山口県中央部, 大原湖断層系の性状と活動性

金折裕司*・田中竹延**・柳田 誠**・山口大学断層テクトニクス研究グループ***

要 旨

既往の研究成果と本研究で実施した断層露頭調査, トレンチ発掘調査およびボーリング調査などの結果を組み合わせ, 大原湖断層系とその構成断層の分布, 性状および活動性を明らかにした. この断層系は7活断層(大原湖断層, 木戸山西方断層, 山口盆地北西縁断層, 吉敷川断層, 下郷断層, 宇部東部断層, 仁保川断層)から構成される. 本報告ではまず, 既往の研究を再検討することにより, 大原湖断層系の地形・地質に関する従来の知見を総説する. 次に, 本研究で実施した調査の結果を詳しく記載する. 以上の結果を総合すると, 大原湖断層には約3,200年前以降の活動は認められない. 一方, 木戸山西方断層と下郷断層については, 約3,500年前にほぼ同時に活動した可能性がある. その活動間隔は2.1万~2.4万年以上であると推定される. 平均鉛直変位速度は断層ごとに異なるが, 0.01~0.08m/千年の範囲にある.

Key words: 活断層系 active fault system, トレンチ発掘 trench excavation, 断層露頭 fault outcrop, 断層活動性 fault activity

1. は じ め に

活断層から発生する内陸地震の予測を目的として1995年以降, 地震調査研究推進本部が中心となって, 全国98の主要活断層と追加11活断層が調査対象とされ, 各活断層における地震の長期予測結果が逐次公表されてきている(地震調査研究推進本部<http://www.jishin.go.jp/main/>). 井上ほか¹⁾は, 2000年鳥取県西部地震にかかわったリニアメントと震源断層の関係を詳しく調査し, 上記で対象とされた断層以外の調査の重要性を指摘している.

しかしながら, 平均変位速度の小さい低活動度(B~C級)活断層や地質断層²⁾については, 活動性や地震発生予測に関する系統的な調査・研究はあまり多くない. このような低活動度断層の活動性ないし地質断層の再活動性を評価することは内陸でかつ震源の浅い地震の長期予測に加えて, 放射性廃棄物の地層処分など長期間に及ぶ地盤の安定性を検討するうえでも重要である.

山口県中部から島根県南西部には, B~C級活断層と認定されている大原湖断層³⁾と弥敷山西断層⁴⁾が存在し, その南西延長部には地質断層である榎野川断層⁵⁾が位置し³⁾, 全体的としてNE-SW方向に連続しているように見える. これら3断層を連結する断層系は大原湖-弥敷山西断層系と呼ばれている^{4), 5)}. 榎野川断層の南西部に沿って, 『活断層デジタルマップ』⁶⁾や『200万分の1活断層図』⁷⁾に, ENE-WSW~NNE-SSW方向で長さ7kmほどの活断層が描かれている.

この断層は玉村・金折⁸⁾によって, 下郷断層と名づけられた. 金折⁸⁾は下郷断層と大原湖断層の間にも数本の活断層が存在することを指摘し, 全長57kmに及ぶ大原湖断層系を定義した.

本報告では, まず, 大原湖断層系に関する既往の論文を再検討することにより, 大原湖断層系の地形・地質に関する従来の知見を総説する. 次に, 本研究で実施した断層露頭調査, トレンチ発掘調査およびボーリング調査などの結果を構成活断層ごとに詳細に記載する. これらの結果を総合して, この断層系を構成する活断層の分布, 性状を集約するとともに, 最新活動時期および活動間隔など断層活動性の評価を試みる.

* 山口大学理学部 Faculty of Science, Yamaguchi University(会員)

E-mail: kanaori@yamaguchi-u.ac.jp

** (株)阪神コンサルタンツ Hanshin Consultants Co., Ltd.(会員)

*** 構成メンバー: 下山正一(九州大学大学院理学研究院), 田中和広・福地龍郎(山口大学理学部), 三浦房紀・山本哲朗・石田 毅(山口大学工学部)

注)本報告では, 地質境界や断層破碎帯の存在で確認された断層で, 第四紀での活動が不明の場合に, 活断層と区別するために“地質断層”という用語を用いる.

2. 大原湖断層系の概要

図-1に示すように既往の活断層図^{2), 6), 7)}には、山口県中央部に大規模な活断層の存在は描かれていない。しかしながら、玉村・金折⁸⁾や金折⁹⁾によって、この地域には複数

図-1 中国地方の活断層分布と調査位置(「200万分の1活断層図」⁷⁾を一部改変)。黒枠内が調査範囲である。

の活断層から構成される大原湖断層系が存在していることが指摘された。大原湖断層系は金折⁹⁾に基づく、雁行状に配列する7つの活断層から構成される(図-2)。

本報告では、大原湖断層系に沿った地域を対象として、井上ほか¹⁾に基づき、リニアメント判読を行った。その結果、大原湖断層北東部と木戸山西方断層はBランクが主体で、下郷断層は全域でBランクのリニアメントが確認された。大原湖断層南西部はCランクに属し、そのほかの山口盆地北西縁断層と吉敷川断層、仁保川断層、宇部東部断層ではDランクのリニアメントが認められた。

断層系の主部はENE-WSW～NNE-SSW走向を示し、北から大原湖断層、山口盆地北西縁断層、下郷断層、宇部東部断層が存在している。さらに、大原湖断層の南西部から仁保川断層が南に分岐する。また、山口盆地北西縁断層からは、北ないし北北東へ吉敷川断層と木戸山西方断層が分岐する。

