

1

地震はどこでどのようにして起こるか

日本は世界でも有数の地震多発国です。地震が大きな被害をもたらすことも稀ではありません。地震は世界のいろいろな地域で起こりますが、実は発生のしくみにより、いくつかのタイプにまとめられます。プレートどうしの相互作用によって起こるプレート間地震、陸のプレート内部で活断層が動いて起こる陸域の浅い地震などです。

地球表面の移動……マントル対流とプレート運動

プレートテクトニクスという言葉があります。プレートテクトニクスとは、地震活動や火山活動など、地球の表面近くで起こるいろいろな現象を、プレートの運動で説明する学説です。

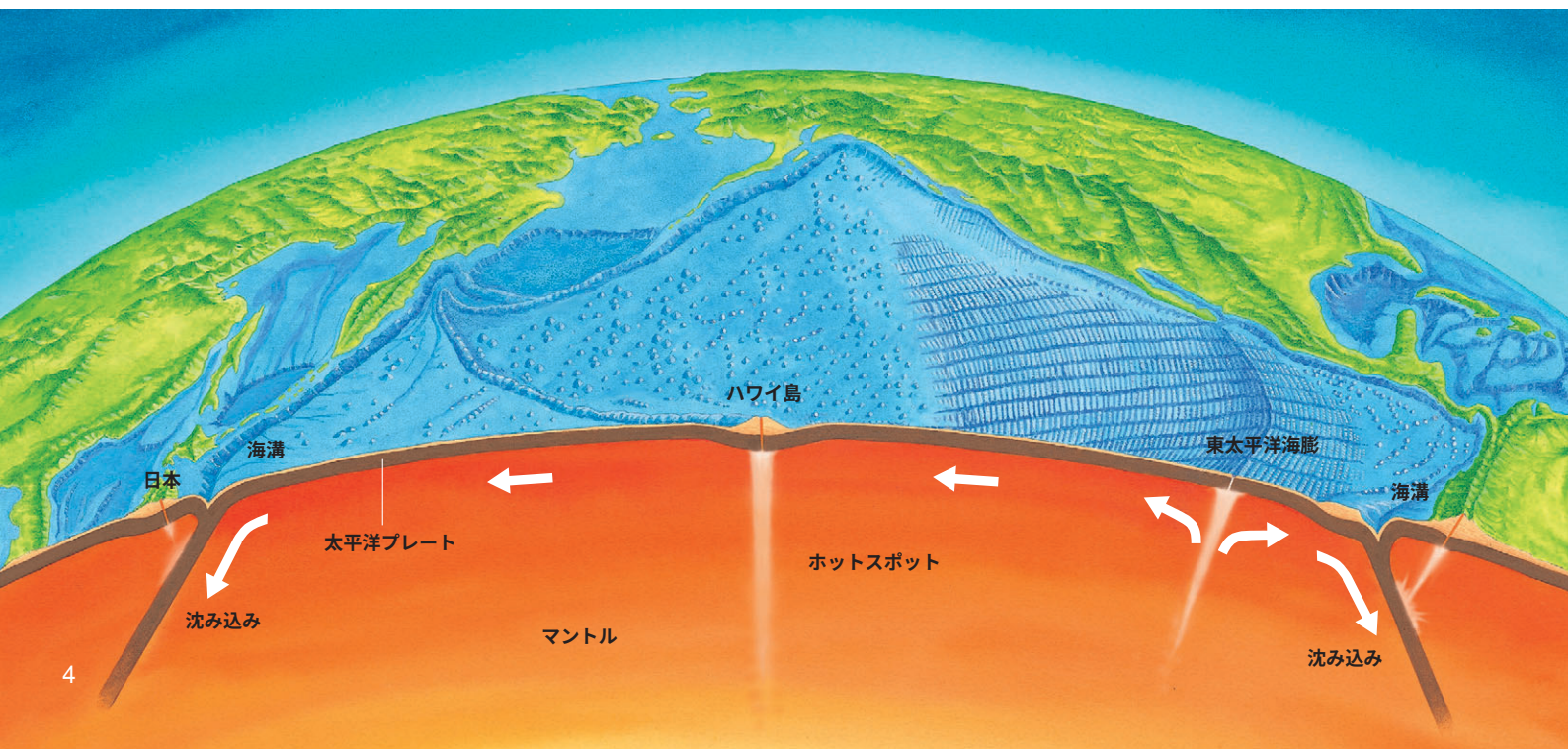
地球の表面は、プレートと呼ばれる厚さ数10kmの岩盤でおおわれています。プレートはひと続きになっているのではなく、10数枚が集まって地球の全表面を包んでいます。しかも、そのそれぞれが違う方向に、年間数cmの速さで移動しているのです。そのためプレートどうしの間に圧縮したり引っ張り合ったりする力が働きます。この、プレートの運動が生み出す巨大な力が、地震を引き起こすのです。

プレートを移動させる力はどこから来るのでしょうか。大きな要因と考えられているのは、マントル対流です。マントルは地表近くから深さ2900kmまで地球内部に広がる層で、地表近くの部分はプレートの下部を構成します。プレートの移動は、このマントルの対流によって、プレートが一定方向にひきずられるためと考えられ

ます。対流するといっても、マントルは岩石でできた固体であって、液体ではありません。しかし、何百万年といった非常に長い時間でみれば、水飴の様に變形するため、地球中心部の熱で温められ上昇し、地表近くで冷え下降し、一種の対流運動をします。その速さは1年に数cmと大変ゆっくりしています。

上昇したマントルの成分は、一部が溶けてマグマとなり、海嶺または海膨と呼ばれる海底山脈からあふれ出て固まります。海洋プレートの形成です。海洋プレートは海底を移動し続け、やがて陸のプレートにぶつかります。そこで海洋プレートは、比較的軽い物質でできた陸のプレートの下に沈み込んでいきます。この海洋プレートの沈み込む場所が、海溝やトラフという海底の深い溝です。日本列島は、日本海溝、千島海溝、南海トラフなど、いくつもの海溝やトラフに囲まれており、海洋プレートの沈み込みがもたらす圧縮の力によって、有史以来、多くの地震災害をこうむっています。

