

兵庫県南部地震前後の山崎断層域の地殻活動

渡辺 邦彦・西上 欽也・中尾 節郎・松村 一男

CRUSTAL ACTIVITY OF THE YAMASAKI FAULT ZONE BEFORE AND AFTER THE 1995 HYOGO-KEN NANBU EARTHQUAKE

By *Kunihiko* WATANABE, *Kim'ya* NISHIGAMI, *Setsuro* NAKAO and *Kazuo* MATSUMURA

Synopsis

Crustal movement change of the Yamasaki fault zone before and after the occurrence of 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake was investigated. The seismicity around the Yamasaki fault became active after the occurrence of the earthquake. On the other hand, that of the outside area of the fault zone did not show any significant increase. This means that an active fault zone is sensitive to the crustal stress concentration. The increasing rate of number of events with magnitudes greater than or equal to 1.6 is much higher than that of smaller ones. This means that there may exist some threshold level of magnitudes to detect the change of tectonic stress condition. For one to three months before the earthquake, seismic activity became lower over the whole area of the Yamasaki fault zone. This suggests the propriety of the block movement model of the crust. It is also shown that fracture zone is a sensitive area to the crustal stress conditions.

1. はじめに

1995年1月17日(火)05時46分、「平成七年兵庫県南部地震(M7.2)」(以下、兵庫県南部地震と称する)が勃発した。京大防災研究所ほかのデータによる震源は、東経135度01.98分、北緯34度36.06分、深さ18km、明石海峡下あたりで、気象庁によるマグニチュードは7.2であった¹⁾。6300余名の犠牲者のほか多大の被害が発生した大震災となった。兵庫県南部地震に関しては既に多数の報告がなされており、本稿ではその詳細には触れない。ただ、地震研究者の間では、この地震を内陸の地震活動活発化の始まりと考える向きも多い。南海大地震に数10年先行する内陸大地震との説もある。関西を揺すった大地震としては、鳥取地震(1943年、M7.2)、南海大地震(1946年、M8.0)、福井地震(1948年、M7.1)といった一連の活動以来、およそ50年ぶりであった。大地震を経験していない人間の方が多く社会に大打撃を与えた。

兵庫県南部地震の後、マスコミ等は要注意断層の報道を繁く行った。それらを通じて、兵庫県の中央を横断する山崎断層は危険度ナンバーワン断層の印象を持たれるに至った。山崎断層の地元では、皆、12年前に山崎断層に発生した地震(1984年5月30日、M5.6)を思い出した。山崎断層の周辺では、この1984年の地震の際の震動の方が今回の兵庫県南部地震のそれより大きかったという声をよく聞く。山崎断層に今回のようなM7級の大地震が発生したらどうなるか。地元住民の関心と不安は大変なものとなった。

山崎断層の研究の歴史は長い。鳥取観測網による微小地震観測は1965年以来30年の歴史を積み²⁾、山崎断層観測室を中心とする総合観測は1975年以来20年のデータが蓄積されている³⁾。Fig. 1に鳥取観測網で

求めた1976年～1994年の $M \geq 1.6$ の震央分布を示す。本稿では、これらのデータを中心にして、兵庫県南部地震前後の山崎断層の活動について概観してみる。そして、山崎断層が近畿地方における地殻ブロックの境界として地殻活動を敏感に反映する大規模構造線であり、地震予知の立場からも重要なフィールドであることを述べる。

2. 近畿の地殻ブロックと山崎断層

近畿地方には広域に東西方向の押し応力が卓越しており、それに応じた断層系の発達が見られる。それは、ほぼ南北走行の縦ずれ系の活断層と、北西－南東、北東－南西の横ずれ系活断層として地形に認められる⁴⁾。顕著な活断層は地震活動とも対応が良い⁵⁾。これらの事実から、近畿地方の地殻は、大規模ないくつかの断層系を境界としてブロック状に区切られていると考えられるようになった。桂・他⁶⁾はこの考えで近畿地方をいくつかのブロックにわけた。本稿ではそのブロック分けを基礎とした上で、さらに地震活動や活断層系を参照して、改めて地殻ブロックを区切り直してFig. 2に示す。ここでは、山崎断層系は丹波ブロックと播磨ブロックの境界をなしている。一方、兵庫県南部地震を発生させた野島断層～六甲断層系は、淡路島の西岸を南西端とし北東端は神戸市の北部で有馬－高槻構造線に達しているが、この断層系が播磨ブロックと大阪ブロックを区切る。そして大阪ブロックと丹波ブロックは有馬－高槻構造線で区切られている。すなわち、兵庫県南部は上記の3つのブロックの会合部となっている。また、京都中部から郷村断層に至る境界で丹波ブロックと舞鶴ブロックを区切り、丹後半島の北沿岸から鳥取に至る地震帯で丹波ブロックと山陰ブロックを区切るとした。

