

# 産総研

2014

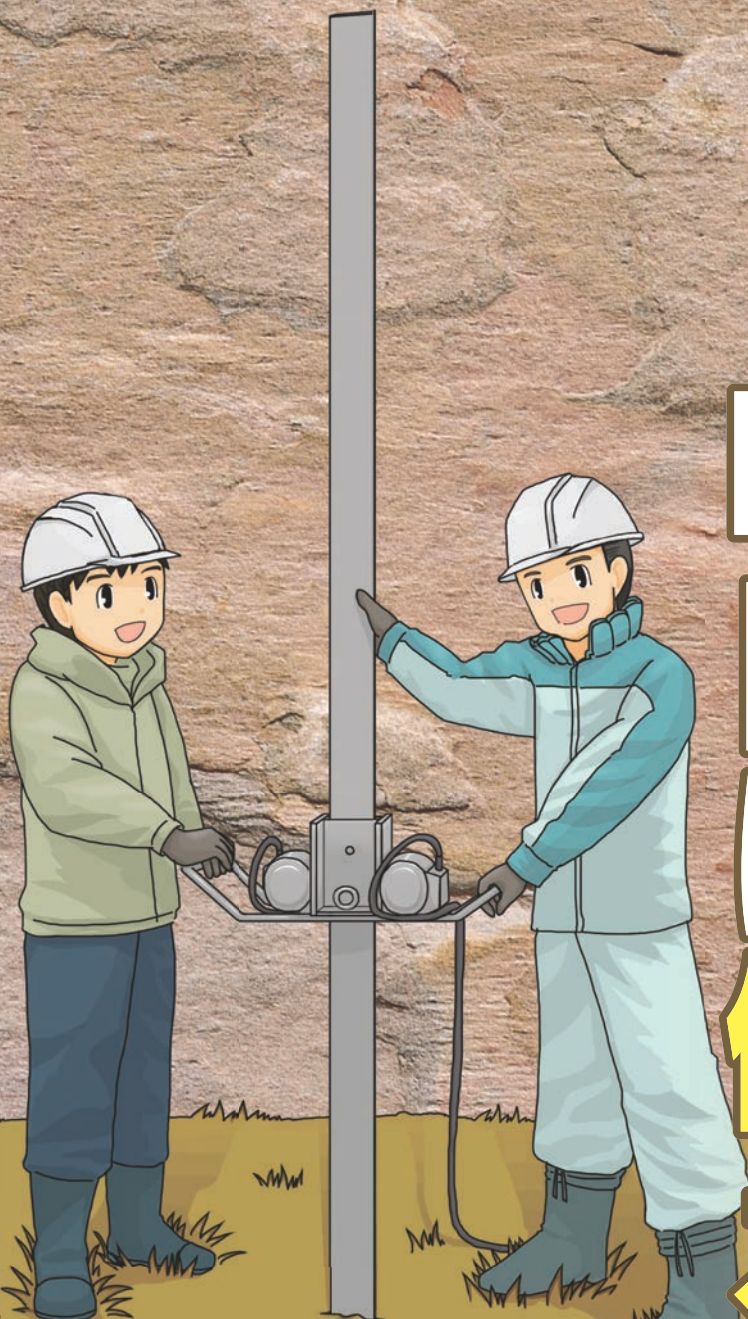
SAN·SO·KEN

<http://www.aist.go.jp>

# 地震

# を知って

# 明日に備える。

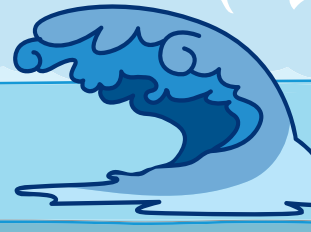


# 地震



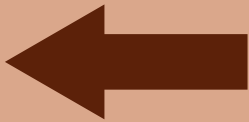
# や

# 津波



# が

# 起こるしくみ

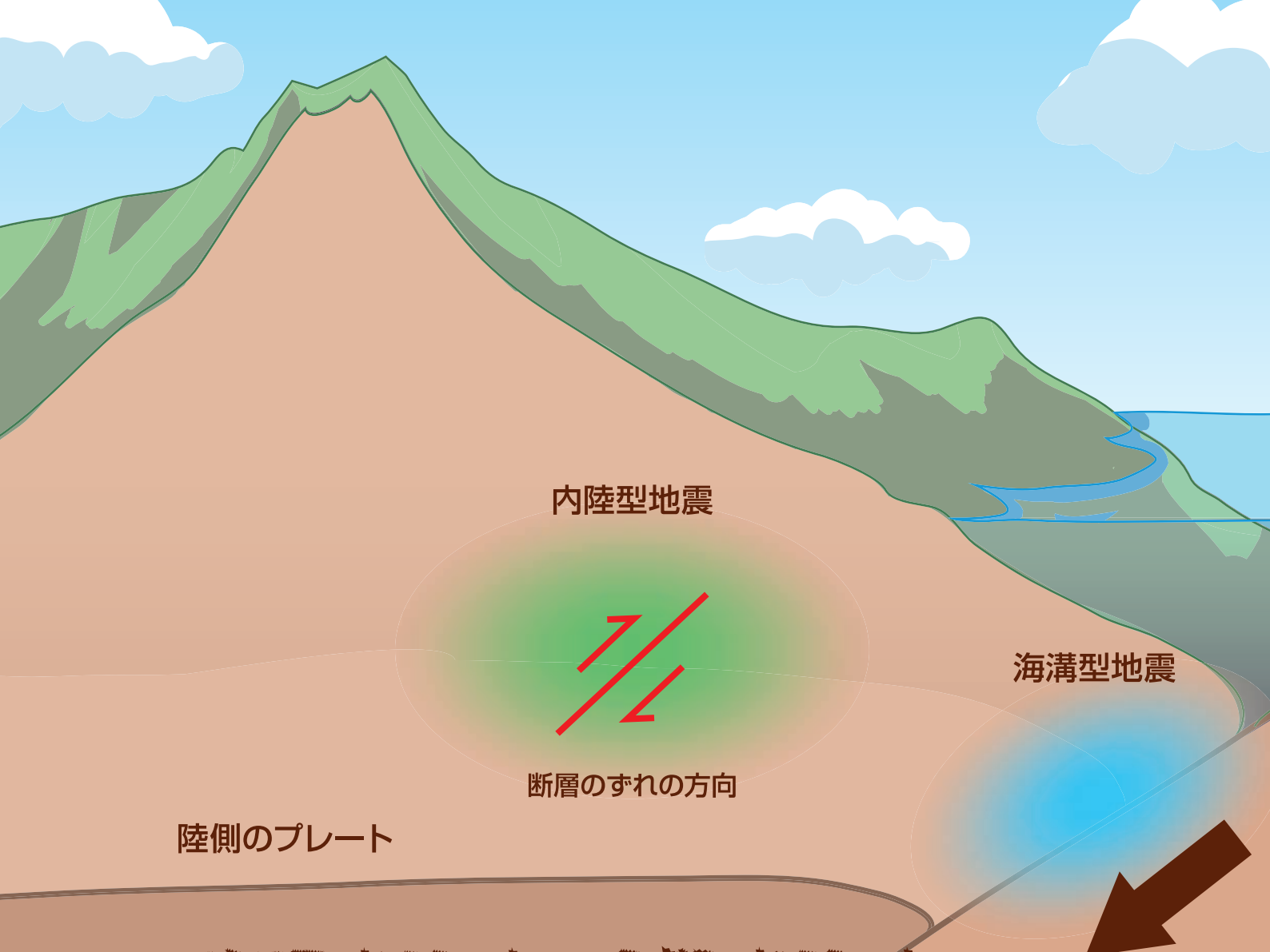


プレートの  
沈み込み

海側のプレート

日本列島は美しく、多くの自然の恵みを私たちに与えてくれます。しかし、この島々は、地震や火山活動の繰り返しにより、長い時間をかけてつくられてきました。そのため、私たちは、地震や火山活動などによる自然災害にたびたび直面しています。

実は、地形や地層には、過去数千年以上にわたって繰り返し発生した巨大地震や火山活動が記録されています。その証拠を見つけ出し、正しく理解することが、将来発生する災害を予測する重要な情報になります。自然が残した自然災害の記録を読み取るのです。このパンフレットでは、過去の地震・津波を再現し、将来を予測する研究を紹介します。



内陸型地震

断層のずれの方向

陸側のプレート

海溝型地震

## 海溝型地震と内陸型地震について

日本周辺で起こる地震は、おおまかに「海溝型地震」と「内陸型地震」の二つに分けられます。

