

目 次

速報会世話人：序 文	1
相馬寛吉（日本第四紀学会長）：震災と第四紀学	2
松田時彦（九州大）：基調報告－兵庫県南部地震－	3
石橋克彦（建築研究所）：1995年兵庫県南部地震のテクトニックな意義と 広域地震活動	5
岡田篤正（京大）：六甲断層系のネオテクトニクス	9
吉田明夫（気象研究所）：1995年兵庫県南部地震に関連した地震活動と トライアングルのテクトニクス	13
菊地正幸（横浜市立大）：遠地の地震記録による震源メカニズム	17
岩崎好規（大阪土質試験所）：1995年阪神大地震の強震動記録	21
 特別寄稿	
池辺展生（大阪市名誉教授）：関東大地震（1923.9.1）と阪神淡路 震災（1995.1.17）を体験して	26
多田 堯（国土地理院）：1995年兵庫県南部地震と地殻変動	27
中田 高・蓬田 清・尾高潤一郎・朝日克彦（広島大）・坂本晃章（北淡東中） 千田昇（大分大）：兵庫県南部地震で淡路島に現れた地震断層	29
尾高潤一郎・中田 高・後藤秀昭（広島大）：淡路島北淡町小倉地区の 地震断層詳細図	31
鈴木康弘（愛知県立大）・松田時彦（九州大）・中田 高（広島大）・坂本晃章 （北淡東中）・尾高潤一郎・後藤秀昭・朝日克彦（広島大）・千田 昇（大分大） ・竹内 章（富山大）・吾妻 崇（専大）・岡田篤正（京大）・中村俊夫（名大） ：兵庫県南部地震の地震断層の活動歴－北淡町梨本地区でのトレンチ 発掘調査（中間報告）－	33
宮内崇裕・伊藤谷生・荒井良祐（千葉大）・村田明広（徳島大）・狩野謙一 （静岡大）・澤田啓臣（サワソフトサイエンス）：兵庫県南部地震にともなう 淡路島北部の地表断層－地形・地質・地震のテクトニックな関連性－	35
太田陽子（専大）・堀野正勝（国土地理院）・国土地理院災害地理調査班： 1995年 1月17日兵庫県南部地震の際に出現した野島地震断層と被害状況	37
岩淵 洋・春日 茂・沖野郷子・穀田昇一（海上保安庁水路部）： 兵庫県南部地震震源域付近海域の緊急調査	39
嶋本利彦・堤 昭人・大友幸子・川本英子（東大地震研）：神戸市・芦屋市・ 西宮市における地震被害と推定地震断層	41
前田保夫（山形大）・宮田隆夫（神戸大）：神戸－西宮間における活断層の観察	43
池田安隆（東大）・東郷政美（法政大）・澤 祥（鶴岡高専）・加藤茂弘 （兵庫県立人と自然の博物館）・隈元 崇（東大）：墓石のずれから推定される 初動分布と伏在地震断層の挙動	45

池田安隆（東大）・澤 祥（鶴岡高専）・東郷政美（法政大）：野島地震断層の最大変位量 －変位3成分の精密測定－	47
野村亮太郎（神戸大）・川崎輝雄（神戸大・院）：墓石・石造物の転倒 などから見た地震被害分布と地形特性	49
熊木洋太（国土地理院）・宇根 寛（同）・国土地理院災害地理調査班・脇坂安彦（土木研究所） ・佐々木靖人（同）・太田陽子（専大）・戸田 茂（京大）：六甲山地周辺地域の 活断層と地変	51
関口辰夫（国土地理院）・堀野正勝（同）・根本寿男（同）・津沢正晴（同）・ 国土地理院災害地理調査班：兵庫県南部地震の災害現況図と地形特性について	53
粟田泰夫・吉岡敏和・水野清秀・下川浩一・宮地良典・杉山雄一・寒川 旭・釜井 俊孝・磯部一洋・奥村晃史・佃 栄吉・吉田史郎・鎌田浩毅（地質調査所）・松山 紀香（大阪土質試験所）：1995年兵庫県南部地震に伴う地震断層と地盤災害	55
地質調査所緊急調査グループ（地下水班） 佐藤努・松本則夫・高橋誠・佃栄吉（地質調査所） ：1995年兵庫県南部地震に伴う地下水変動－淡路島の湧水および静岡県内の地下水観測－ ...	59
陶野郁雄（国立環境研）：基調報告－地盤工学の立場から－	61
楠田 隆・千葉県地質環境研究室研究員一同：1995年兵庫県南部地震による 液状化－流動化被害・中間報告	65
松本俊幸（応用地質研究会）：1995年兵庫県南部地震地質調査グループ： 1995年兵庫県南部地震における被害集中域と地質学的特性	69
中央開発(株)阪神大震災災害調査団（代表石川浩次）：1995年兵庫県南部地震の 被害調査と神戸の地盤	71
諏訪靖二（大阪土質試験所）：兵庫県南部地震によるウォーターフロント建造物の被害	75
総合討論から	81

コメント・質問と回答

宮村摂三（システム・アンド・データ・リサーチ(株)）：総合討論 松田時彦先生の基調報告 および総合討論における御発言についてのコメント	85
宮村摂三（システム・アンド・データ・リサーチ(株)）：中田 高ほか：兵庫県南部地震で 淡路島に現れた地震断層に対する質問	86
中田 高（広島大）：地震断層と震害について：宮村氏の質問に対しての回答	87
米倉伸之（東大，第四紀研連委員長）：閉会の挨拶	88

資料

1995年 1月17日兵庫県南部地震調査速報会プログラム	89
------------------------------------	----

表紙の図は淡路島北淡町に現れた地震断層（尾高ほか，本書 31-32頁参照）

序 文

淡路島から神戸—西宮市にかけての大都市の直下を襲った1995年 1月17日の兵庫県南部地震は5000人を越す人命を奪い、この地域に甚大な被害をもたらした。この地震による犠牲者の方々の御冥福をお祈りすると共に、被災地の復興が迅速に進み、災害に強い都市、町に生まれ変わることを願うものである。

この地震と災害に対し、被災地の惨状、被害とこの地域を走る活断層との関わり、直下から襲われた大都市の機能停止等々、様々な関心から多数の第四紀研究者およびそのグループが、緊急調査に赴き、また観測データの解析にあたった。それは、現在と最新時代の地球の営みと地球上での人間活動の歩みを、理学から工学に至る幅広い視野の中で検討する研究者の集りである日本第四紀学会のこの地震への関わりの深さを示すものであった。

その発生から1ヶ月後の2月18日に、1995年 1月17日兵庫県南部地震調査速報会が、日本第四紀学会・日本学術会議第四紀研究連絡委員会の主催の下で、東京の日本大学文理学部において開催された。この速報会は、被災地では救援活動の続く中で、大きな被害を受けた鉄道、道路、ライフライン等の復旧が進められ、そして今後被災地が復興・再建に立ち向かうにあたって、会員や関連分野の研究者による調査結果から、この地震と断層の活動の仕組み、それが激甚な被害をもたらした過程や条件等について、とりあえず解ったことを一般に明らかにし、また、構造物を造る側（工学）と、テクトニクス、活断層、地震、地質層序、地形等の理学の側との対話を試みようとの趣旨で行われた。

この速報会では、淡路島から阪神地域に至る広域応力場、地震の発生と震動特性、活断層の活動とその特徴、地震被害分布の特徴、地盤災害・液状化現象の特徴など多岐にわたる、26の緊急報告と、12のポスター発表がなされ（速報会プログラム参照）、活発な討論が行われた。総合討論では特に今後我々は何をなすべきかをめぐって熱心な質疑がなされた。

本書にはこの速報会の講演から寄稿のあった24編の論文、ポスターから3編の論文と、総合討論のまとめ、特別寄稿・質問等の4編を収録した。私達がこの地震および大震災から教訓を汲み取る上での一歩となれば幸いである。

寄稿された方々、また寄稿されなかったが、速報会で講演頂いた方々、ポスター発表をされた方々に篤く御礼を申し上げる。また、速報会の総合討論で座長をつとめられた元神戸大学教授の杉村 新氏に感謝の意を表する次第である。

1995年3月6日

速報会世話人

陶野郁雄（国立環境研究所）

遠藤邦彦（日本大学）

池田安隆（東京大学）

この度の阪神大震災でまたもや人間の知恵の無力さを思い知らされることになった。マグニチュード8クラスの巨大地震を度々経験済みの我々にとって、「今度のマグニチュード7.2の直下型地震がもたらした強震動は各種工学・技術のハード面や、それに対応するソフト面の基準の想定を上回ったものであった。」で済ましてよいものであろうか。科学的な根拠に基づき起り得る地震の規模や震度を予測し得たとしても、その対策・防災問題となると、それを離れた様々な配慮に基づく基準を設定する体質が、もしかしたら我々側にもあったかも知れぬことを大いに反省しなければならない。つまり科学がまだまだ人間のものになっていない点を重大問題として考える必要がある。経済や技術のみでは決して解決しない問題が多々あることを各人が深く考え、学問に根ざした活発な議論を戦わす必要が、特に第四紀学会としてもっとあってしかるべきだ。

人類誕生以来の地球の自然環境の変動ないし変遷を、時には人類の農業、工業、エネルギーなどの生産活動と関連させて、学際的・総合的に追求するのが第四紀学で、従来の枠組みで云う理学、工学、農学の諸分野にまたがる。主要な研究対象となる変動ないし変遷の記録が保存されている場が第四紀に形成された地層や地形などに多いことから第四紀学と呼ばれ、地道で綿密な野外調査が出発点となることが多い。この様に云うと、この学問の目的は単に過去を知ることにある、と短絡的に受けとめる人が居るかも知れぬが、大切なのは目的意識が何処にあるかであろう。

個々の調査で得られる多方面からの研究成果とその蓄積は、「一方では我々が生活を営む環境の根底にある自然への理解を深め、他方ではそれらを人間社会の本質に関わる問題に積極的に活かす。」との目的意識に立つであろう。この研究成果の蓄積と活用は二者択一ではなく不即不離であり、過去と真剣に取り組む姿勢なくしては人知を越えた自然の驚異、それに伴う破壊力を目前にして再度の破局を迎えることになるであろう。破局を迎えないためにも第四紀の基礎的研究の重要性とその社会的意義を人間社会の本質に関わる問題として理解することがなによりも重要である。

今回の兵庫県南部地震はM 7.2であり、内陸の活断層から発生した地震として特別に大規模なものではなかった。しかし、その活断層の直上に近代都市があったために未曾有の災害をもたらした。

この地震は、発生場所からいっても、また震源域の地表で活断層が実際に動いたことからも、あるいは本震の発震機構や余震の分布からみても、六甲山地から淡路島にかけての既知の活断層帯が活動したものであることは間違いない。

この地域の北側から東方には東西にのびる有馬－高槻構造線（断層帯）があり、その南側には六甲山地から淡路島へ連なる断層帯がある。いずれも右ずれである。両断層帯は図1に示すように互いに雁行しているが、六甲山地の東部で、あみだくじの渡り線のように数本の北東－南西方向の断層（甲陽断層・五助橋断層など）で連結している。この地域の断層の分布をこのようにみると、六甲山地の位置は東西の右ずれ断層帯にはさまれて圧縮される場所であり、一種のpressure ridge のできる場所である。こう考えることによって“六甲山塊はなぜ高いか”、あるいは、第四紀後期におけるその急速な上昇の機構を説明できる。

今回の地震では、このpressure ridgeの部分（六甲山塊）が一種のバリヤーとなり、有馬－高槻－六甲－淡路の大断層帯の南半分だけが破断（断層ずれ）し、その北半には及ばなかった。今回の起震断層をこのように考える。

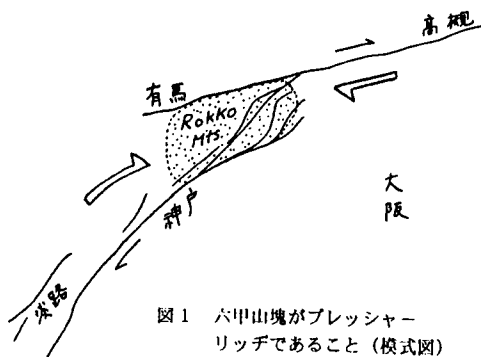


図1 六甲山塊がプレッシャーリッジであること（模式図）

今回のような内陸の活断層が大地震（ほぼマグニチュード7以上）を起こしてその動きが地表で明確に観察された例は、過去150年間に約10を数える（善光寺、伊賀上野、濃尾、陸羽、北丹後、北伊豆、鳥取、三河、伊豆半島沖、兵庫県南部の各地震）。

それらの内陸大地震の現場で地形や地層をみて、われわれはそこで過去に同様の事件が繰り返して生じていることを学んだ。そして、そのようなまた繰り返されるであろう大地震の発生場所をあらかじめ指摘しておく（活断層分布図に示す）ことができるようになった。1974年の伊豆半島沖地震と今回の兵庫県南部地震が、そのような既知の活断層から発生した。しかし今回の被災地において、その地域が活発な活断層とくに密集している地域であることは、ほとんど知られていなかった。活断層を知るものとして慚愧にたえない。

有馬－高槻－六甲の活断層帯が日本内陸の活断層の中でも「要注意断層」の一つであることは、15年前の知識ですでに指摘されていた。今回の地震を生んだ有馬－高槻－六甲の断層帯は、藤田和夫教授が明らかにしてきたように、過去にきわめて活発な活動をして

きた。そして、それにもかかわらず、最近の千年以上の歴史時代には大地震を発生していない。このような状態の活断層は、あまたの活断層のなかで「要注意の状態」にあるといえる。これとは対照的に、たとえば、過去数千年間に約700年間隔で繰り返し活動していて、かつ昭和5年に活動したばかりの北伊豆の丹那断層は、当分大丈夫な断層であるといえよう。大雑把ではあるが、この程度の時期予測は資料のある断層については可能である。

たしかに、活断層の数はあまりに多い。また、一つの断層に注目したとき、それが活動する時間間隔は、顕著な断層であっても千年の桁である。そのような稀にしか動かない「活断層」を、地震予知観測において、あるいは防災対策において、そこで大地震が必ず起こるとして真剣に取り上げる気にならなかったのであろう。たとえ千年ごとに大地震を発生するにしても、個々の事件の発生には±百年の曖昧さは免れ得ない。沖合の南海トラフでおこる巨大地震の繰り返し間隔はおおよそ約百年であり、したがって、その発生時期には±10年の曖昧さがある。しかしそれでも、曖昧さが±10年であれば、その発生予測は東海地震のように世の中を動かしている。一方、それが±百年であると、世間はそれに全く対応しなかった。その場所で大地震がおこるのは、来年かもしれないが、百年先かもしれない、などという予測は、無意味であろうか。

今回の地震は、色々な意味で意識の変革を迫るものであったと思う。地震予知の方策や防災に際して、±10年の視野を、もう一桁ひろげて±100年にしようではないか。活断層が分布しているかぎり、そこで必ず大地震がおこるのだから。

現在行なわれている地震予知への努力は、前兆を手がかりにしたいいわゆる直前の予知に集中している。直前予知では、見いだされた異常が大地震の前兆であるかどうかの判断を強いられるが、その際に、その地域での活断層の有無や要注意度に関する知識は重要である。これまでの例では活断層が千年の休止期を終えていよいよ活動する前（1～3週間前）には、しばしばその活断層周辺に住む人々が不安を感じるほど多数の有感地震が起こっている。そのような実例は、先にあげた10例のうちの半数に達している（伊賀上野、濃尾、北伊豆、陸羽、三河の各地震）。近代的観測が活断層を意識して配置されているならば、前兆の捕捉率は50%をはるかにこえることであろう。活断層は、平時には詳細な地震観測でも見いだせないほど、平時は静穏なのである。

“活断層は多すぎる”というのが、活断層に関する大方の評判である。それらの断層を、要注意の状態にあるものと、当分大丈夫な断層に選別する作業はすでに始まっているが、その選別の可能な断層は決して多くはない。その選別に必要な二つの事項―第四紀後期における活動間隔と最新活動時期とを、断層ごとに特定してゆく努力を一層すすめる必要がある。

それにしても、すでに始まっている地震防災の見直しのためには、まず、活断層を直下にもつ都市が、そのことを自覚することである。すでに、活断層の有無を知る大略の分布図は十分利用可能になっている。活断層のない街で震度7を想定する必要はあるまいし、活断層を抱えている都市がそれを知らずに防災を論じることは賢明ではない。市販されている活断層分布図によっても、府県庁所在都市のうちの11都市が、神戸市と同様に直下に活断層をもっている。都市の地震防災のために、活断層調査に始まる100年の計画が発効することを期待したい。

1995年兵庫県南部地震のテクトニックな意義と広域地震活動

石橋 克彦 (建設省建築研究所国際地震工学部)

Katsuhiko ISHIBASHI ; Tectonic implication of the 1995 Kobe, Japan, earthquake and the regional seismic activity

1. はじめに

1995年1月17日の兵庫県南部地震(気象庁M7.2)は、大局的に東西圧縮力によって発生した(例えば、菊地, 1995)。これは、最近の地震の発震機構、第四紀後期の活断層や変動地形、明治以来の測地測量(三雲・石川, 1987; Huzita, 1980; 多田, 1994b など)によって知られる西南日本内帯の東西圧縮テクトニクスの典型的な現われといえる。

西南日本の変動の原因については、二つの通説がある。

第一は、日本海溝で沈み込む太平洋プレートがほぼ西向きに東北日本を押し、その力が西南日本にも伝達されるというものである。Huzita (1980) は、「北部フォッサマグナ連結器」が力を伝えるという有名な図を示した。しかし、東北地方や北関東の東半分が東西に圧縮されていないことが測地測量データから明らかだし(笠原, 1994; 多田, 1994a), 北部フォッサマグナでの西押しの力が磁力線のように南方の京阪神地方にまで伝わるというのは不自然だから、この説は説得的ではない。

第二の説は、南海トラフで沈み込むフィリピン海プレートの影響というものである。造構力について明瞭に述べてはいないが、西南日本内帯の大地震がトラフ沿い巨大地震の50 ~ 2, 30 年前から活発化するという見解(宇津, 1974; Utsu, 1974; Shimazaki, 1976; Seno, 1979; Mogi, 1981)は、フィリピン海プレートの押す力が内陸にまで滲み込むことを考えているのだろう。しかし、フィリピン海プレートの西南日本にたいする運動の向きは大略北西だから、東西圧縮力による地震発生を説明しない。とくに今回の地震の場合、フィリピン海プレートの圧縮力が及んでいるとしても、むしろ震源断層面の法線応力を強めて地震すべりを起こしにくくする作用のほうが大きいはずである。また、四国の外帯の地殻内地震のP軸の方向が東西であること(例えば、安藤, 1994)も、この説の反証になる。

それでは、何が西南日本内帯の東西圧縮をもたらした、また今回の地震を引き起こしたのだろうか? 「西南日本東進説」がその答を与えるというのが、本論の基本的立場である。

