会), 2013a, b, ; 第1図). 地震調査委員会 (2013b) によると, 本断層帯は複数の断層からなり, 地表で認められる断層帯の長さは約 22 km であり, 主として南側が低下する正断層である可能性が指摘されている. また, 重力異常の急変帯から推定される地下の断層帯の長さは, 佐賀県

多久市南多久町から福岡県久留米市長門石町の福岡県佐賀県の県境付近まで延長される可能性があり、その場合の地下の断層面の長さは 38 km 程度となる可能性が示されている (第 1 図 a)。本断層帯については、これまで活断層研究会編 (1980, 1991)、九州活構造研究会編 (1989)、中田・今泉編 (2002)、下山ほか (2010) により、活断層 (推定活断層および活断層の疑いのあるリニアメントを含む) の分布やずれの向きが示されてきた。地震調査委員会 (2013b) は、これらの既存研究で認定された断層に加えて、それらの延長部および近傍において地形判読および重力異常の急変帯の分布から新たに認定あるいは推定した断層を一括して佐賀平野北縁断層帯とした (第 1 図 a)。そのうえで、断層帯全体が活動した場合、M7.5 程度の地震が発生する可能性があるとした。しかしながら、断層帯の詳細な分布、活動履歴、地下構造等に関する詳しい調査はこれまでほとんど行われていない。そのため、地震調査委員会 (2013b) は、本断層帯の長期評価に関する今後の課題として、「最新活動時期や平均活動間隔など、過去の断層活動に関する信頼性の高いデータを取得する必要がある。また、断層面の地下形状や断層の運動様式を明らかにするための調査も必要である。」としている。

こうした課題を踏まえて、産業技術総合研究所は平成 25 年度および平成 26 年度に、断層帯を構成する断層がもっとも密に分布している断層帯中央部を対象として航空レーザ細密地形データを用いた同断層帯の変動地形調査、同断層帯を横切る P 波反射法地震探査、佐賀平野北部における地下地質層序確認ボーリング調査、断層帯を構成する城原断層 (下山ほか, 2010; 地震調査委員会, 2013b) を横切る群列ボーリング調査およびトレンチ調査を実施した (産業技術総合研究所, 2014, 2015)。本報告では、これらの調査結果を整理、一部再検討し、本断層帯の地下形状や断層の運動様式について情報が得られた P 波反射法地震探査、城原断層を対象とした群列ボーリングおよびトレンチ調査の結果を報告する。

2. 断層帯中央部の地形・地質および断層の概要

調査地域は、佐賀平野北部および脊振山地南縁に位置する (第 1, 2 図)。低平な沖積面が広がる佐賀平野の北部には、背振山地を開析する河川により形成された低位段丘堆積物からなる地形面 (ここでは低位段丘面と呼ぶ) が分布している (下山ほか, 2010; 第 2 図)。

下山ほか (2010) によると、調査地域の沖積面を構成する地層は、汽水～淡水成粘土およびシルトからなる蓮池層上部、また低位段丘面を構成する地層は礫、砂および泥からなる三田川層とされ、下部に阿蘇 4 火砕流堆積物 (Aso-4, 90–85 ka (ka: 千年前); 町田・新井, 2003) 起源のラハール堆積物を含むと

されている (第 2 図)。三田川層の下位には阿蘇 4 火砕流堆積物が分布し、その下位には中位段丘を構成する中原層が分布する。中原層は阿蘇 3 火砕流 (135–120 ka; 町田・新井, 2003) を挟む。調査地域周辺では、阿蘇 4 火砕流堆積物および中原層は地表にはほとんど分布しない (第 2 図)。一方、本地区北方の脊振山地およびその南麓斜面には広く後期白亜紀の花崗岩類が分布し、斜面下部および佐賀平野北縁部の残丘状の基盤の高まり部には東西走向で高角度に傾斜する片理面が発達する三郡変成岩類が分布する (下山ほか, 2010; 第 2 図)。

調査地域には、佐賀平野北縁断層帯を構成する数条の断層が示されている (地震調査委員会, 2013b; 第 2 図)。このうち、第 2 図の断層 A は、活断層研究会編 (1980, 1991) および九州活構造研究会編 (1989) の都渡城一川久保断層の一部にあたる。断層 B, C は、地震調査委員会 (2013b) により新たに認定された断層である。これらは、中田・今泉編 (2002) により推定活断層として認定され、下山ほか (2010) により城原断層と命名 (仮称) された断層 (詳しくは後述) の延長部において左雁行する 2 条の低断層崖として認められたもので、地震調査委員会 (2013b) はこれらを一括して城原断層と命名している。断層 D は、下山ほか (2010) により久富断層と仮称された、試錐資料に基づき阿蘇 4 火砕流堆積物と三田川層の分布深度の急変から推定された南側低下の伏在断層である。断層 E は、地震調査委員会 (2013b) により新たに重力異常の急変帯から推定された伏在活断層である (断層名は示されていない)。

これらのうち、断層 A~C は変動地形から認定された活断層とされている (地震調査委員会, 2013b)。ただし、城原断層とされる断層 B および断層 C に関しては、具体的な認定の根拠が示されておらず、また断層線図が小縮尺のため、詳細な位置を把握することができない。そこで、本研究において、米軍撮影空中写真ならびに 1962 年国土地理院撮影空中写真および航空レーザ地形データを用いた地形判読を行った。その結果、こうした 2 条の断層の対応する連続的に伸びる変位地形は認定できなかった。

一方、調査地域東部にあたる城原川右岸の神埼市城原地区 (以下、城原地区) では、低位段丘面の南縁が東西方向に伸びる比高約 2.0~2.5 m の南向きの低崖を介して沖積面に接している (第 2, 3 図)。城原川の右岸堤防付近から神埼市神埼町尾崎付近まで断続的に約 1.5 km にわたって分布しているこの低崖は、中田・今泉編 (2002) により推定活断層と認定され、下山ほか (2010) により城原断層と命名 (仮称) された断層に対応すると考えられる。こうしたことから、本報告では、後述する群列ボーリング調査およびトレンチ調査を実施した下山ほか (2000) によって仮称された城原川右岸側において背振山地南縁に沿う長さ約 1.5 km の断層のみを城原断層とする。

尾崎付近で分布が途切れる城原断層の西方には，数条のリニアメントが認められる（第2図）．そのうち，佐賀市久保泉町大字上和泉地区（以下，上和泉地区）において，約2 kmにわたりやや湾曲しながら東北東-西南西～東西方向に延びる崖高3 m未満の南向きの低崖（以下，上和泉低崖）を介して低位段丘面が沖積面に接する状況が認められる（第2, 4図）．ただし，後述するように反射法地震探査の結果からは，上和泉低崖に明確に対応する断層構造は認められなかった．

3. 反射法地震探査

3.1 探査測線

佐賀平野北縁断層帯については，上述したように，一部を除いて断層変位地形が不明瞭であり，伏在断層も含まれる．そのため，地形・地質調査から，同断層帯を構成する断層の位置や形状等に関する具体的な情報を得ることは困難である．そこで，本調査では佐賀平野北縁断層帯の実態を把握することを目的として，同断層帯を横切るP波反射法地震探査を実施した．探査測線の設定にあたっては，i) 地震調査委員会（2013b）に示された佐賀平野北縁断層帯を構成する断層を横切ること，ii) 地質断面図等，探査断面を解釈するうえで有効となる地下地質情報が得られている地点と近接すること，の2点を重視した．そのうえで，現地における交通状況，道路工事状況，地下埋設物の有無等についての確認の結果，佐賀県道51号（佐賀脊振線）で探査を実施することとした．探査測線および解析測線の位置と佐賀平野北縁断層帯との位置関係および周辺の表層地質を第2図に示す．

探査測線は，佐賀市兵庫町大字瓦町から同市久保泉町川久保に至る約7.31 kmとした．この測線において，発震点間隔約10 m，受振点間隔約10 mのP波による反射法地震探査を行い，探査目標深度1 km程度の地下地質構造のイメージングを試みた．反射法地震探査の探査仕様および使用機器を第1表に示す．探査は2014年1月8日から同年1月26日にかけて実施した．

収録された記録のデータ処理および解析においては，反射法地震探査で一般に用いられる共通中間点（Common Midpoint: CMP）重合法によりS/N比を高めた時間断面を作成した．これに速度解析結果等に基づいたFKマイグレーション処理を施し，時間断面内の反射面の位置を補正した後，深度変換によりマイグレーション後時間断面を深度断面に変換した（第5～9図）．データ処理および解析に使用した主なパラメータを第2表に示す．

探査測線と活断層との位置関係については，地震調査委員会（2013b）によって重力異常の急変帯から推定された断層（断層E）が解析測線のCMP280～

400付近を，変動地形から認定された3条の断層が，南のものからCMP850～900付近（断層C），1000～1050付近（断層B）および1230～1280付近（断層A）を横断する（第2, 8, 9図）．一方，上述した本調査による地形判読により推定した，上和泉地区において約2 kmにわたりやや湾曲しながら東北東-西南西～東西方向に延びる低崖（上和泉低崖）は解析測線のCMP910付近を横断する（第2, 8, 9図）．

3.2 佐賀平野北部の地下地質層序

中型バイプロサイズによって得られた時間断面図，深度断面図および地質解釈図を第5～9図に示す．これらの断面図では，最大深度1 km程度までの地下地質を比較的明瞭にイメージングすることができる．佐賀平野北部の地下地質は，連続性のよい明瞭な反射面の繰り返しで特徴付けられる浅部の地質体と，その下位で反射面が見られない地質体に識別できる（第8, 9図）．第8, 9図に緑線で示す両者の境界は連続性の良い強い反射面として追跡することができ，一部凹凸を伴いつつ緩やかに南に傾斜する．測線南端付近における境界面の深度は約800 mに達する．この強い反射面が地表に達するCMP1100付近は，測線からやや東方において地表に分布する後期白亜紀の三郡変成岩類の南縁にあたる（下山ほか，2010；第2図）．このことから，強い反射面は三郡変成岩類とみられる基盤岩とそれを覆う堆積層（岩）との分布境界と判断される．なお，下山ほか（2010）によると，測線沿いにおける三郡変成岩類と後期白亜紀の花崗岩類との分布境界はCMP1350付近に示されているが（第2図），探査記録からは，両者の分布境界は把握できない．

基盤岩を覆う堆積層も全体的には基盤岩上面と同様に南に緩やかに傾斜している（第8, 9図）．堆積層中・上部は，CMP880～1020付近では南に傾斜する基盤岩上面に対してオンラップするように分布する．一方，CMP400～500付近では南に緩やかに傾斜する基盤岩上面を，より傾斜の大きい反射面の堆積層下部がダウンラップする．こうした堆積層の反射面のパターンは，それぞれ海水準変動の上昇と海水準の停滞に伴う堆積場の海側への移動を示している可能性がある．探査測線周辺では大深度のボーリングデータがないため，これらの堆積層の層相や堆積年代は不明である．

3.3 佐賀平野北部の地下地質構造

反射断面では，上述したように全体的には基盤岩上面およびそれを覆う堆積層が緩やかに南に傾斜する．しかしながら，CMP700～1000付近にかけての区間では基盤岩上面の傾斜がやや急になり，部分的に落差（高度差）を生じるとともに，その上方において堆積層内の反射面にも撓みや不連続等が認められる．このような基盤岩上面の落差や堆積層内の反

射面の変形から、佐賀平野北縁部において堆積層を変位させる断層が認定された。

CMP700~820 付近では深度 100 m 付近以浅を除く堆積層のほぼ全層準にわたって反射面に明瞭な変形構造が複数認められる(第 8, 9 図)。これらの構造は、比較的連続性のよい反射面が系統的な南側下がりの撓みや不連続を示すことで特徴付けられる。この南下がりの落差を伴う反射面の撓みを深さ方向に追跡すると、その軌跡はいずれも中~高角で南に傾斜する。すなわち、南傾斜の不連続面に沿って反射面が南落ちを示していることから、これらの撓みは正断層と推定される。これらの断層の傾斜角は、本解釈が正しいとすると、反射記録の撓みや不連続から 50~70° 程度(南傾斜)と推定される。これらの正断層による反射面の変形構造は深度 100 m 付近以浅まで認められるが、それ以浅では、探査記録の分解能から断層変位の有無を把握することは困難である。

これらの正断層を境に基盤岩上面も南側が低下している(第 8, 9 図)。基盤岩上面の落差は堆積層内の反射面の落差より明らかに大きい。さらに、堆積層内の反射面も上位ほど落差が小さくなるようにみえる(例えば、第 10 図の反射面 a と反射面 b) ことから、堆積層の堆積中に断層運動が繰り返されてきたと推定される。

一方、これらの正断層のうち南のものについては、複数の分岐する北傾斜する不連続面やそれに伴う反射面の撓みが認められる。これらの分岐する不連続面に沿っては、連続性に乏しいものの反射面に北側下がりの落差が認められ、南傾斜する正断層に挟まれた反射面が相対的に沈降している。こうした向かい合う不連続面に挟まれた区間が沈降する変形は、南傾斜の主断層とその上盤側に分布する副次的な(アンチセティックな)正断層により形成された小規模な地溝と解釈することができる。本調査による変動地形学的検討では、この正断層帯が認められた CMP700~820 付近には、低断層崖などの断層変位地形は認められなかった。

CMP700~820 付近で認められた明瞭な地溝状の変形と類似した反射面の高度不連続は、不明瞭ながらも CMP870~950 付近でもみられる。この高度不連続が推定された区間は、南向きの低崖(上和泉低崖)の延長部(CMP910 付近)にあたるものの、CMP910 付近に認められる変形は、深度 100 m 付近以深では北側落ちを示しており、崖地形と調和しない(第 2, 8, 9 図)。なお、CMP870~950 付近で推定された反射面の高度不連続については、反射面が不鮮明であることと基盤岩上面に明瞭な落差が認められない。

ところで、CMP440~600 付近での深度約 100~500 m 付近では反射面の連続性が周囲に比べ南傾斜しており、この区間を挟んで見かけ上反射面に不連続が生じている。これが断層活動に起因する可能性も否定できないものの、基盤岩上面に顕著な高度不

連続が認められないことと、同区間の南北両側にあたる CMP440 付近と CMP600 付近における時間断面の反射面はおおむね連続的であると推定されることから、ここでは反射面の連続性の低下は、地質構造を反映したものではなく、ノイズによるものである可能性が高いと判断した。

地震調査委員会(2013b)により重力異常の急変帯から推定されている佐賀平野北縁断層帯の最も南のトレースをなす活断層(断層 E)は CMP280~400 付近を横切る(第 2, 8, 9 図)。CMP280~400 付近では堆積層内に連続性のよい反射面が多数認められるが、それらに断層の存在を示唆する撓みや不連続はまったく認められない。一方、地震調査委員会(2013b)により変動地形から認定された活断層のうち、CMP1000~1050 付近を横断するもの(断層 B)については、基盤深度が浅く、堆積層が薄いため、また CMP1230~1280 付近を横断するもの(断層 A)については、堆積層が分布していないため、いずれも反射断面からは断層の存在を把握することはできない。

4. 城原断層を横断する群列ボーリング調査

4.1 城原地区の地形・地質概要

本研究では、城原断層の存在を地質学的に確認し、その活動性、地下浅部における断層面の傾斜方向および傾斜角を解明することを目的として、城原地区において東西走向で南向きの低崖の走向と直交する南北方向に測線を配置し、相対的隆起側にあたる北側で 4 孔(JB-1, JB-2, JB-5, JB-6)、相対的沈降側にあたる南側で 4 孔(JB-3, JB-4, JB-7, JB-8)の掘削深度 15~52 m の計 8 孔のボーリングを掘削した(第 3 表, 第 10, 11 図)。

ところで、今泉ほか(2014)は、変動地形学的検討により、JB-2 と JB-3 の間の明瞭な低崖から 50~60 m 北方にも南向きの低崖(今泉ほか, 2014 の地形断面図では比高 0.8 m)を認め、具体的なデータは示されていないものの極浅層反射法地震探査の結果と合わせて城原地区では断層が少なくとも 2 条に分かれていることを指摘している。こうした指摘を受け、本調査ではこの低崖の成因を把握するため、今泉ほか(2014)により新たに示された低崖の北側で 1 本ボーリング(JB-5)を掘削し、この新たに認定された低崖に対応する地層の落差の有無を検討した。以下では 2 つの低崖についての記載の混乱を避けるため、中田・今泉編(2002)および下山ほか(2010)により示された低崖を“城原断層崖”、今泉ほか(2014)により新たに認定された低崖を“二子低崖”と呼ぶ(第 12 図)。ボーリング地点は、8 孔とも水田で、JB-1, JB-2, JB-3 および JB-4 の掘削は 2013 年 12 月から 2014 年 1 月にかけて、JB-5, JB-6, JB-7 および JB-8 の掘削は 2014 年 10 月下旬から 11 月初旬に実施した。

4.2 ボーリングコアに分布する地層の区分と対比

各ボーリングコアの地層は，層相およびそれから推定される堆積環境，色調，固結度等に基づき，下位から変成岩類（8層），斜面堆積物（7層），段丘堆積物（6層，5層），阿蘇4火砕流堆積物（4層），扇状地性の低位段丘堆積物（3層），氾濫原堆積物・扇状地堆積物（2層），表土・耕作土・盛土（1層）に区分し，隣り合うコア間で対比した．5層および3層については，主として堆積物の粒度や色調等に基づいて地層の細分が可能であり，細分して表示した（第4表）．8本のコアの地層区分およびコア間の地層対比により城原断層崖および二子低崖を横切る地質断面図を作成した（第12図）．各コアの柱状図および地質記載の詳細を第A1～A8図に示す．以下各地層の特徴を上位の地層から順に記載する．

1層：1層は表土，盛土および耕作土であり，腐植質シルト，礫混じりシルトからなる．

2層：2層は軟弱な腐植質シルト層からなる氾濫原堆積物・扇状地堆積物であり，城原断層崖南側のコアJB-6，JB-8，JB-3，JB-7およびJB-4に分布する．一方，同層は城原断層崖の北側には認められない．

3層：3層は，低位段丘面を構成する扇状地堆積物であり，砂・シルト互層の上部（3a層）と砂礫層を主体とする下部（3b層）に大別される．3層は城原断層崖の北側と南側で層厚が大きく異なる．すなわち，城原断層崖の北側のコアJB-1およびJB-2で5.3～6.0 mであるのに対し，南側のコアJB-3～JB-4で15.3～16.4 mと著しく層厚を増す．城原断層崖南側に分布する3a層と3b層は，コアJB-8～JB-4間で確実に対比できる2枚のシルト層（3a2層および3b2層）に加えて，それぞれの上下には砂・砂礫を主体とする地層が分布し，3a1～3a3層および3b1～3b3層に細分される．一方，城原断層崖北側のコアJB-1およびJB-2の深度2.3 m以浅にもシルトを主体とする地層が分布しているが，この地層が城原断層崖南側の3b2層か，それとも3a2層に対比されるのかについては層相からは不明である．しかしながら，城原断層崖南側の3b2層が北に向かってせん滅するように薄くなること，また城原断層崖南側の3b3層および3b1層と崖北側の3b層はともに礫混じり粗粒砂主体とするのに対し，3a3層および3a1層は粗粒砂を主体とすることから，ここでは城原断層崖北側の3層上部（第12図の3a層）を断層崖南側の3a3～3a1層と対比した．

4層：4層は，コアJB-5を除く7孔のボーリングコアで確認された．層厚は1.0～1.8 m（コアJB-8のみ約0.3 mと極端に薄い）であり，そのうちコアJB-2とJB-7で最も厚い．4層は，主として長径約0.4～3 cmの白色軽石とそれを埋める灰色火山灰からなり，基質支持を示す．また，コアJB-1～JB-3およびJB-6では4層基底部にグラウンドサージとみられる中粒～粗粒砂大の成層した火山灰層を伴うこと（第

13図a），iii）（コアJB-8を除いて）層厚がほぼ同じであること，iv）4層に被覆される5a層がコアJB-1～JB-4間でほぼ一様な層相を示す地層であると判断されること，v）後述する火山灰分析により本層の軽石が阿蘇4テフラに対比されることから，4層はほぼ平坦な旧地表面に堆積した一連の地層と判断される．なお，一部のコアでは4層は粘土化した軽石がレンズ状に押し潰され溶結凝灰岩様の岩層を示す（第13図a）．渡辺（1995）によると，こうした岩相は“擬溶結凝灰岩”と呼ばれ，北部九州の阿蘇4火砕流堆積物にしばしば認められる（第1図b）．4層は断面図上では緩く南に傾斜し，コアJB-6～JB-3間で分布高度に顕著な不連続が認められる（第12図）．この不連続間のコアJB-8の4層は，上述したように層厚が約0.3 mと極端に薄く，不明瞭ながら高角の剪断面が認められる（第13図b）．

5層：5層は，腐植質シルト層，細粒砂層を挟む礫混じり粗粒～極粗粒砂を主体とし，全てのコアに分布する．ここでは，5層を堆積物の粒度や色調等に基づいて5a～5e層に細分した．そのうち最上部の5a層は，均質な極細粒～中粒砂で特徴付けられ，一部のコアでは5a層上部に腐植質シルトを伴う．コアJB-5を除く全てのコアにこの極細粒～中粒砂が分布し，いずれも4層に被覆されている．コアJB-5には均質な極細粒～中粒砂は分布しないが，コアJB-1とJB-2で確認された5a層の分布から推定される南北断面における同層の傾斜をもとに地層境界をコアJB-5に延長させた位置に分布する粗粒砂層が5a層に相当するものと解釈した．5b層は，礫混じり砂質シルトおよびシルト質細粒砂，5c層はシルト～シルト質極細粒砂および礫混じりシルト，5d層は礫混じり極粗粒砂～細礫を主体とする．5層の最下部を構成する5e層は腐植質シルトを主体とし，コアJB-2，JB-6，JB-8，JB-7およびJB-4に分布するが，コアJB-3では欠如している．城原断層崖を挟んだ両側での5a～5e層の層厚にはほぼ変化は認められない．

6層：6層は，礫混じり粗粒～極粗粒砂およびシルト混じり細粒砂を主体とし，コアJB-6，JB-8およびJB-7に分布が認められる．層厚は約4～11 mで城原断層崖の南側で層厚を増すようにみえる．

7層：7層は，北からコアJB-6，JB-8，JB-3およびJB-7に分布する．本層は片岩の概ね新鮮～風化した礫，強風化片岩起源のシルト，砂からなる斜面堆積物であり，一部半固結状を呈する．城原断層崖近傍のコアJB-6，JB-8，JB-3では層厚ほぼ0～1.2 mと薄いのにに対し，断層崖の南に位置するコアJB-7では層厚が約10 mと著しく厚くなる．コアJB-7の深度45.5～51.05 mにおいて7層中に高角の剪断面が複数認められた（第13図c）．

8層：8層（基盤岩）は，北からコアJB-5，JB-1，JB-6，JB-8，JB-3およびJB-7に確認された．コアJB-5で確認された基盤岩は片理面が発達した比較的

新鮮に近い片岩であるが、その他のコアに分布する片岩は風化が顕著である。コア JB-7 の 8 層には顕著な亀裂群が発達し、一部角礫状を呈する (第 13 図 c)。確認された基盤岩は、大部分が強風化～風化した塩基性片岩または風化した泥質片岩であり、下山ほか (2010) により調査地点の北方山地斜面の構成層として分布が示されている三郡変成岩類に対比される (第 2 図)。

4.3 地層の年代

ボーリングで採取された地層の年代を把握するため、コアから採取した試料について ^{14}C 年代測定、火山灰分析および花粉分析を実施した。以下に各分析結果を示す。

4.3.1 ^{14}C 年代測定

本調査では、コア JB-3、JB-6 および JB-7 から計 7 試料を採取して ^{14}C 年代測定を実施した。 ^{14}C 年代測定は、株式会社加速器分析研究所および Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory において実施された。 ^{14}C 年代測定試料の採取位置を第 12 図に示す。年代測定結果を第 5 表に示す。 ^{14}C 年代値の暦年較正には、暦年較正プログラム OxCal 4.2 (Bronk Ramsey, 2009) を用い、較正曲線は IntCal13 (Reimer *et al.*, 2013) を使用した。