「海溝型地震」は、2011年東北地方太平洋沖地震のように海域で発生し、時として津波も伴うことが特徴です。数百年間隔で発生する、マグニチュード(M) 8〜9の巨大地震が含まれます。

「内陸型地震」は、1995年兵庫県南部地震のように私たちの足下の活断層で発生します。M7程度の地震が数千年の間隔をもって発生し、都市が激しく揺れることがあります。

なぜ日本で地震が多いのでしょうか？

日本列島には東と南から「プレート」と呼ばれる巨大な岩盤が毎年数センチメートルずつ押し寄せ、日本列島の下に沈み込んでいます。

海溝型地震は、日本列島の陸側の岩盤と沈み込んだ海側のプレートの境界にひずみが蓄積し、それに耐えられなくなったときに起きます。このとき、海溝付近の海底が突き動かされ、その上にある海水を持ち上げ、津波を生み出します。また、海側のプレートが押し寄せる動きは、内陸部にも伝わります。これによって、内陸でも地震が発生することがあります。

# 過去こんせきの地震の痕跡から 将来を予測

## 海溝型地震をさぐる

私たちの研究所では、地層や地形に残された巨大地震の痕跡を調べ、将来の地震予測や防災・減災に役立てようとしています。

特に、海岸に残された津波堆積物に注目しています。

巨大な津波が沿岸部を襲った場合、その大きなエネルギーによって海底や海岸の一部が削り取られ、別の場所に運ばれます。こうした堆積物を「津波堆積物」とよび、その分布や年代を調べることで過去に過去に巨大津波を知ることができるのです。

