

## 邑知瀉断層帯・石動山断層の活動履歴調査（その1／水白地区）

### Paleoseismological study of the Sekidosan fault, Ohchigata fault zone, at Mijiro site, Kashima Town, Ishikawa Prefecture, central Japan

杉戸信彦<sup>1</sup>・水野清秀<sup>2</sup>・堤 浩之<sup>3</sup>・吾妻 崇<sup>4</sup>・下川浩一<sup>5</sup>・吉岡敏和<sup>6</sup>

Nobuhiko Sugito<sup>1</sup>, Kiyohide Mizuno<sup>2</sup>, Hiroyuki Tsutsumi<sup>3</sup>, Takashi Azuma<sup>4</sup>,  
Koichi Shimokawa<sup>5</sup> and Toshikazu Yoshioka<sup>6</sup>

<sup>1,3</sup> 京都大学大学院理学研究科 (Graduate School of Science, Kyoto University, nsugito@kugi.kyoto-u.ac.jp, tsutsumh@kugi.kyoto-u.ac.jp)

<sup>2,4,6</sup> 活断層研究センター (Active Fault Research Center, AIST, k4-mizuno@aist.go.jp, t-azuma@aist.go.jp, yoshioka-t@aist.go.jp)  
<sup>5</sup> 地質調査情報センター (Geoinformation Center, AIST, k.shimokawa@aist.go.jp)

**Abstract:** We revealed subsurface geologic structures of the Sekidosan fault and estimated the paleoseismicity at Mijiro site, Kashima Town, Ishikawa Prefecture, central Japan, based on trenching and drilling surveys. On the trench walls, thrust faults and related folds have deformed the late Pleistocene and Holocene deposits, as indicated by previous geomorphological investigations. Deformational structures and radiocarbon ages suggest that 1) the latest three surface faulting occurred between 2,870 and 1,660 BC, between 1,690 and 60 BC (possibly between 1,210 and 400 BC), and after 1,210 BC, and 2) the amount of vertical offset associated with the latest two surface faulting was possibly about 2.2 m. In addition, southeastward dip of fault plane at 30-35° was inferred from the trench walls and a drilling core obtained from the upthrown side. This dip angle is consistent with those of the fault planes imaged on the seismic reflection profiles at Sakai and Hongo sites, 5 km and 7 km, respectively, southwest from Mijiro site. Considering this dip angle, net slip per one faulting event is estimated at 1.9-2.2 m. A net slip rate of the Sekidosan fault is also estimated to be 0.63-0.89 mm/yr or more, based on approximately 10.5-11.6 m of vertical offset of the 26-29ka Aira-Tn volcanic ash, which was identified on an outcrop located on the upthrown side and a drilling core on the down-thrown side.

**キーワード:** 邑知瀉断層帯, 石動山断層, トレンチ掘削調査, ボーリング調査, 古地震, 傾斜, 活動時期, 変位量, 変位速度

**Keywords:** Ohchigata fault zone, Sekidosan fault, trenching survey, drilling survey, paleoseismology, fault dip, faulting event, displacement, slip rate

#### 1. はじめに

邑知瀉断層帯は、能登半島南部に分布する逆断層帯で、邑知瀉南縁断層帯（石動山断層）、邑知瀉北縁断層帯（古府断層、徳田北方、眉丈山第1断層、同第2断層）によって構成される（活断層研究会編, 1980, 1991; 松田, 1990; 松田ほか, 2000; 池田ほか編, 2002）（第1図）。なかでも、石動山断層に沿っては、中～低位段丘面群および沖積面を累積的に変位させる明瞭な北西落ちの低断層崖や撓曲崖が多く、の地点で認定されてきた（太田ほか, 1976; 木村・恒石, 1978; 太田ほか, 1978; 堤ほか, 2000; 池田ほか編, 2002; 杉戸・堤, 2003）。

邑知瀉断層帯は、地震調査研究推進本部が選定した基盤的調査観測の対象活断層帯の一つである。産業技術総合研究所活断層研究センターでは、北陸電力（株）と共同で、2001年度から2年間にわたって

物理探査・ボーリング調査を行い、邑知瀉断層帯の地下構造や後期更新世以降の断層運動を解明してきた（下川ほか, 2002; 片川ほか, 2003; 水野ほか, 2003）。2003年度には京都大学大学院理学研究科と共同で、石動山断層を対象として、長期評価に必要である活動履歴の解明を目的としたトレンチ掘削調査を、石川県鹿島郡鹿島町の水白地区、および羽咋市の本江地区において実施した。水白地区ではさらに、断層面の傾斜角と指標火山灰を用いた変位速度の解明を目的として、断層線を挟んだ両側でボーリング調査を行った。本報告は、水白地区での調査の成果をまとめたものである。

#### 2. 地形面区分と断層変位地形

トレンチ調査の実施に先立って空中写真判読と現地踏査を行い、水白地区における地形面および断層

変位地形の分布を検討した(第2図(a)). 水白地区には、南東側の山地から北西へと流下する中小河川が形成した扇状地性の河成段丘面群、沖積面、および沖積錐が分布する。これらを、面のひろがり、連続性、開析度、地形面の上下関係と比高などから推定される相対的な形成時期に基づいて、高位から順にI~V面に区分した。地形面の形成時期を示す資料として、水白鍋山古墳が立地する地形面を構成する砂礫層の露頭(Loc. 1, 第2図(a); 標高30.1 m)から黄褐色火山灰層が発見された。この火山灰は、屈折率 $n=1.498-1.500$ のバブルウォール型ガラスを主体としており、始良 Tn 火山灰(AT, 26~29 ka; 町田・新井, 2003)に対比される。この地形面がIII面より上位に相当することから、少なくともIII面以下の地形面はAT火山灰の降下時より後に形成されたと推定される。

水白地区では、III~IV面の北西縁が北東-南西方向に連続する比高数mの低崖によって限られる(第2図(a)). この低崖は河川の流下方向とほぼ直交することから低断層崖であると推定される。水白鍋山古墳の東方においてII面の北西縁を限る低崖も、この低断層崖の北東延長線上に位置することから、低断層崖である可能性が高い。

### 3. トレンチ調査

#### 3.1 調査概要

水白地区において、IV面の北西縁を限る比高約2mの低断層崖にほぼ直交して、北西-南東方向にトレンチを掘削した(第2, 3図)。トレンチの形状は長さ約18m, 幅約4~6m, 深さ約2~4mで、観察を行った北東および南西壁面の傾斜は約60°である。観察初期の段階でトレンチ中央部の両壁面が崩落したため、掘削完了直後の壁面を示す資料は写真のみとなった(第4a, b図)。崩落後、両壁面の崩落部をそれぞれ奥に掘り込んで観察を行い、ログを作成した(第4c, d図)。調査の終了直前には南西壁面の中央部が再度崩落して新たな壁面が現れたため、これについてもログを作成した(第4d図)。写真・ログは傾斜した壁面に沿う長さに統一して表現しており、グリッド縦軸の0mは標高で26.31mにあたる。

なお、トレンチの掘削作業および壁面管理については、国際航業(株)に依頼した。調査中採取された<sup>14</sup>C試料については、(株)加速器分析研究所に、または(株)地球科学研究所を通じてBeta Analytic Inc.に年代測定を依頼した。暦年較正は1 $\sigma$ の誤差を用いて行い、10年単位に四捨五入した暦年代を示した(第1表)。また、土器片の鑑定は、(株)中部日本鋳業研究所、および七尾市教育委員会文化課に依頼した。

#### 3.2 トレンチ壁面の地層の記載

トレンチ壁面で観察された地層は、河成および湿

地性の未固結の泥層、砂層、礫層、および腐植質土壌層からなり、層相、層序、および年代に基づいて、上位より順にUnit I~VIに区分される(第4b, c, d図)。以下に各ユニットの層相および年代について記載する。

##### (1) Unit I

耕作土および人工埋土からなる。中下部より、主に12~15世紀に生産された珠洲焼の破片や生産時期不明の水晶片が出土したことから、少なくとも12世紀以降の地層と考えられる。

##### (2) Unit II

断層付近から断層の低下側(北西側)にかけて分布し、V面を構成する堆積物である。上部は腐植質土壌層、下部は砂層や砂礫層により構成される。再崩落後の南西壁面では、Unit II下部~Unit III上部を削り込む溝が認められる。この溝を埋積する地層やその上位の崩落性堆積物は、層序としてはUnit II中部に相当する。この溝の成因については、その形状から人工の可能性がある。

Unit II上部を構成する腐植質土壌層からは760~60 BCの年代値が得られている。Unit II下部の砂礫層から得られた1,390~1,260 BCの年代値は、下位のUnit IIIから得られた年代と逆転しており、上部の腐植質土壌層の年代値と比べて著しく古いため、再堆積した炭素を含む測定値と推定した。Unit II中部の崩落性堆積物からは、後述するUnit Vに相当する4,220~3,820 BCの年代値が得られているが、それらは断層運動によって衝上したUnit Vから供給された可能性があると考えた。

