近畿三角帯における活断層調査

—主要活断層の活動履歴と地震危険度—

地質調査所活断層研究グループ*

兵庫県南部地震以降、近畿三角帯において地質調査所が調査を行った 25 の活断層を、松田 (1990) の基準に基づいて 18 の起震断層に再編した。また、新たに設けた基準により、各起震断層を 1~5 つの活動セグメントに区分した。

活動履歴調査により明らかにされた各活動セグメントの古地震イベントと歴史地震との対応を検討した結果、1586 年天正地震、1596 年伏見地震などのいくつかの大規模な歴史地震は複数の活動セグメントおよび複数の起震断層の連動により引き起こされた可能性が高いことが判明した。

また、合計 31 の活動セグメントの地震危険度を経過時間率と地震発生確率を用いて評価した。その結果、琵琶湖西岸断層饗庭野セグメントと中央構造線和泉—金剛断層根来セグメントは、ほかの活動セグメントよりも地震危険度が高いと判断された。

このような地震危険度の評価結果と分布箇所の社会的重要性から、今後さらに詳細な調査を行うべき起震断層として、琵琶湖西岸断層、中央構造線四国断層、同和泉—金剛断層、および上町断層があげられる。

キーワード：活断層、古地震、地震危険度、確率評価、近畿三角帯

I. はじめに

1995 年 1 月の兵庫県南部地震以降、全国のおもな活断層の調査が地質調査所と科学技術庁の地震関係基礎調査交付金の交付を受けた地方自治体により進められている。このうち地質調査所は、京阪神地域から名古屋に至る地域の地震危険度評価を目的として、近畿三角帯に分布する主要活断層の活動履歴と活動性に関する調査を行ってきた。その結果、平成 10 年度末までに、合計 25 の活断層/活断層系 (調査計画策定時の断層区分) の調査を実施した。

本論では、平成 10 年度までの地質調査所による活断層調査のおもな成果を紹介するとともに、それに基づく地震危険度評価について述べる。なお本論は、地質調査所速報として公表した報告 (杉山ほか, 1999) に加筆・修正を加えたものである。

II. 起震断層の設定と活動セグメント区分

活断層調査によって得られる活断層の活動履歴や活動性に関するデータは、各調査地点の点データである。一方、実際問題として、調査対象活断層の全体にわたって、調査地点を密に設定し、それらすべての地点において活動履歴や活動性に関するデータを取得することは、技術的・経済的に困難である。したがって、活断層調査では、一定の合理的な基準に基づいて、限られた点データから活断層全体を評価する必要がある。このため本論では、活断層調査の個々の成果の紹介に先立って、調査を実施した 25 の活断層/活断層系を対象として実施した「起震断層の設定」と「活動セグメント区分」について述べる。

1. 起震断層の設定

起震断層は、松田 (1990) により、「一つの大地震に対応する単位の活断層 (群)」と定義されている。起震断層は、

1999 年 12 月 9 日受付、2000 年 2 月 28 日受理。1999 年度日本第四紀学会大会シンポジウムにおいて講演。

* 杉山雄一、寒川 旭、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、須貝俊彦。

連絡先：地質調査所地震地質部活断層研究室 〒305-8567 つくば市東 1-1-3. E-mail : [REDACTED]

それを構成する個々の断層(活動セグメント)が単独で地震を起こすこともあれば、すべての断層が連動して活動し、大きな地震を起こすこともある活断層の集合体を指す。限られた地点のデータから、合理的に起震断層を設定するためには、地震断層や歴史地震などのデータに基づく適切な設定基準を設け、それをできるだけ厳密に適用する必要がある。本研究では、松田(1990)が示した以下の1)~4)を起震断層の設定基準として採用した。

- 1) 5 km 以内にほかの活断層のない孤立した長さ 10 km 以上の活断層。
- 2) 走向方向に 5 km 以内の分布間隙をもって、ほぼ一線にならぶほぼ同じ走向の複数の断層。
- 3) 5 km 以内の相互間隔をもって並走する幅 5 km 以内の断層群。
- 4) その断層線の midpoint の位置が主断層から 5 km 以上離れている走向を異にする付随断層あるいは分岐断層。(以上、原文を引用)

この判定基準のいずれかに該当し、かつ全体の長さが 10 km 以上に達する活断層またはその集合体を起震断層と見なした。このような検討作業の結果、表 1 および図 1 に示すように、中央構造線四国から養老までの 18 の起震断層が設定された。

2. 活動セグメント区分

次に、以下の新たに設けた 1)~4)の基準に従って、各起震断層を活動セグメントに区分した。

- 1) ほぼ一線に並ぶほぼ同じ走向の 2 つの断層間に、2 km 以上の分布間隙がある場合には、別の活動セグメントとする。
- 2) 隣り合って並走または雁行する 2 つの断層あるいはそれに伴う変形帯に、走向と直交する方向に測って 2 km 以上の間隙がある場合には、別の活動セグメントとする。
- 3) 起震断層上の 2 地点で、異なる活動履歴が得られた場合には、断層線の屈曲、ステップなどの形態的特徴を考慮して、2 地点間にセグメント境界を設け、2 つの活動セグメントに区分する。
- 4) 起震断層上の 1 地点で単位総変位量(D)が得られた場合には、D の 2 万倍の値をその地点を含む活動セグメント長の上限とする¹⁾。当初想定されたセグメント長がこの上限値を超える場合には、断層の形態

的特徴を考慮して、変位量を求めた地点を含む活動セグメントともう一つの活動セグメントに区分する。

このような検討の結果、各起震断層は、表 1 および図 1 に示すような活動セグメントに区分された。なお、表 1 では、中央構造線四国、野坂、柳ヶ瀬などの起震断層については、すべての活動セグメントを表示しているわけではないので、図 1 と対照されたい。また、起震断層の長さの測定に当たっては、活動セグメント間の分布間隙や並走部での重複は無視し、起震断層の端から端までを走向に沿って計測した。したがって、全活動セグメントの長さを足し合わせても、必ずしも起震断層長に一致しない。起震断層および活動セグメントの長さには、最大 10 % 程度の誤差がある。

III. 活断層調査のおもな成果

ここでは、各起震断層および活動セグメントごとに、その概要とおもな調査成果を紹介する。なお、記述の対象とする活動セグメントは、六甲起震断層の六甲山セグメントと京都西山起震断層の世木林セグメントを除いて、本研究グループが平成 10 年度までに調査を行ったものに限定する。本論で言及しない活動セグメントについても、すでに地質調査所や地方自治体による調査が行われているものが多いが、それらの調査結果の総括は別の機会に譲る。各起震断層および活動セグメントの設定・区分の根拠、端点位置、長さなどの詳細については、杉山ほか(1999)を参照されたい。

なお、以下の記述中の「2.5 千年前」などの年代は、1950 年を基準とする暦年代(calendar year BP)である。

1. 中央構造線四国起震断層

杉山ほか(1999)では、松田(1990)の中央構造線四国断層帯と同淡路島南縁断層帯を合わせたものとしたが、愛媛県(1999)の調査結果に基づき、これに中央構造線伊予断層帯とその海域延長部(大野ほか、1997)を加えたものに修正する。鳴門市坂東以東の本起震断層東端部は、神田断層以西の部分とは活動履歴が異なる(Tsutsumi and Okada, 1996 など)。このため、セグメント区分の基準 3)より、この部分に鳴門海峡セグメント(長さ 25 km)を設定した。

