論 説

トレンチ調査に基づく柳ヶ瀬-養老断層系, 鍛冶屋断層の活動履歴

産業技術総合研究所活断層・火山研究部門* 吉岡 敏和

株式会社ダイヤコンサルタント** 佐護 浩一

Paleoseismology of the Kajiya Fault in the Yanagase-Yoro Fault System, Cental Japan, Revealed by a Trench Excavation Study

Toshikazu YOSHIOKA

Research Institute of Earthquake and Volcano Geology,
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
Site 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba 305-8567, Japan

Koichi SAGO

Dia Consultants Co. Ltd.
2-272-3 Yoshino-cho, Kita-ku, Saitama 331-0811, Japan

(Received February 17, 2015; Accepted June 26, 2015; published online on July 21, 2015)

The Yanagase-Yoro fault system extends from Japan Sea to Ise Bay, central Japan, in a NNW-SSE direction with a left-lateral strike-slip component of displacement. We carried out geomorphological and geological surveys on the Kajiya fault in the fault system to reveal its paleoseismic activities. Two trenches at sites A on the upper terrace and one trench at site B on the lower terrace were excavated. A high-angle fault cutting terrace deposits and black soil layers was exposed on the trench walls at site A. At site B, a fault was observed to cut bedrock and terrace deposits. These trench surveys and radiocarbon dates reveal that the latest faulting event on the Kajiya fault occurred after 1034 AD. This faulting event may be correlated to the 1325 AD Shochu earthquake or the 1586 AD Tensho earthquake. The penultimate and antepenultimate events seem to have occurred in about 3,000-3,500 years ago and about 7,000 years ago. The vertical slip-rate at site B is estimated to be 0.3 to 0.4 m/ky from the correlation of terrace gravels between the bore-hole core and the trench wall.

Key words: Kajiya fault, Yanagase-Yoro fault system, Active fault, Paleoseismology, Trench excavation

§1. はじめに

柳ヶ瀬-養老断層系 [杉山・他 (1994)] は、福井県若狭湾東岸から、近江盆地の北東縁、伊吹山の南麓から養老山地の東縁を経て、伊勢湾の西岸に至る全長約 140 km に及ぶ活断層系である (Fig. 1). 断層系全体の走向は概ね北北西-南南東ないしは北西-南東方向であり、左横ずれ変位を伴っているが、北部では東側隆起、南部では西

側隆起の逆断層変位が卓越する [活断層研究会編 (1991), 岡田・東郷編 (2000) など]. 本断層系の過去の活動時期については、北部の柳ヶ瀬断層では、椿坂地点で西暦 1200 年代後半~1400 年代初頭に [杉山・他 (1993)], その北の椿坂峠地点では約 7,000~7,200 年前に [吉岡・他 (1998)], それぞれ最新活動があったという結果が得られている. 一方、南部の養老断層では、最新活動は 14 世紀以降に、それに先立つ活動は 7~9 世紀にあったとされている [須貝・他 (1999)]. また南部の桑名断層で

* 〒305-8567 つくば市東 1-1-1 中央第 7

** 〒331-0811 さいたま市北区吉野町 2-272-3

Fig. 1. Location of the Yanagase-Yoro fault system and the Kajiya fault. Topographic map “Nagahama” at a scale of 1:50000 issued by Geospatial Information Authority of Japan is used. Shadowed parts are offset valleys. Thin lines in index map are other major active faults.

は、最新活動は13世紀以降に、それに先立つ活動は6～10世紀にあったとされている[須貝・他(1998)]。しかしながら、断層系の中部にあたる鍛冶屋断層、大清水断層、関ヶ原断層等の活動履歴については、これまでに具体的なデータは得られていなかった。柳ヶ瀬-養老断層系のような長大な断層系における個々の活断層の活動履歴を詳細に明らかにすることは、その地域における将来の地震発生予測のみでなく、断層系を構成する各断層の連動性を評価する上でも重要なデータとなることが期待される。

本研究は、平成22年度文部科学省委託事業「活断層の追加・補完調査」として実施した調査に基づき、柳ヶ瀬-養老断層系のうちの鍛冶屋断層の活動性および活動履歴を明らかにすることを目的に、その後の調査研究を加えたものである。本稿の内容の一部は速報として吉岡・他(2011)で発表されているが、本稿は、そのトレンチ壁面の解釈を再検討するとともに、考察を追加したものである。

§2. 調査地点の変位地形と調査内容

鍛冶屋断層は、琵琶湖の北東、滋賀県長浜市小谷上山田北方の山田山南麓から同市鍛冶屋町付近を通って米原

市上板並付近まで、北西-南東方向に延びる全長約11 kmの左横ずれ活断層である(Fig. 1)。断層周辺は標高600～1,000 m程度の山地で、美濃帯に属する中生界の堆積岩類からなる。断層を横切って草野川および姉川が北から南に流れており、草野川の河谷は断層を横切る地点において1.5～2 km程度、姉川の河谷は500 m～1 km程度、それぞれ左屈曲している。

