

本特集は、近代都市にきわめて甚大な人的・物的被害をもたらした阪神・淡路大震災を深刻かつ真剣に受けとめ、今後の大きな教訓とするため、①地震の特性、②地震被害の特性、③構造物の耐震性、④インフラシステム機能の信頼性、⑤社会経済システムと震災、⑥復興計画・防災計画、に大別し、それぞれの専門分野の方々に個人の立場から、被害の原因、問題点、教訓、復旧復興への提言、今後の耐震・防災のあり方等について述べていただくものです。

土木学会誌編集委員会

兵庫県南部地震の地質学的特性

—横ずれ断層系の活動—

Geological Features of the Hyogoken-Nanbu Earthquake
—Activities of the Strike-Slip Fault-System—

理博 断層研究資料センター理事長 藤田 和夫 Kazuo HUZITA

疑問の続出

1995年1月17日の兵庫県南部地震は、六甲山地南麓から北淡路にかけて強烈なダメージを与え、これまで経験したことのない異常な地震と位置づけられた。しかし冷静になって考えてみると、この地震も起こるべくして起こった普通の“直下型”地震ともいえる。ただそれが我々の経験の枠を越えた部分の多かったことは事実であろう。それよりむしろ異常であったのは、地震直後から、“活断層”、“直下型地震”という言葉が飛びかい、



写真-1 淡路島北淡町平林の水田にあらわれた右横ずれ地震断層。人物の位置がずれをあらわす。上下1.3 m、右ずれ1.7 m (岡田篤正撮影, 1995)

北淡路島の西海岸に沿って延々と横ずれ地震断層があらわれ、断層といえば垂直にずれるものだと思っていた人々を驚かせたのであった。

そのほかこの地震については、いろいろな疑問がでてきた。気象庁発表の震度7の分布図をみると、被災地は大枠において北淡路に始まり、六甲南麓の神戸から芦屋にかけて東西に海岸沿いにベルト状に延びるが、西宮からは北に方向が変り、六甲の東側にパッチ状に分布し、北端は宝塚に達している。また分岐して東へ、伊丹から豊中に及んでいる。巨視的には六甲山地内にみられる活断層と関係があるようにみえるが、それら活断層の明瞭な延長がこれらの被災帯には認め難いというのである(図-1)。

次に王子公園から山陽新幹線新神戸駅に至る諏訪山断層に沿う部分が、ほとんど被害を受けていない。山陽新幹線新神戸駅施工時にこの断層の大露頭があらわれた。そして旧生田川の河床礫が花崗岩の垂直の断層面に沿って直立しているのが認められて、きわめて新しい断層運動を示すものとして注目された。しかも施工上、余儀なくプラットフォームのピアが断層の両側にまたがっているという珍しいケースである(藤田・笠間, 1983)。このように活断層の典型ともいえる諏訪山断層が