コア JB-7 の深度 1.75 m の 2 層から採取した腐植質堆積物試料 CJB-7 (1.75 m) は、3,060–2,870 cal yBP (暦年較正年代, 95.4% 確率範囲: 以下の年代も断りのない限り同様に表示する) の ^{14}C 年代値を示す。

コア JB-3、JB-6 および JB-7 の 3a2 層から採取した 4 試料 (いずれも腐植質堆積物試料, CJB-3 (3.60 m), CJB-3 (3.80 m), CJB-6 (6.17 m) および CJB-7 (2.60 m)) は、それぞれ 27,130–26,390 cal yBP, 27,640–27,210 cal yBP, 18,060–17,700 cal yBP および 24,190–23,700 cal yBP の ^{14}C 年代値を示す。

コア JB-3 の 3a3 層から採取した植物片試料は、39,730–38,340 cal yBP の ^{14}C 年代値を示す。

コア JB-7 の 3b2 層から採取した炭試料 CJB-7 (9.68 m) は、 $48,120 \pm 560$ yBP (暦年較正年代範囲を超えるため、 $\delta^{13}\text{C}$ を補正した暦年未較正年代, 1 σ 年代範囲) の ^{14}C 年代値を示す。

得られた ^{14}C 年代値は層序と調和的である。したがって、これらの ^{14}C 年代値は各地層の堆積年代を示していると判断した。それによると、3 層および 2 層は、それぞれ下山ほか (2010) に示された低位段丘を構成する三田川層および断層の南側 (相対的低下側) に分布する沖積層 (蓮池層上部) に相当することを示す。

4.3.2 火山灰分析

火砕流堆積物 (4 層) について、JB-1、JB-2、JB-3、JB-4 からはそれぞれ 2 試料、JB-6 および JB-7

からはそれぞれ 1 試料の軽石を採取し火山灰分析に供した。試料採取位置を第 12 図に示す。分析は、各試料について鉱物組成および火山ガラス、斜方輝石および普通角閃石の屈折率測定を実施した。分析は、株式会社古澤地質に依頼した。

分析結果を第 6 表に示す。いずれの試料とも、火山ガラスは軽石タイプが大半を占め、パブルウォールタイプを含む。重鉱物は斜方輝石、緑色普通角閃石、単斜輝石を含む。

火山ガラスの屈折率 (n) は 1.506–1.512、斜方輝石の屈折率 (γ) は 1.698–1.702、普通角閃石の屈折率 (n_2) は 1.676–1.692 のレンジを示す (第 6 表)。岩石記載的特徴からみると、これらの試料は町田・新井 (2003) に示された阿蘇 4 テフラあるいは阿蘇 ABCD テフラ (Aso-ABCD) のどちらかに対比される可能性がある。しかしながら、阿蘇 ABCD テフラは降下軽石および降下火山灰とされており (町田・新井, 2003)、火砕流堆積物である 4 層と堆積様式が一致しない。また、調査地域は町田・新井 (2003) に示された阿蘇 ABCD テフラの分布域から外れている。以上のことから、4 層は阿蘇 4 火砕流堆積物に対比される。

4.3.3 花粉分析

堆積時の気候環境を推定し、それに基づいて年代観を把握することを目的として、コア JB-3 中の 3a2 層、3a3 層、5a 層および 5d 層中の有機質細粒堆積物 (PJB-3 (3.52 m), PJB-3 (6.28 m), PJB-3 (18.60 m), PJB-3 (24.74 m)), コア JB-6 の 3a2 層 (PJB-6 (6.17 m)), コア JB-7 の 2 層 (PJB-7 (1.75 m)), 3a2 層 (PJB-7 (2.60 m)), 3b2 層 (PJB-7 (9.68 m)) から採取した計 8 試料について花粉分析を実施した。試料採取位置を第 12 図に示す。分析はパリノ・サーヴェイ株式会社に依頼した。分析結果を第 7 表に示す。なお、試料 PJB-6 (6.17 m), PJB-7 (1.75 m) および PJB-7 (2.60 m) については、同一試料の ^{14}C 年代測定を実施している (CJB-6 (6.17 m), CJB-7 (1.75 m) および CJB-7 (2.60 m); 第 5 表)。

2 層から採取した試料 PJB-7 (1.75 m) からは、保存が悪いものの多くの花粉化石が検出される。木本花粉で常緑広葉樹を主体として、アカガシ亜属とシイ属が多産し、コナラ亜属、マツ属が検出される。草本花粉は、イネ科、ヨモギ属が検出される。このような組成を九州地方の花粉分析結果をまとめた Hatanaka (1985) と比較すると、縄文海進最盛期を中心とする時期 (約 10~5 ka) の組成に類似する。このことから、同試料を含む地層は縄文時代前期を中心とした温暖期に相当すると考えられる。この年代観は同一試料の ^{14}C 年代結果 (3,060–2,870 cal yBP) とは必ずしも整合的ではないものの、2 層は佐賀平野の沖積低地に広く分布する完新世の非海成堆積物である蓮池層 (下山ほか, 2000) に対比される (第

2 図)。

3a3 層から採取した試料 PJB-3(6.28 m)，また 3a2 層から採取した試料 PJB-3(3.52 m) および試料 PJB-7(2.60 m) は，草本花粉の割合，組成は異なるが，産出する木本花粉は比較的類似する。木本花粉としては，コナラ亜属が多産し，モミ属，ツガ属，トウヒ属，マツ属，クマシデ属-アサダ属，ハンノキ属などを伴う。試料 PJB-3(6.28 m) および PJB-3(3.52 m) では，消滅種であるハリゲヤキ属を含む。試料 PJB-3(6.28 m) の草本類は，イネ科やヨモギ属等を含むが低率である。水生植物を含むのが特徴で，ガマ属，オモダカ属，コウホネ属，スイレン属，ミズニラ属があげられる。一方，試料 PJB-3(3.52 m) および PJB-7(2.60 m) の草本類は，カヤツリグサ科，ヨモギ属とキク亜属の割合が高いのが特徴である。試料 PJB-3(6.28 m)，試料 PJB-3(3.52 m) および PJB-7(2.60 m) にみられる，広葉樹を主として針葉樹を伴う花粉組成は，Hatanaka (1985) と比較すると，北九州地域における最終氷期中の亜間氷期 (MIS (海洋酸素同位体ステージ) 3) あるいは MIS2 の終末にあたる晩氷期 (約 20~15 ka) と類似する。こうした年代観は，これらの試料と同じ層準から採取した有機物の ¹⁴C 年代値からも支持される (第 5 表)。また，MIS3 頃まで日本に生育していたとされる消滅種のハリゲヤキ属がこれらの試料から検出されたこととも大きく矛盾しない (吉田ほか，2011)。

3b2 層から採取した試料 PJB-7(9.68 m) の花粉化石は保存が悪く，検出数はやや少ない。シダ類孢子子の割合が高く，全体の 80% 程度を占める。草本花粉は，ヨモギ属，キク亜科等が微量みられる程度である。木本花粉はトウヒ属の割合が高く，次いでモミ属，ツガ属，マツ属がみられ，針葉樹花粉が多産する傾向にある。広葉樹花粉ではハンノキ属がみられる。本試料は，後期更新世と推定される堆積物 (三田川層) から採取したものである。Hatanaka (1985) の結果によれば，後期更新世で針葉樹が卓越する層準は，最終氷期中の二度の亜氷期 (MIS4 と MIS2) にみられるが，本試料の上位の 3a2 層から採取された試料 PJB-7(2.60 m) が上述したように MIS2 に対比されることから，本試料は MIS4 (約 70~60 ka) の最寒冷期に相当すると考えられる。

以上のことから，3 層は約 90~18 ka に形成されたと推定される低位段丘を構成する三田川層 (下山ほか，2000) に対比される。なお，3a2 層から採取した試料 PJB-6(6.17 m) は分析残渣がほとんどなく，花粉化石も 1 個体のみであり，保存状態も悪い。そのため，同試料を含む地層の古環境や年代観を推定することはできなかった。

5a 層から採取した試料 PJB-3(18.60 m) は花粉化石の保存が非常に悪い。シダ類孢子子の割合が高く，全体の 80% 以上を占める。花粉化石はハンノキ属の割合が高く，木本花粉全体の約 80% を占める。その

他トウヒ属やサワグルミ属-クルミ属，消滅種であるハリゲヤキ属を含む。草本花粉はイネ科やカヤツリグサ科などがみられるが低率である。試料 PJB-3(18.60 m) は阿蘇 4 火砕流堆積物 (4 層) の直下にあたることから，MIS5 の末期に相当する可能性がある。

5d 層から採取した試料 PJB-3(24.74 m) に含まれる花粉は，ほとんどが木本花粉であり，中でもトウヒ属の割合が 90% 以上を占める。検出される種類数も少なく，単調な組成を示す。花粉化石群集に基づく，当時はトウヒ属を主とした単調な組成の針葉樹林が推定され，寒冷な気候であったと考えられる。下山ほか (2010) は，筑紫平野をはじめ九州各地における更新統との関係から，阿蘇 3 火砕流堆積物の噴出年代を約 130 ka と推定しており，これは MIS5 と MIS6 との境界付近に相当する。また，下山ほか (2010) によると，中原層は阿蘇 3 火砕流堆積物を挟んで上部と下部に区分され，その年代を 140~120 ka と推定した。試料 PJB-3(24.74 m) が中原層下部に相当するとすれば，寒冷な組成と矛盾しない。以上のことから，5d 層は中原層下部に対比され，その堆積年代は MIS6 に相当する可能性がある。

4.4 推定される地質構造

8 本のコアの地層区分およびコア間の地層対比により城原断層崖および二子低崖を横切る南北方向の地質断面図を作成した (第 12 図)。

それによると，7 層から 3 層までの各層の分布深度が，城原断層崖を挟んだコア JB-2 と JB-3 との間で南側が低下している。さらに，古い地層ほど深度分布の落差が大きい傾向がみられる。こうしたことから，コア JB-2 と JB-3 との間に後期更新世以降に繰り返し南側を低下させる断層が推定される。この推定された断層の位置および南側下がりの特徴は，変動地形学的に認定された城原断層のそれらと調理的である。

ボーリングコア中には，地層を明瞭に切断する断層は確認されなかった。しかしながら，上述したようにコア JB-7 の深度 45.5~52.00 m において 8 層および 7 層に高角の剪断面が複数認められた (第 13 図 c)。また，コア JB-8 の深度 15.07~15.35 m では 4 層中に不明瞭ながら高角の剪断面が認められた (第 13 図 b)。地質断面図に基づく城原断層による各地層の落差は以下の通りである。

城原断層の断層崖の北側に位置するコア JB-5~JB-3 間では，基盤岩 (8 層) 上面は緩く南に傾斜している。上述したように，JB-7 コアの深度 45.5~51.05 m には，8 層と 7 層に城原断層の破砕帯とみられる高角の剪断面が発達している。一方，今回のボーリング調査では城原断層南側の 8 層には到達していない。このため，8 層上面の落差は不明確であるが，コア JB-3 における 8 層上面の分布位置とコア JB-7 の 8 層上面 (破砕帯) の位置から少なくとも 20 m 以

上である。

7層については、断層を挟んだコア JB-6 と JB-7 に
おける同層上面に約 19 m の落差が推定される。

5層の最上部を構成し、均質な極細粒～中粒砂で
特徴付けられる 5a 層の上面および基底面の落差は約
10～11 m である。また、同層最下部を構成し、腐植
質シルトを主体とする 5e 層については、城原断層帯
南側で 5e 層を貫いたコアが 1 孔 (JB-7) のみである
ことから不確かさを伴うものの、上面および基底面
の落差いずれも約 11～12 m である。

4層 (阿蘇 4 火砕流堆積物) の上面および基底面
の落差はいずれも約 10 m である。

3層は、地層の層厚と層相がボーリングコア間で
変化し、推定される断層を挟んで厳密な地層の対比
ができない。4.2. で述べたコア間の地層の対比が正
しい場合、コア JB-2 とコア JB-8 の間における 3b 層
上面の落差は約 6 m と推定される。

城原断層による 2層の変位の有無は、今回のボー
リング調査結果からは不明である。

今泉ほか (2014) により城原断層崖の北側に存在
が指摘された二子低崖は、コア JB-5 と JB-1 との間
に位置する (第 12 図)。コア JB-5 には本地域で最も
明瞭な鍵層である 4層が分布しておらず、同層の分
布深度に基づいて断層の有無を言及することはでき
ない。しかしながら、コア JB-5 と JB-1 での 5b 層お
よび 5a 層の分布深度から推定される勾配は、コア
JB-1 と JB-2 でそれらの勾配と大差がない。また、両
層ともにコア JB-5, JB-1, JB-2 で層厚にも大差がない。
基盤岩である 8層はその上面に凹凸が生じている可
能性があるため、変位基準としては適切ではないが、
コア JB-5 から JB-6 コアの間での上面深度はほぼ一
様な傾斜を示す。こうしたことから、今泉ほか (2014)
により新たに指摘された二子低崖が断層運動に伴う
ものである可能性は否定できないものの、後期更新
世以降においてメートルオーダーの変位を伴う断層
ではない可能性が高い。

5. 城原地区トレンチ調査

5.1 トレンチ調査地点の概要

城原断層崖の群列ボーリング調査の結果、城原断
層が約 90～18 ka に形成されたと推定される低位段
丘を構成する三田川層を変位させていることが確認
された。そこで同断層の後期更新世以降の活動履歴
を明らかにすることを目的として、群列ボーリング
調査位置の城原断層崖から約 110 m 東方延長部に認
められる比高 1 m 弱の低崖を横切る長さ約 11 m、深
さ最大約 2.5 m のトレンチを 1 箇所掘削した (第 10
図)。東西壁面の傾斜は、ともに 50～60° 程度とした
(第 14～17 図)。

トレンチ掘削地点のすぐ西方では、南流する小さ
な谷 (谷 a) が低位段丘面をガリー状に開析してい

る (第 9, 10 図)。谷 a の右岸の河食崖は直線的に南
北に延び、低断層崖とみられる比高 1 m 弱の低崖ま
で続いている。一方、左岸側は城原トレンチの北方
約 20 m までは南北に延びるものの、それ以南では東
に湾入するように低断層崖とみられる崖まで続いて
いる。左岸側に位置するトレンチ掘削地点は、低位
段丘面を開析する谷 a が形成した小規模な扇状地面
に生じた低断層崖にあたと考えられる。

土地利用状況は、低崖の北側 (相対的隆起側) が
畑であり、南側 (相対的沈降側) が未舗装道路およ
び水田である。調査は 2014 年 11 月中旬から 12 月中
旬に実施した。

5.2 トレンチ壁面にみられる地層

トレンチ壁面にみられる地質を、地層の連続性、
地層上面の削剥の有無、地質構造、堆積環境および
層相の相違などを基に、上位から表土・耕作土・人
工擾乱層 (I 層)、人工擾乱層 (II 層)、耕作土 (III 層)、
人工擾乱層 (IV 層)、斜面堆積物および湿地堆積物 (V
層および VI 層)、扇状地堆積物 (VII 層)、低位段丘
堆積物 (扇状地堆積物) (VIII～IX 層) に区分した。
さらに、I 層, II 層, IV 層, VI 層, VIII 層および IX
層を細分した (第 8 表; 第 16, 17 図)。以下、各地
層の層相を上位のものから記載する。

Ia 層 : Ia 層は、トレンチ掘削に先立ち遺跡試掘調
査で掘削した溝を埋め戻した堆積物である。

Ib 層 : Ib 層は、畑および田面の最上部に分布する
耕作土である。

Ic 層 : Ic 層は、低崖の基部に沿って延びる未舗装
道路の最上部の砂利 (磨耗層) である。

IIa 層 : IIa 層は、低崖の北側に分布する整地のた
めの埋土である。

IIb 層 : IIb 層は、土留施工および暗渠施工に伴う
盛土、道路盛土および水田の床土である。

III 層 : III 層は、圃場整備前の旧耕作土であり、盛
土とみられる。

IVa 層 : IVa 層は、低崖の南側に分布する暗灰色の
腐植質砂質シルトである。基底面に下位の IVb 層を
細かく巻き上げた跡がみられることから、人工擾乱
層であると推定される。本層からは 1 点土器片が出
土した。

IVb 層 : IVb 層は、径 3～15 cm 程度の VIIb 層, VII
層, VIII 層および IVb 層自体の偽礫をおびたく
含有する黒色の腐植質シルトからなる。本層最上部
からは数点の土器片が出土した。

V 層 : V 層は、低崖の北側に分布する暗灰色の火
山灰質腐植質シルトである。

VIa 層 : VIa 層は、低崖の北側に分布する暗褐色
の腐植質シルトである。

VIb 層 : VIb 層は、低崖の南側に分布する暗灰色
の腐植質シルトおよび砂である。本層は IVb 層より
色が淡く暗灰色であり、同層と明瞭に識別できる。

VII層：VII層は，黄灰色のシルトおよび砂からなる．概ね東壁面の水平距離4 m（以下，E4）および西壁面の水平距離4 m（以下，W4）以北では粗粒砂を主体とし，E4およびW4以南ではシルト層が主体で砂層を挟む．E3～E5付近にはトラフ型の斜交層理が発達する．本層の最上部は黄色みが強いシルトであり，レスあるいはその再堆積物が多く含まれると考えられる．本層はVIIIa層およびその下位層の上部を一部削剥して覆っている．

VIIIa層：VIIIa層は，E2およびW2付近より南に分布し，黄灰色のシルトを主体とし砂層を挟む．一部にチャンネルが認められ，砂が埋積する．

VIIIb層：VIIIb層は，東壁面ではE2～E4に，西壁面ではW4以北に分布する．やや脱色した腐植質シルトからなり，砂の粒子が散在する．東壁面ではVIIIc層とIXa層の南に傾斜する上面を被覆し，それらの地層の境界付近で最も厚く（約60 cm），南方および北方に向かって急に層厚を減じる．E2～E3では，南に傾斜したIXa層上面の傾斜を埋めるように分布する．

VIIIc層：VIIIc層は，E2.8およびW2.4以南に分布する暗灰色の腐植質シルトであり，東壁面，西壁面ともにIXa層の南に急傾斜する上面にアバットする（第18図a～d）．

IXa層：IXa層は，E3およびW2.4以北に分布する主として粗粒砂～極粗粒砂～細礫であり，一部シルト質になる．上面は南に傾斜した分布を示し，E6.3～E6.4においてトレンチ底部を掘り増したところ，IXa層が城原断層崖の南側にも分布することが確認された（第16図）．

IXb層：IXb層は，北壁面のみに分布するトレンチ壁面で確認された最下位の地層であり，シルトからなる．

5.3 地層の年代

トレンチ壁面にみられる地層の堆積年代を推定するため，トレンチ壁面から採取した試料について¹⁴C年代測定，火山灰分析および花粉分析を実施した．また，壁面から出土した土器片の鑑定と編年を神埼市教育委員会に依頼した．以下に各分析結果を示す．¹⁴C年代測定，火山灰分析および花粉分析のための試料採取位置ならびに土器片出土位置を第16，17図に示す．

5.3.1 ¹⁴C年代測定

IVa層から3試料，IVb層から10試料，V層から2試料，VIa層から1試料，VIb層から2試料，VIIIb層から1試料，VIIIc層から2試料の計21試料について¹⁴C年代測定を実施した（第9表）．その結果，IVa層から採取した試料は2,850～2,740 cal yBP～3,210～3,000 cal yBP，IVb層は2,340～2,150 cal yBP～6,000～5,900 cal yBP，V層は3,570～3,460 cal yBPお

び6,300～6,200 cal yBP，VIa層は12,070～11,770 cal yBP，VIb層は6,500～6,320 cal yBPおよび11,610～11,230 cal yBP，VIIIb層は27,680～27,310 cal yBP，VIIIc層は27,160～26,530 cal yBPおよび27,200～26,570 cal yBPの年代範囲を示す．得られた¹⁴C年代値は概ね層序と調和的である．しかしながら，VIIIc層から採取した2試料の¹⁴C年代値は，層序的に上位のVIIIb層から採取した試料（試料CJTE-21）の¹⁴C年代値よりも数100年若い値を示し，層序と逆転している．VIIIc層中のほぼ同一層準から採取した2試料（試料CJTE-23および試料CJT-17）がほぼ同様の年代値を示すことを考慮すると，VIIIb層の試料が古い炭素試料を母材として形成されたものである可能性が高い．

5.3.2 火山灰分析

トレンチ壁面には肉眼で識別できるテフラは認められなかった．ここでは，人工擾乱による地層の分布の途切れのため層序関係が不明であるVI層～IV層の層位を明らかにするため，東壁面のE1付近とE5付近において，鉛直方向に10 cm刻みで連続的に試料（測線TJTE-1および測線TJTE-5）を採取し，テフラ分析を行った．

火山灰分析結果によると，TJTE1測線および試料TJTE5測線のいずれの試料（VIIIc層～IVb層）からもバブルウォールタイプの火山ガラスを含むテフラが検出された（第10，11表）．それらは火山ガラスの形態および屈折率（1.495-1.500）から始良Tnテフラ（AT，29～26 ka；町田・新井，2002）に対比される．一方，試料TJTE1-5から上位の試料（V層）および試料TJTE-5-1（IVb層）からはATテフラに加えて，火山ガラスの屈折率（1.511-1.515）から鬼界アカホヤテフラ（K-Ah，7.3 ka；町田・新井，2002）と同定されるテフラも検出された．こうしたことから，火山灰分析を実施した地層は，いずれもATテフラ降灰以降に堆積したものであり，V層はK-Ahテフラ降灰期あるいはそれ以降に堆積した地層と考えられる．この年代観は，¹⁴C年代測定結果（第9表）と概ね調和的である．

5.3.3 花粉分析

V層とIVb層の堆積環境をもとに両層の層位および年代観を把握することを目的として，東壁面においてV層から1試料（試料PLJTE-19），IVa層から2試料（試料PLJTE-12および試料PLJTE-14）の計3試料を採取し，花粉分析を実施した．

分析を行った3試料（試料PLJTE-12，試料PLJTE-14，試料PLJTE-19）からは，いずれも花粉化石はほとんど認められなかった（第7表）．分析残渣中の有機物はほとんどが微粒炭である．そのため，堆積環境を推定することができない．

5.3.4 遺物鑑定

IVa層およびIVb層の最上部からは、複数の土器片が出土した。出土した土器片の鑑定と編年を神埼市教育委員会に依頼した。出土遺物の鑑定によると、いずれの試料も弥生時代の土器片であり、東西両壁面のIVb層から出土した土器片の時代は弥生時代中期とされた(第12表)。

5.3.5 トレンチ壁面およびボーリングコアにみられる地層の対比

城原地区におけるトレンチ壁面とボーリングコアにみられる地層について、層相、層位、分布深度(標高)および年代分析結果に基づいて対比を行った(第8表)。その結果、トレンチのIX層がボーリングの3a3層に、VIII層が3a2~3a1層に、IV~I層が1層にそれぞれ対比された。VI層およびV層は3a1層に対比できる可能性があるが、その信頼度はその他の地層に比べて低い。VII層は、ボーリングコアには確実に対比される地層が認められず、後述するように、谷aが形成した小規模な扇状地の堆積物である可能性が高い。

5.4 トレンチ壁面にみられる地質構造と推定される断層活動

城原地区トレンチでは、傾斜不整合および断層による地層の切断に基づいて少なくとも2つの古地震イベント層準が推定された。また、断層活動と関連しないと判断した地層の変形も認められた。以下、それらの根拠について新しいものから順に述べる。

[イベント層準1]

西壁面のW2.5、標高8.5~9.4m付近では、IX層、VIIIb層、VIIIa層およびVII層に一樣に10cm弱南側低下の高度差を与える(少なくとも下部は明瞭な変位を伴う)見かけ上高角度で北に傾斜する断層が出現した(第17図、第18図e、f)。断層変位を受けたVIIIb層~VII層は東壁面のE2~E4付近の南北約2.0m区間において周囲に比べて傾斜を増し(南に20°程度傾斜)、この増傾斜区間の両側でVII層基底面に0.8~1.0mの南側低下の高度差が認められる(第16図)。VII層上面は人工改変により部分的に削剥を受けているが、基底面と同様に0.8~1.0mの南側低下の高度差が推定される。また、東壁面のE1.9付近およびE2.5付近においてIX層~VII層には地割れのような地層のV字状の落ち込みが確認される(第16図)。これらのことから、VII層堆積後あるいは堆積中に、南側低下の撓曲や地割れを伴う断層活動があった可能性がある。このVII層より後(上位)あるいは同層中の断層活動層準をイベント層準1とする。

