

近畿の第四紀テクトニクスからみた兵庫県南部地震

—神戸の地震に“六甲変動”を見た—

藤田和夫¹⁾

1. 私はあのあたり“六甲変動”を見た

1995年1月17日, 私は神戸のポートアイランドにある神戸市立中央市民病院の11階の病室にいた。その瞬間, 激しい上下動で床にたたきつけられ, しばらく動けなかった。やっと立ち上がって, ようやく白みかけてきた窓外を見ると, 長田区あたりから黒煙が立ちのぼり, 焔がちらつきはじめた。そして次第に三宮方面まで煙の柱がひろがっていった。

私は胸つまる思いで, 多年頭の中に画きつづけてきた“六甲変動”の現実の姿を, 今あのあたりに見ているのだと思った。六甲変動とは, 神戸市街地の背後に聳えている六甲山地の形成に象徴される地殻変動のことである。それはその南側にひろがる大阪湾にも通じる。六甲山地は, 第四紀になって発生した大規模な断層で分断された, 花崗岩の“断層ブロック”の集合体である。それらの研究の中で, 私は「活断層」の概念を学んできた。そして「断層は地震の化石」であると説いてきたが, 今その苛酷な現実をみせつけられているのだと立ちつくした。(藤田・岸本, 1972)。

一本しかないポートアイランドのアクセス橋が不通になって, 3日間人工孤島に閉じこめられた後, 20日に私はやっとの思いで関西新空港経由で大阪に脱出できた。そこは神戸からわずか10数キロしか離れていないのに, 全くの別世界で, まるでクルド難民が国境を越えてきたようだと同行者と話し合うとともに, 災害の分布が, 六甲山地を取り巻くきわめて局地的なものであることを実感した。

幸い電気の復旧が早く, 病室でテレビを見ながら感じていたことでもあったが, 大阪に出てみると, マスコミもジャーナリズムも, 地震の原因について

の解説は, 活断層一辺倒で, その発信基地はほとんど東京であった。「日本の活断層」(東大出版会, 1991)に示された六甲の活断層図の赤線が拡大されて出てきて, 六甲地域にはこれだけ多くの活断層があるのだから, それらが動いたに相違ない。そうだとするとこの地震が“直下型”で, 震源が20 kmと浅く, マグニチュードが7.2と小さいわりに被害が大きいことも納得できるとされた。そしてさらに関西における地震に対する危機意識の低いことが, 災害を大きくしたとのコメントが多かった。

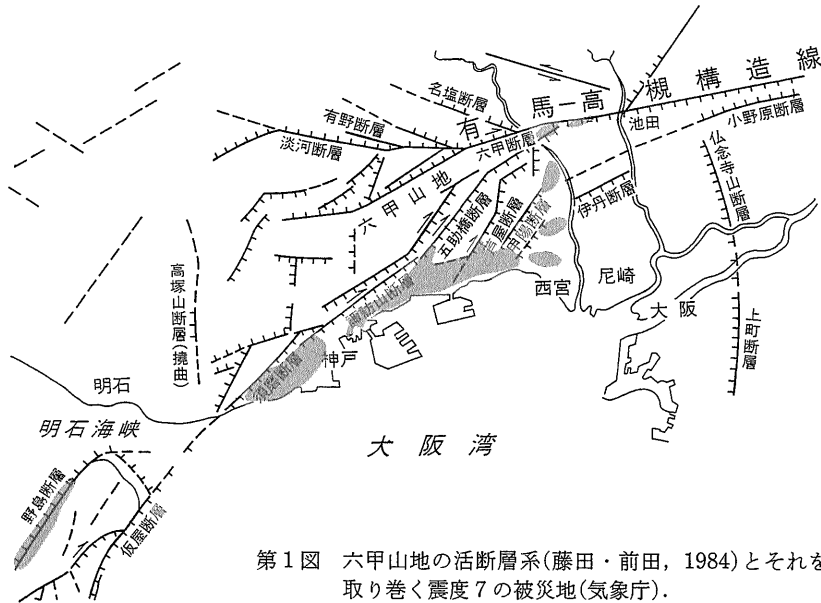
速刻東京や広島から若手研究者が被災地に向けつけ, “活断層”の発見につとめ, 私が大阪に出てきた時は, ほぼそれが終了に近い段階であった。それらによると, 六甲山地内ではあれほど明瞭な活断層が, 海岸線に沿ってベルト状に延びる被災地帯では姿をあらわさず, 活断層は被災地の地下に潜するという説がだされていた。