上記の活断層のうち、大原湖断層は、『新編 日本の活断層』²⁾、『活断層詳細デジタルマップ』⁶⁾および『200万分の1活断層図』⁷⁾のいずれにも図示されている。これに対して、下郷断層は、後の2つの図には描かれているが、

図-2 大原湖断層系を構成する断層に沿ったリニアメント分布、断層露頭位置、トレンチ発掘地点およびボーリング調査地点。Loc.番号のないものは既往調査による。図中の黒枠は図-3の範囲である。山口県発行 1:150,000地勢図の一部を使用。

『新編 日本の活断層』²⁾に記載されていない。吉敷川断層は、『新編 日本の活断層』²⁾に露頭として表現されている。その他の4断層はいずれの図にも掲載されていない。

以下に既往の研究結果に基づいて、大原湖断層系を構成する各断層の概要を述べる。

2.1 大原湖断層

この断層は、『新編 日本の活断層』²⁾によると、確実度Ⅲ、長さ22km、活動度Bとされ、山地内の直線状谷として認められている。また、『活断層詳細デジタルマップ』⁶⁾では、推定活断層として図示されている。高橋¹⁰⁾は、JR山口線仁保駅西方および仁保峠付近に断層や破碎帯の存在を報告しているが、その詳細位置は不明である。小松原ほか¹¹⁾は、この断層の北東部と南西部でトレンチ発掘調査を行い、基盤岩中の断層が完新統を変位させていないことを確認している。完新統から、1,000~1,500y.B.P.の¹⁴C年代が得られている¹¹⁾。

2.2 木戸山西方断層

山口市住吉周辺において、この断層に沿って約90mの尾根の系統的な右横ずれ屈曲を伴う明瞭なNE-SW方向のリニアメントが認められている⁸⁾。玉村・金折⁸⁾は、このリニアメント沿いに未固結の礫層と流紋岩とを境界する断層露頭を発見し、断層で切られた崩積土の¹⁴C年代から、断層の最新活動時期は7,790±40年前以降であるとしている。

2.3 山口盆地北西縁断層

この断層の北東部ではDランクのリニアメントが山地と平野境界の付近に認められる。その南西部ではボーリングおよび反射法地震探査の結果^{12), 13)}に基づく、山口盆地に

伏在すると推定される。さらに、この断層は山口盆地に伏在する榎野川断層に一致する可能性がある。榎野川断層は、『新編山口県地質図』³⁾に地質断層として図示され、この断層を挟んで先第三紀の岩脈に約2.6kmの左横ずれオフセットが確認される¹⁴⁾(図-3)。高橋¹⁰⁾は山口市湯田温泉におけるボーリングデータから国道9号線に沿って榎野川断層が存在するとしている。

水野清秀ほか^{12), 13)}は既存ボーリング資料の解析、反射法地震探査およびボーリング調査を実施し、湯田温泉地域では周囲に比べて未固結堆積物が厚く最大100mを超えることを明らかにし、榎野川断層の運動に関連した地質構造を反映していると推定している。

2.4 下郷断層

『活断層詳細デジタルマップ』⁶⁾では活断層として7km間が図示されている。そこでは50~100mの谷の右屈曲が指摘され、中位段丘面に10m、低位段丘面に3m北西側隆起の低崖が存在するとしている。この活断層は玉村・金折⁸⁾によって、下郷断層と名づけられた。

2.5 吉敷川断層

水野篤行¹⁵⁾により命名された断層で、上部更新統を切る断層露頭が報告されている。この断層はN80°E80°Nの正断層とされているが、現在は植生に覆われて断層露頭を確認することができない。この露頭の位置が、『新編 日本の活断層』²⁾に露頭として示されている。また、水野篤行¹⁵⁾によると、1987年山口地震によってN40°E方向とE-W方向の2系統の亀裂が発生し、E-W系統の一部は左ずれを伴う。一方、N40°E走向のものは1987年山口地震の発震機

図-3 大原湖断層系中央部の地質 武田・今岡¹⁴⁾を一部改変。右上の図の黒枠内が地質図の範囲である。

構解による震源断層の走向とほぼ一致し，右ずれ水平変位成分をもつ可能性を指摘している．さらに，この地域の一部にNE-SW方向のリニアメントを認めている．

水野清秀ほか¹²⁾も，山口市吉敷においてNE-SW方向で中位段丘層相当の礫層を切る断層を報告している．

2.6 仁保川断層

水野清秀ほか¹²⁾によって命名された断層で，山口市東部の仁保小学校付近において中位段丘構成層と花崗岩とが接する断層露頭が報告されている．さらに，小松原ほか¹¹⁾は，その南延長の低位段丘面上にみられる崖を対象として，ピット調査を2か所で実施したが，断層の存在を確認していない．

2.7 宇部東部断層

この断層は金折⁹⁾に示された断層で，下郷断層の南西延

長上に山地と低位段丘との直線的な地形境界に沿って，NNE-SSW方向で長さ約9.5kmのDランクのリニアメントを判読した．この断層の北東部で行われたトレンチ発掘調査では，完新統を切る断層が確認され，約11,500y.B.P.以降約200y.B.P.以前に1～2回の活動があったことが明らかにされている¹⁷⁾．

3. 構成断層の性状

本研究では，地表踏査によって大原湖断層で1か所，下郷断層で2か所，それぞれ断層露頭を確認した．さらに，大原湖断層，木戸山西方断層，下郷断層を対象として，それぞれ1か所でトレンチ発掘調査を実施した．また，山口盆地に伏在する山口盆地北西縁断層を横断するように，3本のボーリングを掘削した．