2. 西南日本東進説またはアムールプレート東進説

「西南日本東進説」は、石橋(1983, 1984, 1986)が「東北日本北米プレート説」へのアンチテーゼとして提唱したものである。それは、フィリピン海プレートの東北日本と西南日本に対する相対運動方向の時代的変遷、南部フォッサマグナの地史、西南日本の応力場や中央構造線の変位様式の時代的変遷などを統一的に説明するために、「東北日本にたいして、フィリピン海プレートは少なくとも数Maから現在まで北北西に収束しており、日本海と西南日本は1 ~ 2 Ma頃に東進を開始した」と主張する。この説では、東北日本と西南日本を北米・ユーラシア各プレートに属するとは考えない。プレートモデルまでは議論しなかったが、石橋(1987, 1994)は、東北日本はオホーツク海プレート、西南日本と日本海はアムールプレートに属するとした。

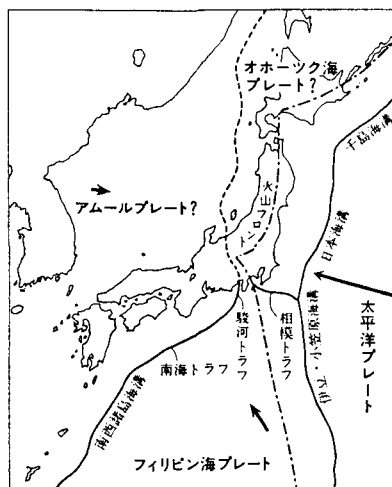


図3-8 日本付近のプレート。矢印は、オホーツク海プレートにたいする他の3プレートの大まかな運動方向(長さは速さに比例)。

石橋(1994)より

一方、Zonenshain and Savostin (1981) はアムールプレートとオホーツク海プレートを導入したが、石川・于 (1984) はそれらを支持し、Tamaki and Honza (1985) や木村・他 (1986) もアムールプレートを主張した。また小林 (1986) は、対馬～朝鮮半島地域にホットリージョンを想定して西南日本東進の原動力を考えた。さらに最近、瀬野 (1993, 1995) がオホーツクプレートの運動を論じている。

震源分布や発震機構からもバイカル湖は拡大しているようであり (例えば、石川, 1994a), また最近の VLBI の結果によれば、上海はユーラシアの安定部分にたいして年間約 1 cm の速さで東～東南東へ動いている (Yoshino *et al.*, 1993) から、アムールプレートが存在して東進している可能性は高い。吉田・高山 (1992) は、美濃の地震活動が丹波と和歌山付近のそれに先行するという特徴から「西南日本東進説」に疑問を呈しているが、アムールプレートの東進が応力の西から東への伝播を意味するわけではないから、この批判は当たらない。

北米・ユーラシア・オホーツク海・アムール・太平洋・フィリピン海の 6 プレートを考慮したプレート運動モデルはまだ求められていない。本論では、本州中部付近で、オホーツク海プレートにたいしてフィリピン海プレートが年間 3 cm 程度の速さで北北西に、アムールプレートが年間 1～2 cm の速さで大雑把に東に動くとして、定性的に考える。中国大陆を含むアムールプレート東進の原動力は、インド亜大陸の衝突か東アジアの地下深部の変動だろう。

3. アムールプレート東縁変動帯

東進するアムールプレートは、現在サハリン～北海道～東北地方の西岸沖でオホーツク海プレートに衝突し、沈み込みを開始しつつあると考えられる。この「日本海東縁変動帯」では、海域で M 8 に近い東西圧縮逆断層地震が起こるばかりでなく、陸域にも地震帯・変動帯が南北に発達し、信濃川沿いの変動帯を経て松代周辺でフォッサマグナにつながる。測地測量による水平歪の分布と比べると、1896年陸羽地震 (M7.2), 1611年会津地震 (M6.9), 1683年下野・岩代地震 (M7.0) などの内陸の東西圧縮逆断層地震も、この変動帯に属するとみなしたほうがよさそうである。

本州中部では、フォッサマグナを東限としてアムールプレートがオホーツク海プレートに衝突し、北陸・中部・近畿の広い範囲が変動帯となって東西圧縮を解消していると考えられる (西南日本内帯衝突帯)。この衝突帯では、南北性山地の隆起、活断層の密集 (北西～南東走向左横ずれ断層、北東～南西走向右横ずれ断層、南北走向逆断層)、歴史地震の多発が生じている。

大陸におけるアムールプレートの西～南の境界は複雑であり (例えば、石川, 1994a), 東シナ海～西南日本周辺でも南限を明確にするのはむずかしい。しかし、第一次近似としてはフォッサマグナから南～南西に続く駿河・南海トラフをアムールプレートの南東境界としてよいだろう。ここでは、フィリピン海プレートの沈み込みによる変動に、アムールプレートの東進に起因する変動 (駿河トラフ沿いで東西短縮、南海トラフ沿いで右横ずれ) が重なっていると考えられる (石橋, 1985)。とくに駿河トラフは、東進するアムールプレートが伊豆半島に衝突している境界とみるのが重要だろう。トラフ沿いの東海・南海巨大地震は、二つの原因によって蓄積された歪の合計を解放することになる。中央構造線はアムールプレート内の顕著な弱面であり、ここにもアムールプレートの東進に起因する右横ずれの歪が蓄積し、間欠的に大地震が発生する。

以上の、日本海東縁変動帯、西南日本内帯衝突帯、駿河・南海トラフ地域、中央構造線一帯は、東進するアムールプレートが現在の変動を支配しているか、または関与している地域である。そして、それら各地での地震活動は、エネルギーの供給源を共有し、ひと続きのプレート境界が破壊する出来事として、以下でみるように密接に関連していると考えられる。そこで、これらの地域を総称して「アムールプレート東縁変動帯」と呼ぶことを提唱したい。

日本の有史以来の被害地震をみると、実に、半数近くか過半数 (駿河・南海トラフ沿いの地震の数え方による) が「アムールプレート東縁変動帯」で発生している。日本列島の地震テクトニクスの新しい視座として、「アムールプレート東縁変動帯」という概念は重要であろう。なお、アムール

プレートの東進による東西圧縮テクトニクスは、中期更新世ころからとくに強まり、現在さらに強まりつつあるように思われる。

4. 1995年兵庫県南部地震と広域地震活動

アムールプレートの東進に起因して同プレート東縁変動帯に東西短縮歪が蓄積する。1983年と93年に日本海東縁でM7.7と7.8の大地震が発生したことは、この変動帯の応力状態が高まっていることを示している。83年5月26日の日本海中部地震の約16ヵ月後の84年9月14日に、震源域南端から約500 km 南南西方で東西P軸をもつ長野県西部地震(M6.8)が発生したが、これは、前者によってアムールプレートの東進にたいする抵抗が一部はずれたために、西南日本内帯衝突帯で東西圧縮が強まり、臨界状態に達していた後者の発生を促したのだと解釈できる。

今回の兵庫県南部地震は、93年7月12日の北海道南西沖地震の約18ヵ月後にその震源域の南端から約880 km 南西方で発生したわけだが、長野県西部地震と同様の力学的因果関係によって、北海道南西沖地震に発生を促されたと考えられる。ただし、もちろん震源断層沿いの剪断応力が限界に達していたに違いない。93年2月7日の能登半島沖地震(M6.6)も東西P軸で、北海道南西沖地震と力学的関連があるだろう。なお、震源距離と遅れ時間の関係については、あとに示すようにまだ多くの例があるので、この2例だけを重要視しないほうがよい。

兵庫県南部地震によって西南日本内帯衝突帯の西部の一角が破壊したから、この衝突帯の中に臨界状態の弱面があれば、その破壊も起こりやすくなるだろう。とくに、東西圧縮応力が効果的に効く弱面に注意する必要がある。また、中央構造線活断層系に右横ずれの歪が加わるはずだから、1596年に四国東部と別府湾周辺のセグメントが大地震を起こした(石橋, 1989; 岡田, 1992)とすると、その間の四国中・西部を注意したほうがよい。さらに、日本海東縁変動帯でもアムールプレートの東進が促進されると考えられるので、目下指摘されている地震空白域(大竹, 1993; 石川, 1994b)や見過ごされている臨界領域で大地震発生の可能性が高まったといえる。

上述の83年から今回までのアムールプレート東縁変動帯の一連の大地震(と今後続発するだろうもの)は、アムールプレートの東進をさらに促進して、駿河・南海トラフ沿いにも歪を増大させるはずである。つまり、東海地震と南海地震の発生に近づいていくプロセスと考えられる。その意味で、21世紀半ばまでに発生する可能性の高い南海地震に先立つアムールプレート東縁変動帯の活動期が始まりつつあるとみたほうがよいだろう。

駿河・南海トラフ沿いの巨大地震の発生に先立つこのような地震活動は、1854年安政東海・南海地震の前にもみられた。主なものだけでも、1799年加賀(M6.0)、1802年佐渡(M6.5~7)、04年象潟(M7.0)、10年羽後(M6.5)、19年伊勢・美濃・近江(M7強)、28年越後(M6.9)、30年京都(M6.5)、33年美濃西部(M6強)、33年山形沖(M7.7)、47年善光寺(M7.4)、54年伊賀上野(M7強)などが続発した。そして安政東海

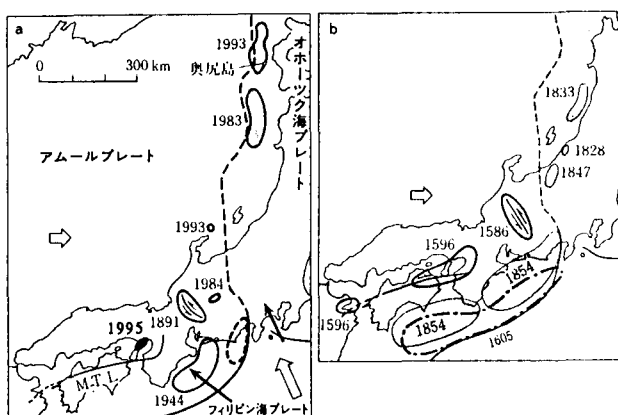


図5-5 西南日本東進説と、関連する大地震の震源域・発生年。
a 図の太い破線と実線は、東進するアムールプレートの東限。MTLは中央構造線活断層系。二つの白い矢印は、オホーツク海プレートにたいするアムール、フィリピン海両プレートの大きな運動の向き(長さは速さに比例)。相模トラフと南海トラフの黒矢印は、その上盤プレートにたいするフィリピン海プレートの運動の向きと速さ(西南日本が東進するぶんだけ南海トラフのほうが相模トラフより西に振れて速くなる)。破線の領域が東海地震の予想震源域。

石橋(1994)に1995年兵庫県南部地震(aの黒印)を加筆

地震の震源域は、アムールプレート東限沿いに駿河トラフから甲府盆地まで及んだ疑いもある。

1944年東南海・46年南海地震の前にも、1894年庄内 (M7.0), 1909年姉川 (M6.8), 16年神戸 (M6.1), 18年大町 (M6.1と6.5), 25年北但馬 (M6.8), 27年北丹後 (M7.3), 33年能登 (M6.0), 34年郡上八幡 (M6.3), 36年河内大和 (M6.4), 39年男鹿 (M6.8), 40年神威岬沖 (M7.5), 41年長野 (M6.1), 43年鳥取 (M7.2) などの地震が続いた。

なお、九州の別府-島原地溝帯の南北伸張運動と日本海海底の東進とが関係している可能性が考えられ、その意味で雲仙の火山活動と日本海東縁の大地震活動が関連しているかもしれない。1791~92年と1990年以来の雲仙の活動が、それぞれ日本海東縁の、18世紀末から（前述）と最近（わずか10年間にM7.7と7.8の大地震が続発）の活動期に関係しているのではないかという目で、検討を加えることも無意味ではないだろう。

5. 結論

1. プレートモデルとして確立するのは今後の問題だが、東進するアムールプレートが、日本列島の地震テクトニクスにとってきわめて重要である。日本の被害地震の約半数は「アムールプレート東縁変動帯」で発生した。

2. 1995年兵庫県南部地震も「アムールプレート東縁変動帯」の中で、東西圧縮テクトニクスのもとで発生した。それは、1993年北海道南西沖地震によって発生を促されたと考えられる。

3. 今後、日本海東縁~信越~北陸~中部~西南日本内帯で大地震が発生しやすくなったと考えられる。その際、東西圧縮力が効果的に効く弱面が要注意であろう。中央構造線活断層系の四国中・西部も注意したほうがよい。

4. 兵庫県南部地震の発生は、東海地震を含む駿河・南海トラフ巨大地震の歪蓄積につながる。

引用文献（おもなもののみ）

- Huzita, K. (1980) *Memoirs Geol. Soc. Japan*, No. 18, 129-153.
石橋克彦 (1984) 月刊地球, 6, 61-67.
石橋克彦 (1986) 月刊地球, 8, 762-767.
石橋克彦 (1994) 大地動乱の時代, 岩波書店, 234 pp.
石川有三 (1994a) 月刊海洋, 号外No. 7, 62-69.
石川有三 (1994b) 月刊海洋, 号外No. 7, 102-107.
笠原 稔 (1994) 地震予知観測の成果 (1), 地震予知連絡会地域部会報告, 第4巻, 43-94.
菊地正幸 (1995) YCU地震学レポート, No. 38 (Jan. 21, 95), 4 pp.
木村 学・木川栄一・玉木賢策 (1986) 月刊地球, 8, 716-724.
小林洋二 (1986) 地震学会講演予稿集, No. 2, 34.
三雲 健・石川有三 (1987) 地震予知研究シンポジウム (1987), 日本学術会議・地震学会, 259-269.
Mogi, K. (1981) *Earthquake Prediction: An International Review, Maurice Ewing Series 4*, 43-51.
岡田篤正 (1992) 地質学論集, 第40号, 15-30.
瀬野徹三 (1995) プレートテクトニクスの基礎, 朝倉書店, 190 pp.
多田 堯 (1994a) 地震予知観測の成果 (2), 地震予知連絡会地域部会報告, 第5巻, 87-132.
多田 堯 (1994b) 地震予知観測の成果 (3), 地震予知連絡会地域部会報告, 第6巻, 85-112.
Tamaki, K. and E. Honza (1985) *Tectonophysics*, 119, 381-406.
吉田明夫・高山博之 (1992) 地学雑誌, 101, 327-335.
Yoshino, T., F. Takahashi, H. Kunimori, Y. Koyama, K. Heki, J. Amagai, T. Kondo, S. Matsuzaka, M. Tobita, S. Matsumura, and M. Murakami (1993) U.S.G.S. Open-file, No. 93-542, 116-131.
Zonenshain, L. P. and L. A. Savostin (1981) *Tectonophysics*, 76, 1-45.

六甲断層系のネオテクトニクス

岡田篤正（京都大学理学部地球物理学教室）

Atsumasa OKADA ; Neotectonics on the Rokko Fault System.

1 六甲活断層系と六甲山地形成史

北東－南西方向に延びる六甲断層系に取り囲まれた地塊が六甲山地である。この山地を縁取る断層の多くは、第四紀後期にも活動を繰り返している活断層であり、それを横切る尾根筋や河谷を右横ずれさせている。また、山地斜面・段丘面・扇状地面などに変位を与え、第四紀末期にも断層運動が激しく行われている。一般に山地側が高まり、その活断層露頭も多く観察されてきた。

六甲山地と周辺域の地形・地質は、藤田和夫氏らによる長年にわたる調査によって、詳しく解明されてきた。この地域では、5万分の1地質図類や論文・報告書が数多く刊行されている。山地内や周辺域は工場・宅地などの開発が近年急速に進行し、おびただしい露頭が現れてきた。山地の内部は鉄道や道路が縦横に掘削され、地下浅所の地質も詳しく判明してきた。

六甲山地と周辺の活断層は次のような方向性や活動様式をもつ。山地南部では東北東－西南西方向であるが、東部になると、北東－南西走向となる。これらは右横ずれの動きが卓越しているが、東部になると、南（東）側へ突き上げるような上下方向の動きが顕著となる。右横ずれ運動は断層の走向変化によって、縦方向の動きを増し、六甲山地の急激な上昇をうながしてきた。

藤田・前田(1983)などによれば、活断層や大阪層群などからみた六甲山地の形成史は、次のようにまとめられている。

大阪層群中部垂層群時代(約120万年前)頃から、瀬戸内海は海水の浸入を受けて内海化してきた。約100万年前に堆積した海成粘土層(Ma1)は、芦屋断層の西側では、現標高250mの位置にある。五助橋断層の西側では、その相当層は標高500mに分布している。これら堆積物が現高度に位置するためには、それら活断層に伴って隆起運動が堆積以後に生じ、現標高はほぼその隆起量を示唆している。六甲山地は第四紀の中期(5・60万年前)頃から次第に隆起を始め、逆に大阪盆地は縮小しながら、海成粘土層を累重させて沈降していった。上述の海成粘土層(Ma1)は-700mに及ぶ深度まで沈下している。

大阪層群の上部垂層群時代(約30万年前)になると、六甲山地はさらに激しく隆起し、山麓部に扇状地性砂礫層などの粗粒物質が堆積した。断層による地塊運動が進行して、現在みられるような地形が完成した。このような激しい動きは最新地質時代(完新世)にも続いており、新期の扇状地礫層や沖積層も明瞭に切断されている。

六甲山地南部の須磨－明石海岸域には、高～中位の海成段丘群がみられ、そ

これらの標高は西から東へと徐々に高まるが、須磨断層以東では、その連続は断たれている。すなわち、断層以西では、東高西低の傾動運動がみられる。最終間氷期に形成された中位段丘面は、垂水付近では標高30m以上であるが、明石市街地付近では15m程度となる。この10数万年以降でも、こうした傾動が生じた。

活断層の運動様式から、六甲山地を含む近畿地方では、ほぼ東西方向からの圧縮作用が第四紀以降に作用しており、これによって現在の山地や平野なども形成されてきたのである。

2 沖積低地や海底の活断層

神戸港付近の沖積低地の下には、ボーリング調査や音波探査で明らかにされた活断層が指摘されている(藤田・前田、1984)。それらは和田岬断層や摩耶断層であり、これら断層を挟んで、約10万年前に堆積した海成粘土層(Ma12)が上下方向に約30m食違っている。こうした変化は表層地質の中で穏やかな撓曲構造として表現されており、断層地形は地表面には見あたらない。これらを横切る深いボーリングや音波探査もないので、連続性(延長方向)や深部構造などはまだ判明していない。

これら両断層の上下変位だけみても、千年につき0.3m程度の平均変位速度をもつので、横ずれを考慮すると、その変位速度はかなり大きいと言える。六甲山地の東部を北東-南西方向へ斜断する、五助橋・甲陽・芦屋・伊丹などの各断層は、その南西延長部がどうなっているのか、詳しい位置や性質についても、まだ判明していない。それらの一部がボーリング資料で判っている和田岬・摩耶などの断層へと続くことは、充分考えられることである。

