

庄内平野東縁断層帯の古地震調査

Paleoseismological investigation of the Shonai-heiya-toen fault zone, Yamagata Prefecture, northern Honshu, Japan

遠田晋次¹・吾妻 崇²・小俣雅志³・郡谷順英⁴・岩崎孝明⁵

Shinji Toda¹, Takashi Azuma², Masashi Omata³, Yorihide Koriya⁴ and Takaaki Iwasaki⁵

^{1,2} 活断層研究センター (Active Fault Research Center, GSJ/AIST, s-toda@aist.go.jp)

^{3,4} 株式会社アイ・エヌ・エー (INA corporation)

⁵ アイ・エー・エス地質調査 (IAS geologic consultant)

Abstract: The 36-km-long N-S-trending Shonai-heiya-toen fault zone, where the Shonai plain is bounded on the Dewa hill in northeast Honshu, Japan, is composed of six co-parallel reverse faults. To reveal the paleoseismic history and evaluate the future earthquake potential on the fault zone, we excavated paleoseismic trenches and extracted bore-hole soil samples at three sites, Terada, Odaira, and Tsuchibuchi across the fault zone. At Terada site on the Kan-nonji fault, western part of the Shonai-heiya-toen fault zone, the trench walls exposed warped alternating beds of fine-grained sand and silt layers deposited during the past 5,000 years. Sand dikes and subsidiary normal faults associated with the sudden deformation and strong shaking were also observed. From the trench walls, we recovered the evidence for two surface-rupturing earthquakes during a period of 2,500 to 40,000 years B. P. On the contrary, trenches across the Torigoe fault which might be a back thrust fault of the Kan-nonji fault barely provided us the evidence for less active faulting of at least 2 time movements during the past 40,000 years. We also found evidence for three surface-rupturing events during the past 40,000 years on the Matsuyama fault that is located on southeastern part of the entire fault zone. Together with the other paleoseismic studies and seismic reflection profiles, we conclude that average recurrence interval of the large earthquakes on the Kan-nonji fault is about 1,000-2,000 years which is about a half of the previous estimate, whereas the one on the Matsuyama fault is less active by a factor of ten. This allows us to divide the Shonai-heiya-toen fault zone into at least two behavioral segments and thus decreases the maximum magnitude. In terms of the frequency of M6-7 class earthquakes, our study may increase the earthquake probability if one also considers blind thrust activity associated with the surface active folds such as the 2004 Niigata-ken-Chuetsu (Mid-Niigata Prefecture) earthquake.

キーワード: 活断層, 庄内平野東縁断層, 観音寺断層, 松山断層, トレンチ調査, 古地震

Keywords: active fault, Shonai-heiya-toen fault, Kan-nonji fault, Matsuyama fault, trench excavation, paleoseismology

1. はじめに

庄内平野東縁断層帯は、山形県飽海郡遊佐町から酒田市東部を経て鶴岡市(旧藤島町)にいたる長さ約38 kmの、東側上がりの逆断層帯である(地震調査研究推進本部地震調査委員会〔以下推本と略す〕, 2005)。同断層帯は、松田(1990)の概念に従い、複数の不連続な断層からなる1つの起震断層と想定されている。主たる構成断層は北から、下当断層、野沢断層、月光川断層、観音寺断層、通越断層、松山断層である(活断層研究会, 1991)。なお、このうち観音寺断層と松山断層は、地質断層である生石断層と酒田衝上断層帯の一部(池辺ほか, 1979)にほぼ対応する(小松原, 1997など)。

同断層帯では、今後30年間にM7.5程度の地震が

「ほぼ0%~6%」の確率で発生するとされている(推本, 2005)。この値は、活動間隔2,400年~4,600年程度、最新活動時期が約3,000年前以降18世紀以前との判断に基づく。活動区間に関しては、断層帯全てを一つの起震断層として評価している。しかし、同断層帯では上記のように活動的な2~4条の逆断層・活褶曲帯が並走する。そのため、これら全てが同時に活動して大規模な地震を生じるのか、別々に活動して規模はやや小さくなりつつも高頻度で活動するのかなど、活動セグメント区分に基づく確な地震ポテンシャル評価を行う必要がある。また、断層関連褶曲形成に関わる地震発生メカニズムや1894年M7.0庄内地震の位置づけ等、多様な検討課題も残されている。このような問題点を踏まえ、著者らは、

1) より詳細な活動履歴の検出, 2) 断層関連褶曲構造との関係, 3) 活動区間の検討, を目的としてトレンチおよびボーリング調査を実施した. 調査地点は, 同断層帯観音寺断層上の酒田市寺田地区, 通越断層上の酒田市大平地区, 松山断層上の酒田市土淵地区の合計3箇所である(第1図). 以下に具体的な調査結果および同断層帯の活動性に関する考察を記す.

2. 調査結果

2.1 観音寺断層寺田地区

2.1.1 掘削地点の概要

酒田市寺田地区の調査位置を第2図に示す. 当地点は庄内平野東縁断層帯の主要部をなす観音寺断層上に位置し, 米軍撮影の空中写真および現地調査によって比高約1mの崖地形が南北に連続していることが推定されている(池田ほか, 2002). この崖地形は平成11年度に山形県が実施した活断層調査(山形県, 1999), および, 鈴木ほか(1989)が実施した酒田市北境におけるトレンチ調査地点に連続するものと判断される.

調査にあたっては, 最初に簡易ボーリングを5地点(第2図のNo.1~No.5)で実施し, 詳細なトレンチ掘削位置を決めた. ただし, 低断層崖自体は現在農道となっており, 崖を横切るような連続掘削が不可能であったため, 農道をまたいで3条のトレンチを配置した. これにより, 断層運動に伴う変形の全体像を把握した. 手順として, まずAトレンチを断層崖上盤側に掘削し, 断層運動による地層の変形を確認した後, 地層の連続性と最新活動時期を明らかにするため, B, Cトレンチを追加掘削した. さらに, トレンチを含めた寺田地区全体の変形構造を確認するため, 簡易ボーリングNo.6~No.15およびボーリングBr-1をトレンチ掘削後に実施した(第2図).

2.1.2 トレンチ壁面の地質

トレンチ壁面に露出した地質は, 細粒砂を主体としシルト薄層を互層状に挟在する河川性堆積物となる. 地層区分にあたっては, 最初に構成粒径を考慮して上位より若い数値を割り振り細分化した(例えば, 101層, 102層など, 第3図, 第5図, 第6図). その後, さらに堆積環境や混濁流フローユニット等を考慮して中区分(例えば, 100層, 110層, 120層)を行った. 詳細な地層の記載はそれぞれのスケッチ内の層序表を参照されたい. なお, 以下では, 中区分を層相に考慮してさらにまとめた大区分(100層, 200層, 300層, 400層)に基づき, 各ユニットの特徴を簡単にまとめる(以下, 後述の大平地区, 土淵地区も同様).

100層は細粒~中粒砂からなるラミナの発達した砂層からなり, 弱腐植質のシルト層を挟在する. Cトレンチ北側壁面の西側最下部では, 未分解植物片

を多量に挟在する. 腐植質シルト層はAトレンチ最上部から西に向かって層厚を増し, Cトレンチでは全て100層となる.

200層は細粒~中粒砂を主体としAトレンチ南・北側壁面の西側部分および東側壁面, Bトレンチの下部に分布する. ラミナが発達し東側にフォアセットするのがAトレンチ南側壁面およびBトレンチ南・北側壁面で観察される.

300層は青灰色の細~中粒砂層と極細粒砂~シルト層の互層からなり, Aトレンチ南・北側壁面の東側, 西側壁面に広く分布する.

400層は青灰色シルトからなりAトレンチ南・北・西側壁面の東側部分の深部に分布する. 植物片・木片が点在し, 部分的に弱腐植質である.

群列ボーリング調査ではサンプル採取が限定的で内部構造把握に適さないため, トレンチ調査ほど詳細なユニット区分は不可能である. 基本的に第7図, 第8図に示すように, 粒径と特徴に応じて表土・盛土, シルト, 細粒砂~シルト, 細粒~中粒砂, 中粒砂~粗粒砂, 礫, 腐植土~腐植質シルトの7相に区分し記載を行った. さらにトレンチ調査での情報を基に, ユニット300までの大区分を対比し, さらにその下位については, 腐植土主体のユニット400, 砂礫層主体のユニット500, 腐植土主体のユニット600としコア間の対比を行った. これらの対比は年代測定結果とも整合的である.

2.1.3 断層変形構造とイベント層準

Aトレンチ北側壁面において, 東側部分でほぼ水平もしくは緩やかな西傾斜の堆積構造が観察される300層は, グリッド7付近から急激に角傾斜が大きくなり, グリッド4付近ではほぼ直立する(第3図, 第4図). これらのユニットを構成する地層は直立部においても, 直立した層理面に平行な葉理や級化構造が認められることから, 明らかに堆積後に傾動させられたことは間違いない. また, これらの変形は空中写真判読によって明らかとなった東側隆起の変形センスに整合する. したがって, 300層は逆断層運動に伴って変形した地層であると考えられる. ただし, 300層内の砂層は層厚に変化が生じており, 変形に伴って一部が流動化した可能性がある. 南側壁面においては, 東側部分でほぼ水平~緩やかな西傾斜の300層が, 剪断面(走向N40°~55°W, 傾斜50°~38°W)で切られている. 剪断面沿いの引きずりの形態から判断して, 西落ちの正断層である. これらの300層の変形を, 200層が覆う.

200層は西にフォアセットした堆積構造が特徴で, Aトレンチ南側壁面, Bトレンチ南・北側壁面で詳しく観察される. この200層を覆って, 淘汰の良い中粒砂層(140層)がAトレンチからCトレンチにかけて分布し, 同じ層厚を保ったまま, 西側へ傾斜を増す. また, A, Bトレンチでは140層上部に分

布する層厚 5 cm 程度の腐植土層が C トレンチ西側に向かって 30 cm 程度まで層厚を増す。この腐植土層 (137 層) 上部は未分解植物が多量に含まれており、流れが穏やかな環境化で堆積したものと考えられる。特に、C トレンチ北側壁面では 140 層と 137 層との間に傾斜不連続が確認できる。したがって、140 層の変形後に生じた斜面を埋めて 137 層が堆積したと解釈できる。

A トレンチ南側壁面グリッド 5 付近には 100 層、200 層を切って、砂脈が観察される。これは、100 層堆積後の液状化の跡である。

以上のような断層運動に伴う変形および地震動に関連する変状の証拠をもとに、寺田地区で実施したトレンチ調査、ボーリング・簡易ボーリング調査の結果から考えられる活動層準を以下の 2 層準とし、それぞれを寺田イベント I、II とした。寺田地区における ^{14}C 年代測定結果を第 1 表に、地表を切る古地震イベントの推定値を第 9 図に示す。なお、イベント層準の年代値は *Stuiver et al.* (1998) による暦年較正值の 1σ を用いた。

寺田イベント I :

認定層準 : 140 層堆積後 137 層堆積前

認定根拠 : B トレンチ～C トレンチ間における 140 層の高度差。

B トレンチおよび C トレンチにおいて観察される 140 層は淘汰の良い砂層であり、洪水など水流の影響を強く受けて堆積したものと判断される。しかしながら、観察される区間での層厚変化が少ないことから、この地点において確認される高度差は、堆積後の変形による可能性が高い。

変位量 : A トレンチ側線で実施したボーリング・簡易ボーリングの結果 (第 7 図) から、140 層の高度差は 1.5～2 m 程度と見積もられる。

活動時期 : トレンチより採取した試料の年代値の多くが 2500 年前から 4000 年前に集中する。イベント II とあわせて 4000 年以降 2500 年前までに 2 回の地表に変位を及ぼす断層活動があったと考えられるが、年代値と層序の対応が悪いため、これ以上詳細にイベント発生年代を制約することはできない。

寺田イベント II :

認定層準 : 311 層堆積後 230 層堆積前

認定根拠 : 変形層と変形を覆う地層。

A トレンチでは 311～383 層で著しい変形が観察される。このうち 337～382 層はトレンチ北側壁面中央部から東側壁面にむかって連続し、傾斜は極めて緩やかで、層厚もそれほど変化しない。したがって、トレンチで確認される変形はほぼ水平 (緩傾斜) な地層が堆積した後に生じたものと判断される。一方、これらの変形層を覆う上位の 210～230 層はラミナの発達が見られる砂層であり、A トレンチにおいてラミナ自体に傾斜が認められる。ただし、B トレンチの観察結果からこのラミナは斜行葉理であることが確

