

木曾山脈西縁断層帯の活動履歴調査 上松断層大木地区におけるトレンチ調査

Paleoseismological study of the Kiso-sanmyaku-seien fault zone -Trenching study at Oki site across the Agematsu fault-

宍倉正展¹・遠田晋次²・永井節治³・二階堂 学⁴・高瀬信一⁵・橘 徹⁶

Masanobu Shishikura¹, Shinji Toda², Setsuji Nagai³,
Manabu Nikaido⁴, Nobukazu Takase⁵ and Toru Tachibana⁶

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

³長野県木曾郡南木曾町読書 4218-3 (4218-3 Yomikaki, Nagiso-machi, Kiso-gun, Nagano Prefecture)

^{4,5}株式会社ダイヤコンサルタント (Dia Consultants Co., Ltd., M.Nikaido@diaconsultants.co.jp, N.Takase@diaconsultants.co.jp)

⁶瀬戸内環境地質研究会 (Research Organization for Environmental Geology of Setouchi)

Abstract: Our trenching study of the Agematsu fault in Nagano Prefecture revealed four faulting events in the past 29,000 years. At Oki in Agematsu Town, the fault forms an NNE-striking tectonic bulge, 100-150 m long and 50-60 m wide, on a latest Pleistocene fluvial terrace. We excavated the western and eastern flanks of the bulge to reveal the faulting history of the northern part of the Kiso-sanmyaku-seien fault zone. On the trench walls, terrace deposits and humic soil are deformed by branched faults, and several colluvial wedges are distributed beneath the fault planes. ¹⁴C ages of humic deposits indicate that the latest and penultimate events occurred 1,720-680 cal yBP and 4,260-2,940 cal yBP, respectively. The third recent event occurred after the fall of Daisen-Hoki tephra (20 ka) but before 7,940 cal yBP. The oldest event postdated the fall of AT tephra (29 ka). An older event 35-29 ka was also suggested from an angular unconformity recognized in a lower stratigraphic horizon of the terrace deposits.

キーワード: 木曾山脈西縁断層帯, 上松断層, トレンチ, 活動履歴

Keywords: Kiso-sanmyaku-seien fault zone, Agematsu fault, trench survey, faulting history

1. はじめに

木曾山脈の西縁には上松断層, 清内路峠断層, 馬籠峠断層が N-S ~ NE-SW 走向で雁行配列し, これらは木曾山脈西縁断層帯と総称される (Fig. 1). 活断層研究センターでは, 断層帯南部の馬籠峠断層について, 平成 13 年度に下り谷地区と福根沢地区で活動履歴調査を行った. その結果, 断層帯南端の下り谷地区では, 3~4 回のイベントを検出し, 最新活動時期は 5,000 ~ 3,800 cal yBP, 平均活動間隔は 12,000 ~ 25,000 年と推定された (宍倉ほか, 2002a). 一方, 福根沢地区では, 最新活動時期が 720 cal yBP 以降と新しく, 1 回前の活動は 2,290 ~ 1,690 cal yBP で, イベントの発生間隔は約 1,000 ~ 2,000 年と推定された (宍倉ほか, 2002b).

福根沢地区で明らかになった最新活動時期は, 高瀬ほか (1998) による上松断層, 清内路峠断層の調査報告や, 松島ほか (1997) による上松断層吉野地区のトレンチ調査結果と調和的である. したがって, 最新活動に限って見れば, 上松断層から清内路峠断層, 馬籠峠断層福根沢地区にかけて, 同じ地震セグメントとして活動し, 馬籠峠断層下り谷地区周辺は別の地震セグメントと考えられる (宍倉ほか, 2002c). しかし, 最

新より前の活動における各断層間の関係は明らかではなかった. そこで平成 14 年度の調査では, 断層帯北部において, より多くのイベントを検出し, その活動時期を明らかにするため, 上松断層大木地区においてトレンチ掘削調査を行った.

2. トレンチ調査地点の概要

トレンチ掘削場所は, 長野県上松町大木地区の十王沢川左岸に分布する段丘面上で, ちょうど標高 1,000m 付近に位置する (Fig. 2). 段丘面上には幅 50 ~ 60m, 長さ 100 ~ 150m のバルジ状の地形が NNE-SSW 方向に分布する (Figs. 3, 4). バルジ西翼の比高は 5 ~ 6m であり, 東側隆起の主断層が通過すると推定される. また, 東翼の比高は 2m 程度で, 逆向き (西側隆起) に変位させる副断層が推定される.

トレンチは, バルジ西翼に 1 カ所 (M トレンチ), 東翼に 2 カ所 (S1 トレンチおよび S2 トレンチ) 掘削し, さらにバルジ頂部付近の 2 カ所でピット (A ピットおよび B ピット) を掘削した.

3. トレンチの観察結果

3.1 層序区分と層相の記載

各トレンチ、ピットで観察される段丘構成層および被覆層は、1~8層に区分される (Fig. 5)。Mトレンチではさらに ~ 層の崩積層が観察される。2層と ~ 層および ~ 層の一部は腐植質で、これらの層準から20個の¹⁴C年代測定試料を採取し、地球科学研究所を通じてベータアナリティック社に測定を依頼した。また、それ以外の層準はテフラの検出を行うため、10本のコラムを設定して10cm間隔 (場所によって5cm間隔) の連続サンプリングを行い、さらに局所的に14個の試料を採取した。テフラの分析は古澤地質調査事務所に依頼し、既知のテフラとの対比を行った。以下に各層準の層相について述べる。

1層は耕作土・客土である。2層は腐植質シルトで、Mトレンチでは、¹⁴C年代値に基づいて2-1、2-2、2-3層に細分した。各層の¹⁴C年代は、Stuiver *et al.* (1998) に基づく較正暦年 (2) によれば、2-1層: 790 cal yBP, 2-2層: 3,200 ~ >790 cal yBP, 2-3層: 8,180 ~ >3,200 cal yBPを示す (Table 1)。また、2-3層中に鬼界アカホヤテフラ (K-Ah) が含まれていることが確認された。

3~5層はフラッドローム状のシルトで、特に4層は細~小礫混じりで明褐色を呈し、層相からみて泥流堆積物と考えられる。この4層はいずれのトレンチ、ピットでも確認でき、層厚0.3~1mで連続的に広く分布している。また、4層上部からは大山ホーキとみられるテフラが検出され、各トレンチで追跡できる。大山ホーキは柳ヶ瀬断層北部 (福井県, 1998) や恵那山断層富田地区 (岐阜県, 2002) の調査でも見つかり、約20kaに降下堆積したと推定されている。また、5層上部にはATテフラ (29ka; 奥野, 2002) の火山ガラス含有量のピークがあり、降下層準と推定される。

6層はS1, S2トレンチでのみ観察され、1~5cm径の美濃帯の泥岩亜角~角礫を主体とする砂礫層である。

7層は砂礫混じりの褐色シルト層で、赤褐色のスコリア層が挟まれる。このスコリアは特にS1, S2トレンチにおいて層厚5~10cmで明瞭に確認できる。また、層相から水中堆積と推定され、火山ガラス、斜方輝石の屈折率などから、御岳火山起源と判断される。本地域では、このスコリアに関する詳しい記載はこれまで行われていないが、塩尻市付近で鈴木 (1996) が記載した露頭の、DKP~AT間に数枚あるスコリア層の最上位のものに対比される可能性がある。この場合、テフラ間のレスの堆積速度からみて、スコリア層の年代は35ka頃と推定される。

8層は亜角~亜円礫からなる砂礫層で、段丘構成層の主体を成す。礫はほとんどが木曽駒ヶ岳周辺を起源とする木曽駒花崗岩で、最大2~3m径の巨礫を含んでいる。

崩積層の ~ 層は、おもに礫混じり砂質シルトからなる。 ~ 層には二次堆積のATが含まれている。また、 ~ 層は7,600~4,000 cal yBP, ~ 層は2,720-2,350 cal yBPという¹⁴C年代を示す。その他の層準について堆積年代を知る資料はない。なお、崩積層の番号 ~ は、必ずしも堆積した時期が新しい順に付けられてはいない。