1-1. 鳴門海峡セグメント：海域での反射法地震探査とコアリング調査の結果から、最新活動の時期は約 2.5

1) 統計的にみた場合、日本の内陸活断層の活動セグメントの長さは、最大単位変位量の約 5 千倍である(栗田, 1999)。また一般に、最大変位量は最頻変位量の約 2 倍とされていることから、日本の内陸では、活動セグメントの長さは最頻単位変位量の約 1 万倍と見積もられる。セグメント長と単位変位量のばらつきを考慮し、本研究では活動セグメントの長さの上限をこの値の 2 倍の 2 万倍に設定した。

表 1 近畿三角帯の主要活断層の調査結果(おもな断層パラメーター)と地震危険度

Table 1 Survey result (main fault parameters) and earthquake potential of major active faults in the Kinki Triangle

Seismogenic fault	Length (km)	Behavioral segment	Length (km)	Average slip rate (m/ky)	Displacement (m)	Latest activity (ka)	Recurrence interval (ky)	Elapsed time ratio	Probability for an earthquake in 100y (%)
1 MTL Shikoku	260	1-1 Naruto-kaikyo	25			2.5-3.5			
2 MTL Izumi-Kongo	94	2-1 Kitan-kaikyo	30	0.8-1.0 (V)	2-5.5 (V)	3	5.5-6 ^{#2}	0.5	0.08-0.21
〃		2-2 Negoro	26	1.2-5.0 (H) 0.3-0.5 (V)	1 (V)	1.7-3.7	2-3 ^{#1}	0.9-1.9	0.65-30
〃		2-3 Gojodani	16						
〃		2-4 Kongo	18	0.1-0.6 (V)	1.2 (V)	1.6-2.0	2-12 ^{#1}	0.1-1	0.00-17
3 Rokko	123	3-1 Takatsuki	≥38	≥1.5 (H)	5-6 (H)	0.4* ¹	2.5 ^{#2}	0.2	0.00
〃		3-2 Rokkasan	35	≥1.0 (H)	≥1.5 (H)	0.4* ¹	1.2 ^{#2}	0.3	0.01
〃		3-3 Hokudan	20	0.5-1.9	1.6	0.01	2-3 ^{#2}	~0	0.00
〃		3-4 Higashiura	25	0.6-1.0	1.4	0.4* ¹	1.4-2.2 ^{#2}	0.2-0.3	0.00
〃		3-5 Senzan	10	0.1-0.2 (V)		0.4* ¹	[2]	[0.2]	[0.00]
4 Shizuki	≥12	4 Shizuki	≥12	≤0.1 (V)		≥20	≥20		0.00-3.6
5 Minato-Honjo	≥19	5 Minato-Honjo	≥19	<0.1 (V)		>4			
6 Uemachi	44	6 Uemachi	44	0.4 (V)		≥15	≥15		0.00-4.8
7 Ikoma	34	7 Ikoma	34	0.2-0.4 (V)	≥2.2; 1.5(V)	1.3-1.6	4-8 ^{#1}	0.2-0.4	≤0.01
8 Nara-bonchi-toen	≥12	8 Tenri	≥12	≥0.2 (V)		1.3-10			
9 Kizugawa	≥15	9 Kizugawa	≥15	0.1-0.6 (V)	2.2-2.6 (V)	0.15* ²	>2 ^{#2}	<0.1	0.00
10 Mitoke	13	10 Mitoke	13			>1.7			
11 Kyoto-nishiyama	43	11-1 Shiwaga	10			>3			
〃		11-2 Segibayashi	30			1.9-2.4	2.9-4.4 ^{#2}	0.4-0.8	0.02-6.8
12 Biwako-seigan	65	12-1 Aibano	24	2 (V)	3-5 (V)	2.4-2.8	1.5-2.5 ^{#1} (4.8-6.8 ^{#2})	1-1.9 (0.4-0.6)	12-38 (0.00-0.47)
〃		12-2 Hira	41	≥1.5 (V)		(0.3* ³ ?)	[2]	[0.2 ?]	[0.00 ?]
13 Hanaore	57	13-1 Tochudani	27		2-5 (H)	0.3* ³	[2]	[0.2]	[0.00]
〃		13-2 Kitashirakawa	30			1.3-2.5	≥4.5 ^{#2}	≤0.6	0.00-0.33
14 Mikata	24	14 Mikata	24	0.2-1.0 (V)	3-5 (V)	0.3* ³	≥3 ^{#1}	≤0.1	0.00
15 Nosaka	32	15-1 Nosaka	≥6	0.1 (V) ^{#3}	0.5 (V) ^{#3}	<2 (0.3* ³)	5 ^{#1}	<0.4 (0.1)	0.00
16 Tsuruga	16	16-1 Shonogawa	7			≥30	≥30		0.00-2.4
〃		16-2 Kurokogawa	8	0.5-0.6 (V)	1.5-2 (V)	0.6-0.8 (0.7* ⁴)	2.5-4 ^{#1}	0.2-0.3	0.00
〃		16-3 Daguchi	9	0.2 (V)	1-1.5 (V)	0.3-0.6	5-8 ^{#1}	≤0.1	0.00
17 Yanagase	72	17-1 Tsubakizaka-toge	8			7-7.2	≥7		0.00-5.2
〃		17-2 Yogogawa	≥14		1 (V)	0.7* ⁴	[2]	[0.4]	[0.00]
18 Yoro	63	18-1 Yoro	55	2 (V)	5-6 (V)	0.4* ⁵	1-2 ^{#2}	0.2-0.4	0.00-0.13

- 1) 100-year earthquake probability is calculated on the assumption that recurrence intervals of characteristic earthquakes on a given behavioral segment are lognormally distributed and the standard deviation is 0.23.
- 2) 0.00% probabilities are rounded off to the second decimal place.
- 3) 100-year earthquake probability of the 3-3 Hokudan segment is estimated to have been 2 to 15% immediately before the 1995 Kobe earthquake.
- 4) Although the recurrence intervals of the 3-5 Senzan, 12-2 Hira, 13-1 Tochudani and 17-2 Yogogawa segments have not been obtained, they are inferred to be 2000 years or longer from data of nearby segments and neotectonic settings. Thus, recurrence intervals, elapsed time ratios, and 100-year earthquake probabilities of these segments are shown in parentheses.
- 5) The 4 Shizuki, 6 Uemachi, 16-1 Shonogawa and 17-1 Tsubakizaka-toge segments possess elapsed time longer than 7,000 years but lack recurrence interval data. For these segments, recurrence interval and 100-year earthquake probability are shown in italics on the assumption that their recurrence intervals are equal to or longer than their elapsed times.
- 6) (V) shows a vertical component and (H) shows a strike-slip component.

#1: recurrence interval obtained from the average slip rate and displacement per event. #2: recurrence interval obtained from two or more paleoearthquake events recognized by surveys such as trenching and boring. #3: An undefined strike-slip component is larger than a listed vertical component. *1: 1596 Fushimi earthquake, *2: 1854 Ansei Iga-Ueno earthquake, *3: 1662 Biwako-seigan earthquake, *4: 1325 Shochu earthquake, and *5: 1586 Tensho earthquake.

Partly modified from Sugiyama *et al.* (1999).

図 1 近畿三角帯の起震断層・活動セグメントと各活動セグメントの今後 100 年間の最大地震発生確率
杉山ほか(1999)による。

Fig. 1 Seismogenic faults and behavioral segments in the Kinki Triangle and maximum 100-year earthquake probability of each segment

After Sugiyama *et al.* (1999).