ところで、大阪湾西部で行われたエアガン反射法地震探査によって、基盤岩石に東落約1kmの上下変位を与えている逆断層が発見された(岩崎ほか、1994)。これは傾動沈下している大阪湾の地塊と、六甲-淡路島山系の隆起地塊とを画する重要な活断層として、藤田(1990)は大阪湾断層の名前を与え、その地学的意義を特に強調している。この断層は少なくとも10万年前と推定される地層だけでなく、完新統にも変位がみられることから、典型的な活断層と考えられる。

大阪湾断層は大阪湾と六甲山地との間に存在する、地学上重要な大活断層である。この断層の東縁では、大阪層群の基底は3kmにも達するが、断層西側で1km急上昇し、さらに西側の淡路島では大阪層群下部層は陸上部にみられる。この間に数本の活断層があって、大きな活断層帯が存在していると想定されるが、3kmを越す上下変位が第四紀以降にこれ沿いに生じたとみなされる。2月15日付の新聞報道によれば、海上保安庁水路部による地震後の継続的な調査によって、大阪湾断層に一致する大規模な海底活断層が検出された(図1)。この他にも、大阪湾断層に並走・分岐したり、分散して位置したりする、計6本の活断層が認められてきた。

仮屋断層は淡路島の東縁を北東-南西方向に走る海底活断層であり、これも

初期の音波探査によって明らかにされた(藤田・前田、1984)。この北東延長は陸上部の須磨断層に連なるようである。これに並走する海底活断層が、地震後に行われた海上保安庁水路部の探査で東側の海底にも認められ、須磨冲断層と仮称されている(図1の縦線)。この断層は北東-南西方向へ連なり、地震後に生じた海底の地震断層とされている。陸上部との対応はまだ充分でないが、和田岬断層ないし摩耶断層の系統に属すると推定される。

3 淡路島の地形・地質と活断層

瀬戸内海は西南日本のほぼ中央部に位置し、東北東-西南西方向に延びる沈降地帯である。この東部を斜断するようにして、丘陵や山地からなる淡路島が横たわっている。この島の南端を中央構造線が走る。

淡路島の山地は北東-南西方向と北西-南東方向の(活)断層で限られ、地塊状に分けられている(図1)。淡路島北部の北西側を野島・浅野の各断層が、南東側を楠本・東浦の断層が走る。これら北東-南西方向に延びる活断層では右横ずれが卓越し、島の中央部が隆起するような上下方向の動きが伴われている。したがって、北東部の山地は北東-南西方向に長軸をもつ地壘となっている。

淡路島の北西海岸に沿って、北東-南西方向へ延びる野島断層が走っている。この断層に沿う地質は水野ほか(1990)で詳しく記載・図示されている。北淡町江崎から野島にかけての野島断層は、地形・地質境界に一致してほぼ一直線状に延びる。その長さは約7kmと図示されていた。この断層に沿って、河谷や尾根筋が系統的に右ずれしており、段丘面を横切る変位地形から、南東側の山地が隆起していることが判る。

4 兵庫県南部地震の地震断層

淡路島の野島断層沿って地表地震断層が広島大学の中田 高氏によって初めて発見された。筆者は朝日新聞社のヘリから1月18日午後これを確認した。その後、多くの研究者によって、トレンチ掘削調査を含む詳細な調査・研究が行われてきた。野島断層の詳細は他の調査発表にゆずり、ここでは述べない。

野島断層が今回の地震で動いた地震断層であることは、間違いない。しかし、この断層の動きだけでは、兵庫県南部地震の規模(マグニチュード)や余震分布、地震災害などの全体は説明できない。

筆者も国土地理院地理調査部の方々や個人で現地を調査してきた。六甲山地の南-東縁に沿って、地震断層が出現したであろうと当初に予想した。一部では、北東-南西方向に走る亀裂が確かにあり、右横ずれ10数cm以下の変位が認められる。これらは地形変化部に位置し、斜面上方に開口性の地割れを伴うこともあり、地すべり的な表層現象でも説明できる場合も多い。また、連続性が悪く、系統的な変位をもつ亀裂としては追跡できない。したがって、震源地震断層が地表近くでは変位を分散して、上述のような亀裂や小断層として地表では表現されている可能性はある。しかし、六甲山地南麓や東部の活断層に沿っては、地表面に達する明瞭な地震断層は認められていない。

5 結語にかえて

今回の地震では、淡路島北西を限る野島断層が生じたことは確かであるが、神戸市街地から芦屋・西宮北部・宝塚へ延びる活断層群に沿って、地表面で観察・測定できるような、数10cm以上の変位をもつ、明瞭な地表地震断層はまだ見つからない。六甲山地南側では第四紀の堆積層は1~2kmに達するほど厚く堆積しており、地下10数km付近で震源地震断層が生じたとしても、地表地震断層として連続的に明瞭な食違いが現れるとは限らない。余震の震源は淡路島側に比べて六甲山地側ではやや深くなっている。一部の地域で報告されてきた地表地震断層は、こうした震源地震断層の地表への局所的な表現であり、分散的に現れていることも考えられる。

また、震源地震断層が地下十数kmを中心として生じたとして、その破壊面は今後どのように推移するのであろうか。余効的な地殻運動や数百年~千数百年後に再び発生する大地震の予測などにとっても大変貴重な研究課題といえる。
引用文献 (省略)

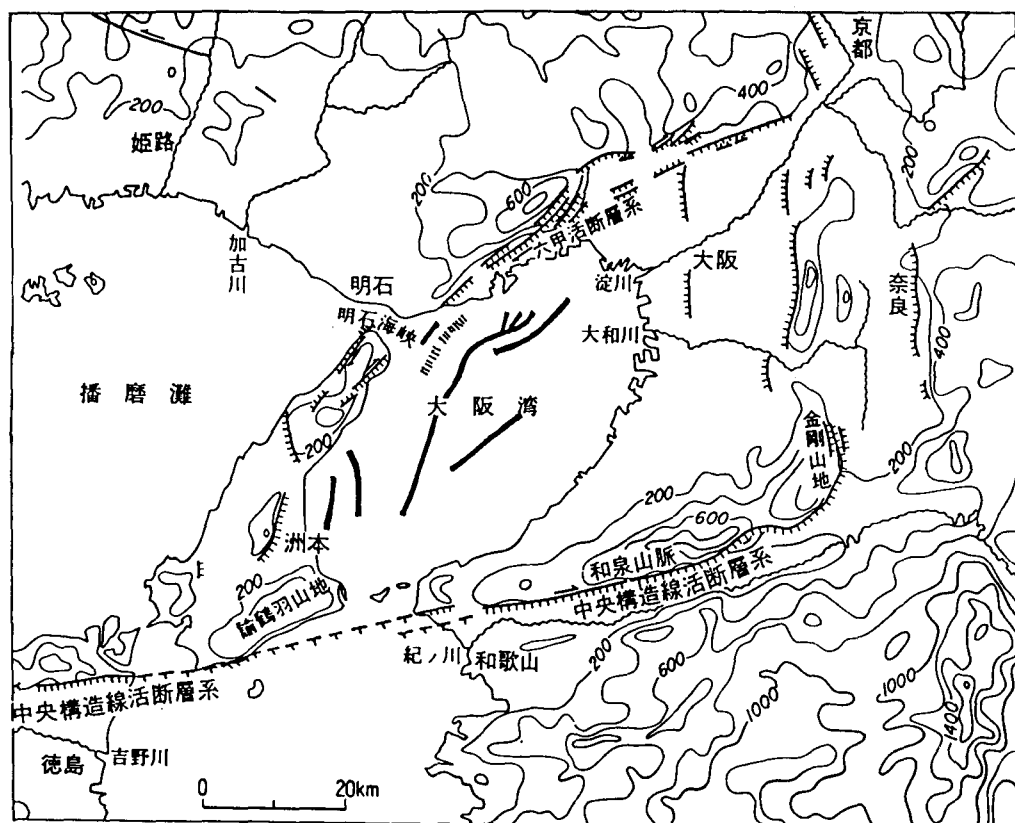


図1 大阪湾周辺の活断層

水野ほか(1990)に中央構造線部分を追加をし、海上保安庁水路部が探査した大阪湾内の海底活断層を記入した。

1995年兵庫県南部地震に関連した地震活動と近畿トライアングルのテクトニクス

吉田 明夫（気象研究所）

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震は1923年関東地震以来の甚大な災害をもたらした、典型的な都市直下型地震といえる。ここでは、これまでにわかったその余震活動の特徴と周辺への波及、前震と前駆的活動、近畿地方の長期的な地震活動の傾向とテクトニクスとの関連等について概略を紹介する。

2. 余震活動

Fig. 1は直後3日間の余震分布と前1年間の地震の分布に活断層を重ねてプロットしたものである。余震は六甲断層系に沿ってきれいに線状配列しており、その北端は有馬一高槻構造線まで達していることがわかる。近畿地方の浅い地震活動は兵庫県南部地震の北東側にあたる丹波地域と中央構造線南の和歌山市付近で高いが、これらの活動については後でまた触れる。

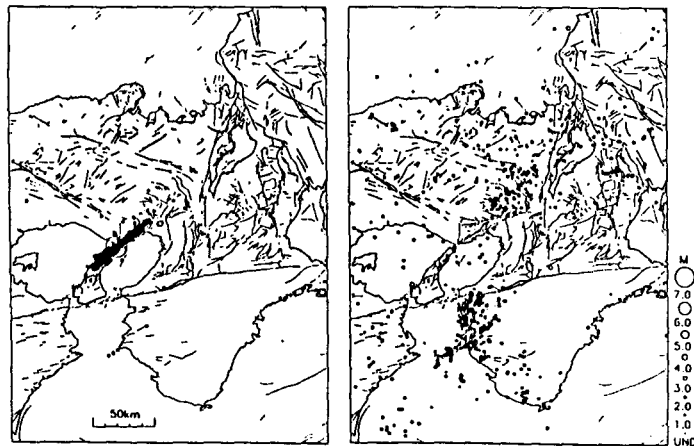


Fig. 1 本震直後3日間の余震分布（右）と1994. 1. 1-1995. 1. 16の期間の地震分布（右）。深さ ≤ 20 km.

Fig. 2の時空間分布からは、余震が本震の震央（余震域のほぼ中央）付近で低かったこと、直後に北東延長部の丹波で地震活動が活発化したこと等が見てとれる。震源域の北西側にあたる山崎断層周辺でも地震後に活発化した傾向があるが、和歌山付近の活動には特にそうした変化は見られない（図は省略）。11月の群発活動は兵庫県猪名川町で発生したもので、この時兵庫県南部地震の震源域付近でもその活動に誘発されたかのように地震が散発しており注目される。なお、本震震源の北東側は南西側に比べて10km以浅の余震が少なく、活動の時間的経過にも双方で多少違いが見られるようであるが、これらの詳細については今後の解析に待ちたい。

3. 前震と前駆的活動

前日の1月16日に本震の震央のすぐ近傍で3個地震が観測されている（京大防

災研によれば4個)。ただし、それらは18時28分に起きたものが最大でM3.5、後はM2.6(18時49分)、M2.0(23時49分)の小さなものであり、これをその時点で前震と判断して兵庫県南部地震の発生を予測することは現在の予知技術では不可能だったと考えられる。

前述した1994年11月の猪名川町の群発地震はちょうど余震の線状配列の北東延長部で起きている。そこは丹波の活動域の中ではそれまで比較的活動が低かったところであり、ここで詳細に述べるスペースはないが、一種の前駆的活動であったと見なしてよいと思われる。

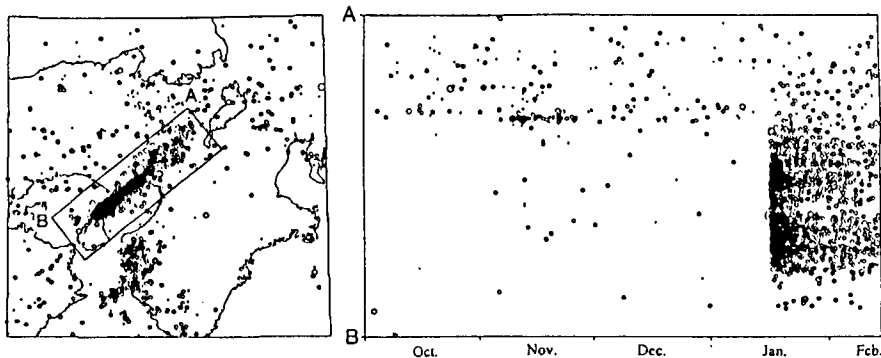


Fig. 2 兵庫県南部地震の震源域とその周辺における浅い地震（深さ ≤ 30 km）の時空間分布。期間は1994年10月1日－1995年2月13日。余震の震源データは大阪管区気象台の会話処理震源ファイルによる。時空間分布の作成にはSEIS-PC（石川ほか、1985）を用いた。

4. 周辺地域の地震活動の相関と近畿のテクトニクス

Fig. 3(a)は丹波一和歌山活動域の地震の時空間分布で、これから両地域の地震活動の関連性は明らかであろう。そのことをもう少し定量的に示すために、活動傾向（数年の時間スケールで見た時に活発化したか低下したか）の変化を比較して見たのが図3(b), (c)である。これらの図から、両地域の地震活動はほぼ同時に活発化している様子がはっきりと見られるが、これは両地域の応力場が連動して変わっていることを示すと解釈される。丹波、和歌山はHuzita(1962)の提唱した近畿トライアングルの外縁にあたるところで、興味深いのはもう一辺の外縁を構成する美濃の地震活動が前二者の活動に対して3年ほど先行する傾向の見られることである（吉田・高山、1992）。近畿地方に発生する浅い地震のメカニズム解から、この地域における支配的応力場は東西圧縮であることが知られているが、美濃の地震活動が丹波・和歌山の活動に先行することは、そのテクトニックな応力場の起源が東方にあることを示唆している。

東から西への移動傾向は丹波と丹波西方域の地震活動に関しても認められる。Fig. 4(a)は丹波一丹波西方域の地震の時空間分布、また、Fig. 4(b), (c)はFig. 3(b), (c)と同様に、数年の時間スケールで見た時の活動傾向の変化を示したものである（吉田、1995）。特に1960年代の活動に顕著であるが、Fig. 4(b), (c)を比較すれば、丹波西方域の活動を3年進めてプロットしたFig. 4(c)のほ

うが同時プロットのFig.4(b)よりも相関のよいことは明らかであろう．丹波の活動が先行する傾向はFig.4(a)の時空間分布でも見ることができる．

上の事実と，先に述べた美濃の活動が丹波・和歌山の活動に先行する傾向のあることを合わせると，応力の変化は東方からという推測がますます確からしさを持ってくる．筆者は，地震活動に見られるこの特徴は近畿地方における東西圧縮応力場の起源を考察するうえで重要な基礎となると考えている．

なお，丹波と和歌山の地震活動の相関は1990年代に入ってから悪くなっていた様子が見える（Fig.3(a)，(b)を参照）．このことと兵庫県南部地震との関連性については別に論じる．

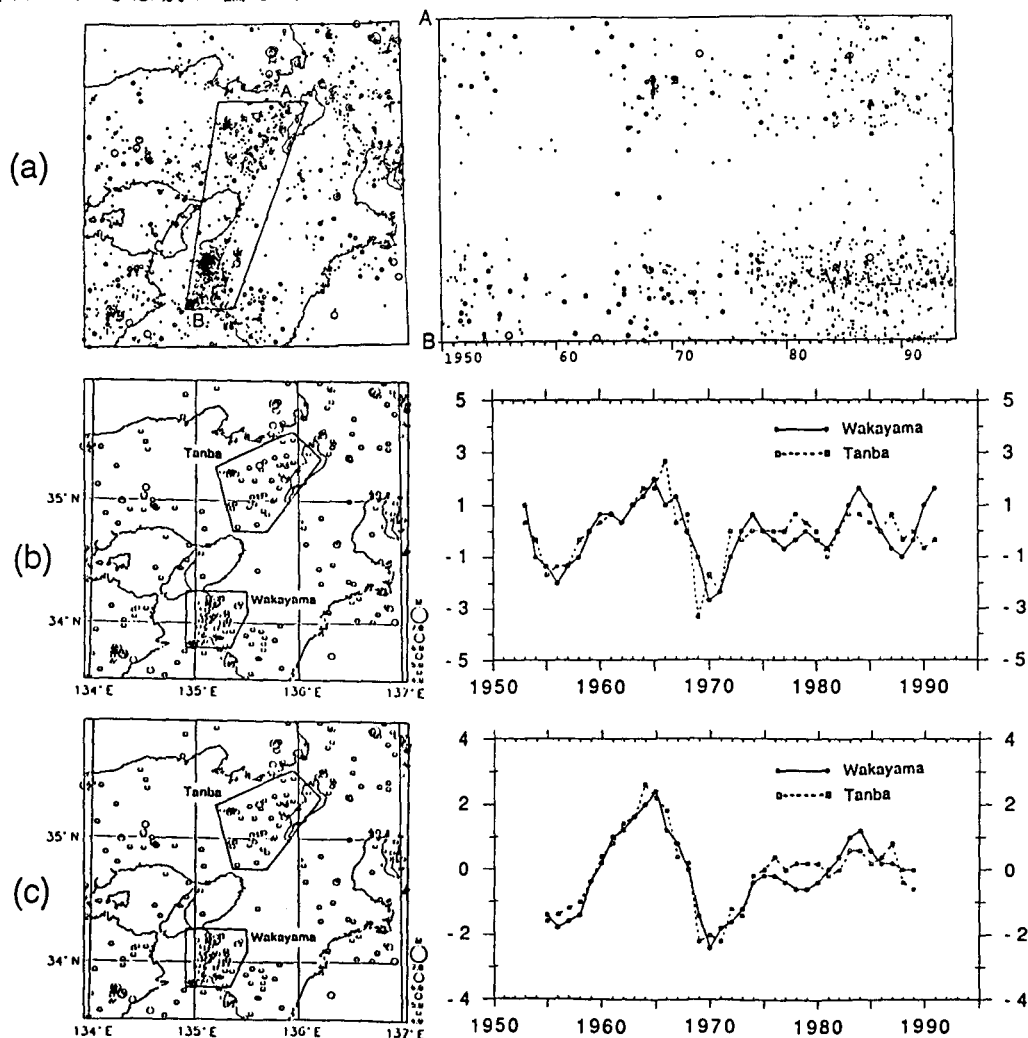


Fig. 3 (a)丹波一和歌山の地震の時空間分布， $M \geq 3$ ，深さ ≤ 30 km.

