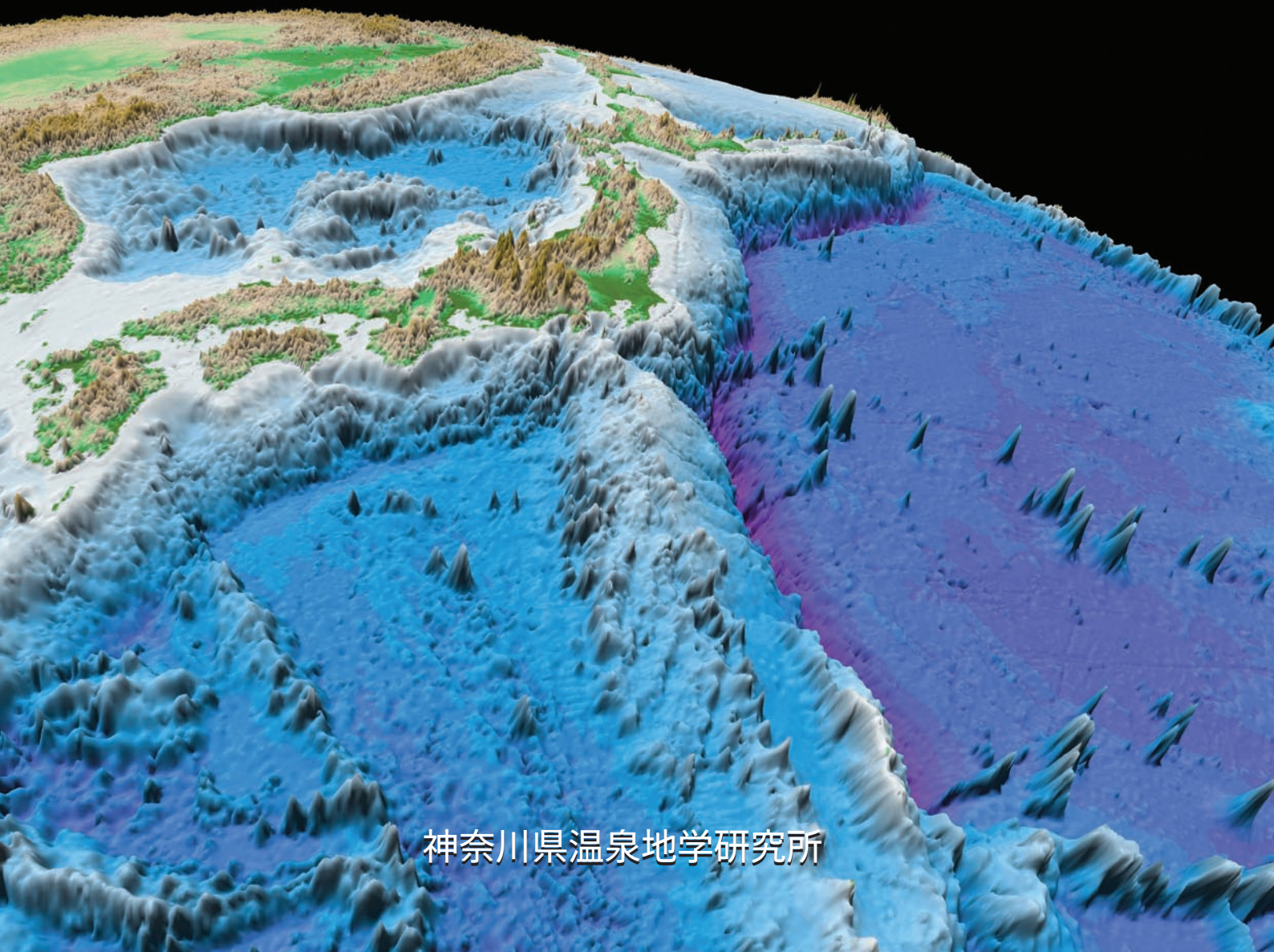
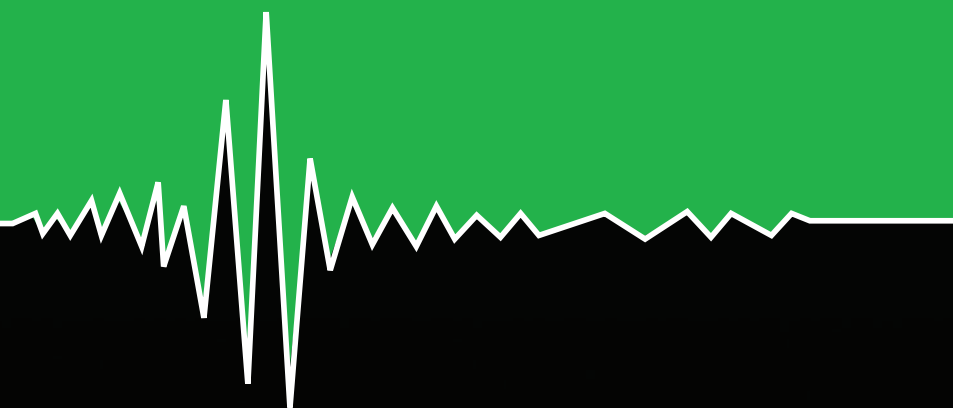




KANAGAWA

神奈川県
温泉地学研究所

地震を知ろう



神奈川県温泉地学研究所

地震を知ろう

第 1 章 大地震は私たちの町にも必ずやってくる 2

これまでに何度も地震に襲われてきた私たちの町
日本には地震が起きない安全な場所はない
なぜ日本では地震が多発するのか

第 2 章 首都直下地震はいつ起きるのか 8

首都圏を襲う大地震はいつ来るのか
今後 100 年で数回、直下地震が首都圏を襲う
首都直下地震はいつ、どこで起きるかわからない

第 3 章 巨大地震は近づいている 14

いつ起きてもおかしくない東海地震
東海地震を監視する
巨大地震は近づいている
巨大津波が関東から四国沿岸を襲う

第 4 章 地震に立ち向かう 22

“日本沈没” はあり得るのか
あなたの町は地震に強いだろうか
地震をつかまえる
地震の仕組みを知り、地震の被害を最小限におさえる
地震に強い町をつくろう

第 5 章 私たちの明日を守るために 32

高感度地震計で地下を見通し、深部低周波微動・スロースリップを発見
GPS によって地震を見る
「ちきゅう」で史上初めて巨大地震の震源まで掘り進める
巨大地震の現場を海底地震計でとらえる
大地震のゆれのコンピュータシミュレーションを防災に役立てる
地震予知を目指し、シミュレーションで地震を知る

神奈川県温泉地学研究所の紹介 44

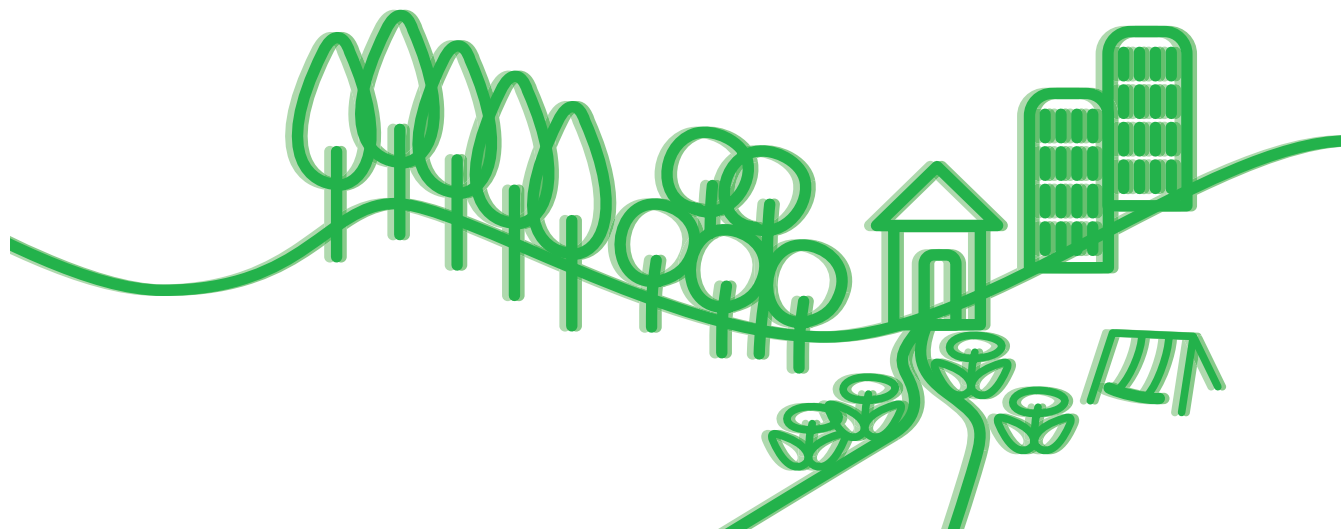
日本では、今まで大きな地震が何度も起きています。

1995年の兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）では、多くの尊い命が失われました。わが国ではこの地震を教訓にして、その後の地震対策が精力的に進められてきました。今では、日本の主な地震については、その発生確率や被害の予測が行われています。また、国・都道府県・市町村の防災対策も整備されてきています。このような地震と防災についての現状をまとめてみました。地震という避けられない災害による被害をできるだけ軽くするために役立つものと考えています。

この10数年で日本の地震研究は飛躍的に進み、地震の正体についてさまざまな事実がわかってきました。それでも、残念ながら研究成果の多くは、被害を軽くすることに直接は役立たないのも事実です。例えば、新潟県中越地震、福岡県西方沖地震は、予想していない場所で起きた地震でした。私たちがわかってきたことは、まだ地震の正体のほんの一部なのです。特に、明治時代より前の地震については、地震観測データがないために、地震の発生確率をはっきりと示すことがなかなか困難です。とはいえ、神奈川県西部地域では、江戸時代に数回、大きな地震によって尊い命が失われたことは確かですから、私たちの研究所はこの地震の正体をつかみ、被害の軽減に少しでも役立てようとチャレンジしています。

遠くない将来、地震研究は科学的予知に迫っていくと考えられます。現在、地震研究に取り組んでいる研究者の成果が積み重なり、今の中学生や高校生の皆さんがその成果を引き継いで研究するころには、蓄積された成果が実を結ぶものと期待しています。

ここにご紹介した内容が、地震に対する備えや科学への興味のきっかけとなれば幸いです。



第1章

大地震は私たちの町にも必ずやってくる



横浜市街 (提供: 国立科学博物館)

❶ 関東大震災 関東大震災では、激しいゆれによる直接的な被害とともに、その後に発生した火災により被害が拡大しました。私たちの日本では、平和への努力によって過去60年以上も戦争による破壊を受けることはありませんでしたが、このような地震の被害は避けられないのでしょうか。



鎌倉市・鶴岡八幡宮 (神奈川県『大震災写真帖』より)



横浜市・豊国橋 (提供: 土木学会附属土木図書館)



藤沢市・藤沢駅付近 貨物列車の転覆
(提供: 土木学会附属土木図書館)



東京・銀座通り (提供: 国立科学博物館)



これまでに何度も地震に襲われてきた私たちの町

一面の焼け野原。ここでいったい何が起きたと思いますか。左の写真は1923年に起きた関東地震（マグニチュード〔M〕7.9）後の横浜市街の様子です。関東地震は、首都圏全体で10万人を超える死者・行方不明者を出すという大災害をもたらしました[※]。震源に近い神奈川県の一部では9割近くの家屋が全壊・半壊し、神奈川県の死者・行方不明者は3万人以上に上りました。

一瞬にして多くの命を奪い、町を破壊する大地震は、私たちの明日を脅かす最大の災害、危険の一つです。過密化した現代の都市で大地震が起きたらどうなるのでしょうか。それが現実となってしまったのが、1995年の兵庫県南部地震（M7.3）です。都市直下を震源域とする地震によりビルや家屋、高速道路

が倒壊し、6400人を超える人々の命が奪われました。この地震災害は阪神・淡路大震災と呼ばれています[※]。

私たちが住む首都圏は過去に繰り返し大きな地震に襲われ、深刻な被害を受けてきました。これから大地震は私たちの町に必ずやってきます。

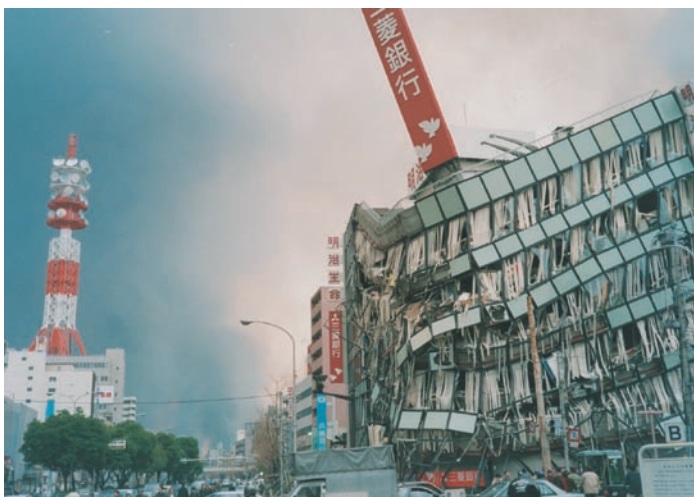
大地震を避けることはできません。ただし、地震研究の進展によって地震が起きる確率や被害の程度がより詳細に明らかになり、地震に立ち向かい被害を最小限に食い止めることは可能になってきました。関東地震や兵庫県南部地震で起きた悲劇を繰り返さないためには、私たち一人ひとりが地震研究の進展に関心を持ち、その成果を地震に強い町や社会づくりに生かしていく必要があります。

※関東地震の被害者数

鹿島建設㈱の武村雅之氏らの研究によると、14万人以上といわれた関東地震の死者・行方不明者数には、数え方に重複があることがわかりました。

※地震と震災

関東地震や兵庫県南部地震は、地震に対して付けられた名前です。一方、関東大震災や阪神・淡路大震災は、地震によって引き起こされた災害に対して付けられた名前です。



神戸市兵庫区（提供：神戸市）

② 阪神・淡路大震災 阪神・淡路大震災では、多くの建物や道路とともに、電気・ガス・水道・通信など、現代の都市生活に必要な社会基盤が破壊されました。阪神・淡路大震災は、現代の地震対策を考える上で、大きな教訓を残しました。



神戸市灘区（提供：神戸市）

日本には地震が起きない 安全な場所はない

日本の国土は、全世界陸地のわずか約0.3%。しかし、世界で起きるM6以上の大きな地震の約20%は、日本周辺に集中しています。

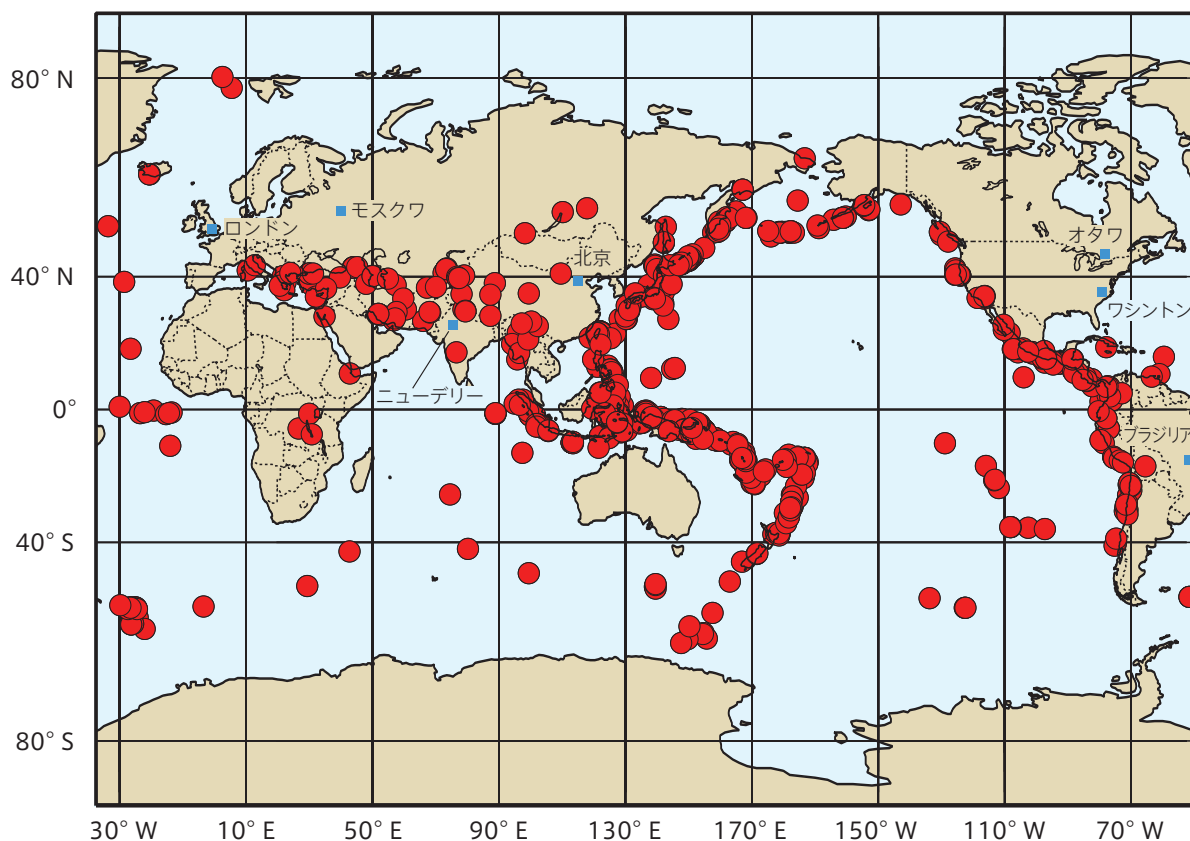
中でも首都圏は、地震が多い場所です。体を感じる地震が平均して週に約1回の頻度で起きています。主要先進国の中で、地震が多発する場所に首都があるのは日本だけです。東京・神奈川・千葉・埼玉の1都3県で3000万人を超える人口を抱え、行政や経済の中枢機能が集中する首都圏で大きな地震被害が発生すると、日本国内はもちろん、世界全体の社会情勢や経済活動に深刻な影響が及ぶおそれがあります。

では、日本に安全な場所はあるのでしょうか。地震の震源分布を見ると、日本列島は震源で塗りつぶ

されてしまいます。明治以降に大きな被害をもたらした地震を見ても、日本各地で起きていることがわかります。日本には地震が起きない安全な場所はないのです。

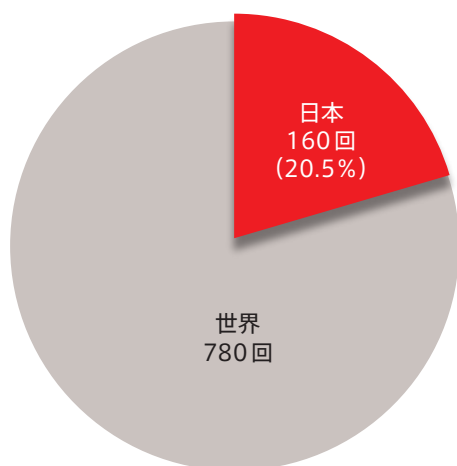
今後も、宮城県沖をはじめとして、日本のさまざまな地域で大地震が起きることが予測されています。東京・名古屋・大阪を中心とする三大都市圏も、立て続けに大地震に襲われる可能性が高いと指摘されています。近い将来、兵庫県南部地震のようなM7程度の地震が首都圏直下で起きるおそれがあります。また、M8程度の東海地震はいつ起きてもおかしくない状況であり、さらにその西側の四国・足摺岬沖にかけても、M8程度の東南海・南海地震が今世紀前半に起きる確率が高いと考えられているのです。

① 世界で発生したM6以上の地震 日本の首都圏は地震の多発地域ですが、欧米をはじめとする主要国の首都では大きな地震は発生していません。(1991～2000年)



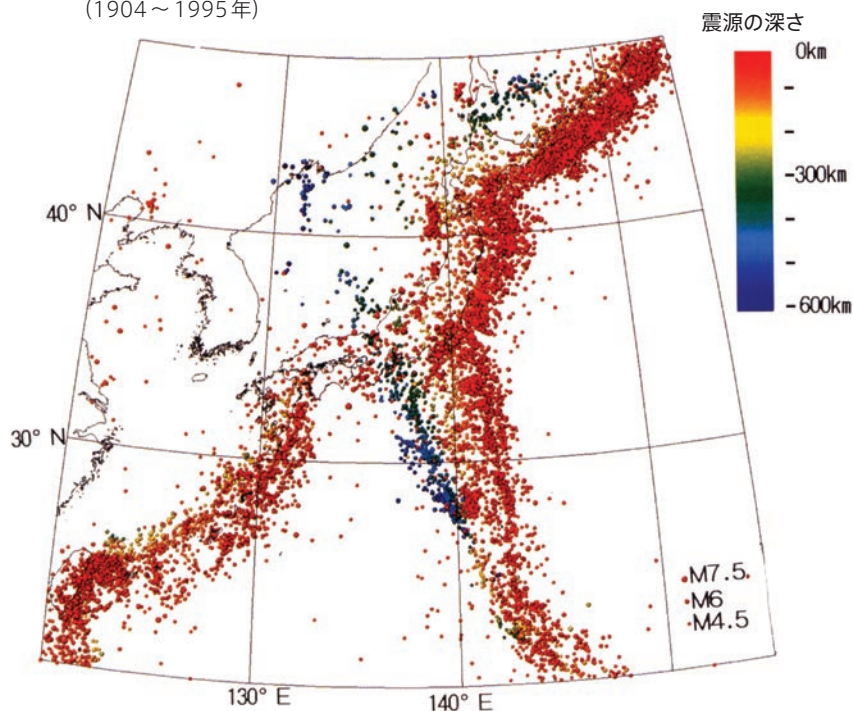
(国際地震センターのデータによる。提供：気象庁)

② M6以上の地震の回数 日本の国土は全陸地の約0.3%ですが、世界で起きるM6以上の地震の約20%は日本周辺に集中しています。(1994～2002年)



(日本については気象庁、世界についてはアメリカ地質調査所の資料をもとに内閣府において作成)

③ 日本列島とその周辺で発生したM4.5以上の地震 地震の震源分布を見ると、日本列島に地震が起きない場所は、ほとんどないことがわかります。(1904～1995年)



(地震調査研究推進本部『日本の地震活動』より)

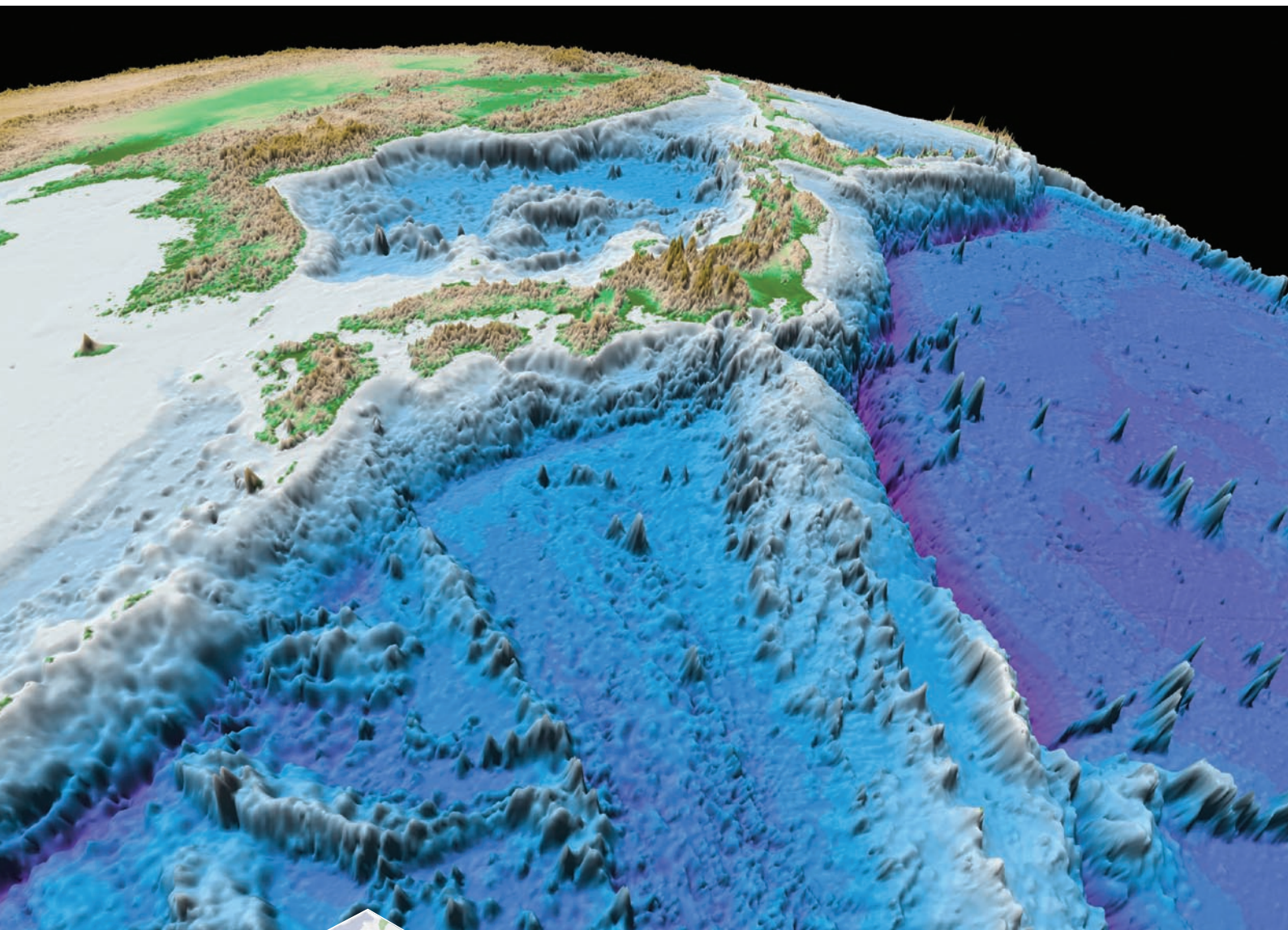
④ 明治以降の日本の主な地震被害 明治以降の約140年間で、死者・行方不明者が1000人を超える大きな地震被害が11回も発生しています。日本各地が地震被害を受けていることがわかります。

(宇佐美龍夫『最新版 日本被害地震総覧 416-2001』東京大学出版会より)

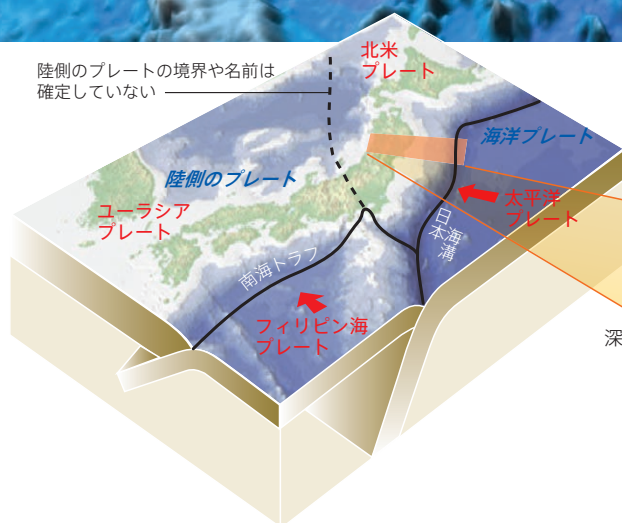
名称	発生年月日	マグニチュード	死者・行方不明者数(人)
濃尾地震	1891年10月28日	8.0	7273
明治三陸地震	1896年6月15日	8.5	約2万2000
関東地震	1923年9月1日	7.9	約10万5000
北丹後地震	1927年3月7日	7.3	2925
昭和三陸地震	1933年3月3日	8.1	3064
鳥取地震	1943年9月10日	7.2	1083
東南海地震	1944年12月7日	7.9	1251
三河地震	1945年1月13日	6.8	1961
南海地震	1946年12月21日	8.0	1443
福井地震	1948年6月28日	7.1	3769
十勝沖地震	1952年3月4日	8.2	33
チリ地震津波	1960年5月23日	9.5※	142
新潟地震	1964年6月16日	7.5	26
十勝沖地震	1968年5月16日	7.9	52
伊豆半島沖地震	1974年5月9日	6.9	30
伊豆大島近海の地震	1978年1月14日	7.0	25
宮城県沖地震	1978年6月12日	7.4	28
日本海中部地震	1983年5月26日	7.7	104
長野県西部地震	1984年9月14日	6.8	29
北海道南西沖地震	1993年7月12日	7.8	230
兵庫県南部地震	1995年1月17日	7.3	6437
新潟県中越地震	2004年10月23日	6.8	67