認され、変形に直接関わったものでないことが明らかとなった。以上により寺田 II イベントは 311 層堆積以降で 230 層堆積以前と判断される。

変位量 : A トレンチ側線で実施したボーリング・簡易ボーリングの結果 (第 7 図) から、ユニット 300 (トレンチ調査における 300 番台の地層) の下面の高度差から 2～2.5 m 程度と見積もられる。

活動時期 : トレンチより採取した試料の分析値の多くが 2500 年前から 4000 年前に集中する、年代値と層序の対応が悪いため、イベント I とあわせて 4000 年以降 2500 年前までに 2 回の地震活動が発生したとしか現時点では言及できない。

2.2 通越断層大平地区

2.2.1 掘削地点の概要

調査地点は大平地区の盆地西縁に分布するバルジ状の地形の背後に位置する (第 10 図)。バルジは、幅約 20 m × 長さ約 200 m × 高さ最大 7 m 規模の北北東-南南西トレンドを示す。寺田地区に想定される観音寺断層が庄内丘陵前縁部に位置する断層であるのに対し、大平地区に想定される通越断層は丘陵の背面に位置する逆断層 (バックスラスト) もしくはこれに付随するものと考えられる。したがって、この地点で断層活動の履歴や様式を明らかにすることは、丘陵全体の隆起 (平田背斜の成長) と関連した地震活動を考える上で重要である。

調査では、バルジ状の高まりの西側斜面と直線状谷との境界を横切るように 2 条のトレンチ (A トレンチ, B トレンチ) を配置した (第 10 図)。

2.2.2 トレンチ壁面の地質

大平地区のトレンチの地質は段丘礫層および上位に谷埋めの礫層およびシルト層からなる堆積物で構成される。壁面のスケッチを第 11 図、第 12 図に示す。両トレンチ内の地層の対比と層相観察に基づき、上位より 10 層、20 層、30 層、40 層に中区分した (各壁面スケッチでの具体的な番号の 2 桁目が中区分に相当する)。最上位の 10 層以外は比較的しまりが良く、一部褐色に酸化が進み半固結状を呈する部分も見られる。

10 層は現表土である未分解の土壌、黒色腐植層、砂礫層からなる。層厚はトレンチの中心部、すなわち沢の中心部で厚くなる傾向がある。

20 層は砂混じりローム質シルト層からなり亜円礫が点在する。本層は A・B トレンチともにトレンチの東側に分布し、トレンチ東側のバルジ状の地形を構成している。

30 層は礫混じり～礫質な砂質シルト～シルト質砂よりなる。一部に腐植質層が挟在する。

40 層は A トレンチ西側に見られる比較的締まった段丘礫層とその上位の砂礫層からなる。砂礫層は東傾斜の堆積構造が見られ、特に B トレンチで約 25°

東傾斜を示す。細粒砂からシルトブロックの偽礫を多く含む。A トレンチでは、腐植質シルトが上部に分布する。

50 層は細粒砂よりなり、B トレンチ西側に分布する。庄内層群の砂層の可能性はあるが、根無しの巨礫の可能性もある。

2.2.3 断層変形構造とイベント層準

A トレンチでは 40 層上部の腐植層が断層によって切られ、引きずられた構造が確認できる。この断層面は上位の 30 層 (37 層, 36 層, 33 層) によって覆われる。B トレンチにおいても同様で、不明瞭ながら礫層中に断層線 (剪断構造) が確認できるが、断層線の連続は 30 層中には続かない。断層上端は 36 層, 33 層によって覆われる。B トレンチの 40 層は全体として東側に傾斜している。初生的な堆積構造である可能は完全には否定できないが、43 層, 51 層も同様に東傾斜を示唆する構造が見られることから、断層運動による傾動である可能性がきわめて高い。B トレンチで観察される断層線は傾動した地層内の層面すべりに起因する可能性がある。

B トレンチでは、33 層はトレンチ中央部で約 1 m 低下している。また、東側が西側に比べて若干高く、41 層を切る断層帯の直上で盛り上がっている。上位の 32 層, 31 層は 33 層の沈下した部分を埋めて堆積しているように見える。33 層の分布形状が変形によるものか初生的構造かは、トレンチ壁面だけでは完全に判断できないが、少なくとも 40 層に見られる比較的明瞭な断層構造とは不調和である。別の変形モードを生じる地震イベントの可能性も考えられる。

大平地区の調査結果から考えられる活動層準を以下の 2 層準とした。大平地区における ^{14}C 年代測定結果を第 2 表に示した。

大平イベント I (地点最新イベント) :

認定層準 : 33 層堆積後 23 層堆積前

認定根拠 : 断層に切られる 41 層を覆う 33 層には断層線は延長されない。しかしながら、A トレンチ南側壁面において断層直上の 33 層が上に凸に変形しているように見え、その東西の低い部分に 32 層が分布している。これは、33 層が変形して形成された小凹地を 32 層が埋積したか、もしくは 33 層とその上位に分布していた 32 層が同時に変形し、31 層堆積前に 32 層が削剥された可能性がある。このような 33 層の変形は B トレンチ北側壁面でも明瞭である。北側壁面グリッド 5~6 にかけて、33 層の分布の傾斜とあわせて内部の堆積構造も傾斜している。南側壁面も北側壁面ほど顕著ではないが、同様の堆積構造が確認できる。なお、33 層の上位の 32 層は、この 33 層の変形を埋めるように凹部を埋めているようにも、同時に変形したようにも見えることから、この変形と堆積の前後関係は不明である。南北壁面とも 23 層基底面は断層延長上においても水平であるこ

とから、少なくとも 23 層はこの変形イベントには巻き込まれていない。同じくこの凹地埋める 31 層の堆積と変形時期の前後関係も不明である。これらの地層を覆って基底面が水平である 13 層も変形していない。以上のことから、当層準を古地震発生の可能性があるイベント層準 (possible event horizon) として扱いたい。

活動時期 : 当地区では年代値が得られる地層にきわめて限りがある。トレンチ A における 41 層の年代値が 36660 ± 1100 y.B.P. (非暦年) であることから、断層の活動年代はこれ以降であり、イベント後の 23 層より上位の 13 層の年代が $6480 \sim 6400$ y.B.P. であることから、少なくともこの年代以前の活動であることは明らかである。

大平イベント II :

認定層準 : 41 層堆積後 36 層堆積前

認定根拠 : A, B トレンチ双方とも、41 層は断層により明瞭に切られており、断層沿いにシルト層やラミナの引きずり、礫の再配列が認められる。41 層の上位に連続する 37 層は断層との関係が直接明らかではないが、37 層を覆う 36 層に断層変位は及んでいない。A トレンチでは、断層延長部で 36 層基底面が緩やかな上に凸の形態を示すが、これは上記の possible event であるイベント I の影響であろう。36 層を覆う 35 層では上に凸の湾曲構造は認められない。35 層上位の 34 層については、A トレンチ, B とも断層との関係は明らかではない。また、B トレンチにおいて 33 層より上位の地層に断層変位・変形構造は認められない。これらのことから、大平における A, B トレンチで確認された断層活動は 41~43 層を確実に剪断し、同時に著しい変形を引き起こしているが、この上位の 35~37 層は変形の可能性を残すものの、明らかな剪断はみられない。以上から、本稿ではイベント I は 41 層堆積後、36 層堆積以前に発生したと解釈した。

活動時期 : B トレンチにおける 32 層の年代値は 21560 ± 230 y.B.P. である。このことから、大平イベント II の活動時期は、21790 y.B.P. 以前であると推定される。また、イベント I を考慮しても、少なくとも $6480 \sim 6400$ y.B.P. 以降は当地点掘削範囲内での通越断層は活動していない。

2.3 松山断層土淵地区

2.3.1 掘削地点の概要

調査実施位置を第 13 図に示す。当地点は、断層活動によって生じたと考えられる明瞭な地形境界 (平地と丘陵地の境界に連続する明瞭な崖地形) に位置する。特に、約 7400~7800 年前に離水したとされる扇状地面上に低断層崖が推定されている (澤ほか, 2000)。この扇状地面上では、平成 10~11 年度に山形県が反射法地震探査・ボーリング調査を実施し、断層の存在を確認している (山形県, 1998, 1999)。

今回の調査では、この扇状地面上にみられる比高約 2.5 m の低崖をまたいでトレンチを掘削した。さらに、山形県 (1998, 1999) の調査を補完するように 6~10 m の長さのボーリングコアを 8 本採取し、扇状地面を横切る約 200 m の地質断面を作成し、断層位置の詳細と活動履歴を検討した。

2.3.2 トレンチ壁面および群列ボーリングの地質

土淵トレンチは砂質シルト層中に礫層が層状、一部はチャンネル状に分布している。上位より 10 層、20 層、30 層、40 層、50 層に大区分される (第 14 図)。

10 層はトレンチ西側で、最上部に腐植層、上部に灰色~暗灰色シルト、南側壁面に暗灰色細粒砂が分布する以外は、礫層を主体とする。礫は黒色泥岩、シルト岩の角礫から亜角礫よりなり、基質は砂~砂混じりシルトである。下位層をチャンネル状に削り込んで堆積している。

20 層は上部には灰白色シルト、南側壁面には弱腐植層が分布する。大部分は灰白色シルト中に粗粒砂~細礫層が挟在される。南側壁面グリッド 5.5~10 から北側壁面 2.5~4.5 にかけてチャンネル状に下位層を削り込んで礫層が分布している。

30 層は灰白色砂質シルト層および礫層からなる。砂質シルト層の下部は腐植質で多量の木片・植物片が含まれている。

40 層は灰白色砂質シルトを主体とし、礫が比較的多く混じる層準がある。下部は腐植質で木片・植物片を多量に混入する。

50 層は比較的良好に締まった砂質シルトで角礫が混じる。

群列ボーリング調査では、トレンチ調査ほど詳細なユニット区分は不可能である。そこで、第 16 図に示すように、粒径と特徴に応じて表土・耕作土、シルト、砂、礫・礫混じりシルト、腐植土~腐植質シルトの 5 相に区分し記載を行った。さらに山形県 (2000) の情報や層相組み合わせ、年代測定結果等を考慮して、上位よりユニット 1~5 に大区分を行った。

2.3.3 断層変形構造とイベント層準

40 層と下位の 50 層の境界はトレンチ南北壁面とも急傾斜を示す (第 14 図, 第 15 図)。この急傾斜を埋めるように 40 層は堆積しており、40 層に挟在される砂層は 40° 西傾斜となっている。30 層は南・北壁面ともグリッド 11 付近から西に分布しており、20° の西傾斜を示す。30 層は下位の 40 層と比較して緩傾斜であり、ここに傾斜不整合が読みとれる。上位の 10 層は 20 層の上面をほぼ水平に削って堆積している。この侵食面は 20 層内の堆積面とは斜行していることから、10 層と 20 層の間にも傾斜不整合が存在する可能性がある。

土淵地区におけるトレンチ調査の結果から、考えられる活動層準を以下とした。得られたイベント層

準を、上位から (若い順に) 土淵イベント I, イベント II, イベント III とした。土淵地区における ^{14}C 年代測定結果を第 3 表に示す。

土淵イベント I:

認定層準: 21 層堆積後 15 層堆積前

認定根拠: 31 層に見られる砂層には観察される範囲で層厚変化が少ないこと、同層に見られるラミナが層理面と平行に発達すること、同層ならびに 32 層の堆積頂面がトレンチの西側で極めて緩やかな傾斜となることから、31 層~21 層の堆積物は水平に近い極めて緩やかな堆積環境において形成されたものと判断される。したがって、現在観察される傾斜は堆積後の変形による可能性が高いと判断した。この上位を覆う 14, 15 層は沢から扇状地面に溢れ出て堆積した土石流、もしくは、ごく近傍の崖錐堆積物と判断される。特に 15 層は最も低下した部分 (グリッド 2 m よりも西側) に分布が限られ、21 層、22 層、23 層の上部を侵食して堆積している。また、14 層との境界面はほぼきわめて緩く西に傾斜する。また 14 層内に分布する砂層レンズ・薄層も下位の 31 層~21 層の傾斜よりも緩やかである。したがって、21 層と 15 層の間に傾斜の差が認められる。したがって、当地点での最新地震イベントを 21 層堆積後 15 層堆積前と判断した。