改めてこれらの地殻ブロックと広域の地震活動を見る。例えば、有馬－高槻構造線はその北部の丹波山地に広く分布する活発な地震活動領域とその南部の低活動域とを区切っている。すなわち、有馬－高槻構造線は地震活動の活発不活発の境界をなしている。山崎

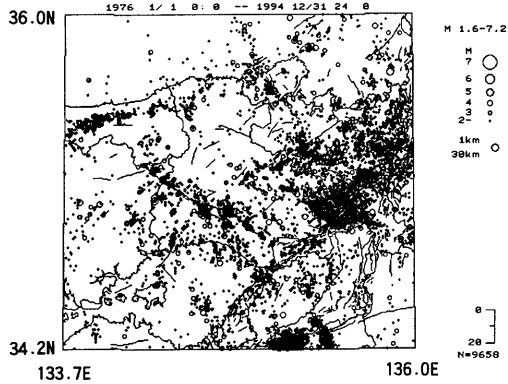


Fig. 1 Epicentral distribution of earthquakes with magnitudes greater than or equal to 1.6 obtained by Tottori network.

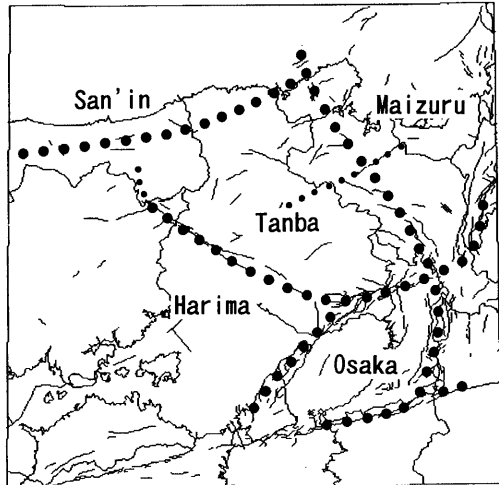


Fig. 2 Block boundaries and active faults. These boundaries were drawn by considering tectonic structure and seismic activity, also being based on those of Katsura et al.⁶⁾

断層の場合は、断層系に沿って活発な地震活動が認められる。断層系の南側から播磨灘にかけてはある程度地震活動が認められるが、断層系の北側は低活動域である。今回の兵庫県南部地震の震源断層である野島 - 六甲断層系の東側の大阪ブロックは、西側の播磨ブロックに比べて地震活動が低調である。

次に、山崎断層系に関する地震活動の一般的なパターンを見てみる (Fig. 3)。山崎断層は「新編日本の活断層」⁷⁾によると、Fig. 2に示すように、岡山県北部の英田郡大原町あたりを北西端とし兵庫県三木市あたりを南東端とする全長約80 kmの左横ずれ活断層系で、

確実度 I・活動度 B級とされている。山崎断層に沿う地震の震央分布を詳しく見ると、差し渡し数km程度の震央のかたまり (クラスター) が多数集まって断層に沿う活動を構成していることが判る。これらのクラスターの活動を時間的に見れば、本震余震型や群発型、散発型、あるいは大きめの地震で活動が休止する場合⁸⁾などいろいろなタイプが見受けられる。また、一般に空白域を埋める形で活動が増大している傾向も認められる⁹⁾。すなわち、山崎断層域では、微小地震のいろんな発生のパターンが不規則に混在しているように見える。

地質図¹⁰⁾を見ると、山崎断層の北西部で舞鶴帯が北東から南西方向に山崎断層と斜交している。舞鶴帯の南東側は大局的には丹波古生層が主と考えてもよからう。山崎断層の南東部は北西部に比べて地震活動は活発で、比較的小さな地震まで多数発生するが、北西部では比較的大粒の地震が散発的に発生するようである。余震の減衰も北西側はやや早いように思われる。山崎断層周辺の地震活動の大局が北西部と南東部でその傾向を異にするように見えるのは、表層の地質構造の差異を生み出した地殻形成過程の違いに依っているのかも知れない。

