

湖北山地断層帯の長期評価について

平成15年6月11日
地震調査研究推進本部
地震調査委員会

地震調査研究推進本部は、「地震調査研究の推進について ―地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策―」（平成11年4月23日）を決定し、この中において、「全国を概観した地震動予測地図」の作成を当面推進すべき地震調査研究の主要な課題とし、また「陸域の浅い地震、あるいは、海溝型地震の発生可能性の長期的な確率評価を行う」とした。

地震調査委員会では、この決定を踏まえつつ、これまでに陸域の活断層として、34断層帯の長期評価を行い公表した。

今回、引き続き、湖北山地断層帯について現在までの研究成果及び関連資料を用いて評価し、とりまとめた。

評価に用いられたデータは量及び質において一様でなく、そのためにそれぞれの評価の結果についても精粗がある。このため、評価結果の各項目について信頼度を付与している。

湖北山地断層帯の評価

湖北山地断層帯は、敦賀平野東部から琵琶湖北方の野坂山地（湖北山地ともいう）にかけて分布する活断層帯である。ここでは、平成8－10年度に地質調査所（現：産業技術総合研究所）によって行われた調査をはじめ、これまでに行われた調査研究成果に基づいて、この断層帯の諸特性を次のように評価した。

1. 湖北山地断層帯の位置及び形状

湖北山地断層帯は北西部と南東部に二つに区分される。

断層帯北西部は、福井県敦賀市から滋賀県高島郡今津町に至る断層帯である。長さは約25kmで、概ね北東－南西方向に延びており、右横ずれかつ南東側が相対的に隆起する逆断層である。この付近では野坂・集福寺断層帯が概ね北西－南東方向に延びており、湖北山地断層帯北西部はこれを野坂断層帯と集福寺断層帯に二分している（図1、2、表1）。

断層帯南東部は、敦賀市南部の滋賀県境付近から今津町に至る断層帯である。長さは約16kmで、概ね北東－南西方向にいくつかの断層がほぼ並走して延びており、右横ずれを主体とする断層である（図1、2、表3）。

2. 断層帯の過去の活動

（1）断層帯北西部

断層帯北西部の最新活動時期は11－14世紀と推定され、その平均的な活動間隔は約3千－4千年であった可能性がある（表1）。

（2）断層帯南東部

断層帯南東部の最新活動時期は15－17世紀と推定され、その平均的な活動間隔は概ね7千年程度であった可能性がある（表3）。

3. 断層帯の将来の活動

（1）断層帯北西部

断層帯北西部では、全体が一つの区間として活動し、マグニチュード7.2程度の地震が発生すると推定される。この場合、2m程度の右横ずれと断層の南東側が北西側に対して高まる段差が生じる可能性がある（表1）。本断層帯の最新活動後の経過率及び将来このような地震が発生する長期確率は、表2に示すとおりである。

（2）断層帯南東部

断層帯南東部では、全体が一つの区間として活動し、マグニチュード6.8程度の地震が発生すると推定される（表3）。本断層帯の最新活動後の経過率及び将来このような地震が発生する長期確率は、表4に示すとおりである。

4. 今後に向けて

断層帯北西部のうち、敦賀平野東縁付近の断層については、断層が存在しない可能性も指摘されている。また、本断層帯北西部では平均活動間隔が精度よく求められていない。このため、断層帯北西部全体において、活動区間や平均的なずれの速度及び1回のずれの量など、過去の活動に関する精度のよい資料を得る必要がある。

断層帯南東部では、平均活動間隔が精度よく求められていない。また、過去の活動に関する資料が特定の断層でのみ求められており、他の断層については資料がない。このため、過去の活動に関する資料をさらに得る必要がある。

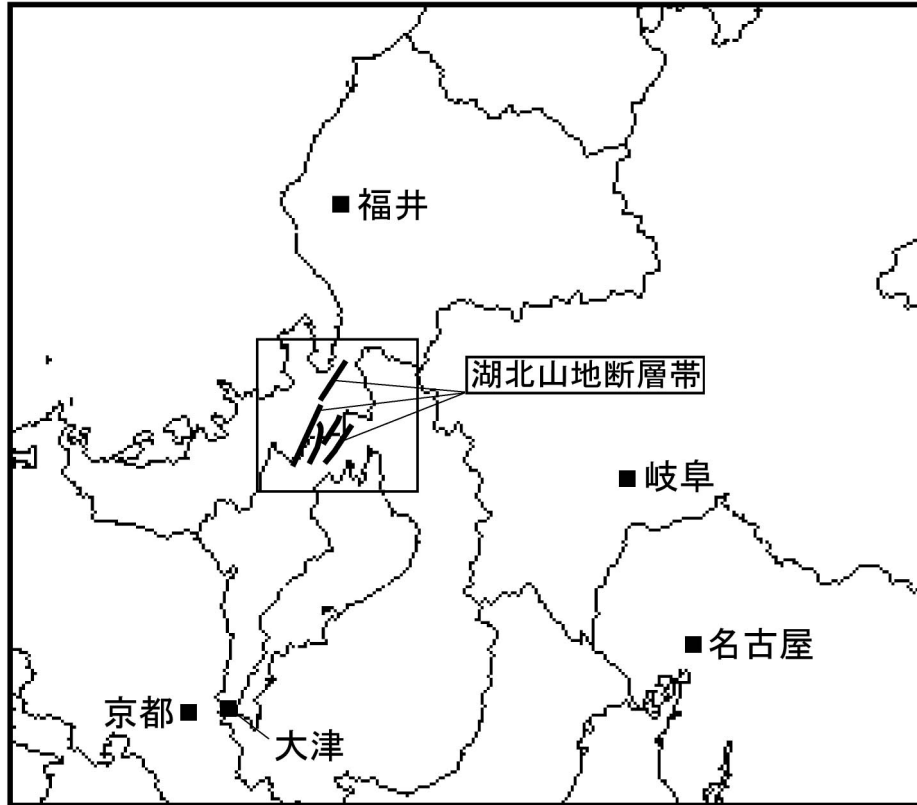


図 1 - 1 湖北山地断層帯の概略位置図
(長方形は図 2 の範囲)