～3.5 千年前と推定された(水野ほか, 1996)。

2. 中央構造線と泉一金剛起震断層

松田(1990)の中央構造線と泉一金剛断層帯に当たる。セグメント区分の基準 1), 3)および 4)より, 紀淡海峡(30 km), 根来(26 km), 五条谷(16 km), 金剛(18 km)の 4 つのセグメントに区分した。

2-1. 紀淡海峡セグメント: 海域での反射法地震探査とコアリング調査により, 最新活動時期は約 3 千年前, 最新活動とその一つ前の活動との間隔は 5.5～6 千年と見積もられた(七山ほか, 1999)。また, 和歌山平野においても, 群列ボーリング調査によって, 約 3.1～5.9 千年前の最新活動と 9.5～12 千年前の先行活動が推定された(水野ほか, 1998)。

2-2. 根来セグメント: トレンチ調査により, 最新活動が約 3.8 千年前以降(おそらく約 1.9 千年前以降?)に

生じたことが明らかになった(佃ほか, 1998)。他機関による調査としては, 京都大学を中心とするグループがトレンチ調査を実施し, 約 1.7～3.7 千年前の最新活動を報告している(岡田ほか, 1999)。岡田ほか(1999)はさらに, 上下成分の平均変位速度と単位変位量から, 本セグメントの活動間隔を 2～3 千年と見積もっている。

2-3. 五条谷セグメント: このセグメントについては, これまでのところ, 活動履歴や活動性に関するデータが得られていない。

2-4. 金剛セグメント: トレンチ調査および地質調査結果から, 約 1.6～2 千年前に最新活動が生じたことが明らかになった。また, 最新活動時の実変位量は約 1.5 m と見積もられた(佐竹ほか, 1999)。

3. 六甲起震断層

松田(1990)の六甲断層帯, 有馬一高槻断層帯, 淡路島

西岸断層、淡路島東岸断層帯および先山断層の 5 起震断層を合わせたものに相当する。セグメント区分の基準 3) より、高槻 (38 km 以上)、六甲山 (35 km)、北淡 (20 km)、東浦 (25 km) の 4 つのセグメントに区分した。また基準 1) より、先山セグメント (10 km) を設定した。甲陽断層から昆陽池陥没帯・伊丹断層を経て、野畑断層に至る一連の活断層は、基準 2) より別個の活動セグメントに区分されるが、本論では言及しない。

3-1. 高槻セグメント：兵庫県川西市、大阪府箕面市および茨木市の合計 3 つの調査地区において、鎌倉～室町時代以降/江戸時代以前の最新活動を示すデータが得られた(寒川ほか, 1996)。一つ前の活動は 2.8～3 千年前に生じたと推定され、この活動と最新活動との間隔は約 2.5 千年と見積もられた。

3-2. 六甲山セグメント：本セグメントについては、地質調査所は調査を行っていない。他機関による調査としては、神戸大学の研究グループが本セグメントを構成する五助橋断層のトレンチ調査を実施し、同断層の最新活動を 1596 年伏見地震に比定するとともに、断層活動の間隔を約 1.2 千年と推定している (Lin *et al.*, 1998)。

3-3. 北淡セグメント：トレンチ調査の結果、兵庫県南部地震の前には、西暦 50 年頃と紀元前 3000～1900 年頃に活動したと推定され、活動間隔は 2～3 千年程度であることが判明した(栗田ほか, 1997)。

3-4. 東浦セグメント：トレンチ調査により、最新活動は 16 世紀以降に生じたことが確認された。またその一つ前の活動は紀元前 600 年～西暦 200 年に生じたことが判明した(栗田ほか, 1997)。

3-5. 先山セグメント：トレンチ調査の結果、最新活動が 12 世紀以降に生じたことが確認された(吉岡ほか, 1997)。

4. 志筑起震断層

本起震断層は松田(1990)のリストにはなく、杉山ほか(1999)により設定された。本起震断層については、セグメント区分の基準 1)～4) に該当するデータが得られていないため、断層全体を 1 つの活動セグメント：志筑セグメント (12 km 以上) と見なす。

地形地質調査の結果、志筑セグメントの平均上下変位速度は 0.1 m/千年以下であり、最新活動時期は少なくとも 2 万年以上前であることが判明した(栗田, 1996)。

5. 湊一本庄起震断層

本起震断層も松田(1990)のリストにはなく、杉山ほか(1999)により新たに設定された。本起震断層についても、セグメント区分の基準 1)～4) に該当するデータがな

いため、断層全体を 1 つの活動セグメント：湊一本庄セグメント (19 km 以上) と見なす。

トレンチ調査の結果、本セグメントは少なくとも最近の 4 千年間は活動していないことが明らかになった(水野ほか, 1996)。

6. 上町起震断層

本起震断層は、松田(1990)の仏念寺山断層を再定義した断層である。地質調査所と大阪府による反射法地震探査の結果、従来別々の断層とされていた仏念寺山断層、上町断層、坂本断層および久米田池東方の断層(岡田ほか, 1996)は、一連の断層であることが判明した(杉山, 1997; 大阪府, 1999)。現在のところ、セグメント区分の基準 1)～4) に該当するデータは得られていないため、本断層全体を 1 つの活動セグメント：上町セグメント (44 km) と見なす。

反射法地震探査とボーリング調査の結果、大和川流域に分布する住之江撓曲とその東側の遠里小野橋付近の撓曲の平均上下変位速度は、それぞれ 0.25 m/千年と 0.15 m/千年程度であることが判明した。2 つの撓曲を合わせた平均上下変位速度は 0.4 m/千年程度となる。また、本セグメントの最新活動は 1.5 万年以上前に遡る可能性が高いことが判明した(七山ほか, 1998)。

7. 生駒起震断層

松田(1990)の生駒断層帯に当たる。本起震断層についても、セグメント区分の基準 1)～4) に該当するデータが得られていないため、断層全体を 1 つの活動セグメント：生駒セグメント (34 km) と見なす。

生駒セグメントのうち、南端部の誉田断層については、すでに寒川(1986)によって 5 世紀以降に 1.2～1.8 m の上下変位を伴う活動が生じたことが明らかにされている。本セグメント北部の生駒断層北端部では、平成 8 年度に実施したトレンチ調査により、2 千年前以降で奈良時代より古い活動が検出された(下川ほか, 1997)。したがって、本セグメントの最新活動時期は 5～7 世紀に限定される可能性が高い。トレンチ調査の結果から、この活動に伴う実変位量は 2.2 m 以上と推定される。ただし、誉田断層に関しては 1510 年の地震で活動した可能性が指摘されており(寒川, 1986)、生駒断層以北とは異なる活動セグメントをなしている可能性が残る。

8. 奈良盆地東縁起震断層

松田(1990)の奈良盆地東縁断層帯に当たり、奈良坂撓曲、天理撓曲などを含む。セグメント区分の基準 1)～4) に該当する確実なデータは得られていないため、本断層全体を 1 つの活動セグメント：天理セグメント (12 km

以上)と見なす。

反射法地震探査により、天理撓曲の前面(西側)の奈良盆地内に帯解断層が発見された。また天理撓曲のトレンチ調査により、約1万年前以降で奈良時代より古い活動を示す変形構造が確認された(奥村ほか, 1997)。帯解断層では、始良 Tn 火山灰降下以降の活動を明確に示すデータは得られておらず、帯解断層が天理撓曲とは別の活動セグメントをなしている可能性が残る。

