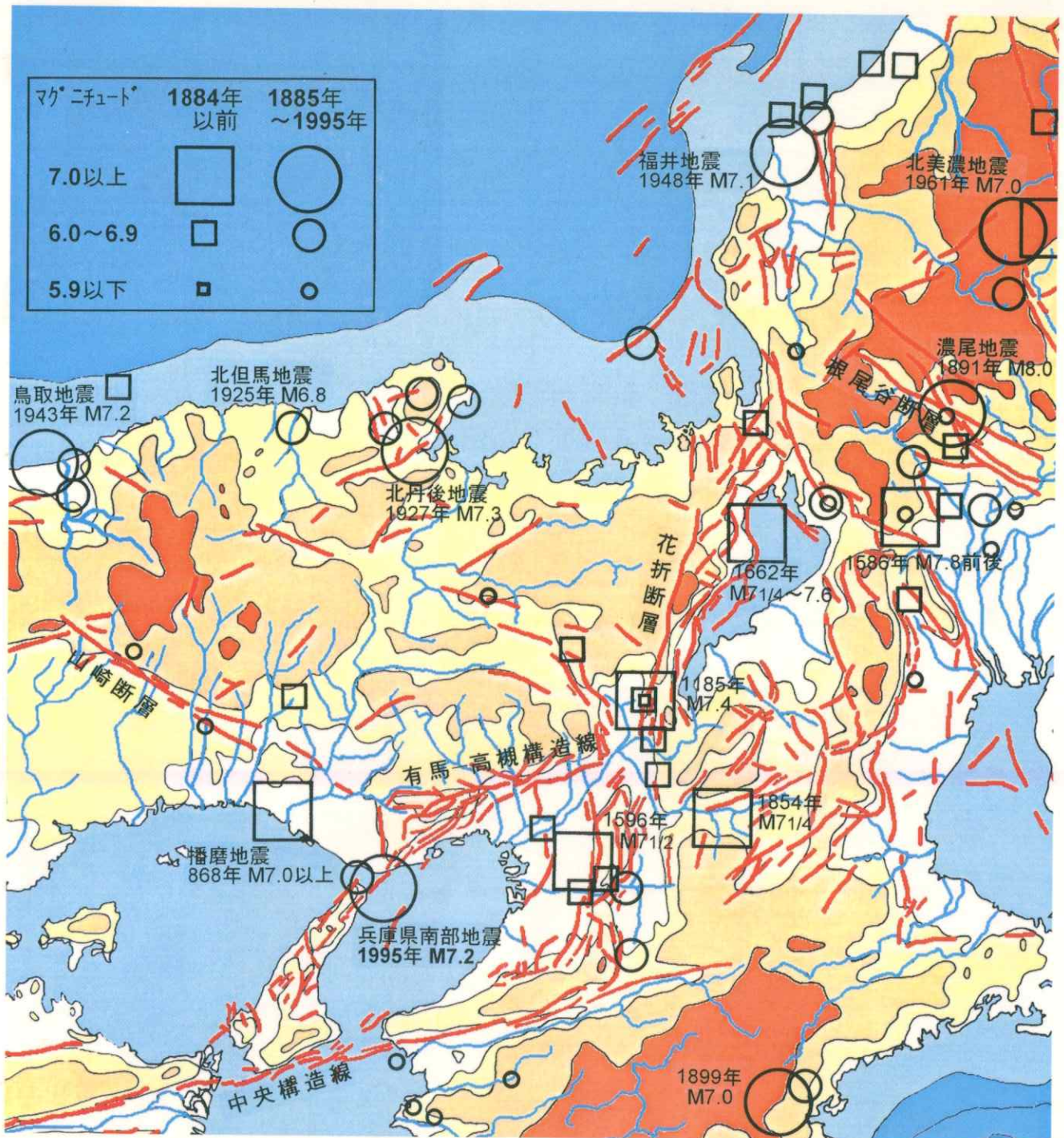


兵庫県南部地震を考える



1996年3月

兵庫県立人と自然の博物館



●● はじめに ●●

平成7年1月17日、突如兵庫県南部を襲った大震災を私たちは永遠に忘れることはないでしょう。6千人以上の尊い人命が奪われ、30万人を越す人々が避難所生活を強いられ、多くの家屋が倒壊または焼失しました。ライフラインはずたずたに切断され、都市機能は麻痺し、人々は生活の基盤を失いました。一年たった現在も、9万人余の人がまだ仮設住宅の不自由な生活に喘いでいます。

今回の突発的な超大型の地震をだれが予想したでしょうか。「災害は忘れられた頃に来る」という箴言がありますが、忘れるどころかだれも考えもしていなかったのです。阪神地区には地震は起こらないという風評が流布され、人々はそれを信じていたのです。だから、民衆も行政も地震に対する防衛手段をなんら講じていなかったということが、今回の大惨事を招いた大きな原因になったと思います。

しかし、地震学者の中には、阪神地区に地震が発生する危険性を指摘する人がいなかったわけではありません。数年前、研究会で阪神間が決して地震の安全地帯ではない証拠を、活断層図によって説明されたことを、今改めて鮮明に思い出します。一部の識者は、つとに兵庫県内の活断層の危険性に警告を発していたのですが、このことが学会でも行政レベルでも真剣にとりあげられなかったのは、まことに残念なことです。私自身も十分理解はしえても、その破壊的な危険性についての実感はほとんどなく、恐ろしいことだとは思いつつよそ事のように聞いていたというのが実情だったと思います。

今回の大惨事に遭遇し、地震の恐ろしさが身にしみると同時に、知識というものは肉体化してこそはじめて役に立つものだということを痛感しました。私たちは今、阪神-淡路大震災の実体を科学的に分析し十分に理解するとともに、災害に対する心がまえと対処の仕方を身につけねばなりません。

地震とは何か、今回の大震災はどうして起こり、何を引き起こしたのかといったことを科学的に理解して頂くために、当博物館では企画展「兵庫県南部地震を考える」と関連講演会を開催いたしました。幸い大変好評だったので、それを中心にまとめたものがこの冊子です。亡くなられた方々のご冥福を祈り、多くの被災者の再起を願いつつ、地震に対する理解を高め防災教育にいささかでもお役に立つことを希望する次第です。

兵庫県立人と自然の博物館

館長 河合 雅雄

◆ 兵庫県南部地震を考える ◆

— も く じ —

はじめに

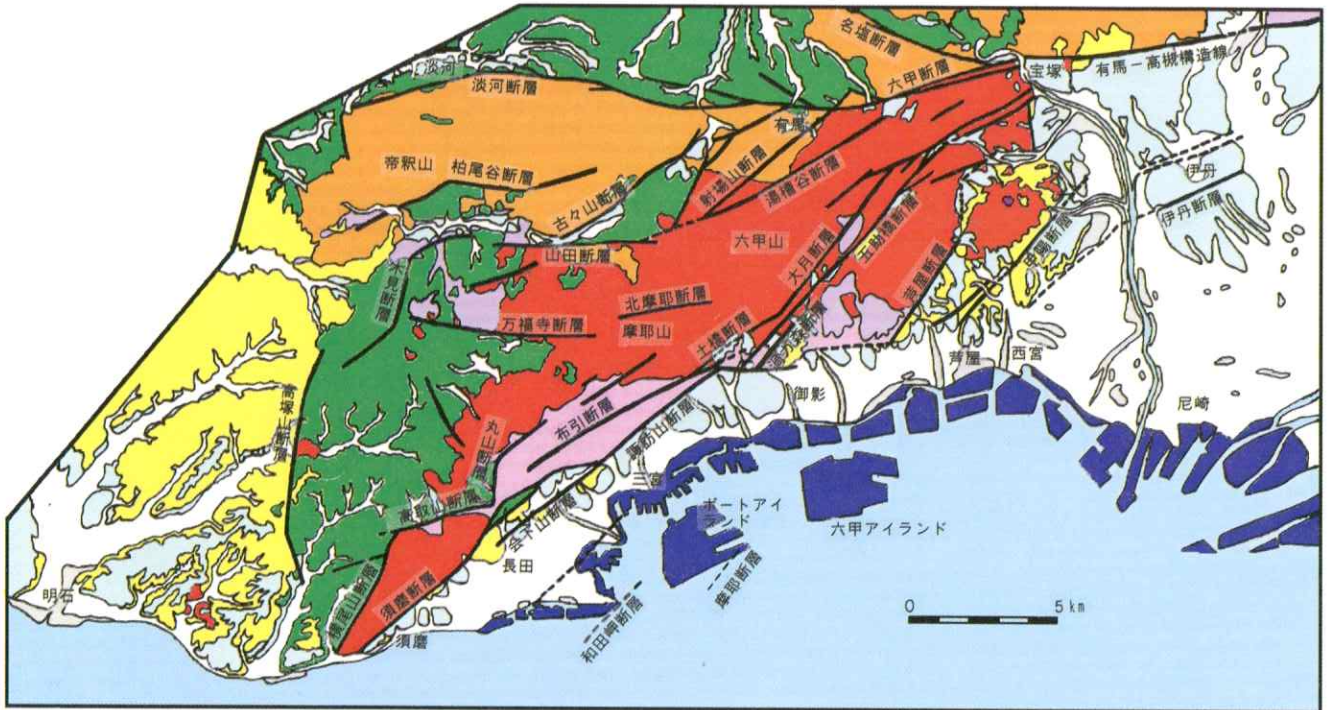
六甲山地周辺および淡路島北部の地質図

1. 1995年1月17日兵庫県南部地震発生 p.4
A. 概要 B. 地震波の記録 C. 余震活動
D. 地下水湧出量と化学組成の変化 E. 地震の被害
2. 地震動を記録する p.11
A. 地震計の原理 B. 地震計 C. 北但馬地震の地震波波形
3. 断層をしらべる p.13
A. 断層とは？活断層とは？ B. 断層の種類 C. 断層を見つける
D. 断層を掘る E. 断層を動かす力とずれる方向
4. 地震列島・日本 p.19
A. 世界の地震分布 B. プレーートの相対運動
C. 日本列島周辺のプレート運動と地震活動 D. 地震発生のメカニズム
E. 日本列島の活断層 F. 日本の主な被害地震
5. 兵庫県南部地震はかくして起こった p.25
A. 近畿地方の活断層と地形 B. 大阪湾周辺の地形・地質と活断層
C. 六甲山地の上昇過程 D. 西南日本における応力分布
E. 近畿地方周辺の地震活動 F. 兵庫県南部地震発生前の地震・火山活動
G. 野島地震断層 H. 野島地震断層のはぎ取り断面
6. 大地震発生に備えて p.38
A. 活断層の監視 B. 物理探査とボーリング調査による地盤構造の解明
C. 地震考古学 D. 地震予知の特定観測地域と観測強化地域
E. 地震に対する市民の意識調査
7. 地震用語ミニ解説 p.44

おわりに

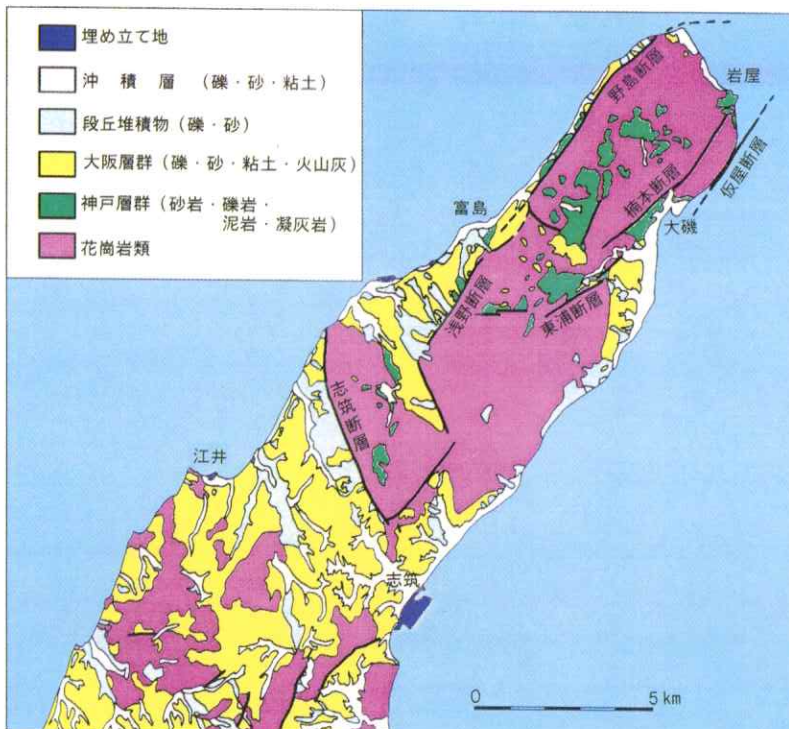
お世話になった方々

六甲山周辺の地質図



- | | | | |
|---------|-------------------|---------------------|-------------------------|
| 沖積層 | 段丘堆積物 (礫・砂・粘土) | 神戸層群 (礫岩・砂岩・泥岩・凝灰岩) | 白亜紀火山岩類 (流紋岩・凝灰岩・凝灰角礫岩) |
| 埋め立て地 | 大阪層群 (礫・砂・粘土・火山灰) | 六甲花崗岩 | 丹波層群 (砂岩・粘板岩・チャート) |
| 自然堤防・砂州 | 甲山安山岩 | 布引花崗閃緑岩 | 断層 |
- 《藤田・笠間 (1970 編) をもとに編集》

淡路島北部の地質図



藤田・前田 (1982)、水野ほか (1990)、高橋ほか (1992) をもとに編集。

1 1995年1月17日兵庫県南部地震発生

A. 概要

1995年1月17日午前5時46分、神戸を中心とする関西地方をマグニチュード(M)7.2という巨大な直下型地震がおそいました。「平成7年兵庫県南部地震」と名付けられたこの地震は、死者約6,300人、全半壊した建物20万棟以上という、最近では最も大きな被害をもたらしました。

鉄筋コンクリート造りのビルの倒壊、都市高速道路の切断・橋脚の折損、新幹線の高架崩落、軟弱地盤の液状化、斜面崩壊、家屋の火災、ライフラインの切断など、地震によるあらゆる被害が想像を越えた規模で同時多発的に起こりました。

この地震は、都市の弱点を浮き彫りにし、高度な機能を備えた都市設計にも絶対安全の神話は存在しないことを私たちに教えました。

本震

発生日時：1995年（平成7年）1月17日
午前5時46分

震源：淡路島
北緯 34度35.6分
東経 135度02.1分
深さ 18km

マグニチュード(M)：7.2
(以上、気象庁)

被害状況：死者数 6,348名
全半壊戸数 約42万世帯

(以上、1996年1月16日現在、各自治体発表)

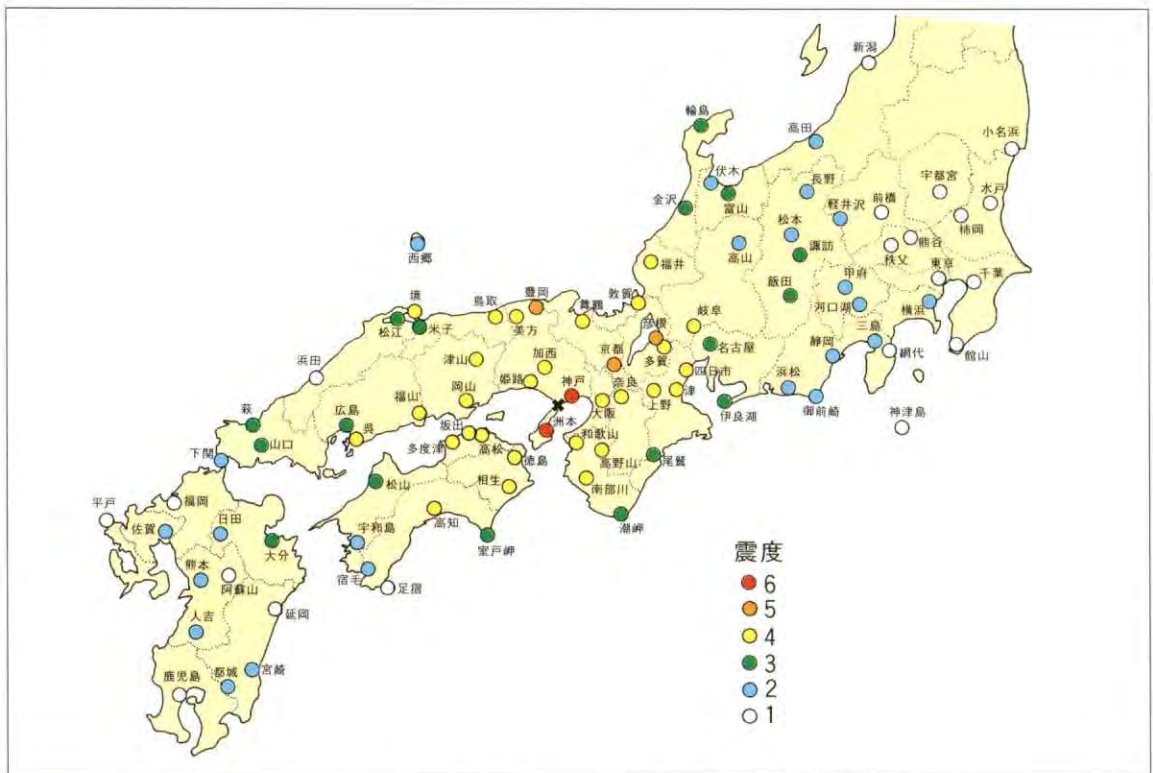


図1-1 震度分布 (1995年1月18日、気象庁)

兵庫県南部地震では、六甲山と湾岸部の間にはさまれた阪神地域で、家屋が軒並み倒壊するなどの大きな被害があり、その後、震度7（激震）が初めて適用されました。



強い揺れでねじ曲がったビル（神戸市兵庫区）



横倒しになった阪神高速道路（神戸市東灘区）



崩落した山陽新幹線の高架橋（西宮市上大市）



U字型に陥没した道路（神戸市兵庫区大開通）



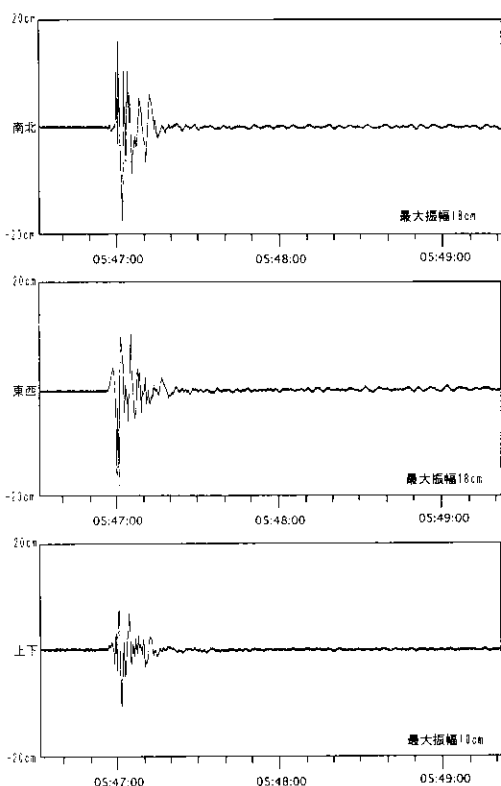
拝殿がべしゃんこになった生田神社（神戸市中央区）

B. 地震波の記録

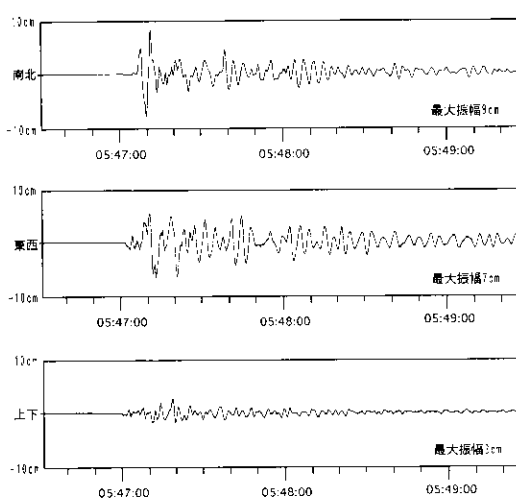
神戸・大阪・彦根における兵庫県南部地震での地震計の南北・東西・上下の三成分の記録（変位波形）を図1-2に示します。比較のため、三陸はるか沖地震（1994年12月28日、M7.5）の記録も同一拡大率で示します。同じ地震では震源から遠ざかるほど地

震波の到着時刻は遅れ、地震波の最大振幅も小さくなります。地震の規模は三陸はるか沖地震のほうが兵庫県南部地震よりも大きかったのに、三陸はるか沖地震で最大の揺れが観測された八戸測候所での最大振幅が小さいのは、震源からの距離が非常に遠かったためです。

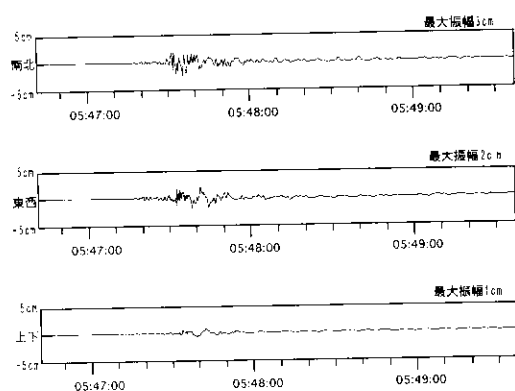
兵庫県南部地震変位波形（神戸海洋気象台）



兵庫県南部地震変位波形（大阪管区気象台）



兵庫県南部地震変位波形（彦根地方気象台）



三陸はるか沖地震変位波形（八戸測候所）

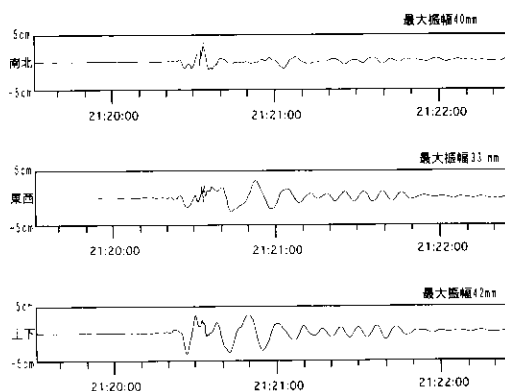


図1-2 兵庫県南部地震（神戸・大阪・彦根）と三陸はるか沖地震（八戸）の変位波形記録

C. 余震活動

本震が起こった直後にみられるさまざまな現象（余効現象）を観測することは、再来周期の長い（千年以上）内陸地震の発生のメカニズムを理解するうえで重要です。余効現象のなかで、最も著しいものに余震活動があります。一般に、M7クラスの本震が起きると、余震が多発し、余震の発生頻度は本震発生から時間が経過するにしたがって減少していきます。図1-3のように、兵庫県南部地震の場合も、余震活動は本震直後をピークに消長をくりかえしながらも次第に減少しています。M4を越す余震は本震発生から1995年12月31日までの間に、54回観測されていますが、10月14日のM4.8以降は発生していません。

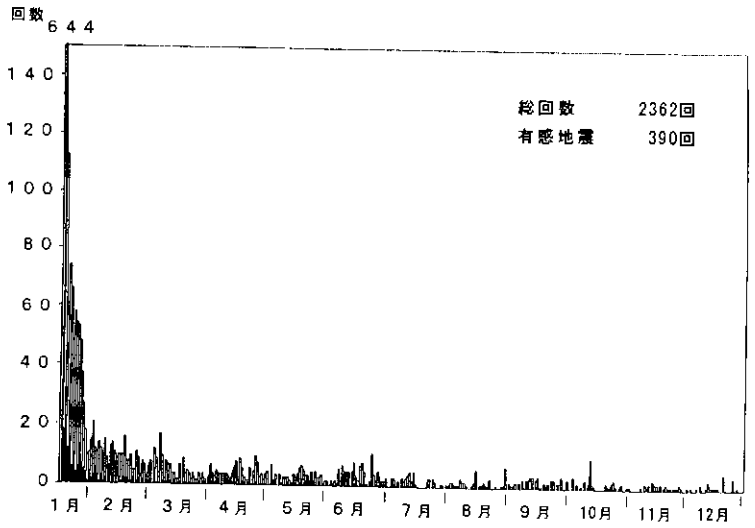


図1-3 余震回数ヒストグラム
(1995.1.17~12.31) (気象庁)