これに対して淡路島北部の西海岸に平行な野島断層に沿って, きわめて明瞭な右横ずれの断層変位地形が地表に8 kmにわたってあらわれ, その横ずれ量は最大1.7 mに達すると報じられた。これが“活断層”だという映像が流れると, 人々は初めてみる横ずれ断層が田畑の畝をくい違わせながら走っている姿に眼をみはった。しかしその延長らしいものが, 明石海峡をわたって神戸市域の被災地内で見られないとなると, この程度の断層で, 何故このような大災害がという疑問がわいたのは当然であった。そして姿の見えない“活断層”がひとり歩きすることになってしまった。

そのうちに被災地内をきめ細かく歩きまわった調査結果も出てきて, 六甲山地内の断層の延長が被災地に影響を与えているという説も有力になってき

1) 断層研究資料センター: 〒550 大阪市西区靱本町1丁目
8-4, 大阪科学技術センター5F

キーワード: 第四紀テクトニクス, 六甲断層系, 六甲変動, 横
ずれ断層, 山崎断層, 野島断層



第1図 六甲山地の活断層系(藤田・前田, 1984)とそれを取り巻く震度7の被災地(気象庁).

た。このくい違いは、見方や考え方のちがいもあって現況では決着がつきにくい。しかしそのまま放置すべき問題ではない。今後の復興のためにも、さらに日本列島全体の地震対策のためにも、われわれの総力をあげてとりくまなければならない問題である。そのあらゆる要素が、この震災の中に秘められている。

私はこれを断層活動だけではなく、理学的・工学的・人文的あらゆる要素を含めた「複合災害」の解明と位置づけたい。そして地表面象については、今後も数多くの資料が蓄積されていくであろうが、それらの底辺にある地下の基盤岩体の構造を知る必要のあることを痛感している。地震は地下20 kmの基盤岩体の中で発生している。そして断層運動も地震動もその上をおおう被覆層を通じて地表に達するが、芦屋海岸で被覆層である第四紀層、大阪層群の厚さは1000 mにも達している。そしてその基盤岩は僅か5 km離れた北側で、標高数100 mの基盤岩山地をつくっているのである。六甲山地と大阪湾の間には、予想以上に大規模なテクトニクスが存在しているはずである。

2. 兵庫県南部地震に対する5つの疑問

病院の窓から、黒煙の立ちのぼる市街地の彼方に連なる六甲山地を眺めながら、私が最初に心配した

ことは、諏訪山断層に沿う山陽新幹線神戸駅付近が破壊されていないかということであった。この地点で諏訪山断層は、旧生田川の川床礫を動かしている活断層中の活断層ともいべきもので、しかも新神戸駅は断層上に平行に断層をまたいで建設されているのである(藤田, 1976; 藤田・笠間, 1983)。しかし現実にはここに被害はほとんどなかった。これが第1の疑問である。

大阪に出てきて、断層研究資料センターに出られるようになって、各方面からの情報が入るようになってきた。そして気象庁による震度7の分布が、災害分布の特徴をよく表しているように思われた(第1図)。第2に私が注目したのは、六甲の東側、芦屋から西宮・伊丹・塚家にかけてパッチ状に被災地が南北に分布していることであって、神戸—芦屋間の東西のベルト状の分布とはまったくちがっていることである。これをどう説明すべきか。第3に、神戸—芦屋間のベルトは、いち早くいただいた国土地理院の倒壊家屋分布図からみても、決してじゅうたんを敷いたようなものではなく、私の土地勘からすれば、その中にはいろいろなパターンがみえる。これを海岸線に平行な潜在断層の活動だけでは片づけられそうにない。