● 当研究所による津波堆積物の調査地域

あつけし  
北海道厚岸町で行ったトレンチ調査の風景



## 北海道でくり返す巨大津波

堆積物の調査から、歴史記録のない19世紀以前に、北海道東部には繰り返す巨大な津波が襲来していたことが明らかになりました。その津波の規模は、観測記録の残る十勝沖地震（1952年）やチリ地震（1960年）で来襲した津波よりも、はるかに大きいものでした。また、17世紀には十勝沖地震と根室沖地震の“連動型地震”が発生していたこともわかりました。

ほかにも北海道浜中町の湿原では、過去6000年間に堆積した2メートル〜4メートルの地層の中に、17層におよぶ津波堆積物を見つけました。その津波堆積物の年代をはかることによって、過去の巨大津波が1000年〜800年という不規則な間隔で襲来していたことがわかっています。

# 過去の地震の痕跡から 将来を予測

## 津波堆積物の調査



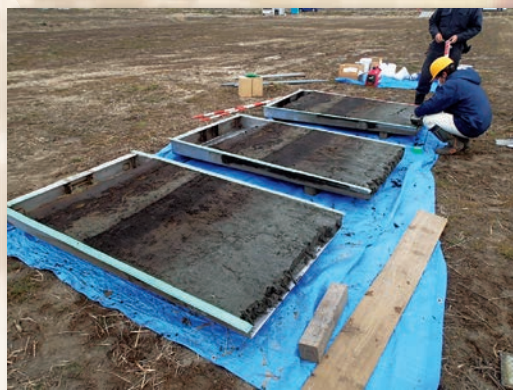
地層抜き取り装置を使った調査風景。長い箱型のを押し込んで、地層をそのまま抜き取ります。

過去の津波堆積物は地下にあります。したがって、それを観察するためには、地下の地層を採取しなければなりません。

最もよく用いられる方法は、「ボーリング」とよばれる円筒状の穴を掘る作業です。ボーリング試料よりも地層を観察しやすい方法として「地層抜き取り装置」を採用した調査もあります。また、「トレンチ」や「ピット」とよばれる大きな溝を掘って、地層を観察することもあります。

## 仙台平野の津波の痕跡

貞観津波の津波堆積物は東北大学などによって発見されました。私たちはさらに研究を進め、津波堆積物から貞観津波の浸水域を復元しました。その結果、貞観津波が来た当時の海岸線は現在より1キロメートルくらい内陸側にあり、津波はそこからさらに少なくとも1.5キロメートル内陸まで浸水していたことがわかりました。さらに同様の規模の津波が500年〜800年間隔で仙台平野を襲っていたこともわかりました。



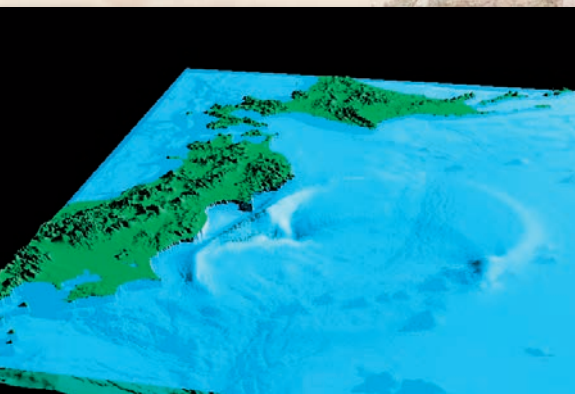
仙台市若林区で採取された貞観津波の堆積物。茶色の層が、湿地でたまった泥炭層（でいたんそう）で、泥炭層に挟まれた灰色の層（砂層）が津波堆積物

## コンピューターで津波を再現する

コンピューターシミュレーションによって、津波堆積物の分布から地震規模の再現を試みました。コンピューター上で地震を起こし、津波を発生させ、どのような津波による浸水域が現実の津波堆積物の分布と一致するのかを繰り返し試していくのです。

研究の結果、幅100キロメートル、長さ200キロメートルの断層が7メートルすべった時の津波が、貞観津波の津波堆積物の分布と一致することがわかりました。この地震は、地震の規模（マグニチュード）に換算すると8.4となり、それまで想定されていた宮城県沖地震（M7級）よりもはるかに大きいものでした。

