

山崎断層系, 暮坂峠断層の第四紀後期の活動履歴

加藤 茂弘^{1)*}・山口 寛²⁾・井口 博夫³⁾・岡田 篤正⁴⁾・先山 徹⁵⁾

Late Quaternary Activity of the Kuresakatouge Fault of the Yamasaki Fault System in the Chugoku Mountains, Western Japan

Shigehiro KATOH^{1)*}, Satoru YAMAGUCHI²⁾, Hiroo INOKUCHI³⁾, Atsumasa OKADA⁴⁾
and Tohru SAKIYAMA⁵⁾

Abstract

The Yamasaki Fault System is the longest active fault system in the Chugoku Mountains, western Japan, and is composed of seven active faults named the Ohara, Hijima, Yasutomi, Kuresakatouge, Biwakou, Miki, and Kusadani Faults from northwest to southeast. Among these active faults, the latest activity and recurrence interval of the Kuresakatouge Fault have not been clarified in spite of the intense researches after the 1995 Hyogo-ken Nanbu (Kobe) Earthquake. Reexamination of the fault outcrop and a trenching survey were conducted to reveal the recent activity of this fault, at Goji and Okugoji sites, Himeji City, Hyogo Prefecture, respectively. At the Goji site, the sediments deposited after the fall of the Kikai-Akahoya tephra (K-Ah) erupted at 7,300 cal BP were displaced by active faulting, which is considered to be the latest event of the Kuresakatouge Fault. On the other hand, at the trench site of Okugoji, fault displacement was recognized only within the lower part of the gravel beds deposited after the fall of the Sanbe-Ukinuno tephra (SUK) erupted at 20,000 cal BP, and the upper part of the beds and the younger sediments deposited after the fall of K-Ah show non-fault-related deformation. Judging from the small amount of vertical displacement less than 30 cm at the Okugoji trench site, the deformation of the sediments indicates a result by the only one event between 20,000 and 7,300 cal BP. The Kuresakatouge Fault has been activated at least two times during the last 20,000 years, suggesting its longer recurrence interval than those of the other six faults comprising the Yamasaki Fault System.

Key words: Yamasaki Fault System, Kuresakatouge Fault, recurrence interval, fault outcrop, trenching survey, Kikai-Akahoya tephra, Sanbe-Ukinuno tephra

¹⁾ 兵庫県立人と自然の博物館 自然・環境評価研究部 〒669-1546 兵庫県三田市弥生が丘6丁目 Division of Natural History, Museum of Nature and Human Activities, Hyogo. Yayoigaoka 6, Sanda, 669-1546 Japan

*Corresponding author: Shigehiro Katoh; katochan@hitohaku.jp

²⁾ 神戸大学大学院理学研究科 〒657-8501 神戸市灘区六甲台1-1 Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kobe University. Rokko-dai 1-1, Nada-ku, Kobe, 657-8501 Japan

³⁾ 兵庫県立大学環境人間学部 〒670-0092 姫路市新在家本町1-1-12 School of Human Science and Environment, University of Hyogo. Shinzaike Hon-machi 1-1-12, Himeji, 670-0092 Japan

⁴⁾ 立命館大学 COE 推進機構 (歴史都市防災研究センター) 〒603-8341 京都市北区小松原北町58 Center for Promotion of the COE (Research Center for Disaster Mitigation of Urban Cultural Heritage). Komatsubara Kita-machi 58, Kita-ku, Kyoto, 603-8341 Japan

⁵⁾ 兵庫県立大学 自然・環境科学研究所 〒669-1546 兵庫県三田市弥生が丘6丁目 Institute of Nature and Environmental Sciences, University of Hyogo. Yayoigaoka 6, Sanda, 669-1546 Japan

はじめに

山崎断層帯は、岡山県勝田郡勝田町（現 美作市）から兵庫県三木市にかけて、北西－南東方向にのびる総延長約 87km、确实度 I、活動度 B 級の活断層群で構成される（活断層研究会，1991；千田ほか，2002；岡田ほか，2002）。この活断層帯は、断層線が 5km 以上とぎれる市川中流部を境に、北西部（大原・土万・安富・暮坂峠断層）と南東部（琵琶甲・三木断層）に大別できる（図 1）。これら 6 つの活断層は、いずれも左横ずれ活断層である。南東部には、岡田・東郷編（2000）で存在が最初に指摘され、その後の活断層調査（兵庫県，2001）で地質学的にも確認された草谷断層が、北東－南西方向にのびる。草谷断層は右横ずれ活断層であり、琵琶甲・三木断層とは共役関係にあたるので、これを含めた 7 つの活断層群は山崎断層系とよばれる（図 1）。

暮坂峠断層は、土万断層の南東を同走向にのびる長さ約 18km の活断層である（活断層研究会，1991）。この活断層では、直線状に連なる鞍部列や三角末端面、河川の屈曲などの地形は明瞭であるが、小河川の左横ずれや段丘面の変位など、新期の断層変位地形は不明瞭である（福井，1981；岡田・東郷編，2000）。暮坂峠断層に沿っては、河岸段丘面や沖積錐などの形成年代の明らかな地形面の変位が把握されておらず、平均変位速度や総変位量などの諸特徴も未解明であった。山崎断層系では、1970 年代後半以降に多数のトレンチ調査が実施され（岡田ほか，1979，1987；遠田ほか，1995；岡山県，1997；兵庫県，1997；2001），大原断層と安富断層の最新活動が 868 年播磨地震であることが明らかにされ、両活断層を結ぶ土万断層も、播磨地震時に活動した可能性が高いとされた。また、琵琶甲断層、三木断層、草谷断層の最新活動時期は、それぞれ 1,560～2,240 yBP 間、1,700～2,450 yBP 間、1,000～1,700 yBP 間であると推定されている（兵庫県，2001）。暮坂峠断層では 2ヶ所でトレンチ調査が実施され、900～1,410 yBP 間に上下変位量が 15cm 以下の小規模なずれを生じた活動が検出されたが、これは起震断層としての活動ではなく、他の活断層の活動に伴う誘発的な活動の可能性が高いと考えられた（兵庫県，2001）。

山崎断層系は 7 つの活断層から構成され、いずれの活断層が震源断層として活動したり、連動したりするかは、地震規模の予測やそれに基づく地震被害の想定にとって重要である。山崎断層系の地形的特徴（配列・連続性・ずれのセンスなど）や最新活動時期・活動間隔に基づいて、地震調査委員会（2005）は、①山崎断層系主部（大原・土万・安富・琵琶甲・三木断層）、②山崎断層系西部（大原・土万・暮坂峠断層）、③山崎断層系東部（琵琶甲・三木断層）、④山崎断層系東部（琵琶甲・三木・草谷断層）の、

4 つの震源断層モデルを想定した。このモデルは、地震防災の原則にたち、連動の可能性がある活断層の組合せの中で地震規模が最大級となるものを選択した結果であり、必ずしも現実の調査結果を反映してはいない。例えば、山崎断層系西部と東部は最新活動時期が異なり（兵庫県，2001）、山崎断層系主部全体が起震断層として活動するモデル①の発生の可能性は低いとみられる。また、1995 年兵庫県南部地震後に実施された活断層調査を経ても暮坂峠断層の最新活動時期や活動間隔は明確になっておらず、大原・土万・暮坂峠断層が起震断層として活動するモデル②についても、現時点では発生の可能性は不明である。したがって、暮坂峠断層の活動履歴が明確になれば、起震断層として連動する活断層群についても新たな知見が得られると考えられる。