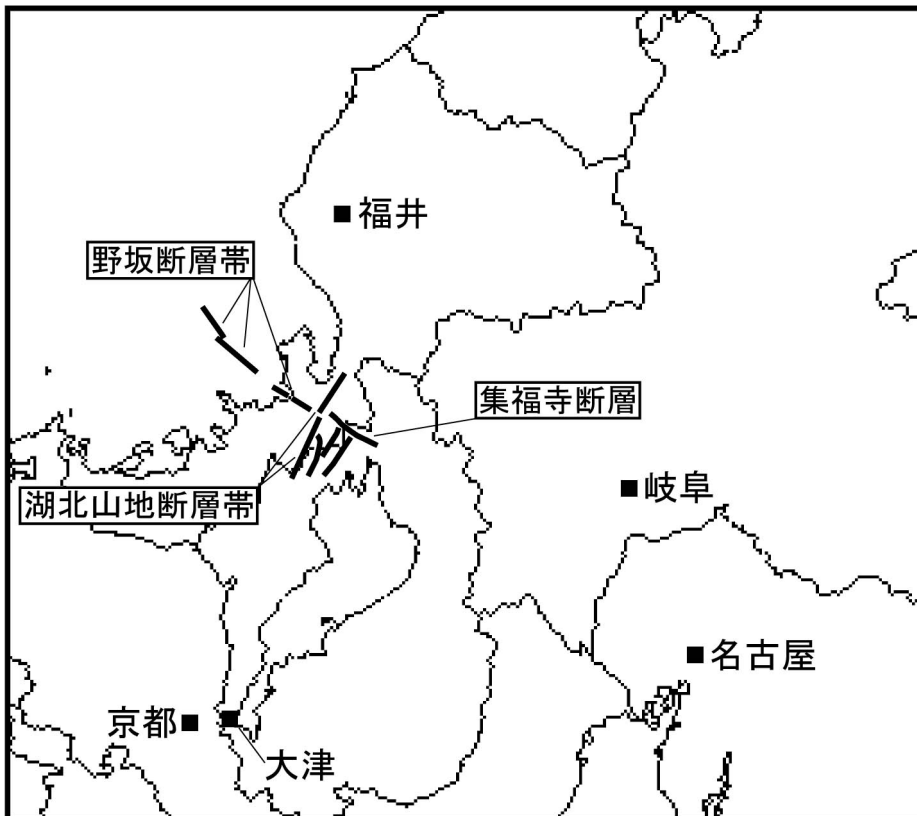


図 1 - 2 湖北山地断層帯と野坂・集福寺断層帯の位置関係概略位置図



図2 湖北山地断層帯の活断層位置と主な調査地点

1 : 池の谷地点 2 : 乗鞍岳北方地点

● : 断層帯の北東端と南西端

活断層の位置は文献2に基づく。

基図は国土地理院発行数値地図200000「岐阜」及び「宮津」を使用。

表 1 湖北山地断層帯北西部の特性

項目	特 性	信頼度 (注 3)	根 拠 (注 4)
1. 断層帯の位置・形状			
(1) 湖北山地断層帯北西部を構成する断層	敦賀断層、深山寺断層、三国山北方断層、赤坂山西方断層		文献 2 による。
(2) 断層帯の位置・形状	<p>地表における断層帯の位置・形状</p> <p>断層帯の位置 (北東端) 北緯 35° 40′ 東経 136° 7′ (南西端) 北緯 35° 29′ 東経 135° 59′ 長さ 約 25km</p> <p>地下における断層帯の位置・形状 長さ及び上端の位置 地表での長さ・位置と同じ</p> <p>上端の深さ 0 km</p> <p>一般走向 N30° E</p> <p>傾斜 高角、南東傾斜 (地表付近)</p> <p>幅 約 15km</p>	○ ○ ○ ○ ○ △	<p>文献 2 による。数値は図 2 から計測。形状は図 2 を参照。</p> <p>上端の深さが 0 km であることから推定。</p> <p>一般走向は断層帯の北西端と南東端を直線で結んだ方向 (図 2 参照)。</p> <p>傾斜は、トレンチや断層露頭で現れた傾斜から推定。</p> <p>幅は、断層面の傾斜と地震発生層の下限の深さとから推定。</p>
(3) 断層のずれの向きと種類	右横ずれかつ南東側隆起の逆断層	◎	文献 4 などによる。
2. 断層帯の過去の活動			
(1) 平均的なずれの速度	0.5m/千年程度 (上下成分)	○	文献 4 など示された資料から推定。
(2) 過去の活動時期	活動 1 (最新活動時期) : 11-14 世紀	○	文献 4 に示された資料から推定。

(3) 1回のずれの量と平均活動間隔	1回のずれの量：約2m（右横ずれ成分） 約1.5－2m（上下成分） 平均活動間隔 約3千－4千年	△ △ △	上下成分は文献4による。横ずれ成分は断層の長さから推定。 平均的なずれの速度（上下成分）と1回のずれの量（上下成分）から推定。
(4) 過去の活動区間	断層帯全体で1区間	○	断層の地表形態から推定。
3. 断層帯の将来の活動			
(1) 将来の活動区間及び地震の規模	活動区間：断層帯全体で1区間 地震の規模：マグニチュード7.2程度 ずれの量：約2m（右横ずれ成分） 約1.5－2m（上下成分）	○ ○ △ △	断層の地表形態から推定。 断層の長さから推定。 断層の長さから推定。 文献4による。

表2 湖北山地断層帯北西部の将来の地震発生確率等

項目	将来の地震発生確率等（注5）	信頼度（注6）	備考
地震後経過率（注7）	0.2－0.3		
今後30年以内の地震発生確率	ほぼ0%	b	発生確率及び集積確率は文献1による。
今後50年以内の地震発生確率	ほぼ0%		
今後100年以内の地震発生確率	ほぼ0%		
今後300年以内の地震発生確率	ほぼ0%－0.02%		
集積確率（注8）	ほぼ0%		

表3 湖北山地断層帯南東部の特性

項目	特 性	信頼度 (注3)	根拠 (注4)
1. 断層帯の位置・形状			
(2) 湖北山地断層帯北西部を構成する断層	駄口（だぐち）断層、路原（ちはら）断層、在原（ありはら）断層、赤坂山東方断層、マキノ断層		文献2による。
(2) 断層帯の位置・形状	<p>地表における断層帯の位置・形状</p> <p>断層帯の位置 (北東端) 北緯 35° 35′ 東経 136° 7′ (南西端) 北緯 35° 28′ 東経 136° 0′ 長さ 約 16km</p> <p>地下における断層帯の位置・形状 長さ及び上端の位置 地表での長さ・位置と同じ</p> <p>上端の深さ 0 km</p> <p>一般走向 N40° E</p> <p>傾斜 ほぼ垂直（地表付近）</p> <p>幅 約 15km</p>	<p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>◎</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>△</p>	<p>文献2による。数値は図2から計測。形状は図2を参照。</p> <p>上端の深さが0 kmであることから推定。</p> <p>一般走向は断層帯の北東端と南西端を直線で結んだ方向（図2参照）。</p> <p>傾斜は、トレンチや断層露頭で現れた傾斜から推定。</p> <p>幅は、断層面の傾斜と地震発生層の下限の深さから推定。</p>
(3) 断層のずれの向きと種類	右横ずれ断層 (一部で北西側隆起の上下成分を伴う)	◎	文献5などによる。
2. 断層帯の過去の活動			
(1) 平均的なずれの速度	0.15m/千年程度（駄口断層の上下成分） 右横ずれ成分は不明	○	文献5などに示された資料から推定。
(2) 過去の活動時期	活動1（最新活動）：15-17世紀 先行する活動：約6千-8千年前頃	○ △	文献5に示された資料から推定。

(3) 1回のずれの量と平均活動間隔	1回のずれの量：約1m（上下成分） 平均活動間隔 概ね7千年程度	○ △	文献5による。 平均的なずれの速度（上下成分）と1回のずれの量（上下成分）から推定。
(4) 過去の活動区間	断層帯全体で1区間	○	断層の地表形態から推定。
3. 断層帯の将来の活動			
(1) 将来の活動区間及び地震の規模	活動区間：断層帯全体で1区間 地震の規模：マグニチュード6.8程度 ずれの量：約1m（上下成分）	○ ○ ○	断層の地表形態から推定。 断層の長さから推定。 過去の活動から推定。

表4 湖北山地断層帯南東部の将来の地震発生確率等

項目	将来の地震発生確率等 (注5)	信頼度 (注6)	備考
地震後経過率（注7）	0.04 - 0.09		
今後30年以内の地震発生確率	ほぼ0%	b	発生確率及び集積確率は文献1による。
今後50年以内の地震発生確率	ほぼ0%		
今後100年以内の地震発生確率	ほぼ0%		
今後300年以内の地震発生確率	ほぼ0%		
集積確率（注8）	ほぼ0%		

注1：我が国の陸域及び沿岸域の主要な98の活断層帯のうち、2001年4月時点で調査結果が公表されているものについて、その資料を用いて今後30年間に地震が発生する確率を試算すると概ね以下になると推定される。

98断層帯のうち約半数の断層帯：30年確率の最大値が0.1%未満

98断層帯のうち約1/4の断層帯：30年確率の最大値が0.1%以上－3%未満

98断層帯のうち約1/4の断層帯：30年確率の最大値が3%以上

（いずれも2001年4月時点での推定。確率の試算値に幅がある場合はその最大値を採用）この統計資料を踏まえ、地震調査委員会の活断層評価では、次のような相対的な評価を盛り込むこととしている。