表-1 大原湖断層系を構成する断層

断層名	走向	長さ(km)	平均鉛直変位速度(m/千年)	横ずれ変位(m)	最新活動時期	活動間隔	関連文献
大原湖	ENE-WSW	22	—	—	約3,200年前以前		11)
木戸山西方	NE-SW～NNE-SSW	4.5以上	0.01	90	約3,500年前以降	24,000年以上	8)
山口盆地北西縁	ENE-WSW	12	0.075	—	後期更新世以降		12), 13)
吉敷川	N-S	4	—	—	高位段丘堆積物堆積後		12), 15)
下郷	NNE-SSW	9	—	50～100	3,500～4,500年前	21,000年程度	6)
宇部東部	NNE-SSW	11	—	—	11,500年～200年前		17)
仁保川	NE-SW	10	—	—	中位段丘堆積物堆積後		11)

—は値が求まっていない．

表-2 ¹⁴C年代測定結果一覧

Sampling location			Sample No.	Lab.No.	Material	Method	δ ¹³ C(‰)	Δ ¹⁴ C(‰)	¹⁴ C(y.B.P.)
大原湖断層	露頭	Loc.Fo-1	1-1	Beta-202120	腐植層	AMS	-23.4±0.2	-326.9±3.4	3,180±40
	トレンチ	Loc.Te-1	N-1	IAAA-41436	シルト	AMS	-25.36±0.62	-275.0±3.3	2,580±40
			N-2	IAAA-41437	シルト	AMS	-23.11±0.75	-293.3±3.3	2,790±40
木戸山西方断層	トレンチ	Loc.Te-2	W-1	IAAA-41442	崖錐性砂層	AMS	-25.16±0.78	-415.2±3.1	4,310±40
			W-2	IAAA-41440	崖錐性砂層	AMS	-24.95±0.64	-357.6±2.8	3,560±40
			E-1	IAAA-41438	ローム層	AMS	-24.85±0.89	-544.0±2.3	6,310±40
			E-2	IAAA-41439	ローム層	AMS	-24.23±0.89	-380.3±3.1	3,840±40
下郷断層	露頭	Loc.Fo-2	2-1	IAAA-30411	炭化物	AMS	-22.35±2.22	-958.7±0.7	25,590±140
	トレンチ	Loc.Te-3	KG-8	IAAA-31683	腐植層	AMS	-17.95±0.66	-898.1±1.4	18,340±110
			KG-6	IAAA-31681	シルト	AMS	-21.64±1.05	-415.6±3.6	4,320±50
			KG-7	IAAA-31682	腐植質シルト	AMS	-22.06±0.78	-540.7±2.7	6,250±50
			KG-1	IAAA-31676	腐植質シルト	AMS	-24.90±0.599	-268.2±4.0	2,510±40
			KG-2	IAAA-31677	シルト	AMS	-25.10±0.88	-296.8±3.8	2,830±40
			KG-3	IAAA-31678	腐植質シルト	AMS	-26.49±0.74	-341.3±3.6	3,350±40
			KG-5	IAAA-31680	シルト	AMS	-23.90±0.86	-299.8±3.9	2,860±50

既往の文献で確認されている断層露頭を含め、断層露頭の位置とこれまでに実施されたトレンチ発掘およびボーリング調査地点を図-2に示した。表-1には、大原湖断層系を構成する各断層の特徴を示す。さらに、表-2には ^{14}C 年代測定結果の一覧を掲げた。

本研究で得られた成果について、大原湖断層系を構成する断層ごとに、以下に詳しく記載する。

3.1 大原湖断層

この断層上で発見された断層露頭およびトレンチ発掘地点の位置を図-4に示す。

3.1.1 断層露頭

山口市仁保上郷、仁保病院西の砂防ダム工事の基礎掘削に伴って、断層露頭(Loc. Fo-1)が出現した。露頭の位置は、この付近を通過するリニアメント上にあたる(図-4a)。断層露頭の写真とスケッチを図-5に示す。この露頭では、黒色片岩と流紋岩質凝灰岩の境界に断層がみられる。断層面の走向傾斜は $\text{N}75^\circ\text{E}86^\circ\text{SE}$ である。黒色片岩は幅約9 mにわたってカタクレサイト化し、流紋岩質凝灰岩には破砕が認められる。断層を被覆する未固結堆積物の基底面に変位は認められない。未固結堆積物中には、アカホヤ火山灰(約7,300年前)起源の火山ガラスが含まれる。さらに、未固結堆積物の中部から採取された試料において $3,180 \pm 40\text{y.B.P.}$ の ^{14}C 年代が得られた。

図-4 大原湖断層で新たに確認された断層露頭の位置 (a)とトレンチ発掘地点の位置 (b) 鎖線はリニアメントを示す。山口市発行 1:2,500市街図の一部を使用。

図-5 大原湖断層上に位置する断層露頭(Loc.Fo-1)の写真(a)とスケッチ(b)

3.1.2 トレンチ調査

断層露頭(Loc. Fo-1)の調査から、大原湖断層は沖積層あるいは低位段丘に変位を与えていない可能性が指摘された。そこで、断層と後期更新世の地層との関係を検討するため、明瞭なリニアメントが判読された谷の出口に位置し、現河床から10m程度高い位置に扇状地面が広がることから、山口市仁保上郷(Loc. Te-1)をトレンチ掘削地点として選定した(図-4b)。

トレンチは長さ約5 m、幅約3 m、深さ1.8m、壁面傾斜約 60° である。トレンチ東側壁面のスケッチと写真を図-6に示す。

トレンチ壁面では、泥質礫層を覆って砂礫層(土石流堆積物)が分布する。泥質礫層は細礫～小礫の角礫を主体とし、基質は泥を主体とし砂を含む。この地層はほぼ水平な構造を示し、基質中からはアカホヤ火山灰起源の火山ガラスが検出され、 $2,580 \pm 40\text{y.B.P.}$ と $2,790 \pm 40\text{y.B.P.}$ を示す ^{14}C 年代が得られた。