この断層活動の存在は、トレンチ掘削地点の変位地形からも推定される。上述したように、城原地区トレンチ掘削地点の西方では、南に流下する谷aにより低位段丘面がガリー状に河刻されている(第9、

10図)。この谷aの左岸の河食崖はトレンチ北方20mで東側に湾入し、低断層崖まで続いている。このためトレンチ付近では低位段丘面を構成する堆積物の上部が谷aにより侵食されていると判断される。トレンチ壁面では、上述したようにVII層はVIIIa層以下の地層の上部を一部削剥して覆っている。VII層は南に緩く傾斜し、上流側では粗粒~極粗粒砂層が主体で、下流側ではシルト層が主体となり、一部に小さなチャンネルが複数形成されている。こうした層相および南に緩やかに傾斜して下流側で細粒になることから、VII層は谷aから運搬された扇状地堆積物と考えられる。これらの状況から、トレンチを掘削した低崖北側の畑は、VII層によって構成される規模の小さい扇状地面と推定される。ボーリング測線から連続する低断層崖は、この扇状地面を切っており、トレンチ掘削地点では比高1m弱の南向きの崖となっている。ボーリング調査で確認された低断層崖の連続性、トレンチ壁面で観察されたVII層の高度差、断層や変形構造の位置を考慮すると、この比高1m弱の崖は低断層崖の可能性が高い。その場合、比高1mの低断層崖を形成した地震活動は、トレンチ調査で認定されたイベント層準1に対応する可能性が高い。この場合には、イベント層準1はVII層より後に限定される。

ところで、東壁面のE0.5~E6間においてVII層を整合的に覆うVIa層とVIb層は層厚がほぼ一定であり、両層の上面には0.8~1.0mの高度差が生じている(第16図)。この高度差はVII層基底面および上面の落差と同等である。VI層にみられる高度差が、地割れや地層の傾斜の直上付近で生じていることから、VIa層とVIb層が同一の地層に対比され、それらが断層変位を受けている可能性がある。その場合、イベント層準1は、VI層より後である可能性がある。しかしながら、E2~E5間で人工改変のため両層の分布が途絶えており、VIa層とVIb層の連続を確実に対比することができない。そのため、VI層の高度差が断層変位によってもたらされたものかについては判断できない。

[イベント層準2]

E2~E3付近およびW2付近では、IXa層の上面が見かけ上南に30~50°程度傾斜している(第16、17図)。この南への急傾斜は東壁面北端の底盤付近に露出するIXb層とIXa層の境界面にも同様に認められる。IXa層上面は南向きの崖を形成し、E1~E2付近とE6.5との間の比高は2.4mである。こうしたIXa層上面の起伏を埋めるようにVIIIc層およびVIIIb層が分布している。E2.8およびW2.4付近でのVIIIc層とIXa層との境界は急傾斜している(第18図a~d)。E2.8以南およびW2.4以南でIXa層を被覆しているVIIIc層は腐植質シルトからなり、IXa層を削り込んで堆積したとは考えにくい。IXb層とIXa層の分布形態から判断すると、VIIIc層は急傾斜したIXa層に

アバットしていると考えられる。

トレンチ壁面には，前述したイベント層準1に伴う小規模な断層を除いて，IX層を明確に変位させる断層は出現していない。しかしながら，i) IX層の急傾斜部は，群列ボーリングで断層崖であることが確認された低崖の東延長部に位置すること，ii) ボーリング調査により，IX層に対比される3a3層が断層変位を受けていると判断されること（4.4.参照），iii) IXa層上面の南側低下の落差が群列ボーリングで確認された南傾斜の正断層の運動センスと調和的であることから，IX層の南への急傾斜を伏在する城原断層の活動に伴う撓曲変形と推定した。この断層活動層準をイベント層準2とする。イベント層準2はIXa層とVIIIc層の境界と考えられる。

ところで，VIIIc層はE2.8およびW2.4付近で北方への分布が途絶えており，IXa層およびVIIIc層を覆ってVIIIb層が分布する。このように，VIIIc層は撓曲したIX層上面を広く覆っていないため，VIIIc層とVIIIb層の境界に南側低下を伴う断層活動層準（イベント層準2'）があった可能性も否定できない。

イベント層準2以降の断層活動を記録しているIXa層上面の比高が断層変位に伴う撓曲変形によるものとした場合，トレンチ壁面内における上下変位量は約2.4mである（第16図）。

【断層活動と関連しないと判断した地層の変形】

東壁面のE6付近には地割れ状の構造が認められ，E6～E7間でVIb層～VIIIa層がIVb層中にトップリング状に倒れこみ，E7以南のIVb層には多数の偽礫が含まれている（第16図）。こうした顕著な地層の擾乱が断層運動に関連する可能性を検討した結果，i) IVb層がW4～5付近でVII層およびVIII層を削り込むように穿孔して分布していること，ii) IVb層中にはIVb層自体の偽礫を多数含むこと，iii) IVb層中から採取した試料の¹⁴C年代値は6,000–5,900 cal yBP～2,340–2,150 cal yBPと幅広い年代範囲を示し，同層最上部から出土する土器片から弥生時代中期以降とみられる同層の年代よりも古いこと，iv) IVb層にみられる地層の乱れが直下に分布するVIII層には及んでいないことから，IVb層は同層の母材となった地層堆積後にそれとともに下位のVIb層，VII層およびVIIIa層を人工的に掘削し，埋め戻した地層であり，それに伴って偽礫の混入やVI層およびVII層の倒れこみが生じたと判断される。

5.5 断層活動時期

上述したように，城原地区トレンチでは，少なくとも2つの古地震イベント層準が推定された。

そのうち，新しい活動（イベント1）は，少なくともVII層堆積後あるいは堆積中に生じたと考えられ，VI層堆積後の可能性がある。VII層堆積後あるいは堆積中とした場合，同層から¹⁴C年代試料が得られなかったため，下位のVIIIc層の¹⁴C年代値（VIIIb

層の¹⁴C年代値はVIIIc層よりも古いことから，古い炭素を母材とした試料と考え，断層活動時期の議論には採用しない）から，イベント1は27,160 cal yBP以降に発生したと推定される。イベント1がVI層堆積後とした場合，VI層から得られた3試料の¹⁴C年代値に基づいて時期を推定することになる。しかしながら，3試料の年代値には最大で約5,800年の幅がある。このうち，VIb層から採取した11,610–11,230 cal yBP（試料CJTE-16）と6,500–6,320 cal yBP（試料CJTE-15）の年代値を示す試料はほぼ同一の層準から採取したものであり（第16図），どちらかの試料の年代値が異常値を示していることが疑われる。火山灰分析によると，VIa層およびVIb層から採取した試料にはATテフラが含まれるが，K-Ahテフラは含まれない。K-Ahテフラが出現するのはVI層を覆うV層およびIVb層である（第10表）。こうしたことから，VIb層中にK-Ahテフラよりも若い年代を示す試料（試料CJTE-15）が含まれることは異常と考えられる。試料CJTE-16の年代値がVIa層から得られた¹⁴C年代値（12,070–11,770 cal yBP：試料CJTE-20）と近接する年代を示すことも，試料CJTE-15が異常値を示していることを支持する。こうしたことから，VI層の堆積時期の推定においてCJTE-15の年代値は採用しないとすると，イベント1がVI層堆積後とした場合，その時期は11,610 cal yBP以降と推定される。I層およびII層を除いてイベント1による変形を確実に受けていない地層を特定することはできなかった。

一方，古い活動（イベント2）は傾斜不整合から，IXa層堆積後でVIIIc層堆積前に発生したと考えられる。IXa層から¹⁴C年代試料が得られなかったため，同層に対比したボーリングコアにみられる3a3層の¹⁴C年代値を用いると，VIIIc層の¹⁴C年代値と合わせて，イベント2の発生年代は39,730 cal yBP以降で26,570 cal yBP以前と推定される。ただし，前述したように，イベント層準2は傾斜不整合から認定したものであり，39,730 cal yBP以降で26,570 cal yBP以前の間には複数回の断層活動が存在した可能性もある。また，VIIIc層とIXa層の分布関係から，VIIIc層堆積後でVIIIb層堆積前に断層活動（イベント2'）が生じた可能性も完全には否定できない。このイベントが存在したとすると，その発生時期はVIIIc層とVIa層の¹⁴C年代値から，27,160 cal yBP以降で11,770 cal yBP以前となり，イベント1と年代範囲内が重なり合う。

以上のことから，佐賀平野北縁断層帯を構成する城原断層では約40,000年前以降に少なくとも2回の断層活動が推定される。そのうち，イベント1は27,160 cal yBP以降に発生したと推定され，11,610 cal yBP以降の可能性もある。イベント2は39,730 cal yBP以降で26,570 cal yBP以前に発生したと推定される。ただし，イベント層準やイベント回数について

ては不明確な部分が多い。

6. 考察

6.1 断層帯中央部における位置および形態

6.1.1 断層帯を構成する断層

地震調査委員会 (2013b) によると、佐賀平野北縁断層帯は、男女神社断層、今山一杉町断層、都渡城一川久保断層、松瀬断層、楮原断層、城原断層 (本報告の城原断層を含む平野と山地の境界から南の平野内に長さ約 11 km にわたってほぼ東西に延びる低断層崖)、久富断層からなる (第 1 図 a)。また、断層名は示されていないが、重力異常の急変帯からさらに平野寄りに伏在する活断層が推定されている (地震調査委員会, 2013b; 第 1 図 a)。本調査により、これらのうち、城原断層および伏在活断層の存否ならびに両断層間に伏在する断層の存在が明らかになった。

群列ボーリング調査の結果、本報告で定義した城原断層は第四紀後期に繰り返し活動している断層であることが確認された。また、佐賀市兵庫町大字瓦町から同市久保泉町川久保に至る佐賀県道 51 号沿いの測線長約 7.3 km の P 波反射法地震探査の結果、平野北縁付近において堆積層に累積的な変位を与える南傾斜の正断層が複数認定された。これらの断層の地表延長位置付近には低断層崖などの断層変位地形は認められない。こうした伏在する断層の第四紀後期の活動については、本探査の分解能からは地下 100 m 以浅の地質構造のイメージングが困難なことから不明である。今後、S 波反射法地震探査や群列ボーリングなどを実施して、浅層部の詳細な地質構造を把握する必要がある。

一方、地震調査委員会 (2013b) により重力異常の急変から推定された断層帯の最も南に分布し、佐賀市中心部を横切る伏在活断層については、反射法地震探査記録からは、断層の存在を示す証拠は認められなかった。この理由としては、i) 伏在する (活) 断層が存在するものの、重力データの補間等の処理により重力異常の急変と実際の断層の位置が大きくずれていること、ii) (活) 断層は存在しておらず、重力異常の急変が (活) 断層を反映したものでないこと、の 2 つが考えられる。本探査の実施に際しては、i) のような可能性を考慮して、測線の設定に際して伏在活断層から南に 1.5 km 程度延ばしており、そのような中において探査測線内で断層が認定されないことは、ii) の可能性が高いことを示している。

6.1.2 断層面の位置・形状

城原地区における群列ボーリング調査の結果、城原断層崖を境に各地層の分布深度に南側低下の顕著な不連続が認められた (第 12 図)。断層面の傾斜方向と角度については、主として各コアにおける 4 層

および 8 層の分布深度から推定することができる。4 層は、断層北側 (相対的隆起側) のコア JB-1~JB-6 間で南に緩やかに傾斜するが、それ以南には続かず、コア JB-8 で深度を下げ、さらに、南のコア JB-3 で深度を下げたのち、コア JB-7 および JB-4 とともに断層南側 (相対的低下側) で水平に分布する。こうした 4 層の分布は、断層面がコア JB-6 の 4 層よりも上位かつコア JB-3 の 4 層よりも下位を通過する南傾斜の正断層であることを示唆する。コア JB-8 の 4 層の層厚が周囲のそれに比べて著しく薄いことは、断層による切断を受けたことを示している可能性がある。これは、コア JB-8 の 4 層中に不明瞭ながら高角の剪断面が認められることから支持される (第 13 図 c)。

コア JB-5 から南に向かって緩やかに傾斜する 8 層上面は、コア JB-3 と JB-7 の間で 20 m 以上の明瞭な落差を伴う。コア JB-7 の 8 層は破碎されており、断層面に近接していると考えられる。こうした 8 層の分布からは、断層面がコア JB-3 の 8 層よりも上位を通過し、コア JB-7 の 8 層付近に位置することを示唆する。

以上のことから、断層面が平滑な 1 条と仮定した場合、コア JB-6 の 4 層よりも上位、コア JB-3 の 4 層よりも下位、コア JB-3 の 8 層よりも上位を通過し、コア JB-8 の 4 層とコア JB-7 の 8 層を通過する断層面の傾斜は南に約 70° となる (第 12 図)。

P 波反射法地震探査の結果からも、平野北縁付近において基盤岩上面およびそれを覆う堆積層とみられる連続性のよい反射面を 50~70° 程度で南に傾斜する複数の正断層およびそれらの上盤側 (南側) に随伴する北傾斜の副次的断層が認定された (第 8, 9 図)。

以上のことから、佐賀平野北縁断層帯を構成する断層のうち、城原断層および反射法地震探査で認定された佐賀平野北縁に伏在する断層の断層面は 50~70° 程度で南に傾斜すると考えられる。

6.1.3 変位の向き

変位の向きについては、P 波反射法地震探査を実施した結果、平野北縁付近において堆積層中の連続性のよい反射面が 50~70° 程度で南に傾斜する正断層により南側低下の変位を受けていると解釈された (第 6, 7 図)。また、城原地区における群列ボーリング調査の結果、南に約 70° 傾斜する城原断層を境に各地層の分布深度に南側低下の顕著な不連続が認められた (第 12 図)。佐賀平野北縁断層帯に沿って横ずれを示す変動地形は認められない。

以上のことから、佐賀平野北縁断層帯を構成する断層のうち、城原断層および反射法地震探査で認定された佐賀平野北縁に伏在する断層は、いずれも南側が相対的に沈降する正断層と考えられる。

6.2 断層帯中央部における過去の活動

6.2.1 城原断層の平均変位速度

城原地区での群列ボーリング調査によると，城原断層による4層（阿蘇4火砕流堆積物）の落差は約10 mである（第12図）．上述したように推定される城原断層の傾斜は南に約70°と高角度であり，また断層から離れた下盤側（コア JB-1～JB-2 間）と上盤側（コア JB-3～JB-4 間）において，4層の分布がそれぞれほぼ水平であることから，地層の落差はほぼ上下変位量を示していると考えられる．阿蘇4火砕流堆積物の上下変位量と年代から，JB-2 コアから JB-3 コアの間に推定される城原断層の90–85 ka 以降における平均変位速度の上下成分は約0.11～0.12 m/ky (ky: 千年)と推定される（第19図）．

こうして見積もられた平均変位速度は，5a層上面および基底面の落差（約10～11 m）と花粉分析から推定された年代（MIS5 末期）から推定される平均変位速度の上下成分（0.10～0.12 m/ky 程度）とほぼ一致する（第19図）．

また，4層を基準にして見積もられた平均変位速度は，3b層上面の落差（約6 m）と形成年代（3b2層：¹⁴C年代は48,120±560 yBP；花粉分析ではMIS4）から推定される平均変位速度の上下成分（0.08～0.12 m/ky 程度）ともほぼ一致している（第19図）．このことは，確実度が低いとした3b層の対比や年代観の妥当性を示しているのかもしれない．

トレンチ東壁面におけるIXa層上面の落差（約2.4 m）とVIIIc層およびボーリング調査による3a3層（トレンチのIX層に対比）の¹⁴C年代値から求められる過去約40,000～27,000年間における上下方向の平均変位速度は約0.06～0.09 m/kyと見積もられる（第16図）．この値は群列ボーリングにおいて阿蘇4火砕流堆積物を基準として見積もられた平均変位速度よりやや小さいものの，年代幅を考慮すると概ね一致していると考えられる（第19図）．

一方，5e層の上面および基底面の落差（約11～12 m）と下山ほか（2010）による中原層下部の年代および花粉分析から推定された5e層の年代（MIS6）により見積もられる上下方向の平均変位速度はおおよそ0.06～0.09 m/kyとなる．最大値は阿蘇4火砕流堆積物を基準として見積もられた平均変位速度と概ね一致する（第19図）．

6.2.2 城原断層の1回の変位量

城原地区トレンチにおいて，1回の断層活動（イベント1）により生じたと考えられるVII層基底面および上面の南側下がりの落差（約0.8～1.0 m）および少なくとも2回の断層活動の累積であるIX層上面の南側下がりの落差（約2.4 m）から判断すると，城原断層の上下方向の1回変位量（地震時変位量）は，1 m程度あるいはそれ以下（断層活動が2回の場合は約1.2 m，3回の場合は約0.8 m）と推定される（第16，17図）．

6.2.3 城原断層の活動間隔

城原地区トレンチ調査の結果，39,730 cal yBP 以降に少なくとも2回の断層活動があったと推定される．このうち，イベント2は39,730 cal yBP 以降で26,570 cal yBP 以前に発生したと考えられる．一方，イベント1は27,160 cal yBP 以降に発生したと考えられ，11,610 cal yBP 以降の可能性もある．ただし，その上限の年代は不明である．また，イベント2の認定根拠が傾斜不整合であるため，39,730 cal yBP 以降で26,570 cal yBP 以前に複数回の断層活動が生じた可能性もある（第16，17図）．こうした古地震イベントの回数と時期についての不確実性から，活動間隔を見積もることは困難である．

一方，城原地区トレンチで推定された1回の変位量（上下方向に1 m程度あるいはそれ以下；ここでは，断層活動が2回あるいは3回と仮定し，それらの変位量（2回の場合は約1.2 m，3回の場合は約0.8 m）を採用）と同地区の群列ボーリングによる阿蘇4火砕流堆積物堆積後（90–85 ka 以降）の平均変位速度の上下成分（約0.1 m/ky）から，過去の活動における上下変位量が同じと仮定した場合，城原断層の活動間隔は7,000～11,000年程度と推定される．

謝辞 佐賀県政策部消防防災課，佐賀市消防防災課，神崎市防災危機管理課，神崎市農業委員会のご担当者には調査にご協力いただきました．神崎市教育委員会社会教育課文化財係のご担当者には城原トレンチで出土した土器片の鑑定を行っていただきました．神崎市神埼町城原二子地区のボーリングおよびトレンチ掘削地点の土地所有者様には調査用地を快くお貸しいただきました．栗田泰夫氏のコメントにより原稿は大幅に改善されました．以上の皆様に厚くお礼申し上げます．なお，本調査は，文部科学省「地域評価のための活断層調査（九州地域）」の委託業務として実施したものです．

文 献

- Bronk Ramsey, C. (2009) Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51, 337–360.
- Hatanaka, K. (1985) Palynological studies on the vegetation al succession since the Würm glacial age in Kyusyu and adjacent areas. *Journal of the Faculty of Literature, Kitakyushu University (Series B)*, 18, 29–71.
- 今泉俊文・楮原京子・宮内崇裕・副田宣男（2014）佐賀平野北縁の活断層．月刊地球，36，297–302．
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会（2013a）「九州地域の活断層の長期評価（第一版）」．81 p. http://jishin.go.jp/main/chousa/13feb_chi_kyushu/k_honbun.pdf（2017年5月15日閲覧）．

- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2013b) 「佐賀平野北縁断層帯の長期評価」. 12p. http://jishin.go.jp/main/chousa/13feb_chi_kyushu/k_8.pdf (2017年5月15日閲覧).
- 活断層研究会編 (1980) 「日本の活断層—分布図と資料」. 東京大学出版会, 363 pp.
- 活断層研究会編 (1991) 「新編 日本の活断層—分布図と資料」. 東京大学出版会, 437 pp.
- 岸本清行 (2000) 海陸を合わせた日本周辺のメッシュ地形データの作成: Japan250m.grd. 地質調査所研究資料集, GSJ Open-file Report No. 353, 地質調査所.
- 九州活構造研究会編 (1989) 「九州の活構造」. 東京大学出版会, 553 pp.
- 町田 洋・新井房夫 (2003) 「新編火山灰アトラス [日本列島とその周辺]」. 東京大学出版会, 336 pp.
- 中田 高・今泉俊文編 (2002) 「活断層詳細デジタルマップ」. 東京大学出版会, 60 pp.
- 小野晃司・渡辺一徳 (1983) 阿蘇カルデラ. 月刊地球, 5, 73–82.
- Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hafliadason, 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. and van der Plicht, J. (2013) IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0-50,000 Years cal BP. *Radiocarbon*, 55, 1,869–1,887.
- 産業技術総合研究所 (2014) 地域評価のための活断層調査 (九州地域) 平成 25 年度成果報告書「佐賀平野北縁断層帯」. http://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/chiiki_chousa/h25_saga.pdf (2017年5月15日閲覧).
- 産業技術総合研究所 (2015) 「佐賀平野北縁断層帯」, 地域評価のための活断層調査 (九州地域) 平成 26 年度成果報告書. http://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/chiiki_chousa/h26_saga.pdf (2017年5月15日閲覧).
- 下山正一・松浦浩久・日野剛徳 (2010) 「佐賀地域の地質」. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 97 pp.
- 渡辺一徳 (1995) 佐賀県上峰町で巨木をなぎ倒した Aso-4 火砕流. 熊本県地学会誌, 109, 2–9.
- 吉田明弘・鈴木三男・金 憲爽・大井信三・中島 礼・工藤雄一郎・安藤寿男・西本豊弘 (2011) 茨城県花室川堆積物の花粉・木材化石からみた最終氷期の環境変遷と絶滅種ヒメハリゲヤキの古生態. 植生史研究. 20, 27–40.

(受付: 2017年7月28日, 受理: 2017年12月4日)

第1表．反射法地震探査の仕様および使用機器．

Table 1. Specifications and equipment used for seismic reflection profiling.

項目	内容	備考
探査手法	P波反射法地震探査	
波動種別	P波	
測線数	1	
調査測線長	7,310 m	
解析測線長さ	7,135 m	
探査対象深度	地表付近から深度1 km程度まで	
標準発震点間隔	10 m	発震により周辺家屋等に影響が生じる可能性がある場合などには発震せず.
発震点数	711点	
標準受振点間隔	10 m	障害物がある場合は受振器設置位置をずらし，極力設置.
受振点数	728点	
受振器配置	グルーピング	
標準同時収録チャンネル数	120チャンネル以上	各発震点に対する標準受振点数
標準最大受振距離	1,000 m以上	
標準展開方法	振り分け	発震点を受振区間に位置することを基本とする.
標準水平重合数	60以上	
垂直重合数	5-20回	ダイバーシティスタック
スイープ周波数	10-100 Hz	
スイープ長	18 sec.	テーパ長各300 msec.
収録記録長	3 sec.	
サンプリング間隔	2 msec.	
収録様式	SEG-D	
震源	中型バイブレーター	EnviroVibe(IVI 社製)
受振器	速度型地震計(固有周波数: 10 Hz, 1受振点につき6個をグルーピングしたもの)	SM-4(I/O Sensor 社製)
収録装置	独立型デジタルレコーダー(A/D分解能: 24ビット)	GSR・GSX(OyoGeospace 社製)GPS 機能付

第2表. データ処理および解析に使用した主なパラメータ.

Table 2. Main parameters used for processing and analysis of seismic reflection profiling data.

