

兵庫県南部地震前後の山崎断層域の地殻活動（その2）

—地震データベース構築のために—

渡辺邦彦・中尾節郎・松村一男・竹内文朗

要 旨

兵庫県南部地震の前後600日ずつの山崎断層域の地震活動の変化を調べた。その結果、活断層の近傍に発生する規模以上の地震の活動度を見ることが、広域の応力変化を捉えるために有効であることを認めた。 ΔCFF の増減は地震活動変化のおおまかな傾向把握に適している。地殻をブロックに分けるような明確な不均質構造である大規模活断層の存在が内陸の地殻活動に大きく影響している。

キーワード：兵庫県南部地震，山崎断層，活断層，地震活動度， ΔCFF

1. はじめに

平成7年兵庫県南部地震（1995年1月17日，M7.2）が発生してから2年あまりが経過した。著者らは昨年度の防災研究所年報（渡辺ほか，1996）で、兵庫県南部地震前後の山崎断層周辺の地殻活動の変化について述べた（以下、これを前報と称する）。本稿では、解析期間を兵庫県南部地震前後各600日間に延長して、山崎断層域の地震活動度の変化を考察する。さらに、地震活動を解析する際のデータベースの選定に対する経験的試案を述べる。

前報にも述べた通り、兵庫県南部地震のあと、近畿地方北部の丹波地方や兵庫県南西部の山崎断層域の地震活動は活発化した。丹波地方の活発化は今もさしたる衰えを示していない。一方、山崎断層周辺の活発化は地震後2年余を経過した現在、ほぼ元のレベルに戻ったと考えられる。本稿では山崎断層周辺域と断層から離れた地域の地震活動の時間的変化を比較し、活断層の存在の意義を改めて認識するものである。さらにクーロン・モールの破壊条件、いわゆる ΔCFF の増減と地震活動の変化の関連についても考察を加える。

内陸地震の発生過程はプレート境界型のそれと比べて複雑である。地震活動の議論の際には、地震発生場の局地性の影響を十分に考慮しなければならな

い。解析の対象とすべきデータ母集団の取り方（主として空間領域と規模）が解析結果に大きく影響すると考えられる。特徴的な地震活動をより明確に浮き立たせるような母集団を見つけることが、地震発生を規定する物理的理由を探すためのひとつのアプローチであり得る。その視点に立って、活断層域は他の領域よりも地殻活動に敏感であることを例示する。

2. 近畿地方西部～中国地方東部の地震活動の概略

近畿地方から中国地方にかけては日本における微小地震観測の草分け的な地域である。今回の解析には、著者の一人が鳥取観測網において読みとり解析した震源表を使用した。防災研究所地震予知研究センターでは西南日本の地震活動を広域観測網で把握し解析するシステムが稼働を開始しているが、データの蓄積が始まったばかりである。本研究では兵庫県南部地震前後の約4年間の活動の推移を論ずるため、鳥取観測網の震源表を用いた。

最近の10年間の当該地方の地震活動をFig. 1に示す。図の右下部分に、北東～南西方向に分布する兵庫県南部地震の余震の一部が含まれる。図の中央部から南東にかけては山崎断層に沿う地震活動が認め

られる。特に断層が二股に分岐する断層中央部から南東方向で地震活動が活発なことがわかる。これとは別に、鳥取地方には日本海沿岸にほぼ並行な地震活動が認められる。これは鹿野・吉岡断層を地表に出現させた鳥取地震（1943年）の余震と思われる（Watanabe, 1989）。一方、山崎断層に沿う地震活動は868年の播磨の地震（M 7 級）や1865年の山崎断層杉原谷の地震（M 6 ）の余震とは考えにくい。山崎断層の現在の地震活動は、活断層の存在そのものがその原因となっていると考える。