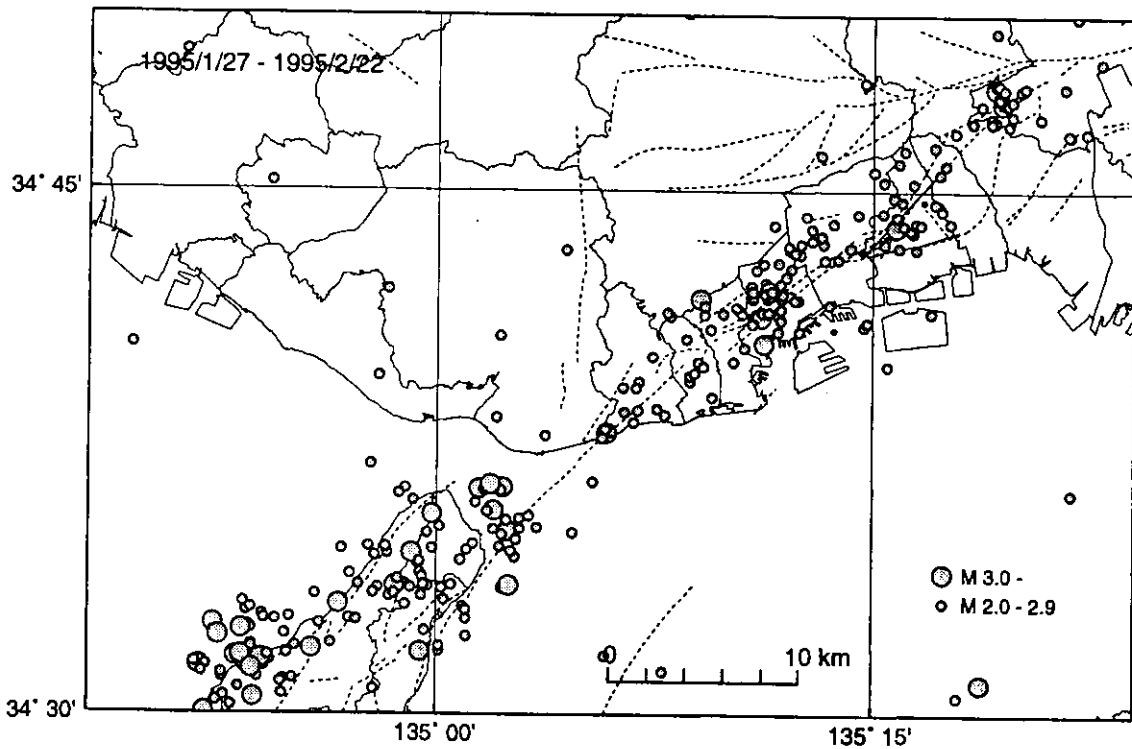


図1-4 余震 (M2.5以上) の震央分布と活断層分布 (点線が活断層) (平田、1995による)

図1-4は、1995年1月27日から同年2月22日までの間に起こった比較的大きな余震と活断層の分布を示しています。余震の分布から、震源域は北東-南西方向約50kmにおよぶと推定されています。本震の際には、淡路島北端で地殻の破壊が始まり、北東-

南西方向に破壊が進んだと考えられています。

M2.5以上の余震は淡路島側では、西海岸の野島断層沿いで活発で、神戸側では須磨・諏訪山断層沿いに集中しています。これは地表で観察される活断層の配列とよく一致しています。

D. 地下水湧出量と化学組成の変化

地震が起こる少し前から、地下水の湧出量や化学組成が変化することは、これまでもしばしば観測されてきました。今回の地震でも、地下水の湧出量

と化学組成に目立った変化がありました。その例を図1-5と図1-6に示します。これらの変化は地下の岩盤に蓄えられたひずみの増加によるものと考えられます。

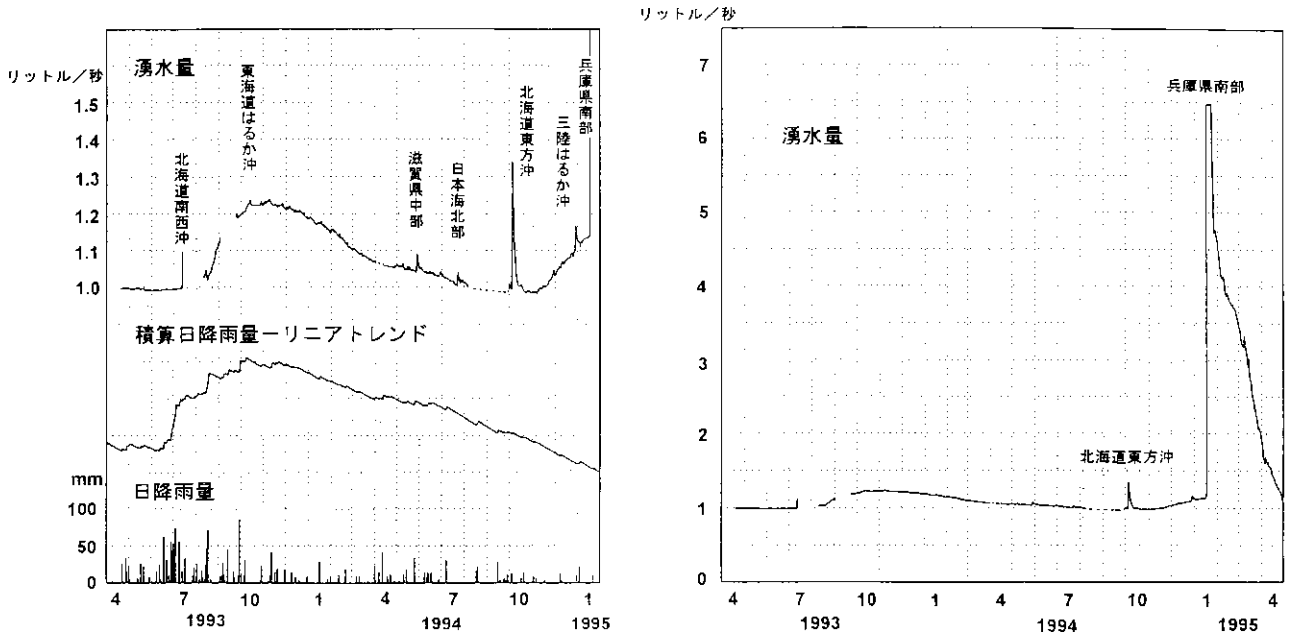


図1-5 湧水量の変化 (於：六甲山高雄観測室)

左図：遠くで起こった地震でもはっきりした増加が記録されています。

右図：地震発生直後に急激に増加し、その後徐々に減少し、もとの状態にもどるまでに3ヶ月かかりました。

(以上、藤森邦夫・山本剛靖、1995による；藤森氏提供)

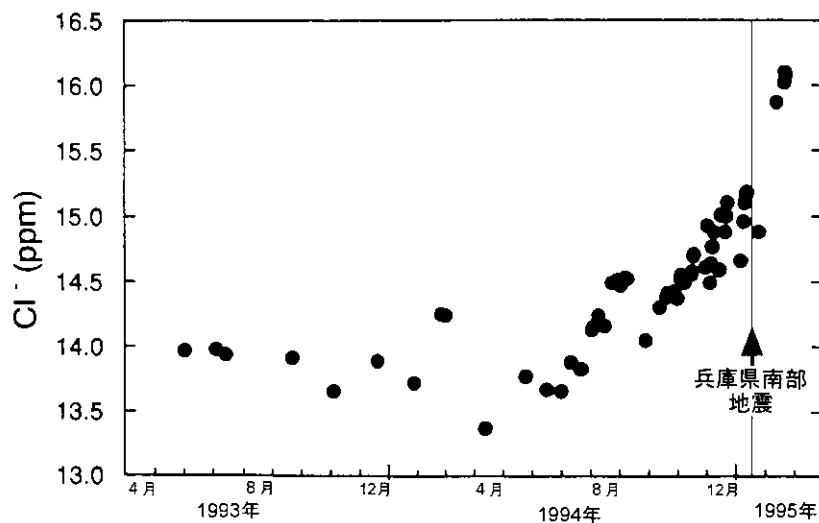


図1-6 化学組成の変化 (神戸市内井戸水“六甲の美味しい水”の分析結果；角皆潤・脇田宏、1995による)

水中の塩素イオン (Cl⁻) 濃度は1994年頃からほぼ連続的に増加し、地震発生後はさらに高い濃度を示しています。(ただし、ここに示された塩素イオンの増加は健康はもちろんのこと、飲料水としての品質を損なうものではありません。)

E. 地震の被害分布

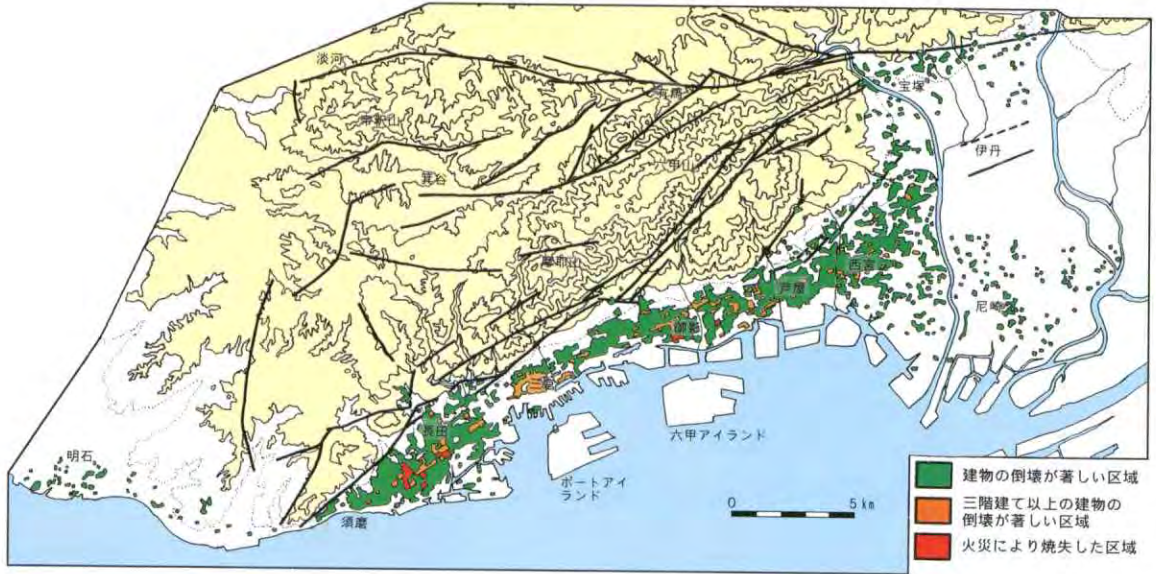


図1-7 六甲山周辺での家屋の倒壊分布



図1-8 淡路島での家屋の倒壊分布

兵庫県南部地震では、その地域の地形・地質に応じて、さまざまな形の被害が発生しました。

家屋の倒壊

海岸沿いの沖積地を中心に、建造物におおきな被害が出ました（図1-7、8）。特に阪神間では家屋の倒壊が著しかった地域が带状に分布し、“震災の帯”をつくりました。

この原因については、

- (1) 地下にある未知の断層が動いた。
- (2) 地震波の屈折や地盤の影響で、揺れが増幅された。（フォーカシング、なごさ現象、軟弱地盤の影響など）

など、いくつかの可能性が指摘されています。現在、その原因究明のための調査が、行政や専門家らによって進められています。

液状化

今回の地震では非常に広い範囲にわたって、地盤の液状化が発生しました。神戸市のポートアイランドや六甲アイランドをはじめ、海岸沿いの埋め立て地の多くで液状化が起きました(図1-9)。場所によっては埋立護岸が最大5mも海側へ側方流動したところもありました。また、内陸部でもかつて川や池であったところを埋めた軟弱な地盤では、所々で液状化の発生がみられました。



図1-9 相対沈下(約60cm)と噴砂・噴礫のようす(神戸市ポートアイランド; 溝口昭二氏提供)

斜面崩壊

西宮市仁川地区や神戸市東灘区西岡本などの山麓部の住宅地で、大規模な崩壊(土砂崩れ)が起り、仁川地区では34名の犠牲者を出しました(図1-10)。

六甲山地や淡路島の山地では、特に花崗岩からなる急傾斜地で多くみられました。



図1-10 大規模な斜面崩壊(西宮市仁川; 株式会社パスコ提供)

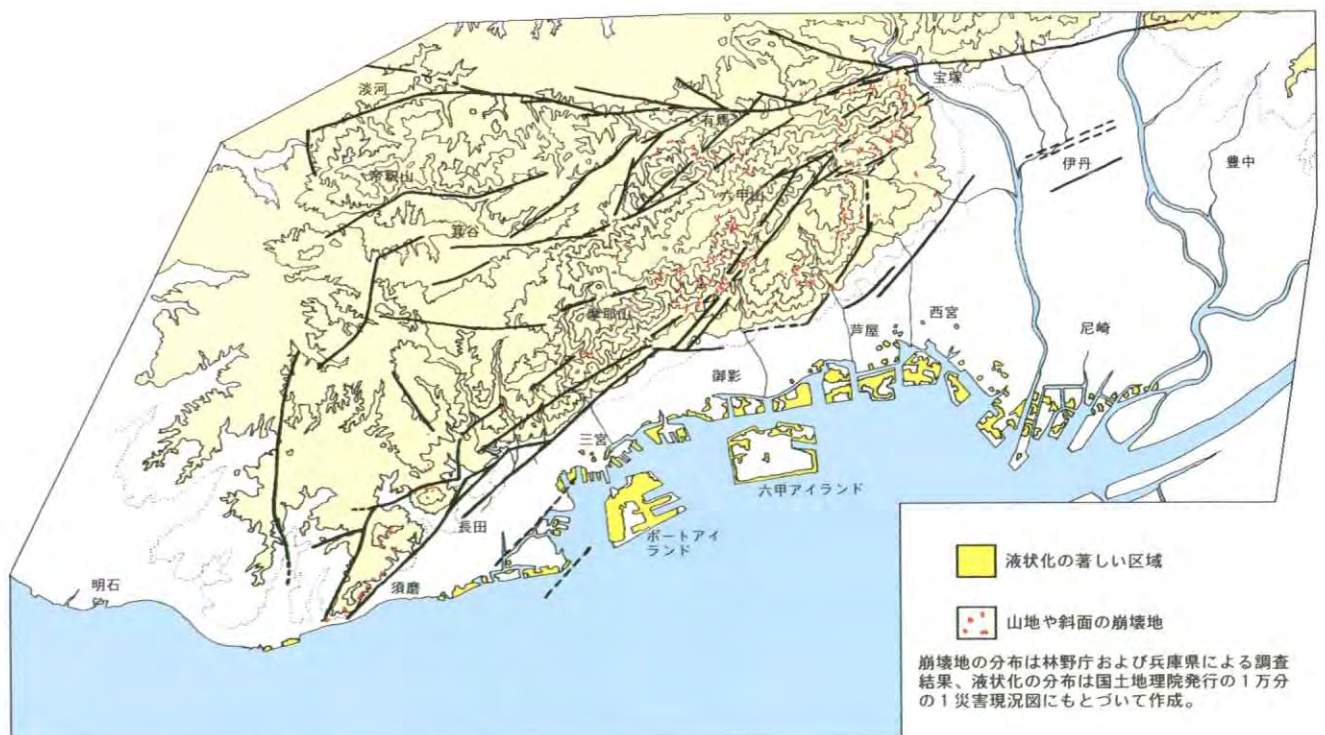


図1-11 六甲山周辺の崩壊地と液状化の分布

A. 地震計の原理

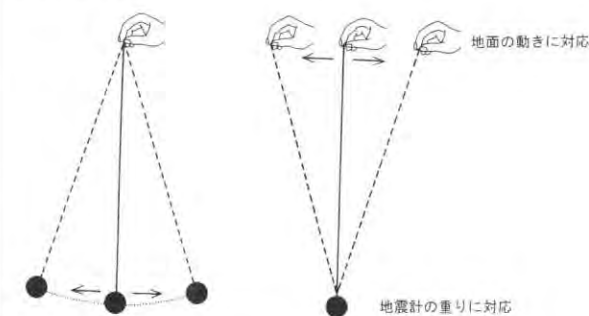
地震の際に地面がどのように動いたかを記録する装置を地震計といいます。

この地球上には絶対不動点は存在しません。地震の時に我々も地震計も地面と一緒に動いてしまいますから地面の動きをとらえることはできません。

実験：振り子の固有周期

左図：糸の長さを変えながら、それぞれの長さの所で糸の上端をもち、往復運動に要する時間（周期）を測ってみましょう。重りの揺れ幅（振幅）に関係なく、周期は糸の長さにより同じです。例：糸の長さ－周期、25cm－1.00秒、50cm－1.42秒、100cm－2.01秒。 $T=2\pi\sqrt{\ell/g}$ という関係式が成り立ちます。T：周期、 ℓ ：糸の長さ、g：重力加速度（980cm/sec²）。

右図：糸の上端を手で持ち、左右に忙しく動かし、周期の短い往復運動をさせます。重りは往復運動に関係なく1点で静止し続けます。



振り子の実験で、往復運動する手の動きを地面の動き、振り子のおもりを地震計のおもりの動きとしましょう。すると、地震のとき地面がどのように動いても、地震計のおもりは地面の動きには関係なく1点で静止し続けることとなります。

このような振り子の原理を利用し、図2-1に示したような地面とともに動く記録用の紙を巻きつけたドラムと振り子をセットにした装置を用意すると、地震の時の地面の動きをとらえることができます。

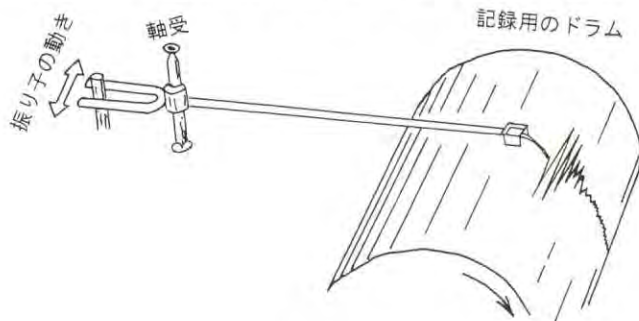


図2-1 地震計の原理

B. 地震計

地震計は、原則として、振り子・制振器（ダンパー）・拡大装置・記録装置の4つの部分からなります。

「振り子」はそれぞれに固有な周期を持っています。地震の時には周期の異なる数種類の地震波が発生するので、地震計に使う振り子の固有周期は長くなくてはなりません。昔から、固有周期を長くするためのさまざまな工夫がなされてきました。

地面の揺れを知るには、東西と南北方向の動きを記録する水平動地震計を2台、垂直方向の動きを記録する上下動地震計を1台用意します。これらを単純化したものを図2-2に示します。

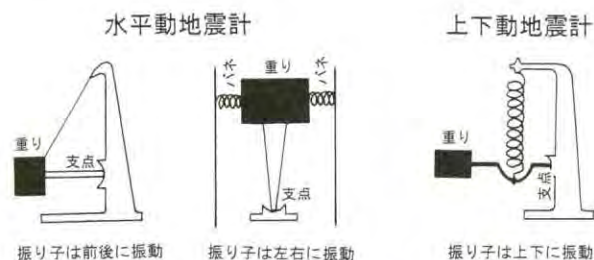


図2-2 水平動地震計と上下動地震計の原理

振り子は慣性によりいつまでも往復運動を続けます。地面の動きがやめば地震計の振動も止めるようにしなければいけません。この装置が「制振器」です。「拡大装置」と「記録装置」も昔からいろいろな工夫がなされてきました。

機械式地震計はテコの原理を利用して地震動を拡大し、すす書きで記録する装置です。このタイプの地震計では300倍くらいと拡大率に限度があります。

電磁式地震計は拡大率を数10万倍まで上げるために考案されました。図2-3に示すように、地震計の

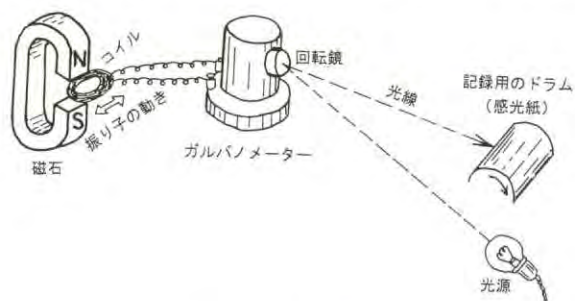


図2-3 電磁式地震計の原理

振り子にコイルを巻きつけ、これが磁石の磁極の間で運動するようにします。その際に生じた電流を検流計（ガルバノメーター）に導きます。導線を通る電流の強さに応じて回転鏡とセットになったガルバノメーターの回転角が変わるようにします。

電磁式地震計（図2-4）は地震計の振り子の動きを電気信号に置き換えたものです。最近では、エレクトロニクスを導入で地震計そのものも急速な進歩と変革が行われています。

C. 北但馬地震の地震波波形

1925年（大正14年）5月23日、M6.8の「北但馬地震」が玄武洞付近(35.6°N, 134.8°E)で起こりました。図2-5の地震波波形は震央から約110km離れた神戸における貴重な資料です。

当時の地震計はすべて、テコの原理を利用し、地面の揺れを拡大し、すす書き方式で記録する機械式地震計が用いられていました。すす書き方式とはドラムのまわりにアート紙を巻き、石油ランプによって“すす”を付着させ、細いペン先で記録します。記録紙は終了後、“ニス”の中を通して“すす”を

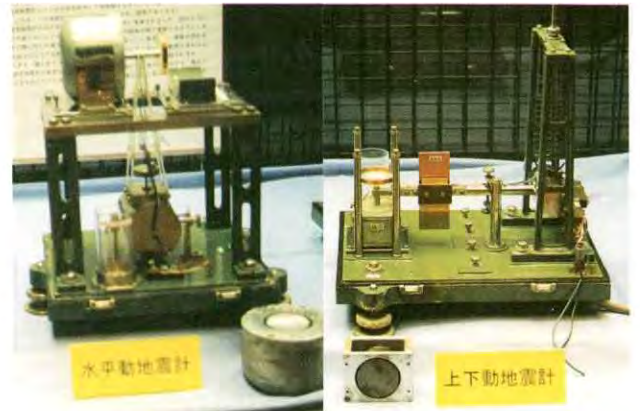


図2-4 岡野式電磁動地震計（固有周期1秒）

地震計の本体で「振り子」と「減衰器」、揺れ幅を拡大するための磁石とコイルなどからできています。左図が「水平動地震計」、右図が「上下動地震計」です。「水平動地震計」は倒立振り子と減衰器として空気抵抗を利用した制振装置が、「上下動地震計」は巻きバネ振り子と減衰器としての銅製の制振板が用いられています。

定着させます。地震波形を数ミクロン単位で非常に細かく記録できますが、“すす”付けや“ニス”付けは難しく、訓練が必要です。

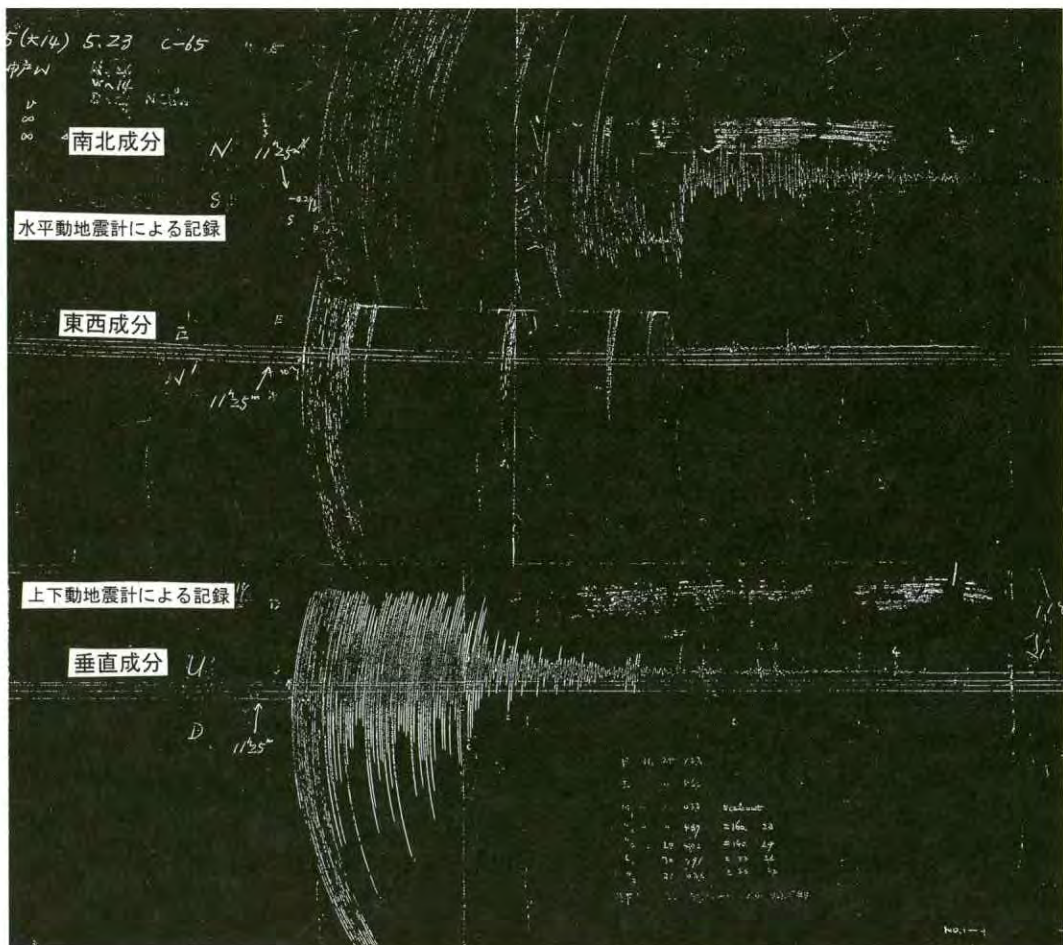


図2-5 ウィーヘルト式地震計がとらえた「北但馬地震」の波形（神戸海洋気象台提供）

A. 断層とは？ 活断層とは？

岩石に力が加わると、やがてその岩石は破壊され、割れ目ができます。そのような割れ目に沿って両側の岩盤がずれ動いた時、その割れ目を断層といいます。

地震は地下の岩石が破壊されることによって起こるもので、大きな地震の時にはたいていの場合、地下で断層が動いたとみてかまいません。ですから、断層があるということは、過去に地震が発生したことを示しています。また、断層の面は破壊されてもろくなっているため、地下に力が蓄えられたとき、真っ先に壊れるのは、前からある断層面です。したがって、一度できた断層は、その後何度も動き、そのたびに地震を発生させるのです。