活動時期: 当トレンチのみの情報では個々の地震イベントの年代制約は極めて困難である。後述する最も変形した最下位層直上 (42 層) の木片が約 4 万年前を示すことから、4 万年以降 3 回の断層運動が発生したものと考えられる。イベント I はそのうちの最新であるが、遅くとも 1530 y.B.P. (11 層の年代) 以降の活動はないと考えられる。群列ボーリングによる推定地質断面図 (第 16 図) では、地表下 5 m 程度で層相の連続性が H18-5 と No.4 の境界で急に変化する。すなわち、No. 6 から No. 4 に挟まれる区間では顕著な 2 枚の腐植土層 (腐植 II, 腐植 IV) が追跡でき、砂礫層も若干新鮮であるが、H18-5 から No. 3 にかけては浅部にまでやや風化が進んだ礫層が露出するとともに、2 枚の腐植土層は認められなくなる。また、年代測定結果においても、No. 4 と H18-5 間に明瞭なギャップが存在する。したがって、ボーリング測線では H18-5 と No.4 付近に断層が到達する可能性が高い。この場合、約 9000~10000 年前の腐植土を切り、約 7000 年前 (6880±130 y.B.P.) の腐植土に覆われる可能性がある。これは約 8000 年前に最新活動があるとする太田ほか (2000) の結果とほぼ整合する。ただし、これはあくまでもボーリングコア間の対比に基づく推定である。なお、太田ほか (2000) では並走する複数の断層を推定しているが、当地点ではこの H18-5 と No.4 付近からトレンチ掘削地点に続く低崖の部分以外では断層通過の可能性は確認できていない。

土淵イベント II :

認定層準 : 41 層堆積後 33 層堆積前

認定根拠 : 41・42 層は平行葉理が顕著で礫の薄層が挟まることから、安定した水流の影響を受けた堆積物と考えられる。したがって、現在トレンチ壁面で観察される 40° 前後の傾斜は堆積後の変形であると判断した。また、トレンチの西側でみられるイベント I に関連した地層は緩やかな傾斜しか示さないことから、イベント I よりも古い傾動を考えなければ現状を説明できない。すなわち、上位を覆う 31・32・33 層の傾斜は 20° 前後であり、41 層の傾斜とは有意の差がある。以上のことから、イベント層準は 41 層堆積後 33 層堆積以前と判断した。

活動時期 : 31 層よりも下位の地層から得られた ^{14}C 年代測定値には一部逆転も認められるものの、32 層～42 層上部の年代値はおおむね 3 万年前程度の値を示す。堆積構造等からも木片の再堆積の可能性が強く示唆されるため、最新年代値 27640 y.B.P. (非暦年, 42 層上部) を採用すると、当イベントはこの年代以降に発生した可能性が高い。ただし、最終氷期極相期 (2 万年前前後) 頃には当地点も含め庄内平野全体が無堆積および侵食環境下にあった可能性があり (有賀, 1984), この間に発生したイベントの可能性もある。

土淵イベント III :

認定層準 : 51 層堆積後 43 層堆積前

認定根拠 : トレンチで観察される最下層の 51・52 層では含まれる礫層が 50° を超える急傾斜となっている (第 15 図)。その上位を覆う 41・42 層は 40° 前後で傾斜しており斜交関係が認められる。上記のイベント II で同時に生じたとは考えにくい。特に、42 層下部はトレンチ壁面ではプリズム状の形態を示し、51 層堆積後に変形で生じた凹地を埋積した colluvial wedge 堆積物と考えられる。したがって、ここではイベント層準を 51 層堆積後 42 層堆積以前と判断した。

活動時期 : 最も変形した最下位層直上 (42 層) の木片は約 4 万年前を示す。一方で、イベント II に関連した地層の年代値は 3 万年前前後を示す (ただしこれらも再堆積の可能性が高い)。このことから、3～4 万年前に発生した古地震イベントである可能性がある。

3. 議論およびまとめ

今回の調査の目的は、1) より詳細な活動履歴の検出、2) 断層関連褶曲構造との関係、3) 活動区間の検討である。これらの検討のために、同断層帯観音寺断層上の酒田市寺田地区、通越断層上の酒田市大平地区、松山断層上の酒田市土淵地区の合計 3 箇所トレンチおよびボーリング調査を実施した。以下に再度調査結果をまとめる。

寺田地区では、米軍空中写真によって判読できる低崖を挟んでトレンチを掘削し、またボーリング調査により広範囲の地形の変形を捉えた。トレンチ内には断層運動によって変形を被った過去約 5 千年間の細粒砂・シルト・腐植土層の互層が露出した。これらの地層は推定断層崖付近の幅約 7 m の区間で顕著な撓曲変形を示し、一部砂層の流動化や砂脈、二次的な正断層も認められた。トレンチ内には断層自体は確認できないものの、変形度の違い等からここでは 2 回の古地震イベントが推定された。ただし、分析した年代値の多くが 2500 年前から 4000 年前に集中するうえに、年代値と層序の対応が悪いため、4,000 年前以降 2,500 年前までに 2 回の地震活動があったとしか現時点で判断できない。

大平地区は観音寺断層のバックラストと考えられる通越断層上に位置する。通越断層は全体として西側上がりの逆断層と考えられるが、断層線の直線性を考慮すると高角かつ横ずれ成分を伴う可能性がある。トレンチはその西側斜面から凹地に向かって掘削され、壁面には比較的しまりの良い砂礫層とそれを覆う約 1.5 m の黒色腐植土層が露出した。砂礫層は複数の断層で切られ、挟在する特徴的な砂層も東に一部急傾斜する。砂礫層の年代は約 2～4 万年前で、上位の腐植土層は約 3,000～6,000 年前を示す。このことから、4 万年前以降複数回 (少なくとも 2 回) の断層運動が発生したことは間違いないが、活動度は観音寺断層に比べて高くない。ただし、ここでの最新活動は 6,000 年前よりも古い可能性があることは明らかであり、観音寺断層の活動と必ずしも同期しない。

土淵地区では、扇状地表面上にみられる比高約 2.5 m の低崖でトレンチを掘削した。壁面には西に急傾斜した比較的締まりの良い礫混じりシルト、腐植土、砂礫層が露出し、緩く西傾斜した新期の砂礫層がオンラップ不整合で覆う。新期の砂礫層内にも傾斜の差による不整合がみられる。個々の地震イベントの年代の決定は極めて困難であるが、最も変形した最下位層直上の木片が約 4 万年前を示すことから、4 万年前以降 3 回の断層運動が発生したものと考えられ、平均活動間隔 1 万年程度と推定される。扇状地軸部で実施したボーリング調査により長さ約 200 m、深さ約 20 m の東西地質断面を作成した結果、断層が推定された。その断層の最新活動は約 7,000 年前～約 9,000 年前の可能性があり、既往調査による松山断層の最新活動時期約 8000 年前前後 (太田ほか, 2000) と矛盾しない。ただし、平均変位速度 0.2～0.7 mm/年 (水本ほか, 2007 など) を考慮すると、1 回の地震時上下変位量は数 m となり、トレンチ壁面でみられる変形よりもやや大きい。イベントの見落としも懸念される。

以上の調査結果と既存の文献情報を総合すると、庄内平野東縁断層帯の最前縁である観音寺断層では

活動間隔がこれまでの半分程度(1,000~2,000年程度)になる可能性がある。この値は、地震時変位量2m前後を仮定しても、段丘面変位等から判断されている平均変位速度2~3m/千年と矛盾しない。ただし、これらは地表に明らかな変位を生じた地震イベントである。したがって、明瞭な地表地震断層が報告されていない1894年庄内地震(M=7.0)とは異なったタイプの地震である可能性がある。

しかしながら、反射法地震探査結果等を総合すると(第18図)、地表で観察される観音寺断層は活褶曲帯西翼に生じた根無し断層の可能性がきわめて高い。したがって、地震発生時(褶曲成長時)に必ずしも地表に変位が生じるわけではなさそうである。つまり、庄内地震型の地震でも時折、地下浅部に蓄積した歪みが解放され地表変位が生じるのかもしれない。実際にM7.0前後のブラインドスラスト地震発生時には、ほぼ最大50cm前後の隆起が観測されている(例えば、2004年M=6.8の新潟県中越地震では水準測量によって約70cmの隆起が確認、国土地理院,2004)。反射法地震探査断面の再解釈から(第18図)、ほぼ50~70万年前を示す庄内層群下部基底(小松原,1997)が約50m変位しているため、背斜軸隆起速度は0.5mm/年となる。乱暴な見積もりではあるが、M7.0前後の地震の頻度は、1000年に1度程度となる。したがって、観音寺断層の実際の最新活動は庄内地震であった可能性もある。なお、庄内地震の家屋倒壊率が高い地域は最上川と相沢川が合流する地域(横根山西方)に集中する(宇佐美,2002)。そのため、必ずしも平田背斜が成長するようなイベントだったかどうか、まだ議論の余地がある。いずれにしても、地表断層変位に頼る現行のトレンチ調査では、庄内平野東縁断層帯のように断層関連褶曲を伴い広域に変形する断層運動の活動履歴を解明するには限界がある。今後何らかの別の手法を検討する必要がある。

一方、松山断層は地質構造上酒田衝上断層の一部であり、観音寺断層とは並走関係にある。反射法地震探査から逆断層構造が地表まで到達していることは明確(山形県,2000;加藤ほか,2006)で、観音寺断層よりも発生時期が古く成熟度が高いと考えられる(例えば、小松原,1998による議論)。トレンチ調査から得られた活動間隔は1万年程度である。観音寺断層(平田背斜)同様、地表を切断しない断層運動については議論の余地はあるが、少なくとも上盤側に成長中の新期の背斜構造は見られない。断層沿いのみで変位を解消している可能性が高い。

以上のことから、庄内平野東縁断層帯は南北に大きく2つ以上の断層帯に分けられ、最大地震規模はM7.5よりも小さくなる可能性がある。ただし、観音寺断層の活動間隔は従来の評価よりも有意に短くなり、褶曲構造成長に伴って新潟県中越地震や能登半島地震タイプの地震が高頻度で発生する可能性も

ある。加えて、余目背斜・酒田向斜など、さらに西側に断層構造が伏在している可能性もあり、M6後半以上の地震頻度に関しては従来よりも高く評価する必要がある。

謝辞：本調査は平成18年度文部科学省委託による基盤的調査観測対象断層帯の追加・補完調査の一環として実施したものである。本調査を実施するにあたり、当時の山形県総務部危機管理室総合防災課の日塔真之防災主査および関係自治体の関係者の方々、調査地点の地権者の皆様には、現地調査に際して多大なご協力を頂きました。また、鶴岡工業高等専門学校の澤祥教授にはトレンチ調査地点周辺の変動地形に関してご教示頂きました。活断層研究センター吉岡敏和博士には本稿改善にあたり有益なコメントを頂きました。ここに記して深く感謝の意を表します。

文 献

- 有賀友子(1984)庄内平野の地形発達—更新世末期以降の砂礫分布範囲の変化—。東北地理,36,13-24.
- 池辺 穰・大沢 穠・井上寛生(1979)酒田地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅),地質調査所,42p.
- 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志(2002)「第四紀逆断層アトラス」,東京大学出版会,254p.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2005)「庄内平野東縁断層帯の長期評価について」,http://www.jishin.go.jp/main/chousa/05apr_shonai/index.htm(2008年9月25日参照)
- 加藤直子・佐藤比呂志・今泉俊文・越谷 信・戸田 茂・萩野スミ子・越後智雄・木村治夫・楮原京子・森下信人・小林 勉・高橋就一・梅津洋輔・水本匡起・吉田明弘・小池太郎・佐藤 良(2006)庄内平野東縁活断層系松山断層における反射法地震探査,活断層研究,26,87-93.
- 活断層研究会(1991)「新編日本の活断層—分布図と資料」,東京大学出版会,437p.
- 国土地理院(2004)平成16年(2004年)新潟県中越地震に伴う緊急測量結果について—地震による大きな地殻変動を把握—,http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2004/1227.htm(2008年9月25日参照)。
- 小松原 琢(1997)庄内平野東縁の活褶曲における伏在断層の成長過程。地質調査所月報,48,537-565.
- 小松原 琢(1998)庄内堆積盆地東部における伏在断層の成長に伴う活褶曲の変形過程。地学雑誌,107,368-389.

- 松田時彦 (1975) 活断層から発生する地震の規模と周期について. 地震第2輯, 28, 269-283.
- 松田時彦 (1990) 最大地震規模による日本列島の地震分帯図. 地震研彙報, 65, 289-319.
- 水本匡起・今泉俊文・岩崎孝明 (2005) ボーリング調査による庄内平野東縁・松山-狩川断層の完新世変位速度. 活断層研究, 25, 57-61.
- 太田陽子・澤 祥・鈴木康弘・渡辺満久・松山断層調査グループ (2000) 庄内平野東縁, 松山断層の認定と活動期, および関連する諸問題. 月刊地球, 号外, 28, 127-132.
- 澤 祥・太田陽子・渡辺満久・鈴木康弘 (2000) 庄内平野東縁, 松山断層の断層変位地形と第四紀後期の活動性. 第四紀研究, 39, 233-240.
- Stuiver M, Reimer, P. J., Bard E., Beck J. W. Burr G. S., Hughen K. A., Kromer B., McCormac G., van der Plicht J., and Spurk M. (1998) IntCal98 radiocarbon age calibration, 24,000-0 cal BP. Radiocarbon, 40 (3), 1041-1083.
- 鈴木康弘・池田安隆・渡辺満久・須貝俊彦・米倉伸之 (1989) 庄内平野東縁における完新世の断層活動と1894年(明治27年)庄内地震-観音寺断層のトレンチ掘削調査による検討-. 地震第2輯, 42, 151-159.
- 宇佐美龍夫 (2003) 「最新版 日本被害地震総覧[416]-2001」. 東京大学出版会, 605p.
- 山形県 (1998) 「平成9年度地震関係基礎調査交付金 山形県活断層調査 成果報告書」. 山形県, 158p.
- 山形県 (1999) 「平成10年度地震関係基礎調査交付金 山形県活断層調査 成果報告書」. 山形県, 153p.
- 山形県 (2000) 「平成11年度地震関係基礎調査交付金 山形県活断層調査 成果報告書」. 山形県, 193p.