第4に、ポートアイランドにあって、とっさに思ったことは、最近になって大阪湾の中央部に近いところで発見され、淡路島に平行で神戸方向に延び

る「大阪湾断層」はどうであろうかということであった。これが動けば湾内に津波がくるのではないかと懸念した(藤田, 1994)。

第5に、主として東京方面からの調査者の報告によると、淡路の野島断層は確実に動いたが、阪神地域では、六甲山地内に多数見られる活断層は動いた確証はないということが多数意見となり、大阪市大や神戸大学の地元の調査者が、六甲の活断層の延長が平地部にも影響を与えているとする報告と対立することになってしまったことである。これがまたマスコミの興味をそそることになってしまった。

今度の地震について、活断層が原因だとの大合唱がおこったが、姿をあらわしたのは淡路島の野島断層だけで、断層調査はこの地域に集中し、かんじんの阪神地域がわからないというのでは、人々が呆気にとられるのも無理はない。

3. 明石海峡と野島断層

今回の地震の震源は、明石海峡下20 kmであった。明石架橋計画は、原口元神戸市長の「夢のかけ橋」計画から始まり、私も国鉄の故伊崎技師に誘われて、海峡の最深部を潜水艇で観察したことがある。海底地質調査は困難を極めたが、複雑に走る断層を確認することができ、陸上の断層との関係も推定できるようになった。(藤田・前田, 1984, 30 図; 伊崎・金子, 1960)。

淡路島の断層については、1961年の「兵庫県地質鉱産図」作成時に、はじめて野島断層を記載したが、その当時は、まだ横ずれ断層の認識はなかった。さきに1937年大阪湾の音波探査によって、淡路東岸に沿う海底に假屋断層が発見されていたので、野島断層は海峡に入ると、北東に方向を変え、假屋断層に収斂し、本土側の須磨断層に延長するであろうとの結果をえた(藤田・鎌田, 1964)。

今回あらわれた野島断層は、誰がみても文句のつけようのない横ずれ変位地形をもち、映像むきであった。そしてその北方への延長がいろいろ取沙汰され、その直線方向である垂水方面にあらわれないのが疑問とされたが、今になってみると、既存地質調査の方が的を射っていたのである。

野島断層は右横ずれ変位地形の鮮やかさの故に、活断層発見として騒がれたが、これが今回の“幻の

活断層”のひとり歩きの発端になったと思う。しかしこれは活断層がたまたま地表面を切って変位を露出したもので、「地震断層」というべきものであった。地表に切れ味のよい姿をあらわさない活断層もあるのである。

4. 山崎断層と野島断層と大月断層

野島断層は最初1974年に淡路島を隆起させた逆断層として私が命名したものであるが(藤田, 1974), その後1990年になって、「淡路」図幅中で右横ずれの変位地形の存在が指摘され(水野ほか, 1990), 今回その実像が出現したのである。

私にとっては、この間に山崎断層の発見があった。1968年のことである。この断層は姫路の北方の兵庫県の中央部を北西—南東に60 km にわたって直線的に延びる左横ずれ断層で、近畿における横ずれ断層としては、中央構造線につぐ第二番目の発見であった。その10年ほど前から京都大学防災研究所の鳥取観測ネットによって微小地震の観測が始められていた。そしてその震央分布図と断層分布図を合わせてみると、山崎断層を中心として集中度の高いことが明瞭に認められ、ここに具体的な姿で地震と断層との結合が示されたのであった(藤田, 1983; 1985)。

山崎断層に集中する微小地震の発震機構を解析し、起震応力場を求めると、ほぼ東西水平の圧縮応力場がえられる。そして活断層系からみちびかれた近畿の構造地形区として、1962年に私が提唱した「近畿トライアングル」形成の応力場とよく一致する(Huzita, 1962; 1976)。

山崎断層はその直線性の故に、福崎から山崎西方にいたる間の約60 km にわたって、中国自動車道の路線と一致することになった。そしてこの断層の振舞いを監視するため日本道路公団に提案して道路下に観測用トンネルを掘ってもらい歪計を設置したところ、この地域が「地震予知のテストフィールド」に指定され、10年間の文部省科学研究費が支給されることになった。その7年目の1984年、M5.6の山崎地震が断層直下におこった。その発震機構の解析は、予想通り東西水平圧縮応力場を示し、余震の震源はみごとに垂直の断層面上に板状に分布していた(岸本, 1988)。