断層のうち、約200万年前から現在にいたる、第四紀という時代に動いた断層を活断層といいます。200万年前というとずいぶん昔のことに感じますが、46億年という長い地球の歴史の中では、つい最近なのです。活断層はつい最近地震を起こした形跡があり、これからも地震を発生させる可能性がある断層なのです。

B. 断層の種類

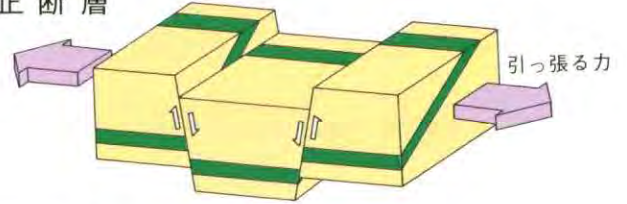
断層は、ふつうその断層をはさんだ両側がどちらに動いたかによって区分されます。

岩盤に対して水平方向に引っ張る力が加わった場合、ななめの断層面の上側の岩盤が相対的に下がります。これを正断層といいます。逆に、水平方向に圧縮する力が加わった場合には断層面の上側の岩盤が相対的にずり上がり、これを逆断層といいます。

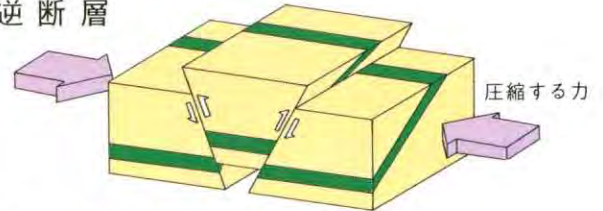
一方、横にずれた場合は、断層をはさんだ向こう側の岩盤がどちら側に動いたかで区別されます。断層の片側に立って、向こう側の岩盤が、自分から見て右側に動いたものを右横ずれ断層、左側に動いたものを左横ずれ断層といいます。

兵庫県南部地震で北淡町に現われた野島断層の動きは、逆断層の成分と右横ずれ成分とが重なり合ったものでした。

正断層



逆断層



横ずれ断層

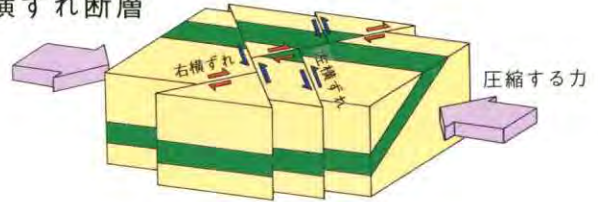


図3-1 断層の種類

C. 断層を見つける

断層がどこにあるかを知るのには、どのような方法があるでしょうか。野島断層のように、地震があつて動いたことがわかるものもあれば、地表を覆われて見ることができないものもあります。そのような断層を見つけるためにいろいろな方法が取られています。

(1) 露頭で見つける

そこに断層があるかどうか、一番確かな方法は、直接見つけることです。断層面が崖などに直接現れていることがあります。断層が動くと、断層面に沿った岩石は、破壊されてぼろぼろになり、周りとはずいぶん見かけの違う岩石になります。そこには、岩石が角張った破片状になった断層角礫岩や、押しつぶされて細くなった断層粘土（断層ガウジともいう）が見られます。このような、断層によって壊された部分を、断層破碎帯といいます。図3-2は東浦町の楠本断層で見つかった断層破碎帯の露頭です。周囲は花崗岩からなっていますが、断層の両側のそれぞれ幅約2mの範囲に破碎帯が見られ、断層面には幅5cmほどの断層粘土があります。

このような破碎帯が大規模にできているところでは、岩石がもろくなっているので、直接断層が動かなくても崖崩れなどのおそれがあり、注意を要します。

(2) 地形から断層を見つける

新しい時代に動いた断層では、断層特有の地形が見られます。

断層破碎帯では岩石がもろく、その両側とくらべて浸食されやすいため、断層に沿ってまっすぐな谷ができることがあります。また、断層が尾根を横切ると、その部分に断層鞍部とよばれるへこみができます(図3-3)。このようなへこみが連続して見られる場合には、そこに断層がある可能性があります。



図3-2 露頭に現われた断層破碎帯(東浦町・楠本断層)

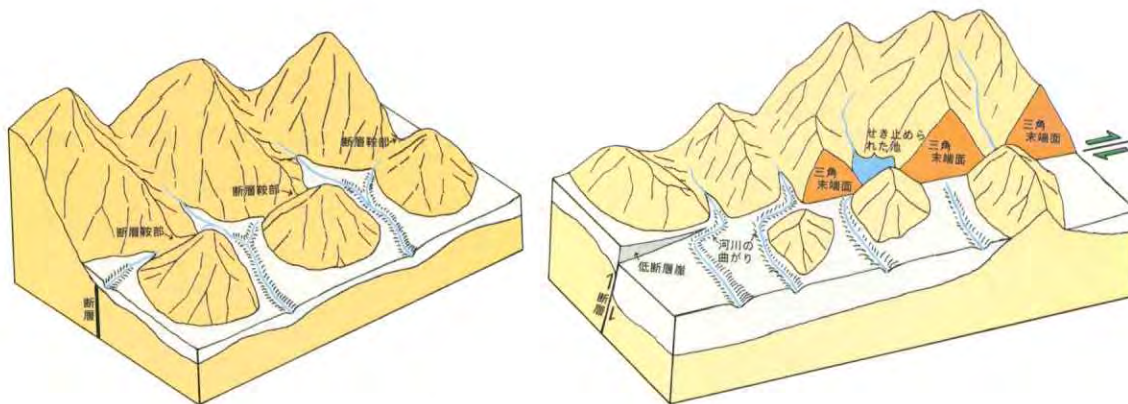


図3-3 断層でできるさまざまな地形



図3-4 神戸の街と六甲山地を境する諏訪山断層

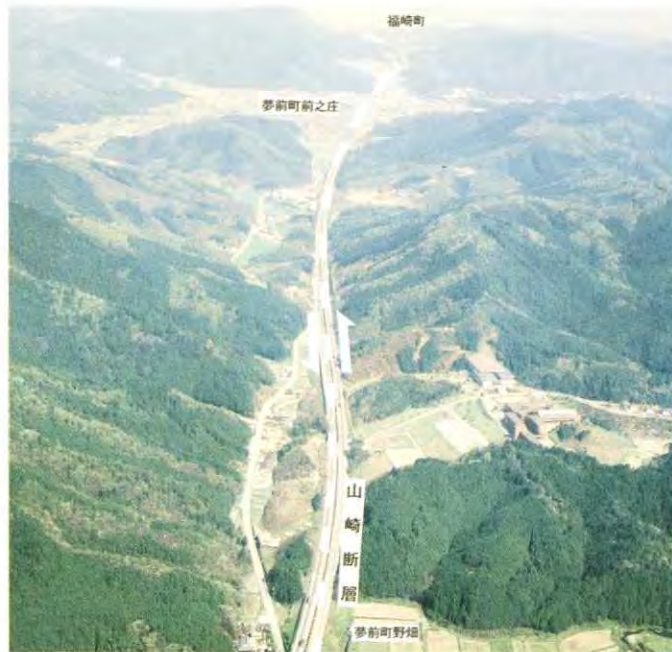
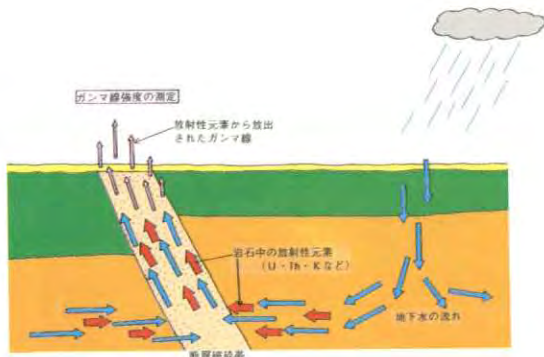


図3-5 山崎断層 断層の真上を中国自動車道が通っています。

断層運動で片側が相対的に高くなると、そこに断層崖とよばれる崖ができます。いちどにできる崖の高さはそれほどでなくても、何回もの運動が重なると、断層の両側の高度差は大きくなります。そのような崖が尾根を切ると、そこは三角形の崖になるので、それを三角末端面とよびます。諏訪山断層沿いには、三角末端面がよく発達しています(図3-3、4)。

断層が横にずれると、尾根や谷がずれます。図3-5は夢前町の山崎断層を、西から東方向に撮ったものです。ここでは尾根筋・谷筋が左にずれているのが観察されます。

ガンマ線探査の原理



ウラン(U)は放射壊変をくり返し、ラドン(Rn)という希ガスに変化し、さらにビスマス(Bi)に変化します。ガンマ線探査法では、このビスマスから放出されたガンマ線の強度を測定します。

断層破砕帯は、地下水やガスの通り道になりやすいため、そこには気体であるラドンやそれから変化したビスマスが多く集まります。したがって、破砕帯の上の地表では観測されるガンマ線の強度が高くなります。

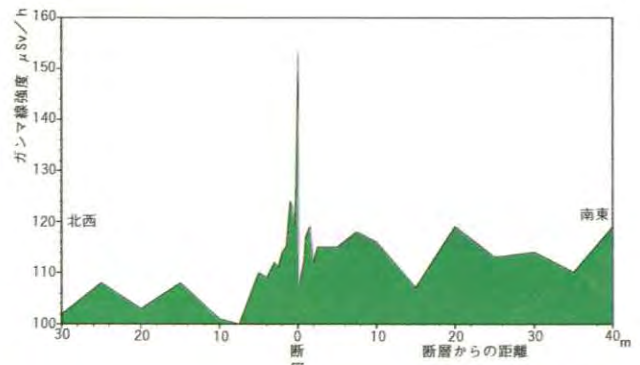


図3-6 野島断層を横切るガンマ線強度の変化 (北淡町小倉; 松田高明氏測定)

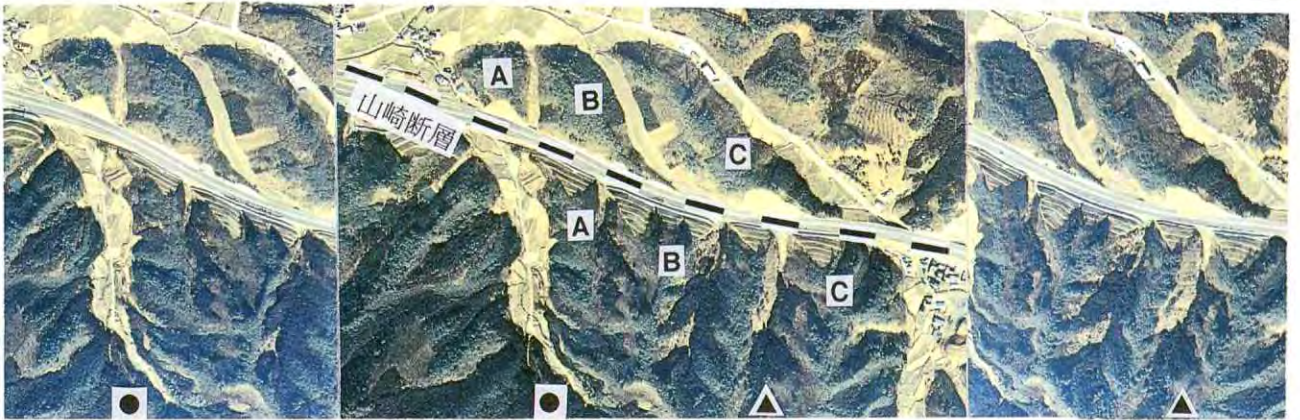
3 D で見る断層の地形

地形から断層を見つけるためには、空中写真がよく利用されます。位置を少しずらして撮影した2枚の空中写真をならべ、実体視すると、地形の凹凸がよくわかり、断層地形の判読に役立ちます。



— 実体視のしかた —

右側の写真を右目で、左側の写真を左目で見るようにして、遠くをぼんやり眺めるようにふたつの写真をご覧ください。写真の下の黒丸印が最初は4つみえると思います。目を遠ざけたり近づけたりしながら、根気よく続けると、黒丸印が3つになる位置があります。その時、写真に目をずらすと、ふたつの写真の間に立体的な地形が現われます。写真と写真の間にハガキなどを立てると、より見やすくなります。



山崎断層に見られる、谷と尾根の折れ曲がり。(安富町三森)

(地形図は国土地理院発行2万5千分の1地形図「安志」、空中写真は同発行のCKK-74-13のC14A-13~15を使用)



新神戸駅の下を通る諏訪山断層。三角末端面が発達しています。(国土地理院発行 CKK-85-4のC10A-19~20を使用)

(3) 隠れた断層をみつける

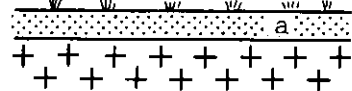
露頭に現われていなかったり、地形に現われていない断層を見つけるための方法のひとつに、地下の岩石に含まれる放射性元素から放出されるガンマ線の強度を測定し、断層を見つける方法があります。図3-6は野島断層を横切って観測した、ガンマ線強度の変化で、断層上でガンマ線の強度が急が高くなるのがわかります。そのほか、人工地震による弾性波探査、電磁探査、ボーリングによる調査など、さまざまな方法で断層調査がなされています。

D. 断層を掘る

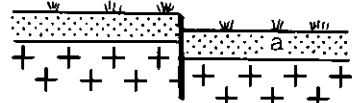
断層の位置がわかったら、その断層がいつ動いたかといった、断層運動の履歴を調べます。その断層の活動の周期をもとめ、最後に動いたのが何年前かをもとめることは、今後の地震発生の可能性を考えるために大きな意味を持ちます。仮に、ある断層が約1000年おきに動いていることがわかったとします。そこで、最後に動いた時期が約500年前で、その時に大きな地震を起こしていることがわかれば、その断層は当分安心だということになります。ところが、もし過去1000年ぐらいの間地震が起こっていないとしたら、現在その断層はいつ動いてもおかしくない状態だということになるわけです。

しかし、活断層や、それによって動いた地層が露頭で見られることは、自然状態ではめったにありません。また詳細な履歴を知ろうとすると、限られた露頭の範囲では限度があります。そこで、活断層を横切る溝（トレンチ）を、土木機械を使って掘りま

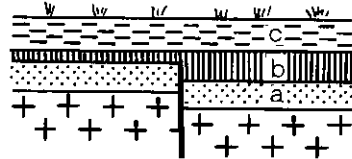
(1) 元の状態



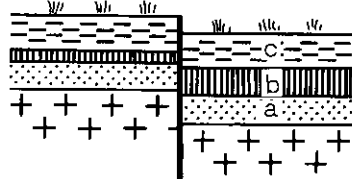
(2) 1回目の地震



(3) b・c層の堆積



(4) 2回目の地震



(5) 現在：トレンチで現れた露頭

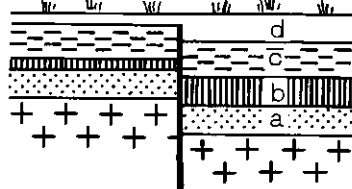
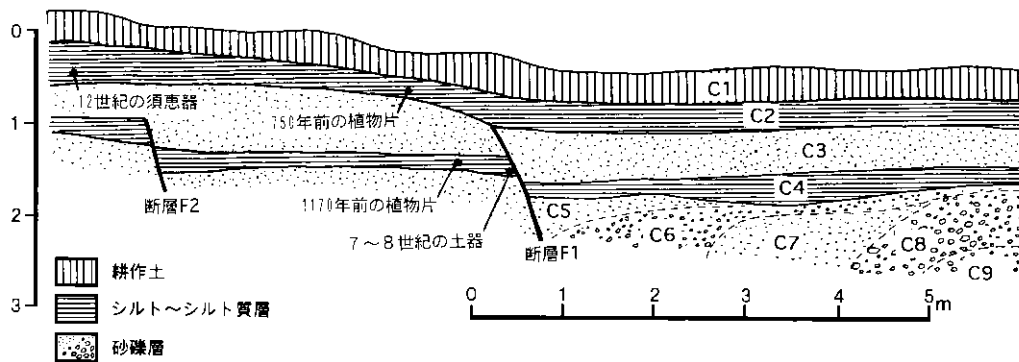


図3-7 断層の動きを記録する

(5)でb・c層のずれよりa層のずれの方が大きくなっていることから、過去に2回の地震があったことが推定できます。

山崎断層のトレンチ調査



上の図は1979年に安富町安志西方で行なわれたトレンチ調査で現われた壁面のスケッチです(岡田ほか, 1987)。断層F1はC3層より下の地層を切り、C2層に覆われていることから、断層が動いたのは、C2層堆積以前でC3層堆積以後とみなされます。C2層から12世紀の須恵器が、C4層から7~8世紀の土器が見つかったことや、放射性炭素法による地層の年代測定結果から、この断層が動いたのは西暦780年~1200年の間で、おそらく西暦868年の播磨地震の時であろうと考えられています。

す。そして、溝の壁面に現れた活断層と地層の変形状態を調べ、活断層の活動周期（大地震の発生周期）と最新活動期（最新の大地震の時代）を明らかにします。このような調査方法を、活断層のトレンチ調査しんちといいます。日本では、1943年の鳥取地震で活動した鹿野断層において、1978年にはじめてトレンチ調査が行なわれました。それ以来、各地で数多くのトレンチ調査が行なわれ、活断層の活動時期が明らかにされつつあります。

トレンチ調査では、大地震が起きる直前に堆積した地層と、地震直後にそれを覆った地層を見つけだし、それぞれの地層が堆積した時代を調べることが基本となります。それらがわかれば、大地震の起きた時代を、2つの地層が堆積した時代の間を求めることができます。トレンチ調査は、断層がどの地層を切っているか、地層のなかに地震の発生を示すものが残されていないか、地層の年代を示す遺物がないかなどに気を配りながらいていねいにスケッチをしていく、たいへん根気のいる仕事です。しかし、断層の履歴を知り、今後の予測をする上では非常に有効な調査です。また、トレンチで得られた断面をはぎ取り、保存することもあります。今回動いた野島断層もはぎ取られ、人と自然の博物館に保管されています。

E. 断層を動かす力

近畿地方には多くの活断層が見られますが、それらの活断層はどのような力によってできたのでしょうか。図3-8に示すように、近畿地方の横ずれ断層の伸びの方向を見ると、六甲断層系で代表される北東-南西に伸びたものと、山崎断層などの北西-南東に伸びたものがあることに気づきます。そして、例外

なく北東-南西に伸びたものは右横ずれ断層、北西-南東に伸びたものは左横ずれ断層になっています。このようなことはなぜ起こるのでしょうか。

ある地域に圧縮する力が加わって横ずれ断層が生じるとき、ほぼ60°で交わった右横ずれ断層と左横ずれ断層が同時にできることが実験で知られています。このような断層の組み合わせを共役断層きやくだんそうといい、逆に共役断層を見つけることによって、その地域の地殻に加えられている力の方向を知ることができます。たとえば六甲断層系のような北東-南西に伸びた断層は右横ずれ断層で、山崎断層に代表される北西-南東方向にのびた断層は左横ずれ断層であることから、近畿地方にはほぼ東西方向の圧縮する力が加わっていることがわかります。この東西の圧縮する力の源は、次の章で紹介するプレートの押す力にほかならないのです。

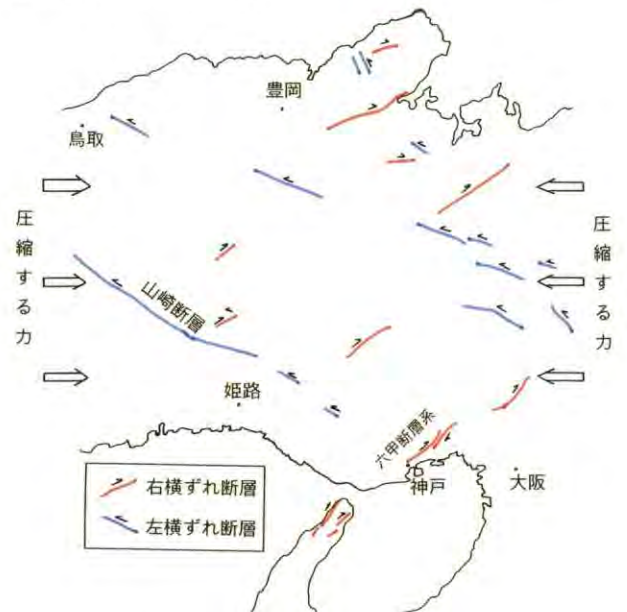
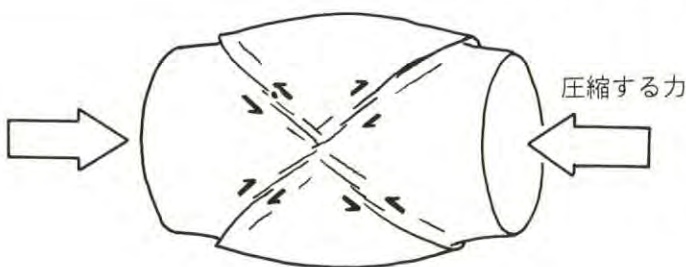


図3-8 兵庫県周辺に分布する横ずれ断層の分布とずれの方向

実験：岩石を破壊する



断層がどのようにしてできるかを解明するため、岩石の変形実験をすることがあります。円柱状の岩石柱をある封圧下に置き、その円柱の両側から圧縮します。そうすると、左の図のように、約60°で交差する割れ目ができます。この図の割れ目の伸びた方向と両側のずれの方向に注意して、もう一度近畿地方の活断層の分布を見てください。両者の関係がよくわかると思います。

4 地震列島・日本

A. 世界の地震分布

日本では小さな地震も含めれば毎日非常に多数の地震が発生しています。私たちが体で感じることのできる有感地震に限っても決して珍しいものではありません。

ところが世界に目を移せば、日本のように地震が多数発生する地域がある一方で、ほとんどまたはまったく発生しない地域もあります(図4-1)。地震が多発する地域は太平洋の周辺部や大西洋の中

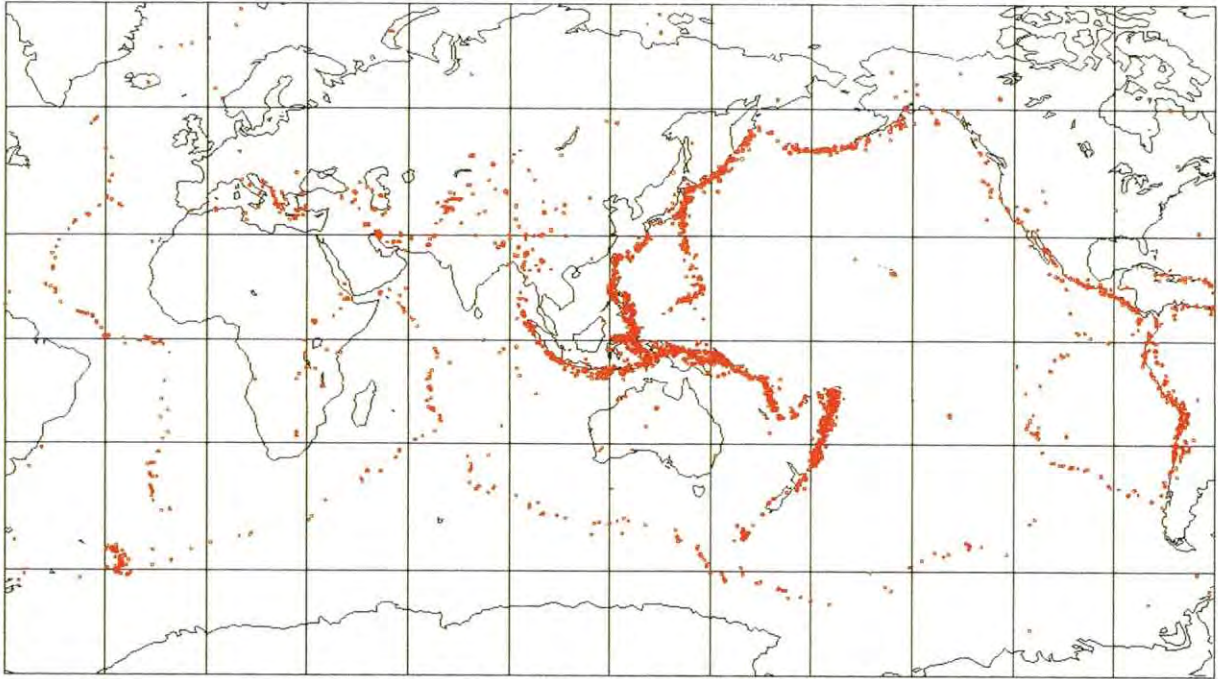


図4-1 マグニチュード5以上で100km以浅の浅い地震の分布(地震と津波その監視と防災、気象庁、1995による)