3. 兵庫県南部地震前後の山崎断層の地震活動

3.1 兵庫県南部地震後の山崎断層周辺の地震活動の活発化

兵庫県南部地震の後、山崎断層周辺の地震活動が活発化したことについて述べる。地震活動の解析には、鳥取観測所において従来の方でトリガーをかけ読みとり作成した震源ファイルを用い、seis-pc¹¹⁾を用いて解析した。山崎断層の周辺域では、M1以上ならかなりよく検知されていると考えられる。

Fig. 4 (a)に山崎断層周辺域に1994年1月~1995年12月の2年間で $H \leq 30$ kmに震源が求められた地震の震央分布を示す。これより後は図中の実線で囲った範囲を、「山崎断層周辺域」として取り扱う。この範囲は、山崎断層からそれほど遠くない範囲で地震活動が全体としてある程度断層に沿っていると判断して区切った領域で、経験的に定めたものである。Fig. 4 (a)の右下には、兵庫県南部地震の余震域がわずかに含まれる。山崎断層地域のサイスミシティの変化を見る場合は、この範囲も除いて考える。

地震活動と広域応力場の検討には、解析に用いる地震の下限が重要と考える¹²⁾。我々は過去の経験から、上記に述べた地殻ブロック構造に関わるような地震活動を対象とする場合のマグニチュードの「しきい値」は $M = 1.5 \sim 2.0$ 程度と考えた。今回使用した鳥取震源ファイルは、最近マグニチュード値の見直しを行っ

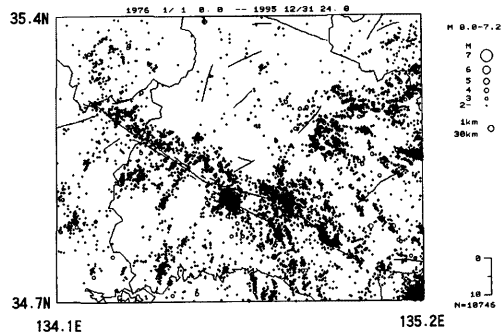


Fig. 3 Epicentral distribution near around the Yamasaki fault during the period from 1976 to 1995.

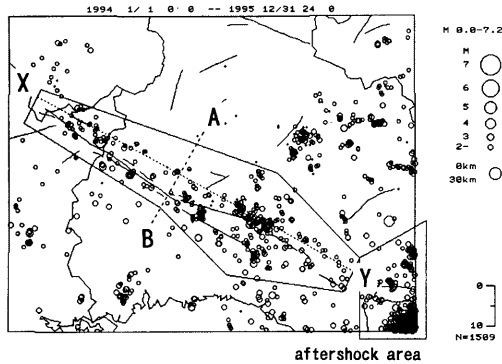


Fig. 4(a) Epicentral distribution near around the Yamasaki fault during the period from 1994 to 1995, before and after the Hyogo-ken nanbu earthquake. The Yamasaki fault area and a part of aftershock area are illustrated by solid lines, respectively. X-Y denotes the direction of projection in Fig.4 (c). The Yamasaki fault area is divided into NW and SE parts by A-B.

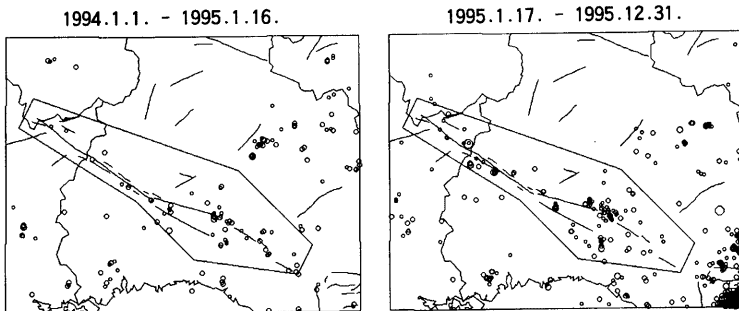


Fig. 4(b) Epicentral distributions of two periods, before and after the Hyogo-ken nanbu earthquake.