3.2 Mトレンチの構造

Mトレンチでは、西半部で2~5層および7~8層がほぼ水平に分布する (Fig. 6)。一方、東半部ではこれらの地層が、東側を隆起させるフラワー状に分岐した数条の断層により、変位している (Figs. 7, 8)。また、この断層活動に伴って生じたと考えられる ~ 層の崩積性堆積物が、断層周辺に局所的に分布している。これらは複雑に変形しており、断層付近の構造はトレンチ北面と南面で異なっている。

北面ではおよそ5条に分岐する断層が確認され、西からMNF1~5と呼ぶ (Fig. 7)。これらの断層により8層は3m以上の鉛直隔離を伴う。隆起した7,8層と低下側の7,8層との間には、 ~ 層が斜面を埋めるようにウェッジ状に堆積している。また、これら崩積層も逆断層のMNF1~3によって傾斜方向に見かけ上数10cm変位し、一部でオーバーターンする変形構造が観察される。 ~ 層中にはATが含まれるが、距離程6mおよび7mのコラムではその含有量のピークが断層の下位と上位にそれぞれ認められ、断層変位の影響が窺える。

その上位の2-2, 2-3層は、MNF3によって傾斜方向に見かけ上10cm程度変位している。MNF1, 2も2-3層を変位させている可能性があるが、 ~ 層に見られるような顕著な変形は認められない。また、 ~ 層はMNF4, 5の活動によって地溝状に落ち込んだような構造を示すが、2-1層はこれらを覆っている。

南面で観察される断層もおおよそ5条に分岐し、西からMSF1~5と呼ぶ (Fig. 8)。北面と同様に7,8層が明瞭に変位し、斜面を埋めるように崩積層が堆積しているが、断層のトレースはMSF3以外不明瞭である。MSF3は2-2層をわずかに変位させているように見える。崩積層は層相から、 ~ 層に区分できるが、ほとんどがブロック状の分布形状を示し、北面で観察されたような崩積層の断層変位や上下関係は不明瞭である。腐植質の ~ 層は、層相と年代から、2-3層を供給源とし、断層活動によって崩積層中にブロック状に取り込まれたことが窺える。 ~ 層は2-3層以上に覆われ、 ~ 層は2-2層以上に覆われる。

3.3 S1トレンチの構造

S1トレンチでは段丘を構成する各層準が、バルジのある隆起側 (西) から低下側 (東) に向かって傾斜している様子が観察される (Fig. 10)。特に7層中のスコリア層は明瞭に追跡でき、トレンチ内において隆起側と低下側の間で少なくとも約2mの高度差を持つ。

トレンチ南面では距離程 13m から 18m 付近にかけて、8 層から 3 層までを切る西傾斜の逆断層が観察された (Fig. 11). 断層のトレースは 3 層内まで明瞭に確認されるが、2 層は変位を受けていない。変位量は、傾斜方向で 10~20cm 程度と小さく、変位の累積は確認されない。また、トレンチ北面では断層は確認できない。

3.4 S2 トレンチの構造

S2 トレンチで観察される 3~7 層は、東半部ではほぼ水平に分布する (Fig. 12)。しかし、西半部では S1 トレンチと同様に、バルジのある隆起側から低下側へ傾斜して分布する。特にトレンチ北面の距離程 1~2m では、スコリア層が 20~40° で撓むように東へ傾斜している (Fig. 13)。このスコリア層の傾斜に対し、その上位にある 6 層の礫の配列は、傾斜が緩く、傾斜不整合状の関係を呈する。

3.5 A ピットおよび B ピットの記載

A ピットは M トレンチの東端からバルジ頂部に向かって約 10m 南東の地点で掘削した (Fig. 3)。層相は M トレンチ東端上部付近とほぼ同じで、2~5 層および 8 層が確認された (Fig. 14)。A ピットと M トレンチの間で 4 層上限の高度差はおよそ 5m である。

一方、B ピットは S2 トレンチ西端から約 7m 西のバルジ頂部付近で掘削した (Fig. 3)。このピットでは 2 層および 4~7 層が観察され、スコリア層も確認された (Fig. 14)。この地点でのスコリア層に対し、S2 トレンチ内で確認されるスコリア層の最低地点との高度差はおよそ 3m である。

4. イベントの認定と年代、変位量

トレンチ、ピットの観察の結果、少なくとも 4 回、もしくは 5 回のイベントが認定できる (Fig. 15)。各イベントを最新から順にイベント 1~5 と呼び、以下にそれぞれのイベントの認定根拠と年代、変位量について述べる。

4.1 イベント 1

最新のイベント 1 は M トレンチにおける 2-2 層の変位や 層から認められる。北面では MNF3 が距離程 5.6m 付近で 1,720-1,540 cal yBP を示す 2-2 層を切っている (Fig. 7)。また、MNF4, 5 の活動によって地溝状に落ち込んで堆積した 層中からは 2,720-2,350 cal yBP という年代が得られている。一方、距離程 2.5m 付近で 790-680 cal yBP の年代を示す 2-1 層が、MNF5 や 層を覆っている。したがってイベント 1 は 1,720~680 cal yBP に生じたと考えられる。上下変位量は小さく、MNF3 で 10cm 程度である。層はその構造からみて、おもに横ズレ運動に伴って生じたと考えられるが、変位量は不明である。

4.2 イベント 2

M トレンチ南面で観察される ~ 層は、2-2 層に覆われることから、これらの崩積層は、2-2 層堆積前に生じている。崩積層中には 2-3 層を供給源とする層がブロック状に分布し、その年代の最も新しいものは 4,260-4,000 cal yBP である。2-2 層は距離程 4m 付近で 3,200-2,940 cal yBP を示すことから (Fig. 8)、4,260~2,940 cal yBP にイベント 2 が生じたと考えられる。変位量は基準となる層がないため不明である。また、M トレンチ北面ではこのイベントに相当する構造は不明である。

4.3 イベント 3

イベント 3 は、S1 トレンチ南面で観察された断層の変位から明瞭に認められる。この断層は単一イベントで 3~8 層を切っているが、4 層中には大山ホーキを含んでいることから、20 ka 以降に活動したことがわかる (Fig. 10)。一方、2 層は断層を覆っており、その下限の年代は、最も古いもので 8,180-7,940 cal yBP である。したがってイベント 3 は 20 ka~7,940 cal yBP に生じたと考えられる。

ところでこの断層は、バルジ西翼の主断層の活動に伴い、副次的に生じたバックスラストの一部と考えられる。同様の断層は S1 トレンチ北面や S2 トレンチでは観察されないが、これは地下のバックスラストの変位に伴う撓曲運動の中で、S2 トレンチ南面付近のみ、ごく局所的に剪断面が生じたためと推察される。

イベント 3 における主断層の活動に対応する可能性のある構造は、M トレンチ北面で観察される。MNF1, 2 は、AT を含む 層および、層を数 10cm 変位させるが、2-3 層にはほとんど変位を与えていない (Fig. 7)。距離程 7m で 2-3 層は K-Ah を含み、5,860-5,600 cal yBP というイベント 2 より古い年代を示す。したがって、この ~ 層の変位がイベント 3 の活動に対応している可能性がある。

仮に MNF1, 2 による ~ 層の変位を全てイベント 3 に起因するものとみなせば、上下変位量は少なくとも 1m 程度はあったと推定される。

4.4 イベント 4

イベント 4 は 層を形成したイベントである。~ 層は、層相や分布形状からみて、断層活動に伴って堆積したイベント堆積物の可能性が高い。~ 層が 1 つのイベントに対応するほぼ同時期の堆積物なのか、複数のイベントに対応する堆積物なのかは特定できないが、少なくとも 1 回はイベントがあったと考えられる。その年代は 層中に AT を含むことから、29 ka 以降と推定される。

~ 層が全てイベント 4 に伴って堆積したと考えた場合、これらの層厚からみて、上下方向に少なくとも 1m 以上の変位が生じたと推定される。

4.5 イベント 5 の可能性

S2 トレンチ北面では、スコリア層を挟む 7 層が東へ急傾斜している (Figs. 12, 13). 前述のとおり、スコリア層は水中堆積物であることから、堆積時には水平に近い状態であった可能性が高く、急傾斜する分布形状はテクトニックな変形を示している可能性が高い。このスコリア層を挟む 7 層に対して、上位の 6 層は有意に傾斜が緩く、7 層と 6 層の間にイベント 5 があった可能性が指摘できる。ただし、スコリア層の傾斜は堆積構造の可能性もあり、今後、各層準から採取した試料の古地磁気測定を行い、地層の傾斜の成因について詳しく検討する必要がある。