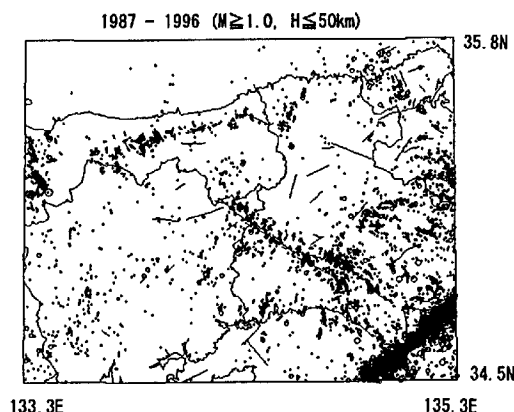


Fig. 1 Epicentral distribution for these ten years obtained by Tottori observatory

この山崎断層に沿う活動と鳥取沿岸の活動および兵庫県南部地震がFig. 1の地域の主たる活動帯である。前報では鳥取の活動と山崎断層の活動が相補的であることを指摘し、これらの活構造で当該地域がブロック構造的な相互活動をしている可能性を述べた（前報 p211, 17行目：約6カ月先行して→約1年間先行してと訂正）。M 7 級地震を発生させ得る数十キロメートル規模の活断層の分布と、それによって分割された地殻ブロックの相互運動が内陸地震の発生を規定すると推測される。

3. 兵庫県南部地震前後の地震活動

前報では兵庫県南部地震の前後各1年間ずつの地震活動を比較した（前報p209, Table 1: after EQの期間 94. 1. 17. →95. 1. 17. と訂正）。本稿では前後各600日ずつ（1993年5月27日～1995年1月16日および1995年1月17日～1996年9月7日）とし、さらにそれを150日ずつの計8期間に分割して比較検討した。検討した領域は前報と同じくFig. 2の 34. 7°N～35. 4°Nおよび134. 1°E～135. 2°Eの矩形の範囲で、これを「解析領域」と称する。また山崎断層の周辺域を限って解析したと解析対象の地震の規模をM ≥ 1. 6

で区切ったことの2点も前報と同様である。Fig. 2中に「山崎断層域」を実線で囲って図示する。この領域は、地震活動が空間的に断層に近接していると思われる範囲を経験的に表したものである。この「山崎断層域」内の地震活動の時間空間分布（Fig. 3）を見るために、震央を投影した方向をA-Bで表した。この時間空間分布図から次のことがわかる。すなわち、兵庫県南部地震後の地震活動の活発化は山崎断層の西北部に顕著であった。断層の西北部は南東部より平素の地震活動は低調であるが、地震後の地震

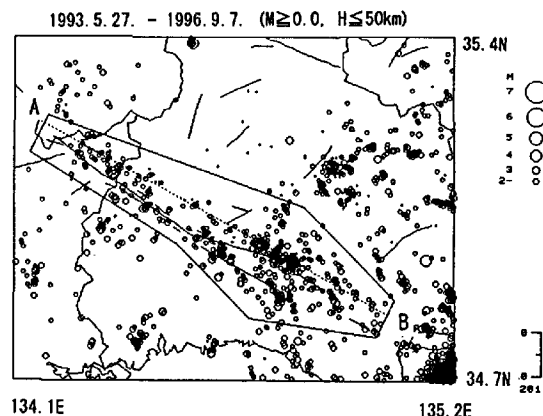


Fig. 2 Epicentral distribution near around the Yamasaki fault before and after the Hyogo-ken Nanbu earthquake. The Yamasaki fault area is surrounded by a solid line.

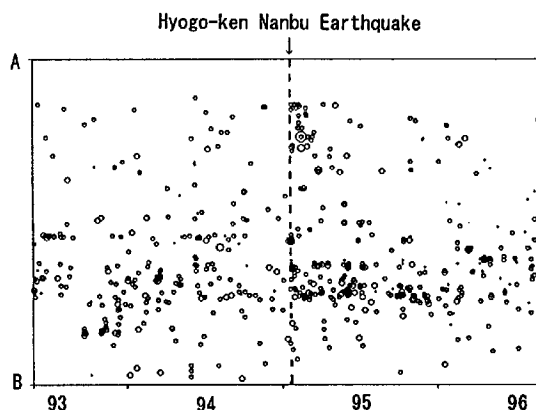


Fig. 3 Time-space distribution of epicenters. Direction A-B is shown in Fig.2.