1945年までは死者・行方不明者が1000人を超える被害地震、それ以降は20人を超える被害地震を掲載。

※津波の高さから求めた地震の規模であるモーメントマグニチュード (Mt)



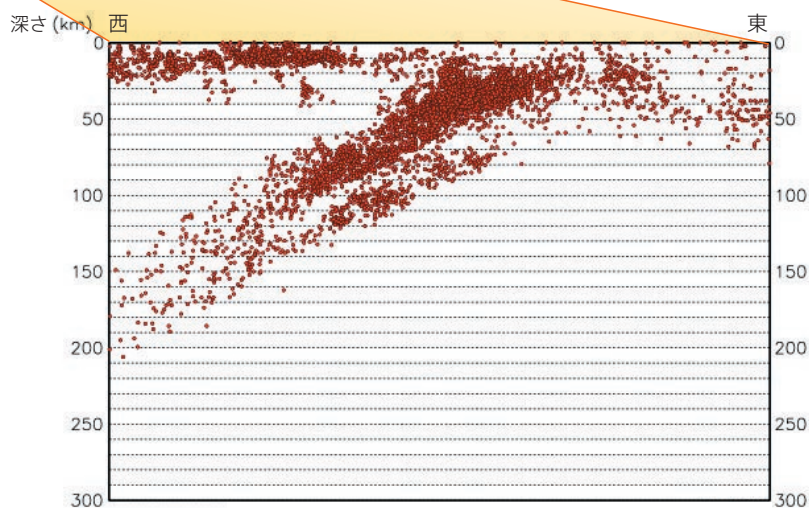
(提供：産業技術総合研究所 <http://www.aist.go.jp/>)



陸側のプレートの境界や名前は
確定していない

東北地方で発生する地震の震源

東北地方の地下を東西に切り、南側
から見た断面図です。東北日本に沈
み込む太平洋プレートの様子がよく
わかります。(提供：気象庁)



2011年の1年間に発生したM0.0以上の地震

① 日本列島周辺の海底地形と四つのプレート

日本列島では四つのプレートが接しています。フ
ィリピン海プレートの先端は伊豆半島付近で陸側
のプレートに衝突しています。

なぜ日本では地震が多発するのか

なぜ、日本で地震が多発するのでしょうか。それは、日本列島が地球上の特別な場所に位置しているからです。

地球の表面は、厚さ100kmほどの「プレート」と呼ばれる硬い岩石の板で覆われています。地球表面にはこのようなプレートが十数枚あり、それぞれのプレートは年間数cmほどの速さで移動しています。プレート同士が接する境界では、すれ違ったり、一方のプレートが他方の下に沈み込んだりして、岩石に大きな力がかかっています。この力に耐え切れなくなると、岩石が一気に破壊され、ずれが生じます。これが地震です。地震はプレートの境界で多発するのです。

日本列島は四つのプレートが接し、ひしめき合う、地球上でも数少ない場所にあります。これが、日本で地震が多発する理由です。しかも私たちが住む首都圏の地下では、三つのプレートが入り組んでいます。日本列島を乗せた陸側のプレートの下にフィリピン海プレートが沈み込み、さらにその下に太平洋プレートが沈み込むという、たいへん複雑な構造に

なっているのです。

海底の地形図を見ると、フィリピン海プレートの先端が伊豆半島付近で日本列島に接していることがわかります。かつて伊豆半島は太平洋に浮かぶ大きな島でしたが、フィリピン海プレートに乗って北上し、約100万年前に陸側のプレートと衝突して半島となりました。富士山は、この衝突の後の火山活動でできた山です。プレートのひしめき合いは、日本に地震災害をもたらす一方で、変化に富んだ風景を生み出してきました。美しい日本の自然と地震は、表裏一体なのです。

フィリピン海プレートと陸側のプレートの境界は、相模湾の相模トラフから神奈川県西部を走る国府津―松田断層付近を経て、富士山の近くを通り、駿河湾の駿河トラフへとつながっていると考えられています。プレートが沈み込む場所を「海溝」、そのうち浅いものを「トラフ」といいます。1923年の関東地震は、フィリピン海プレートが沈み込む相模トラフを震源とする巨大地震です。ここでまた、巨大地震が起きるのでしょうか。



② 伊豆半島の移動・衝突
伊豆半島周辺の地質を調べた結果、フィリピン海プレートに乗った島が北上し（矢印）、陸側のプレートと衝突して伊豆半島が形成されたことがわかりました。

③ フィリピン海プレートと陸側のプレートの境界
伊豆半島の周囲に、フィリピン海プレートと陸側のプレートが衝突する境界があります。矢印は、プレート運動のおよその方向。



第2章

首都直下地震はいつ起きるのか

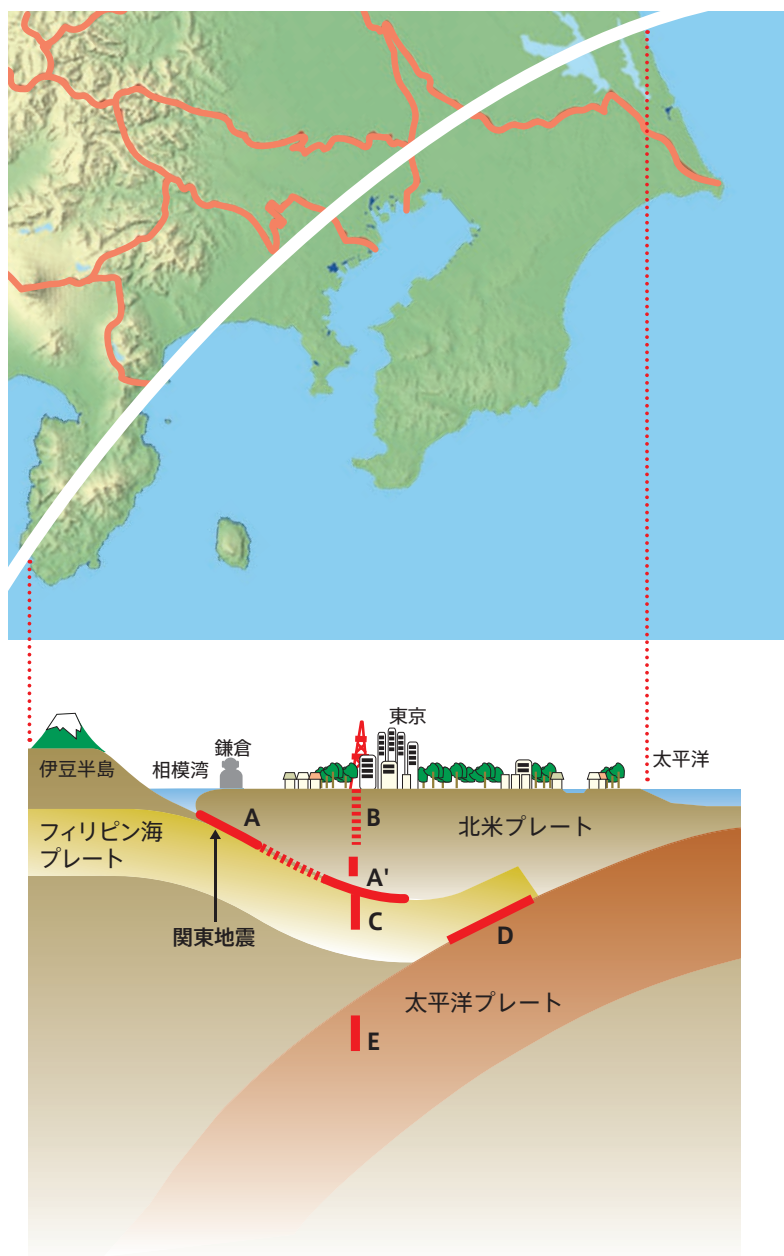
首都圏を襲う大地震はいつ来るのか

首都圏は繰り返し大地震に襲われてきました。次の大地震は、いつ、どこで起きるのでしょうか。それを知るには地下がどのような構造になっていて、どこで、どのくらいの規模の地震が、何年くらいの周期で起きてきたのかを知ることが重要です。

首都圏の地下構造を大まかに見ると、図①のように三つのプレートが入り組んだ構造になっています。そして地震が起きる場所も複数あります。過去に起きた地震の規模とその発生場所を調べてみると、M8程度の巨大地震はフィリピン海プレートが沈み込む相模トラフ(A)で起き、首都圏直下(A'～E)で起きる地震は最大でもM7程度であることがわかってきました。相模トラフのようなプレート境界で起きる地震を、「**プレート境界型地震**」といいます。相模トラフを震源とするM8程度のプレート境界型地震は約200～400年周期で発生していると、多くの研究者が考えるようになりました。実際に、1923年の関東地震の前に起きたM8程度の巨大地震は1703年の元禄地震(M7.9～8.2)で、その間隔は220年です。次の巨大地震は、最も短い周期でも1923年の約200年後、つまり22世紀前半と考えられます。

それでは、首都圏に大きな被害をもたらす地震は、あと100年は来ないと安心してよいのでしょうか。被害記録や古文書などで過去の地震の被害規模を調べ、そこからマグニチュードを推定して年代順に整理してみると、M8程度の地震が起きるとしばらく大きな地震が起きない時期（静穏期）があり、その後、

次のM8程度の地震が起きる前にM7からM6程度の地震がたびたび起きるようになることがわかってきました。例えば、1923年の関東地震の前には、1855年の江戸地震(M6.9)、1894年の東京地震(M7.0)と立て続けにM7程度の直下地震が起きました。また、元禄地震の前にもM7程度の地震が頻発しました。M8程度の巨大地震の100年くらい前から、M7程度の地震が起きやすい活動期に入る傾向が明らかになってきたのです。

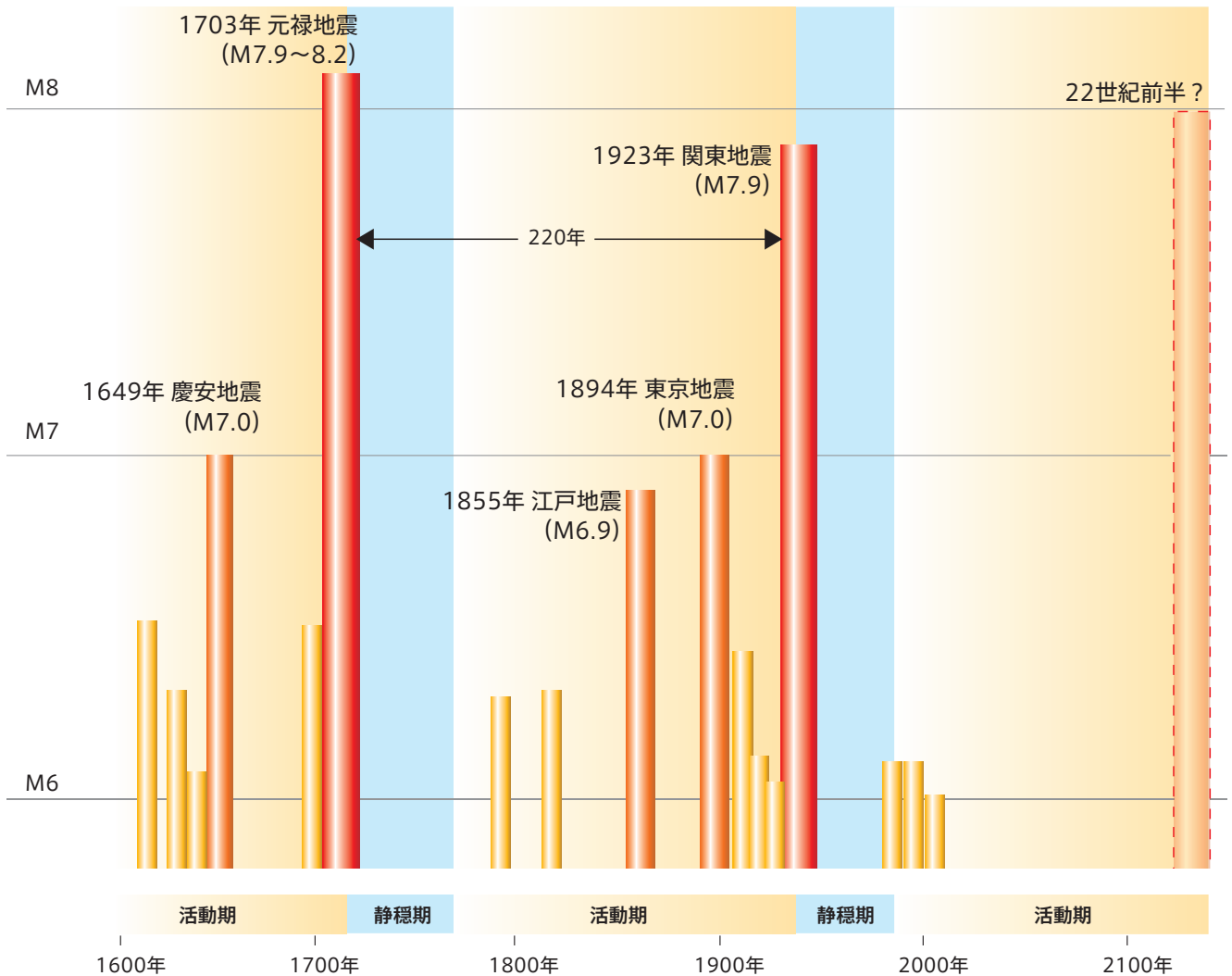


① **首都圏の地下のプレート構造と地震の起きる場所** 首都圏におけるM8程度の巨大地震はAで起き、首都圏直下のA'～Eで起きる地震は最大でもM7程度であることがわかってきました。

A・A'やDのようなプレートの境界で起きる地震は「**プレート境界型地震**（プレート間地震）」、CやEのようなプレート内部で起きる地震は「**プレート内地震**」、Bのような活断層で起きる地震を「**活断層型地震**」と呼びます（→12～13ページ）。なお、Aのような海溝（トラフ）で起きる地震を「**海溝型地震**」と呼ぶことがあります。



② 首都圏で発生した大地震の周期 M8程度の巨大地震が起きると、しばらく大きな地震が起きない静穏期があります。その後、M7からM6程度の大地震がたびたび起きる活動期に入り、その活動期の最後にM8程度の巨大地震が起きると考えられます。



江戸地震の被害の様子を描いた『安政大地震瓦版』
(提供：江戸東京博物館)

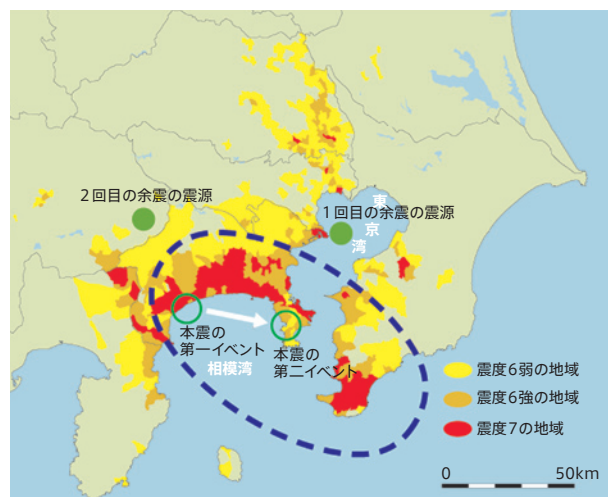


東京地震で被害を受けた築地・立教大学校南面
(提供：国立科学博物館)

今後 100年で数回、 直下地震が首都圏を襲う

首都圏を襲う次のM8程度の巨大地震が22世紀前半に来るとすると、その100年前、21世紀前半の現在はそろそろM7程度の直下地震がたびたび起きる活動期に入るところだと考えられます。今後30年以内にM7程度の地震が首都圏で起きる確率は70%程度と予測されています※。

① M7.9の関東地震（大正）の震度分布 震源に近い神奈川県を中心に、広い地域が震度6～7の激しいゆれに襲われました。（提供：鹿島建設株式会社）

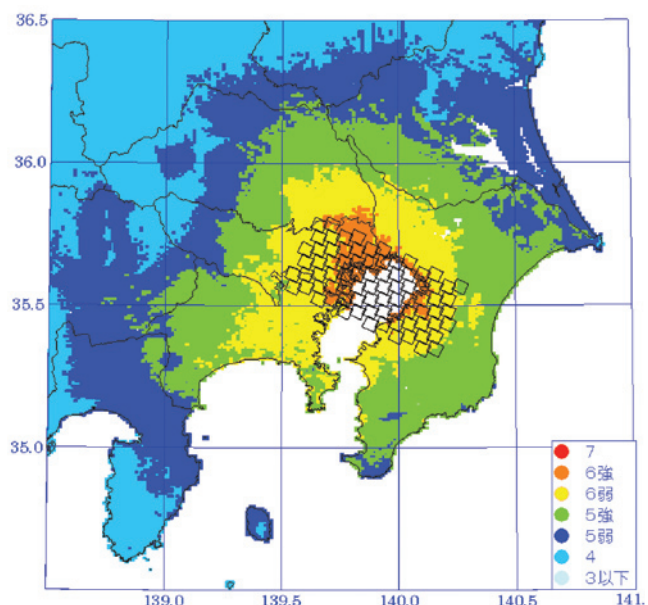


では、M7とM8の地震では、どのような違いがあるのでしょうか。地震のエネルギーの大きさで見ると、M7はM8の約32分の1です。ずいぶん小さいと、安心してしまいかねません。しかし、震度はどうでしょう。大きな被害をもたらした兵庫県南部地震と同じM7.3の地震が、東京都心部で起きた場合を見てみましょう。図①は1923年の関東地震（M7.9）の震度分布、図②は東京湾北部の直下で起きる可能性のあるM7.3の地震の震度分布の予測です。関東地震は、神奈川など首都圏南部を中心に震度6～7といった激しいゆれを広範囲に引き起こしました。東京湾北部の直下地震では、激しいゆれの範囲は狭いのですが、関東地震に勝るとも劣らない激しいゆれが東京都心部を直撃すると予測されています。M8程度の巨大地震の再来は22世紀以降だとしても、決して安心できる状況ではないのです。

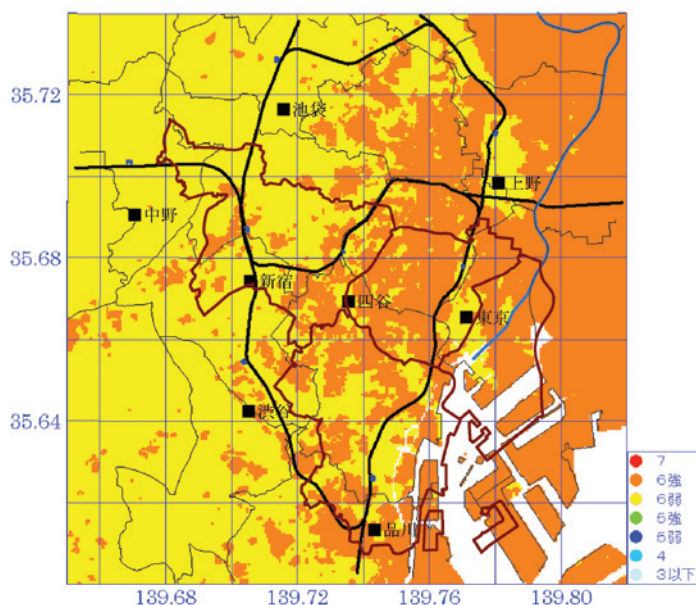
それではM7程度の直下地震は、いつ、どこで起きるのでしょうか。

※地震調査研究推進本部が、2006年1月1日から30年以内に地震が起きる確率を発表しています（→24～25ページ）。

② M7.3 東京湾北部地震の震度分布 激しいゆれの範囲はM7.9の関東地震よりも狭いものの、震度6のゆれが東京都心部を襲うと予測されています。（中央防災会議の資料より）



都心部拡大図



③ 兵庫県南部地震の被害例 M7.3の兵庫県南部地震では、震度7の激しいゆれが都市部を直撃し、大きな被害をもたらしました。



神戸市灘区（撮影：神奈川県温泉地学研究所）



神戸市中央区（撮影：神奈川県温泉地学研究所）

東京湾北部地震

中央防災会議は、首都圏で今後100年程度以内に発生する可能性があるM7程度の地震を18パターン想定し、その震度分布と被害規模を予測しました。その18パターンの中で最も被害が大きいと予測されるのが、東京湾北部地震です。最悪のケースで死者が約1万1000人、経済的損失額が約112兆円と予測されています。

④ マグニチュードと震度 地震は、①地下の岩盤が壊れてずれ、②その衝撃が地表まで伝わり地面がゆれる現象です。「地震」という言葉は、この二つの意味で使われます。岩盤の破壊とずれによって生じるエネルギーの大きさを「マグニチュード」といい、地面のゆれの大きさを「震度」で表します。マグニチュードが一つ大きくなると、エネルギーの大きさは約32倍になります。同じマグニチュードでも、震源からの距離や地盤などによって震度は異なります。なお、震度は体で感じるゆれの強さや被害状況から決められていましたが、日本では1996年からは震度計に記録された加速度などから決定しています。震度階級は、国ごとに異なります。

震度階級

震度階級	人間	屋内の状況	屋外の状況
0	人はゆれを感じない。		
1	屋内にいる人の一部が、わずかなゆれを感じる。		
2	屋内にいる人の多くが、ゆれを感じる。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、わずかにゆれる。	
3	屋内にいる人のほとんどが、ゆれを感じる。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。	電線が少しゆれる。
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ゆれ、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。	電線が大きくゆれる。歩いている人もゆれを感じる。自動車を運転していて、ゆれに気付く人がある。
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ゆれ、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。電柱がゆれるのがわかる。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。
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。据え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。
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。
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。
7	ゆれにほんろうされ、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。

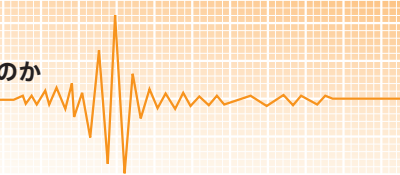
「気象庁震度階級関連解説表」より抜粋



① 国府津-松田断層の周辺 地震調査研究推進本部は、2006年1月1日から30年以内に神縄・国府津-松田断層帯で地震が起きる確率を最大16%と予測しています。
(撮影：神奈川県温泉地学研究所)



② 首都圏の五つの活断層 中央防災会議は、首都圏で今後100年程度以内にM7程度の地震を引き起こす可能性がある五つの活断層について、被害想定をしています。
(中央防災会議の資料をもとに作成)



首都直下地震はいつ、どこで起きるかわからない

「活断層」という言葉を聞いたことがありますか。地層や岩石がずれた割れ目を「断層」といいます。地震は断層のずれによって引き起こされ、地層や地形に跡を残します。大きな地震では地表にまで断層のずれが現れます。このような地層や地形の調査から、今後も地震が起こるとされる場所を「活断層」と呼びます。

首都圏には、国府津-松田断層を含め五つの大きな活断層が知られています。近年、活断層の調査が精力的に進められ、その活動周期や地震の規模などの研究が進められてきました。中でも、フィリピン海プレートと陸側のプレートの衝突帯に位置する神縄・国府津-松田断層帯は、今後30年間の**地震発生確率**が最大16%と全国一高い活断層です。兵庫県南部地震が起きる直前の30年確率は0.02~8%でした。神縄・国府津-松田断層帯で起きる地震の規模はM7.5、神奈川県西部を中心に激しいゆれを引き起こすと予測されています。

では、私たちが住む町の近くにある活断層だけに注目していればいいのでしょうか。8ページの図①のように、首都圏の直下で地震が起きる場所は複数あり(A'~E)、過去に起きたM7程度の直下地震の震源がどこなのか、まだよくわかっていません。活断層以外にも地下に隠れている断層があるかもしれませんが、確かなことはわかっていません。活断層だけに注目しては、地震の危険性を正しくとらえることはできないのです。

地震研究の進展により、首都圏ではM7程度の直下地震が近い将来に起きる可能性が高いことがわかり、地震が起きた場合の震度分布も詳しく予測できるようになってきました。しかし現在のところ、直下地震を起こす場所は複数考えられ、次のM7程度の地震が起きる場所を一つに特定できないのです。ですから、いつ、どこで大地震が起きても被害を最小限に食い止められるように、私たちは地震に強い町づくりを進めていく必要があります。



③ **野島断層** 兵庫県南部地震は、六甲・淡路島断層帯で発生しました。この断層帯のうち、野島断層は最大1.4m隆起、南西方向へ最大2.1mずれました。
(提供：北淡震災公園 野島断層保存館)



④ **兵庫県南部地震 (M7.3) の震度7の分布と活断層** 兵庫県南部地震の規模はM7.3ですが、淡路島の一部から神戸市、宝塚市にかけて、活断層と少し離れた地域が带状に震度7となりました。やわらかい地盤により地震の波がさらに大きくなったり、六甲山地に当たってはね返った地震の強い波も混ざって、強いゆれの地域が带状に現われたのです。(地震調査研究推進本部『日本の地震活動』『兵庫県南部地震の震度7の分布』をもとに作成)