断層に沿っては、北西部の山間部において小規模な河谷の系統的な左屈曲が認められる[杉山・他(1994)、東郷・他(2005)]。屈曲量は数十 m程度である。断層の中央部分は草野川の河谷と一致するため、顕著な変位地形は認められない。段丘面の分布は局所的で、草野川および姉川沿いにわずかに認められるのみである。

断層のほぼ中央部にあたる長浜市鍛冶屋町付近の1961年撮影の空中写真をFig. 2に示す。この地域には、草野川左岸の山麓部に上下2面の段丘(高位からI面およびII面とする)が分布しており、沖積面からの比高はI面で約30 m、II面で約10 mである。このうちI面は、支流からの扇状地によって形成されたと推定され、石村(2010)のM2面(50～70 kaと推定)に相当する。II面は草野川本流によって形成されたと推定され、形成年代については具体的なデータは得られていないが、沖積面か

Fig. 2. Stereoscopic airphotographs taken by Geospatial Information Authority of Japan in 1961 (KK-61-10 C6B-12, 13). Interpreted topographic features are added in B.

らの相対的な比高から最終氷期に形成された可能性が高いと考えられる。I面上の一部は、中世に城郭（草野城）として利用され、一部に堀の跡等の人工的な地形が見られるが、その西に隣接する一帯はほぼ自然の地形が残存している。近世以降、I面上は昭和40年頃まで農地として、II面は宅地として利用されていたため、人為的に地形が改変されているものの、いずれの面上にも地形とは逆に北東側が低下する直線的な崖地形が認められ、鍛冶屋断層の低断層崖と考えられる。崖の比高は、I面では約1.5-2m、II面では約0.5mである。なお、この崖地形は空中写真から推定される草野城の範囲では認められない。

調査は、これらの逆向き低断層崖を横切るように、I面上（A地点）において2溝のトレンチを、II面上（B地点）において1溝のトレンチと1孔のボーリングを掘削した。両地点間の距離は約200mである。それぞれの地点の実測平面図をFig. 3およびFig. 4に示す。

§3. 調査結果

3.1 A1 トレンチ

A1 トレンチ壁面のスケッチをFig. 5に示す。壁面には、段丘堆積物とその上位の黒色土壌、およびそれらを変位させる断層が露出した。壁面に露出した地層を、上位から1層～5層に区分した。1層は人工改変を受けた表土、2層はやや不淘汰な礫混じり黒色腐植土層である。なお、1層と2層の境界の位置は、吉岡・他(2011)を見直し、一部修正している。3層は角礫混じりの黒色の腐植質土壌で、色調や礫の含有率により3a層から3e層に細分した。3a層は比較的礫が少なめの黒色の腐植土層、3b層はやや暗褐色のシルト質腐植土層で、西壁面では長径30cm程度の礫を含む。3c層は3a層と類似する黒

色の腐植土層、3d層は暗褐色の礫混じり腐植土層、3e層は比較的礫を多く含む暗褐色ないし黒色の腐植土層である。礫はいずれも美濃帯の堆積岩礫を主体とする。4層は断層沿いに挟まれるように分布する角礫層で、礫は5層と類似するがマトリクスが粘土質である。5層は角礫からなる不淘汰な礫層で、礫は美濃帯の堆積岩礫、マトリクスは黄褐色のシルトを主体とする。5層はその分布からI面を構成する段丘堆積物であると考えられる。

壁面に露出した断層はほぼ垂直で、大局的には段丘堆積物である5層と腐植質の土壌の3層の境界をなしている。そのうち最も顕著な断層は、東壁面では4層の内部、西壁面では4層と3d層の境界をなす断層で、これを主断層とする。この主断層以外に、3層内部には数条の副断層が認められる。4層と5層の境界、および東壁面の3c層、3e層と4層の境界は、物質境界としては明瞭であるが、不規則に湾曲しており、境界面には顕著なすべり面は観察されない。

副断層のうち、東壁面の最も北側の断層は3a層上部までを変位させているが、いずれの副断層も2層は変位させていないことから、3a層堆積後、2層堆積前に副断層の活動があったと考えられる。なお主断層は1層のみに覆われ、2層との関係は不明である。西壁面では、3d層の上面が断層から北に向かって45°程度の傾斜で傾き下っており、上位の3c層はその斜面を覆うように低下側にやや厚く堆積している。3d層は、3層の他の部分より色調が淡く、断層に向かって厚くなる楔形に堆積していることから、断層隆起側の5層から供給されたと考えるのが合理的である。したがって、3d層は、断層活動で南側が隆起するのに伴い、その際に形成された低断層崖の基部に堆積したイベント堆積物である可能性が指摘できる。なお、東壁面では、グリッドE2、E3間におい

Fig. 3. Detail topographic map of the site A. Contour interval is 25 cm.

