

長良川上流断層帯, 八幡断層の完新世における複数回の活動

A record of paleoearthquakes during the Holocene on the Hachiman fault, Nagaragawa-joryu fault zone, central Japan

栗田泰夫¹・橋本智雄²・細矢卓志²

Yasuo Awata¹, Tomoo Hashimoto² and Takashi Hosoya²

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

² 中央開発 (株) (Chuo Kaihatsu Cooperation)

Abstract: The Hachiman fault, a major fault in the Nagaragawa-joryu (upper stream of the Nagara River) fault Zone is a 21-31 km long, NW-SE striking strike-slip fault in the Mino Mountains, central Japan. We conducted the first paleoseismic investigation to reveal the recent earthquake events of the fault in stratigraphic sequences. The trench site, located at an offset ridge in the middle of the fault, exhibits evidence of two faulting events between 7836 BC and present. The horizon of the most recent event (E1) is definitively indicated by the upward termination of the main rupture zone overline by colluvium. The penultimate event (E2) is presumed from the flower-structure like disturbance of soil layers overline by another colluvium. Modeled mean age and 95-percentile ranges of these events using OxCal program are 5018 BC and 5418-4616 BC for E2, and 2352 BC and 2630-2061 BC for E1. These ages yield a mean recurrence interval of 2666 ± 278 years, which is longer than the elapsed time from the most recent event to the present. An average recurrence interval including two open intervals before E2 and after E1 is 3516 years or longer, but not likely longer than 4000 years based on the probabilistic density function for the major active faults in Japan.

キーワード: 八幡断層, 長良川上流断層帯, トレンチ調査, 古地震履歴, 最新活動時期, 再来間隔

Keywords: Hachiman fault, Nagaragawa-joryu fault zone, paleoearthquake, most recent event, recurrence interval

1. はじめに

中部日本の美濃山地に位置する八幡断層は, NW-SE 走向をもつ長さ約 21~31 km の左横ずれが卓越する活断層である (第 1 図). 本断層の周辺には, 同じく NW-SE 走向をもつ阿寺・庄川・濃尾断層帯や NE-SW 走向をもつ高山断層帯などの規模が大きく活動性の高い活断層帯が多数発達するが, 八幡断層は, それら周辺の主要な活断層からは 10~20 km 程度の距離をおいて分布する. この八幡断層は, 断層の北部に並走する二日町・那留・大野断層などの長さ 5 km 程度以下の活断層群とともに, 大地震を発生させる一つの断層帯 (起震断層; 松田, 1990) と見なされ, 長良川上流断層帯と総称されている (地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2004a).

八幡断層は, 中生代白亜紀の奥美濃酸性岩類が主として分布する西側山地とジュラ紀の美濃帯の堆積岩類を主とする東側山地とを分ける断層である (脇田, 1984). 変動地形の観点からは, 西上がり 300 m の高度差をもつ断層崖を形成するとともに (活断層研究会編, 1991), 断層に沿っては谷の系統的な屈曲

が認められることから, 左横ずれ成分を持つ活断層とされてきた (活断層研究会編, 1991; 岐阜県, 1997; 中田・今泉編, 2001; 鈴木・杉戸, 2010; 鈴木・杉戸編, 2010).

しかし, 八幡断層の活断層としての確実性や規模, 変位のセンスについては不明確な点も多い. 活断層研究会編 (1991) では, 同断層を確実度 I~II で活動度 B 級, 長さ 24 km の活断層とし, 尾根や谷の左横ずれ 50~300 m とともに, 山地に西側隆起 300 m の高度不連続と, 一部の段丘面にも西上がりの高度不連続を認めている. しかし, より詳しい空中写真判読を主としたその後の調査研究では, 谷の系統的な左屈曲に加えて, 尾根や山地斜面の傾斜急変点や明瞭な鞍部地形の連なりを認定しているものの, 低断層崖などの鮮明な変動微地形は報告されていない (岐阜県, 1997; 中田・今泉編, 2001; 鈴木・杉戸, 2010; 鈴木・杉戸編, 2010).

活断層としての八幡断層の長さについて, 鈴木・杉戸 (2010) は確実な区間は 21 km であるものの, 多くの部分は位置がやや不明確としている (鈴木・杉戸編, 2010; 第 1 図). さらに鈴木・杉戸 (2010)

および鈴木・杉戸編 (2010) は、八幡断層から南東延長部に延びる長さ 10 km の活断層を推定している。一方、中田・今泉編 (2001) では、八幡断層に沿った多くの谷の左屈曲を認めながらも、鈴木・杉戸編 (2010) が確実な活断層としたのとはほぼ同じ区間を、推定活断層とするに留めている。

このように、八幡断層の第四紀後期の活動性については、主として形成年代が未詳の尾根や谷などの浸食地形を原型とする変動地形から推定されている。しかし、地質学的な堆積物の変位については、脇田 (1984) が第四紀と考えられる崖錐礫層を切る断層露頭を 1 地点で報告しているに過ぎない。このため、2004 年に公表された地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2004a) による長良川断層帯の長期評価では、「過去の活動に関してほとんど資料が得られていないことから、将来に大地震が発生する長期確率は不明である」とされた。

産業技術総合研究所では、文部科学省からの委託による「平成 24 年度活断層補完調査」の一環として、長良川上流断層帯の活動性および活動履歴に関する調査を実施した (産業技術総合研究所, 2013)。本論では、このうち、八幡断層の谷多和 (たんだわ) 地点におけるトレンチ調査によって初めて解明された完新世における複数回の断層活動の時期について述べる。

2. 谷多和地点におけるトレンチ調査

2.1 調査地点の概要

谷多和地点は、八幡断層のうち変動地形が比較的明瞭な断層主部のほぼ中央にあって、郡上市大和町落部谷多和地内に位置する。

第 2 図に示すように、同地点付近では断層の走向は N10~15°W 程度であり、八幡断層の主部における一般的な走向である約 N30°W に比べてやや南北方向に転じている。断層の西側は標高 1000 m 程度に至る急峻な山地で、奥美濃酸性岩類の凝灰岩類と石英斑岩から構成される (脇田, 1984 および岐阜県, 1997)。東側の山地は標高約 600~650 m の定高性のある稜線高度を持ち、河谷による開折がやや進んだ山地で、主に美濃帯の砂岩やチャートが混在する泥岩から構成される (脇田, 1984 および岐阜県, 1997)。急峻な山地から東に流れ下る落部谷川支流の谷に沿っては、その中~下流に低位 2 および低位 3 段丘面 (産業技術総合研究所, 2013) が発達している。八幡断層に沿っては、尾根の傾斜急変点や断層鞍部が連続して分布し、尾根線および尾根が 100~150 m 程度以下の系統的な左屈曲を示す (産業技術総合研究所, 2013)。

谷多和地点は、脇田 (1984) が第四紀の崖錐礫層を切る断層を報告した露頭の約 300 m 北に位置している (図 2)。この地点では、60~70 m 程度の左ずれ

屈曲を示す尾根に伴って形成された鞍部や逆向き崖によって、断層の通過位置を数 m 以内に推定することができる (第 3 図)。逆向き崖に沿って浅い溝状の地形が延びており、その北北西延長上の作業道法面では厚さ 1 m 程度の黒色土層が堆積した露頭が観察でき、湧水も認められる。なお、本地点の東側にも、尾根の傾斜急変点と谷の左屈曲から、N-S 走向の副断層が推定される (第 2 図)。

トレンチは、尾根の鞍部から北東側に続く比高 2~3 m 程度の緩やかな逆 (西) 向き斜面の植林地において、その樹間を選んで、小型のバックホーにより長さ約 8 m・幅約 1.5 m・深さ約 2 m の規模で掘削した (第 3 図)。その結果、基盤の奥美濃酸性岩類とともに後期更新世および完新世の堆積物までを切る断層群を確認できた。トレンチの平面図を第 4 図、北側壁面の写真およびスケッチを第 5 および 6 図に、南側法面のスケッチを第 7 図、地質総括図を第 8 図に示す。

2.2 トレンチで認められた層序

トレンチで認められた地層は、上位から順に、盛り土 (12 層)、森林土の最表層 (13 層)、褐色森林土層 (15 層)、埋没黒色土層 (22~26 層)、低位 3 段丘堆積物 (30 層)、低位 3 段丘堆積物ないし崖錐堆積物 (40 層)、崖錐堆積物ないし基盤岩の風化帯 (51~52 層) および基盤岩である奥美濃酸性岩類 (60 層) に区分できる。なお、以後の記載では、トレンチ壁面での位置を、各壁面の東側からの水平距離と標高 632.04 m を基準とした相対高度で示す。たとえば、「N6.9 m/1.4 m」は、北側壁面の水平距離 6.9 m、相対高度 1.4 m の位置である。

12~13 層は、人為的もしくは人為的と推定される乱れが認められる堆積物である。このうち、12 層は、奥美濃酸性岩類の角礫からなる、2004 年度の作業道建設に伴う盛り土である。13 層は、未分解の落葉および枝などからなる厚さ 10 cm 程度以下の堆積物であり、森林土の最表層である。15 層は、淡緑灰色を呈する、厚さ 20~30 cm 程度の森林土であり、少量の奥美濃酸性岩類の礫を含む。礫は、本層の基底付近に分布することが多く、これは林業に伴う表土の攪乱の結果と推定される。北側壁面では 15 層は広く分布するが、南側壁面の東半部では下位の 22 および 23 層との区分が困難であることから、第 7 図では、それらを一括して 15~23 層として示した。

22~26 層は、トレンチ西半部では最大厚さ約 1.5 m に及ぶ腐植質黒土層からなり、東に向かって急に厚さを減じるとともに、礫質になる地層群である。この地層群は、下位ほど黒色を呈し、中部および上部に挟まれる砂礫含有部によって上位から順に、22 層、23 層、24 層、25 層および 26 層に区分できるが、各層の境界はやや不鮮明である。また、この地層群は、全体として緩やかに西に傾斜するとともに、上位層

ほど東に分布が広がっている。北側壁面では、トレンチ東半部の N3~4 m 付近以東には 22~26 層が分布しない。また南側壁面では S2~3 m 付近以東には少なく 24~26 層が分布せず、上述のように 22 および 23 層も、上位の 15 層との区別が困難になる。