本研究では、既知の活断層露頭（岡田・東郷編，2000）の精査を行った。また、山口ほか（2006）により空中写真の再判読と地形・地質の現地調査、および VLF-MT 法による電気探査と 2 次元多電極電気探査に基づいて詳細な断層位置が推定された姫路市奥護持地区で、トレンチ調査を実施した。本文では、これらの現地調査と堆積物の火山ガラス分析の結果に基づいて、暮坂峠断層の最新活動時期と活動間隔を検討する。

方 法

1. 護持地区における活断層露頭調査

暮坂峠断層の最新活動時期を把握するため、姫路市護持地区の活断層露頭（N34° 56′ 37″，E134° 37′ 50″）（図 2A）を記載した。本露頭では放射性炭素（¹⁴C）年代測定が可能な植物遺体や有機物が認められなかったため、断層面を境に基盤岩と接する砂礫層の最上部から断層変位を受けていない表土直下の黄褐色ローム層にかけて、厚さ 10cm ごとに砂礫層のマトリクスやローム層を採取して、堆積物の火山ガラス分析を行った。そして、含まれる火山ガラスの起源テフラを同定することから、断層運動の時代を推定した。

2. 奥護持地区におけるトレンチ調査

1964 年度に撮影された国土地理院発行の縮尺約 2 万分の 1 の空中写真を用いて、暮坂峠断層とその周辺地域における地形を判読した。その結果、断層中央部の宍粟市三坂～姫路市護持間（図 2A）で、直線的に連なる鞍部や三角末端面、左横ずれを示唆する中・小河川の流路の屈曲や段丘面の上下変位など、相対的に明瞭な変位地形が認められた。さらに活動履歴を把握するために必要な堆積層の存在を考慮し、姫路市奥護持の護持川上流の谷底平野（N34° 57′ 05″，E134° 36′ 56″）（図 2）にトレンチ調査地点を設定した。

このような断層が谷底平野を横切る区間では地形判読のみから断層の詳細位置を決定することが困難であったため、山口ほか(2006)の電気探査結果を参照して、その詳細位置を決定した。この電気探査では、断層線が横切る沖積低地で多数の測線を設定し、まず簡便なVLF-MT法により明瞭な低比抵抗帯の現れる測線を選んだ。次に選定した2つの測線(図2B)で2次元多電極電気探査を行って詳細な地下比抵抗構造を決定し、断

層位置を推定した。2つの測線のうち、護持川右岸側の測線に沿った地下比抵抗構造には、断層破碎帯の存在を示唆する顕著な低比抵抗帯が、左岸側の測線よりも明瞭に認められた(図2C)。したがって、護持川河床からの比高がより高く、測線長のより短い右岸側の測線に沿って、断層線に直交し、検出された低比抵抗帯を中央付近に含むようにして、長さ7m、幅4m、深さ4.5mのトレンチを掘削した。本トレンチでは、ほぼ低比抵抗帯

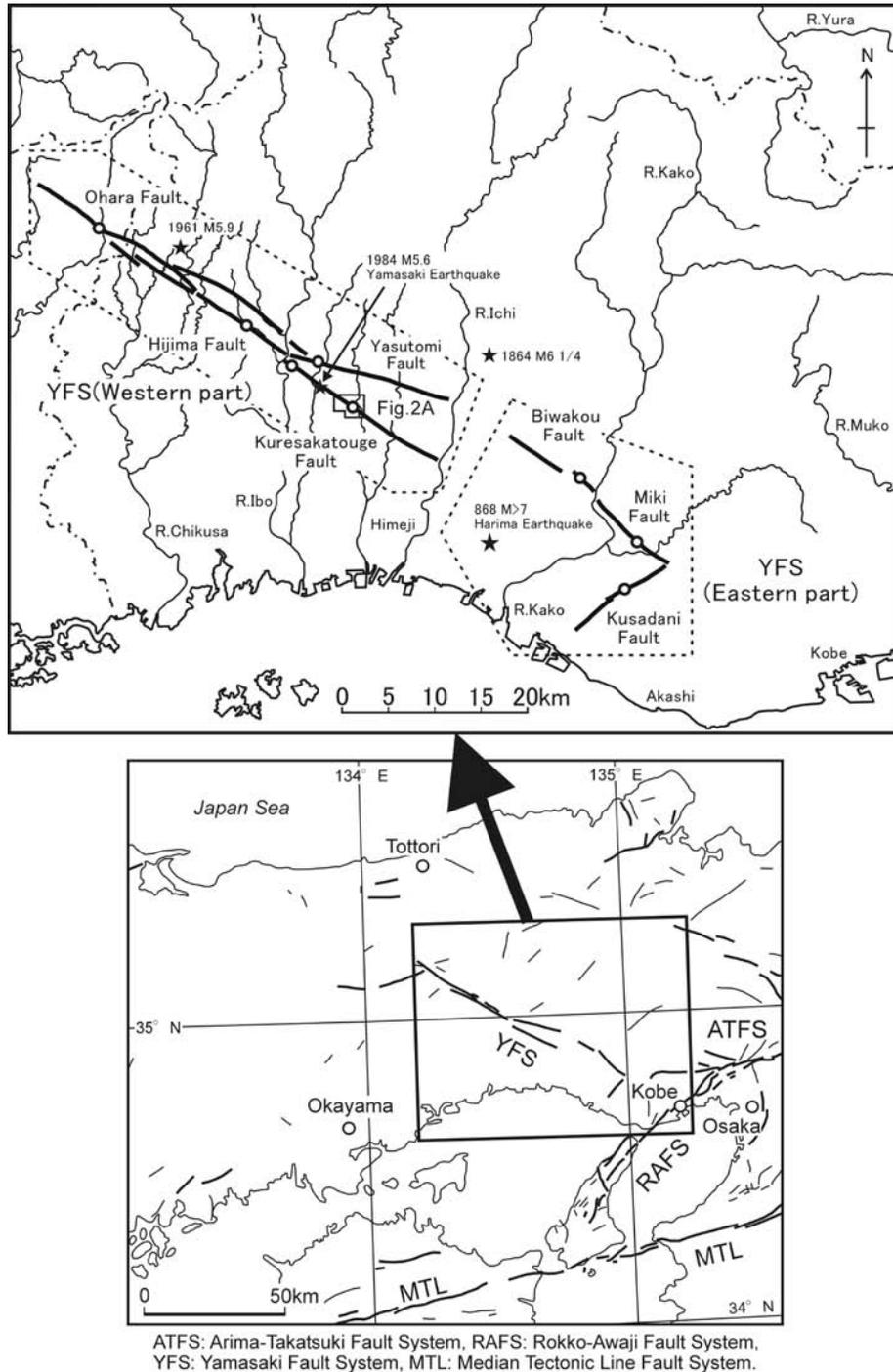


図1 山崎断層系を構成する7つの活断層と山崎断層系周辺における歴史地震の震央
活断層の分布は活断層研究会(1991)および岡田・東郷編(2000)による。歴史地震の震央位置とマグニチュードは宇佐美(2003)に基づいた。○は、これまでに実施されたトレンチ調査地点。

に相当する位置に、破碎帯を伴い小規模な上下変位を示す主断層面が露出した。しかし、断層変位を受けている砂礫層、受けていない砂礫層の両者ともに、放射性炭素 (^{14}C) 年代測定が可能な植物遺体や有機物などが認め