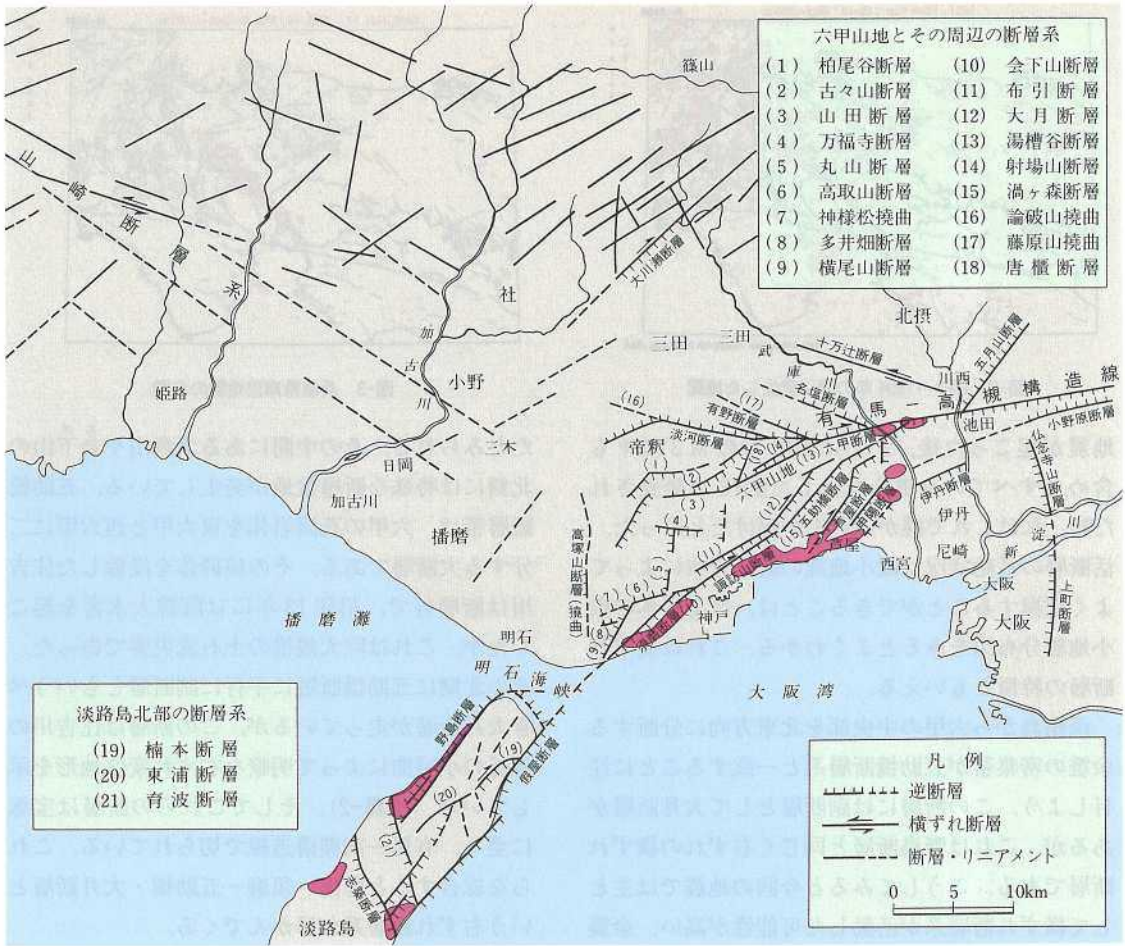


図-1 気象庁による震度7の分布

活動していないということは何を意味しているの
であろうか。

さらに、淡路島にあらわれた野島断層の延長が
問題になった。それはそのまま北へ延長すると、
六甲の西側の垂水地区にあらわれているはずであ
るが、その気配がない。逆に東側の須磨断層系に
沿って被害が大きい。しかもこのような被災地にも、
地震断層の出現を示すような物証は乏しいの
である。その他六甲山地区の活断層の被災地への
延長についても、多くの議論に分かれることにな
った。

余震分布の意味するもの

これら多岐にわたる疑問あるいは問題点は、余

震分布が明らかになることによって、一挙に解決
する糸口が見いだせたように私には思われた。図
-2は1961-1994年までのM3以上の震央分布に、
活断層を水色で加えたものである。私は敦賀湾を
頂点とした琵琶湖・大阪湾・伊勢湾を含み中央構
造線を底辺とする三角形の地域を、断層構造から
みて特色のある地形区であるとして“近畿トライ
アングル”と呼んだが、地震の分布からもその外
形が浮かんでおり、歪の集中がその外枠に集中し
ていることがわかる。そして注目されることは、
北淡路から六甲にかけてのゾーンが地震の空白地
帯であり、その北端は有馬—高槻構造線が境界に
なっていることである。

ところが、1月17日に明石海峡を震源とする

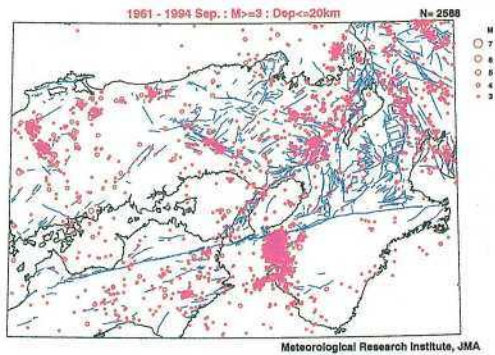


図-2 1961～1994年の間に発生した地震

地震が起こった後、2月15日までのM3以下も含めてすべての余震を記入した図-3が発表された時、私はこれで謎がほとんど解けたと思った。活断層の活動状況は微小地震の線状分布によってよく把握することができることは、西南日本の微小地震分布図をみるとよくわかる。これは横ずれ断層の特徴ともいえる。