処理名	パラメータ	設定値	備考
プレフィルタ	バンドパスフィルタ帯域	6~100 Hz	
位相補正	-	インパルスに変換するオペレータを設計し適用	
振幅回復	ゲインカーブ算出用時間ウィンドウ幅	15 msec.	
デコンボリューション	自己相関演算用ゲート長	1,000 msec.	タイムバリエーション
	フィルタ長	100 msec.	スペクトラル
	ホワイトノイズ	3%	ホワイトニング等
初動ミュート	メディアンフィルタのトレース数	13トレース	初動走時と同じ傾斜を持つ波群を低減
	メッシュサイズ	2 m × 2 m	
静補正	初期速度モデル	深度とともに単調増加(100~1,500 m/s)	
	最大オフセット距離	1,000 m	
	再構成速度範囲	100~4,750 m/s	
	トモグラフィ繰り返し回数	80回	
	置換速度	1,500 m/s	
	標高補正用速度	1,500 m/s	
速度フィルタ	種類	tau-p	
	コーナー時間および速度	(0.5s, 1,250 m/s), (1.0s, 2,000 m/s), (2.0s, 3,000 m/s)	
残差静補正	最大許容時間シフト量(1回あたり)	6 msec.	補正量自動算出
	繰り返し算出回数	3回	
FXデコンボリューション	ウィンドウおよびフィルタ幅	適用なし	

第3表. 城原地区で掘削したボーリングのコア名および位置.

Table 3. Names and coordinates of boring cores collected at the Jobaru site.

コア名	緯度	経度	X座標(m) ¹	Y座標(m) ¹	孔口標高(m)
JB-1	33°19'34.09274"	130°21'36.70781"	36350.09	-59565.27	13.44
JB-2	33°19'33.45865"	130°21'36.65247"	36330.56	-59566.82	13.41
JB-3	33°19'33.07222"	130°21'36.81921"	36318.63	-59562.59	11.57
JB-4	33°19'32.42756"	130°21'36.90454"	36298.76	-59560.50	10.95
JB-5	33°19'35.63493"	130°21'36.53166"	36397.62	-59569.54	14.27
JB-6	33°19'33.26531"	130°21'36.74730"	36324.59	-59564.41	13.06
JB-7	33°19'32.75160"	130°21'36.84440"	36308.75	-59561.99	10.97
JB-8	33°19'33.14813"	130°21'36.74766"	36320.98	-59564.42	12.01

¹平面直角座標系(2系)

第4表. 城原地区のボーリングコアの地層区分と記載.

Table 4. Division and description of stratigraphy for the cores collected at the Jobaru site.

地層名	堆積相	細層	トレンチで対比される地層	層相	対比される地層
1層	表土，盛土，耕作土	—	I-III層	腐植質シルト，礫混じりシルトからなる.	—
2層	扇状地堆積物，谷底堆積物	—	IV層	やや腐植質の砂質シルト，礫混じりシルトからなる.	蓮池層上部
3層	段丘堆積物	3a層	V-VIIIa層	砂質シルトを主体とし，シルト質細粒～中粒砂層，粗粒砂層を挟む.	三田川層
		3a2層	VIIIb-VIIIc層	腐植質シルトを主体とし，粗粒砂層を挟む.	
		3a3層	IX層	砂混じりシルトを主体とし，粗粒砂～細礫層を挟む.	
		3b1層	—	礫混じり粗粒～極粗粒砂を主体とする. 不淘汰で基質支持である.	
		3b2層	—	礫混じりシルトを主体とする.	
		3b3層	—	礫混じり極粗粒砂を主体とする.	
4層	火砕流堆積物	—	—	径0.4～5.0 cmの白色軽石と灰色火山灰からなる. デイサイト岩片を含む. 基質支持である. 一部にサージ堆積物とみられる中粒～粗粒の火山灰層がみられる.	阿蘇4火砕流堆積物
5層	段丘堆積物	5a層	—	シルト質細粒～粗粒砂が主体をなす.	中原層
		5b層	—	礫混じり砂質シルト，シルト質細粒砂を主体とする.	
		5c層	—	シルト～シルト質極細粒砂，礫混じりシルトを主体とする.	
		5d層	—	礫混じり極粗粒砂～細礫を主体とする.	
		5e層	—	腐植質砂混じりシルト，シルト質細粒砂を主体とする.	
6層	段丘堆積物	—	—	砂混じりシルトおよび礫混じり粗粒～極粗粒砂を主体とする.	—
7層	斜面堆積物	—	—	片岩の概ね新鮮～風化した礫，強風化片岩起源のシルト，砂からなる. 礫混じり砂質シルト状. 一部半固結状.	—
8層	—	—	—	風化した泥質片岩および塩基性片岩	三郡変成岩類

第5表. 城原地区群列ボーリングコアから採取された試料の¹⁴C年代測定結果.

Table 5. Result of ¹⁴C dating of samples collected from densely spaced boreholes at the Jobaru site.

試料名	Lab. ID ¹	試料種	採取層準	Conventional ¹⁴ C age (yBP) (±1σ)	δ ¹³ C (‰)	Calibrated ¹⁴ C age (cal yBP) (95.4% probability) ²	Calibrated ¹⁴ C age (cal yBP) (68.2% probability) ²
CJB-3(3.60m)	Beta-369553	Organic sediment	3a2	22,440 ± 110	-24.8	27,130–26,390	26,960–26,550
CJB-3(3.80m)	Beta-369554	Organic sediment	3a2	23,130 ± 100	-24.2	27,640–27,210	27,540–27,320
CJB-3(6.32m)	Beta-369555	Charcoal	3a3	34,420 ± 320	-27.8	39,730–38,340	39,280–38,570
CJB-6(6.17m)	IAAA-142423	Organic sediment	3a2	14,700 ± 50	-25.40 ± 0.26	18,060–17,700	17,990–17,810
CJB-7(1.75m)	IAAA-142424	Organic sediment	2	2,850 ± 20	-23.29 ± 0.30	3,060–2,870	3,000–2,920
CJB-7(2.60m)	IAAA-142425	Organic sediment	3a2	19,900 ± 70	-25.06 ± 0.24	24,190–23,700	24,070–23,830
CJB-7(9.68m)	IAAA-142426	Charcoal	3b2	48,120 ± 560	-26.85 ± 0.28	—	—

¹Beta-: Beta Analytic Inc., IAAA-: 加速器分析研究所.

²暦年校正プログラムOxCal 4.3.2 (Bronk Ramsey, 2009)による. 校正曲線はIntCal13 (Reimer et al., 2013)を使用.

³Date out of range.

第6表、城原地区群列ボーリングコアから採取された試料の火山灰分析結果。
 Table 6. Result of tephra analysis of samples taken from densely spaced boreholes at the Jobaru site.

試料名	採取層準		火山ガラス		重鉱物					V. Rock	Total Rock	備考	火山ガラスの屈折率(n)	斜方輝石の屈折率(γ)	角閃石の屈折率(n_2)	
	Bw	Pm	O	軽鉱物	Opx	Cpx	Gho	Ap	Opq							
TJB-1(8.40m)	4	153	0	10	0	0	0	0	2	0	0	300	Opx (Cpx)	1.506-1.508	1.699-1.702	1.684-1.689
TJB-1(8.51m)	4	43	0	39	4	0	1	2	2	0	3	300	Opx>Gho>Cpx	1.507-1.509, 1.510-1.512	1.698-1.705	1.684-1.692
TJB-2(9.45m)	4	21	247	2	27	1	0	0	0	0	2	300	Gho>Opx	1.506-1.509, 1.510-1.512	1.698-1.702	1.684-1.689
TJB-2(9.78m)	4	56	228	0	15	0	0	0	1	0	0	300	Opx (Cpx,Gho)	1.506-1.508, 1.511-1.512	1.699-1.702	1.685-1.689
TJB-3(17.44m)	4	141	99	0	11	2	0	0	2	2	43	300	Opx>Gho>Cpx (Ap多く含む)	1.507-1.512	1.698-1.702	1.685-1.688
TJB-3(17.85m)	4	71	220	0	8	0	0	0	0	0	1	300	Opx (Cpx)	1.507-1.508	1.699-1.701	1.676-1.679, 1.685-1.688
TJB-4(17.15m)	4	39	232	0	21	3	0	0	0	0	5	300	Opx (Gho)	1.507-1.508, 1.511-1.512	1.698-1.702	-
TJB-4(17.84m)	4	29	245	8	18	0	0	0	0	0	0	300	Gho>Opx	1.510-1.512	1.698-1.702	1.685-1.690
TJB-6(10.29m)	4	1	283	0	15	0	0	0	1	0	0	300	Opx,Ap含む	1.506-1.508	1.699-1.702 [#]	-
TJB-7(17.86m)	4	3	278	0	16	0	0	0	1	2	0	300	Opx>>Gho	1.507-1.510	1.699-1.702 [#]	1.686-1.690 [#]

Bw:バブルウォールタイプ

Pm:パミスタタイプ Opx:斜方輝石 Cpx:単斜輝石 Gho:緑色普通角閃石 Ap:磷灰石

O:低発泡タイプ Opq:不透明鉱物 Rock:岩片・風化粒 V.Rock:火山岩片

[#]表中では、重鉱物は不透明鉱物を除いてカウントされていないが、薄片上で検出された斜方輝石、緑色普通角閃石について屈折率を測定している。

第7表. 城原地区群列ボーリングコアおよびトレンチから採取された試料の花粉分析結果.
Table 7. Result of pollen analysis of samples taken from cores and trench at the Jobaru site.

		PJB-3		PJB-6		PJB-7		PJTE				
		3.52	6.28	18.60	24.74	6.17	1.75	2.60	9.68	12	14	19
木本花粉	Arboreal Pollen											
マキ属	<i>Podocarpus</i>	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-
モミ属	<i>Abies</i>	19	8	2	2	-	6	9	19	-	1	-
ツガ属	<i>Tsuga</i>	23	2	2	2	-	3	20	24	-	1	-
トウヒ属	<i>Picea</i>	8	8	7	250	-	1	3	67	-	-	-
マツ属単維管束亜属	<i>Pinus</i> subgen. <i>Haploxyton</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
マツ属複維管束亜属	<i>Pinus</i> subgen. <i>Diploxyton</i>	5	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
マツ属	<i>Pinus</i> (Unknown)	15	9	-	4	-	11	23	11	-	-	-
コウヤマキ属	<i>Sciadopitys</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
スギ属	<i>Cryptomeria</i>	-	5	1	-	-	4	-	8	-	-	-
イチイ科-イヌガヤ科-ヒノキ科	Taxaceae-Cephalotaxaceae-Cupressaceae	5	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
マオウ属	<i>Ephedra</i>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
ヤナギ属	<i>Salix</i>	-	2	-	-	-	-	1	1	-	-	-
サワグルミ属-クルミ属	<i>Pterocarya-Juglans</i>	-	4	7	-	-	2	2	-	-	-	-
クマシデ属-アサダ属	<i>Carpinus-Ostrya</i>	14	3	-	2	-	2	2	-	-	-	-
ハンバニ属	<i>Corylus</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
カバノキ属	<i>Betula</i>	1	13	1	-	-	1	3	-	-	-	-
ハンノキ属	<i>Alnus</i>	11	18	80	8	-	3	16	11	-	-	-
ブナ属	<i>Fagus</i>	4	5	-	-	-	4	3	2	-	-	-
コナラ属コナラ亜属	<i>Quercus</i> subgen. <i>Lepidobalanus</i>	51	61	3	2	-	31	21	-	-	-	-
コナラ属アカガシ亜属	<i>Quercus</i> subgen. <i>Cyclobalanopsis</i>	2	2	-	-	-	116	1	-	-	-	-
クリ属	<i>Castanea</i>	-	1	-	-	-	-	2	2	-	-	-
シイノキ属	<i>Castanopsis</i>	2	2	-	-	1	89	-	-	-	2	-
ハリゲヤキ属	<i>Hemiptelea</i>	2	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-
ニレ属-ケヤキ属	<i>Ulmus-Zelkova</i>	2	7	1	-	-	1	6	2	-	-	-
エノキ属-ムクノキ属	<i>Celtis-Aphananthe</i>	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
シラキ属	<i>Sapium</i>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
モチノキ属	<i>Ilex</i>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
カエデ属	<i>Acer</i>	2	4	-	-	-	-	-	1	-	-	-
トチノキ属	<i>Aesculus</i>	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
イボタノキ属	<i>Ligustrum</i>	-	3	-	-	-	-	-	4	-	-	-
トネリコ属	<i>Fraxinus</i>	1	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-
スイカズラ属	<i>Lonicera</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
草本花粉	Nonarboreal Pollen											
ガマ属	<i>Typha</i>	-	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-
サジオモダカ属	<i>Alisma</i>	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
オモダカ属	<i>Sagittaria</i>	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
イネ科	Gramineae	48	6	3	-	-	49	9	-	-	1	-
カヤツリグサ科	Cyperaceae	352	5	3	-	-	11	30	-	-	-	-
クワ科	Moraceae	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ワスレグサ属	<i>Hemerocallis</i>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
サナエタデ節-ウナギツカミ節	<i>Persicaria-Echinocaulon</i>	1	1	-	-	-	-	-	2	-	-	-
ナデシコ科	Caryophyllaceae	1	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-
コウホネ属	<i>Nuphar</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
スイレン属	<i>Nymphaea</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
カラマツソウ属	<i>Thalictrum</i>	7	-	3	-	-	-	14	-	-	-	-
キンボウゲ属	<i>Ranunculus</i>	-	1	-	-	-	1	19	1	-	-	-
キンボウゲ科	Ranunculaceae	5	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
アブラナ科	Cruciferae	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
ワレモコウ属	<i>Sanguisorba</i>	14	1	-	-	-	-	4	-	-	-	-
バラ科	Rosaceae	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
フウロソウ属	<i>Geranium</i>	2	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-
セリ科	Umbelliferae	14	12	-	-	-	2	7	1	-	1	-
ヤエムグラ属-アカネ属	<i>Galium-Rubia</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ヨモギ属	<i>Artemisia</i>	152	15	7	-	-	14	116	8	-	-	-
キク亜科	Carduoideae	22	9	1	1	-	10	27	8	2	-	-
タンポポ亜科	Cichorioideae	1	-	1	-	-	4	1	-	-	-	-
不明花粉	Unknown Pollen											
	Unknown	4	2	1	-	-	8	6	2	-	-	-
シダ植物胞子	Pteridophyte Spores											
ヒカゲノカズラ属	<i>Lycopodium</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ミズニラ属	<i>Isoetes</i>	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
他のシダ植物胞子	other Pteridophyta	118	57	617	2	-	97	431	602	7	4	-
合計	Total											
木本花粉	Arboreal Pollen	168	201	105	271	1	278	115	152	0	4	0
草本花粉	Nonarboreal Pollen	622	64	20	3	0	92	240	20	2	2	0
不明花粉	Unknown Pollen	4	2	1	0	0	8	6	2	0	0	0
シダ植物胞子	Pteridophyte Spores	118	61	617	2	0	97	431	602	7	4	0
総花粉・胞子	Total Number of Pollen & Spores	908	326	742	276	1	467	786	774	9	10	0

第 8 表. 城原地区トレンチ壁面に分布する地層区分と記載.

Table 8. Division and description of stratigraphy exposed in the trench at the Jobaru site.

地層名	堆積相	細層	ボーリング コアの層名	層相	対比される地層
I層	表土, 耕作土, 人工攪乱層	Ia層	1層	埋土	-
		Ib層	1層	耕作土	
		Ic層	1層	砂利(磨耗層)	
II層	人工攪乱層	IIa層	1層	整地のための盛土	-
		IIb層	1層	埋土, 道路盛土	
III層	旧耕作土(盛土)	-	1層	やや腐植質のシルト質砂	-
IV層	人工攪乱層	IVa層	1層	腐植質砂質シルト. 本層下面にIVb層を細かく巻き上げた部分が認められる.	-
		IVb層	1層	径3~15 cm程度の偽礫を多く含む暗灰色腐植質シルト. 偽礫は主としてVIb層, VII層, VIII層起源であり, IVb層自体の偽礫も含まれる.	
V層	斜面堆積物	-	3a1層?	火山灰質暗灰色腐植質シルト	-
VI層	斜面堆積物, 湿地堆積物	VIa層	3a1層?	やや脱色した腐植質のシルト	-
		VIb層	3a1層?	暗灰色腐植質シルトおよび砂	
VII層	扇状地堆積物	-	-	黄灰色シルトおよび砂. 最上部にレスあるいはその二次堆積物を含む.	-
VIII層	扇状地堆積物	VIIIa層	3a2-3a1層	黄灰色シルトを主体とし, 砂層を挟む. 上部の一部は削剥されている.	三田川層
		VIIIb層	3a2-3a1層	やや脱色した腐植質シルト	
		VIIIc層	3a2-3a1層	暗灰色腐植質シルト	
IX層	扇状地堆積物	IXa層	3a3層	粗粒砂~極粗粒砂~細礫	三田川層
		IXb層	3a3層	シルト	

第 9 表. 城原地区トレンチ壁面から採取した試料の¹⁴C年代結果.Table 9. Result of¹⁴C dating of samples collected in the trench at the Jobaru site.

試料名	Lab. ID ¹	試料種	採取 層準	Conventional ¹⁴ C age (yBP) (±1σ)	δ ¹³ C (‰)	Calibrated ¹⁴ C age (cal yBP) (95.4 % probability) ²	Calibrated ¹⁴ C age (cal yBP) (68.2% probability) ²
CJTE-3	Beta-399241	Organic sediment	IVa	2,670 ± 30	-23.9	2,850-2,740	2,800-2,750
CJTE-1	Beta-399240	Organic sediment	IVa	2,780 ± 30	-23.6	2,960-2,790	2,930-2,840
CJTW-2	IAAA-143145	Peat	IVa	2,950 ± 30	-25.18 ± 0.25	3,210-3,000	3,170-3,060
CJTW-3	IAAA-143146	Peat	IVa	3,620 ± 30	-26.51 ± 0.28	4,070-3,840	3,980-3,890
CJTW-9	IAAA-143147	Peat	IVb	2,250 ± 20	-24.95 ± 0.26	2,340-2,150	2,330-2,180
CJTE-14	Beta-399245	Organic sediment	IVb	2,850 ± 30	-22.9	3,060-2,870	3,000-2,890
CJTE-12	Beta-399243	Organic sediment	IVb	2,900 ± 30	-23.3	3,160-2,950	3,080-2,970
CJTW-11	IAAA-143144	Peat	IVb	3,210 ± 20	-26.50 ± 0.29	3,470-3,380	3,450-3,390
CJTE-13	Beta-399244	Organic sediment	IVb	3,270 ± 30	-24.1	3,580-3,400	3,560-3,450
CJTE-5	IAAA-142427	Peat	IVb	3,320 ± 20	-23.82 ± 0.25	3,610-3,470	3,580-3,490
CJTE-4	Beta-399242	Organic sediment	IVb	3,500 ± 30	-24.6	3,860-3,690	3,840-3,720
CJTE-22	IAAA-142431	Organic sediment	IVb	4,610 ± 30	-22.45 ± 0.27	5,460-5,140	5,450-5,300
CJTE-9	IAAA-142428	Organic sediment	IVb	5,180 ± 30	-24.21 ± 0.28	6,000-5,900	5,990-5,910
CJTE-18	IAAA-143143	Organic sediment	V	3,290 ± 20	-25.31 ± 0.29	3,570-3,460	3,560-3,480
CJTE-19	Beta-399248	Organic sediment	V	5,450 ± 30	-24.5	6,300-6,200	6,300-6,210
CJTE-20	Beta-399249	Organic sediment	VIa	10,210 ± 30	-23.0	12,070-11,770	12,010-11,820
CJTE-15	IAAA-142429	Organic sediment	VIb	5,640 ± 30	-24.01 ± 0.26	6,500-6,320	6,470-6,390
CJTE-16	Beta-399246	Organic sediment	VIb	9,930 ± 40	-23.3	11,610-11,230	11,390-11,250
CJTE-21	IAAA-142430	Organic sediment	VIIIb	23,230 ± 80	-21.71 ± 0.33	27,680-27,310	27,590-27,400
CJTE-23	IAAA-142432	Organic sediment	VIIIc	22,530 ± 80	-20.91 ± 0.22	27,160-26,530	27,040-26,680
CJTE-17	Beta-399247	Organic sediment	VIIIc	22,570 ± 80	-21.7	27,200-26,570	27,080-26,730

¹Beta-: Beta Analytic Inc., IAAA-: 加速器分析研究所.²暦年較正プログラムOxCal 4.3.2 (Bronk Ramsey, 2009)による. 較正曲線はIntCal13 (Reimer et al., 2013)を使用.

第 10 表. 城原地区トレンチ東壁面から採取した連続試料 TJTE-1 の火山灰分析結果.

Table 10. Result of tephra analysis of continuous samples TJTE-1 taken from the east wall of trench at the Jobaru site.

試料番号	採取 層準	火山ガラスの形態別含有 量 (/3,000粒子)			重鉱物の含有量 (/3,000粒子)			β 石英 (/3,000 粒子)	火山ガラスの 屈折率	テフラ名
		Bw	Pm	O	Opx	GHo	Cum			
TJTE1-1	V	177	1	1	4	27	0	0		
TJTE1-2	V	151	0	0	6	171	0	0		
TJTE1-3	V	318	0	0	7	12	0	0	1.494–1.501(21/30), 1.512–1.516(9/30)	K-Ah
TJTE1-4	V	253	0	5	11	33	0	0.1		K-Ah
TJTE1-5	V	96	0	2	5	24	0	0	1.495–1.500(20/30), 1.510–1.516(10/30)	K-Ah
TJTE1-6	Via	154	0	1	4	32	0	0	1.494–1.500	
TJTE1-7	VII	86	0	0	3	24	0	0		
TJTE1-8	VII	75	0	0	1	46	0	0		
TJTE1-9	VII	163	0	0	1	23	0	0	1.497–1.500	
TJTE1-10	VII	5	0	0	0	32	0	0		
TJTE1-11	VII	3	0	0	0	26	0	0		
TJTE1-12	VII	3	0	0	0	14	0	0	1.496–1.498	AT降灰以降

Bw: バブルウォールタイプ Opx: 斜方輝石
 Pm: パミスタイプ GHo: 緑色普通角閃石
 O: 低発泡タイプ Cum: カミングトン閃石

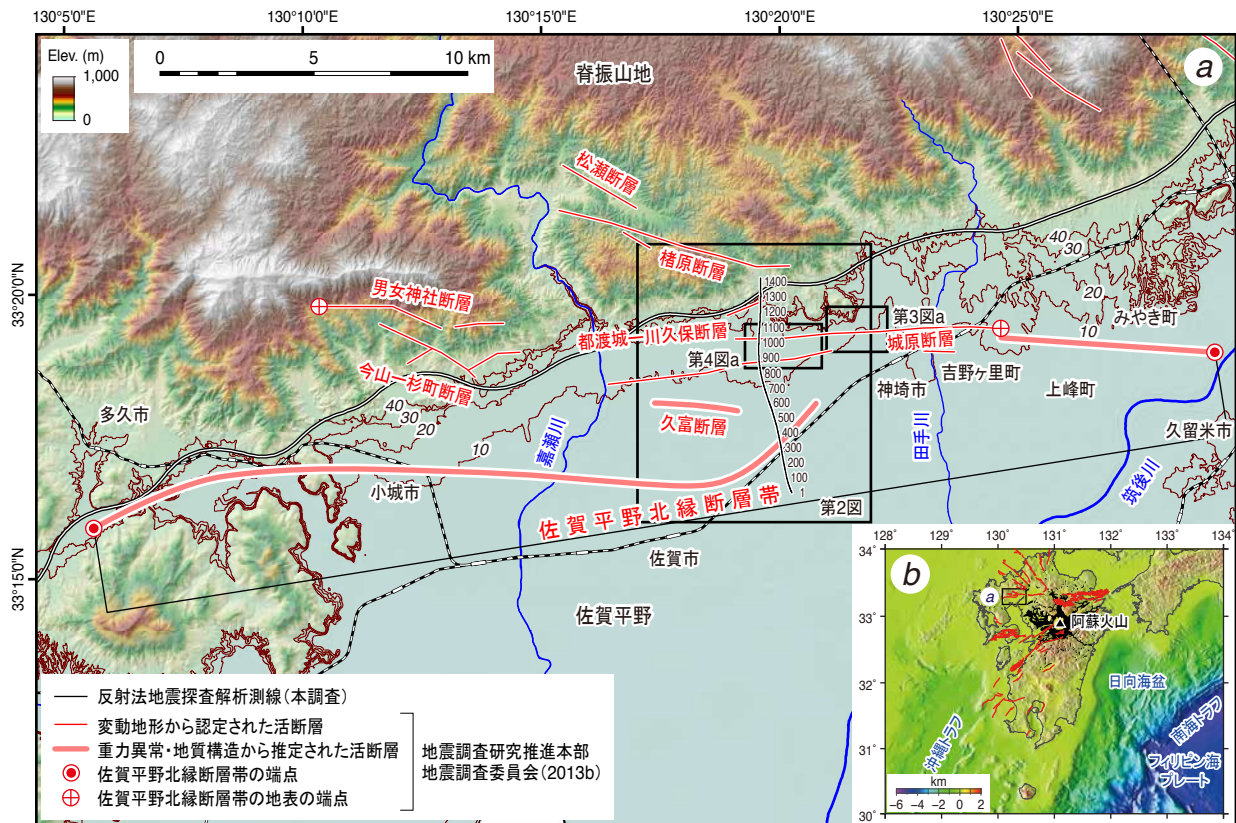
第 11 表. 城原地区トレンチ東壁面から採取した連続試料 TJTE-5 の火山灰分析結果.
Table 11. Result of tephra analysis of continuous samples TJTE-5 taken from the east wall of trench at the Jobaru site.

