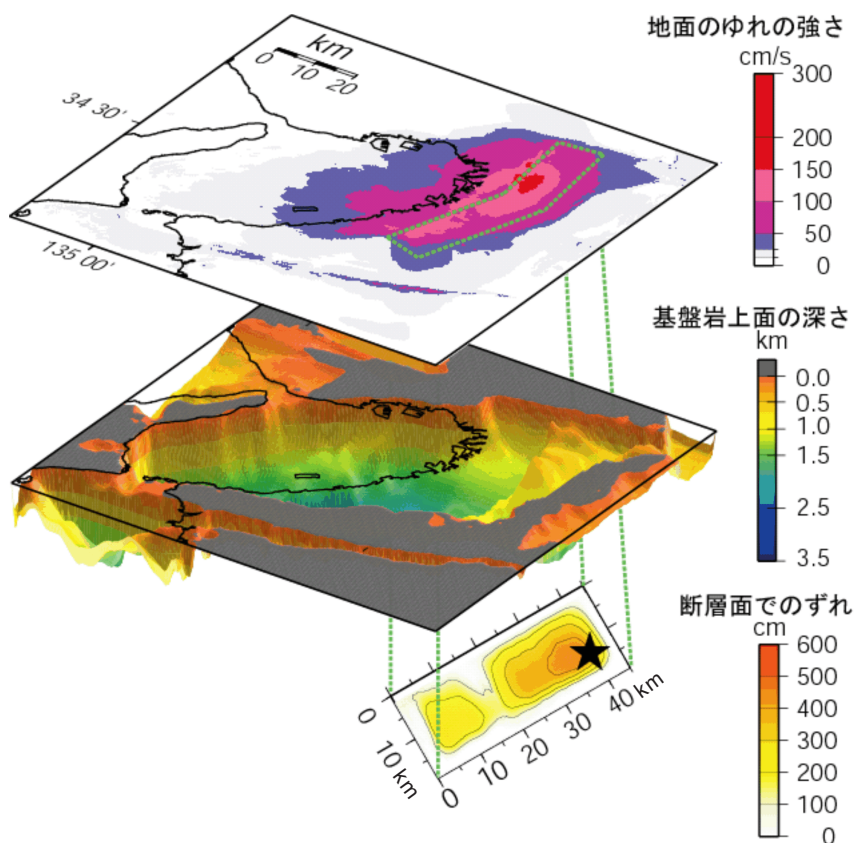


産総研地質調査総合センターの

# 地震研究

地質学を基礎に地震に挑む



# 地質学による地震研究

## － なぜ地質学的手法を用いて地震を研究するのか －

産業技術総合研究所(産総研)地質調査総合センターでは、主に地質学的なさまざまな手法を用いて地震の研究を進めています。わたしたちの研究は、地震が発生する地殻深部での物理プロセスから、プレート境界部の巨大地震やそれに伴う津波発生のメカニズム、活断層の活動履歴調査やそれに基づく将来の活動予測、さらには地質構造を考慮した地震動予測など、地震に関するさまざまな分野の研究分野を網羅しています。私たちの研究の独自性は、地質学的手法を用いて過去に発生した地震の時期や規模といった情報を取り出し、地質学的な長期間にわたる断層活動の理解に基づいて将来の地震活動の予測を行うことにあります。



50万分の1活構造図「京都」(部分)。主要な活断層などの分布が地質図上に示されています

産総研では、地震に伴い出現したさまざまな地質現象の記録と解析を行い、地震を引き起こした断層運動や、地震動の特性を明らかにする研究を進めています。そのため、ひとたび地震が発生すると、なるべく早く現地に出かけ天候や復旧作業などですぐに消えてしまう地質学的な諸現象を正確に記録するための緊急調査を行います。

活断層の活動性や、活動したときの地表での地震動の大きさや特性を予測する研究では、その予測結果について実際に発生した地震で十分な検証を行い、試行錯誤の繰り返しによりその精度の向上を目指すことが必要です。しかし、ある一つの地域を大規模な地震が襲う繰り返し周期は長く、ひとつの地域の研究だけでは、地震の予測精度を向上するための試行錯誤を繰り返すことは困難です。



地震直後に見られるさまざまな地変。上は兵庫県南部地震における神戸港の地盤被害状況。下は噴砂現象。このような地質学的諸現象をすばやく正確に記録することが必要です。



地震直後の緊急調査。上は2004年新潟県中越地震での断層調査。下は2003年十勝沖地震の津波堆積物調査。迅速な調査による情報収集によって、地震の実態に迫ります。



このような研究上の障害を乗り越えるためには、世界的にみれば頻繁に発生するさまざまな地震の例を広範囲に収集することが必要です。そのため、大規模な地震が発生した場合には国内外を問わずさまざまな手法による緊急調査を行います。このような迅速な地震調査によって得られる情報は、その地震がどのように発生したかを知る手がかりとなります。その成果は、災害の復旧計画や、将来繰り返されるかもしれない地震に備えた社会基盤の整備にも役立ちます。

# 地震発生メカニズム

## —予測精度の向上をめざして—

### ●予測精度の向上をめざして

海溝沿いの地震は発生間隔が数10年から100年程度と比較的短く、その発生の長期予測精度は一般に数10年です。一方、内陸の活断層で起こる地震は発生間隔が千年以上と長くその発生間隔もばらつきが大きいので、過去の地震の発生時期と発生間隔のみに基づいた確率予測ではその予測精度は数百年程度となってしまいます。これを改善するための1つの方法は、単純な確率予測を脱して、物理的なモデルに基づいて未来を予測することではないかと考えられます。つまり地震の繰り返しの間に断層深部の状態がどのように変化するかを明らかにして、現時点がどの段階にあたるかを知り、今後どう変化していくのかを予測するという試みです。しかし私たちは地下深部の細部まで直接見ることができませんので、現実の地下構造や断層構造をある程度単純化したモデルをつくり、それが地震発生の物理法則に従うと考えて、数値シミュレーションでその挙動を把握しようとしています。良くできた物理モデルは、過去から現在に至る現実の断層の運動を説明・解明するだけでなく、未来の運動を予測することもできるはずで

### ●断層深部とその周辺部をモデル化する

断層深部やその周辺部がどのようなになっているのかを知るために、まず地質図を利用して地下の地質構造を推定します。次に、構造探査や地震観測で得られた基礎データを解析して地下構造を調べたり、微小地震の震源分布を調べたり、地下での力のかかり方を調べたりしながら少しずつ情報を増やして、断層とその周辺部をモデル化します。

#### 未解明な内陸地震

数千年という長い時間をかけて地震を起こそうとする力がどのような仕組みで蓄積していくのか、実はまだあまり良く分かっていません。現実的なモデル作りのためには、常に最新の研究成果に着目し、モデルに取り込んでいく必要があります。

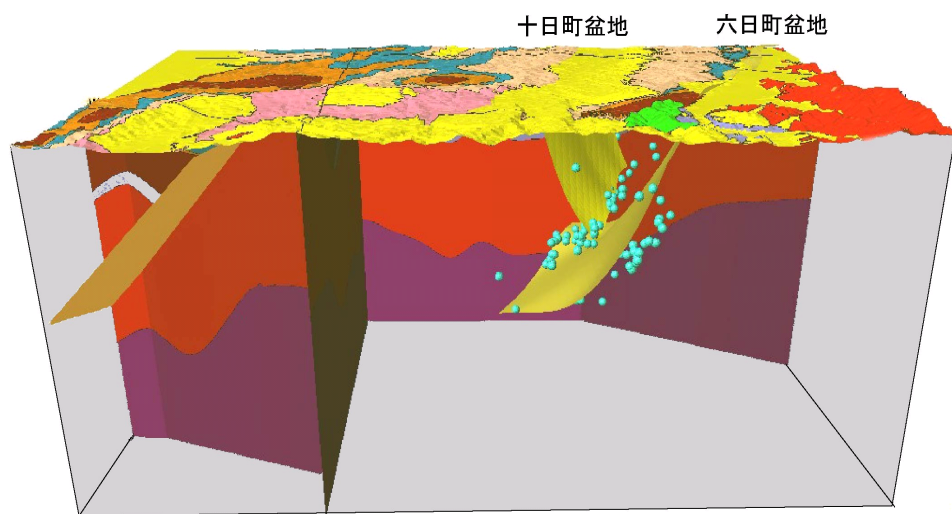


図1  
新潟県中越地方南部地域の地下構造モデル。いろいろなデータを組み合わせて活断層とその周辺部の構造を推定しました。

## ●数値シミュレーションで断層運動を再現する

室内実験で明らかにされた滑りの法則、野外観測で得られた力のかかり方や地下構造のモデルを用いて断層運動の数値シミュレーションを実行します。私たちはその計算結果から地下深部の断層運動を把握することができます。例えば、震源核と呼ばれる地震の破壊が始まる小さな「種」が10km以上の深部で形成される様子を丹念に調べることができます。大地震の前に地表でどのような変形が起こるのかを調べたり、近くで発生した地震の影響を調べたりすることもできます。また実際の地震の繰り返しには千年以上かかりますが、計算機の中でならば、観測では良く分からなかった、地下構造の一部や力のかかり方を変えながら何度でも地震発生の仕方の違いを調べることができます。