■プレート運動



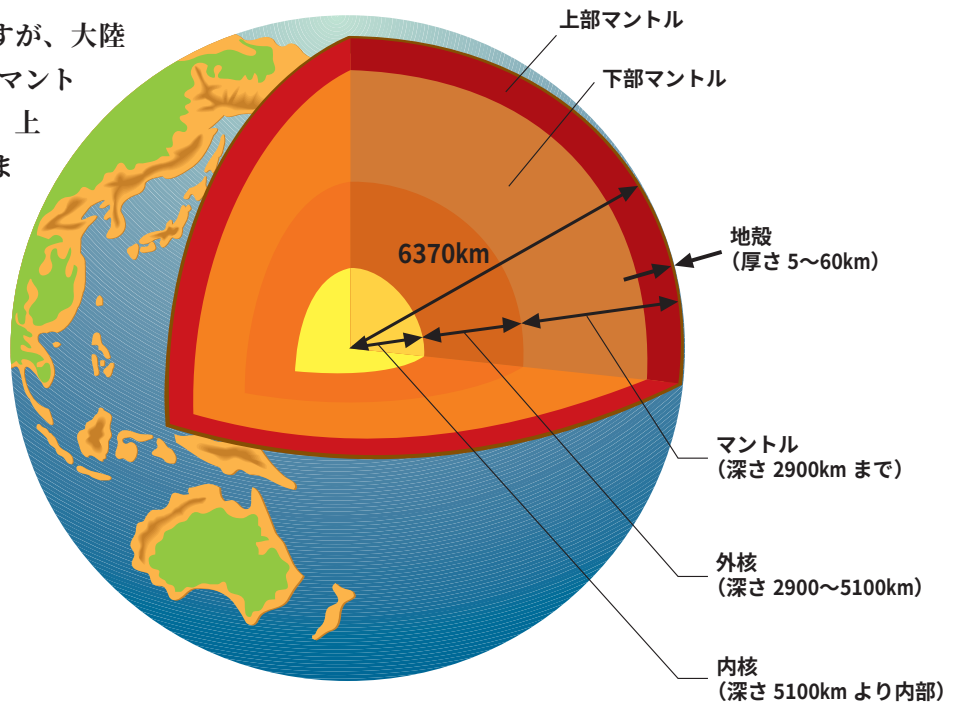


地球の内部はこうなっている

地球の構造はニワトリの卵に似ています。外側を包む殻にあたる部分を“地殻”、その下の自身にあたる部分を“マントル”、中心の黄身にあたる部分を“核”と呼びます。

上層部の地殻は岩石でできていますが、大陸と海洋で、厚さも成分も異なります。マントルは固体で、深さ400～700kmを境に、上部マントルと下部マントルに分かれます。地殻とは異なる物質でできており、地球の体積の約80%を占めています。深さ2900kmより内部を核といい、約5100kmの深さで外核と内核に分かれます。外核は液体、内核は固体と考えられています。

■地球内部の構造

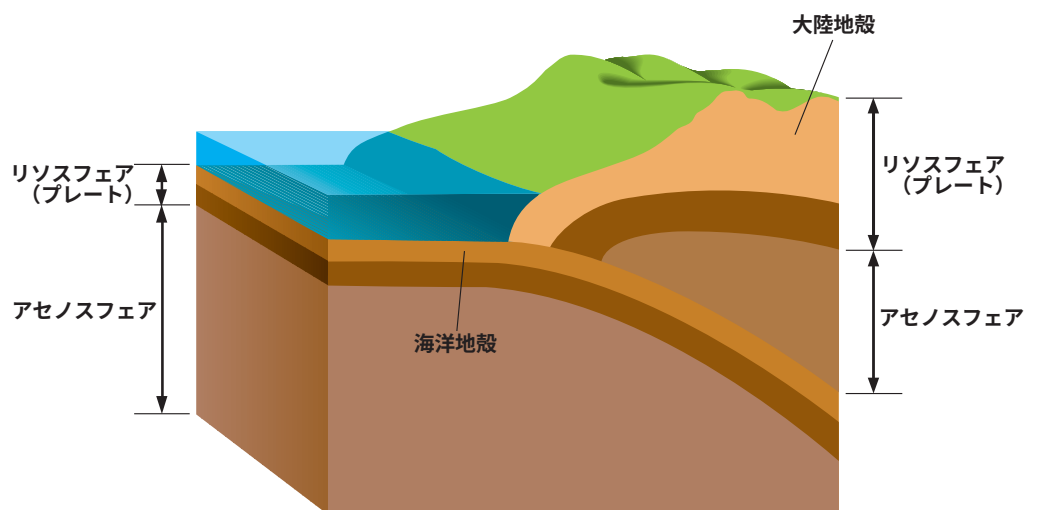


地球表面——地殻はこうなっている

大陸を形成する大陸地殻と、海底を形成する海洋地殻を較べると、厚さも成分も全く異なっています。大陸地殻は30～60kmの厚さがあり、上部は花崗岩質岩石、下部は玄武岩質岩石でできています。それに対し海洋地殻は厚さが5～7kmほどしかなく、主に玄武岩質岩石でできています。

地殻は上部マントルの一部と一体になってプレートを構成します。両者を合わせたこの層をリソスフェアと呼びます。リソスフェア（プレート）の下には、比較的やわらかいアセノスフェアと呼ばれる層があり、プレート運動の潤滑剤のような役割をすると考えられています。

■地殻の構造



プレート間地震はなぜ起こる……プレートの動きと地震

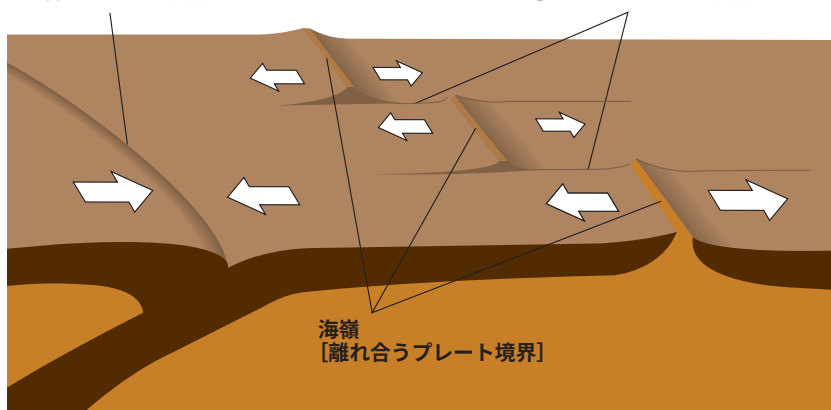
プレートとプレートが出合う場所をプレート境界といいます。ひと口にプレート境界といっても、場所によってプレートどうしの動きは異なります。例えば、プレートがつくられて移動を始める海嶺（海膨）では、二つのプレートは互いに離れ合うように動きます。一方、移動してきた海洋プレートが陸のプレートの下に沈み込む海溝やトラフでは、プレートどうしが近づき合う動きをしています。また、トランスフォーム断層のように、プレートどうし互いにすれ違うように動く境界もあります。