9. 木津川起震断層

松田(1990)の木津川断層帯に相当する。セグメント区分の基準1)~4)に該当するデータは得られていないため、本断層全体を1つの活動セグメント: **木津川セグメント**(15 km 以上)と見なす。

トレンチ調査の結果、本セグメントの最新活動は安土桃山時代以降であることが明らかになった。また、最新活動に伴う上下変位量は2.2~2.6 m に達すると見積もられた(荻谷ほか, 1999)。

10. 三峠起震断層

松田(1990)の三峠断層に当たる。地形地質調査の結果から、起震断層としての長さを従来の約30 kmの半分以下の13 kmと評価した。起震断層全体が1つの活動セグメント: **三峠セグメント**(13 km)をなす。

トレンチ調査の結果から、本セグメントは少なくとも最近の約1.7千年間は活動していないと判断された(吉岡ほか, 1999)。

11. 京都西山起震断層

松田(1990)の京都西山断層群に、殿田断層を加えたものに当たる。本起震断層は、セグメント区分の基準3)より、殿田断層西部に当たる志和賀セグメント(10 km)と殿田断層東部から檜原断層に至る世木林セグメント(30 km)に区分される。また、これら2つのセグメントと並走する亀岡断層とその南方延長の光明寺断層は、基準2)により別のセグメントに区分されるが、本論ではこのセグメントについては言及しない。

11-1. 志和賀セグメント: トレンチ調査の結果から、本セグメントは少なくとも最近の約3千年間は活動していないと判断された(吉岡ほか, 1999)。

11-2. 世木林セグメント: 地質調査所は本セグメントの調査を行っていない。他機関の調査としては水資源開発公団がトレンチ調査を行っており、1.9~2.4千年前の最新活動が報告されている(植村ほか, 1997)。植村ほか(1997)により認定された3回の断層活動の時期に基づくと、本セグメントの活動間隔は、2.9~4.4千年程度となる。

12. 琵琶湖西岸起震断層

松田(1990)の琵琶湖西岸断層帯に、敦賀一饗庭野断層群の南部(酒波断層以南の部分)を加えたものに相当する。本起震断層南部の最新活動時期については不明確な点があるが、セグメント区分の基準3)より、北の饗庭野セグメント(24 km)と南の比良セグメント(41 km)に区分した。

12-1. 饗庭野セグメント: トレンチ調査の結果から、本セグメントの最新活動時期は2.4~2.8千年前と推定された(小松原ほか, 1999a)。この調査結果は、付近の0.8~1.3千年前の段丘面に断層変位や変形が認められないことと整合し、本セグメントが1662年琵琶湖西岸地震の際に活動しなかったことを示唆する。また、地形地質調査の結果から、最新活動に伴う上下変位量は3~5 mと推定され、この値と始良 Tn 火山灰降下以降の平均上下変位速度(約2 m/千年)から推定される平均活動間隔は、1.5~2.5千年となる(小松原ほか, 1999a)。

12-2. 比良セグメント: 本セグメント中部の堅田断層のボーリング調査と北部の湖底断層のコアリング調査により、断層活動(最新活動か否かは不明)のおよその時期として、それぞれ2~5.7千年前と2~3千年前という結果が得られた(水野ほか, 1997; 水野・小松原, 1999)。しかし、従来から指摘されている1662年琵琶湖西岸地震時の活動(大長・松田, 1982など)を明確に裏付ける地質学的データは、これまでのところ得られていない。

13. 花折起震断層

松田(1990)の花折断層帯に当たり、花折断層とその南方延長の桃山断層を含む。セグメント区分の基準3)より、北の途中谷セグメント(27 km)と南の北白川セグメント(30 km)に区分した。

13-1. 途中谷セグメント: トレンチ調査の結果、本セグメントの最新活動時期は15~17世紀と推定された。また、最新活動に伴う横ずれ変位量は2~5 mと見積もられた(吉岡ほか, 1998a)。

13-2. 北白川セグメント: 本セグメントでは15~17世紀の活動は認められず、1.3~2.5千年前に最新活動、約7千年以上前に先行活動が生じたと推定された(吉岡ほか, 1998a)。

14. 三方起震断層

松田(1990)の三方断層に相当し、菅湖底の撓曲(水野ほか, 1999)および美浜町日向沖の南北方向の海底断層(海上保安庁水路部, 1980)を含む。現時点では、セグメント区分の基準1)~4)に該当するデータは得られていないため、断層全体を1つの活動セグメント: **三方セグ**

メント(24 km)と見なす。

トレンチ調査の結果、本セグメントは平安時代以降に最新活動を行ったことが判明した(小松原ほか, 1999b)。この調査結果は、本セグメントが1662年琵琶湖西岸地震に伴って活動したとする説(例えば、宇佐美ほか, 1977; 岡田, 1984)と整合する。また、同地震に伴う地変に関する史料を再検討した結果、この地震に伴う上下変位量は、断層東側の隆起だけで3~3.6 mに達した可能性が高いことが明らかになった(小松原ほか, 1999b)。

15. 野坂起震断層

本起震断層は松田(1990)のリストにはなく、杉山ほか(1999)により新たに設定されたものであり、陸上の野坂断層とその北西延長の若狭湾内の断層からなる。海上保安庁水路部(1980)の音響反射断面によると、若狭湾内の断層は完新統を切り、海底にまで達していることから、高い確度で活断層と判断される。この海底断層と陸上の野坂断層とは2 km以上の分布間隙をもつと推定される。そのため、セグメント区分の基準1)より、別の活動セグメントと見なし、野坂断層を野坂セグメント(6 km以上)とした。

15-1. 野坂セグメント: トレンチ調査の結果、本セグメントは2千年前以降に活動したことが確認された。また、その時期は15~17世紀に限定される可能性のあることが判明した(杉山ほか, 1998a)。

16. 敦賀起震断層

松田(1990)の敦賀-饗庭野断層群の北部に当たり、5 km以内の間隔で並走する敦賀断層と駄口断層からなる。セグメント区分の基準2)と3)より、敦賀断層北部に当たる笙の川セグメント(7 km)、同南部に当たる黒河川セグメント(8 km)、および駄口セグメント(9 km)に区分した。なお、駄口断層の東を並走する路原断層は、敦賀断層から6~8 km離れているため、起震断層の設定基準3)より、別の起震断層と見なししたが、本論では言及しない。

16-1. 笙の川セグメント: ボーリング調査と反射法地震探査の結果から、最近の約3万年間は活動していないと判断された(杉山ほか, 1998b)。

16-2. 黒河川セグメント: トレンチ調査により、6世紀後半~14世紀に活動したことが確認され、なかでも12世紀末~14世紀に活動時期が限定される可能性が高いことが判明した(杉山ほか, 1998b)。また、最新活動に伴う上下変位量と最近約2万年間の平均変位速度から、平均活動間隔は3千年程度と見積もられた。

16-3. 駄口セグメント: トレンチ調査の結果、本セ

グメントは15~17世紀に最新の活動を行ったことが明らかにになった(杉山・吉岡, 1999)。

17. 柳ヶ瀬起震断層

松田(1990)の柳ヶ瀬断層帯に相当する。柳ヶ瀬断層のほか、北方の山中断層と甲斐城断層、南方の鍛冶屋断層を含む。セグメント区分の基準3)より、柳ヶ瀬断層南部の余呉川セグメント(14 km以上)と同断層中部の椿坂峠セグメント(8 km)を区分した。このほか、鍛冶屋断層と柳ヶ瀬断層北部以北の断層群が別の活動セグメントとして区分されるが、本論では言及しない。