試料番号	採取層準	火山ガラスの形態別含有量 (/3,000粒子)			重鉱物の含有量 (/3,000粒子)			β 石英 (/3,000粒子)	火山ガラスの屈折率	テフラ名
		Bw	Pm	O	Opx	GHo	Cum			
TJTE5-1	IVb	79	0	0	5	30	0	0.1	1.495–1.500(22/30), 1.511–1.515 (8/30)	K-Ah混在
TJTE5-2	Vib	65	0	0	1	23	0	0		
TJTE5-3	Vib	63	0	0	2	25	0	0	1.496–1.500	
TJTE5-4	Vib	41	0	0	2	34	0	0	1.495–1.499	
TJTE5-5	VII	25	0	0	0	67	0	0		
TJTE5-6	VII	12	0	0	0	108	0	0		
TJTE5-7	VII	32	0	0	2	181	0	0	1.495–1.500	
TJTE5-8	VII	22	0	0	0	217	0	0		
TJTE5-9	VII	22	0	0	0	568	0	0		
TJTE5-10	VII	10	0	0	0	631	0	0		
TJTE5-11	VIIIa	17	0	0	0	592	0	0		
TJTE5-12	VIIIa	26	0	0	0	330	0	0		
TJTE5-13	VIIIa	27	0	0	0	325	0	0	1.495–1.500	
TJTE5-14	VIIIa	19	0	0	0	651	0	0		
TJTE5-15	VIIIa	25	0	0	0	645	0	0		
TJTE5-16	VIIIa	29	0	0	0	414	0	0	1.497–1.500	
TJTE5-17	VIIIa	21	0	0	0	542	0	0		
TJTE5-18	VIIIc	437	0	0	0	226	0	0		
TJTE5-19	VIIIc	686	25	17	6	32	0	0.1	1.497–1.500	AT降灰以降 (AT層準に近い)

Bw: バブルウォールタイプ Opx: 斜方輝石
Pm: パミスタイプ GHo: 緑色普通角閃石
O: 低発泡タイプ Cum: カミングトン閃石

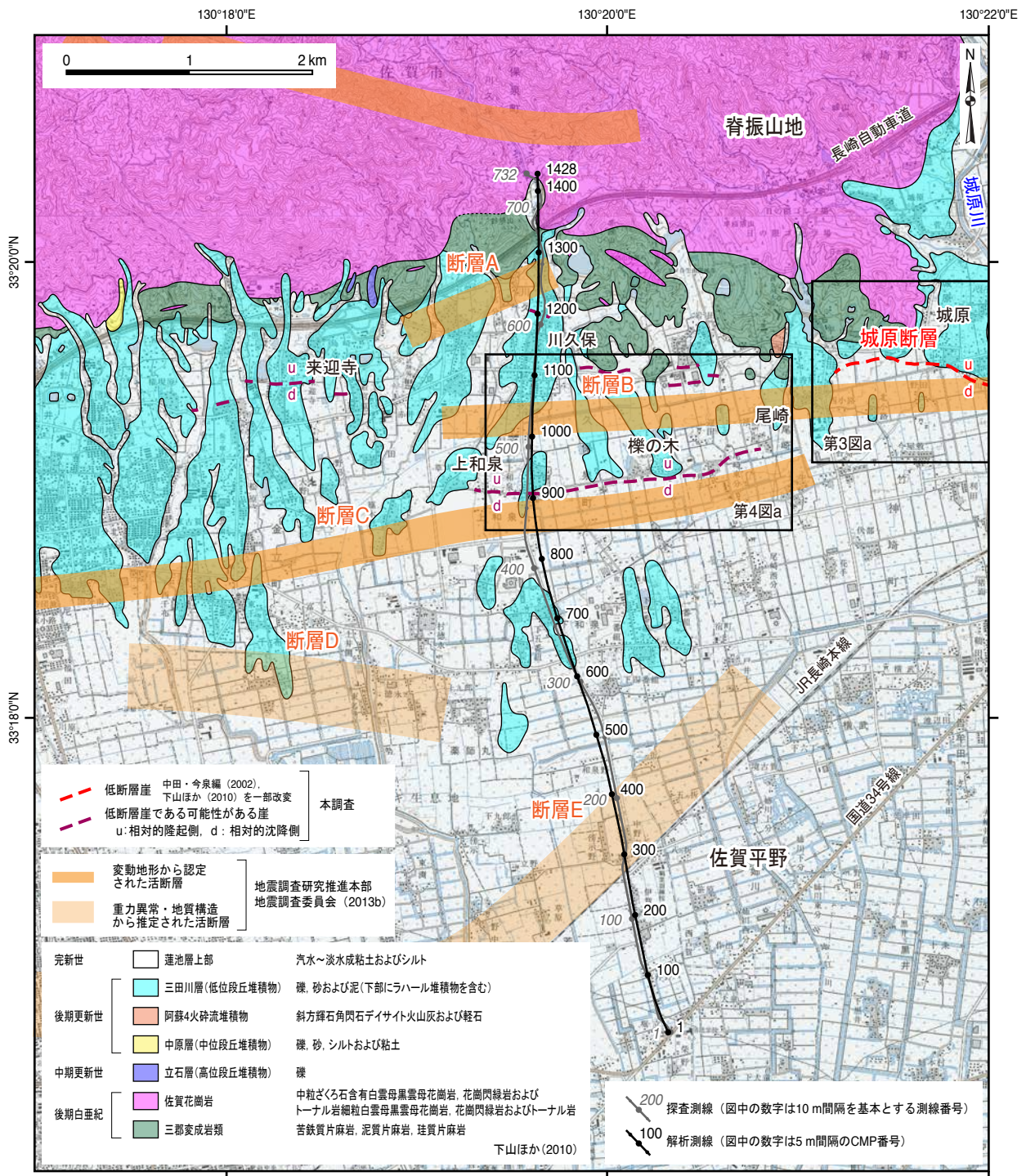
第 12 表. 城原地区トレンチ壁面から採取した土器片の鑑定結果(神崎市教育委員会による).
Table 12. Archeological appraisal of earthenware pieces collected from the trench walls at the Jobaru site by an expert at Kanzaki City Board of Education.

試料名	壁面	採取層準	種類	時代
PJTE-1	東壁面	Ivb	土器片(壺)	弥生時代中期
PJTE-2	東壁面	Ivb	土器片	弥生時代?
PJTE-3	東壁面	Iva	土器片	弥生時代?
PJTW-1	西壁面	Ivb	土器片	弥生時代中期
PJTW-2	西壁面	Ivb	土器片	弥生時代?



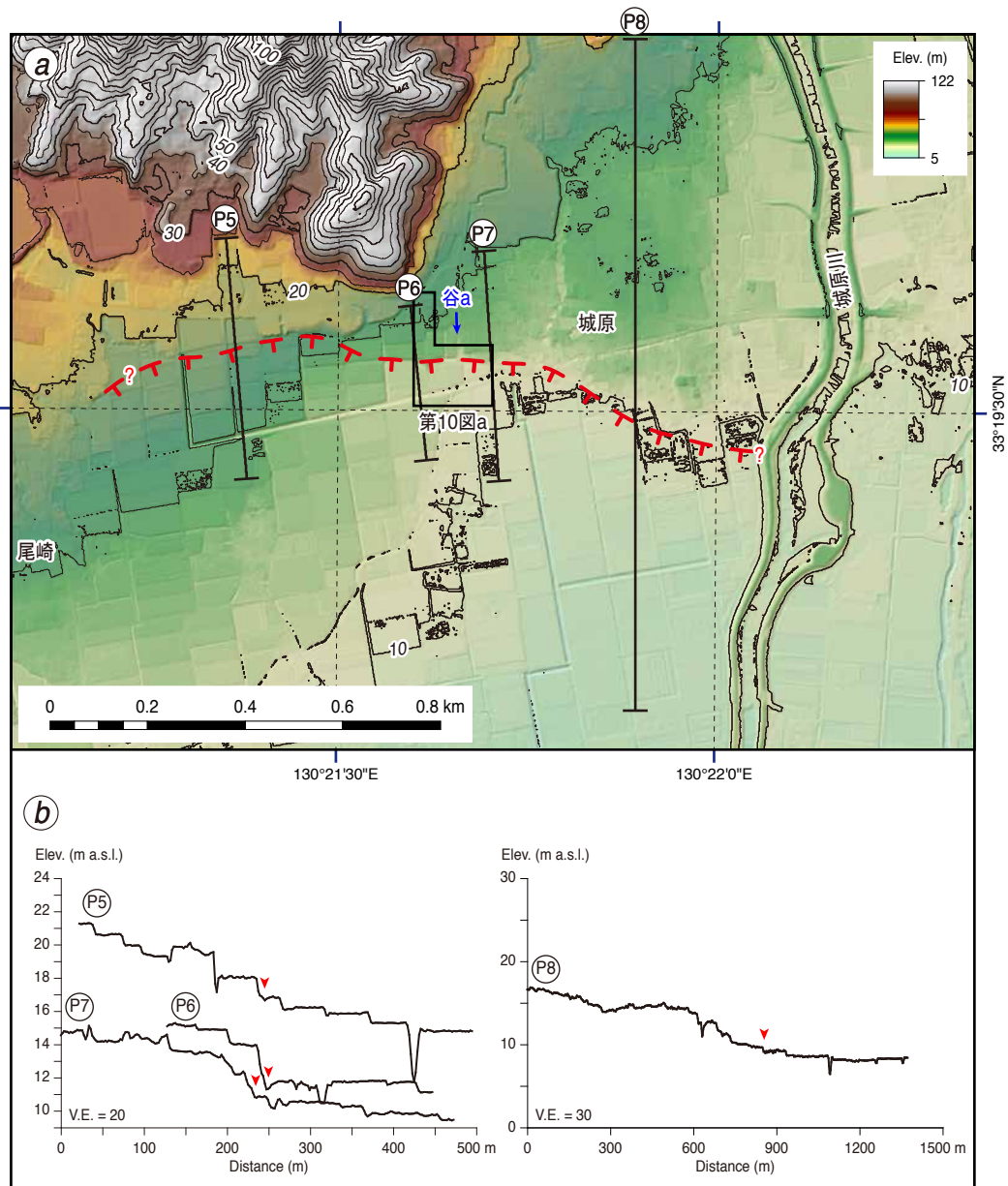
第1図. (a) 佐賀平野北縁断層帯の分布および本調査範囲（黒枠）. 等高線は標高10 mから40 mまでを10 m 間隔で表示. 活断層の分布は地震調査研究推進本部地震調査委員会（2013b）による. 陰影段彩図は国土地理院基盤地図情報数値標高モデル（5 m メッシュ）から作成. (b) 位置図. 活断層の分布は地震調査研究推進本部地震調査委員会（2013a）による. 黒色三角およびその周辺の黒色の範囲は、それぞれ阿蘇火山の位置、阿蘇4火砕流堆積物の分布（小野・渡辺, 1983）を示す. 地形データは岸本（2000）を使用. 第1図 a の範囲を黒枠で示す.

Fig. 1. (a) Topographic map showing locations of the Saga-heiya-hokuen fault zone (SHHFZ; northern marginal fault zone of the Saga Plain) and our study area (outlined in black rectangles). Distribution of SHHFZ is after Earthquake Research Committee, Headquarters for Earthquake Research Promotion (2013b). Topographic contour map (contour lines are 10 m interval between 10 m and 40 m in altitude) are created from 5 m mesh DEMs released from Geospatial Information Authority of Japan. (b) Index map. Location of the active fault zone is after Earthquake Research Committee, Headquarters for Earthquake Research Promotion (2013a). Pink triangle and pale pink areas denote location of the Aso volcano and distribution of Aso-4 pyroclastic flow deposits (Ono and Watanabe, 1983), respectively. Topographic and bathymetric data is after Kishimoro (2000). Area of Fig. 1a is outlined in black rectangle.



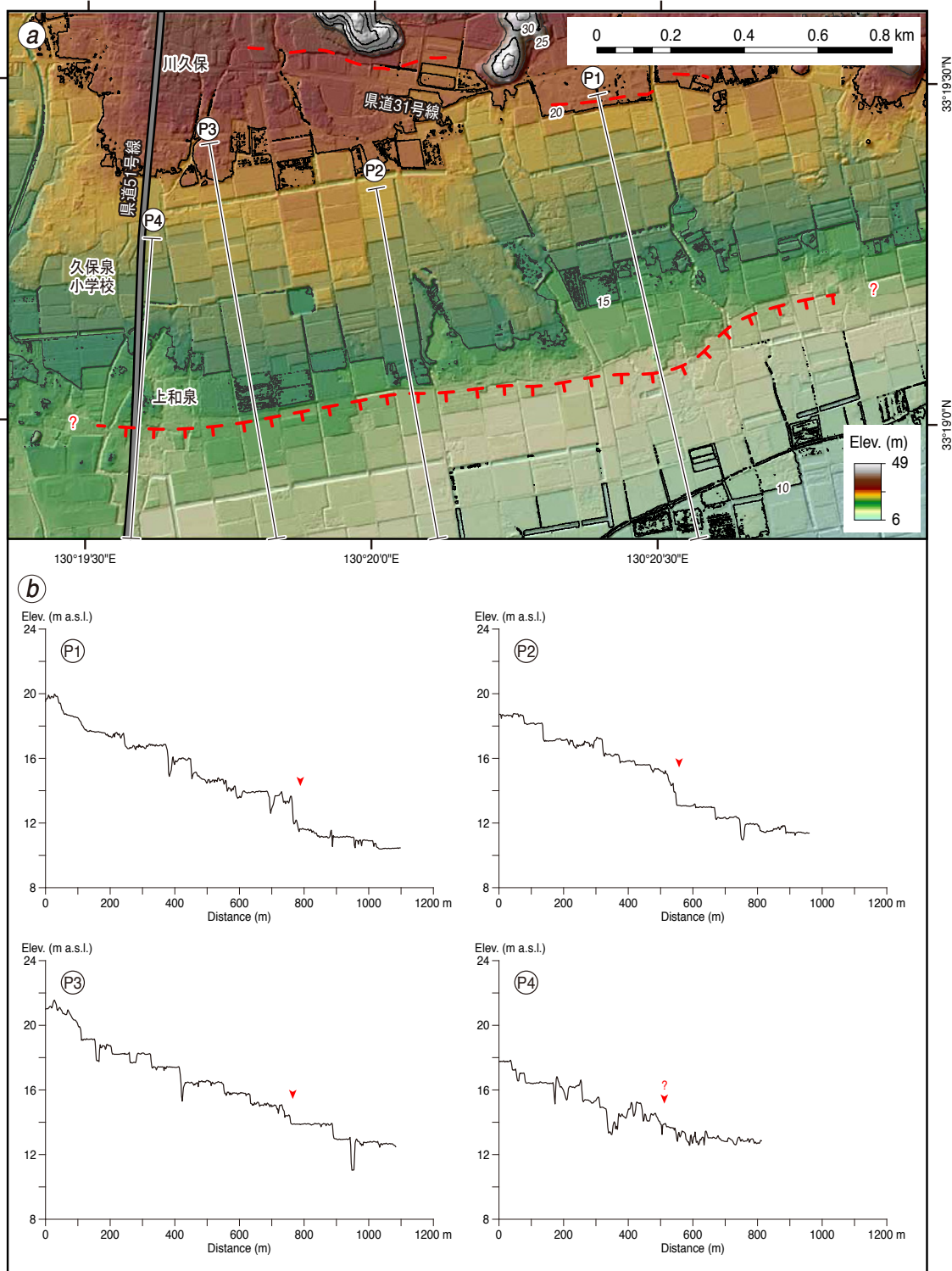
第2図. 調査地点周辺の表層地質図, 佐賀平野北縁断層帯の分布, P波反射法地震探査位置および低崖の位置. 表層地質図は下山ほか(2010)を簡略化. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2013b)による佐賀平野北縁断層帯の分布を橙色で示す. 本調査により認定された低崖の分布を赤色で示す. 断層A~Eについては本文参照. 基図は国土地理院発行1:25,000地形図「佐賀北部」および「広滝」の一部を使用.

Fig. 2. Map showing the surficial geology, locations of SHHFZ, line for P-wave seismic reflection profiling, and distribution of topographic scarps. The surficial geology is simplified from Shimoyama *et al.* (2010). Distribution of SHHFZ and the scarps is after Earthquake Research Committee, Headquarters for Earthquake Research Promotion (2013b; orange lines) and this study (red lines), respectively. For the faults A to E see text. Parts of 1:25,000 topographic maps “Saga-Hokubu” and “Hirotaki” published by Geospatial Information Authority of Japan are used as the base map.



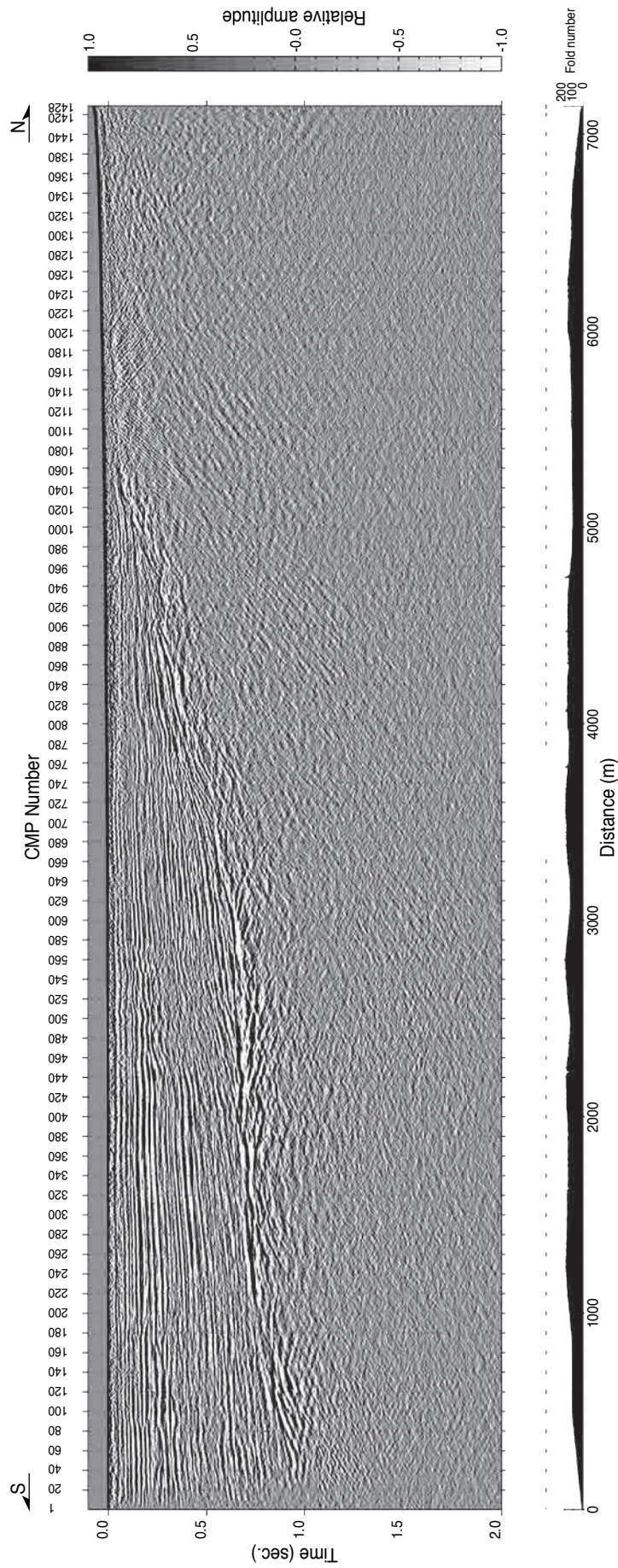
第3図. (a) 城原地区周辺の地形陰影・等高線図. 赤破線は城原断層の断層崖の分布を示す. ケバは低下側を示す. 等高線間隔は5 m. 図の範囲を第1, 2図に示す. 図の中央付近の実線囲みは第10図aの範囲を示す. (b) 城原断層を横断する地形断面図 (P5~P8). 赤矢印は断層崖基部の位置を示す. 断面の位置は第3図aに示す. 陰影図, 等高線および地形断面図は, 航空レーザ2 m DEMから作成した.

Fig. 3. (a) Color shaded relief image with topographic contour in and around Jobaru. Red broken line shows trace of the Jobaru fault (bars on downthrown side). Contour interval is 5 m. See Figs. 1 and 2 for location of this figure. Polygon in central part of figure shows area of Fig. 10a. (b) Topographic profiles (P5 to P8) across the fault scarp of the Jobaru fault. Red arrowheads mark the base of fault scarp. For locations of the profiles, see Fig. 3a. The topographic image, contour and profiles are created from airborne Lidar-derived 2 m DEM.

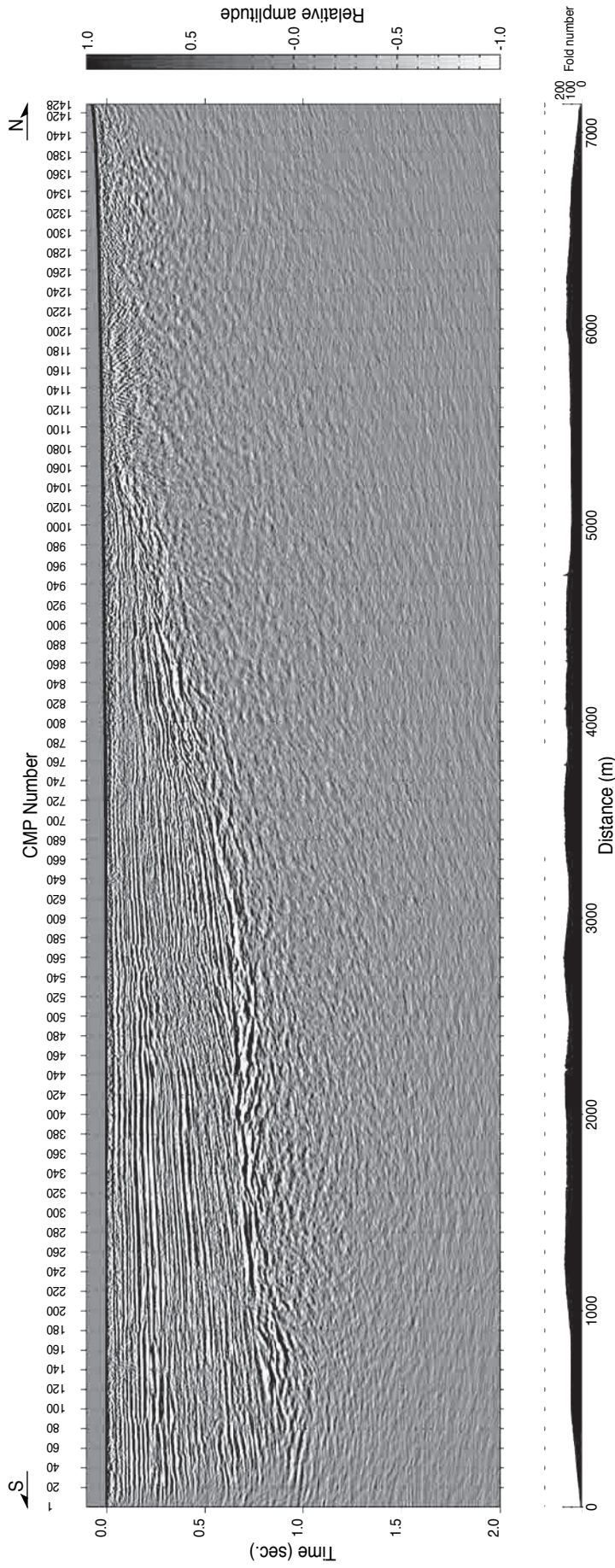


第4図. (a) 上和泉地区周辺の詳細地形図. 赤破線は本調査で認定された低崖の分布を示す. ケバは低い側を示す. 等高線間隔は5 m. 図の範囲を第1, 2図に示す. (b) 低崖を横断する地形断面図 (P1~P4). 赤矢印は低崖基部の位置を示す. 断面の位置は第4図 a に示す. 陰影図, 等高線および地形断面図は, 航空レーザ測量による2 m DEM から作成した.