今後30年間の地震発生確率(最大値)が3%以上の場合：

「本断層帯は、今後30年の間に地震が発生する可能性が、我が国の主な活断層の中では高いグループに属することになる」

今後30年間の地震発生確率(最大値)が0.1%以上－3%未満の場合：

「本断層帯は、今後30年の間に地震が発生する可能性が、我が国の主な活断層の中ではやや高いグループに属することになる」

注2：1995年兵庫県南部地震、1858年飛越地震及び1847年善光寺地震の地震発生直前における30年確率と集積確率（うち、1995年兵庫県南部地震と1858年飛越地震については「長期的な地震発生確率の評価手法について」（地震調査研究推進本部地震調査委員会、2001）による暫定値）は

以下のとおりである。

地震名	地震を引き起こした活断層	地震発生直前の30年確率(%)	地震発生直前の集積確率(%)	断層の平均活動間隔(千年)
1995年兵庫県南部地震(M7.3)	野島断層(兵庫県)	0.4%—8%	2%—80%	約1.8—約3.0
1858年飛越地震(M7.0—7.1)	跡津川断層(岐阜県・富山県)	ほぼ0%—10%	ほぼ0%—90%より大	約1.9—約3.3
1847年善光寺地震(M7.4)	長野盆地西縁断層(長野県)	ほぼ0%—20%	ほぼ0%—90%より大	約0.8—約2.5

「長期的な地震発生確率の評価手法について」に示されているように、地震発生確率は前回の地震後、十分長い時間が経過しても100%とはならない。その最大値は平均活動間隔に依存し、平均活動間隔が長いほど最大値は小さくなる。平均活動間隔が3千年の場合は30年確率の最大値は8%程度、7千年の場合は4%程度である。

注3：信頼度は、特性欄に記載されたデータの相対的な信頼性を表すもので、記号の意味は次のとおり。

◎：高い、○：中程度、△：低い

注4：文献については、本文末尾に示す以下の文献。

- 文献1：地震調査研究推進本部地震調査委員会（2001）
- 文献2：岡田・東郷編（2000）
- 文献3：杉山（1997）
- 文献4：杉山ほか（1998）
- 文献5：杉山・吉岡（1999）

注5：評価時点はすべて2003年1月1日現在。「ほぼ0%」は 10^{-3} %未満の確率値を示す。なお、計算に当たって用いた平均活動間隔の信頼度は低い（△）ことに留意されたい。

注6：地震後経過率、発生確率及び現在までの集積確率（以下、発生確率等）の信頼度は、評価に用いた信頼できるデータの充足性から、評価の確からしさを相対的にランク分けしたもので、aからdの4段階で表す。各ランクの一般的な意味は次のとおりである。

a：（信頼度が）高い b：中程度 c：やや低い d：低い

発生確率等の評価の信頼度は、これらを求めるために使用した過去の活動に関するデータの信頼度に依存する。信頼度ランクの具体的な意味は以下のとおりである。分類の詳細については付表を参照のこと。なお、発生確率等の評価の信頼度は、地震発生の切迫度を表すのではなく、発生確率等の値の確からしさを表すことに注意する必要がある。

発生確率等の評価の信頼度

- a：過去の地震に関する信頼できるデータの充足度が比較的高く、これを用いて求めた発生確率等の値の信頼性が高い。
- b：過去の地震に関する信頼できるデータの充足度が中程度で、これを用いて求めた発生確率等の値の信頼性が中程度。
- c：過去の地震に関する信頼できるデータの充足度が低く、これを用いて求めた発生確率等の値の信頼性がやや低い。
- d：過去の地震に関する信頼できるデータの充足度が非常に低く、これを用いて求めた発生確率等の値の信頼性が低い。このため、今後の新しい知見により値が大きく変わる可能性が高い。または、最新活動時期のデータが得られていないため、現時点における確率値が推定できず、単に長期間の平均値を確率としている。

注7：最新活動（地震発生）時期から評価時点までの経過時間を、平均活動間隔で割った値。最新の地震発生時期から評価時点までの経過時間が、平均活動間隔に達すると1.0となる。今回の評価の数字で、断層帯北西部の場合、0.2は600年を4,000年で割った値であり、0.3は1,000年を3,000年で割った値。

注8：前回の地震発生から評価時点までに地震が発生しているはずの確率。

(説明)

1. 湖北山地断層帯に関するこれまでの主な調査研究

山崎・多田(1927)は、琵琶湖北方の野坂山地に数多くの断層を認め、この地域の地殻運動を推定した。その後、Huzita(1962)、伊藤・藤田(1971)、藤田・岸本(1972)、東郷・仲川(1973)は、琵琶湖北部の活構造について言及した。東郷(1974)は、琵琶湖北岸に広がる野坂山地の変位地形を調査し、この付近の活断層のうち、北東-南西方向の右横ずれ断層と北西-南東方向の左横ずれ断層が多数存在することを明らかにした。また、村井・金子(1975)も、琵琶湖周辺の活断層及びリニアメントを示し、北東-南西方向に延びるこれらの断層が右横ずれ変位を示す断層であるとした。このほか、Okada(1978)、東郷(1983)などにも本断層帯付近の活断層が示されている。

杉山(1997)は、本断層帯で反射法弾性波探査やボーリング調査を行い、断層の活動性などを推定した。さらに、杉山ほか(1998)はトレンチ調査などを行って、最新活動時期や平均活動間隔など、本断層帯北西部の過去の活動に関する調査を行った。なお、杉山・吉岡(1999)及び金田ほか(2002)は、本断層帯の南東部に位置する駄口断層において過去の活動に関する調査を行った。

本断層帯における活断層の位置は、活断層研究会(1991)、杉山・吉岡(1999)、岡田・東郷編(2000)などに示されている。

2. 湖北山地断層帯の評価結果

湖北山地断層帯は、福井県敦賀市東部から滋賀県高島郡今津町に至る断層帯である(図1、2)。全体として北東-南西方向に延びているが、中南部ではいくつかの断層が並走している。松田(1990)の基準に基づくと、本断層帯は敦賀平野東縁付近から野坂山地までほぼ一直線に延びる断層群と、本断層帯の中南部に分布し、前者の南東側を並走する複数の断層からなる断層群に2分される。このため、ここでは前者を湖北山地断層帯北西部、後者を湖北山地断層帯南東部の2つに区分した(図2)。南東部は全体の長さが約16kmで単独では地震調査研究推進本部(1997)の基準を満たさないが、過去の活動に関する調査資料が得られていることから、北西部とともに評価することとした。

2. 1 断層帯北西部

2. 1. 1 断層帯北西部の位置・形態

(1) 断層帯北西部を構成する断層

断層帯北西部は、敦賀平野の南東縁付近に分布する敦賀断層とその東側の深山寺断層、また、野坂山地(湖北山地)に分布する三国山北方断層及び赤坂山西方断層から構成される。断層帯北西部は全体として北東-南西方向にほぼ一直線上に延びているが、敦賀断層と深山寺断層は大部分が並走する。断層帯北西部を構成する各断層の位置・形態は活断層研究会(1991)、岡田・東郷編(2000)及び杉山ほか(1994)などに示されている。ここでは、断層帯北西部を構成する断層の位置及び名称は、岡田・東郷編(2000)によった。

杉山ほか(1998)は、敦賀断層(杉山ほか(1998)では敦賀断層北部)について、ボーリング調査結果及び杉山(1997)による反射法弾性波探査などの結果から、少なくとも最近約3万年間は活動しておらず、この付近には断層そのものが存在しない可能性を指摘している。しかし、敦賀断層の存在を現時点で完全に否定できるだけの十分な資料はなく、また、敦賀断層の南東側には深山寺断層が存在するとされていることから、ここではこれらの断層を断層帯北西部を構成する断層として含めることにした。

また、赤坂山西方断層は重力性の断層であるとの指摘があるが(1/5万地質図幅説明書「敦賀」)、岡田・東郷編(2000)では横ずれ変位が示されており、ここでは本断層帯に含めることとした。