砂礫層は大礫を主体とし、基質は中砂～粗砂からなる。下位の泥質細礫層との境界はほぼ水平である。

3.1.3 活動性評価

断層露頭(Loc. Fo-1)では、断層を覆う未固結堆積物の ^{14}C 年代から、約3,200年前以降の活動はないと判断される。

一方，トレンチ発掘調査の結果，沖積層に変位や変形が認められないことから，このトレンチ発掘範囲内に大原湖断層が通過するとすれば，この断層は少なくとも約2,790年前以降の活動はないものと判断され，上記断層露頭 (Loc. Fo-1)での結果と整合する。

しかしながら，この場所を通過するリニアメントは単な

図-6 大原湖断層を対象とした山口市仁保上郷地点 (Loc. Te-1) で掘削されたトレンチ東側壁面の写真(a)とスケッチ(b)

る線状地形であって断層ではない可能性や，断層の通過位置が異なる可能性も考えられる。

いずれにしても，大原湖断層の最新活動時期は約3,200年前以前であると推定される。

3.2 木戸山西方断層

山口市住吉での住宅地造成中に，南東側の崖錐堆積物と

図-7 木戸山西方断層を対象とした山口市宮野のトレンチ発掘地点 (Loc. Te-2) の位置 鎖線はリニアメントを示す。山口市発行 1:2,500市街図の一部を使用。

図-8 木戸山西方断層宮野地点 (Loc. Te-2) を通過する明瞭なリニアメント ステレオペアの空中写真 (国土地理院1975年撮映C CG-75 C11-62, 63の一部を使用)。矢印をつなぐ位置にリニアメントが通過する。星印はトレンチ掘削地点の位置を示す。

北西側の貫入岩および泥質片岩とを境界する断層露頭が報告され、すでに述べたように、その最新活動時期は7,790±40年前以降であるとされている⁸⁾。この露頭の北東約100mの位置でトレンチ発掘調査を実施した。トレンチ発掘調査と玉村・金折⁹⁾で報告された露頭の位置を図-7に示す。

3.2.1 トレンチ調査

山口市宮野地点(Loc. Te-2)は、3本の尾根を系統的に約90m右横ずれ屈曲させるリニアメントの直下に位置する(図-7)。図-8にはトレンチ発掘地点周辺のステレオペアの空中写真を示した。

トレンチは長さ約14m、幅約3m、深さ約2m、壁面傾斜約60°である(図-9a, b)。図-9cにトレンチ壁面全域のスケッチを示す。断層周辺を拡大して、トレンチ西側壁面と東側壁面のスケッチと写真をそれぞれ図-10, 11に示す。

トレンチ壁面には2条の断層がみられる。西側壁面では、北側の断層は軟質なカタクレサイト化した泥質片岩と軟質化した大礫層とを境界する。その上方延長は軟質化した

大礫層と大礫層との境界に連続し、さらに崖錐性砂層と大礫層との境界につながる。南側の断層は軟質化した大礫層と大礫層、砂礫層とを境界するが、崖錐性砂層に覆われる(図-10)。

一方、東側壁面では、北側の断層は軟質なカタクレサイト化した泥質片岩と変形を受けて基質が軟質化した大礫層とを境界しており、その上方延長は軟質化した大礫層と大礫層との境界に連続する。南側の断層は軟質化した大礫層と大礫層、砂礫層、ローム層とを境界する(図-11)。

北側の断層面の走向はN50°Eで、傾斜は70~80°Nを示す。断層面に沿って幅約10cm間の泥質片岩は軟質なカタクレサイトとなっており、流紋岩質凝灰岩も幅5~20cmはカタクレサイト化している。また、2条の断層間に分布する軟質化した大礫層中の礫は長軸が断層と平行なものが多く、断層による変形を受けていると判断される。

崖錐性砂層中~下部の基質から始良Tn火山灰起源の火山ガラスが検出された。この地層の上部から採取した試料

図-9 宮野地点(Loc. Te-2)におけるトレンチとボーリング調査結果 (a)トレンチの平面図とボーリングの掘削位置。 (b)トレンチの中心線に投影した地質概略断面図。 (c)全体の壁面スケッチ。右側の図はトレンチ壁面の模式柱状図と年代測定用試料の採取位置との関係を示す。

図-10 トレンチ西側壁面の断層周辺の写真(a)とスケッチ(b)
木戸山西方断層宮野地点(Loc. Te-2).

図-11 トレンチ東側壁面の断層周辺の写真(a)とスケッチ(b)
ローム層中からテフラ分析用の試料を採取した，木戸山西方断層宮野地点(Loc. Te-2).