こうしたプレートの運動により、プレート境界付近には歪^{ひずみ}が生じます。歪は次第に蓄積し、ついに限界に達したとき、プレート境界付近が動きプレート間地震が発生します。海溝やトラフなどプレートどうしが近づきあう境界付近でくり返し発生する、規模の大きなプレート間地震は、発生から発生までの活動間隔が数十年～数百年と比較的短く、ひとたび発生すれば、甚大な被害をもたらすことがあります。

■プレートの動きと境界

海溝
[近づき合うプレート境界]

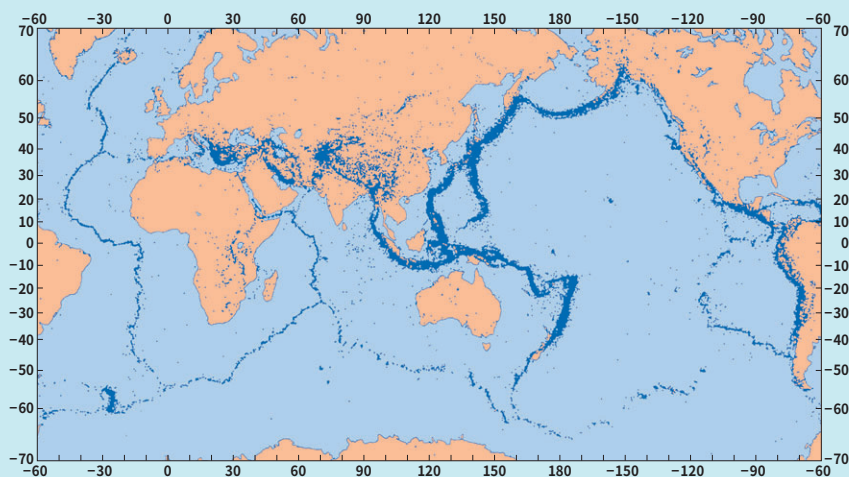
トランスフォーム断層
[すれ違うプレート境界]



世界の地震分布

地震は地球のあらゆる場所で等しく発生するわけではありません。プレート境界に沿った帯状の地帯に集中して起こっています。プレート境界におけるプレートどうしのせめぎ合いが、地震を発生させるからです。

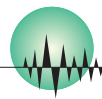
■世界の地震分布 (M $\geq$ 4.0 深さ100km以下 1975～1994年)



(「理科年表」平成16年版より)

■世界のプレート境界





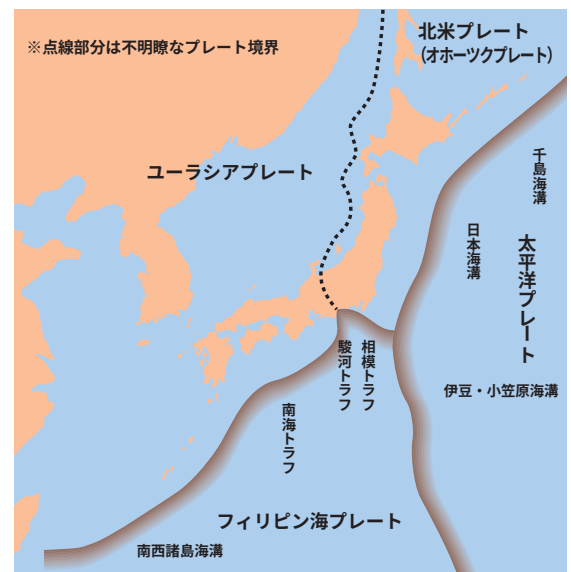
海洋プレートの沈み込みとプレート間地震

日本列島の太平洋側の海底には、いくつもの海溝やトラフが連なっています。これらの場所では、海洋プレートが陸のプレートの下に沈み込んでおり、日本ではそのためにプレート間地震が起こります。海洋プレートが海溝やトラフに沈み込む際、いっしょに陸のプレートの先端部をひきずり込み、それによって歪んだ陸のプレートの先端部が跳ね上がって地震が発生するのです。発生源が海底下の浅いところにあるため、津波をともしません。

■日本で起こるプレート間地震のしくみと地殻変動（南海地震の例）

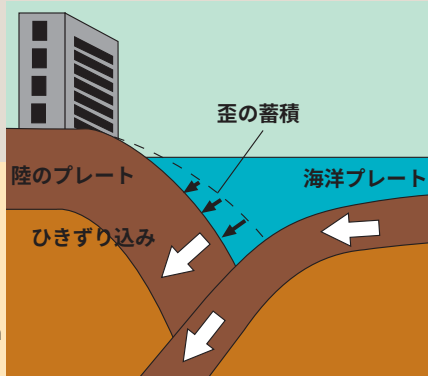
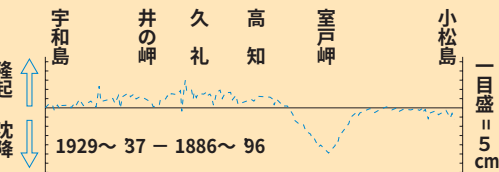
下の左の図は、1886（明治19）年から1991（平成3）年まで約100年間の四国南部地域の水準測量結果から得られた地殻変動です。室戸岬の変動に注目すると、1946（昭和21）年の南海地震（M8.0）以前は沈降、地震時の大きな隆起、地震後の継続した沈降が読み取れます。この現象は、フィリピン海プレートの沈み込みにともなう地殻変動の具体的な例です。このような地殻変動のパターンの変化の検知は、長期的な地震発生の可能性の評価に役立ちます。