(受付: 2008年9月12日, 受理: 2008年11月20日)

第1表. 観音寺断層寺田地区トレンチ調査における¹⁴C年代測定結果.
Table 1. Radiocarbon analyses of samples from trenches at Terada site across the Kan-noniji fault.

トレンチ番号	サンプル番号	面	X軸	Y軸	詳細層序	Beta-	測定年代	13C/12C	補正年代	No.	Analysis	Material	Pretreatment	Intercept of radio carbon age	Cal BP (1σ)	Cal BP (2σ)
A	TdN-300-200	N	300	-200	210	221287	2890 ± 40	-26.0	2870 ± 40	30017	AMS-Standard	wood	acid / alkali / acid	2970 ± 2710	3050 - 2940	3090 - 2870
A	TdN-640-130	N	640	-130	210	221288	2520 ± 40	-26.7	2490 ± 40	30018	AMS-Priority	wood	acid / alkali / acid	2580	2730 - 2470	2740 - 2370
A	TdN-435-320	N	435	-320	337	221976	2830 ± 50	-26.1	2810 ± 50	30095	AMS-Standard	wood	acid / alkali / acid	2890	2960 - 2850	3050 - 2780
A	TdN-540-332	N	540	-332	361	223451	3090 ± 40	-28.4	3030 ± 40	30294	AMS-Standard	wood	acid / alkali / acid	3240	3320 - 3200	3350 - 3090
A	TdN-1320-210	N	4320	-210	372	221977	5300 ± 40	-24.9	5300 ± 40	30096	AMS-Standard	organic sediment	acid washes	6010	6170 - 6000	6190 - 5940
A	TdN-880-330	N	880	-330	411	221289	3410 ± 40	-28.3	3360 ± 40	30019	AMS-Priority	wood	acid / alkali / acid	3600	3640 - 3560	3690 - 3480
A	TdS-340-140	S	340	-140	131	221979	3510 ± 40	-27.2	3470 ± 40	30098	AMS-Standard	organic sediment	acid washes	3710	3820 - 3680	3840 - 3640
A	TdS-340-140	S	340	-140	131	222203	3030 ± 40	-29.5	2960 ± 40	30170	AMS-Standard	charred material	acid washes	3140	3210 - 3060	3250 - 2980
A	TdS-300-160	S	300	-160	171	221978	4000 ± 40	-25.7	3990 ± 40	30097	AMS-Standard	organic sediment	acid washes	4430	4520 - 4470	4540 - 4400
A	TdS-300-160	S	300	-160	171	222202	3090 ± 40	-27.1	3060 ± 40	30169	AMS-Standard	charred material	acid washes	3310	3340 - 3230	3360 - 3160
A	TdS-740-320	S	740	-320		221980	3200 ± 40	-27.8	3150 ± 40	30099	AMS-Standard	wood	acid / alkali / acid	3260	3390 - 3350	3460 - 3320
A	TdW-330-170	W	330	-170	171	221292	3790 ± 40	-25.5	3780 ± 40	30022	AMS-Priority	organic sediment	acid washes	4150	4230 - 4090	4260 - 4070
A	TdW-840-270	W	840	-270	210	221286	2860 ± 50	-26.2	2860 ± 50	30016	AMS-Standard	wood	acid / alkali / acid	2960	3050 - 2890	3140 - 2850
B	TdBN-03	N	1840	-160	170	223453	2760 ± 40	-27.0	2730 ± 40	30296	AMS-Standard	wood	acid / alkali / acid	2800	2860 - 2780	2890 - 2760
B	TdBE-03	E	400	-200	170	223452	2800 ± 40	-27.7	2760 ± 40	30295	AMS-Standard	wood	acid / alkali / acid	2850	2880 - 2790	2940 - 2770
B	TdBE-05	E	1870	-198	131	223454	2970 ± 40	-26.4	2950 ± 40	30297	AMS-Standard	charred material	acid / alkali / acid	3090	3200 - 3050	3240 - 2970
B	TdBW-01	W	1660	-288	210	223455			980 ± 40	30298	AMS-Standard	wood	acid / alkali / acid	920	940 - 910	960 - 790
B	TdBW-02	W	1612	-206	150	223456	2710 ± 40	-26.3	2690 ± 40	30299	AMS-Standard	wood	acid / alkali / acid	2780	2800 - 2760	2860 - 2750
C	TdCN-02	N	-1170	-318	137	223457	3390 ± 40	-26.9	3360 ± 40	30300	AMS-Standard	organic sediment	acid washes	3600	3640 - 3560	3690 - 3480
C	TdCN-02-peat	N	-1170	-318	137	224316	2890 ± 40	-28.0	2840 ± 40	30633	AMS-Standard	peat	acid / alkali / acid	2940	2980 - 2880	3060 - 2850
C	TdCN-03	N	-1250	-320	135	223458	3080 ± 50	-27.7	3040 ± 50	30301	AMS-Standard	organic sediment	acid washes	3250	3340 - 3200	3360 - 3080
C	TdCN-03-peat	N	-1250	-320	135	224317	2990 ± 40	-29.4	2920 ± 40	30634	AMS-Standard	peat	acid / alkali / acid	3060	3140 - 2960	3210 - 2940
C	TdCN-05	N	-1114	-208	131	223459	2670 ± 40	-27.3	2630 ± 40	30302	AMS-Standard	wood	acid / alkali / acid	2760	2770 - 2740	2790 - 2730
C	TdCN-06	N	-1120	-208	131	223460	2440 ± 40	-26.9	2410 ± 40	30303	AMS-Standard	wood	acid / alkali / acid	2370	2470 - 2350	2510 - 2340
C	TdCS-07	S	-1075	-192	112	223462	2690 ± 40	-27.1	2660 ± 40	30305	AMS-Standard	wood	acid / alkali / acid	2760	2780 - 2750	2840 - 2740
C	TdCS-10	S	-1190	-230	131	223461	4040 ± 50	-25.0	4040 ± 50	30304	AMS-Standard	organic sediment	acid washes	4520	4560 - 4430	4630 - 4410
ホーリングBr-1	Br-1-6	-	6.88~7.00			225367	5070 ± 40	-27.1	5040 ± 40	30747	AMS-Advance	organic sediment	acid washes	5850	5890 - 5800	5900 - 5660
ホーリングBr-1	Br-1-7	-	8.93~9.00			225368	5010 ± 70	-22.3	5060 ± 70	30748	Radiometric-Advance	organic sediment	acid washes	5750	5770 - 5730	
ホーリングBr-1	Br-1-13	-	14.86~15.00			225369	7060 ± 40	-21.1	7120 ± 40	30749	AMS-Advance	organic sediment	acid washes	5760	5910 - 5720	5930 - 5640
簡易ホーリングNo1	Br-Td-1.3.89m	N	-3.89			220943	3450 ± 40	-27.3	3410 ± 40	29997	AMS-Standard	wood	acid / alkali / acid	6000	7970 - 7940	8010 - 7920
簡易ホーリングNo2	Br-Td-2.3.94m	N	-3.94			220944	3490 ± 40	-27.4	3450 ± 40	29998	AMS-Standard	wood	acid / alkali / acid	3650	3700 - 3620	3720 - 3570
簡易ホーリングNo5	Br-Td-5.2.90m	N	-2.90			220945	3500 ± 40	-28.9	3440 ± 40	29999	AMS-Standard	wood	acid / alkali / acid	3700	3720 - 3650	3830 - 3620
簡易ホーリングNo5	Br-Td-5.6.30m	-	-6.30			223463	5250 ± 50	-20.3	5330 ± 50	30306	AMS-Standard	organic sediment	acid washes	3690	3720 - 3640	3830 - 3600
簡易ホーリングNo5	Tdtk-No5-2	-	4.64~4.80			225370	4050 ± 40	-27.5	4010 ± 40	30750	AMS-Advance	organic sediment	acid washes	4510	4620 - 4420	4570 - 4410
簡易ホーリングNo8	Tdtk-No8-4	-	4.42~4.55			225371	5140 ± 40	-20.5	5210 ± 40	30751	AMS-Advance	organic sediment	acid washes	4440	5990 - 5920	6100 - 6090
簡易ホーリングNo9	Tdtk-No9-3	-	2.54~2.62			225372	4190 ± 40	-27.3	4150 ± 40	30752	AMS-Advance	organic sediment	acid washes	4800	4820 - 4780	4830 - 4530
簡易ホーリングNo10	Tdtk-No10-7	-	6.34~6.40			225373	5740 ± 40	-22.9	5770 ± 40	30753	AMS-Advance	organic sediment	acid washes	4760	4770 - 4580	4650
														6560	6640 - 6500	6660 - 6470

第2表. 通越断層大平地区トレンチ調査における¹⁴C年代測定結果.
Table 2. Radiocarbon analyses of samples from trenches at Odaira site across the Torigoe fault.

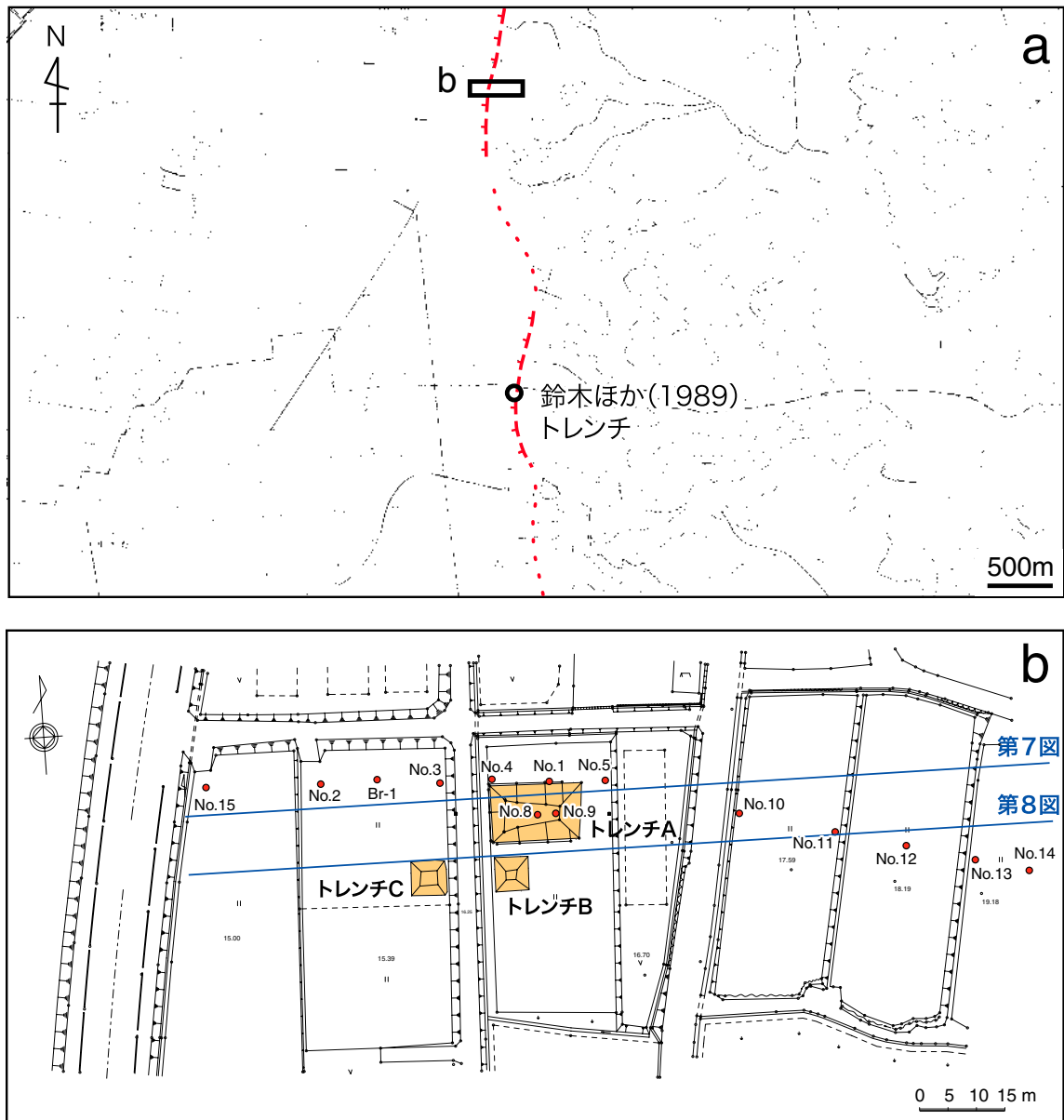
トレンチ番号	サンプル番号	面	X軸	Y軸	詳細層序	Beta-	測定年代	13C/12C	補正年代	No.	Analysis	Material	Pretreatment	Intercept of radio carbon age	Cal BP (1σ)	Cal BP (2σ)
A	OrAN-01	N			41	221981	>37340	-26.8	>37310	30100	Radiometric-Priority	organic sediment	acid washes	—	—	—
A	OrAN-02	N			41	221982	36700 ± 1100	-27.6	36660 ± 1100	30101	AMS-Standard	organic sediment	acid washes	—	—	—
A	OrAN-03	N			37	221983	22060 ± 160	-26.7	22030 ± 160	30102	Radiometric-Priority	organic sediment	acid washes	—	—	—
B	Oda-A-6	S	1090	-140	13	223464	5620 ± 50	-23.4	5660 ± 50	30307	AMS-Standard	organic sediment	acid washes	6430	6480 - 6400	6540 - 6320
B	Oda-B-1	N	560	-90	13	223465	3760 ± 70	-23.6	3790 ± 70	30308	Radiometric-Standard	organic sediment	acid washes	4160	4260 - 4080	4410 - 3970
B	Oda-B-4	W	230	-140	34	223466	NA	-27.9	> 48900	30309	AMS-Standard	organic sediment	acid washes	—	—	—
B	Oda-B-5	S	405	-195	32	223467	21590 ± 230	-26.9	21560 ± 230	30310	Radiometric-Standard	organic sediment	acid washes	—	—	—