Fig. 4. Detail topographic map of the site B. Contour interval is 25 cm.

て、3c 層が 3e 層に楔状に落ち込んでいるのに対し、3b 層と 3c 層の境界は大きく変形していない。しかしながら、本断層は横ずれ変位を伴っているため、この落ち込

みは見かけの上下変位の可能性があり、3b 層堆積後の断層活動によって形成された可能性を否定できない。

壁面から得られた試料の放射性炭素同位体年代測定

Fig. 5. Log of the Kajiya A1 trench. West wall is flipped. Grid interval is 1 meter on vertical plane. Thick solid lines are faults and thin solid lines are boundaries of sedimentary units. See Table 1 for more information about radiocarbon dates.

結果を Fig. 5 および Table 1 に示す。以下本文では、デルタ ^{13}C 補正を行った ^{14}C 年代と暦年較正值 (誤差幅 2σ) を示す。暦年較正は、Oxcal 4.2 [Bronk Ramsey (2001), Bronk Ramsey and Lee (2013)] を使用し、IntCal 13 データセット [Reimer *et al.* (2013)] に基づいて計算した。副断層を覆う 2 層の炭化物 (KA1-E-04) からは 2970 ± 40 yBP (暦年で BC 1371–1051 年)、有機質堆積物 (KA1-W-05) からは 3660 ± 40 yBP (暦年で BC 2190–1926 年) の年代値が得られた。しかしながら、KA1-W-05 から得られた年代値は下位の 3a 層から得られた年代値よりも古い。ため、下位層起源の土壌が再堆積したものと考えた。副断層によって変位を受けた 3a 層の炭化物 (KA1-E-02) からは 2990 ± 40 yBP (暦年で BC 1386–1059 年)、有機質堆積物 (KA1-E-13) からは 3160 ± 40 yBP (暦年で BC 1511–1303 年) の年代値が得られた。さらに、3c 層の有機質堆積物 (KA1-W-07, KA1-W-12) からは 5590 ± 40 yBP および 5910 ± 40 yBP (暦年で BC 4494–4350 年および BC

4897–4705 年)、3e 層の有機質堆積物 (KA1-W-13, KA1-W-14) からは 6140 ± 40 yBP および 6380 ± 40 yBP (暦年で BC 5215–4981 年および BC 5471–5304 年) の年代値が得られた。

3.2 A2 トレンチ

A1 トレンチでは、地表面近くが人工改変を受け、低断層崖が後退していたために、断層の上端部と表層の土壌との関係が十分に観察できなかった。そこで、A1 トレンチに露出した断層の走向延長上にあり、地形から堆積物がより厚く堆積していると推定された地点において、やや規模の小さい A2 トレンチを掘削した。

A2 トレンチ壁面のスケッチを Fig. 6 に示す。壁面には、A1 トレンチの 1 層から 3 層および 5 層に相当する地層が露出したが、3 層は細分することができなかった。断層は、西壁面では 3 層と 5 層の境界をなす主断層と 3 層中の副断層が、東壁面では 3 層と 5 層の境界を階段状に変位させる複数の断層が、それぞれ観察された。な

Table 1. Radiocarbon dates of the samples. ^{14}C ages were corrected by $\delta^{13}\text{C}$ and calculated using Libby half-life of 5568 years. Calendar years are dendrochronologically calibrated probable age ranges of confidence levels 95% (2 σ), using Oxcal 4.2 [Bronk Ramsey (2001), Bronk Ramey and Lee (2013)] and IntCal13 Radiocarbon Age Calibration database [Reimer *et al.* (2013)].

A1 trench

sample no.	unit	sample	lab. no.	delta ^{13}C calibrated age (yBP)	calendar year (IntCal13) 2 Sigma	dating method	pre- treatment
KA1-E-04	2	charred material	Beta-288989	2970 $\pm$ 40	BC 1371 to 1051	AMS	AAA
KA1-E-02	3a	charred material	Beta-288993	2990 $\pm$ 40	BC 1386 to 1059	AMS	AAA
KA1-E-13	3a	organic sediment	Beta-289004	3160 $\pm$ 40	BC 1511 to 1303	AMS	A
KA1-E-11	3b	organic sediment	Beta-289002	3810 $\pm$ 40	BC 2456 to 2137	AMS	A
KA1-W-05	2	organic sediment	Beta-289001	3660 $\pm$ 40	BC 2190 to 1926	AMS	A
KA1-W-03	3b	charred material	Beta-288992	4740 $\pm$ 40	BC 3638 to 3377	AMS	AAA
KA1-W-07	3c	organic sediment	Beta-289005	5590 $\pm$ 40	BC 4494 to 4350	AMS	A
KA1-W-12	3c	organic sediment	Beta-291058	5910 $\pm$ 40	BC 4897 to 4705	AMS	A
KA1-W-13	3e	organic sediment	Beta-289003	6140 $\pm$ 40	BC 5215 to 4981	AMS	A
KA1-W-14	3e	organic sediment	Beta-289000	6380 $\pm$ 40	BC 5471 to 5304	AMS	A