■日本周辺のプレート



【四国南部の水準変動図】（国土地理院：鷲谷、多田による）

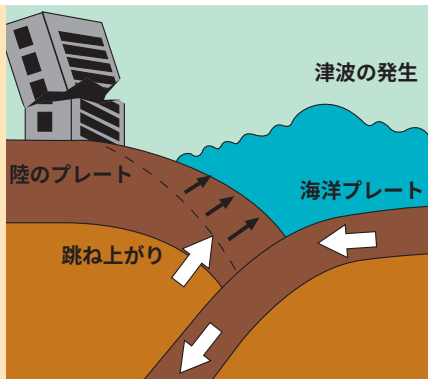
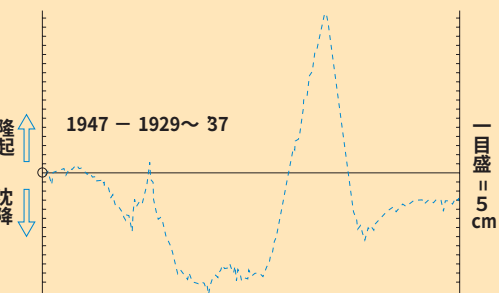
四国の太平洋沿岸における水準路線の測量結果を示す。例えば■の場合、1929～1937年にかけての測量結果の数値から、1886～1896年にかけての測量結果の数値を差し引いたものである。他も同様に、測量ごとに前回値と比較して各水準点の変動をプロットしている。宇和島を不動点として変動量を計算している。



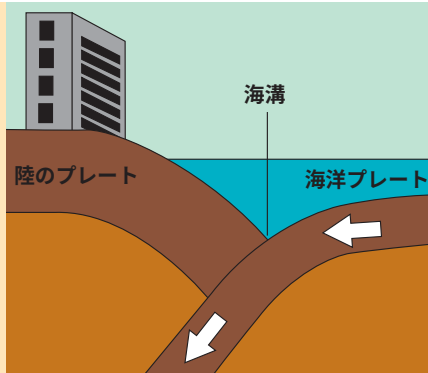
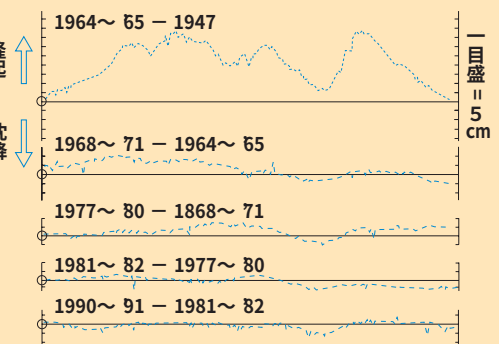
四国南部の水準路線



1 陸のプレートの先端部がひきずり込まれ、歪みます。地殻は圧縮され、沈降します。



2 歪がその限界に達したとき、陸のプレート先端部が跳ね上がり、プレート境界に沿って破壊が起こり、巨大な断層が形成されます。このとき地震波が発生伝播し、地面を激しく揺さぶります。これが巨大地震で、被害が広域にわたるのが特徴です。陸のプレート先端部（例えば室戸岬）では、地殻は伸長し、隆起します。逆に、それより内陸（例えば高知市）では沈降します。



3 巨大地震が発生後、地殻変動に余効現象が現れますが、やがて静穏期を経て、再び海洋プレートが陸のプレートの方へ年数cmの速度で移動し、その下へ沈み込みます。

1→2→3→1→2→3の順序で繰り返し地震が発生します。日本列島の太平洋沿岸は、上のモデルおよびこの水準測量結果で示されるように、巨大地震が発生する典型的な場所です。東海沖や四国沖では、100～200年間隔で繰り返し巨大地震が発生しています。

断層……大地は傷だらけ

地層や地形には、はるか大昔からの地震の跡が記録されています。本来ひと続きであったはずの地層や地形に、上下や左右への食い違いがあれば、過去に地震活動があった可能性があります。このような地層や地形のずれを断層と呼びます。

人間の身体にたとえば、断層は大地の傷のようなものです。すっかり治りきってしまった傷跡のように、もう動く気遣いのないものもあります。しかしその一方、いつまた動くかもしれない、治りきっていない傷のようなものもあり、これを活断層といいます。日本列島には、周辺の海底も含めて多くの活断層が刻み込まれており、現在、日本全国で約2000が確認されています。いわば、

日本の大地は傷だらけなのです。

日本列島の太平洋側では海洋プレートが沈み込んでおり、その圧力で陸地は圧縮され歪みます。圧縮が続きそれ以上歪をもちこたえられなくなったとき、活断層がずれ動いて地震を起こします。

活断層がいつまた動くかもしれないというわけは、陸地の圧縮はいつまでも続くので、動いた後でまた同じ過程を繰り返すからです。断層それぞれで圧縮の速さが違うため、平均的な活動間隔は断層によって異なります。しかしいずれも、千年～数万年と、人間の一生に比べればはるかに長いものです。

根尾谷断層

1891(明治24)年の濃尾地震は、陸域の浅い地震としては最大規模のものでした。その際、根尾谷を通る全長80 kmの大断層が現れ、地表への断層の出現が確認されました。この根尾谷断層の地下断面は、上下約6 mの見事な食い違いを示しています。