第2図 1961年～1994年のM \geq 3の地震の分布(気象庁による)。「近畿トライアングル」の形が大体でているが、六甲—淡路北部に地震が少ないのが注目される。

それより先、私は六甲の数多い断層の中でも、六甲を東六甲と西六甲に2分し、1938年の阪神大水害として知られる大土石流災害をもたらした住吉川の断層谷をつくる五助橋断層系に注目していた。そして活断層ならば、断層をまたいで歪計を入れてみてはどうかという計画を立てた。ちょうどその頃、六甲山地を縦断する山陽新幹線の六甲トンネルの掘削が進んでいた。五助橋断層の副断層とみられる大月断層を斜坑が抜いた時の水抜き坑を利用して、京都大学の田中 豊さんらと共に歪計を設置した。

その当時それほど意識していなかったのであるが、大月断層は住吉川に注ぐ枝谷の屈曲によって明瞭な右横ずれ変位を示しているのである。

山崎断層が左横ずれであるのに対して、大月断層が右横ずれであるから、両者が東西圧縮応力場において、共役関係にあるのではないかとの推理を立てた。そして六甲の歪計の推移を見守っていたところ、山崎地震の直後から僅かながら異常を示しはじめ、期待が高まったが、それ以上の進展はなかった(大塚ほか, 1986)。山崎断層と大月断層を共役関係にあるとみると、明石海峡はまさしくこれら共役断層系の交差点になるはずである。



第3図 1995年1月17日地震当日より2月15日までのM \geq 0、深さ20 km 以浅の余震の分布。第2図の空白部を埋め、野島—大月の横ずれ断層系に沿っているのがよくわかる(第1図参照)。

5. 余震分布の意味するもの

気象庁地震予知情報課でまとめられた1月17日から2月15日までの余震分布(第3図)をみると、それは群をなして淡路島北半から、明石海峡をへて、神戸市街地を抜け、六甲の五助橋断層へ直線的に延び、びたりと有馬—高槻構造線で頭打ちとなっ

ている。これほどみごとに余震と断層との一致を示した例は少ないであろう。

私はこの図を見た時、地震が「六甲変動の真相はこうだ」と教えてくれたような気がした。巨視的にみると右横ずれの大月—野島断層系と、左横ずれの山崎断層系とが共役関係にあり、その交点の明石海峡を震源として兵庫県南部地震が発生したとする構図が浮かんでくる。

この余震域の中味をもうすこし吟味してみよう。野島断層が海峡に入って垂水方面に直進せず、假屋断層に収斂しながら六甲の須磨断層に延長しているであろうことは、明石海峡底の地質調査からもうなずける。今回の調査によれば、假屋断層に平行な陸上の楠木断層も地震断層の変位地形をみせている。野島断層から假屋断層への乗り移りが、海峡底でおこなわれている。海上保安庁の音波探査からもそれがうかがわれる。

須磨断層の東への延長は、会下山断層との関係において、神戸市域で最も複雑な構造を示し、大倉山の北側にプル・アパート・ベイスンとみられる小盆地を生じていて、今後の精査のまたれるところである。会下山断層の延長とみられる諏訪山断層が、今回ほとんど活動していないところを見ると、さらにこの部分から、直接大月・五助橋断層系への乗り移りがおこなれた可能性が大きい。そしてその延長は有馬—高槻構造線で終わる。

この構造線は、他の六甲の断層とはちがって、南側の花崗岩体と北側の有馬層群とよばれる中生代の流紋岩体とを境する地体構造の境界帯ともいべきもので、私が中央構造線の右横ずれ運動を論じた時に命名したものである(藤田, 1973)。これを境として、微小地震の起こり方も全く異なるという特徴がある。余震分布がここでたち切れ、宝塚において、飛火的災害をおこしたことも理解できるのである。