られなかった。そこで、層相に基づき砂礫層を数層に区分したうえで各層からマトリクスを採取し、火山ガラス分析を行って堆積年代を推定する試料とした。

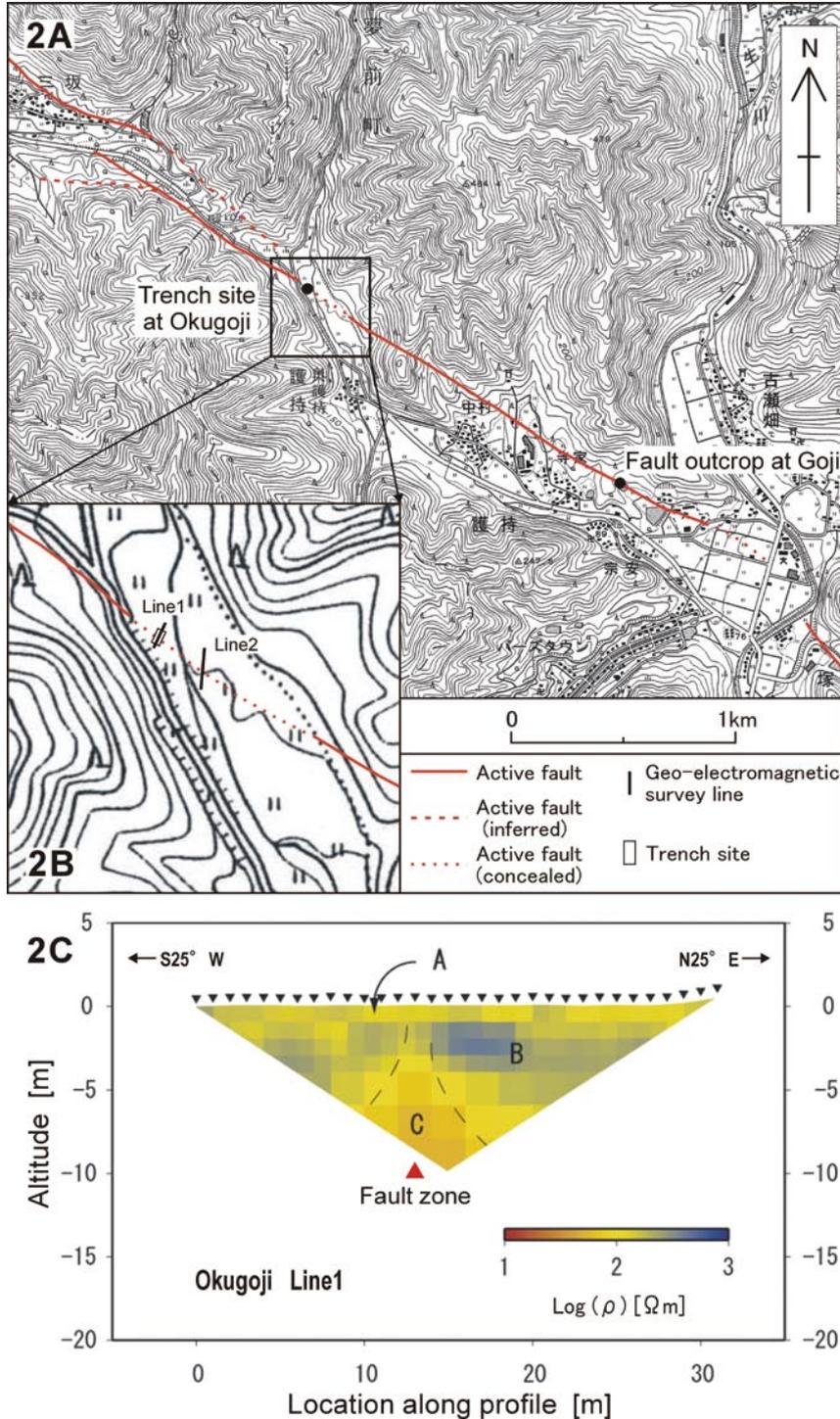


図2 暮坂峠断層の活断層露頭(姫路市護持)とトレンチ調査地点(姫路市奥護持)の位置
 図2Aは両地点の位置と暮坂峠断層との関係を示す。国土地理院発行2万5千分の1地形図「安志」および「前之庄」を使用。図2Bは奥護持地区における2次元多電極電気探査測線(山口ほか, 2006)とトレンチ地点の位置を、図2Cはトレンチ地点における2次元多電極電気探査の解析結果(山口ほか, 2006)を、それぞれ示す。A: 人工堆積層と推定される低比抵抗層, B: 自然堆積層と推定される高比抵抗層, C: 断層破碎帯と推定される低比抵抗帯。

3. 火山ガラス分析

火山ガラス分析では、堆積物試料を水流下で篩い分けながら粒径 1/8 ~ 1/16mm の粒子を選別した後に、超音波洗浄により付着した粘土分を除去し、60℃で5時間乾燥した。ついで実体顕微鏡下で全粒子を検鏡し、火山ガラスの相対的な含有量を判断してから、粒子の一部をバルサムでプレパラート上に固定してカバーガラスをかけ、偏光顕微鏡下でランダムに選んだ200個の粒子を鑑定して粒子組成を求めた。粒子組成は、火山ガラス、重鉍物、軽鉍物、岩片、その他（風化粒子や植物珪酸体など）に区分し、火山ガラスの割合（%）を算出した。さらに重鉍物粒子200個をランダムに選んで鉍物種を鑑定し、重鉍物組成（%）を算出した。同定された重鉍物は、斜方輝石・単斜輝石・緑色普通角閃石・褐色普通角閃石・カミングトン閃石・黒雲母・不透明（鉄）鉍物・アパタイト・ジルコンの9種類である。

次に残りの粒子から、比重 2.42 に調整した SPT 重液を用いて火山ガラスを分離・濃集した。濃集した火山ガラスを4~5回超音波洗浄した後に、60℃で5時間乾燥した。濃集した試料の一部から30粒子以上の火山ガラスをランダムに選び、それらの屈折率を温度変化型屈折率測定装置（RIMS86）により、檀原（1993）に従って測定した。屈折率測定とあわせて、火山ガラスの形

状を吉川（1976）に基づき扁平型（H型）、中間型（C型）、多孔質型（T型）、その他（O型）に区分して記録した。さらに淡褐色~褐色などの有色ガラスの相対的な割合や、ガラス表面に亀の甲状の突起が走る特徴的なガラス（亀の甲ガラス）の有無をチェックした。残りの火山ガラス試料は上記と同様にしてプレパラート上に固定し、ガラス粒子200個を偏光顕微鏡下でランダムに鑑定して、ガラスの形状組成（%）と有色ガラスのガラス全体に占める割合（%）を求めた。

以上のようにして求めた火山ガラスの割合、火山ガラスの形状や色調、屈折率分布に、重鉍物組成の特徴等を考慮して、火山ガラスの起源テフラを推定した。

結 果

1. 護持地区における活断層露頭調査

1) 断層露頭の記載

姫路市護持地区のため池横の活断層露頭（図2A）では、白亜紀の流紋岩質凝灰岩と未固結堆積物が断層で接している（図3）。断層面は、走向がN35°Wで暮坂峠断層の一般走向よりも北に振れており、傾斜は88°SWと、ほぼ垂直である。しかし、すぐ東方のため池内