Fig. 4. (a) Color shaded relief map with topographic contour in and around Kami-izumi. Red broken line shows trace of the small scarp identified by this study (bars on lower side). Contour interval is 5 m. See Figs. 1 and 2 for location of this figure. (b) Topographic profiles (P1 to P4) across the scarp. Red arrowheads mark the base of scarp. For locations of the profiles, see Fig. 4a. The topographic image, contour and profiles are created from airborne Lidar-derived 2 m DEM.

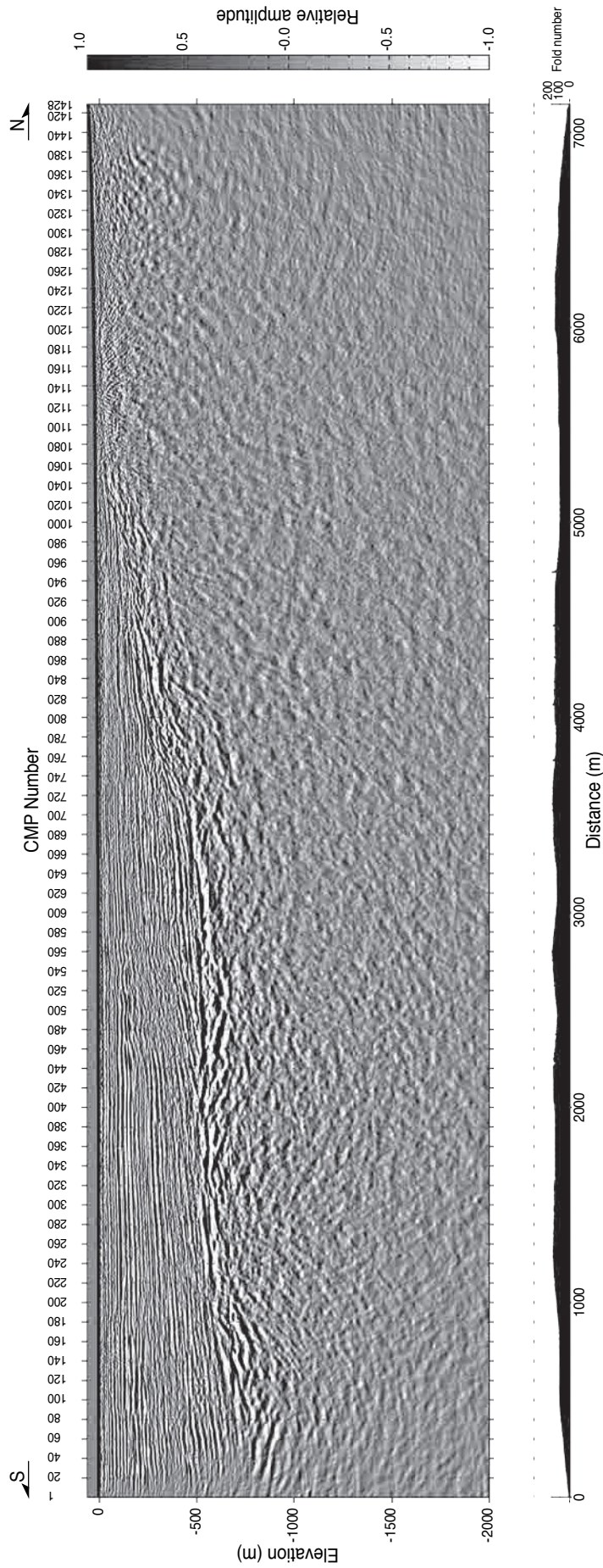


第5図. 重合後時間断面. 解析測線の位置を第2図に示す.
Fig. 5. Post-stacked time section of the seismic reflection profiling. See Fig. 2 for the location of the CMP line.



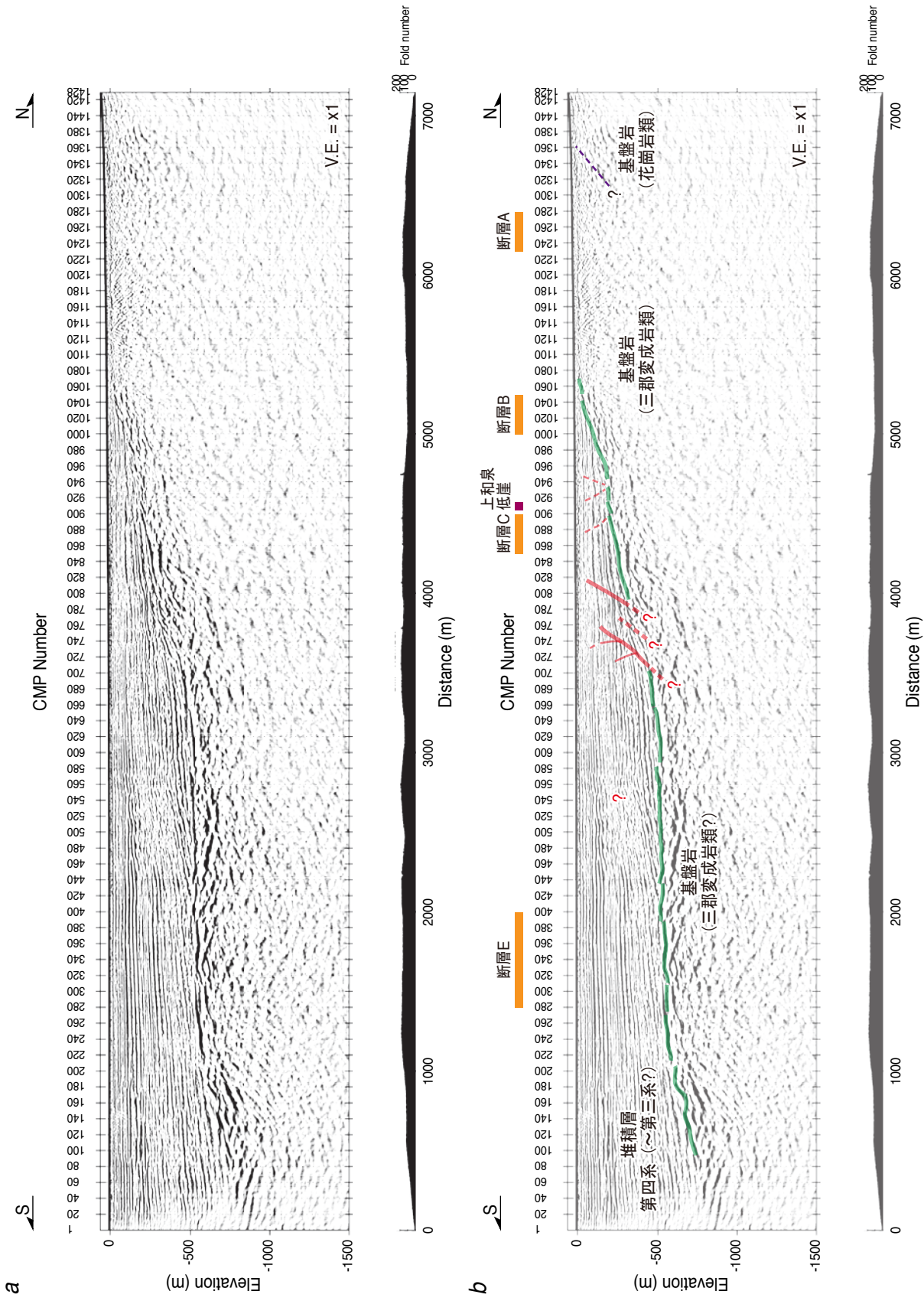
第 6 図. マイクレーション後時間断面. 解析測線の位置を第 2 図に示す.

Fig. 6. Post-migrated time section of the seismic reflection profiling. See Fig. 2 for the location of the CMP line.

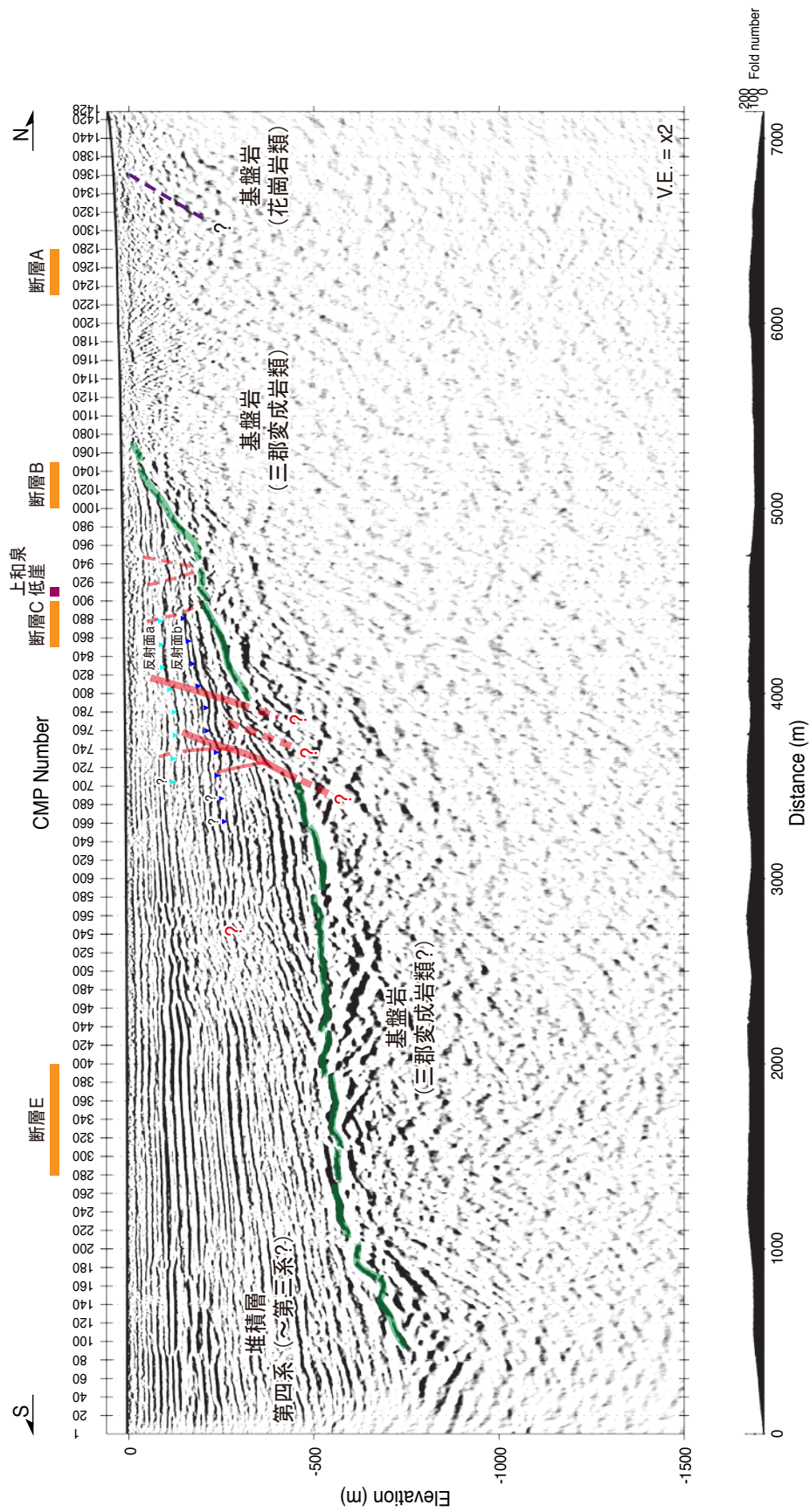


第7図．深度変換断面（鉛直誇張なし）．解析測線の位置を第2図に示す．

Fig. 7. Depth converted seismic section of the seismic reflection profiling (no vertical exaggeration). See Fig. 2 for the location of the CMP line.

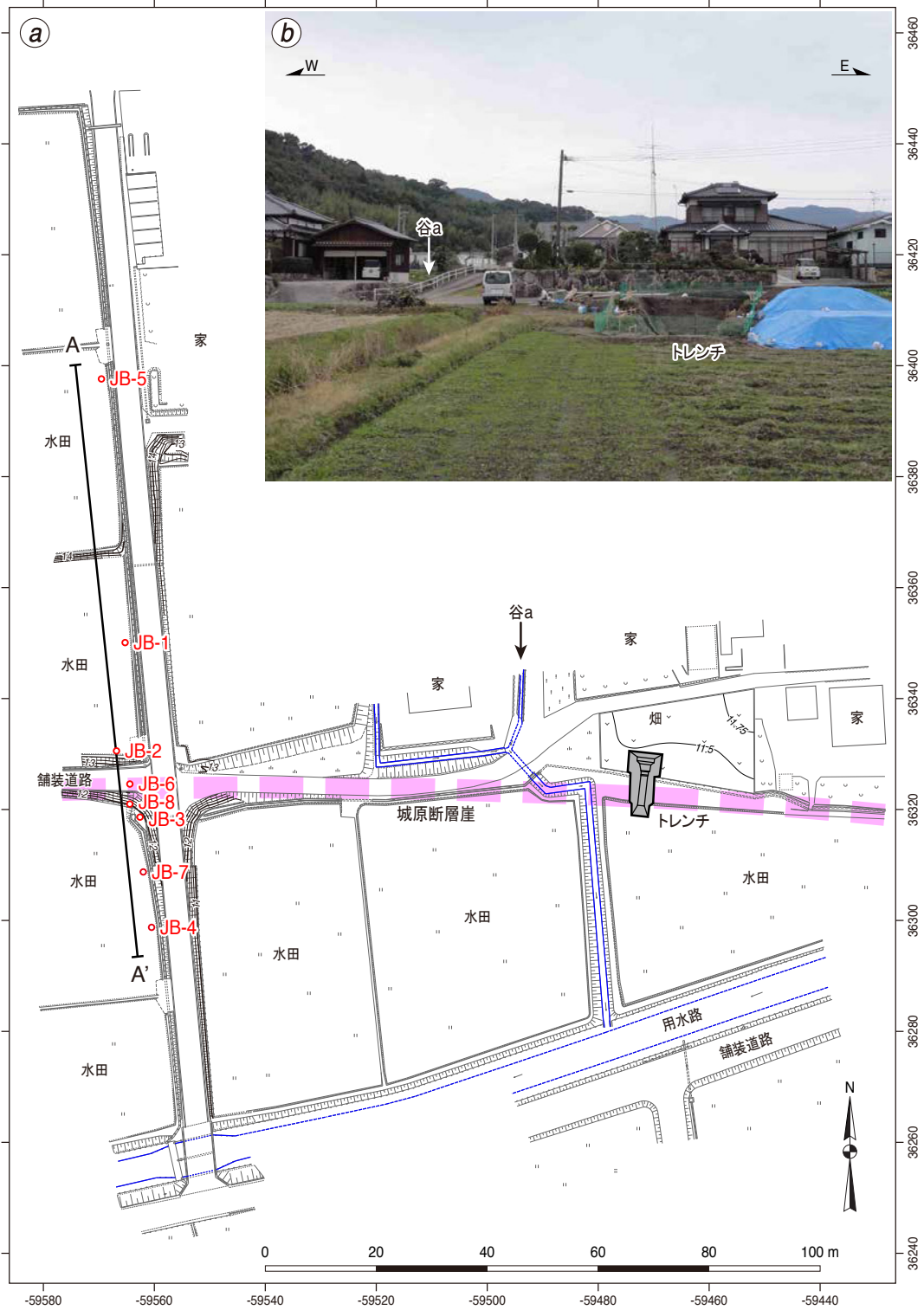


第8図. (a) 深度断面および (b) 地質構造解釈図 (鉛直誇張なし). 解析測線的位置を第2図に示す.
 Fig. 8. (a) Depth-converted P-wave seismic reflection profile and (b) interpreted profile of the seismic reflection profiling (no vertical exaggeration).
 See Fig. 2 for the location of the CMP line.



第9図. (a) 深度断面および (b) 地質構造解釈図 (鉛直誇張2倍). 解析測線の位置を第2図に示す. 第9図bの青色矢印と水色矢印はそれぞれ反射面bと反射面aを示す.

Fig. 9. (a) Depth-converted P-wave seismic reflection profile and (b) geological interpretation of the seismic reflection profiling (vertical exaggeration is x2). See Fig. 2 for the location of the CMP line. Blue arrows and the cyan arrows in Fig. 9b denote the reflector b and reflector a, respectively.



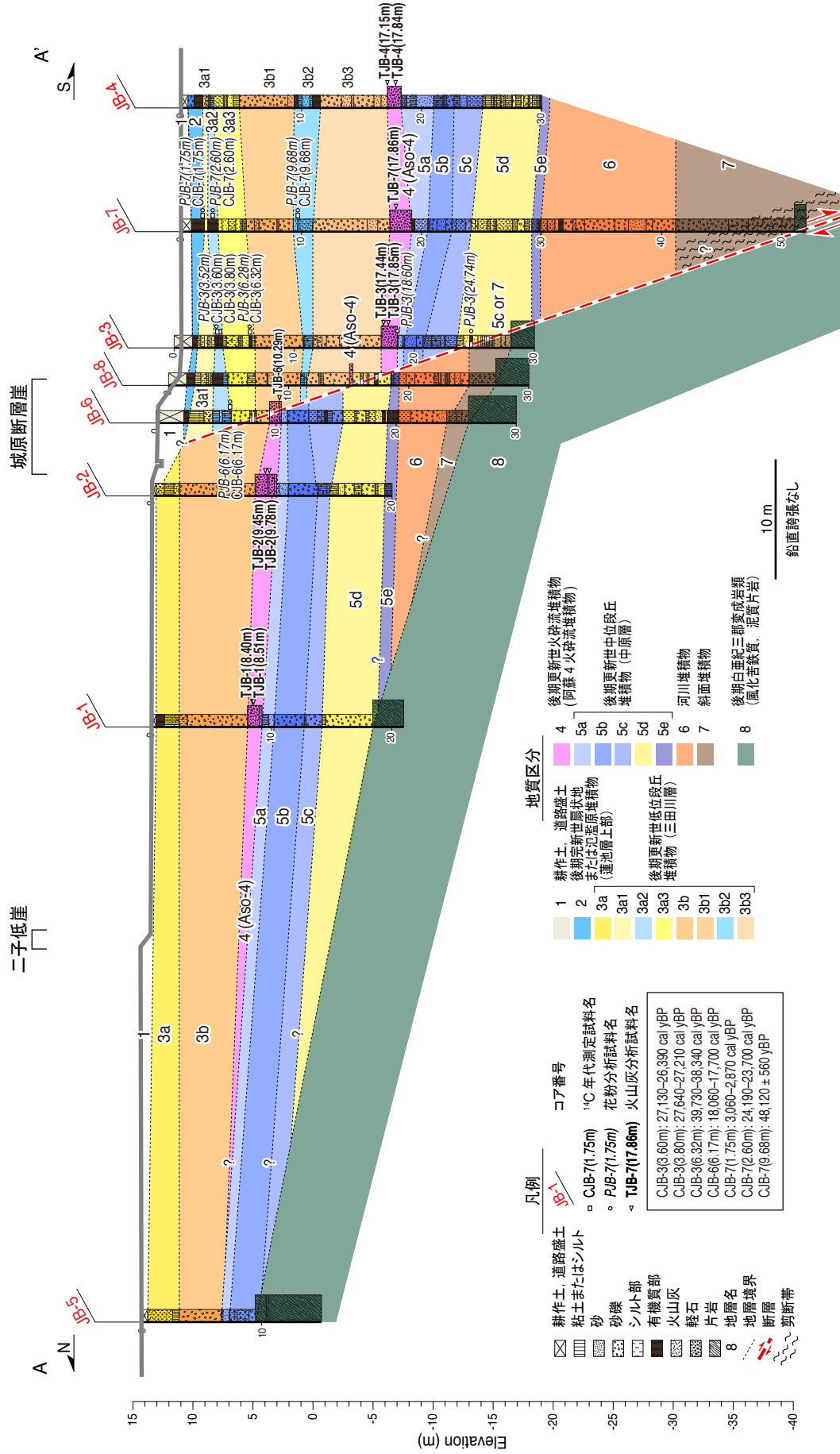
第 10 図. (a) 城原地区における群列ボーリングおよびトレンチ位置を示す測量図. 図の範囲を第 9 図 a に示す. 等高線間隔は 25 cm. 座標値は平面直角座標系 (系番号 2). (b) トレンチ掘削地点と北方に発達する谷 a. 北に向かって撮影.

Fig. 10. (a) Survey map showing locations of boreholes and a trench at the Jobaru site. Area of the figure is outlined in black polygon in Fig. 9a. Topographic contour interval is 25 cm. Values shown in outside of figure are those of Japanese plane rectangular coordinate system (system number 2). (b) A photograph showing the valley “a” and trench site. View to the north.

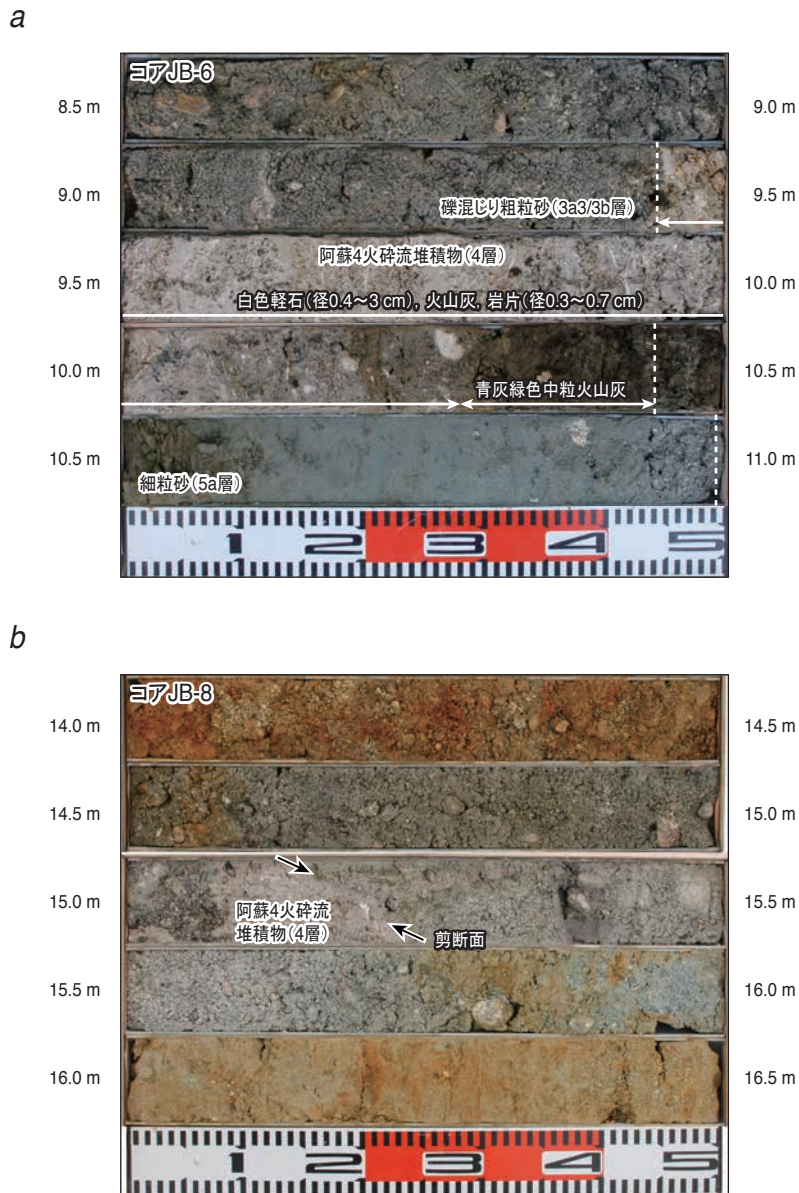


第 11 図．城原地区における城原断層崖と群列ボーリング掘削位置．北北西に向かって撮影．白丸で囲んだ車の車高は約 2 m．薄桃色は城原断層崖を示す．

Fig. 11. A photograph showing the Jobaru fault scarp and the location of a row of boreholes at the Jobaru site. View is to the north-northwest. The height of the car enclosed with an open circle is about 2 m. Pale pink denotes the Jobaru fault scarp.