ているので、将来多少の系統的な変更があるかも知れない。しかし、これから述べる解析の範囲では、この見直しは本質的に影響はない。本稿では $M = 1.6$ で区切ってサイズシティを比べた。

一方、山崎断層を北西部と南東部にわけて地域的な特徴を見ると、前章末に述べたように、平素から北西部より南東部の方が地震活動度が高い。そこで、山崎断層域を、Fig. 4(a) に示す点線 A-B で、北西部と南東部に区分して示す。ちなみにこの範囲分けでは、北西部に対して南東部の地震数は通常約3倍である。

以上を考慮して、Table 1 に兵庫県南部地震前後の山崎断層の地震発生数の変化を示す。断層域は北西部と南東部に分け、さらに地震の規模を $M = 1.6$ を境にそれより大、それより小に分けた。期間は、南部地震発生前 (94年1月1日~95年1月16日) と地震発生後 (95年1月17日~95年12月31日) の、およそ

1年間ずつに分けた。この表から、次のような地震活動度の特徴が見取れる。

- (1) 地震の大きさによる活発化の違い
 - (a) $M \geq 1.6$ の地震にみられる活発化
1994 - 1995 年の2年間に山崎断層周辺域に発生した地震のうち、鳥取観測所で震源決定されたものは453個であった。ここでは、そのうちの $M \geq 1.6$ の地震178個について考える。Fig. 4 (b) にこれを兵庫県南部地震の発生の前後で2期にわけた震央分布図を、Fig. 4 (c) に山崎断層周辺域に発生した地震を图中的X-Y方向に投影して時間的な変遷を見た図を示す。

Fig. 4 (c) から、兵庫県南部地震の直後から山崎断層周辺域の地震活動が活発化していることが明瞭である。95年1月17日の兵庫県南部地震発生以前の期間、すなわち1994年1月1日~1995年1月16日と、地震発生以後の期間、すなわち1995年1月17日~1995年12月31日の、ほぼ1年間ずつの地震数の比較では、兵庫県南部地震発生前が57個、地震後が121個で2.12倍になっている。ちなみに、Fig. 4 (a) の内部で山崎断層周辺域以外の地域に発生した地震は、同図右下の兵庫県南部地震の余震を除くと、地震発生前が87個、発生後が100個で、発生後が1.2倍であり増加はわずかである。

(b) $M < 1.6$ の地震について

上の場合と同様に、兵庫県南部地震の発生前と後との $M < 1.6$ の地震数を比較すると、南部地震の発生

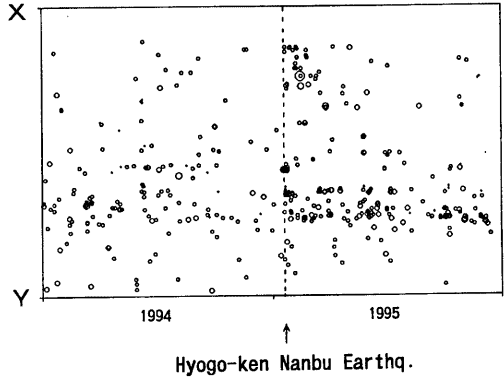


Fig. 4 (c) Time-space distribution of microearthquakes occurred inside the Yamasaki fault area. Dotted line shows the occurrence of the Hyogo-ken nanbu earthquake.

Table 1 Number of earthquakes before and after the Hyogo-ken nanbu earthquakes

	before EQ. (94.1.1.-95.1.16.)			after EQ. (94.1.17.-95.12.31.)		
	$M \geq 1.6$	$M < 1.6$	total	$M \geq 1.6$	$M < 1.6$	total
Yamasaki fault area	57	105	162	121 (2.12)	170 (1.62)	291 (1.80)
NW part of Yamasaki area	8	21	29	25 (3.1)	36 (1.7)	61 (2.1)
SW part of Yamasaki area	49	84	133	96 (2.0)	134 (1.6)	230 (1.73)
Outside area	87	125	212	100 (1.2)	109 (0.87)	209 (0.99)

前が 105 個、発生後は 170 個で 1.62 倍になっている。 $M \geq 1.6$ の地震の場合は 2.12 倍になったのに比べて、増え方が小さい。山崎断層周辺域以外の地域の地震発生数をみると、発生前が 125 個、発生後が 109 個で、発生後が 0.87 倍とむしろ減っている。

ちなみに、マグニチュードで区切らず、震源決定された全地震を山崎断層周辺域とそれ以外の地域に分けて兵庫県南部地震発生前後の数の比較を行うと、山崎断層域では地震発生前が 162 個、発生後が 291 個で 1.80 倍となったのに対し、山崎断層以外の領域では、地震発生前が 212 個、発生後が 209 個で 0.99 倍となり、殆ど変化がなかった。

これらの比較から二つの重要な結果がみとめられる。ひとつは、 $M \geq 1.6$ の地震の方が、小さい地震よりも、兵庫県南部地震の発生後の活発化の度合いが大きかったことである。もうひとつは、地震発生をきっかけとした活動度の変化は、山崎断層周辺域に大きく現れてそれ以外の領域ではあまり認められなかったことである。