数の増加の割合は西北部の報が南東部より大きい。しかし、元のレベルに戻るのも西北部が早かったようである。なおFig. 2の矩形の領域から「山崎断層域」および兵庫県南部地震の余震域の一部（図中の右下部分）を除いた残りを、「山崎断層以外の地域」として、「山崎断層域」との比較に用いた。これについては3.1節に述べる。

本稿ではΔCFFの増減と地震活動の変化についても

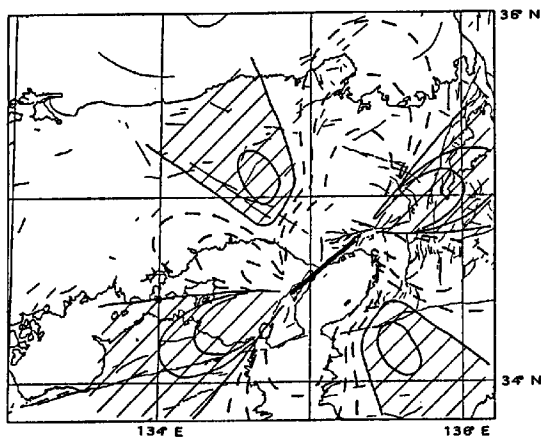


Fig. 4 Δ CFF distribution by presuming NW-SE fault direction (after Nishigami, 1996). Shadow zone denotes the Δ CFF increased area.

考察を加えた。 Δ CFFとはクーロン・モールの破壊条件を考えるもので、発生した大地震によるせん断応力の増加量と摩擦応力の増加量との差 Δ CFFを仮定した破壊面について計算し、それが正の場合地震活動が促進され負の場合抑制されると考える。兵庫県南部地震後の山崎断層域や丹波地方の活発化や篠山地方の活動の低下はこの Δ CFFの分布と良い対応を示すとの報告がある（西上，1996；橋本，1996）。この Δ CFFを求めるためには、応力変化を生じる元となる大地震の断層運動を精度よく求めることが必要である。さらに間隙水圧の変化や内部摩擦係数を実際には仮定せねばならず、かつ均質な弾性場での議論である。従って、傾向としての地震活動の変化を示すものと捉えるべきであり、局所的な活動の変化を論ずるには限度があろう。本稿では検証の意味で、西上（1996）の結果（Fig. 4）と地震活動の比較検討を行った。Fig. 5に西上（1996）から引き写した Δ CFFの増加領域をハッチで示した。それ以外の部分は減少領域である。同じ図に「山崎断層域」を斜線部で併せて示した。3.2節に Δ CFFに関する結果を示す。

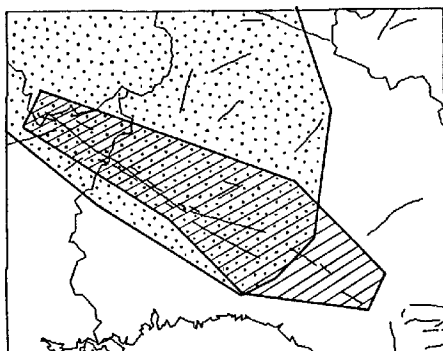


Fig. 5 The Yamasaki fault area (oblique lined) and Δ CFF increased area (dotted)