津波シミュレーションのスナップショット。地震発生から15分後の様子。



# 活断層の調査

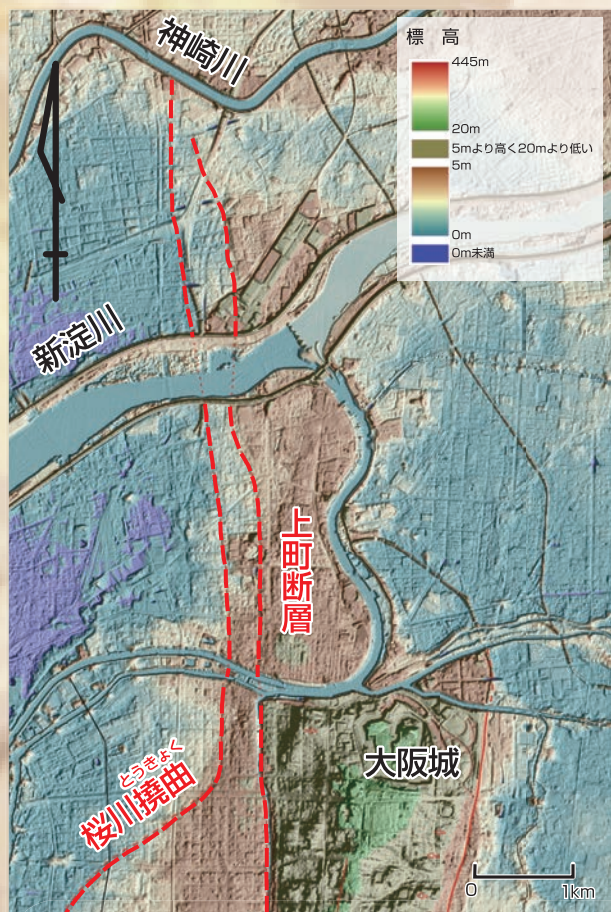
活断層とは、過去に繰り返し活動し、将来も活動して大地震を引き起こす可能性のある断層のことです。活動の間隔は、一般的に1000年から数万年と非常に長いものです。しかし、ひとたび活動すると地震の規模はM7級以上となります。しかも、内陸の浅いところで発生するため、地上に大きな被害が生じるようになります。また、活断層は毎回ほぼ同じようにずれることから、過去の活動をすることにより、将来の大地震の規模や時期を予測しようとする研究を進めています。

## 場所を調べる

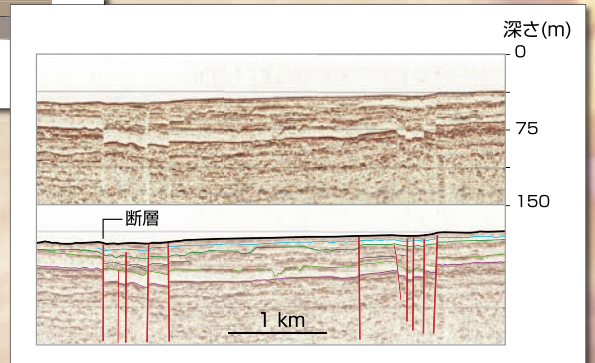
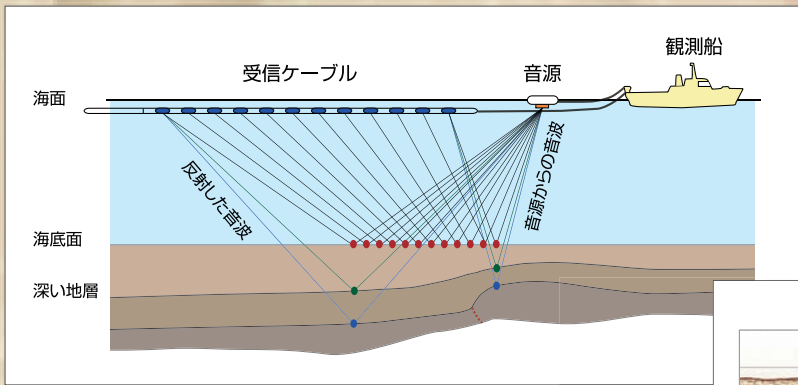
1回の地震で活断層がずれる量は数メートル程度です。しかし数万年、数十万年にわたって繰り返すれ動くことにより、そのずれは加算され、合計で数百メートルになることもあります(上図)。その結果、地形に崖や段差ができたり、谷や尾根が曲がったりします。このような地形をくわしく調べることにより、活断層の位置や活動性を知ることができます。

活断層が地下に埋もれていると、地表の調査だけではくわしい位置などがわからない場合があります。そのような場合には、弱い地震を人工的に発生させます。その地震波を「レーダー」のように使うのです。この地震波が地下で反射する様子を解析することで、地下の地層の重なり方を知ることができます。また、活断層が海底に埋もれている場合には、地震波のかわりに音波を使います。海上で音波を出して、その反射する様子を解析します。

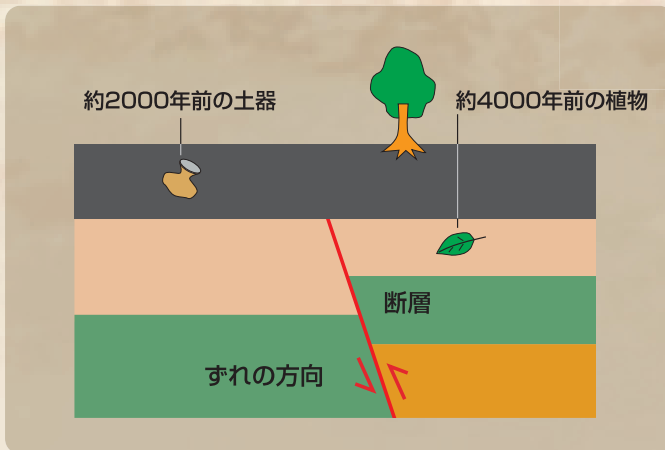
図は大阪市の中心部を通る上町断層帯の詳細な分布図です。赤い破線で示された付近を活断層が通っており、大地震に伴って断層の東側が隆起した様子がわかります。図の中央付近を南北に延びるこげ茶色の部分(標高4m前後)は、最後の大地震によって隆起したと考えられています。緑色の部分(標高15m前後)は、数万年前の段丘です。この段丘は、もともと標高0m付近にあった河原や海底が、長期間に繰り返された活断層のずれによって隆起して作られたと考えられています。