(b)縦軸は（以後3年間の地震数の積算－前3年間の地震数の積算）／3．

$M \geq 4$ ，深さ ≤ 30 km．実線は和歌山，点線は丹波の活動の変化を示す．

(c)縦軸は（以後5年間の地震数の積算－前5年間の地震数の積算）／5．

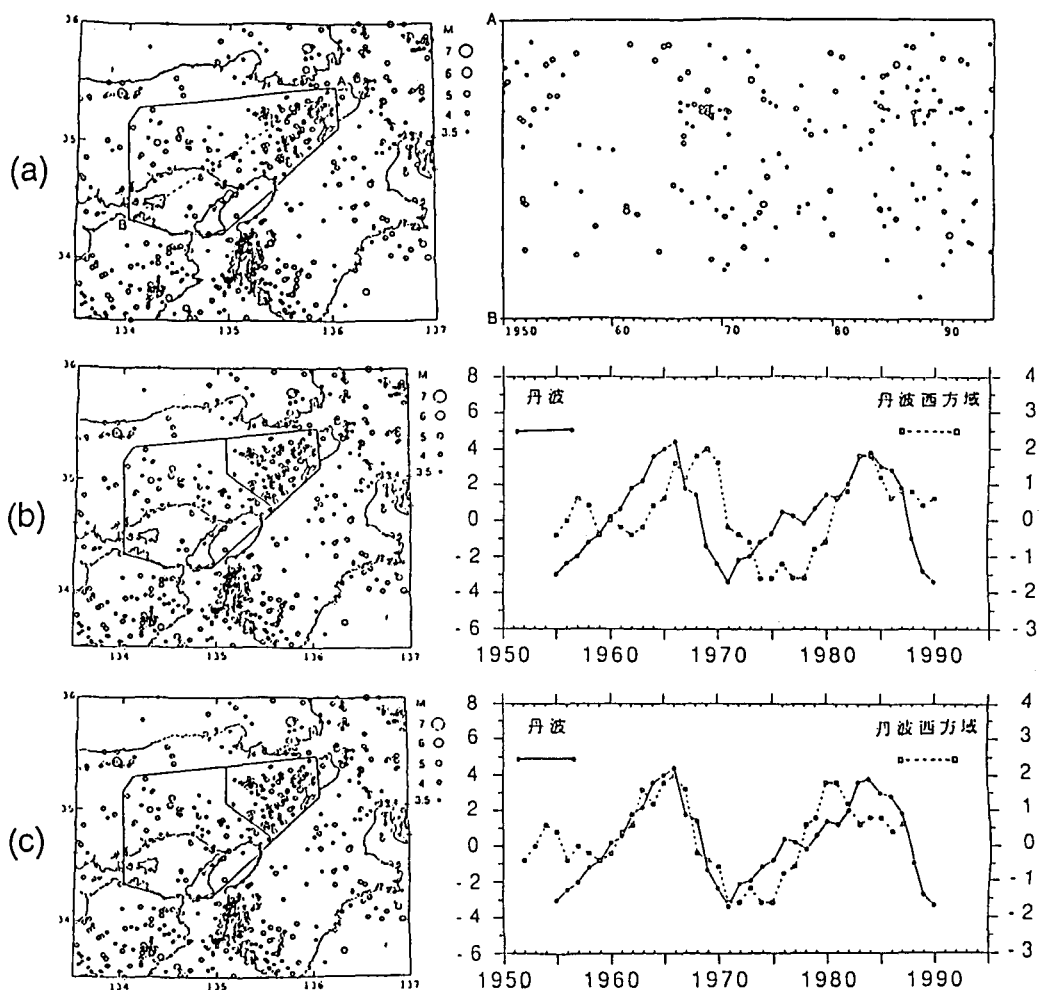


Fig. 4 (a)丹波一丹波西方域の地震の時空間分布, $M \geq 3.5$, 深さ ≤ 30 km.

(b)縦軸は (以後5年間の地震数の積算一前5年間の地震数の積算) / 5.

$M \geq 3.5$, 深さ ≤ 30 km. 実線は丹波, 点線は丹波西方域の活動の変化を示す.

(c)丹波西方域のグラフを3年進めてプロット.

参考文献

Huzita, K., Tectonic development of the median zone (Setouchi) of southwest Japan, since Miocene, J. Geosci. Osaka city Univ., 6, 103-144.

吉田明夫, 1995, 丹波と丹波西方域の地震活動の相関一近畿のテクトニクスにおけるその意義及び兵庫県南部地震との関連性一, 準備中.

吉田明夫・高山博之, 1992, 近畿トライアングル周縁域の地震活動の相関とその地学的意義, 地学雑誌, 101, 327-335.

遠地の地震記録による震源メカニズム

菊地 正幸 (横浜市立大学文理学部)

Masayuki Kikuchi; Source Mechanism of the 1995 Kobe Earthquake
inferred from Teleseismic Data

1. はじめに

1994年 1月17日未明、淡路島北端を震源とするM7.2の大地震が起こった。ここでは今回の地震の発生メカニズムについて、遠地の地震波記録を解析して得られた結果を報告する。地震学的に得られた震源モデルが、活断層の調査や土木建築物の被害調査などと、どの程度整合性があるのか(あるいはないのか)について、検討素材の一つとなれば幸いである。

2. 基礎データ

気象庁の速報による地震諸元は次の通りである。

発震時: 95/1/17 5:46:52

震央: $34.61^{\circ}\text{N}, 135.04^{\circ}\text{E}$

深さ: 14.3km

マグニチュード: 7.2

余震の空間分布は、測量データと並んで、断層面の特定や破壊域(断層面積)を推定する上で、最も信頼できるデータの1つである。

図1に、京都大学防災研究所阿武山観測所の自動震源決定による余震の震央分布を示す。地震発生約5時間後から1日後までの地震である。大きい黒丸は気象庁の速報震源、メカニズム

図は後述の地震波解析で得られたものである。これを見てわかるように、余震は本震の南西方向に約15km、北東方向に約35kmに及んでいる。

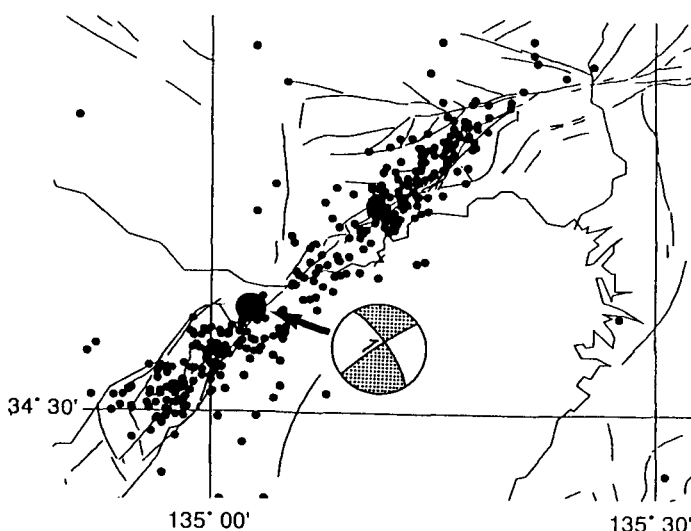


図1 本震(大丸)と余震(小丸)の震央。

3. 遠地の地震波の解析

アメリカのIRIS(Incorporated Research Institutions for Seismology)の

データセンターから広帯域地震計記録を集めた。観測点とP波記録の例を図2に示す。震央距離は 30° から 100° の間である。この範囲の実体波（P波，S波）は，波線論を少し修正するだけで，良い近似波形が作れる。解析方法の詳細は Kikuchi & Kanamori (1991) に示してある。破壊過程を点震源の時空間分布によって近似する方法である。理論波形の計算には Jeffreys-Bullen の標準地殻構造モデルを用いた。また，震源を一定の深さに固定することにし，その深さを最小自乗法により， $H=8\text{km}$ と決定した。

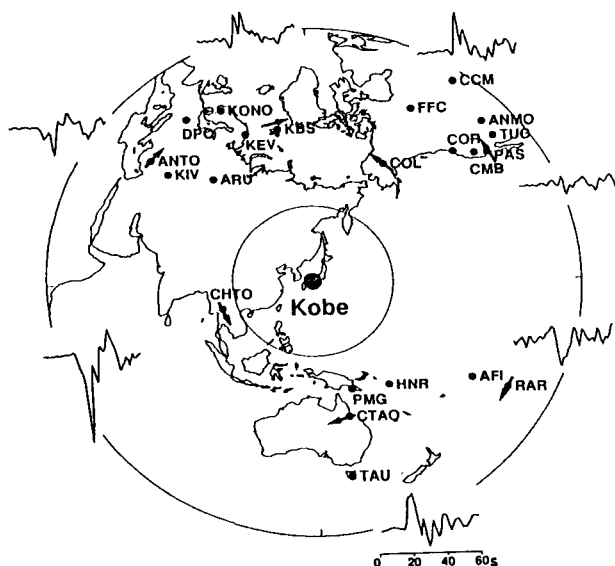


図2 観測点分布とP波記録の例。矢印はS波の初動の向き。

解析結果を図3に示す。(a) はモーメント速度関数と呼ばれるもので，破壊の時間経過を表す。食い違い速度を断層面で積分した値に比例する。(b) は断層の空間分布を示す。斜線部が位置の不確定さ（約 $5\sim6\text{km}$ ）を示している。また，丸はメカニズム解（下半球等積投影）である。(c) 北東－南西方向の断面図である。主な震源諸元は表1にまとめている。

破壊過程の概略は次の通りである。淡路島北部付近をスタートした破壊①はまず北東－南西方向に沿って両側に進んだ。この間 $4\sim5$ 秒間，毎秒 $2\sim3\text{ km}$ のスピードで拡大していった割れ目は，震源（破壊の開始点）から両側にそれぞれ約 $10\sim15\text{ km}$ の長さになった。割れ目の通った跡には $1.5\sim2.5\text{ m}$ ほどの岩盤の食い違い（ほぼ純粋な右横ずれ）が生じた。この食い違いのライズタイムは $1\sim2$ 秒と推定される。

破壊はこれだけでは収まらず，最初の割れ目の北東端付近で，別の断層：②と③に飛火した。この後半の断層は初めの断層と少し異なる走向を持ち，したがって，割れ目は折れ曲がったり，枝分かれする形で北東方向に進行した。また②はかなり逆断層成分を持っていた。この間約 $3\sim4$ 秒間，破壊は $10\sim15\text{ km}$ 進行して，ついに神戸市の地下の岩盤を横切った。はじめの断層のエネルギーを1とすると，2番目，3番目の破壊のエネルギーは合わせて $1/2$ 程度であっ

た。

こうして、全体でわずかに10秒間余りの間に、総延長35~45kmに及ぶ断層が動いた。

図4に観測波形（上側）と合成記録（下側）の比較の例を示す。観測点コード（FFC, COLなど）の上の数字は観測波形の振幅（Peak-to-Peak, 単位 μ ）を、また下の数字は観測点の方位を示す。

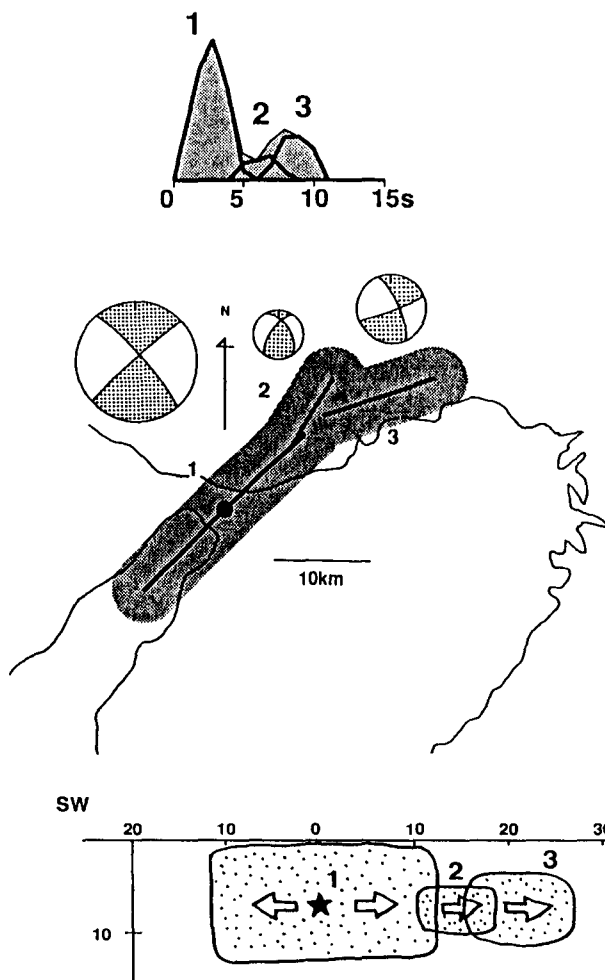


図3 遠地の地震記録の解析結果

(a) モーメント速度関数

(b) 断層の空間分布。丸はメカニズム図

(c) 北東-南西断面図

4. おわりに

地震モーメント（断層面積×食い違いに比例する量）で測った地震のマグニチュード（ M_w ）は6.9であった。1927年以来、この種の内陸型大地震は3回起きている。27年の丹後地震（ $M_w 7.0$ ）、43年の鳥取地震

（ $M_w 7.0$ ）、48年の福井地震（ $M_w 6.9$ ）である（Kanamori, 1973）。もちろん、これら過去の地震の記録は質、量とも劣り、必ずしも今回の地震と同じように比較することはできない。しかし、そのことを考慮したとしても、今回の地震がこれまでの内陸型地震と大きく違っているという証拠は見当たらない。むしろ規模といい、メカニズム（浅い横ずれ）といい、これまでの地震と大変よく似ているといえる。

今回の地震に関連して、地震学と地質学の間で、必ずしも十分な情報交換ができたとは言えない。地震後

の調査で地震断層が明瞭でなかった部分（神戸側）について、地震学的データ（余震分布や本論文の地震波解析結果）が地質学者にどう理解されるか、あるいは、我々が具体的なイメージとして（とくに解の不確定さを）どう伝えるべきか迷いがある。しかし、この壁をのり越えて相互理解ができれば、自然現象の理解が一段と深められることは間違いない。

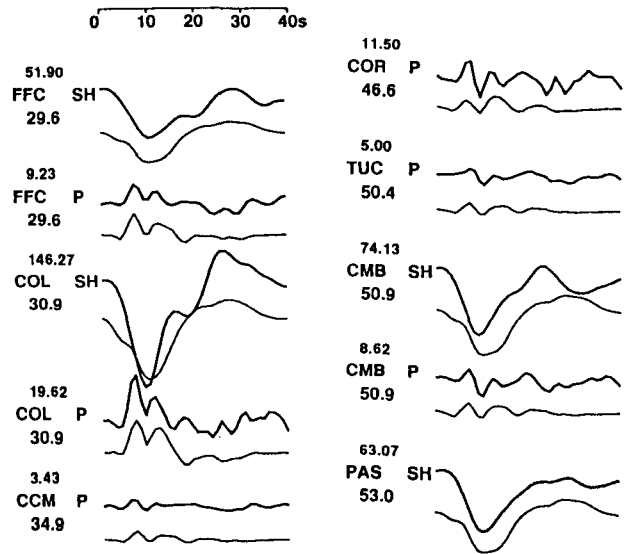


図 4 観測(上)と理論(下)

表 1 得られた震源諸元

#	メカニズム (走向, 傾斜, すべり角)	モーメント $\times 10^{19}$ Nm	継続時間 s	断層面積 km^2	ずれ (水平, 垂直) m
①	(229, 86, 171)	1.81 (Mw 6.8)	0-6	24x12	2.1 (2.1, 0.3)
②	(214, 66, 136)	0.30 (Mw 6.3)	4-9	9x 5	2.5 (1.8, 1.7)
③	(70, 85, -162)	0.59 (Mw 6.4)	6-11	12x 6	2.7 (2.6, -0.8)
平均	(233, 85, 165)				2.1 (2.0, 0.5)
総和		2.50 (Mw 6.9)	0-11	40x10	

文 献

- Kanamori, H. (1973). Mode of strain release associated with major earthquakes in Japan, Annual Rev. Earth Planet. Sci., 1, 213-239.
- Kikuchi, M. and H. Kanamori (1991). Inversion of complex body waves-III, Bull. Seismo. Soc. Am., 81, 2335-2350.

1995年阪神大地震の強震動記録

岩崎好規*

1 地震概要

平成七年一月十七日早朝、西宮市甲陽断層直上で、激しい横揺れに見舞われた。大きな揺れが2回きたが、わずか5秒程度のものであった。南海道地震なら、こんな短いものではないはずだから、内陸性のものに違いはないと思い、立ち上がった途端に電気が切れた。ラジオで聞くと、淡路島北端が震源でMag.=7.2、震源深さは約20kmであるという。ペランダから、外をみるとはるか向こうの生駒山の稜線はかすんでいたが、大阪湾の手前の西宮市内からはや煙が4ヶ所ゆっくりと上がっていた。

後に兵庫県南部地震と命名されたこの地震の概要(平成7年1月30日現在)は次のようである。

発震時刻；1995年1月17日午前05時46分51.95秒

地震の規模；M=7.2

震央位置；北緯34度36.44分、東経135度2.57分
震源深さ；14km

各地の計測震度は、図-1のように発表された。神戸はVI、大阪はIVで軽く、京都や彦根はVであったが、大阪では、実倒壊家屋もあり、被害震度はV-VIとなった。

米国地質調査所やハーバード大学の広帯域地震計記録からの解析によれば、地震モーメントは、 $M_0=1.2 \times 10^{26}$ dyne-cmで、モーメントマグニチュードMw=6.8-6.9と発表されている。地震の発震機構は、N65Eの走行を有し傾斜角度がほぼ垂直の断層面を有する右ずれか、これと共役なものの左ずれであると解析されている。震源地付近の六甲断層系の特性は右ずれ断層であり、淡路島北部で実際に右ずれの断層が地表で確認されているので、東西圧縮による右ずれによるものであることが分かる。余震分布を図-2に示した。余震分布からみると、断層の長さは60-85km、幅は、約15kmである。

2 既往の地震活動特性

阪神地域の歴史地震をみると、長期、短期の活動周期がある。フィリピン海や太平洋プレートの

沈み込みに伴う地震は、約100年に1度程度の短周期で発生していると考えられている。南海トラフ沿いのフィリピン海プレートは約5cm/年の割合で、西日本の地殻下に北西方向に潜り込んでいる。この南海トラフ沿いの地震の発生による西日本全域の地震活動について、茂木(1981)は十分な地震記録のそろっている東海/南海域の安政(1854)から昭和(1944-46)地震までの期間の地震活動性(Seismic Activity)に関して図-3のように変化パターン5つに分けてその特徴を次のようにまとめた。

1 静穏期；沈み込みに伴って蓄積されていたひずみが大地震によって応力が解放された後には、静穏期が存在するが、沈み込みは継続して次の大地震のひずみが蓄積されていく。安政南海地震後の静穏期は約40-50年であった。

2 内陸域活動前期；南海トラフ沿いのプレート内の内陸部地震帯が一般に活性となる。地殻内の応力レベルが高まって破壊レベルに到達したためと考えられる。1909年の姉川地震、1916年の神戸地震がこれに相当しよう。

3 内陸域活動後期；将来発生する大地震の震源域が静穏になり、その周辺域が活性化する。これは、第2種の空白域とよばれているものであって、その原因は特定されていない。昭和南海地震の場合は、20年前に始まったとされている。1925年北但馬地震、1927年北丹後地震等が発生したが、南海地震域では、1938年以降大きな地震もなく、周辺の1936年河内大和地震、1943年鳥取地震が発生して最終局面を迎えた。