▲根尾谷断層の地下断面



◀低い崖が根尾谷断層。

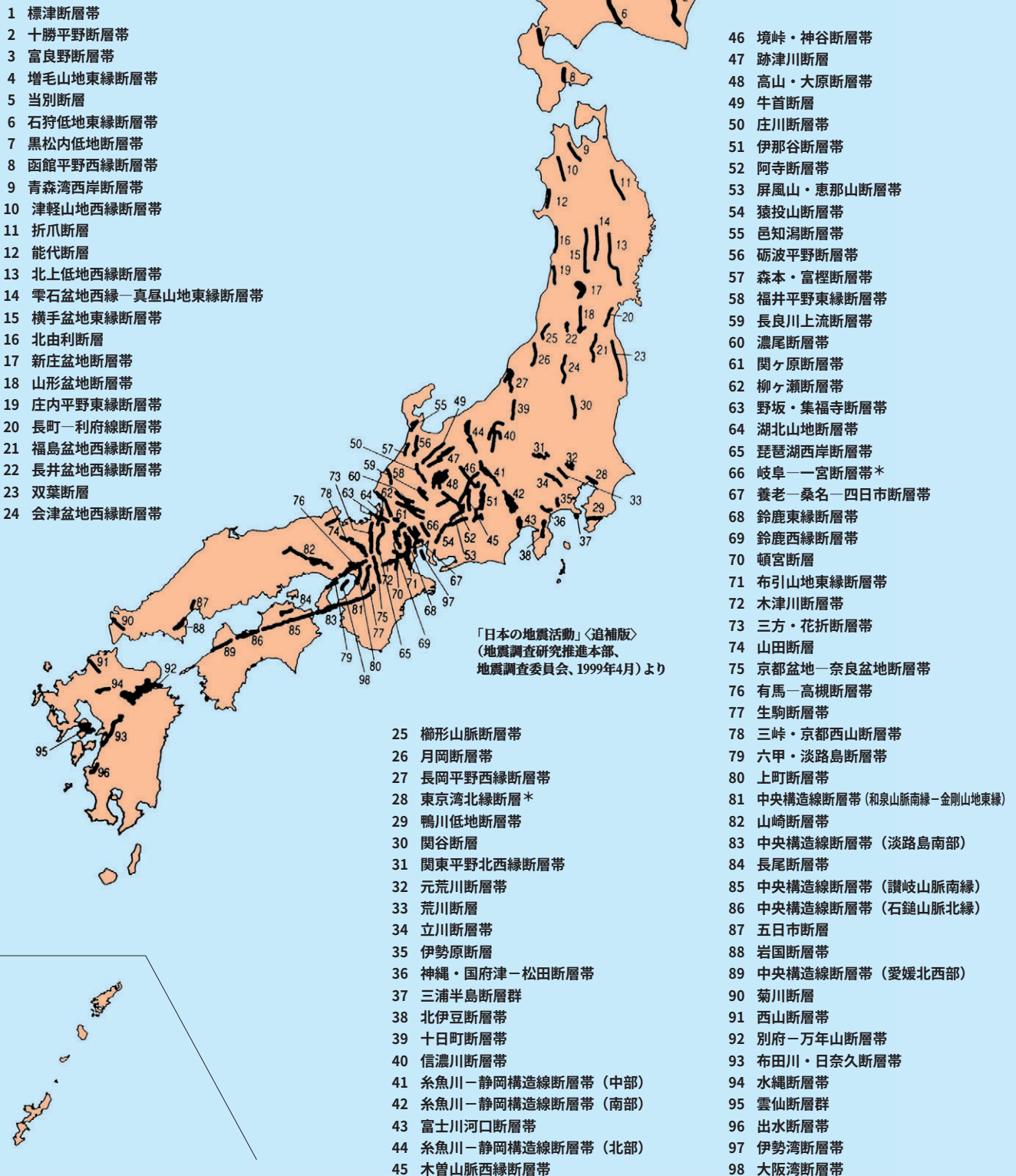
(根尾村教育委員会：
「根尾谷断層と断層資料館・地下観察館」
絵葉書より)



調査対象の活断層

■ 基盤的調査観測の対象活断層の分布図

日本全国には、陸域で約2000の活断層が確認されています。地震調査研究推進本部はこれらの活断層の中でも、その活動が社会的、経済的に大きな影響を与えると考えられるものの中から98の断層または断層帯を選び活断層の調査を推進しています。



*2004年3月現在、28と66については「活断層ではない」と地震調査委員会が評価結果を発表している。

陸域の浅い地震はなぜ起こる……断層運動と地震

プレート運動による引っ張りや圧縮の力が大地に歪を蓄積し、歪が限界に達すると地震が発生します。そのとき地下の岩盤が、断層面を境にして急速にずれ動くために地震が起こるのです。既存の断層を動かしたり、新たに断層をつくったりするこのような動きを断層運動と呼びます。

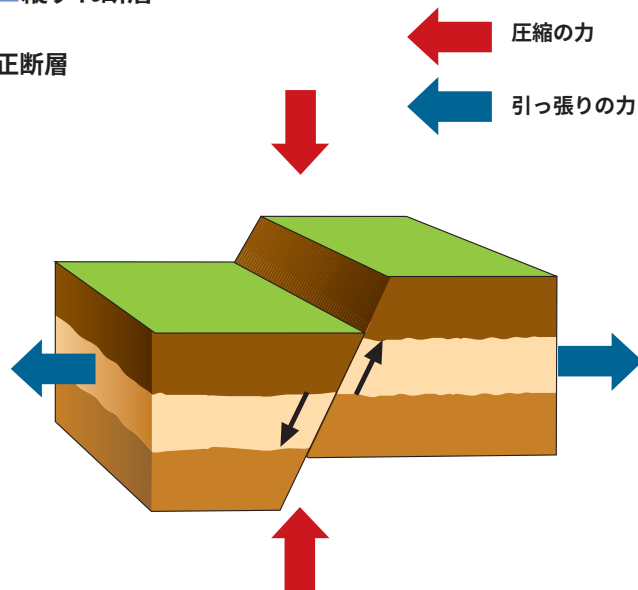
陸のプレート内部で断層運動が起こると陸域の浅い地震が発生します。陸地では、断層運動を生じるような硬くてもろい岩盤があるのは、地下15~20km程度までです。したがって陸域の地震は、せいぜい地下20kmまでの比較的浅い場所で起こります。それより深いところでは、温度が高いために岩盤が軟らかく、力がかかっても流動的に変形してしまうので、急激な破壊は起きないと考えられます。

断層は、ずれの向きによって、縦ずれ断層と横ずれ断層に分けられます。縦ずれ断層は、断層の傾斜方向（上下方向）にずれたもので、正断層と逆断層があります。地盤が引っ張られたため、断層を挟んで、上側の地塊が下へ滑り落ちるのが正断層です。逆断層は、圧縮されて上側の地塊がずり上がる場合をいいます。