##### (3) Unit III

断層の低下側と隆起側の両側に分布し、隆起側ではIV面を構成する堆積物である。上部は腐植質土壌層、下部は砂層および砂礫層から構成される。上部の腐植質土壌層からは1,690~670 BCの年代値が、下部の砂層からは2,140~1,980 BCの年代値がそれぞれ得られている。なお、断層の隆起側でIV面を構成する地層は、上部の腐植質土壌層から820~670 BCの年代値が得られたことからUnit IIIに含めたが、低下側の他の試料と比べて若干新しく、さらに上位の地層に対比される可能性もある。

##### (4) Unit IV

断層付近から低下側にかけて分布する。腐植質泥層、腐植質砂層、砂層、および砂礫層により構成される。最上部の腐植質砂層は1,880~1,660 BCの年代を示す。

##### (5) Unit V

断層付近から低下側にかけて分布する。泥炭質泥

層、泥層、砂礫層により構成される。中上部の泥炭質泥層は7,450～2,470 BCの年代を示す。Unit Vからは790～540 BCの年代値も得られているが、同層準の他の年代と比較して著しく新しい値であり、上位の地層から新しい炭素が混入したためと考えられる。

#### (6) Unit VI

断層付近から隆起側にかけて分布し、隆起側ではUnit IIIに傾斜不整合で覆われる。泥層、腐植質泥層、砂層、砂礫層により構成される。最上部の年代は>47,680 yBPと、AMS法による<sup>14</sup>C年代測定の限界値をこえる。Unit VI最上部からはパッチ状の黄褐色火山灰層が発見された。この火山灰は著しく風化しており、屈折率等の分析は不能であったが、肉眼観察結果からAT火山灰である可能性が高いと考えられる。また、トレンチの山側壁面（南東壁面）では、露出したUnit VIの最下部でレンズ状に分布する茶褐色火山灰が発見された。この火山灰は、屈折率 $n=1.509-1.513$ のガラスと、屈折率 $\gamma=1.699-1.704$ の斜方輝石を含むことから、阿蘇4火山灰（Aso-4, 85～90 ka；町田・新井, 2003）であると判断される。ただし、この阿蘇4火山灰は、観察初期の段階で南東壁面が崩落し埋没したため、第4b, c図ではログの範囲外にそのおおよその位置を示してある。

なお、グリッド横軸10～14 mの壁面上部には、Unit VIを傾斜不整合関係で覆い、Unit IIIに覆われる地層（Unit VI）が分布する。この地層は、得られた年代値（34,630±240 yBP）に基づけば、Unit VIの一部に相当すると判断される。

### 3.3 壁面の断層と低断層崖との関係

トレンチの北東・南西両壁面の中央部において、明瞭な逆断層と地層の変形が確認された。各地層は断層に向かって引きずられるように変形しており、その変形の程度は下位の地層ほど著しい。トレンチ壁面における変位・変形域は、第4c, d図に示されるように、北東壁面でグリッド横軸5 m付近、南西壁面ではグリッド横軸6～7 m付近から、低断層崖の基部をこえて、トレンチ南東端（グリッド横軸18 m）にまで達し、さらに南東に広がっていると考えられる。一方、低断層崖はグリッド横軸9～13 m付近に位置する。現地での聞き取り調査に基づく、このような変形フロントと低断層崖の位置の不一致は、低断層崖が人工改変によって南東側に数m後退させられた結果であり、変形フロントの位置は改変以前の低断層崖の位置とほぼ一致していたと考えられる。

### 3.4 断層活動イベント層準の認定とその時期

トレンチ壁面に現れた各地層の変位・変形構造より、以下に示す4つの層準に断層活動イベントを認定した（第4b, c, d図）。

#### (1) イベント層準1

崩壊前のトレンチ北東壁面（第4b図）において、Unit II下部の砂礫層が断層に向かってゆるやかに傾斜を増している。またその基底部は断層付近で引きずられるように直立ないし逆転しているように見える。この構造は、Unit Iにほぼ水平に覆われる。これらのことから、Unit II下部堆積後、Unit I堆積前にイベント層準1が推定される。このイベントは、崩壊後の北東壁面においても、グリッド横軸4～6 m付近でUnit IIが増傾斜しているように見えること、再度の崩壊後の南西壁面では、人工的に作られたと思われる溝の底面が北西に傾斜していることから、存在の可能性が示唆される。

イベント層準1の時期については、Unit II下部の堆積時期を直接示す年代値が得られていないため、その下位のUnit IIIから得られた年代値（1,210～900 BC）から、1,210 BC（約3,200年前）以後としか限定できない。上位のUnit Iは主に12～15世紀に生産されたの珠洲焼の破片を含むが、耕作土または人工埋土であると推定されるため、イベント時期の上限は押さえることができない。

なお、崩壊前の北東壁面では、Unit I中にUnit II起源と考えられる腐植質土壌のブロックが反転するように挟まれている（第4b図）ほか、崩壊後の北東壁面でもUnit IIの砂層が珠洲焼の破片を含むUnit I上に反転して覆い被さるような構造が見られる（第4c図）。しかし、いずれの壁面でもUnit Iの基底に上下変位が見られないこと、Unit Iが人工改変を受けた地層であることから、断層活動を示す証拠とはならないと判断した。

#### (2) イベント層準2

再崩壊後のトレンチ南西壁面（第4d図）において、逆断層がUnit IIIの腐植質土壌層（1,520～1,440 BC）までを切断し、人工的に作られたと思われる溝を埋積するUnit II中部の地層によって覆われることが確実である。また、崩壊前の北東壁面（第4b図）において、Unit IIとUnit IIIの間に、変形の程度の違いによる傾斜不整合が見られる。これらのことから、Unit III堆積後、Unit II堆積前の層準にイベント層準2が認定される。さらに、Unit IIが断層付近から低下側にのみ分布し、かつUnit IIIが低下側・隆起側両側に分布することから、Unit II堆積開始時にはすでにUnit IIIが断層運動を受けて低断層崖が形成されていた可能性がある。

イベント層準2の時期については、Unit IIおよびIIIから得られた年代のバラツキが大きいため、以下のように2通りの考察を行った。まず、Unit IIおよびIIIから得られたすべての年代測定値を考慮し、その範囲でとりうるイベント時期の最大幅を考えた場合、Unit IIの腐植質土壌層の最も新しい年代（760～60 BC）と、Unit IIIの腐植質土壌層の最も古い年代

(1,690~670 BC) から、イベント層準 2 の時期は 1,690~60 BC (約 3,700 年前~2,100 年前) の間である可能性が高いと考えられる。一方、個々年代測定値に基づいてイベント発生時期を狭く限定した場合には、その年代は Unit II の腐植質土壌層で得られた最も古い年代値である 760~400 BC、断層低下側の Unit III の腐植質土壌層で得られた最も新しい年代値である 1,210~900 BC が採用され、イベント層準 2 の時期は 1,210~400 BC (約 3,200 年前~2,400 年前) に限定することができる。

### (3) イベント層準 3

崩落前および崩落後のトレンチ北東壁面 (第 4b, c 図) では、少なくとも Unit V の中部までが円弧状逆断層による著しい変形を受けているが、上位の Unit IV には同様の変形は見られず、撓曲変形を受けて北西に傾斜するのみである。よって、少なくとも Unit V 堆積中以後、Unit IV 堆積前の層準にイベント層準 3 が認定される。この円弧状逆断層は南西壁面における最も下盤側の逆断層に相当し、南西壁面ではこの逆断層が同時に活動したものと考えられる。

イベント層準 3 の時期については、断層変位を受けたことが確実な Unit V 中部を構成する泥炭質泥層が 2,870~2,670 BC の年代を、Unit IV を構成する腐植質砂層が 1,880~1,660 BC の年代をそれぞれ示すことから、2,870~1,660 BC (約 4,900 年前~約 3,700 年前) であると推定される。なお、Unit V 基底の下部の程度は Unit IV に比べて著しく大きいことから、Unit V 堆積中にさらに 1 回以上の断層活動があった可能性も否定できない。

### (4) イベント層準 4

トレンチ両側壁面 (第 4c, d 図) において、Unit VI はグリッド横軸 10 m より南東では西に急傾斜し、断層に近傍では逆転する。一方、Unit VI を覆う Unit V はグリッド横軸 8~10 m 付近において西へ急傾斜するが、地層が逆転するまでには到らない。このように Unit VI と V との間にも著しい傾斜不整合が認められることから、Unit V 堆積後、Unit IV 堆積前の層準にイベント層準 4 が認定される。