第3章

巨大地震は近づいている

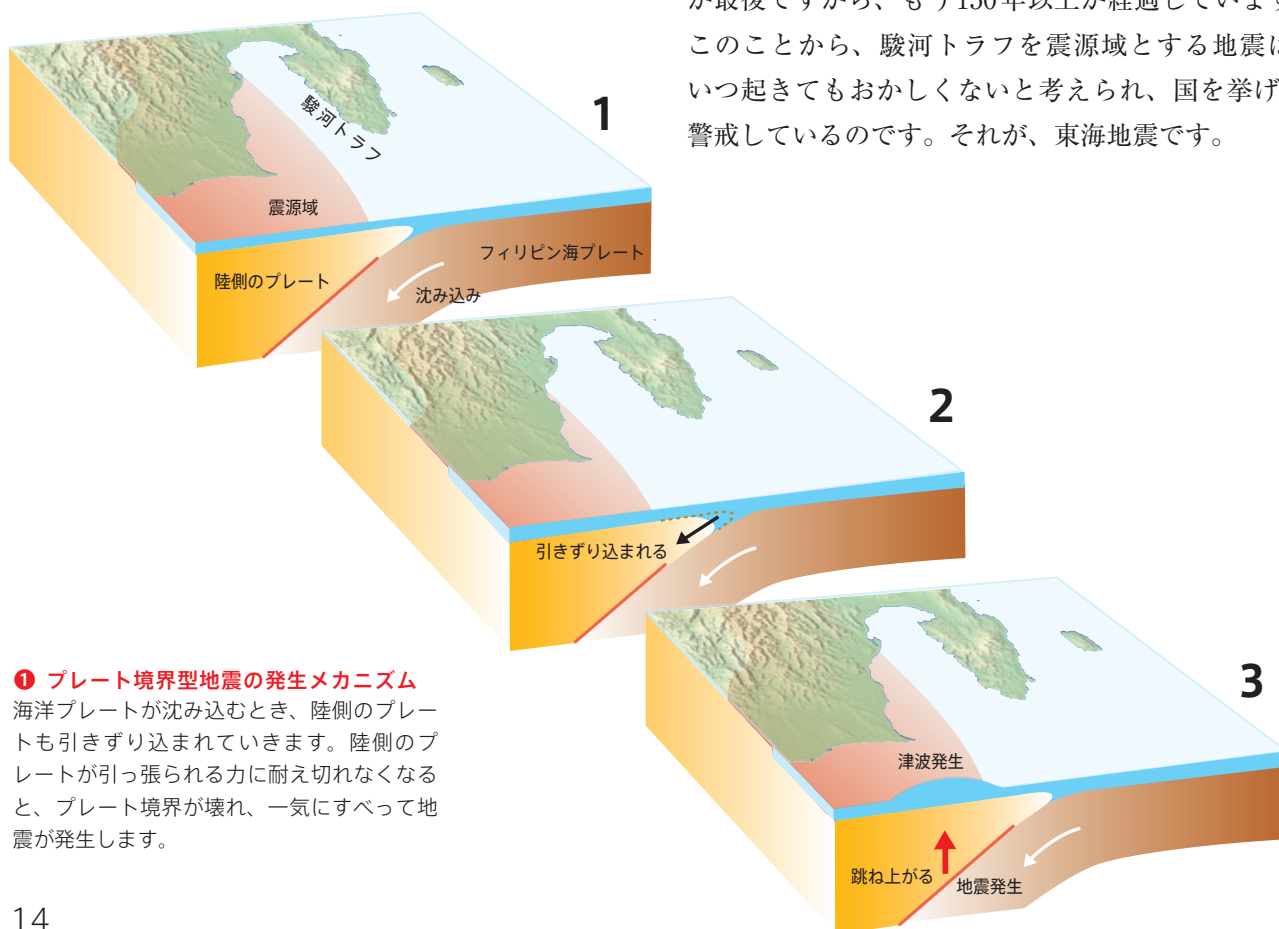
いつ起きてもおかしくない東海地震

「東海地震」という名前を聞いたことがありますか。東海地震は、駿河湾にある駿河トラフを震源域とする地震です。しかし、東海地震はまだ起きていません。被害が出るような大きな地震が日本周辺で発生すると、気象庁が震源域の地名などから名前を付けますが、発生する前に名前が付けられたのは、東海地震が初めてです。なぜ東海地震は、特別に名前が付けられたのでしょうか。

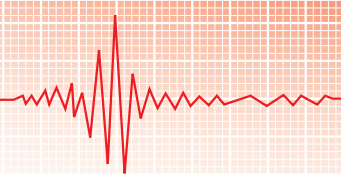
東海地震の震源域である駿河トラフは、フィリピン海プレートと陸側のプレートの境界に当たり、浅い海溝になっています。フィリピン海プレートは、1年に4～5cmずつ陸側のプレートの下に沈み込んでいきます。陸側のプレートもくっついて引きずり込まれますが、あるとき耐え切れなくなり、プレート境界が一気に壊れてすべり、陸側のプレートは跳ね上がります。このような仕組みで起きるのが、プレ

ート境界型地震です。プレート境界型は、内陸の活断層で起きる地震よりも大きな、M8を超える巨大地震になることも多く、跳ね上がった陸側のプレートが海水を押し上げるために、津波も発生します。東海地震はM8程度と予測されており、東海地方を中心に神奈川県から愛知県にかけての広い地域で大きな被害をもたらすと考えられているのです。しかし、東海地震が注目される理由は、その規模だけではありません。

駿河トラフは、日本列島の南側に沿って四国沖まで延びる南海トラフにつながっています。駿河トラフから南海トラフにかけては、これまでに、繰り返し巨大地震が発生しています。1944年の昭和東南海地震とその2年後に起きた昭和南海地震、1854年の安政東海地震と安政南海地震、1707年の宝永地震などで、その周期は90～150年です。しかし、駿河トラフを震源域とする地震は、1854年の安政東海地震が最後ですから、もう150年以上が経過しています。このことから、駿河トラフを震源域とする地震は、いつ起きてもおかしくないと考えられ、国を挙げて警戒しているのです。それが、東海地震です。

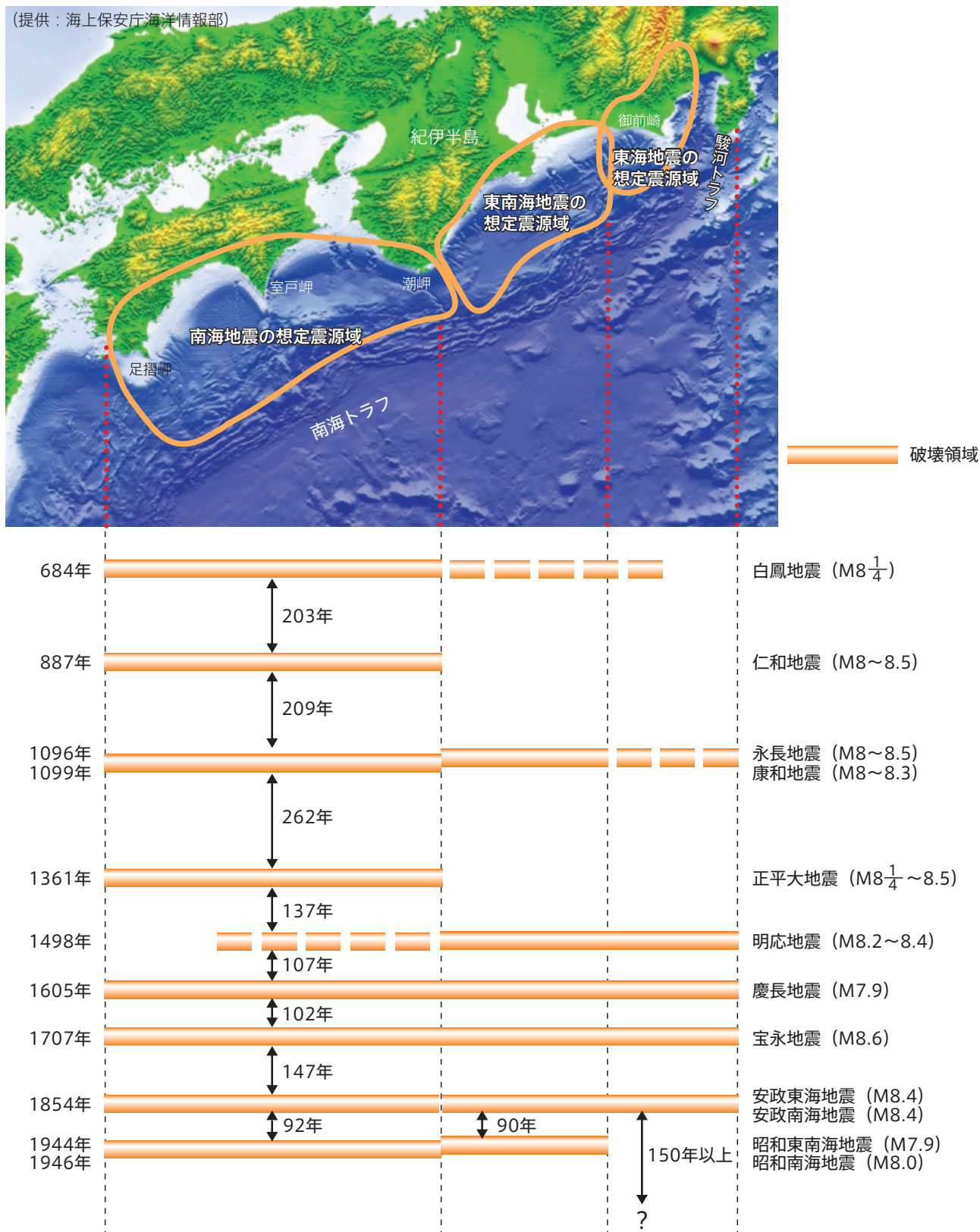


① プレート境界型地震の発生メカニズム
海洋プレートが沈み込むとき、陸側のプレートも引きずり込まれていきます。陸側のプレートが引っ張られる力に耐え切れなくなると、プレート境界が壊れ、一気にすべって地震が発生します。



② 駿河トラフと南海トラフで起きた過去の巨大地震と震源域

南海トラフのうち、四国の足摺岬沖から紀伊半島の潮岬沖で発生するものを南海地震、それより東で発生するものを東南海地震、駿河トラフで発生するものを東海地震と呼んでいます。南海トラフと駿河トラフでは、これまでに90～150年周期で巨大地震が発生しています。駿河トラフでは、1854年の安政東海地震以来、大きな地震が起きないまま150年以上が経過しています。



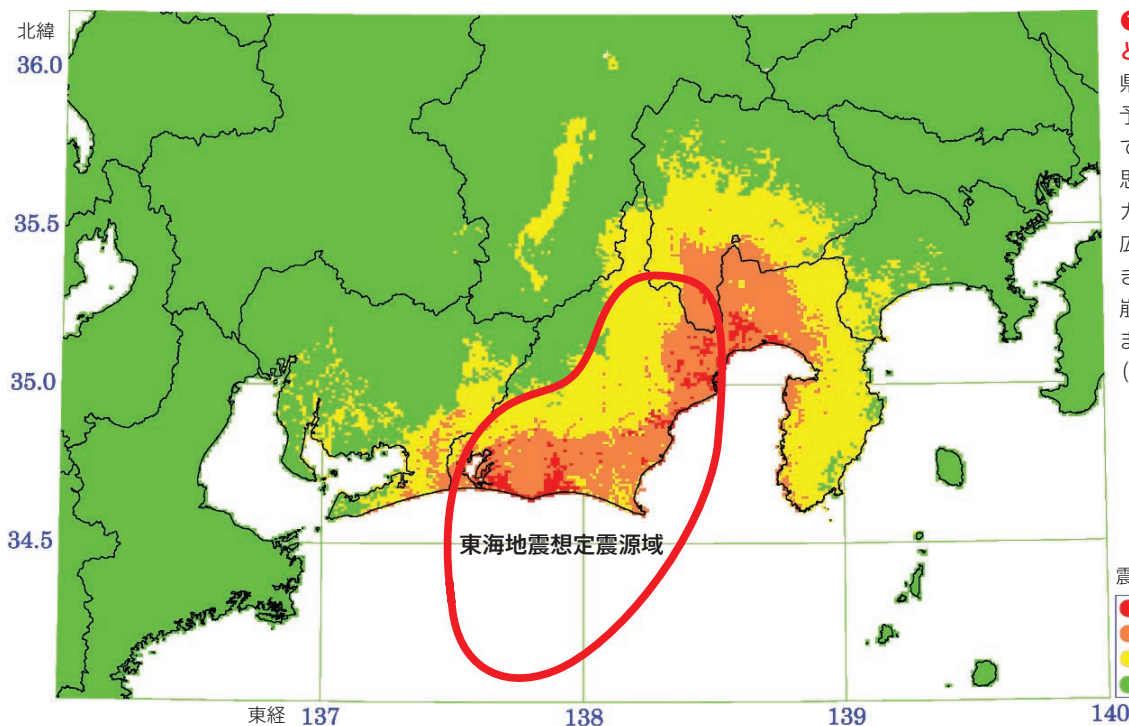
東海地震を監視する

M8程度の**東海地震**が発生すると、静岡県全域と神奈川県を含む周辺の広い地域で震度6弱以上、静岡県と山梨県の一部では震度7になると予測されています。伊豆半島や駿河湾では、津波の高さは10mにも達するでしょう。地震と津波による被害は、建物全壊約46万棟、死者約9200人に上るという予測もあります。私たちは、大きな被害をもたらす東海地震の発生を、ただ待っているしかないのでしょうか。予知ができれば、被害を減らすことができるはずです。

地震予知とは、「いつ」「どこで」「どのくらい」の地震が起きるかを前もって予測することです。東海地震では「どこで」と「どのくらい」は、もうわかっています。あとは、「いつ」だけです。地震が何の前触れもなしに起きるのであれば、予知はできません。研究者の間でも、兵庫県南部地震が突然起きてしまったことから、地震の前触れを見つけることには悲観的な見方も出てきていました。しかし、最近の研究から、地震が起きる前には断層がゆっくりすべらしいことがわかってきました。ぴったりくっついた断層が壊れ、いきなり大きくすべるときに地震が発生しますが、その前に一部だけが壊れてすべりだ

すのです。この現象を「**プレスリップ**」といいます。プレスリップはゆっくりとした動きなので大きなゆれは発生しませんが、周囲の岩盤がわずかに変形します。巨大地震の場合には、このわずかな変形をとらえることができるかもしれません。その場合には、巨大地震の発生を予知することができます。

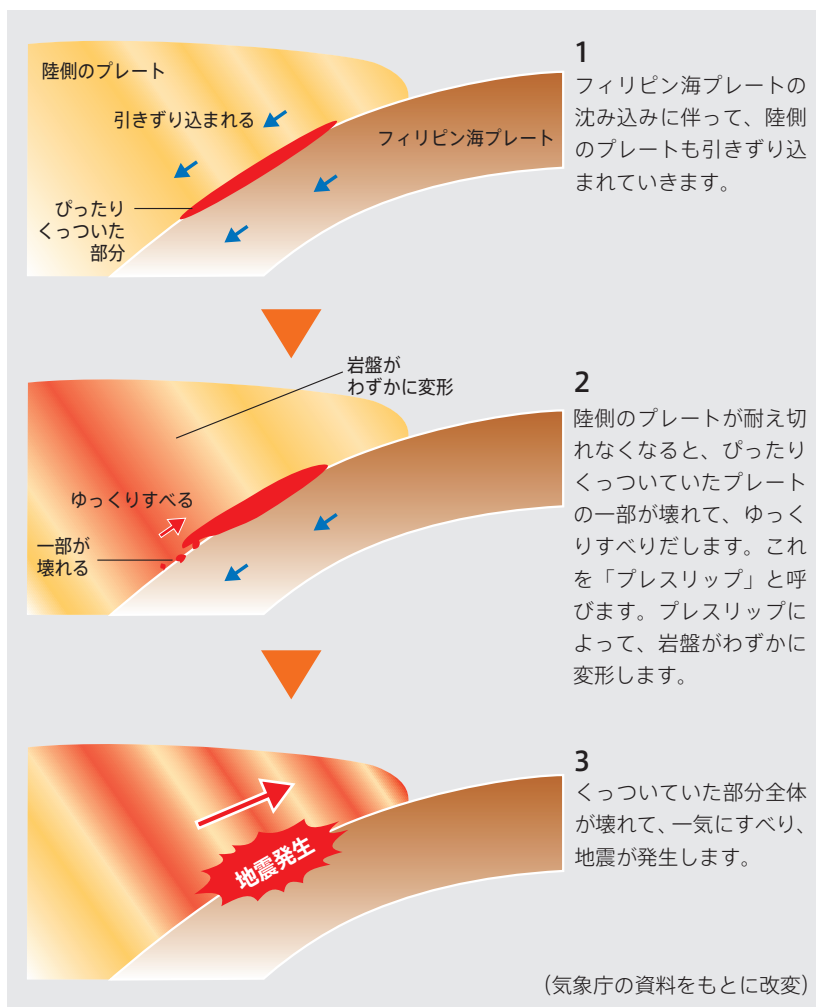
「世界で唯一、予知ができるかもしれない」といわれているのが、東海地震です。震源域の大部分が陸地の下にあるので、プレスリップによる岩盤の変形を観測するための施設をつくりやすいからです。東海地震の震源域には、**ひずみ計**などの観測機器が多数設置され、気象庁は観測データを24時間監視しています。岩盤の変形が観測された場合、気象庁は「**東海地震観測情報**」を発表します。その変形が東海地震の前兆と判断された場合は「**東海地震注意情報**」が発表されます。さらに変形が大きくなって東海地震発生危険が迫っていると判断された場合には、内閣総理大臣が「**警戒宣言**」を発令し、気象庁は「**東海地震予知情報**」を発表することになっています。地震予知を前提とした防災対策がこれほど整っているのは、世界中でもここだけです。



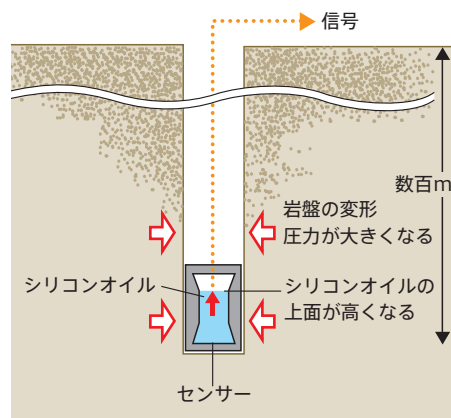
① 東海地震の想定震源域と震度分布 静岡県と山梨県の一部で震度7になると予測されています。震度7では、ゆれにほんろうされ、思い通りには動きません。ガス、水道、電気の供給が広い範囲で止まります。大きな地割れ、地すべりや山崩れが発生することもあります。
(中央防災会議の資料より)



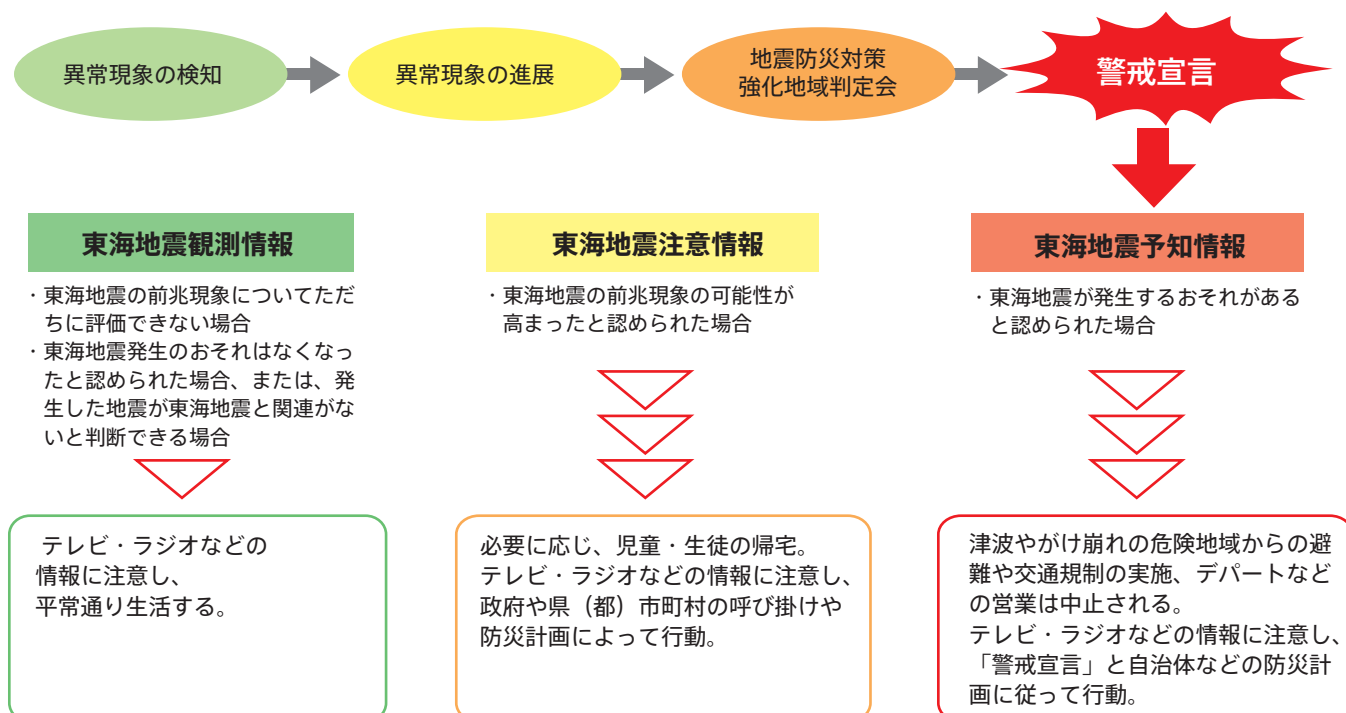
② プレスリップから地震発生まで



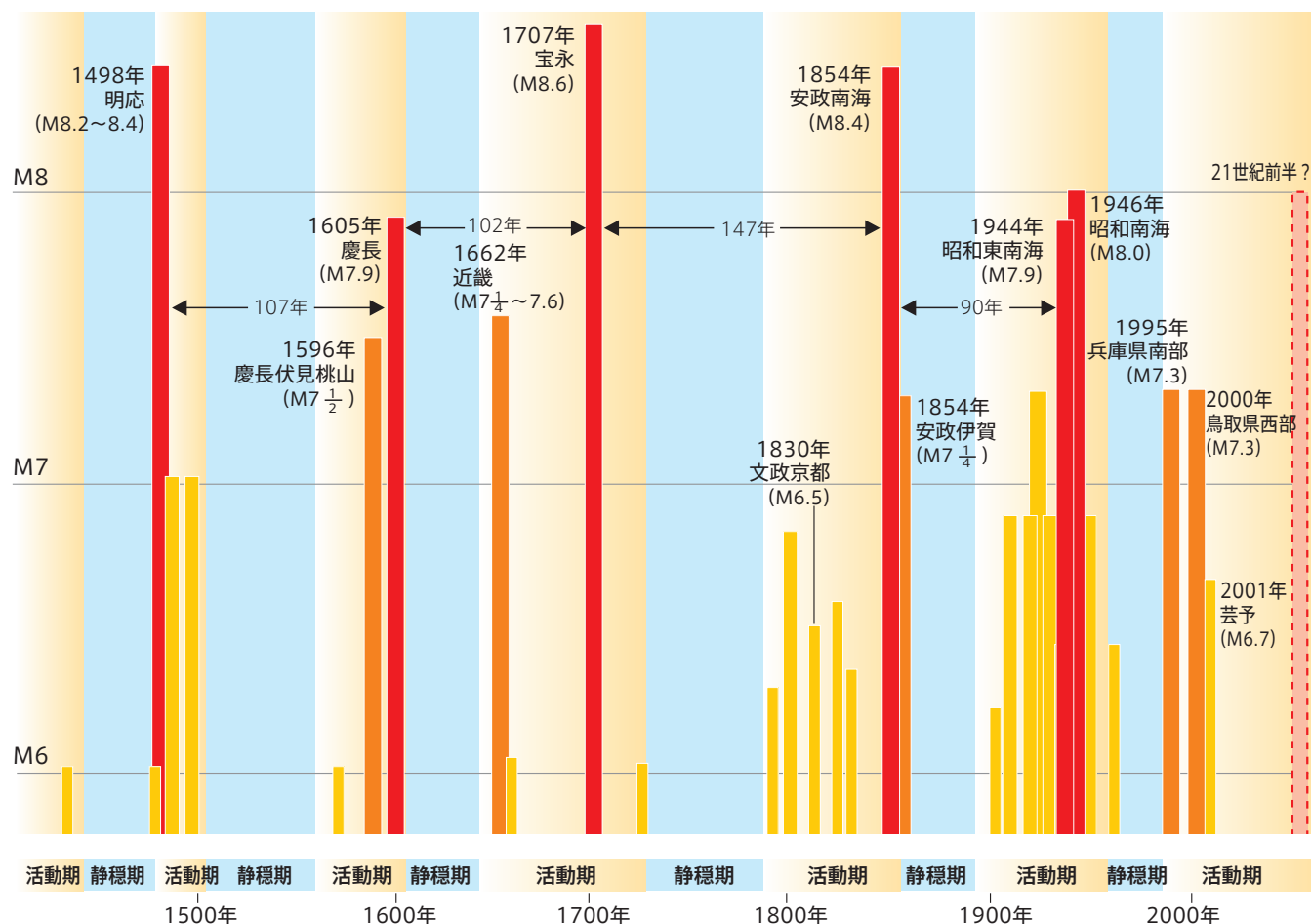
③ ひずみ計の仕組み ひずみ計は直径10cmほどの縦穴を数百m掘って設置します。周囲の岩盤が変形して、ひずみ計を押していた力（圧力）がさらに強くなると、中に入っているシリコンオイルが押されて上にふくらみ、オイルの上面が高くなります。このオイルの高さの変化を計測することで、岩盤の変形の程度を知ることができます。ひずみ計の感度はとても高く、25m プールにビー玉を落としたときの水位の変化もわかるほどです。



④ 東海地震監視から地震発生までの流れ 「東海地震観測情報」が発表されずに「東海地震注意情報」が発表されることもあります。また、前兆現象を観測できないまま東海地震が発生する可能性もあります。(気象庁の資料をもとに改変)



① 南海トラフの巨大地震と近畿地方の地震活動 南海トラフでは、90～150年周期で巨大地震が発生しています。その後、地震が少ない静穏期があり、次の巨大地震の30～40年ほど前から、近畿地方で直下地震が増えています。ここ数年、西日本で直下地震が増えていることから、次の巨大地震の活動期に入っているのではないかと考えられています。(都司嘉宣「南海地震とそれに伴う津波」『月刊地球 号外24 南海地震一次の巨大地震に備えて』をもとに改変)



② 昭和南海地震の被害の様子



昭和南海地震によって発生した津波は、静岡から九州までの太平洋沿岸を襲いました。高知沿岸では4～6mに達し、田畑が15平方kmにわたって浸水しました。写真は、高知市城見町電車通りの様子。(提供：高知市)



昭和南海地震によって高知市鉄砲町では、道路に大きな亀裂ができました。(提供：高知市)