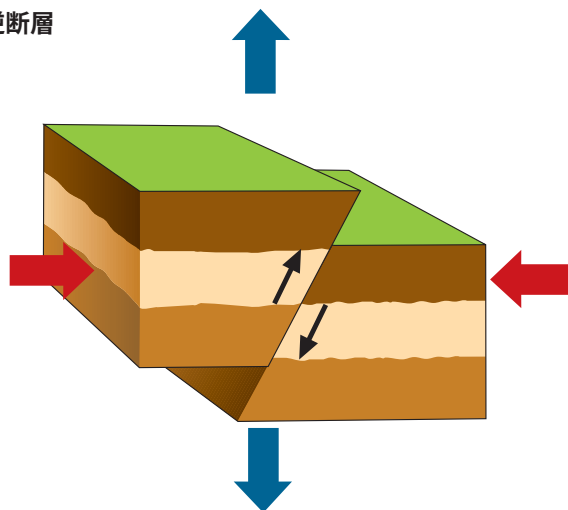
一方、水平面内で圧縮や引っ張りの力がかかると、横ずれ断層が発生します。断層の一方の側から見て、向かい側が右にずれれば右横ずれ断層、左にずれれば左横ずれ断層です。海洋プレートの沈み込みで圧縮の力を受けている日本では、逆断層や横ずれ断層がよく見られますが、実際の断層運動は、斜めにずれるなど両者が合わさったようなずれ方をします。

■縦ずれ断層

正断層

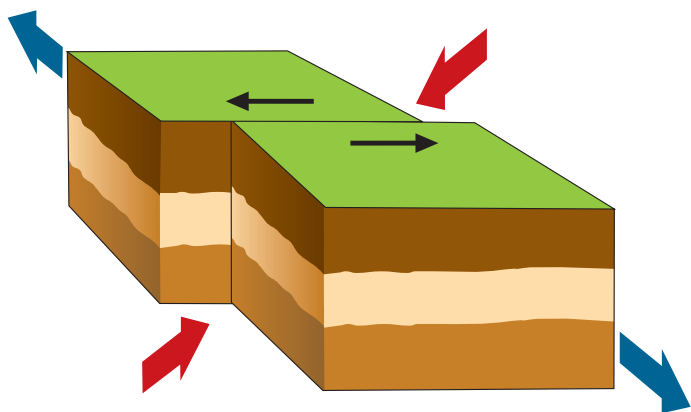


逆断層

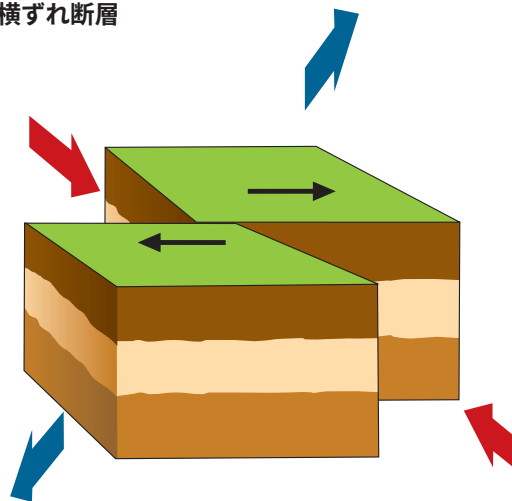


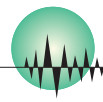
■横ずれ断層

左横ずれ断層



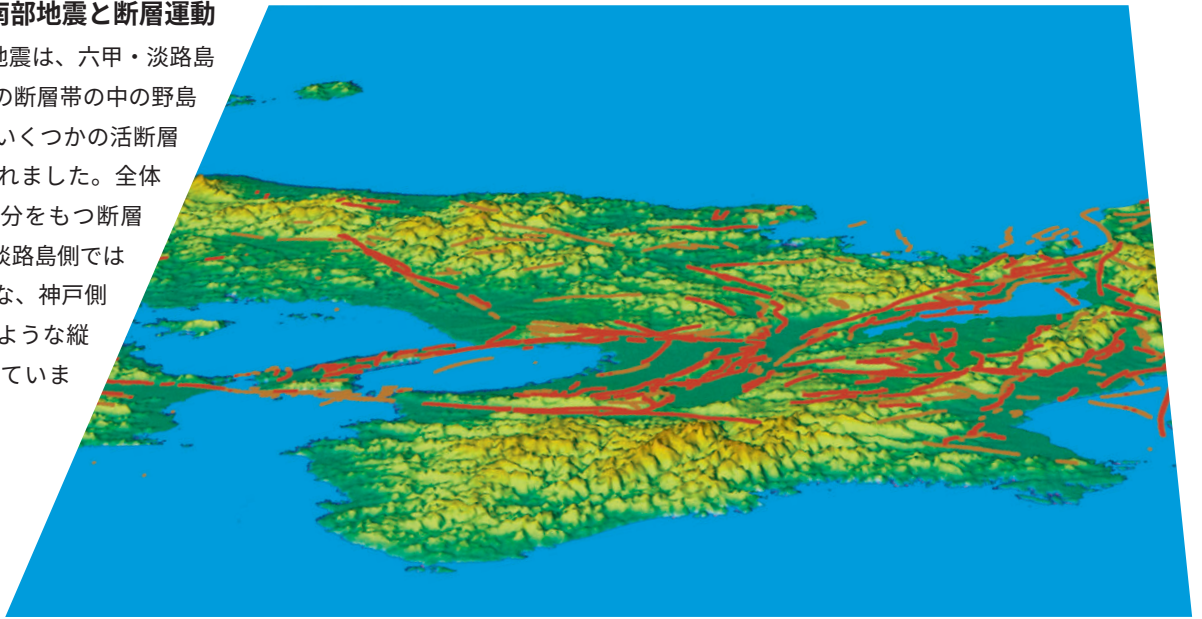
右横ずれ断層





■平成7年兵庫県南部地震と断層運動

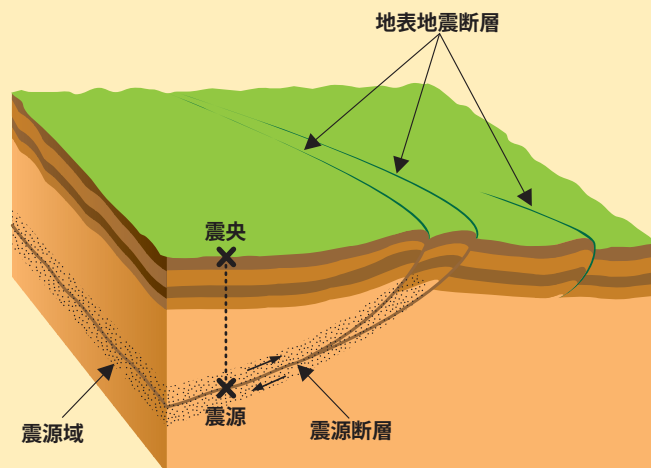
平成7年兵庫県南部地震は、六甲・淡路島断層帯で発生し、この断層帯の中の野島断層をはじめとするいくつかの活断層で、地表にずれが現れました。全体としては右横ずれ成分をもつ断層運動をしましたが、淡路島側では南東側が上がるような、神戸側では北西側が上がるような縦ずれ成分が合わさっていました。