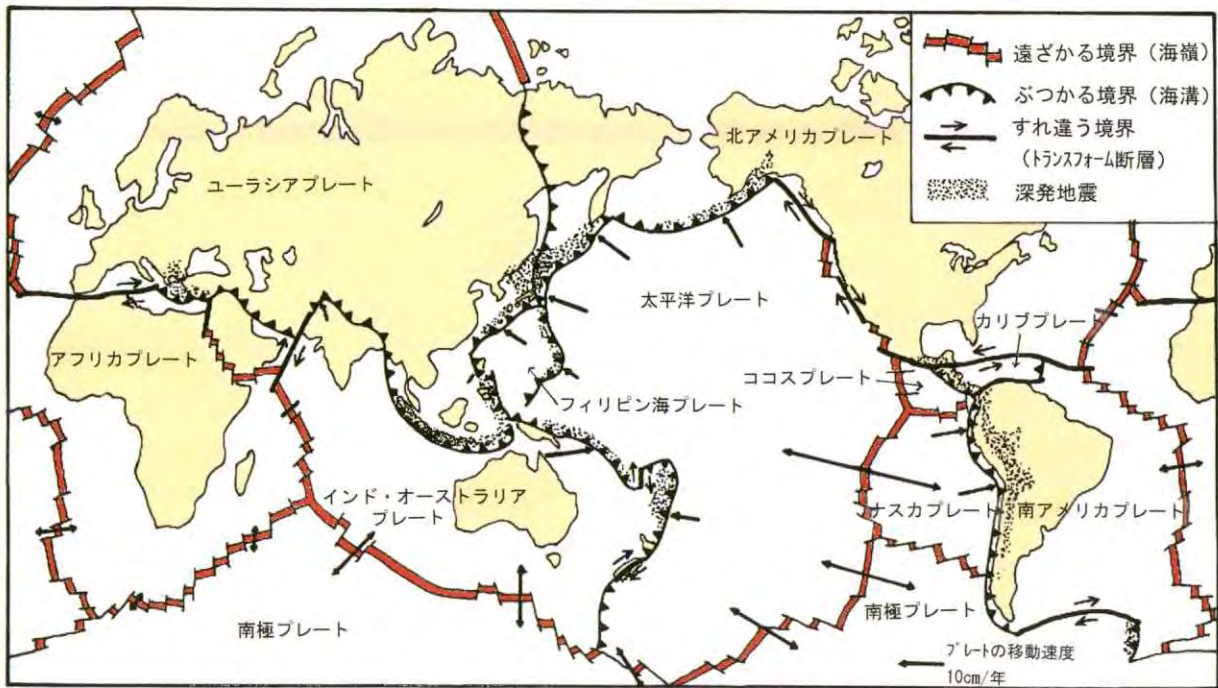


図4-2 世界のプレートと深発地震の分布(地震と津波その監視と防災、気象庁、1995を改変)

央部などに帯状に分布しているのもわかります。このような地震の分布は次に説明するプレートの分布と深く関わっています。

B. プレートの相対運動

地球の表面は図4-2に示したように10数枚のプレートとよばれる厚さ数10km~100km程度の岩盤に覆われており、それらは年に数cm~10cm程度の速さで相互に運動をしています。プレート同士の境界は次の3種類に分けることができます(図4-2、3)。

1) 拡がる境界

新しいプレートが生産される境界で、大西洋中央海嶺や東アフリカ大地溝帯などの海嶺や地溝帯がこれに相当します。

2) すれ違う境界(トランスフォーム断層)

拡大軸の食い違った海嶺と海嶺との間などに見られる横ずれ断層で、トランスフォーム断層ともよばれています。カリフォルニアのサンアンドレアス断層はその代表的な例です。

3) 縮まる境界

プレート同士がぶつかりあう時、一方が海洋底をつくるプレートで他方が大陸である場合、海洋底側のプレートが重いので大陸側のプレートの下に沈み込み、2つのプレートの間には海溝がつけられます。両方とも大陸である場合は衝突して高い山脈がつけられます。

図4-1と図4-2を比べてみれば、浅いところで発生する浅発地震はプレート境界に集中していることがわかります。また、60(または70)kmよりも深いと

ここで発生する深発地震が海溝の陸側で多く見られ、海溝でのプレートの沈み込みを示していると考えられます。

C. 日本列島周辺のプレート運動と地震活動

図4-4は日本付近での震源の深さによる分布を示しています。東北日本から伊豆・小笠原諸島にかけて震源が東から西に向かって深くなっています。西南日本でも太平洋側から大陸側に向かって震源が深くなっています。そのようすは図4-5に示された東北地方の断面図でよくわかり、海溝で海洋プレートが大陸プレートの下に沈み込んでいることを示していると考えられています。

日本列島およびその周辺では次の4枚のプレートが知られています(図4-6)。このように多くのプレートがひしめき合っているところは世界的にも珍しく、日本列島付近での地震活動は複雑なものとなっています。

1) 太平洋プレート

千島海溝-日本海溝-伊豆・小笠原海溝の東側から遠く南東太平洋、北米大陸西岸にまでおよぶ大きなプレートです。西に向かって北米プレートおよびフィリピン海プレートの下に沈み込んでいます。

2) 北米プレート

伊豆半島を除く東北日本をのせたプレートです。北米プレートは北米大陸の大部分をのせたプレートで、東北日本はその延長部分と考えられています。

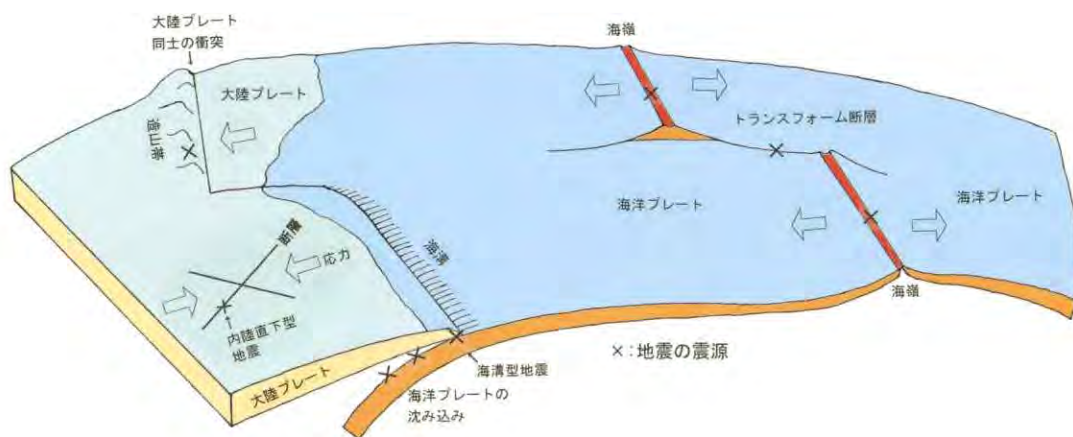


図4-3 プレートの相対運動

3) ユーラシアプレート

糸魚川－静岡構造線の西側の西南日本をのせたプレートです。西南日本は大西洋中央海嶺の東側からユーラシア大陸の大部分を含むユーラシアプレートの東の端に相当します。

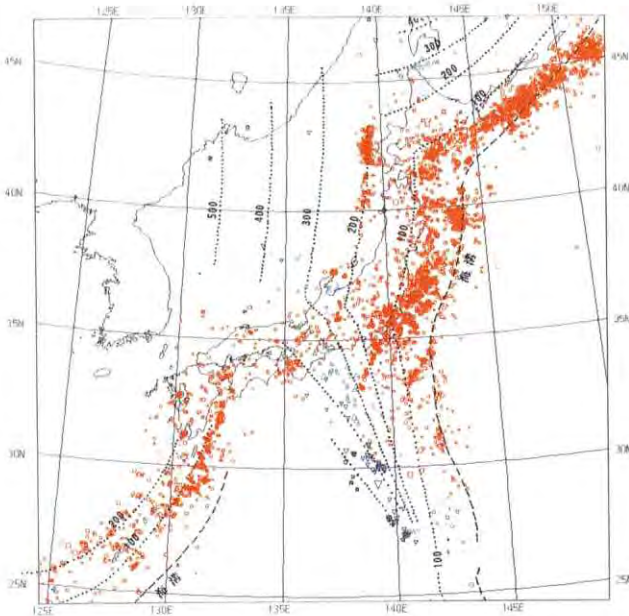
4) フィリピン海プレート

西南日本の南岸に沿って延びた南海トラフの南側にある比較的小さなプレートで、北ないし北北西方向にユーラシアプレートおよび北米プレートの下に沈み込んでいます。伊豆半島、伊豆・小笠原諸島などはこのプレートの上にあります。

日本付近で発生する地震は、プレート同士の相対運動の結果、これらのプレートの境界で発生するものと、プレートの内部で発生するものとに分けられます。例えば、1923年の関東大地震は北米プレートとフィリピン海プレートの境界、1993年の北海道南西沖地震は、ユーラシアプレートと北米プレートの境界、兵庫県南部地震はユーラシアプレートの内部で発生したものです。

D. 地震の発生メカニズム

地震は地下の岩石に大きな力がかかり、岩石がそれに耐えられなくなって破壊され、断層が動くときに発生するものです。地震は発生する場所によって、プレートの境界で発生する地震と、プレートの内部で発生する地震の2つに大きく分けることができま



マグニチュード	深さ (km)
● 3.0	○ 0.0
○ 4.0	□ 10.0
○ 5.0	◇ 20.0
○ 6.0	△ 30.0
○ 7.0	▽ 40.0
○ 8.0	☆ 50.0

図4-4 日本付近の震源の分布
(地震と津波その監視と防災、気象庁、1995による)
破線は海溝の位置、点線は深発地震の等深度線を表す。

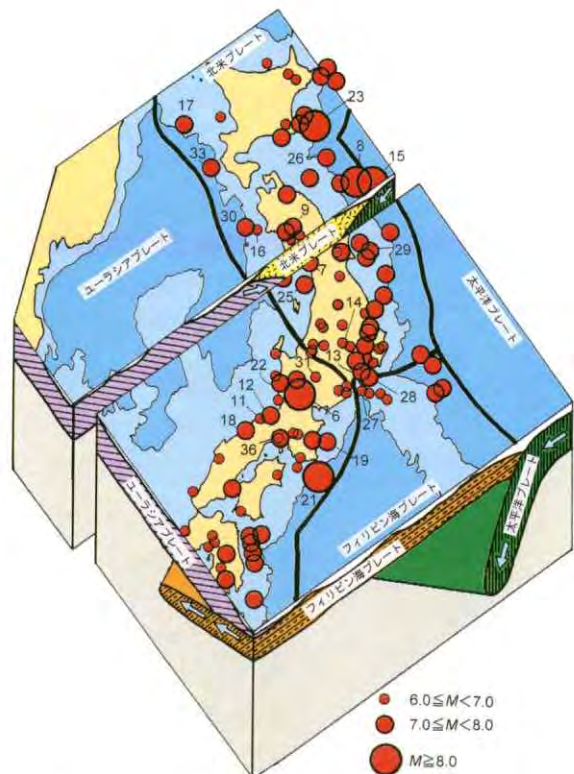


図4-6 日本付近のプレートの分布と主な地震の震央

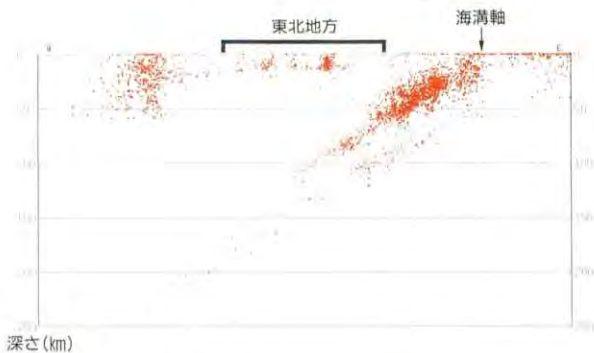


図4-5 東北地方地下の震源分布
(地震と津波その監視と防災、気象庁、1995による)

す。さらにプレートの境界で発生する地震は前に述べたプレート境界の種類によって地震を引き起こす断層のタイプが異なります。すなわち広がる境界では正断層型、すれ違う境界、トランスフォーム断層では横ずれ断層型、縮まる境界、海溝では逆断層型の地震が一般に発生します。またプレート同士の運動によるストレスを受けているプレートの内部でも、断層の活動による浅い地震が発生します。このうち陸地の下で起こるものを内陸直下型地震と呼んでいます。日本付近で発生する地震は海溝での海洋プレートの沈み込みにともなう海溝型の地震と、内陸直下型の地震に大きく分けることができます。海溝型地震の発生メカニズムは、図4-7のように海溝で沈み込む海洋プレートに引きずられた大陸プレートの先端部がはね返ることによって考えられています。しかし、海洋プレートの沈み込みによるストレスは海溝付近だけで解消することはできないので、海溝の内側の内陸部もひずみがたまってきます。内陸部の岩石に蓄積されたひずみが限界に達すると岩石が破壊され、断層が形成されます。そのときに発生する地震が内陸直下型地震です。海溝型地震は100年もしくはそれ以下の周期でくり返しますが、内陸直下型地震のくり返す周期は1000年もしくはそれ以上の長いものとなっています。

E. 日本列島の活断層

非常に多数の活断層が分布している日本列島には、分布密度や活断層の特徴の上ではっきりとした地域性があります（図4-8）。

分布密度をみると、西南日本の太平洋岸や中国地方には活断層が少ない一方で、近畿地方中・北部から中部地方にかけて特に多く分布しています。

断層の密度の高い地域では、それぞれ次に述べるような特徴があります。

東北地方ではそのほとんどが北北東-南南西方向の逆断層です。

中部地方では、根尾谷断層などの北西-南東方向の左横ずれ断層、跡津川断層などの北東-南西方向の右横ずれ断層、伊那谷などに見られる北北東-南南西方向の逆断層の3種類がともに分布します。

近畿地方でも中部地方と同様に3種類の活断層が分布しています。それらは生駒断層系など南北方向の逆断層、山崎断層系などの北西-南東方向の左横ずれ断層、六甲断層系などの北北東-南南西ないし東北東-西南西方向にのびる右横ずれ断層からなります。

以上に述べた活断層の特徴は、伊豆半島付近を除けば、東西方向の力で圧縮されていることを示しています。

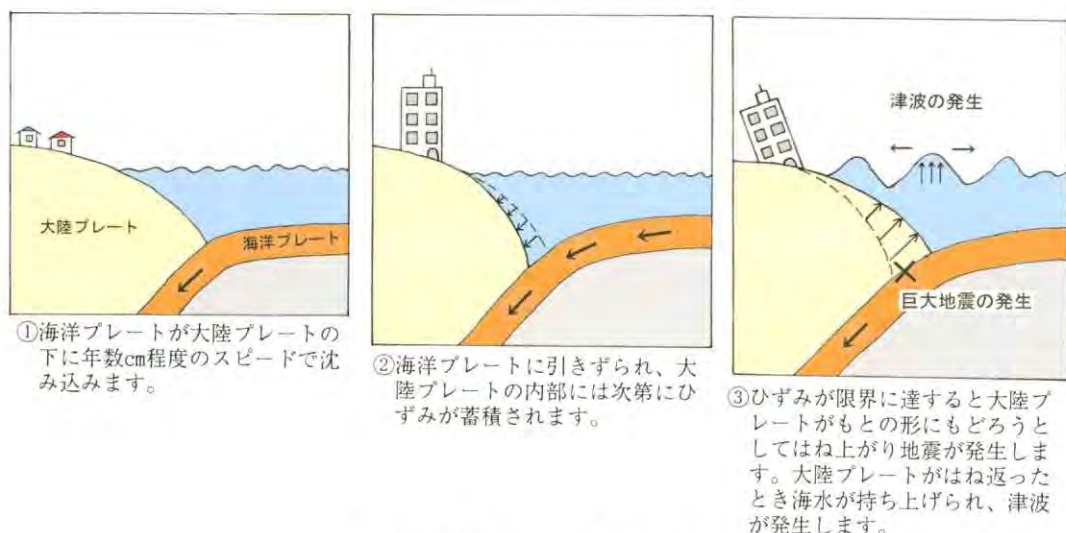


図4-7 海溝型巨大地震の発生モデル

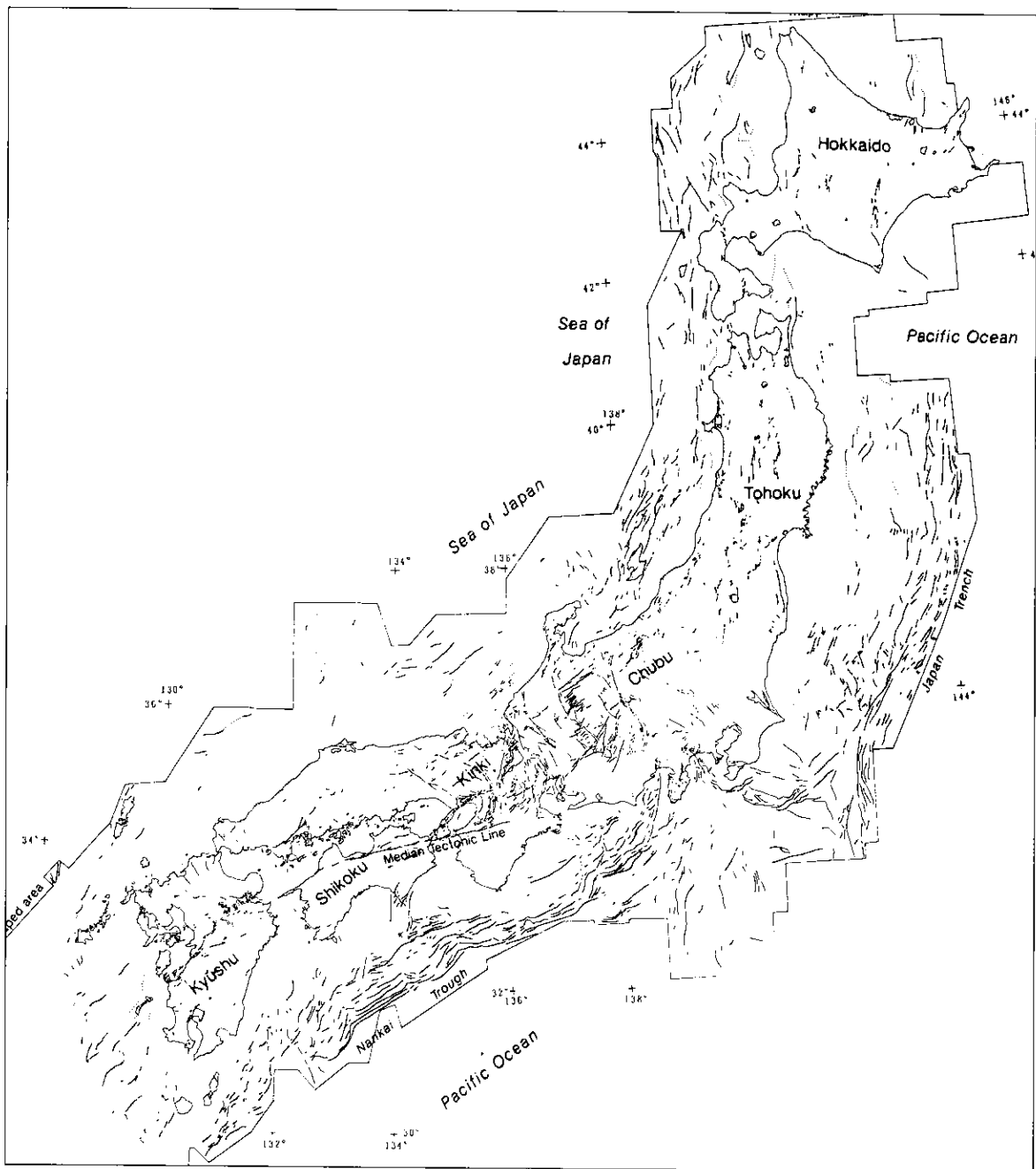


図4-8 日本の活断層の分布(Okada and Ikeda, 1991による)

F. 日本の主な被害地震

日本列島はこれまでくり返し大きな地震に襲われ、大きな被害を受けてきました。次ページの表4-1には、巨大地震が立て続けに発生した江戸末期以降の地震による被害状況が示してあります。海溝型地震では大きな被害をもたらすのはM7以上の大地震に限られますが、内陸直下型地震ではそれ以下の規模の

地震でも大きな被害に見舞われることがわかります。また、海溝型の地震はしばしば津波をともない、広い範囲に被害がおよぶのも特徴です。それに対して内陸直下型地震では被害のおよぶ範囲は比較的狭いのですが、今回の兵庫県南部地震のように大きな被害をもたらすことがあります。

	発生年月日		マグニチュード	震央・地震名	死者・行方不明	倒壊・焼失家屋	記 事
1	1854.12.23	嘉永7	M8.4	東海道沖：『安政東海地震』	死者 2000	倒壊・焼失	大津波があった。
2	1854.12.24	〃	M8.4	南海道：『安政南海地震』	～3000	3000以上	この地震により、年号は「安政」となった。
3	1855.11.11	安政2	M6.9	江戸：『江戸地震』	死者 4000余		大火災。都市直下型。
4	1858. 4. 9	安政5	M7.0～7.1	飛騨・越中・加賀・越前	死者 213	倒壊 351	断層を生じた。
5	1872. 3.14	明治5	M7.1	石見・浜田：『浜田地震』	死者 804	倒壊 5796	顕著な前兆（海岸隆起）
6	1891.10.28	明治24	M8.0	岐阜県南西部：『濃尾地震』	死者 7273	倒壊 142177	根尾谷断層を生じた。
7	1894.10.22	明治27	M7.0	庄内平野：『庄内地震』	死者 726	倒壊 3858 焼失 2148	
8	1896. 6.15	明治29	M6.8	三陸沖：『明治三陸地震津波』	死者 22072	倒壊 10393	大津波があった。
9	1896. 8.31	〃	M7.2±0.2	秋田・岩手県境：『陸羽地震』	死者 209	倒壊 5792 焼失 32	断層を生じた。
10	1923. 9. 1	大正12	M7.9	関東南部：『関東大地震』	死者 99331 行方不明 43476	倒壊 128266 焼失 447128	断層を生じ、 大火災があった。
11	1925. 5.23	大正14	M6.8	但馬北部：『北但馬地震』	死者 428	倒壊 1295 焼失 2180	
12	1927. 3. 7	昭和2	M7.3	京都府西北部：『北丹後地震』	死者 2925	倒壊 12584 焼失 9151	断層を生じた。
13	1930.11.26	昭和5	M7.3	伊豆北部：『北伊豆地震』	死者 272	倒壊 2165	丹那断層（ズレ2～3m）
14	1931. 9.21	昭和6	M6.9	埼玉県中部：『西埼玉地震』	死者 16	倒壊 76	
15	1933. 3. 3	昭和8	M8.1	三陸沖：『昭和三陸地震津波』	死者 1522 行方不明 1542	流失 4034	大津波（最大28.7m）が 発生した。
16	1939. 5. 1	昭和14	M6.8	男鹿半島：『男鹿地震』	死者 27	倒壊 479	小津波あった。
17	1940. 8. 2	昭和15	M7.5	神威岬（北海道西方）沖	死者 10	流木 20	津波（最大2.9m）
18	1943. 9.10	昭和18	M7.2	鳥取市付近：『鳥取地震』	死者 1083	倒壊 7485	断層・地割れ・山崩れ多発。
19	1944.12. 7	昭和19	M7.9	熊野灘：『東南海地震』	死者 998	倒壊 26130 流失 3059	大津波（最大10m）
20	1945. 1.13	昭和20	M6.8	愛知県南部：『三河地震』	死者 1961	倒壊 5539	断層を生じた。
21	1946.12.21	昭和21	M8.0	南海道沖：『南海地震』	死者 1330 行方不明 113	倒壊 11591	大津波（最大4～6m）
22	1948. 6.28	昭和23	M7.1	福井県北部：『福井地震』	死者 3769	倒壊 36184 焼失 3851	断層を生じた。 倒壊率大の都市直下型。
23	1952. 3. 4	昭和27	M8.2	十勝沖：『十勝沖地震』	死者・ 行方不明 33	倒壊 815	津波
24	1960. 5.23	昭和35	M7.2	北海道・三陸・関東： 『チリ地震津波』	死者 122 行方不明 20	倒壊 1599	大津波（最大5～6m）
25	1964. 6.16	昭和39	M7.5	新潟県沖：『新潟地震』	死者 26	倒壊 1960	地盤の液状化
26	1968. 5.16	昭和43	M7.9	十勝沖： 『1968年十勝沖地震』	死者 52	倒壊 673	津波（最大3～5m）
27	1974. 5. 9	昭和49	M6.9	伊豆半島南端： 『1974年伊豆半島沖地震』	死者・ 行方不明 30	倒壊 134	津波あり。断層を生じた。
28	1978. 1.14	昭和53	M7.0	伊豆大島近海： 『伊豆大島近海地震』	死者 25	倒壊 94	前震顕著、津波あり。 断層を生じた。
29	1978. 6.12	〃	M7.4	宮城県沖：『宮城県沖地震』	死者 28	倒壊 1183	道路破損・山崩れ。
30	1983. 5.26	昭和58	M7.7	秋田県沖： 『昭和58年日本海中部地震』	死者 104	倒壊 934	大津波（最大6m以上）
31	1984. 9.14	昭和59	M6.8	長野県西部： 『昭和59年長野県西部地震』	死者 29	倒壊・流失 14	山崩れ多数。
32	1993. 1.15	平成5	M7.8	釧路沖：『釧路沖地震』	死者 2 負傷者 967	倒壊 53	道路破損。
33	1993. 7.12	〃	M7.8	北海道南西沖： 『北海道南西沖地震』	死者・ 行方不明 229	倒壊 601	大津波（最大29m）が発生し、192件の火災があった。
34	1994.10. 4	平成6	M8.1	北海道東方沖： 『北海道東方沖地震』	負傷者 437	倒壊 61	津波（最大1.73m）
35	1994.12.28	〃	M7.5	三陸はるか沖： 『三陸はるか沖地震』	死者 3 負傷者 967	倒壊 48	津波（最大55cm）
36	1995. 1.17	平成7	M7.2	淡路島：『兵庫県南部地震』	死者 6348 行方不明 2	全半壊 208228	断層を生じた。

