山崎断層西端部地域の活構造

京都大学理学部地質学鉱物学教室*¹ 桂 郁雄・山田悦久・西村 進
九州大学工学部資源工学教室*² 茂 木 透
大谷大学文学部*³ 西 田 潤 一
京都大学防災研究所鳥取微小地震観測所*⁴ 中 尾 節 郎

Tectonic Zones at the Western-end Region of the Yamasaki Fault

Ikuo KATSURA, Yoshihisa YAMADA, Susumu NISHIMURA

Department of Geology and Mineralogy, Faculty of Science, Kyoto University,
Kitashirakawa-Oiwake-cho, Sakyo-ku, Kyoto-shi, Kyoto-fu 606, Japan

Tohru Mogi

Department of Mining, Faculty of Engineering, Kyushu University, Hakozaki 6-10-1,
Higashi-ku, Fukuoka-shi, Fukuoka-ken 812, Japan

Jun'ichi NISHIDA

The Faculty of Literature, Otani University, Koyama-Kazusa-cho, Kita-ku,
Kyoto-shi, Kyoto-fu 603, Japan

and Setsuro NAKAO

Tottori Microearthquake Observatory, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University,
Engoji-Hamada 257-2, Tottori-shi, Tottori-ken 680, Japan

(Received August 3, 1989; Accepted September 22, 1989)

Geophysical surveys were carried out to trace the fracture zones in the Awakura and the Ute areas, the northeastern part of Okayama Prefecture, which borders on Tottori and Hyogo Prefectures. The Yamasaki fault terminates in these areas. The methods employed were ELF-magnetotelluric sounding and γ -ray survey. The trends of low resistivity zones were deduced from the principal axis directions of impedance tensor. The peak positions of γ -ray count rate suggest the location of fault lines at the surface layer. The traces of faults were estimated from the results of the surveys combining with the topographic lineaments. The estimated traces show that the Yamasaki fault sprays westward into several branches. A north-south striking fracture, which is tentatively named the Ute fault, is also estimated along the west side of the Kajinami River in Katsuta-cho. The northern extension of the Ute fault is considered to be linked with the linear array of epicenters between Tottori and Chizu. The Ute fault is a candidate for the boundary of tectonic blocks dividing the Chugoku and the Kinki districts.

§ 1. はじめに

潜在活断層も含めて活断層の分布を詳しく調べることに
により、近畿地方北西部地域においては、地殻、少なく
ともその上部は、主要な横ずれ型活断層により境された

ブロック構造を成していることが明らかにされてきた
[桂・他(1987), 茂木・他(1985a)]. 山崎断層はそうし
たブロック境界をなす活断層の一つである (Fig. 1).

山崎断層については、従来知られていたトレースの東
端 (兵庫県福崎町) [活断層研究会 (1980)] よりさらに東
方へも潜在的に存在し、三田市で^{さんだ}十万辻断層につながる
ことが分かっている [茂木・他(1985b)]. 一方、西方へ
は岡山県勝田町付近まで追跡されている [福井(1981),

*¹ 〒606 京都市左京区北白川追分町

*² 〒812 福岡市東区箱崎 6-10-1

*³ 〒603 京都市北区小山上総町

*⁴ 〒680 鳥取市円護寺浜田 257-2

Fig. 1. Surveyed area (in square) and distributions of tectonic blocks and major active faults. Broken line is the estimated part of faults after KATSURA *et al.* (1987), MOGI *et al.* (1985a, b), NISHIMURA *et al.* (1986) and this study. TA: Tamba, HO: Hokutan, MA: Maizuru, HA: Harima, BI: Biwa-ko, NA: Nara, and OS: Osaka blocks. YSF: Yamasaki, STL: Sanda-Yamasaki, JMF: Jumantsuji, ATL: Arima-Takatsuki, TTF: Takatsukayama, RKF: Gosukebashi, Suwayama and Suma, NYF: Nishiyama, YGF: Yagi, YBF: Yabu, MTF: Mitoku, YDF: Yamada, MKF: Mikata, HOF: Hanaori, IKF: Ikoma, KZF: Kizugawa, TGF: Tongu, SKF: Suzuka, YNF: Yanagase, YRF: Yoro, FWF: Fujiwaradake, ISF: Ise-Bay, MTL: Median Tectonic Line, and UTF: Ute faults.