4 沈み込による巨大地震の発生；1944年東南海、1945年南海地震が発生した。

5 余震期；東南海や南海両大地震の境界付近でM=7を含む余震が発生する。これは、もぐり込みに伴う不均一さを解消するためであろうとされている。

このような地震の発生循環論に立つと、今回の地震は来るべき南海地震へ向かって進んでいる関西域の地震環境が、昭和南海から約50年を過ぎた今、静穏期から内陸域活動前期へと1段階移行し

* (財)大阪土質試験所 所長

たことを意味する。

表一 関西の既往地震(1854-1995)

1854/07/09	安政夏の地震(M=6.9)
1854/12/23	安政東海地震(M=8.4)
1854/12/24	安政南海地震(M=8.4)
1899/03/07	三重奈良地震(M=7.6)
1909/08/14	姉川地震(M=6.9)
1916/11/26	神戸地震(M=6.3)
1927/03/07	北丹後地震(M=7.5)
1936/02/21	大和河内強震(M=6.4)
1938/01/12	田辺湾沖地震(M=6.7)
1943/09/10	鳥取地震(M=7.4)
944/12/07	東南海地震 (M=8.0)
1945/12/21	南海地震 (M=8.1)
1995/01/17	兵庫県南部地震 (M=7.2)

3 大阪盆地周辺域の活構造系

大阪盆地は、その周辺を断層によって区切られ、それを境に内部が沈降して盆地となり、外部が隆起して山脈が形成された構造的なものである(図-4)。西に位置する大阪湾は南西-東北方向を中心軸にした美しい対象楕円形であるが、その地下構造は逆に非対象構造となっていることが、最近実施された大阪湾内の反射地震探査から判明した(岩崎等(1994))。この関西を含む近畿域は、今から二百-三百万年前の新第三紀から第四紀の地質年代に、太平洋プレートの西押し、あるいはユーラシアプレートからの東押しによって、東西圧縮応力状態となり、さらにフィリピン海プレートの沈み込みによって地殻が引きずり込まれた場所に、大阪湾や琵琶湖などといった盆地が形成されたと考えられる。

即ち、淡路島の南東縁部を走る仮屋断層(Kariya F.)および海上反射地震探査によって淡路島の約7km東側の海域に発見された大阪湾断層の断面から、仮屋断層の垂直断層変位は約2,000m、大阪湾断層の変位は約1,000mとなり、これらの二つの断層による総変位量は約3,000mにも及ぶ大断層系であることが分かった。この断層の性質や最終活動時期等については、未だよく分かっていない。今回の地震で動いたのは、仮屋断層ではなく、島の北西側にある野島(Nojima F.)断層上に断層変位(右ずれ最大約1.6m、垂直約0.5m北落ち)が発見されている。

仮屋断層の北東延長線上に、六甲山系を形成した六甲断層系があることはよく知られているとこ

ろである。六甲山地の海拔200m-800mに海成粘土層があり、同じ粘土層が大阪港区の地下500mで見ついている(藤田+笠間(1982))。この粘土層は、ほぼ100万年前に大阪湾内に堆積されたものとされているので、海底近くに堆積した粘土層が六甲断層系の逆断層運動によって、南側ブロックは沈降、北側ブロックでは隆起したものである。北側ブロックは、ほぼ0.2-0.8m/1,000yearで隆起し、南ブロックは港区あたりで0.5m/1,000year、大阪湾断層付近では1.0m/1,000yearの沈降が生じてきたのである。

大阪盆地の基盤深度の等コンター線を図-5に示した。大阪湾内の基盤岩は過去数百万年に北西方向への傾動運動によって沈降した。その間数十回にわたって繰り返された氷期、間氷期に伴う海水面変動により、大阪盆地は砂礫層と粘性土層の堆積場となった。この堆積層厚さは大阪域沿岸で1,400m、神戸域沿岸で1,700m程度に達している。特に神戸は、六甲山の岩盤からわずかの数km沿岸に離れるだけで、岩盤深度は急激に深くなり、軟弱な完新世の沖積層も厚くなり、六甲山が海に近いために、いくつかの川が流れ、河川沿いに形成される土石流堆、扇状地などが複雑に入り込んでいることが大きな特徴である。

4 地震観測による最大振幅の分布

各機関(気象庁、大阪市、関西電力、大阪ガス、JR西日本、関西地震観測研究協議会)による最大水平加速度値分布を図-6に示した。これらの特徴は次のようである。

震源からの距離減衰に方向性がみられることおよび震源域での最大地震動が大きいことである。方向性については、断層の破壊の進行したとされる北東方向に大きな加速度が分布し、断層に直交する方向では比較的急激な距離減衰が見られる。

震源域の最大水平加速度は、岩盤サイトである神戸六甲台では、最大加速度/最大速度は、305gal/55kineと観測された。

地盤サイトでは、台地上の神戸海洋気象台では818gal/92kine、沖積地盤の葺合で833gal、鷹取で616gal、西宮今津で792galが計測されている。地盤上での最大値としては、岩盤の2-3倍程度の値であって、台地の硬質地盤も沖積低地の軟弱地盤でもその最大値に大きな違いが見られない。

やや震源域から離れた大阪を見てみよう。硬質地盤の上町台地上の阿倍野で、226gal/25kine、沖積低地の福島で212gal/31kine、埋立軟弱地盤の此花区北港で266galであったから、これらの点は、震源地からの距離に大きな違いもないが、最大値の違

いは精々数十%である。

このように、震源域近くでの強震動特性は、岩盤から地盤へは数倍の増幅が見られるものの硬質地盤と軟弱地盤上の最大地動としての差異はあまり認められないことが分かる。また、埋立地盤上での波形の最大加速度は、小さいという記録も得られている。

5 震源近傍岩盤での地震波

すでに述べたように六甲台では、岩盤上の記録が得られた。岩盤のひずみ(γ)と地動速度値(v)について簡単な吟味を行なってみよう。

岩盤の破壊ひずみとして 10^{-4} strainのレベルを考え、岩盤のS波速度を $V_s=3.5\text{km/sec}$ 程度と考えると、破壊ひずみに対応する岩盤の質点速度は、 $v=\gamma V_s$ で近似的に与えられるから $v=0.35\text{m/sec}$ 、さらに地表面においては、自由表面であるために2倍となり、結局質点速度は $v=0.7\text{m/sec}$ 程度の値となる。岩盤上での最大速度の55kineという値は、以上のような考察から断層による岩盤破壊直近の地震動速度の値として妥当な値と考えられよう。

この震源直近における地震波形を見るとわずか5秒の内に、二つのパルスが見られるだけである。これは独立した二つの断層破壊がそれぞれのパルスに対応していると考えられ、今回の震源での断層運動は非常に単純であることを示唆している。これらの震動の平面内での震動の質点速度軌跡を描いてみる(図-8)と、どちらのパルスも南北方向に強い方向性を示しているが、変位でみると第1波、第2波ともはまずやや南に振れたあと北に大きく振れているが、第1波の北への振れが最大で約15cmゆれた後、第2波は、北へ10cmさらに南へ約10cmゆれ戻している。これは、多くの構造物は、南北性の震動を受けた被害の様子を示していることに合致する。地盤サイトの神戸海洋気象台での最大地動は約20cmであった。

右横ずれの断層運動による地震動では、断層に平行な成分が卓越すると考えられるのに、なぜその直交方向に近い成分が卓越するのか？これは、震源の放射特性と震動卓越方向特性に関連している。六甲台地点でのP波の到達時刻は、56.3秒であったのでP波が約4.3秒後に到達したことになり、第1波を送り出した震源断層の破壊の始まった位置は、六甲台から約20-25km程度離れた断層上、即ち、ほぼ明石海峡付近に一致する。第1波のパルス幅は、約1秒であるから、破壊が北と南の双方向

(Bi-lateral)に伝播したとしても(破壊の伝播速度 $V_r=3\text{km/sec}$ として)断層の大きさは精々6km内外であるから、震源を第1近似として点震源として考えることが出来る。点震源モデルとすると、せん断面方向の地点での震動方向は、せん断面に直交方向となることが分かっており、観測事実と整合する。

六甲台、神戸(JMA)および森河内の応答速度スペクトルを図-9、10、11に示した。これを見ると、六甲台では、1.0-1.5sec付近に卓越周期を有し、150-200kineを示している。神戸(JMA)地点では、0.3-1.5秒付近で200kineを越えている。エルセントロ地震波の応答速度値(damping=5%)は、周期0.5-3.5秒付近ではほぼ50-100kineである。エルセントロは地盤地点であるので、地盤地点の神戸(JMA)と比較すると、神戸の方がほぼ倍程度大きい。

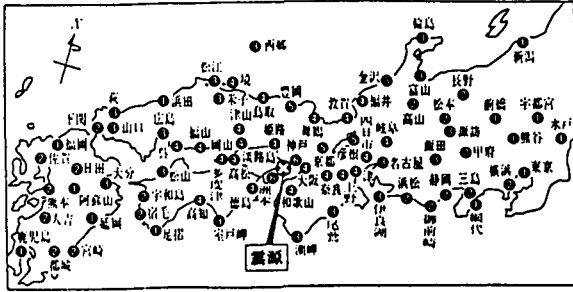
岩盤の六甲地点のと較べてみても、六甲台の方が、高い応答値が得られている。上下動では、神戸海洋気象台で332galが記録されているが、断層直上の六甲山では、大きな岩が浮き上がっていることが確認されており、上下動の加速度が $1g$ を越えたことを暗示しており、上下動も相当に強かったのである。

6 結論

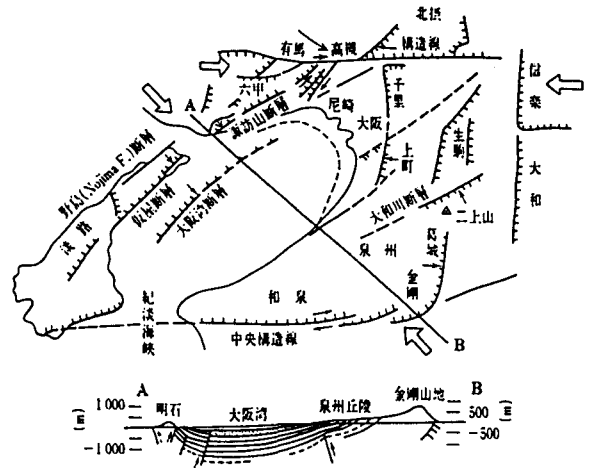
今回の地震では、震源近傍での地震動が岩盤および地盤で得られていることに大きな意義がある。岩盤では断層のせん断破壊ひずみに起因するひずみ波(Strain Wave)を基準とした最大地動速度にほぼ等しいと考えられること、震源域では非常に強い地震動で、硬質地盤や軟弱地盤は岩盤と較べて増幅はされているものの、硬質と軟弱の差は卓越周期特性では見られるが、増幅率の上ではあまりなかったことを示している。

参考文献；

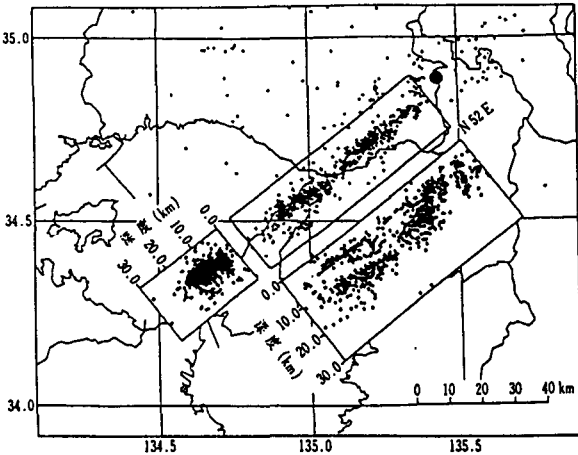
- 茂木清夫(1981), 地震, 東京大学出版会, pp120-122
- 岩崎好規等(1994), エアガン反射法地震探査による大阪湾の基盤構造, 地震, 第2輯, Vol.No.46, pp.395-403
- 藤田和夫+笠間太郎(1982), 大阪西北部地域の地質, 地質調査所, pp.84-85
- 藤田和夫(1993), 大阪をめぐる四大活断層, 資料集, 断層研究資料センター
- 岩崎好規等(1993), 大阪盆地構造とその形成史, 関西地盤の地質構造と土質特性に関する最近の知見シンポジウム, 土質工学会関西支部, pp.119-126



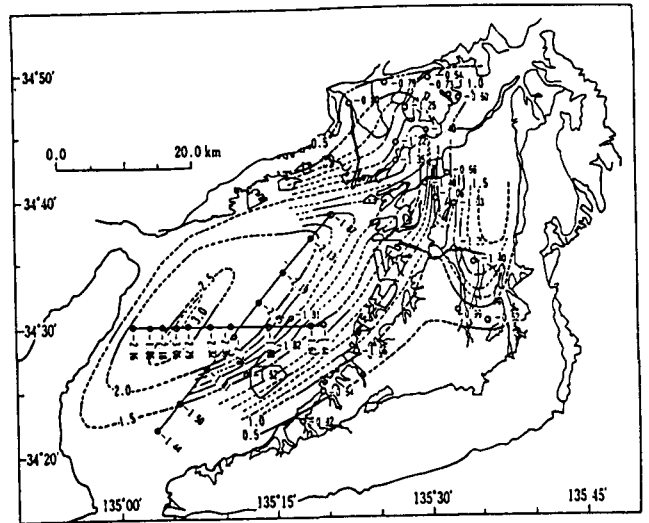
図一 震度分布図 (気象庁発表)



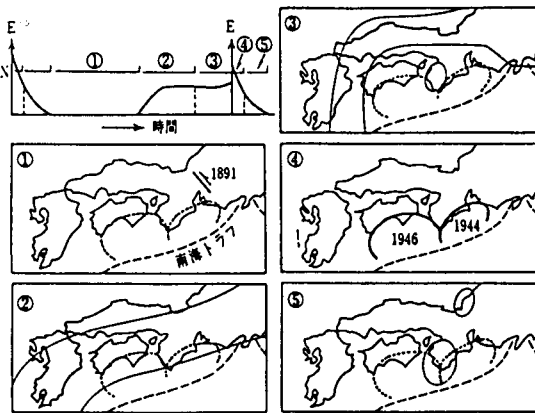
図一四 大阪周辺域の活構造⁴⁾



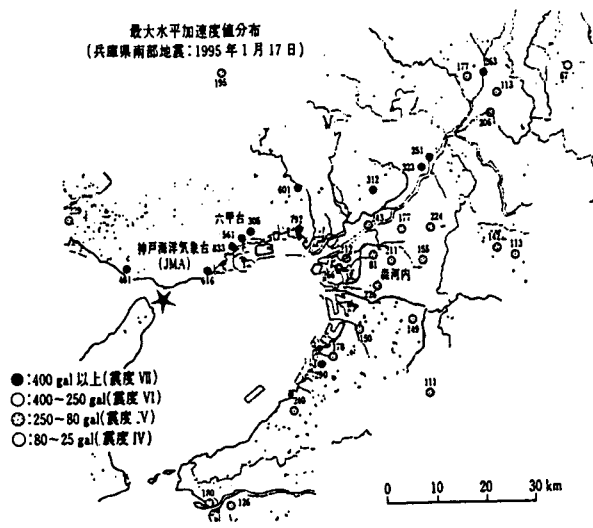
図一三 余震分布図 (京都大学防災研究所発表)