22 層は、厚さ約 15~30 cm で暗青灰色の腐植質黒色土層である。北側壁面の N3 m 付近では、本層の黒色土層が 40 層上部の砂礫層中にくさび状にせん滅するようにも見えるが、その境界は極めて不鮮明であり、両層の詳しい関係は不明である。

23 層は、厚さ約 15~30 cm で緑灰色の、奥美濃酸性岩類の細角礫を少量含む、砂混じり腐植質黒色土層である。礫の含有量は西に向かって次第に少なくなり、北側壁面の N7.5 m 付近以西および南側壁面の S7.0 m 付近以西には本層は分布しない。

24 層は、厚さ 15~50 cm 程度で青黒色の腐植質黒色土層である。トレンチの西端付近では、下位の 25 層を欠いて、本層が直接に 26 層を覆っており、層厚を増している。

25 層は、厚さ約 10~30 cm で緑灰色の、奥美濃産岩類の細角礫を少量含む、砂混じり腐植質黒色土層である。東部では中礫サイズの礫も含んでいるが、礫の含有量は西側に向かって少なくなる。南側壁面では、S7.6 m 付近以西には本層が分布しない。

26 層は、厚さ約 15~30 cm で青黒色の腐植質黒色土層であり、少量の礫を含む。下位の 30 層を覆う北側壁面の N7 m 付近以西および南側壁面の S6 m 付近以西では、本層基底付近の厚さ 10~15 cm の部分では下位に向かって礫の含有量が多くなる。なお、北側壁面の N4.5 m 以東では、上位の 25 層に特有の砂礫混じりの黒色土と 26 層に特有の砂礫を欠いた黒色土とがパッチ状に混在し、両層の区別は困難である。このため、第 6 図の N4.5 m 以東では、それらを N26 層として一括して示した。

30 層は、トレンチの西部に分布し、弱い水平のラミナが発達する灰白色の礫層である。礫は主として中礫サイズの奥美濃酸性岩類からなり、基質に乏しい。本層は、低位 3 段丘堆積物の一部に相当すると推定される。

40 層は、砂・シルトおよび奥美濃酸性岩類の角~亜角礫からなる、明黄褐色で、弱成層~塊状の砂礫層である。このうちトレンチ西半部に分布する本層は、最大厚さ 1 m 程度以上で、見かけ上西に 10~15° 程度で傾斜する弱い層理が発達している。一方、トレンチ東半部に分布する本層は、厚さ 40~50 cm 程度以下であり、下位層を覆って全体として西に傾斜した分布を示す。下位の 51 層との境界は不明瞭で漸移的である。

51 層および 52 層は、トレンチの東部に分布し、基盤の奥美濃酸性岩類の風化部と、それに由来する崖錐性堆積物からなると推定される。51 層は、砂・シルトを含む奥美濃酸性岩類の角~亜角礫からなる、

淡黄色で塊状の淘汰の悪い礫層であり、見かけ上西に 20~30° 程度で傾斜する極めて弱い層理~節理が発達している。52 層は、砂・シルトを含む奥美濃酸性岩類の角~亜角礫からなる、灰白色での礫層であり、無層理もしくは見かけ上西に 40° 程度傾斜する弱い層理が発達している。51 層と 52 層の境界、およびそれらの地層と下位の 60 層との境界は漸移的であり、一部では区別が困難なこともある。

最下位の 60 層は、奥美濃酸性岩類からなる基盤岩であり、断層帯によって破碎された、やや風化した白色~黄褐色の斑岩からなる。概ね水平の節理が発達しているが、北側壁面の N2~3.5 m 付近に分布する本層には、見かけ上西に 40° 程度傾斜する節理が認められる。

2.3 トレンチで認められた断層構造

トレンチの中央付近から東側にかけて、幅 3~4 m 程度の断層帯が認められた。この断層帯は、その南西端に沿った主断層帯である F-1 断層帯と、北東側の F-2~6 断層などからなる副断層群に大きく区分できる（第 4、6 および 7 図）。

トレンチで観察された断層の走向は、約 N50~70°W であり、谷多和地点付近の八幡断層の一般的走向（N10~30°W 程度、第 2 および 3 図）に対して主断層帯で 30° 程度、副断層群で 40° 程度、反時計回りに大きく斜交しており、全体としては「ミ」型の配列を示す。また、それらの断層は、いずれも高角度で開口成分を伴う。これらのことから、トレンチで観察された断層群は、八幡断層の活動によって左横ずれさせられた尾根の背後に生じた伸張性の雁行断層群と考えられる。

断層帯は、逆向きの低崖を伴う断層鞍部の地形と調和的に、全体としては西側が相対的に低下する上下変位を示し、基盤岩である 60 層の上面には約 2.5 m 以上の西側が相対的に低下する高度差が認められる。また、40 層および 24~26 層の分布も、トレンチ壁面の東側では、副断層群から主断層帯である F-1 断層帯に向かって傾き下がるとともに、F-1 断層帯を挟んで西側が 10~30 cm 程度高くなっている。このように、断層帯は全体として、主断層と副断層で挟まれたブロックが西に傾動しつつ低下する変形も伴っている。

(1) 主断層帯

主断層帯である F-1 断層帯は、幅約 30~60 cm、一般走向が N56°W で概ね垂直の傾斜を示す断層帯である。断層帯の内部には、24~26 層および 40~52 層に由来すると推定される堆積物が巻き込まれており、腐植質黒色土を主体とする fa 相と乱された砂礫を主体とする fb 相とが認められる。トレンチ底面の 40 層中に観察された断層は、最大幅約 15 cm の開口を伴い、その内部は砂礫混じり腐植質土からなる fa 相に充填されている。

北側壁面の F-1 断層帯は幅 40~60 cm で、その西縁に沿って腐植質黒色土が卓越する fa 相からなる幅 10 cm 程度の剪断帯が発達している。また、断層帯の東縁はやや凹凸に富んでおり、24~26 層は高角度でオーバーハングして断層帯中の fb 相に接している。主断層帯は、24 層までを確実に切っており、23 層のやや細礫に富んだ基底部に覆われると推定される。ただし、断層帯と周囲の地層との境界はやや不鮮明である。断層帯に直接する周囲の地層には小断層や引きずりによる変形は認められない。しかし、断層帯の東側 1 m 程度以内の範囲では 24~40 層が西に急傾斜する分布を示し、このうち 26 層は黒色土と砂礫混じりの部分とがパッチ状に混在する乱れた様相を示す。また、断層を挟んで、24 層の基底や 40 層の上限は東側が見かけ上 10~30 cm 程度低くなっている。

南側壁面の F-1 断層帯は、上部では幅数~20 cm で、下部に向かって幅が広がる不規則な形状の高角度の剪断帯である。断層帯の東縁は、とくに凹凸に富んでおり、その下半部では 26 層および 40 層がオーバーハングして断層帯と接している。F-1 断層帯は、25 層までを確実に切り、さらに 24 層を切って 23 層に覆われると推定される。断層帯に接する周囲の地層には、明確な小断層や引きずりによる変形は認められない。ただし、断層帯の西側近傍 (S4.2~4.8 m/0.8~1.4 m) では、40 層上部の砂礫層が上方に凸の花弁状の見かけをもつ伸張性の断裂によってブロック状に分断され、26 層の腐植質黒色土と混在する現象が認められる。この 40 層と 26 層に見られる堆積構造の乱れは、上位の 25 層には及んでいない。また、断層帯の東側 1 m 程度以内の範囲では 24~40 層が西に急傾斜する分布を示す。断層帯を挟んで、24 層の基底~40 層の上限は東側が見かけ上 10~40 cm 程度低くなっている。

(2) 副断層群

副断層群は、壁面での見かけ上、F-1 断層の東側約 1.5~2 m より東側に分布する断層帯である。N60~70°W 程度の走向で垂直~東に高角度で傾斜した、開口を伴う多数の断層群からなる。断層の多くは、崖錐堆積物である 40 層を切っているが、一部の断層の変位は 40 層には及んでいない。副断層帯では、顕著な開口成分をもつ断層として、西側から順に F-2, 3, 4, 5 および 6 断層帯が認められる。

F-2 断層は、南側壁面にのみ認められる。本断層は、基盤岩である 60 層とその風化部ないし崖錐堆積物である 52 層および 51 層までを切るが、40 層に覆われると推定される。

F-3 断層は、北側壁面にのみ認められる。本断層は、基盤岩である 60 層を切り、その変位は 51 層の下部に及んでいると推定できるが、40 層には及んでいない。

F-4 断層は、南側壁面にのみ認められる。本断層は、

52 層までを確実に切り、その変位は 40 層にも及んでいると推定されるが、22~23 層とした砂礫層に覆われている。

F-5 断層は、副断層群の中で最も規模が大きく、基盤岩である 60 層中では幅約 20~30 cm の断層帯を形成しており、N65°W 走向で傾斜はほぼ垂直である。北側壁面では、F-5a 断層と F-5b 断層に挟まれた断層帯の東半部は、塊状で淘汰の悪い乱れた砂礫 (fb 相) に充填されている。その上方では、F-5a 断層の東側に、見かけ上西に傾いた最大幅約 50 cm の花弁状構造を示す断層群ないし断裂群を伴っている。F-5a 断層を含む断層帯の東半部は、少なくとも 40 層の下半部までを切っている。また、北側壁面の F-5b 断層と F-5c 断層に挟まれる断層帯の西半部は幅 10~15 cm の基盤岩である 60 層の破碎帯 (fc 層) が認められ、この断層帯は 40 層に覆われている。南側壁面においても、F-5 断層は 52 層を切るものの、40 層に覆われていると推定される。

F-6 断層は、北側壁面にのみ認められる。本断層は、基盤岩である 60 層の上面に漏斗状の上に開いた窪み (N0.5~1.4 m 付近) を伴っており、その窪みは 40 層に充填されている。F-6 断層は、40 層の基底を切っており、同層の中・上部には変位が及んでいないと推定できる。

2.4 地層の年代

(1) 放射性炭素同位体年代の測定

トレンチ壁面の 15~26 層の黒色土および断層帯に挟まれた腐植質土から採取した 34 試料について、Beta Analytic Inc. に依頼して AMS 法によりバルク有機炭素の ^{14}C 年代測定を行った。北側壁面の N6.9 m 付近では、15 層から 26 層までの各層から厚さ 5 cm 刻みで連続サンプル 23 試料 (試料番号: TTN1-701~723) を採取し、そのうち 12 試料の年代を測定した。また、15~26 層から採取した 17 試料、および断層帯から採取した試料 5 試料について測定した。第 1 表に、年代測定結果および OxCal プログラム (Bronk Ramsey, 2009) を使用した IntCal13 較正曲線 (Reimer *et al.*, 2013) に基づく較正年代 (95% 信頼区間の全区間) と、その確率密度分布から計算された平均値および標準偏差 (1σ) を示す。