7 層-6 層間にイベント 5 が生じていた場合、その時期は、スコリアの降下堆積後、AT の降下堆積 (5 層堆積中) より前であり、35 ~ 29 ka と推定できる。

5. まとめ

本調査の結果、上松断層大木地区では、少なくとも 4 回のイベントが検出され、発生時期は、イベント 1 が 1,720 ~ 680 cal yBP, イベント 2 が 4,260 ~ 2,940 cal yBP, イベント 3 が 20 ka ~ 7,940 cal yBP, イベント 4 が 29 ka 以降にそれぞれ推定された。このほかに 35 ~ 29 ka にイベント 5 が生じていた可能性がある。これらの年代を馬籠峠断層の調査結果と比較すると、イベント 1 の時期が福根沢地区の最新活動時期と 700 cal yBP 前後で重なる (Fig. 15)。また、イベント 2 の時期は下り谷地区の最新活動時期と 4,000 cal yBP 前後で重なる。さらにイベント 3, 4 が下り谷地区の 1 回前、イベント 5 が下り谷地区の 2 回前の活動時期とそれぞれ重なるが、年代幅が広いため、対比は難しい。

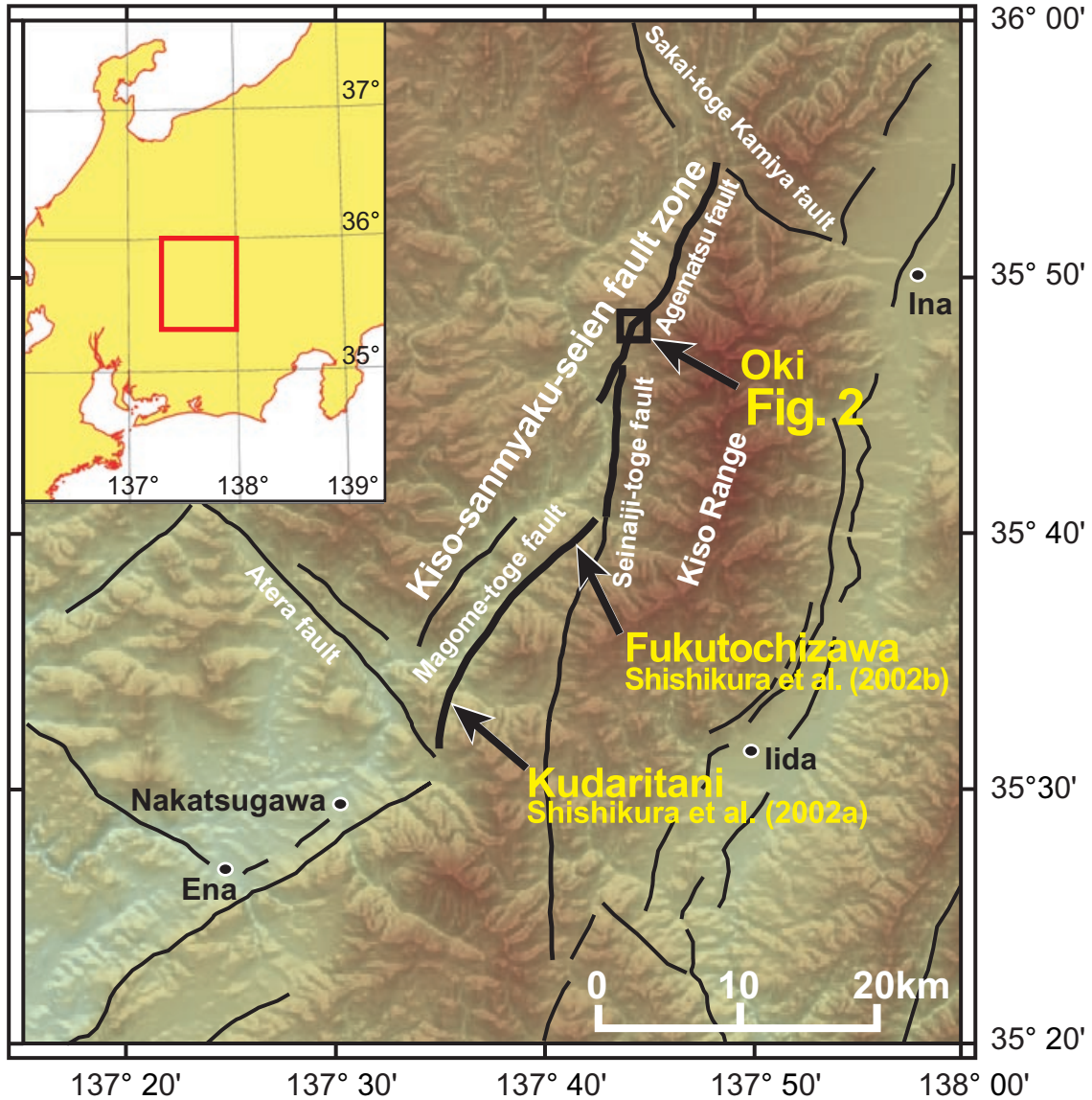
各イベントにおける主断層の上下変位量は、イベント 1 では 10 cm 程度以上であり、イベント 3, 4 時には 1 m 程度以上に達した可能性がある。横ずれ変位量については見積もることが出来なかった。バルジを成長させる撓曲運動の累積上下変位量は、西翼で 4 層を基準にすると、20 ka 以降約 5 m、東翼でスコリア層を基準にすると、35 ka 以降約 3 m である。平均上下変位速度はそれぞれ主断層で 0.25 mm/年、バックラストで 0.08 mm/年と算出される。

謝辞 本調査にあたり、地権者の方には調査用地の使用を許可して頂きました。また、周辺住民の皆様には調査の実施についてご理解を頂き、地元関係各機関の方々にはいろいろと便宜を図って頂きました。トレンチ掘削に際しては、株式会社松山建設にご協力頂きました。ここに記して、篤く謝意を表します。