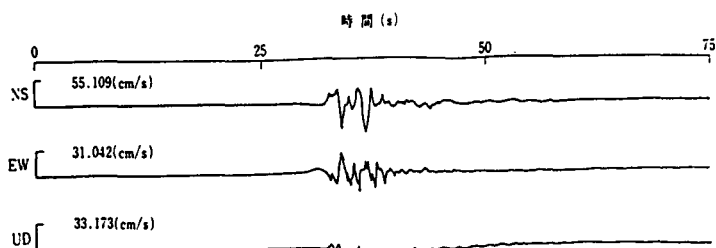
図一五 大阪盆地基盤岩等深度図⁵⁾



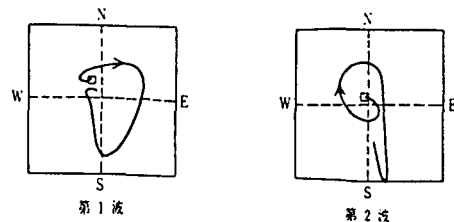
図一三 南海トラフの沈込みに起因する関西域の地震発生循環図¹⁾



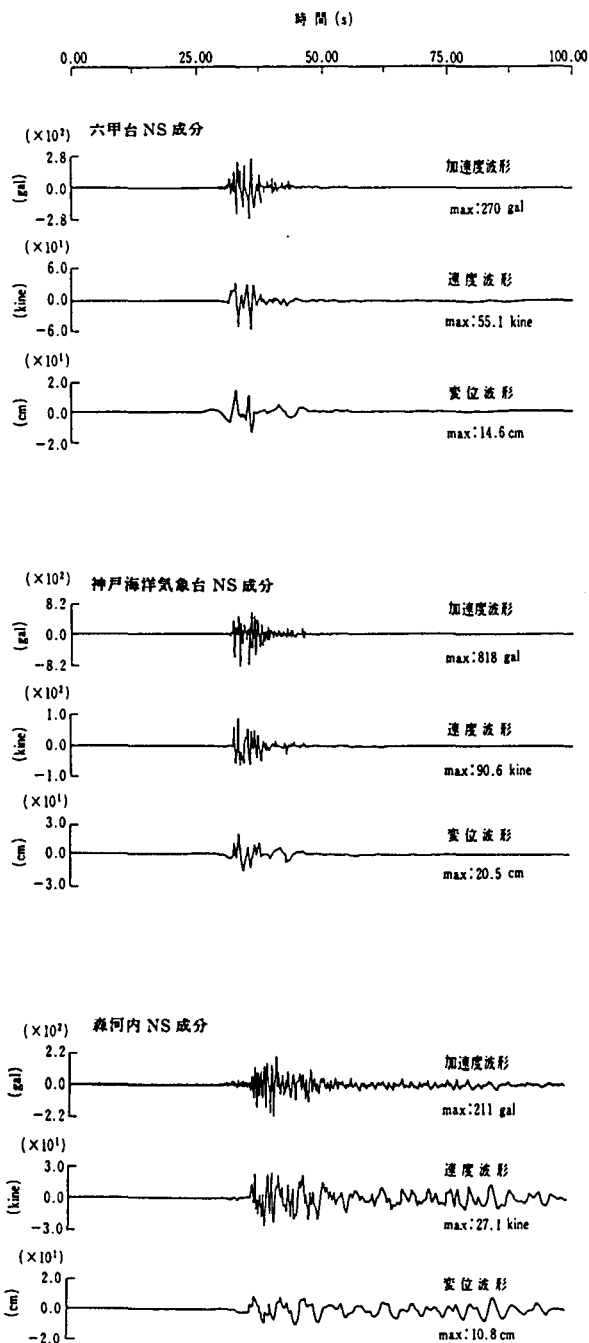
図一六 最大水平加速度分布図



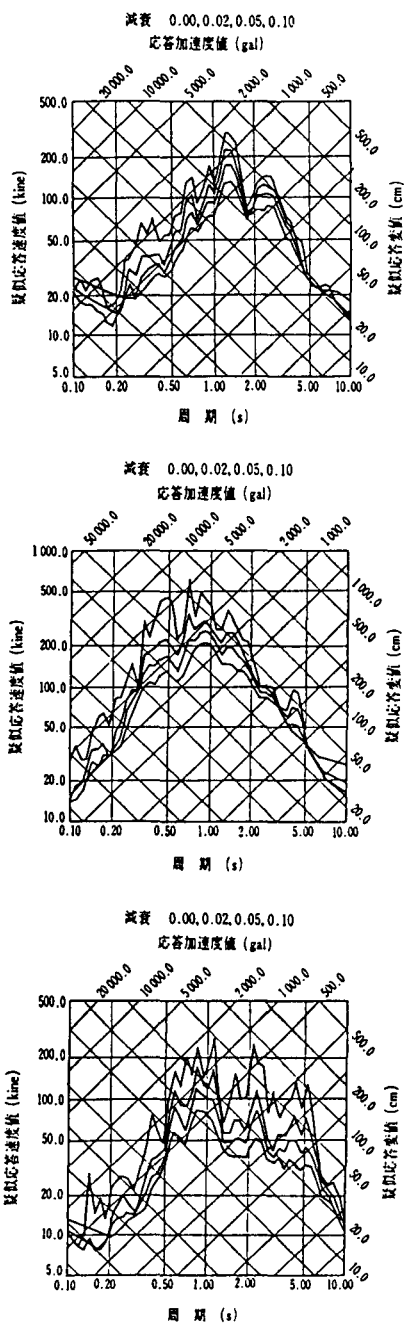
図一7 六甲台岩盤地点水平動速度波形



図一8 六甲台岩盤地点地動速度軌跡図



図一9 応答スペクトル図



特別寄稿

関東大地震（1923.9.1）と阪神淡路震災（1995.1.17） を体験して

池辺展生（大阪市大）

小学校5年当時東京丸ビル地下で体験した関東大地震（震源は相模湾）と、82才の現在芦屋市のベットで朝5時46分に体験したドーンと突き上げられふりまわされるような強烈な直下型の地震とはまったく別の体験であった。私は思わず大きい！と叫び、すぐに、やっぱり来たと感じた。それは大阪市大で藤田、笠間氏らを中心として1950年代から研究を始めていた神戸六甲山地域が活断層が網目状に多い地域で、山崎断層系の微小地震の動きとともにこの地域で都市直下型地震の起こる可能性を秘めていたからである。21年前の1974年に大阪市大表層地質研究会から神戸市での直下型地震の恐れありとの勧告がおこなわれていた（神戸新聞、1974.6.26）にもかかわらず、何らの防災対策も取られていなかったからである（同新聞1975.1.31）。現段階では何月何日に何処でどの程度の地震が有るという予知は不可能であると思うが、このような危険地域では防災対策だけはとっておく必要があり、長田区のように消火用の車だけ集まり水がなかったということは断じて止めて貰いたかったと思います。

1995年兵庫県南部地震と地殻変動

多田 堯（国土地理院地殻調査部）

1. はじめに

国土地理院では地震に伴った地殻変動の概要を把握する目的で阪神地方において緊急の測量を1月下旬に実施した。測量作業は三角点の改測が20点、水準測量が姫路―大阪間について行われた。また1994年10月から稼働していたGPS連続観測点におけるデータの解析も併せて行った。これらの結果についてその概略を報告する。

2. 地殻上下変動

この地域においては西宮市以東の地域では地盤沈下測量のための水準網が張り巡らされているが、神戸地区においては一等水準路線が国道2号線に沿って一本あるだけである。従って面的な上下変動は把握できていない。図1は地震後行った水準測量による上下変動である。須磨断層を挟んで上下変動に不連続が見られるので、地震断層は野島断層の北東延長上ではなく、この付近を通ること、すなわち須磨断層が神戸側では震源断層であることがわかる。神戸市街地に入ってから水準路線が六甲断層系と並走するので大きな変動は見られない。路線は甲陽断層を横切るが、上下変動に不連続は見られず、甲陽断層とその延長部は動かなかったと判断できる。

3. 地殻水平変動

地震後直ちにGPS連続観測点のデータ解析が行われ、水平変動が計算された。震源域に最も近い観測点箕面でも震源から数10km離れており、地震前に変化は認められなかった。地震後震源域と周辺部の三角点の変動をGPSで測定した。緊急の作業なので測量が容易に出来る三角点だけを選定して測量を行った。その結果を図2に水平変動ベクトルでもって地殻変動を示す。右横ずれ運動を示す結果になっている。水平変動もまた野島断層が神戸側には延びていないことを示している。神戸側の水平変動から六甲断層系が動いたことがわかる。変位ベクトルの長さから断層変位量は大体1m20-30cm程度と推定される。

4. まとめ

地殻変動からこれまでのところ次のようなことがいえる。①地震断層は淡路側の野島断層と神戸側の六甲断層系の少なくとも2本動いた。②2本の断層は明石海峡で不連続になり、右横ずれ的な断層の乗り換えが起きている。③従って明石海峡は南北引っ張りのプルアパートベイズンになる。実際余震は南北張力の正断層型である。

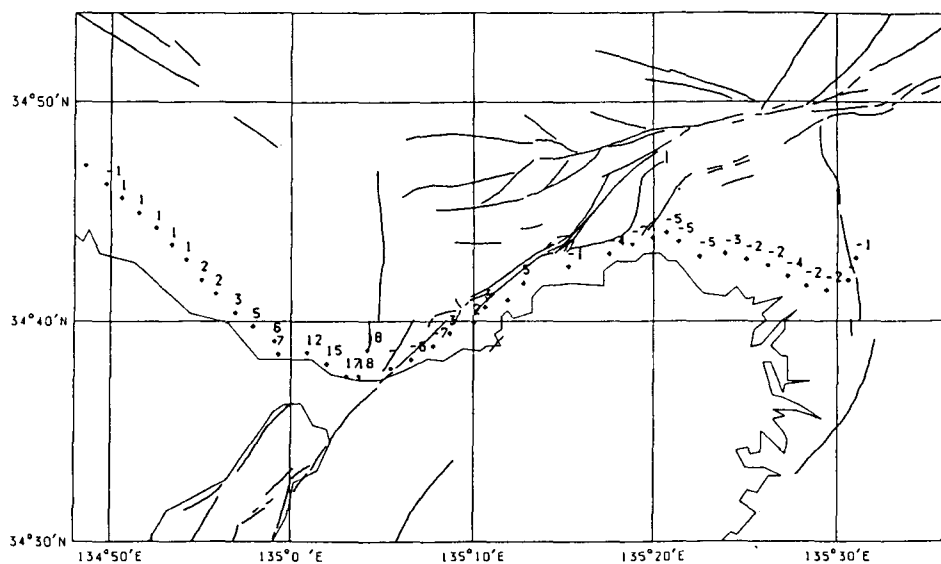


図1 1995年兵庫県南部地震に伴う地殻上下変動(国土地理院, 1995)

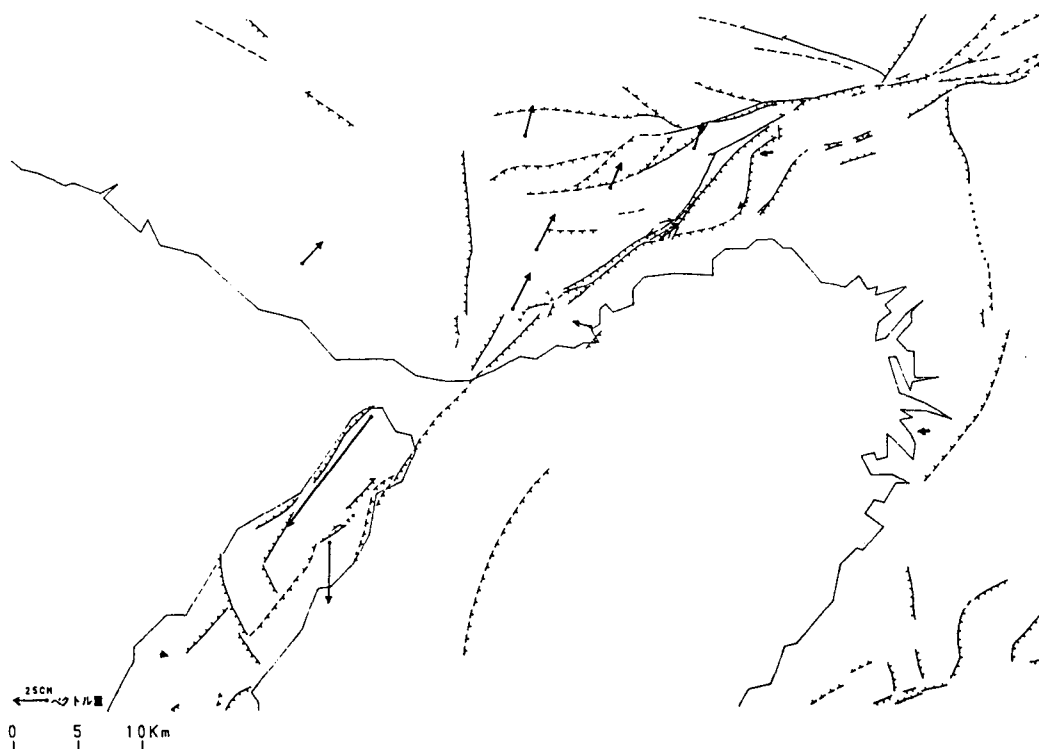


図2 1995年兵庫県南部地震に伴う地殻水平変動(国土地理院, 1995)

兵庫県南部地震で淡路島に現れた地震断層

中田 高・蓬田清・尾高潤一郎・朝日克彦（広島大学）

坂本晃章（北淡東中学校）千田 昇（大分大学）

地震断層は、既存の野島断層にそってほぼ山地と山麓緩斜面（土石流性の堆積面）の境界を南西に向かって延びている（図1）。断層線は、長さ1~2kmの左雁行配列をする何本かのセグメントに分けられ、またそのセグメントも左雁行配列をなす断層線（トレース）から構成されている。また、そのトレースも更に短い地表の破断面から構成されており、全体としてフラクタル構造をなしている。断層の走向は全体としてほぼN40Eであるが、これもセグメントごとに走向をN30E~N60Eに変化させる。

今回の地震を発生させた断層運動は、右横ずれ変位成分が卓越するものであることが確認され、既存の活断層から推定される変位様式および今回の地震の発震機構（菊地私信）と調和する。縦ずれ変位は概ね南東上がりであるがこれは地域的に変化する。これも既存の活断層の縦ずれ変位センスと調和的であるが、局地的には横ずれ変位に伴う見かけ上のものである場合もある。

地震に伴って地表に現われた地震断層は江崎灯台北の海岸線に出現し、江崎灯台に通じる石段を1.2mの右横ずれさせている。江崎の南では山麓線からやや離れ、わずかに屈曲しながらN50Eの一般走向で通過し、棚田上では、断層は左雁行状の開口亀裂群よりなる幅2~5mの断層帯をなし、亀裂の幅は広いもので数十cmと極めて明瞭である。断層は、そこから約1キロメートル南で北西-南東方向の断層をとまなげて消滅し、走向をN30Eに変え平林の北に再び現われ、簀（えびら）川を渡る。ここで、簀川左岸の段丘面の水田の畔道は、右ずれ1.9m、南上がり1.2mの変位し、今回の地震で最も大きな変位を記す。

野島川の南では断層はN50Eの走向で南に延び、梨本の南西の谷の水田を右横ずれ北上がり連続的に変位させる。さらに南の小倉の採土場の跡地の造成地を横切る。ここでは、地震断層は南上がり高さ0.5m前後の見事な低断層崖を200m以上にわたって出現させる。断層の走向・傾斜はN60E, 85Sで、断層面には南上がり30度の見事な条痕がみとめられ、これはこの付近の横ずれ変位量と縦ずれ変位量の関係から推定されるネットスリップの方向と調和的である。断層はネギ畑の畝を食い違わせた後、富島の集落の南を南西に延び、鳴海川を渡り鳴海橋の東で消滅する。

一方、折ヶ谷川が低地に流下する付近から南北方向の副次的な地震断層が出現し、南へ約1キロメートルほど続く。折ヶ谷池の南岸では、地震断層は花崗岩と神戸層群を限る断層に沿ってではなく、急傾斜する神戸層群の中の断層に一致して出現する。断層はほとんど直立しており、断層面には様々な方向の条痕があり、過去に多様な運動を繰り返してきたことをうかがわせる。

淡路島北淡町小倉地区の地震断層詳細図

尾高潤一郎・中田 高・後藤秀昭（広島大）

〔目的と方法〕

今回の地震に伴い、北淡町小倉地区では採土場跡の造成地に明瞭な地震断層が出現した。この断層は多様な形態を示しており、これの詳細な記録は地震断層の地表形態に関する重要な基礎データとなると考えた。また、造成地面は一様の傾斜をもって整地されていたので、断層線を挟んだ周辺の地盤の変形を知ることができると考えた。そこで平板測量を実施し、縮尺1/100の断層線詳細図を作成した（図1）。畔、U字溝、造成地上に立てられた家屋などの信頼性の高いreferenceを用いて水平、垂直変位量を求めた。また、断層面の傾斜と変位量を用いてnet slipを算出した。

〔結果と考察〕

造成地上に現われた断層線は、全体としては一本の連続したトレースとしてたどれるが、途中にright stepする部分がある。right stepしている部分は幅2m、2本の断層線の間は大きく開口しており、右ずれに伴う引張性の小陥没帯を形成している。断層線の一般走向はN70E前後である（図2）。

断層線の形態は次の3種類が認められる。1) 直線的な一本の破断面が続くもの、2) 逆ミ字型の雁行亀裂となっているもの、3) 連続する一本の主断層から副断層が分岐しているもの。

1) の亀裂は、地下から続く断層面が直接地表面に現われたものと考えられる。地表面は断層によってシャープに切られ、dragは認められない。従って断層活動によるこの付近の地表の変形は、この一本の断層線の変位によって全て賅われてるといえる。この部分では、比較的硬い基盤岩であるため、断層面が直接地表に現われたと考えられる。

2) の亀裂群は雁行状に配列し、断層の一般走向に延びる幅2～3mの亀裂帯を形成している。個々の亀裂は長さ0.5～4mで、亀裂帯の一般走向に対して系統的に右まわりに20～40° 偏っている。断層線がこのような形態となっているのは、整地のために行った埋土が比較的厚いためであると考えられる。

3) の副断層は、主断層が一般走向からわずかに南側にそれるところから、主断層とは逆に北側にふくらむ形で約40mに渡って分岐している。両断層の分岐点付近は歪みが多いためか、亀裂が多く生じている。また副断層の変位のセンスは、主断層と同じである。

主断層の下盤側には、今回の断層活動に関係すると思われる数多くの亀裂が認められた。しかし断層線周辺の地表面には、大きなうねりなどの顕著な変形は認められなかった。

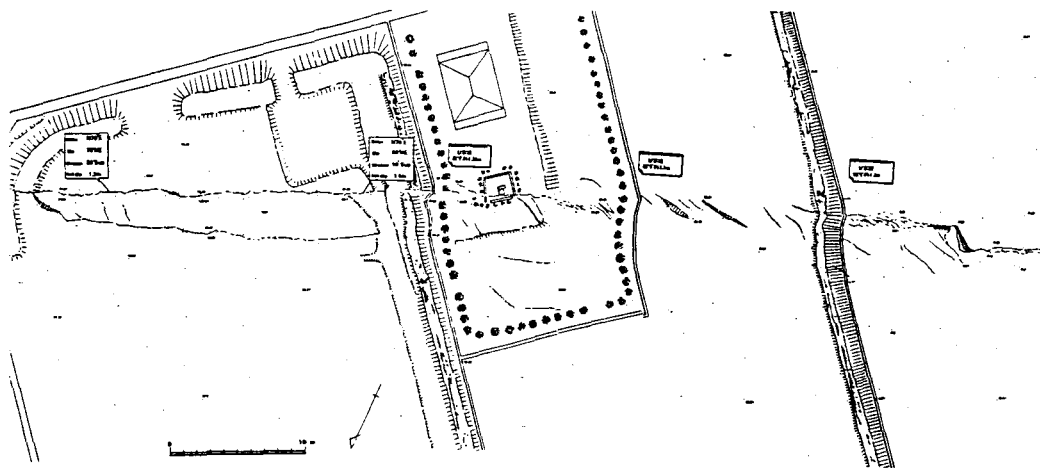


図2A 小倉地区の地震断層詳細図

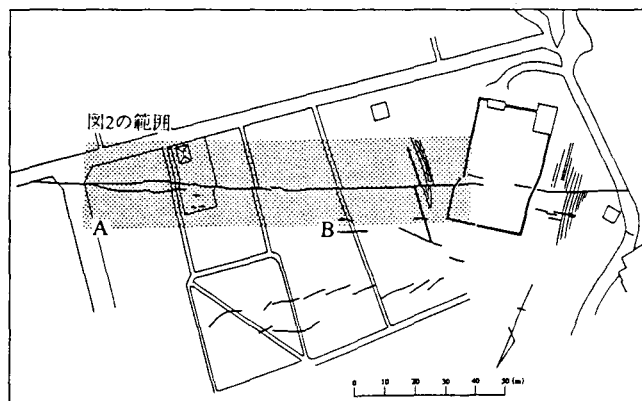


図1 調査地域周辺の亀裂の分布

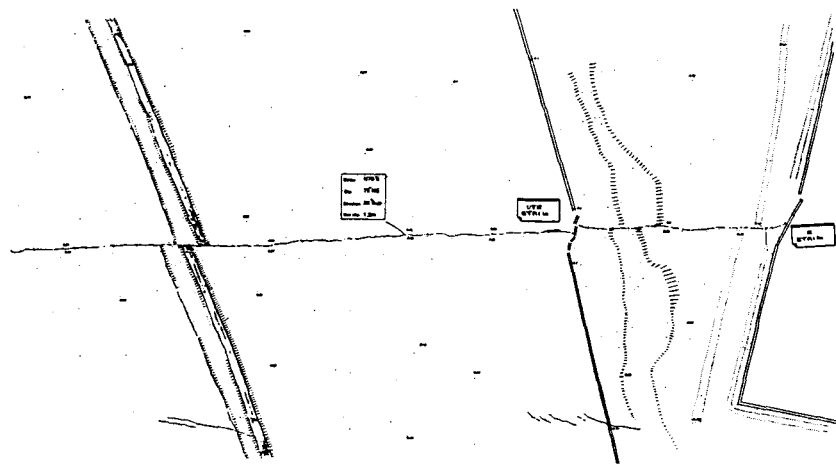


図2B 小倉地区の地震断層詳細図

兵庫県南部地震の地震断層の活動歴

－北淡町梨本地区でのトレンチ発掘調査（中間報告）－

鈴木康弘(愛知県立大)・松田時彦(九州大)・中田 高(広島大)・坂本晃章(北淡東中)
・尾高潤一郎・後藤秀昭・朝日克彦(広島大)・千田 昇(大分大)・竹内 章(富山大)
・吾妻 崇(専修大)・岡田篤正(京都大)・中村俊夫(名古屋大)

Y.Suzuki, T.Matsuda, T.Nakata, T.Sakamoto, J.Odaka, H.Goto, K.Asahi, N.Chida, A.Takeuchi, T.Azuma, A.Okada, and T.Nakamura; Preliminary report on the paleoseismicity of the Nojima Fault, one of the earthquake source faults of the 1995 earthquake in the Hyogo Prefecture.