3.1 山崎断層域の地震活動

兵庫県南部地震の発生前600日間（1993年5月27日～1995年1月16日）の震央分布をFig. 6(a)に、地震発生後600日間（1995年1月17日～1996年9月7日）の震央分布をFig. 6(b)に示す。この期間中に鳥取観測網でトリガーされて震源決定がなされた深さ50km以下の地震すべてである。図中には「山崎断層域」と Δ CFFの増減境界も併せて示してある。Fig. 6の両図を比べると、当然ながらFig. 6(b)には兵庫県南部地震の余震が一部含まれている。兵庫県南部地震の発生後に、図の中央部右の Δ CFFの増減境界の東辺りと南部地震余震域の北方に活動が増えているのが特徴的である。それ以外には兵庫県南部地震の前後で活動パターンの顕著な変化はなく、全体的に南部地震後に地震発生数が増していることがわかる。

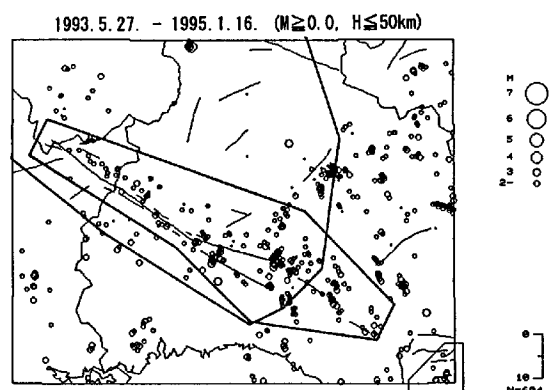


Fig. 6(a) Epicentral distribution for 600 days before the Hyogo-ken Nanbu earthquake

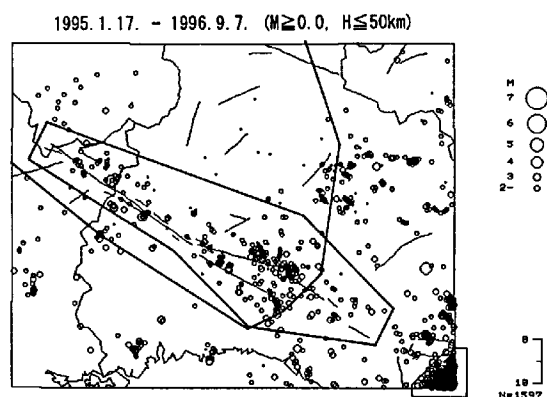


Fig. 6(b) Epicentral distribution for 600 days after the Hyogo-ken Nanbu earthquake

兵庫県南部地震の発生前の600日間を150日間ずつ①②③④の4期間、地震発生後の600日間をやはり150日間ずつ⑤⑥⑦⑧の4期間の計8期間に分け、各期間毎の地震発生数を数えてFig. 7に示す。Fig. 7(a)

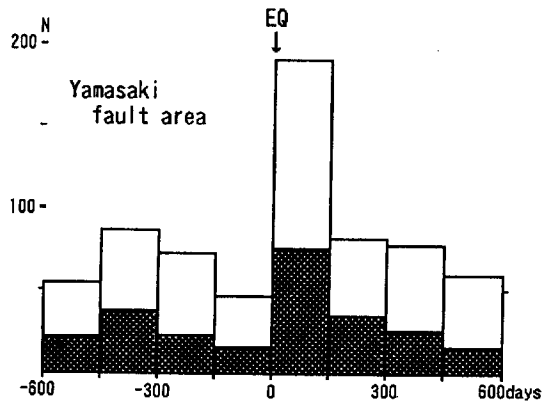


Fig. 7(a) Number of earthquakes occurred inside the Yamasaki fault area in each 150 day-period. Shadow and open portion denote the number of events of $M \geq 1.6$ and those of $M < 1.6$, respectively.