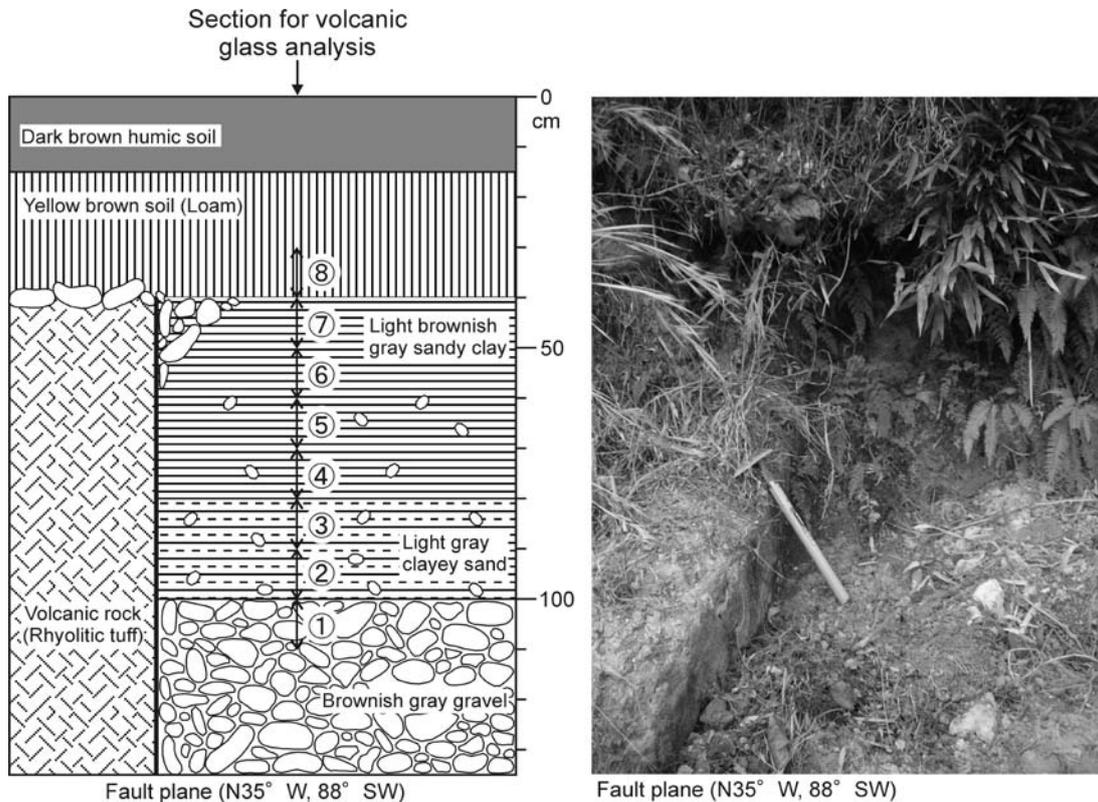


図3 姫路市奥護持地区の活断層露頭の写真と模式スケッチ
露頭の位置は図2を参照。矢印の位置は火山ガラス分析を行った堆積物試料の採取セクションであり、①~⑧は火山ガラス分析試料の採取層準を示す。

部では、断層面は走向がN42°～45°Wであり、暮坂峠断層の一般走向に一致している。ここでは傾斜も75°SW程度となり、やや低角化する。流紋岩質凝灰岩中には、断層面の南西側に20～30cm幅で弱い破砕帯が発達するが、断層面に沿って明瞭な断層粘土は認められない。

断層面の南西側（相対的な低下側）の堆積物は、下位より順に、流紋岩質凝灰岩を不整合に覆うやや固結した灰褐色の支流性垂角礫層（厚さ約1.5m）、角礫～垂角礫混じりの明灰色砂質粘土層（厚さ約20cm）、および角礫を散在する明灰褐色砂質粘土層（厚さ約40cm）から構成される。支流性角礫層の最上部から明灰褐色砂質粘土層の中部にかけては、フラワー構造や礫の立ち上がりなどの顕著な横ずれ変位を示唆する構造が認められない。支流性角礫層の中・下部は、ため池の水面下に隠れており、これらの詳細構造が確認できなかった。

一方、断層面の北東側（相対的な隆起側）には低下側に見られた堆積物は無く、流紋岩質凝灰岩の直上を長径5～15cmの同質の風化角礫が薄く覆っている。この角礫薄層は、断層面に沿って低下側の砂質粘土層中に深さ20cmほどまで楔状に落ち込んでいる。この角礫薄層や明灰褐色砂質粘土層を覆って、黄褐色ローム層（厚さ20～25cm）と暗褐色の腐植質土壌層（厚さ約15cm）が累重する。これらのローム層や土壌層には、断層変位は及んでいない。

2) 火山ガラス分析

この露頭では、流紋岩質凝灰岩と断層で接している支流性角礫層の最上部から、断層変位を受けずに断層面を覆っている黄褐色ローム層下部までの全層準において、下記のような特徴を有する3タイプの火山ガラスが検出された。火山ガラスの含有量は、支流性角礫層最上部と明灰色砂質粘土層では1.5%以下であるが、それ以上では3～11%と増加する（図4）。

火山ガラスA：屈折率は $n=1.497-1.501$ （モードが $n=1.499-1.500$ ）であり、透明で厚手の扁平（H）型を主として中間（C）型を伴い、亀の甲ガラスを極微量含む。分析層準全体を通して火山ガラスの半数以上を占める。

火山ガラスB：屈折率が $n=1.506-1.513$ （モードが $n=1.509-1.511$ ）であり、一般に火山ガラスAよりも厚さの薄い、透明の扁平（H）型と中間（C）型のガラスを主体としている。ガラスの接合部が褐色～淡褐色に着色した星型のガラスなど、淡褐色ガラスを5%未満含む。火山ガラスBは、とくに明灰褐色砂質粘土層から上位の層準に多く含まれ、そこでは火山ガラスの半数近くを占める。

火山ガラスC：屈折率が $n=1.500-1.505$ の範囲にあり、透明ないし白色の多孔質（T）型ガラスを主体として厚

手のブロック状に近い透明ないし褐色の扁平（H）型ガラスをわずかに伴う。全分析層準で認められたが、火山ガラス全体に占める割合は微量である。

透明で厚手の扁平型ガラスを主とする点とガラスの屈折率から、火山ガラスAは始良Tn火山灰（AT：町田・新井，1976）を起源とするものであり、火山ガラスBは、その屈折率と淡褐色に着色したガラスを含むことから、アカホヤ火山灰（K-Ah：町田・新井，1978）に由来する火山ガラスであると判断される。火山ガラスCは、多孔質型が主である点とその屈折率、緑色普通角閃石が多く微量のカミングトン閃石や褐色普通角閃石、黒雲母を伴うマトリクスの重鉱物組成（図4）、およびATに由来する火山ガラスに伴う点から、ATより降灰年代が新しく、本質鉱物としてカミングトン閃石を含む大山弥山軽石（MsP：津久井，1984）や三瓶浮布軽石（SUk：松井・井上，1971）に起源する火山ガラスとみられる。したがって、この露頭においては、断層変位を受けた地層と受けていない地層の両者とも、約7,300年前に噴出した（福沢，1995）K-Ahの降灰以降に堆積したものと見える。

2. 奥護持地区におけるトレンチ調査

1) トレンチ断面の記載

奥護持地区のトレンチ断面のスケッチを図5に示す。このトレンチでは、圃場整備による人工堆積層が地表面から深度3～4mまであり、それ以下の深度約4.5mまでの地層が、自然堆積層である。上位の人工堆積層との境界から湧出水があり、自然堆積層の透水性が小さいことを示している。人工堆積層は、上位から順に、厚さ20～30cmの耕作土層（灰色粘土質の水田土壌）、厚さ90～100cmの褐色～黄褐色盛り土層（大礫～中礫サイズの垂円礫～角礫を散在する比較的均一な小礫～粗砂混じり粘土）、厚さ180～200cmの黄褐色～暗黄褐色盛り土層（径1m以上の巨大角礫を含む角礫～垂角礫と、径100mm未満の小～中礫サイズの垂円礫からなる乱雑な堆積物で、マトリクスは少なく、粘土混じりの小礫～粗砂である）から構成される。自然堆積層としては、白亜紀の流紋岩質凝灰岩を不整合に覆う、厚さ1.5m未満の河成砂礫層が露出した。この砂礫層を、層相に基づいて、下位よりI層～III層に区分した（図5）。