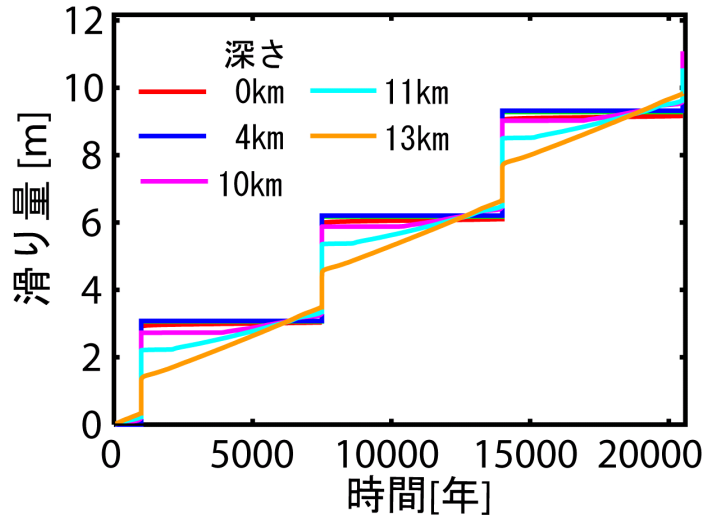


図2

数値シミュレーションによる深さごとの滑り量の時間変化の例。6500年に一度地震が起こり浅部は3m滑ります。深部は定常的にずるずると滑っています。

## ●モデルの曖昧さを考慮する

このように、私たちは地下構造や断層への力のかかり方を調べて過去の地震の活動履歴を説明する物理モデルをつくり、数値シミュレーションすることで、将来の地震の発生予測をしたいと考えています。上に述べたように、地下の情報不足によって推測でモデル化せざるを得ない部分もありますので、モデルにある程度の曖昧さが伴うことは避けられません。そこで私たちは現実に有り得るモデルのすべての可能性を考えてそれぞれ予測値を計算し、その結果を処理して地震発生確率を計算しようと考えています。このような考えのもとに、私たちは物理モデルによる高精度の確率予測を実現するための研究を展開しています。

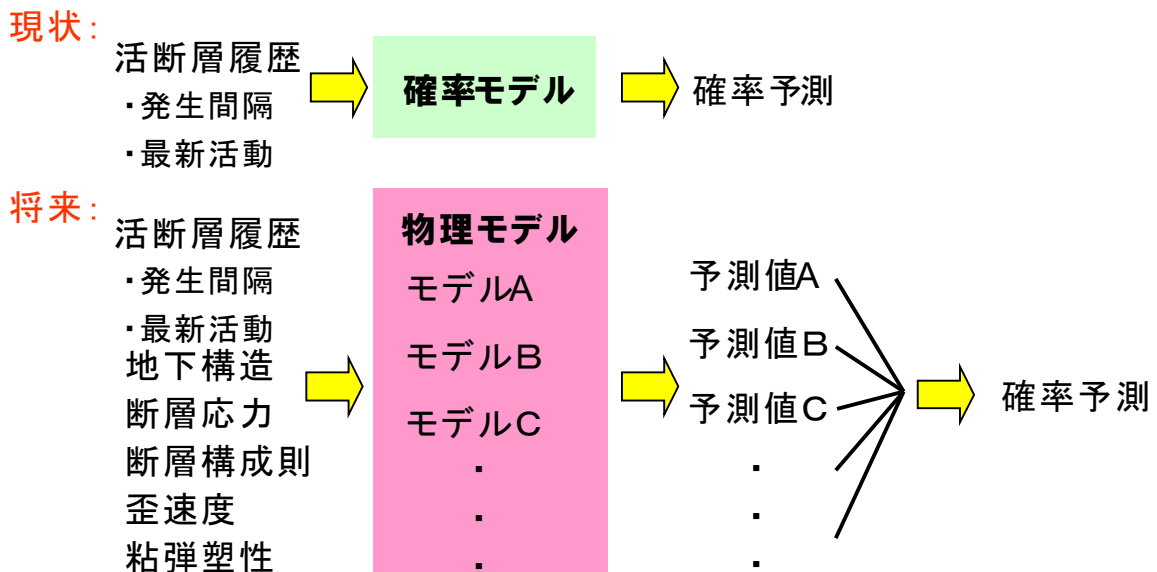


図3

確率モデルによる予測の現状と将来の物理モデルによる確率予測。

# 海溝型地震

## —地層から読みとく過去の巨大津波—

海溝型地震は沈み込む海洋プレートと陸側のプレートとの境界に沿って発生します(図1)。このタイプの地震はマグニチュードが大きく、広範囲で大きな揺れが生じることに加えて、津波を発生させることが大きな特徴ですが、歴史記録などから、過去の地震履歴と規模がおおよそ明らかになっており、それに基づいて将来の発生時期や被害の程度が予測可能だと考えられています(図2)。

しかしながら、地形や地層を詳しく解析すると、歴史地震などから推定される海溝型地震より規模の大きい異常な地震も発生していたことを明らかになってきました。

海岸沿いに湿地が広がるような場所では津波堆積物が見つかることがあります。例えば北海道東部の十勝、釧路地方の太平洋沿岸には湿原や沼沢地などが分布します。湿地には泥炭が堆積するのが普通ですが、泥炭の中に海岸から運ばれてきた砂層がいくつも見つかります。これが津波堆積物です。仙台平野ではかつての湿地が開発され、水田になっていますが、その下にやはり泥炭層と砂層が見つかります(図3, 4)。

それらの砂層は海岸から3km以上内陸まで広がっていることから、大規模な津波が沿岸域を襲ったことを示していると考えられています。北海道では300-500年間隔で巨大津波が発生し、最近では17世紀に大きな津波が発生したことが明らかになっています。また、仙台平野でも約1000年間隔で大きな津波が襲っていると推定されています。

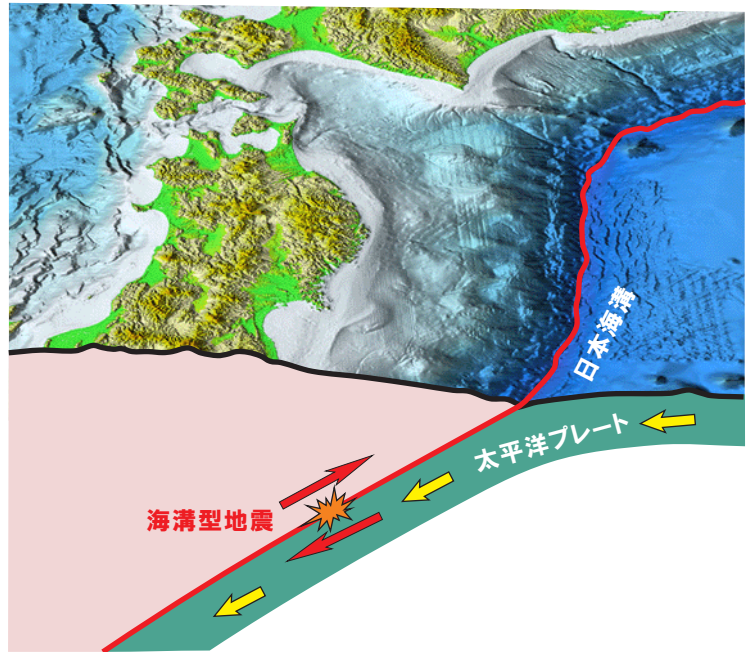
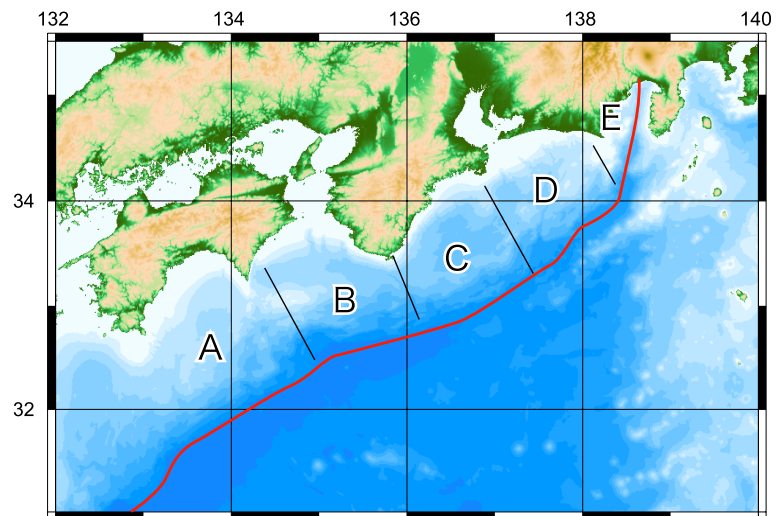