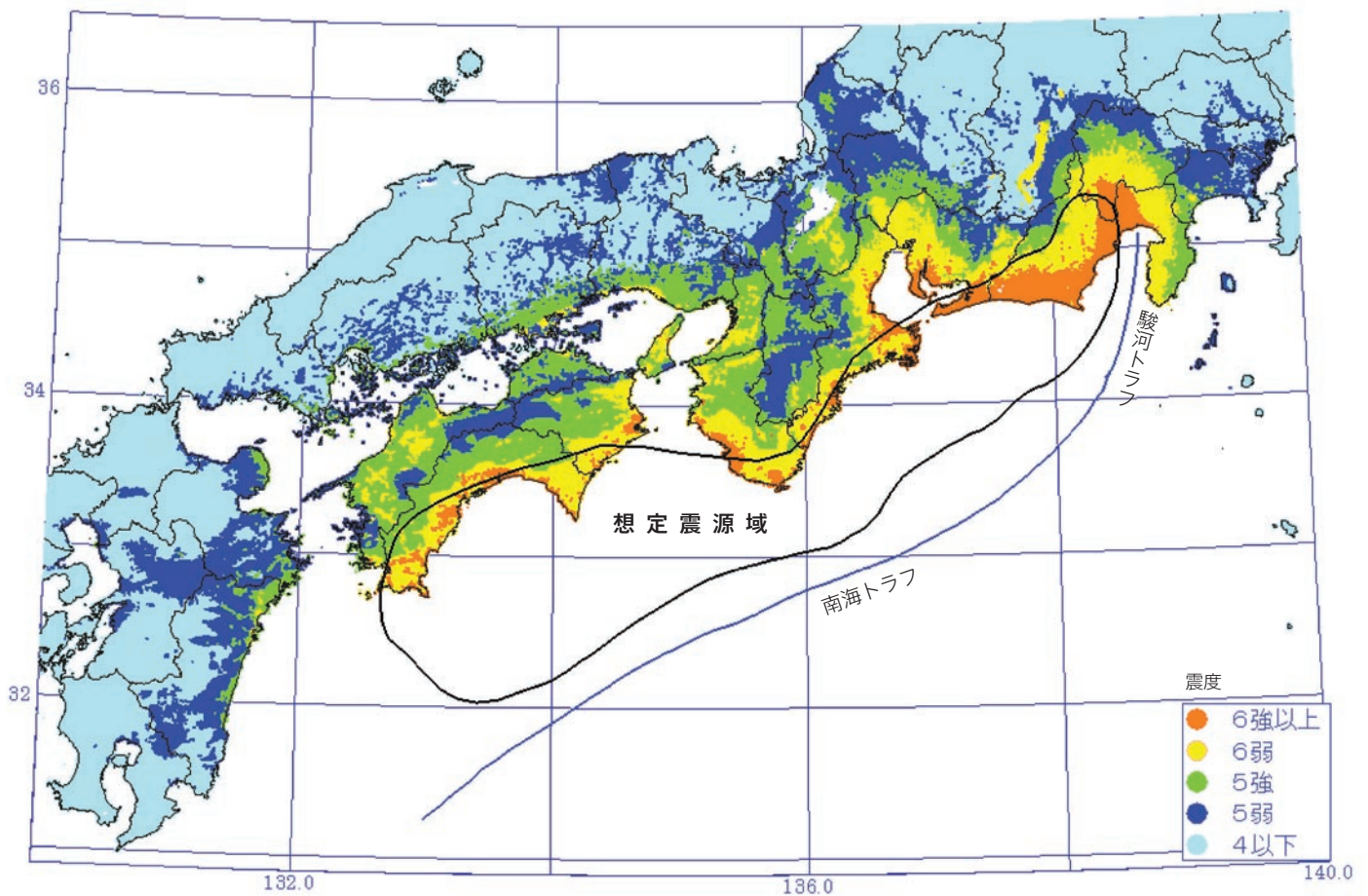
巨大地震は近づいている

「東海地震がいつ起きてもおかしくない」と考えられ始めたのは、1970年代です。それから30年。もう東海地震は起きないのではないか、そう思っている人もいるかもしれません。しかし、安心してはいけません。東海地震は、必ず発生します。

さらに、南海トラフを震源域とする最後の巨大地震は、1944年の昭和東南海地震と1946年の昭和南海地震ですから、もう60年が経過しています。次の南海地震、東南海地震も近づいているのです。過去の地震活動を調べてみると、南海地震が起きる30～40年ほど前から近畿地方で直下地震がひんばんに起きています。現在はどうでしょうか。近畿地方の直下地震といえば、1995年の兵庫県南部地震（M7.3）が

まず思い出されます。西日本ではさらに、2000年に鳥取県西部地震（M7.3）、2001年に瀬戸内海西部の安芸灘で芸予地震（M6.7）が発生しています。どうやら、西日本は、すでに活動期に入っているようです。

東海地震は、単独で起きる可能性もあります。しかし、このまま東海地震の発生が遅れると、南海地震、東南海地震と同時に起きる可能性も高くなってきます。東海、東南海、南海地震が同時に起きた場合、日本で起きる地震としては最大級のM8.6になり、震度6強以上のゆれが関東から東海、近畿、四国、九州まで広い範囲に起き、一部では震度7の激しいゆれに襲われると予測されています。



③ 東海・東南海・南海地震が同時に起きた場合の震度予測

震度6強以上の強いゆれが、太平洋沿岸の広い地域を襲います。

(中央防災会議の資料より)

巨大津波が関東から四国沿岸を襲う

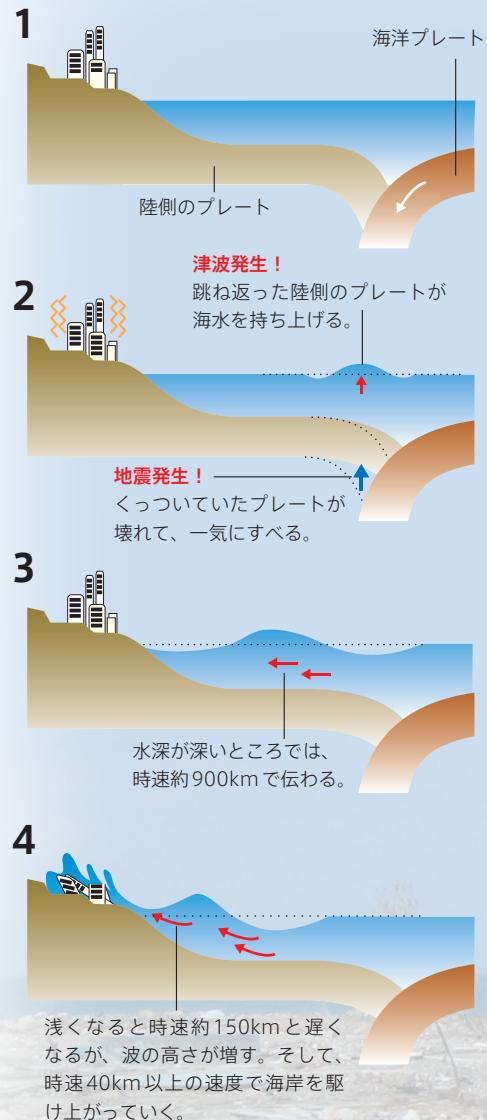
東海・東南海・南海地震が同時に発生した場合、恐ろしいのは、激しいゆれだけではありません。プレート境界型地震では、跳ね返った陸側のプレートが海水を持ち上げるため、津波が発生するのです。震源の上で発生した津波は、時速約900kmというジェット機並みの猛スピードで四方に伝わっていきます。水深が浅くなると波の高さを急に増し、速度は落ちますが、それでも時速150km以上で沿岸に到達します。そして、時速40km以上で陸へと駆け上がってくるため、走って逃げられるものではありません。津波は、家も木も人も、すべてを巻き込みながら進んでいくため、広範囲に大きな被害を及ぼします。

東海・東南海・南海地震が同時に起きる複合巨大地震では、南海トラフから駿河トラフまでのプレートが一気に跳ね返ります。震源域の長さは約700km。震源域が広く、そしてプレートが大きく動くほど、津波は大きくなります。この複合巨大地震で発生する津波とは、どれほどのものになるのでしょうか。

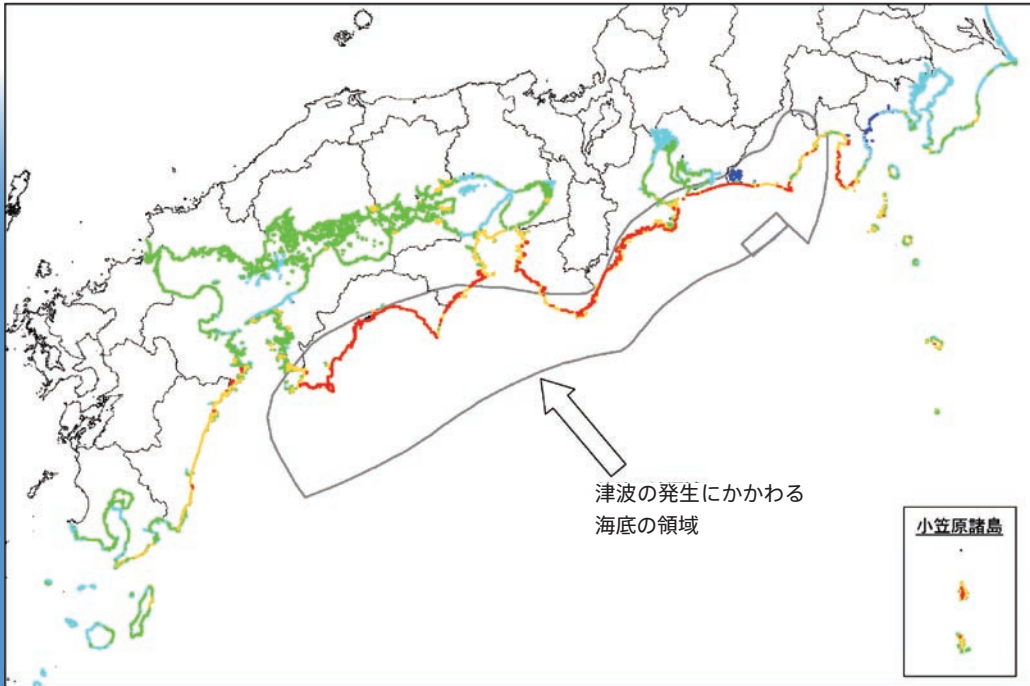
2004年12月、インドネシア・スマトラ島沖でM9.0の地震が発生しました。この地震で発生した津波は、スマトラ島をはじめインド洋沿岸各地を襲い、死者は少なく見積もっても23万人と報告されています。海岸での津波の高さは10mを超え、海水は標高34mの内陸まで達した場所もありました。スマトラ島沖地震の震源域の長さは1200kmくらいです。東海・東南海・南海地震の複合巨大地震による津波は、これに匹敵するものだと考えてよいでしょう。静岡県から四国までの沿岸を高さ5m以上の津波が襲うと予測されています。高知県では、津波の高さは10mにも達すると考えられています。

東海・東南海・南海の複合巨大地震によって最悪の場合、建物全壊約94万200棟、死者数約2万4700人もの被害が出るという予測があります。今世紀前半には、この複合巨大地震が発生するかもしれません。被害を最小限におさえるために、私たちは何をすべきか。第4章で考えてみましょう。

① 津波とは 津波は、海面だけを伝わる波と違います。海底が跳ね返ることによって生じた海水を持ち上げる力が、海中を伝わっていきます。



② 津波に襲われたスマトラ島北部のバンダ・アチエの海岸
鉄筋コンクリート造りの家が建ち並んでいましたが、基礎部分を残して、すべて流されてしまいました。
(提供：東京大学 地震研究所 都司嘉宣)



④ 東海・東南海・南海地震が同時に発生した場合の津波予測

東海・東南海・南海地震が同時に発生し、津波の到達が満潮時と重なると、津波の高さは太平洋岸の広い地域で5mに達すると予測されています。地形によっては、高さ10mを超える場所もあります。
(中央防災会議の資料より)



⑤ 津波前後のスマトラ島北部の衛星画像

津波前には、海岸の近くまで森林が広がっていました。津波によって木が根こそぎ流されて地面が露出したため、津波後の画像では、茶色い部分が増えています。(提供：NASA)

第4章

地震に立ち向かう

“日本沈没” はあり得るのか

巨大地震が日本各地で次々と発生。火山も次々と噴火し、日本列島は引き裂かれ、そして最後は……。『日本沈没』は、小松左京氏が1973年に発表したSF小説です。すぐに映画化され、大反響を巻き起こしました。2006年にはリメイク版の映画が劇場公開されました。日本列島が沈没することが本当にあるのでしょうか。日本列島は現在、陸側のプレートの下に沈み込んでいく太平洋プレートとフィリピン海プレートに押され、隆起しています。現在のプレートの動きが続く限り、日本列島が海面下に沈んでしまうことはありません。しかし、日本列島の上で暮らす私たちの生活や経済が、巨大地震によって“沈没”してしまう可能性は大いにあります。

私たちは、1995年に起きた兵庫県南部地震（M7.3）では、死者6434人、全壊家屋10万4906棟という大きな被害にあいました。戦後最大の大災害となり、経済的損失額は10兆円にも上りました。一方、2004年に発生したスマトラ島沖地震はM9.0ですから、兵庫県南部地震1000個分のエネルギーを持っていました。死者は23万人以上で、経済的損失額は5000億円と算出されています。被害の大きさは、地震の規模

や震度だけでなく、起きる地域によって変わるので。特に、大都市で地震が起きますと、人的な被害はもとより、生活や経済も大きな打撃を被ります。

発生が切迫していると考えられている首都直下地震や、東海、東南海、南海地震は、いずれも首都圏や大都市部を直撃します。首都直下地震はいくつかの震源が想定されていますが、例えば東京湾北部の直下を震源とする地震（M7.3）の経済的損害は最悪の場合で112兆円と予想され、国家予算（年約80兆円）を超えます。また、東海地震や東南海、南海地震が起ければ、東京—名古屋—大阪の三大都市圏を結ぶ鉄道・高速道路網が破壊され、日本の物流は止まります。これらの地震が、短期間に次々と発生する可能性もあります。そうなれば、日本は容易には復興できないほど、人的、物的、経済的に壊滅的な打撃を受け、その影響は世界にも及びます。

地震による被害を減らし、日本を“沈没”から守るために、まずすべきこと——それは、起きることが避けられない地震そのものについて、さらに地震によってどのような被害が予測されているのかを正しく知ることです。



2006年に公開された映画『日本沈没』のポスター。日本各地で頻発する大規模な地震と噴火活動によって、日本列島が1年以内に沈没することがわかった、という設定。
©2006 映画「日本沈没」製作委員会

M7.3



死者
6434人

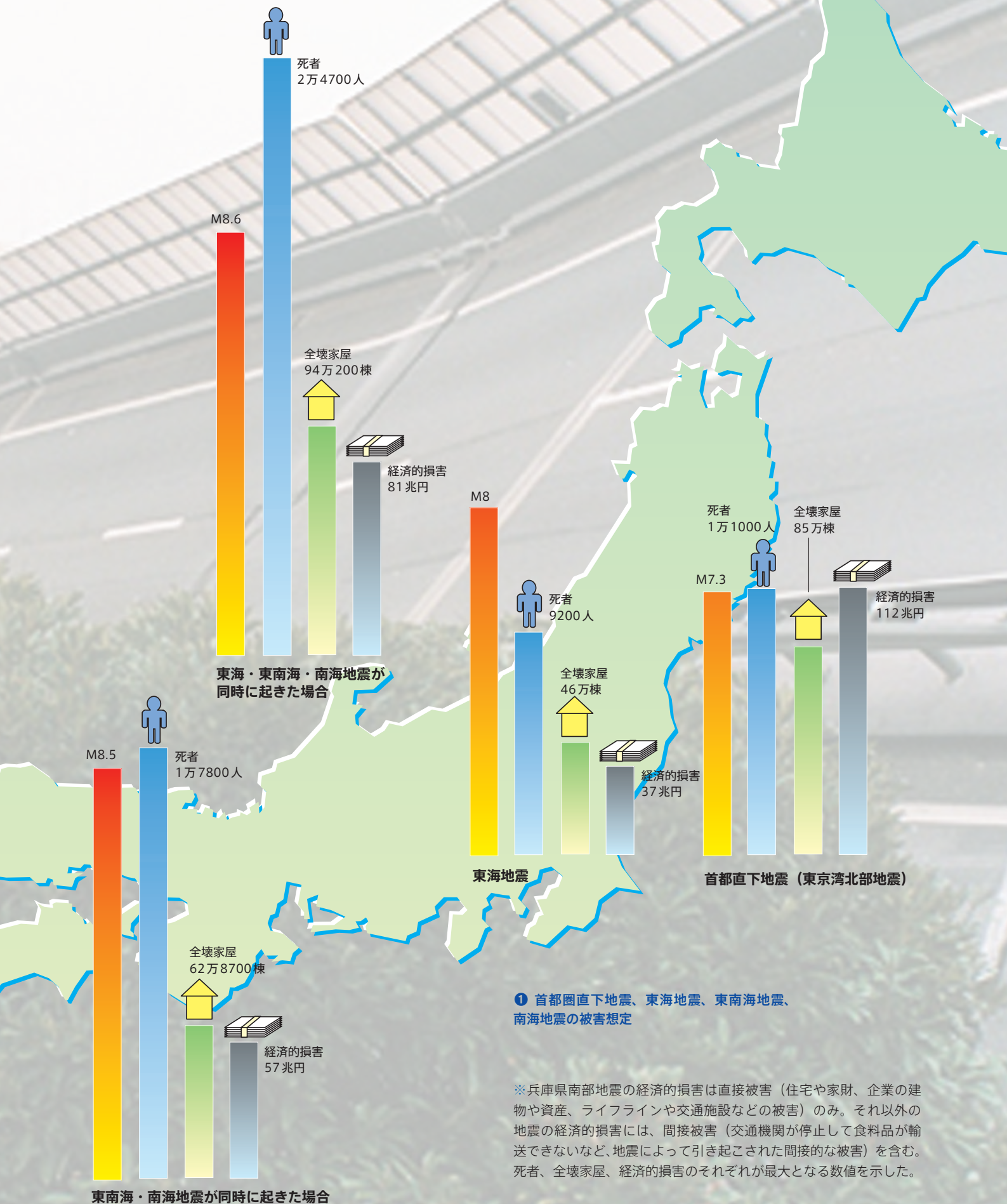
全壊家屋
10万4906棟



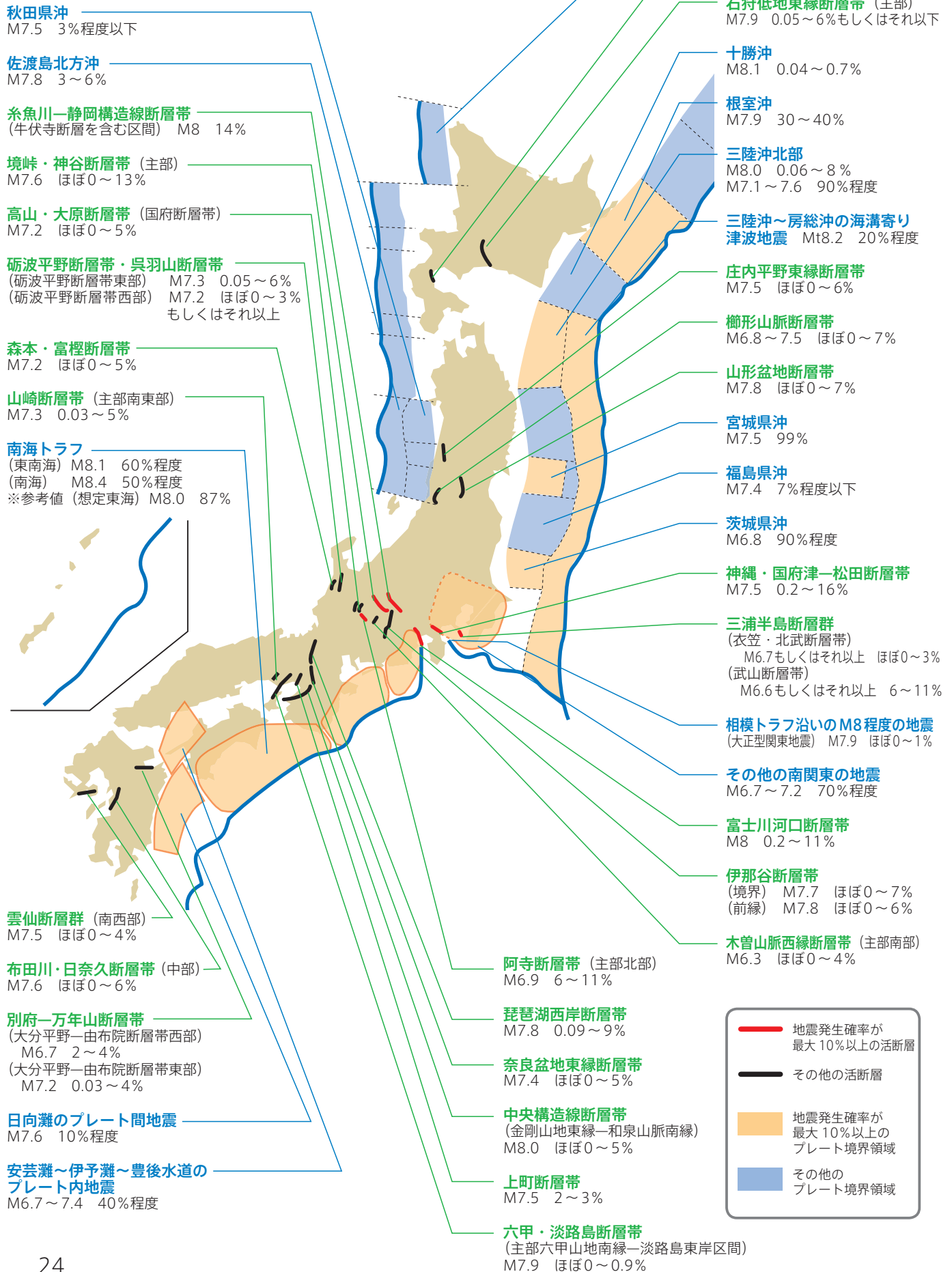
経済的損害
10兆円

参考 兵庫県南部地震（1995年）

バックの写真は兵庫県南部地震で倒壊した
阪神高速道路（提供：神戸市）

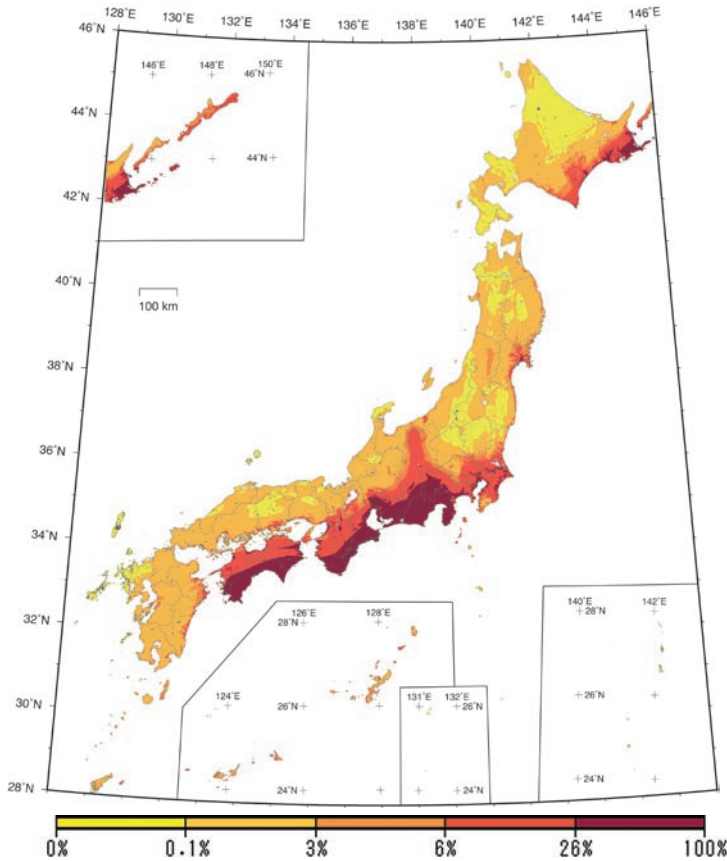


① 活断層型地震とプレート境界型地震の想定規模と30年以内に発生する確率
(基準日：2006年1月1日) 青色はプレート境界型地震、緑色は活断層型地震です。地震の確率が低ければその地域は安心、ということではありません。兵庫県南部地震が起きる直前の30年確率は0.02～8%でした。(地震調査研究推進本部「地震発生可能性の長期評価」をもとに作成)



あなたの町は地震に強いだろうか

② 30年以内に震度6弱以上のゆれに襲われる確率の分布図
(基準日：2006年1月1日) 各地点における地震の発生確率と地盤のゆれやすさなどから求めたものです。(地震調査研究推進本部「地震動予測地図」より)



日本列島には、地震が起きない安全な場所はありません。とはいえ、自分が住んでいる町は、どのくらいの規模の地震が、どのくらい起こりやすいのか、震度はどのくらいになるのか、知りたいと思うでしょう。それを知っておくことは、地震に備え、被害の程度をおさえることにもつながります。

地震調査研究推進本部が、全国の主要な活断層で発生する地震とプレート境界型地震について調査し、そこで起こり得る地震の規模と、30年以内に起きる確率を発表しています。これは、「30年確率」(地震発生可能性の長期評価)と呼ばれています。基準日(今回は2006年1月1日)から30年以内に地震が起きる確率を表しています。プレート境界型地震では、宮城県沖地震(M7.5)が99%と最も発生確率が高くなっています。東南海地震(M8.1)は60%程度、南海地震(M8.4)は50%程度となっています。活断層で起きる地震で確率が最も高いのは、神奈川県にある国府津—松田断層(M7.5)で最大16%です。

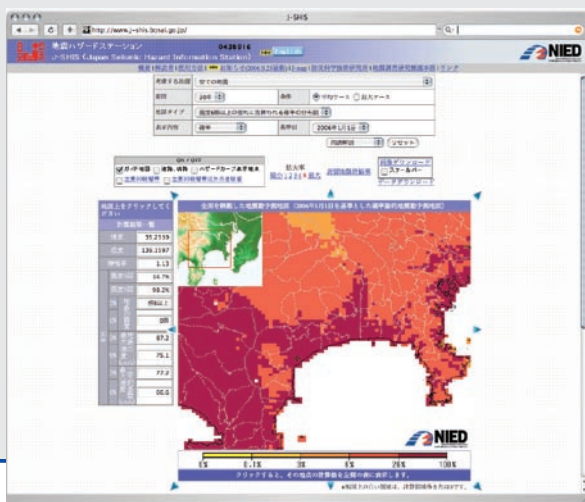
発生確率が1%に満たない場所もあります。ここでは30年以内に地震は起きないと思い、安心してしまいかねません。しかし、それは正しい理解ではありません。兵庫県南部地震の場合、1995年に地震が起きる直前の30年確率が0.02～8%でした。1%以下でも地震は起きるのです。また、十分に調べられていない活断層や未知の断層があり、そこで地震が起きるかもしれません。日本では、どこにいても地震への備えが必要なのです。

地震の被害の大きさは、震度でわかります。図②は、今後30年以内(基準日：2006年1月1日)に震度6弱以上のゆれに襲われる確率を示しています。日本のすべての町で、地震に強い町づくりをする必要がありますが、一度に始められるものではありません。そこで、このような調査結果をもとに、地震の発生確率が高く、大きなゆれに襲われる確率の高い場所から集中的に対策が進められてきています。

あなたの町のゆれやすさを調べよう 「地震ハザードステーション」

<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>

調べたい場所の住所や最寄り駅などを入力すれば、30年以内に震度6弱以上のゆれに襲われる確率を調べることができます。下は、「東海道本線小田原駅」で調べた結果です。



(防災科学技術研究所ホームページより)