17-1. 椿坂峠セグメント: トレンチ調査の結果、本セグメントは鬼界アカホヤ火山灰降下直前の約7千年前に活動したことが解明され、それ以降は活動していないと判断された(吉岡ほか, 1998b)。

17-2. 余呉川セグメント: 兵庫県南部地震以前の平成4年度に実施したトレンチ調査により、13世紀後半~15世紀初頭に最新活動を行った可能性が高いことが判明している(杉山ほか, 1993)。

18. 養老起震断層

松田(1990)の養老断層、桑名断層群および関ヶ原断層帯を合わせたものに当たる。養老断層と桑名断層群は、完新世の活動履歴が一致し(須貝ほか, 1999)、セグメント区分の基準1)~4)に該当するデータがないことから、単一の活動セグメント: 養老セグメント(55 km)と見なす。また、基準1)より、関ヶ原セグメント(6 km)が区分されるが、本報告では同セグメントには言及しない。

18-1. 養老セグメント: 詳細な群列ボーリングとビット調査の結果、本セグメントの最新活動は14世紀以降、その一つ前の活動は7~9世紀に生じたことが判明した(須貝ほか, 1999)。完新世における平均活動間隔は1~2千年と見積もられ、平均よりもかなり短い間隔で、最近2回の活動が生じたと考えられる。また、平均上下変位速度は約2 m/千年、1回の上下変位量は5~6 mと求められた(須貝ほか, 1999)。

19. 大藪一津島線および大垣-今尾線

濃尾平野西部に伏在するとされる大藪一津島線と大垣-今尾線を横断して反射法地震探査を行った結果、基盤岩と第三紀以降の被覆層のいずれにも断層の存在を示す構造は認められなかった(須貝・杉山, 1998)。したがって、これらの伏在断層は存在しないと考えられる。

IV. 活断層の活動と歴史地震との対応

ここでは、以下の6つの歴史地震を取り上げ、活断層調査によって明らかにされた活断層の活動(古地震イベ

ント)と歴史地震との対応の可能性について検討する。

1. 745年(天平17年)の地震

この地震では、美濃国を中心に多くの建物が倒壊したことが『続日本紀』に記述されている(寒川, 1997)。前章で述べたように、養老セグメント(養老断層+桑名断層)は14世紀以降に最新の活動を行い、その一つ前の活動は7~9世紀に生じたと考えられる。したがって、745年の地震は養老セグメントの2番目に若い活動に対応する可能性がある(須貝ほか, 1999)。

2. 1325年(正中2年)の地震

この地震では、竹生島の崩壊、敦賀の気比神宮の倒壊など、琵琶湖北岸域から敦賀にかけての地域の被害が知られている(例えば、宇佐美, 1996)。この地震は、竹生島の東方約10 kmに位置する余呉川セグメント(柳ヶ瀬断層南部)の13~15世紀と推定される最新活動に対応する可能性がある。また、前章で述べた黒河川セグメント(敦賀断層南部)の12世紀末~14世紀と考えられる最新活動も、この地震に対応する可能性がある。

3. 1586年(天正13年)の天正地震

この地震は、飛騨・越中から濃尾平野にかけての広範な地域に大きな被害を与えた(例えば、飯田, 1987)。この地震については、兵庫県南部地震以前に地質調査所と電力中央研究所が実施した活断層調査の結果から、中部山地の御母衣断層系と阿寺断層の活動に対応する可能性が指摘されている(栗田ほか, 1986; 杉山ほか, 1991; 遠田ほか, 1995など)。天正地震による濃尾平野の大規模な被害を考慮すると、14世紀以降の養老セグメントの最新活動も、この地震に対応する可能性が高いと考えられる(須貝ほか, 1999)。

4. 1596年(慶長元年)の伏見地震

この地震では、京阪神地域に大きな被害が生じ、淡路島を含む同地域の広い範囲で、この時代の地震跡が発見されている(寒川, 1992)。活断層調査の結果から、高槻セグメント(有馬-高槻断層帯)の最新活動(鎌倉~室町時代以降/江戸時代以前)と東浦セグメントの最新活動(16世紀以降)がこの地震に対応する可能性が高い。また、12世紀以降と推定される先山セグメントの最新活動も、同断層近傍の遺跡において、鎌倉時代以降/江戸時代中期以前の地震跡が発見されていることを考え合わせると、この地震に対応する可能性がある(吉岡ほか, 1997)。

他機関による活断層調査では、中央構造線四国起震断層の父尾断層と神田断層が本地震に伴って活動した可能性が指摘されている(Tsutsumi and Okada, 1996; 岡田・堤, 1997)。また Lin *et al.*(1998)は、六甲山地南麓

の五助橋断層(六甲山セグメントの一部)の最新活動もこの地震に対応する可能性が高いとしている。

5. 1662年(寛文2年)の琵琶湖西岸地震

この地震では、近畿三角帯北部の広い範囲で被害が生じ、琵琶湖西岸と三方五湖周辺では地殻変動があったことが知られている(宇佐美ほか, 1977; 大長・松田, 1982; 岡田, 1984など)。活断層調査により判明した途中谷セグメント(花折断層北部)の最新活動(15~17世紀)と三方セグメントの最新活動(平安時代以降)がこの地震に対応すると考えられる(吉岡ほか, 1998a; 小松原ほか, 1999b)。このほか、駄口セグメントの最新活動(15~17世紀)と15~17世紀に絞られる可能性のある野坂セグメントの最新活動についても、琵琶湖西岸地震との対応を検討する余地が残されている。

一方、大長・松田(1982)や寒川・佃(1987)などにより、本地震を起こした可能性が高いとされた琵琶湖西岸起震断層のうち、北部の饗庭野セグメントについては、その可能性を否定する調査結果が得られた(小松原ほか, 1999a)。しかし、南部の比良セグメントについては、この地震の際の活動を裏づける、あるいは否定する地質学的データは得られておらず、今後の課題である。

6. 1854年(安政元年)の伊賀上野地震

この地震は、伊賀上野を中心に奈良から伊勢湾西岸に至る地域に被害をもたらした。地震に伴う地変(上野盆地の相対的低下)などから、木津川セグメントの活動によるものと推定されてきた(大長・藤田, 1982; 宇佐美, 1996など)。前章で述べたように、安土桃山時代以降の最新活動が確認されたことから、木津川セグメントが伊賀上野地震の際に活動したことはほぼ確実と考えられる(荻谷ほか, 1999)。

7. 活断層の活動と歴史地震との対応付けの意義

上で取り上げた歴史地震のうち、少なくとも745年の地震と1854年伊賀上野地震を除く4つの地震は、複数の活動セグメントおよび複数の起震断層の活動により引き起こされた可能性が高い。これは、将来の地震の予測に当たって、同じ起震断層を構成する活動セグメントの連動はもとより、複数の起震断層の連鎖的な活動をも考慮する必要があることを示している。

V. 地震危険度評価

本章では、近畿三角帯の主要活断層を対象として、最新活動後の経過時間率と地震の発生確率を用いて実施した地震危険度評価について述べる。地震危険度の評価に先立ち、各活動セグメントの断層パラメーター相互の整