淡路島から六甲の中央部を北東方向に分断する余震の密集帯が五助橋断層系と一致することに注目しよう。この断層には副断層として大月断層があるが、これは野島断層と同じく右ずれの横ずれ断層である。こうしてみると今回の地震では主として横ずれ断層系が活動した可能性が高い。余震群の発震機構も右横ずれ運動を示している。

次に余震群に幅広く覆われている野島—五助橋断層系の内部をさらに分析してみよう。明石架橋の基礎の調査は1960年頃から始まり、私も潜水艇白鯨号にのって、-100mの海峡底にもぐったこともあった。海峡の海底地質は多くの断層で切れ、なかなか複雑であった。そして野島断層は北へ直進せず、海峡を東へ斜めに横断して淡路島東岸の假谷断層に収れんして、本土側の須磨断層系に連なることがわかった。すなわち横ずれ断層によくみられる“乗り移り現象”が野島断層から假谷—須磨断層系に起こったのである。

次に須磨断層系は一見諏訪山断層に延長しているように見えるけれども、前述のようにこの断層に沿ってはほとんど被害がない。ここでも須磨断層系から五助橋断層系への“乗り移り”が行われ

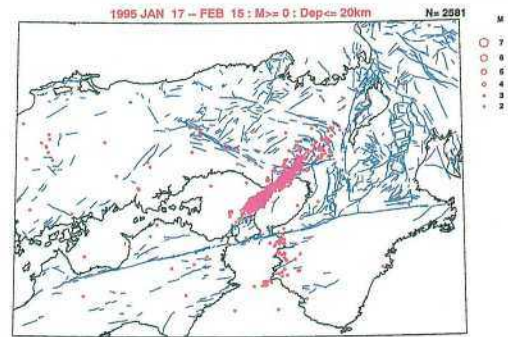


図-3 兵庫県南部地震の余震

たとみられる。その中間にある大倉山や会下山の北側には特殊な断層盆地が発生している。五助橋断層帯は、六甲の花崗岩体を東六甲と西六甲に二分する大断層である。その破碎体を浸蝕した住吉川は断層谷で、昭和13年には阪神大水害を起こしたが、これは巨大規模の土石流災害であった。その北側に五助橋断層に平行に副断層ともいべき大月断層が走っているが、この断層は住吉川の枝谷の小屈曲によって明瞭な右ずれ変位地形を示している(写真-2)。そしてこれらの断層は宝塚に至り、有馬—高槻構造線で切られている。これらを総合すると野島—須磨—五助橋・大月断層という右ずれ断層系が浮かんでくる。

地震・活断層・応力場

ここで注目されるのは1968年に発見された山崎断層である。この断層は、姫路北方の兵庫県中央部を北西—南東に60kmにわたって延びる断層で、野島断層とは逆に左横ずれ変位を示している。

近畿における横ずれ断層としては、山崎断層は中央構造線に次ぐ第二番目の発見であった。それは、ちょうどその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時であった。そしてその震央分布と断層分布図を重ね合わせてみると、山崎断層を中心として微小地震の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)。



写真-2 五助橋断層と大月断層 (右ずれ)

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た。これは「近畿トライアングル」形成の応力場とよく一致する。

山崎断層はその直線性の故に、福崎から山崎西方に至る間の数十 km にわたって、中国道路の路線と一致することになった (写真-3)。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起こった。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)。

これより先1970年に、私は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、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図って歪計を設置した (藤田, 1983, 1985)。そして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わずかながら異常を示しはじめ期待が高まった



写真-3 山崎断層 (左ずれ) の直上を走る中国道路

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、震源になった明石海峡はまさしくこれら共役断層系の会合点にあたるはずである。