ローム

図-12 ローム層で採取された試料のテフラ分析結果
木戸山西方断層宮野地点(Loc. Te-2)のトレンチ東側壁面，試料採取位置は図-11に示した。

から、 $4,310 \pm 40$ y.B.P.と $3,560 \pm 40$ y.B.P.を示す ^{14}C 年代が得られた。

東側壁面の砂礫層を覆うローム層を対象として、上下方向に10cmごとに区切って試料を採取し、火山灰分析を行った。その結果を図-12に示す。試料番号5と6の層準で、始良Tn火山灰に由来する火山ガラスの含有量が高いことから、この層準が始良Tn火山灰の降下層準に対比されると判断した。一方、最上部ではアカホヤ火山灰起源の火山ガラスが検出された。ローム層下部で採取された試料から $6,310 \pm 40$ y.B.P.、最上部から採取した試料から $3,840 \pm 40$ y.B.P.を示す ^{14}C 年代が得られた。ローム層下部の ^{14}C 年代はテフラから推定されるより若い年代を示すものの、アカホヤ火山灰降灰後の年代に矛盾はない。

したがって、崖錐性砂層とローム層とは、同一層準の埋没土壌層を挟在すること、 ^{14}C 年代測定結果および火山灰分析結果から、同時異相であると判断される。

3.2.2 活動性評価

東側壁面において南側の断層はローム層を、西側壁面において北側の断層は崖錐性砂層を変位させていることから、最新活動時期は $3,560$ y.B.P.以降であると推定される。

そのひとつ前の活動については、西側壁面において南側の断層が崖錐性砂層に覆われるので、砂礫層(低位段丘堆積物)堆積後であると判断される。砂礫層は東側壁面でローム層に覆われることから、砂礫層の堆積年代は少なくとも始良Tn火山灰(約28,000年前)降下以前であると判断される。したがって、活動間隔は2.4万年以上となる。また、南側と北側の断層間に認められる礫層は著しい変形を受け、基質が軟質化しているので、下位の礫層は複数回の活動を被っていると推定される。

変位量については、トレンチ内では断層の両側で明確に対比できる地層がなく、見積もることができなかった。このため、トレンチ壁から約2m離れ、断層の南側約2mの位置でボーリング掘削を実施した結果、下位の礫層(中位

段丘堆積物)基底面が深度約3mにあることが確認された(図-9a, b参照)。断層の北側では基底面がトレンチ底に出現することから、下位の礫層(中位段丘堆積物)基底面の見かけ鉛直落差は1.3mとなる。仮に中位段丘堆積物の年代を15万年前とすると、鉛直の平均変位速度として約0.01m/千年(1.3m/150千年)が得られる。

3.3 山口盆地北西縁断層

水野清秀ほか^{12), 16)}は、山口盆地北西縁断層の存在および位置を確認し、山口盆地の地下構造を解明するために、反

図-13 山口盆地内における反射法地震探査測線とボーリング調査位置 山口市発行 1:2,500市街図の一部を使用。

図-14 反射法地震探査結果とボーリング調査結果から推定した地質断面 断面の位置は図-13に示した。

射法地震探査(測線長750m)とボーリング調査(産総研ボーリング孔、掘進長82m)を実施している。本研究では、さらに反射法地震探査測線の南東延長上で3本のボーリング、No.1(掘進長46m)、No.2(掘進長100m)、No.3(掘進長38m)を掘削した。

3.3.1 ボーリング調査

反射法地震探査測線とボーリングの掘削位置を図-13に示す。これらの調査結果を総合して作成した地質断面図を図-14に示す。

この断面では、基盤の結晶片岩を覆って下位から上位の順に、下部更新統に対比される礫混じり砂質シルト層、上部更新統と推定されるくさり礫を含んだ礫層、完新統の礫層が堆積する。さらに、この断面図には3本の断層が推定され、そのうち落差の最も大きい断層(F3)はボーリングNo.2とボーリングNo.3の間に推定される。この断層の北西側の基盤深度は約90mであり、被覆層は緩やかに南東方向へ傾斜している。断層の南東側の第四系はほぼ水平に堆積しており、基盤深度は約15mである。断層を挟んで基盤深度に約75mの食い違いが認められることから、この断層が山口盆地北西縁断層に相当すると考えられる。

3.3.2 活動性評価

図-14中に下部更新統として図示する地層の堆積年代はメタセコイア化石を含むことから¹³⁾、前期更新統～中期更新統前半とされており、おおむね100万年前ごろの堆積物であると推測される。この年代を用いると、山口盆地北西縁断層の鉛直変位速度は0.075m/千年(75m/100万年)であると見積もられる。

3.4 下郷断層

この断層に伴う断層露頭は、小郡町長谷西(Loc. Fo-2)および山口市嘉川稽古屋(Loc. Fo-3)でそれぞれ発見された。さらに、断層露頭Loc. Fo-3の南西約100mの地点でトレンチ発掘調査を実施した。図-15に断層露頭とトレンチ発掘地点の位置を示す。

3.4.1 断層露頭

発見された露頭の性状を以下に詳しく述べる。

(1) 小郡町長谷西(Loc. Fo-2)

長谷西の北西300mの小沢の河床には、南東側の砂礫層と北西側の砂岩(関門層群)とを境界する断層がみられる(図-16)。砂岩(関門層群)を不整合に覆う砂礫層は、最低位の段丘面を形成している。本層は、基質が粗砂の下部層と細砂の上部層とに区分される。

断層露頭の写真を図-16a, bに示す。この露頭では、砂礫層下部と砂岩との境界にみられる断層面は不明瞭であるのに対し、砂岩内では明瞭で、おおむね走向N30°E、傾斜はほぼ鉛直である(図-16c)。断層沿いには、砂礫層下部と砂岩の破碎部とが入り混じったゾーンが確認され、そのゾーンは砂礫層上部に覆われる。このことから、砂礫層上部堆

積前、下部の堆積後に断層活動があったと推定される。

この断層面に沿って、小礫からなる砂礫層上部の基底には、見かけ上鉛直変位はほとんど認められないが、礫の長軸が縦に配列しており、砂礫層上部の堆積後にも断層活動があった可能性が高い。断層は見かけ上北西上りを示すが、低位段丘堆積物下部が北西側には確認されないことから、右横ずれを主体としていると推定される。