A2 trench

sample no.	unit	sample	lab. no.	delta ^{13}C calibrated age (yBP)	calendar year (IntCal13) 2 Sigma	dating method	pre- treatment
KA2-E-07	2	charred material	Beta-288991	2880 $\pm$ 40	BC 1207 to 931	AMS	AAA
KA2-E-13	3	organic sediment	Beta-288988	5640 $\pm$ 40	BC 4546 to 4366	AMS	A
KA2-W-04	2	organic sediment	Beta-288998	3850 $\pm$ 40	BC 2461 to 2204	AMS	AAA
KA2-W-01	3	charred material	Beta-290273	3940 $\pm$ 40	BC 2568 to 2299	AMS	AAA
KA2-W-02	3	organic sediment	Beta-288999	4900 $\pm$ 40	BC 3768 to 3638	AMS	A

B trench

sample no.	unit	sample	lab. no.	delta ^{13}C calibrated age (yBP)	calendar year (IntCal13) 2 Sigma	dating method	pre- treatment
KB-E-04	2c	charred material	Beta-291063	230 $\pm$ 40	AD 1521 to modern	AMS	AAA
KB-E-11	3	organic sediment	Beta-291061	1770 $\pm$ 40	AD 135 to 379	AMS	A
KB-E-05	4	charred material	Beta-288990	890 $\pm$ 40	AD 1034 to 1220	AMS	AAA
KB-E-01	4	wood	IAAA-101489	1000 $\pm$ 30	AD 983 to 1152	AMS	AAA
KB-E-10	4	organic sediment	Beta-291060	1360 $\pm$ 40	AD 607 to 766	AMS	A
KB-E-09	4	organic sediment	Beta-288995	1640 $\pm$ 40	AD 266 to 538	AMS	A
KB-E-07	5	organic sediment	Beta-291059	3820 $\pm$ 40	BC 2457 to 2142	AMS	A
KB-E-08	5	organic sediment	Beta-288997	10280 $\pm$ 50	BC 10429 to 9874	AMS	A
KB-W-02	3	organic sediment	Beta-288996	2040 $\pm$ 40	BC 167 to AD 51	AMS	A
KB-W-01	5	organic sediment	IAAA-101490	10410 $\pm$ 40	BC 10569 to 10137	AMS	A

borehole core in site B

sample no.	deprh (m)	sample	lab. no.	delta ^{13}C calibrated age (yBP)	calendar year (IntCal13) 2 Sigma	dating method	pre- treatment
K-1-1	1.58-1.63	plant material	Beta-291062	1110 $\pm$ 40	AD 778 to 1018	AMS	AAA
K-1-2	2.12-2.18	organic sediment	Beta-291064	6870 $\pm$ 40	BC 5841 to 5670	AMS	A
K-1-3	3.35	organic sediment	Beta-291065	11250 $\pm$ 50	BC 11276 to 11082	AMS	A
K-1-4	4.90	wood	Beta-292947	16090 $\pm$ 70	BC 17670 to 17250	AMS	AAA
K-1-5	6.90-6.93	plant material	Beta-292948	17850 $\pm$ 80	BC 19925 to 19419	AMS	AAA
K-1-6	8.43	plant material	Beta-292949	18930 $\pm$ 90	BC 21100 to 20570	AMS	AAA

お、A1 トレンチで確認できなかった主断層と 2 層との関係については、西壁面では 2 層の基底が主断層に沿っ

て落ち込むように分布しているものの、2 層内の構造が不明瞭なため、変形が 2 層に及んでいるかどうかは確認できなかった。また東壁面においても、断層が上方に向かってせん滅しているため、2 層が変位を受けていないとは言い切れない。したがって、A2 トレンチでは、断層の活動時期について A1 トレンチ以上の情報は得られなかった。

3.3 B トレンチ

低位の段丘面上で掘削した B トレンチ壁面のスケッチを Fig. 7 に示す。壁面では、南側に分布する基盤岩とその上位の段丘堆積物が、北側に分布する細粒堆積物とほぼ垂直な断層で接しているのが観察された。壁面に露出した地層を、上位から 1 層～7 層に区分した。このうち、1 層 (1a 層, 1b 層) は人工の盛土である。2 層は礫混じり土壌であり、層相からマトリクスが灰色のシルトからなる 2a 層、やや大きめの円礫を多く含む 2b 層、マトリクスが 2a 層に類似する 2c 層に細分した。いずれも淘汰の悪い堆積物であること、円礫が比較的多く含まれているものの、地形からこの場所を流れる河川は想定しにくいことなどから、7 層を削平した土砂で人為的に窪みを埋めたものの可能性が高いと考えられる。3 層は礫混じりの腐植質シルト層、4 層は未分解の植物遺体を多く含む腐植土層である。5 層は白色のシルトないし粘土

Fig. 6. Logs of the Kajiya A2 trench. Notes are the same as Fig. 5. Dashed thick lines are indistinct faults.