表4-1 1854年以降の日本の主な被害地震

1854年から1926年までは死者・行方不明100人以上、それ以降は死者・行方不明10人以上の地震。1993年以降は気象庁により命名された地震を含む。この中には南米チリで発生した地震による津波の被害も含まれる。

A. 近畿地方の活断層と地形

約200万年前以降の時代を第四紀といいます。第四紀につくられた地形や、その時代に堆積した地層にずれをくり返しあたえている断層が、活断層です。大地震のときに活断層に沿って地表面がずれ動く例が多く、また過去に起きた大地震の震央の大半が活断層に沿って並ぶことから、活断層は、大地震によって生じた地層や地表面のずれが蓄積されているところであるといえます。

では、1回の大震災で地表面はどれくらいずれるのでしょうか。1891年に起きた濃尾地震(M8.0)では、岐阜県中部にある根尾谷断層に沿って、両側の地表面が上下方向に約6mずれました。これが、日本でこれまでに知られている最大のずれの量です。

一方、地表面をずれ動かすような大地震は、どれ

くらいの時間をおいてくり返しているのでしょうか。伊豆半島の丹那断層は、約700年の間隔で大地震を起こして来たことがわかっています。これは最もくり返し期間の短い例で、日本の陸上にある活断層では、ふつう1,000年から10,000年の時間をおいて、大地震がくり返すといわれています。

したがって、第四紀の約200万年間には、活断層に沿って少なくとも1,000m以上に達する地表面のずれが蓄積されることになります。こうして、活断層を境に上方へずれ動いた岩盤が山地を、下方へずれ動いた岩盤が湖や盆地をつくりだすのです。

近畿地方は、日本のなかでも特に活断層が密に分布する地域です。近畿地方の地形を空からながめてみましょう。東から西へ、伊吹山地・鈴鹿山脈の山並みからはじまり、近江盆地→比

良山地→京都・奈良盆地→生駒・金剛山地→大阪平野→六甲山地・淡路島の山地へと続く、南北に走る山地や盆地が配列してます(図5-1)。これらの山地と盆地・平野の境界のほとんどすべてに、活断層がみられます。

このような近畿地方にみられる地表面の凹凸のほとんどは、第四紀の時代を通じて、これらの活断層の運動によってつくられてきたのです。

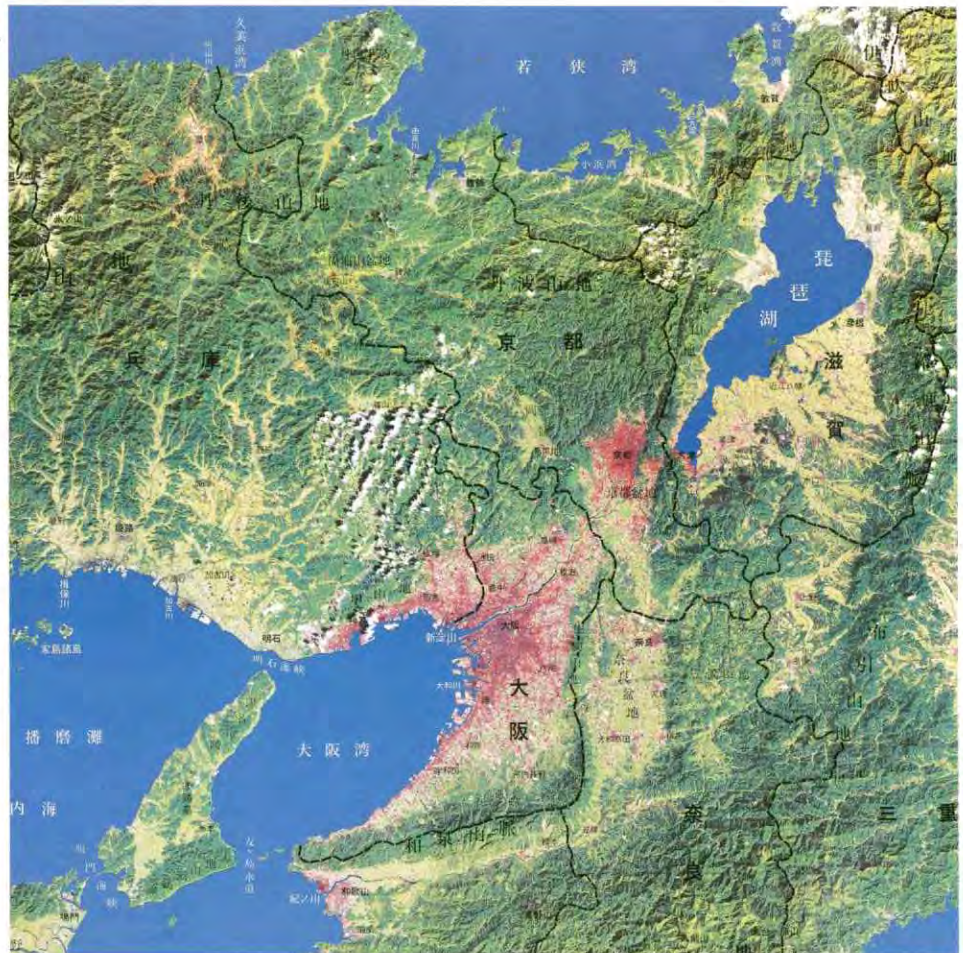


図5-1 近畿地方とその周辺のランドサットマップ
(東海大学情報技術センター発行50万分の1ランドサットマップより抜粋)

B. 大阪湾周辺の地形・地質と活断層

大阪湾周辺に注目すると、四方を山地に囲まれた盆地があり、その西半分には大阪湾が位置していることがわかります(図5-1)。この盆地を「大阪盆地」といいます。大阪盆地周辺には、北に有馬-高槻構造線、西に六甲断層系、南に中央構造線という横ずれ断層があり、東には生駒断層系という逆断層があります(図5-2)。また、盆地内には上町断層などの逆断層が分布し、大阪盆地を「河内盆地」と「大阪湾盆地」とに分けています。

大阪盆地には、鮮新世末(約200~300万年前)以降に堆積した「大阪層群」とよばれる地層が分布し

ています(図5-3)。その厚さは、大阪湾中央部で2,000mから3,000mと推定されています。このような厚い堆積物の存在は、活断層の運動により生じた、急速な周辺山地側の上昇と大阪盆地側の沈降を示すものです。その断層運動は、約100万年前にはじまり、約50万年前以降に活発化したとされています。

大阪層群を構成する地層の一部は、活断層との境界付近で大きく傾いたり、活断層によって水平・垂直方向に大きくずれています。大阪盆地と周辺山地を分化させた活断層の運動は、今日まで引きつがれているのです。

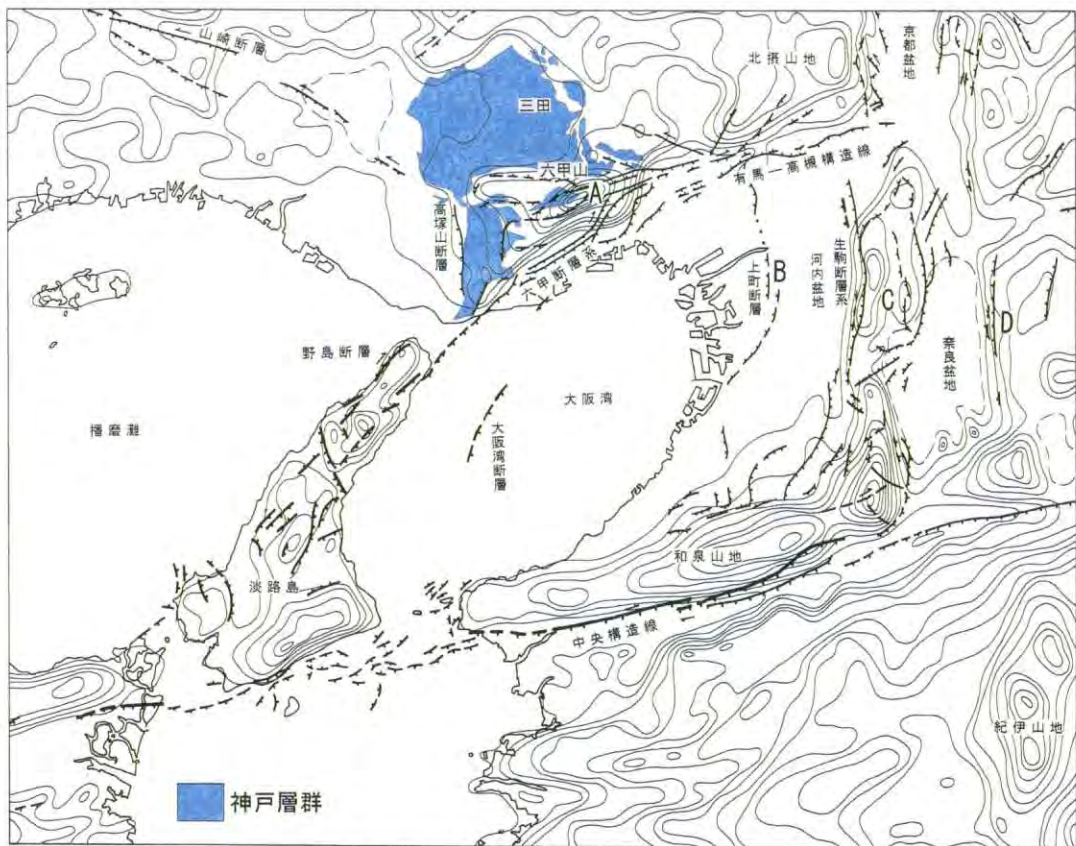


図5-2 大阪湾周辺の活断層と地形(活断層研究会、1991より編集)

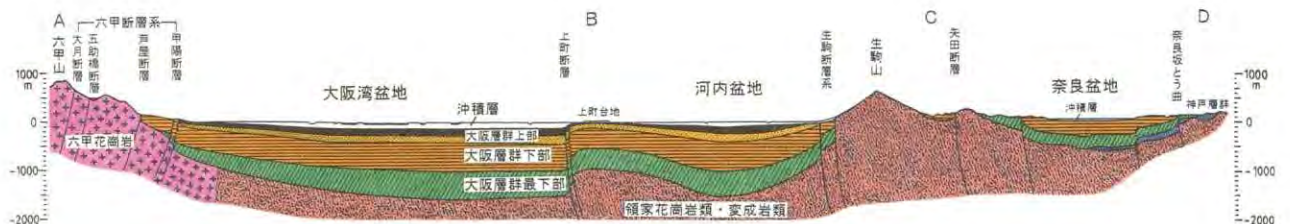


図5-3 大阪平野北部の地質断面図(市原、1991に加筆) 断面図の位置は図5-2に示した。

C. 六甲山地の上昇過程

六甲山地はおもに花崗岩類の岩石からできており、北を六甲断層や湯槽谷断層などの有馬—高槻構造線に属する活断層系に、南を五助橋断層、諏訪山断層、須磨断層などの六甲断層系に、西を高塚山断層に、それぞれかざられた、三角形に近い平面形をした断層山地です（図5-2）。特に神戸市の位置する海岸平野と六甲山地とは、直線的につづく急峻な断層崖によってへだてられています。六甲山地は、これらの活断層の運動によって東の方ほど高く持ち上げられ、西にゆるやかに低下しています。

六甲山地西方の播磨地方東部には、数多くの段丘面が広く発達しています。これらの段丘面の高度はいずれも東に向かうほど高くなり、六甲山地の西への傾動運動が、この地方にもおよんでいることを示しています。

一方、人と自然の博物館がある三田市周辺には、はっきりとした活断層はありません（図5-2）。三田市周辺は北・東・南の三方を山地に囲まれた盆地で、その範囲は神戸層群という約3,500万年前に堆積した地層が分布する範囲と一致しています。神戸層群は、周辺山地をつくる花崗岩類や火山岩類などの岩石に比べて浸食されやすく、その分布地域がより多くけずられます。三田の盆地は、神戸層群がまわりの地層よりも多くけずられ、高度が低くなってできた浸食盆地なのです。

ところで、六甲山地はどのようにして高くなってきたのでしょうか。六甲山地の上昇の歴史は、山地の周囲をかぎる活断層や、山麓をとりまいて広がる段丘地形、そして、山地の一部に残された大阪層群などを調べることから、以下のようにであったと考えられています（図5-4）。

①鮮新世末（約200～300万年前）には、六甲山地は今のような急峻な山地ではなく、なだらかな起伏を持った丘陵地でした。そこには、ゆるやかな勾配の河川が流れ、幅の広い谷底平野をつくっていました。当時のなだらかな地形は、現在の六甲山頂にわずかに残されており、隆起準平原とよばれています。

②第四紀（約200万年前以降）になると、六甲山地側がゆるやかに上昇し、大阪湾側がゆるやかに沈降しはじめます。上昇をはじめた六甲山地は河川によってけずられ、けずりとられた岩屑は山麓まで運ばれ、できはじめた大阪湾側のくぼみを埋め立てていきました。

③第四紀のなかごろ（約100万年前）になると、大阪湾にはじめて海が入ってきます。大阪湾が今のよ

うな内湾となったのです。約70万年前以降の時代には、約10万年の周期で、寒い時代（氷期）と暖かい時代（間氷期）がくり返しました。大阪湾の海水面も、この気候の寒暖の変化と対応して、下降と上昇をくり返しました。

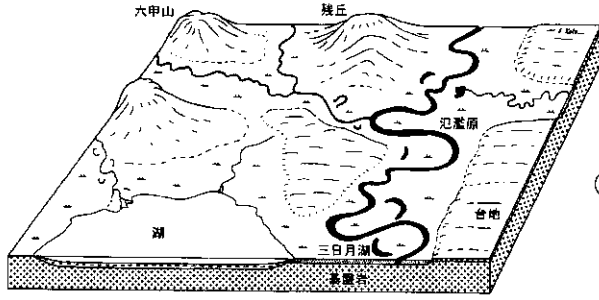
海面の上昇期には、山地として形をととのえつつあった六甲山地の山麓は波で洗われ、その前面には、おもに細かい粘土からなる海成層がたまりました。海面の下降期には、大阪湾は陸地となり、六甲山地から流れ出る河川は、山麓に大小さまざまな扇状地をつくりました。

④約50万年前以降の時代になると活断層の運動がより活発化し、六甲山地と大阪湾は、はっきりとした活断層によってへだてられます。これらの活断層は大地震のときに大きくずれ動き、さらに六甲山地を高く上昇させ、大阪湾を深く沈降させました。上昇した六甲山地は河川によって激しく浸食され、山麓にはいくつもの扇状地が形成されました。こうした扇状地も活断層によって持ち上げられ、台地になりました。

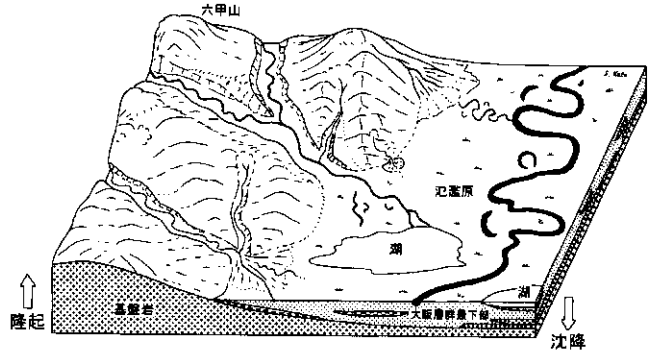
今日、私たちが目にする六甲山地の姿は、第四紀を通したこれらの断層運動の結果でもあるのです。

このように、大阪盆地と六甲山地で代表される近畿地方の山地や平野・盆地、つまり、現在私たちが生活する大地は、活断層の運動と深く関わってつくられてきたのです。活断層の運動とは大地震にほかなりません。したがって、大阪盆地と六甲山地は、近畿地方において大地震が何度もくり返された証といえましょう。

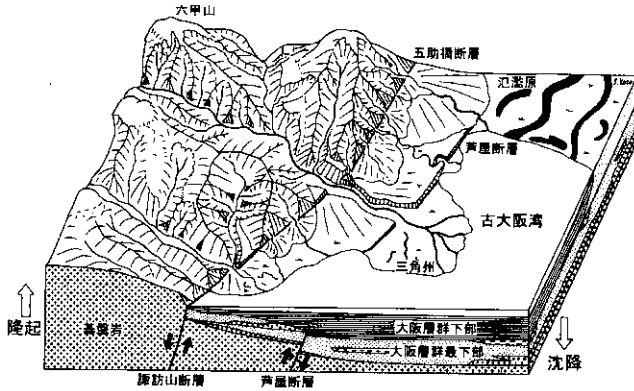
① 約300~200万年前の六甲山地周辺



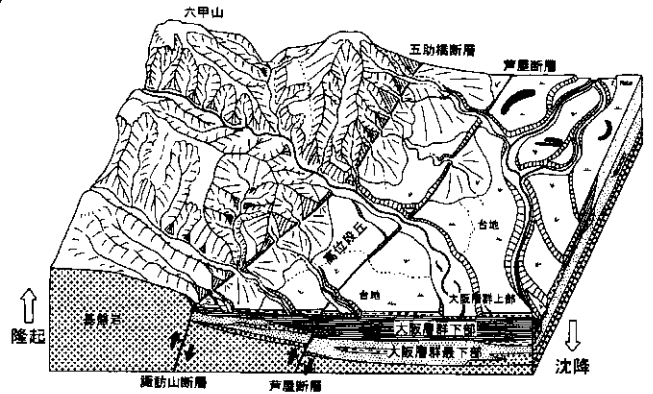
② 約200~100万年前の六甲山地周辺



③-a 約100~50万年前の六甲山地周辺 (高海面期)



③-b 約100~50万年前の六甲山地周辺 (低海面期)



④ 現在の六甲山地と海岸平野

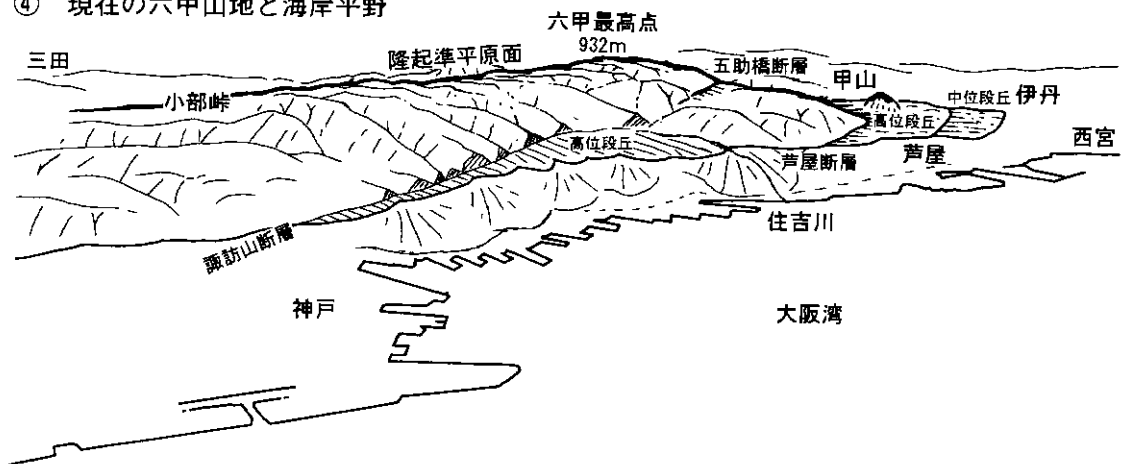


図5-4 六甲山地の上昇の歴史

D. 西南日本における応力分布

地震の起き方を調べると、近畿地方の岩盤には、東西または西北西—東南東方向の水平圧縮力が最も大きく働いていることがわかります（図5-5）。

また、活断層のずれ方やその分布からも、少なくとも過去50万年間、ほぼ同じ方向の水平圧縮力が働き続けてきたことがわかります（図5-6）。

では、この力はどのようにして生じているのでしょうか。

それには、2つの考え方があります。1つは、日本海溝で沈み込む太平洋プレートが東北日本を西向きに押し、その力が西南日本にもおよんでいるとするものです。

もう1つは、西南日本をふくむユーラシアプレートと、東北日本をふくむ北米プレートが糸魚川—静岡構造線で衝突しているため、その両側の地域でほぼ東西方向の圧縮力が働いているとする考え方です。

いずれが正しいにしろ、現在の東西方向の圧縮応力場は、プレート運動の状態が変化しないかぎり、これからも続くものです。このため近畿地方においては、今後も活断層に沿って大地震が起きることが予想されます。

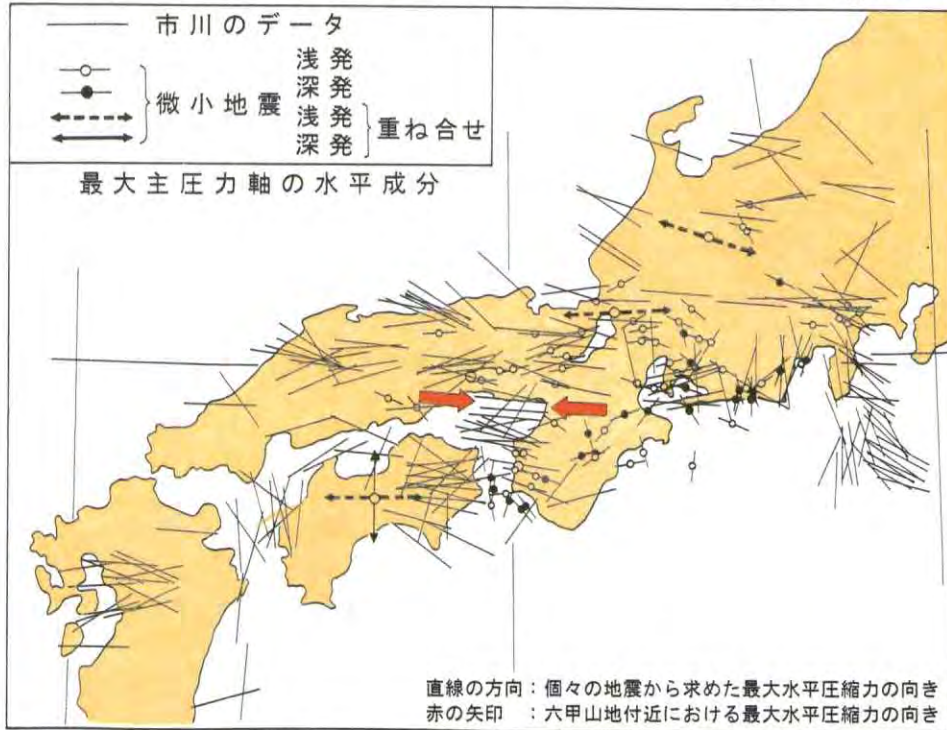


図5-5 地震の起き方から求めた近畿地方周辺の応力分布（岸本、1973による）



図5-6 活断層のずれ方から求めた近畿地方周辺の応力分布（藤田、1968による）

E. 近畿地方周辺の地震活動

古文書に残された被害地震の記録や、明治時代以降に行われた地震観測記録から、過去の大地震の規模とその震央位置が推定されています。それらのなかで近畿地方に大きな被害を与えた大地震は、駿河湾から四国沖にかけての太平洋沿岸で起きるM8クラスの高溝型地震と、陸上の活断層に沿って起きるM7クラスの内陸直下型地震の2種類に分けられます(図5-7)。