合性を吟味した。特に、複数の断層活動(古地震イベント)から活動間隔が得られているセグメントについては、その活動間隔が1回の変位量と平均変位速度から推定される平均活動間隔と大きく矛盾していないかを検討した。その結果、饗庭野セグメントを除く各セグメントについては、大きな矛盾がないことが確かめられた。

饗庭野セグメントでは、最新を含む2つの古地震イベントから得られた活動間隔が、最新活動時の上下変位量と始良 Tn 火山灰降下以降の平均上下変位速度から推定される活動間隔の2~3倍に達する(小松原ほか, 1999a)。調査データを再検討した結果、1)先行活動の上限年代を制約する年代データが十分ではなく、上限年代がより若くなる可能性があること、2)先行活動を認定した層準と最新活動層準との間に、複数の活動があったことを必ずしも否定できないこと、が判明した。一方、平均変位速度および最新活動時の変位量については、それらの値を大きく変更させ得る要素は認められなかった。したがって、饗庭野セグメントの評価に当たっては、より信頼性が高いと判断される最新活動時の変位量と平均変位速度から推定される活動間隔を用いた。

また、古地震イベントおよび1回の変位量+平均変位速度のいずれからでも、活動間隔が得られていないセグメントのうち、いくつかのセグメントについては、表1に示すように、周辺に分布する他の活動セグメントのデータなどに基づいて、活動間隔を外挿して評価を行った。

1. 経過時間率による評価

評価の対象とした31の活動セグメントのうち、経過時間率(最新活動後の経過時間を活動間隔で除した値)の最小値と最大値がともに1以上となったセグメントは、琵琶湖西岸起震断層の饗庭野セグメントだけである(表1)。

中央構造線と泉一金剛起震断層の根来セグメントと金剛セグメントは、経過時間率の最大値のみが1以上となった。また、中央構造線と泉一金剛起震断層の紀淡海峡セグメント、京都西山起震断層の世木林セグメント、花折起震断層の北白川セグメントの3つは、経過時間率またはその最大値が0.5以上となった(表1)。

以上の6セグメントがMatsuda(1981)の認定基準Iによる要注意断層に相当し、その中でも饗庭野セグメントの地震危険度が最も高いと判断される。次いで、経過時間率の最小値が0.9の根来セグメントの地震危険度が高いと考えられる。金剛セグメントは、経過時間率の最小値が0.1であることから、必ずしも危険度が高いとは即断できない。

一方、経過時間率が0.5未満と推算された活動セグメントは、高槻、六甲山、北淡、東浦、先山、生駒、木津川、途中谷、三方、野坂、黒河川、駄口、余呉川、養老の合計14セグメントである。これらのセグメントの地震危険度は、饗庭野セグメントや根来セグメントに比べて低いと判断される。

鳴門海峡、五条谷、志筑、湊一本庄、上町、天理、三峠、志和賀、比良、笙の川、椿坂峠の11セグメントでは、経過時間率を算出することができず、経過時間率による地震危険度の評価はできない。このうち、志筑、上町、笙の川、椿坂峠の4セグメントでは、経過時間が7千年以上に達している。これらのセグメントについては、活動間隔 $\geq$ 経過時間と仮定することにより、次に述べる地震の発生確率による評価がある程度可能である。

2. 地震の発生確率による評価

地震調査委員会長期評価部会(1999)の検討結果に基づいて、個々の活動セグメントから発生する地震の間隔が対数正規分布に従い、その標準偏差を0.23と仮定した場合の今後100年以内の地震発生確率(条件付き確率)を求めた。確率の算出に当たっては、各活動セグメントが独立に活動し、他の活動セグメントの活動の影響を受けないと仮定した。また、1995年兵庫県南部地震による震源域周辺の地殻応力の変化(例えば、Toda *et al.*, 1998)は考慮していない。確率の計算には、Press *et al.*(1996)による相補誤差関数(complementary error function)の指数型近似式を用いた。

求められた確率は、表1に示すように大きな数値幅をもつが、今回はその最大値によって、活動セグメントを図1に示す6つのセグメント群(地震の発生確率が不明な群を含む)に区分して、評価を行った。各群に属する活動セグメントは以下のとおりである。

- 1) 今後100年間の地震発生の最大確率および最小確率がともに10%以上：饗庭野セグメント
- 2) 今後100年間の地震発生の最大確率のみが10%以上：根来、金剛の2セグメント
- 3) 今後100年間の地震発生の最大確率が1%以上、10%未満：志筑、上町、世木林、笙の川、椿坂峠の5セグメント
- 4) 今後100年間の地震発生の最大確率が0.2%以上、1%未満：紀淡海峡、北白川の2セグメント
- 5) 今後100年間の地震発生の最大確率が0.2%未満：高槻、六甲山、北淡、東浦、先山、生駒、木津川、途中谷、三方、野坂、黒河川、駄口、余呉川、養老の14セグメント

6) 今後 100 年間の地震発生の確率が不明：鳴門海峡、五条谷、湊一本庄、天理、三峠、志和賀、比良の 7 セグメント

この群区分から、当然ではあるが、経過時間率による評価と同様に、饗庭野セグメントの地震危険度が最も高いと判断される。2), 3), 4) 群に属するセグメントの危険度は、確率の最小値がほぼ 0% のセグメントが多いため、単純にこの順に危険度が下がると考えることはできない。これらの中では、経過時間率による評価と同様に、確率の最小値が 0.6% と求められた根来セグメントの危険度が饗庭野セグメントに次いで高いと判断される。3) 群には、活動間隔 $\geq$ 経過時間と仮定した、経過時間 7 千年以上の志筑、上町、笹の川、椿坂峠の 4 セグメントが含まれる。5) 群に属する 14 のセグメントは、経過時間率が 0.5 未満の 14 のセグメントと一致する。

3. 評価結果からみた今後詳細調査を行うべき起震断層

以上の地震危険度評価から、今後さらに詳細な調査を行うべき起震断層として、琵琶湖西岸断層、中央構造線四国断層、同和泉—金剛断層、上町断層があげられる。

(1) 琵琶湖西岸起震断層

饗庭野セグメントに関しては、既述のように、これまでに得られている断層パラメーターが整合していない。本セグメントの地震危険度をより正確に見積もるため、完新世における古地震イベントの発生時期をはじめとして、活動履歴データの質を向上させる必要がある。

比良セグメントに関しては、1662 年琵琶湖西岸地震に伴う活動の有無を地質学的に確定する必要がある。本セグメントについては、Ⅲ章で述べたように、約 2 千年前かそれ以前の活動が推定されている。したがって、比良セグメントが琵琶湖西岸地震の際に活動していないとすると、同セグメントの今後 100 年間の地震発生確率は、10% 以上に達している可能性が高くなる。

(2) 中央構造線四国および和泉—金剛起震断層

根来セグメントの最新活動時期には約 2 千年の幅がある。このため、地震の発生確率には大きな幅があり、また最新の活動がこのセグメント単独の活動なのか、西側あるいは東側のセグメントとの連動なのかも判っていない。最新活動が約 3 千年前に生じたとすると、鳴門海峡、紀淡海峡、根来の 3 セグメントを含む、少なくとも 80 km の区間が連動した可能性が考えられる。この場合、根来セグメントの今後 100 年間の地震発生確率は 10～30% 程度となる。一方、最新活動が 2 千年前頃にあったとすると、東の金剛セグメントとの連動の可能性が出て