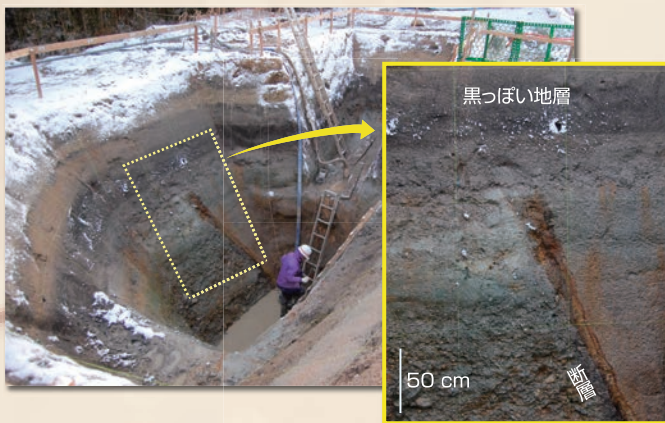
# 過去の地震の痕跡から 将来を予測



音波探査で得られた海底断面図です(右図)。本来水平に堆積したはずの海底の地層が、活断層によって食い違ったり、傾いたりしている様子がよくわかります。



約4000年前の植物片を含む地層には断層があります。しかし、約2000年前の土器を含む地層には断層がありません。このことから、断層の活動時期は、約4000年前から約2000年前の間とわかります。



福岡県の西山断層帯で実施したトレンチ調査の様子です。写真の中央に断層があります。この断層によって、両側の地層は断ち切られていますが、上部の黒っぽい地層はずれていません。このことから、この断層が活動したのは、上部の黒っぽい地層が堆積するより前であったことがわかります。

## 活動時期を 調べる

活断層が過去のいつ頃動いたのかを調べる方法があります。実際に活断層の上に溝を掘って、その溝の壁に現れた地層と断層を観察するのです(トレンチ調査)。地層の年代を知るためには、土器などの考古遺物や、木片や腐植土などの有機物、火山灰などを分析します。これらの分析結果から、断層が動いた時期、つまり、大地震が発生した時期を推定することができます。

# 地震考古学

日本には、さまざまな場所にさまざまな時代の遺跡が残されています。この遺跡を調査して、当時の暮らしや文化などを解き明かしていくのが「考古学」です。そして、遺跡に残された地震の痕跡を研究対象とする学問として、1988年に誕生したのが「地震考古学」なのです。

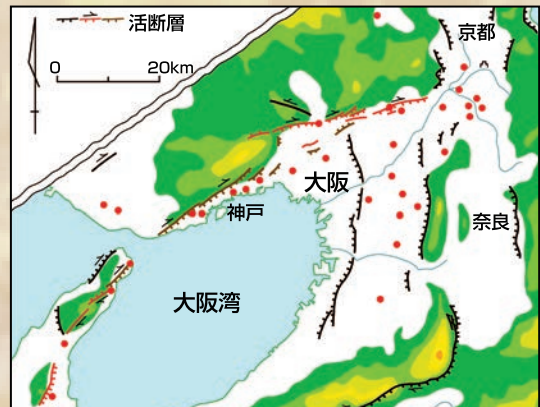
遺跡で地震の痕跡を探すことには、大きなメリットがあります。見つかった痕跡の年代がわかるということ。遺跡には、作られた時期のわかる住居跡や土器などが大量に埋まっているのです。そのため、地震が発生した年代を絞り込むことができます。そして、地震についての記録が残されていれば、年月日までわかります。また、発掘現場で地震痕跡の形をくわしく観察することもできるのです。このように、過去の地震の発生年代や被害の具体的な状況を知ることが、将来の地震を考える上でとても大切なことです。

活断層による内陸地震の場合は、活断層周辺の地面を掘り下げる「トレンチ調査」をすることで断層の活動時期がわかります。この時の断層活動に対応する地震痕跡が見つければ、断層の周囲でどのような地盤災害が起きたのかもみえてきます。



＜砂脈からわかる地震の年代＞

木津川河床遺跡の砂脈です。液状化現象によって、青褐色の粘土層を引き裂いて噴砂が上昇し、その時に引き裂いた割れ目（砂脈）が真っ直ぐにのびています。砂脈が引き裂く地層には中世の遺物が多く含まれていました。しかし、近世の遺物は皆無でした。一方、砂脈を覆う地層には江戸時代の遺物が多く含まれていました。地震の年代は中世から近世に移行する安土桃山時代頃となります。文献史料をみると、以上から唯一該当するのは、1596年の伏見地震です。つまり、この噴砂は伏見地震によるものとわかるのです。（京都府埋蔵文化財調査研究センターが発掘した木津川河床遺跡）

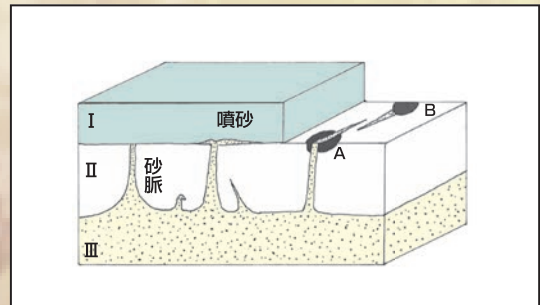


＜1596年伏見地震の活断層と地震痕跡＞

太実線で示したのは大阪平野周辺の活断層です。赤い線は1596年の伏見地震で活動したことがわかった断層、茶色の線は伏見地震で活動した可能性が高い断層です。赤丸印は、伏見地震の痕跡が見つかった遺跡の位置を示しています。