以上のメカニズムは、第4図のように総括されるであろう。このような地震断層の乗り移りは、菊地正幸の地震解析による断層形成過程のモデルとも合う(菊池, 1995)。

6. 甲陽断層と芦屋断層および伊丹断層

それでは、五助橋断層以東の東六甲を切る甲陽断

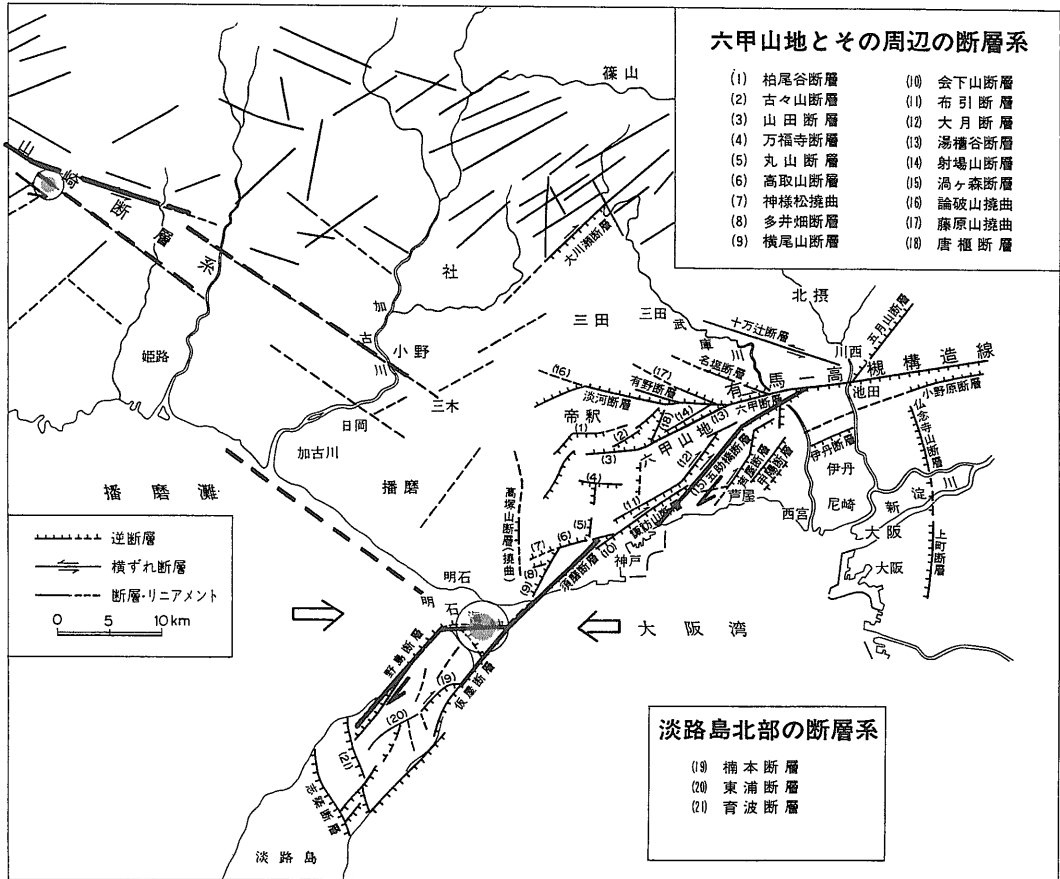
層と芦屋断層はどうであろうか。ここでは数100 mに達する段差のある基盤岩の階段状山地地形が明瞭であり、それらの地形変換線に沿って断層が走っている。この変位は大阪層群の海成粘土層 Ma 1 層準の山地内部での分布から、100万年以降のものであることがわかっており、これらの断層は地質学的に活断層と認定されるよい例である(藤田, 1983; 1985)。

甲陽断層は、六甲南東麓の大阪層群よりなる丘陵地帯を走る。私がこのあたりの研究をはじめた40年ばかり前は、宅地造成の初期の頃で、甲陽断層の良好な露頭が次々と出現した。それらを総合すると、甲陽断層は大阪層群の撓曲が発達して逆断層の形態を示すようになったものであり、芦屋と西宮市境の高塚山西側で実施した(藤田・笠間, 1982)地震探査によれば、基盤の落差は400 mに達する。この丘陵地にも被害が多発したが、それらは地すべりによるものとされ、断層は動いた形跡はないとされている(釜井ほか, 1995)。