I層：褐色～暗褐色の固結のやや進んだ砂礫層で、マトリクスは褐色ないし赤褐色の砂質粘土である。相対的に分級が良く、最大径90～150mmの角礫～垂円礫を主体として構成される。場所により、インプリケーションが認められる。

II層：肌色を呈する固結のやや進んだ砂礫層で、マトリクスは黄褐色～肌色の砂質粘土である。最下部では最

大径 170mm 程度の角礫～亜円礫を主体とする。下部も最大径 170mm 程度の角礫～亜円礫を主体とするが、最下部より角礫の割合が多い。中部では礫径が大きく分級不良となり、最大径は 290～310mm である。上部では分級や円磨度が中部よりも良くなり、最大径は 240～250mm と小さい。全体にインブリケーション

が発達している。

III層：黄褐色の砂礫層であり、最下部と最上部に巨礫がインブリケーションを示して集積している。マトリクスは褐色の砂質粘土である。最大径 270～560mm の亜角礫～亜円礫を主体とする分級不良の砂礫層で、下位の I 層、II 層よりも礫の円磨度は良好である。

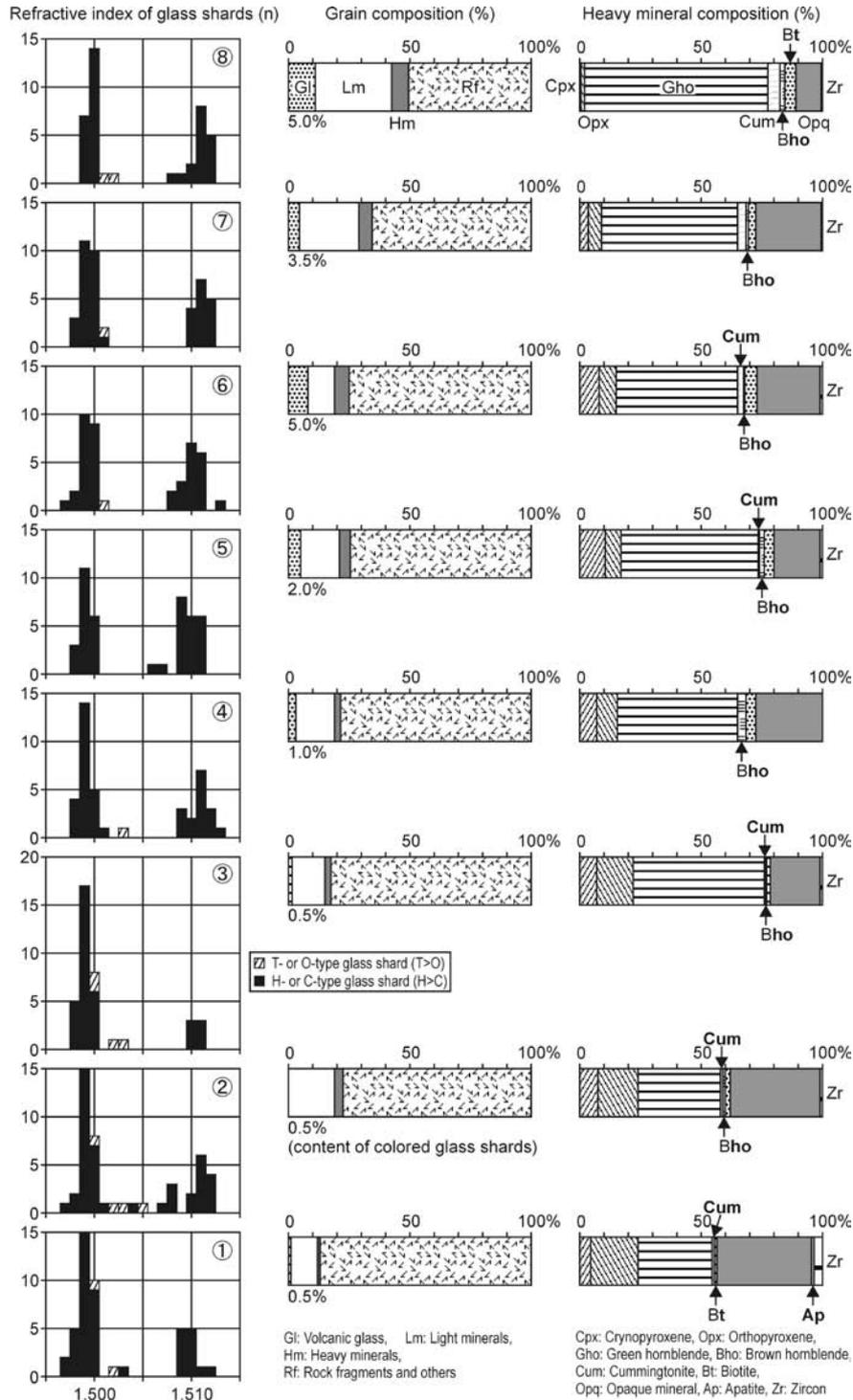


図4 活断層露頭における堆積物の粒子組成、重鉱物組成、および火山ガラスの屈折率分布。露頭の位置は図2を参照。①～⑧は、火山ガラス分析試料の採取層準を示す。粒子組成図下位の数値は、火山ガラス200個中に占める有色ガラスの割合(%)。試料⑦以下の堆積物が断層変位を受けている。

河成砂礫層の下位の流紋岩質凝灰岩中には、トレンチ中央部を中心に多くの断層や破碎帯・せん断帯が認められる(図5)。これらの中でトレンチ中央部付近を走る断層面のみが、砂礫層と流紋岩質凝灰岩との不整合面に最大30cmの相対的な上下変位を与えており、トレンチの両壁面と床面で良く連続することから、暮坂峠断層の主断層面であるとみられる。主断層面は走向がN42°W~N45°W、傾斜が70°~75°SWであり、断層面の走向は、この付近における暮坂峠断層の一般的走向と良く一致する。

砂礫層と流紋岩質凝灰岩との不整合面は、主断層面付近を中心とする谷状をなしている。主断層沿いでの見かけの上下変位量は20~30cmあるが、より広範囲(断層面の両側3~5m間)では、不整合面の高さに差がほとんどない(図5)。断層面に沿って、比較的新鮮な

厚さ1~3mmの灰白色断層粘土が発達し、これを含む断層面の北東側に幅10~30cmの顕著な破碎帯が発達している。I層下部は直接、主断層面と接しており、主断層面に沿って、破碎された流紋岩質凝灰岩中に楔状にくい込んでいるところも認められる。トレンチ西側壁面では、I層上部に主断層に沿う変位が認められず、断層面を含む流紋岩質凝灰岩の一部を浸食して、I層上部が堆積している(図5)。主断層面から北東に1~1.2m離れて、南西側を1-2cm低下させる小断層(副断層)が分布する(図5)。小断層の走向・傾斜は、N19°W~N25°W、50°~55°Eである。基盤の流紋岩質凝灰岩は、主断層面から南西側に1.5m、北東側に2.5~3mの範囲で破碎と風化が進んでいるが、それ以降になるに従い、破碎および風化の程度とも弱くなる。とりわけ主断層と副断層で挟まれた部分は、破碎が進み小