なお、赤坂山西方断層の南東側に位置する赤坂山東方断層(図2)は、湖北山地断層帯南東部を構成するマキノ断層や駄口断層に近接することから、ここでは断層帯南東部に含めることとした。

(2) 断層面の位置、形状

断層帯北西部の長さ及び一般走向は、断層帯の北東端と南西端を直線で結ぶとそれぞれ約25km、

N30° Eとなる。

断層面上端の深さは、断層変位が地表に達していることから0 kmとした。

後述のように、本断層帯は右横ずれ成分と南東側隆起成分をもつ断層である。地表における断層トレースが直線的であること、また、断層露頭やトレンチ壁面に認められる断層の傾斜などから、地表付近では高角と推定される。また、この付近では東西圧縮の地殻応力が推定されることから、変動地形学的には南東傾斜と推定される。

後述のように、地震発生層の下限の深さは約15 kmと推定される。また、地下深部でも地表付近の傾斜と同様であるとすれば、断層面の幅は概ね15 km程度となる。

(3) 断層の変位の向き(ずれの向き)(注9)

断層帯北西部は、東郷(1974)などに示された変位地形などから、右横ずれ、かつ南東側隆起の逆断層と考えられる。

2. 1. 2 断層帯北西部の過去の活動

(1) 平均変位速度(平均的なずれの速度)

敦賀市の雨谷南方では、段丘面の上下変位が認められ、活断層研究会(1991)、杉山ほか(1994)、地質調査所(1997)、杉山(1997)及び杉山ほか(1998)などにその変位量が示されている。また、本地点から約1.2 km下流の低位段丘では、その段丘構成層から¹⁴C年代値が得られている(地質調査所, 1997)。杉山ほか(1998)はこれら2つの段丘を同一のものと考え、雨谷南方におけるこの段丘面の上下変位量を約10 mとして、その平均上下変位速度を求めた。地質調査所(1997)により得られた¹⁴C年代値を暦年補正(注10)すれば約2万年前であることから、三国山北方断層の平均上下変位速度は約0.5 m/千年であったと推定される。

なお、地質調査所(1997)は、上記雨谷南方地点から約1.2 km南西方の折戸谷において、三国山北方断層による50–150 m程度の谷の右ずれ屈曲と、低位段丘を刻む小谷の10 m程度の右ずれ屈曲とを報告している。

(2) 活動時期

○地形・地質的に認められた活動

杉山ほか(1998)は敦賀市南西部の池の谷地点の河谷底において2つのトレンチ(a、bトレンチ)を掘削し、また、その200 mほど南側の段丘面上の低断層崖でピット(cピット)調査を行った。

bトレンチでは、主として礫と砂からなるb1層中に断層が認められ、さらにb1層に含まれる礫の回転が認められる(杉山ほか, 1998; 図3)。上位のb2層は主として礫混じりの砂層からなり、全体として西に傾斜している。また、分布の東端付近ではレンズ状やブロック状の腐植質土や腐植混じりのシルトを挟む。このことから、杉山ほか(1998)は、b2層は最新活動後に形成されたものとする事もできるが、むしろ断層活動前に既に堆積していたものが断層活動直後に二次的に堆積した可能性が高いとしている。この解釈にしたがい、本地点ではb2層が堆積した後、断層活動により再移動し、その後b3層が堆積した可能性があると判断した。両層から得られた¹⁴C年代値から、活動時期は11世紀以後、14世紀以前となる。

bトレンチの約70 m北側で掘削されたaトレンチでは南北両壁面で最下位の砂礫層(a1層)中の礫が回転してほぼ直立している(杉山ほか, 1998)。また、砂が卓越する上位の砂礫層(a2層)は、a1層を削り込んで堆積しており、全体として西に傾斜する堆積構造をなしている。これらのことから、杉山ほか(1998)は、a2層は断層により生じた崖を覆って断層活動直後に堆積した地層であると推定した。また、杉山ほか(1998)は、北側壁面にのみ認められるシルト・腐植質土及び礫混じり砂からなる層(a3層)は、ほぼ水平な堆積構造が発達しておりa2層を覆っていることから、断層の低下側に形成された低地の堆積物であると推定した。以上のことから、本地点ではa1層堆積後、a2層堆積前に活動があった可能性がある。a1層及びa2層からは年代値は得られていないが、a3層から得られた¹⁴C年代値から、断層活動の時期は15世紀以前となる。

cピットは、bトレンチの約200 m南の段丘面上の低断層崖で掘削された。南側壁面では花崗岩起源の破碎岩と礫混じりシルト質砂層が断層を挟んで接しており、このシルト質砂層が断層に沿って約80 cm引きずり上げられているのが確認された(杉山ほか, 1998)。また、低断層崖の低下

側の表層には厚さ 50cm 程度の腐植質土が認められ、杉山ほか (1998) はこれを断層活動によって形成された低湿地の埋積堆積物と考えた。シルト質砂層及び上位の腐植質土層から得られた ^{14}C 年代値から、断層活動は 6 世紀以後、17 世紀以前にあった可能性がある。

なお、これらのトレンチ・ピット調査では最新活動よりも古い活動については資料が得られていない。

○先史時代・歴史時代の活動

近畿地方北部に被害をもたらした歴史時代の地震として、1325 年 (正中 2 年) の地震及び 1662 年 (寛文 2 年) の地震がある。1325 年の地震では、現在の敦賀市にある気比神宮が倒壊したとの記録がある。それ以外に本断層帯付近でこの地震による大きな被害の記録は見出されていない。杉山ほか (1998) は、1325 年の地震の際に本断層帯北西部が活動した可能性を指摘している。この地震はトレンチ調査結果に基づく活動時期と整合するが、気比神宮の記録以外には断層帯北西部に沿って大きな被害の記録は見いだされていないことから、本断層帯北西部の最新活動が 1325 年の地震であったと特定することはできない。

以上のことから、断層帯北西部の最新活動は、トレンチ調査結果から 11-14 世紀にあったと推定される。

(3) 1 回の変位量 (ずれの量) (注 9)

断層帯北西部では、地形・地質学的資料からは 1 回の活動に伴う右横ずれ変位量は得られていない。一方、断層帯北西部は長さが約 25km であることから、経験式 (1)、(2) を用いると、1 回の活動に伴う変位量は約 2m と求められる。ここではこれを断層帯北西部の右横ずれ変位量とみなす。

上下変位について、杉山ほか (1998) は、池の谷 a、b 両トレンチの壁面において観察された変位を 1 回の断層活動によるものと考え、その量を a トレンチで 1.5m 強、b トレンチでは約 1.5m とした。また、杉山ほか (1998) は、池の谷地点から断層沿いに 1 km 程度南に至る間に、断続的に現れる低断層崖の比高を約 1.5-2m と計測し、これを最新活動時の上下変位量と推定した。

以上のことから、1 回の活動に伴う断層帯北西部の右横ずれ変位量は 2m 程度、また、上下変位量は、三国山北方断層では約 1.5-2m の可能性がある。

用いた経験式は松田 (1975) による次の式である。ここで、L は断層の長さ (km)、M はマグニチュード、D は 1 回の活動に伴う変位量 (m) である。

$$\text{Log } L = 0.6M - 2.9 \quad (1)$$

$$\text{Log } D = 0.6M - 4.0 \quad (2)$$

(4) 活動間隔

断層帯北西部では、三国山北方断層の平均上下変位速度が約 0.5m/千年、1 回の活動に伴う上下変位量が約 1.5-2m と求められている。これらを用いると平均活動間隔は約 3 千-4 千年となる。

(5) 活動区間

断層帯北西部は断層がほぼ連続的に分布することから、松田 (1990) の基準に基づけば全体が 1 つの区間として活動すると推定される。ただし、上述のように、敦賀断層は過去 3 万年以上活動していない可能性の指摘もある。

(6) 測地観測結果

最近約 100 年間及び 1985 年から約 10 年間の測地観測結果によると、湖北山地断層帯の周辺ではいずれも東西方向の縮みがみられる。また、最近 5 年間の GPS 観測結果では、南北方向の伸び及び東西方向の縮みがみられる。