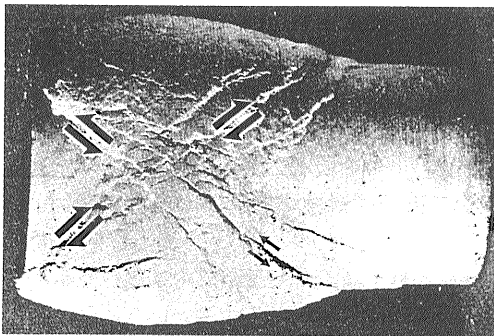
ここに詳しく検証する余裕はないが、甲陽断層の実態を知るものとして、私はこれらの地すべりは断層運動によって誘発されたと考える。六甲の活断層が動いた、あるいは動かないとの議論が多いが、断層は差別運動をする基盤ブロックの境界面である。断層自身が動くのではない。野島断層にみられたような地震断層の出現の有無をもって、動いた動かないの判定をすべきではない。

甲陽断層の場合も、基盤の断層は数100 mに及ぶ固結度の弱い被覆層を変形させているのであるから、その地表に影響する範囲は、巾数100 mに及んでいる(藤田・笠間, 1982)。まして阪神間では最も地盤条件もよく、宅地造成も丁寧になされている丘陵地に地すべりが多発するという事は、断層周辺の地震動ははげしかったことを物語っている。

さらに甲陽断層が丘陵部を離れ、平地部に延長するあたりにある JR 芦屋駅近傍は、最新のビル街を含めて甚大な損壊を受けている。そして何よりも、この部分を境として、神戸のベルト状被災ゾーンは終わり、六甲の東側が変わっていくのである。芦屋断層は、甲陽断層とは性質が異なり、花崗岩中の低角度衝上断層の性質をもっている。そしてそのトレースも直線的ではない。地震断層は認められないからといっても、甲陽断層と同じ意味で、地震動は集中



第4図 六甲横ずれ断層系と山崎断層系との共役関係(藤田・前田, 1984)に加筆。●は震央位置(山崎地震, M 5.6, 1984; 兵庫県南部地震, M 7.2, 1995)。



第5図 テストピースの破壊実験。矢印はセン断面に沿う運動方向を示す。

しているとみられ、被害もみられる。

それならば、甲陽断層や芦屋断層に余震の集中がみられないのはなぜであろうか。これはなかなかむずかしい今後の問題であるが、芦屋断層の形態などからみて、地下深部では五助橋断層に収れんしていると考えられる。すなわち東六甲山塊を大規模な押しつぶせ山塊とみるわけである。最近中央構造線に

沿って弾性波探査によって、同様な構造が明らかにされてきている。

7. 応力場の変遷と断層運動

私はこれまでに近畿のネオテクトニクスを論じるなかで、第四紀初期までは南北圧縮のテクトニクスが優勢であったが、中期以降になって東西圧縮のテクトニクスに変換し、現在にいたっているとしてきた(藤田, 1968)。その中で中期更新世の約50万年以降に断層運動が激化し、近畿は断層地殻運動の時代にはいり、現在の地形起伏の原形がつくられたとした。その意味で近畿では、それ以後に発生した断層を「活断層」として認定してよいのではないかと考え、「日本の活断層」ではこのような断層に[]

を付してある。このような活断層は、東西圧縮の応力場がつづくかぎり、繰り返しかえし活動する可能性があるからである。

しかし応力場に変化はなくても、断層運動が変わっていくことは予想できる。もともと六甲を北東—南西に切る断層は、東西圧縮応力場でセン断面として発生したと考えられるが、初期の頃は垂直変位成分が優勢で、六甲をプレッシャー・リッジとして高度を増す方向に進んだ。すなわち最小主応力軸が垂直方向であった。しかし重力の場において、山地の成長には限度があり、断層運動は横ずれ成分が優勢な運動に転じてゆく。今回のようにこれまで逆断層型とみられていた五助橋断層系や淡路の断層系が横ずれ変位を示したことは、まさにこのような転換を示しているのであろう。五助橋断層に平行に、横ずれ変位地形の明瞭な大月断層が存在するのも注目される。

8. 六甲山地形成と断層のモデル

—まとめにかえて—

これまで、西南日本は横におかれた巨大なテストピースであると、何度か述べてきたが(藤田, 1983; 1985), 今回の地震の場合は、その典型的な例である。視野を山崎断層系を含めて広げてみよう。第5図に示したテストピースの破壊実験が、ほとんどそのまま、明石海峡を交会部とする横ずれ断層系、大月—野島系と、山崎系の関係を表現している。