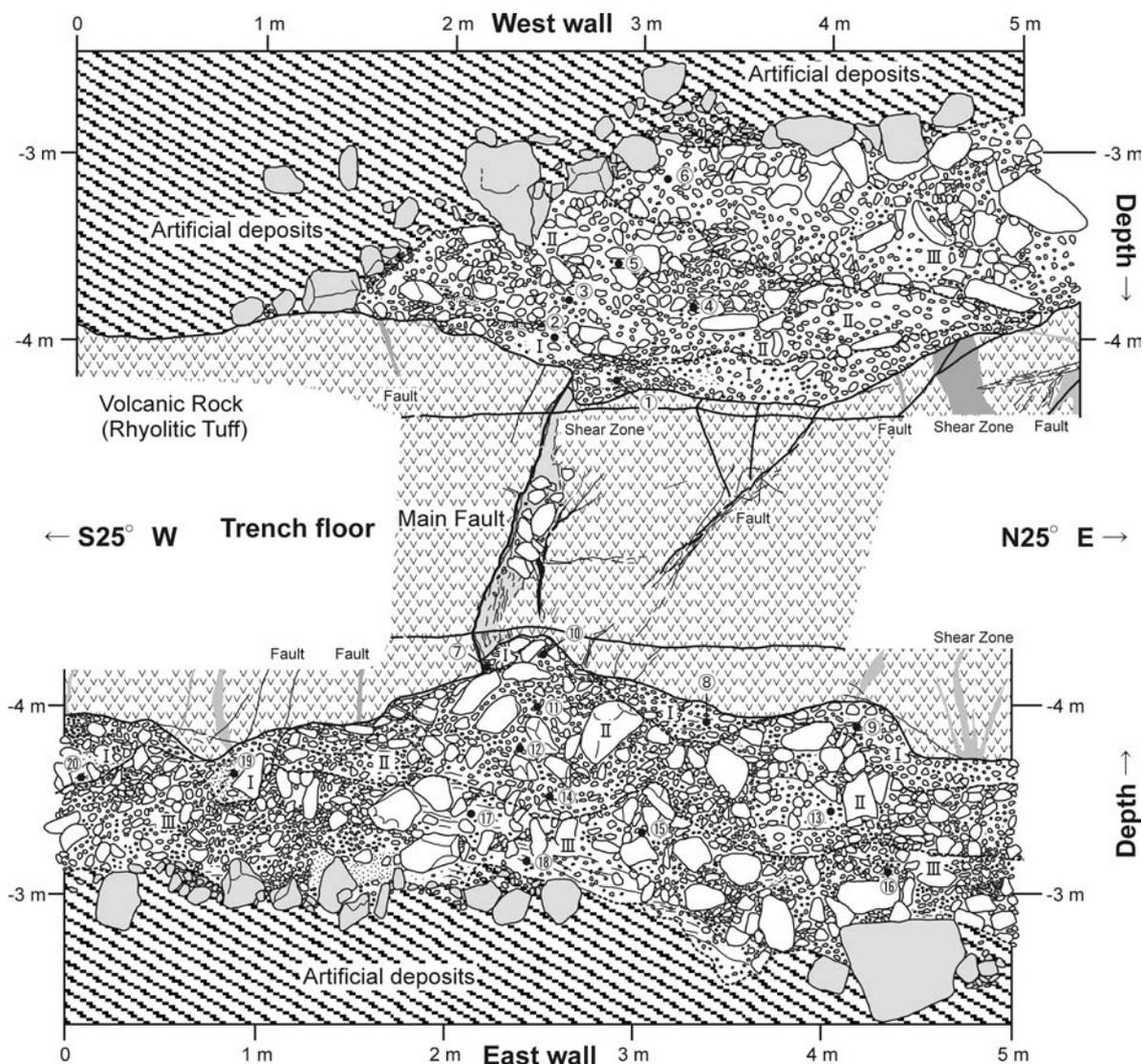


図5 姫路市奥護持地区における暮坂峠断層トレンチのスケッチ
トレンチ地点は図2を参照。I~IIIは、層相に基づいて区分した自然堆積層を示す。①~⑳は火山ガラス分析用のマトリクス試料の採取位置。

断層が多く分布して砂状となり（図5）、ねじり鎌でも容易に削ることができる状態である。

2) 火山ガラス分析

火山ガラス分析用試料は、トレンチ西側壁面から6点（Nos.1～6）と東側壁面から14点（Nos.7～21）を、I層～III層から各1試料以上になるように採取した（図5）。分析結果を各層ごとに整理し、粒径1/8～1/16mmの粒子に占める火山ガラスの割合（%）、火山ガラス200個中に占める有色ガラスの割合（%）、火山ガラスの屈折率分布とガラスの形状、および重鉍物組成（%）を図6に示した。

I層は、火山ガラスをほとんど含有せず（0～1.5%）、有色ガラスもほとんど含まない。I層からは2つのタイプの火山ガラスが検出された。一つは活断層露頭で検出された火山ガラスAに相当し、火山ガラスの2/3以上を占める。屈折率は $n=1.494-1.500$ （モードが $n=1.498$ ）であり、透明厚手の扁平型を主に少量の中間型を伴う。亀の甲ガラスを極微量含むほか、薄手で風化のやや進んだ扁平型ガラスを微量含んでいる。残りの一つは、多孔質型と、細かな気泡を含むブロック状ガラスを主とするその他の形状のガラスからなり、ブロック状に近い厚手の扁平型ガラスを微量伴う。屈折率は、範囲が $n=1.499-1.504$ 、モードが $n=1.500$ であるが、 $n=1.503$ 前後にも小さなピークが認められる（図6）。このタイプは、活断層露頭で検出された火山ガラスCの一部に相当する。

II層も火山ガラスをほとんど含まない（0～1.5%）。有色ガラスは、試料11のみで暗灰色～暗褐色ガラスが多く検出され、ガラス全体の5.5%に達した。II層では、I層で検出された火山ガラスが主体であるが、屈折率が $n=1.505-1.507$ の範囲にあるガラス（多孔質型が多く、微量の扁平型を伴う）が少量含まれる。さらに東側壁面のII層の一部では、屈折率 $n=1.508-1.514$ を示す扁平型と中間型からなるガラスが、少量含まれる（図6）。高屈折率のガラスは有色ガラスの大半を含み、とくに試料11で多く検出される。

III層では火山ガラスの含有量が若干多くなり、0.5～3%を示す。淡褐色～淡灰色を示す有色ガラスが7.5～12.5%含まれ、特徴的である。火山ガラスは、下位のI層とII層で検出されるガラスが引き続き産出するが、扁平型と中間型のガラスからなり（扁平型>中間型）、淡褐色～淡灰色の有色ガラスの大半を含む、活断層露頭で検出された火山ガラスBに相当するタイプが、全体の1/3以上の割合で産出する。

重鉍物組成は全分析試料とも類似しており、緑色普通角閃石と不透明（鉄）鉍物を主体として、斜方輝石と単斜輝石、黒雲母を少量含む。褐色普通角閃石とカミング

トン閃石は、I層とII層では2%以下の割合で含まれるが、III層ではほとんど含まれない試料が多い（図6）。

これら火山ガラス分析の結果と重鉍物組成の特徴から、I層～III層全体を通じて火山ガラスAの主構成ガラスであるAT起源の火山ガラスと、火山ガラスCの一部をなすMsPやSUKに由来する火山ガラスが含まれ、さらにIII層からは、火山ガラスBを構成するK-Ah起源の火山ガラスが含まれると判断される。II層から含まれる火山ガラスの中で、屈折率 $n=1.505$ 前後を示す火山ガラスは、AT降灰後からMsP降灰前に噴出した大山起源のテフラに由来するガラスか、SUK（とくにその下部）に含まれる相対的に高屈折率のガラスとみられる。一方、 $n=1.508-1.514$ の屈折率を示す火山ガラスは、形態や屈折率範囲はK-Ahに由来する火山ガラスと類似するが、暗灰色～暗褐色ないし褐色の扁平型・中間型ガラスを含む点で、K-Ahの火山ガラスとは異なる。このガラスの起源テフラは不明であるが、岡山県北部の細池湿原においてAT～K-Ah間の泥炭層中に、類似した火山ガラスから構成される3層の薄いテフラが挟まれており（野村ほか、1995）、これらのいずれかに由来する可能性があろう。