(7) 地震観測結果

湖北山地断層帯付近では、北東部に比べ南西部で相対的に地震活動が活発である。断層帯付近

の地震発生層の深さは概ね 15km 程度である。ただし、断層帯北西部の北東端付近ではそれより深い地震もいくつかみられる。

2. 1. 3 断層帯北西部の将来の活動

(1) 将来の活動区間及び地震の規模

断層帯北西部は、全体が1つの活動区間として同時に活動すると推定される。この場合は、断層帯の長さが約 25km であることから、経験式(1)を用いると、発生する地震の規模はマグニチュード 7.2 と求められる。また、この際、2m 程度の右横ずれと 1.5–2m 程度の南東側の相対的隆起を伴う可能性がある。

(2) 地震発生可能性

断層帯北西部では、平均活動間隔が約 3 千–4 千年、最新活動時期が 11–14 世紀と求められていることから、平均活動間隔に対する現在における地震後経過率は、0.2–0.3 となり、また、地震調査研究推進本部地震調査委員会(2001)に示された手法(BPT分布モデル、 $\alpha=0.24$)によると、今後 30 年以内、50 年以内、100 年以内、300 年以内の地震発生確率は、それぞれほぼ 0%、ほぼ 0%、ほぼ 0%、ほぼ 0%–0.02%となる。また、現在までの集積確率は、ほぼ 0%となる。表 5 にこれらの確率値の参考指標(地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価部会、1999)を示す。

2. 2 断層帯南東部

2. 2. 1 断層帯南東部の位置・形態

(1) 断層帯南東部を構成する断層

断層帯南東部は、駄口断層、路原断層、在原断層、赤坂山東方断層及びマキノ断層から構成される。これらの断層はいずれも北東–南西方向に延びており、一部で互いに並走して幅の広い断層帯を形成している。本断層帯を構成する各断層の位置・形態は活断層研究会(1991)、杉山ほか(1994)、岡田・東郷編(2000)などに示されている。ここでは、断層帯南東部を構成する断層の位置及び名称は、岡田・東郷編(2000)によった。

赤坂山東方断層は、その北東端付近でゆるく屈曲し、断層帯北西部を構成する三国山北方断層にやや近接するが、その南西端ではマキノ断層に近接しており、この断層の延長ともみられることから、ここでは断層帯南東部に含めることとした。

(2) 断層面の位置、形状

断層帯南東部の長さ及び一般走向は、断層帯の北東端と南西端を直線で結ぶとそれぞれ約 16km、 $N40^{\circ}E$ となる。

断層面上端の深さは、断層変位が地表に達していることから 0 km とした。

後述のように本断層帯は右横ずれ主体の断層であり、断層地表トレースが概ね直線的であること、また、断層露頭やトレンチ壁面に認められる断層の傾斜などから、断層面の傾斜は地表付近ではほぼ垂直と推定される。

本断層帯付近の地震発生層の下限の深さは約 15km と推定される。また、地表付近の傾斜が地下深部でも同様であるとすれば、断層面の幅は 15km 程度となる。

(3) 断層の変位の向き(ずれの向き)(注 9)

断層帯南東部は、東郷(1974)、杉山・吉岡(1999)、岡田・東郷編(2000)などに示された変位地形などから、右横ずれを主体とする断層と考えられ、一部で北西側隆起の上下成分を伴う。

2. 2. 2 断層帯南東部の過去の活動

(1) 平均変位速度(平均的なずれの速度)

断層帯南東部は右横ずれを主体とする断層であるが、平均右横ずれ変位速度を推定する資料は得られていない。

杉山・吉岡(1999)は、黒河川最上流域の乗鞍岳北方地点で掘削したトレンチ壁面において、河成段丘礫層が約 4 m 上下方向に変位していること、また、この礫層を覆う上位の地層(砂、シ

ルト、腐植土の互層) から得られた ^{14}C 年代値から、この段丘礫層の離水年代を約 2.5 万年前と推定し、駄口断層の平均上下変位速度を 0.15m/千年と推定した。このことから、駄口断層の過去約 2 万数千年間の平均上下変位速度は概ね 0.15m/千年程度であったと推定される。

(2) 活動時期

○地形・地質的に認められた活動

杉山・吉岡 (1999) は乗鞍岳北方の黒河川最上流域付近でトレンチ調査を実施し、さらに、トレンチ地点から約 100–400m 北東側で 3 つのピットを掘削した。

トレンチは黒河川最上流域の河成段丘上に認められた低断層崖付近で掘削された。東壁面では幅 2m 程度の落ち込み構造が見られ、少なくとも 1 層の最下部まで断層に切られている (図 4)。西壁面では 1 層下部に含まれ、断層に落ち込んだ腐植土から得られた ^{14}C 年代値から、この活動は 14 世紀以後にあったと推定される。また、東壁面では断層ゾーン中に撓み下がる 2 層以下の地層を砂礫質の崩壊堆積物が覆っている。この崩壊堆積物は 1 層と同層準であるか、または 1 層に覆われるようにも見えることから、1 層と 2 層の境界に対応する時代の前後 (約 6 千–8 千年前頃) に先行する活動があった可能性がある。

トレンチ地点から 250m 程度北東方で小河谷の谷壁基部から谷底にかけて掘削された第 2 ピットでは、花崗岩と未固結堆積物とを境するほぼ垂直の断層が認められた (図 5)。未固結層のうち、断層に切られる腐植土層と断層を覆う腐植土層から得られた ^{14}C 年代値から、この地点における最新活動は 15 世紀中頃から 17 世紀前半までの間にあったと推定される。

このほか、第 1、第 3 ピットにおいても断層が認められ、第 2 ピットから得られた最新活動時期と調和する年代値が得られている。

なお、金田ほか (2002) により駄口断層の北東端付近で掘削されたピット壁面では、花崗岩と複数の未固結堆積物層が断層で接しているように見える。金田ほか (2002) は、これらの未固結堆積物中に変位・変形構造がみられないことから、これらはすべて最新活動後に窪みを埋めて堆積したものである可能性が高いとした。しかし、ピット壁面のスケッチからは、これらの未固結堆積物と断層の関係は不明である。

○先史時代・歴史時代の活動

近畿地方北部に被害をもたらした歴史時代の地震として、1325 年 (正中 2 年) の地震及び 1662 年 (寛文 2 年) の地震がある。地形・地質調査の結果は、1662 年の地震と時期的には概ね整合する。しかし、断層帯南東部付近ではこの地震に伴った大きな被害の記録は見いだされていないことから、断層帯南東部の最新活動を 1662 年の地震と特定することはできない。

以上、駄口断層の乗鞍岳北方地点におけるピット調査などから、断層帯南東部の最新活動は 15–17 世紀にあったと推定され、信頼度はやや低い最新活動に先行する活動が約 6 千–8 千年前にあった可能性がある。

(3) 1 回の変位量 (ずれの量) (注 9)

断層帯南東部では、地形・地質的資料からは 1 回の活動に伴う右横ずれ変位量は得られていない。

一方、上下変位量について、乗鞍岳の北方の駄口断層では断層沿いに低断層崖がほぼ連続的に追跡される。杉山・吉岡 (1999) は、このうち最新活動 1 回分の変位を記録していると判断される山地斜面では低断層崖の比高が 1m 前後のところが多く、最大でも 1.5m 程度と報告している。この報告にしたがえば、駄口断層の 1 回の活動に伴う上下変位量は 1m 程度であったと推定される。

なお、杉山・吉岡 (1999) はトレンチ壁面に認められた落ち込み構造から、横ずれ変位量は上下変位量を上回っていた可能性が高いとしている。

(4) 活動間隔

断層帯南東部のうち、駄口断層では平均上下変位速度が 0.15m/千年程度、1 回の変位量が約 1m と求められている。これらから平均活動間隔を求めると約 6 千 7 百年、すなわち大まかに 7 千