1. はじめに 淡路島北淡町梨本において、兵庫県南部地震の震源断層の一つ野島断層のトレンチ調査を実施した。本調査の目的は、この断層の最近の活動履歴を明らかにし、当地震がどのような周期性を持って何年ぶりに再来したものかを検討することにある。都市に壊滅的な被害を与える活断層が初めて重大な社会問題となり、今後の活断層対策そのもののあり方が暗中模索されている中で、今回の地震を活断層の最近の活動史の中に正確に位置づけて評価することは急務であると考えられる。

現時点においては古地震の年代を特定するには至っていない。ここでは中間報告として地層の変形を記載し、断層の構造、過去の断層活動の回数を検討する。

2. 調査の概要 トレンチ調査地点は今回の地震の震源断層の一つ野島断層の南部、北淡町梨本一小倉間、野島変電所南300mの丘陵を開析する谷の中の沖積面上にある。この谷は緩やかに数百メートル屈曲しており右横ずれ変位を被っているものと考えられる。調査地点においては、今回の地震に伴う0.95～1.0mの右ずれ変位と、0.5mの北側上がりの上下変位が確認された。

変位地形の平面分布図を作成した後、断層に直交する方向に長さ約5m、深度約2～3mのトレンチを2本掘削して地層の変形を観察した。

3. 地層の変形と過去の断層変位の復元 地表地震断層が出現した場所の直下に高角の断層面が確認された。断層面は幅1m以内に複数確認される。また、そこからさらに1m離れた地点にはopen crack状の変形が確認される。トレンチ基底付近に最大粒径15cmの垂円礫を主体とする礫層(d層)があり、断層の隆起側では約1.2m高い位置に同様の礫層が確認される。この礫層の分布高度の違いは今回の断層の上下変位量(0.5m)に比べ2倍以上大きく、今回の地震だけでは説明できない。a、b層は粗砂層、c層は腐植を含むやや細粒の砂礫層である。層相から判断してa～d層は完新世に堆積したものであることはほぼ間違いない。

地層の変形から過去の断層変位を復元する。図1a)は現在の地層の様子、b)は今回の地震時の変位を戻して、地震以前の様子を復元したものである。水平変位量が大きいと、厳密な復元は困難であるが、地層の水平方向への連続性は良好であり概ね妥当であると考えられる。

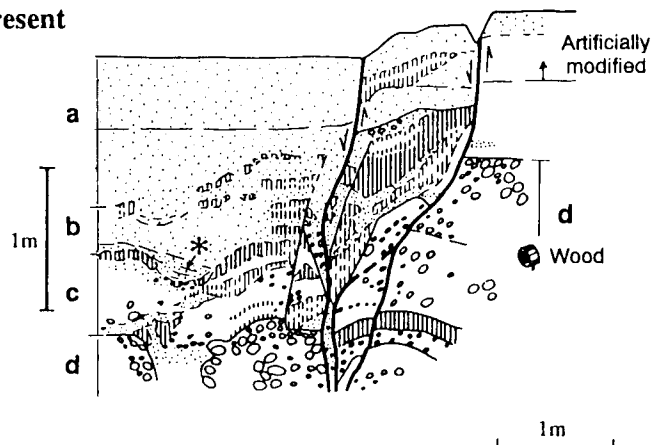
3-1. 一つ前の地震 b)においてb層上部の腐植層は大きく変形し、一部では切断されている。また、この層準以下を切る断層が確認される。腐植層の変形と断層は一つ前の地震に対応するものと考えられる。a層は一つ前の地震以降に断層の沈下側に堆積したものと判断される。

3-2. 二つ前の地震 一つ前の地震時の変位量は不明であり、それ以前の状態は確定できないが、b層堆積前、c層堆積後に二つ前の地震があった可能性がある。その主な根拠は、c層が落ち込んでいる部分の直上（図中*箇所）に、平行な層理を持つ砂泥互層が局地的に堆積していることである。この地層は地表に出現した窪地に堆積したものと判断されることから、c層上部の腐植層堆積直後に地震が発生した可能性がある。

4. 結論 野島断層のトレンチ調査の結果、これまでのところ以下の点が明らかになった。

- 1) 野島断層は幅1m以内の範囲で複数回の活動を繰り返している。
- 2) 断層面は少なくとも地表下3m以浅では高角で、複数の断層面から構成されている。
- 3) b層堆積以降に一つ前の地震が発生していたことは確実である。
- 4) さらにc層堆積以降にも地震が発生していた可能性がある。
- 5) 完新世に今回の地震を入れて最低2回の地震が発生していたことは確実で、3回以上発生していた可能性もある。
- 6) 過去の地震活動の年代については年代測定結果が出揃い次第改めて発表する。

a) Present



b) Pre- 1995 Earthquake

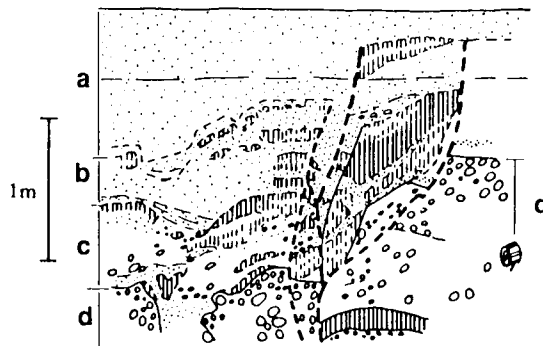


図1 トレンチNo. 1のスケッチと断層変位の復元

兵庫県南部地震にともなう淡路島北部の地表断層

－地形・地質・地震のテクトニックな関連性－

宮内崇裕・伊藤谷生・荒井良祐（千葉大）・村田明広（徳島大）

狩野謙一（静岡大）・澤田啓臣（サソフサイエンス）

1. [断層運動によって現れた地表断層（野島断層）の特徴]

淡路島北部にはNE－SWにのびる数枚の活断層が知られていた。そのなかで最も北西端に位置していた野島断層が兵庫県南部地震の起震断層として活動し、南部では若干枝分かれしながら全長10kmにわたり地表に出現した。野島断層と並走する朝野断層，楠本断層，東浦断層に沿っては地割れや建物倒壊などの被害はあるが断層変位地形は確認されていない。

陸上で観察する限り，野島断層は緩いS字状にカーブした北東の走向を持ち，多くの地点で80度前後南東へ傾く高角の逆断層である。断層運動による地表変位は道路・水田や畑の畝・建造物に鮮明に認められ，それらは一部を除き右横ずれの水平変位と北西落ちの垂直変位を示す。変位量は断層の中央部あたりで最大となり（水平変位量233cm，垂直変位量137cm），水平／垂直変位量は正の相関をもちながら南東端へ向かって減少する。南部の梨本で分岐した断層は南北にのび（全長約2km），右横ずれ／垂直変位量ともせいぜい30cmである。

2. [地形・地質の構造と地震活動の関連性]

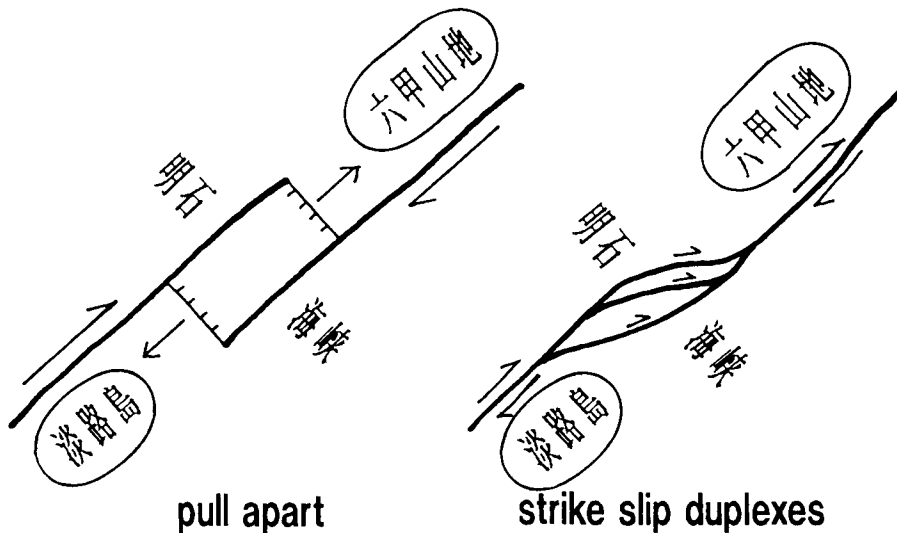
1)本震と起震地表断層の位置関係

明石海峡下に求められている本震破壊域の走向は，神戸側の六甲断層系の延長部にあたることを示し，起震断層の一部と考えられる野島断層には必ずしも連続していない。六甲断層系と野島断層が一連の本震活動によって連続した破壊面で運動したとすると，明石海峡下ではかなり東西走向に近いに屈曲した断層面が想定される。しかし，このような断層運動を直接的に表現する地形・地質構造は明石海峡付近には見られないし，本震の走向のこれを支持していない。六甲断層系と野島断層は並走

する形で運動したものと考えられる。

2) 地形・地質からわかる第四紀地殻変動と今回の断層運動の関係

本地域に卓越した地形・地質構造は花崗岩よりなる六甲山地－淡路島（山地）のブロックとそれを分断する凹地状の明石海峡である。明石海峡を特徴づける海釜地形の成因については潮流浸食説（八島，1992）が有力であるが，六甲－淡路ブロックの隆起とそれを切る海峡の形成は同時に進行してきたことはあきらかである。横ずれの断層がstep overしながら運動することによって発生するpull apartあるいはstrike slip duplexesの構造を想定することによって（第1図），今回の断層運動を上記した地形・地質の構造形成に関連させることができる。音波探査の記録（ソノプローブ）では海峡に正断層によって地溝状に落ち込む平坦な地形が認められる（八島，1992）が，被覆層（堆積層）が切れているかどうか定かでない。明石海峡を横断する地形・地質の構造を明らかにし，海峡下に発生した北西－南東に配列する余震の発震機構を求めて3者の関係を検討する必要がある。



第1図 右横ずれ運動にともなって出現する地表変位と地形・地質の構造形成の関係

1995年1月17日兵庫県南部地震の際に出現した野島地震断層と被害状況

太田陽子（専修大）・堀野正勝（国土地理院）・国土地理院災害地理調査班＊

本報告は、1995年1月19～22日に実施した国土地理院による淡路島野島断層の緊急調査結果である。内容が他のグループによるものと重複したり、細部について観察結果や意見が異なる点もあるかと思うが、地震直後の観察結果と、関連する問題を速報としてまとめる。なお、本報告の詳細は太田ほか(1995)に記載されている。

野島断層は右横ずれ、南東上りの活断層（水野ほか、1990；活断層研究会、1980, 1991）で、兵庫県南部地震はこの断層を震源とする。現地で地震断層によって生じた変位地形、割れ目の状態などをできるだけ詳細に記録した。変位量は巻尺、ポール、ハンドレベルなどで測定し、変位地形の方向はクリノメータで測定した。変位量の誤差は±10 cm以内である。位置は、地震直後に撮影した縮尺1:10,000のカラー空中写真判読、1:2500北淡町都市計画図（1985年測量）を利用して決定した。なお、断層調査と平行して被害状況の調査も一部実施した。また、浅野断層そのほかの活断層の活動の有無のための調査も実施した。

確認できた地震断層（野島断層）は、北は江崎燈台から南は小倉川南西（富島北東部）までで、上下のずれは低断層崖や撓曲崖として、横ずれは水田・畝・道路・水路・山麓線などのずれとして地表に明瞭に現われた。長さは9 kmである。地震断層の走向はおおむねN45～60° Eであるが、すべてが一直線状につながるのではなく、微妙にのりかえ現象を示す場合がある。またのりかえの場所では杉の字型の雁行割れ目が発達する。地震断層はすべて右横ずれで最大横ずれ量は170 cm（野島平林）である。縦ずれは一般に北東上りで、地形的に知られる活断層の向きと同一センスであるが、部分的には北西上りの場所（梨本）もある。最大縦ずれ変位は130 cm（野島平林）である。横ずれ、縦ずれともにその量は平林から北東および南西に向かって減少する（図1）。

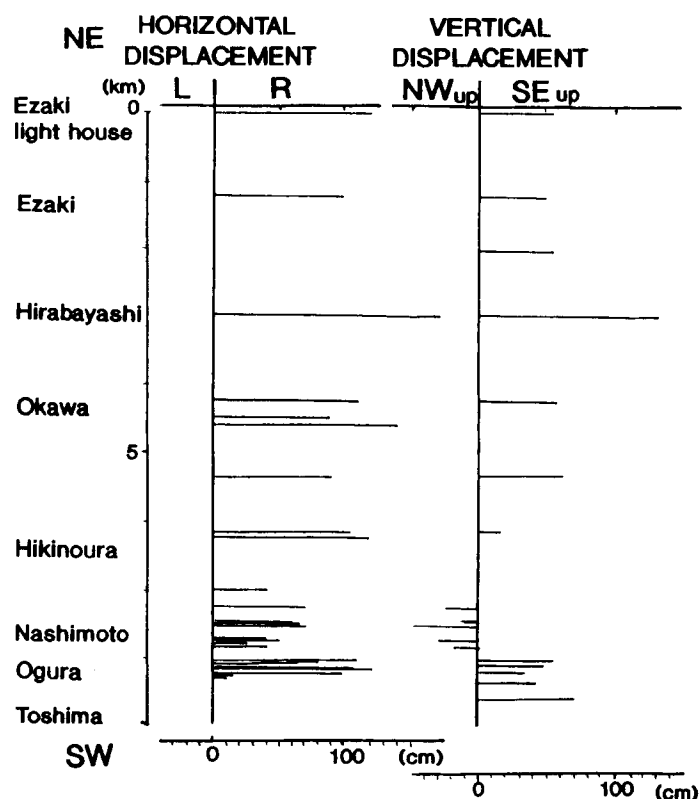
断層面の傾きは一般に南東へ80～85°の高角逆断層である。しかし縦ずれの変位が北東上りの場所では北東へ80°程度の傾きを示す。断層面には条痕が明瞭に残され、下部ではほとんど水平であるが、地表近くでは20°程度南東となり、右横ずれと南東上りの変位の和としての変位の向きを明示している。局地的ではあるが噴砂現象も現れた（例、野島江崎）。

今回の調査で今後検討を要する点として以下の点があげられる。1) 淡路島北部で野島断層が海岸を横切り所で海岸の昇降の証拠があるかを検討する必要がある。

さらに、明石地域ではその東より半壊家屋ないし屋根の損傷したが家屋が多いことを考えると、野島断層の北方延長がこの付近まで及んだ可能性がある（地表には現われていないが）。2)野島断層の南端がどうなっているか。家屋の被害の著しかった富島、育波、郡家などの集落付近では、現段階では地震断層は認められない。上記地域での大きな被害をもたらした要因は何か。3)断層崖の形態はその構成層と関係して明瞭な断層崖（overhangする）をなす所と、撓曲崖をなす所がある。前者のうち大阪層群をおおう砂礫層からなる所（例、野島平林）では、砂礫層のoverhangした部分は短時間のうちに崩落して垂直になり、崖の変化の速さはきわめて大きい。今後断層崖の変化の状態を追跡するため、継続調査をする予定である。4)断層上の家屋の損傷はきわめて大きい。断層から離れた所では、損傷の程度は家屋の古さ、屋根の性質によって異なる。重い瓦屋根の古い家屋の損傷がとくに目立つ。5)浅野断層が活動した証拠は得られなかった。

*メンバー：木佐貫順一，星野 実，海野芳聖，水越博子，飯田剛輔，中野 修

図1．野島地震断層の変位量分布



兵庫県南部地震震源域付近海域の緊急調査

岩渕洋・春日茂・沖野郷子・穀田昇一（海上保安庁水路部）

Yo IWABUCHI, Shigeru KASUGA, Kyoko OKINO and Shoichi KOKUTA;

The urgent hydrographic survey on the source region of Hyogo-Ken Nanbu Earthquake.