地震をつかまえる

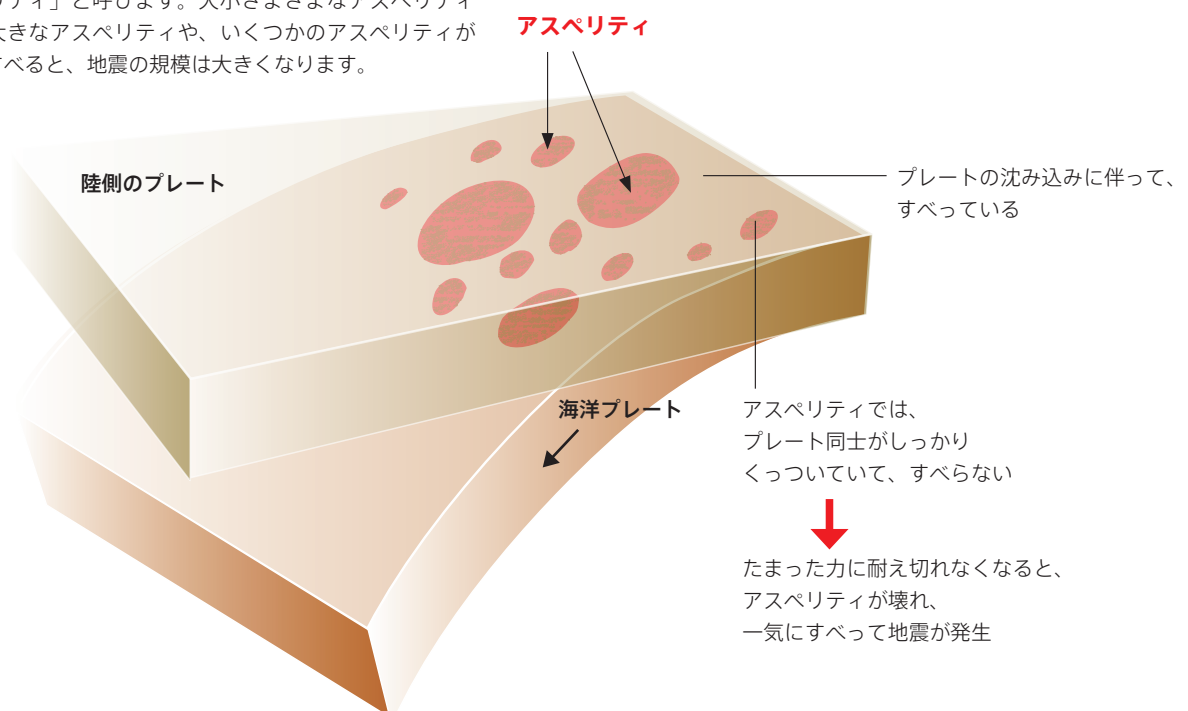
地震が、どこで、どのように発生するのか、まだ完全にはわかっていません。地震は地下深くで発生するため、その現場を直接見ることはできないからです。しかし、新しい観測装置の登場や、観測精度の向上によって、地震の発生について少しずつわかってきました。

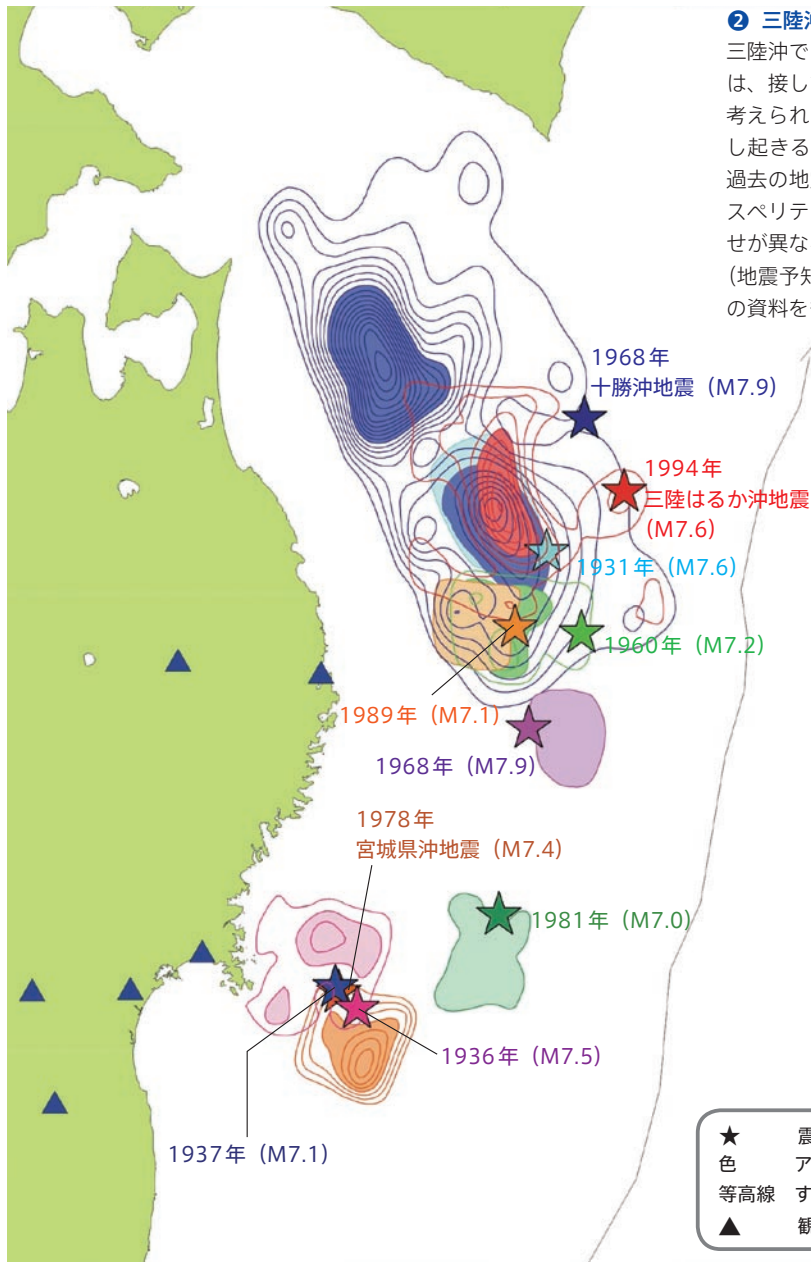
プレート境界型地震は、陸側のプレートと、その下に沈み込んでいく海洋プレートとの境界で発生します。かつては、接しているプレート全体が一様にすべることで地震が起きると考えられていました。ところが、地震波の解析によって地震時のすべりを詳しく検討した結果、急激に大きくすべって地震を起こしているのは、接しているプレートの一部であることがわかってきたのです。その場所を「**アスペリティ**」と呼びます。アスペリティとは、「突起」という意味の英語です。アスペリティは、小さい突起がたくさんあって、表面がざらざらしていると考えられています。プレートの一部にアスペリティがあると、ほかの部分は沈み込んでも、そこだけはすべりにくく、ぴったりくっついていきます。しかし、力がどんどんかかると、耐え切れなくなります。地震はアスペリティが壊れて急激にすべるときに発生することが、わかってきました。

アスペリティの理解は、三陸沖の地震の研究によって進んできました。三陸沖では太平洋プレートが陸側のプレートの下に沈み込んでいるため、プレート境界型地震が短い周期でたびたび起きていますが、地震の規模が一定していないことがなぞでした。接しているプレート全体が一様にすべるとしたら、三陸沖で起きる地震はいつも同じ規模のはずです。このなぞの解明のために、明治以降の地震波の記録を読み取り、コンピュータで当時の地震を再現した結果、三陸沖には大小たくさんのアスペリティがあることがわかったのです。これで、地震の規模の違いをうまく説明できます。大きなアスペリティがすべると大きな地震、小さなアスペリティがすべると小さな地震が発生していたのです。2か所以上のアスペリティが同時にすべることもあります。すると、M8を超える巨大地震になります。

どこに、どのくらいの大きさのアスペリティがあるかが前もってわかれば、地震が起きる場所と規模を予測できます。また、アスペリティとそれ以外の場所の違いがわかれば、地震発生の秘密にもう一歩迫ることができるかもしれません。「アスペリティ」は、地震の発生を理解するための、重要なキーワードです。

① アスペリティとは プレート同士がぴったりくっついてる部分を「アスペリティ」と呼びます。大きささまざまなアスペリティがあります。大きなアスペリティや、いくつかのアスペリティが同時に壊れてすべると、地震の規模は大きくなります。

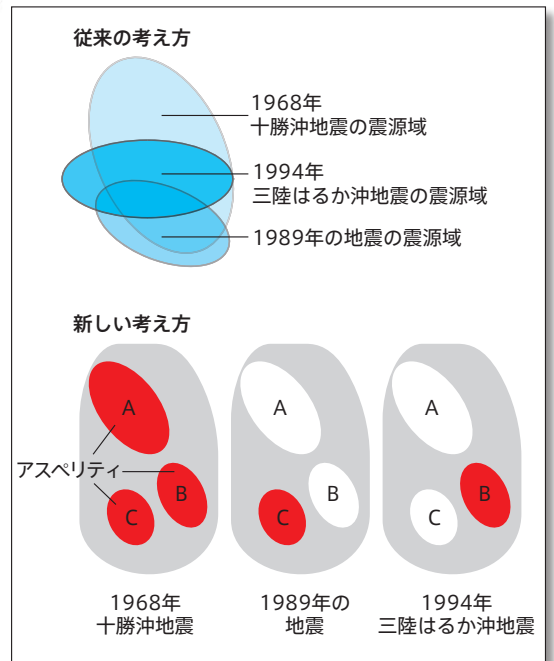




② 三陸沖のアスペリティと地震の規模

三陸沖では、短い周期で何度も地震が発生しています。今までは、接しているプレート全体がすべて地震が発生していると考えられていましたが、同じ場所で異なる規模の地震が繰り返し起きることがうまく説明できませんでした。最近になって、過去の地震記録の解析をもとに、三陸沖には大小さまざまなアスペリティがあり、地震ごとにすべるアスペリティの組み合わせが異なることがわかってきました。

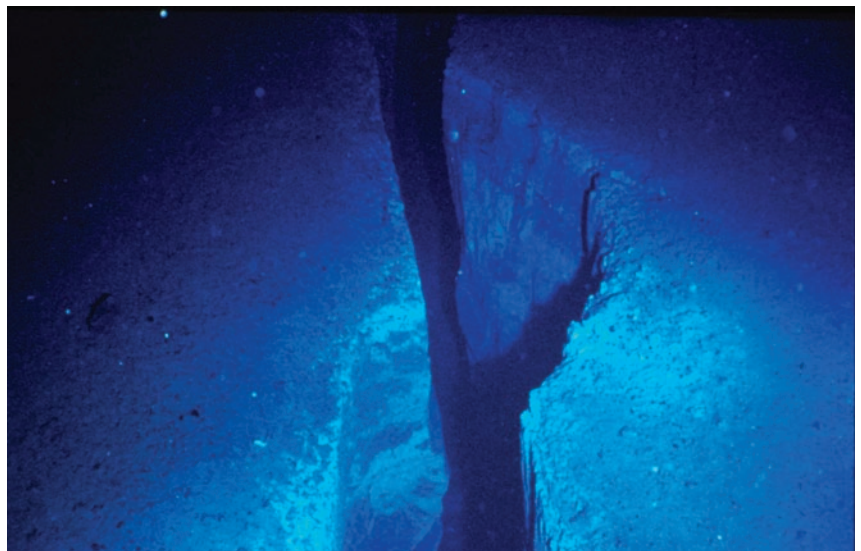
(地震予知研究協議会『日本の地震予知研究』(平成15年4月)の資料をもとに改変)



★ 震源
色 アスペリティ
等高線 すべった領域
▲ 観測点

1回の地震は
同じ色で示した

③ 三陸沖の日本海溝で発見された海底の亀裂
プレート境界型地震によってできた亀裂だと考えられています。水深約6270mで、有人潜水調査船「しんかい6500」が撮影。
(提供：海洋研究開発機構 (JAMSTEC))



地震の仕組みを知り、 地震の被害を最小限におさえる

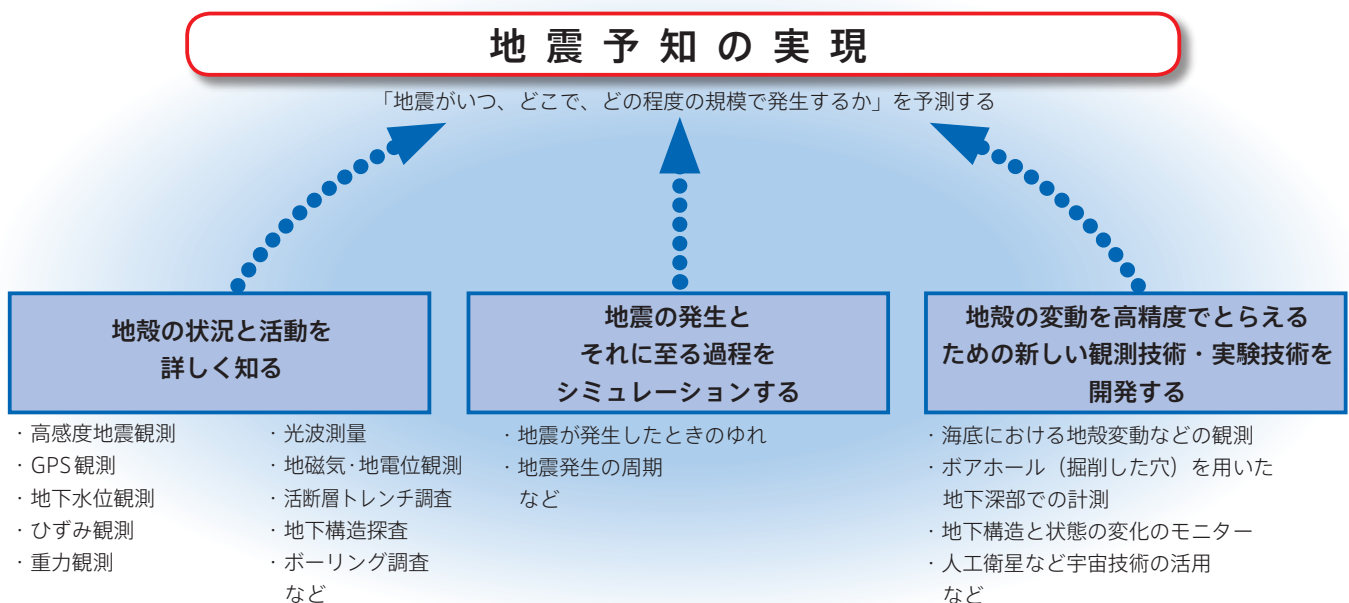
地震予知はできないのですか——地震について誰もが知りたいのは、地震予知についてです。確かに、いつ、どこで、どのくらいの地震が起きるかが事前にわかれば、被害を減らすことができます。例えば東海地震（M8）が起きると、最悪の場合、死者9200人、全壊家屋46万棟、経済的損害37兆円もの被害が出ると予測されています。たとえ地震発生1時間前でも予知に成功すれば、安全な場所に避難できるので死者は2300人に、また火事が減るので全壊家屋は約29万棟に軽減すると予測されています。経済的損害も31兆円に減ります。この数値を見ると、早く地震予知を実現してほしいと、誰もが思うことでしょう。

研究者たちも期待に応えようと、地震予知を実現するためにさまざまな研究を進めています。人工地震を使った**地下構造探査**もその一つです。地震波は地層の境界で跳ね返ってくるので、地上からは見えない、かつて地震を起こした断層やプレートの境界を画像として見るができます。どこに、どういう断層があるかがわかれば、どこでどういう地震が発生するか、どこでゆれが激しくなるかを予測することができます。

活断層の調査も重要です。大きな地震では、地震を起こした地下の断層が地表にまで達することがあります。そのような断層のうち、今後も地震を起こすと考えられるものが活断層です。地面を掘削して活断層の断面を調べると、これまでにいつ、どのくらいの地震を起こしたかがわかります。地震発生の間隔がわかれば、次はいつごろ地震を起こすかを予測できます。24ページ図①の「**30年確率**」は、このような調査から求められたものです。

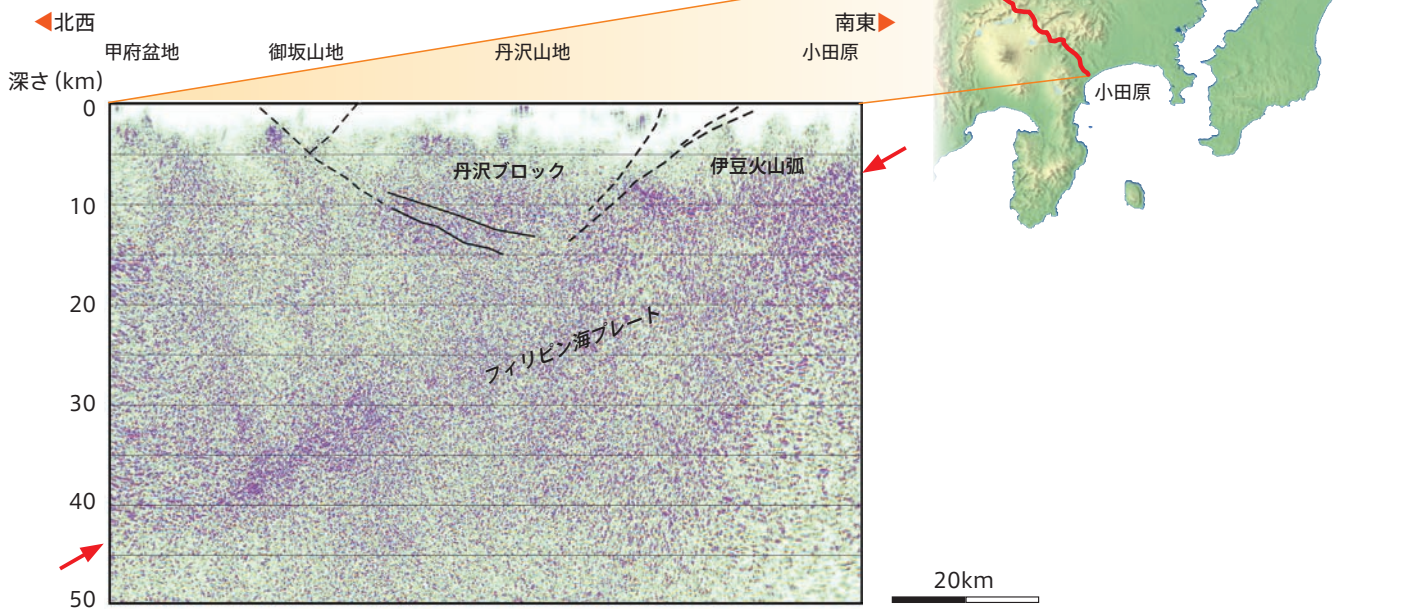
最近では、「どこで」「どのくらい」の地震が起きるかは、ずいぶん予測できるようになってきました。難しいのは、「いつ」です。**アスペリティ**が急激に大きくすべって地震が起きる前に、アスペリティの一部が壊れてゆっくりすべり始める「**プレスリップ**」という現象があることが、実験でわかってきました。16ページで紹介したように、東海地震ではプレスリップをとらえることで、「いつ」を知ろうとしています。世界で唯一、地震予知のための防災体制が整ってきている東海地震に、日本だけでなく、世界中の視線が集まっています。

① 地震予知の実現を目指したさまざまな研究・観測





② 地下構造探査 震源車（上）やダイナマイトを使って人工的に振動を発生させ、地下の地層で跳ね返ってくる波をとらえることで、地下の構造を可視化します。下は、地下構造探査によって得られた神奈川県小田原と山梨県甲府盆地を結ぶ断面の地下構造です。陸側のプレートの下に沈み込むフィリピン海プレートの上面がわかります（矢印を結んだ線）。（提供：東京大学地震研究所 佐藤比呂志）



③ 活断層のトレンチ調査 活断層を横切るように溝（トレンチ）を掘り、地層と断層の関係を詳しく調べること、いつ、どのくらいの規模の地震を起こしたかを読み取ります。次にいつ地震を起こすかを予測する、重要な手掛かりとなります。写真は、山形盆地断層帯のトレンチ調査の様子。（提供：産業技術総合研究所 活断層研究センター）



地震に強い町をつくろう

地震予知ができれば被害を減らすことができますが、実現までには、もう少し時間が必要です。また、たとえ予知ができて、地震が起きればゆれることには変わりはありません。被害を最小限におさえるために必要なのが、地震に強い町づくりです。

地震に強い町をつくるには、まず地盤を知るべきです。地震のゆれの強さは、震源からの距離だけではなく、地盤によっても変わります。硬い岩盤の上ではゆれは弱く、堆積層のような軟らかい地層の上ではゆれは強くなります。堆積層が厚いほど、ゆれも強くなります。

そして、建物を建てる時に注意しなければならないのが、ゆれに強いことと、地盤と建物の相性です。地盤にも建物にも、ゆれやすい振動の周期があります。地盤と同じ周期でゆれやすい建物を建ててしまうと、地震が発生したときに「共振」を起こしてしまいます。共振とは、地盤と建物がゆれるタイミングが合ってしまい、弱かったゆれがだんだん強くなり、長く続く現象です。建物の強度が足らなければ、崩壊することもあります。長い周期でゆれやすい高層ビルは、短い周期でゆれやすい硬い岩盤に基礎を設けて建てる必要があります。

地盤と建物の相性では、首都圏の高層ビルの危険性が指摘されています。首都圏の地盤は厚い堆積層です。この地盤はとても長い周期でゆれやすく、高層ビルがゆれやすい周期と一致しているのです。M8

程度の巨大地震では、長い周期のゆれが首都圏で起きることは確実です。東海地震、東南海地震、南海地震など、巨大地震が近づいている今、早急な対策が必要です。

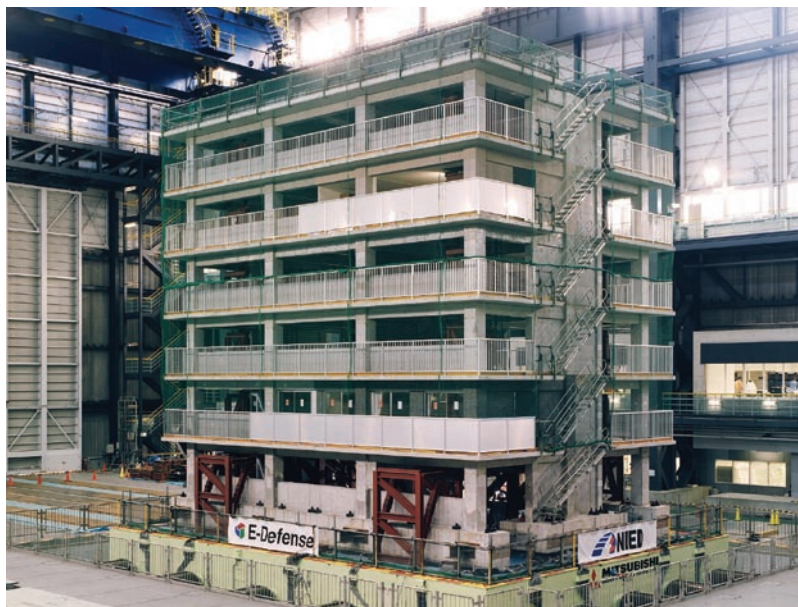
気象庁では、2006年8月から「緊急地震速報」という新しい情報の発表を始めました。地震が発生したら、すぐに震源や地震の規模を計算し、地震がいつ、どこで発生したのかに加え、各地に大きなゆれが到達する時間、ゆれの大きさを予測していち早く知らせます。地震が発生してからゆれが到達するまでのわずかな時間を利用して、列車やエレベータを止めたり、火を消したり、机の下などに入って身を守ることができます。それによって、被害を大きく減らすことができると期待されています。

しかし、さまざまな対策を施しても、地震のゆれをまったくなくすことはできません。災害時の救援体制が整っていることも、地震に強い町の条件です。倒れた建物の下敷きになった人を探すレスキューロボットなどの研究・開発も進められています。

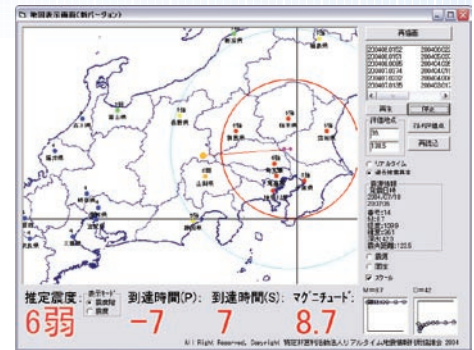
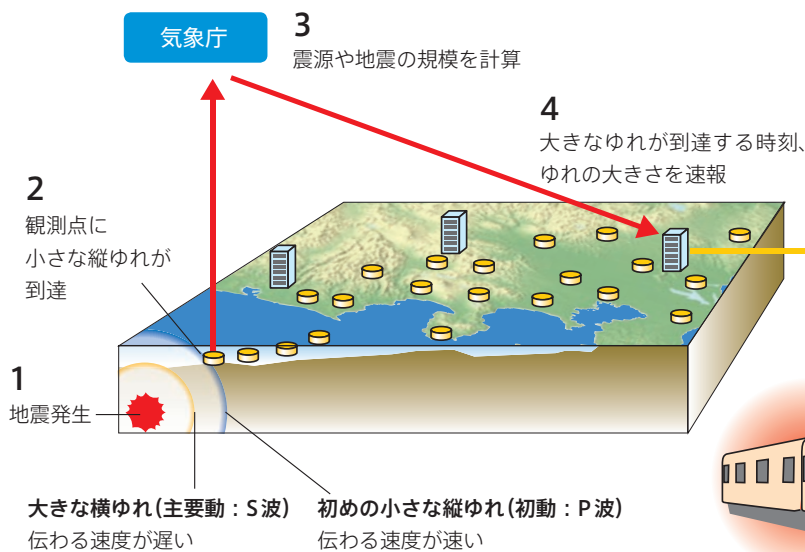
そして、地震に強い町づくりに一番必要なのは、私たち一人ひとりが地震を知り、正しく理解し、備えることです。難しく考えることはありません。まずは、家具が倒れないように壁に固定して家の安全性を高め、非常食を用意し、家族で災害時の連絡方法を話し合ったり、住んでいる町の災害時の対応を確認するなど、身近なことから始めてみましょう。

① 実大三次元震動破壊実験施設「E-ディフェンス」における震動台実験

防災科学技術研究所の実大三次元震動破壊実験施設「E-ディフェンス」では、15m×12mの震動台の上に実際の建物を載せ、地震と同じようにゆらすことで、建物の強度を調べたり、対策を検討したりします。写真は、高さ16mの6階建て鉄筋コンクリートの建物の実験の様子。兵庫県南部地震と同じゆれを与えて、柱が破壊される様子などを調べました。http://www.bosai.go.jp/hyogo/live/rc_movie.htmlでは実験映像を見ることができます。
(資料・提供：独立行政法人 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター)



② 緊急地震速報 地震が発生するとすぐに震源や地震の規模を計算し、端末がある場所に大きなゆれが到達する時間、ゆれの大きさを予測して、可能な限り早く知らせます。(気象庁の資料をもとに改変)



③ 研究・開発中のレスキューロボットの例

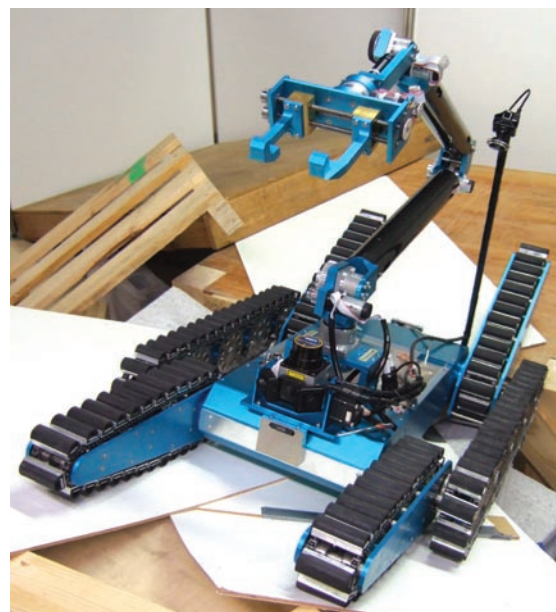


がれき内探査用ロボット「MOIRA2号」 がれきを押し分けて入っていき、倒れた建物の下敷きになったり、家の中に閉じ込められたりしている人を発見します。幅16.5cm、高さ12cm、長さ110cm。先端に付いたカメラの映像を見ながら、遠隔操作します。(提供：神戸大学工学部機械工学科 大須賀研究室)



防災用インテリジェントエアロロボット 無人ヘリコプターをもとに開発したもので、人が離れた場所から操縦しなくても、搭載したコンピュータが自ら判断して飛行します。災害現場の上空を飛行してカメラで撮影し、被害の状況がわかる3次元地図をつくり、救援活動を支援します。

(提供：国際レスキューシステム研究機構/京都大学大学院 工学研究科 機械理工学専攻 中西弘明)