年程度となる。断層帯南東部は右横ずれを主体とする断層であり、1回の活動に伴う上下変位量は場所により異なるものと考えられるが、1回の活動に伴う上下変位量と平均変位速度はともに駄口断層から得られていることから、これをもって断層帯南東部の平均活動間隔とみなす。

なお、ここで求めた平均活動間隔は、断層帯南東部の最新活動時期とこれに先行する活動の時期から求めた間隔と概ね整合する。

(5) 活動区間

断層帯南東部は各断層が近接して分布することから、松田(1990)の基準に基づけば全体が1つの区間として活動すると推定される。

(6) 測地観測結果

2. 1. 2 (6) 参照。

(7) 地震観測結果

2. 1. 2 (7) 参照。

2. 2. 3 断層帯の将来の活動

(1) 将来の活動区間及び地震の規模

断層帯南東部は、全体が1つの活動区間として同時に活動すると推定される。この場合は、断層帯の長さは約16kmであることから、経験式(1)を用いると、発生する地震の規模はマグニチュード6.8と求められる。また、この際右横ずれ変位が生じ、一部で1m程度の北西側隆起の上下変位を伴うと推定される。

(2) 地震発生可能性

断層帯南東部全体が同時に活動すると、過去の活動に基づく平均活動間隔が概ね7千年程度で、最新活動時期が15世紀以後、17世紀以前と求められていることから、平均活動間隔に対する現在における地震後経過率は、0.04-0.09となり、また、地震調査研究推進本部地震調査委員会(2001)に示された手法(BPT分布モデル、 $\alpha=0.24$)によると、今後30年以内、50年以内、100年以内、300年以内の地震発生確率は、すべてほぼ0%、また、現在までの集積確率もほぼ0%となる。表6にこれらの確率値の参考指標(地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価部会、1999)を示す。

3. 今後に向けて

湖北山地断層帯北西部では敦賀断層の存在に関して不確かな点がある。また、これとほぼ並走する深山寺断層についてもその活動性に関する資料は得られていない。このため、これらの断層の活動性についてより確かな資料を得る必要がある。また、断層帯北西部の平均活動間隔は信頼度が高いとはいえない。このため、活動区間や平均変位速度及び1回のずれの量など、過去の活動についてさらに資料を得る必要がある。

湖北山地断層帯南東部は新しい時期に活動していると推定されるが、平均活動間隔などは精度のよい数値が求められていないため、より精度のよい資料を得る必要がある。また、駄口断層以外の断層では過去の活動について資料が得られていない。このため、これらの断層についても過去の活動に関する資料を得る必要がある。

また、本断層帯を含む近畿地方北部にはいくつかの活断層が分布している。このため、本断層帯北西部及び南東部と周辺の活断層との連動の可能性などについて、今後調査研究を進めていく必要がある。

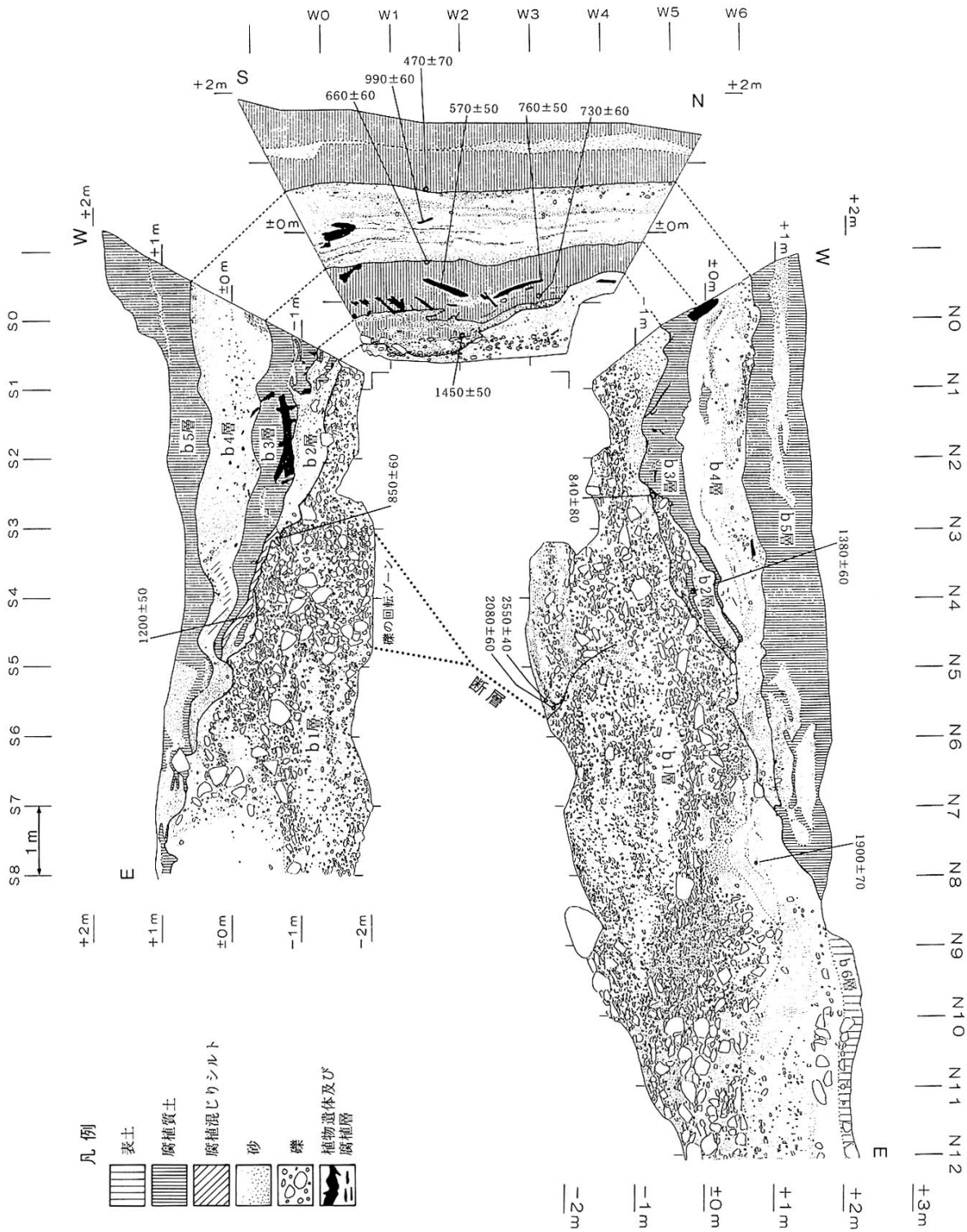
注9:「変位」を、1ページの本文、5、6ページの表1及び7、8ページの表3では、一般的にわかりやすいように「ずれ」という言葉で表現している。ここでは専門用語である「変位」が本文や表1及び表3の「ずれ」に対応するものであることを示すため、両者を併記した。以下、文章の中では「変位」を用いる。なお、活断層の専門用語では、「変位」は切断を伴う「ずれ」の成分と切断を伴わない「撓(たわ)みの成分」よりなる。

注 10: 10,000 年 BP よりも新しい炭素同位体年代については、Niklaus (1991) に基づいて暦年補正し、原則として 1σ の範囲の数値で示した。このうち 2,000 年前よりも新しい年代値は世紀単位で示し、2,000 年前よりも古い年代値については、百年単位で四捨五入して示した。また、10,000 年 BP より古い炭素同位体年代については、Kitagawa and van der Plicht (1998) のデータに基づいて暦年補正し、四捨五入して 1 千年単位で示した。