第3表. 松山断層土淵地区トレンチ調査における¹⁴C年代測定結果.
Table 3. Radiocarbon analyses of samples from trenches at Tsuchibuchi site across the Matsuyama fault.

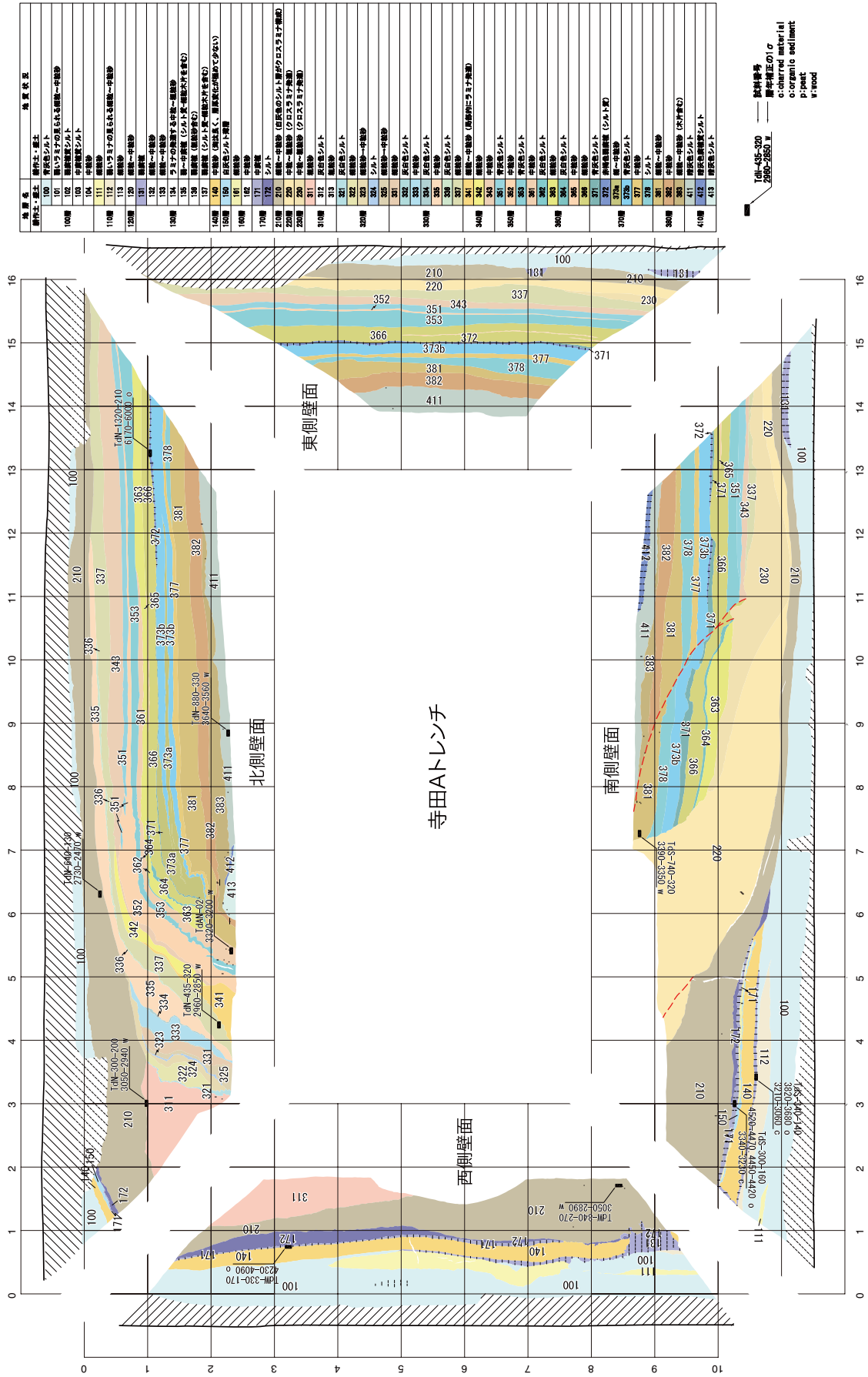
トレンチ番号	サンプル番号	面	X軸	Y軸	詳細層序	Beta-	測定年代	13C/12C	補正年代	No.	Analysis	Material	Pretreatment	Intercept of radio carbon age	Cal BP (1σ)	Cal BP (2σ)
A	TbAN-01	N	990	-350	32	223450	30720 ± 210	-27.9	30670 ± 210	30293	AMS-Standard	wood	acid / alkali / acid	—	—	—
A	TbAN-02	N	810	-440	32	223828	31950 ± 670	-27.2	31920 ± 670	30373	Radiometric-Priority	wood	acid / alkali / acid	—	—	—
A	TbAN-03	N	850	-390	32	223827	31230 ± 270	-25.9	31220 ± 270	30372	AMS-Standard	organic sediment	acid washes	—	—	—
A	TbAN-05	N	410	-520	33	224662	30200 ± 340	-28.7	30140 ± 340	30558	Radiometric-Priority	wood	acid / alkali / acid	—	—	—
A	TbAN-09	N	1100	-410	42a	224663	27680 ± 730	-27.5	27640 ± 730	30559	Radiometric-Priority	organic sediment	acid washes	1700	1730 - 1530	1830 - 1540
A	TbAN-12	N	450	-320	11	224664	1730 ± 60	-22.9	1760 ± 60	30560	Radiometric-Priority	organic sediment	acid washes	18480	18680 - 17970	18770 - 17600
A	TbAN-14	N	150	-450	15	225387	14950 ± 180	-22.4	14990 ± 180	30772	Radiometric-Advance	wood	acid / alkali / acid	—	—	—
A	TbAS-01	S	1040	-540	42b	223449	41510 ± 1920	-23.1	41480 ± 1920	30292	Radiometric-Priority	wood	acid / alkali / acid	—	—	—
A	TbAS-05	S	180	-390	22	224665	20380 ± 130	-26.7	20350 ± 130	30561	AMS-Standard	organic sediment	acid washes	7620	7670 - 7600	7680 - 7580
A	TbH18-2-2	—	111~132	—	—	225358	6660 ± 40	-17.3	6790 ± 40	30738	AMS-Advance	organic sediment	acid washes	7920	7940 - 7840	7950 - 7790
A	TbH18-3-2	—	2.0~2.1	—	—	225359	6930 ± 40	-18.4	7040 ± 40	30739	AMS-Advance	organic sediment	acid washes	7900	7940 - 7840	7950 - 7790
A	TbH18-3-5	—	3.5~3.6	—	—	225360	7240 ± 40	-20.7	7310 ± 40	30740	AMS-Advance	organic sediment	acid washes	8160	8180 - 8040	8190 - 8020
A	TbH18-5-1	—	1.2~1.3	—	—	225361	7950 ± 40	-20.3	8030 ± 40	30741	AMS-Advance	organic sediment	acid washes	7040	9010 - 8980	9020 - 8770
A	TbH18-5-2	—	2.8~2.9	—	—	225362	8790 ± 90	-23.7	8810 ± 90	30742	Radiometric-Advance	organic sediment	acid washes	9890	10150 - 9990	10190 - 9550
A	TbH18-5-5	—	8.4~8.5	—	—	225363	40860 ± 1000	-27.9	40810 ± 1000	30743	AMS-Advance	wood	acid / alkali / acid	—	—	—
A	TbH18-6-5	—	4.6~4.7	—	—	225364	NA	-27.7	> 48500	30744	AMS-Advance	organic sediment	acid washes	—	—	—
A	TbH18-7-4	—	2.9~3.0	—	—	225365	8720 ± 90	-19.5	8810 ± 90	30745	Radiometric-Advance	organic sediment	acid washes	9890	10150 - 9990	10190 - 9550
A	TbH18-8-5	—	4.8~4.9	—	—	225366	22070 ± 100	-27.0	22040 ± 100	30746	AMS-Advance	organic sediment	acid washes	—	—	—



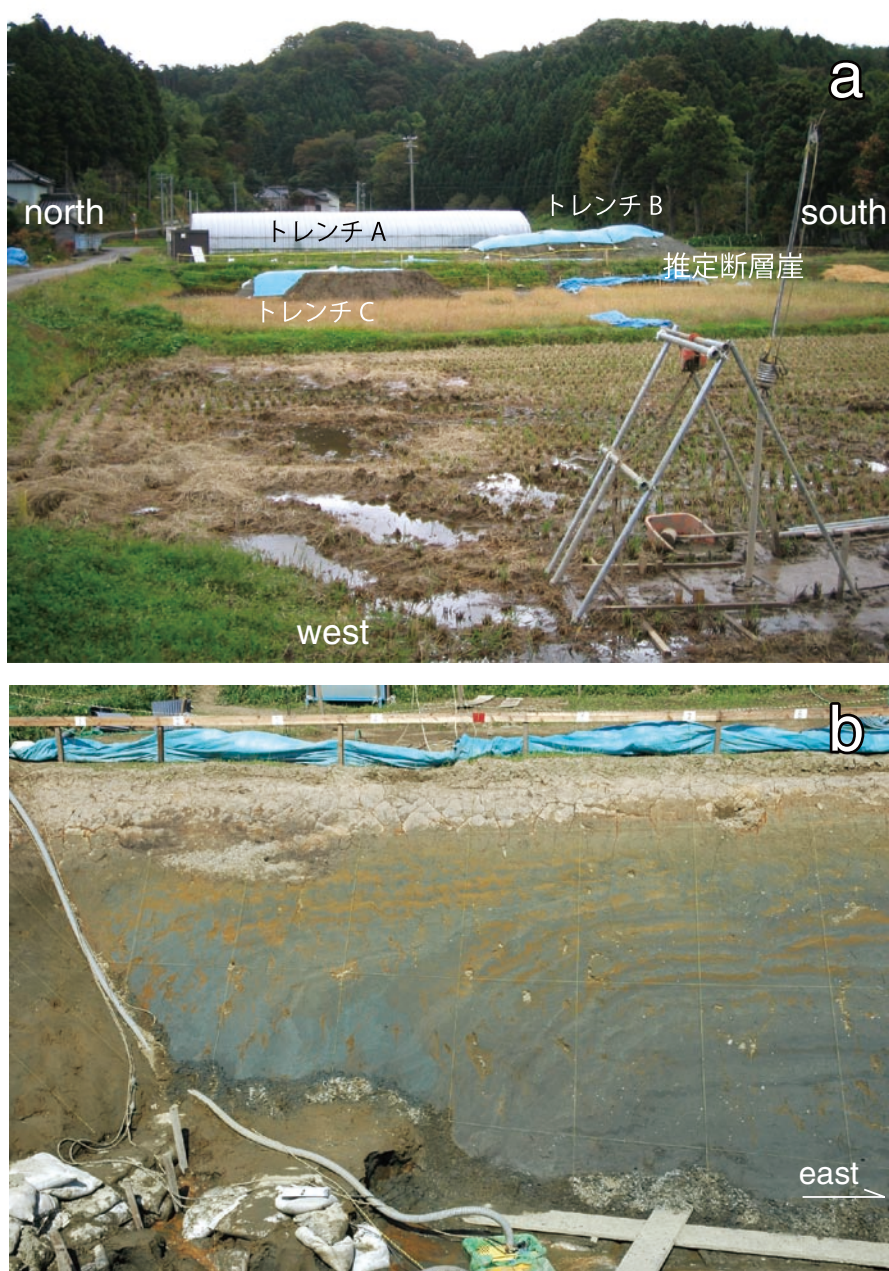
第1図. 庄内平野東縁断層帯の分布および調査地点. 断層分布は推本, 2002に基づく. 基図は国土地理院発行数値地図 200,000 分の1「酒田」「新庄」を使用.
 Fig. 1. Distribution of Shonai-heiya-toen fault zone and locations of paleoseismic trenches. Detail fault distribution is based on HERP (2002). Topographic base maps are from 1:200,000 Sakata and Shinjo published by Geographical Survey Institute.