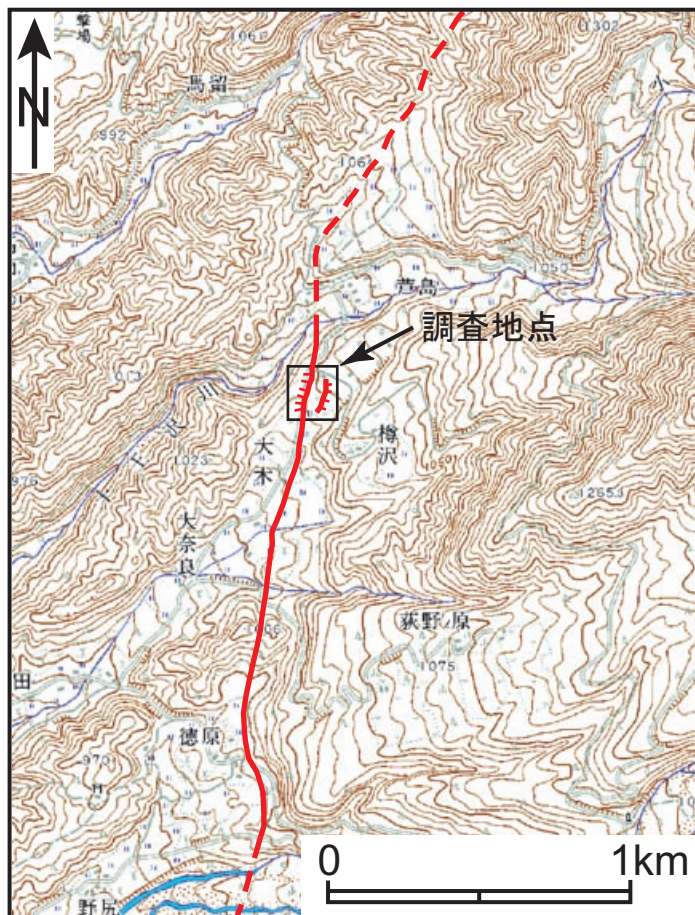
文 献

- 福井県 (1998) 平成 9 年度地震関係基礎調査交付金 柳ヶ瀬断層帯 (柳ヶ瀬断層, 山中断層, 甲楽城断層) に関する調査報告書. 48p
- 岐阜県 (2002) 平成 13 年度地震関係基礎調査交付金 屏風山・恵那山断層帯に関する調査報告書. 118p
- 活断層研究会 (1991) 新編日本の活断層 分布図と資料. 東大出版会, 437p
- 松島信幸・奥村晃次・須貝俊彦・苅谷愛彦・永井節治・寺平 宏・神村 透 (1997) 木曾谷断層帯・上松断層のトレンチ調査. 地球惑星科学関連学会 1997 年合同大会予稿集, 63
- 奥野 充 (2002) 南九州に分布する最近約 3 万年間のテフラの年代学的研究. 第四紀研究, **41**, 225-236
- 穴倉正展・遠田晋次・苅谷愛彦・永井節治・二階堂学・高瀬信一 (2002a) 木曾山脈西縁断層帯における活動履歴調査 (1) - 馬籠峠断層下り谷地区におけるトレンチ調査 - . 活断層・古地震研究報告, No. 2, 41-55, 産業技術総合研究所地質調査総合センター
- 穴倉正展・遠田晋次・苅谷愛彦・永井節治・二階堂学・高瀬信一 (2002b) 木曾山脈西縁断層帯における活動履歴調査 (2) - 馬籠峠断層福根沢地区における地形・地質調査 - . 活断層・古地震研究報告, No. 2, 57-68, 産業技術総合研究所地質調査総合センター
- 穴倉正展・遠田晋次・苅谷愛彦・永井節治・二階堂学・高瀬信一 (2002c) 木曾山脈西縁断層帯沿いにおける異なる活動履歴. 日本地震学会講演予稿集 2002 年度秋季大会, P191
- Stuiver, M., P. J. Reimer, E. Bard, J. W. Beck, G. S. Burr, K. A. Hughen, B. Kromer, F. G. McCormac, J. van der Plicht and M. Spur (1998) INTCAL98 radiocarbon age calibration, 24,000-0 cal BP. *Radiocarbon*, **40**, 1041-1083.
- 鈴木毅彦 (1996) 塩尻市小坂田における御岳火山起源のテフラ. 第四紀露頭集 日本テフラ, 230.
- 高瀬信一・二階堂 学・田中邦雄・永井節治・木船清・波多腰忠行・遠藤忠慶 (1998) 木曾山脈西縁の活断層の最新活動時期: 上松断層・清内路峠断層について. 地球惑星科学関連学会 1998 年合同大会予稿集, 324.

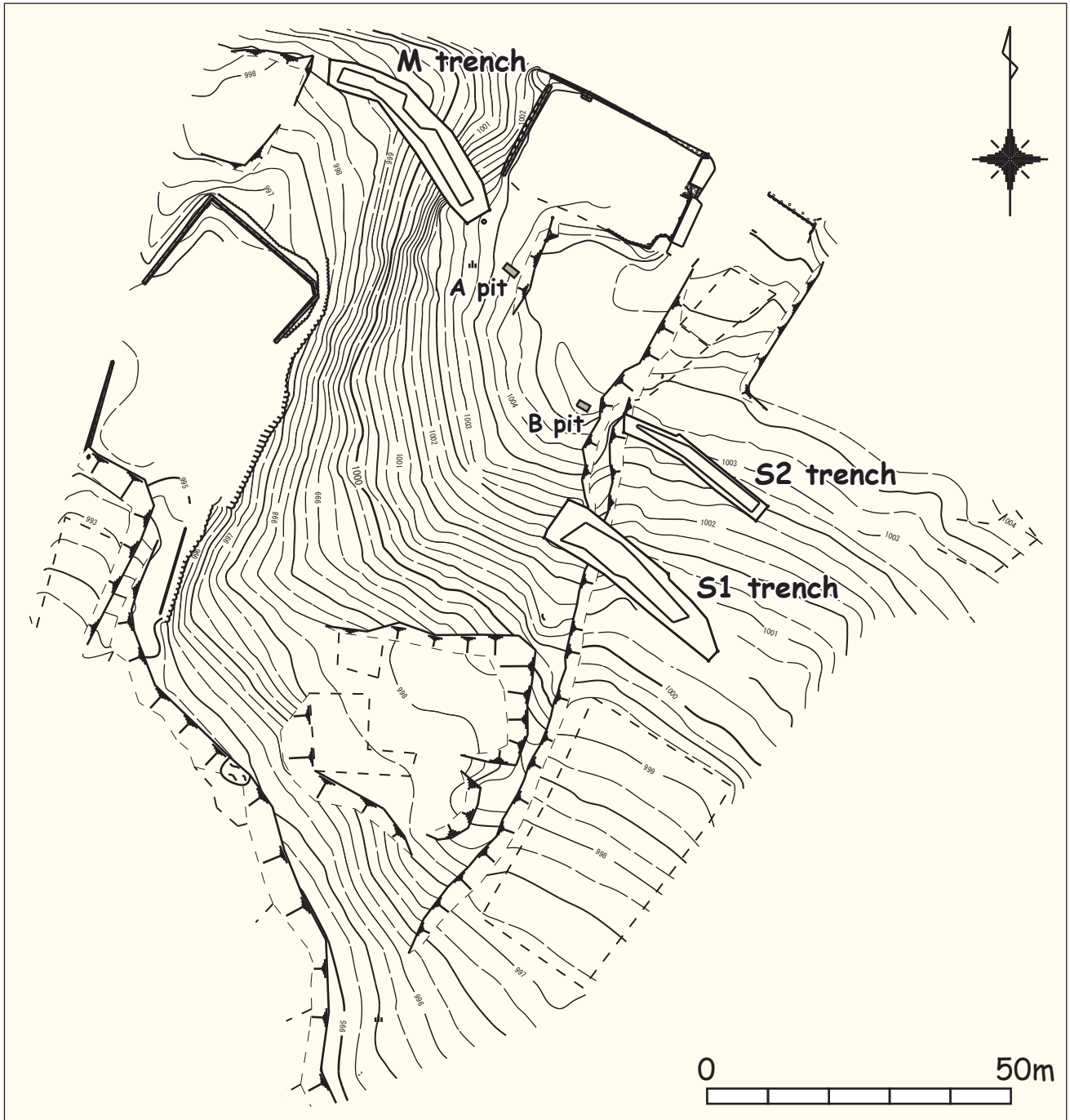
(受付: 2003 年 8 月 18 日, 受理: 2003 年 10 月 27 日)



第1図. 木曾山脈西縁断層帯の位置. 周辺の活断層の分布は活断層研究会 (1991) に基づく.
Fig. 1. Location of the Kiso-sanmyaku-seien fault zone.



第2図. トレンチ調査地点周辺の地形.
国土地理院発行2.5万分の1地形図「上松」を使用.
Fig. 2. Topographic map around the study area.



第3図. トレンチ地点周辺の詳細地形図. 3つのトレンチの位置を平面図で示す.
Fig. 3. Detailed topographic map around the trench sites. Plans of the three trenches are also shown on the map.