図1 東北日本の下に沈み込む太平洋プレート。太平洋プレートとその上盤の陸地をのせているプレートとの間で海溝型地震が発生します。



A	B	C	D	E	
	1946		1944		昭和
	1854		1854		安政
			1707		宝永
			1605		慶長
			1498		明応
	1361				正平
	1099		1096		康和・永長
	887				仁和
	684				白鳳

図2

歴史記録などから推定した、南海トラフで発生した海溝型地震の履歴と破壊領域。

さらに津波シミュレーションによって、海域のどの範囲で津波が発生し、何分後にどのくらいの高さの津波が海岸に到達したかを推定することができます。地質調査の結果に、地球物理学的なシミュレーションの手法を組み合わせることによって、過去の地震と津波を再現できるのです。また、津波堆積物だけでなく、段丘面などの地形学的な調査でも過去の地震を解読することができます。

2004年スマトラ沖地震の前に、スマトラ島の沖のサンゴに残された隆起や沈降の記録から、スマトラ島付近で近いうちに大地震が発生する可能性は指摘されていました。しかしながら、タイやインドまで達する巨大津波が発生することまでは予測されていませんでした。2004年の地震後、タイの海岸域



図3

仙台平野に広がる水田の下の地層を採取しているところです。この装置を使うと、地下の地層を薄くスライスして取り出すことができます。

津波堆積物

泥炭

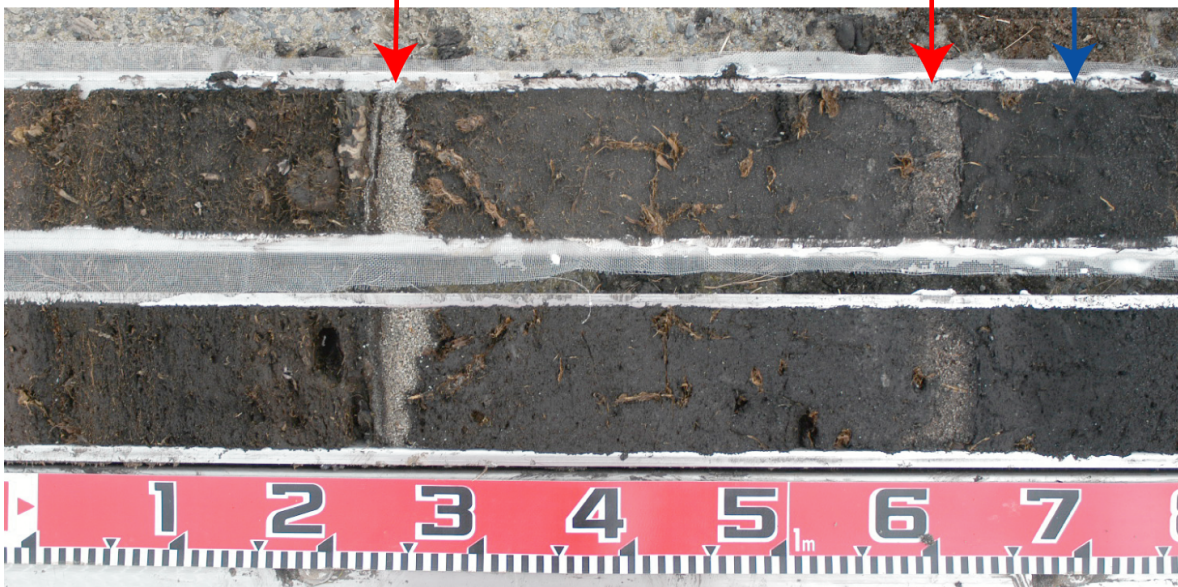


図4

仙台平野の水田の下から抜き取った地層です。矢印で示した白っぽい部分が、過去の津波によって海岸から運ばれてきた砂の層です。この試料のように、津波堆積物が複数見られることは、過去繰り返し津波が発生したことを示しています。



図5

タイの沿岸で見つかった津波堆積物です。一番上の白っぽい地層が2004年の津波堆積物で、その下の黒っぽい部分が泥炭層、さらにその下に見える白い地層が新たに発見された過去の津波堆積物です。

では2004年より古い津波堆積物が発見され、過去にも津波が襲っていたことが明らかになりました(図5)。地震前に津波堆積物の十分な調査が実施されていれば、2004年の津波を予測できたと考えられます。

巨大津波は沿岸域に壊滅的な被害を与えます。そのような地震を地球物理学的な観測や記録だけから予測することは難しかったのですが、地層にはその痕跡が残されています。これは自然が残した警告といえます。その警告を解読するために、地質学、地形学、地球物理学の専門家がチームを組んで調査と研究を行っています。

# 地下水等総合観測

## —地震直前予知を目指して—

産総研では、地震予知を目的とした地下水観測・研究を続けています。これまで30年以上にわたり、想定東海地震の震源域周辺で深さ100～1,000mの深井戸の地下水位の変化を観測してきました(図2)。東海地震の直前には、前兆すべり(震源域の周辺で発生するゆっくりすべり)に伴う地盤の歪<sup>ひずみ</sup>が進行し、それが地下水位の変化を引き起こすと期待されています(図3)。こうした地下水位の変動観測から東海地震の前兆現象を捉えることを目指しています。

産総研の地下水観測データは、東海地震の地震予知体制の一部として組み込まれており、リアルタイムで気象庁に転送され常時監視されています。産総研では、前兆すべりモデルに基づいたシミュレーションによって「東海地震直前に、数mm～数十cm地下水位が変化する可能性がある」と予測しています(図2)。これまでいくつかの小規模な地震では地震活動に関連する地下水位の変化を捉えることに成功しました(図4)。

また近い将来の発生が危惧されている東南海・南海地震でも、過去の同タイプの地震において、地震の直前に周辺で地下水や温泉に異常が見られたことが知られています。そこで、産総研では平成18年度以降、四国～紀伊半島周辺に新規観測井を順次展開し、地下水観測や地殻歪観測等による東南海・南海地震予測のための研究を進めています(図5)。



図1 整備がすすめられる地震地下水観測点。深さの異なる複数の観測井を掘削します。写真は近い将来発生が予想されている南海地震の想定震源域に近い高知県室戸市(図5の地点H)で整備が進められている観測点の様子です。

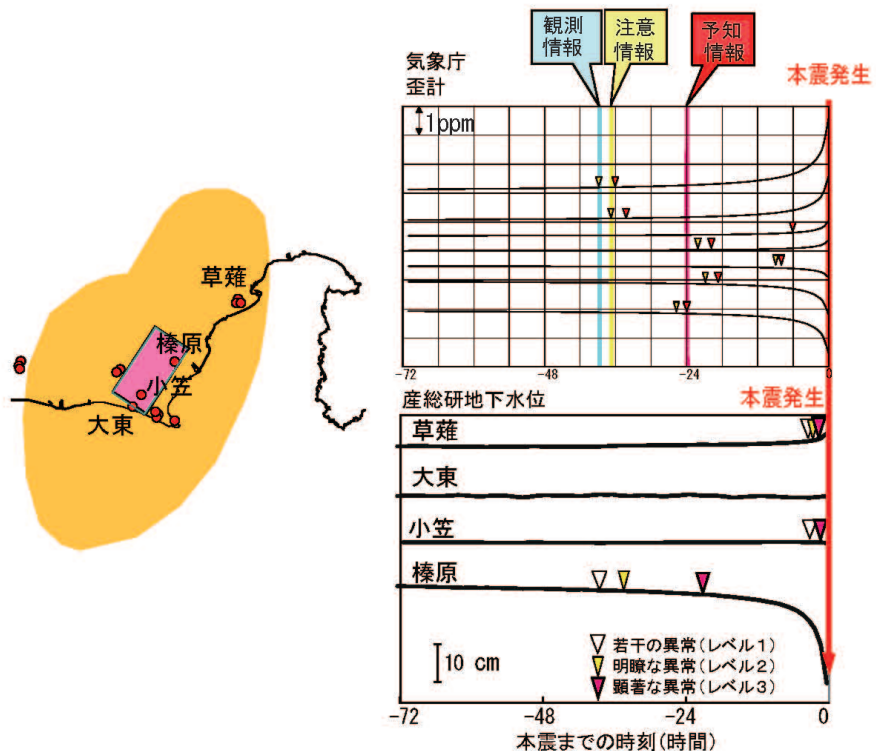


図2 橙色の部分の直下で起こると想定される東海地震の直前に、ピンク色の部分で前兆すべりが発生した場合に想定される歪と地下水位の変化のシミュレーション結果です。左側の地図の中の赤い丸は産総研の地下水観測点を示しています。