年代測定試料はいずれも腐植質土に含まれる有機質堆積物であることから、再堆積や生物擾乱による影響も考えられた。このため、第 9 図において各層ごとの層序関係と試料の ^{14}C 年代を比較した。比較では、まず、北側壁面の N6.9 m 付近における連続試料 (TTN-700 番台) の採取層準を 26 層基底から地表までの高度で規格化して表示した。次いで、その他の測定試料の位置を各層内ごとに相対高度で対比して表示した。この結果、N6.9 m 付近の連続試料は、26 層から採取した 1 試料を除いて、残りの 11 試料の年代値には層準との逆転が認められなかった。ま

た，層位関係が明瞭な北側壁面の N5.8 m 付近から採取した連続試料のうちの 3 試料 (TT1N-511, 513 および 516 ; 図 6)，南側壁面の S6.9 m 付近から採取した連続試料のうちの 4 試料 (TT1S-706, 710, 717 および 721; 図 7) の年代値についても，試料採取位置ごとに層準との逆転が認められなかった。さらに，22, 24 および 26 層の黒色土層から採取した試料については，各層内では相対的な分布高度と年代値との関係が一部で逆転するものの，地層間の比較でみると，各層に含まれる試料群が示す年代幅には逆転や重複が認められず，加えて，地層間の年代幅には間隙が少ない (第 9 図)。しかし，23 および 25 層の試料が示す年代値は，それぞれ直下の 24 および 26 層が示す年代幅と重複している。

以上のことから，各試料の較正年代の平均値に基づく，22 層は 1158 BC~2090 BC 頃，24 層は 2628 BC~4769 BC 頃，26 層は 5423 BC~7617 BC 頃の年代試料を含み，相互に大きな時間間隙がなく連続して堆積したものと推定できる。一方，23 層は 2883 BC~4764 BC，25 層は 6928 BC の年代を示す試料を含むことから，それぞれが下位の地層，とくに直下の地層に由来する再堆積物を多く含み，比較的短期間のうちに堆積したものと推定できる。

また，F-1 断層帯から採取した 5 試料のうち，4 試料の ^{14}C 年代は 2883 BC~4001 BC と 24 層が示す年代幅と重複している。また，残りの 1 試料の年代は 5592 BC であり，概ね 24 層と 26 層が示す年代幅の境界付近に相当する。このことから，F-1 断層帯に挟まれる黒色土は，その大部分が 24 層に由来すると推定する。

(2) 火山灰の分析

26 層より下位の地層では，放射性炭層年代測定に供せる試料が発見できず，また目視できる火山灰層も挟まれていなかった。このため，北側壁面の N3.7 m 付近の 40 層，51 層および 52 層から 5 cm 刻みで採取した堆積物の連続試料：15 試料 (第 6 図の TT1N-T1~15) を (株) 古澤地質に依頼して粒子組成分析および火山ガラスの屈折率測定を行った。その結果を第 10 図に示す。

分析した各試料には，最上部から最下部までのすべての層準にバブルウォール型で水和が良好な火山ガラスが多く含まれ，その屈折率は 1.496~1.500 程度のもを主体とする。これらの火山ガラスは，形態および屈折率から約 2.6~2.9 万年前の始良 Tn 火山灰 (AT ; 町田・新井, 2003) に由来すると判断される。また，40 層の最上部に当たる TT1N-12~15 の 3 試料には，バブルウォール型であるが水和が不良で，屈折率が 1.510~1.515 程度火山ガラスが少量含まれる。この火山ガラスは，約 7 千 2 百年前の鬼界アカホヤ火山灰 (K-Ah ; 町田・新井, 2003) に由来すると判断される。なお，重鉍物として普通角閃石および斜方輝石が微量に含まれるが，特定の火山灰

層には対比できなかった。

火山灰分析の結果から，40, 51 および 52 層は後期更新世末の AT 降下時以降の堆積物であると判断できる。40 層の最上部からは K-Ah に由来する火山ガラスも検出されたが，それよりも上位の 26 層の ^{14}C 年代がいずれも K-Ah より古い年代を示す。したがって，それらの K-Ah に由来する火山ガラスは 40 層の堆積後に上位層から混入したものと考えられる。

2.5 断層の活動時期と再来間隔の検討

(1) 断層活動イベントの層準

谷多和トレンチでは，断層と地層との切り合い関係と，腐植質黒色土層中に挟まれる砂礫質の堆積物の存在から，以下の断層活動イベントの層準が認められた (第 6 および 7 図)。

イベント E1 : F-1 断層帯は，腐植質黒色土層である 24 層を確実に切り，砂礫混じりの腐植質黒色土層である 23 層に覆われると推定される。したがって，断層の最新活動時期は 24 層堆積より後~23 層堆積より前である。断層を覆う 23 層は，東側の逆向き低断層崖に分布する 40~60 層に由来すると推定される細礫サイズの角礫を混入し，礫の粒径や含有量は西に向かって小さくなり，層厚も西に向かってせん滅する。また，同層から採取した試料の ^{14}C 年代は下位の 24 層の ^{14}C 年代幅と重複する (第 9 図)。これらの特徴から，23 層は，東側の逆向き低断層崖からもたらされた崩積堆積物であり，最新の断層活動に伴うイベント堆積物と推定できる。主断層帯である F-1 断層の活動は 23 層および上位層に及んでいないことから，このイベント E1 が八幡断層の最新活動であったと判断できる。

イベント E2 : 22~26 層の腐植質黒色土層のうち，下部に挟まれる 25 層は，上述の 23 層と同様に 40~60 層に由来する細礫サイズの角礫を混入し，礫の粒径や含有量は西に向かって小さくなり，分布も西に向かってせん滅する。また，25 層から採取した試料の ^{14}C 年代は，下位の 26 層の ^{14}C 年代幅と重複する (第 9 図)。これらの特徴から，25 層も，東側の逆向き低断層崖からもたらされた崩積堆積物に由来する腐植質黒色土層であり，一つ前の活動に伴うイベント堆積物と推定できる。また，南側壁面の F-1 断層帯の西側において 26 層と 40 層上部に認められる花卉状構造を呈する堆積層の乱れは，この断層活動に伴う変形構造の可能性がある。以上のことから，25 層堆積より前~26 層堆積より後に八幡断層の 1 つ前の活動があったと推定できる。

イベント E3, 4 および 5 : 断層の西側に厚く堆積する腐植質黒色土である 22~26 層群中には，23 層および 25 層の 2 層準にのみ断層活動に伴う崩積堆積物と考えられる堆積物が挟まっている。したがって，イベント E2 より前の断層活動は，26 層堆積より前に起ったと推定される。副断層群の一部には，40 層

堆積中もしくはそれ以前に活動を停止している断層があり、イベント E2 より前にも複数回の断層活動を推定することができる。

北側壁面の N0.6~0.8 m/1.3 m 付近では、F-6 断層の複数の小断層が 40 層の下部を切り、同層の中・上部のラミナには変位を与えていないと推定される(イベント E3)。また、北側壁面の N2.1 m/0.7 m 付近では F-5c 断層が 51 層を切って 40 層に覆われていると推定され、南側壁面の S1.7 m/1.2 m 付近では F-2 断層が 51 層を切って 40 層に覆われている(イベント E4)。さらに、北側壁面の N2.6 m/0.4 m 付近では F-3 断層が、南側壁面の S2.3 m/0.5 m 付近では F-2 断層から派生する断層が、それぞれ 51 層の下部を切っているものの同層上部のラミナには変位が及んでいないと見られる(イベント E5)。

ただし、これらのイベントを認定した層準では、堆積物の連続性の欠如が考えられることから、それぞれの層準ごとに少なくとも 1 回の断層活動が生じたと言えない。また、イベント E3 が二つ前の活動を含むかどうか不明である。

(2) 断層活動の年代と再来間隔

トレンチで認められた最新活動 (E1) と一つ前の活動 (E2) については、黒色土層群に挟まれる ^{14}C 年代 (第 1 表) に基づいた詳しい活動時期の検討が可能である。これら二つの断層活動の年代と再来間隔を高精度で解明するために、OxCal プログラムにより層序関係を利用したベイズ解析 (Bronk Ramsey, 2009) を行った。解析にあたって、崩積堆積物と考えられる 23 層および 25 層から採取した試料については、それらが示す ^{14}C 年代は試料が地層中に堆積した年代よりも有意に古いと考え、解析モデルから除外した。また、15, 22, 24 および 26 層の各層の試料群には、地層間には層序関係があるものの、各地層内の試料については層序関係が不明として扱った。F-1 断層帯に取り込まれた試料については、24 層よりわずかに古い年代を示す 1 試料 (TT1N-11) を除いて、24 層中の試料とともにイベント E1 の年代の下限を拘束するものとした。さらに、イベント E2 を覆う 24 層中の試料のうち TT1N-710 が示す年代は、それを解析モデルに含めた場合にモデルとの一致指数が 17.9% と低かったため、同試料を解析モデルから除外した。

第 11 図および第 2 表に解析結果を示す。活動イベント E1 の年代は、95% 信頼区間の幅で 2630 BC~2061 BC、平均で 2352±161 BC であった。活動イベント E2 の年代は、95% 信頼区間の幅で 5418 BC~4616 BC、平均で 5018±237 BC であった。また、両イベントの再来間隔は 95% 信頼区間の幅で 2125~3214 年、平均は 2666±278 年であった。

3. 議論

八幡断層のほぼ中央に位置する谷多和地点でのトレンチ調査によって、同断層の最新活動 (2352±161 BC) と一つ前の活動 (5018±237 BC) の時期が高精度で明らかになり、両活動の再来間隔が 2666±278 年と求まった。しかし、この再来間隔は最近 2 回の活動による 1 サイクルの間隔に過ぎず、活動間隔にはばらつきがあることから、その値を八幡断層の多数回のサイクルにわたる平均的な再来間隔であるとはみなし難い。