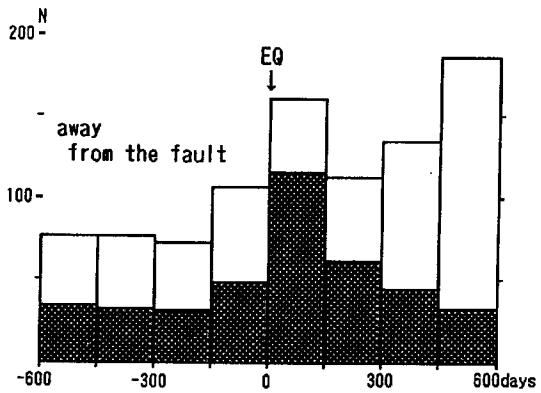


Fig. 7(b) Number of earthquakes occurred outside of the Yamasaki fault area

は「山崎断層域」内部に発生した地震を、Fig. 7(b)は「解析領域」内の「山崎断層以外の地域」に発生した地震をそれぞれ棒グラフで示した。さらに地震の規模で分別し、 $M \geq 1.6$ の地震数をハッチで、それ以下の小さな地震数を無印で示した。またその結果をTable 1に数表で示した。これらを総合して次の結果を得た。

- 1) 兵庫県南部地震のあと、「解析領域」内の地震活動は全体的に活発化した。
- 2) 活発化の度合いは「山崎断層域」の内部で大きかった。兵庫県南部地震の直前、直後の150日間ず

つを比較すると、 $M \geq 1.6$ の地震で4.8倍、 $M < 1.6$ の地震で3.7倍、両者の合計では4.1倍であった。

- 3) 「解析領域」内の「山崎断層以外の領域」では活発化はしているものの、マグニチュード別に見るとそれぞれ2.4倍、0.8倍、1.5倍で、明らかに「山崎断層域」内部で活発化が顕著であったことがわかる。
- 4) 地震の規模に着目すると、 $M \geq 1.6$ の地震に関して活発化が大きく、それ以下の小さな地震では活発化は目立たなかった。南部地震の直後に小さな地震の記録が余震に埋没して検知率が落ちた可能性はあるが、それだけが全ての違いの原因とは考えにくい。

Table 1 Number of earthquakes listed in respect of being inside and outside the Yamasaki fault area. Columns ① to ⑧ denote each 150 day-period. In ⑤ Column, the ratio of the number of events in the period ⑤ to that of ④ is listed in parentheses.

Hyogo-ken Nanbu Earthq. (Jan. 17th. '95, M7.2)

area \ period (150days) \ Mag.		period (150days)							
		①	②	③	④	⑤ (⑤/④)	⑥	⑦	⑧
Yamasaki fault area	$M \geq 1.6$	21	38	23	16	76 (x4.8)	35	26	13
	$M < 1.6$	34	49	50	31	115 (x3.7)	47	52	47
	total	55	87	73	47	191 (x4.1)	82	78	60
away from the fault	$M \geq 1.6$	35	33	32	49	116 (x2.4)	62	45	33
	$M < 1.6$	42	44	41	58	45 (x0.78)	51	90	154
	total	77	77	73	107	161 (x1.5)	113	135	187

period ① '93. May 27th~'93. Oct. 23rd

③ '94. Mar. 23rd~'94. Aug. 19th

⑤ '95. Jan. 17th~'95. Jun. 15th

⑦ '95. Nov. 13th~'96. Apr. 10th

② '93. Oct. 24th~'94. Mar. 22nd

④ '94. Aug. 20th~'95. Jan. 16th

⑥ '95. Jun. 16th~'95. Nov. 12th

⑧ '96. Apr. 11th~'96. Sep. 7th

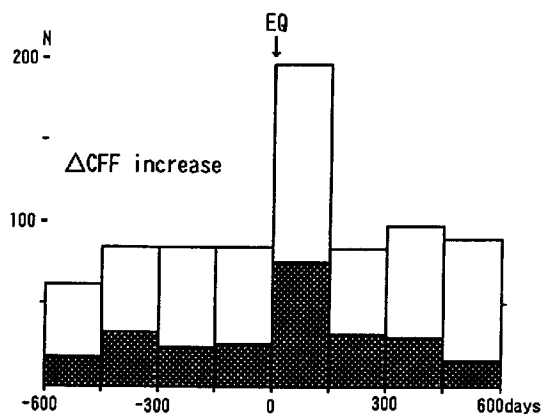


Fig. 8(a) Number of earthquakes occurred in the area Δ CFF increased. Each bar denotes a 150 day-period. Shadow and open areas are as same as those in Fig.7.