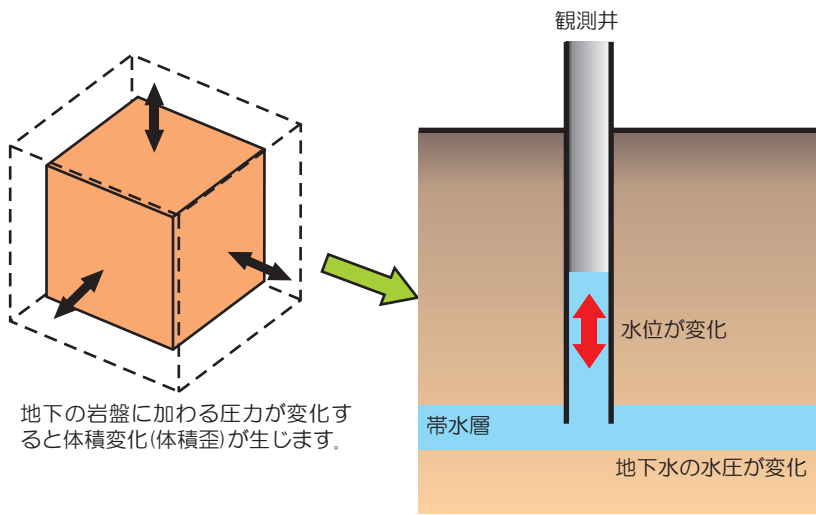


図3

ひずみ

地下の岩盤に歪が発生すると、地下水にかかる圧力が変化します。岩盤が圧縮されると、地下水にかかる圧力が増大し水位が上昇します。逆に岩盤が伸びると地下水にかかる圧力が減少し、水位が低下します。地震直前にはわずかな地盤の歪が発生すると考えられているため、地下水の変動からその変化を捉えようとしています。

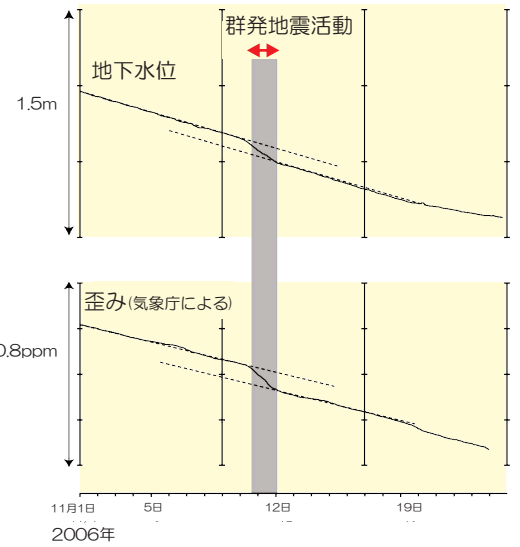


図4

伊豆半島東方沖の小規模な群発地震（最大マグニチュード3.4）のときに、産総研の観測井が捉えた地下水位の変化と歪の変化の様子です。群発地震期間中に水位も歪も変化していますが、地震発生前から地下水位の低下が始まっていることが分かります。

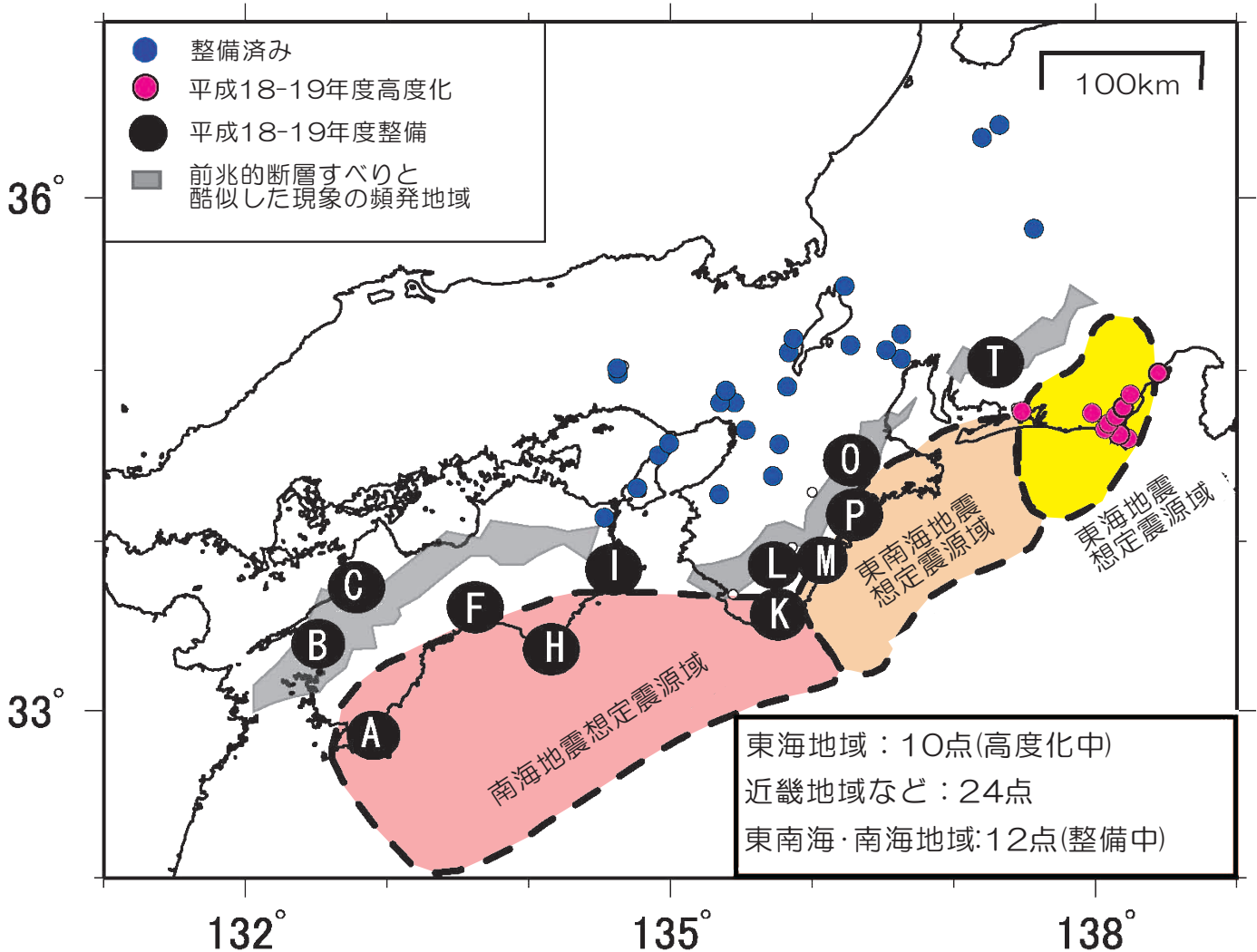


図5

東海～四国地域に展開した産総研の地下水等総合観測網（伊豆と関東の観測点を省いています）。A～Tが東南海・南海地震予測のために新規に設置した観測点です。

# 内陸型地震

## —活断層から内陸地震を予測する—



図1  
山崎断層帯琵琶甲断層の  
トレンチ調査の様子です  
(兵庫県加西市)。

活断層とは、過去から繰り返しずれて、大地震を発生させてきた大地の傷跡です。そして、近い将来再び活動して大地震を引き起こす可能性があります。産総研地質調査総合センターでは、活断層の過去の活動時期やずれの量などを調べ、将来の活動性を予測するための調査研究を実施しています。

活断層の活動間隔は、短いもので千年程度、長いものでは数万年にもなると言われています。したがって、過去の活動を知るには、数千年から数万年間の歴史をひも解く必要があります。