Southeast

South

West



West side of the tectonic bulge

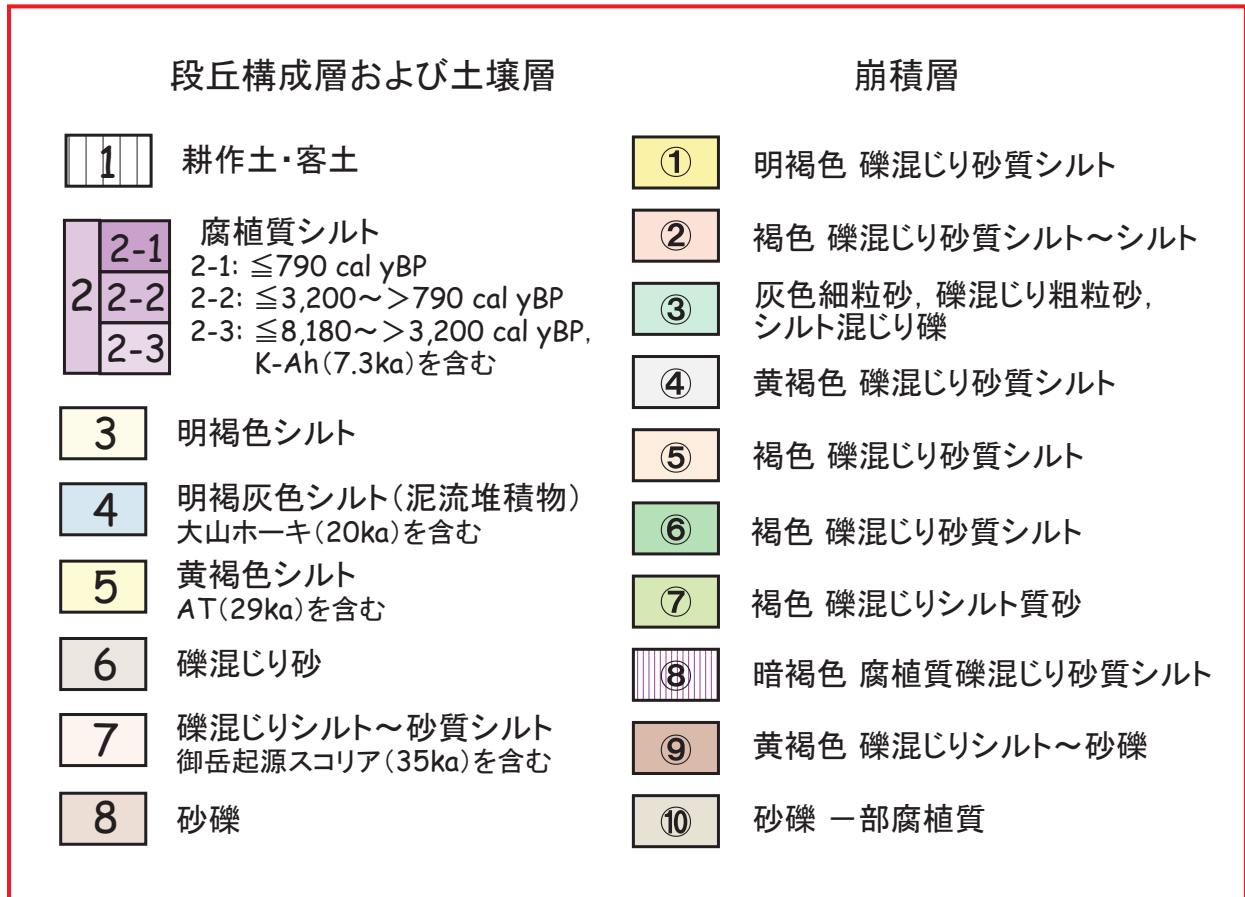
West

North



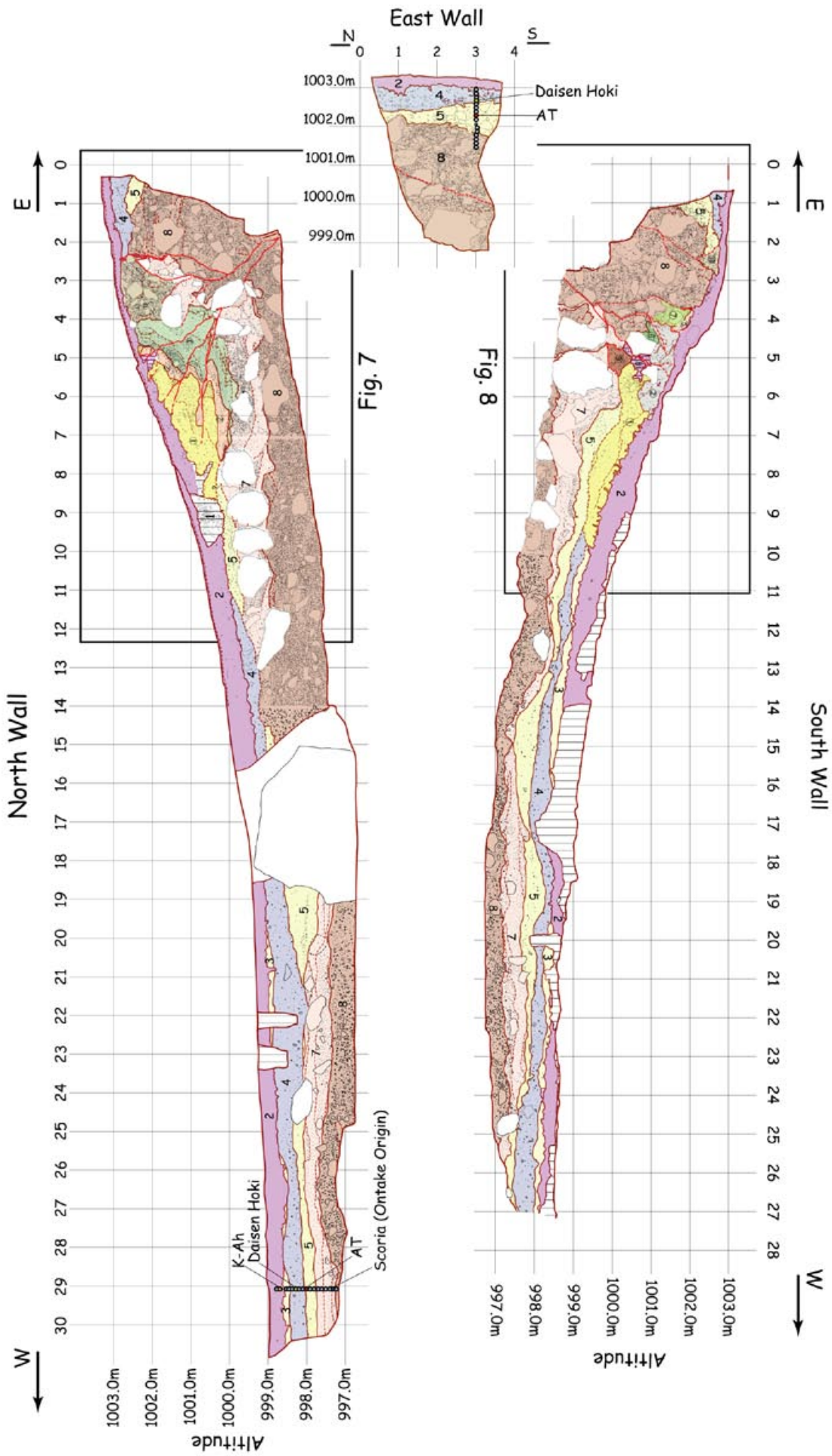
East side of the tectonic bulge

第4図. テクトニックバルジの写真.
Fig. 4. Photos of the tectonic bulge.