## ＜液状化現象の痕跡＞

1596年の伏見地震の激しい地震動にともなって液状化現象が発生しました。写真は八幡市の内里八丁遺跡で確認できた噴砂です。下部の白い砂が液状化して、上を覆う青い粘土層を引き裂きながら上昇していることがわかります。（京都府八幡市教育委員会が発掘した内里八丁遺跡）



＜遺跡で見つかった液状化現象の痕跡＞

遺跡で最も多く見つかるのは液状化現象の痕跡です。図ではⅢ層で液状化が発生して、地下水が上昇しています。この時に、地面に流れ出した砂を「噴砂」、噴砂が引き裂いた割れ目を「砂脈」といいます。遺跡の発掘調査では、噴砂が無くなくて、砂脈だけが見つかることが多くあります。A・Bは人為的な遺構です。こうした場所では、地震が発生したのはⅡ層堆積後でⅠ層堆積前、そして、遺構A設置後で遺構B設置前と特定できます。



# 地質学と地球物理学の融合

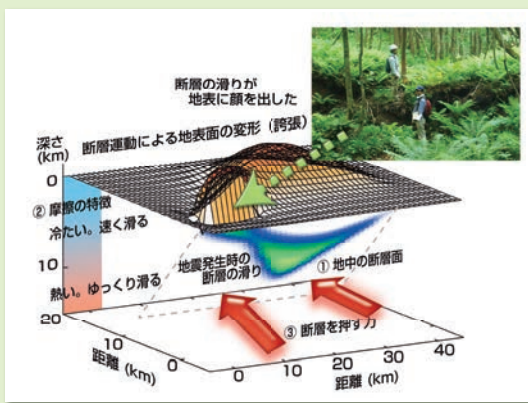
## 地震発生のシミュレーション

どつすれば将来の地震の起こり方をより高い精度で予測できるでしょうか？

物理法則にもとづいてコンピューターシミュレーションを行う方法があります。シミュレーションでは、ある断層についての①断層面の形、②断層の滑り方を表す摩擦法則、③断層へ加わる力の三つのデータを入力すれば、地震を再現することができます。

一般に、断層の滑り方というのは複雑です。そのため、データが限られている地質学的なアプローチだけでは予測精度に限界があります。しかし、地球物理学的なデータとシミュレーションを加えることで、将来、断層がどこでどれだけ滑るのか、さらに地震災害を引き起こす地表面のすれの量はどの程度なのかを知る手がかりが得られます。

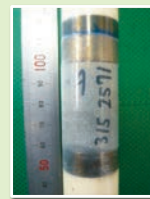
シミュレーションに必要な三つのデータは必ずしも簡単に手に入られるわけではありません。しかし近年の技術進歩で、間接的に推定することもできるようになってきました。



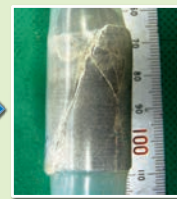
2008年の岩手・宮城内陸地震(M7.2)において発生した、断層の滑り(逆断層運動)と地表の変形を再現したシミュレーションの例です。写真は、震源地で緊急に行われた地質調査の様子の例です。断層の滑りが一部分だけ地表まで達し、地面が数m程度上下にずれていることがわかります。(二人が立っているところがもとは同じ地面の高さでした)。



井戸用の地震計の設置風景。地下数百mのところへ地震計を設置することで、人工ノイズ(車や電車、人の行き来など)が劇的に小さくなります。これにより、地表の観測では検出できない微弱な信号も捉えることができるようになります。



変形前



変形後

(左) 圧力変形実験に使う岩石試料の例(砂岩)。 (右) 破壊により砂岩に割れ目、断層(すれ)が生じています。



天然マイロナイトの写真。下部ほど強く岩石が引き伸ばされており、場所により変形の様子が異なります。

## 岩石力学実験

大地震が発生する地下深部は、温度も圧力も高く、地表とは環境が異なります。このため岩石は速く割れたり、水あめのようにゆっくりずれたりし、摩擦の特徴も変化します。

写真は水あめのように流動的に変形した岩石で、「マイロナイト」と呼ばれています(畑川破砕帯、福島県双葉郡葛尾村産)。下部ほど強く岩石が引き伸ばされており、場所により変形の様子が異なります。

私たちの研究所では、変形試験機を用いてこのような岩石の複雑な変形や、温度や圧力により岩石が変化する様子を再現して、大地震前の岩石の様子を明らかにしようとしています。このような実験の結果を、地震の観測結果や自然に見られる岩石と比較することで、地震の背景にある物理過程の検証が可能になります。

## 応力場解析

人間の場合、病院に行けば、医師が聴診器を使って肺・心臓・血管などの出す音を聴き、患者の健康状態を診断します。これと同じように、地震学では地震計などの計測機器を使って地球内部の鼓動をとらえ、人間が見ることのできない地下の現象を調べています。