ところが人間が書き記した記録ではそのような長い期間をカバーすることはできません。そこで、地下の地層の中に刻まれた地質学的な記録を使って、活断層の過去の活動を読み取ります。その代表的な調査方法が、断層を横切る溝（トレンチ）を掘削し、その壁面に現れた地層を観察する「トレンチ調査法」です。トレンチが掘削できない場所や、より深い地層を観察するためには、地表から地下をくり抜くジオスラ

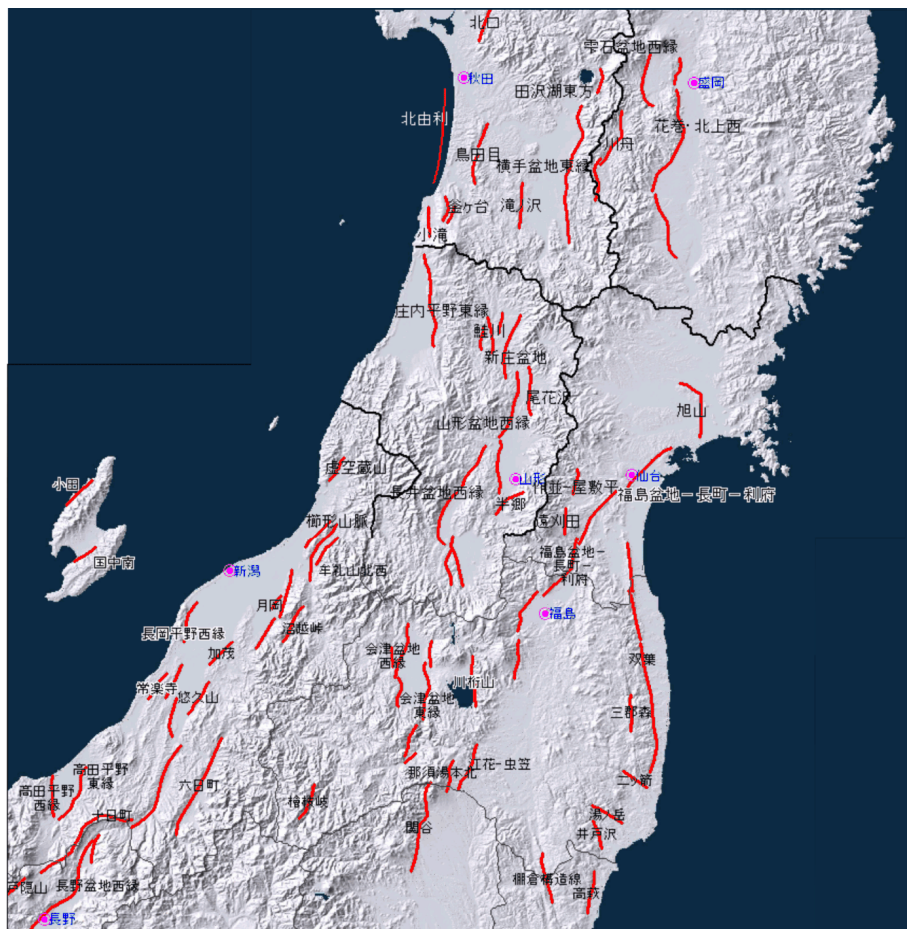


図2  
東北地方南部の主要な活断層の分布。全国の主要な活断層についてその活動度の調査が行われています。

北西

南東

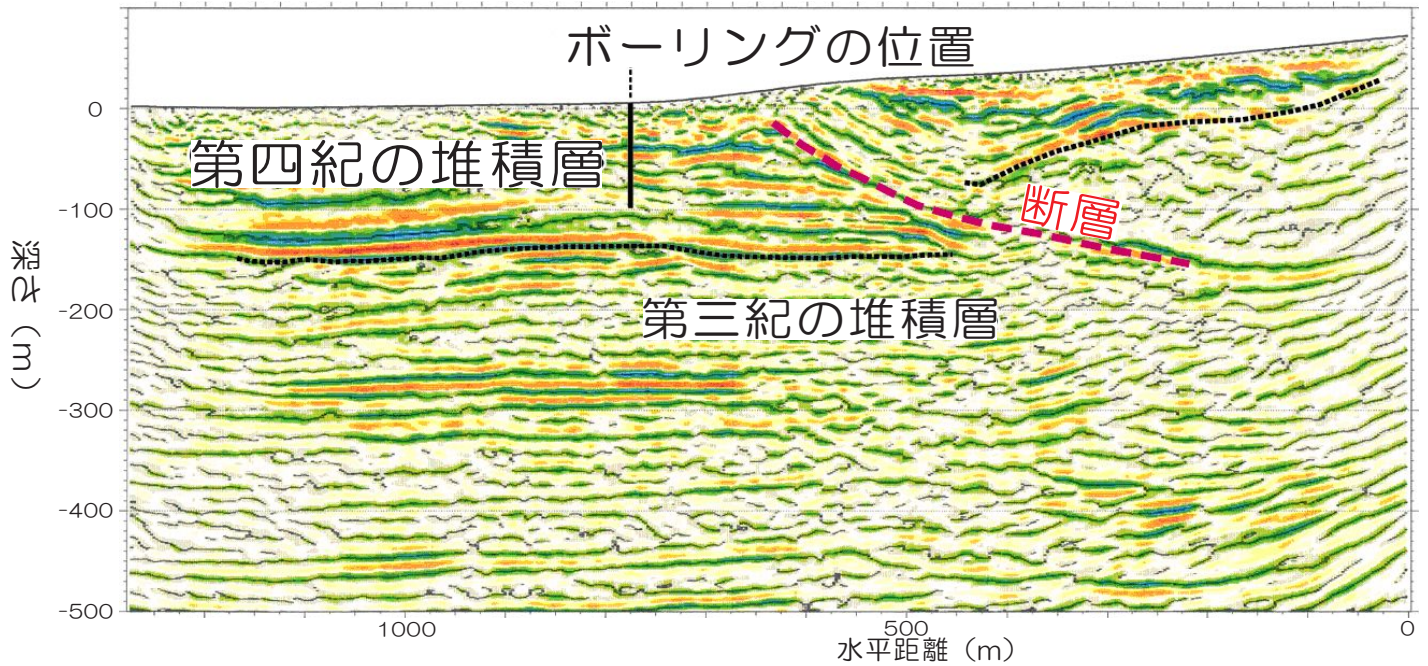
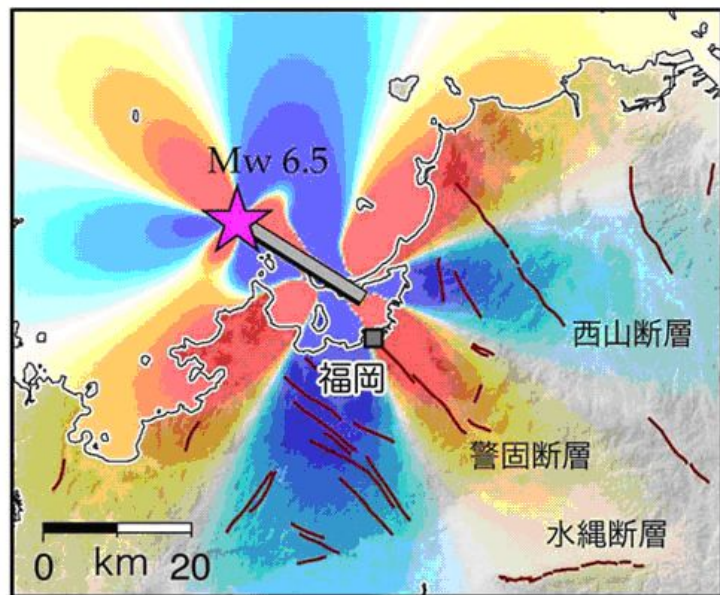


図3

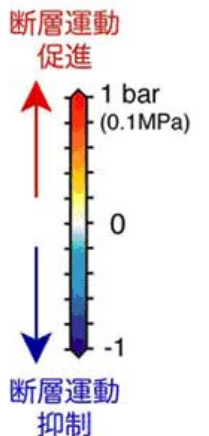
邑知湯断層帯石動山断層を横切る反射法地震探査の結果断面。ボーリング調査もあわせて行い、探査で捉えられた地層と実際の地層との対比を行います。

イサー調査やボーリング調査を行います。活断層が最近いつ活動したか、どの程度の間隔で繰り返し活動しているかがわかれば、将来、大地震がおこる確率を計算することができます。また、ずれが地表に出にくい活断層、海底の活断層などについても、反射法地震探査や海上音波探査などの技術を駆使して、断層の地下の形状や活動性を明らかにするための調査研究を行っています。