Fig. 7. Log of the Kajiya B trench. Notes are the same as Fig. 5.

層を主体とし、円礫層およびやや腐植質のシルト層を挟む。6層は断層に挟まれるように分布する円～亜角礫層で、マトリクスは粘土質である。7層は比較的淘汰のよい円～亜角礫層で、東壁面では厚さ30cm程度の砂層を挟む。基盤岩をほぼ水平に覆って分布していることから、草野川の本流による堆積物であり、II面を構成する段丘堆積物と考えられる。基盤岩は破碎した美濃帯堆積岩類である。

断層は、6層を挟んで基盤岩および7層と5層が接する主断層と、数条の副断層からなる。低下側（北側）に分岐するいくつかの断層は、東壁面で4層までを変位させ、3層に覆われるのが確認された。さらに、5層中に挟まれる礫層や腐植質シルト層が4層と比較してより大きく変形していることから、5層堆積後、4層堆積前にも断層活動があったと推定される。

壁面から得られた試料の放射性炭素同位体年代測定の結果をFig. 7およびTable 1に示す。断層変位を受けた堆積物の最上位にあたる4層からは、 890 ± 40 yBP～ 1640 ± 40 yBPの4つの年代値が得られた。そのうちの最も新しい年代値は、KB-E-05の炭化物から得られた 890 ± 40 yBP（暦年でAD 1034–1220年）である。したがって、この地点での鍛冶屋断層の最新活動時期はAD 1034年以後と推定される。断層を覆う3層の有機質堆積物（KB-E-11, KB-W-02）からは、4層から得られた年代値より古い 1770 ± 40 yBPおよび 2040 ± 40 yBP（暦年でAD 135–379年およびBC 167–AD 51年）の年代値が得られた。しかしながら、3層は断層を覆う斜面に堆積した地層であることから、断層活動前からすでに存在していた堆積物が、断層活動後に再堆積したものの可能性が高いと判断した。一方、東壁面の断層沿いの5層に挟まれる有機質堆積物（KB-E-07）からは 3820 ± 40 yBP（暦年でBC 2457–2142年）の年代値が得られたが、同じ5層の有機質堆積物（KB-E-08, KB-W-01）からは 10280 ± 50 yBPおよび 10410 ± 40 yBP（暦年でBC 10429–9874年およびBC 10569–10137年）の年代値が得られた。

3.4 B地点ボーリング

Bトレンチでは、断層低下側の段丘堆積物および基盤岩が確認できなかったため、トレンチの北端から約1.5m北でボーリング調査を実施した（Fig. 4）。コアの地層は、人工埋土の下、地表から1.78mまでが腐植質シルト層（Bトレンチの2～4層に対比）、3.74mまでが腐植質シルト層を挟むシルト質砂礫層（Bトレンチの5層に対比）、その下9.40mまでが亜角礫主体の砂礫層であり、途中8.34–8.81mに円～亜円礫層を挟む（Fig. 8）。ボーリングは地表下9.4mまで掘削したが、その深度では基盤岩に達しないことが確認された。放射性炭素同位体年代

測定の結果、深度8.43mで礫層に含まれる植物遺体（K-1-6）からは 18930 ± 90 yBP（暦年でBC 21100–20570年）の年代値が得られた（Table 1）。この礫層は円礫を含むこと、トレンチ壁面の7層で構成される段丘面（II面）が最終氷期に形成されたと推定されることから、この礫層はトレンチ壁面の7層と対比することができる。

§ 4. 考 察

4.1 鍛冶屋断層の活動時期および活動間隔

トレンチ壁面から得られた年代測定値と、推定される断層活動時期との関係をFig. 9にまとめた。Bトレンチからは4層堆積後に最新活動（イベント1）があったと言え、その時期は年代測定値からはAD 1034年以後となり、11世紀中葉以降と推定される。なおBトレンチ壁面で断層を覆う地層は、崩積堆積物および人工改変を受けた表土であり、最新活動時期の上限を限定することはできない。A地点の東方に位置する草野城址については、少なくとも現状の遺構に断層変位が及んでいない可能性が高いが、草野城の詳細な成立時期や、放棄された時期は不明である。