近畿地方やその周辺地域では2種類の大地震の起き方に関連性が認められ、高溝型地震が発生する前後30年から50年ほどの間に、内陸直下型地震が活発に起きています(図5-8)。高溝型地震は100年から150年おきにくり返すと考えられており、近畿地方

では1946年の南海地震が最新の高溝型地震です。両者の関連性からみて、近畿地方は現在、内陸直下型地震の活動期に入りつつあると考えられます。

近畿地方で過去に起きた歴代被災地震の震央分布(図5-7)をみると、淡路島から神戸をへて宝塚にいたる活断層の密集地帯(有馬-高槻構造線および六甲断層系)において大地震が起きていません。このような地域を、「地震の空白域」といいます。大地震が起きると、それまでに蓄積された岩盤のひずみが解放され、その後しばらくは、そこでの地震活動は少なくなります。逆に、長い間大地震が起きていない地震の空白域では、岩盤のひずみが多く蓄積されているため、近い将来に大地震が起こる可能性が高いのです。

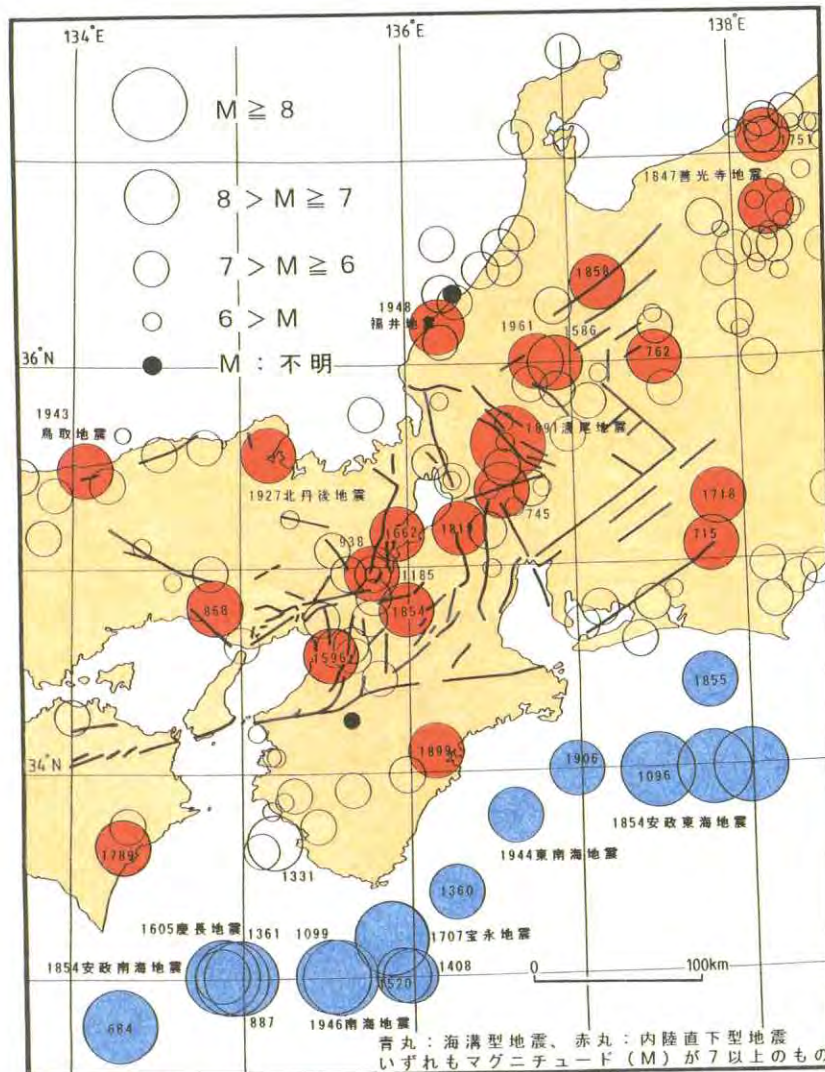


図5-7 近畿地方に被害を与えた大地震(599年から1984年まで)の規模とそれらの震央分布

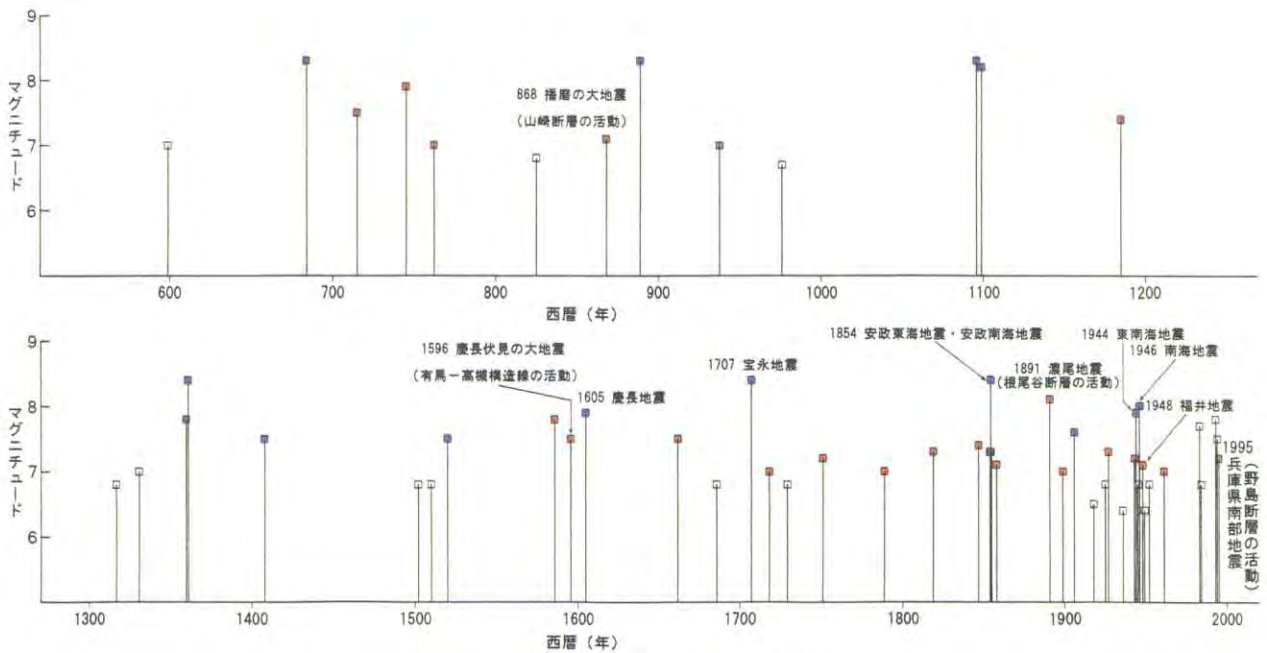


図5-8 近畿地方の歴代被災地震とその規模
 青は海溝型地震、赤は内陸直下型地震で、いずれもM \geq 7のもの。

地震の空白域のなかでも、六甲山地周辺の活断層密集地帯（六甲断層系）は、過去の活動履歴がよくわかっていませんでした。このため、この活断層系は、近畿地方の活断層のなかで近いうちに大地震を起こす可能性が最も高い地域の1つであったといえましょう。

1948年の福井地震（M7.1）を最後に大地震が起きていなかった近畿地方周辺も、例外ではありません。少数ですが、この地方で大地震が発生する可能性を指摘する研究者はいました。

F. 兵庫県南部地震発生前の地震・火山活動

日本列島周辺では、1983年5月に起きた日本海中部地震（M7.7）や同年10月の三宅島の噴火を皮切りに、それ以降、大地震や火山噴火があいつぎました（図5-9）。

1984年9月には、長野県西部地震（M6.8）によって御嶽山南麓が大崩壊を起こし、1986～87年には伊豆大島三原山が、1991年5月には雲仙普賢岳が、それぞれ噴火しました。特に後者の噴火は火砕流の発生をともない、2年以上の長期におよびました。

こうした火山活動がおさまった1993年以降には、日本列島周辺の海底で、大地震が連続しています。釧路沖地震（M7.8）、北海道南西沖地震（M7.8）、北海道東方沖地震（M8.1）、三陸はるか沖地震（M7.5）が続けて起き、日本列島に多くの被害をもたらしました。

このような火山噴火や大地震の続発は、日本列島とその周辺地域における地殻のひずみが、各地で岩盤の耐えうる限界にきていることを示しています。



図5-9 日本列島における兵庫県南部地震直前の地震・火山活動

こうしたなかで起こったのが、兵庫県南部地震 (M 7.2) でした。この地震では、まさに過去の大地震の空白域であった六甲断層系の一部が再活動したのです。

G. 野島地震断層

淡路島北部の北淡町では、すでに活断層として知られていた野島断層に沿って地震断層が現れ、野島地震断層とよばれました (図5-10)。野島地震断層は、今回の大地震が野島断層の再活動であることを示すものです。

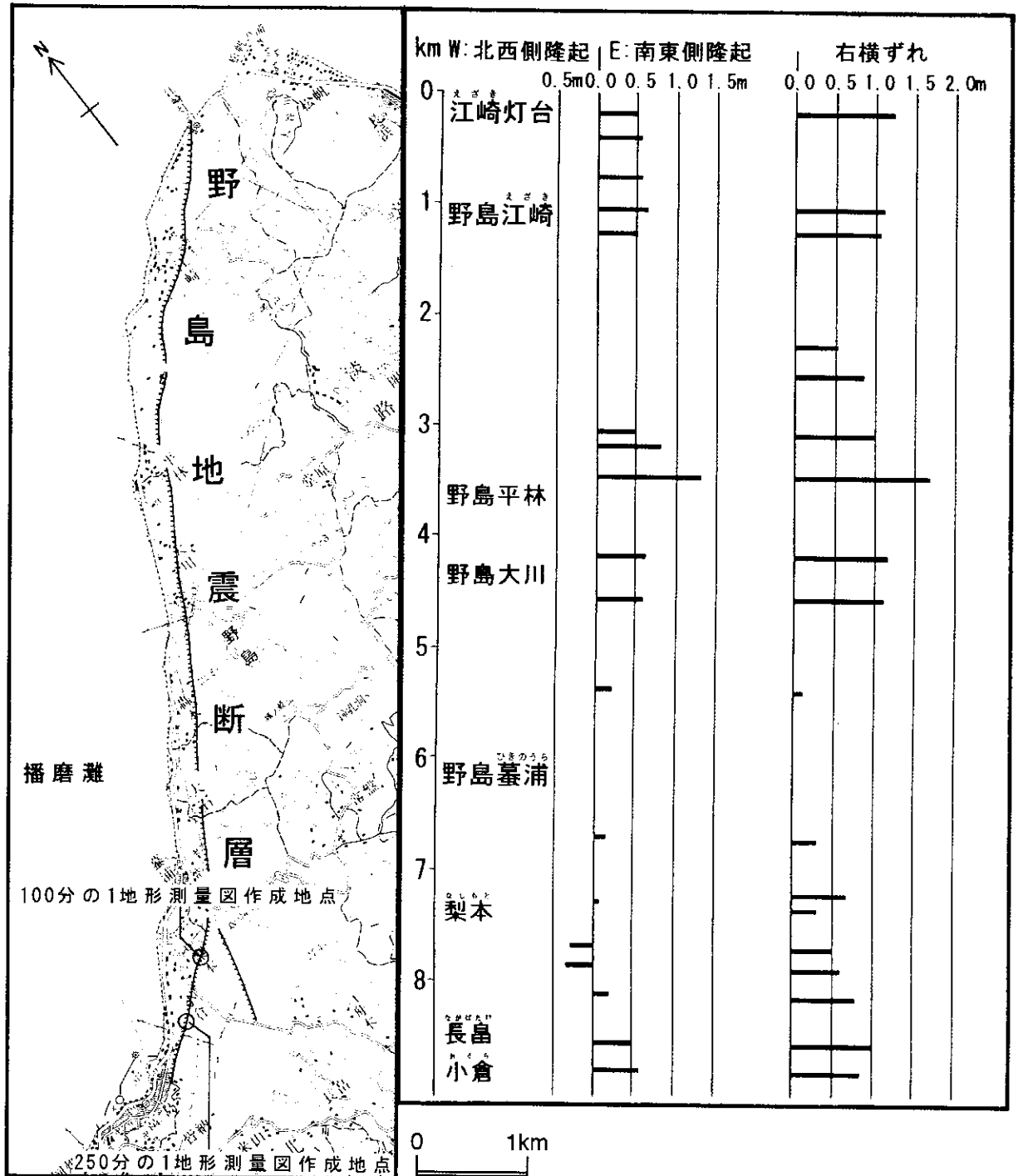


図5-10 野島地震断層の位置と変位量の分布 (変位量の分布は鈴木ほか、1995による)

野島地震断層は、北は野島江崎灯台から南は富島地区まで、総延長が約10kmにおよぶものです（図5-10）。

この地震断層は、南東側の山地斜面と北西側のせまい海岸平野との境を走り、野島暮浦付近から南では二すじに分かれます。それらのなかの1つは山ぎわを走り、もう1つは海岸沿いにのびています。今回の大地震では、後者の方が前者よりも大きく地表面をずれ動かしました。

野島地震断層に沿っては、道路や水路、水田の畦や人家の塀などの人工構造物が、0.7mから2.1mにわたって右横ずれしました（図5-11、12）。また、梨本地区では北西海岸側が0.2~0.5m上昇し、ほかの地区では南東山地側が0.4~1.3m上昇しました（図5-10）。野島地震断層によって地表面が最も大きくずれ動いたのは、野島平林地区でした（図5-10）。ここでは、約2.1mの右横ずれと約1.3mの上下変位が記録されています。

このような地表面と人工構造物のずれから、野島地震断層は右横ずれを主とする断層運動を行ったことがわかっています。根尾谷断層など、日本の地震断層のほとんどが左横ずれ地震断層であるため、野島地震断層は、右横ずれ地震断層の代表的な例といえます。

この地震断層は、地表面をシャープにきる断層崖からなるだけではありません。梨本地区から小倉地区にかけては、地震断層が示すいろいろな断層変位地形が分布しています。それには、断層をまたいで立ってながめると逆ミの字の形に見える亀裂群や、こぶ状の高まりとくぼみの連続する地形、あるいはひし形の土塊が一方に押し寄せられたような地形があります（図5-11、12、13）。これらの地形は、地震断層がどのようにしてできたのかを知る重要な資料になります。

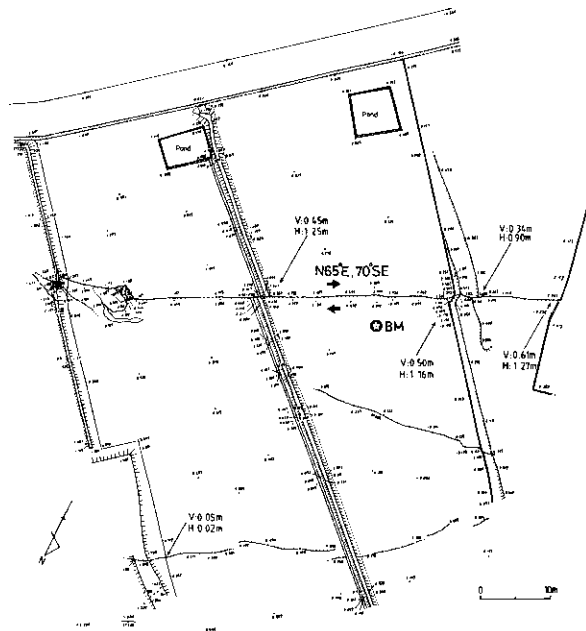


図5-11 小倉地区における野島地震断層の250分の1地形測量図

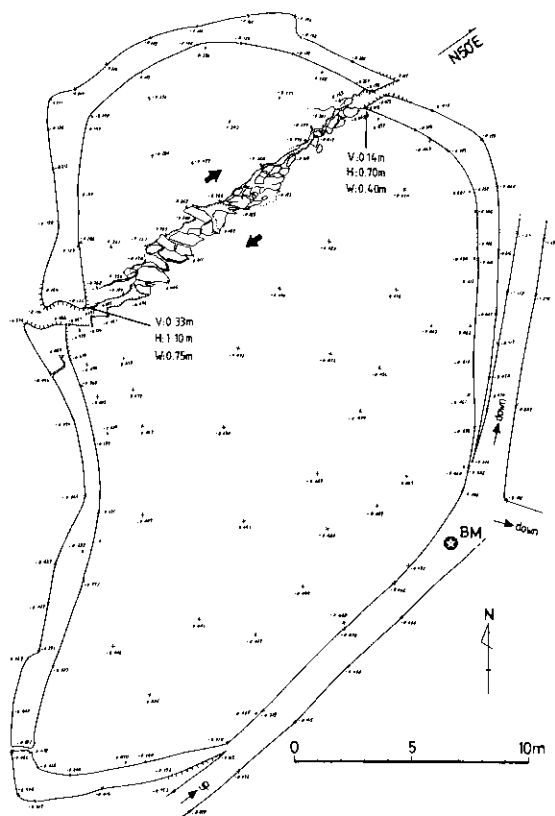
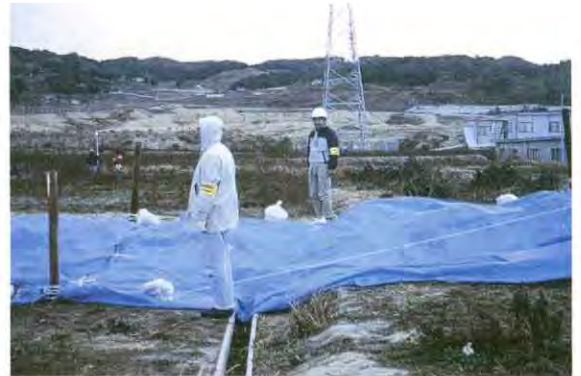


図5-12 梨本地区における野島地震断層の100分の1地形測量図



1:主断層（奥）と副断層（手前）（小倉地区）



3:畑の畦と排水溝の示す右横ずれ（小倉地区）



2:逆ミの字型の亀裂群（小倉地区）



4:ねぎ畑の示す右横ずれ（小倉地区）

図5-13 野島地震断層のいろいろな断層変位地形

H. 野島地震断層のはぎ取り断面

北淡町の梨本地区で、1995年5月にトレンチ調査が行われました。人と自然の博物館では、その調査の後で、野島地震断層とそれによる地層のずれや変形をそのまま記録に残すため、はぎ取り断面を作成しました（図5-14、15）。調査地点では、今回の大地震によって地表面が上下に約0.4mずれています（図5-16）。

はぎ取り断面でみられる地層は、多くの断層により切られています。それらはすべて、かつての大地震発生時に動いた地震断層であると考えられ、活動歴の古いものから順に、F1～F5の5つの地震断層に識別されます（図5-16）。

地震断層F1は、兵庫県南部地震のときに現れたものです。F2は、その1つ前の大地震時に現れた地震断層ですが、A層より上の地層にはずれを与えていません。したがって、A層が堆積した時代と、そのすぐ上の地層が堆積した時代がわかれば、1つ前の大地震が起きた時代を知ることができます。

地層にふくまれる炭化物について放射性炭素年代測定を行った結果、A層からは、700年前から1,000年前の年代値が得られました。また、A層のすぐ上の地層からは、13世紀から14世紀につくられた陶磁器が出土しています。したがって、兵庫県南部地震に先立つ大地震は、11世紀から13世紀の間にあった可能性が高いと考えられます。

また、はぎ取り断面右下の地層には、大きな木片がふくまれていました（図5-15、16）。この木片からは、約2,100年前の年代値が得られました。この地層は、地震断層F3が起きた大地震のときに、地表付近にあった地層が裂け目に落ち込んでたまったものです。一方、裂け目を直接に覆う埋没腐植土層は、その大地震の後に堆積したものです。それにふくまれる炭化物からは、約1,840年前の年代値が得られました。したがって、約2,000年前ごろにも、大地震が起きたと推定されます。



1: トレンチ地点の全景。はぎ取りは中央奥側の壁面で行った。



5: 壁面に補強用の布を張り付け、水で溶いた樹脂を塗り込む。



2: はぎ取りの前に、ねじり鎌で壁面をきれいにする。



6: 樹脂の乾燥後、はぎ取りのために布を50cm幅に切り分ける。



3: きれいにした壁面に、アセトンで薄めた樹脂を吹き付ける。表層を固め、薄い膜をつくる。



7: 切り分けた布を上からいねいにはぎ取っていく。



4: 水で溶いた樹脂を壁面の凹凸に塗り込み、壁面を平らにする。



8: はぎ取った布は乾燥を防ぐため、すぐにビニール袋に密閉して持ち帰る。

図5-14 野島地震断層におけるはぎ取り断面の作成



図5-15 野島地震断層はぎ取り断面（兵庫県立人と自然の博物館・地球科学研究部作成）

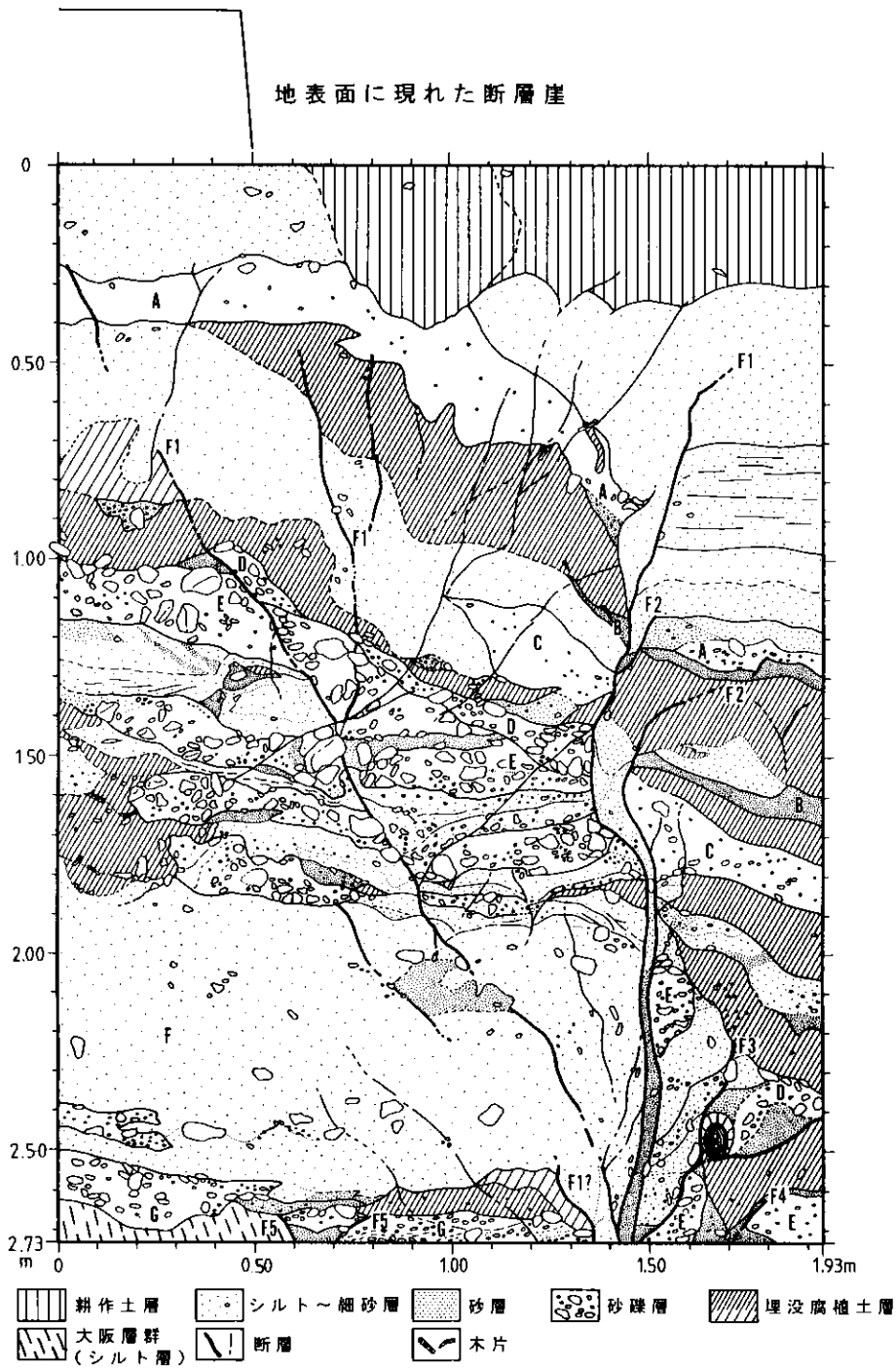


図5-16 野島地震断層はぎ取り断面 (スケッチ図)