この露頭において、変位を受けている破碎部と混交した砂礫層下部内から25,590±140y.B.P.の¹⁴C年代値が得られた。

図-15 下郷断層上に位置する断層露頭とトレンチ発掘地点周辺の地形図 山口市発行1:2,500市街図の一部を使用。(a)小郡町長谷西の断層露頭(Loc. Fo-2)周辺。(b)山口市嘉川稽古屋の断層露頭(Loc. Fo-3)とトレンチ発掘地点(Loc. Te-3)周辺。破線はリニアメントの通過位置を示す。

図-16 下郷断層上に位置する断層露頭(Loc. Fo-2)の写真(a,b), スケッチ(c), および断層露頭上部の平坦面上の地質分布を示す概略図(d) (b)は(a)の枠内を拡大したものである。(c)のスケッチ中央部の破砕部に沿って礫の直立が認められる。

この年代は、最低位の段丘面を構成する地層の年代として妥当である。また、下部層と上部層では固結度や層相に差異はみられない。これらのことから、本層の下部層と上部層は一連の堆積物であり、下部層と上部層の堆積時期には大きな違いはないと判断される。

上述したように、この露頭では低位段丘堆積物を構成する砂礫層上部と下部の堆積間に断層活動が起きたと判断されることから、断層活動は低位段丘堆積物の堆積中の短期間に制約され、その活動時期は約25,000年前であると推定される。

断層露頭では両側に砂礫層上部が分布している。露頭面から約2m奥で掘削したピットでは、断層の南東側と北西側の両方で砂礫層上部は分布していない。下郷断層は右横ずれを伴うので、断層の南東側では露頭面から奥に露頭と同じ砂礫層上部が存在するはずである。上記平坦面の地表を掘削したところ、直接、基盤岩(関門層群)が確認された(図-16d)。このことは、基盤岩と砂礫層との境界(低位段丘当時の川の崖)が露頭面から2m以内にあることを示しており、低位段丘堆積物上部の横ずれ量は2m以内である

図-17 下郷断層上に位置する断層露頭(Loc. Fo-3)の写真(a)とスケッチ(b)

と判断される。

(2) 山口市嘉川稽古屋(Loc. Fo-3)

この地区を流れる干見折川河床には、礫岩(関門層群)内に断層が認められる(図-17参照)。この露頭では図-17に示すように、幅約40cm以上にわたって礫岩が角礫化しており、断層面沿いに幅2~4cmの軟質の断層ガウジが発達する。断層の走向はほぼN30°Eで傾斜はほぼ垂直である。この断層を覆って分布する沖積層の基底面に変位はみられない。さらに、断層と健岩との境界付近にみられる沖積層の基底面の高低差は、断層ガウジが沖積層に覆われていることから、断層変位によるものではなく、削り込みによるものであると判断される。

3.4.2 トレンチ調査

山口市嘉川稽古屋地点(Loc. Te-3)は、上述したLoc. Fo-3の断層露頭の存在と、低位段丘面と沖積面との境界をなす低断層崖の存在から、断層が存在する確実性が高く、最新活動時期が検討できると考えて、トレンチ発掘地点を選定した(図-15b参照)。

トレンチは長さ約8m、幅約4.5m、深さ2.5m、壁面傾斜約60°である。さらに、トレンチを埋め戻す際に礫層中の断層を追跡するため、トレンチ南端の下部を幅1m、深さ

図-18 下郷断層嘉川稽古屋地点(Loc. Te-3)のトレンチ壁面スケッチと写真 (a)トレンチ壁面全面のスケッチ。(b)東側壁面の断層周辺のスケッチ。(c)東側壁面の断層周辺の写真。bとほぼ同じ範囲である。(d)北側断層周辺の写真。

50cmほど掘り下げた。トレンチ壁面のスケッチを図-18aに示す。

トレンチ壁面の基盤内には、明瞭な断層面を有する断層が2条ほど認められる。

北側の断層は関門層群の破碎部と健岩とを境界し、断層面は明瞭で平板状を呈する。断層面の走向傾斜はN40°E 88°NWで、ほぼ水平な条線が認められる(図-18d)。断層面に沿って幅約10cm間は軟質なガウジとなっている。こ

の断層は西面では関門層群上面の段差にほぼ対応しているのに対して、東面では関門層群上面に変位は与えていない。

一方、南側の断層は幅約30cmの軟質なガウジを伴い、断層面は明瞭で平板状である。断層面の走向傾斜はN25°E 80°SEを示す。

この断層は基盤上面に約15cmの鉛直変位を与えている。下部砂礫層では、断層は礫の直立したゾーンや砂層の断続として追跡できる(図-18b, c)。しかしながら、上部砂礫層基底の礫の配列や、上部砂礫層中の薄い砂層に変位および変形は認められない。

礫混じりシルト層から採取した試料で18,340±110y.B.P.の¹⁴C年代が得られた。シルト質礫層最下部の基質からは始良Tn火山灰起源の火山ガラスのみが検出され、アカホヤ火山灰起源の火山ガラスは検出されていない。これに対して、下部砂礫層の基質からはアカホヤ火山灰起源の新鮮な火山ガラスが検出された。下部砂礫層から採取した試料からは、4,320±50～6,250±50y.B.P.の¹⁴C年代が得られた。さらに、上部砂礫層下部の基質からもアカホヤ火山灰起源の新鮮な火山ガラスが検出された。上部砂礫層から採取した試料は、2,510±40～3,350±40y.B.P.の¹⁴C年代を示す。

3.4.3 活動性評価

トレンチ南側の断層が下部砂礫層を変位および変形させ、さらに上部砂礫層に覆われることから、最新活動時期は4,320y.B.P以降、3,350y.B.P以前であると判断される。