活断層研究会 (1980), 金属鉱業事業団 (1980)]. しかし, 勝田町豊成より西では, 不確かさが増し, さらに断層の枝分かれがあったりし, かつ, より西の那岐山断層 [活断層研究会 (1980)] 等との関係も明らかではない [福井 (1981)]. また, 山崎断層の最西端付近を境に東と西とで活断層の分布状態が大きく異なるのも, よく知られている [活断層研究会 (1980), 岡田・安藤 (1979)].

以上の事から, 山崎断層最西端付近には, 近畿北西部と中国地方を区切る大きな活構造 (ブロック境界の役割をなす) が南北走向に存在するのではないかと考えられる. この地域の微小地震の震央分布 (Fig. 2) を見ると, 山崎断層系の活動が最も顕著であるが, その他に鳥取市から智頭町付近まで微小地震の震央分布が带状に延びること [尾池 (1976)] が知られている. こうした事実を念頭に置いて, とくに南北走向のブロック境界をなす活断層が潜在しているかどうか検証する探査を行った. 探査地域は岡山県北東部の勝田郡勝田町を中心に奈義町, 英田郡大原町・西栗倉村・東栗倉村, 鳥取県八頭郡智頭町, 兵庫県六粟郡千種町に及ぶ (Fig. 3).

§ 2. ELF-MT 探査

ELECTROMAGNETIC RESEARCH GROUP FOR THE ACTIVE FAULT (1982) 等に述べられているように, 大規模な活断層では明瞭な低比抵抗帯がみられることが多い. 探査地域では, 多くの断層が存在することが知られている [中国地方土木地質図編纂委員会 (1984)]. これらの断層やその延長, あるいは未発見の潜在する断層について, ブロック境界の活断層に相当するものを捜すために, まず初めに, 地域全体にわたり ELF 帯の自然電磁波を用いたマグネテリク (ELF-MT) 探査を実施して, 破碎帯と推定できる低比抵抗構造を捕捉することにした. MT 測点は山崎断層系と未知の南北走向断層を捕捉できるよう配置した (Fig. 3).

ELF-MT 法の測定では, 磁場・電場とも南北 ($H_x \cdot E_x$) 及び東西 ($H_y \cdot E_y$) を同時に 10 分間程度測定した. 磁場センサーはインダクションコイル, 電場センサーは銅製棒電極である. MT 法で得られるテンソルインピーダンスは, 磁場を入力, 電場を出力と考えたときの 2 入力・1 出力システムの伝達関数として与えられる [REDDY and RANKIN (1974)]. 従って, データの良悪は, 入出力

Fig. 2. Seismicity map around the surveyed area during May 1, 1976–March 31, 1989 (after TOTTORI MICROEARTHQUAKE OBSERVATORY). Focal depth is shallower than 30 km.

間のコヒーレンシーとして評価できる。記録したデータは、125 Hz でサンプリングし、256 個ごとに FFT をかけ、スペクトルを求めた。こうして求めたスペクトルを 5 回スタッキングしたものについて、磁場入力 (H_x , H_y)・電場出力 (E_x または E_y) 間のマルチプルコヒーレンシーの下限と磁場 (H_x , H_y) 間のコヒーレンシーの上限を 0.5 としてデータの選別を行った。この条件を満足したもの全てを重ね合わせたスペクトルより、テンソルインピーダンスを算出した [VOZOFF (1972)]。さらに、主軸変換により、地下構造が二次元的であるという前提のもとに、インピーダンステンソルの主軸方向を求めた。また、スキューが 0.5 以下のもののみを採用することとした。

その結果は、シューマン共振周波数のうち 7.8 Hz のものを例として Fig. 4 に示した。図では、主軸方向の見掛け抵抗値を線の長さで表した。主軸方向は長軸・短軸で示されている。活断層のような破砕帯に相当する低比抵抗帯が二次元的に伸びているときは、そのような構造の上および近傍で見掛け抵抗は異質性が顕著になる。低比抵抗帯の上では長軸はその層の伸びの方向に平行に、その両側近傍では長軸はその層の伸びの方向に直角に向く。こうしたことをもとに破砕帯の位置を推定すれば、