このはぎ取り断面で、地層の変位を知るための鍵となる地層を、ここでは便宜的に上位から下位へA～G層とします。この断面では、活動期が異なる5つの断層(F1～F5)が認められます。これらのなかで最新のものが、数本の断層に枝分する断層F1で、今回の地震で現れた地震断層です。F1は地表面に現れた断層崖に続かないだけでなく、地表面にも達していません。これは、A層よりも上位のシルト層や耕作土が多量の水分をふくんだ軟らかい地層からなり、明瞭な破断面が形成されないためと考えられます。断層F2はB層を切っていますが、A層より上位の地層には覆われています。このことから、断層F2の活動期はF1の活動期(今回の地震)よりも古いことがわかります。このようにして、地層と断層との関係をみていくと、F1→F5の順に活動歴が古く、断層F5はF層やそれより下位の腐植土層に覆われていることから、はぎ取り断面でみられる地震断層のなかで最古のものであるといえます。

地下に溜まったストレスが岩盤に破壊を生じさせる段階に近づいていることを事前に知るには多くの観測を実施し、異常現象を総合的に判断しなければなりません。しかしながら、大地震の前兆ともいえる異常現象が確認されても、何時間後に本震が起こるかを今のところ予測することは困難です。

全国各地の観測所で行われている精度の高い観測と解析は、活断層周辺さらには日本列島全域の地殻のひずみを知る鍵となり、地震予知研究の基礎的データとなり、地震活動を評価するための重要な資料となります。

このような機器による観測のほかに、兵庫県南部地震以降に、大阪湾周辺では国・県単位で活断層のトレンチ調査、ボーリング調査、反射法地震探査などが精力的に行われています。活断層を含む地盤構造を明らかにすることは“震災の帯”の原因解明に役立ちます。また、トレンチ調査から個々の活断層ごとに大地震の発生周期や最新活動期を決めることができます。遺跡の発掘調査を利用した「地震考古学」によると、専用のトレンチ（溝）を掘らずに歴史時代の地震活動の履歴を知ることができます。

これらの調査・研究により得られた成果は、近い将来、再活動すると思われる活断層の指摘につながり、災害に強いまちづくりや地域防災対策に必要な基礎資料となります。

A. 活断層の監視

活断層沿いでは、数千年に1回の割合でM7クラスの大地震が発生するほか、ふだんでも人体に感じない微小地震が多発しています。地震発生の原因となる岩盤のひずみの蓄積状況を知るには、精密観測機器による総合的な連続観測が必要となります。

地震予知の可能性につながる観測データの収集を目的として、山崎断層が日本全国の数多くの候補地の中から、地震予知研究のテストフィールドに選ばれました。安富町では、山崎断層が走る中国自動車道の真下に観測坑（トンネル）が建設され、各種の連続観測や野外調査が1978年から本格的に開始されました。1984年5月30日の山崎断層地震（M5.6）の際には、地震活動・地殻変動・磁場・地電位など種々の項目に前兆現象が現れました。

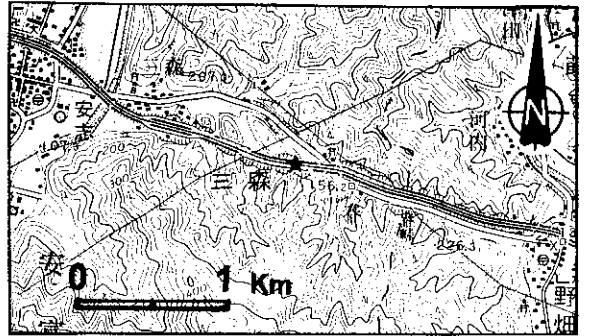


図6-1 中央部安富町の山崎断層観測坑の位置（国土地理院発行5万分の1地形図「山崎」を使用）



図6-2 中国自動車道直下、山崎断層観測坑の内部

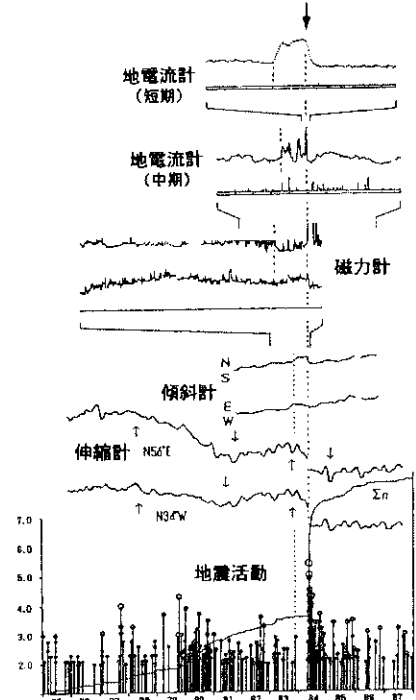


図6-3 1984年山崎断層地震でとらえられた前兆現象

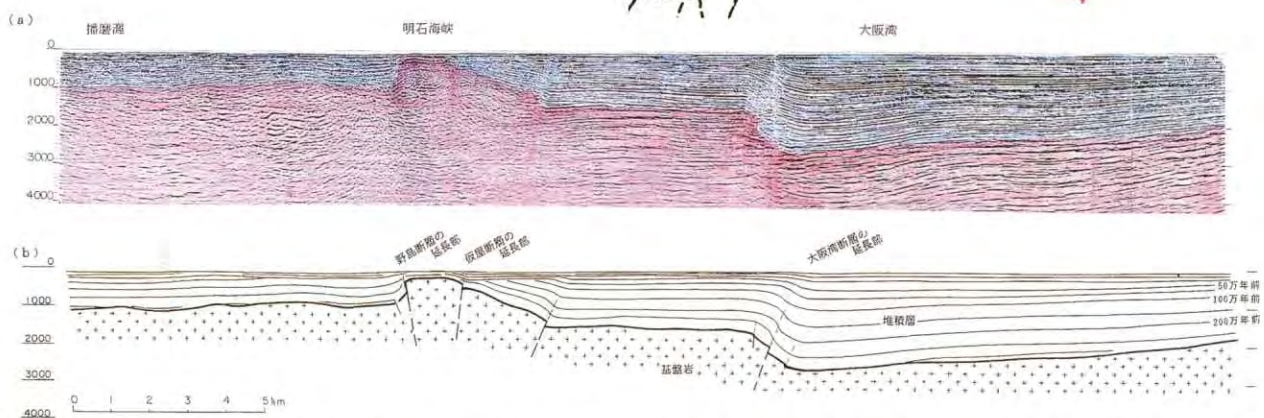
B. 物理探査とボーリング調査による地盤構造の解明

兵庫県阪神・淡路大震災復興対策本部は、1995年5月に「阪神地域活断層調査委員会」を設置しました。この委員会は、理学・工学に関する研究者などから構成され、次の2点を主要調査目的に掲げています。

(1) 阪神地域の地盤図の作成

(2) 活断層を含む地盤構造の解明

今回の地震では、地盤の違いによって被害状況に大きな地域差が認められました。地盤図は、地盤の



違いを地図上に示したもので、それによって将来起こりうる地震に対する地表の揺れの大きさある程度推定することができます。地盤図作成については、阪神間における数10本の既存浅層ボーリングデータなどが利用されます。また、震災後あらたに摩耶埠頭内で深さ500mのボーリングが、東灘区内の2地点で100mと50mボーリングが実施されました。これらと反射法地震探査の結果などが総合的に考察され、阪神・淡路地域の地盤構造が明らかにされるものと期待されます(図6-4)。

図6-4 上図：明石海峽～大阪湾における反射法地震探査の測線位置図、中図：同測線で得られた反射断面(深度分布)、下図：反射断面に基づいて作成した地質断面模式図(兵庫県、1996による)○○万年の数字は地層の堆積時期を示す。野島断層・阪屋断層・大阪湾断層の延長部が断層、とう曲・傾動帯として明瞭に示されている。

図6-5 人と自然の博物館地学系収蔵庫に保管されている摩耶埠頭でのボーリング・コアの一部



このほか、通産省地質調査所、海上保安庁、大学などでも、地震・活断層関連の調査（反射法地震波探査、人工地震探査、音波探査、ボーリング調査）が大阪湾周辺でなされています。図6-6はそれらの位置を示します。

なお、兵庫県内のボーリング調査で得られたコアは人と自然の博物館で保存されます。これらは学術的価値が極めて高く、六甲山の上昇過程や大阪湾の形成、第四紀の古環境変遷史を解く鍵になると期待されています。

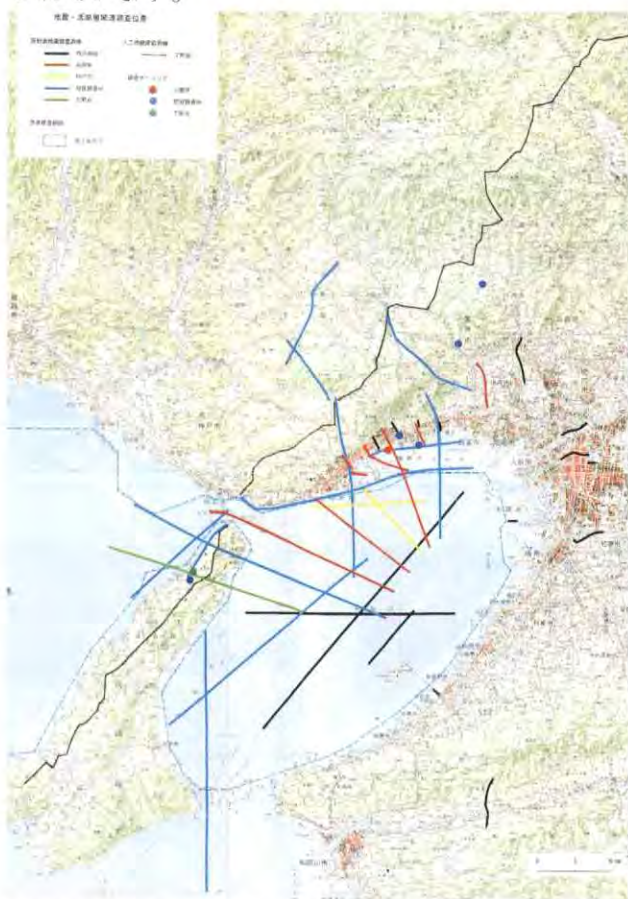


図6-6 ボーリング地点、物理探査測線位置図（国土地理院発行20万分の1地勢図「京都及大阪」、「和歌山」、「姫路」、「徳島」を使用；兵庫県、1996による）

C. 地震考古学

遺跡の発掘現場で液状化の跡、地層の食い違いなど、地震の痕跡が見いだされることがあります。これらを古文書に残された地震に関する記録と対比することにより、過去の地震の年月日や時刻までわかる場合があります。このような遺跡発掘現場をフィールドとし、歴史時代の活断層の活動履歴を明らかにしようとする手法が最近登場した「地震考古学」です。

その例として、川西市の加茂遺跡（図6-7）と栄根遺跡（図6-8）でみられた地震による地割れ跡を示します。後者では、Ⅲ層より下位の地層を切る断層はⅠ層とⅡ層に及んでいません。このことから、この断層による地震はⅢ層が堆積した後に、Ⅱ層堆積以前に発生したことがわかります。歴史記録など対比した結果、この断層は伏見地震を起こした地震断層であることが判明しました。



図6-7 川西市加茂遺跡でみられた伏見地震(1596年、M7.5)の地割れ跡（岡部慶隆氏提供）

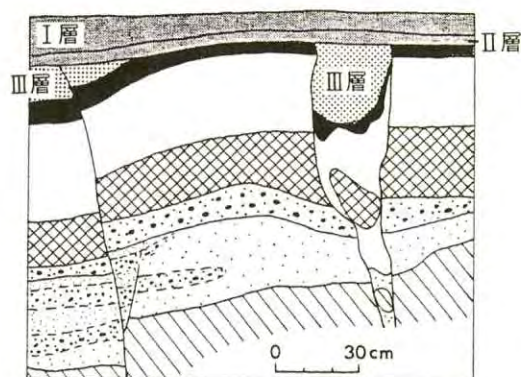


図6-8 川西市栄根遺跡でみられた地割れと小断層 Ⅰ層：現在の耕作土、Ⅱ層：江戸時代の遺物を含む地層、Ⅲ層：16世紀後半の遺物を含む地層（寒川、1996による）

D. 地震予知の特定観測地域と観測強化地域

どのくらいの規模の地震が、いつ、どこで、起こるかを予測するのが地震予知です。これらのうち、前兆現象の発生位置やその拡がりから場所や規模のおおよその推測はできますが、時期の予測は最も困難です。過去に大地震があって、その後相当期間大地震が起こっていない地域（地震の空白域）での観測調査は、防災の面からたいへん重要視されています。空白域は周辺域にくらべはるかに大きなひずみが地下に蓄積されていることから、次の大地震の最

有力候補地とみなされます。

地震予知連絡協議会により、8つの特定観測地域と2つの観測強化地域が指定されています。将来起こるであろうと考えられる大地震の場所と規模の長期的予測（予知）に有効な観測・研究を充実するために特定観測地域が指定されています。観測強化地域は長期的予知を基礎とし、地震直前の現象をとらえ、地震がいつ起こるかについての有効な観測・研究の強化を目的としています。

それぞれの指定地域（図6-9）と指定理由は以下のとおりです。

北海道東部：大地震が想定された地域に根室沖地震(1973.6.17., M=7.4)が起こり、空白域は一応埋められたと思われるが、陸上部では地殻のひずみが残ったままである。

秋田県西部・山形県西北部：歴史時代に被害地震が発生している。最近では、隣接海域で日本海中部地震(1983.5.26., M=7.7)が発生し津波などにより、多大な被害を生んだ。

宮城県東部・福島県東部：三陸沖には巨大地震(M8程度)が発生し、宮城・福島沿岸沿いにM7クラスの地震がしばしば発生している。また、この地域に地震の空白域が見られる。

新潟県南西部・長野県北部：歴史時代からM7クラスの大地震が発生しており活褶曲・活断層が多い。隣接地区で新潟地震(1964.6.16., M=7.5)が発生。

長野県西部・岐阜県東部：活断層が密に分布。隣接地域でM7クラスの破壊地震が発生。最近では、長野県西部地震(1984.9.14., M=6.8)による大規模な崖崩れと土石流が発生。

名古屋・京都・大阪・神戸地区：歴史時代にM7クラスの被害地震が発生。活断層が密集。社会的に特に重要な地域。

島根県東部：隣接地域で浜田地震(1872.3.14., M=7.4)、鳥取

地震(1943.9.10., M=7.4)、北丹後地震(1927.3.7., M=7.5)が発生。歴史時代に大地震が起こった記録がある。

伊予灘および日向灘周辺：M7クラスの地震がしばしば発生。30~40年間隔で地震活動が活発化の傾向が見られる。

南関東：過去にいくつかのM7~8クラスの被害地震が発生。社会的に特に重要な地域。1970年2月2日に指定された。

東海：過去にM8程度の巨大地震がしばしば発生。最近120年以上は地震がなく、ひずみがたまっていることがはっきりした。社会的に重要な地域。1974年2月28日に指定された。

E. 地震に対する市民の意識調査

近畿地方とその周辺では、1920年代から1940年代にかけて大地震がかなり高い頻度で発生していました。しかし、神戸・大阪周辺では、これらの地震時にも大きな被害を出すような揺れは記録されていません。また、理科年表によると1952年のM6.8の「吉野地震」以降、兵庫県南部地震までは近畿地方では主な被災地震は起こっていません。

このように被害地震のない静穏な期間が40年以上続き、強い地震動を体験した人が少なかったため、「関西に地震がないから安心だ」という安全神話が生まれたものと思われます。しかし、これまでみてきたように、近畿地方は大地震多発域に属し、今回の地震は起こるべくして起こったと考えられます。このことを私たちはどれくらい現実の問題としてとらえていたのでしょうか？

兵庫県南部地震発生後の4ヶ月間に、人と自然の博物館は地震と活断層に関する意識調査を行いました。アンケートは人と自然の博物館と県立いなみの学園で実施し、回答数は1207名でした。アンケートの内容および回答数を以下に示します（単位：人）。

質問1. 今回の地震発生以前、この数年で地震や活断層についての知識や情報を受ける機会がありましたか。

- (1)あった。：235
- (2)ない又は覚えていない。：959
- (3)無回答：130

質問2. 質問1で(1)と答えた方へ。それはどのようなものでしたか。（複数回答可）

- (1)講演・セミナーなど：31 (2)学校の講義：21 (3)博物館の展示：25 (4)本・雑誌など：61 (5)新聞記事：102 (6)テレビ・ラジオ：93 (7)その他：25
- わかればタイトル・演者・著者なども教えてください。：具体的に記述

質問3. 質問で(1)と答えた方へ。そのなかで関西地方の活断層や地震の発生について触れられていましたか。

- (1)触れられていた：109

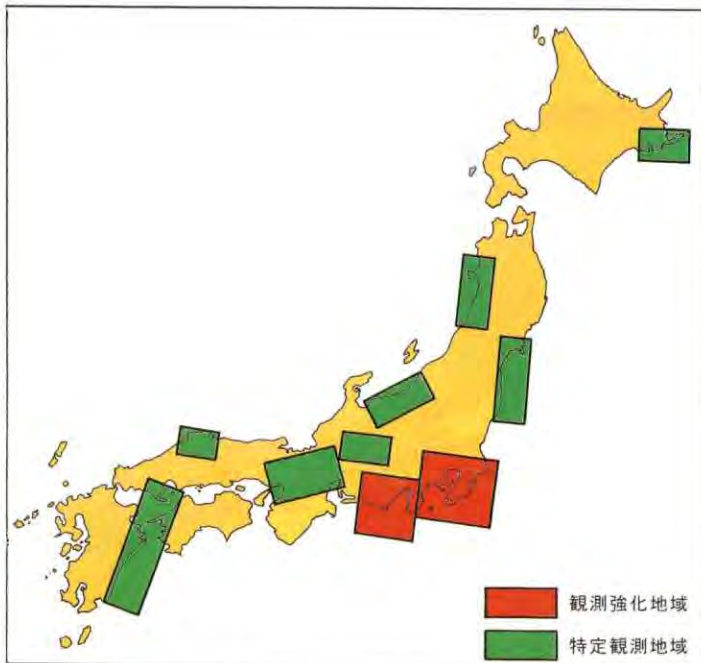


図6-9 観測強化地域と特定観測地域

- (1) 触れられていた：109
- (2) 触れられていなかった：61
- (3) あったかどうか記憶にない：40
- (4) 無回答：25

- 質問4. 関西地方に活断層が多いことを知っていましたか。
- (1) どこにあるか、だいたい知っていた：100
 - (2) 知っていたが、具体的にどこにあるか知らなかった：276
 - (3) 兵庫県南部地震以後の報道などで初めて知った：619
 - (4) 知らない：181
 - (5) 無回答：31

- 質問5. 関西地方が地震の特定観測地域になっていることをご存じでしたか。
- (1) 以前から知っていた：36
 - (2) 特定観測地域という語は知っていたが、関西地域が指定されているとは思わなかった：275
 - (3) 特定観測地域という語を今まで知らなかった：844
 - (4) 無回答：52

- 質問6. 兵庫県南部地震の発生以前、関西に大きな地震が起こる可能性があると思っていましたか。
- (1) 大地震が発生し、大きな被害が出ると思っていた：31
 - (2) 大きな地震は発生するが、これほど大きな被害になるとは思わなかった：136
 - (3) 発生するかもしれないが、その可能性は少ないと思っていた：515
 - (4) 地震が発生するなど、夢にも思わなかった：510
 - (5) 無回答：13

- 質問7. 兵庫県南部地震以前、ご家庭での地震対策として何かされてきましたか。
- (1) していなかった：1071
 - (2) していた：104
 - (3) 無回答：32

- 質問8. 兵庫県南部地震発生以後、あらたな地震対策として何かされていますか。
- (1) 何もしていない：498
 - (2) している：623
 - (3) 無回答：86

- 質問9. 次の用語のうち、兵庫県南部地震発生以前に見聞きしたことのある用語に丸印をつけてください。
- | | |
|-----------------|------------------|
| (1) 震度：1104 | (2) マグニチュード：1050 |
| (3) 断層：849 | (4) 活断層：600 |
| (5) 液状化現象：607 | (6) 噴砂：178 |
| (7) 有馬-高槻構造線：93 | (8) 山崎断層：463 |
| (9) 横ずれ断層：201 | (10) 特定観測地域：313 |
| (11) 観測強化地域：88 | (12) 北但馬地震：207 |
| (13) 南海地震：322 | |

質問5. 関西が特定観測地域に指定されていることを知っていましたか？

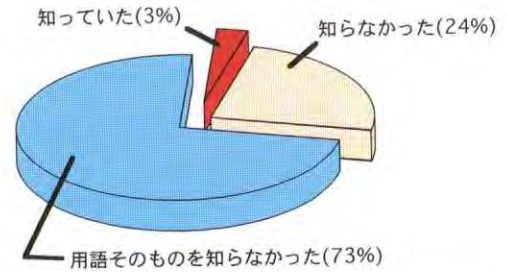


図6-10 質問5の特定観測地域についての集計結果

質問9. 次の語を見聞きしたことがありますか？

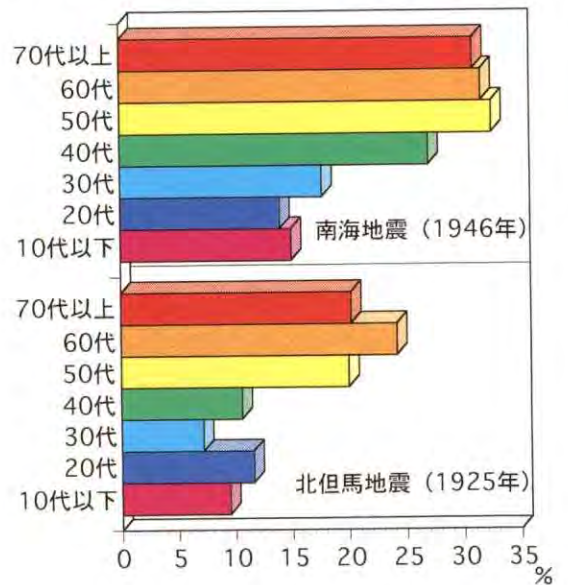


図6-11 北但馬地震と南海地震についての認識と年齢の関係
年齢の低い人ほど知られていないという傾向がみられます。

質問10. 人と自然の博物館では3階の「上昇する六甲」のコーナーに活断層などに関する展示があります。この展示をごらんになって、感想・ご意見などがありましたら記入してください。

質問11. 今回の地震で感じたことを、どんなことでも結構ですから記入してください。

今回の地震後、「関西に地震が起こるなんて思いもよらなかった」という声をよく耳にしました。アンケートの結果は、地震以前に私たちが地震に対する知識を得る機会が少なく、関西での地震発生の可能性や活断層について知らなかった（知らされていなかった）ことをよく表しています。たとえば、阪神地域を含めた関西は1970年以来、地震予知の特定観測地域に指定されていますが、そのことを知っていたのはわずか3%で、大半がその用語さえも知らなかったというのもその例でしょう（図6-10）。北但馬地震と南海地震について、若い人ほどその名前を聞いたことがないという結果は（図6-11）、過去に大きな地震があったにもかかわらず、それが語り継がれてこなかったことを示しています。

地震以後、多くの人々が地震に対する何らかの対策をしています。しかし、被災地から離れると、その数は少なくなります（図6-12）。将来、このような被害を少しでも少なくするため、今回の出来事を語り継いでいくことが必要ではないでしょうか。そして、今後の防災の第一歩として、地震に限らず、自然現象を正しく理解していくことが大切です。

質問7・8. 家庭で地震対策をしていますか？

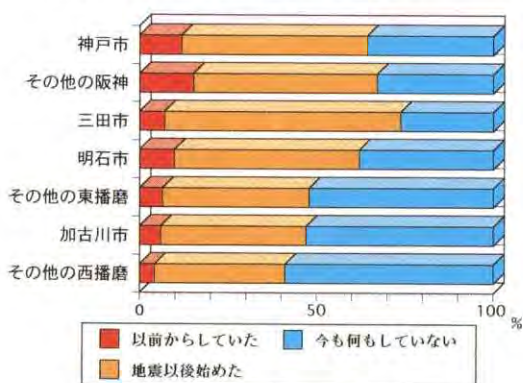


図6-12 地域ごとの地震対策数

●地震と断層

大地震が起こると、地上に断層が現れることがあります。よく地震によってつくられた〇〇断層といういいかたをすることがありますが、実際は逆で、地下で断層が動いたために地震が起こると考えられています。地下の地盤に応力（ストレス）が加わると、そこにひずみのエネルギーが蓄積されていきます。どんどん応力が加えられると、そのうち岩盤がその応力に耐えきれなくなり、岩盤の弱いところが破壊され、断層ができます。そのとき放出されたひずみエネルギーが衝撃波となって伝わったのが地震です。