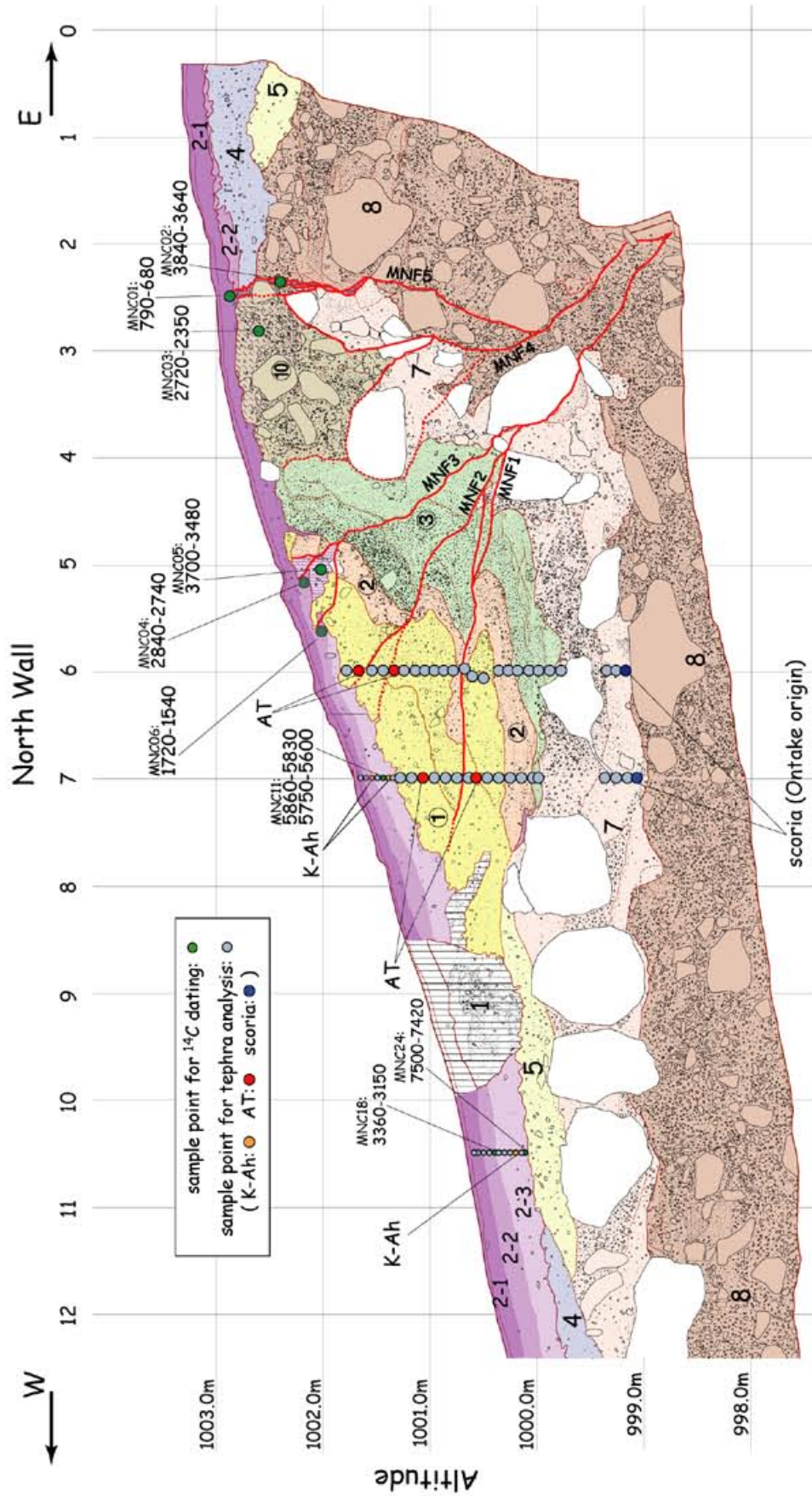


第5図. 層序区分とスケッチの凡例.

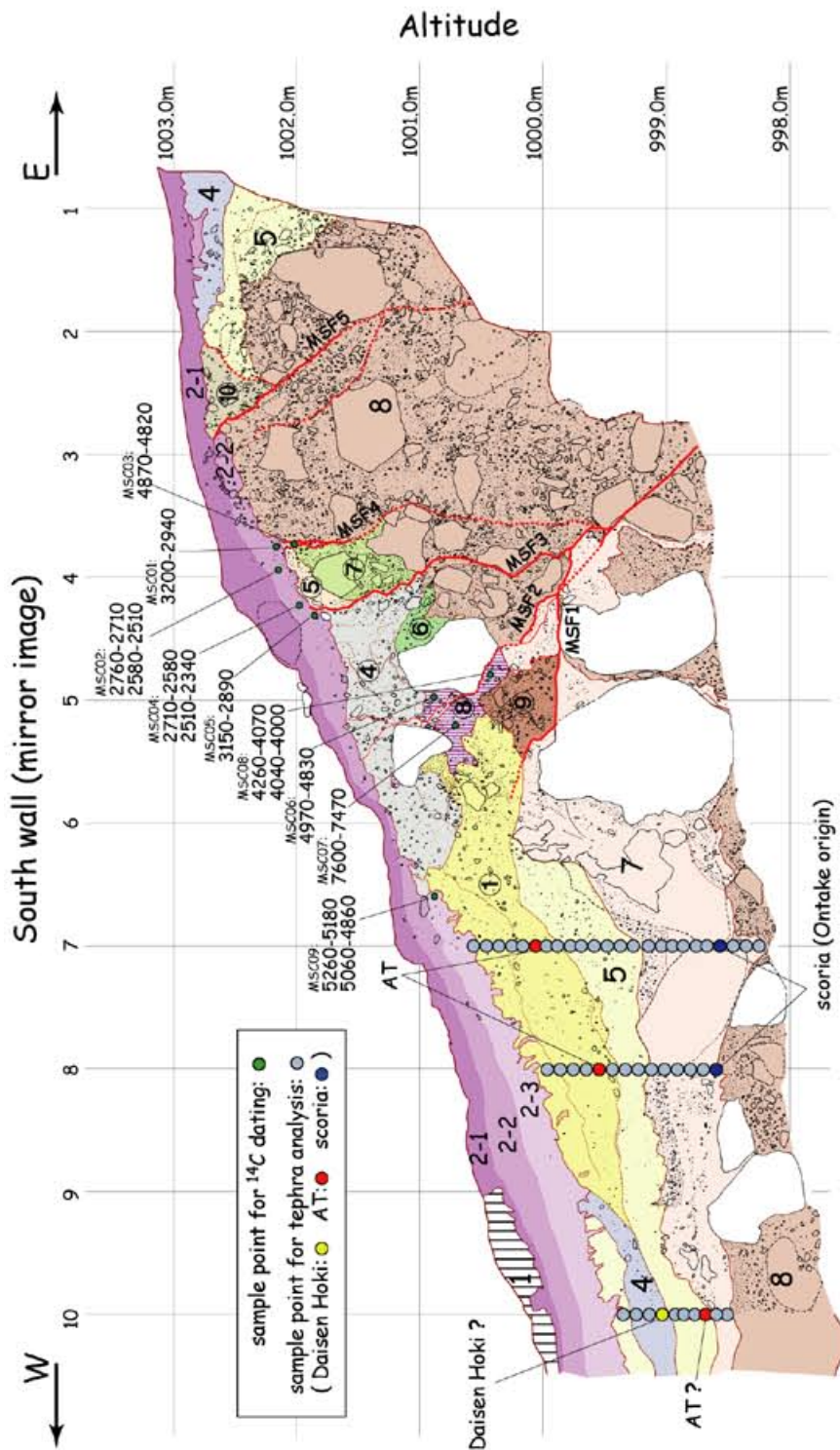
Fig. 5. Stratigraphy and legend for trench-wall sketches.



第6図. Mトレンチのスケッチ.
Fig. 6. Sketches of the M trench.



第7図. Mトレンチ北面断層部周辺のスケッチ.
Fig. 7. Detailed sketch around faults on the north wall of the M trench.



第8図. Mトレンチ南面断層部周辺のスケッチ (鏡像).

Fig. 8. Detailed sketch around faults on the south wall of the M trench (mirror image).