くる。この場合には、今後 100 年間の地震発生の確率は 0.6～20% 程度となる。

(3) 上町起震断層

本起震断層は大阪市街を縦断しており、全体の長さは 44 km に達する。現在得られている平均上下変位速度 (0.4 m/千年) と経過時間 (1.5 万年) によると、次の活動では 6m に達する上下変位が生じる可能性がある。大都市の直下において、このような変位が生じた場合の重大さは改めて指摘する必要もないであろう。今後、本起震断層全体にわたって、最新活動時期を始めとする活動履歴データの取得と検証に務め、地震危険度の評価とセグメンテーションの精緻化を図る必要がある。

VI. おわりに

本論を終えるに当たり、今回の地震危険度評価における留意点を以下に列挙する。

1. 今回の地震危険度評価において、評価の対象とした地震は、各活動セグメントから発生する最大規模の地震である。すべりが断層深部でのみ生じ、地表には断層が現れないような、小規模な地震は含まれていない。

2. 本論で紹介した地震の発生確率による危険度評価は、おもにその最大値に基づいて行われたものである。したがって、今後 100 年間の地震発生の最大確率を 0.2% 以上と評価した活動セグメントのいくつかでは、地震危険度を実際よりも過大に見積もっている可能性がある。

3. 逆に、今後 100 年間の地震発生の最大確率を 0.2% 未満と評価した活動セグメントの中には、その規模や分布の複雑さに比べて、データの取得地点数が著しく不十分なものが含まれている (例えば、生駒セグメント)。

4. したがって、今後、各活動セグメントについて、より多くの地点でデータを取得すると共に、データの質の向上にも努め、セグメンテーションと地震危険度評価の信頼性を高めて行く必要がある。

本研究グループでは、これらの点を踏まえて、活断層の危険度評価の進展に努めるとともに、新しい情報を速やかに社会に提供することを通じて、地震被害の軽減に貢献して行きたいと考えている。

謝辞 地質調査所活断層研究グループには、平成 10 年度までに、本論の作成に加わった 14 名以外に、地質調査所所属者 17 名、大学等他機関所属者 12 名の合計 29 名の方々に参画いただいた。ここに記して、これらの参画者の皆様に篤く御礼申し上げる。また、本論の査読に

当たられ、貴重なコメントをいただいた京都大学の堤浩之氏に御礼申し上げる。

引用文献

- 栗田泰夫 (1996) 淡路島中部, 志筑断層の地質調査による活動性調査. 地質調査所研究資料集, 232.
- 栗田泰夫 (1999) 日本の地震断層におけるセグメント構造とカスケード地震モデル (試案). 地質調査所速報, EQ/99/3, 275-284.
- 栗田泰夫・佃 栄吉・山崎晴雄・水野清秀 (1986) 阿寺断層の最近の活動史—加子母・付知・坂下・山口におけるトレンチ発掘調査から—. 第2回阿寺断層現地シンポジウム報告集, 1-11.
- 栗田泰夫・寒川 旭・杉山雄一 (1997) 有馬—高槻—六甲断層帯の古地震調査—兵庫県南部地震の長期予測は可能であったか?—. 日本地震学会シンポジウム「大地震の長期予測はどこまで可能か?」講演予稿集, 1-5.
- 大長昭雄・藤田和夫 (1982) 安政元年六月の伊賀上野地震—連動したか? 活断層. 萩原尊禮編著「古地震—歴史資料と活断層からさぐる」: 231-287, 東京大学出版会.
- 大長昭雄・松田時彦 (1982) 寛文二年の近江の地震—地変を語る郷帳. 萩原尊禮編著「古地震—歴史資料と活断層からさぐる」: 203-230, 東京大学出版会.
- 愛媛県 (1999) 中央構造線断層帯 (愛媛北西部・石鎚山脈北縁) に関する調査. 第3回活断層調査成果報告会予稿集, 331-346, 科学技術庁.
- 飯田汲事 (1987) 天正大地震誌. 552 p, 名古屋大学出版会.
- 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. 74 p, 地震調査研究推進本部.
- 海上保安庁水路部 (1980) 沿岸の海の基本図 (5 万分の1) 若狭湾東部.
- 荻谷愛彦・伏島祐一郎・宮地良典・水野清秀・佐竹健治・寒川 旭・井村隆介 (1999) 木津川断層系の古地震調査. 地質調査所速報, EQ/99/3, 103-113.
- 小松原 琢・水野清秀・寒川 旭・七山 太・木下博久・新見 健・間野道子・吉村辰朗・井上 基・葛原秀雄・図司高志・中村美重・横井川博之 (1999a) 琵琶湖西岸活断層系北部・饗庭野断層の活動履歴. 地震2輯, 51, 379-394.
- 小松原 琢・水野清秀・寒川 旭・山崎晴雄 (1999b) 三方断層のトレンチ調査と寛文地震時の地殻変動に関する検討. 地質調査所速報, EQ/99/3, 197-213.
- Lin, A., Maruyama, T. and Miyata, T. (1998) Paleoseismic events and the 1596 Keicho-Fushimi large earthquake produced by a slip on the Gosukebashi fault at the eastern Rokko Mountains, Japan. *Island Arc*, 7, 621-636.
- Matsuda, T. (1981) Active faults and damaging earthquakes in Japan—Macroseismic zoning and precaution fault zones. Simpson, D.W. and Richard, P. G. (eds.) *Earthquake prediction: An international review*. Maurice Ewing Ser. 4: 279-289, Am. Geophys. Union, Washington D.C.
- 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.
- 水野清秀・吉岡敏和・岡村 眞・松岡裕美 (1996) 淡路島南部, 湊一本庄断層の活動性調査. 地質調査所研究資料集, 259, 23-32.
- 水野清秀・小松原 琢・七山 太・寒川 旭・山崎博史 (1997) 琵琶湖西岸断層系の活動性調査. 地質調査所研究資料集, 303, 23-35.
- 水野清秀・佃 栄吉・宮地良典 (1998) 和歌山平野伏在活断層のボーリング調査 (補備調査). 地質調査所速報, EQ/98/1, 179-186.
- 水野清秀・小松原 琢 (1999) 琵琶湖西岸断層系堅田断層及び今津—高島湖冲断層の補備調査. 地質調査所速報, EQ/99/3, 215-224.
- 水野清秀・小松原 琢・山崎晴雄 (1999) 音波探査及びボーリングによる三方五湖低地帯の地下構造調査. 地質調査所速報, EQ/99/3, 187-195.
- 七山 太・北田奈緒子・竹村恵二・杉山雄一 (1998) 群列ボーリング及びS波反射法地震探査による上町断層系住之江撓曲の活動履歴調査. 地質調査所速報, EQ/98/1, 137-149.
- 七山 太・佃 栄吉・水野清秀・石井久夫・北田奈緒子・竹村恵二 (1999) 中央構造線活断層系, 友ヶ島水道断層の完新世における活動履歴調査. 地質調査所速報, EQ/99/3, 235-252.
- 岡田篤正 (1984) 三方五湖低地の形成過程と地殻運動. 「鳥浜貝塚—縄文前期を主とする低湿地遺跡の調査4—」: 9-42, 若狭歴史民俗資料館.
- 岡田篤正・千田 昇・中田 高 (1996) 2万5千分の1都市圏活断層図「岸和田」. 国土地理院.
- 岡田篤正・堤 浩之 (1997) 中央構造線活断層系父尾断