第 12 図に示すように、最新活動から 2014 年現在までの経過時間は 4366 年であり、最新から次の活動まで再来間隔はそれより長くなる。この開区間を含めた一つ前の活動から次の活動までの 2 サイクルの平均再来間隔は 3516 年以上と求まる。また、26 層の中には最近 2 回の断層活動がもたらしたような崩積堆積物は認められないことから、二つ前の断層活動は 26 層の堆積開始時 (7836±259 BC; 第 11 図) より前に起こったと推定できる。この場合、2 つ前から次の活動までの 3 サイクルの平均再来間隔は 3283 年以上と求まる。これらのより長期間の平均再来間隔に比べると、トレンチで認められた最近 2 回の活動の間隔は 8 割程度以下と短い。

地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2001) は、日本の代表的な活断層における多数サイクルの活動履歴を統計的に検討し、再来間隔の確率密度分布を BPT モデルで近似してばらつきを $\alpha=0.24$ と求めている。この確率分布モデルによれば、再来間隔が平均値の 0.8 倍よりも短い事象が発生する確率は約 21% であり、再来間隔の確率密度分布の 95% 信頼区間は平均値の約 0.7~1.4 倍の範囲と計算できる。このことから判断すると、八幡断層の長期的な平均活動間隔は、最近 2 回の活動の間隔である 2666 年より長い可能性が大きいものの、4000 年程度より長い可能性は小さいと考えられる。いずれにしても、最新活動からの現在までの経過時間は、それらの平均活動間隔と同程度もしくはより長いことになる。

八幡断層の周辺には、平均変位速度がより大きい活断層帯が多数存在する (第 1 図)。古地震調査で確認されたそれらの活断層帯の平均再来間隔は、阿寺断層帯の主部南部では 1 千 7 百年、主部北部では 1 千 8 百年~2 千 5 百年、庄川断層帯では 3 千 6 百年~6 千 9 百年、濃尾断層帯の温見断層では 2 千 2 百~2 千 4 百年、同断層帯の主部では 2 千 1 百~3 千 6 百年とされる (地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2004b, 2004c および 2005)。八幡断層は、それらの活動性の高い活断層帯と同程度の再来間隔をもつ可能性が大きいにもかかわらず、断層に沿った変動地形、とりわけ変動微地形は相対的に不明瞭である。これは、八幡断層が横ずれ変位の卓越する活断層であり、平均変位速度の上下成分は変動微地形

が長期間にわたって保存されるほどに大きくないことが一因と考えられる。また，八幡断層の大部分が急峻な山地斜面を通過していることから，大きな地形起伏量をもたらした早い浸食速度が活断層の地形学的な検知限界を低くしていること（金田，2006）も考えられる。

しかし，東郷・佐藤（1988）は，活断層による谷の屈曲量と上流部分の長さの比（横ずれ谷屈曲率）が平均変位速度に比例するとの仮説（松田，1975）に着目して，八幡断層のそれは，阿寺断層帯や濃尾断層帯などの A 級活断層のものと変わらないことを報告している。浸食速度が大きい山間部の横ずれ活断層の検出や活動度の評価にあたっては，変動微地形とともに，長期間保存されやすい規模の大きな変動地形にも着目する必要がある。

謝辞 谷多和とレンチの調査にあたっては，岐阜県森林公社から植林地での調査の許可をいただき，現地での調査には（株）中央開発の伊藤太久氏および八木達也氏が作業に加わった。これらの機関および方々に感謝申し上げる。

文 献

- Bronk Ramsey, C. (2009) Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51, 337-360.
- 岐阜県（1997）平成 8 年度 地震関係基礎調査交付金 長良川上流断層帯に関する調査 成果報告書。
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会（2001）長期的な地震発生確率の評価手法について。46p.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会（2004a）長良川上流断層帯の長期評価について。10p.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会（2004b）庄川断層帯の長期評価について。23p.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会（2004c）阿寺断層帯の長期評価について。48p.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会（2005）濃尾断層帯の長期評価について。49p.
- 金田平太郎（2006）横ずれ活断層の地形学的検知限界と地形起伏。月刊地球，号外，54，78-84.
- 活断層研究会編（1991）「新編日本の活断層一分布図と資料一」。東京大学出版会，437p.
- 町田 洋・新井房夫（2003）「新編火山灰アトラス」。東京大学出版会，336p.
- 松田時彦（1975）活断層としての石廊崎断層系の評価。1974 年伊豆半島沖地震災害調査研究報告，121-125.
- 松田時彦（1990）最大地震規模による日本列島の地震分帯図。地震研究所彙報，65，289-319.
- 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，DVD-ROM 2 枚，60p. 付図 1 葉.
- Reimer, P. J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Bronk Ramsey, C., Buck, C. E., Cheng, H., Edwards, R. R., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hafliðason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T. J., Hoffmann, D. L., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kaiser, K. F., Kromer, B., Manning, S. W., Niu, M., Reimer, R. W., Richards, D. A., Scott, E. M., Southon, J. R., Staff, R. A., Turney, C. S. M., van der Plicht, J. (2013) IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curve 0-50,000 years cal BP, *Radiocarbon*, 55, 1869-1887.
- 産業技術総合研究所（2013）長良川上流断層帯の活動性および活動履歴調査。「活断層の補完調査」成果報告書，H24-3，31p. http://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/tsuika_hokan/h24_naga.pdf（2014 年 8 月 3 日参照）
- 鈴木康弘・杉戸信彦（2010）1:25,000 岐阜県活断層図解説書。岐阜県，104p.
- 鈴木康弘・杉戸信彦編（2010）1:25,000 岐阜県活断層図。岐阜県，138p.
- 東郷正美・佐藤 豊（1988）横ずれ谷地形を用いた活断層の活動度評価について。法政大学多摩研究報告，3，41-60.
- 脇田浩二（1984）八幡地域の地質。地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅），地質調査所，89p.
- 吉岡敏和・栗田泰夫・下川浩一・杉山雄一・伏島祐一郎（2005）全国主要活断層活動確率地図及び説明書。構造図 14，産業技術総合研究所地質調査総合センター，127p.

（受付：2014 年 8 月 4 日，受理：2014 年 10 月 2 日）

第1表. トレンチから採取した試料の¹⁴C年代. 試料はすべて有機質堆積物であり, Beta Analytic Inc. によってAMS法で年代測定された. 各試料の較正年代については, OxCalにより確率密度分布から求めた95%信頼区間と平均値を示す. 較正曲線はIntCal13データセットを使用.

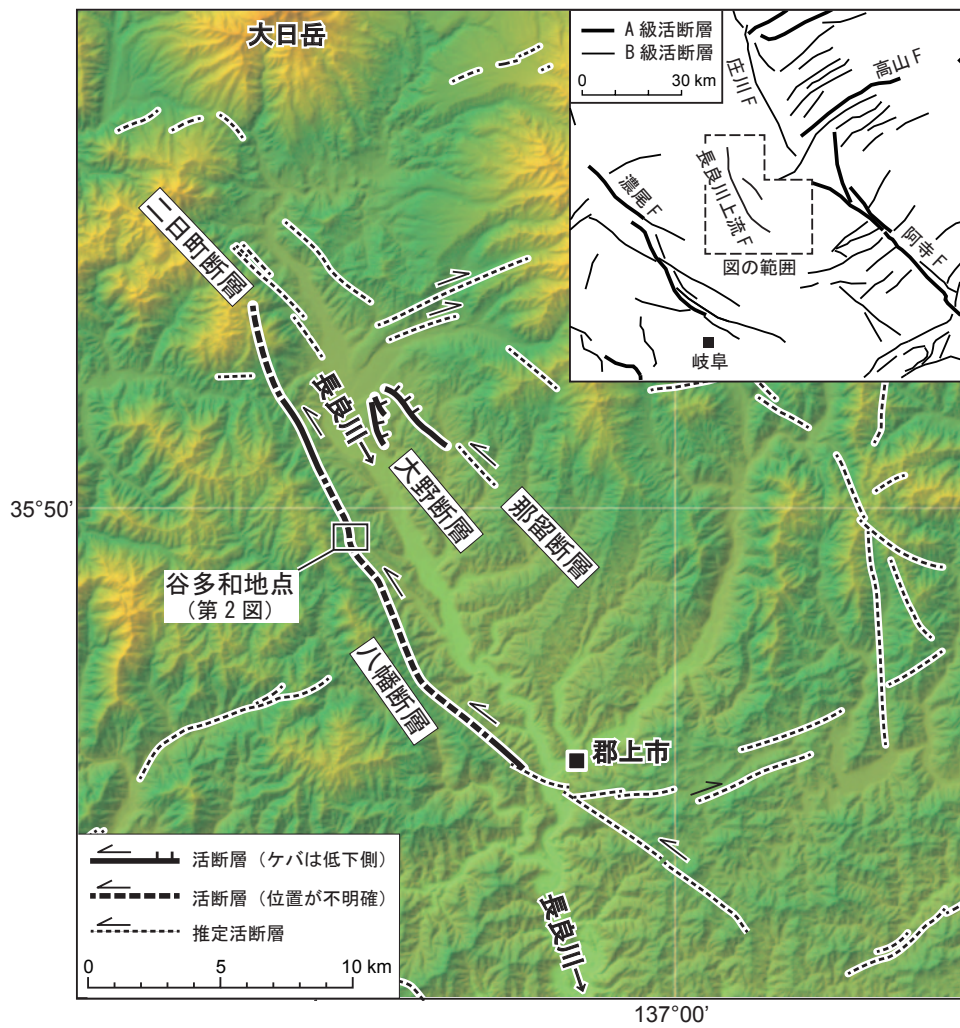
Table 1. Radiocarbon ages from the Tantawa trench. All samples are organic sediments. Ages are obtained by AMS analysis at Beta Analytic Inc. 95% confidence ranges and mean for ages are derived from the probability distribution function using Oxcal program. Calibration curve is IntCal13.