以上東西水平圧縮応力場における断層発生メカニズムは、図-4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 (菊地, 1995)。

応力場の変遷と断層運動

私はこれまでに近畿の第四紀の地殻変動を論じるなかで、第四紀の中頃から東西圧縮応力場が優勢となり、中期更新世の約50万年以降に断層運動が激化し、近畿は断層地塊運動の時代に入り、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続く限り、繰り返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、断層運動様式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、六甲がプレッシャー・リッジとして高度を増す方向に進行した。すなわち最小主応力軸が垂直方向であった。しかし重力

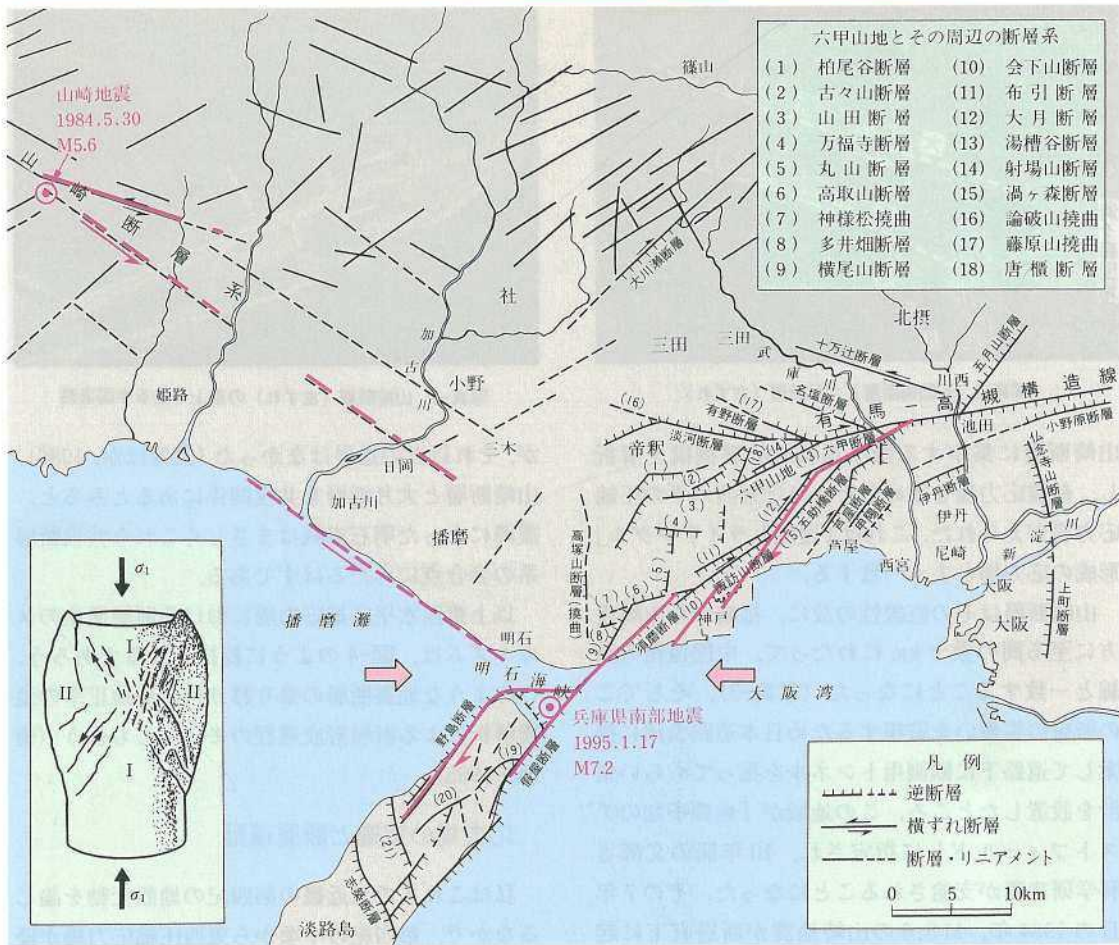


図-4 兵庫県南部地震の起震構造図

の場において、山地高度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いく。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はそのあらわれである。