日本列島には非常に多くの活断層が絡み合うように分布しています。これらの活断層の活動は互いに影響し合っていると考えられています。大地震が発生した後にその地震によって周辺の活断層に加わった力を計算することで、新たな地震が発生する可能性を探る研究も実施しています。



北西—南東走向  
左横ずれ  
活断層にかかる  
クーロン応力変化



北西—南東断面

図4

2005年福岡県西方沖地震による、周辺断層への影響の評価。断層が運動することにより、周辺の地盤にかかる応力が変化します。その結果、断層運動が促進される地域と抑制される地域が生じることが分かります。

# 地震動予測

## —地質構造から地震の揺れを予測する—

### ● 高精度の地震動予測に向けて

地震動予測とは、ある地域がどのような揺れ（特に被害を発生させ得るような強い揺れ）を被るかを予測することを言います。予測された揺れの強さや性質は、構造物の耐震設計や都市の防災計画の基礎的な情報となります。

地震動予測は、地下の岩盤の破壊プロセス（断層面上での破壊の広がり方）の予測と、発生した地震波が地下をどう伝わるかの予測からなります。産総研では、断層での破壊過程の予測と揺れを考える上で大事な地下構造モデルの作成において、地形・地質・地球物理の最新情報を融合した世界的にもユニークな研究を実施しています。

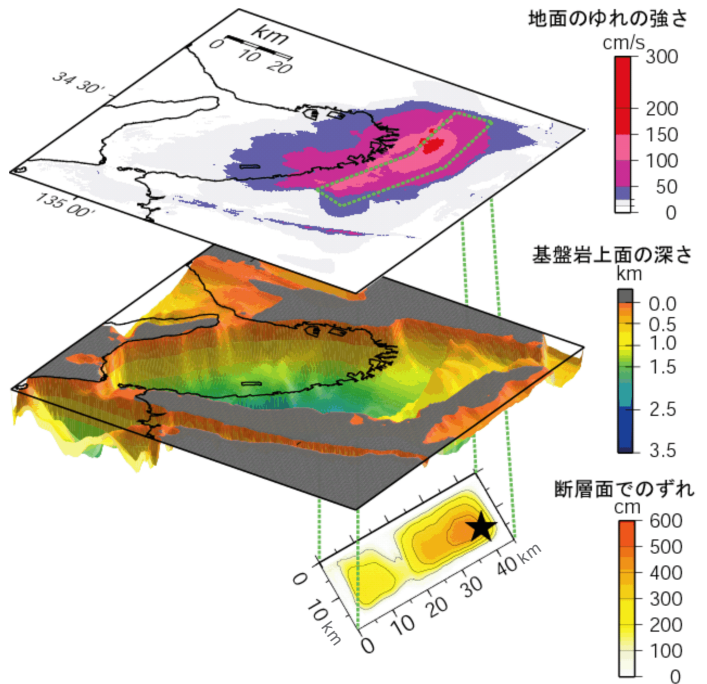


図1

大阪平野直下にある「上町断層」の活動による地震の揺れの計算結果。下は、計算に使った上町断層のずれの分布と基盤岩面（堆積層の入る「器」）の形状。上はこれを用いて計算した、予測される地震動の最大値の分布。

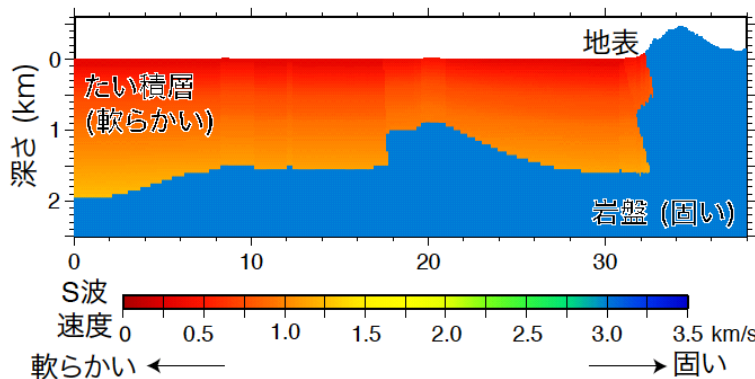
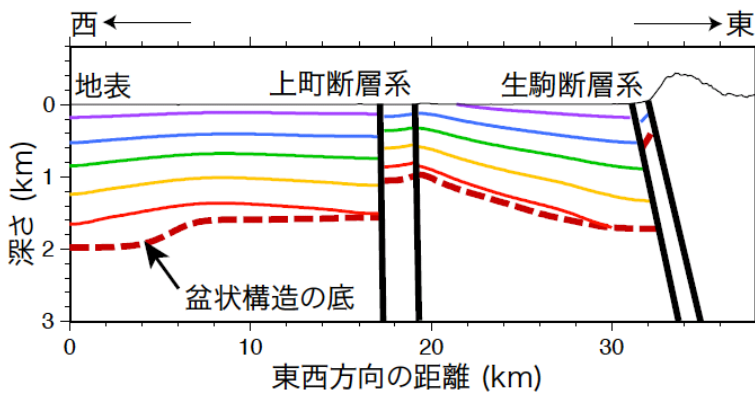


図2

「(上) 大阪城の南側で推定された地質構造の東西断面。赤色の太い点線は盆状構造の底で、この上が堆積層で、下は「器」にあたる基盤岩。堆積層内部の色付きの曲線は、堆積した時代が同じ地層の位置。赤から紫（深い方から浅い方）に向かって、堆積した時代が新しくなる。太い黒線は断層。(下) 地質構造モデルから推定される地震波の伝わる速さの分布。遅いほど軟らかい。

### ● 地震のずれ破壊シナリオの作成

活断層で発生する地震のずれ破壊のシナリオを構築するために、地下構造調査から明らかとなった過去の断層の活動による地層のずれやたわみ具合から地下の断層面上でのずれの分布を推定します。また、地層のたわみ具合を手がかりに、地質学的な知見から、地下にある断層の形状を推定することもできます。そして、断層にかかる力の分布などを考慮して、推定された断層面で生じるずれ破壊が進展する様子を計算機上で予測します。

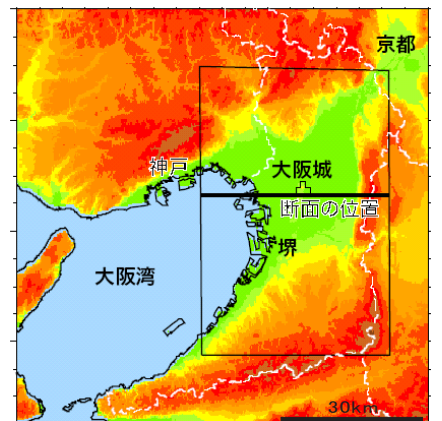


図2の断面の位置。大阪城付近を通る東西断面を示しています。

## ● 詳細な3次元地下構造モデル

多くの人暮らし平野には、堆積層と呼ばれる柔らかい地層が、固い岩盤（基盤岩）が作る「器」（盆状の構造）の中にたまっているため（図2）揺れが大きくなります。一方、山地にはこのような柔らかい地層がないために平野と山地の境界では揺れ方が大きく変わり、平野の中には独特な揺れが生じます。このように、平野の地下構造は、正確な地震動予測のために大変重要です。平野の地下構造は、ボーリング、人工地震波を用いた探査、重力測定などさまざまな方法で調べます。そして、これらの調査結果に地質学的な検討を加えて総合的に判断して、地下構造モデルを作ります。

## ● 大阪平野での地震動予測

大阪平野の中心には、上町断層系と呼ばれる南北約45kmの活断層が存在し、上町断層系全体が破壊すると、マグニチュード7前後の大地震になると考えられています。上町断層系の調査で明らかになった過去の地震による断層のずれの調査結果を用いて地震破壊シナリオを推定し、それによって発生する地震波による地面の揺れを予測しました（図3）。大阪平野の地下には、柔らかい地層が厚くたまっています。計算された地震動の強さの分布をみると、ずれ破壊の大きさやその進展方向、柔らかい地層の厚さの違いが複雑に影響していることがわかりました。