最も顕著なものは梶並川に沿った南北走向の構造であろう。B12 から B17 にかけての測点で、南北方向に伸びる顕著な長軸により、低比抵抗帯が推定できる。その他には、木地山から右手峠にかけての北東-南西走向の構造が B6~B9 測点より推察される。また、木地山峠付近にも西北西-東南東走向の構造が A19~A22 測点より示唆される。

活断層地図 [活断層研究会 (1980)] と比較してみれば、木地山から右手峠にかけてのリニアメントが北東-南西走向の構造に該当する。西栗倉村坂根から塩谷にかけて活断層であると推定される東西走向のリニアメント (確実度Ⅱ) が記されている [活断層研究会 (1980)] が、Fig. 4 を見る限り検知し得ていない。わずかに塩谷新田あたりの南北に伸びた A17~A19 測点の長軸の向きが東西走向の構造の縁を示しているかとも見える。また、木地山峠を通る西北西-東南東走向の構造は、西栗倉村茂津・知社から木地山峠に伸びる微小地震の分布 (Fig. 2 参照) に相当するかと考えられる。この構造は山崎断層の主断層に平行した断層と見なすことができ、活断層地図では活断層の疑いのあるリニアメント (確実度Ⅲ) とされている [活断層研究会 (1980)]。Fig. 2 では木地

Fig. 3. Map showing the surveyed area. Solid circles are the ELF-MT sites. Squares of (a) to (e) are the γ -ray survey areas. Solid and broken (estimated in this study) lines are traces of the faults. YSF: Yamasaki, and UTF: Ute faults.

山崎南側に微小地震の多発する果があるが、これはこの構造（山崎断層系）と木地山峠から南南西に延びるリニアメント（地形図から読み取れる）との交点に位置する。ただし、微小地震は 30 km より浅いが、断層構造は未詳である。

梶並川に沿った南北の構造は、これまで知られていなかったが、勝田町のこの地域では、山崎断層系の延長上にある断層がいくつか推定されていた。Fig. 4 の見掛比抵抗分布を見る限り、南北に延びた長軸方向が数点にわたり連続するので、山崎断層系の西北西-東南東走向の構造の縁を捉えているとするよりも、南北方向に低比抵抗帯が延びていると考えられる。地形図から読み取れる梶並川に沿ったリニアメントは、川の右岸（西側）で顕著である。このことより、梶並川に沿って南北走向の断層が潜在的に存在し、かつ主破砕部は川の西側らしいと推定できる。ただし、断層の露出が悪いため、現在のところ、どういう動きをした断層であるかは未確認である。この構造を右手断層と仮に呼ぶことにする。

§ 3. γ 線 探 査

ELF-MT 探査により新たに推定された右手断層が通る位置を明確にするため、 γ 線シンチレーションサーベイメーターを用いた γ 線探査を行った。併せて山崎断層系との関係をも推定できるように測線を配置した。 γ 線探査の測線位置は Fig. 3 に、より詳細な測点位置図と γ 線線量率プロフィールを Fig. 5 に示す。 γ 線の測定は、各測点ごとにサーベイメーターのディテクターを挿入できる穴を約 10 cm の深さであけ、そこで 5 秒ごとに 12 回値を読み取り、最大・最小の 2 値を除いた 10 回の値の平均をその測点の γ 線線量率とするという方法によった [例えば、桂・他 (1987)]。測点間隔は測線により 15 m または 20 m とした。

測定結果 (Fig. 5) は、その地域の岩相を反映しているとともに、断層による割れ目が地表近くにあれば、 γ 線線量率のピークが現れることが多い。Fig. 5 のうち (a) 土師・(b) 大屋-大師峠・(c) 立木-木地山の 3 測線は、ほぼ全線にわたり花崗岩地帯であり [山田 (1966)]、とくに (c) 立木-木地山測線は露岩地帯が多く、連続して γ 線線量率のプラトーが見られる所がそれに該当する。(d) 右

Fig. 4. Principal axis directions of impedance tensor estimated from ELF-MT survey for 7.8 Hz. Length of axis is apparent resistivity value.