レスキューロボット「Ali-baba」 倒壊した建物や地下街を探索して、救助を待っている人を探します。がれきの上でも安定して進み、がれきを取り除いたり、とびらを開閉したりできます。大きさは1m×50cm。

(提供：東北大学大学院 情報科学研究科 田所研究室)

第5章 私たちの明日を守るために

高感度地震計で地下を見通し、 深部低周波微動・スロースリップを発見

小原一成

防災科学技術研究所 地震研究部 副部長
兼 地震観測データセンター センター長

日本列島には地震観測網が張り巡らされています。地震が起きると気象庁から各地の震度と震源が発表されますが、震源の位置を計算するために使っているのは、気象庁、防災科学技術研究所、大学、温泉地学研究所など地震関係の研究機関がそれぞれ観測し、相互に利用できるようにした地震観測データです。中でも防災科学技術研究所は、日本全域でさまざまなゆれを観測し、地下で何が起きているかを探っています。

全国2000点以上に地震計を設置

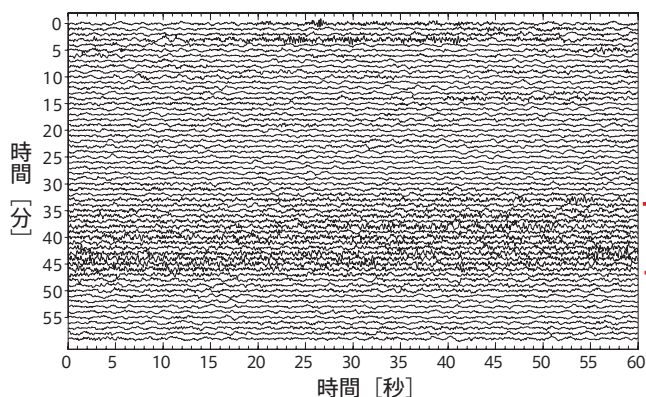
——地震計とは、どういう装置ですか。

小原：大地のゆれを測る装置で、いつ、どのくらいの大きさでゆれたかを24時間365日、絶えず記録しています。防災科学技術研究所が設置している地震計には、3種類あります。人体に感じないとても小さなゆれまで観測できる高感度地震計、速い振動からゆっくりした振動まで広い周波数にわたって観測できる広帯域地震計、強いゆれでも振り切れずに観測する強震計です。全部合わせると、観測点は日本全国で2000か所以上あります。私が研究に使っているのは、主に高感度地震計のデータです。高感度地震計の観測網はHi-netといい、全国に800か所の観測点があります。

——観測点が年に100点くらいずつ急速に増えていますね。

小原：地震観測網が本格的に整備され始めたのは、1995年の兵庫県南部地震がきっかけでした。日本列島は、いつ、どこで地震が起きてもおかしくありません。研究者は、兵庫県の南部でも数千年おきに大きな地震が起きることは知っていましたが、まさか、あのとき、あの場所で、あれほどの地震が起きるとは思っていませんでした。私たちは、自分が住んでいる日本列島の下で何が起きようとしているのか、十分にはわかっていなかったのです。

地下で何が起きているのかを理解するためには、普段から地震活動を把握しておく必要があります。地震活動のデータ



① 深部低周波微動の波形の例 四国西部（愛媛県伊方）における1時間連続波形記録（2001年8月17日午前4時～5時）。高感度地震計のデータで、1本が60秒、60本で1時間分の地面のゆれを示しています。濃く見える部分が、深部低周波微動です。

を蓄積し、研究を進めていけば、地震予知につながるかもしれません。そこで、高感度地震計を15～20kmの間隔で設置して、日本列島で起きる地震を微小なものまですべて観測しようとしているのです。高感度地震計は、気象庁、大学、温泉地学研究所など、ほかの研究機関が設置したものを合わせると1200点ありますが、まだ足りません。特に山間部や島では観測点がまばらなので、今後も整備が必要です。

「スロースリップ」を発見

——地震計からは、どのようなデータが送られてくるのですか。

小原：高感度地震計が観測した振動は、波形で表されます。観測される波形は常に振動していますが、絶えず地震が起きているということではありません。高感度地震計は、より小さい地震を正確にとらえるため、直径15cm程度、深さ100mくらいの井戸のような穴を掘って設置します。それでも、車や電車の通過などによる人工的なノイズや、風や波などによる自然界のノイズがたくさん入ってしまうのです。データをよく見て、たくさんのノイズの中から必要な情報をいかに取り出すことができるか、それが研究者の腕の見せどころです。

——最近では、どのような発見がありましたか。

小原：四国のデータを見ていて、引っ掛かるところがあったのです（図①）。波形の線がひとときわたく見える部分が、問題の振動です。車が通ったときのノイズにも似ていますが、隣接する観測点でも観測されていることから、地下で何かが起きているのではないかと考え、調べ始めました。

地震の波形とは明らかに違います。地震では、縦ゆれのP波と横ゆれのS波がはっきり現れるのですが、この振動は、通常の地震よりもゆっくりしたゆれが数日から数週間も継続しています。火山性の場合には同様な振動が起きますが、四国に火山はありません。調べていくと、深さ30kmくらいで発生していることがわかってきました。今までに観測されたことのない初めての現象です。深い場所で、ゆっくりした、弱いゆれが起きることから、「深部低周波微動」と呼んでいます。

深部低周波微動は、四国だけでなく、紀伊半島から愛知県に至る広い範囲にわたって発生していることもわかってきました。しかも発生域の分布は、西南日本の下に沈み込んでいるフィリピン海プレートの形と、とてもよく合っています。



小原一成（おばら・かずしげ） 防災科学技術研究所 地震研究部 副部長、兼 地震観測データセンター センター長。理学博士。1959年、宮城県生まれ。高感度地震観測管理室長を経て、現職。

深部低周波微動は、深さ30kmの、フィリピン海プレートと陸側のプレートとの境界で発生していたのです。

——深部低周波微動は、南海トラフで起きる南海地震や東南海地震、東海地震と関係があるのでしょうか。

小原：深部低周波微動は、それらの震源域よりも、もう少し深い場所で起きています。これまで、震源域よりも深い場所のプレートは、スムーズに沈み込んでいると考えられていました。しかし、深部低周波微動が観測されたということは、何かおかしい動きがあることを示しています。高感度地震計と一緒に設置された傾斜計のデータからは、微動の発生と同じタイミングで地殻変動が起きていることもわかってきました。私たちは、プレート境界がじわっと、ゆっくり動いている様子をとらえていたのです。この現象は「スロースリップ」と呼ばれています。動きが非常にゆっくりなので、体を感じるような地震は発生しません。

国土地理院のGPS観測網では、2000年から東海地方でさらにゆっくりとした地殻変動をとらえました。これもスロースリップです。2006年にはほぼ止まりましたが、当初は東海地震につながるのではないかと、かなり注目されました。

——深部低周波微動が観測されたのは一度だけですか。

小原：約6か月周期で発生しています。いったん発生すると、深部低周波微動の発生域は、1日10kmくらいのスピードで移動していきます。2006年1月には、紀伊半島中部から始ま

って北上し、伊勢湾を越えて愛知県東部まで200kmも移動しました。この移動が何を意味するのかは、まだわかっていません。東海地震、東南海地震、南海地震が連動するという説があり、それと関係しているのではないかと指摘もあります。

深部低周波微動の発生域の東端に当たる東海地方と、西端に当たる豊後水道で、数か月から数年継続するスロースリップが起きていることも気になります。スロースリップと巨大地震との因果関係を明らかにするには、もっと観測データを増やす必要があるでしょう。

——地震予知の実現は近づいているのでしょうか。

小原：近づいてはいますが、まだ遠いですね。あと数十年以上はかかるでしょう。自然はそれだけ複雑なのです。1960年代に地震予知の研究が始まったころには、観測が進めば地震予知は簡単にできるようになると思っていました。しかし、観測すればするほど新しい現象が見つかり、そのメカニズムはまだ闇の中です。

私が今やりたいこと、やるべきことは、地震計のデータを蓄積し、そのデータを隅から隅までなめ尽くすように見て、そこから地下で起きている現象をすべて引っ張り出すことです。地震予知は、その後についてくるのではないのでしょうか。

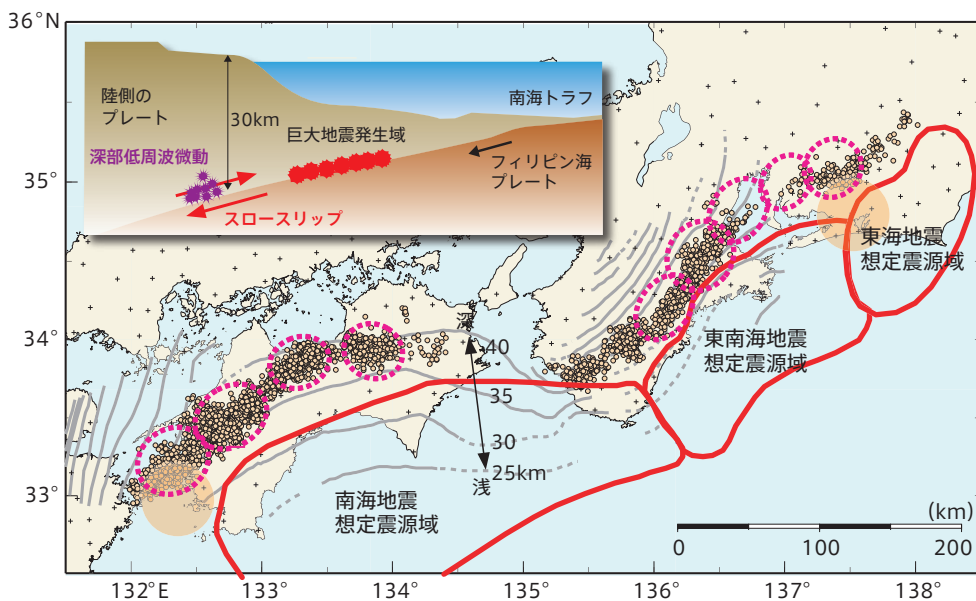
地震研究は宝探し

——地震研究者になったきっかけは？

小原：中学3年生のときに見た『日本沈没』の映画です。日本列島が沈むようなことが本当に起こり得るのかと、地下の動きに興味を持つようになりました。

——地震研究の面白さは、どういうところですか。

小原：地震研究は、宝探しのようなものです。データを観察して、そこから誰も見つけていない新しい現象を見いだすことが面白い。日本列島の下には、わかっていないことがたくさんあります。今の中学生、高校生が研究を始めるころでも、まだたくさんの宝が眠っていることでしょう。ぜひ宝を一つひとつ見つけ、地震予知につなげてください。



② 深部低周波微動とスロースリップが観測された地域 深部低周波微動が起きている場所は、深さ30kmで、陸側のプレートの下に沈み込んでいるフィリピン海プレートの位置と、とてもよく一致しています。ここでは、数日続く短期的なスロースリップが起きていると考えられています。（提供：防災科学技術研究所 小原一成、左上図は一部改変）

- 深部低周波微動の発生源
- ✦ 防災科研Hi-net観測点
- フィリピン海プレート内の地震活動等深線
- 活発な微動に同期する短期的なスロースリップ（継続期間：数日）
- 長期的なスロースリップ（継続期間：数か月～数年）

GPS によって地震を見る

宮崎真一

東京大学 地震研究所
地震予知研究推進センター 助手

私たちの足元の大地は動いている、と言われても、実感はありません。しかし、日本列島はプレート運動に伴って毎年数cm程度動いていることが、GPS (全地球測位システム) の観測データによってわかってきました。さらに、大地の動きを数mmから1cmという高精度で観測できるGPSによって、今まで見えなかった大地のすべりやゆれがはっきり見えてきました。GPSの観測データが蓄積されることにより、地震研究は飛躍的に発展していくと期待されています。

大地の動きを3mmの精度で観測

—GPSでどういう研究をされているのでしょうか。

宮崎：GPSは、人工衛星からの電波を受け取ることでその場所の緯度・経度・高さがわかるもので、カーナビでも使われています。高精度のGPSで同じ場所を何年も継続して観測すると、その場所がどの方向に、どれだけ動いたかを、水平方向で約3mm、上下方向で約1cmの精度で知ることができるのです。例えば、GPSで観測してみると、四国はアジア大陸東縁に対して、1年間で北西方向に約4cm動いていることがわかります。大地が動くのには、理由があるはずですが、私たちは、GPSの観測でわかった地上の動きをもとにして、地下で何が起きているかを推定する、という研究をしています。

—GPSの観測点は全国でいくつあるのですか。

宮崎：国土地理院の観測点が約1200点あります。公園や学校などに5mのタワーを立て、一番上にGPSのアンテナが設置されています。日本のGPS観測網は世界最高といえるでしょう。

GPSは、まだ新しい観測方法です。日本では、1994年4月に関東・東海の約100点、10月1日にそれ以外の全国の100点で本格的な観測を始めました。関東・東海は、首都直下地震や東海地震の前兆現象による地殻変動をとらえるためでしたが、それ以外は地図づくりや土地区画整備のための測量が主な目的でした。私が大学院の修士課程を終えて国土地理院に入ったのは、ちょうどその年。全国100点の観測データを管理する部署に配属になりました。

全国100点で観測を開始した3日後の10月4日、北海道東方沖地震 (M8.2) が発生し、GPS観測点のデータを解析すると、北海道が40cm東に動いていることがわかりました。12月には三陸はるか沖地震 (M7.6)、1995年1月には兵庫県南部地震 (M7.3) が発生し、どちらも地殻の動きが数cmの精度で観測できました。こうなると、GPSは地震研究に新しい知

見をもたらしてくれるのではないかと、期待を持ちますよね。それで、観測網の整備がスピードアップしたのです。

「余効すべり」をとらえた

—GPS観測で、どのようなことがわかってきたのでしょうか。

宮崎：私は、全国のGPS観測点のデータがきちんと取れているかを確認するために、毎日データを見ていました。その中で、三陸はるか沖地震の後、1年以上にわたってゆっくりとした地殻変動が続いていることに気が付いたのです。地震が起きると、地震時だけでなく、「余効すべり」といって、地震後も1年から3年くらいかけてプレート境界がゆっくりとすべります。GPSは、それをとらえていたのです。

余効すべりは、ひずみ計の観測や岩石実験から予測はされていましたが、どのくらいの期間、規模で起きるのかはわかっていませんでした。以前は、地震が起きてしばらくしてから測量をするので、その変動が地震時のものか、地震後のものかを正確に区別できなかったのです。GPSは毎日観測しているので、地震時の動きと、地震後の動きを分離することができます。余効すべりの観測は、GPSだからこそ可能になった、画期的な成果です。

—地震が起きる前にゆっくりすべる「プレスリップ」による地殻変動も、GPSで観測できますか。

宮崎：まだ観測できた例はありません。プレスリップによる地殻変動は、余効すべりより小さいと思われます。大きな地震では観測できるかもしれませんが、大きな地震は海底の下で起きることが多いので、陸上に現れる変動は小さく、観測は難しいでしょう。海底の地殻変動も継続して高精度で観測できればいいのですが、電波は海中を伝わりませんから、現在のGPSは使えません。海面に浮かべたブイの位置をGPSで決め、ブイと海底に設置した基準点の間は音波を使う方法が検討されています。

地震時のすべりと余効すべりの関係

—研究はどのように進めるのですか。

宮崎：研究には三つのステップがあります。第一のステップは、今までの研究の流れでどこまでわかっているかをとらえ、自分が次に何をすべきかを考えること。第二のステップは実

① GPS 電子基準点

5mのタワーの上 (白い半球の中) にGPSのアンテナが設置されています。
(提供：国土地理院)





宮崎真一（みやざき・しんいち） 東京大学 地震研究所 地震予知研究推進センター 助手。1968年、京都府生まれ。国土地理院測地部、測地観測センター、地理地殻活動研究センターを経て、現職。

行、第三のステップは明らかになったことを整理して論文を書くことです。

最も難しいのが、第一のステップです。私は、誰もやっていないことをやりたい。次にこれを知りたいから何をしたらいいのだろう、と考えているのが難しく、かつ楽しいのです。

——例えば、どのような研究ですか。

宮崎：2003年に起きた十勝沖地震（M8.0）では、少し変わったことをしました。地震時のすべりは地震計、余効すべりはGPSで求めるのが普通です。でも、関連を調べるとき、同じデータに基づいていた方がいい。そこで、地震時のすべりと余効すべりの両方をGPSのデータから求めたのです。その結果、地震ですべった場所を取り囲むように、余効すべりが起きていることがわかりました。

このときに使ったのが、1秒ごとのGPSデータです。GPSというと、1日ごとや1年ごとの変化をとらえるのが得意と思われていますが、大きい地震であれば、1秒ごとのGPSデータを使って地面がゆれる様子を観測することもできます。もっと長い期間、例えば2世紀くらいデータを蓄積すれば、地震のサイクルも見えてくるでしょう。私は、GPSをとことん使い、どこまでやれるかを明らかにしていきたいと思っています。

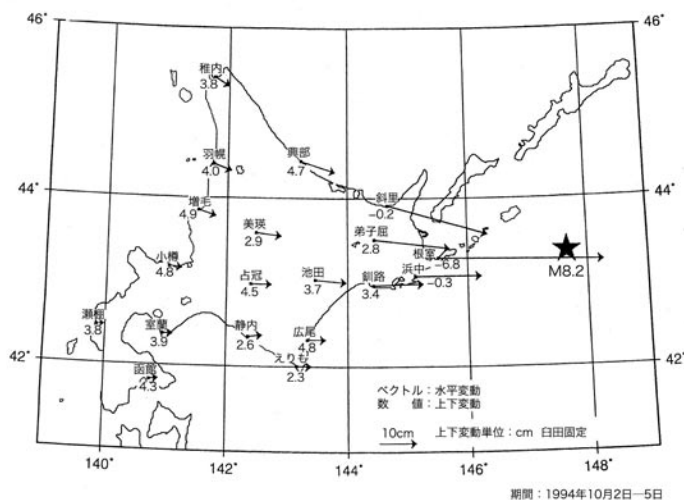
GPSからは、すべった量だけでなく、すべらせる方向にかかる力（ずり応力）とすべった速度もわかります。その二つがどういう関係にあるかを求める研究もしています。その関係を示す数値がわかると、地震のシミュレーションにも役立ちます。自分でも「コロンブスの卵」だと思ったのですが、なぜか、やっている人がいなかったのです。

究極的には、天気予報のようなことをしたいのです。しかし、天気と地震の最大の違いは、地震は同じ場所では100年に一度くらいしか起きず、圧倒的に観測データが不足していること。でも、だめだとあきらめずに、今の段階でできることをやっておくことが大事。地震の予知はすぐには難しいかもしれませんが、余効すべりがどのように始まり、伝わって、そして終わるのかというあたりから順々に挑戦していこうと思っています。

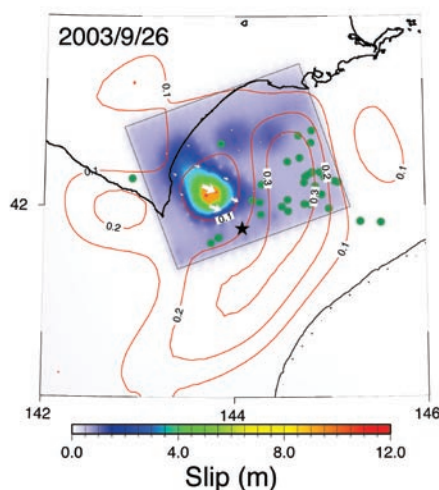
見えないものを見る

——地震の研究者になりたかったのですか。

宮崎：いいえ。私は宇宙が好きで、大学院ではオーロラの研



② GPS がとらえた北海道東方沖地震に伴う地殻変動 水平変動の方向と大きさを矢印で、上下変動を数値で表しています。変動が最も大きい観測点では、東に40cm 動きました。★印は震源。（『地震予知連絡会会報』1995年2月、Vol. 53、p37より）



③ 1秒ごとのGPSがとらえた十勝沖地震に伴う地殻変動 色は地震時のすべり、等高線は余効すべりの大きさを表しています。地震時にすべった場所を取り囲むように、余効すべりが起きていることがわかります。★印は震源。（提供：東京大学 地震研究所 宮崎真一）

究をしていました。今でも、オーロラや宇宙空間に興味があります。国土地理院でたまたまGPSに出会い、今に至っているのです。今や宇宙空間観測は、現象が起きている場所にロケットや衛星を飛ばして直接観測できるようになりましたが、地震発生域を直接観測するのは当然困難でしょう。地震研究の魅力は、見えないものを見ること。それが地震研究の難しさでもあるのですが。

——中高生へのメッセージを。

宮崎：地震に限らず、科学に興味を持ってほしいですね。最近、情報化社会で何でもすぐにわかり、わからないといらいってしまうかもしれません。でも、わからないことをゆっくり時間をかけて解決する喜びも味わってほしい。苦しんだ分、喜びも大きいものです。

最後に強調したいのは、「研究者＝頭のいい人」ではないということです。物理や数学の力もある方がいいですが、それ以上に必要なのは、今までの研究の流れを追って、何をすべきかをきちんと考える力です。

「ちきゅう」で史上初めて 巨大地震の震源まで掘り進める

高橋成実

海洋研究開発機構
地球内部変動研究センター サブリーダー

海底の地下深くで起きる巨大地震。その震源はまだ誰も見たことのない未知の世界です。2007年、紀伊半島沖の南海トラフで、地球深部探査船「ちきゅう」による海底掘削が行われ、史上初めて巨大地震の震源を直接観測するプロジェクトが始まります。

「ちきゅう」で南海トラフを掘削する

—「ちきゅう」は海底の下を世界で最も深く掘れる科学探査船だそうですね。

高橋：これまで科学目的の掘削記録は海底下約2kmが最深ですが、「ちきゅう」は約7kmまで掘り進めることができます。

—海底下7kmまで掘削できることで、どのような地震研究が可能となるのですか。

高橋：深刻な被害をもたらす大きな地震は、地下の深い場所で起きます。図②を見てください。これは地下構造のイメージで、場所は紀伊半島沖。近くには1944年の東南海地震（M7.9）や1946年の南海地震（M8.0）の震源があります。ここは南海トラフと呼ばれ、フィリピン海プレートが日本列島を乗せた陸側のプレートの下に沈み込んでいます。そのプレート境界の断層、地下約7kmから30kmくらいの場所で大きな地震が起きます。「ちきゅう」ならばその地震発生帯までぎりぎり届くと考えられ、2007年から掘削が始まります。ただし、その掘削は決して簡単なことではありません。幾多の困難が予想される、とても挑戦的なプロジェクトです。

さまざまな方法で地震に迫る

—「ちきゅう」による地震発生帯の掘削探査で、最も知りたいことは何ですか。

高橋：それは研究者によって異なります。地震研究にはさま

ざまなアプローチがあるからです。

例えば、水のような流体に注目している研究者がいます。流体があると断層がすべりやすくなるので、その分布が地震の起き方に大きく影響を与えていると考えているのです。

粘土の成分が重要だという人もいます。海底の堆積物には粘土物質が含まれていますが、それが沈み込むと温度や圧力によって成分が変化します。その変化の仕方によって断層のすべりやすさが変わるという考え方です。

岩石の変成に注目している人もいます。地震が起きると、その摩擦熱によって岩石が変成します。どれくらい変成しているかを調べれば、過去に起きた地震の頻度がわかるというアイデアです。

圧力の観測を目指している人もいます。「ちきゅう」で掘った縦穴には圧力計などの観測装置を置く予定です。そこで、縦穴にかかる圧力を連続的に観測すれば、地震がいつ起きるかをある程度予測できるはずだと考えています。

今、ここで紹介したのはほんの一例です。なぜ特定の場所や特定の時間間隔で地震が起きるのか、それはまだ誰にもわかりません。そのなぞに迫るためにいろいろな角度から研究を進め、地震という複雑な現象を解明しようとしているのです。

—高橋先生はどのような方法で研究を進めてきたのですか。

高橋：私は海底地震計などによって地下での波の伝わり方を調べ、地下構造を明らかにする研究を行ってきました。そのデータなどを使って、例えば東京大学地震研究所の古村孝志助教授たちは地震波シミュレーションを行い、防災に役立てています（→40～41ページ）。

地下構造探査は、病気の診断でいえばCT（コンピュータ断層撮影）検査に相当します。CT検査で、体の中で異常のありそうところがぼんやりと見えてきます。しかしそこが悪性のがんなのか良性の腫瘍^{しゅよう}なのかを知るには、組織を摘出して調べなければいけません。地震研究で初めてそれをやるのが「ちきゅう」です。

地下構造探査と「ちきゅう」などを使った掘削探査は補い合う関係です。図②のような地下構造探査によるイメージがあるからこそ、ここを掘るべきだと判断できるわけです。逆に、「ちきゅう」による掘削データによって地下構造のイメージをより正確で高精度なものにすることができます。

何か所も掘削探査を行うことは、事実上不可能です。掘削



① 海洋研究開発機構（JAMSTEC）が建造した「ちきゅう」地震や気候変動のメカニズム、地下生命圏などの解明を目指す統合国際掘削計画（IODP）の主力船として活躍する。史上初めて、地震発生帯の岩石を採取できると期待されています。（提供：IODP/JAMSTEC）



(左端が高橋サブリーダー)

高橋成実（たかはし・なるみ） 海洋研究開発機構 地球内部変動研究センター プレート挙動解析研究プログラム サブリーダー。理学博士。1967年、神奈川県生まれ。千葉大学大学院自然科学研究科修了。東京大学海洋研究所 COE 研究員を経て現職。

探査の成果を生かして、例えば南海トラフ全体の構造や7kmよりも深い地震発生帯の様子を解明するには、地下構造探査など別の方法や研究が必要です。

——「ちきゅう」による南海トラフの掘削で、予想外の発見がありそうですか。

高橋：あるかもしれません。過去にも実際に掘削探査を試みたら、事前の地下構造探査で予想していた構造と大きく違っていた例があります。

——今後、「ちきゅう」を使って別の震源を掘削する予定はありますか。

高橋：まだ検討段階ですが、関東地震の震源である相模湾や、「スロースリップ」(→33ページ)が起きる房総半島沖を掘削する案が考えられています。

なぜ陸地ができるのか

——地球科学に興味を抱いたきっかけは？

高橋：私は神奈川県茅ヶ崎市の出身です。10代のころ、伊豆大島近海の地震（1978年、M7.0）や大島の噴火（1986年）が起きました。茅ヶ崎の海岸から大島の噴火が見えたのです。噴火の音は聞こえませんが、家の窓ガラスがビリビリと振動しました。火山活動や地震を身をもって体験したことが、こ

の世界に興味を持つきっかけだったと思います。

——これからの夢は？

高橋：私は大学院のころから、なぜ陸地ができるのか、というテーマを追いかけてきました。陸地がなかったら人類は今のよう形で存在できません。なぜ陸地ができたのかは、なぜ人類がいるのかと同じくらい大きな研究テーマだと思います。そもそも地球ができた当初、陸地はありませんでした。あるときから陸地をつくる軽くて厚い大陸地殻がつくられるようになったのです。