第2図. 観音寺断層寺田地区調査地点位置図および測量図.
 Fig. 2. Location and detailed topographic maps at the Terada site on the Kan-nonji fault.

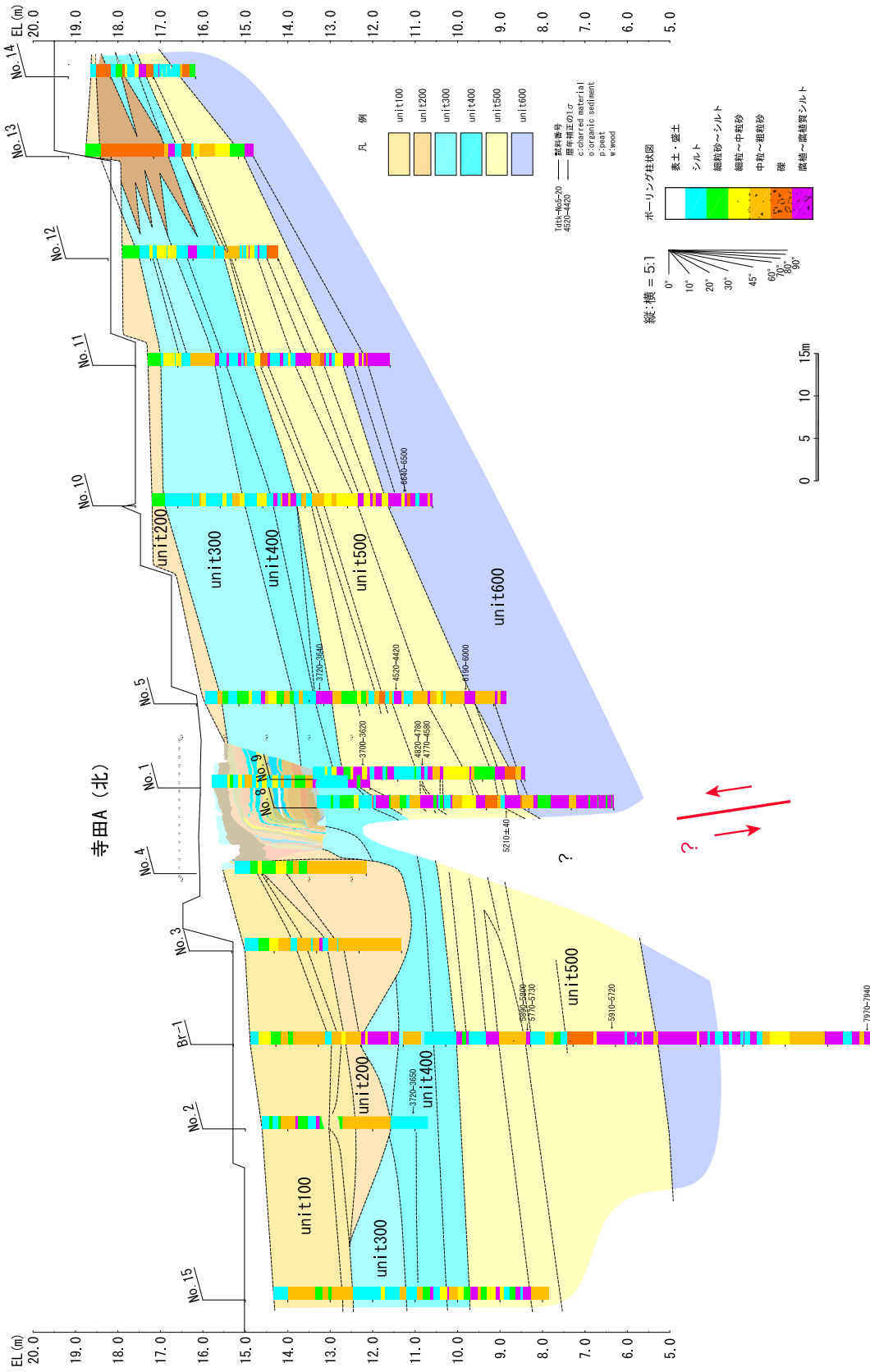


第3図. 寺田地区 A トレンチ壁面スケッチ展開図.
Fig. 3. Logs of the trench walls at Terada site A.

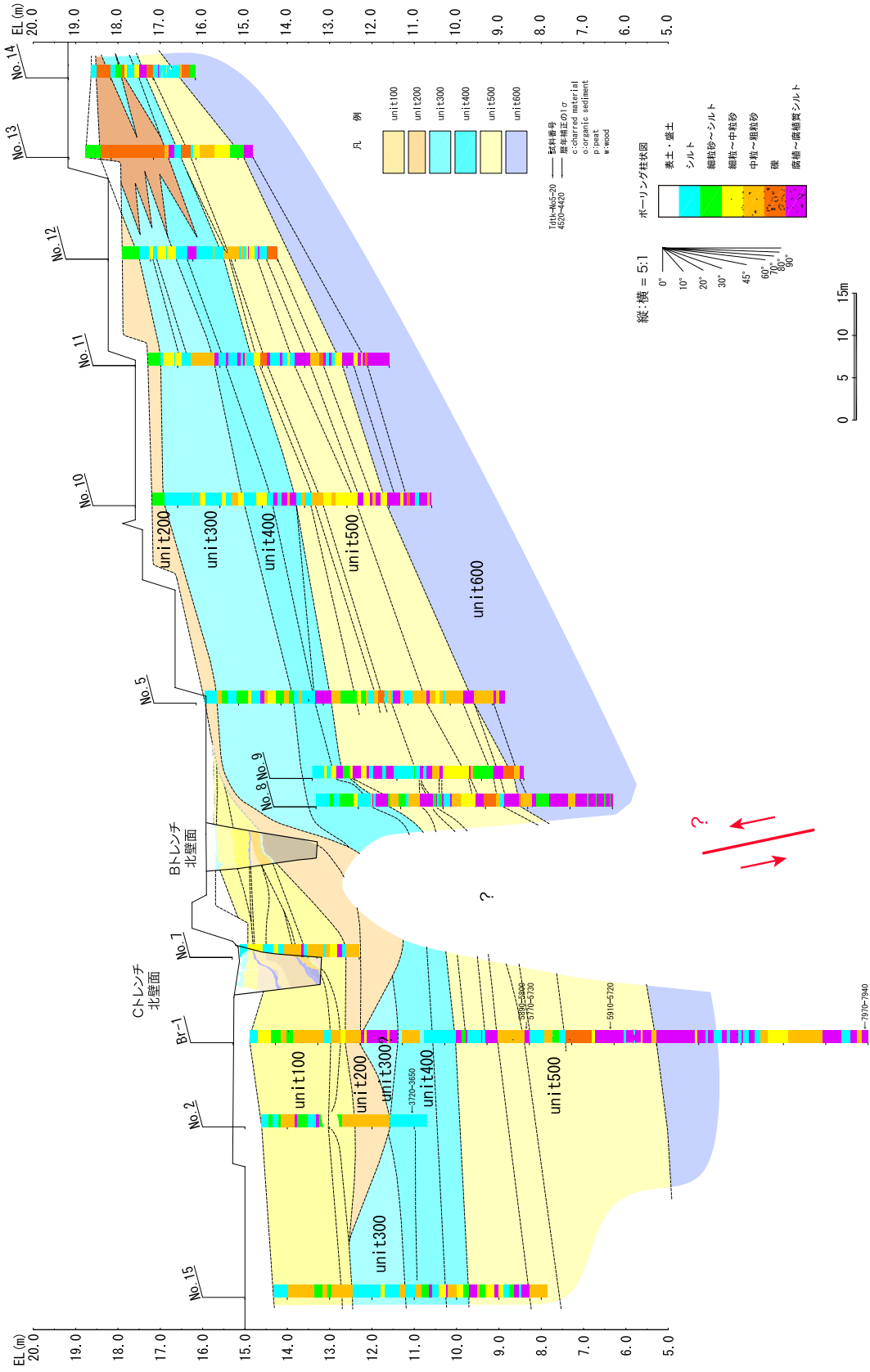


第 4 図. a) 寺田地区トレンチ掘削地点の写真. b) 寺田地区トレンチ A 壁面写真.
Fig. 4. a) Photograph showing a fault scarp and three trenches at Terada, b) Photograph showing deformation of the young sediments exposed in the Terada trench A.