文 献

- 地質調査所 (1997) 近畿三角地帯の主要活断層の先行調査報告 No. 2, 敦賀断層系 地形地質調査。地質調査所研究資料集, No. 269, 52p.
- Huzita, K. (1962) : Tectonic development of the Median Zone (Setouti) of Southwest Japan, since Miocene. *J. Geosci. Osaka City Univ.*, **6**, 103-144.
- 藤田和夫・岸本兆方 (1972) : 近畿のネオテクトニクスと地震活動. *科学*, **42**, 422-430.
- 伊藤英文・藤田和夫 (1971) : 西南日本の第四紀地殻変動から導かれた地殻の流動. *材料*, **209**, 190-196.
- 伊藤 潔・長尾年恭・田中 豊 (1999) : 琵琶湖付近の地震活動と熱構造. 琵琶湖博物館研究調査報告, **12**, 163-167.
- 地震調査研究推進本部 (1997) : 「地震に関する基盤的調査観測計画」. 38p.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価部会 (1999) : (改訂試案) 「長期的な地震発生確率の評価手法について」. 74p.
- 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.
- 金田平太郎・竹村恵二・金原正明 (2002) : 山地斜面におけるピット調査—活断層の最新活動時期解明手法としての有効性と問題点: 駄口断層を例として—. *地学雑誌*, **111**(5), 747-758.
- 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.
- Kitagawa, H. and van der Plicht, J. (1998) : Atmospheric radiocarbon calibration to 45,000 yr B.P.: Late Glacial fluctuations and cosmogenic isotope production. *Science*, **279**, 1187-1190.
- 栗本史雄・内藤一樹・杉山雄一・中江 訓 (1999) : 敦賀地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 73p.
- 松田時彦 (1975) : 活断層から発生する地震の規模と周期について. *地震*, 第 2 輯, **28**, 269-283.
- 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.
- 村井 勇・金子史朗 (1975) : 琵琶湖周辺の活断層系. *地震研究所彙報*, **50**, 93-108.
- Niklaus, T. R. (1991) : CalibETH version 1.5, ETH Zurich, 2disketts and manual, 151p.
- Okada, A. (1978) : Structure of the waste-filled valley and associated crustal movements at the eastern part of the Tsuruga Plain, north of Lake Biwa. *Paleolimnology of Lake Biwa and the Japanese Pleistocene.*, **6**, 6-80.
- 岡田篤正・東郷正美編 (2000) : 「近畿の活断層」. 東京大学出版会, 395pp. + 付図 4 図葉.
- 杉山雄一 (1997) : 敦賀断層系の活動性調査. 地質調査所研究資料集 No. 303 (平成 8 年度活断層研究調査概要報告書), 1-11.
- 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. 1:100,000. 地質調査所.
- 杉山雄一・下川浩一・栗田泰夫・佐竹健治・水野清秀・吉岡敏和・小松原琢・七山 太・荻谷愛彦・吾妻 崇・伏島祐一郎・佃 栄吉・寒川 旭・須貝俊彦 (1999) : 近畿三角地帯における主要活断層の調査結果と地震危険度. 地質調査所速報, no. EQ/99/3 (平成 10 年度活断層・古地震研究調査概要報告書), 285-309.
- 杉山雄一・吉岡敏和 (1999) : 敦賀断層系駄口断層の活動履歴調査. 地質調査所速報, no. EQ/99/3 (平成 10 年度活断層・古地震研究調査概要報告書), 173-186.
- 杉山雄一・吉岡敏和・寒川 旭・佐竹健治 (1998) : 敦賀断層の活動履歴調査. 地質調査所速報, no. EQ/98/1 (平成 9 年度活断層・古地震研究調査概要報告書), 101-112.
- 東郷正美 (1974) : 琵琶湖北岸・野坂山地の変動地形. *地理学評論*, **47**, 669-683.
- 東郷正美・仲川信一 (1973) : 湖北における河川争奪. *法政大学地理学集報*, **2**, 9-19.
- 東郷正美 (1983) : 近江盆地における変動地形学的研究. *私学研修*, **97**, 101-118.

宇佐美龍夫 (1996) : 「新編日本地震被害総覧 [増補改訂版 416-1995]」. 東京大学出版会, 493p.
山崎直方・多田文男 (1927) : 琵琶湖附近の地形とその地體構造につきて. 地震研究所彙報, 2,
85-108.



年代値は、暦年未補正の放射性炭素同位体年代。暦年補正するとそれぞれ以下ようになる。
 (紀元後は世紀単位で表示。また、紀元前は100年単位で四捨五入して表示)

470±70→15-17世紀	990±60→10-12世紀	660±60→13-14世紀
570±50→14-15世紀	730±60→13-14世紀	760±50→13世紀
840±80→11-13世紀	850±60→11-13世紀	1200±50→8-10世紀
1380±60→7-8世紀	1450±50→6-7世紀	1900±70→1-3世紀
2080±60→約2千年前-2千2百年前	2550±40→約2千6百年前-2千8百年前	

図3 池の谷地点bトレンチスケッチ (杉山ほか, 1998)

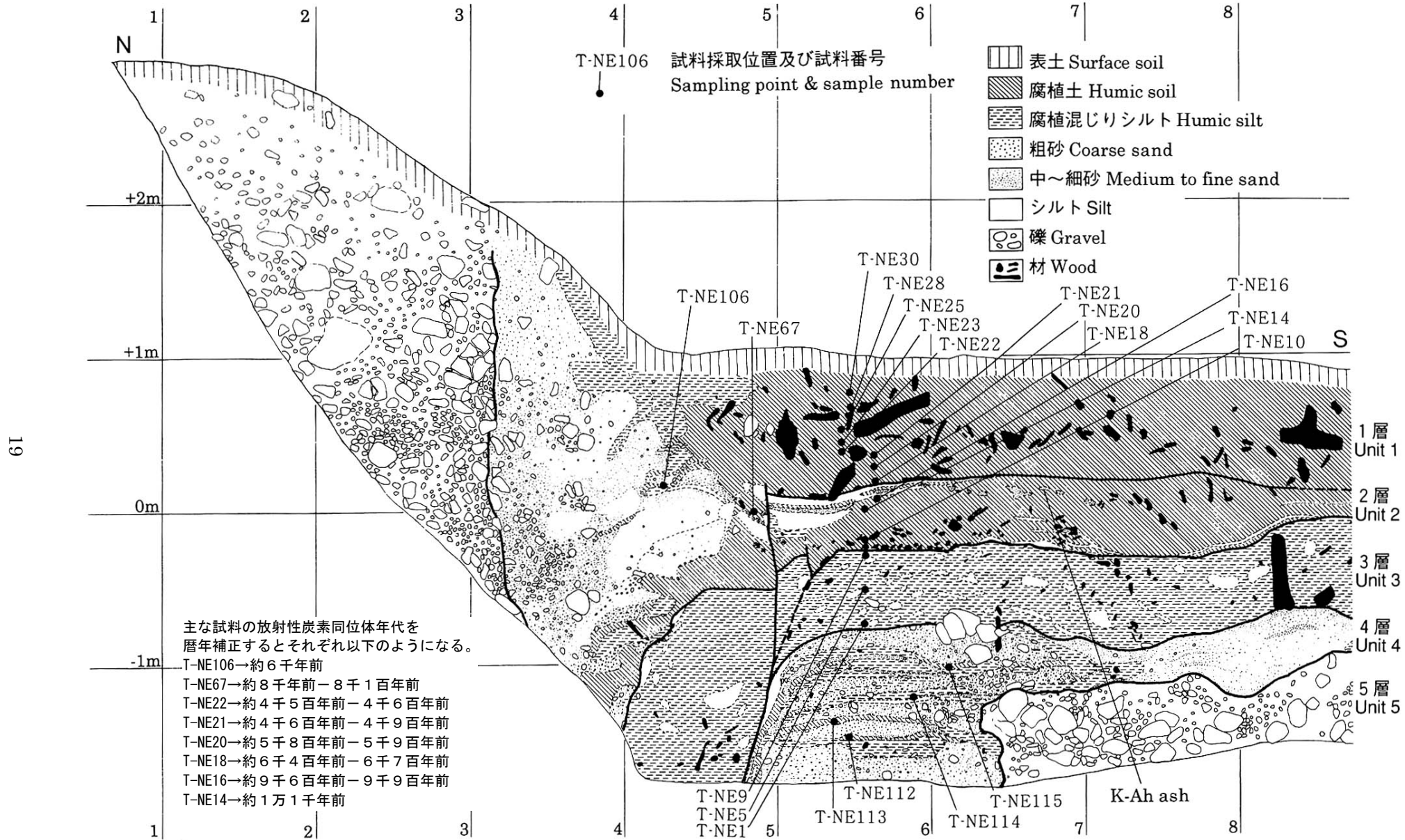
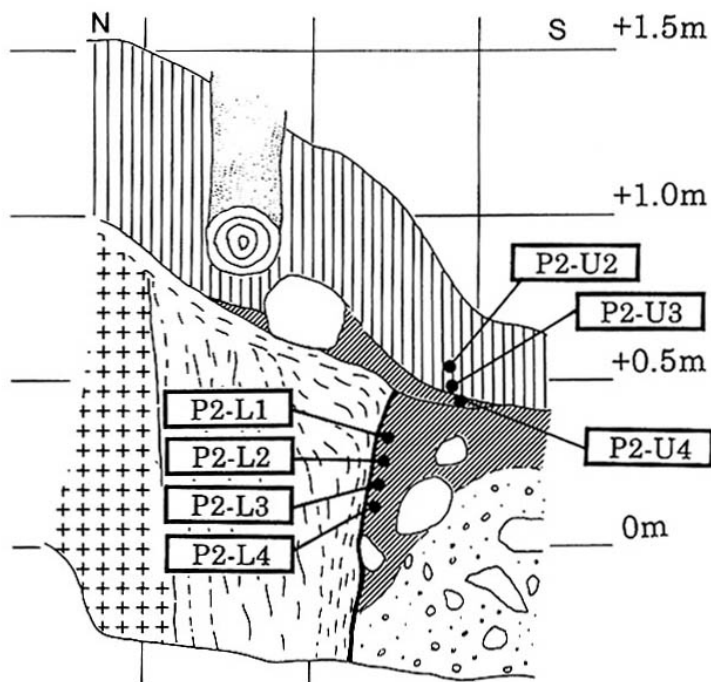