以上から、I層とII層はSUK降灰以降、K-Ah降灰以前に堆積した地層であり、III層はK-Ah降灰以降に堆積した地層といえる。

考 察

姫路市護持地区の活断層露頭では、K-Ah起源の火山ガラスを含む砂質粘土層中にフラワー構造などの顕著な変形構造は識別されず、黄褐色ローム層直下の角礫薄層が、断層面に沿って20cmほど落ち込む構造のみが認められた（図3）。この角礫薄層は隆起側、低下側のどちらでも見られるが、その基底に20cmを超えるような上下変位は生じていない。断層ガウジ帯もほとんど発達していないことから、この角礫薄層の変形構造は、K-Ahが降灰した約7,300年前以降に生じた1回のイベントのみによると推定される。さらに角礫薄層上位のローム層や土壌層に全く変位や変形が認められないことから、このイベントが暮坂峠断層の最新活動に相当すると解釈される。

同市奥護持地区のトレンチ法面では、約2万年前に降灰したSUKに由来する火山ガラスを含むI層下部に20～30cmの相対的な上下変位を与え、I層上部に覆われる主断層面が認められた。主断層面に沿っては、I層下部の砂礫が小規模な楔状をなして落ち込んでいる。本地点においても、上下変位成分が最大で30cmと小さく、I層の変形が小規模であることから、確認された断層変位は過去1回のイベントを記録しているとみら

れる。I層より上位のIII層からは、マトリクス中に約7,300年前に降灰したK-Ah起源の火山ガラスが含まれる。したがって、奥護持地区で確認されたイベントは、約2万年前から7,300年前までの間に生じたと考えられる。本イベントの推定年代幅は大きい。断層変位を受けていないII層には、AT~K-Ah間に層位し、SUKよりも降灰年代が新しいと思われるテフラに由来する火山ガラスが含まれている。この火山ガラスの起源テフラを明らかにすることから、本イベントの推定年代を、より正確にできると考えられる。

ところで、宍粟市川戸地区におけるトレンチ調査では、暮坂峠断層の最新活動時期が900~1,410年前である可能性が指摘された(兵庫県, 2001)。しかし、断層変位の上下成分が小さい(約15cm)だけでなく、それが堆積層に入ると急に不鮮明になる傾向があることから、安富断層など他の活断層の活動時か、その余震時に、誘発的に動いた可能性があると考えられた。一方、地震調査委員会(2005)は、上記の活動を暮坂峠断層の最新

活動であると判断し、868年播磨地震時に、少なくとも大原・土万・安富・暮坂峠断層が活動した可能性が高いとみている。

本研究からは、暮坂峠断層は約2万年前以降に少なくとも2回は活動しており、約7,300年前以降に最新活動を行ったことが推定された。したがって、暮坂峠断層の活動間隔は最長でも1万年程度であり、最新活動期をより正確に明らかにすることは、近未来の地震発生予測において重要である。活断層露頭では、断層変位がローム層直下に及んでおり、K-Ahに由来する火山ガラスは、断層変位が生じた層準より40cm以上下位の層準から産出している。こうした点から、暮坂峠断層の最新活動は、K-Ah降灰から数千年以上を経て生じたのであり、868年播磨地震であるとは断定できないものの、兵庫県(2001)で指摘された900~1,410年前である可能性が高いと考えられる。しかしながら、活断層露頭においても最新活動に相当する断層変位は顕著ではなく、発生年代だけでなく断層運動の程度に関して、他地

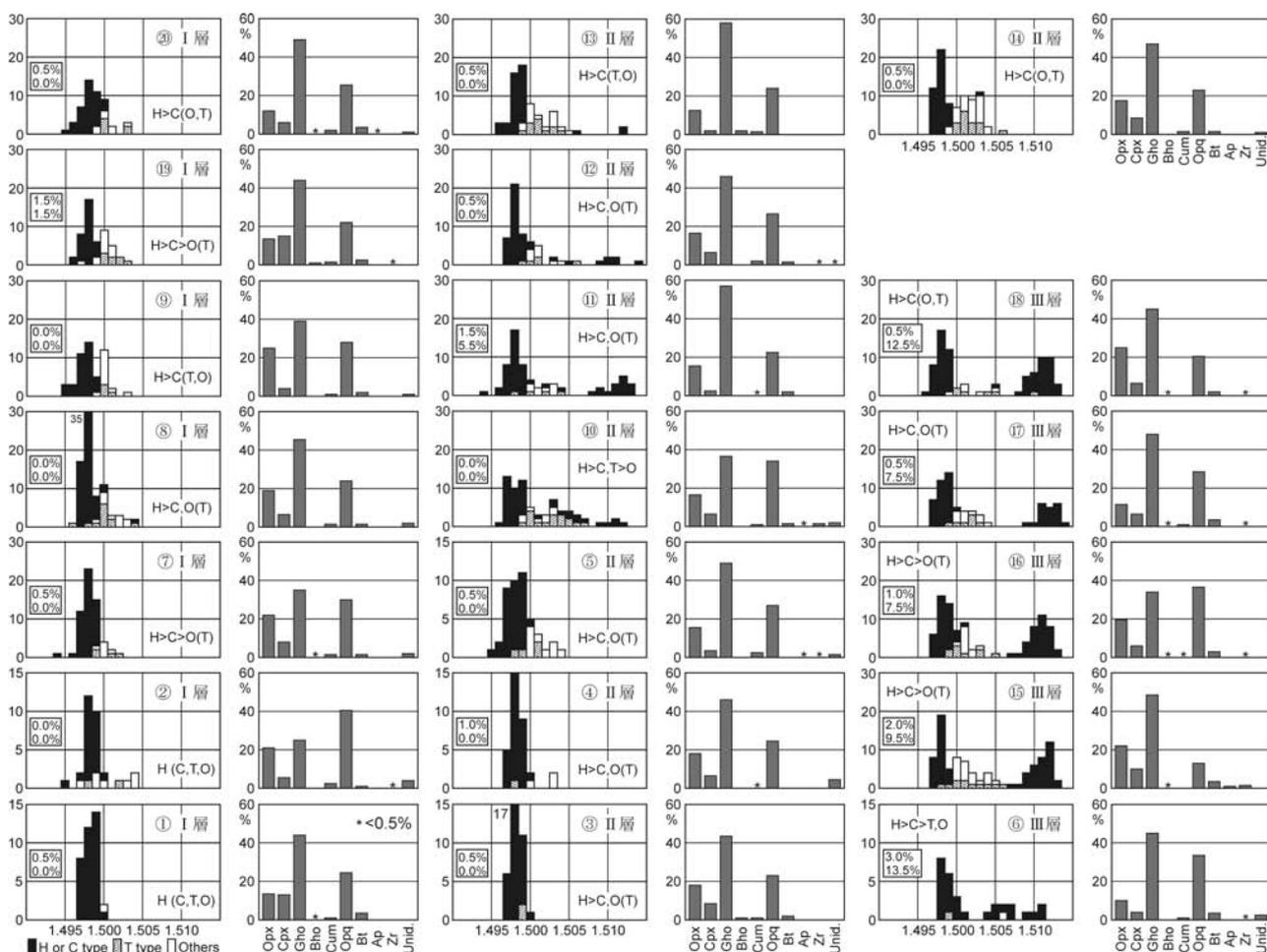


図6 トレンチ壁面に露出した自然堆積層(I層~III層)のマトリクスの重鋳物組成と、含まれる火山ガラスの諸特徴の変化
I層~III層は、層相に基づいて区分した自然堆積層。火山ガラス分析用のマトリクス試料の採取位置(①~⑳)は図5を参照。火山ガラスの屈折率分布図にある四角内の数値は、上段が粒子200個中に占める火山ガラスの割合(%), 下段が火山ガラス200個中に占める有色ガラスの割合(%). 不明重鋳物(Unid.)以外の重鋳物の略号は、図4を参照。