(2) 山崎断層の北西部と南東部の活発化の違い

Fig. 4(c) から、山崎断層の北西部と南東部で地震後の活発化のパターンが異なるように見える。やはり、 $M = 1.6$ で区分して活動度変化を見てみる。

(a) $M \geq 1.6$ の地震にみられる活発化

北西部では南部地震発生前の約 1 年間で地震数は 8 個、発生後は 25 個と約 3.1 倍となった。対して南東部では発生前 49 個が発生後 96 個と 2.0 倍であった。変化率は北西部が大きいが、サンプル数が少ないので何とも言えない。なお、北西部の活発化はすぐに納まり、95 年の後半には従来通りの活動度に戻っているように見える。

(b) $M < 1.6$ の地震について

北西部では発生前が 21 個、発生後が 36 個で 1.7 倍であった。対して南東部では 84 個が 134 個になり 1.6 倍で、地域差は認められなかった。

ここに記した比較からも、上記(1)項の最後の二つの重要な結果、すなわち、大きめの地震の方が小さめの地震より兵庫県南部地震の発生による活発化の度合いが大きいことと、山崎断層周辺域の方がそれ以外の地域より地震活動度の増加が大きいことが認められる。

(3) 兵庫県南部地震による静的応力場の試算について

南部地震の後、山崎断層の周辺では概して地震活動は活発化したが、より広域ではどうであったか。丹波地域では山崎断層域以上に活発化したことが報告されている。本稿とは別に、西上¹³⁾は A：鳥取・島根境界地域、B：鳥取地域、C：山崎断層域、D：篠山地域（兵庫県中北部）の地震活動を調べた。その結果、A、B、C 各地域では南部地震後に活動が活発になったが、D 地域では低下したことを報告している。その説明のために、Coulomb-Mohr の破壊条件にのっとり、大地震による静的応力変化が仮定された断層面の地震発生の可能性を低下させるか増大させるかを計算した。それによると、山崎断層周辺域は南部地震によって地震活動が増加しやすい領域に入り、その他の A、B、D 地域についてもほぼ観測結果を説明できるとした。橋本¹⁴⁾も同様の計算を行っている。ただ、これらの解析は均質弾性体の場における応力変化の議論であり、本節第(1)、(2)項に述べたような細かな違いを説明するには充分でない。さらには、地震の規模による活発化程度の違いの説明には適さない。実際の地殻の活動を論ずる場合は、不均質構造を如何に考慮するかが重要となると考える。

3.2 兵庫県南部地震に先行した山崎断層周辺の地震活動の静穏化

大地震に先行して地震活動の静穏化が認められた例は多い。山崎断層や鳥取地方の地震活動についても、地震前の震源域の静穏化は指摘されている^{15),16)}。静穏化領域あるいは空白域は将来の大地震の震源域に對

応する場合が多く、その出現時間は来るべき大地震の規模に応じて長くなるのが一般的である¹⁷⁾。ところが、地震発生数の積算グラフ (Fig. 5) から、震源域から離れた山崎断層周辺域で、兵庫県南部地震前に地震活動がやや低下していたらしいことが分かる。M ≥ 1.6に限ると約1カ月前からや明瞭に、全地震でみると約3カ月前からわずかに、地震活動が低下していたらしい。これが事実ならば、二つの意味がある。すなわち、ひとつには震源域から離れた場所で地震活動が前もって低下したこと、ふたつには断層全域で地震活動の低下が認められることである。ただ、Fig. 5のみからこれを主張するのは困難である。そのために、1983年の鳥取県中部地震 (M 6.2) および1984年の山崎断層の地震 (M 5.6) にかかわる地震活動の低下の例を Fig. 6 に示す。この場合も、活断層の特異性を検出し易くするためのマグニチュードの下限を考え、経験上、M ≥ 1.6以上の地震について考えてみた。