手・塩木測線はだいたい安山岩地帯とされているが、測点 100 前後と 75 前後のプラトーは流紋岩質岩の露出による [河合 (1958), 金属鉱業事業団 (1980)]。 (e) 椿-塩谷測線は三郡変成帯の千枚岩ないし片岩等の分布地域であるが、その東端 (測点 190 以降) のプラトーは流紋岩地帯になっている [神戸・広川 (1963), 河合 (1958), 金属鉱業事業団 (1980)]。

Fig. 5 には γ 線線量率のピークのうち断層による可能性のあるものに矢印を付けた。これらのうち岩相による特異な影響を勘案し、さらに地形リニアメントを考慮して断層と推定し得る所のみを残した。そうして ELF-MT 法による結果も合わせた上で、とくに連続性のよい推定断層線を Fig. 5 に示した。破線部は断層の疑いがあるが連続性の低いものである。さらに、Fig. 3 には断層の推定位置をまとめた。

§ 4. 近畿北西部のブロック境界

近畿地方北西部地域のブロック構造や、微小地震の震央分布によると、山崎断層最西端部にブロックの境界となるような活断層の存在が想定されていた。今回の探査の結果、山崎断層系の主断層は、大原町古町から勝田町

豊成・^{うて}右手塩木を経て奈義町の黒尾峠南方へ追跡できることが確認された。このラインは「日本の活断層」[活断層研究会 (1980)] に記載されていたものに等しい。その他に山崎断層主断層は、豊成以西で枝分かれし、その分枝の 2 本が今回新たに推定できた。また、西粟倉村筏津・知社から木地山峠に至る構造は、山崎断層系の副断層と推定でき、かつ地震活動からみて主断層同様活動的であると考えられる。その南東方はリニアメントなどから兵庫県山崎町ないし安富町まで追跡できる。

山崎断層系以外に今回新たに^{うて}見だした右手断層が、この地域の主要な活構造と考えられる。右手断層は、見掛比抵抗分布 (Fig. 4) から見て低比抵抗帯が南北走向で発達していると推定される。山崎断層系のように微小地震が発生していないが (Fig. 2 参照)、このことは、右手断層は活動的ではなく、現在は活動が終息したか休止期にあることを意味する。右手断層と山崎断層の会合部 (Fig. 5(d)) の地形からは、山崎断層の活動の方が新しいと推定できる。断層活動がおそらく終息したにも拘らず今も低比抵抗帯が顕著なのは、右手断層の最終活動時期がそれほど古くはないためと考えられる。さらに、右手断層の低い見掛比抵抗値を見ても、山崎断層との会合部

Fig. 5. Profiles of γ -ray count rate and maps of the survey points. Allows in the profiles indicate the possible positions of fault lines. Solid and broken (low rank of continuity) lines in the maps show the estimated fault traces. (a) Haji, (b) Ooya-Daishi Pass, (c) Tachiki-Kijiyama, (d) Ute-Shioki, and (e) Kouzo-Shiotani lines.

がとくに低いように見受けられる。右手断層の破碎帯が、会合部以外ではしだいに癒着されつつあるのに対し、会合部では山崎断層の活動に伴い今も破碎が繰り返

されて低比抵抗状態が保たれていると考えられる。

山崎断層系は、地形の上でもそれ以北と以南とで明瞭な境界をなし、かつ地震が集中する [MINO (1984)]. さ

らに、その東方延長は十万辻断層を経て有馬-高槻構造線に届くと推定できる [茂木・他 (1985b)]. 山崎断層のような長大な活構造は、地殻上層部を区切る境界をなすと考え [茂木・他 (1985a)], そうして区切られたテクトニクス上の単元をブロックと呼んだ [桂・他 (1987)]. こうしたブロックやブロック境界をなす活断層については、前に暫定的に述べた [桂・他 (1987)]. それにおいては、山崎断層の最西端部付近に、山崎・有馬-高槻・三峠・養父-八木断層等により囲まれたいわゆる丹波ブロックの西を区切る構造があることを予想した。