自然は意外にシンプルに、そして法則通り運動しているといえる。今回の地震も、今になって考えてみればおこるべくしておこったといえなくもない。1984年のM5.6の山崎地震まで、山崎断層のトレンチ結果によれば、この地域の応力系は1000年以上にわたって均衡を保ってきた。それがこの山崎地震をトリガーとして破れ、大月—野島系の右横ずれ断層の活動は、その連鎖反応といえるのではない。山崎地震の規模はこの程度の大断層としては小さすぎるとの意見もある。その挙動は今後も監視する必要がある。それにつけても、山崎断層の観測設備が、せっかく地震予知テストフィールドに選ばれながら、文部省の科学研究費が10年で打ち切られたままになり、機能しなくなっているのはまことに残念である。大月断層の観測と合わせて復活したい。

そしてさらに北淡路にも新設したいものである。

文 献

- 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・鎌田清吉(1964): 大阪湾の地質, 大阪湾音波探査委員会, 62p.
- 藤田和夫(1968): 六甲変動, その発生前後—西南日本の交差構造と第四紀研究, **7**, 4, 248-260.
- 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.
- 藤田和夫(1973): 近畿の活断層, 地質学と土質工学の境界領域の問題点. *土質工学会関西支部*, 19-31.
- 藤田和夫・奥田 悟(1973): 近畿・四国における中央構造線のネオテクトニクス, 「中央構造線」, 東海大出版会, 87-109.
- 藤田和夫(1974): 第四紀地殻変動図「近畿」, 構造図(3). 地質調査所.
- 藤田和夫(1974): 近畿地方の地質の特徴—主としてネオテクトニクスの立場から—. *土と基礎*, **22**, 10, 59-66.
- 藤田和夫(1976): 近畿の第四紀地殻変動と地震活動. *地質ニュース*, no. 267, 10-20.
- Huzita, K. (1976): The Quaternary tectonic stress states of Southwest Japan. *Jour. Geosciences, Osaka City Univ.* **20**, 93-103.
- 藤田和夫・尾池和夫(1981): 本州弧の活構造と地質活動. *科学*, **51**, 704-711.
- 藤田和夫・笠間太郎(1982): 大阪西北部の地質. 地域地質研究報告(5万分の1図幅)地質調査所, 112p.
- 藤田和夫(1983): 日本の山地形成論. 蒼樹書房, 466p.
- 藤田和夫・笠間太郎(1983): 神戸地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 115p.
- 藤田和夫・前田保夫(1984): 須磨地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 101p.
- 藤田和夫(1985): 変動する日本列島. 岩波新書, 306, 228p.
- 藤田和夫(1994): 京阪神をめぐる活断層と直下型地震, 一特に大阪湾断層について—. 断層研究資料センター資料.
- 伊崎 晃・金子徹一(1960): 明石海峡の音波探査とその解析. *物理探査*, **13**, 36-45.
- 釜井俊孝・鈴木清史・磯部一洋(1995): 兵庫県南部地震による都市地域の地すべり. *地質ニュース*, no. 486, 21-23.
- 活断層研究会(1991): 新編日本の活断層—分布と資料—. 東大出版会, 437pp.
- 菊池正幸(1995): 兵庫県南部地震の震源過程モデル. *地質ニュース*, no. 486, 12-15.
- 岸本兆方(1988): 1984年5月30日山崎断層の地震(M5.6). *山崎断層研究論文集(2)*, 683.
- 水野清秀・服部 仁・寒川 旭・高橋 浩(1990): 明石地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)地質調査所, 90pp.
- 大塚成昭・大村 誠・藤森邦夫・田中 豊(1986): 六甲断層地域で観測された1984年山崎地震による特異な地殻変動. *地震*, **39**, 405-417.

HUZITA Kazuo (1995): Hyōgoken-nanbu Earthquake from the view-point of the Quaternary Tectonics of Kinki—I saw the “Rokko Movements” in the Earthquake of Kobe—.

〈受付/受理: 1995年5月10日/5月11日〉