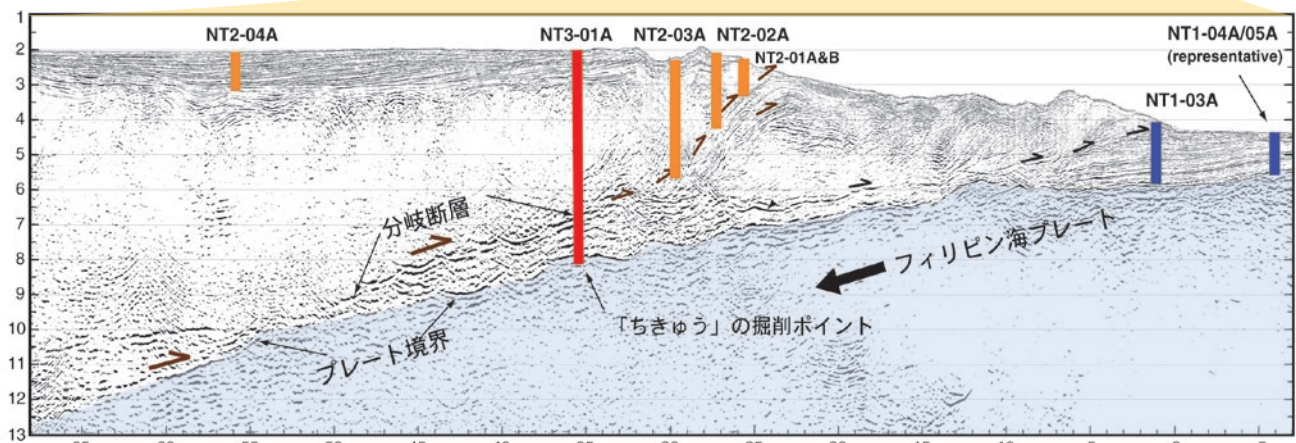
大陸地殻はどのようにつくられるのか、そのなぞを解く鍵が伊豆一小笠原からマリアナ海域にあると私たちは考えています。ここでは今、まさに大陸地殻ができています。現在、私たちは海底地震計などを使って伊豆一小笠原海域の地下構造探査を進めているところです。

——地震研究や地球科学の魅力は？

高橋：地震学、地質学、岩石学、電気・機械工学など、さまざまな分野の人たちが協力して、地震のメカニズムや大陸地殻の形成など大きなテーマの解明を目指しています。どのような方法でなぞを解くかは研究者のアイデア次第。いろいろな分野とかかわりを持ちたい人、幅広い好奇心を持つ人が、その能力を最大限に生かせる分野です。しかも、私たち地球科学者にとって、日本列島周辺は極めて面白い、最高のフィールドです。



深さ (km)



② 南海トラフの地下構造イメージと「ちきゅう」の掘削ポイント 赤で示したポイントを「ちきゅう」で、黄色と青のポイントを「ちきゅう」以外の掘削船で掘り進める計画です。「ちきゅう」はプレート境界付近の地震発生帯まで掘削できます。（出典：Park et al. (2002)）

巨大地震の現場を 海底地震計でとらえる

塩原 肇

東京大学 地震研究所
海半球観測研究センター 助教授

大きな被害をもたらす巨大地震のほとんどは、海底の下で起きます。しかし、巨大地震の現場である海底での地震観測は簡単ではありません。海底では大きな水圧が働くだけでなく、宇宙空間と違って、海中では電波を使って観測装置と情報のやりとりをすることもできないからです。海底で地震観測を行うには、耐圧容器の中に地震計、通信装置、電池などを詰めた海底地震計を、調査海域で船から海底へ投下します。そして必要な記録が取れたところに、船からの浮上命令によって海底地震計を回収し、記録を得る必要があります。その難しい海底地震観測に、東京大学地震研究所の塩原 肇 助教授は挑んでいます。海底地震観測は、今後の巨大地震の解明や地球内部の研究の鍵を握っています。

なぜ海底地震観測は難しいのか

——海底での地震観測はいつごろから始まったのですか。

塩原：1970年代から海底地震計の開発が世界中で始まりました。しかし現在、海底での地震観測を本格的に行えるのは、日本とアメリカだけです。

——それは、なぜですか。

塩原：技術的に難しく、研究成果がすぐに得にくいからです。海底では巨大な水圧がかかります。その水圧に耐える容器の中に必要な装置をコンパクトに詰め込み、海底に沈めます。海中では電波はすぐに減衰するので通信に使えません。しかも地震の観測データは大容量なので、音波を使った音響通信で受信することもまず不可能です。

——海底地震計を海底ケーブルでつなぎ、観測データをリアルタイムでモニターするシステムもあると聞いていますが。

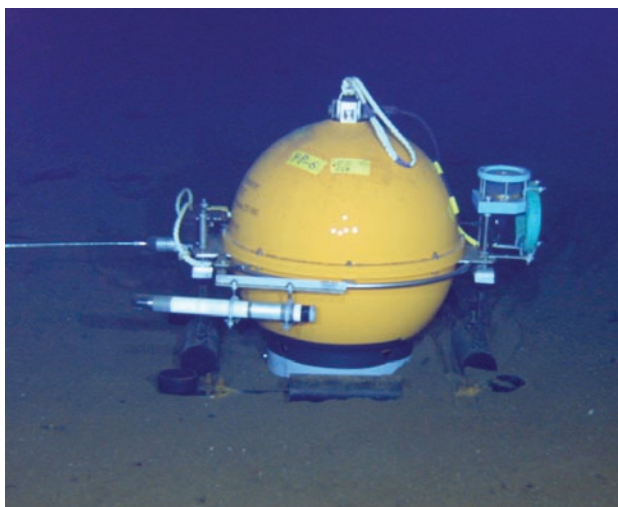
塩原：ある特定の場所を常に観測したい場合には、とても有効な方法です。しかし、1本のケーブルを引くのにもたいへん大きなコストがかかるため、観測点もせいぜい数か所に限られてしまい、しかも移動させることができません。効率的に観測データを得るには、地震計自体を浮上させて回収する

しか、今のところ方法がありません。

地震を確実に観測するには海底に密着しなければいけません。地震計を海底に埋めたりすると、浮上させることが難しくなり、観測データを回収しにくくなってしまいます。確実に観測することと、確実にデータを回収することが相反してしまうのです。また、地震計を海底に沈めた後、修理などはもちろんできません。

——宇宙に打ち上げてしまうと修理ができない人工衛星のようですね。

塩原：人工衛星では、電波通信を使って指令を与えたり観測データや衛星の状態を知ることができます。しかし、海底地震計は、いったん海底に沈めたら、ほとんどコントロールできないのです。しかも海底地震計が海底に設置されている状況を、誰も見たことがありませんでした。何らかの不具合があっても、何が起きたのかまったくわかりません。トラブルの原因がわからないことも開発が難しい理由の一つでしたが、最近になってやっと、潜水艇を使わせてもらって海底地震計が設置されている状況を見ることができるようになりました（図①）。



① 潜水艇（海洋研究開発機構の「しんかい 6500」）から撮影した深海底での海底地震計

（提供：東京大学 地震研究所 塩原肇）

地震で地球の中身を知る

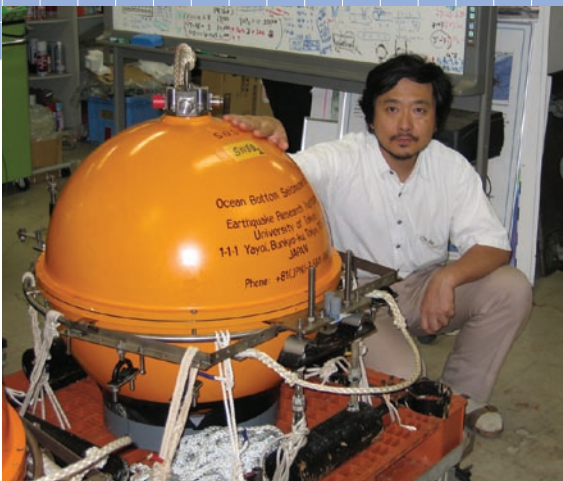
——そもそもなぜ海底での地震観測が重要なのですか。

塩原：日本周辺で起きる巨大地震は海底の下で発生します。そこで何が起きているのかを知るには、その現場で観測する必要があります。例えば震源も、遠く離れた陸上の観測では正確な位置はわかりません。また、地震が起きる場所の地下構造を知るためにも、海底地震計を使った観測が必要です。

——今、どのような研究をされているのですか。

塩原：海底地震計の開発では、陸上と同じような地震観測ができるようにすることが大きな目標です。私たちは、1年間以上といった長期間の連続観測や、100秒あるいは1000秒という長い周期の地震波の観測ができる海底地震計をここ数年で開発してきました。そして、そのような海底地震計を使って地球内部を調べる研究を行っています。

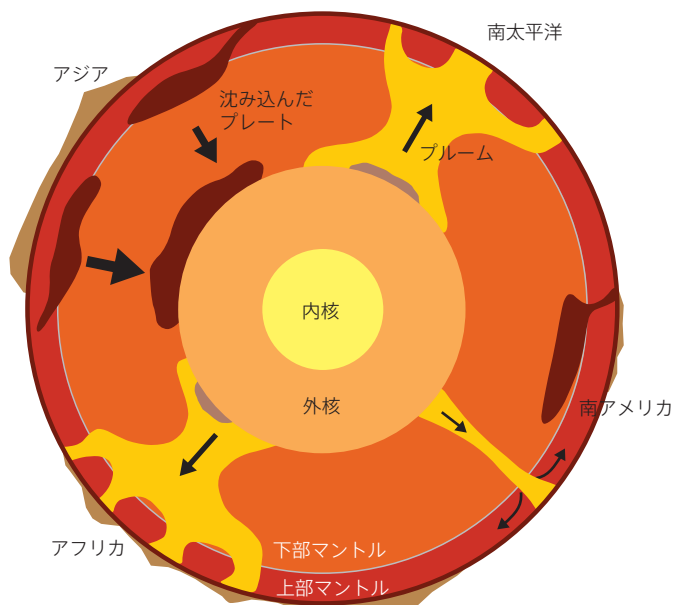
地球内部を調べる最も有力な手段が地震観測なのです。



塩原 肇（しおばら・はじめ） 東京大学 地震研究所 海半球観測研究センター 助教授。理学博士。1961年、埼玉県生まれ。北海道大学理学部地球物理学学科卒業。北海道大学理学部助手・富山大学理学部助教授を経て、現職。

1990年代、陸上の地震観測によって、ブルームと呼ばれるマン틀の底からわき上がる巨大な上昇流や、地球内部に沈み込んだプレートの様子が見えてきました。しかし、見えたといっても陸上という地球上の限られた場所の観測データだけなので、詳しいことはわかりません。そこで私たちは、ブルームがわき上がっているといわれる南太平洋のタヒチや、プレートが沈み込むマリアナ海溝で、海底地震計を使った観測を国際共同研究で行ってきました。

例えば、多くの場所では、沈み込んだプレートはいったんマン틀の上部にたまって、やがてマン틀の底へと落ちていくように見えます。ところがマリアナ海溝では、沈み込んだプレートはたまたまにそのまま真っすぐマン틀の底へと落ちているように見えます。なぜ、そのような違いが起きるのか。そのなぞを明らかにすることは、将来、地震のメカニズムを解明することにもつながります。



② 地球内部のマン틀の動き 地球内部には、沈み込んだプレートがマン틀の底まで落ち込む巨大な下降流や、マン틀の底からわき上がる巨大な上昇流があることがわかってきました。
(東京工業大学 丸山茂徳教授の資料をもとに作成)

リアルタイム観測が課題

——海底地震計の今後の課題は？

塩原：私たちが開発してきた自己浮上型海底地震計の最大のネックは、リアルタイム性です。例えば伊豆半島沖などで群発地震が続いているとき、すぐにその現場に行って海底地震計を沈めても、浮上させないとデータを見ることができませんので、どうしてもかなりのタイムラグが生じます。群発地震の現場で、リアルタイムで観測できるシステムができれば、その後の状況を予測したり、防災に大いに役立つようになります。

——そのような観測は可能なのですか。

塩原：群発地震の経過を調べる場合、本当に必要なデータは、“いつその観測点に地震波が到達したか”です。そのわずかなデータを回収すればよいのです。そういう使い方ならば、地震計を浮上させなくても、音響通信と衛星通信を駆使してデータを回収できる可能性があります。2000年の三宅島での噴火の際には、新島沖でそのような観測システムを試験的に稼働させています。しかし技術的にとても難しいですね。

開発にはセンスが必要

——海底地震計の開発に携わるようになったきっかけは何ですか。

塩原：北海道大学に入学して、島村英紀先生の研究室を見学する機会がありました。そこでは海底地震計などの装置を、自分たちでハンダ付けなどをしながらつくっていました。私は小学生のころからエレクトロニクスに興味があったので、面白そうと思ったんです。

自分たちの手で装置をつくって、今までできなかった観測を行う。それが面白くてこの研究を続けてきました。ただし、海底地震計を本気になって開発しているのは、世界中でも何人もいません。ものづくりをしたい場合、企業に行って製品開発をするのも面白いと思いますが、海底地震計のように難しく特殊な装置の開発も、とてもやりがいのある仕事です。

——海底地震計の開発に必要なものは何ですか。

塩原：海底の状況がどうなっているのか、わからないことがたくさんあります。そこに装置を置かなければいけません。あらゆる状況を予想し、壊れずにきちんと観測できる装置をつくるには、装置をばっと見て、うまく動きそうか、壊れないかを判断できるセンスが要求されます。そういうセンスは、子どものころからものをつくったり壊したりしながら、磨かれるものだと思います。

海底地震計の開発には、これからもやるべきテーマがたくさんあります。それはすぐにできる簡単なことではありませんが、地震研究を大きく進展させる可能性があり、防災にも貢献できる挑戦的なテーマです。

大地震のゆれのコンピュータ シミュレーションを防災に役立てる

古村孝志

東京大学 地震研究所
地震火山災害部門 助教授

東京大学地震研究所の古村孝志助教授は、スーパーコンピュータを使って大地震による地面の強いゆれを予測し、防災に役立てようとしています。このようなシミュレーション研究により、東海地震や東南海地震など大きな地震で発生するゆっくりとしたゆれ（長周期地震動）が東京都心部へと集まり、超高層ビルや石油タンクなどの大型建造物を長時間大きくゆることがわかってきました。シミュレーションを用いた地震予知の研究は、地震の前兆をとらえることから、地震の発生とそのゆれの予測・防災へと飛躍的に活躍の場が広がってきています。

地震波が集中する東京都心部

——地震波の伝わり方を研究しているそうですね。

古村：1995年の兵庫県南部地震の後、全国の1800か所に地震計（強震計）が設置されました。このような高密度の地震観測網ができたことにより、大地震の地震波が伝わる様子を詳しく見るできるようになりました。それを見ると、大都市がある平野部がゆれやすいことがよくわかります。平野部は硬い岩盤の上に厚い堆積層が乗っています。そこに地震波が伝わると、ゆれが増幅され、しかも外へ出ていかないので、ずっとゆれ続けるのです。日本の平野の中でも関東平野は面積が大きく、基盤岩が深いすり鉢状にえぐれています。そのすり鉢の底は、東京都心部から千葉県の地下にあり、その上を3000～6000mもの厚い堆積層が覆っています。

——2004年の新潟県中越地震では、震源から200km以上も離れた東京都心部の超高層ビルが大きくゆれましたね。

古村：大きな地震のときに「長周期地震動」と呼ばれる、3～10秒以上の長い周期のゆれが発生します。東京都心部のように堆積層が厚いほど、長い周期でゆれやすい傾向があります。近代的な大きな建造物は、長周期の地震動に共振して大きくゆれます。長周期地震動が強く発達する東京都心部には大型建造物が集中する、という困った関係になっているので

す。このような長周期地震動を研究するために、私たちは新潟県中越地震のゆれの伝わり方を詳しく調べました。すると驚くべきことがわかったのです。震源の新潟県中越から真っすぐ都心へ向かってくる波のほかに、神奈川県へと向かっていった波が、東京都に入ると国立市あたりで方向転換して、ちょうど中央線に沿うように都心へ向かったのです。

——なぜ、都心へ方向転換したのですか。

古村：関東平野の地下構造が原因だと考えられます。それを確かめるために、コンピュータの中に新潟県中越地震を再現しました。地震波の伝わり方は、地盤の硬さの影響を受けます。震源がある新潟県中越から東京までの地下構造を一辺が200mの立方体に区切り、その一つひとつに岩石の硬さのデータを入れて、震源から地震波が伝わり平野で長周期地震動がどのように生まれて伝わるかを、超高速スーパーコンピュータ「地球シミュレータ」で計算しました。すると、地震波が基盤岩のすり鉢の底、すなわち都心部の地下へ集まることがわかりました。しかも都心に集まった波は、その後、東京湾を挟んで千葉県との間を何度も往復しながら、長い時間そこに停滞したことがわかりました。東京湾には地震計がないので、都心に集まった波がその後、どうなるのかは、観測ではわかりませんでした。それがシミュレーションにより初めてわかったのです（図①）。

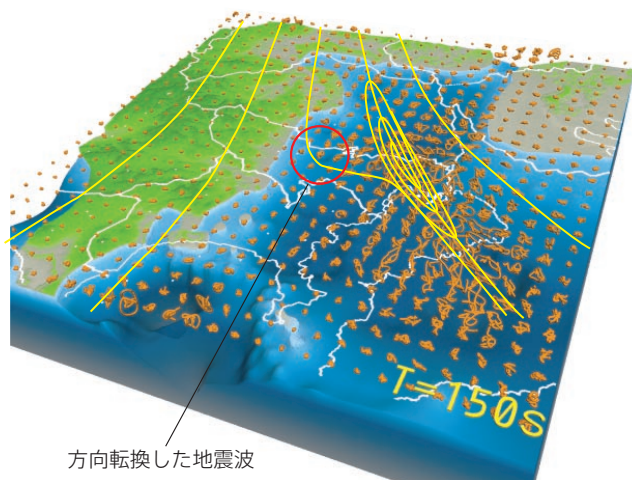
東海・東南海地震が首都圏を襲う

——ほかの場所で起きた地震でも、都心に長周期地震動が強く出るのですか。

古村：2004年9月に起きた紀伊半島南東沖の地震でも、長周期の強いゆれが東京都心部で観測されました。しかも、これら南海トラフの地震から生まれた長周期地震動は、新潟県中越のような内陸で起きる地震よりもさらに途中で成長しやすく、都心を大きくゆさぶることがわかってきました。

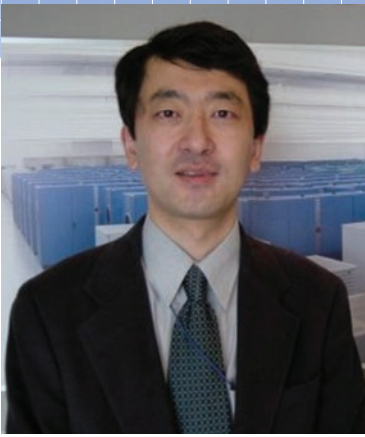
——この海域ではM8程度の東南海地震の発生が心配されていますね。

古村：1944年に起きた東南海地震の東京や千葉、横浜での地震計記録が最近見つかり、周期10秒以上の長周期のゆれが10分間以上も長く続いたことがわかりました。私たちは



方向転換した地震波

① 新潟県中越地震による長周期地震動の伝わり方のシミュレーション 東京都心部の地下には、すり鉢状の基盤岩の底があります。この基盤岩の底へ向かって地震波が集中します。
(提供：東京大学 地震研究所 古村孝志)



古村孝志（ふるむら・たかし） 東京大学 地震研究所 地震火山災害部門 助教授。理学博士。1963年、富山県生まれ。1992年、北海道大学大学院理学研究科博士課程修了。北海道教育大学助教授を経て、現職。

1944年の東南海地震のゆれをコンピュータシミュレーションし、観測データを再現できるかどうか試みました。最初はうまくいきませんでした。南海トラフから関東平野までの地下構造モデルを手直ししていくことで、観測データをよく再現することができました。正しい地下構造モデルが完成すると、それを使って将来起きるおそれのある地震のゆれを予測できます。例えば東海地震と東南海地震が同時に起きた場合など、観測データのない地震のゆれについてもコンピュータシミュレーションから予測して、防災に役立てることができるのです（図②）。

——地震研究に興味を持ったきっかけは？

古村：もともと物理が好きだったのですが、北海道大学に入り、講義を聴いたり、気象庁の職員でもあった新田次郎さんの地震や火山を題材にした小説をたくさん読んで、地球物理に興味を持ちました。大学院の修士論文では、日高山脈の下の方の深部地下構造を、地震波形を解析して調べました。その中で、プレートの下面から跳ね返ってきたと考えられる地震波を見つけたのです。しかしそれを学会で発表したら、ある偉い先生から“そんな地震波は見えるはずはない”と反論されました。悔しくて、シミュレーションでその地震波を証明してやろうと思ったのが、研究を始めたきっかけです。

大学院博士過程の1990年ごろ、地震波のコンピュータシミュレーションを研究している人は世界にもほとんどおらず、コンピュータの速度も現在より何万倍も遅かったために、実用には程遠いものでした。博士号を取った後もシミュレーション技術の高精度化のための研究を続けていましたが、1995年に兵庫県南部地震が起きたのです。強い衝撃を受けました。“高精度化などと細かいことを言っている場合ではない。今できる範囲で、この技術を防災に役立てなければいけない”と考えたのです。

この地震をきっかけとして、平野の地下構造探査や高密度の地震観測網の整備が急速に進みました。また、「地球シミュレータ」も2002年に完成しました。地下構造データと地震観測データ、そして超高速スーパーコンピュータの三つの条件がそろってようやく、先ほど紹介したような実用的な地震波シミュレーション研究ができるようになりました。

地震の統一的なシミュレーションを築く

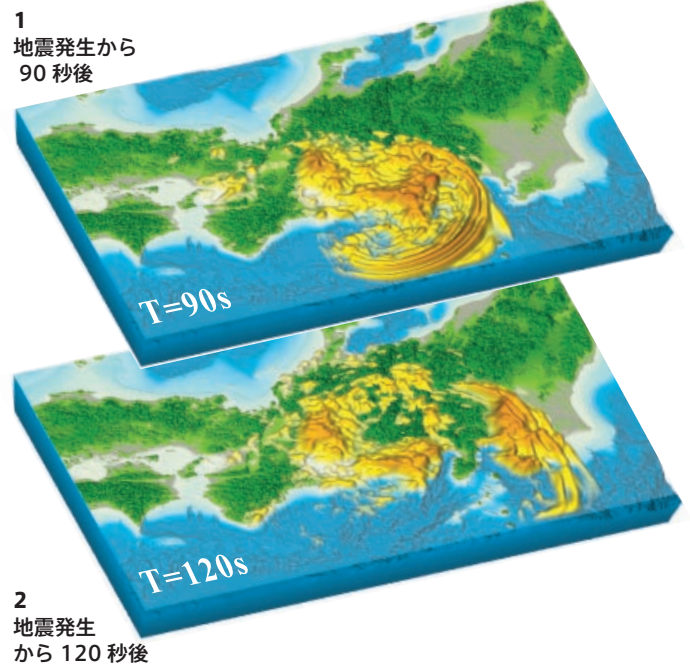
——研究をどのように発展させていくお考えですか。

古村：周期2秒以上の長周期地震動のシミュレーションはほぼ可能になりましたが、木造の一般家屋や工場の配管などの小さな構造物に共振して被害を与える、周期1秒以下の短周期地震波伝播のシミュレーションを今後行いたいと思います。それには複雑な地下構造をさらに細かく区切ってコンピュータに組み込む必要があるため、より詳細な地下構造の調査とコンピュータの高速化が必要です。都会には、長周期構造物から短周期構造物までさまざまなサイズの建造物が林立しているので、これらをコンピュータ内に忠実に再現した街を実際にゆらすシミュレーションも行い、防災に役立てたいと考えています。

——シミュレーションで地震予知も可能になりますか。

古村：地震シミュレーションでは、“プレート境界にゆがみがたまり地震が起きるまで”、“地震発生により断層が破壊され地震波が発生する瞬間”、“地震波が複雑な地下構造を伝わり、地表が大きくゆれる状態”の三つの段階を計算する必要があります。それぞれは時間・空間スケールと、現象を記述する物理法則が異なるため、これまで三つのシミュレーション研究は別々に行われてきました。

最近、それら3段階のシミュレーションをつなげて、地震という現象を統一的に再現しようという新しい研究が始まっています。これが完成すれば、地震がいつごろ、どこで、どのくらいの規模で起き、これにより街がどのようにゆれて被害が起きるのかを、精度よく予測することができるようになるでしょう。地震の予知は地震の前兆をとらえることだけでなく、地震発生の物理に基づくシミュレーション研究、そして防災へと、大きく転換しようとしているのです。



② 東南海・東海地震が同時に起きたときの長周期地震動のシミュレーション 震源域に近い関西や東海地方だけでなく、首都圏も大きくゆれることがわかります。（提供：東京大学 地震研究所 古村孝志）

地震予知を目指し、 シミュレーションで地震を知る

加藤尚之

東京大学 地震研究所
地震予知研究推進センター 助教授

地震は同じ場所では100年に一度くらいしか起きませんから、地震発生のメカニズムを観測することは、非常に困難です。そこで、理論的な研究が進められています。シミュレーションで地震発生メカニズムを理解し、現実の地震で検証し、さらに理論を現実になら近づけていくことによって、現時点では難しいものの、将来、地震研究の最終目標である予知につながっていくと期待されています。

観測と実験と理論とのコンビネーション

—地震予知はできるのでしょうか。

加藤：その答えは、地震研究者でも人によって違うでしょう。私は、地震予知は、現時点では非常に難しいと思っています。

もちろん、可能性はあります。しかし、地震予知は地震研究の最終目標なのです。いきなり地震予知に挑んでもだめです。その前に、地震の発生メカニズムを理解したり、もっとやらなければならないことがたくさんあるのです。

—地震を知るために、どういう手法を取っているのですか。

加藤：私は、地震について理論の面から研究しています。しかし、理論ですべてがわかるわけではありません。どの分野でも同じですが、理論をつくったら観測や実験結果と比較し、それと合うように理論を修正し、また観測や実験結果と比較し……ということを繰り返して、だんだん理解が進むものです。

しかし、地震に関しては、比較できる観測例が極端に少ないのです。地殻の変動をとらえることができるGPSや、微小な地震まで観測できる地震計の観測網が整備されたのは、この10年ほどです。そもそも大地震は、同じ場所では100年に一度くらいしか起きません。これが、地震の観測が難しい理由の一つです。

地震の発生メカニズムを理解しようと、実験も行われています。プレート境界は普段はぴったりくっついていますが、力が加わり続けると、あるとき壊れて一気にすべります。それが地震です。その様子を岩石を使って実験し、どのくらいの力がかかると、どのようにして壊れ、どのくらいの速さですべるのかを調べています。

—実験は、地震をうまく再現できるのでしょうか。

加藤：岩石がすべるときの物理法則は、ずいぶんわかってきました。しかし、スケールが違いますよね。地震ではプレートは何mもすべりますが、実験室では大きくても数cmです。何mもすべれば摩擦熱で岩石が溶けたりしますが、実験ではそこまでは再現できません。時間スケールも違います。“地震の一生”は100年くらいです。100年間はずっとくっついていて、一瞬で壊れてすべる。実験では、それを2〜3日で再現するしかありません。

実験からわかったことを極端に拡張して地震に当てはめて考えていますが、限界があります。私は以前、実験をやっていたのですが、実験結果をもっと現実になら近づけたいと思い、理論的な研究を始めたのです。シミュレーションは実験室レベルのこともできるし、地震の数百kmのスケールのこともできます。両者をつなぐことができるのです。