イベント層準 4 の時期については、Unit VI 最上部で AT 火山灰が見いだされており、一方で、Unit V 中で得られた最も古い年代が 7,450~7,180 BC を示すことから、AT 火山灰降下時~7,180 BC (約 29,000 年前~約 9,200 年前) に発生したと推定される。なお、Unit VI の変形の程度は Unit V に比べて著しく大きいことから、この層準には複数のイベントが存在する可能性が高い。

## 3.5 断層の活動時期と活動間隔

以上に述べたトレンチ壁面におけるイベント層準の認定から、断層の最新活動時期はイベント層準 1

にあり、約 3,200 年前以後と推定される。さらに、その 1 回前の活動時期はイベント層準 2 の年代から約 3,700 年前~2,100 年前 (限定した場合、約 3,200 年前~約 2,400 年前)、2 回前の活動時期はイベント層準 3 の年代から約 4,900 年前~3,700 年前と推定される。なお、イベント層準 3 には複数の断層活動があった可能性もあることから、3 回前以前の活動時期は限定することができない。以上の最新 3 回の断層活動時期からその活動間隔を計算すると、最新および 1 回前の活動時期が十分に限定できないため、約 4,900 年前~3,700 年前以後に 3 回の活動があったとし、少なくとも最近 100 年間に断層活動がなかったとすると、平均 1,200~2,400 年程度と求められる。

### 3.6 1 回の変位量

Unit III は断層を挟んで低下側および隆起側の双方に分布することから、イベント層準 2 の直前までに、それ以前に形成されていた低断層崖が浸食・削平され、Unit III がほぼ水平に一連の地形面を構成していたと考えられる。この場合、Unit III 上面の上下変位量約 2.2 m が最近 2 回の活動に伴う上下変位量に相当することになる (第 2c 図)。後述するように、断層面の傾斜が 30~35° と見積もられることを考慮すると、最近 2 回の活動に伴う実成分の変位量は 3.8~4.4 m と見積もられ、1 回あたりの変位量は平均 1.9~2.2 m となる。ただし、先に述べたように、隆起側の Unit III は、低下側のものよりやや新しい年代値が得られたことから、より上位の地層に相当する可能性も捨てられない。その場合、Unit III の上下変位量は断層低下側の変形による約 1.5 m (上下成分) より大きいとしか言えず、1 回の変位量について詳細に議論することはできない。

## 4. ボーリング調査

### 4.1 調査概要

水白地区のトレンチ掘削調査地点付近の断層線の両側において計 2 本のボーリングを掘削した (第 2 図 (b)、第 5 図)。掘削深度は No. 1 孔が 15 m、No. 2 孔が 20 m である。なお、ボーリング掘削作業は (株) エオネックスに依頼して実施した。コア中に見いだされた火山灰層については、火山ガラスの屈折率を測定したほか、重鉍物の屈折率測定および火山ガラスの EDS 分析を (有) 古澤地質調査事務所に依頼した (第 2 表)。また、コアから得られた試料の  $^{14}\text{C}$  年代測定は (株) 加速器分析研究所に依頼した (第 3 表)。

### 4.2 ボーリングコアの層序と構造

#### (1) No. 1 コア

No. 1 孔から採取されたコアは、主に河成および湿地性の未固結の泥層、砂層および砂礫層から構成され、地層の傾斜、テフラの分布深度、および  $^{14}\text{C}$  年

代により、深度 1.59 m および 10.55 m を境界として上部・中部・下部に区分される（第 5 図，第 2，3 表）。

上部は、上位より順に耕作土、砂礫層、および腐植質泥層からなり、 $^{14}\text{C}$  年代は深度 1.43~1.45 m で 6,330~6,090 BC を示す。

中部は、深度 7.77 m 以浅では砂、シルトなどの細粒堆積物が優勢であるが、それ以深では砂礫などの粗粒堆積物が優勢である。中部では 2 層の火山灰層が確認された。深度 3.7 m に認められる火山灰は、屈折率  $n=1.508-1.513$  のバブル型ガラス、屈折率  $\gamma=1.6985-1.7086$  の斜方輝石、および  $n_2=1.6846-1.6962$  の褐色角閃石を含むことから、Aso-4 火山灰であると判断される。また、深度 5.0~5.3 m に認められる火山灰は、屈折率  $n=1.496-1.498$  のガラスや緑色角閃石を含んでおり、火山ガラスの EDS 分析結果も考慮すると、三瓶木次火山灰（SK, 110~115 ka；町田・新井，2003）であると判断される。 $^{14}\text{C}$  年代は深度 7.51 m で  $>51,500$  yBP と、AMS 法による  $^{14}\text{C}$  年代の限界値をこえる。

下部では砂礫などの粗粒堆積物が優勢である。 $^{14}\text{C}$  年代は深度 10.60 m, 10.85 m, 11.75 m でそれぞれ  $37,710\pm 290$  yBP,  $36,990\pm 280$  yBP,  $41,800\pm 440$  yBP を示す。

上部の地層はほぼ水平であるが、中部の地層は  $20\sim 40^\circ$  傾斜する。よって、上部・中部の境界は不整合面であると考えられる。また、下部の地層はほぼ水平なものも多く、火山灰の分布深度や  $^{14}\text{C}$  年代も考慮すると、中部・下部の境界（傾斜約  $30^\circ$ ）が断層面である可能性が高い。

## (2) No. 2 コア

No. 2 孔から採取されたコアは、主に河成および湿地性の未固結の泥層、砂層、および砂礫層から構成され、その大部分はほぼ水平である（第 5 図，第 2，3 表）。全体として粗粒堆積物が優勢であるが、中下部では腐植質な細粒堆積物が多く含まれる。

コアでは 3 層の火山灰層が見いだされた。深度 6.1 m に認められる火山灰は、屈折率  $n=1.499-1.501$  のバブル型ガラスを主体とし、屈折率  $\gamma=1.7235-1.7261$  の斜方輝石を含むことから、AT 火山灰であると判断される。深度 7.05 m にも屈折率  $n=1.499-1.501$  のバブル型ガラスを主体とし、屈折率  $\gamma=1.7047-1.737$  の斜方輝石を含む火山灰が認められる。この火山灰も AT 火山灰であると判断される。これら 2 枚の AT 火山灰のうち、上位のものは再堆積によるものと考えられる。また、深度 18.6 m に認められる火山灰は、屈折率  $n=1.496-1.498$  のガラスや緑色角閃石を含んでおり、火山ガラスの EDS 分析結果も考慮すると、SK 火山灰であると判断される。 $^{14}\text{C}$  年代は下位のものほど古く、深度 2.55~2.56 m では  $3,630\sim 3,380$  BC を、6.94 m, 8.00 m, 17.72 m ではそれぞれ  $24,970\pm 130$  yBP,  $26,000\pm 130$  yBP,  $>53,500$  yBP を示す。

## (3) コアの対比

それぞれのコアの層序、層相、年代および構造から、No. 1 コアの下部は、No. 2 コアの深度 8.74~13.04 m の地層に対比される（第 5 図）。また、No. 1 コア上部の基底（深度 1.21~1.59 m）にある腐植質シルト層はトレンチ壁面における Unit V に、No. 2 コアの深度 3.06 m 以浅の地層はトレンチ壁面における Unit I~V にそれぞれ対比される可能性が高い（第 6 図）。

## 4.3 断層の傾斜

断層面のさらに深部での形態を推定するため、ボーリング調査によって推定される水白地区の地形・地質構造を低断層崖とほぼ直交する北西-南東走向の断面へ投影して示した（第 6 図）。トレンチ壁面に露出する断層と No. 1 コアで推定された断層を直線で結ぶと、その傾斜角は約  $32^\circ$  となり、コアにおける断層面の傾斜（約  $30^\circ$ ）とほぼ一致する。断層面の傾斜方向と第 6 図に示した断面の走向が若干異なる可能性があることを考慮すると、水白地区における断層面の傾斜角は  $30\sim 35^\circ$  と見積もられる。水白地区の 5~7 km 南西にあたる羽咋市本江地区および酒井地区では、反射断面の南東端部に深度約 200 m 付近まで  $20\sim 40^\circ$  で南東に傾斜する断層面が認定されており（下川ほか，2002；水野ほか，2003）、今回得られた断層面の傾斜角はこれと調和的である。

## 4.4 AT 火山灰の降下時以降の平均変位速度

断層低下側の No. 2 コアで見いだされた AT 火山灰と、約 300 m 離れた断層隆起側の Loc. 1（第 2 図 (a)）における AT 火山灰の標高を比較すると、その差は 11.6 m となる（第 6 図）。AT 火山灰がもともと同一の地形面に降下し、かつ Loc. 1 が断層による変形帯より山側にあると仮定した場合、AT 火山灰層準は降下以降に 10.5~11.6 m の上下変位を受けたことになる。ただし、10.5 m は当時の地形面が現在の地形面と同程度の傾斜を有していたと仮定した場合の値、11.6 m は当時の地形面が水平であったと仮定した場合の値である。