地震を起こすもととなった断層を震源断層といい、震源断層が地表に達したものを地震断層といいます。

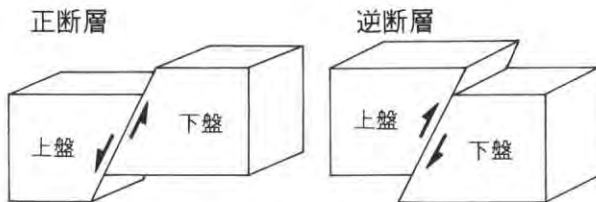
有名な地震断層とずれの量は次のとおりです。

- 濃尾地震(1891)の根尾谷断層（上下6 m、横8 m）
- 北丹後地震(1927)の郷村断層（上下1.2m、横2.6m）
- 鳥取地震(1943)の鹿野断層（上下0.75m、横1.5m）
- 福井地震(1948)の福井断層（上下2 m、横0.9m）

兵庫県南部地震での地震断層は、北淡町に現れた野島断層です。

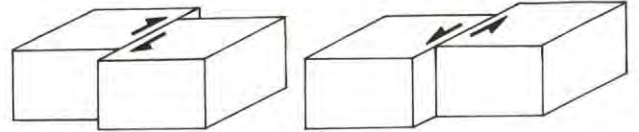
●正断層・逆断層・横ずれ断層

断層はそのずれの方向によって分類できます。垂直方向にずれが生じたものを縦ずれ断層、水平方向にずれが生じたものを横ずれ断層といいます。縦ずれ断層のうち、傾いた断層の上盤側が相対的にずり下がったものを正断層、ずり上がったものを逆断層といいます。横ずれ断層では、断層の片側に立ったとき、他方が向かって右にずれた場合を右横ずれ断層、左にずれた場合を左横ずれ断層といいます。ずれ方やずれる量の大きさは、岩盤の受けた力の方向や大きさにより異なります。



右横ずれ断層

左横ずれ断層



●活断層

断層には、すでに活動を終わってしまったものと、まだこれからも動くと考えられているものがあります。断層のうちでも、第四紀（最近の約200万年間）に動いた断層を活断層といいます。活断層のほとんどは、大地震発生時に生じた地震断層です。活断層は今後も活動する可能性が大きいいため、活動間隔や規模を調査し、今後の地震発生に備える必要があります。

●地震波

地震のときの岩盤の破壊によって生じた振動は波として地球内部を伝わっていきます。これが地震波です。地震波には物体の内部を伝わる実体波と表面に沿って伝わる表面波とがあり、実体波にはさらにP波とS波とがあります。

P波は振動方向が波の進む方向と一致する縦波で、S波は波の進む方向と垂直に振動する横波です。地震の際には、まずP波が到着し、地面がガタガタと小刻みに揺れ、ついでS波がやってきて、ユサユサと大きく揺れます。P波が到達してからS波が到達するまでの時間（初期微動継続時間）は震源から遠ざかるほど長くなります。経験的には初期微動継続時間を8倍するとおおまかな震源距離が求められます。震源距離は以下の式であらわされます。

$$d = \frac{V_p \times V_s}{V_p - V_s} \times t$$

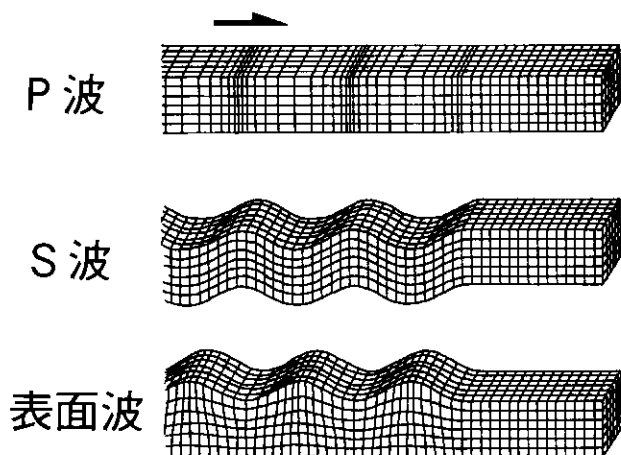
d : 震源距離 (km)

V_p : P波の速度 (km/s)

V_s : S波の速度 (km/s)

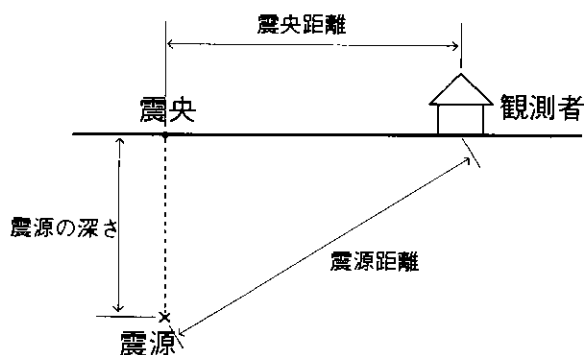
t : 初期微動継続時間 (s)

表面波は周期が長く、一般にS波より遅れて到達します。高層ビルは長周期の波によって大きく揺れるため、その耐震性を検討する際には、表面波の影響も検討する必要があります。



●震源・震央・震源の深さ・震源距離

地震のときに、地下で岩盤の破壊がはじまった地点を震源といいます。震源の真上にあたる地表の地点を震央、震源と震央の距離を震源の深さ、震源と観測者の距離を震源距離、震央と観測者の距離を震央距離といいます。これらは各地の地震観測所の地震波の記録から求められます。



●マグニチュード

マグニチュード (M) は地震そのものの大きさ (規模) をあらわします。マグニチュードは地震の最大振幅から求められ、震央距離100kmのところに置かれた標準地震計 (ウッド・アンダーソン型地震計、拡大率2800倍) の記録の最大振幅をマイクロン単位ではかり、その常用対数をとった値として定義されています。

地震で放出されるエネルギー E (erg) とマグニチュードとの間には次の経験則が成り立ちます。

$$\log E = 11.8 + 1.5M$$

この式からマグニチュードの値が1だけ大きくなるとエネルギーは約31.6倍、2だけ大きくなると1000倍になるという関係になります。

●震度

マグニチュードが地震の規模をあらわすのに対して、震度は地震によるある地点の地表面のゆれの激しさをあらわし、人の受ける感覚や物体に与える影響の大きさから決められます。日本では気象庁震度階級により、次の8階級に区分されています。諸外国では12階級からなる改正メルカリ震度階級が多く用いられています。

震度階級は兵庫県南部地震を機に見直しが進められています。1996年10月から、地震による被害の幅が大きい震度5と震度6はそれぞれ強・弱の2段階に分けられ、震度階級は10段階になります。

階級	名称	説明
0	無感	人体に感じないで地震計に記録される程度
1	微震	静止している人や、特に地震に注意深い人だけに感ずる程度の地震
2	軽震	おおぜいの人に感ずる程度のもので、戸障子がわずかに動くのがわかる程度の地震
3	弱震	家屋がゆれ、戸障子がガタガタと鳴動し、電灯のようなつり下げ物はさうとうゆれ、器内の水面の動くのがわかる程度の地震
4	中震	家屋のゆれが激しく、すわりの悪い花瓶などは倒れ、器内の水はあふれでる。また、歩いている人にも感じられ、多くの人々は戸外に飛び出す程度の地震
5	強震	壁に割れ目が入り、墓石・石どうろうが倒れたり、煙突・石垣などが破損する程度の地震
6	烈震	家屋の倒壊は30%以下で、山崩れが起き、地割れを生じ、多くの人が立っていることができない程度の地震
7	激震	家屋の倒壊が30%以上に及び、山崩れ、地割れ、断層などを生じる

(気象庁震度階級、1949)

●震源域

地震時には、地下の岩盤の破壊は震源からはじまり、震源断層をつくり地震波を発生しながら周囲に広がっていきます。破壊はさらに震源断層の周辺の岩盤にもおよび、そこでは多くの副次的な断層が生じていると考えられます。このような、震源断層を

取り囲む破壊領域全体を震源域といいます。震源域の大きさは地震の規模が増すほど大きくなり、大規模な地震では震源域の長径は数10kmから100km以上にもおよびます。破壊の出発点である震源は、震源域の中心ではなくその端に位置することもあります。

●本震

大きな地震が起こると引き続いて小さな地震（余震）が多数発生します。また大きな地震に先行して小地震（前震）が起こることもあります。こうした一連の地震群のなかで最大の地震を本震といいます。

●余震

大きな地震が起こると、その付近に集中して本震より小さい地震が続発します。これらの地震群を余震といいます。余震が分布する地域を余震域といい、その広がりには本震の震源域とおおむね一致します。余震は、本震の震源断層ができることによって生じたひずみを解消する現象と考えられています。

●前震

本震の震源域となる領域やその付近に、本震に先がけて発生する地震を前震といいます。通常規模の小さな少数の地震からなります。前震は地震予知の手がかりとなると考えられますが、前震であることを本震発生前に的確に判断する方法は今のところありません。

●群発地震

同一地域に集中して発生する地震群で、本震とよべるような規模の特に大きな地震を含まないものを群発地震といいます。群発地震の活動は、徐々に活発になり、やがて徐々に終息します。内陸で起こる群発地震の震源はごく浅い場合が多く、地震動よりも地鳴りとして注意をひくことがあります。火山噴火の際には群発地震をともなうことが多く、これは地下のマグマの活動に関係すると考えられています。

●プレートテクトニクス

地球の表面はプレートとよばれる十数枚の板状の岩盤で覆われています。これらのプレートは、海洋プレートと大陸プレートの2種類に分けられます。海洋プレートは中央海嶺で生まれ、その両側に広がり、大陸プレートにぶつかりその下に沈み込みます。主な地震は、これらのプレートが離れるところ（海嶺）、すれ違うところ（トランスフォーム断層）、

近づくところ（海溝）で起こります。

●海溝型地震

日本列島の太平洋沿岸では、太平洋プレートやフィリピン海プレートがそれぞれ北米プレートとユーラシアプレートの下に沈み込んでいます。沈み込みに引きずられて大陸側のプレートの先端はだんだんとたわんでいきます。たわみが蓄積されて耐えられなくなるとプレートの先端はいっきにはね上がります。日本の太平洋沿岸で起きる巨大地震はこのようにたわんだプレートの端がはね戻るときに発生します。プレートとプレートのぶつかる場所で起こるため、プレート境界地震ともよばれています。海溝型地震の例としては、1978年の宮城県沖地震（太平洋プレートの北米プレートへの沈み込みにより発生）、1946年の南海道地震（フィリピン海プレートのユーラシアプレートへの沈み込みにより発生）があげられます。

●内陸直下型地震

プレートとプレートのぶつかりあうところでは、沈み込むプレートに対し、押される陸側のプレートの内部にもひずみが生じます。ひずみが蓄積されていくと、地下の岩盤の弱い部分がひずみに耐えられなくなり破壊されます。この破壊によって起こる地震が内陸直下型地震です。内陸直下型地震は、一般に海溝型地震にくらべて規模は小さいですが、地殻の浅いところで発生するため、大きな被害をもたらします。

兵庫県南部地震は、プレートどうしが押し合う力によって近畿地方にかかる東西方向の圧縮力が原因となって生じた六甲断層系の右横ずれ断層運動により発生したと考えられます。明治時代以降に起きた最大の直下型地震は1891年の濃尾地震で、このときに出現した断層のずれは、左横ずれ最大8m、縦ずれ6mにも達しました。

●浅発地震・深発地震

震源の深さが60km（または70km）よりも浅い地震を浅発地震、それよりも深い地震を深発地震といいます。浅発地震は主にプレート境界付近に帯状に分布します。深発地震は主にプレートのぶつかる場所で、沈み込むプレートの上面に沿って発生します。700kmよりも深いところでは地震は起こりません。

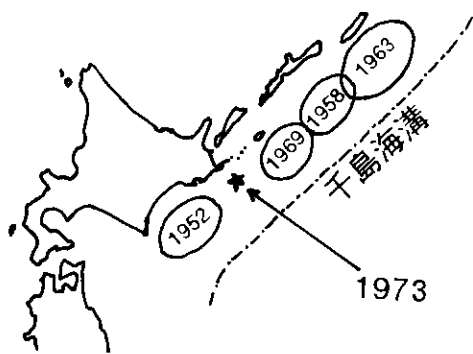
●微小地震

マグニチュード3未満の地震を微小地震といいます。日本では人体に感じる地震が1年に約千回発生していますが、体に感じない地震はこれよりはるかに多く起こっています。微小地震は、平常時の地震活動が活発な地域や、かつて大地震があった場所などでひんぱんに認められます。微小地震の観測データは、地震予知をはじめとするさまざまな研究に用いられています。

●地震の空白域

地震多発地帯で、周囲で地震が起こっているにもかかわらず近年地震が起こっていない地域を空白域といいます。いいかえると、地下に大きなひずみのエネルギーがたまっているにもかかわらず近年大きな地震が発生していないため、エネルギーを放出しきれない地域ということになります。空白域は、その範囲を震源域とする大地震の前兆として一時的に地震が静穏化している地域と考えられ、地震予知の指標となります。

1969年色丹島沖地震のあと、この地震と1952年十勝沖地震との間の地域が地震の空白域として指摘されていました。そこに1973年に根室半島沖地震が発生しました。



●地震の前兆現象

地震が発生する前に起こる現象を前兆現象といい、以下のようなものがあります。

- 地盤の昇降・水平ひずみ・傾斜の変化
- 重力変化
- 地震活動の異常
- 地磁気・地電流・電気抵抗の変化
- 地下水の変化（水位、水温、水質など）
- 電波放射の異常（発光現象など）
- 動物の異常行動

これらの現象はいずれも地殻のひずみの増加ある

いは本震前に発生する微少な破壊現象が原因で現れるもので、地震予知のための重要な情報となっています。

●地震予知連絡会

地震予知の観測や研究は、地震学、地球物理学、地質学など多分野にわたるため、研究観測機関も多くの省庁に置かれています。各研究観測機関が提供する情報の専門的検討と総合判断を行うために、1969年に地震予知連絡会が国土地理院に設置されました。地震予知連絡会では、全国的な地震観測や測地測量などを実施するとともに、大地震の発生する可能性の高い地域を特定観測地域に指定し、平常から観測を強化しています。異常が発見されると観測強化地域に指定して移動観測などを実施し、観測をさらに強化して短期的な予知をめざしています。

●地震防災対策強化地域判定会

地震を予知し、地震による災害を防止・軽減する目的で、1978年に大規模地震対策特別措置法が施行されました。これに基づき静岡県など6県170市町村は、マグニチュード8クラスの大規模地震である東海地震が起きた場合に震度7以上もしくは大津波が予想されるため、1979年に地震防災対策強化地域に指定され、各種の観測が高密度に実施されています。この地域の観測データに異常が発見された場合に、それが大規模地震の前兆であるかどうかを緊急に判定するのが地震防災対策強化地域判定会です。判定会は気象庁長官の私的諮問機関として設置されました。判定会が、大規模な地震の発生のおそれがあると判定した場合には、地震予知情報が気象庁長官から内閣総理大臣に報告されます。報告を受けた内閣総理大臣は直ちに閣議に諮り、警戒宣言を発し、それを受けて国や地方公共団体は地震防災計画を実施することになっています。

●津波

海底の地下浅いところで大地震が起こると海底は隆起したり沈降したりします。この海底の変形にもなって海面は変動し、できた海面の凹凸が波となって伝わったものが津波です。津波は水深に対して波長が極めて長い波で、その波源では、波の高さが海底の変動量にほぼ等しくなっています。津波の伝わる速度 V (m/s) は

$$V = \sqrt{g h}$$

g : 重力加速度 (m/s²)、 h : 水深 (m)

であらわされ、海の深さが深いほど速く、浅くなるほど遅くなります。そのため、海岸近くでは急激に波高を増します。また、リアス式海岸のように湾の奥にいくほど幅が狭くなっているところでは、湾内に波のエネルギーが集中して湾の奥で波高が非常に高くなり、大きな被害をもたらします。一般に大きな津波を起こすのは、海底の地下40km以浅で発生した地震で、マグニチュード7以上のものとされています。1993年の北海道南西沖地震では最大波高29mの津波を記録しました。

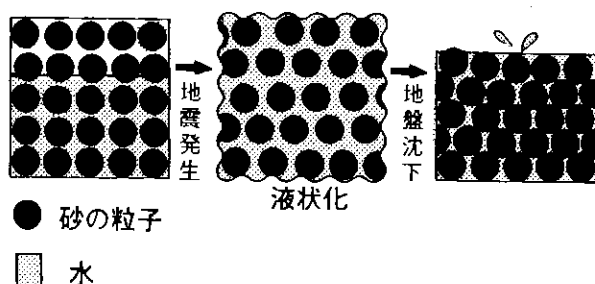
津波は外国でも「Tsunami」とよばれ、国際用語になっています。

●液状化現象と噴砂

地下水位が高く軟弱な砂地盤で、砂の粒子が小さく粒がそろっている場合には、強い振動によって地盤全体が沈下したり、側方へ流動するなど、あたかも液体のようにふるまうことがあります。このような現象を液状化現象といいます。

液状化は急激な地震のゆれによって、砂の粒子と粒子のかみ合わせがはずれ、砂の粒子が地下水の中に浮かんだ状態となることによって起こります。液状化が起きると、砂地盤はあたかも泥水のようになり、地盤としての支持力は失われ、砂中にある重いものは沈み、軽いものは浮き上がってしまいます。また、岸壁や堤防などでは側方へ流動し、さらに地盤沈下を大きくします。液状化の際、地下水は上昇して地上に噴き出します。そのとき、水とともに砂が噴出したものを噴砂といいます。

埋め立て地、湖沼周辺、自然堤防の縁辺部、旧河道・旧河川敷などで起こりやすいとされています。今回の地震でも、神戸市のポートアイランドを中心とする、沿岸域の埋め立て地に液状化による被害が集中しました。



●地震考古学

断層とともに、液状化による噴砂の跡も、過去の地震を知る重要な手がかりとなります。特に遺跡の発掘で現れた地層の断面を調査し、断層や噴砂の跡などを観察する方法がよく行われています。このような分野は地震考古学とよばれ、近年注目されています。

●軟弱地盤

沖積層や埋め立て地などの軟らかい地盤を軟弱地盤といいます。軟弱地盤は地震動に対して次の(1)から(3)のような対応を示すことから、地震に弱い地盤と考えられています。

(1)地震波の振幅が大きくなる

地震波の伝わる速度は、軟らかい地層ほど小さく(遅く)なります。地震波のエネルギーが一定で、速度が小さくなると、そのぶん地震波の振幅は大きくなります。したがって、地下から来た地震波が軟弱地盤に伝わると、振幅が急激に大きくなります。

(2)振幅を増幅する

比較的固い地盤の上に軟弱地盤が乗っていると、下にある固い地盤に対して、軟弱地盤の下底はほとんど動かず、地表面が大きく振動するという現象が起きます。このときの振動周期が地震波の振動周期と一致すると、振幅が何倍にも増幅されてしまいます。

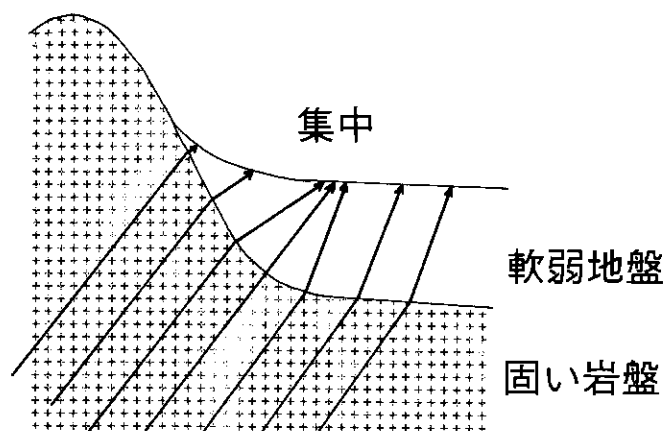
(3)不等沈下を起こす

軟弱で締まっていない地盤では、振動によって不等沈下を起こし、これが建物の基礎を破壊し、被害を大きくします。

●フォーカシング

固い地盤の上に不連続に軟弱地盤が重なっている場合、両者の境界で地震波は大きく屈折します。この場合、地盤の構造が複雑で、境界が急傾斜であると、地震波の屈折もより複雑になります。その結果、到達する地震波がまばらな部分と集中する部分とができます。このように地震波が集中することをフォーカシングといいます。

阪神間の市街地のように、地下の構造が山地と平行している場合、フォーカシングによって帯状の被害が出る可能性も指摘され、震災の帯をつくった原因のひとつと考えられています。



●なぎさ現象

軟弱地盤では地震動による被害が大きくなることがわかっていますが、同じ軟弱地盤のなかでも特に固い地盤との境界近くで被害が大きくなる現象のことをいいます。これは、地震波が固い地盤から軟らかい地盤へは伝わりやすいのに対し、軟らかい地盤から固い地盤へは伝わりにくいため、固い地盤との境界部分の軟弱地盤にエネルギーが集中するために起きると考えられています。

今回の地震であらわれた震災の帯はなぎさ現象によると考えている研究者もいます。

●● おわりに ●●

人と自然の博物館・地球科学研究部は「人と自然の関わり」を念頭に置き、博物館設立準備室時代から機会あるごとに、身近なあるいはグローバルな地学現象をテーマにした普及教育活動を実践してきました。兵庫県南部地震が発生したのは、おりしも地球科学研究部担当の特別集中セミナー「災害列島ー日本」において、近い将来、近畿地方内陸部でM7クラスの直下型地震が発生すると警告されたわずか半年後のことでした。

地震発生から1年が経過しました。いまふりかえってみると、長いようでもあり、あっという間に過ぎ去ってしまったとも思えるような1年でした。大地震の惨劇は時の経過とともに人々の記憶から次第に薄れていくのではないかと危惧しています。しかし、大地震はいずれまた日本列島のどこかで必ず起きます。今回の地震と同じようにほとんど前触れもなく突然襲ってきます。

今回の大震災は数多くの課題を残し、「人と自然の共生」が言葉で言うほど生やさしいことではないことを教えてくれました。大震災の教訓を決して風化させてはなりません。

災害というと常に暗いイメージがつきまとい敬遠されがちです。事実その通りだと思います。しかし、四方を海に囲まれた中緯度の変動帯に位置する日本に住む私たちは自然災害の脅威から逃れることはできません。一方、災害列島・日本に住む私たちは四季の変化が明瞭で穏やかな気候、豊かな降水量、変化に富んだ美しい自然景観など、ふだんは気づかない自然の恩恵に十分すぎるほど浴しているのです。このような自然の二面性を直視し、自然災害の脅威をいかに軽減させていくかを真剣に考えていく必要があります。「自然にやさしい」、「自然と調和した」がキーワード的に用いられるようになった昨今ですが、快適な居住環境を講じるには、地震災害に限らず、「災害は忘れた頃にやってくる」という先人達の教えを肝に銘じておかねばなりません。

企画展「兵庫県南部地震を考える」の開催に際しては、日常生活のなかで地震活動をどのように捉えたらよいかを皆様に考えていただきたいと考え、時間的にも空間的にも広い視野から、兵庫県南部地震とそれに関連する事項を紹介しました。また、館内・館外を問わず、地震関連の普及教育活動に深く関わってきました。このような過程で、私たちはあらためて県民の皆様の地震に対する関心の高さを痛感しました。企画展開催中には、展示パネルや模型などを中心にした地震関連の手引き書をつくって欲しいという声を来館者の皆様から直接・間接に耳にしました。こうしてこの小冊子が出版される運びとなりました。大震災の犠牲になられた多くの皆様のご冥福を祈りつつ、この小冊子が防災教育・自然環境教育などの手引き書として、多くの皆様に広く利用していただくことを希望してやみません。

兵庫県立人と自然の博物館

地球科学研究部長 小林 文夫

——お世話になった方々——

この小冊子作成にあたり、以下の方々には貴重な資料を提供していただきました。記してお礼申し上げます。

- ・ 気象庁
- ・ 京都大学防災研究所地震予知研究センター
- ・ 神戸海洋気象台
- ・ 仙台管区気象台
- ・ サンコーコンサルタント株式会社
- ・ 株式会社パスコ
- ・ 兵庫県広報課
- ・ 兵庫県土木部河川開発課
- ・ 兵庫県農林水産部治山課
- ・ 岡部慶隆（川西市教育委員会）
- ・ 寒川旭（地質調査所大阪地域地質センター）
- ・ 藤田和夫（断層研究資料センター）
- ・ 藤森邦夫（京都大学理学部）
- ・ 松田高明（姫路工業大学理学部）
- ・ 溝口昭二（中央開発株式会社）
- ・ 渡辺邦彦（京都大学防災研究所）

兵庫県南部地震を考える



1996年3月31日

編集・執筆：兵庫県立人と自然の博物館・地球科学研究部

発行：兵庫県立人と自然の博物館

印刷：ウニスガ印刷株式会社