採取位置	層準	試料名	測定機関 ID No.	14C年代 (yBP) (conventional)	較正年代 (unmodelled, BC/AD)		
					(95%, 全区間)		平均±1σ
N 6.9/1.50	13層	TT1N-723	Beta- 344061	1540 ± 30	426	588	504 ± 48
N 6.9/1.40	22層	TT1N-721	Beta- 340039	2950 ± 30	-1260	-1051	-1158 ± 51
N 4.6/1.70	22層	TT1N-23	Beta- 341666	3510 ± 30	-1918	-1748	-1829 ± 47
N 3.3/1.85	22層	TT1N-18	Beta- 340030	3100 ± 30	-1431	-1283	-1358 ± 43
N 6.9/1.35	22層	TT1N-720	Beta- 340038	3700 ± 30	-2199	-1981	-2090 ± 49
N 5.8/1.50	22層	TT1N-516	Beta- 341669	3470 ± 30	-1884	-1695	-1798 ± 53
N 6.9/1.25	23層	TT1N-718	Beta- 341673	4260 ± 30	-2921	-2762	-2883 ± 37
N 6.9/1.20	23層	TT1N-717	Beta- 341672	4790 ± 30	-3645	-3521	-3572 ± 41
N 5.8/1.35	23層	TT1N-513	Beta- 341668	4810 ± 30	-3652	-3525	-3580 ± 41
N 6.9/1.15	23層	TT1N-716	Beta- 340037	5280 ± 30	-4232	-3996	-4120 ± 65
N 5.0/1.40	23層	TT1N-26	Beta- 340033	5900 ± 30	-4837	-4713	-4769 ± 35
N 4.4/1.55	23-24層	TT1N-17	Beta- 340029	3780 ± 30	-2296	-2060	-2207 ± 56
N 4.6/1.45	24層	TT1N-6	Beta- 341665	4070 ± 30	-2851	-2491	-2628 ± 93
N 6.9/1.10	24層	TT1N-715	Beta- 340036	5670 ± 30	-4583	-4448	-4501 ± 34
N 5.8/1.45	24層	TT1N-511	Beta- 341667	5760 ± 30	-4701	-4535	-4613 ± 46
N 6.9/0.85	24層	TT1N-710	Beta- 340035	6580 ± 30	-5611	-5480	-5531 ± 34
N 6.9/0.70	25層	TT1N-707	Beta- 341671	8010 ± 40	-7062	-6776	-6928 ± 82
N 6.9/0.65	26層	TT1N-706	Beta- 340040	8280 ± 40	-7468	-7185	-7333 ± 84
N 6.9/0.60	26層	TT1N-705	Beta- 341670	8600 ± 40	-7721	-7567	-7617 ± 39
N 4.4/1.05	26層	TT1N-20	Beta- 340031	7130 ± 30	-6061	-5926	-6008 ± 29
N 6.9/0.40	26層	TT1N-701	Beta- 340034	8560 ± 40	-7634	-7528	-7581 ± 24
N 4.7/1.40	F-1断層帯	TT1N-14	Beta- 340028	4850 ± 30	-3702	-3536	-3636 ± 43
N 4.8/1.05	F-1断層帯	TT1N-9	Beta- 340027	5190 ± 30	-4044	-3960	-4001 ± 31
N 4.8/0.55	F-1断層帯	TT1N-11	Beta- 344060	6670 ± 30	-5640	-5537	-5592 ± 28
底面	F-1断層帯	20121107	Beta- 341678	4120 ± 30	-2866	-2579	-2718 ± 85
底面	F-1断層帯	TT1B-1	Beta- 344062	4260 ± 30	-2921	-2762	-2883 ± 37
S 6.9/1.50	22層	TT1S-721	Beta- 341677	3610 ± 30	-2110	-1889	-1972 ± 45
S 6.9/1.30	24層	TT1S-717	Beta- 341676	4890 ± 30	-3712	-3637	-3675 ± 24
S 5.2/1.40	24層	TT1S-509	Beta- 340042	5510 ± 30	-4449	-4274	-4365 ± 37
S 6.9/1.00	26層	TT1S-710	Beta- 340041	6460 ± 30	-5481	-5368	-5423 ± 34
S 3.6/1.40	26層	TT1S-12	Beta- 341674	6690 ± 40	-5674	-5529	-5607 ± 37
S 6.9/0.80	26層	TT1S-706	Beta- 340040	8280 ± 40	-7468	-7185	-7333 ± 84
S 4.7/1.05	26層	TT1S-24	Beta- 340032	6970 ± 30	-5974	-5756	-5853 ± 49
S 3.9/0.90	26層	TT1S-14	Beta- 341675	7550 ± 40	-6473	-6271	-6416 ± 37

第2表. 谷多和トレンチで明らかになった八幡断層の活動時期. イベント年代および再来間隔の平均値と標準偏差は, OxCalプログラムによる.

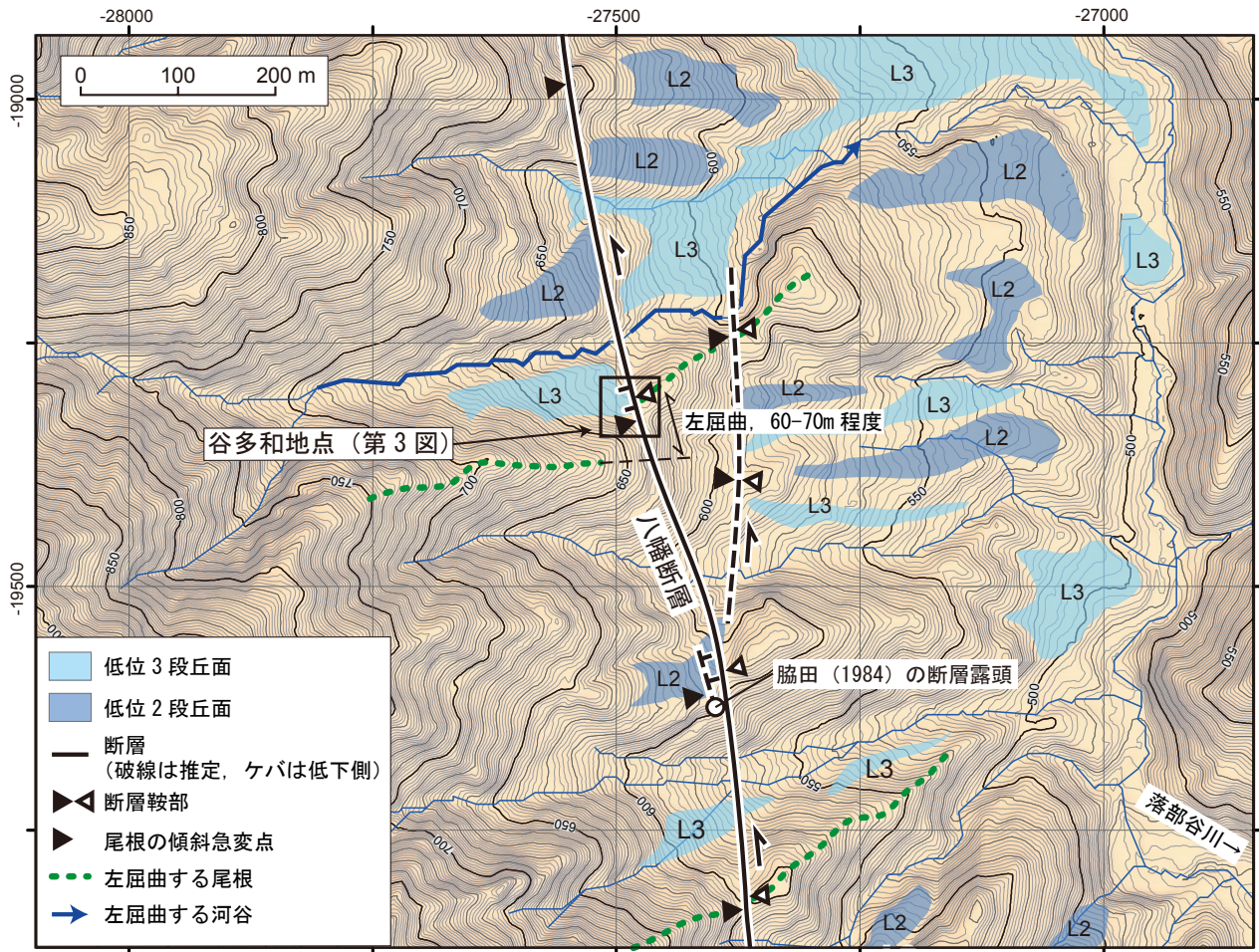
Table 2. Ages of faulting events on the Hachiman fault, at the Tantawa trench site. Ages and single standard deviations are derived from the probability distribution function using Oxcal program.

イベント	イベントの年代 (BC/AD)				平均値±1σ	再来間隔 (yr)				
	95%	68%	95%	平均値±1σ		95%	68%	95%	平均値±1σ	
E1	-2630	-2513	-2150	-2061	-2352 ± 161	2125	2364	2975	3214	2666 ± 278
E2	-5418	-5346	-4703	-4616	-5018 ± 237					



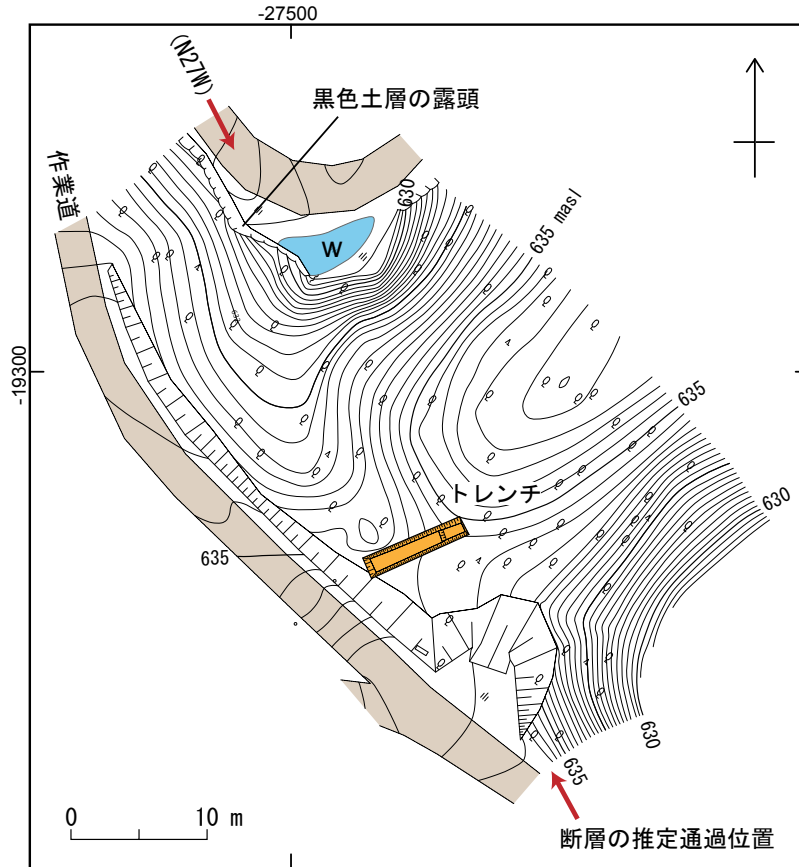
第1図. 長良川上流断層帯と谷多とトレンチ地点の位置図. 長良川上流断層帯は、八幡、二日町、大野および那留断層から構成される. 活断層の分布は鈴木・杉戸編 (2010) による. ただし、索引図の活断層は吉岡ほか (2005) による.