この上下変位量と AT 火山灰の降下年代（26~29 ka）より、平均上下変位速度は  $0.36\sim 0.44$  mm/yr と計算される。さらに、断層面の傾斜（ $30\sim 35^\circ$ ）を考慮すると、実成分の平均変位速度は  $0.63\sim 0.89$  mm/yr と求められる。この値は羽咋市宇田野地区における過去 6,000 年間の平均上下変位速度  $0.8\sim 1.0$  mm/yr（堤ほか，2000）の  $1/3\sim 1/2$  程度である。ただし、Loc. 1 が断層面近傍に発達する変形帯の内部にある場合、AT 火山灰層準の上下変位量や平均変位速度は上記の値より大きくなる。

なお、SK 火山灰は No. 1・No. 2 両コアで見いだされており、その標高差は約 16 m であるが、No. 1 コアにおいて SK 火山灰を挟む地層が  $20\sim 40^\circ$  傾斜

しており、断層近傍の変形帯内部にあると考えられるため、平均変位速度の算出には用いなかった。

## 5. まとめ

水白地区においてトレンチ掘削調査・ボーリング調査を実施した結果、以下の成果が得られた。

(1) 石動山断層は逆断層であることが確認されるとともに、地下浅部における断層面は $30\sim 35^\circ$ で南東に傾斜している可能性が高い。

(2) 水白地区では、石動山断層が AT 火山灰の降下時より後に複数回にわたって活動しており、最新活動時期は約 3,200 年前以後、1 回前の活動時期は約 3,700 年前 $\sim$ 2,100 年前(限定した場合約 3,200 年前 $\sim$ 約 2,400 年前)、2 回前の活動時期は約 4,900 年前 $\sim$ 3,700 年前と推定される。断層を挟んだ Unit III を対比すると、最近 2 回の活動から求められる 1 回あたりの変位量は平均 1.9 $\sim$ 2.2 m と見積もられる。

(3) AT 火山灰の降下時以降の平均変位速度は 0.63 $\sim$ 0.89 mm/yr 以上である。

なお、断層の隆起側における Aso-4 火山灰と Unit VI の関係については、今後さらに検討を加える必要がある。

**謝辞** 調査地の地権者および石川県、鹿島町の方々には本調査の実施に際してご理解、ご協力、ご配慮をいただいた。トレンチより出土した土器片は、(株)中部日本鉱業研究所の中井栄策氏・中村恭子氏・野崎 保氏、および七尾市教育委員会文化課の善端直氏に鑑定していただいた。京都大学大学院理学研究科(当時)の松岡 暁氏には、トレンチ掘削調査全般にわたりご協力いただいた。また、京都大学大学院理学研究科の教官・学生の方々からは、トレンチ壁面の解釈を行ううえで重要なご意見を数多くいただいた。以上の方々に厚く御礼申し上げます。

## 文 献

池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志編(2002) 第四紀逆断層アトラス。東京大学出版会、254p。  
 片川秀基・柴田俊治・吉田 進・浜田昌明・下川浩一・水野清秀・吾妻 崇(2003) 群列ボーリングによる邑知瀉断層帯南縁部の地下地質。地球惑星科学関連学会 2003 年合同大会予稿集, J027-P015。  
 活断層研究会編(1980) 日本の活断層一分布図と資料。東京大学出版会、363p。  
 活断層研究会編(1991) 新編日本の活断層一分布図と資料。東京大学出版会、437p。

木村敏雄・恒石幸正(1978) 太田陽子・松田時彦・平川一臣著「能登半島の活断層」に対して。第四紀研究, 17, 39-42。  
 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、336p。  
 松田時彦(1990) 最大地震規模による日本列島の地震分帯図。東京大学地震研究所彙報, 65, 289-319。  
 松田時彦・塚崎朋美・萩谷まり(2000) 日本陸域の主な起震断層と地震の表一断層と地震の地方別分布関係一。活断層研究, 19, 33-54。  
 水野清秀・下川浩一・吾妻 崇・杉山雄一・片川秀基・柴田俊治・吉田 進・浜田昌明(2003) 浅層反射法地震探査とボーリングによる邑知瀉断層帯南縁部の地下地質構造調査。活断層・古地震調査報告, No. 3, 315-362。  
 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、68p+DVD2 枚+付図 1 葉。  
 太田陽子・松田時彦・平川一臣(1976) 能登半島の活断層。第四紀研究, 15, 109-128。  
 太田陽子・松田時彦・平川一臣(1978) 木村・恒石両氏の「討論」に対するコメント。第四紀研究, 17, 43-46。  
 下川浩一・水野清秀・杉山雄一・片川秀基・柴田俊治(2002) 石川県羽咋市付近における邑知瀉断層帯の反射法地震探査。活断層・古地震研究報告, No. 2, 69-79。  
 Stuiver, M. and Reimer, P.J. (1993) Extended  $^{14}\text{C}$  database and revised CALIB radiocarbon calibration program. *Radiocarbon*, 35, 215-230。  
 Stuiver, M., Reimer, P.J., Bard, E., Beck, J.W., Burr, G.S., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, F.G., v.d. Plicht, J. and Spurk, M. (1998a) INTCAL98 radiocarbon age calibration 24000-0 cal BP. *Radiocarbon*, 40, 1041-1083。  
 Stuiver, M., Reimer, P.J. and Braziunas, T.F. (1998b) High-precision radiocarbon age calibration for terrestrial and marine samples. *Radiocarbon*, 40, 1127-1151。  
 杉戸信彦・堤 浩之(2003) 邑知瀉平野南東縁・石動山断層の最近 2 回の活動時の上下変位量分布。地球惑星科学関連学会 2003 年合同大会予稿集, J027-P017。  
 堤 浩之・東郷正美・今泉俊文・石山達也・原口強(2000) 石川県羽咋市における石動山断層の地層抜き取り調査。活断層研究, 19, 69-76。  
 (受付: 2004 年 8 月 2 日, 受理: 2004 年 11 月 15 日)

第1表. トレンチ壁面から得られた試料の<sup>14</sup>C年代測定結果.  
Table 1. Radiocarbon ages of samples obtained from the trench.

Wall	Unit	Location (m)		Description	$\delta^{13}\text{C}$ (permil)	Conventional <sup>14</sup> C age (1 $\sigma$ , yBP)	Calibrated <sup>14</sup> C age * (1 $\sigma$ , cal. yrs.)	Proba- bility *	Method	Lab.No. **
		Horizontal	Vertical							
NE	I	17.46	+1.43	charred material	-27.1	360±30	1477AD-1522AD 1576AD-1626AD	0.477 0.523	AMS	Beta-183660
	II	4.25-4.30	-0.55-0.60	humic soil	-19.2	2140±60	350BC-317BC 229BC-220BC 208BC-89BC 77BC-57BC	0.178 0.046 0.691 0.085	AMS	Beta-181315
	III	4.13-4.19	-1.06-1.10	humic soil	-17.4	3000±40	1367BC-1363BC 1311BC-1209BC 1201BC-1191BC 1177BC-1162BC 1140BC-1131BC	0.023 0.745 0.070 0.098 0.064	AMS	IAAA-31626
	III	5.70-5.75	-0.55-0.60	humic soil	-20.9	2860±100	1209BC-1201BC 1190BC-1178BC 1160BC-1141BC 1131BC-903BC	0.021 0.041 0.060 0.879	AMS	Beta-181314
	III	13.30-13.35	1.50-1.55	humic soil	-16.6	2590±40	817BC-762BC 678BC-671BC	0.950 0.050	AMS	IAAA-31625
	III	2.73	-1.55	charred material	-23.7	3670±40	2135BC-2079BC 2058BC-2012BC 2000BC-1978BC	0.467 0.352 0.182	AMS	IAAA-31627
	IV	5.11-5.16	-1.70-1.75	plant material	-27.3	3430±40	1861BC-1844BC 1806BC-1804BC 1772BC-1684BC 1666BC-1664BC	0.115 0.006 0.874 0.005	AMS	Beta-181308
	V	6.05-6.10	-1.90-1.95	peat	-27.9	2510±40	786BC-757BC 689BC-656BC 653BC-542BC	0.147 0.181 0.672	AMS	Beta-181313
	V	6.80-6.84	-1.39-1.41	charred material	-26.0	4160±40	2872BC-2841BC 2816BC-2800BC 2784BC-2668BC	0.191 0.097 0.712	AMS	Beta-183661
	V	4.92-5.02	-2.90-2.95	peat	-19.9	6310±40	5355BC-5354BC 5338BC-5332BC 5322BC-5257BC 5240BC-5232BC 5219BC-5213BC	0.006 0.042 0.845 0.059 0.049	AMS	Beta-183663
VI	10.90-10.95	-0.05-0.10	organic sediment	-29.1	34630±240	-	-	AMS	Beta-183662	
SW	II	4.30-4.35	-0.75-0.80	humic soil	-18.6	2420±50	756BC-702BC 539BC-526BC 524BC-404BC	0.246 0.064 0.690	AMS	IAAA-31686
	II	5.70-5.75	-1.05-1.10	organic sediment	-22.3	5200±90	4220BC-4196BC 4161BC-4121BC 4109BC-4094BC 4077BC-4060BC 4053BC-3940BC 3856BC-3849BC 3844BC-3818BC	0.095 0.135 0.044 0.049 0.588 0.016 0.072	AMS	Beta-181312
	II	4.40-4.45	-1.05-1.10	organic sediment	-22.6	3050±40	1387BC-1332BC 1322BC-1286BC 1284BC-1261BC	0.494 0.316 0.191	AMS	Beta-183664
	III	3.80-3.85	-1.05-1.10	humic soil	-28.4	3350±40	1687BC-1602BC 1560BC-1534BC 1519BC-1442BC	0.815 0.185 1.000	AMS	IAAA-31629
	III	6.45-6.50	-1.15-1.20	humic soil	-24.6	3220±40	1519BC-1442BC	1.000	AMS	Beta-181311
	IV	4.35-4.40	-1.80-1.85	plant material	-26.8	3470±40	1877BC-1841BC 1826BC-1796BC 1781BC-1739BC 1705BC-1702BC	0.334 0.251 0.395 0.021	AMS	Beta-181310
	V	3.85-3.90	-2.20-2.25	peat	-26.4	4000±50	2575BC-2508BC 2504BC-2466BC 3641BC-3620BC 3605BC-3522BC	0.641 0.359 0.195 0.805	AMS	IAAA-31628
	V	5.50-5.55	-1.73-1.78	peat	-23.4	4780±50	7451BC-7406BC 7403BC-7391BC 7377BC-7295BC 7269BC-7241BC 7224BC-7183BC	0.230 0.061 0.388 0.109 0.213	AMS	IAAA-31685
	V	6.35-6.40	-2.25-2.30	peat	-22.2	8270±60			AMS	IAAA-31685
	VI	8.83-8.88	-2.24-2.28	plant material	-27.8	>47680	-	-	AMS	Beta-181309