第12図. 群列ボーリングに基づいて推定した城原地区の南北地質断面図。
 Fig. 12. N-S oriented geological cross section at the Jobaru site based on densely spaced boreholes. Red broken line denotes the Jobaru fault.



第 13 図. ボーリングコア写真. (a) コア JB-6 の 4 層に認められるレンズ状に潰れた粘土化した軽石 (深度 9.45~10.28 m) および中粒~粗粒砂大の成層した火山灰層 (深度 10.28~10.43 m). 白破線はユニット境界を示す. (b) コア JB-8 の 4 層中に不明瞭ながら認められる高角の剪断面 (黒矢印で示す) (深度 15.07~15.35 m). (c) コア JB-7 の 8 層および 7 層に認められる高角の剪断面 (黒矢印で示す) (深度 45.0~52.0 m). 白破線はユニット境界を示す.

Fig. 13. Photographs of boring cores. (a) Lenticular-shaped pumices (9.45–10.28 m in depth) and bedded volcanic ashes with medium to coarse sand-size grains at its basal part (10.28–10.43 m in depth) of core JB-6. White broken lines show unit boundary. (b) Weakly developed shear surfaces developed in unit 4 of core-JB-8 as shown in black arrows (15.07–15.35 m in depth). (c) Steeply dipping shear surfaces developed in units 8 and 7 of core JB-7 as shown in black arrows (45.0–52.0 m in depth). White broken lines show unit boundary.

C



第13図. 続き.
Fig. 13. Continued.

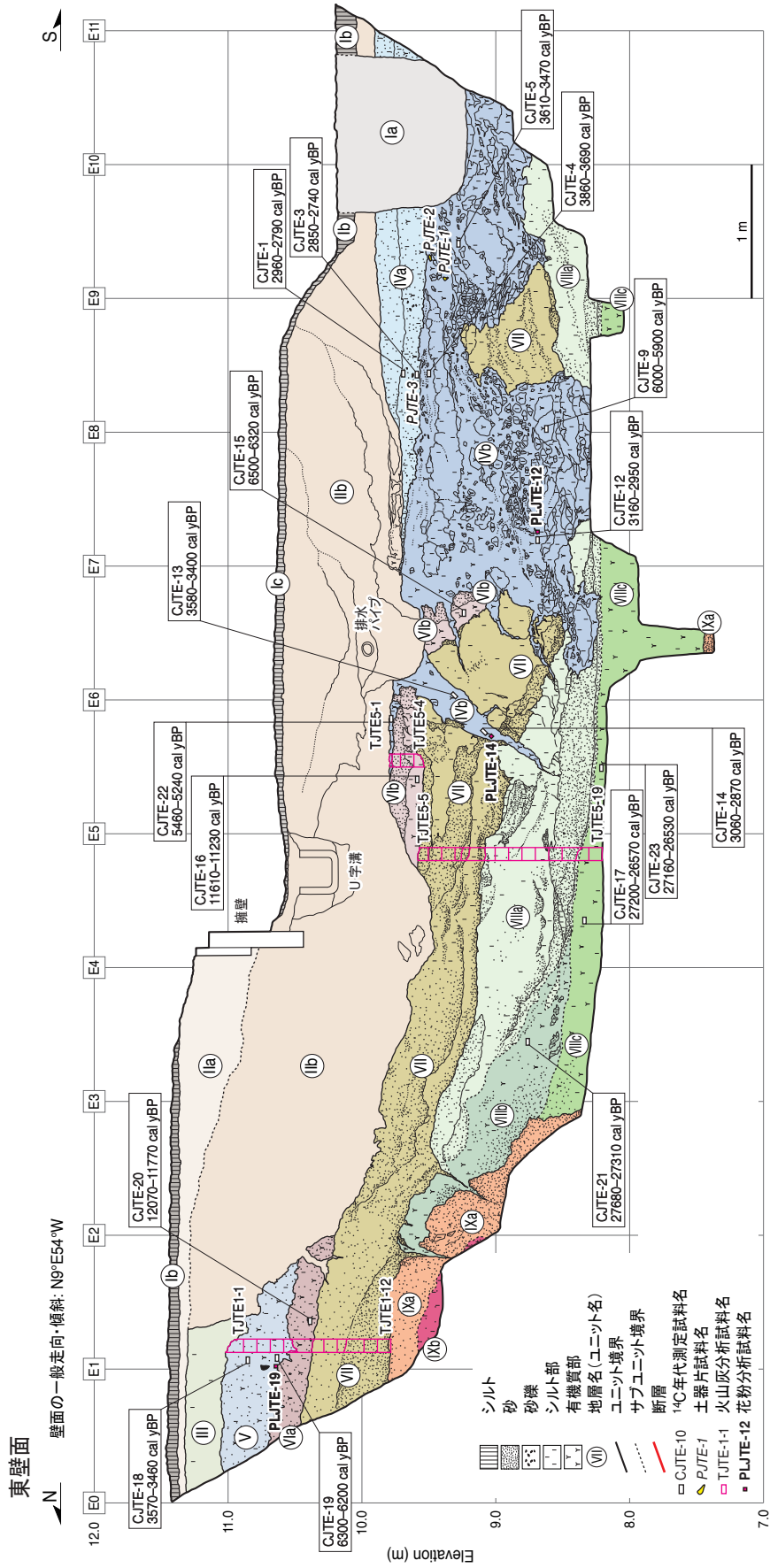


第14図．城原トレンチ東壁面のモザイク写真．

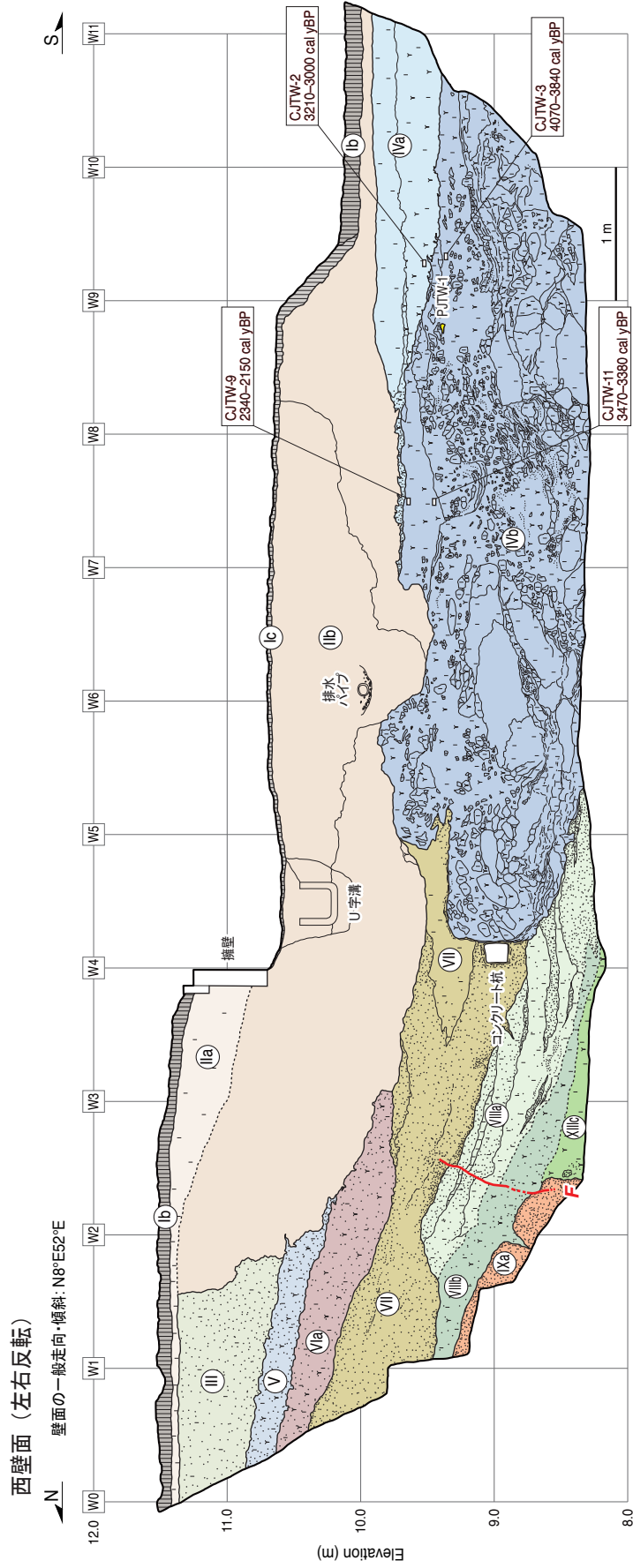
Fig. 14. Photomosaic showing the east wall of trench at the Jobaru site.



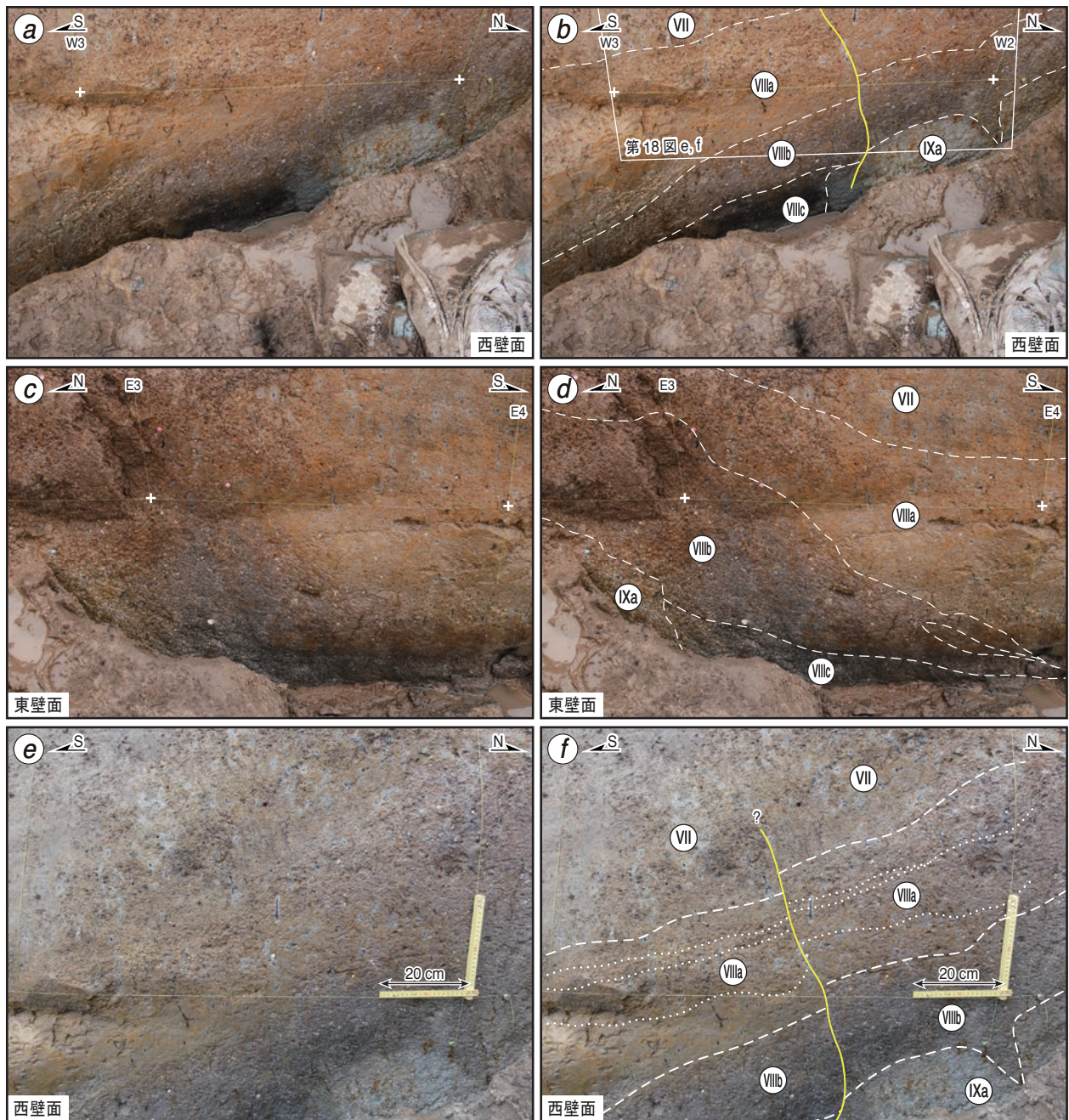
第15図. 城原トレンチ西壁面のモザイク写真 (左右反転).
Fig. 15. Photomosaic showing occurrence of west wall of trench at the Jobaru site (flipped horizontally for facilitating in comparison with east wall).



第16図. 城原トレンチ東壁面のスケッチ.
Fig. 16. Log of the east wall of trench at the Jobaru site.

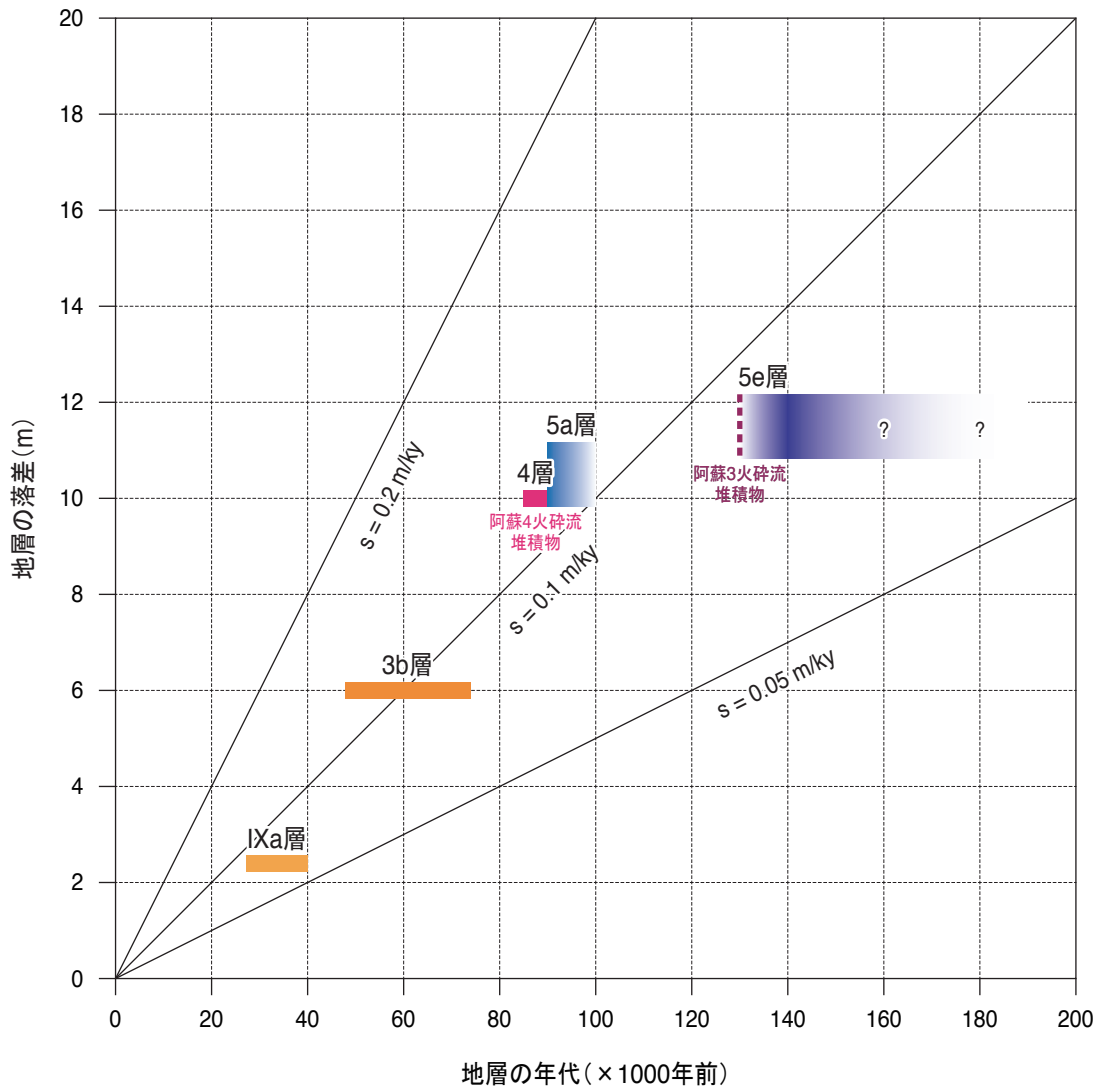


第17図. 城原トレンチ西壁面のスケッチ (左右反転). 凡例は第16図と同じ.
 Fig. 17. Log of west wall of trench at the Jobaru site (flipped horizontally for facilitating in comparison with east wall).
 Legend for this figure is same as that in Fig. 16.



第 18 図．城原トレンチ壁面の拡大写真．解釈なしの写真を左側に，解釈入りの写真を右側に示す．(a, b) 西壁面 W2～W3 付近のトレンチ最下部．断層，ユニット境界をそれぞれ黄実線，白破線で示す．(c, d) 東壁面 E3～E4 付近のトレンチ最下部．(e, f) 西壁面 W2.5 付近に認められる断層．VIIIa 層内の単層境界を白点線で示す．

Fig. 18. Close-up photographs of the trench walls. The photographs on the right side are annotated. (a and b) Stratigraphy near the bottom of the west wall approximately between W2 and W3. Yellow broken line and white broken lines show fault and unit boundary, respectively. (c and d) Stratigraphy near the bottom of the east wall approximately between E3 and E4. (e and f) A fault exposed near grid W2.5 in the west wall. White dotted lines show subunit boundary within unit VIIIa.



第 19 図. 群列ボーリング, トレンチおよび試料分析に基づく地層の落差と年代から見積もられる城原地区における城原断層の後期更新世以降の上下方向の平均変位速度. 阿蘇 3 火砕流堆積物および阿蘇 4 火砕流堆積物の噴出年代は, それぞれ下山ほか (2010) および町田・新井 (2003) に基づく.

Fig. 19. Diagram showing the vertical component of average slip rate for the Jobaru fault at the Jobaru site since the late Pleistocene as estimated from throws and ages of the stratigraphic units based on the densely spaced boreholes, trench and dating. The eruption ages of Aso-3 and Aso-4 pyroclastic flows are after Shimoyama et al. (2010) and Machida and Arai (2003), respectively.

コアJB-1

標高 (m)	層厚 (m)	深度 (m)	柱状図	地質区分	色調	記号	地層名
13.04	0.40	0.40		耕作土	暗褐	耕作土	1
12.34	0.70	1.10		砂混りシルト	褐灰	やや腐植質の砂混りシルト	3a
11.44	0.90	2.00		砂混りシルト	褐灰	砂混りシルト 砂分は花崗岩類起源の粗粒砂。	
11.14	0.30	2.30		シルト質砂	褐灰	砂質シルト	
5.44	5.70	8.00		礫混り粗粒砂	褐灰～褐	礫混り粗粒砂 礫は径3 cm程度の歪角～歪円礫が主体。最大径5 cm。 2.30～3.00 m: 基質にシルトを含む。 3.00～4.90 m: 基質は粗粒砂主体。 4.78～4.86 m: 炭化した植物片を含む。 4.90～7.67 m: 径1～3 cmの歪角～円礫を多く含む。	3b
4.24	1.20	9.20		火砕流堆積物	灰	火砕流堆積物 径1～3 cmの白色軽石と火山灰からなる。基質支持。基質は灰色。	4
3.69	0.55	9.75		シルト	褐灰	粘土・シルト。粗粒砂を含む。	5a
3.24	0.45	10.20		粗粒砂	褐灰	中粒～極粗粒砂	
0.73	2.51	12.71		礫混り極粗粒砂	黄褐	礫混り極粗粒砂 径0.7～7 cmの概ね新鮮な花崗岩類の歪円～歪角を主体とする。円礫を含む。	5b
-0.76	1.49	14.20		礫混り粗粒砂	褐	礫混り粗粒砂 径0.2～3 cmのやや風化～風化した花崗岩類の歪角礫～角礫を主体とする。片岩類を含む。	5c
-1.06	0.30	14.50		シルト	褐	砂質シルト	5d
-4.99	3.93	18.43		礫混り極粗粒砂	褐～褐灰	礫混り極粗粒砂～細礫 風化し砕けて細片化した片岩礫を多く含む。基質はややシルト混りの極粗粒砂。礫は径0.3～5 cmの歪角～角礫を主体として円礫を含む。 16.65～16.90 m: 強風化し粘土化した片岩礫を多く含む。	
-7.56	2.57	21.00		塩基性片岩	褐・緑灰	風化した塩基性片岩	8

付図 A1. 城原地区ボーリングコア JB-1 の柱状図。

Appendix Fig. A1. Columnar section and geologic description of core JB-1 at the Jobaru site.

コアJB-2

標尺 (m)	標高 (m)	層厚 (m)	深度 (m)	柱状図	地質区分	色調	記号	地層名
	13.06	0.35	0.35		耕作土	暗褐	耕作土	1
	12.41	0.65	1.00		シルト質粗粒砂	褐～褐灰	シルト質粗粒砂	3a
	11.61	0.80	1.80		砂混りシルト		砂混りシルト	
	11.11	0.50	2.30		シルト質粗粒砂		シルト質粗粒砂	
	4.82	6.29	8.59		礫混り粗粒砂	褐	礫混り粗粒砂 礫は径2～3 cmの花崗岩類円礫が主体をなす。基質は粗粒砂が主体。 7.60～8.59 m: 径1 cm程度の風化した花崗岩類礫を多く含む。	3b
10	3.03	1.79	10.38		火砕流堆積物	灰	火砕流堆積物 径1～5 cmの白色軽石と灰色火山灰からなる。デイサイト岩片を含む。 9.60～9.75 m: 火山灰(中粒～粗粒) 10.20～10.38 m: 火山灰(中粒～粗粒)	4
	2.05	0.98	11.36		中粒砂	暗灰～灰	中粒砂 10.38～10.60 m: シルト混り細粒砂。 10.60～11.36 m: 均質な中粒砂。	5a
	-0.37	2.42	13.78		礫混り粗粒砂	灰～褐	礫混り粗粒砂 11.36～11.60 m: 径0.5～1 cmの花崗岩類円礫が主体。 11.60～12.60 m: 径2～5 cmの花崗岩類円礫が主体。 12.60～13.78 m: 径1 cm程度の花崗岩類垂円～歪角礫が主体。	5b
	-1.40	1.03	14.81		礫混りシルト	灰～黄褐	13.78～13.89 m: シルト混り細粒砂。 13.89～14.57 m: 礫混りシルト。 14.57～14.81 m: 礫混りシルト質砂。	5c
	-2.11	0.71	15.52		シルト	褐灰	シルト 砂混りシルトおよび砂質シルト	5d
	-2.62	0.51	16.03		細粒砂	黄褐	シルト混り細粒砂	
	-3.43	0.81	16.84		礫混り極粗粒砂	褐灰	基質は花崗岩類の風化礫が細片化したものを主体とする。	5d
	-4.10	0.67	17.51		礫混りシルト	黄灰	径0.2～1 cmの風化した花崗岩類礫と砂粒子が散在する。	
	-5.16	1.06	18.57		礫混り極粗粒砂	黄褐～黄灰	礫混り極粗粒砂～粗粒砂 礫は径0.2～4 cmのやや風化した花崗岩類の垂角～角礫が主体。	5e
	-5.41	0.25	18.82		シルト	灰～青灰	18.57～18.62 m: 細粒砂 18.62～18.82 m: やや腐植質で砂質 18.82～19.38 m: シルト質極粗粒砂	
	-5.97	0.56	19.38		粗粒砂	灰～青灰		
	-6.59	0.62	20.00		礫混りシルト	灰～青灰	礫混りシルト-粘土	

付図 A2. 城原地区ボーリングコア JB-2 の柱状図。

Appendix Fig. A2. Columnar section and geologic description of core JB-2 at the Jobaru site.