A1トレンチからは、3a層堆積後、2層堆積前に、少なくとも一部の副断層の活動があったと推定される。A1トレンチの2層および3a層から得られた年代値は一部で逆転する。これらの地層は腐植質土壌で、堆積後の再移動や生物擾乱を受けている可能性も十分にあることから、年代測定値は地層の堆積年代としては誤差が大きいものと考えられる。したがって、これらの副断層の活動時期は、年代測定値が地層の堆積年代を示しているとするれば概ね3,000～3,500年前頃の可能性があると言えるが、2層が崩積土もしくは人為的に再移動させられた土壌であった場合は、活動時期は3a層堆積後（約3,000年前）以降としか言えず、Bトレンチのイベント1と分離できない。なお、副断層の活動時期を3,000～3,500年前頃に限定した場合、この活動は最新活動に先立つ活動（イベント2）となる。

一方、Bトレンチの5層のKB-E-07から得られた年代値が地層の堆積年代を示すとすると、約4,500年前以降に最新活動に先行する断層活動があったと考えることができる。Bトレンチの5層からは約12,000年前の年代値も複数の試料から得られており、吉岡・他（2011）では最新活動によって断層沿いに挟み込まれた試料の可能性もあるとしているが、もしこの活動を最新活動に先行する活動とすれば、A1トレンチで推定されたイベント2はこの時期に含まれるため、両者は同一の活動であった可能性がある。なお、KB-E-07が最新活動によって断層沿いに挟み込まれた試料であった場合、このイベントは

Fig. 8. Cross section of the Kajiya B trench wall and borehole.

後述するイベント3と分離できない。

さらに過去の活動としては、A1 トレンチの3d層を断層活動に伴うイベント堆積物と考えた場合、3c層堆積後、3e層堆積前に断層活動（イベント3）が推定される。その活動時期は3c層および3e層から得られた年代値から概ね7,000年前頃となる。

以上の活動時期を隣接する活断層の活動時期と比較すると、鍛冶屋断層のイベント1の時期は柳ヶ瀬断層の椿坂地点で認められた西暦1200年代後半～1400年代初頭の活動〔杉山・他(1993)〕と、イベント3の時期は柳ヶ瀬断層の椿坂峠トレンチ〔吉岡・他(1998)〕での最新活動時期（約7,000～7,200年前）と重なる。またイベント1の時期は、養老断層や桑名断層の最新活動時期（それぞれ14世紀以降、13世紀以降）とも重なっている。鍛冶屋断層は地表での長さは約11kmと短いことから、過去の活動においては、近接する断層と連動して活動した可能性が示唆される。

調査地点での鍛冶屋断層の活動間隔は、イベント1か

ら3までを平均すると概ね3,000年程度となるが、イベント2がイベント1またはイベント3と同一であった場合は、概ね6,000年程度となる。この値は、養老断層の完新世における平均的な活動間隔（約1,500年）〔須貝・他(1999)〕と比較して、有意に長い。なお、柳ヶ瀬断層の活動間隔は正確に求められていないが、椿坂峠トレンチでの最新活動時期が約7,000～7,200年前であることを考慮すると、椿坂峠地点を含む区間の活動間隔は7,000年以上であることが推定される。以上のように、柳ヶ瀬-養老断層系の活動間隔は、区間により大きく異なっている。このことは、断層系を構成する複数断層が連動して活動したとしても、その範囲は毎回同じとは限らないことを意味している。

4.2 平均変位速度の推定

B地点におけるボーリング調査の結果から、ボーリングコア最下部の円礫層とトレンチ壁面の7層を対比すると、約22,000～23,000年間に約7～9mの上下変位があったことになり（Fig. 8）、その場合の上下方向の平均変位

Fig. 9. Diagram showing radiocarbon ages from each trench and timings of estimated faulting events.

速度は約 0.3-0.4m/千年と計算される。なお、鍛冶屋断層は地形から左横ずれ変位が卓越すると推定されている[活断層研究会編 (1991), 岡田・東郷編 (2000) など]ことから、この上下変位は横ずれによる谷の出口の堰き止めによる見かけのものの可能性があるが、B 地点付近にはその谷に相当する上流側の地形が見当たらないため、その可能性は低い。

B 地点を横切る地形断面図を Fig. 10 に示す。この図によれば、断層低下側の堆積物の基底の高度は、草野川沿いの沖積面とほぼ同レベルかそれ以下と推定され、完新世における浸食基準面の低下を考えると、この地点では断層の北東側が南西側に対して相対的に沈降していることが示唆される。断層周辺の山地高度や段丘面の分布には、断層の北東側が相対的に沈降するような傾向は見られないため、調査地点周辺における上下変位は局所的なものである可能性が高いと考えられる。A トレンチ付近で、断層トレスが緩やかに左ステップ屈曲するのが認められる (Fig. 2)。調査地点における北東側低下の上下変位は、左ステップ屈曲する断層が左横ずれ運動を行うことに起因するプリアパート構造によるものと考えられる。