\* Calibrated ages and their probability calculated by CALIB REV.4.4.2, which is based on Stuiver *et al.* (1993, 1998a, 1998b)

\*\* Samples with Beta- and IAAA- analyzed by Beta Analytic Inc. and Institute of Accelerator Analysis Ltd., respectively

第2表. コアから得られた火山ガラスのEDS分析結果. 分析は有限会社古澤地質調査事務所による.  
Table 2. Results of EDS analysis of volcanic glasses obtained from the drilling cores. Analysis was conducted by Furusawa Geological Survey Ltd.

Core	Depth (m)	Percentage (1 $\sigma$ , wt %)										N
		SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Total	
No.1	5.00-5.03	77.36±0.27	0.03±0.03	13.65±0.10	0.48±0.08	0.07±0.06	0.14±0.07	0.67±0.05	3.63±0.10	3.68±0.08	100	20
No.2	18.6	77.36±0.31	0.05±0.06	13.74±0.09	0.49±0.07	0.07±0.06	0.16±0.09	0.65±0.05	3.77±0.10	3.71±0.09	100	20
Standard (Yokota, Shimane)		77.31±0.27	0.02±0.03	13.77±0.14	0.48±0.07	0.06±0.05	0.16±0.05	0.66±0.05	3.82±0.11	3.73±0.07	100	20

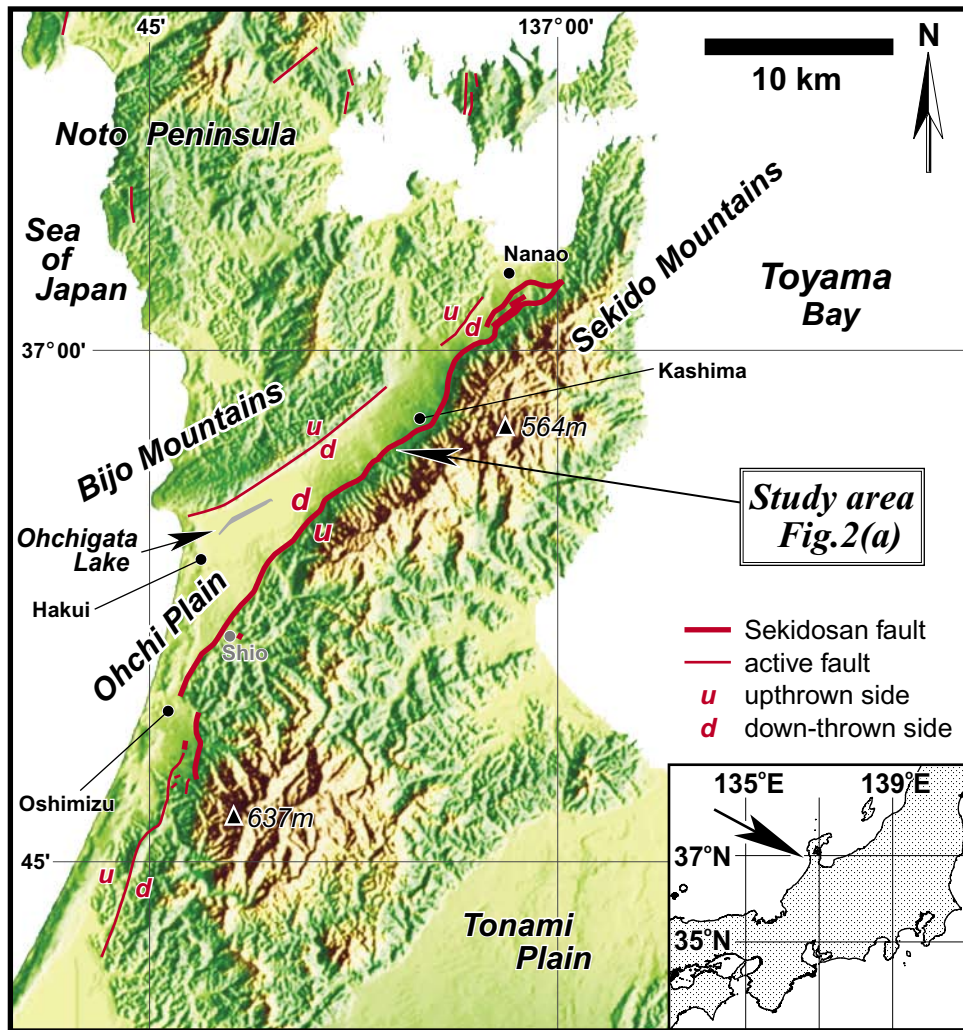
第3表. コアから得られた試料の<sup>14</sup>C年代測定結果.  
Table 3. Radiocarbon ages of samples obtained from the drilling cores.

Core	Depth (m)	Description	$\delta^{13}\text{C}$ (permil)	Conventional <sup>14</sup> C age (1 $\sigma$ , y.B.P.)	Calibrated <sup>14</sup> C age * (1 $\sigma$ , cal. yrs.)	Proba- bility *	Method	Lab.No. **
No. 1	1.43-1.45	humic clay	-15.6	7360±50	6328BC-6321BC	0.038	AMS	IAAA-32243
					6246BC-6199BC	0.395		
					6192BC-6160BC	0.246		
					6138BC-6092BC	0.322		
	7.50-7.51	charred material	-30.4	>51500	-	-	AMS	IAAA-32244
10.60	charred material	-34.5	37710±290	-	-	AMS	IAAA-40085	
10.85	charred material	-27.2	36990±280	-	-	AMS	IAAA-40086	
11.75	humic silt	-31.77	41800±440	-	-	AMS	IAAA-40087	
No. 2	2.55-2.56	plant material	-28.2	4740±60	3633BC-3557BC	0.525	AMS	IAAA-32245
					3540BC-3505BC	0.237		
					3425BC-3419BC	0.035		
					3414BC-3382BC	0.203		
	6.94	charred material	-28.7	24970±130	-	-	AMS	IAAA-32246
8.00	charred material	-27.2	26000±130	-	-	AMS	IAAA-40089	
17.72	charred material	-23.7	>53500	-	-	AMS	IAAA-32247	

\* Calibrated ages and their probability calculated by CALIB REV.4.4.2, which is based on Stuiver *et al.* (1993, 1998a, 1998b)