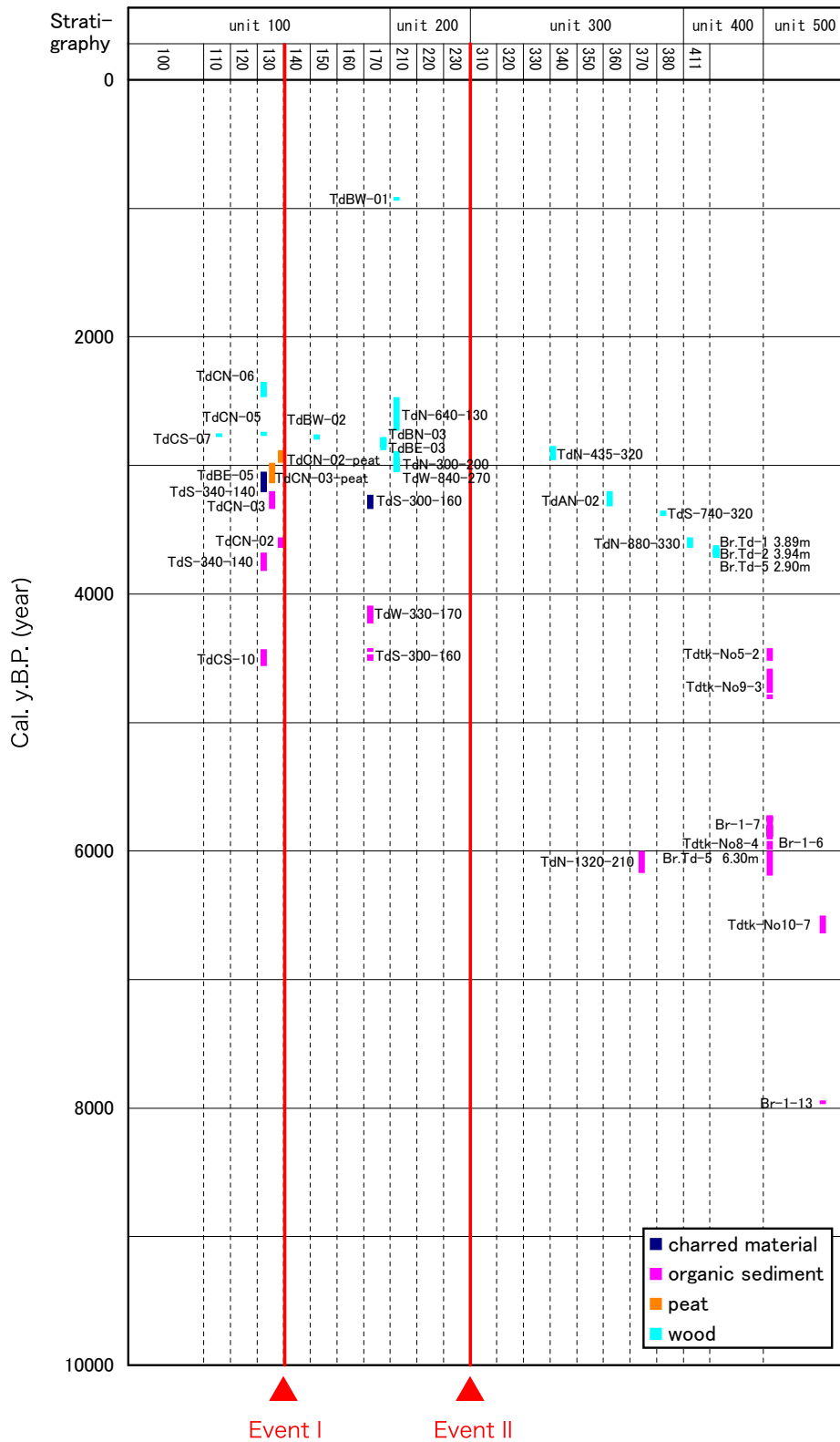
庄内平野東縁断層帯の古地震調査



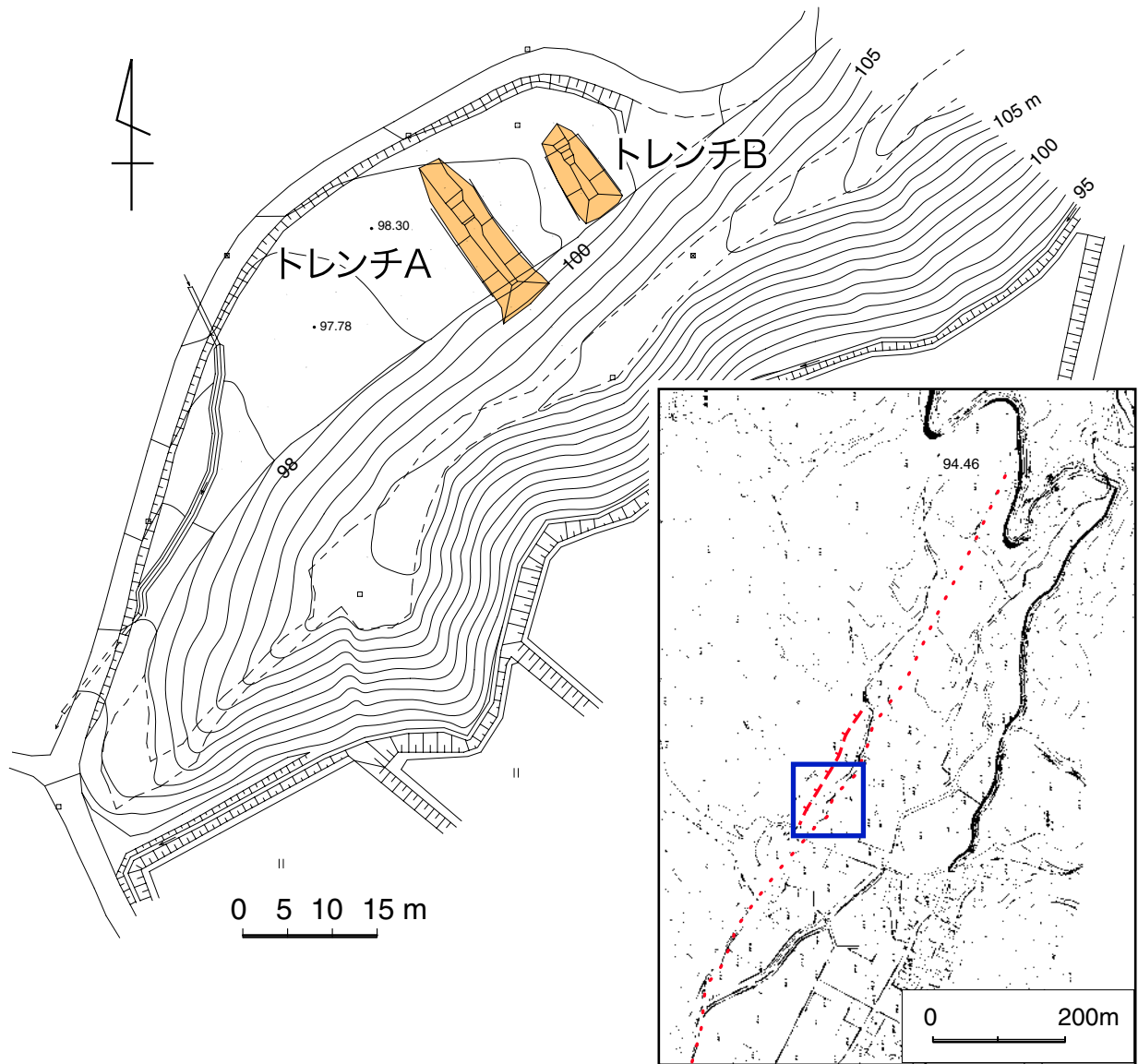
第7図. 寺田地区推定地質東西断面図. Aトレンチ測線, 測線位置は第2図を参照.
Fig. 7. East-west geologic cross section estimated from trench and drilling data. See the location in Fig. 2.



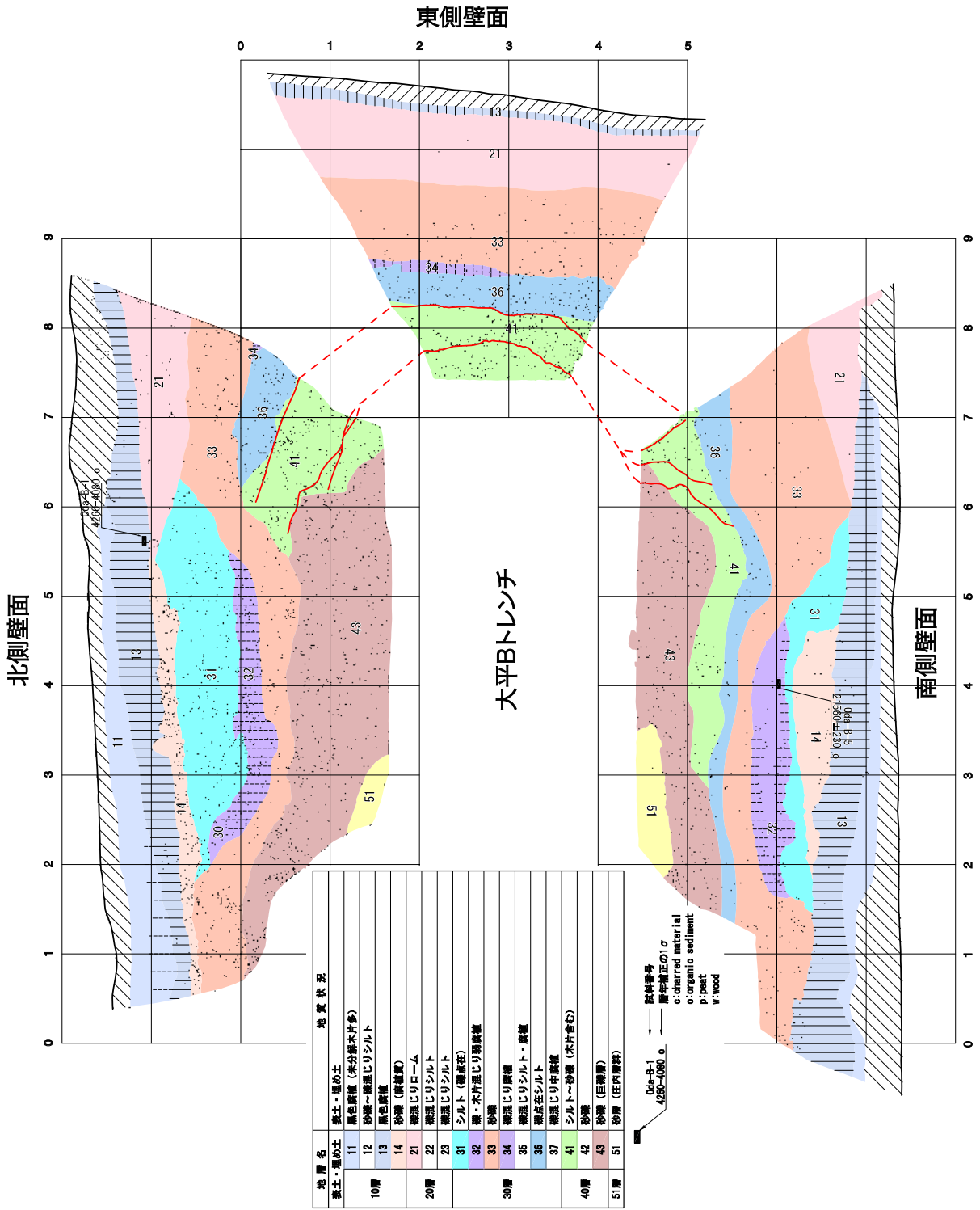
第 8 図. 寺田地区推定地質東西断面図, B トレンチ測線, 測線位置は第 2 図を参照.
 Fig. 8. East-west geologic cross section estimated from trench and drilling data. See the location in Fig. 2.



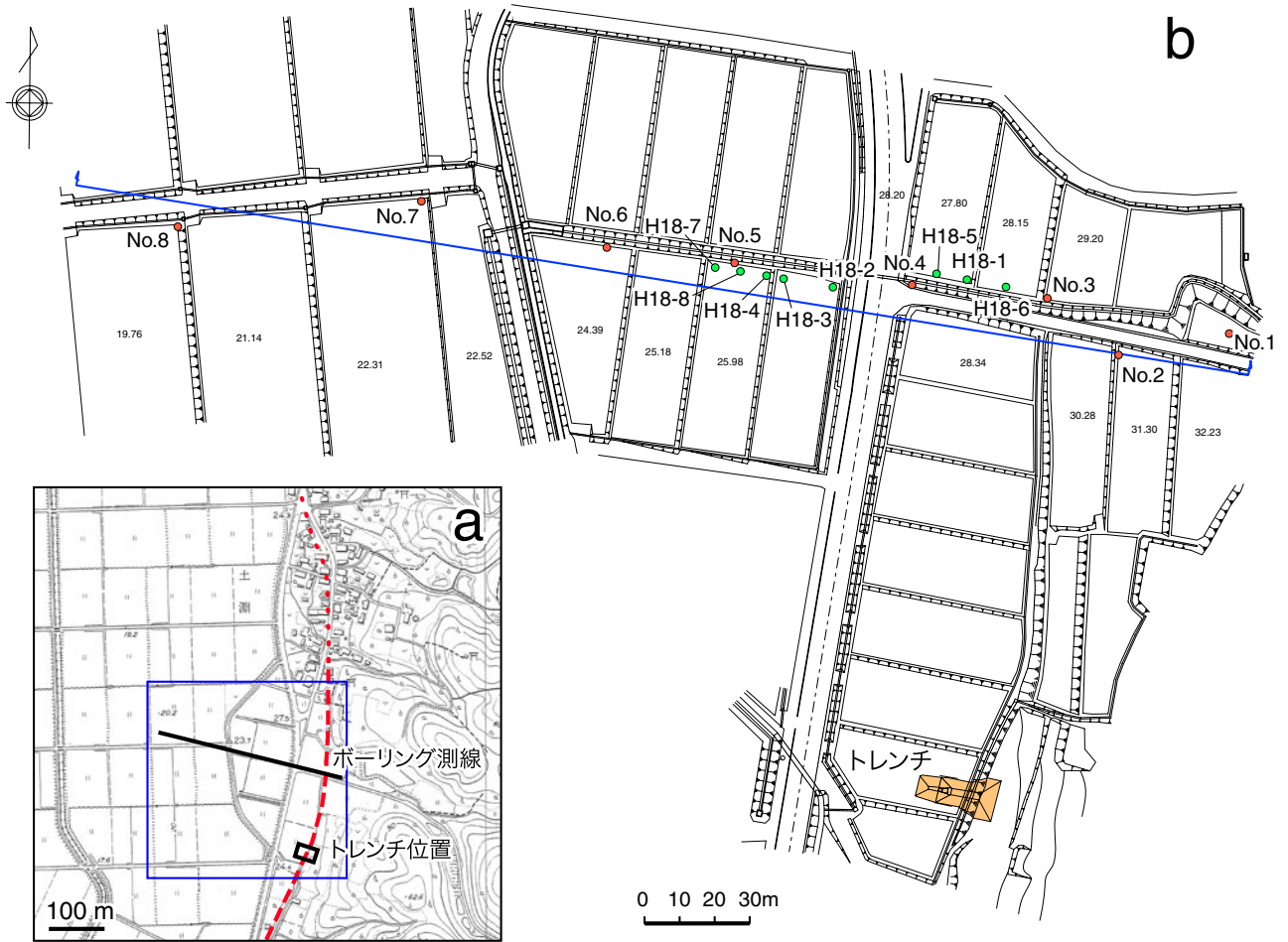
第9図. 観音寺断層寺田地区における古地震イベントダイアグラム。
 Fig. 9. Diagram showing timing of surface-rupturing earthquakes at Terada site across the Kan-nonji fault.