図4 乗鞍岳北方地点トレンチ東壁面のスケッチ
(杉山・吉岡, 1999)



凡例 Legend

-  表土 Surface soil
-  炭化木片 Charcoal fragment
-  やや腐植混じりの土壌 Slightly humic soil
-  腐植土 Humic soil
-  砂及び砂質土壌 Sand & sandy soil
-  礫 Gravel
-  花崗岩（弱破碎） Granite (weakly sheared)
-  破碎花崗岩 Strongly sheared granite
-  試料採取位置及び試料番号
Sampling point & sample number

各試料の放射性炭素同位体年代を暦年補正するとそれぞれ以下ようになる。
 (紀元後は世紀単位で表示。また、紀元前は100年単位で四捨五入して表示)
 P2-U2→現世 P2-U3→15-17世紀 P2-U4→15-17世紀
 P2-L1→13-14世紀 P2-L2→15-17世紀 P2-L3→14-15世紀
 P2-L4→15世紀

図5 乗鞍岳北方地点第2ピット東壁面のスケッチ (杉山・吉岡, 1999)

表5 湖北山地断層帯北西部の将来の地震発生確率及び参考指標

項目	数 値	備 考
地震後経過率	0.2 - 0.3	
今後 30 年以内の発生確率	ほぼ 0%	発生確率及び集積確率は地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2001) 参照。
今後 50 年以内の発生確率	ほぼ 0%	
今後 100 年以内の発生確率	ほぼ 0%	
今後 300 年以内の発生確率	ほぼ 0% - 0.02%	
集積確率	ほぼ 0%	
指標(1) 経過年数 比	マイナス 2 千 2 百年 - マイナス 1 千 1 百年 0.2 - 0.5	地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価部会 (1999) 参照。
指標(2)	ほぼ 0	
指標(3)	ほぼ 0%	
指標(4)	ほぼ 0	
指標(5)	0.0003	

表6 湖北山地断層帯南東部の将来の地震発生確率及び参考指標

項目	数 値	備 考
地震後経過率	0.04 - 0.09	
今後 30 年以内の発生確率	ほぼ 0%	発生確率及び集積確率は地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2001) 参照。
今後 50 年以内の発生確率	ほぼ 0%	
今後 100 年以内の発生確率	ほぼ 0%	
今後 300 年以内の発生確率	ほぼ 0%	
集積確率	ほぼ 0%	
指標(1) 経過年数 比	マイナス 4 千 6 百年 - マイナス 4 千 3 百年 0.06 - 0.1	地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価部会 (1999) 参照。
指標(2)	ほぼ 0	
指標(3)	ほぼ 0%	
指標(4)	ほぼ 0	
指標(5)	0.0001	

注 11：評価時点はすべて 2003 年 1 月 1 日現在。「ほぼ 0%」は 10^{-3} %未満の確率値を、「ほぼ 0」は 10^{-5} 未満の数値を示す。なお、計算に用いた平均活動間隔の信頼度は低い (△) ことに留意された。

指標(1)経過年数：当該断層帯での大地震発生の危険率（1年間当たりに発生する回数）は、最新活動（地震発生）時期からの時間の経過とともに大きくなる（BPT 分布モデルを適用した場合の考え方）。一方、最新活動の時期が把握されていない場合には、大地震発生の危険率は、時間によらず一定と考えざるを得ない（ポアソン過程を適用し

た場合の考え方)。

この指標は、BPT 分布モデルを適用した場合の危険率が、ポアソン過程を適用した場合の危険率の値を超えた後の経過年数である。値がマイナスである場合は、BPT 分布モデルを適用した場合の危険率がポアソン過程を適用した場合の危険率に達していないことを示す。

湖北山地北西部の場合、ポアソン過程を適用した場合の危険率は、3 千分の 1 - 4 千分の 1 (0.0003) であり、いつの時点でも一定である。

BPT 分布モデルを適用した場合の危険率は評価時点ではほぼ 0 であり、時間とともに増加する。BPT 分布モデルを適用した場合の危険率がポアソン過程を適用した場合の危険率に達するには今後 2 千 2 百年 1 千 1 百年を要することになる。

- 指標(1)比 : 最新活動(地震発生)時期から評価時点までの経過時間を A とし、BPT 分布モデルを適用した場合の危険率がポアソン過程を適用した場合の危険率を超えるまでの時間を B とした場合において、前者を後者で割った値 (A/B) である。
- 指標(2) : BPT 分布モデルによる場合と、ポアソン過程とした場合の評価時点での危険率の比。
- 指標(3) : 評価時点での集積確率(前回の地震発生から評価時点までに地震が発生しているはずの確率)。
- 指標(4) : 評価時点以後 30 年以内の地震発生確率の値を BPT 分布モデルでとりうる最大の確率地震発生率の値で割った値。
- 指標(5) : ポアソン過程を適用した場合の危険率(1 年間あたりの地震発生回数)。

付表

地震発生確率等の評価の信頼度に関する各ランクの分類条件の詳細は以下のとおりである。

ランク	分類条件の詳細
a	発生確率を求める際に用いる平均活動間隔及び最新活動時期の信頼度がいずれも比較的高く(◎または○)、これらにより求められた発生確率等の値は信頼性が高い。
b	平均活動間隔及び最新活動時期のうち、いずれか一方の信頼度が低く(△)、これらにより求められた発生確率等の値は信頼性が中程度。
c	平均活動間隔及び最新活動時期の信頼度がいずれも低く(△)、これらにより求められた発生確率等の値は信頼性がやや低い。
d	平均活動間隔及び最新活動時期のいずれか一方または両方の信頼度が非常に低く(▲)、発生確率等の値は信頼性が低い。このため、今後の新しい知見により値が大きく変わる可能性が高い。または、データの不足により最新活動時期が十分特定できていないために、現在の確率値を求めることができず、単に長期間の平均値を確率としている。