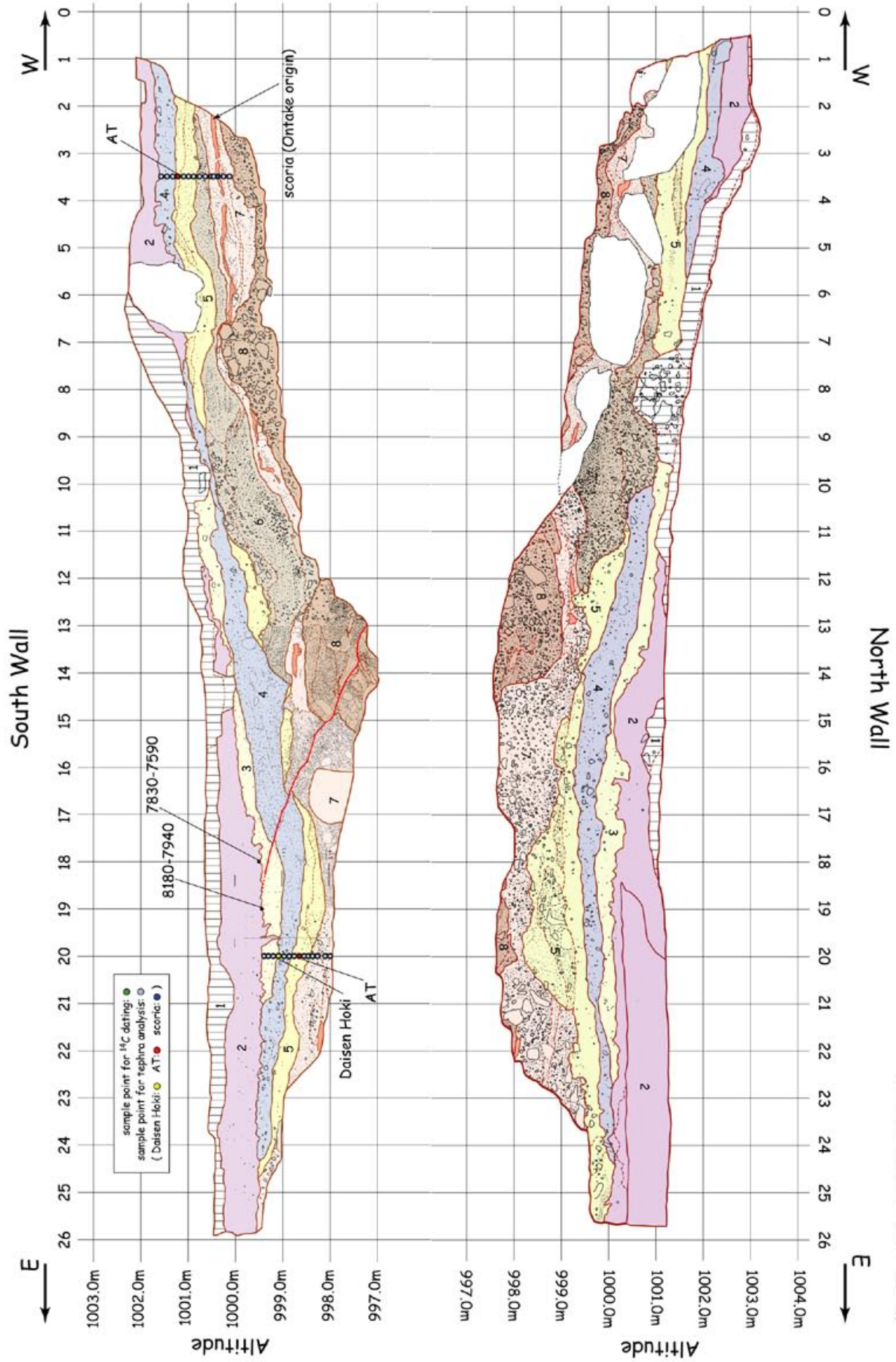
North Wall



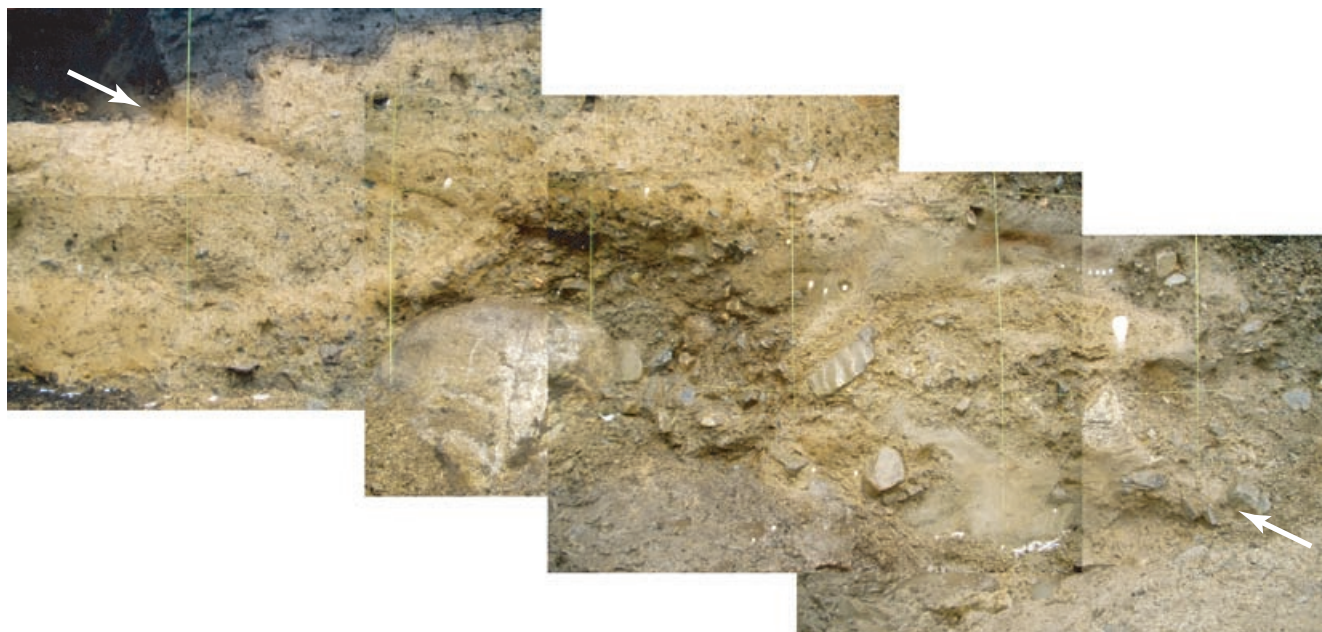
South Wall (mirror image)



第9図. Mトレンチ断層部周辺の写真.
Fig. 9. Photos around faults in the M trench.

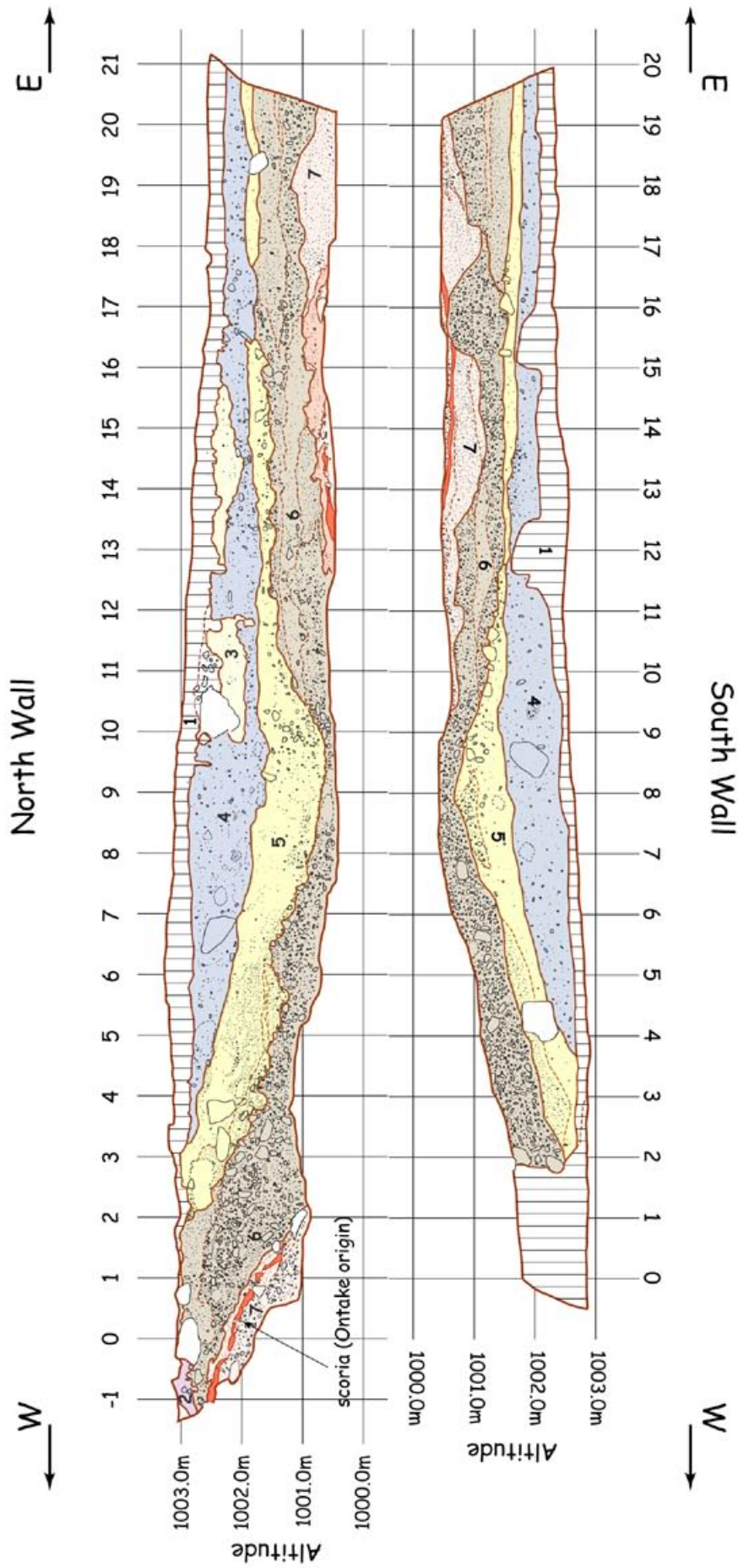


第10図. S1トレンチのスケッチ.
Fig. 10. Sketches of the S1 trench.