六甲山地形成と断層のモデル

—まとめにかえて—

西南日本は水平におかれた巨大なテストピースで、今回の地震の場合は、その典型的なパターンである。山崎断層系を含めて視野を広げてみよう。

図-4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会合点とする横ずれ断層系、大月—野鳥系と山崎系の関係を表現している。

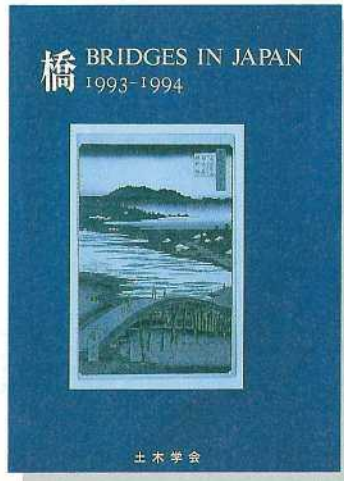
自然は意外にシンプルに、そして法則通り運動しているようにみえる。今回の地震も、今になって考えてみれば起こるべくして起こったといえなくもない。1984年のM5.6の山崎地震まで、山崎断層のトレンチ結果によれば、この地域の応力系は1000年以上にわたって均衡を保ってきた。それがこの山崎地震をトリガーとして破れた。大月—野鳥系の右横ずれ断層の活動は、その連鎖反応といえるのではないが、山崎地震の規模はこの程度の大断層としては小さすぎるとの意見もある。その挙動は今後も監視する必要がある。そ

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誠に残念である。大月断層の観測と合わせて復活したいものである。なお、東六甲の芦屋・甲陽断層などについては、問題点も多く、今回設置された兵庫県の「阪神地域活断層調査委員会」の調査を待って論じたい。

参考文献

- 1) 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, pp.422-430
- 2) 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, pp.19-31
- 3) 藤田和夫 (1974)：近畿地方の地質と特徴—主としてネオテクトニクスの立場から—, 土と基礎, 22, pp.59-66
- 4) 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, pp.10-20
- 5) 藤田和夫・尾池和夫 (1981)：本州弧の活構造と地質活動, 科学, 51, pp.704-711
- 6) 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, p.112
- 7) 藤田和夫 (1983)：日本の山地形成論, 着樹書房, p.466
- 8) 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図幅) 地質調査所, p.115
- 9) 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図幅) 地質調査所, p.101
- 10) 藤田和夫 (1985)：変動する日本列島, 岩波新書 306, p.228
- 11) 伊崎見・金子徹一 (1960)：明石海峡の音波探査とその解析, 物理探鉱, 13, pp.36-45
- 12) 活断層研究会議 (1991)：新編日本の活断層—分布と資料, 東大出版会, p.437
- 13) 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, 486, pp.12-15
- 14) 岸本兆方 (1988)：1984年5月30日山崎断層の地震 (M 5.6), 山崎断層研究論文集 (2), p.683
- 15) 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), 地質調査所, p.90
- 16) 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, pp.405-417

BOOK
PICK UP



橋
Bridges in Japan 1993~1994

橋はわが国に架設された主な橋梁のカラー写真とその橋梁の諸元をすべて網羅した年報である。一九九四年版は
 1、一九九三年度田中賞受賞橋梁
 2、同右受賞候補橋梁
 3、一九九三年および一九九四年に竣工した橋梁のうち主なもの。
 について、写真はすべてカラーで掲載し、諸元を巻末に詳しく掲載している。また、毎号

全国から十都市を選んで、この都市のモニュメント的な存在になっている橋梁を紹介し、その橋梁がそのような存在となるに至った由来を紹介している。この紹介文は原則として土木関係者ではない人に依頼して寄稿して載っているもので、専門家以外の読者の興味も引き得るものである。

■定価8,500円/会員特価7,650円

●お問い合わせ先

出版元：土木学会・出版事業課
TEL.03-3355-3445(ダイヤルイン) FAX.03-5379-2769

発売元：丸善(株)・出版事業部
TEL.03-5684-5571 FAX.03-5684-2456