私たちは井戸用の地震計や臨時の地震観測点を設置し、精度よく微小地震の発生メカニズムを推定するための技術を開発しています。これにより、非常に多くの微小地震のメカニズムが比較的短期間に求められるようになります。それらのデータから活断層や海溝で地殻にはたらいっている力を詳細に推定することができるのです。

# 「地質学×地球物理学」 で、もっとみえてくる

地震研究において、地球科学からアプローチするには、大きく二つの手法があります。一つは伝統的な地質学の手法。もう一つはコンピュータを駆使する地球物理学的な手法。この両者にはそれぞれ特色があり、得手不得手があります。両分野の研究者が手を携えたら？私たちの研究所では世界でもほとんど類をみない地質学と地球物理学の共同研究を進めています。ここで、パンフレットですでに紹介してきた地質学と地球物理学の手法を改めて振り返り、最前線で行われている研究を紹介しましょう。

## 溝を掘って地震を調べる 地質学

活断層を直接調べる方法として、「トレンチを掘る」という方法があります。活断層があると思われる場所に、活断層と直交するように溝（トレンチ）を掘ります。多くの場合、その溝は長さ15〜20メートル、幅6メートル前後、深さ3メートル前後になります。

「こうして掘ったトレンチの壁を調べて地層のすれを探します。活断層を自分の眼で直接調べるわけです」と近藤久雄主任研究員は話します。すれの大きさも知ることができますし、地層中に含まれている植物片などの有機物を年代分析することで、そのすれがいつあったのかを知ることができます。

す。地層中から土器などの遺物や遺構が出てくれば、考古学者に依頼をして、その年代を知ることができます。

いつ、どのくらいの規模で、活断層がすれたのか。地質学のチームによる地震調査ではそうした「生の情報」を手に入れることができるのです。

## コンピューターで地震を 再現する地球物理学

どのくらいの規模で、どのように、活断層がすれたのか。

このことをコンピューター上で再現しようという研究は、物理法則によって地震のメカニズムにせまる地球物理学によるものです。加瀬祐子主任研究員は、「シミュレーションの最大の利点は、繰り返し

実験ができるということだと思います」と話します。

そもそも科学においても、再現実験が可能であるかどうかということが大きなポイントになります。しかし過去の地球の歴史を扱う地質学は、過去の歴史にせまることができたとしても、その歴史を再現して検証することは得意ではありません。そこで、シミュレーションの出番となります。

## みえてきた巨大地震

地球を研究対象とする「地球科学（地学）」には、岩石学や火山学、鉱物学や古生物学、そして気象学などの実にさまざまな分野があります。地質学も地球物理学もそうしたたくさんの分野の中の一つです。そして、同じ地球科学の分野とはいえ、これまで地質学と地球物理学はあまり交流をできていませんでした。

そのため、日本に限らず、世界的にみても、この二つの分野の間には、同じ単語を使っているも別のことを指していたり、そもそも考え方が多少ちがっていたりするなどの「交流の壁」があります。



近藤 久雄 主任研究員



私たちの研究所では、この壁を乗り越えた、地質学と地球物理学の融合を進めています。その成果の一つが、17世紀に発生したトルコの巨大地震の解明です。

1668年にトルコで発生したアナトリア地震は、歴史文献に残された被害状況からM8級とされてきました。しかしそれまでに行われていた断層の調査では、大きくてもM7級とみられていました。M8は、M7の約32倍のエネルギーに相当します。そこで、歴史文献が誤っている(被害を大げさにしている)のではないかとみられていました。

ところが近藤主任研究員の調査で、アナトリア地震でずれ動いた断層が大規模である可能性が出てきました。歴史文献通りの巨大地震だった可能性が出てきたわけです。しかしトレンチ調査だけでは、データが「点」であるという弱点があります。つまり、大規模なずれはそのトレンチだけで確認された可能性も否定できないのです。

そこで、加瀬主任研究員のシミュレーションの出番になりました。近藤主任研究員のデータを考慮したモデルを構築すると、従来では考えられないほどの大規模な地震が発生していた可能性をコンピュータで再現できたのです。これによって、アナトリア地震は歴史文献にある