まずこの図から、鳥取県中部地震に約6カ月前先行して、鳥取地震の断層系に沿う地震活動が、将来の震源域に限らず広範囲に低下したことが伺われる。1983年10月31日に鳥取県中部地震が発生し余震活動が継続すると、今度は山崎断層周辺域の地震活動が低下した。これはあたかも、ひとつのブロック境界で活動が活発になると、それに呼応するように反対側のブロック境界の活動が低下する機構の存在を伺わせる。それから約7カ月後の1984年5月30日に山崎断層の地震が発生した。すなわち、活動が隣のブロック境界へ移動することと、ブロック境界としての断層域全域に静穏化が認められることと、そして断層域の一部にある程度の規模の地震が発生することで通常の活動状況に戻るというパターンであった。最初に述べた地殻ブロックの考えに立てば、鳥取地震の断層系は山陰ブロックと丹波ブロックの境界であり、山崎断層系は丹波ブロックと播磨ブロックの境界である。いずれも丹波ブロックを仲立ちとする、隣り合う地殻ブロックの境界をなす大規模構造線である。内陸地震がこれらの地殻ブロックの相互運動に依るところが大きいと考えれば、これらの地震活動のパターンは受け入れやすい。

このような先例を念頭においてあらためて Fig. 5を見ると、兵庫県南部地震は播磨ブロックと大阪ブロックの境界に発生したが、これに

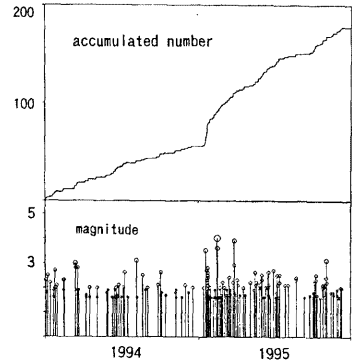


Fig. 5 Accumulated number of earthquakes and M-T distribution.

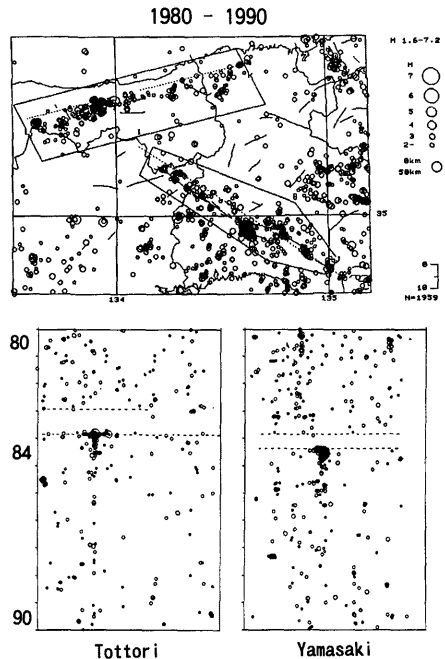


Fig. 6 Two successive cases of quiescence, before Tottori-ken chubu eq. (1983. 10. 31, M6.2) and Yamasaki fault eq. (1984. 5. 30, M5.6).

先行して、播磨ブロックを介して隣のブロック境界である山崎断層全域で地震活動の低下が見られたように思われる。

4. 兵庫県南部地震前後の山崎断層破砕帯の挙動

山崎断層観測室の安富観測坑道は、山崎断層系の一つの安富断層の断層帯の内部に設けられ、伸縮計等によって断層破砕帯の挙動を20年来連続観測している。破砕帯の内部という文言の意味は、安富観測坑の数10mの長さのトンネルの全体が、100m程度あると思われる安富断層帯の厚みの内に含まれていることを言っている。この断層帯の厚みの値は厳密ではなく、周辺の地形の屈曲から推定したものである。実際には、断層の両側にもっと幅広い範囲で破砕されているとの結果もある¹⁸⁾。Fig. 7に、安富観測坑道内の伸縮計の代表的な成分についての速報結果を示す。これは補正が充分でない¹⁹⁾ので幾分の誤差を含んでいるが、大勢は変わらないものである。

Watanabe¹⁹⁾は、安富観測坑での伸縮変動の特徴は断層破砕帯の厚み変動であり、そのパターンの変動と地震活動が対応している場合が多いと言っている。成分0-2(N34°W)と成分0-11(N56°E)は直交しており、双方がこの付近で安富断層の走行とほぼ45度の角度をなしている。成分0-2は94年夏から大きく伸びに転じ、成分0-11も伸びの傾向が向かわれることから、この頃から断層破砕帯は厚みを増す方向に転じたと考えられる。この変動はFig. 7に示した5年間の中では最も顕著である。兵庫県南部地震が発生してからもしばらくはこの傾向が続いたがやがて納まりに転じている。

山崎断層以外の近畿地方の地殻変動観測室でも同様の時期に、地殻変動のパターンの変化が始まった例が幾つか報告されている²⁰⁾。おそらく、地震の半年くらい前から広域に地殻歪みのパターンの変化が起きていて、それを各地では観測していたものと考えられる。