Fig. 1. Location of Tantara trench site on the Hachiman fault, in the Nagarakawa-joryu fault zone. The Nagarakawa-joryu fault zone consists of the Hachiman, Futsukamachi, Ono, and Naru faults. Active faults are from Suzuki and Sugito ed. (2010), except for those in the index map from Yoshioka *et al.* (2005).



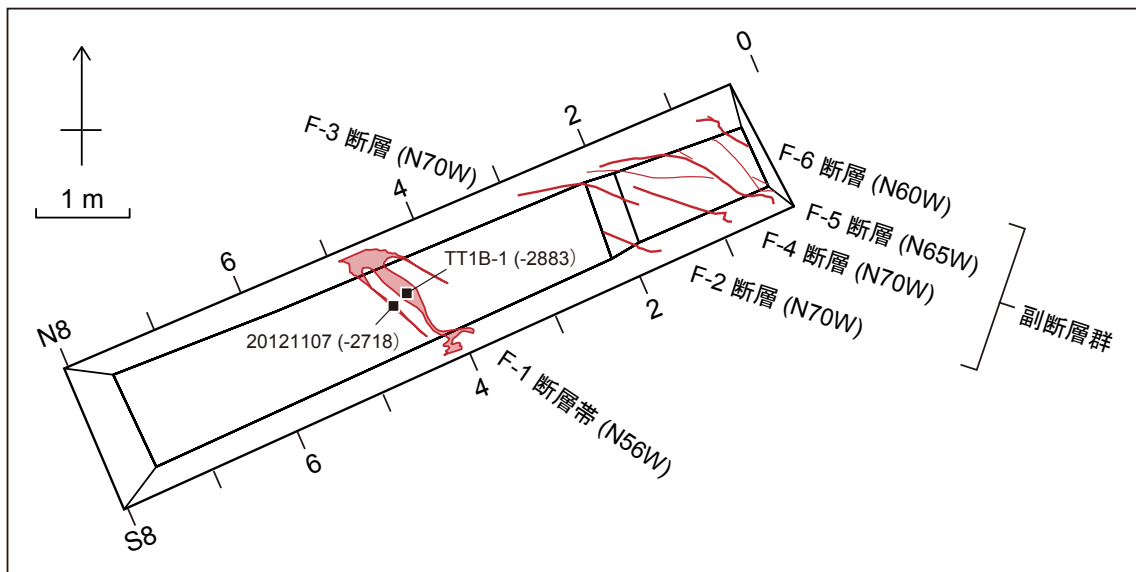
第2図. 谷多和トレンチ地点周辺の変動地形と八幡断層. 2 m 間隔の等高線図はグリッド間隔 2 m の DEM から作成. 座標系は日本平面直角座標系の 7 系を使用.

Fig. 2. Map of the tectonic geomorphology around the Tantara trench site. 2-meter-contour map is generated from 2-m-grid DEM. Projection of the map is the Plane 7 of the Japan Projection System.



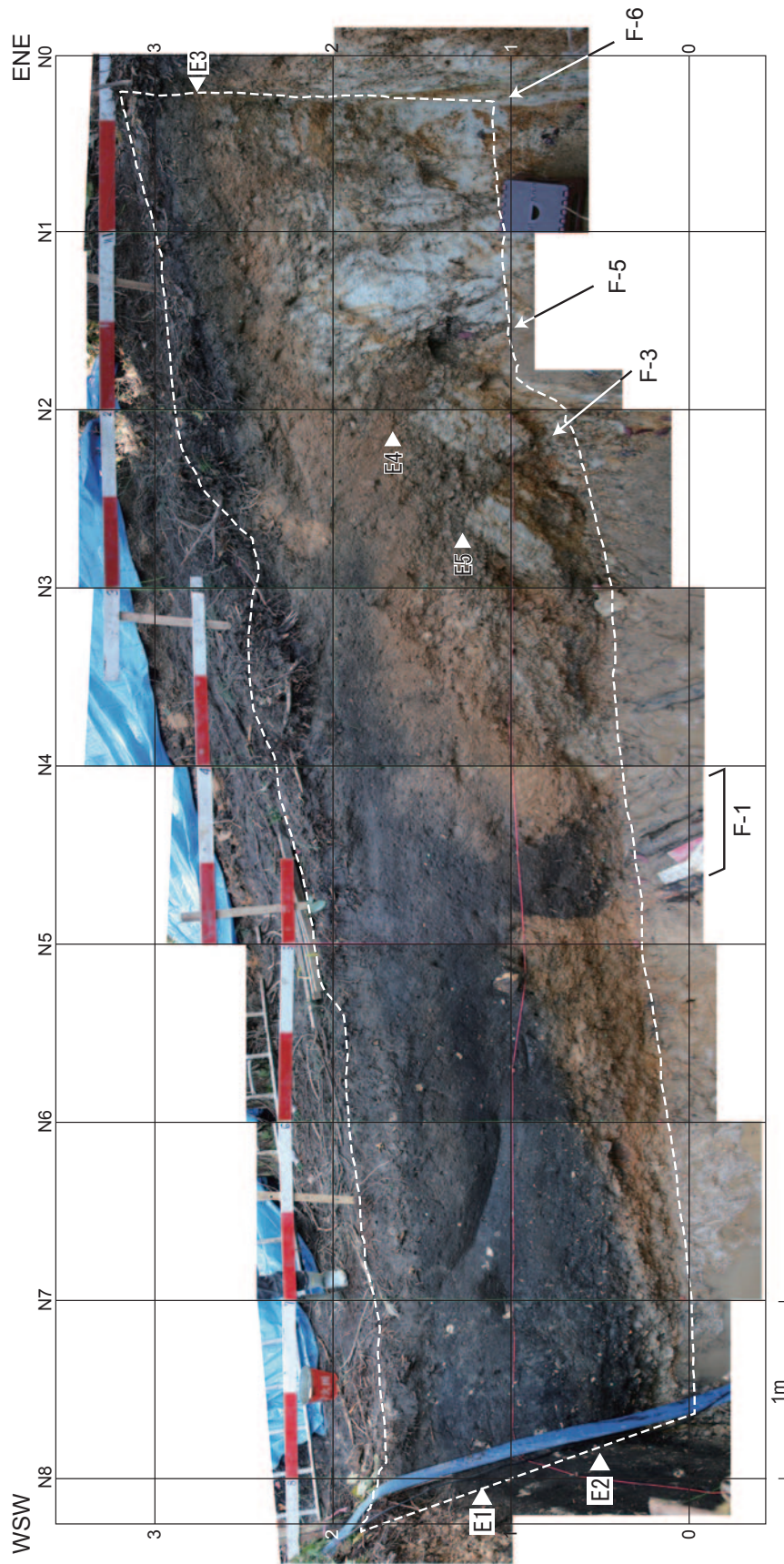
第3図. 谷多和トレンチ地点の実測地形図. 等高線間隔は25 cm. 座標系は，日本平面直角座標系の7系を使用.

Fig. 3. Ground survey map of the Tantara trench site. Contour interval is 25 cm. Projection of the map is the Plane 7 of the Japan Projection System.



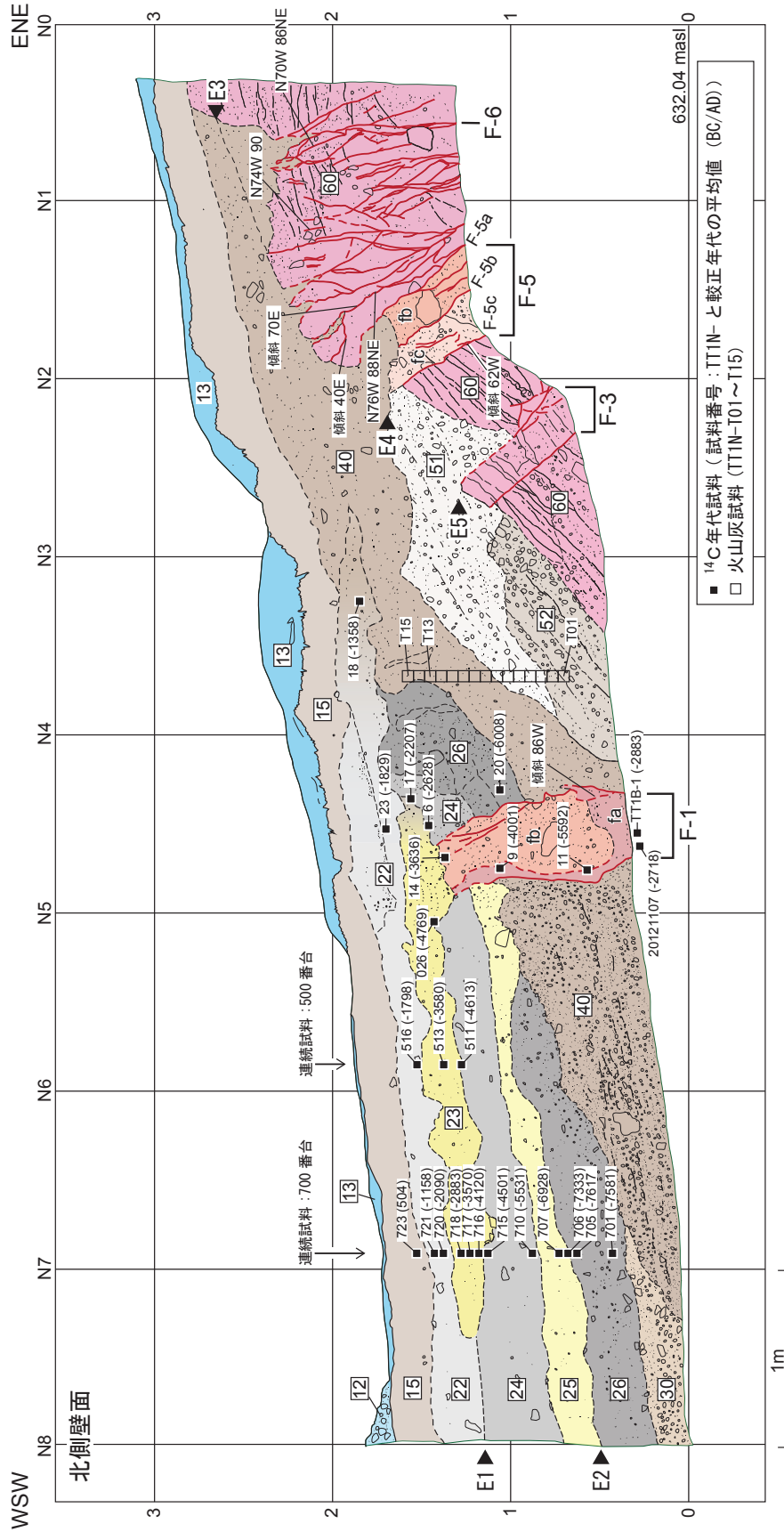
第4図. トレンチの平面図と壁面および底面に露出した断層群. 底面のF-1断層帯から採取した試料の ^{14}C 年代(較正年代の平均値, BC/AD)を示す.