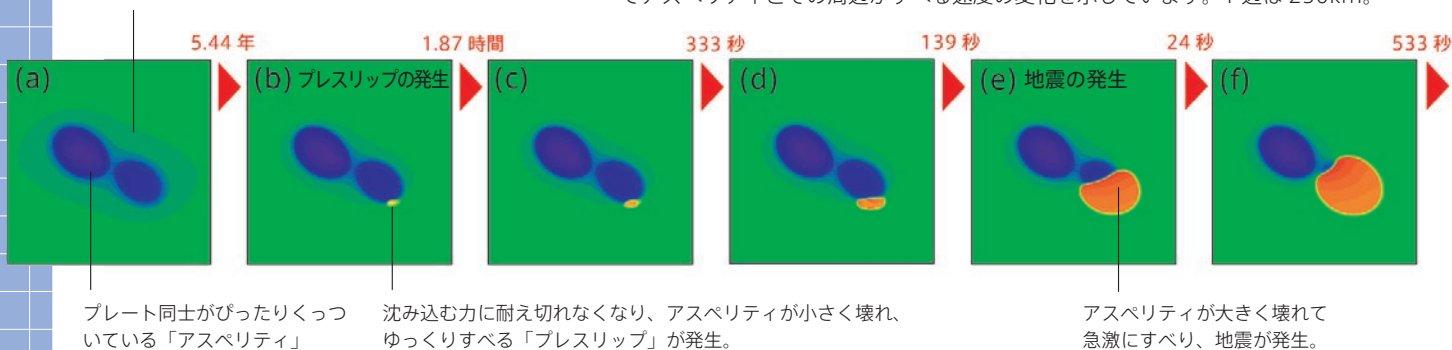
「プレスリップ」をとらえ、地震予知へ

—観測や実験、シミュレーションから、予知に結びつく成果は出ているのですか。

加藤：岩石を使った実験では、くっついていてる部分が大きく壊れてすべる前に、小さな破壊が起きてゆっくりすべり始めることがわかっています。このような前兆現象を「プレスリップ」と呼んでいます。

地震の前兆現象の観測もいくつか報告されています。例えば、1960年のチリ地震や1944年の東南海地震では、地震の直前にプレスリップによると考えられる地殻変動などが観測

プレートが沈み込む速度と
同じ速度ですべっている





加藤尚之 (かとう・なおゆき) 東京大学 地震研究所 地震予知研究推進センター 助教授。理学博士。1963年、神奈川県生まれ。東北大学 助手、工業技術院地質調査所 研究員・主任研究員、産業技術総合研究所 主任研究員を経て、現職。

されています。ただし、これらが本当にプレスリップによるものかどうかは、観測の不備などもあり、否定的な意見もあります。

三陸沖の地震活動の一生をシミュレーションした結果でも、プレスリップが起きています (図①)。プレスリップを観測することができれば、地震予知ができるかもしれません。

——東海地震では、プレスリップを観測することで発生を予知しようとしていますね。

加藤：はい。東海地震の監視でも、シミュレーションは活躍しています。東海地震の震源域ではどのくらいの規模のプレスリップが起き、その結果どのくらいの地殻変動が現れるかを、シミュレーションで計算することができるのです。気象庁はその結果を考慮して、観測機器の精度を向上させたり、異常が観測された場合の対応を決めています。

——2000年から2005年にかけて東海地方で、「スロースリップ」と呼ばれるゆっくりした地殻変動が観測されていました。これも、プレスリップですか？

加藤：そのときは東海地震は起こらなかったのですが、スロースリップからプレスリップに発展して東海地震が発生していた可能性はあったと思います。変動している最中に東海地震が起きていたら、「プレスリップだった」ということになりました。私たちのシミュレーションでも、あのようなスロースリップが何度か起きて、最後にすべりが加速して地震に発展するという結果も出ています。スロースリップとプレスリップは、発生する場所が違うことが重要なポイントです。プレスリップは、実際に震源で起き

るのです。

——シミュレーションを地震予知につなげるために、一番必要なことは？

加藤：プレスリップを実際に観測してもらうことしかありません。理論家としては、本当に自分が考えていた通りのことが起きるかどうかは、非常に興味があるし、ドキドキしますね。間違っていたらどうしようという思いもありますが、理論と観測と実験をぐるぐる回すことで、地震の本当の姿が見えてくる。そして、地震予知の夢が実現できるのです。

直下地震の理論研究は手付かず

——今、注目していることは何ですか。

加藤：直前の予知も重要ですが、長期的な地震発生予測にも興味があります。「〇〇地震は100年周期で起きる」などといわれます。これは統計的に求めた平均値で、実際は70年間隔だったり、200年間隔だったりします。地震の起こり方の不規則性の原因を明らかにし、実験や観測から明らかになった力学的なモデルを使ってシミュレーションすることで、長期予測の精度を高めたいと思っています。

——なぜ地震の研究者になろうと思ったのですか。

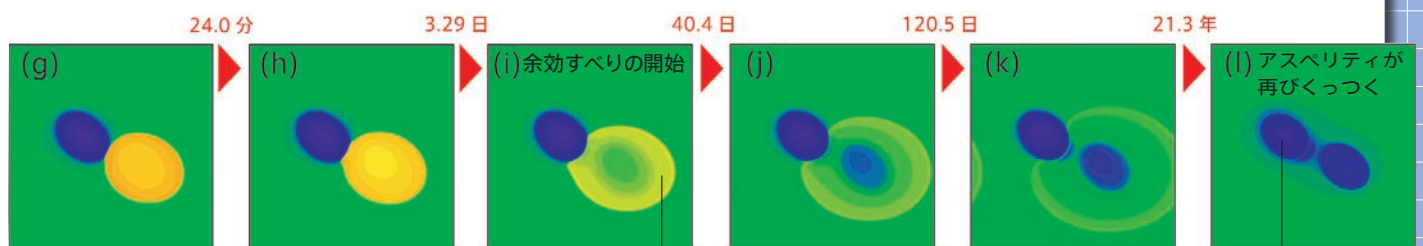
加藤：私は、神奈川県海老名市の出身です。私が中学生のころ、東海地震が起きるかもしれないと話題になりました。海老名市は東海地震の警戒区域に入っていたこともあり、地震を理解したいと思うようになったのです。

——これからやらなければいけないことは？

加藤：今回お話したのは、プレート境界型地震についてです。活断層型地震も、私たちの町に大きな被害をもたらします。にもかかわらず、その理論研究は進んでいないのです。プレートは一定速度で沈み込んでいくので、どこにどれだけ力がかかり、どのようにすべるかは、比較的わかりやすい。しかし、活断層型地震の場合、活断層にどのように力がかかって地震が発生しているのか、よくわかっていません。私も活断層型地震に興味がありますが、手を付けることができないでいます。これから地震研究の世界に入ってくる若い人たちに託したい課題ですね。

←遅い すべる速度 速い→

(加藤尚之「プレート境界面の摩擦パラメータの推定について」『地学雑誌』Vol.112 No.6 (991) p.857-868, 2003より)



地震が終わった後も、ゆっくりとした「余効すべり」が続く。

アスペリティ部分のプレート同士が再び、ぴったりくっつく。

神奈川県温泉地学研究所の紹介

神奈川県温泉地学研究所は神奈川県の西の端、小田原市にあります。温泉および地下水の保護、開発と利用ならびに地震対策に必要な調査や研究を行っている神奈川県の機関です。職員数が17名の小さな研究所です。

地域に密着した研究所として

神奈川県温泉地学研究所は、「地域に密着した研究所」として、神奈川県小田原市を含む県西部地域が抱えている“地学的な課題”に重点を置いて調査・研究を行っています。



神奈川県温泉地学研究所
ホームページアドレス
<http://www.onken.odawara.kanagawa.jp/>

神奈川県西部は、特徴ある地域です。第一の特徴は、火山性の温泉が豊富にあることです。箱根温泉は観光客が日本一多い温泉地として知られていますが、箱根の隣には湯河原温泉があり、その隣には静岡県県の熱海温泉があります。特徴の二つ目は、地震が多いことです。箱根では体に感じない地震、微小の地震なので大きな問題にはならないのですが、平均すると年間百数十回程度ありますし、小田原は過去400年間に5回も大きな地震にあい、小田原城が大きな被害を受けています。このうち3回の地震は、「小田原地震」という名前が付いています。

このようなことから、地域に密着した研究所として温泉と地震の仕事をしています。温泉については、その恵みを長く利用していけるよう保護するための調査・研究を行っています。地震については、箱根や神奈川県西部地域の地震活動をきめ細かに観測し、観測データをもとにした調査・研究を行っています。温泉と地震のほかにも、地下水の保護と利用の調査・研究および地質の調査・研究を行っています。

神奈川県西部地域の地学的な課題とは

神奈川県西部地域の“地学的な課題”とは何でしょうか？この地域の代表的な特徴である火山性の温泉と地震は、複雑なプレートの動きと深い関係があります。

神奈川県西部は、フィリピン海プレートが日本列

温泉地学研究所の名前、ちょっと変わっているけど、なぜ？

神奈川県温泉地学研究所は、神奈川県の温泉および地下水について、保護・開発と利用のための科学的な調査・研究をすることを目的として、1961年10月に「神奈川県温泉研究所」として設立されました。

首都圏にあって、東京からの距離が近い箱根、湯河原では、1945年ごろから温泉の開発が盛んになっていました。温泉は、地面に温泉井戸（孔）を掘り、その中にわき出

てきた温泉をポンプでくみ上げますが、新しい温泉井戸ができると、周囲の温泉が出なくなることがあります。そのため、新しい温泉の持ち主と出なくなった温泉の持ち主との利害関係の対立が、たびたび起きるようになっていました。1955年ごろには温泉ブームが起きて温泉開発がさらに盛んになり、開発の影響について科学的な判断が求められるようになりました。このため、利害関係

がない科学的な第三者機関が必要とされ、温泉研究所が設置されました。

設立されたときは主に温泉の仕事だけでしたが、その後、地下水や地震などの仕事も加わったため、研究所の名称に「地学」という言葉を加えた方がよいということで、1977年に現在の「温泉地学研究所」になりました。

島にぶつかっている地域なのです。かつて、伊豆半島はフィリピン海プレートに乗った太平洋上の島でした。その伊豆半島が今では、日本列島に「衝突」しているのです（→7ページ）。地図を見ると、箱根山は伊豆半島の北側延長部分にあることがわかります。しかし、フィリピン海プレートは、伊豆半島の東側と西側では日本列島に衝突していません。「衝突」ではなく、日本列島の下に「沈み込んでいる」のです。私たちの研究所から3kmほど東に位置し、過去の大きな地震でたびたび被害にあっている小田原城は、フィリピン海プレートが沈み込んでいる場所の上に築かれています。このように神奈川県西部地域は、「衝

突」と「沈み込み」両方の部分を抱え込んでいます。日本の中でも、いいえ、世界の中でも特徴ある地域といえます。

一般にはあまり知られていませんが、地震や地質の研究者の方々は、神奈川県西部地域は特徴があるということをよく知っています。私たち小さな研究所だけでは困難なこともあります。この地域の地震や地質の研究・調査に取り組んでいる研究者の方々に協力していただき、地域に密着した研究所として、「衝突」と「沈み込み」の両方の部分を抱え込んでいることに関係するさまざまな課題を解決する必要があると考えています。

地震観測の始まり

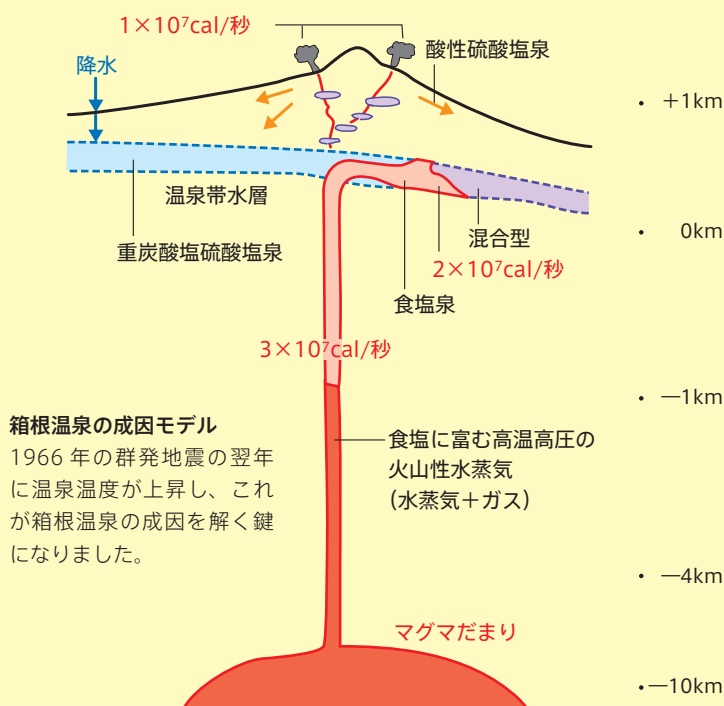
箱根では1959年9月に何回もの地震と鳴動があり、住民は箱根火山が噴火するのではないかと心配しました。そのため、神奈川県知事が、東京大学の地震研究所・水上 武教授と理学部地質学教室・久野久教授に調査を依頼しました。東京大学では臨時の地震観測や地質調査の結果、このときの地震は「噴火の前兆ではないものの、今後も地震が起きたり、場合によっては水蒸気爆発などもあり得る」と結論しました。

この地震観測が契機となり、1960年からは県土木部が地震観測所を設けて、観測を開始しました。地震は1966年にも頻発し、翌年には箱根温泉の一部が急に高い温度になりました。このとき温泉研究所（現在の温泉地学研究所）の研究員は、地震の震源や高温の温泉の流動状況などを詳細に調査した結果、1966年の地震はそれまでの地震より震源が浅く、この地震が起きた後に温泉のもととなっている熱水が浅い場所に増加してきたと推定しました。そのため、温泉の温度が上昇したのです。

このように、地震と温泉には密

接な関係があることなどがわかり、1968年4月、温泉研究所が箱根の地震観測を県土木部から引き継ぐことになりました。これが、温泉研究所の地震観測の始まりでした。観測結果から、多くの地震が箱根火山の中央部分の半径2km、地表下0.5～4kmで発生し、箱根火山のカルデラと呼ばれる巨大な窪地の壁の付近では起きていないことなどがわかりました。

その後1980年代に入り、神奈川県西部では過去に繰り返した大きな地震に襲われていることがわかり、科学技術庁（当時）は、「マグニチュード7級の inland 地震の予知に関する研究（M7 inland 地震プロジェクト研究）」（1987～1992年）として、神奈川県西部地震を取り上げました。当研究所もこのプロジェクト研究に加わるとともに、神奈川県西部地震に対応するため、箱根の地震観測から神奈川県西部地域の地震観測へと観測地域を拡大しました。



小田原城を襲った5つの地震と
今後30年以内の地震発生確率

過去400年間に5回も小田原城に大きな被害を与えた地震とは、どういう地震だったのでしょうか？そのうち2回はM8程度と規模が大きな地震で、1703年に起きた元禄地震と1923年に起きた関東地震です。



神奈川県西部を震源とする三つの地震が起きた場所
(宇津徳治『地震活動総説』東京大学出版会をもとに作成)

首都圏で1600年以降に起きたM7～M8程度の地震
地震調査研究推進本部は、1600年以降に首都圏で起きた12回の地震をリストに挙げていますが、明治時代より以前に起きた寛永小田原地震、天明小田原地震、嘉永小田原地震については（そのほか二つの地震についても）、地震が起る確率の計算から省かれています。（表のデータは地震調査研究推進本部「相模トラフ沿いの地震活動の長期評価」（平成16年8月23日）をもとに作成）

場所	地震名	発生年月	マグニチュード	死者（人）	
相模トラフ	元禄地震	1703年 12月	8.1	1万	関東地震 今後30年以内に発生する確率 0.06%
相模トラフ	関東地震	1923年 9月	7.9	10万3733	
神奈川県西部	寛永小田原地震	1633年 3月	7.0	150	国では発生確率を未検討
神奈川県西部	天明小田原地震	1782年 8月	7.0	有	
神奈川県西部	嘉永小田原地震	1853年 3月	6.7	100	
東京湾	安政江戸地震	1855年 11月	6.9	7444	国では発生確率を未検討
東京湾	明治東京地震	1894年 6月	7.0	31	
東京湾		1894年 10月	6.7	0	
茨城県南部		1895年 1月	7.2	9	南関東直下 今後30年以内に発生する確率 70%
茨城県南部		1921年 12月	7.0	0	
浦賀水道		1922年 4月	6.8	2	
千葉県東方沖		1987年 12月	6.7	2	

あとの3回は、「小田原地震」という名前が付いているM7程度の地震です。

地震調査研究推進本部は、大きな地震について日本全国での調査を行い、今後30年以内に地震が起きる確率を計算しています。その調査結果はどうなのでしょう？地震調査研究推進本部は、首都圏で1600年以降に起きたM7～M8程度の地震として、12の地震を挙げています。この12回の地震のうち、M8程度の1703年の元禄地震と1923年の関東地震が今後30年以内に起きる確率は0.06%と計算されました。また、1894年に起きた明治東京地震以降のM7程度の5つの地震については、今後30年以内に起きる確率を70%と計算しました。ところが、M7程度の地震のうち1633年の寛永小田原地震、1782年の天明小田原地震、1853年の嘉永小田原地震は資料が整っていないため、今後に起きる確率が計算されていません（ほかに1855年の安政江戸地震、1894年の東京湾を震源とする地震も今後に起きる確率が計算されていません）。

神奈川県西部を震源とする地震に
取り組んでいきます

寛永小田原地震、天明小田原地震、嘉永小田原地震については、地震記録がないために今後起きる確率を計算するのは困難なことかもしれませんが、神奈川県西部を震源とするこれらのM7程度の地震に

よって人命が失われ、小田原城が被害にあったことは事実です。しかも、最後の地震から約150年たっている現在、このような地震を調査・研究する必要があると考えています。

日本には地震が起きない安全な場所はない（→4ページ）とされており、防災科学技術研究所をはじめとする大きな研究機関や大学が、各地の地震について研究しています。東海地震、東南海地震、南海地震、宮城県沖地震などは、多くの機関がさまざまな研究をしています。首都圏で今後30年以内に起こる地震についても、文部科学省のプロジェクトにより調査・研究が始まろうとしています。

「地震は国の仕事だから、国に任せておけばよい」という考え方もあるとは思いますが、神奈川県西部を震源とする地震に本気で取り組んでいる機関は、私たちの研究所以外にはありません。

神奈川県温泉地学研究所は、以前から研究所の内外で講演会などを実施しており、講演をお聴きになった方々は毎年約3000名に上ります。さらに2005～2006年には、県民の方々に最近の地震研究の成果や私たちの取り組みの現状を知っていただくため、東京大学地震研究所のご協力を得て地震に関する講演会を企画し、地元の小田原市で4回、横浜市内で1回開催しました。講演会に集まっていたいただいた方々からは、私たちの研究所の取り組みに激励の声を頂きました。



地震に関する講演会

2005～2006年に開催した講演会では、私たちの研究所の取り組みに激励の声を頂きました。

神奈川県温泉地学研究所では、フィリピン海プレートとの衝突と沈み込みのメカニズム解明に取り組み、衝突と沈み込みに伴う現象を把握していくとともに、この地域に被害があった過去の5つの地震について研究する必要があると思っています。県民の方々が安全に暮らしていけるよう、また多くの方々に地震についての正確な情報を活用していただいて地震被害の軽減に少しでも役立つよう、今後も取り組んでいきます。

これまでにわかってきたこと

地震観測によって、小田原から丹沢山地へと北側になるにしたがって震源の深さが深くなっていることなど、フィリピン海プレートの沈み込みを反映した震源分布が明らかになっています。地震が起きたときの断層の動きを調べてみると、神奈川県西部地域では、プレートの沈み込み方向と同じ方向の力が加わって、断層が沈み込みを起こす「逆断層※」

タイプが多いことがわかりました。一方、これまでに観測されている微小な地震の情報や地下構造探査の結果からは、「M7 内陸地震プロジェクト研究」（1987～1992年）で提案された神奈川県西部地震についての数種類の学説とは、あまりよく一致しないことがわかってきています。今後は、地下を伝わってきている地震の波形情報を使ったり、アスペ

リティの周りで微小な地震を起こしている地域を調べることなどによって、想定される地震の震源となる断層を探し出すことが課題です。

※断層には、断層面に対して水平にずれる「横ずれ断層」、断層を押す力が働いて上側の岩盤がずり上がる「逆断層」、その逆に断層を引き離す方向に力がかかって上側の岩盤が断層面の上をずり下がる「正断層」があります。

参考資料

■地震に関する防災対策・調査研究を行っている機関

【行政機関】

- 中央防災会議（内閣府）<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/>
防災の基本方針、防災施策の総合調整、災害緊急措置計画の作成などの重要事項を審議する機関
- 消防庁（総務省）<http://www.fdma.go.jp/>
消防防災の総合的な業務を紹介
- 文部科学省 研究開発局 地震・防災研究課 http://www.mext.go.jp/a_menu/kaihatu/jishin/main.htm
地震の調査研究を推進する施策を紹介
- 地震調査研究推進本部（文部科学省）<http://www.jishin.go.jp/>
地震の調査研究を総合的に推進するために設置された機関。地震活動の総合的な評価を実施
- 気象庁（国土交通省）<http://www.jma.go.jp/>
気象、地震、津波、火山活動などの自然現象を常時観測するとともに、これらに関する情報を発表・提供
- 海上保安庁（国土交通省）<http://www.kaiho.mlit.go.jp/>
海洋における測量を実施
- 国土地理院（国土交通省）<http://www.gsi.go.jp/>
測量と地理情報業務の総合的な機関。地震・地殻活動などの観測や災害に関連した調査研究業務を行っている

【研究機関】

- 気象研究所（国土交通省）<http://www.mri-jma.go.jp/>
気象の総合的な研究機関
- 独立行政法人 防災科学技術研究所 <http://www.bosai.go.jp/>
防災の総合的な研究機関。全国で各種の高密度な地震観測と調査研究を行っている
- 独立行政法人 産業技術総合研究所 <http://www.aist.go.jp/>
産業技術の総合的な研究機関。地質調査など防災関連の調査研究を行っている（地質調査総合センター）
- 独立行政法人 海洋研究開発機構 <http://www.jamstec.go.jp/jamstec-j/index-j.html>
地球規模の環境変動、海域に発生する地震・火山噴火などの調査研究を行っている
- 東京大学地震研究所 <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/index-j.html>
地震・火山現象の正確な理解を目指した調査研究を行っている
- 神奈川県温泉地学研究所 <http://www.onken.odawara.kanagawa.jp/>
神奈川県（特に神奈川県西部）における地震などの観測と調査研究を行っている

■地震の情報がわかる WEB サイト

- 防災情報提供センター（国土交通省）<http://www.bosaijoho.go.jp/>
国土交通省の防災情報についてインターネットを通じてわかりやすく提供することを目的に開設され、各省庁の地震・津波・地殻変動・火山情報などを網羅
- 気象庁（国土交通省）<http://www.jma.go.jp/>
地震情報、津波予報・情報、火山情報を掲載
- 理科ねっとわーく（独立行政法人 科学技術振興機構）<http://rikanet2.jst.go.jp/>
児童・生徒のための理科教材

■学術団体

- 日本地震学会 <http://www.soc.nii.ac.jp/ssj>
- 日本測地学会 <http://www.soc.nii.ac.jp/geod-soc/>
- 日本火山学会 <http://www.soc.nii.ac.jp/kazan/J/index.html>
- 日本建築学会 <http://www.aij.or.jp/aijhomej.htm>
- 土木学会 <http://www.jsce.or.jp/>

さくいん

■あ行

アスペリティ (asperity) 26 ~ 27、28、42 ~ 43

■か行

海溝 7
活断層 (断層) 12 ~ 13、24 ~ 25、28 ~ 29
共振 30、40 ~ 41
緊急地震速報 30 ~ 31
掘削探査 36 ~ 37

■さ行

地震計の種類 32
海底地震計 36 ~ 37、38 ~ 39
強震計 32、40
広帯域地震計 32
高感度地震計 32

震度計 11
地震の種類 8
プレート境界型地震 8、14、20、24 ~ 25、26、43
活断層型地震 8、12 ~ 13、24 ~ 25
プレート内地震 8
地震ハザードステーション 25
GPS (Global Positioning System) 34 ~ 35
シミュレーション (コンピュータシミュレーション) 40 ~ 43
首都圏の五つの活断層 12 ~ 13
スロースリップ (slow slip) 32 ~ 33、43

■た行

地殻変動 33、34 ~ 35、42 ~ 43
地下構造探査 28 ~ 29、36 ~ 37、41
「ちきゅう」 36 ~ 37
地球シミュレータ 40

津波 14、20 ~ 21
東海地震 14 ~ 21、22 ~ 23
東海地震観測情報 16 ~ 17
東海地震注意情報 16 ~ 17
東海地震予知情報 16 ~ 17
警戒宣言 16 ~ 17
トラフ (trough) 7

■は行

(地震の) 発生確率 24 ~ 25
30年確率 13、24 ~ 25、28
ひずみ (ひずみ計) 16 ~ 17
プレスリップ (preslip) 16 ~ 17、28、42 ~ 43
プレート (plate) 7

■や行

余効すべり 34 ~ 35、43

引用・参考文献

- 宇佐美龍夫 著『最新版 日本被害地震総覧 416 - 2001』東京大学出版会、2003 年
- 宇津徳治 著『地震活動総説』東京大学出版会、1999 年
- 海洋科学技術センター（現・海洋研究開発機構）『海から地球と生命へ』2001 年
- 加藤尚之「プレート境界面の摩擦パラメタの推定について」『地学雑誌』Vol.112 No.6、2003 年
- 神奈川県『復刻版 大正十二年九月一日 大震災写真帖』1983 年
- 国土地理院「1994 年（平成 6 年）10 月 4 日北海道東方沖地震に伴う地殻変動」『地震予知連絡会会報』第 53 巻、1995 年
- 国立天文台 編『理科年表 平成 19 年』丸善、2006 年
- 地震予知研究協議会『日本の地震予知研究』2003 年
- 総理府地震調査研究推進本部地震調査委員会 編『日本の地震活動—被害地震から見た地域別の特徴〈追補版〉』1999 年
- 第 13 回「大学と科学」公開シンポジウム組織委員会 編『生きている地球の新しい見方—地球・生命・環境の共進化』クバプロ、1999 年
- 武村雅之 著『関東大震災—大東京圏の揺れを知る』鹿島出版会、2003 年
- 中央防災会議 首都直下地震対策専門調査会『首都直下地震対策専門調査会報告』2005 年
- 都司嘉宣「南海地震とそれに伴う津波」『月刊地球 号外 24 南海地震一次の巨大地震に備えて』、1999 年
- 土井恵治 監修『地震のすべてがわかる本—発生のメカニズムから最先端の予測まで』成美堂出版、2005 年
- ニュートンムック『想定される日本の大震災』ニュートンプレス、2006 年
- 防災科学技術研究所『第 5 回成果発表会—5 年間の総括と今後の展開』2006 年

地震を知ろう

2007 年 3 月 31 日発行

- | | |
|-------|--|
| 編集委員 | 土井恵治（気象庁）
辻 宏道（東京大学地震研究所）
平林隆行（神奈川県立総合教育センター）
石坂信之（神奈川県温泉地学研究所） |
| 取材・制作 | 立山 晃・鈴木志乃（有限会社フォトンクリエイト）
[デザイン 福田正江（有限会社ソーイトン）] |
| 発 行 | 神奈川県温泉地学研究所
〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586
TEL. 0465-23-3588 FAX. 0465-23-3589
http://www.onken.odawara.kanagawa.jp/ |



神奈川県温泉地学研究所

〒250-0031 小田原市入生田 586

TEL. 0465-23-3588

FAX. 0465-23-3589

<http://www.onken.odawara.kanagawa.jp/>