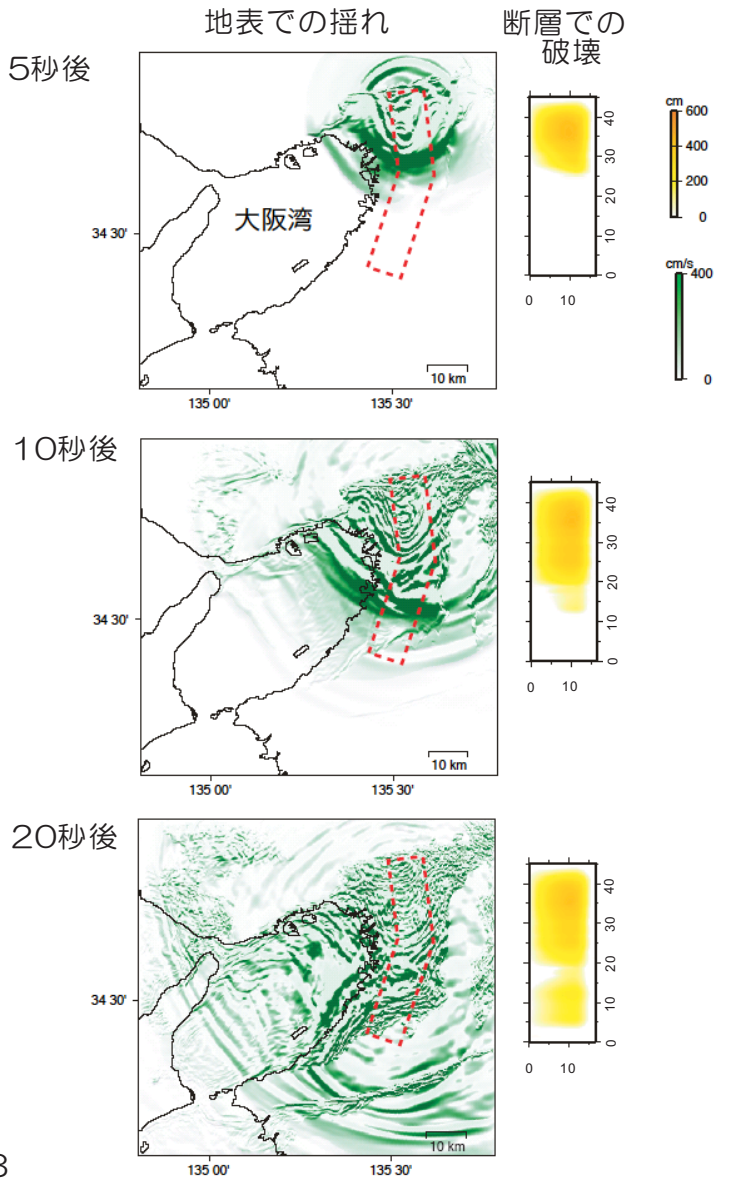
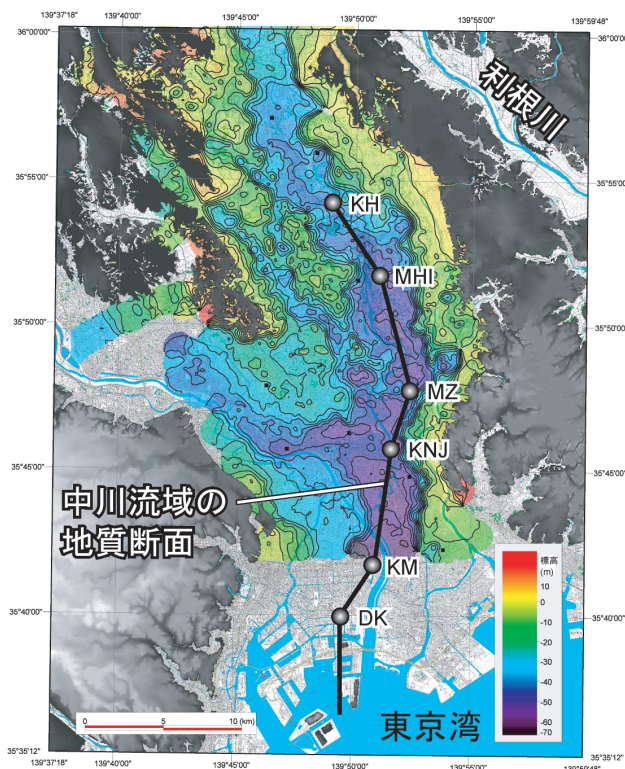


図3 断層面上での破壊の広がり方(右)と、地震動の伝わり方(左)の計算結果の例。



## 低地の地下の沖積層を調べる - 軟弱な地盤の成り立ち -

関東平野のなかでも、利根川、荒川、中川といった主要な河川沿いには低地が広がり、重要な生活圏となっています。しかし、こうした低地の地下には「沖積層」と呼ばれる軟弱な地層が分布しています。沖積層の軟弱さは、場所によりその堆積物の構成も厚さも違うために大きく変化します。そのため、同じ沖積層を地盤とする低地でも、地震の揺れやすさや地盤沈下の起こりやすさ、建物の支持基盤の深さなどが場所によって違います。沖積層を調べることは、生活の安全と安心を守る上で重要な課題であるといえます。

図4

中川・荒川沿いに分布する沖積層の厚さ分布。沖積層の厚さ分布は、最終氷期最盛期頃までに侵食作用で形成され、その後地下に埋没した大規模な谷地形を表現しています。

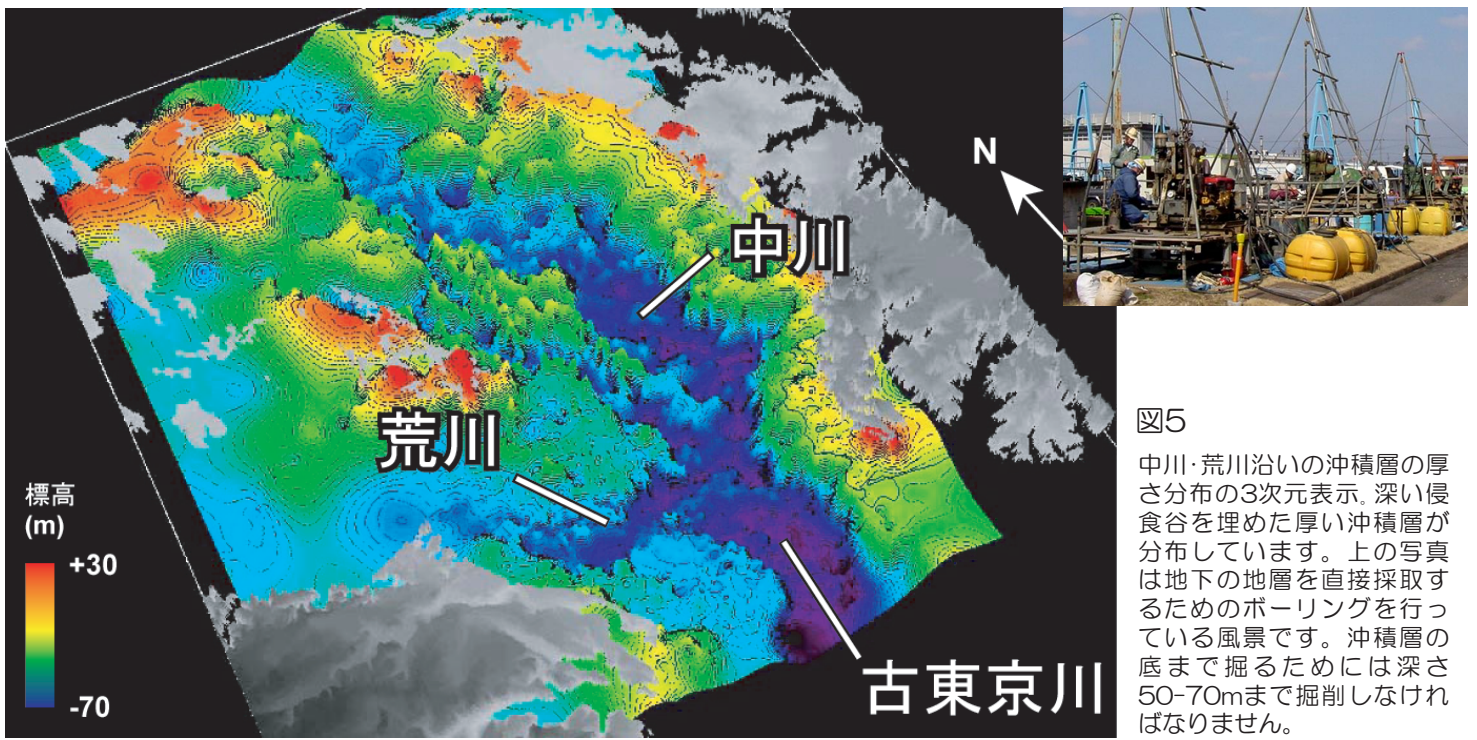


図5

中川・荒川沿いの沖積層の厚さ分布の3次元表示。深い侵食谷を埋めた厚い沖積層が分布しています。上の写真は地下の地層を直接採取するためのボーリングを行っている風景です。沖積層の底まで掘るためには深さ50-70mまで掘削しなければなりません。