右手断層は、南は勝田町梶並あたりまで、北は智頭町土師あたりまで、地形上から追跡できよう。より北方へは、鳥取から智頭へかけて帯状に並ぶ微小地震の分布 [尾池 (1976)] へつながらと予想される。ただし、リニアメントは智頭以北では明瞭でない。活断層の分布パターンが（とくに中国山地南側では）この付近を境に大きく変わることは以前から知られていたが [活断層研究会 (1980), 岡田・安藤 (1979)], そうした地域差を際立たせる境界はやはりブロック境界である可能性が高い。いわゆる丹波ブロック [桂・他 (1987)] の西側境界の候補として右手断層は位置づけられる。右手断層の運動様式、活動度、最終活動時期、破碎帯の幅・深さ等、詳しいことは今後の調査に待たねばならない。

§ 5. ま と め

山崎断層系の西端部付近一帯で ELF-MT 探査と γ 線探査を行った。その結果、山崎断層系是最西端部において、主断層の他に枝分かれした 2 本の断層と、主断層に平行した副断層が推定できた。また、山崎断層系の末端では、山崎断層に斜交した低い見掛け抵抗を示す南北走向の構造が梶並川沿いに推定される。これを右手断層と仮称する。右手断層は、現在は活動的でないが、その周辺に南北性の大きな破碎構造がないこと、この付近を境に東西で活断層の分布パターンが大きく変わることに、また、その延長が智頭以北鳥取までの微小地震活動の帯状分布に続きそうであることなどから、近畿と中国地方を分かつブロック境界である可能性が高い。

文 献

- 中国地方土木地質図編纂委員会, 1984, 中国地方土木地質図 (1/20 万) 及び解説書, 中国地方土木地質図編纂委員会, 412 pp.
- ELECTROMAGNETIC RESEARCH GROUP FOR THE ACTIVE FAULT, 1982, Low electrical resistivity along an active fault, the Yamasaki fault, J. Geomag. Geoelectr., **34**, 103-127.
- 福井謙三, 1981, 山崎断層系の変位地形, 地理評, **54**, 196-213.
- 神戸信和・広川 治, 1963, 5 万分の 1 地質図幅「佐用」及び同説明書, 地質調査所, 29 pp.
- 活断層研究会, 1980, 日本の活断層, 東京大学出版会, 238-239.
- 桂 郁雄・西村 進・Edy M. ARSADI・赤松 信・松田高明, 1987, 近畿地方北西部地域の活構造 (5) — 八木断層, 山田断層の検討と近畿北西部のブロック構造一, 地震 2, **40**, 561-573.
- 河合正虎, 1958, 5 万分の 1 地質図幅「津山東部」及び同説明書, 地質調査所, 63 pp.
- 金属鉱業事業団, 1980, 昭和 54 年度広域調査報告書, 津山地域, 付図一津山地域地質図, 通商産業省資源エネルギー庁, 132 pp.
- MINO, K., 1984, On a formation mechanism of topography and its relation to earthquake occurrence in southwest Japan, Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., **34**, 129-167.
- 茂木 透・見野和夫・西村 進, 1985a, 近畿地方北西部地域の活構造 (3) — 八木・養父, 三峠断層地域一, 地震 2, **38**, 577-585.
- 茂木 透・西村 進・見野和夫・貞広太郎, 1985b, 近畿北西部地域の活構造 (4) — 山崎断層東方延長地域一, 地震 2, **38**, 57-66.
- 西村 進・茂木 透・赤松 信・松田高明, 1986, 近畿地方北西部地域の活構造 (4) — 山崎断層の西方延長地域一, 地震 2, **38**, 371-380.
- 尾池和夫, 1976, 微小地震の時空分布と活断層, 地質学論集, **12**, 59-73.
- 岡田篤正・安藤雅孝, 1979, 日本の活動層と地震, 科学, **49**, 158-169.
- REDDY, I. K. and D. RANKIN, 1974, Coherence functions for magnetotelluric analysis, Geophysics, **39**, 312-320.
- VOZOFF, K., 1972, The magnetotelluric method in the exploration of sedimentary basins, Geophysics, **37**, 98-141.
- 山田直利, 1966, 5 万分の 1 地質図幅「智頭」及び同説明書, 地質調査所, 69 pp.