なお、地震の際の歪ステップは 10^{-6} 弱であり、断層の左ずれと考えて矛盾がなかった。このことから、播磨ブロックは丹波ブロックや大阪ブロックに対して相対的に、回転運動ではなく東向き運動を行ったと考えられる。

5. 地震活動に敏感な場としての大規模断層

地震活動や地殻変動の観測結果以外の項目でも、活断層域は地殻の活動に対して敏感な反応を示す場合がある。山崎断層の地震(1984年, M5.6)の例は顕著であったと言える。この地震は山崎断層系の一つの暮坂峠断層が震源で、山崎断層系としては10数年ぶりのM5級地震であった。震央が山崎断層観測室から南へ約3kmと近くであったせいか、地震後の精密調査から、いくつかの項目で前兆とおぼしき現象が観測されていたらしいことが浮かび上がった。それらをFig. 8にまとめて示す²¹⁾。これによると、イ)地震発生に約7カ月先行して、断層域全域で地震活動の静穏化が始まり、ロ)同じ時期から伸縮変動のパターンの変化が認められ、ハ)やはり同時期から傾斜計のパターンに変化が現れた。これら3項目の現象がいずれも地震の約7カ月前から揃って出現したということに意味がある。これは力武¹⁷⁾の前兆現象出現の式によく合致する時間間隔である。また磁力計と坑内の地電流計には地震前約2カ月から変化が現れ始め²²⁾、特に地震の2日前に出現して地震後に平常に戻った地電流変化は顕著であった²³⁾。このことは、地殻活動に関連した現象が出現しやすいと言われる活断層の特徴を改めて認識させるものであった。今回の兵庫県南部地

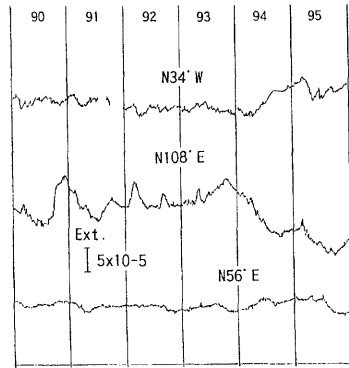


Fig. 7 Strain variations of the Yamasaki fault obtained by extensometers.

震の場合、震源断層が他所であるにもかかわらず、関連するらしい現象が幾分認められたことは注目に値する。

6. おわりに

6300 余名の犠牲者を出した兵庫県南部地震は、日本の社会を打ちのめした。今後、地震の研究を更に進めることが、我々地震研究に携わる者の義務である。

山崎断層は兵庫県南部地震の震源断層に共役の位置にあり、南部地震の発生後にその地震活動は活発化した。本稿では、この活発化を詳しく調べ、ブロック境界としての活断層について考えてみた。結果をまとめると次の通りである。

- イ) 山崎断層の周辺域の地震活動は、南部地震前後の1年ずつを比較すると、地震後に地震発生数で2-3倍になった。活発化したと考える。
- ロ) しかし、断層から離れた地域はそれほど活発化してはいない。このことは、活断層域が特に広域の応力変化の影響を受けやすいためと考えられる。
- ハ) $M \geq 1.6$ の地震はそれより小さな地震より活発化の度合いが大きい。広域応力場の変化を反映する地震規模には下限があると推測されるが、今後の課題である。
- ニ) 地震活動の活発化や、前駆的な静穏化は断層全域について発生する傾向にある。特に、前駆的静穏化は、将来の大地震の震源域にとどまらないのが活断層の特徴である可能性がある。
- ホ) 活断層域は、地殻ブロックの境界である場合、地殻活動を敏感に反映する領域と考えて良からう。

この研究を進めるにあたって、防災研究所地震観測網関係者、鳥取観測所および山崎断層研究グループの研究成果を陰に陽に使わせて頂いた。関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 京都大学防災研究所地震予知研究センター、1995年兵庫県南部地震、1995
- 2) 尾池和夫：鳥取微小地震観測所の震源表について、地震(2)、Vol. 28, 1975, pp.331-346.
- 3) 尾池和夫・渡辺邦彦・中村佳重郎・谷口慶祐・岸本兆方：山崎断層地震予知テストフィールド連続観測システムについて、京大防災研年報、第24号B-1, 1981, pp.29-40.
- 4) Huzita, K., Y. Kishimoto and K. Shiono : Neotectonics and Seismicity in the Kinki Area, Southwest Japan, J. Geosciences, Osaka City Univ., Vol. 16, 1973, pp.93-124.
- 5) Kishimoto, Y. and R. Nishida : Mechanisms of Microearthquakes and Their Relation to Geological Structures, Bull. D. P. R. I., Kyoto Univ., Vol. 23, Part 1, 1973, pp.1-25.
- 6) 桂 郁雄・山田悦久・西村 進・茂木 透・西田潤一・中尾節郎：山崎断層西端部地域の活構造、地震(2)、Vol. 42, Part 3, 1989, pp.341-348.