断層露頭Loc. Fo-2において約25,000年前に活動したと推定されることから、活動間隔は約2.1万年(25,000年～4,000年)と見積もられる。

一方、北側の断層は関門層群中にあり、それを覆う第四系に変位を与えていないので、イベントを認定しなかった。

4. 構成断層の関連性

大原湖断層系は雁行状に配列する7つの活断層から構成される(図-2参照)。大原湖断層系の主部はENE-WNW～NNE-SSW走向を示し、北から大原湖断層、山口盆地北西縁断層、下郷断層、宇部東部断層がほぼ一線に並んでいる。大原湖断層南西部からは仁保川断層が南に分岐する。山口盆地北西縁断層からは、北ないし北東へ向かって吉敷川断層と木戸山西方断層が分岐する。このうち、山口盆地北西縁断層は、地質断層である榎野川断層の位置にはほぼ一致する。榎野川断層に沿って、環状岩脈に約2.6kmの左横ずれオフセットが認められる¹⁴⁾。

大原湖断層には少なくとも3,200年前以降の活動は認められない。一方、木戸山西方断層と下郷断層については、約3,500年前にはほぼ同時に活動した可能性もある。その活動間隔は約2.1万～2.4万年以上であると推定される。平均鉛直変位速度は断層ごとに異なるが、0.01～0.08m/千年の範囲にある(表-1参照)。

5. ま と め

本研究では、大原湖断層系を構成する断層系のうち、大原湖断層上で1か所、下郷断層上で2か所、それぞれ断層露頭を発見した。さらに、大原湖断層と木戸山西方断層、下郷断層を対象としてそれぞれ1か所でトレンチ発掘調査を実施した。また、山口盆地に伏在する山口盆地北西縁断層の位置を確認するために、3本のボーリングを掘削した。

以下に本研究で得られた結果を簡潔に述べる。

(1)大原湖断層上で発見された断層露頭(Loc. Fo-1)では、断層を覆う未固結堆積物の¹⁴C年代から、約3,200年前以降の活動はないと判断された。一方、仁保上郷地点(Loc. Te-1)におけるトレンチ発掘調査の結果、沖積層に変位や変形が認められない。このトレンチ発掘範囲内に大原湖断層が通過するとすれば、少なくとも約2,790年前以降の活動はないものと判断され、上記断層露頭での結果と整合することになり、大原湖断層の最新活動時期は約3,200年前以前であると推定された。

(2)木戸山西方断層上の山口宮野地点(Loc. Te-2)で実施されたトレンチ発掘調査の結果にもとづくと、西側壁面において北側の断層は崖錐性砂層を変位させていることから、最新活動時期は3,560y.B.P以降であると推定された。西側壁面に現れた南側の断層は崖錐性砂層に覆われる。この砂礫層は東側壁面で始良Tn火山灰起源のガラスを含むローム層に覆われることから、その年代は少なくとも始良Tn火山灰(約28,000年前)降下以前であり、活動間隔は2.4万年以上と推定された。また、南側と北側の断層間に認められる礫層は著しく変形し基質が軟質化しているため、複数回の活動があったと推定される。さらに、下位の礫層(中位段丘堆積物)基底面の見かけ鉛直落差は1.3mと見積もられた。仮に中位段丘堆積物の年代を15万年前とすると、鉛直の平均変位速度として約0.01m/千年(1.3m/150千年)となる。

(3)山口盆地でのボーリング調査結果から、基盤深度に約75mの食い違いを与える断層の存在が推定され、この断層が山口盆地北西縁断層に相当すると考えた。メタセコイア化石を含む下部更新統が変位していることから、山口盆地北西縁断層の平均鉛直変位速度は0.075m/千年(75m/100万年)であると見積もった。

(4)下郷断層については、山口市嘉川稽古屋地点(Loc. Te-3)で掘削されたトレンチで、南側の断層が下部砂礫層を変位および変形させ、さらに上部砂礫層に覆われることから、最新活動時期は4,320y.B.P以降、3,350y.B.P以前であると判断された。このトレンチでは、ひとつ前の活動を示す直接的な証拠は得られなかった。しかしながら、断層露頭Loc. Fo-2において約25,000年前に活動があったと推定されることから、活動間隔は約2.1万年(25,000年-4,000年)

と見積もられた。また、小郡町長谷西(Loc. Fo-2)の断層露頭の上に位置する平坦面上での地質分布から、低位段丘堆積物上部の横ずれ量は2m以内であると判断された。

(5)大原湖断層には少なくとも3,200年前以降の活動は認められない。一方、木戸山西方断層と下郷断層については、約3,500年前にほぼ同時に活動した可能性もある。その活動間隔は約2.1万~2.4万年以上であると推定される。平均鉛直変位速度は断層ごとに異なるが、0.01~0.08m/千年の範囲にある。

6. お わ り に

以上に、大原湖断層系を構成する活断層の分布、性状および活動性について報告してきた。このような低活動度の活断層は、地震調査研究推進本部が実施してきている全国98活断層調査および追加の11断層の調査対象とはされていない。低活動度の断層は全国各地に存在していると考えられるため、今後、活動性評価や地震発生予測の対象断層として、調査を進めていく必要があると考えられる。大原湖断層系の存在は、この地域の地震に対する地域防災対策上、大変に重要となる。山口県地域において地震被害を軽減する目的で、この断層系の活動を考慮した地震被害想定を行うとともに、被害予測図(ハザードマップ)を作成する必要がある。