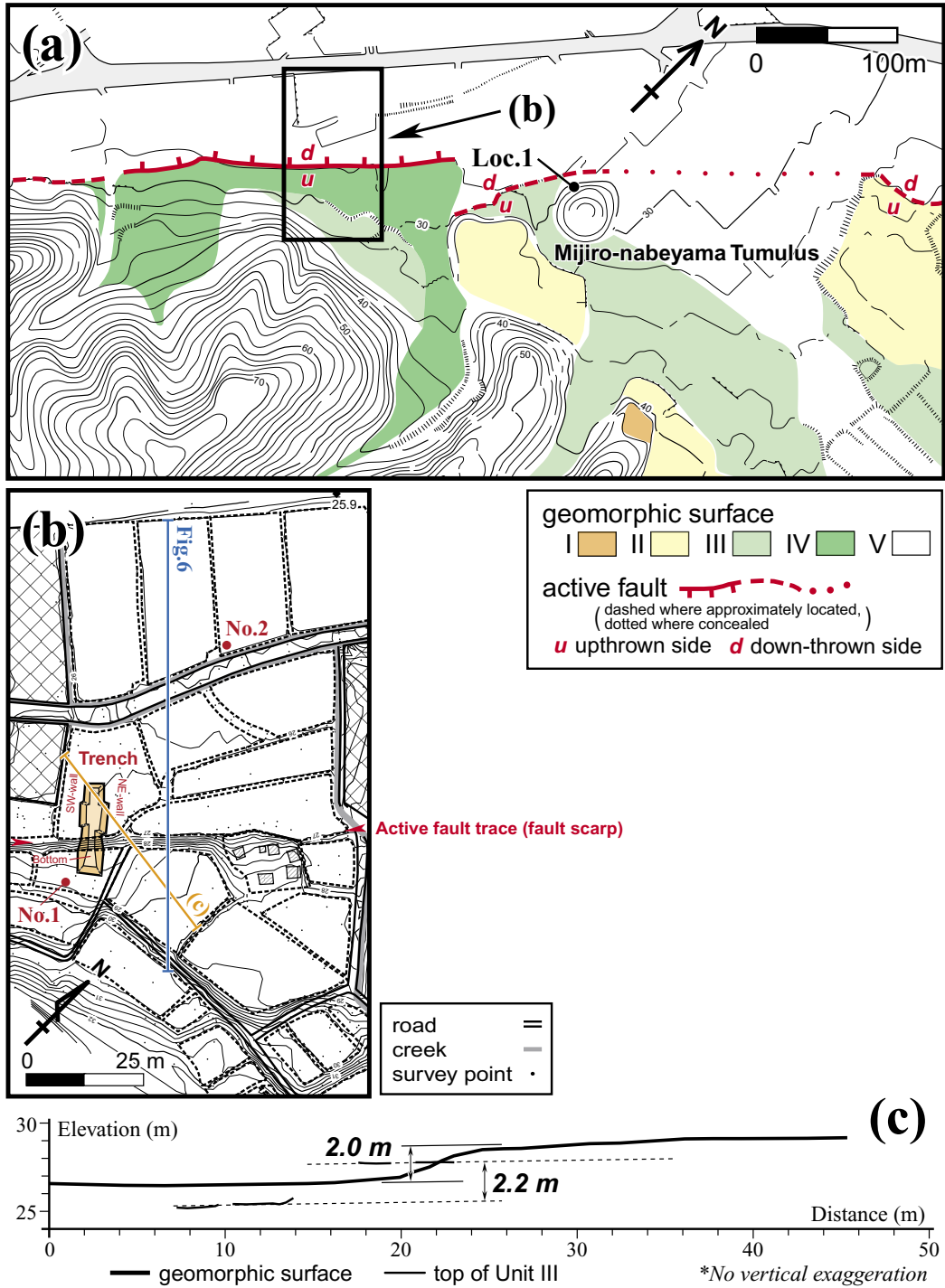
\*\* Samples IAAA- analyzed by Institute of Accelerator Analysis Ltd.





第1図. 能登半島頸部の地形と活断層の分布. 段彩陰影図は国土地理院発行の50 mメッシュ数値地図を用いて作成した. 活断層の分布は活断層研究会編 (1980, 1991), 池田ほか編 (2002), 中田・今泉編 (2002), および本研究による調査結果に基づく.

Fig. 1. Colored shaded relief map showing active fault traces around the southern part of the Noto Peninsula. Map is constructed using 50-m-grid digital elevation data published by Geographical Survey Institute. Active fault traces are based on Research Group for Active Fault of Japan (eds.) (1980, 1991), Ikeda *et al.* (eds.) (2002), Nakata and Imaizumi (eds.) (2002), and this study.



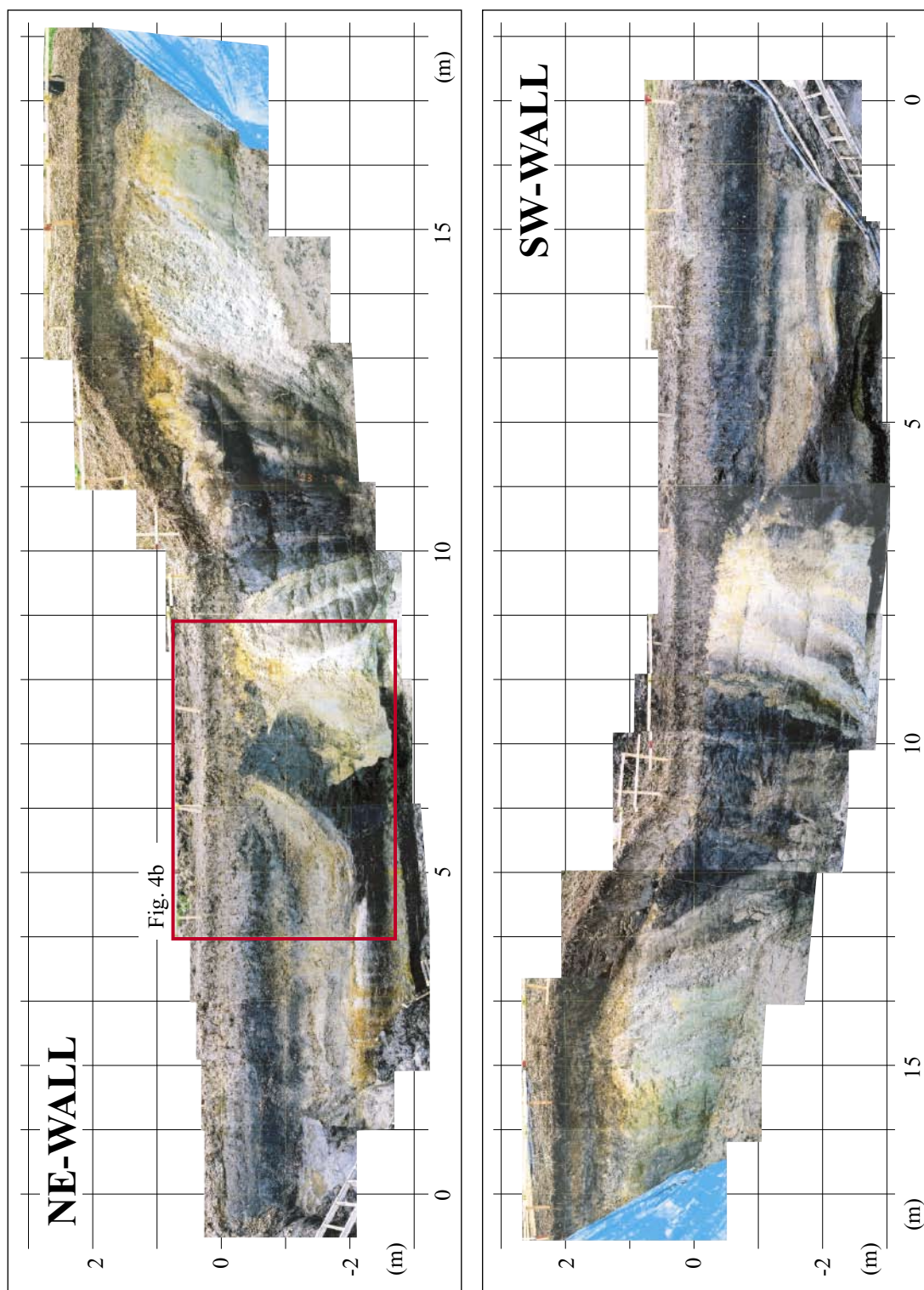
第2図. (a) 鹿島町水白地区付近の地形面・変位地形の分布図. 図の位置は第1図に示す. 等高線は国土地理院発行1/5,000国土基本図より抜粋した. 等高線間隔は5 m. (b) トレンチ掘削・ボーリング調査地点付近の詳細地形図. 図の位置は第2図(a)に示す. 等高線は, EDMによる測量データを用いてSurfer (Golden Software Inc.)で作成し, 若干の変更を加えたもの. 等高線間隔は0.25 m. (c) トレンチ付近の地形断面. EDMによる測量データを用いて作成した. 両壁面の隆起側・低下側のUnit III上面をそれぞれ測線に投影した.