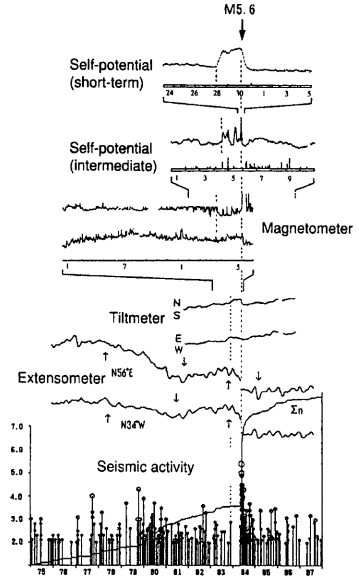


Fig. 8 Some kinds of precursory phenomena preceding the Yamasaki fault earthquake of M5.6.

- 7) 活断層研究会編：新編日本の活断層，東京大学出版会，1991.
- 8) 佃 為成・中尾節郎：東中国・北近畿地方における微小地震系列の研究(Ⅱ)，地震(2)，Vol. 30, 1977, pp.339-358.
- 9) 尾池和夫：山崎断層地域の微小地震活動について，地震予知研究シンポジウム (1980)，1980, pp.155-158.
- 10) 地質調査所：日本地質アトラス，1982.
- 11) 石川有三・松村一男・横山博文・松本英照：SEIS-PCの開発—概要—，情報地質，Vol. 10, 1985, pp.19-34.
- 12) 渡辺邦彦：大地震サイズシニシティと微小地震サイズシニシティ，微小地震研究—これまでの成果と今後の課題(第1回集会の報告)，1996, pp.4.
- 13) 西上欽也：広域地震活動の変化，阪神淡路大震災—防災研究への取り組み—，京都大学防災研究所，1996, pp.26-33.
- 14) 橋本 学：兵庫県南部地震に伴う応力変化：断層モデルによるクーロン破壊関数の変化の計算と地震活動の変化との比較，地震(2)，Vol. 48, 1996, pp.521-530.
- 15) Shibutani, T. and K. Oike : On Features on Spatial and Temporal Variation of Seismicity Before and After Moderate Earthquakes, Jour. Phys. Earth, Vol. 37, 1989, pp.210-224.
- 16) Tsukuda, T. : Coda-Q Before and After the 1983 Misasa Earthquake of M6.2, Tottori Prefecture, Japan, Pageoph, Vol. 128, 1988, pp.261-279.
- 17) 力武常次：地震前兆現象，東京大学出版会，1986.
- 18) Electromagnetic Research Group for the Active Fault : Low Electrical Resistivity along an Active Fault, the Yamasaki Fault, Jour. Geomag. Geoelectr., Vol. 34, 1982, pp.103-127.
- 19) Watanabe, K. : Strain Variations of the Yamasaki Fault Zone, Southwest Japan, Derived from Extensometer Observations, Part 1 —On the Long-term Strain Variations—, Bull. D. P. R. I., Vol. 41, 1991, pp.29-52.
- 20) 古澤 保：地殻変動連続観測による兵庫県南部地震，阪神淡路大震災—防災研究への取り組み—，京都大学防災研究所，1996, pp.34-42.
- 21) Watanabe, K. and K. Oike : Seismic Activity and Crustal Deformation Preceding an Earthquake of M5.6 at the Yamasaki Fault, Southwest Japan, Continental Earthquakes, IASPEI Publication Series for the IDNDR, No. 3, 1993, p.196-203.
- 22) Sumitomo, N. and K. Noritomi : Synchronous Precursors in the Electrical Earth Resistivity and the Geomagnetic Field in Relation to an Earthquake near the Yamasaki Fault, Southwest Japan, Jour. Geomag. Geoelectr., Vol. 38, 1986, pp.971-989.
- 23) Miyakoshi, J. : Anomalous Time Variation of the Self-Potential in the Fracture Zone of an Active Fault Preceding the Earthquake Occurrence, Jour. Geomag. Geoelectr., Vol.38, 1986, pp.1015-1030.