Fig. 4. Plane view of the trench, showing ruptures exposed on the trench walls and bottom. Solid squares denote the radiocarbon samples with calibrated age in average (BC/AD).

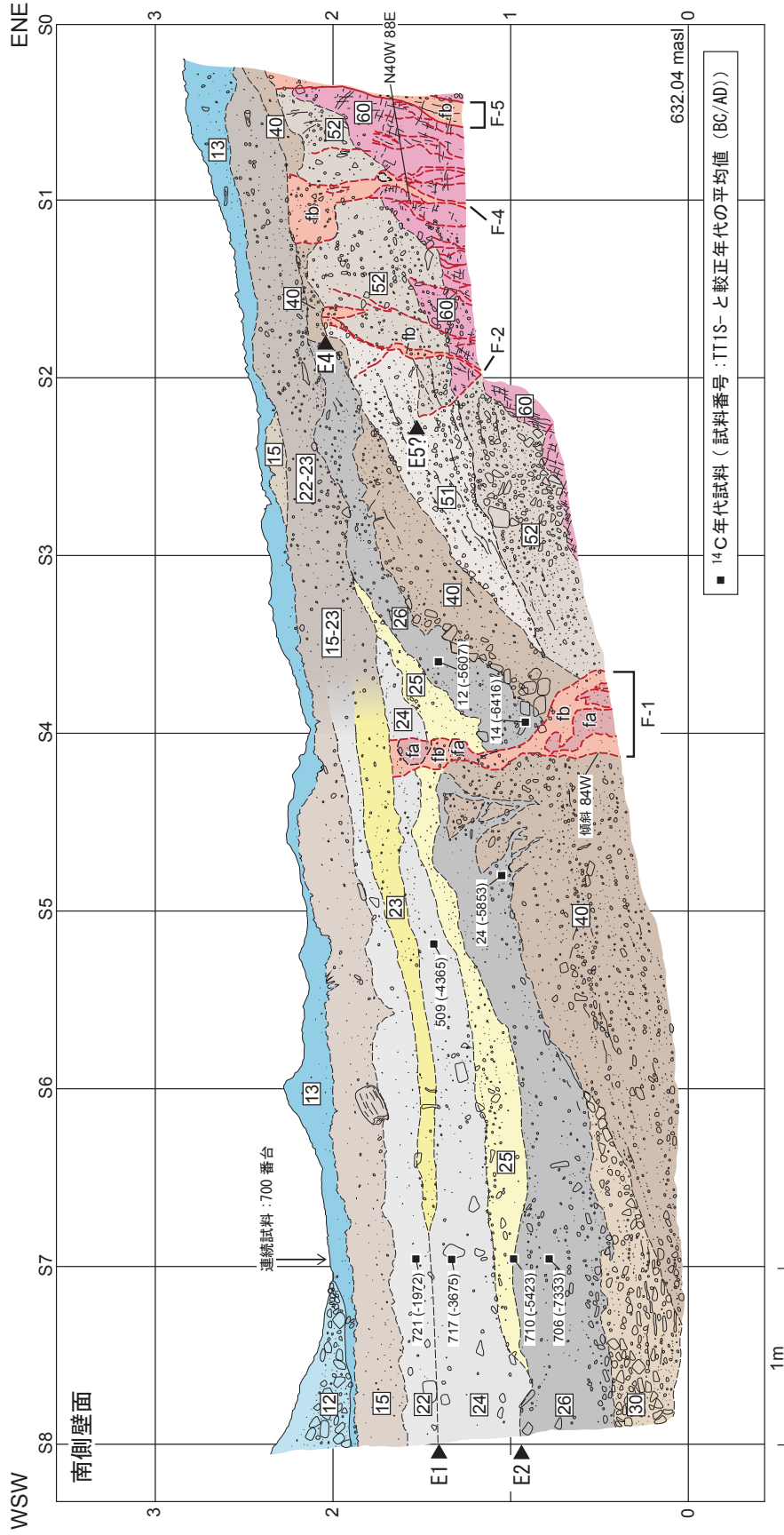


第5図. トレンチ北側壁面のモザイク写真, 断層活動イベントの層準 (E1~5) と主な断層 (F-1~6) を示す. 白線で囲った範囲が北側壁面で, 水平と鉛直のグリッドは1m間隔. 白線の外側の画像は歪みが大きく, グリッドに正しく投影されていない.

Fig. 5. Mosaic photograph of the trench north wall. Horizons of faulting events (E1-5) and major faults (F-1 to 6) are indicated. White dotted line encloses the area of the north wall with vertical and horizontal grid of 1 m interval. Image outside of the line is badly deformed and doesn't fit for the grid.



第6図. トレンチ北側壁面のスケッチ. 断層を赤線. 断層活動のイベント層準 (E1~E5) を三角で示す.
 Fig. 6. Log of the trench north wall. Red lines show faults. Horizons of faulting event (E1-5) are indicated by solid triangles.

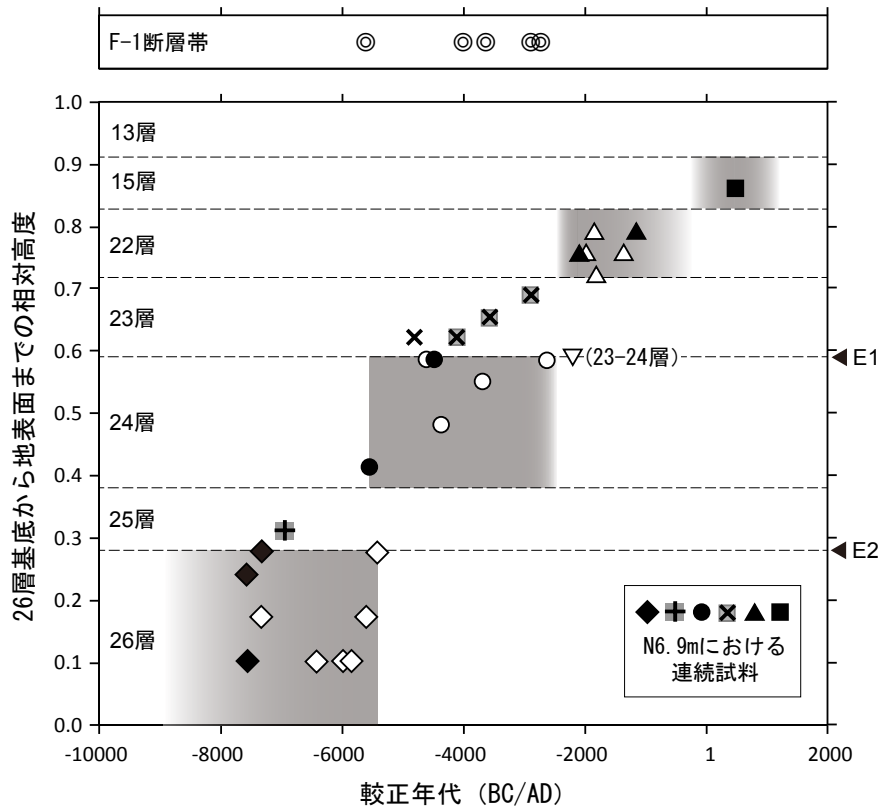


第7図. トレンチ南側壁面のスケッチ (左右を反転). 断層を赤線, 断層活動のイベント層準 (E1~5) を三角で示す.
 Fig. 7. Log of the trench south wall (inside out). Red lines show faults. Horizons of faulting event (E1-5) are indicated by solid triangles.