謝辞 本研究を進めるにあたり、(財)電力中央研究所井上大栄研究参事と宮腰勝義(独)産業技術総合研究所 栄吉研究コーディネーターには、貴重な助言をいただいた。(独)産業技術総合研究所水野清秀主任研究員、小松原 琢主任研究員、遠田晋次主任研究員には現地調査でご議論いただくとともに、貴重なデータの提供を受けた。フランスFranche-Comte大学Fabbri教授と山口大学大学院理学研究科の井上温史君と森岡達也君には、現地調査でお世話になった。とくに、森岡君には未公表資料の提供をお願いした。山口県総務部消防防災課およびトレンチ発掘地点の地主の方々には、調査の便宜を図っていただいた。ここに記して、以上の方々に謝意を表します。この研究の一部は(独)法人原子力安全基盤機構の原子力安全基盤調査提案公募研究の一環として実施された。

引 用 文 献

- 1) 井上大栄・宮腰勝義・上田圭一・宮脇明子・松浦一樹(2002): 2000年鳥取県西部地震震源域の活断層調査, 地震第2輯, Vol.54, pp.557-573.
- 2) 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, 437p.
- 3) 西村祐二郎・今岡照喜・宇多村 譲・亀谷 淳編(1995): 新編山口県地質図, 山口地学会.

- 4) KANAORI, Y.(1997): Seismic risk assessment of active fault systems in the western Chugoku district of south-west Japan. *Jour. Natl. Disas. Sci.*, Vol.9, pp.9-29.
- 5) 金折裕司(1998): 地震モーメントの平均解放速度に基づく内陸地震の危険度評価—中国地方西部の活断層系からの例—, 応用地質, Vol.39, pp.287-297.
- 6) 中田 高・今泉俊之編(2002): 活断層詳細デジタルマップ, 東京大学出版会, 60p.
- 7) 200万分の1活断層図編纂ワーキンググループ(2000): 「200万分の1日本列島活断層図」—過去数十万年間の断層活動の特徴—, 活断層研究, No.19, p.3-12添付図1葉.
- 8) 玉村修司・金折裕司(2001): 山口盆地北縁部を構成するリニアメントと活断層, 日本応用地質学会研究発表会講演論文集, pp.19-22.
- 9) 金折裕司(2004): 地質断層の再活動性—大原湖—弥敷山西断層系の例, 日本応用地質学会研究発表会講演論文集, pp.11-14.
- 10) 高橋英太郎(1978): 山口市内を通る榎野川構造線の位置, 山口県の自然4, No.7, pp.26-27.
- 11) 小松原 琢・水野清秀・下川浩一・田中竹延・柳田 誠・松本宏彰・小笠原 洋・松山紀香(2004): 山口県大原湖断層帯東部, 大原湖断層および仁保川断層のトレンチ調査, 活断層・古地震研究報告, No.4, pp.209-219.
- 12) 水野清秀・下川浩一・佃 栄吉・小松原 琢・松山紀香・新見 健・森野道夫(2003): 山口市付近をとる活断層とその活動性調査, 日本地震学会講演予稿集2003年度秋季大会, P042.
- 13) 水野清秀・小松原 琢・下川浩一・金折裕司・森野道夫・三輪敦志・信岡 大(2004): 山口盆地地下の伏在断層調査, 活断層・古地震研究報告, No.4, pp.221-230.
- 14) 武田賢治・今岡照喜(1999): 山口地域の白亜紀環状岩脈とコールドロン, 地質学論集, No.53, p.199-219.
- 15) 水野篤行(1989): 1987年11月18日山口地震: 吉敷川地域における被害調査結果とネオテクトニクスに関する問題, 山口地学会誌, No.23, pp.10-18.
- 16) 水野清秀・下川浩一・佃 栄吉・小松原 琢・新見 健・井上 基・木下博久・松山紀香・金折裕司(2003): 山口県大原湖断層帯の活動性に関する地質調査(序報), 活断層・古地震研究報告, No.3, pp.175-184.
- 17) (独)産業技術総合研究所活断層センター・復建調査設計(株)(2005): 大原湖断層帯宇部東部断層活動履歴報告書, 復建調査設計(株), 23p.

(2005年3月30日受付, 2006年3月13日受理)

Jour. Japan Soc. Eng. Geol., Vol.47, No.4, pp.218-231, 2006

Characteristics of the Lake Ohara Active Fault System in Central Part of Yamaguchi Prefecture, Southwest Japan, and its Fault Activity

Yuji KANAORI, Takenobu TANAKA, Makoto YANAGIDA,
and Research Group of Yamaguchi University for Fault Tectonics

Abstract

This paper presents the distribution, characteristics, and activity of faults which constitute the Lake Ohara fault system, by the combination of new fault-outcrop investigations, trench excavation survey, and borehole drillings, with previous studies for the fault system. The fault system is composed of 7 active faults; the Lake Ohara, Western Mt. Kido, North-western Yamaguchi Basin-Marginal, R. Yoshiki, Shimogo, Eastern Ube, and R. Niho faults. In the first part of this report, based on a review of previous studies, geomorphologic and geologic data about the fault system and constituent active faults are compiled. Second, results of the investigation performed in this study are described in detail. It is pointed out that no movement has occurred on the Lake Ohara fault in the past 3,200 years. In contrast, the Western Mt. Kido fault might move approximately 3,500 years ago, simultaneously with the Shimogo fault. It is supposed that these two active faults move at a recurrence interval of $\sim 21,000$ to $>24,000$ years. Although each constituent fault has a different average slip-rate of a vertical component, it ranges from 0.01 to 0.08 m/ 10^3 years.

Key words : active fault system, trench excavation, fault outcrop, fault activity