横ずれの平均変位速度については、年代を特定できる変位基準がないため、直接求めることはできない。しか

しながら、例えば 1999 年トルコ、イズミット (コジャエリ) 地震に伴う地震断層では、3~5m の横ずれ変位に対して生じた複数のプリアパート構造の上下変位量が数十 cm ないし最大 2m 程度であったこと [Barka *et al.* (2002)] など、一般的にプリアパート構造の沈降量は、横ずれ変位量と概ね同程度かそれ以下である。それに従えば、この地点の平均横ずれ変位速度は上下変位速度と概ね同程度か、もしくはそれ以上であることが示唆される。

なお、A 地点の低断層崖の比高 (1.5-2m) と段丘面の年代 (50-70 ka と推定) からは、0.02-0.04m/千年の平均上下変位速度が求められるが、断層低下側の段丘堆積物は上位の堆積物に覆われてトレンチ壁面には露出していないことから、段丘面の真の変位量はこの崖の比高よりかなり大きいものと推定される。

4.3 歴史地震との対応

トレンチ調査の結果、鍛冶屋断層の最新活動時期は概ね 11 世紀の中葉以降であったものと推定された。B トレンチの 2 層は断層変位で生じた窪みを人為的に埋めた地層の可能性があり、最新活動の発生直後には、すでにこの地点で人間による土地造成が行われていたことが示唆される。調査地点の鍛冶屋集落は、室町時代に大和国宇陀郡から鍛冶職人が移住して繁栄し、戦国時代には「草野槍」として知られる多くの槍を作っており [長浜市

Fig. 10. Topographic cross section across the Kajiya B site.

史編纂委員会編 (2001)], このことも断層の最新活動時期が中世以降であったことと矛盾しない。

本地域周辺に大きな被害をもたらした歴史地震のうち中世以降に発生したものとしては、以下の地震が挙げられる。まず、1325 年正中地震 ($M=6.5\pm 1/4$) では、竹生島や湖北山地の一部が崩壊するとともに、敦賀市の気比神宮が倒壊したと伝えられている [宇佐美・他 (2013), 古代中世地震史料研究会 (2014)]。また、1586 年天正地震 ($M=7.8\pm 0.1$) では、長浜城が倒壊し、城主山内一豊の娘が死亡したとされている [宇佐美・他 (2013), 古代中世地震史料研究会 (2014)]。1819 年文政近江地震 ($M=7.1/4\pm 1/4$) では、滋賀県湖東地域を中心とする広い範囲に被害があった。さらに、1909 年江濃 (姉川) 地震 ($M=6.8$) では、鍛冶屋断層南側の平野部に被害が集中し、いくつかの集落で家屋の倒壊率が 50 パーセントを上回った [宇佐美・他 (2013)]。これらのうち 1909 年江濃 (姉川) 地震については、トレンチ地点には少なくとも明治初期には民家が建てられ人が居住していた (地元の人の話による) にもかかわらず、大きな被害が報告されていないことから、この地震で鍛冶屋断層が活動したということは考えにくい。1819 年文政近江地震については、被害の分布などからフィリピン海プレートのスラブ内で発生した地震との説もある [石橋 (1999)]。1586 年天正地震では、養老断層が活動した可能性が指摘されているが [須貝・他 (1998, 1999)], ほかにも庄川断層帯や阿寺断層帯など複数の活断層が連鎖的に活動した可能性 [岡田 (2011)] や、日付の異なる複数の地震からなる可能性 [松浦 (2011)] が指摘されており、この地震の際に鍛冶屋断層が活動した可能性も否定できない。一方、1325 年正中地震については、鍛冶屋断層の北西に連続する柳ヶ瀬

断層のトレンチ調査で西暦 1200 年代後半～1400 年代初頭の活動が推定され、1325 年正中地震の際に活動した可能性が指摘されている [杉山・他 (1993)]。よって、この地震の際に、鍛冶屋断層も同時に活動したことも十分に考えられる。しかしながら、ここに挙げた以外の地震の際に活動した可能性も否定できないため、ここでは可能性の 1 つとして指摘するにとどめる。

§5. ま と め

鍛冶屋断層の最新活動時期は、トレンチ調査の結果から 11 世紀後半以降と考えられる。対応する可能性がある歴史地震としては 1325 年正中地震や 1586 年天正地震が挙げられるが、特定はできない。最新活動に先行する活動は、信頼性はやや劣るが概ね 3,000～3,500 年前頃および 7,000 年前頃にあった可能性があり、後者は柳ヶ瀬断層の椿坂峠トレンチ地点での最新活動時期と重なる。

調査地点での平均変位速度は上下方向で約 0.3-0.4 m/千年と見積もられるが、この値はプルアパート構造に伴う局所的な変位速度の可能性がある。横ずれ変位速度はそれと同程度もしくはそれ以上であることが示唆される。