層序	層相	¹⁴ C 較正年代 (平均値), 火山灰, その他の年代推定根拠など	断層活動の層準	
12	角礫を主とする盛り土	2004 年度の作業道の建設に伴う		
13	木片を多量に含む森林土の最表層	近世以後の林業に伴うと推定		
15	腐植質黒色土～褐色森林土	AD 504		
22	十 段 断 層	腐植質黒色土	1158 BC～2090 BC	
23		砂礫混じり腐植質黒色土	2883 BC～4769 BC (再堆積)	◀ E1 (确实)
24		腐植質黒色土	2628 BC～5531 BC	
25		砂礫混じり腐植質黒色土	6928 BC (再堆積)	◀ E2 (推定)
26		腐植質黒色土	5423 BC～7617 BC	
30	低位 3 段丘堆積物			
40	低位 3 段丘堆積物～崖錐堆積物	K-Ah 由来の火山ガラを少量含む AT 由来の火山ガラスを含む	◀ E3 (确实) ◀ E4 (确实)	
51	崖錐堆積物～基盤岩の風化部	AT 由来の火山ガラスを含む	◀ E5 (确实)	
52	崖錐堆積物～基盤岩の風化部	AT 由来の火山ガラスを含む		
53	基盤岩 (奥美濃酸性岩類)	中生代白亜紀		

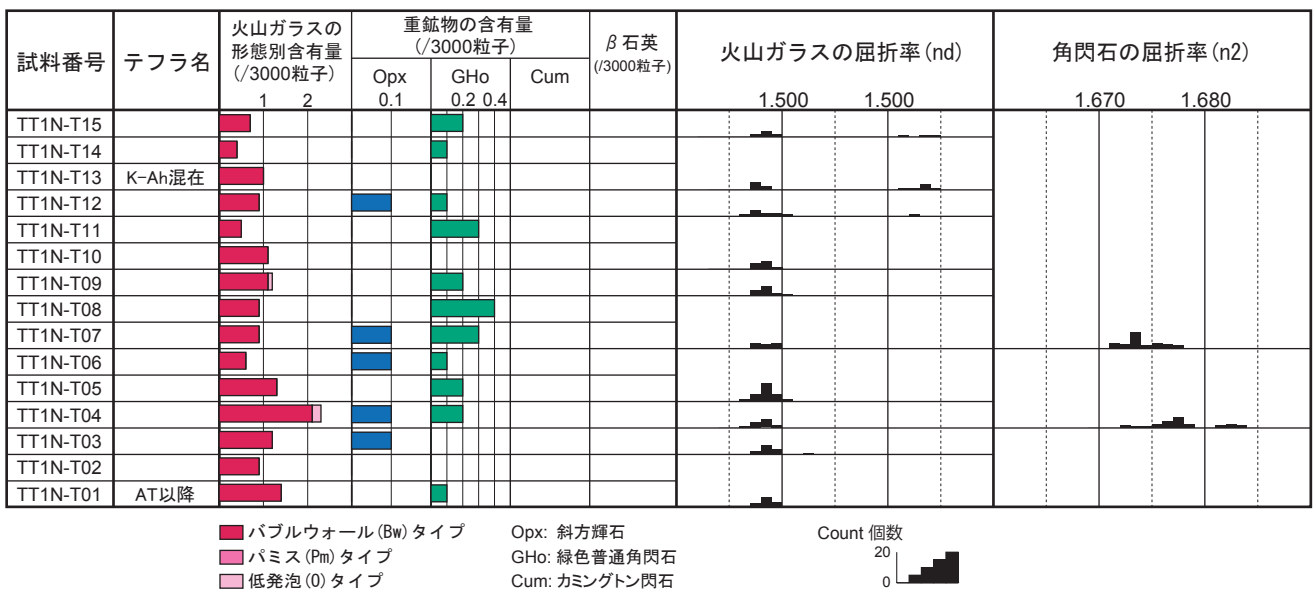
第 8 図. 谷多和トレンチの地質総括図.

Fig. 8. Generalized geologic column of the Tantawa trench.

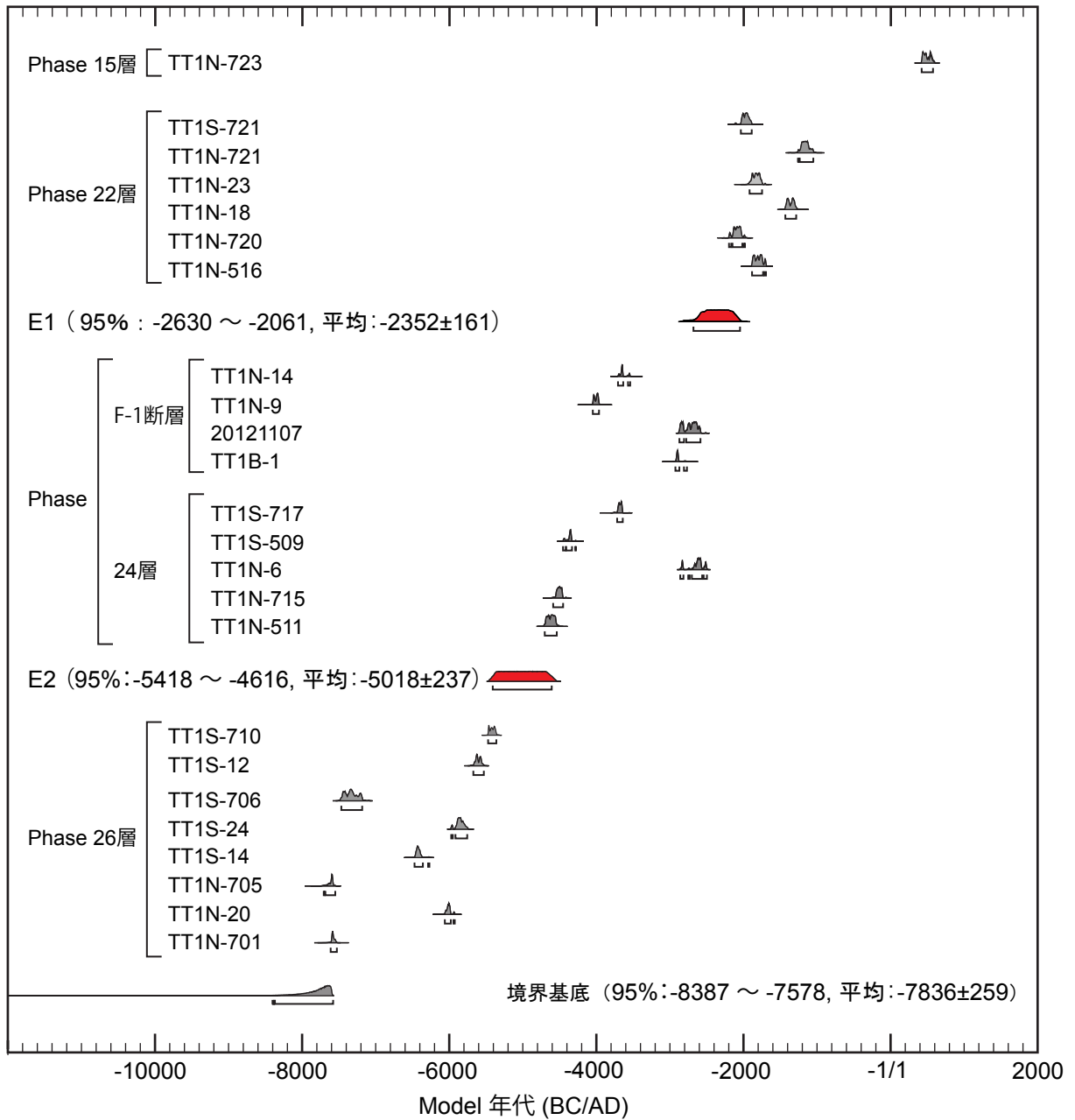


第 9 図. トレンチで採取した試料の較正年代と堆積層準との比較. 15, 22, 24 および 26 層の各層の試料が示す年代の概略範囲を灰色の背景で示す. 各試料の層準は, 北側壁面の N6.9 m における連続試料の採取位置での 26 層基底から地表までの相対高度で規格化した.

Fig. 9. Comparison between calibrated radiocarbon ages and stratigraphic sequence of samples from the trench. Approximate range of calibrated ages from units of 15, 22, 24, and 26 are shown by dark shading. Relative heights of samples are normalized to a section at the continuous sampling location at 6.9meter in the north wall.

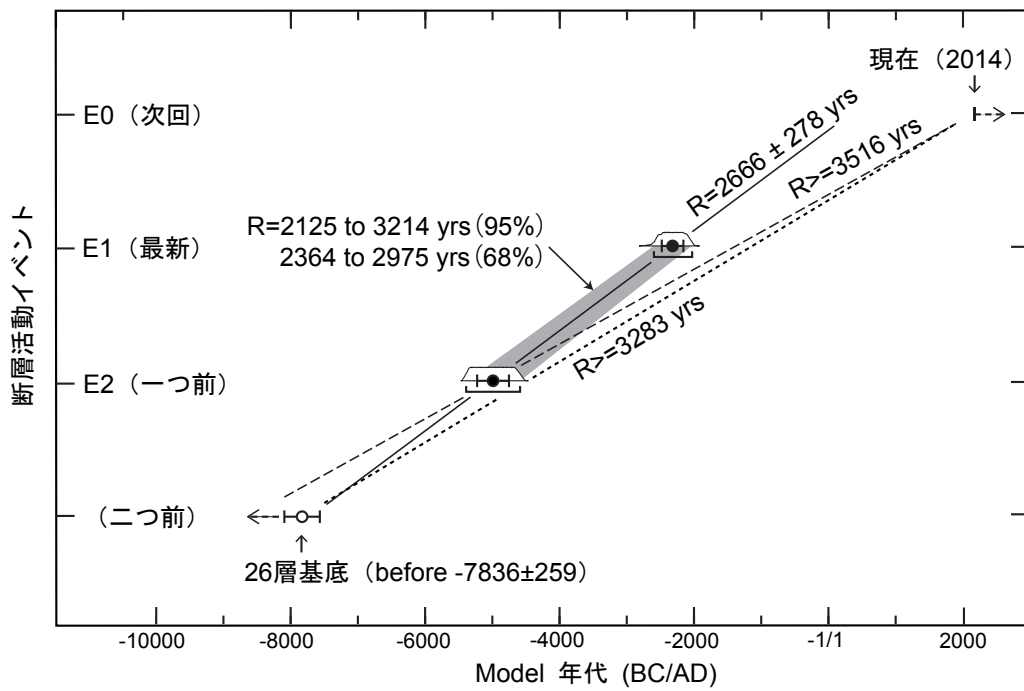


第 10 図. トレンチから採取した試料の火山灰分析結果. 分析は (株) 古澤地質による.
 Fig. 10. Tephra analysis of the samples from the trench. Analyzed by Furusawa Geological Survey Inc.



第11図. OxCalプログラムによる各試料と断層活動イベントの較正年代の解析結果. 試料の較正年代については, 確率密度分布と95%信頼区間を示す. イベントおよび基底境界の年代の平均値は, OxCalの解析機能を使用して求めた.

Fig. 11. Calibrated and modeled age distribution of the radiocarbon samples and faulting events using OxCal program. Probability distribution functions and the 95% confidence ranges for those distributions of modeled ages are shown. Mean ages of events and base boundary are also calculated for events and boundary base.



第 12 図. 谷多和トレンチで解明された 2 回の断層活動と前後の开区間を含む活動履歴の総括.
 Fig. 12. Summary of the age ranges of two faulting events and open intervals before and after those events at the Tantara trench.