Fig. 2. (a) Map showing distribution of the surface traces of the Sekidosan fault and geomorphic surfaces around the fault at Mijiro, Kashima Town. Location of this figure is shown in Fig. 1. Contours, with an interval of 5 m, are from 1/5,000 National Fundamental Maps published by Geographical Survey Institute. (b) Detailed topographic map around the trenching and drilling sites. Location of this figure is shown in Fig. 2(a). Contours, with an interval of 0.25 m, were constructed by Surfer (Golden Software Inc.) using EDM-leveling data, and then partly modified. (c) Topographic profile across the tectonic scarp around the trench, constructed using EDM-leveling data. Top of Unit III is projected in the profiling line.



第3図. (a)トレンチ北東壁面全景と低断層崖の写真. (b)トレンチ南西壁面全景と低断層崖の写真. トレンチの位置は第2図(b)に示す.

Fig. 3. (a) Photograph of the NE wall of the trench and the tectonic scarp. (b) Photograph of the SW wall of the trench and the tectonic scarp. Location of the trench is shown in Fig. 2(b).

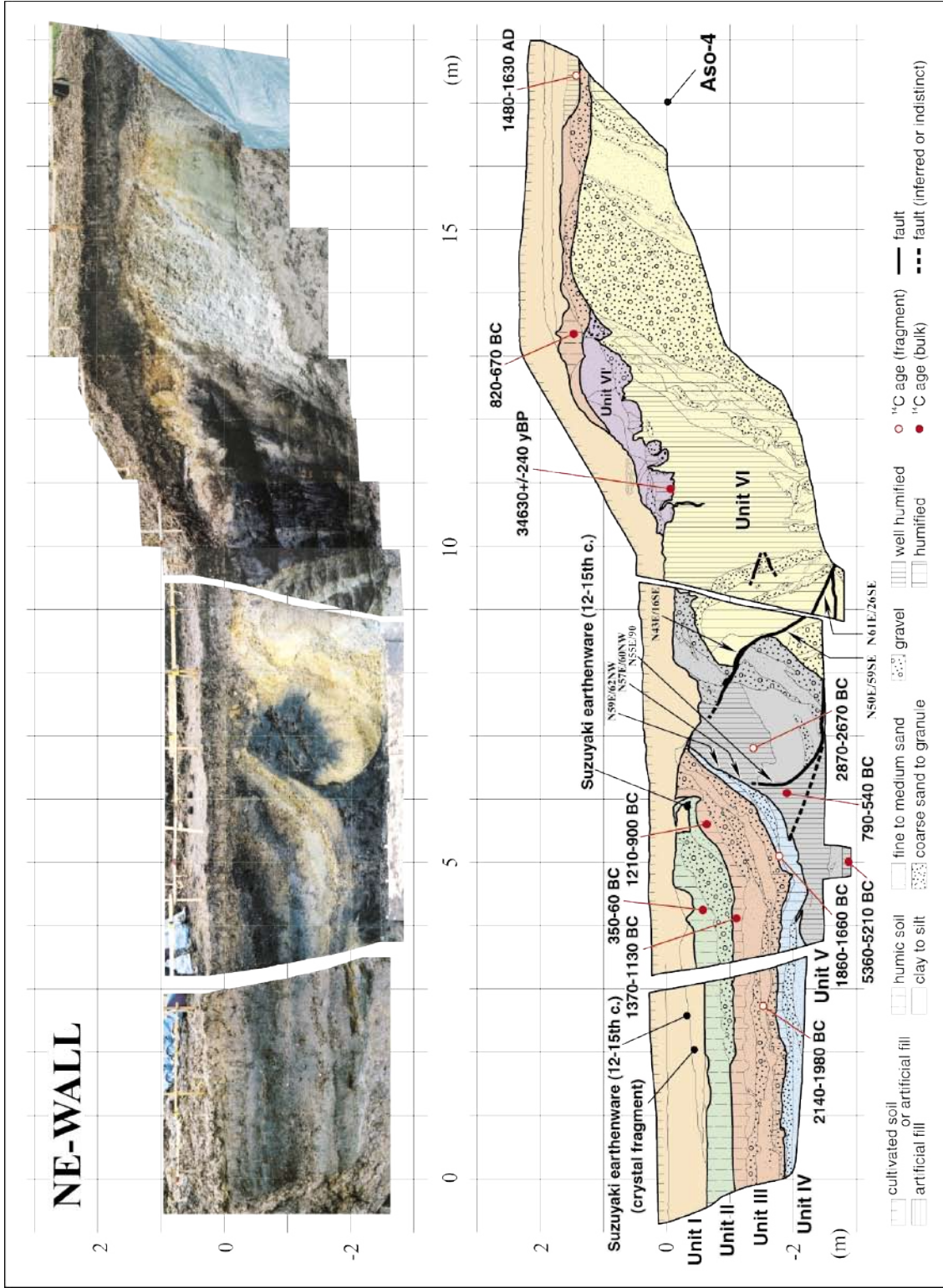


第4a図. トレンチ両壁面の崩落前の写真. トレンチの位置は第2図(b)に示す.  
Fig. 4a. Photographs of both the walls of the trench before collapse. Location of the trench is shown in Fig. 2(b).

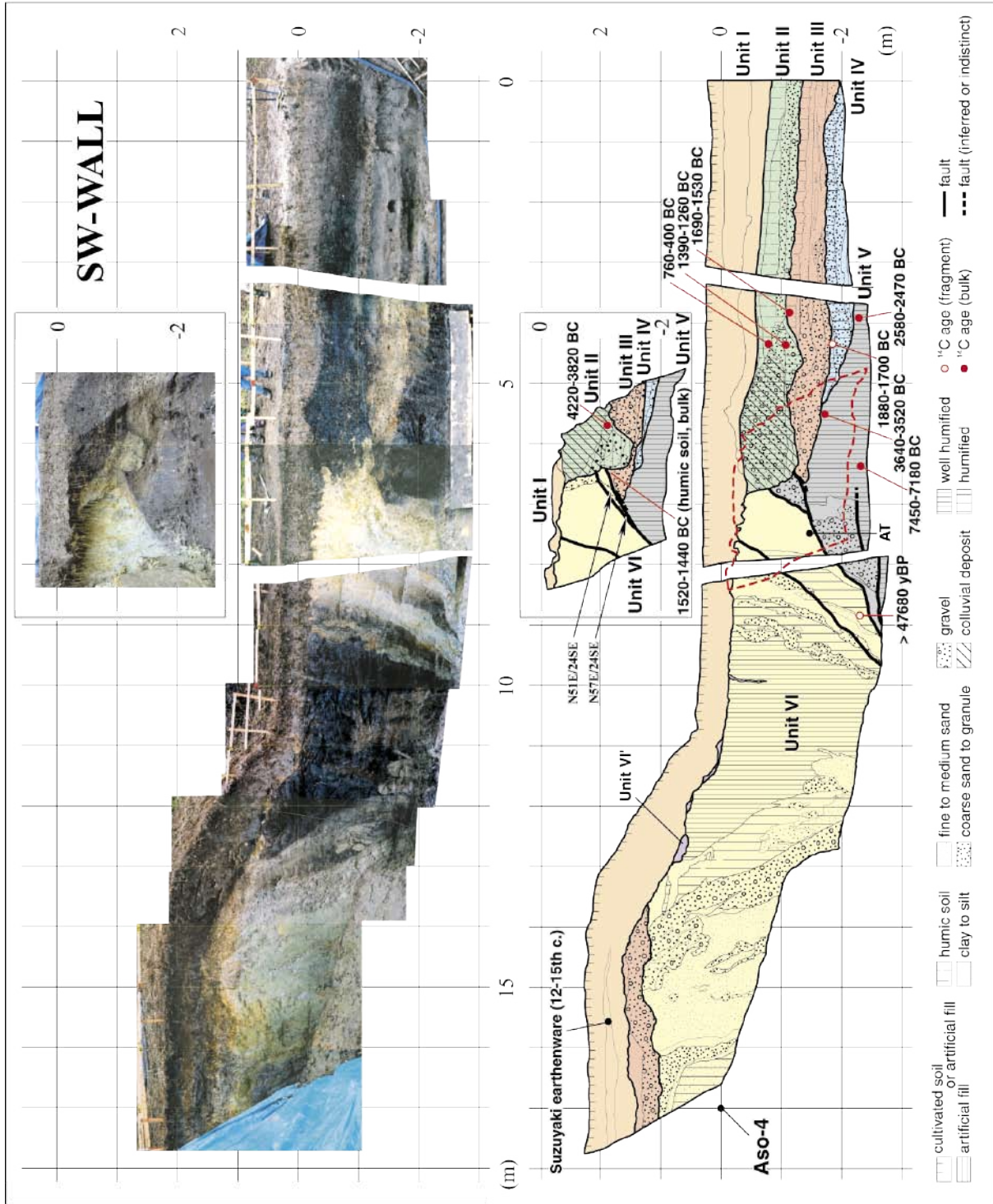


第4b図、崩落前のトレンチ北東壁面の断層部分、写真範囲は第4a図に示す。赤線は断層（破線部は不明瞭）、白破線は堆積ユニットの境界を示す。Unit I中の細破線で囲まれた部分はUnit IIの腐植質土壌からなるブロック。