第11図. S1トレンチ南面断層部周辺の写真. 矢印は断層を示す.

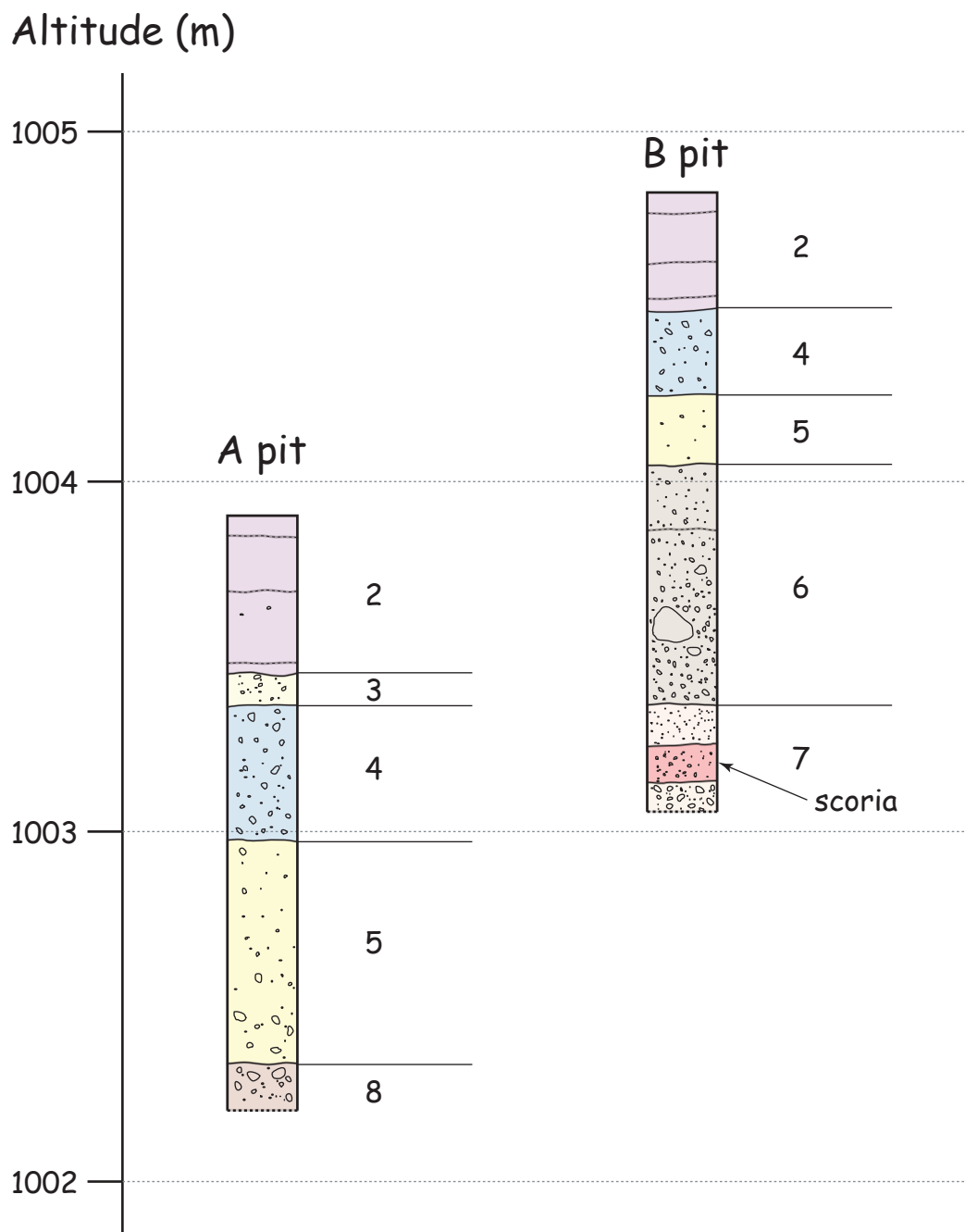
Fig. 11. Photo around a fault on the south wall of the S1 trench. Arrows indicate the fault.



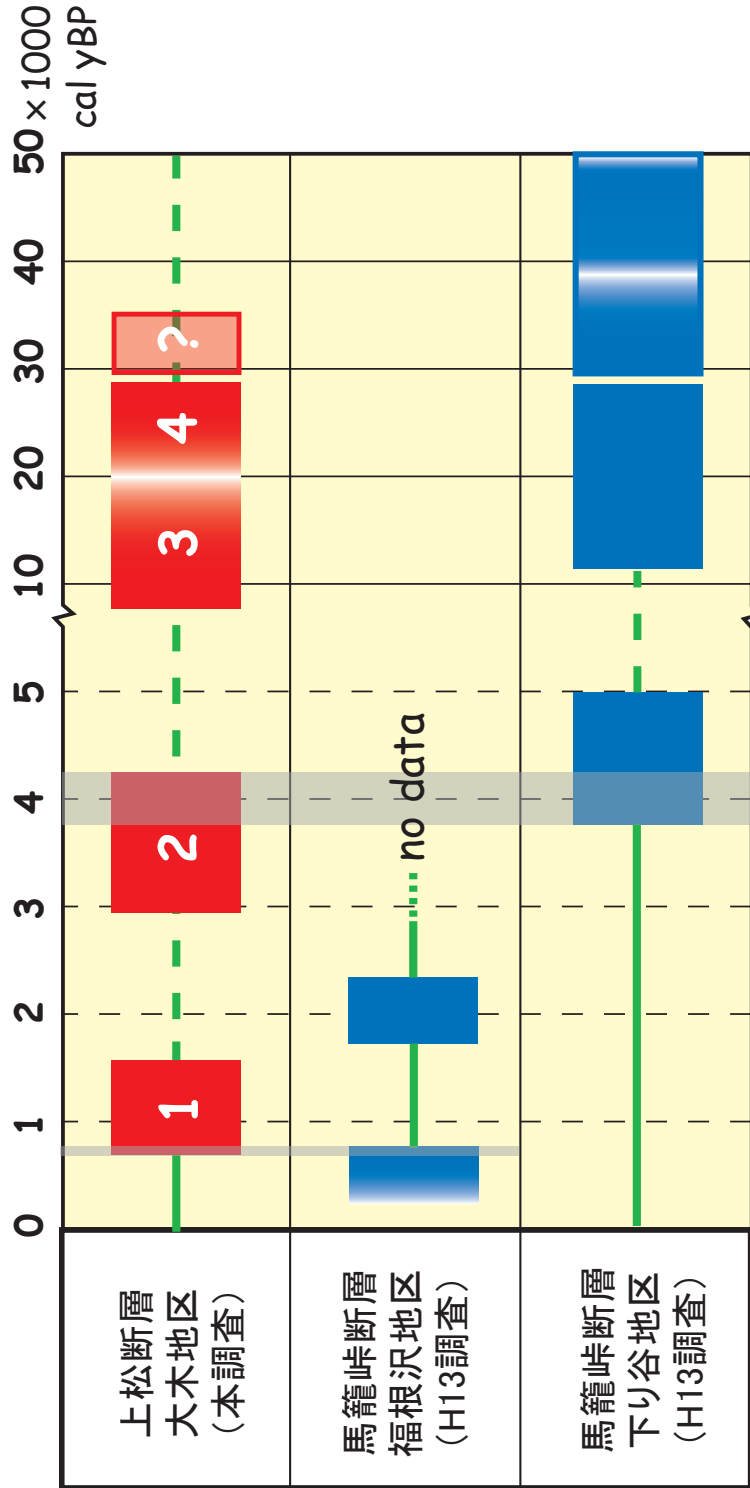
第12図. S2トレンチのスケッチ.
Fig. 12. Sketches of the S2 trench.



第13図. S2トレンチ北面撓曲部周辺の写真. 矢印は撓曲したスコリア層を示す.
Fig. 13. Photo around a flexure on the north wall of the S2 trench. Arrows indicate a folded scoria layer.



第14図. AピットおよびBピットの柱状図.
Fig. 14. Columnar sections of the A and B pits.



第15図. 上松断層大木地区における活動履歴と馬籠峠断層の活動履歴との比較.
 Fig. 15. Faulting history at the Oki site on the Agematsu fault and its comparison with those at the Fukutochizawa and Kudaritani sites on the Magome-toge fault.