謝 辞

本研究を行うにあたり、文部科学省研究開発局地震・防災研究課、滋賀県防災危機管理局、長浜市総務課防災危機管理室、および調査地地権者をはじめとする地元関係者の方々に多大なるご協力をいただいた。また松浦律子博士、堤 浩之博士および匿名査読者の貴重なご指摘により、本稿は大幅に改善された。ここに記して感謝の意を表する。

文 献

- Barka, A., H. S. Akyuz, E. Altunel, G. Sunal, Z. Cakir, A. Dikbas, B. Yerli, R. Armijo, B. Meyer, J. B. de Chabelier, T. Rockwell, J. R. Dolan, R. Hartleb, T. Dawson, S. Christofferson, A. Tucker, T. Fumal, R. Langridge, H. Stenner, W. Lettis, J. Bachhuber, and W. Page, 2002, The surface rupture and slip distribution of the 17 August 1999 Izmit earthquake (M 7.4), North Anatolian fault, Bull. Seism. Soc. Amer., **92**, 43-60.
- Bronk Ramsey, C., 2001, Development of the radiocarbon calibration program OxCal, Radiocarbon, **43**, 355-363.
- Bronk Ramsey, C. and S. Lee, 2013, Recent and planned development of the program OxCal, Radiocarbon, **55**, 720-730.
- 石橋克彦, 1999, フィリピン海スラブ内で発生した 1819 (文政二) 年近江地震, 地球惑星科学関連学会 1999 年合同大会予稿集, As-005.
- 石村大輔, 2010, 関ヶ原周辺における段丘編年と活断層の活動性, 第四紀研究, **49**, 255-270.
- 活断層研究会編, 1991, 新編日本の活断層—分布図と資料, 東京大学出版会, 437pp.
- 古代中世地震史料研究会, 2014, [古代・中世] 地震・噴火史料データベース (β 版), 静岡大学防災総合センター, <<http://sakuya.ed.shizuoka.ac.jp/erice/db/>>, (参照 2015-6-16)
- 松浦律子, 2011, 天正地震の震源域特定: 史料情報の詳細検討による最新成果, 活断層研究, no. 35, 29-39.
- 長浜市史編纂委員会編, 2001, 長浜市史 第 5 巻 暮らしと生業, 長浜市役所, 467pp.
- 岡田篤正, 2011, 天正地震とこれを引き起こした活断層, 活断層研究, no. 35, 1-13.
- 岡田篤正・東郷正美編, 2000, 近畿の活構造, 東京大学出版会, 408pp.
- Reimer, P. J., E. Bard, A. Bayliss, J. W. Beck, P. G. Blackwell, C. Bronk Ramsey, C. E. Buck, H. Cheng, R. R. Edwards, M. Friedrich, P. M. Grootes, T. P. Guilderson, H. Haflidason, I. Hajdas, C. Hatté, T. J. Heaton, D. L. Hoffmann, A. G. Hogg, K. A. Hughen, K. F. Kaiser, B. Kromer, S. W. Manning, M. Niu, R. W. Reimer, D. A. Richards, E. M. Scott, J. R. Southon, R. A. Staff, C. S. M. Turney, and J. van der Plicht, 2013, IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curve 0-50,000 years cal BP, Radiocarbon, **55**, 1869-1887.
- 須貝俊彦・栗田泰夫・下川浩一, 1998, 桑名断層・四日市断層の活動履歴調査, 地質調査所速報, EQ/98/1, 75-90.
- 須貝俊彦・伏島祐一郎・栗田泰夫・吾妻 崇・苅谷愛彦・鈴木康弘, 1999, 養老断層の完新世後期の活動履歴—1596 年天正地震・745 年天平地震震源断層の可能性, 地質調査所速報, EQ/99/3, 89-102.
- 杉山雄一・栗田泰夫・佃 栄吉・吉岡敏和, 1993, 1992 年柳ヶ瀬断層 (椿坂地区) トレンチ調査, 活断層研究, no. 11, 100-109.
- 杉山雄一・栗田泰夫・吉岡敏和, 1994, 柳ヶ瀬-養老断層系ストリップマップ, 構造図 10, 地質調査所, 1 sheet.
- 東郷正美・岡田篤正・澤 祥・鈴木康弘・堤 浩之・平川一臣, 2005, 1:25,000 都市圏活断層図「長浜」, 国土地理院技術資料 D・1-No. 449.
- 宇佐美龍夫・石井 寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子, 2013, 日本被害地震総覧 599-2012, 東京大学出版会, 694pp.
- 吉岡敏和・杉山雄一・細矢卓志・逸見健一郎・渡辺俊一・田中英幸, 1998, 柳ヶ瀬断層の最新活動—滋賀県余呉町椿坂峠におけるトレンチ発掘調査—, 地震 2, **51**, 281-289.
- 吉岡敏和・佐護浩一・山根 博, 2011, 柳ヶ瀬-養老断層系, 鍛冶屋. 関ヶ原, 宮代断層の古地震調査, 活断層・古地震研究報告, no. 11, 177-195.