▲近畿地方の活断層分布。赤い線は活断層であることが確実なもの、オレンジ色の線は活断層であると推定されるものを示す。

震源断層と地表地震断層

地下深くで地震を発生させた断層と、地震時に地表に現れた断層との区別を明らかにするため、前のものを震源断層、後のものを地表地震断層あるいは単に地震断層と呼ぶことがあります。



(気象庁提供)



▲上空から見た野島断層。



▲平成7年兵庫県南部地震により地表に出現した野島断層の一部。畦のずれが見られる。

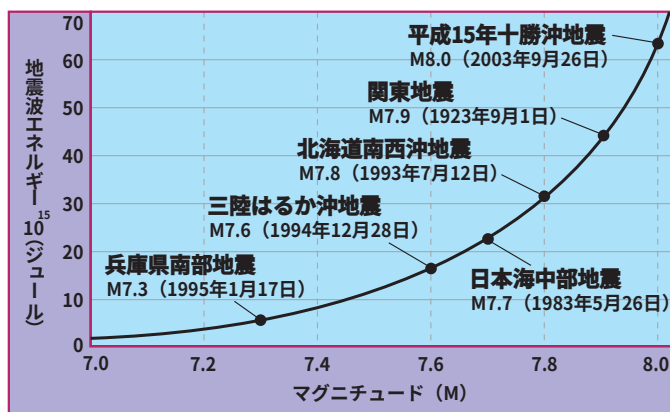
地震を測る……地震の大きさとは何か

マグニチュードと震度の違いを知る

マグニチュード

地震の大きさを表すのがマグニチュードです。地震計の最大振幅などを用いて計算します。地震の大小は、断層運動によって放出されるエネルギーの大小によって決まります。したがってエネルギーが大きくなれば、マグニチュードも大きくなります。マグニチュードが1増えれば地震波のエネルギーは約30倍、2増えと約1000倍にもなります。

■マグニチュードとエネルギーとの関係



震度

震度は、地震による、ある場所での揺れの程度を表し、同じ地震でも地域によって異なります。我が国では気象庁震度階級に基づき、従来は0～7までの8階級に分けていましたが、平成8年度に改正し、震度5と6を“強”と“弱”に分けた10階級に分類しています。以前は震度を体感や被害の状況を調べて判定していました。しかし現在では、震度計による観測値すなわち計測震度に基づく、機械的で、より速い判定を行っています。

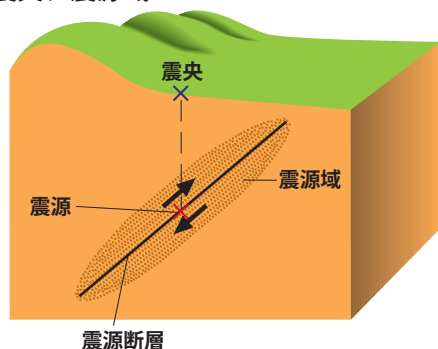
マグニチュードと震度との関係

地下で断層運動が起こると地震波が発生し、それによって私たちの立っている大地が揺れます。この地震の現象を原因と結果とに分けるとすれば、マグニチュードは原因の大きさを、震度は結果の大きさを表しているといえるでしょう。原因は一つでも、もたらされる結果は場所によって異なります。その関係は、電球の輝きの強さと、その周囲のいろいろな場所での明るさとの関係に似ています。同じ電球の光でも、電球の近くでは明るく、遠い場所では暗くなるように、マグニチュード7の地震でも、震源からの距離で震度は6であったり1であったりします。

震源

地震は断層運動により、地球内部の岩石が破壊されて発生します。この破壊が始まった点を震源といい、その真上の地表の地点を震央といいます。破壊は震源から始まって面状に広がります。この破壊の広がった領域を震源域と呼びます。震源域からは地震波が発生して四方に伝わります。地震時の揺れはこの地震波によるものです。

■震源、震央、震源域

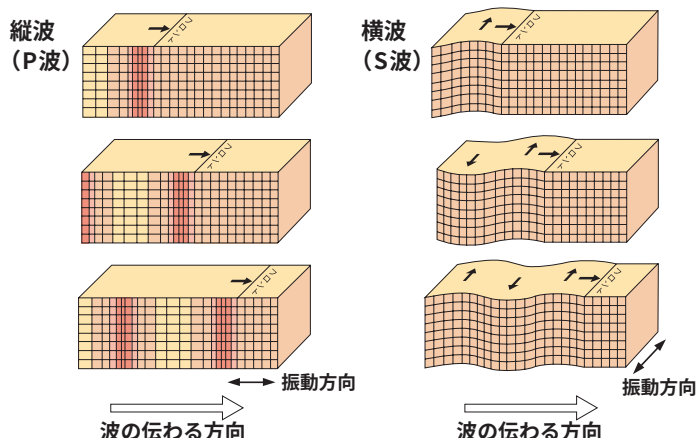


地震波

地球内部を伝わる地震波には、P波とS波があります。P波は岩石の伸び縮みの変化が伝わるもので、その伸び

縮みを伝える方向とその状態変化が進む方向が一致しているので、縦波ともいいます。S波は岩石のずれの変化が伝わるもので、そのずれの変化の方向とその状態が進む方向が直角になるので、横波ともいいます。この他に、地球の表層だけを伝わる表面波があります。それぞれ伝わるスピードが違うため、通常地震では、まずP波によりガタガタと小刻みに揺れた後、S波によりユサユサと大きく揺れ、最後に表面波が到達します。