点における検証が必要である。

一方、本研究で推定された暮坂峠断層の再来間隔（最長で1万年程度）は、大原断層（遠田ほか，1995）や安富断層（兵庫県，1997）などの山崎断層系を構成する他の活断層（千数百年～5千年程度）に比べると，2～5倍は長い。暮坂峠断層では，安富断層などに比べて新期の変位地形が不鮮明であり，中期更新世以前に活発であった断層運動が，後期更新世以降は弱まっている可能性が指摘されている（岡田・東郷編，2000）。本研究で示された再来間隔の差異はこの指摘とは整合的であり，山崎断層帯北西部における断層運動の主体が，大原－土万－暮坂峠断層のシステムから大原－土万－安富断層のシステムへと移行しつつあることを示すと考えられる。

ま と め

山崎断層系，暮坂峠断層の第四紀後期の活動履歴を明らかにするため，姫路市護持地区の活断層露頭（岡田・東郷編，2000）の精査と，同市奥護持地区におけるトレンチ調査を行った。各地点において，断層運動により変位した地層と，それを覆い変位していない地層を明らかにした。さらに両地層の火山ガラス分析を行い，含まれる火山ガラスの起源テフラを同定することから地層の堆積年代を推定し，断層運動の時代を検討した。

活断層露頭においては，約7,300年前に降灰したK-Ahに由来する火山ガラスを含む堆積物に断層変位が生じており，これが暮坂峠断層の最新活動に相当すると考えられた。奥護持地区のトレンチ調査では，K-Ah降灰後の最新活動に対応する断層変位は認められなかったが，約2万年前に降灰したSUK起源の火山ガラスを含む砂礫層の基底に20～30cmの上下変位が認められ，過去1回の断層運動を記録していると推定された。断層変位は，K-Ah起源の火山ガラスを含む砂礫層には及んでいない。したがって，トレンチ地点では約2万年前から約7,300年前までの間に，断層運動が生じたと考えられた。

以上から，暮坂峠断層は約2万年前以降に少なくとも2回活動しており，その再来間隔は最長で1万年程度であると考えられる。一方，山崎断層系を構成する他の6つの活断層では千数百年～5千年の再来間隔が推定されており，暮坂峠断層の活動度は，これらの活断層に比べて低いと判断される。

謝 辞

姫路市護持地区の自治会長であった本郷哲也氏と三浦大輔氏には，調査に際して便宜を図って頂いた。護持地

区活断層露頭の地権者である（株）本譲と，奥護持地区トレンチ地点の地権者である常德 守氏には，調査許可を頂いた。本稿は2名の査読者のご指摘により改善された。本研究には，文部科学省科学研究費補助金：基盤研究A（課題番号：16200050，代表者：岡田篤正）および基盤研究B（課題番号：18300315，代表者：岡田篤正）の一部と，兵庫県立人と自然の博物館平成18年度部門研究費（代表者：加藤茂弘）を使用した。以上の方々と諸機関に対して，心よりお礼申し上げます。

要 旨

山崎断層系，暮坂峠断層の第四紀後期の活動履歴を明らかにするため，姫路市護持地区の活断層露頭（岡田・東郷編，2000）の精査と，同市奥護持地区におけるトレンチ調査を行った。各地点において，断層運動により変位した地層と，それを覆い変位していない地層を明らかにした。さらに両地層の火山ガラス分析を行い，含まれる火山ガラスの起源テフラを同定することから地層の堆積年代を推定し，断層運動の時代を検討した。その結果，活断層露頭においては約7,300年前以降の断層変位が識別され，これが暮坂峠断層の最新活動に相当すると考えられた。奥護持地区のトレンチ調査では，約2万年前から約7,300年前までの間に生じた1回の断層運動が識別された。以上から，暮坂峠断層は約2万年前以降に少なくとも2回活動しており，その再来間隔は最長で1万年程度であると考えられる。

文 献

- 千田 昇・岡田篤正・中田 高・金田平太郎（2002）2万5千分の1都市圏活断層図「山崎」。国土地理院。
- 檀原 徹（1993）温度変化型屈折率測定法。日本第四紀学会編「第四紀試料分析法2。研究対象別分析法」。東京大学出版会，pp.149-157。
- 福井 謙三（1981）山崎断層系の変位地形。地理評，**54**，196-213。
- 福沢仁之（1995）天然の「時計」・「環境変動検出計」としての湖沼の年縞堆積物。第四紀研究，**34**，135-149。
- 兵庫県（1997）山崎断層帯に関する調査。平成7年度，平成8年度地震調査研究交付金成果報告会予稿集，118-121。
- 兵庫県（2001）山崎断層帯に関する調査成果の概要。25p。
- 地震調査委員会（2005）山崎断層帯の地震を想定した強震動評価について。地震調査研究推進本部
[<http://www.jishin.go.jp/main/index.html>]
- 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。
- 町田 洋・新井房夫（1976）広域に分布する火山灰—始良 Tn 火山灰の発見とその意義。科学，**46**，339-347。
- 町田 洋・新井房夫（1978）南九州鬼界カルデラから噴出した広域テフラ—アカホヤ火山灰。第四紀研究，**17**，143-163。

- 松井整司・井上多津男（1971）三瓶火山の噴出物と層序. 地球科学, **25**, 147-163.
- 野村亮太郎・田中眞吾・柏谷健二・相馬秀廣・小倉博之・川崎輝雄（1995）岡山県北部, 細池湿原のテフラについて. 第四紀研究, **34**, 1-8.
- 岡田篤正・安藤雅孝・佃 為成（1979）トレンチ調査による活断層の調査. 月刊地球, No.1, 608-615.
- 岡田篤正・安藤雅孝・佃 為成（1987）山崎断層系安富断層のトレンチ調査. 地学雑, **96**, 81-97.
- 岡田篤正・千田 昇・中田 高・石山達也（2002）2万5千分の1都市圏活断層図「佐用」. 国土地理院.
- 岡田篤正・東郷正美編（2000）近畿の活断層. 東京大学出版会, 395p.
- 岡山県（1997）山崎断層系大原断層に関する調査. 平成7年度, 平成8年度地震調査研究交付金成果報告会予稿集, 112-117.
- 遠田晋次・宮腰勝義・井上大栄・楠 建一郎・鈴木浩一（1995）山崎断層系大原断層のトレンチ調査. 地震Ⅱ, **48**, 57-70.
- 津久井雅志（1984）大山火山の地質. 地質雑, **90**, 643-658.
- 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.
- 山口 覚・井口博夫・加藤茂弘・石橋克彦（2006）地球電磁気学的手法を用いた伏在する活断層の位置特定と浅部構造の探査 - 山崎断層系暮坂峠断層 -. 神戸大学都市安全研究センター研究報告, No.10, 213-223.
- 吉川周作（1976）大阪層群の火山灰層について. 地質雑, **82**, 497-515.

(2007年8月7日受付)

(2007年10月11日受理)