5) 「山崎断層域」の地震活動は、現在ほぼ元の活動レベルに戻ったと考えられる。第⑧期の地震数の増加は、本節の冒頭に述べた Δ CFF増減境界の東辺りと南部地震余震域の北方の臨時の活動によるものと考えられる。

3.2 Δ CFFの増減と地震活動

Fig. 6(a), (b)に「山崎断層域」と併せて Δ CFFの増減の境界を示してある。Fig. 8(a), (b)に Δ CFFの増加領域、減少領域のそれぞれについて上述の8期間に分けた地震発生数の棒グラフを示す。Table 2には結果を数表で示す。これらから次の結果を得た。すなわち、

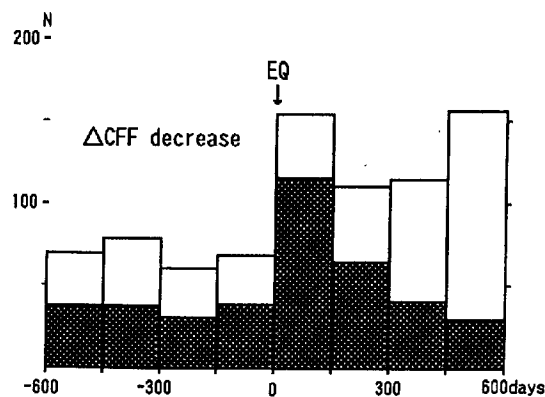


Fig. 8(b) Number of earthquakes occurred in the area Δ CFF decreased

- 1) Δ CFFの増加領域、減少領域のいずれにおいても地震活動の活発化が認められた。
- 2) ④期に対する⑤期の活発化の割合は、 Δ CFFの増加領域、減少領域ともに2～3倍である。「山崎断層域」が4～5倍であったのに対して活発化の程度は低い。
- 3) 地震の規模に関しては、 $M \geq 1.6$ の地震の活発化が $M < 1.6$ のそれよりも大きい、その割合は Δ CFFの増減によらずそれぞれ2.9倍、3.0倍であった。すなわちFig. 5あるいはFig. 6に示したような Δ CFFの領域分けでは地震活動変化を顕著に表現することはできなかった。

前述したように、 Δ CFFの増減は種々の要素に支配されるため、 Δ CFFによる領域分けはそれほど厳密な

Table 2 Number of earthquakes listed in respect of Δ CFF. The format of the table is as same as Table 1.

Hyogo-ken Nanbu Earthq. (Jan. 17th. '95, M7.2)									
area	period (150days) Mag.	①	②	③	④	⑤ (⑤/④)	⑥	⑦	⑧
Δ CFF increased area	$M \geq 1.6$	18	33	24	26	76 (x2.9)	32	30	16
	$M < 1.6$	44	52	61	59	121 (x2.1)	52	68	74
	total	62	85	85	85	197 (x2.3)	84	98	90
Δ CFF decreased area	$M \geq 1.6$	38	38	31	39	116 (x3.0)	65	41	30
	$M < 1.6$	32	41	30	30	39 (x1.3)	46	74	127
	total	70	79	61	69	155 (x2.2)	111	115	157

period ① '93. May 27th~'93. Oct. 23rd ② '93. Oct. 24th~'94. Mar. 22nd
 ③ '94. Mar. 23rd~'94. Aug. 19th ④ '94. Aug. 20th~'95. Jan. 16th
 ⑤ '95. Jan. 17th~'95. Jun. 15th ⑥ '95. Jun. 16th~'95. Nov. 12th
 ⑦ '95. Nov. 13th~'96. Apr. 10th ⑧ '96. Apr. 11th~'96. Sep. 7th