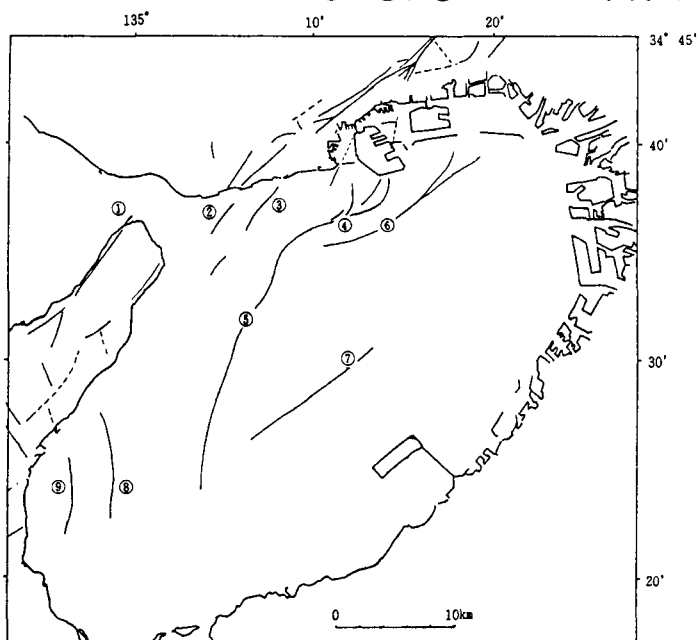
海上保安庁水路部は、兵庫県南部地震に伴い、神戸港等の港湾域の航路障害物の調査と、同地震に伴う地震断層の特定及び震源地付近の活断層分布等を解明するため、神戸港等の周辺域、明石海峡及び大阪湾の緊急調査を行ったので、その概要について報告する。

神戸港の岸壁や堤防は、液状化による沈下・側方移動が著しい。このため、港内にはコンテナ等が多数流出していた。1図に海底における液状化の状況を示す。サイドスキャンソナー記録では、防波堤のの麓から噴出した泥水が形成したクレーター列が認められる。

震源域付近海域の断層等の調査は、スパーカーによる音波探査を主とし、一部の海域についてはサイドスキャンソナーによる微細変動地形の調査を行った。この海域は、1972,73年にソノプロブによる音波探査が行われていることから、今回の記録との比較等を併せ行った。

今回の調査に基づき明らかとなった断層分布を2図に示す。また、それぞれの断層の主な記録例をそれぞれ2～5図に示す。今回の調査では、今回の地震に伴う地震断層を示す直接的な証拠は得られなかったものの、①、②、③については余震域の広がりから考えて、地震断層である可能性が大きいと考えられる。このうち、①については、陸上で地震断層であると確認されていることから、地震断層であろう。②、③については、過去の記録では沖積層に変形が見えないにも係わらず、今回、スパーカーでは海底に近い部分にも変形が及んでいるように認められることから、

今回の地震により動いた可能性が大きいと考えられる。②については、サイド



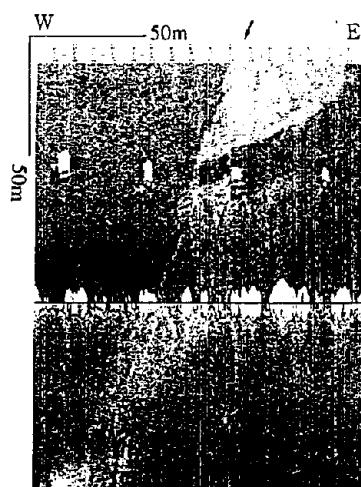
2図 兵庫県南部地震震央周辺海域の活断層

スキャンソナー記録からは、海底に線状の段差を生じ、そこに堆積物が薄くたまっているのが認められる（4図）ことから、地震断層である可能性が極めて大きい。③についても、その延長上の陸部では、プレッシャーリッジを伴う60cmほどの変位を持つ右横ずれの地割れが認められること、この右横ずれの地割れは海岸と平行であり、周辺の地形から考慮しても重力による側方移動とは考えにくいことから、今回の地震による断層の変形の一部が地表に現れた可能性があるものと考えられる。

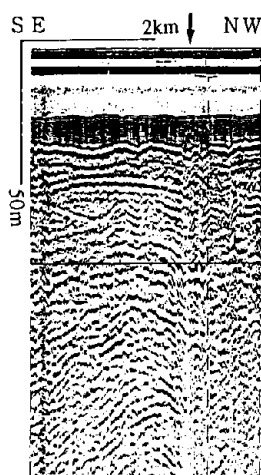
一方、これ以外の断層については、今回の地震の余震域からは離れていることから、今回の地震により活動したものとは考えにくい。ただし、これら断層は沖積層も変形していること、特に大阪湾断層（5, 6図）は今回の記録を見る限り、A級の活動度を持っていると考えられることから、これら断層の活動周期や時期について、詳しく調べる必要があるだろう。



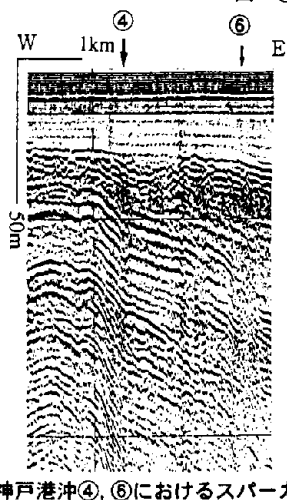
1図 防波堤の基部に認められる海底での液状化



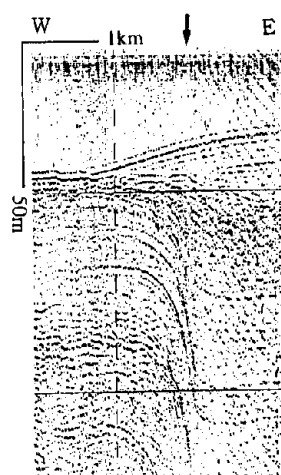
4図 ②付近におけるサイドスキャンソナー記録



3図 塩屋の沖合②におけるスーパーカー記録



5図 神戸港沖④、⑥におけるスーパーカー記録



6図 大阪湾断層⑤のスーパーカー記録

神戸市・芦屋市・西宮市における

地震被害と推定地震断層

嶋本利彦・堤昭人・大友幸子・川本英子（東京大学地震研究所）

Toshihiko SHIMAMOTO, Akito TSUTSUMI, Yukiko OHTOMO and Eiko KAWAMOTO: Earthquake disasters in Kobe, Ashiya and Nishinomiya and presumed earthquake-generating faults

起震断層と地震災害の関係を明らかにするために、1月19日から23日（5日間）および2月8日から18日（7日間）の2回にわたって、神戸から西宮および淡路島の現地調査をおこなった。これまでに得られた主要な結論は以下の通りである。

（1）本州側には地震断層は出現しなかった。我々および他のグループのこれまでの調査では、明瞭な地震断層はまだ見つかっていない。国土地理院の測地学的データによれば地震の規模に比べて水平変位が小さく、またいくつかの活断層と今回の地震の余震域を横切る新幹線のトンネルでも、断層のずれを示すような被害は起こっていない。現状では、起震断層は本州側では地表に達しなかったと判断せざるを得ない。

（2）神戸市から芦屋市・西宮市に至る地域の顕著な被害は、幅約2 kmの帯状領域に集中し（「震災の帯」、図1）、灘区から東灘区にかけてはこの帯の中心部の幅1から1.5 kmくらいの範囲で震度が7に達している。震災の帯はJR神戸駅周辺で一旦とぎれる。須磨から長田区にのびる帯は、兵庫区で複雑な分布を示し、被害の程度が弱くなりながら海岸にぬけている。

（3）被災域が直線上に延びること、「帯」が特に地盤の弱い場所ばかりではないこと、余震分布と重なる既存の活断層沿いには沖積層を横切る場所でも顕著な被害がないことから、起震断層はこの「震災の帯」付近でかなり地表近くまで達したと考える。余震分布図は地下約5～15 kmにおける断層の位置を示しているので、震災の帯と余震分布との系統的なずれ（約2 km）は、起震断層が北西に70から80°傾斜していれば自然に説明ができる。断層が六甲山地の下にもぐり込むように傾斜していなければ、六甲が上昇し、大阪湾が沈降するという長期的な地殻変動は説明できない。これまでのデータを総合すると、余震域から約2 km南西にずれた帯状被災域（灘区から宝塚にのびる部分を含む）と灘区から芦屋をへて西宮にのびる帯状被災域で断層の活動があったものと推定できる。芦屋断層と甲陽断層は、震災の帯に近づくにつれて方向を変えて「震災の帯」の北縁に合体しているようにも見える。このような幾何学的関係から、今回活動した断層は、断層系の中の主断層(master fault)の一つである可能性もある。但し、灘区から西宮に至る帯状被災域では余震が少ないので、今後の詳しい検討が必要である。

（4）兵庫区・中央区では被災域の分布が複雑で、おそらく地盤の違いが被害分布に反映していると考えられる。三宮は、東から被害が徐々に減少してくる「震災の帯」の中にあるが、プール状に被害が著しく、埋め立て地で地震動が増幅されたと思われる。

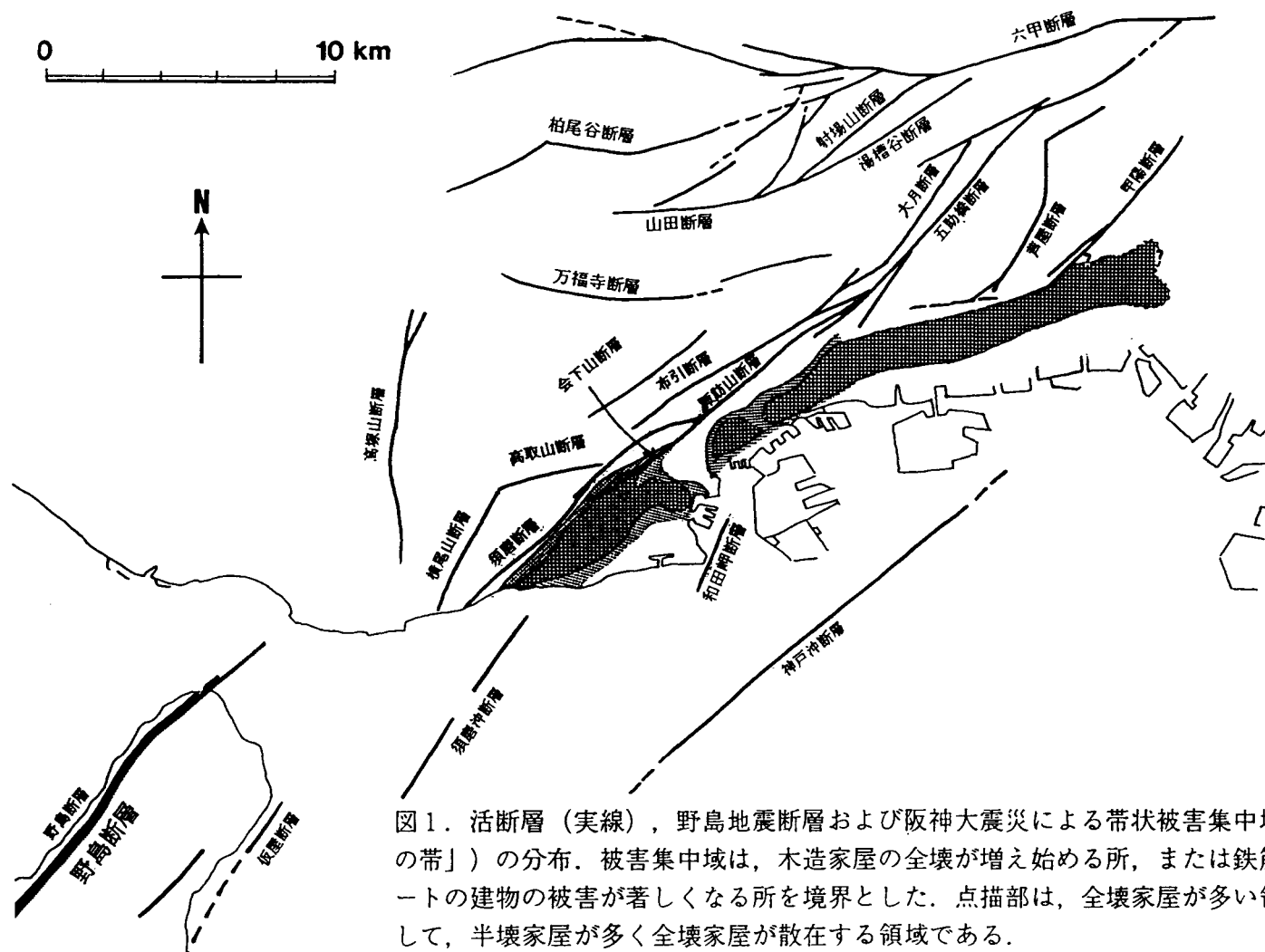


図1. 活断層（実線），野島地震断層および阪神大震災による带状被害集中域（「震災の帯」）の分布。被害集中域は，木造家屋の全壊が増え始める所，または鉄筋コンクリートの建物の被害が著しくなる所を境界とした。点描部は，全壊家屋が多い領域に隣接して，半壊家屋が多く全壊家屋が散在する領域である。

神戸－西宮間における活断層の観察

前田保夫（山形大）・宮田隆夫（神戸大）

Yasuo MAEDA and Takao MIYATA; Urban disaster and active faults in
Kobe-Nishinomiya area, southwest Japan

兵庫県南部を震源とする大地震（M7.2）が起こり、淡路・阪神間に大震災が発生した。神戸市須磨区から西宮市まで東西に伸びる震度7地域（図1, 気象庁）の北側には従来から複数の活断層が知られている。その活断層と被害について観察し、得られた情報を以下の(1)～(3)に述べる。

(1) 震度7地域で、東西方向に被害の著しい場所と比較的その軽い場所とが繰り返し現れる。ほぼ同じ規格で連続性のある構造物として阪神高速の橋脚・橋桁（鉄筋コンクリート製）を東西方向に見てみると、破断・座屈等により強く破壊された部分（Aゾーン）が同様に繰り返す。一方、阪神電車、JR神戸線の橋脚・橋桁および国道2号線に沿うビル・擁壁（鉄筋コンクリート製）の破壊を合わせて、南から北へのAゾーンの分布特性をみると、阪神高速のAゾーンの位置を基準にして、阪神電車、JR神戸線および国道2号線のAゾーンは一部重なりながらそれぞれ東へその分布が移動している。

(2) 市街地において石垣、コンクリートの擁壁、側溝などを切る右横ずれ成分をもつ剪断（表層断層）が数多く見られる。それらは相対的に弱い箇所を走り、堅い鉄筋コンクリートの建物を迂回しながら続き、そのつながりは纏れた糸のように複雑である。全体として方向性をもち、北東－南西方向に伸びる。その変位は最大10cmの桁で、一般には10cm以下のものが多い。斜面や埋め立て地では地すべりや液状化をしばしば伴って、地表断層はより複雑化し、しばしば垂直成分が大きく現れる。

(3) 図2は灘－芦屋間における地震時の電柱の動き（電柱・地面間の間隙）を示す。著しい被害の場所では電柱の動きも著しい。座屈し、補修されたものを除くと、電柱・地面間の間隙は最大8cmである。間隙2cm以上のコンタは一般に北東－南西方向に伸び、かつその分布が東西方向に繰り返す。

上記(1)～(3)の特徴は、五助橋断層・芦屋断層の南西延長部でそれぞれ見られ、それらの活断層が市街地の下に南西方向に伸びている可能性を示唆し、さらに、今まで気づかなかった北東-南西方向の新活断層が地下に潜んでいる可能性を示唆した。それらの多くは、余震分布からみて起震断層ではなく、むしろ側震断層として動き、著しい破壊（Aゾーン）を起こしたとみなされる。活断層に沿う被害の広がりや地盤の軟弱な地域で大きく、活断層間（1-2km幅）で複合することにより東西方向の帯が出来たと考えられる。今後の防災対策を進めるうえで、市街地の潜在活断層の実態をさらに解明する必要がある。

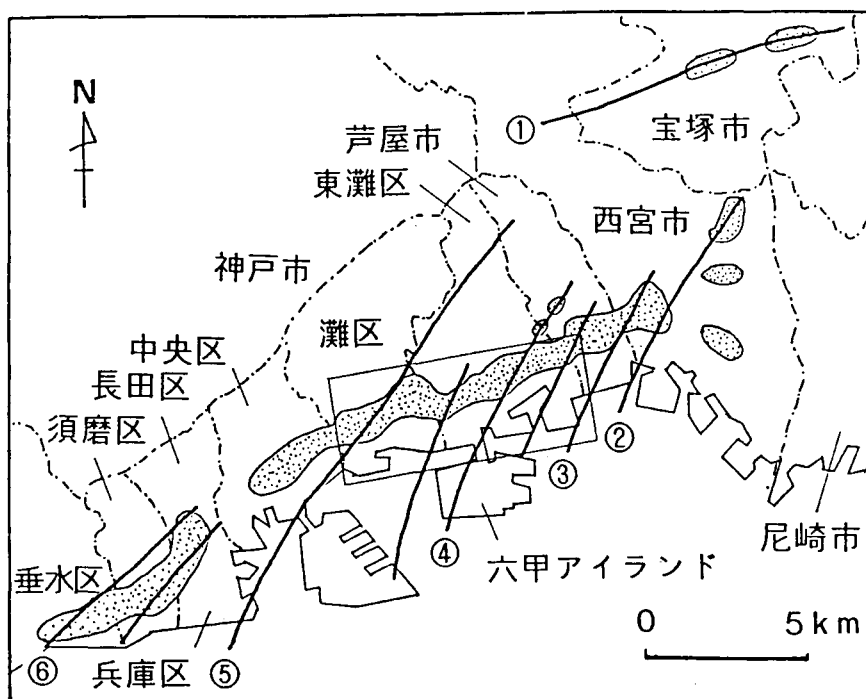


図1 点領域，震度7地域（気象庁）；太実線，動いた活断層（①，有馬・高槻断層；②，伊丹断層；③，甲陽断層；④，芦屋断層；⑤，五助橋断層；⑥，会下山断層；数字無し，新断層）。

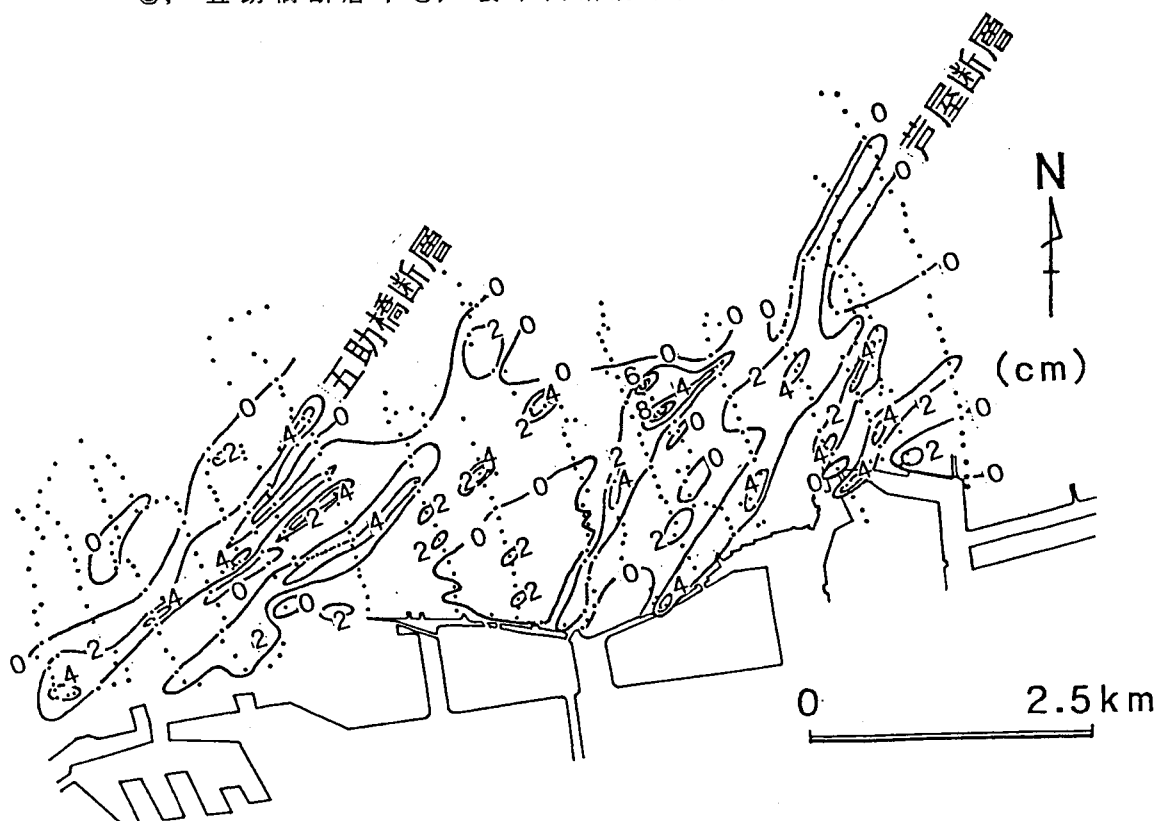


図2 黒点(・)，電柱の位置；数字，電柱の動いた量（電柱の地面に対する間隙；単位，cm）。