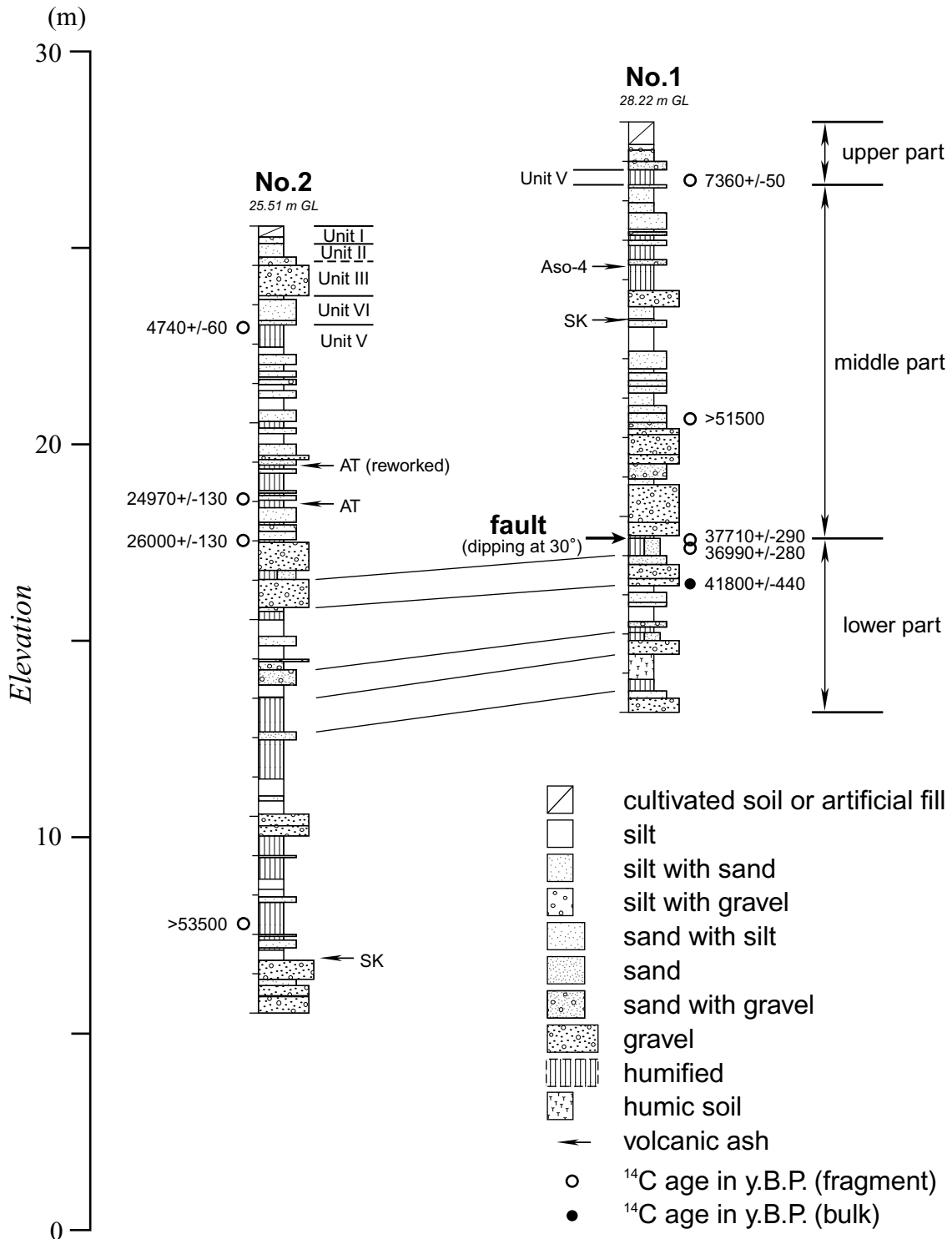
Fig. 4b. Close-up view of the NE wall of the trench before collapse. Red lines indicate faults (broken parts are invisible), and white broken lines are stratigraphical unit boundaries. A block surrounded by fine broken line in Unit I is humic soil of the upper part of Unit II.



第4c図. トレンチ北東壁面の崩壊後の写真とログ. トレンチの位置は第2図(b)に示す. <sup>14</sup>C年代測定結果の詳細は第1表に示す.  
Fig. 4c. Photograph and log of the NE wall of the trench after collapse. Location of the trench is shown in Fig. 2(b), and detailed data of radiocarbon dating are shown in Table 1.



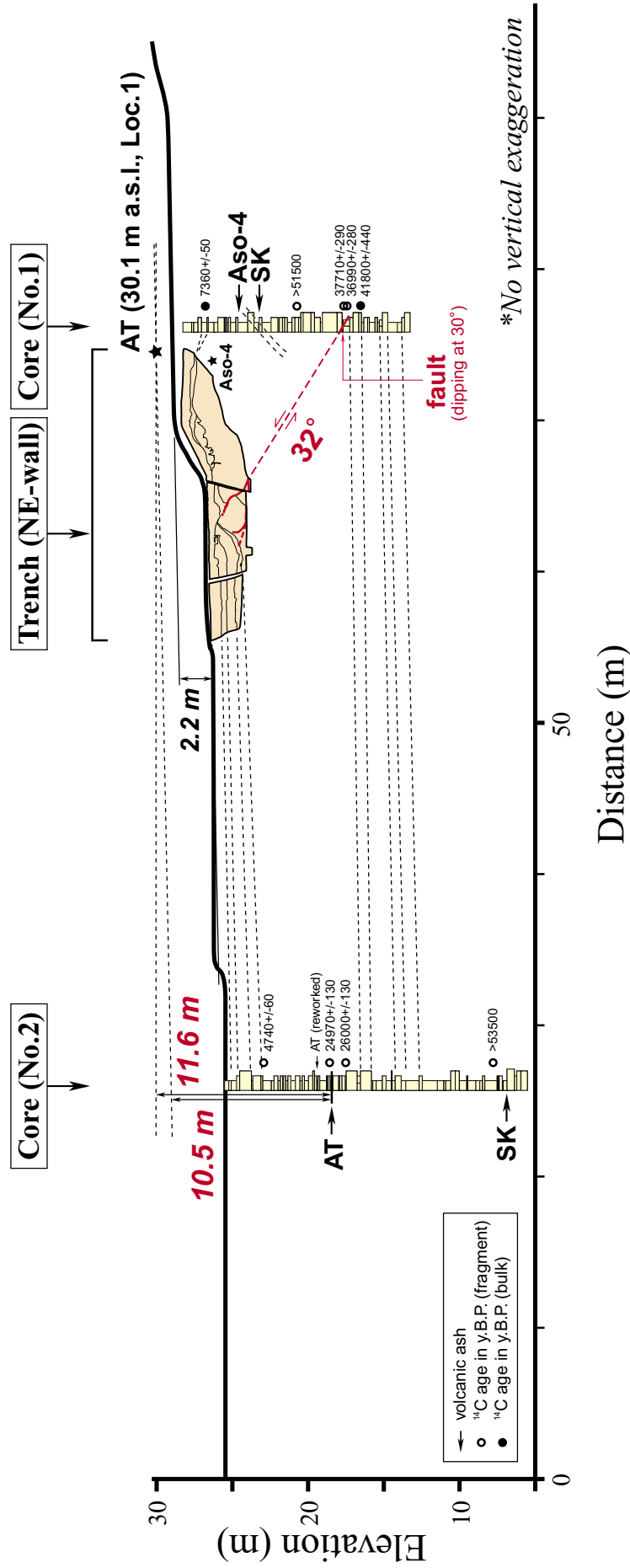
第4d図. トレンチ南西壁面の崩壊後の写真とログ. トレンチの位置は第2図(b)に示す. <sup>14</sup>C年代測定結果の詳細は第1表に示す.  
 Fig. 4d. Photograph and log of the SW wall of the trench after collapse. Location of the trench is shown in Fig. 2(b), and detailed data of radiocarbon dating are shown in Table 1.



第5図. コアの地質柱状図. ボーリング地点は第2図(b)に示す. 火山ガラス分析結果・<sup>14</sup>C年代測定結果の詳細はそれぞれ第2, 3表に示す.

Fig. 5. Geologic columnar sections showing lithofacies of the drillings cores. Locations of the cores are shown in Fig. 2(b). Detailed data of chemical analysis of volcanic glasses and radiocarbon dating are shown in Table 2 and Table 3, respectively.





第6図. 水白地区における地形・地質構造の解釈図. 断面位置は第2図(b)に示す.  
 Fig. 6. Interpretation of geologic structures at Mijiro site. Location of the section is shown in Fig. 2(b).