- 層の完新世断層活動. 地学雑誌, 106, 644-659.
- 岡田篤正・松井和夫・遠藤 理・有吉道春・斉藤 勝 (1999) 中央構造線活断層系根来断層の性状と最新活動一和歌山市今滝(仁王谷)でのトレンチ調査一. 活断層研究, 18, 37-54.
- 奥村晃史・寒川 旭・須貝俊彦・高田将志・相馬秀廣 (1997) 奈良盆地東縁断層の総合調査. 地質調査所研究資料集, 303, 51-62.
- 大野裕記・小林修二・長谷川修一・本莊静光・長谷川 正 (1997) 四国北西部伊予灘海域における中央構造線活断層系の深部構造とセグメンテーション. 四国電力・四国総合研究所研究期報, 68, 48-59.
- 大阪府 (1999) 上町断層帯に関する調査. 第3回活断層調査成果報告会予稿集, 139-148, 科学技術庁.
- Press, W.H., Teukolsky, S.A., Vetterling, W.T. and Flannery, B.P. (1996) *Numerical recipes in Fortran 77, second edition: The art of scientific computing, Vol. 1.* 933 p, Cambridge University Press.
- 寒川 旭 (1986) 誉田山古墳の断層変位と地震. 地震2輯, 39, 15-24.
- 寒川 旭 (1992) 地震考古学. 251 p, 中央公論社.
- 寒川 旭 (1997) 揺れる大地ー日本列島の地震史. 272 p, 同朋舎出版.
- 寒川 旭・佃 栄吉 (1987) 琵琶湖西岸の活断層と寛文2年(1662年)の地震による湖岸地域の水没. 地質ニュース, 390, 6-12.
- 寒川 旭・杉山雄一・宮地良典 (1996) 有馬一高槻構造線活断層系の活動履歴及び地下構造調査. 地質調査所研究資料集, 259, 33-46.
- 佐竹健治・須貝俊彦・寒川 旭・柳田 誠・横田 裕・岩崎孝明・小俣雅志・石川 玲 (1999) 奈良県金剛断層系の構造と最新活動時期. 地震2輯, 52, 65-79.
- 下川浩一・荻谷愛彦・宮地良典・寒川 旭 (1997) 生駒断層系の活動性調査. 地質調査所研究資料集, 303, 37-49.
- 須貝俊彦・伏島祐一郎・栗田泰夫・吾妻 崇・荻谷愛彦・鈴木康弘 (1999) 養老断層の完新世後期の活動履歴ー1586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.
- 須貝俊彦・杉山雄一 (1998) 大深度反射法地震探査による濃尾平野の活構造調査. 地質調査所速報, EQ/98/1, 55-65.
- 杉山雄一 (1997) 上町断層系の反射法弾性波探査. 地質調査所研究資料集, 303, 105-113.
- 杉山雄一・栗田泰夫・佃 栄吉 (1991) 御母衣断層系の完新世断層活動と1586年天正地震ートレンチ掘削調査による検討一. 地震2輯, 44, 283-295.
- 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, 11, 100-109.
- 杉山雄一・寒川 旭・吉岡敏和・佐竹健治 (1998a) 野坂断層の活動履歴調査. 地質調査所速報, EQ/98/1, 113-124.
- 杉山雄一・吉岡敏和・寒川 旭・佐竹健治 (1998b) 敦賀断層の活動履歴調査. 地質調査所速報, EQ/98/1, 101-112.
- 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, EQ/99/3, 173-186.
- 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, EQ/99/3, 285-309.
- 遠田晋次・井上大栄・久保内明彦・高瀬信一・二階堂 学 (1995) 阿寺断層系の活動と1586年天正地震: 小郷地区, 青野原地区, 伝田原地区トレンチ掘削調査. 地震2輯, 48, 401-421.
- Toda, S., Stein, R.S., Reasenberg, P.A. and Dieterich J. H. (1998) Stress transferred by the 1995 Mw=6.9 Kobe, Japan, shock: Effect on aftershocks and future earthquake probabilities. *Jour. Geophys. Res.*, 103, 24543-24565.
- 佃 栄吉・水野清秀・宮地良典・寒川 旭 (1998) 中央構造線活断層系・根来断層のトレンチ調査. 地質調査所速報, EQ/98/1, 161-177.
- Tsutsumi, H. and Okada, A. (1996) Segmentation and Holocene surface faulting on the Median Tectonic Line, southwest Japan. *Jour. Geophys. Res.*, 101, 5855-5871.
- 植村善博・竹村恵二・川畑大作・金田平太郎・岡田篤正 (1997) 丹波高地南西部, 殿田断層のトレンチ調査と最近の断層運動. 日本地理学会予稿集, 52, 210-211.
- 宇佐美龍夫 (1996) 新編日本被害地震総覧 [増補改訂版 416-1995]. 493 p, 東京大学出版会.
- 宇佐美龍夫・松田時彦・岡田篤正 (1977) 寛文2年(1662年)の地震に伴う若狭湾岸三方五湖付近の土地隆起. 地震予知連絡会会報, 17, 143-145.
- 吉岡敏和・水野清秀・榊原信夫 (1997) 淡路島中部, 先

- 山断層の最新活動とその意義. 活断層研究, 16, 87-94.
- 吉岡敏和・苅谷愛彦・七山 太・岡田篤正・竹村恵二 (1998a) トレンチ発掘調査に基づく花折断層の最新活動と1662年寛文地震. 地震2輯, 51, 83-97.
- 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 (1998b) 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輯, 51, 281-289.
- 吉岡敏和・吾妻 崇・下川浩一 (1999) 三峠断層系三峠断層及び殿田断層の活動履歴調査. 地質調査所速報, EQ/99/3, 225-233.

Active Fault Investigation in the Kinki Triangle : Paleoseismicity and Earthquake Potential of Major Active Faults

Active Fault Research Group of the Geological Survey of Japan*

After the 1995 Kobe (Hyogoken-Nanbu) earthquake, the Geological Survey of Japan began conducting systematic investigation of major active faults in the Kinki Triangle. We had studied 25 active faults and fault systems by the end of the 1998 fiscal year. These faults and fault systems were rearranged into 18 seismogenic faults based on the criteria proposed by Matsuda (1990). We then divided each seismogenic fault into 1 to 5 behavioral segments, using differences in rupture history, 2-km separation between adjoining faults, and a value of $20,000 \times \text{displacement per event}$ as criteria for segmentation.

We attempted to correlate the paleoearthquake events revealed at each behavioral segment with historical earthquakes. The correlation has led to the conclusion that several disastrous earthquakes, such as the 1586 Tensho and 1596 Fushimi earthquakes, were produced by a multiple rupture of several be-

havioral segments and seismogenic faults. This shows the need to take multiple rupturing and fault interaction into consideration in forecasting future earthquakes.

The earthquake potential of each segment was assessed on the basis of elapsed time ratio and earthquake probability in the future. The 100-year earthquake probability of the 24-km-long Aibano segment on the west coast of Lake Biwa is estimated at 12 to 38%. The maximum 100-year earthquake probabilities of the Negoro and Kongo segments in Kii Peninsula are estimated to be 30% and 17%, respectively. The 44-km-long Uemachi segment traversing Osaka City has about a 5% earthquake probability in the 21st century at maximum. We anticipate that these behavioral segments will be subjected to further investigation in order to refine the assessments of their earthquake potential.

* Active Fault Research Section, Earthquake Research Department, Geological Survey of Japan. 1-1-3 Higashi, Tsukuba, Ibaraki, 305-8567, Japan. E-mail : XXXXXXXXXX