コアJB-3

標高 (m)	層厚 (m)	深度 (m)	柱状図	地質区分	色調	記号	地層名
10.84	0.73	0.73		盛土	褐灰	盛土 0.18~0.73 m: 礫混り砂質シルト	1
10.04	0.80	1.53		礫混り粗粒砂	緑灰	0.73~0.86 m: やや腐植質砂質シルト 0.86~1.53 m: 礫混り中粒~粗粒砂	
9.64	0.40	1.93		腐植質シルト	暗褐灰	腐植質シルト	2
8.16	1.48	3.41		粗粒砂	灰	1.93~2.22 m: 青灰色砂質シルト 2.22~2.53 m: シルト質極粗粒砂 2.53~2.78 m: シルト質細粒~中粒砂 2.89~3.08 m: シルト質極粗粒砂 3.08~3.41 m: 砂質シルト・粗粒砂互層	3a1
7.51	0.65	4.06		砂質シルト	暗灰	3.41~4.06 m: 腐植質シルト 3.63~4.06 m: 径0.5 cm風化礫散在	3a2
6.22	1.29	5.35		極粗粒砂	灰	4.06~4.35 m: 礫混りシルト 4.35~5.35 m: シルト~細粒砂混り極粗粒砂~細礫。概ね新鮮な径0.2~0.5 cm垂角礫主体。	3a3
5.90	0.32	5.67		シルト	灰	砂混りシルト	
5.32	0.58	6.25		極粗粒砂	灰	極粗粒砂~細礫	
4.84	0.48	6.73		シルト	灰	やや腐植質のシルト	
0.80	4.04	10.77		礫混り極粗粒砂	灰~黄灰	礫混り粗粒~極粗粒砂 礫は径2~6 cmの概ね新鮮な花崗岩類垂角礫を主体とし、垂角礫を含む。基質はシルト分を含む細粒~極粗粒砂で極粗粒砂を主体とする。	3b1
-0.24	1.04	11.81		礫混りシルト	黄褐	10.77~10.83 m: シルト質極粗粒砂 10.83~11.56 m: 礫混りシルト 11.56~11.81 m: 礫混りシルト質細粒砂	3b2
-5.67	5.43	17.24		礫混り極粗粒砂	黄灰~黄褐	11.81~11.95 m: 中粒~粗粒砂 11.95~12.32 m: 礫混り粗粒~極粗粒砂。径1~3 cmの円礫を主体とし0.5~1 cmの垂角~垂円礫を含む。 12.32~12.68 m: 礫混り中粒~粗粒砂 12.68~17.24 m: 礫混り粗粒~極粗粒砂。不淘汰。径0.5~5 cmの概ね新鮮~やや風化した花崗岩類垂角~垂円礫を主体とする。基質は、粗粒~極粗粒砂を主体とする。	3b3
-7.01	1.34	18.58		火砕流堆積物	灰	火砕流堆積物 径0.4~2 cmの白色軽石と灰色火山灰からなる。	4
-7.54	0.53	19.11		細~中粒砂	淡黄灰	18.58~18.64 m: やや腐植質のシルト 19.11~19.20 m: 粗粒~極粗粒砂 19.20~20.17 m: 極粗粒砂~細礫	5a
-8.60	1.06	20.17		礫混り極粗粒砂	黄灰	礫混り極粗粒砂~細礫	5b
-9.16	0.56	20.73		砂質シルト	黄褐~褐灰	20.73~21.46 m: 砂質シルト。部分的に風化した花崗岩類礫を含む。 21.46~22.22 m: 礫混り砂質シルト径0.2~1 cmの概ね新鮮~やや風化した花崗岩類垂角礫が散在。	
-10.65	1.49	22.22		礫混り細粒砂	黄褐	22.22~22.48 m: シルト質極粗粒砂 22.48~22.62 m: 礫混りシルト 22.62~23.52 m: 礫混りシルト質細粒砂	5c
-11.95	1.30	23.52		シルト	黄褐	シルト~シルト質極粗粒砂	
-12.56	0.61	24.13		粗粒砂	黄褐	礫混り極粗粒砂~細礫	5d
-13.04	0.48	24.61		シルト	黄灰	24.61~24.87 m: やや腐植質のシルト	
-13.30	0.26	24.87		極粗粒砂	灰・黄褐	25.30~25.55 m: 礫混り極粗粒砂~細礫 25.55~25.68 m: 礫混りシルト質細粒砂 25.68~25.89 m: 粗粒砂~細礫	5d
-14.32	1.02	25.89		シルト質細粒砂	黄灰	25.89~26.02 m: 砂混りシルト 26.02~26.24 m: シルト混り細粒砂	
-14.93	0.61	26.50		礫混り細粒砂	黄灰・褐灰	26.50~26.63 m: 礫混り砂混りシルト 26.63~27.22 m: シルト質細粒砂 27.22~27.58 m: 強風化した礫混りシルト質細粒砂。強風化した片岩礫を含む。	8
-16.50	1.57	28.07		泥質片岩	暗緑灰・暗褐	風化した泥質片岩	
-18.43	1.93	30.00		泥質片岩	暗緑灰・暗褐		8

付図 A3. 城原地区ボーリングコア JB-3 の柱状図。

Appendix Fig. A3. Columnar section and geologic description of core JB-3 at the Jobaru site.

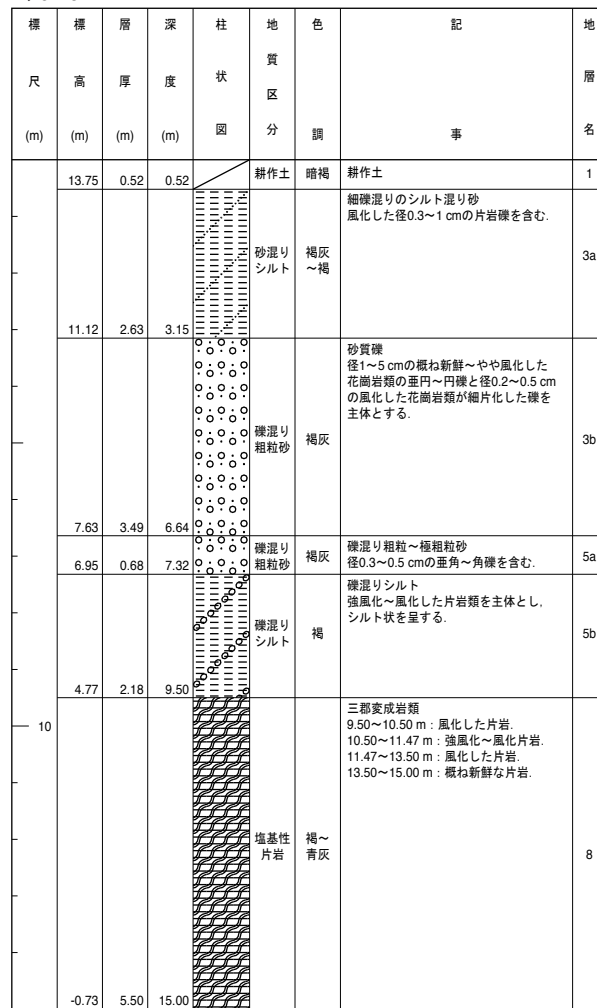
コアJB-4

標 尺 (m)	層 高 (m)	層 厚 (m)	深 度 (m)	柱 状 図	地 質 区 分	色 調	記 事	地 層 名
10.40	0.55	0.55			耕作土	灰	耕作土	1
9.89	0.51	1.06			砂質シルト	灰	礫混り砂質シルト	2
9.17	0.72	1.78			シルト	灰	やや腐植質のシルト	
8.73	0.44	2.22			シルト質粗粒砂		1.78~2.03 m: 礫混りシルト質細粒砂	3a1
8.28	0.45	2.67			シルト質粗粒砂	灰~暗灰	2.22~2.30 m: 細粒砂混りシルト 2.45~2.67 m: 砂質シルト	3a2
7.43	0.85	3.52			シルト質粗粒砂	灰~暗灰	2.67~3.52 m: シルト混じり極粗粒砂~細礫	3a3
6.64	0.79	4.31			粗粒砂	灰	不淘汰な粗粒砂が主体。 3.52~3.61 m: 砂混りシルト 3.76~3.82 m: 砂混りシルト	
6.13	0.51	4.82			シルト	淡青灰	砂混りシルト	
1.57	4.56	9.38			礫混り粗粒砂	灰~淡褐灰	4.82~5.13 m: 礫混り粗粒砂 径1~4 cmの概ね新鮮な花崗岩類重角~重円礫が主体。 5.13~8.86 m: 礫混り粗粒~極粗粒砂 径1~6 cmの概ね新鮮な花崗岩類重角~重円礫が主体。	3b1
-0.63	2.20	11.58			礫混りシルト	淡黄褐~灰~暗灰	9.38~9.73 m: やや腐植質の砂混りシルト 9.73~10.05 m: 粗粒砂混りシルト 10.05~10.68 m: シルト混り極細粒砂 10.68~10.92 m: シルト・極細粒砂互層 10.92~11.58 m: やや腐植質の礫混り砂質シルト	3b2
-6.20	5.57	17.15			礫混り極粗粒砂	黄褐~褐灰	11.58~13.33 m: 礫混り粗粒~極粗粒砂。礫は径1~3 cmの概ね新鮮な重円~重角礫と径0.2~0.5 cmの角礫からなる。 13.33~14.16 m: 粗粒~極粗粒砂 14.16~14.35 m: シルト質細粒砂 14.35~16.03 m: 礫質粗粒~極粗粒砂 16.03~16.63 m: 粗粒砂。弱いラミナ。 16.63~17.15 m: 片岩起源の極粗粒砂	3b3
-7.35	1.15	18.30			火砕流堆積物	灰	火砕流堆積物 径0.4~3 cmの白色軽石と灰色火山灰からなる。	4
-10.05	2.70	21.00			シルト質細粒砂	灰~淡青灰	18.30~18.45 m: 砂混りシルト 18.45~18.60 m: シルト質細粒砂 18.60~18.69 m: シルト質中粒砂 18.69~18.77 m: シルト質細粒砂 18.77~19.10 m: シルト混り粗粒砂 19.10~19.54 m: 砂混りシルト 風化した片岩の岩片を含む。 19.54~21.00 m: 比較的均質な細粒砂	5a
-11.14	1.09	22.09			砂質シルト	黄褐	21.00~21.77 m: 礫混りシルト 21.77~21.86 m: 粗粒砂混りシルト 21.86~22.09 m: 細粒砂混りシルト	5b
-11.75	0.61	22.70			礫混り粗粒砂	黄褐~褐灰	礫混り粗粒~極粗粒砂	5c
-12.25	0.50	23.20			礫混りシルト	黄褐	礫混りシルト。強風化片岩礫を含む。	
-14.15	1.90	25.10			シルト質粗粒砂	黄褐	23.20~23.77 m: 不淘汰なシルト質細粒~極粗粒砂 23.77~25.10 m: 不淘汰な礫混りシルト混り粗粒~極粗粒砂。径0.3~0.5 cmの風化した片岩角礫を含む。	5c
-16.62	2.47	27.57			砂質シルト	灰~淡青灰	25.10~25.31 m: 粗粒~極粗粒砂混りシルト 25.31~25.81 m: 粘土・シルト 25.81~26.00 m: 極細粒砂質シルト 26.00~26.05 m: シルト混り粗粒砂 26.05~26.56 m: 砂混りシルト・粘土 26.67~26.85 m: 礫混りシルト質砂 26.99~27.49 m: 粘土	5d
-17.55	0.93	28.50			礫混り粗粒砂	灰	27.57~27.85 m: 礫混り極粗粒砂 27.85~28.27 m: 粗粒砂混りシルト	
-19.05	1.50	30.00			砂混りシルト	灰~淡黄褐	28.50~28.87 m: 礫混りシルト質細粒砂 28.87~28.99 m: 粗粒~極粗粒砂 28.99~29.22 m: シルト質細粒~中粒砂 29.80~29.88 m: 中粒~粗粒砂 29.88~29.96 m: 腐植質砂質シルト 29.96~30.00 m: 細粒~中粒砂	

付図 A4. 城原地区ボーリングコア JB-4 の柱状図。

Appendix Fig. A4. Columnar section and geologic description of core JB-4 at the Jobaru site.

コアJB-5



付図 A5. 城原地区ボーリングコア JB-5 の柱状図。

Appendix Fig. A5. Columnar section and geologic description of core JB-5 at the Jobaru site.

コアJB-6

標尺 (m)	標高 (m)	層厚 (m)	深度 (m)	柱状図	地質区分	色調	記 事	地層名
					盛土	暗灰	道路盛土、路床、アスファルトからなる。	1
	10.75	2.31	2.31		腐植質シルト	暗褐灰	腐植質砂質シルト	2
	10.38	0.37	2.68		砂質シルト	褐～褐灰	砂混りシルト、シルト混り礫質粗粒～極粗粒砂を主体とする。礫は径0.2～0.5 cmの花崗岩類の垂角～垂円礫を主体とする。	3a1
	8.34	2.04	4.72		砂質シルト	褐灰	礫混り砂質シルトおよびや腐植質の礫混りシルトが主体をなす。	3a2
	6.77	1.57	6.29		礫混り粗粒～極粗粒砂	黄褐～褐灰	礫混り粗粒～極粗粒砂が主体をなし、砂質シルトおよびシルト質砂を挟む。7.86～7.94 m：緑灰色砂質シルト 8.29～8.40 m：シルト質砂	3a3/ 3b
	3.61	3.16	9.45		火砕流堆積物	灰～褐灰	火砕流堆積物。径0.4～3 cmの白色軽石、火山灰、岩片からなる。10.28～10.43 m：中粒の火山灰	4
	2.63	0.98	10.43		細粒砂	青灰	細粒～中粒砂	5a
	2.12	0.51	10.94		礫混り粗粒砂	灰	礫混り粗粒～極粗粒砂。礫は径0.5～5 cmの概ね新鮮な花崗岩類の垂円礫を主体とする。	5b
	0.34	1.78	12.72		シルト質粗粒砂	黄褐～暗灰	礫混りシルト質粗粒砂を主体とし、腐植質シルトを挟む。礫は径0.2～1 cmの概ね新鮮～やや風化した花崗岩類の垂角～垂円礫を主体とする。 14.02～14.22 m：腐植質シルト	5c
	-2.51	2.85	15.57		粗粒砂	褐灰～青灰	粗粒～極粗粒砂を主体とし、シルト質中粒砂、腐植質シルトを挟む。 17.51～17.60 m：やや腐植質の砂混りシルト 18.84～18.92 m：青灰色砂質シルト 18.92～19.04 m：腐植質砂質シルト	5d
	-6.20	3.69	19.26		腐植質シルト	暗灰	腐植質シルトが主体をなし、粗粒～極粗粒砂層を挟む。	5e
	-7.14	0.94	20.20		礫混り粗粒砂	褐～黄褐	礫混り粗粒～極粗粒砂が主体をなす。	6
	-11.16	4.02	24.22		礫質シルト	淡緑灰	不淘汰な礫混り砂質シルト。 25.48～26.02 m：風化した垂円～円礫を多く含む砂質シルト。	7
	-12.96	1.80	26.02		塩基性片岩	褐～灰～暗灰	三郡変成岩類、強風化した片岩。	8
	-16.94	3.98	30.00					

付図 A6. 城原地区ボーリングコア JB-6 の柱状図。

Appendix Fig. A6. Columnar section and geologic description of core JB-6 at the Jobaru site.

コアJB-7

標 尺 (m)	層 高 (m)	層 厚 (m)	深 度 (m)	柱 状 図	地 質 区 分	色 調	記 事	地 層 名
	10.13	0.84	0.84		耕作土	褐灰	耕作土 土器片点在	1
	9.06	1.07	1.91		腐植質 シルト	暗灰	腐植質シルト	2
	8.79	0.27	2.18		シルト	灰	シルト	3a1
	7.91	0.88	3.06		腐植質 シルト	褐灰	やや腐植質の砂混りシルトおよびやや腐植質のシルト質粗粒～極粗粒砂。	3a2
	5.57	2.34	5.40		細粒～ 粗粒砂	淡青灰	砂質シルト，シルト質細粒砂，細粒～中粒砂互層。 5.07～5.18 m：やや腐植質の砂混りシルト	3a3
	1.67	3.90	9.30		礫混り 粗粒砂	淡青灰	礫混り粗粒～極粗粒砂を主体とし，礫混り細粒砂，シルト混り細粒砂，砂混りシルトを挟む。 8.00～8.09 m：砂混りシルト	3b1
10	0.04	1.63	10.93		砂混り シルト	青灰	砂混りシルトを主体とし，粗粒～極粗粒，腐植質の砂混りシルトを挟む。 9.40～9.66 m：粗粒～極粗粒砂 9.66～9.79 m：腐植質の砂混りシルト	3b2
	-6.38	6.42	17.35		礫混り 粗粒砂	黄褐	礫混り粗粒～極粗粒砂を主体とする。 16.03～16.40 m：礫混り細粒～中粒砂	3b3
	-8.20	1.82	19.17		火砕流 堆積物	灰	火砕流堆積物。径0.4～5 cmの白色軽石，火山灰，岩片からなる。	4
20	-9.53	1.33	20.50		シルト質 細粒砂	青灰	シルト質細粒砂を主体とする。 19.17～19.40 m：やや腐植質のシルト質極粗粒～細粒砂。	5a
	-11.54	2.01	22.51		礫混り 粗粒砂	黄褐	礫混り粗粒～極粗粒砂を主体とする。	5b
	-13.13	1.59	24.10		シルト質 粗粒砂	褐灰	礫混りのシルト質砂を主体とする。 22.86～23.64 m：シルト混り砂混り礫，風化礫～概ね新鮮な礫を主体とする淘汰の悪い堆積物。	5c
	-18.19	5.06	29.16		シルト 質砂	褐～灰	シルト質粗粒砂を主体とする。 24.10～24.50 m：シルト質細粒砂 24.69～25.75 m：砂質シルト 26.47～26.61 m：砂混りシルト 27.80～27.97 m：砂混りシルト 28.62～28.79 m：シルト質細粒～極粗粒砂	5d
30	-18.91	0.72	29.88		極細粒 砂	淡青灰	極細粒～細粒砂，ややシルト質のシルト混り細粒砂からなる。	5e

付図 A7a. 城原地区ボーリングコア JB-7 の柱状図 (深度 0～30 m).

Appendix Fig. A7a. Columnar section and geologic description of core JB-7 at the Jobaru site (0–30 m in depth).

コアJB-7

標 尺 (m)	層 高 (m)	層 厚 (m)	深 度 (m)	柱 状 図	地 質 区 分	色 調	記 事	地 層 名
30								
	-20.97	2.06	31.94		シルト質 細粒砂	黄褐	粗粒～極粗粒砂混りシルト。シルト混り粗粒～極粗粒砂を主体とする。 31.40～31.76 m：やや腐植質の砂混りシルト	6
					礫混り 粗粒砂	褐灰	礫混り粗粒～極粗粒砂を主体とする。 33.56～36.08 m：礫質粗粒～極粗粒砂～細礫 39.25～39.81 m：風化した片岩礫を含み、シルト混り粗粒砂状を呈する。	
40								
	-30.18	9.21	41.15		礫混り 粗粒砂	褐	礫質のシルト混り粗粒～極粗粒砂	7
	-32.06	1.88	43.03		礫混り 粗粒砂	褐	泥質片岩の角礫を主体とし、花崗岩類の礫を含む半固結状の礫層。礫は径0.3～3 cmの概ね新鮮～やや風化した角礫～重角礫が主体をなす。 45.60 m：傾斜角60°の断面 47.40 m：傾斜角85°の断面 49.40 m：傾斜角50～60°の剪断面密集 50.30 m：傾斜角65°の剪断面	
50								
	-40.08	8.02	51.05		礫混り シルト	褐灰～ 緑灰		8
	-41.03	0.95	52.00		緑色 片岩	緑灰	三郡変成岩類 黒色～緑灰色の片岩。潜在亀裂が発達し、一部角礫状を呈する。	

付図 A7b. 城原地区ボーリングコア JB-7 の柱状図 (深度 30～52 m).

Appendix Fig. A7b. Columnar section and geologic description of core JB-7 at the Jobaru site (30–52 m in depth).

コアJB-8

標 尺 (m)	標 高 (m)	層 厚 (m)	深 度 (m)	柱 状 図	地 質 区 分	色 調	記 事	地 層 名
	10.51	1.50	1.50		盛土	黄褐灰	道路盛土	1
	9.83	0.68	2.18		腐植質シルト	褐灰	腐植質砂質シルト	2
	8.29	1.54	3.72		砂質シルト	黄褐	砂質シルトおよびシルト混り細粒～極粗粒砂からなる。 3.12～3.17 m: 中粒～粗粒砂	3a1
	7.09	1.20	4.92		腐植質シルト	暗灰	腐植質シルトおよび砂混りシルトからなる。	3a2
	4.79	2.30	7.22		礫混り粗粒砂	淡褐灰	礫混り中粒～極粗粒砂を主体とする。一部シルト質である。礫は径0.2～1 cmの概ね新鮮な花崗岩類の歪円～歪角礫を主体とする。	3a3
10	1.03	3.76	10.98		礫混り粗粒砂		礫混り中粒～極粗粒砂を主体とし、シルト混り細粒砂層および中粒～粗粒砂層を挟む。 8.20～8.28 m: シルト混り細粒砂	3b1
	0.51	0.52	11.50		砂質シルト	黄褐～淡緑灰	礫混り砂質シルト	3b2
	-3.06	3.57	15.07		礫混り粗粒砂		礫混り中粒～極粗粒砂を主体とし、砂混りシルト層を挟む。	3b3
	-3.34	0.28	15.35		火砕流堆積物	灰	火砕流堆積物	4
	-6.50	3.16	18.51		礫混り粗粒砂	黄褐	礫混り粗粒～極粗粒砂を主体とし、シルト混り粗粒砂層および細粒～中粒砂層を挟む。	5d
	-7.19	0.69	19.20		シルト	青灰	腐植質シルト、シルトおよびシルト質細粒砂からなる。	5e
20	-13.02	5.83	25.03		礫混り粗粒砂	黄褐	礫混り粗粒～極粗粒砂を主体とする。礫は径0.3～5 cmの概ね新鮮な花崗岩類の歪円～円礫を主体とする。 砂質シルト、細粒～中粒砂および粗粒～極粗粒砂を主体とする。 礫混り中粒～粗粒砂	6
	-15.25	2.23	27.26		礫混りシルト	淡緑灰	礫混りシルト、砂混りシルトを主体とする。 25.38～27.00 m: 片岩の概ね新鮮～風化した礫、強風化片岩起源のシルトおよび砂からなる。	7
	-17.99	2.74	30.00		塩基性片岩	褐灰	三郎変成岩類風化した片岩。	8

付図 A8. 城原地区ボーリングコア JB-8 の柱状図。

Appendix Fig. A8. Columnar section and geologic description of core JB-8 at the Jobaru site.