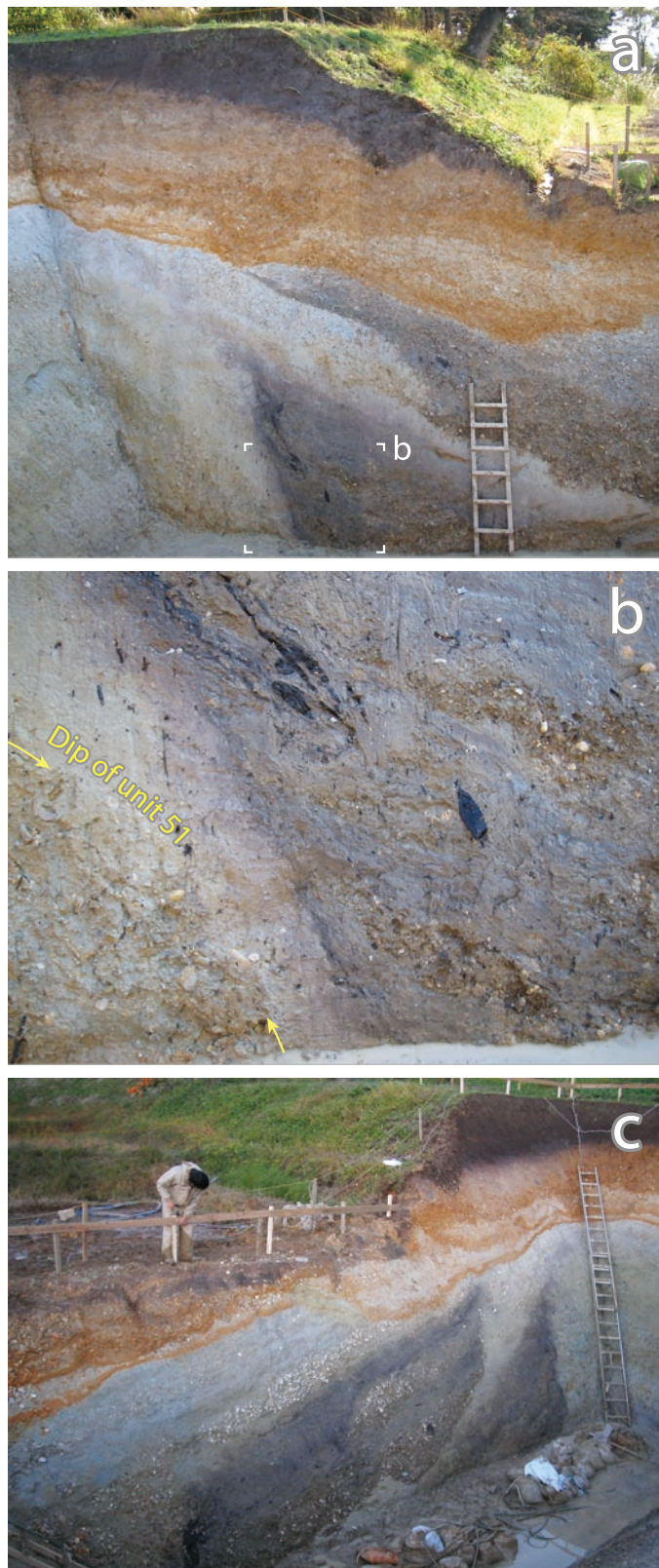
第10図. 通越断層大平地区におけるトレンチ調査地点位置図.
Fig. 10. Location of paleoseismic trenches at Odaira across the Torigoe fault.



第12図. 大平地区Bトレンチ壁面スケッチ展開図.
Fig. 12. Logs of the walls of the trench B at Odaira.



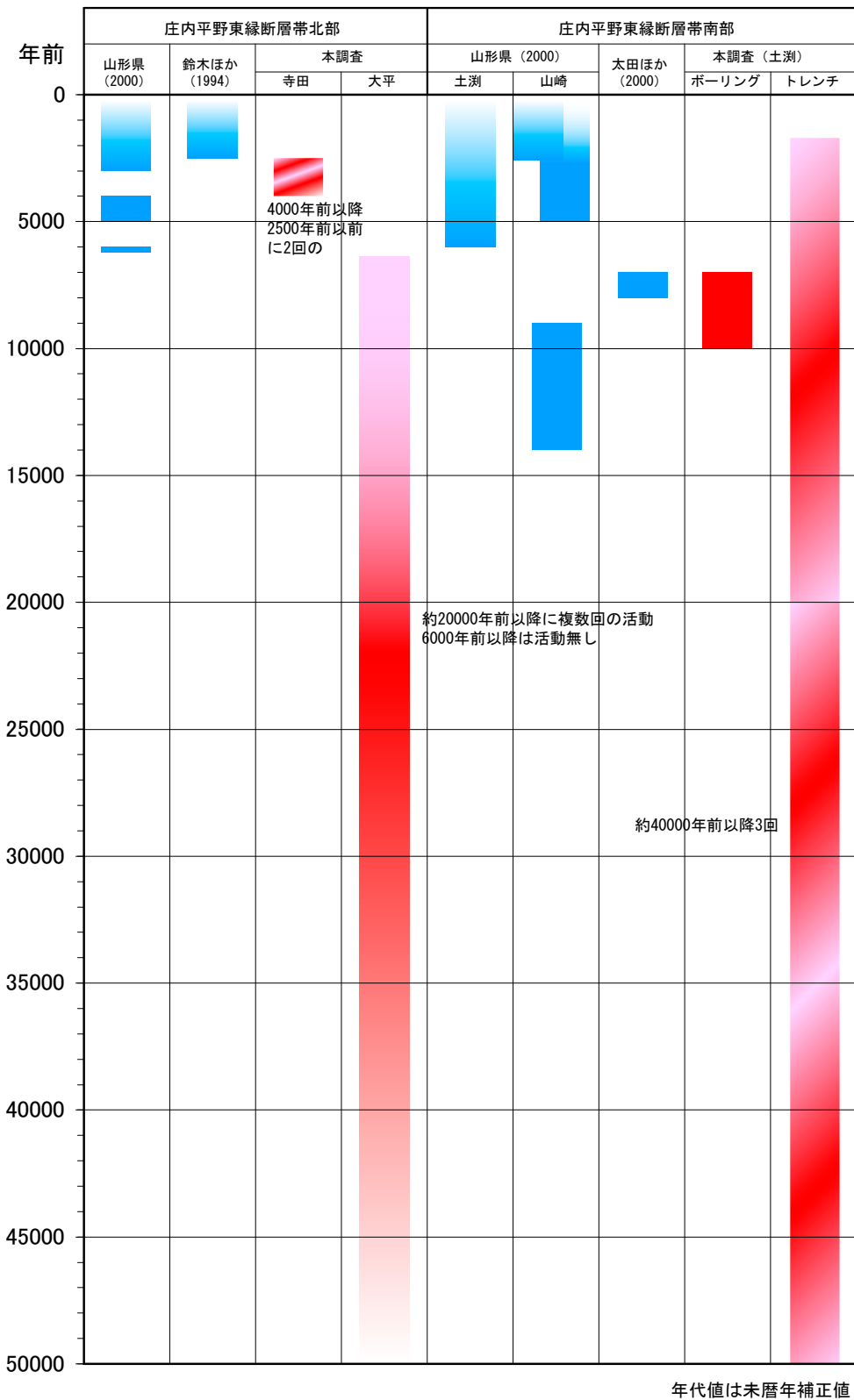
第 13 図. 松山断層土淵地区におけるトレンチ調査地点位置図 (a) および詳細測量図 (b).
 Fig. 13. Location (a) and detail topographic maps (b) of a trench and drill holes at Tsuchibuchi on the Matuyama fault.



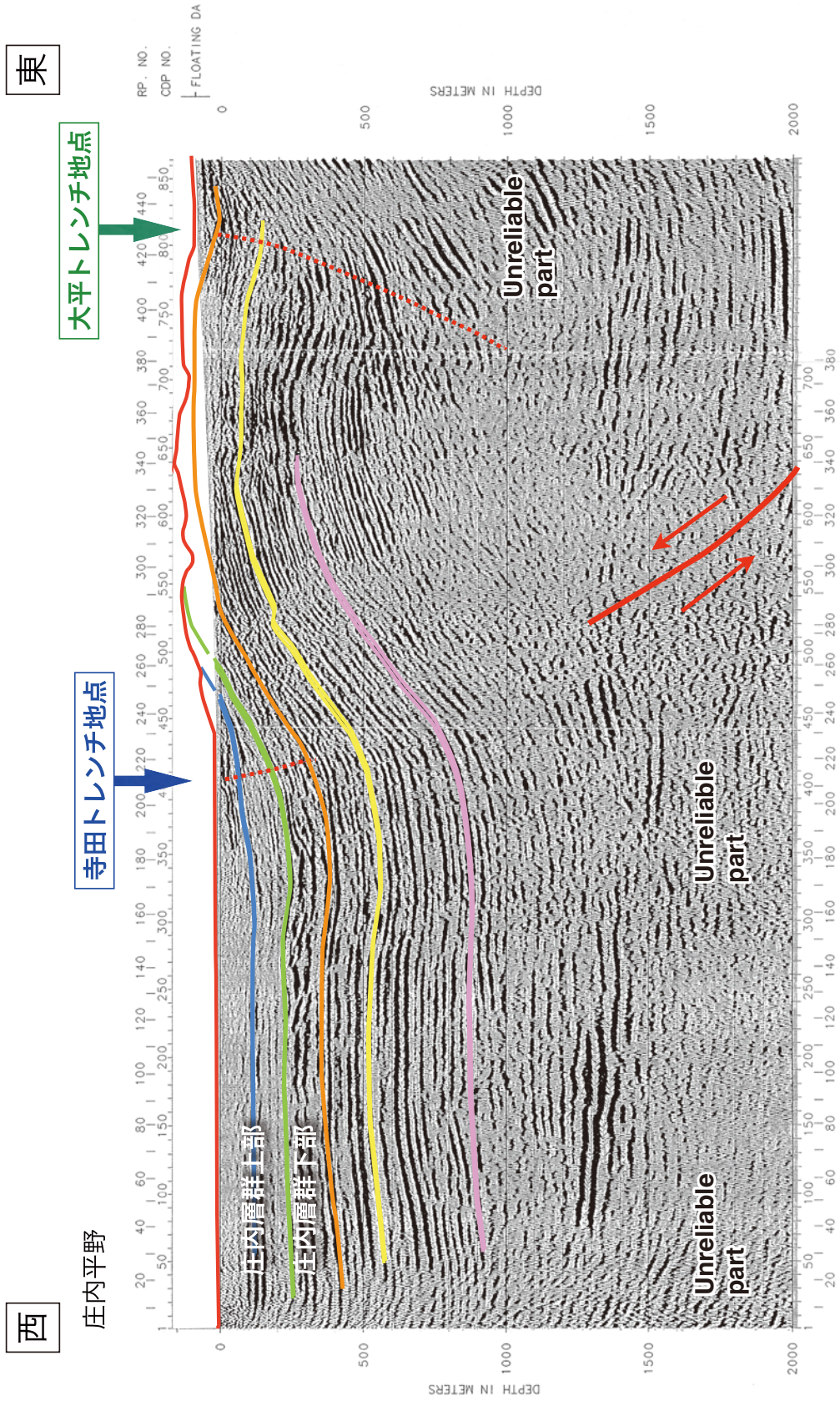
第 15 図. 土淵地区トレンチ壁面写真. a) 南側壁面東側, b) 南側壁面ユニット 51 の急傾斜, およびそれを覆いくさび状構造を示すユニット 42. c) 北側壁面.

Fig. 15. Photos of the trench walls. a) southern wall showing inclined unconformity due to flexure deformation, b) magnified view of the unconformity, and c) northern wall exposed multiple unconformities.

庄内平野東縁断層帯の古地震調査



第 17 図. 庄内平野東縁断層帯における地表を切る古地震イベントの総括ダイアグラム.
 Fig. 17. Composite diagram showing timing of the surface rupturing earthquakes along the Shonai-heiya-toen fault zone.



第 18 図. 生石地区における観音寺断層を横切る反射法地震探査結果とその解釈. 反射断面は山形県平成 9 年度調査結果による.
 Fig. 18. Seismic reflection profile and our interpretation along the east-west cross section at Oishi across the Kan-nonji fault. The original profile is after Yamagata Prefecture (1997).