ものではないであろう。もっと広域の地殻活動の大略を推測するために用いるものとする。

4. 議論とまとめ

地震活動の定量的表現は、データセットの取り方に依るところが大きい。地震活動は空間的にランダムではなく、活発な領域とそうでない領域が存在する。概して、ひとまとまりの活動域のデータをセットにして解析すると、何らかの特徴が浮き彫りになりやすい。その特徴をさらに際立たせるようにデータセットを絞り込んで行く。この操作を繰り返して収斂させることが、地震発生場の物理的特徴を抽出する一つの方法と考える。

このような意味で「山崎断層域」に限って地震活動度を検討すると、兵庫県南部地震後の地震活動の活発化がより明確に示された。「山崎断層域」が兵庫県南部地震の直接の余震域ではないことを考えれば、活断層域が広域の応力変化に敏感な領域であることを示唆している。したがって、今後も活断層域に着目していると、地震活動に関する何かが見えてくる可能性が高いと言えよう。

また、広域の応力場の変化を見るためには地震の規模をある程度以上に限って見るのが有効であると経験的に考えられる。対象とする活構造の規模に依ると考えられるが、山崎断層や鳥取の断層系のようにM7級地震を発生させる能力のある活構造に関しては、 $M \geq 1.6$ 程度の活動を見るのが妥当でないかと思われる。その理論的な裏付けが必要である。

ΔCFF の増減は、地震活動の大まかな変化を見る場合に有効な手法であろう。しかし山崎断層や鳥取

断層系で区切られた範囲内程度の小さな空間的ディメンジョンの活動を議論するには不適當な場合もあるのではないか。

以上を箇条書きにまとめると、

- 1) 活断層域は広域の応力変化や地震活動の変化に敏感な地帯である。
- 2) 広域応力変化を見るためには、ある程度以上の規模の地震の活動度を見るのが有効である。
- 3) ΔCFF の変化は、地震活動の大まかな変化を見るためには有効であろう。

参考文献

- 石川有三・松村一男・横山博文・松本英照(1985) : SEIS-PCの開発－概要－, 情報地質, Vol. 10, pp. 19-34.
- 西上欽也(1996) : 広域地震活動の変化(兵庫県南部地震前後の地殻活動), 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, pp. 26-33.
- 橋本学(1996) : 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計算と地震活動の変化との比較, 地震(2), Vol. 48, pp. 521-530.
- 渡辺邦彦・西上欽也・中尾節郎・松村一男(1996) : 兵庫県南部地震前後の山崎断層域の地殻活動, 京都大学防災研究所年報, 第39号B-1, pp. 205-214.
- 渡辺邦彦(1996) : 大地震サイズミシティと微小地震サイズミシティ, 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)－, pp. 4.
- Watanabe, K. (1989): On the Duration Time of Aftershock Activity, Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto University, Vol. 39, Part 1-2, pp. 1-22.

Crustal Activity of the Yamasaki fault zone before and after the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake (Part 2) — for the construction of seismic data-base —

Kunihiko WATANABE, Setsuro NAKAO, Kazuo MATSUMURA
and Fumiaki TAKEUCHI

Synopsis

The seismic activity for 600 days before the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake was compared with that after the occurrence. The seismicity of the Yamasaki fault zone became active after the occurrence of the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake. Today's activity has already returned to the former level. On the contrary, seismic activity far from the fault zone was not so sensitive to the Nanbu earthquake. Concerning the local seismicity change, ΔCFF was not so severe factor. Large-scale active fault zone is sensitive to the wide tectonic stress variations.

Keywords: The Hyogo-ken Nanbu earthquake, Yamasaki fault, active fault, seismic activity, ΔCFF