ようなM8級であるということが裏付けされま

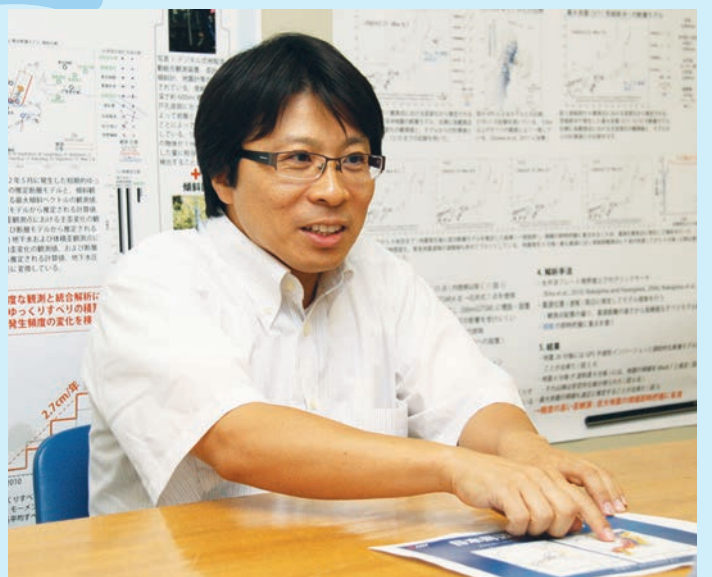
## 将来、どのような地震が起きるのか

今、私たちの研究所では、地質学の研究者と地球物理学の研究者が一緒になって、関東地方でどのようなタイプの地震が発生するのかを予測しようという研究を進めています。

地球物理学がシミュレーションを行う場合、地震計によって実際に計測されたデータを用いることが多くあります。とくに注目しているのは、日常生活では感知しないほどの微小地震(M3以下)です。微小地震は発生回数が多く、日本周辺では1か月あたり1万回以上発生します。日本全国には1000点ほどの地震計が設置されており、これらの地震を日々観測しています。それは揺れの規模だけでなく、地震の発生場所にかかった力の情報も記録します。この膨大なデータが、シミュレーションの構築に役立ちます。

将来予測には、こうした地震活動の記録が有効です。しかし、地震計による地震記録はここ100年ほどしかありません。100年間に発生していない地震はデータとして存在しないのです。ところが、100年間に発生していないタイプの地震も発生することは、2011年の東北地方太平洋沖地震が実証しています。東北地方太平洋沖地震は、この100年のデータでは、予測できない地震だったのです。

そこで、今西和俊主任研究員たちが進めているのが、地質学との共同プロジェクトです。地質調査を



今西 和俊 主任研究員

すれば、その場所の地下構造や、過去数千年以上にわたる活動の記録などがわかります。例えば、岩石の種類などで揺れやすさもわかります。また、その場所の地層が曲がっていれば(褶曲していけば)、地震のデータが不十分でもどのような方向から力が加わったのかがわかります。こうした地質調査のデータを組みこんで、シミュレーションを組み立てます。「こうしたことで、関東地方の地下にかかっている『力の地図』を詳しくつくることができます。そしてその地図を使って、今後どのようなタイプの地震が起きるのかを予測しようとしています。それが、私たちが進めている研究なのです」(今西主任研究員)。

## 2011年 東北地方太平洋沖 地震津波の緊急調査

内陸で大きな地震が発生すると、地下ですれ動いた断層が地表に姿を現すことがありません。このような地表に現れた断層のずれを「地震断層」、または「地表地震断層」といいます。地震断層は、地震の発生メカニズムや破壊（ずれ）の広がり方などを理解するうえで、貴重な手がかりを与えてくれます。

しかし、地震断層に記録されたこうした情報は、その後の風雨や復旧工事などによって壊され、時間とともに質・量ともに著しく減少します。したがって、地震断層が「新鮮」なうちに緊急調査を実施することが重要になります。

私たちの研究所では、1891年に岐阜県で発生した濃尾地震を皮切りに、国内の内陸地震で生じた地震断層の緊急調査を行い、詳細に記録してきました。地震断層を伴う地震の発生は世界的にもまれです。これらの記録は地震研究の進展に大きな役割を果たしています。

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震のちょうど1ヶ月後、「福島県浜通りの地震」が発生しました。このとき、地殻が引



(写真1) 福島県浜通りの地震(2011.4.11)に伴い出現した道路を大きく食い違わせる地震断層の緊急測量調査

が珍しく、はっきりとした「正断層型の地震断層」を伴う地震は、日本国内の観測史上でこのときが初めてでした。私たちは、地震発生後、速やかに現地に入り、地震断層の全量を歩いて詳細な分布を把握するとともに、測量装置を用いて断層の形やずれの量を正確に計測、記録し、正断層型の地震断層の特性を明らかにしました。

大きな津波の被害が発生したとき、研究者は被災地に赴いて津波の高さを測定し、それを集めることで津波の全容を知ろうとします。高さに関する情報は津波の最も基礎的なデータだからです。

現地調査では、主に津波によって浸水した痕跡など(例えば図1)や住民の方からの証言を基に、津波の高さを測定します。時間が経つにつれてその痕跡が消えていき、人の

張られることで生じる「正断層型の地震断層」が出現しました。実は、普段の日本列島は海洋プレートに押されているため、引つ張られる断層

記憶も曖昧になるので、できるだけ早い時期に現地を訪れて調査を行うことが重要です。私たちの研究所も、これまでに2003年十勝沖地震、2004年スマトラ沖地震、2010年チリ地震、2011年東北地方太平洋沖地震などによる津波の調査に参加しました。

2011年東北地方太平洋沖地震津波の場合、効率的な調査を行うために全国の津波関係の研究者が所属機関を問わず主に電子メールで現地調査に関する情報を共有しました。最終的に、総勢300名を超す研究者により、北海道から九州までの太平洋沿岸で津波の高さのデータが集められ、その結果は集約されて「東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ」としてウェブ上で公開されています。1点1点のデータは、現地調査によって得られた貴重な数字なのです。



(図1) 茨城県ひたちなか市那珂湊における浸水の痕跡の例。図中の白矢印が示す水平方向の線が津波が浸水することにより生じた浸水線です。標尺により地面から約1.3m上まで浸水したことがわかります。現地調査ではこのような痕跡を根拠に津波の高さを測定しました。