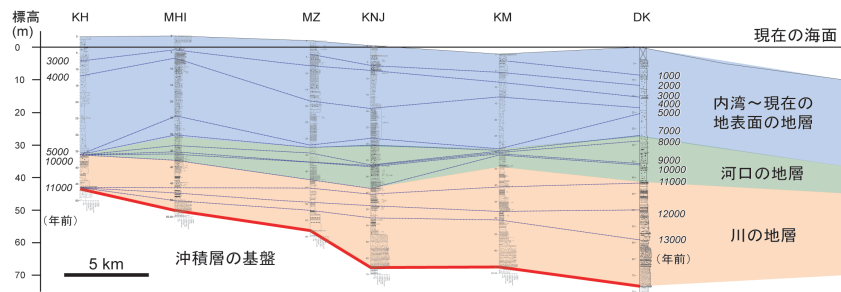


図6

中川沿いの沖積層の地質断面。断面の位置は図4に示されています。沖積層は、下位から、川の地層、河口の地層、内湾の地層、そして現在の低地をなす川の地層へと変化しており、海岸線の前進・後退による堆積環境の変化を表しています。このような堆積環境の変化は最終氷期最盛期以降の海水準の変動を強く反映したものです。青色の線は1000年単位の当時の地形面を表します。

産総研では関東平野における沖積層の分布の詳細と成り立ちを明らかにするために、これまでに中川と荒川沿いの低地の地下に分布する沖積層を詳しく調査してきました。実際にボーリング調査を実施して、堆積物試料を採取し堆積環境・粒度・年代、含まれる貝や珪藻化石などの特徴を詳しく調べたり、自治体等の協力により建築時の地盤調査で得られたボーリングデータを収集し、これまでに2万本程のボーリングデータベースを整備してきました。こうしたデータを総合的に解析し、沖積層の厚さ分布(図4, 図5)、地質断面(図6)を明らかにしてきました。さらに、こうした調査データから3次元の地盤モデルを作成して、地震時の揺れやすさや地盤の強度などを詳しく調べています。中川沿いでは、内湾で堆積した7000年前以降の泥層が厚く分布しています。これらの地域では1923年の関東地震時に木造家屋の被害率が周辺の地域に比べて極めて高く、軟弱な泥層の分布と地震被害とが密接に関係していることが明らかになりました(図7)。

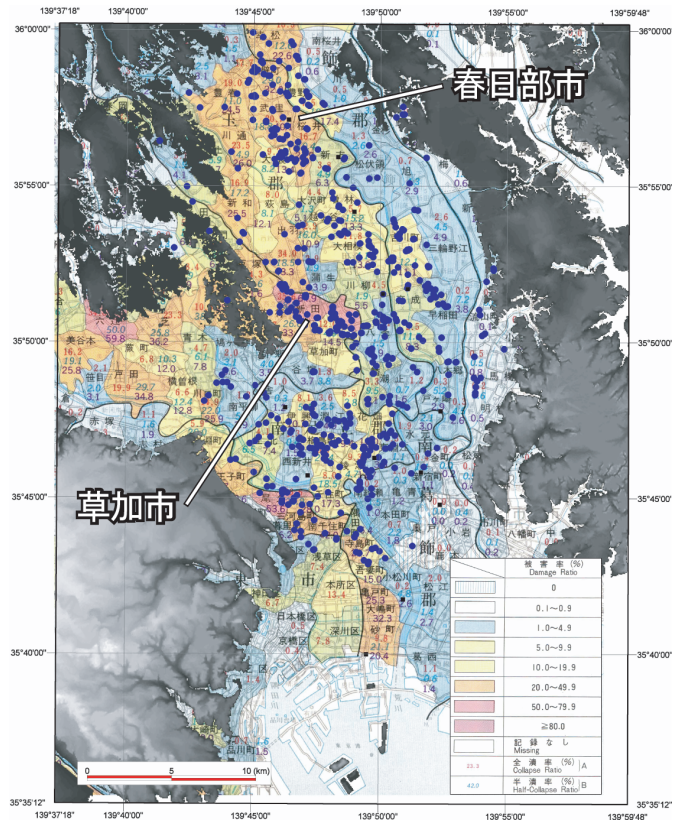


図7

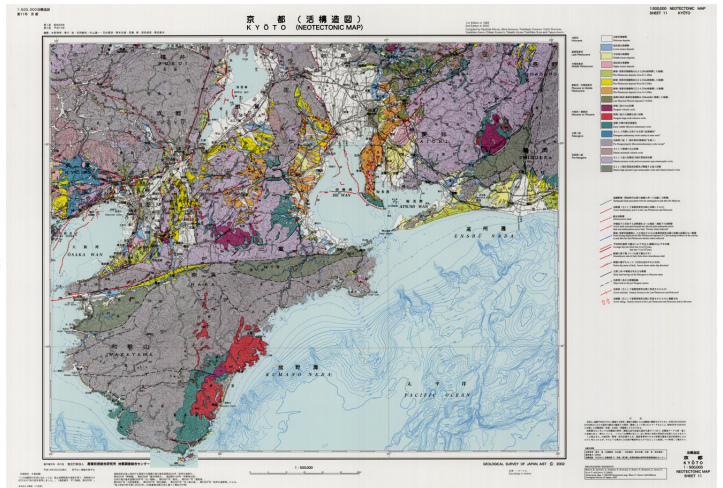
中川沿いの軟弱泥層と関東大震災の被害分布  
中川沿いでは、内湾で堆積した7000年前以降の泥層が厚く分布しています。特に、図の青色の点はこのような泥層が10-20mの厚さに達している地点です。これらの地域では、1923年の関東地震時に、木造家屋の被害率が周辺の地域に比べて極めて高く、軟弱な泥層の分布と地震被害とが密接に関係していることを示しています。

# 研究活動の広報・普及活動 —地質情報を社会に役立てるために—

## 研究情報を社会に

産総研地質調査総合センターでは、地質の調査・研究の成果をさまざまな形で公表しています。地震に関する地質図には、「50万分の1活構造図」（全国を15地域に分けて表示）と、特定の13の活断層を表した「構造図（活断層ストリップマップ）」を提供しています。詳しくは、地質調査総合センターのホームページ「地質図カタログ」をご覧ください。

(<http://www.gsj.jp/Map/index.html>)



近畿地方の活構造図(50万分の1活構造図「京都」)。地質図の上に主要な活断層等の構造が示されています。

また、全国の主要な活断層を網羅した「活断層データベース」を公開しています。この活断層データベースには300を超える活断層に関するさまざまな調査データや文献データが収録されています。ご近所にどんな活断層があるのか調べたり、また自治体や企業の皆さんの地震防災計画の基礎資料としたり、また地震学・地質学・地震工学などの研究の足掛かりとしてもご利用いただけます。

(<http://riodb02.ibase.aist.go.jp/activefault/>)。



「活断層データベース」活断層に関するさまざまな調査データ等が検索できます。

活断層調査など各地で行われる調査に際しては、地域の住民の方々に活断層の実態や調査の目的、調査によって分かった成果等について、周辺住民の方々などを対象に説明会などを行い、防災意識の向上と知識の普及につとめています。また、被害地震が発生したときには、迅速な調査を行ない、その結果をホームページ等を通して速やかに社会に公開しています。



活断層のトレンチ掘削調査結果の地元住民説明会。調査で分かった成果を地域の皆様に分かりやすく説明します。

## ● 「地質相談所」は地質に関する質問・相談におこたえします

地質調査総合センターでは、一般の方々から地質の専門家まで、さまざまな地質に関する質問を受け付ける「地質相談所」を開設しています。地質相談所に寄せられた質問は、200名を超える研究員が所属する地質調査総合センターで対応し、その質問に最も適した専門家が直接お答えいたします。お気軽に質問をお寄せください。

電話 029-861-3540

FAX 029-861-3569

ウェブページ <http://www.gsj.jp/Muse/soudan/soudan.html>

独立行政法人  
**産業技術総合研究所**  
地質調査総合センター

〒305-8567  
茨城県つくば市東1-1-1 産総研第七事業所

Tel: 029-861-9122 Fax:029-861-3672  
<http://www.gsj.jp/>