■地震波の伝わり方





気象庁震度階級関連解説表

震度は、地震動の強さの程度を表すもので、震度計を用いて観測します。この「気象庁震度階級関連解説表」は、ある震度が観測された場合、その周辺で実際にどのような現象や被害が発生するかを示すものです。この表を使用される際は、以下の点にご注意下さい。

- (1) 気象庁が発表する震度は、震度計による観測値であり、この表に記述される現象から決定するものではありません。
- (2) 震度が同じであっても、対象となる建物、構造物の状態や地震動の性質によって、被害が異なる場合があります。この表では、ある震度が観測された際に通常発生する現象や被害を記述していますので、これより大きな被害が発生したり、逆に小さな被害にとどまる場合もあります。
- (3) 地震動は、地盤や地形に大きく影響されます。震度は、震度計が置かれている地点での観測値ですが、同じ市町村であっても場所によっては震度が異なることがあります。また、震度は通常地表で観測していますが、中高層建物の上層階では一般にこれより揺れが大きくなります。
- (4) 大規模な地震では長周期の地震波が発生するため、遠方において比較的低い震度であっても、エレベーターの障害、石油タンクのスロッシングなどの長周期の揺れに特有な現象が発生することがあります。
- (5) この表は、主に近年発生した被害地震の事例から作成したものです。今後、新しい事例が得られたり、建物、構造物の耐震性の向上などで実状と合わなくなった場合には、内容を変更することがあります。

計測震度	震度階級	人 間	屋内の状況	屋外の状況	木造建物	鉄筋コンクリート建物	ライフライン	地盤・斜面
-0.5	0	人は揺れを感じない。						
-1.5	1	屋内にいる人の一部が、わずかな揺れを感じる。						
-2.5	2	屋内にいる人の多くが、揺れを感じる。眠っている人の一部が、目を覚ます。	電灯などのつり下げ物が、わずかに揺れる。					
-3.5	3	屋内にいる人のほとんどが、揺れを感じる。恐怖感を覚える人もいる。	棚にある食器類が、音を立てることがある。	電線が少し揺れる。				
-4.5	4	かなりの恐怖感があり、一部の人は、身の安全を図ろうとする。眠っている人のほとんどが、目を覚ます。	つり下げ物は大きく揺れ、棚にある食器類は音を立てる。座りの悪い置物が、倒れることがある。	電線が大きく揺れる。歩いている人も揺れを感じる。自動車を運転していて、揺れに気付く人がいる。				
-5.0	5弱	多くの人が、身の安全を図ろうとする。一部の人は、行動に支障を感じる。	つり下げ物は激しく揺れ、棚にある食器類、書棚の本が落ちることがある。座りの悪い置物の多くが倒れ、家具が移動することがある。	窓ガラスが割れて落ちることがある。電柱が揺れるのがわかる。補強されていないブロック塀が崩れることがある。道路に被害が生じることがある。	耐震性の低い住宅では、壁や柱が破損するものがある。	耐震性の低い建物では、壁などに亀裂が生じるものがある。	安全装置が作動し、ガスが遮断される家庭がある。まれに水道管の被害が発生し、断水することがある。 [停電する家庭もある。]	軟弱な地盤で、亀裂が生じることがある。山地で落石、小さな崩壊が生じることがある。
-5.5	5強	非常な恐怖を感じる。多くの人が、行動に支障を感じる。	棚にある食器類、書棚の本の多くが落ちる。テレビが台から落ちることがある。タンスなど重い家具が倒れることがある。変形によりドアが開かなくなることがある。一部の戸が外れる。	補強されていないブロック塀の多くが崩れる。据付けが不十分な自動販売機が倒れることがある。多くの墓石が倒れる。自動車の運転が困難となり、停止する車が多い。	耐震性の低い住宅では、壁や柱がかなり破損したり、傾くものがある。	耐震性の低い建物では、壁、梁(はり)、柱などに大きな亀裂が生じるものがある。耐震性の高い建物でも、壁などに亀裂が生じるものがある。	家庭などにガスを供給するための導管、主要な水道管に被害が発生することがある。 [一部の地域でガス、水道の供給が停止することがある。]	
-6.0	6弱	立っていることが困難になる。	固定していない重い家具の多くが移動、転倒する。開かなくなるドアが多い。	かなりの建物で、壁のタイルや窓ガラスが破損、落下する。	耐震性の低い住宅では、壁や柱が破損するものがある。耐震性の高い住宅でも、壁や柱が破損するものがある。	耐震性の低い建物では、壁や柱が破損するものがある。耐震性の高い建物でも壁、梁(はり)、柱などに大きな亀裂が生じるものがある。	家庭などにガスを供給するための導管、主要な水道管に被害が発生する。 [一部の地域でガス、水道の供給が停止し、停電することもある。]	地割れや山崩れなどが発生することがある。
-6.5	6強	立っていることができず、はわないと動くことができない。	固定していない重い家具のほとんどが移動、転倒する。戸が外れて飛ぶことがある。	多くの建物で、壁のタイルや窓ガラスが破損、落下する。補強されていないブロック塀のほとんどが崩れる。	耐震性の低い住宅では、倒壊するものがある。耐震性の高い住宅でも、壁や柱がかなり破損するものがある。	耐震性の低い建物では、倒壊するものがある。耐震性の高い建物でも、壁や柱が破損するものがある。	ガスを地域に送るための導管、水道の配水施設に被害が発生することがある。 [一部の地域で停電する。広い地域でガス、水道の供給が停止することがある。]	
-7.0	7	揺れにほんろうされ、自分の意志で行動できない。	ほとんどの家具が大きく移動し、飛ぶものもある。	ほとんどの建物で、壁のタイルや窓ガラスが破損、落下する。補強されているブロック塀も破損するものがある。	耐震性の高い住宅でも、傾いたり、大きく破損するものがある。	耐震性の高い建物でも、傾いたり、大きく破損するものがある。	[広い地域で電気、ガス、水道の供給が停止する。]	大きな地割れ、地すべりや山崩れが発生し、地形が変わることもある。

*ライフラインの[]内の事項は、電気、ガス、水道の供給状況を参考として記載したものである。

注) 計測震度とは、その地点における揺れの強さの程度を数値化したもので、震度計により計測されます。一般に発表される震度階級は、計測震度から換算されます。
(気象庁提供)